第13回日本LCA学会研究発表会

講演要旨集

2018年3月7日(水)－9日(金)

東京

早稲田大学 早稲田キャンパス

第 13 回日本 LCA 学会研究発表会開催案内

第 13 回日本 LCA 学会研究発表会ウェブサイトの URL
http://ilcaj.org/meeting/13th/index.html

主　　催：日本ＬＣＡ学会

共　　催：早稲田大学大学院経済学研究科

日　　時：2018 年 3 月 7 日（水）～ 3 月 9 日（金）

会　　場：早稲田大学　早稲田キャンパス　3 号館（東京都新宿区西早稲田 1-6-1）
最新の情報は、上記ウェブサイトをご覧ください。

発表形式：口頭発表およびポスター発表
口頭発表の発表時間は、1 件あたり 20 分（発表 12 分、質疑 7 分、発表者交代 1 分）です。口頭発表は、登壇者の PC を会場のプロジェクターに接続しての発表となります。発表者は各自 PC をご準備ください。詳細は、研究発表会ウェブサイトの「口頭発表」をご覧ください。
ポスターの掲示は、研究発表会初日（3 月 7 日）の 8:20 からポスターセッション当日（3 月 8 日）のポスターセッション開始時刻（15:20）までにお願いします。A0 サイズ（84 cm × 119 cm）のポスターが掲示できる十分なスペースを用意しています。詳細は、研究発表会ウェブサイトの「ポスター発表」をご覧ください。ポスターは、研究発表会最終日（3 月 9 日）の 10:40 までに回収して下さい。

ポスター発表のコアタイム制について：
2 時間のポスターセッション中、1 時間ずつのコアタイム（発表者が待機する時間帯）を設けています。発表する・聴講するポスターのコアタイムをご確認ください。コアタイムの振り分け方は下記の通りです。
・ポスター番号が奇数のポスターは、コアタイム A（15:20 ～ 16:20）です。
・ポスター番号が偶数のポスターは、コアタイム B（16:20 ～ 17:20）です。
それぞれのポスター番号は、プログラムおよびポスターボード上部の札でご確認ください。

要旨集：　会期前にウェブサイト上で Web 版講演要旨集を公開する予定です。なお、CD-ROM 版講演要旨集（1,000 円）、印刷版要旨集(10,000 円）の受注販売を予定しております。ご希望の方はなるべく 2 月 2 日(金）までに、研究発表会の参加登録画面にてお申し込みください。

無線 LAN：主会場内では、教育研究機関のローミングサービス eduroam、および研究発表会参加者向けのビジター用無線 LAN サービスが利用可能です。

交 流 会：研究発表会 2 日目のポスターセッション終了後の 3 月 8 日（木）17:40 から、25 号館（大隈ガーデンハウス）2F にて交流会を開催します。本研究発表会に参加登録頂いた方については、交流会参加費は無料です。

学生優秀発表の表彰：学生会員による研究発表の中から、審査により優秀な発表を表彰します。表彰式は研究発表会のクロージングで実施します。審査の詳細は、研究発表会ウェブサイトの「学生優秀発表」をご覧下さい。

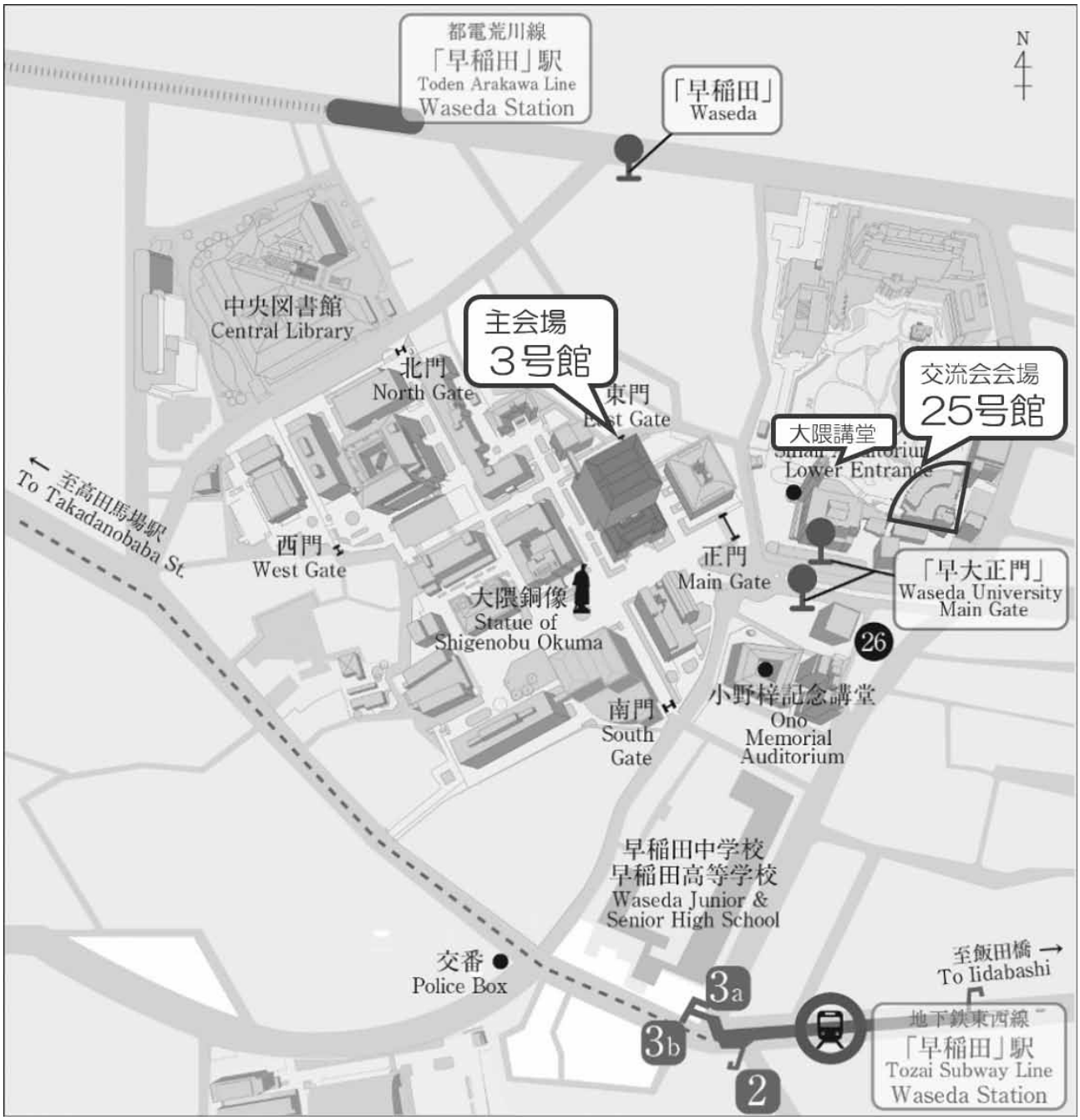
交通案内

●地下鉄東京メトロ東西線早稲田駅 3a 出口から徒歩５分

早稲田大学　早稲田キャンパス
https://www.waseda.jp/top/access/waseda-campus

会場周辺マップ

早稲田キャンパス　３号館
（東京都新宿区西早稲田 1-6-1）



第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会　実行委員会名簿

実行委員長	早稲田大学	中村 慎一郎
副委員長	早稲田大学	近藤 康之
副委員長	産業技術総合研究所	畑山 博樹
実行委員	東京大学	井原 智彦
	日本環境協会	大澤 亮
	産業技術総合研究所	小澤 暁人
	神戸大学	尾下 優子
	早稲田大学	小野田 弘士
	国立環境研究所	河井 紘輔
	東京大学	菊池 康紀
	プリプレス・センター /elsa	北村 祐介
	芝浦工業大学	栗島 英明
	福島大学	小井土 賢二
	県立広島大学	小林 謙介
	ライオン	高橋 由治
	産業技術総合研究所	田原 聖隆
	産業技術総合研究所	塚原 建一郎
	産業環境管理協会	鶴田 祥一郎
	早稲田大学	所 千晴
	早稲田大学	納富 信
	横浜国立大学	稗貫 峻一
	立命館大学	吉川 直樹
事務局	株式会社シーエーティー	室井 るみの
	株式会社シーエーティー	清水 祐子
	株式会社シーエーティー	大竹 敬子
	株式会社シーエーティー	津田 祥子
	株式会社シーエーティー	吉村 祐子

第13回日本LCA学会研究発表会
プログラム タイムテーブル

1日目　3月7日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	容器包装	特別セッション： 将来技術評価(1)	手法開発	自動車	家計由来の環境負荷
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	生産性分析	特別セッション： 将来技術評価(2)	金属(1) グローバル サプライチェーン	肥料と資源	生態系評価
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:20	昼休み				
	M会場				
13:20-14:40	オープニング、基調講演				
14:40-15:00	休憩				
15:00-15:20	大気環境	特別セッション： 食品・農業分野の 横断的LCA(1) 農水産品・加工品	金属(2) 資源効率	住宅	企画セッション： 持続可能な消費と 生産パターン定着に 向けたライフサイクル 思考の役割
15:20-15:40					
15:40-16:00					
16:00-16:20					
16:20-16:40	休憩				
16:40-17:00	データベース	特別セッション： 食品・農業分野の 横断的LCA(2) 流通	資源循環	都市	企画セッション： 持続可能な未来社会の 創造に向けた ものづくりプロセスの 革新とLCA
17:00-17:20					
17:20-17:40					
17:40-18:00					

2日目　3月8日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	太陽エネルギー	特別セッション：循環型社会とサーキュラー・エコノミー (1)	バイオマス	廃棄物利用	企画セッション：ホットスポット分析と環境ラベルへの活用
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	家電製品	特別セッション：循環型社会とサーキュラー・エコノミー (2)	地域	水	企画セッション：パリ協定後の日本の産業を考える
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:20	昼休み				
13:20-13:40	政策と情報開示	特別セッション：食品・農業分野の横断的LCA(3)消費者・社会・産業システム	特別セッション：環境負荷削減貢献量評価	消費者選択	水素・再生可能エネルギー
13:40-14:00					
14:00-14:20					
14:20-14:40					
14:40-15:00					
15:00-15:20	休憩				
	P会場				
15:20-16:20	ポスターセッション1　*コアタイムA:奇数番号				
16:20-17:20	ポスターセッション2　*コアタイムB:偶数番号				
17:20-17:40	移動				
17:40-	交流会(25号館(大隈ガーデンハウス) 2F食堂)				

3日目　3月9日(金)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	静脈	特別セッション：環境教育	製品の所有と廃棄	企画セッション：気候変動の緩和策と適応策	
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	人と社会		アジアの環境管理	企画セッション：行政報告データ等の活用による自治体レベルの物質循環分析の展望	
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:20	昼休み				
	M会場				
13:20-16:20	学会各賞受賞記念講演、クロージング				

全体セッション プログラム

1日目(3月7日(水))

M 会 場

13:20-13:30	オープニング	
13:30-14:30	【基調講演】 自動車の環境・エネルギー技術に関する将来展望 大聖泰弘氏(早稲田大学)	

3日目(3月9日(金))

M 会 場

13:20-13:35 奨励賞	ライフサイクル的思考の農業・食料分野への適用に関する研究 折笠貴寛（岩手大学）	434
13:35-13:50 奨励賞	ライフサイクル思考に基づく技術・システムの設計 菊池康紀（東京大学）	436
13:50-14:05 奨励賞	LCAの建築分野への適用とインベントリデータベースに関わる研究 小林謙介（県立広島大学）	438
14:05-14:20 論文賞	Development of human health damage factors for PM2.5 based on a global chemical transport model 湯龍龍(農業環境技術研究所)、永島 達也(国立環境研究所)、長谷川 晃一(中電シーティーアイ)、 大原 利眞(国立環境研究所)、須藤 健吾(名古屋大学)、伊坪 徳宏(東京都市大学)	
14:20-14:35 論文賞	責任あるサプライチェーンの実現に向けたニッケル資源利用に関わるリスク要因の整理と解析 佐々木翔(東北大学)、松八重一代(東北大学)、中島謙一(国立環境研究所)、村上進亮(東京大学)、 長坂徹也(東北大学)	440
14:35-14:50 論文賞	木質バイオマス発電および熱電併給のライフサイクル環境影響と外部コストの評価 古俣寛隆(北海道立総合研究機構)、石川佳生(北海道立総合研究機構)、本藤祐樹(横浜国立大学)	450
14:50-15:10 功績賞	持続可能な農業生産システム確立のためのLCA研究 林清忠（農業・食品産業技術総合研究機構）	461
15:20-16:20	クロージング	

パラレルセッション プログラム

1日目（3月7日(水)）

◎は登壇者

9:00 ～ 10:20

◆A 会場 ＜容器包装＞

座長：中谷隼（東京大学）

9:00-9:20 **A1-01** *(P2-110)*
機能の統合による食品と容器包装のライフサイクル設計 …… 2
◎横川直毅（東京大学），天沢逸里（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）

9:20-9:40 **A1-02** *(P2-111)*
容器包装を対象とする機能と環境影響を統合したライフサイクル設計手法 …… 4
◎増田祐太郎（東京大学），横川直毅（東京大学），天沢逸里（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）

9:40-10:00 **A1-03** *(P2-077)*
容器包装と産業への蓄積に着目したMFAによるプラスチック廃棄物の発生量推計 …… 6
◎丸山多聞（東京大学），中谷隼（東京大学），森口祐一（東京大学）

10:00-10:20 **A1-04** *(P2-051)*
容器包装における環境効率算定手法の実用化 …… 8
◎家木敏秀（東洋製罐）

◆B 会場 ＜特別セッション：将来技術評価（1）＞

座長：田原聖隆（産業技術総合研究所）

9:00-9:20 **B1-01**
将来技術評価の意義と課題そして今後の展開 …… 10
◎河尻耕太郎（産業技術総合研究所）

9:20-9:40 **B1-02**
新規炭素繊維製造技術に潜む環境リスクと健康リスクのジレンマ …… 12
◎坂本魁都（産業技術総合研究所），河尻耕太郎（産業技術総合研究所），羽鳥浩章（産業技術総合研究所），田原聖隆（産業技術総合研究所）

9:40-10:00 **B1-03** *(P2-117)*
新規ポリマーを導入した次世代自動車のライフサイクル環境影響評価 …… 14
◎長谷川幹晃（東京大学大学院），大田弥由紀（東京大学大学院），天沢逸里（東京大学大学院），杉山弘和（東京大学大学院），平尾雅彦（東京大学大学院）

10:00-10:20 **B1-04**
有機ELの新展開「イリジウムフリー発光効率100%」のライフサイクル評価 …… 16
◎天沢逸里（東京大学），河尻耕太郎（産業技術総合研究所）

◆C 会場 ＜手法開発＞

座長：醍醐市朗（東京大学）

9:00-9:20 **C1-01** *(P2-071)*
エクセルギーによる資源消費の持続可能性評価手法の構築 …… 18
◎平岡侑一郎（東京大学），醍醐市朗（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）

9:20-9:40 **C1-02**
化学システム技術の開発におけるLCAの利用：一般化を目的としたアクティビティモデリング …… 20
◎鈴木征史（東北大学大学院），大野肇（東北大学大学院），福島康裕（東北大学大学院）

9:40-10:00 **C1-03**
伝統工芸品の環境影響
エコプロダクツとしての着物 …… 22
◎髙橋和枝（武蔵野大学），大野貴子（武蔵野大学）

10:00-10:20 **C1-04** *(P2-027)*
消費者行動分析とライフサイクル評価に基づく政策設計：洗濯乾燥行動を例として …… 24
◎鈴木祐里絵（東京大学），天沢逸里（東京大学），文多美（東京大学），中谷隼（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）

◆D 会場 ＜自動車＞

座長：稗貫峻一（横浜国立大学）

9:00-9:20 **D1-01** *(P2-046)*
高速道路の電化と走行中給電可能な車両運搬EVシステムの提案 …… 26
◎北条善久（放送大学）

9:20-9:40 **D1-02**
企画開発段階における乗用車走行燃費シミュレーション手法の適用 …… 28
◎柴原尚希（産業環境管理協会），神崎昌之（産業環境管理協会）

9:40-10:00 **D1-03**	**CAFE基準導入をふまえたライフサイクルCO_2排出量分析** ◎金子満來（九州大学），加河茂美（九州大学）	30
10:00-10:20 **D1-04**	**日本におけるCAFE基準導入を考慮した自動車メーカーの生産技術効率性分析** ◎江口昌伍（九州大学），稗貫峻一（横浜国立大学）	32

◆ E 会場 ＜家計由来の環境負荷＞

座長：南斉規介（国立環境研究所）

9:00-9:20 **E1-01**	**47都道府県の民生CO_2排出変化量の要因分析** ◎重富陽介（長崎大学），松本健一（長崎大学），榎原友樹（長崎大学，E-konzal），越智雄輝（E-konzal），小川祐貴（E-konzal），白木裕斗（滋賀県立大学），山本裕基（長崎大学）	34
9:20-9:40 **E1-02**	**家計消費に伴う世代間の社会負荷分配問題** ◎ Chapman Andrew John（九州大学），重富陽介（長崎大学）	36
9:40-10:00 **E1-03**	**経済実験による家庭部門の電力・CO_2排出量取引市場に関する基礎的検討** ◎岩崎堅太（立命館大学大学院）	38
10:00-10:20 **E1-04** *(P2-026)*	**家計消費とプラネタリー・バウンダリー：土地利用の変化について** ◎佐々木貴央（立命館大学），南斉規介（国立環境研究所），橋本征二（立命館大学）	40

10:40 ～ 12:00

◆ A 会場 ＜生産性分析＞

座長：小原聡（アサヒグループホールディングス）

10:40-11:00 **A1-06**	**サプライチェーンを考慮した世界各国の製造業の効率性分析** ◎高藪広隆（九州大学），加河茂美（九州大学）	42
11:00-11:20 **A1-07**	**包絡分析法（DEA）を用いた酪農生産システムのエネルギー消費に関する分析** **―北海道浜中町の事例―** ◎菱沼竜男（宇都宮大学）	44
11:20-11:40 **A1-08**	**農工横断システム設計の拡張：気象イベントがバイオマス生産性に及ぼす影響** ◎中村遼太郎（東北大学大学院），小原聡（アサヒグループホールディングス），大野肇（東北大学大学院），福島康裕（東北大学大学院）	46
11:40-12:00 **A1-09**	**環境効率を測る共通価値軸としてのタイムフットプリントの検討** ◎正畠宏一（TCO2 株式会社），牧野直樹（TCO2 株式会社），八坂慶仁（TCO2 株式会社）	48

◆ B 会場 ＜特別セッション：将来技術評価 (2) ＞

座長：河尻耕太郎（産業技術総合研究所）

10:40-11:00 **B1-06**	**新素材のライフサイクル評価におけるマネジメント** ◎中野勝行（産業環境管理協会），山岸健（産業環境管理協会），鶴田祥一郎（産業環境管理協会），佐伯順子（産業環境管理協会），柴原尚希（産業環境管理協会），神崎昌之（産業環境管理協会）	50
11:00-11:20 **B1-07**	**自動車向け熱電発電装置の普及シナリオ作成に向けた基礎的検討** ◎木下裕介（東京大学），小久保宇（東京大学），河尻耕太郎（産業技術総合研究所），篠原嘉一（物質・材料研究機構）	52
11:20-11:40 **B1-08** *(P2-068)*	**CGEモデルを用いた日本のCFP将来推計** ◎一杉佑貴（東京都市大学），増井利彦（国立環境研究所），伊坪徳宏（東京都市大学）	54
11:40-12:00 **B1-09**	**HEMSに対する消費者受容性の日米比較** **仮想評価法によるアプローチ** ◎鷲津明由（早稲田大学），中野諭（労働政策研究・研修機構），Chien-fei Chen（University of Tennessee），石井英雄（早稲田大学），林泰弘（早稲田大学）	56

◆C 会場 ＜金属 (1) グローバルサプライチェーン＞

座長：松野泰也 (千葉大学)

10:40-11:00 **C1-06**	**温室効果ガス削減目標に準じた金属資源の国際貿易推計** ◎森岡涼子（国立環境研究所），津田宏治（東京大学），中島謙一（国立環境研究所），南斉規介（国立環境研究所）	58
11:00-11:20 **C1-07** *(P2-076)*	**世界及び日本の経済活動が誘発する鉱石採掘に伴う関与物質総量 鉄・銅の国際サプライチェーン分析** ◎野田匠一郎（東京大学），南齋規介（国立環境研究所），中島謙一（国立環境研究所）	60
11:20-11:40 **C1-08** *(P2-074)*	**銅採掘に伴う国際的なサプライチェーンリスク解析** ◎大足葵（東北大学），松八重一代（東北大学），中島謙一（国立環境研究所），長坂徹也（東北大学）	62
11:40-12:00 **C1-09** *(P2-064)*	**ハイブリッドLCAを用いた日本の低炭素技術に関する資源リスク構造の解析** ◎田邊佑樹（京都大学），南齋規介（国立環境研究所），東野達（京都大学）	64

◆D 会場 ＜肥料と資源＞

座長：内田晋（茨城大学）

10:40-11:00 **D1-06** *(P2-080)*	**日本国内窒素フローの経時変化** ◎片桐究（東北大学），松八重一代（東北大学），長坂徹也（東北大学）	66
11:00-11:20 **D1-07** *(P2-087)*	**滋賀県におけるリンのマテリアルフロー分析** ◎間野由布子（東北大学），松八重一代（東北大学）	68
11:20-11:40 **D1-08**	**施肥方法が水田土壌の質に与える影響の定量化** ◎湯龍龍（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），神山和則（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），林清忠（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），志村もと子（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）	70
11:40-12:00 **D1-09**	**ビール醸造副産物由来の肥料を活用したゴルフコース管理のライフサイクル評価 圃場試験からコース実証へのスケールアップ** ◎林清忠（農業・食品産業技術総合研究機構），安井芳彦（株式会社アコーディア・ゴルフ），北川隆徳（アサヒバイオサイクル株式会社），南嶋晋二郎（株式会社アコーディア・ゴルフ），高橋右京（株式会社アコーディア・ゴルフ）	72

◆E 会場 ＜生態系評価＞

座長：岡本隼輔（尾道市立大学）

10:40-11:00 **E1-06**	**多地域間産業連関表を用いた世界の生物多様性損失の推計** ◎小野雄也（東京大学），Alvin C.G. Varquez（東京工業大学），岡本隼輔（尾道市立大学），沖大幹（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	74
11:00-11:20 **E1-07** *(P2-085)*	**土地利用の変化と生物多様性の減少 南アメリカ地域における森林開発がもたらす絶滅生物種数の期待値の推計** ◎植屋純平（立命館大学大学院），橋本征二（立命館大学）	76
11:20-11:40 **E1-08**	**生態系評価にむけたLCAの拡張 活用点と妥協点** ◎佐伯順子（一般社団法人産業環境管理協会），中野勝行（一般社団法人産業環境管理協会）	78
11:40-12:00 **E1-09**	**農山漁村におけるエコツーリズムの比較に関する研究 愛媛県内子町と三重県鳥羽市を事例とする** ◎西口光（芝浦工業大学），中口毅博（芝浦工業大学）	80

15:00 ～ 16:20

◆ A 会場 ＜大気環境＞

座長：小井土賢二（福島大学）

15:00-15:20 **A1-19** *(P2-092)*
国際サプライチェーンが誘因するアジア,欧州,北米におけるPM2.5の健康被害 …… 82
◎黒木みどり（京都大学大学院），茶谷聡（国立環境研究所），金本圭一郎（信州大学），東野達（京都大学大学院），南斉規介（国立環境研究所）

15:20-15:40 **A1-20** *(P2-091)*
PM2.5の健康リスクに対する非線形性を考慮した一次・二次粒子の消費基準による経済損失評価 …… 84
◎藤井雄太（京都大学），黒木みどり（京都大学），茶谷聡（国立環境研究所），金本圭一朗（信州大学），南齋規介（国立環境研究所），東野達（京都大学）

15:40-16:00 **A1-21**
二次粒子を含めたPM2.5による健康被害のサプライチェーン構造の解明 …… 86
◎永島史弥（九州大学），南斉規介（国立環境研究所），茶谷聡（国立環境研究所）

16:00-16:20 **A1-22**
悪臭におけるライフサイクルインパクト評価のための支払意思額算定手法の開発 …… 88
◎北川慧（立命館大学）

◆ B 会場 ＜特別セッション：食品・農業分野の横断的 LCA(1) 農水産品・加工品＞

座長：齋藤雅典（東北大学）

15:00-15:20 **B1-19** *(P2-098)*
コマツナ栽培法の違いを考慮した環境影響と消費者行動による比較検討 …… 90
◎染谷祐輝（東京理科大学），徐維那（東京理科大学），堂脇清志（東京理科大学）

15:20-15:40 **B1-20**
食品残渣堆肥を活用した野菜栽培の環境・経済・社会影響評価 …… 92
◎吉川直樹（立命館大学），田中駿太朗（立命館大学），藤原なつみ（立命館大学），天野耕二（立命館大学）

15:40-16:00 **B1-21**
乾燥キャベツ製造工程におけるブランチング処理が環境負荷低減に及ぼす影響 …… 94
◎佐々木勇麻（岩手大学），折笠貴寛（岩手大学），渡邊高志（農研機構食品研究部門），小出章二（岩手大学）

16:00-16:20 **B1-22**
カツオ漁業のライフサイクルアセスメント …… 96
◎渡邊一仁（宮城県庁），田原聖隆（産業技術総合研究所）

◆ C 会場 ＜金属 (2) 資源効率＞

座長：山末英嗣（立命館大学）

15:00-15:20 **C1-19**
物質が使用時に提供する機能量の評価 鉄鋼材の防食機能量の事例 …… 98
◎田島圭二郎（東京大学），醍醐市朗（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）

C1-20 *(P2-049)*
製造業分野におけるリン資源利用の環境効率評価 …… 100
◎野木茜（立命館大学），Dente Sebastien Michael Rene（立命館大学），橋本征二（立命館大学）

15:40-16:00 **C1-21** *(P2-036)*
TMRの観点から優先的に回収すべき使用済み小型家電製品 …… 102
◎丸橋拓矢（立命館大学），橋本征二（立命館大学）

16:00-16:20 **C1-22** *(P2-078)*
自動車の技術変化と素材に着目した関与物質総量の分析 …… 104
◎松井健裕（東北大学），小柳津顕（立命館大学），山末英嗣（立命館大学），松八重一代（東北大学），長坂徹也（東北大学）

◆ D 会場 ＜住宅＞

座長：村上進亮（東京大学）

15:00-15:20 **D1-19** *(P2-090)*
公開統計情報に基づく高断熱住宅普及と冬季死亡者の関係の分析 …… 106
◎石戸拓朗（慶應義塾大学），伊香賀俊治（慶應義塾大学），川久保俊（法政大学）

15:20-15:40 **D1-20** *(P2-047)*
2050年CO_2削減目標に向けた断熱材料選択のための評価手法 …… 108
◎山口彰太（東京大学），醍醐市朗（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）

15:40-16:00 **D1-21** *(P2-086)*
2050年代のジャカルタにおけるエアコンの使用割合向上や高効率化による睡眠困難軽減効果のシナリオ分析
◎桑山忠弘（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学），大棟俊（東京都市大学），亀卦川幸浩（明星大学），岡田和樹（明星大学），山口和貴（東京電力ホールディングス），神田学（東京工業大学），Alvin Christopher Galangc Varquez（東京工業大学），Nisrina Setyo Darmanto（東京工業大学），Prihadi Setyo Darmanto（バンドン工科大学），井原智彦（東京大学） …… 110

16:00-16:20
D1-22
MFA およびLCA を用いた日本の木材利用による環境影響の将来予測 …… 112
◎加用千裕（東京農工大学），DenteSébastien M.R.（立命館大学），栗生木千佳（地球環境戦略研究機関），田中大介（立命館大学），村上進亮（東京大学），橋本征二（立命館大学）

◆ E 会場 ＜企画セッション：持続可能な消費と生産パターン定着に向けたライフサイクル思考の役割＞
オーガナイザー：平尾雅彦、中谷隼（東京大学） …… (28)

16:40 ～ 18:00

◆ A 会場 ＜データベース＞
座長：田原聖隆（産業技術総合研究所）

16:40-17:00
A1-24
2011年産業連関表に基づく3EIDの開発 …… 114
◎南斉規介（国立環境研究所），川島一真（三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング），森本高司（三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング）

17:00-17:20
A1-25
中国におけるハイブリッドエネルギー産業連関表の構築 …… 116
◎韓雅文（Kyushu University），加河茂美（Kyushu University）

17:20-17:40
A1-26
技術導入による社会経済影響分析に向けたデータベースの開発 …… 118
◎塚原建一郎（産業技術総合研究所），田原聖隆（産業技術総合研究所）

17:40-18:00
A1-27
単語の関連性を考慮した二酸化炭素排出原単位収集法の開発 …… 120
◎上田健太（室蘭工業大学），永野宏治（室蘭工業大学）

◆ B 会場 ＜特別セッション：食品・農業分野の横断的 LCA(2) 流通＞
座長：折笠貴寛（岩手大学）

16:40-17:00
B1-24
水産加工品におけるモーダルシフトの応用可能性に関する検討 …… 122
◎張雪論（三重大学）

17:00-17:20
B1-25
緩衝包装による損傷軽減を考慮したモモのLCA …… 124
◎和泉昭宏（一般社団法人プラスチック循環利用協会），中村宣貴（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），林清忠（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），反田公紀（フルーツ山梨農業農業協同組合），金澤信夫（一般社団法人日本プラスチック食品容器工業会），横山利男（日本プラスチック工業連盟），内田陽一（塩ビ工業・環境協会），中橋順一（旭化成株式会社），林克行（日本ポリエチレン株式会社），山中正博（日本ポリエチレン株式会社），半場雅志（一般社団法人プラスチック循環利用協会），正畠宏一（TCO2 株式会社），八坂義仁（TCO2 株式会社），椎名武夫（国立大学法人千葉大学大学院）

17:20-17:40
B1-26
品質保持によるロス低減効果を考慮した生鮮エダマメのLCA …… 126
◎和泉昭宏（一般社団法人プラスチック循環利用協会），中村宣貴（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），林清忠（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），石井健（一般社団法人日本プラスチック食品容器工業会），横山利男（日本プラスチック工業連盟），内田陽一（塩ビ工業・環境協会），中橋順一（旭化成株式会社），半場雅志（一般社団法人プラスチック循環利用協会），正畠宏一（TCO2 株式会社），牧野直樹（TCO2 株式会社），八坂義仁（TCO2 株式会社），椎名武夫（国立大学法人千葉大学大学院）

17:40-18:00
B1-27
(P2-101)
物理的要因による品質を考慮したトマトのLCA …… 128
熊本県産塩トマトのケーススタディー
◎秋山翔太郎（東京理科大学），徐維那（東京理科大学），堂脇清志（東京理科大学）

◆ C 会場 ＜資源循環＞
座長：大野肇（東北大学）

16:40-17:00
C1-24
資源循環と気候変動などの統合的な評価に関する研究 …… 130
◎藤井実（国立環境研究所），孫露（国立環境研究所，東京大学），林希一郎（名古屋大学），大場真（国立環境研究所）

17:00-17:20
C1-25
素材ライフサイクルにおけるLCI分析手法の可能性 …… 132
◎醍醐市朗（東京大学），木村将志（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）

17:20-17:40 **C1-26**	**中古部品のリユースを考慮した自動車由来の特殊鋼合金の散逸分析** ◎張政陽（東北大学大学院 環境科学研究科），武山健太郎（東北大学大学院 工学研究科），大野肇（東北大学大学院 工学研究科），松八重一代（東北大学大学院 環境科学研究科），中島謙一（国立環境研究所），長坂徹也（東北大学大学院 工学研究科）	134
17:40-18:00 **C1-27** *(P2-079)*	**動的MFAモデルを用いた都市鉱山入出量の推計** ◎武山健太郎（東北大学），大野肇（東北大学），松八重一代（東北大学），中島謙一（国立環境研究所），近藤康之（早稲田大学），長坂徹也（東北大学）	136

◆D 会場 ＜都市＞

座長：松本亨（北九州市立大学）

16:40-17:00 **D1-24** *(P2-050)*	**SDGs指標を用いた世界各都市の環境効率の時系列評価** ◎藤田省一郎（慶應義塾大学），伊香賀俊治（慶應義塾大学），村上周三（建築環境・省エネルギー機構），川久保俊（法政大学）	138
17:00-17:20 **D1-25** *(P2-089)*	**GISを用いた中国海綿都市建設の有効性分析** ◎范学周（北九州市立大学），松本亨（北九州市立大学）	140
17:20-17:40 **D1-26**	**サステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる都市評価モデルの提案** ◎加藤博和（名古屋大学），北詰恵一（関西大学），山中英生（徳島大学），奥嶋政嗣（徳島大学），井ノ口弘昭（関西大学）	142
17:40-18:00 **D1-27**	**世界産業連関表を用いた構造的類似性分析** ◎白新田佳代子（九州大学），加河茂美（九州大学），近藤康之（早稲田大学）	144

◆E 会場 ＜企画セッション：持続可能な未来社会の創造に向けたものづくりプロセスの革新と LCA＞

オーガナイザー：福島康裕（東北大学）、菊池康紀（東京大学） …… (29)

2日目（3月8日(木)）

◎は登壇者

9:00 ～ 10:20

◆A 会場 ＜太陽エネルギー＞

座長：天野耕二（立命館大学）

9:00-9:20 **A2-01**	ソーラーシェアリングの広域的導入ポテンシャル評価 ◎室城智志（東京大学大学院），栗栖聖（東京大学大学院），中谷隼（東京大学大学院），森口祐一（東京大学大学院），花木啓祐（東洋大学）	148
9:20-9:40 **A2-02** *(P2-011)*	住宅用太陽熱給湯システムの市町村別CO_2限界削減費用の推計 ◎清水恭亮（横浜国立大学），本藤祐樹（横浜国立大学），森泉由恵（横浜国立大学）	150
9:40-10:00 **A2-03**	集合住宅の壁面における各種太陽光パネルの導入ポテンシャルおよび環境・経済性評価 ◎関谷知治（立命館大学），吉川直樹（立命館大学），天野耕二（立命館大学）	152
10:00-10:20 **A2-04**	動的マテリアルフロー解析と演繹的LCAによる太陽電池用シリコンアップグレードサイクル技術の開発戦略策定 ◎佐藤博一（東北大学大学院），大野肇（東北大学大学院），福島康裕（東北大学大学院）	154

◆B 会場 ＜特別セッション：循環型社会とサーキュラー・エコノミー(1)＞

座長：橋本征二（立命館大学）

9:00-9:20 **B2-01**	広域マルチバリュー循環 サーキュラーエコノミーを超えて ◎原田幸明（物材機構）	156
9:20-9:40 **B2-02** *(P2-073)*	フローの分岐に着目した物質ストックの推計モデルの構築 日本国内における銅ストックへの適用 ◎横井崚佑（東京大学），中谷隼（東京大学），森口祐一（東京大学）	158
9:40-10:00 **B2-03** *(P2-040)*	一般廃棄物のリサイクル率の再定義：民間回収ルートによる再資源化量の推計 ◎渡辺梓（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	160
10:00-10:20 **B2-04**	プラスチック容器の環境影響評価 ～ 3Rの視点から～ ◎柴田学（花王株式会社），中島淳（花王株式会社），伊坪徳宏（東京都市大学）	162

◆C 会場 ＜バイオマス＞

座長：鶴田祥一郎（産業環境管理協会）

9:00-9:20 **C2-01**	木質バイオマスエネルギー設備導入に伴う温室効果ガス排出削減量の推計 ◎柴原尚希（産業環境管理協会），大城謙治（マルツ電波），土田和希人（もりもりバイオマス），壁谷武久（産業環境管理協会）	164
9:20-9:40 **C2-02** *(P2-005)*	時系列変化と中間体貯蔵を考慮したバイオマス製品のサプライチェーン設計手法 ◎川音侑輝（東北大学大学院），大野肇（東北大学大学院），福島康裕（東北大学大学院）	166
9:40-10:00 **C2-03** *(P2-008)*	環境性能と経済性をバランスさせたバイオガソリン製造プロセスの設計 ◎奥山泰世（昭和シェル石油），今井章雄（昭和シェル石油），小池充（昭和シェル石油），福島康裕（東北大学），大野肇（東北大学），冨重圭一（東北大学），中川善直（東北大学），田村正純（東北大学）	168
10:00-10:20 **C2-04**	総合討論	

◆D 会場 ＜廃棄物利用＞

座長：田畑智博（神戸大学）

9:00-9:20 **D2-01** *(P2-019)*	物質収支をもとにした食品廃棄物の推計 ◎谷畑佑典（立命館大学大学院），佐々木貴央（立命館大学大学院），橋本征二（立命館大学）	170
9:20-9:40 **D2-02**	地域特性を考慮したエネルギー回収率・純費用による地域廃棄物処理システム提案枠組みの開発 ◎牧誠也（国立環境研究所），大西悟（東京理科大学），藤井実（国立環境研究所），Dou Yi（国立環境研究所）	172

9:40-10:00 **D2-03**	**生ごみと下水汚泥の集約処理による環境面および経済面での効果** ◎稲葉陸太（国立環境研究所），田崎智宏（国立環境研究所），河井紘輔（国立環境研究所），西村想（エックス都市研究所），山口直久（エックス都市研究所）	174
10:00-10:20 **D2-04**	**下水汚泥処理における技術オプションの地域別代替案生成** ◎清水亮智（東京大学），大久保達也（東京大学），菊池康紀（東京大学）	176

◆ E 会場 ＜企画セッション：ホットスポット分析と環境ラベルへの活用＞

オーガナイザー：田原聖隆（産業技術総合研究所） …… (30)

10:40 ～ 12:00

◆ A 会場 ＜家電製品＞

座長：**大澤亮（日本環境協会）**

10:40-11:00 **A2-06**	**家庭用製品の消費スタイルに関するシナリオ分析** **持続可能な消費と生産に向けて** ◎文多美（東京大学），鈴木祐里絵（東京大学），中谷隼（東京大学），天沢逸里（東京大学），田原聖隆（産業技術総合研究所），平尾雅彦（東京大学）	178
11:00-11:20 **A2-07**	**家庭用エアコンの買い替え政策が環境負荷に与える影響：動的離散選択アプローチ** ◎西嶋大輔（九州大学，国立環境研究所），加河茂美（九州大学），小口正弘（国立環境研究所），南齋規介（国立環境研究所）	180
11:20-11:40 **A2-08** *(P2-108)*	**家庭用空調機の気候変動緩和策と新興国導入による適応効果の定量分析** ◎大棟俊（東京都市大学），桑山忠弘（東京大学），井原智彦（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	182
11:40-12:00 **A2-09**	**複数製品の環境製品政策の統合に向けたモデル開発** **エアコンを事例としたエネルギー消費とオゾン層破壊物質排出の削減対策** ◎田崎智宏（国立環境研究所），小口正弘（国立環境研究所），吉田綾（国立環境研究所），Manomaivibool Panate（Mae Fah Luang University），Unroj Pattayaporn（Mae Fah Luang University）	184

◆ B 会場 ＜特別セッション：循環型社会とサーキュラー・エコノミー(2)＞

座長：**原田幸明（物質・材料研究機構）**

10:40-11:00 **B2-06**	**ネットワーク構造と環境負荷削減貢献量の変化から見たエコタウンの長期的変化** ◎本田雄暉（北九州市立大学），松本亨（北九州市立大学）	186
11:00-11:20 **B2-07** *(P2-020)*	**アジアにおける持続可能な消費と生産の将来ビジョン作成** ◎黒山翔悟（東京大学），木下裕介（東京大学），松本光崇（産業技術総合研究所），小島道一（東京大学，日本貿易振興機構アジア経済研究所），梅田靖（東京大学）	188
11:20-11:40 **B2-08**	**アジアにおける使用済みエアコン由来のフロン類排出と処理シナリオに関する将来推計** ◎寺園淳（国立環境研究所），小口正弘（国立環境研究所），花岡達也（国立環境研究所）	190
11:40-12:00 **B2-09**	**総合討論**	

◆ C 会場 ＜地域＞

座長：**福島康裕（東北大学）**

10:40-11:00 **C2-06**	**地域エネルギーシステムの社会経済性評価手法の検討** **種子島を例に** ◎尾下優子（神戸大学），兵法彩（東京大学），大内田弘太朗（東京大学），福島康裕（東北大学），菊池康紀（東京大学）	192
11:00-11:20 **C2-07**	**地域における温暖化防止活動の持続可能性に関する研究** **環境、経済、社会的側面の評価と考察** ◎王任卓（早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科 納富研究室），納富信（早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科 納富研究室）	194

11:20-11:40 **C2-08**	**ネットワーク分析を用いたFTAの環境・経済的分析** ◎時任翔平（九州大学，日本学術振興会特別研究員）	196
11:40-12:00 **C2-09**	**環境負荷削減とエネルギーセキュリティをともに担保できる地域施策評価手法の検討** ◎河合一輝（名古屋大学），加藤博和（名古屋大学），長尾和哉（名古屋大学）	198

◆D 会場 ＜水＞

座長：**小野雄也（東京大学）**

10:40-11:00 **D2-06** *(P2-107)*	**電子部品工場における水の再利用に着目したウォーターフットプリント** ◎後藤瞭太（東京都市大学），小野雄也（東京大学），小関康雄（東京都市大学），杉本和明（造水促進センター），大熊那夫紀（造水促進センター），伊坪徳宏（東京都市大学）	200
11:00-11:20 **D2-07** *(P2-106)*	**細胞培養を回避した臨床検査薬の開発・生産における環境影響評価** ◎渡辺裕太（東京都市大学），鈴木健夫（シスメックス），宇佐美昭宏（宇佐美コンサルティング事務所），伊坪徳宏（東京都市大学）	202
11:20-11:40 **D2-08**	**ライフサイクルインパクト評価ケーススタディ：ハンドソープのポジティブインパクト** ◎ Murun Temuulen（Sustainability Strategy Department，Shiseido Co.，Ltd.）	204
11:40-12:00 **D2-09**	**すすぎ性を向上した泡状洗顔料のカーボンフットプリントと水消費の分析** ◎大橋憲司（株式会社資生堂）	206

◆E 会場 ＜企画セッション：パリ協定後の日本の産業を考える＞

オーガナイザー：玄地裕（産業技術総合研究所） （31）

13:20 ～ 15:00

◆A 会場 ＜政策と情報開示＞

座長：**中野勝行（産業環境管理協会）**

13:20-13:40 **A2-14**	**地球温暖化対策に関する政策へのライフサイクルアセスメント活用へ向けた課題** ◎鶴田祥一郎（一般社団法人産業環境管理協会），中野勝行（一般社団法人産業環境管理協会），神崎昌之（一般社団法人産業環境管理協会）	208
13:40-14:00 **A2-15** *(P2-048)*	**欧州RoHS指令改正に伴うフタル酸エステル類試験法における環境影響評価** ◎奥村真太郎（東京都市大学），竹中みゆき（日立ハイテクノロジーズ），鈴木春生（東京都市大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	210
14:00-14:20 **A2-16**	**省エネ対策制度再設計に向けた住宅エネルギー消費実態の解明** ◎本田智則（産業技術総合研究所）	212
14:20-14:40 **A2-17** *(P2-003)*	**財務データと統計資料を用いた組織のScope3評価と比較** ◎安倍孝明（東京都市大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	214
14:40-15:00 **A2-18**	**ライフサイクルCO_2排出量（LC-CO_2排出量）簡易算出手法開発** ◎齋藤潔（一般社団法人日本電機工業会，一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG），清水重利（シャープ株式会社，一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG），本堂義行（株式会社東芝，一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG），本池祥子（パナソニック株式会社，一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG），二階堂透（日立アプライアンス株式会社，一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG），藤崎克己（三菱電機株式会社，一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG），前田智佐子（一般社団法人日本電機工業会，一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG）	216

◆ B 会場 ＜特別セッション：食品・農業分野の横断的LCA(3) 消費者・社会・産業システム＞

座長：林清忠（農業・食品産業技術総合研究機構）

13:20-13:40 **B2-14** *(P2-024)*	**茶飲料におけるリラックス効果を用いたコンジョイント分析及び環境行動の指針提案** ◎渡辺陽一郎（東京理科大学），徐維那（東京理科大学），堂脇清志（東京理科大学） ……	218
13:40-14:00 **B2-15**	**消費者の好みを反映させた新しい複合環境指標の提案** **トロピカルフルーツのケーススタディ** …… ◎徐維那（東京理科大学），堂脇清志（東京理科大学）	220
14:00-14:20 **B2-16**	**スマートフード・アグリシステムの俯瞰的検証手法の提案** …… 中野論（労働政策研究・研修機構），◎鷲津明由（早稲田大学）	222
14:20-14:40 **B2-17**	**植物資源由来生産におけるシステミックな問題とライフサイクル思考** …… ◎大内田弘太朗（東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻），兼松祐一郎（東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座），大久保達也（東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻，東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座），菊池康紀（東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻，東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座）	224
14:40-15:00 **B2-18**	**総合討論**	

◆ C 会場 ＜特別セッション：環境負荷削減貢献量評価＞

座長：稲葉敦（工学院大学）

13:20-13:40 **C2-14**	**大阪ガスの都市ガス/電力事業におけるCO_2削減貢献量の算定方法** …… ◎柏木愛一郎（大阪ガス）	226
13:40-14:00 **C2-15**	**電子部品の温室効果ガス排出抑制貢献事例に関する研究** …… ◎横山亮（ＴＤＫ株式会社），岩田和久（株式会社村田製作所），磯島貞正（株式会社村田製作所），谷口祐二（アルプス電気株式会社），古島康（みずほ情報総研株式会社），内田裕之（みずほ情報総研株式会社），木村司（一般社団法人電子情報技術産業協会）	228
14:00-14:20 **C2-16**	**樹脂窓に関するLCAとGHG排出削減貢献量** …… ◎長縄肇志（塩ビ工業・環境協会），稲葉敦（工学院大学），塚本晃子（YKK AP 株式会社），林田敦（株式会社 LIXIL），小森英芳（株式会社 LIXIL），高嶋信一（三協立山株式会社），山下将国（株式会社エティーサ研究所），関成孝（塩ビ工業・環境協会），高村正彦（塩ビ工業・環境協会）	230
14:20-14:40 **C2-17**	**経団連低炭素社会実行計画における削減貢献の考え方と取組み** …… ◎谷川喜祥（日本経済団体連合会），井岡紘子（日本経済団体連合会）	232
14:40-15:00 **C2-18**	**総合討論**	

◆ D 会場 ＜消費者選択＞

座長：吉川直樹（立命館大学）

13:20-13:40 **D2-14** *(P2-028)*	**消費者の環境関心と環境配慮行動** …… ◎藤澤美恵子（金沢大学），平湯直子（武蔵野大学）	234
13:40-14:00 **D2-15** *(P2-033)*	**カーボンフットプリント支援のためのベンチマークによる消費者選好変化の評価** …… ◎環野真紀（東京大学），井原智彦（東京大学）	236
14:00-14:20 **D2-16**	**環境ラベルの認知度は環境配慮商品の購買を促進するか。** …… ◎西川可穂子（中央大学商学部），堀田のぞみ（お茶の水女子大サイエンス＆エデュケーションセンター）	238
14:20-14:40 **D2-17**	**持続可能な食の消費と生産の実現に向けた消費者選択分析** …… **生鮮食品を事例に** ◎藤原なつみ（立命館大学），吉川直樹（立命館大学），天野耕二（立命館大学）	240
14:40-15:00 **D2-18**	**エネルギーラベル効果の比較と検証** …… ◎藤澤美恵子（金沢大学人間社会研究域）	242

◆E会場 <水素・再生可能エネルギー>

座長：本藤祐樹（横浜国立大学）

13:20-13:40 **E2-14**	**水素発電のライフサイクルCO_2排出量評価** ◎工藤祐揮（産業技術総合研究所），村松良二（産業技術総合研究所），匂坂正幸（産業技術総合研究所），小澤暁人（産業技術総合研究所），玄地裕（産業技術総合研究所）	244
13:40-14:00 **E2-15**	**エネルギーキャリア技術導入による環境影響の地域別分析** ◎清水輝之（東京工業大学），長谷川馨（東京工業大学），伊原学（東京工業大学），菊池康紀（東京工業大学，東京大学）	246
14:00-14:20 **E2-16**	**技術の複合利用を考慮した家庭用エネルギー技術の評価** ◎小澤暁人（産業技術総合研究所），工藤祐揮（産業技術総合研究所）	248
14:20-14:40 **E2-17**	**地域特性を考慮した地中熱ヒートポンプのライフサイクルCO_2削減効果** ◎早乙女裕紀（横浜国立大学），本藤祐樹（横浜国立大学），森泉由恵（横浜国立大学）	250
14:40-15:00 **E2-18** *(P2-010)*	**タイ・バンコクにおける地中熱ヒートポンプ導入のエネルギー・環境評価** ◎島田佑太朗（芝浦工業大学），栗島英明（芝浦工業大学）	252

3日目（3月9日(金)）

◎は登壇者

9:00 ～ 10:20

◆A 会場 ＜静脈＞

座長：尾下優子（神戸大学）

9:00-9:20 **A3-01**	**静脈物流の広域輸送における輸送機関の選択要因の解析** ◎大久保伸（北九州市立大学大学院），田口直（北九州市立大学大学院），松本亨（北九州市立大学大学院）	256
9:20-9:40 **A3-02**	**静脈物流の輸送実態から推計した効率化ポテンシャルの評価** ◎田口直（北九州市立大学），大久保伸（北九州市立大学），松本亨（北九州市立大学）	258
9:40-10:00 **A3-03**	**リサイクルトナーカートリッジのライフサイクル温室効果ガス排出量算定に関する事例研究** ◎山岸健（産業環境管理協会），岩崎英夫（日本カートリッジリサイクル工業会），吉津智範（日本カートリッジリサイクル工業会），林俊光（日本カートリッジリサイクル工業会）	260
10:00-10:20 **A3-04**	**総合討論**	

◆B 会場 ＜特別セッション：環境教育＞

座長：松本真哉（横浜国立大学）

9:00-9:20 **B3-01**	**農山村における持続可能な地域づくり活動が大学生のの意識・行動に与える効果** **愛媛県内子町におけるヒューマンソーシャルライフサイクル分析（その3）** ◎中口毅博（芝浦工業大学）	262
9:20-9:40 **B3-02**	**印刷ライフサイクルの教育コンテンツ化の向上のための課題検討** ◎北村祐介（プリプレス・センター，資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，elsa），岸野ほなみ（東京都市大学），海老原誠治（資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，三信化工），高岡由紀子（資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，グリーン購入ネットワーク（GPN）），西尾チヅル（資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，筑波大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	264
9:40-10:00 **B3-03**	**都市鉱山と資源端重量をシミュレーションする環境教育プログラム** **プログラム開発と事例報告** ◎海老原誠治（資源と環境の教育を考える会『エコが見える学校』，三信化工株式会社），高岡由紀子（資源と環境の教育を考える会『エコが見える学校』，グリーン購入ネットワーク），北村祐介（資源と環境の教育を考える会『エコが見える学校』，プリプレス・センター，elsa），古久保彰（三信化工株式会社），大塩美奈子（三信化工株式会社），西尾チヅル（資源と環境の教育を考える会『エコが見える学校』，筑波大学），原田幸明（物質・材料研究機構，エコマテリアルフォーラム）	266
10:00-10:20 **B3-04**	**総合討論**	

◆C 会場 ＜製品の所有と廃棄＞

座長：田崎智宏（国立環境研究所）

9:00-9:20 **C3-01** *(P2-022)*	**消費者の製品使用・廃棄行動における、資源利用に対する考え方の影響** ◎山本悠久（東京大学），村上進亮（東京大学）	268
9:20-9:40 **C3-02**	**動的マテリアルフロー解析を用いた自動車長寿命化とASRリサイクル技術導入の炭素滞留維持効果定量化** ◎大野肇（東北大学），佐藤博一（東北大学），福島康裕（東北大学）	270
9:40-10:00 **C3-03**	**動的離散選択モデルに基づく 自動車買い替えモデルの推計とCO_2削減効果** ◎中本裕哉（九州大学），加河茂美（九州大学）	272
10:00-10:20 **C3-04**	**ネット型リユースの利用経験に着目した衣服廃棄行動モデル構築とリユース促進要因の分析** 三ヶ尻智晴（東京大学大学院），◎森朋子（東京大学大学院，国立環境研究所），田崎智宏（東京大学大学院，国立環境研究所）	274

◆E 会場 ＜企画セッション：気候変動の緩和策と適応策＞ (32)

オーガナイザー：伊坪徳宏（東京都市大学）

10:40 ～ 12:00

◆ A 会場 ＜人と社会＞

座長：天沢逸里（東京大学）

10:40-11:00 **A3-06** *(P2-023)*	**環境配慮包材導入の影響可視化による住民の環境意識への影響** ◎藤永颯人（東京都市大学），徳永清徳（サトーグリーンエンジニアリング），坪根遼一（サトーグリーンエンジニアリング），伊坪徳宏（東京都市大学）	276
11:00-11:20 **A3-07** *(P2-021)*	**サービサイジング・シェアリングに向けた消費スタイルの類型化とシナリオ分析** ◎柴田翼（東京大学），天沢逸里（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）	278
11:20-11:40 **A3-08**	**「足るを知る経済思想」に基づく持続可能なビジネスモデルに関する研究** **タイのコミュニティ・エンタープライズを事例に** ◎森泉由恵（横浜国立大学），本藤祐樹（横浜国立大学），Sri-Ampai Piyawan（チュラロンコーン大学）	280
11:40-12:00 **A3-09**	**総合討論**	

◆ C 会場 ＜アジアの環境管理＞

座長：栗島英明（芝浦工業大学）

10:40-11:00 **C3-06** *(P2-112)*	**インドネシアにおける工場の生活系排水処理方式のLCAによる環境効率比較** ◎金子愛里（九州市立大学）	282
11:00-11:20 **C3-07**	**サーマルリサイクルによる離島廃棄物処理** ◎ LIN Hsin-Tien（Kyoto University）	284
11:20-11:40 **C3-08** *(P2-058)*	**中国広東省における工業固体廃棄物の持続可能な管理に着目した 廃棄物産業連関表の構築** ◎董岩（東北大学），松八重一代（東北大学）	286
11:40-12:00 **C3-09**	**中国の省別家計消費の将来変化を考慮した消費基準による省別環境負荷量** ◎李欣航（京都大学）	288

◆ D 会場 ＜企画セッション：行政報告データ等の活用による自治体レベルの物質循環分析の展望＞

オーガナイザー：近藤康之（早稲田大学） …… (33)

ポスターセッション プログラム

2日目（3月8日(木)）15:20-17:20（コアタイムA：15:20-16:20、コアタイムB：16:20-17:20）

P会場

4階ロビー　P2-001 ～ 024
3階ロビー　P2-025 ～ 047, SCN
2階 202・203 教室　P2-048 ～ 119

A	P2-001	ICT の社会的価値の評価方法の開発 ◎武田明日花（工学院大学），稲葉敦（工学院大学），並河治（日立製作所）	292
B	P2-002	削減貢献量を考慮した企業活動における温室効果ガス削減戦略に関する基礎的検討 ◎内藤雄斗（立命館大学），吉川直樹（立命館大学），天野耕二（立命館大学），島田幸司（立命館大学）	294
A	P2-003 *(A2-17)*	財務データと統計資料を用いた組織の Scope3 評価と比較 ◎安倍孝明（東京都市大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	214
B	P2-004	電気機器メーカーの環境マネジメント比較分析 ◎前野啓太郎（九州大学経済学部），高藪広隆（九州大学経済学部），加河茂美（九州大学経済学部）	296
A	P2-005 *(C2-02)*	時系列変化と中間体貯蔵を考慮したバイオマス製品のサプライチェーン設計手法 ◎川音侑輝（東北大学大学院），大野肇（東北大学大学院），福島康裕（東北大学大学院）	166
B	P2-006	木質バイオマスの熱利用を想定した事業に対する住民意識の評価 中原由佳（神戸大学），◎田畑智博（神戸大学）	298
A	P2-007	木材チップ・ペレットの適正なエネルギー・マテリアル利用の検討 ◎大神正史（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	300
B	P2-008 *(C2-03)*	環境性能と経済性をバランスさせたバイオガソリン製造プロセスの設計 ◎奥山泰世（昭和シェル石油），今井章雄（昭和シェル石油），小池充（昭和シェル石油），福島康裕（東北大学），大野肇（東北大学），冨重圭一（東北大学），中川善直（東北大学），田村正純（東北大学）	168
A	P2-009	太陽光独立電源システムによる発展途上国の環境影響評価 ◎倉原瑤子（東京都市大学）	302
B	P2-010 *(E2-18)*	タイ・バンコクにおける地中熱ヒートポンプ導入のエネルギー・環境評価 ◎島田佑太朗（芝浦工業大学），栗島英明（芝浦工業大学）	252
A	P2-011 *(A2-02)*	住宅用太陽熱給湯システムの市町村別 CO_2 限界削減費用の推計 ◎清水恭亮（横浜国立大学），本藤祐樹（横浜国立大学），森泉由恵（横浜国立大学）	150
B	P2-012	日本の石炭火力における新技術の環境負荷分析 ◎矢野剛至（九州大学経済学部），敷田和哉（九州大学経済学部），岡橋拓哉（九州大学経済学部），加河茂美（九州大学経済学部）	304
A	P2-013	ミクロデータを用いた我が国における燃料貧困世帯の実態調査 ◎田畑智博（神戸大学），蔡佩宜（横浜市立大学）	306
B	P2-014	木工製品のライフサイクルアセスメントと環境ラベル フローリング材とおもちゃにおけるケーススタディ ◎坂神槙一（県立広島大学），佐藤整央（県立広島大学），牧村彰一（県立広島大学），藤津浩輝（県立広島大学），若林國久（県立広島大学），小林謙介（県立広島大学），寺河未帆（一場木工所）	308
A	P2-015	広島県内における森林資源の持続的利用の検討 段階的な再造林率向上が将来の蓄積量に及ぼす影響 ◎若林國久（県立広島大学），藤津浩輝（県立広島大学），坂神槙一（県立広島大学），小林謙介（県立広島大学）	310
B	P2-016	木質ペレット事業がもたらす経済的・社会的影響：京都の事例研究 ◎戸高和彦（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	312
A	P2-017	製材工場における改質リグニン原料製造の環境影響評価 ◎道中哲也（森林研究・整備機構 森林総合研究所），久保山裕史（森林研究・整備機構 森林総合研究所），高田克彦（秋田県立大学 木材高度加工研究所），伊神裕司（森林研究・整備機構 森林総合研究所），本間春海（ドーコン），陣川雅樹（森林研究・整備機構 森林総合研究所）	314
B	P2-018	食品ロス削減を通した CO_2 削減ポテンシャルの分析 ◎松井宏史朗（九州大学経済学部），中本裕哉（九州大学経済学部），加河茂美（九州大学経済学部）	316
A	P2-019 *(D2-01)*	物質収支をもとにした食品廃棄物の推計 ◎谷畑佑典（立命館大学大学院），佐々木貴央（立命館大学大学院），橋本征二（立命館大学）	170

B	**P2-020** *(B2-07)*	**アジアにおける持続可能な消費と生産の将来ビジョン作成** …… 188 ◎黒山翔悟（東京大学），木下裕介（東京大学），松本光崇（産業技術総合研究所），小島道一（東京大学，日本貿易振興機構アジア経済研究所），梅田靖（東京大学）
A	**P2-021** *(A3-07)*	**サービサイジング・シェアリングに向けた消費スタイルの類型化とシナリオ分析** …… 278 ◎柴田翼（東京大学），天沢逸里（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）
B	**P2-022** *(C3-01)*	**消費者の製品使用・廃棄行動における、資源利用に対する考え方の影響** …… 268 ◎山本悠久（東京大学），村上進亮（東京大学）
A	**P2-023** *(A3-06)*	**環境配慮包材導入の影響可視化による住民の環境意識への影響** …… 276 ◎藤永颯人（東京都市大学），徳永清徳（サトーグリーンエンジニアリング），坪根遼一（サトーグリーンエンジニアリング），伊坪徳宏（東京都市大学）
B	**P2-024** *(B2-14)*	**茶飲料におけるリラックス効果を用いたコンジョイント分析及び環境行動の指針提案** …… 218 ◎渡辺陽一郎（東京理科大学），徐維那（東京理科大学），堂脇清志（東京理科大学）
A	**P2-025**	**各種の環境意識に関する重み付けの研究** …… 318 近藤紅音（関東学院大学人間環境学部人間環境デザイン学科），高橋郁実（関東学院大学人間環境学部人間環境デザイン学科），◎佐野慶一郎（関東学院大学人間環境学部人間環境デザイン学科）
B	**P2-026** *(E1-04)*	**家計消費とプラネタリー・バウンダリー：土地利用の変化について** …… 40 ◎佐々木貴央（立命館大学），南斉規介（国立環境研究所），橋本征二（立命館大学）
A	**P2-027** *(C1-04)*	**消費者行動分析とライフサイクル評価に基づく政策設計：洗濯乾燥行動を例として** …… 24 ◎鈴木祐里絵（東京大学），天沢逸里（東京大学），文多美（東京大学），中谷隼（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）
B	**P2-028** *(D2-14)*	**消費者の環境関心と環境配慮行動** …… 234 ◎藤澤美恵子（金沢大学），平湯直子（武蔵野大学）
A	**P2-029**	**日本の大学生のエネルギーリテラシー調査と省エネ行動促進方法の検討** …… 320 ◎駒田侑祐（立命館大学），Cravioto Jordi（立命館大学），光斎翔貴（立命館大学），秋津裕（京都大学エネルギー科学研究科），山末英嗣（立命館大学）
B	**P2-030**	**幼児の運動能力向上のためのスポーツイベントの提案と評価** …… 322 ◎高築治憲（芝浦工業大学），中口毅博（芝浦工業大学）
A	**P2-031**	**日独の森のようちえんの比較に関する研究** …… 324 ◎市瀬友太（芝浦工業大学），中口毅博（芝浦工業大学）
B	**P2-032**	**旅行商品のタイプⅠラベル認定基準の検討** …… 326 ◎金子大輝（工学院大学），稲葉敦（工学院大学）
A	**P2-033** *(D2-15)*	**カーボンフットプリント支援のためのベンチマークによる消費者選好変化の評価** …… 236 ◎環野真紀（東京大学），井原智彦（東京大学）
B	**P2-034**	**宿泊施設における１泊あたりの CO_2 排出原単位の算定** …… 328 ◎齋藤遥香（工学院大学），稲葉敦（工学院大学），竹内孝曜（グリーン購入ネットワーク（GPN）事務局），深津学治（グリーン購入ネットワーク（GPN）事務局）
A	**P2-035**	**エコマーク「飲食店」認定基準に適合する取組の CO_2 削減量を簡易算定するツールの開発** …… 330 ◎山田大紀（工学院大学），大澤亮（(公財）日本環境協会），本間隆之（(公財）日本環境協会），稲葉敦（工学院大学）
B	**P2-036** *(C1-21)*	**TMR の観点から優先的に回収すべき使用済み小型家電製品** …… 102 ◎丸橋拓矢（立命館大学），橋本征二（立命館大学）
A	**P2-037**	**低炭素型家庭ごみ処理システムの研究** …… 332 ◎安川隼平（工学院大学），田中浩二（e.s.feed），稲葉敦（工学院大学）
B	**P2-038**	**衣料品拠点回収の改善案の検討** …… 334 ◎矢島佑哉（立命館大学），橋本征二（立命館大学）
A	**P2-039**	**IoT 導入による廃プラリサイクル促進策の評価** …… 336 ◎上鶴喜貴（立命館大学），橋本征二（立命館大学）
B	**P2-040** *(B2-03)*	**一般廃棄物のリサイクル率の再定義：民間回収ルートによる再資源化量の推計** …… 160 ◎渡辺梓（立命館大学），橋本征二（立命館大学）
A	**P2-041**	**使用済み電気・電子機器リサイクル技術データベースの設計と運用に係る検討** …… 338 ◎永瀬萌（東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻），山本悠久（東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻），村上進亮（東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻）

B	P2-042	厨芥類リサイクルと社会システム・地域特性の関係 ◎立石雄太（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	340
A	P2-043	リサイクルポートを活用した南海トラフ巨大地震の災害廃棄物処理 ◎水谷一平（立命館大学大学院），立尾浩一（日本環境衛生センター），橋本征二（立命館大学）	342
B	P2-044	南海トラフ巨大地震における災害廃棄物仮置場の検討 その広域的確保について ◎石川湧裕（立命館大学），水谷一平（立命館大学大学院），立尾浩一（日本環境衛生センター），橋本征二（立命館大学）	344
A	P2-045	地理情報を用いた熱共有システム設計に資するツール開発 ◎田中晴佳（東北大学），大野肇（東北大学），福島康裕（東北大学）	346
B	P2-046 *(D1-01)*	高速道路の電化と走行中給電可能な車両運搬 EV システムの提案 ◎北条善久（放送大学）	26
A	P2-047 *(D1-20)*	2050 年 CO_2 削減目標に向けた断熱材料選択のための評価手法 ◎山口彰太（東京大学），醍醐市朗（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）	108
B	P2-048 *(A2-15)*	欧州 RoHS 指令改正に伴うフタル酸エステル類試験法における環境影響評価 ◎奥村真太郎（東京都市大学），竹中みゆき（日立ハイテクノロジーズ），鈴木春生（東京都市大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	210
A	P2-049 *(C1-20)*	製造業分野におけるリン資源利用の環境効率評価 ◎野木茜（立命館大学），Dente Sebastien Michael Rene（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	100
B	P2-050 *(D1-24)*	SDGs 指標を用いた世界各都市の環境効率の時系列評価 ◎藤田省一郎（慶應義塾大学），伊香賀俊治（慶應義塾大学），村上周三（建築環境・省エネルギー機構），川久保俊（法政大学）	138
A	P2-051 *(A1-04)*	容器包装における環境効率算定手法の実用化 ◎家木敏秀（東洋製罐）	8
B	P2-052	資源・物質利用の環境効率：鉱物に関する分析 ◎田中大介（立命館大学），Dente Sebastein M.R.（立命館大学），粟生木千佳（立命館大学，地球環境戦略研究機関），村上進亮（東京大学），橋本征二（立命館大学）	348
A	P2-053	木質バイオマスの物質フローの推計と使用効率の評価 ◎平井満規（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	350
B	P2-054	物質のライフサイクル環境効率の算定：環境影響とサービスの配分方法のレビュー ◎ Dente Sebastien Michael Rene（Ritsumeikan University），粟生木千佳（Institute for global environmental strategies），橋本征二（Ritsumeikan University）	352
A	P2-055	マテリアルリサイクル PET 繊維の環境効率 ◎仙波壽朗（飯田女子短期大学），稲葉敦（工学院大学）	354
B	P2-056	金属のクリティカリティ評価で用いられる評価項目の検討：低炭素発電技術に使用される金属のケーススタディ ◎宮本渉（立命館大学大学院），橋本征二（立命館大学）	356
A	P2-057	循環利用を考慮した素材の LCA 手法の構築 ◎木村将志（東京大学），醍醐市朗（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）	358
B	P2-058 *(C3-08)*	中国広東省における工業固体廃棄物の持続可能な管理に着目した 廃棄物産業連関表の構築 ◎董岩（東北大学），松八重一代（東北大学）	286
A	P2-059	多地域産業連関分析からみる東南アジアにおける水利用の評価 ◎松尾拓朗（九州大学経済学部），永島史弥（九州大学経済学部），加河茂美（九州大学経済学部）	360
B	P2-060	家計消費が窒素循環のプラネタリー・バウンダリーに与える影響 ◎馬場亮輔（立命館大学），佐々木貴央（立命館大学），南斉規介（国立環境研究所），橋本征二（立命館大学）	362
A	P2-061	廃棄物産業連関表を用いた日本の資源フットプリント評価 ◎光井佑友子（東京都市大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	364
B	P2-062	水素消費に着目したバイオマス由来の炭化水素製造経路評価手法の開発 ◎大内翔（東北大学），大野肇（東北大学），福島康裕（東北大学）	366

A	P2-063	地域特性を考慮した水資源の影響に関する特性化係数の考案と適用事例 …… 368 ◎山田晃史（八千代エンジニヤリング），緒方陸（八千代エンジニヤリング），吉原哲（八千代エンジニヤリング），冨樫聡（八千代エンジニヤリング），松井初音（凸版印刷），中川善博（凸版印刷），伊坪徳宏（東京都市大学）
B	P2-064 *(C1-09)*	ハイブリッド LCA を用いた日本の低炭素技術に関する資源リスク構造の解析 …… 64 ◎田邊佑樹（京都大学），南齋規介（国立環境研究所），東野達（京都大学）
A	P2-065	産業連関表を用いたサービス業の環境負荷算定と工学院大学の OLCA …… 370 ◎山田要（工学院大学大学院），田原聖隆（国立研究開発法人 産業技術総合研究所），藤井千陽（国立研究開発法人 産業技術総合研究所），稲葉敦（工学院大学大学院）
B	P2-066	海外データの簡易推計手法の構築 …… 372 台湾・インドネシア・韓国・マレーシア・ベトナムの推計の試み ◎木村祐也（県立広島大学），中井健士郎（県立広島大学），小林謙介（県立広島大学），藤井千陽（産業技術総合研究所），横田真輝（産業技術総合研究所），田原聖隆（産業技術総合研究所）
A	P2-067	海外インベントリデータの簡易推計手法の構築 …… 374 中国・タイを対象とした推計 CO_2 排出原単位データベースの構築 ◎中井健士郎（県立広島大学），木村祐也（県立広島大学），小林謙介（県立広島大学），藤井千陽（産業技術総合研究所），横田真輝（産業技術総合研究所），田原聖隆（産業技術総合研究所）
B	P2-068 *(B1-08)*	CGE モデルを用いた日本の CFP 将来推計 …… 54 ◎一杉佑貴（東京都市大学），増井利彦（国立環境研究所），伊坪徳宏（東京都市大学）
A	P2-069	化学輸送モデルを用いた影響評価手法の開発と越境移動を考慮した大気汚染フットプリント分析 … 376 ◎小野あかり（東京都市大学），湯龍龍（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），小野雄也（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学）
B	P2-070	材料技術開発を対象とした LCA の枠組みの検討 …… 378 ◎畑山博樹（産業技術総合研究所），田原聖隆（産業技術総合研究所），醍醐市朗（東京大学）
A	P2-071 *(C1-01)*	エクセルギーによる資源消費の持続可能性評価手法の構築 …… 18 ◎平岡侑一郎（東京大学），醍醐市朗（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）
B	P2-072	リサイクル推進に向けた金属素材ごとの促進・阻害要因の抽出 …… 380 ◎中駄将人（東京大学），醍醐市朗（東京大学），榎学（東京大学），後藤芳一（東京大学）
A	P2-073 *(B2-02)*	フローの分岐に着目した物質ストックの推計モデルの構築 …… 158 日本国内における銅ストックへの適用 ◎横井崚佑（東京大学），中谷隼（東京大学），森口祐一（東京大学）
B	P2-074 *(C1-08)*	銅採掘に伴う国際的なサプライチェーンリスク解析 …… 62 ◎大足葵（東北大学），松八重一代（東北大学），中島謙一（国立環境研究所），長坂徹也（東北大学）
A	P2-075	日米欧を対象とした二次白金族金属資源の類型 …… 382 ◎福谷大樹（立命館大学大学院），橋本征二（立命館大学）
B	P2-076 *(C1-07)*	世界及び日本の経済活動が誘発する鉱石採掘に伴う関与物質総量 …… 60 鉄・銅の国際サプライチェーン分析 ◎野田匠一郎（東京大学），南齋規介（国立環境研究所），中島謙一（国立環境研究所）
A	P2-077 *(A1-03)*	容器包装と産業への蓄積に着目した MFA によるプラスチック廃棄物の発生量推計 …… 6 ◎丸山多聞（東京大学），中谷隼（東京大学），森口祐一（東京大学）
B	P2-078 *(C1-22)*	自動車の技術変化と素材に着目した関与物質総量の分析 …… 104 ◎松井健裕（東北大学），小柳津顕（立命館大学），山末英嗣（立命館大学），松八重一代（東北大学），長坂徹也（東北大学）
A	P2-079 *(C1-27)*	動的 MFA モデルを用いた都市鉱山入出量の推計 …… 136 ◎武山健太郎（東北大学），大野肇（東北大学），松八重一代（東北大学），中島謙一（国立環境研究所），近藤康之（早稲田大学），長坂徹也（東北大学）
B	P2-080 *(D1-06)*	日本国内窒素フローの経時変化 …… 66 ◎片桐究（東北大学），松八重一代（東北大学），長坂徹也（東北大学）
A	P2-081	感度分析を用いた鉄鋼材料の関与物質総量の評価 …… 384 ◎小柳津顕（立命館大学），光斎翔貴（立命館大学），山末英嗣（立命館大学）

B	P2-082	繰返し素材リサイクルによる不純物元素の濃度変化説明モデル 鉄鋼材の事例 ◎纐纈将太（東京大学大学院），醍醐市朗（東京大学大学院），藤村玲央（JFE スチール），林英男（東京都立産業技術研究センター），Sprecher Benjamin（Leiden University），榎学（東京大学大学院），後藤芳一（東京大学大学院）	386
A	P2-083	シミュレーションに基づくインベントリデータの推算 バイオマス由来化成品製造の事例 ◎菊池康紀（東京大学），兼松祐一郎（東京大学）	388
B	P2-084	日本における LNG 火力発電の普及シナリオ分析 ◎福嶋洋祐（九州大学経済学部），時任翔平（九州大学経済学部），加河茂美（九州大学経済学部）	390
A	P2-085 *(E1-07)*	土地利用の変化と生物多様性の減少 南アメリカ地域における森林開発がもたらす絶滅生物種数の期待値の推計 ◎植屋純平（立命館大学大学院），橋本征二（立命館大学）	76
B	P2-086 *(D1-21)*	2050 年代のジャカルタにおけるエアコンの使用割合向上や高効率化による睡眠困難軽減効果のシナリオ分析 ◎桑山忠弘（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学），大棟俊（東京都市大学），亀卦川幸浩（明星大学），岡田和樹（明星大学），山口和貴（東京電力ホールディングス），神田学（東京工業大学），Alvin Christopher Galangc Varquez（東京工業大学），Nisrina Setyo Darmanto（東京工業大学），Prihadi Setyo Darmanto（バンドン工科大学），井原智彦（東京大学）	110
A	P2-087 *(D1-07)*	滋賀県におけるリンのマテリアルフロー分析 ◎間野由布子（東北大学），松八重一代（東北大学）	68
B	P2-088	福島原発事故の経済被害推定 ◎隠岐一輝（九州大学経済学部），加河茂美（九州大学経済学部），高藪広隆（九州大学経済学部）	392
A	P2-089 *(D1-25)*	GIS を用いた中国海綿都市建設の有効性分析 ◎范学周（北九州市立大学），松本亨（北九州市立大学）	140
B	P2-090 *(D1-19)*	公開統計情報に基づく高断熱住宅普及と冬季死亡者の関係の分析 ◎石戸拓朗（慶應義塾大学），伊香賀俊治（慶應義塾大学），川久保俊（法政大学）	106
A	P2-091 *(A1-20)*	PM2.5 の健康リスクに対する非線形性を考慮した一次・二次粒子の消費基準による経済損失評価 ◎藤井雄太（京都大学），黒木みどり（京都大学），茶谷聡（国立環境研究所），金本圭一朗（信州大学），南齋規介（国立環境研究所），東野達（京都大学）	84
B	P2-092 *(A1-19)*	国際サプライチェーンが誘因するアジア，欧州，北米における PM2.5 の健康被害 ◎黒木みどり（京都大学大学院），茶谷聡（国立環境研究所），金本圭一郎（信州大学），東野達（京都大学大学院），南斉規介（国立環境研究所）	82
A	P2-093	東南アジアの観光動態が地域経済に与える影響分析 ◎吉澤知晃（九州大学），加河茂美（九州大学）	394
B	P2-094	有機薄膜太陽電池を導入したトマト施設栽培の LCA 評価 ◎レオン愛（京都大学），石原慶一（京都大学）	396
A	P2-095	酪農生産システムにおける自給粗飼料生産が経営と CO_2 排出量にもたらす影響 – 北海道浜中町の事例 – ◎松島旭（宇都宮大学）	398
B	P2-096	食肉処理プロセスにおける温室効果ガス排出量の推計 ◎永井詩織（宇都宮大学）	400
A	P2-097	「飛ばないナミテントウ」を利用したナス栽培の環境影響評価 ◎志村もと子（農研機構西日本農業研究センター），世古智一（農研機構西日本農業研究センター），松森堅治（農研機構西日本農業研究センター）	402
B	P2-098 *(B1-19)*	コマツナ栽培法の違いを考慮した環境影響と消費者行動による比較検討 ◎染谷祐輝（東京理科大学），徐維那（東京理科大学），堂脇清志（東京理科大学）	90
A	P2-099	LCA を用いたインドネシアのパリギ地域のココナッツ産業の持続可能性向上ための検討 ◎ Desiana Nia（Tokyo University of Science），徐維那（Tokyo University of Science），堂脇清志（Tokyo University of Science）	404
B	P2-100	鶏肉の CO_2 排出量の算定 ◎櫻岡透（工学院大学），荻野暁史（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構），稲葉敦（工学院大学）	406

A	P2-101 *(B1-27)*	物理的要因による品質を考慮したトマトの LCA 熊本県産塩トマトのケーススタディー ◎秋山翔太郎（東京理科大学），徐維那（東京理科大学），堂脇清志（東京理科大学）	128
B	P2-102	加工食品の CO_2 排出量の算定 ◎戸田千晶（工学院大学），稲葉敦（工学院大学）	408
A	P2-103	建築分野における LCA の活用 建築物の評価における基礎的分析と評価における目安の検討 小林謙介（県立広島大学），◎佐藤整央（県立広島大学），牧村彰一（県立広島大学）	410
B	P2-104	利用実態の違いを考慮した洗濯機の環境影響評価 ◎西田諒生（伊坪研究室）	412
A	P2-105	空調冷熱システムを対象とした環境フットプリント ◎廣瀬悦子（三菱電機株式会社），藤崎克己（三菱電機株式会社）	414
B	P2-106 *(D2-07)*	細胞培養を回避した臨床検査薬の開発・生産における環境影響評価 ◎渡辺裕太（東京都市大学），鈴木健夫（シスメックス），宇佐美昭宏（宇佐美コンサルティング事務所），伊坪徳宏（東京都市大学）	202
A	P2-107 *(D2-06)*	電子部品工場における水の再利用に着目したウォーターフットプリント ◎後藤瞭太（東京都市大学），小野雄也（東京大学），小関康雄（東京都市大学），杉本和明（造水促進センター），大熊那夫紀（造水促進センター），伊坪徳宏（東京都市大学）	200
B	P2-108 *(A2-08)*	家庭用空調機の気候変動緩和策と新興国導入による適応効果の定量分析 ◎大棟俊（東京都市大学），桑山忠弘（東京大学），井原智彦（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	182
A	P2-109	AI の環境・経済・社会的価値の評価方法の開発 ◎坂口真里奈（工学院大学），稲葉敦（工学院大学），並河治（日立製作所）	416
B	P2-110 *(A1-01)*	機能の統合による食品と容器包装のライフサイクル設計 ◎横川直毅（東京大学），天沢逸里（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）	2
A	P2-111 *(A1-02)*	容器包装を対象とする機能と環境影響を統合したライフサイクル設計手法 ◎増田祐太郎（東京大学），横川直毅（東京大学），天沢逸里（東京大学），杉山弘和（東京大学），平尾雅彦（東京大学）	4
B	P2-112 *(C3-06)*	インドネシアにおける工場の生活系排水処理方式の LCA による環境効率比較 ◎金子愛里（九州市立大学）	282
A	P2-113	萌芽技術の技術経済性分析手法の整理 ◎雨宮大雅（東北大学），大野肇（東北大学大学院），福島康裕（東北大学大学院）	418
B	P2-114	Drone 配送による GHG の削減効果 ◎桜井慶太郎（工学院大学），稲葉敦（工学院大学）	420
A	P2-115	ライフサイクル仮想摩擦係数を用いた輸送機関のエネルギー効率評価 ◎中西正樹（立命館大学）	422
B	P2-116	日本の国際線に着目した航空ネットワークに付随する CO2 排出分析 ◎鬼頭みなみ（九州大学），時任翔平（九州大学），西嶋大輔（九州大学），加河茂美（九州大学）	424
A	P2-117 *(B1-03)*	新規ポリマーを導入した次世代自動車のライフサイクル環境影響評価 ◎長谷川幹晃（東京大学大学院），大田弥由紀（東京大学大学院），天沢逸里（東京大学大学院），杉山弘和（東京大学大学院），平尾雅彦（東京大学大学院）	14
B	P2-118	乗用車における金属部品のリサイクルに関する LCA ◎大井康寛（関東学院大学）	426
A	P2-119	中国における省別資本形成の将来変化に着目した消費基準環境負荷量の解析 ◎林小木（京都大学），南齋規介（国立環境研究所），東野達（京都大学），Qian Zhang（東京大学）	428
AB	P2-SCN	日本 LCA 学会学生交流ネットワーク 2017 年度活動報告 ◎横井崚佑（東京大学），一杉佑貴（東京都市大学），田髙初奈（横浜国立大学），武山健太郎（東北大学），永島史弥（九州大学），水谷一平（立命館大学）	430

企画セッション　3/7　15：00～16：20

持続可能な消費と生産パターン定着に向けたライフサイクル思考の役割

Role of Life Cycle Thinking toward Ensuring Sustainable Consumption and Production Patterns

○平尾雅彦*[1)]、中谷隼[1)]
Masahiko HIRAO, Jun NAKATANI
1) 東京大学
*hirao@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

1.　はじめに

環境研究総合推進費・戦略的研究（S-16）として実施されている「アジア地域における持続可能な消費・生産パターン定着のための政策デザインと評価」は、消費と生産の連携の強化、多様なステークホルダーの活動を通じて、SDGs の目標 12 である持続可能な消費と生産（SCP）パターン定着のための政策デザインを目標としている。生産側から環境配慮製品の優遇のような効率改善型政策や資源循環政策を検討する一方で、消費行動の変容を促す“充足型政策”についても議論している（**図 1**）。こうした消費と生産を巻き込んだ政策デザインには、ライフサイクル思考が欠かせない。

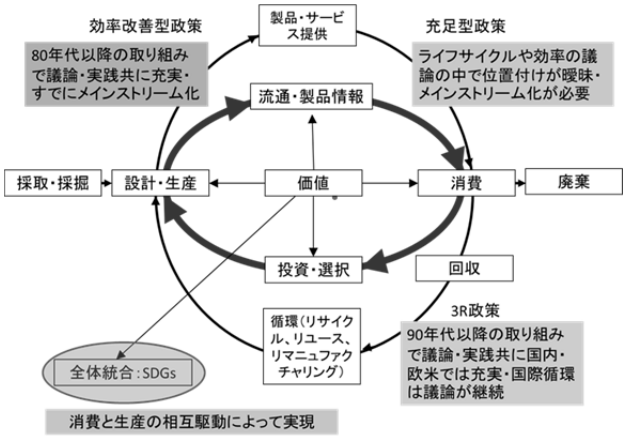


図 1　消費と生産の相互駆動による持続可能な開発目標の実現（Vergragt *et al.* [1)] を参考に作成）

本企画セッションでは、日本 LCA 学会の第 22 回講演会（2016 年 12 月）および 2 回の参加型討論会（2017 年 7 月・11 月）を通して提起された論点について、パネルディスカッション形式で議論する。

2.　第 22 回講演会の概要と提起された論点

第 22 回講演会では、幅広い分野の専門家から、アジアを含めた国際的動向、製品設計やライフスタイルといった様々な観点から講演するとともに、SCP パターンの定着に向けて企業や消費者の役割について議論した。

充足性アプローチのためには同じ状況で人が満足するかしないかといった精神世界にも踏み込む必要があるのではないかといった指摘や、各個人が消費側と生産側の立場を持っている以上、消費と生産を分けて考えることに意味はあるのかといった指摘など、講演会の聴講者からも様々な問題提起があった。

3.　参加型討論会の概要と提起された論点

企業からの一般参加者と専門家との意見交換の場として、参加型討論会を企画・開催した。参加者が SCP にかかわるトピックについて議論する中で、SCP および SDGs への理解を深めるとともに、それぞれの参加者の関心や課題を共有し、参加者間のネットワークの深化を図ることを目的とした。

第 1 回の討論会は、「SCP と SDGs の関連性は？」「持続可能な社会の構築へ向けて産業界と消費者はどう貢献していけるのか？」という 2 つのトピックを設定した。第 2 回は、「持続可能な社会の構築へ向けた主要課題と、その解決の方向性」「その中で LCA が果たせる役割と、それへ向けた現在の課題」をトピックとして討論した。

SDGs の中にも、企業にとって事業機会としてポジティブな意味をもつ目標と、事業リスクというネガティブな意味を持つ目標があるという視点が提起された。一方、教育現場においては、異なる問題の間のトレードオフ関係について説明することが敬遠されがちで、SDGs の目標間の相互関連性に着目した消費者教育の難しさが浮き彫りになった。さらに、消費者は“地球人”の立場で持続可能性について考えなくてはいけないのか、自分が居住する地域の持続可能性について考えれば十分なのかといった、根本的な議論から始める必要性が指摘された。

4.　おわりに

SCP パターンとは、先進国が歩んできた消費と生産の増大スパイラルを繰り返すことなく、発展途上国を含めた世界全体の環境負荷や資源消費をプラネタリーバウンダリー以下に抑えることである。そのためには、消費と生産が相互に駆動し、影響し合う社会の実現が求められている。

謝辞　　本研究は，（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費・戦略的研究 (S-16) により実施された。

引用文献

1)　Vergragt, P. *et al.*: *Journal of Cleaner Production* 63, 1–12 (2014)

企画セッション　3/7　16：40～18：00

企画セッション

持続可能な未来社会の創造に向けたものづくりプロセスの革新と LCA

日時：　3/7（水）16:40-18:00, オーガナイザー：福島康裕、菊池康紀

第５期科学技術基本計画において、新しい知識やアイデアが組織や国の競争力を大きく左右する現代においては、新しい試みに果敢に挑戦し、非連続なイノベーションを積極的に生み出すハイリスク・ハイリターンな研究開発を推進していくことの重要性が指摘され、これに向けた具体的取り組みが始まっています。本企画セッションでは、こうした取り組みの一つである JST の未来社会創造事業に採択され、平成 29 年 11 月より始動した４件のプロジェクトが一堂に会し、研究開発の概要を共有するとともに、ものづくりプロセスの革新において LCA が期待されている役割を議論します。広く学会会員の参加を得て、今後の社会実装を強く意識した科学技術の開発の推進という大きな潮流の中で、LCA 技術者が立ち向かうべき挑戦を明確にするための作業をおこないたいとおもいます。

概要

1. セッションの趣旨説明（東大　菊池　康紀, 10 分）
2. プロジェクトの概要紹介 (各 12 分)

製品ライフサイクル管理とそれを支える革新的解体技術開発による統合循環生産システムの構築
　早大　所　千晴

Ｐイノベーション創出技術開発
　東北大　長坂　徹也（代理：東北大　三木　貴博）

リマンを柱とする広域マルチバリュー循環の構築
　産総研　松本　光崇

革新的ハロゲン循環による材料の高資源化プロセスの開発
　東北大　吉岡　敏明

3. ディスカッサントによる論点の提案と意見交換

(司会：東北大　福島　康裕, 20 分)

持続可能な未来社会の構築のための技術開発において
LCA の果たす役割についてぜひ共に語り合いましょう！！

企画セッション「ホットスポット分析と環境ラベルへの活用」

田原聖隆[1)]、近藤康之[2)]、鈴木春生[3)]、佐野裕隆[4)]、神崎昌之[5)]、伊坪徳宏[3)]

Kiyotaka Tahara[1)], Yasushi Kondo[2)], Haruo Suzuki[3)],

Hirotaka Sano[4)], Masayuki Kanzaki[5)], Norihiro Itsubo[3)]

産業技術総合研究所[1)]、早稲田大学[2)]、東京都市大学[3)]、日本環境協会[4)]、産業環境管理協会[5)]

keywords: hotspot analysis, IDEA, WIO, LIME, social impact assessment

1.　背景

UNEP(国連環境計画) /SETAC(環境毒物化学会)ライフサイクルイニシアティブは、ライフサイクルの中から重要な要素を抽出するホットスポット分析に注目し、分析方法の開発を開始した。欧米が開発するホットスポット分析手法は、欧米のデータベースと影響評価手法が活用されるため、日本の技術や環境条件が反映されにくい。環境影響の誤解と評価手法の誤用が生じると、得られた結果に対する信憑性が低下し、却ってグリーン購入促進の障害になりかねない。

「製品ライフサイクルに立脚した環境影響評価基盤の構築と社会実装によるグリーン購入の推進」(科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業：平成 26 年 10 月～平成 29 年 9 月)では、日本の最新の影響評価手法やデータベースを統合したホットスポット分析手法を開発している。これを 100 種類の製品を対象に解析し、その評価報告書を国、産業界、消費者へ公開する。その研究成果はグリーン調達、購入のための共通基盤として活用されることが期待される。

2.　研究目的

本プロジェクトでは、最新のインベントリデータベースと環境影響評価手法に基づく環境ホットスポット分析手法の開発を行った。科学的な方法を駆使した 100 品目を対象とした分析結果は、専門家による「グリーンイノベーションのための羅針盤」として国、自治体、企業、消費者に広く活用されることが期待される。ホットスポット分析手法と評価結果は環境ラベル(タイプ 1 と 3)に実装すべく、審査基準や PCR との対比を通じてその妥当性について検証した。

3. プロジェクトの概要

以下の二つの研究課題を設けた。

【課題 1　17 影響領域を網羅したインベントリデータベースと影響評価手法の開発】

LCA の実施方法に倣い、実施項目を以下の三つに分類し、それぞれの課題について作業部会を設置してインベントリデータベースと影響評価手法を開発する。

インベントリ分析(上流)は産業技術総合研究所が開発した IDEA2 (Inventory Database for Environmental Analysis)を、インベントリ分析(下流)では早稲田大学が開発した WIO (Waste Input Output)を最新化し、影響評価手法は産業技術総合研究所と東京都市大学が開発した LIME2 (Life cycle Impact assessment based on Endpoint modeling)を用いた。

【課題 2　100 品目を対象とした環境ホットスポット分析と社会実装】

上記課題の実施を通じて得た評価手法を駆使して半自動的に計算結果を出力できるホットスポット分析用評価ツールを開発した。これを用いて 100 製品・サービスを対象とした分析を実施した。これらの結果をエコマーク忍実施項目を以下の二つに分類し、それぞれの課題について二つのグループ（エコマークグループ、エコリーフグループ)を設置して評価インフラを開発するとともにそれを活用する。

上に示した課題とプロジェクト成果、社会実装までの関係を以下の図 1 に示した。

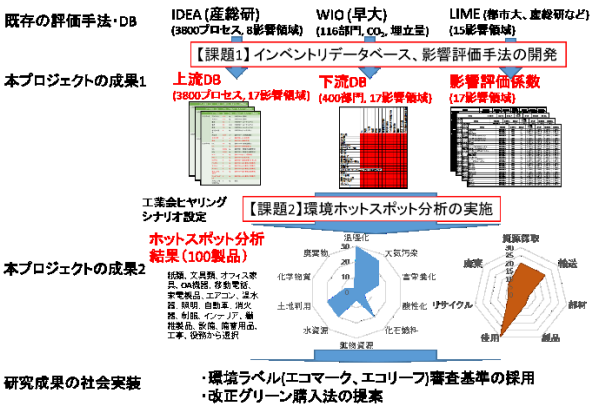


図 1　本プロジェクトの研究課題とプロセス

4. 本企画セッションの目的

本企画セッションでは、プロジェクトの成果について報告するとともに、今後の展望について意見交換を行うことを目的とする。構成は以下のとおりである。

- プロジェクト全体報告(伊坪)
- ホットスポット用インベントリデータベース(田原)
- 廃棄物産業連関表とホットスポット分析（近藤)
- ホットスポット分析結果(鈴木)
- エコマークにおけるホットスポット分析の活用(佐野)
- エコマークにおけるホットスポット分析の活用(神崎)

企画セッション　3/8　10：40～12：00

パリ協定後の日本の産業を考える

（オーガナイザー：玄地裕（産業技術総合研究所））

3月8日（木）10:40～12:00

概要：

世界が目指す 2050 年、2010 年比 40～70%GHG 排出削減に向けて、日本の産業界も低炭素社会実行計画からさらなる削減の積み上げが必要となる。一方，GHG 排出削減制約は，その大きさからエネルギーインフラ，輸送構造のみならず，産業構造を大きく変える可能性もある。そこで，昨年より日本 LCA 学会の研究会としてパリ協定後の産業研究会を実施し，2050 年の産業を考え，産業界が 21 世紀末までのネットゼロエミッションにむけた社会としての温暖化対策について考えるべき項目（クリティカルポイント）についての検討をおこなっている。

本企画セッションでは、これまでの討論の内容等について紹介するとともに，シナリオプランニングへの取り組みに定評があるシェルシナリオチームに所属経験がある木原氏を招き，シェル流シナリオプランニングの考え方とシナリオ事例をご紹介いただく。聴衆も含めて双方向の議論を行うことで、多様な観点からそのクリティカルポイントの方向性を探っていく。

プログラム（80 分）

・本企画セッションの趣旨と研究会の報告

（国研）産業技術総合研究所　玄地　裕

・シェル流シナリオプランニングの考え方と事例紹介

昭和シェル石油（株）経営企画部　木原正樹

・意見交換

プログラムは当日変更の可能性があります。

企画セッション「気候変動の緩和策と適応策」

伊坪徳宏[1)]、八坂慶仁[2)]、正畠浩一[2)]、古島康[3)]、内田裕之[3)]、湯龍龍[4)]、大橋春香[2)]、
松井哲哉[2)]、田中信行[3)]、井原智彦[5)]、小関康雄[1)]、熊野直子[8)]、田村誠[8)]
Norihiro Itsubo[1)], Yoshihito Yasaka[2)], Koichi Syobatake[2)], Yasushi Furushima[3)], Hiroyuki Uchida[3)],
Tang Longlong[4)], Haruka Ohashi[5)], Tetsuya Matsui[5)], Nobuyuki Tanaka[6)], Tomohiko Ihara[7)],
Yasuo Koseki[1)], Naoko Kumano[8)], Makoto Tamura[8)]
東京都市大学[1)]、TCO2[2)]、みずほ情報総研[3)]、農業・食品産業技術総合研究機構[4)]、森林総合研究所[5)]、
東京農業大学[6)]、東京大学[7)]、茨城大学[8)]
keywords: climate change, mitigation, adaptation, meta-analysis, cost benefit analysis

1.　はじめに

製品ライフサイクルの環境影響を定量的に評価するLCAはすでに多くの気候変動対策に適用されている。国連環境計画がバイオ燃料に関する複数のLCA研究論文を整理した報告によれば、概ねバイオ燃料は石油燃料よりCO_2排出量は低いものの、水消費や土地利用、富栄養化など他の環境影響に対する影響は石油よりも高く、包括的な観点からみた環境配慮が必要であることを警告した。

一方で、多岐に渡る影響領域について評価しても、これらの間でトレードオフが発生した際の対応に課題が残る。近年のLCA研究は影響領域間で比較できるエンドポイントタイプの手法が注目されているが、未だ発展途上の段階で国際的な合意がない。特に気候変動については、生物多様性に対する影響評価に関する具体的な提案は限定的で、農作物・水資源・森林資源・水産資源などの社会資本に関する影響を網羅した手法は提案されていない。

これまでに複数の緩和策と適応策についてLCAが適用されているが、評価範囲や手法が異なるため、対策間で比較することが困難であった。

2.　研究目的

緩和策と適応策は気候変動対策における車の両輪として位置づけられるものの、両者の統合的な実施を想定した計画立案は少ない。戦略的研究開発領域課題(S-14)「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究(研究代表者：沖大幹)」では、投入可能な経済的、人的資源が限られる条件下で、緩和策と適応策にどのように取り組むことが最も効果的かつ効率的であるかに関する定量的基礎資料を整備し、リスクマネジメントとしての気候変動対策の適切な計画立案に貢献するための研究評価を行っている。研究成果は経済発展や生態系リスクを加味した気候変動リスク評価結果をIPCCやUNFCCCを含む世界に向けて発信し、地球規模の福利厚生の増進に寄与することを目標とする。

3. 実施体制

本プロジェクトは以下の5つのテーマを設けている。

(1) 全体総括と統合的戦略評価
(2) 生態系保全による緩和策と適応策の統合
(3) 地球規模の適応策の費用便益分析
(4) アジアのメガシティにおける適応策の事例研究
(5) 緩和策と適応策の統合モデル開発

個別テーマ1では、テーマ間の調整、連携の促進、課題全体の進行管理に取り組みつつ、各テーマの成果を統合し、包括的な観点からの分析結果を得る役割を担う。複数の気候変動対策の評価にLCAや産業連関分析、費用便益分析、幸福度調査といった複数のアプローチを採用している。プロジェクト三年目にあたる今年度はテーマ2（森林生態系評価と生態系サービスへの影響）テーマ3（健康への影響評価、沿岸地域の脆弱性評価と適応策の費用便益分析)、テーマ4（都市健康影響評価）より、これまでの研究成果の提供を受けてLCAに活用するための検討を進めた。

4. 本企画セッションの目的

本セッションでは、S-14テーマ1サブテーマ2(LCAにおける気候変動対策評価)およびテーマ4サブテーマ3(都市健康影響評価と費用対便益分析)における今年度の主な研究成果を中心に報告し、今後の展望に向けた議論を行うことを目的に企画した。

以下の発表で構成する。

・八坂、正畠、伊坪：バイオプラスチックのLCAのメタ分析（緩和策の評価）
・古島、湯、内田、伊坪：SSPシナリオに応じた健康被害係数の開発（影響評価手法開発）
・湯、大橋、松井、田中、伊坪：陸生生物種を対象とした気候変動による生物多様性影響評価手法開発(影響評価手法開発)
・井原、桑山：ジャカルタにおける気候変動及びヒートアイランドの影響評価とその対策効果（緩和と適応の統合評価）
・小関、熊野、田村、伊坪：気候変動適応策としての堤防の費用対便益分析（適応策の評価）

企画セッション　3/9　10：40～12：00

第13回日本LCA学会企画セッション概要

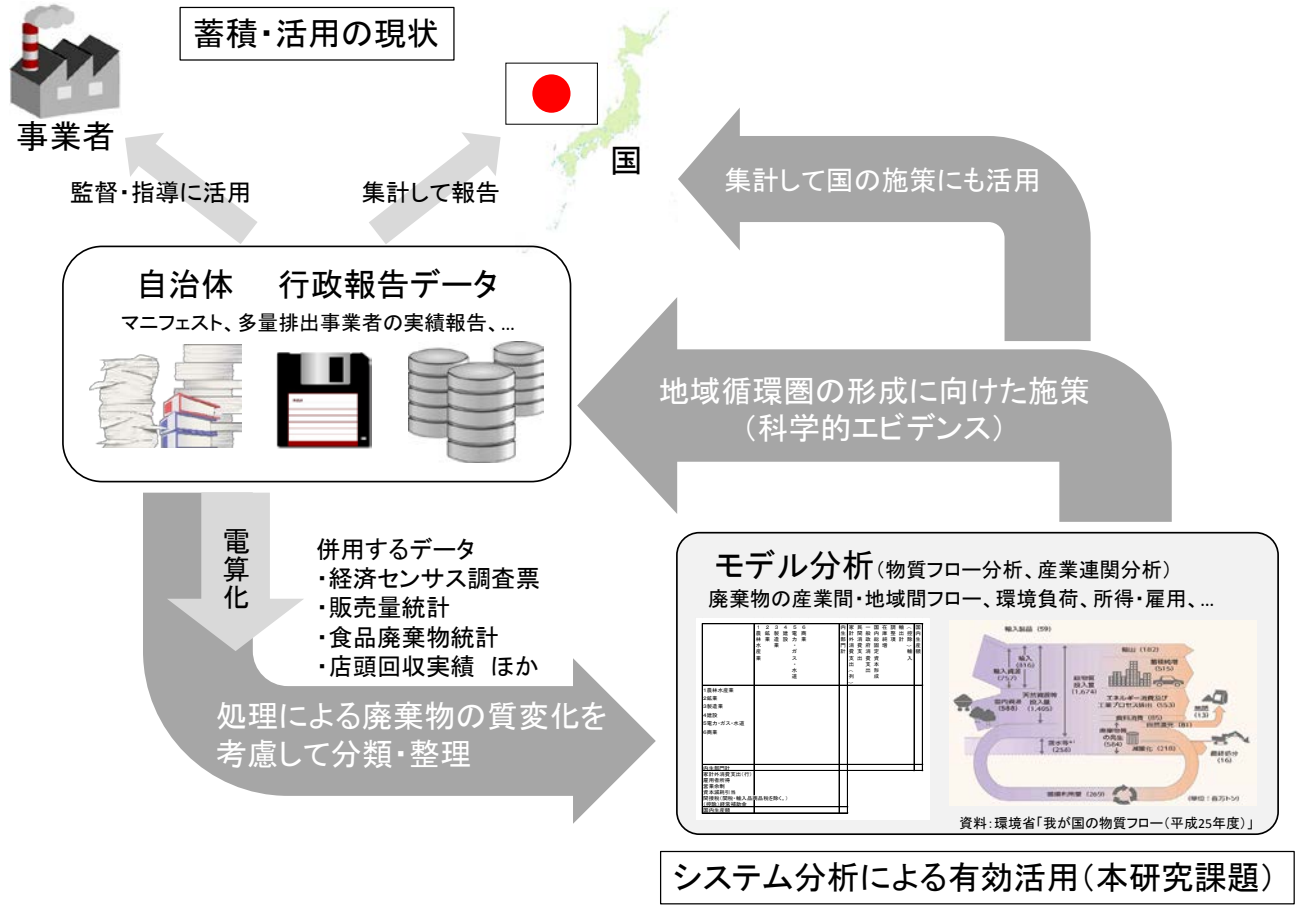
行政報告データ等の活用による自治体レベルの物質循環分析の展望

環境研究総合推進費（3-1704）として実施している「行政報告データ等の活用による自治体レベルの物質循環分析手法の開発と応用」では、地域循環圏の形成を推進するために、自治体（主として都道府県）における定量的な分析（エビデンス）に基づく政策意思決定に資することを目的として、自治体レベルの物質循環分析のためのデータベースおよび分析手法を開発している。産業廃棄物のマニフェスト、産業廃棄物および一般廃棄物の多量排出事業者による実績報告など、自治体に既に蓄積されているデータ（行政報告データ）を有効に活用することにより、安価かつ効率的にデータベースを構築しようとする点は、この研究の主たる特徴のひとつである。

本セッションでは、環境研究総合推進費による研究課題の中間成果を報告し、今後の展開について議論する。

登壇者　近藤康之（早稲田大学、企画セッションオーガナイザー）
橋本征二（立命館大学）
山田正人（国立環境研究所）

研究課題全体の概要図



1日目
（3/7）

タイムテーブル

1日目　3月7日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	容器包装	特別セッション： 将来技術評価(1)	手法開発	自動車	家計由来の環境負荷
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	生産性分析	特別セッション： 将来技術評価(2)	金属(1) グローバル サプライチェーン	肥料と資源	生態系評価
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:20	昼休み				
	M会場				
13:20-14:40	オープニング、基調講演				
14:40-15:00	休憩				
15:00-15:20	大気環境	特別セッション： 食品・農業分野の 横断的LCA(1) 農水産品・加工品	金属(2) 資源効率	住宅	企画セッション： 持続可能な消費と 生産パターン定着に 向けたライフサイクル 思考の役割
15:20-15:40					
15:40-16:00					
16:00-16:20					
16:20-16:40	休憩				
16:40-17:00	データベース	特別セッション： 食品・農業分野の 横断的LCA(2) 流通	資源循環	都市	企画セッション： 持続可能な未来社会の 創造に向けた ものづくりプロセスの 革新とLCA
17:00-17:20					
17:20-17:40					
17:40-18:00					

A1-01,P2-110　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

機能の統合による食品と容器包装のライフサイクル設計

Life cycle design of food and packaging by integrating product functions

○横川直毅*[1)]、天沢逸里 [1)]、杉山弘和 [1)]、平尾雅彦 [1)]
Naoki Yokokawa, Eri Amasawa, Hirokazu Sugiyama, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* n-yokokawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

容器包装は、ライフサイクルに存在する多くのステークホルダーからの要求を受けて、多様な機能を持つ。そのため、容器包装が内容物とともに流通することで、様々なライフサイクルステージに影響を与える。しかし、容器包装はすべての機能を同時に高めることはできず、機能間でのトレードオフが存在している。

機能のなかで優先される保護機能は、内外の要因から内容物を守り、内容物の不要なロスを防ぐ。特に食品では、持続可能な開発目標でも挙げられた食品ロス削減の方策が求められるなかで、保護機能はこの食品ロス削減に寄与できる。しかし、容器包装は使用後には廃棄物となるため、容器包装を付加することは環境影響の増加にもなる。すなわち、機能と環境影響間にもトレードオフが存在している。

多くのトレードオフがあるなかで、保護機能を考慮した環境影響評価はなされてきた [1)]が、経済面まで考慮した評価には至っていない。**図 1** に示すように、製品ライフサイクルに入力される資源や費用があって初めて製品が流通し、環境負荷が生じる。そのため、ステークホルダーの意思決定支援には、環境面に加えて、経済面を評価する必要がある。

本研究の目的は、機能を統合した評価の仕組みを構築し、食品と容器包装のライフサイクルにおける持続可能な意思決定を支援することである。これまで我々は、環境面での保護機能の効果の分析 [2)]や機能間の関係を分析してきた [3)]。さらに、ステークホルダーの意思決定に必要な指標を評価できる仕組みを構築する。

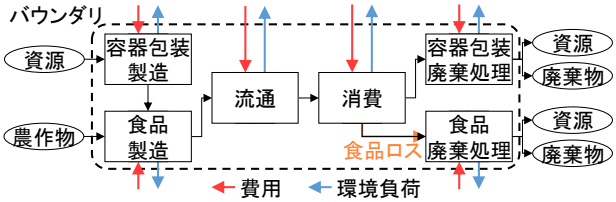


図 1 容器包装と食品の製品ライフサイクルとバウンダリでの入出力

2. 機能を統合した評価

保護機能による食品ロス削減効果を統合して食品と容器包装の持続可能性評価をおこなう。指標は、食品ロス率・温室効果ガス排出量・ライフサイクルコストを対象とした。それぞれの評価式や考え方を示す。

2.1 食品ロス率

製品の可食部に対して廃棄された可食部の割合を食品ロス率（x [–]）として設定した。食品ロスは、ライフサイクルの全段階から生じるが、先進国ではライフサイクルの後半からの発生が多い [4)]。そこで本研究では、ルートが多様な消費段階以降の食品ロスを考慮する。同じルートにおける異なる製品間の食品ロス率を比較することで、保護機能の食品ロス削減効果がわかる。この食品ロス率の特定のためのルート設定には、シナリオを用いて消費者行動を記述する。

2.2 環境影響: 温室効果ガス排出量

環境影響評価では、保護機能の食品を損なわない効果を考慮するため、食品の単位消費量を機能単位とした。このとき、製品ライフサイクル全体の環境影響（$E(x)$ [kg CO_2eq/消費]）は食品ロス率に依存し、その値は食品廃棄処理のインベントリデータ（$E^{\text{loss treat}}$ [kg CO_2eq/機能単位]）を用いて、式(1)で表される。

$$E(x) = \left(E(0) + xE^{\text{loss treat}}\right)/(1-x) \quad (1)$$

ここで、$E(0)$ [kg CO_2eq/製造]は機能単位を単位製造量と設定したときの環境影響である。

2.3 ライフサイクルコスト

経済面の指標として、ライフサイクル全体の費用の入出力の和であるライフサイクルコスト（$LCC(x)$ [円/消費]）を用い、環境影響評価と同様に機能単位は食品の単位消費量とした。そのため、ライフサイクルコストも食品ロス率に依存し、その値は食品廃棄処理のインベントリデータ（$C^{\text{loss treat}}$ [円/機能単位]）を用いて、式(2)で算出される。

$$LCC(x) = \left(LCC(0) + xC^{\text{loss treat}}\right)/(1-x) \quad (2)$$

ここで、$LCC(0)$ [円/製造]は機能単位を単位製造量と設定したときのライフサイクルコストである。

3. ケーススタディ

3.1 シナリオ設定

紙パック牛乳を対象に、賞味期限と内容量の違いを考慮したケーススタディをおこなった。紙パック牛乳

には、一般的なチルド牛乳（RF）と、賞味期限の長いロングライフ牛乳（NR）が存在する。**表 1** に、それぞれの違いを示す。NR は、RF よりも無菌性の高い殺菌環境と保護機能の高い容器包装を使用し、賞味期限が長い。長い賞味期限は、消費期間を延ばすため食品ロスの削減に資する。また、内容量の削減により、消費者の消費量を超えた商品の購入を防ぐことができる。RF・NF ともに内容量の小さい製品も流通している。

内容量が 1 L のチルド牛乳（RF1L）をベースケースとし、RF と NR それぞれで複数の内容量の製品を代替製品として設定した。**表 2** に、設定した製品と消費者の購入時の価格を示す。なお、ライフサイクルステージごとの費用は、表 2 の商品価格と、売上に対するコストの比率である売上営業利益率を用いて原価を算出し、推算した。この費用を製品ライフサイクルへの入出力として合算し、ライフサイクルコストを算出した。

表 1 紙パック牛乳の特徴

	チルド牛乳 (Refrigerated: RF)	ロングライフ牛乳 (Non-refrigerated: NR)
紙パック材料	紙・LDPE[a]	紙・LDPE[a]・Al 箔
殺菌温度	130 °C	150 °C
賞味期限	7-15 日	60-120 日

[a]LDPE: 低密度ポリエチレン

表 2 内容量と商品の価格

	チルド牛乳			ロングライフ牛乳	
シナリオ	RF1L	RF0.5L	RF0.2L	NR1L	NR0.2L
内容量 [L]	1	0.5	0.2	1	0.2
価格 [5] [円/本]	280	155	84	347[a]	104

[a]RF0.2L と NR0.2L の比と RF1L の値から推算。

3.2 評価結果

図 2 に、消費量を考慮した食品ロス・環境影響・ライフサイクルコストの評価結果を示す。なお、図中では食品ロス率を、0%を 5、100%を 1 として表し、他 2 指標は、最小値を 5、最大値を 1 として相対化することで、各指標は値が大きいほど良いことを表す。

図 2(a)と(b)を比較することで、製品の保護機能の効果がわかる。図 2(a)の消費段階の消費量が大きいときは、すべての製品で食品ロスが生じていない。このとき、RF1L の環境影響とライフサイクルコストが最も良い。しかし、図 2(b)の消費段階での消費量が小さいときは、RF1L のすべての指標が最も小さい。これは食品ロスの発生に起因する。内容量が小さい RF0.2L や賞味期限が長い NR1L では、製品あたりでは環境影響とライフサイクルコストが増加するが、その増加による食品ロスの削減効果も示されている。

ライフサイクルコストの大きさは、機能が果たす効果とともに考える必要がある。ライフサイクルコストは人件費などを含むために、値が大きいことは必ずしも悪いことではない。機能に基づき、費用対効果を分析することで、ライフサイクルに入力された費用の必要性を判断する機構が必要となる。

また、ライフサイクル中の各ステークホルダーにおける各指標のバランスも考慮する必要がある。図 2 は製品ライフサイクル全体の値のみに着目した評価結果である。この結果を活かしつつ、あるステークホルダーのみに負担や便益が集中しないようにすることで、持続可能な製品ライフサイクル構築が可能となる。

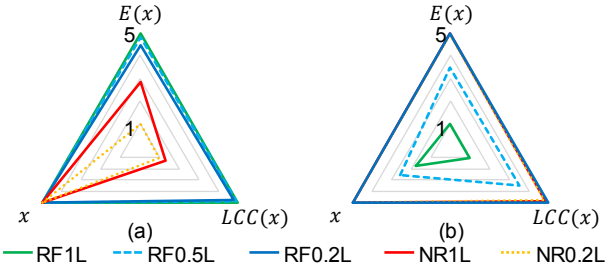


図 2 消費量を考慮した食品ロス・環境影響・ライフサイクルコストの評価結果
(a)消費量が大きい (b)消費量が小さい

4. 結言

機能を統合した環境影響評価やライフサイクルコストの評価の仕組みを構築し、ケーススタディによって評価が可能であることを示した。機能間のトレードオフやステークホルダー間のバランスを考慮していくことで、持続可能なライフサイクル構築に向けた意思決定支援を可能にする。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP17H01918、および（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（S-16）により実施された。

引用文献

1) Williams H., Wikström F.: J. Clean Prod., 19 (1), (2011), pp 43-48
2) Yokokawa N., Kikuchi-Uehara E., Sugiyama H., Hirao M.: J. Clean Prod., 174, (2018), pp 26-34
3) 横川直毅，杉山弘和，平尾雅彦: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会，つくば，(2017)，pp 208-209
4) Food and Agriculture Organization of the United Nations: “Global food losses and food waste”, (2011)
5) 雪印メグミルク株式会社: “牛乳・乳飲料”，雪印メグミルク株式会社，（オンライン），入手先 <http://www.meg-snow.com/products/list.php?c=milk>, （参照 2017-11-11）

A1-02,P2-111　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

容器包装を対象とする機能と環境影響を統合したライフサイクル設計手法

Lifecycle design methodology for packaging
integrating functions and environmental impacts

○増田祐太郎*[1)]、横川直毅[1)]、天沢逸里[1)]、杉山弘和[1)]、平尾雅彦[1)]
Yutaro Masuda, Naoki Yokokawa, Eri Amasawa, Hirokazu Sugiyama, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* y-masuda@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

容器包装は多様な機能を有する。例えば、家庭用洗濯液体洗剤の容器包装の機能には、消費者にとっての持運び機能や流通者にとっての積載適性などがある。しかし、図 1 に示すように機能間でトレードオフが生じる。そのため、容器包装の設計において、機能の発現が局所だけでなく製品ライフサイクル(PLC)全体に及ぼす様々な影響を考慮する必要がある。

本研究では、LCA の評価結果を容器包装の設計に活かすこと、機能が PLC 全体に及ぼす様々な影響を考慮できることを目的とした容器包装のライフサイクル設計手法の構築を行う。

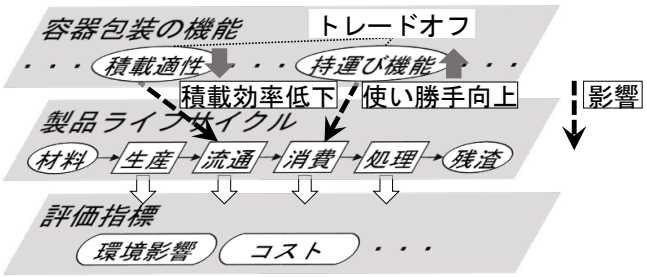


図 1　取っ手を付ける容器形状の設計変更により生じる機能間のトレードオフとその影響の例

2. ライフサイクル設計手法の概要

まず、LCA の評価結果から環境負荷削減が見込まれる機能の発現を目的とした設計変更案を生成する。その後、目的とする機能やその他の機能の発現が PLC に及ぼす影響の分析からシナリオ分析を行い、設計変更案の採否を決定する。

3. ケーススタディ

家庭用洗濯液体洗剤の容器包装を対象としてライフサイクル設計手法を構築した。

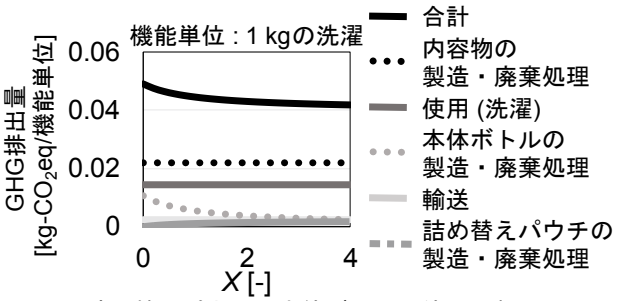
3.1 液体洗剤の LCA による容器設計変更案の生成

環境負荷削減が見込まれる機能を選定するために、LCA を行った。評価対象システムに使用段階の電力や上水を含み、衣類や洗濯機は含めない。機能単位は 1 kg の洗濯とし、影響領域は地球温暖化とした。3 kg の洗濯物を一回で洗濯するとし、液体洗剤に広く用いられている詰め替え容器を考慮するため、詰め替えパウチと本体ボトルのそれぞれの使用回数(N_i)の比(X)を、式(1)により設定した。

$$X = N_{\mathrm{pouch}}/N_{\mathrm{bottle}} \qquad (1)$$

図 2 に X をパラメタとした LCA の結果を示す。詰め替えパウチの利用が環境負荷を削減すること、および内容物である洗剤の製造・廃棄処理の GHG 排出量の割合が最も大きいことがわかった。この評価では、消費者が容器包装に記載されている適量の洗剤を使用することを仮定したが、消費者が過剰に使用した場合は使用段階以外の GHG 排出量が比例して大きくなる。

以上より、環境負荷削減あるいは増大を抑止するための設計変更案として、消費者の洗剤の適量使用を促す計量機能や、適量使用の消費者認知を促す情報提供機能の向上が挙げられる。容器包装の機能の他に、内容物の改良などの案が挙げられる。本研究では容器包装の機能の観点から、計量機能の向上に着目し、計量キャップから定量吐出が可能となるディスペンサーポンプに変更する設計変更案を生成した。



X：詰め替えパウチと本体ボトルの使用回数の比

図 2　X をパラメタとした液体洗剤の LCA の結果

3.2 製品ライフサイクルへの影響の分析

計量キャップをポンプに設計変更することで、容器包装を構成する“形状”や“素材”が変化し、目的とする“計量機能”の向上に加え、他の機能も影響が派生すると考えられる。また、変更された計量機能が洗剤の“使用”などのプロセスに影響を及ぼし、環境影響やコストが設計変更前後で変化することも考えられる。そこで、PLC に存在する様々な項目を抽出し、関係を列挙した。表 S1 に示すように、PLC に存在する項目を、製品変数、製品機能、プロセスの 3 カテゴリに分類した。影響は、製品変数→製品機能→プロセスへと波及する。容装の機能に関する既往研究[1)]などを基に項目を抽出した後、マトリクス図法を用い、計量キャップの項目を基準としてポンプへと変更した際に

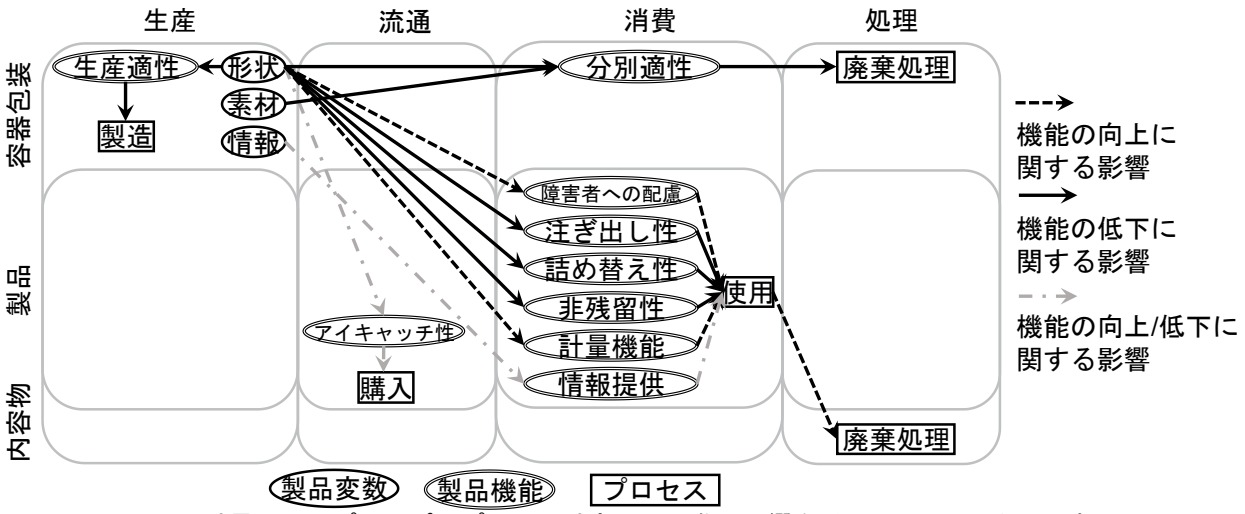


図３　計量キャップからポンプへと設計変更した際に影響を受ける項目の関係の可視化

影響を受ける項目の関係を列挙した。図 S1 にマトリクス図を用いた分析の概要を示す。

3.3 製品ライフサイクルへの影響の分析結果

列挙した関係を既往研究 [2]を参考に図 3 に示すように可視化した。計量機能の発現のために計量キャップをポンプに変更することで、形状や素材といった製品変数が変化し、目的とする計量機能が向上して使用段階で洗剤の定量吐出が可能になる。一方、形状が複雑になることで生産適性が低下する。ポンプ内部に金属素材を含むことから分別適性が低下する。

このように、目的とする機能の変化だけではなく、PLC 全体に及ぼす様々な影響を機能間のトレードオフを含めて把握することが可能となった。

3.4 機能の発現を考慮したシナリオ分析による設計

3.3 で得られた結果を利用することで、設計変更前後での機能の発現を考慮したシナリオ分析が可能となる。表 1 に示すシナリオを設定し、LCA を行った。過剰シナリオ(A',B')の洗剤使用量は、計量キャップでは適正使用量以上の整数杯数分、ポンプでは 1 プッシュ(10 g)過剰とした。機能単位、影響領域、洗濯条件は 3.1 と同様とし、X=0 とした。図 4 にシナリオ分析の結果を示す。洗剤を過剰に使用しないシナリオ(A,B)では、ポンプのリサイクル効率が低いことと、ポンプ吐出量の固定により適量の洗剤が使用できないことからポンプの環境負荷がキャップより大きいとわかった。一方で、過剰シナリオ(A',B')では、ポンプのリサイクル効率の低さを考慮してもポンプの環境負荷が小さくなる可能性があるとわかった。例えば、設計者がこの結果を受けて消費者行動分析を行い、消費者が洗剤を過剰使用する条件下にあれば、ポンプの設計案が採用される。

このように、機能の発現による PLC 全体への影響を考慮した体系的なシナリオ分析を行うことで、設計者が設計変更案を評価でき、容器包装のライフサイクル設計が可能となる。

表１　設定したシナリオ

シナリオ	容器包装	リサイクル効率 [-]	洗剤の使用量 [g]
A	キャップ	0.6	38（適量）
B	ポンプ	0.4	40
A'	キャップ	0.6	58（過剰）
B'	ポンプ	0.4	50（過剰）

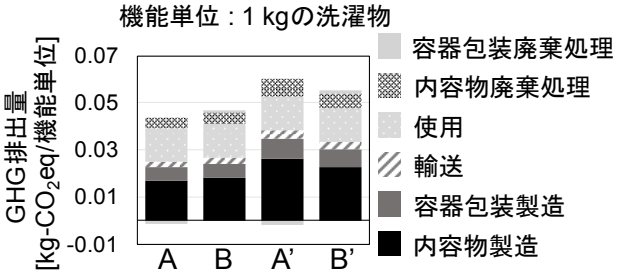


図４　シナリオ分析の結果

4. 結言

本設計手法により、特定の機能向上を目的とした設計変更が PLC 全体に及ぼす影響の把握が可能となった。これにより、設計変更案に対する機能間トレードオフを考慮した体系的な評価を行い、容器包装のライフサイクル設計が可能となった。今後は、現状の設計を分析し、機能の発現やシナリオ分析の評価結果を設計者の意思決定へと繋げることで、目標とする環境性能を実現するための容器包装のライフサイクル設計が期待できる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP17H01918、および（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（S-16）により実施された。

引用文献

1) LCA 日本フォーラム: “平成 26・27 年度 「容器包装の環境効率研究会」報告書”, (2016)
2) 横川直毅, 杉山弘和, 平尾雅彦: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会, つくば, (2017), pp. 208-209

Supporting Information

表 S1 に、分類した製品ライフサイクルに存在する 3 カテゴリとその内容や例を示す。

表 S1　分類した製品ライフサイクルに存在する 3 カテゴリとその内容や例

カテゴリ	内容	例
製品変数	設計者が変更できる製品の指標	形状、素材など
製品機能	製品の持つ機能	計量機能、生産適性、分別適性など
プロセス	個々の工程	製造、使用、廃棄処理など

図 S1 に、マトリクス図を用いた製品ライフサイクルへの影響の分析の概要を示す。このマトリクス図は、3 カテゴリの項目を全て行と列に並べた正方行列であり、項目間の影響関係で列が影響元、行が影響先となる。この分析により、機能の発現による製品ライフサイクル全体への影響の分析が可能となった。

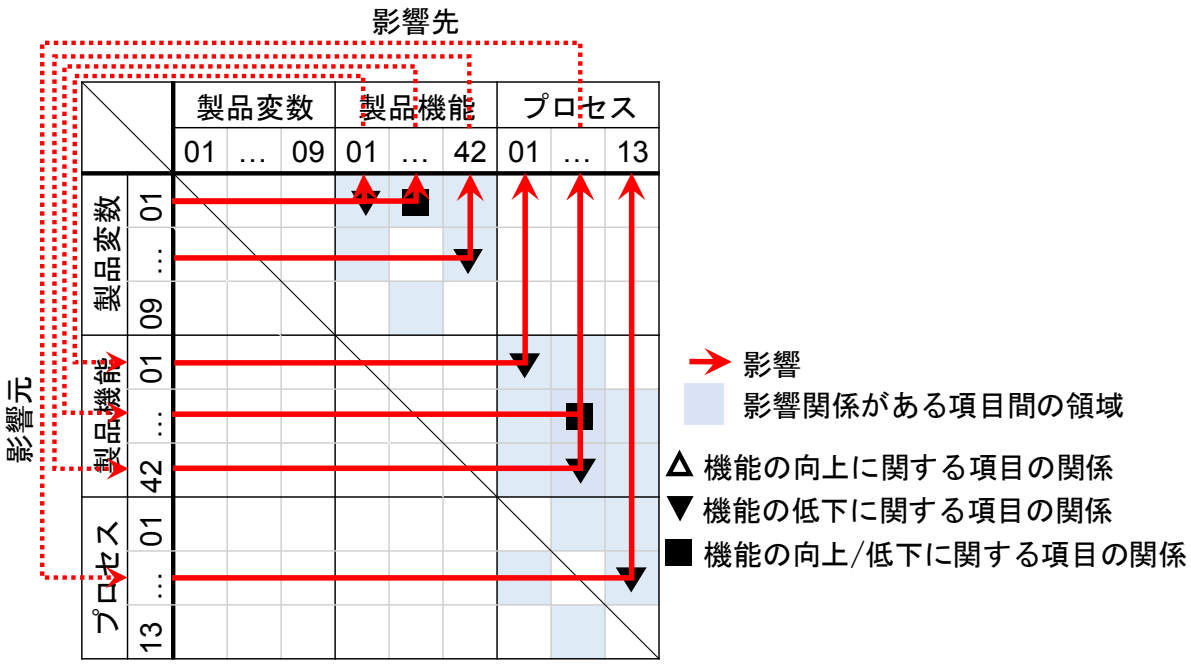


図 S1　マトリクス図を用いた製品ライフサイクルへの影響の分析の概要

A1-03,P2-077　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

容器包装と産業への蓄積に着目した MFA による プラスチック廃棄物の発生量推計

Estimation of Quantity of Plastic Wastes by Material Flow Analysis focusing on Containers and Packaging and Accumulation in Industrial Sectors

○丸山多聞*[1)]、中谷隼 [1)]、森口祐一 [1)]
Tamon Maruyama, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
* maruyama@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

プラスチックのリサイクルに関して、素材としての製品横断的なリサイクルが検討されている [1)]。

プラスチックの特徴として容器包装の割合が高いことが挙げられる一方で、リサイクル法の下での回収率は半分にも満たず、多くの容器包装がどこで廃棄されているか明らかになっていない。

本稿では、日本国内で使用される特定の素材を含む全ての製品を対象として、製品の排出部門、加工形態、排出量を分析する手法を開発し、プラスチック素材に適用した。具体的には、製品別および樹脂別のマテリアルフローについて、容器包装部門が特定できるようにプラスチック製品部門を分割した産業連関表 [2)]を用いて分析することで製品の排出部門と加工形態を推定し、製品別の寿命関数と組み合わせることで製品の排出量と排出時期を推定した。

産業連関表を利用したマテリアルフロー分析の既往研究としては WIO-MFA[3)]があり、中村ら [4)]は廃棄物産業連関表を用いた分析手法の開発と金属への応用、中島ら [5)]は PVC への応用を行っている。しかし、容器包装の部門（内生部門及び最終需要部門を含む）ごとの排出量を推定し、さらに内生部門へのプラスチック（固定資本形成にはならないようなプラスチック製品）の蓄積に直目して分析するためにはそのための手法の開発が必要である。。

2. 分析手法

2.1 マテリアルフローの分析

産業連関表の樹脂部門とプラスチック製品部門を 7 桁コードの精度で分割した。さらに、プラスチック製品部門を容器包装用途となる製品とそれ以外の製品に分割した。分割した産業連関表を用いて樹脂p→プラスチック加工品i→最終製品j→最終需要先kの樹脂のフローおよび樹脂p→容器包装c→容器包装の投入先l→容器包装の排出先mのフローを分析した。

この時、最終製品は最終需要先へ直接投入される部門、それ以外で樹脂が直接投入される部門をプラスチック加工品と定義した。樹脂から最終製品や最終需要先への直接投入（$p \rightarrow j \rightarrow k$や$p \rightarrow k$）も考慮した。

各段階での製品（ロスを含む）となる樹脂の物量$Q_{p,i,j,k}$、$Q_{p,j,k}$、$Q_{p,k}$は以下の(1)~(3)式から求まる。

$$Q_{p,i,j,k} = p_{p,i} \times \left(\left(I - \Phi \odot A_{i,j} \right)^{-1} - I \right) \times f_{j,k} \quad (1)$$

$$Q_{p,j,k} = p_{p,j} \times f_{j,k} \quad (2)$$

$$Q_{p,k} = f_{p,k} \quad (3)$$

（$f_{j,k}$：kに投入されるjの金額、$A_{i,j}$：投入係数行列、$p_{p,i}$：iに直接投入されるpの物量、Φ：物質フローフィルタ行列（物的な投入がある場合に 1、ない場合に 0）、$f_{p,k}$：kに投入される樹脂の物量）

樹脂加工ロス量は$Q_{p,i,j,k}$および$Q_{p,j,k}$に（1-樹脂の歩留まり）を乗じることで求められる。

製品加工ロス量は、樹脂加工ロスを除いた$Q_{p,i,j,k}$に（1-製品の歩留まり）を乗じることで求められる。

容器包装となる樹脂量は、(4)(5)式により求まる。

$$Q_{p,c,l,k}\ （最終需要先）\ = C_{p,c} \times a_{c,l} \times f_{l,k} \quad (4)$$

$$Q_{p,c,l}\ （内生部門）\ = C_{p,c} \times a_{c,l} \times X_l \quad (5)$$

（$C_{p,c}$：cに究極的に投入される単位金額あたりの樹脂の量、$a_{c,l}$：投入係数、X_l：部門lの国内生産額）

容器包装は投入先の部門の製品とともに次の産業に投入されたあと廃棄されるので、廃棄される部門mを推定するためには、容器包装が投入された部門lの投入先を調べる必要がある。

よって、$B_{l,m}$を製品の投入先の割合を表す移行行列とおくと、移行行列$B_{l,m}$はlからmへの投入額を部門lの国内生産額で除することにより求められる。ただしこのとき、lからlへの自己投入を除いた。

容器包装が廃棄される部門と廃棄量を求めるためには$Q_{p,c,l}$（内生部門）に移行行列$B_{l,m}$を乗じたものと$Q_{p,c,l,k}$（最終需要先）を合計する。

2.2 寿命関数の推定

製品の寿命関数の推定ではワイブル分布関数が用いられることが多く（田崎ら [6)]や小口ら [7)]）、本稿でもワイブル分布関数を用いて推定を行った。

さらに、推定した製品を 13 の製品分野にわけ、そ

れぞれについて 3 つの寿命区分を設定した（短寿命、中寿命、長寿命）。同じ製品分野および寿命区分の製品のワイブル分布関数に対し、製品に投入される樹脂量で加重平均をとり 1 本のワイブル分布関数を作成した。平均寿命や標準偏差の設定方法、ワイブル分布関数の合成方法などの詳細は Maruyama et al.[8]を参照されたい。

3. 分析結果

3.1 プラスチックのマテリアルフロー

2.1 で述べた分析方法によって、プラスチックのマテリアルフロー図を作成した。箱の大きさ、線の太さが樹脂投入量の多さを示している。

図 1 は左側から$p \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow k$となり、加工ロス、産業への蓄積、容器包装が含まれている。容器包装部門cプラスチック加工品iとまとめて記述した。また、i段階で樹脂加工ロス、j段階で製品加工ロスと内生部門で使用された容器包装が排出される。さらに、内生部門での製品の蓄積はj段階において樹脂の投入量と産出量が異なることにより表現される。

図 2 では容器包装に関するフローをのみを取り出した図を示した。図の左側から$p \rightarrow c \rightarrow$l$\rightarrow$mとなる。

低密度ポリエチレンのフローに色をつけた。

図 1　プラスチックのマテリアルフロー

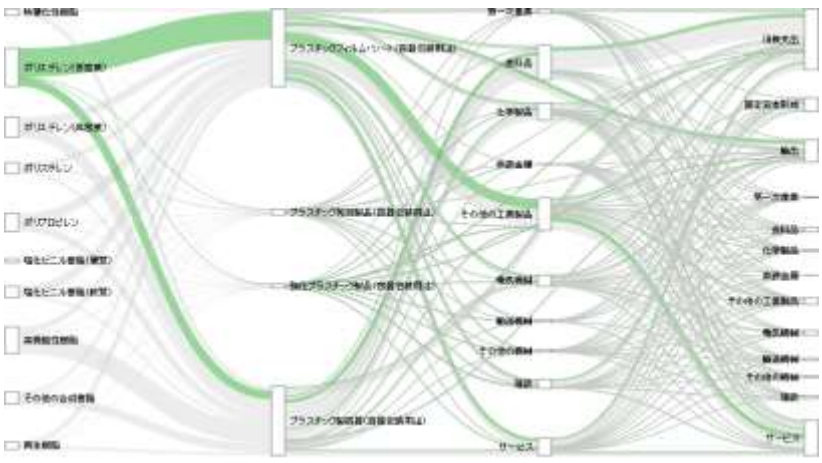


図 2　容器包装のマテリアルフロー

図 3 では図 1 の内訳を、樹脂の最終的な排出先または投入先を横軸、樹脂の投入量を縦軸、樹脂の投入元の部門を凡例として表した。

3.2 樹脂排出量の推定結果

製品への樹脂投入量に製品が属する製品分野と寿命区分から推定されたワイブル分布関数を乗じることで樹脂の排出量と排出時期を推定した。

図 4 は樹脂が生産されてからの年数と排出量を示している。下のグラフは上のグラフの 2 年目以降の部分を取り出したものである。

4. おわりに

本稿では、産業連関表のプラスチック製品部門の分割を容器包装部門について詳細に行い、プラスチックを含むあらゆる製品についてマテリアルフローを分析した。特に容器包装について、直接の投入先ではなくその次の段階で廃棄されるという特徴を考慮した推定を行った。さらに、各最終製品について寿命関数をワイブル分布により推定し、マテリアルフローと組み合わせることにより、2000 年に出荷された樹脂の排出量と排出時期を推定した。

引用文献は SI に示した。

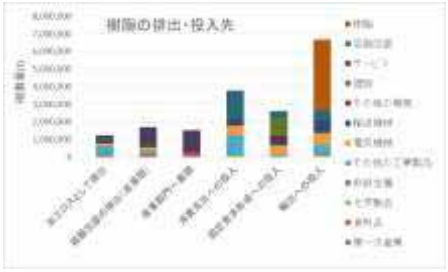


図 3　樹脂の排出・投入先

図 4　樹脂の排出量と時期

SI1. 引用文献

1) 環境省：”素材別リサイクル戦略マップ策定に向けた調査・検討の中間報告について”, 環境省 HP, http://www.env.go.jp/press/102551.html（参照 2018-1-11）

2) 総務省統計局：“平成 12 年度産業連関表”, (2000), http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/（参照 2018-1-11）

3) Nakamura S., Nakajima K., Kondo Y., Nagasaka T.: *Journal of Industrial Ecology*, 11(4), (2007), pp 50-63

4) 中村愼一郎, 中島謙一, *日本金属学会誌*, 70(6), (2006), pp505-510

5) 中島謙一, 中村愼一郎, 松八重（横山）一代, 近藤康之, 長坂徹也, *廃棄物資源循環学会誌*, 20(5), (2009), pp206-211

6) 田崎智宏, 小口正弘, 亀屋隆志, 浦野紘平, *廃棄物学会論文誌*, 12(2), (2001), pp49-58

7) 小口正弘, 亀屋隆志, 田崎智宏, 玉井伸明, 谷川昇, *廃棄物学会論文誌*, 17(1), (2006), pp50-60

8) Maruyama T., Nakatani J., Moriguchi Y.: “Ecodesign 2017”, Taiwan, (2017)

A1-04,P2-051　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

容器包装における環境効率算定手法の実用化

Practical Application of Eco-Efficiency Analysis for Containers and Packaging

○家木敏秀*1)
Toshihide Ieki
1) 東洋製罐株式会社
* toshihide_ieki@toyo-seikan.co.jp

1. はじめに

近年の消費者のライフスタイルの変化により、容器包装は保存期間の延長やユニバーサルデザインの導入など、様々な機能が付加されている。一方、容器包装は使用後に不要となることから、軽量化などによる原材料調達から廃棄・リサイクル段階までのライフサイクル全体での環境影響の低減も不可欠である。しかし、保存期間の延長を目的としたバリア性の高い機能性材料の使用など、容器包装としての機能を向上させることで、原材料調達や製造段階での環境影響が高くなることもあり、容器包装の開発にあたっては、環境影響とそれ以外の要素とのバランスが重要となる。そこで、環境影響以外に容器包装に要求される機能を「機能的価値」と定義し、環境影響を分母、機能的価値を分子とした環境効率を確立することを目指し、LCA 日本フォーラムにおいて「容器包装の環境効率研究会」を立ち上げた。(参加メンバーは Supporting Information に示す)

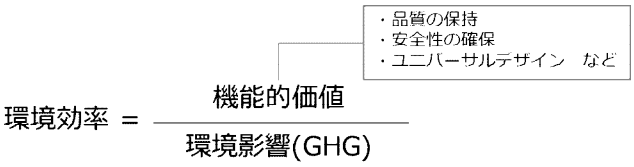


図 1. 環境効率算定式

分子となる機能に関しては、ライフサイクルステージ毎に想定される機能を抽出し、機能評価表を作成した。機能評価表に基づき、容器包装の開発者や販売者などの評価者が、各項目の機能を有しているかどうかを絶対的に判断する絶対評価と、評価対象の製品間で各項目の優劣を相対的に比較する相対評価の両方を行うことに決めた。また、環境効率の分母となる環境影響は、温室効果ガスに限定することとした。以上の環境効率算定手法の仕組み、及びそれを用いた事例分析を第 11 回日本 LCA 学会研究発表会にて報告した [1]。

今回の発表では、前回の報告から機能の項目を見直し、評価の利便性をさらに向上させたこと、及び環境効率の算定手法をツールにより簡易化したことについて報告する。

2. 算定手法の利便性向上と簡易化

2.1 「当たり前項目」の追加

作成した機能評価表を基にケーススタディをおこない課題の抽出をおこなった。その結果、機能の項目数が多く、機能評価に時間がかかるという課題が挙がった。機能評価をおこなう際は、対象とする容器包装が各項目の機能を有しているかどうか、絶対評価と相対評価で 51 項目の機能を判断する必要があり、時間を要する。

そこで、機能評価表に「当たり前項目」という欄を新たに追加した。機能評価表には、対象とする容器包装では明らかに該当しない機能項目、及び有することが当然の機能項目などがある。対象とする容器包装に明らかに該当しない機能項目は、当たり前項目欄に［－］を記入し評価をおこなわない。一方、当たり前項目に［－］が付いていない項目については、評価対象とする容器包装にとって、有することが当然の機能項目(当たり前項目)には［○］を記入し、全ての評価対象製品について絶対評価を［○］にする。さらに製品間で機能の優劣を比較して、それらに差がある場合は、より優れている製品の相対評価欄に［○］を記入する。当たり前項目に［－］も［○］も付いていない項目については、対象製品ごとに機能を有しているかを判断して、各製品の絶対評価や相対評価をおこなうことにした。当たり前項目を追加することにより、全ての機能項目の評価をする必要がなくなり、評価にかかる時間が短縮した。

2.2 製品ベースとシナリオベースのライフサイクルフロー図、及び機能評価表の作成

現在、市場には中身を直接包装する一次包装のみの形態で販売や使用されている容器包装、さらに一次包装を二次包装で包装する多重包装形態など、様々な形態の容器包装が流通している。例えば中身を直接包装するレトルトパウチ、さらにそのレトルトパウチを包装する外箱が存在する場合、機能評価がレトルトパウチに対する評価か、外箱に対する評価か、またはその両方か、評価対象とする容器包装が明確化されていなかった。よって、評価者による評価結果のばらつきが生じた。

そこで、新たに「一次包装用」、「二次包装用」、さらに「輸送包装用」と多重包装に対応した製品ベースのライフサイクルフロー図、及び機能評価表を作成した。これにより、一次包装や二次包装などに限った機能評価をする場合、評価対象とする容器包装が明確化され、評価者による評価結果のばらつきも減少した。

さらにシナリオベースのライフサイクルフロー図(図 S1)、及び機能評価表(表 S1)も作成した。シナリオベースは評価者が目的に応じてシナリオを作成し、ライフサイクルフロー図の評価範囲や評価する機能項目を選択するため、一次包装や二次包装などが混在する場合など、様々な形態での機能評価が可能となった。

2.3 機能的価値の重み付け

機能的価値の数値化については、有している、または優れていると判断された機能を各 1 点とし、その合計点を機能的評価の点数としたが、機能によっては、求められる重要度が異なることも考えられ、機能的価値の重み付けについても検討する必要がある。

今回は、機能的価値の項目間では重み付けを行わないこととした。一方、絶対評価(機能を有しているか)と比べて相対評価(製品間の機能の優劣)を重視しない場合、任意で絶対評価に 1、相対評価に 1 以下の正数で重みを与えることとした。

2.4 ツールの開発

当たり前項目の追加、一次包装や二次包装など、容器包装の形態にあわせた評価を用い、機能評価に関する精度が向上した反面、評価方法は複雑化した。評価ルールをまとめた評価フロー(図 2)を作成し、評価フロー内にチェックポイントを明記した。

しかし、評価者が評価方法を間違えて算定する場合も少なくないため、全ての評価者が正しく算定できるように、Excel ファイルのマクロを活用したツールを作成した。ツール化により、誤った手法での算定を防止し、環境効率算定手法の利便性を向上することができた。

3. まとめ、及び課題

本研究では、容器包装における環境効率算定手法の実用化を目的に様々な検討をおこなった。

まず、機能評価表の項目は、評価者が判断しやすい内容や言葉に修正し、新たに当たり前項目を追加した。ただし、容器包装の環境効率算定手法はあらゆる用途の容器包装を対象としているが、現段階では機能項目の内容が食品用容器包装を前提として開発したために、他用途の容器包装への適用については、さらに検討する必要がある。

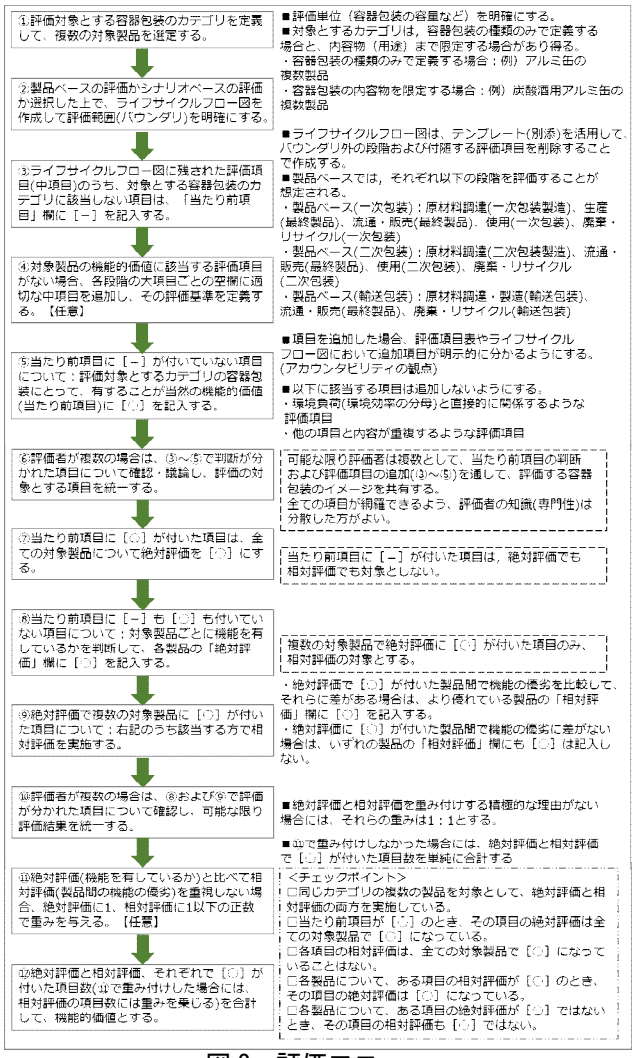


図 2.　評価フロー

また、一次包装だけでなく、二次包装や輸送包装のような多重包装に対して、各容器包装に対応したライフサイクルフロー図、及び機能評価表を作成し、様々な形態での機能評価が可能となった。

機能的価値の重み付けに関しては、求められる重要度が異なり、1 以上の係数で重みを与えることも考えられる。使用者に機能価値の重み付けに関するアンケートをおこなうなど、今後検討する必要がある。

以上のように、LCA 日本フォーラム「容器包装の環境効率研究会」にて、環境効率算定手法を検討し、機能評価の精度を向上できた。さらに、算定手法をツール化し、実用性も向上できたと考えている。今後、本手法を幅広い方々が利用し、率直な意見や感想を頂けたら幸甚である。

謝辞

本研究は、LCA 日本フォーラム「容器包装の環境効率研究会」で検討した内容である。

参考文献

1) 吉村 祐美：第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 A3-06, A3-07（2016）

Supporting Information

LCA 日本フォーラム「容器包装の環境効率研究会」のメンバーを以下に示す。

	氏名	所属
委員長	平尾　雅彦	東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻教授
副委員長	中谷　隼	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻講師
	小松　郁夫	東洋製罐グループホールディングス株式会社
	家木　敏秀	東洋製罐株式会社
	柴田　あゆみ	大日本印刷株式会社
	中川　善博	凸版印刷株式会社
	三木　直樹	凸版印刷株式会社
	馬屋原　慧准	株式会社エフピコ
	山下　毅	レンゴー株式会社
	門奈　哲也	サッポロビール株式会社
	遠藤　明子	三笠産業株式会社
	深谷　将世	三井化学株式会社
	田崎　智宏	国立研究開発法人国立環境研究所
オブザーバー	和泉　昭宏	一般社団法人プラスチック循環利用協会
	横川　直毅	東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻大学院生
	増田　祐太郎	東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻大学院生

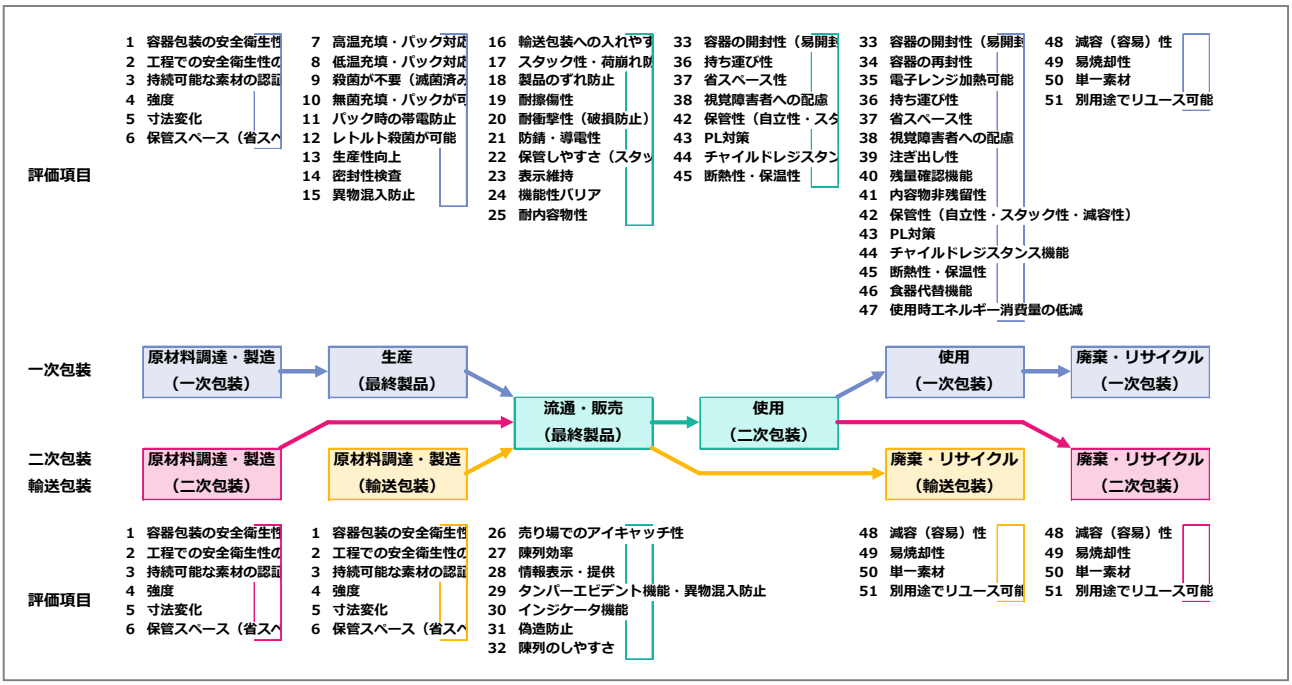


図 S1.　ライフサイクルフロー図（シナリオベース）

表 S1. 機能評価表（シナリオベース）

段階	大項目	中項目	評価基準	当たり前項目	絶対評価		相対評価	
					製品 A	製品 B	製品 A	製品 B
原材料調達・製造（一次包装）	素材	容器包装の安全衛生性の保証	容器包装と内容物との接触層に，厚生省告示370号，FDA，ユニオンリスト収載物質，業					
		工程での安全衛生性の保証	容器包装と接触する可能性のある副資材（潤滑油，グリス，梱包材など）に，日本の食品					
		持続可能な素材の認証を取得した	持続可能なように管理された素材であることを認める第三者認証（紙や木材のFSC-FM・					
	物流	強度	外部衝撃による割れや変形が発生しにくい（段形成，コーティング，リブ加工など）。					
		寸法変化	保管時の環境条件（温度・湿度）による寸法変化が発生しにくい。					
		保管スペース（省スペース）	中身充填までの容器包装の容積が，充填後の中身容積に比べ小さい，または，包材保管ス					
生産（最終製品）	充填・パック	高温充填・パック対応	80℃以上の高温充填・パックが可能である。					
		低温充填・パック対応	10℃以下の低温・冷凍充填・パックが可能である。					
		殺菌が不要（滅菌済み）	充填・パック時の殺菌が不要になるよう，容器が滅菌されている。					
		無菌充填・パックが可能	無菌充填・パックが可能である。					
		パック時の帯電防止	粉体などが充填・パックしやすいように，容器包装に帯電防止の処理が施されている。					
		レトルト殺菌が可能	レトルト時の熱，圧力による変形がなく，殺菌・調理が同時に可能である。					
		生産性向上	充填速度の上昇や中身のロス減少など，他の項目にはない要素によって生産性が向上す					
		密封性検査	密封性（密封状態，ピンホールなど）の検査が可能である。					
		異物混入防止	異物混入の検査（金属探知やカメラなど）が可能である。					
原材料調達・製造（二次包装）	素材	容器包装の安全衛生性の保証	容器包装と内容物との接触層に，厚生省告示370号，FDA，ユニオンリスト収載物質，業					
		工程での安全衛生性の保証	容器包装と接触する可能性のある副資材（潤滑油，グリス，梱包材など）に，日本の食品					
		持続可能な素材の認証を取得した	持続可能なように管理された素材であることを認める第三者認証（紙や木材のFSC-FM・					
	物流	強度	外部衝撃による割れや変形が発生しにくい（段形成，コーティング，リブ加工など）。					
		寸法変化	保管時の環境条件（温度・湿度）による寸法変化が発生しにくい。					
		保管スペース（省スペース）	中身充填までの容器包装の容積が，充填後の中身容積に比べ小さい，または，包材保管ス					
原材料調達・製造（輸送包装）	素材	容器包装の安全衛生性の保証	内容物との接触層に，厚生省告示370号，FDA，ユニオンリスト収載物質，業界自主基準					
		工程での安全衛生性の保証	容器包装と接触する可能性のある副資材（潤滑油，グリス，梱包材など）に，日本の食品					
		持続可能な素材の認証を取得した	持続可能なように管理された素材であることを認める第三者認証（木材のFSC-CW認証，					
	物流	強度	外部衝撃による割れや変形が発生しにくい（段形成，コーティング，リブ加工など）。					
		寸法変化	保管時の環境条件（温度・湿度）による寸法変化が発生しにくい。					
		保管スペース（省スペース）	中身充填までの容器包装の容積が，充填後の中身容積に比べ小さい，または，包材保管ス					
流通・販売（最終製品）	梱包	輸送包装への入れやすさ	二次包装の設計（一次包装のまま輸送する場合は，一次包装の設計），または輸送包装の					
	輸送	スタック性・荷崩れ防止	輸送包装（一次包装または二次包装のまま輸送する場合は，一次包装または二次包装）					
		製品のずれ防止	運搬時に中身がずれない工夫（仕切りなど）が施されている。					
		耐擦傷性	充填後の製品同士や容器包装と製品の擦れなどによる傷が付きにくい（ガラスびん胴部の					
		耐衝撃性（破損防止）	運搬時に落下などによって破損・漏れがないよう，緩衝機能が付与されている。					
	保存	防錆・導電性	輸送包装（一次包装または二次包装のまま輸送する場合は，一次包装または二次包装）					
		保管しやすさ（スタック性）	充填後の製品が自立またはスタッキング可能で，そのままでも保管しやすい。					
		表示維持	印刷やラベルが剥がれない工夫が施されている。					
		機能性バリア	バリア素材を利用している（ガス，光，水分，臭気へのバリア性による食品保護など）。					
		耐内容物性	浸透性の強い特殊な内容物（溶剤，アルコールなど）に対して耐性がある。					
	意匠性	売り場でのアイキャッチ性	商品や売り場にあわせて容器包装の形状や柄を設計している（特殊形状，金・銀・パール					
		陳列効率	陳列効率が良い。					
		情報表示・提供	容器包装に関する情報提供が付与されている（容器包装の開け方，凍結禁止，耐熱温度の					
	安全性	タンパーエビデント機能・異物混	見た目で開封の有無が分かる，いたずら防止のためのオーバーキャップなど，タンパーエ					
		インジケータ機能	酸素や温度などのインジケータ機能（感温インキなど）が付与されている。					
		偽造防止	偽造防止技術が採用されている。					
	販売・購入	陳列のしやすさ	そのまま陳列できる工夫（そのまま陳列台やPOPになるなど）が施されており，作業性が					
使用（二次包装）	ユーザビリティ	容器の開封性（易開封性）	初期開封または再封後の開封がしやすい（キャップの開封トルク，プル強度，ヒンジバネ					
		持ち運び性	持ちやすさに配慮している（片手で持てる，幅が狭い，滑り止めや取っ手の付与など）。					
		省スペース性	容器内積率（二次包装）あたりの中身の一次包装の容積が高く，家庭などでの保管スペー					
		視覚障害者への配慮	触覚での製品識別や，開封部への触覚誘導がの機能（色弱者へのカラーUD配慮，切り欠き					
		保管性（自立性・スタック性・減	開封後も保管しやすい形状である。					
	安全性	PL対策	怪我をしないような工夫（丸い角，危険部位の表示）が施されている。					
		チャイルドレジスタンス機能	チャイルドレジスタンス機能が付与されている。					
	利便性	断熱性・保温性	保冷・保温の機能がある。					
使用（一次包装）	ユーザビリティ	容器の開封性（易開封性）	初期開封または再封後の開封がしやすい（キャップの開封トルク，プル強度，ヒンジバネ					
		容器の再封性	再封機能があり，密封できる。または，横に倒してもこぼれない。					
		電子レンジ加熱可能	食器に移し替える必要がなく，容器のまま電子レンジやオーブンでの加熱が可能な工夫					
		持ち運び性	持ちやすさに配慮している（片手で持てる，幅が狭い，滑り止めや取っ手の付与など）。					
		省スペース性	容器内容積（一次包装）あたりの中身容積が高く，家庭などでの保管スペースを節約でき					
		視覚障害者への配慮	触覚での製品識別や，開封部への触覚誘導がの機能（色弱者へのカラーUD配慮，切り欠き					
		注ぎ出し性	注ぎ出しやすい機能（液切れ性，液はね防止，計量キャップ，容器と一体の計量スプーン					
		残量確認機能	窓付き容器など，残量を確認する工夫が施されている。					
		内容物非残留性	本体やキャップの形状や素材に工夫がなされ，最後まで中身を取り出すことができる。					
		保管性（自立性・スタック性・減	開封後も保管しやすい形状である。					
	安全性	PL対策	怪我をしないような工夫（丸い角，危険部位の表示）が施されている。					
		チャイルドレジスタンス機能	チャイルドレジスタンス機能が付与されている。					
	利便性	断熱性・保温性	保冷・保温の機能がある。					
		食器代替機能	容器を食器として使用でき，移し替える必要がない。					
	エネルギー	使用時エネルギー消費量の低減	調理や使用時のエネルギー消費量の低減（湯煎から電子レンジへの変更など）が可能であ					
廃棄・リサイクル（一次包装）	廃棄性	減容（容易）性	使い終わった後，手で潰せる，手で畳めるような構造である。					
		易焼却性	容器包装の材料に不燃物（アルミ箔などの金属，ガラスなど）を使用していない。					
	リサイクル	単一素材	単一素材（添加剤を除いた100%）で，マテリアルリサイクルが可能である。ただし，プラ					
	リユース適	別用途でのリユース可能性	製品に別用途でリユース可能（紙器を葉書として再使用など）の記載がある。					
廃棄・リサイクル（二次包装）	廃棄性	減容（容易）性	使い終わった後，手で潰せる，手で畳めるような構造である。					
		易焼却性	容器包装の材料に不燃物（アルミ箔などの金属，ガラスなど）を使用していない。					
	リサイクル	単一素材	単一素材（添加剤を除いた100%）で，マテリアルリサイクルが可能である。ただし，プラ					
	リユース適	別用途でのリユース可能性	製品に別用途でリユース可能（紙器を葉書として再使用など）の記載がある。					
廃棄・リサイクル（輸送包装）	廃棄性	減容（容易）性	使い終わった後，手で潰せる，手で畳めるような構造である。					
		易焼却性	容器包装の材料に不燃物（アルミ箔などの金属，ガラスなど）を使用していない。					
	リサイクル	単一素材	単一素材（添加剤を除いた100%）で，マテリアルリサイクルが可能である。ただし，プラ					
	リユース適	別用途でのリユース可能性	製品に別用途でリユース可能（紙器を葉書として再使用など）の記載がある。					

B1-01

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

将来技術評価の意義と課題そして今後の展開

Significance, problem, and development of LCA of future technologies

○河尻耕太郎*[1)]

Kotaro Kawajiri

1) 産業技術総合研究所

* kotaro-kawajiri@aist.go.jp

1. はじめに

近年、LCA の普及とともに、様々な製品・技術の LCA 評価が実施されてきた。現在では、既存製品の環境負荷については、概ね評価が終了し、個々のケーススタディの結果は学会発表、論文、インターネット等で公開されるとともに、Ecoinvent、GABi、IDEA 等のデータベースにも収録されつつある。したがって、今後は、LCA の評価対象となる新規技術を新たに探索するため、よりアーリーステージの技術の評価へと探索の範囲を拡げる必要が生じつつある。論文等で報告された最新技術の中には、評価されていない技術も多く、それら革新的な将来技術を適正に評価できれば、その有用性や研究開発課題について定量的に示すことが可能となり、普及を後押しできるため、意義は大きい。

研究開発段階の技術を評価するにあたっては、大きな課題が存在する。第一に、研究開発段階では、小規模な設備を用いて開発されるため、装置の効率が著しく低い。そのため、研究開発段階のインベントリデータをそのまま用いて評価すると、既存技術の環境負荷の数百から数千倍、場合によっては 10^6 倍も大きく過大評価されてしまう可能性がある [1)]。第二に、研究開発段階では、溶媒等の再利用を行っていない。このため、特にプロセスの収率が低いケース、あるいはプロセスの工数が多いケースにおいて、溶媒等の環境負荷が過大に評価されてしまう。

以上のような課題に対して、過去の研究において、様々な対応を行ってきた。まず装置の効率については、プロセスごとにスケールの異なる装置情報を収集し、任意のスケールにおけるプロセスのエネルギー消費量を推計する手法を開発した [2)]。次に、溶媒や洗浄液、場合によっては水について、工業プロセスにおける再利用率を想定して、インベントリを作成した [3)]。

これらの手法はまだ研究開発段階にあり、まだ手法として確立されていない。そのため、残念ながら、アーリーステージの将来技術をそのまま評価し、既存技術の環境負荷と評価した論文が散見されているのが実情である。本研究の目的は、これら過去の事例から得られた知見、および現在の課題を共有し、今後の研究の方向性について議論をすることである。

2. スケール効果分析の必要性

本章では、スケール効果分析の必要性について考察する。図 1 に、スケールが増加した時の単位生産量あたりの投入量を示す。なお、こちらの図は、投入量 m が、定数 C、スケール S、スケールファクターa で示される下記の式で表された時の図であり、スケールによる投入量の関係を分かりやすく示すため、C=1 と設定し、a と S をそれぞれ 1~10^6、0.0~1.0 の範囲で変化させた。

$$m = cs^a \quad (1)$$

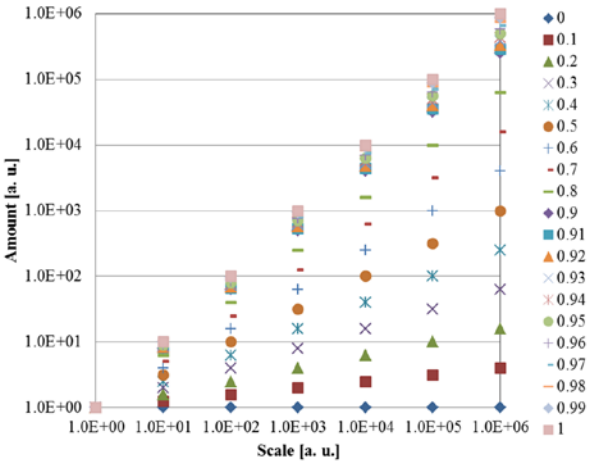


図 1. スケール効果

ラボスケールで、ml スケールで開発していた材料を、t スケールで生産することは、化学プロセスでは良くある事例であるが、その場合、スケールは 10^6 倍であり、図 1 の範囲で効果を推計できる。一般的に、製造装置のスケールファクターa は 0.5~0.7 程度の大きさであるが、スケールが 10^6 倍になると、スケール効果を考慮しない場合（a=1.0）と比較して、単位生産量あたりの投入量は、スケールファクターが 0.5 のときで約 1/1000、0.7 のときでも約 1/100 になる。

これまでの化学プロセスの評価事例では、特殊なプロセスを利用するケースを除いて、t スケールで生産した時のエネルギー由来の CO2 排出量は、製品単位生産量あたりの CO2 排出量全体の 10%以下であり、原料由来の CO2 排出量がその太宗を占めることが多い [2)]。

しかしながら、ml スケールで開発されているデータ

をそのまま評価すると、その環境負荷の 90%以上が、エネルギー由来となるケースが多い。また、通常、化学製品の CO2 排出量は、製品 1kg あたり数 kg 程度であることが一般的であるが、ラボスケールのデータをそのまま用いた場合の CO2 排出量は、一般的な化学物質を原料としているにも関わらず、数十、ときには数百 kg となることもある。したがって、将来大規模生産された暁には、既存技術を代替することで環境負荷を低減できるはずの将来技術であっても、研究開発段階のデータをそのまま用いて評価してしまうと、すでに商用化され、大規模生産されている既存技術と比較して、環境負荷が数十~百倍に過大評価されてしまう可能性がある。これは、図 1 のスケール効果の図からも、容易に推計できる。

過去の研究では、特定の産業分野のコストの減少傾向から、スケールファクターを導出し、その数値を用いて LCA 評価を行った研究が存在する。しかしながら、コストには、人件費や、人の熟練、さらには大量購入による材料価格の低下等、様々な影響が混在しており、その数値を用いて評価することは、個別プロセスの積み上げで評価する LCA には、適していないように思われる。また、特定産業全体の平均的なスケールファクターと、各個別製造装置のスケールファクターの数値には、乖離があることを確認しており、同じく個別プロセスの積み上げで評価する LCA には、適していないように思われる。

河尻ら（2014）[2]の研究では、各装置について、異なるスケールの装置情報を収集し、そのスケールと定格電力をプロットすることで、スケールと電力消費量が式（1）の指数関数で表現出来ることを明らかにし、導出された式を用いて、大規模設備を用いて生産された時の消費電力を推計した。本手法により、公開情報から、装置ごとに、任意のスケールで消費電力を推計することが可能であり、特定産業全体の平均的なコストスケールファクターを用いるよりも、プロセス積み上げ型の LCA には適しているように思われる。

しかしながら、定格電力と、実際の消費電力には乖離が存在する可能性がある。また、材料使用量についても、同様にスケール効果が存在する可能性がある [1]。さらには、スケールの違いによって、歩留まり等も変化する可能性がある。これらの効果については、まだ考慮できておらず、今後の課題である。

3. 溶媒等再利用検討の必要性

本章では、溶媒等の再利用の効果について考察する。一般的に、化学製品の事例では、溶媒や洗浄剤を大量に使用する。溶媒や洗浄剤は、最終製品の原料の数倍から数十倍の量を使用するため、再利用を考慮しない場合、原材料の環境負荷の大半が溶媒や洗浄剤で占められてしまう。特に、歩留まりが低い製品や、工程数が多い製品などでは、初期工程における原材料の投入量が大きくなるため、その影響が大きい。

一般的な大規模生産プロセスでは、溶媒や洗浄剤は再利用されるケースが多く、投入される溶媒や洗浄剤の量が大きくなるほど、その傾向は強くなる。しかしながら、実際にどの程度の割合が再利用されているかは、ケースバイケースであり、特許や論文等にも記載されておらず、仮定の数値を仮定して評価せざるを得ないのが実情である。河尻（2017）[3]では、溶媒の再利用率を 100%として仮定して評価を行ったが、実際の再利用率がより低い場合は、環境負荷が過小評価となっている可能性もある。

4. 結論

本研究では、研究開発段階の将来技術を評価するにあたって、スケール効果と溶媒等の再利用を考慮することの必要性について論じた。

過去において、装置情報を利用したスケール効果分析手法、溶媒等の再利用の想定により、研究開発段階の将来技術が、大規模生産された時の環境負荷を推計する手法を提案した。しかしながら、現状のスケール効果分析においては、材料のスケール効果、定格電力と実消費電力の乖離、歩留まり等を考慮できておらず、その点が今後の課題として残されている。

今後、前述の課題を解決し、将来技術評価の方法論を確立されることで、将来的には、論文や特許などの公開情報や、ラボスケールのデータから、研究開発段階の将来技術が大規模製造された時の環境負荷を推計することが可能となり、LCA 研究の学術的なフロンティアを拡げることが可能となることを期待したい。

5. 謝辞

本研究は、平成 26 年産業技術総合研究所領域イノベーション推進予算、つくば市の支援を受けて研究を行った。

6. 引用文献

1) 河田麻悠子, 河尻耕太郎, 田原聖隆, 宮本学, 上宮成之, 第 6 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, (2011), D1-02.
2) 河尻耕太郎, 後藤利彦, 今喜裕, 桜井俊介, 畠賢治, 田原聖隆, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, (2015), D3-02.
3) 河尻耕太郎, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, (2017), D3-04.

B1-02
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

新規炭素繊維製造技術に潜む環境リスクと健康リスクのジレンマ

Life cycle assessment of advanced carbon fiber production process

○坂本魁都*、河尻耕太郎、羽鳥浩章、田原聖隆
Kaito Sakamoto, Kotaro Kawajiri, Hiroaki Hatori, Kiyotaka Tahara
産業技術総合研究所
* kaito-sakamoto@aist.go.jp

1. はじめに

新規化学製品の環境負荷を評価することは、実用化前にその環境影響を知るとともに、将来的な製品設計の方向性を検討することが可能となる。つまり、製品やプロセスの環境負荷を定量的に評価するライフサイクルアセスメント（LCA）は、化学分野における新規技術創生のモチベーション向上に大きく貢献できる。

現在研究開発段階にある新規炭素繊維製造技術は、従来技術と比較して、環境負荷を大幅に削減すると見込まれているが、定量的に検証した研究は少ない。研究開発段階では、小規模な設備を用いて開発されているため効率が著しく低く、大規模に実用化されている従来技術と、既存の LCA では対等な比較ができない。

そこで本研究では、スケール効果を考慮して LCA を行うために、河尻が報告したスケール効果を用いた環境影響評価手法 [1]を用いる。これにより、公開されている装置情報から、任意のスケールにおける各プロセスの消費電力量を推計できる。

本研究の目的は、スケール効果を考慮した LCA により、新規炭素繊維製造技術の GHG 排出量を評価し、実用段階へ移行する際の課題を抽出することである。また、本プロセスにおいて、健康影響が懸念される材料を回避することによる GHG 排出量を評価し、健康影響と GHG 排出量のジレンマの構造について議論を行う。

2. 芳香族ポリマー前駆体利用の炭素繊維製造手法

2.1 従来技術との差異

炭素繊維は軽量かつ高強度という特性から、既存の金属材料等を代替することで、様々な産業分野での活用が検討されている。しかしその一方で、従来の炭素繊維製造技術では消費エネルギー量が大きく、生産性の向上が難しいといった課題がある [2]。

そこで本研究では、このような課題を解決しうる新規炭素繊維製造技術の評価を始めた。この新規技術は芳香族ポリマー前駆体を活用することによって、従来技術で必要であった工程を省略可能であり、生産性の大幅な向上を予測している。なお、本研究は一般的な炭素繊維製造手法である進藤方式（PAN 系炭素繊維製造手法）を従来技術として比較検討を行った。具体的な炭素繊維製造プロセスと新規技術で省略可能な工程を Figure 1 にまとめた。

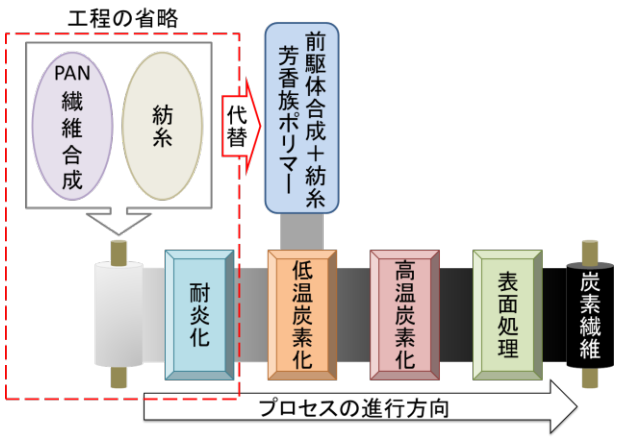


Figure 1　新規炭素繊維製造プロセスの概要

従来技術ではポリアクリロニトリル（PAN）を合成し、紡糸工程を施したのち、順次、耐炎化、炭素化、表面処理という工程を経ていく。ここで新規技術では耐炎化工程を省略可能とする。耐炎化工程は、他の工程と比較して長時間の運転が必要である。そのため大きな設備を必要とし、コストが高く、消費するエネルギー量も多い [3]。耐炎化工程の省略に加え、この新規技術は炭素化収率が高いという特性を持っており、焼却処理が必要な排気ガス発生の低減、炭素繊維の太径化および高速炭素化への適用が期待できる。

2.2 芳香族ポリマー前駆体の材料

芳香族ポリマー前駆体は、材料として芳香族カルボン酸と芳香族アミンを用いており、これらが縮合によってポリマー化した構造を有している。

今回の報告では芳香族アミンの製造に主眼を置いた。本研究で用いる芳香族アミンは 3，3’，－ジアミノベンジジン（DAB）と呼ばれる物質であり、今回の報告のように繊維材料として、また核酸やタンパク質の染料として利用される。

我々はこの DAB の製造に関して、「発がん性」という課題があることを見出した。芳香族アミンの中には特定芳香族アミンと呼ばれる、発がん性を持つ、あるいはその可能性が高いとされるグループが存在する。

したがって特定芳香族アミンは、規制によって製造や使用が制限されている。DAB 自体は特定芳香族アミンに分類されてはいないが、従来の製造プロセスにおいて、反応中間体に特定芳香族アミンの経由がある。したがって、日本及び多くの先進国では自国での DAB 製造が難しく、特定芳香族アミンを経由しない手法が望まれていた。そのため、カップリングによる手法が開発されており、我々はその技術評価を行った。

3. 分析手法

まず、特許や原著論文等を基にシステム境界を明らかにし、原料製造に伴う投入物質量や反応プロセス、生成物・副生成物の収量や収率などのインベントリデータを収集した。

次に、これら取得データは基本的にラボスケールで行われているため、実際の産業規模に近いラージスケールに当てはまるよう、スケール効果に基づくデータ変換の検討を行った。ここで本研究では、各プロセスのエネルギー消費量データを補完するため、Alibaba 等のサイトから装置情報を収集することで、所定スケールでの電力消費量を推計する式を導出した。

そして最終的に、それぞれの工程で発生する環境負荷としての CO_2 排出量を、産業技術総合研究所で開発中の LCA 用インベントリデータベース「IDEA v2」[4] によって算出した。

Figure 2 に DAB 製造のシステム境界を提示した。ベンジジンが特定芳香族アミンであり、ベンジジンを経由する手法とカップリングによる手法の出発物質及び反応中間体を記載した。

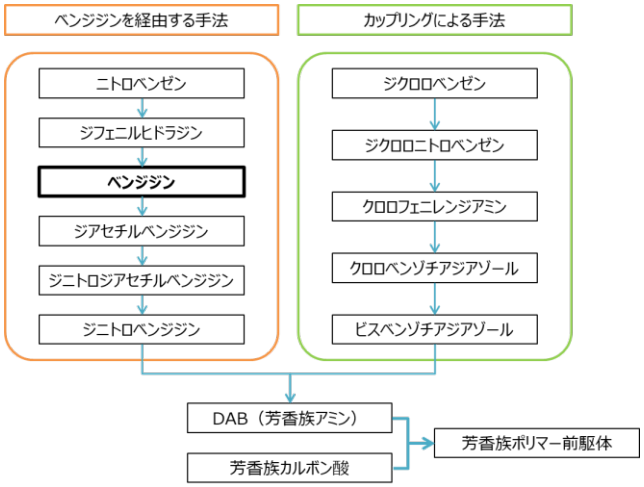


Figure 2　DAB 製造のシステム境界

4. 結果

Figure 3 にスケール毎の DAB 製造時の GHG 排出量を示した。スケールの大きさが 0.01 kg から 1000 kg まで変化したときの DAB 製造量 1 kg あたりの GHG 排出量である。この結果より、ベンジジンを経由する手法がカップリングによる手法と比較して、どのスケールにおいても GHG 排出量が少なくなることが示唆された。

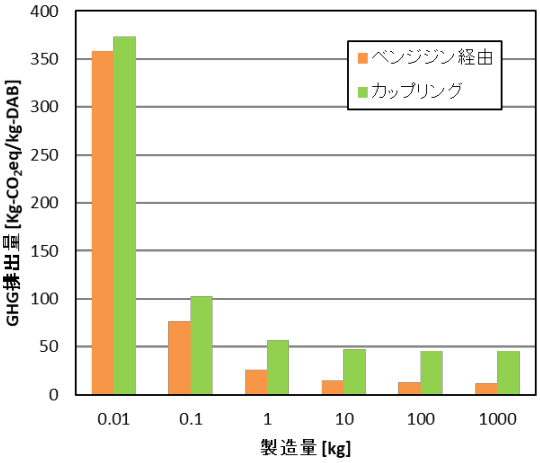


Figure 3　DAB 製造時の GHG 排出量

5. まとめ

・本研究では耐炎化工程を省略可能な新規炭素繊維製造技術の LCA を行った。

・芳香族ポリマー前駆体材料の DAB の製造プロセスにおいて、発がん物質であるベンジジンを経由する手法は、どのスケールにおいても GHG 排出量が少なくなる結果となった。

・規制によって一つの側面のリスク低減を求めるのではなく、複数のリスクを適切に把握し、妥協点を探ることが今後の持続可能な社会の要件になるだろう。

6. 謝辞

本研究は、平成 29 年度新構造材料技術研究組合（ISMA）「革新炭素繊維の環境負荷算出および車体用金属部材評価の枠組み検討」による支援を得て進められた。

引用文献

1) 河尻耕太郎, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2017) , pp 174-175

2) 経済産業省製造産業局繊維課, 革新炭素繊維基盤技術開発の概要について, (2015)

3) Harper, Energy Efficiency in the Carbon Fiber Conversion Process, (2012)

4) 田原聖隆, 村松良二, 松林芳輝, 紀平茂雄, 高田亜佐子, 藤井千陽, 横田真輝, 玄地裕, 第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2013), pp. 174-175.

B1-03,P2-117　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

新規ポリマーを導入した次世代自動車のライフサイクル環境影響評価

Environmental life cycle assessment of next-generation automobiles installing new polymers

○長谷川幹晃*[1)]、大田弥由紀 [1)]、天沢逸里 [1)]、杉山弘和 [1)]、平尾雅彦 [1)]
Mikiaki Hasegawa, Miyuki Ota, Eri Amasawa, Hirokazu Sugiyama, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* hasegawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

持続可能な社会の構築のためには、その構成員としての生産者が大きな役割を担っている。**図 1** に示すように、生産の中でも材料は中間・最終製品の根幹を成すものであり、材料自身が持つ環境影響だけでなく、最終製品に至る成形プロセスや中間・最終製品の機能に影響を及ぼす。新規材料の合成・生産が製品ライフサイクル全体のエネルギー負荷のホットスポットとなり得ることを明らかにした既往研究 [1)]があることから、新規材料の生産及び、ライフサイクルへの影響についても考慮していく必要がある。そのため材料開発は、材料が実装される最終製品の製造・使用・廃棄までのライフサイクル全体を考慮しながら行うことが望ましい。研究開発段階で、新規材料が持つライフサイクルを通した環境負荷削減あるいは増大ポテンシャルを定量的に評価することは、新規材料開発へのフィードバックや環境・社会の持続可能性という視点を含めた技術の橋渡しとなる。

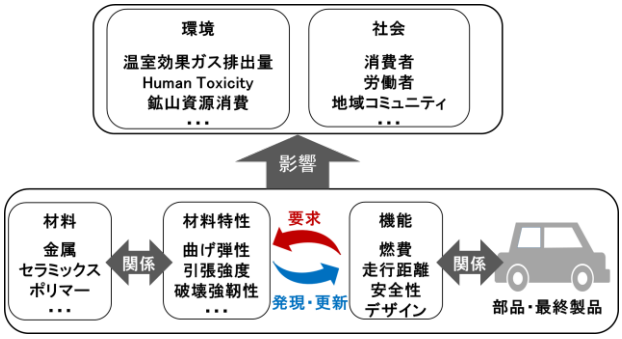


図 1 材料、機能、部品、最終製品が環境・社会に及ぼす影響図

本研究では、新規材料が製品機能に与える影響によって環境影響がどのように変化するかを明らかにすることを目的とする。

製品ライフサイクルが確立されていない新規材料に Life Cycle Assessment (LCA)を適用する場合、用いるデータやライフサイクル自体の不確実性という問題が存在する。具体的には、データが存在しないために適切性が判断できない既存類似材料のデータで代替してしまうことや、実験スケールのデータのみが存在し、量産スケールになった時のデータが不確実であるといった問題がある。材料が使用される最終製品やその製品の使用が不確定という問題もある。

今回は、新規ポリマーをケースとして、新規材料の評価におけるデータの不確実性の課題に取り組む。そして、新規材料の合成・生産から最終製品への実装・使用・廃棄に至るライフサイクル全体の影響を考慮した新規材料の環境影響評価を実施する。

2. 研究方針

図 2 に研究方針を示す。ケーススタディは、超薄膜化・強靭化によって幅広い製品展開が期待される新規ポリマーであるグラフトポリロタキサン(Graft Polyrotaxane：GPR)、及び GPR を実装予定のコンセプトカーを対象とする [2)]。GPR は現在、ラボスケールにおいてグラム単位の製造が行われている。材料(新規ポリマー)・最終製品(次世代自動車)のそれぞれについてインベントリデータを作成する。得られたインベントリデータを用いて新規ポリマーを導入した次世代自動車のライフサイクル環境影響評価を実施する。

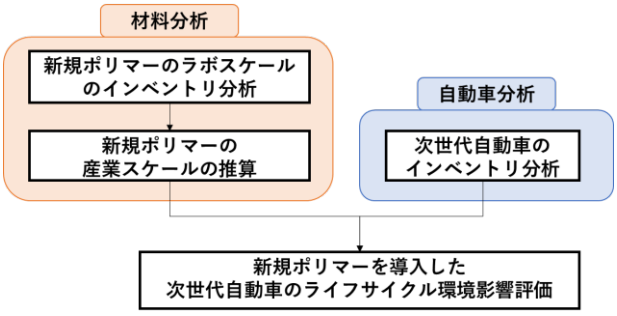


図 2 研究方針

3. ライフサイクル環境影響評価の概要

3.1 調査範囲の設定

調査範囲は GPR の合成・生産・自動車部品製造・自動車製造・使用・解体・リサイクル及び廃棄までとする。GPR の実装形態としては、自動車ボディが GPR を含んだ炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に置き換わった次世代自動車を仮定する。機能単位は人 1person を 1km 運搬する 1[person-km]とする。前提条件として、使用期間は 10 年間、生涯走行距離 10 万 km と設定した。

3.2 インベントリ分析

インベントリ分析に用いる既知物質や既知プロセス

のバックグラウンドデータには地域的範囲を国内とするために、IDEA Ver.2[3]を使用した。環境影響領域は地球温暖化を対象とし、温室効果ガス排出量を算定した。

4. 材料のインベントリ分析

4.1 新規ポリマーのインベントリデータ作成方法

新規ポリマーのラボスケール(現状スケール)における現状プロセスの把握を行うために、環境影響の要因を分析した。**図 3** に示すように、各反応・分離プロセスに対して投入される物質・エネルギー、廃棄される溶媒を把握した。物質収支は合成方法が記述された論文を参照した [4]。また投入エネルギーは、実験室の調査によってラボスケールで用いられる実験器具を把握し、記載された定格出力の半分を稼働時の出力と仮定して算出した。

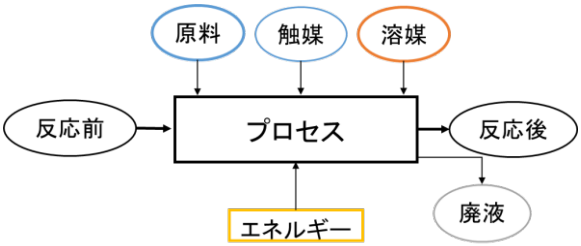


図 3 プロセスごとのインベントリ作成の例

4.2 材料評価結果

図 4 に材料製造段階となる GPR1.0g の合成段階の評価結果を示す。

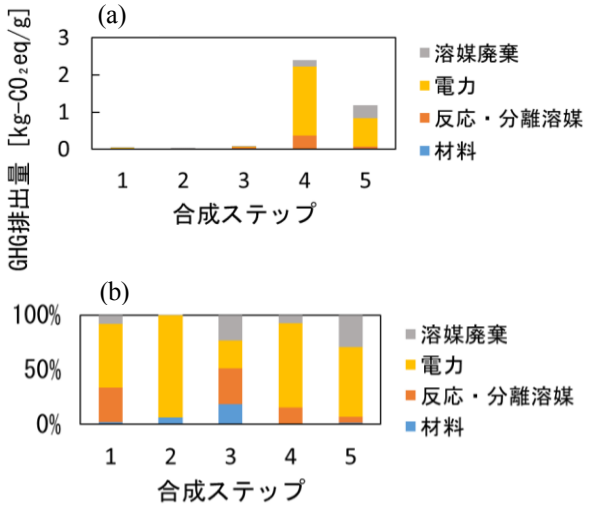


図 4 環境影響評価結果

(a)ホットスポット分析 (b)要因分析

本結果より、合成ステップ 4,5 の環境負荷が特に大きいことが分かった。この主要因としては、反応・分離溶媒の使用・分離に用いる電力・溶媒処理等が挙げられる。ラボスケールと産業スケールでは合成プロセスの変更が考えられるが、産業スケールのプロセスは不確定である。今回は、次世代自動車への実装を評価するにあたり、材料の生産スケールが最終製品の評価結果に及ぼす影響をスケールファクターとして考慮していく。

5. 自動車のインベントリ分析

5.1 自動車のインベントリデータ作成方法

次世代自動車のインベントリ作成にあたり、自動車の LCA に関する既往研究[5]を参考に一般的な電気自動車の製造プロセスを策定した。そして LCA ソフトウェアの MiLCA[6]を用いてインベントリ分析を実施した。既往研究では、LCA データベースとして Ecoinvent v2.2 が使われているが、本研究では IDEA Ver.2 を用いるため、Ecoinvent と IDEA のデータの照合を行う。

5.2 これまでの研究と展望

現在、既往研究を基に MiLCA を用いた自動車ボディのインベントリ構築を行っている。今後は新規ポリマーを導入したコンセプトカーの設計・製造データを協力企業に提供していただき、コンセプトカーのインベントリの構築及び分析を行う。

6. 結言

新規ポリマーを導入した次世代自動車のライフサイクル評価を行うため、不確実性を考慮した各ライフサイクルにおけるインベントリデータを作成した。詳細な結果は当日報告する予定である。

謝辞

本研究は、革新的研究開発推進プログラム ImPACT:“超薄膜化・強靭化「しなやかタフポリマー」の実現”により実施された。

参考文献

1) Anctil A., Babbitt C. W., Raffaelle R. P., Landi B. J.: Environ. Sci. Technol, 45 (6), (2011), pp.2353-2359
2) 革新的研究開発推進プログラム ImPACT: “超薄膜化・強靭化「しなやかタフポリマー」の実現”, < http://www.jst.go.jp/impact/program/01.html >, (参照 2017-12-5)
3) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会と LCA 研究グループ,: “LCI データベース IDEA Ver.2.1.3 (2017/04/01)”
4) Araki J., Zhao C., Ito K.: Macromolecules, 38 (17), (2005), pp.7524-7527
5) Hawkins T. R., Singh B., Majeau-Bettez G., Strømman A. H.: Journal of Industrial Ecology, 17 (1), 2013, pp.53-64
6) 産業環境管理協会,: “LCA システム MiLCA Ver.2", MiLCA ガイドブック

B1-04
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

有機 EL の新展開「イリジウムフリーで発光効率 100%」のライフサイクル評価

Life cycle assessment of new development in organic light emitting diode: 100 % luminous efficacy with Iridium-free molecules

○天沢逸里*[1)]、河尻耕太郎 [2)]
Eri Amasawa, Kotaro Kawajiri
1) 東京大学, 2) 産業技術総合研究所
* aamasawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、高輝度、高精細、低電力密度などの特徴を合わせ持つ次世代型ディスプレイや照明光源として、有機 EL が期待されている。量産プロセス化の難しさや耐久性の問題から市場展開は緩やかだったが、2017 年にアップル社が発売した iPhone X には有機 EL ディスプレイが搭載され [1)]、今後の市場拡大が見込まれる。

その有機 EL ディスプレイの競争力をさらに上げると期待されているのが発光効率 100%を希少金属原子を使わずに達成する、熱活性化遅延蛍光（Thermally Activated Delayed Fluorescence, TADF）を出す分子である。材料の発光メカニズムには蛍光と燐光の 2 種類あり、蛍光は発光効率 25%しか達成しえないため、発光効率の改善が望める燐光材料の導入が必要だとされてきた。現在市販されている有機 EL ディスプレイには蛍光材料と燐光材料の両方が採用されているが、強い燐光発光を有する材料は希少元素であるイリジウム（Ir）や白金を含有することや、材料の安定性に問題があった。このような中、2012 年に、有機化合物のみで構成され、発光効率がほぼ 100%に達する TADF 分子が開発された [2)]。類似特性を持つ新しい分子は 300 個以上見つかっており、高効率、低コスト、低消費電力を達成するとして期待がかかっている [3)]。

しかし TADF 分子は分子量の大きいファインケミカルであり、複雑な合成経路をたどる。化合物の分子量が大きければ大きいほど合成ステップは増える傾向にあり、生成に費やすエネルギーは大きくなる [4)]。発光効率の改善と、その分子の生成における環境負荷とのバランスを評価する必要がある。

本研究では、TADF 分子の環境負荷削減ポテンシャルを評価するため、TADF、Ir を含む燐光、蛍光、の 3 種類の発光材料を採用した有機 EL ディスプレイのライフサイクルアセスメント（LCA）を遂行し、比較評価した。有機 EL ディスプレイの LCA は一般的な蛍光材料の既往研究 [4)]にとどまり、燐光材料と TADF のインベントリデータは存在しない。さらに、TADF 分子は研究開発段階の素材であるが、環境負荷削減ポテンシャルは量産における影響を把握する必要がある。本稿では、研究開発段階の TADF 分子が市場に導入された際の環境負荷削減ポテンシャルの推算手法とその評価結果について報告する。

2. 目的および調査範囲の設定

本研究の目的は、3 種類の発光材料の環境影響を定量的に評価するため、それらの材料が使用された有機 EL ディスプレイを比較評価することである。製品に使用する材料の原料調達から、有機 EL ディスプレイが 10 年使用されるまでをシステム境界とする（**図 1**）。有機 EL ディスプレイはスイッチ機能を施すトランジスタと、その上で発光する有機 EL 層で成り立つ。本研究は有機 EL 層のみに着目する。機能単位は 52 x 65 インチのテレビ用有機 EL ディスプレイ 1 枚で、量産スケールで日本において製造された製品を想定する。環境影響評価指標には温室効果ガス排出量（GHG）を適用した。

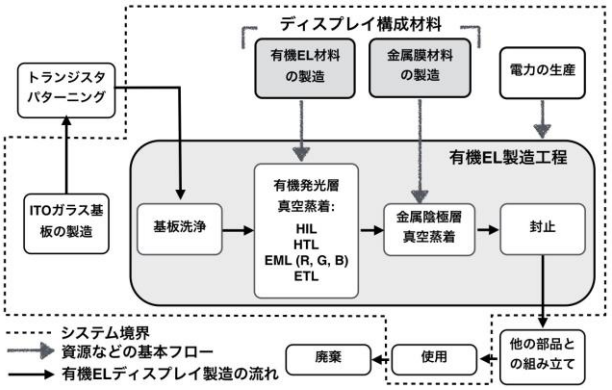


図 1　本研究のシステム境界

評価対象である 3 種類の有機 EL を**表 1** に示す。これらディスプレイで異なるのは発光原理とドーパント材料である。その他の材料（i.e. ガラス基板、金属膜、封止材料）は同じと仮定し、発光材料の膜厚は参考文献から仮定した。

表 1 評価対象の有機 EL ディスプレイ

	蛍光	燐光	TADF
主な発光材料	Alq3, CuPc	Alq3, CBP*, a-NPD*, BAlq, CuPc	TPBi*, TADF*, CBP*, a-NPD*
発光効率	~ 25 %	~100%	~ 100 %
参考文献	[4]	[5]	[2]

NOTE: * LCI を新たに作成した材料

3. ライフサイクルインベントリ（LCI）の作成

評価対象の有機 EL の製造において、IDEA にインベントリが存在しない材料やプロセスは新しく LCI を作成した。量産スケールでの製造を想定するため、構成材料の生成とディスプレイの製造段階を実験スケールのデータから量産スケールの値を推算した。スケールアップの推算方法は著者が開発した手法を用いた[4, 6]。

3.1 構成材料の LCI

IDEA に含まれない構成材料の LCI を、化学プロセス文献、特許、そして学術論文を元に作成した。本研究において LCI を作成した構成材料は**表 1** で*がつく。構成材料の原料のうち IDEA にインベントリがない原料は、その原料の LCI を作成することで物質収支を求めた。IDEA に存在せず、LCI の作成が難しい鉱物資源は類似材料を代替した。例えば、イリジウムは白金を代替した。さらに、量産スケールのエネルギー収支を推算するにあたり、材料の合成における各ステップをスケールアップした。各合成ステップにおける溶媒のリサイクル率は 95%と仮定し、同じ工場内で再利用されると仮定した。溶媒の再利用に向けた処理プロセスは考慮していない。

3.2 ディスプレイ製造段階の LCI

有機ELディスプレイは真空蒸着で製造されるとし、製造におけるエネルギーは既往文献[3]を参照した。

3.3 消費段階における仮定

ディスプレイの消費電力はディスプレイの構造、サイズや輝度に依存する。本研究では、蛍光ディスプレイの稼働時の消費電力は 300 W[7]、燐光と TADF はその 1/4 の消費電力であると仮定した。スタンドバイ時の消費電力は全てのディスプレイが 0.5W であり、1 日の稼働時間は 4.5 時間、19.5 時間はスタンドバイ状態であると想定した。

4. 結果

燐光分子と TADF 分子 1 kg の生成に排出される GHG は Alq3 分子 1kg の 4~60 倍との結果を得た。全ての化合物の生成において GHG が大きいのは溶媒である。そのため、UDC と TADF の値が大きかったのは、それらの合成ステップが Alq3 よりも多く、溶媒の使用量が多いためだと考える。

また、3 種類の有機 EL ディスプレイ 1 枚あたりのライフサイクルにおける GHG は、全てのディスプレイにおいて製造段階に大きな違いは見られなかった。構成材料 1 kg あたりの生成における GHG は異なるが、ディスプレイ 1 枚あたりに投入されるドーパントは 1 mg のオーダーである。そのため、環境負荷の大きい複雑な構成材料を使用しても全体の環境負荷には大きく影響しないことが分かった。燐光・TADF ディスプレイ 1 枚あたりの消費電力は蛍光ディスプレイの 1/4 であるため、消費段階の GHG は圧倒的に少ない結果となった。

本稿で議論した環境影響は GHG のみに留まるが、希少元素を含まない TADF の特性を評価するため、将来的に鉱物資源消費も評価すべきである。

5. おわりに

発光効率 100%を達成する分子の環境負荷削減ポテンシャルを評価するため、3 種類の有機 EL ディスプレイの LCA を行った。新規に開発された分子の生成にかかるエネルギーは従来の分子よりも 4~60 倍ほどのエネルギーを必要とする。しかし、投入量が少ないことからディスプレイのライフサイクルにおける GHG には寄与しないことが分かった。

6. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ヒアリングにご協力いただいた有機光エレクトロニクス実用化研究センターの藤本弘様、大田隆司様に感謝の意を表します。

引用文献

1. “iPhone X”, iPhone X – 仕様 – Apple (オンライン), <https://www.apple.com/jp/iphone-x/specs/> (2017/12/18)
2. H. Uoyama, K. Goushi, K. Shizu, H. Nomura, C. Adachi; Nature Lett. (2012) 492, pp 234-241
3. 鵜飼育弘; “TADF 有機 EL からレーザーへ、有機発光分子の新展開”, 日経テクノロジー (オンライン)、<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/column/15/040400109/092500019/?P=2> (2017/12/18)
4. E. Amasawa, T. Ihara, T. Ohta, K. Hanaki; J. Clean. Prod. (2016) 135, pp 1340-1350
5. UDC patent, JP2006-513278, 2006.
6. 河尻ほか, 第 10 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集, D3-02.
7. M. Azzabi, “OLED and LED TV Power Consumption and Electricity Cost”, RTINGS.com (オンライン), <https://www.rtings.com/tv/learn/led-oled-power-consumption-and-electricity-cost>

C1-01,P2-071　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

エクセルギーによる資源消費の持続可能性評価手法の構築

Sustainability Assessment for Consumption of Resources on the Basis of Exergy

○平岡侑一郎*[1)]、醍醐市朗 [1)]、榎学 [1)] 後藤芳一 [1)]

Yuichiro Hiraoka, Ichiro Daigo, Manabu Enoki, Yoshikazu Goto

1) 東京大学

* hiraoka@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 諸言

現代社会において、「持続可能な開発」は国際的な目標である。現代社会は資源消費の上で成り立っているため、資源分野からも持続可能な開発を目指す必要がある。そこで、資源の消費は不可避であることを前提に、どのような資源に依存した社会がより持続的であるかという評価が必要となる。

資源の持続可能性評価指標には、様々な環境影響を考慮した ReCiPe[1)]や、資源の枯渇速度を考慮した資源枯渇性 [2)]等が提案されているものの、技術や経済の変化と共に評価値が変わるものが多い。持続可能な開発とは「将来の世代の欲求を満たしつつ、現在の世代の欲求を満足させるような発展」であり、時代と共に進歩する技術に影響されない評価が望まれる。

資源消費について技術に影響を受けない評価として、Valero らによるエクセルギーを用いた鉱石の評価 [3)]がある。Valero らは、鉱石が環境に対してもつエクセルギーを評価し、鉱石品位と鉱石の採掘及び製精錬に必要なエクセルギーとの関係を調査した。しかし、鉱石の採掘及び製精錬では現時点で最もエクセルギー消費の少ない技術が採用されており、技術革新により評価値が変化する。そのため、技術に影響を受けない評価ではない。そこで本研究では、エクセルギーを用いて、技術革新に影響を受けずに将来にも適用可能な資源消費の持続可能性評価手法の構築を目的とした。

2. エクセルギー

エクセルギーとは「着目する系が環境と平衡な状態になるまでになすことのできる最大仕事 [4)]」であり、有効エネルギーとも呼ばれている。エクセルギーには、表 1 に示す様々な形態が存在し、エクセルギー解析では、目的に応じて考慮するエクセルギーを選択する必要がある。

表 1 エクセルギーの形態の種類

物理的エクセルギー(熱・圧力)	運動エクセルギー
位置エクセルギー	化学エクセルギー
濃度エクセルギー	太陽光エクセルギー
電気エクセルギー	粉砕エクセルギー
核エクセルギー	情報エクセルギー
労働エクセルギー	放射線エクセルギー

3. 資源消費の持続可能性評価手法の構築

我々は環境に対してエクセルギーをもつものを資源として使用している。エクセルギーが資源という形で地球上に蓄えられており、資源の使用によりそのエクセルギーが失われると考えることができる。将来世代の欲求を満足させるため、より多くの地球上に蓄えられているエクセルギーを残すには、よりエクセルギー消費の少ない資源に準拠した社会が望ましい。そこで、資源を使用するにあたって地球上に蓄えられたエクセルギーの損失を評価することとした。

3.1 評価対象の設定

3.1.1 資源エクセルギーロス

Valero らは資源が環境に対してもつエクセルギーを、ナチュラルボーナス [5)]として評価した。本研究では、資源が材料として使用され、使用後に環境へ散逸することで、資源が環境に対してもっていた全てのエクセルギーが地球から失われると考え、「資源エクセルギーロス」として評価した。

3.1.2 材料生産エクセルギーロス

資源の使用にあたって、材料へ製精錬することが必要なことが多い。その過程で消費されるエネルギーは、化石燃料を由来とするものとして評価した。化石燃料も資源であり、環境に対してエクセルギーをもち、地球上に蓄えられているエクセルギーの形態の 1 つである。そのため、材料を生産する過程で失われるエクセルギーを「材料生産エクセルギーロス」として評価した。資源から材料を生産する際に実際に消費されるエクセルギーは、生産技術に依存する。そこで、本研究では、技術の進歩に影響を受けない評価として、資源と材料の 2 つの状態間の理論的なエクセルギーを評価した。

3.2 各対象のエクセルギーの選択と計算方法の設定

3.2.1 資源エクセルギーロス

ある元素の資源は、その元素の濃度が環境に比べて高く、ある安定な状態で存在している。そのため環境濃度に対する濃度エクセルギーと、各元素の環境に存在する化学種に対する化学エクセルギーを考慮した。

環境として、298.15 K、101.3 kPa 下で液体の水が存在し、それと平衡に飽和湿り空気が、N_2: 76.57 kPa、O_2: 20.61 kPa、H_2O: 3.20 kPa、CO_2: 0.03 kPa、Ar : 0.91 kPa として存在する状態 [5]を設定した。環境での各元素の状態は、化学種が水圏にある状態か岩石圏にある状態か、元素ごとに設定された [6]。その状態に対して資源中の当該元素の存在形態のもつエクセルギーを化学エクセルギーとして計算した。一方、濃度エクセルギーは資源中と環境中における当該元素のモル濃度の比を用いて計算した。各元素の環境濃度は地殻存在度とし、鉱石中のモル濃度の導出の際には、対象の鉱物以外の成分の密度を、地殻の大部分を構成する花崗岩と玄武岩の密度の平均であると仮定した。

3.2.2　材料生産エクセルギーロス

資源から材料を生産する過程を、1.対象の化学種を濃度 100 %へ濃縮する過程と、2.濃度 100 %の資源中から材料を取り出す過程の 2 段階に仮想的に分けた。

1 つ目の段階では、濃縮に理論的に必要な最小エクセルギーとして、濃縮前と濃縮後の濃度エクセルギーの差を、濃縮のために消費され地球から失われるエクセルギーとして評価した。この時、鉱石中の随伴元素の濃度が同時に濃縮されている可能性があるが、その濃縮の影響は無視した。鉱石の評価ではアロケーションが課題となることが多いが、随伴元素濃縮の影響を無視したことで、評価全体においてアロケーションを回避することができた。

2 つ目の段階では、1 つ目と同様に、変化に理論的に必要な最小エクセルギーとして、資源中から材料を取り出す過程におけるエクセルギーを、化学変化のために消費され地球から失われるエクセルギーとして評価した。化学変化におけるエクセルギーはその化学反応の Gibbs 自由エネルギー変化と同値であるため、Gibbs 標準自由エネルギーにより評価した。

3.3　資源消費の持続可能性の評価

各種金属資源について、構築した手法を用い、資源消費の持続可能性を評価した結果を図 2 に示した。各金属素材に対する資源は、日本で使用されている代表的な鉱石 [2]を設定した。評価した金属資源の中で、資源の使用にあたり地球から失われるエクセルギーが最も少ない金属材料は Fe で、特に Fe_3O_4 を含む磁鉄鉱由来の鉄の使用により失われるエクセルギーが最も小さかった。一方で、評価した金属資源の中で、失われるエクセルギーが最も大きい金属材料は Ni であった。

資源エクセルギーロスのみを比較すると、Mn や Zn が大きい。そのため、将来的に材料生産に投入されるエネルギーが化石燃料由来から再生可能エネルギー由来へ移行し、材料生産エクセルギーロスが 0 に近づいた場合、Ni より Mn や Zn のエクセルギーロスが大きくなる可能性がある。

このように、構築した手法は、材料生産の効率改善などの技術革新による影響は回避できたものの、材料生産時のエネルギー源の変化により影響を受けることがわかった。また、地球から失われるエクセルギーの内訳を見ると、資源エクセルギーロス、材料生産エクセルギーロス共に濃度に依存するエクセルギーが大部分を占めており、鉱物中の濃度の変化にも影響を受けることが予想される。しかし環境と資源の濃度の対比で求められる資源エクセルギーロスと資源と材料の濃度の対比で求められる材料生産エクセルギーロスの内訳が変化するのみで、エクセルギーロスの合計に影響はない。

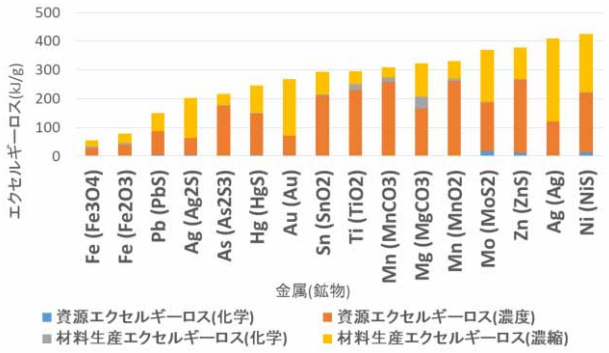


図 2　金属材料 1g に必要な資源の消費に伴い地球から失われるエクセルギー

4.　結言

各資源を消費するにあたって地球から消費されるエクセルギーにより、資源消費の持続可能性を熱力学的に評価する手法を構築した。資源エクセルギーロス及び、材料生産エクセルギーロスに区分して評価できた。評価結果を比較することで、持続可能な資源消費の観点から、優先的に使用を回避すべき資源が特定できたが、生産エネルギーの再生エネルギー化により、結果が変わった。

引用文献

1)　M. Goedkoop et al: “ReCiPe2008”, (2008)
2)　独立行政法人物質・材料研究機構エコマテリアル研究センター: “「鉱物資源使用」カテゴリーの特性化係数”, (2005)
3)　A. Varelo, A. Varelo: Energies, 8, (2015), 821-836
4)　唐木田健一, “エクセルギーの基礎”, オーム社, 東京, (2005), pp.136
5)　吉田邦夫, “エクセルギー工学 理論と実際”, 共立出版株式会社, 東京, (1999), pp.24
6)　D. R. Morris, J. Szardut: Energy, 11 (8), (1986), 733-755

C1-02

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

化学システム技術の開発における LCA の利用：一般化を目指したアクティビティモデリング

Use of LCA in development of a chemical system technology: Activity modeling aiming at generalization

○鈴木征史*[1)]、大野肇[1)]、福島康裕[1)]

Tadashi Suzuki, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima

1) 東北大学

* suzuki@sis.che.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年、化石資源枯渇への備えや、温室効果ガス排出量の削減、地域資源を活用した地産地消産業の創造などを目的として、バイオマスから燃料などの化学製品を製造するための多種多様な技術が盛んに開発されている。バイオマス由来の製品はその性質上、環境負荷、特に温室効果ガス排出量のフットプリント算定（図 1）が必須である。

また、LCA は導入対象のシステムで製造される製品の環境面の評価手法としてだけでなく、製品を持続的に生み出すシステム技術の開発現場でも現在の技術レベルの位置づけや開発方向などの具体的な指針を与えるような役割を果たすことが期待されるようになっている。これには開発段階から環境影響指標に関する目標を定め（大前提）、その目標に達するための技術の必要条件を導出していく、つまり、演繹的な LCA (Deductive-LCA: D-LCA)の利用が必要となる（図 2）。

既往の研究において LCA を用いた演繹的な評価の実施例はあるが[1,2)]、D-LCA 手法の体系化は未だ行われていない。そこで本報告では、化学システム技術の開発における LCA の演繹的利用方法の一般化を目指し、IDEF0 アクティビティモデルとして記述した。

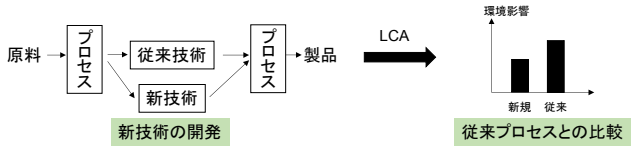


図 1　従来の LCA 利用のイメージ

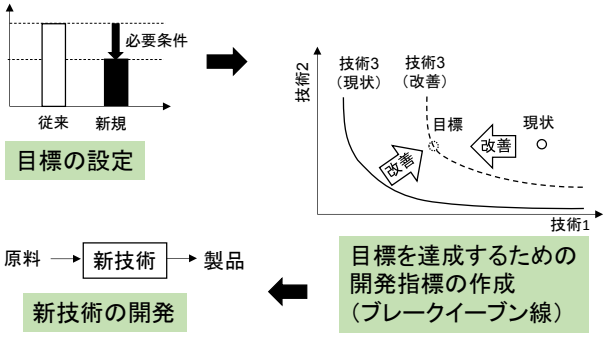


図 2　演繹的な LCA 利用のイメージ

2. アクティビティモデル：IDEF0

化学システム技術の開発への LCA の適用には、少なくとも以下の 3 つの用途がある[3)]；(1)複数の要素技術を組み合わせたシステムとして比較すること、(2)開発目標までの道筋を示すこと、(3)目的と制約条件に合わせて、プロセスの変数を決める「最適化」を行うこと。本報告では、これら 3 つの用途を含めたアクティビティモデルを記述した。

本報告では、LCA を技術開発に活かすために必要な作業と情報をアクティビティモデルとして記述するために、IDEF0 という機能モデリング手法[4,5)]を用いた。IDEF0 は図 3 のように、ある作業がどのように機能を果たすのかを説明する。また、各作業間のデータの種類には入力、出力、制約、機構があり、各作業には必ず出力と制約が存在しなければならないというルールがある。また、階層構造を持っており、それぞれのアクティビティについて、構成するサブアクティビティの集合として表記することで、作業同士がお互いに影響しあいながら、どのように全体の機能をはたすのかを可視化することができる。

LCA を含めたプロセス設計の作業と情報の流れを IDEF0 で記述し可視化した例としては、LCA とリスクアセスメントを統合的に用いた意思決定[6)]や、LCA を用いた代替案の評価[7)]などがある。

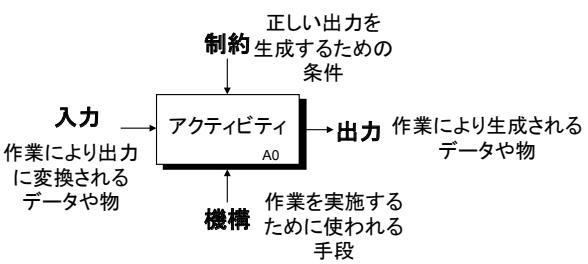


図 3　IDEF0 の定義

3.　演繹的 LCA を含むアクティビティモデル

アクティビティモデルを記述するにあたり、「A0：システム技術開発を行う」をトップアクティビティとし、その実施は、システム化される要素技術の開発を担う複数の研究グループに LCA 実施者を構成要員として加えたチームによって行われるものとした。

3.1. アクティビティ A0 の概要

A0 は 4 つのサブアクティビティから構成される（図 4）。これは LCA と技術開発の関係性も示している。D-LCA の実施(A2)により技術開発指針が出力される。この技術改善指針はブレークイーブン線（図 2 右）であり、複数の技術間での削減目標を提案できる。この技術開発指針に従って、各グループが集まり技術改善分担のためのミーティングを行う(A3)。ミーティングにより、各技術グループの開発方針が決まるので、それを制約として各技術グループが技術開発を行う。技術が開発（改善）されると、その条件が再び D-LCA(A2)に入り、新たな技術開発指針が提案される。このサイクルを繰り返すことで、最終的にミーティング(A3)により目的に沿って最適化されたシステム技術が出力される。

3.2. アクティビティ A2：D-LCA を実施する

D-LCA の概要を図 5 に示す。従来の LCA と特に異なるのは、A21 及び A24 である。A21 では開発するシステム技術の比較対象の指標の値（大前提）を決めている（例：バイオ燃料を生産する際には、製品のカーボンフットプリントを石油由来燃料の半分にする）。この値が、プロジェクトを通して開発されたシステム技術が越えねばならない大前提となる。A24 では A21 と A23 の結果を用いて、システム技術が比較対象の値（大前提）に達するための技術改善指針を作成する。

また、A24 層にはさらにサブアクティビティが存在する；A241：指標における現状と目標との差を計算する、A242：操作変数を選択する、A243：ブレークイーブン線を作成する。A241 では事前に A21 で決めた大前提と評価結果の差異を計算する。A242 では A243 でブレークイーブン線を作成するにあたり必要な複数の技術項目の選択を行う。ここでは評価結果を用いてホットスポット分析を行い、どの技術項目に改善の余地があるのかを把握できる。A243 ではこの差異を埋めるためのブレークイーブン線が作図される。選択された操作変数の値をプロセスモデル上で動かし、評価結果との差異が 0 となる点をつなげることでブレークイーブン線が作図される。このアクティビティにより、差異を直接技術開発目標となる変数で表現すること、及び、複数の項目間の関係を可視化することで、チームでのインタラクティブな議論に用いることができる。もし、評価結果が大前提を上回る結果になれば、A243 で提案されるのは技術の余裕であり、下回る場合は、技術改善の目標となる。また、作成されるブレークイーブン線は、1 つの図につき最大 3 つの技術項目間での改善目標を提示することができる。

4.　おわりに

本報告では、システム技術開発における LCA の利用のされ方を、アクティビティモデルにより提案した。実際のアクティビティモデルの図は、発表会当日に報告する。今後、このアクティビティモデルを使って様々な系を対象として D-LCA を実施し、実際に必要なアクティビティとの差を知ることで、より一般的なアクティビティモデルにすることを目指す。

引用文献

1) Kishita Y. et al.: J. Clean. Prod., 142, (2017), pp. 1471-1485
2) 鈴木征史、大野肇、福島康裕：第 12 回日本 LCA 学会研究発表会、筑波,(2016)、pp.60-61
3) 福島康裕：第 12 回日本 LCA 学会研究発表会、筑波,(2016)、pp.258-259
4) NIST (National Institute of Standards and Technology). 1993. Federal Information Processing Standards Publication No. 183.
5) Ross, D. T. 1985. Application and extensions of SADT. Computer 18(4): 25–34.
6) Sugiyama H. et al.: Process Saf. Environ. Prot., 84, (2006), pp.63-74
7) Kikuchi Y., Hirao M.: J. Ind. Ecol., 13, (2009), pp.945-964

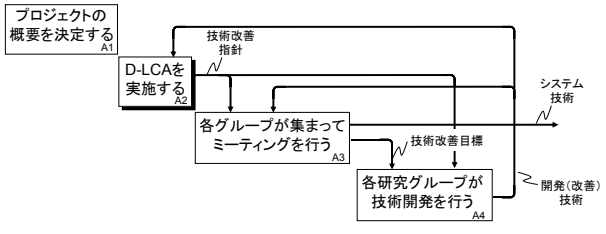


図 4　「A0：システム技術開発を行う」の概要

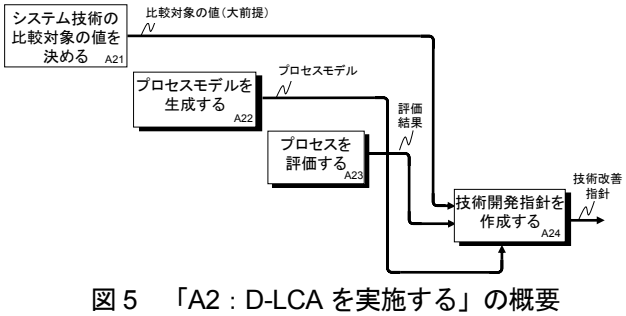


図 5　「A2：D-LCA を実施する」の概要

C1-03

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

伝統工芸品の環境影響

－エコプロダクツとしての着物－

Environmental impacts of traditional crafts
Kimono as eco-product

○高橋和枝*[1)]、大野貴子 [1)]
Kazue I Takahashi, Takako Ohno
1)　武蔵野大学
* kazutaka@musashino-u.ac.jp

1. はじめに

着物は、古くから国民に愛されてきた民族衣装である。しかし、今日では、晴着として結婚式や成人式等の特別な場合の装いとして用いられることが多く、需要が低迷している。また、職人の高齢化や技術を伝承する若年労働者の減少等は、職場環境の悪化を招き、伝統工芸の継承に厳しさが増している。一方、製造段階で端切れを出さない縫製方法や、仕立て直しや染め替えにより対応できるリユース性。さらに小物やバッグなどにも利用できるといったリサイクル性から、エコプロダクツとして見直す動きがある。既存研究において、洋装に関しては経産省による調査 [1)]が実施されているが、着物に関する環境影響評価の事例は知られていない。本報では、訪問着から晴着まで広い用途があり、また 2020 年に開催される東京オリンピック・パラリンピックの公式グッズにも採用されている東京染小紋を用いた着物（以下、着物）を対象とした。なお、東京染小紋については、それを用いたネクタイの LCA 評価を田村ら [2)]が報告している。

2. 調査対象と手法

2.1　調査対象および評価方法

本研究では訪問着を対象とした。着物の裁断方法を図 1 に示す。図より、着物はすべて長方形の生地を直線に縫い合わせたものであり、解けば、元の長方形の生地に戻すことが可能である。

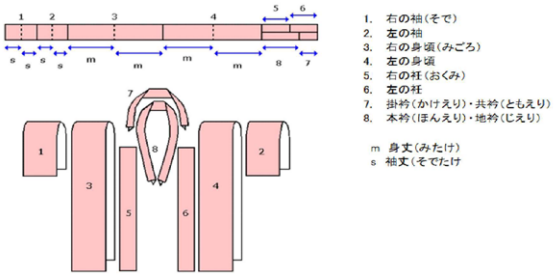


図 1　着物の裁断方法

2.2　機能単位とシステム境界

機能単位は、「着物 1 着」とし、帯や足袋などの付属品は除外した。着物の寿命は、ユーザーへのヒアリング結果から、20 年とした。また、本製品のシステム境界は、図 2 の枠線内とした。

2.3　評価データの収集方法と評価方法

製造工程のデータは、都内の「江戸小紋染公房小林染芸」の協力を得て、現場でのヒアリングにより収集した。流通工程は、店舗までの移動をパーソントリップ調査結果を用いて評価した。

生地製造に用いられる主な原料は、絹生地、型紙、米から作った糊、おがくずである。型紙は、和紙に柿渋を塗布して重ね合わせた型紙に彫刻刀を使って手彫りで作製するため CO_2 排出量はゼロとした。

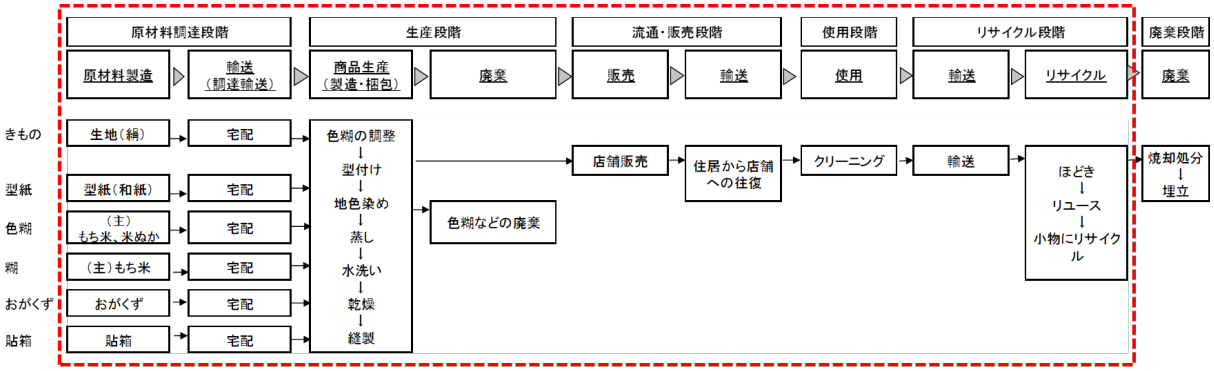


図2　本製品のシステム境界

染色工程では、まず白生地を板に張り、その上に型紙を載せて糊を置き、その後、天日で乾燥させる。さらに染料を混ぜて作製した色糊をその上から塗布し、ボイラーで製造した蒸気にさらした後、水洗いにより余分な染料を洗い流す。水洗いした生地は、乾燥後、再度、蒸気をあてて生地の縮みや伸びを調整する。さらに染ムラを修正して江戸小紋の生地が完成する。この工程では、材料の他、ボイラーの使用を評価した。さらに縫製では糸を用いて手作業で行うため材料のみ評価した。

使用工程の洗濯頻度やその方法については浴衣以外の着物を所有するユーザーへのインターネットアンケートの結果を用いた。有効回答数は 86 件であった。リサイクル工程では、輸送と再生された生地の環境負荷として評価した。

バックグラウンドデータは、主に、一般社団法人産業環境管理協会の LCA 支援ソフト MiLCA に搭載されているデーターベース「IDEA1.1.6.0」を利用した。輸送に関しては、ヤマトグループ CSR 報告書 2017[3] に掲載されている「ヤマト運輸の車両からの原単位 CO_2 排出量」を用いた。また浴衣の評価には 3EID(2005)[4]を用いた

3. 結果と考察

評価結果を図 3 に示す。本評価で 1 着あたりの CO_2 排出量は、リサイクルを除くと 123kg-CO_2 であった。工程別にみると原材料調達段階の CO_2 排出量が最も多く、これは型紙の和紙使用や白生地（絹布）の影響が大きい。次いで、使用段階が大きく、これは洗濯によるものである。生産工程の負荷が小さいのは、この工程がほぼすべて手作業で行われることによる。

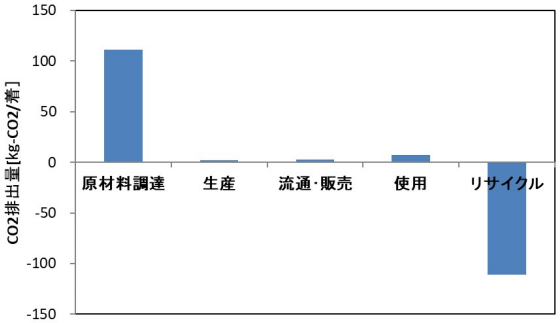


図 3 温室効果ガス排出量

本評価では、アンケート結果より使用年数を 20 年としたが、使用年数の違いによる影響について検討を行った。また、参考として、より身近な着物として浴衣との比較も実施した。但し、浴衣はヒアリング結果から、使用期間を 5 年とし、家庭で洗濯をするものとした。さらに、リサイクルはしないと仮定した概算である。結果を図 4 に示す。

図 4 より、使用年数が長期間になるほど、着物の 1 年あたりの環境負荷は低減する。また浴衣と比較すると使用期間が同じ 5 年では、着物の方が CO_2 排出量は大きいが、10 年以上使用すると浴衣を下回ることがわかった。実際、アンケート結果からも「東京小紋は一生もの」という意識を持つユーザーが多く、20 年以上使用されることも稀ではないことがわかっている。

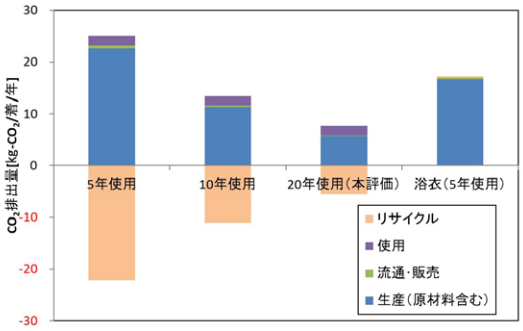


図 4　使用年数の違いと浴衣との比較

4. 今後の課題

リサイクル工程として生地の再生を評価したが、着物以外の小物へのリサイクルなどについても環境負荷低減効果として明らかにしていく必要がある。また、時代を経て価値が増す工芸品については、新たな評価方法も検討すべきと考える。

5. 引用文献

1) 経産省製造産業局繊維課, 繊維製品 (衣料品) の LCA 調査報告書 (2003)

2) 田村、佐々木、十村、北原、第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、P32-33, (2017)

3) ヤマトグループ CSR 報告書 2017［WEB 版］ file:///C:/Users/platy/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/4EG06M73/2017_WEB.pdf （参照 2018-1-10）

4) 南斉規介, 森口祐一 (2012) 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID): 2005 年表, 独立行政法人国立環境研究所　地球環境研究センター, http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html （参照 2018-1-10）

C1-04,P2-027　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

消費者行動分析とライフサイクル評価に基づく政策設計：洗濯乾燥行動を例として

Policy design based on consumer behavior analysis and life cycle assessment: case of laundry activities

○鈴木祐里絵*[1)]、天沢逸里[1)]、文多美[1)]、中谷隼[1)]、杉山弘和[1)]、平尾雅彦[1)]
Yurie Suzuki, Eri Amasawa, Dami Moon, Jun Nakatani, Hirokazu Sugiyama, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* y-suzuki@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

持続可能社会構築に向けて様々な政策が施行されており、持続可能な消費と生産（SCP）の政策もそのひとつである。これまでは、省エネルギー製品開発支援などの生産側への政策、廃棄後のリサイクル政策が主流であったが、**図 1** に示すように、消費者の購入や使用などの行動までを含めたライフサイクルアプローチに基づく政策設計が求められている[1)]。

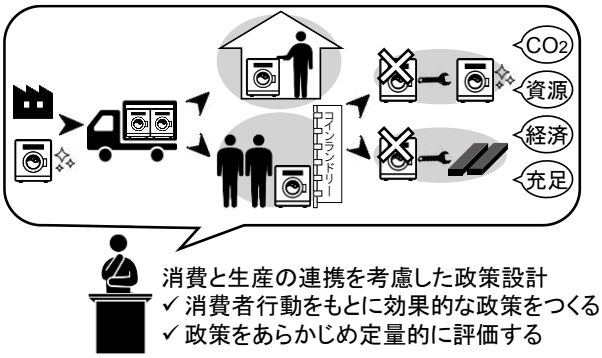


図 1　SCP 政策の設計の概念図

本研究の目的は、消費者行動分析とライフサイクル評価に基づいた政策設計を行うことである。対象として、人間の生活に密着した活動である衣類の洗濯行動を取り上げた。また、SCP へのアプローチのひとつに製品サービスシステム（PSS）がある。洗濯に関する PSS の一例であり[2)]、かつ日本で広く普及しており現実に即した調査が可能であるため、本研究ではとくにコインランドリーに注目した。**図 2** に研究方針を示す。

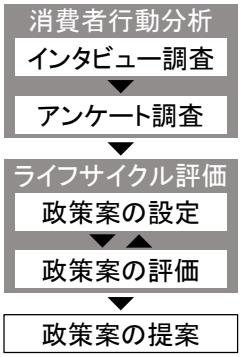


図 2　研究方針

2. 結果

2.1 インタビュー調査

衣類の洗濯行動の実態を把握するために、対面調査を行った。対象者は、関東在住の消費者 31 人（コインランドリーの利用頻度は、1 か月に 1 回以上： 11 人、1 か月に 1 回未満：10 人、全く使ったことがない：10 人）、およびコインランドリーの経営者とした。

調査では、日常の洗濯行動、コインランドリーを使う理由、使わない理由、シェアリングに対する考えなどを質問した。その結果、「消費者属性や現在の洗濯行動と、コインランドリーのみの生活へのシフトに対する考え方には関係がある」という仮説を得た。

2.2 アンケート調査

仮説を統計的に検証し、さらにシフトへの障壁を明らかにするために、WEB アンケート調査を行った。対象者は、日本在住の消費者 613 人（主に自宅で洗濯しコインランドリーは 1 か月に 1 回未満または全く使わない（“自宅”）：206 人、自宅の洗濯機とコインランドリーを併用する（“併用”）：256 人、コインランドリーのみで洗濯する（“CL”）：151 人）とした。

図 3 に各セグメントの居住都市規模を示す。“自宅”“CL”“併用”の間にはカイ二乗検定で有意差があった（有意水準 5%）。“CL”は他の 2 セグメントより 100 万人以上の都市に住む被験者が多かった。

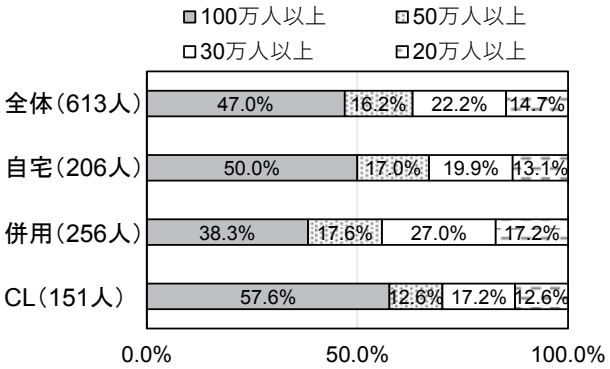


図 3　各セグメントの居住都市規模

また、消費者のコインランドリーのみの生活に対する考えを知るために、**図 4** に示す 8 種類のコインランドリー店を提示し、自宅に洗濯機を持たない生活にシフトできますか、と尋ねた。シフトできる：5 点、たぶんシフトできるだろう：4 点、どちらとも言えない：3 点、たぶんシフトできないだろう：2 点、シフトできない：1 点として、セグメントごとの平均点を出した。

セグメントごとの平均点の合計は、“自宅”: 23.9 点、“併用”: 25.1 点、“CL”: 25.0 点であり、“CL”はシフトに対して肯定的であると言える。

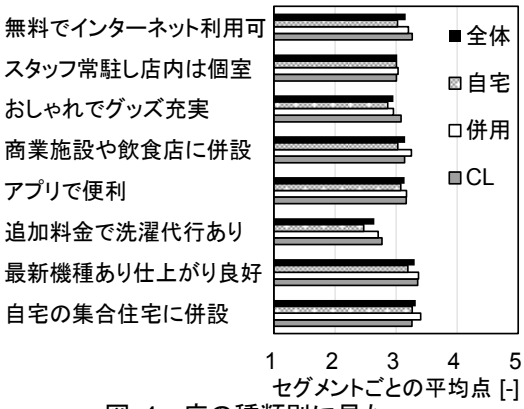


図 4　店の種類別に見た、
コインランドリー生活へのシフトの可能性

次に、図 5 に示す 8 種類の生活スタイルの変化を提示し、同様に計算した。セグメントごとの平均点の合計は、“自宅”: 20.1 点、“併用”: 22.8 点、“CL”: 24.4 点であり、同様の傾向が見られた。全てのセグメントについて、店の種類を工夫したほうが、生活スタイルが変化するよりもシフトの可能性が高いと言える。

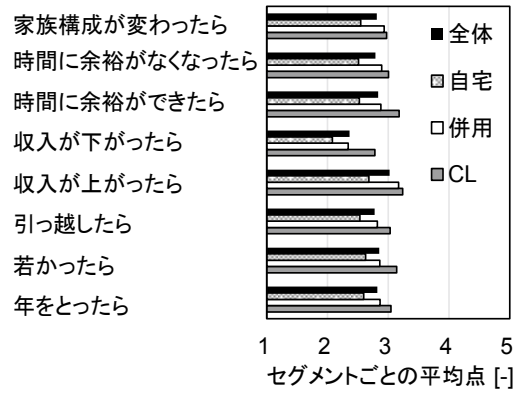


図 5　生活スタイルの変化別に見た、
コインランドリー生活へのシフトの可能性

以上より、「“CL”の 57.6%が 100 万人以上の都市に居住していて、最新機種があり仕上がりが良いコインランドリーがあれば完全にコインランドリー生活にシフトできる。“自宅”“併用”は相対的に 100 万人以上の都市の住民が少なく、集合住宅居住者は共用のコインランドリーがあればシフトできる。」という結果を得た。この結果は2.1で得た仮説が成り立つことを示す。

2.3 SCP 政策案の設定

政策設計のツール [3]に基づき、政策ツール一覧表を作成した。**表 1** に一覧表の大項目と小項目の例を示す。

アンケート調査から得た「100 万人未満の都市の集合住宅にコインランドリーを設置すると、“自宅”、“併用”の消費者がコインランドリーのみの生活にシフトする可能性がある」という知見から、

2：建築や衛生の規制の変更
6：消費者への正しい情報提供
8：家庭用洗濯機メーカーなどの既存業種への対応
などが導き出され、政策案に関わるステークホルダーや、政策案を施行する順序を具体化することができる。

表 1　政策ツール一覧表

	大項目	小項目（抜粋）
1	税	新たな税の賦課
2	規制	規制緩和
3	補助金・交付金	補助率変更
4	サービスの提供	バウチャー支給
5	組織の予算	予算増減
6	情報	認証施行
7	個人の権利構造	法修正
8	経済活動の枠組み	公的雇用提供
9	教育と相談	技術支援
10	資金調達・外部委託	官製市場創出
11	官僚制・政治改革	組織改編

2.4 ライフサイクル評価

アンケート調査のデータをもとに、政策案実施前後の消費者行動のライフサイクル評価を行う。機能は「日本の消費者が衣類を洗濯し、その後乾燥すること」とし、機能単位は「日本のある 1 世帯が 1 年間衣類を洗濯すること」とした。評価項目は GHG 排出量 [kg-CO2eq/year-household] と、必要な洗濯機を構成する資源量 [kg/year-household] とした。

3. 結言

本研究では、SCP 政策設計を目的として、消費者行動分析を行った。その結果、消費者属性と消費者行動の間には関係があることを示せた。今後は、コインランドリー生活へのシフト消費者行動分析から得た知見とライフサイクル評価をもとに、効果的な SCP 政策の設計を行う。

謝辞

本研究は、(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費（S-16）により実施された。

引用文献

1) UNEP: “The Global Outlook on Sustainable Consumption and Production Policies”, (2012)
2) Komoto H., Tomiyama T., Nagel M., Silvester S., Brezet H. : “4th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing”, Tokyo, (2005), pp.386-393
3) ユージン・バーダック，“政策立案の技法”，東洋経済，東京，(2014)

D1-01,P2-046　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

高速道路の電化と走行中給電可能な車両運搬 EV システムの提案

Proposal of Carrier EV system that is traveling in the power supply and electrified the highway

○北条善久
Yoshihisa Hojo
放送大学
1410705824@campus.ouj.ac.jp

1. はじめに

国土交通省発表による日本の運輸部門における CO2 排出量は 2.2 億 ton で全体の 17.2%を占めている。図 1 は運輸部門における CO2 排出量の内訳 [1]を示しており，自家用乗用車と自家用貨物車で全体の 65%（1.7 億 ton）を占めており，鉄道 4.4%（0.1 億 ton）に比べて約 17 倍の CO2 排出量となっている。すなわち輸送にかかるエネルギー効率が悪いとも言うことができ，また他の輸送手段の利点を取り入れることにより改善が図れる可能性が高い。

図 2 にバッテリーEV（BEV1,BEV2）、BEV1 相当のガソリン自動車車（GV）、ガソリン軽自動車（Light GV）、パラレルハイブリット自動車（HEVP）、シリーズハイブリット自動車（HEVS）、燃料電池自動車（FCV）のライフサイクル 10 万 km における CO2 排出量 [2,3,4]の比較を示す。BEV1,BEV2 は走行時における CO2 排出量は無いものの電力製造および車両・部品・素材製造において CO2 を排出しており，車両・部品・素材製造はライフサイクルの 50%以上を占めている。特にバッテリー製造における CO2 排出量が多いものと推測される。

本稿ではバッテリーの使用量を抑制しながら電動走行比率を向上させるモビリティーシステムについて提案し、ライフサイクルでの CO2 排出量について検討する。

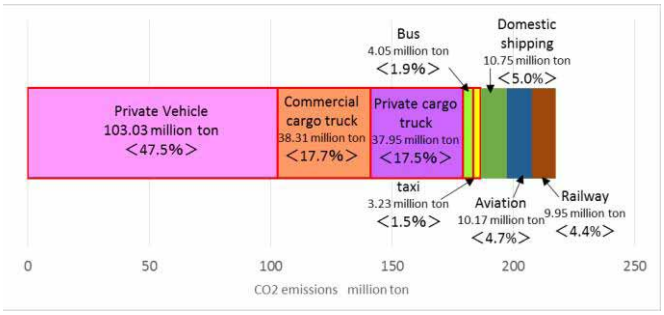
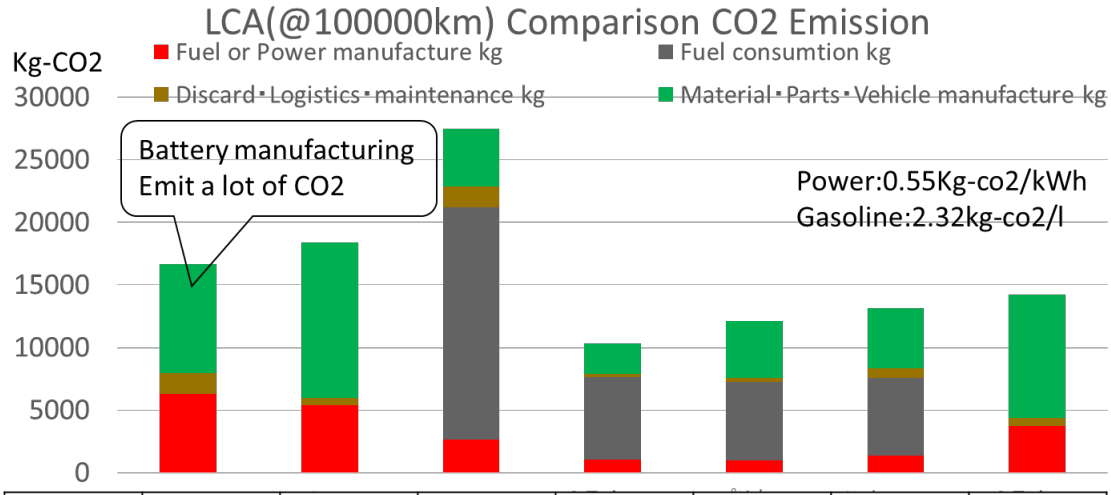


図 1　運輸部門の CO2 排出量の内訳



Type	BEV1	BEV2	GV(BEV1)	Light GV	HEVP	HEVS	FCV
Motor	80kW	125kW	-	-	53kW	80kW	113kW
Engine	-	-	80kW	36kW	72kW	58kW	-
Waight	1430kg	1300kg	1200kg	650kg	1360kg	1170kg	1850kg
Consumption	114Wh/km	98Wh/km	12.5km/l	35.2km/l	37.2km/l	37.2km/l	
High Speed	×	×	△	×	△	△	○
City	○	○	×	○	○	○	○
Feeling	○	○	△	×	○	○	○
Supply	△	△	○	○	△	△	×

図 2　車両タイプ別のライフサイクル（@10 万 km）Co2 排出量

2. 提案する高速道路システム

2.1 車両運搬 EV（Carrier EV）

本稿では高速道路（長距離）を EV で走行し，近距離はエンジン，ハイブリット，電気モータなどの動力源の種類は問わないコンセプトとする。

提案する車両運搬 EV（Carrier EV）は図 4 に示すように自家用乗用車，自家用貨物車，二輪車，貨物のコンテナを積載して高速道路を走行中給電しながら自動運転で走行する電動車両である。積載する車両の動力はエンジン，バッテリーとモータ，燃料電池とモータなど動力の種類は問わない。したがってエンジンを動力とする車両でも Carrier EV に搭乗して走行している間は CO2 を排出しない。また BEV の問題である航続走行距離についても Carrier EV に搭乗している間は無制限となる。Carrier EV と積載車両は 1by1 構成であり，高速道路において Carrier EV をシュアリングしているとも言える。またインフラ（系統）と Carrier EV が同時に導入されるため，すぐに大部分の自家用乗用車，自家用貨物車が利用することができ，CO2 削減の効果も早く表れる。

2.2 走行シーケンス

提案する高速道路の走行シーケンスを図 S1 に示す。給電レーンは走行中給電可能な Carrier EV，EV バスなどが自動運転で走行する。主に高速道路を長距離移動する車両が走行するレーンとなる。通常走行レーンは，走行中給電が不可能な車両や高速道路を短距離移動する車両，インターチェンジ(I.C.)で高速道路へ流入する車両および高速道路から流出する車両が走行するレーンとなる。Carrier EV への車両の搭乗は Service Station Area（S.A.）で行う。S.A から給電レーンまでの移動はバッテリーの電力にて走行する。Control Center は Carrier EV の配車管理，高速道路の運行状態を監視，隊列走行の計画・運行管理を行う。給電レーンを走行している自動運転車両に対する速度制限指令，停止指令，通行禁止指令などの運行指令を与え，事故や設備の故障が発生した場合の各種対応を行うことで，自動運転に関して自動運転車両と Control Center とで二重の監視を行うことができる。

2.3 システム仕様

Carrier EV の目標仕様を表 S1 に，電源設備の目標仕様を図 S2 に示す。

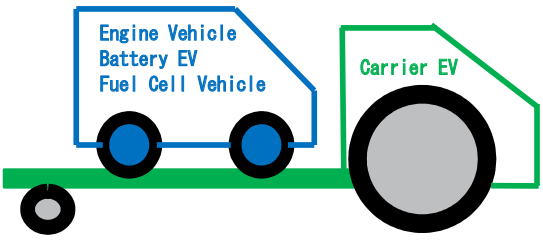


図 3　CarrierEV

3. 高速道路電化と Carrier EV 導入の効果

3.1 資源利用率

Carrier EV の 1 日の平均走行距離を 1500km とした場合の各車種の資源利用率は表 1 のようであり，自家用乗用車の 50 倍となる。

3.2 ライフサイクルアセスメント

図 4 に Carrier EV の 500 万 km を 160km/h で走行した際のライフサイクルにおける CO2 排出量予測値と BEV1 および GV の比較を示す。電力供給設備の製造に伴う CO2 排出量は図 4 に示すように無視できるほど小さい値である。詳細は S.I. *1 を参照。

Carrier EV のライフサイクルにおける CO2 排出量は GV に比べ約 50%の低減が図れる。BEV 1 に比べては約 20%の低減が図れ，低減要素は材料・部品・車両製造における CO2 排出量である。

4. まとめ

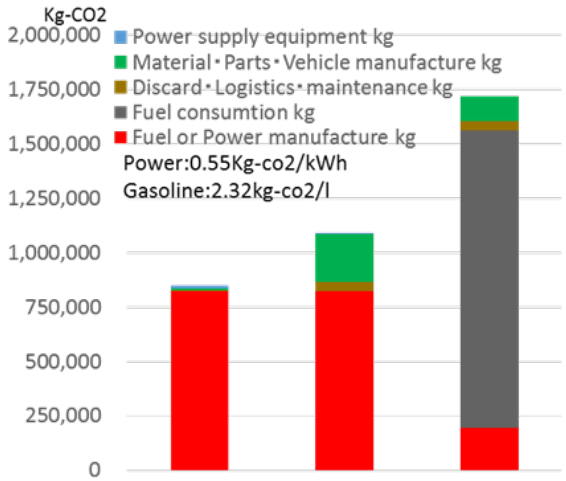
高速道路に走行中給電可能な Carrier EV を導入することで、環境負荷の大きいバッテリー使用を抑制し、LCA での CO2 排出を抑制できることを示した。

5. 参考文献

S.I. *2 を参照。

表 1　各車種の資源利用率

	1 日走行距離[km]	資源利用率[%]
Carrier EV	1500	
自家用乗用車	33	2.2
営業用乗用車	144	9.6
バス・タクシー	120	8.0
営業用貨物	163	10.9



Type	Carrier EV	BEV1	GV(BEV1)
Consumption	300Wh/km	300Wh/km	8.5km/l
Life per unit	5,000,000km	200,000km	200,000km
CO2 Emission	170g/km	217g/km	343g/km

図 4　Carrier EV と各車の LCA 比較

Supporting Information

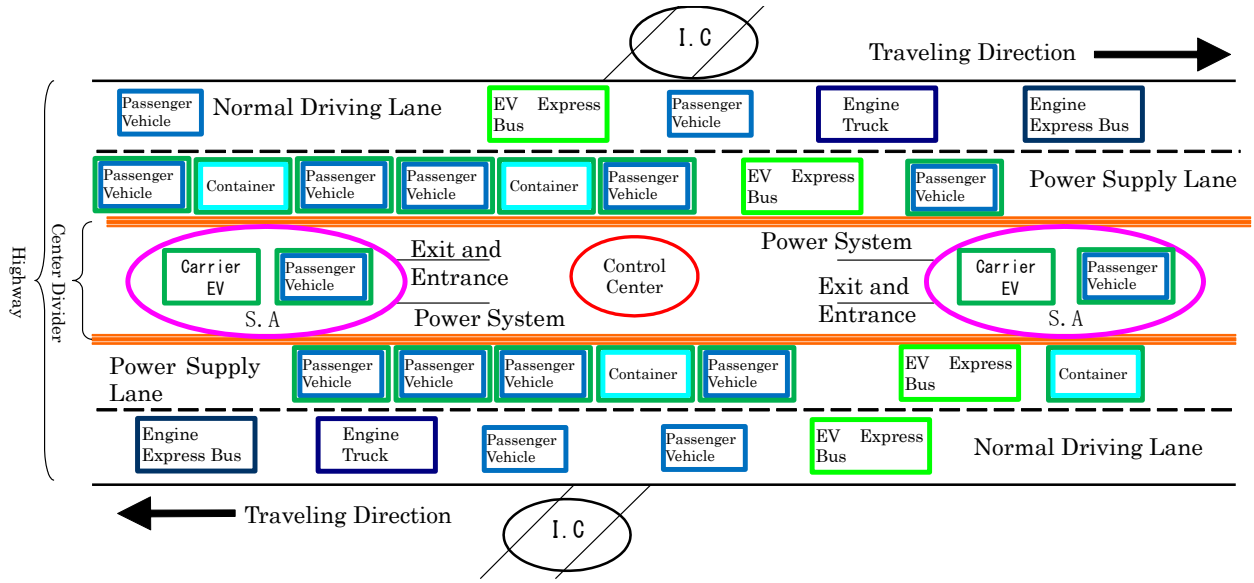


図 S 1　Carrier EV の走行シーケンス

表 S1.　Carrier EV の目標仕様

最高速度	200km/h	次世代高速道路
巡航速度	160km/h	
モータ定格出力	100kW	空冷
モータ最大出力	150kW	短時間
モータ種別	誘導電動機 SRM	高速道路巡航前提の電費優先（無通電惰性運行あり） レアアースレス
最大受電電力	100kW	蓄電容量とのトレードオフ
蓄電容量.	2kWh	給電レーンまでの合流
寿命	10 年 500 万 km	1 日　1500km 稼働率　0.5　（12 時間） at　平均速度 125km/h
寸法	2.5×7～8×2.0	W×L×H(m)
重量	1500kg 以下	Power/Weight 0.1kW/kg
価格	約 2000 万円 （路線バスと同等）	品質確保、事業として継続可能な価格を維持させる 国内高速道路　約 9200km、上下 2 車線、平均車間距離 400m すると約 5 万台必要 ⇒国内では 1 兆円程度費用

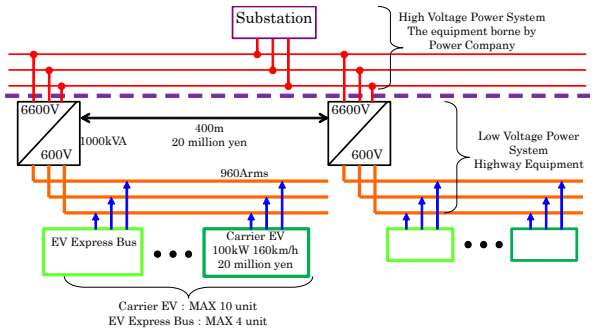


図 S2　電源設備の目標仕様

*1　Carrier EV システムの LCA 詳細

BEV1 および GV の寿命は 20 万 km として 500 万 km 走行するためには 25 台必要として車両・部品・素材製造および廃棄・物流・メンテナンスの CO2 排出量を算出している。Carrier EV の材料・部品・車両製造の CO2 排出量は車両の動力仕様が FCV と類似していることから FCV の値を目標としている。Carrier EV と BEV1 の 160km/h での走行時の電力消費量・ガソリン燃費量および電力製造，ガソリン消費の CO2 排出量原単位は図 4 に示す値を用いて算出している。Carrier EV の電力供給設備は 400m 区間に 1000kVA のトランスを設置すること，高速道路上の Carrier EV の平均台数は 400m 毎に 1 台と仮定しており，1000kVA のトランス製造時の CO2 排出量は文献 5)に記載の 39571kg-CO2，寿命 30 年を参考にして Carrier EV の寿命 10 年に換算して 13190kg-CO2 としている。電力使用量増加に伴う発電所の建設や変電所の建設に伴う CO2 排出量は含んでいない。BEV1 の電力供給設備は急速充電器に製造時の CO2 排出量を示しており，100kVA 程度の急速充電器を想定して先の 1000 k VA のトランス製造時の CO2 排出量より比例換算で 1319kg-CCO2 としている。この際，BEV1 が高速道路を走行する際に消費する電力はすべて高速道路上の急速充電器により供給するものと仮定している。

*2　参考文献

1)国土交通省：「運輸部門における二酸化炭素排出量」，
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html (2014)
2)NISSAN MOTOR CORPORATION SUSTAINABILITY REPORT 2017
3)The MIRAI LCA レポート
4)Environmental Certification BMW i3
5)日立製作所：産業向けアモルファス鉄心，平成 12 年度優秀省エネルギー機器表彰，pp.16-19

D1-02
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

企画開発段階における乗用車走行燃費シミュレーション手法の適用

An Application of Simulation Method in Estimation of Fuel Consumption for a Passenger Vehicle under Development

○柴原尚希*[1)]，神崎昌之[1)]
Naoki SHIBAHARA, Masayuki KANZAKI
1)産業環境管理協会
* shibahara@jemai.or.jp

1. はじめに

乗用車の企画開発段階では、安全性や耐久性等の各種性能が検討され、仕様が具体化されていく。CO_2 排出量削減の観点からは、燃料消費率（燃費）が優れていることが重要な性能の一つである。乗用車の走行燃費に影響を与える要因は車両重量や走行抵抗であり、部品・部材を軽量な新素材に代替することで、それらの値を改善する取り組みが進められている[1)]。

代替部品に開発中の新素材を用いる場合、ライフサイクルの各プロセスにおける CO_2 排出量の増減がトレードオフの関係になる可能性がある（図 1）。乗用車の基本的なデザインは、決定後の大幅な変更が困難であるため、企画開発段階において、種車と比べた走行燃費の変化量を推計しておくことが重要である。

そこで本研究では、種車の燃費試験の結果を活用して、燃費に影響を与える因子を変化させた場合の走行燃費を一定精度で推計可能な手法を適用し、開発車の CO_2 排出削減目標達成のために必要な車両重量、走行抵抗の変化量を推計することを目的とする。

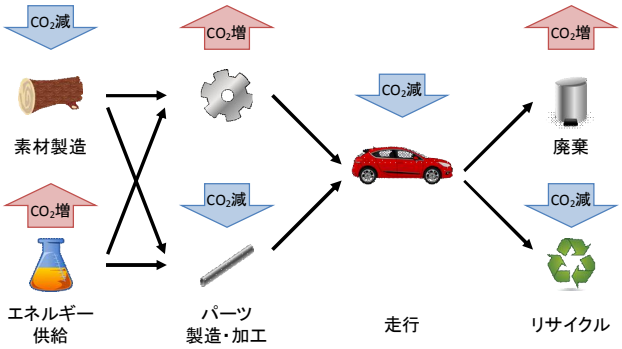


図 1　新素材を用いた乗用車のライフサイクル

表 1　試験モードの概要

試験モード	走行距離[km]	平均速度[km/h]
JC08-C	8.166	24.4
JC08-H	8.168	24.4
JC08	8.172	24.4
WLTC(L)	3.069	18.8
WLTC(M)	4.745	39.4
WLTC(H)	7.155	56.6
WLTC	14.970	36.5
土研 PN2	4.029	14.0
土研 PN3	7.207	25.6
土研 PN4	12.029	37.5
土研 PN6	16.841	52.7
土研 PEC9	25.317	85.4
土研 PEC11	29.385	101.4

2. 試験の概要

2.1 供試車両

等価慣性重量 1360 kg のマニュアル車を供試車両として、試験を実施した。

2.2 走行抵抗の測定

日本自動車研究所のテストコース（城里テストセンター）において、2017 年 11 月 10 日に走行抵抗を測定したところ、転がり抵抗 163.7 N、空気抵抗は 0.03648 N/(km/h)^2 であった。

2.3 燃費の測定

日本自動車研究所のシャシダイナモメータにおいて、2017 年 11 月 21～24 日に燃費試験を実施した。本研究で用いた試験モードの概要を表 1 に示す。

(1) JC08 モード

公定排出ガス試験法である JC08 モードにより、供試車両の燃費を確認したところ、11.73 km/L であった。

(2) WLTC モード

次期排出ガス試験法である Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure（WLTP）の WLTC モードにて、供試車両の燃費を確認したところ、13.45 km/L であった。なお、WLTP における車両重量の定義は JC08 と異なるが、供試車両の WLTP の車両重量は定められていないため、同一と仮定して試験を実施した。

2.4 燃費マップの測定

燃費マップ測定モード（JARIMEC）にて、速度と駆動力に対する燃費マップを測定した。ギア変速は、WLTP に沿ったタイミングとした。

2.5　燃費に影響する因子の感度分析

(1)　平均速度

平均速度に応じた燃費の違いを捉えるため、等価慣性重量、空気抵抗、転がり抵抗を標準値として、表 1 に示したモードで試験を行った結果を図 2 に示す。平均速度 60 km/h 前後の燃費が高く、低速域に向かうにしたがって低くなっていくことが分かった。

(2)　車両重量

車両重量の燃費への影響を捉えるため、等価慣性重量を変化させた場合の燃費変化率を図 3 に示す。なお、燃費変化率の定義は式(1)である。

$$\text{燃費変化率[\%]} = \frac{\left[\frac{1}{\text{因子変更後の燃費[km/L]}} - \frac{1}{\text{標準条件での燃費[km/L]}}\right]}{\frac{1}{\text{標準条件での燃費[km/L]}}} \times 100 \quad (1)$$

車両重量の燃費影響は低速の走行モードが判別しやすいため、測定走行モードは土研 PN3 モードを用いた。車両重量 25%減で燃費 5.9%減、車両重量 50%減で燃費 10.4%減となった。

(3)　空気抵抗

空気抵抗を変化させた場合の燃費変化率を図 4 に示す。空気抵抗の燃費影響は高速の走行モードが判別しやすいため、測定走行モードは土研 PEC9 モードを用いた。空気抵抗 25%減で燃費 9.4%減、空気抵抗 50%減で燃費 17.8%減となった。

(4)　転がり抵抗

転がり抵抗を変化させた場合の燃費変化率を図 5 に示す。転がり抵抗の燃費影響は速度に依存しないため、平均速度が土研 PN3 より高く土研 PEC9 より低い土研 PN6 モードとした。転がり抵抗 25%減で燃費 6.2%減、転がり抵抗 50%減で燃費 11.5%減となった。

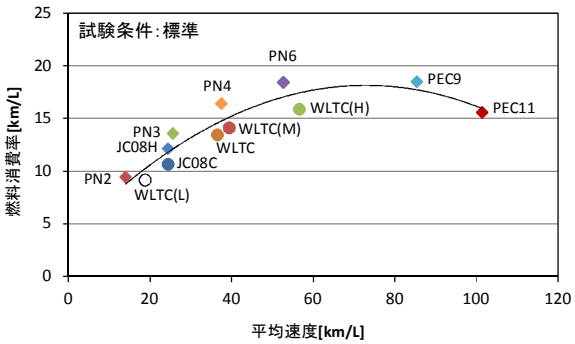


図 2　平均速度と燃費の関係

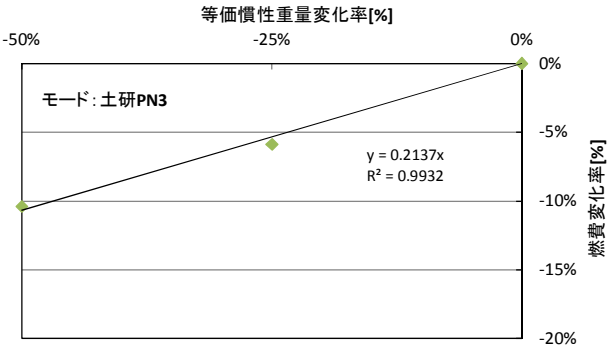


図 3　等価慣性重量変化率と燃費変化率の関係

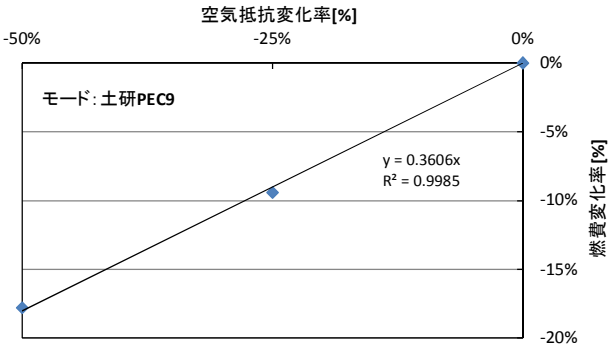


図 4　空気抵抗変化率と燃費変化率の関係

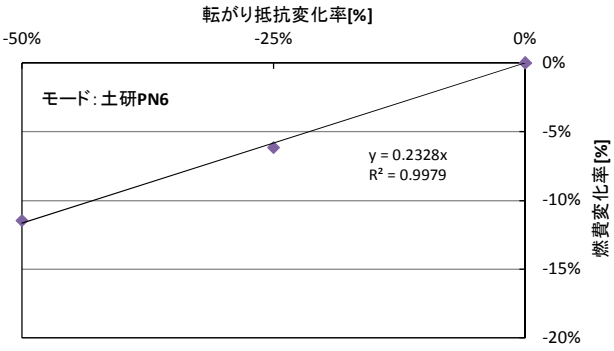


図 5　転がり抵抗変化率と燃費変化率の関係

3.　まとめ

本研究では、乗用車の企画開発段階において、燃費に影響する因子を変化させた場合の燃費の変化率を推計した。例えば、燃費改善目標が 10%の場合、車両軽量化のみで達成しよう考えると、約 50%の軽量化が必要となり現実的ではない。そのため、転がり抵抗や空気抵抗の改善も合わせて検討する必要がある。

本稿では、試験結果の速報値の報告にとどめたが、今後は、2.4 節及び 2.5 節で測定した燃費データを用いて、任意の時間－速度パターン、車両重量、空気抵抗、転がり抵抗における供試車両の燃費を推計可能なシミュレーションモデルを作成する予定である。

謝辞

本研究における試験及び結果の解析は、一般財団法人日本自動車研究所の協力のもと実施された。

引用文献

1)　一般社団法人産業環境管理協会：“平成 28 年度 セルロースナノファイバー性能評価事業委託業務（自動車分野における CNF 軽量部品の導入実証及び性能評価・検証）報告書”，(2017)

D1-03

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

CAFE 基準導入をふまえたライフサイクル CO_2 排出量分析

The Life-Cycle CO_2 Emissions through the Corporate Average Fuel Economy Standard

○金子満來*[1)]、加河茂美 [1)]

Mitsuki Kaneko, Shigemi Kagawa

1) 九州大学

* 1EC14032K@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化の深刻化により、昨年 2015 年のパリ協定では二酸化炭素排出削減目標が決定され（UNFCCC, 2015）、環境に対する認識はより高まっている。国土交通省によれば、日本の CO_2 排出量のうち、運輸部門は総排出量の 20%であり、そのうち自動車部門は 90%を占めている。

この運輸部門の CO_2 排出量削減と、競争の激化する自動車産業における企業のより柔軟な自動車販売の促進という二つの目的によって、2020 年度の燃費基準は現行の重量区分制に加え、アメリカで現行の企業別平均燃費基準（Corporate Average Fuel Economy Standard: CAFE 基準）が採用される計画である。この基準では、企業ごとに目標となる燃費基準値を販売台数によって決定し、その基準値を下回らないように自動車製造会社に燃費の向上を目指させるものとなっている（国土交通省、2008）。

本研究では、この基準のもとでの日本国内の自動車の燃費基準達成状況を企業別に分析し、各企業のライフサイクル CO_2 排出量を推計する。また、基準導入下での各自動車会社の最適な販売台数を求める。

2. 研究手法

日本の自動車製造会社の販売台数、燃費値をもとに、CAFE 値は新車販売台数の加重調和平均値として下式に表される。

$$CAFE^k = \frac{W^k}{\sum_i \frac{w_i^k}{x_i^k}} \tag{1}$$

ここで、W は企業 k の販売台数、$w^k{}_i$ は企業 k のモデル i の販売台数、$x^k{}_i$ は企業 k のモデル i の燃費値である。

次に、CAFE 基準値は以下のように計算する。

$$CAFETARGET^k = \frac{W^k}{\sum_j \frac{w_j}{XTARGET_j}} \tag{2}$$

ここで、$XTARGET_j$ は乗用車の重量区分 j に定められた目標燃費値である。

また、2020 年度の 15 の重量区分ごとにライフサイクル CO_2 排量 $Q^k{}_j$ を推計する。

$$Q_j^k = w_j^k f_{m,j}^k + w_j^k f_{g,j}^k + w_j^k f_h \tag{3}$$

ここで、$w^k{}_j$ は企業 k の区分 j における自動車の販売台数、$f^k{}_{m,j}$ は製造時の CO_2 排出原単位、$f^k{}_{g,j}$ は走行時の CO_2 排出原単位、$f^k{}_h$ は廃棄時の CO_2 排出原単位を表す。本研究では自動車の車両重量と価格から各車種の製造時の排出原単位の調整を行う。

また、CAFE 基準導入下で、各自動車製造会社が CAFE 基準を達成できる販売台数を、以下の(4)式に表した売上最大化問題を解くことによって求める。

$$\begin{aligned} &\max \sum_i p_i^k w_i^k \\ &\text{subject to} \\ &CAFE^k \geq CAFETARGET^k \\ &w_i^{k,*} \leq \alpha w_i^k \\ &\sum_i w_i^{k,*} \leq \sum_i \beta w_i^k \end{aligned} \tag{4}$$

最適な販売台数 $w^k{}^*{}_i$ が現状と乖離しすぎないために現在の販売台数 $w^k{}_i$ を α 倍、総和は現状の β 倍するという制約式を設ける。本要旨では、任意の値 α=2、β=1.5 を用い、燃費が 10%向上したときのシナリオの結果を示す。

3. データ

本研究における自動車のデータは 2015 年実績の自動車販売連合の新車登録販売台数、各車種の 2015 年の実績燃費値は国土交通省の自動車燃費一覧より JC08 モードの値、車両価格は自動車ポータルサイトのオートックワンより用いる。また、生涯走行距離は本要旨では、トヨタ自動車の 35 種の販売実績をもとに、トヨタ「MIRAI The LCA レポート」(2015)より、10 万 km の値を用いる。

4.　分析結果

分析対象の自動車製造会社 7 社の CAFE 基準値、CAFE 値を出すと以下のようになる。

表 1. CAFE 基準値と CAFE 値

	CAFE 基準値	CAFE 値
トヨタ	17.6	19.0
日産	18.0	17.9
ホンダ	19.1	21.6
三菱	16.4	13.3
マツダ	20.6	18.2
スズキ	23.2	21.2
スバル	17.4	15.1

表 1 から、トヨタとホンダは CAFE 値が CAFE 基準値を上回り、基準をクリアしているという結果が得られた。

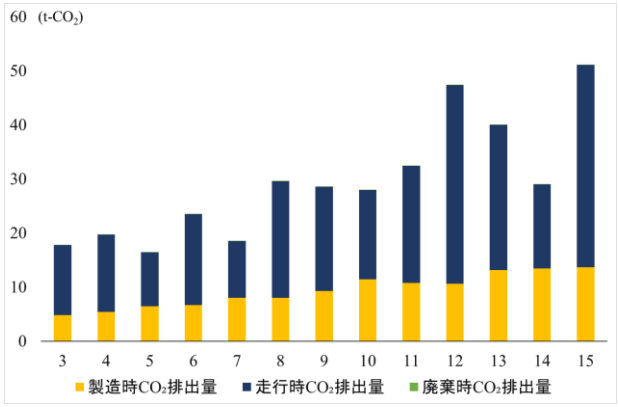


図 1　トヨタの重量区分ごとのライフサイクル CO2 排出量（一台あたり）

図 1 から、ライフサイクル CO2 排出量に占める走行時排出の割合が大きいことがわかる。また、燃費と車両重量に負の相関があるため車両重量が重くなるほど走行時排出量が大きくなっている。とくに走行時の排出が小さい区分にはハイブリッド車が多く含まれることが要因として挙げられる。

次に、(4)式の線形計画問題を解き、最適化された販売台数での売上の変化率を図 2 に示した。現状で CAFÉ 基準を達成できていなかった企業は最適化することで CAFE 基準を達成しつつ、約 40%売上が上昇した。また、7 社のうち三菱のみ売上が減少している。これはもともと各車種の燃費が低いため、CAFE 基準を達成するために売上も減少せざるを得ないからである。全体的な傾向として、制約のもとで売上を最大化するために、燃費の良い車種の販売台数、また、価格の高いの車種の販売台数が伸びていることが分かった。

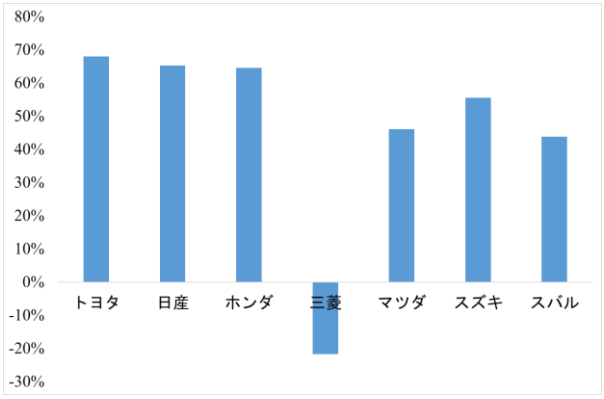


図 2　現状から最適化された場合の売上の変化率

5.　まとめ

本研究では自動車製造会社 7 社の CAFE 基準の達成状況を評価した。現時点で基準の達成状況は企業ごとに異なっている。また、ライフサイクル CO_2 排出量に占める走行時の排出量が大きいため燃費について注目する必要がある。また、最適化された販売台数のもとで企業は売上を増加させることができる。企業ごとの詳細な販売戦略の分析が今後の課題である。

6.　参考文献

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), U.S.A. (2016) https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy. (2017 年 4 月 10 日に使用)

United National Framework Convention Climate Change (UNFCCC) (2015) http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. (2017 年 4 月 10 日に使用)

一般社団法人 日本自動車販売協会連合会 (2016)、「新車登録台数年報（年刊）2016 年版第 39 集」

国土交通省 (2008)、「乗用車の 2020 年度燃費基準に関する最終とりまとめ」、http://www.mlit.go.jp/common/000170128.pdf.

国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html (2017 年 4 月 10 日に使用)

D1-04
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

日本における CAFE 基準導入を考慮した自動車メーカーの生産技術効率性分析

Analyzing Change in Production Efficiency of Automobile Companies Considering the Introduction of CAFE Standard in Japan

○江口昌伍*[1、2)]　稗貫峻一[3)]
Shogo Eguchi, Shunichi Hienuki
1) 九州大学、2) 日本学術振興会特別研究員、3) 横浜国立大学
* shogoeguchi43@gmail.com

1. 研究背景

2015 年において 、日本の CO_2 総排出量の約 15%は自動車の走行由来である（国土交通省、2017）。この CO_2 排出量の削減に向けて、日本は 2020 年から企業別平均燃費基準（Corporate Average Fuel Economy Standard : CAFE 基準）を導入する。この CAFE 基準では、目標年度において自動車メーカーの出荷した車両の加重調和平均燃費値（CAFE 値）が、重量区分毎に設定された燃費目標値を当該メーカーの出荷台数で加重調和平均した値（CAFE 基準値）を下回らないことが、各メーカーに基準として課される（経済産業省、2011）。

しかしながら、自動車のパフォーマンスは、燃費の良し悪しだけではなく、走行パフォーマンスや、経済性、積載量などを考慮して総合的に評価する必要がある。本研究では、日本の自動車メーカー9 社を対象として、データ包絡分析法（Data Envelopment Analysis: DEA）とマルムクイスト指数分解法を用いることで、各メーカーの自動車の生産技術効率性の時系列的な変化を定量的に推計し、その変化が CAFE 基準達成にどの程度貢献し得るのかを評価する。

2. データ

本研究では、各メーカーの自動車の生産技術効率性を推計するために、2 つの投入項目と 3 つの産出項目を仮定した。投入項目としては、車両重量と小売価格、産出項目として、燃費、馬力、室内容積を用いた。投入項目として用いた小売価格は、自動車製造に関する人件費の代理変数である。各項目のデータはオートックワンよりカタログ値を用いた（オートックワン、2017）。分析対象は日本の 9 社の自動車メーカー（レクサス、トヨタ、日産、ホンダ、マツダ、スバル、ミツビシ、スズキ、ダイハツ）であり、分析対象年は 2013 年と 2016 年とした。

また、本研究では、DEA 分析に必要な balanced panel data を構築するために、Voltes-Dorta *et al.* (2013)に基づき、各メーカーのそれぞれの車種を 7 つのボディスタイル（ハッチバック、セダン、ステーションワゴン、クロカン・SUV、クーペ、オープン、ミニバン）に分類した。そして、分類された各ボディスタイルに属する車種の投入・産出項目の平均値を、各メーカーの当該ボディスタイルモデルのパフォーマンスとして定義した。また、それぞれのボディスタイルモデルは、ガソリン車（GV）とハイブリッド車（HV）に区別される。これらの分類方法によって得られたボディスタイルモデルのサンプル数は、GV が 39、HV が 21 である。

3. 手法

3.1 産出指向型収穫可変 DEA モデル

Färe *et al.* (1994)の産出指向型の収穫可変 DEA モデルを用いると、ボディスタイルモデル z の生産技術効率性は次の式で表される。

$$\delta^t\left(\left(x_z, y_z\right)^t\right) = \mathrm{Max}.\ \theta$$

$$\text{s.t.}\quad \theta y^t_{mz} \le \sum_{j=1}^{J} \lambda_j y^t_{mj},\ m = 1,2,...,M$$

$$\sum_{j=1}^{J} \lambda_j x^t_{nj} \le x^t_{nz},\ n = 1,2,...,N$$

$$\lambda_j \left(j = 1,2,\ldots,J\right) \ge 0$$

$$\sum_{j=1}^{J} \lambda_j = 1 \qquad (1)$$

ここで、y_{mz} はボディスタイルモデル z の産出項目 m に関する産出ベクトルであり、x_{nz} はボディスタイルモデル z の投入項目 n に関する投入ベクトルである。y_{mj}、x_{nj} はそれぞれ、ボディスタイルモデル j の産出項目 m の産出量を表す産出行列、ボディスタイルモデル j の投入項目 n の投入量を表す投入行列である。λ_j は (1)式を解くことで内生的に求められるボディスタイルモデル j に関するウェイトベクトルである。本研究では産出項目を 3 項目、投入項目を 2 項目としている

表 1. 各メーカーの Malmquist 指数分解法の結果

2013年-2016年		レクサス	トヨタ	日産	ホンダ	マツダ	スバル	ミツビシ	スズキ	ダイハツ	平均
GV	*MI*	1.147	0.996	1.031	1.113	1.004	0.981	0.974	1.110	1.021	1.040
	EFFCH	1.109	0.985	1.001	1.061	0.967	0.982	0.959	1.046	1.004	1.012
	THCHCH	1.034	1.012	1.030	1.049	1.038	0.999	1.017	1.061	1.016	1.028
HV	*MI*	0.991	1.010	1.065	1.071	1.001	1.031	1.001	na	0.999	1.021
	EFFCH	0.973	0.990	1.000	1.015	0.963	0.998	1.000	na	0.950	0.986
	THCHCH	1.018	1.020	1.065	1.055	1.040	1.033	1.001	na	1.052	1.035

ため、M=3、N=2 である。また、GV の生産技術効率性を計測する場合は J=39、HV の生産技術効率性を計測する場合は J=21 となる。

（1）式は投入水準を増加させることなく、産出の増加を最大限達成可能な効率性スコア θ を見つける線形計画問題である。従って、θ は必ず 1 以上の値を取り、$\theta=1$ の時に効率的となり、値が大きくなるほど非効率的となる。また、$\theta=1$ であるボディスタイルモデルを結んだラインによって生産可能性フロンティアが構成される。なお、本研究の DEA フレームワークでは収穫可変モデルを用いており、生産技術効率性は投入水準に対する産出の増加に関して、収穫の逓増・逓減を考慮して推計される。（Banker *et al*., 1984）。

3.2 Malmquist 指数分解法

本研究では、Malmquist 指数（MI）分解法を用いて、生産技術効率性の経年的な変化を分析した。t 年から t+1 年にかけての生産技術効率性の変化は以下のように定義される（Färe *et al*., 1994）。

$$MI\left[t,t+1\right]=\underbrace{\frac{\delta^{t}\left(\left(x_z,y_z\right)^{t}\right)}{\delta^{t+1}\left(\left(x_z,y_z\right)^{t+1}\right)}}_{EFFCH}\times\underbrace{\left(\frac{\delta^{t+1}\left(\left(x_z,y_z\right)^{t}\right)}{\delta^{t}\left(\left(x_z,y_z\right)^{t}\right)}\times\frac{\delta^{t+1}\left(\left(x_z,y_z\right)^{t+1}\right)}{\delta^{t}\left(\left(x_z,y_z\right)^{t+1}\right)}\right)^{\frac{1}{2}}}_{TECHCH} \quad (2)$$

（2）式において、$MI\left[t,t+1\right]>1$ であれば、t 年から t+1 年にかけてボディスタイルモデル z の生産技術効率性は向上しており、$MI\left[t,t+1\right]<1$ の時には生産技術効率性の低下を示す。また、*MI* は（2）式の右辺のようにボディスタイルモデル z とフロンティアまでの距離の変化（キャッチアップ）を示す Efficiency Change Index (*EFFCH*)とフロンティアのシフトを示す Technical Change Index (*TECHCH*)に分解することができ、両指標ともに 1 より大きな値を取れば改善を、1 より小さな値を取れば減退を表す。（2）式の $\delta^{t+1}\left(\left(x_z,y_z\right)^{t}\right)$ は t+1 年の技術水準で評価した t 年のボディスタイルモデル z の生産技術効率性を表している。

4. 結果

表 1 は各ボディスタイルの Malmquist 指数分解法の推計結果を、メーカーごとに幾何平均値として集計した結果を示している。この結果から、2013 年から 2016 年にかけて、GV に関しては平均 4%、HV に関しては平均 2.1%生産技術効率性が向上していることが明らかとなった。また、メーカーごとに結果を見ると、GV に関しては、レクサスが最も大きな生産技術効率性の向上を示しており、ホンダは GV、HV ともに大きく生産技術効率性を伸ばしている。一方で、日本の自動車市場において最も大きな販売シェア（45.7%）を占めるトヨタに関しては、GV の生産技術効率性が 0.4%低下しており、HV の生産技術効率性は 1%向上しているものの、平均を下回る水準であった。

本会では、これらのメーカーごとの生産技術効率性の変化の結果とボディスタイルモデルごとの結果を総合的に評価し、メーカーごとの特徴の違いを詳細に考察する。また、Malmquist 指数分解法の結果を基に、生産技術効率性の時系列的な変化が 2020 年において、CAFE 基準の達成にどの程度貢献し得るものなのかを定量的に評価し、各メーカーの取るべき経営戦略について議論する。

引用文献

1) “運輸部門における二酸化炭素排出量”、国土交通省、<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html>（2018 年 1 月 9 日参照）
2) “新燃費基準策定の背景・経緯について”、経済産業省、<http://www.mlit.go.jp/common/000170128.pdf>（2018 年 1 月 9 日参照）
3) オートックワン、<http://autoc-one.jp/>（2018 年 1 月 9 日参照）
4) Voltes-Dorta, V., Perdiguero, J., Jiménez, J, L: *Energy Economics* 38, 2013, 77–86.
5) Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C, A, N: “Production Frontiers”, *Cambridge University Press*, 1994.
6) Banker, D, R., Charnes, A., Cooper, W, W: *Management Science* 30, 1984, 1078–1092.

47 都道府県の民生 CO_2 排出変化量の要因分析

Identifying Drivers of Residential Energy-Related CO_2 Emissions in 47 Prefectures

○重富陽介*[1)]，松本健一[1)]，榎原友樹[3)]，越智雄輝[3)]，小川祐貴[3)]，白木裕斗[4)]，山本裕基[1)]

Yosuke Shigetomi, Ken'ichi Matsumoto, Tomoki Ehara, Yuki Ochi, Yuki Ogawa, Hiroto Shiraki, Yuki Yamamoto

1) 長崎大学, 2) E-konzal, 3) 滋賀県立大学

* y-shigetomi@nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

我が国は 2015 年に採択されたパリ協定を受け、2030 年度に 2013 年度比で温室効果ガスを 26%削減することを国際公約としている。これに呼応し、エネルギー政策と整合する形で、各最終需要部門における二酸化炭素 (CO_2) 排出量の削減値が環境省によって示されている。民生家庭部門におけるエネルギー起源 CO_2 は近年やや減少しているものの、1990 年以降 2013 年まで増加傾向にあり、2030 年度に向けた排出削減目標値である 39%[1)] の達成には、地方行政の支援も重要である。しかしながら、昨今の人口集中あるいは過疎化に見られる人口移動、気候や所得、家族形態などのエネルギー利用に影響を与える要素は地域によって異なるため、地方自治体における排出削減努力の効果が見えづらい。こうした地域の社会・経済的な要素の差異による CO_2 排出構造を理解することは、排出削減に焦点をあてた地域政策の取り組みの有効性を評価する上で有用である。

そこで本研究では、index decomposition analysis (IDA) を利用して、京都議定書の第一約束期間の基準年となった 1990 年以降における都道府県別家庭部門のエネルギー起源 CO_2 構造を、これまでの都市と郊外の人口動態と家庭エネルギーに係るライフスタイル、エネルギー技術の観点から解析する。

2. 方法

2.1 47 都道府県の家庭 CO_2 排出量の分解

ここでは、都道府県別の家庭エネルギー起源 CO_2 排出構造を次式のように分解した。

$$C = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} H \frac{H_i}{H}\frac{P_i}{H_i}\frac{E_i}{P_i}\frac{E_{ij}}{E_i}\frac{C_{ij}}{E_{ij}} = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} HS_iT_iI_iV_{ij}U_{ij} \quad (1)$$

ここで $C, H, H_i, P_i, E_i, E_{ij}, C_{ij}$ はそれぞれ、都道府県別 m の CO_2 排出量、総世帯数、世帯属性別世帯数、世帯属性別人口、世帯属性別エネルギー消費量、エネルギー種別世帯別エネルギー消費量、エネルギー種別世帯ッ別 CO_2 排出量を示す。M=6 および N=5 は、それぞれ世帯主年齢階級の数 (1: ≤34, 2: 35-44, 3: 45-54, 4: 55-64, 5: 65-74, 6: 75≤) とエネルギー種数 (1: 「灯油」, 2: 「LPG」, 3: 「都市ガス」, 4: 「電力」, 5: 「熱供給」) である。$S_i = H_i / H$ は世帯の分布構成 (例: ある県の高年世帯の存在割合が若年世帯よりも多い)、$T_i = P_i / H_i$ は平均世帯人員を表す。 $I_i = E_i / P_i$ は世帯属性別 1 人あたりエネルギー消費量、$V_{ij} = E_{ij} / E_i$ は世属性別のエネルギー選択 (例: 家屋の暖房におけるガス利用が灯油利用よりも多い)、$U_{ii} = C_{ij} / E_{ij}$ は CO_2 排出強度を表す。ただし、世帯別の排出係数は区別できないため、U_{ij} はすべての i について等しいと仮定している。式(1)の 2 行目について、H, S_i, T_i はそれぞれ人口動態の影響を反映する要素を表す。I_i と V_{ij} はエネルギー利用に関するライフスタイルに関する要素である。U_{ij} は家庭内のエネルギーミックスを表し、特に電力の発電方式に影響を受ける要素である。

式(1)をもとに、式 1990 年から 2015 年の家庭 CO_2 排出構造の変化を式(2)のように 6 つの異なる要素 ΔD_{house}, ΔD_{dist} , ΔD_{size}, ΔD_{cons}, ΔD_{choice}, ΔD_{tech} に分解した。これらの要素の特定には、残差項が出ず多くの先行研究で利用されている logarithmic mean Divisia index (LMDI) における multiplicative decomposition approach [2)] を利用した。スペースの都合上、ここでは各要素の式の説明を割愛する。

$$\Delta D = D^{(T)} / D^{(0)} = \Delta D_{house}\Delta D_{dist}\Delta D_{size}\Delta D_{cons}\Delta D_{choice}\Delta D_{tech} \quad (2)$$

上付き文字の T および 0 は、それぞれ比較の対象年と基準年を表す。本研究では、データセットの制約から 1990 年 (T=0), 1995 年 (T=1), 2000 年 (T=2), 2005 年 (T=3), 2010 年 (T=4), 2015 年 (T=5) とした。ΔD_{house} は両年の世帯数の変化 (household effect)、ΔD_{dist} は世帯分布の変化 (distribution effect)、ΔD_{size} は平均世帯人員の変化 (size effect)、ΔD_{cons} は一人あたりエネルギー消費量の変化 (consumption effect)、ΔD_{choice} は家庭内のエネルギー選択の変化 (choice effect)、ΔD_{tech} はエネルギー技術の変化 (technology effect) に伴う影響を表す要素である。これらの結果はすべて、基準年からの CO_2 変化に対する寄

与率として表現される。

2.2 データセット

各年の H, H_i, P_i は国勢調査から取得した。E_i と E_{ij} については、都道府県別エネルギー消費統計と全国消費実態調査 (全消調査) に記載される世帯主年齢階級別のエネルギー項目の 1 世帯あたり消費額を利用した。都道府県別エネルギー消費統計を参照することで、都道府県別の家庭部門におけるエネルギー起源 CO_2 の総量 E_j と、各エネルギー種における排出係数 U_j ($=U_{ij}$)を求めることができる。全消調査からは電気代、ガス代、その他の光熱に掛かる費用を参照でき、これらと世帯データから各エネルギー項目のマーケットシェア (例: 北海道内の 35 歳未満の世帯主年齢世帯における電力消費は全世帯の 13%) を算出し、E_j に乗じることで E_{ij} を推定した。これを j について総和をとることで、E_i を決定した。

3. 結果

3.1 1990 年から 2015 年における日本全体の家庭エネルギー起源 CO_2 排出構造の変化要因

1990 年以降、2005 年から 2010 年の間を除き、CO_2 排出量は増加傾向にある。この傾向に大きく寄与していたのは household effect と technology effect であった。前者はこの 25 年間で緩やかに上昇し続けており、後者も 1995 年から 2000 年にかけて微減しながら、以降は増大している。特に 2010 年から 2015 年にかけては大きく増加しており、これは東日本大震災に起因する原子力発電所の停止の影響が強いと考えられる。一方で distribution effect と size effect は減少傾向が見られ、同じ人口動態に着目する household effect と相殺関係にある。両者の絶対値の差は徐々に狭まり、2015 年にはほぼ一致する。すなわち、世帯増に伴う排出増加が、少子高齢化に起因する人口減少や世帯分布の変化による排出減少に打ち消される割合が大きくなりつつある。consumption effect も 2005 年以降は低減しており、エネルギー利用の効率化や節電意識の高まりが反映されつつあることが示唆される。choice effect は僅かであるが排出増加に寄与する傾向が強まった。

3.2 2015 年における都道府県別の家庭エネルギー起源 CO_2 排出構造の変化要因

表 1 に、各都道府県の人口動態推移 (household effect × distribution effect × size effect) とライフスタイルシフト (consumption effect × choice effect) の影響をまとめた。太字は上位 5 都県、網掛けは下位 5 都県を表す。すなわち、この 25 年間の少子高齢化によって、すでに 34 都道府県の家庭 CO_2 排出量は減少の影響を受けていたことが明らかとなった。対照的に人口動態推移による排出増の傾向が最も見られたのは滋賀県 (+16.3%)で、大阪や京都のベッドタウンとしての重要性が高まった結果を反映していると考えられる。ほかには関東地方や近畿地方に属する都府県、経済都市を抱える愛知県や福岡県の排出増が顕著であった。一方で、ライフスタイルの変化によって排出量を減少させたのは、僅かに 7 都府県に過ぎないことが示された。最も排出量を減少させていたのは神奈川県 (-10.1%)で、東京都や大阪府なども減少に転じている。しかしながら、これらの都府県は人口動態推移の影響にマスクされ、正味の削減効果が表れていないことを示している。したがって、残りの 40 道府県、特に人口動態推移による排出減が生じながらライフスタイル由来の排出増が目立つ地域において、さらなる排出削減のためのエネルギー政策の立案と実施が、真に低炭素な家庭部門の CO_2 排出削減にとって重要である。

表 1. 1990 年値を基準とする 2015 年の都道府県別 (a) 人口動態推移と (b) ライフスタイルシフトに伴う家庭 CO_2 排出変化割合

Pref. no.	Region	Prefecture	(a) Demographic trend Emissions	(a) Demographic trend Rank	(b) Lifestyle shift Emissions	(b) Lifestyle shift Rank
1	Hokkaido	Hokkaido	-2.8%	22	23.1%	6
2	Tohoku	Aomori	-13.3%	43	**32.7%**	**3**
3	Tohoku	Iwate	-13.7%	45	**34.6%**	**2**
4	Tohoku	Miyagi	-1.0%	15	17.8%	13
5	Tohoku	Akita	-18.9%	47	22.0%	9
6	Tohoku	Yamagata	-13.6%	44	9.8%	26
7	Tohoku	Fukushima	-10.0%	39	**36.4%**	**1**
8	Kanto	Ibaragi	0.2%	14	18.9%	12
9	Kanto	Tochigi	-2.5%	20	1.3%	39
10	Kanto	Gunma	-3.6%	26	7.3%	32
11	Kanto	Saitama	**10.9%**	**5**	4.8%	37
12	Kanto	Chiba	10.4%	6	7.7%	30
13	Kanto	Tokyo	**12.3%**	**4**	-7.8%	46
14	Kanto	Kanagawa	**13.9%**	**2**	-10.1%	47
15	Hokuriku	Niigata	-10.2%	40	12.7%	22
16	Hokuriku	Toyama	-7.8%	33	9.9%	25
17	Hokuriku	Ishikawa	-1.2%	17	20.8%	10
18	Hokuriku	Fukui	-7.2%	31	**28.7%**	**5**
19	Hokuriku	Yamanashi	-3.2%	25	-6.0%	45
20	Tokai	Nagano	-6.3%	30	6.4%	34
21	Tokai	Gifu	-2.7%	21	17.0%	14
22	Tokai	Shizuoka	-3.9%	27	5.7%	36
23	Tokai	Aichi	9.7%	7	0.6%	40
24	Tokai	Mie	0.2%	13	6.7%	33
25	Kinki	Shiga	**16.3%**	**1**	7.6%	31
26	Kinki	Kyoto	2.8%	12	8.6%	28
27	Kinki	Osaka	4.9%	9	-3.8%	42
28	Kinki	Hyogo	4.6%	10	-5.5%	44
29	Kinki	Nara	3.1%	11	11.7%	23
30	Kinki	Wakayama	-9.5%	37	13.7%	19
31	Chugoku	Tottori	-8.6%	36	15.3%	16
32	Chugoku	Shimane	-14.5%	46	8.4%	29
33	Chugoku	Okayama	-3.0%	24	14.6%	18
34	Chugoku	Hiroshima	-1.1%	16	-0.5%	41
35	Chugoku	Yamaguchi	-13.1%	42	14.9%	17
36	Shikoku	Tokushima	-8.5%	35	12.8%	21
37	Shikoku	Kagawa	-8.0%	34	9.6%	27
38	Shikoku	Ehime	-10.6%	41	19.3%	11
39	Shikoku	Kochi	-7.5%	32	6.3%	35
40	Kyushu	Fukuoka	5.6%	8	3.7%	38
41	Kyushu	Saga	-5.3%	28	22.1%	8
42	Kyushu	Nagasaki	-9.7%	38	16.1%	15
43	Kyushu	Kumamoto	-1.3%	19	10.7%	24
44	Kyushu	Oita	-2.9%	23	22.3%	7
45	Kyushu	Miyazaki	-1.2%	18	**32.4%**	**4**
46	Kyushu	Kagoshima	-5.5%	29	13.6%	20
47	Okinawa	Okinawa	**13.4%**	**3**	-4.6%	43

4. 引用文献

1) 地球温暖化対策推進本部, 環境省, 2016.
2) Ang, 2005. *Energy Policy*. 33(7), 867-871.

E1-02
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

家計消費に伴う世代間の社会負荷分配問題

Generational Social Burden Issues due to Household Consumption

○チャップマン アンドリュージョン*[1)]、重富陽介 [2)]
Andrew John Chapman、 Yosuke Shigetomi
1) 九州大学、 2) 長崎大学
* chapman@i2cner.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

我々のライフスタイルを支える上で、資源の消費は不可欠である。すなわち消費行動は、消費された資本の量ないし資源の量および種類によって定量化される。消費される資源が自然において有限であるとき、しばしば所得やその他の社会・経済要素に依存する社会のセクター間で不均衡が生じる。さらに、我々の生活を維持するための有限な資源やエネルギーの消費は、大気や水質、土壌の汚染や、希少資源の枯渇といった種々の社会悪を含んだ影響を引き起こしてきた。理想的な状況下においては、こうした社会の中で生じた負荷は、平等に共有されるだろう。しかし、環境そのものや資源枯渇に対する影響を考える場合、自身のライフスタイルの中で最もそれらの恩恵を受けるものが、必ずしも最大の負荷を背負わない [1)]。

日本は今日、世界でも最も高い水準の都市化と人口の問題に直面している。例えば、アジア諸国や他の先進国と比較しても、最も速く高齢化が進行し、かつ最も低い労働人口割合を示している [2)]。また、同時に合計特殊出生率の低下から人口減少が続いており、大規模な労働力の損失と経済的な負の影響に繋がっている。一方で、日本政府はこれらの人口問題を把握しているが、省エネルギーの観点からは人口減少にメリットがあると認知している。これと同時期に公表されたエネルギー基本計画においては、2030 年までの一次エネルギー供給構造と今後の人口動態の推移を考慮した長期エネルギー需給見通しを補完する上で、エネルギー需要構造の変化と技術革新の融合に向けた課題が認識されている。

こうした背景から、本研究では家計消費と社会的平等性の関係に着目し、とりわけ平等性を低下させる負の公共財 (Public Bads) および環境不正義 (Environmental Injustices) に注目する。具体的には、これまでのエネルギー消費に絞った社会的平等性の評価フレームワークをライフサイクル思考に基づいて家計消費全体を対象とし、人々の消費構造の差異によって生じる Public Bads を可視化することを目的とする。さらに、今後の日本の少子高齢化の進行に応じて、それらがどのような影響を受けて変容していくのかについて考察する。

2. 方法

世代を超えた家計消費構造の差異に着目し、それに起因する Public Bads を評価するために、先行研究で開発したエネルギー政策の持続可能性評価フレームワーク (EPSEF: energy policy sustainability evaluation framework) [3)] を利用した。家計消費に由来して発生する Public Bads には、様々な社会・環境負荷指標が含まれうるが、本研究では Environmental Injustices に関する文献レビューをもとに、5 つの指標 (温室効果ガス (GHG)、水資源、廃棄物、大気汚染物質、希少資源利用リスク) に絞り込んだ。これらの指標の同定には、LCA の産業連関分析法 (IO-LCA) を用いた。

2.1 Public Bads の定量化

本研究が対象とする Public Bads を構成する指標は、IO-LCA をもとに消費者統計を用いることで、それぞれ日本の国内で生じる家計消費由来のフットプリント (直接・間接負荷量) として定量化した。

次に、2005 年から 2035 年における人口動態の推移が Public Bads に及ぼす影響を推計するために、同期間の世帯主年齢別の年間支出額を次のように決定した。まず、2005 年の国内 IO 表の家計最終消費支出部門を 2004 年の全国消費実態調査 (全消調査) を利用して 6 つの世帯主年齢階級別 (20s: ≦29; 30s: 30-39; 40s: 40-49; 50s: 50-59; 60s: 60-69; 70s: 70≦) に分解した。この 2005 年における世帯別支出額をもとに、社人研による世帯推計データと平均世帯人員の推移を考慮して、2010 年から 2035 年まで 5 年おきの世帯別支出額を推計した [4)]。この世帯別支出額の将来値は、2005 年の各支出額をもとに、世帯数と世帯人員数の変化を反映する。推計した世帯別支出額を、対応するフットプリント原単位 (GHG[5)]、ブルー・グリーンウォーター[6)]、産業廃棄物 [7)]、$PM_{2.5}$、ネオジム採掘リスク [8)]) に乗じることで、少子高齢化の影響を受けて変化する各世帯主年齢別フットプリントを推定した。$PM_{2.5}$ フットプリント原単位については、EDGAR 4.3.1 が公開する同年の部門別直接排出量を国内 IO 表の部門と対応させ、レオンチェフ逆行列を乗じることで新たに作成を行った。

2.2 家計消費由来の Public Bads の可視化

消費支出額と上記の家計フットプリントは Public Bads に影響を与える。ここでは 2005 年から 2035 年を

解析対象とする。以下に、EPSEF のフレームワークに基づく「相対的 Public Bads スコア」の算定方法を簡潔に記述する。

初めに、解析期間中の世帯別フットプリントを、各々の最大値で除することで正規化した。

$$EV_{ij}^{(t)} = \frac{HF_{ij}^{(t)}}{MaxHF_{ij}^{(t)}} \quad (1)$$

ここで、*EV* は正規化された家計フットプリントの値、*HF* は家計フットプリントを表す。*i* および *j*、*t* は、それぞれ家計フットプリントの種類、世帯主年齢階級、解析対象年を示す。こうして算出された *t* における各フットプリントの *EV* を合計し、消費者の各フットプリントに対する性向を表す係数で重み付けすることで、相対的 Public Bads スコア *rPB* を算定した。

$$rPB_j^{(t)} = \frac{\sum_i EV_{ij}^{(t)} \times w_i}{\sum_i w_i} \quad (2)$$

w はフットプリント間の重み付け係数である。社会的平等性を同定した先行研究では、この係数をアンケート調査から決定している。今回の報告ではフットプリント間の重要度に差がないものと想定したため、全ての *i* について *w*=1 とした。今後は、大規模なアンケート調査を実施することで、この係数を考慮した計算を行う。次に各年において、全体の家計消費支出額における世帯別支出割合を x 軸、世帯別 *rPB* を y 軸としてプロットし、その幾何重心の座標を導出した。さらに、結果を散布図として容易に比較可能とするために、期間中の各重心の x 座標の最大値と y 座標の最大値をもとに、各年の重心の x 座標と y 座標を基準化した。基準化された各重心の x 座標と y 座標を別個にプロットすることで、それぞれ世代を越えた Public Bads の発生源 (Consumption Burden) とその相対的な値 (*rPB*) を表現し、年毎の比較を可能とした。

3. 結果と考察

算出した世帯別消費支出額と各フットプリントをもとに推計した Consumption Burden と相対的 Public Bads の結果を、図 1 に示す。図中において、Consumption Burden は、棒グラフ内で上方に向かうほど Public Bads の発生源が高齢世帯層に偏っていることを表している。すなわち、2005 年以降の少子高齢化に応じて、Public Bads に寄与している世代は高年世帯に移っていく。このことは昨今の人口動態を考慮すると予想を裏切るものではないが、Consumption Burden は 2035 年をピークとしているため、この傾向は 30 年間に渡って進行し続けることを意味する。一方で、Public Bads は 2025 年にこの期間中に最大 (=100) になることが示唆された。この傾向は、今回解析対象とした $PM_{2.5}$ を除く各フットプリントの総量がすべて 2015 年に最大値を示した推計結果と異なる。また、2005 年と 2010 年の間と比較して、2010 年から 2025 年までの Public Bads は加速的に増大する。最大となる 2025 年と 2030 年の差はほとんどなく、2035 年においても 2020 年と同程度の Public Bads を示した。

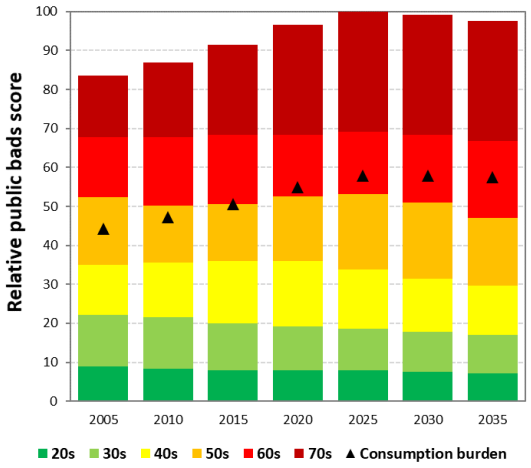


図 1. 2005 年から 2035 年における相対 Public Bads とその発生源 (Consumption burden)

今回の発表では、ライフサイクル思考を利用することで、家計消費全体を包含する社会的平等性の評価する新たなフレームワークを提示することに主眼を置いている。今回用いたフットプリント推計の方法では、技術や産業構造の変化、政策介入や震災影響の有無といった外的な要素を、2005 年から固定している。今後は、こうした固定した要素の動学化を図ることで、分析の確度を上げることが望まれる。今回の分析では含めていない *rPB* の計算におけるフットプリント間の重み付け係数を決定するために、大規模なアンケート調査を実施する。また、Public Bads の指標についても注意深く吟味し、その後再度結果を分析する。さらに、日本の今後の Public Bads、ひいては社会的平等性の向上に向けて、どういった家計消費構造の変容が必要となるのか、より具体的な政策的含意の考察が肝要である。

4. 引用文献

1) Johnson, 2012. *Enc. Applied Ethics* 2nd Ed, 124–132.
2) Chomik et al., 2015. *Asn. Econ. Pol. Rev.* 10, 199-222.
3) Chapman et al., 2016. *Eng. Res. & Soc. Sci.* 21, 54-69.
4) Shigetomi et al., 2015. *Ecol. Econ.* 119, 118–126.
5) 南齋・森口, 2013. 3EID.
6) Ono et al., 2015, *Int. J.LCA*. 20, 1456-1467.
7) 東京都市大学伊坪研究室 HP
8) Nansai et al., 2015. *Environ. Sci. Technol.* 49, 2022-2031

E1-03

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

経済実験による家庭部門の電力・CO_2 排出量取引市場に関する基礎的検討

Investigation on electricity and carbon emission trading market of household sector by economic experiment

○岩崎堅太*[1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)]

Kenta Iwasaki, Naoki Yoshikawa, Koji Amano

1) 立命館大学

*rv0017xk@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

低炭素政策の一つとして国家間、企業間の CO_2 排出量取引の導入が世界的に注目されている。将来技術革新により、家庭間における排出量取引についても導入可能になると想定されるが、家庭レベルの市場の挙動に関する研究は少ない。また、市場特性の分析には，取引参加者の行動の把握が必要である。加えて、家庭による CO_2 排出の約 7 割 [1)]が電力由来であることから、再生可能エネルギー発電を利用した電力会社を含めた、電力取引の分析も並行して行う必要がある。

そこで本研究では、家庭部門を対象とした電力使用における CO_2 排出量取引市場と、家庭と電力会社の間を対象にした電力取引市場を想定し経済実験による家庭の行動特性の分析を試みる。排出量取引および電力取引における行動特性の把握を通して、市場の動きをより正確に分析するための情報の整理が本研究の目的である。

2. 研究方法

2.1 経済実験概要

本研究で家庭の行動特性を把握する手法として、キャップアンドトレード方式を用いた排出量取引市場と入札制度を用いた電力取引市場を模した経済実験を行った。電力全面自由化を考慮し、電力取引市場では系統電力と再生可能エネルギーによる電力供給を行う新電力会社（以下「再エネ」と称する）を想定した。

実験被験者は、家庭側と再エネ側の二つのプレイヤーに分かれて取引を行った。家庭側は排出量取引、電力使用、電力取引における行動特性を把握するために、1 日の平均使用電力が 14kWh の一般的な家庭を想定している。再エネ側は、天候の不確実性とそれに基づく戦略的な行動を考慮するために、太陽光発電および蓄電池を有するものと想定し、実験の簡略化のため発電における CO_2 排出がないものとした。家庭側は効用最大化、再エネ側は利益最大化を目標として取引を実行する。取引期間は 15 日間に設定し、電力取引は毎日 1 回として計 15 回行い、排出量取引は 3 日に 1 回として計 5 回の取引が実行される。家庭側は使用電力量の選択と、電力購入先を勘案しながら電力購入注文を行い、CO_2 排出量を考慮しながら家庭間で排出枠の購入、売却の注文を行う。再エネ側は天候による発電量と、蓄電量を勘案しながら電力販売注文を行う。天候は、晴れ、曇り、雨の 3 通りとし、それぞれに 1 日あたりの発電量を設定した。電力取引価格は 2 つの条件で実験を行い、設定 1：26、28、30、32、34（円/kWh）の５通りの価格、設定 2：24、26、28、30、32（円/kWh）の５通りの価格から選択させた。また、家庭側は使用電力量と再エネからの購入電力量の差分を、系統電力から購入するものとし、価格は 24 円/kWh で一定とする。使用電力量は選択基準として使用電力量ごとに効用を設定し 2 つの条件で実験を行った。設定 1：10、12、14、16、18（kWh/日）の 5 段階、設定 2：10、11、12、13、14（kWh/日）の 5 段階から選択させた。効用値は、電力と限界効用一定の合成財の 2 財によるコブダグラス型効用関数を想定し、表 1 のように特定化した。関数の推定に際し、短期の価格弾力性は電力中央研究所 [2)]のデータを引用した。

表 1　使用電力量ごとの効用

使用電力量（kWh/日）	10	11	12	13	14	16	18
効用(円)	596	623	650	676	700	746	790

再エネ側の販売電力量が、発電量＋蓄電量を超える場合は、不足分をインバランス料金 35 円/kWh で電力を購入し補填する。この価格は、既存の系統電力の変動範囲外 インバランス料金 [3)]を、加重平均し設定した。排出量取引価格は 1～9（円/kWh 相当- CO_2）の 9 つの段階とし、家庭側は購入、売却どちらの注文も可能、再エネ側は取引を行わないものとした。各家庭の初期排出枠は、日本の削減目標の達成を勘案して、2005 年の家庭部門電力由来 CO_2 に 96.2%を乗じた上で、半月換算し世帯で除し、CO_2 排出係数で除すことで初期排出枠は 165（kWh 相当- CO_2）とした。15 日終了時点で、排出枠を超える排出が行われた場合、1kWh 相当- CO_2 あたり 10 円のペナルティーを科すものとした。実験全体の流れは図 S1 に、家庭側、再エネ側の効用・利益の計算について、図 S2 に示す。

2.2 実験条件

本研究では 8 回の実験を行った。それらを実験 A～H とし、2.1 で述べた以外の条件を表 S 1 に示す。実験 A～D は設定 1 で実験を行い、実験 E～H は設定 2 で実験

表 2　家庭側実験結果

	設定 1				設定 2				
	実験A	実験B	実験C	実験D	実験E	実験F	実験G	実験H	比較対象
平均効用(円)	7295.7	7256.8	7191.9	7212.4	7306.0	7381.7	7365.4	7357.2	7010
平均残排出枠 (kWh相当-CO_2)	16.60	5.48	0.39	1.68	11.54	7.85	26.82	29.08	-45
平均使用電力量 (kWh/日)	12.5	13.3	12.4	12.5	11.7	11.6	11.9	11.9	14

を行った。また、実験 A,、B、G、H における再エネ供給可能量は、14kWh 毎日使用すると想定した時に不足する枠の量とし、実験 C、D、E、F は不足する枠の半分の量とした。

3. 結果と考察

3.1　家庭側実験結果

家庭側プレイヤーの実験結果を表 2 に示す。比較対象は，電力を 1 日 14kWh 使用し，そのすべてを系統電力から購入した場合の結果である。各実験で比較対象よりも，平均効用，平均残排出枠，平均使用電力量が向上した値となり、家庭間における CO_2 排出量取引の有用性が示された。

3.2 家庭側行動分析結果

次に家庭側プレイヤーの行動を、電力使用、電力購入、排出量取引行動の 3 つの行動から、クラスター分析を行った結果が表 3、表 4 である。表 3 は設定 1 のプレイヤーの分析、表 4 は設定 2 のプレイヤーの分析である。

表 3　行動分析結果（設定 1）

	クラスター	電力使用	電力購入	排出枠取引	サンプル数
1	省エネ・排出枠販売	10、12kWh の選択が多い	30円までの注文が多い	4円から売り注文	12
2	省エネ・排出枠購入	10、12kWh の選択が多い	30円までの注文が多い	売り注文が少ない	4
3	排出枠注文少	平均	32円までの注文が多い	注文自体が少ない	15
4	電力大量消費	14kWh以上の選択が多い	34円でも注文	9円でも買い注文	2
5	その他	10もしくは18kWh	購入なしまたは大量購入	9円でも買い注文	2

表 4　行動分析結果（設定 2）

	クラスター	電力使用	電力購入	排出枠取引	サンプル数
1	省エネ・排出枠販売	10、11kWh の選択が多い	28円までの注文が多い	1円から売り注文	11
2	排出枠購入	14kWh の選択が多い	30円までの注文が多い	6円まで買い注文	4
3	再エネ購入	満遍なく選択	32円でも注文	6円から売り注文	9
4	再エネ購入・排出枠販売	12kWhまで の選択が多い	26円までで、注文量多い	1円から売り注文	15
5	排出枠販売	10もしくは14kWh	28円までの注文が多い	3円から売り注文	8

それぞれ 5 つのクラスターに分けることができることが分かった。また、それらの行動が効用の結果に影響があるか、多重比較分散分析を行った結果が図 1 である。左図は設定 1 のプレイヤーの分析であり、サンプル数が少ないクラスター4，5 を除いたもの、右図は設定 2 のプレイヤーの分析である。

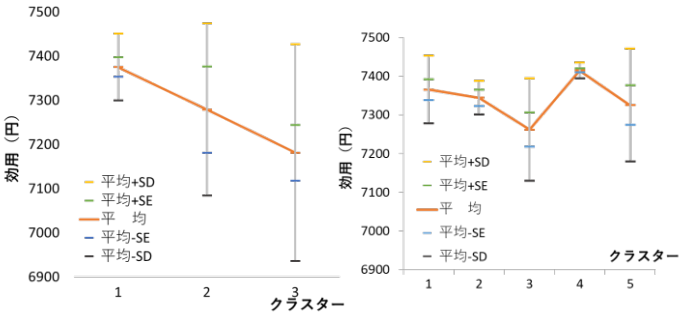


図 1　多重比較分散分析（左：設定 1、右：設定 2）

設定 1 の実験では、省エネ・排出量販売グループと排出枠注文少グループを比較した場合、P 値が 0.033 と効用の結果に有意な差があることが分かった。また、設定 2 のグループでは、再エネ購入グループと再エネ購入・排出枠販売グループを比較した場合、P 値が 0.033 と効用の結果に有意な差があることが分かった。

4. おわりに

分析結果から家庭間における排出量取引の有用性が示された。また、家庭の行動により、効用に有意な差があることが示された。

本研究では使用電力の選択基準の効用が、天候などに関係なく一定と仮定して実験を行っている。また、初期排出枠、世帯の設定は一律である。これらの点が今後の課題だと考える。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費（JP 15K06277）からの支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1)環境省：“2015 年度の温室効果ガス排出量（確報値）”,(2015)

2)電力中央研究所：“地域別電灯・電力需要の価格弾力性の分析”，(2013)

3)経済産業省：“第 7 回　制度設計ワーキンググループ事務局提出資料”,(オンライン),入手先< http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/kihonseisaku/denryoku_system/seido_sekkei_wg/007_haifu.html >,(2014-7-30)

Supporting Information

S. 1 実験の流れ

実験の流れを図 S1 に示す。また、効用・利益の計算方法は図 S2 に示す。

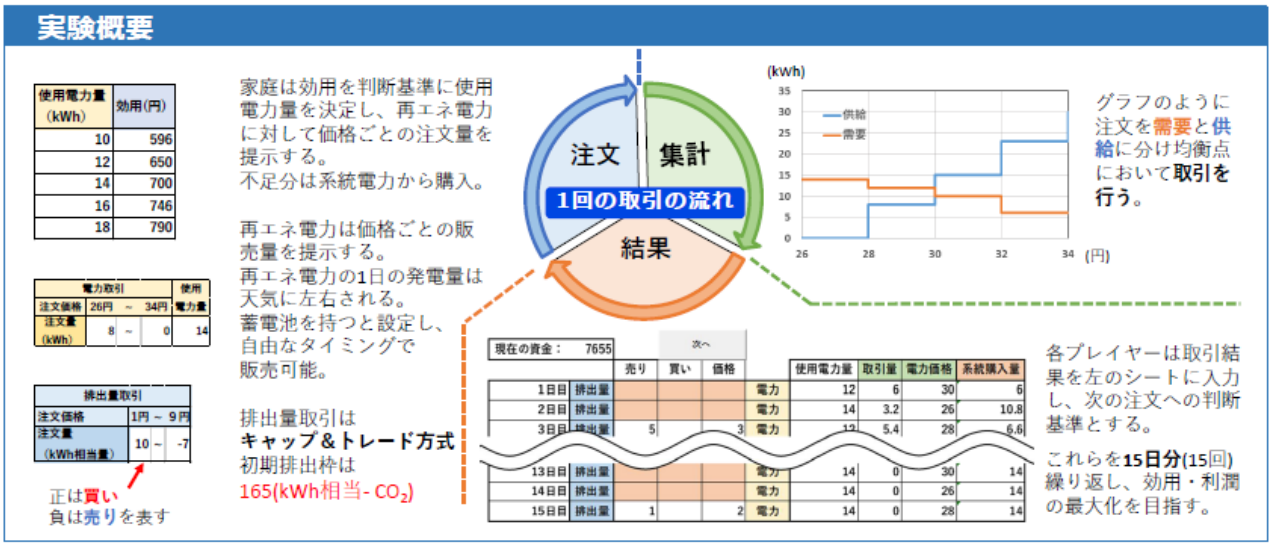


図 S1 実験の流れ

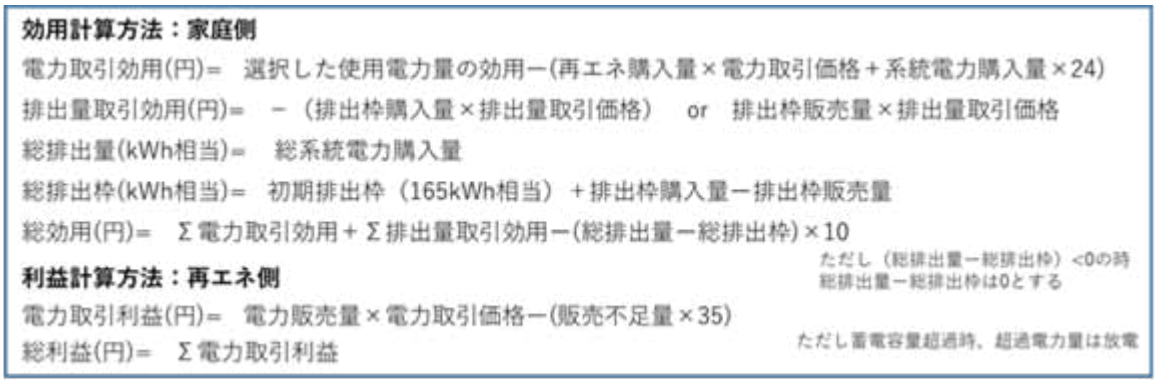


図 S2 効用・利益計算方法

S. 2 実験条件

表 S1　実験条件

	設定 1				設定 2			
	実験A	実験B	実験C	実験D	実験E	実験F	実験G	実験H
被験者数:家庭(人)	10	6	10	9	13	12	11	12
被験者数:再エネ(人)	3	3	3	3	3	3	3	3
再エネ総発電量(kWh)	441.6	280.8	218.4	218.4	280.8	280.8	499.2	530.4
再エネ供給割合結果	20.6%	20.1%	11.5%	12.7%	12.3%	9.5%	22.3%	23.7%

E1-04,P2-026　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

家計消費とプラネタリー・バウンダリー：土地利用の変化について

Household consumption and planetary boundaries: a case study of land-use change

○佐々木貴央*[1)]、南斉規介[2)]、橋本征二[1)]
Takahiro Sasaki, Masaharu Motoshita, Keisuke Nansai, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学,　2) 国立環境研究所
* rv0037ie@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

近年、地球システムの重要なプロセスについて、人類が安全に活動できる境界を示した「プラネタリー・バウンダリー」[1)]という概念が注目されている。プラネタリー・バウンダリーは、気候変動、海洋の酸性化、成層圏オゾンの減少、窒素・リン循環の変化、淡水の利用、土地利用の変化、生物多様性の減少、エアロゾルの負荷、化学物質による汚染という 9 つの項目からなるが、いくつかの項目は既に限界値を超えており[2)]、持続可能な社会の実現のためにも我々の活動をプラネタリー・バウンダリーの範囲内に抑えることが求められている。このためには、我々のどういった消費活動がどのプラネタリー・バウンダリーにどれだけ影響を与えているのかを知る必要がある。例えば、筆者らは家計消費と淡水利用の関係について分析を行ってきている[3)]。

本研究では、9 つのプラネタリー・バウンダリーの中でも土地利用の変化、具体的には森林減少を対象として、我々の家計消費が森林減少に与える影響を評価した。

2.　方法

2.1　家計消費の影響の推計方法

本研究では、世界連結産業連関モデル(Global Link Input-Output model)(以下、GLIO モデル)[4,5)]を用いてグローバルな直接・間接の森林減少面積を推計した。GLIO モデルでは、わが国の生産消費システムと諸外国との国際貿易を通じた関係性を表 1 に示す勘定体系に基づき表現し、国内外における財やサービスのフローを記述している。本研究では、表 1 の$\sum_{k=1}^{l} Y^{(k)}$, $\sum_{k=1}^{l} Z^{(k)}$, $\sum_{k=1}^{l} W^{(k)}$, f^{G}のフローを各国の国内森林減少面積に関するフットプリント量に換算し、産業連関分析により日本の家計消費に起因するグローバルな森林減少量を推計した。なお、本研究では全てのデータ整備が可能な 2005 年を対象とした。

2.2　各国各部門における直接的な森林減少面積の推計方法

本研究では、表 1 の国内部門を 812 部門(n^{JP}=406、n^{JI}=406)、国外部門を 230 部門(n^{GL}=230)、国外商品を 111 種類(l=111)として、森林減少面積の推計を行った。フローのフットプリント量の変換は、GTAP(Global Trade Analysis Project)の各国の産業連関表を用いて部門別の内包型森林減少原単位を推計し、それを国際貿易のフローに乗じることで行った。以下に、GTAP の部門別直接森林減少量の設定方法を述べる。なお、2005 年を対象とすることから、FAOSTAT を用いて 1995 年から 2005 年にかけての各国の土地利用面積の年変化を集計した。

表 1 世界連結産業連関(GLIO)モデルの勘定体系

表頭表側は以下の通り。sc1, 部門分類(第一階層); sc2, 部門分類(第二階層); sn, 部門番号; **JP**, 国内部門; **OS**, 国外部門; **FD**, 最終需要部門; **TO**, 総生産量部門; DC, 国産品部門; IC, 最終需要部門が直接需要する輸入品部門; FC, 国外地域部門。添え字の k は国外商品の種類を示す。

		sc1	JP		OS	FD	TO
		sc2	DC	IC	FC		
sc1	sc2	sn	n^{JP}	n^{JP}	n^{GL}		
JP	DC	n^{JP}	X^{D}	0	E	f^{JD}	x^{JD}
	IC	n^{JP}	0	0	0	f^{JI}	x^{JI}
OS	FC	n^{GL}	$\sum_{k=1}^{l} Y^{(k)}$	$\sum_{k=1}^{l} Z^{(k)}$	$\sum_{k=1}^{l} W^{(k)}$	f^{G}	x^{G}

表 2 土地利用面積の変化の分類[6)]

分類	農地面積	森林面積	その他の土地面積
①	増加	減少	減少
②	増加	減少	増加
③	増加	増加	減少
④	0 or－	減少	増加
⑤	減少	増加	増加
⑥	増加/減少	変動なし	増加/減少
⑦	減少	増加	減少

平成 15 年度森林生態系の保全管理に係る調査業務報告書[6)]に従い、農地面積、森林面積、その他の土地面積の増減から、各国を表 2 に示す 7 つのカテゴリーに分類した。このうち、森林面積が減少している①②④の国について、各産業部門に森林減少面積を割り当て、③⑤⑥⑦の国については全ての産業部門の森林減少面積を 0 とした。日本は⑤に分類されるため、国内の各産業部門の森林減少面積については、全ての産業部門で 0 とした。日本以外の各国の各産業部門の森林減少面積については、以下の割り付けを行った。

①の国は農地面積が増加して森林面積が減少していると考えられることから、森林減少面積を農業部門・畜産

部門に割り付けた。具体的には、まず、当該国の森林減少面積を、耕作地・永年作物地と永年牧草地・放牧地それぞれの面積の増加量で按分した。耕作地・永年作物地に按分された森林減少面積は、FAOSTAT を用いて農作物 182 種の 1995 年から 2005 年にかけての収穫面積の増加量で農作物ごとに按分し、それらを GTAP の産業部門に対応させ、各農業部門(8 部門)に集約して割り付けた。永年牧草地・放牧地に按分された森林減少面積は、GTAP の畜産部門(2 部門)の 1995 年から 2005 年にかけての国内生産額の増加量(デフレータにより調整)で各農業部門に按分して割り付けた。

②の国は農地面積とその他の土地面積が増加して森林面積が減少していると考えられることから、森林減少面積を全産業部門に割り付けた。このため、まず、森林減少面積を農地面積とその他の土地面積のそれぞれの増加量に応じて按分した。農地面積の増加量に応じて按分された森林減少面積は、①の国と同様の方法で農業部門・畜産部門に割り付けた。その他の土地面積の増加量に応じて按分された森林減少面積は、GTAP の全 57 部門から農業 8 部門、畜産 2 部門を除いた 47 部門の 1995 年から 2005 年にかけての国内生産額の増加量(デフレータにより調整)で各産業部門に按分した。

④の国はその他の土地面積が増加して森林面積が減少していると考えられることから、森林減少面積を農業部門・畜産部門以外の産業部門に割り付けた。具体的には、②の国と同様の方法で各産業部門に按分した。

GTAP で個々に定義されていない国は、国別の森林減少面積を各国の最終需要額の合計で除すことで、単位生産額あたりの内包型森林減少面積とした。つまり、商品の違いは考慮されない。

3. 結果と考察

各国の森林減少面積を各部門に割り付けた結果を要約して図 1 に示す。1995 年から 2005 年にかけての世界の森林減少面積の年平均は 1050 万 ha/年であり、森林減少面積の割り付け先は、農業部門が 36%、畜産部門が 14%、その他の部門が 31%、国全体で 1 部門が 19%となった。世界の森林減少面積のうち、2005 年の日本の家計消費に起因する森林減少面積は 6.5 万 ha/年と推計され、これは全体の 0.62%に相当した。森林減少面積は、インドネシア、ブラジル、ミャンマーの順に大きく、それぞれ全体の 30.6%、16.5%、8.3%を占めた。産業部門別では、「一般飲食店(除喫茶店)」、「冷凍魚介類」、「石油製品」の順に大きく、それぞれ全体の 8.3%、7.6%、5.2%を占めた。そのほかの詳しい分析結果については学会当日報告する。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（15H02863）による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) Rockström J. et al.: A safe operating space for humanity, Nature, 461(24), pp.472-475, 2009
2) Steffen, W. et al.: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, Science, 347(6223), 1259855, 2015
3) 佐々木貴央ら：家計消費とプラネタリー・バウンダリー～淡水利用について、第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.182-183、2017
4) 南斉規介ら：世界連結産業連関モデルの開発、第 4 回日本 LCA 学会発表研究会講演要旨集、pp.130-131、2009
5) Nansai, K. et al.: Characterization of economic requirements for a “carbon-debt-free country”, Environmental Science & Technology, 46, pp.155–163, 2012
6) (財)地球・人間環境フォーラム：平成15年度森林生態系の保全管理に係る調査業務報告書、http://www.gef.or.jp/activityex/forest/world/H15report_ecosystem.html、2017年11月アクセス

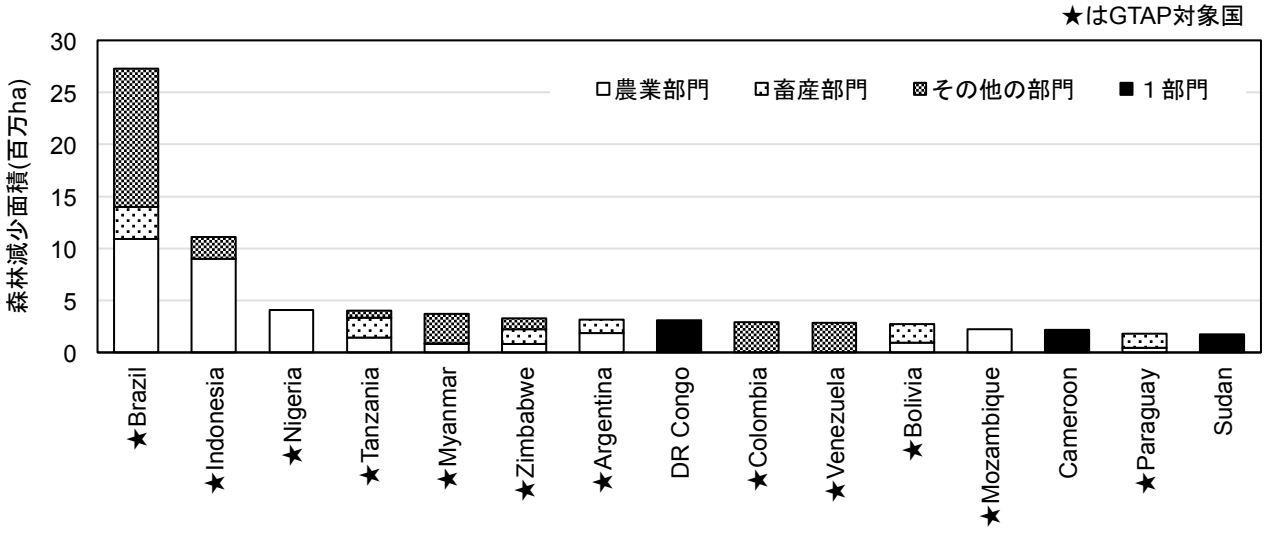


図1 各国の森林減少面積(1995～2005年)と対応部門の推計結果(上位15か国)

A1-06

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

サプライチェーンを考慮した世界各国の製造業の効率性分析

Global Efficiency Analysis in Manufacturing Sectors Considering Supply-chain Network

○高藪　広隆*[1)]、加河　茂美 [1)]

Hirotaka Takayabu, Shigemi Kagawa

1) 九州大学

* takayabu0318@yahoo.co.jp

1. 研究背景

近年、各国は気候変動緩和のためにパリ協定などで温室効果ガスの排出削減目標を定めて、その実現のために新エネルギー技術の開発など様々な努力を行っている[1]。各国の生産技術 （生産効率性）の水準には大きな違いがあるため、生産技術の低い国での技術改善を積極的に行っていくことが、気候変動緩和に向けて重要な課題となっている。生産効率性を評価するためには、データ包絡分析法 (Data Envelopment Analysis: DEA)[2]が多く用いられる。各国の効率性を評価し、非効率的な国の効率性改善によってどの程度 CO_2 を削減する見込みがあるのかを分析することは、パリ協定で定めた CO_2 排出量削減目標を達成するための政策を考える上で重要である。

そこで、Takayabu (2017) [3]は多地域産業連関表 EXIOBASE[4,5]を用いることで、2007 年における 40 か国の金属産業の生産効率性分析を行い、生産効率の低い国の金属産業が技術改善を行うことで、どれだけ CO_2 排出量を削減する余地 (CO_2 削減ポテンシャル)があるのかを推計した。金属産業全体の CO_2 削減ポテンシャルは 586Mt-CO_2 であり、また、どの国のどの産業における技術改善を優先的に行うことが CO_2 削減を達成する上で重要であるのかを明らかにした。

しかしながら、この研究では金属産業の生産技術を評価する際に、金属産業が用いた投入・産出データのみを用いており、金属産業の上流・下流にある産業 (例えば鉱工業や製造業、小売業など)とのサプライチェーン構造を考慮したデータを用いずに効率性分析を行っている。近年、各事業体は持続可能な開発に向けて環境マネジメントやサプライチェーンマネジメントに注力しており、サプライチェーンを考慮した効率性分析を行うことが重要である。

そこで本研究では、サプライチェーンを考慮したネットワーク DEA 分析[6]を行う。ネットワーク DEA は、例えば二段階のサプライチェーン構造を持つネットワーク （図 1) の効率性を分析する際、1 段階目で用いられる投入・産出データと、2 段階目で用いられる投入産出データの両方を用いて、そのサプライチェーン全体の効率性を分析する手法である。このネットワーク DEA 分析を通して、どの国のどの段階のサプライチェーンの技術改善を優先的に行うことが、効率性改善を目指すうえで重要であるのかを明らかにすることが本研究の目的である。

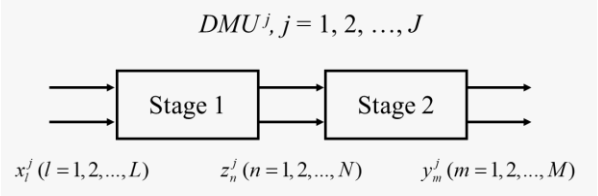


図 1. 2 段階のサプライチェーンネットワーク

2. 分析手法

本研究では、製造業のサプライチェーンを考慮した効率性分析を行う際に DEA モデルを用いる。一般的な DEA モデルでは、j 国の産業 i の効率性を、j 国の産業 i が用いた投入要素 l (x^{ij}) と産出要素 m (y^{ij}) の投入・産出データと強度ウエイト (λ^{ik}) を用いた、以下の線形計画問題 (1) を解くことによって評価することができる。

$$
\begin{aligned}
&\text{Min. } \theta^{ij} \\
&\text{s.t.} \\
&\sum_{k=1}^{j} \lambda^{ik} x_l^{ik} \le \theta^{ij} x_l^{ij} \quad (l = 1,\ldots,L) \\
&\sum_{k=1}^{j} \lambda^{ik} y_m^{ik} \ge y_m^{ij} \quad (m = 1,\ldots,M) \\
&\lambda^{ik} \ge 0 \quad (k = 1,\ldots,J)
\end{aligned}
\tag{1}
$$

ここで、θ^{ij} は j 国の産業 i の効率性スコアを示しており、$\theta^{ij} = 1$ となる時 j 国の産業 i は効率的であると評価され、θ^{ij} が 0 に近いほど非効率的であると評価される。

この DEA モデルでは、j 国の産業 i が直接投入した投入量と直接産出した産出量のみを用いて効率性の評価を行っているが、DEA モデルでは、表 2 のような 2 段階のネットワーク構造を考慮した効率性分析を行うことが可能である[2]。

本研究では、Two-stage Network DEA Model (Liang et al, 2008)[6]を用いて製造業のサプライチェーンを考慮した効率性分析を行う。このモデルでは、意思決定主体 j (Decision Making Unit: DMU) の 1, 2 段階目の効率値 (e_1^j, e_2^j)は非負のウエイト (u_m, v_l, w_n)を用いた式 (2)で表すことができる。

$$e_1^j = \frac{\sum_{n=1}^{N} w_n z_n^j}{\sum_{l=1}^{L} v_l x_l^j}, \quad e_2^j = \frac{\sum_{m=1}^{M} u_m y_m^j}{\sum_{n=1}^{N} \tilde{w}_n z_n^j} \tag{2}$$

この 2 段階ネットワーク全体の効率性 (e^j)は次の式 (3)で計算でき、$e_1^j = e_2^j = 1, e^j = 1$の時にこのネットワークは効率的であると評価される。

$$e^j = e_1^j \bullet e_2^j \tag{3}$$

ネットワーク全体の効率性を評価する Two-stage Network DEA Model には、上述したモデル以外にも様々なモデルが存在し、本会で分析に用いるモデルを検討中である。

3. データ

本研究では、多地域産業連関表 EXIOBASE より、40 か国の製造業の投入・産出データを入手して分析を行う。投入データとして、エネルギー使用量・サービス利用額・その他の中間財投入額・労働者数・資本ストック額を、産出データとして、総生産額を用いる予定である。また、本研究では、製造業の上流にあるエネルギー産業と製造業の 2 段階のネットワークを考慮した分析を行う予定であるため、エネルギー産業に関しても同様の投入・産出データを入手して分析を行う。

4. 結果

2 段階ネットワークを考慮した効率性分析はモデルの検討も含めて分析途中であるため、ここでは、サプライチェーンを考慮していない効率性分析の結果を示す。

表 1 は EXIOBASE のデータを用いて、2007 年における 40 か国の鉄鋼産業の効率性分析の結果を示している。表 1 より、2007 年において効率性スコアが 1 となった、すなわち効率的と評価された国の数は 20 であった。一方で、最も非効率的であると評価されたのはエストニアであり、その効率性スコアは 0.61 であった。

本会では、このような分析に加えて 2 段階のサプライチェーンを考慮した効率性分析を行うことで、効率性分析の結果がどのように変化するのかを議論する。さらに、サプライチェーン全体の効率性の改善によってどれだけ CO_2 を削減する余地があるのかを推計することで、各国の製造業（鉄鋼産業、セメント産業など）においてどの段階のサプライチェーンの効率性を優先的に改善することが、CO_2 削減に向けて重要であるのかを議論する。

表 1. 2007 における 40 か国の鉄鋼産業の効率性スコア

国名	効率性スコア	国名	効率性スコア
Estonia	0.61	Lithuania	1.00
Latvia	0.70	Cyprus	1.00
China	0.73	Malta	1.00
Hungary	0.73	Bulgaria	1.00
India	0.73	Luxembourg	1.00
Romania	0.75	Germany	1.00
Indonesia	0.76	France	1.00
Brazil	0.78	Netherlands	1.00
Poland	0.81	Austria	1.00
Turkey	0.85	United Kingdom	1.00
Greece	0.87	Mexico	1.00
Australia	0.88	Portugal	1.00
South Korea	0.91	Denmark	1.00
Italy	0.92	Slovenia	1.00
Japan	0.92	Russia	1.00
United States	0.93	Sweden	1.00
Spain	0.95	Czechia	1.00
Slovakia	0.96	Canada	1.00
Taiwan	0.99	Finland	1.00
Belgium	0.99	Ireland	1.00

5. 参考文献

[1] IPCC (2014) 5th Assessment Report.

[2] Charnes, A., et al. (1978) *European Journal of Operational Research.*

[3] 高藪 広隆 (2017) 第 12 回 LCA 学会研究発表会

[4] Tukker, A., et al. (2013) *Economic Systems Research.*

[5] Wood, R., et al. (2015) *Sustainability.*

[6] Liang, L., et al. (2008) *Naval Research Logistics.*

A1-07

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

包絡分析法（DEA）を用いた酪農生産システムのエネルギー消費に関する分析　―北海道浜中町の事例―

Evaluation of Energy consumption at Milk Production System using Data Envelopment Analysis at Hamanaka Town

○菱沼竜男*[1)]、宮澤功樹[2)]

Tatsuo Hishinuma, Koki Miyazawa

1) 宇都宮大学, 2) 元宇都宮大学

* thishinuma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. 緒言

農畜産業は、化学肥料や農薬などの農業用資材を投入や機械化および施設化によって土地生産性および労働生産性を向上させてきた。例えば、食料増産の必要があった戦後の我が国において化学肥料の施用量増加、多肥で増収となる品種の開発などが進められた[1)]。また、水稲生産では、圃場整備のほか農業機械（トラクタ、田植機、コンバインなど）の利用体系が構築され、昭和 45 年で 120 h であった 10 a あたりの直接労働時間を平成 17 年までに 30 h まで減少させた[2)]。

一方で、農畜産業で利用される化学肥料や農薬、燃料などの化石燃料由来資材を取り上げて、その製造に要した化石エネルギー量と生産された農畜産物の熱量を比較したエネルギー産出投入比が推計[3, 4)]されている。これらの報告は、農畜産物の生産システムの合理性を計る尺度について、経済性だけでなく化石エネルギー量といった環境面を検討することの重要性を示した。また、酪農経営を対象とした評価研究から、農業所得と化石エネルギー消費量、窒素負荷量（余剰窒素量）を組み合わせた評価指標を提案して、複数の農畜産物の生産する複合経営のシステムについて経済性と環境側面を評価する必要性が報告[5)]されている。

これまでの研究から、農畜産物の生産システムの環境側面を評価する視点や定量的な指標が提案され、環境面からみた生産システムの特徴を把握することができた。今後、環境側面の評価から改善につなげるためのアプローチが求められると考える。本研究では、農畜産物の生産システムの環境側面の評価に基づいた改善案を検討するために、包絡分析法を援用して草地型酪農生産システムにおける化石エネルギー消費量を分析し、経営改善案の提案を試みる。

2. 方法

2.1 調査対象とデータ収集

調査対象は、北海道浜中町において草地型酪農に取り組む酪農家 197 戸とした。酪農家が経営草地を利用して生乳を生産する草地型酪農では、農地に対して資材を投入して飼料を生産し、乳牛飼養において収穫した粗飼料を利用して生乳を生産するシステムである。また、乳牛に給餌される飼料は、自給粗飼料のほかに購入飼料がある。すなわち、草地型酪農での生乳生産では、自給粗飼料生産の過程で化学肥料や農業機械で消費する燃料類が投入され、乳牛飼養の過程で購入した外国産の穀物飼料が投入されている。そこで本研究では、草地型酪農における飼料供給（自給粗飼料生産と穀物飼料利用）に伴う化石エネルギー消費量に着目して分析を行った。

酪農家の乳牛飼養頭数や草地面積、生乳生産量、経営費用に係るデータは、酪農学園大学より提供された 1997 年度のクミカン（組合員勘定報告書）を使用した。これは農協と農家との取引内容の費用データであり、農協を介さない取引（例えば、一部の施設や農機の償却費）については把握されていないが、多くの酪農家の経営データを利用できる点[6)]から分析に用いた。また、自給粗飼料生産に係る資材や穀物飼料、配合飼料の購入経費と資材単価、エネルギー原単位[8)]を用いて化石エネルギー消費量を推計した。

2.2 分析の流れ

北海道浜中町の酪農家 197 戸の経営概況を把握するとともに、生乳生産量と自給飼料生産、購入飼料の飼料に伴う化石エネルギー消費量の関係性を分析した。

また、生乳生産量と化石エネルギー消費量の把握から、分析対象とする酪農家を抽出して２入力１出力（ここでは、自給粗飼料と購入飼料での化石エネルギー消費量の２つを入力要素、生乳生産量を出力要素と設定した）の包絡分析から D 効率値を推計し、経営改善の方向性を検討した。

包絡分析法は、資源を投入して便益を産出する活動や事業体（DMU：Decision Making Unit）の効率性を投入と産出の比を用いた分析手法であり、同種の投入（入力）と産出（出力）をもつ複数の事業体の効率性（D 効率値）を相対的に比較して最も効率的な事業体（効率的フロンティア）を明示し、それを基準として非効率的な事業体の改善案を検討できる[7)]。

3. 結果と考察

3.1 生乳生産システムの概況

調査対象とした酪農家群の特徴として、平均乳牛飼養頭数（成牛換算頭数）84±29［頭］、平均経営面積（草地面積）62±20［ha］、平均年間生産乳量 400±158［t/戸］であった。また、乳牛 1 頭あたりの年間泌乳量は 7056±1203［kg/頭］であった。

1 頭あたりの年間泌乳量は、飼料給与量（TDN 給与量）と正の相関（r=0.53）がみられた（図 1）。TDN 給与量と年間泌乳量との関係を、自給粗飼料と購入飼料の別でみると前者との相関は弱く（r=-0.10）、購入飼料由来の TDN 給与量と正の相関（r=0.66）が示された。1 頭あたりの年間泌乳量の異なる酪農家を TDN 給与量の自給粗飼料割合で比較すると、泌乳量の高い搾乳牛を飼養する酪農家で TDN 給与量に対する自給粗飼料の割合が少ない傾向がみられた。1 頭あたりの泌乳量の増加に対して、飼料供給に係るエネルギー消費量は増加する傾向にあった（図 2）。また、飼料供給に係るエネルギー消費量は、自給粗飼料に比べて購入飼料で大きいことが分かった。これらより、購入飼料を利用して高泌乳牛を飼養する酪農家では生産乳量が多い一方で、飼料供給に消費されるエネルギー量が多く、環境側面からの評価結果は低くなると考えられる。

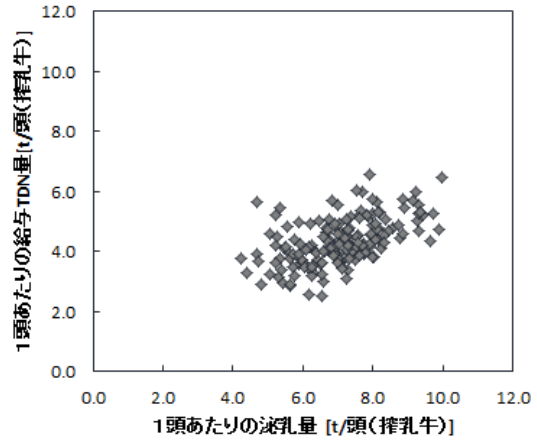


図 1. 1頭あたりの泌乳量と給与 TDN 量

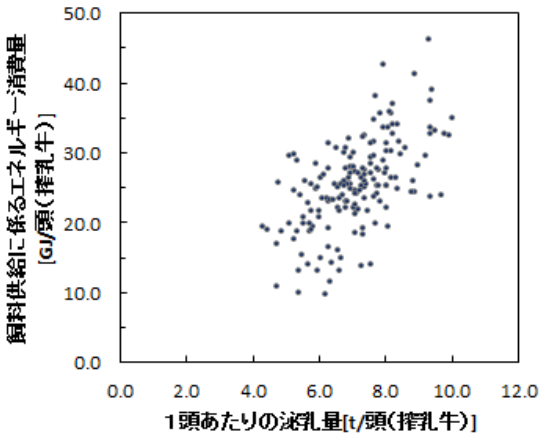


図 2. 1頭あたりの泌乳量と飼料に係るエネルギー消費量

3.2 飼料供給に係るエネルギー消費量と生乳生産量

単位生乳生産量あたりに消費される飼料供給のエネルギー量から、購入飼料だけでなく自給粗飼料生産においてもエネルギー消費量に差があった（図 3）。

単位生乳生産量あたりの飼料供給に係るエネルギー消費量が 197 戸の平均値に近かった酪農家 No.87 を対象として、包絡分析法を利用した分析から D 効率値を算出して改善案を検討した。結果として、効率的フロンティアは No.96 と No.106 の酪農家であり、No.87 の D 効率は 0.481 であった。したがって、単純に飼料供給に係るエネルギー消費量と生乳生産量との効率性の改善には、自給粗飼料および購入飼料でのエネルギー消費量を一様に 0.481 倍することが示された。

4. まとめ

草地型酪農に取り組む酪農家群を対象として、飼料供給に係るエネルギー消費量から生産システムの効率を評価した。また、包絡分析を援用して、分析対象酪農家の改善の方向性を定量的に示すことができた。ただし、改善案の現実的な妥当性を検討する必要がある。

引用文献

1) 西尾道徳:日本土壌肥料学会誌, 73 (2), (2002), pp219-225.
2) 農林水産省:稲作の現状とその課題について 平成 29 年 3 月， <https://jataff.jp/project/inasaku/koen/koen_h28_1.pdf>（参照 2017-12-26）
3) 宇田川武俊:環境情報科学, 5 (2), (1976), pp73-79.
4) 大久保忠旦:畜産の研究, 45(6), (1991), pp59-68.
5) 千場信司ほか:農業施設, 32(3), (2001), pp129-134.
6) 吉野宣彦:酪農学園大学紀要, 21(1), (1996), pp187-197.
7) 刀根薫: “経営効率性の測定と改善-包絡分析法による-”, 日科技連, 東京, (2001)
8) 社団法人資源協会:家庭生活のライフサイクルエネルギー, あんほるめ, 東京, (1996)

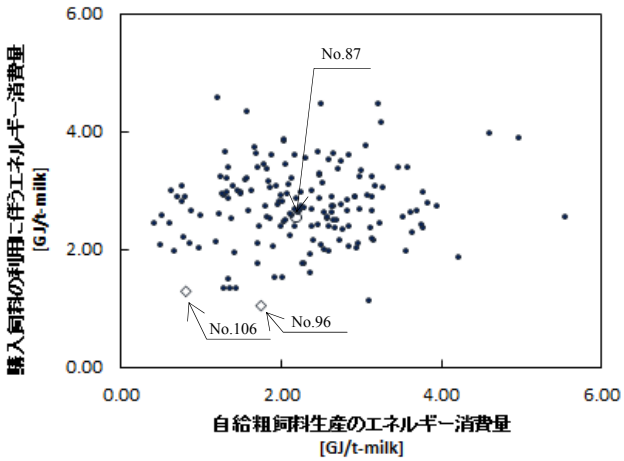


図 3. 単位乳量あたりの飼料供給エネルギー消費量

A1-08

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

農工横断システム設計の拡張：

気象イベントがバイオマス生産性に与える影響

Enhancement of integrated agro-industrial systems design:
Influences of interannual variability in meteorological events on biomass productivity

○中村遼太郎*[1)], 小原聡 [2)], 大野肇 [1)], 福島康裕 [1)]
Ryotaro Nakamura, Satoshi Ohara, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1) 東北大学, 2) アサヒグループホールディングス
* naka@sis.che.tohoku.ac.jp

1. はじめに

バイオマス利用システムでは目的製品に合わせ、品種、肥培管理、作付体系等を選択できるため、農工横断システム設計を行うことで、さらなる収益の向上と環境負荷の低減が可能である [1)]。また、このようなシステム設計手法の下では、各地域の諸条件の下で、満たすべき収量や成分の条件を新規品種の開発へとフィードバックすることで､開発指針の支援が期待できる。

その一方で、植物資源は同じ品種でもその成長過程で日照や降雨の過不足、気温、台風など複数の気象事象の影響をうけ、反収や成分が変わる。これまで気象事象を考慮した植物資源の成長モデルが提案され、これらの影響が個別に解析されてきた [2)]。しかし、最近になって提案されてきた農工横断システム設計では、植物資源利用事業の宿命とも言える気象イベントによる影響は未だ評価されていない。

そこで本研究では、種子島におけるサトウキビ産業を例に、複数の気象事象による影響を考慮したサトウキビの成長モデルを多変量解析により構築し、品種選択を含む農工横断システム設計支援を目指した。本発表では特に、新規品種を農工一貫生産の観点から評価するために必要なデータ年数に着目して議論する。

2. 成長程度の解析

2.1 解析範囲と利用データ

種子島はサトウキビ栽培地域の中で、比較的寒冷・多湿であり、最終的な砂糖の製造量は登熟性よりも反収が大きな影響を及ぼすとされている [3)]ため、本研究では、反収に関わる成長期間を検討対象とした。茎数を増加させる分げつ期および茎長を伸ばす伸長期に成長期間を区分し、それぞれ回帰分析を行った。従来品種の代表として鹿児島県での製糖品種である NiF8 を解析対象とし、2001-2015 年における種子島の圃場での栽培データ [3)]を用いた。気象事象は大気湿度・大気温度・日照時間・降水量の 4 種のデータ [4)]を考慮し、成長期間別に寄与率が最大となる組み合わせを検討した。

2.2 重回帰分析

気象関連を含む複数の説明変数を用いて、サトウキビの成長を一般線形モデルで表すために、重回帰分析による解析を試みた。サトウキビの成長程度の予測値 Y を気象要因 r 、説明変数である気象パラメータ X_r 及びその偏回帰係数 a_r を用いて式 (1) のように表す。

$$Y = a_0 + \sum_{r=1} a_r X_r \qquad (1)$$

a_0 は定数を表す。(1) の適合性を評価するために自由度調整済み決定係数 R^{*2} を式 (3) より算出する。R^{*2} は大きいほど高い寄与率を示す。S_{yy} は全変動の平方和、n は標本数、p は説明変数の数である。

$$R^{*2} = 1 - \frac{\dfrac{S_e}{n-p-1}}{\dfrac{S_{yy}}{n-1}} \qquad (3)$$

3. 解析結果及びモデル精度の検討

3.1 分げつ期における茎数予測

種子島における分げつ期(6 月)の茎数 5 年分を目的変数として、気象関連変数との重回帰分析をおこなった。その結果のうち、 R^{*2} が大きい気象変数の組み合わせ上位 5 通りを表 S1 に示す。 R^{*2} の平均値が最大となったのは湿度・日照の組み合わせであり、上位 5 通りの組み合わせすべてに含まれている日照は、分げつ期の重要な変数であることがわかる。

農工横断システム設計を新規品種の採用の判断に用いる場合、必要なデータが得られるまでの年数の吟味が必要となる。そこで湿度・日照の組み合わせにおける 2001-05 年の解析結果をモデルとして採用し、2006 年以降を仮想未来とした場合の予測精度を検討した。図 1 より 2006-12 年の予測誤差は 13%未満であった。しかし、2013 年以降は 25%以上の誤差が生じている。この急激な増加は、近年の植え付けの機械化による栽培環境の変化に起因している可能性がある。現栽培環境が恒常化すれば同様の手法で茎数予測が可能となる。

3.2 伸長期における収量予測

伸長期間は分げつ後の 7−11 月であり、サトウキビは台風等の急激な風速による茎の倒伏・折損や葉の裂傷の被害を受け減収をもたらす [5)]。そこで、目的変数

を収量とし重回帰分析に加え風速による被害を想定する。種子島では瞬間最大風速が 28.6 m/s の時影響がなく、34.6 m/s の時 1.8%の減収の報告例[6]があり、ここでは 30 m/s 以上で減収被害を想定する(式(5))。

$$Y=\left(a_0+\sum_{r=1}a_rX_r\right)\times\prod_{t=1}(1-\alpha_t) \qquad (5)$$

t は 30 m/s 以上の瞬間最大風速の回数を示し、t 回目で減収率を α_t [-]で表す。また、分げつによる茎数の変化がその後の成長に影響を及ぼすことを鑑みて、伸長期の重回帰分析では気象変数に加え、分げつ期の茎数測定データも説明変数に加えた。解析の結果、茎数・気温を説明変数に用いて、$\alpha_1=0.05$, $\alpha_2=0.06$, t が 3 以上で $\alpha_t=0.03$ の時最も高い予測精度を示した。しかし、風速被害の解析では 15 年分のデータを要し、3.1 同様の 5 年分のデータによるモデル構築が困難となった。図 2 に上記変数を用いた収量予測モデル及び風速被害を考慮せず、5 年分のデータにより重回帰分析のみで構築した収量予測モデルの誤差をそれぞれ示す。2014 年を除き、風速を考慮した場合の誤差は 10 % 未満を示したのに対し、考慮していないモデルでは 15%以上の誤差を示す年が散見された。種子島の製糖工場では収穫開始 1 ヵ月前の栽培データにより約 15%以内の精度で収量予測を立てる[3] ことを考慮すると、風速被害の考慮が必要である。また、2014 年は瞬間最大風速が 30 m/s 以上の台風が 7 回襲来している。平年の 2.2 回を考慮すると予測モデルで対応しきれていない被害程度となっている。5 回を超える年は 15 年間で 2 回であり、例外的な年の取り扱い方の検討を進める必要がある。一方で、茎に物理的応力を加え風折抵抗性の評価[3]を行っている研究もある。したがって、新規品種の評価には気象以外の測定データも踏まえた評価手法の設計により、データの必要年数の検討を課題としたい。

3.3 農工横断システムの拡張

ここまでに構築した茎数予測モデルと茎数を説明変数とした収量予測モデルを組み合わせ、気象データのみによる収量予測モデル(M1)を構築できる。図 S1 に M1 により従来の農工横断システムモデル[1]を拡張し予測した製糖量の誤差を示す。ほぼすべての年で従来のシステムモデル以上の精度を保ち、栽培の機械化による影響が考えられる 2013 年以降を除けば拡張モデルは約 15%以内の誤差の精度を示した。このことから、気象庁から得たデータのみで十分な精度のモデル拡張が可能であり、気象事象が最終製品までに及ぼす影響の考慮が可能ということになる。

4. 最後に

本研究では、従来品種の圃場データを用いて収量予測モデルの構築及びモデル精度の検討を行った。種子島では新規品種開発の際、比較対象として従来品種の栽培データも等しい環境条件で測定される。上記データを用いて、本手法により構築される従来品種の気象応答性モデルへ品種変更による変化を組み込むことを検討し、それに要するデータ数の吟味を進める。新規品種が生産者の圃場で栽培された場合の収量予測モデルの構築を進め、農工横断システム設計の拡張により新規品種の持続可能性評価への応用を目指す。

5. 引用文献

1) Ouchida K., Fukushima Y., Ohara S., Sugimoto A., Hirao M., Kikuchi Y.: AIChE J. 63, 560–581 (2016).
2) N. P. Cardozo, P. C. Sentelhas, A. R. Panosso, A. L. Palhares, B. Y. Ide: Int. J. Biometeorol., 59, 1913-1925 (2015)
3) 種子島におけるヒアリング調査(2017.09.07, 12.15)
4) 気象庁: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, (参照 2018.01.10)
5) 日本特産農作物種苗協会, “特産種苗”, (2011), pp149-152
6) 新光糖業株式会社: “新光通信”, <http://www.shinko-sugar.co.jp>, (参照 2018.01.10)

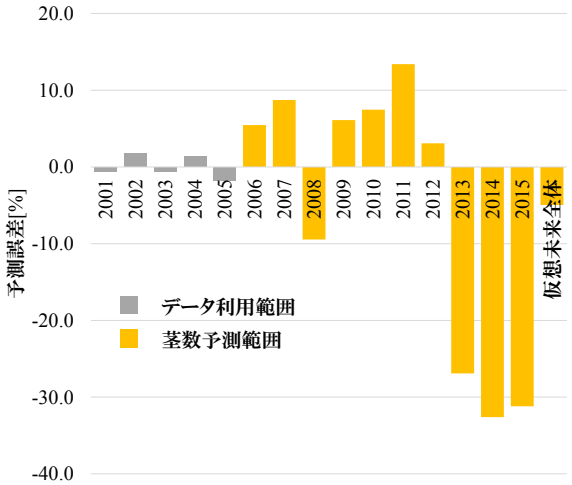


図 1 分げつ期における茎数予測誤差

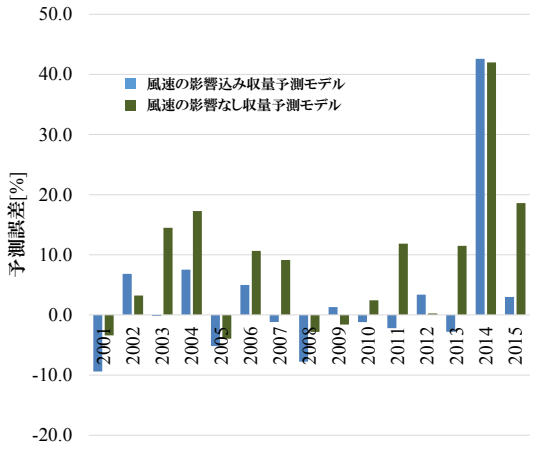


図 2 収量予測誤差

Supporting Information

表 S1　分げつ期の茎数と気象変数の重回帰分析
※空欄は多重共線性の存在により解析が有意に行われないことを示す

気象変数				R^{*2}						
湿度	気温	日照	降水	データの測定年 2001-05	2002-06	2003-07	2004-08	2005-09	2006-10	平均
✓	—	✓	—	0.96	0.86	0.86			0.78	0.86
✓	✓	✓	—	0.91	0.79		0.79			0.83
—	—	✓	—	0.57	0.61	0.86	0.71	0.71	0.84	0.72
—	—	✓	✓		0.42	0.81			0.81	0.68
—	✓	✓	—		0.51	0.98	0.65	0.57		0.68

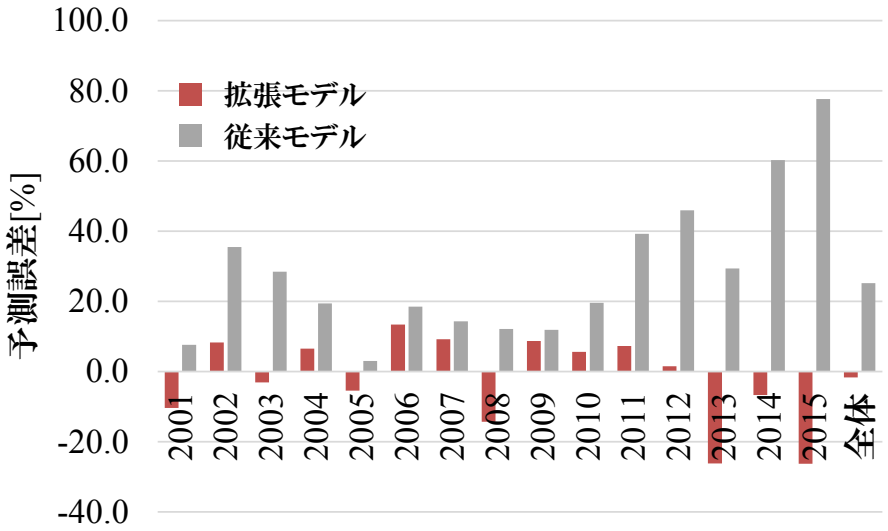


図 S1　従来および拡張版農工横断システムモデルによる製糖量予測誤差

A1-09
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

環境効率を測る共通価値軸としてのタイムフットプリントの検討

Time Footprint as a common value axis to measure Eco-Efficiency

○正畠宏一*[1)]、八坂慶仁 [1)]、牧野直樹 [1)]
Koichi Shobatake, Yoshihito Yasaka, Naoki Makino
1)ＴＣＯ２株式会社
* shobatake@tco2.com

1.　はじめに

Carbon Budget、Planetary Boundaries、One Planet Living、といった考え方に代表されるように人類は少なくとも地球の系外に自由に行き来ができるようになるまでは、様々な環境や資源の制約下で経済活動を続ける必要がある。また、現在人類は、第 4 次産業革命を迎えようとしており、その革命を支える AI、IoT、AR/VR、フィンテック、ロボティックス技術の発展によって、飛躍的な自動化と生産性の向上が見込まれている。このような未来では、ベーシックインカムの導入が真剣に検討されるほど、人間による労働を機械が代替する可能性も指摘されており [1)]、持続可能性を測る指標も、このような人類のあり方へ大きな影響を与えるメガトレンドを十分考慮に入れて定めていく必要がある。

2.　目的

持続可能な社会を目指すためには、より小さな環境影響で、より大きな価値を創出することが求められており、環境効率という指標が考案された。環境効率は、ISO14045 として標準化が進められ、企業の環境経営を推進するツールの一つとして導入が進んでいる。しかし、環境効率の分子の「価値」については、総和としての価値の要求量が増加し、環境効率が改善していきながらも、絶対量としての環境負荷の低減をもたらさない [2)]、といった課題がある。

環境効率の課題を、環境負荷を GHG 排出量だけとし、単純化したシナリオ例を示す。2015 年末時点において、乗用車の保有台数は世界平均で人口 8 人あたり 1 台、日本では人口 2.1 人あたり 1 台であるが、将来、世界が日本並みの保有台数に増加し、走行距離も現状並みに増加すると仮定する。その中で、省エネ技術の進展で 1km 走行あたりのライフサイクル GHG 排出量を 1/4 にできると仮定すると、環境効率は 4 倍となるが、全世界におけるの GHG 排出量の絶対量は約 0.9 倍（8÷2.1×0.25）となりほぼ変化しない。更に、自動運転等の技術の発展で、自動車で移動する体験の快適性が向上し、消費者によってその価値が以前の 2 倍だと評価されながら、その快適性を実現するためのエネルギー増加分が省エネ分の半分を打ち消し、1 km あたりの GHG 排出量が 1/2 にとどまると仮定すると、その時点の全世界における環境負荷の絶対量は約 1.9 倍（8÷2.1×0.5）になってしまう。前述の製品の環境効率はいずれも 4 倍に向上しており、改善を見せていることは確かであるが、今世紀後半には人類による GHG 排出量を実質ゼロにするというパリ協定の絶対量の目標からは大きく乖離している。パリ協定の目標に沿うためには、環境側面だけで最低で 10 倍以上の環境効率の向上が必要であり、現状の改善だけによる目標達成は現実的でない。

持続可能な社会の実現には、個別製品やそのもたらす便益の存在自体を是とした技術の改善だけでなく、ライフスタイルの変革も必要だとされているが、現時点で、様々なライフスタイルの持続可能性を測り、比較するための有効な指標は存在していない。そこで、本研究では、「製品」、「サービス」、「コト」（今後総称してこれらを「媒体」と呼ぶ）を評価する際に、人類に共通でかつ有限な物理尺度である時間に着目し、タイムフットプリント（以降「TF」と呼ぶ）という評価軸を導入することを提案するとともに、評価事例を通して本評価軸の有効性と限界について検討を行う。なお、本算定では高い精度の GHG 排出量や TF を算出することは目的としておらず、TF を用いた環境効率の概念と方法論を示すことを目的とする。

3.　タイムフットプリント(TF)

「タイムフットプリント」とは、算定対象となる媒体のライフサイクルを通じた直接的（主体者）、間接的（労働等）に消費された時間の総量を表した指標である。つまり、労働、レジャーに限らず、算定の評価対象の「媒体」（一般には「コト」と呼ばれる）にかかわった人間が過ごした時間を積算した値であり、単位は person*hour（人時）である。なお、近代の労働感では労働とレジャーに関わる時間については分けて考えることが一般的であるが、「趣味が仕事」という言葉に代表されるような、労働すること自体を目的化する見方、プロシューマー（生産消費者）といった造語に見られるように生産と消費が再融合していく傾向、今後 AI 等によって賃金のための労働自体が消滅していくことも予測されている。このような背景の中で、労働もレジャーも客観的に計測することのできる物理量として

の時間は同じであるため、TF では合算することができるものとして扱う。

今回の評価事例では、IT 機器の使用と 2 種類の旅行を取り上げるが、評価対象として、様々な形態の農業、飲み会やスポーツ、読書や、断食修行、シェアリングビジネスやコンサートがあっても良い。TF は人間がかかわる活動であれば、評価対象となる媒体のライフサイクルにかかわる人間の時間消費量を共通軸として表し、算定することができる。また、この共通軸から見たエコ製品とは、いかに低い環境負荷で、かかわる人間の時間を多く消費する「コト」なのかということである。なお、TF は、今までの機能や価格、満足度、環境影響、社会影響評価といった評価軸を置き換えるものではなく、追加的に導入して参照される指標である。

4.　評価事例

4.1 評価対象と前提条件

本研究の評価対象媒体について、その概要を表 1 に、バウンダリと重要な前提条件を表 2 に示す。体験時間は体験者本人の経過時間（直接 TF と同義）を示す。

表 1 評価対象媒体とその概要

媒体	概要	体験時間
スマホ	スマートフォンを 1 時間使用。	1 時間
VR 旅行	VR 機器等を用いたハワイへの旅行をバーチャルに再現するサービス。	2.5 時間
リアル旅行	成田空港発着、ハワイオアフ島 3 泊 5 日のリアルなハワイ旅行。	100 時間

表 2　評価対象のバウンダリと重要な前提条件

媒体	重要な前提条件	バウンダリ
スマホ	スマートフォンの寿命は 3 年、1 日の使用時間は 1.25 時間とした。	スマホ機器と通信を含むが、操作環境は含まない。
VR 旅行	サービスに使用する電子機器類は 1 年間使用されるとした。また、サービス開始から常に満席であると仮定した。	消費エネルギー、VR 機器、食事を含む。サービス提供場所までの移動は含まない。
リアル旅行	ホノルルに宿泊し、航空券代 1000 [USD]、宿泊費 88[USD/泊]、食事代 34[USD/日]、レクリエーション代 64 [USD/日]、車による移動 50 [km/日]とした。	自宅と国内空港までの移動、スーツケースや旅行用品、衣類、土産等は含まない。

4.2 影響領域

GHG 排出量（$kgCO_2e$）と TF（人時）を算定した。

4.3 データ収集

VR ハワイ旅行については、サービスを体験するとともに、提供元に簡易なヒアリングを行い、一次データを収集した。他の二次データはインターネットから取得し、GHG 排出量については IDEA v2.1.3、3EID の原単位データを用いた。投入時間の一次データを取得できなかった要素については、SHDB[3]を改変した国別セクター別の金額あたりの TF を適宜あてはめた。

4.4 算定結果

今回の評価結果を表 3 に示す。

表 3　媒体毎の GHG、TF、環境効率

媒体	GHG	TF (人時)			環境効率 =TF/GHG	
	($kgCO_2e$)	直接	間接	合計	(人時 /$kgCO_2e$)	比率
スマホ	0.2	1.0	0.1	1.1	6.8	54
VR 旅行	5.0	2.5	2.0	4.5	0.9	7
リアル旅行	1,318.7	100.0	66.7	166.7	0.1	1

スマホ>VR 旅行>リアル旅行の順に環境効率が高くなり、それぞれの間でおおよそ 7～8 倍程度の違いが見られた。なお、VR 旅行については機内食が総 GHG 排出量に占める割合が高く、食事分の GHG 排出量を除くとスマホとほぼ同じオーダーの結果となった。

5.　考察

人間の欲望の拡大には限りがなく、客観的な幸福度や苦痛度の測り方に合意された定量的な測定方法がない中で、実質的に地球の環境制約に適合したライフスタイルの変革を促すには、客観性、有限性に裏付けられた指標が必要である。現存する人類の全時間を、TF の環境効率が十分に高い媒体で埋めていくという目標は本課題の解決を導く重要な指標の一つになりえる。

6.　限界

TF には以下の限界があり、今後の研究課題である。

① 個別の人間が経験する時間の質の違いは考慮せずに積算を行う（SHDB や PSILCA 等のソーシャル DB は広く認知される一部の苦痛リスクの度合を示しているという意味で部分的に質の違いを表現していると言える）

② 媒体のバウンダリ設定には困難さがある

③ 特定の質の時間の経過の体験がその後引き起こす因果関係（継続性やリバウンド効果）については考慮できていない

④ 全人類の TF を埋め切った時にシステム全体が正常に運用を継続するために必要な機能や妥当なレジリエンスを実現していることは保証しない

⑤ 人間以外の生物の時間の経過やその重み付けについては考慮していない

7.　謝辞

本研究においてデータ収集、意見を寄せていただいた方々に深く謝意を表する。

8.　引用文献

1) 井上 智洋:" 人工知能と経済の未来 2030 年雇用大崩壊" , (2016), pp 149-pp235

2) Michael H. Huesemann,: Environmental Progress, 23(4), (2004) pp 264 - 270

3) New Earth: Social Hotspots Database, (2015)

新素材のライフサイクル評価におけるマネジメント

Management of life cycle assessment on emerging material

○中野勝行*[1)]、山岸健 [1)]、鶴田祥一郎 [1)]、佐伯順子 [1)]、柴原尚希 [1)]、神崎昌之 [1)]

Katsuyuki Nakano, Ken Yamagishi, Shoichiro Tsuruta, Yoriko Saeki, Naoki Shibahara, Masayuki Kanzaki

1）産業環境管理協会

* nakano@jeami.or.jp

1. はじめに

環境面から改善の検討が必要なプロセスを特定するため、新素材開発時から LCA を実施することの重要性が指摘されている [1)]。新素材の LCA 実施時においては、量産効果や将来の社会変化など、インベントリデータ作成時における配慮が指摘されてきた [1)]。しかし、新素材の LCA においては競合素材との比較評価をし、その環境優位性を確認するというニーズがある。特に、公的資金を用いた素材開発等では環境優位性の評価が求められることがあり、著者らは様々な新素材の環境性能評価を実施するプロジェクトに関わってきた。

しかし、素材開発者が新素材の LCA を実施し、他素材に対する環境優位性の有無を検討するには関係者間での協力が必須であるためマネジメント面でも様々な課題がある。そこで、本検討では新素材の LCA 実施時における課題整理を素材開発者の視点から試みた。

2. 方法

本検討では、まず他素材との比較を前提にした新素材の LCA 実施手順を整理した。その上で、著者らで実務上の課題を整理した。

2.1 新素材の LCA 実施手順

新素材の LCA においては、まず評価対象の新素材の特性をもとに市場の情報を参考にして a) 想定代替部品のリストアップを行う。特性としては例えば、物理化学的特性や構造材としての強度・軽量化特性が挙げられる。新素材と従来素材とは、単純に同じ重量で比較することはできないため、当該部品の機能および機能単位を明確にする。

次に、当該機能単位における b) 想定代替部品のインベントリ分析および影響評価を行う。最終製品の機能性変化が見込まれる場合は、使用および廃棄／リサイクル段階も含めた評価が必要になる。また、c) 新素材も同じ機能単位におけるインベントリ分析および影響評価をライフサイクルを通じて行う。そして、d) 解釈を行う。

2.2 LCA 実施上の課題

①適用部品の仕様決定におけるすり合わせ：新素材の開発者は当該素材に関する専門知識を有しているが、当該素材が代替可能な部品に関する専門的知識を必ずしも有していない。そのため部品メーカの技術者と意見交換を繰り返し、代替候補部品をリストアップする必要がある。しかし、部品メーカの技術者も特定分野の専門性のみを有することが多く、想定される代替部品は検討を重ねる中で何度も変更されることになる。場合によっては協議を重ねた部品メーカとは別の部品メーカと新たに協議が必要となる。既存部品の LCA 結果は比較対照（ベンチマーク）となるため、既存部品の LCA を何度も実施することが必要になる。

②新素材の仕様決定のずれ込み：候補となった代替部品の一般的な機能性（例：必要強度）は想定可能であるが、他の特異的かつ重要な機能性（品質要件）が不明瞭である。これらは一般的に最終製品の製造メーカが定めているものであるため、メーカによって異なることもある。これら真の要求機能は企業ノウハウの一部であるため、テスト方法も含めて新素材開発者に開示されにくい。さらに、既存部品は既存素材に応じて最適化されているため、新素材の特性を活かすには部品設計から再検討する必要があるが、それらは最終製品メーカの協力が必要となる。そのため部品メーカとの協働だけでは機能単位の設定が困難である。

③環境負荷削減の貢献度の設定：想定代替部品により最終製品の機能性が変化する場合は、特に使用段階も含めた評価が必要になる。しかし、最終製品は様々な要素を加味して最適化されており、例えば最終製品使用段階における当該部品の寄与を明確に把握することは困難である。

④加工プロセス情報の秘匿：部品メーカは量産工程における電力消費量等のプロセスデータの開示に消極的である。これは最終製品メーカとの取り決めにより一切の情報開示が禁止されていることがあるためである。また、新素材利用時の加工データも、新素材そのものの供給量が少ないこともあり、適切な加工プロセスの特定が困難である。

⑤異種素材との併用：特定用途を想定し、新素材と何らかの素材を複合させる場合がある。これら情報は重要なノウハウであり、対外的な開示が困難なことがある。そのため信頼性の高い LCA が難しい。
⑥設定するシナリオの不確実性：ライフサイクルを通じて評価するには廃棄／リサイクル時も含める必要がなる。しかし、新素材の廃棄／リサイクルルートは確立しておらず、さらには複合素材の一部として利用される場合もあるため、不確実性の高いデータを用いて評価する必要がある。
⑦LCA 結果の情報共有：多くの仮定に基づく結果になるため、適切な LCA 結果のコミュニケーションが困難である。また、仮に新素材の環境性能が低いと試算された場合、関係者のモチベーションに影響を与えやすい。そのため新素材開発者は結果開示を抑制する傾向を持ちやすい。

3. 結果と考察

前章で議論した結果を機能モデリング手法 IDEF0[2] の考え方で図 1 に整理した。図中の青い長方形は手順を示し、各々の矢印は情報の流れを示している。上から下への矢印は制約を、左から右は入力、右から左は出力、下から上は機構を意味する。また、各課題に対する対応策を表 1 に整理した。しかし、実務上は各対応策を実施するには多くの関係者間で合意形成をする必要があり、各関係者の組織内で手続きをするだけでも多くの時間を要する。

4. 結論

新素材開発者が新素材の環境優位性を評価するための LCA 実施時における課題をマネジメントの側面から論じた。新素材の環境改善プロセスを抽出する LCA に比べて、環境優位性を確認するには追加的に様々な課題が存在することを示した。またそれぞれの課題に対応策を例示した。

引用文献

1) Hetherington AC., et al: Int. J. LCA, 19(1), (2014), pp.130-143
2) NIST, Federal Information Processing Standards Publication 183: Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), MD, US, 1993

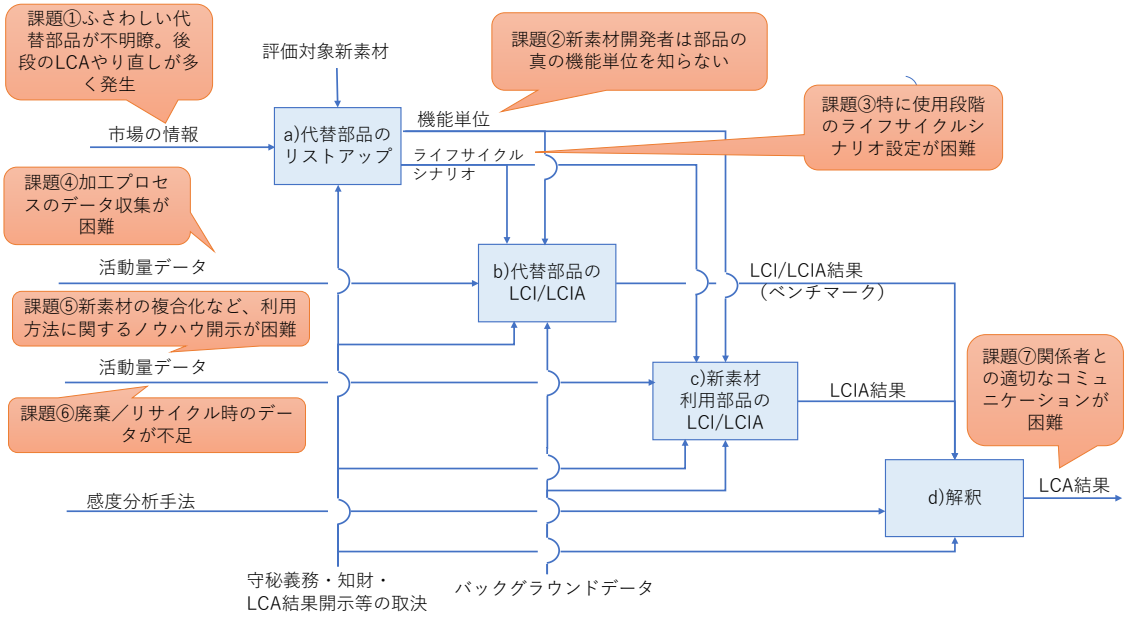


図 1 新素材の LCA の機能モデル

表 1　新素材の LCA 実施時における課題と対応策

課題	対応策
①ふさわしい代替部品が不明瞭。後段の LCA やり直しが多く発生	最終製品の素材選択に関与する素材全般に知識・経験を有する技術者の適切なタイミングでの関与
②新素材開発者は部品の真の機能単位を知らない	最終製品／部品メーカによる要求品質の明確化。適切な守秘義務契約の締結。
③使用段階のライフサイクルシナリオ設定が困難	最終製品メーカによる評価、部品代替時の性能変化の実測、業界ガイドラインの活用
④加工プロセスのデータ収集が困難	一般的な加工プロセスデータの活用、モデルデータ作成
⑤新素材の複合化など、利用方法に関するノウハウ開示が困難	データ開示範囲・開示時期等の取決
⑥廃棄／リサイクル時のデータが不足	複数シナリオの作成、廃棄／リサイクル業界へのヒアリング
⑦関係者との適切なコミュニケーションが困難	データ開示範囲の厳格な取決、適切な説明文の追記と LCA 専門家による解説

自動車向け熱電発電装置の普及シナリオ作成に向けた基礎的検討

Describing Diffusion Scenarios of Thermoelectric Generators for Automobiles: An Exploratory Study

○木下裕介*[1)]、小久保宇[1)]、河尻耕太郎[2)]、篠原嘉一[3)]

Yusuke Kishita, Hiroshi Kokubo, Kotaro Kawajiri, Yoshikazu Shinohara

1) 東京大学, 2) 産業技術総合研究所, 3) 物質・材料研究機構

* kishita@pe.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

熱電発電は、工場や自動車から排出される比較的低温の排熱を有効利用し、社会の低炭素化を進めるのに有望な技術とされている[1)]。しかし、製造時に多くのエネルギーを使うこと、現時点では熱変換効率が低いこと、コストが高いことなどの理由により、本格的な普及に至っていない[2)]。

本研究の目的は、熱電発電変換装置（TEG）が将来社会に普及するための条件、および、普及した際の効果を明確化するための普及シナリオを描くことである。先行研究[3)]では、TEG を普通乗用車に用いた場合のライフサイクル評価を環境・経済の両面から実施した。しかし、TEG に関するデータ収集と普及条件の明確化が不十分という課題があった。これらの課題を解決するため、本稿ではヒアリング調査により TEG の製品データを収集し、さらに、自治体スケールを対象として自動車向け TEG のシナリオ分析方法を検討する。

2. 自動車向け TEG 普及シナリオの作成

2.1 先行研究と課題

先行研究[3)]では、TEG の製品ライフサイクルを（i）Material Production、（ii）Product/Part Assembly、（iii）Distribution、（iv）Use、（v）End-of-Life の 5 つのプロセスに分け、ライフサイクル全体の CO2 排出量とコストを計算するための方法を提案した。ケーススタディとして、大阪府吹田市のパーソントリップデータを用いて、TEG の利用に基づく普通乗用車の燃費改善効果を評価した。しかし、普及シナリオの作成に向けて以下の課題が残されている。

- TEG の製品データ（例えば、部品構成、素材構成のデータ）がほとんど公開されていないため、データ収集が十分でない。
- TEG の普及条件が明確化できていない。TEG の普及には技術的な性能やコストに加えて、使用環境を含めた社会的な要因も影響を及ぼす。

2.2 本研究のアプローチ

本研究では、将来社会の変化、TEG の使用環境、性能変化の違いなどを様々に変化させた what-if 分析を通じて、TEG の普及条件とその影響を分析するというアプローチをとる（**図 1** 参照）。ここで、気候変動への影響評価を念頭に、CO2 排出量とコストの 2 つを評価指標にとる。さらに、データ収集のためにヒアリング調査と文献調査を実施する。

3. 予備的なケーススタディ

3.1 データ収集

TEG の製品データを収集するため、自動車排熱を対象とした TEG を製造している事業者にヒアリングを

表 1 TEG の製品データ（部品・材料別重量比）

部品	重量比	材料	重量比
熱電モジュール	8%	銅	1%
		アルミナ	3%
		熱電材料	1%
		不明	3%
熱交換機	41%	ステンレス	83%
筐体	40%	アルミ	7%
駆動部	11%	不明	2%
合計	100%	合計	100%

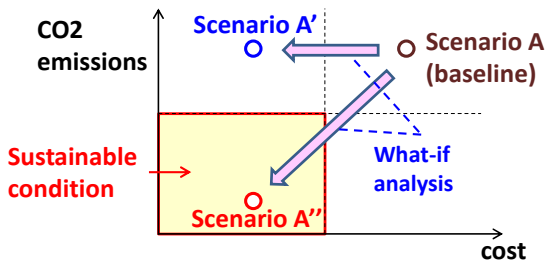


図 1 TEG 普及シナリオの作成方針

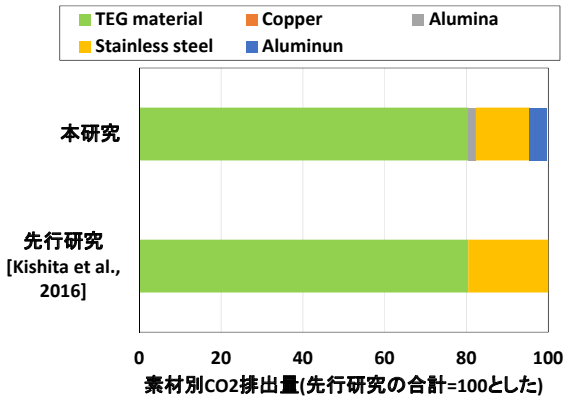


図 2 TEG の素材製造時 CO2 排出量

表 2 TEG の性能データ*

項目	単位	海外製 TEG	国内製 TEG
重量比 (海外製=1)	-	1	0.82
価格比 (海外製=1)	-	1	0.41
変換効率	%	3.0	3.0
最大出力比 (海外製=1)	-	1	0.18

*ヒアリング調査、文献調査(文献 4)など)、著者らの仮定による

実施した。TEG の製品データを**表 1** に示す。さらに、ヒアリング調査、文献調査に基づいて海外製と国内製の 2 種類の TEG データを**表 2** のように収集した。

表 1 のデータと**表 2** の国内製 TEG を用いて、先行研究 [3]と同条件でケーススタディを実施したとき、素材製造時の CO2 排出量の計算結果を**図 2** に示す。先行研究では、製品の構成部品を熱電モジュールと筐体の 2 つにしか分類できていなかったが、本研究ではより詳細に 5 種類の素材に分類することができた。ただし、両者の差は 0.4%であり違いはほとんど見られなかった。いずれにしても、熱電材料が全体の約 80%を占める結果となった。

3.2 CO2 排出量の評価結果

表 2 の海外製、国内製の 2 種類の TEG に対して、先行研究 [3]と同様に大阪府吹田市のパーソントリップデータ（年間走行距離: 5,462km、平均走行速度: 18km/h）を想定した場合の製品ライフサイクル全体の CO2 排出量を**図 3** に示す。海外製は 13.4kgCO2、国内製は 2.2kgCO2 であり、いずれの場合も TEG 製造時の CO2 排出量が使用段階の燃費改善による CO2 削減量を上回った。すなわち、両者の最大出力には 5.6 倍の違いがあるにも関わらず、出力の小さい国内製の方が CO2 の面で有利な結果となった。この主な理由は、海外製の TEG の熱電材料の素材製造時 CO2 排出量が国内製 TEG の 1.2 倍であることによる。一方、海外製で

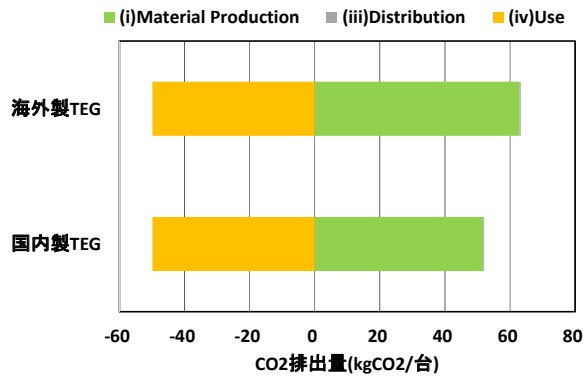


図 3 海外製 TEG と国内製 TEG の CO2 排出量

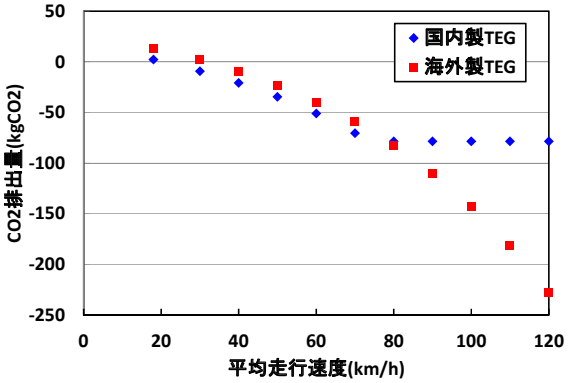


図 4 平均走行速度と CO2 排出量の関係

は最大出力は大きいものの、吹田市のパーソントリップと普通乗用車を用いるという前提では、十分な性能を発揮することができない。価格面の違いも考えると、国内製 TEG の方がより普及に近いと言える。

3.3 感度分析

TEG の CO2 排出量に大きな影響を及ぼすパラメータのうち、平均走行速度を 18～120km/h まで変化させた場合の結果を**図 4** に示す。国内製 TEG の場合、約 30km/h を超えると製品ライフサイクル全体の CO2 排出量がマイナスになる。他方、海外製 TEG は 40km/h 以上で CO2 排出量がマイナスとなり、90km/h 以上の排熱量が大きい条件下では CO2 排出量が国内製 TEG より小さくなる。このことは、トラック・バスなどの大型かつ長距離を走行する車両を対象とした場合には、海外製が優位性を持つ可能性を示唆している。

4. まとめ

本稿では、TEG を対象とした将来普及シナリオ作成のアプローチを述べた。予備的なケーススタディとして、ヒアリング調査等に基づく TEG 製品データを収集し、さらに、自動車向け TEG の製品ライフサイクル全体における CO2 排出量の試算結果を示した。

今後の課題として、コスト面の評価、ならびに、さらなる What-if 分析の実施が挙げられる。

謝辞

本研究のケーススタディを実施するにあたり、（株）三五の柴田敏博氏ならびに関係各位より有益な情報を提供いただいた。ここに謝意を表する。なお、本研究の成果の一部は、文部科学省科学研究費補助金若手研究（A）（26701015）の助成を受けたものである。

引用文献

1) 吉野淳二, 篠原嘉一: 応用物理, 82(11), (2013), pp.918-927.
2) 舟橋良次ほか, “熱電変換技術の基礎と応用: クリーンなエネルギー社会を目指して”, シーエムシー出版, 東京, (2011).
3) Kishita, Y., et al.: Journal of Cleaner Production, 126, (2016), pp.607-619.
4) 海部宏昌ら:コマツテクニカルレポート, 57, (2011), pp.26-30.

B1-08,P2-068　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

CGE モデルを用いた日本の CFP 将来推計

Carbon Footprint Projections for Japan Using Computable General Equilibrium

○一杉佑貴*[1)]、増井利彦 [2)]、伊坪徳宏 [1)]
Yuki Ichisugi, Toshihiko Masui, Norihiro Itsubo,
1) 東京都市大学大学院　環境情報学研究科 2) 国立環境研究所
* g1793102@ tcu.ac.jp

1.　背景

近年、Science Based Targets [1)]（以下 SBT）に注目が高まっている。これは、気候変動に対する温室効果ガスの排出量を IPCC 第 5 次報告書に記されている産業革命前の気温と比べて 2℃未満に維持することを目標に各企業が将来目標を設定するためのものである。現在、世界企業の 333 社が SBT 取得し、日本では 14 社が SBT 取得している。SBT では、企業が将来の削減目標を決める支援として、Sectoral Decarbonization Approach[2)]という算定ツールを公開している。これは、国際エネルギー機関が公開している Energy Technology Perspectives[3)]をもとに世界の産業平均で、2℃目標を達成するための削減量を推計している。このように、将来の環境負荷を推計することへの注目が高まると同時に、その手法開発が行われている。

将来推計を行う手法の一つとして、応用一般均衡モデル（以下 CGE）がある。これは、資本や労働といった指標をベースに生産活動を構成する複数の変数の均衡値を求めることで、経済の将来推計を行うモデルである。主に基準年の統計値をベースに将来のエネルギー需要を推計する研究に用いられる。

LCA の研究分野では、評価対象が製品レベルから組織や国全体を評価するといった評価範囲が広げられるようになった。一方で、将来推計を見据えた動的な評価は行われていないのが現状である。

2.　研究目的

本研究では、日本を対象に CGE を用いた将来推計を実施することで、CFP の将来推計を行うことを目的とする。また、LCA の思考に基づきサプライチェーンを考慮した将来推計結果を算出する。推計された CFP は産業ごとに分析をすることで、最終的には企業の環境マネジメントでサプライチェーンを考慮しつつ、将来を見据えた対策の意思決定に用いることを目指す。

3.　方法

本研究では、国立環境研究所（以下 NIES）が開発している、AIM（Asia-Pacific Integrated Model）/CGE[Japan] モデル [4)] を用いる。このモデルは日本を対象にした CGE であり、総務省が公開している産業連関表をベースに将来の経済を推計することができる。用いる産業連関表は内生部門が 40 部門である。各産業部門は、資本、労働、原材料、エネルギーを投入要素として代表的な財を算出すると仮定する。生産技術は常に向上すると考え、投入係数行列は年々小さくなるように推計が行われる。家計は保有する資本、労働を生産部門に提供することで対価として所得を得る。これは最終消費と貯蓄に配分される。政府は税収をもとに公的投資と政府最終消費を需要することになる。温室効果ガスは温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）[5)]が公開している GHG 排出量と整合性がとれるようにする。具体的な環境負荷の算定には産業連関分析で利用されるレオンチェフ逆行列に基づく算定式を用いる。

$$CFP = d(I - A)^{-1}f + E$$

d は各部門の生産活動に伴う GHG 排出量を国内生産額で除した GHG 直接排出係数、Iは単位行列、A は投入係数行列、f は国内最終需要である。これにより、国内の経済活動に基づくサプライチェーンを考慮した CFP を推計することができる。ただし生産者価格ベースの推計なので、購入した製品の使用段階の負荷が考慮されない。そこで、Eとして最終需要部門が製品使用時に排出する GHG の排出量を加えることで、ライフステージを網羅した CFP を推計する。

4.　結果

図 1 は 2005 年を対象に本研究の AIM/CGE[Japan]を用いて推計した CFP と既存研究の 3EID[6)]を用いて推計した CFP の比較である。全体的な傾向として、本研究の結果の方が大きな値となった。CGE により推計される産業連関表の投入係数は産業間の取引が最も効率よくなる均衡で推計されるため、実態より小さくなる傾向があるからだ。図 2 は GHG 排出原単位を比較した散布図である。特に、石炭・原油・天然ガスの原単位が大きく推計された。これは CGE では輸入品の価格が国内と同じであると想定されるため、この影響が大きく寄与したと考える。

図 3 は 2005 年と 2030 年の CFP を推計した結果で、表 1 にその家計消費における削減率上位 5 部門を示した。総量は 22%削減で、石炭製品の削減が最も寄与することがわかった。生産技術が進歩したことにより、

生産額に対する GHG 排出量が減ったことが要因だと考えられる。

5.　結論

本研究で用いた AIM/CGE[Japan]モデルによる CFP の再現計算では排出量が大きくなる傾向にあることが分かった。部門別 GHG 排出原単位で比較すると、相対的に本研究の推計の方が大きくなる傾向にあり、投入係数の推計方法による違いであることが要因であることが分かった。国内需要に対する、国内財、海外財の按分の影響で石炭・原油・天然ガスの影響が大きく寄与するということが分かった。

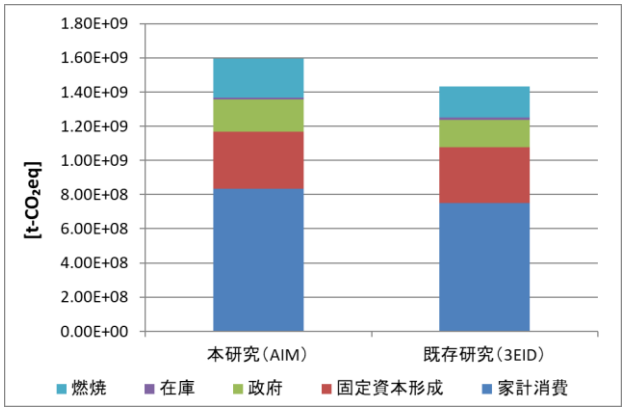


図 1　2005 年日本の CFP 推計結果の比較

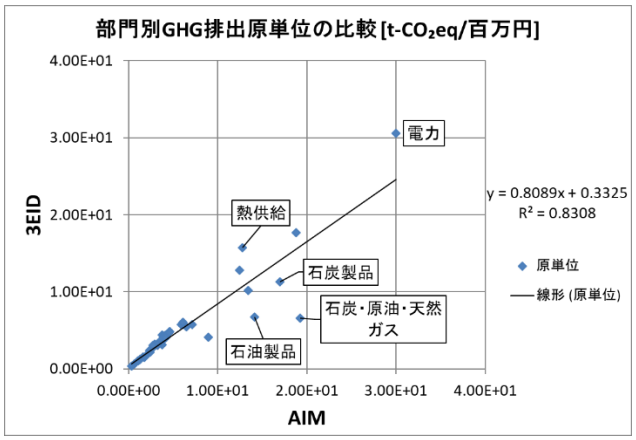


図 2　直接 GHG 排出係数の比較

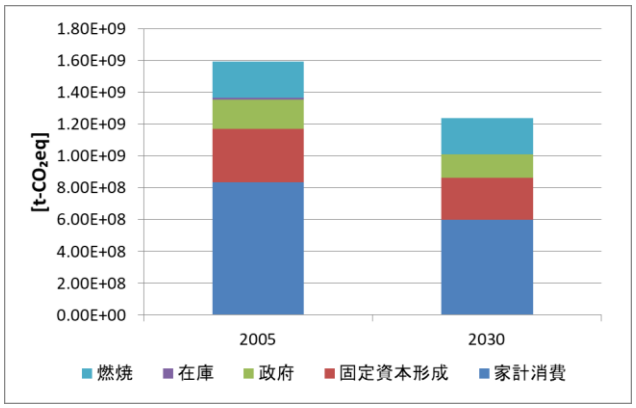


図 3　CFP の将来推計

表 1　家計消費における削減率上位 5 部門［t-CO_2eq］

部門	2005	2030	削減率
石炭製品	4.59E+04	1.61E+04	−65%
情報・通信機器	1.35E+07	2.04E+07	−51%
電子部品	9.17E+05	1.34E+06	−46%
鉱業	4.11E+02	2.27E+02	−45%
輸送機械	2.33E+07	1.36E+07	−41%

6.　課題

国内で需要する財を国産財と輸入財で統合する手順で内生部門の取引額が既存の産業連関表より過小評価になることが課題である。特に日本が輸入に依存している、石炭・原油・天然ガスでは、海外で生産するコストと国内で生産するコストとの按分課題であり、この値が最終的な CFP の結果に影響する。

本研究では、内生部門が 40 部門の産業連関表を用いて推計しているため、製品レベルでの結果の分析には至らない点が限界となる。したがって、今後は部門を詳細化することを検討する。将来推計に関しては、経済シナリオごとの結果を出せるよう検討をする。

参考文献

1）“COMPANIES TAKING ACTION”, Science Based Targets, 入手先＜http://sciencebasedtargets.org/companies-taking-action/＞, 2017 年 8 月 30 日

2）“SDA Tool and Methodology” Science Based Targets, 入手先＜http://sciencebasedtargets.org/sda-tool/＞, 2017 年 12 月 31 日

3）“Energy Technology Perspectives” International Energy Agency, 入手先＜http://www.iea.org/etp2016/＞, 2017 年 12 月 31 日

4）“ASIA-PACIFIC INTEGRATED MODEL”, 入手先＜http://www-iam.nies.go.jp/aim/index_j.html＞ 2017 年 12 月 31 日

5）温室効果ガスインベントリオフィス, 入手先＜http://www-gio.nies.go.jp/index-j.html＞2017 年 12 月 31 日

6）南斉規介, 森口祐一 (2012) 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID): 2005 年表, 独立行政法人国立環境研究所　地球環境研究センター, 入手先＜http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html＞

B1-09

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

HEMS に対する消費者受容性の日米比較：仮想評価法によるアプローチ

Comparison of Consumer Acceptance to HEMS in the US and Japan: Based on Contingent Valuation Method

○鷲津明由*[1)]，中野諭[2)]，Chien-fei Chen[3)]，石井英雄[1)]，林泰弘[1)]

Satoshi Nakano, Ayu Washizu

1) 早稲田大学, 2) 労働政策研究・研修機構, 3) University of Tennessee

* washizu@ waseda.jp

1. Introduction

Electric power market reform is making steady progress. Henceforth, the value of electricity in Japan will be expressed as quantitative kWh value, kW value, ΔkW value, and non-fossil value. Four types of markets—electricity market, capacity market, frequency adjustment market, and non-fossil market—that sell these values will be created. In the frequency adjustment market, new market value is found in demand side management (DSM). In demand response (DR), which is one way of frequency adjustment, DSM at home is attracting attention. HEMS (Home Energy Management System) is an important device that provides technical support to home DSM. However, HEMS has not fully penetrated society. In this research, we conducted a questionnaire survey, using a common format, in Japan and the US and investigated the consumers' willingness to pay (WTP) for HEMS by the contingent valuation method (CVM). We also investigated demographic factors and personality factors that affect individual WTP. The personality factors are captured by using methods from social psychology.Using the survey results, we derived HEMS usage probability for different levels of HEMS usage price (HEMS demand function). We also examined the prediction of usage probability of HEMS and the measures needed to improve it.

2. Survey and Design

The survey was conducted online in March 2017 using monitors registered with an investigative company (QUALTRICS, LLC). The survey targeted men and women between 30 and 70 years, residing in the suburbs of New York in the US, and metropolitan areas in Japan. There were 1228 respondents in the US and 1316 in Japan. The respondents answered the questions after viewing a short explanatory slide on HEMS, which also explained the three functions on which we focus here. With regard to WTP, we asked how much they would pay for the following three HEMS functions:

(1) HEMS helps in improving energy-saving behavior by indicating electricity usage.

(2) HEMS helps in power saving by automatically adjusting home appliances' usage, according to the electricity charge.

(3) HEMS helps during peak shifts and solves environmental problems by providing automatic responses to changes in electricity price.

We assume that the HEMS functions increase in terms of complexity and usefulness from (1) to (3). The respondents choose the amount of money they would pay for each HEMS function ([1]–[3]) from eight price range options that extend from 0.01 to 7.00 (unit: USD for the US, 100JPY for Japan); they can also choose "I'm not willing to pay for this service." In addition, the respondents chose the option that suits them best when answering questions related to the items shown in Table 1.

Table 1 Question items

	Question item
About HEMS	Degree of understanding of HEMS, Usage intention of HEMS, WTP for HEMS, Willingness to use additional HEMS services
Personality factors	Perceived benefits – Automation, Perceived usefulness/benefits – Mobility, Attitudes, Perceived ease of use, Trust in utility companies, Perceived behavioral control, Subjective norms, Personal norms, Cyber security, Perceived cost, Measure of technology anxiety
Demographic factors	Age, Residential area, Gender, Conventional energy saving behavior, Weekday home time zone, Power usage, Number of family members, Family structure, Occupation, Income level, Type of housing, Electricity bill

3. Analytical Method

Using the survey results, we first estimate an ordered probit model. In the estimation formula, the HEMS usage price opted for by each respondent is the explained variable, and his or her personality and demographic factors are the explanatory variables. This will enable us to identify factors that affect HEMS demand. Then, we formulate usage probability for each HEMS usage price in a binomial logit model, and derive the demand functions for the three HEMS functions based on the estimated logit parameters.

4. Results

4.1 WTPs for HEMS functions

Fig. 1 shows the composition ratios of respondents who selected the various price ranges for the three HEMS functions. In both countries, about 40% of respondents did not want to pay for HEMS functions. However, a relatively large number of people would pay for the HEMS function (2). Therefore, in our discussion, we focus on this function.

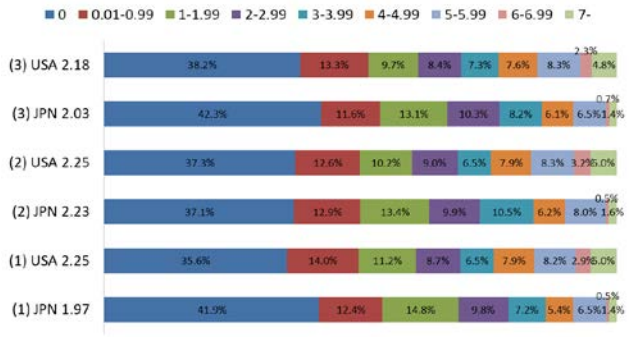


Fig. 1. Response results of WTP for each HEMS function (Unit of legend: US is USD, Japan is 100 JPY)

4.2 Results of the Ordered Probit Analysis

We carried out an ordered probit analysis using WTP for each of the three HEMS functions as the explained variables. Prior to the analysis, we calculated the correlation coefficient between WTPs and all personality factors and demographic factors. First, an ordered probit analysis is conducted on the factors with a significant correlation with the explained variable. Then, an analysis is conducted for only those factors with significant coefficients.

Factors that significantly affect WTP for HEMS function (2) in Japan and the US are as follows (+, - indicate the direction of influence).

WTP (2) US = f (Age -, Male +, Intention to use tele-medical service +, Perceived benefit +, Attitude +, perceived cost -, Energy saving behavior (air conditioner) +, Energy saving behavior (Lighting) -, Children +, Year of house +, size of house +)

WTP (2) JPN = f (Age +, Understanding +, Attitude +, Perceived dependency +, Personal norm +, Technology anxiety -)

4.3 The HEMS Demand Curves

Table 2 shows the demand probability for the three HEMS functions when the utilization price is 2.495, 4.495, and 7.00. The usage probability of HEMS function (2) for usage price of 4.495 is 23.0% in the US and 14.6% in Japan. As the price increases, usage probability of the HEMS function falls, and the rate at which usage probability falls is faster in Japan. If the HEMS function being considered changes from (1) to (2) or (3), the demand will increase from 3.1% to 4.5% in the US, but the effect is not so clear in Japan. Fig.2 shows the demand function for HEMS function (2). The price elasticity of HMES demand is smaller in the US. An economic interpretation of this is that the necessity of HEMS is higher in the US. Our estimation results show that price elasticity of HEMS demand is lowered when people are willing to use tele-medical service in the US, and when people understand HEMS well in Japan.

Table 2 Demand probability under given HEMS price

price / function	US(USD)			Japan(100JPY)		
	2.495	4.495	7.00	2.495	4.495	7.00
(1)	25.6%	18.8%	12.4%	24.8%	14.9%	7.4%
(2)	28.9%	23.0%	16.9%	22.8%	14.6%	7.9%
(3)	28.7%	22.2%	15.6%	26.5%	16.9%	9.0%
(2)-(1)	3.3%	4.2%	4.5%	-1.9%	-0.4%	0.5%
(3)-(1)	3.1%	3.4%	3.2%	1.7%	2.0%	1.6%

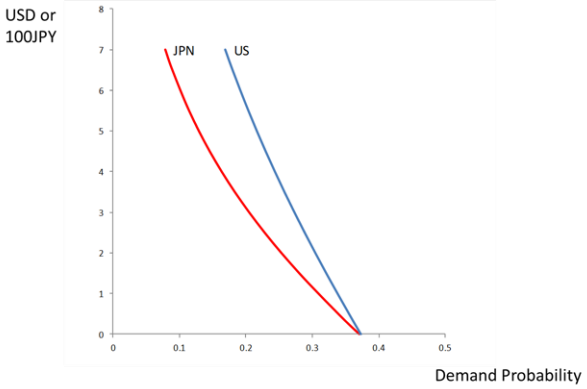


Fig. 1. Demand function for HEMS function (2)

5. Conclusions

According to the estimation results of the demand function for HEMS, it can be seen that the necessity of HEMS is lower in Japan than in the USA. It is seen that energy efficiency of urban areas with a high population density is high. As urban areas in Japan have high population density, there may be little room for further energy conservation. This may have led to the results shown above.

Acknowledgments

The research on Japan was supported by the JST CREST Grant Number JPMJCR15K5. In addition, the research on the US was supported in part by U.S. National Science Foundation (NSF) Award Number CNS 1541117 and the Engineering Research Center Program of the NSF and the Department of Energy under NSF Award NumberEEC-1041877 and the CURENT Industry Partnership Program.

C1-06

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

温室効果ガス削減目標に準じた金属資源の国際貿易推計

Prediction of international metal flows associated with greenhouse gas reduction scenarios

○森岡涼子*[1)]、津田宏治[2)]、中島謙一[2)]、南斉規介[2)]

Ryoko Morioka, Koji Tsuda, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai

1) 国立環境研究所, 2) 東京大学

* morioka.ryoko@nies.go.jp

1. はじめに

温室効果ガス削減目標にむけて、社会経済的パスを見通すことは重要である。本研究では国際貿易における金属資源のフローに着目し、地球温暖化シナリオに応じた将来推計を行う。統計解析と時系列モデルを用いて貿易構造と貿易量をシナリオパラメータと過去の傾向に基づき算出し、シナリオの違いが金属資源貿易に与える影響を考察する。

2. データ

1995 年から 2013 年までの BACI (貿易統計、物量ベース)、Global Note Database (二酸化炭素排出量)、世界銀行 (GDP, 人口) および、Shared Socioeconomic Pathways version 1.1)[1)] の 5 つの将来シナリオ (GDP、人口、二酸化炭素排出量) に基づいて行う。過去データとシナリオデータで共通に扱われている国(148 か国)、HS コードに基づく 5041 品目を対象とし、2100 年まで推計する。

3. 手法概要

3.1 行列の分解・再合成

過去の毎年の貿易統計を構造と流量に分解し、将来データに対しては後述する２つの手法の結果を用いて再合成を行う。ここで用いる行列分解・再合成法は、情報幾何に基づき、行列を構造と流量に分解、またはその２つから行列を再合成するものである。本研究では、各品目の輸出入表の分解、品目×輸出量計の行列の分解、および品目×輸入量計の行列の分解に用いる。

代表して、輸出入表の分解として以下に説明する。他の２つの行列分解・合成も計算プロセスは全く同じである。

まず，輸出入量の列を積み上げてベクトルにし，a とする。行と列の国の数を n とする。a の要素数は $N=n^2$ である。基底 $\{b_i\}_{i=1}^{N}$ を一次独立なベクトルの集合として C_i をｋ行の要素がすべて 1 で他の要素はすべてゼロの $n\times n$ 行列とし、以下のように定義すると

$$b_1=\mathbf{1},\quad b_i=vec(C_{i-1}),\ i=2,\ldots,n,$$

$$b_i=vec(C'_{i-n}),\ i=n+1,\ldots,2n-1,$$

となり、最初の $2n-1$ 個のベクトルについて、$a^{\top}b_i$ は周辺和に対応する。情報幾何では、a を相互に双対な 2 つの座標系、m 座標系と e 座標系で表現する[2)]。m 座標系を $\eta=B'a$ とする。B は $\{b_k\}_{k=1}^{N}$ を列とする行列で、$'$ は転置である。η の最初の $2n-1$ 個の要素を η^A とすると、これは周辺和に対応する。また残りの要素を η^B とする。一方で、e 座標系 θ を $\theta=B^{-1}\log a$ と定義する。θ についても η 同様に、最初の $2n-1$ 個の要素とそれ以外に切断し、θ^A と θ^B を定義する。さらにこれらを用いて混合座標系 $\xi=(\eta^A,\theta^B)$ を導入する。次に，異なる輸出入表の距離を考える．2 つの輸出入表のベクトルがあるとき，その Kullback-Leibler(KL) divergence は

$$D(p,q)=\sum_{i=1}^{N}p_i\log q_i-p_i\log q_i-p_i+q_i\quad \text{である.}$$

KL divergence は非対称であるため、以下の 2 種類の射影が存在する[2)]。ここで，RAS 法[3)]は KL divergence を最小化する e 射影であることが証明されている[4)]。RAS 法が e 射影であることから，以下の一般化ピタゴラスの定理が成り立ち，直交分解を考えることができる[4)]。

$$D(a_2,a_1)=D(a_2,a_3)+D(a_3,a_1).$$

RAS 不変量を θ 座標系で考えると，対数空間において輸出入表ベクトル a を次のように分解したとき

$$\log a=B_1\theta^A+B_2\theta^B,$$

右辺第 2 項が RAS 不変量に対応する。RAS 不変量 θ^B の各要素は，列を積みなおして戻した行列の成分で表記しなおすと

$$\mathcal{K}_{ij} := \log a_{ij} - \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\log a_{ik} - \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\log a_{kj} + \frac{1}{n^2}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n}\log a_{kl}$$

となる。また、輸出入表のような正方行列以外に、長方行列に対しても適用できる。長方行列の場合の $\mathcal{K}'$ も同様に

$$\mathcal{K}'_{ij} := \log a_{ij} - \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\log a_{ik} - \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m}\log a_{kj} + \frac{1}{mn}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{m}\log a_{kl}$$

となる。これは国×品目の構造を算出するときに用いる。これらの $\mathcal{K}$ が，a を積み直した元の輸出入表固有の RAS 不変量であり，厳密に定義された構造である．これを”構造行列”と呼ぶことにする．

また、分解と逆の操作である合成は、構造行列（構造）と周辺和(流量)を組み合わせて次のように計算する。$a_{new} = RAS(exp(\mathcal{K}_{any}), \eta^{A}_{any})$．ここで、$RAS$ は RAS 法による数値計算をさす。

3.2 貿易の流量(輸出入量計)の推定

シナリオのパラメータ(GDP, 人口, 二酸化炭素排出量) から、将来の流量を予測する際には、リッジ回帰を用いる。ここで求める流量とは 2 種類の行列の行和・列和に対応する。1 つは、各国の各品目の輸出量合計からなる国×品目ごとの輸出量計の行列の、行和と列和である。もう一つは、各国の各品目の輸入量合計からなる国×品目ごとの輸入量計の行列の行和と列和である。

3.3　構造の時系列予測

構造行列の時系列予測において、過去データは毎年得られるが、将来シナリオは 10 年おきのため、10 年おきの遷移行列 $W_{10years}$ を推定する。

$$W_{10years} = \mathrm{argmin}_W \left[||y_a - W_a x_a|| + \lambda ||W_a||_2^2 \right]$$

ここで、y_a は 10 年後のベクトル化した構造行列、x_a は y_a より 10 年前のベクトル化した構造行列、λ は複雑度パラメータである。

4.　結果

鉄鉱石の中でも主要国での 2016 年輸出額の大きい鉄鉱石粉鉱 (HS コード: 260111)の主要な輸出入地域の推計例を表 1 に示す。5 つの温暖化シナリオに基づくと、2050 年では、鉄鉱石の利用がアジア・中東に集中し、採掘がアフリカ･中東欧およびロシアに集中している。一方 2100 年では、利用が中東に集中、採掘がアフリカ・中東欧およびロシアに集中している。また、シナリオ 2 および 3 は、他のシナリオと輸出入が集中する地域が異なる傾向がみられた。

表 1 鉄鉱石（粉鉱）の主要輸出入値域

シナリオ 2050 年	主要輸入地域	主要輸出地域
SSP1	アジア	アフリカ
SSP2	中東	アフリカ
SSP3	アジア	中東欧・ロシア
SSP4	アジア	アフリカ
SSP5	アジア	アフリカ
2100 年		
SSP1	中東	アフリカ
SSP2	中東	アフリカ
SSP3	中東	中東欧・ロシア
SSP4	中東	アフリカ
SSP5	中東	アフリカ

5.　おわりに

貿易表に対する分解・合成法を用いて、将来の貿易構造とシナリオ別貿易量を合成することにより、2100 年までの全品目についての各国の貿易量を推計した。金属資源の鉱石に着目すると、2100 年までに主要な輸出入国に変化が見られ、またシナリオ間にも差があった。この結果は、温室効果ガス削減目標を実現するための社会・経済的パスを検討する際に、想定するシナリオによって、限られた金属資源産出国への依存性が変化することを示唆している。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K16231,JP16H01797, 独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費（1-1601）の助成を受けたものです。

引用文献

1) Shared Socioeconomic Pathways　version 1.0：https://secure.iiasa.ac.at/web-apps/ene/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about

2) Amari,S. and Nagaoka, H.,“Methods of Information Geometry”, Oxford University Press, (1997)

3) Stone, R.,“Input-Output and National Accounts”, OECD, Paris,(1961)

4) Censor, Y. and Zenios, S.A.,“Parallel Optimization”, Oxford UniversityPress, (1997)

C1-07,P2-076　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

世界及び日本の経済活動が誘発する鉱石採掘に伴う関与物質総量：鉄・銅の国際サプライチェーン分析

Mining-associated TMR induced by Japanese economy and global economy: Global supply chain analysis of iron and copper

○野田匠一郎*[1)]、南齋規介[2)]、中島謙一[2)]
Shoichiro Noda, Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima
1) 東京大学, 2)国立環境研究所
* shoichiro.noda@envsys.k.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

近年、資源消費の拡大に伴う地球環境の劣化が指摘[1]され、特に、採掘活動に伴う大規模な土地の改変[2]や鉱山廃棄物等に起因する周辺環境の劣化[3]が報告されている。また経済のグローバル化は、「環境劣化の主体である資源生産国」と「環境劣化の原因者である資源消費国」の地理的な乖離[2]を生じさせており、環境劣化に係る資源消費国の責任や役割が希薄化しやすい状況にある。

このため、資源消費量や誘発される環境負荷量の議論においては、各国の経済活動に伴う誘発量を消費ベース指標で計る研究[4]が有用とされてきた。例えば、多地域間産業連関モデル(MRIO：Multi-regional Input-Output model)を用いることで、各国の経済活動が誘発する資源生産量の一次資源等価換算量を算定した研究[5]がある。これにより、各国の経済活動に誘発されるモノ・サービスの生産に必要な直接投入量・間接投入量を、国際サプライチェーンの上流まで遡って推計することを可能にしたが、採掘活動に伴う脈石鉱物や剥土等の「隠れたフロー」と呼ばれる無価値な物質量に関する推計は行われていなかった。このため、資源生産国に残留する「隠れたフロー」由来の環境劣化について、その責任を議論することが出来なかった。

一方で、隠れたフローを把握する指標として関与物質総量(TMR：Total material requirement)が提案されており、Bringezu ら[6]による各国の経済活動に伴う TMR の総量の推計、原田ら[7]による鉱物・金属の TMR 係数の整備などが行われているが、サプライチェーンを通じて誘発される TMR の国別内訳は定量化されていない。

そこで本研究では、世界及び日本の経済活動が国際サプライチェーンを通じて誘発する鉱石採掘量の TMR 換算量を推計することとした。なお、日本の経済活動による寄与の同定には、MRIO 手法の 1 つである GLIO モデル[8]を用いた。これにより、先行研究[4,5]では無視されていた隠れたフローを含めた物質利用の解析結果を通じて、資源消費国が資源生産国に対して貢献可能な支援及び資源消費国内で実施可能な施策を考察する。分析対象に関して、対象資源を鉄鉱石及び銅鉱石とした。また、対象年次は日本の産業連関表が整備されている 2005 年及び 2011 年とした。国・地域区分は、世界を 231 の国・地域の区分[8]にて実施した。

2. 手法

本研究では、式(1)により世界の経済活動に伴う鉱石採掘量の TMR 換算量($T_{p,m}$)は各国の鉱石採掘量($g_{p,m}$)に各国の TMR 係数($c_{p,m}$)を乗じることで推計した。

$$\sum_p T_{p,m} = \sum_p (c_{p,m} \times g_{p,m}) \qquad (1)$$

同様に、日本の経済活動が国際サプライチェーンを通じて誘発する鉱石採掘量の TMR 換算量($T_{p,m}^{JPD}$)は、式(2)により推計した。

$$\sum_p T_{p,m}^{JPD} = \sum_p (c_{p,m} \times g_{p,m}^{JPD}) \qquad (2)$$

推計に際して、各国の鉱石採掘量($g_{p,m}$) は USGS の資料[9]を用い、日本の経済活動が誘発する各国の鉱石採掘量($g_{p,m}^{JPD}$)の推定は GLIO モデル[8]を用いた。また、日本の経済活動は、国内最終需要と輸出の総和と定義した。

鉱石採掘量の TMR への換算に際して用いた各国の TMR 係数($c_{p,m}$)は、原田ら[7]の推計方法を元に TMR 係数が剥土比(s_p)と粗鉱品位($r_{p,m}$)の比であると仮定して、式(3)により求めた。

$$c_{p,m} = (s_p + 1)/r_{p,m} \qquad (3)$$

ここで、(s_p)は原田ら[7]の推計方法を参考にし、($r_{p,m}$)は JOGMEC の資料[10]を用いた。添字のpは資源生産の発生している国、mは採掘された資源種、JPDは日本の経済活動を表す。

3. 結果

本要旨では、鉄鉱石の採掘に伴う TMR の推計結果を抜粋する。銅鉱石の採掘に関する結果は、当日の発表中に紹介する。

図 1 には、世界・日本の経済活動に誘発され世界全体で発生した鉄鉱石採掘量の TMR 換算量について示した。世界の経済活動に誘発された鉄鉱石採掘量(0.84Pg: 2005 年、1.4Pg: 2011 年)の TMR 換算量は 2005 年で 6.2Pg、2011 年で 11Pg と得られた。一方、日本の経済活動に誘発された鉄鉱石採掘に伴い発生する TMR は 2005 年で 0.54Pg、2011 年で 0.57Pg と得られた。世界の経済活動に誘発された鉄鉱石採掘に伴い発生する TMR のうち、日本の経済活動に誘発された鉄鉱石採掘に伴い発生する TMR の占める割合は 2005 年で 8.7%、2011 年で 5.1%であった。

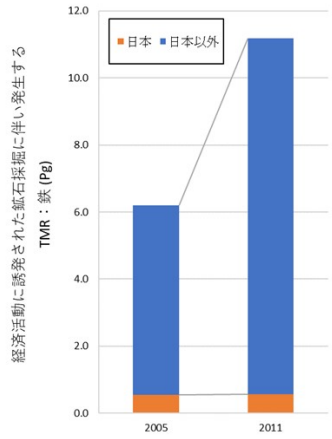


図 1　世界・日本の経済活動に誘発され世界全体で発生した鉄鉱石採掘に伴う TMR

図 2 には、世界・日本の経済活動に誘発され世界各国で発生した鉄鉱石採掘量の TMR 換算量の上位 10 国・地域を示した。当該国・地域にて誘発される鉄鉱石の採掘に伴う TMR 量は中国で 5.0Pg、オーストラリアで 1.8Pg、ブラジルで 1.6Pg と得られ、世界の経済活動に誘発された鉄鉱石採掘に伴い発生する TMR の 75%を占めた。これに対し日本の経済活動に誘発されたものは、オーストラリアで 0.33Pg、ブラジルで 0.15Pg と得られ、日本の経済活動に誘発された鉄鉱石採掘に伴い発生する TMR の 85%を占めた。

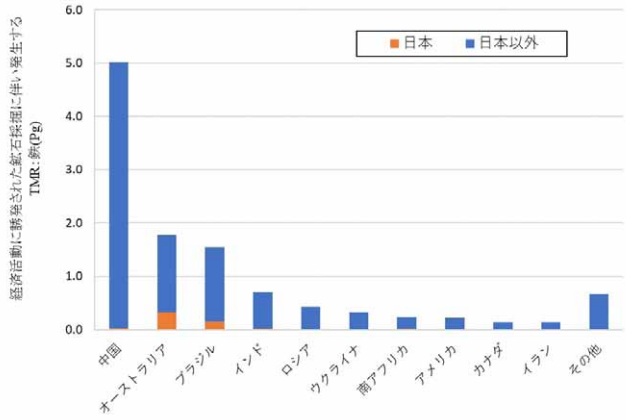


図 2 世界・日本の経済活動に誘発され世界各国で発生した鉄鉱石採掘に伴う TMR

図 3 には、日本の経済活動に誘発され世界各国で発生した鉄鉱石採掘量の TMR 換算量について、上位 10 地域の 2005 年と 2011 年の推計結果を示した。日本の経済活動が誘発している世界各国の TMR は 2005 年と 2011 年では当該国・地域でほとんど差がなかった。

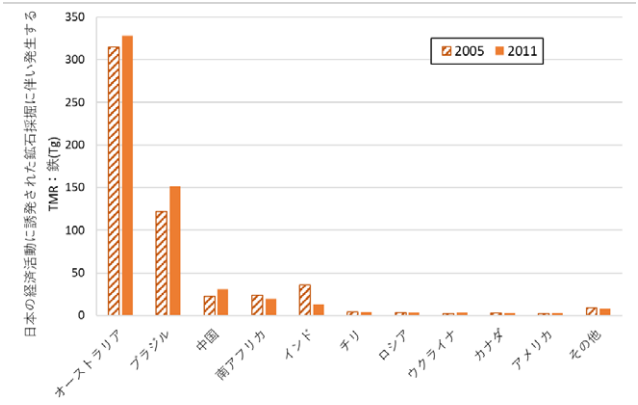


図 3　日本の経済活動に誘発され世界各国で発生した鉄鉱石採掘に伴う TMR

4.　考察

本研究により、世界及び日本の経済活動が誘発する鉄鉱石の採掘に伴う TMR が膨大であること(図 1)、更に、一部の国・地域に集中していること(図 2)が明らかとなった。特に、主要な資源消費国の 1 つである日本は、オーストラリア及びブラジルを中心とした各国への誘発が大きいこと(図 3)から、これらの国・地域における隠れたフローの管理と責任を考える必要がある。

日本の経済活動が誘発する TMR を減らすための国外に向けた具体的な施策としては、粗鉱品位を上げる事を目的とした新規鉱山開発への投資[10]が挙げられる。また、国内への具体的な施策提案については都市鉱山の有効利用を含む 3R の促進[11]が挙げられる。

引用文献

1. UNEP, “Global material flows and resource productivity”, (2016) 2. K. Nakajima et al., STOTEN, 586, (2017), pp.730-737 3. A. Liakopoulos et al., Waste Manag Res, 28(11), 2010, pp.996-1009 4. A.Y. Hoekstra and T.O. Wiedmann, Science, 344(6188), (2006) pp.1114-1117　5. T.O. Wiedmann et al., PNAS, 112(20), (2015), pp.6271-6276 6. S Bringezu et al, Ecol Econ, 51, (2004), pp.97-124　7. 原田幸明ほか, 日本金属学会誌, 65(7), (2001), pp.564-570 8. K. Nansai et al., Economic Systems Research, 21, (2010), pp.267-290 9. USGS, Historical Global Statistics for Mineral and Material Commodities, (2015) 10. JOGMEC, 資源開発環境調査, (2004) 11.山末英嗣ほか, 軽金属, 59(11), (2009), pp.620-626

C1-08,P2-074　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

銅採掘に伴う国際的なサプライチェーンリスク解析

Analysis of international supply chain risk associated with copper mining

○大足葵*[1)]、山﨑裕貴[1)]、松八重一代[1)]、中島謙一[2)]、長坂徹也[1)]
Aoi Oashi, Yuki Yamazaki, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学, 2) (国研)国立環境研究所
* aoi.oashi.r7@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

銅はインフラ整備や次世代自動車の普及に伴い、さらなる需要の拡大が見込まれている。しかし、銅鉱石の平均品位は年々低下し[1)]、鉱山開発における設備負担や環境負荷の増大が懸念されている。銅は低炭素社会を支える重要な金属資源の一つであり、今後ますます需要が増大していくと予想される。その一方で、土地改変に対する環境・社会的制約などにより、新鉱山開発は困難になることが懸念される。2050 年には埋蔵量ベースをも超える消費が予測されている[2)]中、銅資源の持続可能な管理について考察することは非常に重要であると考えられる。

また、銅製品ライフサイクルのサプライチェーンを考えると、そこには、多種多様なリスク要因が潜在している。一次資源の供給障害につながる、採掘活動における事故、ストライキや、土地改変に伴う生物多様性への影響、資源国による鉱石輸出禁止政策といった銅資源の持続的且つ安定的な調達に影響を及ぼす環境・社会的なリスク要因が考えられる。日本はほぼ全ての資源を輸入に頼っており、これらのリスク要因を包括的に捉え、戦略的な資源管理が必要である。本研究では、日本の国内最終需要が引き起こす直接・間接の銅の流れを定量的に解析する。鉱山、地域レベルでのリスク情報を国際フロー情報と接続することで、世界の銅資源サプライチェーンにおいて日本が優先的に対処すべき国や地域を明らかにし、日本の技術が果たす役割と責任について考察する。

2. 銅生産における水資源との関わり

反射炉プロセスを用いた銅生産のフロー[3)]に示されるように、水は採掘、浮遊選鉱、電解精製、ダスト抑制の水分調整、ドリル装置の冷却等に用いられ、重要な資源となっている。銅の water footprint は平均 70.4kL/t Cu となっている[4)]。また、露天掘りの深さと水質調査[5)]によると、地下 30m より深くなると水の汚染度が一気に高まることが明らかになっている。今後、銅の需要が拡大し、より地下深くへと採掘が進むと、汚染水の危険性が高まることが懸念される。SDGs でも安全な水へのアクセスの確保は重要であると述べられている。

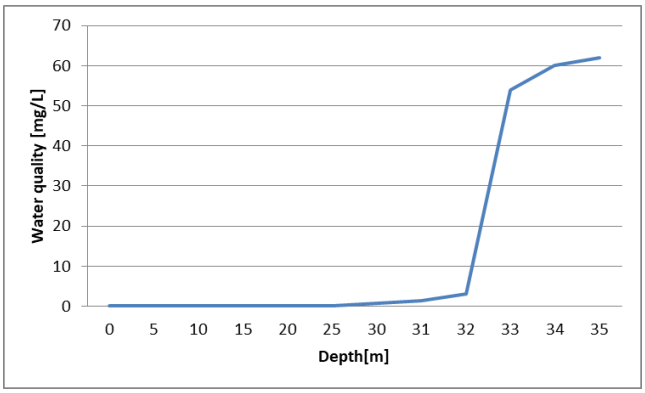


Figure 2 露天掘りの深さと水質[5)]

3. 水リスクについて

山﨑ら[6)]の研究では、銅のサプライチェーン全体のリスク要因の抽出・整理が行われた。2000 年～2016 年の銅の供給障害に関わる事例が報告書や Web ニュース[7)8)]から収集された。これらのリスク要因は、佐々木ら[9)]が提案した枠組みにより、大分類 5 分類、中分類 31 項目に配置づけて Table1 のように整理された。

この中で、豪雨や干ばつにより鉱山での操業に影響が生じた等の水害に関する事例が 18 件抽出された。国

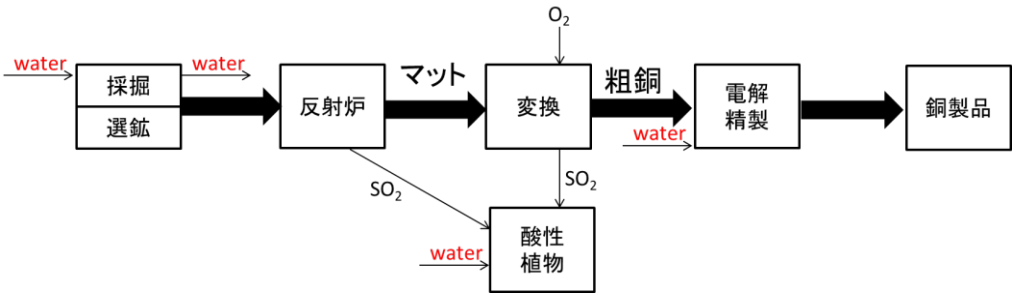


Figure 1 反射炉プロセスを用いた銅生産のフロー[3)]

別で見ると、オーストラリア、チリで 5 件ずつ、次いでフィリピンで 3 件、他アルゼンチンや中国などの国から抽出された。また、鉱山廃水により近くに生息していた鳥や魚が死亡する等の汚染に関する事例は 48 件抽出された。国別で見ると、ペルーで 11 件と最も多く、次いでチリで 9 件、フィリピンで 8 件、インドネシアで 5 件、他アメリカやメキシコなどの国から抽出された。水に関するリスク要因には、自然災害や気候変動の発生で生じた水不足による供給寸断と、直接的に供給寸断を引き起こさなくても、採掘によって生じた廃水が生態系を破壊し、環境汚染につながるケースが挙げられる。

Table 1 銅資源の供給障害に関わる事例

No.	大分類	中分類	事例件数（大分類）
1	Economic	ストライキ、市況の変動、インフラ不足、原料調達の障害、事業所の経営状況の混乱、参入障壁、事業所の生産管理、	228
2	Environmental	パンデミック、自然災害、異常気象、環境破壊・汚染、資源の枯渇	111
3	Geopolitical	輸送障害、大量破壊兵器の所持、テロ、政情不安、貿易障害、二国間の関係、法的な操業停止	99
4	Societal	社会的操業認可、児童労働、統制されない移住、都市計画の失敗、外部のストライキに巻き込まれる	64
5	Technological	テクノロジーの悪用、設備の事故/故障/修理、報道リスク、データ・セキュリティ/ITに関わるインシデント	91

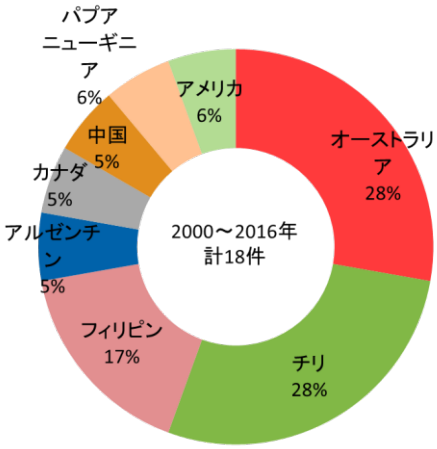


Figure 3 水害に関するリスク要因の国別割合

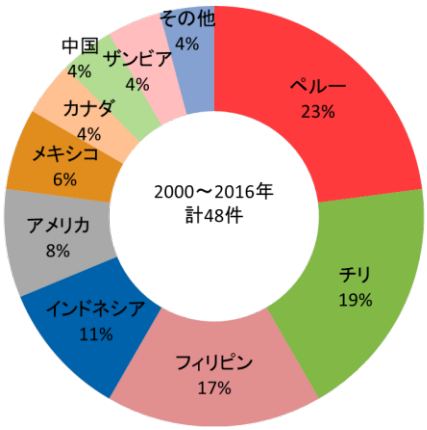


Figure 4 汚染に関するリスク要因の国別割合

今後は、銅採掘によって発生した汚染水がもたらす環境への悪影響を明らかにする。また、水資源が豊かな地域と渇水地域では、同じ環境汚染であっても影響の大きさが異なる。そのため、地域ごとの違いについても明確に表現することを目標とする。

4. 終わりに

銅生産における水資源に関する既存の議論をもとに、銅の採掘に伴う水の重要性について考察した。また、銅資源の供給障害に関わる事例から、水害、汚染に関するリスク要因の分析を行った。今後は、採掘に必要な水量、汚染度等の数値を用い、国際フロー情報と、リスク情報の接続を検討する。

5. 引用文献

1) 谷口正次：Journal of MMIJ Vol 131, (2015), pp.588-591

2) 原田幸明：Journal of MMIJ Vol.131, (2015), pp.581-587

3) Reza Memary, Damien Giurco, Gavin Mudd, Leah Mason: Journal of Cleaner Production 33, (2012), pp.97-108

4) S.Northey, N.Haque, G.Mudd :Journal of Cleaner Production 40, (2013), pp.118-128

5) Gavin M. Mudd, James Patterson: Environmental Pollution 158, (2010), pp.1252-1260

6) 山﨑裕貴,松八重一代,中島謙一,村上進亮,長坂徹也: ”第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集”,Tsukuba,(2017),pp.68-69

7) JOGMEC：“JOGMEC 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源情報”, JOGMEC 金属資源情報,(オンライン), 入手先<http://mric.jogmec.go.jp/>,(参照 2016-01-04)

8) USGS Minerals Information, Publication and Data Products,(オンライン),入手先<http://minerals.usgs.gov>, (参照 2016-07-17)

9) 佐々木翔,松八重一代,中島謙一,長坂徹也: ”第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集”,Tokyo,(2016),pp.236-237

C1-09,P2-064　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

ハイブリッド LCA を用いた
日本の低炭素技術に関する資源リスク構造の解析

Material risk analysis of low-carbon technologies in Japan with Hybrid LCA

○田邊佑樹*[1)]、南斉規介[2)]、東野達[1)]
Yuki Tanabe, Keisuke Nansai, Susumu Tohno
1)京都大学, 2)国立環境研究所
* tanabe.yuki.36z@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化や資源枯渇などの地球環境問題についての議論が活発に行われている。2015 年の COP21 では、気候変動抑制に関する新たな国際的枠組として「パリ協定」が採択され、産業革命以降の世界の平均気温の上昇を 2℃未満に抑えることが世界共通の長期的目標として設定された。日本政府の温室効果ガス排出量削減目標は、中期目標として 2030 年度に 2013 年度比でマイナス 26%、さらに長期目標として 2050 年度までにマイナス 80%の削減を目指すことを位置づけている。このことから、温室効果ガス排出量が少ない低炭素技術を速やかに導入していくことは、わが国にとって極めて重要となることがわかる。

一方で、低炭素技術には多くの金属資源が使用されている。たとえば、風力発電に用いられる発電用永久磁石にはネオジム（Nd）が、燃料電池自動車などに利用される固体高分子系燃料電池にはプラチナ（Pt）が製造段階で使用されている[1)]。これらの金属はレアメタルと呼ばれ、利用可能な量が限られているうえに採掘国の偏在性も高いため、少数の資源保有国の内乱や国家間の政治的対立などの影響で供給が不安定となるリスクがある。特にわが国は世界でも有数の金属資源消費国であるが、一方でその大部分を輸入に依存しており、レアメタルの安定的な供給は日本経済の要といえる。こうした背景は、温室効果ガス排出の低減に寄与するクリーン技術であっても、その導入に伴うレアメタルの供給リスクの変動について把握する必要性を高める。

そこで本研究では、今後さらなる開発・導入が必要とされるわが国の需要および供給側の低炭素技術を対象に、ライフサイクルの視点から、温室効果ガス排出量とレアメタルの供給リスクに関する評価を行い、両者の関係性を明らかにすることを目的とする。

2. 方法とデータ

2.1 ハイブリッド LCA

ライフサイクルインベントリ分析の主要な手法である積み上げ法と産業連関分析法の両者を組み合わせたハイブリッド LCA によって、環境負荷量を推計する。プロセスデータには CEDA® Integrated Scenarios を用いた。これは，The ecoinvent Database に対応した新エネルギー技術に関するプロセスデータであり、先行研究[2,3)]でも採用されている。接続する産業連関モデルは Global link input-output（GLIO）モデル[4)]を用いた。

本研究では、21 種の発電技術や 13 種の輸送技術など、89 の供給および需要側の低炭素技術を対象に、原料採掘から使用段階までのプロセスについて評価を行った。温室効果ガスは CO_2、CH_4、N_2O、PFCs、HFCs、SF_6 の 6 種類を含めた CO_2 等価換算量（kg-CO_2eq）で示す。レアメタルは Nd、Pt、Co の 3 種類を対象とし，マテリアルフットプリント（以下、MF）とマイニングリスクフットプリント（以下、MRF）を評価に用いた。MRF は、ある国の金属消費が国際サプライチェーンを通して直接および間接的に受ける資源採掘国における政治的リスクを示した指標である[5)]。

以下の式(1)に段階的ハイブリッド LCA による温室効果ガス排出量（以下、CF）、MF および MRF の計算方法を示す。なお、 E_t は技術 t の CF、MF または MRF、e_i は GLIO モデルの部門 i (1,･･･, 406)の CF、MF または MRF 原単位、$p^M_{i,t}$ は技術 t に対する部門 i の投入額、D_t は技術 t の使用段階での温室効果ガス排出量を表す。

$$E_t = \left(e_1, \cdots, e_{406}\right) \begin{pmatrix} p^M_{1,t} \\ \vdots \\ p^M_{406,t} \end{pmatrix} + D_t \qquad (1)$$

2.2 ハイブリッド化

ecoinvent のプロセスデータは欧州主体で構成されているが、物量ベースのデータであるため、欧州以外の地域にも適応可能である。ただし、GLIO モデルとの接続のため、物量を金額（円）に換算する必要がある。本研究では式(2)に従い、物量ベース（kg など)のインベントリデータ（$p^P_{eco,t}$）を貨幣ベースの値（$p^M_{eco,t}$）に変換した。

$$p^M_{eco,t} = p^P_{eco,t} \times \mathrm{Price} \times \mathrm{CE} \qquad (2)$$

ここで、Price(€ or $ /kg)は単価、CE は平均為替レート(円/€ or $)である。単価の設定には、UN Comtrade の日本の平均輸出入価格や、産業連関表の物量表のデータなどを用いた。

そして、求められた投入額データ$p^{M}_{eco,t}$と原単位e_iとの積をとるために、各投入財を GLIO モデルの 406 部門に対応させた。この部門対応は、日本の産業連関表の解説編を参考にした。

$$p^{M}_{eco,t} \Rightarrow p^{M}_{io,t} \quad (3)$$

3. 結果と考察

各技術について、上記のライフサイクル環境負荷排出量を推計した。ここでは発電技術に注目し、表 S1 に記すような発電技術 21 種を太陽光 (PV)、集光型太陽熱 (CSP)、石炭火力、天然ガス火力、水力、風力の 6 つの分類にまとめて、結果と考察を記す。なお、発電技術については、機能単位として発電 1kWh あたりの環境負荷量を扱った。対象発電技術の CF と MRF の推計結果を図 1 と図 2 にそれぞれ示す。図中には、各技術分類の中の最大値と最小値、そしてそれらの幅を記してある。

まず、CF については、化石燃料による火力発電の排出量が再生可能エネルギーと比べて大きな値を示し、中でも CCS（二酸化炭素の回収・貯蔵技術）のない亜臨界圧微粉炭火力は 0.892 kg-CO_2eq/kWh で最大であった。このうち、使用段階での直接排出量が 0.860 kg-CO_2eq/kWh、製造以前の段階が 0.032 kg-CO_2eq/kWh と、使用段階が全体の約 96%を占めた。一方で、CCS のある石炭ガス化複合発電の場合、全体での CF は 0.154 kg-CO_2eq/kWh となり、石炭火力の中で最小であった。

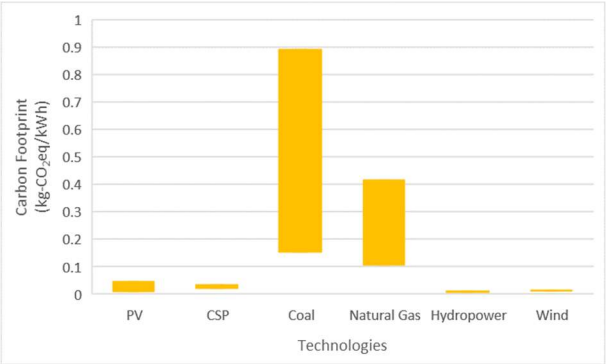


図 1　発電技術の CF の推計結果

次に、MRF に着目する。Nd の MRF は CCS のある亜臨界圧微粉炭火力が最大で、1.03×10^{-10}pt/kWh であった。このうち 4.41×10^{-11}pt/kWh は ecoinvent のアンモニア水の投入による GLIO モデルの「化学肥料」部門への需要に起因した。一方で、風力発電の Nd の MRF は水力発電を除く全ての技術を下回る結果となった。風力発電が Nd について過小評価されたと考えられる原因は、ハイブリッド化の際に各投入を GLIO モデルの 406 部門に対応させて計算するため、発電用永久磁石に関わる投入を詳細に評価できていないことにあると考えられる。そのため、個別に積み上げて評価するなど、改善の必要がある。

Co の MRF は、Nd や Pt と比較すると、対象発電技術全てにおいて低い値を示した。これは、日本の Co の輸入相手国の多様性から、MRF 原単位が小さいことに起因する。その中で最大の値を示したのは地上設置の多結晶シリコン型太陽光発電の 1.46×10^{-11}pt/kWh であり、ecoinvent のインバータが最も大きな寄与を示した。太陽光発電については、屋上設置よりも地上設置の方が総じて MRF が大きく、計算過程を辿ると、投入されるインバータの種類が異なることが要因と考えられる。

Pt の MRF は、CCS のある亜臨界圧微粉炭火力と超臨界圧微粉炭火力がそれぞれ 5.88×10^{-11}pt/kWh、5.99×10^{-11}pt/kWh と高い値を示した。また、太陽光発電の中では、地上設置の CIGS 型が 5.30×10^{-11}pt/kWh で最大となった。

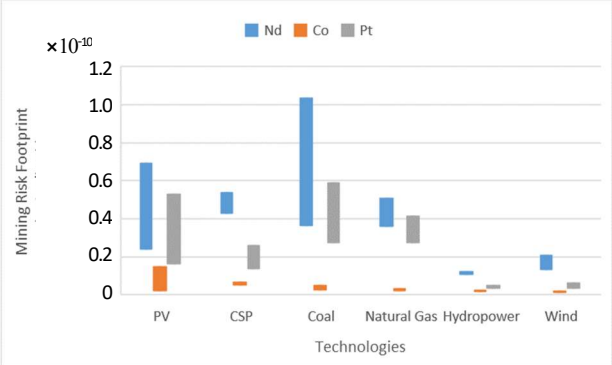


図 2　発電技術の MRF の推計結果

4.おわりに

本研究では日本の発電技術を対象に各種フットプリントを推計した。結果として、地上設置の太陽光発電の温室効果ガス排出量と Co の採掘量の間にトレードオフの関係がみられた。（SI 参照）

今後は、データと計算方法を見直し、推計精度の向上を図るほか、得られた結果とパリ協定を達成するための技術普及シナリオを組み合わせた分析を行う予定である。

引用文献

1) 馬場洋三：金属資源レポート，(2009), pp 227-236
2) Gibson T., et al.: Environ. Sci. Technol., 49, (2015), pp 11218–11226
3) Hertwich E., et al.: PNAS., 112, (2015), pp 6277-6282
4) Nansai K., et al.: Econ. Sys. Res., 21, (2009), pp 267-290
5) Nansai K., et al.: Environ. Sci. Technol., 49, (2015), pp 2022-2031

Supporting Information

表 S1　対象発電技術 21 種

Type	Technology	Sub-technology
Renewable	Photovoltaic Solar	Poly-Si (ground)
Renewable	Photovoltaic Solar	Poly-Si (roof)
Renewable	Photovoltaic Solar	CIGS (ground)
Renewable	Photovoltaic Solar	CIGS (roof)
Renewable	Photovoltaic Solar	CdTe (ground)
Renewable	Photovoltaic Solar	CdTe (roof)
Renewable	Concentrating Solar	CSP (trough)
Renewable	Concentrating Solar	CSP (tower)
Fossil Fuel	Coal	EXPC (existing pulverized coal, subcritical)
Fossil Fuel	Coal	EXPC with CCS
Fossil Fuel	Coal	IGCC (integrated coal gasification combined cycle)
Fossil Fuel	Coal	IGCC with CCS
Fossil Fuel	Coal	SCPC (super critical pulverized coal)
Fossil Fuel	Coal	SCPC with CCS
Fossil Fuel	Natural Gas	NGCC (natural gas combined cycle)
Fossil Fuel	Natural Gas	NGCC with CCS
Renewable	Hydropower	Reservoir (360MW)
Renewable	Hydropower	Reservoir (660MW)
Renewable	Wind	Onshore
Renewable	Wind	Offshore (steel)
Renewable	Wind	Offshore (gravity)

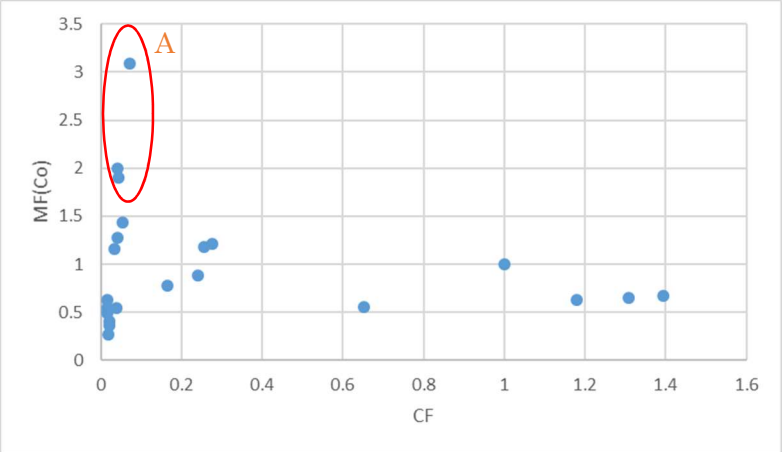


図 S1　GLIO モデルの「事業用電力」部門を基準とした発電技術の CF と Co の MF の関係

・図 S1 について

GLIO モデルの「事業用電力」部門の環境負荷原単位に電力料金をかけ、その値を 1 としたときの相対値で発電技術の CF と MF(Co)をプロットした。図中で A と記されているのが地上設置の太陽光発電 3 種である。

D1-06,P2-080

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

日本国内窒素フローの経時変化

Shift of nitrogen flow in Japan from 2005 to 2015

○片桐　究*[1)]、松八重　一代[2)]、長坂　徹也[1)]

Kiwamu Katagiri, Kazuyo Matsubae, Tetsuya Nagasaka

1) 東北大学大学院工学研究科, 2) 東北大学大学院環境科学研究科

* kiwamu.katagiri.r5@dc.tohoku.ac.jp

1. 背景と目的

窒素はわれわれにとって最も身近な元素であり、大気中の約 80%を占める元素であるが、ある種の菌類やイモ類だけが直接大気中の不活性な窒素を利用できる。[1] 他方、人類はハーバーボッシュ法などによってアンモニアとして固定することで、窒素を自由に使うことができるようになった。アンモニアを原料として、肥料用途には硫酸アンモニウムやリン酸アンモニウム、化学繊維や樹脂等の化学製品にはカプロラクタムや尿素など、多くの窒素化合物が、経済圏内に存在している。

またアンモニアは、17.8mass%と高い水素量を有し、常温（20℃）において 8.5 気圧ほどで液化するため、輸送や貯蔵が水素そのものよりも容易なことから、水素キャリアとして用いられたり[2]、水素に分解せずにアンモニアのままガスタービンを回す燃料にしたり[3]と、エネルギー源としての期待もされている。

本研究では、国内におけるアンモニアを開始物質とする窒素のフローを定量化し、2005 年から 2015 年にかけての推移を分析した。また、2005 年、2011 年、2015 年においては、国内の窒素フローマップを作成し、統合的に見た窒素フローの変化を分析した。それらをアンモニア生産・貯蔵や原材料の確保についての政策提言等に用いる指標とすべく、日本国内の窒素フローの特徴や傾向を整理した。

2. 方法

2.1 窒素のマテリアルフローの算出

本研究では、化石燃料由来の窒素ではなく、アンモニアを開始形態として、経済圏内を流れる窒素を対象とした。経済圏内の対象領域を大きく食糧･飼料分野、家畜分野、牧地・農地分野、化学産業分野そして人間・環境分野に分け分析を行った。分析の対象とする境界は､海外からの輸入を含む日本国内の経済全体とした。

食糧分野は、「農作物」「海産物」「畜産物」「加工食品」「家畜」を対象分野とした。人間・環境分野は「家計消費」「排水」「下水汚泥」を対象分野とした。また産業部門は「輸入（アンモニア・窒素化合物・肥料）」「副生硫安（鉄鋼産業産）」「国内生産（アンモニア）」「化学製品」「肥料」を対象部門とした。

2005 年、2008 年と 2010 年から 2015 年まで、各年における各種統計データを用いて分野間の流出量・流入量を算出し、それらを量的平衡（マテリアルバランス）を維持し、接続することで、それぞれの部門の流出入量を計算した。窒素量の計算については、基本的に式１を用いた。

$$N=V\times C\times(1-W) \qquad (1)$$

ここで N は窒素量、V は窒素含有物の重量、C は窒素含有率、W は含水率である。また製品中の窒素純分量を表す単位として以後「kt-N」を用いる。

1.2 2005 年、2011 年、2015 年の日本国内窒素フロー図の作成

2005 年、2011 年および 2015 年について、国内のアンモニアを起源とする窒素フローを作成した。ただしフローを明確にするために、相互でフローのやり取りがある部門同士はフローの差で示したり、一部の小さなフローは省略したりしたため、マテリアルバランスが取れていないところがあるのは留意されたい。

2.2 2005~2015 年の窒素フローの経年変化

2005 年から 2015 年までの、食料・飼料部門、肥料産業部門、化学産業部門における窒素流出入の経年変化を算出した。食料・飼料部門は、input として輸入食料。漁業、農地・牧場、家畜、その他からの窒素の流入を、output として家計消費、家畜、残渣、肥料、輸出､農地牧場､在庫､工場への窒素の流出を考慮した。このうち農地・牧場への output でマテリアルバランスを調節した。肥料産業部門は、input として化学産業、輸入、家畜、食料・飼料、下水汚泥から窒素が流入し、output として農場・牧場、輸出への窒素の流出を考慮した。この分野においても農地・牧場でアテリアルバランスを調節した。化学産業部門では、input として国内生産アンモニア､輸入アンモニア､輸入窒素化合物、製鉄所からの副生産物（硫酸アンモニウム）を、output として化学製品と肥料産業を考慮した。化学産業分野においては化学製品をマテリアルバランスの調整に用いた。

3. 結果と考察

図 1､2 にそれぞれ 2005 年と 2015 年における日本国内における窒素フローを示す。国内窒素フローはこの 10 年間で多くの部門において流入量･排出量ともに減少している。ただし、一部のフロー例えば輸入アンモニアや輸入窒素化合物、家畜部門への流出入や排水からの流出においては大きな変化は見られず、唯一肥料分野への輸入による流入が 183kt-N から 204kt-N へと 11%増加していた。ここで窒素の自給率を国内生産アンモニア/（国内生産アンモニア＋輸入アンモニア＋輸入窒素化合物）と定義する。すると 2005 年および 2015 年の窒素の自給率はそれぞれ 74.5%および 73.8%であった。国内および輸入アンモニアの総量は 2005 年および 2015 年でそれぞれ 1262kt-N および 958kt-N と 10 年で 25%減少しているにもかかわらず自給率は横ばいであり、アンモニアの自給調整はスムーズに行われていることが示唆された。

図 3 に化学産業における窒素量と構成比を示す。図 2 に示すように、化学産業周りの窒素流出入は 2005 年から 2015 年にかけて、1516kt-N から 11123kt-N へと 26%の減少が見られた。Output 側では化学製品への流出が 884kt-N から 623kt-N と 30%減少し、肥料産業への流出も同様に 632kt-N から 500kt-N と 20%減少していた。割合としては化学製品への流出の割合が 2015 年でも 55.5%となっており、肥料産業に対し化学製品に流れる割合が大きい傾向が見られた。世界全体ではアンモニアの生産のうち工業用に用いられるのは 20%であり[5]、日本の 55%以上が工業用に使われるというのは特異な傾向であると言える。工業用（化学製品用、脱硝用、半導体用）には、99.9%以上の純度が必要であるが[4]、ハーバーボッシュ法で得られるアンモニアの純度は 99.8%程度であり、精製インフラの拡大等で、高純度のアンモニアの安定供給は今後も求められる。

4. まとめ

日本国内の窒素のフローの経年変化を追い､需給動向の変化を明らかにした。2005 年から 2015 年にかけて国内の窒素フローは全体的に縮小していたが、化学産業分野から化学製品に流れる窒素量は 2005 から 2015 年を通して肥料分野に流れる窒素量を上回っており、純度の高いアンモニアの製造は今後も重要になると考えられる。

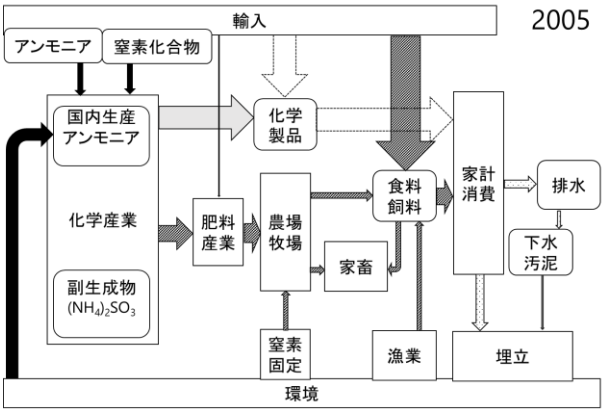


図 1　2005 年における日本国内窒素フロー図

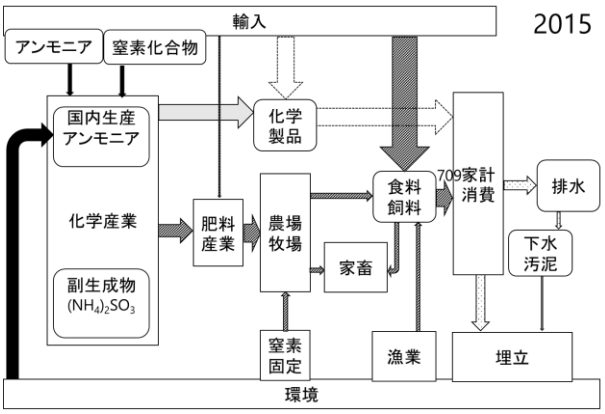


図 2　2015 年における日本国内窒素フロー図

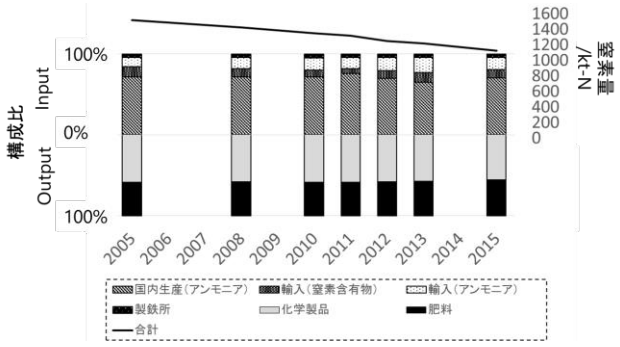


図 3 化学産業における窒素流出入の経年変化

5　引用文献

1. 干鯛眞信, “窒素固定の科学” 裳華房, 東京都（2014）pp162
2. 小島由継, 市川貴之, 水素エネルギーシステム,36(4),(2011), 34-41
3. 小林秀昭, “JST 成果集”, https://www.jst.go.jp/seika/bt111-112.html (2018/1/9)
4. ガスレビュー, “ガスジオラマ 2017”, 大阪府, (2016) , 198pp
5. JACI, “GSCリーフレット” http://www.jaci.or.jp/gscn/img/page_04/GCS_007-web.pdf (2018/1/08)

D1-07,P2-087　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

滋賀県のリンマテリアルフロー分析

Material Flow Analysis on Phosphorus in Shiga Prefecture

○間野由布子*[1)]、松八重一代 [1)]
Yuko Mano, Kazuyo Matsubae
1) 東北大学大学院　環境科学研究科
* yuko.mano.t4@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

リンは窒素やカリウムと並ぶ植物の必須栄養元素のひとつであり、農業分野では土壌の栄養成分を補うため肥料として大量に投入されている。また、工業分野においても、金属表面処理や食品添加物、界面活性剤や難燃剤等幅広い製品で用いられており、リンは現代社会を支える重要な元素といえる。しかし、特に一次リン資源の供給は基本的に鉱山から採掘されるリン鉱石に限られており、またこのリン鉱山は世界的に所在が偏在しているため、戦略資源化のリスクがある資源である。日本は現在リンの一次供給を輸入に全量依存しており、安定供給を確保する為にも国内での循環利用の向上が求められている。

このような情勢の中、日本国内のリン需給構造と循環資源ポテンシャルに関しては著者ら [1)] によるリンのマテリアルフロー分析（MFA）があるが、一国を対象とする分析では、特に自然条件に左右されやすい第一次産業分野において、地理的条件や風土、人口の違いなどの細かな地域差を考慮に入れることが難しい。しかし、輸入されたリンの約 45%[1)] は肥料として消費されており、国内でのリンの効率利用及び循環利用を促進する目的を考えても、第一次産業分野はリンフローに対して多大な影響力を保持している。そこで、農業分野をはじめとする第一次産業においてより地域の特徴を反映した解析を行うために、都道府県を対象とした分析を行うこととし、本研究においては滋賀県に着目したリンマテリアルフロー分析を行った。

2. 滋賀県の特徴

滋賀県は面積約 4000 km^2（全国 38 位）[2)]、人口約 140 万人（全国 26 位）[2)] の、近畿地方の北東部に位置する県である。滋賀県の最大の特徴は日本で最大かつ最古の湖である琵琶湖を有していることにある。琵琶湖は滋賀県の面積の約 6 分の 1 にあたる 670.25 km^2 を占めており、貯水量も約 275 億 m^3 と豊か [2)] で、近畿一帯の生存と経済発展を支える貴重な水資源になっている。

続いて、経済的観点から滋賀県の特徴を述べる。2011 年の滋賀県内生産額は約 11 兆 5028 億円 [3)] で、県民一人当たりに換算すると 813 万円であった。また、産業別構成は第一次産業が 777 億円（0.7 %）、第二次産業が 6 兆 6616 億円（57. 9%）、第三次産業が 4 兆 7635 億円（41.4 %）となっており、同年度の全国の結果と比較しても滋賀県で第二次産業が盛んであることが読み取れる。その県内生産額のうちの 91.2 %に当たる 6 兆 750 億円を製造業が占めており、特にプラスチック・ゴム、電気機械、はん用機械、窯業・土石製品、生産用機械などの生産が盛んである。

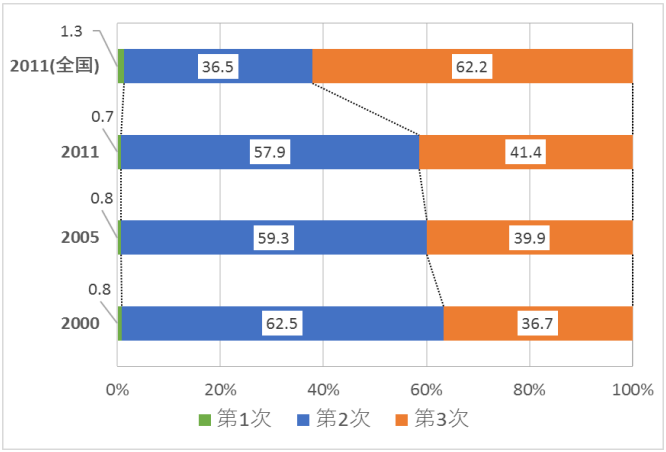


Figure 1　滋賀県内生産の産業別構成比率 [3)]

また、この産業別構成比を 2005 年、2000 年と比較すると、第三次産業の比率が年々上昇していることがわかる。また、第一次産業に関しては 1 %以下と、県内生産額に占める割合としては全国と比較しても低い数値となっている。

3. 滋賀県のリンフロー分析

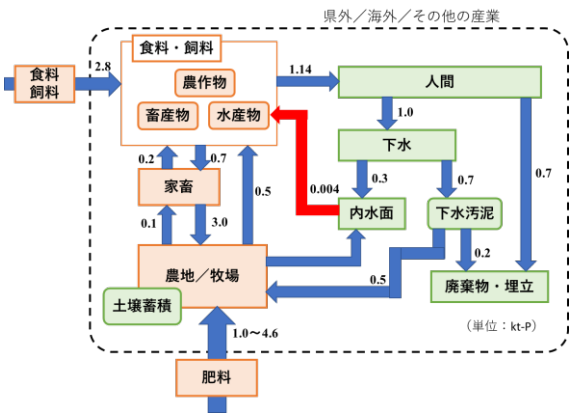


Figure 2 滋賀県リンマテリアルフロー（暫定版）

3.1 分析方法

対象年は 2011 年とし、滋賀県を対象範囲とした。分

析する部門は、リンの主要な用途である肥料およびそれに関連する第一次産業におけるリンの流れに注目するために、食糧分野および廃棄物・環境分野を対象とした。分析を行うにあたり、滋賀県産業連関表、滋賀県統計書、食料需給表等を参照した。

3.2 結果

第一次産業に着目した滋賀県におけるリンのマテリアルフロー図を Figure 2 に示した。図中の単位は純リン量（kt-P）である。なお、記載されている数値は依然調査中のものであり、マテリアルバランス等は考慮されていない暫定値であることを留意願う。

3.3 滋賀県の一次産業について

今回着目した滋賀県の一次産業について、次の 2 点が特色として挙げられる。第一に、滋賀県の農業は稲作の比重が大きく、耕地面積のうち田が占める割合を示す水田率が 96 %と全国で 2 位の水準である。2011 年の滋賀県内における水稲の生産量は 16.8 万 t（純リン量に換算すると 486.2 t-P）となるが、これは他の農作物と比較しても圧倒的に大きな数字である。すなわち、農業分野においては、稲作に関わる技術指針や施策が県内のリン消費に与える影響が大きいということが予想できる。

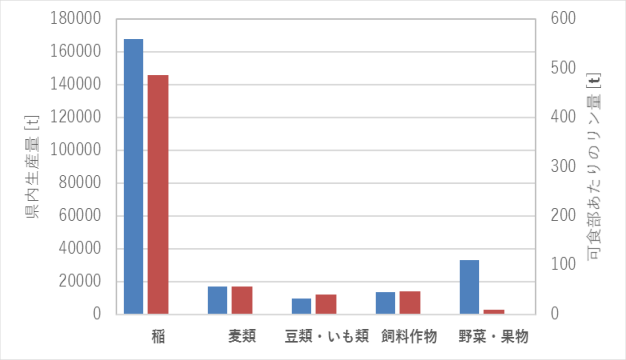


Figure 3 農作物の滋賀県内生産量および可食部あたりリン量（2011 年）[4)]

第二に、滋賀県には琵琶湖という巨大な湖があるため、滋賀県は内陸県でありながら唯一漁港を有しており、刺網漁や定置網漁をはじめとした網漁業などが営まれている。2011 年の滋賀県における水産物の県内生産量は 1318 t であったが、これを可食部あたりのリン量に変換すると 3928 kg-P となり、同年に県内で生産された大豆 8060 t 中に含まれるリンの約一割に相当する。既存のリンのマテリアルフローでは、このような領域内に存在する水圏からのリンの回収フローは、全体のフローに対する寄与度の低さから無視されることが多かったが、滋賀県内に対象を設定する場合、内水面からのリンの回収の影響を考慮に入れたマテリアルフロー分析が可能になり、第一次産業とリンの循環に関して更なる知見を得ることが期待できる。

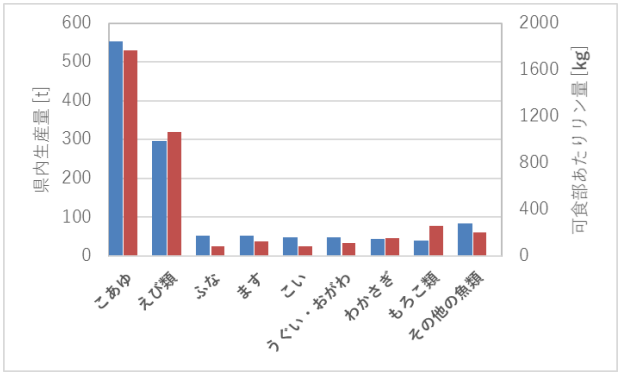


Figure 4 水産物の滋賀県内生産量および可食部あたりリン量（2011 年）[4)]

4. おわりに

都道府県単位という範囲で分析を行うにあたり、特にリンの随伴の大きい食料品等について、県境を越えた移動をどのように追跡するのか等、国内規模の分析では考慮する必要のなかった課題が見つかった。また、耕作地で作付されている作物の種類による肥料の違いや、滋賀県が推進している環境こだわり農作物認定制度を取り入れているかどうかなど、都道府県という狭い範囲だからこそ組み込むことのできる因子をさらに取り入れ、より具体的な提言に繋がる結果を得る努力を進めていきたい。

＜謝辞＞

本研究は総合地球環境学研究所 FR プロジェクト「生物多様性が駆動する栄養循環と流域圏社会―生態システムの健全性」ならびに科研費基盤研究 A(17H00794)の一部として進めたものである。

引用文献

1). K. Matsubae, J. Kajiyama, T. Hiraki, T. Nagasaka: Chemosphere, 84 (2011) pp.767–772

2). 滋賀県県民生活部統計課：“しが統計ハンドブック（2017 年版）”, (2017), pp.1-5

3). 滋賀県県民生活部統計課：“平成 23（2011）年滋賀県産業連関表報告書”, (2011)

4). 滋賀県県民生活部統計課：“平成 27（2015）年滋賀県統計書”, (2015)

5). 文部科学省：“日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）”

D1-08

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

施肥方法が水田土壌の質に与える影響の定量化

Estimating impact on soil quality of paddy fields due to fertilizer management

○湯龍龍、神山和則、林清忠、志村もと子

Longlong TANG, Kazunori KOHYAMA, Kiyotada HAYASHI, Motoko SHIMURA

農業・食品産業技術総合研究機構

*tanglonglong@affrc.go.jp

1.　はじめに

LCA では、土地利用の生態系サービス影響を評価するために、土壌の質に関連する特性化係数が開発されている[1]。これら係数の指標は SOC (soil organic carbon)、土壌侵食、塩類集積、コンパクションなどが挙げられ、異なる土地利用タイプ(農業、森林、草地など)で算定されている[2]。なお、いずれの指標も土壌の質の一側面にすぎないため、土壌の質に与える影響が明確でない。農業の LCA では、土壌の質が重要な影響側面である。既存の係数は、国レベルで算定され、かつ、管理方法の違い(例：施肥方法)が土壌の質へ与える影響は評価されない。

一方、農業における土壌の質の評価では、農地管理や、肥培方法間の比較などで、SQI (soil quality index)が活用されている[3]。SQI は土壌の質を 0~1 の単一指標(無次元)で評価し、１は質が最も高い状態を示す。土壌の主な機能グループ、或いは生物、化学、物理側面の特性データから土壌の質を包括的に評価している。なお、同じ土地利用タイプの中で、土壌の質を相対的に評価するため、異なる土地利用タイプ間の横断的比較が困難である。

本研究の目的は、①土壌の質係数の算定に向けた SQI の評価枠組みを構築し、②日本水田を対象に、SQI を用いた土地占有の土壌の質係数を試算することである。

2.　評価方法とデータ

2.1　SQI の評価枠組みの構築

土壌の質は、複数側面から定義されるため、直接測ることが困難である。本研究は、多様な側面から土地の自然度を評価する際に提案された Hemeroby 方法[4]を参考に、階層構造を持つ土壌機能と項目を設定し、単一指標 SQI を定量化する方法を開発した(表 1)。

機能と項目の設定：まずは、基礎分野の知見[5]を基に、水田土壌の特徴、定量化が可能であることを考慮して、有機物含量、湛水透水性、酸化還元性、自然肥沃度、養分の豊否の 5 機能を選定した。次に、各機能に関連する 17 項目を設定した。

定量化方法：全 17 項目を最良状態(1)に対する相対的スコアに変換したうえで、機能内と機能間の重みづけで SQI を算出する最もシンプルな方法を取る。

- 項目データ→項目スコア(0~1)：各項目に対して、良の閾値(１)、不良の閾値(０)を用いて線形の評価関数を決める。なお、養分項目は過剰の場合があり、一律 0.5 にした。閾値は既存研究[5]から得た。
- 項目スコア→機能スコア：Hemeroby 方法を参考に、同機能内の各項目間は同じ重み(平均値)を用いた。
- 機能スコア→SQI スコア：土壌の質の定義「各機能をバランスよく保つ(脆弱性が小さい)ほど、質が高い」に従い、最良状態(1)から離れるほど、大きい重みを与える方法を取る。具体的には、以下の式で地域別、機能ごとの重み付け係数を算定した。$W_{i,r}=(1-F_{i,r})/\Sigma_i(1-F_{i,r})$。(W：重みづけ係数、F：機能のスコア、i：５つの機能、r：都道府県)

表１　評価の枠組みと項目ごとの定量化で用いた閾値

土壌の質	機能	項目	単位	良(1)	不良(0)	過大*
SQI	有機物含量	表土の厚さ	cm	≧15	≦10	-
		Total Carbon	%	≧3	≦0.5	-
	湛水透水性	作土下50cmの土性	-	注1)		
		作土下50cmの最高ち密度	-	≧25	≦10	-
	酸化還元性	易分解性有機物含量(Av-N)	mg/100g乾土	≦10	≧15	-
		遊離酸化鉄含量(Fe)	%	≧1.5	≦0.8	-
		グライ化度	-	注1)		
	自然肥沃度	保肥力(CEC)	meq/100g乾土	≧20	≦6	-
		固定力(リン酸吸収係数)	mg/100g乾土	≦700	≧1500	-
		土層の塩基状態(石灰飽和度)	%	≧50	≦30	-
	養分の豊否	交換性石灰含量(CaO)	mg/100g乾土	≧200	≦100	>440
		交換性苦土含量(MgO)	mg/100g乾土	≧25	≦10	>50
		交換性加里含量(K2O)	mg/100g乾土	≧15	≦8	>40
		可給態リン酸含量(Av-P)	mg/100g乾土	≧10	≦2	>30
		可給態窒素含量(Av-N)	mg/100g乾土	≧20	≦10	-
		可給態ケイ酸含量(Av-Si)	mg/100g乾土	≧15	≦5	>40
		酸度 (pH)	-	6~6.5	<4.5, >8	-

注 1)：出典[5]より定性的データを 1，0.5，0 に変換した。

2.2　SQI を用いた土壌の質係数の算定

土地利用(占有)による土壌の質への影響は、既存の土地利用の生態系サービス影響評価方法に従って、式(1)のように定義した。ΔQ は土地占有の特性化係数であり、基準である１と SQI スコアの差分で算定される。

$$\text{Soil quality impact (occupation)} = \Delta Q \times Year \times Area \quad (1)$$

$$CF(\text{paddy soil})_{r,m} = \Delta Q = SQI_{reference} - SQI_{r,m} = 1 - SQI_{r,m} \quad (2)$$

Year: cultivation period (year);　*Area*: farm area (ha)

r: region;　*m*: management method

CF: characterization factor (dimension less)

式(2)の地域別、施肥方法別の SQI は、土壌環境基礎調査基準点調査データベース[6]を基に算定された。当該データベースは、全国代表的土壌に設置された、施肥管理方法の異なる圃場における、土壌特性(表１の 17 項目を含む)と収量の長期連用試験結果のデータが格納されている。

水田と畑が対象とし、期間は 1975~1997 の約 20 年間である。施肥管理方法は主に、化学肥料単用(化単)、化単+稲わら、化単+堆肥(稲わら、牛糞、豚糞)、化単+改良資材(ケイ酸、リン酸、pH 改良材)、および総合改善(稲わら・堆肥・改良資材の組合せ)の 5 種類である。

3.　土壌の質係数の算定結果

3.1　施肥方法別の SQI

化学肥料を例に、算定された機能と SQI のスコアを示す(図 1)。化学肥料の連用によって、有機物含量、湛水透水性、酸化還元性は横ばいであるが、自然肥沃度(石灰飽和度)と養分(CaO, K_2O, Av-Si, pH)が低下した。その結果、SQI も低下と算定された。他の施肥方法では、有機物含量が増加し、養分の低下が緩和される傾向が見られた。

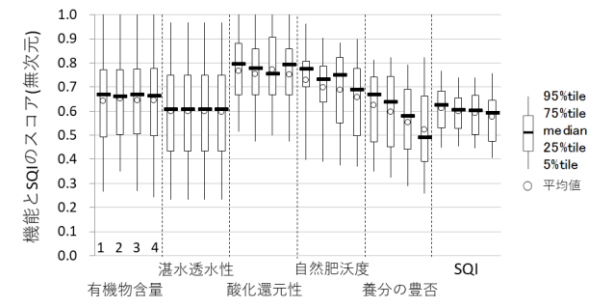


図 1 化学肥料の連用による土壌機能と SQI への影響
(1, 2, 3, 4 巡目の時系列変化、1 巡は開始から 5 年間の平均)

3.2　土壌の質係数

本評価方法を用いて、全 44 都道府県(116 圃場)の水田中、33 都道府県 (71 圃場)においては、一つ以上の管理方法の係数(ΔQ)が算定できた。係数は同じ県の中でも圃場間で大きな違いが見られ、地域性が大きいことが明らかになった。一方、同じ圃場の各施肥方法の係数を化単の係数に対する比率(図 2)で示した結果、化単以外の施肥方法は係数が低い傾向が見られた。施肥方法間の違いを考慮した係数の算定が可能であることが示唆された。

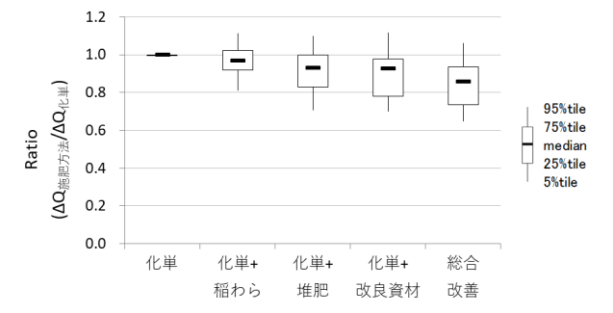


図 2 係数(ΔQ)における施肥方法間の違い(2 巡目)

4.　考察

4.1　評価枠組み

機能と項目の選定：本研究はエキスパートオピニオンに基づいて、5 機能 17 項目による枠組みを構築した。17 項目は、土壌の物理、化学、生物の 3 側面の特性データを考慮している。また、本枠組みは機能に合わせて項目を選定した。逆に項目から少数のキー項目或いは機能グループを統計的に抽出する方法(例：主成分分析)もあるが、抽出される機能グループは考慮するデータ項目に影響され、必ずしも主要な機能が得られるとは限らない。

項目の定量化は閾値を設定して線形で評価している。閾値は日本水田土壌の質の専門家の知見に基づいており、日本での評価においては適切である。なお、線形の設定による係数の不確実性が大きい。今後閾値間を非線形で結んだ場合、結果に与える影響を確認する必要がある。

機能間の重みづけは、脆弱な機能に大きい重みを与える方法を採用した。一方、生産性が最も高くなるように、機能別の重み付け係数を逆算する方法と、単純平均(同じ重み)の場合、SQI スコアに与える影響を確認した。本研究の SQI スコアは、機能スコアの平均値が低いほど、より低く算定される傾向が見られた。なお、いずれの重み付け方法でも、施肥方法間の違いに与える影響は小さい。

4.2　係数の算定

基準の設定に使用される閾値は日本水田土壌の特徴を考慮している。気候と土壌タイプが大きく異なる地域では、同じ水田でも、それぞれの環境に適した品種の栽培が考えられ、その作物にとって最適な土壌特性も異なる。よって、これら地域の係数を算定する場合は、閾値の調整が求められる。

本評価枠組みで水田土壌の係数を算定した結果、5 つの施肥方法間の違いを示すことができた(図 1, 2)。なお、考慮した施肥方法は、化学肥料単用と、同量の化学肥料に稲わらや堆肥などが追加された方法に限られている。今後は特別栽培(化学肥料半減)や有機栽培(有機質肥料のみ)に対応した係数の算定が求められる。

5.　まとめ

本研究は、SQI の評価枠組みを構築したうえで、日本水田を対象に、地域別、施肥方法別の土壌の質係数を初めて算定した。施肥方法間の違いでは、化学肥料に有機質肥料を加えた方が土壌の質が高いことが明らかになった。本評価枠組みは、他地域の水田土壌への適用が可能であるが、日本の気候と土壌条件と大きく異なる場合は、閾値を調整する必要がある。

参考文献

1) Koellner et al. (2013) Int J Life Cycle Assess 18:1188–1202
2) Vidal Legaz et al. (2017) Journal of Cleaner Production 140: 502–515
3) Mukherjee and Lal (2014) PLoS ONE 9(8): e105981
4) Fehrenbach (2015) Int J Life Cycle Assess 20:1511–1527
5) 土壌保全調査事業全国協議会(1991)日本の耕地土壌の実態と対策, 博友社, 295
6) 中央農業総合研究センター研究資料 (8), 1-87, 2008-09

D1-09
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

ビール醸造副産物由来の肥料を活用したゴルフコース管理のライフサイクル評価：圃場試験からコース実証へのスケールアップ

Life cycle assessment of golf course management using a fertilizer derived from brewing by-products: Scale-up from field experiment to course demonstration

○林清忠*[1)]、安井芳彦[2)]、北川隆徳[3)]、南嶋晋二郎[2)]、高橋右京[2)]
Kiyotada Hayashi, Yoshihiko Yasui, Takanori Kitagawa, Sinjiro Minamijima, Ukyo Takahashi
1) 農業・食品産業技術総合研究機構, 2)（株）アコーディア・ゴルフ, 3) アサヒバイオサイクル（株）
* hayashi@affrc.go.jp

1. はじめに

肥料・農薬等の化学物質を適正かつ効率的に利用したゴルフコース管理を実現することは、持続可能なゴルフを構築するための重要な一歩であると考えられる。その一方法として、農薬削減効果があると期待される液体肥料（プラントアクティベータとしての作用を持つビール酵母細胞壁抽出物を含む）の散布がある[1)]。この場合の管理法は、IPM（integrated pest management）に相当し、その導入の意思決定にあたっては、圃場試験さらにはゴルフコースでの実証により慣行の管理に対する有利性を検討する必要がある。

そこで、この研究では、圃場試験に基づく昨年度の取組み[2)]をスケールアップし、ゴルフコースでの実証試験を行うことにより、新たな管理法の環境影響が、慣行に比べどの程度であるかを解明する。

2. 方法

2.1 新たな管理法と慣行の管理法の比較

新たなゴルフコースの管理法は、ビール酵母細胞壁からの抽出物を含む液体肥料を活用しており、プラントアクティベータ（バイオスティミュラント）としての効果により、農薬（殺菌剤）削減が期待される。また、液肥散布のための機械作業時間は増加するものの、農薬削減に伴う効果として、農薬散布のための機械作業時間の減少がある。本研究では、これら効果の連鎖を考慮するため、ライフサイクルでの環境影響を計算し、新たな管理法と慣行の管理法を比較する。

2.2 投入と産出（サービスと環境影響）の枠組

この研究では、単位面積当たりの環境影響の比較を行う。これは、面積に焦点を当てた農業生産システムの比較 LCA[3,4)]に相当する。ただし、ゴルフコースが提供するサービス（農業生産における収量に相当する事象）を数量的に把握する代わりに、新たな管理法において慣行の管理法の場合と同様のサービスが提供可能なことを確認した上で、面積当たりの比較を実施する。そのため、後述のように、芝の状態に関する詳細な調査を実施する。

2.3 ゴルフコース管理のインベントリ

実証試験は、株式会社アコーディア・ゴルフ技術開発研究所の第 1 ホール（グリーン、ティ、フェアウェイ、ラフ）に、新たな管理法を行う試験区と慣行の管理法を行う対照区を設定することにより実施した。データ収集は、2017 年 4 月から実施した（現在も継続中であるが、11 月までのデータを用いて本評価を実施した）。このデータを用いて、フォアグラウンドプロセスのインベントリデータを作成した。

芝の状態に関しては、土壌水分、芽数、根長、サッチ厚、コンパクション、スティンプ（グリーンの速さ）、根重の計測等を行った。この他に、アプローチ練習場グリーンにおいて液体肥料の散布量を変えた試験、第２ホールグリーンにおいて藻およびコケに対する効果を目視で観察するための試験を実施した。

2.4 バックグラウンドプロセスのインベントリ

ビール酵母細胞壁からの抽出物を含む液肥は、清和肥料工業株式会社から提供されたデータ等により作成した。その他の化学肥料については NPK 成分量ごとに求めた排出係数に基づいて、農薬についても同様に殺菌剤、殺虫剤ごとに求めた排出係数に基づいて GHG 排出量を推計した。燃料については、地球温暖化対策の推進に関する法律施行令における排出係数、電力量については、電気事業者別排出係数（平成 26 年度実績）における排出係数を用いた。一酸化二窒素の直接排出は、日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2016 年）に基づいて計算した[2)]。

2.5 影響評価手法

新たな液肥導入が与える影響の連鎖を評価するため、本研究では地球温暖化（IPCC 2013 GWP 100a）を影響領域として取り上げる。

3. 分析結果

新たな管理法と慣行の管理法の間で、芝の状態に関する各種の計測値を比較した結果、産出であるサービ

スに違いが生じる（ゴルフの実施に支障が発生する）ことはないと判断されたため、既述の通り、単位面積当たりの環境影響の比較を行う。

3.1 グリーン

慣行の管理法において、全体のライフサイクル GHG 排出量に占める機械作業部分の割合は 71%、農薬部分は 15%、肥料部分は 9%であった。新たな管理法に切り替えた場合の GHG 排出量の比率は、肥料部分が 0.11、農薬部分が 0.25、機械作業部分が 0.82、全体で 0.64 であった。

3.2 ティ

慣行の管理法において、全体の GHG 排出量に占める機械作業部分の割合は 70%であった。新たな管理法に切り替えた場合、肥料と農薬については、散布量削減のため、それぞれ 0.03、0.17、機械作業については 1.56、全体では 1.09 であった。

3.3 フェアウェイ

慣行の管理法において、全体の GHG 排出量に占める機械作業部分の割合は 50%、肥料部分は 30%であった。新たな管理法に切り替えた場合の比率は、肥料と農薬については、ティの場合と同様に散布量削減のため、それぞれ 0.02、0.17、機械作業については 1.24、全体で 0.63 であった。

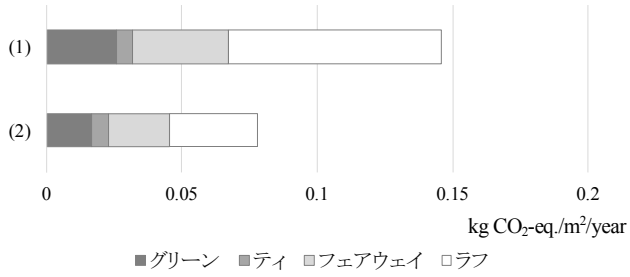
3.4 ラフ

慣行の管理法において、全体の GHG 排出量に占める割合は、肥料部分が 43%、機械作業部分が 26%であった。新たな管理法に切り替えた場合の比率は、フェアウェイと同様の傾向であり、肥料と農薬については、それぞれ 0.02、0.56、機械作業については 1.51、全体で 0.42 であった。

3.5 ゴルフコース全体

グリーン、ティ、フェアウェイ、ラフの面積比率（アコーディア・ゴルフにおける 132 コースの平均値、1 コース=18 ホール）を用いた加重和を計算することによって、ゴルフコース全体としての m^2 当たり年間ライフサイクル GHG 排出量を求めた（図 1）。

新たな管理法を実施した場合の GHG 排出量の慣行の場合に対する比率は、ゴルフコース全体で 0.53 であった。既述のように、最も比率が小さいのはラフであり、その構成比は新たな管理法の場合には 5 割未満となった。また、ゴルフコース全体の排出量のうちグリーンが占める割合は、いずれの場合も 2 割程度であった。



(1) 慣行のゴルフコース管理法
(2) 新たなゴルフコース管理法

図 1 ゴルフコース管理法間でのライフサイクル GHG 排出量の比較

4. 考察と結論

ゴルフコースでの実証試験結果を用いることにより、新たな管理法のライフサイクル GHG 排出量は、慣行に比べ、約半分であることが示された。ただし、本年度の実証試験では、新たな管理法における施肥量を削減しているため、肥料部分の GHG 排出量には管理法間での差がないと想定した感度分析を実施した。その場合でも新たな管理法において GHG 排出量は低下するが、慣行に対するその比率は 0.86 であった。

新たな管理法を導入することのよるメリットは、地球温暖化のみに限定されないため、今後、生態毒性、人体毒性、富栄養化等の影響領域についても検討を加える予定である。

謝辞

清和肥料工業株式会社の大野勝也氏には、肥料製造に関する詳細なデータをご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表する。本報告は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター、株式会社アコーディア・ゴルフ、アサヒグループホールディングス株式会社の 3 者間共同研究の成果である。

引用文献

1) Narusaka M., Minami T., Iwabuchi C. et al.: PLOS ONE, 10(1), (2015), e0115864
2) 林清忠, 北川隆徳, 御影佳孝, 高崎智子: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, つくば, (2017), pp. 248–249
3) Hayashi K.: Int. J. LCA, 18, (2013), pp.331–339
4) Hayashi K., Nagumo Y., Domoto A.: Sci. Total Environ., 571, (2016), pp.134–141

E1-06

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

多地域間産業連関表を用いた世界の生物多様性損失の推計

Estimation of global biodiversity loss by using multi regional input-output table

○小野雄也*[1], Alvin C.G. Varquez [2], 岡本隼輔[3], 伊坪徳宏[4]沖大幹[1]

Yuya Ono, Alvin C.G. Varquez, Shunsuke Okamoto, Norihiro Itsubo, Taikan Oki

1) 東京大学, 2) 東工大学, 3) 尾道市立大学, 4)東京都市大学

*onoyuya@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

人口増加や発展途上国における生活水準の向上、無計画な畑作や大規模耕作によって生物多様性が劣化し、そのスピードは加速している。生物多様性の損失と土地改変の影響との関係はこれまで多くの研究で議論されているものの、WWFがエコロジカルフットプリントレポートを公表したり、堀口、乗松らが土地利用面積原単位データベースの開発を公表したりするなど土地利用（占有）面積の情報を提供するに留まる。一方、現在提供されている生物多様性の損失に関する影響評価係数は全球を対象にし、かつ土地改変の影響を加味するものが多いがそれらに対応するインベントリデータは不足している。SDGsやESG投資など時代の潮流から評価対象範囲の拡大が進む中、生物多様性もCFPのように製品・サービスだけでなく、組織や国などにも適用されるなど、マクロな評価も予測される。

本研究ではこれらの問題に対応するため、多域間産業連関表を用いた土地改変面積原単位データベースを開発し、かつ開発中のLIME3と共に適用することで、全球の生物多様性の損失を推計する。これにより世界各国を対象とした評価が可能となり、輸入品は輸入国の実態を反映した負荷を示すことが出来る。本研究を活用することで今まで反映することが出来なかった海外由来の負荷を含めた結果を得ることができる。また、これらを考察することで企業の更なるサステナビリティ向上や社会への実装が進められ、一般消費者を巻き込んだ議論に発展すると期待される。

2. 世界の生物多様性損失の推計

本研究では2011年の多地域間産業連関表 Eoraを用いた生物多様性損失の推計方法を記載していく(式1)。

$$TBL = d_{TLUC}(I-A)^{-1}F_a\ LCIA_a \qquad (式1)$$

ただし、 TBLは生物多様性の損失（絶滅種数）, dは直接土地改変係数（km²/1000US$）, Iは単位行列, Aは投入係数行列, Fは最終需要, aは地域（32地域）,LCIAは開発中のLIME3の影響評価係数（絶滅種数/土地改変面積（km²））である。

まず、土地利用面積をNASAのサテライトデータから抽出した。データは全球を網羅しており、266の国と地域を含む。メッシュサイズは10km*10kmである。また、NASAのサテライトデータは16の土地区分に分かれるが、LCIAに合わせて5種類（水田、耕作地、草地、森林、市街地）に統合した（図1）。データ年次は2001年から2011年までであり、10年間の変化量を土地改変面積とし年平均値を活用した。

次に土地改変面積と多地域間産業連関表 Eoraへの接続をするために接続コード表を作成し、部門別の金額を基に経済案分することで産業部門別の土地利用面積を推計した。前述した通り、本研究では20011年の多地域間産業連関表 Eoraを活用しているため、投入係数行列及び最終需要は2011年の値である。部門数は14839部門であり、190の国と地域を網羅する。本研究では結果を分かりやすくするため、結果を32*32の正方行列にした。前述した通り32は地域数である。

NASA		LIME3
0 Water		
1 Evergreen Needleleaf Forest	1	Forest
2 Evergreen Broadleaf Forest	1	Forest
3 Deciduous Needleleaf Forest	1	Forest
4 Deciduous Broadleaf Forest	1	Forest
5 Mixed Forest	1	Forest
6 Closed Shrublands	2	Glass land
7 Open Shrublands	2	Glass land
8 Woody Savannas	2	Glass land
9 Savannas	2	Glass land
10 Grasslands	2	Glass land
11 Permanent Wetlands		
12 Croplands	3	Paddy land
13 Urban and Built up	4	Urban
14 Cropland and Natural Vegetation Mosaic	5	Cultivation
15 Snow and Ice		
16 Barren or Sparsely Vegetated		

図1　土地利用区分

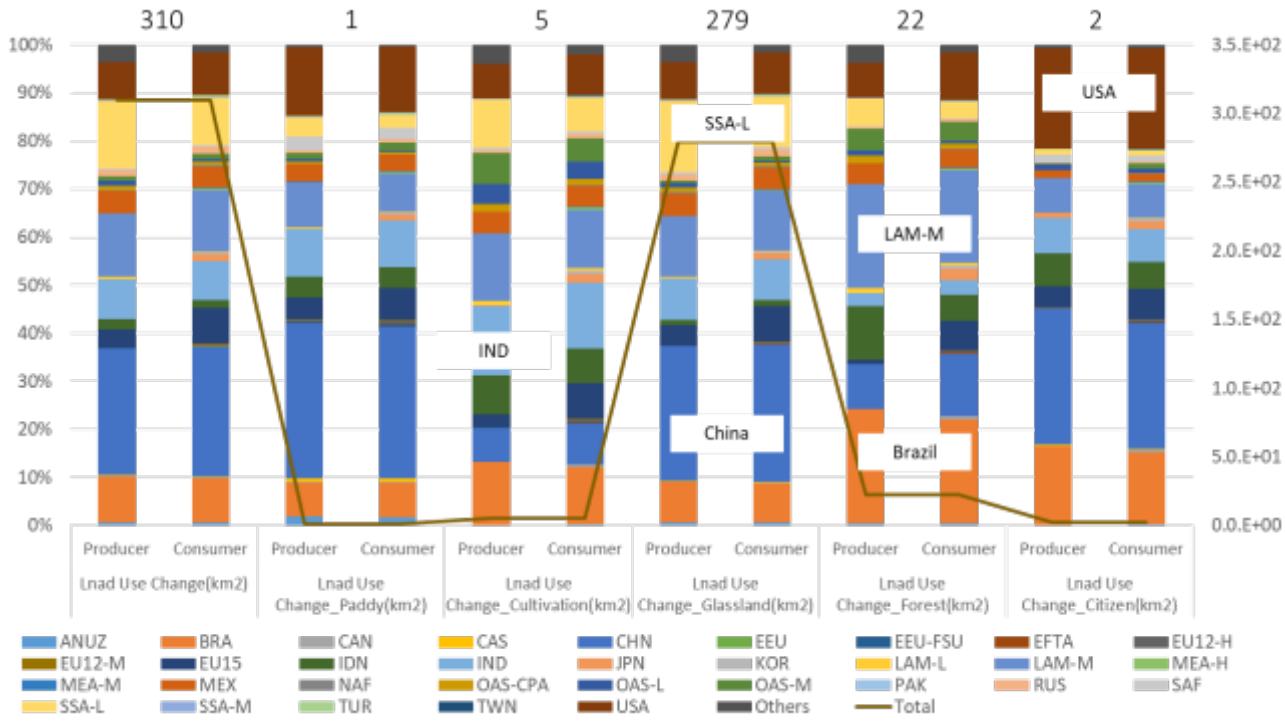


図2　土地改変由来の生物多様性の損失

3. 土地改変由来の生物多様性の損失

図2に多地域間産業連関表を用いた土地改変面積由来の生物多様性の損失の結果を示した。以下、各国・産業に注目しつつ、その特徴について述べる。

経済活動による2011年の生物多様性の損失は合計で310種と推計された。そのうち、草地由来は279種、森林は22種、耕作地は5種、市街地は2種、水田は1種であった。影響が大きい国/地域は中国、ブラジル、サハラ以南(SSA-L)の地域が挙げられる。その一方で、年間の土地改変面積は約100万km^{2}と推計された。改変面積は草地、耕作地、水田、森林、その他の順に大きい。各国に着目すると、ロシア、アメリカ、サハラ以南アフリカ、中国、カナダ、中南米の土地改変面積が大きい。上記により、ロシアやカナダの土地改変面積は大きいが生物多様性の損失は低いといえる。

次に輸入依存率に着目したところ、日本や韓国、台湾、中東地域やEUなどは輸入割合が他の地域に比べて相対的に大きいことが分かった。これは加工貿易国や島国、一次産業の生産に向かない地域と一致する。広大な草地を必要とする中国の家畜部門を対象に適応策（培養肉工場）を適用したところ、集約的かつ効率的に生産が可能なため、77.8 (99%減)種が回避できるとの推計が得られた。

最後に精度の確認のため、絶滅速度の比較を行った。本研究の絶滅速度は100年あたり10%程度であり、既存研究とほぼ一致する値である。

4. まとめ

本研究では2011年を対象に全球を網羅した土地改変面積データベースとLIME3を活用して、生物多様性の損失を推計した。年間の土地改変面積は全球で約100万km^{2}であり、土地改変由来の絶滅種数はおよそ300種に相当する。内訳としては草地由来が非常に大きい。発展途上国は先進国への輸出によって土地改変/生物多様性の損失を肩代りしていると言える。分析の結果、土地改変が大きいからといって、生物多様性の損失が大きいとは限らない。また、適応策（植物工場や培養肉工場などの食糧計画）の導入により、土地改変の劇的な削減及び絶滅種数の低下が可能と思われる。限界として、メッシュサイズに反映されない小さ過ぎる地域は推計に含めることが出来ない。

多地域間産業連関表 Eoraは一国版産業連関表と異なり、世界各国からの負荷を反映することでより実態に即した結果を得ることができる。マクロ分析だけでなく、従来のライフサイクルアセスメントへの応用にも対応可能である。

今後はデータの精緻化を検討すると共に、将来の土地利用計画と産業連関表の予測値を用いることで、将来予測を行う。

5. 謝辞

本研究は環境省の環境研究総合推進費（S-14）の助成を受けたものである。記して謝意を表する。

E1-07,P2-085　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

土地利用の変化と生物多様性の減少：南アメリカ地域における森林開発がもたらす絶滅生物種数の期待値の推計

Land-use change and biodiversity loss: Estimation of the expected value of species extinction caused by forest development in South America

○植屋純平*[1)]、橋本征二[1)]
Junpei Ueya, Seiji Hashimoto
* rv0034if@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

人口増加や経済成長は、生物資源の需要量の増加をもたらし、これらが土地利用の変化を誘発する。土地利用の変化と生物多様性の減少には密接な関係があり、土地利用の変化等による「生息地の減少・破壊」は生物多様性減少の主な要因の一つとされている。したがって、森林開発等の土地利用の変化が生物多様性の減少に与える影響を可視化し、より影響の少ない開発方法を検討することが必要である。

ここで、LCIAの枠組みにおいても、土地利用や土地利用の変化が生物多様性の減少に与える影響を評価する手法の検討がなされており、例えばLIME2では、維管束植物を対象に土地の改変による絶滅リスクの増加を評価している[1)]。動物種に関しては、個体数情報の欠乏等の理由から対象外とされているが、生物多様性を考える上ではこうした評価も必要である。

本研究では、国際自然保護連合(IUCN)が指定する絶滅危惧種のうち動物種を対象として、南アメリカ地域における森林開発がもたらす生物多様性への影響を絶滅生物種数の増加量の期待値を算出することで評価した。さらに、当該手法のLCIAへの適用について検討した。

2.　方法

2.1 絶滅危惧種の森林生息分布図の作成

本研究では、IUCN の指定する絶滅危惧種の生息地分布図と生息地域の土地利用図のうち森林地域を地理情報システム(GIS)上で重ね合わせることにより森林生息分布図を作成した。

生息分布図については、IUCN の Red List における生物種のうち、陸上哺乳類 5,265 種、爬虫類 3,372 種、両生類 5,972 種の合計 14,371 種で入手できる(Red List Spatial Data[2)])。このため、これらを対象生物種とした。

森林分布図については、FAO GeoNetwork の土地利用図[3)]のうち、Forest – virgin、Forest – protected、Forest – with agricultural activities、Forest – with moderate or higher livestock density、Wetlands – mangrove を合わせた範囲を森林地域とし、データとして用いた。

これをさらに、10km×10km のメッシュに分割、後述のように森林生息域の違いによる影響の違いを評価した。

2.2 絶滅生物種数の増加量の期待値の推計

(1) 生息地減少率と絶滅確率の増加量の関係

森林開発(生息地の減少・破壊を伴う土地利用の変化)が生物多様性の減少に及ぼす影響を、種 i の絶滅確率の増加量$IEP_{j,i}$ (Increase in Extionction Probability)により推計した。

$$IEP_{j,i} = EP^{b}_{j,i} - EP^{a}_{j,i} \quad (1)$$

ここで、$EP^{b}_{j,i}$はメッシュ j で森林開発が行われた場合の種 i の絶滅確率 (Extinction probability) (-)、$EP^{a}_{j,i}$は森林開発が行われなかった場合、すなわち生息地の減少面積が 0 である場合の絶滅確率(-)である。

絶滅確率は古川ら[4)]と Maclean&Wilson[5)]を参考に、以下の式により推計した。

$$EP_{j,i} = 1 - (1 - EP^{55.628}_{j,i})^{1/55.628} \quad (2)$$

ここで、$EP_{j,i}, EP^{55.628}_{j,i}$はそれぞれ 1 年間、55.628 年間の種 i の絶滅確率(-)であり、以下の式より推計した。

$$\mathrm{logit}(EP^{55.628}_{j,i}) = 13.284 \cdot PLR^{10}_{j,i} - 6.793 \quad (3)$$

$$PLR^{10}_{j,i} = 1 - \exp(10 r_{j,i}) \quad (4)$$

ここで、$PLR^{10}_{j,i}$はメッシュ j における種 i の 10 年間の個体群減少率(-)、$r_{j,i}$は種 i の 1 年間の個体群減少率(-)であり、これは、メッシュ j で森林開発が行われた場合の種 i の生息地面積減少率$HALR_{j,i}$ (Habittat Area Loss Raito)を用いて下式より推定した。

$$\mathrm{r}_{j,i} = \ln\left(\frac{1 - HALR^{t}_{j,i}}{t}\right) \quad (5)$$

$$HALR_{j,i} = \frac{HAL_{j,i}}{HA_i} \quad (6)$$

ここで、$HAL_{j,i}$はメッシュ j における種 i の生息地面積減少(Habitat Area Loss)(ha)、HA_iは種 i のすべての生息地面積(Habitat Area)(ha)である。

(2) 各メッシュの絶滅生物種数の増加量の期待値の推計

メッシュ j における絶滅生物種数の増加量の期待値$ISEEV_j$ (Increase in Species Extinction Expected Value) (種/メッシュ)は、メッシュ内の各生物種の絶滅確率の増加量を合計することによって算出する。

$$ISEEV_j = \sum_i IEP_{j,i} \quad (7)$$

3.　結果と考察

3.1 絶滅危惧種の生息種数

南アフリカ森林地域における 1 メッシュの最大生息種数は 337 種であり、200 種以上が生息するメッシュが 50%を占め、主にアマゾン川流域ペルー東部・ブラジル西部の熱帯雨林地域で多くの生物種が生息していた。また、熱帯雨林・常緑広葉樹林から構成されるブラジル南東部の大西洋岸森林地域でも豊富な多様性を示した。

3.2 各メッシュの絶滅生物種数の増加量の期待値

各メッシュの絶滅生物種数の増加量の期待値を図1に示す。メッシュ全体の約50%は、1.5×10^{-5}種/メッシュ以下となり各メッシュの森林が単独で失われることの影響は比較的小さい結果となった。絶滅生物種数の増加量の期待値が5.0×10^{-5}種/メッシュを超えるメッシュは全体の12.7%であり、図2に示すように、生息種数の多かったペルー東部、ブラジル西部・南東部で高い値を示した。

3.3 生息種数と絶滅種数の増加量の期待値の関係

生息種数の多いメッシュでは期待値が高くなる傾向を示したが、必ずしもそうではないケースがあった。これは、生息地が森林に多く依存している種は、森林の減少による生息地減少率が高く、逆に、生息地が森林以外にも多くある種は、生息地減少率が低くなること、また、単純に生息地面積が小さい種が多く生息している場合は、開発による生息地減少率が高くなること、等が要因として考えられる。このことから、生物多様性の保護を目的とすると、生物の生息状況を考慮したうえで影響評価を行い、保護区の設定を検討する必要がある。

3.4 LCIAへの適用方法の検討

本研究で行った生物多様性への影響の分析は、優先すべき保全地域を決定し適切な保護区の設定のために活用することができる。しかし、途上国で起こる森林開発の多くは、先進国への輸出製品が背景にある [6]。したがって、土地利用の変化による影響を考える上では先進国すなわち消費側からの影響評価も重要であり、本研究で得られるような情報を LCIA に適用することも有益である。適用方法としては、自国の消費活動が他国の土地利用の変化、すなわち森林開発に与える影響を算出し、これを生物多様性の減少と関連づけることなどが考えられる。この森林開発に関して、本研究で得られるような情報を用いるには、他国内における森林開発地域を具体的に特定するより詳細なインベントリデータが必要となってくるが、土地利用のインベントリデータに詳細な地理的情報まで含めることは難しい。したがって、本研究で得られた各メッシュの絶滅生物種数の増加量の期待値から各国の平均的なダメージ係数を推計することなどが現実的と考えられる。ダメージ係数の算出においては、不確実性の要素である地理的変動性の検討が必要となるが、これに関してはLIME2[1]の評価方法が参考になる。

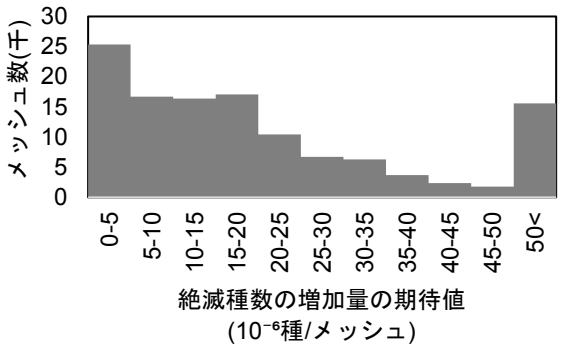


図1　各メッシュの絶滅生物種数の増加量の期待値(種/メッシュ)の度数分布

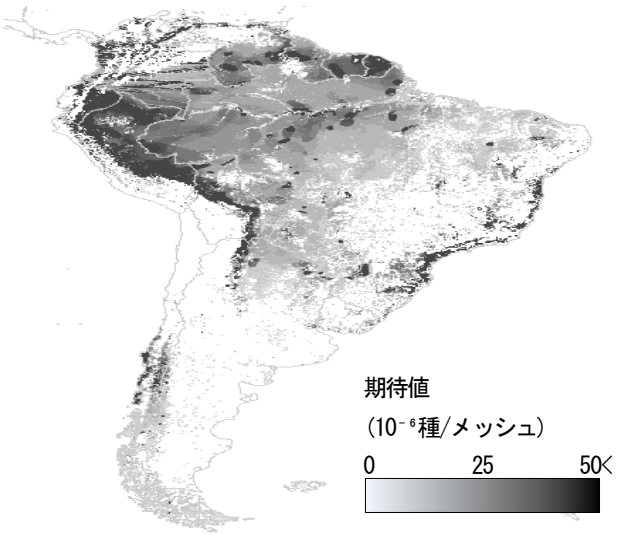


図2　森林地域における絶滅生物種数の増加量の期待値(種/メッシュ)の分布

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金（15H02863）による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 伊坪徳宏、稲葉敦：LIME2、社会法人産業環境管理協会、丸善株式会社、2010
2) IUCN: Red List Spatial Data, http://www.iucnredlist.org/technical-documents/spatial-date,2016 年 10 月アクセス
3) FAO: Land Use Systems of the World, GeoNetwork, http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=37139&currTab=simple, 2016 年 10 月アクセス
4) 古川拓哉ら：生物多様性フットプリント～木材材消費国が引き起こす海を越えた森林破壊の影響～、日本生態学会第 60 回全国大会、2013
5) Maclean M.D. and Wilson R.J.: Recent ecological responses to climate change support predictions of high extinction risk, PNAS, 108(30), pp.12337-12342, 201
6) Moran D. and Kanemoto, K.: Identifying species threat hotspots from global supply chains, Nature Ecology & Evolution, 1(1), 0023, 2017

E1-08
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

生態系評価にむけた LCA の拡張

Application of the traditional LCA practice in ecosystem service assessment

○佐伯順子*[1)]、中野勝行 [1)]
Yoriko Saeki, Katsuyuki Nakano
1) 一般社団法人産業環境管理協会
* saeki@ jemai.or.jp

1. はじめに

自然資本とは、自然に対する考え方で、その定義は「自然が人間にもたらす便益」である [1)]。近年、この自然資本の考え方がビジネス・投資の場で意思決定に活用され始めている。特に、2030 年の持続可能な開発目標（SDGs）の達成にむけて注目を浴びている。

自然資本連合（Natural Capital Coalition）は、自然資本プロトコルを 2016 年 7 月にリリースし、自然への影響と依存度を評価する枠組みを提供している。一般的なマテリアリティの特定、測定、価値評価などの枠組みを示しているものの、具体的な手法は定めていない [1)]。そのため、評価者は様々な手法を試みている。

その中で LCA は、自然資本評価に有効な手法の一つであると考えられる。しかしながら、評価対象として自然資本プロトコルに掲げられている生態系サービスの項目は 20 以上を数える。その項目には、既存の LCA の環境影響評価モデルで評価可能なものから、定量化または評価手法が未開発なものまである。本研究では、文献調査、過去の評価事例の検証を行い、LCA で自然資本評価する場合の課題と解決策について整理した。

2. 方法

2.1 自然資本評価の事例

自然資本の評価を目的として LCA が活用されている事例について文献調査し、その利点と課題を整理した。そしてその課題と対応策について検討した。

2.2 LCA の環境影響領域との比較

自然資本からのフロー（自然のストックから人間に便益を生み出す流れ）として、①生態系サービス、②非生物的サービス（鉱物、石油、風など）、③生物多様性がある [1)]。生態系サービスには、供給、調整、文化、基盤のカテゴリーがあり、その各カテゴリーに食料供給、水量調整など、22 のサービスがある [2)]。これらのフローおよびサービスと、従来の LCA で評価される影響領域の紐づけを行い、従来の LCA で対応可能な自然資本の評価項目を洗い出した。

3. 結果と考察

(ア) LCA を活用した自然資本の評価が進められている。日本企業の例では、積水化学、東芝などの企業が LIME による評価を行った [3)]。また、生物多様性のみだが、ReCiPe を用いて評価が行った例もある。また、土地利用の生物多様性と生態系サービスへの影響について、UNEP-SETAC からガイドラインが発表され [4)]、手法がさらに開発されている [5)]。また、受粉媒体に影響する要因も洗い出され、今後の手法開発に貢献することだろう [6)]。

(イ) マテリアリティによる影響領域の抽出：自然資本プロトコルに指定されている手順の一つに、マテリアリティの検討がある [1)]。これは、意思決定に関わる影響・依存度を抽出することである。自然資本評価の枠組みでは、LCA ほど環境影響領域の網羅性を重視していないのではないか。

(ウ) 依存度の評価：自然資本評価には依存度と脅威も対象になっているが、LCA では前提として環境影響評価なので、それらはスコープの範囲内ではない。しかし依存度と影響には相関関係があり、LCA では資源枯渇、水資源など、資源への依存度を間接的に定量化している。実際、自然からの便益を貨幣価値で定量化したり、資源依存リスク等を LCA の枠組みを活用して評価したりしている事例もあるため、自然資本における依存の評価にも活用できる可能性がある。

(エ) 新しいインベントリデータおよび特性化係数の導入：生態系サービスには、遺伝資源などの従来の LCA で評価対象になっていないものが多数含まれる（図 1）。特に、花粉媒体および生物学的防除のサービスは、サービスを供給する蜂や天敵など、キーとなる種をインベントリに導入することにより、LCA での評価が可能になるかもしれない。また、従来の影響領域を活用して生態系サービスの評価が可能になるものもある [4)]。例えば水質浄化の生態系サービスの場合、水質などの新しい影響領域および特性化係数を追加し、それを基に水質浄化サービスへの影響を算定する。

(オ) ダイナミックモデリングの導入：LCA は、各影響領域の独立を前提に簡素化を図っているが、生態

系サービスには、各影響領域が相互に関連・依存することを許容している（例えば受粉媒体と遺伝資源など）。この複雑な生態系サービスを評価するために、ダイナミックモデリングの導入も研究されている[7]。

4. 結論

自然資本の評価は、LCA では十分に考慮されてこなかった自然への依存度など、新しい付加価値を明確にした。しかし、LCA の長年にわたる収斂された手法と蓄積されたデータベースは、自然資本評価において大きな強みと言える。LCA を自然資本評価で活用するためには、生態系サービスで挙げられる新しい影響領域について今後手法の開発が必要である。また、生態系サービスに関わるインベントリデータが追加されると、自然資本評価が大いに飛躍すると考えられる。

引用文献

1) Natural Capital Coalition, “Natural Capital Protocol”, (2016)
2) Millennium Ecosystem Assessment, “Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment”, Island Press, Washington, DC, (2005), p.245
3) 自然資本研究会、“自然資本入門：国、自治体、企業の挑戦”、NTT 出版、東京（2015）、p.268
4) Koellner, T., de Baan, L., Beck, T., Brandão, M. Civit, B., Margni, M., Canals, L.M., Saad, R., de Souza, D. M., and Müller-Wenk, R.: Int. J. Life Cycle Assess, 18, (2013), pp.1188-1202
5) Cao, V., Margni, M., Favis, B. D., and Deschênes.: J. Clean. Prod., 94, (2015), pp.56-66
6) Crenna, E., Sala, S., Polce, C., and Collina, E.: J. Clean. Prod., 140, (2017), pp.525-536
7) Arbault, E. Rivière, M., Rugani, B., Benetto, and E., Tiruta-Barna, L.: Sci. Total Environ., 472, (2014), pp.262-272

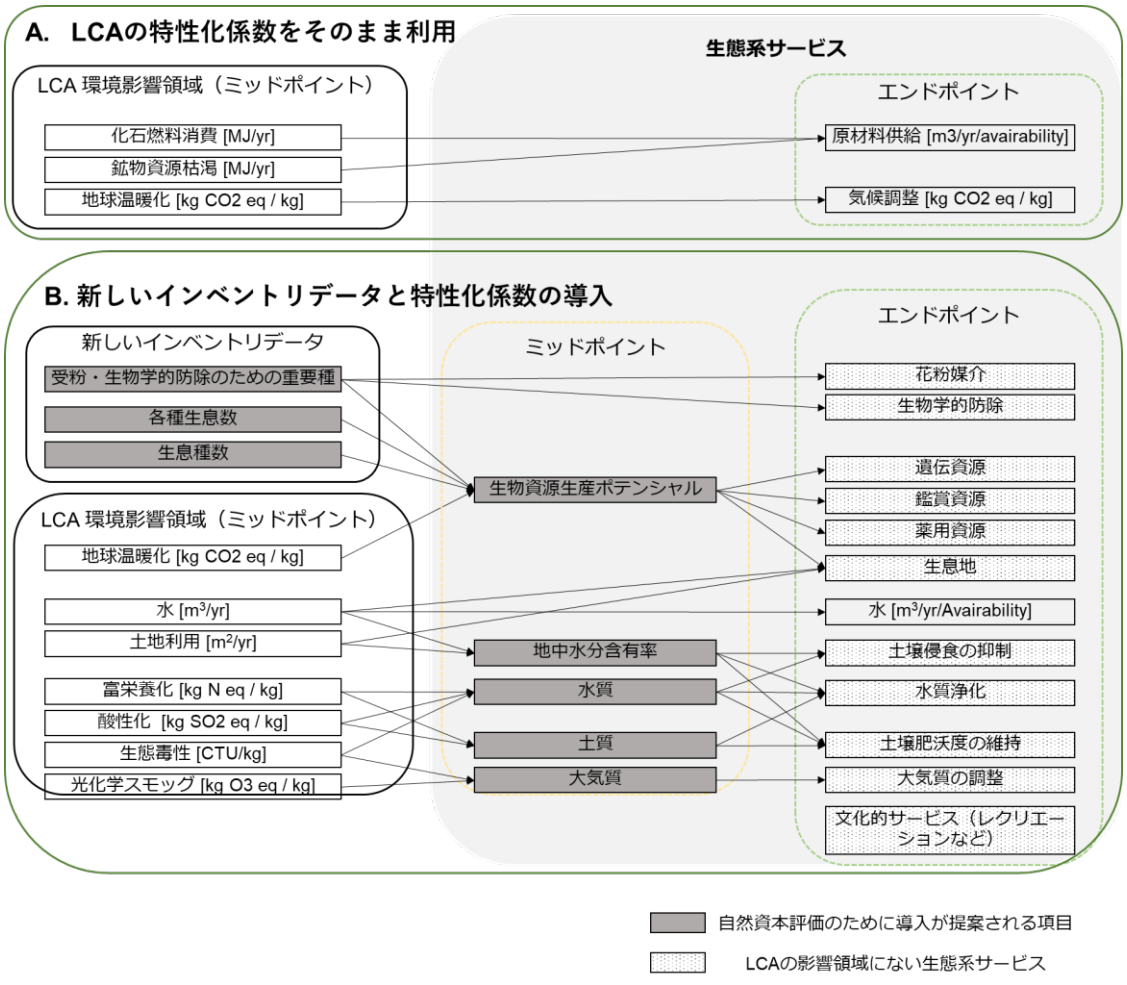


図 1 LCA 環境影響領域と生態系サービス

E1-09

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

農山漁村におけるエコツーリズムの比較に関する研究

Study on comparison of ecotourism in agricultural mountain fishing village

西口光 1)　　中口毅博 1)

Hikaru Nishiguchi,Takahiro Nakaguchi

1)芝浦工業大学

1. 研究の背景と目的

エコツーリズムとは「自然環境や歴史文化を対象とし、それらを体験し、学ぶとともに、対象となる地域の自然環境や歴史文化の保全に責任を持つ観光のありかた」であり、グリーンツーリズムとは「農山漁村地域において自然、文化、人々との交流を楽しむ滞在型の余暇活動」とされている。しかし、環境や持続可能性の観点から両者の比較を行った研究は見られない。そこで本研究ではグリーンツーリズムを推進している愛媛県内子町とエコツーリズムを推進している三重県鳥羽市を比較対象にし、それぞれの特徴を分析する。

2. 調査の方法

本研究では愛媛県内子町においては「内子グリーンツーリズム協会」に参加している 14 の宿泊施設のうち 8 つの宿泊施設に対してヒアリング調査を行った。一方三重県鳥羽市については、主にエコツアーを実施している「海島遊民くらぶ」および鳥羽市役所に対してヒアリング調査を行った。

また、比較の基準としては GSTC(グローバル・サスティナブル・ツーリズム協議会)が設定している国際基準を用いる。GSTC 基準は「A.経営管理」「B.地域社会」「C.文化遺産」「D.環境保全」の 4 分類、41 の指標からなっている。

3. 研究対象地域の概要

愛媛県内子町での取り組みは内子グリーンツーリズム協会が推進している。内子グリーンツーリズム協会は 2004 年に発足した内子町役場が事務局を担う任意団体である。グリーンツーリズムを「地域資源を活用した都市とのパートナーシップによる地域づくり」と定義し、交流・定住促進のため体験や農家民宿の PR・情報発信を行い、内子の歴史、文化、自然を生かした「内子ツーリズム」の推進に取り組んでいる。また、協会に参加している宿泊施設向け研修を実施したり、宿泊客にアンケートを実施し、その結果を施設にフィードバックしている。

表 1 GSTC 国際基準一覧

基準	
A.持続可能な観光地管理	B8.コミュニティへの支援
A1.持続可能な観光地への戦略	B9.地域事業者への支援とフェアトレード
A2.観光地の管理組織	C.コミュニティ、旅行者、文化資源に対する利益の最大化悪影響の最小化
A3.モニタリング	
A4.季節変動に対する経営管理	C1.観光資源の保護
A5.気候変動への適用	C2.旅行者の管理
A6.観光資源と魅力のリストアップ	C3.旅行者のふるまい
A7.計画に関する規制	C4.文化遺産の保護
A8.ユニバーサルデザイン	C5.観光資源の解説
A9.資源の取得	C6.知的財産
A10.来訪旅行者の満足度	D.環境に対する利益の最大化、悪影響の最小化
A11.持続可能性の基準	
A12.安全と治安	D1.環境リスク
A13.危機管理と緊急事態性	D2.脆弱な環境の保護
A14.観光の促進	D3.野生生物の保護
B.地域社会における経済利益の最大化、悪影響の最小化	D4.温室効果ガスの排出
	D5.省エネルギー
B1.経済調査	D6.水資源の管理
B2.地域の就業機会	D7.水資源の保護
B3.住民参加	D8.水質
B4.地域コミュニティの声	D9.廃水
B5.地域住民のアクセス	D10.廃棄物の削減
B6.観光への意識向上と教育	D11.光害と騒音
B7.搾取の防止	D12.環境負荷の小さい交通

一方三重県鳥羽市においてはエコツーリズム推進法に基づき、2010 年に鳥羽市エコツーリズム推進協議会が設置された。エコツーリズム推進協議会では全体構想を作成し、取り組みの進め方やルールなどを設定している。鳥羽市は 4 つの有人離島や無数の無人島の周辺に豊かな漁場を有しているため、水産業は重要な産業の一つとなっており、その中でも、海女漁は漁業上だけでなく地域文化の観点から大きな魅力となっている。

表 2 GSTC 基準によるツーリズムの比較結果

◎市町・組織全体での取り組み
○個々の施設での取り組み

		鳥羽市 エコツーリズム推進協議会	内子町 グリーンツーリズム協会
概要	業務内容	・全体構想策定 ・エコツーカフェ ・わかめ無料配布 ・協議会の開催 ・県外イベントへの出展 ・未利用魚を利用した料理教室	・農家民宿のPR ・クーポン券の発行 ・満足度調査アンケート ・飲食店向けの料理講習 ・接客講習 ・イベント企画 ・宿泊プランの考案
	加盟団体	・海島遊民クラブ（エコツアー） ・鳥羽市観光協会 ・島の旅社推進協議会 ・伊勢志摩バリアフリーツアーセンター ・伊勢志摩国立公園協会	・内子手仕事の会 ・体験プログラムの実施主体 ・内子町役場 ・農家民宿、ペンション
国際基準項目	A8. バリアフリー	○建物のバリアフリーは未対応 ○バリアフリーツアーの実施 （障がい者カヌーなど）	○建物のバリアフリーは未対応
	A13. 人材育成	○ツアーガイドの育成	◎料理講習 ◎接客講習
	C1. 自然観光資源の保全活用	◎間伐材の利用 ◎わかめ無料配布 ◎未利用魚を利用した料理教室 ○フィールド利用の際の自主ルール策定	◎間伐材の利用 ○古民家の再利用 ○古民具の再利用
	C4. 歴史や文化の保全・継承	（無形文化財の保全・継承） ○海女さん応援基金	（有形文化財の保全・継承） ○古民家の再利用 ○古民具の再利用
	C5. 外国人対応	◎パンフレットの多言語化 ○外国語が話せる日本人スタッフの配置	◎パンフレットの多言語化 ○ガイドの会（外国語が話せる日本人スタッフ）
	D10. 廃棄物削減	○割りばしの廃止 ○裏紙の使用 ◎カキ殻の活用	○生ゴミの自家処理 ○家具・日用品の長期使用 ○歯ブラシの持参呼びかけ ◎生ゴミ分別収集、堆肥化

4. 結果

本研究は愛媛県内子町と三重県鳥羽市におけるツーリズムを比較し、それぞれの特徴を把握するために、関係者へのヒアリング調査により分析した。その結果を表 2 に示す。2 地域の最も大きな違いはツーリズムへの参加主体である。鳥羽市は市役所や漁業、宿泊関係者など様々な組織が大きな枠組みで参加している。特に、観光と観光資源の保全の両立を重要視しており、その取り組みを通して旅行者に環境保全の重要性を認識してもらうことを目的としている。一方で内子町の参加主体は体験プログラムの実施主体と宿泊施設に限定されているが、個々の施設がより大きな役割を担っていると言える。農家民宿での宿泊や農業体験のほか、伝統工芸の体験といった地域独自の魅力を旅行客に知ってもらうことで、経済の活性化や移住者の増加を目的としている。

参考文献

1) グローバル・サスティナブル・ツーリズム協議会(2013) 国際基準および推奨評価指標
2) 内子グリーンツーリズム協会 http://uchiko-gt.sakura.ne.jp/memberlist.html
3) 鳥羽エコツーリズム推進全体構想 2017 年 3 月 31 日
4) 海島遊民くらぶ http://oz-group.jp/
5) 環境省 エコツーリズムのススメ http://www.env.go.jp/nature/ecotourism/try-ecotourism/index.html

5. 参考資料（内子町のグリーンツーリズムの宿）

写真 1 お山の学校ながた 廃校になった小学校をそのまま活用した宿

写真 4 月乃家 町並保存地区内の古民家を活用

写真 2 Hotel こころ.くら 明治時代の蔵をリノベーション

写真 5 石畳の宿 古民家を移築・改修して活用

写真 3 ログ立山 手作りのログハウス

写真 6 グリーンツーリズム里山

写真 7 ステラ・ミラ ペンションタイプの宿

写真 10 ログ立山 畑の食材を提供

写真 8 ファームイン RAUM 古久里来
地元の原風景を再現した宿

写真 11 グリーンツーリズム里山
地元食材をふんだんに使った食事

写真 9 ファームイン RAUM 古久里来
五右衛門風呂

写真 12 Hotel こころ.くら 建物の古さを感じさせない内装

A1-19,P2-092　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

国際サプライチェーンが誘因する アジア，欧州，北米における $PM_{2.5}$ の健康影響

Health impacts of $PM_{2.5}$ in Asia, Europe and North America induced by global supply chains

○黒木みどり[*1)]、茶谷聡[2)]、金本圭一朗[3)]、東野達[1)]、南斉規介[2)]
Midori Kurogi, Satoru Chatani, Keiichiro Kanemoto, Susumu Tohno, Keisuke Nansai
1) 京都大学大学院, 2) 国立環境研究所, 3) 信州大学
* kurogi.midori.42e@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

大気中に浮遊している空気力学径が 2.5 μm 以下の微小粒子は $PM_{2.5}$ と呼ばれ、化石燃料やバイオマスの燃焼などによって直接排出された一次粒子と、大気中での化学反応によりガスから生成された二次粒子がある。$PM_{2.5}$ は呼吸器系や循環器系など人の健康に影響を与え、GBD(Global Burden of Disease)データから 2015 年の世界における $PM_{2.5}$ による死亡者数は 420 万人に及ぶとされており [1)]、全球モデルを用いて早期死亡者数分布や発生源別寄与率の全球分布が求められている [2)]。

中国は世界最大の大気汚染物質排出国であり、$PM_{2.5}$ による深刻な大気汚染や越境汚染が報告されている。その影響はソース(発生源)である中国が責任を負うとする生産基準の考え方の一方で、中国の輸出等に関わる生産活動は輸入国の消費活動に起因する。したがって生産国における $PM_{2.5}$ の排出や健康影響は、財やサービスを消費した生産国に加え、グローバルなサプライチェーンを通して交易のある諸外国にも責任があるとする消費基準の考え方が衡平性の視点から重要になる。消費基準からみた $PM_{2.5}$ 汚染の分析は、多地域間産業連関分析と大気化学輸送モデル及び曝露反応モデルを融合し、アジア地域を対象とした中国の輸出が各省に誘発する $PM_{2.5}$ による死亡者数の推計 [3)]、アジア 9 か国の多地域間産業連関表と化学輸送モデルより求めた SRR(ソース・リセプタ関係)を融合した含炭素 $PM_{2.5}$ 一次粒子の消費基準早期死亡者数の分析 [4)]が行われている。また、最近 Zhang らは，世界 13 地域の消費が生む $PM_{2.5}$ の健康影響をグローバルに評価し，国際貿易に伴う早期死亡者数が越境汚染よりも大きいことを示している [5)]。しかし、国内から越境あるいは半球にまで及ぶ $PM_{2.5}$ 汚染対策の実効的かつ効率的な政策設計の基盤となる分析はなされていない。

本研究では、北米・欧州・アジアの主要国の消費（最終需要）がこの 3 領域に誘発する $PM_{2.5}$ 一次及び前駆体からの二次粒子を含む健康影響（早期死亡者数）を推計し、この結果を生産基準での $PM_{2.5}$ 一次及び二次粒子も含む健康影響と比較し、主要国の消費が誘発する健康影響の寄与率を領域ごとに明らかにする。健康影響には 5 歳以下及び 25 歳以上の下気道感染、25 歳以上の虚血性心疾患、脳卒中、慢性障害肺疾患、肺癌の 5 つの疾病による早期死亡者を考える。なお、主要国の消費が誘発する早期死亡者数については、direct proportion of burden 法、top of IER curve 法、average IER risk 法 [6)]の 3 つの方法で算出する。

2. 研究方法

$PM_{2.5}$ 健康影響の対象領域は北米・欧州・アジアとし、これらの地域に $PM_{2.5}$ の発生を誘起する消費側の主要国として米国・中国・日本・イギリス・ドイツの 5 ヶ国を設定する。基本ケースとして対象地域の $PM_{2.5}$ 及び前駆物質の生産基準排出インベントリ EDGAR4.3.1 と気象モデル WRF より得た気象場を用い、化学輸送モデル CMAQ version 5.0.2 で対象領域の二次粒子を含む $PM_{2.5}$ の 2010 年における年平均濃度 z を計算し、その濃度と人口分布から統合暴露反応モデル [7)]を用いて早期死亡者数を推計する。次に国際産業連関表 EORA[8)] と EDGAR4.3.1 に基づいて得られたそれぞれの主要国の財やサービスの消費がグローバルなサプライチェーンを通して対象領域に誘発する $PM_{2.5}$ と前駆物質の排出インベントリを、それぞれの生産基準排出インベントリから差し引き、濃度 z-Δ の計算を行う。Δ は消費による誘発濃度であり、主要国の消費による $PM_{2.5}$ 一次及び二次粒子の健康影響（死亡者数）の算出法は 2.2 で述べる。研究のフロー図を図 S1 に示す。

2.1 早期死亡者数算出方法

$PM_{2.5}$ による早期死亡者数は領域のグリッドごとに(1)式を用いて算出できる。

$$\Delta Mort = y_0 \left(\frac{RR - 1}{RR} \right) Pop \qquad (1)$$

ここで、$\Delta Mort$はあるグリッドの早期死亡者数、y_0は疾病ごとの基本死亡率、RRは年平均 $PM_{2.5}$ 濃度を用いて算出する相対リスクと呼ばれるものである。RRは(2)式で求めることができ、年平均 $PM_{2.5}$ 濃度はシミュレーション値をそのまま用いるのではなく、GBD2016

で示されている 2010 年の年平均 $PM_{2.5}$ 濃度[9]を用いて補正したものを用いる。Xは年平均 $PM_{2.5}$ 濃度、X_0は閾値、α・β・γはパラメータである。

$$RR=\begin{cases}1 & (X<X_0)\\ 1+\alpha\left\{1-\exp\left[-\beta(X-X_0)^{\gamma}\right]\right\} & (X\geq X_0)\end{cases} \quad (2)$$

また、基本死亡率は $PM_{2.5}$ の影響が含まれていない死亡率になるよう、(3)式で補正を行う。

$$\hat{y}_{0,j,k}=\frac{y_{0,j,k}}{\overline{RR}_{j,k}},\quad \overline{RR}_{j,k}=\frac{\sum_{i=1}^{N}P_i\times RR_j(X_i)}{\sum_{i=1}^{N}P_i} \quad (3)$$

ここで、$\hat{y}_0$は補正後の基本死亡率、$\overline{RR}$は相対リスクを人口で重み付け平均したもの、Pは人口、$RR(X)$は $PM_{2.5}$ 濃度Xにおける相対リスクである。また、iはセル（1～N）、jは疾病、kは国を示す。

2.2　主要国の消費が誘発する早期死亡者数算出方法

$PM_{2.5}$ 濃度と相対リスクの関係が非線形であるために、同じ濃度変化に対し、その濃度域によって相対リスクの変化量が異なるために早期死亡者数の変化量も異なってくる。また、消費による誘発濃度Δの生産基準濃度zに寄与する濃度範囲設定が困難である。そこで、主要国の消費が誘発する早期死亡者数の算出については、以下の 3 つの方法を用いる。

① Direct proportion of burden 法

生産基準濃度zによる早期死亡者数を$M(z)$、消費による誘発濃度Δによる早期死亡者数を$M(\Delta)$とすると、生産基準での早期死亡者数に濃度の割合を掛け合わせて求める。

$$M(\Delta)=M(z)\frac{\Delta}{z} \quad (4)$$

② Top of IER curve 法

暴露がzから$z-\Delta$まで減少したと仮定して早期死亡者数を求める。

$$M(\Delta)=M(z)-M(z-\Delta) \quad (5)$$

③ Average IER risk 法

誘発濃度区間$[x-\Delta,x]$が$[0,z]$で一様分布するとして相対リスクの期待値を推定し、早期死亡者数を求める。

$$\overline{RR}(z)=\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}\frac{RR(i\eta+\Delta)}{RR(i\eta)},\ \eta=\frac{z-\Delta}{N-1} \quad (6)$$

$$M(\Delta)=M(z)\times\frac{\overline{RR}(z)-1}{RR(z)-1} \quad (7)$$

3.　結果

ここでは、アジア領域においての年平均 $PM_{2.5}$ 濃度分布と、早期死亡者数、主要国の消費による寄与率についての結果を示す。

3.1　年平均 $PM_{2.5}$ 濃度分布

図 S2 はアジア領域の年平均 $PM_{2.5}$ 濃度分布図（一次＋二次粒子）である。(a)は生産基準、(b)は米国消費基準、(c)は日本消費基準の図である。中国では最大 240 $\mu g/m^3$ 程度であり、そのうち米国が最大 14 $\mu g/m^3$ 程度の寄与があることが分かる。また、日本は日本国内に $PM_{2.5}$ を誘発しているのはもちろん、中国にも最大 7 $\mu g/m^3$ 程度誘発している。

3.2　中国と日本の早期死亡者数

表 S1 には中国、表 S2 には日本での 2 つの方法での早期死亡者数と主要国の消費による寄与を示している。方法①で算出した方が方法②より早期死亡者数が多くなっている。これは非線形性を考慮せず、線形として扱っているためである。中国においては中国の消費による寄与が大きいのはもちろんであるが、次に消費による寄与が大きいのは米国であった。日本においては、日本による消費と中国による消費によって誘発される早期死亡者数が同程度の人数であった。その他の国、領域の総計は当日発表する。

4.　謝辞

本研究は，科学研究費補助金（課題番号: 16H01797）の援助により進められた。

5.　引用文献

1) Forouzanfar, M.H., *et al.*: *Lancet,* **388**, (2016), pp.1659-1724
2) Lelieveld, J., *et al.*: *Nature,* **525**, (2015), pp.367-371
3) Takahashi, K., *et al.*: *Atmos. Environ.* **97**, (2014), pp.406-415
4) Jiang, X., *et al.*: *Environ. Sci. Technol.,* **49**, (2015), pp.4381-4388
5) Zhang, Q., J., *et al.*: *Nature* **543**, (2017), pp.705-709
6) Christopher J.L, Murray, *et al.*: “Transport for Health: The Global Burden of Disease From Motorized Road Transport”, IHME, (online), 入手先 <http://www.healthdata.org/policy-report/transport-health-global-burden-disease-motorized-road-transport>, (参照 2018-01-09)
7) Burnett, R.T., *et al.*: *Environ, Health Persp.,* **122**, (2015), pp.397-403
8) Lenzen, M. *et al.*: *Econ. Sys. Res.,* **25**, (2013), pp.20-49
9) Gakidou, E., *et al.*: *Lancet,* **390**, (2017), pp.1345-1422

Supporting Information

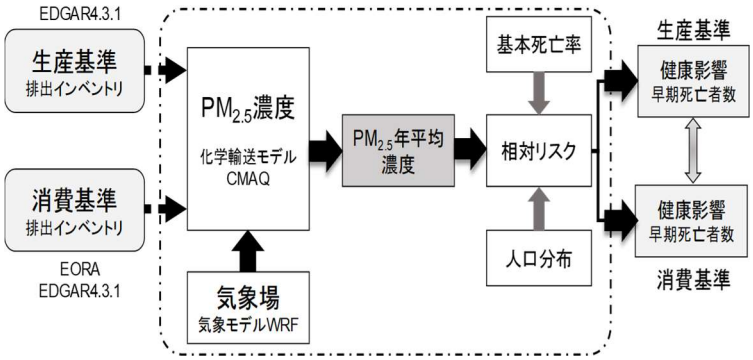
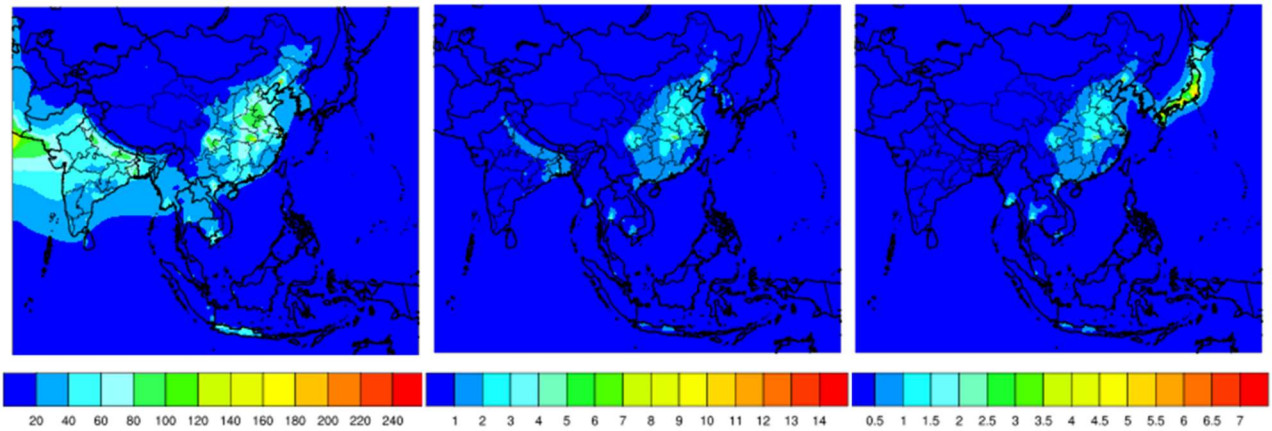


図 S1　研究フロー図



(a)生産基準　　(b)米国消費基準　　(c)日本消費基準

図 S2　アジア領域における年平均 $PM_{2.5}$ 濃度分布図[$\mu g/m^3$]

表 S1　中国における早期死亡者数と主要国の消費による寄与

	方法① [人]	方法② [人]
生産基準	1,098,343	1,098,343
中国消費	820,447	527,002
中国家計部門	303,369	134,051
日本消費	16,246	6,307
米国消費	35,335	13,820
ドイツ消費	6,562	2,538
イギリス消費	6,203	2,398

表 S2　日本における早期死亡者数と主要国の消費による寄与

	方法① [人]	方法② [人]
生産基準	44,125	44,125
中国消費	15,010	12,407
中国家計部門	2,748	1,963
日本消費	13,252	10,713
米国消費	1,625	1,144
ドイツ消費	274	191
イギリス消費	252	176

A1-20,P2-091　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

$PM_{2.5}$ の健康リスクに対する非線形性を考慮した一次・二次粒子の消費基準による経済損失評価

Consumption-based economic loss by primary and secondary particles considering non-linearity between $PM_{2.5}$ and health impacts

○藤井雄太*[1)]、黒木みどり [1)]、茶谷 聡 [2)]、金本圭一朗 [3)]、南斉規介 [2)]、東野 達 [1)]
Yuta Fujii, Midori Kurogi, Satoru Chatani, Keiichiro Kanemoto, Keisuke Nansai, Susumu Tohno
1)　京都大学, 2) 国立環境研究所, 3) 信州大学
* yutafujii.kiu@gmail.com

1. 研究背景と目的

$PM_{2.5}$ とは大気中に浮遊する微粒子のうち，空気力学径が 2.5 μ m 以下のものである．$PM_{2.5}$ には，微粒子として直接大気中に放出された一次粒子と，大気中で気体が微粒子に転換して生成された二次粒子があって，粒径が非常に小さいため肺の深部まで到達し，呼吸器系や循環器系への影響が指摘されている．

米国ワシントン大学保健指標・保健評価研究所(IHME)を中心とした国際研究プロジェクト GBD (Global Burden of Diseases)では，疾病別の死亡や障害，その原因となる危険因子について包括的に分析しており，2015 年の世界における $PM_{2.5}$ による死亡者数は 420 万人に及ぶとされている [1)]．さらに，世界銀行(WB)のレポート [2)] では，$PM_{2.5}$ による大気汚染は健康影響をもたらすだけでなく，労働者の早期死亡により経済発展を妨げていると指摘している．WB は，便宜的に 1 人の統計的死亡を回避するための支払意思額を算出した統計的生命価値と早期死亡者が将来得ると予測される労働所得の現在価値から経済損失を評価し，$PM_{2.5}$ による労働所得の損失は，1990 年の 1030 億ドルから，2013 年には 1440 億ドルに増加していると報告している．

一方，$PM_{2.5}$ の発生源に関わる生産活動は，生産国だけでなく輸入国の消費活動にも起因するため，$PM_{2.5}$ の健康影響は財やサービスの消費国にも責任があるとする消費基準の考え方が衡平性の視点から重要である．Zhang ら [3)] は $PM_{2.5}$ の大気汚染による早期死亡者数が 2007 年に全世界で約 345 万人に達し，そのうち約 12%は越境汚染に由来するが，約 22%は他国での財やサービスの消費に起因していることを明らかにした．こうした国際的な健康影響の相互依存構造だけでなく，消費基準の立場からグローバルな $PM_{2.5}$ 汚染による経済損失額を評価することは,貿易額に応じた大気汚染対策の費用分担などに関わるが，こうした研究はない．

本研究では,世界の主要国の消費が北米・欧州・アジアの各領域に引き起こす $PM_{2.5}$ の健康影響を算定し，その経済損失額を評価することが目的である．対象は一次粒子だけでなく二次粒子も含めた $PM_{2.5}$ であり，対象年代は 1990 年と 2010 年とする．

2. 研究手法

対象地域を北米・欧州・アジアとし，これらの地域に $PM_{2.5}$ と前駆物質の発生を誘起する消費側の主要国(米国，中国，日本，英国，ドイツ)を設定する．次に対象地域の排出インベントリ EDGAR4.3.1(4.2)と国際産業連関表 EORA に基づいて得られた主要国の消費が対象領域に誘発する排出量分布から，気象モデル WRF より得た気象場と化学輸送モデル CMAQ[4)] を用いて対象領域の $PM_{2.5}$ 年平均濃度分布を計算する．その値から相対リスク [5)]，人口分布データ，5 疾病ごとの基本死亡率を用い，統合曝露反応(IER)モデル [5)]より早期死亡者数分布を算出する．さらに，各国の死亡者数に対応した逸失労働収入と統計的生命の価値(VSL)を用いて経済損失額を評価する．統計的生命の価値，逸失労働収入はそれぞれ(1), (2)式によって算出できる [2)]．

$$VSL_{c,n} = VSL_{OECD}\left(\frac{Y_{c,n}}{Y_{OECD}}\right)^{e} \quad (1)$$

$$PV_{\mathrm{j}}(I) = \sum_{i=0}^{T_j} \frac{I_0 \cdot (1+g)^i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

(1)式において，$VSL_{c,n}$ は n 年に c 国における統計的生命の価値，VSL_{OECD} は OECD 諸国の平均基準 VSL，$Y_{c,n}$ は n 年に c 国における 1 人あたり GDP，Y_{OECD} は OECD 基準国の 1 人あたり平均 GDP，e は VSL の所得弾性率を示している．また，(2)式において，PV は将来予想される 1 人あたりの労働所得の現在価値，j は年齢，T は平均就業時間，I_0 は現時点での 1 人あたりの平均労働所得，r は社会的割引率，g は 1 人あたり実質所得の年間成長率である．

なお，同じ $PM_{2.5}$ 濃度変化量に対し濃度域によって相対リスクの変化量が異なることから，$PM_{2.5}$ 濃度と健康リスクとの関係の非線形性を考慮した死亡者数，経済損失額について検討する．

3. 結果

2010 年における，世界の主要国(米国，中国，日本，英国，ドイツ)の消費が引き起こす $PM_{2.5}$ による早期死亡者数を算定し [6]，統計的生命の価値を用いて，その経済損失額を評価した．統計的生命の価値による経済損失額の評価，また，ある国の $PM_{2.5}$ の死亡者数に対する各国の寄与率算定には，GBD2016 全球 $PM_{2.5}$ 濃度データ [7]から算出された死亡者数を基準に用いた．また，$PM_{2.5}$ による早期死亡者数は $PM_{2.5}$ 濃度に比例すると考える Direct proportion of burden 法と，$PM_{2.5}$ の生産基準濃度から主要国の消費による $PM_{2.5}$ 誘発濃度との差分だけ基準濃度が低下したと考える TOP of IER curve 法によって $PM_{2.5}$ 濃度と健康リスクとの関係の非線形性を考慮した．日本と中国を例に，統計的生命の価値による日中の経済損失額を表 1 に示す．また，日本，中国の $PM_{2.5}$ による経済損失額のうち主要国の消費が寄与した割合を非線形性の評価方法別にそれぞれ図 1, 2 に示す．図 1 より日本では自国よりも中国の寄与率が上回っていることが分かる．一方，図 2 より中国では自国の寄与が大半を占めていることが分かる．また，Direct proportion of burden 法に比べ，TOP of IER curve 法の方が各国の寄与率は小さい結果となった．これは，$PM_{2.5}$ 濃度 X と健康リスク RR との関係式が

$$RR=\begin{cases}1 & (X<X_0)\\ 1+\alpha\left\{1-\exp\left[-\beta(X-X_0)^{\gamma}\right]\right\} & (X\geq X_0)\end{cases}$$

のような上に凸の曲線であることが原因と考えられる．ここで，X_0 は閾値，α, β, γ はパラメータである。

統計的生命の価値による経済損失額を 2010 年の GDP (PPP, constant 2011 international $)と比較すると，日本では GDP の約 3.6%，中国では約 8.5%となっている．ただし，統計的生命の価値による健康のコストは厚生損失であり，逸失労働収入と同様に収入に基づく計測量である GDP とは異なり，複数国間の比較だけに用いている．

発表時は，日本・中国だけでなくアジア・北米・欧州領域について，逸失労働収入による経済損失額も算定した結果を示す．

4. 引用文献

1) Forouzanfar, M.H., et al.: Lancet, 388, (2016), pp.1659–1724
2) The World Bank and IHME: “The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action”, (2016)
3) Zhang, Q., et al.: Nature, 543, (2017), pp.705-709
4) U.S. EPA: CMAQ: “The Community Multiscale Air Quality Modeling System”, <https://www.epa.gov/cmaq>, (参照 2017-12-7)
5) Burnett, R.T., et al.: Environ. Health Persp., 122, (2014), pp.397-403
6) 黒木みどり他：第 13 回日本 LCA 学会研究発表会, A1-19, (2018)
7) Gakidou, E., et al.: Lancet, 390, (2017), pp.1345-1422

謝辞

本研究は，科学研究費補助金 (課題番号: 16H01797) の援助により進められた。

表 1　統計的生命の価値による経済損失額

	経済損失額(billion $)
日本	165.1
中国	1088.6

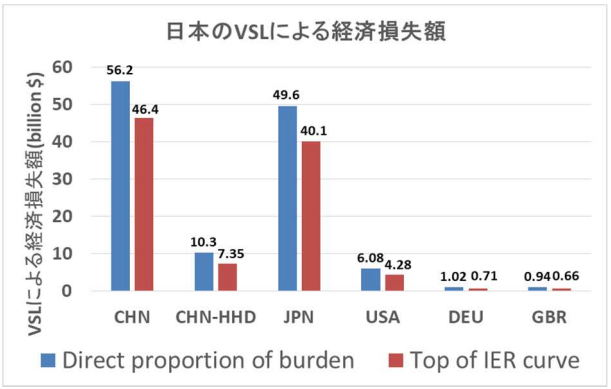


図 1　日本の VSL に対する主要国の消費による寄与額
CHN-HHD は中国家計部門からの直接排出

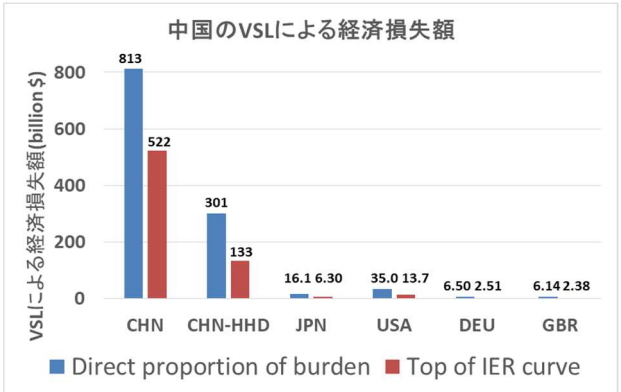


図 2　中国の VSL に対する主要国の消費による寄与額
CHN-HHD は中国家計部門からの直接排出

二次粒子を含めた $PM_{2.5}$ による健康被害のサプライチェーン構造の解明

Clarifying the supply chain structure of health impacts associated with $PM_{2.5}$ including secondary particles

○永島史弥*[1)]、南斉規介[2)]、茶谷聡[2)]

Fumiya Nagashima, Keisuke Nansai, Satoru Chatani

1）九州大学, 2）国立環境研究所

* sbhfmb1122@yahoo.co.jp

1.　はじめに

今日アジアの国や地域は、さまざまな財やサービスを生み出す過程で多量の化石燃料を消費し、大気汚染の原因となる物質を排出している。特に中国領内で排出される微小粒子状物質（$PM_{2.5}$）は大気汚染物質の越境輸送を通して国内だけにとどまらず、近隣諸国においても環境影響や健康被害をもたらしている。アジア地域において大気汚染物質が増加する要因の一つに、他国に対する輸出需要の増加が挙げられる。製品を輸入し消費した国がその財の生産過程で発生した環境負荷に対して責任を負う「消費基準」の観点から見た排出量の推計が、これまでにも多くの研究で行われており[1)2)]、近年では「消費基準での大気汚染物質排出量」に加えて、排出された大気汚染物質の越境輸送と健康リスクを加味した「消費基準での健康被害」の推計が行われている[3)4)5)]。大気汚染に伴う健康被害を効果的に削減するためには、グローバルサプライチェーンの中で発生した $PM_{2.5}$ に伴う健康被害がどのような生産活動によって引き起こされたのかを把握し、どの国のどの産業に対して排出削減策を講じればよいかを明らかにする必要がある。

筆者は既報（引用文献（3））において、アジア諸国によって構成されるサプライチェーンの中で、アジアでの健康被害に大きく寄与するキーセクターやサプライチェーン経路の抽出を行ったが、当研究では一次粒子による健康被害量のみを取り扱っており、影響の大きな二次粒子を含めた被害量の推計は行われていない。二次粒子を含めた研究として Zhang ら（2017）（引用文献（4））が挙げられるが、世界を対象とした国・地域別での消費者基準健康被害量の推計及び比較に終始しており、アジアの産業やサプライチェーンに着目した分析は行われていない。

本研究ではアジア地域において健康被害を誘引する二次粒子の $PM_{2.5}$ の発生源別データを整備し、被害減少に向け優先的に排出削減対策を講ずべきサプライチェーンを明らかにする。また、一次粒子の影響のみに着目した既往研究（引用文献（3））の結果と二次粒子を含めた本研究の推計結果を比較し考察を行う。

2.　研究手法

2.1.　早期死亡者数分布及び SRR 行列の作成

本研究では EDGAR4.3.1[6)]の発生源別排出データベースから $PM_{2.5}$ の一次粒子、二次粒子の前駆物質である SO_2、NO_x、NH_3、NMVOC、CO を対象物質として用いる。アジア領域を対象に、気象モデル WRF で気象場を計算し、さらに化学輸送計算モデル CMAQ を用いて大気汚染物質の年平均濃度分布の計算を行う（図 1 参照）。

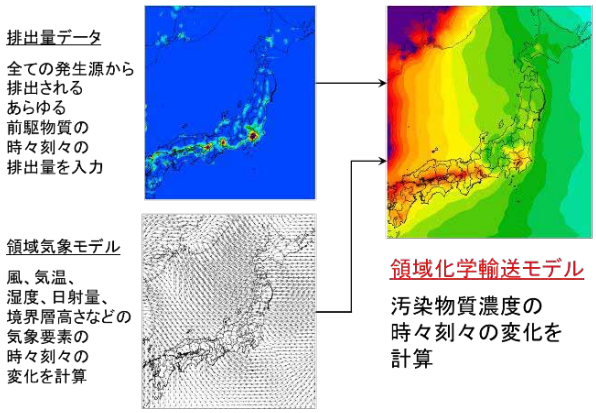


図 1　大気汚染物質の年平均濃度分布の計算

得られた汚染物質の年平均濃度と国別人口データ及び疫学の既往研究の成果を用いて早期死亡者数を推定し、図 2 に示すようなソース・レセプター関係（SRR）行列を作成する。SRR 行列の各要素はソース（汚染物質排出国）とレセプター（健康被害国）の関係を、単位排出量当たりの早期死亡者数として表している。

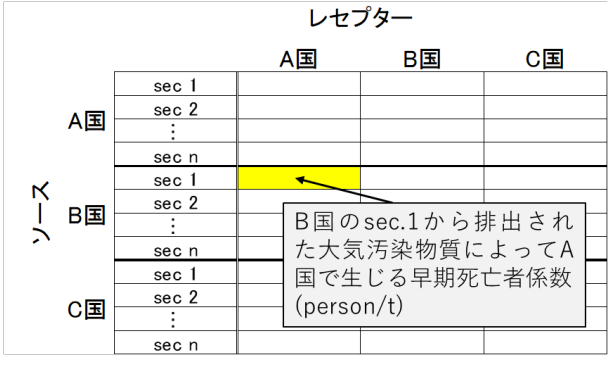


図 2　ソース・レセプター関係行列の構造

2. 2.　産業連関分析への応用

本研究では、ジェトロ・アジア経済研究所（IDE-JETRO）が提供するアジア国際産業連関表（AIIOT）を用いる。AIIOT はアジアの 9 の国と地域(インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、中国、台湾、韓国、日本)及びアメリカと 76 の産業部門から構成される産業連関表である。AIIOT を用いて当該国(地域) rの消費起源排出量を表すと次式となる。

$$\mathbf{e}^{r^*} = \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}^{r^*} = \hat{\mathbf{d}}\mathbf{B}\mathbf{f}^{r^*} \quad (1)$$

ここでr国(地域)の消費起源総排出量、$\mathbf{d} = \{d_i^r\}$は排出係数ベクトル、$\mathbf{B} = (\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1} = \{b_{ij}^{sr}\}$はレオンチェフ逆行列、$\mathbf{f}^{r^*} = \{f_i^{sr^*}\}$は$r^*$国（地域）の最終需要ベクトルを表す。二次粒子を含めた大気汚染物質の領内・越境汚染によりもたらされる健康被害量を表すデータ、すなわち SRR 行列を$\mathbf{Q} = \{q_i^{sr}\}$で与えると、地域$r^*$の最終需要によって引き起こされる地域$r$の早期死亡者数$\mathbf{m}^{r^*} = \{m_r^{r^*}\}$は以下のように与えられる。

$$\mathbf{m}^{r^*} = \mathbf{Q}'\mathbf{e}^{r^*} = \mathbf{Q}'\hat{\mathbf{d}}(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}^{r^*} \quad (2)$$

2. 3.　構造経路分析

大気汚染物質が誘発する健康被害の減少に対して重要な経路の抽出を行うために構造経路分析（SPA）[3]を適用する。以下のように、(2) 式のレオンチェフ逆行列を冪級数展開することで、各波及段階の生産によって誘発された早期死亡者数を求めることができる。

$$\begin{aligned}\mathbf{m}^{r^*} &= \mathbf{Q}'\hat{\mathbf{d}}(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}^{r^*} \\ &= \mathbf{Q}'\hat{\mathbf{d}}(\mathbf{I}+\mathbf{A}+\mathbf{A}^2+\cdots)\mathbf{f}^{r^*} \\ &= \mathbf{Q}'\hat{\mathbf{d}}\mathbf{I}\mathbf{f}^{r^*} + \mathbf{Q}'\hat{\mathbf{d}}\mathbf{A}\mathbf{f}^{r^*} + \mathbf{Q}'\hat{\mathbf{d}}\mathbf{A}^2\mathbf{f}^{r^*} + \cdots\end{aligned}$$

例えば第 1 項$\mathbf{Q}'\hat{\mathbf{d}}\mathbf{I}\mathbf{f}^{r^*} = \{q_i^{sv}d_i^s f_i^{sr^*}\}$は地域$r^*$の最終需要によって誘発された地域 s の第 i 産業の $PM_{2.5}$ 排出による地域 v での早期死亡者数を表している。

3.　結果と考察

ここでは、「中国で発生する大気汚染物質」のみに着目した結果について考察する。図 3 は各国の最終需要が誘発する日本の早期死亡者数のうち、中国で発生した大気汚染物質由来の死亡者数を表している。中国由来の大気汚染物質による日本の総早期死亡者 44, 000 人のうち、中国の最終需要が誘発する死亡者数はおよそ 36, 000 人である。またアメリカの最終需要が誘発する日本の健康被害への影響も大きく、日本自身の最終需要が誘発する被害量よりも大きくなっていることが分かる。

表 1 は図 3 で示した消費ベース健康被害量のうち、最も被害量に寄与するサプライチェーンを表している。表 1 から穀類や農作物といった農業部門から排出された大気汚染物質による影響が最も大きいことが見て取れる。次いで建築部門や建築部門に誘発された生産由来の大気汚染物質が日本に与える影響も大きいことが分かる。

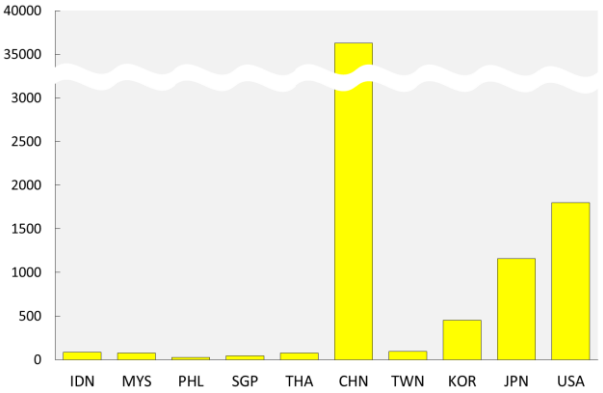


図 3　各国の最終需要が誘発する日本の早期死亡者数

表 1　大気輸送を考慮した構造経路分析の結果

Rank	Premature Deaths (persons)	Driver Country	Path		Receptor Country
1	3838	CHN	→ CHN:その他穀類	→	JPN
2	2195	CHN	→ CHN:農作物	→	JPN
3	1832	CHN	→ CHN:畜産	→	JPN
4	1737	CHN	→ CHN:建設→CHN:その他穀類	→	JPN
5	901	CHN	→ CHN:建設	→	JPN
6	828	CHN	→ CHN:運輸	→	JPN
7	520	CHN	→ CHN:建設→CHN:農作物	→	JPN
8	511	CHN	→ CHN:教育・研究	→	JPN
9	463	CHN	→ CHN:建設→CHN:運輸	→	JPN
10	401	CHN	→ CHN:行政	→	JPN
11	400	CHN	→ CHN:稲作	→	JPN
12	389	CHN	→ CHN:畜産→その他穀類	→	JPN
13	368	CHN	→ CHN:その他食料品→農作物	→	JPN
14	346	CHN	→ CHN:建設→CHN:稲作	→	JPN
15	333	CHN	→ CHN:漁業	→	JPN

4.　引用文献

1) D. Guan, X. Su, et al. (2014) *Environ. Res. Lett.*, 9, 024010

2) Meng, J., Liu, J., Xu, Y., Guan, D., Liu, Z., Huang, Y., Tao, S. (2016) *Proceedings of the Royal Society A*. 472: 20160380.

3) Nagashima, F., Kagawa, S., Suh, S., Nansai, K., Moran, D. (2016) *Economic Systems Research*, Forthcoming.

4) Q. Zhang, X. Jiang, et al. (2017) *Nature*, 543, 705-709

5) Y. Xiao, J. Murray, M. Lenzen. (2018) *Resour. Conser. Recycl.*, 129, 1-11

6) (PBL), E. C. J. R. C. (JRC)/Netherlands E. A. A. EmissionDatabase for Global Atmospheric Research (EDGAR), v4.2. (2015). http://edgar.jrc.ec.europa.eu.

悪臭におけるライフサイクルインパクト評価のための支払意思額算定手法の開発

Development of calculation method of willingness to pay for life cycle impact assessment on offensive odorr

○北川慧*[1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)]
Kei Kitagawa, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
* rv0027eh@ ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

環境評価手法である LCA のフェーズの一つに人間や社会等への影響を統合的に評価するライフサイクルインパクト評価（LCIA）がある。LCIA 手法は国内外問わず様々な手法が存在するが、工業や畜産業、廃棄物処理業などの事業所などから発生する悪臭を考慮した LCIA 手法は少ない。たとえば CMLCA[1)]では対象とする悪臭物質を閾値以下の濃度にするために必要な空気量を特性化として評価している。

しかし、悪臭は一種類の物質が原因となるわけでなく、多種類の物質の混合し、相互に相乗や相殺が起きて発生するため、悪臭物質ごとでの評価が実際に発生する悪臭の評価に則しているとはいえない。また、悪臭が及ぼす人間への被害評価を定量的に評価する手法は報告されていない。本研究では、物質の混合を考慮するために物質ごとの評価でなく、臭気を感知できる度合を示す臭気強度を用い、環境便益を評価する支払意思額（WTP）から悪臭被害評価手法を構築する。

2. 方法

2.1 概要

本研究で対象とする業種を畜産業とする。インベントリ分析及びインパクト評価手法の流れを図 1 に示す。

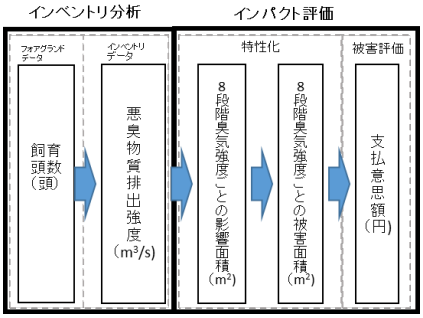


図 1 インベントリ分析及びインパクト評価手法の流れ

2.2 インベントリ分析

フォアグランドデータとして飼育頭数を使用する。飼育頭数から家畜の排泄物の総量を算定し、排泄物によって発生する悪臭物質の排出強度をインベントリデータとして算出する。

2.3 特性化

悪臭物質の排出強度から拡散式を用いて悪臭が拡散する面積を算定する。拡散式は、風速 0.4m/s 以下の場合 Puff 式、0.5～0.9m/s の場合弱風 Puff 式、1.0m/s 以上の場合 Plume 式を用いる。地域特性を考慮するため国内を 7 地方に分類する。各拡散式のモデルにおけるパラメータである風速と日射量は、各地方の代表的な観測地点における 2014～2016 年のデータを用いた。

拡散式から臭気強度が 1 を上回る面積を影響面積として推計し、敷地面積を差し引いた面積を被害面積とした。そして被害面積と飼育数の関係から特性化算定式を導出した。

2.4 被害評価算定式の構築方法

被害面積は、悪臭防止法で定められた 6 段階臭気強度表示法 [2)] に敷地境界線の規制基準設定の範囲の下限及び上限を加えた合計 8 段階別に集計する。その後、世帯数を可住面積で除した数値を世帯密度とし、地方ごとの世帯密度の中央値を 8 段階別に集計した面積を乗算し臭気強度別で影響を被る世帯数を算出した。

算定した世帯数に三上ら [3)]のアンケート結果から導き出された居住年数及び平均年収を考慮した一世帯当たりの悪臭強度別の WTP を乗算する。一例として関東における一世帯当たりの WTP を表 1 に記載する。臭気強度別の WTP を合算した数値を Total WTP とし、飼育頭数との関係から被害評価算定式を導出する。

表 1 関東における一世帯当たりの WTP

臭気強度	一世帯当たりのWTP（円/世帯）
1	3,470
2	4,571
3	5,077
3	5,559
4	6,023
4	6,470
5	7,324

3.　結果と考察

3.1 特性化の算定式

各地方ごとの被害面積算定結果を図 2、回帰式の結果を表 2 にそれぞれ示す。飼育頭数と被害面積には九州地方を除いて直線式よりロジスティック式が高い決定係数を示した。理由として、飼育頭数が少ない場合に排出される悪臭はほぼ感知できない程度の臭気強度であるが、飼育頭数が増えるにつれて排出される悪臭の臭気濃度が大きくなったためと考えられる。

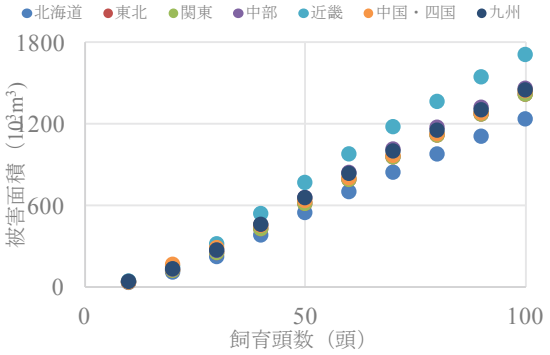


図 2 各地方における被害面積と飼育頭数の関係

表 2 特性化における直線式とロジスティック式の決定係数の比較

地方	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国･四国	九州
ロジスティック式	0.98	0.98	0.96	0.97	0.97	0.98	0.97
直線	0.96	0.96	0.86	0.95	0.95	0.96	0.99

3.2 被害評価の算定式

図 2 に比べ、図 3 の Total WTP は地方ごとにばらつきがある。例として東北地方と関東地方における被害面積はほぼ同値であるが、関東地方は他の地方より大きい Total WTP となる一方、東北地方は北海道地方を除いた他の地方より下回る結果となった。これは東北地方に比べ関東地方の世帯密度が 10 倍以上大きいためである。

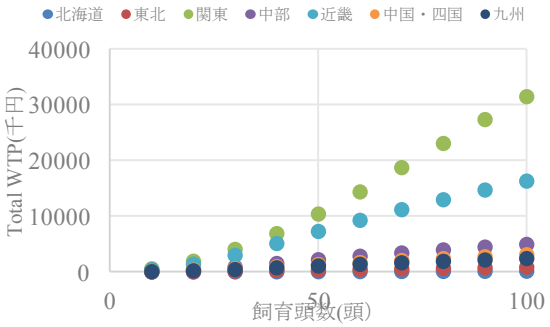


図. 3 各地方における Total WTP と飼育頭数の関係

表 3 直線式とロジスティック式の決定係数の比較

地方	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国･四国	九州
ロジスティック式	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96	0.98
直線式	0.97	0.96	0.89	0.97	0.93	0.97	0.94

また、特性化の算定式と同様に被害評価の算定式も直線式よりもロジスティック式がより高い決定係数である地方が多いことがわかった。ロジスティック式を（1）と表したとき、各地方における飼育頭数 x から Total WTP を算定するパラメータを表 3 に示す。なお K、a、b それぞれ定数である。

$$Total\ WTP(円)=K/((1+b\times e^{-ax})) \quad (1)$$

表 3 WTP 算定におけるパラメータ

地方	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国･四国	九州
K(推定)	1.E+06	1.E+06	3.E+06	2.E+06	2.E+06	1.E+06	2.E+06
a	7.E−02	7.E−02	6.E−02	7.E−02	7.E−02	7.E−02	7.E−02
b	45	47	65	46	48	42	44

3.3 被害評価と世帯密度の関係

関東地方における世帯密度を最大値及び最小値にした際の Total WTP を図 4 に示す。他の地方でも Total WTP は世帯密度が大きく影響している。実際の畜産業は人口密度が低い地域で営まれている場合が多いことを踏まえ、世帯密度の選定方法を検討する必要がある。

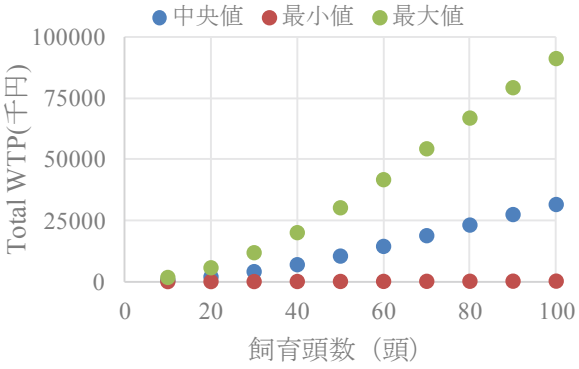


図 4　関東地方における世帯密度と Total WTP の関係

4.　結論

本研究では悪臭被害に対する Total WTP の推計を試みた。本手法においては世帯密度の値により結果が大きく変動することから、その設定に更なる検討が必要であるまた、また、本要旨では敷地面積の推計を行わなかったため、今後、敷地面積が Total WTP に与える影響を検討する必要がある。本要旨では暫定的な数値であり検証を行った結果を当日の口頭発表にて報告する。

参考文献

1)　Heijungs R.,“ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PRODUCTS”, CML, Leiden,（1992）, pp.87-89

2)　悪臭法令研究会,“ハンドブック悪臭防止法”, ぎょうせい, 東京都,（2001）, pp.48

3)　三上健太・廣政幸生：”明治大学農学部研究報告”,（2001）, pp.1-7

B1-19,P2-098　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

コマツナ栽培法の違いを考慮した環境影響と消費者行動による比較検討

A comparison analysis on komatsuna cultivation considering consumer behavior and environmental impacts

○染谷祐輝*[1)]、徐維那 [1)]、堂脇清志 [1)]
Yuki Someya, Yuna Seo, Kiyoshi Dowaki
1)東京理科大学
*7414081@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

現在、我が国の農業部門においては、生態系・人間への影響や地球温暖化などの環境負荷を抑えるため、農薬や化学肥料の使用を低減した栽培法である有機栽培や特別栽培といった取り組みがなされている。しかし、国内での有機栽培の取組面積は全体の 1%に満たない割合となっており、国内での普及は十分でないといえる [1)]。こうした背景の中で、有機栽培や特別栽培の取組面積をより大きくしていくためには、商品を購入し、消費する消費者の行動分析をした上での有機栽培・特別栽培の推進可能性を調査することが必要である。農林水産省の調査では、有機栽培や特別栽培を購入する約 7 割の消費者が「安全である」という理由で農産物を購入しており [1)]、農薬や肥料は消費者に対する情報として有効であると考えられる。国内での消費が増え、有機栽培や特別栽培の取組面積が増えることによって環境保全に貢献するということを目指す。

以上の背景から、本研究では、有機栽培や特別栽培推進の可能性を調査するために、二つの評価を行う。

一つ目に、現在取り組まれている有機栽培や特別栽培が実際にどの程度環境保全に貢献できるかということを定量的に示す。二つ目に、消費者への意識調査によって現在の意識についての調査と、販売戦略の一助となるような情報提示効果の検証を行う。この二つにより、どのように販売戦略を立て、推進を行っていくかを調査することが目的である。なお、今回は周年を通して栽培されるコマツナをケーススタディとして用い、環境影響評価と消費者行動分析を行う。

2. 研究概要

本研究における研究概要図を図 1 に示す。

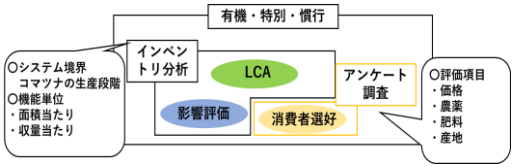


図 1 研究概要図

2.1 環境影響評価

環境影響評価では、有機栽培、特別栽培、慣行栽培を行っている農家で生産されているコマツナを評価対象とした。算定方法は、ヒアリングデータと文献調査 [2)]に基づく積み上げ法による CO_2等価量の環境負荷と、SimaPro ver.8.3.0.0 の ReCiPe Midpoint を用いた影響評価を算定した。評価範囲は栽培段階とし、機能単位を生産面積当たり、収量当たりとした (図 2 参照)。なお、別添の SI に CO_2排出原単位、各農家の詳細情報及びインベントリデータを示す。

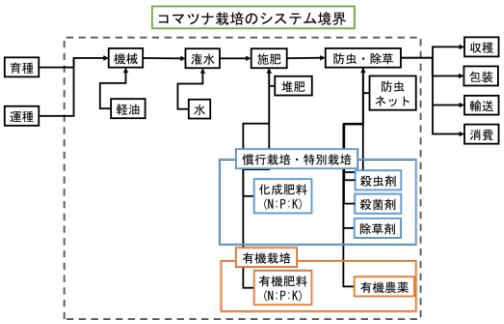


図 2 システム境界

2.2 消費者選好調査

次に、消費者選好調査では、オンライン上でアンケートを実施し、栽培法を構成する要素である農薬・肥料に産地を加えた 3 項目について消費者選好調査を行った。また、消費者は野菜を購入する際に旬を意識しやすいということから [3)]、アンケートの際に旬の時期で栄養価が変わるという情報を用い [4)]、情報を与える前と後での比較を行った。また本研究では、より明確な消費者選好のため、野菜不足を感じている割合が高く [5)]、かつ子供の栄養価を考慮して野菜を購入すると考えられる 20 代～40 代の子持ちの主婦を対象とした。

3. 結果

3.1 CO_2等価量

図 3 及び 4 に各栽培法における CO_2 等価量の結果を示す。面積当たりでは、化学肥料の使用により慣行栽培の環境負荷が大きくなっていることがわかる。しかし、収量当たりでみると有機栽培や特別栽培での影響負荷が大きくなった。これは、化学肥料や農薬を使用する慣行栽培の方が安定して収量を得られるためである。

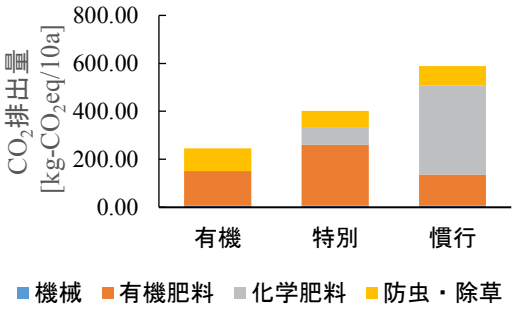


図３　コマツナ栽培における面積当たりの CO_2 等価量

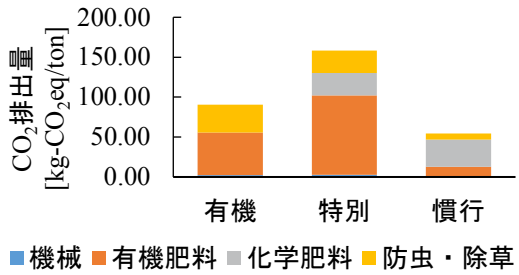


図４　コマツナ栽培における収量当たりの CO_2 等価量

3.2 環境影響評価

次に、ReCiPe によるミッドポイントでの影響評価を図 S1、S2、S3 に示す。図 S2 及び S3 をみると、海洋・淡水の生態系への影響、富栄養化、人間毒性、化石枯渇の影響値が大きいことがわかる。また図 S1 より、各項目で農薬による寄与が大きいことがわかる。面積当たりと収量当たりで比較すると、3.1 で示した CO_2 等価量の傾向と同様であることがわかる。しかし図 S4 のように、淡水富栄養化の項目では慣行の影響評価値が有機を上回るという結果が得られた。これにより、水質汚染という観点では農薬や化学肥料の使用を抑えた有機栽培が最も水質保全に貢献できると考えられる。

3.3 消費者選好調査

次に、消費者選好調査により得られた各項目の限界支払意志額を図 5 に示す。旬の時期、旬でない時期ともに有機栽培の項目である農薬 100%減、有機肥料の項目で支払意志額が高くなった。また、国内の標準品、各栽培法の農産物の販売価格と、限界意志額を上乗せした価格との比較を図 S5 及び S6 に示す。これを見ると、有機栽培では市販の価格を超えることはなかったが、旬でない時期での特別栽培の項目では同等かそれ以上の価格になることがわかる。このことから、特別栽培の農薬や肥料の情報は有効な販売戦略になり得ると考えられる。しかし、図 S7 及び S8 の市場シェアをみると、旬とそうでない時期でほとんど変化がないため、旬の栄養価という情報での高付加価値化を裏付ける結果は得られなかった。

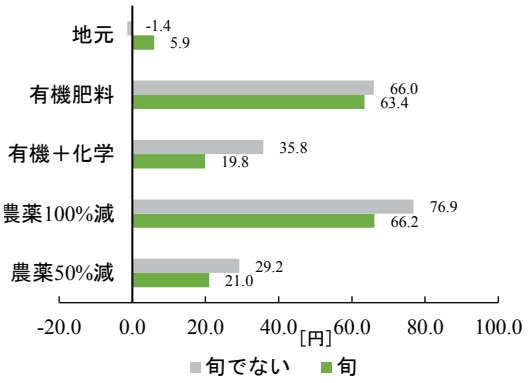


図５　限界支払意志額

4. 結論

今回はコマツナ栽培における栽培法の違いを考慮した環境影響の評価と消費行動分析を行った。環境影響評価ではミッドポイントで多項目をみることにより有機栽培の優位性を証明することができたが、収量で慣行栽培に劣るため、今後は収量を上げるための施肥管理や技術の普及が必要であると考えられる。

消費者選好調査の結果からは、栽培法の表示とともに農薬や肥料の情報を絡めて発信していくことが消費者に対して有効であると考えられる。

有機栽培や特別栽培の今後の推進のためには、農薬や化学肥料を減らし、かつ収量が安定するような新しい農法の開発と、その評価と指標づくりの検討が必要であると考えられる。

参考文献

1) 農林水産省:“有機農業の推進に関する現状と課題“，入手先 <http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/yuuki/convention/h25/pdf/s1-1.pdf>，(参照日 2017/08/01)

2) 農林水産省:“都道府県施肥基準等”，入手先 <http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/>，(参照日 2017/07/24)

3) 日本スーパーマーケット協会:“鮮食料品の購入実態”，入手先<www.super.or.jp/wp-content/uploads/2015/02/supermarket-hakusho2015-3-0924.pdf>，(参照日 2017/12/12)

4) 渡辺優子，清水英世:“岐阜市立女子短期大学研究紀要”，53，(2003)，pp.141-144

5) 一般社団法人 JC 総研:“野菜・果物の消費行動に関する調査結果”，入手先<http://www.jc-so-ken.or.jp/pdf/agri/investigate/161221_01.pdf>，(参照日 2017/12/02)

Supporting Information

2.1 環境影響評価

表 S1 に各農家の詳細情報、表 S2 に各栽培法のインベントリデータ、表 S3 に CO_2 排出原単位を示す。

表 S1　各農家の詳細データ

項目	農家A	農家B	農家C
栽培法	有機	特別	慣行
栽培環境	露地	露地	露地
栽培面積(ha)	6.0	2.9	-
栽培期間	1年	1年	1年
収量(ton/10a)	2.72	2.54	10.80

表 S2　CO_2 排出原単位

項目	投入物	有機栽培	特別栽培	慣行栽培	単位
耕作	軽油	2.50	2.50	2.50	L/10a
潅水	水	0.00	0.00	0.00	m^3/10a
堆肥	有機肥料(N成分)	26.00	82.80	27.00	kg/10a
	有機肥料(P成分)	19.50	112.80	36.00	kg/10a
	有機肥料(K成分)	28.00	117.60	31.50	kg/10a
	石灰	128.00	92.40	144.00	kg/10a
追肥	化学肥料(N成分)	0.00	4.41	60.00	kg/10a
	化学肥料(P成分)	0.00	4.41	30.00	kg/10a
	化学肥料(K成分)	0.00	4.41	30.00	kg/10a
	有機肥料(N成分)	1.00	1.47	0.00	kg/10a
	有機肥料(P成分)	1.00	1.47	0.00	kg/10a
	有機肥料(K成分)	1.00	1.47	0.00	kg/10a
	石灰	80.00	100.00	200.00	kg/10a
農薬	液体	2.00	0.10	0.85	L/10a
	固体	0.00	4.00	10.00	kg/10a
	除草剤	0.00	0.20	0.20	kg/10a
虫害対策	防虫ネット	44.44	44.44	44.44	kg/10a

表 S3　各栽培法のインベントリデータ

項目	投入物	有機栽培	特別栽培	慣行栽培	単位
耕作	軽油	0.92	0.98	0.23	L/ton
潅水	水	0.00	0.00	0.00	m^3/ton
堆肥	有機肥料(N成分)	9.58	32.56	2.50	kg/ton
	有機肥料(P成分)	7.18	44.36	3.33	kg/ton
	有機肥料(K成分)	10.31	46.24	2.92	kg/ton
	石灰	47.15	36.33	13.33	kg/ton
追肥	化学肥料(N成分)	0.00	1.73	5.56	kg/ton
	化学肥料(P成分)	0.00	1.73	2.78	kg/ton
	化学肥料(K成分)	0.00	1.73	2.78	kg/ton
	有機肥料(N成分)	0.37	0.58	0.00	kg/ton
	有機肥料(P成分)	0.37	0.58	0.00	kg/ton
	有機肥料(K成分)	0.37	0.58	0.00	kg/ton
	石灰	29.47	39.32	18.52	kg/ton
農薬	液体	0.74	0.04	0.08	L/ton
	固体	0.00	1.57	0.93	kg/ton
	除草剤	0.00	0.08	0.02	kg/ton
虫害対策	防虫ネット	16.37	17.48	4.12	kg/ton

3.2 環境影響評価

図 S1 に各投入物が占める割合を示した影響評価値、図 S2 に面積当たりで算出したミッドポイントでの影響評価値、図 S3 に収量当たりで算出したミッドポイントでの影響評価値、図 S4 に収量当たりで算出した淡水富栄養化の評価値を示す。なお、図中の各カテゴリーの詳細は表 S4 のとおりである。

表 S4　ミッドポイントの評価項目

ミッドポイントでの影響カテゴリー	
項目名	略称
気象変動	CC
オゾン層の消耗	OD
地上酸性化	TA
淡水の富栄養化	FE
海洋の富栄養化	ME
人への毒性	HT
光化学オキシダント生成	POF
粒子状物質の形成	PMF
地上生態毒性	TET
淡水生態毒性	FET
海洋生体毒性	MET
電離放射線	IR
農地の占有	ALO
市街地の占有	ULO
自然の変質	NLT
水枯渇	WD
金属枯渇	MD
燃料枯渇	FD

Supporting Information

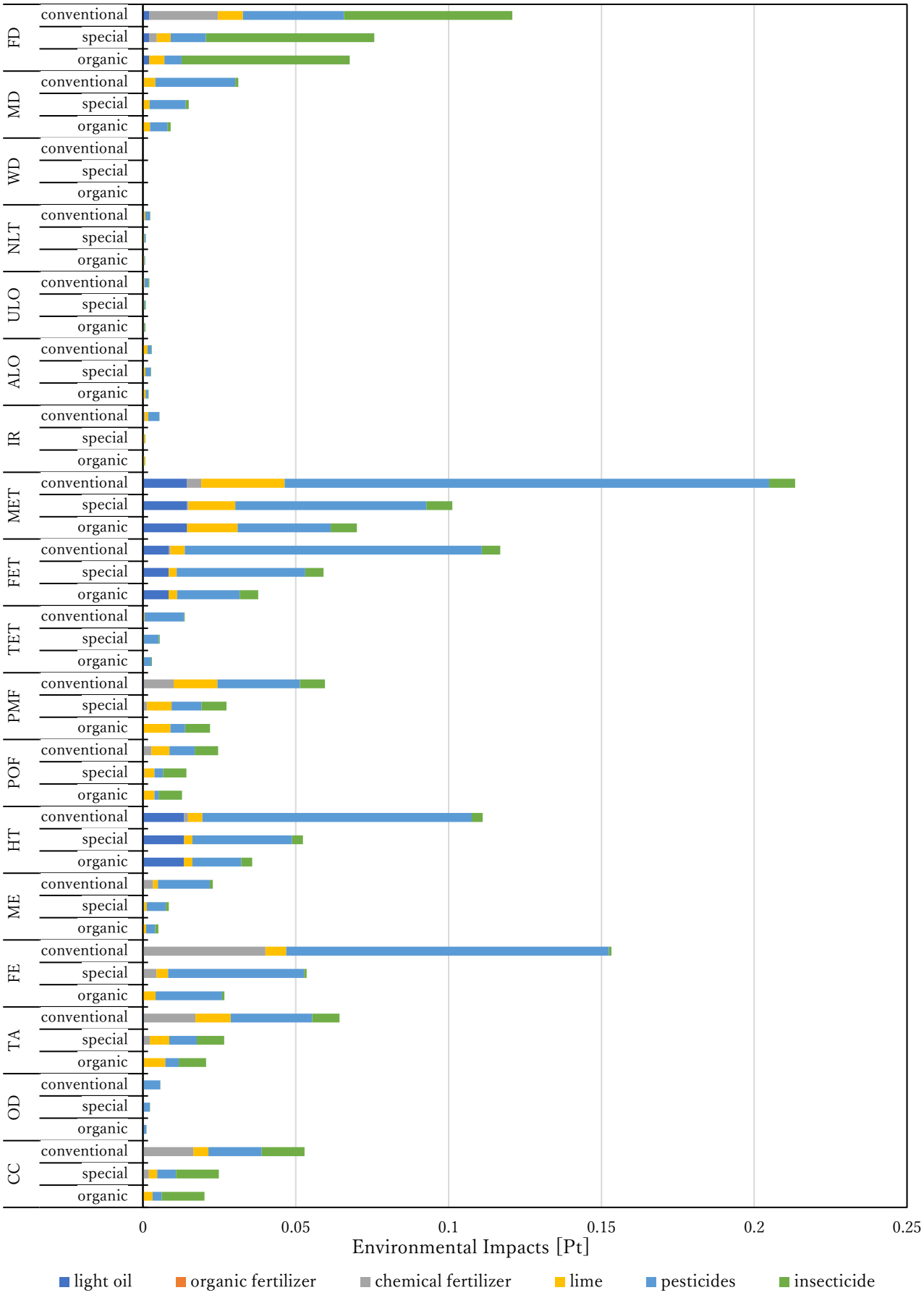


図 S1 ミッドポイントでの影響評価値(面積当たり)

Supporting Information

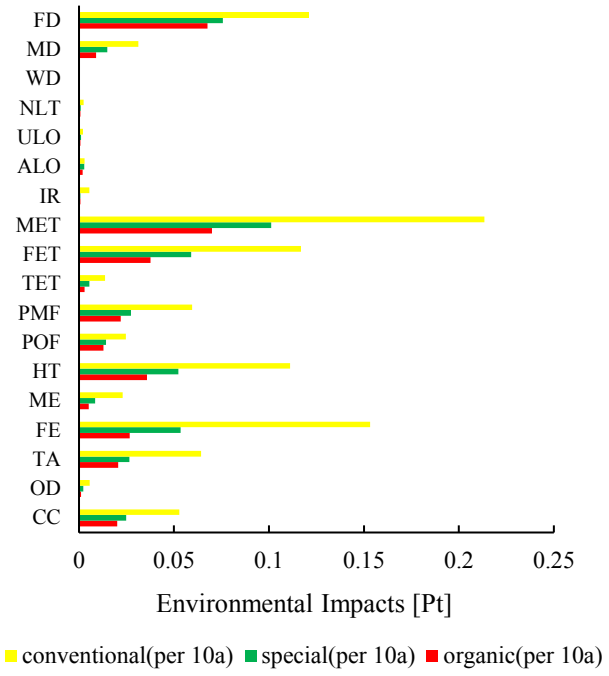


図 S2　ミッドポイントでの影響評価値(面積当たり)

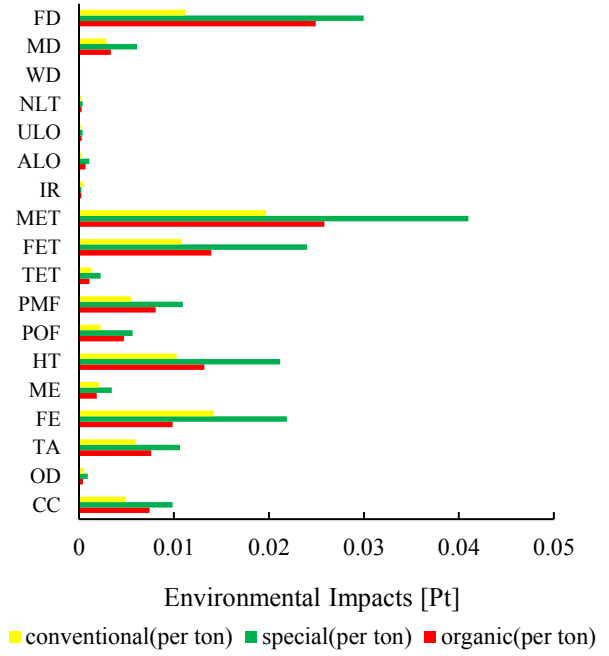


図 S3　ミッドポイントでの影響評価値(収量当たり)

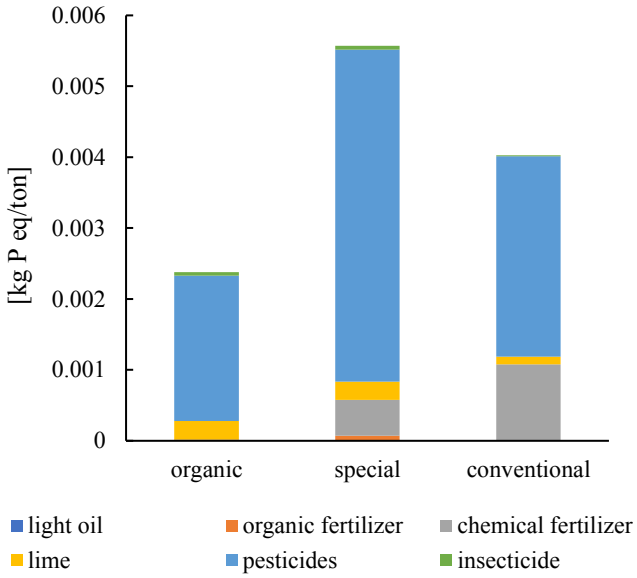


図 S4　淡水富栄養化での影響評価値

3.3　消費者選好調査

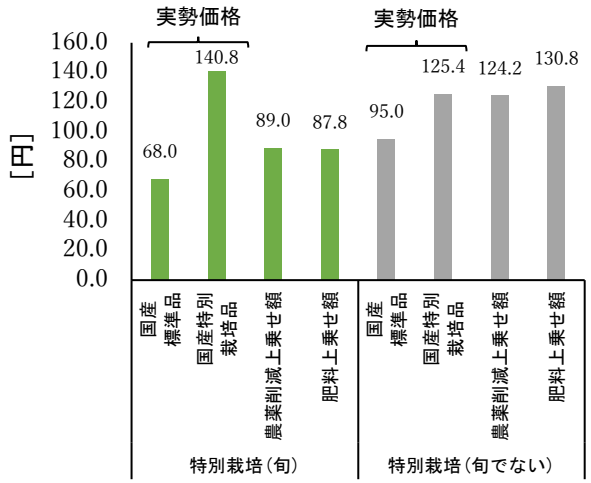


図 S5　市販価格との比較(特別栽培)

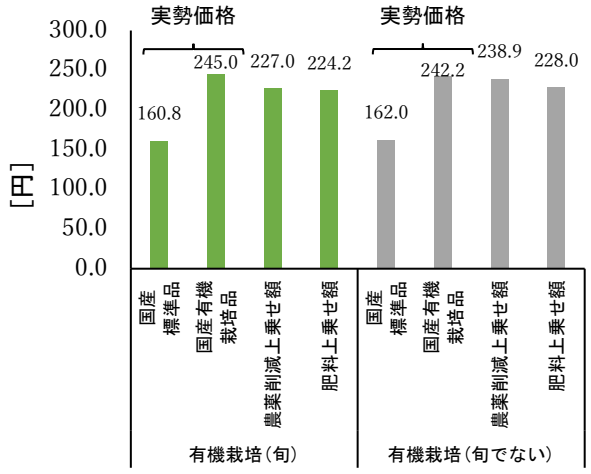


図 S6　市販価格との比較(有機栽培)

Supporting Information

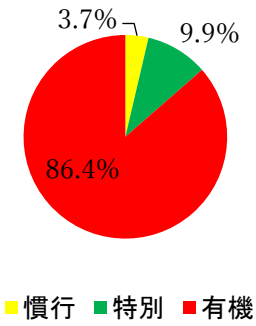


図 S7　旬の時期の市場シェア

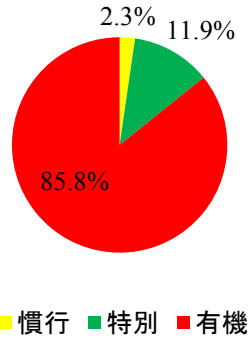


図 S8　旬でない時期の市場シェア

B1-20
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

食品残渣堆肥を活用した野菜栽培の環境・経済・社会影響評価

Life cycle environmental, economic, and social impact assessment of vegetable cultivation utilizing food waste compost

○吉川直樹*[1)]、田中駿太朗[1)]、藤原なつみ[1)]、天野耕二[1)]
Naoki Yoshikawa, Shuntaro Tanaka, Natsumi Fujiwara, Koji Amano
1) 立命館大学
* n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、食品リサイクルループの構築など、食品残渣の農業利用が推進されている。地域におけるバイオマスの利活用は、食品廃棄や化学肥料使用の減少による環境負荷を低減することができると考えられる。加えて、廃棄物を資源として利用することと、化学肥料を低減することによる生産物の付加価値向上を通じて、地域経済・社会への効果が期待される。

食品残渣を農業で新たに利用する場合、そのライフサイクル環境負荷についてはいくつかの変化要因が考えられる。食品残渣の資源化、輸送に伴うエネルギー使用、廃棄物処理の回避、肥料の変更に伴う圃場からの温室効果ガスや水質汚濁物質の排出、単収の変化等である。既往の研究において化学肥料の代替を含めた廃棄物処理システムとしての評価は複数あるものの[1)]、農地還元による影響を含めて包括的に検討した研究は少ない[2)]。さらに、ライフサイクル的観点から食品リサイクルループによる地域経済・社会への効果を同時に扱った研究は著者の知る限りない。そこで、本稿では食品残渣堆肥を用いた野菜栽培による食品リサイクルループを対象に、環境負荷、地域経済波及効果、雇用効果等を指標に検討を行う。

2. 研究方法

2.1 研究対象

本研究では、滋賀県草津市における有機ホウレンソウ栽培を対象とする。近隣において発生した食品残渣を堆肥化し、栽培に用いるシステムを想定する。堆肥化によって、食品残渣の廃棄が回避されるとともに、生産した堆肥により高付加価値の野菜が栽培され、このサイクルが地域内で完結する。

インベントリデータの収集対象とする圃場は同市内の有機 JAS 認定を受けている無加温ビニルハウスである。同圃場での食品残渣堆肥を用いた試験的な栽培データを行い、その際の栽培資材・収量等のデータを用いた。比較対象としての慣行栽培は、同じ生産者における有機ホウレンソウ栽培とした。対象とする圃場および栽培の概要を表 1 に示す。

食品残渣は、近隣施設（立命館大学びわこ・くさつキャンパス）より輸送し、大学近隣にて堆肥化することを仮定した。堆肥化の手法として攪拌方式（バイオ式生ごみ処理機）と、堆積方式（堆肥舎型）の 2 方式を想定した。また、慣行栽培では有機栽培にて使用する食品残渣を一般廃棄物として焼却処理することを想定した。ライフサイクルフローの概略を図 1 に示した。

表 1　栽培の概要

		食品残渣	慣行有機
栽培期間	播種	2016 年 10 月下旬	
	収穫	2016 年 12 月下旬	2017 年 1 月中旬
施肥	肥料名	食品残渣堆肥 (2.5-0.2-0.6)	市販有機質肥料 (8-4-4)
	窒素施肥量 (kgN/10a)	29.2	16.7
単収(kg/10a)		896	778

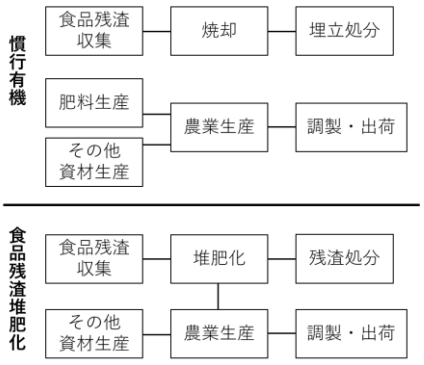


図 1 ライフサイクルフローの概略

2.2 ライフサイクル環境負荷の推計

環境負荷は、松田ら[2)]に基づいて推計した。温暖化および富栄養化を算定対象とし、対象となるプロセスは、資材の製造、食品残渣の堆肥化および廃棄処理、ホウレンソウ栽培、ホウレンソウの出荷である。生産者へのヒアリングに機能単位はホウレンソウ 1kg の生産またはホウレンソウ 10a の生産活動とした。

フォアグラウンドデータは生産者へのヒアリング、草津市における廃棄物処理の実績データを用いた。食品残渣堆肥の成分やバイオ式生ごみ処理機の電力消費量、減容化率については実測した。各プロセスにおけ

るバックグラウンドデータは IDEA を用いた。プロセスからの直接環境負荷量のうち、圃場からの温室効果ガス排出量や硝酸態窒素の溶脱については DNDC モデルを用いて算出した。それ以外の直接排出についても既存の報告等を用いて考慮した。農業機械などの耐久財については算定対象外とした。

2.3　地域経済・社会影響の評価

地域経済および社会への影響として、本研究では生産者コスト、経済波及効果および雇用効果を取り上げた。生産者コストは対象生産者へのヒアリングをもとに算定した。経済波及効果および雇用効果については、本研究のシステム境界における需要の増減（化学肥料の需要減や行政の廃棄物処理サービス需要の減少を含む）をもとに算定した。雇用効果については祖付加価値のうち雇用者の所得に向けられる金額を算定し、各産業部門の常用雇用者一人あたりの所得金額で除して常用雇用者に換算した効果を推計した。なお、農業部門については、営業余剰の大部分が家族労働報酬となると推察されるため、雇用者所得と営業余剰の合計額（農業純生産）から雇用効果を算定した。

慣行有機栽培より生産コストが削減される場合には、その波及効果は次の通り考慮した。生産コストの減少は粗付加価値の増加につながり、雇用者所得および固定資本減耗に配分される。これらは家計消費・民間投資を通じて各産業に生産波及する。この仮定をもとに、産業連関表における粗付加価値あたりの雇用者所得額および固定資本減耗額から生産コスト減に伴うそれぞれの増分を算定し、前者には平均消費性向の値(0.6 と仮定)を乗じて家計消費支出の増分を推計した。これをもとに第二次波及効果を推計した。農業部門の所得には生産波及効果と同様に農業純生産を用いた。

3. 結果

堆肥（業務用生ごみ処理機のケース）利用と慣行有機栽培における環境負荷を LIME2 により統合化した結果を図 2 に示す。食品残渣堆肥を利用した場合、生ごみ処理機による電力消費が環境負荷に最も寄与し、堆肥化による生ごみ焼却の回避と有機質肥料代替の効果を上回った。図 3・4 生産波及効果および雇用効果の推計結果である。生産波及効果では、慣行有機生産資材や廃棄物処理に由来する一次波及効果は高い。これは慣行有機のほうが上記コストが高いことによる。一方で、コスト削減による二次波及効果を考慮した場合、食品残渣堆肥利用の生産波及効果が高くなることがわかった。雇用効果においては、機能単位の取り方により結果は逆転するものの、その差は小さかった。

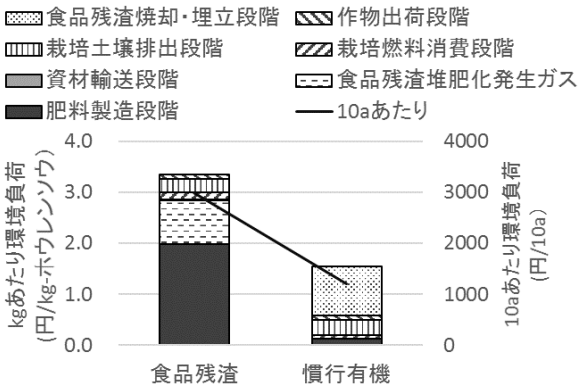


図 2 環境負荷の算定結果

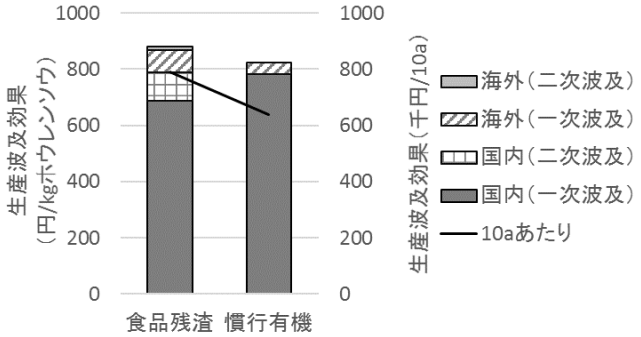


図 3 生産波及効果の推計結果

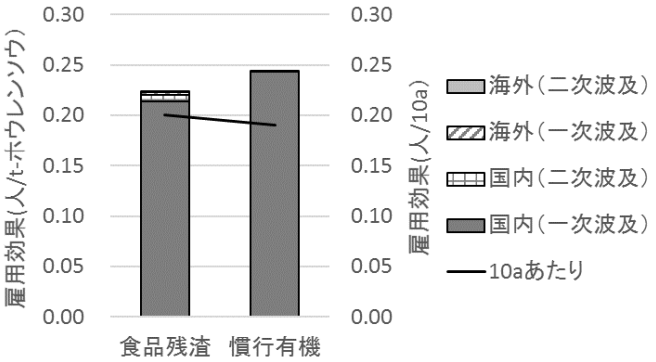


図 4　雇用効果の推計結果

4. まとめ

本研究ではホウレンソウ栽培を対象に、食品残渣堆肥を活用した栽培と市販有機質肥料による有機栽培について、環境負荷・生産波及効果・雇用効果の比較を行った。経済効果に関しては食品残渣堆肥を用いた場合が優位であることが示唆されたが、結果は単収に大きく依存することから、今後は施肥設計と収量についてより詳細な検討が必要である。学会当日は異なる堆肥化手法における比較結果も報告する。

引用文献

1)　平井康宏, 村田真樹, 酒井伸一, 高月紘: 廃棄物学会論文誌, 12 (5), (2001), pp 219-228

2)　松田朋也, 吉川直樹, 天野耕二: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2017), pp 144-145

B1-21

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

乾燥キャベツ製造工程におけるブランチング処理が環境負荷低減に及ぼす影響

Influence of Blanching Treatment on Environmental Burden Reduction during Dried Cabbage Production Process

○佐々木勇麻*[1)]，折笠貴寛[1)]，渡邊高志[2)]，小出章二[1)]

Yuma Sasaki, Takahiro Orikasa, Takashi Watanabe, Shoji Koide

1) 岩手大学, 2) 農研機構

* a8114022@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

2016 年に閣議決定された温暖化対策計画において，2030 年度までに 2013 年度比 26 %の温室効果ガス削減が目標に設定され，目標達成に向けた対策，施策の実施が求められている[1)]．農産加工の 1 つである乾燥工程は，加熱を伴う処理であるためエネルギー消費量が多く，環境負荷の大きなプロセスとされている[2)]．よって，乾燥工程における省エネルギー化は農産加工プロセスにおける環境負荷低減に貢献しうるものと考えられる．青果物の乾燥効率の向上を図る手段として，乾燥前にブランチング処理を行う方法がある．ブランチングによりその後の乾燥速度が増加するとの報告が多数存在しており[3, 4)]，乾燥速度の増加による省エネルギー化が期待される．しかしながら，ブランチング処理による乾燥速度の増加が，青果物の加工品製造における環境負荷にどの程度影響を及ぼすのかについて検討した例は見当たらない．そこで本研究では，乾燥キャベツの製造工程における環境負荷を LCA 手法を用いて評価し，ブランチング処理が環境負荷低減に及ぼす影響について検討した．また，乾燥後製品の栄養成分から環境効率を算出し，品質と環境負荷の関係について考察した．

2. 材料および方法

2.1 供試材料

市販のキャベツ (*Brassica oleracea* var. *capitata*) を約 0.5 cm 幅に千切りしたものを試料とした．

2.2 ブランチング方法

試料約 500 g を 96.5 ± 2.2 ℃の熱湯に 120 秒間浸漬した．ブランチング後は水気を取った後，8 分 30 秒空冷した. 以降, 測定に用いられる試料は, 生鮮 (Fresh), ブランチング無処理試料 (UB), ブランチング処理試料 (HW) とした．

2.3 乾燥方法

遠赤外線乾燥を行った．乾燥時間は UB で 24 時間, HW で 8 時間とした．

2.4 測定項目

Brix 糖度変化，L-アスコルビン酸 (以下，L-AsA) 含有量および残存率，および乾燥時，調理時の消費電力量を測定，算出した．また，Brix 糖度および L-AsA 残存率を製品の価値とした環境効率を算出した（SI）．

3. LCA

3.1 評価対象と範囲

国産キャベツを用いて製造される乾燥キャベツを評価対象とした．システム境界を図 1 に示す．キャベツの栽培から乾燥キャベツの廃棄までの全 7 工程とした．

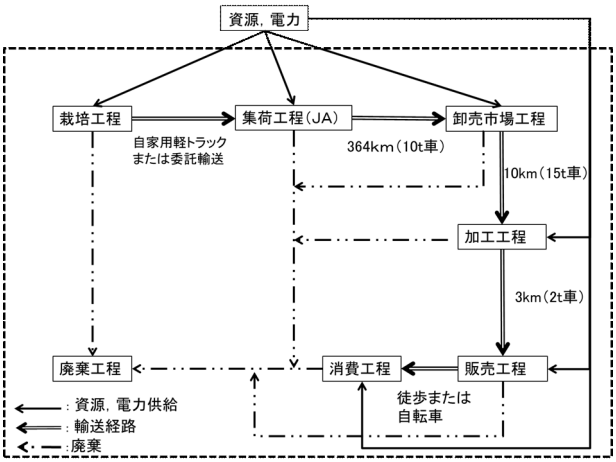


図 1　システム境界

3.2 機能単位

乾燥キャベツ 100 g (以下，製品) の製造にかかる環境負荷とした．

3.3 影響評価方法および影響領域

LCA 手法に従い, MiLCA ver 1.1[5)]および LIME2[6)] を用いて特性化，統合化を行った．影響領域は LIME2 に従い，詳細は表 SI-1 に示した．

3.4 インベントリ分析

一次データは各事業者への聞き取り調査により得た．また，機器使用時における消費電力量について，乾燥時および調理時の消費電力量は実測し，その他の機械についてはカタログ等を参考に定格出力より求めた値

を用いた．二次データは MiLCA 付属のデータベース LCI データベース IDEA Ver. 1.1 (以下，データベース) を参考にした．以下に各工程におけるインベントリデータの詳細を示した．なお，全ての製品について耐用年数は法定耐用年数[7]を参考にした．

(1) 栽培工程

乾燥測定時におけるキャベツ投入量に対する乾燥キャベツの製品量の割合から，製品を製造するのに必要なキャベツの量を算出した．すなわちブランチング無処理区では 1.68kg，ブランチング処理区では 2.21kg のキャベツを栽培するとした．

(2) 集荷工程

JA 新いわてでの聞き取り調査より，この工程でのフローを「入荷→真空予冷→保管→出荷」とした．

(3) 卸売市場工程

盛岡市中央卸売市場での聞き取り調査より，この工程でのフローを「入荷→保管→出荷」とした．

(4) 加工工程

加工業者 (日華フーズ株式会社) での聞き取り調査を参考に，この工程でのフローを「入荷→芯抜き→洗浄→カット→ブランチング→乾燥→衛生検査→袋詰め→箱詰め」とした．乾燥時における消費電力量は実測で UB 66.0 kWh ， HW 30.7 kWh であった．

(5) 販売工程

いわて生活協同組合コープ高松店での聞き取り調査より，製品が店頭に陳列されている期間の消費電力量および製品の販売面積を設定した．

(6) 消費工程

製品を熱湯で復水し，調理するとした．お湯を沸かすための消費電力量は実測で 194 Wh となった．

(7) 廃棄工程

製品を製造するのに必要な建築物, 機械, 段ボール, 水，また，加工工程におけるカット時に排出されるキャベツの芯・外葉を廃棄するとした．

4. 結果および考察

4.1 環境影響評価

RC および WC を除く全ての影響領域で，加工工程における環境負荷の寄与度が高い結果となり，この工程での環境負荷を低減することは，製品のライフサイクル全体の環境負荷低減に最も効果的であると考えられる (図 SI-1)．また，加工工程において，工場の製造および乾燥時の電力消費における環境負荷の寄与度が高いことから，ブランチング処理による省エネルギー化は環境負荷低減に貢献しうるものと考えられる (図 SI-2)． HW は UB と比較して環境負荷が小さく，ブランチング処理により大幅な環境負荷低減効果が得られた (図 2).

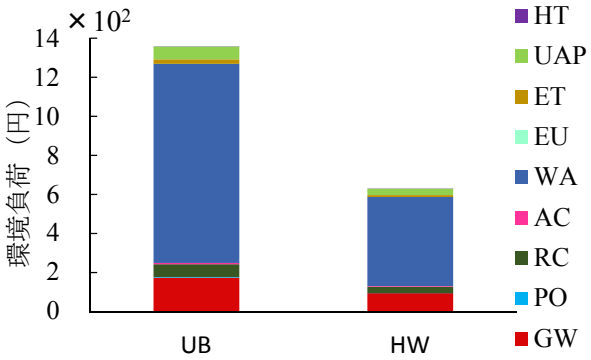


図 2　UB および HW における統合化結果

4.2 栄養評価

ブランチング処理により HW における Brix 糖度は低下するものの，L-AsA 残存率に有意差はみられず，環境効率は Brix 糖度および L-AsA 残存率のどちらを指標とした場合でも HW が UB よりも高い結果となった．

5. まとめ

乾燥キャベツの製造時における環境負荷を低減するための手段として，ブランチング処理は極めて有効であることが明らかとなり，かつ栄養成分と環境負荷の双方からみても良好な処理方法であることが示された．

6. 参考文献

1) 環境省：“パリ協定等を受けた中長期的温室効果ガス排出削減対策検討調査費”，環境省，(オンライン)，入手先 <http://www.env.go.jp/guide/budget/h29/h29-beppyo/2_b044.pdf>，(参照　2018-1-5)

2) 一般社団法人日本有機資源協会，“平成 24 年度食品事業者環境対策推進支援事業　報告書”, 一般社団法人日本有機資源協会，(オンライン)，入手先 <http://www.jora.jp/24_syokuhin_sien/pdf/I-2.pdf>，(参照 2018-1-5)

3) 吉田裕史，折笠貴寛，小出章二，村松良樹，田川彰男：日本食品科学工学会誌，61 (4)，(2014), pp.151-159

4) 渡邊高志，折笠貴寛，佐々木邦明，小出章二，椎名武夫，田川彰男：農業食料工学会誌，76 (5)，(2014), pp.387-394

5) 産業環境管理協会，LCA システム MiLCA ver1.1

6) 伊坪徳宏，稲葉敦編著，LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法，社団法人環境管理協会

7) 財務省：“減価償却資産の耐用年数等に関する省令”，財務省，(オンライン)，入手先 <http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=340M50000040015&openerCode=1#56>，(参照　2018-1-5)

1. 環境効率の算出

本研究では，製品の品質と環境負荷を同時に評価するため，環境効率を以下の式により算出した．今回は製品の価値を各乾燥後試料の Brix 糖度および L-AsA 残存率とした．

$$(\text{環境効率}) = \frac{(\text{栄養成分})}{(\text{特性化結果における全環境負荷値})} \tag{1}$$

2. 影響領域および記号

以下に，本研究で評価を行った影響領域を示す．

表 SI-1　本研究における影響領域

影響領域	単位	記号
地球温暖化	kg-CO_2 eq	GW
資源消費	kg-Sb eq	RC
酸性化	kg-SO_2 eq	AC
廃棄物	m^3	WA
光化学オキシダント	kg-C_2H_4 eq	PO
オゾン層破壊	kg-CFC11 eq	OZ
富栄養化	kg-PO_4^{-3} eq	EU
人間毒性	kg-C_6H_6 eq	HT
生態毒性	kg-C_6H_6 eq	ET
土地利用	-	LU
土地利用(維持)	m^2year	LUO
土地利用(改変)	m^2	LUC
エネルギー消費	MJ	EN
騒音	J	NO
都市域大気汚染	kg-SO_2 eq	UAP
水資源消費	kg	WC
室内空気汚染	kg	IAP

3. 乾燥キャベツ製造工程における特性化結果

以下に，UB における特性化結果を示す．なお，影響評価の結果，環境負荷量が 0 となった影響領域は除いた．

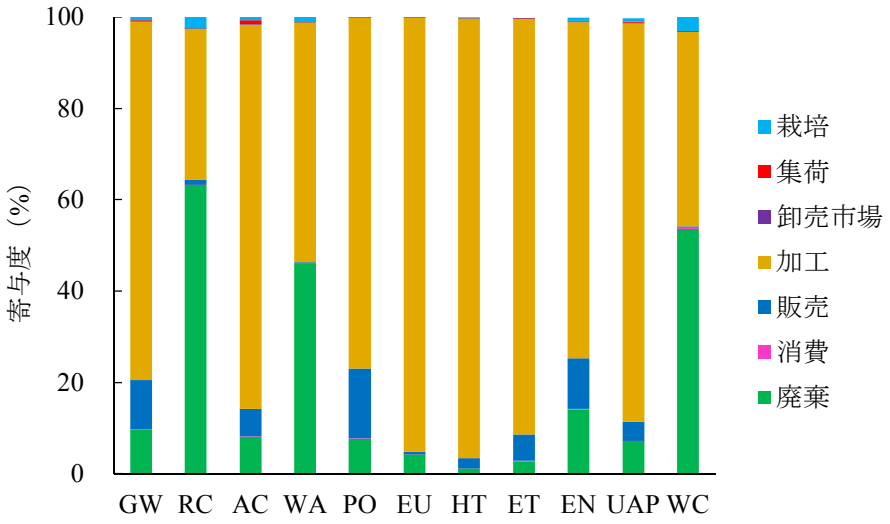


図 SI-1　UB における特性化結果

4. 加工工程における特性化結果

加工工程において環境負荷への寄与度の大きいプロセスを特定するため，UB における加工工程での特性化を行った．以下にその結果を示す．

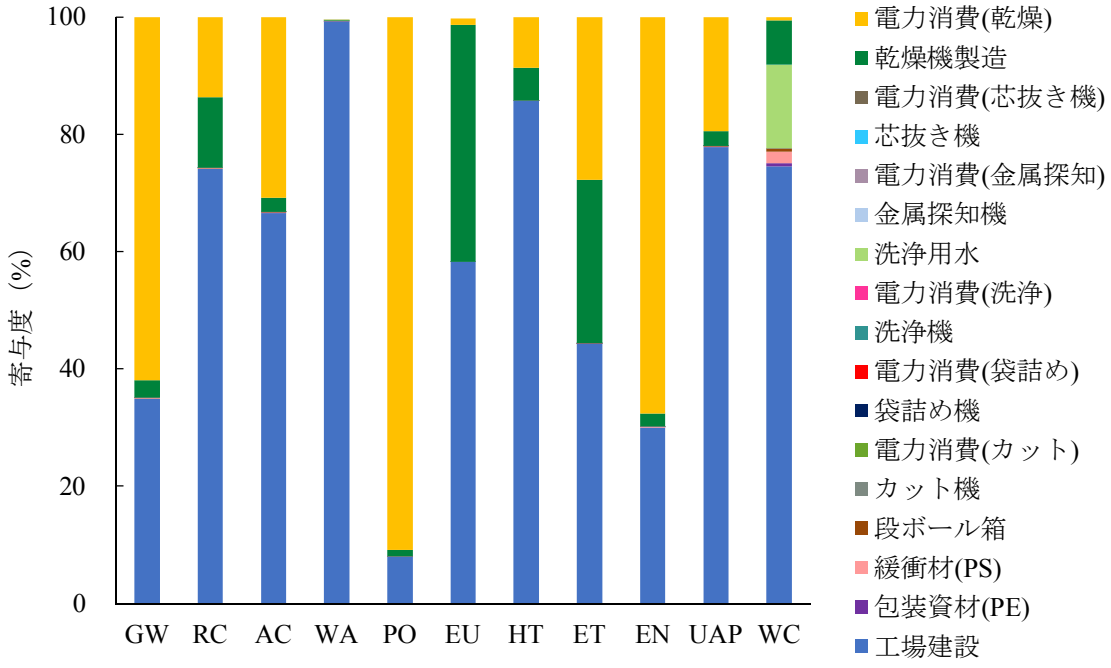


図 SI-2　加工工程における特性化結果

5. 各条件における測定結果

以下に，本研究において測定，算出した栄養成分および環境効率を示す．なお統計解析について，Fresh および各乾燥後試料の Brix 糖度の比較は，エクセル統計 (ver 2.13，株式会社社会情報サービス) を用いて Tukey-Kramer 法による有意差検定を行った．また，その他の比較には Microsoft Excel 2016 付属のアドインソフト「分析ツール」を用いて t 検定による有意差検定を行った．

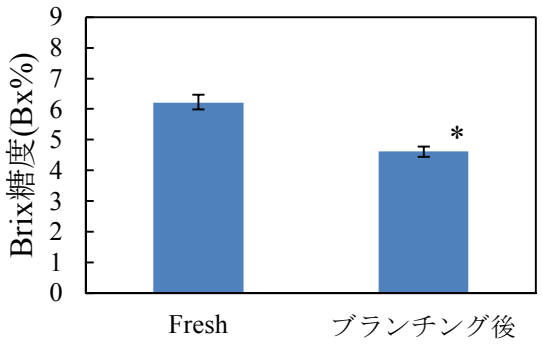


図 SI-3　Fresh およびブランチング後試料の Brix 糖度
図中のバーは標準誤差（n=3）を示す.
*は Fresh における値に対し，t 検定による有意差あり（P<0.01）.

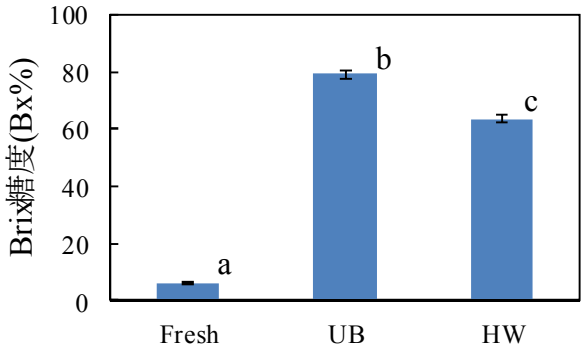


図 SI-4　Fresh および各乾燥後試料の Brix 糖度
図中のバーは標準誤差（n=3）を示す.
異なる英小文字間に Tukey-Kramer 法による有意差あり（p<0.01）.

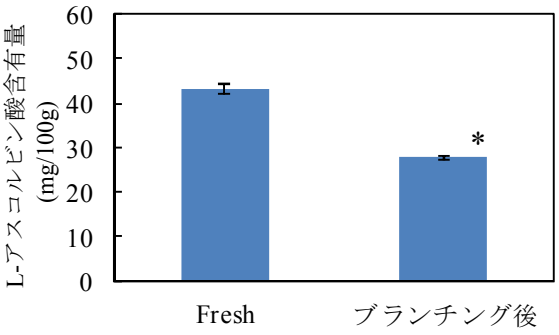


図 SI-5　Fresh およびブランチング後試料の L-AsA 含有量
図中のバーは標準誤差（n=3）を示す.
*は Fresh における値に対し，t 検定による有意差あり（p<0.01）.

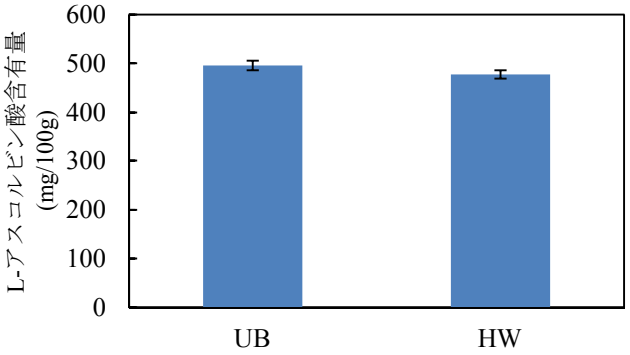


図 SI-6　各乾燥後試料の L-AsA 含有量
図中のバーは標準誤差（n=3）を示す.
UB および HW において，t 検定による有意差なし（p>0.05）.

表 SI-2　各条件における測定結果

	UB	HW
L-AsA 残存率 (%)	70.5±2.3	63.4±4.0
環境効率（Brix 糖度基準） (Bx%/円)	5.83×10^{-2}	1.01×10^{-1}
環境効率（L-AsA 残存率基準） (%/円)	5.19×10^{-2}	1.01×10^{-1}

6. 謝辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 JP17K08015（基盤研究 C）および JP16H05001（基盤研究 B）の助成により実施された．また，アーシェルジャパン株式会社，株式会社エムラ販売，株式会社フィニクス，日立アプライアンス株式会社，株式会社岩手町ふるさと振興公社道の駅石神の丘，いわて生活協同組合コープ高松店，JA 新いわて，盛岡市中央卸売市場，日華フーズ株式会社，株式会社ナオミ，東北産機システム株式会社，ヤンマーグリーンシステム株式会社，米田工機株式会社には，インベントリデータの収集の際にご協力いただいた．厚く感謝の意を表す.

B1-22　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

カツオ漁業のライフサイクルアセスメント

Life Cycle Assessment for Bonito Fisheries

○渡邊一仁*1)、田原聖隆 2)
Kazuhito Watanabe, Kiyotaka Tahara
1）宮城県庁, 2）産業技術総合研究所
* watanabe-ka825@pref.miyagi.lg.jp

1 はじめに

「食」の持続性に向けた議論では、「持続可能な生産」と「持続可能な消費」の双方向からのアプローチが重要である。このような観点に立ち、総合地球環境研究所が中心となって進めている FEAST プロジェクトでは、「持続可能な食の消費と生産を実現するためのライフワールドの構築」をテーマとした調査・研究を進めている。この中では、普段の生活の中では見ることのできない食品の価値情報等を「見える化」し、消費者へ効果的に使えるための手法開発や様々な食品に関する情報を収集している。

水産物の生産や消費に伴う環境負荷の算定にはこれまで LCA が活用されてきた。一方、水産物のインベントリデータに関しては不足している状況にある。これは、漁業が自然を対象とした産業であり、地域性や季節性を有することによる。このため、更なるデータの蓄積が求められている。

日本では古来よりカツオが様々な場面で利活用されてきた。初夏の初ガツオや秋口の戻りガツオなど我々の食生活とも結びついてきた。近年では、健康志向に伴う日本食ブームや世界遺産での和食文化への海外認知の高まりと相まって、食材としてだけではなく、出汁としての活用など注目されている。しかしながら、カツオの生産や消費に伴う環境負荷は分かっていない。

そこで、本研究では、カツオの生産に伴う環境負荷を明らかにし、カツオ漁業の持続性に検討を加えることを目的とした。

2 方法

2.1 システム境界の設定

評価の対象とした漁業のシステム境界を図 1 に示す。インプット項目は漁具、漁船および燃油とし、漁業からのアウトプットは漁獲物、環境負荷とした。本システムでは漁業の直接的な操業に加え、漁具や漁船、燃油の製造工程も考慮している。ただし、漁労設備の廃棄段階については使用後の流れが不明なことから調査の対象外とした。

2.2 データの収集と分析

調査は 2017 年 8 月から 2018 年 2 月にかけておこなわれた。カツオの生産で有名な高知県黒潮町における近海カツオ一本釣り漁船を対象に、漁業者、漁業会社、漁業協同組合および黒潮町役場に聞き取り調査を実施した。この調査から、近海カツオ一本釣り漁業の基礎的事項や漁業実態、経営収支等のデータを収集した。一方、分析に際して不足するデータについては文献を援用した。

環境負荷については、様々な物質で評価できるが、今回は地球温暖化防止を念頭に、CO_2 を用いて議論する。各項目の CO_2 排出量は IDEA のデータベースから CO_2 排出原単位を利用し、活動量（投入量）と乗じることで求めた。これらシステム内で各項目から排出される CO_2 の総和を累積 CO_2 排出量として計上した。機能単位には重量と金額の 2 つの基準を採用した。ここで、重量単位は生産量 1t あたりの CO_2 排出量、金額単位は漁獲高百万円あたりの CO_2 排出量と定義した。

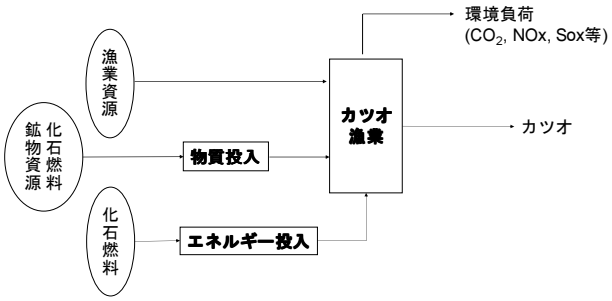


図　本研究のシステム境界

3 結果と考察

3.1 漁業実態

近海カツオ一本釣り漁業は漁船規模から大きく 19 トン型（FRP 製、10～15 人乗り）と 110～149 トン型（FRP 製、25 人前後）の 2 つのタイプに分けられる。漁法の詳細を 110～149 トン型の漁船をモデルとして次に述べる。「なぶら」と呼ばれカツオ魚群を見つけると、漁船ごと群れに接近し、餌のカタクチイワシを撒き、同時に撥水ポンプで大量の水を撒く。沸き立った水面を、大量のイワシの群れと勘違いしたカツオは、興奮状態になって捕食しようとする。これを、擬似餌針のついた釣竿で、一匹一匹釣りあげるという仕組み

である。一本釣りで使用される疑似餌針は「かぶら」と言われる「かえし」の無いストレートな針で、魚を頭上高く跳ね上げると針から魚が外れ、そのまま一連の動作で再び海に針を投げ込むのに役立つ。一本釣りの鰹は、文字通り一尾ずつ釣り上げるため、魚体がきれいで身の痛みが少ないのが特徴となっている。年間約 300 日の操業をおこない、季節に合わせて漁場を移動する。大まかな年間のパターンは、房州勝浦港を拠点に 2～3 月は小笠原諸島、4～6 月は房総沖、その後、気仙沼に拠点を移し、7～11 月にかけて三陸沖で漁獲する。

3.2 環境負荷の算定

今回モデルとした 110～149 トン型の漁船では、漁業のために年間で漁船 1 隻、軽油 1,400KL、餌（カタクチイワシ）127.5t を投入し、カツオ 900t の漁獲量と 3 億 5 千万円の漁獲高があった。これらのデータから表 1 の項目別 CO_2 排出源単位から CO_2 排出量を計算すると、累積 CO_2 排出量は 3,824t となり、漁獲量 1t あたりまたは漁獲高百万円あたりに換算すると、それぞれ 4249.0kg、10926.0kg と求められた。（表 2）

表 1　項目別 CO_2 排出源単位

名称	〔UNIT〕	〔kg-CO_2/UNIT〕	投入量	備考
漁船	隻	570,000	1	耐用年数15年
軽油	L	2.7	1,400,000.0	
餌	t	47.8	127.5	カタクチイワシ

表 2 近海カツオ一本釣り漁業の CO_2 排出量

	CO_2	
累積排出量	3824	t
/t	4,249.0	kg
/百万円	10,926.0	kg

次に、環境負荷の排出要因について確認した。単体の CO_2 排出源単位では漁船が大きな値を示しているが、耐用年数から単年度換算すると CO_2 排出に占める寄与度は相対的に低く、結果として、燃料消費が全体の 99% を占めるという結果であった。燃料消費は漁場への移動やカツオの群れを追う航走によるものであった。このため、CO_2 排出の削減に向けては、燃料の省エネルギー化が必要であり、ハードとしてはエンジンや漁船の改良、ソフトとしては ICT 技術を活用した魚群探索技術の開発が有効と挙げられる。

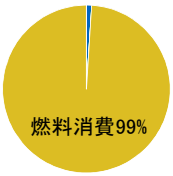


図 CO_2 の排出要因

3.3 結果の検証

今回の調査で得られた結果を産業連関表による分析結果と比較すると、重量基準、金額基準ともに漁業平均を上回るという結果であった。同じカツオを対象とするまき網漁業と比べると大幅に大きな値となり、他の漁業種との比較では、沿岸イカ釣り漁業を少し下回る位置づけであった。カツオ一本釣りでは移動、沿岸イカ釣りでは集魚灯と燃料消費の形態は異なるが、釣り漁業という性質上、漁獲効率では他の網漁業にくらべて落ちることから、CO_2 排出量としても大きく見積もられることとなった。

3.4 カツオ一本釣り漁業の意義

カツオ一本釣り漁業は生産効率に着目すれば網漁業に比べれば落ちるにもかかわらず、存在する意義を考えてみる。カツオ資源の供給という本来的な機能に着目すると、一本ずつ釣り上げることから丁寧に扱われる。このことは、様々な魚種をまとめて水揚げする漁法に比べて魚の損傷が少なく、質の高い魚を提供できることを意味する。実際に、カツオ一本釣り漁業で水揚げされたカツオは高値で取り引きされている。次に、カツオ資源に管理に関する点を考えると、釣り漁業の性質上、根こそぎ漁獲することはなく、資源水準に見合った漁獲となる点も指摘しておく必要がある。カツオ資源に対しては過度の漁獲圧にはならない。水産資源に対しては、持続的な利用に望ましい形態である。一方、多面的な機能という点からも考えたい。カツオ一本釣り漁業は魚群を追って太平洋近海を南北に移動し、その都度、水揚げに寄港する。一例として、気仙沼への水揚げでは約 5 ヶ月という長期にわたり、拠点とすることから、三陸と四国の文化交流の役割を担っていたことは興味深い。このように見ていくと、漁業評価の枠組みを考える場合には、ライフサイクル思考を環境評価から高度化していき、マルチクライテリアで評価できる手法の開発へと発展させていくことが今後は必要になる。

4 おわりに

本研究によりこれまで不明であった近海カツオ一本釣り漁業の CO_2 排出量を明らかにした。CO_2 排出量の主要因は燃料消費で省エネルギー化を目指さなくてはならない。一方、近海カツオ一本釣り漁業は本来的機能の他に多面的機能を有していることから、これらを総括した漁業評価の仕組み開発も進められなくてはならない。

C1-19

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

物質が使用時に提供する機能量の評価

鉄鋼材の防食機能量の事例

An evaluation on functions provided by materials in use
A case study on anti-corrosion function of steel

○田島圭二郎*[1)]、醍醐市朗 [1)]、榎学 [1)]
Keijiro Tajima, Ichiro Daigo, Manabu Enoki
1) 東京大学
* tajima@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

１．緒言

持続可能な開発の実現のためには、様々な技術開発の革新的な進歩により資源生産性を高めることが求められる。その 1 つとして、材料機能の向上が挙げられ、社会基盤として広く用いられる鉄鋼材の生産性向上による影響はとりわけ大きい。この鉄鋼材の機能の発現を妨げるものとして、腐食がある。日本における金属材料の年間腐食コストは、GNP 比約 2%と推計されており [1)]、その重要性がうかがえる。しかし、貨幣価値基準での評価は、基準が地域や時代において変動するため、一意に評価ができない。そこで、防食機能を、物理量を基準として評価することが望まれる。吾妻ら [2)]は、防食の機能を母材の腐食反応による Gibbs エネルギー変化によるエクセルギー損失を防ぐことであると考え評価した。一方で、防食機能を付与するためには、付加的に物質の生産が必要な場合が多い。しかし、今までの評価では防食機構の使用段階に提供する機能のみを評価対象とし、生産プロセスにおける環境負荷や、リサイクル段階を評価していなかった。防食機構が社会に及ぼす環境影響を評価するために、防食機構の原材料から廃棄までのライフサイクルを対象とした評価が必要となる。本研究では、鉄鋼材の防食機能量を対象とし、ライフサイクルでの消費エクセルギーを基準とした評価手法を構築することを目的とした。

２．評価手法の構築

2.1. 評価の対象～鉄鋼材の防食機能

本研究では、鉄鋼材の防食機能量を対象とした。金属の腐食は、反応速度論的因子と化学平衡論的因子に支配され進行する電気化学反応であり、防食はそれぞれの因子に基づいて行われている。前者の作用を軽減させる防食機構として耐食金属や亜鉛めっき、塗装があり、後者には電気防食がある。このうち、本研究では、最も主要な技術である亜鉛めっきに着目し、建築用途に用いられる溶融亜鉛めっき鋼板について評価した。

母材が腐食するのを防止するために、亜鉛めっき層が追加的に与えられる。よって、亜鉛めっきの防食機能を「母材の腐食反応を防ぐこと」とした。

2.2. 評価手法の構築

2.2.1. LCEA (Life Cycle Exergy Analysis)

本研究では、エクセルギーを基準とするライフサイクルエクセルギー評価(LCEA)を構築した。エクセルギーは、有効エネルギーともいい、与えられた環境条件のもとでの、ある系から取り出せる最大の仕事を表す。これは、エネルギーに質の概念を与えるものであり、より持続可能なエネルギーや資源の使い方を示す指標と考えた。評価のシステム境界として、鉱物資源から、素材生産、組立加工、使用、廃棄物処理までのライフサイクルを対象とした。なお、エクセルギーを求める上で、基準とする参照環境は、温度 298.15 K、気圧 1013.25 hPa とした。

2.1 の防食機能の定義から、防食機能量は、溶融亜鉛めっき鋼板と冷間圧延鋼板の、ライフサイクルでの消費エクセルギーの差分で評価できると考えた。

2.2.2. 資源採掘・素材生産

資源採掘から圧延加工、めっき加工を含む溶融亜鉛めっき鋼板の生産のプロセスで消費されるエクセルギーを評価した。プロセスで消費されるエクセルギーは、投入された物質のエクセルギーから、生産された素材のエクセルギーを引いたものと考えた。副産物等のエクセルギーは、考慮せず消費されたこととした。各原料、燃料のエクセルギーは文献 [3,4)]における報告値を用いた。プロセスの投入物質量は、ライフサイクルインベントリデータを用いた [5)]。対象を建築用途の溶融亜鉛めっき鋼板としていることから、母材となる冷間圧延鋼板の板厚を 2 mm、めっき目付け量を両面 200 g/m^2 と設定し、素材の単位面積当たりの消費エクセルギーを算出した。インベントリデータにおいて、使用量が小さく結果への影響がほぼないものは、カットオフした。組立加工段階での消費エネルギーはデータが入手できず、考慮しなかった。

2.2.3. 使用

使用工程においては、腐食反応によって素材が環境へ散逸する。よって、散逸した素材のエクセルギーを使用時の消費エクセルギーとして評価した。反応量は、腐食速度によって異なる。しかし、反応速度は素材の使用環境に大きく依存する。ここでは、標準地域におけるものを使用した[8]。使用年数は、暫定的に 18 年とした。

2.2.4. 廃棄物処理

鉄鋼材は、使用済みとなった後、多くの場合でリサイクルされるため、溶融亜鉛めっき鋼板と冷間圧延鋼板ともにスクラップとして回収されるとした。スクラップは、素材のエクセルギーを損失することなく、システム領域の外へ産出される。そのため、システム領域内でエクセルギーは消費されないと考えた。

3.　結果

溶融亜鉛めっき鋼板と防食しない場合として冷間圧延鋼板について LCEA により評価した結果を、それらのライフサイクル全体での単位面積当たり消費エクセルギーとして図 1 に示す。ライフサイクルでは亜鉛めっき鋼板の方が、消費エクセルギーが小さくなり、この防食技術には、エクセルギー消費の削減効果が認められた。ライフサイクルの各段階に着目すると、溶融亜鉛めっき鋼板、冷間圧延鋼板ともに、素材生産までほとんどのエクセルギーを消費していることが分かった。使用段階では、亜鉛めっきによってエクセルギー消費はほとんど回避できていることがわかった。廃棄物処理段階において、使用済み素材が回収されない場合、素材が環境へ散逸したのと同様と考え、そのエクセルギーの損失を評価した結果も併せて図 1 に点線で示した。この場合、防食により腐食が回避された母材が散逸したのと同じになるため、防食機構による効果は評価できなかった。また、使用済み素材から亜鉛が回収されない場合のエクセルギー損失は、約 21 kJ/m^2 であり、結果にほとんど影響をあたえなかった。

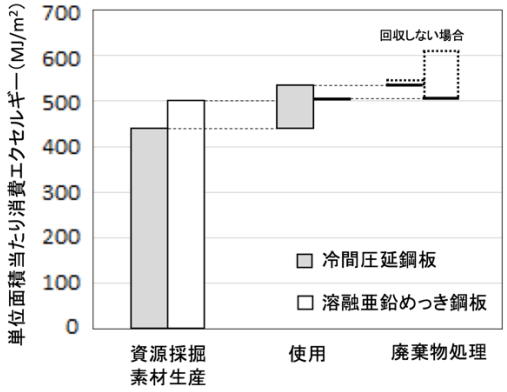


図 1 ライフサイクル段階ごとの単位面積あたり消費エクセルギー

溶融亜鉛めっき鋼板の生産までについて、エクセルギー消費の内訳を図 2 に示した。なお、粗鋼生産と亜鉛生産は C to G（cradle to gate）とし、その他のプロセスは G to G（gate to gate）である。めっき加工に関わるプロセスでは、塗布される亜鉛の生産よりも、その処理において、エクセルギーの消費が大きかった。

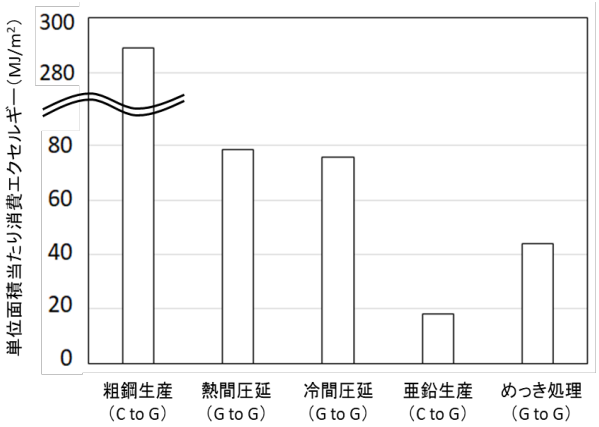


図 2 溶融亜鉛めっき鋼板の生産までの消費エクセルギー内訳

4.　結言

本研究では、鉄鋼材の防食機能量を、ライフサイクルにおいてエクセルギー基準で評価する LCEA 手法を構築した。生産プロセスやリサイクルを含みライフサイクルを通して評価ができた。溶融亜鉛めっき鋼板と冷間圧延鋼板について評価し比較することで、亜鉛めっきによる防食の効果量が定量できた。本手法は、さまざまな評価対象に応用できるものと考えられ、より一般的な手法の確立が望まれる。

5. 引用文献

1)　腐食コスト調査委員会,”わが国の腐食コスト”, 材料と環境, 50, (2001), pp.490-512.

2)　吾妻優美, 醍醐市朗, 後藤芳一: ”日本鉄鋼協会第 172 回秋季 講演大会要旨集”, 大阪, (2016), PS-12

3)　Roberto Schaeffer, Robert M Wirtshafter: Energy, Vol.17, (1992), pp.841-855

4)　David R. Morris, Jan Szargut: Energy, Vol.11, (1986), pp.733-755

5)　LCI データベース IDEA version 2.0 国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会と LCA 研究グループ 一般社団法人 産業環境管理協会

6)　国土開発技術研究センター建築物耐久性向上技術普及委員会編, “鉄骨造建築物の耐久性向上技術”, 技法堂, 東京, (1986), pp.75-90.

C1-20,P2-049　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

製造業分野におけるリン資源利用の環境効率評価

Evaluation of eco-efficiency of phosphorus resource use in manufacturing sector

○野木茜*[1)]、Sebastien Dente[1)]、橋本征二[1)]
Akane Nogi, Sebastien Dente, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0031re@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

「環境効率」指標は、企業等が提供する製品・サービスをその環境影響と対比させて評価する指標であるが、資源枯渇が叫ばれる中、様々な資源がそのライフサイクルを通じてどのような効率で利用されているか、すなわち、資源に着目した環境効率の評価も合わせて重要になると考えられる。

本研究は、資源(物質)の環境効率を評価することを試みたものである。具体的には、リン資源を対象として、①それが提供するサービス(付加価値)の定量化を行うとともに、②そのライフサイクルでの環境影響を算定し、③リン資源利用の環境効率を評価した。

我が国に投入されたリン資源の利用先は、農業分野で7割程度、製造業分野で3割程度と報告されている[1)]。前報[2)]では前者について検討を行ったが、リン資源全体の環境効率を評価するためには、後者についても検討する必要があり、本研究ではこれを行った。

2. 方法

2.1 環境効率指標の設定と対象リン資源

リン資源がそのライフサイクルで提供するサービス(付加価値)(円/ton-P)を分子に、その環境影響(円/ton-P)を分母にとり、本研究の環境効率指標とした(式1)。

$$\text{環境効率} = \frac{\text{対象リン資源が提供するサービス}}{\text{対象リン資源の環境影響}} \quad (1)$$

また、本研究では、生産量(出荷量)および生産額(出荷額)のデータが入手可能であり、MiLCA[3)]で試算が可能な11種のリン化合物を対象とした。

2.2 サービス(付加価値)の定量化

対象リン資源が提供するサービス(付加価値)(円/ton-P)を上流側・下流側に分けて定量化し、その合計をリン資源のサービス(付加価値) (円)とした(式2)。

$$TVA = \sum_i \{(VA_{i\,u-up} + VA_{i\,u-down}) \times P_i\} \quad (2)$$

ここで、i：対象リン資源(リン化合物)、TVA：対象リン資源全体のサービス(付加価値) (円)、$VA_{u\text{-}up}$：対象リン資源の上流側で提供されるリン 1 単位あたりサービス(付加価値) (円/ton-P 含有量) 、$VA_{u\text{-}down}$：対象リン資源の下流側で提供されるリン 1 単位あたりサービス(付加価値) (円/ton-P 含有量)、P：対象リン資源の生産量(出荷量)[4)](ton-P 含有量)である。

表１　対象リン資源の投入先製品と該当する産業部門

投入先製品[4)]	該当産業部門[6)]
金属表面処理剤（ウェットエッチング剤を含む)	その他の金属製品および半導体素子
各種リン酸塩	その他の無機化学工業製品
医薬品	医薬品
難燃性付与剤	その他の繊維工業製品
食品添加物	その他の食料品
繊維帯電防止剤	界面活性剤
農薬品	農薬
可塑剤	可塑剤
安定剤	その他の有機化学工業製品
ボイラ清缶剤	ボイラ

(1) 上流側のサービス(付加価値)の定量化

対象リン資源の上流側で提供されるサービス(付加価値)は、リン化合物の価格を用いた(式3)。

$$VA_{i\,u-up} = V_i \quad (3)$$

ここで、V：対象リン資源の単体価格[5)] (円/ton-P 含有量)である。

(2) 下流側のサービス(付加価値)の定量化

対象リン資源の下流側で提供されるサービス(付加価値)は、対象リン資源が投入された製品の産業部門(表 1)で発生する粗付加価値額の一部を、投入された対象リン資源に割り当てた(式4)(式5)。

$$VA_{i\,u-down} = \sum_j \left(\frac{IVA_j \times a_{ij}}{P_{ij}}\right) \quad (4)$$

$$a_{ij} = \frac{IV_{ij}}{DP_j} = \frac{V_i \times P_{ij}}{DP_j} \quad (5)$$

ここで、j：対象リン資源が投入される製品の産業部門、IVA：対象リン資源が投入される製品の産業部門における粗付加価値額[6)] (円)、a：投入比率係数、IV：対象リン資源が投入される製品の産業部門への対象リン資源投入金額 (円)、DP：対象リン資源が投入される製品の産業部門における総国内生産額[6)] (円)である。

なお、金属表面処理については、表1のとおり2部門が該当するため2部門の粗付加価値額、総国内生産額を合計して用いた。また、推計に用いた生産量データ[4)]は、日本無機薬品協会の会員企業のみを対象としているため、我が国での実際の生産量よりも少なく計上されていることに留意する必要がある。

2.3 環境影響の算定

リン資源の原料となるリン鉱石は、我が国では全量輸入している [1]。対象リン資源の環境影響は、①リン鉱石の国外生産、②リン鉱石の輸送、③リン化合物の国内製造、④使用済みリン化合物の廃棄、といった簡易なプロセスを設定し、MiLCA を用いて算定した。なお、MiLCA 内の製品製造データは、「リン酸 85%」「リン酸ナトリウム」しかないため、該当製品がないリン化合物に関しては「リン酸ナトリウム」の製造データを用いて環境影響を算定した。また、廃棄段階については、簡易な仮定として、対象リン資源が投入された各製品(表 1)が使用された後、農薬は一部が河川へ流出し、その他の製品は焼却処理されるとした。前者については、農薬の河川流出率(=2.45%)[7]を用いて河川へのリン流出量を算出し、これを全リン(水圏)への入力としてその環境影響を算出した。後者については、焼却灰へのリン移行率(= 84%)[8]、排ガス(大気降下物)・排水へのリン移行率(= 16%)[8]を用いてそれぞれのリン量を算出し、これを産業廃棄物(埋立)または全リン(水圏)への入力としてその環境影響を算出した。

3. 結果と考察

3.1 サービス（付加価値）の定量化の結果対象リン資源が提供するサービス(付加価値)を定量化した結果が図 1 である。対象リン資源の中では、リン酸(工業用)のサービス(付加価値)が大きな割合を占める結果となった。また対象期間において、リン資源全体の生産量が減少したことから、2000～2005 年度ではそのサービス(付加価値)も大きく減少した。一方、2005～2010 年度ではわずかに増加したが、これは対象期間における生産量の減少率より、リン 1 単位当たりのサービス(付加価値)の増加率が大きかったためと考えられる。

3.2 環境影響の算定の結果

対象リン資源の環境影響を算定した結果が図 2 である。対象期間においてリン資源全体の生産量が減少したために、その環境影響も減少傾向となった。なお、対象リン資源は、主に気候変動、廃棄物といった領域において大きな影響を与える結果となった。

3.3 リン資源利用の環境効率の評価の結果

対象リン資源利用の環境効率を算定した結果が図 3 である。対象リン資源のリン 1 単位あたりの環境影響が対象期間内で変わらない条件では、対象リン資源のリン 1 単位あたりのサービス(付加価値)及び対象リン資源の生産量の変化が結果に影響することとなる。図 3 から分かるとおり、対象リン資源利用の環境効率は 2010 年において最も高い結果となった。これは、対象リン資源全体の生産量が減少し、その環境影響が減少したにも関わらず、サービス(付加価値)が増加したことによるが、このような環境効率の推移の要因に関する定量的な評価は、学会当日に報告する。

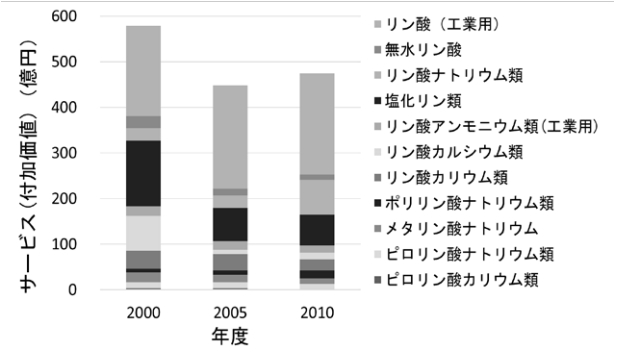


図１　対象リン資源全体のサービス(億円)

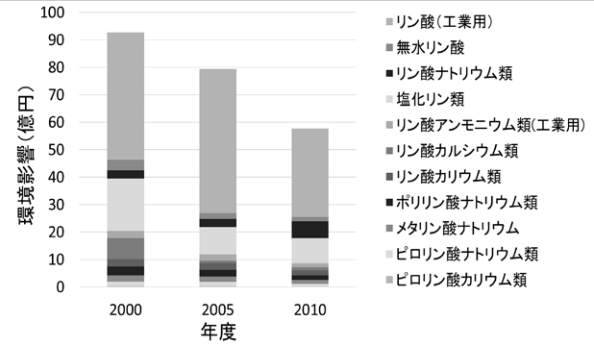


図２　対象リン資源全体の環境影響(億円)

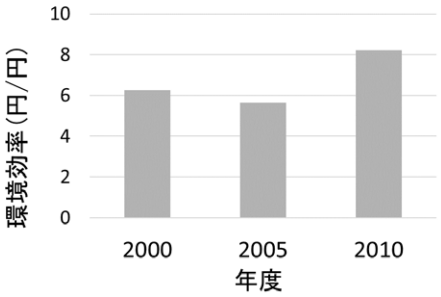


図３　対象リン資源の環境効率(円/円)

謝辞：本研究は、第Ⅲ期環境経済の政策研究による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 松八重一代ほか：未利用リン資源の有効活用に向けたリン資源循環モデル開発、平成 24 年度 環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書、2013
2) 野木茜ほか：リンの施肥による増収効果に着目したリン資源の環境効率評価、第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.146-147、2017
3) 産業環境管理協会：MiLCA ガイドブック(2014 年 10 月 9 日版)、2014
4) 日本無機薬品協会編：無機薬品の実績と見通し 平成 13-15、21-23 年度版、日本無機薬品協会、2001-2003、2009-2011
5) 化学工業日報社編：13901、14906、15911 の化学商品、化学工業日報社、2001、2006、2011
6) 総務省：平成 12-17-23 年接続産業連関表、2016
7) 尾崎邦雄ほか：水田に空中散布された殺虫剤の水系への流出、環境化学、1(2)、pp.313-318、1991
8) 伊原恒己ほか：下水汚泥集約処理場における窒素・リンの挙動とリン除去率改善の検討、第 44 回下水道研究発表会講演集、pp.877-879、2007

C1-21,P2-036　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

TMRの観点から優先的に回収すべき使用済み小型家電製品

Used small household appliances to be collected preferentially from the viewpoint of TMR

○丸橋拓矢[*1)]、橋本征二 [1)]
Takuya Maruhashi, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
[*]rv0032ke @ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

小型家電にはレアメタルなどの様々な金属が含まれている。これらの製品の中には、金属を高濃度に含むものがあり、適切な回収とリサイクルが求められている。この回収を促進するために 2013 年 4 月に施行されたのが使用済小型電子機器等の再資源化の促進に関する法律(以下、小型家電リサイクル法)である。小型家電リサイクル法は、それまで対象とされていなかった小型家電を対象にリサイクルを促進する法律であり、資源性と分別のしやすさから特にリサイクルすべき品目として特定対象品目が指定されている。しかしながら、これらの回収は各自治体の裁量に任されており、対象品目も自治体により異なっている。

本研究では、使用済み小型家電製品を回収するにあたり、環境面を考慮して優先的に回収すべき製品を明らかにすることを目的として、小型家電製品に含まれる金属量に基づいてその TMR（Total Material Requirement）を推計するとともに、推計した TMR が高い小型家電製品について要因となる金属、当該製品の潜在廃棄量との関係等を分析した。

2.　方法

2.1　小型家電製品の TMR の推計

小型家電製品の TMR は下式により推計した。

$$F_X = \Sigma K_i \times M_{Xi}$$

ここで、F_X は家電製品 X の製造に関わる TMR[t]、K_i は金属 i の TMR 原単位[t/metal-t]、Mxi は家電製品 X の金属 i の含有量[t]である。TMR 原単位には原田ら [1)]、小型家電製品の金属含有量には環境省 [2)]を用いた。

対象とした金属は、原田ら [1)]と環境省 [2)]を照合した上で、両方にデータのある 60 種類とした。対象小型家電製品は、環境省 [2)]で金属含有量データがある製品 44 品目である。

2.2　優先的に回収すべき小型家電製品と金属

小型家電製品の 1 台あたりの TMR や重量あたりの TMR、TMR が高い製品についてはその TMR に占める各金属の TMR の割合、さらに、小型家電製品の潜在廃棄量や TMR 総量に占める各製品の割合等を検討し、優先的に回収すべき小型家電製品と金属について検討した。

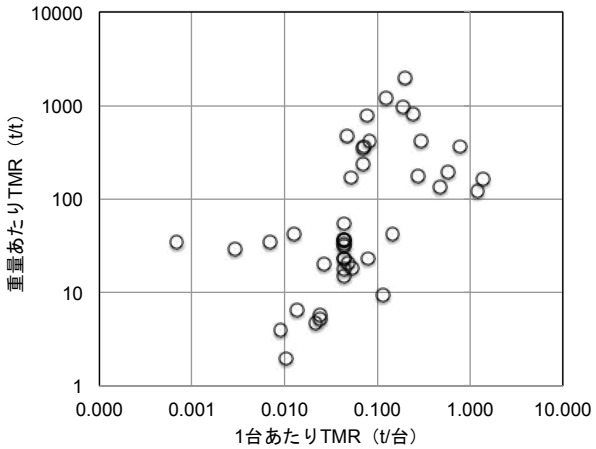


図 1　小型家電製品の 1 台あたり TMR と重量あたり TMR

3.　結果と考察

3.1　小型家電製品のTMRの推計結果

小型家電製品の1台あたりのTMRと重量あたりのTMRを図1に示す。1台あたりのTMRが大きかったのは、PC(デスクトップ型)、ステレオセット、PC(ラップトップ型)、据置型ゲーム機、DVDビデオ等、重量あたりのTMRが大きかったのは、携帯電話、公衆用PHS端末、ビデオカメラ、MDプレーヤ、デジタルカメラ等であった。潜在的には図1の右上に位置するような小型家電製品がTMRの観点から優先的に回収すべき対象になると考えられる。

3.2　優先的に回収すべき小型家電製品と金属

1台あたりのTMRもしくは重量あたりのTMRが大きかったそれぞれ5製品について、各製品のTMRに占める各金属のTMRの割合を図2に示す。これらの小型家電製品については、いずれも3～4種類の金属でその製品のTMRの8～9割近くを占めていることがわかる。小型家電製品には様々な金属が含まれているが、金、銀、パラジウムなどの影響が非常に大きく、TMRの観点からはこれらの金属を適切に回収・リサイクルすることが重要と考えられる。ベースメタルでは銅も一定の比率があり、重要な金属といえる。

小型家電製品1tあたりのTMRと2011年の潜在廃棄量[2)]を図3に示す。重量あたりのTMRが大きい上述の5製品は、いずれも1万トン以下の排出量であり、1台あたりのTMRが大きい上述の5製品は1万トンから4万トンの潜在廃棄

量であった。TMRの観点からは図3の右上に位置するような小型家電製品が優先的に回収すべき対象となるが、重量あたりのTMRが大きい5製品の中には、潜在廃棄量の少ないもの(順に、MDプレーヤ、公衆用PHS端末、ビデオカメラ)が含まれている。

図 4 は 2011 年の潜在廃棄量[2]をもとにした使用済み小型家電製品の TMR 総量のうち、これら 10 品目の割合を示したものであるが、潜在廃棄量の少ない上述の 3 製品(MD プレーヤ、公衆用 PHS 端末、ビデオカメラ)については、その割合も小さいことが分かる。逆に、これを除く 7 製品で TMR 総量の約 7 割を占めており、これら 7 製品は TMR の観点から優先的に回収すべき小型家電製品であるといえる。

このほか、図 3 において重量あたりの TMR が 100t/t 以上、2011 年の潜在廃棄量が 1000t 以上に位置する電話機、カーナビゲーションシステム、携帯型ゲーム機等も優先的に回収すべき製品と考えられる。

以上 10 製品は、いずれも環境省・経済産業省が指定する特定対象製品に含まれており、TMR の観点からも適正な選定がなされていると判断される。

家電製品からの金属のリサイクルに関して、山末ら[3]、南埜ら[4]は、使用済み家電製品を都市鉱石として考えた場合、金、銀、銅については概ね自然鉱石の 1/100 程度の TMR になると推計している。このように、TMR の高い金属をリサイクルすることによって削減できる TMR がより大きくなる小型家電製品も優先的に回収すべき製品と考えられるが、こうした検討については今後の課題とする。

謝辞：本研究は、文部科学省科学研究費補助金（26281056）による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 原田幸明、井島清、片桐望、大倉隆彦：金属の関与物質総量の概算、日本金属学会誌、6(7)、pp.564-570、2001
2) 環境省 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済み製品中の有用金属の再生に関する小委員会：第 5 回資料 2、参考資料別紙、2011、http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0324-03/mat02-a.pdf、2017 年 11 月アクセス
3) 山末英嗣、南埜良太、醍醐市朗、奥村英之、石原慶一：使用済み家電製品からの素材リサイクルに伴う関与物質総量(都市鉱石 TMR)の推算と評価、日本金属学会誌、74(12)、pp.811－819、2010
4) 南埜良太、山末英嗣、中島謙一、村上進亮、奥村英之、石原慶一：ノートパソコンおよび携帯電話からの金属およびプラスチックリサイクルに必要な TMR (都市鉱石 TMR) の算出と評価、日本 LCA 学会誌、6(3)、pp. 251-258、2010

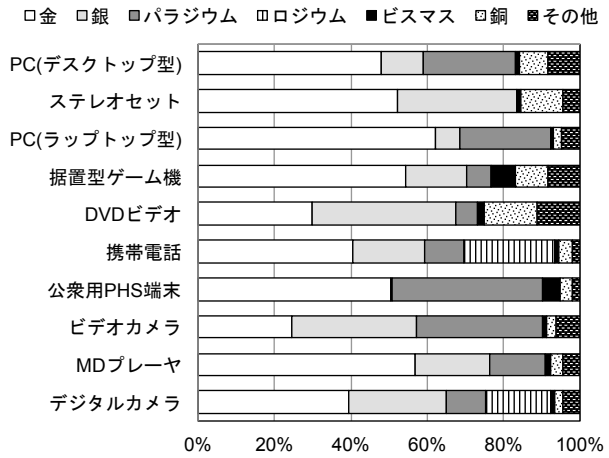


図2　小型家電製品の TMR に占める各金属の TMR の割合

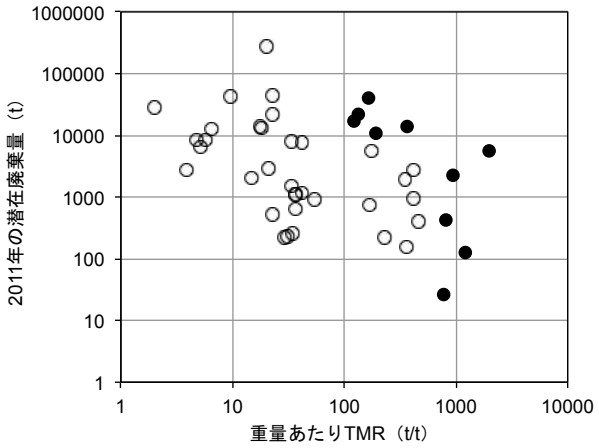


図3　重量あたりTMRと2011年の潜在廃棄量

※図 2 の 10 品目を●で示す

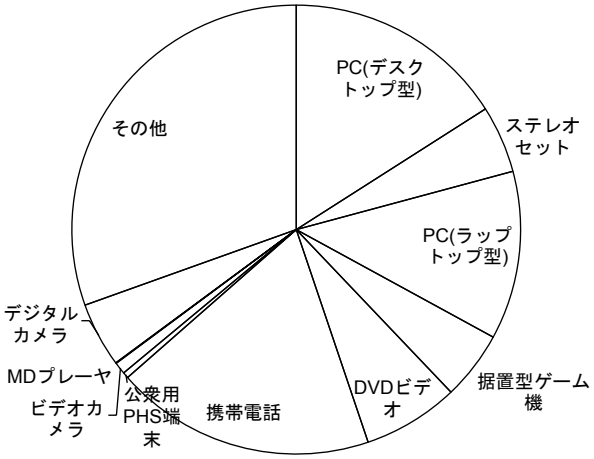


図4　使用済み小型家電製品のTMR総量(2011年)の占める各製品の割合

C1-22,P2-078　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

自動車の技術変化と素材に着目した関与物質総量の分析

TMR analysis for automobile technological change.

○松井健裕*[1)]、小柳津顕[2)]、山末英嗣[2)]、松八重一代[1)]、長坂徹也[1)]

Kenyu Matsui, Akira oyaizu, Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Tetsuya Nagasaka

1) 東北大学, 2) 立命館大学

* kenyu.matsui.r3@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

自動車産業は世界中に巨大な完成車メーカーが多数存在し、数多くのサプライヤーを抱える大きな影響力を持つ産業である[1)]。2015 年では世界全体で約 8500 万台[2)]の自動車が生産され、今後さらに多く生産されると予測されている[3)]。また、日本では 2015 年度に 900 万台が生産され、自動車輸出額は 12 兆 561 億円であり、日本の総輸出額の 16.3%[4)]を占める重要な基幹産業である。

近年、ハイブリット車や燃料電池自動車、電気自動車といった次世代型自動車が製造されはじめ、販売台数は増加していくと考えられる。また、このような次世代型自動車では従来のガソリン車では搭載されなかった、モーターや燃料電池等といった様々な部品が必要となるため、自動車産業における資源需要構造は変化する可能性が高い。

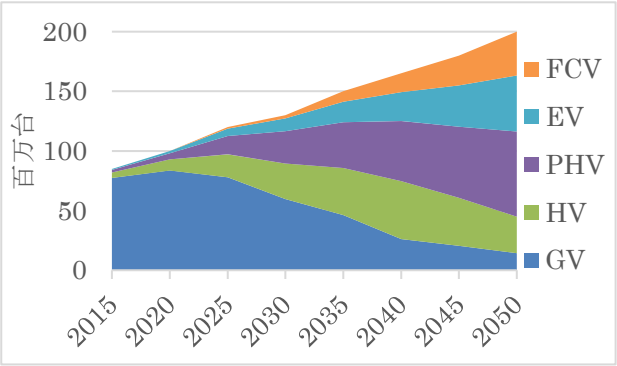


図 1　世界全体における自動車販売台数予測[3)]

2. 目的

EV(電気自動車)や HV(ハイブリッド車)、FCV(燃料電池自動車)といった各種の次世代型自動車は一般的に走行時の CO_2 排出量が GV(ガソリン車)よりも少ないとされている[5)]。しかしながら、次世代型自動車には Cu や Li、Pt 等の希少資源が多く必要とされる問題点もある。これらの資源は鉱石中に微量しか含まれていないことに起因する土地改変量の大きさ等の採掘・精錬段階における環境負荷が大きい[6)]。製造段階における自動車の環境負荷を環境に対する改変量の観点から検討する為に本研究では各種自動車の製造時における TMR(Total Materials Requirement)を評価すると同時に、世界全体及び地域別の自動車販売台数から算出した自動車製造に伴う TMR の総量を推計する。TMR は工業製品を製造する際に必要物質の採取・採掘に関与した物質の総量を重量単位で示す指標であり、自然の改変量として環境影響ポテンシャルを定量的に把握するための有力な指標である。

3. 手法

本研究では乗用車一台当たりの TMR の計算をするにあたり次の手順で行った。まず、GV、EV、HV、FCV 一台あたりの構成材料を各金属元素、樹脂、その他に分類する[6)7)8)9)]。次に資料[10)]を用いて推計した各素材の重量と素材の TMR 係数を足し合わせることにより TMR を算出した。

4.　結果

本研究における結果を図 2 として示す。GV 一台当たりの TMR はおよそ 24t と推計される。一方で、次世代型自動車は総じて GV の倍以上の値となり、EV では 71t とおよそ 3 倍の値となる事が分かった。この主な要因としては Cu や Li、Pt 等の使用量が増大する事が挙げられる。これらの元素は鉱石中含有量が非常に低いことに起因して TMR 係数が比較的大きい。また、EV の TMR71t の内 Li イオンバッテリーに使用される Cu や Li、Ni はおよそ半分を占める。FCV では燃料電池に使用される Pt の割合が 30%以上を占める。

図 3 には世界全体で販売される自動車の台数と推計した自動車一台あたりの TMR から算出される TMR の総量を示す。2015 年と比較して 2050 年ではおよそ 7 倍の値になると考えられる。

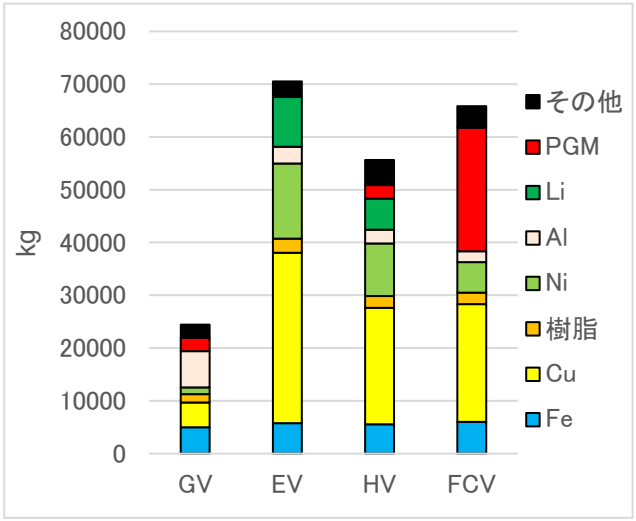


図 2　各自動車一台あたりの TMR

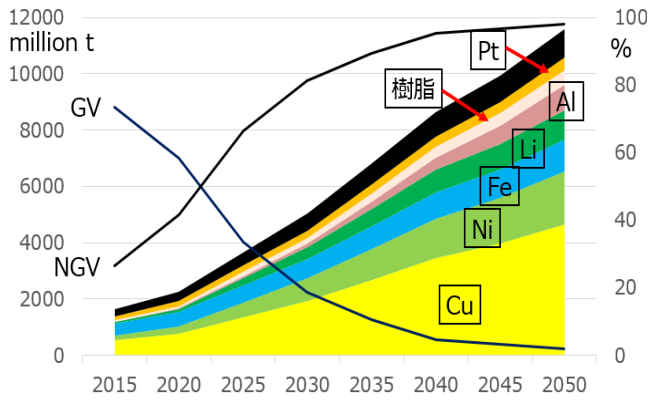


図 3　世界全体の自動車生産による TMR 総量

5.　参考文献

1)　“我が国自動車産業の取引構造に関する調査”，帝国データバンク，（オンライン），入手先 <http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2014fy/E003915.pdf>，（参照 2017-1-4）

2)　“世界各国/地域の四輪車生産台数”，日本自動車工業会，（オンライン），入手先 <http://www.jama.or.jp/world/world/world_t2.html>，（参照 2016-12-16）

3)　“Energy Technology Perspectives 2012 - how to secure a clean energy future”，IEA，（オンライン），入手先 < http://www.iea.org/etp/publications/etp2012/ >，（参照 2017-9-21）

4)　“対世界主要輸出品の推移(年間ベース)”，財務省，（オンライン），入手先 < http://www.customs.go.jp/toukei/suii/html/data/fy6_1.pdf>，（参照 2016-12-16）

5)　財団法人　日本自動車研究所：“総合効率と GHG 排出の分析”，(2011)

6)　Kudoh Y., Nansai K., Kondo Y., Tahara K: The 23rd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exposition, (2007)

7)　山末英嗣，松八重一代，中島謙一，醍醐市朗，石原慶一：鉄と鋼，(2014), pp.778-787

8)　馬場洋三：2010.9 金属資源レポート，(2010), pp.261-270

9)　独立行政法人　物質・材料研究機構：“我国における自動車用白金族金属触媒のリサイクル動向”，(2004)

10)　独立行政法人　物質･材料研究機構：“概説　資源端重量”，(2009)

D1-19,P2-090　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

公開統計情報に基づく高断熱住宅普及と冬季死亡者の関係の分析

Analysis of Relationship Between Proportion of Well-Insulated Homes and Winter Mortality Based on Statistical Information

○石戸拓朗*[1)]、伊香賀俊治[1)]、川久保俊[2)]

Takuro Ishito, Toshiharu Ikaga, Shun Kawakubo

1）慶應義塾大学, 2）法政大学

* ishito@z3.keio.jp

1. はじめに

国際的に冬季の死亡者増加が問題視されている[文 1)]。冬の寒さによって、住民の血管内に血栓が形成されやすくなり循環器系の疾患にかかるリスクが高まる。我が国においても、羽山ら[文 2)]によって冬季に死亡者が増加する傾向が示されている。冬の寒さが厳しい北海道・東北地方だけでなく、関東以南の地域においても同様の傾向が確認されている。対策として住民が暮らす環境を温暖に保つことが重要である。室内の環境を温暖に保つためには暖房を使用するだけでなく、窓や壁の断熱性能が優れた高断熱住宅で生活することが有効である。しかし、国内において高断熱住宅普及が進んでいない地域も見られる。本研究では高断熱住宅普及と冬季死亡者増加の関係を分析することで、高断熱住宅によって冬季死亡者の増加が抑制される可能性を示す。

2. 研究方法・結果

2.1 指標の選定・収集と分析方法

本研究では、日本全国の高断熱住宅普及と冬季死亡者増加に関する都道府県別の指標を用いる。指標のデータ収集には、政府が公開している統計情報を用いる。

全国の高断熱住宅普及状況に関するデータは、総務省統計局が公開する住宅・土地統計調査[文 3)]を用いる。全住宅のなかで、2 重サッシまたは複層ガラスがある住宅の割合を収集し、「高断熱住宅普及率」と定義する。2013 年 10 月に調査されたデータを用いて、高断熱住宅普及率を都道府県別に算出する。

また、全国の冬季死亡者増加に関するデータは、厚生労働省が公開する人口動態調査[文 4)]を基に各月の死亡者数を収集し「冬季死亡者増加率」を算出する。同指標は既往研究[文 5)]に基づき式 1 のように定義する。

冬季死亡者増加率 [%]

=(冬季の 1 日平均死亡者/冬季以外の 1 日平均死亡者-1)×100 …(1)

※ 冬季は、12 月ならびに翌年の 1-3 月を指す。冬季以外は、12 月より前の 4 ヶ月（8 月-11 月）と 3 月より後の 4 ヶ月（4-7 月）を指す。

3 年間（2014 年 8 月から 2017 年 7 月）の各月の死亡者を都道府県別に収集し、全死因ならびに循環器系の疾患に関する冬季死亡者増加率を算出する。

高断熱住宅普及率と冬季死亡者増加率の全国分布を示し、両者の関係を単回帰分析によって定量化する。

2.2 高断熱住宅普及率の全国的な傾向

図 1 に都道府県別の高断熱住宅普及率を示す。北部の寒冷な地域では温暖な地域よりも普及が進んでいることがわかる。寒冷な地域では断熱に対する居住者の意識が高いこと[文 6)]が影響していることが考えられる。

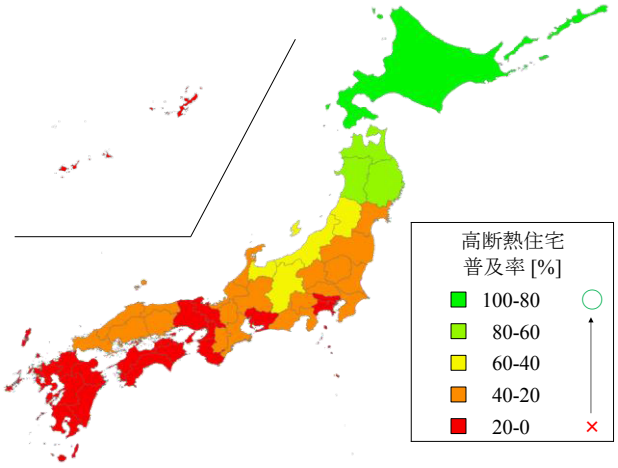


図 1　高断熱住宅普及率の全国分布

2.3 冬季死亡者増加率の全国的な傾向

冬季死亡者増加率を算出する前段として、我が国の各月の死亡者の推移を把握する。図 2 に各月の死亡者の推移を示す。夏季と比べて冬季に死亡者が増加する傾向は明らかである。1 月に死亡者が最も多くなり、最も死亡者が少なくなる 6 月と比べて、死亡者が 34%（全死因）、56%（循環器系の疾患）増えている。

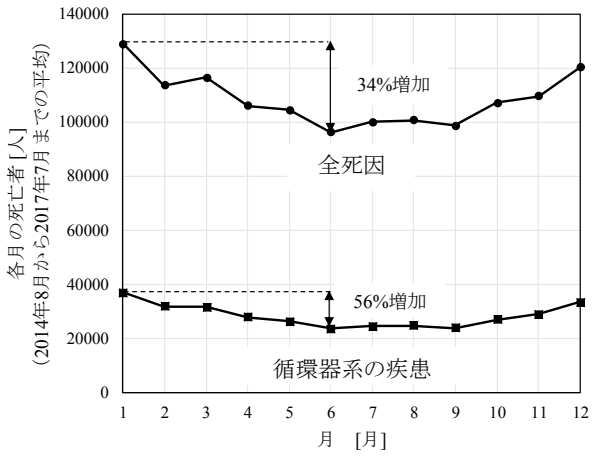


図 2　日本全国の各月の死亡者推移

図 3 に全死因ならびに循環器系の疾患による冬季死亡者増加率を都道府県別に示す。北海道をはじめとして、日本海側の自治体において冬季死亡者増加率が低い傾向がわかる。また、それらの地域と同等に沖縄県の冬季死亡者増加率が低いこともわかる。2 種類の全国分布の色区分は類似しており、全死因の冬季死亡者増加率の傾向は、循環器系の疾患による冬季死亡者増加率の傾向を反映していることがわかる。

2.4 高断熱住宅普及率と冬季死亡者増加率の関係

単回帰分析[注1)]により図 1・3 に示した都道府県別の高断熱住宅普及率と冬季死亡者増加率の関係を考察する。高断熱住宅普及率と全死因の冬季死亡者増加率の関係を図 4 に、循環器系の疾患の冬季死亡者増加率との関係を図 5 に示す。各プロットは都道府県別の値を示している。図 4・5 ともに高断熱住宅普及率が高い自治体では、冬季死亡者増加率が低くなる傾向が読み取れる。高断熱住宅普及が進んでいる自治体では、住宅内の冬季室温が比較的温暖に保たれているため、冬季死亡者の増加が抑制されている可能性が示唆される。

また、図 4・5 の各プロットの色は、各都道府県の該当する省エネルギー基準の地域区分を示している。当地域区分では、1 地域の外気温が最も低く、数が大きくなるほど外気温が高い地域であることを示している。1-4 地域の外気温が低い自治体は冬季死亡者増加率が低く、5-7 地域の外気温が高い自治体では冬季死亡者増加率が高い傾向がわかる。8 地域（沖縄県）の例外は認められるものも、日本全国の自治体では、外気温の暖かさが冬季死亡者増加の抑制に寄与しない可能性が示唆される。

3. まとめ

高断熱住宅普及と冬季死亡者増加の関係を単回帰分析によって明らかにした。高断熱住宅の普及が比較的進んでいる自治体では、冬季の室温が比較的温暖に保たれ、冬季の死亡者増加が抑制される可能性を示した。

課題として、冬季室温と冬季死亡者増加の関係をより厳密に示すために、全国の住宅における冬季室温データの収集や住民の経済状況・食習慣などの健康状態に関係する要因を考慮した包括的な検討が必要である。

注釈

1）最小二乗法に基づき、線形回帰式を導出した。

参考文献

1）Keatinge, WR. et al.：Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe, The Lancet, 1997

2）羽山広文ら：気象条件・死亡場所が死亡原因に与える影響，厚生の指標, 58(13), 1-6, 2011.11

3）総務省統計局：住宅・土地統計調査, 2013

4）厚生労働省：人口動態調査, 2014.4~2017.3

5）Office for National Statistics：Excess Winter Mortality in England and Wales : 2014/15 (Provisional) and 2013/14 (Final), 2015

6）国土交通省住宅局：住生活総合調査, 2013

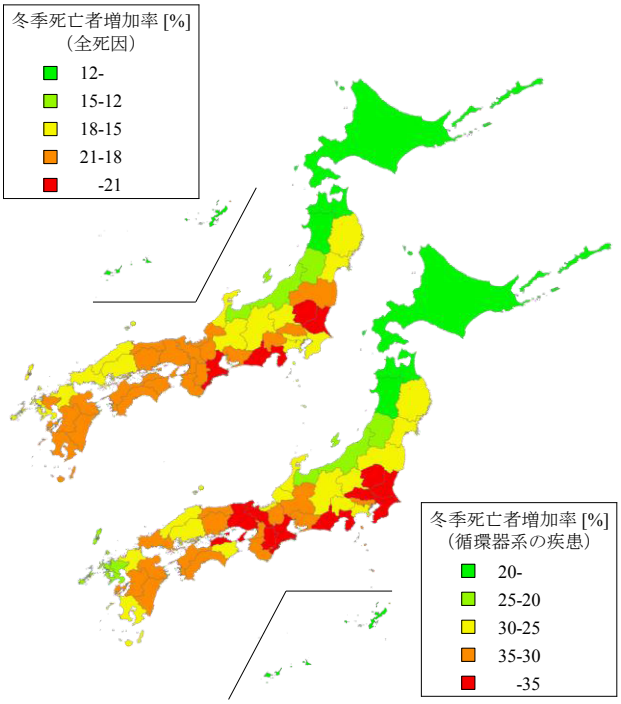


図 3　冬季死亡者増加率の全国分布
（左上：全死因　右下：循環器系の疾患）

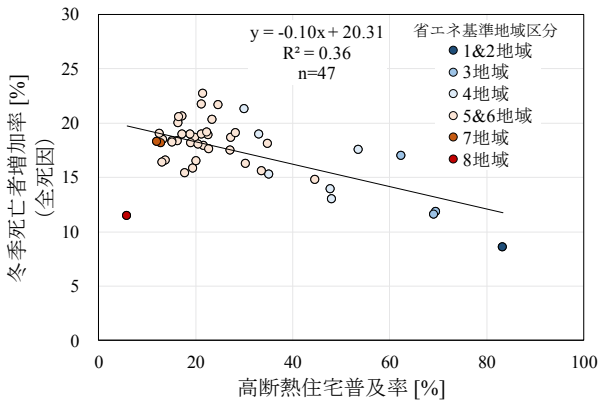


図 4　高断熱住宅普及と冬季死亡者増加の関係
（全死因）

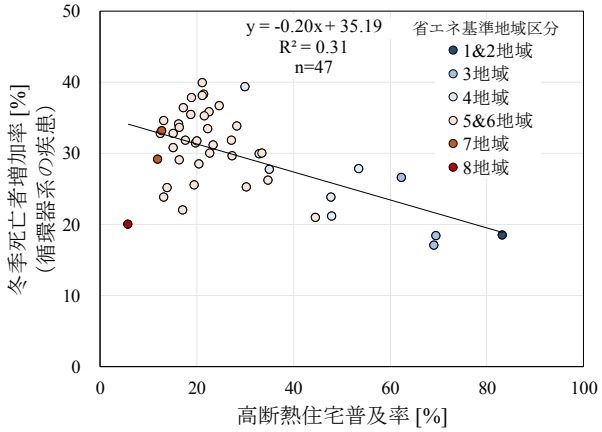


図 5　高断熱住宅普及との冬季死亡者増加の関係
（循環器系の疾患）

D1-20,P2-047　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

2050 年 CO_2 削減目標に向けた断熱材料選択のための評価手法

A model for insulation material selection toward CO_2 reduction target 2050

○山口彰太*[1)]、醍醐市朗 [1)] 、榎学 [1)]
Shota Yamaguchi, Ichiro Daigo, Manabu Enoki
1) 東京大学
* yamaguchi@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

日本は 2050 年までに、2005 年と比較し CO_2 排出量を 80%削減することを目標としている。CO_2 排出量の削減は、エネルギー供給側のエネルギー生産の低炭素化と、エネルギー需要側の省エネルギー対策の双方によって達成される。本研究では、エネルギー需要側の省エネルギー対策における材料分野からの貢献として断熱材に着目した。断熱材はその断熱効果により、建築物における冷暖房などのエネルギー消費を削減する役割を果たしている。断熱材の種類ごとのライフサイクルでの CO_2 排出量は評価されてきた [1)]が、CO_2 基準での評価は、2050 年時点での電力構成の変化の影響を受ける。さらに断熱材の原料が二次資源や副産物であることを考えると、社会全体での断熱材の需給の評価も重要になるが、今まで評価されてこなかった。そこで、本研究では、社会全体での断熱材の省エネルギー効果のポテンシャルを評価し、それが最大となる断熱材を選択する手法を構築することを目的とする。

2. 研究手法

2.1.材料選択モデルの構築

断熱材選択のための評価モデルの概念図を、図 1 に示した。断熱材は、ライフサイクル（life cycle: LC）でのエネルギー削減量が最も大きいものが使用されるべきである。一方で、断熱材のうちグラスウールやロックウールは、それぞれガラスカレット（使用済みガラス製品から回収された二次資源）と高炉スラグ（高炉操業からの副生成物）が原料となる。そのため、それら原料には、国内での供給量に制約がある。需要量が、国内供給量を超えた場合は、その原料を代替する天然資源や海外からの輸入等、LC での環境負荷が大きくなる可能性があるため、原料の供給制約についても考慮する必要がある。

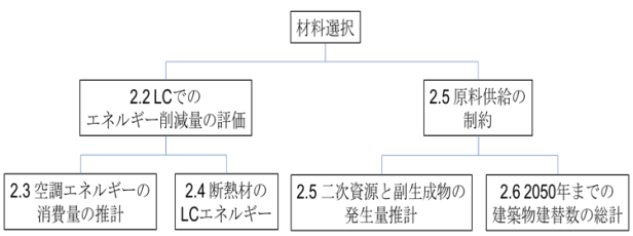


図 1 材料選択のための評価モデルの概念図

2.2. LC でのエネルギー削減量の評価

本研究では、他の断熱材よりもライフサイクルでの CO_2 排出量の面で優れる [1)]ロックウール、グラスウールを評価対象とした。また、断熱材の使用用途は、戸建住宅と集合住宅それぞれを評価の対象とした。断熱材の使用は、使用段階においてエネルギー消費量を削減する一方で、資源採取、生産、廃棄段階において追加的にエネルギーを消費する。そこで、断熱材の資源採取、生産、使用、廃棄のライフサイクルを通したエネルギー消費量と、断熱材を使うことによる空調エネルギー消費の削減量から、断熱材ごと使用用途ごとに、住宅 1 戸あたりの削減量が最大となる断熱材の使用量ならびに削減量を同定した。

2.3.空調のエネルギー消費量の推計

断熱材の使用により、建物で空調に使われるエネルギーが削減される。空調エネルギーは、建物の断熱性能、冷暖房の使用基準、建物の所在地の気温条件から推計した [2)]。本研究では、戸建住宅と集合住宅のモデル住宅を設定し、断熱材使用量ごとに床・壁・天井の断熱性能を同定し、空調エネルギーの消費量を推計した。床・壁・天井それぞれに断熱材厚さを変えることができるが、3 か所への一般的な断熱材の使われ方 [3)]を基準に、その等倍の断熱材使用のみ可能と考えた。なお、集合住宅では、各戸の床と天井や戸境壁には断熱材は用いず、1 棟全体の床と天井、外壁のみに用いることとした。

冷暖房の使用基準は、デグリーデイの考え方を用いた。気温条件について、「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」に定められた 8 地域を、計算の単純化のために 4 地域に再編し、各地域の代表地点を設定し、その地点の気温データを用いた。

上記手法で 2014 年の住宅における空調エネルギー消費量を推計した結果、約 7.95 GJ となり、 エネルギー白書に報告された世帯当たり 8.58 GJ と同等であったため、構築した推計手法は妥当と考えられた。

2.4.断熱材の LC エネルギー消費量の評価

断熱材の生産、運搬、廃棄にかかる質量あたりのエネルギーは、インベントリデータ [4,5)]から取得した。

2.5.原料供給の制約

需要量は、毎年の断熱材需要量に、断熱材あたりの原料消費量を乗じた。断熱材の需要量は、2.2 から得られるエネルギー消費削減量が最大となる戸建住宅・集合住宅での断熱材使用量に、2.6 で後述する毎年の建替え戸数を乗じて推計された。

2.6.2050 年までの建築物の建替え数の推計

2050 年には、国内の人口は今よりも少なく、地域間でも人口移動が起こっていることが推測されている[6]。そこで、本研究では、2050 年の都道府県別人口と日本の平均世帯人数の予測値を用い、2050 年時点での評価対象各地域における世帯数を同定した。世帯数が住宅戸数となるとし、現在の戸建てと集合住宅の戸数の比率は 2050 年においても変わらないと想定し、2050 年の戸建住宅と集合住宅の戸数を推計した。戸建住宅と集合住宅の平均寿命を、それぞれ 38 年、43 年とし、2050 年の推計戸数の 1/38、1/43 の戸数が 2050 年まで毎年建て替えられると仮定した。着工時に最適な断熱材が導入されるものとし、断熱材需要量とした。実際には、2050 年まで徐々に戸数が減少すると考えられるため、本推計手法では、建替え戸数は少し過小評価されていることに留意されたい。

3. 研究と考察

戸建住宅に対するグラスウール使用量とエネルギー削減効果の関係を図 2 に示した。基準とした一般的な断熱材の使用量から、断熱材の使用を増加させていくと、エネルギーは大きく削減されることがわかる。一方で、断熱材の使用量が大きくなると、その効果は小さくなり、ある使用量で、追加的な断熱材の使用がエネルギー消費削減効果を得られなくなった。なお、集合住宅に対しても、またロックウールを使用した場合も、概ね同じ傾向が得られた。戸建住宅・集合住宅それぞれの、ロックウール・グラスウールそれぞれを用いた場合の 1 戸あたりの住宅ライフサイクルでのエネルギー削減効果について表 1 にまとめた。省エネルギー効果がより大きいのはグラスウールだとわかった。断熱材あたりの生産におけるエネルギー消費量はロックウールで約 11.9 GJ/t、グラスウールで約 12.0 GJ/t である一方、それらの密度がそれぞれ約 40 kg/m^3、16 kg/m^3 であるため、輸送にかかるエネルギーがグラスウールの方が小さいことが要因と考えられた。

図 2 には、ZEH（ネットゼロエミッションハウス）に相当する断熱材使用量も示した。床・壁・天井の断熱以外にも多くの取組みが複合しているため、本推計よりも効果が最大となる断熱材使用量は小さくなるものの、ZEH で想定される断熱材の使用量よりも多くの断熱材の使用により、さらにライフサイクルでの省エネが進むことがわかった。

社会全体では、全ての新規着工住宅にロックウールを使用すると、約 5270 万 t の使用で約 12.7×10^{18} J の省エネルギー効果が見込まれ、グラスウールの場合、約 4040 万 t の使用で約 13.2×10^{18} J の省エネルギー効果が見込まれることがわかった。このとき、原料となるガラスカレットが、未利用の廃ガラス瓶だけでは、供給できないことがわかった。一方で、全量をロックウールで供給することは可能であった。

4. 最後に

グラスウールが、省エネルギー効果の点でロックウールよりも優れることがわかったものの、社会全体では、原料のガラスカレットの供給不足の可能性が示唆された。2019 年から 2050 年までの 30 年間では、約 14×10^{18} J の省エネが可能と推計され、日本の最終エネルギー消費量約 1 年分の効果が見込まれた。本研究では住宅への断熱材使用を推計したが、オフィスビル等より広範な分野での断熱材の省エネルギー効果が考えられる。本モデルを応用し、それらについても評価することが望まれた。

5. 引用文献

1)横澤晃ら: 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, (2004), pp 1879-1882

2)気象庁 過去の地点気象データ< http://www.data. jma. go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>

3)建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律(2015)

4)LCI データベース IDEA ver. 2.0 国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会と LCA 研究グループ 一般社団法人産業環境管理協会

5)ecoinvent, ecoinvent ver.3 < http://www.ecoinvent.org>

6)国立社会保障・人口問題研究所　日本の地域別将来推計人口 <http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson 13/t-page.asp>

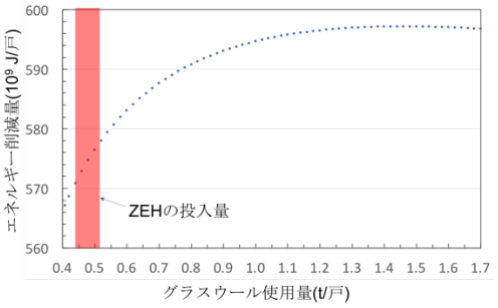


図 2 戸建住宅におけるグラスウール使用量とエネルギー削減量の関係

表 1　住宅ライフサイクルでのエネルギー削減効果

GJ/戸	ロックウール	グラスウール
戸建住宅	1327	1375
集合住宅	120	135

D1-21,P2-086　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

2050 年代のジャカルタにおける
エアコンの使用割合向上や高効率化による睡眠困難軽減効果のシナリオ分析

Scenario Analysis of Sleep Disturbance Reduction Effect by Increase in Use Rate and Efficiency of Air Conditioners in Jakarta of 2050s

〇桑山忠弘*[1)]、大棟俊[2)]、伊坪徳宏[2)]、山口和貴[3)]、岡田和樹[4)]、亀卦川幸浩[4)]、神田学[5)]
Alvin Christopher Galangc Varquez[5)]、Nisrina Setyo Darmanto[5)]、Prihadi Setyo Darmanto[6)]、井原智彦[1)]
Tadahiro Kuwayama, Shun Omune, Norihiro Itsubo, Kazuki, Yamaguchi, Kazuki Okada, Yukihiro Kikegawa, Manabu Kanda, Alvin Christopher Galangc Varquez, Nisrina Setyo Darmanto, Prihadi Setyo Darmanto, Tomohiko Ihara
1) 東京大学, 2) 東京都市大学, 3) 東京電力ホールディングス,
4) 明星大学, 5) 東京工業大学, 6) バンドン工科大学
* kuwayama-t@envsys.k.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

低緯度熱帯地域に位置する途上国の発展はめざましく、人口増加や都市化が急速に進み、今後も発展することが見込まれる。それに伴って、地球温暖化だけでなく都市域が周辺域より高温になるヒートアイランド現象が既に確認されており[1)]、今後都市域に生活する人々をとりまく暑熱環境はさらに悪化することが予想される。暑熱環境を改善する対策としてはエアコンの使用が考えられるが、性能や使用割合に応じて環境負荷が発生するため、暑熱環境改善効果と環境負荷発生量を統合的に評価する必要がある。

そこで本研究では、低緯度熱帯地域の途上国で最大の都市人口を誇るインドネシアの首都ジャカルタを対象に、適応策としてエアコンの使用割合向上、緩和策としてエアコンの性能向上を検討し、RCP・SSP シナリオに従い発展が進んだ 2050 年代におけるエアコンの環境負荷を考慮した暑熱健康影響軽減効果の統合評価を試みた。

2. 手法

2.1 都市キャノピー気象・ビルエネルギー連成モデル

気温および空調電力消費量の推計には都市キャノピー気象・ビルエネルギー連成モデル（CM-BEM）を使用する[2)]。都市キャノピー気象モデル（CM）は、上空気象条件と地表面被覆条件を設定し、都市キャノピー層の気象を計算する。ビルエネルギーモデル（BEM）は、建物の構造および建物内の使用機器、使用パターンを設定し、建物内部における熱負荷およびエネルギー消費量、排熱を計算する。これらを連成させることにより、排熱の増加とそれに伴う気温上昇、エネルギー消費量の増加を計算することができる。

2.2 暑熱健康影響の定量化

暑熱健康影響として、睡眠困難および疲労を評価する。エアコンの使用効果は疫学調査により井原ら[3)]の 22 時気温と睡眠困難罹患率の関係式および日最高気温と疲労罹患率の関係式を用いて評価する。それぞれの関係については図 S1、図 S2 に示す。定量評価には、障害調整生存年（DALY）および井原ら[4)]のヒートアイランド現象の環境影響評価の枠組みを用いる（DALY の式および変数の説明については SI を参照）。

2.3 エアコンの環境影響の定量化

エアコンの環境影響は、大棟ら[5)]の統合化結果のうち、部品製造、流通、廃棄・リサイクルの各段階の結果と CM-BEM で計算した空調電力消費量をもとに推計した使用段階の結果を組み合わせることにより定量評価する。使用段階の推計はインベントリデータとして IDEA v1.1 を、統合化手法には LIME3 を用いる。

3. 計算条件とシナリオ

3.1 CM-BEM の計算条件

評価対象地域はジャカルタ都市圏全域とし、1.2 km ×1.2 km のメッシュ（街区）に分割して評価する。街区内の建物は、業務ビル、集合住宅、戸建住宅のいずれかである（評価対象領域の詳細については SI を参照）。CM の上空気象条件には、東京工業大学神田研究室による The Weather Research and Forecasting Model（WRF）の計算結果を使用し、地表面被覆条件には岡田[6)]が作成したものを加工して使用する。BEM の建物構造パラメータはバンドン工科大学 Darmanto 研究室の協力により入手したインドネシアの代表的な建物構造データより作成し、空調機器パラメータはダイキン工業株式会社の協力により入手したインドネシアで販売されているエアコンの性能をもとに作成した（エアコンの性能の詳細については SI を参照）。計算期間は RCP8.5＋SSP3 の最悪シナリオに基づき発展した 2050 年代の 7/30 から 8/29 の 1 か月間とする。

3.2 シナリオ

本研究では、適応策と緩和策を組み合わせたシナリオに基づき評価する。シナリオの概要を表 1 に示す。エアコンの使用割合向上後の使用割合については、エアコンの将来の普及率を考慮して設定した（エアコン普及率の将来推計については SI を参照）。業務街区では、既に日中の使用割合が 100%であるため、使用割合を向上させるのは、集合住宅街区および戸建住宅街区のみとする（以下、これらを住宅街区とする）。

表 1　評価シナリオ

No.	適応策	緩和策
1	なし	なし
2	エアコン使用割合向上	なし
3	エアコン使用割合向上	エアコン性能向上

4. 結果と考察

図 1 にエアコン使用割合向上による睡眠困難軽減効果を示す。ジャカルタ都市圏においてエアコンの使用割合を 4 倍に向上させた場合の睡眠困難軽減効果は 1 か月あたり約 10,000 DALY であることが分かった。また、全域にわたり効果があるが、中心部でより大きな効果があることが分かった。

図 2 に住宅街区における LIME3 の手法を用いた統合評価結果（シナリオ 1 からの変化量）を示す。エアコンの使用割合向上による睡眠困難および疲労の軽減効果は、環境負荷発生量に比べはるかに大きく、約 US$ 87,500,000 の効果があることが分かった。また、エアコンの性能が向上した場合、健康影響軽減効果は変わらず環境負荷発生量が小さくなるため、約 US$ 20,000,000 分の効果が増加することが分かった。

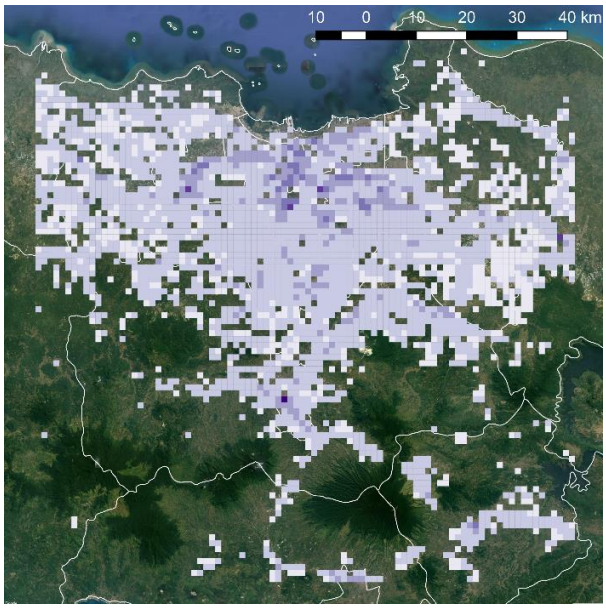


図 1　睡眠困難の軽減効果

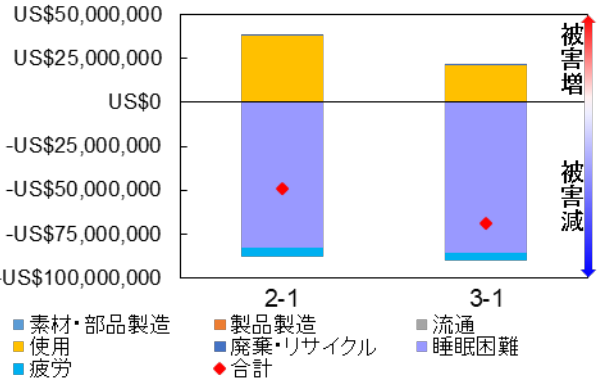


図 2　統合評価結果（シナリオ 1 からの変化量）

5. 結論

本研究では、ジャカルタを対象に RCP8.5 + SSP3 の最悪シナリオで発展した 2050 年代におけるエアコンの使用割合向上および性能向上による暑熱健康影響軽減効果を統合評価した。住宅街区において、エアコンの使用割合を 4 倍に向上させた場合、睡眠困難は約 40%削減されることが分かった。また、環境負荷発生量を考慮しても、エアコンの使用割合向上という適応策は、約 US$ 50,000,000 の効果があることが分かった。

6. 今後の展望

将来シナリオとして緩和･適応が進む RCP2.6＋SSP3 のシナリオで発展した場合の評価を行っていく。また、製造・運用コストも含めた費用便益分析を行う。

謝辞

本研究は、環境省の環境研究総合推進費 S-14「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究」（代表 沖大幹・東京大学教授）により実施したことを記して謝意を表します。また、ダイキン工業株式会社より情報提供を受け実施したことを記して謝意を表します。

参考文献

1) Estoque R.C,. Murayama Y., Myint SW., Science of the Total Environment, 577, (2017), pp.349–359

2) Ihara T., Kikegawa Y., Asahi K., Genchi Y., Kondo H., Applied Energy, 85-1, (2008), pp.12–25

3) Ihara T., Kusama R., 21th International Congress of Biometeorology (ICB 2017), Durham University (Durham, United Kingdom)

4) 井原智彦，玄地裕，日本建築学会環境系論文集，Vo.73, No.634, (2008), pp.1407–1415.

5) 大棟俊，桑山忠弘，井原智彦，伊坪徳宏，第 13 回日本 LCA 学会, Tokyo, (2018)

6) 岡田和樹，明星大学修士論文, (2018)

Supporting Information

1.　22 時気温と睡眠困難罹患率の関係式および日最高気温と疲労罹患率の関係式

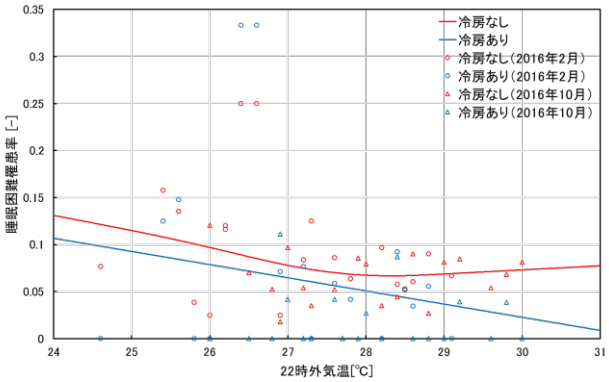


図 S1　22 時気温と睡眠困難罹患率の関係

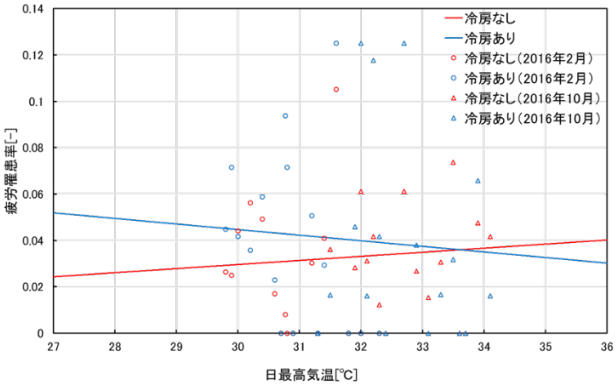


図 S2　日最高気温と疲労罹患率の関係

2. 障害調整生存年（DALY）の式および変数

DALY は以下の式で計算される。

DALY ＝ 損失生存年数 YLL ＋ 障害生存年数 YLD

YLL ＝ N × L

YLD ＝ I × DW ×I

（N：死亡数、L：余命、I=障害発生数、DW：重篤度、L：罹患期間）

睡眠困難の DALY は、重篤度 0.1*、罹患期間 1/365 [年]、睡眠困難発生数＝評価対象街区の人口×罹患率とし、 YLD＝睡眠困難発生数×重篤度×罹患期間により算出する。

疲労の DALY は、重篤度 0.099*、罹患期間 1/365 [年]、疲労発生数＝評価対象街区の人口×罹患率とし、YLD＝疲労発生数×重篤度×罹患期間により算出する。

* Fukuda S., Ihara T., Genchi Y., Narumi D., The International Journal of Life Cycle Assessment, 18-5, (2013), pp1089–1097

3. 評価対象領域について

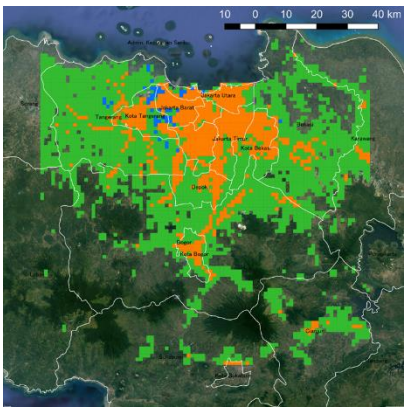


図 S3　評価対象街区の概要

・全街区数：3550 街区
（業務街区：831 街区、集合住宅街区：45 街区、戸建住宅街区：2674 街区）
・評価対象街区内人口：47, 640,698 人
・ジャカルタ都市圏人口（推計予想）：49,780,669 人

4. エアコンの性能について

本研究では、シナリオに応じて 2 種類のエアコンを設定した。

表 S1 エアコンの性能

シナリオ No.	業務街区		集合・戸建住宅街区	
	定格 COP	部分負荷特性	定格 COP	部分負荷特性
1,2	3.65	①	3.35	②
3	4.28	①	5.7	③

①平成 25 年度省エネルギー基準をもとに作成（ビル用マルチエアコン）

②山崎他, 空気調和・衛生工学会論文集, 84, (2002), 15-23

③平成 25 年度省エネルギー基準をもとに作成（ルームエアコン）

5. エアコン普及の将来推計について

Morna Isaac, et al., Energy Policy, 37, (2009), pp507-521 の手法を用いて推計。使用割合＝世帯普及率と仮定し、2050 年におけるインドネシアの世帯普及率を推計した。

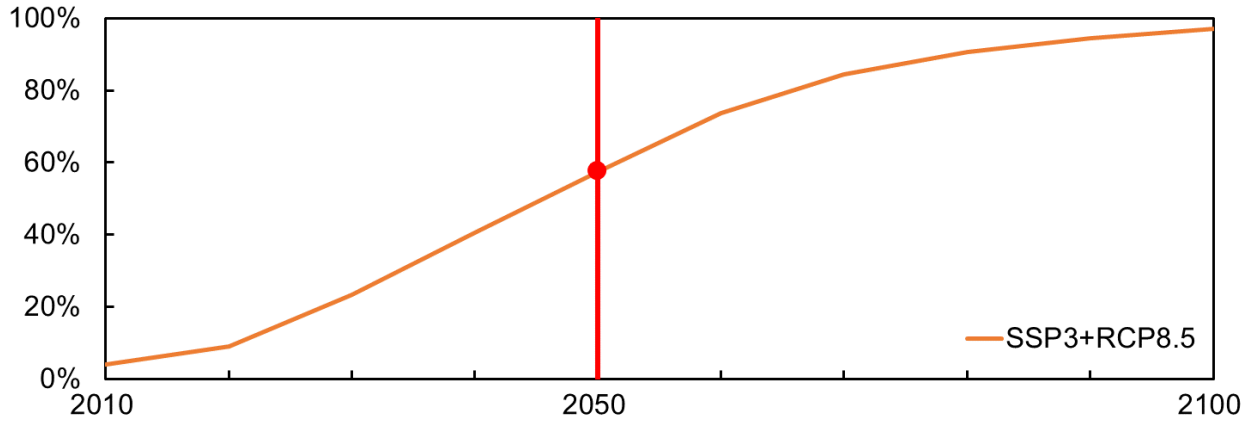


図 S4　インドネシアにおけるエアコン普及率の推計

D1-22
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

MFA および LCA を用いた日本の木材利用による環境影響の将来予測

Future Projections of Environmental Impacts of Wood Use in Japan Using MFA and LCA

○加用千裕*[1)]、Sébastien M.R. Dente[2)]、粟生木千佳[2),3)]、田中大介[2)]、村上進亮[4)]、橋本征二[2)]
Chihiro Kayo, Sébastien M.R. Dente, Chika Aoki-Suzuki, Daisuke Tanaka, Shinsuke Murakami, Seiji Hashimoto
1) 東京農工大学, 2) 立命館大学, 3) 地球環境戦略研究機関, 4) 東京大学
* kayoc@cc.tuat.ac.jp

1. はじめに

木材資源の利用は、炭素貯蔵・材料代替・燃料代替を通して気候変動の緩和に貢献する[1)]。一方、木材伐採は、森林の生物多様性や炭素貯蔵へ影響を与える[2)]。また、木材用途のひとつである紙・板紙を生産する紙パルプ産業は、世界で最もエネルギー消費量の大きい産業のひとつであり、気候変動とも関わりがある[3)]。そのため、今後の持続可能な木材利用のあり方を検討するためには、木材に関わる環境影響および環境影響削減の両面を定量的に明らかにすることが不可欠である。さらに、様々な環境影響における木材の役割を広く理解するためには、広範な時空間スケールでの検討が重要となる。しかし、日本全体を対象として、木材利用に関わる環境影響および環境影響削減を長期的に検討した先行研究はほとんどない。そこで、本研究では、Material Flow Analysis（MFA）および Life Cycle Assessment（LCA）を用いて、日本全体における木材利用に関わる環境影響･環境影響削減の過去 40 年以上の変化を定量的に明らかにする。さらに、複数の将来シナリオのもとで、2050 年までの将来予測を行う。

2. 方法

2.1 木材フロー・ストック

MFA によって 1970 年から 2013 年までの日本全体における木材フロー・ストックを定量化した[4)]。具体的には、丸太の生産量・輸入量、各木材製品（製材・合板・チップ）の生産量・輸入量、各用途（建築・土木・家具・紙・板紙）への木材製品消費量等の木材フロー量を把握した。また、木質燃料として、薪炭材の生産量、林地残材・加工残材・使用済み廃木材の発生量を把握した。さらに、各用途における木材製品消費量および寿命関数を用いて木材ストック量を推定した。

2.2 将来シナリオ

2014 年から 2050 年までの国内林業・木材利用・燃料利用に関わる 3 つの将来シナリオ（現状維持、緩推進、急推進）[5)]を設定した。現状維持シナリオは、2050 年までの人口変化を考慮した上で、木材伐採面積、建築・家具の木造・木製率、残材・廃木材の燃料利用率等は現状傾向のまま 2050 年まで変化しないこととした。緩推進シナリオは、丸太生産量が 2050 年に 2013 年現在の 2 倍に増加、建築・家具の木造・木製率は現在の 35%から 2050 年に 50%に上昇、残材・廃木材の未利用量の半分が 2050 年に燃料利用されることとした。急推進シナリオは、日本政府の森林・林業基本計画が達成されることを想定し、丸太生産量が 2050 年に 5000 万 m^3 に増加、建築・家具の木造・木製率が 2050 年に 70%に上昇、残材・廃木材の全ての未利用量が 2050 年に燃料利用されることとした。なお、全てのシナリオにおいて、1 人当たり紙・板紙消費量は現状のまま 2050 年まで変化しないこととした。また、国内生産量と消費量の差を輸入量とした。2014 年から 2049 年までは S 字曲線を用いて内挿した。

2.3 環境影響

LCA によって木材利用に伴う環境影響を評価した。インベントリ分析には IDEAv2、影響評価には LIME2 を用いた。2050 年までの各木材製品消費量（m^3/年、t/年）に環境影響係数（金額単位での統合化結果）（円/m^3、円/t）[6)]を乗じることにより、日本全体の木材利用に伴う環境影響（円/年）を推定した。

2.4 環境影響削減

木材利用による環境影響削減は、炭素貯蔵、材料代替、燃料代替の 3 効果を検討することとした。

（1）炭素貯蔵

2050 年までの木材ストック量を炭素貯蔵量に換算し、その年変化を算定した。この炭素貯蔵量の年変化（t-C/年）に炭素の環境影響係数（CO_2 の気候変動への影響）（円/t-C）[6)]を乗じることにより、炭素貯蔵効果（円/年）を評価した。

（2）材料代替

木材製品を非木材製品（セメント・コンクリート・骨材・鋼材）と代替利用することによる環境影響削減を評価した。2050 年までの非木材製品の代替量（m^3/年、t/年）を求め、各環境影響係数（円/m^3、円/t）[6)]を乗じることにより、材料代替効果（円/年）を評価した。

（3）燃料代替

林地残材・加工残材・廃木材由来の木質燃料を重油と代替利用することによる環境影響削減を評価した。2050 年までの重油代替量（L/年）を算定し、重油の環境影響係数（円/L）[6)]を乗じることにより、燃料代替効果（円/年）を評価した。

3.　結果と考察

3.1 過去から現在までの環境影響の推移

1970 年から 2013 年までの日本の木材利用による環境影響を用途ごとに見ると（図 1）、紙由来の影響が最も大きく、この 44 年間で環境影響全体の 56～83%を占めた。木材全体における環境影響を低減するためには、紙に関わる対策が重要であることが分かった。

また、影響領域ごとにみると（図 2）、土地利用、気候変動、都市域大気汚染への影響が大きく、この 44 年間でそれぞれ環境影響全体の 24～36%、27～31%、22～28%を占めた。

3.2 環境影響および環境影響削減の将来予測

2050 年までの日本の木材利用（紙・板紙除く）による環境影響および環境影響削減を用途ごとに見ると（図 3）、現状維持シナリオにおける 2030 年や 2050 年の環境影響削減は、2013 年現在よりも小さくなり、人口減少による木材利用量および非木材代替量の減少が影響していた。一方、木材利用を推進する緩推進および急推進の両シナリオでは、木材利用量および非木材代替量の増加により、2030 年や 2050 年の環境影響削減は 2013 年現在よりも大きくなった。特に、急推進シナリオにおける 2050 年の削減量は 3572 億円と推定され、その内訳は炭素貯蔵効果が 3%、材料代替効果が 75%、燃料代替効果が 22%となり、建築における材料代替が大きく寄与することが分かった。

また、影響領域ごとに見ると（図 4）、全ての将来シナリオにおいて、気候変動、資源消費、都市域大気汚染への影響削減が大きく、木材の非木材代替によってそのライフサイクルにおける化石燃料消費量が減少することが寄与していると考えられる。一方、木材利用量が増加することによって土地利用への影響は大きくなることが明らかになった。森林における木材伐採に伴う土地改変が影響していると考えられる。すなわち、将来に渡って木材利用を推進することは、その環境影響よりも環境影響削減の効果の方が大きくなるが、同時に土地利用への影響を最小化していくことが重要課題となる。

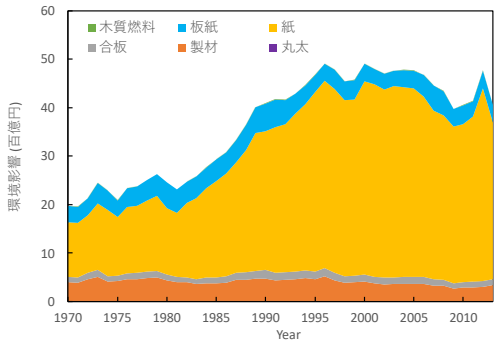


図 1 1970～2013 年における日本の木材利用による環境影響（用途ごと）

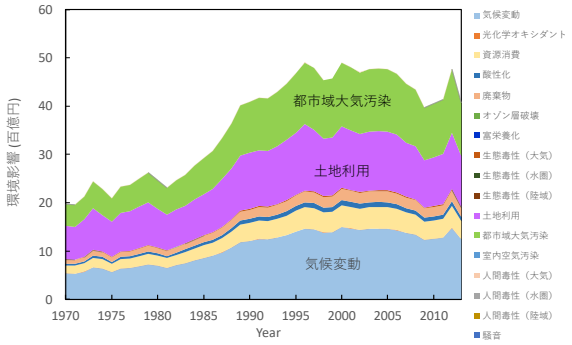


図 2 1970～2013 年における日本の木材利用による環境影響（影響領域ごと）

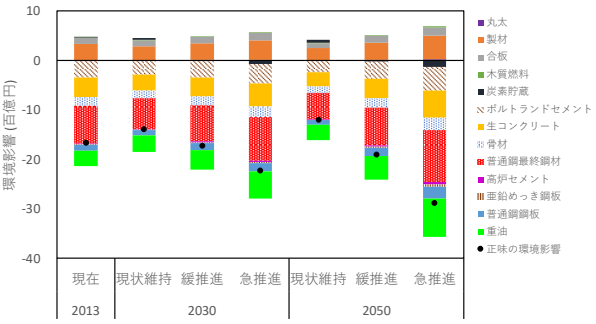


図 3 2050 年までの日本の木材利用（紙・板紙除く）による環境影響・環境影響削減（用途ごと）

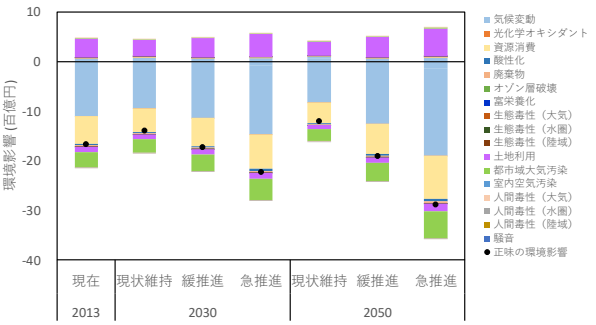


図 4 2050 年までの日本の木材利用（紙・板紙除く）による環境影響・環境影響削減（影響領域ごと）

4.　引用文献

1) IPCC: Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Mitigation of Climate Change (2014)

2) FAO: Global Forest Resources Assessment 2015. How are the World's Forests Changing? (2016)

3) IEA: Tracking Industrial Energy Efficiency and CO_2 Emissions (2007)

4) Kayo C., Tsunetsugu Y., Noda H., Tonosaki M. Environ Sci Policy, 37, (2014), pp. 215-226

5) Matsumoto M., Oka H., Mitsuda Y., Hashimoto S., Kayo C., Tsunetsugu Y., Tonosaki M: J. For Res 21(5), (2016), pp. 211-222

6) JEMAI: MiLCA ver. 2, (2017)

2011 年産業連関表に基づく 3EID の開発

Development of 3EID with 2011 Japanese input-output tables

○南斉規介，川島一真，森本高司
Keisuke Nansai, Kazumasa Kawashima, Takashi Morimoto
1) 国立環境研究所, 2) 三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング（株）
* nansai.keisuke@nies.go.jp

1. はじめに

気候変動の要因となる温室効果ガス（GHG: greenhouse gases）の世界の総排出量は化石燃料由来だけでも 2013 年には 36.1±1.8Gt-CO_2/年に達した。産業革命以前からの平均温度の上昇を 2100 年までに 2℃以下に 66%以上の確率で抑えるには，2015 年以降に許容される累積排出量，すなわちカーボンバジェットは 1200Gt-CO_2 未満との報告がある [1]。また，このカーボンバジェットはシナリオによっては更に厳しく 470～1020Gt-CO_2 と推計する研究もある [2]。

非常に厳しい 2℃以下への実現に向けて，世界第 5 位の排出国，世界第 3 位の GDP を持つ日本は 2010 年の国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第 16 回締約国会議（COP16）でのカンクン合意の下，2020 年の排出削減目標（2005 年度比−3.8%以上），2015 年の COP21 でのパリ協定において 2030 年削減目標（2013 年度比−26.0%，2005 年度比−25.4%）を達成しなければならない。しかし，世界各国が NDC（Nationally Determined Contribution）を達成しても 2030 年まで世界の排出量は上昇し続けることは明白であり [3]，目標以上に排出削減に取り組まなければ，限れたカーボンバジェットは早期に消失することも事実である。

製品の製造やサービスの提供，企業や都市全体やライフスタイルなどのあらゆる主体で排出量の把握と着実な削減を無くして，目標の達成とその先の持続可能な社会は存在しない。ライフサイクルアセスメント（LCA）は排出量の包括的な把握において必須のツールであり，排出削減を優先すべきプロセスやサプライチェーンの発見にも有用である。

日本では世界でも有数の詳細性を持つ産業連関表が発行されていることから，産業連関分析により得られる GHG に関する内包型排出原単位が LCA のデータベースとして整備され，1990 年頃から利用されてきた [4]。内包型排出原単位は，産業連関表で定義される財やサービス部門別に単位あたりの生産活動（百万円相当）に伴い直接間接に発生する排出量を示す。3EID（Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables）は 1997 年に国立環境研究所から発行された『産業連関表による二酸化炭素排出原単位』[5] の後継として 2002 年より整備され，1990 年から 2005 年までの 5 年毎の産業連関表に対応した内包型原単位を提供してきた。2011 年に実施された経済センサス−活動調査」を活用した 2011 年産業連関表が総務省より 2015 年に発行されたことから，それに対応した内包排出原単位の算定が可能となった。2011 年表に基づくデータベースを日本の削減目標との対比を重視して活用するためには，目標基準年の排出量との比較可能性を高めることが必要である。日本が外務省を通じて UNFCCC に提出する公式な GHG 排出量は日本国温室効果ガス排出国インベントリ（以下，国インベントリ）[6] に記載される値であり，これが基準値となる。

そこで本研究では，国インベントリにおける GHG 排出量と整合する産業連関表の部門別 GHG 排出量を算定し，得られる内包型排出原単位のパリ協定の達成度評価に向けた利便性を向上させることを目的とする。

2. 研究方法

2.1 国インベントリにおける GHG 排出量

国インベントリにおける GHG 排出量の算定方法について簡便に紹介する。対象とする GHG は CO_2, CH_4, N_2O，HFCs，PFCs，SF_6 および NF_3 である。算定方法は，IPCC が策定し，COP により合意された算定ガイドラインに準拠しており，GWP（Global warming potential）は IPCC の第 4 次評価報告書の値（100 年値）を使用する。算定された排出量の妥当性は，気候変動枠組条約および京都議定書第 8 条の下で条約事務局が組織する専門家審査チームによって審査されている。

日本の化石燃料起源の CO_2 排出量は資源エネルギー庁が発行する『総合エネルギー統計』[7] に示されているエネルギーバランス表（以下，エネバラ表）に基づいて算定されている。エネバラ表から年度単位で一次エネルギー供給，エネルギー転換，最終エネルギー消費の各断面で化石燃料の投入，転換，消費の流れを読み取ることができるため，エネルギー利用を目的に消費された燃料から CO_2 排出量を推計する。石灰石起源 CO_2 など非エネルギー起源の CO_2 や他の GHG については，排出に関連する業界から排出係数や活動量の提供を受けたり，IPCC の算定ガイドラインにある排出係数や各種統計から活動量を引用するなどして排出量を算出する。非エネルギー起源 CO_2，CH_4 および N_2O は

エネルギー起源 CO_2 と同様に年度単位の推計であるが，HFCs，PFCs，SF_6 および NF_3 は暦年値である。

2.2 国インベントリ排出量の産業連関表への適応

産業連関分析による内包型排出原単位は次式の行ベクトル **e** として導かれる。

$$\mathbf{e} = \mathbf{d}\left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1} \quad (1)$$

ここで **d** は単位生産額あたりの直接 GHG 排出量ベクトル，**A** は投入係数行列，**I** は単位行列を示す。**d** は部門別の直接排出量を国内生産額で除して求めることから，国インベントリの排出量と部門別直接排出量が整合することが基準年との比較において重要である。

国インベントリの排出量を産業連関表と整合的に記述する上で主な課題となるのは，①年度値と暦年値の違い，②国インベントリの排出区分と産業連関表の部門分類の違い，③国インベントリの排出実態と産業連関表の燃料投入量の違い，④国際輸送の有無の違いである。

本研究では①について，国インベントリが年度値を基準とするガスについては，2010 年度値の 1/4 と 2011 年度値の 3/4 を足すことで 2011 年値を規定した。②に関して，エネルギー起源 CO_2 については，国インベントリの基となるエネルギバラ表の分類，他のガスについては国インベントリの排出区分と産業連関表との部門対応を取った。対応が一対一に取れる場合はエネバラ表では燃料投入量を，国インベントリからは排出量を産業連関表の対応部門に直接計上した。産業連関表の複数の部門に対応する場合は，付帯の『物量表』にある対応する燃料の投入量や財の生産額の大きさ等で配分を行った。しかし，この配分には③の課題に対処する必要がある。③には 2 通りの相違がある。1 つ目は，物量表には燃料の投入が計上されているが，エネバラ表では投入量がない場合である。2 つ目は，逆に，エネバラ表には投入量が計上されているが，物量表では投入量がない場合である。本研究では，1 つ目では物量表の燃料総量をエネバラ表での総量に合うよう調整して物量表の値を採用した。2 つ目では，エネバラ表の値を採用し，必要に応じて値を調整した。

次に，エネバラ表からの配分によって得られた燃料投入量から原料用途を控除し，発熱量および CO_2 排出係数を乗じて CO_2 排出量を求めた。なお，④は国際航空輸送，外洋輸送の国外給油分を別途計上を行った。

3. 結果と考察

本研究で 2011 年 GHG 排出量（表 1）と部門への配分結果（集約版）（表 2）を示す。GHG 総排出量は 1344Mt となり，これに国際輸送の 59Mt を加えて各部門に配分された。パリ協定では 2030 年に 1079Mt（吸収量 37Mt を除く）まで排出量を減少させることから [8]，国際輸送分を除いて 265Mt の削減が必要となる。得られる内包型排出原単位を国際輸送分を区分して評価することで，排出量の勘定方法は国インベントリと整合する。そのため，LCA による技術やライフスタイルなどの分析を削減目標との対比から評価することだけでなく，エネバラ表や国インベントリにおける排出量を経済需要側から解釈することも可能となった。

表 1　本研究で設定した 2011 年排出量（国インベントリの 2017 年 4 月 UNFCCC 提出値に基づく）

GHGs [kt-CO_2eq]	2011年	2010年度	2011年度	2013年度	2030年度目標値
CO_2（エネルギー起源）	1,175,961	1,138,758	1,188,362	1,235,036	927,000
CO_2（非エネルギー起源）	77,935	78,595	77,715	80,833	70,800
CH_4	34,094	34,855	33,840	32,675	31,600
N_2O	21,919	22,318	21,786	21,400	21,100
HFCs	26,071	23,305	26,071	32,095	21,600
PFCs	3,755	4,250	3,755	3,280	4,200
SF_6	2,248	2,424	2,248	2,102	2,700
NF_3	1,800	1,540	1,800	1,617	500
合計	1,343,784	1,306,045	1,355,579	1,409,038	1,079,000
吸収量	-	-	-	-	37,000

表 2　部門別 GHG 排出量

番号	[kt-CO_2eq] 部門名	GHGs
1	農林水産業	39,206
2	鉱業	3,128
3	飲食料品	16,278
4	繊維製品	5,364
5	パルプ・紙・木製品	13,427
6	化学製品	58,643
7	石油・石炭製品	69,779
8	プラスチック・ゴム	7,348
9	窯業・土石製品	56,335
10	鉄鋼	150,992
11	非鉄金属	3,410
12	金属製品	2,742
13	はん用機械	16,488
14	生産用機械	1,094
15	業務用機械	583
16	電子部品	8,706
17	電気機械	1,626
18	情報・通信機器	477
19	輸送機械	9,475
20	その他の製造工業製品	1,798
21	事務用品	0
22	建設	7,453
23	電力・ガス・熱供給	476,635
24	水道	5,011
25	商業	7,053
26	金融・保険	447
27	不動産	840
28	運輸・郵便	143,398
29	情報通信	752
30	公務	8,426
31	廃棄物処理	37,913
32	教育・研究	7,113
33	医療・福祉	10,240
34	その他の非営利団体サービス	1,421
35	対事業所サービス	3,609
36	対個人サービス	21,666
37	分類不明	6,091
38	家計外消費支出	1,023
39	家計消費支出	137,797
40	合計	1,343,784

引用文献

1) Fuss S., *et al.*: *Nature Climate Change* **4**, 850–853 (2014).

2) Regelj J., *et al.*: *Nature Climate Change* **6**, 245–252 (2016).

3) Anderson K. and Peters G.,: *Science* **354**, 182–183 (2016).

4) Shigetomi, Y. *et al.*: *Revisiting Japanese carbon footprint studies*, Environmental and Economic Impacts of Decarbonization (Ed. Dejuán Ó. et al.), 335–350 (2017).

5) Nansai. K. *Environmental Input-Output Database Building in Japan*, Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology (Ed. Suh S.), 653–688 (2009).

6) Ministry of the Environment, Japan and GIO-CGER NIES, National GHG Inventory Report of JAPAN (2017).

7) 資源エネルギー庁，総合エネルギー統計 (2017).

8) 地球温暖化対策推進本部，日本の約束草案 (2015).

A1-25

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

中国におけるハイブリッドエネルギー産業連関表の構築

Constructing a Hybrid Energy Multi-Regional Input-output Table of China

○韓　雅文*[1)]、加河茂美 [1)]

Han Yawen, Shigemi Kagawa

1)　九州大学

* wendyhancugb@126.com

1.Introduction

To achieve carbon emission reduction targets and solve air pollution problems, energy structure optimization becomes one of the important tasks of the 13th five-year plan for energy development in China. The plan has put forward that the proportion of non-fossil energy consumption should be increased to more than 15%, the proportion of natural gas consumption should be increased to 10%, and the proportion of coal consumption should fall below 58% by 2020. However, the realization of energy structure adjustment only makes sense in regions. Developing suggestions of fossil energy conservation and the alternate path of clean energy for each province is in urgent need.

2. Research Objectives

The objective of this research is constructing a hybrid energy multi-regional input-output table with 27 sectors of 30 provinces (except Hongkong, Macaw, Taipei and Tibet because of data deficiency) in China which reflect physical energy flows from energy production sectors in each province to 27 sectors in 30 provinces. The role of recent energy structure adjustments can be identified based on the energy input-output analysis of hybrid tables in the year of 2007 and 2012. Measures to assist fossil energy conservation and clean energy substitution can be also obtained.

3 Methods and Data

3.1 Consolidation of energy types

Provincial energy inventory in China[1)] provides final energy consumption by 20 energy types by 47 industrial sectors in each province. The 20 energy types are classified into five groups (1. Coal mining, 2. Petroleum and gas, 3. Petroleum refining, coking (etc), 4. Electricity and hot water production and supply, 5. Gas and water production and supply) in this study (Table 1) consistent with Chinese multi-regional input-output table. The unit of energy consumptions is converted to coal equivalent.

Table 1. Final energy classification

Final energy types	Items
Coal	Raw Coal，Cleaned Coal
	Other Washed Coal
Crude Oil	Crude Oil
Petroleum refining and coking products	Briquettes，Coke，
	Other Coking Products,
	Gasoline，Kerosene,
	Diesel Oil，Fuel Oil,
	Other Petroleum Products,
Electricity and heat	Heat, Electricity
Gas	Natural Gas, LPG,
	Coke Oven Gas,
	Other Gas，Refinery Gas

3.2 Sector matching and energy allocation

After comparing the sectors of Chinese energy inventory data and Chinese multi-regional input-output table [2)], we first consolidated 30 industrial sectors of the Chinese multi-regional input-output table to 27 industrial sectors by aggregating Wholesale and retailing sector and Hotel and restaurant sector, and by aggregating Leasing and commercial services sector, Scientific research sector and Other services sector. Then we consolidated 47 industrial sectors of Chinese energy inventory to 27 industrial sectors. In addition, the Chinese energy inventory data also provides energy consumptions for residential sectors in urban and rural area. The energy consumptions can be used as final energy demand in the Chinese multi-regional input-output table.

Specifically, we can obtain the energy consumptions in coal equivalent of energy sector e used in industrial sector j of province s, TE_{ej}^{s} by using the Chinese energy inventory data. An important problem is where the energy consumed in sector j of province s is produced. The provincial allocations can be estimated as follows.

$$E_{ej}^{rs}=TE_{ej}^{s}*\frac{Z_{ej}^{rs}}{\sum_{r=1}^{30}Z_{ej}^{rs}} \quad (1)$$

where E_{ej}^{rs} denotes the *physical* energy input from energy sector e of province r to sector j of province s and Z_{ej}^{rs} denotes the monetary input from energy sector e of province r to sector j of province s. The monetary energy inputs over 30 provinces can be obtained from Chinese multi regional input-output table. Here, r and s signify one of the 30 provinces, j signifies one of the 27 sectors. e signifies one of the 5 energy sectors.

4 Results

The hybrid energy multi-regional input-output tables with 27 sectors of 30 provinces in China in the year of 2007 and 2012 were estimated in this study. Energy input-output analysis will be further applied to investigate total energy consumption induced by the residential energy demand. Structure decomposition analysis (SDA) is also used to explore the driving factors of change in energy consumption from 2007 to 2012.

Regarding coal, crude oil and petroleum refining and coking products as high-carbon energy, regarding electricity, heat and gas as clean energy, the share of high carbon energy consumption fell by 2.91%. Energy structure adjustment policies had made energy consumption structure and production structure in most province low-carbonization. However, energy structure got high-carbonization both in consumption and production perspective in Shanxi, Inner Mongolia, Liaoning, Jiangxi, Chongqing and Shaaxi (Figure 1, Figure 2).

Metallurgy kept the most energy consuming sector from 2007 to 2012 and ranked top five of consumption of each energy type except crude oil. The following was Electricity and hot water production and supply which ranked first in the coal consumption. Transport and storage ranked second in the petroleum refining and coking products consumption. Energy-saving technology and equipment in the sectors of Metallurgy, Electricity and hot water production and supply, and Transport and storage will show significant fossil energy conservation effect. In addition, urban demand ranked high in the electricity, heat and gas consumption. Clean energy can be promoted for urban use to replace the fossil fuel.

We can also define energy external-consumption province and energy domestic-consumption province according to physical energy flow. Fossil energy conservation and clean energy substitution measures should be different for the two kinds of area.

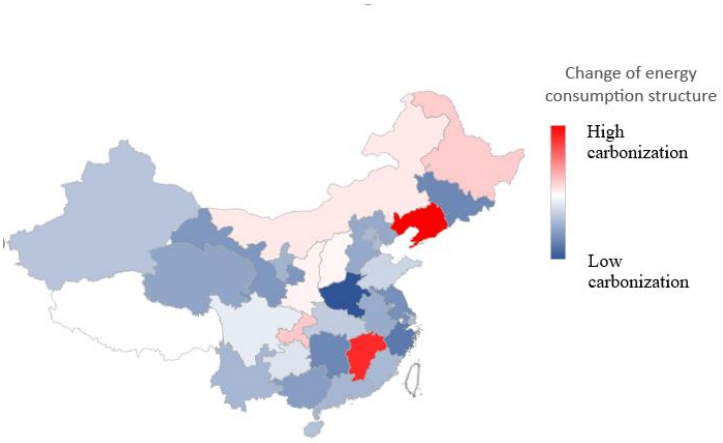


Figure 1: Share change of high carbon energy consumption of 30 provinces in China during 2007-2012

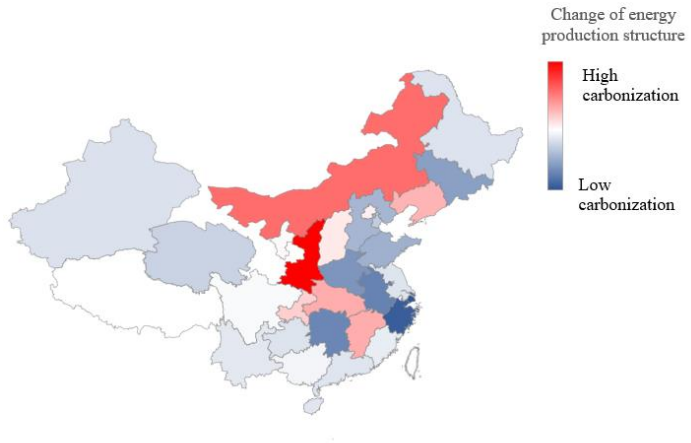


Figure 2: Share change of high carbon energy production of 30 provinces in China during 2007-2012

5 References

1) CEADs: China Emission Accounts and Datasets, the latest Energy Inventories for China and its 30 provinces and cities. < http://www.ceads.net/data/energy-inventory/ > (accessed 2017-11-10)

2) Zhifu Mi, Jing Meng, Dabo Guan, Yuli Shan, Malin Song, Yi-Ming Wei, Zhu Liu, and Klaus Hubacek. Chinese CO2 emission flows have reversed since the global financial crisis. Nature Communications. 8:1712, (2017), pp.1-10 DOI: 10.1038/s41467-017-01820-w

A1-26　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

技術導入による社会経済影響分析に向けたデータベースの開発

Development of database for socio-economic analysis by introducing new technology

○塚原建一郎*1)、田原聖隆 1)
Kenichiro Tsukahara, Kiyotaka Tahara
1) 産業技術総合研究所
* k-tsukahara@ aist.go.jp

1. はじめに

新規技術を導入するにあたっては、環境面・経済面・社会面における影響を考慮した上で、持続可能であることが必要と考えられるが、さらに、新たな素材・部品需要の増加、既存素材・部品需要の減少、産業間の連鎖を通じたモノの流れの変化といった、産業への影響に伴う、環境・経済・社会へ波及的に生じる間接的な影響を定量的に評価することも求められるようになってきている。例えば、新規バイオマス利活用システムとして、木質バイオマスを原料とするプラスチックの生産プロセスが導入された場合、化石資源から木材への原料の転換による国内林業への影響、プロセス転換に伴い必要となる薬品・触媒等の供給による他産業への当該化学品の需給の影響等による、産業構造の変化が生じる。これらを定量的に評価することが可能になれば、導入しない場合との差異、影響の提示だけでなく、導入にあたりトレードオフが生じた場合にも、解決の方向性について提示することが可能になると考えられる。

生産活動や取引の実態を把握するためには、生産技術を介した物量的な分析が可能となるため、数量による推計がまず考えられるが、サービスの多くは固有の数量単位を持たず、投入される原材料などの種類により計測単位も異なることから、同一の数量単位で評価することは困難である。そのため、金額を共通の尺度として、生産活動の大きさを評価することが考えられる。これにより部門統合や地域内生産の集計が可能になるのみならず、付加価値などについても検討することが可能になる。

我々は、インベントリデータベース IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis) を用い、物量連関表（IDEA matrix）及び経済連関表（IDEA E-MAT）を作成している [1)2)]。IDEA matrix により、直接的・間接的な各産業の需要量の変化と、それに伴って生じる環境負荷が算出でき、IDEA E-MAT により、経済波及効果を算出できるようになっている。あわせて評価ツールとして利用することで、金額フローと物量フローの両方を分析することが可能になるだけでなく、IDEA のプロセスデータが持つ技術構造を反映した形で投入係数が作成されているため、産業連関表を用いた分析よりも精緻な検討が可能になると考えられる。

本発表では、IDEA E-MAT の開発状況に関する報告を行う。

2. IDEA E-MAT の概要

IDEA データベースのうち、網羅性が担保できる 1857 部門のユニットプロセスデータから作成した投入係数行列に国内生産量及び単価（生産動態統計や業界統計から設定）を乗じることで、IDEA E-MAT は作成されている（図 1）。

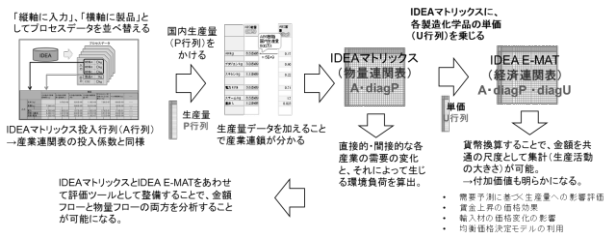


図 1　IDEA E-MAT の作成方法

3.　データベースの品質

IDEA E-MAT の全製品（1857 品目）に対して需給バランスをチェックしながら、日本標準産業分類の項目ごとに、産業連関表を参考に生産額データの品質を評価している。需給バランスに不整合が生じる主な要因としては、①情報源の分類（分類の対応が IDEA と 1：1 ではない）や使用している単位等によるもの、②プロセスデータと実際の製品の流れの齟齬によるもの（IDEA では製法を 1 つとしているが実際には製法が複数ある、IDEA では材料投入としているが実際には部品投入である、統計では中間製品（未出荷）の流れが表現できない）、③積み上げ式の IDEA のインベントリデータに複数の単価が入っていることによるもの、などが考えられたため、引き続き差分が大きいところからバランスの改善を行っていく予定である。生産額データについて、日本標準産業分類の製造業においては、「中分類 11　繊維工業」、「中分類 22　鉄鋼業」、「中

分類 26 生産用機械器具製造業」、「中分類 27 業務用機械器具製造業」、「中分類 32 その他の製造業」で、バランスがとれていない製品の割合が多かったものの、全体としては、産業連関表と生産額のバランスがある程度とれていた。産業連関表の細品目の生産量・生産額[3]を参考として、IDEA E-MAT の全製品に対して、バランスがとれていない原因を確認しつつ、品質評価を行っているが、原因の多くは生産量や単価の考え方の違いによるものであり、積み上げ式のデータベースである IDEA の特徴が現れていた。

また、IDEA E-MAT の全製品について影響力係数と感応度係数を計算し、日本標準産業分類を参考として分類したところ、製造業における中分類レベルで、対応する IDEA E-MAT の各製品ごとの係数にかなりバラツキが見られた。これは IDEA E-MAT の製造業における製品分類が詳細であるためと考えられるが、同時に、製品ごとの波及効果の違いを詳細に把握できる可能性を示している。

さらに、外生部門におけるデータベース整備をあわせて行うために、産業連関表における粗付加価値（家計外消費支出、雇用者所得、営業余剰、資本減耗引当、間接税、経常補助金）、及び、最終需要（家計外消費支出、民間消費支出、一般政府消費支出、国内総固定資本形成、在庫純増）のデータを、産業連関表の細品目ごとの生産量・生産額を参考にして、IDEA E-MAT の各製品ごとに割り当てた。IDEA E-MAT における輸出入額（IDEA matrix における各製品別の輸出入量に、貿易統計[4]を参考として決定した単価を乗じたもの）データとあわせることにより、IDEA E-MAT における外生部門のデータとした。

データベースの品質を確認するためのケーススタディとして、セルロースナノファイバー（CNF）の製造技術が導入されることで生じる需給変化が社会経済に与える影響を分析した。IDEA E-MAT はプロセスデータに基づくため、CNF 製造に関するプロセスデータを利用し、他プロセスとの関係を詳細に分析可能である。IDEA E-MAT による分析の結果、波及効果の大きい製品は、熱・丸太（原木）・都市ガス・原油・発電（日本平均、2010 年度）・一般炭・C 重油・上水道・ガソリン・工業用水道の順であり、波及効果（CNF の需要量を 15 万トン/年として設定したときに約 360 億円）は直接効果の 1.4 倍となった。産業連関表における分析でも、波及効果の総額は IDEA E-MAT とほぼ同程度の結果が得られたが、IDEA E-MAT で波及効果の大きい製品として得られた丸太（原木）が、素材産業という分類での分析結果になるなど、IDEA E-MAT の持つ詳細な製品分類の有効性が示唆された。さらに、IDEA matrix で生産量への波及効果の大きい製品もあわせて得られるため、波及効果の大きさが、生産量によるものか単価によるものかが把握可能であった。産業連関表で積み上げ式の LCA で用いられるインベントリデータと産業連関表を接続することで相互に情報を補い分析を行うハイブリッド LCA を行う場合、部門分割や拡張が必要となるが、IDEA E-MAT では、評価で重要と思われる分類の調整が比較的簡単にできる利点がある。

4. 今後の課題

IDEA の特徴である詳細な製品分類を反映して IDEA E-MAT は作成されており、分類が詳細になればなるほど全体の整合性を担保することが難しくなるという課題を抱えているため、今後ともデータ品質の改善を行うことで対応する必要がある。また、輸入が内生化されていないため、需要の増加による生産量の増加が過大に推計されているという課題にも対応していく予定である。

5. おわりに

IDEA E-MAT の整備を行っている。データのバランスがとれていない箇所は残っているが、引き続きデータ整備を進めることにより、社会経済面における波及効果の分析に耐えうるデータベースの構築をしていく予定である。今後は、さらなるケーススタディを通じて、直接・間接影響の要因、重要な影響領域の抽出を行い、影響（波及効果）の定量化手法の確立を目指したい。

6. 参考文献

1) 塚原建一郎、田原聖隆: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2017), pp 130-131
2) 田原聖隆、工藤祐揮、畑山博樹、本下晶晴、河尻耕太郎、本田智則、野村昇、匂坂正幸: 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2015), pp 132-133
3) 総務省、“平成 23 年(2011 年)産業連関表”、(2015). http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001060671&cycode=0
4) 財務省、“貿易統計” http://www.customs.go.jp/toukei/info/tsdl.htm

単語の関連性を考慮した二酸化炭素排出原単位収集法の開発

A Collection Method of CO_2 Emission Factor Based on Word Relevance

○上田健太*[1)]、永野宏治[1)]

Kenta Ueda and Koji Nagano

1)室蘭工業大学

* 17043013@mmm.muroran-it.ac.jp

1. 研究の経緯

近年、地球温暖化への対策が世界各国で行われている。日本でも、2008 年 6 月にいわゆる「福田ビジョン」が発表され、「CO_2 の見える化」の具体例としてカーボンフットプリント(Carbon Footprint of Products, CFP)を政府が推進することが示された[1)]。

CFP を算出するためには、二酸化炭素排出原単位(以下、原単位)が必要である。原単位とは、単位量当たりの原材料を生産する時に排出される CO_2 排出量である。製品の原材料の量と原単位を基にして、CFP は算出される。

原材料の原単位は、同種の原材料でも生産地や製造過程によって変動するため、原材料を生産している企業や団体ごとに異なる。企業ごとの原材料の原単位をきめ細かく計算に用いると、CFP の計算精度が上がる。

しかし、企業や団体の数は多いため、手作業での収集では作業量が膨大になる。原単位収集作業の効率化のため、原単位収集作業を自動化する。本研究では「電力」を対象にして、原単位収集の自動化を目指す。

2. 「単語評価値」

ウェブページから原単位を収集するには、まずウェブテキストの中から原単位の数値を特定する必要がある。しかし、ウェブテキスト内には原単位だけでなく、日付や年号など様々な数値が混在している。そのため、ウェブテキスト内の様々な種類の数値から原単位を特定する必要がある。

本研究では、単語と原単位の関連性に着目し、その関連性を用いて原単位を特定する。単語と原単位の関連性は、単語と原単位の「距離」と、単語の出現頻度を基に評価する。単語と原単位の「距離」とは、単語と原単位の間に存在する単文の数である。

この単語と原単位の「距離」を用いた評価値を、本研究では「単語評価値」と名付ける。「距離」が短く頻出するほど、原単位との関連性が高い単語として、「単語評価値」が高くなる。そして、この「単語評価値」を評価するモデルとして、「距離考慮型 TF-DF モデル」を考案した。

3. 距離考慮型 TF-DF モデル

距離考慮型 TF-DF モデルは、TF-IDF(Term Frequency - Inverse Document Frequency)モデル[2)]を、本研究の目的に合わせて修正したモデルである。TF-IDF モデルとは、文書中の単語に関する重みづけモデルの一種であり、キーワード重要度を算出するモデルである。距離考慮型 TF-DF モデルは、「文書内頻度」と「文書頻度」、「距離の評価」を用いて単語を評価する。

「文書内頻度」は TF(Term Frequency)値と呼ばれ[2)]、文書内での頻出性の度合いを表す。製品の原単位について書かれたウェブページ p での単語 t の出現頻度を tf(t,p)とする。p 内の t の出現回数を $n_{t,p}$ とし、p 内の全単語を $\sum_{s\in p} n_{s,p}$ とする。これらの事を踏まえ、tf(t,p)は

$$\mathrm{tf}(t,p)=\frac{n_{t,p}}{\sum_{s\in p} n_{s,p}} \qquad (1)$$

とする。

「文書頻度」は DF(Document Frequency)値と呼ばれ[2)]、複数のウェブページにおける出現頻度を表す。製品の原単位について書かれた複数のウェブページのうち、単語 t が出現するウェブページの数を df(t)とする。

「距離の評価」とは、製品の原単位について書かれたウェブページ内での単語と原単位との「距離」の評価である。この「距離」の評価は、「距離」の平均と標準偏差を用いて評価する。

製品の原単位について書かれたウェブページ p 内の単語 t と原単位との「距離」を評価した値を $D_{t,p}$ とする。そして、p 内の t と原単位との「距離」の平均を $E_p[t]$ とし、標準偏差を $V_p[t]$ とする。これらを踏まえ、$D_{t,p}$ は、

$$\mathrm{D}_{t,p}=\frac{1}{\int_{-L}^{L}\left(-\frac{1}{\left(V_p[t]+1\right)^2}x^2+E_p[t]+1\right)dx} \qquad (2)$$

$$L=\left(V_p[t]+1\right)\sqrt{\mathrm{E}_p[t]+1} \qquad (3)$$

とする。式(2)と式(3)は、p 内の「距離」の平均と分散によって、「距離」の評価を変えるモデルである。p 内における t と原単位の「距離」の平均と標準偏差が大きいほど $D_{t,p}$ は小さくなり、「距離」の評価が低くなる。

これらの式を用いて、ウェブページ $\boldsymbol{p}$ 内における単語 t と原単位の関連性を評価した値を $W_{page}(t,p)$ と定義する。$W_{page}(t,p)$ が高い単語は、ウェブページ内において、原単位との関連性が高いと考えられる単語である。原単位について書かれたウェブページの総数を N とすると、$W_{page}(t,p)$ は

$$W_{page}(t,p) = \mathrm{tf}(t,p) \times D_{t,p} \times \frac{\mathrm{df}(t)}{N} \quad (4)$$

となる。

それぞれのウェブページにおける単語の関連性の評価を基に、「単語評価値」を算出する。原単位について書かれたウェブページの集合を P とし、単語 t の「単語評価値」$W_{word}(t)$ は

$$W_{word}(t) = \sum_{p \in P} W_{page}(t,p) \quad (5)$$

となる。

4. 「単語評価値」を用いた文章の評価

「単語評価値」を用いて、実際のウェブページの評価実験を行った。ウェブページの評価実験は、ウェブテキスト内の文章を単文ごとに分け、原単位と単文の関連性の評価を行う。

実験で用いる「単語評価値」の算出には、原単位について書かれた電力会社5社のウェブページ25点を用いた。「単語評価値」を算出した単語は、未知語を含む全 1335 単語である。

「単語評価値」を算出する際に、形態素解析を用いている。本実験では、形態素解析のライブラリとして、「lucene-gosen」を用いた [3]。また、「lucene-gosen」における形態素解析で、使用する辞書には「ipadic」を用いた [3]。

単文の評価を行うウェブページは、「単語評価値」の算出に使用したウェブページを使用する。単文の評価は、その単文中に含まれる「単語評価値」の平均を評価値として用いる。

評価実験の結果を、図 1 と図 2 に示す。図 1 は 2011 年度の北海道電力の原単位について書かれたウェブページの評価結果である。図 2 は 2014 年度の関西電力の原単位について書かれたウェブページの評価結果である。

縦軸は、「単語評価値」を用いた単文の評価である。この評価が高い単文ほど、このウェブページの中で原単位を含んでいる可能性が高い単文である。横軸は、ウェブページの単文番号である。単文番号とは、ウェブページ内の文章を単文ごとに分け、文頭から順に番号付けしたものである。

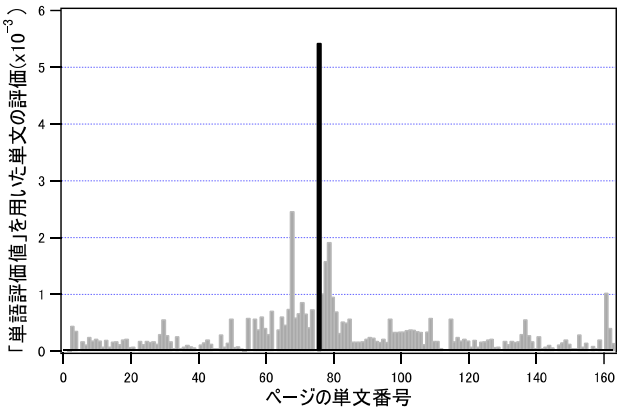


図 1：2011 年度北海道電力の評価

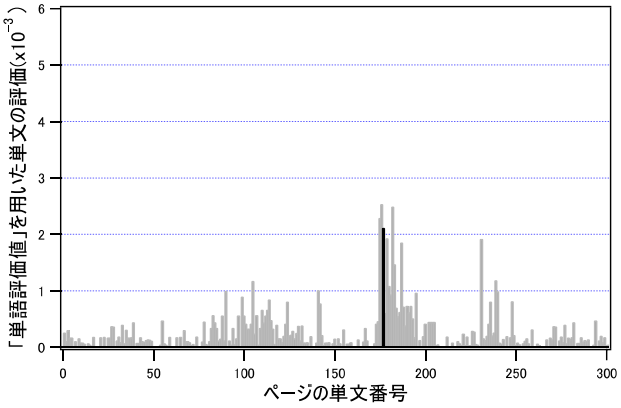


図 2：2014 年度関西電力の評価

実際に原単位が含まれている単文は、図中に色付けされている。図 1 の場合、原単位が含まれている単文の評価が一番高い。図 2 の場合、原単位が含まれている単文の評価は一番ではないものの、評価は高くなっている。拡大した図は SI に示す。これらの事から「単語評価値」は、原単位の特定に対して、一定の有用性があると考える。

今後は、「単語評価値」を算出したウェブページ以外のページに対しても、評価実験を行っていく。その評価実験を通して、精度も検証する必要がある。

参考文献

1) 稲葉敦: “カーボンフットプリント-LCA 評価手法でつくる、製品別「CO_2 排出量見える化のしくみ」”, 工業調査会, 東京都文京区向丘 1 丁目 13-1, 2009, pp.8-9

2) 松田透,小川泰嗣: “統計的確率に基づくキーワード重要度算出モデル”, 情報処理学会研究報告情報学基礎（FI）, 1996, pp.65-70

3) GNU Lesser GPL : “Google Code Archive – Long-term storage for Google Code” ,Google Code(online), 入手先<https://code.google.com/archive/p/lucene-gosen/> ,（参照 2018-01-09）

Supporting Information

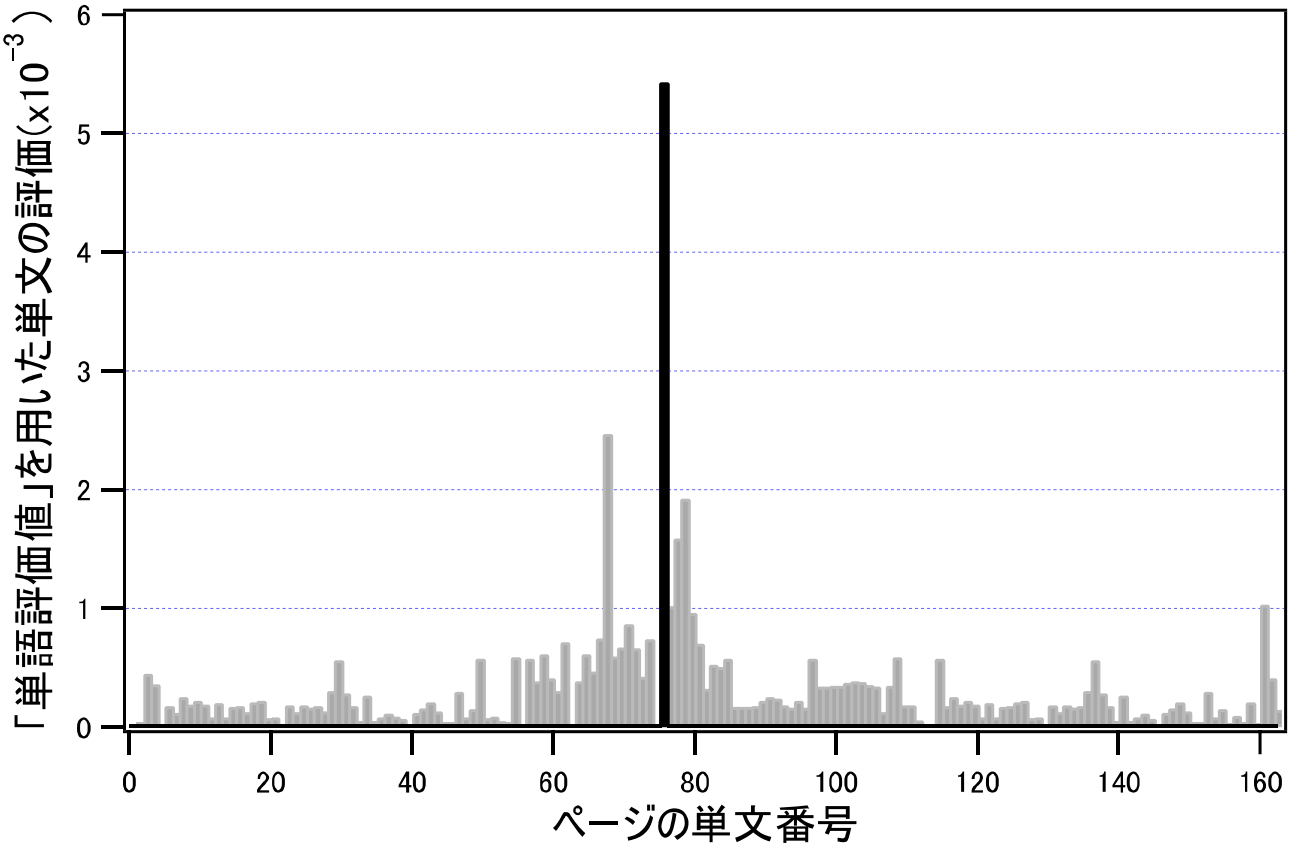


図 1：2011 年度北海道電力の評価

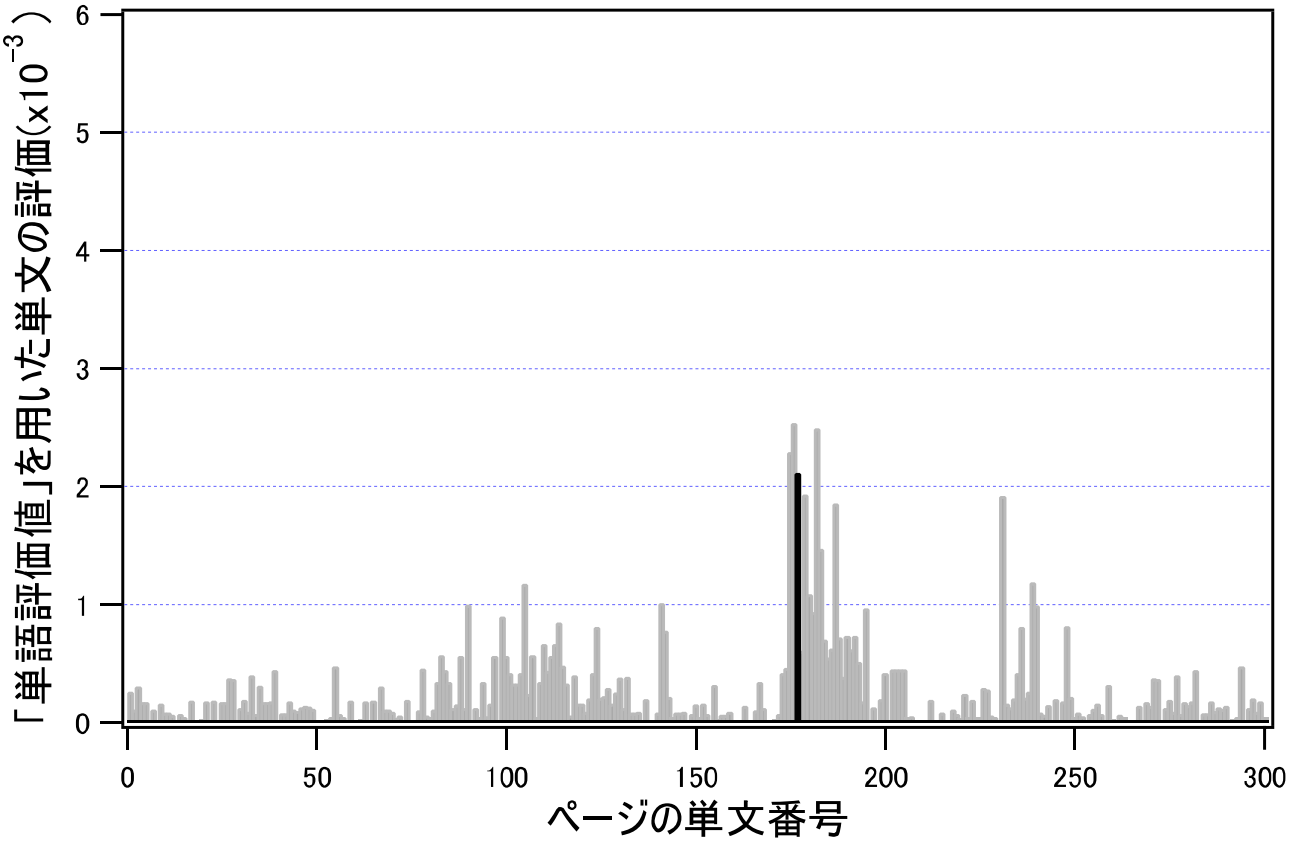


図 2：2014 年度関西電力の評価

水産加工品におけるモーダルシフトの応用可能性に関する検討

The Analysis of Application of Processed Marine Products in Modal Shift

○張　雪諭*[1)]、常　清秀[2)]

Xueyu Zhang, Qingxiu Chang

1) 三重大学　2) 三重大学

* 516m131@m.mie-u.ac.jp

１．研究目的と研究課題

周知のように、CO_2 削減対策の一つとして、近年、モーダルシフト(Modalshift)が注目されている。モーダルシフトの発想は実にシンプルなものである。これは、今までトラックによる幹線貨物輸送を大量輸送が可能な海運または鉄道に転換することにより、CO_2 の削減と物流の効率性の両方を高めることである。日本政府は 2010 年からモーダルシフト事業を推進して以来、様々な産業分野において取組が行われているが、陸上の物流手段はトラック配送がメインである水産業界においてはわずか 1 事例しかなかった 1)。その要因として考えられるのは、水産物生産の分散性、水産物商品の腐敗性・多様性等であろう。

本研究はこうした特質をもつ水産業界におけるモーダルシフトの導入の可能性について、検討することを目的とする。

具体的検討課題としては、以下の三つに設定する。①調査対象である企業の物流の実態を明らかにする。②その結果を踏まえて、トンキロ法と改良トンキロ法をそれぞれ用いて、現在の物流状況下の CO_2 排出量と物流コスト及び仮にモーダルシフトが導入された場合の CO_2 排出量と物流コストをそれぞれ算出し比較する 2)。③比較及び分析の結果を踏まえて、モーダルシフト導入の効果と可能性を検討する。なお、当調査・分析は品質管理が比較的容易であると思われる水産加工品を対象とする。

2.事例分析―物流の実態―

本研究は、産地から消費地までの物理的空間が大きいと思われる三重県南部地域の水産加工企業を対象として、経営規模が異なる A 社（年商 100 億円以上企業）と B 社（年商数千万円程度）の 2 社を取り上げて調査・分析を行う。

まず、A 社は、売上高は年間 130 億円、従業員は 115 名（2017 年の実績）であり、比較的経営規模の大きい水産加工企業である。メインの取扱商品はブリのチルド商品である。物流手段はすべてトラックである。出荷頻度は、毎日早朝の 8 時すぎから 19：00 までの間、十数便で、八つのルートに分けて全国各地に出荷している（表 1）。

A 社の主な販売先はスーパーと外食企業である。商流としては、問屋あるいは卸売市場を経由する場合が多いが、物流としては、A 社の本社から直接最終販売先であるスーパー等に運ばれることが多い。ただし、一部分は一旦物流会社の運送センターで保管し、出荷調整をしてから配送されることもある。年間物流コストは 5.6 億円である。

表1.A社の物流の実態

物流ルート	出荷元	出荷先地域	トラック台数	トラック規格
1	本社	中国地方、沖縄、東北、九州、四国	1台～2台	4トン
2		関東（東京経由）	1台	11トン
3		東北（松阪経由）	1台	4トン
4		東京	1台	4トン
5		東京	1台	4トン
6		新潟	1台	4トン
7		近畿・中部	2台	4トン
8		名古屋	3台	4トン

出所：ヒヤリング調査により作成

次に、B 社は家族経営であり、売上は年間 1,748 万円である。カツオ節がメイン商品であるが、トコブシ、タコ塩辛、アワビ煮、カツオ燻製などの珍味も多く開発・生産されている。生産された商品の 7 割（100kg/月程度）が企業、3 割は個人の顧客向け販売している。企業向け販売は主に県内のスーパーと外食店となっているため、物流は自家軽トラを使用しており、個人向け販売の物流は全部運輸会社に依存している。物流コストは 65 万円/年間である[3)]。

3.　CO_2 の排出量と物流コストの算出

3.1　CO_2 排出量の算出

まず、物流の実態に基づき、「改良トンキロ法」（物流手段はトラックのみ対象とする計算方法）を用いて、現在の CO2 排出量の算出をする。計算式は以下の通りである。

CO_2 の排出量＝輸送トンキロ×改良トンキロ燃料使用原単位×1/1000×単位発熱量×排出係数×44/12

次に、仮にモーダルシフトが導入された場合の CO_2 排出量は「従来トンキロ法」（すべての物流手段が含まれる）を用いて算出する。計算式は下記の通りである。

CO_2 の排出量＝輸送トンキロ×従来トンキロ燃料使用原単位×1/1000000

計算結果は表 2 に示したように、先ず、現在、A 社の物流により発生した CO_2 の排出量は年間約計 1330.09～2137.00 t である。物流ルート別でみると、最小値（排出量が最も少ない）は 108 t で、最大値は（排出量が最も多い）は 681.07 t である。出荷地

（A 社本社）から販売先までの距離が長いほど排出量が大きい。しかし一方、仮にモーダルシフトが導入された場合、CO_2 の排出量は現状の 1/10 程度の年間約計 171.06～314.77 t である。また物流ルート別でみると、最小値はわずか 12.74 t であり、最大値は 105.91 t である（表 2）。

表2. 年間CO2変化量の比較

物流ルート	年間CO_2排出量(t)	
	現状	モーダルシフトが導入された場合
1	108.80—681.07	15.58-76.96
2	281.82—343.70	48.58-105.91
3	211.67—340.53	23.38-38.48
4	141.58	16.16
5	141.58	16.16
6	180.86	19.36
7	118.81—162.71	12.74-22.62
8	144.97	19.12
計	1330.09-2137.00	171.08-314.77
変化量	1159—1822	

出所 :ヒヤリング調査の結果に基づく、著者により試算。

3.2　物流コストの試算

モーダルシフトはそもそも貨物の移動距離が長い産地から消費地までの移動を想定し、この過程における物流コストの削減と CO_2 の削減を期待している。また、消費地内での商品の配送先の小売店が分散的であるため、貨物の移動はトラックが最適である。仮にモーダルシフトが導入された場合でもこの部分については変わりがない。従って、物流コストの試算は、末端の物流コストを度外視する。

計算公式は以下の通り：

物流コスト＝キロ程の賃率×輸送量

賃率は料率表で用いる 4)。輸送量はヒヤリング調査で得られたデータである。なお、物流コストの計算は、先ほど述べたように、消費地での物流コストが含まれていない。また、この計算は単なる輸送費用で、運搬、保管などの物流費用は一切考慮していない点に留意する必要がある。

表3. 年間物流コストの変化量

物流ルート	年間物流コスト（千円）	
	現状	モーダルシフトが導入された場合
1	21385—49850	15246-47357
2	30665—37414	23096-44102
3	34245—49850	20311-27971
4	24677	15246,
5	24676	15246
6	29445	17283
7	11793—14485	16835-23007
8	13941	16835
総計	194395-252180	124852-191801
変化量	60379—69543	

出所 :表2と同様。

それの計算結果は表 3 で示したように、物流コストの合計はモーダルシフトが導入された場合のほうが少なくなっている。しかし、物流ルート別でみると、ルート 1～ルート 6 までの場合のコストダウン効果が見られたが、ルート 7 とルート 8 は逆に高くなっている（表 3）。

4.まとめ

以上の分析結果により以下の 2 点を明らかにした。

第 1 点では、モーダルシフトの導入により CO_2 の排出量および物流コストのいずれにおいても、一定の効果が期待できる。特に CO_2 の削減効果が大きい。

第 2 点では、物流コスト効果の大小は、輸送先までの距離により規定される。距離が長いほど物流コスト削減の効果が高い。また一定の長さがない場合は物流コストが逆に高くなる 5)。

また、モーダルシフト導入する際の問題点と課題については、以下の 2 点が挙げられる。

一つ目は、出荷調整の大事さである。

今回の分析は事例 B 社を対象外とした。その理由についてもすでに述べたように、経営規模が小さすぎたためである。しかし、水産加工業界においては、B 社のような企業が数多く存在している。これらの小規模企業におけるモーダルシフトの導入が不可能なのでしょうか。答えはもちろん「NO」である。なぜならば、モーダルシフトのポイントは距離とロットのまとまりである。この 2 点が克服できれば、モーダルシフトの導入が十分可能である。しかし、誰が？どうまとめるのかは今後の重要検討課題の一つであろう。

二つ目は、リードタイムの確保である。

ヒヤリング調査によれば、企業が最も心配されているのはリードタイムの確保である。この点については、個別企業だけの努力では困難であると思わる。

恐らく生産者、中間流通業者、末端の小売段階および最終消費者までのフードシステム全体の主体間の連携や協力が欠かせないであろう。

【参考文献・註釈】

1）北海道のスモークサーモン製品の事例である。国土交通省，" 平成 26 年度モーダルシフト等推進事業認定事業一覧”を参照。
http://www.mlit.go.jp/report/press/tokatsu01_hh_000148.html

2）CO_2 の排出量の計算方法は燃料法、燃費法、改良トンキロ法と従来トンキロ法の 4 つがある。当分析は改良トンキロ法と従来トンキロ法を用いる。詳細については、経済産業省・国土交通省，“共同物流分野の CO_2 排出量に関する算 定 方 法ガイドライン（2005）を参照。

3) B 社の出荷量は計算基準単位と大きく離れているため、今回の分析対象外とする。

4）実教出版株式会社，“料率表” 東京，（平成 29 年版）を参照。pp33,35
なお、運賃計算のトン数は 5 トンコンテナの場合は 5 トン,10 トンコンテナは 8.5 トンとして計算する。

5）吉岡泰亮，政策科学 19(1),(2011),pp61-65。
この点については、吉岡（2011）がその境界ラインは輸送距離 200km ～ 300km の間であると指摘している。

B1-25

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

緩衝包装による損傷軽減を考慮したモモの LCA

LCA of Packaged Peaches Considering the Damage Reduction Effects with Cushioning Materials

○和泉昭宏*[1)]、中村宣貴[2)]、林清忠[2)]、反田公紀[3)]、金澤信夫[4)]、横山利男[5)]、内田陽一[6)]、
中橋順一[7)]、林克行[8)]、山中正博[8)]、半場雅志[1)]、正畠宏一[9)]、八坂慶仁[9)]、椎名武夫[10)]
Akihiro Izumi, Nobutaka Nakamura, Kiyotada Hayashi, Kouki Sotta, Nobuo Kanazawa,
Toshio Yokoyama, Yoichi Uchida, Junichi Nakahashi, Katsuyuki Hayashi, Masahiro Yamanaka,
Masashi Hamba, Koichi Shobatake, Yoshihito Yasaka,Takeo Shiina
1)プラスチック循環利用協会、2) 農業・食品産業技術総合研究機構、3) フルーツ山梨農業協同組合、
4) 日本プラスチック食品容器工業会、5) 日本プラスチック工業連盟、6) 塩ビ工業・環境協会、
7) 旭化成株式会社、8) 日本ポリエチレン株式会社、9) ＴＣＯ２株式会社、10) 千葉大学大学院
* izumi@pwmi.or.jp

1. はじめに

FAO 報告書「世界の食料ロスと食料廃棄」[1)]によれば、人の消費目的で生産された食料品の約 1/3 にあたる 13 億トンが毎年捨てられていると試算されている。中・高所得国で多くの食料が、厳しい品質基準への対応の結果としての流通段階や、消費段階で廃棄されているのに対し、低所得国では消費段階における食料廃棄は相対的に少ないものの、食品ロスはフードサプライチェーン全体でおきている。食料ロスの発生を防止するためには、貯蔵、冷却施設、輸送といったインフラとあわせ、適切な収穫技術や包装技術への投資も必要だと言われており、総合的にフードサプライチェーンの効率を改善していくことが求められている。

農林水産物の中でも特に青果物は、損傷が発生してしまうと外観品質の低下や腐敗を招き、商品として販売することができなくなってしまう。長距離の輸送では損傷が発生する可能性が高くなることから、損傷を防ぐために様々な容器包装が用いられている。一方で、一般には、容器包装は環境への負荷となるばかりで、容器包装を削減した方が環境にやさしい、というイメージが先行している。行き過ぎた包装の削減を進めると、緩衝効果が内容物である青果物等に損傷が生じてしまう可能性がある。その場合、その損耗分を補うために、より多くの青果物を生産しなければならず、かえって環境負荷が高くなってしまうことも考えられる。総合的に環境負荷を低減するためには、包装材料の質量や容積を最小化するのではなく、その内容物の品質維持の機能を含めた、包装システムの最適化（ISO18600 シリーズ）の考え方が重要である。

2. 研究目的

我が国では、プラスチック素材を食品包装に使うことは環境にとって良くないと考えられがちである。一方で、特に生鮮食品は、生産者の手元から消費者によって消費されるまでの間の様々な段階において品質劣化や損傷を生じやすい。そのため、プラスチック製食品容器包装を適切に利用し、対象食品の品質を維持することで、消費されることなく廃棄される食品を少なくすることができる。このように消費者へ品質を維持した状態で生鮮食品を届け、消費者が購入した後の保存期間においても品質を維持するという観点から、プラスチック製食品容器包装を適切に使用することで、生鮮食品のライフサイクルにおける総合的な環境負荷を低減しうるが、そのような解析はあまり行われていない。そこで、本研究では、青果物としてモモを取り上げ、プラスチック製食品容器包装による品質維持効果を定量的に評価し、包装材の違いが、生鮮食品のライフサイクルでの環境負荷に対してどのような影響があるのかを評価する。

3. 研究方法

本研究では、特に選果場から小売店までの流通段階に焦点を当て、複数の包装形態におけるモモ 1 kg あたりのライフサイクル全体の環境負荷（GHG 排出量とエネルギー消費量）を評価した。なお、包装形態別の輸送による損傷については、トラックの輸送振動を再現する 3 次元輸送シミュレータを用いた実験より得られたデータから、モモの損傷率を算出した。

3.1 評価対象と機能単位

製品システムは、小売店で販売されるモモとし、機能単位は、小売店における損傷していないモモ 1 kg あたりとした。なお、モモは JA フルーツ山梨から販売されている白桃系の品種である「さくら」を使用した。

3.2 評価範囲

モモの生産、包装材の生産、モモの選果・出荷、流通、モモの非可食部および包装材の廃棄・リサイクルの各プロセスを対象とした。リサイクルの境界は、リサイクル準備段階までとした。

3.3 データ収集

モモの生産プロセス、選果プロセスに関してはヒアリングで一次データを収集した。包装材の生産プロセスに関してはメーカーにヒアリングを行い、適切な二次データ [2] をあてはめた。他のバックグラウンドデータには IDEA v2　の原単位データを用いた。

包装条件は、JA フルーツ山梨で使用される 4 種類の包装形態（包装 2a, 2b, 3, 4）に加え、吊り下げ型容器包装（包装 1）、段ボールのみ（包装 5）の合計 6 種類とした。収穫直後のモモを用いて各包装を施した状態で、100km, 300km、500km、1000km、2000km の輸送をシミュレートし、モモの損傷評価を行った。損傷度合については、スレ傷、オセ傷の 2 種類の損傷を目視で評価し、その損傷レベルに応じて点数を割り当て、輸送に伴うモモの損傷率を算出した。

3.4 算定方法

包装形態別に輸送距離が 0 km、損傷率 0%の製品全体（中身と容器包装）のライフサイクルにおける環境負荷量を算定した。その結果へ包装形態別、輸送距離別の損傷率と輸送量を適用し、包装形態別、輸送距離別の環境負荷量を算定した。

なお、損傷分は、廃棄処理が必要となり、同じ包装形態で損傷分を補完するだけの製品（中身と容器包装）の再生産や再輸送が必要になるとして、環境負荷量を算出した。

4.　結果

モモの損傷率の結果を表 1 に示す。結果は損傷率の小さい順に概ね、包装 1<包装 2a, 2b, 3, 4 <<包装 5 の順番であり、緩衝材による損傷の軽減効果は、輸送距離が長いほど顕著であった。プラスチック製食品容器包装は、内容物を輸送に伴う振動から保護し、損傷を軽減していることが明確に示された。

表 1　包装形態別、輸送距離別のモモの損傷率

包装形態	0km	100km	300km	500km	1000km	2000km
包装5・段ボール箱のみ	0.0%	60.0%	80.0%	80.0%	80.0%	90.0%
包装1・吊り下げ型	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	1.7%
包装2A・販売店（段ボール）	0.0%	2.9%	7.1%	11.3%	13.3%	21.3%
包装2B・販売店（プラケース）	0.0%	2.9%	5.8%	17.5%	20.8%	24.4%
包装3・JA山梨標準	0.0%	2.3%	3.7%	9.0%	14.3%	17.3%
包装4・ホールトレイ	0.0%	5.0%	6.7%	10.0%	12.8%	16.7%

図 1 に、輸送距離 0 km における包装条件別のモモのライフサイクル GHG 排出量を示す。この結果から、モモの生産段階の負荷（0.475kg-CO2e / kg-モモ）は、どの包装材の製造・廃棄段階の負荷よりも大きく、ライフサイクルに大きな影響を有することがわかる。

表 2 に、モモの平均輸送距離（国内）として算出した 324 km における損傷率と環境負荷を示した。この輸送距離において、緩衝材のない包装 5 の損傷率が 73%なのに対し、一般の包装材では 5.2~7.8%、高機能性包装材で 0.1%であった。この平均輸送距離（国内）において生じる損傷を考慮した GHG 排出量は、包装 5（段ボールのみ）、包装 2a, 2b, 3, 4（一般の包装材）、包装 5（高機能包装材）で、それぞれ 2.49 kg-CO2e/kg-モモ、0.67~0.78 kg-CO2e/kg-モモ、0.78kg-CO2e/kg-モモとなり、包装材を使用しない場合と比較して、包装材を使用した場合の GHG 排出量の削減効果は約 70%と算出された。

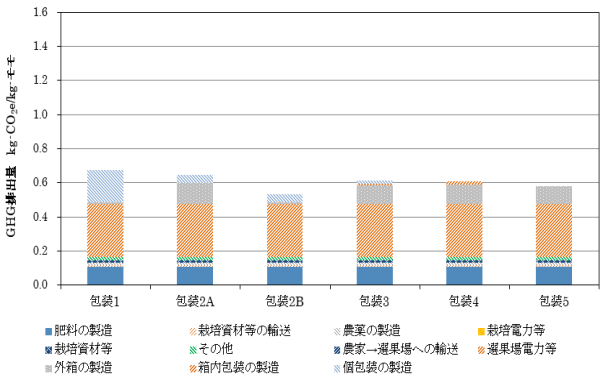


図 1 モモおよび包装材の生産・廃棄における GHG 排出量（モモの輸送距離 0km、損傷率 0%の場合）

表 2　平均輸送距離（国内）における包装形態別の損傷率と環境負荷削減効果

	プラスチック製 食品容器包装の形態 （ 平均輸送距離：324km ） （ 全国出荷量：11.1万ﾄﾝ ）	損傷率 (%)	環境負荷			
			GHG kg-CO2e /kg-モモ	削減率 (%)	ｴﾈﾙｷﾞｰ 消費 MJ/kg- モモ	削減率 (%)
5	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製食品容器包装なし	73.4	2.49	-	34.5	-
1	機能性ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製食品容器包装 （吊り下げ型）	0.1	0.78	▲69	11.7	▲66
2a	一般ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製食品容器包装 (ﾀﾞﾝﾎﾞｰﾙ箱)	7.0	0.78	▲69	11.6	▲66
2b	一般ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製食品容器包装 (PETｹｰｽ)	7.8	0.67	▲73	10.2	▲70
3	一般ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製食品容器包装 (山梨標準)	5.2	0.72	▲71	10.8	▲69
4	一般ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製食品容器包装 (ﾎｰﾙﾄﾚｲ)	7.8	0.70	▲70	10.8	▲69

5.　謝辞

本研究は、2015 年度 プラスチック製食品容器包装評価委員会での検討内容に基づいている。関係者に謝意を表する。

6.　引用文献

1）　UN FAO：”Global food losses and food waste”, (2011)

2）　(一社) プラスチック循環利用協会：”石油化学製品の LCI 調査報告書”, (2011)

3）　椎名武夫：”モモの損傷評価”, (2015)（原典：食総研,農業施設学会大会講演要旨, (2003), pp.94-95）

B1-26

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

品質保持によるロス低減効果を考慮した生鮮エダマメの LCA

LCA of Edamame Considering the Mitigation Effects of Packaging on Food Quality Deterioration

○和泉昭宏*[1)]、中村宣貴[2)]、林清忠[2)]、石井健[3)]、横山利男[4)]、内田陽一[5)]、中橋順一[6)]、
半場雅志[1)]、正畠宏一[7)]、牧野直樹[7)]、八坂慶仁[7)]、椎名武夫[8)]
Akihiro Izumi, Nobutaka Nakamura, Kiyotada Hayashi, Kouki Sotta, Ken Ishii,
Toshio Yokoyama, Yoichi Uchida, Junichi Nakahashi, Masashi Hamba,
Koichi Shobatake, Naoki Makino, Yoshihito Yasaka, Takeo Shiina
1)プラスチック循環利用協会、2) 農業・食品産業技術総合研究機構、
3) 日本プラスチック食品容器工業会、4) 日本プラスチック工業連盟、5) 塩ビ工業・環境協会、
6) 旭化成株式会社、7) ＴＣＯ２株式会社、8) 千葉大学大学院
* izumi@pwmi.or.jp

1. はじめに

FAO 報告書「世界の食料ロスと食料廃棄」[1)]によれば、人の消費目的で生産された食料品の約 1/3 にあたる 13 億トンが捨てられていると試算されている。

農林水産省の平成 25 年度推計[2)]によれば、食品由来の廃棄物等は 2,797 万トンであり、この内、一般家庭から排出される可食部分と考えられる量､いわゆる「食品ロス」は 302 万トンにのぼる。食品廃棄物は、肥料やエネルギーに再利用されるものもあるが、そのほとんどは焼却あるいは埋立処分されている。このような状況の中で、消費者庁をはじめとした 5 省庁連携のもと､食品ロス削減国民運動「NO-FOODLOSS PROJECT」が推進され、食品ロス削減にむけての運動が展開されている。農林水産物の中で、特に青果物は、品質劣化が発生しやすく、手つかずの状態で廃棄される「直接廃棄」や果物や野菜の皮を厚くむき過ぎたりする「過剰除去」が多く発生している。

一般に、容器包装を削減した方が環境にやさしいというイメージが先行しているが、行き過ぎた包装の削減を進めると、内容物である青果物等の品質低下を招くこともあり得る。その場合、損耗分を補うために、より多くの青果物を生産しなければならず、かえって環境負荷が高くなってしまうことが考えられる。総合的に環境負荷を低減するためには、包装材料の質量や容積を最小化するのではなく、その内容物の品質維持の機能を含めた、包装システムの最適化(ISO18600 シリーズ)の考え方が重要である。

2. 研究目的

我が国では、プラスチック素材を食品包装に使うことは、環境にとって良くないと考えられがちである。一方で、特に生鮮食品は、生産者から消費者によって消費されるまでの間の様々な段階において品質劣化を生じやすい。そのため、プラスチック製容器包装を適切に利用し、対象食品の品質を維持することで、消費されることなく廃棄される食品を少なくすることができる。更に、今日では、MA 包装といった青果物の品質維持機能を高めた容器包装が用いられはじめている。このように消費者へ品質を維持した状態で生鮮食品を届け、消費者が購入した後の保存期間においても品質を維持するという観点から、プラスチック製食品容器包装を適切に使用することで、生鮮食品のライフサイクルにおける総合的な環境負荷を低減しうるが、そのような解析はあまり行われていない。そこで、本研究では、エダマメを取り上げ、プラスチック製食品容器包装による青果物の品質維持効果を定量的に評価し、包装材の違いが生鮮食品のライフサイクルでの環境負荷にどのような影響があるかを評価する。

3. 研究方法

本研究では、特に小売店から自宅で消費されるまでの保存プロセスに焦点をあて、エダマメ 1 販売単位あたりのライフサイクル全体の環境負荷（GHG 排出量とエネルギー消費量）を評価した。なお、容器包装による品質維持効果については、複数種類の容器包装による、保存期間別の実験を行い、そこで収集されたデータから品質評価を行い、ロス率を求めた。

3.1 評価対象と機能単位

製品システムは､小売店で販売されるエダマメとし、機能単位は、消費者が食する品質のエダマメ 1 販売単位（300 g 入り）の提供とした。なお、エダマメは苗場高原生産組合（新潟県十日町）で生産された品種「晩酌」（露地栽培）を使用した。

3.2 評価範囲

エダマメの生産、包装材の生産、出荷、流通、非可食部分および包装材の廃棄・リサイクルの各プロセスを対象とした。リサイクルの境界は、リサイクル準備段階までとした。

3.3 データ収集

エダマメの生産プロセス、出荷プロセスに関してはヒアリングで一次データを収集した。包装材の生産プロセスに関してはメーカーにヒアリングを行い、適切な二次データ [3] とあわせて算定を行った。他のバックグラウンドデータには IDEA v2 の原単位データを用いた。

エダマメの保存プロセスについては、「MA 包装_標準品」、「MA 包装_特注品」、「OPP フィルム包装」（パンチ穴が開いた有孔袋）、「ネット包装」（ほぼ裸の状態での包装）の 4 種類を用いて保存実験を行った。実験では、質量、包装内ガス組成、クロロフィル含有量、色、香りを測定項目とした。エダマメの品質劣化によるロス率については、実験から得られた包装形態別、保存日数別のデータを一つの品質評価指標に統合化し、保存 0 日後と比較して減少した品質評価指標の値を青果物のロス率として扱った。

3.4 算定方法

包装形態別にロスがない場合の製品全体（中身と容器包装）のライフサイクルにおける環境負荷量を算定した。その算定結果へ、包装形態別、保存日数別のロス率を適用し、保存後の環境負荷量を算定した。なお、保存に伴う品質劣化によるロスが発生した場合には、そのロス分を、新たに青果物を追加購入して充足するとした。

4. 結果と考察

エダマメの品質評価の結果、総じて MA 包装、OPP フィルム包装の順で良好に品質維持され、これらはネット包装と比較して良好な品質が保たれた。

図 1 に品質評価結果に基づくロス率を適用した包装形態別、保存日数別のエダマメのライフサイクル GHG 排出量を示す。この結果から次のことがわかった。1) 保存初期においては、各包装資材の製造、廃棄に係る負荷がライフサイクル GHG 排出量の差異として現れるため、包装にかかわる負荷が低い順番で GHG 排出量が少なくなり、低い順に、MA 包装品＜OPP フィルム包装品＜ネット包装品であった。2)エダマメの保存 1 日以降では、食品不可食部（ロス）発生により青果物の補充に係る負荷が発生し、保存日数の経過とともに、ライフサイクル GHG 排出量が増加する傾向が見られた。3)保存経過日数に対する GHG 排出量増加の傾きが小さい（ロス率の増加が少ない）順に、MA 包装品＜OPP フィルム包装品＜ネット包装品であり、保存日数が約 10 日間の間において、機能性の高い包装形態の GHG 排出量が少なくなることがわかった。

さらに、スーパーマーケット白書 [4] から、消費時期の分布を推計して適用することで、環境負荷削減効果を推算した（表 1）。

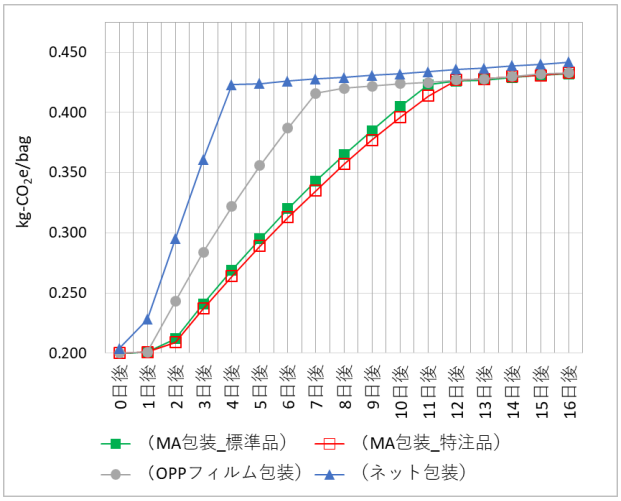


図 1　包装形態別、保存日数別のエダマメライフサイクル GHG 排出量（$kgCO_2e/bag$ ）

表 1 環境負荷削減効果

青果物	包装形態	ロス率 %	環境負荷 GHG排出量 kg-CO_2e/bag (kg-CO_2e/kg-edamame)	環境負荷 削減効果 %
エダマメ (49千トン/年)	ネット包装	15.5	0.238 (0.795)	-
	OPPフィルム包装	5.7	0.213 (0.710)	▲10.7
	MA包装_標準品	1.7	0.204 (0.681)	▲14.4
	MA包装_特注品	1.2	0.203 (0.679)	▲14.6

また、本研究から、エダマメの MA 包装、OPP 有孔包装などのプラスチックフィルム包装は、ネット包装と比較して次の傾向があることがわかった。1) エダマメの品質維持効果（質量残存率、クロロフィル残存率、色、香り等）が期待できる。2) ロス発生の抑制に有効である。3) 一般的な消費分布を適用すると GHG 排出量の削減効果が期待できる。

5. 謝辞

本研究は、2016 年度 プラスチック製食品容器包装評価委員会での検討内容に基づいている。関係者に謝意を表する。

6. 引用文献

1) UN FAO : ”Global food losses and food waste”, (2011)
2) 農水省 : ”食品ロスの削減に向けて”, (2016)
3) (一社)プラスチック循環利用協会 : ”石油化学製品の LCI 調査報告書”, (2011)
4) (一社)新日本スーパーマーケット協会 : ”2015 年版スーパーマーケット白書”, (2015)

B1-27,P2-101　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

物理的要因による品質を考慮したトマトの LCA

LCA of packaging fresh tomato considering quality change due to physical factors

○秋山翔太郎*[1)]、徐維那 [1)]、堂脇清志 [1)]

Shotaro Akiyama, Yuna Seo, Kiyoshi Dowaki

1) 東京理科大学

* j7411003@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

近年、地球規模で地球温暖化が大きな問題となっている。また農業分野からの温室効果ガス排出量は地球全体で CO_2 換算量にすると年間 51-61 億 t と見積もられている。農業に関与する温室効果ガス排出量は全排出量の約 3 分の 1 を占めており大きな割合を占めている [1)]。一方で、野菜や果物など品質変化が急激な農産物を輸送する際は品質管理が極めて重要である。しかし、それを徹底することで品質保持効果は高まるが、資材・エネルギー等の投入により温室効果ガス発生などの環境負荷の増大を招くことが懸念される [2)]。特に、包装の段階における環境負荷が大きいことが知られている。従って、品質劣化を防ぎつつ、より環境に優しい農産物の輸送を考慮していく必要がある。

このような背景から、本研究では、熊本県産の高糖度ブランドトマトである塩トマトを東京に流通させることを一例に、環境負荷ならびに流通段階での品質への物理的要因を考慮した長距離輸送に耐え得る緩衝材に関して分析・評価を行うことを目的とした。

2. 研究方法

2.1 環境影響評価

実際にトマトの輸送に用いられる緩衝材である新品・再生発泡スチロール・新品パルプモールド・古紙パルプモールドを対象とした。なお、本研究における研究概要については、別紙 SI 図 S1 に示す通りである。算定方法は Milca(Ver 2.0)を用い、積み上げ方により CO_2 等価量を算定した。機能単位は、トマト 1kg 輸送に用いる各緩衝材重量とし、システム境界を図 1 に、別紙 SI 表に緩衝材のインベントリデータを示す。

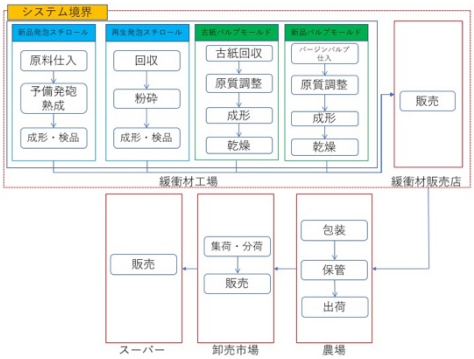


図 1 システム境界

2.2 落下実験

トマトは収穫後も熟度が進み、色、硬度が変化する追熟という作用をもつ野菜であるため、農協からのヒアリングによると、流通経路の複雑化・遠距離化に従い完熟期を待たず緑色の状態で収穫・出荷される。このことは、例えば、熊本から東京までトラック輸送期間は約 3 日であるが、この間に追熟が進むことになる。

そこで、トラック輸送における異なる緩衝材のトマト品質への影響を評価するため、落下実験を行い硬度・色・質量を測定し、静置時と比較を行った。落下実験では、出荷状態の緑色のトマトを対象とし、トラック輸送中の水平方向での振動再現は、困難であることに加え、大きな影響を与えないと仮定できるため、本研究では考慮せず、鉛直方向での振動のみ検討を行った。実験条件は、落下高さを 10cm、30cm、50cm、また、落下回数を 20 回とし、3 日間に渡り落下実験を行い、経過 5 日目まで硬度・色・質量の分析を行った。なお硬度は果実硬度計 KM 型(藤原製作所)を用いて測定し、農家からのヒアリングから基準値を設けて評価した。また、色の測定は iPhone のカメラ(Apple 社 iPhone6S,800 万画素,画像サイズ 4032×3024)で撮影し Adobe Photoshop CC 2015 を用いて RGB 分析を行った。

3. 結果と考察

3.1 CO_2 等価量

図 2 に CO_2 等価量の結果を示す。新品・再生問わず、発泡スチロールよりパルプモールドの方が、CO_2 等価量おいては有利である。また、新品・再生別にみると、パルプモールドに関しては、バージンパルプからの製造、発泡スチロールに関しては、ポリエスチンビーズからの製造が大きく CO_2 排出に寄与している。

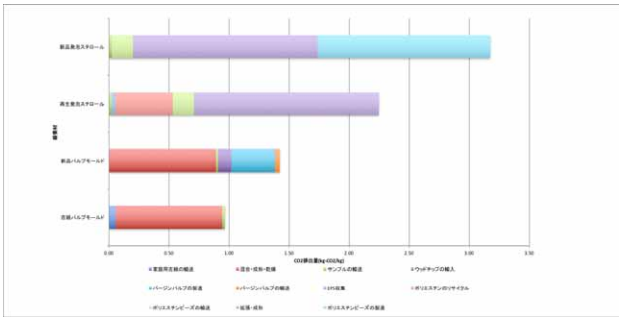


図 2　各緩衝材の CO_2 等価量比較

3.2 落下実験結果

次に、落下実験の結果を図 3、図 4 に示す。硬度は農家へのヒアリングから基準値を設けて評価した。硬度変化は、両緩衝材ともに、10cm の際はあまり変わらないが、20cm、30cm の際は 2 日目で大きく硬度が下がった。また、RGB 値及び質量の変化は予備実験として行われた値の変化と変わらず、物理的要因は干渉しないことがわかった。ここで、各緩衝材での品質への影響を比較するために次式に品質可能領域を定義し評価した。相対硬度 $f(t)$は、基準値 1 との差分により評価され、各日でのダメージ指標S_{ij}を積分することにより求めた(SI 図 S2、S3 及び表 S5 参照)。

$$S_{ij} = \int_0^{t_0} f(t)\,dt$$

$t_0 : f(t_0) = 0$　　$f(t) =$ 硬度 − 基準値(1.0)

$i =$ 緩衝材の種類　$j =$ 落下高さ

次に、落下高さ 10cm パルプモールド使用のときの品質可能領域の面積を 100 としたときの各S_{ij}の面積比率を求めた(SI 表 S6 参照)。その結果、落下高さが高くなると品質可能領域の面積比率は小さくなり、輸送距離が長くなればなるほど発泡スチロールの方が品質保持に有効なことが示唆された。

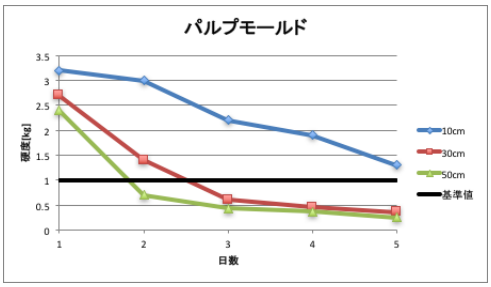


図 3 各落下高さでのパルプモールドの硬度変化

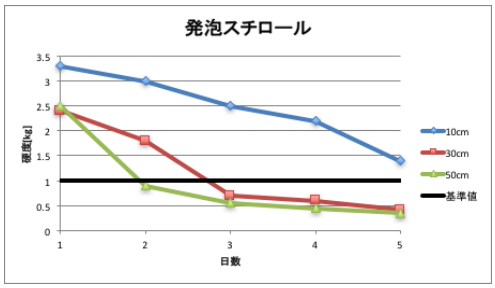


図 4 各落下高さでの発泡スチロールの硬度変化

3.3 環境影響評価と落下実験の結果の統合化

以上の結果を踏まえ、各緩衝材の CO_2 等価量を 3.2 で求めた品質可能領域の面積で除することにより、統合化・視覚化する。各緩衝材で落下高さ別に比較した結果、どの緩衝材も値は違うが同じような傾向になっている(SI 図 S4、S5、S6 参照)。これは、品質可能領域の違いよりも、CO_2 等価量の違いのインパクトが極めて大きい違いになっていることが原因である。このことから環境負荷・品質維持の両方を考慮すると、新品・再生含めパルプモールドを使用するのがいいと考えられよう。

4. 考察と今後の課題

以上の結果から、図 2 の新品発泡スチロールと古紙パルプモールドの CO_2 等価量の差を改良トンキロ法[3)]を用いると、輸送距離に換算すると 123.8km に相当する。これは、東京にトマトを流通させることを目的とすると、東京都から 123.8km 圏内の農場から輸送するならば、環境負荷を抑えながら新品発泡スチロールを用い品質への影響を軽減することができることが示唆される。なお、本評価は一分析事例であり、実際のトマト輸送を考えた場合、その他の要因も考慮される必要があり、その意味では、3.3 でも述べた通り新品・再生含めパルプモールドを使用することも想定される。

一方で、輸送距離が長くなれば長くなるほど品質への影響は、パルプモールドは発泡スチロールに比べて影響が大きくなる。このことから、価値のあまり高くない一般のトマトを輸出する際には、パルプモールドを使用するのが有用であるが、本研究において例にあげた熊本県産のブランドトマトである塩トマトを東京へ輸出する際は発泡スチロールを使用する方が好ましいとも考えられる。すなわち、塩トマトはブランドトマトであり、一般のトマトと比べると価値が高い。また輸送距離も熊本から東京と長いため価値の高いトマトを、品質保持を考慮して輸送することが重要になる。これらを考慮すると、輸送距離が長くまた価値の高い青果物等を輸送する際は環境負荷の側面より品質保持の側面の方が重要になり発泡スチロールを使用するのが好ましいと考えられる。

本研究では、熊本県産ブランドトマトを東京に流通させることをケーススタディーとして、輸送の際に利用する緩衝材の環境影響評価をし、各緩衝材のトマトの品質への影響を落下実験により評価をした。今後の課題としては、価値の違うトマトを輸送する際に異なる輸送距離を含めた両緩衝材の環境影響評価を検証していく必要がある。

5. 参考文献

1) 独立行政法人農業環境技術研究所,入手先<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/133/mgzn13310.html>(参照 2017-06-30)
2) 椎名武夫:”農業機会学会誌第 75 巻”,(2013),pp62
3) 物流分野の CO_2 排出量算定方法ガイドライン、入手先 <http://www.greenpartnership.jp/pdf/co2/co2brochure.pdf>(参照 2017-11-15)

Supporting Information

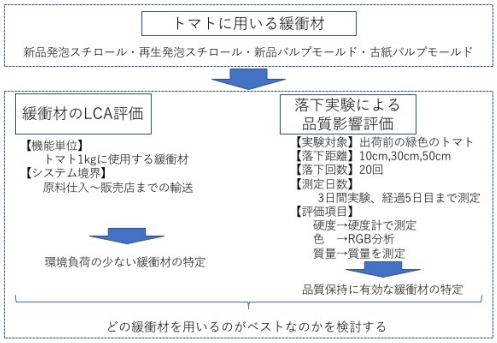


図 S1　研究概要図

表 S1　古紙パルプモールドのインベントリデータ

			単位
家庭用古紙の輸送	10トントラック燃費	3.50	km/L
	6トン積載走行距離	270.00	km
混合　成形　乾燥	電力	1.40	kWh
	LPG	0.25	kg
	アクリル樹脂	0.01	kg
	表面処理	0.01	kg
サンプルの輸送	4トントラック燃費	6.50	km/L
	走行距離	60.00	km

表 S2　新品パルプモールドのインベントリデータ

新品パルプモールド			
			単位
ウッドチップの輸入	輸送エネルギー	1012.00	kJ/kg
国産ウッドチップ		0.70	kg
バージンパルプの製造	電力	0.16	kWh/kg pulp
	重油	0.12	L/kg
	石炭	0.16	kg/kg
	黒液給油	0.67	kg CO2/kg
バージンパルプの輸送	10トントラック燃費	3.50	km/L
	6トン積載走行距離	270.00	km
混合　成形　乾燥	電力	1.40	kWh
	LPG	0.25	kg
	アクリル樹脂	0.01	kg
	表面処理	0.01	kg
サンプルの輸送	4トントラック燃費	6.50	km/L
	走行距離	60.00	km

表 S3　再生発泡スチロールのインベントリデータ

			単位
EPS収集（2トントラック）	EPS	100.00	kg/100km
	燃費	6.50	km
PSのリサイクル	輸送エネルギー	392.00	KJ
	電力	0.33	kWh
	LPG	0.06	kg
ポリエスチンビーズの輸送	4トントラック燃費	6.50	km/L
	走行距離	500.00	km
EPS 1kgの拡張・成形	電力	1.70	kWh
	重油	1.20	L
サンプルの輸送	4トントラック燃費	6.50	km/L
	走行距離	60.00	km

表 S4　新品発泡スチロールのインベントリデータ

			単位
ポリスチレンビーズの製造	ポリスチレン	0.94	kg
	ブタンの投入	0.08	kg
	電力	0.02	kWh
	重油	0.04	L
ポリエスチンビーズの輸送	4トントラック燃費	6.50	km/L
	走行距離	500.00	km
EPS 1kgの拡張・成形	電力	1.70	kWh
	重油	1.20	L
サンプルの輸送	4トントラック燃費	6.50	km/L
	走行距離	60.00	km

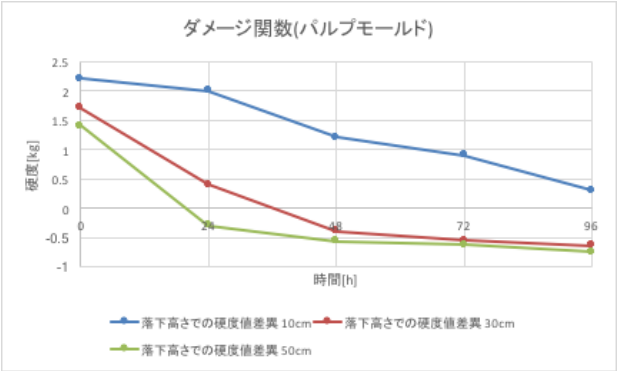


図 S2　パルプモールドのダメージ関数

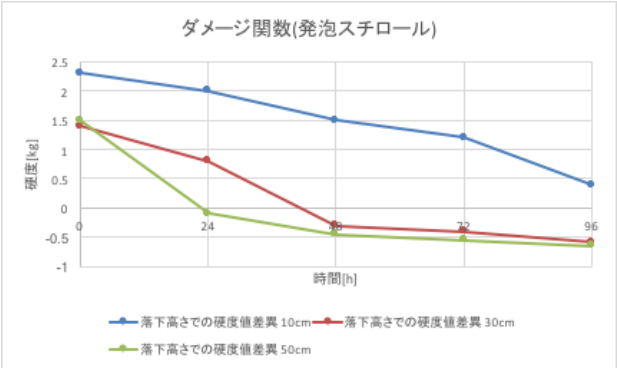


図 S3　発泡スチロールのダメージ関数

表 S5　品質可能領域（ダメージ指標）の面積

	10cm	30cm	50cm
パルプモールド	133.31	28.81	13.84
発泡スチロール	140.43	32.19	16.87

表 S6　品質可能領域の面積比率

	10cm	30cm	50cm
パルプモールド	100.00	21.61	10.39
発泡スチロール	105.34	24.15	12.65

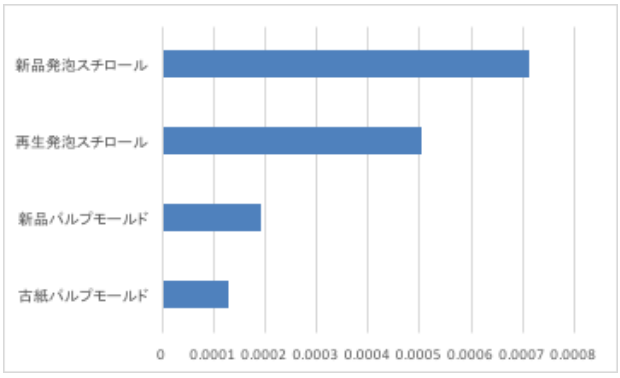


図 S4　落下高さ 10cm の CO_2 等価量/品質可能領域

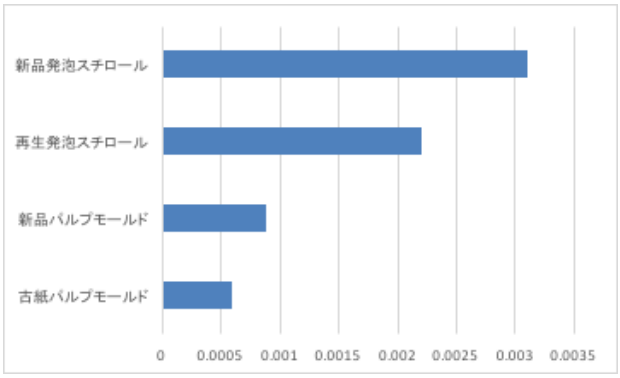


図 S5　落下高さ 30cm の CO_2 等価量/品質可能領域

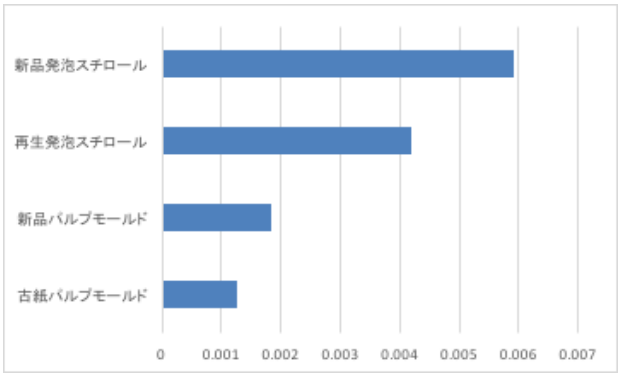


図 S6　落下高さ 50cm の CO_2 等価量/品質可能領域

C1-24
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

資源循環と気候変動などの統合的な評価に関する研究

Study on Integrated Evaluation of Resources Circulation, Climate Change and Other Issues

○藤井実*[1)]、孫露 [1,2)]、林希一郎 [3)]、大場真 [1)]
Minoru Fujii, Lu Sun, Kiichiro Hayashi, Makoto Ooba
1) 国立環境研究所, 2) 東京大学, 3) 名古屋大学
* m-fujii@nies.go.jp

1. はじめに

資源循環には、一般に多くの労働力を要し、対象によってはエネルギー消費やそれに伴う CO_2 排出の増加に繋がるケースもある。また、今後一層に拡大がもとめられる再生可能資源の利用、省エネルギー化（例：熱交換機の大型化）の推進は、マテリアルの利用拡大に繋がる可能性がある。項目間のトレードオフを考慮した対策の評価、選定が求められる。その際、持続可能性が一つの重要なポイントになる。

持続可能性を高める上で重要な視点は、将来世代への負荷を減らすことである。製品やサービスの提供や利用に際して、化石燃料や鉱物資源などに限らず、土地や人的資源も含めた広義の各種資源を利用する「時間」を示すことは、将来世代への影響を確かめる上で、有用であると考えられる。そこで筆者らは、資源を占有する時間について示す指標（以下、資源時間フットプリント）を開発し [1)]、ケーススタディへの実施を通じて、その適用可能性や改良を行っている。

2. 資源時間フットプリント

2.1 指標の概要

資源時間フットプリントは、様々な製品やサービスを提供、または利用するために占有（項目により量×時間または量で定義）する土地、物質、労働、汚染物質収容力などの広義の資源を、対応するそれぞれの全体容量（量）で割り算して求められる指標である（図1）。いずれも単位が「年」で表わされるため、持続可能性に対する、異なる項目間の影響の比較可能性を高めることができるのが特徴となっている。

金属資源については、採掘や精錬の際の負荷に加えて、利用期間中の占有状態を評価する。環境影響評価では、フローが着目され、ストックが評価されない場合が多いが、ストックの有効活用や不使用状態などが明確に評価されるのが特徴となる。化石燃料のように、燃焼したら別の形態に変化してしまう（消費されてしまう）ものは、将来に受継ぐものに換算して計測する。具体的には、同量のエネルギーを再生可能資源によって得るケースを想定し、その際に不可欠となる土地占有の時間フットプリントとして評価する。次世代と、あるいは生態系と共有すべき資源をどのくらいの期間占有しているかで、持続可能性を判断する。

資源時間フットプリントは、仮に人の一生における総ての資源の占有を考慮した場合、各資源について一生の何回分(年)占めているかを評価することになり、この大小によって将来世代への影響の大小を知ることができるとともに、対策による改善効果の把握や、資源占有状況の、国際間の比較等に用いることもできる。

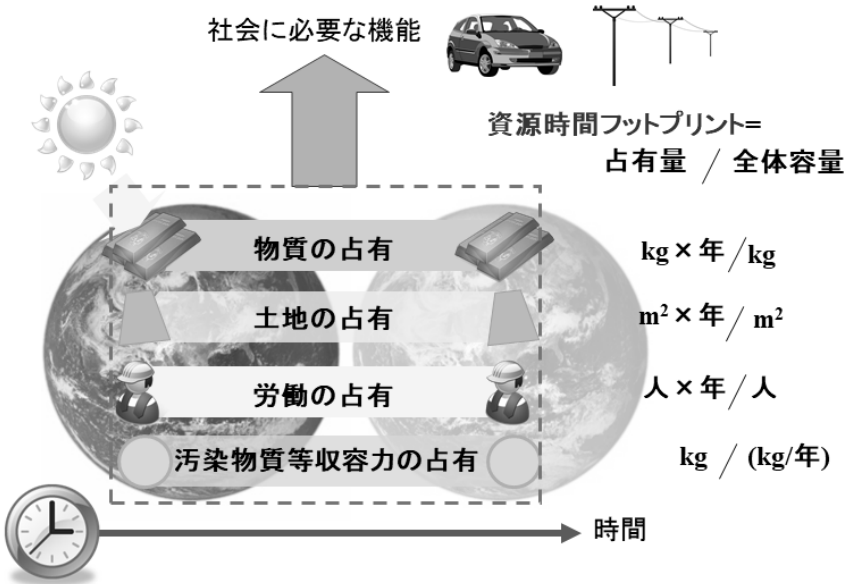


図 1　資源時間フットプリントの概略図

2.2 指標の分母・分子の設定方法

資源時間フットプリント指標の分子には、製品やサービスの提供・利用（所有しているが利用していないものを含む）にあたって占有する各種資源量を計上する。関係する個人・集団の 1 人当たりの占有量を基本とし、関係する範囲としては、製品・サービスの利用者や、廃棄物等の排出者とする。

分母は各種資源の全体容量を 1 人当たりに配分したものを基本とするが、配分方法には複数の考え方が存在し得ると考えられる。ここでは以下のような整理を行う。主に国際的に取引される、あるいは移動するものは、世界で均等配分するものとする。マテリアル（スクラップも輸出入されるため、ストックも含める。）や、二酸化炭素の排出許容速度（陸域・海域への吸収速度）などがこれに相当する。一方、主に地域に帰属すると考えられるものは、地域ごとに配分するものとする。土地、労働（一部は越境移動するが、その割合は少ない）、淡水の供給、地域性の高い汚染物質排出（環境からの除去速度）などがこれに相当する。また、二酸化炭素の排出許容速度については、各国の約束草案の数値に基づいて決定する方法もある。

3. ケーススタディ

資源時間フットプリントは、例えば低炭素化のための対策技術の優劣を、広い視点から比較するために用いることができる。低炭素技術は二酸化炭素の排出を抑制できる一方、より多くの土地や材料を占有することに繋がる傾向がある。例えば従来型のガス給湯器に比べ、ヒートポンプ給湯器ではコンプレッサーや熱交換器により多くの材料（鉄や銅）を占有することになる。このようなトレードオフについて、各種資源間の時間フットプリントの大小を比較することにより、そのバランスを確認したり、費用対効果の大小を評価したりすることが可能になる。

また、対策によっては、利便性は低下するが、異なる複数の資源占有について、正の改善効果をもたらすものも存在する。ここでは自動車の利用について、個人で所有するケースと、カーシェアリングを行うケースについての、簡単な試算結果を示す。

＜計算条件＞

車の寿命（14 年）のうち 1 年間の利用を評価する。車の構成素材のうち、鉄（車体の 65%程度を構成）に着目する。鉄の製造、使用、リサイクルに伴う、鉄の占有、化石燃料消費（土地占有）と、CO_2 排出を比較する。個人所有の乗用車の稼働率（2.5%)と、カーシェアリングの乗用車の稼働率（10%)の比から、4 名でシェアすると想定する。計算方法や使用データは主に文献[1]に基づく。

図 2　ケーススタディの概要

1 人・1 年間使用当たり資源時間フットプリント（日）の比較を行った結果を図 3 に示す。建物、公共インフラ等、様々に鉄を占有している中で、1 年間のカーシェアリングにより、10 日分程度鉄の占有を軽減できることが分かる。土地や CO_2 は、鉄の製造時のエネルギー消費に伴うものである。

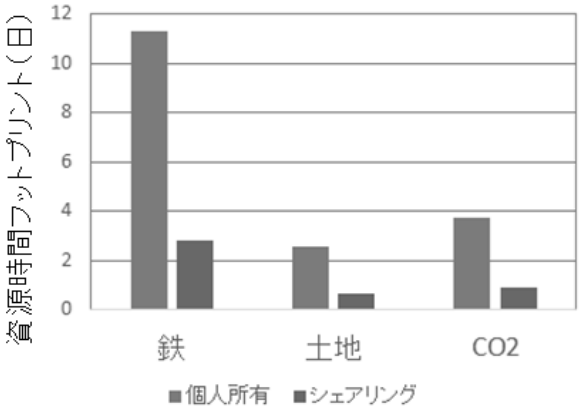


図 3　資源時間フットプリントのケース間比較
（1 年間の自動車の個人所有とシェアリング）

4. おわりに

資源時間フットプリントにより、持続可能性に対して、時間に着目した評価が可能になる。分母・分子の設定の考え方が一通りに定めにくいなど課題もあるため、指標の改善を行っていく予定である。

5. 引用文献

1)　Fujii M., Hayashi K., Ito H., Ooba M., Ecological Indicators, 46, (2014), pp.52-5

謝辞

本研究は、（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（3K163001）及び、名古屋大学未来材料・システム研究所共同利用・共同研究費の助成により行われた。

C1-25

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

マテリアルライフサイクルによる LCA 手法の可能性

Possible new LCA methodologies considering the life cycle of materials

○醍醐市朗*[1)]、木村 将志[1)]、榎 学[1)]、後藤 芳一[2)]

Ichiro Daigo, Masashi Kimura, Manabu Enoki, Yoshikazu Goto

1) 東京大学, 2) 日本機械工業連合会

* daigo@ material.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

LCA は、主に製品を評価対象とした手法であり、製品のゆりかごから墓場までの製品ライフサイクルが評価の対象となる。循環型社会や循環経済の推進に従って、そのライフサイクルの最後において、使用済み製品から二次資源を回収することが望まれている。金属素材では、製品ライフサイクルにおいて、有用な二次資源としてスクラップを産出しており、その供給に伴って幾らかの環境負荷が回避されたと考えることができる。これは、avoided impact（回避効果）と呼ばれることもある。そして、スクラップを原料に用いる際に、負荷が付加されることとなる。しかし、回避効果を一意に定める方法論は、いままで合意されてこなかった[1)]。その方法論の欠如から、LCA 研究において、回収されたスクラップは回避効果を計上されることなく評価されることもある[2)]。この状況は、リサイクル性の高い材料と、低い材料を比較しようとした際に、そのリサイクル性の違いは評価結果に影響を与えないという問題を生じている。

一方で、パリ合意などの環境制約と、新材料の開発から、多くの製品において、ライフサイクルでの環境負荷を大きく削減することを目指して、従来の設計で使用されていた素材を、他の素材に代替することが検討されてきている[3)]。材料の間での代替による効果を評価するに際して、それら材料のリサイクル性は 1 つの大きな要素である。そのため、今まで合意に至っていない回避効果の同定方法が、現在、LCA 実施者のニーズとなってきている。

このような背景の中、鉄鋼業の国際的な業界団体 World Steel Association（以下、worldsteel）は、鉄鋼材における回避効果の方法論（以下、worldsteel 手法論）を新たに提案した[4)]。手法の詳細は後述するが、Geyer[5)]が、製品評価のシステム境界の外に独立して材料リサイクルの評価のためのシステムを置いたように、製品ライフサイクルではなく、鉄鋼材のマテリアルライフサイクルへシステム境界を拡張したことで、新たな手法論を提案できたとも言える。そこで、本稿では、マテリアルライフサイクルへシステム境界を拡張することによる様々な材料で適用可能な手法論の可能性を検討した。

2. worldsteel 手法論の解釈

製品 LCA の評価システムにおいて、材料のインベントリデータは、一般的に材料が流通する単位である重量を基準単位として、1 kg の材料が提供されるまでに、その CtoG（cradle to gate）で誘発する環境負荷が整備されている。それに対して、worldsteel 手法論は、マテリアルライフサイクルへシステム境界を拡張することにより、インベントリデータに既に素材リサイクルシステムを考慮したデータを提供することに成功した[4)]。しかし、これは worldsteel が主張するように、「鉄鋼材は、鉄鋼材にリサイクルされる」という閉じたシステムの中でリサイクルされているとの仮定が成り立っているために有効である。廃コンクリートの路盤材としてのリサイクルなど、リサイクル先が同じ材料とは言えない場合もある。worldsteel の提案したシステム拡張は、どのような材料に適用可能だろうか。

worldsteel 手法論を、先述の回避効果を用いて説明するならば、回避効果 EI は式 1 を定義した。

$$EI = (x_{pr} - x_{re}) \times Y \qquad (1)$$

ここで、x_{pr}は天然資源 100%による CtoG のインベントリ、x_{re}はスクラップ 100%による CtoG のインベントリ、Y はスクラップ投入量に対する製品の歩留である。

スクラップリサイクルを反映した鉄鋼製品 LCI は、

$$X_{LCI} = A + EI \times S \quad -EI \times RR \qquad (2)$$

ここで、A はスクラップリサイクル効果を考慮しない CtoG インベントリ、$EI \times S$ はスクラップ利用に伴う負荷で、S は単位鉄鋼製品あたりのスクラップ利用量（スクラップ利用率）である。$EI \times RR$ はスクラップ回収に伴うクレジットで、RR は使用済み回収率である。

「鉄鋼材は、鉄鋼材にリサイクルされる」という仮定は、「鉄鋼材は閉じたリサイクルである」と言い換えられ、式 1 の前提となっている。式 1 では、回避できる効果量は 1 kg のスクラップの回収によって生産される鉄鋼製品 Y kg の天然資源 100%による CtoG のインベントリであり、回収されるスクラップの状態では鉄

鋼製品ではないため、*Y* kg の鉄鋼製品を生産するための CtoG の負荷は差し引かれている。この効果量が天然資源 100%による CtoG のインベントリである点が、リサイクルされた鉄鋼製品も天然資源由来の鉄鋼製品と同じ鉄鋼材であることが前提となっている。

3. 鉄鋼材における閉じたリサイクル

3.1 鉄鋼材のプロセスによる理解

鉄鋼材の生産には主に高炉・転炉プロセスと電炉プロセスがある。しかし、これらプロセスは、製鉄プロセスと製鋼プロセスに区別する方が理解しやすい。酸化鉄を金属鉄に還元する製鉄プロセスには、高炉の他にも DRI プロセスなどが近年では導入されつつある。製鉄プロセスにおいて主に CO_2 を排出するため、回収された金属鉄の状態としての鉄スクラップの回収に回避効果を計上することは妥当と考えることもできる。また、転炉や電炉の製鋼プロセスでは、現行のプロセス設計上の制約もあるが、銑鉄、DRI、スクラップの製鋼原料は代替可能である。つまり、鉄鋼材は、製鋼プロセスに依らず、スクラップが同じ鉄鋼材にリサイクルされる。

3.2 鉄鋼材の材料機能による理解

リサイクル材の機能に制約を生じさせる大きな要因の 1 つに不純物の混入がある。鉄鋼材リサイクルでは、特に Cu が問題であると広く知られている[6]。Cu は、Fe への固溶により、強化に寄与し、靭性を少し低下させ、耐食性が上げる。Cu は生産される鉄鋼材の発現機能の劣化ではなく、その加工における問題を生じることがあるため問題とされている。鉄鋼材の特性は、不純物元素の化学組成には敏感ではなく、内部組織に大きく依存する。Fe-C 合金である鉄鋼材は、製鋼時に C 濃度を制御可能であり、C の濃度や熱処理によってその様々な内部組織を形成させ、求める特性を付与できる。ここでは、最も汎用的な鉄鋼材である炭素鋼（他の合金成分のない Fe-C 合金）を意図し、リサイクルにおける劣化がない。つまり、鉄鋼材（炭素鋼）は、リサイクルしても鉄鋼材（炭素鋼）である。

3.3 マテリアルフローによる理解

理論的には、金属元素はリサイクルされても同じ金属元素として再利用できる。しかし実際には、プロセスの歩留 *Y* を考慮する必要がある。さらには、使用済みからの回収時の歩留 *RR* があり、経済性など多分に社会システムからの影響を受ける。現行のリサイクルシステムにおける技術・社会的な制約は、考慮した評価が望まれる。MFA 研究が進んできたことで考慮できるようになってきており、worldsteel 手法論でも考慮されている。

さらに、ここまでの議論において、回収されたスクラップがその需給において使われないことは想定していない。これも、MFA 研究によって将来にわたってスクラップが余剰になることは想定されないと示されている[7]ため、有効な前提である。

4. worldsteel 手法論の他材料への適用可能性

精錬プロセスで制御可能ではない合金元素によって求められる機能を満たしている場合、二次資源中の合金元素の不確定性が、リサイクル材の特性に影響を与えることがある。このような合金元素を有する金属材料では、その合金種が異なれば、同じ閉じたリサイクルシステムとは言えない。

紙や繊物などの繊維系素材は、繊維長が機能を提供するための重要な要素である。リサイクル時に破砕処理があると、その繊維長が短くなり、リサイクル材の提供できる機能に制約がかかる。リサイクル処理によっては、閉じたリサイクルではなくなる。

このように、材料ごとにその物性やプロセスの違いから制約となる現象は異なるものの、同一の機能を発現する材料にリサイクルできず、閉じたリサイクルシステムでない場合も多い。つまり、worldsteel 手法論の適用できる材料は、限られる。合金鋼やアルミニウム素材、銅素材のように、他のリサイクルシステムでのスクラップの利用がある場合や、繊維長の短化などの劣化がある場合の手法論を検討する必要がある。

5. おわりに

worldsteel 手法論は、Geyer[5] や McMillan[1]らが一次材料と二次材料を区別している煩雑さを回避できている。これは、鉄鋼材（Fe-C 合金）における C 濃度の制御可能性という特異な熱力学特性を用いた商業的プロセスのために、成立していると言えよう。マテリアルライフサイクルにシステム境界を拡張するには、そのリサイクルが閉じているかどうかが重要であることが分かった。また、それを材料学的な視点から考察し判定されることはほとんどなかったが、本稿での考察はその端緒であり、有効と考えられる。今後、リサイクルシステムの十分な理解のための材料学が期待される。

6. 引用文献

1) McMillan C.A. et al: *J. Ind. Ecol.*, 16 (2012) 324-333.
2) Kommalapati R. et al.: *Energies*, 10 (2017), 350-367.
3) Tharumarajah A., Koltun P.: *J. Clean. Prod.,* 15 (2007) 1007-1013.
4) Wold steel association: Methodology report –Life cycle inventory study for steel products. (2011) , Belgium, pp.48
5) Geyer R.: *Environ. Sci. Technol*, 42 (2008) 6973–6979.
6) Daigo I. et al.: *ISIJ Int.* 57(2017) 388-393.
7) Pauliuk S. et al.: *Environ. Sci. Technol.*, 47 (2013) 3448–3454

部品リユースを考慮した自動車由来特殊鋼合金の随伴元素の散逸量推計

An Estimation of the Amount of Dissipated Alloy Elements in Special Steel from Automobile Recycling Processes

○張政陽*1)、武山健太郎 1)、大野肇 1)、松八重一代 1)、中島謙一 2)、長坂徹也 1)

Zhengyang Zhang, Kentaro Takeyama, Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Tetsuya Nagasaka

1) 東北大学,　2) 国立環境研究所

* zhang.zhengyang.q7@dc.tohoku.ac.jp

1.　はじめに

2016 年の国内向け特殊鋼鋼材受注量は、1,177 万トンに増加し、その中の約 35%が自動車産業に消費されている [1]。特殊鋼は、自動車全体に占める割合が重量比で約 17%、エンジン、駆動系、足回り、懸架などの各ユニットの主要構成部品に使用されている。自動車を構成する部品のうち、エンジン本体及び補機類がボディーに次いで二番目の重量を占めている。これらの部品は、中古部品として高い需要があるほか、スクラップとしての資源販売価格も高いため、回収率が非常に高いと考えられる。経済産業省の調査 2)によると、自動車に含まれるエンジンの 97%が事前に回収され、そのうち、輸出エンジンも含めて部品リユースが 4 割であり、素材リサイクルが 6 割であった。

これら部品として販売できなかったエンジンは、破砕・選別処理、溶解・鋳造といったプロセスを経てアルミニウムと鉄が再資源化されるが、その際に、一部の合金元素は製錬・再溶解の際に散逸し有効活用がされていない [3,4]。また、エンジン一基あたりに特殊鋼が 45 kg～60 kg使われており、年間 300 万台以上の使用済自動車引取台数をもとに、エンジン由来の特殊鋼スクラップが年間 13.5 万トン以上排出されていることから、その特殊鋼スクラップに含まれる合金元素の散逸を定量評価することが重要である。

先行研究として、自動車産業に投入された鉄鋼材に随伴する合金元素に関する散逸経路の同定や散逸量の推計 [5-8]等は存在しているものの、自動車エンジンに着目した分析が行われていない。

本研究では、部品リユースの影響を考えながら、自動車エンジンに含まれる合金元素のニッケル(Ni)及びクロム(Cr)に着目し、動的 MFA (Material Flow Analysis) モデルである MaTrace モデル [6]を用いて、時間を通じた散逸量の推計を行う。

2.　研究方法

2.1　モデルの拡張

既存研究 [8]では、部品リユースが対象とする鉄鋼材及びその随伴元素の散逸に与える影響を考慮しなかったため、本研究では、図１のリユースフローを MaTrace モデルへ接続し、図２のようにリユース活動を分析可能にするためのモデルの拡張を行った。

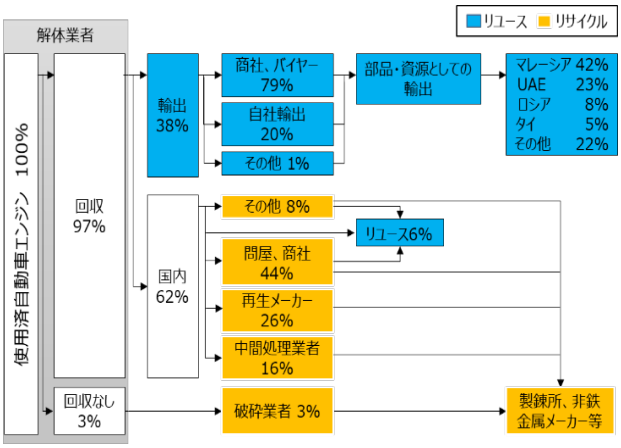


図１使用済自動車のエンジンの流通フロー（経済産業省の調査 [2] により作成）

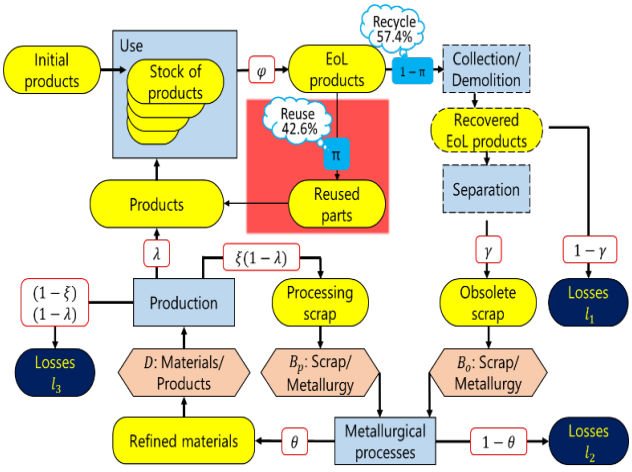


図２　リユースフローを組込んだ MaTrace モデルの概観図

2.2　分析条件の設定

初期投入製品をエンジンとし、製品のライフタイムを新車同様に 12 年で変わらないと設定する。

また、図 1 に示すように、輸出されたエンジンを全てリユースされると設定し、輸出の割合に国内リユースの割合を足し合わせることにより全体のリユース割合を算出する。素材リサイクル割合は、100%から全体のリユース割合を引くことにより算出する。次に、2005 年の使用済自動車発生台数をそれぞれの割合で按分し、リユースエンジン及びリサイクルエンジンの台数を算定した。

リユースの割合をパラメータπに与え、素材リサイクルの割合をパラメータ 1−πに与える。その他パラメータや製錬時の歩留まり、解析に必要となる物質フローなどのデータについては、Takeyama ら[8]と同様に。

Ohno ら[7]が 2005 年版産業連関表に基づき作成した Waste Input-Output MFA 表を用いた。

3.　結果

自動車エンジンに使われた特殊鋼合金およびその随伴元素の蓄積先の遷移を図 3 に示す。横軸は経過年、縦軸は初年度の投入量に対する割合を表している。

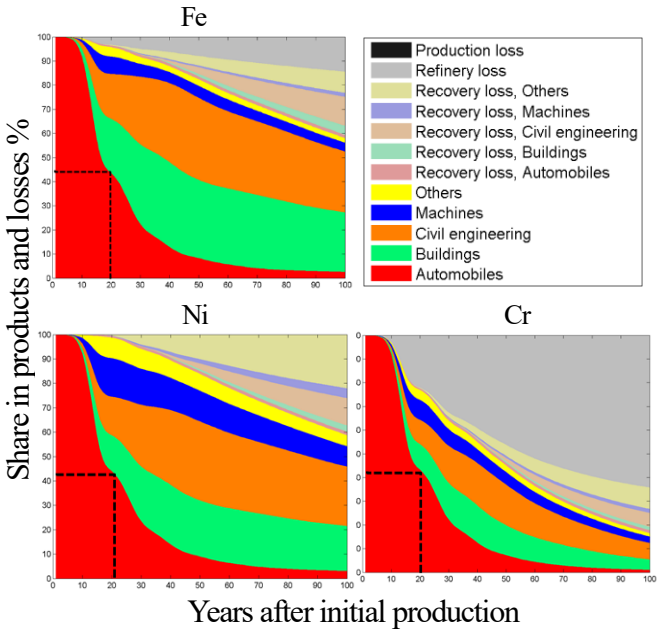


図３　自動車エンジンに含まれる特殊鋼合金とその随伴元素の存在形態の遷移

図３の Fe より、初年度に投入された 100%の鉄が 20 年後時点で、43%が自動車に残り、40%が土木建築や機械に残る。100 年後時点で、自動車には 5%程度しか残らず、ほとんどが土木建築で蓄積されている。鉄の散逸量が 42%であり、そのうちの 13%が精錬ロスとしてスラグへ散逸し、残りが未回収分として埋め立て処分されている。鉄と同じように、初年度に投入された Ni と Cr が、20 年後にはそれぞれ 44%と 43%自動車に残る。100 年後時点での散逸量は、Ni41%、Cr83%である。また、Ni についてはスクラップ回収時の散逸量が大きいことに対して、Cr は製錬時の散逸量が大きい結果が得られた。

4．まとめ

本研究により、資源有効利用の観点からはエンジンのみならず、他の部品に含まれる合金元素の散逸量を推計することが重要であることが明らかとなった。一方で、Ni と Cr の資源管理の観点からは、中古部品リユースを促進し、中古部品市場を拡大することが重要である。

参考文献

1）　一般社団法人日本鉄鋼連：　“普通鋼地域別用途別受注統計表Ⅳ参考統計”, (2015), pp.18

2）　経済産業省：“平成 26 年度製造基盤技術実態等調査（使用済自動車由来の金属資源循環実態調査事業）報告書”, (2015)

3）　Nakajima K., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nagasaka T.: Environ. Sci. and Technol., 45, (2011), pp.4929-4936

4）　Nakajima K., Takeda O., Miki T., Matsubae K., Nakamura S., Nagasaka T.: Environ. Sci. and Technol. 44, (2010), pp.5594-5600

5）　Nakajima K., Ohno H., Kondo Y., Matsubae K., Takeda O., Miki T., Nakamura S., Nagasaka T.: Environ. Sci. and Technol., 47 (9), (2013), pp 4653-4660

6）　Nakamura S., Kondo Y., Kagawa S., Matsubae K., Nakajima K., Nagasaka T.: Environ. Sci. and Technol., 48 (13), (2014), pp.7207-7214

7）　Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Nakamura S., Nagasaka T.: Journal of Industrial Ecology, 18 (2), (2014), pp.242-253

8）　Takeyama K., Ohno H., Matsubae K., Nakajima K., Kondo Y., Nagasaka T.: Materiaux & Techniques 104, 610, (2016)

9）　環境省：　“平成 23 年度先進的金属リサイクル技術開発等事業（使用済み自動車由来のスクラップの高度有効利用に関する調査事業）業務報告書”, (2012)

C1-27,P2-079　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

動的 MFA モデルを用いた都市鉱山入出量の推計

Estimation of inflow and outflow of urban mining using dynamic MFA model

○武山　健太郎 [1)*]、大野　肇 [1)]、松八重　一代 [1)]、中島　謙一 [2)]、近藤　康之 [3)]、長坂　徹也 [1)]

Kentaro Takeyama, Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Yasushi Kondo, Tetsuya Nagasaka

1) 東北大学, 2) 国立環境研究所, 3) 早稲田大学

*kentaro.takeyama.t2@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

金属資源はその埋蔵量が有限であり、その採掘においては様々な環境負荷や社会的影響を生じる可能性がある。[1)] その中で、廃棄された製品などの中に存在する金属資源を鉱山に見立てた都市鉱山の考え方が提案されている。[2)] 都市鉱山を有効利用する事でより採掘に伴う負荷を低減できる可能性がある。一方で、先行研究において人間の経済活動に伴う資源循環においては多くの金属資源が散逸していることが指摘されている。本研究では最大の消費量を誇る金属材料である鉄鋼材に着目する。鉄は添加した元素によって様々な特性を発現するため、様々な元素が添加されている。そのため、鉄鋼業では金属資源を大量に消費しており、[3,4)] 二次資源の有用利用による天然資源の消費削減に大きな効果が期待できると考えられる。

鉄鋼資源の循環においては、鉄鋼材のリサイクルに伴ってニッケル(Ni)とクロム(Cr)の散逸が生じている可能性が指摘されている。[5)] 現在、鉄鋼材のリサイクルは製造工程の端材や廃製品から回収された鉄スクラップを冷鉄源とした製鋼プロセスによって行われている。使用済み製品に由来するスクラップは鋼種の把握が難しく、合金元素の管理が不十分なため、合金元素の散逸の原因となっている。

先行研究においては、MaTrace モデル [6)]を拡張した動的 MFA モデルを使用する事で将来における素材の存在形態やスクラップの発生量およびそれに随伴する合金元素としての Ni と Cr の量の推計を行った。[7)] しかし、このモデルでは国外に輸出された製品についても国内で消費される際と同様のライフサイクルを辿ると仮定して分析を行っているため、国内で二次資源として利用可能な資源量を推計できていない。よって本研究においては、再生素材および製品の輸出を考慮することによって、生産された製品に用いられた素材の国内における蓄積量の経時変化を推計する事を目的とする。加えて製品のライフサイクルの変化によるその経時変化を分析する。

2. 手法

MaTrace モデル [56)]は WIO-MFA(Waste Input-Output MFA)モデル [8)]を製品寿命やリサイクル工程での歩留まりを考慮することで動的に拡張したモデルである。このモデルを用いる事で社会に投入された素材がどのような形態で蓄積されるかを可視化する事が出来る。先行研究において合金元素のフローについて分析を行うために、WIO-MFA 表における粗鋼・鋼材・スクラップの部門を鋼種毎に分割を行っている。

モデル計算における再生素材を製造プロセスに分配する係数である$D(t)$を国内需要に向かう製品の製造プロセスへの分配と輸出に向かう製品の製造プロセスへの分配に分け、輸出された製品については国内で再度利用が望めないものと仮定し、再度リサイクルフローには入らないものとする。輸出する製品製造プロセスで発生する屑は国内で利用可能なものとして加工屑として再度リサイクルフローに投入されるものとする。また、発生したスクラップについては統計値より発生したスクラップ量と輸出されたスクラップ量からスクラップの輸出率を設定する。フローの概略図を図 1 に示す。分配率$D(t)$の分割においては、国内需要に向かうマテリアルフローと輸出製品に向かうマテリアルフローを WIO-MFA モデルによって推計し、それを基に先行研究において設定したそれぞれの鋼種についてそれぞれの分配率を設定する。

本報告では国内で消費される自動車製品に投入された鉄鋼材とそれに随伴する Ni, Cr のフローに着目する。これは合金元素を含有する特殊鋼を含む高級鋼が自動車産業によって多く消費されている事に由来する。[9)]

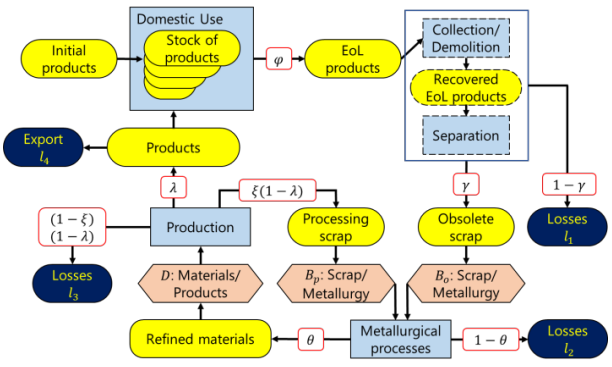


図 1 MaTrace モデル概略図

3. 結果

図 2 に自動車製品に投入された鉄鋼材に随伴する Cr のリサイクル先の遷移、図 3 に自動車製品に投入された Cr の製品への蓄積状態の変化を示す。両図とも左は

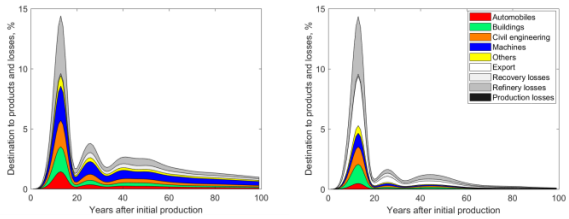


図 2 Cr の存在形態の遷移 (年次表示)
左: 輸出製品含む, 右: 輸出製品含まず

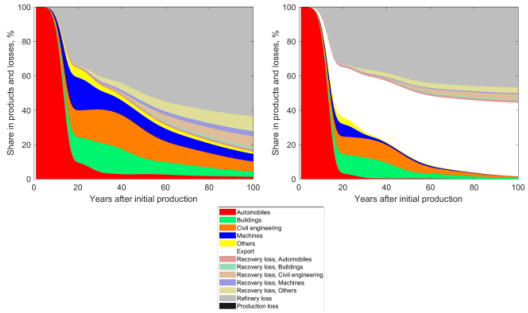


図 3 Cr の存在形態の遷移 (蓄積表示)
左: 輸出製品含む, 右: 輸出製品含まず

輸出される製品をリサイクルフローに含む形で推計したもの、右は輸出される製品をリサイクルフローに含まない形で推計したものである。それぞれ経過年を横軸に、初年度の投入量に対する割合を縦軸にとり作図する。図 2 においては、作成した再生素材の国内需要および輸出に向かう製品の製造への分配率により発生したスクラップに含まれる Cr の内約 25%が輸出される製品に投入されている事がわかる。これにより国内でリサイクルされる Cr の量が減少している。部門別に見た場合、自動車製品に投入された鉄鋼材に随伴する Cr は約 41%が国内で消費される製品に分配されているのに対し、建築部門に投入されたものは 95%以上が国内で消費される製品に分配されている。主に自動車製品に含まれている Cr は特殊鋼として、建築製品に含まれている Cr は普通鋼として存在しているため、Cr を国内でリサイクルする観点では不利である。

図 3 においては輸出された製品を物理的損失と同様に扱うと、日本国内に存在している製品中に蓄積している Cr の量は初年度に投入した Cr 量の約 1.5%程度である。輸出された製品も国内で消費される製品と同様のライフサイクルをたどるとした場合の Cr 残存量の約 16%である。

リサイクルフローに投入される二次資源として使用されるスクラップ量を図 2 より推計すると、100 年間の間の合計で初年度に投入された Cr 量の約 54%であり、そのうち特殊鋼へとリサイクルされる量は 24%になる。鋼材毎に国内もしくは国外に輸出される割合を推計すると、普通鋼は 60%以上が国内に、一方特殊鋼は 60%以上が国外に分配されている。

4. 考察

本報告においてはスクラップの輸出について鋼種に関係なく一定の値を与えているため、合金元素を多く含む鉄鋼スクラップを国内で優先的に消費するもしくはその逆である場合、国内で資源として利用可能なスクラップ量を過大もしくは過少評価している可能性がある。そのため、スクラップ輸出についての設定についてより精緻にする必要がある。また、本研究では輸出された製品がスクラップや製品として再度日本に輸入されるフローを考慮していないため、資源の海外蓄積量を過大に評価している可能性がある。一方、Pauliuk ら [10]は、MaTrace を国際フローに拡張したモデルを使用することで、素材の存在形態を製品部門だけでなく国毎に分析している。本論文と同等の鋼材部門への細分化等が必要となるものの、当該手法を適用する事で、海外における遷移を考慮した解析が期待できるであろう。

また、口頭発表およびポスター発表においてはスクラップ輸出において合金元素を多く含むスクラップの国内における優先消費とスクラップソーティングによる特殊鋼の水平リサイクルの推進による資源量の変化についても報告する。

5. 参考文献

1) UNEP, Global material flows and resource productivity, (2016)
2) M. Nanjo: Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University 43-2(1988), 239-251
3) B.K. Reck, D.B. Müller, K. Rostkowski, T.E. Graedel: Environ. Sci. Technol., 42, (2008), 3394-3400
4) J. Johnson, L. Schewel, T. E. Greadel: Environ. Sci. Technol., 40, (2006), 7060-7069
5) H. Ohno, K. Matsubae, K. Nakajima, S. Nakamura, T. Nagasaka: J. Ind. Ecol., 18(2), 2014, 242-253
6) S. Nakamura, Y. Kondo, S. Kagawa, K. Matsubae, K. Nakajima, T. Nagasaka: Environ. Sci. Technol., 48, (2014), 7207-7214
7) K. Takeyama, H. Ohno, K. Matsubae, K. Nakajima, Y. Kondo, T. Nagasaka: Matériaux & Techniques, 104(2016), 610
8) S. Nakamura, K. Nakajima: Mater. Trans., 46, (2005), 2550-2553
9) 日本鉄鋼連盟: 特殊鋼鋼材鋼種別用途受注量統計, (2017)

D1-24,P2-050　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

SDGs 指標を用いた世界各都市の環境効率の時系列評価

A Time-Series Assessment of Environmental Efficiency for Cities in the World Using SDG Indicators

○藤田省一郎*[1)]、伊香賀俊治[1)]、村上周三[2)]、川久保俊[3)]
Shoichiro Fujita, Toshiharu Ikaga, Shuzo Murakami, Shun Kawakubo
1) 慶應義塾大学, 2) 建築環境・省エネルギー機構, 3) 法政大学
* shoichiro@ z6.keio.jp

1. はじめに

2050 年には世界人口の約 7 割が都市に居住すると予測され、特にアジア地域では都市人口が 1970 年度比の約 2.7 倍増加すると報告されており、適切な都市開発の気運は高まりつつある[文 1)]。都市環境評価へ時間軸の視点を取り入れると、都市環境の変化は様々な要因を含んでおり、その変化をモデル化した知見の一つが環境クズネッツ曲線である[文 2)]。しかし、環境クズネッツ曲線は限られた経済指標と環境負荷に関する指標の変化のみに着目しており、都市環境の変化の構造を理解するためには都市環境の様々な要素と環境負荷について着目する必要がある。そこで、本研究では長期的な指標データの収集が可能であった世界各都市を対象に、都市環境の様々な要素を考慮した評価手法を用いて時系列評価を実施する。そして、BEE チャート上での時系列評価結果の推移を把握し考察することで、持続的な発展を目指す世界各都市の知見となることを目的とする。

2. 研究概要

都市環境評価手法として「CASBEE-都市（世界版）」を用いる[文 3)]。評価結果は BEE の値から S・A・B$^+$・B$^-$・C の 5 段階でランク付けされ、時系列評価の BEE チャート上での推移について Q、L のスコア（以下、Q、L）50 の点を基準に第 1 グループ～第 4 グループを設け各年次におけるグループの位置を経年比較して各国の発展パターンを分類する。まず、「国単位の指標値をその国の全都市の指標値の平均値」と仮定し、国際連合加盟国 188 カ国の 1991 年から 2010 年にかけての時系列評価を実施する。その評価結果から、BEE チャート上での時系列評価結果の大まかな推移を把握し分類する。続いて、そのパターン分類に基づき評価都市を選定し時系列評価を実施する。必要な各指標データは主に国際機関と各国統計局の公開統計情報を参照し収集した。

3. 評価結果

3.1 世界 188 カ国評価結果

世界各国の発展パターンを 4 種に分類した[注 1)]。各国の発展パターンの概略を図 1 に示す。また、各発展パターンに該当する国々の一部を抜粋し表 1 に示す。この結果から、発展パターン 2 の代表として中国 3 都市

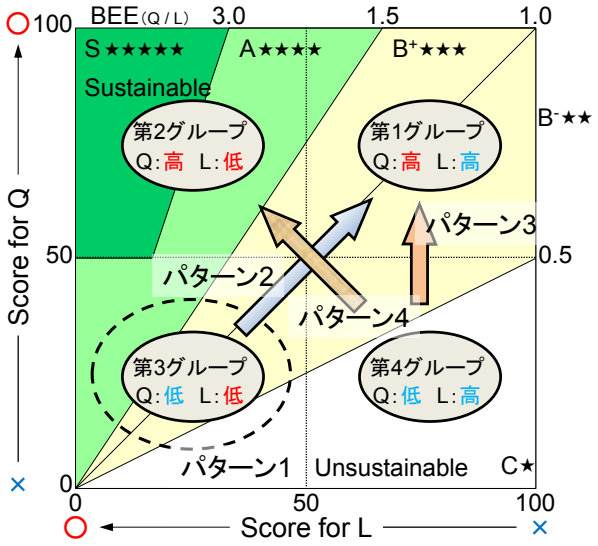


図 1 世界各国の発展パターン概略[注 2)]

表 1　各発展パターン該当国（一部抜粋）

推移パターン	該当国（一部抜粋）
パターン1	ナイジェリア、ケニア ガーナ、パラグアイ、インド
パターン2	中国、マレーシア エジプト、アルゼンチン
パターン3	日本、アメリカ、カナダ、イギリス フランス、ドイツ、オーストラリア
パターン4	アゼルバイジャン、スペイン ポルトガル、シンガポール、

図 2 分析対象地域内訳

を、発展パターン 3 の代表として東京都を、発展パターン 4 に属する環境先進国の代表としてシンガポールを含む東南アジアの 3 都市国家を評価都市として選定した（図 2）。

3.2 各パターンに属する世界各都市の評価結果

まず、中国 3 都市は発展パターン 2 のように右肩上がりの推移を示すことがわかった（図 3）。また、中国内で比較的発展の進んでいる北京と上海は 1995 年から 2000 年にかけては第 4 グループに属し L の増大が Q の向上を上回り、経済成長の途上で環境対策が遅れていたことがわかる。2006 年では Q が向上し第 1 グループに属しているが L は増大し続けており、今後早急に環境対策を講じる重要性が伺える。

続いて、東京都は 1970 年から 1990 年にかけて第 1 グループ内で右肩上がりの推移、1990 年から 2010 年にかけては L を減少させる推移となることがわかった（図 4）。このことから、東京都においては 1990 年頃、環境対策への意識が高まり、環境先進都市へと変化する転換点を迎えた、と考えられる。1992 年に採択された気候変動枠組条約の具体的な目標を定めた COP3 が 1997 年に国内の京都で開催され、京都議定書が採択されており、このことは国内へ L の減少の重要性を強く意識付けた要因の一つと考えられる[文 4)]。

最後に、東南アジア 3 都市国家は L の改善傾向が見られる。特に、シンガポールは L の改善が顕著であり、今後の都市開発のモデルケースとなる可能性がある。

4. まとめ

世界各都市の時系列評価から都市環境の変化を把握した。また課題として、環境クズネッツ曲線のような推移は見られなかった。理由として、都市の長期的な指標データの不足が挙げられ、今後都市評価に必要なデータの整備が国際的に期待される。

謝辞

本研究は一般社団法人日本サステナブル建築協会の下に設置された「CASBEE 都市（世界版）検討小委員会」（委員長：村上周三）並びに同委員会作業部会のメンバーの皆さまの多大なるご助言によって実現した。ここに記して深甚の謝意を表す。

注釈

1) 4 種の発展パターンに属さない国も存在した。2) Q は高いほど品質が高く、L は高いほど負荷が大きい。

引用文献

1) 国際連合：” World Urbanization Prospects”,入手先< http://esa.un.org/unpd/wup/DataQuery/.＞,(参照 2015-11-23) 2) Word Bank：“World Development Report1992”，入手先< http://documents.worldbank.org/curated/en/995041468323374213/World-development-report-1992-development-and-the-environment>（2017-12-27）3) Shun Kawakubo：“Sustainability assessment of cities: SDGs and GHG emissions”，Building Research and Information, (2017) 4) WWF ジャパン：“京都議定書”，入手先< https://www.wwf.or.jp/activities/climate/cat1259/cat1279/>（2017-12-27）

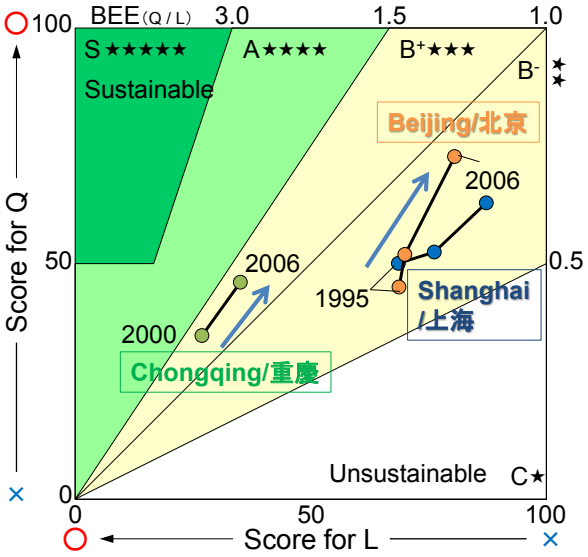


図 3 中国 3 都市評価結果

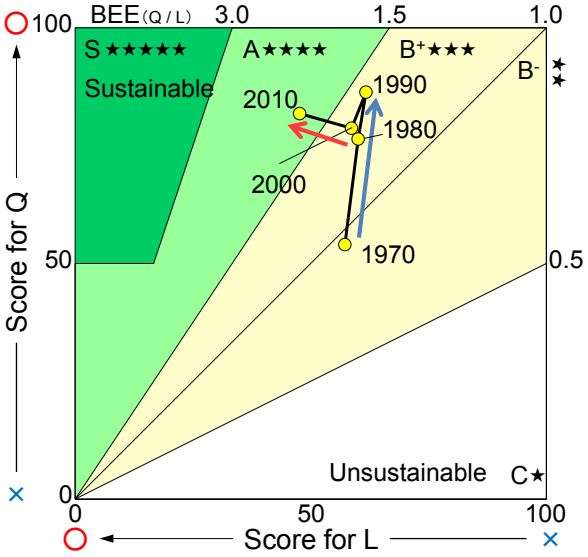


図 4 東京都評価結果

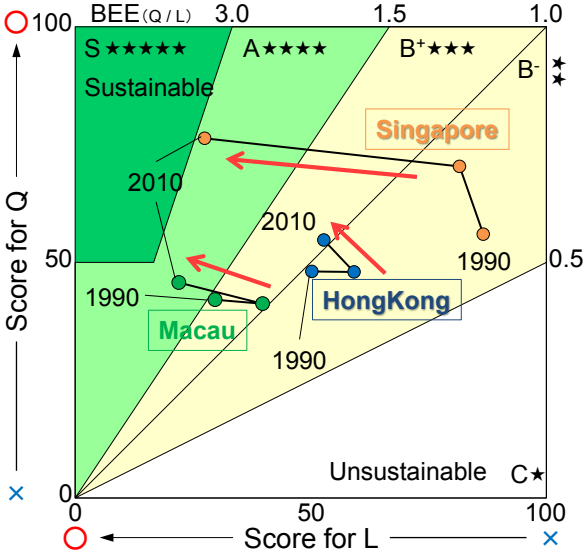


図 5 東南アジア 3 都市国家評価結果

D1-25,P2-089　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

GIS-based effectiveness analysis of water sensitive urban design (sponge city construction) in China

○Xuezhou Fan*[1)], Toru Matsumoto[1)]
1) The University of Kitakyushu
* x6dac404@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. INTRODUCTION

The climate change and urbanization affected urban ecosystem greatly. “7.21 storm” hit Beijing city in a terrible way in 2012. Its rainfall reached 215mm in three hours, which was the heaviest rain in 61years, caused 79 deaths or missing, and brought direct economic losses amounting to 11.6 billion yuan. In July, 2014, Wuhan city suffered the heaviest rainfall in 50years, which caused big traffic jam, and thousands of cars had been towed to auto repair factory. The urban flood has become Chinese citys’ nightmare in almost every summer. In order to mitagate this problem, “Sponge City Construction Guidebook” has been issued by central government. In terms of water balance in urban areas, total precipitation (rainfall) consists of infiltration, sewer system runoff, surface runoff and evaporation. Among them surface runoff connects with the waterlogging, when precipitation is a fixed value in a storm, if we want surface runoff down (Surface runoff is the direct reason why inundation happens), infiltration and sewer system runoff should be enlarged, in which case evaporation could be seen little in a short period of time. Sponge city construction is exactly the programmes to enlarge the urban infiltration.

However, there is only the construction guide in detail, no enough research about the effectiveness analysis of this urban design until now. This paper attempts to build a framework to evaluate this urban design by simulating it in a district with GIS software and doing the Cost-benefit analysis (CBA) in life cycle perspective.

2. METHODOLOGY

2.1 Overall view

We built a hydrology model first, in which we could calculate the surface runoff in a storm. Then we simulate the inundation result by using GIS, and find the inundation area and depth. We reset the inundation depth below a value, and the urban life would not be interrupted by inundation. Doing Cost-benefit analysis in life cycle is the final step. Because of the lack of data, we do not present the CBA in detail in this paper.

2.2 Hydrology Module

From the terms of water balance described above, we can get:R=TR-S–E ----------(1)

Where R is the amount of surface runoff (mm); TR is the Total runoff (mm); S is the amount of sewer system runoff (mm), E is the amount of evaporation, which is not introduced; According to USDA(United States Department of Agriculture) SCS-CN method , Total Runoff (S+ R) is calculated by, TR=

$$\begin{cases}(P-0.05sr)^2/(P+0.95sr), P\geq 0.05sr\\ 0, P\leq 0.05sr\end{cases}$$

sr=25400/CN-254, ----------(2)

In which P is the amount of precipitation (mm/h); sr is the potential maximum soil moisture retention; CN is the runoff curve number. CN could be obtained from USDA-table.

2.3 GIS Module

①fill sink

In order to find the depression area, we should fill the pits with ArcGIS hydrology tools.

②flow direction

With D8 algorithm, we can calculate flow direction and divide the catchment.

In this process, we use the filled DEM data done in step①.

③flow accumulation

In this process, a threshold is set to extract the stream. In order to get a main stream, in case study this paper, we set it as 2% of the maximum accumulation.

④Divide the sub catchment .

In this process, we divide the sub catchment, calculate the sub catchment area and calculate the surface runoff volume for each catchment.

v_i = (TR-S) ×A ---------- (3)

We compare v_i with the maximum storage that catchment can hold. If v_i is less than maximum storage, v_i would be the final inundation volume for that sub catchment; If not, maximum storage is the final inundation volume and the excess volume will be added to the next sub catchment. Then we calculate every sub catchment from upstream to downstream.

⑤Draw contour line

In this step, we recognize the elevation data in excel, and output the contour line.

Finally, we can get the inundation result with area and depth by ArcGIS simulation.

2.4 Evaluation

In order to make inundation not interrupt urban life, the data from China Auto Association shows a half of a wheel is 300mm, we simulate the inundation by controlling the depth below 300mm, in which case private car could pass through the inundation area. The cost for sponge city construction consists of construction fee, maintenance fee and pollution fee. The benefit for it consists of wading insurance, water saving and reducing of carbon emission. (CBA no shown in this paper)

3. RESULTS, DISCUSSION AND OUTLOOK

3.1 Results

Nangang district in the city of Harbin is located in 126°43′E-126°45′E and 45°30′-45°40′N. It lies in middle south of Harbin city, Heilongjiang province in Northeast China and has a temperate continental monsoon climate. Annual average precipitation is 530mm, and rain always happens from July to August, which accounting for 76.8% of the annual total. It provides a regional drainage capacity of 18mm/s. In order to protect from a normal rainfall (25mm/h), obviously this district′ s drainage capacity is not enough. For some reasons like this, this district faces a very serious waterlogging problem. (Data collected from Harbin Water Affairs Bureau).We select a storm happened on 4June 2009 as a case to simulate, in which the rainfall is 15.4mm and 42.1 mm in first two hours separately.

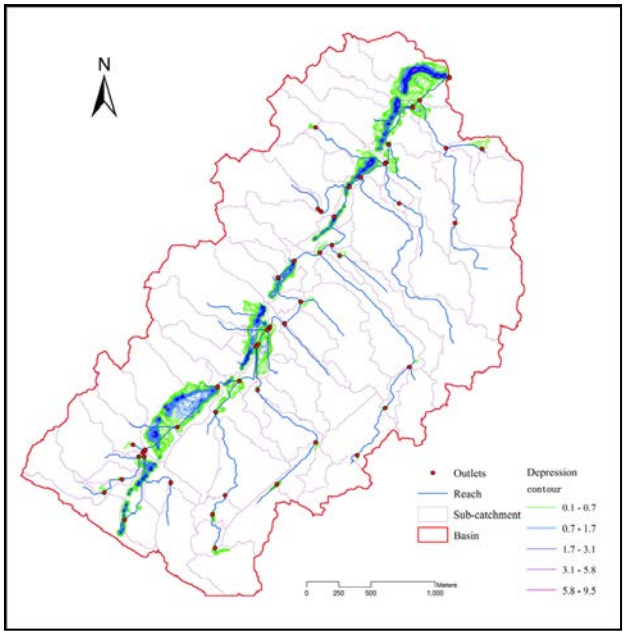


Fig. 1 Inundation area in Nangang district

The following is the comparison of simulation results and the measured ones.

Table 1 Comparison table

Comparison of the mesured and simulated data						
Position	Measured area(m2)	Simulated area(m2)	Error rate of area	Measured depth(mm)	Simulated depth(mm)	Error rate of depth
Renhe Street	2500	2312	-8%	200	260	30%
Dacheng Street	2000	2456	23%	200	190	-5%
Wenhua Street	60	135	125%	300	310	3%
jianshe Street	500	685	37%	200	250	25%
lianbu Street	60	85	42%	200	290	45%

3.2 Discussion and Outlook

From Table 2, we can find that: 1) the simulated inundation depth of Dacheng Street and Wenhua Street are very close to the measured one, which proved our method can simulate not only the inundation position but also the depth effectively.　2) There is also a problem that the error rate of area of Wenhua Street and lianbu Street is so high. Considering both of the two spot are small area (Measured area is 60m2), one of the error reasons is the DEM data's accuracy; by contrast, the accuracy seems do not affect the simulated depth. Because the measured depth of Wenhua Street just equal 300mm, when the precipitation < 42.1 mm/h, inundation do not have effect on car's moving.

Now we consider 'With the Sponge city construction' situation: By construction, the impervious percentage of this area will become 15.6(Obtained from the ArcGIS land use map analysis of this district), CN will be reset by77. Do the same work in Step 4(Case study), we can get the threshold value by: precipitation (mm/h) =62.03 mm/h. we obtain the "Sponge City Construction" effective precipitation interval is: (42.10mm/h, 62.03mm/h) in this district this city.

By collecting the data of environmental pollution cost and carbon emission reducing benefit, we conduct CBA in next step.

REFERENCES

[1] Shanghong Zhang, Baozhu Pan: Journal of Hydrology, 517, 2014, 260-268.

[2] 石赟赟,万东辉，陈黎，郑江丽: Water Resources and Power, 32, 2014, 57-60.

[3]Chunlu liu, Yan Li, Jun Li: Computers, Environment and Urban Systems, 64, 2017, 321-3

D1-26
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

サステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる都市評価モデルの提案

A Proposal of City Evaluation Model Including Factors of Sustainability and Resilience Simultaneously

○加藤博和*[1)]、北詰恵一[2)]、山中英生[3)]、奥嶋政嗣[3)]、井ノ口弘昭[2)]
Hirokazu Kato, Keiichi Kitazume, Hideo Yamanaka, Masashi Okushima, Hiroaki Inokuchi
1) 名古屋大学, 2) 関西大学, 3) 徳島大学
* kato@genv.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

今後数十年にわたる国土・都市戦略を検討するためには、人間社会の持続可能性への重大な脅威となる気候変動適応・温室効果ガス大幅削減とともに、深く関連するエネルギー危機や巨大自然災害をも考慮することが求められる。特に、多くの人口が住む都市部においては、その居住者が暮らしやすく、また地球環境への負荷もかけないことに加え、今後ある程度避けられないと考えられる気候変動に伴う悪影響を食い止めるための「シェルター」にもなる必要がある。

都市の活動は、その基盤となるインフラ・建築物、そしてその配置によって規定される。これらは土地利用計画や交通計画の内容や実効性によって変化し、その結果実現される空間構造は長期にわたって都市のあり方に影響を及ぼすことから、持続可能性を担保するためには、土地利用・交通計画における配慮がとても重要となる。

空間構造変化策は時間も費用もかかり、即効性は薄いが、今後のインフラ・建物更新に合わせ着実に進めることで、持続可能性を脅かす諸課題に対応しうる「国土・都市の再生」が可能となり、長期で大きな効果が見込まれる。逆に言えば、人口減少・超高齢化の進展が続き、インフラ大量更新も近未来に必要となる中で、今転換を始めなければ、国土・都市が持続可能性への脅威に適応できず、取り返しがつかない事態に陥る可能性が高まる。これを回避できる国土・都市構造を実現していくための具体的な方法論を提示することが喫緊の課題と言える。

既に日本では「コンパクト＋ネットワーク」の方針が国土交通省の「国土のグランドデザイン 2050」で示され、制度整備も進んでいる。しかし、具体的な効果を関係者に理解・納得できる形で提示できておらず、推進は困難が予想される。

本稿は、都市を対象として、その長期的な持続可能性向上に資する空間構造変更策を立案・実施するための「都市のライフサイクルアセスメント」とも言うべきシステムを開発するために、方法論の枠組を提案することを目的とする。開発するシステムは、都市の総合計画や都市計画マスタープラン、および地球温暖化対策地方公共団体実行計画の策定に活用できるものとする。

2. 都市の持続可能性とは？

都市の持続可能性はどのように評価するべきか？CO_2 排出量だけでは気候変動へのインパクトを評価しているに過ぎない。そもそも、都市から排出される CO_2 を削減したといっても、それは将来の地球全体に薄く影響を及ぼす外部効果であり、現段階ではその都市自体の持続可能性を直接高めることはない。将来的には、炭素税や排出量割当・取引がより厳しくなって、外部効果が内部化される時代が来るだろうが、その場合でもそれは、都市が支払うコストの増加として勘定された上で持続可能性低下に結びつく。こういったコスト負担をはじめとする、都市の持続可能性に直接影響する社会経済的な要因と、周辺や地球全体に現在もしくは将来影響を及ぼす外部効果要因とを分けて評価することが必要である。

加えて、都市の持続可能性を考える上では、定常的・漸次的な変化だけでなく、突発事象にどのように対応できるかについての考慮も必要である。特に巨大自然災害は、都市に致命的な打撃を与えたり、長期にわたって悪影響を残したりすることから、それにうまく対応できるための防災・減災対策が求められる。東日本大震災以降は、災害に立ち向かうという発想でなく、うまくいなす「しなやかな(resilient)」対応策が注目されるようになっている。

以上をまとめると、都市の持続可能性を評価し、それを高めるための策を検討・立案するためには、1)環境問題のみならず、都市の魅力や快適性といった人間活動の様々な側面を評価できるような体系、2)土地利用・交通によって規定される空間構造の影響を長期的に評価できる予測手法、3)巨大自然災害によるインパクトや回復過程を評価できる手法、が必要である。

1)については、SDGs を参考とするのが適切とも思え

るが、都市に適用する場合には当てはまらない項目や粗すぎる項目もあり、さらに現状評価はできても将来予測ができないものもあることから、項目の再編成が必要となる。2)は都市の空間構造変化予測シミュレーションができるとよいが、不確実性が大きいため、複数のシナリオを与えて評価するのが適切である。また、3)については、災害によって社会経済にどれだけのダメージが生じ、がれき発生など環境への悪影響がどの程度あるかの予測も必要となる。

3. sustainability と resilience の評価

以上を踏まえ、評価システムでは、定常状態が続いた場合の長期的持続可能性の評価（sustainability）と、巨大自然災害発災後のダメージと回復過程の評価（resilience）を両方とも可能とする。その概要を図 1 に示す。

長期的持続可能性の評価については、その指標として、SDGs を参考としつつ定量予測可能な経済・社会・環境のトリプルボトムラインを意識した指標群に絞り込み、一般に入手可能なデータを用いて評価値が算出できるようにすることで、実際の都市での施策検討を可能とする。経済指標としては、都市のインフラ・建築物の維持および更新コスト、および主な生活サービス　のコストを取り上げる。社会指標としては、年代・性別の生活の質(Quality Of Life: QOL)の高さや公平さ、コミュニティの結びつきの強さといった要素を統合した Well-being 指標を導入する。その際、住民アンケートによって各要素の重みを定量化し利用するとともに、それを住民にフィードバックすることで、地域の住みやすさと持続可能性について考えてもらえるようにする。また、環境指標としては、温室効果ガス排出量とともに、化石燃料や鉄・コンクリート使用量と土木・建築廃材量をライフサイクルアセスメントの考え方に基づき遡及分も含め推計する。

各指標については、現状はもとより、将来にわたっての変化を予測していく必要がある。そのためには、インフラ・建築物がどのように経年変化していくかを知る必要がある。そこで、建築物についてはコーホートモデルを用いた更新シミュレーションを実施し、同時に人口の総数と年齢・世帯構成の変化をなりゆき予測したり、立地変更策や交通網整備による影響を推計するモデルを適用することで、建築物更新と空家発生状況の経年的･空間的な予測を行うことが可能となる。これを基本として、建築物・インフラ更新と、交通活動や家庭・業務活動の概略が予測でき、それに起因する環境負荷やコストも推計される。なお、これらの推計・予測は 500m メッシュや町丁目単位で行えるものとし、各地区の更新・撤退のタイミングや、都市域の

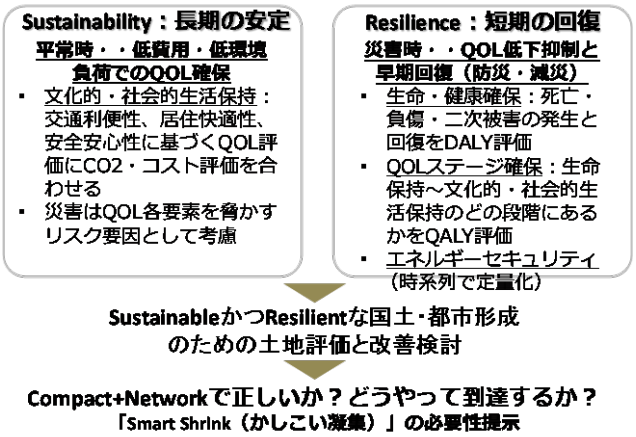


図 1　都市の sustainability と resilience の評価の考え方

空間的な再編の方向性を検討できるようにする。

このような sustainability 評価システムについては、著者が既に構築してきた各要素に関する予測評価モデルがあり、それらの相互関係を踏まえ発展的に見直しつつ統合することによって構築が可能である。

一方、resilience の評価については、各地域で起こりうる巨大自然災害を想定し、それによって死亡･負傷･疾病がどの程度発生するかを予測する（既存のモデルが多数存在）とともに、インフラ・建築物の崩壊・損傷に伴う生活水準低下と復旧による回復を推計するモデルを構築し用いる。そのため、生活水準を確保するために必要な各種のサービス・物品について、それがインフラ・建築物や交通が正常に機能しないことでどの程度供給が阻害されるかをあらかじめルール化しておくことで、生活水準低下の程度を推計することができる。これらについては参考文献 1), 2)である程度の推計が可能となっている。

以上のように、システムを構成する各要素モデルの多くが既に開発できていることから、今後は、統合化したシステムの構築を進めるとともに、実際の都市にシステムを適用し、「コンパクト＋ネットワーク」が都市の持続可能性向上にどの程度寄与するか、それを実現するために、建築物・インフラ更新時の立地変化をどのように進めていくべきかについて分析・考察することを目指す。

4. 引用文献

1) 高野剛志, 森田紘圭, 戸川卓哉、福本雅之, 三室碧人, 加藤博和, 林良嗣：土木学会論文集 D3, 69, (5), (2013), I_125-135

2) 猪原暁, 渡邉啓太, 杉本賢二, 加藤博和, 林良嗣, 中村晋一郎：土木計画学研究・講演集, 52, (2015), CD-ROM(52)

D1-27

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

世界産業連関表を用いた構造的類似性分析

Structural similarity analysis using the world input-output tables

○*白新田佳代子 [1)]、加河茂美 [1)] 、近藤康之 [2)]

Kayoko Shironitta, Shigemi Kagawa, Yasushi Kondo

1) 九州大学, 2) 早稲田大学

* kayoko.s137@gmail.com

1. はじめに

生産技術、通信技術の成長等を背景に、各国の経済発展パターンは多様化している。しかしながら、この経済発展のパターンについては依然として明らかになっていない部分が大きい。国の発展パターンを分析することは、今後の世界の経済成長を予想するだけでなく、さらに世界の環境負荷などの問題を解決するための手段として有効であると考えられる。

そこで，本研究では産業間の経済関係の強さを評価基準としてクラスタリングするために有効なアプローチとして注目されたスペクトラルクラスタリング [1)]を国間の経済構造の類似性に適用することでグループ化する方法を提案する。具体的には、まず 1995 年から 2011 年の世界産業連関表 (World Input-Output Databas)[5)]から 40 カ国の単地域産業連関表を抽出し、国間の投入係数行列の距離を算出することで技術の差を加味した構造的な類似性を評価する。さらにスペクトラルクラスタリング分析を適用し 40 カ国のグループ化を行い、一人当たり国民所得などの経済指標を用いつつ時系列的に世界の構造がいかに変遷したかを考察する。

2. 研究手法

2.1 類似性の定式化

本研究では、経済構造の類似性を投入係数の情報から得られる技術の類似度と定義し、経済構造間の距離として定量化する。距離は次の(1)式で表されるガウスカーネルによって推計する。

$$k_{ij} = \exp\left(-\left\|\mathbf{A}^i - \mathbf{A}^j\right\|^2/\sigma^2\right) \qquad (1)$$

ここで、$\mathbf{A}^i, \mathbf{A}^j$はそれぞれ i、j 国の投入係数行列 (i,j=1,…,n)であり、σはパラメータである。

2.2 スペクトラルクラスタリングの適用

次に、(1)式で得られた経済構造の類似性を基準にグループ化を行う。k_{ij} を要素にもつ行列を類似行列 $\mathbf{K}=(k_{ij})$と定義すると、この類似行列 **K** は重み付き隣接行列とみなすことが出来る。

各 i 国についての重み付き次数は(2)式で計算される。

$$d_i = \sum_i k_{ij} \qquad (2)$$

D を重み付き次数 d_i を対角成分に持つ対角行列とすると，次の(3)式より基準化ラプラシアン行列が得られる。

$$\mathbf{L}^* = \mathbf{D}^{-\frac{1}{2}}(\mathbf{D} - \mathbf{K})\mathbf{D}^{-\frac{1}{2}} \qquad (3)$$

この基準化ラプラシアン行列の固有値問題から得られる第 2 固有ベクトルを $\mathbf{y}=(y_i)$とし、$y_i>0$ となる頂点を集合 A、$y_i<0$ となる頂点を集合 B としグループ化を行う。

本スペクトラルクラスタリング [1, 2)]のより詳細な理論については、Shi and Malik (2000)および Kagawa *et al.* (2013)を参照されたい。

3. データ

本研究では、世界産業連関表 The World Input-Output Database (WIOD)[3)]より、1995 年から 2009 年における多地域間産業連関表を使用した。この多地域間産業連関表は 41 か国（Rest of the world を含む）35 産業部門からなる。この多地域間産業連関表は Socio Economic Accounts から得られる 1995 年基準のデフレータを用いて GRAS 法 [4, 5)]によって実質化されている。本研究では各国の経済構造をモデル化するため、多地域間産業連関表から 41 カ国の単地域産業連関表を抽出した。輸入中間財は該当する国内の中間財に足し合わされており、輸入中間財も考慮した技術的な要素も加味した経済構造に着目している。

4. 結果と考察

表 1 は 2 節の基準化ラプラシアン行列の固有値問題から得られる第 2 固有ベクトルの正負判定について 1995 年と 2008 年の結果をまとめたものである。赤く網がけされている国は World Bank(2017)

で定義されている一人当たり国民所得基準に基づいて低所得国（一人当たり国民所得$12,235 以下）に分類される国である。

表 1 より、1995 年時の経済構造の類似性によってブルガリア、中国、ハンガリー、インドネシア、インド、メキシコ、ルーマニア、トルコの低所得国を中心としたグループが形成された。一方もうひとつのグループはいわゆる先進国を中心としたグループで形成された。さらに表 1 の 2008 年時のグループ形成状況を見ることで、途上国がひとつのグループに集中する状況は変わっていないことが確認された。ここから、技術構造の近さと経済的な発展レベル間には関係があると考えられる。とりわけ先進国は Shironitta(2016)で述べられているように、サービス経済化の進展によりサービス産業への比重の増大とそれに伴って産業構造が収束されていくため、先進国の構造の類似性はますます強くなっていくものと予想される。

より詳細な時系列データによる分析結果と考察については研究発表会で報告する。

5. 引用文献

1) Shi J., Malik J.: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(8), (2000), pp888-905
2) Kagawa S., Suh S., Kondo Y., Nansai K.: Economic Systems Research, 25, pp265-286
3) Timmer M. P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer, R. and de Vries, G. J.: Review of International Economics, 23, (2015), pp575-605
4) Lenzen M., Wood R., Gallego B.: Economic Systems Research, 19, (2007), pp461-465
5) Temurshoev U., Miller E. R., Bouwmeester C. M.: Economic Systems Research, 25 (3), (2013), pp361-367

表 1.　1995 年、2008 年における基準化ラプラシアン行列の第 2 固有ベクトルの正負判定に基づくグループ分け

1995						2008					
No.	国コード	第2固有ベクトル	No.	国コード	第2固有ベクトル	No.	国コード	第2固有ベクトル	No.	国コード	第2固有ベクトル
4	BGR	0.196	1	AUS	-0.228	4	BGR	0.196	1	AUS	-0.228
7	CHN	0.294	2	AUT	-0.162	7	CHN	0.294	2	AUT	-0.162
8	CYP	0.033	3	BEL	-0.208	8	CYP	0.033	3	BEL	-0.208
9	CZE	0.147	5	BRA	-0.069	9	CZE	0.147	5	BRA	-0.069
13	EST	0.066	6	CAN	-0.085	13	EST	0.066	6	CAN	-0.085
18	HUN	0.180	10	DEU	-0.242	18	HUN	0.180	10	DEU	-0.242
19	IDN	0.158	11	DNK	-0.124	19	IDN	0.158	11	DNK	-0.124
20	IND	0.135	12	ESP	-0.150	20	IND	0.135	12	ESP	-0.150
21	IRL	0.036	14	FIN	-0.129	21	IRL	0.036	14	FIN	-0.129
24	KOR	0.203	15	FRA	-0.226	24	KOR	0.203	15	FRA	-0.226
25	LTU	0.003	16	GBR	-0.231	25	LTU	0.003	16	GBR	-0.231
26	LUX	0.075	17	GRC	-0.131	26	LUX	0.075	17	GRC	-0.131
28	MEX	0.109	22	ITA	-0.227	28	MEX	0.109	22	ITA	-0.227
29	MLT	0.163	23	JPN	-0.055	29	MLT	0.163	23	JPN	-0.055
33	ROU	0.098	27	LVA	-0.011	33	ROU	0.098	27	LVA	-0.011
34	RUS	0.026	30	NLD	-0.281	34	RUS	0.026	30	NLD	-0.281
35	SVK	0.173	31	POL	-0.032	35	SVK	0.173	31	POL	-0.032
36	SVN	0.104	32	PRT	-0.016	36	SVN	0.104	32	PRT	-0.016
38	TUR	0.140	37	SWE	-0.145	38	TUR	0.140	37	SWE	-0.145
39	TWN	0.262	40	USA	-0.152	39	TWN	0.262	40	USA	-0.152

2日目
（3/8）

タイムテーブル

2日目　3月8日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	太陽エネルギー	特別セッション：循環型社会とサーキュラー・エコノミー (1)	バイオマス	廃棄物利用	企画セッション：ホットスポット分析と環境ラベルへの活用
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	家電製品	特別セッション：循環型社会とサーキュラー・エコノミー (2)	地域	水	企画セッション：パリ協定後の日本の産業を考える
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:20	昼休み				
13:20-13:40	政策と情報開示	特別セッション：食品・農業分野の横断的LCA(3)消費者・社会・産業システム	特別セッション：環境負荷削減貢献量評価	消費者選択	水素・再生可能エネルギー
13:40-14:00					
14:00-14:20					
14:20-14:40					
14:40-15:00					
15:00-15:20	休憩				
	P会場				
15:20-16:20	ポスターセッション1　*コアタイムA:奇数番号				
16:20-17:20	ポスターセッション2　*コアタイムB:偶数番号				
17:20-17:40	移動				
17:40-	交流会(25号館(大隈ガーデンハウス) 2F食堂)				

A2-01

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

ソーラーシェアリングの広域的導入ポテンシャル評価

Potential evaluation of extensive introduction of "Solar sharing"

○室城智志*[1)]、栗栖聖 [1)]、中谷隼 [1)]、森口祐一 [1)]、花木啓祐 [1),2)]

Satoshi Muroki, Kiyo Kurisu, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi, Keisuke Hanaki

1) 東京大学, 2) 現在 東洋大学

* muroki@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

農地における太陽光発電の活用について、近年「ソーラーシェアリング」と呼ばれる手法が注目されている。ソーラーシェアリングとは「農地に支柱を立てて、営農を継続しながら上部空間に太陽光発電設備等の発電設備を設置する技術」[1)]で、日本では 2013 年に農地の一時転用許可の対象として正式に認められた [1)]。

ソーラーシェアリングの導入は高温障害の減少や農業用水の節約などの好影響が期待されている [2)]一方で、日射量の減少は条件によっては農作物の収量に悪影響を及ぼす [3)]。よって転用許可の継続に必要最低限の収量を維持するため、太陽パネルの導入量と収量変化の関係性を明確にする必要がある。また農地を太陽光発電用地と見なすことから、将来的に広域的な導入を想定する場合、耕地の分布と地域ごとの地理及び電力系統の制約条件を考慮する必要がある。

本研究はソーラーシェアリングの広域的な導入ポテンシャルの評価を行うことを目的とした。まず、ソーラーシェアリングにおける日射量の減少と、それに伴う様々な農作物収量への影響を調査し、パネルの設置比率と減収率の関係を定式化した。次に関東地方の農作物別作付面積に対して、許容される減収率や地域の系統連系の空容量などの制限因子を考慮し、メッシュデータを用いた導入ポテンシャルを推計した。

2. 方法

2.1 評価対象

関東地方の 1 都 6 県を対象範囲とし、農作物は農林業センサス 2015[4)]において作付面積が公開されている作物から「工芸農作物、果樹類、花き類・花木、その他の作物」を除いた主要作物を対象とした。耕地及び耕作放棄地は販売農家を想定した。

2.2 ソーラーシェアリングの基本構成

本研究で対象とするソーラーシェアリングは多数の架台によって短冊形の太陽パネルを設置する形状のものを想定した。パネル設置高さは 2.5m とし、パネル傾斜角度は固定型で、NEDO のデータベースより地域ごとに最適な角度を設定した [5)]。

2.3 パネル設置比率と農作物減収率の関係の定式化

まず、上空から見た耕地面積に対する太陽光パネル面積の設置比率と、実際に農作物に届く日射量の変化の関係を定式化し、次に主要な農作物について、遮光による日射量の変化と収量の変化の関係を散布図にプロットし、回帰直線を求めた（詳細は SI を参照）。ここで、天候などの不確実要素の下でも目標とする収量を確保する必要性を重視し、90%予測下限直線から農作物ごとに必要な相対日射量を算出した。全ての農作物について、目標とする収量はソーラーシェアリングの許可要件 [1)]から 80%と置いた。また、十分な先行研究が得られなかった農作物については、得られた結果を拡張して同様の性質を持つと仮定した。

2.4 導入ポテンシャルの算出

農作物の作付面積に関するメッシュデータ [4)]からソーラーシェアリングの導入賦存量を算出した。本研究では ArcGIS (Ver. 10.2) を使用した。農作物ごとのパネル設置比率、及びそのメッシュにおけるパネルの年間最適傾斜角から、メッシュ内のソーラーシェアリングによる定格容量を算出した。さらに日本工業規格 [6)]に基づき、各メッシュでの年間発電推定量を算出した。

また、導出された賦存量に対し、複数の制約条件を考慮した場合のソーラーシェアリングの導入ポテンシャルを算出した。制約条件の詳細を表 1 に示す。Case1 では地理的な制約を加え、Case2 では Case1 にさらに電力系統に関する制約条件として、東京電力パワーグリッド株式会社が公開している「配電用変電所空容量マッピング」[7)]を利用し、2017 年 11 月 22 日時点で特別高圧系統の空容量が不足しているエリアを除外した。Case3 以降では、ソーラーシェアリングの導入による農作物収量の減少を補完するシナリオとして、耕作放棄地における営農を再開する場合について考察した。

表 1　制約条件の定義

賦存量	制約条件なし
Case1	最大傾斜が北・北東・北西、傾斜20度以上、自然保全・自然公園地域除く
Case2	Case1+高圧系統連系規模の農地面積 - 高圧系統の連系空容量なしのエリア
Case3-1	Case2+減収を耕作放棄地の営農再開（SS導入）にて補完（市区町村内で融通）
Case3-2	Case2+減収を耕作放棄地の営農再開（SS導入）にて補完（県内で融通）
Case4-1	Case2+減収を耕作放棄地の営農再開（通常営農）にて補完（市区町村内で融通）
Case4-2	Case2+減収を耕作放棄地の営農再開（通常営農）にて補完（県内で融通）

*SS：ソーラーシェアリング

3. 結果

3.1 パネル設置比率と農作物減収率の関係の定式化

パネル設置比率と収量変化の推計結果を表 2 に示す。パネル設置比率が高く、よりソーラーシェアリングに適すると考えられる順にグループ分けを行った（表 3）。

表 2　農作物の収量変化とパネル設置比率

グループ	パネル設置比率		根拠となった農作物
	収量80%まで許容	収量70%まで許容	
G1	18%	37%	レタス
G2	18%	25%	大豆
G3	13%	20%	水稲、イモ類
G4	10%	23%	小麦
G5	不適	不適	トマト

表 3　パネル設置比率に基づく農作物のグルーピング

グループ	対象となる農作物類	対象作物（農林業センサス定義）
G1	葉茎菜類	はくさい、キャベツ、ほうれんそう、レタス、ねぎ、ブロッコリー
G2	豆類	大豆、小豆、その他豆類
G3	稲類、イモ類および根菜など	水稲、陸稲、ばれいしょ、かんしょ、だいこん、にんじん、さといも、やまのいも、たまねぎ
G4	麦類、雑穀	小麦、大麦・裸麦、そば、その他雑穀
G5	果菜類	キュウリ、なす、トマト、ピーマン、いちご、メロン、すいか、その他野菜

3.2 導入ポテンシャルの算出

前節で求めた関係式を基に、関東地方におけるソーラーシェアリングの導入ポテンシャルを算出した。算出結果を表 4 に示す。制約条件を無視した関東地方の導入賦存量は 67.2GW、年間発電量は 71,348GWh となる。次に制約条件を考慮した場合の導入ポテンシャルの変化を比較すると、地理的な制約を考慮した Case1 では賦存量の 91%のポテンシャルを保つが、さらに系統的な制約を考慮した Case2 では約 14%と大きく減少した。両者のポテンシャル分布の比較を図 2 に示す。この図から、Case2 により、Case1 で大きな導入ポテンシャルをもつ栃木県、茨城県、千葉県などを中心としたエリアが強い制約を受けることがポテンシャルの減少の原因であることが明らかとなった。

次に耕作放棄地における営農再開により減少した収量を補完するシナリオを比較する。Case3 と Case4 の比較より、補完方法はソーラーシェアリングよりも通常の営農方法である方が、最終的な導入ポテンシャルは優れていることが分かった。また Case3、Case4 のどちらの場合でも、市区町村内の耕作放棄地のみを対象とするよりも、県単位で耕作放棄地を融通することでより多くの導入が可能になった。

表 4　関東地方における導入ポテンシャル

項目	賦存量	Case1	Case2	Case3-1	Case3-2	Case4-1	Case4-2
導入ポテンシャル［GW］	67.2	61.2	9.6	3.37	4.04	3.78	6.02
年間発電量［GWh/年］	71,348	65,069	10,444	3,638	4,286	4,093	6,403

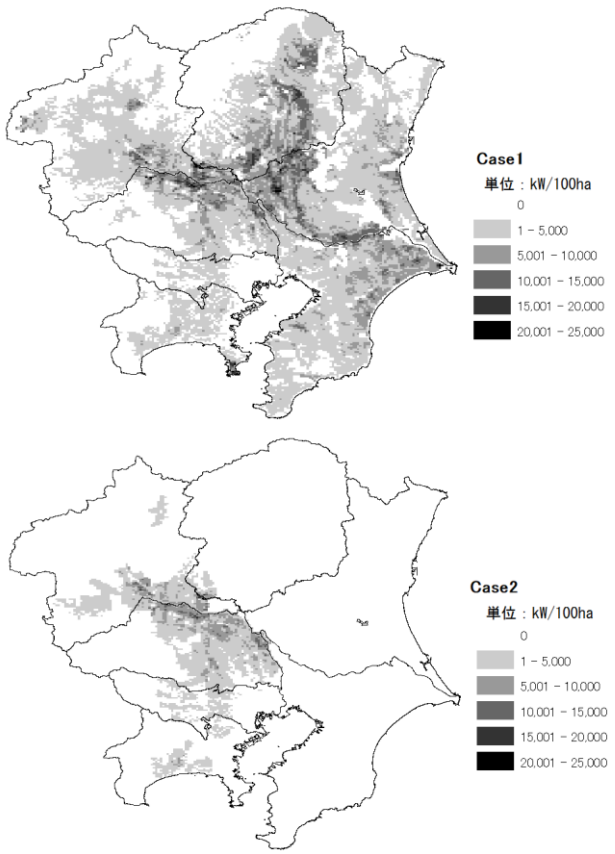


図 2　制約条件別の導入ポテンシャル

4. まとめ

本研究ではソーラーシェアリングにおけるパネル設置比率と農作物の収量変化との関係を定式化し、関東地方における導入ポテンシャルを推計した。農作物の種類ごとにソーラーシェアリングへの適応性が異なり、適切な設定が必要であること、また電力系統の制約がポテンシャルを大きく減少させており、将来的な系統強化がポテンシャル増加に必要であることがわかった。今後のより正確な導入ポテンシャル推計には、ソーラーシェアリング下の農作物の生育に関する知見の集積、及び導入コストや農作物の選択など個々の農家の判断に関わる制約条件について考慮する必要がある。

5. 引用文献

1) 農林水産省: “支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の扱いについて”, (2016)
2) 長島 彬: “「ソーラーシェアリング」のすすめ”, (2014)
3) Dupraz C., Marrou H., Talbot G., Dufour L., Nogier A., Ferard Y.: Renewable Energy, 36 (10), (2011), pp.2725-2732
4) 農林水産省: “2015 年農林業センサス報告書”, (2016)
5) NEDO: “年間月別日射量データベース”, http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html, (2017-9-20)
6) 日本工業規格: “太陽光発電システムの発電電力量推定方法 JIS C 8907”, (2005)
7) TEPCO: “当社における系統情報について”, http://www.tepco.co.jp/pg/consignment/system/index-j.html, (2017-11-22)

Supporting Information

・パネル設置比率と相対日射量の関係

パネル設置比率と相対日射量の関係について、引用文献と両者の数値を表 S1 に、そこから導かれる近似曲線を図 S1 に示す。なお、ソーラーシェアリング設備下の相対日射量は季節及びパネル下の位置の違いによって変動することから、対象文献の最大値及び最小値を共にプロットした。近似曲線は指数関数を仮定した。

・相対日射量と農作物の相対収量の関係

相対日射量と農作物の相対収量の関係について、引用文献と両者の数値、及び算出された予測下限直線の結果を表 S2 に示す。ここでソーラーシェアリングにおいては農作物の全期間について遮光処理を行うと仮定することから、同一文献内で複数の遮光期間を設けている場合はその影響値を乗算することで全期間の処理と仮定した。

・引用文献

1) Dupraz C., Marrou H., Talbot G., Dufour L., Nogier A., Ferard Y. : Renewable Energy, 36 (10), (2011), pp.2725-2732.
2) LIU Qi-hua, WU Xiu, CHEN Bo-cong, MA Jia-qing, GAO Jie : Rice Science, 21 ,(5) (2014), pp.243-251.
3) Marrou H., Guilioni L., Dufour L., Dupraz C., Wery J. : Agric.For.Meteorol., 177, (2013), pp.117-132.
4) Marrou H., Wery J., Dufour L., Dupraz C. : European Journal of Agronomy, 44 ,(Supplement C) (2013), pp.54-66.
5) Talbot Grégoire, Roux Sébastien, Graves Anil, Dupraz Christian, Marrou Hélène, Wery Jacques : Environmental Modelling & Software, 51 ,(Supplement C) (2014), pp.136-148.
6) Wahua T. A. T., Miller D. A. : , 70 (3), (1978), pp.387-392.
7) ゴシュ S. C., 浅沼 興一郎, 楠谷 彰人, 豊田 正範 : 生物環境調節, 40 (3), (2002), pp.259-268.
8) 中野 芳輔 : 畑地農業 (699), (2017), pp.12-16.
9) 佐藤 治雄, 柳 智博, 平井 宏昭, 上田 悦範, 織田 弥三郎 : 生物環境調節, 32 (4), (1994), pp.231-237.
10) 小元 敬男, 上和田 勉 : 農業気象, 38 (1), (1982), pp.55-58.
11) 松島 省三, 山口 俊二, 眞中 多喜夫, 岡部 俊 : 日本作物學會紀事, 22 (3-4), (1954), pp.107-108.
12) 津野 幸人, 山口 武視 : 日本作物學會紀事, 58 (1), (1989), pp.74-83.
13) 浜本 浩, 宍戸 良洋, 内海 敏子, 熊倉 裕史 : 生物環境調節, 38 (2), (2000), pp.63-69.
14) 玉置 雅彦, 猪谷 富雄, 山本 由徳 : 日本作物學會紀事, 68 (1), (1999), pp.16-20.

表 S1　パネル設置比率と相対日射量の関係

	パネル設置比率(-)	相対日射量(-)	
中野, 2017	0.84	最大値	0.27
	0.84	最小値	0.14
Dupraz, 2011	0.480	最大値	0.449
	0.480	最小値	0.43
	0.240	最大値	0.72
	0.240	最小値	0.71
Marrou, 2013a	0.458	最大値	0.56
	0.458	最小値	0.48
	0.229	最大値	0.74
	0.229	最小値	0.63
Marrou, 2013b	0.458	最大値	0.52
	0.458	最小値	0.32
	0.229	最大値	0.68
	0.229	最小値	0.46

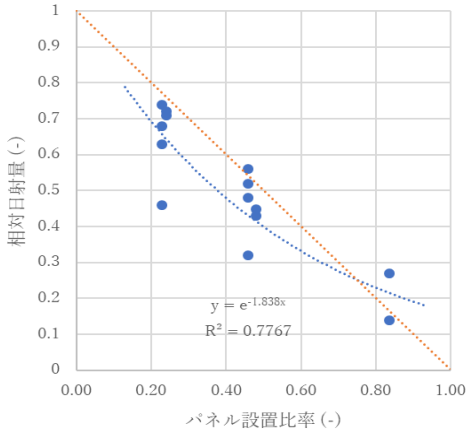


図 S1　パネル設置比率と相対日射量の関係

表 S2　パネル設置比率と相対日射量の関係

作物	引用文献	遮光資材	相対日射量: x (%)	相対収量: y (%)	予測下限直線
小麦	永尾ら, 1999	寒冷紗布	30	45	y = 0.578x + 31.8
	永尾ら, 1999	寒冷紗布	30	74	
	Dupraz et al., 2011	太陽光パネル	72	83	
	Dupraz et al., 2011	太陽光パネル	44.9	73	
	Talbot et al., 2014	太陽光パネル	75	87	
	Talbot et al., 2014	太陽光パネル	50	61	
水稲	松島ら, 1953	布（白）	62	85	y = 1.02 x + 0.0454
	松島ら, 1953	布（白）	42	71	
	松島ら, 1953	布（白）	30	38	
	松島ら, 1953	布（白）	82	84	
	松島ら, 1953	布（白）	79	90	
	松島ら, 1953	布（白）	57	76	
	松島ら, 1953	布（白）	49	71	
	松島ら, 1953	布（白）	26	37	
	松島ら, 1953	布（白）	24	31	
	松島ら, 1953	布（白）	20	29	
	松島ら, 1953	布（白）	8	9	
	津野, 山口., 1989	寒冷紗布	50	73	
	津野, 山口., 1989	寒冷紗布	50	78	
	津野, 山口., 1989	寒冷紗布	50	92	
	玉置ら, 1999	寒冷紗布（黒色）	50	37	
	玉置ら, 1999	寒冷紗布（黒色）	50	30	
	LIU et al., 2014	-	50	65	
	LIU et al., 2014	-	40	85	
	LIU et al., 2014	-	55	45	
レタス	Marrou et al., 2013	太陽光パネル	77	81	y = 0.478x + 45.8
	Marrou et al., 2013	太陽光パネル	54	79	
	Marrou et al., 2013	太陽光パネル	77	99	
	Marrou et al., 2013	太陽光パネル	54	79	
いも類	小元, 上和田., 1982	寒冷紗布（黒色）	50	64	y = 1.171x - 11.4
	小元, 上和田., 1982	寒冷紗布（黒色）	10	8	
	Ghosh et al., 2002	寒冷紗	52	45	
	Ghosh et al., 2002	寒冷紗	24	17	
	Ghosh et al., 2002	寒冷紗	52	62	
	Ghosh et al., 2002	寒冷紗	24	32	
トマト	浜本ら, 2000	寒冷紗（黒色）	70	49	y = 0.979x - 14.6
	佐藤, 1994	寒冷紗	50	65	
	佐藤, 1994	寒冷紗	30	43	
	佐藤, 1994	寒冷紗	75	74	
	佐藤, 1994	寒冷紗	55	67	
	佐藤, 1994	寒冷紗	20	0	

A2-02,P2-011　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

住宅用太陽熱給湯システムの市町村別 CO_2 削減費用の推計

CO_2 abatement costs by installing residential solar hot water systems on a municipal basis

○清水恭亮*[1)]、本藤祐樹 [1)]、森泉由恵 [1)]

Kyousuke Shimizu, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi

1) 横浜国立大学

* simizu-kyousuke-dy@ynu.jp

1. はじめに

家庭のエネルギー消費の約 30%は給湯用途の消費であり、CO_2 削減のために太陽熱給湯システムの利用が期待されている。しかし、経済性に課題があるため、今後の導入促進には補助金等の支援が求められる。このような経済的な支援は、CO_2 削減の費用対効果の高い地域から進めることが効果的である。日本では各市町村の地域条件に適した地球温暖化対策を推進しており、地域条件を考慮した上で市町村別に費用対効果を推計することが効果的な支援策の検討に寄与すると考えられる。しかし、太陽熱給湯システムを対象とした既往の LCA 分析 [1)]では、地域別に費用対効果を推計したものは見当たらない。

本研究では、従来型給湯システム（CWH）をベースラインとして、太陽熱給湯システム（SWH）導入による CO_2 削減費用を市町村別に推計し、CO_2 削減の費用対効果が高い地域を明らかにすることを目的とする。本研究で求める CO_2 削減費用は、家庭部門へ SWH を導入して CO_2 を削減するために政府や自治体が負担する費用、すなわち経済的支援の程度を意味している。

2. 研究方法

2.1 前提条件

評価対象とする SWH は強制循環型太陽熱給湯設備に従来型給湯器を補助燃料として組み合わせたシステムとし、従来型給湯器の燃料は灯油・LPG・都市ガス・電気（ヒーター式）の 4 種を想定した。強制循環型太陽熱給湯設備は、集熱器と貯湯槽を分離して、熱媒（不凍液）を介して間接集熱する構造をしており、運用には熱媒を循環させるポンプと貯湯槽の給水管、採湯管に取り付けられた凍結防止ヒーターの電力消費が伴う。各機器とも製造・設置・運用段階（15 年間）を評価範囲とし、耐用年数は太陽熱給湯設備と電気温水器は 15 年で、灯油・LPG・都市ガス給湯器は 10 年とした。

導入世帯は、戸建住宅とし世帯人数は 3 人～6 人以上の 4 区分を設定した。給湯負荷は世帯人数別に設定し、給水温度と給湯温度の差温から給湯熱負荷を計算した。また、太陽熱給湯設備のサイズは各世帯人数の給湯負荷の大きさを考慮して異なるサイズを設定した。

本研究で考慮する地域条件は、日射量 [2)]、気温 [2)]、給水温度 [3)]、世帯人数別世帯数、燃料別従来型給湯器所有率、従来型給湯器効率 [4)]、電源構成、燃料単価（2014 年）とした。

2.2 トータルコスト（TC）の推計

各システムの TC は、以下の式に従い推計した。

$$TC_{i,n,t} = IC_{n,t} + \left(MC + H_{i,n,t} \times c_{i,t} + O_{i,n} \times ec_i\right) \times Y'$$

ここで、IC：初期投資費用、MC：年間保守費用、H：年間補助燃料消費量、O：太陽熱給湯設備の年間電力消費量、Y’：許容投資回収期間、c：燃料単価、ec：電力単価、i：市町村、n：世帯人数、t：燃料である。

IC および MC は、事業者へのヒアリング調査から推計したものを用いた。H と O は、新たに作成した計算モデルを用いて、各地域の日射量・気温・給水温度と各世帯人数の給湯負荷・機器サイズを入力条件として 1 時間間隔で計算を行った。計算モデルには、貯湯槽を 5 層に分割した完全混合槽列モデルを用い、下層から給水された水道水を熱交換器で加熱して上層から採湯する構造を想定した。

運用時の電力消費に関しては時間帯を考慮し、日中（7 時～23 時）と夜間（23 時～7 時）で異なる電力単価を設定した。

Y’は一般消費者が高効率給湯器の導入に際して求める経済性 [5)]を鑑みて 3 年と設定した。すなわち、SWH と CWH の TC の差分は、SWH 導入のために政府や自治体が負担する補助額に相当する。

2.3 ライフサイクル CO_2 排出量（$LCCO_2$）の推計

各システムの $LCCO_2$ は、産業連関表などを用いて以下の式に従い推計した。

$$LCCO_{2,i,n,t} = \boldsymbol{e}^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{f}_{n,t} + \left(H_{i,n,t} \times g_{i,t} + O_{i,n} \times eg_i\right) \times Y$$

ここで、$\boldsymbol{e}^{\mathrm{T}}$：転置した直接 CO_2 排出原単位ベクトル（3EID）、$(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}$：レオンチェフ逆行列、$\boldsymbol{f}$：システムの費用ベクトル、Y：運用期間、g：燃料の CO_2 排出係数、eg：電力の CO_2 排出係数である。

上式の第 1 項は、システムを構成する機器の製造・設置・保守に伴う CO_2 排出量であり、$\boldsymbol{f}$ は前述の IC と MC より作成した。第 2 項と第 3 項は、前述の計算モデルより推計した H と O に起因する CO_2 排出量を表している。

2.4 市町村別 CO_2 削減費用（AC）の試算

AC は、以下に示す式に従い試算した。

$$AC_{i,n,t} = \frac{TC_{SWH,i,n,t} - TC_{CWH,i,n,t}}{LCCO_{2,CWH,i,n,t} - LCCO_{2,SWH,i,n,t}}$$

分母は CWH と SWH の $LCCO_2$ の差分（15 年間の CO_2 削減量）であり、分子は SWH と CWH の許容投資回収期間 3 年における TC の差分（補助額）である。

市町村別の AC は、その市町村の平均世帯における AC とし、下式のように世帯人数別、燃料別に推計した AC を、それぞれの比率で加重平均して算出した。

$$AC_i = \sum_{n,t}\left(AC_{i,n,t} \times \frac{N_{i,n}}{\sum_n N_{i,n}} \times P_{i,t}\right)$$

ここで、N：世帯数、P：従来型給湯器所有率である。

3.　結果と考察

図 1 は、試算した市町村別 AC の結果を示したもので、色が薄いほど費用対効果が高い（AC の値が低い）市町村であることを表している。

試算された各市町村の AC は 36.6~114[円/kg-CO_2]で平均値は 66.3 [円/kg-CO_2]である。

全体の傾向としては、日本海側よりも太平洋側の方が AC の値が低い市町村が多く、かつ南日本の方が AC の値が低い市町村が多い。これは、主に太陽熱給湯設備による給湯熱量（太陽熱給湯熱量）の大きさに起因している。太陽熱給湯熱量が多いと、運用段階における CO_2 削減量と燃料節約額が増加するため、AC の値は低くなる。太陽熱給湯熱量は、日射が多い地域ほど大きくなる傾向があり、日本海側と太平洋側では、冬期の降雪の少ない太平洋側の方が日射は多くなるため、このような傾向が現れたと考えられる。

また、AC の値が南日本で低く北日本で高くなる一因として、北方の寒冷地域では運用時の凍結防止ヒーター稼働による電力消費が多くなることが挙げられる。例えば秋田県と鹿児島県の凍結防止ヒーターの平均電力消費量は、それぞれ 567[MJ/年]、151[MJ/年]と約 3.7 倍の差があり、AC の値は前述の日射量の影響もあり鹿児島県の方が約 34%低い。

上記に加え、現在使用している燃料の種類の影響が比較的大きい。CO_2 排出係数の大きい燃料を使用している地域では、燃料消費削減量あたりの CO_2 削減量が大きくなるため、AC の値が低くなる。燃料の CO_2 排出係数が大きい地域として灯油給湯器と電気温水器の所有率が高い北海道や北陸地方が挙げられるが、これらの地域では同じ豪雪地帯に属する秋田県、山形県、新潟県と比較して AC の値が小さい市町村が多い。一方で、CO_2 排出係数の小さい都市ガス給湯器の所有率が大きい首都圏と大阪府には AC の値が大きい市町村が集中している。例えば、東京都は福井県よりも日射量が約 10%大きく気候面では有利であるが、AC は福井県よりも約 14%高く費用対効果では劣る。

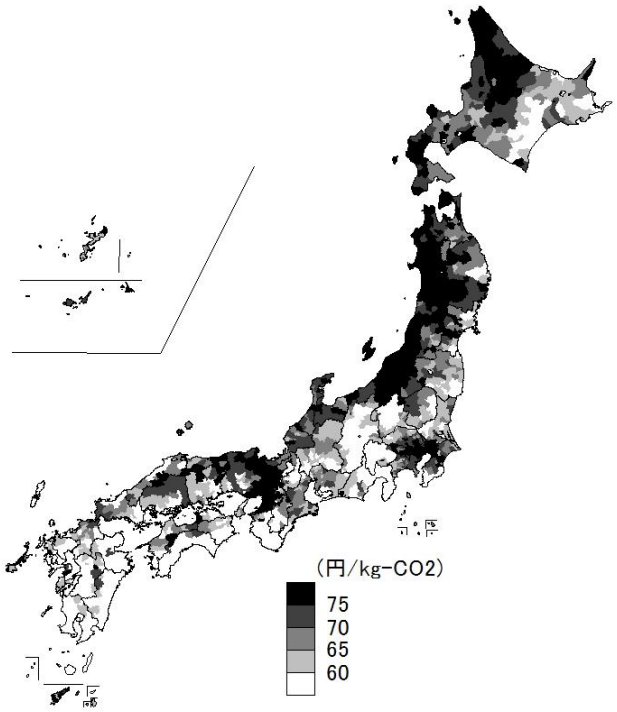


図 1　市町村別 CO_2 削減費用の試算結果

都道府県別の AC の平均値を比較すると、和歌山県と静岡県は 55[円/kg-CO_2]未満である一方、新潟県、秋田県、大阪府は 87[円/kg-CO_2]以上と大きな差があり、補助金による SWH の導入は和歌山県や静岡県などから優先的に進めることが効果的である。

【謝辞】本研究でデータ提供にご協力いただいた（一社）ソーラーシステム振興協会に謝意を表する。

1)　門倉宏子, 本藤祐樹: 日本 LCA 学会誌, 12 (2), (2016), pp. 97-105

2)　新エネルギー・産業技術総合開発機構: “日射量データベース閲覧システム”, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, (オンライン), 入手先 <http://app0.infoc.nedo.go.jp/>, (参照 2018-1-6)

3)　ソーラーシステム振興協会著: “ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度 SSS-1001(改)”, ソーラーシステム振興協会, 東京都, (2003)

4)　建築環境・省エネルギー機構: “住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説”, 建築環境・省エネルギー機構, (オンライン), 入手先 <http://ees.ibec.or.jp/>, (参照 2018-1-6)

5)　寿楽浩太, 鈴木達治郎: “家庭用高効率給湯器の研究開発・導入普及過程―公共政策的観点からの事例分析―”, (2008)

A2-03
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

集合住宅の壁面における各種太陽光パネルの導入ポテンシャルおよび環境・経済性評価

Potential evaluation of various solar panels on the walls of multi-family houses considering environmental and economic performance

○関谷知治*[1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)]
Tomoharu Sekiya, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1)立命館大学
*rv0029hv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、メガソーラーなど非住宅分野において太陽光発電の導入量が急増したが、年々導入量は減少傾向にある。NEDO 報告書 [1)]などではメガソーラーの適地は減少しているものの太陽光発電の導入ポテンシャルは豊富に存在するとされる。ただし、この報告書では用いられる太陽電池の種類が特定されておらず、日本全体の推計が主になされ、日本各地における天候や日射量を考慮した発電量の推計は行われていない。また、主流のシリコン型太陽電池は導入コストが年々低下しているが依然として高価であり、使用環境下では低日射条件で発電効率が低下する特性がある。そこで、低日射条件で発電効率が低下せず、導入コストや製造時のエネルギー消費量が低いとされる色素増感太陽電池(DSC)や低価格化が期待されるペロブスカイト太陽電池に注目した。関谷ら [2)]においては、DSC とシリコン太陽電池の導入ポテンシャルおよび環境・経済性評価を行った。同研究では、発電した電力をすべて売電することを想定したが、実際には自家消費されることを考慮する必要がある。

本研究では関谷ら [2)]による導入ポテンシャルや発電量推計値に基づき、ペロブスカイト太陽電池を含めた集合住宅の壁面における各種太陽光パネルの導入ポテンシャルおよび環境・経済性評価を行う。

2. 研究手法

2.1 研究対象と使用データ

本研究では関谷ら [2)]の対象である、各都道府県の県庁所在地における長屋建て住宅と共同住宅を「集合住宅」とし、太陽光発電の設置場所として壁面を想定する。導入対象となる集合住宅の階数、棟数、住宅数、延床面積のデータは平成 25 年住宅・土地統計調査報告 [3)]より用いた。関谷ら [2)]の手法から、新たにペロブスカイト太陽電池の導入ポテンシャルと発電量を推計する。また、電力消費量は家計調査 [4)]の平成 28 年 10 月-平成 29 年 9 月のデータを用い、各県庁所在地における二人以上の世帯の各月の電気代より推計する。表 1 に本研究で想定する太陽電池の基本仕様や条件を示す。DSC はコスト試算されている中で、最も安価な値と最も高価な値を用いる。また、炭素税が導入されることもシナリオに加える。

表 1　本研究で想定する太陽電池の基本仕様や条件

基本仕様	シリコン太陽電池	DSC(コスト低位)	DSC(コスト高位)
基準効率(%)	14.7	6.0	
1m²あたりの出力(kW/m²)	0.15	0.06	
CO_2排出係数(kg-CO_2/kWh)	0.046	0.062	
イニシャルコスト(万円/kW)	35	21	47
耐用年数(年)	20	10	
ランニングコスト(%/年)	イニシャルコストに対し1.5		
買取価格(円/kWh)	28		
炭素税(円/t-CO_2)	4,000(低位)、 7,400(中位)、 13,200(高位)		

2.2 電力消費量推計

各県庁所在地における 1 世帯の各月の電力消費量を電力料金の計算式 [5)]を参照し、式(1)より推計する。

$$C_{m,j} = \frac{E_{m,j} - B_{m,j}}{EU_{m,j} \pm FU_{m,j} + LU_{m,j}} \times \alpha \quad \cdots(1)$$

ここで、添え字 m は各月(1 月~12 月)、j は県庁所在地を表す。また、C:電力消費量(kWh/世帯)、E:電力料金(円/世帯)、B: 基本料金(円/世帯)、EU:電力量料金単価(円/kWh) 、FU: 燃料費調整単価(円/kWh) 、LU: 再生可能エネルギー発電促進賦課金単価(円/kWh)を表す。ただし、この値は戸建てと集合住宅を併せた 2 人以上世帯の平均値である。そこで、平成２４年度エネルギー消費状況調査 [6)]を参照し、戸建てと集合住宅の 1 世帯の所属人数別の電力消費量を各データ数で加重平均した値と集合住宅の電力消費量との比較で求められた値 α:0.75 により補正する。この値に、日本エネルギー学会 [7)]より、各期間(夏期:6 月~9 月、冬期:12 月~3 月、中間期: 4 月、5 月、10 月、11 月)における消費電力の時刻別推移を参照し、各県庁所在地における 1 世帯の時刻別電力消費量を推計する。また、平成 25 年住宅・土地統計調査報告 [3)]より算出した、各県庁所在地の建て方・階数ごとの 1 棟あたり世帯数を乗じることで 1 棟あたりの時刻別電力消費量を推計する。

2.3 環境面・経済面の評価

環境面においては関谷ら [2)]の手法を応用し、CO_2 排出削減量の式(2)~(4)を用いて比較評価した。

$$\text{If } Gpv_{i,j,k,l} \geqq BC_{i,j},\ R1_{i,j,k,l} = Gpv_{i,j,k,l} \times (Fe_j - Fpv_{j,k}) \quad \cdots(2)$$

$$\text{Otherwise } R2_{i,j,k} = BC_{i,j} \times (Fe_j - Fpv_{j,k}) \quad \cdots(3)$$

$$\sum R_{i,j,k,l} = \sum R1_{i,j,k,l} + \sum R2_{i,j,k} \quad \cdots(4)$$

ここで、添え字 i は階数、k は太陽電池の種類、l は方角を表す。また、R,$R1$,$R2$ は CO_2 排出削減量(t-CO_2/h)、Gpv は発電量(kWh/h)、BC は 1 棟あたりの時刻別電力消費量(kWh/h)、Fe は電力会社の排出係

数(t-CO_2/kwh)、*Fpv* は太陽光発電の排出係数(t-CO_2/kwh)を表す。

経済面においても関谷ら[2]の手法を応用し、コストペイバックタイム(CPT)の式(5)を用いて比較評価した。年間節約金額は、集合住宅で自家消費する場合と FIT を利用して売電する場合を考える。また、炭素税が導入された場合も想定する。CPT が耐用年数内に収まった際に、費用の回収が可能である。

$$CPT_{j,k,l}=Ci_{j,k,l}/(Cc_{j,k,l}-Cr_{j,k,l}+\sum R_{i,j,k,l}\times Ct) \quad \cdots(5)$$

ここで *CPT* はコストペイバックタイム(年) 、*Ci* はイニシャルコスト(万円)、*Cc* は年間自家消費節約金額(万円/年)、*Cr* はランニングコスト(万円/年)、*Ct* は炭素税(万円/ t-CO_2)を表す。

3. 結果と考察

結果の一例として甲府市における建て方・各階数・各方角 1 棟の DSC とシリコン太陽電池の年間余剰電力推計結果を表 2 に示す。DSC は一部余剰電力が見られるが、おおよそ自家消費により消費が可能である。対して、シリコン太陽電池は北面を除き、多量の余剰電力が見られる。これは、シリコン太陽電池の発電能力が DSC よりも高く、電力需給の乖離が大きいためである。よって、自家消費をする際にはシリコン太陽電池は設置可能面積全てにパネルを設置する必要はないと考えられる。

表 2　甲府市の年間余剰電力推計結果

余剰電力(kWh/棟・年)	建て方	長屋建て住宅		共同住宅			
種類	方角＼階数	1 階建	2 階建以上	1 階建	2	3～5	6階建以上
DSC	東面	0.46	0.81	0.31	0.61	1.62	6.52
	西面	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	南面	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	北面	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	南東面	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	南西面	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	北東面	0.39	0.69	0.25	0.51	1.34	5.41
	北西面	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
シリコン	東面	21.57	38.03	10.06	20.11	53.25	214.38
	西面	17.77	31.32	7.87	15.74	41.66	167.74
	南面	46.27	81.56	23.22	46.45	122.96	495.09
	北面	0.13	0.23	0.04	0.09	0.23	0.91
	南東面	35.13	61.92	15.26	30.52	80.81	325.37
	南西面	35.99	63.44	17.53	35.05	92.80	373.65
	北東面	4.52	7.96	2.82	5.63	14.92	60.06
	北西面	2.58	4.55	0.60	1.19	3.16	12.71

甲府市における年間 CO_2 排出削減量結果を図 1 に示す。自家消費、売電共に DSC はシリコン太陽電池と比較し約 0.6 倍の削減量であり、発電した電力の使用方法による差異はほとんどない。これは、シリコン太陽電池の発電能力が DSC よりも高いこと、現状 DSC がシリコン太陽電池の排出係数よりも高い値を用いていることが考えられる。

甲府市において南面に設置した際の CPT を図 2 に示す。南面において、自家消費した場合は低位 DSC のみ、売電した場合はシリコン太陽電池と低位 DSC が耐用年数内に費用の回収が可能である。回収可能な条件を表 3 に示す。東面、西面、南面、南東面、南西面について回収可能な条件があった。高位 DSC は価格が高い、発電量が小さいなどにより回収可能な条件が無かった。同様に日射量が低く、発電に適さないとされる、北面、北東面、北西面も回収可能な条件が無かった。

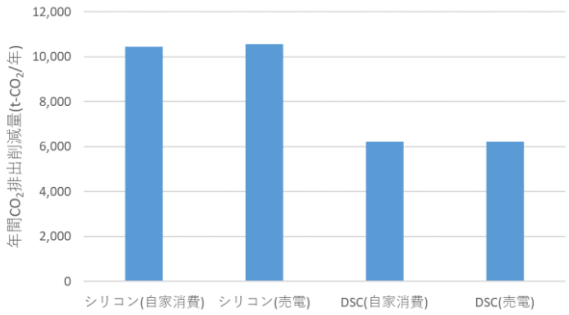


図 1　甲府市の年間 CO_2 排出削減量結果

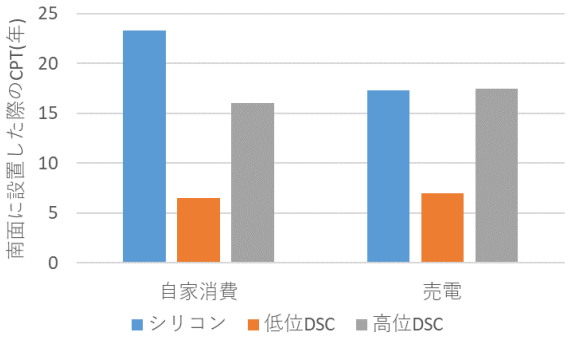


図 2　南面に設置した際の CPT 結果

表 3　甲府市における回収可能な条件

シリコン(売電)	南面	南東面	南西面	
低位DSC(売電)	東面	西面	南面	南東面	南西面
低位DSC(自家消費)	南面	南東面	南西面	
高位DSC				

4. おわりに

集合住宅の壁面に設置した DSC とシリコン太陽電池により発電した電力を自家消費した場合と売電した場合との環境・経済面の比較を行った。

発表当日はペロブスカイト太陽電池を含めた推計結果について報告する予定である。

5. 参考文献

1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: ”太陽エネルギー技術研究開発（太陽光発電システム次世代高性能技術の開発）太陽光発電における新市場拡大等に関する検討”,(2013)

2) 関谷知治, 吉川直樹, 天野耕二: 第 12 回 LCA 学会研究発表会講演要旨集,(2017),pp.392-393

3) 総務省統計局:”平成 25 年住宅・土地統計調査報告”,入手先〈https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tstatCode=000001063455&requestSender=search〉, （参照 2016-12-21）

4) 総務省統計局:”家計調査”,入手先〈http://www.stat.go.jp/data/kakei/〉, （参照 2017-11-27）

5) 東京電力エナジーパートナー:” 電気料金の計算方法”,入手先〈http://www.tepco.co.jp/ep/private/charge2/charge01.html〉（参照 2017-12-2）

6) 経済産業省:” 平成２４年度エネルギー消費状況調査（民生部門エネルギー消費実態調査）”,(2013)

7)日本エネルギー学会,”天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2005”,日本工業出版株式会社,東京,(2005),pp.56

A2-04
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

動的マテリアルフロー解析と演繹的 LCA による 太陽電池用シリコンアップグレードサイクル技術の開発戦略策定

Strategies for Upgrade-cycling of Si from Photovoltaics with Dynamic Material Flow Analysis and Deductive Life Cycle Assessment

○佐藤博一*[1)]、大野肇[1)]、福島康裕[1)]
Hirokazu Sato, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1) 東北大学
* hirokazu.satou.r4@dc.tohoku.ac.jp

1. 諸言

持続可能なエネルギー利用に向けては再生可能エネルギーの導入が不可欠であり、FIT 制度を推進力として太陽電池(PV)の導入が各地で進められてきた[1)]。なかでも、結晶シリコン(Si)型 PV は過半数のシェアを持つ[2)]。Si 型 PV の平均寿命の大半が 20-30 年[3)]であることと FIT による導入開始が 2012 年[1)]であることを考慮すると、数年内に大量の Si 型 PV の廃棄が始まることが予想される。PV 用 Si 精製過程には大量のエネルギーを消費することから[4)]、エネルギー消費を抑えつつ、今後も持続しうる PV 需要[5)]に対応するには、発生が予測される大量の使用済み PV 内の Si を循環利用するリサイクルシステムの構築が重要である。

Si の今後の需要に注目すると、超薄型の Si 型 PV や Si 負極型のリチウムイオンバッテリー(LIB)が有望技術と考えられることがわかった[6),7)]。これらの製造に必要な Si を PV リサイクルで供給できれば、PV 用 Si 精製時のエネルギー消費の回避に加え、従来と同様の Si 量でより多くの PV の製造が可能となり、Si 1 単位当たりの発電ポテンシャルの増加が期待できる。さらに、LIB の導入によって PV の電力供給力平準化が可能となる。一方で、PV リサイクルにおいても相応のエネルギー消費があり、技術導入によって得られる正味の発電量は未知数である。ゆえに、各操作変数(ex. 製品の平均寿命、発電効率、ウェハの薄さ、歩留まり)をライフサイクル視点で評価し、技術開発へ指針を提供することで、技術開発の優先事項を示すことができると考えた。

そこで本研究では、PV 用 Si アップグレードサイクル技術の持続可能性と実装に求められる開発戦略策定を最終目標とし、以下の分析を実施している;
(1) PV リサイクルを介した Si 供給可能性の動的分析
(2) PV 発電量とリサイクル時の電力消費量の時系列分析：(1)で得られる各年の PV 残存量と PV 及び LIB 発生量と、技術開発者との議論や文献値から得られる PV1 単位当たりの年間発電量及び製品 1 単位のリサイクルに必要な電力消費量のデータを使用し、想定したシナリオにおけるでの正味の発電量を導出する。
(3) 新型 PV に関する技術関連の諸変数のベンチマーキング：この分析では(2)の結果を元に正味の発電量を指標とした演繹的ライフサイクル評価(D-LCA)を行う。

本稿では主に(1)の結果について述べ、(2),(3)の詳細については発表にて説明する。

2. 手法

2.1 動的 MFA

Nakamura らは MaTrace モデルを開発し自動車に含まれる金属の利用形態変遷を動的に解析した。[8)]この手法では対象製品の寿命分布を用い、ある年に生産された製品に含まれる対象素材が使用、廃棄、リサイクルを経てその後社会に存在する状態を可視化する。既往の研究[8)]では、産業連関表を用いてリサイクル金属の各産業への分配比を算出し、自動車内金属のオープンループリサイクルシナリオを分析している。本研究では Si 純度や品質要求を考慮し、1kW の従来 PV を構成する Si が新型 PV と LIB の製造に優先的に使用されることを想定し、任意の分配比を設定可能とするとともに、図 1 に示す資源循環モデルを用いることで、従来 PV 由来の Si の新型 PV 及び LIB における利用形態動態を可視化できるようにした。

製品の寿命分布に応じて寿命を迎えた従来型 PV からは収集、分解、ガラス分離率(γ)に応じて Si 含有パーツが得られる。その後、金属級 Si がリサイクル率(θ)に応じて生成され、分配比(D)に応じて各製品の製造過程へと分配される。各製品の製造においては歩留まり率(λ)に応じて新型 PV 及び LIB が製造される。新型 PV は一日平均 3 時間程発電し、快晴の日はさらに発電することから、1kW 新型 PV と 1kWhLIB の残存比が常に 1:5 となるように D を逐次的に設定した。また、新型 PV は従来型 PV と同様の工程(図 1 中青枠)でリサイクルされるが、LIB 内 Si はリサイクルされないとした。リサイクル率(θ)と PV の平均寿命は経験的なパラメータを参照した[3),9)]。その他は任意の定数を設定した。

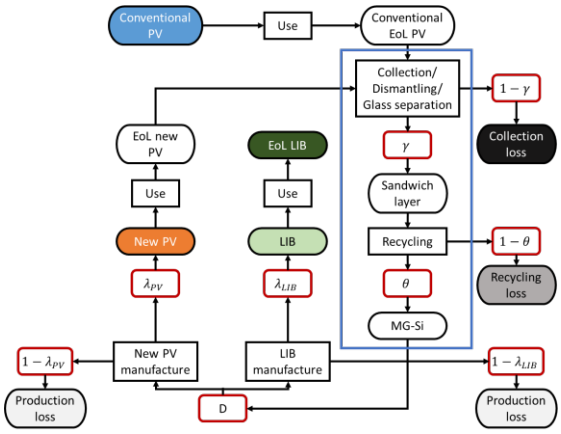


図 1 PV 内 Si の循環モデル

2.2 演繹的 LCA

LCA は製品がライフサイクル全体を通じて環境に与える負荷を評価するツールとしてよく利用される。一方、LCA は製造プロセス要素技術開発の指針を決定するツールとしても利用されうる [10]。最初に想定した条件におけるプロセスが目標値に対してどの程度の位置にいるのかを分析する。評価する技術変数を織り込んだインベントリモデルを開発し、一つ、あるいは二つの技術変数を軸として持つ平面にブレークイーブン線 [11]を作成し、目標達成までの技術変数の改善目標を、複数の捜査変数間の関係を踏まえて演繹的に導出する。

3. 結果

動的 MFA より従来型 PV を構成していた Si の 100 年間における利用形態変遷を把握した(図 2)。縦軸は従来型 PV 由来の Si の利用形態割合を、横軸は注目する従来型 PV の導入年からの経過年数を表す。20 年後、従来型 PV は平均寿命に達するため従来型 PV 内の Si 分布は初めの約 50%となる。製造から 40 年後、従来型 PV 内の Si 分布は 1%以下となったが、リサイクルの導入によって、製造から 60 年後でも全 PV 内の Si 分布は 1%以上を保った。各年のリサイクル Si 発生量及びその利用先については発表時に示す。

本研究におけるブレークイーブン線のイメージを図 3 に示す。縦軸は 1 単位当たりの PV リサイクル時の電力消費量を、横軸は新型 PV の平均寿命を表す。赤点の位置は想定シナリオでの操作条件によって決定

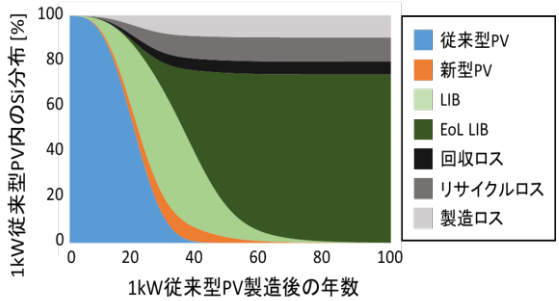


図 2 Si 滞留形態の変遷

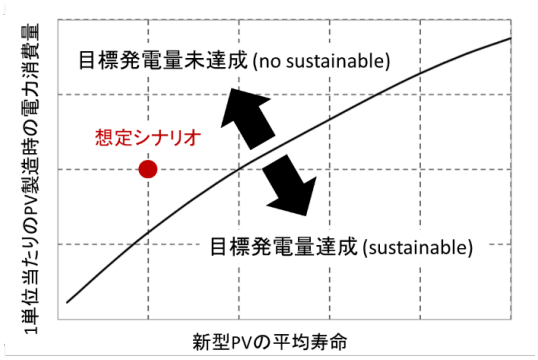


図 3 ブレークイーブン線のイメージ図

し、今回の操作条件では曲線よりも上部に位置するため目標未達成となる。曲線よりも下部の条件まで技術改善が施されると目標達成となる。このような検討により、目標達成に必要な操作条件の決定が可能となる。

4. 結言

本研究により、動的 MFA と演繹的 LCA を行うことで、新太陽電池用 Si アップグレードリサイクル技術の持続可能性を満足するために必要な条件の抽出が期待できる。今後は PV の使用年数に伴う発電能力の劣化を考慮することで、より現実に則した電力量分析を目指す。また、技術開発者との議論や文献調査を重ねることでシナリオやパラメータの精査を進めたい。

5. 引用文献

1) Yamada H. et al.: “*IEEE*”, USA, (2015)
2) Endo E.: *Electrical Engineering in Japan*, 198(1), (2017), pp.12-24
3) Peng J. et al.: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, (2013), pp.255-274
4) みずほ情報総研株式会社: “太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究，平成 19~20 年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書”, (2009)
5) Hoffmann W. et al.: *Sol Energy Mater Sol Cells*, 90(18-19), (2006), pp.3285-3311
6) Takazawa C. et al.: *ECS Transactions*, 75(31), (2017), pp.11-23
7) Polat B. et al: *ECS Transactions*, 64(22), (2015), pp.47-55
8) Nakamura S.: *Environ. Sci. Technol.*, 48(13), (2014), pp.7207-7214
9) Latunussa C. et al.: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 156, (2016), pp.101-111
10) Fukushima Y.: “第 12 回日本 LCA 学会講演要旨集”, Japan, (2017), pp.258-259
11) Fukushima Y et al.: *Int J LCA*,14(7), (2009), pp.639-655

B2-01

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

広域マルチバリュー循環

Global Multi-Value Circulation

○原田幸明

Kohmei HALADA

1) 物質・材料研究機構

* halada@mcn.ne.jp

1. 広域マルチバリュー循環とは

広域マルチバリュー循環(MVC)とは、欧州のサーキュラー・エコノミー(CE)の使用済み製品の残存価値を活かし資源効率の改善を図るという発想を受けつつ、信頼性あるモノづくりとゼロエミッションという我が国のモノにかかわる管理能力を付加した資源生産性の高い循環システムとして筆者らが世界発信しようとしている概念である。従来の循環型社会は廃棄物の減量と資源価値のみの回収に終始していたが、製品として残存している機能を活用するシステムづくりがカギとなる。RRDR(リマニュファクチャリング、リファービッシュ、リペア、ダイレクト・リユース)の取り組みはその典型である。リサイクルはそのような残存価値循環システムを支えるものとして位置づけられるが、材料価値を維持もしくはアップグレードするマテリアル・リサイクル。資源価値を回収するサブスタンス・リサイクルさらに、残存物の負の価値状態を解消するレジデュー・リサイクルに性格わけして相互がリユースやリマニュファクチャリングと連携して位置付けられていく必要がある。

本稿では、まずそま原点である資源効率(もしくは資源生産性)について述べ、従来の循環型との差異を明らかにしつつ、CE から MVC への進化のポイントについて述べる。

2. 資源効率

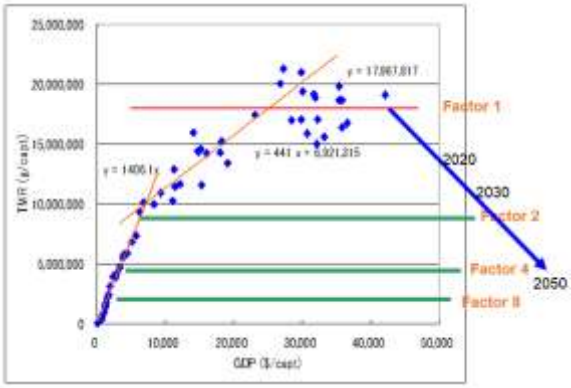


図 1　2050 年までに factor4 を　(2004 HALADA)

資源効率は、いまだ中国の生産量さえ低かった 1990 年代に鉱物、エネルギー、水、土地などの天然資源の消費量の爆発的増大とそれに伴う人工物や廃棄物の半戦に対して UNEP 等が中心となって掲げてきた課題である。我が国も循環型社会基本計画のなかに資源生産性指標を取り上げ、三指標のひとつとしてモニタリングしてきた。またその資源生産性(資源効率)目標としてどこまで脱物質化(dematerialization)を進めるかとして、factor2,factor4 等の目標議論が国際的に行われてきた。図 1 に示すのは当時筆者が提案した TMR ベースでの factor8 目標の議論である。また日本の学術会議の中にも資源生産性委員会ができ、現在の CE のカギとなっているサービサイジングに注目したマテリアル・リース・システムが 2002 年にはすでに提唱されていた。

その後も欧州では資源効率の追及が進んだのに対して、我が国は経団連が資源生産性目標の提示に反対し、環境白書からも資源生産性のデータが記載されなくなるなど

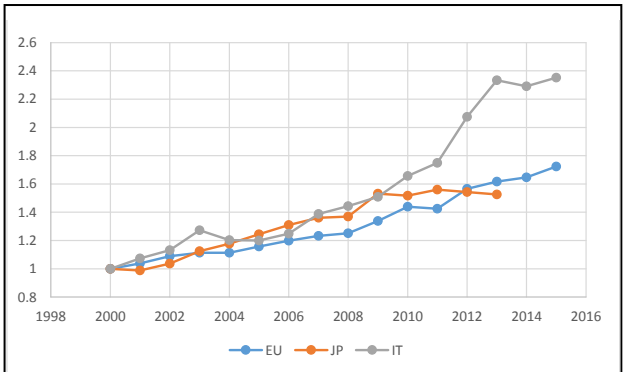


図 2　日本、EU、イタリアの資源生産性の推移

議論が後継に置かれている。そのため日本は 2010 年頃を境に資源生産性は停滞しているのに対し、欧州は平均でも日本を上回って資源生産性を伸ばしており、イタリアに至ってはここ 15 年間で倍以上の資源生産性の向上を達成している。

3　サーキュラー・エコノミー

2015 年に打ち出された欧州のサーキュラー・エコノミーはこの資源効率追求の延長線上として見ておく必要がある。そしてそれは経済に置ける Dematerialization を一層押し広げようとする動きである。初期の欧州の脱物質化はグローバリセーションの中でモノ売りのビジネスから金融への転換という形で展開していたが 2008 年のリーマンショックで打撃を受け、より自らの資産に基づいたシステムの方向性が検討されていった。その代表的な方向性が CE であると見て取ることができる。

そう位置付けるとCEのアンチテーゼは大量生産・大量消費による経済活性化との決別、すなわちモノを大量に提供することによって利得を上げるシステムの代替を探っているのである。ゆえに「モノ」から「コト(サービス)」への転換は手段ではなく、経済の軸のシフトなのである。

その目で見ると従来型の循環型社会のなんと矮小なことか、リサイクルをしてもその原材料である物質としてしか対象製品が持っていた価値を回収することができない。従来型の循環型社会の経済モチベーションはあくまでモノの取引に引きずられたものりでしかない。徹底した dematerialization 経済、これが CE サーキュラー・エコノミーの目指すものであるといえる。そしてそこではモノを生産したり持ち込んだりして提供することではなく、今あるストックを活用することで経済的付加価値を与えようとする。

4　マルチ・バリュー循環

CE による dematerialization 経済が果たしてグローバルなものとして妥当なものか、この点を注意して議論する必要がある。それはモノづくり社会からストック活用社会へ転換ともいえる。「成熟」した欧州がその枠の中で生き伸びることはできるかもしれないが、世界的な資源効率の向上を考えれば、いまだモノを必要としている人々は膨大な量であり、それに応える資源効率の向上にはつながらない。すなわち、徹底した脱物質化としてモノから離れるのではなく、モノを効果的に生み出し、使い、廃棄していくのかがきちんと提案されねばならない。

それゆえ、筆者は、CE の「今あるもの:stock」をしっかり使っていくという積極面を生かしつつ、生産・廃棄の段階を含めた「生み出され死にゆくもの:flow」もしっかりと管理して、グローバルな資源効率の向上を目指すものとして広域マルチ・バリュー循環を提唱するのである。

表 1 RRRDR とリサイクル

	機能	プロセス	品質管理	その他
リマニュファクチュアリング	当初製品と同等	分解し再構築	当初製品と同等の保証	
リファービッシュ(リビルド)	当初製品に準じる	劣化部品を交換し、再組立	独自設定	自動車関係ではリビルドが使われる
リペア	劣化部分の回復	劣化部分の交換、修復	回復度点検	リファービッシュ用部品も含む
ダイレクト・リユース	機能は問わず	分解せず、洗浄程度	点検程度	
リサイクル	機能喪失	成分のみ抽出	原料としての品質	

CE から学ぶべきものの一番は、使用済みの製品の持つ残存価値(retained value)である。RRRDR はその典型的な取り組みである。表 1 に RRRDR とリサイクルを整理してみた。ここで重要になるのは残存価値の使用価値である。それはその製品をどこまで保証かるかにかかっている。その視点から、マルチバリュー循環の階層の順番を以前のものから変更している。

この RRRDR の階層の変更より重要なものは、上下についた矢印である。CE でも durability(耐久性)や build to last(しっかりしたものを作る)が重要視されているが、モノづくりの立場からの資源生産性の向上がそこに貫かれねばならない。また、循環による経済活性は重要であるが、「形あるものは必ず壊れる」の言葉通り不要物・廃棄物は必ず発生する。その廃棄物の減量、ゼロエミッションを目指すことが組み込まれねばならない。

その視点で、recycle も多階層にしている。物性上の素材性の高いものをできれば水平に利用する素材リサイクル、レアメタルや貴金属など成分を取りだす成分リサイクル、そして必ず発生する残存物を社会インフラなどに活用し地球環境への還流を極力なくす残余物リサイクル

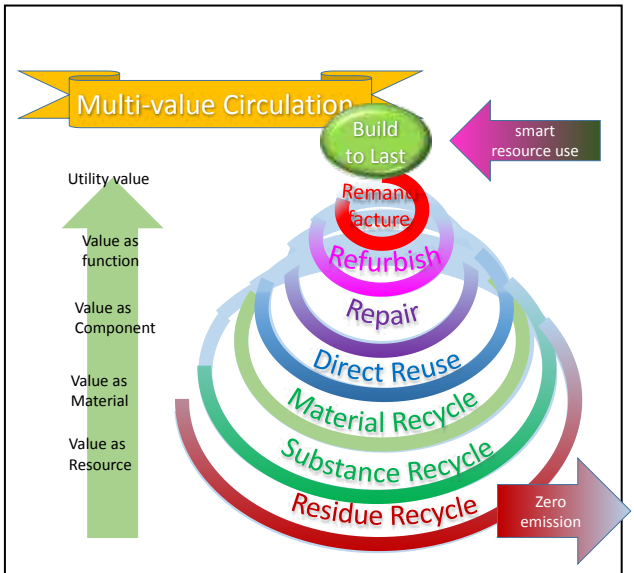


図 3　マルチ・バリュー循環

である。

このようにモノから離れるのではなくモノを徹底的に活かして管理・保証して資源効率の改善をはかるのがマルチバリュー循環の目指す方向である。

これによって LCA も大きく変わらねばならない。ライフサイクルは「揺り籠から墓場」のリニアではなく、多重に機能単位をまたぐまさにサイクルになる。境界条件も既存の社会共有体を以下に活用するかという視点で拡張されざるを得ない。そして何よりも最終目標である資源効率の指標化が求められている。筆者は以前から関与物質総量 TMR に注目しているが、持続可能性との関連づけなどの展開が期待されている。

B2-02,P2-073　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

フローの分岐に着目した物質ストックの推計モデルの構築：日本国内における銅ストックへの適用

A novel model for estimating material stocks considering forked flows: An application to copper stocks in Japan

○横井崚佑*[1)]、中谷隼 [1)]、森口祐一 [1)]

Ryosuke Yokoi, Jun Nakatani, Yuichi, Moriguchi

1) 東京大学

* yokoi@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

資源の利用可能性低下や資源採掘に伴う環境影響、廃棄物発生といった資源消費に伴う問題の対策としてリサイクルへの注目は大きい。そして効率的なリサイクルの促進および計画に向けて、物質ストックの詳細かつ網羅的な情報は重要であり、物質フロー分析 (MFA: Material Flow Analysis) といった手法によって様々な物質のフローやストックが分析されてきた。

素材の生産から最終製品の製造、使用（蓄積）、そして廃棄に至るまでの物質フローにおいて、中間需要（内生）部門への蓄積や散逸などの多様な要因によってフローは分岐し、物質は様々な場所に蓄積し、用途および蓄積場所ごとの寿命を経て廃棄される。詳細かつ網羅的な物質ストック分析のためには、ストックが形成されるまでの物質フローをまず詳細に分析する必要がある。しかし既存の物質フロー分析モデルではそうしたフローの分岐は十分に考慮されておらず、より詳細で網羅的な物質ストック分析が望まれる。

そこで本研究では、フローの分岐を考慮した蓄積先別の物質フローの推計、およびその推計に基づく詳細な物質ストックの推計モデルを構築した。そしてそのモデルを日本国内における銅フローへ適用し、国内の銅を対象として、蓄積先部門や用途（含有製品）といった要素を含めた詳細なストック分析を行う。

2. 方法

2.1 物質フローの分岐の推計モデル

物質フローの分岐の推計にあたり本研究では、Waste Input-Output MFA (WIO-MFA) モデル [1)] に基づいて新たな分析モデルを構築した。WIO-MFA モデルは産業連関表 (IOT: Input-Output Table) に基づいて最終製品中の物質組成やその最終需要先を推計することのできる有用なモデルであるが、本モデルでは WIO-MFA モデルにおいては十分に考慮されていない最終需要先までの経路における物質フローの分岐を詳細に分析するモデルと言える。本モデルでは、IOT における内生部門中の製品部門群（分析対象物質によって構成される製品に対応する部門）および分析対象物質部門に属する部門iから、内生部門または最終需要部門に属する部門jへのフローを次の 4 種類の分岐へと分類した（図 1）。なお以下では、部門iから部門jへの投入を投入i、部門jの産出を産出jと記述する。

(分岐 1) 投入iが産出jの構成要素となるために投入される。

投入iが産出jの構成要素となり次の産出先へ投入される場合を表す。ただし、歩留り率が 1 でない場合は、投入iの一部は部門jにおいて加工屑として廃棄される。

(分岐 2) 投入iが部門jにおいて蓄積する。

投入iが部門jにおいて蓄積する場合を表す（部門jにおいて直ちに廃棄される場合も含む。その場合は製品寿命が 1 年未満であると考える）。本来、蓄積先としての部門jは最終需要部門のみであると考えられるが、実際の日本の IOT においては蓄積する場合も内生部門への投入として計上されているものがある。これは最終需要部門である固定資本形成部門の定義などが原因であると考えられる。例えば機械工具部門や携帯電話機部門から他部門へのフローは、蓄積と考えられるものも内生部門への投入として計上されている。

(分岐 3) 投入iが産出jの付帯物となる。

投入iが産出jの付帯物となり、次の投入先へと共に投入される場合を表す。典型的な例としては、投入iが産出jの容器包装となる場合が挙げられる。付帯物であ

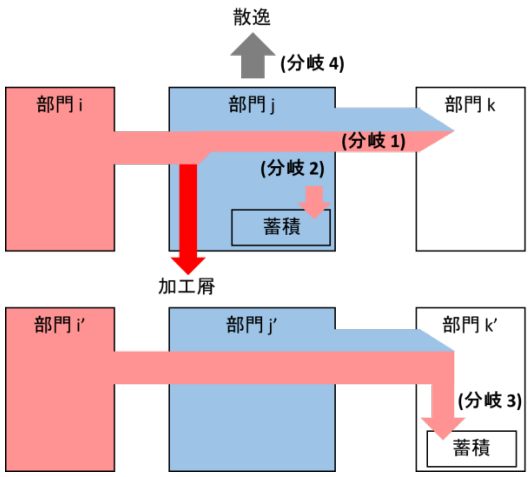


図 1　部門間フローの分類

ると、最終的な蓄積先まで製品の構成要素として投入されるとは限らず、途中で分岐する場合があるため、分岐 1 とは区別する必要がある。本モデルにおいては、産出jの直接の投入先において、産出jが蓄積するかどうかに関わらず投入iは産出jから分岐して蓄積する（多くの場合は直ちに廃棄される）ものとした。

(分岐 4) 投入iが部門jにおいて散逸する。

投入iが部門jにおいて、実質的にリサイクルのために回収することが不可能な形態で散逸する場合を表す。なお、タイヤの磨耗のように使用中（蓄積中）に散逸する場合は分岐 2 に分類し、殺虫剤や花火の使用のように直ちに散逸する場合のみを分岐 4 に分類する。

各最終製品中の分析対象物質の組成C_{MP}は、WIO-MFA モデルと同様に次式により求められる。

$$C_{MP} = \tilde{A}_{MP}\left(I - \tilde{A}_{PP}\right)^{-1} \qquad (1)$$

ここで、$\tilde{A}_{MP}$および$\tilde{A}_{PP}$は非物的投入や歩留り等を考慮して構成要素となるフローのみを抽出した投入係数行列であり、本モデルでは分岐 1 のフローのみを抽出するためのフィルター行列と歩留り行列を用いて算定する。そして分岐 2～4 のフローに関してC_{MP}を用いて、分析対象物質が「どれくらいの量」「何の製品として」「どこの部門において」「加工屑として廃棄/製品として蓄積/付帯物として蓄積/散逸」したかを推計する。

2.2 日本国内における銅ストックへの適用

2.1 で述べたフロー推計モデルを 1970 年から 2011 年の日本の IOT に適用して、1970 年以前については GDP と人口データを用いて外挿、IOT の作成年の間の年については内挿することで、経年の銅フローを推計した。なお、IOT において銅の主要用途である電線・ケーブル部門は 1 部門に統合されているが、電線・ケーブルは種類によって単価も銅含有量も異なり、部門によって需要する電線・ケーブルの種類も異なる。そこで本研究ではより正確な推計のために、統計資料をもとに電線・ケーブル部門を 8 部門に分割した。さらに、銅は主に電線・ケーブルと伸銅品の形態で各製品の構成要素として、またはそのままの形態で使用されることをふまえて、「電線・ケーブル」「伸銅品」「その他」の 3 形態別に推計を行った。つまり、本研究によって得られる結果としては、「蓄積先」別「製品」別「形態」別の銅ストック量ということになる。

3. 結果

本稿では、日本の 2011 年版 IOT に本モデルを適用して得られた、日本国内における 2011 年の銅フローの推計結果について示す。

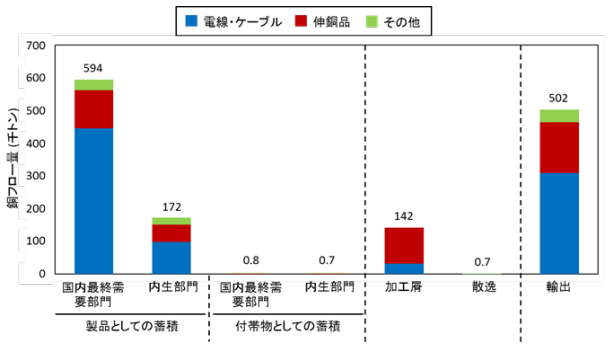


図２　2011 年の日本国内における形態別の銅フロー量

図 2（図 S1 に拡大して示した）にフロー分析の全体的な結果として、形態別の銅フローの推計結果を示す。銅の主なフローは製品としての蓄積と加工屑としての排出、輸出であり、付帯物としての蓄積および散逸は非常に小さかった。もっとも大きいフローは国内最終需要部門への蓄積フローだったが内生部門への蓄積フローも無視できない量であり、内生部門への蓄積を考慮に入れる本モデルの必要性が示唆された。

図 S2 に蓄積先別製品別の銅の蓄積フローを 3 形態別に示す。なお、蓄積先および製品部門はそれぞれ適宜部門を統合して結果を示している。どの形態においても家計消費支出部門への蓄積がもっとも大きいという結果となったが、電線・ケーブルは乗用車や情報・通信機器としての蓄積が大きく、一方で伸銅品は電気機械としての蓄積が大きいというように、製品に関しては形態によって違いが見られた。さらに電線・ケーブルのみに見られる特徴として、輸送部門への鉄道軌道建設としての蓄積や情報通信部門への情報・通信機器としての蓄積、電力・ガス・熱供給部門への電力施設建設としての蓄積が大きいという点が挙げられる。また内生部門への蓄積に関しては修理・補修部門へのフローが大きかったが、ここには修理・補修部門に修理に用いられる部品として投入されるフローと、この部門において蓄積するフローの両方が含まれている。

以上より、新たに構築したフロー分析モデルによって、内生部門への蓄積フローや形態別の蓄積フローの特徴を明らかにすることができた。研究発表会では、これらの結果に加えて、製品寿命に基づくストック分析に関しても結果を発表する。

謝辞

本研究は環境省環境研究総合推進費 (1-1402) の支援を受けた。

引用文献

1) Nakamura, S., Nakajima, K., Kondo, Y., Nagasaka, T.: J. Ind. Ecol., 11, (2007), pp.50-63

Supporting Information

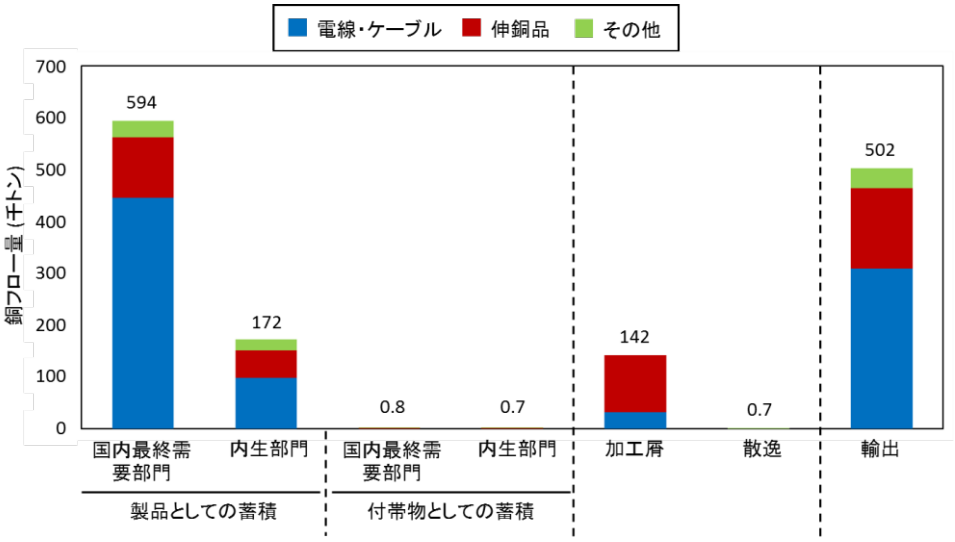


図 S1　2011 年の日本国内における形態別の銅フロー量の推計結果（拡大）

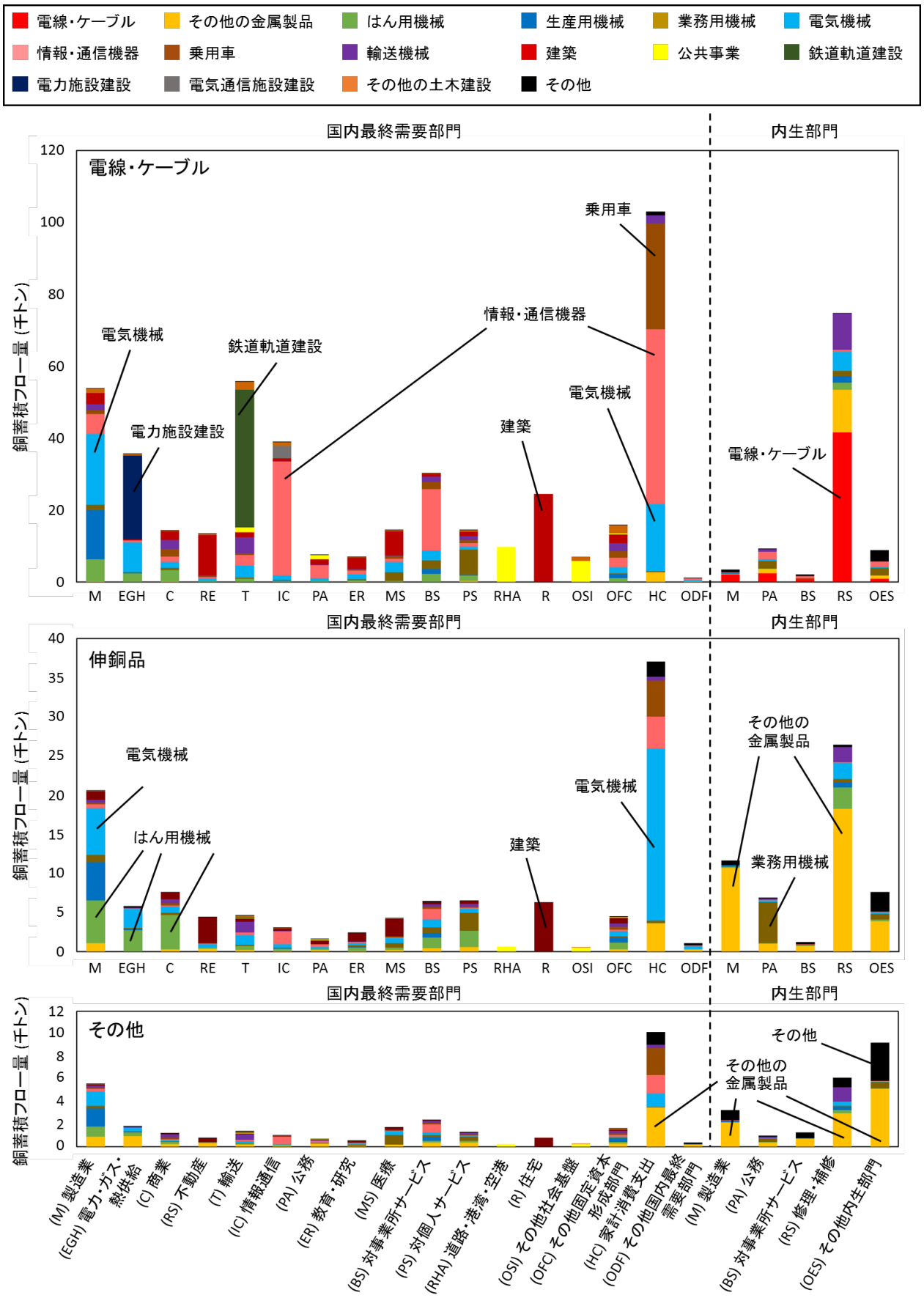


図 S2　2011 年の日本国内における各形態の蓄積先別製品別の銅蓄積フロー量の推計結果
（製品としての蓄積フローと付帯物としての蓄積フローの合計）

B2-03,P2-040　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

一般廃棄物のリサイクル率の再定義：民間回収ルートによる再資源化量の推計

Re-defining recycling rate of general waste : Estimation of recovered amount via collection route of private sector

○渡辺梓*[1)]、橋本征二[1)]
Azusa Watanabe, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0041xp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

循環型社会形成へ向けて 3R(リユース、リデュース、リサイクル)の推進が重要な課題とされている。このうちリサイクルに関しては、環境省の一般廃棄物処理実態調査[1)]により、全国や各自治体のリサイクル状況がリサイクル率として示され、関連する様々な施策に活用されている。2000 年以降、全国のリサイクル率は上昇傾向にあったが、近年は頭打ちとなっており、減少が観測される自治体もある。この理由のひとつとして、資源ごみの店頭回収など、自治体の処理・再資源化ルートを経由しない未把握の一般廃棄物フローが存在することがあげられる。循環型社会形成に向けた進捗を正確に把握するためには、こうした一般廃棄物フローの把握や、これらを含めたリサイクル率の把握が必要である。

これについては、長野ら[2)]が、小売業者による店頭回収量や古紙再資源化業者による回収量、食品廃棄物再資源化業者による回収量を含めたリサイクル率の再定義と推計を行っている。その結果、民間ルートによる古紙回収量が自治体のリサイクル率に大きな影響を与えることが示唆されたが、長野ら[2)]の推計では新聞とその折り込み広告及び雑誌類の回収のみしか対象としていなかった。

本研究では、リサイクル率が減少傾向にある滋賀県を対象として、事業所から排出されるその他の古紙も考慮して民間回収ルートによる再資源化量を推計し、再定義したリサイクル率を検討した。なお、店頭回収量の推計方法についても改善を行った。

2. 方法

2.1 真のリサイクル率

自治体の処理・再資源化ルートを経由しない民間回収ルートによる資源化量を考慮した真のリサイクル率 r(%)は以下のように定義できる[2)]。

$$r = \frac{R_m + R_p}{G_m + R_p} \quad (1)$$

ここで、R_mは行政が関与する資源化量(t)、G_mは行政が関与するごみ処理量(t)、R_pは自治体の処理・再資源化ルートを経由しない民間回収ルートによる資源化量(t)である。本研究では、R_pを以下で構成した。

$$R_P = R_r + R_{Pa} + R_f \quad (2)$$

ここで、R_rは小売業者による店頭回収量、R_{pa}は古紙再資源化業者による回収量、R_fは食品廃棄物再資源化業者による回収量である。これらを対象として、以下に示す方法で各回収量を推計した。

2.2 民間回収ルートによる再資源化量の推計方法

2.2.1 小売業者による店頭回収量

滋賀県内のスーパーマーケット4社97店舗の店頭回収量と売り場面積を用いて、単位売り場面積当たり店頭回収量(店頭回収量原単位)を算出し、これに店頭回収を行っている他のスーパーマーケットの売り場面積を乗じて滋賀県の店頭回収量を回収品目別に拡大推計した。長野ら[2)]は、県内のスーパーマーケットのうち「滋賀県におけるレジ袋削減の取り組みに関する協定」を締結している事業者全 152 店舗において、PET ボトル、缶、紙パック、食品トレイの全種類を回収している、と仮定して推計していたが、本研究では実際に店頭回収を実施している県内のスーパーマーケット・ドラッグストア 138 店舗[3)]を対象とし、店舗ごとに取り扱う回収品目を考慮して推計した。また、取り扱い店舗が少ないことから長野ら[2)]が主要スーパーの実際の回収量のみで検討していた古紙についても、店舗ごとの取り扱いの有無を考慮して店頭回収量原単位を算出し、古紙回収を実施している店舗を対象に拡大推計を行った。

2.2.2 古紙再資源化業者による回収量

古紙再資源化業者により回収される古紙は、事業所から排出される事業所起源のものと、家庭から排出される家庭起源のものの二種類に分けられる。本研究では、長野ら[2)]が推計対象としていなかった事業所起源の古紙回収量について、業種別の古紙回収原単位[4)5)]を用いて、従業員数[6)]により拡大推計した。家庭起源の古紙については、新聞とその折り込み広告及び雑誌類が多くを占めるとし、長野ら[2)]の方法を用いて、その回収量を推計した。なお、事業所起源の古紙回収原単位には、新聞・雑誌は含まれていない。

2.2.3 食品廃棄物再資源化業者による回収量

長野ら[2)]の推計方法と同様、全国の食品廃棄物の年間資源化量[7)]を、滋賀県及び全国の関連産業に携わる従業員数[6)]の比で按分し、滋賀県における食品廃棄物の資源化量を推計した。

3. 結果と考察

3.1　小売業者による店頭回収量の推計結果

図 1 に推計結果を示す。総回収量は増加傾向にあった。回収量の増加は古紙が最も大きく、続いて PET ボトル、缶、食品トレイという結果となった。紙パックについては横ばい傾向であった。

長野ら [2]の推計結果と比較すると、古紙は約 12%多く、そのほかは 15%前後少ないと推計された。これは実際の店舗における取扱品目を考慮したためである。

3.2　古紙再資源化業者による回収量の推計結果

図 2 に推計結果を示す。行政が関与する回収量を含めた全回収量は微減傾向であり、民間回収ルートによる回収量は全回収量の約 70%を占め、増加傾向にあると推計された。小売業者による店頭回収量が増加しており、逆に古紙再資源化業者による回収量(新聞・雑誌)が減少傾向にあるという推計結果であるが、これは新聞・雑誌古紙の発生量から行政が関与する回収量、小売業者による店頭回収量を差し引いて、古紙再資源化業者による回収量(新聞・雑誌)を推計していること [2]が影響している。行政が関与する回収量、小売業者による店頭回収量の中には、新聞・雑誌以外の古紙も含まれると考えられるが、小売業者による店頭回収量が増加傾向にあることからも、古紙再資源化業者による回収量(新聞・雑誌)が減少している可能性は示唆される。

事業所起源の回収量を推計していなかった長野ら [2]の結果と比較すると、古紙再資源化業者による回収量は約 5 倍、全回収量は約 2 倍となった。

3.3　真のリサイクル率の推計結果

図 3 に滋賀県における全資源化量と真のリサイクル率の推計結果を示す。真のリサイクル率は現行のリサイクル率を 20%ほど上回った。リサイクル率に大きな影響を与える古紙の回収量に大きな変化が見られないことから、真のリサイクル率の推移も現行のリサイクル率の推移と大きく変わらなかった。なお、2014 年にリサイクル率が上昇しているのは、中間処理後再生利用量が増加したためである。

長野ら [2]の結果と比較して、本研究で推計された真のリサイクル率は 15%強高かった。これは、本研究において事業所起源の古紙回収量を考慮したためである。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3-1704)による成果である。ここに記して深謝する。

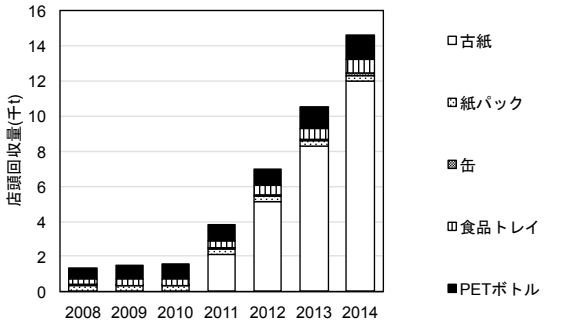


図 1　小売業者による店頭回収量の推計結果

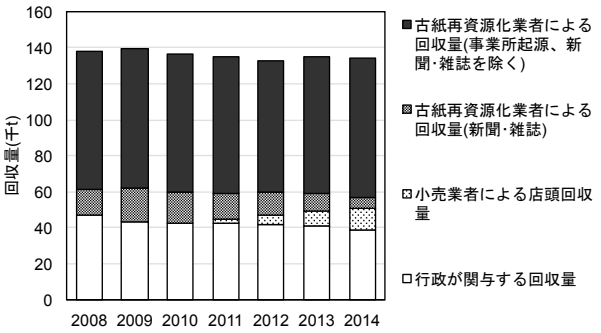


図 2　古紙再資源化業者による回収量の推計結果

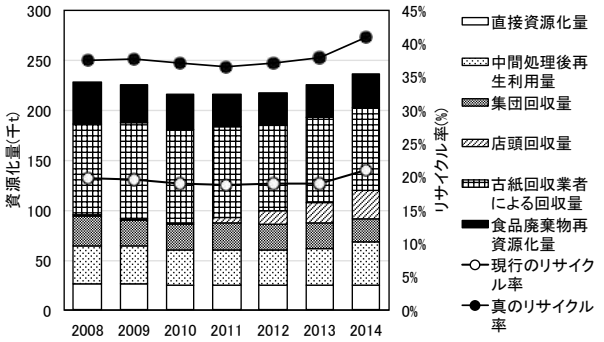


図 3　全資源化量と真のリサイクル率の推計結果

参考文献

1) 環境省：一般廃棄物処理実態調査、各年版
2) 長野朝子、橋本征二：一般廃棄物のリサイクル率の再定義：滋賀県のケーススタディー、第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.362-363、2016
3) 滋賀県：店頭回収を実施している店舗一覧、http://www.pref.shiga.lg.jp/d/haikibutsu/gomizero/home/recycling/collection.html、2017 年 12 月アクセス
4) 公益財団法人古紙再生促進センター：平成 21 年度オフィス発生古紙実態調査報告書、2010
5) 公益財団法人古紙再生促進センター：平成 28 年度オフィス発生古紙実態調査報告書、2017
6) 総務省統計局：事業所・企業統計調査、経済センサス−基礎調査、経済センサス−活動調査、各年版
7) 農林水産省：食品廃棄物等の年間発生量及び食品循環資源の再生利用等実施率について、各年版 http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syokuhin/kouhyou.html、2017 年 12 月アクセス

B2-04

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

プラスチック容器の環境影響評価　～３Ｒの視点から～

Study of environmental impact on plastic container

○柴田　学[*1)]、中島　淳[1)]、伊坪徳宏[2)]

Manabu Shibata, Atsushi Nakajima, Norio Itsubo

1）花王株式会社、2）東京都市大学

* shibata.manabu@kao.com

１．はじめに

日本において容器包装リサイクル法を契機の一つとして、事業者において、容器包装の軽量化・薄肉化やつめかえ容器の開発等による容器包装の使用合理化が進められている。その結果、プラスチック製容器包装においては、2006 年度から 2016 年度の間で 82 千㌧の使用量の削減[1)]がなされている。花王では、大幅なプラスチック量の削減が可能なつめかえ容器を 1991 年に初めて販売して以来、内容物の特性に応じ液吐出部を中心にさまざまなタイプのものを提供してきた結果、例えばシャンプーにおいては、つめかえ用製品への転換率は８０％以上となっている[2)]。

日本においては、容器包装リサイクル法の下、平成２７年度、プラスチック製容器包装の排出見込量[3)]に対する再商品化量[4)]の割合は６５％となっているが、ＥＵにおいては、２０３０年に７５％のリサイクル率の目標が掲げられており、つめかえ用容器の主流であるフィルム容器は、リサイクルが困難であるとの理由から、つめかえ容器を使用せず本品のみの市場が形成されようとしている。

このような状況のもと本研究では、シャンプーのプラスチック容器（本品（ポンプボトル）とつめかえ容器）を対象として、３Ｒの視点から環境影響評価を行ったので報告する。

２．環境影響評価手法

つめかえ容器は複数のフィルムを積層する際の接着剤と印刷インキに含まれる有機溶剤の影響が大きい[5)]ため、ＣＯ２以外の環境影響も評価することを目的とし、ＬＩＭＥ２手法を用いた。

３．社会シナリオ

以下の４つの社会シナリオを策定した。

１）リデュース＋リサイクル社会シナリオ：プラスチック容器使用量を削減するためにポンプ容器につめかえが行われている一方、リサイクルはポンプ容器のみに限定された社会。（日本現状）

２）リユース社会シナリオ：ポンプ容器のみが市場に存在し、企業が本品を回収・洗浄し、再使用されている社会。（リユース社会）

３）リサイクル社会シナリオ：ポンプ容器のみが市場に存在し、リサイクル率が７５％となった社会。（リサイクル社会）

４）リデュース社会シナリオ：新たにホルダーを使用することで、つめかえ容器をつけかえ容器として使用され、ポンプ容器がなくつめかえ容器のみが使用される社会。（リデュース社会）

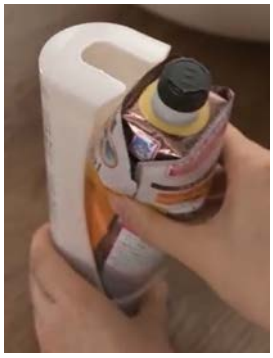


図１．ホルダーとつけかえ容器

４．算定範囲

各シナリオの算定範囲を表１に示す。評価対象はプラスチック製容器のみとし、容器に充填される製品は評価の対象外とした。ポンプ容器とつめかえ容器との間で輸送効率が異なるため、製品輸送工程の評価の際には、充填された製品の重量も考慮した。

表 1．シナリオ別算定範囲

		原料調達～容器製造	製品輸送	回収～リサイクル	回収～廃棄物処理	回収～洗浄
リデュース＋リサイクル社会	ポンプ容器	✓	✓	✓	✓	
	つめかえ容器	✓	✓		✓	
リユース社会	ポンプ容器	✓	✓		✓	✓
リサイクル社会	ポンプ容器	✓	✓	✓	✓	
リデュース社会	ホルダー	✓	✓		✓	
	つめかえ容器	✓	✓	✓	✓	

５．ステージ毎のシナリオと活動量

ステージ毎の活動量は以下の通り。なお、使用したインベントリーデータはＩＤＥＡ２である。

・原材料調達～容器製造ステージ

ポンプ容器、つめかえ容器、ホルダーの全て素材別

重量を使用した。つめかえ容器は新しい容器であるため、容器製造段階の活動量はメーカー提供データを使用した。リサイクル社会においても、ポンプ容器はバージン樹脂のみ使用するとした。

・製品輸送ステージ

花王の工場から小売店までの製品輸送が相当。ポンプ容器・つめかえ容器とも、自社データを使用した。ホルダーは、当該データと重量から活動量を想定した。

・回収～リサイクル／廃棄物処理ステージ

ポンプ容器は容器包装リサイクル法の下リサイクルされているため、リサイクル率は平成 27 年度の実績値である６５％を使用した。つめかえ容器は同法の対象ではあるがリサイクルされていないこと、またホルダーは容器包装ではないことから、これらは全量一般廃棄物として処理されているとした。

・回収～洗浄ステージ

ポンプ容器を回収・洗浄するシナリオは現実には存在しない。そこで、回収は４トントラックに使用済容器を満載した状態で小売店から花王工場まで輸送されるシナリオとした。洗浄は環境省において実施されたペットボトルのリユース実験の結果[6)]を参考に策定した。

６．結果と考察

４つのシナリオの統合化評価結果を図１に示す。ここで機能単位は、１回使用あたりとしている。

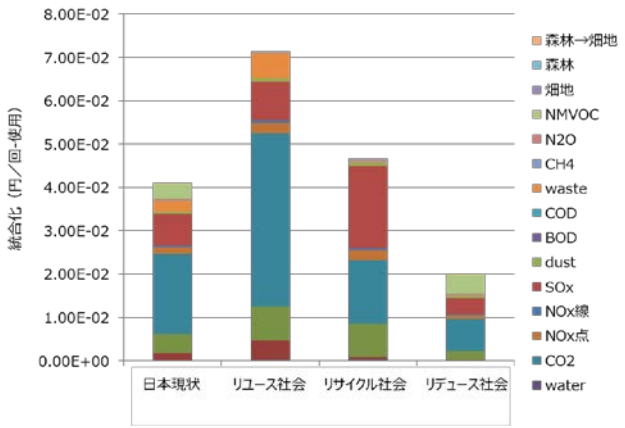


図２．統合化結果

日本現状（リデュース＋リサイクル社会シナリオ）を基準として、他のシナリオとを比較してみると

リユース社会は、７４％大きくなっている。これは、使用済容器を洗浄する際の洗浄水を昇温する際のエネルギー消費量と CO_2 発生量の増加が主要因であり、このインパクトが消費プラスチック量が削減した効果より大きくなったためである。

リサイクル社会は、１４％大きくなっている。これは、使用するプラスチック量が増加したことに伴い樹脂製造工程の SOx 発生量が増加したことが主要因である。

リデュース社会は、５１％小さくなっている。これは、使用するプラスチック量が減少したことに伴い CO_2 発生量と SOx 発生量が減少したことが主要因である。

６．まとめ

プラスチック容器の環境影響評価を、シャンプーのプラスチック容器を対象にリユース、リデュース、リサイクル社会を想定し実施した。その結果、それぞれの想定社会の環境負荷を低減するには、リユース社会は使用済容器の洗浄工程、リサイクル社会はリサイクル樹脂の利用によるバージン樹脂利用量の削減とリサイクル率の向上、リデュース社会ではつめかえ容器の更なる普及によるバージン樹脂使用量の削減とリサイクル技術の確立によるつめかえ容器のリサイクル化がキーポイントとなることを明らかにすることができた。

７．参考資料

１）３Ｒ推進団体連絡会　“容器包装３Ｒ推進のための自主行動計画 2020　フォローアップ報告（2016 年度実績）”（2017）, P4

２）花王㈱："サステナビリティー環境・安全ー製品ライスサイクル全体を通じた環境への取り組みーつめかえ・つけかえ用製品”, 花王㈱,（オンライン）, 入手先 URLhttp://www.kao.com/jp/corporate/sustainability/environment/phase/refill-replacements/（参照 2018-01-10）

３）日本容器包装リサイクル協会:”協会のリサイクル事業ー排出見込量”, 日本容器包装リサイクル協会,（オンライン）,入手先 URLhttp://www.jcpra.or.jp/recycle/related_data/tabid/678/index.php（参照 2018-01-10）

４）環境省：”報道発表資料ー平成 27 年度嘔気包装リサイクル法に基づく市町村の分別収集及び再商品化の実績について“, 環境省,（オンライン）, 入手先 URLhttp://www.env.go.jp/press/103766.html（参照　2018-01-10）

５）吉村祐美, 小松郁夫, 伊坪徳宏：日本 LCA 学会誌, 7(3),(2011),PP.264-273

６）環境省：”報道発表資料ー「ペットボトルリユース実証実験結果の取りまとめ」の公表について“, 環境省,（オンライン）, 入手先 URL http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11451（参照　2018-01-10）

C2-01
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

木質バイオマスエネルギー設備導入に伴う温室効果ガス排出削減量の推計

Estimation of GHG Emission Reduction by Implementation of Wood Biomass Energy Systems

○柴原尚希*[1)]，大城謙治[2)]，土田和希人[3)]，壁谷武久[1)]
Naoki SHIBAHARA, Kenji OSHIRO, Wakito TSUCHIDA, Takehisa KABEYA
1)産業環境管理協会，2)マルツ電波，3)もりもりバイオマス
* shibahara@jemai.or.jp

1. はじめに

木質バイオマスを燃料とする再生可能エネルギー設備の導入により、化石燃料の使用が代替される。それに伴う温室効果ガス削減量は、燃料となる木材の伐採から需要先までのライフサイクル全体を通じて評価される必要がある。本研究では、地元産未利用木材を熱源利用する木質バイオマスボイラの導入計画に LCA を適用し、ライフサイクル GHG 排出量が化石燃料使用の場合と比べてどれだけ削減されるか推計する。

2. 調査範囲の設定

図 1 に木質バイオマス熱供給設備のシステム境界を示す。本研究では、①破砕チップを利用する温泉旅館向けの面的熱供給システム、②切削チップを利用する工場団地向けの 1 対 1 熱供給システム、を対象とする。

燃料の製造（ケース①：リサイクルセンターでの破砕、ケース②：山林での伐採）からボイラで熱供給されるまでを評価対象範囲とし、育林、林道整備、林業機械・輸送車両・ボイラの製造は除外している。また、バイオマスボイラは、空調・給湯に利用されるため、1MJ の熱供給を機能単位とする。

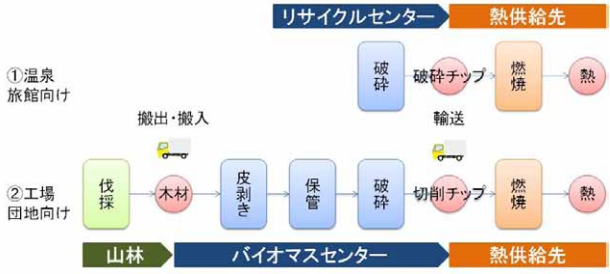


図 1　木質バイオマス熱供給設備のシステム境界

3. インベントリデータ

インベントリデータの収集方法を以下に示す。バックグラウンドデータには、LCA ソフトウェア「MiLCA」搭載のインベントリデータベースである IDEA ver.1.2 を用いる。

3.1 搬出・搬入

ケース①では、各山林現場から用材とチップ材が搬出される。その際用いる搬出機械（ハーベスタ、グラップル、フォワーダ）と運搬のためのトラックの軽油使用量を把握し、全搬出量に対するバイオマスの割合を乗じる。なお、現場ごとのトラックの燃料は把握不可能であるため、運搬距離・回数、平均燃費から推計する。

3.2 リサイクルセンター／バイオマスセンター

(1) 生産量

ケース①のリサイクルセンターでは、破砕チップのみが製造されている。ケース②のバイオマスセンターでは、木粉、ペレット、切削チップが同一工場内で製造されている。ケース②で対象とするバイオマスボイラで用いられる燃料は切削チップであるため、バイオマスセンター内の電力・燃料消費量を各製品に配分する必要がある。そのため、それぞれの生産量と売却単価を把握する。

(2) 重機

各センター内での破砕作業に関わる重機類の動力は全て軽油が使用されている。バイオマスセンターでは、それらを(1)で把握した製品の生産量に応じて破砕チップあるいは切削チップに配分する。

(3) 電力

バイオマスセンターでは、製品の製造に電力が使用されている。ただし、電力使用量はバイオマスセンターと隣接会社を合算した数値しか把握できないため、電気料金の按分比率を用いて按分する。さらに、バイオマスセンター分の電力使用量を、(1)で把握した製品の売却単価に応じて切削チップに配分する。

3.3 輸送（センター～バイオマスボイラ）

各センターから熱供給先へのチップの運搬には 10t トラックを使用しており、運搬距離はケース①が片道 7.7km、ケース②が片道 8.3km である。積載率は、類似事例の実績から 92%と仮定する。

3.4 熱供給先

全国木材チップ工業連合会資料[1)]によると、湿量基準含水率 U_w [%Wb]と低位発熱量 Q_{Lw} [kcal/kg]の関係は、

表 1　熱供給 1MJ あたりのインベントリデータ

段階	項目		IDEA 項目	ケース①（温泉旅館向け）		ケース②（工業団地向け）		単位☆
				[☆/t]	[☆/MJ]	[☆/t]	[☆/MJ]	
搬出搬入	トラック・搬出機械	軽油	熱エネルギー, 軽油			5.86	5.94.E-04	L
センター	重機	軽油	熱エネルギー, 軽油	1.17.E+01	2.05.E-03	1.44.E+01	1.46.E-03	L
	電力		電力，系統電力			107	1.09.E-02	kWh
輸送	トラック	軽油	トラック輸送, 10 トン車（tkm）	運搬距離 7.7 積載率 92		運搬距離 8.3 積載率 92		km %
熱供給先	電力		電力，系統電力		8.33.E-03		4.17.E-03	kWh
燃料				破砕チップ		切削チップ		
質量基準含水率				50		30		%Wb
低位発熱量				6.065		10.73		MJ/kg
燃焼効率				94		92		%
燃料消費量				0.1754		0.1013		kg/MJ
電力消費量				0.0083		0.0042		kWh/MJ

$$Q_{Lw} = -55.75U_w + 4238 \quad (1)$$

である。式(1)とボイラの燃焼効率から熱供給量 1 MJ あたりの燃料消費量を算出する。

熱供給先に関する諸仮定と、3.1～3.4 節で収集したデータを、機能単位である熱供給 1MJ あたりに換算した結果を表 1 に示す。バックグラウンドデータとして用いた IDEA の項目名も合わせて示す。

4. GHG 排出量算出結果

4.1 木質バイオマス熱供給に伴う GHG 排出量

3 章で整理したインベントリデータを用いて、木質バイオマス熱供給に伴う GHG 排出量を算出した結果を図 2（ケース①、ケース②）に示す。木質バイオマスボイラを用いて 1 MJ 熱供給することで、ケース①では 10.9 g-CO_2/MJ、ケース②では 14.7 g-CO_2/MJ 排出される。段階別にみると、両ケースとも各センターの割合が大きい。特に、ケース②のバイオマスセンターでの電力起因が大きく、全体の 42%を占めている。そのため、燃料製造の際に電力消費を伴わないケース①の方が、GHG 排出量が少ないと考えられる。

4.2 重油による熱供給との比較

近隣に導入されている類似のボイラシステムでは、必要に応じて重油を用いて追い炊きを行っているため、重油により得られた熱量や油流量が管理されている。そこで、そのデータを参考に、原油がサウジアラビアから東京都へタンカーで運ばれ、その後対象地域にタンクローリーで輸送されたと仮定し、重油を用いて熱供給した場合の GHG 排出量算出結果を図 2（A 重油）に示す。重油により 1 MJ 熱供給することで、92.3 g-CO_2/MJ 排出されることが分かる。燃焼起因が最も大きく全体の 83%を占めている。

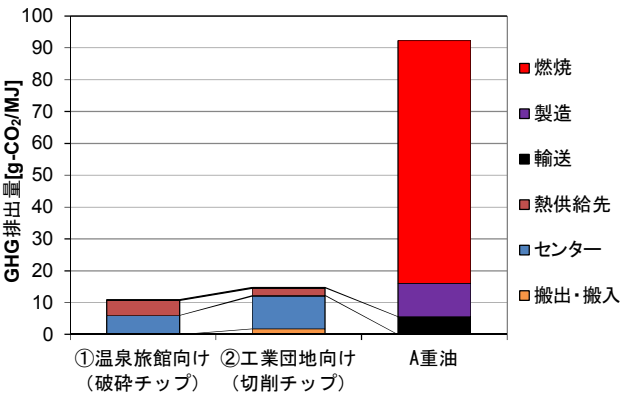


図 2　熱供給に伴う GHG 排出量の比較

4.1 節で得られた結果と A 重油の GHG 排出量を比較すると、破砕チップを用いた熱供給の方が 88%削減、切削チップを用いた熱供給の方が 84%削減されることが分かる。

5. まとめ

本研究では、木質バイオマスボイラを用いることによる、重油ボイラと比較した場合の GHG 排出量削減量を定量的に把握した。

ケース②で最も大きな排出割合を占めたバイオマスセンターでは 3 種類の製品を製造しており、電力消費量を生産金額で配分している。配分の考え方が結果に影響を与える可能性があるため注意が必要である。

引用文献

1)　全国木材チップ工業連合会：“木材チップ等原料転換型事業調査・分析事業報告書”, (2012)

C2-02,P2-005　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

時系列変化と中間体貯蔵を考慮した バイオマス製品のサプライチェーン設計手法

A design method for efficient biomass-based supply chain considering time series variation and intermediate storage

○川音侑輝*[1)]、大野肇[1)]、福島康裕[1)]
Yuki Kawaoto, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1) 東北大学
* kawaoto@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

持続可能なサプライチェーン(SC)を設計する際には、経済性に加え温暖化や資源枯渇などの環境影響も評価する必要がある。また、対象となる地域の利用可能資源を効率的に有価物に変換するためのシステム設計には、選択肢となるプロセスの物質収支や設備投資費・運転費、プロセス間の輸送など多事項を踏まえた検討が不可欠であるが、経験知のみによって境界条件の異なる様々な地域でこれを実行することは困難であるため、より系統的な手法が必要である。そこで有用となりうるのがスーパーストラクチャ（SS）を用いたシステム設計手法である。SS とは考え得るすべての SC 構造をその部分構造として含んだ構造を指し、これを数学的に最適化（利潤の最大化や環境影響の最小化）することにより、目的とした SC の設計が可能となる[1)]。

廃木材、廃棄物、非可食物などのバイオマス資源は季節変動などにより採取可能な期間が限定されるが、バイオマス資源由来の最終製品需要はそれとは関わりなく時系列にともない変動する。これらを均衡させるために中間体の貯蔵を採用すればよいが、SC の中に貯蔵庫を組み込む際には貯蔵する中間体の選択やその貯蔵期間を他のプロセスの選択およびその他の制約と同時に考慮することが必要となる。

プロセス特性に加えて時系列変化まで考慮した SC 設計手法[1)]やプロセスと貯蔵庫の数と位置を最適化する手法[2)]は既報であるが、SC 設計の段階で新規システムの設計と時系列変化および中間体の貯蔵の考慮を包括した手法の開発は僅少であるが、そのような手法を用いれば、貯蔵庫を含めた各プロセスの稼働率向上を通じて設備容量が適切化され、コストや環境影響の低減につながる可能性がある。

我々は変換経路やプロセス特性の考慮に加え、時系列変化と中間体貯蔵を包括し、経済性と環境影響の両面を鑑みた SC 設計手法を開発している。本発表では開発した手法と中間体貯蔵を考慮することの効果について論じる。

2. 手法

本手法では一定の期間をピリオドと定義し、このピリオド内では時系列変化が生じないと仮定し、時系列変化が生じる時を境にピリオドを分割することで時系列変化を取り扱う。ピリオドの数には制限はなく、またプロセスによる物質の変換はピリオド内のみで行われるものとし、貯蔵庫を用いた場合のみ物質はピリオドをまたいで移動が可能とする。SS は SC 内で選択肢となるプロセスの物質収支データを用いて、開発したツールにより貯蔵庫も含め自動的に行列 $\mathbf{A}$ として構築される。これに対しプロセス規模を示す設計変数ベクトル $\boldsymbol{x}$ を乗じて SC 全体の賞味の物質収支 $\boldsymbol{y}$ を算出することですべての SC を網羅することができる(式(1))。

次に最適化を行う際の制約条件を決定する。ここでは個々のプロセス・貯蔵庫の規模や原料供給量・製品需要量を決定する。この制約条件はピリオドごとに変化があればそれに対応した制約条件をピリオド別に設定することができる。例えば一定期間設備整備等でプロセスが一時停止する場合、その期間のプロセス規模を 0 にすることで対応できる。以上の制約条件の設定により種々の時系列変化への対応が可能となる。

最後に SS を用いて SC を設計する。ここでは経済性と環境影響の両面を鑑みた SC 設計を行うため、目的関数を利潤の最大化と GHG 排出量の最小化の二つを選択できるようにする。利潤最大化の場合は製品売上から原材料費、プロセスの運転費・設備費、物質の輸送費を差し引いて定義する（式（2））。また GHG 排出量最小化の場合は、最終製品量を機能単位とし、境界条件を Cradle-to-gate としライフサイクル全体の GHG 排出量により定義する（式（3））。以上により混合整数非線形計画問題として定式化が行われ、所定の目的関数とその制約に応じた SC が探索される。

$$\mathbf{A}\boldsymbol{x}=\boldsymbol{y} \tag{1}$$

$$\text{Max } \mathbf{C_M}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y}-(\mathbf{C_O}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}+\mathbf{C_I}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{b_I}+\mathbf{C_T}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{b_T}) \tag{2}$$

$$\text{Min } \frac{\mathbf{E_M}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}+\mathbf{E_I}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{b_I}+\mathbf{E_T}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{b_T})}{\boldsymbol{y}_{product}} \tag{3}$$

3.　手法適用例

手法適用例として種子島におけるバイオマス由来製品製造を検討した。種子島では主要作物としてサトウキビ、サツマイモが栽培されている [3]。製糖工場においてサトウキビから原料糖を抽出する際に副生成物として廃糖蜜が得られる。この廃糖蜜またはサツマイモを原料としてエタノール（EtOH）に変換し、続けてバイオディーゼル燃料（BDF）を製造するまでの SC を本研究で開発した手法を用いて設計する。

ピリオドは、サツマイモが収穫される 9 月から 11 月（P1）、サトウキビが収穫され製糖工場が稼働する 12 月から 4 月(P2)、どちらも収穫されない 5 月から 8 月(P3)の三つを定義した。最終製品である BDF は通年需要があると仮定し、限りある原料 [3]から最大限 BDF を製造するものとした。また製糖工場はピリオド 2 のみで稼働し、貯蔵庫を含む他のプロセスはすべてのピリオドで稼働可能であるとした。目的関数は利潤最大化を採用した。その他の制約条件の詳細は発表にて報告する。

設計された SC（図 1）より、P1 ではサツマイモのみが、P2 および P3 では糖蜜のみが EtOH 製造の原料として利用され、すべてのピリオドで 10,000 kl の BDF が製造された。貯蔵は P2 から P3 へ糖蜜が P1 から 3 へ EtOH がそれぞれ 802 t、662 kl 貯蔵された。最大化された利潤およびそのときの GHG 排出量を貯蔵を考慮しなかった場合と比較すると（表 1）、今回のケーススタディにおいて、貯蔵の考慮は GHG 排出量をほぼ一定にしつつ、利潤を約 68%向上させる働きを持つことが分かった。

表 1 貯蔵考慮の有無による SC 全体の利潤および GHG 排出量への影響

	利潤 [yen/year]	GHG 排出量 ［kg-CO2eq/kl-BDF］
貯蔵考慮あり	2.35E+09	23.5
貯蔵考慮なし	1.60E+09	23.6

4.　結言

本設計手法により、SC 構築におけるプロセスの選択に加えて時系列変化および中間体の貯蔵を考慮した設計が可能となった。現段階では物質フローに基づく設計しか行っていないが、各プロセス・貯蔵庫間で余剰熱・エネルギーの授受は、経済性と環境影響の両面で有効であると考えられるため、それらも同時に考慮することができる手法へと拡張していきたい。

謝辞

本研究の一部は環境省環境研究総合推進費（課題番号 3K153014）により実施された。

記号

$\mathbf{A}$：スーパーストラクチャ行列、$\mathbf{C_M}$：製品価格、$\boldsymbol{y}$：賞味物質収支、$\mathbf{C_O}$：運転費、$\boldsymbol{x}$：プロセス規模、$\mathbf{C_I}$：設備投資費、$\boldsymbol{b_I}$：プロセス選択バイナリ、$\mathbf{C_T}$：輸送費、$\boldsymbol{b_T}$：輸送経路選択バイナリ、$\mathbf{E_M}$：原料調達・中間体製造に係る GHG 排出量、$\mathbf{E_I}$：設備投資に係る GHG 排出量、$\mathbf{E_T}$：輸送に係る GHG 排出量

引用文献

1) B. R. Sarker, B. Wu, K. P. Paudel : Appl. Math. Model. 55, (2018), pp 447-465

2) L. Gerber, S. Faslollahi, F. Marechal : Comput. Chem. Eng. 59, (2013), pp 2-16

3) “ふるさと種子島”, 入手先 ＜http://www.furusato-tanegashima.net/index.html>, (2018-1-11)

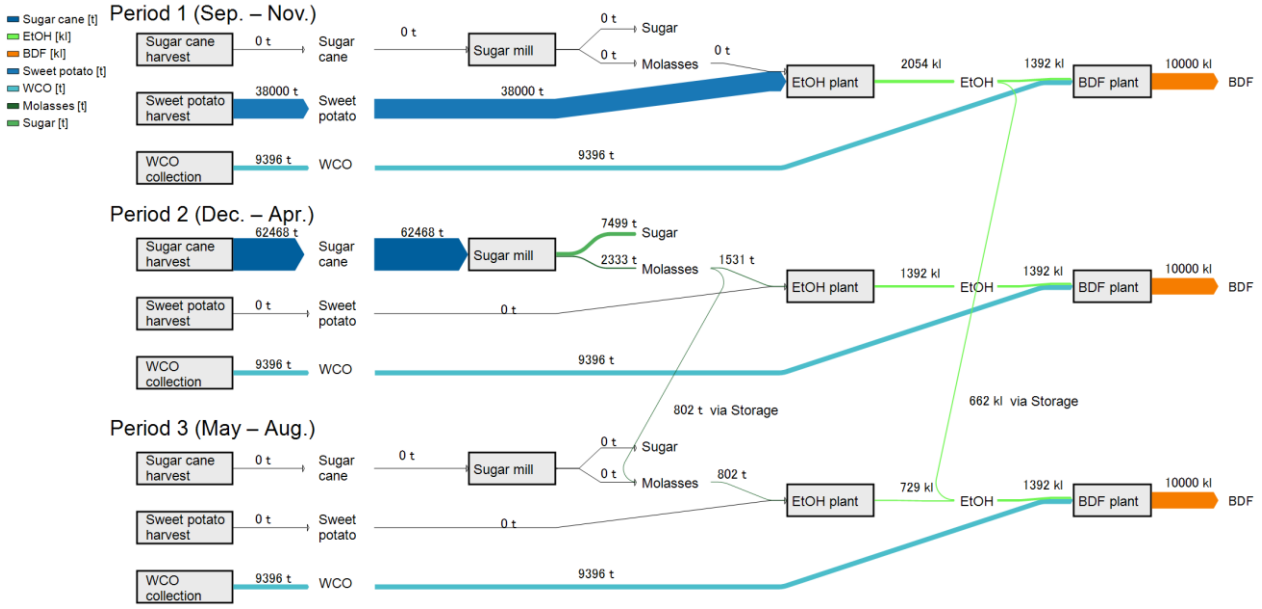


図 1 時系列変化および中間体貯蔵を考慮したサプライチェーン設計結果の例

C2-03,P2-008　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

環境性能と経済性をバランスさせたバイオガソリン製造プロセスの設計

Designing a catalytic conversion process for biogasoline production balancing environmental and economic performances

○奥山泰世*[1)]、小池充 [1)]、大野肇 [2)]、田村正純 [2)]、中川善直 [2)]、今井章雄 [1)]、冨重圭一 [2)]、福島康裕 [2)]
Yasuyo Okuyama, Mitsuru Koike, Ohno Hajime, Masazumi Tamura, Yoshinao Nakagawa, Akio Imai, Keiichi Tomishige, Yasuhiro Fukushima
1) 昭和シェル石油株式会社, 2) 東北大学大学院
* Yasuyo.okuyama@showa-shell.co.jp

1. はじめに

食糧と競合しないセルロース系バイオ燃料は、低炭素社会に向けて重要な役割を果たすことが出来る。そこで、我々は、新規触媒(Ir-ReO_x/SiO_2)を用いて、副原料に水素を使用することでセルロース由来の糖からモノオール(ペンタノール/ヘキサノール)を製造し、次いで、固体酸触媒を用いてモノオールを脱水し、従来の石油由来のガソリンにも含まれる C5 及び C6 オレフィン(バイオガソリン)を製造する触媒変換プロセス(バイオガソリン製造プロセス)の開発を進めている [1)]。

バイオガソリンは、日本のバイオ燃料としての持続可能性基準として、従来のガソリンの GHG 排出量(81.7 kg-CO_{2e}/MJ-gasoline)に対して、50%以上の排出削減が求められている [2)]。バイオガソリンの GHG 排出は、①原料(セルロース、リグニン等から成る木質系、草本系バイオマス)の生産と調整、②原料のバイオリファイナリーへの輸送、③原料のバイオガソリンへの変換、及び④バイオガソリンの輸送とブレンドの 4 つの段階で生じる。我々のプロセスは、③の段階を構成する要素技術の一つで、③からの GHG 排出量は、米国 National Renewable Energy Laboratory (NREL)が報告したバイオリファイナリー[3)]にある触媒変換プロセスを我々のものに置き換えることで算出した。また、①、②、及び④からの GHG 排出量は、JEC の報告値 [4)]を加工することで算出した。これらの結果を基に、我々が製造するバイオガソリンの GHG 削減効果を得た。

図 1 は、我々のバイオガソリン製造プロセスを示している。プロセスで用いられる電気と熱は、バイオリファイナリーから得られるバイオマス由来の物質(リグニンやパージガス等)を燃料とする熱電併給システムによって賄われるため、これに関連した GHG 排出はゼロである。このプロセスでの GHG 排出は、副原料である外部水素に由来していて、例えば、天然ガスのスチームリフォーミングで生成した水素であれば、安価ではあるが、炭素排出強度は 11.2 kg-CO_{2e}/kg-H_2 と著しく高く、GHG 削減効果 50%を達成出来ない。

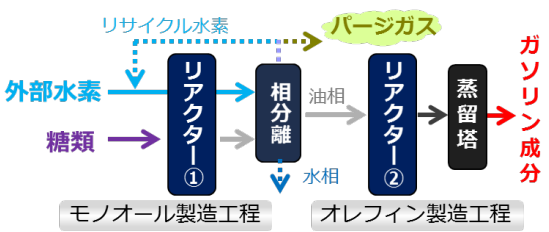


図 1　バイオガソリン製造プロセス

そこで、我々は、セルロース由来の糖から水素を生成する水相改質(Aqueous phase reforming: APR)反応(eq. (1))の機能を付与した Pt-Ir-ReO_x/SiO_2 触媒を導入し、このセルロース由来の水素を用いて、外部水素の使用量を削減することでバイオガソリンの GHG 削減効果 50%を達成することを試みている [5)]。

$$C_6H_{14}O_6 + 6H_2O \rightarrow \mathbf{13H_2} + 6CO_2 \quad (1)$$

本報告では、GHG 削減効果が 50%となる時の APR 反応選択率(θ_{APR}：セルロース由来水素の製造(APR 反応)に用いられる糖の割合(%-C))の概念を説明し、θ_{APR} を指標としたプロセス設計の検討事例を紹介する。

2. APR 反応選択率 θ_{APR} の概念

図 2 に θ_{APR} の概念図を示す。θ_{APR} を増大させる、すなわち、セルロース由来水素の生成量を増大させると、外部水素の使用量が減るため、GHG 排出量が減り、GHG 削減効果 50%を達成できる(図 2 実線①)。しかしながら、θ_{APR} が増大すると、水素を生成するために原料のセルロース由来の糖が使われるので、バイオガソリンの収量が減る、すなわち、バイオガソリンの経済性が悪くなる(図 2 点線)。一方、バイオリファイナリーからは GHG 排出量ゼロの余剰電力が発生していて、外販することでグリットが持つ炭素排出強度をクレジットとして得ることが出来る。これにより GHG 排出

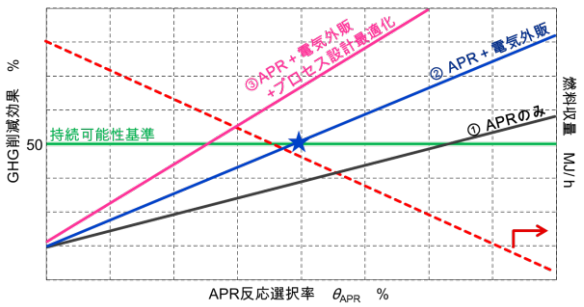


図 2　θ_{APR} の概念図

量が削減できるため θ_{APR} を小さくすることが出来る(図 2 実線②)。ここでの GHG 削減効果 50%を満たす θ_{APR} (図 2 星印)は、“環境性能である GHG 削減効果 50%を満たしながら経済性の側面であるガソリン収量を最大化する点”と言う意味を持つ。加えて、プロセスの設計で外部水素の使用量を削減できれば、さらに θ_{APR} を減らしてガソリン収量を増大できる可能性がある(図 2 実線③)。

3. プロセス設計の検討－パージガス中の水素回収－

3.1 水素回収なしでの GHG 排出量

前述したように、APR が進行することで、外部水素が減らせて GHG 排出量を減らせるが、APR 反応で副生する CO_2 が増加し、リサイクルガスの水素濃度が低下する。水素濃度の低下は、触媒反応の進行を抑制するため、パージガスとして抜き出す必要がある。抜き出すパージガスの量と組成は、バイオガソリン製造プロセスの PRO/II™ シミュレーションモデルを用いて算出し、熱電併給システムでの発電量に換算した。余剰電力の外販によるクレジットの炭素排出強度は、高排出強度(0.65 kg-CO_{2e}/kWh; NREL の報告にある米国の平均)と低排出強度(0.08 kg-CO_{2e}/kWh; IEA “World Energy Outlook 2016”の再生可能電力の大規模導入ケース(2040 年))の 2 つのケースを用いて、外販による GHG 排出削減量を算出した。また、外部水素の GHG 排出強度は、11.2 kg-CO_{2e}/kg-H_2 を用いて、外部水素による GHG 排出量を算出した。

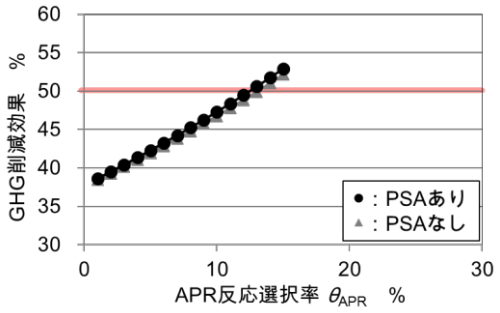
3.2 水素回収装置(PSA)の導入

パージガス中には、未使用の水素が含まれている。そこで、プロセス設計による対応として、パージガス中の水素の 80%を回収できる水素回収装置(Pressure Swing Adsorption: PSA)をパージガスラインに設置することを検討した。回収した水素は触媒反応に使用することで外部水素を削減させ、残りのガスは熱電併給システムの燃料として使用することとした。

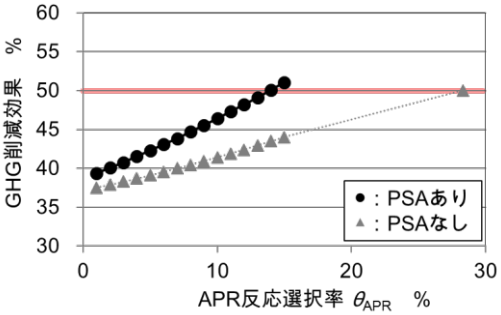
3.3 シミュレーション結果

図 3 に PSA の導入有無でのシミュレーション結果を示す。グリッドの炭素排出強度が大きいと、GHG 削減効果 50%のときの θ_{APR} は PSA の有無で大きな差はなかった(図 3(a))。これは、パージガス中の水素を回収し利用することで、外部水素の使用量は削減できるが、熱電併給の原料となるパージガス中に水素がなくなるため、発電量が少なくなり、余剰電力の外販で得られるクレジットが少なくなったためである。

一方で、グリッドの炭素排出強度が小さくなると、PSA を導入したほうが GHG 削減効果 50%になる時の θ_{APR} は小さくなった(図 3(b))。これはグリッドの炭素排出強度が小さいので、パージガス中の水素を発電で用いるより、回収して外部水素の使用量を削減したほうが GHG 削減に貢献できたためである。



(a)グリッドの炭素排出強度 0.65 kg-CO_{2e}/kWh



(b)グリッドの炭素排出強度 0.08 kg-CO_{2e}/kWh

図 3　シミュレーション結果

4. まとめ

バイオガソリン製造プロセスにおいて、余剰電力を外販してクレジットを得たり、PSA を導入して未使用の水素を回収して外部水素を削減したりすることで、GHG 削減効果 50%の時の APR 反応選択率(θ_{APR})を小さくすることは、環境性能と経済性のバランスを改善する。今回の検討から、将来の再生可能電力の大規模導入により電力外販のクレジットが少なくなると PSA の導入が好ましいことが分かった。それゆえ、バイオガソリン製造を事業化する時期の政策や技術の動向を想定した感度分析はプロセス設計において重要である。

5. 引用文献

1) Y. Okuyama, et al.: *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 59 (5), (2016), 228-234.
2) 経済産業省: “非化石エネルギー源利用に関する石油精製業者の判断基準（告示第 242 号）”, (2010).
3) National Renewable Energy Laboratory (NREL): “Process Design and Economics for the Conversion of Lignocellulosic Biomass to Hydrocarbons”, (2015).
4) JEC: “Well-to-Tank Report Version 4.a”, (2014).
5) K. Tomishige, et al.: *Catalysis Today,* 269 (1), (2016), 122-131.

D2-01,P2-019　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

物質収支をもとにした食品廃棄物量の推計

Estimation of food waste amount based on mass balance

○谷畑佑典*[1)]、佐々木貴央[1)]、橋本征二[2)]
Yusuke Tanihata, Takahiro Sasaki Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院、2)立命館大学
* rv0038fk@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

国連の持続可能な発展目標（SDGs）において食品廃棄物の問題が取り上げられたこともあり、近年、日本においてもこの問題が注目されるようになっている。しかしながら、食品廃棄物のフローの実態が十分に把握されているとは言い難い。いくつかの報告[1)2)]はあるものの、その推計手法に改善すべき点は多い。

本研究では、食品ライフサイクルの各段階における物質収支をとりながら、各段階で発生する食品廃棄物量を経年で推計することを試みた。食品廃棄物は含まれる水分によってその重量が大きく変化することから、乾重量で物質収支分析を行っている点が本研究の特徴である。また、複数年の推計を行うことで、方法論上の課題についても検討した。

2. 方法

本研究では、食品廃棄物の発生起源を食品の製造、流通、消費の各段階に大別し、それぞれの段階で発生する食品廃棄物量を乾重量で推計した。推計にあたっては、2005 年産業連関表および 2011 年産業連関表をベースに用いた。食品の製造および消費の段階に対応する 2011 年の産業部門は表 1 のとおりである。

2.1 製造段階における食品廃棄物重量の推計方法[3)]

産業連関表に付帯する物量表に記載のある食品関連部門については、この値を投入産出の物量データとして用いた。また、物量表に記載のない食品関連部門については、他の統計（詳細は文献[3)]を参照）より生産量、出荷量を部門ごとに集計して総生産数量を推計した。これを当該部門の総生産額で除すことで、部門ごとに換算原単位（t/百万円）を作成し、これを用いて当該部門から表 1 の各部門への投入金額を物量換算した。以上をもとに、下式により各部門の食品廃棄物重量を推計した。

食品廃棄物重量 ＝ 投入物重量 − 生産物重量

ここで、投入物重量と生産物重量の乾重量は、各食品に対応する含水率[4)]を用いて換算した。また、生産物重量に容器包装重量が含まれることが想定される食品については、容器包装の重量を差し引いた[3)]。なお、2011 年は 2005 年と比べ、物量表に記載される品目が少なくなっていることから、2011 年の物量表に記載がない場合は、2005 年の投入量に対する生産量の歩留まりを求め、2011 年においても同じ歩留まりを仮定して推計を行った。

表 1　食品廃棄物の発生起源と産業連関表の対応部門

発生起源	2011年産業連関表の対応部門	
製造	1111-01	食肉
	1112-01	肉加工品
	1112-02	畜産びん・かん詰
	1112-03	酪農品
	1113-01	冷凍魚介類
	1113-02	塩・干・くん製
	1113-03	水産びん・かん
	1113-04	ねり製品
	1113-09	その他の水産食品
	1114-01	精穀
	1114-02	製粉
	1115-01	めん類
	1115-02	パン類
	1115-03	菓子類
	1116-01	農産びん・かん詰
	1116-02	農産保存食料品
	1117-01	砂糖
	1117-02	でん粉
	1117-03	ぶどう糖・水あめ・異性化糖
	1117-04	動植物油脂
	1117-06	調味料
	1119-01	冷凍調理食品
	1119-02	レトルト食品
	1119-09	その他の食料品
	1121-01	清酒
	1121-02	ビール類
	1121-03	ウィスキー類
	1121-09	その他の酒類
	1129-01	茶・コーヒー
	1129-02	清涼飲料
製造+消費	1119-03	そう菜・すし・弁当
消費	1119-04	学校給食（国公立）
	1119-05	学校給食（私立）
	6711-01	宿泊業
	6721-01	飲食サービス
	7111-00	家計外消費支出
	7211-00	家計消費支出
	7212-00	対家計民間非営利団体最終消費支出

2.2 流通段階における食品廃棄物重量の推計方法

流通段階における食品廃棄物重量については食料需給表[5)]の「減耗量」の値を引用し、各食品の含水率[4)]を用い乾重量に換算した。

2.3 消費段階における食品廃棄物重量の推計方法

学校給食、外食産業、家庭における最終需要別に、それぞれの部門への投入物重量に、各消費に対応したロス

率[6]を乗じることで推計した。

食品廃棄物重量 = 投入物重量×ロス率

ここで、投入物重量は、2.1 の推計によるものである。「そう菜・すし・弁当」部門については、ロス率[6]のうち、過剰除去によるものは「食品製造」部門から、直接廃棄および食べ残しは「消費」部門で発生するものとして取り扱った。

3.　結果と考察

3.1　各段階における食品廃棄物重量の推計結果

製造段階については、2005 年で約 1270 万 t DM、2011 年で約 1940 万 t DM と推計されたが、特に 2011 年については生産物重量が投入物重量を上まわる等、データの齟齬が散見され、十分な精度の推計とならなかった。2005 年と 2011 年の部門別の食品廃棄物重量を比較したところ、「砂糖」「でん粉」部門からの発生量が共通で上位となったが、2005 年と 2011 年の数量には大きな差があり、推計手法の改善を引き続き行っていく必要がある。特に、2011 年について生産重量の捕捉率を上げる必要がある。

流通・消費段階については、2005 年で約 193 万 t DM、2011 年で約 199 万 t DM と推計された。また、流通段階と消費段階の割合はそれぞれ半分程度であった。

3.2　流通段階の食品廃棄物重量の推計結果

流通段階で生じる食品廃棄物重量を、上位 5 品目とその他の品目に分けて図 1 に示した。2005 年と 2011 年の上位 5 品目は全て同じであり、上位 5 品目の食品廃棄物で全体の 7 割以上を占めていた。上位 5 品目のうち、米は湿重量での減耗量は少ない（177 万 t、168 万 t[5]）が含水率が低く、逆に、傷みやすい果実や野菜は湿重量での減耗量は多い（2788 万 t、2582 万 t[5]）が含水率が高いため、本研究のように乾重量で比較するとその差は縮まる結果となった。

3.3　消費段階の食品廃棄物重量の推計結果

消費段階で生じる食品廃棄物重量を、上位 5 品目とその他の品目に分けて図 2 に示した。2005 年では精米の食品廃棄物が特に多く、2 位の野菜と比較すると、約 13 万 t DM の差となった。2011 年では野菜、精米からの食品廃棄物が多く、2005 年と 2011 年を比較すると野菜については約 8 万 t DM の増加、精米については 5 万 t DM の減少となった。これは、2005 年から 2011 年にかけて、消費段階に対する野菜の投入重量が増加したのに対し、米の投入重量は減少したことが原因と考えられる。また、2011 年には小麦粉の消費段階に対する投入重量が大幅に増加したことで、食品廃棄物重量も増加した。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3-1704)による成果である。ここに記して深謝する。

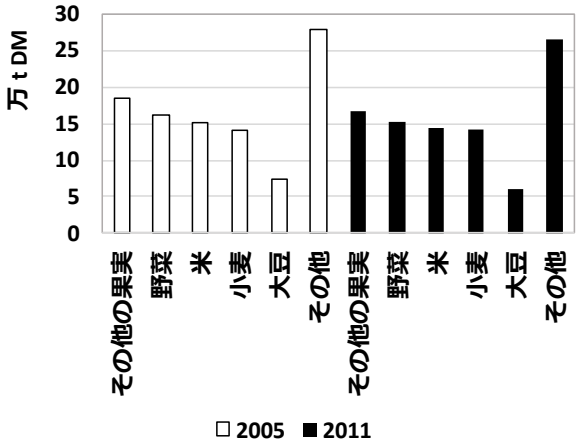


図 1.　2005 と 2011 年の流通段階での食品廃棄物重量

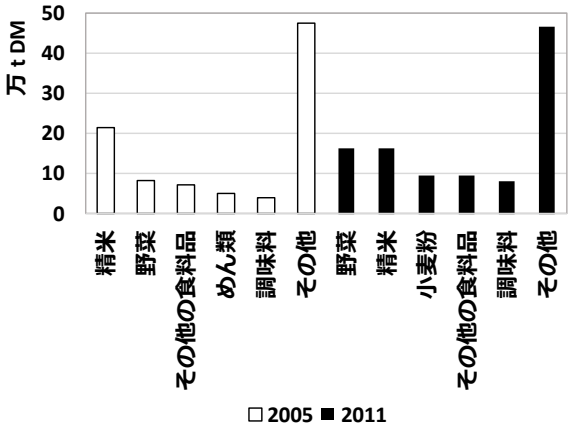


図 2.　2005 年と 2011 年の消費段階での食品廃棄物重量

参考文献

1)　宮竹史仁、椎名武夫、田坂行男：既存統計を用いた食品産業の物質フロー解析、システム農学（J.JASS）、20(2)、185-192、2004

2)　山本博巳：バイオマスバランス表の改良とわが国地域別のバイオエネルギー供給可能量、電力中央研究所報告、電力中央研究所、2005

3)　佐々木貴央、木下晶晴、南斉規介、橋本征二：食品ロスに伴う淡水消費量の推計、第 45 回環境システム研究論文発表会講演集、63-68、2017

4)　文部科学省：日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）、http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm、2017 年 11 月アクセス

5)　農林水産省：食料需給表、http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/、2017 年 11 月アクセス

6)　農林水産省：食品ロス統計調査報告、農林水産省大臣官房局、農林統計協会

D2-02
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

地域特性を考慮したエネルギー回収率・純費用による地域廃棄物処理システム提案枠組みの開発

Development of a Proposition Frame for Regional Waste Treatment Systems by Energy Recovery and Net Cost Analysis Considering Local Features

○牧誠也*[1)]、大西悟[2)]、藤井実[1)]、Yi Dou[1), 3)]
1) 国立環境研究所, 2) 東京理科大学理工学部, 3) 名古屋大学大学院工学系研究科
* maki.seiya@nies.go.jp

1. 背景・目的

廃棄物分野におけるエネルギー回収・利活用は、この分野における地球温暖化対策の一つとして有力視され、廃棄物処理施設整備の計画段階からそのあり方を含めた一体的な検討をおこなうことが求められている[1)]。このため、環境省により、廃棄物処理施設のエネルギー利活用を含む対策についての調査検討を進められ、発電や余熱利用も含めた廃棄物エネルギーの利活用に役立つ「廃棄物エネルギー利用高度化マニュアル（案）[1)]」が提案された。

ただし、このマニュアルの中ではエネルギー利用の高度化法については詳細な記述がなされているものの、各施設において、地域特性などどのような条件下であればどの方法を適用すべきであるかを示すものとはなってはいない。特に、蒸気産業利用は発電によるエネルギーロスがなく、エネルギー効率に優れると考えられるが、適用可能条件は明確にはわかっていない。

そのため、発電・蒸気産業利用・メタン発酵を含む複数のエネルギー回収方法及び周辺人口や工場の分布などの地域特性を考慮した廃棄物処理施設の評価システムの開発を行った。また、愛知県を対象に開発した評価システムを適用し、現状評価、処理方法適用によるシナリオ評価、費用及びエネルギーを最小化する処理方式のシナリオ評価を行い、地域条件との関係性について検討を行った。

2. 方法

2.1 対象地及び

本研究では多様な人口規模の市区町村を内包し、産業利用に適用可能性のある多数の工場を有すると考えられる愛知県を対象とした。

対象とする処理施設は「一般廃棄物処理実態調査結果[2)]」に記載された焼却施設とし、処理区分範囲は上記資料及び各市区町村の廃棄物処理行政についてのHP を参考に決定した。図 1 は愛知県の処理範囲区分及び施設立地を示したものである。処理範囲は 28 区に分かれ、対象とする施設は 41 か所となった。

表 1 は本システムの評価に用いたデータの参照元を表したものである。

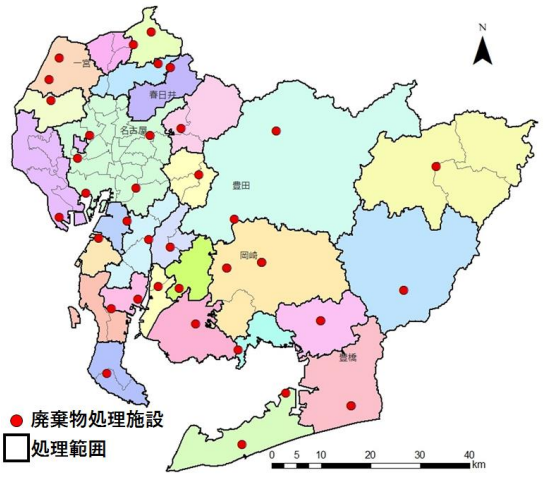


図 1 愛知県における処理範囲区分及び施設立地

表 1 主要な使用データの参照元

処理施設	H27　一般廃棄物処理実態調査結果
廃棄物発生量	
収集費用	
施設容量	
人口	H22　国勢調査 地域メッシュ統計
世帯数	
工場立地	H26　温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 結果

2.2 廃棄物の発生及び収集の評価

対象地について、1km^2 メッシュでの人口に、「一般廃棄物処理実態調査結果[2)]」における各市の 1 人 1 日当たり廃棄物発生量を掛けることで各メッシュの 1 日廃棄物発生量を整備した。

また、収集に伴う費用は「一般廃棄物処理実態調査結果[2)]」の処理及び維持管理費における収集運搬費用を用い、グリッドシティモデル[3)]における収集距離との比較を行い、原単位を整備した。

ただし、処理区分範囲内に複数の施設がある場合、各メッシュから発生した廃棄物がどの処理施設で不明であるため、以下の式 1~4 に従い、線形計画法により処理施設に輸送される割合を推計した。W_{ij} は各メッシュの廃棄物発生量[t/day]、D_{ijk} は施設 k への各メッシュからの距離[km]、R_{ijk} は各メッシュから施設 k への輸送する廃棄物の割合[-]、Q_k は処理施設の容量[t/day]、α は統計間の補正係数[-]を表す。

$$Min. \quad \sum_k \sum_j \sum_i W_{ij} \times D_{ijk} \times R_{ijk} \qquad 式1$$

$$Const. \quad \sum_j \sum_i W_{ij} \times R_{ijk} \leq Q_k \times \alpha \qquad 式2$$

$$\sum_k R_{ijk} = 1 \qquad 式3$$

$$R_{ijk} \geq 0 \qquad 式4$$

2.3 施設処理評価

廃棄物処理方法として Ohnishi et.al [4]をもとに、「焼却」「焼却-単発電」「焼却-蒸気産業利用」「湿式メタン発酵」「乾式メタン発酵」「乾式メタン-コンバインド発電」の 6 手法を検討した。

廃棄物処理で生成される蒸気の特性から、蒸気を利用できる産業は「パルプ･紙･紙加工」「無機化学」「有機化学」「医薬品」「ゴム製品」「窯業･土石製品」とし、管路の耐用年数 15 年以内に投資回収可能な距離まで輸送できるものとした。その結果、産業利用可能な工場は 19 か所となった。

2.4 シナリオ設定

地域条件と適切な処理方式を検討するため、複数の設定からなるシナリオ分析を実行した。

評価を行うシナリオとして「1.現状」､「2.発電最大化」「3.産業蒸気利用最大化」「4.エネルギー効率最大化」「5.費用最小化」の 5 つを検討した。

3. 結果・考察

図 2 に評価を行ったシナリオの費用評価結果、図 3 にエネルギー評価結果を示す。

シナリオ 1 と 2 の比較から、現状の発電状況は限られたもので最大限まで発電を行うことで費用を 1 割程度削減でき、エネルギー効率を 20%程度まで向上させられることが確認できた。

エネルギー効率最大化及び費用最小化は、愛知県の紙･厨芥の分別率であれば､コンバンドによる発電量が大きく、FIT による電力単価の高さから処理を行うすべての施設にコンバンド方式を採用する同一の解となった。特に、現在の FIT 方式が採用される場合、独立採算の可能性があることが示唆された。

産業での蒸気利用を最大化するシナリオ 3 では、発電に伴うエネルギーロスを含まないため、高いエネルギー効率を得ることができると考えられたが、そのエネルギー回収効率は 3%程度と小さくなった。これは任意調査である温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 結果を使用し､蒸気利用可能な工場種についても限定していたため、蒸気利用できる工場が少なく、蒸気生産量を十分に使えず、余剰蒸気が多いことによるものである。より多くの蒸気利用可能な工場があればエネルギー効率は向上する余地があると考えられる。

収集費用は費用の半分程度となり、収集費用を削減するための処理範囲の設計を今後検討する必要がある。

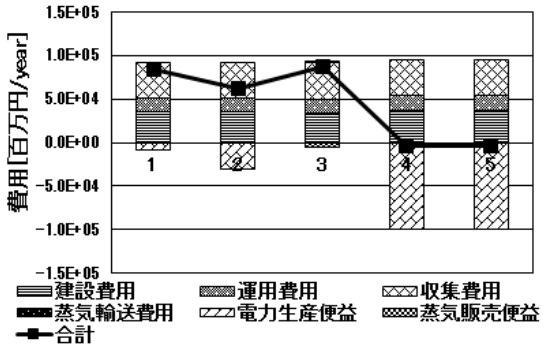


図 2 各シナリオの費用評価結果

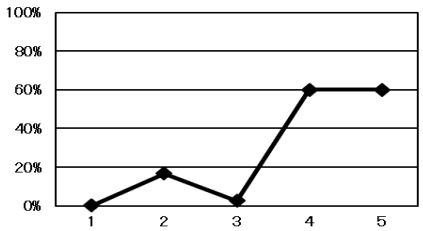


図 3 各シナリオのエネルギー回収効率

4. まとめ

本研究では、複数のエネルギー回収方法及び地域特性を考慮した廃棄物処理施設の評価システムの開発を行い、愛知県を対象に複数のシナリオ分析を行った。

その結果､コンバンド発電方式が費用･エネルギー効率の両方から適切であると推計された。

ただし、本研究で対象とした工場が少なく、地域特性について十分な検討ができていない。そのため、産業利用の可能性のある工場データを再整備するとともに、収集範囲の検討を行えるシステムに改良、全国レベルでの展開を行い、地域特性との関係を整備する。

謝辞

本研究は、(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (3-1709) により実施された。ここに記し、感謝の意を表する.

引用文献

1) 廃棄物エネルギー利用高度化マニュアル-環境省 <http://www.env.go.jp/recycle/misc/guideline/5kodokakodokama.pdf> (2018 年 1 月 8 日参照)
2) 環境省: 平成 27 年 一般廃棄物処理実態調査結果
3) Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Satoshi Ohnishi, Naohisa Yamaguchi, Geng Yong, Hung-Suck Park: Journal of Cleaner Production, 78, (2014), pp.208-215
4) Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii, Makoto Ohata, Inaba Rokuta, Tsuyoshi Fujita: Resources, Conservation and Recycling, 128, (2018), pp.394-405

D2-03
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

生ごみと下水汚泥の集約処理による環境面および経済面での効果

Environmental and economic effects of integrated treatment of garbage and sewage sludge

○稲葉陸太*[1)]、田崎智宏 [1)]、河井紘輔 [1)]、西村想 [2)]、山口直久 [2)]
Rokuta Inaba, Tomohiro Tasaki, Kosuke Kawai So Nishimura, Naohisa Yamaguchi
1) 国立環境研究所, 2) エックス都市研究所
* inaba.rokuta@nies.go.jp

1. はじめに

日本では将来、本格的な人口減少社会の到来が予想され、税収の減少による地方財政のひっ迫が懸念される。そのため、自治体における様々な事業の高効率化による費用削減が課題であり、廃棄物の処理や資源化も例外ではない。本研究では、その一方策として生ごみと下水汚泥の集約処理に着目し、実際の事例を対象としてヒアリング調査を実施した。その結果をふまえて集約処理と個別処理の両シナリオを想定して温室効果ガス（GHG）排出量と事業収支とを比較し、集約処理による環境面および経済面での効果を評価した。

2. 手法

2.1 集約処理事例のヒアリング調査

ヒアリング調査の対象としては、生ごみと下水汚泥などの産廃系バイオマスの集約処理事例の中から、処理対象バイオマス及び技術システムの種類などを考慮して計 7 事例（表 1 参照）を選定した。事例 5 については、処理対象として産廃系バイオマスが含まれないものの、他施設との連携により生ごみの処理を実施している事例として、調査対象に加えた。

調査方法としては、調査票を事前に送付したうえで、現地においてヒアリングを実施した。主な調査事項は、施設の概要（規模、稼働人員、稼働日数、処理フローなど）、物質及びエネルギー収支（バイオマスの処理量、性状、バイオガス発生量、エネルギー消費量など）、事業収支（施設建設費、用益費、人件費、売電収入など）、および集約処理を可能とする要件である。

表 1 評価対象の事例

事例	処理対象バイオマス					技術システム
	一般廃棄物			産業廃棄物		
	家庭系生ごみ	事業系生ごみ	し尿など	動植物性残さ	下水汚泥	
1	○	○	○		○	混合消化
2	○	○	○		○	混合消化
3		○	○		○	混合消化
4※A	○	○		○		メタン発酵
5	○	○				メタン発酵（集約なし）
6	○※B	○※B			○	下水汚泥混焼
7※A		○		○		堆肥化

※A：民間企業が事業主体、その他は自治体が事業主体
※B：家庭系生ごみ及び事業系生ごみを含む燃やすごみが処理対象

2.2 集約処理の効果の評価

2.2.1 評価シナリオの設定

集約処理シナリオは、ヒアリング調査結果を基に設定した。個別処理シナリオは、集約処理シナリオをもとに生ごみと下水汚泥などの産廃系バイオマスを個別に処理する場合を想定した。事例 1 における両シナリオのフローとシステム境界を図 1 および 2 に例示する。

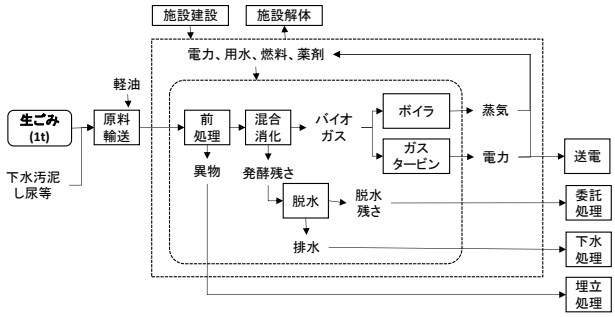


図 1 集約処理シナリオ（事例 1）

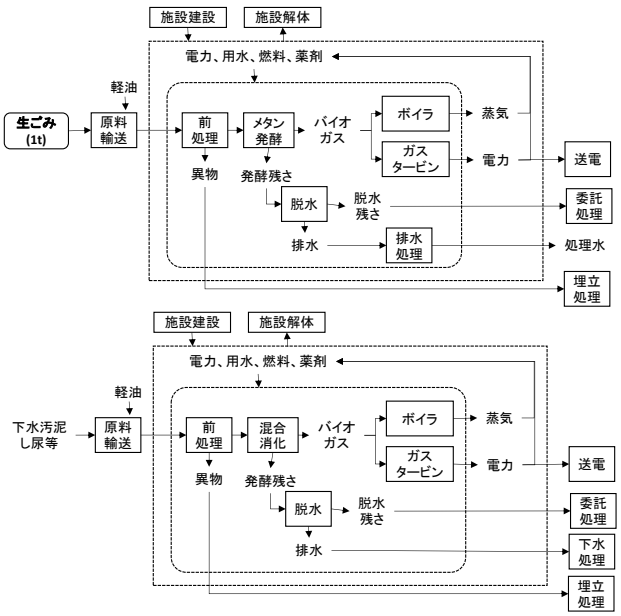


図 2 個別処理シナリオ（事例 1）

2.2.2 GHG 排出量の評価

各事例の両シナリオにおける GHG 排出量についてはライフサイクルアセスメント（LCA）を実施した。

両シナリオの機能単位は「生ごみ 1t の処理」であり、このときの集約処理で投入される下水汚泥などの産廃系バイオマスの処理量は個別処理シナリオでも同等とした。LCA の実施にあたっては支援ソフトウェアである LCA システム MiLCAver.1.1（産業環境管理協会）を使用した。また、各シナリオにおいて、それぞれのデータ項目の活動量に LCI データベース IDEAver.1.1（産業技術総合研究所・産業環境管理協会）の原単位（一部の原単位は LCA データベース以外のもの [1] を使用）を乗じて積算し、インベントリ分析を実施した。

2.2.3 事業収支の評価

GHG 排出量と同様に、各事例の両シナリオを対象として事業収支を評価した。ここで、隣接する焼却施設及び下水処理場において、それぞれ異物や残さ及び処理対象水を処理する場合、その処理に要する費用も含めることとした。また、バイオガスなどを隣接施設に供給する場合、供給先での燃料などの使用量削減に伴う費用削減分を事業収入とした。

3. 結果

3.1 集約処理を可能とする要件

前述のヒアリング調査に基づき、集約処理を可能とする要件について分析・整理を行った結果、表 2 に示すような分類と内容が明らかになった。

表 2 集約処理を可能とする要件

分類	内容
技術	·既存施設の処理容量における余力の存在 ·副生成物を処理可能な隣接施設の存在 ·関連施設の更新時期の一致
経済	·汚泥処理費削減の需要 ·近隣の処理施設と比較して有利な受入価格
社会	·バイオマスタウンを契機とした連携基盤の形成 ·丁寧な説明会の実施 ·事業を発案・推進するキーパーソンの存在

3.2 集約処理による GHG 排出量の変化

各事例の両シナリオにおける GHG 排出量を推定した結果、集約処理により必要施設数が減少する事例 1～4、7 においては、建設段階での GHG 削減効果が見込まれた。加えて、混合消化を実施する事例 1～3 においては、バイオガス発生量の少ない下水汚泥やし尿等とバイオガス発生量の多い生ごみを合わせて処理することにより、シナリオ全体でのエネルギー効率が改善され、削減効果が見込まれる可能性があることが示唆された。事例 1 における GHG 排出量の評価結果を図 3 に例示する。

3.3 集約処理による事業収支の変化

各事例の両シナリオにおける事業収支を評価した結果、集約処理により必要施設数が減少する事例 1～4、7 においては、施設建設費、補修費及び人件費の削減効果が見込まれた。また、生ごみのメタン発酵処理で他施設との連携する事例 5 においては、排水処理設備の整備が不要となることによる施設建設費、補修費及び下水道使用料金（排水処理費用との差額）の削減効果、隣接する焼却施設において異物を処理することによる異物処理費用の削減効果及び乾燥汚泥販売の収入による収支改善が見込まれた。事例 1 における事業収支の評価結果を図 4 に例示する。

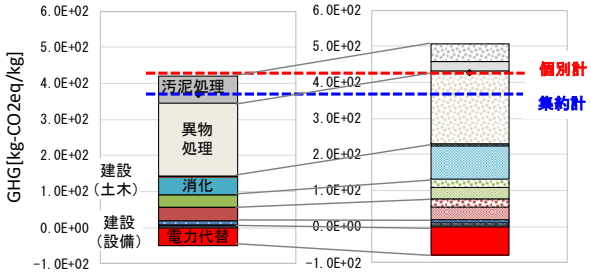


図 3 GHG 排出量の比較（事例 1）
（左：集約処理、右：個別処理）

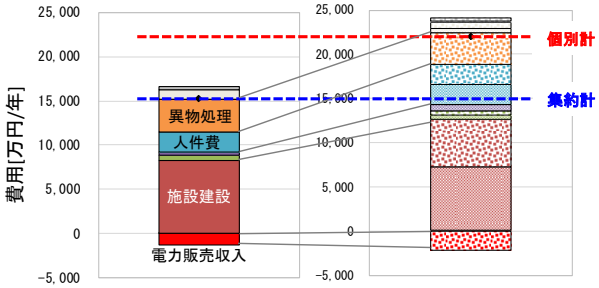


図 4 事業収支の比較（事例 1）
（左：集約処理、右：個別処理）

4. おわりに

本研究では、生ごみと下水汚泥の集約処理について、実際の事例をヒアリング調査し、集約処理と単独処理の両シナリオにおける事業収支と GHG 排出量とを比較した結果、いずれも集約処理によって削減されること、その主な理由は施設数の減少であることが示された。なお、本研究では異物処理などについて一律の原単位を用いており、実態の反映が今後の課題である。

引用文献

1) 国立研究開発法人　新エネルギー・産業技術総合開発機構（2015），バイオマスエネルギー導入ガイドブック（第 4 版）

謝辞：本研究の一部は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費(1-1601)のもとで実施した。

D2-04

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

下水汚泥処理における技術オプションの地域別代替案生成

Region-Specific Generation of Alternative Technology Options on Sewage Treatment Plants

○清水亮智*[1)]、大久保達也 [1)]、菊池康紀 [1)]

Akinori Shimizu, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi

1) 東京大学

* shimizu8@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

下水汚泥は、地域普遍性、成分の有用性、最終処分場の枯渇等の要因から活用すべき未利用資源であり、近年技術開発や導入が推進されている。一般に下水汚泥などの地域由来バイオマスは、賦存量や地域インフラ等の所与の条件下での活用を行う必要があるため、最適解が地域によって異なり [1)]、効果的な活用のためには地域性を踏まえた評価が重要である。下水汚泥の処理技術や処理システムの LCA において実際に地域の条件を取り込み、評価を行った例はある [2)]が、ほとんどが 1 箇所、もしくは 2、3 箇所の条件比較を行うに留まっており、その他多くの地域における処理技術やシステムの有用性は議論出来ていない。国内だけでも現時点で下水処理場は 2000 箇所以上存在するが、必要な情報の整備不足等の要因から、これまで国内全処理場の地域特性を反映した技術の評価に関する研究は行われてこなかった。

地域性を反映した数多くのデータを扱うための方法の一つに、地理情報システム (GIS: Geographical information system) を用いる方法が挙げられる。位置情報に依存するデータを用いるような分野において、GIS を用いたアプローチは粒度の細かいデータを捕捉し、取り扱うのに効果的であるため、多くの廃棄物処理場などの位置決定問題に関する研究において採用されてきている [3)]。本研究で着目する下水汚泥処理技術について、地域ごとに議論を行う場合においても、GIS を用いることで、より地域性を反映した議論が可能になると言える。

本研究では、GIS や統計情報を用いたアプローチによって、地域特性を反映した下水処理技術の有用性の評価を行い、その結果を踏まえて地域ごとの技術代替案生成や広く有用な技術の選定を行うことを目的とする。発表では、技術の評価を行うための汚泥処理プロセスシミュレータの構築、そのシミュレータにインプットするための各処理場のデータセットの整備について報告した後、各処理場での各種指標や最適技術群などの評価結果や、それらの比較による考察について報告を行う。

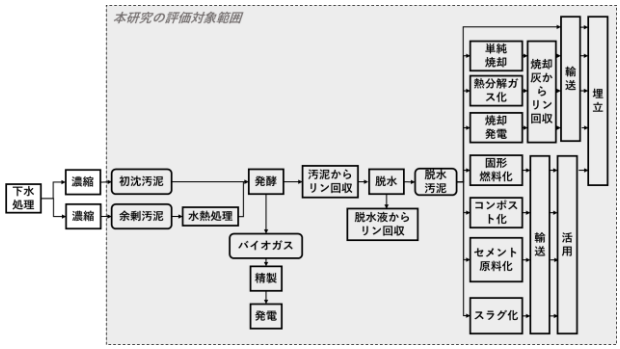


図 1 対象とする技術と評価範囲

2. 方法

各処理場での各処理技術の評価を行うために、各種技術情報を元に構築した汚泥処理プロセスシミュレータに対して、処理場毎に整備したデータセットをパラメタとしてインプットすることで計算を行った。評価指標としては温室効果ガス排出量（GHG）、コスト、リン回収量を採用した。機能単位を 1 m^3 の混合汚泥の処理とし、評価範囲を初沈汚泥と余剰汚泥がそれぞれ濃縮された後から、汚泥由来製品が利用もしくは、最終埋立が完了するまでとした。なお、実際には汚泥濃縮を行わない施設もあるが、最終処分場逼迫の状況や、集約時に輸送まで考慮した場合には濃縮を行った方が GHG の観点では優れるという過去の評価結果 [4)]を考慮して、評価の簡便化のために濃縮は統一して行うことにした。

2.1 汚泥処理プロセスシミュレータの構築

学術論文、ガイドライン、報告書や特許等文献の調査、学術俯瞰システムでの分析によって、近年下水汚泥処理において注目の高い技術の抽出を行い、シミュレータに組み込んだ。対象とした技術は、嫌気発酵促進のための余剰汚泥の水熱可溶化処理、混合汚泥 (初沈汚泥と余剰汚泥の混合物) の嫌気発酵、凝集剤と手法の異なる 2 種の汚泥脱水法、脱水汚泥の焼却/熱分解ガス化発電/焼却発電/乾燥燃料化/コンポスト化/セメント原料化/スラグ化、発酵汚泥/返流水/焼却灰からのリン回収である。対象とする技術と評価範囲を合わせて図 1 に示す。

組み合わせが可能な技術を技術セットとおいて代替案群を生成し、それぞれの技術セットにおいて、各処理場のインプットデータセットに応じて建設と運用

時を含めた GHG、コスト、回収可能リン量を算出するプロセスシミュレータを構築した。

2.2 各処理場のデータセットの整備

インプットする処理場毎のパラメタとして、主に統計情報を用いて入手した汚泥情報と、GIS を用いて算出した各下水処理場と輸送先施設との輸送距離を用いた。輸送距離は GIS を用いて算出した輸送先施設（セメント工場、石炭/バイオマス発電所、最終処分場）との距離を採用した。

初沈汚泥発生量、余剰汚泥発生量、年間平均水温、汚泥中リン濃度、汚泥中窒素濃度などの汚泥情報は下水道統計 [5]から抽出した情報を、一部補完計算を行って入手した。補完計算は、初沈汚泥、余剰汚泥がそれぞれ濃縮されているとして固形分を固定して水分量を調整、下水の流入、流出時のリン、窒素濃度から汚泥中の含有量を算出、という手順で行った。なお、汚泥中固形物の内訳や発酵可能割合などは文献から得た代表値を用いた。

各処理場と輸送先施設間の距離の算出には、ESRI（Environmental Systems Research Institute, Inc.）の Arc GIS ver.10.4 を用いた。下水処理場、発電所、最終処分場の位置情報は国土数値情報ダウンロードサービス [6]から入手し、その情報の一部補完作業、国内セメント工場の位置情報入手には Google Geocoding を用いた。それらの位置情報と、道路網データ（2017 年度版）を用いて Arc GIS の機能「最寄り施設の検出」を行い、各下水処理場から最寄りの各利用施設を検出、輸送距離の算出を行った。

最後に各処理場の汚泥データと、各施設との輸送距離のデータを結合させて、各処理場のインプットデータセットを整備した。

3. 結果

技術情報をもとに構築したプロセスシミュレータに、整備したデータセット群をインプットすることで、各下水処理場における各技術採用時の GHG、コスト、リンの内訳、合計値を算出することが可能となった。また、それら 3 つの指標に重みづけ係数を掛け合わせて単一の目的関数化を行い、その目的関数の最適値を与える技術セットを取り出すことで、施設ごとの最適解群を求めることが可能となった。これらの評価結果によって、地域ごとに技術の代替案生成を支援することができる。

また、各施設における結果の比較によって、施設によって最適解群が異なることが確かめられ、地域性を反映した評価の重要性が示唆された。今回の評価で影響の大きかったパラメタとして、処理規模や汚泥由来製品利用施設との距離が挙げられる。

更に評価結果を全国集計することで、どのような技術が全国的に優れた評価を得やすいか、またそれぞれの技術はどのような特性を持つ場合に採用が望ましいかなどの、技術開発側に資する情報も取り出すことが可能であり、全国の処理場情報を用いた評価の有用性が明らかとなった。

4. 結言

本研究では、GIS を用いて抽出した位置情報と統計情報の結合によるインプットデータの整備、プロセスシミュレータへのインプットによって、従来、評価が容易ではなかった国内全下水処理場における複数技術の評価を行った。各施設における各指標、最適解群の提示が可能になったほか、評価結果に大きな影響を与えうる地域パラメタの示唆や評価結果の集計による技術開発側への特定技術の全国での相対評価結果や、導入が適した施設群の提示などが可能となった。

一方で GIS や統計情報を用いた評価においても情報の限界があり、各最寄り施設における汚泥由来製品の受容可能容量は考慮されておらず、汚泥成分の内訳も下水情報からの推定や、代表値を用いるに留まっている。これらの不確実性が結果にどの程度影響を与えるかは今後精査していく必要がある。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(若手研究(A)16H06126)における成果を含んでいる。東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は、(株)地球快適化インスティテュート、三井不動産(株)、信越化学工業(株)、オリックス(株)、積水ハウス（株)、東日本旅客鉄道（株）からの寄付で活動している。

引用文献

1) Neczaj, E.; Fija, K.; Grobelak, A.; Grosser, *Environ. Res. 156*, **2017**, pp39–46.
2) Pasqualino, J. C.; Meneses, M.; Abella, M.; Castells, F. *Environ. Sci. Technol. 43* (9), **2009**, pp3300–3307.
3) Goulart Coelho, L. M.; Lange, L. C.; Coelho, H. M. *Waste Manag. Res. 35* (1), **2017**, pp3–28.
4) 三浦浩之; 中野加都子; 和田安彦; 村岡治; 藤井亮. 土木学会論文集, *629,* **1999**, pp111-121
5) 公共社団法人日本下水道協会, “平成 26 年度版 下水道統計”, 東京, (2014)
6) 国土交通省国土政策局国土情報課: “国土数値情報ダウンロードサービス” http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/

A2-06

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

家電製品の消費スタイルに関するシナリオ分析：持続可能な消費と生産に向けて

Scenario Analysis on consumption style of home appliances:
A approach to sustainable production and consumption

○文　多美*1)、鈴木　祐里絵 1)、中谷　隼 1)、天沢　逸里 1)、田原　聖隆 2)、平尾　雅彦 1)

Dami Moon, Yurie Suzuki, Jun Nakatani, Eri Amasawa, Kiyotaka Tahara, Masahiko Hirao

1) 東京大学,2) 産業技術総合研究所

* moon@ pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

家電製品をはじめとした耐久消費財の消費行動は、製品購入といった所有による消費だけではなく、一定期間の貸し出し(レンタルやリース)、シェアリングによる他人との共有利用など、多様化している。持続可能な社会システムへの転換に向けた持続可能な生産と消費(SCP)形態の確保が求められている現在において、多様化する消費者の消費行動による社会システムの方向について環境面から考察する必要がある。

このような背景を基に、消費者に提案されている家電製品の消費行動を類型化し、これらの環境に与える影響をライフサイクの観点から評価することを研究の目的とした。具体的な研究内容としては、まず、洗濯行動(洗濯および乾燥を含む)を研究対象に設定し、その行動を洗濯機の所有有無と洗濯機の共有(シェア)有無、そして洗濯サービスの適用有無などによって「売切式」「中古式」「レンタル・リース式」「コインランドリー式」「洗濯代行式」の 5 タイプに分類した。次に、上記のタイプ別に、温室効果ガス(GHG)と金属鉱物などの 2 側面からの環境効果を定量的に評価した。また、洗濯行動(特にコインランドリーの利用)に関するアンケート調査結果を用いて消費者が受容する洗濯行動について把握した上で、環境面・社会面での持続可能な家電製品の消費行動の方向性について考察した。

2. 研究方法

2.1 洗濯行動のタイプ別 LCA 分析

洗濯行動の LCA 分析を実施するため、タイプ別に洗濯機(全自動ドラム式)1 台の製造から廃棄までのプロセスを表 1 のように設定した。プロセスの中で、洗濯・乾燥段階を除いた洗濯機の製造、運搬、販売・購入、輸送、廃棄は、いずれのタイプでも同じ条件に設定した。具体的には、売切式、中古式、レンタル・リース式は、所有者または契約者の変化による洗濯機の運搬と販売(購入)を、コインランドリー式は、店舗の維持と使用者の移動(自宅～店舗)を、それぞれ洗濯・乾燥段階の分析において考慮した。洗濯代行式の場合、洗濯行動の主体は洗濯物の持ち主ではなく洗濯スタッフにより実施されるため、洗濯物の宅配サービスによる洗濯スタッフの移動を分析に加えた。洗濯機 1 台あたり洗濯回数は、洗濯機のカタログ内容に基づいた 1.5 回/(日・世帯)(コインランドリー利用の場合：4.5 回/日＝3 世帯×1.5 回/(日・世帯))、寿命年数は 11.5 年/台 1)で、トータル 6,296 回/台に前提した。トータル洗濯回数に達すると廃棄処分されるとしたため、コインランドリー式と洗濯代行式での洗濯機の寿命年数は約 3.8 年/台に短くなる。各プロセスで発生する環境負荷は IDEA[2] に登載されている環境負荷原単位を主に参考にした。また、洗濯機の金属資源の使用については、洗濯機の材料構成比 3-5)を参考に直接物質投入量(DMI：Direct Material Input)を定量化した。

表 1 洗濯行動のタイプ別ライフサイクルプロセス

2.2 消費者意識調査

洗濯機のシェアに関する消費者の受容性を明確にするため、洗濯機のコインランドリー利用に関する消費者意識調査を実施した(オンラインアンケート、2017 年 11 月)。自分で衣類の洗濯や乾燥行動を行っている消費者を対象に(回答者数：613 人)、洗濯行動の実施現状把握(実施場所、洗濯量、洗濯頻度、など)、コインランドリーへのシフト可能性とその理由、そしてコインランドリーへのシフト条件などについて設問した。

3. 結果と考察

3.1 洗濯行動のタイプ別 LCA 分析結果

売切式、中古式、レンタル・リース式、コインランドリー式、洗濯代行式など、洗濯行動のタイプ別、GHG 排出量の LCA 分析結果を図 2 に示す。洗濯機一台のライフサ

イクルでの GHG 排出量は、他人とシェアするコインランドリー式(6,092.2 kg-CO_2eq/台)と洗濯代行式(6,620.5 kg-CO_2eq/台)は、店舗の維持とスタッフの移動が追加されるため、洗濯機を所有しながら他人とシェアしない売切式(5,581.4 kg-CO_2eq/台)、中古式(5,604.8 kg-CO_2eq/台)、レンタル・リース式(5,683.0 kg-CO_2eq/台)に比べて GHG 量が大きくなる。

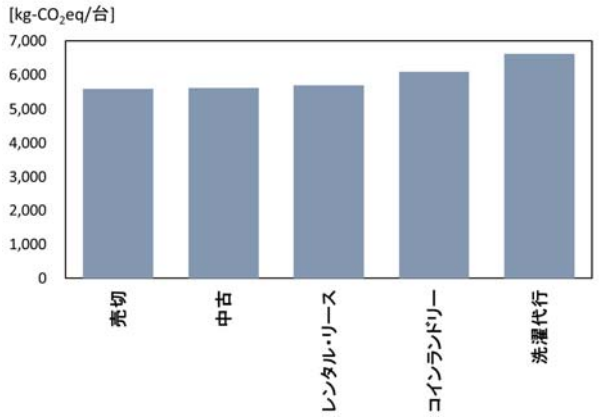


図２ 洗濯行動のタイプ別 GHG 排出量

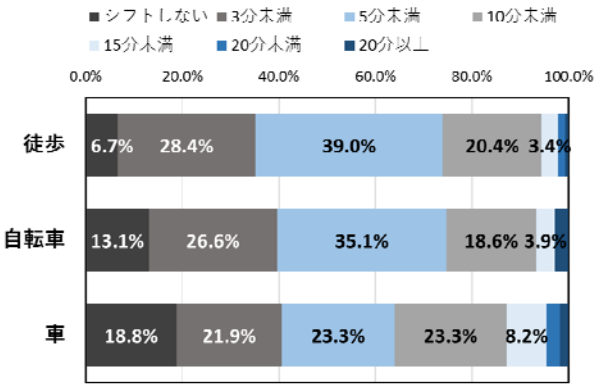


図３コインランドリーへのシフトのために許容される自宅から店舗までの所要時間(移動手段別)

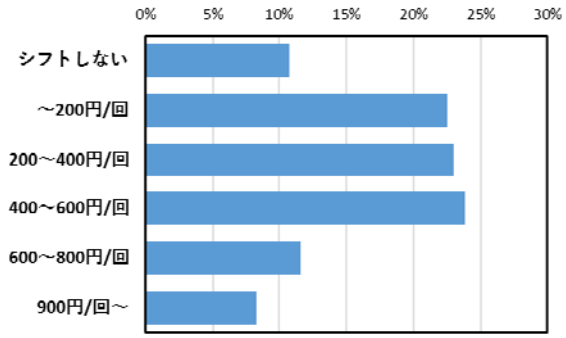


図４ コインランドリーへのシフトのために許容される利用料金

3.2　洗濯行動に対する消費者の意識調査結果

同アンケートにて、洗濯機の他人とのシェア可能性について意識調査を行った。洗濯機・乾燥機を持たずにコインランドリーを利用する生活にシフトするための条件に関する調査結果を図3～4 に示す。自宅からコインランドリーの店舗までの許容される所要時間についての質問では、所要時間によらずシフトできないと答えた回答者の割合は、日常の購買行動の移動手段ごとに車(18.8%)、自転車(13.1%)、徒歩(6.7%)の順に大きかった(図 3)。シフト可能な所要時間について、徒歩の場合 10 分以内ならシフトできると答えた回答者は全体の 87.8%である反面、車の場合は 68.5%であった。移動時間が 10 分以上長くてもシフトできると答えた回答者の割合は、徒歩と車で各全体の 5.5%と 12.7%で、車の方が徒歩より多かった。他に、コインランドリーへのシフトに許容される利用料金(洗濯・乾燥合計)は、400～600 円/回の回答者の割合が全体の 23.8%で一番多く、200~400 円/回と 200 円以下/回と回答したのはそれぞれ 23.0%と 22.5%で続いた(図 4)。

4.　おわりに

家電製品の消費行動の変化が環境にもたらす影響を評価するため、本研究では洗濯機を用いた洗濯行動の環境負荷を推計した。また、洗濯機の所有からシェアに向けて許容できる消費者意識を調査した。これらにより、まず、洗濯行動を 5 つのタイプに類型化し、コインランドリー利用による他人と洗濯機のシェアは、洗濯機 1 台のライフサイクルでの GHG 排出量が大きくなることが分析された。コインランドリー利用の場合は、使用回数が増えることによって洗濯機の寿命年数も短くなるので、時系列による環境負荷の推移も考慮する必要がある。また、洗濯機・乾燥機を持たずにコインランドリーへの生活にシフト可能な条件について、徒歩の 10 分未満ならシフトできると答えた回答者の割合が多かった。以上の研究成果を踏まえ、SCP に向けた洗濯行動の方向性について検討したい。

謝辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(S-16)により実施された。

引用文献

1) みずほ情報総研株式会社, 使用済家電４品目の経過年数等調査報告書, 一般社団法人家電製品協会, (オンライン), 入手先 <http://www.aeha.or.jp/sitei/pdf/24_keikanensuu.pdf>, (参照 2017-10-29)

2) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会と LCA 研究グループ, 産業環境管理協会, LCI データベース IDEA version 2.1.3, 2017-04-01

3) 松野泰也, 稲葉敦, 田原聖隆: 日本エネルギー学会誌, 75 (12), (1996), pp 1050-1055

4) 山口庸子, 土屋みさと, 永山升三: 日本 LCA 学会誌, 3(4), (2007), pp 221-231

5) Oguchi M., Murakami S., Sakanakura H., Kida A., Kameya T.: Waste Management, 31, (2011), pp.2150-2160

A2-07

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

家庭用エアコンの買い替え政策が環境負荷に与える影響：動的離散選択アプローチ

Environmental impacts of scrappage scheme of household air conditioners: Dynamic discrete choice model

○西嶋大輔*[1)2)]、加河茂美[1)]、小口正弘[2)]、南斉規介[2)]

Daisuke Nishijima, Shigemi Kagawa, Masahiro Oguchi, Keisuke Nansai

1) 九州大学, 2) 国立環境研究所

* nishijindaiko@gmail.com

1. 研究背景

日本において、2009 年 5 月から 2011 年 3 月にかけて、経済活性化や地球温暖化緩和を目的として、テレビ、冷蔵庫、エアコンの 3 品目の家電機器を対象とした「家電エコポイント制度」が実施された。この制度は、一定の省エネ性能の基準を満たす製品を購入すると、商品券などと交換可能なエコポイントが付与される制度であり、エネルギー効率の高い製品への買い替えを促す政策である。こうした経済的インセンティブによるエネルギー効率の高い製品への買い替え政策は多くの国で行われており、それらがもたらす経済や環境への影響についての研究も多く為されてきた[1)]。しかし、そうした政策による消費者の買い替え時期の変化の影響も考慮したうえで、買い替え政策が及ぼす経済や環境への効果に関する研究はあまり行われていない。

そこで本研究では、家電エコポイント制度に着目し、買い替え政策が経済やCO_2排出量に与えた影響について分析する。本研究では日本における家庭用エアコンを対象とし、家庭用エアコンの買い替えに関する動的離散選択モデルの推計を行う。その後、推計されたモデと産業連関モデルを用いて、家電エコポイント制度が経済やCO_2排出量に与えた影響を定量的に示し、より効果的な耐久財関連の政策について議論を行う。

2. 研究手法

2.1 家庭用エアコンの買い替えに関する動的離散選択モデルの推計

本研究では、はじめに日本における家庭用エアコンの買い替えに関する動的離散選択モデルの推計を行う。まず、家庭用エアコン保有者が「保有」（$a_{i,t}=0$）または「買い替え」（$a_{i,t}=1$）を選択したときに得られる効用、$u^k_{i,t}, u^r_{i,t}$は以下の式(1)に示される。

$$\begin{cases} u^k_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 (e_{i,t} - e_{n,t}) p_{e,t} + \varepsilon_{i,t} & \text{if } a_{i,t}=0 \\ u^r_{i,t} = \alpha_2 (p_{ac,t} - p_{ep,t}) + \varepsilon_{i,t} & \text{if } a_{i,t}=1 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、添え字の t と i はそれぞれ買い替え選択を行う年、保有する家庭用エアコンの製造年を示す。また、$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ は推計されるパラメータ、$e_{i,t}, e_{n,t}$ はそれぞれ保有製品と新製品の年間電力消費量、$p_{e,t}$ は電力単価、$p_{ac,t}$ は家庭用エアコンの価格、$p_{ep,t}$ は金銭換算されたエコポイント、$\varepsilon_{i,t}$ は誤差項を示す。$\varepsilon_{i,t}$ は互いに独立な第一種の極値分布に従うと仮定する。(1)の効用関数を基に、消費者は式(2)のベルマン方程式に従って買い替えの選択を行うと仮定する。

$$V_{i,t}(e_{i,t}, e_{n,t}, p_{ac,t}, p_{ep,t}, \varepsilon_{i,t}) = \max_{a_{i,t}} \left\{ u(a_{i,t}) + \beta EV_{i,t}(e_i, e_n, p_{ac}, p_{ep}, \varepsilon_i | e_{i,t}, e_{n,t}, p_{ac,t}, p_{ep,t}, a_{i,t}, \varepsilon_{i,t}) \right\} \quad (2)$$

ここで β（$0 \le \beta < 1$）は割引因子を示し、本研究では β=0.9 と設定する。EV は期待価値を示し、先行研究[2)]に倣うことで、式(3)のように推計される。

$$EV_{i,t} = \log \left\{ \sum_{a_{i,t}} \exp\left(u(a_{i,t}) + \beta EV(e_i, e_n, p_{ac}, p_{ep}, \varepsilon_i, a_{i,t} | e_{i,t}, e_{n,t}, p_{ac,t}, p_{ep,t}, \varepsilon_{i,t}) \right) \right\} \quad (3)$$

以上の式(1)から式(3)を用いることで、t 年に i 年製家庭用エアコン保有者が「保有」（$a_{i,t}=0$）または「買い替え」（$a_{i,t}=1$）を選択する確率は、以下の式(4)のようなロジットモデルでの確率で表される。

$$P(a_{i,t}) = \frac{\exp\left(u_{i,t}(a_{i,t}) + \beta E\left[EV_{i,t}(e_n, p_{ac}, a_{i,t}) | e_{n,t}, p_{ac,t} \right] \right)}{\sum_{a_{i,t}} \exp\left(u_{i,t}(a_{i,t}) + \beta E\left[EV_{i,t}(e_n, p_{ac}, a_{i,t}) | e_{n,t}, p_{ac,t} \right] \right)} \quad (4)$$

式(4)の買い替え確率と、日本家電協会[3)]が公表している 2005 年から 2013 年における 1995 年製から 1999 年製の家庭用エアコンの廃棄台数のデータを基に、最尤法によってパラメータ $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ を推計する。

2.2 家電エコポイント制度がもたらした経済・CO_2排出量への影響の推計

2.1 節で推計された家庭用エアコンの買い替えに関する動的離散選択モデルを用いて、家電エコポイント制度がもたらした経済やCO_2排出量への影響について推計する。なお、本研究では経済への影響として、産出額と付加価値額に着目する。はじめに、2.1 節で推計されたパラメータを用いて、家電エコポイント制度があった場合と無かった場合における各年での買い替え確率を推計する。家電エコポイント制度が無かった場合の買い替え確率については、式(1)における家電エコ

ポイント制度の部分 $p_{ep,t}$ を除いたうえで、2.1 節で得られた最尤パラメータと式(4)を用いて買い替え確率を再推計することで買い替え確率を得る。

上記で得られた買い替え確率から、各年における買い替え台数、電力消費量、付与されるエコポイント数を、家電エコポイント制度があったときと無かった場合でそれぞれ推計し、それらの差を取ることで、家電エコポイント制度がもたらした各項目への影響を推計する。その後、それらの値を金銭換算し、産業連関モデルおよび環境産業連関モデルの最終需要部分の対応する産業部門に組み込むことで、家電エコポイント制度が経済やCO_2排出量に与えた影響について分析する。

3. 研究結果と考察

以下からの研究結果は、2005 年から 2013 年に買い替えられた 1995 年製から 1999 年製の家庭用エアコンについての結果であることに注意されたい。

まず図 1 と図 2 は、家電エコポイント制度が実施された時と実施されなかった場合の、2005 年から 2013 年における買い替え確率を示している。いずれの製造年も、家電エコポイント制度が実施された 2009 年では買い替え確率が変化しているが、同じく制度が実施された 2010 年では買い替え確率がほとんど変化していないことが分かる。また、2009 年において買い替え確率の変化が最も大きかった 1999 年製の家庭用エアコンでも、その増加量は 1.9%程度であり、家電エコポイント制度はそれほど大きな買い替え促進効果がもたらさなかったといえる。

次に、家電エコポイント制度が経済に与えた影響について見ていく。推計結果から、家電エコポイント制度によって産出額と付加価値額でそれぞれ 775 億円、320 億円の増加があったことが示された。これらの値は、2011 年の日本全体での総産出額と総付加価値額と比較するとそれぞれ 0.008%と 0.007%と低いが、家庭用エアコンの最終需要から誘発される生産額や付加価値額と比較すると、ともに 5.1%に相当する。この結果から、少なくとも家庭用エアコン関連の産業にとっては、家電エコポイント制度による経済効果は幾分かあったといえる。

続いて、CO_2 排出量に与えた影響について見ると、家電エコポイント制度によって合計で-19 kt-CO_2-eq の排出削減がもたらされたことが示された。しかしこの値は、家電エコポイント制度がある時の 2005 年から 2013 年での累積でのエアコンの電力使用に伴う CO_2 排出量の 0.2%にしか相当しない。また、この削減量を付与されたエコポイントを金銭換算したもので除することで算出される $CO_2$1t あたりの削減費用で見ると、その費用は約 12.8 万円であった。この削減費用はかなり割高であり、例えば Li *et al.* (2010)[4]で推計されている、米国で 2009 年に実施された自動車買い替え政策の削減費用と比較すると、本研究での家電エコポイント制度の削減費用はその約 5~16 倍に相当する。これらの結果から、家電エコポイント制度は、CO_2 排出量の削減の観点からは効果的な政策ではないことが言える。

今回の家電エコポイント制度のような経済的インセンティブによる政策は、消費者が直面する買い替え費用が下がることから買い替えを促進すると考えられる。しかしその程度の大きさは製品によって異なると考えられ、今回の日本における家庭用エアコンの場合は、その買い替え促進効果は小さく、CO_2 排出削減効果も小さいことが示された。これまでに、Cooper(2004) [5]をはじめとして、製品の買い替え要因を分類し、それを用いて買い替えに関する製品の特徴を分析するといった研究が為されてきている。買い替え政策以外の政策も含め、より効果的な耐久財関連の政策設計を行う上では、そうした製品ごとの買い替えに関する特徴を踏まえて議論するべきである。

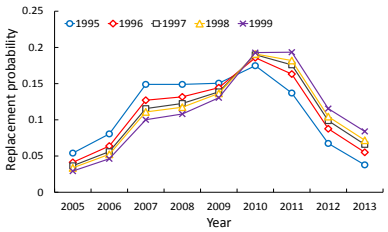


図 1 家電エコポイント制度があるときの各製造年別の家庭用エアコンの買い替え確率

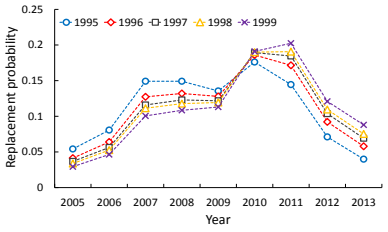


図 2 家電エコポイント制度が無かった場合の各製造年の家庭用エアコンの買い替え確率

引用文献

1) Lenski, S. M., Keoleian, G. A., Moore, M. R.: Ecological Econnomics, 96, (2013), pp.173–180
2) Rust, J.: Econometrica, 55(5), (1987), pp.999–1033
3) みずほ情報総研株式会社 : “使用済家電 4 品目の経過年数等調査報告書, (2006-2014)
4) Li, S., Linn, J., Spiller, E.: Journal of Environmental Economics and Management, 65, (2013), pp.175–193
5) Cooper, T.: Journal of Consumer Policy, 27, (2004), pp 421-449

A2-08,P2-108　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

家庭用空調機の気候変動緩和策と新興国導入による適応効果の定量分析

Quantitative analysis of climate change mitigation of room air conditioners and adaptive effect in emerging countries

○大棟俊*[1)]、桑山忠弘[2)]、井原智彦[2)]、伊坪徳宏[1)]

Shun Omune, Tadahumi Kuwayama, Tomohiko Ihara, Norihiro Itsubo,

1) 東京都市大学　2) 東京大学大学院

* g1462016@tcu.ac.jp

1. 背景

気候変動の深刻化に伴い、世界的に暑熱健康影響の被害者数の増加が指摘されている。気候変動対策は従来の緩和策に加え、適応策に対する取り組みが求められている。

なかでも空調機は、気候変動の緩和策と適応策の双方に強く関係している。緩和策の観点からみれば、使用と廃棄を含むライフサイクルを通じた温室効果ガスの削減を進めることが課題である。一方、適応策の観点からみれば、特に熱ストレスに脆弱な新興国に迅速に普及させることで、今後急速に増加すると予測される暑熱健康影響の低減に大いに貢献し得る。

2. 研究目的

本研究では低緯度に位置し、都市圏人口が東京、横浜に次ぐ第 2 位であるインドネシアのジャカルタを対象とし、以下の 2 点を研究目的に定める。

① 緩和策の観点から、低温暖化冷媒、高省エネ性能のインバータ搭載の家庭用空調機のライフサイクルにおける環境影響評価を行い、これらの導入による緩和効果を定量化する。

② 適応策の観点から、家庭用空調機の導入に伴う環境影響、その利用による暑熱健康影響の低減効果としての便益の両側面について、費用便益分析を用いて適応効果を定量化する。

3. 研究方法

3.1 評価対象

ダイキン工業株式会社がインドネシア向けに生産・販売している主要な家庭用空調機全 3 機種を評価対象とする。（表 1 を参照）なお、使用時の冷媒漏洩率は 2%/年、廃棄・リサイクル時の冷媒回収率は現地の状況を考慮し 0%と設定した。

機能単位は、「家庭用空調機 1 台（使用年数 10 年）」とし、影響評価は特性化と統合化を行った。影響領域は、特性化では気候変動と資源消費を、統合化では気候変動・大気汚染・資源消費・水を対象とした。

表 1　評価対象の概要

機種	①高性能機	②普及機 (低 GWP 冷媒)	③普及機 (高 GWP 冷媒)
冷房容量	2.50kW	2.60kW	2.62kW
COP	4.63	3.60	3.20
冷媒	種類：R32 量：0.90kg	種類：R32 量：0.83kg	種類：R410A 量：0.70kg
インバータ	Inverter	Non-Inverter	Non-Inverter
年間消費電力量	1378kWh	3176kWh	3603kWh

3.2 評価範囲

本研究では、素材・部品製造段階から製品製造、流通、使用、廃棄・リサイクルまでのライフサイクル全体をシステム境界とした。製品製造段階まではタイ、使用段階以降はインドネシアで行うものと設定した。

3.3 算定方法

①緩和策評価

緩和策評価における算定式を以下の式 1.2.3 に示す。

インベントリ=Σ（活動量×原単位）　（式 1）

特性化=Σ（インベントリ×特性化係数）　（式 2）

統合化=Σ（インベントリ×統合化係数）　（式 3）

活動量にはダイキン工業株式会社よりヒヤリングで得た一次データを、原単位には IDEA ver2 を使用した。式 2 の特性化には LIME2 を、式 3 の統合化には LIME3 を用いた。

②適応策評価

適応策評価は費用便益分析を用いて実施した。

（1）「費用」として、空調機導入によるライフサイクル全体（製造・使用・廃棄）でのコスト（内部コスト：LCC 値）と、ライフサイクル全体での環境影響コスト（外部コスト：式 3 の統合評価 LIME 値）の合計（US$/台・10 年）を用いた。

(2)「便益」として、空調機導入による暑熱健康影響の低減量（DALY）とした。健康影響は「睡眠困難」と「疲労」を考慮した。便益の定量化には、井原らの空調機の使用有無別の「22 時外気温と睡眠困難罹患率の関係」、「日最高気温と疲労罹患率の関係」[1]を用いた。後者の健康影響は、さらに LIME3 の 2.3×10^4 US$/DALY [2] を用いて US$/台・10 年に換算した。

4. 結果

4.1 気候変動

各機種の気候変動の特性化結果を図 1 に示す。いずれも使用段階における影響が大きく、低温暖化冷媒の採用とインバータによる省エネ効果により、温室効果ガスの排出量を 6 割程度削減できることが分かった。なかでもインバータによる省エネ効果が大きかった。

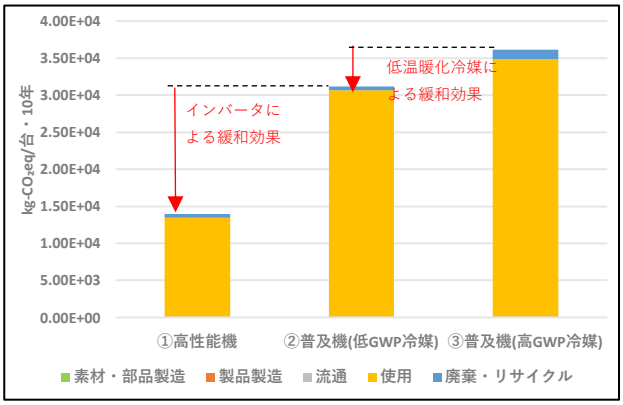


図 1　各機種を対象とした気候変動の特性化結果

4.2 資源消費

各機種の資源消費の特性化結果を図 2 に示す。いずれも使用段階、素材・部品製造段階における影響が大きい結果となった。使用段階においては、天然ガス、重油、石炭火力発電由来の化石資源消費の影響が起因している。また、素材・部品製造段階においては、性能が高い空調機ほど熱交換器の表面積が大きく、銅の使用量が多くなるため、全体に占めるその寄与率が相対的に大きくなった。

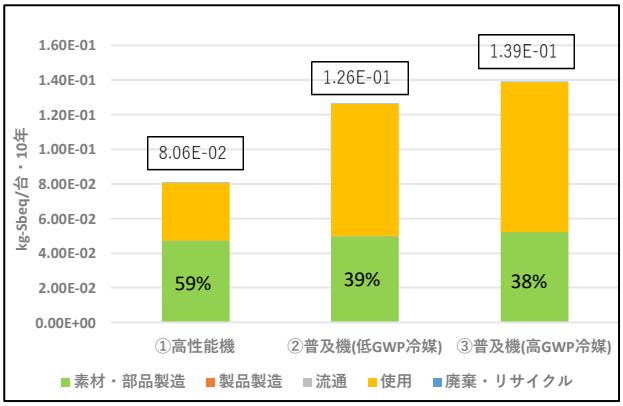


図 2　各機種を対象とした資源消費の特性化結果

4.3 統合化

各機種の影響領域別の統合化結果を図 3 に示す。気候変動に次いで、資源消費の影響が大きく、両者の影響で 9 割以上を占める結果となった。

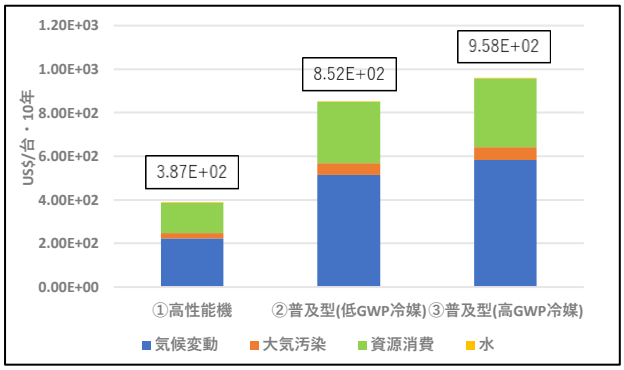


図 3　各機種を対象とした統合化結果

4.4 費用便益分析

各機種の費用便益分析の結果を図 4 に示す。いずれの機種も費用便益比 B/C(=便益/費用)が 1 を上回り、空調機導入による十分な適応効果を確認することができた。なかでもインバータを採用する高性能機は使用段階の費用低減効果が大きく、B/C は 2 を超えた。

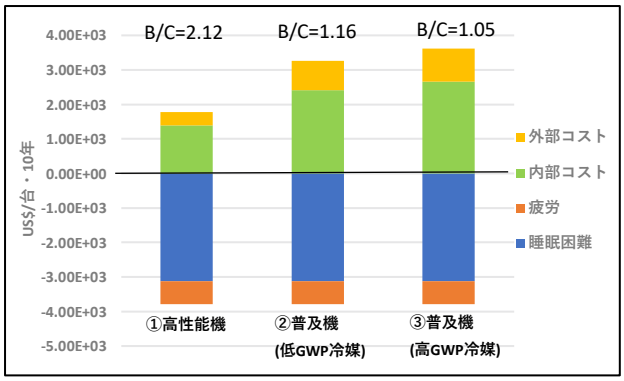


図 4　各機種を対象とした費用便益分析

5. まとめ

本研究では、家庭用空調機をインドネシアに導入した際の緩和策、適応策評価を実施した。緩和策の評価では低温暖化冷媒、高省エネ性能のインバータ搭載の空調機の緩和効果を確認できた。また、適応策の評価では費用便益分析を実施し、空調機導入による便益が費用を上回り、特に高機能な製品は高い効果があることを確認することができた。今後は業務用空調機も評価対象に含め、さらに対象とする国や地域を拡大させることが求められる。

6. 参考文献

1) 井原ら：The 21th International Congress of Biometeorology (2017)

2) 村上ら：Int J Life Cycle Assess , table5(2017)

A2-09
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

複数製品の環境製品政策の統合に向けたモデル開発：エアコンを事例としたエネルギー消費とオゾン層破壊物質排出の削減対策

Development of a model for integration of environmental product policy on multiple products: Case of reduction measures for energy consumption and ozone depleting substance emission of air conditioners

○田崎智宏*[1)]、小口正弘[1)]、吉田綾[1)]、パナテ・マノマイビブール[2)]、パタヤポーン・ウンロイ[2)]
Tomohiro Tasaki, Masahiro Oguchi, Aya Yoshida, Panate Manomaivibool, Pattayaporn Unroj
1)(国研)国立環境研究所, 2) Mae Fah Luang University
* tasaki.tomohiro@ nies.go.jp

1. はじめに

アジアにおける消費者の冷房ニーズは高まっており、エアコンの普及が進んでいる。しかしながら、冷房需要を満たすことは環境負荷の増大、とりわけエネルギー消費やオゾン層破壊物質の放出を増大させてしまう懸念がある。世界の暖房需要と冷房需要を予測した Isaac & van Vuuren[1)]によれば、冷房需要の増加が著しく、2010 年には年間 1.6Gt-C もの二酸化炭素が冷房需要によって排出されるとしている。このようなエネルギー増大は省エネルギー製品の普及により一定程度抑制することが可能であり、その抑制効果を推定するモデルが求められる。また、冷房用エネルギーの消費を抑制するには、住宅の断熱性能を向上させることも考えられるが、これらの 2 つの製品を連関させて対策効果を推計するモデルは存在しなかった。さらに、エアコンにはオゾン層破壊物質である冷媒が利用されてきたが、オゾン層破壊係数（ODP：Ozone Depleteing Potential）の低い冷媒への代替が進む一方で、地球温暖化係数（GWP：Global Warming Potential）の高い冷媒が利用されている温暖化係数 GWP の高い冷媒が用いられるようになるなど、オゾン層保護対策と温暖化対策を統合的に進めることも必要となっている。

そこで本研究では、アジアにおけるエアコンと住宅を対象に、複数製品の連関を考慮した製品ストックモデルの開発を行った。本発表では構築したモデルと日本を対象にパラメータ取得を行って分析した結果を報告する。

2. 方法

国立環境研究所で開発した日本の物質フローストックモデル[2)]の耐久消費財サブモデルに住宅のフローストックモデルを連成させた。図 1 にモデルの概要を示す。耐久消費財モデルの基本構造は、①世帯数 $H_{t,h}$ と世帯当たりの保有台数 $n_{t,h}$ から保有台数 SD_t を算出する（(1)式）、②国内販売台数の時系列値 PD_{t-y} と使用年数分布 $L_t(y)$から t 年末の製品保有台数（(2)式）と t 年の使用済み台数（(3)式）をそれぞれ推計する、③製品台数のマスバランス式から 1 年先の国内販売台数を推計する（(4)式）、④これらを繰り返すというものである。製品の属性変数にエネルギー消費性能を持たせているため、任意の年次の平均エネルギー消費量を算出できる。このモデルに同様の構造を有する住宅モデルを連成させて、エアコンが設置されている住居の平均断熱性能を算出し、エアコンの消費エネルギー量を補正できるようにした。木造、SRC 造、RC 造、S 造、レンガ造、その他の 6 種類の住宅を設定するとともに、1980 年以前、1980 年以降、1992 年以降、1999 年以降の住宅断熱性能基準に基づいて、4 段階の住宅の熱損失係数（Q 値）を設定した（なお、熱損失係数は全国 6 地域区分の平均値を用いた）。

$$SD_t = \sum_h \left(n_{h,t} \cdot H_{h,t} \right) \quad (1)$$

$$SD_{t,t-y} = PD_{t-y} \cdot \left(1 - L_t(y) \right) \quad (2)$$

$$WD_t = \sum_{y=1} \left[PD_{t-y} \cdot \left\{ L_t(y) - L_{t-1}(y-1) \right\} \right] \quad (3)$$

$$PD_t = SD_t - SD_{t-1} + WD_t \quad (4)$$

加えて、冷媒の新規利用量（新製品に含まれる冷媒量）$P_{ODS\text{-}m,t}$ と廃冷媒量（使用済み製品に含まれる冷媒量）$W_{ODS\text{-}m,t}$ をそれぞれ(5)式と(6)式から算出した。

$$P_{ODS-m,t} = PD_t \cdot w_{ODS,t} \cdot ods_{m,t} \quad (5)$$

$$W_{ODS-m,t} = \sum_y \left(WD_{t,t-y} \cdot w_{ODS,t-y} \cdot ods_{m,t-y} \right) \quad (6)$$

ここで、$w_{ODS,t}$ は t 年の新製品 1 台あたりの平均冷媒量(kg/台)、$ods_{m,t}$ は t 年の新製品中の m 冷媒種（HCFC22、R410A、R32、ノンフロン)の割合(-)、$WD_{t,t-y}$ は t 年に廃棄される t-y 年製造のエアコンの台数である。

さらに、使用中（保有中）の製品からの冷媒の漏洩率を保有台数に乗じて m 種冷媒の漏洩量を算出した。日本におけるエアコンの漏洩率は、産業構造審議会資料[3)]にもとづき 2%と設定した（事故・故障や作動不良による漏洩と当面の機器作動に影響が生じない程度のスローリークによる漏洩の両方を含む）。

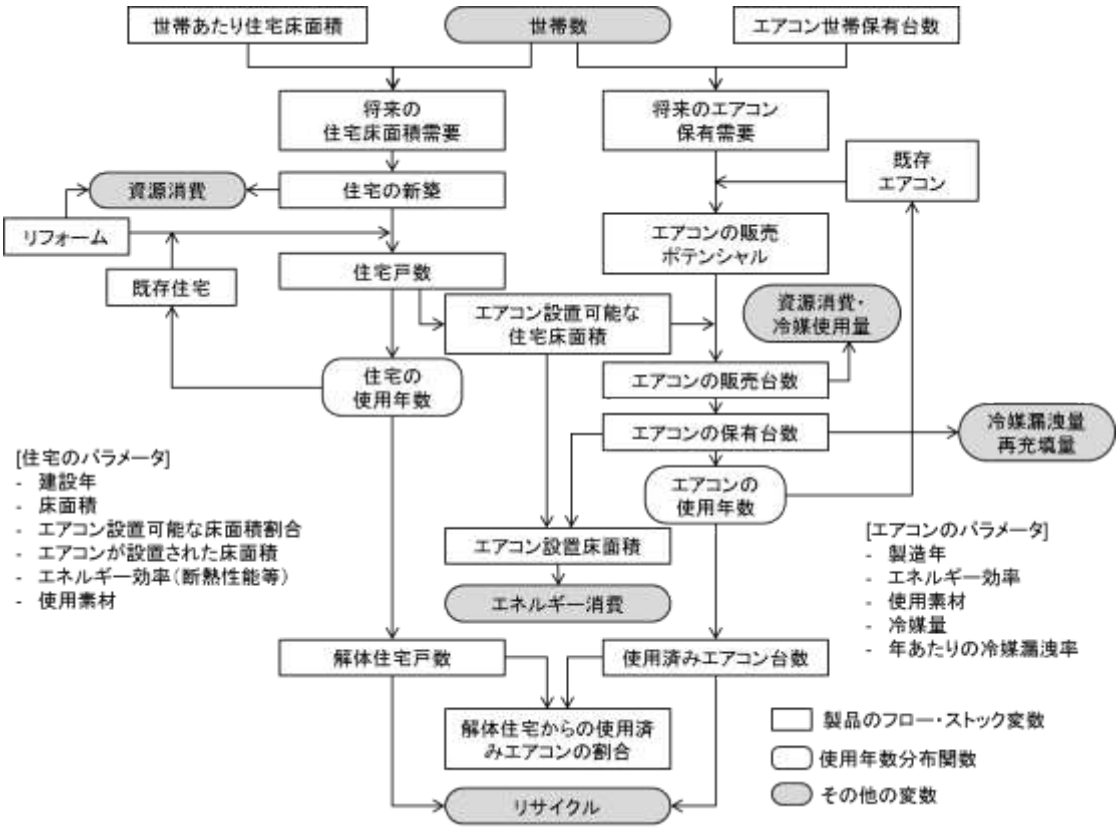


図 1　開発されたエアコン－住宅の関係を考慮した製品ストックモデルの構造

3.　結果

開発したモデルを用いた推計結果を述べる。製品・住宅のストック量（エアコン保有台数と住宅床面積）は 2010 年までは堅調に増加する結果となった。製品ストック量の増加にもかかわらず、エアコンの性能向上によりエアコンの電力消費は減少している。また、最新の住宅断熱性能を 1 とすると、住宅ストックの断熱性能は 1990 年には 2.66、2015 年には 1.74、2030 年には 1.42 となった。

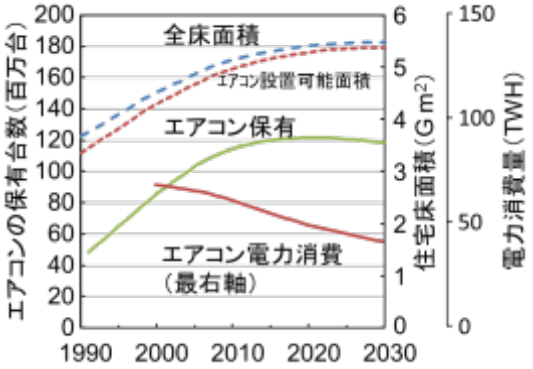


図 2　エアコン保有台数と住宅床面積の推計結果

冷媒フロン等の推計結果を図 3 に示す。使用時の漏洩量ピークと使用済み製品中の廃冷媒量のピークは一致しない。漏洩量のピーク時点における漏洩量と廃冷媒量の比は 0.30～0.38 であり、漏洩量は廃冷媒量よりも少ないが、家電リサイクル法に基づき使用済みエアコン中の冷媒が回収・破壊されていることを鑑みると、漏洩量対策も重要であることが分かる。

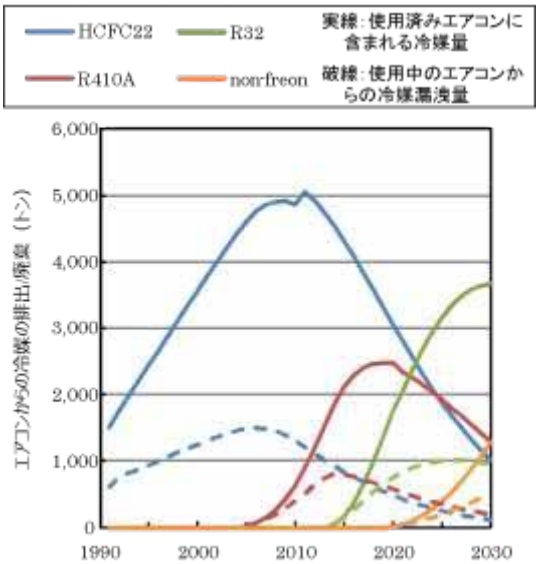


図 3　冷媒フロン等の推計結果

4.　引用文献

1) Isaac M., van Vuuren D.P.: Energy Policy, 37, (2009), pp.507–521
2) Tasaki T., Hashimoto S., Inaba R., et al: Proceeding of ISWA 2013, (2013)
3) 産業構造審議会化学バイオ部会地球温暖防止対策小委員会：第 21 回（2009 年 3 月 17 日）資料 1-2,（2009）, p.8

謝辞：本研究の一部は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（S16-2）のもとで実施した。

B2-06

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

ネットワーク構造と環境負荷削減貢献量の変化から見たエコタウンの長期的変化

Long-term Change in Eco-town from the Viewpoint of Network Structure and Contribution of Environmental Impact Reduction

○本田雄暉*[1)]、松本　亨 [1)]

Yuki Honda, Toru Matsumoto

1) 北九州市立大学

* x6mac010@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. 研究の背景と目的

1997 年より開始されたエコタウン事業では、全国で 26 の地域が承認され、廃棄物や副産物等の循環利用を促進させるための事業活動が展開されている。第 2 次循環型社会形成推進計画（2008 年）から、地域循環圏を踏まえた循環型社会づくりが国による取り組みの 1 つに位置づけられたが、エコタウンは、特に広域的な循環においてその活用が模索されている。エコタウンが将来にわたって有効な資源循環拠点として機能を果たすためには、現状における環境面や社会面、経済面における役割を把握・検証する必要がある。しかし、その実態を正確に把握できているとは言い難い。事業開始後 20 年が経過したエコタウン事業について、物質フローの定量的かつ長期的な把握と変化の要因を理解することが求められている [1)]。

本研究では、全国 26 ヶ所の認証地域の中でも最もリサイクル事業者の集積が進んでおり、施策開始初年度より事業を展開している北九州エコタウンを対象に、2005 年度より 5 年間隔で物質フロー調査を実施した。アンケート調査及びヒアリング調査により把握した物質フローデータをもとに、ネットワーク構造を可視化し、その長期的な変化と、CO_2 削減への貢献を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

北九州エコタウンの立地企業の事業所を対象に、2005 年度、2010 年度、2016 年度の 3 回にわたりアンケート調査及びヒアリング調査を実施した。調査対象事業所は、北九州エコタウン内に立地する全事業所であるが、有効回答のあった事業所数は、2005 年度調査で全 21 事業所中 18 事業所、2010 年度調査で全 28 事業所中 23 事業所、2016 年度調査で全 26 事業所中 21 事業所であった。

3. LCA による環境負荷削減効果の変化の把握

3 時点の物質フローデータをもとに、LCA により環境負荷削減効果の評価を行った。その結果を図 1 に示す。CO_2 削減効果を見ると、2010 年度が最も削減効果が大きい結果となった。その要因としては、立地事業所数・有効回答事業所ともに 2010 年度が最も多く、廃棄物等の受入量も最も多かったためであると考えられる。

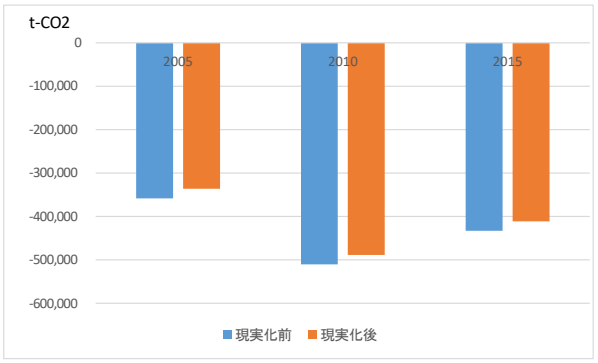


図 1　環境負荷削減効果の推移

次に環境負荷削減効果の結果を現実に近づけるために、平成 23 年度～27 年度の「廃棄物の広域移動対策検討及び廃棄物等循環利用調査」を用いて、ベースライン（リサイクルしない場合）の廃棄物の処理方法を現実に近づけた。2005 年と 2015 年のデータについては平成 23 年度～27 年度の調査表をもとに推計した。結果を見ると 3 ヵ年ともにわずかに環境負荷削減効果は小さくなった。これは、もともと考慮していなかった直接最終処分量が増加したために、プラスチックのような焼却することで CO_2 が大きく発生する物質が直接最終処分に行くようになり、焼却量が減少したためにこのような結果になったと考えられる。

4. ネットワーク分析

統計解析用のフリーソフト「R」を用いてネットワーク分析を行った。北九州エコタウンの立地事業所の受入の関係を探るために、北九州エコタウン、行政、民生、北九州市内企業、福岡県内企業、九州内企業、九州外企業に分け分析を行った。2005 年～2015 年の北九州エコタウンのネットワーク図を図 2～4 に示す。北九州エコタウン事業所については、リサイクルをして

いる対象物質名で示した。

次にネットワークの構造的特徴である密度をステップ 1～5 に分け計算を行った。以下に密度の計算式[2]とステップの定義について示す。

$$d = \frac{2m}{n(n-1)} \qquad (1)$$

d：密度、m：グラフに含まれる片の数、n：頂点数

ステップ 1　北九州エコタウン立地事業所のみ
ステップ 2　ステップ 1＋行政、民生、北九州市内企業
ステップ 3　ステップ 2＋福岡県内企業
ステップ 4　ステップ 3＋九州内企業
ステップ 5　すべて

結果を図 5 に示す。始めにステップ 1 を見ると 2015 年が密度は一番低いが、これは 2010 年の調査時まであった残渣処理のための複合中核施設が撤退したためにエコタウンの連携密度が低下したためにこのような結果となった。しかし、ステップ 5 まで見ると 2005 年と 2015 年の密度の差が小さくなっている。特にステップ 4 で差が縮まっている。これは、2015 年は廃棄物を以前より遠方である九州内企業から受け入れているということがわかる。次に図の傾きを見ると、3 ヵ年ともにステップ 1 からステップ 2 にかけての傾きが大きい。これは、北九州エコタウンは立地地域（北九州市）とのつながりが最も大きいことが示されている。

5. まとめと今後の課題

北九州エコタウン事業の 2005 年から 2015 年にわたる物質フロー変化をもとに、環境負荷削減効果の評価を行った。環境負荷削減効果の結果を現実に近づけると 3 ヵ年ともにわずかに環境負荷削減効果は小さくなった。これは、直接最終処分に伴う焼却量の減少が影響している。

次にネットワーク構造の変化を見るためにネットワーク分析を行った。北九州エコタウンは、地域とのつながりは変えずに、広域的に廃棄物を受け入れるようになっていることがわかった。

アウトプットの連携強度の変動分析や、物質・廃熱のカスケード利用、物流の改善などによるさらなる環境負荷の可能性については今後の検討課題である。

引用文献

1) Tsuruta T., Y. Honda, A. Fujiyama, T. Matsumoto:Structural Changes in the Kitakyushu Eco-town Initiative Based on a Multi-year Survey of Materials Flow, International Journal of Environmental Science and Development, Vol.7, No.12, pp.908-912, 2016

2) 鈴木　努、R で学ぶデータサイエンス 8 ネットワーク分析、 p 35、2017

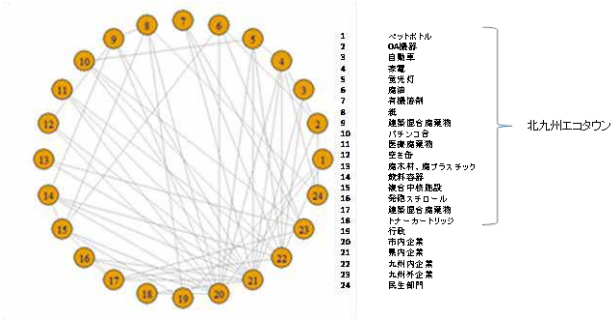


図 2　北九州エコタウンのネットワーク図（2005）

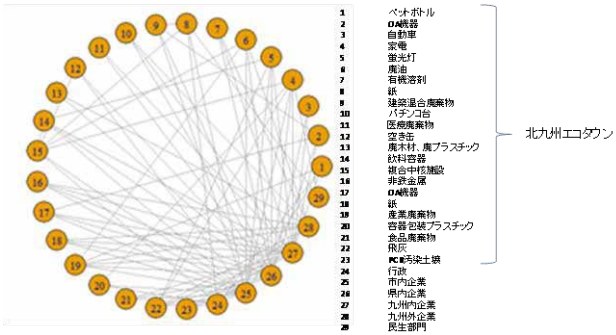


図 3　北九州エコタウンのネットワーク図（2010）

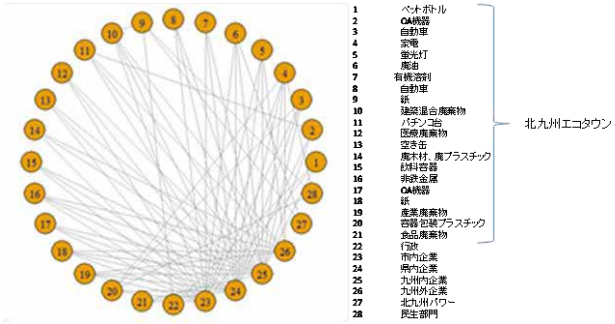


図 4　北九州エコタウンのネットワーク図（2015）

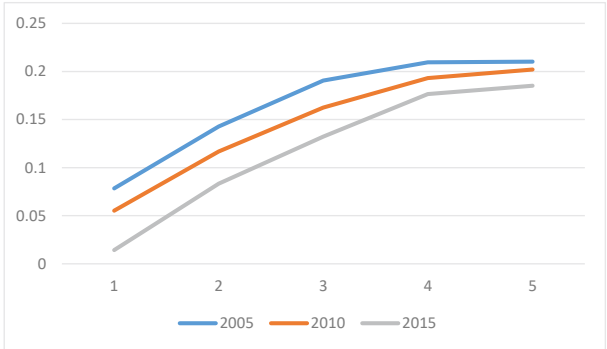


図 5　ネットワークの密度の変化

B2-07,P2-020　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

アジアにおける持続可能な消費と生産に向けた将来ビジョンの作成

Designing the future visions for sustainable consumption and production in Asia

○黒山翔悟*[1)]、木下裕介 [1)]、松本光崇 [2)]、小島道一 [3)]、梅田靖 [1)]
Shogo Kuroyama, Yusuke Kishita, Mitsutaka Matsumoto, Michikazu Kojima, Yasushi Umeda
1) 東京大学、2) 産業技術総合研究所、3) 日本貿易振興機構アジア経済研究所
* kuroyama@susdesign.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

国連が採択した持続可能な開発目標の一つとして、持続可能な消費と生産 (Sustainable consumption and production; SCP)という概念が注目されている。SCP の実現は、経済成長にともなう消費の増加が著しいアジア地域においてとりわけ重要である。本研究では、環境省プロジェクト「アジア地域における持続可能な消費・生産パターン定着のための政策デザインと評価」[1)]の一環として、2050 年の東南アジア地域を対象とした SCP ビジョンの作成を目的とする。

2. 東南アジア地域を対象とした SCP シナリオ作成

2.1 プロジェクト概要

本プロジェクト [1)]の目的は、東南アジア地域を対象として SCP を達成した将来像（ビジョン）とそこに至るまでの道筋をシナリオとして描くことにより、SCP の実現に必要な政策・施策を明らかにすることである。まず、現状から追加の政策・施策がとられなかった場合のなりゆきシナリオ（BaU シナリオ）を描く。次に SCP を実現した将来ビジョンを描き、そのビジョンを実現するための様々な方策の効果を評価することによって SCP シナリオを作成する。

2.2 本研究の位置づけ

先行研究 [2)]では、東南アジアにおける耐久消費財の将来需要推計に着目した BaU シナリオを作成し、タイとベトナムの耐久消費財による 2030 年の CO2 排出量が 2016 年比でそれぞれ 37%、130%増加するという結果が得られた。本研究では、この結果を参照して 2050 年の SCP ビジョンを作成する。ここで、SCP ビジョンの必要条件として、(i) 人々の生活の質を適切な水準にしながら経済成長と環境負荷のデカップリングを実現すること、(ii) 消費側と生産側のあるべき連携を明らかにすることが挙げられる。

3. SCP ビジョン作成方法

3.1 アプローチ

本研究では、2.2 節の必要条件 (i)、(ii) を満たした SCP ビジョンを作成するために、水野らが提案したバックキャスティングシナリオ作成手法 [3)]を用いる。すなわち、因果関係を逆順に展開するロジックツリーを用いて、ビジョンの最終的な目標と様々な方策の関係を記述する。(i) に対して、ビジョンを資源・エネルギー消費量の観点から評価するために製品ライフサイクル環境負荷推計システムを開発する。(ii) について、消費側と生産側の関係を分析するため、シナリオの作成・分析を計算機上で支援するシステムである Sustainable Society Scenario (3S) Simulator[4)]を用いる。これにより、シナリオの条件を変化させた場合の What-if 分析を可能にする。ケーススタディでは、専門家ワークショップ（WS）を用いて 2050 年の東南アジア地域を対象とした SCP ビジョンのプロトタイプを作成する。

3.2 製品ライフサイクル環境負荷推計システム

本研究では、SCP ビジョンを CO2 排出量と TMR[5)]の観点から評価する製品ライフサイクル環境負荷推計システムを開発する。本システムでは、家庭用耐久消費財（自動車、家電製品など）を対象として、各製品の将来普及台数を推計するとともに、製品ライフサイクル全体の環境負荷を評価する。図 1 にシステムの概要を示す。各年の製品の保有台数および製造台数は、過去のデータから Bass モデル [6)]とストック・フローモデルにより推計する。その結果から、製品ライフサイクルモデルによって製品の製造と使用による年間の環境負荷を計算する。

4. ケーススタディ

4.1 問題設定

2050 年東南アジア地域の SCP ビジョンを作成するために、専門家 20 人からなる WS を開催した。WS では参加者を 3 つのグループ A～C に分けてブ

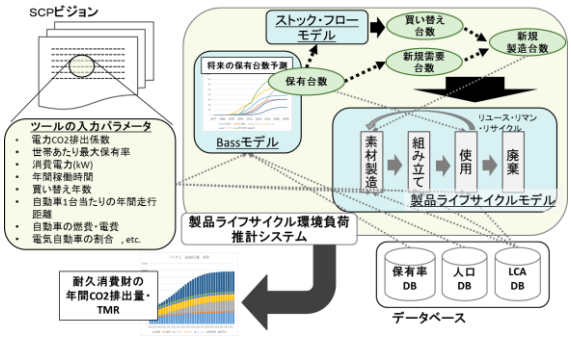


図 1 システム構成

レーンストーミングを実施し、計 3 本のビジョンを作成した。2050 年に達成すべき目標は、BaU に比べて資源・エネルギー消費量の半減と設定した。

4.2 SCP ビジョンのストーリーライン

WS での議論をシナリオ設計者によりロジックツリーで整理し、ビジョンを 3S Simulator 上に記述した。各グループが作成したビジョンを以下に述べる。SCP の実現に重要な要因として、シェアリング、AR/VR 技術、情報の見える化にあわせた消費者行動の変化が抽出できた。

- グループ A「AtmosShare 社会」：自動運転などを活用したシェアリングを推進しつつ、prosumer と呼ばれる人々が製品を自分好みにデザインする。
- グループ B「気づけばミニマリスト」：AR/VR を用いて低コストでカスタマイズできるビジネスが広まり、徐々に消費者がミニマリストになる。
- グループ C「充足生活 98%」：情報の見える化による消費者・生産者間の情報共有を通じて、消費者が無理なく最適な製品・サービスを利活用する。

4.3 ビジョンの定量評価

3S Simulator を用いて、タイとベトナムを対象として A～C のビジョンを定量化した。外部の研究機関による将来予測のデータなどを用いて入力パラメータを設定した。3S Simulator を用いて、文章形式で表されるビジョンのストーリーラインと 3.2 節のシステムの入出力パラメータを接続したときの論理構造を図 2 に示す。図 2 では、ビジョンの記述を根拠に入力パラメータが設定され、それに基づいて実行された定量結果から結論が導かれていることを示している。タイにおける各ビジョンの定量評価結果を図 3 に示す。いずれのビジョンにおいても、シェアリング、コンパクトシティ化、再生エネルギーの普及、製品の長期使用などの方策により、CO2 排出量と TMR を半減させることができた。

5. 考察

本研究で提案した手法では、図 2 のようにビジョンの目標（資源・エネルギー消費量半減）から、ストーリーラインの記述、入力パラメータへの定量化、シミュレーション、結論までの論理関係を可視化することができた。これにより、第三者がその根拠を参照しながら入力パラメータを変更することで、シミュレーションの検証や再実行が容易になる。

ケーススタディでは、SCP ビジョンのプロトタイプを 3 本作成した。その結果、生産側の新たな技術やビジネスとそれに応じた消費者行動の転換が理想的な消費側と生産側の連携の一例として描かれた。

また、定量評価によるとシェアリングや再生可能

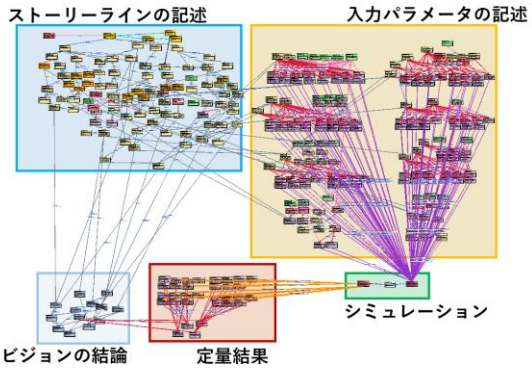


図 2 シナリオ論理構造図（グループ A）

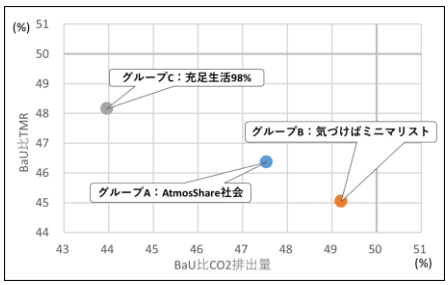


図 3 ビジョンの定量評価結果

エネルギーの普及が有効な施策であった。ただし、各種方策（例えば、シェアリングサービス）の効果を詳細に検証することは今後の課題である。

6. 結論

本研究では、バックキャスティングの考え方を用いた SCP ビジョンの作成手法を提案した。そこでは、ビジョンを評価するための製品ライフサイクル環境負荷推計システムを提案した。ケーススタディでは、2050 年東南アジアの SCP ビジョンを 3 本作成し、CO2 と TMR の観点から評価した。今後の課題として、ビジョンを実現するための様々な方策の効果を検討していくことが挙げられる。

なお、本研究は（独）環境再生保全機構環境研究総合推進費（S-16）の助成を受けたものである。

引用文献

1) PECoP-Asia:<http://www.susdesign.t.u-tokyo.ac.jp/s-16/index.html >,（参照 2018-01-11）
2) Bao, C., Kishita, Y., Umeda, Y., Procedia CIRP, 61, (2017), pp. 635-640.
3) 水野有智ほか. 精密工学会学術講演会講演論文集, (2011), pp. 741-742.
4) 木下裕介ほか. 精密工学会誌,75(8), (2009), pp.1029-1035.
5) 中島謙一, 原田幸明, 井島清, 長坂徹也, 日本 LCA 学会誌, 2(2), (2006), pp.152-158.
6) Bass, F.M., Management science, 15(5), (1969), pp.215-227.

B2-08

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

アジアにおける使用済みエアコン由来のフロン類排出と処理シナリオに関する将来推計

Future estimation on fluorocarbons emission and disposal scenarios for end-of-life air conditioners in Asia

○寺園淳*[1)]、小口正弘 [1)]、花岡達也 [1)]

Atsushi Terazono, Masahiro Oguchi, Tatsuya Hanaoka

1) 国立環境研究所

* terazono@nies.go.jp

1. はじめに

アジア諸国においては、電気電子機器排出量が年々増加している。資源の散逸や地球温暖化防止等の観点からより大きな問題を見逃さないためにも、潜在的な排出ポテンシャルが大きく管理制度が伴っていない国々での排出量を把握する必要がある。本研究では、冷媒フロンを含む家庭用エアコンを取り上げ、2030 年までのアジア諸国における使用済みエアコン、および機器内部に含まれる冷媒フロンの排出量を推計した。また、フロンの適正な処理施設が整っていない国における対策検討に資するためにも、アジア諸国におけるフロン処理システムの対策シナリオを検討した。

2. 方法

日本を含むアジア 10 カ国程度における使用済みエアコンの 2030 年までの排出量を推計し、冷媒種の変遷（代替状況）を考慮して、使用済みエアコンに含まれて排出される冷媒量を冷媒種類ごとに推計した。使用済みエアコンの排出量は、各国について調査、入手した販売台数と保有台数のデータを用い、ポピュレーションバランスモデルにより推計した。将来の保有台数については、1 人あたり GDP などの変数を用いて重回帰モデルを作成して設定した。エアコン 1 台あたりの冷媒使用量、アジア諸国における過去と将来の使用冷媒種の変遷は、文献および関係機関へのヒアリング調査によりデータを作成した。

また、中国、タイ、マレーシアを対象として、フロン処理施設の立地状況調査を行った。そして、使用済みエアコンに含まれる推計フロン量に対して、シナリオ 1）当該国内で回収破壊処理は無対策、シナリオ 2）既存の処理施設を利用した回収破壊処理、シナリオ 3）最大限を回収破壊処理し、かつ当該国内の既設処理施設容量が足りない場合は処理施設を新設、シナリオ 4）最大限を回収破壊処理し、かつ当該国内の既存処理施設が足りない場合は日本へ廃棄冷媒を船舶輸送して破壊処理、という 4 つのシナリオを比較検討した。

3. 結果と考察

3.1 使用済みエアコンの排出量推計結果

図 1 にアジア各国における使用済みエアコンの排出量推計結果を示す。図の凡例に（欠）が付されている国については計算が収束せず、推計結果が得られなかった。これは、販売台数または保有台数データの信頼性に起因すると考えられる。

推計結果をみると、使用済みエアコンの排出台数は中国が圧倒的である。例えば 2030 年で比較すると、日本の排出台数は 790 万台なのに対して、中国では 9.2 倍の 7,200 万台となっている。

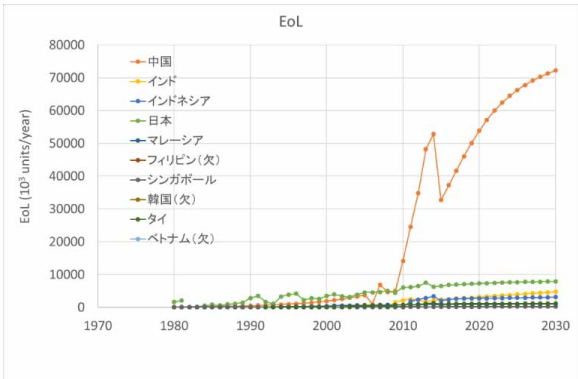


図 1　アジア各国における使用済みエアコンの排出台数推計結果

3.2 使用済みエアコンに含まれるフロンの排出量推計結果

エアコンの冷媒については HCFC-22 から R410A または HFC-32 へ代替が進んでおり、文献やヒアリング情報によれば国およびメーカーの方針によって国ごとに R410A と HFC-32 への代替状況が異なっている。将来については予測困難だが、関係機関へのヒアリングに基づいて R410A と HFC-32 の比率を設定した。

推計結果によれば、使用済みとなる冷媒量は中国が圧倒的に多く、推計できた 7 か国の合計量の 9 割程度を占めていた。オゾン層破壊能を持つ HCFC-22 も 2030 年頃まで排出が続く推計結果となっており、HCFC-22 の量が減少しても R410A や HFC-32 の排出が増えてい

ることから、冷媒排出量の総量は 2030 まで増加傾向にある。中国に次いで使用済み冷媒量が多いのは日本である。その他の国については、インドは中国と同様に増加傾向であるのに対し、その他の東南アジア諸国については微増と推計された。

次に、GWP 換算で示した推計結果の一部を図 2 に示す。2015 年以降、推計できた 7 か国の合計で約 1 億～1.4 億 t（CO_2 換算）で推移している。この量は、IEA が報告するアジア諸国からの 2010 年の人為起源 CO_2 排出量の約 0.8～1.2%に、UNFCCC が報告する Annex I 諸国の 2010 年の人為起源 CO_2 排出量の約 0.7～1.0%に相当する。国ごとの内訳は冷媒量と同様で、中国の寄与が圧倒的である。エアコンについては一定の GWP を持つ HFC 冷媒の使用が継続されており、それらの排出は 2030 年以降も続くと推計されることから、温暖化防止の観点からは使用済みエアコンからの冷媒回収は将来にわたって重要であることが示唆される。

3.3 アジア諸国における使用済みエアコンのフロン処理シナリオの分析結果

使用済みエアコンの回収破壊処理量と回収破壊処理費用の推計結果について、中国におけるシナリオ 4 を例として図 3 に示す。最大限を回収すると、当該国にて破壊処理施設容量が足りなくなり、その場合は、破壊処理施設を新設するよりも、日本へ船舶輸送して破壊処理する方が費用対効果は優位であることがわかった。他に推計したタイとマレーシアの事例も加味すると、アジア途上国におけるフロンの回収破壊処理は概ね 1000 円/tCO_2eq 以下であった。最新の炭素価格についてパリ協定を実現するには 2030 年までに 50-100US $/$tCO_2$ である [1]と議論されていることを考えると、他の温暖化抑制策と比較して、費用対効果は優位性であることがわかった。

4. おわりに

アジア諸国では電気電子機器の管理制度が導入されつつあるが、同時に適正なフロン処理対策を進める必要がある。本研究は、環境省の環境研究総合推進費「アジア諸国における使用済み電気電子機器・自動車の排出量推計と金属・フロン類の回収システムの効果測定」（3K143010）によって実施した。調査に協力頂いた共同研究者および国内外の関係機関に厚く謝意を表する。

5. 引用文献

1) Carbon Pricing Leadership Coalition (2017) Report of the High-Level Commissions on Carbon Prices

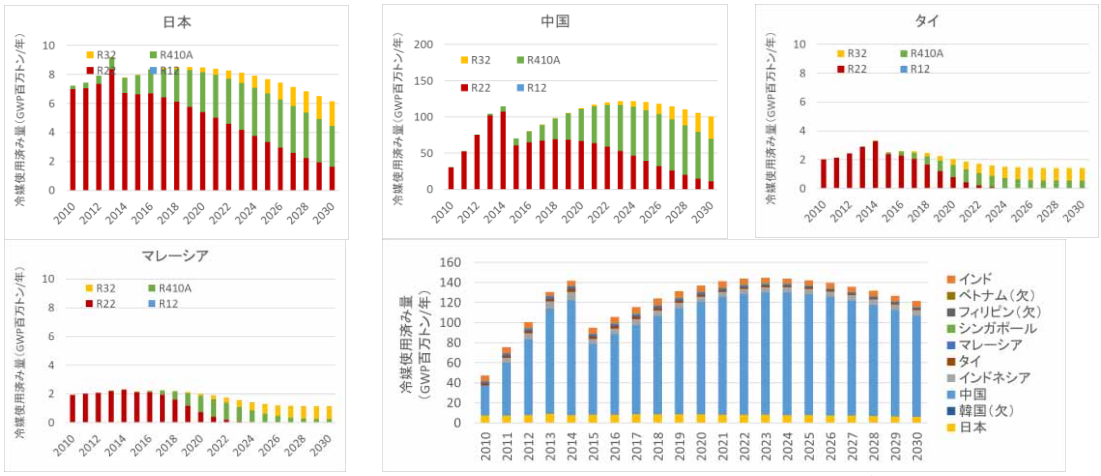


図 2　アジア各国における使用済みエアコンに含まれる冷媒フロン量（GWP 換算量）の推計結果の一部

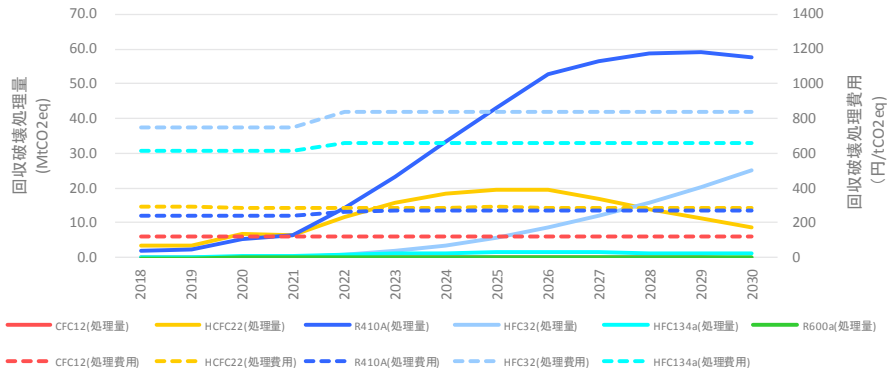


図 3　中国における使用済みエアコン由来フロンの回収破壊処理量と回収破壊処理費用の推計結果（シナリオ 4）

C2-06
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

地域エネルギーシステムの社会経済性分析手法の検討：種子島を例に

Study of Socio-Economic Analysis on Regional Energy Systems: Case of Tanegashima

○尾下優子*[1)]、兵法彩[2)]、　大内田弘太朗[2)]、福島康裕[3)]、菊池康紀[2)]
Yuko Oshita, Aya Heiho, Kotaro Ouchida, Yasuhiro Fukushima, Yasunori Kikuchi
1) 神戸大学, 2) 東京大学, 3) 東北大学
* y_oshita@maritime.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

バイオマスや太陽光などの地域資源を活用した地域エネルギーシステムを導入するためには、環境負荷の低減効果を評価することはもとより、当該地域にどのような社会経済的な影響（以下、社会経済性）を及ぼすかを明らかにすることが重要である。ここでいう社会経済性とは、システム導入に伴う移輸出入バランス、域内経済循環、雇用の変化などである。環境技術の経済的評価手法として、産業連関分析が広く活用されてきたが[1)]、ごく一部の市町村を除き、利用可能な最小規模の産業連関表は都道府県レベルであり、地域エネルギーシステムの導入範囲とは必ずしも合致しない。地域エネルギーシステムの社会経済性をより正確に分析するためには、導入範囲と一致した産業連関表を用いるべきであるが、地域レベルの産業連関表を作成することは多大な労力と知識が必要である。

そこで本研究では、種子島地域を対象に、地域エネルギーシステムの社会経済性を分析するために、種子島産業連関表を作成し用いた場合と、鹿児島県産業連関表を用いて最小限の作業労力で分析をした場合にどのような差異が生じるかを比較し、今後の地域エネルギーシステムの分析手法の検討を行う。

2. 産業連関表の作成、拡張

2.1 種子島版産業連関表の作成

平成 17 年鹿児島県産業連関表[2)]（以下、鹿児島県表、小分類 190 部門）を基本表とし、種子島の特徴的な産業及び分析上必要な部門（いも類、砂糖原料作物、原料糖、黒糖・その他の糖、でんぷん、ガソリン、軽油、発電、送配変電販売）を分割し、198 部門の種子島の産業連関表（以下、種子島表）を作成した。部門分割に際しては、種子島と同じくサトウキビから原料糖の生産を行っている沖縄県の産業連関表[3)]や、種子島と同様の離島でのディーゼル発電の費用構成を公開している沖縄電力の有価証券報告書[4)]、国の産業連関表[5)]（以下、全国表）などを用いて推計を行った。その他の部門については、各種の統計データが揃う最新年である平成 24 年の経済センサス、工業統計（個票）、商業統計、市町村民所得推計などの公開データ、ヒアリングや現地調査の結果なども用いて推計した[6)]。

2.2 地域エネルギーシステム

本研究で対象とする地域エネルギーシステムは、バガスを製糖期に燃料として利用するバイオマス熱供給業、そのバイオマス熱供給業の熱を利用して発電するバイオマス発電、休糖期の余剰バガスを利用したバガス発電、島内産の木質チップを燃料とした木質バイオマス発電、製糖の副産物である糖蜜を原料としたバイオエタノール、廃食用油を原料としたバイオディーゼルを組み合わせたシステムである。また、I：サトウキビの品種を高バイオマス量の品種（農林 18 号）に全量変更、II：製糖プロセスに逆転技術[7)]を導入、III：製糖工場内の原料糖生産とエネルギー生産を分離、V：製糖工場のエネルギー生産設備は発電用に設計された高圧のボイラーと発電タービンに更新し、それぞれバイオマス熱供給業、バイオマス発電部門に帰属、VI：木質バイオマス発電は休糖期に行い、バイオマス熱供給業・バイオマス発電の設備を用いて余剰バガスと混焼、VII：バイオディーゼルは集中生産かつ廃熱を利用するという前提条件を設定した。

2.3 地域エネルギー拡張型種子島表の作成

前節で説明した 6 つの地域エネルギー部門を類似部門や再生可能エネルギー部門拡張産業連関表（以下、REFIO）[1)]などを用いて、種子島表の内生部門として推計し、204 部門の地域エネルギー拡張型種子島表（以下、拡張型種子島表）を作成した。バイオマス熱供給業は全国表の熱供給業、バイオマス発電、バガス発電、木質バイオマス発電は REFIO の木質バイオマス発電部門、バイオエタノールは全国表のウイスキー類部門、バイオディーゼルはインベントリデータ[8)]を基礎として、それぞれ FIT 価格、シミュレーション結果[9)]、現場調査[10)]、ヒアリングなどを用いて推計した。また、導入効果を明確化するために、地域エネルギー産業で生産される電力や燃料は、直接、島内の産業や消費者に供給される形式で計上した。

新設部門の設置に伴う需給調整については、地域エネルギーシステムのシナリオをもとに、島内需要額の増加分が全て島内供給であると想定されるものと、そうでないものに分けて行った。前者は、例えば、木質バイオマス発電に直接間接的に需要される木質チップ

や素材、育林、道路貨物輸送などであり、これらの需要の増加分は島内産業から供給される。それ以外については、当該部門の移輸入率に応じて、島内外から供給されると設定し、調整を行った。さらに、地域エネルギー導入に伴う電力や燃料価格の増減額を営業余剰で調整することにより、導入効果を明確化した。

2.4 種子島地域エネルギー拡張型鹿児島表の作成

前節で推計した地域エネルギー部門を鹿児島県表に新設部門として設定し、種子島地域エネルギー拡張型鹿児島表（以下、拡張型鹿児島表）を作成した。ただし、本研究の目的から、種子島表のような部門の分割は行わず、鹿児島県表のオリジナルの 190 部門表を用いた。従って、拡張型種子島表とは異なり、地域エネルギー産業で生産される電力や燃料は、既存の電力部門や燃料部門に投入される形式で計上した。ただし、電力や燃料価格の増減額は、各部門の投入額に応じて推計し、営業余剰で調整を行い、需給調整も拡張型種子島表と同様の方法で行った。

3. 分析結果

2 章で作成した拡張型種子島表と拡張型鹿児島表を用いて、2.2 節で述べた地域エネルギーシステム導入前後の分析を行った結果、生産額の増加は、拡張型種子島表と比べ、拡張型鹿児島県表を用いた分析結果の方が小さく推計された。この差は、鹿児島県表では、原料糖が砂糖・油脂・調味料類部門に内包され、同部門に占める原料糖生産の割合が大きくないために、その他の食用作物（砂糖原料作物を含む）への波及が小さいことが 1 番の要因である。また砂糖原料作物の生産に必要な飼料・有機質肥料、農業サービスへの波及額の差も大きい。一方で、砂糖・油脂・調味料類部門の原料であるいも・豆類への波及額は拡張型鹿児島県表の方が大きい。また、種子島と比較し、鹿児島県は自給率が高く、付加価値率の高いサービス部門なども多く存在するため、生産額の増加は拡張型種子島表の方が大きいにも関わらず、付加価値の増加は拡張型鹿児島県表を用いた推計結果の方が大きい。

また、拡張版種子島表の方が移輸入の増加額が大きい。これは前述の通り、種子島の自給率が低いため、サトウキビの品種改良による増産や新設部門によって需要される原材料を移輸入に頼る比率が高いためである。特に、肥料や農薬、卸売、小売、保険などの部門の移輸入の増額の差が大きい。一方で、鹿児島県表の電力部門は石油火力だけでなく、石炭火力や原子力などの発電方法も内包しているため、発電額の減少に伴う重油の減少割合が小さく、石油製品の移輸入額の減少額は拡張型種子島表の方が大きい。

4. まとめと今後の展望

本研究の分析結果により、地域の特徴や構造を反映した地域表を用いた場合と、地域が属する都道府県の産業連関表を用いた場合では、特に地域エネルギーの原料供給部門かつ地域の基幹産業に関連する部門で少なくない差が生じることが明らかになった。今後は、分析対象に関する重要部門のみを対象地域の部門として拡張するなど、都道府県表を用いてより正確な導入効果を分析する方法について検討を行う予定である。

謝辞

本研究は、環境研究総合推進費（1RF-1503）、日本学術振興会科学研究費補助金（若手研究（A）16H06126、若手研究（B）26740056 及び 17K12857、特別研究員奨励費 15J11714）における成果を含んでいる。東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は、（株）地球快適化インスティテュート、三井不動産（株）、信越化学工業（株）、オリックス（株）、積水ハウス（株）、東日本旅客鉄道（株）からの寄付で活動している。

引用文献

1) 森泉由恵, 本藤祐樹, 中野諭 : 日本エネルギー学会誌, 94(12), (2015), pp.1397-1413
2) 鹿児島県 : “鹿児島県産業連関”, 鹿児島県庁(オンライン), 入手先 <http://www.pref.kagoshima.jp/tokei/bunya/keizai/renkan/index.html>, (参照 2015-8-23)
3) 沖縄県 : “平成 17 年産業連関表”, 沖縄県庁(オンライン), 入手先 <http://www.pref.okinawa.jp/toukeika/io/2005/sanren_top.html>, (参照 2018-1-9)
4) 沖縄電力（株）: “平成 18 年度有価証券報告書”, 沖縄電力(オンライン), 入手先 <https://www.okiden.co.jp/shared/pdf/ir/zaimu/2007/070727_1.pdf>, (参照 2018-1-9)
5) 総務省 : “平成 17 年(2005 年)産業連関表(確報)”, e-Stat(オンライン), 入手先 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0>, (参照 2018-1-9)
6) 兵法ほか: “第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集”, つくば, (2017), pp.394-395
7) Ohara, S., et al.: Biomass and Bioenergy, 42, (2012), pp.78–85
8) 福島康裕、北川尚美: 化学工学会第 82 年会, 東京, (2017)
9) Ouchida, K. et al.: AIChE J., 63(2), (2017), pp.560-581
10) Kikuchi, Y., et al.: JIE, 20, (2016), pp.276-288

地域における温暖化防止活動の持続可能性に関する研究

～環境、経済、社会的側面の評価と考察～

A study of the sustainability assessment of global warming prevention activities for regional level: In environment, economy and social aspects

○[1)] 王 任卓　[2)] 納富 信

Renzhuo WANG, Makoto NOHTOMI

[1)2)] 早稲田大学

[*1)] wrz19901012@fuji.waseda.jp [2)] nohtomi@waseda.jp

1.　はじめに

2016 年、温室効果ガス排出削減などのため、国際的枠組みである「パリ協定」が発効した。日本も、高い温室効果ガス排出削減目標を掲げ、同年、環境省より「地球温暖化対策のための国民運動実施計画」を設定し、地域レベルにおける温暖化防止活動が積極的に進められている。しかし、市民に対する意識啓発や活動の活発・促進化は難しく、また対策・施策の効果を評価しにくいなど、今後の活動の持続性に対する課題もある。

そこで、地域レベルで行われている温暖化防止活動における市民の意識や意欲を計測する必要があるが、活動実施期間や機会が少ないこと、手段も温暖化以外を主目的としたものなど多様であることから、先ずは環境配慮活動全般を対象として、活動に関わるステークホルダーの意識等を把握する必要がある。

本研究は、先ず京都市で取り組まれている家庭ごみの「コミュニティ回収事業」を事例として取り上げ、事業により、京都市に対する環境・経済・社会の側面での事業効果を明らかにすることを目的として、今回は京都市市民のコミュニティ回収事業に対する参加影響要因と課題を把握するための調査結果について報告をおこなう。

2.　研究方法

2.1　調査・評価内容

京都市コミュニティ回収事業では、家庭から排出される「燃やすごみ」の中に含まれている古紙類などの資源物を、地域団体が自主的に回収する事業である。本研究では、この事業に関わるステークホルダー（参加市民、行政部門）の立場から、事業の実施による各側面における事業効果を調査した。

「環境的側面」は、コミュニティ回収事業における資源ごみの回収量ならび京都市で受け入れ家庭ごみ量の変化状況を調査した。

「経済的側面」は、京都市での燃やすごみ処理単価とコミュニティ回収事業の処理単価を調査した。

「社会的側面」は、回収事業に参加している実施登録団体の状況を調査した。

2.2　データ収集と算定方法

統計データと市民の事業参加の影響要因分析のためのデータは、コミュニティ回収事業に関する事務事業報告書などの公開情報、京都市環境局事業概要やヒアリング（京都市まち美化ステーション、京都市まち美化推進課）にて収集した。「経済的側面」の調査では、『処理単価＝（年間事業経費）/（資源物ないし燃やすごみの年間回収量）』を指標とした。

3. 結果

3.1　環境的側面

図 SI1 に、京都市で受け入れている家庭ごみ量とコミュニティ回収事業における資源物の回収量の変化を示す。結果より、近年、京都市で受け入れる家庭ごみ量は減少しているが、コミュニティ回収事業における資源物の回収量は増加していて、資源物の有効利用が促進されていることがわかる。

3.2　経済的側面

ヒアリング調査を通じて、コミュニティ回収を実施しない場合は、市民は古紙類・古着などの資源物を、主に“燃やすごみ”として排出していることがわかった。そこで、コミュニティ回収事業における経済的側面での評価を明らかにするため、回収事業の処理単価と“燃やすごみ”としての処理単価を比較した結果を図 SI2 に示す。コミュニティ回収事業で資源物として処理すると、コストが大幅に低下することがわかる。

3.3　社会的側面

コミュニティ回収事業の実施団体は、主に各学区の自治連合会、町内会などである。近年のコミュニティ回収事業実施団体数の変化状況を図 SI3 に示すが、事業の実施団体数は増加することがわかる。

3.4　参加影響要因と課題

京都市では、2006 年家庭ごみ有料化施策が導入され、家庭ごみや資源ごみを出す際、有料指定袋を購入する必要がある。しかしコミュニティ回収事業では、有料指定袋を使わなくても資源ごみは回収される。市民の立場で考えると、ごみ排出に掛かる費用を抑えることが出来ることは、コミュニティ回収事業への重要な参加要因になると考える。そして、回収活動の実施により、資源物の分別、リサイクルの機会を増加し、資源物の処理が促進されることも一つのメリットであると考える。

本事業の現時点での課題として、地域団体を主導する後継者が不足していることと回収団体の認定申請の手続きの煩雑さがある。

4. まとめと今後の予定

調査・評価の結果から、環境と経済の側面では、コミュニティ回収事業は持続可能な状況になっていることがわかる。

社会的側面について、コミュニティ回収事業団体数が増加していることから、地域での回収事業の実施・継続により、活動機会や加入・参加人数が増え、その結果、関係する住民同士のつながりの深化や強化など、コミュニティへの好影響もあると考える。

今後は、社会的側面の影響を中心として、それを定量的に評価できる項目や方法を引き継ぎ検討する。特に、事業への参加要因を分析し、それと資源物回収量やごみ排出量の関係などを分析する予定である。そして、得られた結果を用いて、地方自治体や地域住民が主体となって実施している温暖化防止活動の実効的な実施方策を検討する。

5.　参考文献：

[1] 京都市環境政策局　循環型社会推進部まち美化推進課 2008～2016年　「コミュニティ回収」事務事業評価票
[2] 京都市環境政策局 2008～2014 年 「環境政策事業概要」
[3] 環境政策局循環型社会推進部　ごみ減量推進課　「平成 17 年度から平成 28 年度までのごみ量の推移」

Supporting Information

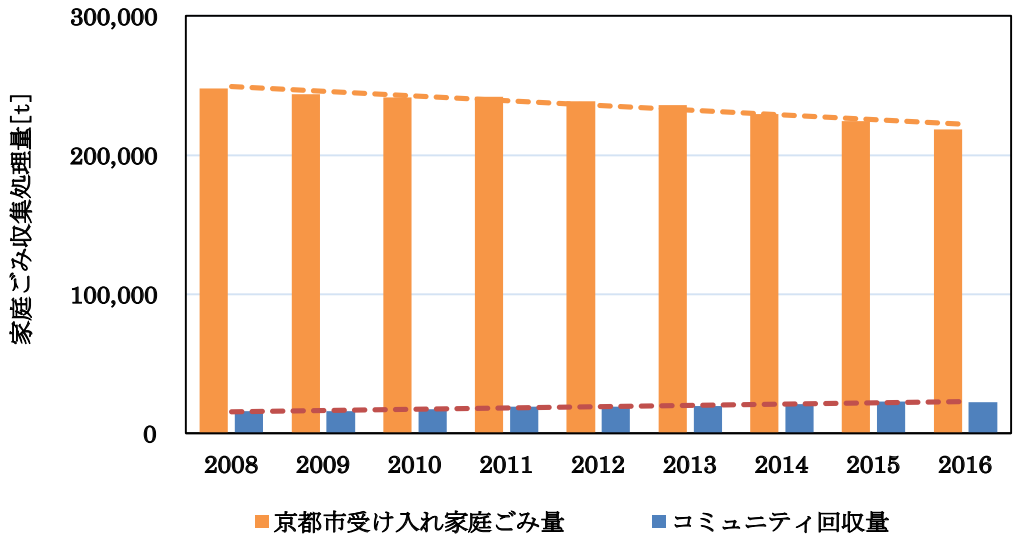


図 SI1　京都市受け入れ家庭ごみ量とコミュニティ回収量の変化[1][3]

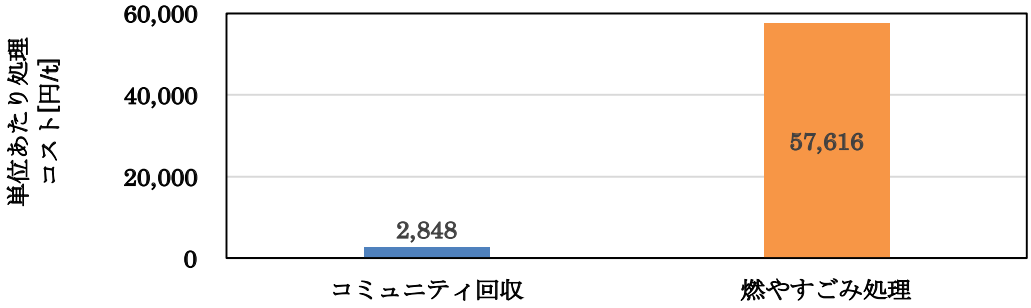


図 SI2　コミュニティ回収処理と燃やすごみ処理のコスト比較 [1][2]

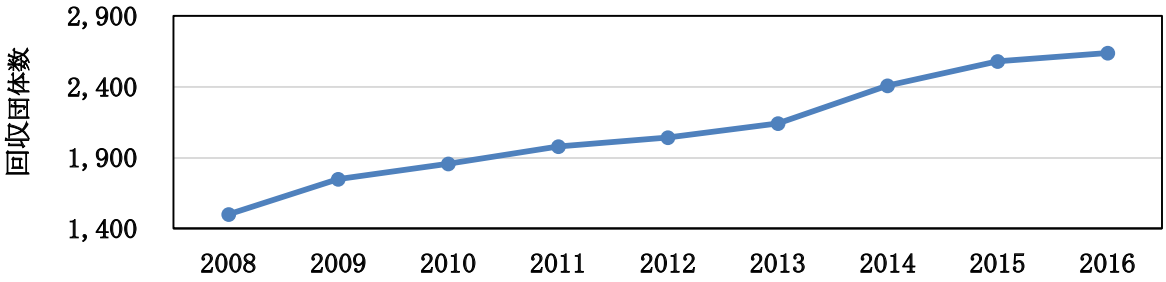


図 SI3　コミュニティ回収事業への登録団体数の変化[1]

C2-08
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

ネットワーク分析を用いた FTA の環境・経済的分析

○時任翔平
九州大学
3EC17108N@s.kyushu-u.ac.jp

1.　はじめに

国際的な分業化や生産拠点の海外移転によって、各国各産業のサプライチェーンネットワークは広く海外に展開した。国際化した市場において各国は自由貿易化を含む様々な協力のため、関税・非関税障壁を取り除く自由貿易協定（FTA: Free Trade Agreement）やその他の経済協力も含む経済連携協定（EPA: Economic Partnership Agreement）の交渉を行ってきた。また、経済の発展とともに増加してきた環境問題についても国際的な協力の必要性が議論されてきた。国際社会のこれからの経済発展は環境保護との共存が必要であり、持続可能な開発が求められている。現在、環太平洋戦略的経済連携協定（TPP: Trans-Pacific strategic economic Partnership agreement）や日欧 EPA などの多国間における大規模 EPA も交渉が進んでおり、環境政策も含めた包括的な議論が行われている。

サプライチェーンの国際的な展開に伴い、サプライチェーンに付随する付加価値や環境負荷の分析が多地域産業連関表（MRIO）を用いて行われてきた。しかし、数十以上の国における数十もの産業間のやり取りから政策のホットスポットを探すのは非常に難しい。大規模 EPA の締結による今後のサプライチェーンネットワークの構造変化に柔軟に対処できる指標が必要である。

本研究では、現在交渉中の TPP、日欧 EPA、RCEP を対象に、世界 189 カ国を対象とした世界多地域産業連関表を用いて隣接行列を作成し、ネットワーク分析を行うことで、EPA 枠内生産に付随するネットワーク構造を網羅的に理解し、持続可能な開発のために焦点を当てるべきセクターについて議論する。

2.　データと分析手法

2.1. 隣接行列の作成

2013 年における 189 カ国を対象とした時系列世界多地域産業連関表(EORA)を用いて、EPA 枠内の各国各商品の最終需要に付随する誘発付加価値と誘発二酸化炭素排出に関するサプライチェーンネットワークグラフを作成する。レオンチェフ逆行列を $\boldsymbol{L}$ 、各産業の 1 単位生産当たりの付加価値額を要素に持つベクトルを $\boldsymbol{v}$ 、各産業の 1 単位生産当たりの CO_2 排出量を要素に持つベクトルを $\boldsymbol{e}$ と置くと、方向重み付き隣接行列はそれぞれ、式(1)、式(2)で表すことができる。

$$\mathbf{G}_{VA} = \mathbf{vLf}^{EPA} \tag{1}$$

$$\mathbf{G}_{CO_2} = \mathbf{eLf}^{EPA} \tag{2}$$

$$f^{EPA} = \begin{cases} \sum_j f_{ij}^r & r \in EPA \\ 0 & r \notin EPA \end{cases}$$

ここで f_{ij}^r は最終需要行列における j 列目の要素が最終消費する r 国の i 産業の財を示している。

2.2. クラスター係数

クラスター係数とは任意の点がつながりを持つ 2 つの点同士がどれほどの割合でつながりを持っているかを示す指標であり、対象のネットワークにどれほどの凝集性があるかを示すことができる。この指標を各 EPA 枠内国のネットワークに用いることで、各 EPA のクラスター性を測り、ネットワークの脆弱な点を見つける。

クラスター係数は元々重み付けのなされていないある程度スパースな無向ネットワークにおける指標として提案されたが(Watts and Strogats., 1998)、Fagiolo (2006) や Zhang and Horvath (2005) によって、重みや方向を考慮したクラスター係数が提案された（式(3)）。

$$C(i) = \frac{\sum_{j,k}\left(g_{ij}+g_{ji}\right)\left(g_{jk}+g_{kj}\right)\left(g_{ki}+g_{ik}\right)}{\sum_{j\neq k}\left(g_{ij}+g_{ji}\right)\left(g_{ki}+g_{ik}\right)}$$

$$C^{EPA} = \frac{\sum_i \left\{C(i)\sum_j g_{ij}\right\}}{\sum_i \sum_j g_{ij}} \tag{3}$$

2.3. 中心性分析

点中心性・辺中心性分析を用いて、サプライチェーンネットワークにおいてハブやコアとなる重要性の高い国・取引を抽出する。中心性指標としては、まず誘発される付加価値及び排出量の大きさを直接示す重みづけ次数中心性を用いて、付加価値額の大きなセクターと環境負荷の大きなセクターを特定する。

次に媒介中心性を用いて、ネットワーク全体に影響を及ぼしやすい産業を見つける。Liang *et al.* (2016), Hanaka *et al.* (2017) では媒介中心性を産業連関分析に応用した指標を提案しており、すべての産業から最終消費される産業

までのすべてのサプライチェーンで中継する付加価値及び排出量を簡単な行列計算で算出できる。Liang *et al.* (2016) で定式化された指標を用いると EPA ネットワークにおける産業 i の点媒介性は(4)式で表せる。

$$b_i = \sum_{s=1}^{n}\sum_{r=1}^{\infty}\sum_{t\in EPA}(q_r \times w) = \mathbf{vTJ}_i\mathbf{Tf}^{EPA} \qquad (4)$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 \cdots$$

ここで、s,t はそれぞれ始点、終点の産業を示し、r は波及階層数、q_r はそのサプライチェーンパスに i が出てきた回数であり、w はそのパスでの環境負荷を示す。

また、Hanaka *et al.* (2017)で定式化された指標を用いると EPA ネットワークにおける産業 ij 間取引の辺媒介性は(5)式で表せる。

$$b_{ij} = \sum_{s=1}^{n}\sum_{r=1}^{\infty}\sum_{t\in EPA}(q_r \times w) = a_{ij}\mathbf{vLJ}_{ij}\mathbf{Lf}^{EPA} \qquad (5)$$

ここで a_{ij} は投入行列における (i,j) 要素を示す。この指標を用いて、EPA 枠内生産に付随するサプライチェーンにおいて媒介性の高い産業を抽出する。

3.　結果

3.1. クラスター係数

日欧 EPA、TPP、RCEP のネットワークにおける各クラスター係数を算出した。付加価値ネットワークにおける結果を図 1 に示す。図 1 より、RCEP が大きく、日欧 EPA より貿易が密になっていることがわかる。排出量に関しても同じことが言え、RCEP において環境規制の枠組みをより強化していく必要がある。

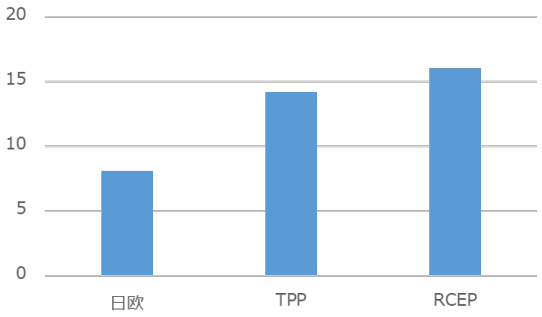


図 1 各 EPA におけるクラスター係数

3.2. 中心性分析

まず、次数中心性の結果は、日欧 EPA においては付加価値、排出量の双方で日本、ドイツ、イギリスの順に大きかったが、辺で見ると中国→日本の取引が最も大きく、中でも電子機器産業間のやり取りが大きかった。RCEP においては、排出量は中国が大きく、次いでインドという結果になった。TPP における排出量ベースの分析では日本における排出量が大きく、次にメキシコ、カナダとなり、日本に輸出される各国の農業生産による排出量が大きかった。

次に媒介中心性の結果を示す。日欧 EPA においては付加価値、排出量の双方で中国、日本、ドイツの順に大きく、枠内国の生産において中国で加工度を上げている割合が大きいことがわかる。辺で見ると中国→日本、中国→ドイツの取引が大きいほか、鉱業資源によりロシア→日本、ロシア→ドイツが大きかった。日欧 EPA においても、日本やドイツなど生産の特に大きな国が中国やロシアに青の生産を依存させているため、ネットワークにおける中心が枠外に存在していることがわかる。TPP においては、付加価値貿易では日本、カナダ、オーストラリアの順に中心性が高く、また、それらの国との貿易額の大きいアメリカの中心性が高くなっていたが、排出量で見ると中国が日本に次いで大きいことがわかった。中国での生産は相対的に付加価値当たりの排出量が大きいことがわかる。RCEP において、排出量の中心性は中国、インド、日本が高く、辺で見ると中国→日本、韓国→中国が大きくなっていた。一方で付加価値貿易においては韓国が高く、付加価値基準と排出量基準での中心点の違いが各 EPA で見られた。

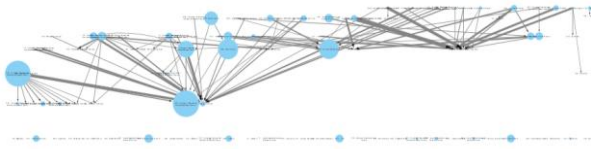


図 2 媒介中心性結果（上位 100 産業及び取引）

4.　考察と結論

早稲田大学における研究発表会にて、以上の結果を踏まえた考察を行い、多地域間 EPA における持続可能な発展について議論を行う。

C2-09
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

環境負荷削減とエネルギーセキュリティをともに担保できる地域施策評価手法の検討

Evaluation Method of Regional Measures
Ensuring Both Environmental Load Reduction and Energy Security

○河合一輝*[1)]，加藤博和[1)]，長尾和哉[1)]
Kazuki Kawai, Hirokazu Kato, Kazuya Nagao
1) 名古屋大学
* kkawai@urban.env.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

日本の都市は，高度経済成長期以降の人口増加とモータリゼーションの進展に伴い，市街地が低密度で拡大した．低密度な都市構造では，市街地維持費用や環境負荷が大きく，将来的には経済的・環境的持続性がますます低下すると考えられる．こうした問題の解決策として，スマートコミュニティ事業が積極的に進められている．これは分散型エネルギーシステムを用いつつ，ICT を活用したエネルギーマネジメントを行うことで環境負荷を削減するものであるが，新規市街地での導入が主であり，既成市街地での展開は進んでいない．

一方，東日本大震災によって判明したエネルギー供給の脆弱性を踏まえ，持続可能な社会の実現のために，環境負荷が小さく自然災害に強い地域を形成する施策が各地で実施されている．その大きな柱として，創・蓄・省エネルギー技術の導入が位置付けられていることが多い．これは環境負荷削減やエネルギーセキュリティ向上を意図しているが，都市活動を行う基盤となるインフラや都市空間構造の改変も同時に行うことで，その効果がより増大することが見込まれる．

本研究では，平常時の CO_2 排出量削減と災害時のエネルギーセキュリティを同時に担保できる施策の導入効果を定量的に評価する手法を構築する．そしてその手法を実地域の更新時に適用し，地域に必要なエネルギー施設の規模や立地状況のあり方を検討することを目的とする．

2. 地域施策評価手法の構築

2.1 CO_2 排出量の推計手法

CO_2 排出量推計手法の概要を**図 1** に示す．対象範囲は民生及び交通部門とする．

民生部門の CO_2 排出量は，各用途別の延床面積に延床面積あたり負荷原単位と月別時間帯別パターン[1)]を掛け合わせることで，需要量を算出する．次に，算出された需要量に機器効率と熱源分担率を掛け合わせることで，エネルギー消費量を算出し，そこに CO_2 排出原単位を乗じることで CO_2 排出量を算出する．エネルギー消費源として系統電力と都市ガスのみとする．

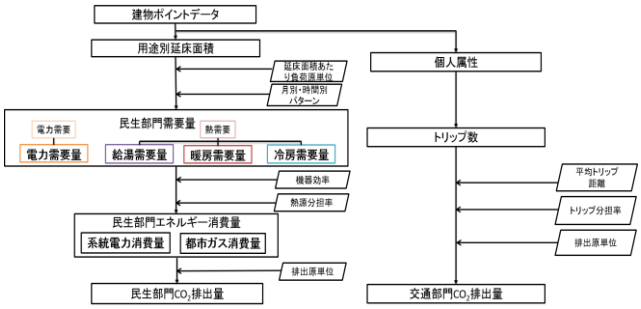


図 1　CO_2 排出量推計手法

交通部門の CO_2 排出量は，住民の移動(通勤・通学，私事)のみを対象とする．住民の個人属性からトリップ数をそれぞれ推計し，推計したトリップ数に平均トリップ距離，トリップ分担率，CO_2 排出原単位をそれぞれ掛け合わせることで算出する．

2.2 災害時のエネルギー自立度の推計手法

災害時のエネルギーセキュリティを評価するため，災害時に最低限必要なエネルギー需要量を満たすだけのエネルギー供給能力を考える．工月ら[2)]が定義したエネルギー自立度指標を用いることとし，式(1)で算出する．エネルギー自立度が 1 を上回る場合，災害時に地域内で必要なエネルギーを自給可能であることを意味する．

$$ELL = \sum_T S_h^e / Q_h^e \qquad (1)$$

ELL：エネルギー自立度，S_h^e：災害時・時間帯別供給量[MJ]，Q_h^e：災害時・時間帯別需要量[MJ]，T：復旧時間

2.3 災害時のエネルギー需要量の推計手法

災害時のエネルギー需要量は，渡部ら[2)]の手法をもとに，式(2)で算出する．

$$Q_h^e = Min(Q_h^n, MLF \bullet Q_{max}^n) \qquad (2)$$

Q_h^n：平常時・時間帯別需要量[MJ]，MLF：災害時の最大負荷率[3)][%]，Q_{max}^n：平常時の最大需要量[MJ]

3. シナリオ分析

3.1 対象地域

本研究では，愛知県春日井市の東部に位置する高蔵寺ニュータウンを対象とする(図 2). 中部圏では最大のニュータウンであるが，近年急激な高齢化と人口減少に伴い，集合住宅を中心に老朽化や空家率上昇といったオールドニュータウン化が問題となっている.

3.2 シナリオの設定

本研究では，表 1 に示す施策シナリオを与え，分析を行った.

BAU は現状維持のシナリオである. シナリオ 1 では，更新の際に集合住宅の撤退・集約及び医療施設を誘致し，用途混合を行う．シナリオ 2 では，シナリオ 1 に加え，誘致した医療施設にエネルギー技術(コージェネレーション，蓄電池)の導入を行う．シナリオ 3 では，シナリオ 2 に加え，集約エリアとエネルギーの面的利用を行う.

3.3 分析結果

各シナリオの CO_2 排出量(図 3)と災害時エネルギー自立度(図 4)をそれぞれ示す.

シナリオ 1 では，エネルギー需要の大きい医療施設を誘致している分 CO_2 排出量が増加しているが，エネルギー技術導入やエネルギー面的利用を推進することによって，その増加分を減少させることが可能となる. また，災害時に活用可能なエネルギー技術を導入したことによって，エネルギー自立度の向上が見込まれる.

4. おわりに

本研究では，地域の更新を行う中で，平常時の CO_2 削減量と災害時のエネルギーセキュリティをそれぞれ担保できる施策を評価する手法を開発した．それを用いて，更新に合わせて政策メニューと技術メニューを導入することにより，CO_2 排出量削減効果と災害時のエネルギーセキュリティ向上効果の両方が見込まれることを明らかにした.

謝辞

本研究は，環境省環境研究総合推進費 2-1706「再生可能都市への転換戦略－気候変動と巨大自然災害にしなやかに対応するために－」(環境再生保全機構)の一環として実施したものである.

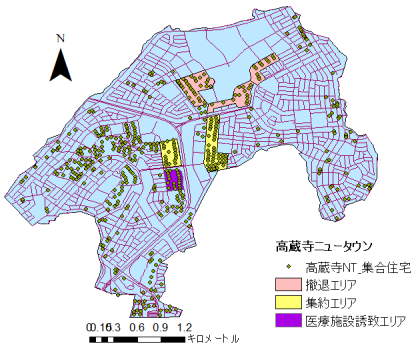


図 2　高蔵寺ニュータウンの地図

表 1　シナリオの種類

シナリオ	撤退・集約用途混合	創・蓄・省エネルギー技術導入	エネルギーの面的利用
BAU	×	×	×
1	○	×	×
2	○	○	×
3	○	○	○

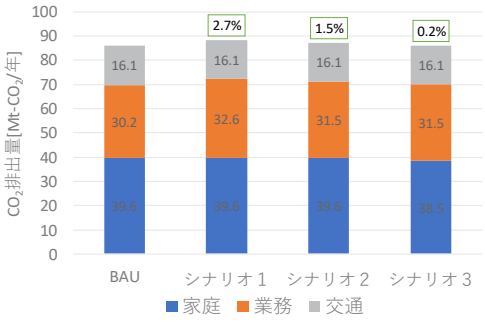


図 3　CO_2 排出量推計結果

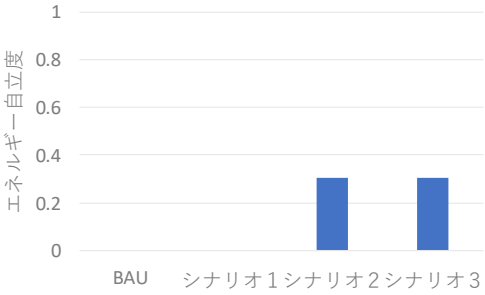


図 4　エネルギー自立度推計結果

引用文献

1. 日本エネルギー学会編，“天然ガスコージェネレーションマニュアル計画・設計マニュアル〈2008〉”，日本工業出版，東京，(2008)，p.339
2. 工月良太ほか：日本建築学会技術報告集，14(28)，(2008)，pp.497-502
3. 渡部彩乃，村木美貴：都市計画論文集，52(3)，(2017)，pp.487-493
4. 建築環境・省エネルギー機構：“スマートエネルギータウン調査報告書”，(2012)，p.70

D2-06,P2-107　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

電子部品工場における水の再利用に着目したウォーターフットプリント

Water footprint of reused water in electric device factory

後藤瞭太*1)　小野雄也 2)　小関康雄 1)　杉本和明 3)　大熊那夫紀 3)　伊坪徳宏 1)
Ryota Goto, Yuya Ono, Yasuo Koseki, Kazuaki Sugimoto,Naoki Okuma,Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学　環境学部 2)東京大学 3) 造水促進センター
* g1462033@ tcu.ac.jp

1. 背景

IPCC 第 5 次評価報告書の政策決定者向け要約によれば、21 世紀を通じて、気候変動の顕在化と人口増加や経済成長に伴う水需要の増加により、淡水資源の供給が切迫し、競合が激化するものと予想されている。そして、水の再利用に関する社会的要請の増加に伴い、平成 25 年 6 月に ISO/TC282「水の再利用」の専門委員会が設置された。委員会は 3 つの SC と TC 直下の 2 つの WG で構成され、日本はその中で水再利用設備の環境影響を含めた性能評価で中心的役割を果たしている。水の再利用設備の性能評価に環境影響を含めるのは、長期間の使用が想定される中で、初期費用等が高くても使用時の性能を高めるが効果的であり、評価はライフサイクル全体に注目することが有効な為である。これまでにウォーターフットプリントの実施は行われているものの、食品や製品に注目したものが多く、設備に注目したものは少なかった。特に精密機器を取り扱う電子機器産業では純水の利用量が多く、工水でも高い純度の水を再生する設備に対する評価の実施は、今後の水資源の戦略的利用を検討するうえで極めて重要と考えられた。

2. 研究目的

本研究では再生水の設備を対象にウォーターフットプリントを行うこととした。純水の利用が多い電子機器製造工場を対象に、再生水利用の効果を検証するため、再利用を行う場合と行わない場合の違いについて比較した。

3. 研究方法

3.1 評価対象項目

電子部品を国内で生産する A 工場を評価対象とした。機能単位は「純水 1m³ の再生利用」とし、WF(水使用量、消費量)と地球温暖化(GHG 排出量)を算定した。さらに、統合化を行うことで気候変動と水資源消費の関係について検証した。

3.2 評価範囲

本研究では、工場の建築部分の製造、水の再利用に関わる設備製造、薬品の原材料調達から生産、使用までをシステム境界とした。輸送、廃棄についてはシステム範囲外とした。

3.3 データ収集

本研究では、回収有り(再利用有り)を A 工場から提供を受けた一次データを利用し、回収無し(再利用無し)を想定したデータは A 工場のデータを基に、造水促進センターの算定ツールを用いて算定した。

3.4 算定方法

本研究での WF(水使用量、水消費量)、気候変動の算定には原単位法を使用した。算定式を以下の式 1,2,3,4 に示す。

水使用量=Σ(活動量×原単位) (式 1)
水消費量=Σ(活動量×原単位×特性化係数) (式 2)
GHG 排出量=Σ(活動量×原単位×特性化係数) (式 3)
統合化結果＝Σ(活動量×原単位×統合化係数) (式 4)

活動量にはヒアリングより得たデータを使用した。(式 1,2,3,4)の原単位は国立研究開発法人産業技術総合研究所安全科学研究部門と LCA 研究グループ一般社団法人産業環境管理協会のインベントリデータベース IDEA（Inventory Database for Lifecycle Analysis）version2.0 を使用した。(式 2)の特性化係数は、矢野らが開発した「Water Availablity Factor」を使用した。(式 3)の特性化係数には GWP(IPCC2013)、(式 4)の統合化係数は LIME3 を用いた。

4. 結果

4.1 WF(水使用量)比較

水使用量の算定結果を図 1 に示す。

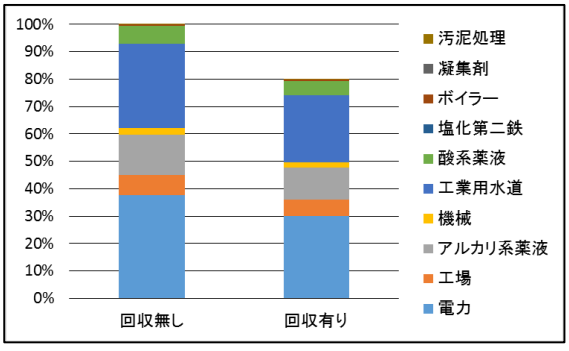


図 1 水再生設備に注目した WF(水使用量)比較

水の再利用を行った場合、全体で約 2 割水使用量が削減された。水の再生に用いる RO 処理は電力を要するため、火力や水力発電で水使用量が増加するが、工場内の水循環を促進することで、工業用水の使用量を抑制することの効果が大きいことが確認された。

4.2 WF(水消費量)比較

水消費量の算定結果を図 2 に示す。

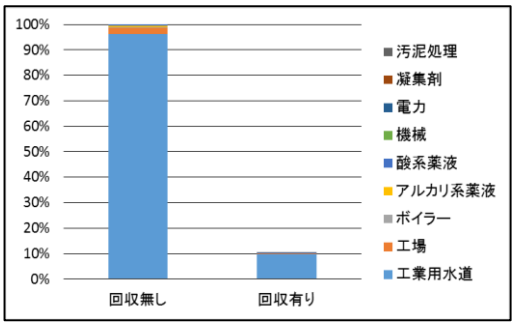


図 2 水再生設備に注目した WF(水消費量)比較

水の再利用を行った場合、約 9 割水消費量を削減することができた。これは図 1 では算定結果に大きな影響を与える発電段階の水使用が消費量の分析には対象とならず、工水の再利用の効果が相対的により大きく見込まれたことによる。

4.3 地球温暖化比較

地球温暖化の算定結果を図 3 に示す。

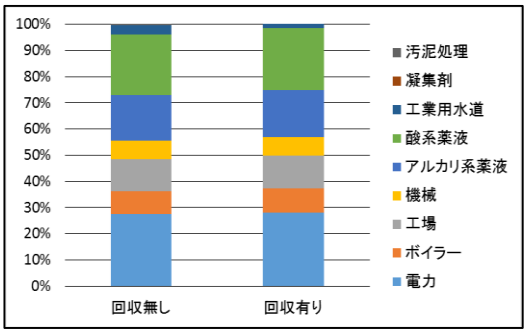


図 3 水再生設備に注目した地球温暖化比較

水の再利用を行った場合、微量であるが地球温暖化への影響が増加した。水の再生工程で電力消費量が増える一方で、水の再生利用の促進が場外に放流する水の浄化に利用する薬品の製造負荷の削減に寄与した。また、本算定対象では水の再利用を行う際、RO 処理を行うことで発生する濃縮水についても蒸発装置を用いて再利用を行っている。この再利用は処理される水量に対して電力消費量が相対的に大きくなっているため、CO2 排出量とのバランスを考慮した運用を検するうえでの基礎資料としても利用されよう。

4.4 統合化結果

統合化結果を図 3 に示す。

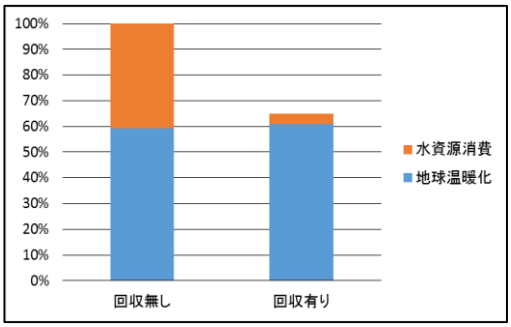


図 3 水再生設備に注目した統合化結果比較

水の再利用を行った場合、統合化結果は約 4 割削減することができた。水再生設備を導入しない場合、水資源消費の影響は 4 割程度含まれており、再生設備の利用により当該影響を大きく削減することが確認された。水資源消費による影響は偏在性が高く、特に同設備を水ストレス性の高い地域に導入すればその効果はさらに高まることが期待される。

5. まとめ

本研究では、水の再利用を行う場合と、行わない場合での工場における環境影響の比較を行った。再利用を行うことで WF(水使用量・水消費量)の削減が確認できたとともに、環境面での優位性が明らかとなった。

6. 課題

本算定においては電子部品工場における水の再利用に着目して算定を行った。工場内で再利用する水はその目的によって純水、超純水と水質が異なる。その為、環境影響評価には算定対象の水処理における具体的なフローを反映することで結果の不確実性を低減させることができるものと考えられる。

参考文献

1） OECD Environmental Outlook to 2050 <http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/oecd-environmental-outlook-to-2050_9789264122246-en#.WgUy3hFlKUk >

2） 再生水利用の国内状況と ISO/TC282 における国際規格化 <http://committees.jsce.or.jp/zenkoku/system/files/%E7%A0%9426_%E6%A4%9C%E8%A8%8E%E4%BC%9A%E8%B3%87%E6%96%99.pdf >

D2-07,P2-106　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

細胞培養を回避した臨床検査薬の開発・生産における環境影響評価

Environmental Impact Assessment in Development and Production Of Clinical Reagent Avoiding Cell Culture

渡辺裕太*[1)]、鈴木健夫[2)]、宇佐美昭宏[3)]、伊坪徳宏[1)]

Yuta Watanabe, Takeo Suzuki, Akihiro Usami, Norihiro Itsubo

1) 東京都市大学　環境学部 2)シスメックス株式会社 3) 宇佐美コンサルティング事務所

* g1462076@ tcu.ac.jp

1. 背景

日本政府は臨床検査等による予防医療に関する取り組みを推進している。臨床検査薬は反応の有無に基づき診断するために、原料として特定の蛋白源を用いる。これまではウサギやウシなどの哺乳類から特定の蛋白源を抽出することが多く、動物愛護の観点から問題が指摘されていた。さらに、蛋白源の抽出には多大なエネルギーを要するため生産性の向上も求められる。

シスメックス株式会社では、臨床検査薬の技術開発に取り組んでおり、臨床検査薬で用いる蛋白源の生産に、一般的に利用されている大腸菌や細胞培養発現系とは異なる、カイコ-バキュロウイルス発現系を開発し利用している。

この発現系の臨床検査薬への活用は、動物愛護に対する対応のみでなく、成分抽出や飼料調達等を含む環境負荷の低減にも大きく寄与するものと期待されるが、これらの効果について調査されていなかった。また、医薬品の開発を含むライフサイクルに注目した環境影響を評価例は少ない。

2. 研究目的

本研究ではカイコ-バキュロウイルス発現系を利用した臨床検査薬「A 製品」に関する環境評価を、従来型の細胞培養を用いて製造される臨床検査薬と LCA 手法を用いて定量的に比較・評価した。今回の評価においては、成分抽出や凍結乾燥などの検査薬製造時のエネルギーや備品の使用が多かったため、気候変動に加えて水や土地にも注目した評価を行うこととした。

3. 研究方法

3.1 評価対象項目

評価対象は免疫血清学的検査に使用される臨床検査薬とする。機能単位は「臨床検査薬 1 ロット（3600 本、60000 サンプル分）」とし、影響領域は、気候変動、水資源消費、土地占有を含めた。

3.2 評価範囲

本研究では、臨床検査薬が製造される前の研究開発、カイコの飼育やカイコの餌となる人工飼料製造、臨床検査薬に関わる原材料の調達段階から製造、輸送、検査までをシステム境界とした。図 1 に示す。

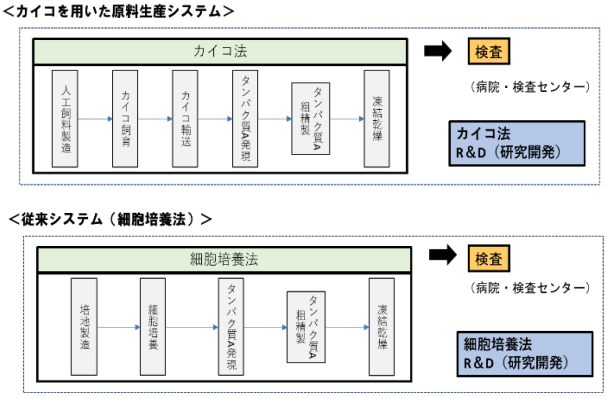


図 1 本研究のシステム境界

3.3 データ収集

本研究では、「シスメックス株式会社」から臨床検査薬の一次データを取得した。

3.4 算定方法

本研究での GHG 排出量、水資源消費量、土地占有の算定には原単位法を使用した。算定式を以下の式 1,2,3 に示す。

GHG 排出量=Σ(活動量×原単位×特性化係数) (式 1)
水資源消費量=Σ(活動量×原単位×特性化係数) (式 2)
土地占有=Σ(活動量×原単位×特性化件数) (式 3)

活動量にはヒアリングより得た一次データを使用した。(式 1,2,3)の原単位は IDEA（Inventory Database for Lifecycle Analysis）version2.0（産業技術総合研究所）を使用した。(式 1,3)の特性化係数には、LIME2 を用いた。(式 2)の特性化係数は、矢野らが開発した「Water Availablity Factor」に記載されている水消費量特性化係数を使用した。表 1 に示す。

表 1 水資源消費特性化係数（日本）（矢野ら）

地下水	地表水	雨水
3.1	1.2	0.6

4. 結果

4.1 カーボンフットプリント

各手法の GHG 排出量の算定結果を図 2 に示す。カイコ法が細胞培養法より 8 割程度低い結果となった。

凍結乾燥、検査段階に関しては活動量が同じため、影響も同じである。(以下他の影響評価も同じである。)それ以外の各段階は細胞培養法の影響が大きくなっている。検査段階が大きいのは、全サンプルを検査する際、検査装置を約 750 時間稼働させる電力が強い影響を及ぼしているためである。

各段階の影響の内訳として、電力が約 9 割を占めており、その要因は室内空調を調節するエアコンが影響を及ぼしている。

細胞培養法のタンパク質 A 発現段階が大きいのは、細胞の培養に長時間を要し、培養装置と室内空調の電力が強い影響を及ぼしている。一方、カイコ法ではカイコの生育時にタンパク質を発現させる。目的の蛋白成分の生産方法の違いが結果に表れた。

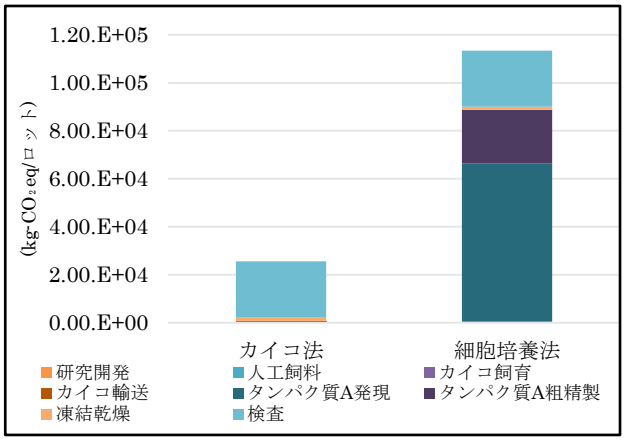


図 2 臨床検査薬を対象とした GHG 排出量結果比較

4.2 ウォーターフットプリント

各手法の水資源消費量の算定結果を図 3 に示す。カイコ法が細胞培養法に対して、半分程度の影響に抑えられることが分かった。

細胞培養法のタンパク質 A 発現段階が大きい要因は、細胞を培養する際の培地や培地に必要とされる各種類の薬品であったが、カイコ法はこれらの影響を大きく低減させることが可能になったことが両者の違いとして表れた。

両者の凍結乾燥段階では、製造された臨床検査薬を箱詰めする作業も含まれており、その際に紙箱を使用するため影響が大きく出てくる。

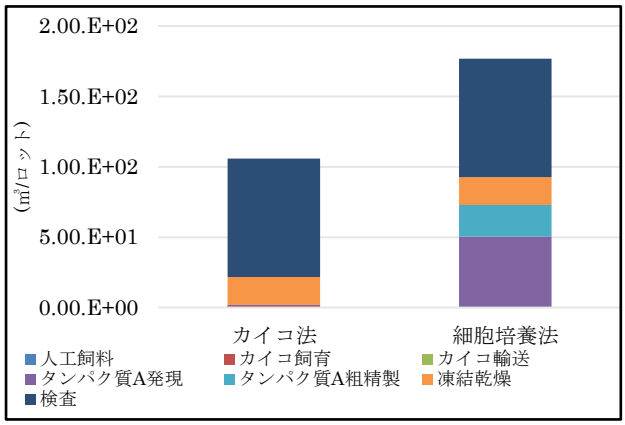


図 3 臨床検査薬を対象とした水資源消費量結果比較

4.3 ランドフットプリント

各手法の土地占有の算定結果を図 4 に示す。カイコ法が細胞培養法より影響が小さい結果となった。

両者の検査段階が大きいのは、検査する際に用いられるゴム手袋を大量に用いるためである。

その他の段階では、電力、工場の面積が大きかった。

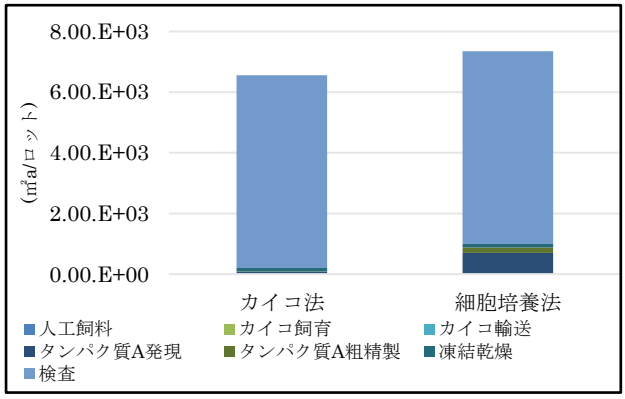


図 4 臨床検査薬を対象とした土地占有結果比較

5. 結論

本研究では、カイコ法と細胞培養法を対象として、臨床検査薬の製造、検査における GHG 排出量、水資源消費量、土地占有の評価を行った。

いずれの結果もカイコ法の環境影響が細胞培養法よりも小さく、カイコ-バキュロウイルス発現系に変更することで大きく環境影響の低減に寄与できることが分かった。今回の評価を通じて、蛋白源の生産に加えて、凍結乾燥、検査備品の消費など、環境に影響する新しい要素を見出した。今後これらの低減に向けた検討が求められる。

参考文献

１） 厚生労働省　医療費の状況
< http://www.mhlw.go.jp/index.shtml >
２） カイコ-バキュロウイルス発現系
<http://procube.sysmex.co.jp/tech/silkworm_outline/>

D2-08
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

Life cycle impact assessment case study: A positive impact of hand-soap

Temuulen Murun*, Shiseido Company, Limited
Temuulen.murun@to.shiseido.co.jp

1. Introduction

Life cycle impact assessment evaluates how emissions have a negative impact on the environment and human health. Personal care products such as hand-soaps, body wash, and shampoo may have an impact on human health due to the emissions from resource extraction, usage as well as during the disposal stage. On the other hand, individual hygiene practices such as hand-washing before food preparation and after defecation could prevent a significant proportion of diarrheal disease because pathogens can be transmitted by hands, contaminated water, and food. Diarrheal disease is the second leading cause of death in children under the age of five, and kills approximately 525,000 children worldwide every year [1].

In this case study, we have tried to combine the environmental impact assessment and quantitative microbial risk assessment to measure a positive impact on human health. We calculated health impact from a hand-soap product life cycle assessment and rotavirus risk assessment of children diarrhea risk. By comparing these two results we could determine an acceptable positive impact of the hand-soap.

2. Research method

2.1 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

SimaPro software and LIME2 method are used to assess human health impact of the liquid hand-soap. The system boundary includes a whole product lifecycle: the product manufactured in Japan, used and then disposed in Indonesia. The secondary packaging, outer boxes, transportation, and distribution are excluded. The use scenario is hand washing before eating and after defecation; and hand washing is 6 times a day for one year. We assumed one time use of liquid hand soap and water is 2g and 3L, respectively. The total raw materials of the hand-soap, plastics for the container and plastic molding process loss per one year use are as follows:

Table1. Raw materials of liquid hand soap

Surfactant	430g	HDPE	260g	Blow molding	7.2%
Other ingredients	1300g	PP	450g	Injection molding	6%
Water in ingredients	2600g				

Human health damage for this case study is 2.3 million yen per DALY [2].

2.2 Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)

“This method has been used to assess the treatment technology for reducing virus and parasites to acceptable levels in drinking water … also it provides a mechanism for developing technology informed disinfection for hygiene and safety”[3]. The assessment has 4 steps: hazard identification, exposure assessment, dose-response relationship, and risk characterization. We have analyzed rotavirus QMRA because it is one of the common causes of acute childhood diarrhea. Children`s exposure is heavily dependent on daily activities, virus transfer efficiency, hand-mouthing behavior, and the surrounding environment. Julian et al (2009) has developed the stochastic-mechanistic model for children (under the age of 6 years) that estimates direct and indirect contact with the contaminate ball. The result from this exposure model and ingested dose has been

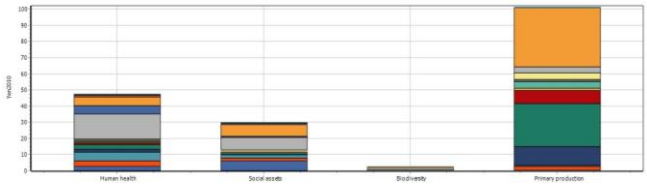
applied for this case study. The best fit model in dose-response relationship for rotavirus is the Beta-Poisson model [2, 5].

$$P(response) = 1 - \left[1 + dose\,\frac{\left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1\right)}{N_{50}}\right]^{-\alpha} \qquad Beta - Poisson\ Model$$

Figure1. Equation for Beta-Poisson model, α: 2.53E-01, N_{50}: 6.17E+00

3. Result and discussion

The highest impacts in liquid hand-soap LCIA are primary production: 101yen and human health impact: 47yen in the total amount for one year/person use (Figure2). In human health impact, the highest contributions are from plastic container manufacturing, disposal of the bottle, use of liquid hand-soap, and propylene glycol raw material extraction. In the disposal stage, open burning of solid waste is considered and for use scenario direct discharge is used because in Indonesia waste treatment is poorly developed in the overall country and advanced wastewater treatment is not installed in rural areas. Therefore these stages potentially contribute to the human health damages.



Firgure2. Overall LCIA result of the liquid hand soap for one year use

According to the stochastic-mechanistic exposure model "a child`s ingested dose from a rotavirus contaminate ball ranges from 2-1000 virus per an hour, with a median value of 42 virus"[4]. Calculating the dose-response relationship using the Beta-Poisson model (Fig2) with this median value of virus (42)[4] per year we get 0.968case/person/year as a risk of childhood diarrhea if children ingested rotavirus. By multiplying this risk with DALY conversion factor of rotavirus (0.394 DALY/case) [2] human health impact will be 0.381DALY/person/year which is equal to 877667 yen/person. A study reveals that washing hands with a liquid soap could reduce by avg. 93.8 percent of rotavirus[6]. If assuming the liquid hand soap for this case study can remove rotavirus at the same percentage (93.8%) we get 823252 yen/person as a benefit of hand washing with soaps.

Even after subtracting the negative impact (47yen/person) from the benefit value we can see the significant amount of positive impact on reduction of children diarrhea risk. This means washing hands with soaps before eating and after defecation could prevent childhood diarrheal disease and reduce mortality on young age children who are sensitive to infectious disease.

4. Reference List

1. WHO report, Global Burden of Disease, 2004
2. Koseki Yasuo and Itsubo Norihito, A preliminary study of the life cycle based cost benefit analysis for water purifier as an adaptation of climate change, 2017
3. Ryan. O Micheal et al, Application of quantitative microbial risk assessment for selection of microbial reduction targets for hard surface disinfectants, 2014
4. Julian. R Timothy et al, A model of exposure to rotavirus from non-dietary ingestion iterated by simulated intermitted contacts, 2009
5. Quantitative microbial risk assessment wiki
6. Ansari.A Shamim et al, In vivo protocol for testing efficacy of hand washing agents against viruses and bacteria: experiments with rotavirus and E. coli, 1989

D2-09
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

すすぎ性を向上した泡状洗顔料のカーボンフットプリントと水消費の分析

The Carbon Footprint and the Water Consumption of Easy-Rinse Foaming Face Wash

○大橋憲司*
Kenji Ohashi
株式会社資生堂
* kenji.oohashi@to.shiseido.co.jp

1. はじめに

2015 年 12 月に開催された COP21 において、産業革命以前を基準とした気温上昇を 2℃以内に抑えることをターゲット、1.5℃以内に抑えることを努力目標に設定し、今世紀後半までに人為的な GHG 排出と人為的な吸収とをバランスさせて実質的な GHG 排出ゼロを目指すことを明記したパリ協定が結ばれた。気候変動問題は、今や世界経済にとって最も重要なリスクの一つと捉えられており、企業にとって GHG の排出削減は、2℃目標達成のための責務であるだけに留まらず、自社の長期的な持続的成長の担保という意味において、非常に重要な意味を持つ。パーソナルケア・化粧品産業では、洗浄製品やシャワー製品の使用に伴う GHG 排出がバリューチェーン全体からの排出のうち 70～75%を占めることが報告されており、また、製品レベルでも使用段階の環境負荷削減の可能性と重要性が指摘されている。洗浄製品の使用段階における GHG 排出は、その大部分がすすぎに使用される湯の昇温に起因するため、使用段階の GHG 排出を削減する取り組みは、同時に、使用段階での水消費を削減する事にも繋がるが、すすぎ性能向上による削減効果を実際の製品で検証した事例はこれまで報告されていない。

本研究では、使用段階におけるすすぎやすさを改善した泡状洗顔料について、一般的なペースト状の洗顔料および通常の泡状洗顔料と比較した場合の GHG 排出および水消費の削減効果を評価した。加えて、すすぎ水の温度に対する感度分析として、低い温度の湯ですすぎを行った場合の GHG 排出削減効果について評価を実施した。

2. 方法

2.1 評価対象製品と機能単位

すすぎ性を向上した泡状洗顔料を評価対象製品とした。比較対象製品としてペースト状洗顔料（比較対象製品 1）およびすすぎ性についての成分処方の工夫を施していない通常の泡状洗顔料（比較対象製品 2）とを選択し、製品ライフサイクルを通じた GHG 排出量および水消費量の比較を行った。評価対象製品については、ポンプフォーマーつきボトル形状のレギュラー品に加えてパウチ形状の詰め替え製品も販売されている。レギュラー品（使用回数 : 60 回分）とつめ替え品（使用回数 : 52 回分）の販売数量比（2015 年度実績）がおよそ 1:2 であったことから、評価の機能単位は「洗顔 164 回」とした。比較対象製品 1 については容器形状がチューブタイプであり、使用者によるつめ替え行為が不可能であることから、同製品をつめ替えなしに 164 回使用するとシナリオを設定した。

評価対象製品は、汚れ成分の水への分散性を高める成分上の工夫を施してあることから、比較対象製品 2 の成分構成はわずかに異なっている。また、内容物の成分処方の工夫によるすすぎ性能の向上に着目して比較するため、比較対象製品 2 の容器包装の構成は、評価対象製品と同一と仮定した。

2.2 システム境界と製品の使用条件

「原材料の調達」「製品の製造」「流通」「使用」「廃棄」の各段階における GHG 排出量を、評価対象製品および両比較対象製品について評価した（図 1）。

ただし、評価対象製品および両比較対象製品ともに常温での販売であることから、店舗販売において大きな負荷が発生しないと考え、販売時の GHG 排出および水消費については算定範囲から除外している。また、廃容器のリサイクル段階については、別の製品原材料の製造段階と捉え、同じく算定範囲から除外している。

洗顔料は使用時にすすぎで消費する湯を沸かす必要があるが、湯沸かしに必要となるエネルギー量は、製品を使用する地域の気温に依存する（同じ温度の湯を作るために、気温の低い地域では昇温幅が大きくなり、消費されるエネルギー量も大きくなる）。そこで、評価地域は、評価対象製品を販売している日本（東京）と仮定し、平均気温 17℃というシナリオで評価を実施した。

3. 結果

3.1 製品使用時のすすぎ水量の比較

社内パネル（N=17）による洗顔テストを実施し、すすぎ時間を計測した。比較対象製品 1 ではすすぎが完了するのに平均 44 秒かかったのに対し、評価対象製品では平均 28 秒ですすぎが完了した。次に、評価対象製品と比較対象製品 2（通常の泡状洗顔料）との比較

試験として、社内パネル（N=13）による洗顔テストを実施した。比較対象製品 2 ではすすぎが完了するのに平均 40 秒かかったのに対し、評価対象製品では平均 26 秒ですすぎが完了した。

洗顔テストで使用した水道栓の単位時間あたりの流量を測定し、計測したすすぎ時間に乗じることにより、すすぎで消費される水量を求めた。

表 1 製品使用時のすすぎ水量

項目	平均すすぎ水量
評価対象製品	2620 mL
比較対象製品 1	4110 mL
比較対象製品 2	4020 mL

3.2 GHG 排出量および水消費量比較

評価対象製品となるすすぎ性を向上した泡状洗顔料と、比較対象製品 1 および比較対象製品 2 の使用段階における GHG 排出量および水消費量を算定し、機能単位（洗顔 164 回）あたりの GHG 排出量と水消費量とを「原料の調達」「容器包装の調達」「製品の製造」「流通」「使用」「廃棄」の段階毎に算出した。本結果は、2 回の内容物のつめ替えによる容器包装の削減効果を加味した比較を示している。

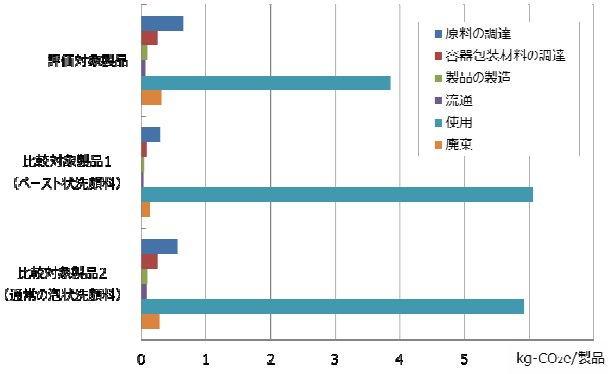


図 1 GHG 排出量比較

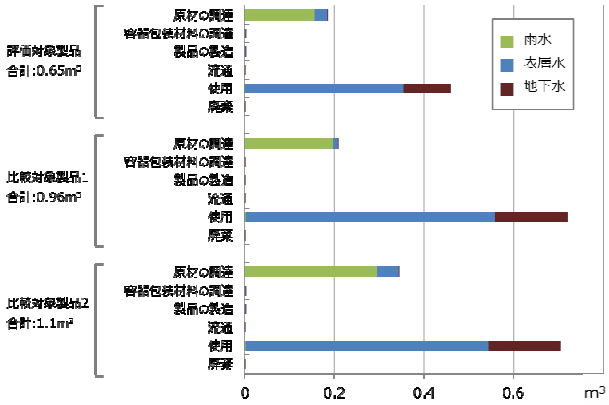


図 2 水消費量比較

3.3 使用シナリオによる GHG 排出への影響

洗顔料のライフサイクル GHG 排出量には、製品使用時のすすぎの湯温と水量が大きな影響を与える要因であることから、湯の温度を変化させたときの機能単位（洗顔 164 回）あたりのライフサイクル GHG 排出量を算出し、比較を行った。その結果、比較対象製品 1 との比較において、湯温が 23℃以下、つまり昇温幅が 6℃以下の場合には、評価対象製品の GHG 排出量が比較対象製品を上回る結果となった。これは、すすぎの湯を製造するために必要となる都市ガス 13A の製造および燃焼による GHG 排出の削減効果よりも、製品を構成する容器の製造や内容物成分の分解による GHG 排出の寄与が大きくなるためである。

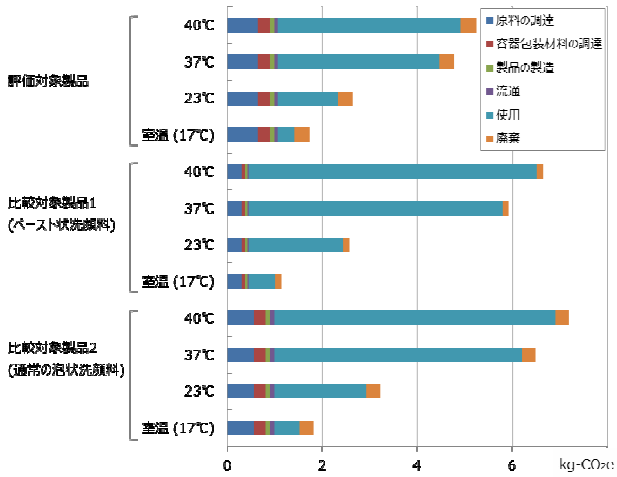


図 2 GHG 排出量比較

4. まとめ

本研究では、すすぎ性を向上した泡状洗顔料のライフサイクル GHG 排出量および水消費量を評価し、すすぎ性の向上とつめ替え品による削減効果を確認した。しかしながら、こうした削減効果は、前提条件に示した平均気温や実際の使用時の湯温だけでなく、消費者の継続購入回数、販売地域における生活習慣や廃棄容器の処理システム、下水設備などのインフラストラクチャーの整備具合など、さまざまな条件の影響を受ける。こうした様々な要因を踏まえた分析を元に、製品システムの最適化と環境負荷の最小化を図っていくことが重要である。

5. 謝辞

本研究は、（一社）日本化学工業協会 LCA ワーキンググループにおいて cLCA 事例として検討した成果をまとめたものである。中橋順一ワーキンググループ主査をはじめ、有益なご助言をいただいたワーキンググループ委員各位、ならびに（一社）日本化学工業協会事務局各位に深く感謝の意を表する。

A2-14

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

地球温暖化対策に関する政策への ライフサイクルアセスメント活用へ向けた課題

Issues of application of life cycle assessment into policies of global warming countermeasure

○鶴田祥一郎*1)、中野勝行 1)、神崎昌之 1)

Shoichiro Tsuruta, Katsuyuki Nakano, Masayuki Kanzaki

1）一般社団法人産業環境管理協会

* tsuruta@jemai.or.jp

1. はじめに

パリ協定に基づき、日本では 2016 年 5 月に地球温暖化対策計画（以下、「温対計画」）が閣議決定された。この温対計画の目標に向け、地球温暖化対策に関する政策展開が喫緊の課題となっている。

地球温暖化対策については環境省や経済産業省を中心として環境政策を展開しており、2017 年度予算案では、8,176 億円が計上されている。特に環境省においては、パリ協定に向けた温室効果ガス（GHG）排出削減量の算定に加え、政策評価として行政事業レビューでも GHG 排出削減量の算定が必要とされている。定量的な環境影響評価手法である LCA への親和性が高いと考える。

しかしながら、政策を進めるに当たり、また政策評価として LCA を用いた結果等を用いられた適用事例が一部では実施されているものの、その一部においても追加情報として記載されているに留まっている。そこで本報では環境省の地球温暖化対策政策等から見る環境政策への LCA 適用における障壁について整理を試みた。

2. 日本における環境政策

2.1 地球温暖化対策の推進に関する法律

1998 年に「地球温暖化対策の推進に関する法律」が制定され、この法律に基づいて政府および地方自治体において地球温暖化政策が進められている。温対計画は、本法を基本として、パリ協定での審議等を反映し、取組むべき方針の詳細版として作成されたものである。現在は温対計画に沿って環境政策を進めるよう本法も改定されている。

2.2 財源による使用目的の制限

環境省の財源の中心は、石油石炭税等で構成されているエネルギー特別会計である。石油石炭税については、2012 年に地球温暖化対策のための課税が特例として追加され、これらの税の使用目的の一つとして、国内のエネルギー起源 CO_2 排出抑制対策が定められている。環境省は、このエネルギー特別会計予算で許されている範囲、また一般財源を用いて温対計画に基づく施策等を計画・施行している。

そのため当該ライフサイクルにおいて海外で多くの GHG が排出される場合は削減効果がなく本末転倒になる可能性がある。しかし、現在の政策運用では、それらを適切に評価する枠組みがない。

2.3 行政事業レビュー及び算定ガイドブック

環境省は行政事業レビューにおいて波及効果を含めた形で GHG 排出削減量を求め、政策として投入した事業費との比で 1t 削減に係る費用対効果を評価している。行政事業レビューシートを確認することで、地球温暖化対策への定量的な貢献度を確認することができる。当該 GHG 排出削減量は、「地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック」（以下、「算定ガイドブック」）に沿って算出することとなっている。そこで、本稿では特に LCA の政策活用へ向けて、算定ガイドブックへの LCA 導入の障壁について考察する。

3. LCA 導入における課題

LCA 導入を検討した際の課題について下記に整理した。また、それら課題間の関係性について図 1 にまとめた。以下でそれぞれの課題について説明する。

① ISO14040:2006 との整合

算定ガイドブックによる評価は、GHG の「削減量」の算出であり、既存製品やシステム等、所謂ベースラインとの比較が前提となる。そのため、ISO14040 で定義されている比較主張に該当する可能性がある。なお、行政事業レビューは外部評価によるものである。そのため当該手続きは第三者によるクリティカルレビューに相当するとも解釈できるため、仮に比較主張に該当しても ISO 上問題ない可能性がある。

② 新製品・技術等の評価方法

新素材/製品やシステム等の技術開発や実証など政策で支援する場合は、当該支援の結果を評価する必要がある。しかし、研究開発や実証レベルでは技術的成熟度が低く、量産時等において期待される環境性能が発揮されていない場合がある。そのため信頼性の高い

データ収集ができず、政策判断が難しいケースが生じる可能性がある。

政策では 2050 年目標等、長期目線での検討が必要不可欠であり、長期的な目線で評価を実施する際の評価方法の確立が必要である。

③　普及啓発等の評価方法

環境省では COOL CHOICE 等の普及啓発事業等も実施しているため、それら普及啓発運動等に LCA を適用する際の評価方法の確立が必要である。

④　ベースラインの設定

ベースラインの設定によって GHG 削減量は大きく異なる。例えば、新規 LED 電球の開発による GHG 削減効果を算定する際、ベースラインを従来型の LED 電球と白熱電球のどちらかにするかによって結果は大きく異なる。さらに、波及効果を含めると更に大きな差異が生じる。

⑤　システム境界の設定

LCA では国内外の GHG 排出を同様に評価する。地球温暖化対策推進法においては、地球規模の GHG 排出量の削減が目的とされているが、地球温暖化対策のための税由来のエネルギー特別会計を用いる事業の場合、日本国の GHG 排出削減に資することも条件として加わる。同法の運用では海外での削減効果が認められないため、評価範囲の設定での注意が必要となる。

⑥　GHG 排出原単位

政策としての評価対象は広範囲に渡るため、電力、熱、素材製造等に係る原単位が必要となる。また、新製品・部品、システム等の原単位などの対応について決めなければならない。さらに、電力等の原単位においては毎年度、環境省の制度で更新されるものもあるため、それらと IDEA 等の一般的な LCA データベースとの整合性についても考慮が必要である。

⑦　データ収集について

政策として評価する時間軸として、事業実施前にも GHG 削減効果を算出する必要があり、その際のデータ収集方法についても検討が必要である。

⑧　再現性の確保

国際規格では LCA の評価方法（配分等）の自由度が高く、またバックグラウンドデータの選択によって結果が異なる。そのため、トレーサビリティーを確保できるガイドライン等が必用となる。また、例えば補助金の審査基準に LCA 結果を用いるのであれば、より具体的なルールが必要となる。

⑨　他の影響領域との優先順位

算定ガイドブックには GHG 排出削減量の算定のみの記載となっている。しかし、最終処分場の延命や生物多様性の保全など、地球温暖化対策以外の政策もある。横断的な LCA と特定課題に特化した政策評価基準とではギャップが生じやすい。

⑩　LCA 実施者の育成等

GHG 削減効果の算定は、事業実施後だけでなく、新規予算要求時においても必要となる。政策として予算要求をする際の LCA 試算を実施するに当たり、公平性の観点から外部への委託等はできず、内部算定者による実施が必須となるが、日本における中央省庁等で働く公務員人事の性質上、2 年から数年での異動が多いため、LCA 算定技術の継承、もしくは理解し易い算定ツール等が必須となる。

4. 結果と考察

今回、環境省における環境政策への LCA 導入を検討した際の課題について検討し、LCA との親和性が高いものの、ISO との整合性や、公務員特有の異動等による削減効果算定技術の継承等について検討すべき障壁を整理した。全体最適の観点から政策に LCA 導入を推奨すべきであるが、今回整理した課題について解決策を検討しつつ、導入を期待したい。

5. 引用文献

1)　環境省：“平成 29 年度地球温暖化対策関係予算案について”, 環境省ホームページ,（オンライン）, 入手先 ＜ http://www.env.go.jp/press/103717.html>,（参照 2018-1-4）

2)　環境省地球環境局：“地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック＜初版＞平成 24 年 7 月”, 環境省ホームページ,（オンライン）, 入手先 <https://www.env.go.jp/earth/report/h24-05/full.pdf> ,（参照 2018-1-4）

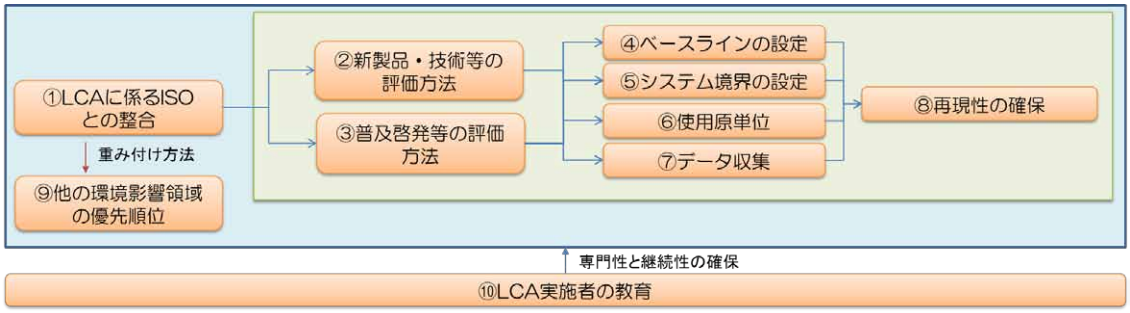


図 1：LCA 導入における課題間の関係性

A2-15,P2-048　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

欧州 RoHS 指令改正に伴うフタル酸エステル類試験法における環境影響評価

Environmental impact assessment of phthalates analysis with respect to the European RoHS Directive(2011/65/EU)

○奥村真太郎*[1)]、竹中みゆき [2)]、鈴木春生 [1)]、伊坪徳宏 [1)]
Shintaro Okumura[1)] Takenaka Miyuki[2)] Haruo Suzuki[1)] Norihiro Itsubo[1)]
1)東京都市大学　2)日立ハイテクノロジーズ
* 1462018@tcu.ac.jp

1. 背景

2015年6月4日に公布された2015/863(EU)において、RoHS指令(Directive 2011/65/EU Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)に従来の使用制限6物質(Cd,Pb,Hg,$Cr6^{+}$,ポリ臭化ビフェニル(PBB),ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE))に加えて、フタル酸エステル類4物質(フタル酸ジイソブチル(DIBP)),フタル酸ジブチル(DBP),フタル酸ブチルベンジル(BBP),フタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP))が追加され、禁止物質が合計10物質となった。法律遵守のためには、製品中の含有化学物質の情報伝達や試験による確認が必要であり、従来の使用制限6物質は蛍光X線分析によるスクリーニング分析が行われてきたが、フタル酸エステル類については化学構造の中にハロゲン元素や金属元素を含まないため、従来のスクリーニング分析方法である蛍光X線分析の適用が困難となった。

フタル酸エステル類の分析方法としては樹脂試料から溶媒で目的成分を抽出し、ガスクロマトグラフ質量分析法(以下 GC/MS とする)で測定する方法が一般的に用いられている。現在、ISO8124-6 などでは前処理としてソックスレー抽出または溶媒抽出法を用いることが推奨されている。しかし、この方法はジクロロメタンなどの有機溶媒が多量に必要であること、試料から目的成分を抽出するのに多くの時間を要すことが問題視されている。

今後、改正 RoHS 指令によりフタル酸エステル類の分析が多く行われることが予想され、効率的かつ環境や人体に及ぼす影響を最小限に留めた分析方法の確立が求められた。

2. 研究目的

本研究では、ソックスレー抽出法を用いた GC/MS を行う前に、一次スクリーニングとして加熱脱離質量分析を行った場合を含む 3 シナリオで環境や人体に与える影響を定量的に評価し、加熱脱離質量分析を導入する効果を把握することを目的とした。

異なる 2 つの分析方法を組み合わせたシナリオを対象に、材料調達段階から使用、廃棄に至る分析方法のライフサイクルにわたる環境影響を定量的に評価することで、環境面で優れたフタル酸エステル類の分析方法の提案を行うことを目指す。

3.研究方法

3.1 評価対象

本研究では、フタル酸エステル類の分析方法である、加熱脱離質量分析とソックスレー抽出法-GC/MS を評価対象とする。スクリーニング法としての加熱脱離質量分析は、固体試料中の目的成分を直接質量分析計へ導入できるため、多くの工程を省略できる。

表 1 対象とするフタル酸エステル類の分析方法

加熱脱離質量分析

工程	詳細	算定への考慮
①準備	・フタル酸エステル類を含む試料を準備する	×
	・検量線の作成(一点検量:25ml)	○
②裁断・粉砕	・試料の裁断	×
③加熱、測定	・分析装置で測定する	○
	・サンプルを自動で装填	○
	・キャリアガス(窒素ガス)	○
	・サンプルカップ	○

ソックスレー抽出法-GC/MS

工程	詳細	算定への考慮
①準備	・フタル酸エステル類を含む試料を準備	×
	・検量線の作成(4点検量:25ml×4)	○
②裁断,粉砕	・試料の裁断	○
	・試料を液体窒素で凍結粉砕	×
③溶解抽出	・樹脂を溶解させる	○
	・溶解(ソックスレー抽出時)	○
	・ソックスレー抽出に必要な器具	×
	・換気する(ドラフト)	○
	・サロゲート添加	×
	・溶解、抽出時に放出されるジクロロメタンの量	○
④濃縮	・ジクロロメタンの体積が10mlになるまで濃縮	○
	・圧力を加える	○
	・冷却する	○
⑤測定	・GC/MSで測定する	○
	・キャリアガス(ヘリウム)	○
	・カラムの交換	○
	・内標準物質添加	×
	・サンプルカップ	○

3.2 シナリオ設定

本研究では、フタル酸エステル類の定量分析を 100 社で行う場合を 3 つのシナリオに分け、算定を行った(表 2)。1 社あたり 5 ラボを有していると仮定し、1 年間(250 日)で 10,000 検体(検量線作成分は除く)のフタル酸エステル類の定量分析を行うこととし、これを 100 社で行い、「1,000,000 検体/年を対象としたフタル酸エステル類の定量分析」を機能単位とした。

表 2　シナリオ設定の詳細

	詳細	スクリーニング法	定量法
シナリオ 1	フタル酸エステル類のスクリーニング法を使用しない場合	-	100% (1.0E+06)
シナリオ 2	スクリーニング分析を用い、2017～2018 年に企業が規制対応する場合	100% (1.0E+06)	30% (3.0E+04)
シナリオ 3	2019 年以降、RoHS 指令でフタル酸エステル類の規制が開始された場合	100% (1.0E+06)	5% (5.0E+03)

4. 算定方法

本研究では GHG 排出量、人間健康、統合化を算定対象とした(算定式は以下の式 1,2,3 に示す)。

特性化＝Σ(活動量×原単位×特性化係数) (式 2)

被害評価＝Σ(活動量×原単位×被害評価係数) (式 3)

統合化＝Σ(活動量×原単位×統合化係数) (式 4)

5. 結果

5.1 統合化

一次スクリーニングとして加熱脱離質量分析を用いた場合の統合化の算定結果を図 1 に示す。(方法 1：加熱脱離質量分析、方法 2：ソックスレー抽出法-GC/MS とする)シナリオ 1 とシナリオ 2、シナリオ 3 のスクリーニング法が存在する場合を比較すると、スクリーニングの導入効果が大きいことがわかる。

ライフステージ別では、3 シナリオ共に、方法 2 の使用段階が 7 割以上を占める結果となった。これは主に、試料から目的成分を抽出する際の前処理に多くの電力消費を伴うことが影響している。スクリーニング法を利用することで全体の環境影響が大きく削減されることが分かった。

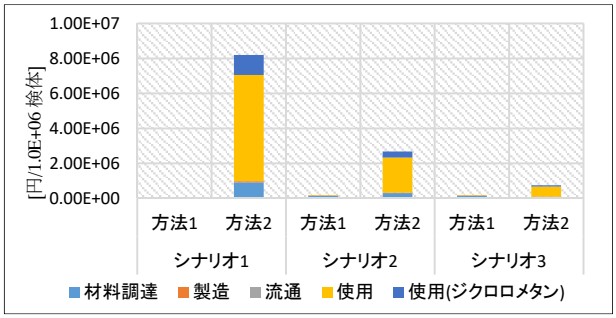


図 1 フタル酸エステル類の試験方法の統合化結果

5.2 人間健康

3 シナリオを対象とした人間健康の算定結果を図 2 に示す。統合化と同様、スクリーニング法の利用により大きく健康影響は削減した。いずれのシナリオも使用段階が大部分を占めた。被害評価に利用した LIME2 はジクロロメタンの大気、水圏への放出の係数は存在するが、室内放出の係数が存在しないため過小評価となっている可能性が高い。

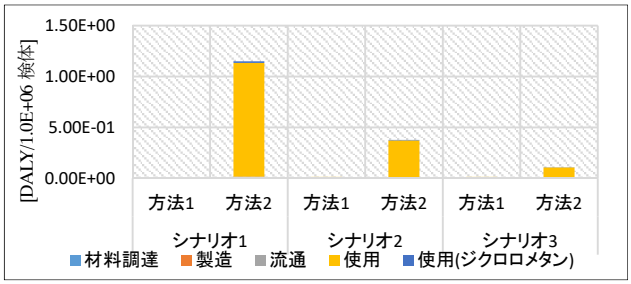


図 2 フタル酸エステル類の試験方法の被害評価結果(人間健康)

5.3 地球温暖化

3 シナリオの地球温暖化の結果を図 3 に示す。3 シナリオに共通して、使用段階が大部分を占めた。主に、分析の前処理にかかる電力消費が使用段階の 8 割以上を占めており、それに伴う CO_2 排出が影響している。

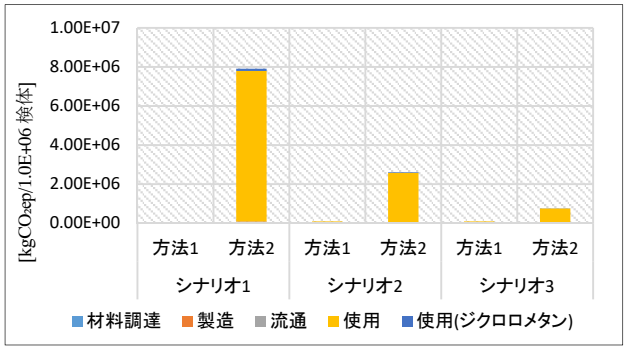


図 3 フタル酸エステル類の試験方法の特性化結果(地球温暖化)

6. 結論・課題

本研究では、フタル酸エステル類の定量分析を行う際、一次スクリーニングとして加熱脱離質量分析を導入した場合の環境影響を評価した。いずれの結果もスクリーニング分析を導入することで、環境影響を大幅に削減できることがわかった。主にソックスレー抽出法-GC/MS の前処理にかかる消費電力がどの影響領域においても強く影響を及ぼしている。しかし、スクリーニング分析を行うことで、精密分析の分析回数を減らすことができ、全体の環境影響を削減できることがわかった。

本研究における課題としては廃棄段階を考慮できていないため、過小評価となっている可能性がある。

7. 参考文献

1) J-Net21 RoHS(Ⅱ)附属書Ⅱ修正の官報公示
<http://j-net21.smrj.go.jp/well/rohs/column/150619.html>

2) 三島隆之：「化学物質規制と製品含有化学物質管理」
<http://www.sei.co.jp/technology/tr/bn191/pdf/191-01.pdf>

3) 環境省：(財)日本環境衛生センター「製品中の有害物質に起因する環境負荷の低減に関する調査報告書(平成 17 年 7 月)」
<http://www.env.go.jp/press/101507.html>

4) 電機・電子 4 団体作成 EU RoHS 指令制限対象フタル酸エステルに関する注意点-詳細
<http://www.env.go.jp/press/101507.html>

A2-16

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

省エネ対策制度再設計に向けた住宅エネルギー消費実態の解明

Elucidation of household behaviors and energy consumption for redesign of energy conservation measures system.

○本田智則*[1)]

Tomonori Honda

1) 産業技術総合研究所

* tomonori-honda@aist.go.jp

1. はじめに

2015 年 12 月にパリで開催された第 21 回気候変動枠組み条約締約国会議（COP21）において、2020 年以降の地球温暖化委対策の枠組みを取り決めたパリ協定が採択された。2016 年 11 月には日本もパリ協定に批准し、2030 年までに 2013 年度比 26%の温室効果ガス排出削減義務を負った。

表 1　部門別温室効果ガス排出量の目安

	2013年度 排出量実績	2030年度 排出量目安	2013年度比 削減率
エネルギー起源CO2	1235	927	24.9%
産業部門	429	401	6.5%
業務その他部門	**279**	**168**	**39.8%**
家庭部門	**201**	**122**	**39.3%**
運輸部門	225	163	27.6%
エネルギー転換部門	101	73	27.7%

単位：百万トン-CO2

表 1 に示した 2030 年度部門別排出削減目安の中で特に注目すべきは、業務部門、家庭部門の温室効果ガス排出削減率の高さである。両部門では、2030 年度までに 2013 年度比約 40%の温室効果ガス排出削減が求められており、対策は急務である。

このような現状を踏まえ、業務、家庭部門における省エネ対策は多数提案されている。しかし、温室効果ガス排出削減に向けた取り組みに対する投資主体が存在する業務部門に比べて、投資主体が個人となる家庭部門における対策は業務部門に比べて高い投資効率性が求められる。

家庭部門の温室効果ガス排出削減対策としては、断熱改修、高効率給湯器の導入、高効率照明の導入など新規設備の導入が伴うものが挙げられている。また、HEMS の導入や国民運動の推進等、生活行動の変容による温室効果ガス排出削減に大きく依存している。

これらの対策は理論上は省エネに資することが明らかである一方、生活者のライフスタイルの変容を考慮できていないため、結果的な省エネに資するかについて実データに基づいた検証が必要である。

例えば断熱改修を例にすれば住宅の断熱性能が向上することで結果的に冷暖房費が削減され、省エネに資することは明らかである。しかし、この省エネを実現するためには、「断熱改修前のライフスタイル」と「断熱改修後のライフスタイル」が変化しないことが前提にある。断熱改修を行ったことによってライフスタイルがエネルギー消費量を増大させる方向に変容する可能性は否定できない。

そこで、本研究では約 2 万世帯の住宅に設置された HEMS データのうち基幹データを用いて、住宅の断熱性能の向上とエネルギー消費量、及び再生可能エネルギー固定価格買取制度の違いが家庭のエネルギー消費量に与える影響を例にして、省エネ施策におけるライフスタイル変容の考慮の必要性について検討することを目的として実施した。

2. データの概要と分析方法

本研究では住宅メーカー、HEMS 販売メーカーから提供を受けた全国のオール電化住宅 22,035 世帯の住宅の 1 時間毎消費電力データと世帯人数、年齢、及び住宅延べ床面積、断熱性能、郵便番号に基づいた住宅所在地等住宅仕様のメタ情報に基づいて分析を行った。

本研究では、上記データのうち住宅所在地の気象条件をそろえるため、断熱性能の分析については月ごとの外気温度が類似した東京都、茨城県、神奈川県、埼玉県、静岡県を対象として分析を行った。対象世帯数は 7753 世帯であった。また、再生可能エネルギー固定価格買取制度に関する検討においては、神奈川県と静岡県を対象として分析を行った。再生可能エネルギー買取制度の検証においては、日照条件の変化が与える影響を可能な限り排除するため、気象庁が公開する気象観測所データにおいて類似した全天日射傾向であり、かつ、データ数が十分に確保できた 2 県を対象とすることとした。対象世帯数はソーラーパネルの設置された 986 世帯であった。このうち、514 世帯で全量買取制度、472 世帯では余剰電力買取制度での売電が行われていた。

対象世帯は新築から 5 年以内の戸建住宅のみとなっている。これは、HEMS が普及しはじめた時期の制約である。消費電力データは 2014 年、2015 年のデータを用いた。

住宅の断熱性能の分析にあたっては、築年数が 5 年以内の住宅を対象としているため、無断熱の住戸は存

在しなかった。また、一般に断熱性能は Q 値、UA 値等によって定量的に示されるが、これらは住宅毎に計算が必要であることから、本研究では断熱性能を住宅の仕様から「通常の断熱住宅」と「高断熱住宅」の 2 つにわけて比較を行うこととした。

断熱水準の分類にあたっては、建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律における、地域区分のうち関東地方を含む地域を対象とした地域区分 5 で求められる断熱水準程度の住宅（UA 値 0.87[W/(㎡・K)]）を「通常の断熱住宅」とし、ZEH 住宅にける強化外皮基準（0.60[W/(㎡・K)]）以上の断熱性能の住宅を「高断熱住宅」として分類して分析を行った。

3. 結果

3.1 住宅の断熱性能とエネルギー消費

住宅の断熱性能が異なる住宅を比較した場合、断熱性能が高い住宅ではエネルギー消費量が低くなることが期待されているが、結果は図 1 に示した通り、通常の断熱住宅と高断熱住宅の間で年間を通じた消費電力量に差異は見られなかった。

比較対象とした住宅は全てオール電化住宅であること、また、200 世帯へのアンケート調査結果から電力使用を伴わない冷暖房が使用されている住宅は極めて少なく、他の空調機器による影響は無視できると推察される。また、図 2 は外気温度と消費電力量の関係を示したグラフであるが、外気温度と消費電力量の間には顕著な関係が成り立っており消費電力量に空調負荷が含まれていることは明らかである。

このような結果となった背景として、アンケート調査から、通常の断熱住宅においては個別空調が選択されているケースが多いのに対して、高断熱住宅では全館空調が行われているケースが多かったことが原因と推察される。また、生活者は消費電力量ではなく月々の電気料金を意識した生活を送っている傾向があった。電気料金を同程度に抑えつつ快適性を高まる生活を選択した結果、高断熱住宅において消費電力量が減少しない結果となった推察される。

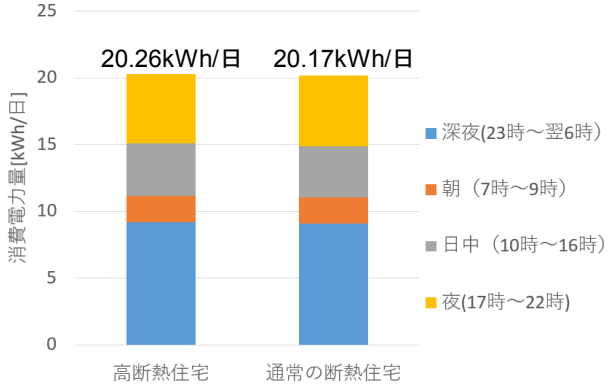


図 1　住宅の断熱性能と消費電力量

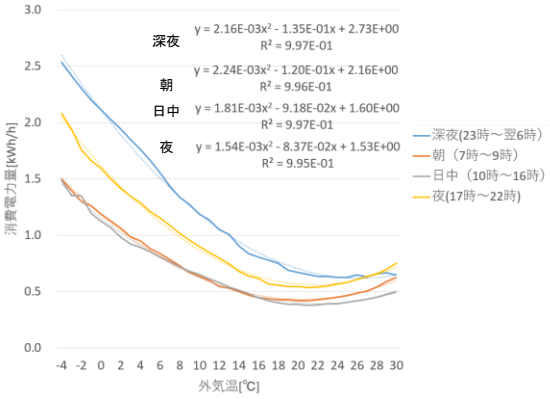


図 2　外気温度と消費電力量

3.2 太陽光買取制度が消費電力に与える影響

ソーラーパネル設置世帯においては、再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）に基づき、発電された電力の売電が行われている。FIT ではパネルの容量等による制限はあるが余剰電力買取制度と全量買取制度の 2 つの制度が存在している。余剰電力買取制度では、発電された電力のうち自家消費を除いた余剰電力が売電されるのに対して、全量買取制度では発電された電力の全てが売電される。余剰電力買取では自家消費分の省エネが売電量の増大に資することから、省エネ効果があるとされている。

図 3 は全量･余剰買取住宅における 24 時間の消費電力量グラフである。

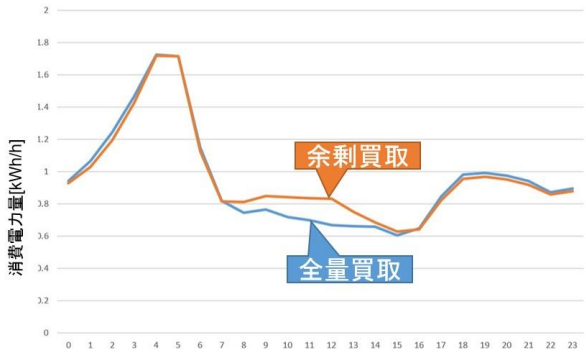


図 3　買取制度と消費電力量

この結果から、全量買取の住宅では余剰電力買取の住宅に比べて発電が行われる日中のみ消費電力量が増大している傾向が見られた。両制度の住宅へのヒアリングでは余剰買取住宅の住宅では「自分の家で発電した」という意識が強い傾向が見られた。

4. まとめと課題

本研究では断熱性能、FIT 制度の違いが住宅エネルギー消費量に与える影響を実際の電力消費データから確認した。その結果、ライフスタイルの変化によって制度が求める省エネ効果が得られないケースがあることを示唆した。ただし得られた結果は一部の住宅メーカー等に偏った結果であり一般化することはできない点に注意を要する。

A2-17,P2-003　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

財務データと統計資料を用いた組織の Scope3 評価と比較

Evaluation comparison of organization's Scope3 assessment using financial data and statistical data

安倍孝明*[1)]、伊坪徳宏 [1)]

Takaaki Abe, Norihiro Itsubo

1) 東京都市大学大学院　環境情報学研究科

* 1783103@ tcu.ac.jp

1. 背景

パリ協定や持続可能な開発目標といった気候変動に対する削減目標が定められるなか、組織の環境経営や環境情報開示が活発化している。組織の環境報告書では、GHG 排出量は Scope3 を利用する例が多い。Scope3 では、企業内(Scope1)、電力などのユーテリティ(Scope2)、その他のサプライチェーン(Scope3)に排出量を分けるが、これまでの評価例の多くは Scope3 が大半を占めることが多い。Scope3 の算定は、WRI（世界資源研究所）と WBCSD（持続可能な開発のための世界経済人会議）が編纂した GHG プロトコルを通じて算定・報告基準が発行された。

環境省では、グリーン・バリューチェーンプラットフォームにおいてサプライチェーン排出量に関する情報基盤があり、Scope3 の算定方法やその計算支援ツールを掲載している。日本で Scope3 を算定したほとんどの組織はこのツールを使用しているものと考えられるが、計算に使用するデータは各サプライヤーに遡る必要があるため基礎データの収集には多くの労力を伴う。

また、現在の Scope3 の評価範囲や算定方法、利用データは、組織によって様々であるため、組織間の比較を行うことが不可能であり、企業内の排出管理のためのツールとしての利用に留まることが多いのも課題として挙げられる。

2. 研究目的

本研究では、日本の組織を対象に総務省の産業連関表を活用しつつ、算定方法と利用データを画一化することで比較に耐えられる Scope3 評価手法の構築を試みた。

公的な統計データである産業連関表を組織の財務データを活用することで、算定の労力をなるべく軽減しつつ、透明性と網羅性の高い評価を行うことが可能になるものと期待される。

3. 方法

3.1 評価対象項目

本研究では、GHG プロトコルが定義している Scope3 の 15 カテゴリを評価項目とした。カテゴリ６「出張」、カテゴリ７「従業員の通勤」は、産業連関表の基本分類では統合されるため、これらを 1 つのカテゴリとして扱った。15 カテゴリには、上流と下流と別れているが、下流のカテゴリの一部は一次データの入手が不可欠となるため、現段階では評価範囲に含めなかった。

Scope3の全カテゴリ				算定使用データ
上流	1	購入した製品・サービス	原材料・部品、仕入商品・販売に係る資材等が製造されるまでの活動に伴う排出	各品目の調達額、調達量
	2	資本財	自社の資本財の建設・製造から発生する排出	年間設備投資金額
	3	スコープ1,2に含まれない燃料及びエネルギー活動	他者から調達している電気や熱等の発電等に必要な燃料の調達に伴う排出	年間での各種エネルギー使用額、使用量
	4	輸送、配送(上流)	原材料・部品、仕入商品・販売に係る資材等が自社に届くまでの物流に伴う排出	各調達額・出荷額、重量、距離
	5	事業から出る廃棄物	自社で発生した廃棄物の輸送、処理に伴う排出	各廃棄額、廃棄シナリオ
	6	出張	従業員の出張に伴う排出	出張旅費金額
	7	従業員の通勤	従業員が事業所に通勤する際の移動に伴う排出	通勤費支給額
	8	リース資産(上流)	自社が賃借しているリース資産の操業に伴う排出（Scope1,2で算定する場合を除く）	上流リース資産額、物品賃貸料
下流	9	輸送、配送(下流)	製品の輸送、保管、荷役、小売に伴う排出	各出荷額
	10	販売した製品の加工	事業者による中間製品の加工に伴う排出	各加工額、中間製品加工シナリオ
	11	販売した製品の使用	使用者（消費者・事業者）による製品の使用に伴う排出	各製品・サービスの販売・売上額、使用シナリオ
	12	販売した製品の廃棄	使用者（消費者・事業者）による製品の廃棄時の輸送、処理に伴う排出	各廃棄額、廃棄シナリオ、WIO原単位
	13	リース資産(下流)	賃貸しているリース資産の運用に伴う排出	下流のリース資産額、物品賃貸料
	14	フランチャイズ	フランチャイズ加盟者における排出	フランチャイズ加盟店のScope1,2(金額換算)
	15	投資	投資の運用に関連する排出	投資先の年間Scope1,2における投資持分比率金額、投資持分比
		その他	従業員や消費者の日常生活に関する排出等	その他のScope3額

図 1：本研究対象のスコープ 3 の 15 カテゴリ

3.2 使用データ

本研究では、基礎データとして総務省が公開している産業連関表（2005 年）と国立環境研究所が開発した 3EID を用いた。財務データは、組織の決算報告書等を用いた。それぞれの組織の 1 セグメントを代表する 1 製品と捉え、Scope3 を算定した。

3.3 算定方法

本研究では、まず産業連関表の基本分類と Scope3 の 15 カテゴリの部門対応表を作成した。

スコープ 3 の算定式を以下に示す。

$$e = d(I - A)^{-1}$$
$$= d + eA$$
$$= d + (eA_{エネ} + eA_{エネ以外})$$
$$= d + (d+eA)A_{エネ} + eA_{エネ以外}$$
$$= \underbrace{d}_{\text{Scope1}} + \underbrace{d \cdot A_{エネ}}_{\text{Scope2}} + \underbrace{eA \cdot A_{エネ} + eA_{エネ以外}}_{\text{Scope3}}$$

d は直接係数、$(I-A)^{-1}$はレオンチェフ逆行列、e は原単位である。算定式では、間接負荷係数にあたる eA をスコープ 2 と 3 に分け、さらにエネルギー関連の e に(d+eA)を代入することで、スコープ 2 とスコープ 3 を区分した。

また、産業部門ごとの直接環境負荷データを国内生産額で除すことで、百万円あたりの直接係数を算出した。これにレオンチェフ逆行列を乗じることで、原単位を作成した。

以上に示した算定方法より、サプライチェーン全体の間接排出をスコープ 2 と 3 の定義に沿った形で算定できるようにした。最終的には、評価する組織の活動量にあたる財務データを乗じることで、組織のサプライチェーン全体及びスコープ 3 の算定を行うことができる。

4. 結果

図 2 に、精密機器製造 A 社を対象に本研究で求めた Scope3 算定結果を同社が CSR 報告書において公開した結果と比較したものを示した。本研究の結果は、組織が算出した結果より 2 割程度小さかった。カテゴリ 1 に関しては、どちらも全カテゴリの中で最も大きくなっている。セグメントと部門の対応としては、「時計：時計」「ハンディターミナル：電子計算機付属装置」「金型：金型」である。図 3 は、カテゴリ 1 の内訳を示した。上位 5 部門のうち、集積回路が最も大きい結果となった。Scope3 のなかで主要なカテゴリ 1 の内訳を示すことができるのは本研究の特徴である。

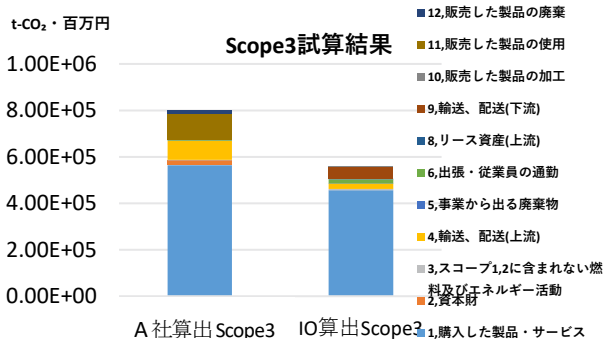


図２：本研究のスコープ 3 との比較

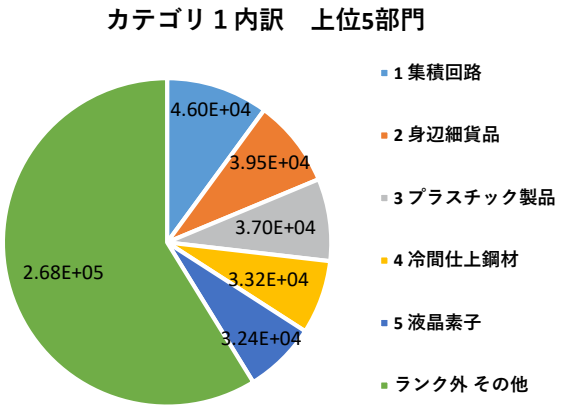


図３：カテゴリ 1 内訳結果

5. 結論

産業連関表と組織の財務データをベースに Scope3 の算定を試みた。精密機器製造企業を対処としたケーススタディによれば、排出量総量は一部少なかったものの、排出量の内訳はほぼ整合し、かつ、排出量の大半を占めるカテゴリ 1 の内訳を示すことができた。現時点では、固定資本財や使用、廃棄、輸送についてまだ考慮できていない。今後、これらを含めることで網羅性を高めることが課題として挙げられる。今回は GHG 排出量について算定したが、今後は水、土地を含む他の影響領域を対象とした検討を行う予定である。

6. 参考文献

１）GHGPROTOCOL：Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard
http://www.ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard

２）総務省統計局：平成 17 年（2005）産業連関表
http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0

３）３EID 産業連関表による環境負荷原単位データブック
http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm

A2-18
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

ライフサイクル CO_2 排出量（LC-CO_2 排出量）簡易算出手法開発

Development of simplified estimation method for life cycle CO_2 emissions

○　齋藤 潔*[6) 7)]、清水重利 [1) 7)]、本堂義行 [2) 7)]、本池祥子 [3) 7)]、二階堂 透 [4) 7)]、藤崎克巳 [5) 7)]、前田 智佐子 [6) 7)]
Kiyoshi Saito, Shigetoshi Shimizu, Yoshiyuki Hondo, Sachiko Motoike, Toru Nikaido,
Katsumi Fujisaki, Chisako Maeda
1) シャープ株式会社, 2) 株式会社東芝, 3) パナソニック株式会社,
4) 日立アプライアンス株式会社, 5) 三菱電機株式会社, 6) 一般社団法人日本電機工業会,
7) 一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG
*kiyoshi_saito@jema-net.or.jp

1. はじめに

日本電機工業会(以下、JEMA)では、1999 冷凍年度と 2010 冷凍年度における代表的な製品モデルの冷蔵庫について LCI 分析を実施し [1)]、その検討成果として、設定したライフサイクルシナリオの考え方等を基に、家電製品全般に適用する LCI 手法の業界標準 JEM-TR253 “家電製品のライフサイクル CO_2(LC-CO_2)排出量算出ガイドライン”を 2014 年 3 月に制定した。その上で、主に、家電メーカーによる製品アセスメント実施時の評価などでさらに活用されることを想定し、以降の約 3 ヶ年において、工数低減等の観点から、データ収集の容易化に係る素材等インベントリ項目・分類の見直し・整理を検討し、また、汎用部品の原単位開発の活動を推進してきた。

その結果、今般、当該成果を踏まえ、JEM-TR253 に基づき、LC-CO_2 排出量簡易算出手法と算出ツール(Excel 版)を開発した。

2. LCI 評価手法の標準化(JEM-TR253 の開発)

2.1　概要

JEM-TR253 では、家電製品の LCI 評価を実施するために、製品システムの設定(算定単位(機能単位)は、通常、製品 1 台当たりとし、本体、包装材及び附属品を対象)及びライフサイクル各段階のデータ収集範囲やシナリオ設定の考え方をとりまとめた(表 1)。この中で、各段階に共通する一次データ収集・配分等について、一次データは設計値又は実測値とし、直近のデータが望ましいとした。配分は、製造段階の投入エネルギーは生産高(金額)比で製品 1 台当たりに按分し、リサイクル時消費電力量は、リサイクルプラントの実績データを質量で按分することとした。

表 1　JEM-TR253 の構成と内容

序文	
1 適用範囲	
2 引用規格	
3 用語及び定義	
4 目的及び調査範囲の設定	
5 製品システムの算定	• 算定単位、対象及びカットオフ基準
6 全段階に共通して適用するライフサイクル CO_2 算出方法	• ライフサイクル各段階共通の一次データ収集範囲・方法、特定段階における配分
7 調達(素材調達・部品加工)段階に適用する項目	• ライフサイクル各段階において、データ収集範囲に含まれるプロセス、データ収集項目（インベントリ項目）、各種シナリオ
8 製品製造(組立)段階に適用する項目	
9 製品輸送段階に適用する項目	
10 使用段階に適用する項目	
11 回収及びリサイクル処理・処分段階に適用する項目	
附属書 A(参考) 冷蔵庫の評価事例	

2.2　データ収集・シナリオに関する主な検討

調達段階では、製品を構成する素材・部品について、生産サイトへの投入量の一次データを収集する(BOM: Bill of materials の設定)。内製・外製を分け、外製部品は、素材別の部品加工原単位を用いて環境負荷を考慮することとした。

使用段階では、想定使用期間の電力や水の投入量について一次データを収集するか、又はシナリオで設定し、消耗品等はシナリオで設定することとした（国際規格や JIS 及び業界規格での規定、実態調査等に基づく適切な文献値を利用）。

製品輸送、回収・リサイクル時の輸送シナリオは、いずれもそのルートを設定し、輸送手段(積載率)と距離を特定する必要がある。これらは、極力実態を反映したデータ収集を推奨するが、それが困難な場合も考慮して、各段階の輸送手段(積載率)と距離のシナリオを示し、それを活用してもよいとした。

リサイクル処理・処分では、家電リサイクルプラントの実績や適切な文献値に基づき、金属・樹脂類の素材回収・再利用割合を設定。回収素材は、再利用等で製造負荷が控除されると設定した。

3. LC-CO_2 簡易算出手法と算出ツールの開発

3.1　簡易算出手法の概要(主要な検討事項)

本手法においては、素材調達段階のデータ収集の

工数を削減するためのアプローチとして、素材・部品の生産サイトへの投入量に関する一次データ収集について必要なインベントリ項目・分類の見直しを行うこととし、先ずは、2010 冷凍年度の冷蔵庫 LCI 分析結果のインパクト評価も実施した(図 1)。

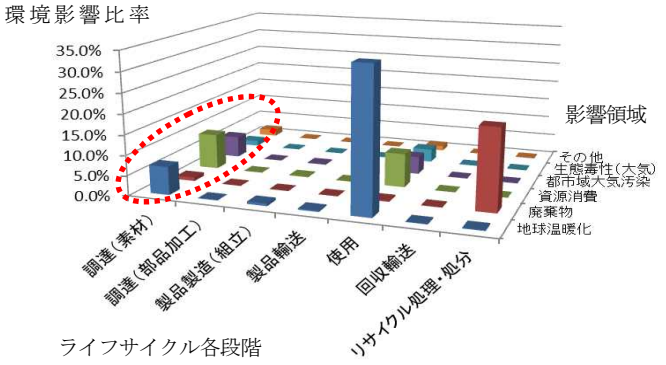


図 1　2010 冷凍年度(501L・6 ドア)冷蔵庫のインパクト評価結果(LIME 2 による統合化結果－LC 各段階別／影響領域別(リサイクル控除除く))

その上で、さらに、金属・樹脂類について各々インパクト評価(感度分析等も含む)を実施し、環境影響が著しい素材の絞り込み、二次データベースでの算定を考慮した“原単位が共通の素材”に関する整理を行い、必要なインベントリ項目を下記の通りグループ化した。

金属類：　鉄鋼(ステンレス鋼とその他鉄鋼の 2 分類)、銅、アルミ、その他非鉄金属にグループ化

樹脂類：　ポリプロピレン、ポリスチレン、発泡ポリウレタン、その他樹脂にグループ化

次に、家電製品に汎用的に使われる部品として、「圧縮機(潤滑油を除く)」と「電子回路基板(基板上に搭載されている電子部品を含む)」の CO_2 排出原単位を検討した。圧縮機は、家電リサイクル工場の協力を得て、提供頂いた冷蔵庫及びエアコン(計 10 機種)の圧縮機を対象に、その素材構成のデータを基に、総重量を横軸に、CO_2 排出量を縦軸として散布図を描き、一次近似式から「質量当たりの CO_2 排出原単位」を設定して適用することとした。

また、電子回路基板は、JEMA 重電・産業システム機器 LCA 検討 WG が実施した、基板の分類別(集積回路・半導体素子及び LED が多く占める基板、受動素子・接続部品が多く占める基板)及び層数をパラメータとした質量当たり CO_2 原単位評価（野田ら［2015］[2]、古島ら［2017］[3]）の検討にも参画し、冷蔵庫・洗濯機の電子回路基板について同 WG が評価した標準原単位の特性式との整合を確認して上で、当該成果を適用することとした。

3.2　簡易算出手法に基づく算出ツールの開発・公開

JEMA は、3.1 に示すアプローチを反映した「Excel 版算出ツール」の開発も実施し、現在、ウェブサイト上で、簡易算出手法と共にそれを公開している。(http://jema-net.or.jp/Japanese/env/02_LCA_tools/index.html)

一般向けの汎用算出ツールの無償公開と共に、JEM-TR253 に基づくシナリオや初期値の他に、算出に必要な CO_2 排出原単位(JEMA が、関連する原単位データベース開発者と、会員向けに使途を限定するライセンス契約を締結した範囲)も組み込んだ会員限定の算出ツールも開発しており、会員にはその活用について申し込みを頂き、提供できるようにした。

4. おわりに

今般の LC-CO_2 簡易算出手法の開発は、算出に必要な素材構成やデータ取得範囲の見直しの他、汎用部品の CO_2 排出原単位開発も行い、従来の評価工数を大幅に削減し得るものである。同時に、会員向けに、算出用 CO_2 排出原単位を設定した算出ツールの開発も行い、独自の算出ツールを有しない会員も容易に LC-CO_2 評価に取り組めるよう配慮をした。なお、開発した簡易算出手法の適用対象は主に家電製品であるが、手法自体は、他の製品カテゴリーにおいても一般的には適用可能であると考えている。実際、Excel 版算出ツールは、一般向けの汎用算出ツールも公開しており、多くの方に活用頂きたいと考えている。

今後、LCA 評価の取り組みに係る普及促進に向けて、さらに、広報活動にも尽力していく所存である。

引用文献

1) 一戸、相原、竹山、本池、佐藤、高橋、齋藤、市村、桑原（一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG）：“冷蔵庫のライフサイクルインベントリー分析”日本 LCA 学会誌　Vol9. No.3(2013)

2) 野田、増田、上田、冨沢、山中、野々村、深沢、江川、中嵜（一般社団法人日本電機工業会）：“重電・産業システム機器向け電子回路基板および主回路部品の温室効果ガス排出量の算定”日本 LCA 学会誌　Vol11. No.4(2015)

3) 古島、野田、増田、野々村、冨沢、江川、深沢、山中、竹村（みずほ情報総研株式会社、一般社団法人日本電機工業会）：“重電・産業システム機器向け電子回路基板の温室効果ガス排出量の算定（第二報）”日本 LCA 学会誌　Vol13. No.3(2017)

B2-14,P2-024　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

茶飲料におけるリラックス効果を用いたコンジョイント分析及び環境行動の指針提案

Conjoint analysis using relaxation effect in tea drinks and guideline proposal

○渡辺陽一郎*[1)]、堂脇清志[2)]、徐 維那[3)]

Yoichiro Watanabe,Kiyoshi Dowaki,Yuna Seo

1)東京理科大学理工学部経営工学科堂脇研究室

*j7413112@ed.tus.ac.jp

1. 背景及び目的

近年の日本における、新規学卒者の 3 年目までの離職率は増加傾向にある[1)]。原因として様々な要因が考えられるが、厚生労働省による転職経験のある若年者向けの調査では「前職でストレスが過大であった」と回答している正社員は 63.2%である[2)]。

また、食に関する、機能性は消費者にとって購買行動に大きく寄与している。その背景には、消費者の食に関する環境意識向上と食に関する健康意識の増加がある[3)4)]。健康意識の一つに心の健康が考えられるが、リラックス効果が期待できる成分である GAVA を含むチョコレート製品を例にあげると 2012 年から 4 年間で売り上げは約 4 倍になっている。また、日常的に摂取でき、落ち着く目的で飲まれるものに茶飲料がある。

これらのことから、リラックス効果が期待できるジャスミンティー[5)]を含む茶飲料の 3 製品について着目した。

一方で、消費者の環境意識の向上に伴い、消費者における環境行動は避けられない課題となっている。

以上の背景から、茶飲料について消費者選好を用いた評価を行い、環境影響との相関を明らかにし、消費者の環境行動における指針作りを本研究の目的とする。

2. 研究方法

本研究では、茶のサンプルとして台湾産の緑茶、烏龍茶、ジャスミンティーを対象とした。研究概要図を以下に示す(図 1 参照)。

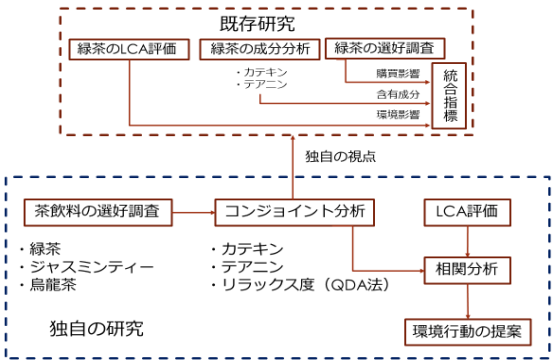


図 1　研究概要図

2.1　消費者選好調査及び統合指標評価

本研究ではオンライン上でアンケートを実施し、選択型コンジョイント分析を用いて茶飲料の各要素における支払意思額を算出した。調査対象は首都圏在住の新規大卒社会人 3 年目の男女それぞれ 100 人とし、評価項目を価格、カテキン含有量、テアニン含有量及び官能評価によるリラックス度とした。リラックス度については QDA 法[6)]を用いた。Supporting Information (SI) に本研究でのコンジョイント分析における属性と水準を示す。また、統合指標による評価方法として小林 (2015)[7)]によるものを用いた。

2.2　LCA（ライフサイクルアセスメント）

本研究では台湾の山間地において茶の慣行栽培を行っている農家を対象とし、文献値[8)]を基に積み上げ法による環境負荷の算定を行った。

システム境界は図 2 の通りであり、機能単位は茶葉生産 150kg あたりとした。LCA 分析では SimaPro ver. 8.3.0.0 及び ReCiPe Midpoint ver. 1.13 を用いた。

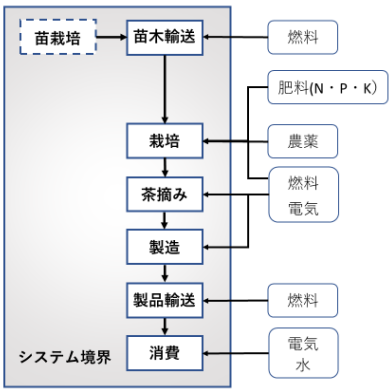


図 2　システム境界

2.3　相関分析

本研究ではコンジョイント分析による経済指標での消費者選好結果及び LCA 結果について相関分析を行った。この結果より、指標化における重要な要素の検討を行った。

3. 結果及び考察

3.1　コンジョイント分析及び統合指標評価結果

コンジョイント分析の推定結果及び限界支払意思額は表 2 の通りとなった。推定結果はすべて 0.1%水準で有意であるため、統合指標による評価値は 99.9%の信頼区間である。コンジョイント分析結果を用いて、評

価を行った結果を図 3 に示す。

表 2　推定結果及び限界支払意思額

	係数	t 値	p 値	限界支払意思額[円]
価格	-2.8.E-03	-1.6.E+01	8.0.E-56	
カテキン	1.7.E-04	3.8.E+00	1.6.E-04	6.0.E-02
テアニン	2.7.E-04	3.3.E+00	9.0.E-04	9.5.E-02
リラックス度	3.9.E-01	9.5.E+00	6.9.E-21	1.4.E+02
n	1.4.E+03			
対数尤度	-1.8.E+03			

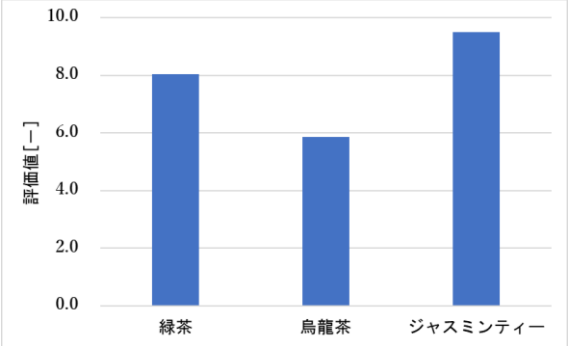


図 3　統合指標評価結果

3.2　LCA 結果

LCA 結果は表 S2 及び、表 S3 に示す。 特に、影響の大きかった CO_2 排出の結果を図 4 に示す。この結果から緑茶と比較するとジャスミンティーでは約 38%多くなることが分かった。これは、茉莉花の栽培においては茶葉のみを生産した時と比較した場合、多量の肥料を使用するために、その影響が大きくなったと考えられる。なお CO_2 排出量全体における栽培段階の割合は、緑茶及び烏龍茶で約 31%、ジャスミンティーで約 50%となり、また消費段階における割合は緑茶、烏龍茶で約 51%、ジャスミンティーで約 37%となった。

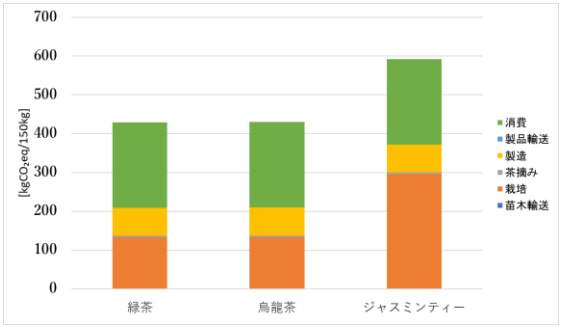


図 4　LCA 結果

3.3　相関分析

最後に、茶飲料を対象に行った統合指標による評価値と LCA 結果の相関分析を行った(表 3 参照)。全てのカテゴリーにおいて、強い相関があることが明らかになった。これは、消費者が、リラックス効果を期待して茶飲料を選択した場合、環境影響が大きくなることを示していると考えられる。この結果より、環境影響を指標化することでリラックス度の見える化が可能になることが示唆された。

表 3　相関分析結果

	相関係数
Climate change	0.799
Ozone depletion	0.802
Terrestrial acidification	0.802
Freshwater eutrophication	0.802
Marine eutrophication	0.800
Human toxicity	0.802
Photochemical oxidant formation	0.800
Particulate matter formation	0.801
Terrestrial ecotoxicity	0.802
Freshwater ecotoxicity	0.802
Marine ecotoxicity	0.802
Ionising radiation	0.802
Agricultural land occupation	0.802
Urban land occupation	0.802
Natural land transformation	0.802
Water depletion	0.802
Metal depletion	0.802
Fossil depletion	0.800

4.　結論及び今後の課題

コンジョイント分析結果と LCA 分析結果の相関分析において、強い相関がみられたことから消費者がリラックス効果を期待して茶飲料を選択した場合、環境影響が大きくなることが明らかになった。

また、ジャスミンティーでは栽培段階が他の茶飲料と比較して環境影響に大きく寄与していることが明らかになった。

これらのことから､消費者が好むリラックス効果の期待できるジャスミンティーに対して、栽培段階での肥料の改善、または有機栽培に移行等が、低環境負荷商品の普及に必要である [7]。今後の課題として、具体的な栽培方法の改善策を示すこと等が挙げられる。

5.　引用文献

1)厚生労働省：‘新規学卒者の離職状況’, <http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11650000-Shokugyouanteikyokuhakenyukiroudoutaisakubu/0000177658.pdf>(参照 2017-09-20)

2)労働政策研究・研修機構:‘ 若年者の離職理由と職場定着に関する調査, (2016), p20

3)日本政策金融公庫：‘食の志向等に関する調査結果’ (2014)、pp.1-6

4)環境省：’ 地球環境・国際環境協力　意識調査 2008 年度国民生活モニター調査 ‘、pp.6-11

5)Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry,67, (6) , pp. 1206-1214

6)日本官能評価学会誌,6,(2),pp.138-145

7)小林涼 : “有機栽培茶における環境影響評価及び健康成分を考慮した統合指標の提案”, (2015)

8)Ming-Hsiu Chung:Environmental Impact and Carbon Footprint Assessment of Taiwanese Agricultural products Graduation year(2014),Graduation thesis,National Tiwan Univercity of Science & Technology

Supporting Information

2.1　消費者選好調査

表 S1 に本研究のコンジョイント分析における属性と水準を示す。

表 S1　属性と水準

属性	水準			単位
価格	500	800	1000	円/100g
カテキン	2000	2700	3800	mg/100g
テアニン	350	700	1350	mg/100g
リラックス度	小	中	大	

本研究では、EXCEL でできるコンジョイント(Version1.3)[S1]を用いて各属性が 1 単位増加したときの支払意思額である限界支払意思額を算出した。

3.1　コンジョイント分析結果

各茶における統合指標による評価値 W_c の算出方法は式(1)であり、S_i は各要素における 1 単位増加当たりの支払意思額 [円]を示している。T_i は各要素の評価対象の成分含有量及び、リラックス度を示している。

$$W_c = \sum (S_i \times T_i) \qquad (1)$$

3.2　LCA 結果

表 S2　緑茶 LCA 結果

Impact category	Unit	Total
Climate change	kg CO2 eq	4.28.E+02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	7.71.E-05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.45.E+00
Freshwater eutrophication	kg P eq	6.66.E-03
Marine eutrophication	kg N eq	5.43.E-02
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1.32.E+01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	1.37.E+00
Particulate matter formation	kg PM10 eq	4.88.E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.68.E-02
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3.44.E-01
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.35.E-01
Ionising radiation	kBq U235 eq	2.23.E+01
Agricultural land occupation	m2a	4.20.E+00
Urban land occupation	m2a	1.23.E+00
Natural land transformation	m2	1.35.E-01
Water depletion	m3	2.66.E+00
Metal depletion	kg Fe eq	5.34.E+00
Fossil depletion	kg oil eq	2.43.E+02

表 S3　烏龍茶 LCA 結果

Impact category	Unit	Total
Climate change	kg CO2 eq	4.29.E+02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	7.71.E-05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.45.E+00
Freshwater eutrophication	kg P eq	6.66.E-03
Marine eutrophication	kg N eq	5.45.E-02
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1.32.E+01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	1.38.E+00
Particulate matter formation	kg PM10 eq	4.89.E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.68.E-02
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3.44.E-01
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.35.E-01
Ionising radiation	kBq U235 eq	2.23.E+01
Agricultural land occupation	m2a	4.20.E+00
Urban land occupation	m2a	1.23.E+00
Natural land transformation	m2	1.35.E-01
Water depletion	m3	2.66.E+00
Metal depletion	kg Fe eq	5.34.E+00
Fossil depletion	kg oil eq	2.43.E+02

表 S4　ジャスミンティーLCA 結果

Impact category	Unit	Total
Climate change	kg CO2 eq	5.91.E+02
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.11.E-04
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2.46.E+00
Freshwater eutrophication	kg P eq	1.24.E-02
Marine eutrophication	kg N eq	8.35.E-02
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	2.07.E+01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	2.00.E+00
Particulate matter formation	kg PM10 eq	7.95.E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.68.E-02
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4.42.E-01
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3.47.E-01
Ionising radiation	kBq U235 eq	3.15.E+01
Agricultural land occupation	m2a	7.46.E+00
Urban land occupation	m2a	1.98.E+00
Natural land transformation	m2	1.86.E-01
Water depletion	m3	3.63.E+00
Metal depletion	kg Fe eq	9.23.E+00
Fossil depletion	kg oil eq	3.28.E+02

引用文献

S1)栗山浩一：“初心者のための環境評価入門”, (2013), 勁草書房

B2-15
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

消費者の好みを反映させた新しい複合環境指標の提案

Proposal of the new environmental indicators reflecting consumer preferences

○徐維那*[1)]、渡辺康子 [1)]、堂脇清志 [1)]
Yuna Seo, Yasuko Watanabe, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学
* yuna.s@ rs.tus.ac.jp

1. はじめに

近年企業への消費者向けの環境影響評価を求める声がより高まっている。特に欧州では食品、車等輸送機関、建設材料等幅広いセクターにおける環境影響評価実施する Environmental Product Declaration (EPD)を、国際的に普及させるための動きが活発になっている [1)]。しかし食品セクターに関しては、食品会社を対象に加工食品を中心としているため、農産物など生鮮食品に関してはほとんど議論されていない。一方、日本でも、農産物を対象にした環境関連指標は、栽培法による有機栽培や特別栽培など農林水産省による認証マークが主なコミュニケーションツールとなっていることが現状である [2)]。

そこで、本研究では、農産物を対象に、より効果的な環境コミュニケーションツールとして、消費者選好度調査に基づいた新しい農産物環境指標を提案することを目的とした。特に、先行研究で提案した野菜を中心とした農産物指標の [3)] 果物に対する活用度を評価するために、野菜と果物の比較を行った。特に果物に関しては、旬があるりんごと通年安定して輸入されるバナナをモデルとした。

2. 消費者選好度調査

野菜類と果物類では、消費者が購買時重視する項目が異なり、指標もそれに合わせることが望ましいと仮定した。そこで、先行研究で行った主に野菜を対象とした農産物指標 [3)] の各パラメータ、「栽培方法」、「産地」、「栄養」、「味」を用い、野菜類、りんご、バナナを対象にコンジョイント分析を行った。コンジョイント分析は、商品の有する複数の属性及び水準の組み合わせ、具体的なイメージをあらかじめ仮想的状況として直接消費者に提示できるため、各属性の水準に対する消費者の評価が推測できる。今回は選択型コンジョイント分析を採用した [4)]。選択型は、複数の選択肢から 1 つを選択することやどれも選択しないといった設定が可能であることから、現実の購買場面に合わせたコンジョイントプランを設定しやすい。

2.1 コンジョイント分析

データは、インターネット上のアンケート調査を採用した。対象品目は、野菜、バナナ、リンゴの 3 品目とし、プロファイル設計は、野菜とリンゴについては価格、栽培方法、ビタミン C、食物繊維、味（苦み、糖度）、産地の 6 属性、バナナについては、価格、栽培方法、産地、味（糖度）の 4 属性を設定した。各属性の水準は 3 つとした。価格は 100、200、300[5)]、栽培方法は、慣行、特別栽培、有機栽培、苦み（野菜）は、18、20、24[6)]、糖度は、12、15、17（りんご）、18、20、24（バナナ）とした。産地は、地場産、国内産、外国産（野菜）、国内産、フィリピン、台湾産（バナナ）、国内産、ニュージーランド（りんご）[7)] とした。食物繊維及びビタミン C については、平均値 [8)] から旬の栄養を考慮し [9)] 1.5 倍、2 倍、3 倍高いと設定した。時期による栄養の変化が少ないバナナについては、植物繊維とビタミン C を除いた。各アンケートの 200 件の有効回答から得られた 800 個のサンプル数を用いた。

	1	2	3	4	5
価格［円］／袋	200	300	100	300	100
栽培方法	有機	慣行	特別栽培	慣行	特別栽培
苦み	20	24	18	20	20
食物繊維	平均値	2 倍高い	1.5 倍高い	平均値	1.5 倍高い
ビタミン C	平均値	3 倍高い	1.5 倍高い	1.5 倍高い	3 倍高い
産地	外国産	外国産	外国産	地場産	地場産

図１　野菜アンケートの例

2.2 計測結果

野菜の属性の選好度は、有機栽培、食物繊維 2 倍高い、苦みすくない、地場産、ビタミン C1.5 倍高いの順となった。バナナは、特別栽培、平均値の味、フィリピン産の順となった。りんごは、平均値の味、ビタミン C1.5 倍高い、国内産、食物繊維 1.5 倍高い、特別栽培の順となった。

毎日摂取する野菜や朝食として最も買われているバナナのような日常的摂取するものに関しては、食の安全性と関連性が高い栽培方法が最も優先順位が高かったが、一方、旬がありデザート性が高い果物に関しては、味が最も高い結果となった。栄養に関しても、野菜は食物繊維、りんごはビタミン C となり期待する

栄養素においても差が見られた。

3　農産物環境指標

以上の消費者選好度調査の結果から新しい農産物環境指標を提案する。野菜、バナナ、りんごにおける選好度の高い属性を抽出し、指標の項目として採用した。

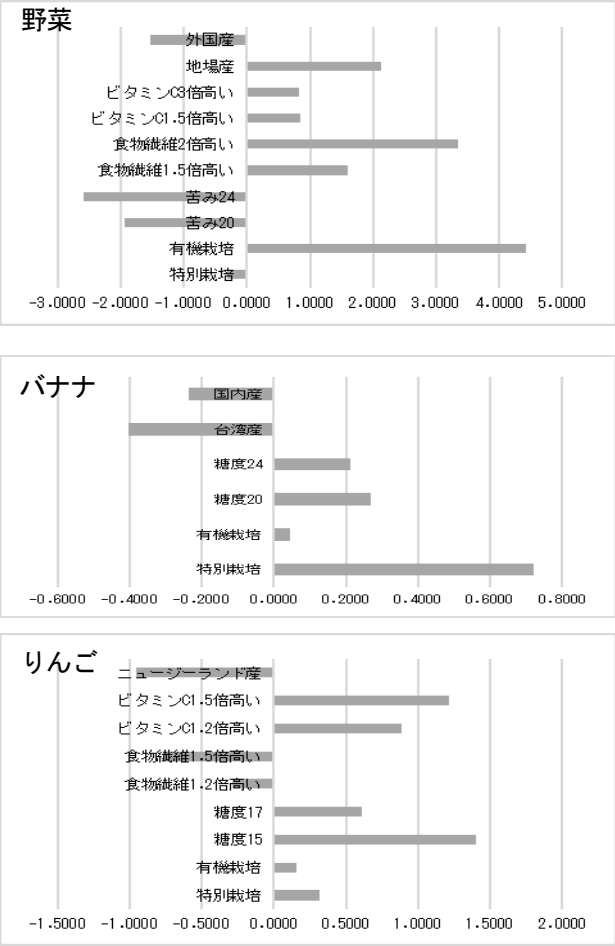


図１．各説明変数係数

すなわち、野菜においては、栽培方法、食物繊維、産地、バナナは、栽培方法、味、産地、りんごは、味、ビタミン C、産地を抽出した。そこで、肥料や農薬施肥量から差が生じる栽培方法や産地の要素を、LCA を用い栽培段階から卸売市場までの CO_2 排出量を算出することで、環境指標に統合させた。CO2 排出量がより少ない商品を選ぶことで、より肥料や農薬が少ない、もしくは比較的近い農場で生産された商品を選ぶことにつながると考えられる。但し、りんごは、栽培方法に対する消費者の関心も比較的に低く、農産物の中でも主力輸出商品であるため [12]、EPD を採用することとした。

従って、野菜、バナナ、りんごにおいて消費者が重視する項目や、商品としての特徴を反映させた指標を提案する。野菜の指標は、CO_2 排出量、食物繊維、苦みの 3 項目となり、バナナの指標は、CO_2 排出量、糖度、りんごは EPD、ビタミン C、糖度とする（図２）。

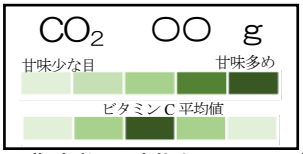


図２　農産物環境指標（りんごの例）

4　最後に

新しい農産物環境指標は、消費者選好度調査に基づいており、消費者が重視する化学薬品の使用量や産地の項目を CO_2 排出量に含め、それに品質を表す栄養や味を併記する。このように、消費者が興味をもつ項目を環境指標に含めることでより効果的な環境コミュニケーションツールとして活用できると期待される。

今後本指標の市場における有効性を評価するため、実際販売した上で消費者行動調査を通じ検証していく必要がある。

3. 引用文献

1) EPD:“有機農業の推進に関する現状と課題“，入手先 <http://environdec.com/en/>，(参照日 2017/08/01)
2) 農林水産省：“有機食品の検査認証制度”，入手先 <www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/yuuki.html>,（参照日 2017/11/18）
3) Watanabe Y., Seo Y., Dowaki K.:Ecodesign 2017 E-book
4) 栗山浩一．CVM による経済評価（1998），pp 153-164.
5) 独立行政法人農畜産業振興機構野菜情報総合把握システム：野菜の需給・価額動向レポート，入手先 <http://vegetan.alic.go.jp/vegetable_report.html>,（参照日 2017/11/18）
6) 農林水産省：“日本の野菜の硝酸塩含有量”，入手先 <www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/syosanen/ganyu/index.html>,（参照日 2017/11/20）
7) 税関：“貿易統計”，入手先 <www.customs.go.jp/toukei/info/>，（参照日 2017/11/20）
8) 文部科学省：“日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）”，入手先 www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm,（参照日 2017/11/20）
9) 辻村卓：臨床栄養，116 (2010)，pp 12-13

B2-16
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

スマートフード・アグリシステムの俯瞰的検証手法の提案

A panoramic analysis of impacts of smart food /agri-technology

中野諭 [1)]、○鷲津明由*[2)]
Satoshi Nakano, Ayu Washizu
1) 労働政策研究・研修機構, 2) 早稲田大学
* washizu@ waseda.jp

1. はじめに

温暖化ガス削減目標の達成，少子高齢化に対応する社会の変革などへの処方箋として注目されているのが情報通信技術を活用した「スマート化」である。スマート化した社会（スマート社会）では，情報通信技術が(a)社会内部の管理運営を効率的にマネジメントすることによって無駄を徹底的に排除し，(b)これまでとは異なる次元の社会の構成要素間のマッチングを生み出し新たなサービス産業や価値を創出する。本研究の目的は，スマート社会で情報通信技術のもたらすこれらの効果を，食料関連産業・農業を例にとって，産業連関分析によって評価することである。同時にこれらの分析を通じて，(1)情報財・サービス部門についての新定義，(2)それら財サービスを利用する部門としての経済各部門におけるマネジメント部門の新定義，(3)サービス部門に存在する三角化構造の明確化，等を行ったのでその成果についても報告する。

産業連関表は，LCA 研究では二次データベースとして利用されてきたが，もともとは経済学分野で，技術変化の俯瞰的，産業構造全般的な波及効果分析のために開発された統計表でもある。本研究の最終目的は，スマート化がもたらす効果の産業構造分析である。

2. スマートフードシステム：2 つの事例

2.1 レストランチェーンのスマート管理システム

図 1 はレストランチェーン企業における管理システムの概念図である。

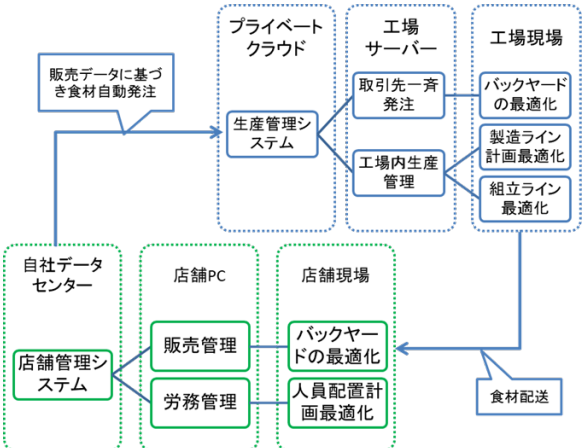


図 1　レストランチェーンのスマート管理システム

このシステムの特徴として，生産管理システムにおいて，利用料金の支払いにより外部専門業者のサーバーとシステムを利用すること(クラウド利用)により，自前の情報設備機器や分析ソフト開発への投資費用を軽減できること，管理システムにより，生産プロセス，販売プロセスの最適化を簡単に行うことができ，業務の効率化が測れることが挙げられる。

2.2 施設農業のスマートアグリシステム

図 2 はいちご，トマト，キュウリなど比較的収益性の高い作物をハウス内で養液土耕栽培するための管理システムの概念図である。養液土耕栽培とは，作物の根元にプラスチックの点滴チューブを這わせ，濃度を管理した必要最低限の液肥の灌水のみで栽培する，という方法である。農家はスマートアグリサービスを提供する IT 企業に毎月の利用料金を支払うことにより，次のようなサービスの提供を受けることができる。つまり，ハウス内に取り付けられたセンサーによる日射量および，土壌の水分と電気伝導度(EC)の条件が，クラウド上のサーバーで自動分析され，最適な液肥の濃度と灌水方法(灌水のタイミングや量)がハウス内の灌水装置に自動送信される。

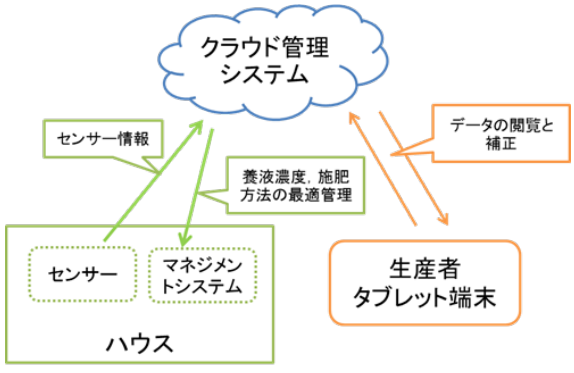


図 2　スマートアグリシステム

3. スマートフードシステムの産業連関分析

3.1 管理サービス活動の本体部門からの分離

レストランチェーンのスマート化を分析するために，まず，基本表の「飲食サービス」を「飲食店」「持ち帰り」「宅配」の 3 部門に分割し，レストランチェーン企業の工場の生産活動が格付けられている「冷凍調理食

品」「レトルト食品」「そう菜・すし・弁当」を「食料品製造部門」に統合した。「食料品製造部門」「飲食店」「持ち帰り」「宅配」の各アクティビティでは，スマート管理システムによりマネジメント・サービス業務の経済価値が著しく高まった。そこで，マネジメント活動を担う管理部門(マーケット管理部門とその他の管理部門)を本体部門から分離し，その生産活動を明示することにした。管理部門は情報財と情報サービスの中間投入と付加価値要素からなるベクトルであり(図 3)。管理部門の総生産額(費用の積み上げ値)は，全額，本体部門に投入されるものとする。

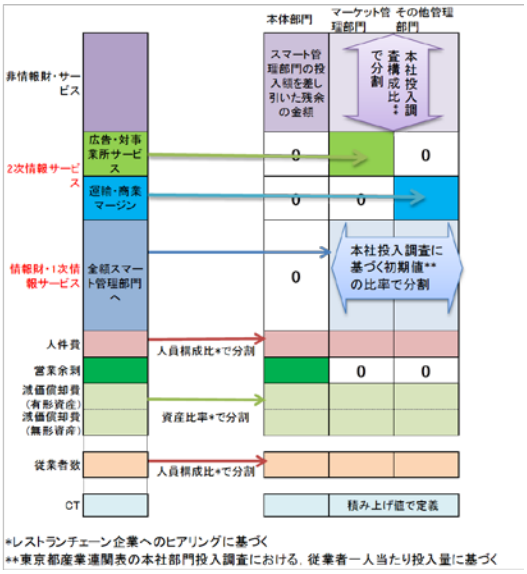


図 3　管理部門の分割方法

3.2 管理サービスの効率化

3.1 で作成した管理部門のアクティビティは，情報通信技術の活用によって効率化される。そのような効率化による現状の投入係数の削減効果の推測には，ライフサイクルアセスメント(LCA)研究の枠組みの中で考察された先行研究(松野・近藤(2007))の成果を用いた。同研究では，情報マネジメントソリューションおよび電子帳票システムの導入による業務や投入資材の削減がもたらす環境負荷の削減率が報告されているが，その率にもとづいて，管理部門の投入係数を簡素化した。

3.3 スマートアグリシステム

スマートアグリシステムは，IT 企業への月々のサービス料金の支払いのほか，若干の電気代やその他の資材投入を増やすことで，作物の収量が平均で 1.5 倍程度になる。この仮定の下で，公表されている産業連関表の「野菜(施設)」生産活動の 10%，30%，50%，70%の野菜用施設で，スマートアグリシステムが導入された場合の，アクティビティを作成した。

4. 結果

管理部門を明示したときの食料品製造部門と飲食店のユニットストラクチュア($U = A \cdot B_j$，ただし B_j はレオンチェフ逆行列の食料品製造部門または飲食店の列ベクトル，生産 1 単位当たりがもたらす中間財の波及効果)を図 4 に示す。また，スマートアグリが導入前後の，野菜 1 単位による誘発効果を図 5 に示す。

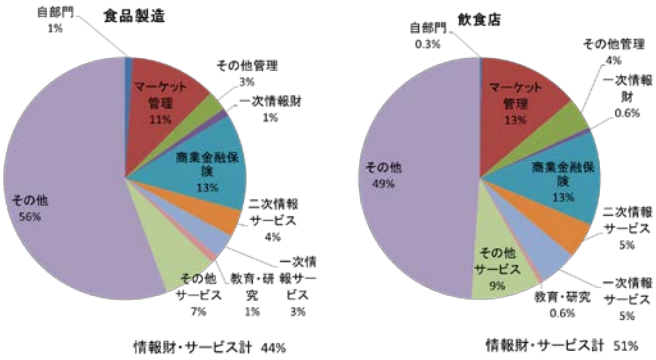


図 4　管理部門を明示したユニットストラクチュア

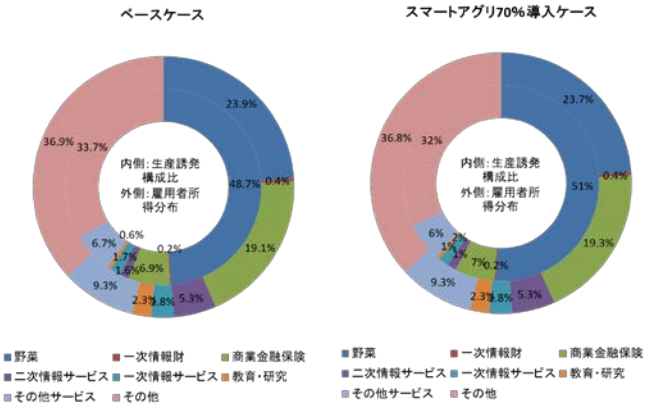


図 5　スマートアグリ導入による誘発効果の変化

5. 最後に

飲食店のユニットストラクチュアを描いたところ，情報財・サービス部門→管理部門→最終消費財・サービス部門という図 6 のような新たな経済循環関係が見いだされた。

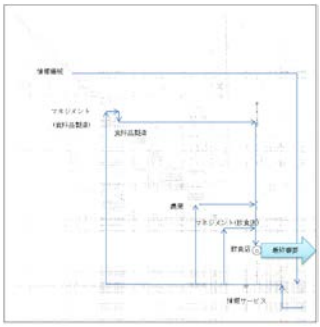


図 6　飲食店のユニットストラクチュア

本研究は，科学研究費基盤研究(C)(15KT0121)に基づく研究成果である。

引用文献

1)　松野康也，近藤康之『IT 社会を環境で測る―グリーン IT ―』丸善株式会社，(2007)

B2-17

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

植物資源由来生産におけるシステミックな問題とライフサイクル思考

Life Cycle Thinking to Address Systemic Problems in Plant-Derived Production

○大内田弘太朗*[1)]、兼松祐一郎 [1)]、大久保達也 [1)]、菊池康紀 [1)]

Kotaro Ouchida, Yuichiro Kanematsu, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi

1) 東京大学

* ouchida_k@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

植物資源は、化石資源に代わって化成品や燃料等に変換可能な資源である。植物資源の利活用に向けて、工業分野ではこれまでに、変換、精製技術などの開発が数多く行われてきた。しかしながら、植物資源由来生産の原料調達段階には農林業が関与しており、資源採掘にはない特有の性質を考慮に入れなければならない。例えば、農業における品種選択などの意思決定や、天候などの環境条件、病害虫などの外乱は、原料変換段階である工業プロセスにおける変換効率等に影響を及ぼし得る [1)]。植物資源由来生産において生じる課題は、農業と工業の両方に関係するにもかかわらず、それぞれ個別に意思決定が行われているのが現状である。植物資源の利活用を目指す上では、ライフサイクル思考に基づいた技術開発や意思決定を行う必要があるものの、農業と工業を統合的に設計するための手法は存在しない。そこで、本研究では、農業由来の植物資源の利活用に向けて、農業と工業の性質の違いに由来する問題に対処しながら、両者を統合的に設計するための方法論を提案する。

2. 方法

2.1 植物資源由来生産におけるシステミックな問題

図 1 に示すように、植物資源由来生産は、農業と工業の関係から 2 つのタイプに分類できる。タイプ A は、農業と工業が同じサプライチェーン上にあるものであり、さらに、資源作物のように下流に工業プロセスが存在していることを前提としているもの(タイプ A1)と、未利用のために新たに工業プロセスが求められるもの(タイプ A2)に細分される。タイプ B は、農業と工業が競合関係にあるものであり、例えば露地栽培産と植物工場産の野菜の関係が当てはまる。タイプ A の場合、農業側における意思決定や環境条件により、作物の収穫量や品質が変わると、工業プロセスに影響が及ぶ。タイプ B の場合、市場の変動を介して間接的に工業側の採算性などに影響が及ぶ。

ライフサイクル思考に基づいて、これらの問題の解決を考えるにあたって、データの集積などにより問題を分析し、原因を特定して対策を講じる方法のみでは限界がある。なぜなら、農業には、植物を生長させるのに必要な時間幅や、天候などの制御できない環境因子による影響が存在し、目前の課題を限られた時間内に分析することが困難だからである。さらに、原因が特定できたとしても、必ずしも自身の権限が及ぶ範囲内で制御できるとも限らない。このように、原因の特定が困難で、単独の意思決定者だけでは解決が困難な問題を、本研究ではシステミックな問題と呼ぶ。

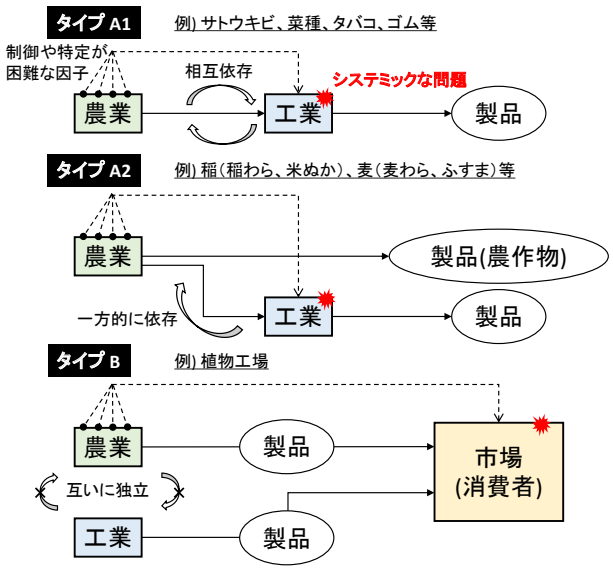


図 1 植物資源由来生産における農業と工業の関係

2.2 モデリングに基づいたライフサイクル設計

問題の原因を必ずしも一意に特定できない状況において、変わりゆく社会や環境にシステムが適応し続けるためには、システム内で適切なコミュニケーションを取れる仕組みを持つことが重要である [2)]。ここで、モデリングは、複雑な対象を解釈しやすい形に変えて、望ましい姿を探求するために用いられてきたアプローチであり、これまでに化学プロセスの設計などにおいて重要な役割を果たしてきた [3)]。これを植物資源由来生産においても適用することにより、各プレイヤーに対して、自身の意思決定に起因する他者への影響について理解を助け、定量的な議論に基づいたコミュニケーションを促せるようになると考えられる。

植物資源由来生産を対象としたモデリングにおいて、以下の 2 つの課題の克服が必要である。第 1 に、モデリングの技術的課題である。データや知識が分散して

存在し、時定数も農工間で異なる中で、必要な議論を可能にする精度のモデルを開発することが課題である。第 2 に、モデルの活用における課題である。モデルにより探索された代替案を実行するためには、代替案への推移に必要な時間幅の考慮や、モデルだけでは表現しきれない項目の議論が必要である。これらを克服することで、合意形成を支援できると考えられる。

3. ケーススタディ

図 1 における各タイプの代表例として、サトウキビ由来生産、米ぬか由来生産、植物工場を対象に、ケーススタディを行ってきた。

3.1 サトウキビ由来生産（タイプ A1）

サトウキビは、原料糖のみならず、エタノール、電力、熱を複合生産可能な植物資源であるものの、日本の南西諸島をはじめとする一部の地域では、原料糖生産用にのみ利用されている。複合生産に向けた品種や技術オプション [4]は開発されているものの、定性的な議論のみで農工間の利害を解消しながら両者を同時に変えていくことは困難である。

サトウキビ栽培から原料糖・エタノール製造までのプロセスをモデリングすることにより、農家と製糖工場が連携して意思決定を行うことで、原料糖とエタノールを同時増産しつつ、温室効果ガスの削減、省プロセス化、関連資源の節約を同時に達成できることを定量的に示した [5-7]。さらに、製糖工場でモデルを用いたシナリオ計画会議を開催することにより、農工両方の技術オプションの選択と導入の順序などに気を付けながら、代替案の達成に向けた将来のシナリオを計画できることが分かった。

3.2 米ぬか由来生産（タイプ A2）

玄米精穀時に副産物として発生する米ぬかには、イノシトールやビタミンなどの高付加価値成分が含まれている。しかし、米ぬかは主食である白米の副産物として見なされており、米菓等の用途で集中して発生する一部の米ぬかを除いては、これらの成分が回収されないまま廃棄されているのが現状である。

文献及び稼働中のプロセスの調査を通して、データ収集、及び米ぬかリファイナリプロセスのモデリングを行い、工業側で出来る代替案の提案を可能にした。

3.3 植物工場（タイプ B）

植物工場は、建屋内で農作物を栽培する技術であり、天候や病害虫などの外乱に強いことから、食料の安定供給に貢献することが期待されている。しかし、市場が露地栽培によって変動しやすい上に、製品である農作物の保存が工業製品のようにはきかないため、その社会的な価値に反して導入が進まないのが現状である。

工場の規模や設備能力、地域固有の条件、植物体の熱収支などを同時に考慮した植物工場のプロセスモデリングを行い、経済面や環境面から、植物工場の機能と価値についての定量的な議論を可能にした。

4. おわりに

植物資源由来生産におけるシステミックな問題を分類し、ケーススタディを通して、それを解決するための方法論を提案した。分類したタイプごとに、システミックな問題の性質と解決の動機付けが異なる。タイプ A1 では、農業と工業が相互依存の関係にあるために、最初から目的を共有しやすい。一方で、タイプ A2 は、工業は農業にとって必ずしも必要な存在でないために、工業側でできることを集積した上で、農業側に参画を要請する段階が必要となる。タイプ B では、競合する農工間での目的の共有は困難であるが、植物工場の例のように、食料の安定供給のような公益に関わる問題であれば、政策決定者の立場から工業を交えて解決を動機付けることができる。ライフサイクル思考に基づいて、モデリングにより農業と工業を統合的に設計する当アプローチのフレームワーク化と、他ケースへの応用展開により、植物資源由来生産の強化に貢献できると言える。

謝辞

本研究に関して議論をさせていただいた東北大学の福島康裕准教授、アサヒグループホールディングス（株）の小原聡 博士、杉本明 博士、農研機構九州沖縄農業研究センターの樽本祐助 博士、服部太一朗 博士、国際農林水産業研究センターの寺島義文 様に感謝する。東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は、（株）地球快適化インスティテュート、三井不動産（株）、信越化学工業（株）、オリックス（株）、積水ハウス（株）、東日本旅客鉄道（株）からの寄付で活動している。

引用文献

1) Alder P.R., Sanderson M.A., Weimer P.J., Jung H.G.: Agron. J., 98, (2005), pp 1518-1525.
2) Checkland P., Scholes J.: John Wiley & Sons, Chichester, (1990)
3) Chen H., Shonnard D. R.: Ind. Eng. Chem. Res., 43 (2), (2004), pp 535-552
4) Ohara S., Fukushima Y., Sugimoto A., Terajima Y., Ishida T., Sakoda A.: Biomass Bioenerg., 42, (2012), pp 78-85
5) Ouchida K., Fukushima Y., Ohara S., Sugimoto A., Hirao M., Kikuchi Y.: AIChE J., 6, (2017), pp 560-581
6) Ouchida K., Kikuchi Y., Okubo T.: Comput.-aided Chem Eng., 38, (2016), pp 1947-1952
7) 大内田弘太朗, 服部太一朗, 寺島義文, 大久保達也, 菊池康紀: 化学工学論文集, 採択済

C2-14

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

大阪ガスの都市ガス／電力事業における CO_2 削減貢献量の算定方法

Calculation method of avoided CO_2 emission on city gas / electricity business of Osaka Gas

○柏木愛一郎[*1)]、田中敏英[1)]

Aiichiro Kashiwagi, Toshihide Tanaka

1) 大阪ガス株式会社

* akashiwa@osakagas.co.jp

1. 背景・目的

地球規模の気候変動への対応は、世界全体の喫緊の課題となっている。「持続可能な開発目標（SDGs）」の一つに位置付けられるとともに、2020 年以降の国際的な取り組みの枠組みとして、「パリ協定」が 2016 年 11 月に発効した。日本政府は 2030 年度の温室効果ガス排出を 2013 年度比で 26%削減する目標を国連に提出し、国の「地球温暖化対策計画」にも織り込まれた。

エネルギービジネスを中心に事業を展開する当社グループにとっても、温室効果ガス排出削減の取り組みは極めて重要な使命である。CO_2 排出が少ない天然ガスをはじめ、高効率な製品・サービスの提案・普及、再生可能エネルギーの導入等を通じて、都市ガス製造所や発電所など、当社グループ自らの事業活動はもとより、エネルギーをご利用いただくお客さま先での CO_2 排出削減にも注力している。これらの CO_2 排出削減の取り組みには、自らの排出量を減らす場合の他、高効率化や燃料転換によりお客さま先での排出量を減らす場合や、電力供給の代替により他社の発電所からの排出量を減らす場合もある。

当社グループが 2017 年 3 月に発表した「長期経営ビジョン 2030」においては、ESG に配慮した事業経営をより一層進めるものとし、環境面では 2017 年度から 2030 年度までに累計約 7,000 万トンの CO_2 排出削減を目指すこととした。これは、上述の CO_2 排出削減の取り組みによるものをすべて合算して削減貢献量として定量化したものであり、ここではその算定の考え方について紹介する。

2. CO_2 削減貢献量の算定方法

2.1 算定範囲

当社グループの事業活動で 2017 年度以降に導入する高効率設備や低炭素エネルギー等によって、2016 年度の排出水準を基準に、2017～2030 年度の間に削減されると推定される累計量を算定した。2017 年度を初年度とする当社グループの「中期経営計画 2020」および「長期経営ビジョン 2030」に整合する目標として設定したものである。

2.2 算定方法

高効率設備導入やエネルギーの低炭素化等、当社グループの各種取り組みの CO_2 削減貢献量は、「高効率技術や低炭素エネルギー等の導入量見通し」に「既存の設備やエネルギー利用等と比較した導入量あたりの CO_2 排出削減効果」を乗じたものを総計することで算定した。なお、算定方法については国の地球温暖化対策計画（2016 年 5 月閣議決定）の CO_2 削減量の算定方法を参考にした。

CO_2 削減貢献量の算定過程では、ライフサイクルの範囲が原則となるが、コージェネレーションシステム[1)]（以下、コージェネ）や発電技術[2)]の例のように、エネルギー多消費機器・技術においては、建設、運用、維持・保全、解体等の各プロセスのうち「運用」部分が大部分を占める特性を持つ。このため「運用」部分を中心として算定・評価を行っている。

購入電気の CO_2 排出係数は、「火力電源平均の CO_2 排出係数」を使用した。CO_2 の排出量算定では、全電源平均係数を用いることが一般的とされているが、CO_2 の削減量を算定する場合には、影響を受ける電源の特性から、火力平均係数を用いる考え方があり、地球温暖化対策計画をはじめ公的文書においても数多くの場面で採用されている。その理由は、水力や原子力は定期点検等を除き最大限に稼働しているため、購入電気を削減するシステムの導入・非導入によらず影響を受けない、すなわちそれらのシステムの導入により影響を受けるのは火力発電であり、この平均係数の使用の方が実態に即しているためとされる。

以降では「自社の事業活動による削減」と「お客さま先での削減」に大別し、個別の例についての CO_2 削減貢献量の算定の考え方を示す。

2.3 自社の事業活動での削減

①都市ガス製造工程における省エネルギー

当社は天然ガスを産出国で液化し、液化天然ガス(LNG)として輸入している。この LNG は-160℃の低温液体で、その冷熱エネルギーを動力として回収し、タービンを駆動して発電し、その電力をガス製造プロセス内で利用することで電力購入量を減らし、省 CO_2 を

図っている。CO_2削減貢献量は「発電量」×「火力平均係数」として計算した。

②高効率な火力発電の導入

ガスタービン・コンバインドサイクル発電など、経済的に利用可能な最良の技術による最新鋭の高効率発電技術を採用することによるCO_2削減貢献量を算定した。国内、海外を含めベースラインを「同じ燃料を使用する既存の火力発電の排出係数」とし、「発電量」×「既存火力とのCO_2排出係数差」として計算した。

③再生可能エネルギー電源の利用促進

太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギー電源の利用促進を図ることによるCO_2削減貢献量を算定した。火力発電を代替すると考え、ベースラインを火力発電のCO_2排出係数とし、「発電量」×「火力平均係数」として計算した。

2.4 お客さま先での削減

①高効率な分散型システムの普及

都市ガスで発電し、同時に発生する排熱を給湯や冷暖房に利用できるコージェネや燃料電池の導入によるCO_2削減貢献量を算定した。ベースラインは従来型ボイラと購入電力とし、発電分については火力発電を代替するものとして「火力平均係数」を用いた。コージェネについては「容量当たりの削減量」、燃料電池については「1 台あたり削減量」を算定し、これに導入容量、導入台数を乗じて計算した。

②天然ガスの普及拡大と高度利用

化石燃料のなかで最もCO_2排出が少ない天然ガスの普及拡大によるCO_2削減貢献量を算定した。国内・海外の燃料転換については「天然ガス開発量」に他燃料から天然ガスへ転換した際の「CO_2排出係数差」を乗じた。ガス空調（GHP、吸収式）については従来型空調機を代替するものとして「容量当たりの削減量」を算定し、これに「販売容量」を乗じた。高効率給湯器については従来型給湯器を代替するものとして「1 台当たりの削減量」を算定し、これに「導入台数」を乗じた。天然ガス自動車についてはディーゼル車を代替するものとして「1 台あたりの削減量」に「導入台数」を乗じて計算した。

③省エネ提案

お客さま先においても省エネの提案を実施しており、照明の LED 化や太陽光発電設備の導入提案を行っている。これらはお客さま先における節電量あるいは発電量に火力平均係数を乗じて計算した。

2.5 算定結果

上記の結果を累計した結果、2017 年度から 2030 年度のCO_2削減貢献量は約 7,000 万トンと推計された。これはお客さま先や海外での削減貢献も含めた値で、国の削減目標（2030 年度で 2013 年度比 26%削減）の約 2%に相当する。

当社グループは事業の特性上、図 1 に示すように、その規模の拡大とともにスコープ 1, 2, 3 の GHG 排出量はいずれも増加する。しかしながら、上述した当社グループのCO_2排出削減の取り組みにより、当社グループの低炭素なエネルギー・システムに置換えられることで他社や他社のバリューチェーンでの排出削減が図られ、社会全体での排出削減に貢献することになる。なお、スコープ 1, 2, 3 の値の算出に関しては、当社「CSR レポート」を参照されたい。

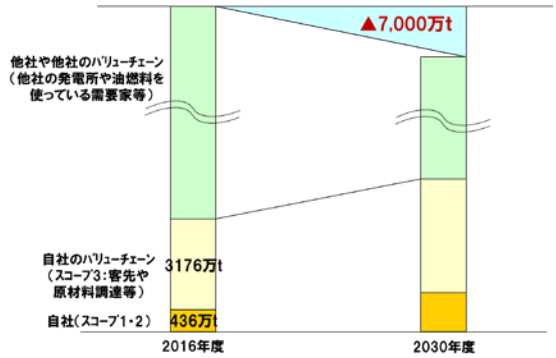


図 1 CO_2削減貢献量の概念

なお、今回の算定はあくまで削減貢献量としての概念であり、ベースラインの設定は実際にそれが代替されるとは限らない推定であることや、他社のスコープ 1, 2, 3 排出量とダブルカウントが生じることは認識する必要がある。

3. まとめ

当社グループの今後の高効率設備導入やエネルギーの低炭素化等によるCO_2排出削減の取り組みを対象に、2017 年度から 2030 年度の累計のCO_2削減貢献量を算定した。国の地球温暖化対策計画におけるCO_2削減量の算定方法を参考に、ベースラインは既存の設備やエネルギー利用等との比較として設定し、購入電気の削減については火力発電の発電量が削減されるものとして火力平均のCO_2排出係数を用いて算定した。

4. 引用文献

1) 武田 晃成, 柴田 理, 横尾 昇剛, 岡 建雄:日本建築学会技術報告集, 17, (2003), pp 275-278
2) 電力中央研究所報告：”日本における発電技術のライフサイクルCO_2排出量総合評価”,(2016)

電子部品の温室効果ガス排出抑制貢献事例に関する研究

A case study of GHG reduction contributions of electronic components

○横山亮*[1)]、岩田和久[2)]、磯島貞正[2)]、谷口祐二[3)]、古島康[4)]、内田裕之[4)]、木村司[5)]

Ryo Yokoyama, Kazuhisa Iwata, Sadamasa Isoshima, Yuji Taniguchi,

Yasushi Furushima, Hiroyuki Uchida, Tsukasa Kimura

1) TDK 株式会社, 2) 株式会社村田製作所, 3)アルプス電気株式会社,

4)みずほ情報総研株式会社, 5)一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）

*ryoyoko@jp.tdk.com

1. はじめに

2015 年に気候変動枠組条約に加盟する全ての国および地域が参加する世界初の枠組みであるパリ協定が採択され、日本は 2030 年に 2013 年度比で温室効果ガス（GHG）排出を 26%削減する約束草案を提出した。これを受けて経済産業省は長期温暖化対策プラットフォームを策定し、その中で「製品ライフサイクルで見ると、使用段階での排出が大半を占めており、素材・製品・サービスの生産部門での削減から、グローバル・バリューチェーンでの削減へと視野を広げることが重要」としている。

日本では、これまでにいくつかの産業界が独自のガイドラインを策定し、製品使用段階での GHG 排出抑制に対する貢献を訴求してきたが、今回の経済産業省の提唱により、バリューチェーン全体での GHG 排出抑制に関する取り組みが加速することが期待される。

2. 電子部品の役割と期待

2.1 電子部品の用途の広がり

貢献量を算定するには対象製品の機能と用途を知る必要がある。電子部品には多くの種類があり、また、同じ電子部品が家電や産業用機器のように異なる分野で使われることも珍しくない。したがって、バリューチェーンでの電子部品の貢献を考えるためには、電子部品の用途の広がりを理解しなければならない。

図 1 に示したように日本の電子部品は様々な用途で使われており、世界市場でのシェアも 38%[1)]と高いことから、日本の電子部品が用途的および地域的な広がりを持って使われていると推測できる。

2.2　IoT 社会と電子部品

電子部品は自動車の電装化や近い将来の IoT 社会の実現においても重要な構成要素である。

IoT（Internet of Things)とは、センサー、家電、車両等の様々なモノがインターネットにつながることであり、これにより、社会の様々な面の効率化や新たな知識、価値、サービス等の創出が期待されている。この時、インターネットに接続する機器（IoT デバイス）には情報を収集するための各種センサーと、送信するための通信モジュールという電子部品が搭載される。IoT デバイスは今後爆発的に増加すると予測され（図 S1)、電子部品市場も更なる拡大が見込まれる。

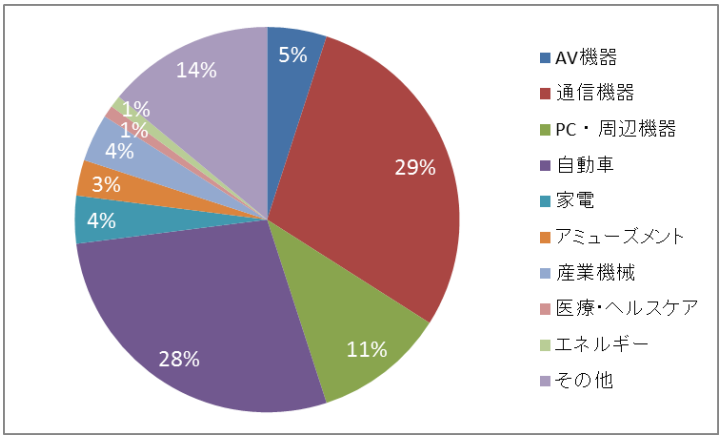


図 1　電子部品の用途別構成比（2017 年 4 - 6 月）
（出典：JEITA 電子部品部会統計資料）

2.3 電子部品の貢献ポテンシャル

2.1, 2.2 で述べたように、日本の電子部品は用途的・地域的に広がりを持って使われており、また、近い将来実現する技術においても重要な構成要素であることから、GHG 排出抑制に対する貢献にも大きな期待が持てる。

本研究の一環として、2030 年断面における電子部品のワールド貢献ポテンシャルを推計した。試算は Ecofys[2015][2)]に示された「機器の省エネに関して最も厳しい基準が各国、地域で採用された場合、世界全体のエネルギー消費量がどの程度低減されるか」という予測を基に、日本の電子部品の世界市場でのシェアと、電機・電子 低炭素社会実行計画で使われている寄与率による配分手法[3)]を適用して行った。2030 年における貢献ポテンシャルは電気電子製品の分野だけでおよそ 100Mt-CO_2 になり、これは日本の一般家庭が 1 年間に排出する CO_2[4)]の 2000 万世帯分に相当する。

3. 貢献事例の収集と分類

事例の収集は（一社）電子情報技術産業協会（JEITA）電子部品部会 部品環境専門委員会の参加企業を対象に行い、26 の事例を収集した。調査項目を表 1 に示す。

表 1 貢献事例調査項目

調査項目
Ⅰ 評価対象製品 （ｉ）評価対象製品 （ii）CO_2 削減の内容（要素技術）
Ⅱ CO_2 を削減する製品のレベル（部品／最終製品）
Ⅲ 電子部品の用途（最終製品）
Ⅳ ベースライン（比較対象製品）
Ⅴ 評価対象製品とベースラインのエネルギー消費に係る定量情報（電力消費量または燃料消費量）
Ⅵ 最終製品の生涯稼働時間
Ⅶ 評価対象製品の普及量と導入地域

収集した事例を GHG 排出抑制貢献につながる電子部品の使われ方（役割）によって下記の 4 つに分類し、貢献量算定の基本的な考え方をまとめた。

①性能向上：既存の電子部品の性能が向上する場合。
性能が向上する前後で機能単位を揃え、それぞれのエネルギー消費量の差分を基に算出を行う。

②代替：既存の電子部品を他の電子部品で代替することによって、電子部品あるいは最終製品の性能が向上する場合。
性能が向上する前後で機能単位を揃え、それぞれのエネルギー消費量の差分を基に算出を行う。

③付加：従来は用いられていなかった電子部品が付加されることによって、最終製品の性能が向上する場合。
最終製品の性能が向上する前後で機能単位を揃え、それぞれのエネルギー消費量の差分を基に算出を行う。

④新製品：当該の電子部品を用いることによって、新たな製品が最終製品として開発された場合。
新たに開発された最終製品と同等の機能を有する既存製品を設定し、それぞれのエネルギー消費量の差分を基に算出を行う。

表 1 貢献事例調査項目の内「Ⅱ CO_2 を削減する製品のレベル」は、GHG 排出抑制につながる効果が部品のレベルで発現するか、最終製品レベルで発現するかを明らかにするための項目であり、中間製品である電子部品特有のものである。部品レベルに該当するものは 4 つの分類の内、①性能向上と②代替に含まれ、これらの製品については電子部品自身のエネルギー消費に係る情報等を(1)式に当てはめることにより GHG 排出抑制貢献量を算定することが可能である。

$$C_d = \Delta W_r \times L \times H_{op} \times Coef_e \times S \quad (1)$$

C_d：排出抑制貢献量（kg-CO_2）
ΔW_r：定格条件での消費電力削減分（kW）
L：定格での使用条件に対する実働状態の負荷率
H_{op}：稼働時間（h）
$Coef_e$：購入電力の CO_2 排出係数（ kg-CO_2/kWh）
S：販売数量

4. まとめ

電子部品は様々な機器に組み込まれて使用されることにより、製品使用段階での温室効果ガス排出抑制に貢献している。また、自動車の電装化や近い将来の IoT 社会の実現においても重要な役割が期待されており、ライフサイクル視点で社会全体の温室効果ガス排出抑制を進める上で電子部品の役割を知ることは有益である。

今回、日本の電子部品の用途別構成比を確認し、2030 年における貢献ポテンシャルを推計した。また、日系電子部品メーカーから具体的な電子部品の貢献事例を収集し、電子部品の使われ方（役割）によって 4 つに分類するとともに貢献量算定の基本的な考え方をまとめた。

電子部品の貢献量を算定する上では中間製品特有の課題があり、取り組みの事例は未だ多くない。本研究の内容が電子部品の貢献を考える上での示唆を与え、日本の電子部品メーカーによるバリューチェーンでの GHG 排出抑制への取り組みの一助になれば幸いである。

5. 引用文献

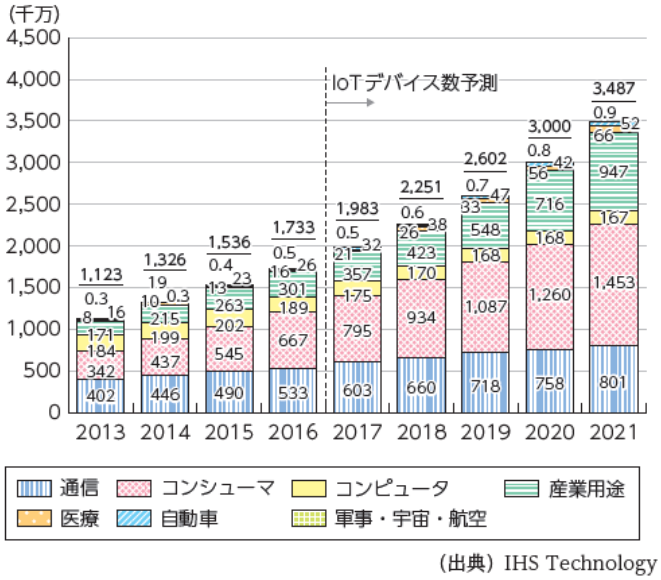
1) 一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）「電子情報産業の世界生産見通し 2017」

2) Ecofys［2015］： “Savings and Benefits of global regulations for energy efficient products - A ‘cost of non-world’ study: Final report”

3) 一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）「製品の CO_2 排出抑制貢献量に対する半導体・電子部品の寄与率算定の考え方」
http://www.denki-denshi.jp/down_pdf.php?f=pdf2014/Guidelines_for_device_contribution.pdf

4) JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センター「日本の現状」 http://www.jccca.org/chart/chart04_06.html

Supporting Information



(出典) IHS Technology

図 S1　世界の IoT デバイス数の推移及び予測
（平成 29 年版 情報通信白書より抜粋）

C2-16　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

樹脂窓に関する LCA と GHG 排出削減貢献量

Life cycle assessment of PVC (polyvinyl chloride) windows and the contribution of PVC windows to avoided greenhouse gas emissions.

○長縄肇志*[1)]，稲葉敦[2)]，塚本晃子[3)]，林田敦[4)]，小森英芳[4)]，高嶋信一[5)]，山下将国[6)]，関成孝[1)]，高村正彦[1)]

Tadashi Naganawa, Atsushi Inaba, Akiko Tsukamoto, Atsushi Hayashida, Hidefusa Komori, Shinichi Takashima, Masakuni Yamashita, Shigetaka Seki, Masahiko Takamura

1) 塩ビ工業・環境協会, 2) 工学院大学, 3) YKK AP 株式会社, 4) 株式会社 LIXIL, 5) 三協立山株式会社, 6) 株式会社エティーサ研究所

* t_naganawa@vec.gr.jp

1. はじめに

2013 年以降、住宅の省エネルギー化が本格化し、より断熱性に優れた樹脂窓の戸建て住宅への普及が期待されている。国連の気候変動枠組条約での日本の約束草案では、2030 年度の家庭部門の温室効果ガス排出量の目安は 2013 年度比で 39 %減の 122 百万トンが目標として掲げられており、省エネルギー基準に適合する新築住宅の推進が図られている。本研究は、戸建て住宅に使用される樹脂窓、アルミ樹脂複合窓及びアルミ窓に係る製造時の実績に基づくプロセスデータを収集し、原料調達～廃棄段階の住宅用窓のライフサイクルに亘る環境負荷をエネルギー消費量、GHG 排出量を中心に LCA 手法によって定量的に把握することを目的とした。さらにベースラインとなる平成 28 年省エネルギー基準[1)]の仕様基準（開口部比率区分：ろ）に準拠した住宅用窓と樹脂窓との GHG 排出量の比較に関する検討を行い、樹脂窓が普及することによる GHG 排出削減貢献量を算定した。

2. 樹脂窓の LCA

2.1 対象製品

戸建て住宅の多くに用いられる樹脂窓の引違い窓（規格サイズ 16513）とたてすべり出し窓（同 07411）を評価対象製品とした。サッシは PVC 製、ガラスは三層複層ガラスと複層ガラスのものとし、LowE ガラスと一般ガラス、空気層はガス入りとガスなしの組み合わせとしている。比較対象製品は、樹脂窓、アルミ樹脂複合窓、アルミ窓とし、複層ガラスの LowE ガス入り、ガスなし及び一般複層ガラスとした。規格サイズはどの窓も評価対象製品の樹脂窓と同じとした。8 地域を除く 1～7 の地域毎に、窓の評価対象製品と比較対象製品を設定した。表 1 に対象製品の仕様[1),2)]を示す。

樹脂窓、アルミ樹脂複合窓、アルミ窓の製造に係るプロセスデータは、窓メーカの協力により、年間の製造実績に基づくデータを用いた。

表 1 対象製品の仕様[1),2)]

地域	区分	評価対象製品			比較対象製品
1地域 旭川	一般名称	樹脂窓			樹脂窓
	サッシ	PVC			PVC
	ガラス	三層複層ガラス			複層ガラス
		ダブルLowE ガス入り	シングルLowE ガス入り		LowE
	熱貫流率 U[W/(㎡K)]	1.60	1.70		2.33
2地域 札幌	一般名称	樹脂窓			樹脂窓
	サッシ	PVC			PVC
	ガラス	三層複層ガラス	複層ガラス		複層ガラス
		ダブルLowE ガス入り	LowE ガス入り		LowE
	熱貫流率 U[W/(㎡K)]	1.60	1.90		2.33
3地域 盛岡	一般名称	樹脂窓			樹脂窓
	サッシ	PVC			PVC
	ガラス	三層複層ガラス	複層ガラス		複層ガラス
		ダブルLowE ガス入り	LowE ガス入り		LowE
	熱貫流率 U[W/(㎡K)]	1.60	1.90		2.33
4地域 仙台	一般名称	樹脂窓			アルミ樹脂複合窓
	サッシ	PVC			アルミ+PVC
	ガラス	三層複層ガラス	複層ガラス		一般複層ガラス
		ダブルLowE ガス入り	LowE ガス入り		
	熱貫流率 U[W/(㎡K)]	1.60	1.90		3.49
5地域 宇都宮	一般名称	樹脂窓			アルミ窓
	サッシ	PVC			アルミ
	ガラス	三層複層ガラス	複層ガラス	複層ガラス	一般複層ガラス
		ダブルLowE ガス入り	LowE ガス入り	LowE	
	熱貫流率 U[W/(㎡K)]	1.60	1.90	2.33	4.65
6地域 東京	一般名称	樹脂窓			アルミ窓
	サッシ	PVC			アルミ
	ガラス	三層複層ガラス	複層ガラス	複層ガラス	一般複層ガラス
		ダブルLowE ガス入り	LowE ガス入り	LowE	
	熱貫流率 U[W/(㎡K)]	1.60	1.90	2.33	4.65
7地域 鹿児島	一般名称	樹脂窓			アルミ窓
	サッシ	PVC			アルミ
	ガラス	三層複層ガラス	複層ガラス	複層ガラス	一般複層ガラス
		ダブルLowE ガス入り	LowE ガス入り	LowE	
	熱貫流率 U[W/(㎡K)]	1.60	1.90	2.33	4.65

2.2 システム境界と算定単位

評価対象製品と比較対象製品である各窓に係る製造（原料調達含む）、住宅における空調の使用、廃棄段階までをシステム境界に含めた。戸建て住宅への窓の施工と住宅の解体プロセスは、窓のライフサイクル全体に占める関与が軽微であることから評価範囲に含めなかった。

算定単位は戸建て住宅 1 戸とした。戸建て住宅の窓の設置数は、建築環境・省エネルギー機構のガイドライン[3)]を参考に、寒冷地を 16 窓（引違い 10 窓、たてすべり出し 6 窓）、温暖地を 17 窓（引違い 10 窓、たて

すべり出し 7 窓）とした。

2.3 廃棄物処理段階におけるシナリオ設定

戸建て住宅での使用後に廃棄物となる窓の取り扱いは解体業者によって異なる要素であることから、リサイクル推進、焼却、埋立のシナリオを設定した。

2.4 住宅使用段階に関する諸条件

戸建て住宅の仕様は、建築環境・省エネルギー機構のガイドライン [3]に沿ったものとし、対象とした地域は 1～7 地域とした。住宅モデルは 2 階建て、延べ床面積 120.08 ㎡、開口率は寒冷地が 21.0%、温暖地が 26.8%である。想定生活者は 4 人家族、冷暖房機器はエアコン（暖房：20℃、冷房：27℃）、運転方法は 1、2 地域の暖房が居室連続運転、その他は部分間歇運転とし、気象条件は拡張アメダス気象データ 2000 年版（標準年）とした。躯体に用いる断熱材は、地域毎に樹脂窓、複合窓、アルミ窓の全てにおいて同じ条件とした。戸建て住宅の冷暖房に係る熱負荷計算は AE-Sim/Heat[4]を用いて、地域毎に窓の条件を設定して 1 年間に使用する電力量を計算した。戸建て住宅の居住期間は 30 年間とした。

3. 評価結果

全ての地域において、評価対象製品のエネルギー消費量と GHG 排出量が比較製品よりも減少する結果となった。図 1、2 に代表として 6 地域（東京）における樹脂窓に係るエネルギー消費量と GHG 排出量を示す。エネルギー消費量は評価対象製品が 1 戸あたり 30 年間で 410～430GJ に対して、比較対象製品は 520GJ であった。同様に GHG 排出量は評価対象製品が 24～25t-CO_2eq/戸、比較対象製品が 30t-CO_2eq/戸であった。エネルギー消費量と GHG 排出量の構造をみると、製造、輸送、使用段階、廃棄のうち、住宅の使用期間に係るものが 90%以上を占める。ただし、使用段階のエネルギー消費量と GHG 排出量は戸建て住宅 1 戸分であるため、開口部だけでなく躯体からの熱損失分を含んでいる。躯体の断熱材使用条件は地域毎に全て同一としており、３種類の評価対象製品と比較対象製品のエネルギー消費量と GHG 排出量の差分が、戸建て住宅に樹脂窓を使用することによる削減量となる。

図 1、2 において、樹脂窓・三層複層（ダブル Low-E）のケースが最小とならないのは、樹脂窓・複層（LowE）に比べてガラスの日射熱取得率が低く冬場の日射を遮ってしまうため、暖房を必要としエアコンの電気を多く使用することになるからである。

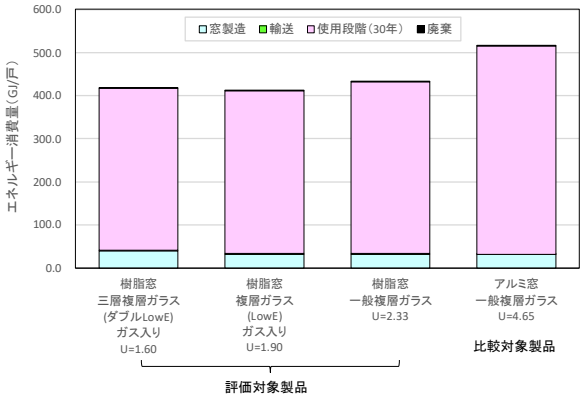


図 1 樹脂窓に係るエネルギー消費量（東京）

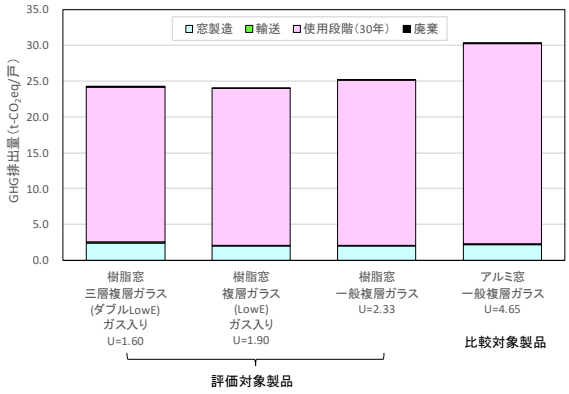


図 2 樹脂窓に係る GHG 排出量（東京）

4. 樹脂窓による GHG 排出削減貢献量

本研究による樹脂窓のライフサイクル評価結果を用いた GHG 排出削減貢献量の算定方法を検討中である。樹脂窓を設置した戸建て住宅 1 戸あたりの地域別の GHG 削減効果と 2016 年における樹脂窓の普及量（9 万 2 千戸）から推定した結果、樹脂窓の普及による GHG 排出削減貢献量は 46～55 万 t-CO_2eq となった。本研究においては、2030 年までの樹脂窓の普及による GHG 排出削減貢献量の算定に関する検討を実施している。

引用文献

1) 住宅部分の外壁、窓等を通しての熱の損失の防止に関する基準及び一次消費エネルギーに関する基準、国土交通省告示第二百六十六号
2) 平成 28 年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（住宅）、国立研究開発法人建築研究所
3) 自立循環型住宅への設計ガイドライン、一般財団法人建築環境・省エネルギー機構
4) AE-Sim/Heat（熱負荷計算ソフトウェア）、株式会社建築環境ソリューションズ

C2-17
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

経団連低炭素社会実行計画における削減貢献の考え方と取組み

Overview and business's experiences of 'avoided emissions' in Keidanren's Commitment to a Low Carbon Society

○谷川喜祥*[1)]、井岡紘子 [1)]
Kiyoshi Tanigawa, Hiroko Ioka
1) 日本経済団体連合会
*kisho@keidanren.or.jp

1. はじめに

2013 年、日本経済団体連合会（以下、経団連）は、産業界による地球温暖化対策として、経団連低炭素社会実行計画（以下、実行計画）を策定 [1)]し、2020 年、2030 年に向けた取組みの方向性として、①国内事業活動からの排出抑制、②主体間連携の強化、③国際貢献の推進、④革新的技術の開発からなる、4 つの柱を打ち出した（図 1）。このうち、第 2 の柱（主体間連携の強化）において、製品やサービスのライフサイクルを通じた排出削減を目指している。

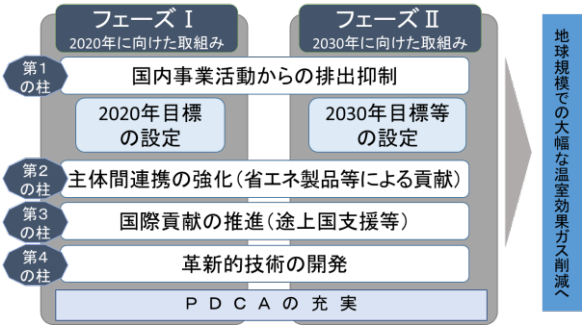


図 1 経団連低炭素社会実行計画の概要

本稿は、実行計画における主体間連携の強化に向けた産業界の取組みを紹介するとともに、今後の産業界の地球温暖化対策のあり方について考察する。

2. 実行計画における第 2 の柱の位置づけ

経団連は、1997 年、環境自主行動計画を策定し、産業・エネルギー転換部門を中心に、国内の自らの事業活動における CO2 削減に努めてきた。その結果、同部門における 2008 年度から 2012 年度の平均 CO2 排出量が、1990 年比で平均 12.1%減少する成果を上げた [2)]。一方で、増加傾向にあった家庭などの他部門や、新興国を中心とする国外における CO2 排出削減が課題となった [3)]。

そこで、経団連は、自らの事業による排出の削減に留まらず、家庭等の他部門や海外での排出削減にも貢献することで、地球規模の排出削減に取り組むとの考えに基づき、前述した 4 つの柱からなる実行計画を策定した。中でも第 2 の柱においては、エネルギー効率性に優れた製品等、ライフサイクルを通じて社会の排出削減に貢献する製品・サービスの提供や調達等を通じて、関連業種等とも連携しながら CO2 排出量の削減に貢献することを目指すこととした。

3. 製品のライフサイクルを通じた CO2 排出削減

3.1 基本的な考え方

1997 年から続く第 1 の柱の取組み（国内における自社の事業活動からの排出抑制）は、例えば製造プロセスなど、製品ライフサイクルにおいて、自社が直接関わる特定のステージにおける排出削減が主眼となる。一方、第 2 の柱においては、自社による直接的な関わりの有無に関わらず、製品のライフサイクル全体を通じて、特に排出削減の余地が大きいステージにおける CO2 排出削減効果に着目した取組みである。

例えば、車や家電製品等、使用段階で多くのエネルギーを消費する工業製品は、製造段階に比べ、使用時の CO2 排出量が大きい傾向にある。このため、製造業は、使用時のエネルギー効率性を改善した製品を開発・製造・提供することが、他部門における CO2 排出量削減に繋がる。

3.2 報告実績

2013 年度に実行計画を開始して以来、毎年行うフォローアップ調査を通じて、報告年度における実績や進捗等を報告している [4)]。第 1 の柱においては、各業種の CO2 排出量や削減率等を部門毎に集計・公表しているが、第 2 の柱においては、そのような集計・合算を行っておらず、業種毎の取組みを報告している。

2016 年度のフォローアップ調査結果（速報版、55 業種対象）[5)] では、12 業種が報告年度における製品のライフサイクルを通じた CO2 排出削減貢献を定量的に報告している。

3.3 定量化の手法

第 2 の柱の定量化については、実行計画開始当初より、統一的な手法がなく、業種それぞれが開発した手

法による。

3.3.1 評価対象製品

評価対象製品は、最終製品が 22 製品、部品が 13 製品、不明が 2 製品であった。例えば、対象製品が「LED 関連材料」とある場合は、「部品」に区分した。しかし、実際の算定での比較は LED とその他の照明器具というように、対象が部品か最終製品かの区別は困難な場合がある。

また、2 業種以上が削減貢献量を報告している製品として、自動車、太陽光パネル、火力発電、LED、家庭用燃料電池があった。ただし、同じ製品であっても、算定条件や比較する機能、参照するデータが異なることから、算定結果は異なっている。

3.3.2 ベースライン

ベースラインを示している業種は 8 業種だった。その内、「従来機」等、具体的な記載が無いケースを除くと、3 業種に留まる。3 業種において、基準年はそれぞれ異なる。2 業種が報告している「太陽光パネル」のベースラインは、「公共電力」と「調整電源（火力平均）」、「LED」のベースラインは「白熱電球」「トップランナー基準」と、それぞれ異なっている。

3.3.3 評価範囲

製品のライフサイクルの内、全てのステージを評価対象としている業種は 1 業種、使用時のみが 1 業種、運搬時のみが 1 業種、他 9 業種は記載がなかったものの、記述内容から使用時のみと推察された。CO2 削減に寄与するステージに使用時が多いことが伺える。

4. 今後の課題

4.1 定量化手法や報告方法の整備

定量化の手法は、同種の製品であっても、業種によって、ベースラインや評価範囲等が異なる。また、フォローアップ調査に対する報告においては、手法に関する記載が限定的だった。これらを踏まえると、今後は、次の前提を踏まえた形で、定量化手法や報告の方法について整備することが望まれる。

第一に、地球温暖化は、地球規模の課題であり、国内や自社の排出分だけに対策を限定すべきものではない。むしろ、経緯で前述したとおり、自社の事業による排出削減だけにとどまらず、家庭等を含む他部門や海外を含めた地球規模での排出削減に取り組むことが重要である。

第二に、製品のライフサイクルを通じた排出削減の取組みは、自社製品を通じて、自社の管理が及ぶ範囲外の他者の排出削減に影響を及ぼすため、他者の排出量への影響を厳密に定量的に把握することは非常に困難である。むしろ、ライフサイクルを通じて排出量を削減すると見込まれる製品の開発や普及を後押しし、評価するための手法の整備が望まれる。

第三に、評価の対象となる製品や、それを扱う業種は多岐にわたることから、同一の手法を細部にまで当てはめることは難しい。枠組みや概念は統一的であっても、評価対象製品や業種の特性に合った手法が選択できる柔軟性、また、採用した手法を分かりやすく説明できる透明性が求められる。

このような製品のライフサイクルを通じた削減貢献の評価が進むことで、第 2 の柱の取組みと地球規模での排出削減の取組みが広がることを期待する。

5. 謝辞

本発表の機会を頂いた日本 LCA 学会及び工学院大学の稲葉敦教授、産業技術総合研究所の本下昌晴殿に謝辞を申し上げる。

6. 引用文献

1) （一社）日本経済団体連合会：“経団連低炭素社会実行計画”，経団連ホームページ，（オンライン），入手先 <http://www.keidanren.or.jp/policy/2013/003.html>，（参照 2017-12-12）
2) （一社）日本経済団体連合会：“環境自主行動計画＜温暖化対策編＞総括評価報告”，（2013），pp.3
3) （一社）日本経済団体連合会：“環境自主行動計画＜温暖化対策編＞総括評価報告”，（2013），pp.6
4) （一社）日本経済団体連合会：“ 環境自主行動計画・経団連低炭素社会実行計画”，経団連ホームページ，（オンライン），入手先 ＜http://www.keidanren.or.jp/policy/vape.html>，（参照 2017-12-12）
5) （一社）日本経済団体連合会：“経団連低炭素社会実行計画 2017 年度フォローアップ結果 総括編＜2016 年度実績＞［速報版］”，経団連ホームページ，（オンライン），入手先 <http://www.keidanren.or.jp/policy/2017/101.html>，（参照 2017-12-12）

D2-14,P2-028　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

消費者の環境関心と環境配慮行動

Consumers' environmental consciousness and pro-environmental behavior

○藤澤美恵子*[1)]、平湯直子[2)]
Mieko Fujisawa, Naoko Hirayu
1) 金沢大学, 2) 武蔵野大学
* fujisawa@staff.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

環境問題は重要な課題であり、様々な対策が講じられている。環境ラベルも企業が取り組む重要な環境対策であるが、その認知度は一般に低いと言われている。本研究は、この環境ラベルに着目し、消費者の属性、環境関心の度合い、節電削減努力等が環境ラベル認知とどのような関係にあるかを明らかにし、環境ラベルの認知向上の方策を検討することを目的とする。

2. アンケート調査の概要

2.1 調査の概要

アンケート調査『環境意識に関する Web アンケート調査』を表 1 の通り実施した。調査は株式会社マクロミルに委託し、同社登録モニターを対象とする Web アンケート調査である。事前にモニターの属性をスクリーニングする事前調査の後に、本調査を実施する二段階で行った。本調査は、2017 年 3 月 30 日（木）から 4 月 18 日（火）にかけて実施した。

回答対象者は、東京電力供給エリア内の 1 都 6 県（東京都・千葉県・埼玉県・神奈川県・群馬県・栃木県・茨城県）に居住、世帯主もしくは世帯主の配偶者かつ勤労者もしくは年金受給者（学生は含まれない）、自ら電気使用量を確認し、既に HEMS 等を設置していない住宅に居住する、以上の条件に合致する者とした。主な調査項目は、電気料金や世帯属性（住居、子供数、在宅時間等）、でんき家計簿に対する評価や退会理由などである。

表 1 調査の概要

調査日	【スクリーニング調査】2017年3月24日（金）～4月8日（土） 【本調査】2017年3月30日（木）～4月18日（火）
対象者	東電エリア内（1都6県）居住 世帯主もしくは世帯主の配偶者 勤労者もしくは年金受給者（学生は含まない） 自ら電気使用量を確認する 既に住宅エネルギー管理システム（HEMS）を設置していない住宅に居住
項目	【スクリーニング調査】 電気使用量や給湯稼働状況を見られる機器の設置 電気料金（使用量）の確認者 東電との契約・でんき家計簿の登録 【本調査】 でんき家計簿の登録・登録時期 でんき家計簿登録後の行動変化・電気使用量変化 環境項目への関心度合い 電気使用量減少のための行動 環境マーク認知度 世帯属性（子供数・住居・延床面積・在宅時間）など最大30問

調査は、配信数 1,946 に対して 1,406 の回答が得られ、本調査の回収率は 72.3%であった。回答者の属性を図 1 に示す。なお、同様の調査を 2016 年 3 月末に実施しており [1)]、再度（継続）の回答者として事前調査を経ずに回答依頼の配信を行っている（この件数を配信数に含む）。この前回回答者を情報既得者としてトリートメント群、新規の回答者をコントロール群とした。トリートメント群は、1 年前のアンケート調査時に同様の環境ラベルを 1 度見ていることから、その学習効果があるものと仮定して分析を行った。

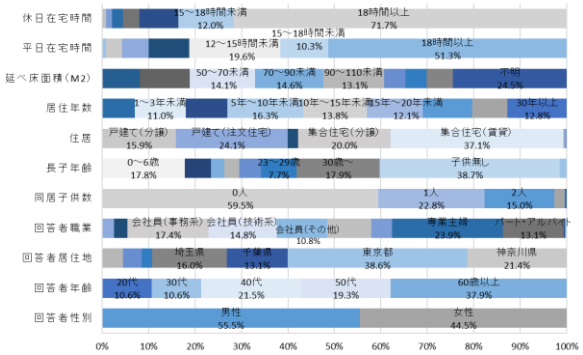


図 1 回答者の属性（n=1,278）

3. 環境ラベルの認知度

環境ラベル（12 種）に関する認知度の調査結果が、表 2 である。なお、調査にあたり使用した環境ラベルの選定は、グリーンマーケット＋（プラス）研究会（2011）[2)]を参考にした。

調査は各環境ラベルの図柄を名称とともに表示し、「よく知っている・まあまあ知っている・内容はよく知らないが見たことがある・初めてみた」の 4 選択肢での回答である。認知度が最も高いのはエコマークであり、次いで低排出ガス車認定・再生紙使用マークの順である。他方、「初めて見た」比率が高く認知度が低いのは環境製品宣言・カーボンフットプリント・カーボンオフセット認証・エコファースト制度である。

続いて、ポイント化により環境ラベルの認知度合い（環境ラベル認知度）を見たものが図 2 である。4 選択肢のうち「よく知っている」を 2 点、「まあまあ知っている」を 1 点、その他選択肢を 0 点とし、最大 24 点でポイント化を行った。平均は 3.08 ポイントであり、

最大 23 ポイント、最小 0 ポイントである。6 ポイント未満の割合が約 8 割を超えている。

表 2 環境ラベルの認知状況

環境マーク	よく知っている（内容を人に説明できる）	まあまあ知っている（内容をおおよそ知っている）	内容はよく知らないが見たことがある	初めて見た	合計（人） 構成比（%）
エコマーク	175 13.7	586 45.9	390 30.5	127 9.9	1278 100.0
低排出ガス車認定	136 10.6	437 34.2	412 32.2	293 22.9	1278 100.0
統一省エネラベル	39 3.1	175 13.7	384 30.0	680 53.2	1278 100.0
エコレールマーク	21 1.6	114 8.9	314 24.6	829 64.9	1278 100.0
エコファースト制度	7 0.5	77 6.0	238 18.6	956 74.8	1278 100.0
グリーンマーク	87 6.8	276 21.6	522 40.8	393 30.8	1278 100.0
再生紙使用マーク	133 10.4	365 28.6	493 38.6	287 22.5	1278 100.0
エコリーフ	8 0.6	61 4.8	230 18.0	979 76.6	1278 100.0
カーボンフットプリント	9 0.7	63 4.9	132 10.3	1074 84.0	1278 100.0
環境製品宣言	5 0.4	45 3.5	106 8.3	1122 87.8	1278 100.0
カーボンオフセット認証※	12 0.9	59 4.6	172 13.5	1035 81.0	1278 100.0
燃費基準車	86 6.7	240 18.8	388 30.4	564 44.1	1278 100.0

※カーボンニュートラル認証を含む

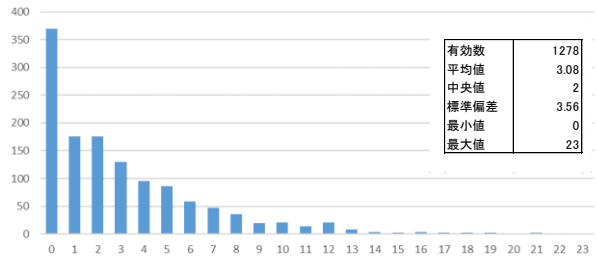


図 2 環境ラベルの認知度

4. 環境ラベルに関する重回帰分析

4.1 分析の方法

分析にあたり回収数 1,406 から厳密にデータクリーニングを行い、1,278 サンプルを有効回答数とした。分析モデルは最小二乗法による重回帰分析であり、モデル式を数式（1）に示す。

$$Y = \alpha + \sum \beta_i X_i + \varepsilon \quad \cdots (1)$$

ここでは、Y：被説明変数、α：定数項、β：回帰係数、X：説明変数、ε：誤差項を、i は説明変数の数を示す。被説明変数は環境ラベル認知度であり、説明変数として属性の他に、環境関心度・情報探究性・情報希求性・節電努力・でんき家計簿登録有無等を用いている（表 3）。

4.2 分析結果

分析結果を表 3 に示す。説明変数のうち、年齢が高いほど・18 歳以下の同居の子供がいる・平日在宅時間が長いほど、環境ラベルの認知度と負の関係が見られる。一方、家族数が多い・回答者が有職の場合は、環境ラベルの認知度と正の関係がある。また、電気料金への態度、すなわち高い電気価格への許容度の無さが、環境ラベルの認知程度と正の関係がある。同様に、環境関心度が高い・節電努力をおこなっていることも正の関係がある。興味深い点は、情報への態度であり、情報希求性は統計的に有意ではないが、情報探求性は統計的に採択され、環境ラベルの認知度と正の関係となる。なお、トリートメント群として設定した前回回答者は統計的有意とはならなかった。このようなアンケート調査に協力することも環境教育の一環と考えたが、実際は環境ラベルの認知向上に効果がないことがわかった。

表 3 分析結果

	非標準化係数		t 値
	B	標準誤差	
（定数）	1. 457 *	0. 881	1. 654
男性ダミー	0. 336	0. 319	1. 055
年齢	−0. 031 **	0. 013	−2. 346
家族数	0. 307 **	0. 140	2. 186
18歳以下同居の子有無ダミー	−1. 030 ***	0. 381	−2. 703
未婚ダミー	−0. 139	0. 337	−0. 411
居住年数	0. 019	0. 012	1. 560
住宅面積	0. 001	0. 003	0. 391
平日在宅時間	−0. 048 *	0. 025	−1. 915
世帯年収	−0. 024	0. 075	−0. 325
有職ダミー	0. 915 ***	0. 318	2. 878
電気料金に対する態度	0. 794 ***	0. 308	2. 576
快適性への希求	0. 056	0. 305	0. 183
環境関心度	0. 101 **	0. 039	2. 559
情報探求性	0. 281 ***	0. 073	3. 836
情報希求性	0. 001	0. 044	0. 014
節電努力	0. 235 ***	0. 037	6. 334
でんき家計簿登録有無ダミー	0. 273	0. 238	1. 147
トリートメント群ダミー	−0. 306	0. 245	−1. 247
N	1, 278		
調整済み R2 乗	0. 191		

***1%有意、**5%有意、*10%有意

5. おわりに

トリートメント群の分析結果から、アンケート調査程度の情報提供では環境ラベルの認知が向上することがないことが確認できた。一方、環境関心度が高い、節電努力をしている、情報探求タイプの消費者では、環境ラベルの認知度が高いことが明らかとなった。

分析結果から、年齢が上がるほど負の関係となり、高齢者の環境ラベルへの興味が低いことが示唆された。若年層は学校教育の中で環境問題を学んでいるが、高齢層はその機会がなかったことに由来する可能性があり、高齢者向けの環境教育の機会の増加が課題と思われる。また、18 歳以下の子供のいる場合も環境ラベルの認知度合いが低下する。これに対しては、子育て世帯の忙しさ故と推察される。環境関心度の低い人や多忙な人への環境情報の到達の工夫が求められる。

※本アンケート調査は、科研費基盤 C（一般）15K03476 の助成のもと実施した調査である。

引用文献

1) 藤澤美恵子,平湯直子,“環境意識と環境行動に関する Web アンケート調査－調査の概要と集計結果－”（2016）金沢大学人間社会研究域経済学類ディスカッションペーパー, No.31

2) グリーンマーケット＋（プラス）研究会（第 2 回）“消費者アンケート調査（1 次調査）の結果（速報）”環境省 HP（最終：2017 年 3 月 15 日）http://www.env.go.jp/policy/g-market-plus/com.html

D2-15,P2-033　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

カーボンフットプリント支援のための ベンチマークによる消費者選好変化の評価

Evaluation of consumer preference change by benchmark for supporting carbon footprint

○環野真紀*、井原智彦
Maki Kanno, Tomohiko Ihara
東京大学
* kanno-m@envsys.k.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

消費者由来の間接 GHG 排出量を削減するための取り組みとして、カーボンフットプリント（CFP）による情報提供が行われている。しかし、GHG 排出量の定量表示の数値のわかりづらさが指摘されており [1]、製品数の少なさもあいまって、消費者の低炭素製品選択のための指標とはなっていない。低炭素製品の選択を促進するためには、ベンチマークを付与し、CFP の理解を支援する必要があると考える。また、CFP 選好は消費者によって異なるため、多様な情報ニーズに合わせた情報提供が必要である。本研究では、CFP 製品の選好調査を行い、ベンチマークを付与したときの CFP 選好の変化を分析し、ベンチマークの CFP 選好変容効果を明らかにする。さらに、環境配慮行動の要因連関モデル [2]を低炭素製品の選択に適用し、消費者の多様な価値観を考慮した、消費者選好を評価することを目的とする。

2. 手法

2.1 CFP の数値と表示に対する選好分析

環境情報の表示や価格、機能といった属性の異なる製品に対する選好を問う質問を実施した。回答者の CFP の選好を明らかにするため、コンジョイント分析を行う。対象とする製品は、洗濯用洗剤と T シャツの 2 製品とした。消費者が重視する製品の属性を分析する手法であるコンジョイント分析を行った。属性を表 1 に示す。コンジョイントカードの作成の際に、CFP の表示されていない製品が多い市場を再現するために、CFP そのものに対する選好と、数値に対する選好を区別した。表示の有無をダミー変数（表示有り：0、表示無し：1）とし、表示有りのカードのみに数値を表示させ、計 16 枚のカードを作成した。アンケート画面の例を図 1 に示す。各属性が 1 単位増加した時に消費者が支払いたいと思う金額を表す、限界支払意思額（Willingness to Pay : WTP）を用いて、選好評価指標とした。

2.2 ベンチマークの付与による選好変化の分析

回答者グループを 3 つに分け、異なるベンチマークを付与した CFP を表示させ、選好への影響を分析した。グループ 1 は、何も情報を与えず、CFP を表示する。グループ 2 は、CFP に加えて、製品の GHG 排出量の平均値からの増減割合を表示する。グループ 3 は、日常生活における身近な行動（暖房・シャワーの使用）に伴う直接 GHG 排出量を表示し、CFP との比較指標となるようにした。各グループの CFP の選好を比較することで、ベンチマークの選好への影響を明らかにする。

2.3 消費者の価値観の違いによる選好への影響分析

消費者の価値観の違いによる選好への影響を明らかにするために、環境配慮型製品の購買に関する質問を実施した。質問項目は、環境配慮行動の規定因モデルに関する研究 [2]や、CFP の印象に関する消費者選好の研究 [3]を参考にした。各質問に「強くそう思う」から「まったくそう思わない」の 4 段階の選択肢を設けた。これらの質問の回答を説明変数に、CFP の WTP を目的変数としてパス解析を行い、CFP 選好への影響を明らかにする。

3. プレ調査の実施

3.1 実施概要と目的

2017 年 12 月 16～24 日にプレ調査第 1 回を実施、12 月 24～25 日にプレ調査第 2 回を実施した。回答者は、

表 1　製品プロファイル（左：洗剤　右：T シャツ）

	水準1	水準2	水準3	水準4
価格	210円	280円	350円	420円
CFP（数値）	3.2kg	5.0kg	6.8kg	8.6kg
CFP（表示）	なし	あり		
漂白剤	あり	なし		
蛍光剤	あり	なし		

	水準1	水準2	水準3	水準4
価格	1000円	1250円	1500円	1750円
CFP（数値）	10kg	12kg	14kg	16kg
CFP（表示）	なし	あり		
PET繊維	0%	50%		
速乾性	なし	あり		

図 1 アンケート画面の例

第 1 回が学生 15 名、社会人 4 名の計 19 名、第 2 回は学生 6 名、社会人 4 名の計 10 名であった。

プレ調査では、本調査の設計のために、適切な価格幅の設定と、CFP 表示と数値に対する選好を区別する手法のテストをすることを目的とした。

3.2 プレ調査第 1 回の結果

第 1 回では、CFP を表示させるカードの割合を表示あり：表示なし＝4：1 とした。各属性に対する効用値と WTP の結果を表 2 に示す。CFP の数値について、洗剤は 1%水準、T シャツは 5%水準で有意な結果となった。一方で、表示なしのカードが少ないため、洗剤・T シャツのいずれも表示の有無の効用値は有意にならなかった。

また、T シャツについて、第 1 回ではドライ洗濯の要･不要を属性として設けていたが､効用値が大きく、CFP の効用値の有意性に影響を及ぼしていると考えた。

3.3 プレ調査第 2 回の結果

第 2 回では、CFP 表示あり：表示なし＝1：1 とし、T シャツの属性の 1 つを、速乾性とした。各属性に対する効用値と WTP の結果を表 3 に示す。CFP の数値について、有意な結果が得られなかったが、表示の有無についてはいずれも有意な結果が得られた。プレ調査の結果より、本調査では、カードの割合を CFP 表示あり：CFP 表示なし＝9：7 とした。また、第 2 回では、CFP 表示なしのカードに対する印象を質問したところ、「GHG 排出量を 0kg として考えた」「GHG 排出量は多くも少なくもないと想像した」など、回答者によって様々であった。この結果を、本調査における CFP に対する印象調査に活かした。

4. 結言

CFP 表示の有無と数値への選好を分析するアンケートを設計した。1 月中旬に本調査を実施し、ベンチマークを付与したときの CFP 選好の変化を分析し、ベンチマークの CFP 選好変容効果を明らかにする。さらに、環境配慮行動の要因連関モデルを低炭素製品の選択に適用し、消費者の多様な価値観を考慮した、消費者選好を評価する。

表 2　プレ調査第 1 回の結果（左：洗剤　右：T シャツ）

	推定値	p値	WTP[円]
価格	-0.012	0.000	
漂白剤	0.204	0.185	-22.80
蛍光剤	-0.808	0.006	-49.95
CFP（数値）	-0.301	0.000	-23.59
CFP（表示）	0.010	0.487	0.86

	推定値	p値	WTP[円]
価格	-0.002	0.000	
PET繊維	-0.903	0.052	-406.12
ドライ	-2.773	0.000	-1,246.86
CFP（数値）	-0.158	0.012	-71.23
CFP（表示）	0.050	0.456	22.48

表 3　プレ調査第 2 回の結果（左：洗剤　右：T シャツ）

	推定値	p値	WTP[円]
価格	-0.022	0.000	
漂白剤	0.988	0.012	45.83
蛍光剤	-0.012	0.483	-0.58
CFP（数値）	-0.123	0.178	-5.73
CFP（表示）	-1.470	0.001	-68.21

	推定値	p値	WTP[円]
価格	-0.005	0.001	
PET繊維	0.807	0.141	156.44
速乾性	1.297	0.000	251.26
CFP（数値）	-0.111	0.083	-21.55
CFP（表示）	-1.000	0.017	-193.74

謝辞

本研究は、環境省環境研究総合推進費 S-14「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究」（代表　沖大幹・東京大学教授）の支援により実施された。

引用文献

1)　産業技術総合研究所: 未踏科学技術協会,　(2008)
2)　広瀬幸雄: 社会心理学研究,　10 (1),　(1994),　pp.44–55
3)　本下晶晴, 本田智則, 稲葉敦: 環境情報科学論文集,　23,　(2011),　pp.215–220

D2-16
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

環境ラベルの認知度は環境配慮商品の購買を促進するか

Does the recognition of the environmental label facilitate to buy eco-friendly products?

○西川可穂子*[1)]、堀田のぞみ [2)]
Kahoko Nishikawa, Nozomi Hotta
1) 中央大学, 2) お茶の水女子大学
*knishika@ tamacc.chuo-u.ac.jp

1.　はじめに

環境ラベルは、商品が環境に配慮して生産されたこと表す目印で、商品に関する環境情報の提供手段の一つである。環境ラベルを付けた商品が消費者に選択されることにより、環境に配慮した商品の生産が促され、持続可能な社会のための経済活動が発展することが期待されている。この環境ラベルの趣旨は広く事業者に理解され、現在では多くの商品に多種多様な環境ラベルが表示されている。平成 20 年 1 月に環境省により示された「環境表示ガイドライン～消費者にわかりやすい適切な環境情報提供のあり方～」（平成２１年１１月改訂・平成 25 年３月再改訂）なども環境ラベルの推進を後押ししている。

しかし、環境ラベルが目的としている「環境配慮商品の選択を促す効果」には、消費者の立場から、「認知度が低いため、ラベルの意味がわからない」、「多種多様なラベルが存在し、混乱する・覚えられない」、「異なるラベルが表示されており、商品間で比較できない」、「環境にどれくらい貢献しているのか不明」などの問題点が指摘されている。一方、これらの状況に対して、平成１９年度内閣府先駆的省資源・省エネルギー実践活動等推進事業でまとめられた資料 [1)] では、環境ラベルに習熟した人材（エコラベル・コンシェルジェ）の育成やエコラベルに関するゲームの開発により、消費者の理解度を高める提言があった。さて、その後１０年経過した現在、環境ラベルが消費者の商品選別の参考とされるようになっているのだろうか。本研究は、一般消費者にアンケート調査し、その実態と今後環境ラベルに必要なものは何かを検討することを目的とした。

2.　調査方法

2.1　アンケート調査の概要

全国の一般消費者に以下のように調査を実施した。

調査方法：インターネット調査（株式会社マクロミル）

調査実施期間：２０１６年１２月２１日

調査対象者：全国の一般消費者

（男性１９４名、女性１３６名；２９才以下２６名、３０−３９才７４名、４０−４９才９５名、５０−５９才７５名、６０才以上６０名）

2.2　アンケート調査内容

７つの質問を設定して実施した。

Q1.次に示す環境ラベルで知っているものはどれですか（１０例提示）複数回答

Q2. Q1 で知っている環境ラベルがあった方にお伺いします。その環境ラベルは、なぜご存じだったのですか？選択肢に理由がない場合は、その他の欄に記入ください。複数回答（選択肢５）

Q3.環境ラベルは商品を選ぶときの動機になりますか？単一回答（選択肢２）

Q4.環境ラベルは環境配慮型商品の選択の目安の一つになります。今後、環境ラベルはさらに多くの商品に積極的につけられるべきだと思いますか？単一回答(選択肢２)

Q5.　Q4 で「思わない」と答えた方にお伺いします。環境ラベルの普及が不要と思われる理由を教えてください。（複数選択）選択肢５

Q6.環境ラベルからどのような状況を知りたいですか？複数選択（選択肢６）

Q7.　Q1 に示したように、商品に付けられている環境ラベルの種類は多種多様にあります。消費者の立場から、環境ラベルの在り方としてどのような状態が好ましいと思われますか？単一回答（選択肢５）

これらのアンケート結果を集計し、調査結果とした。

3．結果と考察

3.1　商品選択の動機としての効果

環境ラベルは商品選択の動機になるか（Q３）という設問に対して、７８％（２５６名）が「いいえ」、２２％（７４名）が「はい」と回答した（図１）。８割近くの消費者にとって、環境ラベルは商品選択の動機になっていないという結果となった。

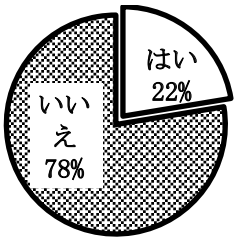


図１.環境ラベルは商品を選ぶ時の動機になるか？

3.2 今後の環境ラベル表示への意見

今後環境ラベルはさらに多くの商品に積極的につけられるべきか（Q４）という設問に対しては、「思う」が６７％（２２０名）、「思わない」が３３％（１１０名）となり、およそ 2/3 の消費者は環境ラベル表示に肯定的であった。この設問で環境ラベル表示に否定的な意見を持つ１１０名にその理由を尋ねたところ（Q５）、「環境配慮商品かどうかは気にならない」が４０％（４４名）と多く、次いで、「環境ラベルの数が多く意味がわからない」が３２％（３５名）、「環境ラベルを見ただけではその環境寄与率がよくわからない」が３０％（３３名）、「環境ラベルの信用度が低く、環境配慮型商品である指標にならない」が１２％（１３名）、その他５名という結果となった。これは、環境ラベル表示に否定的な意見を持つ１１０名のうち、環境配慮に無関心な消費者が４４名（４０％）と多い一方で、「環境寄与率の明確化」や「環境ラベル表示の数を減らし、意味を覚えやすくする」などの改善に努めれば、環境ラベルに否定的な消費者の一部から、表示に対する理解を得ることも可能であることが示唆される。

3.3 環境ラベル表示の改善に向けて

消費者の立場から環境ラベルのあり方はどのようなものが望ましいかを尋ねたところ（Q７）、「環境ラベルは単一のものが良い」が３８％（１２４名）、次いで「環境ラベルは複数でも良いが業界で統一する」が３４％（１１１名）で、現状の環境ラベルの数を減少させるべきだという意見が７割以上となった。環境ラベルを商品購入の動機として利用してもらうためには、多種多様なラベルを整理するという取り組みは避けては通れない課題ではないだろうか。

また、環境ラベルで表示してもらいたい環境情報については（Q６）、「リサイクル材の使用」が５７％（１８８名）、「地球温暖化の抑制への貢献」が３８％（１２６名）、「廃棄時の環境負荷が少ない」が３７％（１２１名）、「ライフサイクル全体を通した環境配慮の有無」が３２％（１０５名）、「生態系に配慮しているか」が２７％（９０名）であった。

3.4 環境ラベルの認知度と商品選択行動

１０例の環境ラベルを表示し、その認知度を調査した（Q１）。エコマークが７４％（２４４名）が最も認知度が高く、次いでグリーンマークが５２％（１７２名）、再生紙使用マークが４３％（１４２名）となった。その他、PET ボトルリサイクル推奨マークが１９％（６３名）であったが、それ以外はすべて１０％以下と低い認知度であった。これらの環境ラベルをどうして知ったのかを尋ねたところ（Q２）、７７％（２５４名）が「購入商品に表示してあったから」と回答した。エコマークの認知度が高いのも、普及率が最も高いことが要因にあるようだ。また、「学校や教科書で学んだから」は１２％（３８名）であるが、この内２９名は３０代以下の若い年代であり、学校での環境教育も認知度向上に効果があると推定される。

ただ、購入商品に表示してある環境ラベルを知っていた消費者（２５４名）の中でも、環境ラベルを商品選択の動機にしている者は２９％（７４名）しかいなかったことから、環境ラベルの付いた商品を選択してもらう努力が必要である。

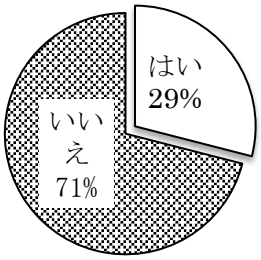


図２．環境ラベルを知っている上で、商品選択の動機になるか？

4.おわりに

本調査は小規模のインターネット調査であるが、環境ラベルは、商品選択の動機としては２２％の消費者にしか影響を与えておらず、また、環境ラベルを知っている人でも、それが商品を選択する動機となっているのは２９％という結論となった。一方、環境ラベル自体は肯定的に捉える消費者が多い（６７％）ことから、環境ラベルの普及と共に、環境ラベルが活用されるための改善が求められる。

引用文献

１）中庭知重：“多様化する環境ラベルの消費者への普及に関する考察“内閣府平成１９年度先駆的省資源・省エネルギー実践活動推進事業, 環境省（オンライン）, 入手先＜https://www.env.go.jp/council/24woman/y244-02/mat02_3.pdf＞

D2-17
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

持続可能な食の消費と生産の実現に向けた消費者選択分析

―生鮮食品を事例に―

Analysis of consumer preferences for the realization of sustainable food consumption and production
-a case of fresh food-

○藤原なつみ[*1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Natsumi Fujiwara, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
fuji-n@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

持続可能な食の消費と生産を実現するため、正しい情報に基づいた食選択を促していくことが重要である。これまで、消費者に持続可能性や環境影響に関する情報を伝えるため、カーボン・フットプリントや MSC 認証など、様々な情報的手法が考案･活用されてきた。また、こうした手法とは別に、生鮮食品には、商品名、価格、産地、農薬・肥料、鮮魚の生育環境（天然/養殖）などの情報が示されており、環境への配慮を意識する消費者は、こうした情報や自身の知識も手がかりにしながら商品を購入していると考えられる。

しかし、多くの研究が指摘するとおり、食品のライフサイクルにおける環境影響には様々な要素が複雑に関連しており、限られた情報表示や知識の下でより持続可能な食材を選択することは多くの消費者にとって困難である。広瀬（1995）[1)]は、環境に配慮した消費行動は、技術や知識あるいは能力などの要因によって制約を受けることが多く、必ずしも合理的決定による行動がそのまま実行されるわけではないことを指摘しており、この指摘が食材選択にもあてはまるといえる。

持続可能な食の消費と生産の実現に向けて、望ましい消費者とのコミュニケーションを検討していくために、まず、消費者が、実際にどのような情報表示や知識を活用しているかを明らかにする必要がある。

2. 方法

2.1 アンケート調査の概要

本研究では、消費者が食選択に活用している情報表示や知識の実態を把握するため、2017 年 3 月 17 日～19 日に、インターネットによるアンケート調査を行った（委託先：株式会社マクロミル）。対象者条件は、全国 18 歳以上男女で、スクリーニング調査において「週に 1 回以上小売店（スーパーマーケット、直売所等）買いものに行く」と回答した 1,030 名とした。

なお、事前調査として、岐阜県の私立 A 保育園の保護者と職員 20 名を対象にした質問紙調査を行ったところ、青果と精肉では全員が「安全性」を考慮して購入しているなど安全性への意識が高い傾向が見られた（藤原・吉川 2016）[2)]。一方、乳幼児を育てる母親は、食品表示への関心はあるものの、表示を確認することへの負担感があり、表示確認行動に至っていない可能性があると指摘する研究もある（宮腰ら・1999）[3)]。こうした既往研究から、身近に乳幼児がいる消費者は、「安全性」を意識するなど食への関心が高いが、購入する際には知識や情報表示を十分に活用できていない可能性があるという仮説を立てた。そして、家庭に未就学児がいる消費者グループ（子育て層グループ）が 515 名、そうでない消費者グループ（非子育て層グループ）が 515 名となるように割付条件を設定し、各グループの回答をクロス集計により比較することとした。

2.2 アンケート調査の内容

アンケート調査の内容として、第一に、属性に加え、環境に対する意識や態度、環境ラベルに関する知識などを尋ねた。第二に、生鮮食品（青果・精肉・鮮魚）を購入する際に、①安全性、②栄養価、③おいしさ、④価格適正、⑤鮮度、⑥環境への影響の 6 項目を考慮しているかを尋ねた。なお、本研究では、⑥環境への影響に対する回答を中心に分析を行う。第三に、「考慮している」と回答した場合、どんな表示等を判断材料としているのか、青果、精肉、鮮魚のそれぞれについて、商品名、商品価格、産地などの表示などのうち、あてはまるものを選択してもらった（表 1）。

表 1　生鮮食品購入時に判断材料とする表示等

青果	精肉	鮮魚
商品名の表示／商品価格の表示 産地表示（国産／外国産）／産地表示（都道府県） 商品そのものの見た目（触感を含む）／店舗が作成した POP		
旬 肥料 農薬 生産者（顔写真・氏名）	消費期限 生育環境（放牧・餌） 商品管理（生/解凍） 商品ブランド	旬 消費期限 生育環境（天然/養殖） 商品管理（生/解凍）

3. 結果

3.1 属性と環境への意識や態度

回答者の年齢は、30 代後半が 395 名（38.3%）と最も多く、次いで 30 代前半の 273 名（26.5%）と 30 代で過半数を占めている。これは、回答者の半数が家庭に未就学児がいる層となるよう割り付けを行ったため、回答者層の年代が偏ったものと考えられる。

環境配慮への態度について、子育て層と非子育て層を比較すると、「環境問題に関心がある」「環境に配慮した生活を送りたい」といった項目では有意な差は見られなかった。一方、「環境に配慮することにより、多少生活が不便になってもかまわない」という項目では、子育て層で「あまりそう思わない」「まったくそう思わない」という否定的な回答が多い傾向が見られた。

環境配慮への実際の行動について、子育て層と非子育て層を比較すると、省エネや節水、耐久消費財の購入時の環境配慮といった項目では有意な差はなかった。「日用品を購入する際、詰め替え用を選ぶなど環境影響（省エネ・省資源等）を意識して商品を選択している」という項目では、「いつも実行している」という回答は子育て層に多く、「ときどき実行している」という回答は非子育て層に多かった。また、「環境問題に取り組んでいる企業やお店の商品・サービスを積極的に購入している」という項目では、子育て層において「あまり実行していない」「まったく実行していない」という否定的な回答が多い傾向にあった。

3.2 生鮮食品購入時に意識する要素

生鮮食品購入時に、⑥環境への影響について「考慮している」と回答したのは、回答者 1,030 名中、青果物で 375 名、精肉で 329 名、鮮魚で 332 名であった。また、①安全性、②栄養価、③おいしさ、④価格適正、⑤鮮度の各項目では、子育て層と非子育て層で有意な差はなかったが、⑥環境への影響では、青果物、精肉、鮮魚のいずれにおいても、子育て層よりも、非子育て層で「考慮している」という回答が多い傾向にあった。

3.3 各要素を判断する際に活用する表示や知識

⑥環境への影響について「考慮している」を選択した回答者に対して、具体的にはどのような項目を判断材料としているか、選択肢（表 1）からあてはまるものを選択してもらった。その結果、消費者は「環境への影響」を判断する際に、情報表示や知識を十分に活用できていない傾向があることが明らかとなった。

例えば、青果物では、最も多くの回答者が挙げていた「農薬」表示においても、選択したのは 375 名中 121 名（32.3%）にとどまった。全ての青果品に表示されているはずの産地表示についても、判断材料として活用している消費者は、国表示が 21.3%、都道府県別表示が 17.6%にとどまり、十分に活用されていないことが明らかになった（表 2）。

表 2　青果品購入時に判断材料とする表示等（n=375）

	子育て層 (%)・n=169	非子育て層 (%)・n=206	合計 (%)
商品名	25 (14.8)	27 (13.1)	52 (13.9)
価格	11 (6.5)	15 (7.3)	26 (6.9)
産地（国）	35 (20.7)	45 (21.8)	80 (21.3)
産地（都道府県）	27 (16.0)	39 (18.9)	66 (17.6)
旬	15 (8.9)	30 (14.6)	45 (12.0)
外観（触感含む）	20 (11.8)	25 (12.1)	45 (12.0)
農薬*	43 (25.4)	78 (37.9)	121 (32.3)
肥料**	28 (16.6)	60 (29.1)	88 (23.5)
生産者情報	17 (10.1)	11 (5.3)	28 (7.5)
店舗作成 POP	19 (11.2)	21 (10.2)	40 (10.7)
該当なし*	40 (23.7)	32 (15.5)	72 (19.2)

**<0.1, *<0.5　Pearson のカイ二乗検定

4. おわりに

本研究では、子育て層と非子育て層の回答をクロス集計によって比較した結果、非子育て層よりも、子育て層において、食の選択における環境影響への意識が低い傾向が見られた。さらに、「環境への影響を意識する」と回答した層においても、十分に表示や知識を活用できていない傾向が見られた。表示されている情報量や知識が限定的であるために、情報表示等を判断材料として活かしきれていないと推察される。

今後、適切な消費者選択を促すためには、従来型の環境ラベルに加え、ICT 等の技術も活用しながら、LCA に基づく適切な情報提供していくことが必要だろう。さらに分析を深め、持続可能な食の実現に向けて必要な消費者とのコミュニケーションについて考察したい。

5. 参考文献

1) 広瀬幸雄「環境と消費の社会心理学」名古屋大学出版会（1995 年）

2) 藤原なつみ・吉川直樹（2017）「新たな商品表示制度下における環境コミュニケーションの提案」 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp22-23

3) 宮腰由紀子・西田美佐・塩原正一（1999）， 母親の食品添加物への意識と行動―出産・育児による変化―，順天堂医学， 45（1）， pp51-63

この研究の一部は、公益財団法人食生活研究会（研究代表者：藤原なつみ）の研究助成を受けて実施した成果である。

D2-18
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

エネルギーラベル効果の比較と検証

Comparison and Verification of Effects of Energy Efficiency Labeling Systems

○藤澤美恵子*
Mieko Fujisawa
金沢大学
* fujisawa@staff.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

CO2 削減は、人類共通の喫緊の課題である。パリ協定において我が国が国際社会に約束している削減量は、2030 年に対 2013 年比で 26%減である。その内訳は、対策が進行している産業部門が 7%なのに対して、家庭部門では 39%である。政府は、この大幅な削減の実現に向けて、エネルギーゼロ住宅（ZEH）等の省エネ住宅の普及を見込んでいる。

CO2 削減に向けて制定された「建物エネルギー消費性能の向上に関する法律」では、住宅を含む建物のエネルギー消費性能の表示を求める省エネ性能表示制度を定めている。すなわち、建物のエネルギー消費性能の見える化（エネルギーラベル）をおこない、適切な評価に基づく消費者の選択を促し、市場価格と連動することで住宅等のエネルギー消費性能向上のインセンティブにすることを狙っている制度である。

快適性の追求によりエネルギー使用量が増加してきた家庭部門において、39%もの CO2 削減は容易なことではない。エネルギーラベルの適切な運用により省エネ住宅の普及が図られるのか、その効果の程度はいくばかりかは、政府の政策や行動計画にも影響する。

エネルギーラベルの効果を計測し、その効果を明らかにすることが本研究の目的である。

2. 省エネ性能表示制度とエネルギーラベル

省エネ性能表示制度は、一定規模以上の建物を対象に（規模以下は努力義務）、売買や賃貸の現場での表示内容を定めている。第三者機関が認定するか、Web を利用して自己評価するかは、所有者の判断に委ねられているが、必ず建物の①1 次エネルギー消費量の基準、②同消費量からの削減率、③両者の関係図（エネルギーラベル：図 1）等を表示することとなっている。第三者機関が認定する省エネ性能表示例の 1 つが、一般社団法人住宅性能評価・表示協会が発行する Building-Housing Energy-Efficiency Labeling System（BELS）である（図 2）。

EU を始めとする多くの国では、既に省エネ性能表示と同様の制度があり、エネルギーラベルの表示を全ての建築物に対して義務化している。よって、消費者の意思決定を補助するラベルとして認知されている。例えば、イギリスでは建物の住宅・非住宅を問わず、家電まで統一の ABC 型ラベル（図 3）が使用されている。このことで、一見してエネルギー使用量等が把握しやすい工夫がなされている。エネルギーラベルの表示の工夫が、消費者の省エネ商品選択を促すかの研究もおこなわれている（Andrej Gubina et al.(2017)[1]）。

我が国では、EU 諸国で普及している ABC 型ではなく、一般的にわかりにくいとされるタコメーター型のラベルが採用されている。エネルギーラベルのスタイルやデザインについては十分な議論がなされておらず、ましてや消費者の意思決定にどのように影響するのかの研究もなされていない。環境ラベルでの研究が、藤澤（2017）[2] 等散見されるのとは対照的である。

本研究では、政府が目指す建物のエネルギーラベルの表示から適切な評価に基づく消費者の選択を促すことの実現可能性について検証をおこなう。

3. 調査・分析方法

本研究では、タコメーター型と ABC 型の表示をおこない、どちらがわかりやすいのかを実験調査した。被験者は、金沢大学の大学生（N 値＝10）である。パワーポイント（PPT）で作成した画像を見せ、画像に示されたエネルギーラベルが住宅にとって理想的な省

図 1 タコメーター型エネルギーラベル

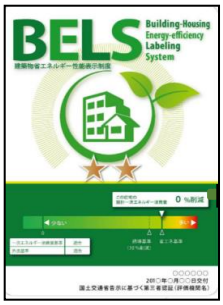


図 2　BELS

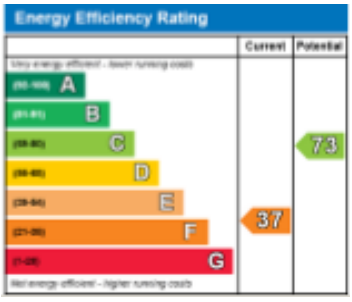


図 3　ABC 型エネルギーラベル
出所：住宅性能評価・表示協会 HP

エネレベルであるかを主観的にアンケート用紙に回答してもらった（図 4・5）。

調査期間は、2017 年 8 月 21 日から 25 日にかけておこなった。調査場所は、被験者以外はいない大学の講義室やゼミ室である。

調査にあたっては、順序のバイアスを排除するためにスプリット・バロット方式を採用した。すなわち、2 グループ（ｉタイプとⅱタイプ）に分け、ｉタイプの被験者に ABC 型に続きタコメーター型のラベルを見せた。ⅱタイプの被験者には、タコメーター型から ABC 型のラベルを見せた。なお、調査の後にわかりやすさの比較等についてヒアリング調査をおこなった。

分析にあたっては、①判断する時間の短さ、②省エネのレベルを正しく評価できるか、③より省エネの基準に誘導できるかを判断の基準とした。

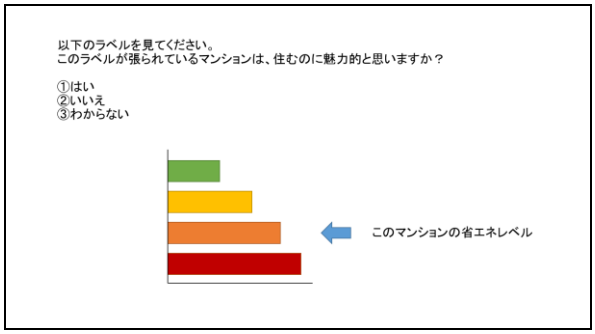


図 4　ABC 型のラベルの設問

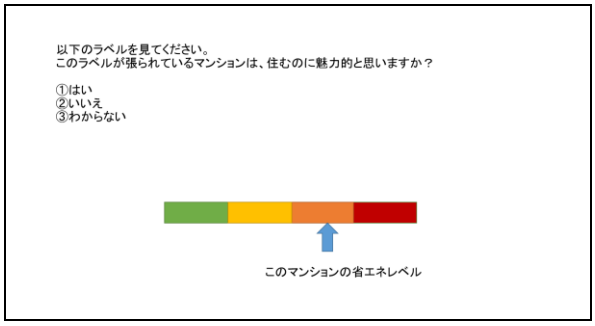


図 5　タコメーター型のラベルの設問

4. 分析結果

ｉタイプとⅱタイプ共に、設問は被験者に理解されており、問題なく回答を得た。分析の判断基準から、以下確認をおこなう（表 1）。

判断する時間については、ｉタイプとⅱタイプ共に大差がなかった。おおよそ 3 分程度で終了している。

省エネレベルを正しく理解できたかは、アンケート用紙にある設問に対する回答から判断した。タコメーター型の方が、基準を勘違いしている傾向が見られた。また、ｉタイプでは ABC 型でエネルギーラベルの理解が伴ったためか、タコメーター型になっても比較的正しく判断する傾向が見られた。一方、ⅱタイプでは、タコメーター型が理解できない上に、ABC 型になったため混乱している回答が散見された。ヒアリング調査で分かったことは、数名の被験者は、タコメーター型は左側の方が省エネであるが、右側を省エネであると勘違いしたようである。また、どちらのエネルギーラベルがわかりやすいかの質問に、ABC 型を上げる被験者が多かった。一方で、先に見たエネルギーラベルがわかりやすいと回答する被験者もおり、順序バイアスも確認されている。今後、被験者の数を増やして検証する必要がある。

より省エネに誘導できるかは、設問の中で比較する基準が変化した時の設問への反応で確認したが、ABC 型とタコメーター型には大きな差がでた。

表 2 分析結果

エネルギーラベル	ABC 型（分・%）	タコメーター型(分･%)
回答平均時間	3	3
省エネ基準の混合比率	35	90
誘導基準への反応比率	80	10

5. 最後に

本研究は、政府が目指す建物のエネルギー消費性能の見える化から適切な評価に基づく消費者の選択を促すことの実現可能性を検証した。その結果、タコメーター型で、勘違いする被験者が確認された。ABC 型では確認されなかったことから、やはりタコメーター型がわかりづらいと判断できる。ABC 型とタコメーター型の効果に差があることは検証できた。

しかしながら、N 値が低い点、大学生という単一の属性のみである点、設問にも工夫の余地があることから、今回の結果をしてタコメーター型がわかりづらいとは断言できない。本研究は、エネルギーラベルの効果を計測し、その効果を明らかにすることのプレ調査である。今後は、N 値を増やして、多様な被験者に調査をおこない再検証をおこなう。

※この研究は、公益財団法人 LIXIL 住生活財団からの研究助成を受けておこなわれた（助成番号：16-42・研究代表者：藤澤美恵子）。ここに感謝の意を表す。

引用文献

1) Andrej Gubina, Edin Lakic and Tomi Medved, “Energy Labels and Their Impact on Consumer’s Decision at the Point of Investment” 15th IAEE European Conference 2017
2) 藤澤美恵子（2017）「環境ラベル認知の程度と環境配慮行動の関係」第 36 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，117-120.

E2-14
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

水素発電のライフサイクル CO2 排出量評価

Life Cycle CO2 Emissions from Hydrogen Power Generation

○工藤祐揮*[1)]、村松良二[1)]、匂坂正幸[1)]、小澤暁人[1)]、玄地裕[1)]
Yuki Kudoh, Ryoji Muramatsu, Masayuki Sagisaka, Akito Ozawa, Yutaka Genchi
1) 産業技術総合研究所
* kudoh.yuki@aist.go.jp

1. はじめに

3 つの E（安定供給、経済効率性の向上、環境への適合）と 1 つの S（安全性）、すなわち 3E+S をバランスよく実現することを基本的な視点としているわが国のエネルギー政策の中で、化石や再生可能など様々なエネルギー資源から製造することができ、かつ炭素分を含まないためにエネルギーを取り出す際に CO2 を排出しない水素は、エネルギー安全保障と温暖化問題を同時に解決するための切り札として捉えられている。

しかし、CO2 を排出しないという水素の環境特性も、LCA の視点から見ると、一次エネルギーや再生可能エネルギーから水素を製造し、エネルギー変換や貯蔵・輸送を経て最終的に利用されるまでの水素サプライチェーン（SC）全体ではエネルギーやその他の資源の投入があるため、水素 SC からは必ず CO2 排出される。そのため、水素利用による温暖化対策への貢献は、エネルギーSC 全体で評価する必要があると私たちは考えている。

筆者らの研究グループでは、これまでに各種文献から得られたプロセスデータと LCA データベース IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）を用いて、各種水素 SC のライフサイクルインベントリ分析を行ってきている。本学会でも、海外再エネ起源水素サプライチェーンの大陸間輸送に伴う GHG 排出量[1)]や、自動車用燃料としての水素の位置づけを検討するために行った Well to Wheel 分析の結果[2)]などの成果発表を行ってきた。

水素の用途の中で、水素発電は水素需要を飛躍的に増加させることができ、それに対応するための大規模な水素 SC が構築されることによるコスト低下にも期待されている。そこで本分析では、水素発電を対象としてライフサイクル CO2 排出量の評価を行った。

2. 分析の前提条件

- フォアグラウンドデータには文献調査などによって得られたプロセスデータを、バックグラウンドデータには IDEA を用いた。
- 分析対象とする水素 SC は、既報[2)]のオーストラリアおよびノルウェーからの再エネ水素（Well to Tank 分析結果から、自動車用燃料に特有のプロセスを省いたもの）に加え、オーストラリアからの褐炭ガス化水素を対象とした。また参考のために、国内での LNG 改質水素 SC も対象とした。水素エネルギーキャリアは、液化水素（LH）およびメチルシクロヘキサン（MCH）を想定した。データの制約上、CO2 は基本的にエネルギーフローに起因する排出量のみとし、再エネ発電以外はインフラに伴う排出はシステム境界外に置いている。
- 再エネ水素 SC で、「ベース」では再エネ水素製造以外の海外プロセスに投入される電力はすべて系統電力とし、また国内発電所における MCH の脱水素反応熱源を都市ガス燃焼によって供給するものとした。LH を用いる場合の「低炭素電源」では、すべての海外プロセスに投入される電力を、再エネ水素製造と同じ再エネ電力で供給することを想定した。MCH を用いる場合の「廃熱利用」では、すべての海外プロセスを再エネ電力で供給することに加え、脱水素反応熱源を近傍プラントからの廃熱で供給することとした。
- 褐炭水素 SC でも再エネ水素 SC と同様に、「ベース」は再エネ水素製造以外の海外プロセスには系統電力投入、「低炭素電源」はすべての海外プロセスに再エネ水素製造と同じ再エネ電力投入、「廃熱利用」は「低炭素電源」に加え、脱水素熱源を廃熱によって供給することを想定した。
- 褐炭ガス化による水素製造は、噴流層式二室二段ガス化プロセス炉[3)]を想定した。また、褐炭ガス化プロセスから排出される CO2 を CCS 技術により回収して（回収率 90%）、隔離・貯留するオプションを想定した。データの制約上、CCS に必要なユーティリティおよびインフラに伴う排出量は、現時点では計上していない。
- 想定した水素発電は、文献[4)]で想定されている LNG 複合火力（1,500℃級）で専焼することを想定した。このとき、発電効率は LNG 複合火力よりも 1.9 ポイント低下する[5)]こととした。また比較の対象として、LNG 複合火力（1,500℃級）および石炭 USC 火力（600℃級）の排出量を算出した。ここで、LNG および石炭 SC の排出量は、IDEA 収録値を用いた。

3. 分析結果

図 1 に発電用水素 SC の CO2 排出量を示す。褐炭に含まれる炭素分の全量がガス化・シフト反応を通じて CO2 として排出されるため、CCS による CO2 回収を行ったとしても、褐炭ガス化水素 SC からの排出量は再エネ水素製造や LNG 改質水素と比べても多くなる。ここで、水素製造に必要となる酸素ガスおよび蒸気を外部から購入（必要な量に対して IDEA の CO2 原単位を乗じる）するのに代えて、プラント内部で酸素ガス・蒸気を低炭素に供給することを想定すると（それらの必要量を製造するための CO2 をゼロとする）、CCS ありの場合の褐炭水素 SC からの排出量は、オーストラリアで PV からの水素 SC とほぼ同じになる。

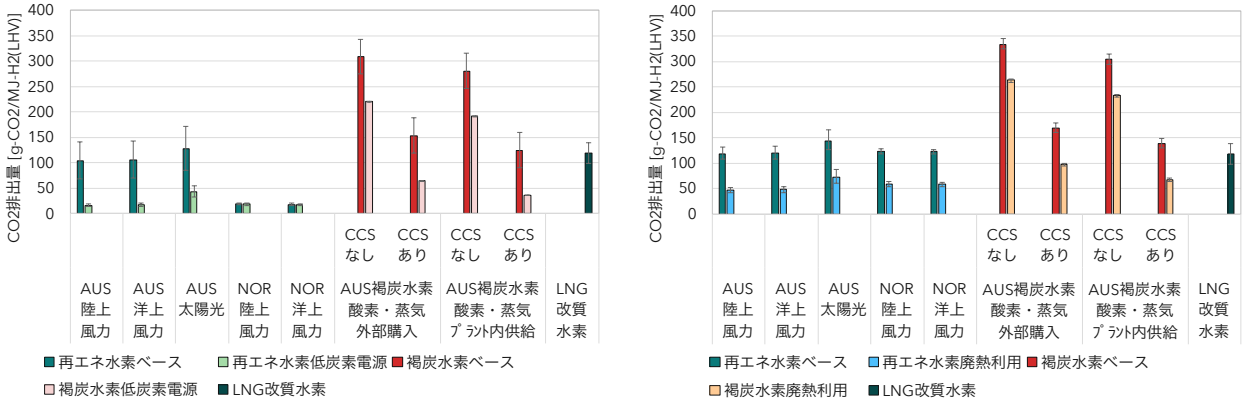
また図 2 に、水素専焼発電および既存火力からの CO2 排出量を示す。ここで、褐炭水素 SC からの排出量は、図 1 の「水素・蒸気プラント内供給」の結果を用いている。再エネ水素および CCS を組み合わせた褐炭ガス化水素を用いて水素専焼発電を行う場合の CO2 排出量は、SC の低炭素化を図ることにより、石炭 USC 火力だけでなく LNG 複合火力からの排出よりも下回る可能性があることが確認できる。

謝辞

本研究は、NEDO「水素利用等先導研究開発事業／トータルシステム導入シナリオ調査研究」の支援により実施した。

引用文献

1) 井上ほか: 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会, 柏, (2016), pp32-33
2) 工藤ほか: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会, 柏, (2017), pp46-47
3) 小菅ほか: 日本エネルギー学会誌, 93(11), (2014), pp.1106-1114
4) 電力中央研究所：日本における発電技術のライフサイクル CO2 排出量総合評価 総合報告：Y06, (2016)
5) Chiesa et. al: Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 127(73), (2017), pp.73-80



(a) LH をエネキャリとする場合　　(b) MCH をエネキャリとする場合

図 1　発電用水素 SC の CO2 排出量

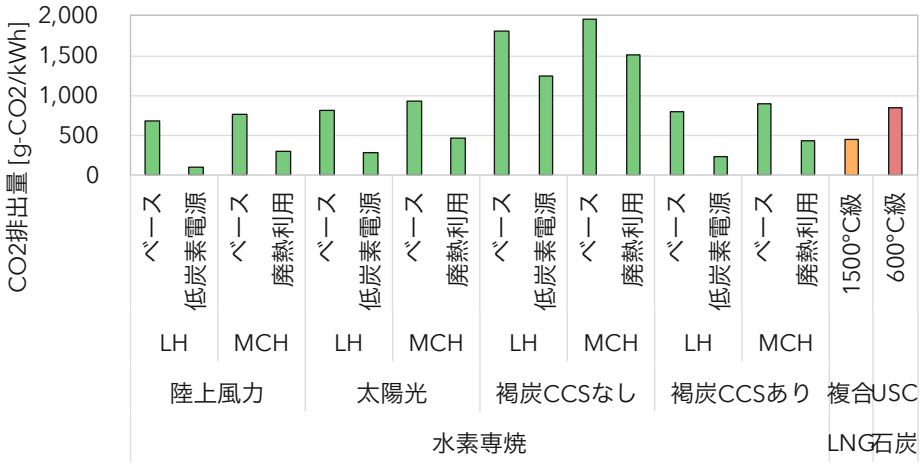


図 2　水素専焼発電および既存火力発電の CO2 排出量

エネルギーキャリア技術導入による環境影響の地域別分析

A region-specific analysis of environmental impacts
for implementing energy carrier technologies

○清水輝之*[1)]、長谷川馨 [1)] 、伊原学 [1)] 、菊池康紀 [1,2)]

Teruyuki Shimizu, Kei Hasegawa, Manabu Ihara, Yasunori Kikuchi

1) 東京工業大学, 2) 東京大学

* shimizu.t.az@m.titech.ac.jp

1. はじめに

高効率なエネルギー利用や大量の再生可能エネルギー利用、そしてエネルギーセキュリティ向上を目的として、燃料電池自動車(FCV)や燃料電池コジェネレーションシステム(FCCGS)等の新しいエネルギーキャリア技術の導入が検討されている [1)]が、その導入は未だ限定的である。これらの技術が大量に導入されると、エネルギーの供給元からエンドユーザーまで含めた現状のエネルギーシステムが大きく変わり得る。その影響は CO_2 排出による地球温暖化にとどまらず、窒素酸化物(NOx)や硫黄酸化物(SOx)、揮発性有機化合物(VOC)による酸性化や都市域大気汚染、光化学オキシダント生成等にも影響する。さらに、エネルギーの利用形態や単位排出量当たりの影響の大きさは地域によって異なるため、地域別に分析することでより詳細な影響について検討することができる。

本研究では、FCV および FCCGS について化石燃料由来、再生可能エネルギー由来両方のエネルギーキャリア製造技術と組み合わせて導入した場合の多様な環境影響を地域別に評価、分析した。

2. 技術導入影響の地域別分析

2.1 地域別エネルギー需給シミュレーション

地域ごとの統計情報や既存設備、再生可能エネルギー賦存量、エネルギー需要などの情報を基に、技術導入率に応じたエネルギーキャリアの需要量および供給可能量を計算し、エネルギー需給のシミュレーションを行い、各地域のエネルギーシステムにおける環境負荷物質の排出量を算出するためのモデルを構築した [2)]。このモデルを用いた地域別の環境負荷物質の算出および特性化、被害評価手法の概念図を図 1 に示す。このモデルでは、エネルギーキャリア技術が代替する技術に対する導入率を設定し、その導入率におけるエネルギーキャリアの需要を計算し、需要を満たすだけのエネルギーキャリアを供給するようにエネルギーキャリア製造の抑制、もしくは化石資源から追加のエネルギーキャリア製造を行うことによりエネルギーバランスを取るという計算を行う。このモデルをベースにして、

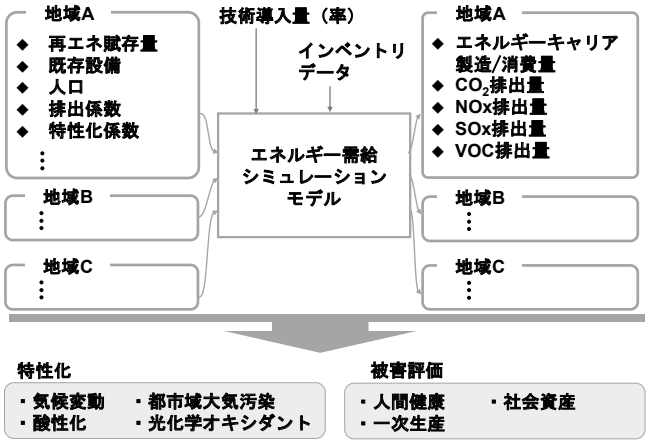


図 1 シミュレーションモデルを用いた地域別環境負荷物質の算出と特性化、被害評価手法

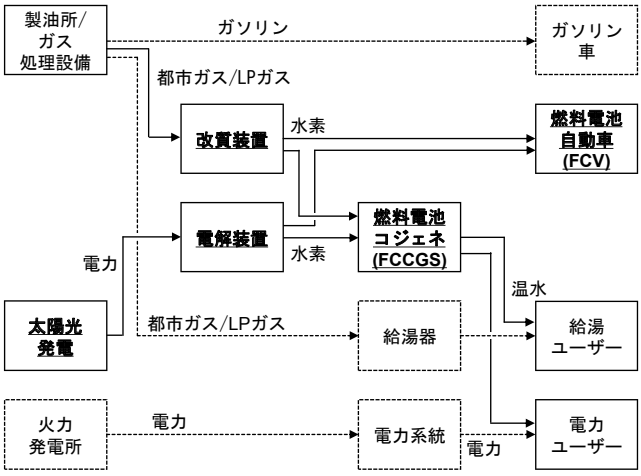


図 2 エネルギーキャリア技術を導入したエネルギーシステム

図 2 に示すエネルギーキャリア技術を導入したエネルギーシステムについて、エネルギーの使用量やデバイスの導入量を計算した。エネルギーキャリアとして水素を用いることを想定し、都市ガスもしくは LP ガスを改質、あるいは太陽光発電の電力を水電解して水素を製造する。製造した水素は FCV あるいは FCCGS で使用され、既存のガソリン車あるいは系統電力、給湯器からの温水を代替する。水素の製造はユーザーに近

いオンサイトでの製造とした。対象とするのは、自家用乗用車と家庭における電力および温水とした。図 2 において、下線付き太字で示した導入技術は点線で示した技術を代替し、代替される技術については排出量が削減されるものとして計算した。利用可能なデータの多い都道府県を地域区分とし、各都道府県での家庭での電力、給湯需要および世帯数、自動車台数、平均走行距離、再生可能エネルギー賦存量などとの地域のデータを収集した。

2.2　インベントリ分析及び被害評価

モデルを用いて算出したエネルギー使用量やデバイス導入量に対して、インベントリデータベース [3,4] を用いてエネルギー転換やデバイス製造におけるライフサイクルでの CO_2 や NOx、SOx、VOC 等の環境負荷物質の排出量を計算した。気候変動、酸性化、都市域大気汚染、光化学オキシダントの４つの環境影響について特性化を行い、さらに、人間健康、社会資産、一次生産への被害評価をライフサイクルインパクト評価手法(LIME2)[5]により定量化した。定量化されたエネルギーキャリア技術導入影響を、地理情報システムソフトウェア ArcGIS®を用いて地図上に可視化した。地図上に可視化することで技術導入影響の大きい地域や小さい地域の地理的な位置関係を同時に理解することができ、影響の大きい地域特性について検討することができる。

3.　分析結果

3.1　気候変動への影響

まず、FCV の導入においては、地域の平均走行距離が長いほど多くの CO_2 を削減することができ、平均走行距離の短い東京のような都市部では、FCV 製造時に排出される CO_2 の割合が大きくなり、ライフサイクルでの一台当たりの CO_2 削減は小さくなった。ただし、大都市では車の台数も多いので、CO_2 削減の総量は大きい。最も CO_2 削減効果が大きいのは福岡や愛知など車の台数も少なくなく、平均走行距離も短くない地位であった。一方で、FCCGS の導入においては、給湯需要の大きい北部地域や削減される系統電力の排出係数の大きい地域において、高い CO_2 削減の可能性があることが分かった。燃料ガスの改質による水素製造では、給湯需要が大きく系統電力の排出係数も大きい限られた地域でのみ削減され、他の地域では逆に増加した。

3.2　その他の影響と被害評価

酸性化、都市域大気汚染については、FCV 製造時、太陽電池製造時の割合が気候変動と比較して大きかった。光化学オキシダントについては、太陽電池製造時の排出が支配的であった。FCV の導入においては、既存のガソリン車を利用したシステムでは、NOx、VOC の主な排出源はガソリン車走行時の線源排出であるのに対し、FCV の製造や太陽電池の製造は点源排出であり、排ガス処理装置の設置等の対策により低減できる可能性がある。また、これらの製造地は分析対象の地域とは必ずしも一致しないため、注意して解釈する必要がある。

人間健康被害、社会資産被害については、気候変動の影響が支配的であり、気候変動と似た傾向の結果が得られた。一次生産被害については、酸性化、光化学オキシダントともに影響し、FCV の導入においては、ガソリン車走行時の NOx、VOC 削減効果が大きく、FCCGS については、系統電力の NOx、SOx、VOC の削減効果が大きいものの、太陽電池製造時の VOC 排出の影響が大きい。

4.　まとめ

エネルギーキャリア技術の導入により、ガソリン車走行時の排出や火力発電所等での排出が削減される一方で、FCV 製造時や太陽電池製造時、改質用燃料ガス製造時等、別の段階での排出が増加することが確認できた。また、これらの排出の削減・増加の割合は排出物質ごとに異なる。今回の分析では技術導入によって必ずしも削減されないことが分かったが、FCV の導入では線源から点源へと排出源が変化していることがから、排ガス処理装置の設置などにより削減効果を向上させられる可能性もある。人間健康被害、社会資産被害においては CO_2 の影響が大きい一方、一次生産被害においては、NOx や SOx、VOC の影響が大きいことが分かった。

謝辞

本研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「水素利用等技術開発事業／トータルシステム導入シナリオ調査」の支援により実施された。

引用文献

1) 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議：“水素基本戦略”, (2017)
2) Shimizu T., Tsukushi Y., Hasegawa K., Ihara M., Okubo T., Kikuchi Y.: Int. J. Hydrogen Energy, in press
3) Ecoinvent version 3.1, (2014)
4) Inventory Database for Environmental Analysis (IDEA)データベース version 2.1.2, (2016)
5) 伊坪徳宏，稲葉敦，“LIME2-意思決定を支援する環境影響評価手法-“，社団法人産業環境管理協会，東京, (2010)

E2-16
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

技術の複合利用を考慮した家庭用エネルギー技術の評価

Household energy technologies assessment considering their hybrid use

○小澤暁人*[1)]、工藤祐揮[1)]
Akito Ozawa, Yuki Kudoh
1) 産業技術総合研究所
* akito.ozawa@aist.go.jp

1. はじめに

わが国の家庭部門のエネルギー消費量はここ 40 年間で倍増しており対策の余地が大きい。「地球温暖化対策計画」（2016 年 5 月閣議決定）では、2030 年までに家庭部門 CO_2 排出量を 2013 年比 40%削減するために、高効率照明を現在の 4 倍、燃料電池を 32 倍導入することなどが記され、これら家庭用エネルギー技術の普及は急務である。この計画達成には、技術をシステムとして捉えて評価し、少ない経済負担で温室効果ガスを削減する技術普及シナリオとそれを実現する技術普及策を示すことが重要で、そのためには技術導入の経済性・環境性を評価するモデルが必要となる。

エネルギー技術には、需要自体を削減する技術（例. 省エネ家電製品）と、需要に対して高効率または低炭素で供給する技術（例. 燃料電池）の２種類がある。需要側の技術評価を目的として、家電・給湯製品の使用状況からエネルギー需要を推計するモデル[1-3)]（以降、需要推計モデル）が開発される一方、供給側の技術評価には、与えられた需要に対して家庭での最適なエネルギー供給をシミュレーションするモデル[4)]（以降、最適供給モデル）が必要となる。しかし、需要推計・最適供給モデルは互いに独立して開発され、需給両方の技術を包括的評価することによる技術システムの普及策は検討されていない。

本研究では、需要側・供給側の家庭用エネルギー技術について導入の経済性・環境性を評価する手法を開発する。その一環として実施した、様々なエネルギー供給技術を対象とした最適供給モデルの開発、および需要側・供給側の技術の複合利用による家庭エネルギー需給の変化と、そのときの家庭のコスト・GHG 排出量の評価について、本発表で紹介する。

2. 最適供給モデルの開発

2.1 評価対象のエネルギー供給技術

エネルギー供給技術のシステム構成を図 1 に示す。燃料電池コジェネレーションシステム（FC-CHP）、ヒートポンプ給湯器（HPWH）、太陽光発電（PV）、蓄電池（BT）で構成される。FC-CHP・HPWH はいずれも貯湯槽（ST）を有し、また補助熱源としてそれぞれガス給湯器（GB）・電気温水器（EB）を内蔵する。

エネルギー供給技術の特性を、最新カタログに記載された機器仕様に基づいて設定する。FC-CHP・HPWH の機器仕様を表 1 に示す。FC-CHP は固体高分子形燃料電池（PEFC）・固体酸化物形燃料電池（SOFC）の 2 種類を想定する。PEFC は SOFC と比べて熱電比が大きく、貯湯槽容量が大きい。HPWH のエネルギー消費効率を示す成績係数（COP）は、機器の入水温度・出湯温度、および稼働時の外気温度・相対湿度を決定変数とする回帰式によって表現する[5)]。運転スケジュールは、PEFC・HPWH を日間起動停止（DSS）運転、SOFC を 24 時間運転とする。PV 定格出力容量を 5.0 kW、BT 蓄電容量を 6.6 kWh とする。

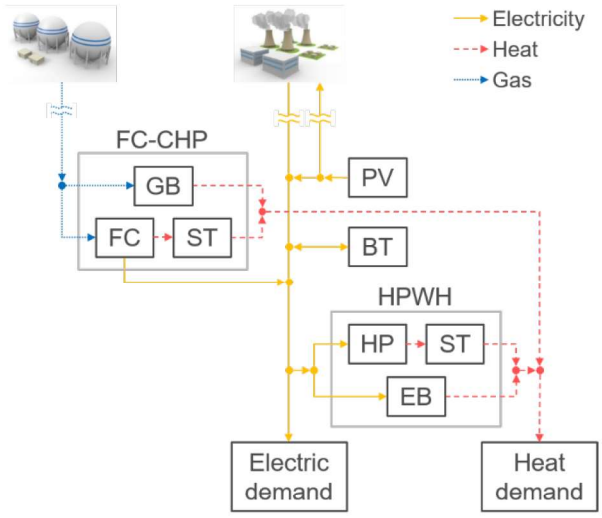


図 1　エネルギー供給技術のシステム構成

表 1　FC-CHP・HPWH の機器性能

	PEFC	SOFC	HPWH
消費エネルギー種	都市ガス	都市ガス	電気
定格エネルギー消費[kW]	1.99	1.49	2.00 (冬) 1.26 (中間期)
定格発電出力[kW]	0.70	0.70	—
定格熱出力[kW]	1.01	0.47	6.00
貯湯槽容量[L]	140	28	460
貯湯温度[℃]	60	70	90 (冬) 65 (冬以外)
補助熱源効率	95%	95%	90%

2.2 PV 発電出力

傾斜面（住宅屋根）に太陽光発電パネルを設置することを想定し、斜面日射量 1 時間値を年間時別日射量データベース（METPV-11）[6]から取得する。1 時間以内の日射量変動については、気象庁の地上気象観測データ [7]に基づいて変動量の確率分布を与えることで再現する。傾斜面日射量（$H_A(t)$ [kWh/m²]）から PV 発電出力（$E_{pv}(t)$ [kWh]）への変換式を式 (1)に示す [8]。

$$E_{pv}(t) = \frac{H_A(t)}{G_S} \cdot \eta_{pc}(t) \cdot K_{PT}(m) \cdot K \cdot P_m \qquad (1)$$

ただし、G_S :標準状態の日射強度(=1.0 kW/m²)、$\eta_{pc}(t)$: パワーコンディショナーの運転効率、$K_{PT}(m)$: 温度補正係数、K : その他のシステム出力係数、P_m : PV 定格出力容量である。計算結果の例を図 2 に示す。

2.3 シミュレーションアルゴリズム

数理計画法の一種である混合整数計画法（MIP）を用いて、与えられたエネルギー需要および機器構成に対して最適な供給をシミュレーションする。最適化の目的関数はシステム総コストの最小化とする（式 (2)）。

$$\min: \quad C_{ini} + \sum_{y,t} \frac{C_e(y,t) + C_g(y,t) - B_e(y,t)}{(1+r)^y} \qquad (2)$$

ただし、C_{ini} : 機器導入費用、$C_e(y,t)$: 電力料金、$C_g(y,t)$: ガス料金、$B_e(y,t)$: 売電収益、r : 割引率である。電力・ガス料金単価は東京電力・東京ガスの料金プランを参考に設定する。同時に、最適供給時の電力･ガス消費量から GHG 排出量を算出する（式 (3)）。

$$GHG = f_e \sum_{y,t} \left(E_{buy}(y,t) - E_{sell}(y,t) \right) + f_g \sum_{y,t} G_{buy}(y,t) \qquad (2)$$

ただし、$E_{buy}(y,t)$: 買電量、$E_{sell}(y,t)$: 売電量、$G_{buy}(y,t)$: ガス消費量、f_e : 電力原単位、f_g : ガス原単位である。電力･ガスの単価･原単位を表 2 に示す。

3. 家庭用エネルギー技術複合利用の評価

本研究で開発した需要推計モデル [3]から求めた需要を最適供給モデルの入力データとしてエネルギー需給をシミュレーションし、需要側・供給側の技術の複合利用による家庭エネルギー需給の変化と、そのときの家庭のコスト･GHG 排出量を評価する。需要推計モデルは、家庭における生活行動と家電・給湯の使用実態に基づいて、異なる家族構成・ライフスタイル・季節における電力･給湯需要を 15 分間隔で推計する。需要側技術のうち、年間電力使用量の多い家電製品であるテレビ・冷蔵庫・照明に着目し、省エネ家電製品への買い替えによる電力需要の変化を再現する。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16H07468 の助成を受けたものです。

引用文献

1) Shimoda Y. et al.: Energy, 32(9), (2007), pp.1617-1633
2) Tanimoto J. et al.: J. Build. Perform. Simu., 1(1), (2008) pp.31-42
3) Ozawa A. et al.: Energy Build., 162, (2017), pp.32-41
4) Wakui T. et al.: Appl. Energy, 163, (2016), pp.118-133
5) 北山広樹ら: 第 28 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, (2012), pp.333-336
6) NEDO: “日射に関するデータベース”, 入手先 <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>, (参照 2018-1-1)
7) 一般財団法人 気象業務支援センター: “地上気象観測 1 分値データ”, 入手先 <http://www.jmbsc.or.jp/jp/online/file/f-online33200.html>, (参照 2018-1-1)
8) 山田興一, 小宮山宏, “太陽光発電工学”, 日経 BP 社, 東京, (2002), p.254

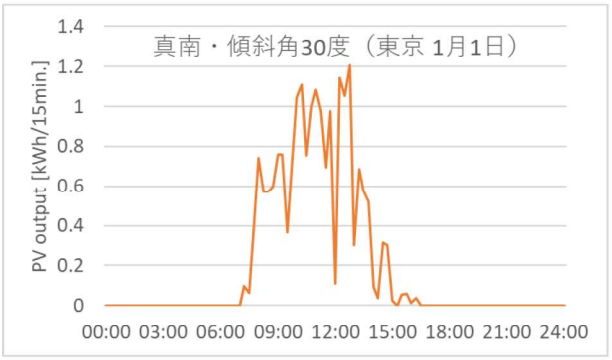


図 2　PV 発電出力 計算結果例

表 2　電力・ガスの単価・原単位

電力基本料金[円/月]	1,404
電力従量料金[円/kWh]	
HPWH: AM1:00-6:00	17.46
AM6:00-1:00	25.33
FC-CHP: 120kWh/月以下	23.24
120-350 kWh/月	23.45
350kWh/月超	25.93
ガス基本料金 [円/月]	
HPWH	1,036
FC-CHP	1,458
ガス従量料金 [円/Nm³]	
HPWH	128.08
FC-CHP	107.02
電力原単位 [kg-CO_2eq/kWh]	0.587
ガス原単位 [kg-CO_2eq /Nm³]	2.23

E2-17
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

地域特性を考慮した地中熱ヒートポンプのライフサイクル CO_2 削減効果

Life cycle CO_2 reduction effect of ground-source heat pumps considering regional characteristics

○早乙女裕紀*[1)]、本藤祐樹 [1)]、森泉由恵 [1)]
Hiroki Soutome, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi
1) 横浜国立大学
* soutome-hiroki-yd@ynu.jp

1. はじめに

日本の業務部門におけるエネルギー消費の約 40%は熱需要であり、その熱源を化石燃料から再生可能エネルギーへ転換し、CO_2 排出を低減することが求められている。そのような背景の中で、地中熱ヒートポンプシステム(GSHPs)の導入が期待されている。

GSHPs の CO_2 削減効果は、それを導入する地域の特性（例えば、熱需要の違いや既存の利用機器の違い）に依存する。既往研究においても、地域特性を加味した GSHPs の環境性能の評価は行われてきたが、気候による機器効率の違いなどが考慮されておらず、地域特性が十分に反映されていない。また、運用時のみでの評価が多く、ライフサイクル全体を考慮し、かつ地域特性の違いを反映した評価は過去にほとんど行われていない。

本研究の目的は、業務部門において GSHPs が既存技術を代替した場合の CO_2 削減効果を、地域特性を加味した上で、ライフサイクル全体で評価し、導入効果が高い地域を明らかにすることである。

2. 研究方法

業務部門の空調を対象とし、都道府県別に、既存機器による CO_2 排出量（ベースライン）と GSHPs を導入した場合の CO_2 排出量を推計し、その差分から GSHPs による CO_2 削減効果を求めた。

2.1 業種の設定

業務部門には事務所や小売業など様々な業種が存在する。業種の特性により空調需要が変化するため、今回は、「エネルギー白書 2017」を参考に 9 業種に分類した（事務所・ビル、デパート、卸・小売業、飲食業、学校、ホテル・旅館、病院、劇場・娯楽場、その他サービス）。

その上で、業種毎にモデル建物を想定し、そのモデル建物に GSHPs を導入した場合の CO_2 削減効果の推計を行った。このモデル建物として、建築研究所が Web 上に公開している「モデル建築法入力支援ツール Ver.2.4」におけるモデル建物を使用した。

本要旨では、事務所・ビル業種に関する結果について示す。

2.2 既存の空調システムの設定

ベースラインの推計に当たり、既存の空調システムとしては表 1 の様に 7 種類を想定した。各システムの存在比率については「ELPAC2015」を基に設定した。

2.3 システム境界及び機能単位

評価範囲は各空調システムの建設、運用とし、機能単位は事務所一軒（5000m^2）の 15 年分の空調需要とした。

2.4 各システムのライフサイクル CO_2 排出量の推計

各空調システムのライフサイクル CO_2 排出量($LCCO_2$)は、以下の式のように建設時の CO_2 排出量($BLCO_2$)と運用時の CO_2 排出量($OPCO_2$)の合計とした。

$$LCCO_{2\,i,j} = BLCO_{2\,i,j} + OPCO_{2\,i,j}$$

i：都道府県, j：空調システム

2.4.1 建設時の CO_2 排出量の推計

$BLCO_2$ の推計では、まず、実データ等をもとに設定した基本ケースでの CO_2 排出量($BLCO_2$')を全国版産業連関表と国立環境研究所が公表している 3EID などを使用し、以下に示す式を用い推計した。

$$BLCO_2'_j = e^{\mathrm{T}}(I-A)^{-1} f_j$$

e：CO_2 排出原単位（3EID）, T：転置
$(I-A)^{-1}$：レオンチェフ逆行列, f：最終需要ベクトル

次に、各都道府県における $BLCO_2$ を求めた。以下の式のように、任意の出力の $BLCO_2$ は、機器出力の 0.7 乗に比例するとして $BLCO_2$'より推計した。

$$BLCO_{2\,i,j} = BLCO_2'_j \times \left(W_i / W'\right)^{0.7}$$

W：機器出力, W'：基本ケースの機器出力

2.4.2 運用時の CO_2 排出量の推計

$OPCO_2$ は以下の式を用い推計した。

$$OPCO_{2\,i,j} = Y \times \sum_k E_{i,j,k} \times e'_{i,k}$$

Y：評価期間, E：年間のエネルギー消費量、
e'：エネルギーの CO_2 排出原単位, i：都道府県
k：燃料種（電気、ガス、石油）

運用時の年間エネルギー消費は「エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版)Ver.2.4」を使用し求めた。このプログラムに、建物の立地地域、建物性能、空調機器の性能を入力すると、その建物の年間の空調機器

の運用によるエネルギー消費量を算出することが出来る。このプログラムによる計算において、入力情報として必要となる各空調機器の定格効率(COP)は、表 2 に示す値を利用した。

2.5 ライフサイクル CO_2 削減率の推計

まず、以下の式を用い、既存の空調システムの $LCCO_2$ を各システムの存在比率(R)を用いて加重平均し、ベースラインを算出した。

$$LCCO_{2\,i,\mathrm{Base}}=\sum_{j} LCCO_{2\,i,j}\times R_{i,j}$$

次に、以下の式を用い GSHPs によるライフサイクル CO_2 削減率(S)を算出した。

$$S_i=\frac{LCCO_{2\,i,\mathrm{Base}}-LCCO_{2\,i,\mathrm{GSHPs}}}{LCCO_{2\,i,\mathrm{Base}}}$$

3. 結果と考察

代表的な都道府県における事務所・ビル業種における GSHPs 導入による CO_2 削減効果を図 1 に示す。地域によって削減率が異なる要因を以下で考察する。

最初に既存の空調システムの存在比率を見ると、ASHPs の比率が大きい東京都・広島県・鹿児島県と、AB と BO の比率が大きい北海道・青森県・長野県に分けることができる。ここで、ASHPs は、AB と BO に比べて運用時の消費エネルギー量が小さいため、ASHPs の比率が大きい地域はベースラインの値が小さくなる。現在の CO_2 排出量が大きくないため、GSHPs の導入による CO_2 削減効果も小さくなる。

また、青森県と長野県の既存の空調システムの存在比率に焦点を当てると、青森県では石油を燃料として使用する AB と BO の比率が高く、特に暖房では 7 割近くを占めている。これは長野県の 5 割よりも高い値である。それ故に、青森県では暖房時におけるベースラインの値が大きくなり、長野県よりも CO_2 削減効果が大きくなる。

次に、電力の CO_2 排出係数を見ると北海道が 0.669[kg-CO_2/kWh]なのに対し、青森県は 0.556[kg-CO_2/kWh]、長野県は 0.486[kg-CO_2/kWh]となっており、北海道の値が高いことが分かる。このため、北海道では青森県や長野県に比べ、GSHPs の運用時の電力消費に伴う CO_2 排出量が大きく、北海道における GSHPs 導入による CO_2 削減効果は小さくなる。

最後に、建設時の CO_2 排出量に着目する。北海道の方が青森県・長野県よりも出力が大きい機器を導入する必要があるため、北海道の建設時の CO_2 排出量は青森県・長野県のそれの約 1.2 倍になっている。このことが、北海道での GSHPs 導入による CO_2 削減効果が青森県や長野県のそれらと比べて小さい一因となっている。

4. おわりに

本稿では事務所・ビル業種において GSHPs が既存技術を代替した場合のライフサイクルにおける CO_2 削減効果を、代表的な都道府県に関して示した。様々な地域特性の中で、特に、既存の空調システムの存在比率、電力の CO_2 排出係数、導入する機器の出力が、CO_2 削減効果の地域差に大きく関わることが判明した。

今後は、他業種における CO_2 削減効果も明らかにする予定である。

5. 謝辞

地中熱利用促進協会ならびに関連事業者の皆様には多大なご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

表 1　既存の空調システムの設定

	冷房	暖房
C1	ASHPs	ASHPs
C2	AB	AB
C3	ASHPs	ASHPs + BO
C4	AB	AB + BO
C5	ASHPs	BO
C6	GHP	GHP
C7	REF	BO

ASHPs：空気熱源式ヒートポンプシステム
AB：吸収式冷温水機　BO：ボイラー
GHP：ガスヒートポンプ　REF：冷凍機
※AB、BO はガスもしくは石油を使用すると想定

表 2　空調機器の定格効率(COP)

	冷房	暖房
GSHPs	6	4.8
ASHPs	3.24	3.42（寒冷地は 2.74）
吸収式冷温水機	1.6	1.05
ガス HP	1.1	1.3
冷凍機	6	
ボイラー		0.8

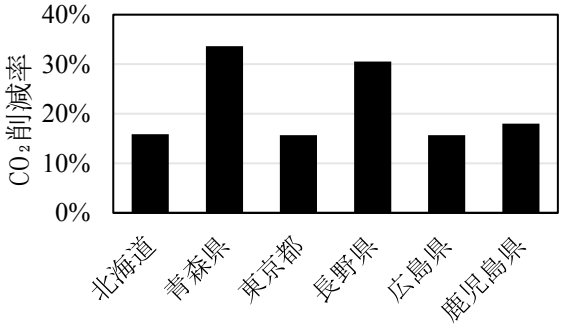


図 1　GSHPs 導入による CO_2 削減効果（試算値）

E2-18,P2-010　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

タイ・バンコクにおける地中熱ヒートポンプ導入のエネルギー・環境評価

Energy and Environmental Evaluation of Introduction of Geothermal Heat Pump in Bangkok, Thailand

○島田佑太朗*[1)]、栗島英明 [1)]
Yutaro Shimada, Hideaki Kurishima
1) 芝浦工業大学
* ab13040@shibaura-it.ac.jp

1. 研究背景

タイなどの熱帯地域では冷房負荷が大きく、空調システムの改善が CO_2 排出量削減につながる。

地中熱ヒートポンプ(GSHP)システムは、日本やヨーロッパなどの中緯度・高緯度地域では、従来の空調システムに比べて小さい温度差の環境で働くため、消費電力量が少ないという長所がある。

一方、熱帯地域では地下温度が高いため、一般的に GSHP システムには不適とされてきたが、バンコクなどでは、地下水流れの影響により地下温度が外気温度よりも低いことが明らかとなった [1)]。また、タイでの実証実験では、従来の空調システムよりも電力消費量が削減された [2)]。

しかし、熱帯地域での GSHP システムの有効性を論じるためには、さらなる検証が必要である。

2. 研究目的

本研究では、タイ・バンコクの商業施設への GSHP システムの導入を想定し、その有効性を評価する。評価では、LC-CO_2, LC-NO_x, LC-SO_2 とエクセルギー効率から、現状との比較、考察を行う。

3. 研究方法

3.1. 対象施設の空調負荷シミュレーション

対象施設の建物モデルを作成し、建築物総合エネルギーシミュレーションソフトウェア BEST[3)]を用いて、1 時間ごとの空調負荷を算出した。Fig.1 に延床面積 3,200m^2 の建物モデルの空調負荷の年間推移を示した。タイ・バンコクでは、1 年を通して冷房運転するため、空調負荷の値が負となっている。

同様に、延床面積 1,600m^2~20,000m^2 の建物モデルについても空調負荷を算出した。

3.2. 使用段階におけるエネルギー消費

使用段階のエネルギー消費量を把握するため、GSHP 性能予測プログラムである Ground Club[4)]に対象施設の空調負荷と GSHP システムの諸元を入力し、年間電力消費量を算出した。また、比較対象は空気熱源ヒートポンプ(ASHP)とし、Ground Club によって年間電力消費量を算出した。Table.1 に空調システムの諸元を示した。

算出された年間空調負荷と電力消費量の関係について、熱交換器長さごとに分析を行った結果が、Fig.2 である。空調負荷に対して熱交換器熱容量が不足する場合には、熱源水温度が外気温度より高くなり、GSHP システムの効率が低下する結果となった(SI.1 参照)。

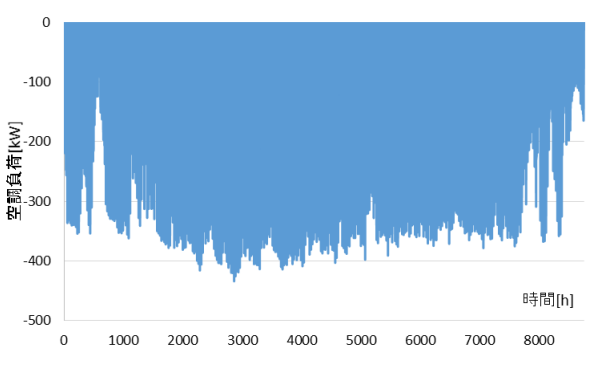


Fig.1 Annual air-conditioning load

Table.1 Specification of air-conditioning system

種類	GSHPシステム	ASHPシステム
空調システム	セントラル型ヒートポンプチラー	
定格冷却COP	4.5	2.4
地中熱交換井種類	クローズドループ方式 ダブルU-チューブ型	—
地中熱交換井長さ[m]	5,000～20,000	—
土壌熱伝導率[W/mK]	1.6	—

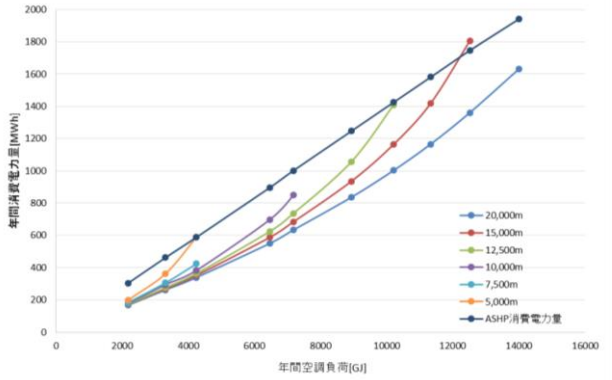


Fig.2 The relation between air-conditioning load and electricity consumption load

3.3. 対象施設のエネルギー評価

平野ら(2013)[5)]のモデルに倣い、室内への供給熱量から化石燃料まで遡るようにエクセルギー量を 1 時間ごとに計算し、エクセルギー効率を算出した(SI.2 参照)。

3.4. 対象施設の環境評価

システム境界は、原料調達段階から処分段階までのライフサイクル全体とした。評価項目は、LC-CO_2, LC-NO_x, LC-SO_2 である。

システムのライフタイムは、地中熱交換器を 50 年と設定し、それ以外の設備は 20 年と設定し、各段階の環境負荷排出量を 1 年間に割り戻した。

プロセスデータは、環境省(2012)[6]を参考にし、必要に応じてタイ実証実験チーム [2]、空調設備メーカーなどにヒアリング調査を行った。年間電力消費量と収集したプロセスデータに IDEA v.2[7]をタイの電源構成に入れ替えたインベントリデータに乗じ、積算することで年間 LC-CO_2, LC-NO_x, LC-SO_2 排出量を算出した。

4. 研究結果

4.1. エクセルギー効率

Table.2 に延床面積 3,200m^2、熱交換器長さ 15,000m の場合のエクセルギー効率算出結果を示した。

Table.2 The result of exergy efficiency

エクセルギー効率	1月1日の積算値	1年間の積算値
GSHP	2.74%	3.97%
ASHP	0.55%	0.78%

タイにおける GSHP では、熱源水温度が外気温度よりも高くなることが多く、ASHP より必要となるエクセルギー量が多いことが分かった。しかし、HP 自体の効率が ASHP より高いため、見かけ上でエクセルギー効率が高くなる結果となった。HP 自体の性能が等しい場合、エクセルギー効率は GSHP の熱交換器熱容量に影響されると考えられる。

4.2. 環境評価

延床面積 3,200m^2、熱交換器長さ 15,000m の場合の年間 LC-CO_2 排出量を Fig.3 に示した。LC-NO_x, LC-SO_2 排出量については Fig.SI4、Fig.SI5 に算出結果を示した。

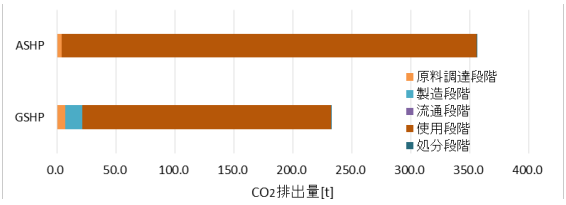


Fig.3 The result of LC-CO_2

GSHP は地中熱交換器を設置するため、原料調達段階、製造段階での環境負荷が ASHP に比べて大きい。しかし、ライフサイクル全体で見ると、本研究で対象としている商業施設は、使用段階での環境負荷が 85~90%と大部分を占めるため、GSHP の環境負荷は ASHP の環境負荷よりも小さくなった。

また、本研究のモデルでは対象施設の空調負荷が大きく、地中熱交換器設置により生じる環境負荷が相対的に小さくなった。空調負荷の小さい小規模な施設の場合、地中熱交換器設置により生じる環境負荷が相対的に大きくなる可能性がある。

そこで、本研究では延床面積を 1,600~5,000m^2 に変化させた場合、熱交換器長さを 7,500~20,000m に変化させた場合について分析を行った。分析結果の一部を Fig.4、Fig.5 に示した(SI.3 参照)。

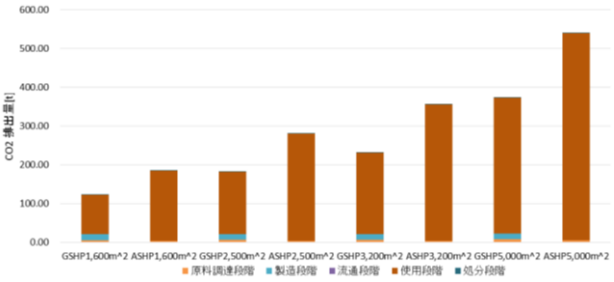


Fig.4 The sensitivity analysis about the scale of building

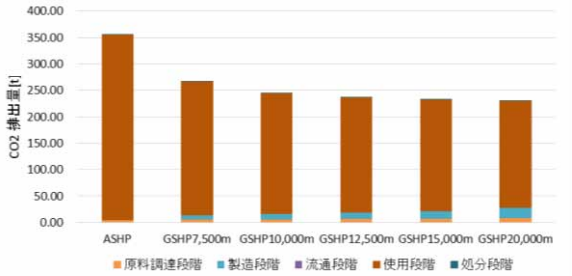


Fig.5 The sensitivity analysis about the length of well

5. 結論と今後の展望

GSHP システムは環境負荷、エクセルギー効率の面で、ASHP システムよりも良好な結果が得られた。したがって、タイ・バンコクにおいても GSHP システム導入による環境負荷低減に効果があると考えられる。一方、本研究のモデルでは地下水流動の影響を考慮していないため、熱源水温度が高温になった。

今後は、地下水流動の影響を踏まえた更に正確なモデルの作成や、熱源水のカスケード利用モデルの作成により高温になる熱源水温度への対策が必要である。

6. 引用文献

1) 安川ほか, Bulletin of the Geological Survey of Japan, vol.60(9/10),(2009), pp459-467.
2) Chokchai et al., Thematic Session “Geoscience for the Society”, 52nd CCOP Annual Session, Bangkok, Thailand, (2016)
3) 一般財団法人　建築環境・省エネルギー機構
4) ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
5) 平野ほか, 環境科学会誌, 26-4, (2013), pp388-396
6) 環境省, “地中熱利用システムの温室効果ガス排出削減効果に関する LCA ガイドライン ver1.0”, (2012)
7) 産業技術総合研究所安全科学研究部門, インベントリデータベース (IDEA v2), https://www.aist-riss.jp/softwares/40166/ , (2015), (参照 2018-1-3)

Supporting Information(SI)

SI.1 熱源水温度と HP システムの効率の関係

Fig.SI1 に延床面積 3,200m^2、熱交換器長さ 15,000m の場合の外気温度と熱源水温度の年間推移を示した。この図から分かるように、熱源水温度は 1 年を通して 35~40℃となり外気温度よりも高くなった。

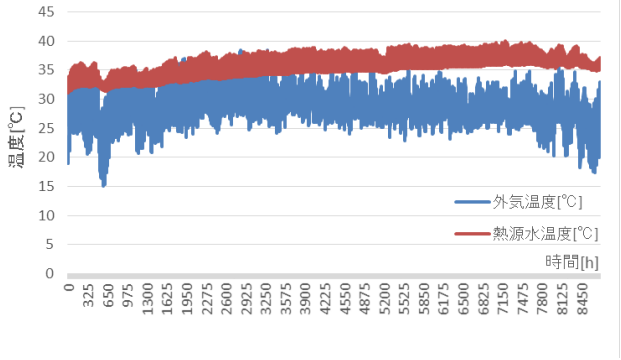


Fig.SI1 yearly transition of brine temperature and atmospheric temperature

Fig.SI2 に空調負荷(延床面積)を変化させた場合の熱源水最高温度と GSHP システムの COP の関係を示した。この図から分かるように、空調負荷が大きくなり熱源水最高温度が高くなると、GSHP システムの平均 COP は低下した。これは、空調負荷に対して熱交換器熱容量が不足し、熱源水温度が上昇したことを表している。

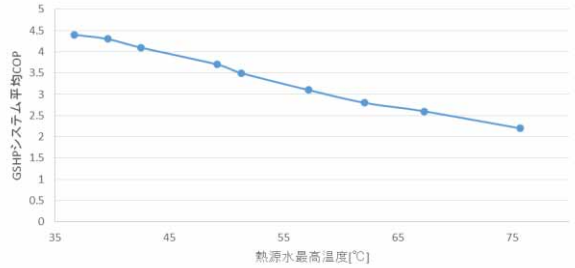


Fig.SI2 The relation between GSHP system's COP and maximum heat brine temperature

ASHP システムが外気温度と室内環境の間で働くことを考えると、GSHP システムにおいては、熱源水温度が外気温度より低くなることが望ましい。

SI.2 エクセルギー量とエネルギー量の推移

Fig.SI3 に 1 月 1 日のエクセルギー量とエネルギー量の推移を示した。

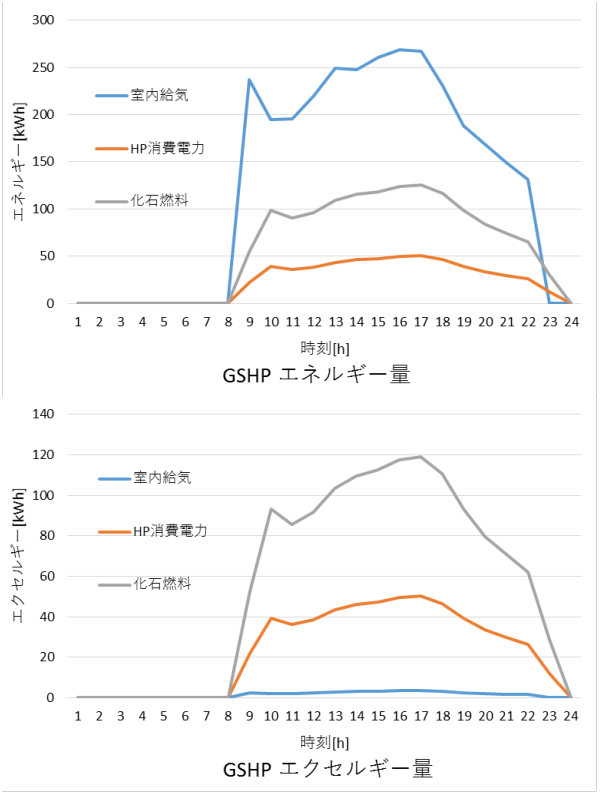


Fig.SI3 Transition of exergy and energy consumption

室内への供給熱量から化石燃料まで遡るようにエクセルギー量、エネルギー量を 1 時間ごとに計算し、エクセルギー効率を算出した。

空調システムは COP が 1 を超える場合、見かけ上エネルギー効率が 100%を超えてしまう。したがって、エネルギー保存則に反してエネルギー量が増加したように見えてしまった。

しかし、エクセルギー量で評価した場合、化石燃料から室内に供給される段階まで、順を追ってエネルギーが消費されて減少していることが分かる。また、エクセルギー量の減少を評価することにより、どの段階でどれほどのエネルギーが消費されているのか把握が容易になる。

SI.3 年間 LC-CO_2, LC-NO_x, LC-SO_2 排出量の感度分析

延床面積 3,200m^2、熱交換器長さ 15,000m の場合の年間 LC-NO_x, LC-SO_2 排出量を Fig.SI4、Fig.SI5 に示した。

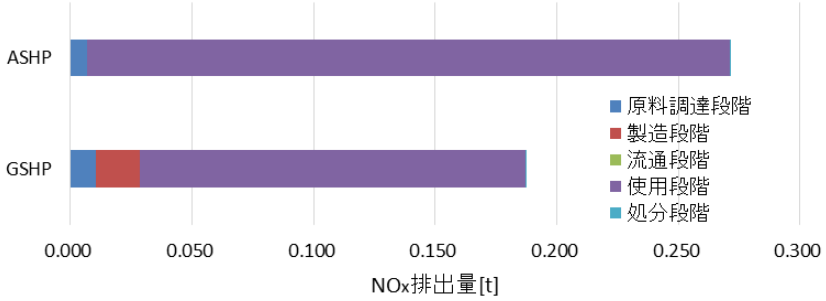


Fig.SI4 The result of LC-NO_x

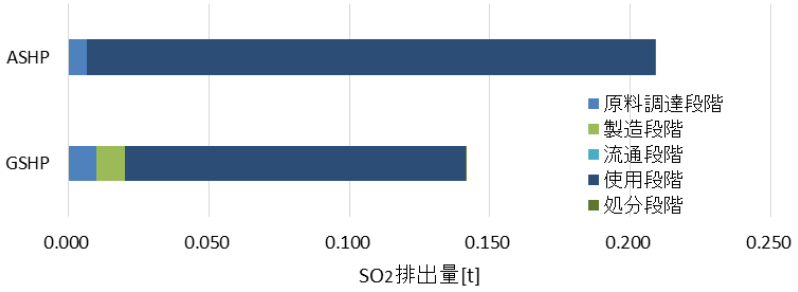


Fig.SI5 The result of LC-SO_2

年間 LC-NO_x、LC-SO_2 排出量についても、GSHP は原料調達段階、製造段階での環境負荷が ASHP に比べて大きいが、使用段階の環境負荷が大部分を占めるため、GSHP の環境負荷は ASHP の環境負荷よりも小さくなった。

延床面積を 1,600~5,000m^2 に変化させた場合、熱交換器長さを 7,500~20,000m に変化させた場合の年間 LC-NO_x、LC-SO_2 排出量分析結果を Fig.SI6、Fig.SI7 に示した。

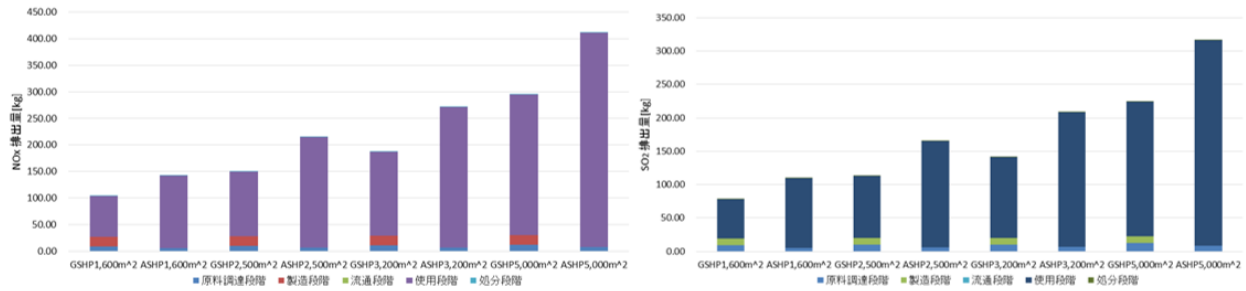


Fig.SI6 The sensitivity analysis about the scale of building

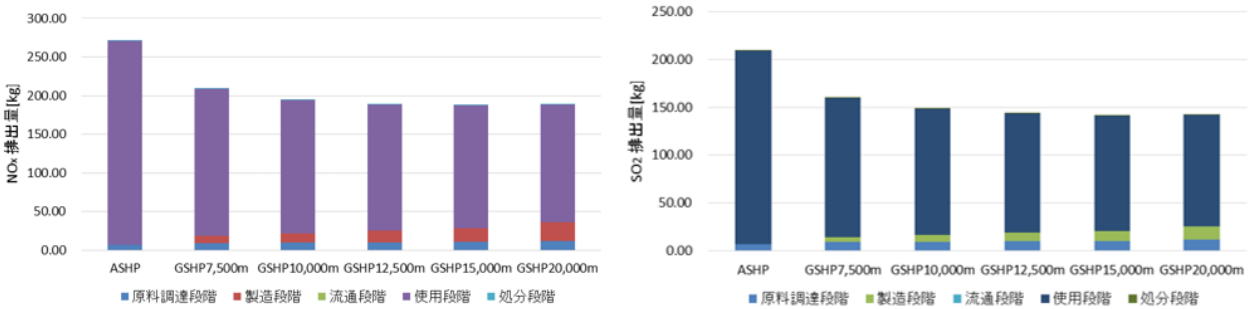


Fig.SI7 The sensitivity analysis about the length of heat exchange well

その結果、GSHP システムの環境負荷は、空調負荷が 1,600~5,000m^2 のいずれの場合も ASHP システムの環境負荷を下回った。また、熱交換器長さを 7,500~20,000m に変化させた場合も同様であった。

したがって、GSHP システムは、使用段階の環境負荷に比べて熱交換器設置の環境負荷が小さいこと、ASHP システムに比べてライフサイクル環境負荷が小さいことが、感度分析によって分かった。しかし、使用段階の環境負荷が小さく、効率が高い ASHP システムの場合には、ライフサイクル環境負荷が GSHP を上回ると予想される。

3日目
（3/9）

タイムテーブル

3日目　3月9日(金)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	静脈	特別セッション：環境教育	製品の所有と廃棄	企画セッション：気候変動の緩和策と適応策	
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	人と社会		アジアの環境管理	企画セッション：行政報告データ等の活用による自治体レベルの物質循環分析の展望	
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:20	昼休み				
	M会場				
13:20-16:20	学会各賞受賞記念講演、クロージング				

A3-01

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

静脈物流の広域輸送における輸送機関の選択要因の解析

Analysis of Selection Factors of Transportation Mode in Wide-area Transportation of Reverse

○大久保伸*[1)]、田口直[1)]、松本亨[1)]

Shin Okubo, Sunao Taguchi, Toru Matsumoto

1) 北九州市立大学大学院

* y7dac401@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. 研究の背景と目的

我が国では、パリ協定や 2015 年 7 月に国連に提出した「日本の約束草案」を踏まえ、2030 年度の中期目標として、温室効果ガスの排出を 2013 年度比 26%削減するとともに、長期的目標として「2050 年までに 80%の温室効果ガスの排出削減を目指す」としている。目標達成するために講じる施策の中に運賃負担力が小さく、納期の制約が少ない循環資源の輸送をトラックから鉄道や海運等のモーダルシフトが進められている。しかし、循環資源の輸送は依然としてトラック輸送が大半を占めるという実態がある。

そこで、本稿ではモーダルシフトの可能量を検討する基礎資料とするために、循環資源の輸送機関の選択要因を解析した結果を報告する。

2. 方法

2.1 分析データ

全国貨物純流動調査（物流センサス）[1)] は輸送品目や輸送機関等を詳細に調査し公表されている資料であることから、本調査の第 10 回分 3 日間調査のデータを活用して分析を行った。第 10 回の調査概要は表 1 のとおり。

表 1 第 10 回物流センサスの概要

調査日	2015年10月20日(火)～2015年10月22日(木)
調査対象業種	鉱業、製造業、卸売業、倉庫業
調査項目	品類(9区分) 品目(85区分) 出荷重量 出荷時刻 所要時間 輸送費用 輸送手段(12区分) 中継施設 出荷・届先住所 高速道路利用の有無 利用インターチェンジ コンテナ利用の有無 到着日時指定状況(4区分) 届先場所区分(10区分)

今回分析対象として活用したデータの概要を表 2 に示す。調査項目のうち品類が「排出物」が循環資源と想定されるため、本区分に該当されるデータを分析対象とした。排出物の流動量は 771 千 t（全流動量の 3.5%）、113 千件（全流動量の 0.5%）となる。

2.2 輸送距離の算定

物流センサスの調査項目には移動距離がなかったことから、発着都道府県間の関係より、簡易的に国土地理院が公表している都道府県庁間[2)]の距離をあてはめて移動距離の算定を行った。

2.3 分析

輸送機関の選択要因の分析は、輸送手段から代表輸送機関の鉄道、トラック、フェリー、航空の 4 区分を輸送品目、移動距離、輸送ロット、発地区で出荷重量によるクロス集計を実施した。

なお、輸送機関の選択にはコンテナ利用の有無や到着日時指定状況が影響することも考えられるが、本項目の回答内容に不明等有効に回答されていないものが多かったため、これらの項目は分析から除外した。

3. 結果

3.1 排出物の輸送機関分担率

排出物の輸送機関分担率は件数ベースでトラックが 100%となる。また、重量ベースでは、トラックが 83%、海運が 16%の順となる（図 1）。

3.2 区分別の輸送機関の選択要因

① 品目別の輸送機関の選択

図 1 は品目別の輸送機関の選択要因の結果である。鉱さい、ばいじんという品目で海運を選択する割合が高い傾向にある。選択割合は低いものの

表 2 分析対象データの概要

（単位:トン, 件, トン／件）

	流動量（重量）	構成比(%)		流動量（件数）	構成比(%)		流動ロット
廃自動車	557	0.0%	0.1%	73	0.0%	0.1%	7.65
廃家電	607	0.0%	0.1%	308	0.0%	0.3%	1.97
金属スクラップ	244,331	1.1%	31.7%	41,193	0.2%	36.3%	5.93
金属製容器包装廃棄物	1,396	0.0%	0.2%	542	0.0%	0.5%	2.58
使用済みガラスびん	6,364	0.0%	0.8%	1,319	0.0%	1.2%	4.83
その他容器包装廃棄物	4,990	0.0%	0.6%	28,581	0.1%	25.2%	0.17
古紙	219,823	1.0%	28.5%	23,215	0.1%	20.5%	9.47
廃プラスチック類	10,644	0.0%	1.4%	4,016	0.0%	3.5%	2.65
燃え殻	2,461	0.0%	0.3%	369	0.0%	0.3%	6.67
汚泥	54,315	0.2%	7.0%	4,108	0.0%	3.6%	13.22
鉱さい	166,558	0.8%	21.6%	1,709	0.0%	1.5%	97.44
ばいじん	5,785	0.0%	0.7%	111	0.0%	0.1%	51.98
その他の産業廃棄物	53,590	0.2%	6.9%	7,833	0.0%	6.9%	6.84
排出物区分小計	771,420	3.5%	100.0%	113,377	0.5%	100.0%	6.80
全区分の合計	22,171,258	100.0%	－	22,608,493	100.0%	－	0.98

廃プラスチック類とその他産業廃棄物で鉄道を、金属スクラップ、古紙、汚泥でフェリー、海運を選択されている。

② 輸送距離別の輸送機関の選択

輸送距離別では、100km 未満という近距離ではトラックの選択する傾向が高く、距離が長くなるにつれ海運が選択される割合が高くなる。鉄道は300km 以上 750km 未満の区分で 10%弱選択される（図 2）。

③ 輸送ロット別の輸送機関の選択

輸送ロット別の輸送機関の選択結果を図 4 に示している。100 トン未満はトラックが選択される傾向にある。100 トン以上で 65%が海運を選択する。1%程度であるが 5～10 トンと 100 トン以上の区分で鉄道が選択されている。

④ 発地区別の輸送機関の選択

図 5 は出発地区別にみた輸送機関の選択結果である。北海道、関東、中部地区はほぼトラックが選択される傾向にある。東北地区では鉄道、海運が少し選択されている。近畿地区では 25%、中国四国地区では 42%、九州地区では 36%が海運を選択している。

4. 最後に

第 10 回物流センサスの結果からも排出物の輸送機関は大半をトラック輸送が占めておりモーダルシフトが進んでいないことが本調査結果からも明らかになった。

輸送機関選択要因の解析結果より、品目では鉱さい、ばいじんが、750km を超える移動距離が、100 トン以上のロットが、関西より以西の地域がトラック以外の輸送機関を選択する要因として高いことが分かった。

今後は、把握件数の関係から分析から除外した到着日時の指定状況等を対象とした解析の実施や輸送機関選択要因間の寄与率等を算出するために多変量解析等の実施が必要である。さらに要因分析から検討されるモーダルシフト可能量を推定し、モーダルシフトによる環境負荷削減等の効果を把握する必要がある。

引用文献

1) 国土交通省: 第 10 回全国貨物純流動調査（物流センサス）, http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/butsuryu06100.html(2018.1)
2) 国土地理院：都道府県庁間の距離, http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/kenchokan.html(2018.1)

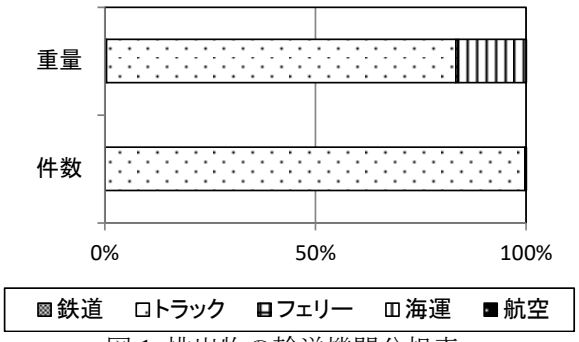


図 1 排出物の輸送機関分担率

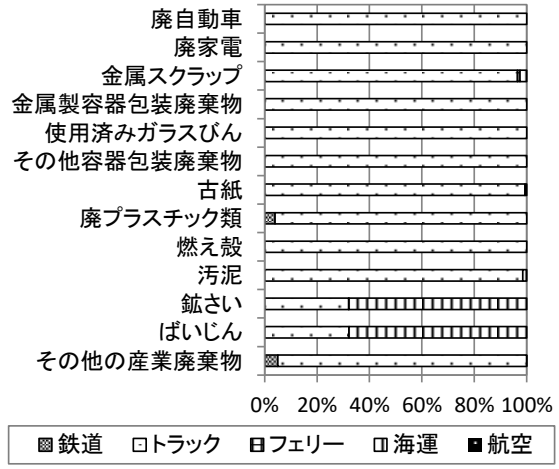


図 2 品目別の輸送機関の選択割合

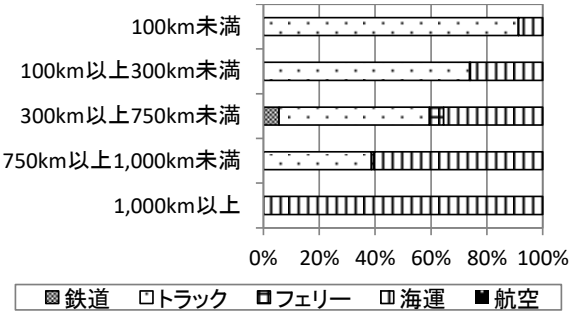


図 3 輸送距離別の輸送機関の選択割合

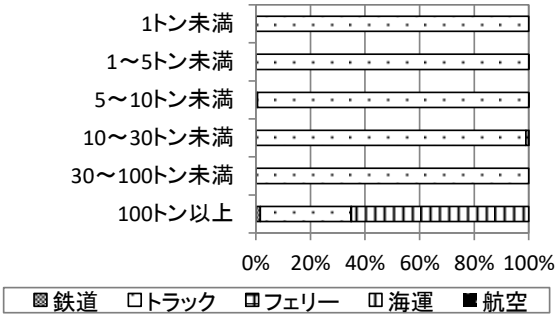


図 4 輸送ロット別の輸送機関の選択割合

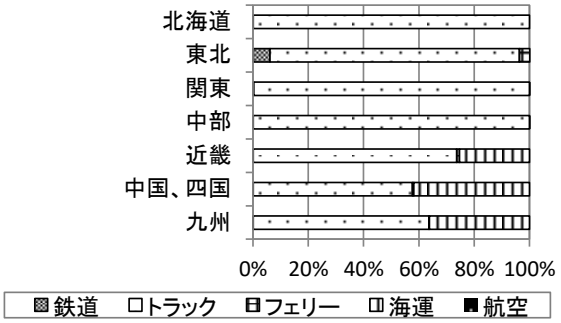


図 5 発地区別の輸送機関の選択割合

A3-02

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

静脈物流の輸送実態から推計した効率化ポテンシャルの評価

Evaluation of Efficiency Improvement Potential by Using Actual Transportation Data of Reverse Logistics

○田口　直*[1)]、大久保　伸[1)]、松本　亨[1)]

Sunao Taguchi, Shin Okubo, Toru Matsumoto

1) 北九州市立大学

* x6mac007@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

日本の 2015 年度の二酸化炭素排出量（12 億 2,700 万トン）のうち、運輸部門からの排出量（2 億 1,300 万トン）は 17.4%である。自動車全体では運輸部門の 86.1%である。さらに、そのうち旅客自動車が運輸部門の 50.4%、貨物自動車が運輸部門の 35.8%を排出している。このように、運輸における CO_2 排出量の改善は、重要な課題である。

近年、運輸部門からの CO_2 排出量は、燃費の改善等により減少傾向にある（2013 年度で 2005 年度比 6.3%減）。しかし、パリ協定を踏まえた地球温暖化対策計画（2016 年 5 月閣議決定）では、2030 年度において 2013 年度比 28%減（2005 年度比 32%減）の水準まで削減することとなっている。物流分野の対策としては、各輸送形態の低炭素化の他、トラック輸送の効率化、共同輸送、モーダルシフト等がある。モーダルシフトとは、輸送手段（mode）を環境負荷の低いものに転換（shift）することを意味しており、地球温暖化対策としてはだけでなく、労働力問題の解消、道路混雑の緩和、交通事故縮小などの社会問題への対応策としても期待されている。

廃棄物や循環資源等を含む静脈物流は、運賃負担力や納期の制約が小さく、本来海運輸送に適しているが、循環資源等の輸送形態は陸送（トラック輸送）が約 9 割を占めているのが現状であり、モーダルシフト・輸送効率化による低炭素化の余地が大きい。

そこで本研究では、産業廃棄物処理事業者の実際の物流データを用いて、静脈物流の輸送効率化ポテンシャルを低炭素化の面から評価することを目的とする。

2. 輸送頻度の変化による効率化ポテンシャルの推計

2.1 推計方法

産業廃棄物処理事業者の静脈物流の年間輸送データを基に、産業廃棄物の輸送回数を 1 日ごと、2 日ごとと減らし、2 週間ごとまでに期間を伸ばした場合の 12 の各輸送パターンについて、CO_2 排出量を計算した。輸送ルート（処理事業者→受け入れ先）は 5 種類、輸送モードは船舶およびトラックとした。トラックは実際に企業で使われているものを参考にし、積載可能な重量で最も積載率が高くなるものをそのつど選択した。また、船舶は輸送する産業廃棄物の重量が 600kg を下限として使用すると仮定した。また、以下の数式を用いて計算した。

①トラック

CO_2 排出量[kg-CO_2] = 輸送距離[km]×廃棄物輸送量[t]×輸送トンキロ当り燃料使用原単位[l/t・km]×2.585[tCO_2/kl]

②船舶

CO2 排出量[kg-CO_2] = 輸送距離[km]×輸送量[t]×0.039[kgCO_2/t・kg]

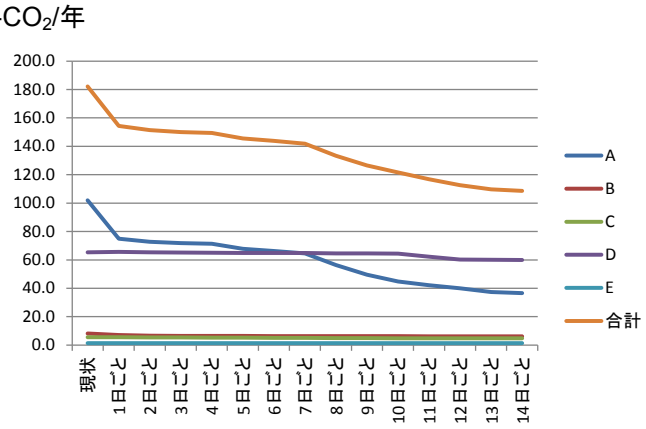


図 1 輸送頻度ごとの CO_2 排出量の変化

表 1 輸送頻度の変化による CO_2 削減率

	A	B	C	D	E	合計
1日ごと[%]	26.5	12.9	0.8	−0.4	0.5	15.3
2日ごと[%]	28.7	17.3	1.6	0.1	0.5	16.9
3日ごと[%]	29.6	19.3	3.3	0.4	0.5	17.6
4日ごと[%]	30.0	20.1	4.7	0.5	0.5	18.0
5日ごと[%]	33.5	20.8	6.7	0.7	0.5	20.1
6日ごと[%]	35.0	21.3	7.8	0.9	0.7	21.1
7日ごと[%]	36.7	22.1	9.5	0.9	0.6	22.1
8日ごと[%]	44.8	22.1	11.3	1.2	0.7	26.8
9日ごと[%]	51.4	22.7	11.6	1.3	0.8	30.6
10日ごと[%]	56.1	22.5	12.5	1.4	0.7	33.3
11日ごと[%]	58.6	23.2	12.5	4.7	0.7	35.9
12日ごと[%]	60.7	23.1	13.0	7.8	0.9	38.2
13日ごと[%]	63.3	23.6	13.6	8.1	0.9	39.8
14日ごと[%]	64.1	23.9	13.6	8.4	0.9	40.4

輸送距離について、トラック輸送距離は Google Map により算出した。

2.2 推計結果

推計結果および実際の輸送に係る CO_2 排出量を、図 1 に示す。輸送ルート B は輸送頻度の変化による影響が大きく、1 日ごとに輸送した場合の CO_2 削減率は現状比で 26.5%であり、最も効果が大きくなった 14 日ごとの場合には 64.1%となった（表 1）。理由としては、輸送ルート B は他の輸送ルートと比較したとき、実際の輸送量と輸送回数が多く、輸送頻度も高かったため、一度に大量に輸送する事が可能であり、トラックの大型化や、船舶輸送の利用もしやすいためである。

また、輸送ルートやパターンによっては、CO_2 削減率が 1%以下ではあるがマイナスになる場合もあり、ルート E に至ってはすべての輸送パターンにおいて CO_2 削減率が 1 %以下であり、削減効果はほとんどみられないという結果が得られた。これは、輸送頻度がもともと低かったため、産業廃棄物を保管しても纏めて輸送することがほとんどできておらず大きな変化がなかったこと、そして実際の輸送時も積載率が比較的高かったため、輸送トンキロ当りの燃料使用原単位が今回の研究の場合とも同程度であり、結果として CO_2 排出量に大きな差がなかったことの 2 つが要因であると考えられる。

3. ストックヤードにかかる費用の推計

産業廃棄物の輸送回数を減らすためには、一定期間の間、発生した産業廃棄物を保管しておく必要がある。そのためのストックヤードの費用を、本研究では地代として算出した。各輸送パターンにおいて、最も廃棄物が多く輸送されたときの廃棄物量が、その輸送パターンにおいて必要な保管容量とし、高さ 1m まで積み上げて保管すると仮定し、工場立地市内の平均地代からストックヤードの費用を推計した（図 2）。

図 2 より、最も輸送効率化のポテンシャルが高かった輸送ルート A が費用の増加傾向が大きいことがわかる。また、輸送頻度を減らすほど費用が大きくなることがわかった。

4. まとめ

産業廃棄物処理事業者の静脈物流の輸送データを基に、産業廃棄物の輸送回数を減らした場合の各輸送パターンについて、CO_2 排出量を計算した。実際の輸送量と輸送回数が多く、輸送頻度も高い輸送パターンであれば、保管した産業廃棄物を一度に大量に輸送する事が可能であるため、トラックの大型化や、船舶輸送の

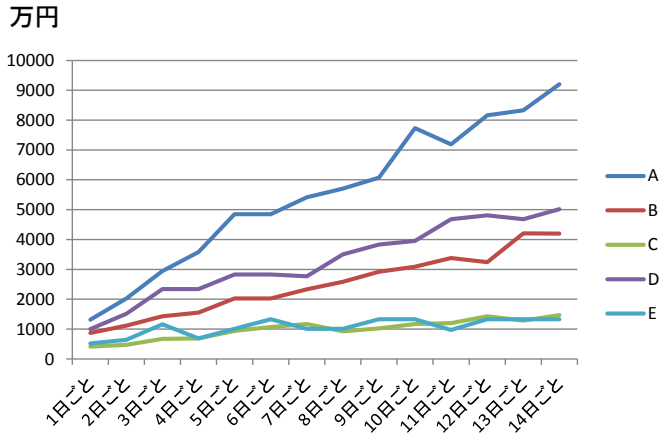


図 2 各輸送パターンのストックヤード費用推計

利用による低炭素化の効率化ポテンシャルが大きいことが分かった。そのため、輸送頻度および産業廃棄物総量が低い場合には、産業廃棄物を一定期間保管しても効果は得られない。輸送ルート A が費用の増加傾向が大きいことおよび、輸送頻度を減らすほど費用が大きくなることがわかる。今後は、輸送効率化とストックによるコスト増減、CO_2 の増減比較を行う。

引用文献

1) “運輸部門における二酸化炭素排出量”, 国土交通省, （オンライン）, 入手先 < http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html >, （参照 2018-1-11）
2) “サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース (Ver.2.3)”, 環境省, （オンライン）, 入手先 < http://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/DB_v2.3_r.pdf >, （参照 2018-1-11）
3) 尹鍾進, “循環型社会の廃棄物マネジメントと静脈物流～ゴミから資源へ～”, 財団法人運輸政策研究機構, 東京, (2011), p.41-67
4) “産業廃棄物の種類ごとの集計単位と重量換算係数　Ver.1.3”,　公益財団法人　日本産業廃棄物処理振興センター, （オンライン）, 入手先 < http://www.jwnet.or.jp/jwnet/pdf/gyouseihoukoku_jyuuryoukanzankeisuu.pdf >, （参照 2018-1-11）
5) “北九州市の公示地価マップ・土地相場・坪単価”, （オンライン）, 入手先 < https://tochidai.info/fukuoka/kitakyushu/ >, （参照 2018-1-11）

リサイクルトナーカートリッジの
ライフサイクル温室効果ガス排出量算定に関する事例研究

A case study on Life Cycle Greenhouse Gas Emissions calculation for Remanufactured Toner Cartridge

○山岸健*[1)]、岩崎英夫[2)]、吉津智範[2)]、林俊光[2)]

Ken Yamagishi, Hideo Iwasaki, Tomonori Kitsu, Toshimitsu Hayashi

1）産業環境管理協会, 2）日本カートリッジリサイクル工業会

* yamagishi@jemai.or.jp

1. はじめに

日本カートリッジリサイクル工業会（以下、「工業会」という。）は、使用済みトナーカートリッジを再生処理して販売するメーカーを会員とする工業会である。これまで自主的環境ラベルである E&Q マーク制度[1)]などを通じて定性的環境影響評価を行い、循環型社会形成へ向けた取り組みをしてきた。しかし、近年、利害関係者に対し定量的根拠を持って取り組みの信頼性を示す必要が生じていることからライフサイクルを通じた温室効果ガスの排出量（以下、「$LCCO_2$」という。）の算定に取り組んだ。

まず工業会で $LCCO_2$ 算定方法論を検討し、工業会平均値を算出した。これを基準値とし、3 年後に 3%削減を目標値として温室効果ガス排出削減活動を会員が実施した。本報告ではこの取り組みの概要を記す。

2. $LCCO_2$ の工業会平均値算出

2.1 調査対象製品

リサイクルトナーカートリッジ（以下、「カートリッジ」という。）は多品種少量生産であるため網羅的調査は困難である。そこで、サイズ（A4 サイズまたは A3 サイズ）、ドラムタイプ（トナー一体型またはトナー分離型）、カラー（カラーまたはモノクロ）の要素別に 8 機種を調査対象製品とした。調査対象製品の選択に際し、生産量が多く生産量構成比の 4 割程度を占める A3・一体型・モノクロの区分の機種については 2 機種で $LCCO_2$ を試算した。結果、両者の差は 3%程度と大きくなかったため、より代表性の高い機種を選定した。また、A3・分離型・モノクロについては、生産量構成比が 3%と最も少なく代表的な機種も無いことから、代表機種を選定せず、A3・分離型・カラーの代表機種で代替した。（SI 別表参照）

2.2 機能単位

機能単位は「使用済みトナーカートリッジを製品ユーザーから回収・再生し、リサイクルトナーカートリッジ 1 個を提供すること」とした。印刷枚数といった他の機能単位についても検討を行ったが、多品種少量生産であり機種別の印刷枚数の把握が困難であるといったデータ入手可能性を理由に不採用とした。

2.3 対象影響領域

影響領域は地球温暖化、特性化モデルは GWP100 年指数（IPCC1995）を採用した。過去 6 年間継続して実施した取り組みのため、連続性を考慮し特性化モデルの変更は行っていない。

2.4 システム境界とカットオフ対象

システム境界は図 1 の二重線内とした。カットオフ対象は生産設備の製造、再生工場外での保管、製品重量の 1%未満の微小部品の製造交換部品・梱包材の輸送に使用される輸送資材とした。ただし半導体部品はカットオフせず評価対象にした。

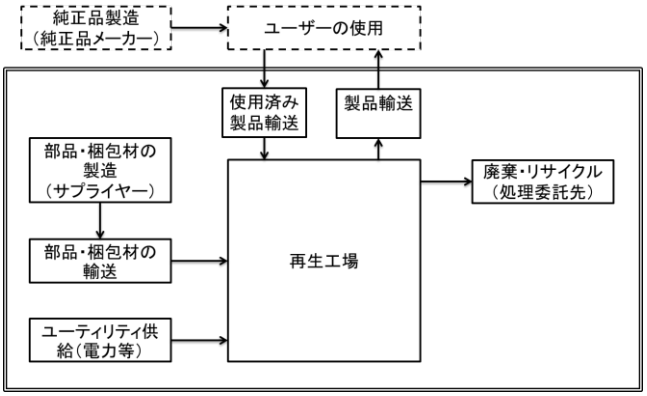


図 1：　システム境界

2.5 配分手順

再生工場における電力使用量等については工場全体でデータ収集したため機種別に配分した。電力使用量は生産時間に比例すると推察されることから生産時間基準配分を原則とした。ただし、生産時間の把握が困難な会員については生産質量基準で配分した。

2.6 データ収集

フォアグラウンドデータは会員企業約 20 社から収集した。カートリッジ構成部品の多くは使用済み製品から回収し、再生処理をした上で再利用している。しかし、一部の部品は使用済み製品から回収することができないため新品を購入している。そのため、交換部品の投入重量は部品重量に交換率を乗じて算定した。

個社データの秘匿性を確保するため、第三者機関（産業環境管理協会）がデータ編纂・$LCCO_2$ 算定作業を行った。また、異常値と思われるデータについては、適宜会員へ確認を行い、妥当性の確保を行った。

バックグラウンドデータは IDEA ver. 1.1[2]を利用した他、パルプモールドについては日本パルプモールド工業会[3]、輸送距離については Google map[4]を利用した。

2.7 $LCCO_2$ の工業会平均値算出結果

ある機種の算定例を図 2 に示す。調査結果から、カートリッジの $LCCO_2$ は、「充填用トナー」の影響が最も大きく、次いで「交換部品の製造」や「再生工程」、「梱包材等」、「使用済み製品の回収輸送」、「製品の出荷輸送」がある程度影響することがわかった。また、これらの影響は、会員の特徴に応じて変化することが分かった。この例における M 社、Q 社のように再生工場でカートリッジ以外の製品も製造しており、プロセスの細分化ができなかった部分については工業会平均値算出からは除外している。

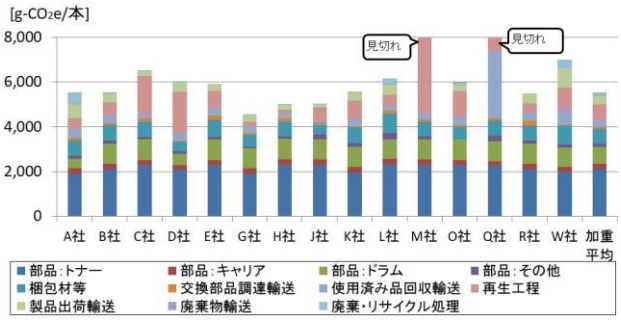


図 2：　A3・一体型・モノクロの代表機種に関する $LCCO_2$ の 2016 年実績

図 2 の様に合計 7 機種について $LCCO_2$ を算出し、各区分における各会員の生産量で加重平均することで $LCCO_2$ の工業会平均値を算出した（図 3）。2013 年度は A3 サイズの機種について、2014 年度は A4 サイズの機種について工業会平均値を算出しこれらを基準値とした。2016 年目標値 3%削減に対し、実績値は 7%削減となり目標を達成した。

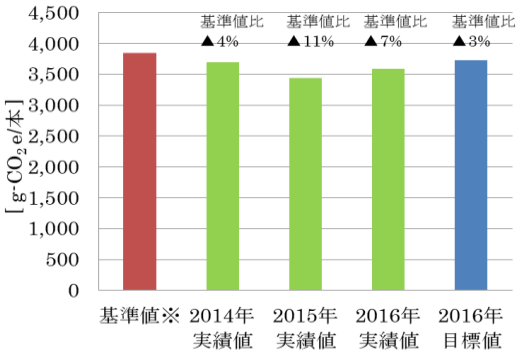


図 3：　リサイクルトナーカートリッジ 1 本あたりの $LCCO_2$ の工業会平均値

3. 温室効果ガス排出削減活動の展開

会員各社の温室効果ガス排出削減活動を支援するため、工業会平均値と会員各社の算定結果を示した。これは自社の相対的な位置を把握し、自主的な削減活動の推進を促すものである。例を図 4 に挙げる。

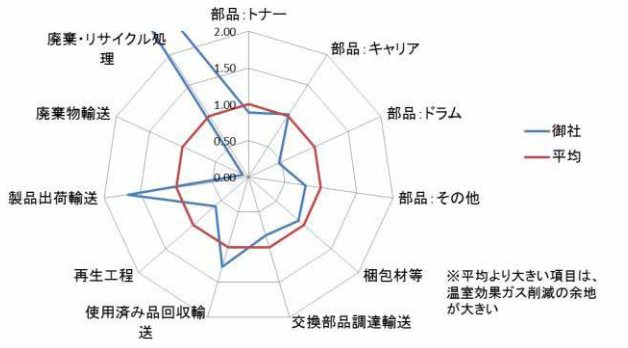


図 4：　会員へ提供した LCCO2 算定結果の例

4. 結論

基準値に対して、3 カ年で 3%の削減を目標値として設定し、2016 年にかけて実績値を収集するとともに、温室効果ガス排出削減活動を会員企業で展開した。その結果、実績値は 7%削減となり目標を達成出来た。主な削減要因は生産努力（再生工程における省エネ等）が 6%程度、販売品構成の変化（A4 サイズ機種増加等）が 1%程度と推察された。工業会として会員各社の生産活動に直接関与することは出来ないが、以上に挙げた情報提供によって、会員の自主的な温室効果ガス排出削減活動を促進したことも、工業会としての目標達成の一助になったと考える。

引用文献

1) 日本カートリッジリサイクル工業会：“E&Q マークとは“，（オンライン），入手先 <https://www.ajcr.jp/eq-mark/>，（2017-11-9）

2) 産業技術総合研究所、産業環境管理協会：“LCI データベース IDEAver.1.1”，MiLCA ガイドブック

3) 日本パルプモールド工業会：“パルプモールド工業会ウェブサイト”，（オンライン），入手先 <http://www.pulpmold.gr.jp/index6.html>，（2013-10-9）

4) Google：“Google map”，（オンライン），入手先 <https://maps.google.co.jp/maps>，（2013-10-9）

Supporting Information

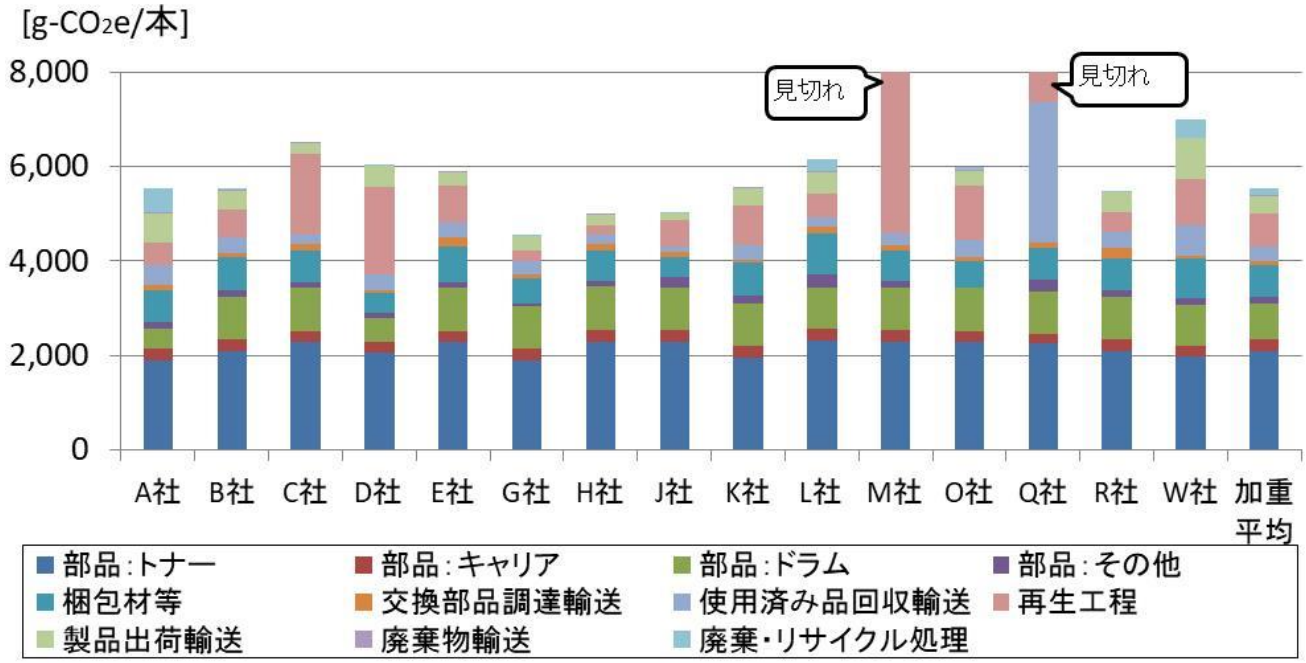


図 S1　A3・一体型・モノクロの代表機種に関する $LCCO_2$ の 2016 年実績

表 S2　調査対象製品

	モノクロ	カラー
A3/一体型	2 機種	1 機種
A3/分離型	1 機種	
A4/一体型	1 機種	1 機種
A4/分離型	1 機種	1 機種

B3-01

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

農山村における持続可能な地域づくり活動が大学生の意識・行動に与える効果 ー愛媛県内子町におけるヒューマンソーシャルライフサイクル分析(その 3)

The effect of sustainable development activities on consciousness and beha vior of university students in Uchiko town

- The Human social life cycle analysis in Uchiko town (Part 3) -

○中口毅博*1)

Takahiro Nakaguchi

1) 芝浦工業大学

* nakaguti@sic.shibaura-it.ac.jp

１．はじめに

筆者は 3 年前より、環境学習の効果を測定するために、人間の一生に着目し長期的に評価する手法、すなわち人間そのものを対象とした HLCA(（ヒューマン・ライフサイクルアセスメント）を提唱し、内子町での実践活動の効果を HLCA の視点で評価してきた。これまでの研究では内子町内の保育園・幼稚園、小学校、高校における実践結果を公表してきたが、大学生の活動の評価についてはまだ行っていない。

そこで本研究は、芝浦工業大学生の内子町での実習を例に、大都市圏に住む大学生が地方の中山間地域において活動した結果、ジェネリックスキル（＝社会人基礎力）などの意識・行動にどのような変容が見られたかを、HLCA の考え方を用いて分析することを目的とする。

２．研究の対象と方法

対象は、芝浦工業大学環境システム学科の「環境フィールド実習」という屋外授業を 2017 年度に受講した 2 年生である。この授業は、6 ヶ所の見学・体験を行い、1 ヶ所について発表会で報告するという形式である。実習は選択式ですべて必須ではないが、およそ 4 ヶ所の実習に参加することで単位取得が可能になる。

HLCA と地域の持続可能性指標の評価フレームを、図 1 に示す。対象が大学生であるため、実習への参加という介入・刺激に対し、高校生までの過去の体験の多さによって変容度が異なるという仮説を立て、これを検証する。

授業の履修者は 22 名で内子町での実習参加者は 18 名であった。発表会終了後、履修者全員を対象にアンケート調査を行い、20 名から回答を得た。質問内容はジェネリックスキル（15 項目）、地域貢献・自己研鑽意思（7 項目）について、受講前と受講後の状況をそれぞれ 5 段階で尋ねるとともに、影響を受けたものを記入してもらった。また、スキルに関係する行動の過去の経験（5 項目、5 時点）について尋ねた。

３．結果

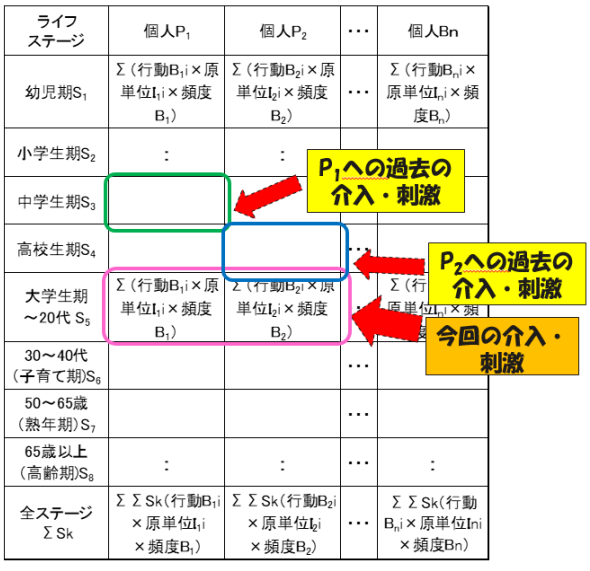
3.1 ジェネリックスキル

（1）履修前と履修後の自己評価の比較

ジェネリックスキルの 15 の個別項目について「とてもそう思う」+「そう思う」の回答比率を履修前後で比較したものが表 1 である。このようにすべての項目について、履修後に統計的に有意に上昇していた。15 項目をジェネリックスキルの 10 分類に統合した場合も同様の結果が得られたことから、本授業は全体として効果があったと言える。

（2）個別の実習の影響力

影響を受けた実習の種類を挙げてもらい、10 分類に集計した結果を図 2 に示す。全体の平均では情報収集力などリテラシーの 3 項目が 3 割前後挙げられたが、影響力が最も大きいのは「神楽坂」であった。しかし他の項目はすべて「内子町」が 4～5 割と、最大値を示した。



仮説：Σ(行動 B1i×原単位 I1i×頻度 B1)≠Σ(行動 B2i×原単位 I2i×頻度 B2)であるか？

図 1　HLCA の評価フレーム [1)]

表 1　履修前後のジェネリックスキルの自己評価

NO.	質問項目	「とてもそう思う」+「そう思う」の比率		
		前	後	検定
1	教科書や講師の配布資料から、現時見学や調査に必要な情報を集める	19%	81%	***
2	都市やまちの特徴を文献・資料から読み取る	19%	76%	***
3	説明や配布資料を鵜呑みにせず、客観的データや現地で見聞きしたことから現状や課題を分析	10%	67%	***
4	与えられた課題を実施する方法や手順、スケジュールを構想	10%	62%	***
5	都市やまちの現状や課題を多面的に把握	14%	67%	***
6	都市やまちの問題・課題が発生する原因や背景について、多面的に考察	14%	62%	***
7	都市やまちの問題・課題も解決策について多面的に考察	14%	57%	***
8	相手の話を素直に聞き、相手に話しやすい状況を作る	29%	67%	***
9	グループ別の行動や作業の際に自分の役割を理解し、多のメンバーと協力して進める	33%	90%	***
10	グループ別の行動や作業の際に意見を調整・整理した上で、次の行動・作業の提案	24%	62%	***
11	気持ちの揺れをコントロールして、冷静に議論したり判断することができる	43%	67%	*
12	物事を前向きに考え、自分を変革	24%	57%	**
13	与えられた役割や作業を主体的に実行し、最後までやりきる	48%	90%	***
14	自分の学習や行動すべき内容を把握し、実施の手順やスケジュールを計画	14%	67%	***
15	意見を言うだけでなく、提案したことを実際に行動に移す	10%	62%	***

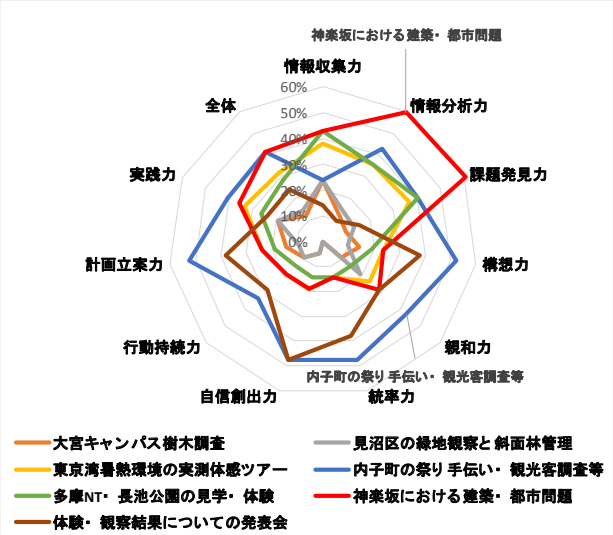


図 2　影響を受けた実習の種類（ジェネリックスキル）

4.2 社会貢献・自己研鑽意思

履修前と後で、「とてもそう思う」の比率が 7 項目中 6 項目で有意に高まった。内子町が最も影響が大きい項目は「困っている人の援助」「コミュニケーション力」のみで、他はすべて神楽坂の影響力が最大であった。

4.3 過去の体験の有無による影響

過去の経験の有無によってジェネリックスキルの差があるかどうか、「とてもそう思う」と「そう思う」の合計値を比率の差の検定によって把握した。履修前は過去の経験の有無で回答にほとんど差が見られなかったが、履修後は表 2 に示すように構想力を除き有意な差が見られた。行動持続力は高校での経験のみ影響を及ぼしていたが、他のスキルはすべての時期で影響を及ぼしていることがわかった。

4．考察とまとめ

大学生に「環境フィールド実習」のような野外実習を行うことはジェネリックスキルや社会貢献・自己研鑽意思の向上に大きな効果があった。また、内子町など地方の農山村で大都市圏の学生が活動することは、特にコンピテンシー項目の向上に効果があった。さらに過去に活動経験がある学生は、履修前は他の学生と変わらないが、履修後の効果が未経験の学生より大きかった。このことから、幼児期から切れ目なく地域学習や社会活動を行うことが重要と言える。

文　献

1)中口毅博・高杉悠那(2016)第 11 回日本ＬＣＡ学会研究発表会.

2)中口毅博(2017)第 11 回日本ＬＣＡ学会研究発表会.

表 2　過去の経験とジェネリックスキルの関係

過去の経験		スキル 情報収集力	情報分析力	課題発見力	構想力	親和力	統率力	自信創出力	行動持続力	計画立案力	実践力
集団協議経験	小学校	***	***	***		**	***	*	*	***	***
	中学校	***	***	***		**	***	**		***	***
	高校	***	***	***		***	***	**	***	***	***
	大学	***	***	***		***	***	**		***	***
観察傾聴経験	小学校	**	***	***		**	***	***	*	**	***
	中学校	***	***	***		**	***	***		***	***
	高校	***	***	***			***		**	*	***
	大学	***	***	***		***	***	**		***	***
課題解決経験	小学校	**	**	*		*	*	**			***
	中学校	***	***	***		**	***	**		**	***
	高校	***	***	***		***	***	**	*	***	***
	大学	***	***	***		***	***	***		***	***
外部発表経験	小学校	***	***	***		**	***	**		**	***
	中学校	**	***	***		**	**	**		**	***
	高校	**	***	***		***	***	**	**	*	***
	大学	***	***	***		***	***	**		***	***
活動参加経験	小学校	***	***	***			**			*	**
	中学校	***	***	***		*	***	*		***	***
	高校	***	***	***			***			**	***
	大学	***	***	***		***	***	***		***	***

*** 1% ** 5% * 10%の危険率で有意

参考資料

表 3　履修前後の社会貢献･自己研鑽意思の自己評価

NO.	質問項目	「とてもそう思う」の比率			「とてもそう思う」+「そう思う」の比率		
		前	後	検定	前	後	検定
1	都市やまちの課題解決	15%	50%	***	60%	70%	
2	地方の農山村の課題解決	5%	30%	**	40%	80%	***
3	国際社会の課題解決	15%	25%		40%	60%	*
4	困っている人の援助	5%	25%	**	50%	80%	**
5	情報分析・課題発見力	10%	40%	**	50%	60%	
6	コミュニケーション力	15%	55%	***	65%	80%	
7	行動力・自己変革力	20%	60%	***	70%	75%	

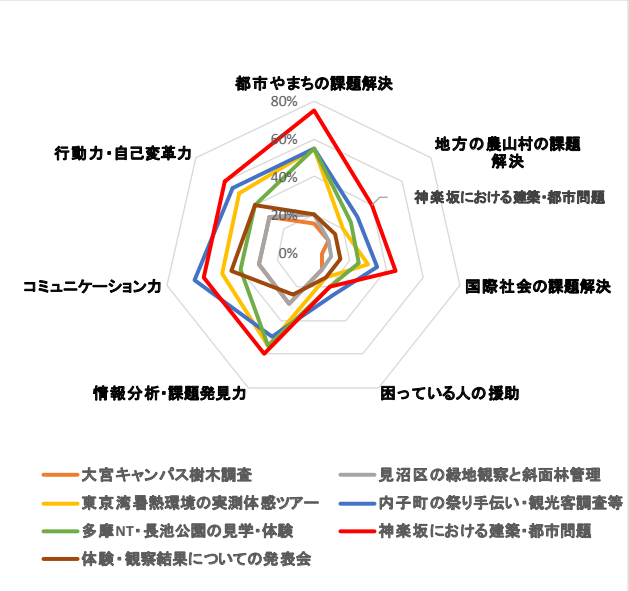


図 3　影響を受けた実習の種類(社会貢献・自己研鑽意思)

表 4　影響を受けた実習の種類(社会貢献・自己研鑽意思)

分類	リテラシー				コンピテンシー						
スキル / 実習内容	情報収集力	情報分析力	課題発見力	構想力	親和力	統率力	自信創出力	行動持続力	計画立案力	実践力	全体
影響力平均	30%	30%	31%	26%	24%	18%	22%	19%	26%	28%	28%
大宮キャンパス樹木調査	24%	12%	10%	14%	10%	0%	5%	10%	14%	19%	12%
見沼区の緑地観察と斜面林管理	24%	14%	13%	10%	19%	0%	5%	10%	10%	19%	14%
東京湾暑熱環境の実測体感ツアー	38%	36%	37%	24%	24%	14%	19%	19%	24%	33%	32%
内子町の祭り手伝い･観光客調査等	24%	43%	40%	52%	43%	48%	48%	33%	52%	40%	42%
多摩NT･長池公園の見学･体験	43%	36%	40%	19%	14%	14%	14%	14%	19%	26%	29%
神楽坂における建築･都市問題	43%	60%	61%	24%	29%	14%	19%	19%	24%	36%	42%
体験･観察結果についての発表会	14%	10%	15%	38%	29%	38%	48%	29%	38%	24%	24%

B3-02

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

印刷ライフサイクルの教育コンテンツ化の向上のための課題検討

Examination of issues for improvement of educational contents in print life cycle

○北村祐介*[1)2)3)]、岸野ほなみ[4)]、海老原誠治[2)5)]、高岡由紀子[2)6)]、西尾チヅル[2)7)]、伊坪徳宏[4)]

Yusuke Kitamura, Honami Kishino , Seiji Ebihara , Yukiko Takaoka , Chizuru Nishio , Norihiro Itsubo

1) プリプレス・センター, 2) 資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 3)elsa , 4)東京都市大学 , 5)三信化工 , 6)グリーン購入ネットワーク（GPN）, 7)筑波大学

* elsa.coremember@gmail.com

1. はじめに

本発表は「ものの一生すごろくコラボ（資源と環境の教育を考える会「エコが見る学校」×プリプレス・センター)」と「インターンシップによる開発（プリプレス・センター×東京都市大学伊坪研究室)」によるコンテンツ開発の経過を報告する。「ものの一生すごろく[1)]」とは、エコが見える学校が開発した参加会員企業の商品・サービスのライフサイクルを示したすごろくのことを指す。これまでに、うつわの一生、制服の一生、油性マーカーの一生、つくえの一生すごろくの開発が行われている。

インターンシップは、印刷業のプリプレス・センターが実施する夏期プログラムである。東京都市大学伊坪研究室と共同で 2015 年度と 2016 年度に環境教育コンテンツの開発に関する企画構想、調査、設計、デザイン校正までを行い、2017 年度は課題整理の一部を検討した。

今回は、印刷物を対象としたコンテンツ「印刷物の一生すごろく（以下、本コンテンツ)」の開発の過程[2)]において、検証フェーズとして、北海道グリーン購入ネットワークが主催する「買うエコ体験」イベント（札幌市）にて実施し、アンケート調査で学校教育における運用科目の整理を目的とした予備的調査を行なった。

2. 実施環境

すごろくコンテンツの実施環境は表１のとおりである。また、表２に示すとおり、本コンテンツの検証はイベント当日プログラムの第一部において行われたものである。実施の様子を図１～４として掲載する。

表１：実施環境

	1 回目	2 回目
実施日	2017.11.4（土）	2017.11.4（土）
受講者	23 名 （小学１年生～ 中学１年生まで）	7 名 （小学２年生～ 小学５年生まで）
場所	札幌市内	札幌市内
時間	10 時～12 時	14 時～16 時

表２：当日プログラムの内容（各回共通）

	流れ	内容
導入 （10）	全体説明 テーマ：3R	点呼、会場案内、参加者の体調確認、オリエンテーション
第一部 （50）	すごろくデモ説明	内容とルール説明
	すごろく体験実施	グループ毎の実施
第二部 （45）	買い物体験	店頭で３R を配慮していると思う商品を選び、疑似購入。
	選択商品の発表	選んだ理由を発表
まとめ （5）	解説	全体を通じての質疑、解説、アンケート。

( )内は所要時間、第一部と第二部の間に 10 分休憩

図１：第一部　すごろくデモ説明（ルール説明）

図２：第一部　すごろくデモ説明（デモ説明）

図３：第一部　すごろく体験実施（グループ実施）

図４：第一部　すごろく体験実施
（すごろくゲーム後の点数シート）

3. アンケートの調査

受講者 30 名に実施後､以下を記入してもらった。

◯属性：年齢・学年・性別・居住地域
◯感想：印象に残っていることを教えてください
（プラス・マイナス面問わず自由記述）
◯関連性：参加して学校の授業の中でどの教科と
関係があると思いましたか
選択肢（国語・社会・算数・理科・生活・音楽・図工・家庭・体育・道徳・外国語（英語など）・総合の時間・特別活動・給食）から複数選択可

---

4. 実施結果

アンケート調査の結果を以下に示す。受講者の割合は図５のとおり、男女別では学年に欠番があるものの、全体的には上位学年と下位学年が網羅されている。また、居住地域は全受講者が札幌市内であった。

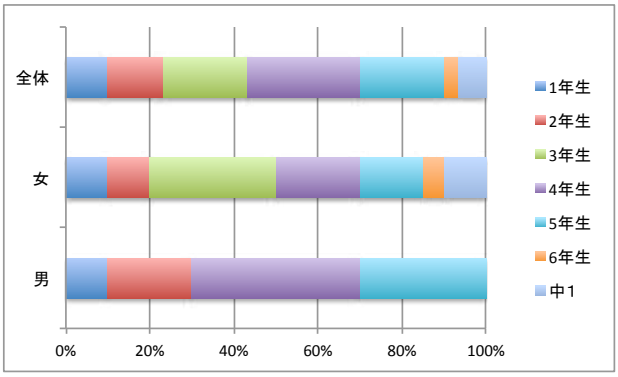
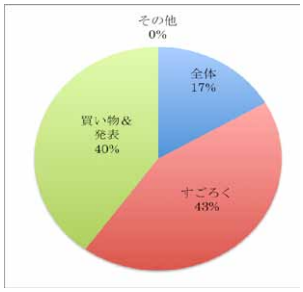


図５：受講者の学年比率（全体 n=30）

図６は、「印象に残った」感想を問う設問の回答結果である。第一部のすごろくに印象を持った割合が 40%という結果であり、記述からも「すごろくがたのしかった。」「すごろくで１番色が多かったからかなしかった。」「すごろくが、エコの事がたくさんかいてあったのでよかったです。」とプラス面の記述が目立った。



1	社会	21	70.0%
2	生活	20	66.7%
3	家庭	17	56.7%
4	給食	16	53.3%
5	理科	10	33.3%
6	道徳	10	33.3%
7	総合	9	30.0%
8	特別活動	5	16.7%
9	図工	4	13.3%
10	国語	3	10.0%
11	算数	2	6.7%
12	音楽	2	6.7%
13	外国語（英語）	2	6.7%
14	体育	0	0.0%

左　図６：感想記述（n=30、記述から筆者が分類）
右　図７：関連教科（n=30、複数回答）

図７は教科との関連を問う設問の回答結果である。イベントの主テーマである「３R」とも関連が強く、社会科への選択が目立ち、次いで生活や家庭、給食など身近な行動問題との関連を受け止めた回答と推測できる教科が上位に続いた。

5. まとめと課題

今回、低学年（1～3 年生）では「生活」を、高学年（4～6 年以上）でも「社会」や「家庭科」を選択する受講者が多く、テーマである３R の内容と紐づく教科を選択する傾向を捉えることができた。「給食」は食べ残しなどの具体的な関与行動を理由として選択したものと記述から確認ができた。

また、男女間では、関連教科として選択する教科を単独で選択する（男の子）と複数選択する（女の子）で傾向の違いが見られ、受講者感度を含め詳細に傾向を分析していくことが必要と考える。教科間同士の関連性に基づくコンテンツ運用の在り方についても引き続き、検討を続けていく。

6. 謝辞

実施イベントは H.29 年度「子どもゆめ基金」の助成により運営され、本調査にご協力をいただいた北海道グリーン購入ネットワーク、イオン北海道株式会社の皆様に深く感謝致します。

7. 引用文献

１）“エコが見える学校”（オンライン）：<http://www.kababon.org>,（2018-1-8）
２）北村祐介：“日本ＬＣＡ学会”，つくば，（2017 年），pp.230 頁-231 頁

B3-03

第13回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018年3月）

都市鉱山と資源端重量をシミュレーションする環境教育プログラム

Environmental education program to simulate urban mines and Total Material Requirement.

○　海老原誠治*1)2)、高岡由紀子1)3)、北村 祐介1) 4) 5)
古久保彰2)、大塩美奈子2)、西尾チヅル1)6),原田幸明7) 8)
Ebihara Seiji, Yukiko Takaoka, Yusuke Kitamura,　Akira, FurukuboMinako,　Chizuru Nishio,　Kohmei Halada
1) 資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 2) 三信化工株式会社,　3) グリーン購入ネットワーク,
4)プリプレスセンター,　5)elsa,　6) 筑波大学,　7)物質・材料研究機構,　8)エコマテリアル・フォーラム
＊ s-ebihara@sanshin-kako.co.jp

1. 背景

産学コンソーシアムである「エコが見える学校」では、LCTに取り組むモノづくり企業を中心とし、企業がもつ生活に関わる環境情報の発信と理解とLifeStyleの変容を目的とし2012年発足した。国内2番目となる環境教育等支援団体(環境 教育等促進法)の指定のもと、関連企業が持つLCA情報等を元に、複数の環境コンテンツの開発・実施・調査・修正・展開を通じて評価した。2014年度より年間5,000～10,000人程度の方を対象として60～１５０回程度、衣食住を通じた出前授業やワークショップ・セミナーの実績を持ち現在も活動を継続している。

一方、近年では、CircularEconomy・SDGｓ・マテリアルフットプリントへの注目・RRRDRの提言、産業と環境の負荷のDecouplingなど、環境の効率が重視される。さらには、２０２０東京オリンピックのメダルにおいて、都市鉱山リサイクルの導入決定など、より野心的な政策も打ち出されているなか、LACに対する期待は非常に高まっている。

しかしLCAの需要と期待に反し、理解十分な理解がなされているとは言い難い。改善を模索する上では、幅広いステイクホルダーに対しLACへの理解を促すプログラムが必要であるが、現時点では十分と言い難い状況である。

2. 目的

幅広いステイクホルダーに対し、LACへの理解を促すためのプログラム開発を目標とする。幅広いステイクホルダーに対し高い受容性を持つアプローチとしてとして、導入が決定した２０２０東京オリンピックのメダルの話題を切り口とし、金・銀・銅を中心として、採掘に伴う環境負荷、シミュレーションを通じたTMR（Total Material Requirement ）、都市鉱山リサイクルの必要性、これらへの理解を促すプログラムの開発および実施事例を紹介する。

3. プログラム開発と実施事例

実際のTMRの疑似的なシミュレーションを核として展開するプログラムを、小学校４件・中学校２件、実施した。展開は以下となる。

- 金・銀・銅メダルの特徴
- なぜ金が「一番」か？
- 金採掘に伴う環境負荷
- TMRの示唆
- 小型家電リサイクルで出来ること
- 金・銀・銅の採掘シミュレーション（Figure1,2）
- 金・銀・銅のTMR確認（Figure3）
- 残渣の問題を考える（Figure4,5）
- スマホのTMRを概算（中学生のみ）（Figure6）
- 昔の人の、環境意識
- みんな出来ることを考える

4. 結果・考察

アンケート調査から、子どもからは高く受容され、TMRへの理解も得た。また、学校職員・保護からも肯定的な評価を頂き継続している。

5. 課題

今後の課題として、次が挙げられる。

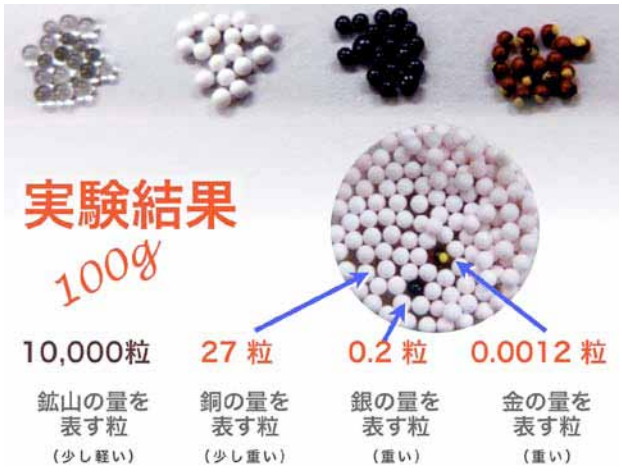
- プログラム実施時間の短縮
- 指導要領との対応
- 行動変容における介入の効果

6. 参考情報

資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」
HP; http://www.kababon.org

Figure, 1　金・銀・銅の採掘シミュレーション

Figure, 2　金・銀・銅の採掘シミュレーション



Figure, 3　金・銀・銅のTMR確認

Figure, 4　残渣の問題を考える

Figure, 5　残渣の問題を考える

Figure, 6　スマホのTMRを概算（中学生のみ）

C3-01,P2-022　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

消費者の製品使用・廃棄行動における、資源利用に対する考え方の影響

An analysis of how the consumers' perceptions of resource use influence upon product use and disposal

○山本悠久*[1)]、村上進亮[1)]
Haruhisa Yamamoto, Shinsuke Murakami
1) 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻
* yamaharu94.wp@gmail.com

1. はじめに

資源効率の向上は日本、そして世界にとって喫緊の課題となっている。特に資源消費を抑制するために、次の 2 点が消費者に求められている。

1. リペアやメンテナンスも利用した製品使用期間の長期化
2. 使用済み製品の再利用（リユース・リマン・リサイクルを含む）のための適切な排出

これら 2 つの行動は相互補完的になっており、同時に進めていくことが不可欠である。そのため、単一の行動のみならず、あらゆる行動を統合的に促進できる施策も求められる。

これまでリサイクル行動[1)]やゴミ減量行動[2)]を促進するため、様々な消費者の考え方とこれらの行動との関連を分析する研究が数多く行われており、近年使用期間の長期化[3)]に関連する考え方を分析する研究も進んできた。しかし、多くの研究が単一の行動を研究対象としており、複数の行動を対象にその相違点を分析した研究[4)]は少ない。特に、使用期間の長期化とその他の行動を対象にしたもの[5)]はほとんどない。

したがって、本研究では、消費者による製品の使用期間の長期化及びリサイクル行動について、これらの行動がどのように共通しているもしくは異なっているのか、資源採掘及び資源消費に対する考え方を例にアンケート調査から分析し、今後の促進施策に対する示唆を得ることを目的とする。

2. 手法

2.1 アンケート調査の設計

2017 年 1 月に日本国内の消費者を対象としたインターネットによるアンケート調査を実施した（回答者数 2911 名、性別・年齢別・地域別人口構成は国勢調査に基づく）。本アンケートは次の 3 部から構成される。使用期間に関する設問以外は 5 件法にて尋ねた。なお基礎属性として性別・年齢・居住地域・結婚の有無・子供の有無・世帯年収・個人年収・職業を別に得ている。

1. 資源採掘に対する考え方（資源採掘を受容するか、資源採掘企業・政府を信頼するかなど）
2. 消費者の資源消費に関わる行動（リサイクル、温室効果ガスの排出など）に対する考え方
3. 携帯電話・テレビの使用期間（過去排出したことのある場合は直近排出した製品の、排出したことのない場合は現在使用している製品の使用期間）および排出の際にリサイクルを行う頻度（日常的な排出行動として PET ボトルのリサイクル頻度も合わせて尋ねた）

2.2 分析手法

上記 1. 2 における設問の回答より、ポリコリック因子分析によって資源に関する考え方の抽出を行なった。最尤法およびオブリミン回転によって最終解を得た。なお、因子数は MAP 推定量及び平行分析をもとに、因子間相関が大きくならないように採用した。

得られた因子と基礎属性を説明変数、製品の使用期間もしくはリサイクル頻度を被説明変数とする回帰分析により変数間の関連を分析した。製品の使用期間に対しては Cox の比例ハザードモデルによる生存時間解析、リサイクル頻度に対しては順序プロビットモデルを適用した。なお、説明変数のうち世帯年収・個人年収は欠損値が存在したため、連鎖式による多重代入法（MICE）を利用して補完の上その影響を分析した。また、多重共線性の有無を VIF によって確認した。

なお、全ての分析は R を用いて行なった。

3. 結果と考察

3.1 資源利用に対する考え方の抽出

因子分析の結果、以下の 4 つの資源に対する考え方を抽出した。括弧内の表記を以下略称とする。

1. 資源採掘、特に日本企業による資源採掘への肯定的な評価（採掘・日本評価）
2. 資源採掘地の現地企業・政府への信頼（現地信頼）
3. 資源消費の抑制に対する態度（消費態度）
4. 資源採掘への関心（採掘関心）

なお、資源採掘に関する 3 つの考え方の間の相関と比較して、消費態度とその他の考え方それぞれとの相関は小さく、資源採掘と消費者自身の資源消費との関連が、実際には大きく存在しているにも関わらず、消

費者にはあまり意識されていないことが示唆された。また、資源節約よりも生活の便利さを重視すること、また分別を面倒に感じること、の 2 つの考え方はいずれの考え方からも大きな影響を受けておらず、それぞれ別個の意識に基づいていることが示唆された。これらの設問は個別に回帰分析における説明変数に含めた。なお、それぞれ以下「便利重視」、「分別面倒」と表記する。

3.2 資源利用に対する考え方と、製品使用期間・リサイクル行動との関連

Cox 回帰および順序プロビット回帰の結果を表 1 に示す。まず使用期間について、テレビの場合はいずれの資源利用に対する考え方も有意な関連を示さなかった。一方、携帯電話については消費態度及び採掘・日本評価が有意な関連を示した。しかしながら、いずれの考え方も回帰係数が正、つまり使用期間を短期化させる要因となっている。特に、資源消費を抑制したいと考える人は、本来は製品を長く使うことによって資源消費を低減させるべきなのも関わらず、実際にはその逆の行動を行なっている傾向が示された。このことから、少なくとも携帯電話について、製品を長く使うことによる資源消費への影響について、消費者が認識できていないことが示唆される。

次にリサイクル行動について、いずれの製品についても、消費態度・採掘・日本評価・現地信頼・分別面倒が有意な関連を示している。うち消費態度の係数は正である、つまりリサイクル行動を促進すると示され、リサイクルによる資源消費への影響は十分に認識されていると示唆される。一方採掘受容及び採掘・日本評価は負の係数、つまりリサイクル行動を抑制すると示され、使用期間に関する結果と合わせて、資源採掘に対する考え方が好意的であると、資源消費をあまり抑制しない可能性があると示唆される。

なお、年齢が高い人ほど製品を長く使用し、かつよりリサイクルを行なっている、つまり資源消費を抑制できていると有意に示されたことから、今後資源消費の抑制をすすめていくには年齢の低い層をターゲットにすることが重要であると考えられる。

表 1　製品の使用期間・リサイクル行動に対する回帰の結果

	製品の使用期間		リサイクル頻度		
	携帯電話	テレビ	携帯電話	テレビ	PET ボトル
便利重視	-0.0018	9e-04	-0.0577‡	-0.0376	0.0201
分別面倒	-0.0026	0.0041	-0.0788†	-0.1019*	-0.2237*
採掘・日本評価	-0.0222	0.0354	-0.0847†	-0.1459*	-0.1111*
現地信頼	0.0782†	0.0244	0.1446*	0.167*	0.2831*
消費態度	0.1332*	-0.0059	0.1121*	0.2142*	0.2035*
採掘関心	-0.0394	-0.0282	-0.0018	-0.0656†	-0.111*
性別：女性	-0.0633	-0.0905‡	-0.0036	0.0172	0.1047‡
年齢（20 代を基準）					
30 代	-0.1117	0.2726†	-0.0256	0.2522†	0.1307
40 代	-0.4885*	0.2254†	0.2447†	0.5136*	0.2484*
50 代	-0.7601*	0.0929	0.1091	0.5466*	0.3469*
60 代以上	-1.0738*	0.0202	0.2198‡	0.5847*	0.2665*
地方（中部地方を基準）					
中国・四国地方	0.0904	0.122	0.0515	0.2149†	0.0695
北海道・東北地方	-0.0304	0.0092	-0.0407	0.0403	0.2141†
関東地方	0.073	0.0878	-0.066	0.0177	0.093
近畿地方	0.0575	0.1134	-0.0921	-0.0044	-0.103
九州地方	-0.058	-0.0029	0.069	0.0358	0.0514
既婚	0.1199	0.0941	0.1594‡	0.0241	-0.0285
子供あり	-0.027	0.0693	-0.2991*	0.005	-0.0291
世帯年収：高収入	0.1242	0.0429	0.1029	0.0839	0.0675
個人年収：高収入	0.2037†	0.1252‡	0.1361	0.0735	-0.0587
職業（無職を基準）					
パートタイム	-0.0157	-0.054	0.0154	6e-04	-0.1331‡
フルタイム	0.0688	-0.0231	-0.0169	-0.1603†	-0.1521†

* p<0.01
† p<0.05
‡ p<0.10

4. 結論

製品の長期使用とリサイクル行動との相違点について、資源消費に対する考え方との関連を分析すべくアンケートによる調査を行なった。その結果、資源消費の抑制に対する態度がリサイクル行動を促進する一方で、製品の使用期間を短期化していることが示された。したがって、製品の使用期間の長期化と使用済み製品の再利用を包括的に進めるためには、単一の施策によってではなく、それぞれの行動の促進を目的とした個別具体的な施策が必要である可能性が示唆される。特に、製品の使用期間の長期化に資する施策に関する研究は途上であることから、関連する消費者の考え方についての研究が今後一層求められる。

謝辞

本研究の一部は、環境省　環境研究総合推進費(3K153009)により実施された。ここに感謝の意を表する。

引用文献

1) Saphores J.D.M., Ogunseitan O.A., Shapiro A.A.: Resour Conserv Recycl, 60, (2012), pp 49-63
2) Bortoleto A.P., Kurisu K.H., Hanaki K.: Waste Management, 32 (12), (2012), pp 2195-2207
3) Echegaray F.: J Clean Prod: 134, (2016), pp 191-203
4) Tonglet M., Phillips., Bates M.: Resour Conserv Recycl: 42 (1), (2004), pp 27-48
5) Yamamoto H., Murakami S.: PLATE 2017, Delft, (2017), pp 437-441

Supporting Information

表 2　資源利用に関する考え方の設問と抽出した因子の因子負荷量

	採掘・日本評価	現地信頼	消費態度	採掘関心
天然資源の採掘は自分にとって重要な関心事項だ				0.771
資源採掘の現場で鉱山会社がどのように操業を行っているのかについて関心がある				0.8849
資源の採掘によって得られる利益は、公正に現地の地元住民に分配されていると思う		0.693		
資源採掘国において、資源採掘に関する規制を行う過程や政府の意思決定は公正な手続きに沿って行われていると思う		0.7628		
資源採掘に関する現地の地元住民の希望は、鉱山業界や現地政府によって十分考慮されていると思う		0.8623		
鉱山会社は環境に関して自分と同じような価値観をもっていると思う		0.7981		
資源採掘地の政府は、政府が設けている鉱山開発に関わる規制を鉱山会社に確実に履行させていると思う		0.8487		
一般に、資源採掘地の政府は誠実に仕事をしていると思う		0.8156		
資源採掘は採掘国の経済に大きく貢献している	0.6805			
資源採掘国の経済の発展には、より多くの資源採掘の利益が必要だ	0.618			
資源採掘国の現地の鉱山会社によってなされる資源採掘を信頼している	0.2145	0.6721		
日本の鉱山会社によってなされる資源採掘を信頼している	0.6242	0.2845		
私は資源採掘国で天然資源の採掘が行われていることを受け入れる	0.822			
資源採掘国はさらなる資源開発の拡大を受け入れるべきだと思う	0.598	0.2166		
私は資源採掘に日本企業が従事することを受け入れる	0.9009			
日本企業の鉱山開発に関する技術力は、他の国の企業の技術力よりも一般的には高いと思う	0.846			
鉱山の地元住民は、日本企業による操業を他の国の企業による操業よりも信頼するだろう	0.8276			
鉱山の地元住民は、日本企業が資源開発に従事することを受け入れるだろう	0.7714			
リサイクルは良いことだ			0.7511	
できるだけ天然資源の消費を減らすような暮らしをしたい			0.8739	
温室効果ガスを削減するような暮らしをしたい			0.8939	
生活を便利にすることも大事だが、そのために環境が汚染されるのは嫌だ			0.7515	
消費する資源を減らすことは大事だが、そのために不便を我慢するのは嫌だ				
ごみを捨てるときの分別は手間だと思う				

（因子負荷量が 0.2 以上の部分のみ記載）

表 3　資源利用に対する考え方の間の相関

	採掘・日本評価	現地信頼	消費態度	採掘関心
採掘・日本評価		0.5127	0.3435	0.4823
現地信頼			0.1033	0.4344
消費態度				0.3047
採掘関心				

* 非対角要素のみ表示

C3-02

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

動的マテリアルフロー解析を用いた自動車長寿命化と ASR リサイクル技術導入の炭素滞留維持効果定量化

Quantification of effects of lifetime extension and implementation of ASR recycling technology on preservation of carbon retention with dynamic material flow analysis

○大野　肇*[1)]、佐藤博一 [1)]、福島康裕 [1)]

Hajime Ohno, Hirokazu Sato, Yasuhiro Fukushima

1) 東北大学

* ohno@sis.che.tohoku.ac.jp

1. 緒言

製品中に固定された炭素は、製品寿命の間社会に滞留し、廃棄物処理において環境中へ放出されるか再び製品の一部として社会に留まる。炭素を放出せず滞留を維持できれば、一次資源投入及び廃棄物処理由来の CO_2 排出の回避に繋がると考えられる。

日本における廃棄物の焼却に由来する CO_2 の排出量は年間総排出量の約 2%を占め、その半数を廃プラスチックの燃焼に伴う CO_2 排出が占める [1)]。加えて廃プラスチックのマテリアル及びケミカルリサイクルは 25%程度に留まっていることから [2)]、現状では製品として炭素滞留を維持することが十分にできているとは言い難い。そこで本報告では、この現状を改善するにあたり、製品寿命の長期化およびマテリアル・ケミカルリサイクル率の向上を対策として挙げ、最もプラスチック由来の炭素を需要する最終製品である自動車 [3)] を例として炭素滞留の長期化に向けた方策を検討する。

プラスチックをバンパーやランプケースといった様々なパーツとして含有する自動車は、製品としての寿命を終えると廃自動車(ELV)として回収され、自動車リサイクル法に従って資源回収が行われる。ELV 処理の過程においてプラスチックは一部の再利用可能パーツを除いて破砕残渣(ASR)として異素材との混合状態で回収されるため [4)]、マテリアルリサイクルが困難であり、現状は熱源としての利用が主になっている。一方で近年では ASR から材料リサイクルを行う技術開発が進められており [5)] 将来的に ASR に含まれるプラスチックの回収及びリサイクルが可能となり得る。

本報告では、動的マテリアルフロー解析モデルである MaTrace[6)] を元に、自動車の長寿命化または ELV 処理におけるプラスチックリサイクル率の向上が炭素滞留の延長に及ぼす影響を定量的に分析する。また、自動車由来のプラスチックに含まれる炭素の滞留維持に目標を設定し、その目標を達成するために求められる自動車寿命及びプラスチックリサイクル率を視覚的に検討することで、技術開発に対する指針の提供を目指す。

2. 動的 MFA モデル

中村らは対象物質の利用形態遷移を動的に解析する MaTrace モデルを開発し、鉄鋼材のオープンループリサイクルを介した鉄および合金元素の利用形態遷移を可視化した [6,7)]。本報告では、プラスチックに含まれる炭素を対象物質とし、自動車リサイクルを介した炭素の利用形態遷移を可視化することで、ある年に製造された自動車に含まれていた炭素のうち 100 年後も社会に滞留する量を定量化し、各対策の効果を比較する。本稿では、簡単のために MaTrace モデルを簡略化しプラスチック由来の炭素を含有する自動車に対して図 1 に示すような樹脂パーツの再利用および ASR から回収されるプラスチックのクローズドループリサイクルを行うシステムを想定した。

自動車の製造年を基準として、寿命分布に従って t 年後に発生する ELV に含まれる炭素量を $z(t)$ と置く。回収された ELV 中のプラスチックパーツは解体時に一部が回収率 γ に従って再利用される。回収されずに”解体がら”に残ったプラスチックは解体がらのプレス・破砕ののち ASR として収集される。このうち、比率 θ 分が自動車の防音材向けの複合材料源としてリサイクルされ自動車生産に用いられる。この一連のシステムにおいて t 年に再度滞留に戻る自動車中プラスチック由来の炭素量 $x(t)$ は次式で求められる。

$$x(t) = \{\gamma + (1-\gamma)\theta\}z(t) \qquad (1)$$

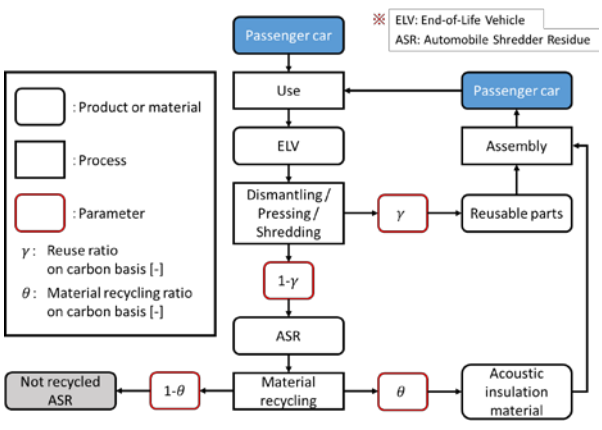


図 1 想定システム概略

本稿では、ASR のリサイクル率θおよび Weibull 分布により求められる自動車の寿命分布における平均寿命を表 1 のようにシナリオとして設定することで、それぞれの炭素滞留維持効果を定量化する。なお、自動車中のプラスチック由来の炭素量は WIO-MFA モデルにより算出された値(1 台当たり 70 kg-C)を用いた。WIO-MFA モデルについては既報に譲る [8,9] 。

表 1 各シナリオにおけるパラメータ

	Scenarios		
	Baseline (A)	Lifetime extension (B)	Implementing ASR recycling (C)
Average lifetime (year)	12	20	12
Parts reuse ratio*: γ	0.4	0.4	0.4
Material recycling ratio*: θ	0	0	0.4

*On carbon basis

3. 結果

図 2 に各シナリオにおける自動車中プラスチック由来炭素滞留の遷移をシナリオ(A)と比較する形で示す。シナリオ A では、基準年に製造された自動車に含まれていたプラスチック由来炭素は製品として社会に残存していない一方で、自動車を長寿命化シナリオ(B) または ASR のリサイクル強化シナリオ(C)ではそれぞれ 2.3%、3.9%の炭素が滞留として残存している結果となった。したがって 100 年という長期で滞留の残存量を評価した場合、ASR のリサイクル強化の滞留維持効果が高いことが明らかとなったが、どちらの方策を採っても多くの炭素が自動車としての循環を通して滞留から放出されることも明白である。

この結果から、100 年後に滞留に残存する炭素量の目標を設定し、目標達成に向けたそれぞれの対策に求められる条件を可視化する。詳細な結果については発表にて報告する。

4. 結言と展望

本報告では、動的 MFA を用いて自動車中プラスチックに含まれる炭素の利用形態変遷を可視化することで、自動車の長寿命化及び ASR のリサイクル技術導入による炭素滞留維持効果を定量化した。しかしながら、現状では非常にシンプルなシステムの中で ASR から回収されたプラスチックはクローズドループでリサイクルされるという限定された条件を想定している。今度の展望として、ASR のリサイクルシナリオにオープンループを加え、ASR の高度リサイクルが炭素滞留維持にもたらす影響についても評価していく。

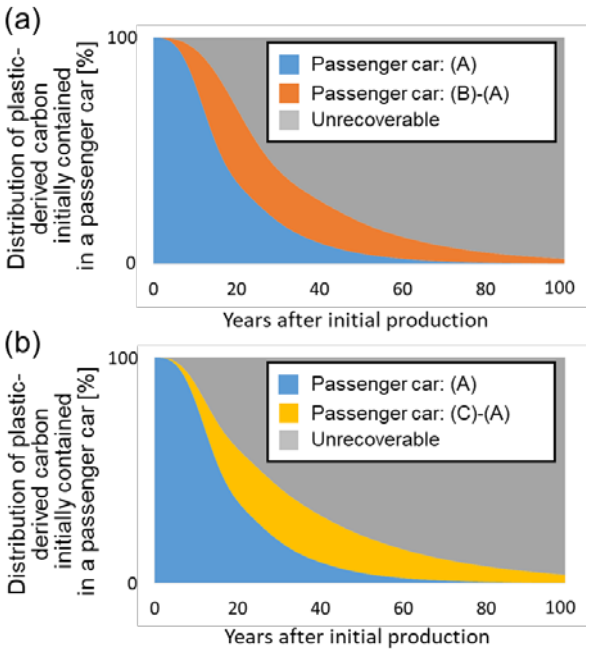


図 2 基準年に自動車中プラスチックに含まれる炭素の利用形態遷移: 基準シナリオ(A)に対する (a)長寿命化シナリオ(B)及び (b)ASR リサイクル強化シナリオ(C)の比較

5. 引用文献

1) 国立環境研究所: “日本国温室効果ガスインベントリ報告書”, (2016)
2) プラスチック処理促進協会:”プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況”, (2016)
3) 大野肇, 菊池康紀, 福島康裕: “第 11 回日本 LCA 学会研究発表会” 柏, (2016), pp. 238-239
4) Sakai, S. et al.: Journal of Material Cycles and Waste Management, 16(1), (2013)
5) 豊田通商株式会社:”平成 27 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業-ASR からの材料リサイクルを図る仕組みづくり”, 2016
6) Nakamura, S., Kondo, Y., Kagawa, S., Matsubae, K., Nakajima, K., Nagasaka, T.: Environmental Science and Technology, *48* (13), (2014)
7) Nakamura, S., Kondo, Y., Nakajima, K., Ohno, H. Pauliuk, S.: Environmental Science and Technology, *51* (17), (2017)
8) Nakamura, S.; Nakajima, K.: Material Transactions, 46(12), (2005)
9) Nakamura, S.; Nakajima, K.; Kondo, Y.; Nagasaka, T.: Journal of Industrial Ecology, 11(4), (2007)

動的離散選択モデルに基づく

自動車買い替えモデルの推計と CO_2 削減効果

An Estimate of Passenger Vehicle Replacement Model and CO_2 Reduction Effects Based on Dynamic Discrete Choice Model

○中本裕哉*[1)]、加河茂美 [1)]

[1)]九州大学

*y.nakamoto0527@gmail.com

1.　はじめに

車の買い替えを物理的寿命分布によりモデル化している既存研究は、車の経済的寿命（車検などの維持費に影響される）を正しく評価していない点、通時的な効用水準を最大化するような消費者行動を考慮していない点などの課題がある。そこで、Rust (1987)で提案されている最適な消費者行動に基づく動的離散選択モデルを用いた自動車のライフサイクル分析を提案する。本研究で提案する動的離散選択モデルでは、自動車を買い替えずに乗り続けるか、新車に乗り替えるかという選択確率が、自動車保有者の期待費用（効用水準）に依存する。データから特定化された自動車の買い替え率を自動車のライフサイクル CO_2 排出分析に組み込むことにより車検制度が自動車由来の CO_2 排出量に与える影響をシナリオ分析する。

2.　研究手法

t 期に、一人の自動車保有者は、1 台の車を保有し続けるかあるいはその保有車から新車に買い替えるか決定する。t 期における自動車保有者の買い替え選択は、コントロール変数 i_t を用いて下式のように定式化できる

$$i_t = \begin{cases} 1 & \text{if a car owner replaces in period } t \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad (1)$$

自動車保有者（すなわち、消費者）は、（無限）期間 $\left(t=1,2,3,\cdots,T,T+1,\cdots\right)$ における割引期待価値を最大化させるように、買い替え選択 $\left\{i_1,i_2,i_3,\cdots,i_T,i_{T+1},\cdots\right\}$ をする。

$$\max_{\{i_1,i_2,\cdots\}} E\left[\sum_{t=1}^{\infty}\beta^{t-1}u\left(x_t,d_t,\varepsilon_{it},i_t;\boldsymbol{\theta}_1\right)\right] \qquad (2)$$

(2)式に示される最大化問題における状態変数について、x_t は自動車を 1 期のはじめに新規に購入してから t 期の末までの累積走行距離、d_t は自動車を新規に購入してから 3 期目で $d_3=1$ の値をとり、それ以後 2 期ごとに $d_5=1, d_7=1,\ldots$ の値をとり、それ以外の期は $d_t=0$ の値をとるダミー変数である。日本の車検制度は、新車を購入してから 3 年目、以後 2 年ごとに行われている厳格な排出規制制度であり、その車検費用は自動車保有者の大きな負担になっている。ゆえに、車検制度は、消費者の車の買い替えを誘発している。ε_{it} は、t 期の選択肢 i について消費者の効用に影響を与える観察不可能な誤差項であり、本研究は、i.i.d.特性を持つタイプ I の極値分布に従うと仮定する。

ここで、ε_{1t} と ε_{0t} の仮定により、$\varepsilon_{1t}-\varepsilon_{0t}$ は、ロジスティック分布に従うため、t 期における買い替え率と保有確率は、以下の二項ロジットモデル (Binominal Logit Model: BLM)に定式化できる。

$$\mathrm{Prob}\left(i_t|x_t,d_t;\boldsymbol{\theta}_1\right)=\frac{\exp\left(u\left(x_t,d_t,\varepsilon_t,i_t;\boldsymbol{\theta}_1\right)+\beta E_{x_{t+1},\varepsilon_{t+1}}V\left(x_{t+1},d_{t+1},\varepsilon_{t+1}\right)\right)}{\sum_{i=0,1}\exp\left(u\left(x_t,d_t,\varepsilon_t,i_t;\boldsymbol{\theta}_1\right)+\beta E_{x_{t+1},\varepsilon_{t+1}}V\left(x_{t+1},d_{t+1},\varepsilon_{t+1}\right)\right)} \qquad (3)$$

(3)式の BLM と推計された期待価値関数 EV を用いて、第 1 期に新車を購入した自動車保有者が第 τ 期において、保有車から新車に買い替える確率 $\phi_\tau\left(x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1\right)$ は(4)式のように定式化できる。

$$\phi_\tau(x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1)=\begin{cases}\mathrm{Prob}(i_\tau=1|x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1) & (\tau=1)\\ \mathrm{Prob}(i_\tau=1|x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1)\left\{\prod_{t=1}^{\tau-1}\mathrm{Prob}(i_t=0|x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1)\right\} & (\tau=2,3,4,\cdots)\end{cases} \quad (4)$$

特に、第 0 期における買い替え率は $\phi_0(x_0,d_0;\boldsymbol{\theta}_1)=0$ である。(4)式を用いることで、第 1 期に購入された新車が第 τ 期において保有され続ける確率（累積残存確率）$H_\tau(x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1)$ は(5)式のように得る。

$$H_t(x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1)=1-\sum_{\tau=1}^{t}\phi_\tau(x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1) \quad (5)$$

Kagawa *et. al.* (2013), Nakamoto (2017)を参照し、(4)式、(5)式にそれぞれ示される自動車買い替え率 $\phi_\tau(x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1)$、累積残存確率 $H_\tau(x_\tau,d_\tau;\boldsymbol{\theta}_1)$ を適用することで自動車のストック・フロー推計モデルを定式化する。これを用いて、自動車のライフサイクル CO_2 排出量は(6)式のように定式化できる。

$$q(t)=f_m B(t)+f_w\sum_{s=1}^{t}\phi_{t-s}(x_{t-s},d_{t-s};\boldsymbol{\theta}_1)B(s)+\sum_{s=1}^{t}f_g(s)H_{t-s}(x_{t-s},d_{t-s};\boldsymbol{\theta}_1)B(s) \quad (6)$$

ここで、$B(t)$ は、t 年における新車販売台数、f_m は自動車一台あたり製造時の CO_2 排出量、f_w は自動車一台あたり廃棄時の CO_2 排出量、$f_g(t)$ は t 年製の自動車一台当たりの走行時の年間 CO_2 排出量を示している。(6)式の右辺第一項は乗用車製造時のライフサイクル CO_2 排出量、第二項は乗用車廃棄時のライフサイクル CO_2 排出量、第三項は乗用車走行時のライフサイクル CO_2 排出量をそれぞれ表している。

3.　分析結果と考察

図 1 は、車検制度がある場合の累積ライフサイクル CO_2 排出量から車検制度がない場合(“No car inspection system”, “Without car inspection at third year”, “Without car inspection at fifth year”, and “Without car inspections at third and fifth years” の 4 シナリオ)の累積ライフサイクル CO_2 排出量を差し引くことによって得られる車検制度修正による累積ライフサイクル CO_2 排出量の削減効果を示している。図 1 より車検制度の修正によって、走行時において CO_2 排出量は増加するが、廃棄時と特に製造時における CO_2 排出量には削減効果がある。これは、車検制度の修正による自動車保有者の買い替え行動の鈍化（自動車の経済寿命の増加）を通して、自動車の生産台数が減少し自動車の製造時における CO_2 排出量が減少したためである。結果として、分析期間の 1997 年から 2016 年に登録されたプリウスに由来する 20 年間の累積ライフサイクル CO_2 排出量は、およそ 3000 万トン、単年にすると約 150 万トンであった。車検制度の完全廃止によって得られる CO_2 排出量削減効果は、20 年間で 111 万トンであり、車検制度廃止に伴う経済寿命の延長の CO_2 削減に対する貢献度は約 4%であり無視できないものである（図 1）。また、車検制度を完全に撤廃できなくとも 3 年目と 5 年目の車検を撤廃することにより十分な削減効果を得られることが分かった。

本研究では動的離散選択モデルを用いることで、通時的な効用水準を最大化するような消費者行動に基づく買い替え率の推計を行った。データから特定化された自動車の買い替え率をライフサイクル CO_2 排出分析に組み込むことで、車検制度が自動車由来の CO_2 排出量に与える影響を明らかにした。本研究の動的離散選択モデルによるパラメーターの推計結果はロバストであり、自動車保有者は長期的な視点を持って行動していることが分かった。また、現行の車検制度を修正することによって、自動車の買い替え行動は沈静化し経済寿命の増加を通して、運輸部門からの CO_2 排出量に大きな削減効果が期待できることが分かった。

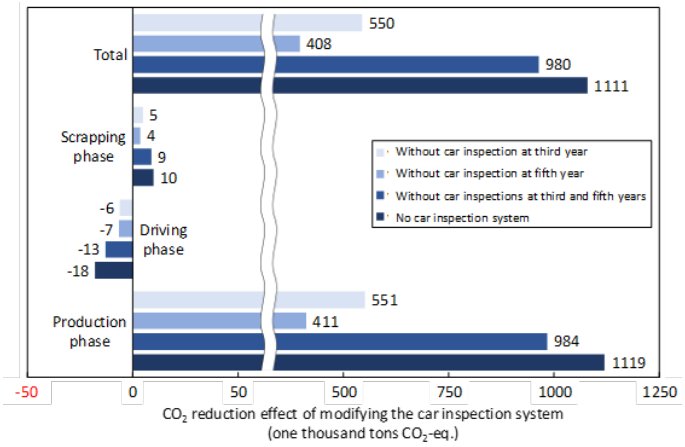


図 1: CO_2 reduction effect of modifying the car inspection system in Japan

4.　参考文献

1) Kagawa, S., *et al.* (2013) *Global Environmental Change* 23: 1807–1818.

2) Nakamoto, Y. (2017) *Journal of Economic Structures*, 6: 17.

3) Rust, J. (1987): *Econometrica*, 55, 999–1033.

C3-04

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

ネット型リユースの利用経験に着目した 衣服廃棄行動モデル構築とリユース促進要因の分析

Study on consumer’s clothing disposal behavior focused on e-Commerce reuse as a driver for reuse

三ヶ尻智晴 [1)]、○森朋子*[1),2)]、田崎智宏 [1),2)]

Chiharu Mikajiri, Tomoko Mori, Tomohiro Tasaki

1) 東京大学大学院, 2)国立環境研究所

* mori.tomoko@nies.go.jp

1. 緒言

循環型社会形成に向けた取り組みが進む一方で、家庭から年間約 100 万トン排出される衣類のリユース・リサイクル率は 20%程度に留まり、使用済みとなった衣類の多くが焼却処分されている [1)]。繊維製品については個別リサイクル法が制定されていない一つの理由として、衣服の多様性がもたらすリサイクルの困難性が指摘されている一方で、家庭内には使用可能な衣服が多く退蔵され、有効に利用あるいはリユースされずに廃棄されていることが明らかにされている [2)]。ファストファッションの流行による衣服の大量な使い捨てや、生産段階の途上国における過酷な労働条件や人権侵害、資源の大量消費や化学物質による汚染などの問題が発生している [3)]ことを鑑みると、退蔵・廃棄されている衣服をリユース品として有効活用することは廃棄物問題のみならず社会問題と環境問題の解決にも資すると考えられる。

衣服のリユースは、古着のリユース市場への排出と購入の２つの行動が揃ってはじめて実現される。これまで自治体制度、セカンドハンド店舗、フリーマーケット等を活用してリユースが行われてきたが、古着への抵抗感、行動の手間、機会や方法の認知不足により排出面と購入面の両方の阻害要因が存在している。しかしながら、近年ではネットオークションやフリマアプリで古着を売買する（以下、「ネット型リユース」という。）消費者が、特に若い女性を中心に増加している。ネット型リユースは時間や場所を問わず消費者同士がネット上で不用品を取引できるサービスであり、簡便な操作方法や品揃えの豊富さといった特徴が従来型のリユースにおける排出面と購入面の両方の阻害要因を解消あるいは低減できていると考えられる。先行研究では、衣服の廃棄行動選択には行動経験 [4)]や衣服への関心 [5)]などが影響することが明らかになっているが、ネット型リユースの利用経験が消費者の廃棄意識や行動に与える影響は十分に明らかにされていない。また、リユース促進に向けて古着の排出と購入の双方に着目した消費者意識・行動の要因分析は行われていない。

そこで本研究では、ネット型リユースの利用経験が不要衣服の排出と古着の購入に関する意識及び行動に与える影響を調査し、退蔵・廃棄されていた衣服のリユースが促進されるための要因分析を行った。

2. 方法

2.1 不要衣服の廃棄行動モデルの構築

不要衣服の廃棄と古着の購入における意識及び行動の要因分析を行うために、衣服と廃棄行動に関する先行研究から関連する要因を抽出し、①不要衣服の排出行動モデルと②不要衣服のリユース行動モデルを構築した。

モデル①では、不要衣服を手放すか退蔵するかどうかの意思決定の規定因把握と、それに対するネット型リユース利用経験の影響を明らかにするため、廃棄行動の選択に関わる要因として「年齢」「収入」「職業」「廃棄手段へのアクセス」「行動経験」「情報への接触」「他者からの影響」「習慣化」、衣服の退蔵要因として衣服の「物理的劣化」「価値的劣化」を抽出した。

モデル②では、衣服をリユース品として排出・購入する際の意識行動要因の把握と、それに対するネット型リユースの利用経験の影響を明らかにするため、合理的行動の要因としてネット型リユースの特徴である「費用便益評価(手間・お得感)」「実行可能性評価(知識・機会)」を、また衣服廃棄における感性要因として「もったいない態度」「古着価値評価」を加えた。これは、衣服の廃棄処分の際にもったいないと感じる消費者が多いこと [6)]や、衣服への関心が廃棄方法の選択要因となること [5)]が明らかになっているためである。

また、リユース行動は環境配慮行動の１つと捉え、行動の目標意図と行動意図の乖離を説明した二段階モデル [7)]を用い、衣服を有効活用しようという目標意図とリユース行動意図の関係について共分散構造分析を行った。

2.2 アンケート調査

上記モデルの構築に向け、消費者のネット型リユースの利用状況と利用に関する意識、不要衣服の退蔵状況と廃棄行動、環境問題と衣服のリユースに関する意識及び行動を把握するためにインターネットアンケート調査を行った。調査対象者はネット型リユースで衣服を売買する主要層である 10-20 代、30 代、40 代の女性とし、調査地域は多様なリユース手段にアクセス可能な東京都と、セカンドハンド店舗が少ないもののネット型リユースの利用が活発な和歌山県・滋賀県とした。年齢、地域、ネット型リユースの利用経験（現在利用、過去に利用、利用経験無し）について均等に割付を行い、1854 サンプルを得た。

3. 結果と考察

アンケート結果より、まず不要衣服の所有状況を確認し、その後モデル①として退蔵するか排出するかという行動選択の要因分析を行った。1 年間で 1 度も着用しなかった衣服(=不要衣服)がある回答者は 72.4 %であり、その理由は衣服自体の物理的劣化よりも所有者の好みの変化などの心理的要因によるものが多く、リユース品としての排出可能性の高さを確認した。また要因分析の結果から(表 1)、不要衣服の排出にネット型リユースの利用経験と衣服に対する心理的要因が寄与することが明らかになった。

表 1 不要衣服の排出行動要因分析結果

	y=1 手放す	*廃棄*	*店頭下取*
	y=0 退蔵	*廃棄しない*	*下取しない*
Variable		*Parameter*	
年齢		0.016 *	
車有,日頃運転		0.242 .	-0.297 *
車有,たまに運転		0.311 .	-0.314
車有,運転しない			-0.367
現在利用	0.515 *	-0.994 ***	0.427
過去利用	0.457 .	-0.812 **	0.832 **
閲覧頻度		0.098 **	
出品経験	0.114 *	-0.129 *	-0.201 ***
TV情報			
書籍情報	0.383 .	-0.541 *	0.359
利用端末	-0.257 .	0.403 **	-0.231
物理的劣化	-0.121 *	-0.131 .	
好み変化	-0.309 ***	-0.160 *	-0.164 **
似合わなかった	-0.143 *	0.154 *	
流行おくれ		-0.244 ***	
サイズ違い		0.247 ***	
intercept	0.900	-0.801	-0.239
AIC	1781	1649	1550

*NOTE: *p < .05; **p < .01; ***p < .001.*

次にモデル②として、不要衣服の排出方法の選択における古着排出行動、及び古着購入行動の心理要因分析を行った。図 1 に古着排出の行動モデルを示す。長方形はアンケートで実際に観測された観測変数、楕円形は潜在変数を示す。同様に購入行動のモデルを構築し、ネット型リユースの利用経験、年齢、居住地域による因子間のパスの差異を比較した。

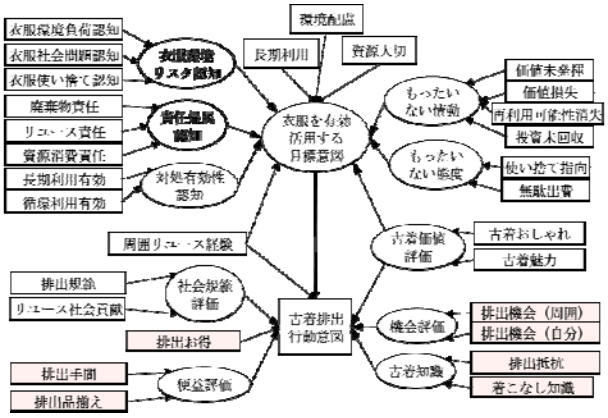


図 2 不要衣服のリユース行動モデル(古着排出)

モデル①、②より、ネット型リユースを現在利用している人は不要衣服を退蔵または廃棄処分するよりも、リユース品として排出する傾向にあり、購入経験よりも出品経験が行動要因になることが分かった。また若年層ほど、廃棄処分を選択するのは衣服の物理的劣化またはリユース品として排出しても金銭的便益が小さい場合であり、リユース行動に対する費用便益評価と実行可能性評価が大きいことから、環境配慮意識が低い場合でも簡単に金銭を得られる方法としてネット型リユースを利用していると考えられる。

また、ネット型リユースの過去の利用経験は退蔵の抑制にはつながらないが、廃棄処分への抑制、セカンドハンド店舗での下取りには寄与していた。過去にネット型リユースの利用経験を持つ集団は目標意図やもったいない態度が高く、ネット型リユースの利用経験がセカンドハンド店舗や他のリユース手段の利用を促進することが明らかになった。

引用文献

1) 独立行政法人 中小企業基盤整備機構: “「繊維製品３R 関連調査事業」報告書”, (2010)
2) 藤原康晴, 所康子, 川端登子: 日本家政学会誌, 40 (7) , (1986), pp 641-646
3) Dara O’Rourke: Science, 344 (6188), (2014), pp 1124-1127
4) 川瀬隆千: 宮崎公立大学人文学部紀要, 5 (1), (1998), pp 63-74
5) Sabine Weber, Jennifer Lynes, Steven B. Young: Int. J. Consumer Studies, 41 (2), (2017), pp 207-215
6) 田村有香: 京都精華大学紀要, 42, (2013), pp 53-73
7) 広瀬幸雄: 社会心理学研究, 10 (1), (1994), pp 44-55

A3-06,P2-023　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

環境配慮包材導入の影響可視化による住民の環境意識への影響

Visualization of the effects of using environmental conscious packaging materials and their influence of environmental awareness

○藤永颯人*[1)]、徳永清徳[2)]、坪根遼一[2)]、伊坪徳宏[1)]、

Hayato Fujinaga, Kiyonori Tokunaga, Ryouiti Tubone, Norihiro Itsubo,
1) 東京都市大学　2)サトーグリーンエンジニアリング株式会社
* g1462059@ tcu.ac.jp

1. 背景

廃棄物処理法の改正(平成 17 年)では、地方自治体に対して一般廃棄物処理の有料化が推奨された。有料化による効果としては、廃棄物排出量の抑制やごみ再利用の促進、最終処分場の延命化が挙げられるが、焼却量や埋立量の低減は気候変動への影響低減効果も期待される。気候変動への影響低減を住民に共有することが有料化に対する理解促進につながることが期待される。

北上市では、ごみの有料化政策の一環として、炭素固定材を分散した環境配慮型の包材を指定ゴミ袋として採用した。当該ゴミ袋の採用による温室効果ガス低減量を住民に開示することにより、ゴミ袋の有料化による副次的な効果を明確化するとともに、ゴミ減量に対する住民の理解度向上とさらなる積極的な削減行動を促すことに貢献することが期待された。

2. 研究目的

本研究では、炭素固定材を分散・使用した北上市指定ごみ袋を採用することによる温室効果ガス削減効果を定量化する。計算結果はアンケート調査を通じて住民に開示し、その前後による関心の変化を定量的に解析し、本資材の採用による住民の理解度について検証する。住民の理解度の解析においては支払意思額を採用した。

3. 方法

3.1 研究手順

本研究の主な手順としては、初めに北上市指定ごみ袋の LCA を行う。次にその LCA 結果を用いたアンケート表を作成し、岩手県北上市の住民を対象に Web アンケート行う。その後アンケート結果を集計し、各設問の傾向について考察を行った。

3.2 使用データ

本研究では、評価対象の北上市指定ごみ袋と比較対象である一般のごみ袋について、構成素材や製造工程に関する基礎データを、開発・販売元であるサトーグリーンエンジニアリング株式会社から得て環境負荷量を算定した。また、使用、輸送、焼却等に関する基礎データは、北上市の廃棄物処理基本計画から得た。

3.3 算定条件

本研究では、LCA の算定対象を北上市指定ごみ袋（10L）とし、比較対象を一般のごみ袋（10L）とした。また、算定の機能単位は 1 袋当たりとし、Web アンケートに使用する図に関しては、対象者に理解してもらいやすいように、北上市における年間のごみ袋消費数を全て 10L サイズと仮定した場合の数量（1000 枚）とした。

3.4 算定方法

本研究では、産業環境管理協会が開発した、ライフサイクルアセスメント（LCA)支援ソフトウェアである、MiLCA を用いて算定を行った。原単位は、国立研究開発法人産業技術総合研究所と一般社団法人産業環境管理協会のインベントリデータベース IDEA（Inventory Database for Lifecycle Analysis）を使用した。 算定式を以下に示す。

LCI= Σ(活動量×原単位)（式 1）
GHG 排出量= Σ(LCI×地球温暖化係数)（式 2）

3.5 Web アンケート

本研究では、北上市指定ごみ袋の LCA 結果を用いてアンケート用紙を作成し、インターネット上にてそれを実際に使用している岩手県北上市の住民を対象にアンケートを行った。収集サンプル数は 208 で、設問数は 10 問となっており、対象者の環境意識を測る設問や、北上市指定ごみ袋の認知度などを測る設問などを採用している。うち 3 問は NVC の二酸化炭素削減効果に対する支払い意思額を問う設問になっており、回答者を 4 グループにランダムで分けた。それぞれのグループに対して、支払い意思額の初期値を異なる価格に設定を行った。基本的には 5 段階の評定尺度法を用いたが、支払い意思額を測る設問に関しては、2 択となっている。

今回行った Web アンケートにおける回答者の男女比は、男性が 49.5%、女性が 50.5%でほぼ同じ値となった。また、20 代の割合が 10.1%、30 代の割合が 21.2%、40 代の割合が 35.1%、50 代の割合が 25.5%、60 代の割合が 8.2%となっている。

4. 結果

図 1 は北上市指定ごみ袋と従来品のごみ袋の二酸化炭素量を比較したものである。岩手県北上市で 1 年間に使用されるごみ袋の二酸化炭素排出量は約 180t（1 人当たり 1.9kg）の削減できるものと見込まれた。炭素固定材の導入により製造段階での環境負荷量は増加するものの、ゴミ焼却における削減効果の方がより大きいものことが分かった。

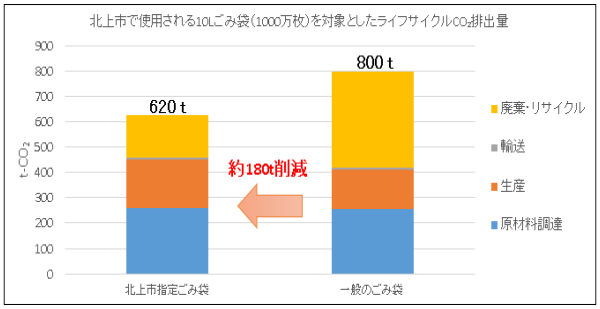


図 1　北上市指定ゴミ袋のカーボンフットプリントと従来製品との比較

図 2 は図 1 を Web アンケートに組み込み、調査を行って得た支払い意思額を、対数線形ロジットモデルで表したものである。図 2 には 3 つの曲線があるが、上が図 1 に対して関心を持った人の意思額推移、中央が全員の意思額推移、下が図 1 に対して関心を持たなかった人の意思額推移を表している。この図より、LCA を公開することで、対象者の支払い意思額の推移に良い影響があることが明らかとなった。北上市指定ごみ袋の店頭販売価格が 15 円であることを踏まえると、全体的に高い数値となった。

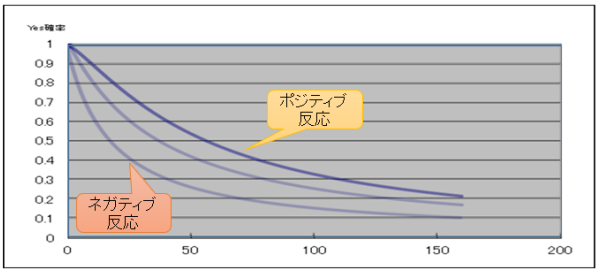


図 2　北上市指定ごみ袋に対する支払い意思額推移

図 3 は、図 1 の結果に対する住民の反応を見た結果である。対象者の約 6 割が評価結果に対して関心を持つと回答した。また、回答者を男女別に分けると、女性の方が興味を抱く割合が高かく、主に主婦層（30 歳～50 歳）の評価が高くなっていた。このことから、削減効果を見える化することは、主に主婦層に大きな影響を与えることが確認できた。

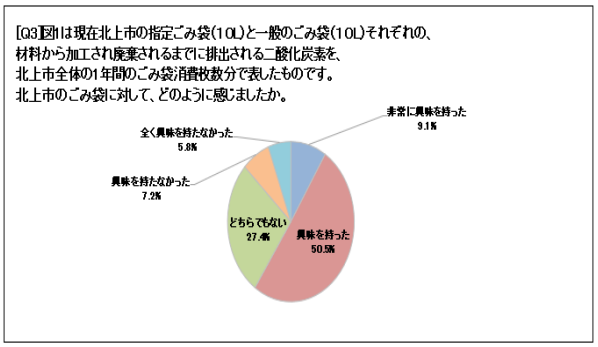


図 3　カーボンフットプリントの結果に対する消費者意識

図 2 と図 3 をあわせて見ると、カーボンフットプリントに関する関心の高い層が、支払意思額もより高く回答していることから、環境情報の開示とこれに伴う消費者意識の理解について一定の効果があることが見られた。一方、環境情報に関心を持たない層に対しては、自治体の費用など別の情報を開示するなどの必要性があるものと考えられる。

5. 結論

北上市指定ごみ袋と一般のごみ袋の温室効果ガス排出量を評価し、指定ごみ袋の採用で 2 割程度削減できていることが確認できた。また、その LCA 結果を用いて Web アンケートを実施した結果、支払意思額は店頭販売価格の倍以上の価値が示されたことから、住民に二酸化炭素削減量を伝達することがその導入の理解促進に大きく寄与することが確認できた。

6. 課題

サンプル数は 200 で限定的であるため、代表性に一定の限界がある。また、本研究では 20 歳以上の成人を対象として Web アンケートを実施したため、未成年への影響を測ることができない。

7. 参考文献

(1)一般社団法人産業管理協会　資源・リサイクル促進センター
http://www.cjc.or.jp/data/main_a02.html
(2)環境省　一般廃棄物処理有料化の手引き
https://www.env.go.jp/recycle/waste/tool_gwd3r/ps/ps.pdf
(3)サトーホールディングス株式会社 HP
http://www.sato.co.jp/products/ecomatch/econanolabel/index.html
(4)サトーグリーンエンジニアリング株式会社 HP
http://www.sato.co.jp/company/about/group/green.html
(5)北上市ごみ処理基本計画（北上市 HP）
http://www.city.kitakami.iwate.jp/docs/2017051900034
(6)一般社団法人産業環境管理協会
http://www.jemai.or.jp/lca/about.html
(7) 栗山浩一「Excel でできる CVM　Version4.0」
http://kkuri.eco.coocan.jp/

A3-07,P2-021　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

サービサイジング・シェアリングに向けた消費スタイルの類型化とシナリオ分析

Categorization and scenario analysis of consumption styles aiming at servicizing and sharing

○柴田翼*[1)]、天沢逸里[1)]、杉山弘和[1)]、平尾雅彦[1)]
Tsubasa Shibata, Eri Amasawa, Hirokazu Sugiyama, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* t-shibata@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

持続可能な開発目標（SDGs）の 1 つに、持続可能な消費と生産のパターンを確保することが掲げられている[1)]。ここで、製品を消費する形態を「消費スタイル」と定義すると、これまで環境面の持続可能性を高める消費スタイルとして、サービサイジングが盛んに研究されてきた[2)]。サービサイジングとは、製品を購入せず製品の機能のみを消費する消費スタイルであるが、この消費スタイルは製品の種類やレンタルする期間によっては二酸化炭素排出量が増大することが明らかになっている[3)]。さらに、近年のインターネット技術の発達と普及により、消費者間で情報交換できるオンラインプラットフォームが次々に構築され、消費者同士で製品を提供、貸借しあうシェアリングが急速に発展してきた。しかし、シェアリングによる環境影響の変化は明らかになっていない[4)]。

このように、製品の消費スタイルが多様化する中で持続可能な消費と生産のパターンを確保するには、**図 1** に示すように、製品のライフサイクルにおける消費段階にも着目し、消費スタイルを整理したうえで持続可能性評価を行う必要がある。そこで本研究は、消費スタイルの整理とその評価を目的として、消費スタイルの類型化と、各消費スタイルの環境影響評価およびシナリオ分析を行った。

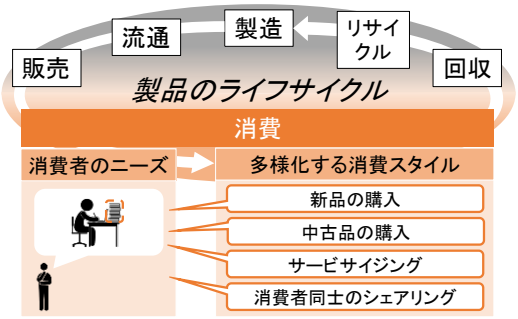


図 1 製品のライフサイクルと多様化する消費スタイル

2. 研究手法

2.1 消費スタイルの類型化

製品自体の所有権は提供者にあり、製品機能のみを提供するというサービサイジングの特徴を踏まえ、まずは製品の所有権の移行に着目した。ここでは、消費者が製品を購入した場合、所有権は製品の提供者から消費者へ移行するが、購入せずにレンタルやリースを行った場合、所有権は移行しないとした。次に、消費者同士で製品を貸借するというシェアリングの特徴を踏まえ、消費する製品の提供者に着目した。ここでは、製品の提供者には事業者と個人とが存在するとした。これら、製品の所有権の移行と提供者とに着目することで、事業者から購入する「売切式」、事業者から借用する「レンタル・リース式」、個人から購入する「フリーマーケット式」、個人から借用する「シェアリング式」に消費スタイルを大別した。

次に、製品の入手方法、すなわち製品を消費する際の製品および消費者の移動に着目した。消費者が製品を購入または借用しに行く場合、製品および消費者はともに移動しており、オンラインで製品を購入または借用する場合、製品のみが移動するとした。また、消費者が製品を利用しに行く場合、消費者のみが移動しており、製品がダウンロード可能な媒体などの場合、製品および消費者はともに移動していないとした。

以上の、製品の所有権の移行および提供者、さらに製品と消費者の移行の 3 点によって消費スタイルを類型化することで、**表 1** に示す消費スタイル分類表を構築した。各欄には、書籍の消費をケースとした際の、類型化した消費スタイルを示した。

表 1　消費スタイル分類表と書籍の消費をケースとしたときの各消費スタイル

			売切式	フリーマーケット式	レンタル・リース式	シェアリング式
移動		所有権	移行する（購入）	移行する（購入）	移行しない（借用）	移行しない（借用）
製品	消費者	提供者	事業者	個人	事業者	個人
○	○	A	実店舗に買いに行く	古本市に買いに行く	図書館に借りに行く	個人に借りに行く
○	−	B	オンラインで買い、宅配	オンラインで買い、郵送	オンラインで借り、宅配	オンラインで借り、郵送
−	○	C			漫画喫茶に読みに行く	個人図書館に読みに行く
−	−	D	電子書籍を買う	電子書籍を個人から買う	電子書籍を借りる	

2.2　環境影響評価

分類した各消費スタイルの環境影響を評価した。また、製品が製造されて廃棄されるまでにその製品を消費した人数によって環境影響を割ることで、消費者 1 人当たりの各消費スタイルの環境影響を比較した。例えば、評価対象を温室効果ガス排出量（GHG）とした場合、各消費スタイル, $style$ の消費者 1 人あたりの環境影響, E^{style}[GHG/product-person] は、(1)式によって求められる。

$$E^{style} = \frac{\sum e_i^{style}}{n^{style}} \qquad (1)$$

ここで、i は製造から廃棄までの各プロセス, e_i^{style} は i において生じる環境影響、n^{style} [person]は製品を消費した人数である。

3. ケーススタディ

表 1 に示した手法によって類型化した、書籍をケースとしたときの各消費スタイルの環境影響評価とシナリオ分析を行った。

3.1　環境影響評価

図 1 に、環境影響評価結果を示す。書籍は 360 ページのハードカバー小説とし、平均読了時間は 7.2 時間とした。また、紙書籍の取引に伴う消費者の移動は、全て自動車による 2 km の移動とし、書籍が消費者に消費される期間は 10 年間と仮定した。売切式を除いた、10 の消費スタイルでは、書籍の製造で生じる GHG は書籍を読んだ読了人数によって配分されるため、全体の GHG に対して占める割合が売切式に比べて小さい。一方、消費者が紙書籍を取引するために自動車で移動することで生じる GHG は、取引のたびに必ず生じるために読了人数によって配分されない。

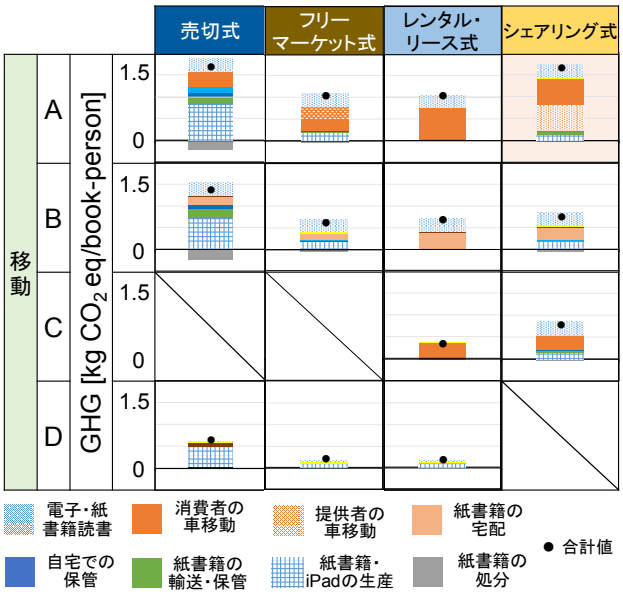


図 1 書籍をケースとしたときの各消費スタイルの環境影響

3.2　シナリオ分析

製品および消費者がともに移動するシェアリング式の消費スタイル（シェアリング A 式）に着目し、消費者の移動と読了人数に関するシナリオ分析を行った結果を**図 2** に示す。提供者、消費者が全員自動車によって 2 km 移動すると仮定すると、読了人数の増加に伴い GHG は増加する。一方、徒歩で移動すると、GHG は減少する。このように、全体の GHG は個々の消費者の行動に大きく影響され、この消費スタイルで消費者 1 人あたりの GHG を削減するには、消費者の自動車の利用を抑制する必要があることが明らかになった。

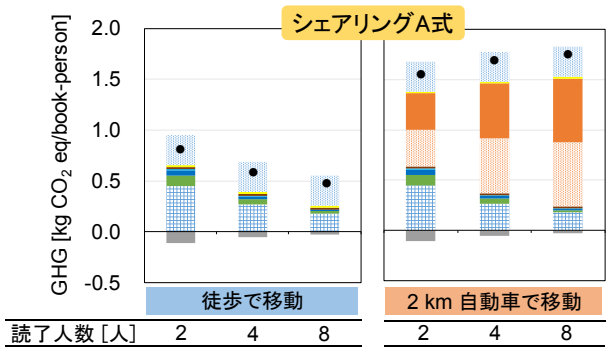


図 2 消費者の移動と共有する人数による GHG の変化

4. 結言

本研究では、製品の消費スタイルを整理するために消費スタイルを類型化し、書籍をケースに各消費スタイルの環境影響評価およびシナリオ分析を行った。その結果、製造段階の GHG が大きい、紙書籍などの製品の場合、同じ製品をサービサイジングや消費者間のシェアリングによって消費することで GHG を削減できる一方で、消費者行動によっては逆に増加することが明らかになった。今後は、製造段階よりも消費段階の GHG が大きい、自動車などの製品をケースに消費スタイルの類型化および環境影響評価を行う。様々な製品をケースに類型化および環境影響評価を行うことで、サービサイジング、シェアリングを含めた、消費と生産パターンの体系的な持続可能性評価につなげる。

謝辞　本研究は、環境再生保全機構の環境研究総合推進費（S-16）により実施された。

引用文献

1) United Nations: ”Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”, (2015)
2) Tukker A.: J. Clean. Prod, 97, (2015), pp.76-91
3) 藤本淳: リース研究, 3, (2007), pp.45-62
4) Frenken K.: Phil. Trans. R. Soc. A, 375(2095), (2017), p.20160367

A3-08
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

「足るを知る経済思想」に基づく持続可能なビジネスモデルに関する研究

タイのコミュニティ・エンタープライズを事例に

A study on sustainable business models based on the Sufficiency Economy Philosophy
A case of community enterprises in Thailand

○森泉由恵*[1)]、本藤祐樹 [1)]、スリアンパイ・ピヤワン [2)]
Yue Moriizumi, Hiroki Hondo, Piyawan Sri-Ampai
1) 横浜国立大学, 2) チュラロンコーン大学
* yue-m@ ynu.ac.jp

1. はじめに

タイ東北部は，農業人口，農地面積ともにタイ最大の農業地域であるが，土壌劣化，農家負債の累積，土地生産性の低さなど，様々な問題を抱えてきた。これに対してタイ政府は，2 つの方向性の異なる政策を同時に推進している。1 つは，エネルギー作物・輸出向け作物の大規模栽培や栽培の効率化，もう 1 つは，複合農業や循環型農業など持続的農業への転換である。

後者の持続的農業の代表的な形態が，プミポン前国王が提唱し，国政の指針とされる「足るを知る」経済哲学に基づく「New theory」と呼ばれる農法である。「New theory」は，天水依存の農業を営む東北部を想定し，農園内にため池を作ることから始まる。残りの土地には自給を目的とした多様な作物を栽培し，可能な限り農園内で物質循環することを目指す。この持続的農業の確立は，「足るを知る」経済哲学を農村コミュニティの発展に適用した際の第 1 段階である。

第 2 段階では，コミュニティ内の農家が協働することで生産力・販売力を強化し，余剰作物の販売など活動の幅を拡大することを目指す。第 3 段階では，企業などコミュニティ外の組織と連携し，農産物の加工や観光など経済活動を多角化することを目指す。このように，「足るを知る」経済哲学は，農法の転換から，農家の成長や農村コミュニティの発展にまでつながる道を具体的に示していることに特徴がある。しかし，現実には，第 2・第 3 段階への移行のハードルは高い。

そこで，本研究は，「足るを知る」経済哲学に基づく経済活動を実現および発展させる方策を提案することを目的として分析を行う。

2. 「足るを知る」経済哲学とは

「足るを知る」経済哲学の中心概念は「中道」であり，①多すぎず少なすぎず極端に偏らず，何事も節度を持ちバランスを保つこと，②行動の短期的・長期的帰結を考慮すること，③外部からのショックに翻弄されず変化に適応するためのリスク管理を行うこと，という 3 つの原則から構成される。そして，その実行には，知識や知恵，分別，本質を見抜く洞察力といった知性と，忍耐や勤勉さ，誠実さ，分かち合い，思いやりといった精神の 2 つの条件が必要であるとする。

「足るを知る」経済哲学は自給自足を意味するものではなく，まず人々が自分の足で立つ基盤を作ることの重要性，そこから徐々に高いステージへと発展していくことの重要性を説くものである [1)]。

3. 研究の枠組み

3.1 分析の方法

分析は，以下のステップで進める。
i)「足るを知る」に基づく経済活動の特徴や形態，価値を明らかにする。
ii)その上で，第 2・第 3 段階への移行プロセスの分析を行う。移行には，組織構造の変化や生産方法・取引形態の変化，ネットワーク・連携の拡大などが必要になると考えられるが，本研究では，新たな技術の導入が果たす役割に焦点を当てる。

分析は，複数ケーススタディ手法を用いて行う。本稿では，i)に関して予備調査を行った結果について報告する。現地調査は 2017 年 7 月に実施し，主要関係者へのインタビューによって情報を収集した。

3.2 事例の概要

分析には，a)コミュニティ・エンタープライズとして登録している，b)「足るを知る」経済哲学に基づく事業であると認識されている，c)優良なコミュニティ活動を継続していると認定されている事例を選定した。対象とした 5 つの事例の概要と調査結果を表 1 に示す。

4. 結果と考察

4.1 経営の理念・ミッション

全ての事例に共通する経営の理念・ミッションとして，1)自給を原則とする，2)生態系への配慮を活動の前提とする，3)地域資源の活用を活動の基本とするという 3 点が見出された。1)は，「足るを知る」経済哲学のベースとなる考え方であり，全ての事例で実践され

表 1　事例の概要と調査結果

	事例A	事例B	事例C	事例D	事例E
所在地	Sakon Nakhon県	Mahasarakham県	Amnat Charoen県	Chiang Mai県	Nakhon Pathom県
開始年	1990年代半ば	2008年頃	2006年頃	2000年	2002年
規模	20,000～30,000人（ネットワーク全体）	66世帯（メンバー数）	80世帯（メンバー数）	135世帯（村の住民）	165世帯（メンバー数）
活動開始の動機	複合農業への転換	複合農業への転換	複合農業への転換	発酵茶の需要減少	トマト収穫期の価格下落
事業内容	ジュース・ワイン，藍染織物，ハーブ（漢方薬）生産	有機米生産	アグロ・ツーリズム（伝統舞踊等）	エコ・ツーリズム（ホームステイ等）	ドライトマト生産
経営理念・ミッション	自給，生態系への配慮，地域資源の活用				
	地域生態系の回復・保全 地域全体の能力向上	Win-Win-Winであること（メンバー・消費者・環境）	適正な経営規模	地域伝統文化の保存（森・生活様式・価値観）	強い農業経営
組織運営のポイント	ミッションや目標の共有，共同利益の確保，分業による役割の明確化				
	対話による相互理解 人材育成（知識の伝達）	共同農作業	情報共有	透明性・公平性 森の共有意識	公平性 対話による相互理解
消費者に提供する価値	品質	幸せ（健康，正当な価格）	幸せ	ホスピタリティ	品質
主要な導入技術	ジュース・ワイン製造設備	精米機・真空包装機		小水力発電	太陽熱利用乾燥設備
経営上の課題	他社との競合	偽装品の流通	次世代への継承	外部組織による便乗	気候変動への対応
今後のビジネス展開	さらなるブランド化（GI） オーナー制度 マーケティング統括部の創設	有機米認証の取得 PGS認証の取得 デモ農場の設置	製品開発	ルール作り	農産物の多角化 適正技術の導入促進 製品開発

ていることが確認された。食料やエネルギーの自給が基盤にあることは，安定した余裕のあるビジネスにとって必須であると考えられている。2)は，環境への配慮，自然との共生がなければ，農業であれ観光であれ，長期的に継続することができないという考えに基づくものである。3)は，外部からの影響やショックを最小限にとどめるには，外部への依存を可能な限り小さくすることが有効であると考えるためである。

上記 3 点の他にも，表 1 に示すように，それぞれのコミュニティで独自の理念・ミッションを掲げている。

4.2 組織運営のポイント

コミュニティでの活動を円滑に行う仕組みとして，1)ミッションや目標をメンバーに確実に浸透させる，2)コミュニティへの参加が共通利益をもたらすようにする，3)各自の役割を明確にするという 3 点が，全ての事例における共通点として見出された。

1)は，「足るを知る」経済哲学がベースに存在することの影響も大きいが，リーダーが目指すべき姿を日常的にメンバーに伝えるなど，継続的にコミュニティ意識の醸成に努めていることが明らかになった。2)の例としては，全ての事例で相互扶助システムである福祉基金が創設されていることがあげられる。また，スキル獲得の機会が得られるなど様々な場面でベネフィットを実感でき，それがメンバーの自発性につながっている。3)に関しては，仕事ごとにグループを形成し，グループ内・グループ間で分業する仕組みを構築している。各自が自分の責任を果たそうとすることが，能力の向上や助け合いにつながると考えられている。

その他には，話合いの重要性，信頼関係を保つための公平性・透明性の重要性が指摘された。

4.3 主要な導入技術

導入技術として特徴的なのは，事例 D の小水力発電である。小水力発電は 1983 年に導入された。コミュニティによる小水力発電の所有は，コミュニティの団結を促進した。また，管理のために構築された利益分配の仕組みや争いを解決する方法は，現在でも活用されており，活動の基盤となっている。事例 E では，太陽熱を利用した乾燥設備を用いている。この設備は，天日干しよりも清潔である点で付加価値が高いこと，従来の機械で消費していた電力とガスを節約できることから，タイ政府が導入を推進している。

4.4 経営上の課題と今後のビジネス展開

事例 A では，同じ製品を生産する民間企業が増えているため，GI（地理的表示）の取得などによりさらなるブランド化を目指す予定である。事例 B では，有機米と偽装した製品が多く出回り価格が下落していることに対し，差別化を図るために PGS（参加型有機認証制度）の利用を視野に入れている。

5. おわりに

今後は，今回の分析結果を踏まえ，技術導入が「足るを知る」経済活動の実現や段階的発展に対し，どのような役割を果たしたかを明らかにするとともに，技術導入のプロセスや導入に強く影響を与えた要素を把握し，望ましい技術導入支援のあり方を提案する。

引用文献

1)　Wibulswasdi C., Piboolsravut P., Pootrakool K.: Sufficiency Economy Philosophy and Development (2011)

C3-06,P2-112　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

インドネシアにおける工場の生活系排水処理方式の LCA による環境効率評価

Comparison of Environmental Efficiency Based on LCA of Domestic Wastewater Treatment Systems in Factories of Indonesia

○金子愛里*1)、松本亨 2)
Airi Kaneko, Toru Matsumoto
1）北九州市立大学、（株）新菱、2）北九州市立大学
*x6dac001@eng.kitakyushu-u.ac.jp

1. はじめに

インドネシアの温室効果ガス（GHG）排出量は、森林伐採と泥炭地荒廃等による CO_2 排出量を含むと、世界第 4 位であり、主要排出国の一つとなっている。同国政府は2020年までにGHG排出量を自国による取り組みで 26%、国際的援助下で 41%削減（2005 年比）することを国家目標に掲げている。また「河川浄化プログラム（PROKASIH）」による国の主要河川の水質モニタリング、企業への立ち入り検査、法順守に関する企業との協定や、企業のランク付け及び公表等の実施により、環境負荷削減に取り組んでいる。その参加企業数は 2017 年時点で 1,819 社とわずかであるものの年々増加傾向にあり、今後さらに増加することで企業における排水処理システムの整備が進むものと考えられる。そのため GHG 削減目標の達成に向けて、排水処理による GHG 排出量についても削減が不可欠である。

現状では、一般的に商業施設からの排水のうち、し尿や手洗い場等からの雑排水は、Septic Tank（腐敗槽）により処理されている。その処理システムは固液分離槽での嫌気性処理のみであるため CH_4 排出量が多く、また処理能力が十分でないために河川や土壌の汚染が懸念されている。従来の Septic Tank の代替システムとして、日本の浄化槽の普及が期待されるが、Septic Tank に比べて高価であることが購入の意思決定の妨げとなり、普及の障壁となっている。本研究では、インドネシアにおける工場の排水処理システムの改善に向けて、Septic Tank 及び浄化槽それぞれの素材調達から廃棄までのライフステージにおける GHG 排出量を明らかにし、環境負荷削減の費用効率を比較する。

2. 分析フレーム

評価対象システムは、首都ジャカルタに所在する一つの家電メーカー工場内に設置された Septic Tank 一基（図 1、図 2）と浄化槽一基（図 3）とする。また比較のために、各システムはインドネシアの排水基準 1) を満たす性能を維持していることを条件とする。各システムの概要を表 1 に示す。機能単位を処理対象人数 392 人に統一する。

表 1　評価対象システムの概要

評価対象	処理能力（M3）	使用人数（人）	処理システム	主な素材
Septic Tank	9	221	固液分離	RC
浄化槽	30	392	固液分離担体流動方式	FRP

評価対象の Septic Tank は、嫌気性の一次処理のみであるため十分な処理が行われず 2)、Septic Tank 単体では水質基準を満たしていない。そのため 2 次処理設備が増設されている。インドネシアにおける Septic Tank は同様のケースが多いことを考慮し、現実に近い環境負荷及びコストを求めるために、Septic Tank 単体（図 1）と 2 次処理設備を付帯した Septic Tank（図 2）の 2 パターンの分析を行う。インベントリ分析の概念図を図 4 に示す。

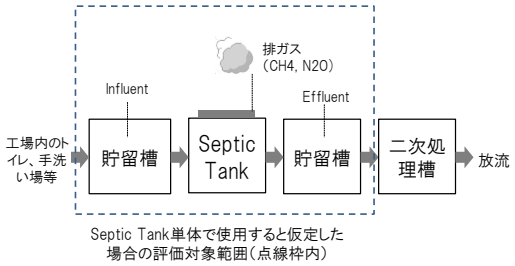


図 1　Septic Tank（単体）分析フレーム

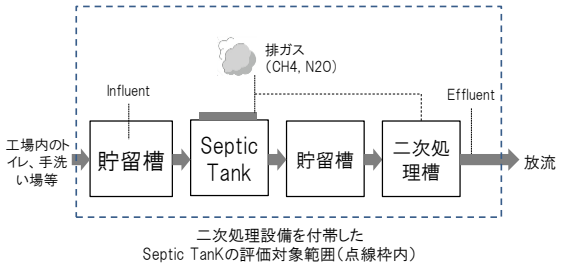
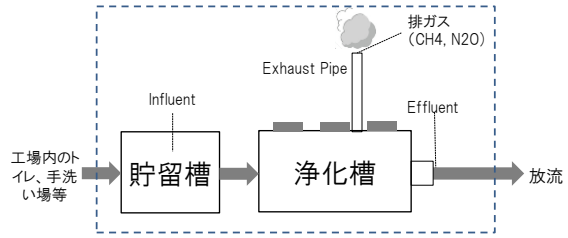


図 2　二次処理設備付 Septic Tank 分析フレーム



浄化槽の評価対象範囲（点線枠内）

図 3　浄化槽分析フレーム

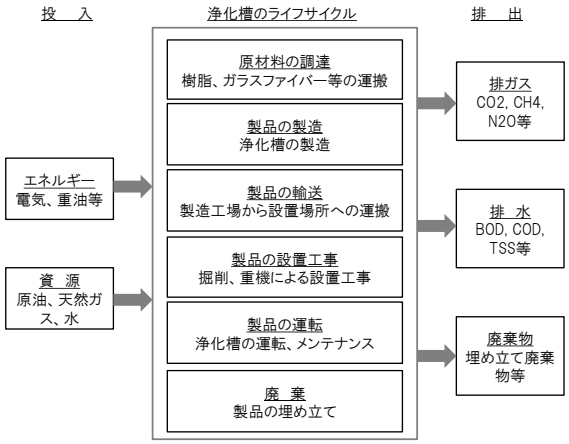


図 4 インベントリ分析の概念図

3. 評価

3.1. GHG 排出量の算出

浄化槽と Septic Tank のそれぞれについて、表 2 の評価項目に沿って GHG 排出量を算出する。なお浄化槽の運転時に直接排出されるガスは CO_2, CH_4, N_2O があるが、流入する排水中の有機物は主に生物起源であることから、CO_2 は温室効果ガスにはカウントされず、CH_4, N_2O のみが算定される[3)]。

また対象システムが基準値を満たしていることを確認するために、表 2-4)運転における水質について、処理前の汚水(Influent)及び処理後の放流水(Effluent)の実測を行った。2017 年 10 月 11 日から 31 日の 15 日間の実測データの平均値を表 3 に示す。

表 2　各システムの CO_2 と環境負荷評価項目

ﾗｲﾌｽﾃｰｼﾞ	項　目		単位	データ入手方法等
1) 素材調達	各素材（量・産地）		kg	現地日系メーカー
2) 製　造	電力		kwh	現地日系メーカー
	水		L	
3) 運　搬	燃料		L	現地日系メーカー
4) 運　転	電力		kwh	ユーザー企業
	ガス	CH4	mg/L	※利用人数に排出係数を乗じて算出
		N2O	mg/L	
	水質	pH	-	15日間のサンプリング及び分析 ※処理前の汚水（Influent）及び処理後の放流水（Effluent）の実測
		BOD	mg/L	
		COD	mg/L	
		TSS	mg/L	
		油脂	mg/L	
		アンモニア	mg/L	
		大腸菌	計/100ml	
	廃棄物（汚泥）			参考文献からの計算値
5) 廃　棄	埋め立て処分			参考文献からの計算値

表 3　実測データ平均値比較・法令基準値

Parameter	Unit	Jokaso (Average)		Septik Tank (Average)		Standard (No.68/2016)
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	
pH	-	7.12	6.46	7.13	7.17	6～9
BOD	mg/L	150	16	130	92	30
COD	mg/L	301	54	257	220	100
TSS	mg/L	309	20	173	156	30
Oil & Grease	mg/L	<2,02	<2,02	<2,02	<2,02	5
NH3	mg/L	N/A	N/A	N/A	N/A	10
E coli	MPN/100ml	62	58	190	48	3,000

浄化槽の除去率は BOD 89%、COD 82%、TSS 94%と高い処理能力で基準を満たした。一方、Septic Tank の除去率は、BOD 29%、COD 14%、TSS 1%と低く、基準値を超過する結果となった。pH 及び大腸菌については、浄化槽と Septic Tank のどちらも基準値内であった。

3.2. コストの算出と環境効率評価

図 1、2、3 の分析フレームそれぞれについて、表 4 の評価項目のコストを算出する。

表 4　各システムのコスト評価項目

ﾗｲﾌｽﾃｰｼﾞ	項　目	単位	データ入手方法等
1) 素材調達	各素材	kg	現地日系メーカー
2) 製　造	電力	kwh	現地日系メーカー
	水	L	
3) 運　搬	燃料	L	現地日系メーカー
4) 運　転	電力	kwh	ユーザー企業
	廃棄物（汚泥）		参考文献からの計算値
5) 廃　棄	埋め立て処分		参考文献からの計算値

次に算出された CO2 排出量及びコストを式(1)にあてはめ、環境効率を求める。

$$\text{環境影響削減の費用効率} = \frac{\text{GHG排出量} + \text{その他環境負荷}}{\text{削減費用}} \quad (1)$$

4. まとめと今後の展開

ほぼ同じ条件下で浄化槽と Septic Tank を比較し、浄化槽が放流水質基準を満たす性能を発揮したのに対し、Septic Tank はほぼ汚水を処理できていない結果になった。同様に二次処理設備を付帯した場合の Septic Tan について分析し、再度浄化槽との比較を行う。またそれぞれのコストを算出し、環境効率を比較する。

引用文献

1) 生活系排水の水質に関する環境林業大臣令, No. 68, (2016)

2) 浄化槽システム協会: “Difference between Septic Tank and Aerobic Treatment Unit”, (2014)

3) 蛯江、徐、岡城、山崎：月間浄化槽, 3(407), (2010), PP23-27

C3-07

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

サーマルリサイクルによる離島廃棄物処理

Improvement of waste treatment ability in small island states

○LIN Hsin,Tien

Kyoto University

* linhsintien@gmail.com

1. Introduction

Waste management in island communities are challenging due to the special characteristic of islands, such as land scarcity, lack of economic of scale, and difficulties to assess recycling market. Due to the change of life style and the rapid growth of tourism industry in recent decades, this problem become more urgent. Thermal threatment seems to be a probable option in the waste management system of island states since it can reduced the final disposal amount and at the same time recovery energy from the generated waste.

The main waste treatment method in Taiwan is incineration. However, for the small island communities surrounding Taiwan main island, the current policy is to ship the municipal solid waste to big cities in main island for incineration. The increasing waste amount and the fee for incineration and shipping have imposed a heavy financial burden on the local government. At the same time, the current system hinder the island states to develope their independent waste treating ability. The purpose of this study is to analysis the current situation of the waste management system of Taiwan island areas, and assess the potential for thermal treatment facilities to increase the waste treatment ability by cost estimation and life cycle assessment. The scenarios of introducing incineration plant and refuse derived fuel (RDF) production plant have been considered.

2. Methodology

2.1 MSW management in Taiwan island areas

Over Taiwan's 22 administrative divisions, 3 counties, Penghu, Kinmen, Lianjiang, are consisted by only small islands. The special system of waste management policy in Taiwan and situation make the characteristic of island states special. The data for waste source separation situation, the variation of waste amount over years, and the composition of municipal solid waste, are collect and analyzed between the island counties and country overall value.

Kinmen County, the islands group with largest land area and higher urbanization level, has been choose for case study of scenario analysis.

2.2 Analysis methodology

A combination of cost estimation and life cycle assessment analysis is conducted in this study. A from-gate-to-grave LCA model was created according to the ISO 14040 standard.

The current waste management system in Kinmen is defined as Scenario 0. To analysis the effects of different MSW management options, three different scenarios are considered. Scenario 1: Introducing incinerator, Scenario 2: Introducing RDF production plant and RDF combustion plant, Scenario 3: Introducing RDF production plant and shipping the RDF outside of island.

The cost analysis in this study includes the construction process and operating process of the Incinerator, RDF manufacture factory, and RDF combustion factory. The income for selling the generated electricity has been counted for revenue. For the environmental assessment, the Life Cycle Inventory study covers only the operation process, because most of the emission happened during the operation process. Functional unit is set as treating one year generated municipal solid waste in Kinmen (14,174 tons of combustible waste)

3. Results

The waste disposal characteristics of the island counties of Taiwan is studied and the main results are shown in Table 1. The data show that the island counties has higher MSW solid waste rate. At the same time, the lower recycling rate can also be found in the date. The higher MSW generation rate make the emission during the treatment process higher and. On the other hand, despite the decreasing of the total waste amount in Taiwan, the waste generation amount in island areas is increasing constantly.

Table1 waste disposal characteristics of the island counties of Taiwan

	MSW generate rate(kg/capital-day)	Food waste recycled rate	Recycling rate (%)
Penghu	0.436	10.6	44.55
Kinmen	0.482	6.89	45.67
Lianjiang	0.459	19.6	31.81
Taiwan average	0.364	7.77	49.13

The cost and envirionmental assessment results are shown in Figure 1 and Figure 2. The scenario 0, business as usual, is most cost effective in the four scenarios. However, it means no treatment ability in the islands, and if the future, if the waste generation amount continues to increase, the cost will become higher then other scenarios. The sum of capital cost and operation cost of incineration and RDF does not change greatly, but the RDF process the potential to recover energy from solid waste. The revenue of RDF combustion and selling of RDF is not yet be considered because a lot of factors can affect the price.

The combustion process generates highest amount of CO2, and the emission during the combustion does not change a lot among scenarios. The process of RDF production does not emit CO2 directly, but the use of fuel and electricity counts for equivalent CO2 emission. The energy recovery can contribute emission reduction by substitute of fuel use, which varies by utilization methods.

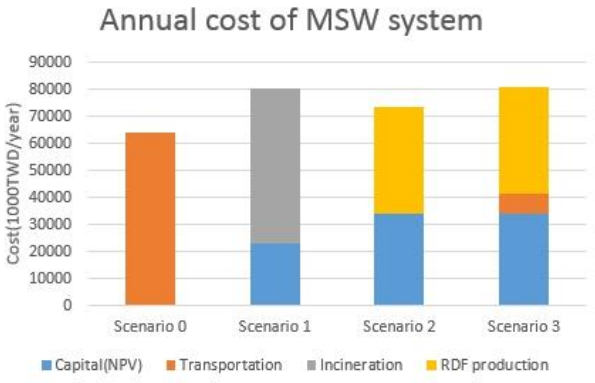


Figure 1 Annual cost of MSW system

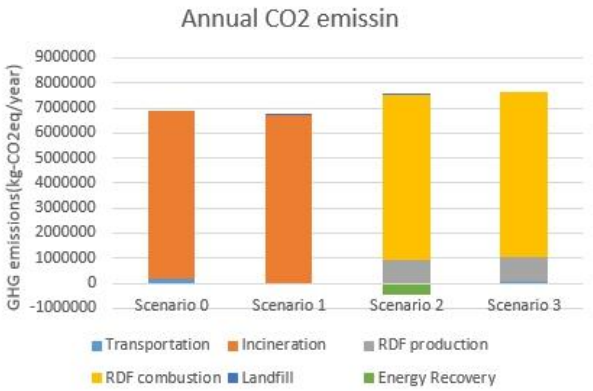


Figure 2 Annual GHG emissions of MSW system

4. Conclusion

The current waste transportation system for Taiwan island areas is cost effective in the current state, but by increasing of waste generation amount and future possibility of rejection of accepting municipal solid waste from outside treatment. The resonable waste treatment option. RDF is the option can provide energy recovery on the small-scale, but the utilization of RDF fuels and the recovery rate requires more discussions.

Reference

1) Francesco C., Silvia B., Sergio U., : Energy 34 (12), (2009), pp. 2216-2123
2) C. A. Tsiliyannis: Waste Management and Research 17(3), (1999), pp. 231-241

C3-08,P2-058　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

中国広東省における工業固体廃棄物の持続可能な管理に着目した廃棄物産業連関表の構築

Development of WIO table focused on Sustainable management of Industrial waste in Guangdong province, China

○トウガン*[1)]、松八重一代[1)]
Dong Yang, Kazuyo Matsubae
1)東北大学
* dong.yan.r8@dc.tohoku.ac.jp

1.　はじめに

広東省[1)]は、中国で最も急速に成長する地域であり、28 年以来連続で地域総生産成長量の第一位を維持し続けている。一方で、中国の急成長地域として、経済成長で資源消費、環境汚染などの問題も深く抱えている。殊に、様々な種類の廃棄物管理問題は社会経済的な負のインパクトは大きく看過できない状況である。このような背景の下、広東省の廃棄物管理と経済発展の関係において、統計データに基づく定量分析による、環境政策と廃棄物政策の立案が重要である。本研究では、中国広東省の廃棄物産業連関表[2)]構築し、工業固体廃棄物の排出と投入についてシナリオ分析を行う。

2.　研究方法

2.1　　廃棄物産業連関表の概要

産業連関表(Input-output を Table; 以下 IO 表)を基盤とし、廃棄物の排出、処理と再資源化を詳細に表した表であり、産業活動と廃棄物の排出と処理の関係を定量的に解析可能にしたものである。

2.2　　広東省廃棄物産業連関表の構築

本研究は、広東省 2012 年の IO 表と日本の 2005 年版 WIO 表[2)]を基にして広東省 2012 年版 WIO 表を作成した。ここでは以下のステップで作業を行った。

1) 日本の WIO 表の産業分類と広東省 IO 表の産業分類の整合
2) 日本の 2005 年版 WIO 表を参照し、中国元換算の産業活動、廃棄物排出の関係表を作成
3) 2)と広東省 2012 年 IO 表、広東省の廃棄物統計を用いて広東省 2012 年版 WIO 表を作成

まず 1)では日中産業連関表部門分類コンバータ[3)]を参考に、日本の 2005 年版 WIO 表の部門分類と広東省 IO 表の部門対応を行う。

次に 2)では、広東省の廃棄物統計が十分に整備されていないため、中国の廃棄物に関する法律規定と中国統計年鑑と、日本の 2005 年版 WIO 表を参考し、中国元換算の経済活動の単位あたり廃棄物排出係数を推計する。ここで、広東省の各廃棄物の排出、投入データは日本の 2005 年版 WIO 表の排出、投入係数で計算するが、日本円と人民元の為替レート、各通貨の購買力平価の違いを考慮して、人民元換算の経済活動あたりの廃棄物排出表を作成する。ここでは日本の 2005 年版 WIO 表を、為替レートと日中の購買力平価の違いを考慮して 2012 年の人民元価値に換算を行い、さらに廃棄物の排出、投入係数を計算した。最後に、3)では廃棄物処理部門のデータ計算は、北海道大学が開発した総合廃棄物処理評価モデル（H-IWM）[4)] で得た廃棄物データを代入し、廃棄物処理部門のデータを得る。

3.　日中産業部門と廃棄物部門対応表の作成

中国 IO 表産業部門は 143 部門、日本の 2005 年版 WIO 表は 103 部門である。また、広東省 IO 表産業部門は 42 部門がある。日中産業連関表部門分類コンバータを参考して分類し、付表 1 のように部門の対応を行ったうえで、日中産業部門と廃棄物部門対応表を作成した。

4.　広東省の経済構造と廃棄物排出状況

広東省統計局の統計[5)]により、広東省 2012 年の人口は 8635. 89 万人であり。2012 年の経済総量は省別全国一であり、57147. 75 億元、中国全体の 10%を占めている。産業内訳は、第二産業と第三産業は全省総生産の 95%（図 1)、全国総生産（図 2）と比べると、産業構造は近いことがわかる。

一方、廃棄物排出に目を向けると、2010 年中国国家統計局による公布された“全国第一回汚染源調査報告書”[6)] のデータにより、全国の工業固体廃棄物排出量は 38. 52 億トン、工業危険廃棄物排出量は 4573. 69 万トンである。一方、広東省環境保護庁[7)]によれば、2010 年広東省の固体廃棄物排出量は 1. 3 億トンを超え、その内、一般工業固体廃棄物は約 1. 16 億トン、工業危険

廃棄物は 218.18 万トン、医療廃棄物 6.86 万トン、生活ごみの焼却灰 12 万トン、汚泥 262 万トン、主要廃棄家電製品（テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン、パソコン）排出数は 1600 万台である、生活ごみは日割り 5.99 万トンである。2012 年の廃棄物排出状況は表 1 で示すように一般工業個体廃棄物の排出、生活ごみの排出量は中国全土の排出量のそれぞれ 2%、13%を占める。

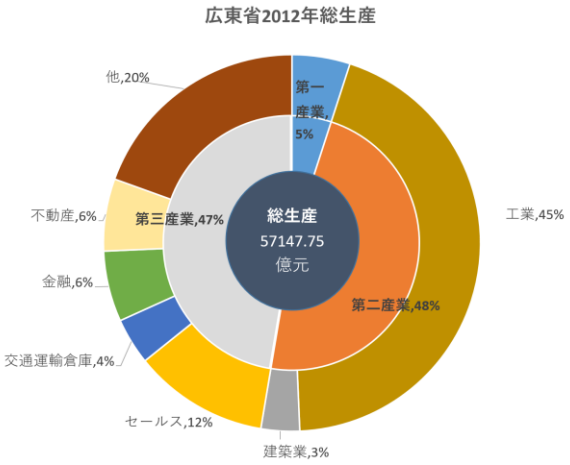


図 1　広東省における 2012 年の産業構造

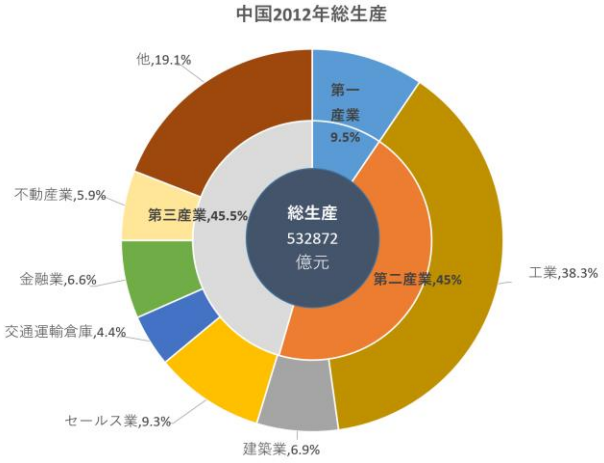


図 2　中国における 2012 年の産業構造

表 1　2012 年の中国と広東省の廃棄物排出状況

単位：万トン	中国	広東省	シェア	出典
一般工業 個体廃棄物	329,044	5,965	2%	1)
工業危険 廃棄物	3,465	130	4%	1)
医療廃棄物	45	7	15%	6)7)
生活ごみ	17,080	2,137	13%	1)

5.　おわりに

本研究では、広東省を対象にした WIO 表を構築し、特に工業固体廃棄物に着目してシナリオ分析を行う。中国では各地方省の経済的格差ならびに統計データの整備において差が非常に大きい。とりわけ廃棄物に関する統計分析は大きな困難がある。ここでは、中国の中でも経済発展が著しい沿岸省である広東省を対象にした WIO 表を構築することで、中国における廃棄物政策において有効な知見を与えられる。

課題としては、データ精度の向上は最も重要な改善を要する点である、特に、廃棄物別種別排出量の統計についての更なる検討を要する。

引用文献

1)　中国統計年鑑 2012（中国国家統計局）(http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/)（参照 2016-12-10）

2)　中村慎一郎「WIO2000 version 0.04b」（2006 年 5 月 28 日）(http://www.f.waseda.jp/nakashin/wio_j.htm)（参照 2016-12-10）

3)　株式会社　日本アプライドリサーチ:平成 26 年度日中国際産業連関表の課題及び次回表のあり方についての調査研究（平成 27 年 3 月）

4)　北海道大学大学院廃棄物資源工学講座廃棄物処分工学分野"都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究"（１９９８）

5)　広東統計年鑑２０１３(広東省統計局)(http://www.gdstats.gov.cn/tjnj/2013/index.html)

6)　全国第一回汚染源調査報告書（中国国家統計局）(http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/qttjgb/qgqttjgb/201002/t20100211_30641.html)

7)　広東省固体廃棄物汚染予防“十二·五”計画（2011-2015）（広東省環境局）(http://www.gdep.gov.cn/zcfg/hbwj/201207/t20120717_125879.html)

付表１　広東省と日本の産業対応表（部分）

广东省	日本
农林牧渔产品和服务	耕種農業
	畜産
	農業サービス
	林業
	漁業
煤　　炭采选产品	石炭
石 油 和天 然 气开采产品	原油・天然ガス
金 属 矿采选产品	金属鉱物
非金属矿和其他矿采选产品	非金属鉱物
食品和烟草	食料品
	飲料
	飼料
	たばこ
纺织品	繊維工業製品
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	衣服・その他の繊維既製品
	なめし革・毛皮・同製品
	プラスチック製品(靴)
	ゴム製品(靴)
木材加工品和　家　具	製材・木製品
	家具・装備品
造纸印刷和文教体育用品	パルプ・紙・板紙・加工紙
	紙加工品
	出版・印刷
	その他の製造工業製品(文教体育用品)
石油、炼焦产　品　和核燃料加工品	石油製品
	石炭製品
	非鉄金属加工製品(核燃料)
化学产品	無機化学基礎製品
	有機化学基礎製品
	有機化学製品
	有機質肥料
	化学肥料
	合成樹脂
	化学繊維
	医薬品
	化学最終製品(除医薬品)
	プラスチック製品(除靴)
	ゴム製品(除靴)
非 金 属矿物制品	ガラス・ガラス製品
	セメント・セメント製品
	陶磁器
	その他の窯業・土石製品
金属冶炼和压延加工品	銑鉄・粗鋼
	鋼材
	鋳鍛造品
	非鉄金属製錬・精製
	非鉄金属加工製品(除核燃料)
	その他の鉄鋼製品
金属制品	建設・建築用金属製品
	その他の金属製品
通用设备	一般産業機械(除電子製品)
	事務用・サービス用機器
	その他の一般機器(一般)
专用设备	特殊産業機械
	その他の一般機器(特殊)
交通运输设备	乗用車
	その他の自動車
	船舶・同修理
	その他の輸送機械・同修理
电气机械和 器 材	重電機器
	民生用電子・電気機器
	その他の電気機器
通信设备、计算机和其他电子设备	電子計算機・同付属装置
	通信機械
	民生用電子・電気機器
	一般産業機械(電子製品)
	その他の電気機器
	電子部品
仪器仪表	精密機械
其他制造产品	その他の製造工業製品(无文教体育用品)
金属制品、机械和设备修理服务	自動車・機械修理
电力、热力的生产和供应	電力
	熱供給
燃气生产和 供 应	ガス
水的生产和 供 应	水道
建筑	建築
	建設補修
	公共事業
	その他の土木建設
批发和零售	商業
交通运输、仓储和邮政	鉄道輸送
	道路輸送
	水運
	航空輸送
	貨物運送取扱
	運輸付帯サービス
	倉庫
	公務(郵政)
住宿和餐饮	飲食店
	旅館・その他の宿泊所
信息传输、软件和信息技术服务	通信
	放送
	広告・調査・情報サービス(信息技术服务)
金融	金融・保険
房地产	不動産仲介及び賃貸
	住宅賃貸料
租 赁 和商务服务	物品賃貸サービス
	広告・調査・情報サービス(广告，咨询等商务服务)
科学研究和技术服务	研究
	広告・調査・情報サービス(技术服务)
水利、环境和公共设施管理	公務(除郵政と公共管理)
居民服务、修 理 和其他服务	その他の対個人サービス
教育	教育
卫 生 和社会工作	医療・保健
	介護
文化、体育和　娱　乐	娯楽サービス
公共管理、社会保障和社会组织	社会保障
	公務(公共管理)

付表 2　2012 年広東省廃棄物産業連関表（部分）

産業数：41　廃棄物種類：38　処理部門：4

投入 \ 産出			代码	中间使用												
				农林牧渔产品和服务	煤炭采选产品	石油和天然气开采产品	金属矿采选产品	非金属矿和其他矿采选产品	食品和烟草	纺织品	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	木材加工品和家具	造纸印刷和文教体育用品	石油、炼焦产品和核燃料加工品	化学产品	非金属矿物制品
	代码		-	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
中间投入	百万元	农林牧渔产品和服务	01	4953226	0	0	325	702	13423601	1415185	625622	1818500	236027	151	2080570	1777
	百万元	煤炭采选产品	02	15305	0	0	0	5946	51672	232856	7684	5994	308289	130646	150926	1681618
	百万元	石油和天然气开采产品	03	0	0	106	0	0	52075	18742	4140	8521	16446	16873593	746809	319665
	百万元	金属矿采选产品	04	0	0	0	1202542	0	0	0	0	0	970	0	301426	64416
	百万元	非金属矿和其他矿采选产品	05	0	0	0	692	833959	21259	1425	0	0	860776	0	185973	1546150
	百万元	食品和烟草	06	8060769	0	9	1438	4093	19043203	27310	578836	87707	357365	682	1021115	13468
	百万元	纺织品	07	884	0	0	346	491	20953	10331840	10627747	263206	739157	9326	442654	67565
	百万元	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	08	2713	0	39	7196	7588	39917	140111	18050970	778543	499295	8644	213069	82736
	百万元	木材加工品和家具	09	1910	0	6	1190	291	37487	11335	4226	6587696	393768	2550	25586	259974
	百万元	造纸印刷和文教体育用品	10	167115	0	11	876	3891	1220447	106319	690825	458024	15905058	14367	1453168	707555
	百万元	石油、炼焦产品和核燃料加工品	11	503630	0	26318	41343	277217	80183	61209	109154	387220	449664	8886934	4171999	1261996
	百万元	化学产品	12	2039983	0	421610	90907	253093	1806391	3001232	5000307	1314942	7776336	1974371	55634866	3185943
	百万元	非金属矿物制品	13	9815	0	0	6688	2516	272896	217	19544	620168	125176	4165	286628	9915033
	百万元	金属冶炼和压延加工品	14	96	0	0	2623	15256	10824	15355	76947	739963	13360826	0	687319	579556
	百万元	金属制品	15	39775	0	0	1369	6611	619058	116454	153327	1368905	548764	5803	1245068	295300
	百万元	通用设备	16	28	0	137001	749	30758	34541	45809	117922	63430	147947	796	760041	118158
	百万元	专用设备	17	262133	0	186	4137	14239	285026	65846	530360	40207	297965	22466	2110491	158301
	百万元	交通运输设备	18	102768	0	0	201	406	2910	2227	6201	1780	5008	421	5554	7675
	百万元	电气机械和器材	19	1090	0	0	1367	149275	5594	1645	19150	24592	772354	240	202421	34933
	百万元	通信设备、计算机和其他电子设备	20	5954	0	0	56	6045	6397	5978	8788	46341	4430097	880	202954	35226
	百万元	仪器仪表	21	1205	0	0	10	846	1795	141	148	1129	16270	401	6839	44128
	百万元	其他制造产品	22	58	0	0	0	6	9151	6018	26892	421	44896	4	4867	4298
	百万元	金属制品、机械和设备修理服务	23	2146	0	733	7179	43436	31279	45644	182466	31079	47017	6244	97121	53689
	百万元	电力、热力的生产和供应	24	542722	0	2606	222434	301477	797251	964470	1140486	577596	1822299	347933	3210477	3594998
	百万元	燃气生产和供应	25	57580	0	0	0	0	0	0	0	77	2243	0	16534	133717
	百万元	水的生产和供应	26	3985	0	97	5385	3841	87721	62778	42736	27970	75785	2515	64606	51876
	百万元	建筑	27	1920	0	0	0	0	12682	34069	29902	5604	44471	10970	38813	1895
	百万元	批发和零售	28	513732	0	54116	14913	55613	3531480	1228451	3031735	672079	2853615	877132	4809948	2628760
	百万元	交通运输、仓储和邮政	29	417379	0	10438	268380	492769	1453251	550539	1108487	706473	1563420	443776	3040344	1513593
	百万元	住宿和餐饮	30	24658	0	224	23896	65032	452428	156054	516459	139561	426560	22342	967063	271331
	百万元	信息传输、软件和信息技术服务	31	162891	0	92	10416	8753	88044	102772	175054	72370	123507	7500	220232	108855
	百万元	金融	32	137721	0	24943	77846	50572	441228	213257	397002	227995	742007	98925	850072	388137
	百万元	房地产	33	7594	0	860	2320	10555	35754	45192	275956	66948	183920	1118	182131	28363
	百万元	租赁和商务服务	34	17989	0	352744	66663	41316	1404056	269858	1372959	549203	725426	131463	2665656	447314
	百万元	科学研究和技术服务	35	4141	0	0	12571	715	90158	44724	46850	49617	182676	355	246610	42455
	百万元	水利、环境和公共设施管理	36	14025	0	4	704	2000	3129	2059	9309	2182	8605	249	11675	4366
	百万元	居民服务、修理和其他服务	37	3577	0	0	108	48893	476866	83434	144324	33544	203695	34296	492403	46915
	百万元	教育	38	1273	0	32	4373	2291	11269	2704	22677	7729	11369	2543	19176	4509
	百万元	卫生和社会工作	39	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	百万元	文化、体育和娱乐	40	1041	0	23	3672	10429	17288	11226	48750	11475	45810	1401	61761	23011
	百万元	公共管理、社会保障和社会组织	41	13036	0	0	218	165	2172	1210	4994	1221	3376	258	23266	2228
	百万元	**中间投入合计**	TII	**18095900**	**0**	**1032197**	**2085134**	**2741304**	**45981437**	**19425689**	**45151692**	**17788578**	**54114150**	**29925463**	**86142270**	**29616845**
	吨	厨房垃圾	01	5637427	49579	18931	38610	29471	2254648	63333	160390	96535	97938	18372	162505	154292
	吨	报纸	02	3842	142	54	111	94	114	227	650	416	356	66	617	609
	吨	杂志	03	3290	122	46	95	80	98	194	557	356	305	56	528	521
	吨	高品质纸张	04	315	16	6	12	11	8	28	85	55	45	8	79	79
	吨	纸板	05	68445	2471	943	1924	1724	16790	4394	13217	8638	6956	1275	12249	12257
	吨	纸包装饮料	06	1664	78	30	61	53	72	133	392	254	209	38	366	365
	吨	纸盒、纸袋、包装纸	07	1306399	61161	23354	47629	41713	56783	104115	307568	199458	164403	30203	287640	286273
	吨	其他纸类（信件，原布等）	08	162899	7626	2912	5939	5201	7080	12982	38352	24871	20500	3766	35867	35696
	吨	布类	09	11887	1005	384	782	796	309	2246	7312	4932	3598	651	6520	6678

C3-09

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

中国の省別家計消費の将来変化を考慮した消費基準による省別環境負荷量

Consumption-based regional environmental burdens in China considering future changes in regional household consumptions

○李　欣航*[1)]、南斉規介 [2)]、東野　達 [1)]、Qian Zhang [3)]

Xin Hang Li, Keisuke Nansai, Susumu Tohno, Qian Zhang

1) 京都大学，2) 国立環境研究所，3)東京大学

* lxhrkk@gmail.com

1. 研究背景と目的

中国は大気汚染や水質汚濁といった公害から、砂漠化、地球温暖化などのグローバルな環境問題に至るまで、あらゆる環境問題に直面している。中国の環境を改善することは、中国のみならず、地球全体の利益にもつながる。中国は主要なエネルギー源である石炭の世界最大の消費国であり、その大量使用が環境問題の主な原因の一つとして考えられる。最終エネルギー消費は、飛躍的な経済発展に伴う産業構造の高度化、都市化の進展、生活水準の向上を背景に堅調に増加し、中でも家庭部門は、人々のライフスタイルがエネルギー消費量ならびに環境影響に直接反映されていると言える。特に中国の場合、人口は 2030 年にピークを迎え減少に転じると予測されるが、世界の約 2 割を占める人口規模を考えると、家計部門のエネルギー消費が世界のエネルギー消費と気候変動に与える影響は依然として大きい [1)]。

中国は地域によって、相当な経済格差が生じている。それに伴う直接環境負荷量の差異や富裕地域が貧困地域に誘発する環境負荷の問題が指摘されている [2)]。今後の人口の変化と経済発展による消費形態の変化に伴う環境負荷への影響が予想され、そのような変化を考慮した先行研究もいくつか存在する [3)]。しかしながら、それらはいずれも中国全体の環境負荷量の将来推計が中心となっており、地域格差や所得格差を考慮し包括的に考察した研究は少ない。そこで、本研究では省ごとの家計消費需要の将来変化を推計し、それに起因する内包型環境負荷量の把握と省間の相互依存関係を分析することを目的とする。

2. 研究手法

2.1 中国多地域間産業連関モデル

各省の家計消費に伴う内包型の環境負荷量 **e** を推計するため、中国の 30 省市 30 部門からなる 2010 年版多地域間産業連関（MRIO）表を用いて、**e** を式(1)のように定式化した。

$$\mathbf{e} = \mathbf{d}\left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{f} \qquad (1)$$

ここで、**A** は投入係数行列、**f** は最終需要ベクトル、**I** は単位行列を示す。**d** は省別部門別の単位環境負荷ベクトルであり、要素は各部門の年間直接環境負荷量をそれぞれの国内生産額で除して求めた。本研究では、最終需要ベクトルに家計消費支出額を用いることで、各省の家計消費が中国国内に誘因する環境負荷量を算定した。

分析対象とした環境負荷はエネルギー消費 [4)]、CO_2 排出量 [5)]、$PM_{2.5}$ [6)]の一次粒子排出 [6)]である。なお、これらの部門別負荷量のデータソースの部門分類（IPCC1996 分類）と MRIO 表の部門を対応させるため、MRIO 表の 30 部門から 27 部門に統合した。

2.2 省別家計消費額の推計

2010 年 MRIO では、最終需要は地域ごとに「最終消費支出」と「資本形成総額」の 2 部門だけに分類されており、家計消費需要を直接取得することができない。そこで本研究では、最終需要が「農村居民消費」、「都市居民消費」、「政府消費支出」「在庫品増加」の 5 部門に分類されている 2007 年版 MRIO 表を活用し、2010 年の家計消費額（居民消費）を推計した。また、省ごとの家計消費統計 [7),8)]を用いて、所得階級別にデータを作成した。ただし、各省の統計整備の方法が同一ではないため、各省の所得階級を 5 段階消費品目を 8 項目にまとめた。

次に、MRIO 表の部門と所得階級別消費の 8 項目を対応させ、各省の所得階級別に環境負荷量を求めた。その結果をもとに、人口や GDP の将来変化を反映した家計消費額を推計し、MRIO 表の投入構造一定下で 2050 年までの将来環境負荷量を、日本を対象とした研究 [9)]を参考に推計する。

2.3 将来予測

各省の将来の家計消費総額を推計するため，31 省市部門別の 2002 年から 2015 年まで 13 年間（2013 年はデータが無いため除外）の可処分所得，GDP，人口，貯蓄額のパネルデータを整備した。本研究では，将来推計を目的する推計モデルの開発を主眼とすることから，パネルデータをプーリングデータとして利用してリッジ回帰分析を行い，可処分所得の推定式（線形回帰）を決定した。分析

はサンプルデータをランダム（計算回数：1 万回）31 のデータを除外し，残りのデータに対する推計精度が最小となるようリッジ回帰のパラメータを決定した。得られた可処分所得から家計消費総額を推計した。

今後、貧困層の消費パターンは富裕層に徐々に変わっていくと考えられるため、本研究では、三つのシナリオで所得階級別の環境負荷量を考察した。シナリオ 1 は家計の 5 段階の所得層の分布を 2010 年から変化無しと仮定する。シナリオ 2 は家計の 5 段階の所得層が上位 2 層に移行すると仮定する。シナリオ 3 は最高所得層のみと仮定し、2050 年の家計消費が誘発する環境負荷量を推定する。

3. 結果

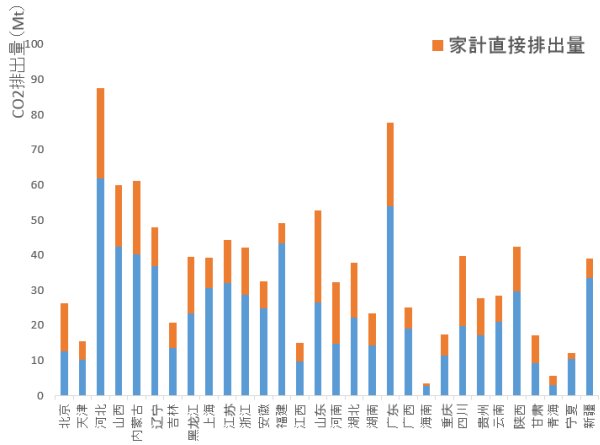


図 1　2010 年中国省別の家計消費由来 CO_2 排出量

図 1 に示すように、2010 年における家計消費の誘発 CO_2 排出量は全国値で 720.9Mt-CO_2 で、このうち河北省の負荷量が最大で 61.3Mt-CO_2 であった。最も低かったのは海南省で、2.71Mt-CO_2 となり、河北省排出量のわずか 4.42%であった。一人当たりの排出量に換算すると、海南省の 3110t-CO_2 に対して河北省は 8530t-CO_2 と約 2.7 倍の差がある。河北省の家計消費が誘発する最も多い CO_2 排出部門は電力・熱の生産・供給部門の 56.34 Mt-CO_2 であった。それに対して、海南省は電力・熱の生産・供給部門の 0.96 Mt-CO_2 と農林畜漁業の 0.67 Mt-CO_2 であった。

GDP 成長率が最も低い遼寧省の CO_2 排出量は 32.43Mt-CO_2 であった。電力・熱の生産・供給部門は 27.78Mt-CO_2 の CO_2 排出量で一位になった。電力・熱の生産・供給部門を除く排出量の上位五部門の所得階級別の環境負荷量は図 S1 に示すように、所得階級層の五段階において、最高所得層の排出量が最も多かった。

シナリオ 1 の場合は図 2 の通り、2050 年遼寧省における家計消費由来 CO_2 排出量は 163.5 Mt-CO_2 で、2010 年のおおよそ 5 倍になった。このうち、電力・熱の生産・供給部門は 140.11Mt-CO_2 の CO_2 排出量で最大の割合を占めた。最も排出の少ない部門は金属製品部門の 0.00016Mt-CO_2 であった。

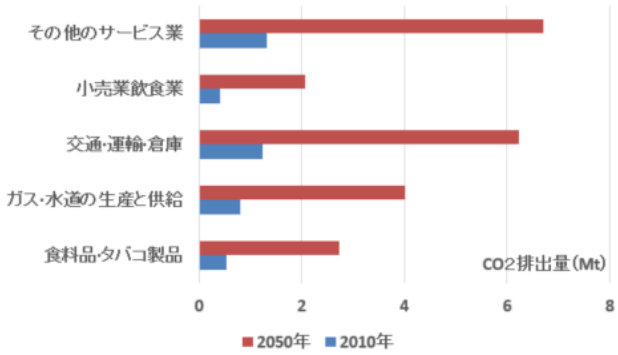


図 2　2050 年遼寧省家計消費が誘発する CO_2 排出部門

この方法を用いて、シナリオ 2、3 を含む 2050 年までの中国の省別家計消費の将来変化を考慮した消費基準による省別環境負荷量の結果を発表する。

参考文献

1) IEA: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyCoalTrends-1.pdf,（参照 2016-12-13）
2) 日本エネルギー経済研究所:アジア/世界エネルギーアウトルック 2013 http://eneken.ieej.or.jp/data/5171.pdf（参照 2017-1-13）
3) Guan,D, et al.: Global Environmental Change, 18, (2008), pp.626–634
4) CEADs: Energy Inventory, <http://www.ceads.net/data/energy- inventory/>.（参照 2017-2-15）
5) CEADs: Emission Inventories by Sectoral Approach, <http://www.ceads.net/data/inventory-by-sectoral-approach/>,（参照 2017-2-15）
6) European Commission: Global Emissions EDGAR v4.3.1, http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=4>,（参照 2017-2-15）
7) 2010 年中国各省の統計年鑑
8) China Urban Life and Price Yearbook (2010)
9) Shigetomi. Y.: Study of Mid-Term Impact of Japanese Households on Formation of Low-Carbon Society from Consumption-Based Approach, Doctoral dissertation, Kyoto University (2016)

Supporting Information

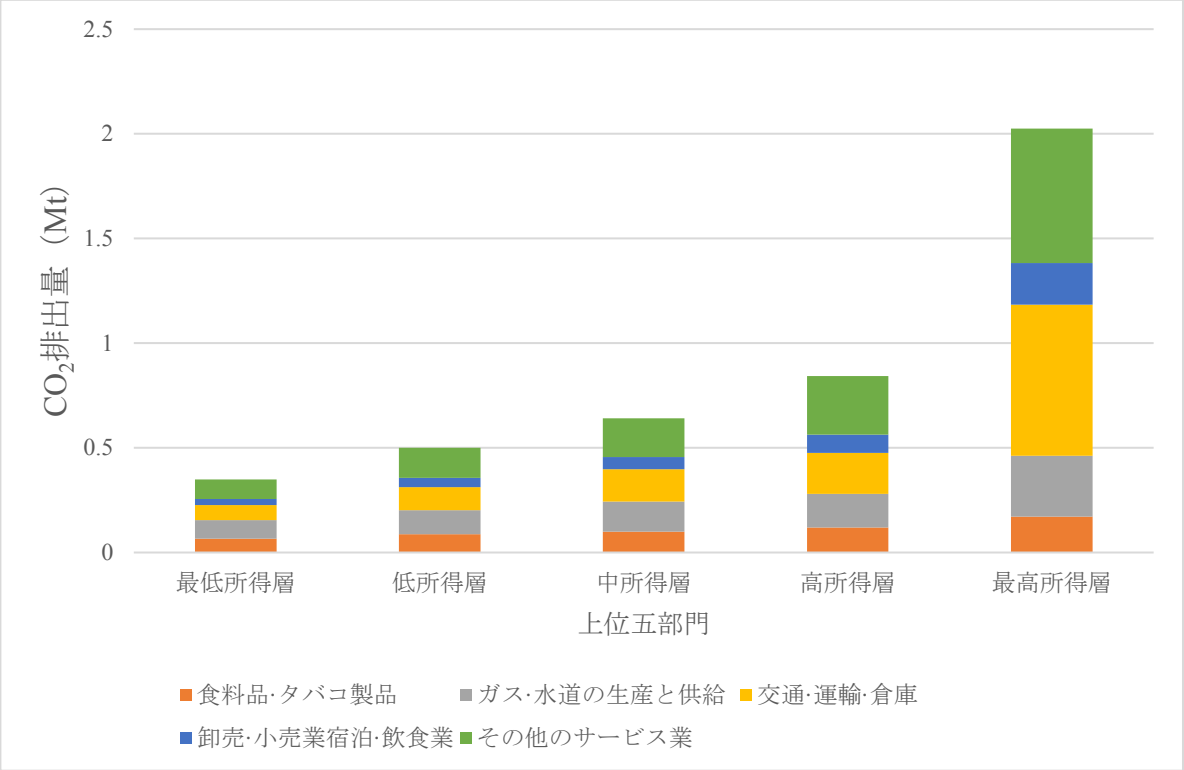


図 S1　2010 年における遼寧省所得階級別排出量

ポスター

タイムテーブル

2日目　3月8日(木)

15:20-16:20	ポスターセッション1　*コアタイムA:奇数番号
16:20-17:20	ポスターセッション2　*コアタイムB:偶数番号

P2-001

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

ICT の社会的価値の評価方法の開発

Development of Evaluation Method of Social Value for ICT

○武田明日花*[1)]、並河治[2)]、稲葉敦[1)]

Asuka Takeda, Osamu Namikawa, Atsushi Inaba

1) 工学院大学, 2) 株式会社日立製作所

* BM17018@ns.kogkauin.ac.jp

1.緒言

ICT 機器は近年急速に普及しており、ICT による CO_2 排出削減効果は 2020 年には 1.25 億トンにも及ぶとされている[1)]。ICT 産業の実質 GDP は全産業の 9.3%とその他の産業と比べ大きな地位を占めており、2014 年から 2015 年の ICT 産業の年平均成長率はプラス 1.8%と着実に成長している[2)]。当研究室では、ICT を環境•経済•社会的価値の 3 軸評価を行ってきた。2015 年度では、CO_2 排出量を 2.3[円/kg-CO_2][3)]で金額化した。また、社会的価値を楽しさや便利さの機能の使用時間に労働賃金をかけて金額化し、被害金額の算定により 3 軸を金額で統合化して評価した[4)]。2016 年度の既往研究では、3 軸評価をクラウドシステム[5)]、スマートウォッチ[6)]について適用した。本研究では、ICT の環境•経済•社会的価値による評価方法を開発する。特に、社会的価値の評価方法の開発を行い、既往の研究の総括を試みる。

2.評価方法

評価する ICT の選択を行い、それぞれの ICT について社会的価値の推察を行う。環境•経済•社会的価値による 3 軸評価の実施及び分析を行い、社会的価値を含めた CO_2 削減技術の削減費用の評価することにより、ICT の普及要因を分析する。

3.評価する ICT の選択

ICT•ソリューション (64 製品)を既往研究•各製品の HP より、楽しめる、業務効率化、セキュリティ、未体験といったワードから、社会的価値を楽しさ、便利さ、安全性、目新しさの 4 つの該当項目に大まかに分類した。分類結果を図 1 に示す。

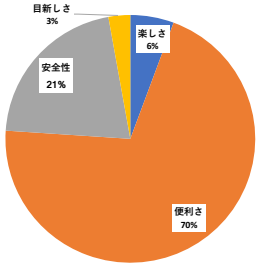


図 1 ICT の社会的価値のカテゴリー

社会的価値のカテゴリーは、便利さが 70%、安全性が 21%を占めていた。この 2 項目が該当する TV 会議システム、クラウドシステムを推察した。また、目新しさが該当するウェアラブル端末を推察した。

4.各 ICT の社会的価値の推察

TV 会議システムの社会的価値は、総労働時間の短縮、事故や災害対策のリスクマネジメントが出来る[7)]ことから、時間的•経済的に余裕ができる、安全性があると推察した。

クラウドシステムについて、リスクマネジメント[8)]、重要なデータを管理する手間が省ける、コストが安く済む[9)]ことから、安全性、責任の軽減、経済的であると推察した。

ウェアラブル端末、特にスマートウォッチについて、「ながら運転」の防止、音声入力•電子マネーの使用、振動によるアラーム機能、デザインやファッション性といった個性の表現が出来る[10)]ことから、安全性、時間に余裕ができる、トラブルの回避、楽しさが言えると推察した。

5.　3 軸評価(環境･経済･社会的価値)の実施及び分析

4 項で推察した社会的価値を 3 軸に適用して評価した。TV 会議システムの事例を表 1 に示す。

表 1 3 軸評価対象(TV 会議システム)

		製造者	導入者	使用者	社会全体
CO_2排出量	直接	システム製造			
	間接		使用段階(ICT機器の使用、情報通信ネットワーク設備の使用、オフィスの使用、保守のエネルギー消費を含む)		
	みなし効果				出張に伴う移動のCO_2排出量削減
		製造者	導入者	使用者	社会全体
経済性	直接		購入・設置費用		
	間接		電力料金	出張費用の削減	←経済的な余裕
	利益				
社会的価値	Fun				
	Time Saving			自由時間の増加	←時間的な余裕
	Safety		地震対策による経済損失の削減(一社あたり)	出張中の事故の削減	←安全性
	トラブルの回避				

経済的な余裕を経済性(使用者の間接費用)、時間的な余裕を Time Saving、安全性を Safety とし、3 軸評価を行った。

CO_2 排出量は、システム製造段階、使用段階の CO_2 排出量に LIME2 による統合化係数をかけて金額化した。出張に伴う移動の CO_2 排出量削減は、移動距離、使用人数、原単位、使用頻度、統合化係数をかけて算出した。経済性は、購入•設置費用、電力料金、出張費用の削減について算出した。社会的価値は、自由時間の増加について、移動時間、使用頻度、人数に労働賃金をかけて金額化した。出張中の事故の削減は、事故に遭う確率、死傷者一人あたりの鉄道事故の影響額、人数、使用年数をかけて算出した[4)]。地震

対策による経済損失の削減は、地震による一社あたり損失額[11]、TV 会議で被害回避できる業務の割合[12]、導入規模[13]、地震が起こる確率[14]により算出した。

クラウドシステム、スマートウォッチについて各推察結果を適用し、環境•経済•社会的価値を算定した。

6.算定結果

各 ICT の算定結果を図 2 に示す。

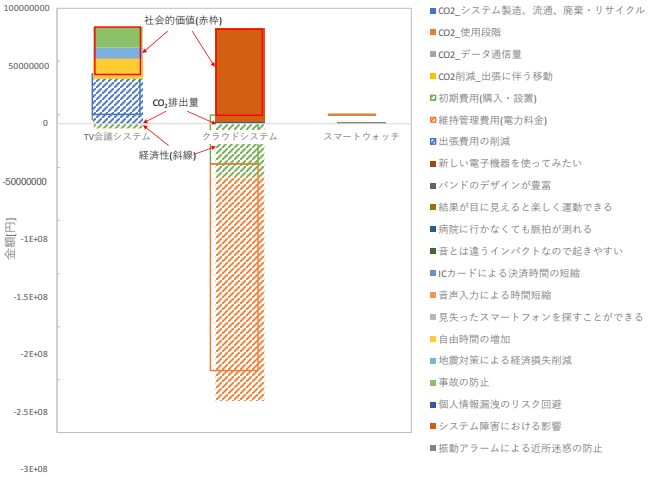


図 2 各 ICT の環境•経済•社会的価値

各 ICT に共通して、CO_2 排出量が経済性、社会的価値と比べて非常に小さいことがわかった。これは、炭素価格(2.3 円/kg- CO_2)が安すぎることが考えられる。

TV 会議システムは、出張に伴う移動のコスト削減、自由時間の増加[4]、地震対策による経済損失の削減が期待できることがわかった。クラウドシステムは、システム障害における影響の回避が期待できることがわかった[5]。スマートウォッチは他 ICT と比べてスケールが小さいため、算定結果を図 3 に示す。

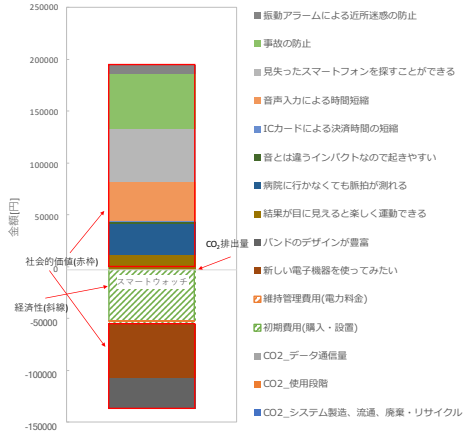


図 3 スマートウォッチの環境•経済•社会的価値

スマートウォッチは、購入費用、新しい電子機器への期待が大きいが、「ながら運転」による事故の防止、スマートフォンを探す手間や入力時間の削減が期待できることがわかった。一方、「トラブルの回避」振動アラームによる近所迷惑の防止では、事故防止等と比較すると影響が小さいことがわかった。これは、音が睡眠の妨げになる割合が、他の要因と比べて小さいためだと考えられる。(図 4)

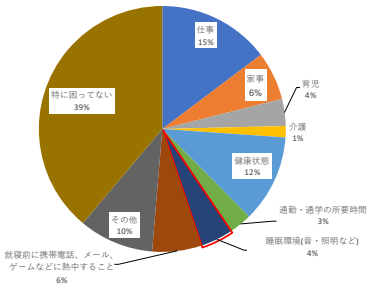


図 4 睡眠の妨げになっている要因[15]

7.まとめ及び今後の課題

各 ICT に共通して、3 軸評価の中で炭素価格が安すぎることと、社会的価値は事例によって異なることが言える。そのため、効果を集約できるかどうか計算し、算定事例を重ねる必要がある。ICT の 3 軸による評価方法の確立するために、社会的価値を含めた削減費用による評価を行うことで、ICT が普及する要因を明らかにする必要があるため、今後検討していく。

引用文献

1)総務省,"平成 22 年　情報通信白書",pp91-92
2)総務省,"平成 29 年　情報通信白書",p225
3)伊坪徳宏(2010),"LIME2-意思決定を支援する環境影響評価手法-",社団法人産業環境管理協会.
4)池田圭甫,稲葉敦,並河治,前川均,細渕良之,"第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集",pp418-419
5)近藤優貴,稲葉敦,並河治,前川均,諸星勝,"第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集",pp384-385
6)武田明日花,稲葉敦,並河治,前川均,"第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集",pp386-387
7)キーマンズネット"遠隔会議システムの導入状況",<http://www.keyman.or.jp/at/30007491/>(2017.12.5 確認)
8)JCBB 株式会社,<https://orenocloud.tokyo/cloudinfo/useful/Cloud-BCP.html>(2017.12.5 確認)
9)総務省,"通信利用動向調査(企業編)の概要",pp35-36
10)(株)シード•プランニング"ウェアラブル市場の普及と展望. 2014-2015 第 2 巻(市場動向編)",pp29-58,81
11)古橋隆行ほか"IR 情報に基づく東日本大震災が東証一部上場企業に与えた被害の分析",p5
12)足利銀行,"「東日本大震災の影響調査」について",p6
13)独立行政法人労働政策研究•研修機構,"「イノベーションへの対応状況調査」【企業調査】-「イノベーションへの対応に向けた働き方のあり方等に関する調査」【労働者調査】",p11
14)国立研究開発法人 防災科学技術研究所「J-SHIS Map」より新宿区西新宿 1 丁目のデータを参照.<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>(2017.12.15 確認)
15) 厚生労働省,"H27 年度　国民健康•栄養調査　報告書」結果の概要",p42 より作成

Supporting Information

表 S1　調査した ICT･ソリューション(64 製品)一覧

1	スマートフォン	9	農業情報管理システム GeoMation Farm	17	リシテア　人材育成支援システム構築ソリューション	25	工程管理支援基本システム HITPOP/NT	33	在宅勤務向けシンクライアントサービス	41	電子通知書システム MillReport	49	ファイアウォールログ解析・レポート作成ツール	57	Hitachi Virtual File Platform
2	携帯電話	10	連結納税パッケージ C-Taxconductor	18	健診システム　ヘルセアネオ	26	工業計測用記録紙管理システム　長物屋	34	日本語DoMobile CSE	42	文章電子化サービス	50	LANシステム設備運用管理システム NetInsightII	58	Web対応ワークフローシステム
3	タブレット端末	11	企業間ビジネスメディアサービス TWX-21	19	Hi-PerBT Advanced　図面管理	27	製造・流通業向け基幹業務ソリューション FutureStage	35	電子自治体ソリューション　e-ADWORLD2	43	ADWORLD　介護保険訪問調査管理システム	51	管理者・オペレータ向けDBメンテナンス業務支援ツール MasterInfinity	59	ネットで百科
4	Apple Watch	12	決済照合ゲートウェイシステム	20	Hi-PerBT Advanced BOM 設計部品表	28	統合物流管理システム　HITLUSTER	36	ADWORLD 文書管理システム	44	農業情報管理システム	52	リスク分析 NETALM/AL	60	SOA/BPM
5	TV電話会議	13	地銀共同情報系ソリューション	21	Hi-PerBT Advanced PLAN	29	在庫型／通過型物流センター管理システム(WMS)構築	37	自治体向け介護保険事務支援システム (ライフパートナー／P)	45	GeoMation　地理情報システム	53	ITシステム障害原因分析パッケージ RevenueMax Ecsia	61	SaaSWare synchroMax
6	指静脈認証	14	ADWORLD　日立総合財務会計システム	22	設計・製造向け工程管理システム SynViz/DP	30	原価管理パッケージ CostACC	38	ADWORLD　総合福祉システム	46	統合システム運用管理　JP1	54	ハイセキュリティ紙資源循環システム	62	コーポレートサーバー　PALNET/SC
7	クラウドシステム	15	日立総合総務支援システム	23	NXAUTO　日立自動車製造工程管理システム	31	チェーンストア総合情報システム RetailConnection	39	電子収納ソリューション	47	コンテンツ運用支援ソリューション MEANS/BASE	55	電子透かしプリントソリューション Secure Unify / e-紙紋II	63	運用操作支援ツール Ioperation
8	コンビニ交付対応システム CommunityStation	16	レセプト債権管理システム ASP	24	日立統合製造管理ソリューション ProductNEO	32	ポータブルセキュアクライアント μVNC	40	ADWORLD 統合認証基盤システム	48	環境情報管理SaaSサービス EcoAssist-Enterprise-Light	56	SaaS型 EcoAssist-Enterprise-Light	64	VR

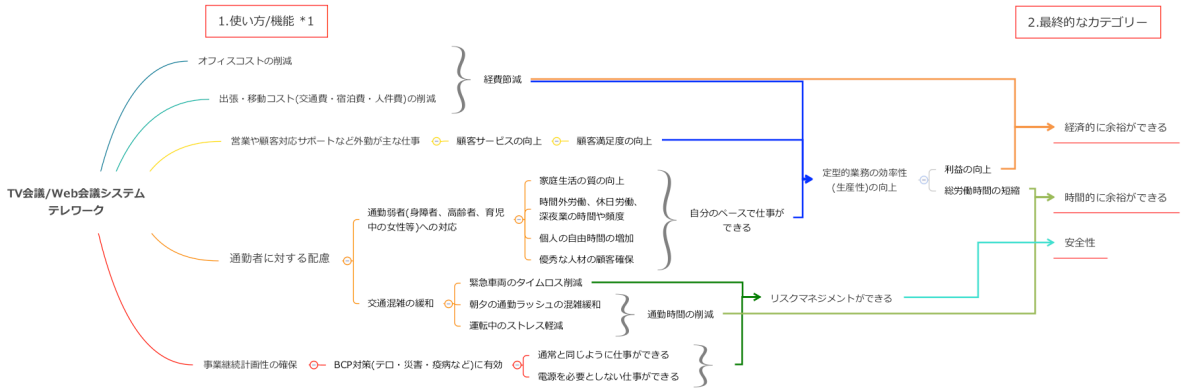


図 S2 TV 会議システムの社会的価値の推察

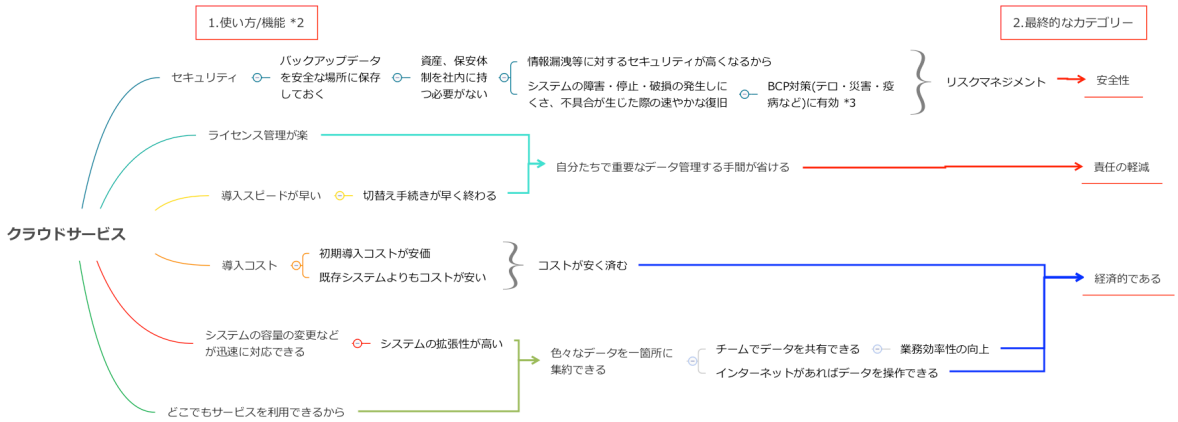


図 S3　クラウドシステムの社会的価値の推察

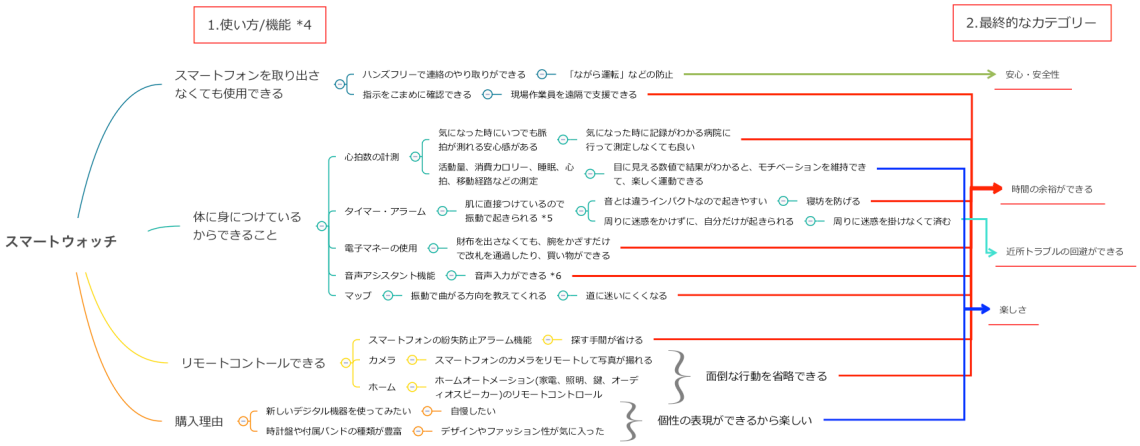


図 S4　スマートウォッチの社会的価値の推察

*1 キーマンズネット「遠隔会議システムの導入状況（2014 年）」
http://www.keyman.or.jp/at/30007491/（2017.12.5 確認）
*2 総務省「通信利用動向調査(企業編)の概要」pp35-36
*3 JCBB 株式会社「BCP 対策にはクラウドを活用する絶好のチャンス」
https://orenocloud.tokyo/cloudinfo/useful/Cloud-BCP.html （2017.12.5 確認）
*4 （株）シード・プランニング「ウェアラブル市場の普及と展望，2014-2015 第 2 巻（市場動向編）」pp29-32、55-58、81
*5 Customer Success「Apple Watch でウェアラブル市場が本格化　ビッグデータが身近に」
https://www.salesforce.com/jp/blog/2015/04/applewatch-bigdata.html（2017.12.5 確認）
*6 ITmedia エンタープライズ「Apple Watch が医療の質を向上させる（1/2）」
http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1611/09/news039.html（2017.12.5 確認）

P2-002

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

削減貢献量を考慮した企業活動における温室効果ガス削減戦略に関する基礎的検討

Fundamental Investigation on greenhouse gas reduction strategy in corporate activities considering contribution to avoided emissions

○内藤雄斗[*1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]、島田幸司[1)]

Yuto Naito, Naoki Yoshikawa, Koji Amano, Koji Shimada

1)　立命館大学

[*]rv0046kf@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

現在、地球温暖化緩和のために、各企業では、グリーンバリューチェーンの実現に向けた取り組みが行われている。現状において、サプライチェーン排出量を構成している Scope1～3 を通じた削減貢献量の評価手法は提案されているものの、企業の温室効果ガス削減戦略においては Scope1、2 のみが考慮され、Scope3 にかかわる情報は活用されていない状況にある。そこで、貢献量評価を長期削減目標の設定に取り入れるための方法論構築に向け、長期目標を達成しながらより多くのサプライチェーン排出削減に貢献するためのシナリオを検討する。

2. 方法

2.1　研究概要

本研究では化学製品製造業の A 社を対象として排出削減シナリオの検討を行う。まず、A 社が排出する温室効果ガス排出量の情報に基づき、平均気温 2℃上昇の目標と整合的な企業の削減目標である SBT(Science Based Target)指標[1)]の方法論に従い、将来の排出削減目標を設定する。さらに、A 社が製造する炭素繊維強化プラスチック(CFRP)用樹脂に着目し、航空機機体への CFRP 使用による A 社の削減貢献量を算出する。そして、SBT 指標に基づき算出した目標に整合させるために再生可能エネルギーを導入することを想定する。最終的に SBT 指標に基づく目標値を達成しながらより多くの削減貢献量を得ることができるシナリオを検討する。

2.2 削減貢献量の推定

参考文献[2)]から CFRP 製造時に用いられる樹脂の GHG 排出量を(1)式より算定した。

$$R_{GHG}=E_{GHG}\times P \quad \cdots(1)$$

ここで、R_{GHG}: 樹脂の GHG 排出量(t)、E_{GHG}: 炭素繊維製造時の GHG 排出量(t)、P:CFRP 中の対象樹脂割合(=0.40)とする。

次に、航空機の予想製造機数、CFRP における製造予測を参考文献[3)]から表 1 のように設定した。ここで、現在予測されていない 2030 年以降の数値に関しては、2030 年と同数の生産で推移すると仮定した[4)]。

表 1 航空機製造予測及び炭素繊維製造量予測

年	2020	2030	2040	2050
予想機数	900	1708	1708	1708
生産量(t)	18,000	34,159	34,159	34,159

炭素繊維に用いられた樹脂における削減貢献量を参考文献[3)]より(2)式で算出する。

$$CR = CP \times P \quad \cdots(2)$$

ここで、CR:樹脂における削減貢献量(t/機・年)、CP:飛行機一機あたりにおける削減貢献量(t/機・年)とする。ここで算出した値を積み上げ、A 社の樹脂における累積削減貢献量を算出した。同様に、A 社の樹脂のシェアが 2 倍になるシナリオを仮定し(2)式を用いて算定を行った。

2.3 温室効果ガス排出削減目標

SBT 指標に基づく A 社の削減目標は、「総量削減モデル」を用いて決定する。これは、「企業における GHG 総排出量が一定の割合で減少する」というシナリオに基づくものである。今回は、基準年から年率で 2.1%の一定の割合で減少するとし(3)式にて算出を行った。

$$E_t=E_{(t-1)}\times(100-P_{decrease})/100 \quad \cdots(3)$$

ここで、E_t:ある年における総排出量(万 t)、$E_{(t-1)}$:ある年の前年の総排出量(万 t)、$P_{decrease}$:減少割合(=2.1%)とする。

2.4 再生可能エネルギーの導入必要量

対象樹脂の生産により Scope1、2 の排出量が増加するため、SBT 指標で算出した目標値に整合させるために再生可能エネルギーである太陽光発電を導入することを想定する。参考文献[5)]から太陽光発電を導入する際のコスト、削減量から(4)、(5)式より導入量を決定する。

$$RA=NS\times RA_1 \quad \cdots(4)$$

ここで、RA:年間削減量(年・kW/t)、NS:導入数(kW)、RA_1:太陽光パネル 1kW における年間削減量(年/t)とする。

$$TC=\Sigma(NS_t\times C_t) \quad \cdots(5)$$

ここで、TC:太陽光発電にかかるトータルコスト(万円・kW)、NS_t:t 年における導入数(kW)、C_t:t 年における太陽光パネル 1kW あたりのコスト(万円)とする。

3. 結果

航空機 1 機あたりの GHG 排出量を従来製品および、CFRP 製品で比較した結果が図 1 である。従来製品よりも、ライフサイクル全体で 27(kt-CO_2/機・10 年)の削減効果があるという結果が得られた。ここから得られる樹脂における削減貢献量を年換算し、基準年である 2010 年から積み上げることで表した結果を図 2 に示す。

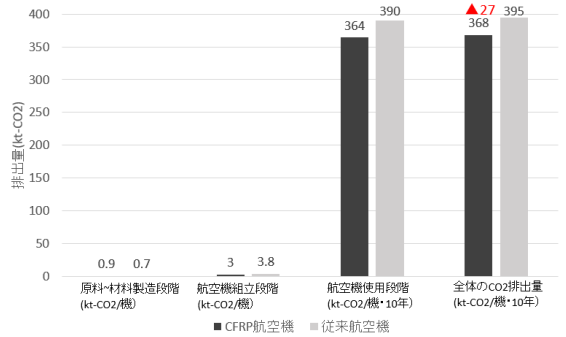


図 1 航空機 1 機あたりの CO_2 排出量

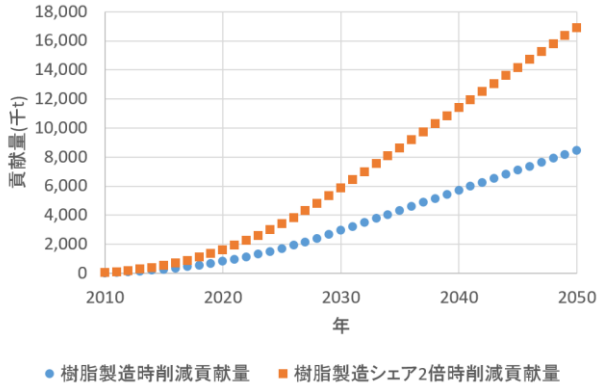


図 2 CFRP 用樹脂における累積削減貢献量

CFRP 製品の使用量増加に伴い樹脂における削減貢献量も増加し、製造機数が増える 2021 年以降はその貢献量の伸びも大きくなる。早期の段階で、従来の製品から CFRP 製品へ使用を変更していくことによって、この削減貢献量はより大きくなる。対象樹脂の増産による Scope1、2 の排出量増加に対し、追加的な削減対策が必要となるが、より多くの貢献量を得ることができるため、初期の段階で製造量を増加させる方がより良いと考えられる。

設定した GHG 排出削減シナリオの結果を図 3 に示す。ここでは対象樹脂の生産分は除外して考えている。

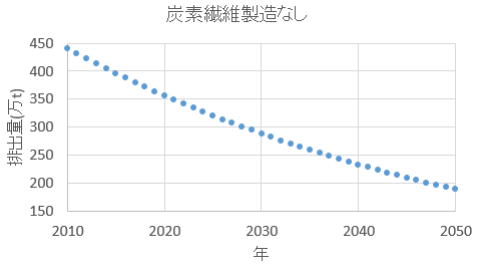


図 3 GHG 排出削減シナリオ

図 3 のシナリオから追加的に炭素繊維の製造が行われた場合と、さらにその製造シェアが 2 倍になった際の A 社の GHG 排出量の差を表 2 に示す。この差を相殺するために必要な太陽光発電導入量の推計結果が表 3・表 4 である。排出量の差を 2020 年、2030 年に太陽光発電を導入し、図 3 のシナリオと整合させたケースと、コストの低下する 2030 年に太陽光を導入し、累積 GHG 排出量のみを目標値に整合させるケースの 2 通りを想定し算出した。

コスト面から考慮すると、2030 年に導入することで同規模の削減効果をより低コストで実現することが可能であることが分かった。

表 2　炭素繊維製増加に伴う GHG 排出量の変化

	累積差(t)
製造無し(t)	
製造あり(t)	855,373
製造あり(t) (シェア2倍)	1,710,747

表 3　太陽光発電導入必要量
（削減シナリオ整合ケース）

製造あり	2020	2030	2040	2050	コスト（万円）
導入量(kW)	57,543	79,784	79,784	79,784	1,373,266
累積GHG削減量(t)	21,867	248,991	552,182	855,373	
シェア2倍	2020	2030	2040	2050	コスト（万円）
導入量(kW)	115,085	159,568	159,568	159,568	2,746,531
累積GHG削減量(t)	43,734	497,981	1,104,364	1,710,747	

表 4　太陽光発電導入必要量
（累積排出量整合ケース）

製造あり	2020	2030	2040	2050	コスト（万円）
導入量(kW)	0	107,185	107,185	107,185	1,071,851
累積GHG削減量(t)	0	40,732	448,053	855,373	
シェア2倍	2020	2030	2040	2050	コスト（万円）
導入量(kW)	0	214,370	214,370	214,370	2,143,703
累積GHG削減量(t)	0	81,464	896,106	1,710,747	

4. まとめ

本研究ではサプライチェーン排出量の削減に貢献する製品を製造する企業を対象として、SBT 指標と可能な限り整合しつつより多くの削減貢献が可能な GHG 削減シナリオを検討した。航空機の機体に用いられる CFRP における樹脂の生産量の予測に基づき、将来の GHG 排出量および、削減貢献量を算定するとともに、増加する排出量をオフセットするために必要な太陽光発電の導入量を推計した。シェアを 2 倍にするために生産を行うことで、従来シナリオより多くの削減貢献量を得ることができる。

一方、太陽光発電の導入時期についても、SBT に基づき途中年度の削減目標に整合するよう導入するよりも、コストが低下した時期に導入することでコストを抑えながら排出量を削減することが可能であることが示唆された。累積 GHG 排出量の目標を達成しつつより多くの削減貢献量を生むことが可能なため、望ましいシナリオであると考えられた。

謝辞

本研究にあたりヒアリングに協力いただいた A 社に謝意を表します。

参考文献

1) SCIENCE BASED TARGETS: “SCIENCE BASED TARGETS”,入手先 <http://sciencebasedtargets.org/>,(参照 2017-5)
2) Das S: Int J LCA, 16, (2011), pp268–282
3) 日本化学工業協会:“温室効果ガス 削減に向けた 新たな視点”(2011)
4) 日本経済新聞 “富士経済、炭素繊維複合材料の世界市場調査結果を発表”
5) 資源エネルギー庁, “電源種別(太陽光・風力)のコスト動向等について” (2016)

P2-004

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

電気機器メーカーの環境マネジメント比較分析

Comparative analysis of environmental management among electrical equipment manufacturers

○前野啓太郎　加河茂美　高藪広隆

Keitaro Maeno, Shigemi Kagawa, Hirotaka Takayabu

1) 九州大学　経済学部

mkkmagc173@gmail.com

1.　研究背景・目的

近年、地球温暖化問題が深刻化している。このような状況の下、パリ協定をはじめとした地球温暖化問題に対する動きが世界的に広がりつつあり、日本も今後より一層環境規制を進めていく必要がある。

2015 年における日本の CO_2 排出量は約 12 億 2800 万ｔであり、そのうちの製造業の排出量は約 4 億 1000 万ｔと約 33%を占める。本研究ではその中でも約 5400 万ｔと鉄鋼、化学工業に次いで多く CO_2 を排出している機械工業に着目し、電気機器メーカー50 社が経営活動と環境活動をどのように両立しているのか、また、各企業間の環境マネジメントの差異を比較・分析し考察を行う。

2.　分析手法・データ

2.1　分析手法

2016 年における日本の電気機器メーカーの売上上位 50 位までの各企業の売上、売上の事業(セグメント)別構成比、Scope1, 2 CO_2 排出量、Scope3 まで含めた CO_2 排出量、環境対策費、環境対策費に占める研究開発費などの要素を調べ、集めたデータの比較や、売上÷Scope1, 2, 3 から算出される値などのデータを計算することで各社の環境マネジメントについて比較・分析を行う。

また、各企業の売上のセグメント別構成比を考慮した分析をポスター発表で行う予定である。

2.2　データ

分析対象の企業 50 社の環境・CSR レポート、有価証券報告書などからデータを収集した。表 1 に分析対象とした企業の一覧を、表 2 に入手したデータとその入手元を示す。

表 1.　分析対象企業リスト

売上順位	企業名	売上順位	企業名	売上順位	企業名
1	日立製作所	21	オムロン	41	イビデン
2	ソニー	22	ブラザー工業	42	富士通ゼネラル
3	パナソニック	23	ミネベアミツミ	43	アズビル
4	東芝	24	ファナック	44	シスメックス
5	三菱電機	25	日清紡ホールディングス	45	アルパイン
6	富士通	26	東芝テック	46	アルバック
7	キヤノン	27	ルネサスエレクトロニクス	47	太陽誘電
8	日本電気	28	沖電気工業	48	明電舎
9	シャープ	29	アルプス電気	49	日本航空電子工業
10	リコー	30	安川電機	50	クラリオン
11	京セラ	31	横河電機		
12	日本電産	32	スタンレー電気		
13	TDK	33	バイオニア		
14	村田製作所	34	GSユアサ コーポレーション		
15	セイコーエプソン	35	ローム		
16	コニカミノルタ	36	ミツバ		
17	ジャパンディスプレイ	37	カシオ計算機		
18	小糸製作所	38	キーエンス		
19	富士電機	39	SCREENホールディングス		
20	東京エレクトロン	40	JVCケンウッド		

表 2.　データ情報

データ	入手元
売上	有価証券報告書
CO_2 排出量	環境・CSR報告書など
環境対策費	環境・CSR報告書など
研究開発費	環境・CSR報告書など

3.　結果・考察

日本の電気機器メーカー売上上位 50 社に関して上記のようなデータを収集し、いくつかの角度から比較分析を行った。

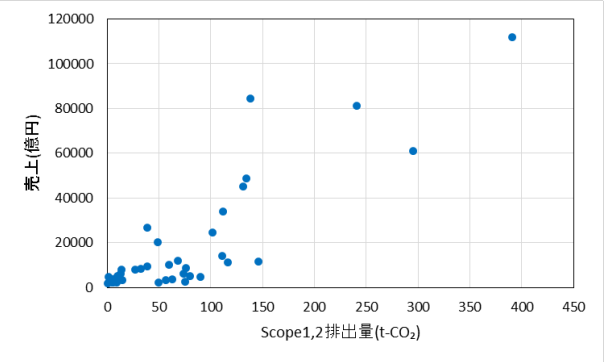


図 1.　Scope1, 2 排出量と売上の関係

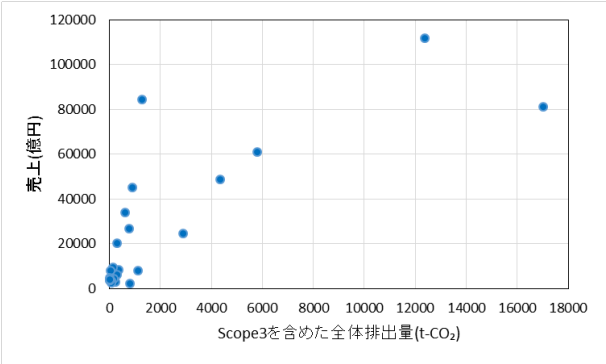


図 2.　Scope3 まで含めた全体排出量と売上の関係

Scope 1, 2, 3 CO_2排出量と売上の関係を図 1, 2 に示す。図 1 から、Scope1, 2 排出量のみで見ると排出量の多い企業ほど売上も大きくなる傾向が見られるが、図 2 を見ると、Scope3 も含めた全体排出量で見ると企業によって大きく違いが見られた。

次に、各企業の CO_2排出量あたりの売上の大きさの値を見る。表 3 に、各企業の CO_2排出量あたりの売上の大きい上位 10 社を示す。

表 3.　Scope1, 2, 3 まで含めた全体排出量当たりの売上

企業名	売上/Scope1,2	企業名	売上/Scope3
東芝テック	3554.4	安川電機	840.0
クラリオン	2435.5	パイオニア	429.6
シスメックス	1387.8	スタンレー電気	363.1
安川電機	1361.4	東芝テック	248.8
アズビル	1274.1	東京エレクトロン	191.8
カシオ計算機	868.1	コニカミノルタ	71.7
スタンレー電気	693.9	リコー	70.5
日本電気	686.9	ソニー	66.5
ソニー	612.1	キヤノン	54.8
JVCケンウッド	573.0	富士通	49.9

表 3 から、Scope1, 2 に関する上位 10 社と Scope 3 まで含めたものに関する上位 10 社が異なることが分かる。図 2 と表 3 で見られた違いは各企業の売上の製品別割合の違いから生まれるものであると考えられる。例えば東芝テックの主な売上はシステムサービスなどの CO_2排出量が小さなもので構成されているため Scope1, 2, 3 から見るこの値がともに大きくなっていると考えられる。またアズビルやカシオ計算機など Scope1, 2 当たりの売上の値は大きいが全体排出量当たりの売上の値が大きくなくなるという企業は、開発・製造過程ではあまり CO_2を排出しないが、物流、販売や使用などで CO_2を排出していることが考えられる。

続いて、各企業の環境対策費と CO_2排出量の関係を図 3 に示す。

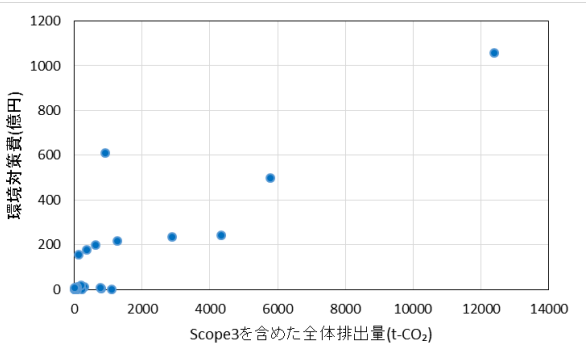


図 3.　Scope3 まで含めた全体排出量と環境対策費の関係

図 3 から、Scope1, 2, 3 排出量と環境対策費で見ると、排出量の多い企業ほど環境対策費も多い傾向が見られる。以上のことから企業の CO_2排出量は環境対策費が大きいほど小さくなるというわけではなく、企業は CO_2排出量が多いため、環境対策に費用を投じているということが考えられる。

本会では、以上に述べたような比較・分析結果に加えて、企業のセグメント別の売上データなどをもちいて、より詳細な企業の環境マネジメントの比較・分析を行う予定である。

4.　参考文献

・各社、有価証券報告書
・各社、環境・CSR 報告書
・各社、ホームページ
・国立環境研究所（2015）、温室効果ガスインベントリオフィス、日本の温室効果ガス排出量データ

P2-006
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3月）

木質バイオマスの熱利用を想定した事業に対する住民意識の評価

Evaluation of Residents' Awareness Against Assumed Business Operations Utilizing Heat Energy Derived from Woody Biomass

中原由佳 [1)]、○田畑智博*[1)]
Yuka Nakahara, Tomohiro Tabata
1) 神戸大学
* tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

近年、地方創生の一環として木質バイオマスの発電利用が全国的に進んでいる。これは間伐材や林地残材などの地域に存在する資源を地産地消することによる関連産業の活性化を狙ったものである。しかし、実際には原料調達を海外に頼っている事例が多く、再生可能エネルギーの利点である地産地消が十分に生かされていない。また、木質バイオマス発電の場合、電力は既存電源で生産された電力と混合されるため、地域住民が生産された電力の恩恵を感じる機会は少ない。

田畑 [1)]は、六甲山で収穫された森林資源(人工林・タケ)を熱として地産地消する事業を創出した場合に、地域住民の六甲山に対する愛着や親近感を高めることが可能かどうかを検討している。この前段階として、六甲山系の間伐材・タケのエネルギー賦存量を推計している。本研究では、地産地消の一環として、木質バイオマスから生産した熱を利用する温浴施設の建設を想定することに対する神戸市民の意向や意識などを、CVM(仮想的市場評価法)などの方法を用いて評価することを目的とする。

事例地域である六甲山は、宝塚市から神戸市垂水区まで、東西約 30km に連なる山系である。六甲山の植生は、自然林(ブナ、アカマツなど)、二次林(ウバメガシ、コナラなど)、人工林(スギ、ヒノキなど)で構成されている。

2. 研究の方法

マクロミル(株)への依頼のもと、神戸市在住の 20 歳以上のモニター522 名を対象にウェブでのアンケート調査を実施した。調査期間は 2017 年 12 月 12 日～13 日であり、本調査に先立ちプレテストを 2 回実施した。

質問は表1に示すように、大きく 5 項目に分類した。(2)については、CVM による WTP(支払意思額)の算出を想定して、六甲山の間伐材を利用する温浴施設の利用意向について、二項選択方式で負担額をたずねた。

調査結果の分析方法として、先ず、(2)以外について、記述統計による分析を実施した。続いて、(3)について(a)～(f)の各項目で主成分分析を実施し、合成変数の導出を試みた。使用したソフトは、エクセル統計(BellCurve for Excel)である。(2)については、対数線形ロジットモデルを用いて WTP を算出した [2)]。使用したソフトは、Excel でできる CVM である [3)]。また、回答者の基本属性や意識などが WTP に及ぼす影響を考察するため、フルモデル分析を実施した [4)]。

3. 結果と考察

3.1 アンケート調査の結果

表 2 に、主な質問に対する回答結果を示す。このうち、六甲山の訪問頻度は、訪問しなかった層の方が約 55%と最も多く、次いで年数回の層(約 40%)であった。

表 1　質問の概要

(1)基本属性	性別、年齢、未既婚、世帯年収、居住している建物について(種別、建築時期、居住年数など)、職業、最終学歴、六甲山の訪問頻度(1:毎日、2:週数回、3:月数回、4:年数回、5:訪問しなかった)など
(2)間伐材の熱利用	仮に、六甲山で間伐された木材を使って温泉を加温する設備を備えた日帰り温泉施設が、六甲山のふもとに建設されると想像してください。(中略)この温泉施設の温泉利用料金は、大人一人あたり800円です。この温泉施設では、通常の温泉利用料金に、六甲山の森の育成を支援するための負担金が「大人一人あたり200円」上乗せされることになりました。このとき、あなたは温泉施設を利用するために負担金を支払ってもよいと考えますか。 ・・・はい、いいえ　※「はい」の場合は300円に、「いいえ」の場合は100円にして、再度たずねる
(3)意識	(a)環境、(b)地域、(c)自分自身、(d)防災、(e)森林、(f)六甲山について(具体的な質問は表3) ・・・1:大変そう思う、2:ややそう思う、3:どちらともいえない、4:あまりそう思わない、5:全くそうは思わない
(4)活動への参加	自治会・町内会・老人会・婦人会、ボランティア団体、宗教団体、仕事仲間のグループなど ・・・1:現在参加している、2:過去にしたことがある、3: したいと思うがしていない、4:したくない/関心がない
(5)知識	間伐材を用いた発電・熱供給、六甲森林整備戦略、森林環境税など ・・・1:聞いたことがあり、よく知っている、2:聞いたことがあるが、意味は知らない、3:聞いたことがない

表 2　主な質問に対する回答結果

(1)基本属性			(2)間伐材の熱利用		
性別	男性	46.4%	負担金200円	はい	63.6%
	女性	53.6%		いいえ	36.4%
年齢階級	20-24	5.0%	負担金300円(200円	はい	57.2%
	25-29	8.6%	ではいと答えた場合)	いいえ	42.8%
	30-34	8.0%	負担金100円(200円	はい	42.6%
	35-39	9.2%	でいいえと答えた場	いいえ	57.4%
	40-44	8.4%	(4)活動への参加*1		
	45-49	7.9%	自治会・町内会・老	1	22.4%
	50-54	8.6%	人会・婦人会	2	20.3%
	55-59	6.7%		3	19.2%
	60+	37.5%		4	38.1%
世帯年収[万円]	-200	7.1%	仕事仲間のグループ	1	17.4%
	200-400	23.0%		2	19.9%
	400-600	19.3%		3	22.0%
	600-800	12.6%		4	40.6%
	800-1000	8.0%	(5)知識*2		
	1000-1200	3.3%	間伐材を用いた発電	1	11.7%
	1200-1500	1.3%		2	23.4%
	1500-2000	0.8%		3	64.9%
	2000+	0.6%	間伐材を用いた熱供	1	12.6%
	わからない/無回答	23.9%	給(給湯、冷暖房)	2	25.9%
六甲山の訪問頻度(過去1年間)	毎日	0.4%		3	61.5%
	週数回	1.1%	森林環境税	1	8.6%
	月数回	3.3%		2	28.5%
	年数回	40.2%		3	62.8%
	訪問しなかった	55.0%			

*1: 1:現在参加している、2:過去にしたことがある、3: したいと思うがしていない、4:したくない/関心がない
*2: 1:聞いたことがあり、よく知っている、2:聞いたことがあるが、意味は知らない、3:聞いたことがない

表 3　主成分分析の結果

	質問	変数名1	主成分1	変数名2	主成分2
(a)環境	環境に配慮した製品やサービスを選ぶことは重要である	環境への関心	0.84		
	地域の人たちが協力して、その地域の環境保全活動に取り組むことは地域コミュニティの活性化にもつながるので重要である		0.84		
	行政が環境保全に関する施策を進めるに当たっては、施策を考える段階から、国民も積極的に参加できるようにする必要がある		0.81	−	−
	日常生活における一人ひとりの行動が、環境に大きな影響を及ぼしている		0.80		
	環境保全の取組みを進めることは、経済の発展につながる		0.77		
(b)地域	地域の皆と何かをすることで、自分の生活の豊かさを求めたい	地域への関心	0.84		
	地域活動（お祭り、イベントなど）に積極的に参加したい		0.80		
	地域の生活環境をよくするために、自分にできることがあればできるだけ協力したい		0.80	−	−
	今住んでいる地域の自然や景色に、誇りや愛着のようなものを感じている		0.77		
	今後も、今住んでいる地域に住み続けたい		0.59		
(c)自分自身	自分自身の生活に満足している	自分自身への関心	0.79		
	家計の状態はいい		0.77		
	健康状態はいい		0.70	−	−
	困ったときに、頼れる人が近くにいる		0.69		
	近所付き合いは多い方である		0.59		
(d)防災	災害が発生したときに、頼りになるのは家族、身の回りの知り合い、自治会・町内会である	公助・共助による防災	0.76	自助による防災	0.054
	災害が発生したときに、頼りになるのは行政やボランティアである		0.73		−0.17
	災害時、避難所までの避難経路を熟知している		0.70		−0.0083
	森林の整備・育成は、土砂災害の抑制や緩和のために重要である		0.67		0.44
	災害が発生したときに、頼りになるのは自分だけである		−0.23		0.92
(e)森林	地域の森林の保全や有効活用に関心がある	森林への関心	0.76		
	地域の森林は深刻な状況にある		0.76		
	市民団体による地域の森林保全活動は、地域の森林保全に有効である		0.75	−	−
	地域の森林荒廃に対して、自分にも責任がある		0.74		
	ボランティア活動やイベント企画による地域の森林保全活動への参加は、手間や時間がかかり面倒である		0.24		
(f)六甲山	六甲山の森林・植物は、地域活性化に貢献できる	六甲山への関心	0.84		
	六甲山の森林・植物の恵みを、六甲山ブランドとして活用することは重要である		0.82		
	六甲山の森林・植物の整備を担う人材の育成は、重要である		0.82	−	−
	六甲山は自然が豊かである		0.68		
	六甲山の森林・植物の保全や育成に係る費用は、地域住民が負担すべきである		0.55		

訪問者の目的は、余暇が最も多かった。(5)知識を問う質問では、表中に掲載した質問について、聞いたことがある層は約 35～38%であり、聞いたことがない層の方が多かった。神戸市の政策についても聞いたことがない層が大半を占めており、自治体による一層の普及啓発などが求められる結果となった。

表 3 に主成分分析の結果を示す。ここでは、(a)～(f)の各項目について主成分分析を行い、各項目で固有値 1 以上の主成分を抽出した。結果として、(d)以外の項目は 1 つ、(d)は公助・共助と自助に関する 2 つの主成分が抽出された。抽出結果を踏まえ、変数名を表 3 のように命名した。

3.2 六甲山の間伐材を用いた熱利用に対する WTP

表 2 の結果をもとに CVM を実施した結果、WTP は、中央値で 234 円、最大提示額で裾切りをすると 210 円と推計された。続いて、フルモデル分析を実施した結果として、p 値が 1%水準、5%水準、10%水準でそれぞれ有意となった変数の一部について、WTP への影響を算出した結果を表 4 に示す。結果のうち、六甲山への訪問頻度や関心、森林や六甲山に関する意識、森林環境税に対する知識が WTP に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

表 4　WTP に影響を及ぼす変数(一部抜粋)

項目		WTPに影響を及ぼす変数	WTPへの影響[円]
(1)基本属性		最終学歴	0.082−0.12
		六甲山の訪問頻度	0.11
(3)意識	合成変数	六甲山への関心	0.11
	(a)環境	環境保全の取組みを進めることは、経済の発展につながる	0.14−0.31
	(b)地域	地域の皆と何かをすることで、自分の生活の豊かさを求めたい	0.15
		今後も、今住んでいる地域に住み続けたい	0.09
	(c)自分自身	家計の状態はいい	0.11
	(d)防災	災害が発生したときに、頼りになるのは行政やボランティアである	0.16
		森林の整備・育成は、土砂災害の抑制や緩和のために重要である	0.19
	(e)森林	地域の森林の保全や有効活用に関心がある	0.16
		地域の森林荒廃に対して、自分にも責任がある	0.14
	(f)六甲山	六甲山の森林・植物の保全や育成に係る費用は、地域住民が負担すべきである	0.15−0.27
		六甲山の森林・植物の恵みを、六甲山ブランドとして活用することは重要である	0.18
(4)活動参加		仕事仲間のグループ	0.10
(5)知識		森林環境税	0.13−0.24

4. おわりに

本研究では、仮想の温浴施設の建設に対する意識をアンケート調査でたずねている。そのため、実際に施設が建設された場合には、神戸市民の負担額などに対する意識は変わってくることが予想されるものの、おおよその傾向は掴めたものと考える。今後は、共分散構造分析などを用いて、負担額の回答がどのような基本属性や意識などから導かれているのかを明らかにする。また、調査対象者を神戸市以外の六甲山が存在する地域に広げること、六甲山の利用者に対しても負担額などに関する調査を行うことを予定している。

謝辞

本研究は、神戸大学大学院人間発達環境学研究科研究推進支援経費の助成のもと実施した。ここに記して謝意を表す。

引用文献

1) 田畑智博: 地域再生を志向した資源循環研究, 環境科学会 2017 年会予稿集, (2017), p.138
2) 栗山浩一, 柘植隆宏, 庄子 康: 初心者のための環境評価入門, 勁草書房, (2013), 287pp
3) 栗山浩一: Excel でできる CVM Version4.0, http://kkuri.eco.coocan.jp/
4) 鷲田豊明: 環境評価入門, 勁草書房, (2013), 340 pp

P2-007
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

木材チップ・ペレットの適正なエネルギー・マテリアル利用の検討

Analysis on appropriate energy or material use of wood chip and woody pellet

○大神正史*[1)]、橋本征二[1)]
Masashi Ogami, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0043ie@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

2012年に固定価格買取制度(以下、FIT)が導入されて以降、木質バイオマスのエネルギー利用は大きく増加してきた。このことは再生可能エネルギーの導入という意味では進展であるが、エネルギー利用の増加は、それまでに行われてきたマテリアル利用との競合をもたらし、木質バイオマスの効果的な利用に関する疑問も提示されるようになってきている[1)]。例えば、木質バイオマスはできるだけマテリアル利用してからエネルギー利用するカスケード型の利用に適しているが、エネルギー利用に対する需要の増加はそれを阻害しているとの見方がある。また、国産材をエネルギー利用した場合、マテリアル利用する輸入材が増加し、結果的に環境効率が悪くなるとの指摘もある。

木材のエネルギー利用、マテリアル利用それぞれについては、様々なLCA[2)-8)]が報告されているが、上述のような課題について検討した事例はないと考えられる。このようなことから、本研究では、現在エネルギー利用されている木材(木材チップ・ペレット)について、その適正なエネルギー・マテリアル利用について検討した。

2. 方法

2.1 エネルギー・マテリアル利用の簡易モデル

図1は木材チップとそのエネルギー・マテリアル利用のフローを模式的に示したものである。議論を簡単にするため、ここでは使用済みパーティクルボードの「再資源化木くず」からは「再資源化チップ(燃料用)」のみが生産されるとしているが、「再資源化チップ(原料用)」を含めても本検討において本質的な違いはない。x_iは物品iの生産量・利用量・廃棄量、rは使用済みパーティクルボードの再資源化率であり、以下の関係式が成り立つ。

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = x_5 + x_6 + x_7 \quad (1)$$

$$x_3 = x_9 \quad (2)$$

$$x_4 = x_7 r + x_{10} \quad (3)$$

$$x_8 = x_7(1 - r) \quad (4)$$

また、木材チップiの生産量のうち、エネルギー・マテリアルjで利用される量の比率をα_{ij}とすると、以下の関係式が成り立つ。

$$x_5 = \alpha_{15}x_1 + \alpha_{25}x_2 + \alpha_{35}x_3 + \alpha_{45}x_4 \quad (5)$$

$$x_6 = \alpha_{26}x_2 \quad (6)$$

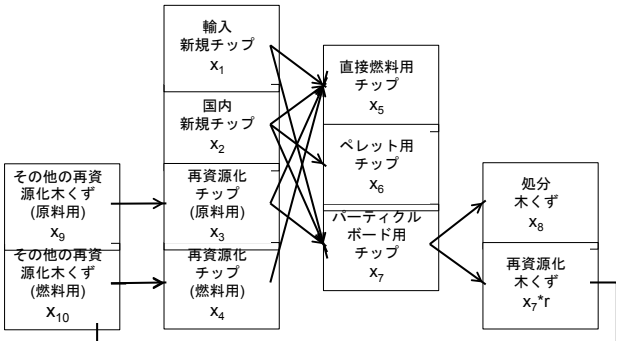


図1　木材チップとそのエネルギー・マテリアル利用の簡易モデル

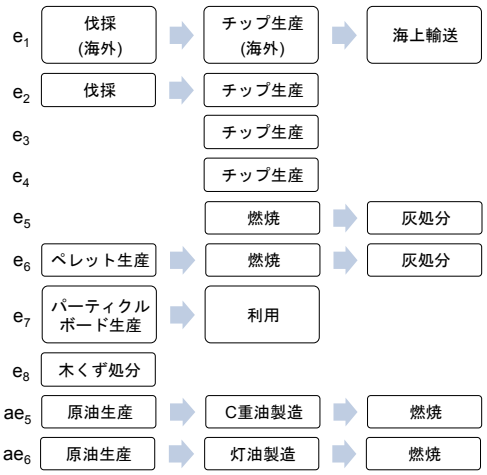


図2　CO_2排出係数の算定範囲

$$x_7 = \alpha_{17}x_1 + \alpha_{27}x_2 + \alpha_{37}x_3 \quad (7)$$

さらに、物品iを生産・利用・廃棄した際のCO_2排出係数をe_i、「直接燃料用チップ(x_5)」「ペレット用チップ(x_6)」の利用により回避できるCO_2排出係数をae_iとすると、このシステムのCO_2排出量(E)は下式で推計される。

$$E = \sum_{i=1}^{8} e_i x_i - \sum_{i=5}^{6} ae_i x_i \quad (8)$$

なお、本研究ではエネルギー利用増加の影響を検討することから、マテリアル利用により回避できたCO_2は簡単のため考慮しない。

2.2 CO_2排出係数の作成方法

各CO_2排出係数は、図2に示す範囲で作成した。計算には、LCA計算ソフトMiLCAを使用した。すなわち、インベントリ分析のバックグラウンドデータとしてMiLCA登載のLCI データベースIDEAver2を用いた。

e_1とe_2は新規チップの生産であり、両者の違いは海上輸送の有無である。また、e_3とe_4は用途の異なる再資源化チップであるが、生産工程は同じである。チップ生産のフォアグラントデータには文献6を用いた。e_5では、燃料利用後の灰処分のみを考慮し、e_6におけるペレット生産のフォアグラントデータには文献6を用いた。e_7は、パーティクルボードの生産と利用までの範囲であり、パーティクルボード生産のフォアグラントデータには文献8を用いた。e_8は、使用済みパーティクルボードの処分であり、焼却処理を想定した。ae_5、ae_6は、「直接燃料用チップ(x_5)」「ペレット用チップ(x_6)」の利用により回避できるCO_2排出係数であり、それぞれC重油、灯油の使用を回避できると想定した。

2.3　生産量・利用量のデータ

各物品iの生産量･利用量x_iは、各種統計より設定した。

3.　結果と考察

「直接燃料用チップ(x_5)」「ペレット用チップ(x_6)」「パーティクルボード用チップ(x_7)」としての利用量(需要量)を満たすような木材チップ量は、(1)(2)(3)式より下式で表される。

$$x_5 + x_6 + \overline{x_7} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4$$
$$= x_1 + x_2 + \overline{x_9} + \overline{x_7} * r + \overline{x_{10}} \quad (9)$$

上式では、「パーティクルボード用チップ」の利用量($\overline{x_7}$)、「その他の再資源化木くず(原料用)」「その他の再資源木くず(燃料用)」の廃棄量($\overline{x_9}$、$\overline{x_{10}}$)は一定として、各変数にオーバーラインを引いている。(9)式より、必要な木材チップ生産量は、新規チップの生産量($x_1 + x_2$)と使用済みパーティクルボードの再資源化率(r)の関数となる。

第１章で紹介した「エネルギー利用に対する需要の増加は、木質バイオマスのカスケード型利用を阻害する」との議論に関しては、(9)式のエネルギー利用量($x_5 + x_6$)の需要増加に対して、新規チップの生産量($x_1 + x_2$)の増加ないしは再資源化率(r)の増加で対応することになり、エネルギー利用の需要増加自体がカスケード型利用を阻害するとの指摘は適切ではないと考えられる。(9)式においてカスケード型利用を促進する変数はrであり、エネルギー利用に対する需要の増減に関わらず、木くずの再資源化を進めることが木質バイオマスのカスケード型利用を促進することになる。具体的な数量に基づく分析結果については学会当日報告する。

また、(8)式は(2)(3)(4)式を用いると下式で表される。

$$E = e_1x_1 + e_2x_2 + e_3\overline{x_9} + e_4(\overline{x_7} * r + \overline{x_{10}})$$
$$+(e_5 - ae_5)x_5 + (e_6 - ae_6)x_6$$
$$+e_7\overline{x_7} + e_8\overline{x_7}(1 - r) \quad (10)$$

第１章で紹介した「国産材をエネルギー利用した場合、マテリアル利用する輸入材が増加し、結果的に環境効率が悪くなる」との議論に関しては、上述のように、エネルギー利用量($x_5 + x_6$)の需要増加に対して、新規チップの生産量($x_1 + x_2$)の増加ないしは再資源化率(r)の増加で対応することになるため、再資源化率(r)が一定で「国内新規チップ」の生産量(x_1)が制約されれば「輸入新規チップ」の生産量(x_2)が増加することになる。具体的な数量に基づく分析結果については学会当日報告する。

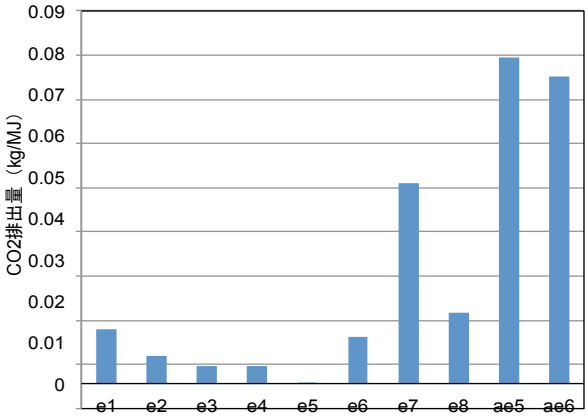


図 3.　作成した CO2 排出係数

作成した各 CO_2 排出係数は図 3 に示すとおりである。機能単位は全て木材チップ 1MJ あたりとしている。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3K163001)による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1)　国立国会調査及び立法考査局：再生可能エネルギーをめぐる諸相、2014
2)　森のエネルギー研究所：木質バイオマス LCA 評価事業報告書、2012
3)　一重喬一郎、服部順昭：製材残材のエネルギー利用における温室効果ガス排出量の評価、木材学会誌 57(2)、pp.63-71、2011
4)　古俣寛隆ら：木質バイオマス発電および熱電併給のライフサイクル環境影響と外部コストの評価、日本 LCA 学会誌、13(1)、pp.73-83、2017
5)　古俣寛隆ら：北海道産木質ペレットのライフサイクルアセスメントによる環境影響評価、木材学会誌、56(3)、p.139-148、2010
6)　長井翔太朗、橋本征二：木質ペレット利用促進による環境保全・地域活性化の効果検証、第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、p96-97、2016
7)　橋本征二ら：解体木くずリサイクルの環境面からの評価、土木学会論文集、No.643／VII-14、pp.37-48、2000
8)　寺島敏ら:パーティクルボードのインベントリ分析、第2回日本LCA学会研究発表会講演要旨集、p82-83、2006

P2-009
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

発展途上国における太陽光独立電源システムを対象とした環境影響評価

Evaluation of environmental impact by solar independent power supply system in developing countries

○倉原瑤子*[1)]　伊坪徳宏 [1)]　佐々木秀樹 [2)]
Yoko Kurahara[1)], Norihiro Itsubo[1)], Hideki Sasaki[2)]
1) 東京都市大学　環境学部　2)パナソニック株式会社
* g1462025@tcu.ac.jp

1. 背景

世界の無電化地域と呼ばれる電力の通っていない地域の人口は、約 13 億人存在し、全世界人口の約 20%を占めていると言われている。アフリカでは約 57%、アジアでは約 14%を占めている。こうした地域の人々は、電力源として、ケロシンランプ、薪やディーゼル発電機などを使用し、環境・健康面で問題が指摘されている。インドネシアでは、特にジャワ島以外の島を中心に経済成長とともに電力需要が急増するものと見込まれているが、発電設備や送電線の整備が追い付かず、既に電力不足が発生している。電力供給が不十分な状態が継続すると、経済、教育、労働等多くの社会的問題の顕在化につながり得ることが懸念される。
パナソニック株式会社では、太陽光パネルと蓄電池で構成される太陽光独立電源パッケージを開発した。無電化地域に安定した電力を供給するとともに、停電多発地域のバックアップ電源としての活用や、災害時における緊急電源としての活用など、様々な社会的課題の改善に貢献することが期待される。
しかし、途上国において独立電源を対象に LCA を行った研究は少ない。インドネシアを対象とした影響評価はバイオ由来の評価はあるが、太陽光パネルを対象としたものは少ない。

2. 研究目的

本研究では、パナソニック株式会社が開発した太陽光独立電源パッケージ「パワーサプライコンテナ」の環境影響評価を行う。エンジン発電機との比較を行う。

3. 方法

3.1 使用データ

太陽光独立電源システムは太陽光電池、鉛蓄電池、インバータ、制御盤、コンテナで構成されている。それぞれの投入量を公開資料から参照し、IDEA1 を搭載した MiLCA を使用した。比較対象としてのエンジン発電機は、東京都市大が開発した HSA 算定ツールを使用した。

3.2　評価対象

評価対象は、「パワーサプライコンテナ」と同じ出力 3kW あたりのエンジン発電機である。機能単位は、年間発電量 4,329kW あたりとする。
システム境界は「パワーサプライコンテナ」の LCA では、材料調達から輸送を除く廃棄段階までとした。エンジン発電機との比較では、材料調達から使用段階までとし、耐用年数は 15 年とした。

3.3 算定方法

IDEA2 (田原ら),廃棄物連関表(2011 年、近藤ら)のインベントリデータベースを使用し、特性化、統合化は環境影響評価手法である LIME(Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling)2 を用いて評価を行った。算定式を以下の式 1,2,3 に示す。

インベントリ＝Σ（活動量×原単位）（式 1）
特性化=Σ（活動量×原単位×特性化係数）（式 2）
統合化＝Σ（活動量×原単位×統合化係数）（式 3）

4. 結果

4.1 統合化結果

下記に太陽光独立電源の統合化結果を示す。

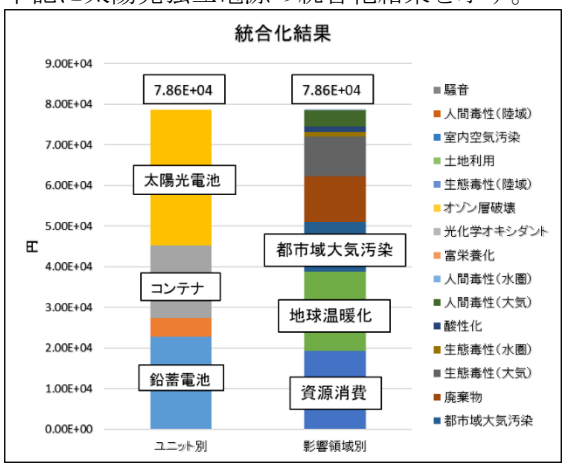


図 1:太陽光独立電源システムの統合化結果

統合化結果は約 8 万円となった。その内訳は、資源消費・気候変動が高い結果となった。資源消費では、鉛蓄電池の鉛による寄与が大きかった。気候変動では、太陽電池の材料調達の寄与が大きかった。3 番目に都市域大気汚染が高い結果となった。

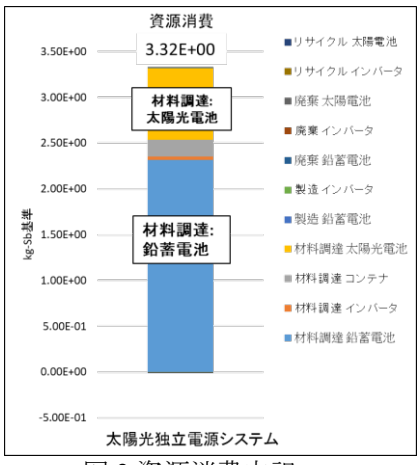


図 2:資源消費内訳

資源消費の材料調達段階は鉛蓄電池の影響が最も高い結果となった。鉛蓄極板に使用される鉛が寄与していると考えられる。

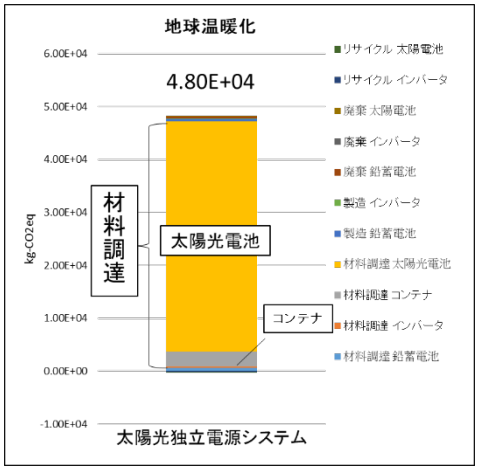


図 3:気候変動評価結果の内訳

地球温暖化は太陽光電池の製造における影響が大半を占めた。単結晶 Si ウェーハの製造時の電力が影響している。

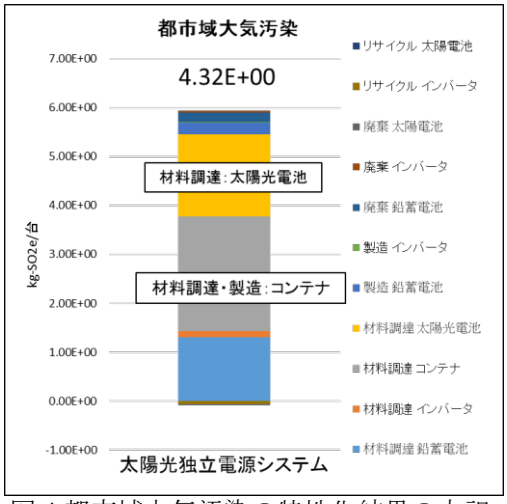


図 4:都市域大気汚染の特性化結果の内訳

都市域大気汚染では、コンテナに用いる素材生産の影響が最も高かった。非鉄金属鍛造品(鍛造品　鍛工品　アルミニウム)で使用されるアルミニウム一次地金（アルミニウム材）が影響していると考えられる。

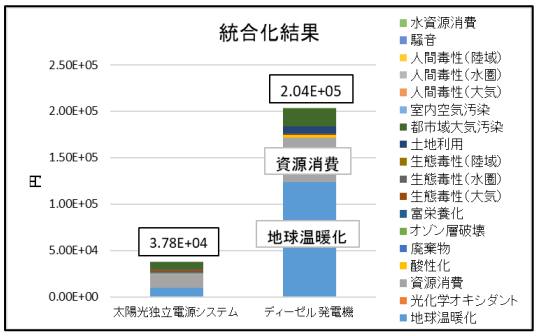


図 5:　太陽光独立電源システムとディーゼル発電機を対象とした統合化結果の比較

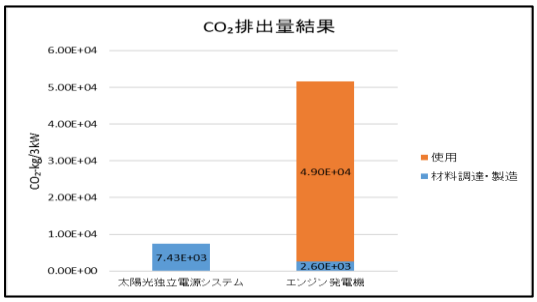


図 6:　太陽光独立電源システムとディーゼル発電機を対象とした CO_2排出量結果の比較

図 5，6 に太陽光独立電源システムを従来型の発電機と対比した結果を示した。

材料調達・製造段階は太陽光独立電源システムのほうが約 3 倍程度大きいが、使用段階での環境影響をゼロにすることで全体ではエンジン発電機に対して約 8 割以上の環境影響を削減できることがわかった。

5. 結論

島嶼国で、かつ、電力供給が十分でない発展途上国を対象に太陽光独立電源システムを導入する場合を想定した環境評価を行った。従来型の発電機を導入した場合に比べて、資源調達に関する影響は増加する一方で、気候変動、大気汚染において影響を大幅に削減できることが分かった。気候変動に脆弱で、かつ、大気汚染による影響が大きい途上国において特に有用なシステムであるものと考えられる。

6. 課題と今後の展望

今回の使用データは「パワーサプライコンテナ」の一次データではなく、ユニットの構成比から既存文献を参照しつつ基礎データを推定したため、計算結果の不確実性が大きい。また、廃棄段階の影響が考慮されていない。E-waste の問題や資源採掘は途上国で深刻化しており、これらの影響を解決するための検討や社会活動も求められる。

7. 参考文献

独立電源パッケージ「パワーサプライコンテナ」で、離島の子どもたちの学びを支援（PanasonicHP)
<http://panasonic.net/sustainability/jp/lantern/2014/07/karimunjawa.html

P2-012

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

日本の石炭技術における新技術の環境負荷分析

Environmental load analysis of a technology in Japanese firepower

◯矢野剛至*[1)]、敷田和哉[1)]、　岡橋拓哉[1)]、加河茂美[1)]

Goushi Yano, Kazuya Shikita, Takuya Okahashi

1）九州大学　経済学部

*1EC15143@s.kyushu-u.ac.jp

1.　背景

本研究では、日本の石炭火力における新技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）を分析、考察し、将来的に日本各地の発電所に IGCC を導入する際の費用便益分析、また環境負荷の推計を行う。資源の乏しい我が国において、豊富な埋蔵量を有する石炭資源の有効利用は不可欠であり、また同時に先進国としてパリ協定などの国際的な環境対策も考えていかなくてはならない。日本の従来の石炭火力発電の技術は世界的にも優れたものであり、高効率であることから他国と比較しても CO_2 排出量を抑制できている。しかし新技術である IGCC を導入すれば、二段階の複合発電により、効率性をさらに向上させることができるし、低品位炭を使用できることからも燃料コストの削減が期待できる。

そのため、IGCC の導入により発電効率の向上と低品位炭の利用が見込まれ、これにより CO2 排出量の削減が期待される。本研究では IGCC の導入は将来の日本のために必要であるという立場から、実際の設備費用や考慮すべきコストを算出し、環境面と経済面の二方面から IGCC の早期導入を肯定できる結果を示していきたいと思う。

2-1.　研究対象

全国の一般電気事業（10 電力）と民間の電気事業の発電所を対象とする。また、従来の石炭火力発電技術を微粉炭火力とし、亜臨界（sub）、超臨界（SC）、超々臨界（SUC）と定義する。新技術の石炭火力は石炭ガス化複合発電（IGCC）とし、日本で現在唯一商用機として稼働している福島県いわき市勿来発電所 10 号機を対象とする。

また、以降のデータ比較、コスト計算を参考文献 1)、2)、3)、4)をもとに行う。

2-2.　データ比較

石炭火力の従来技術と新技術とのデータ比較を行った。（参考文献 4 より）

	従来の石炭火力	新型の石炭火力（IGCC）
発電機の数	95 機	2 機（1 機は建設中）
発電供給量	43.7 万 kw	25 万 kw
発電効率	41%	48%
建設コスト（初期建設費）	575 億	722 億
燃料の種類	高品位炭 中品位炭	低品位炭
燃料コスト	＊	＊

3.　コスト計算

初期費用として建設費と、IGCC の導入による黒字効果として低品位炭の燃料コストの低減を算出し、従来の石炭火力と IGCC のコスト比較をする。

3-1.　燃料コスト計算（参考文献 1,3 より）

安価な低品位炭導入による、燃料コストの低減計算を行う。

高品位炭平均価格実績 ：8,171/t
低品位炭 ：1t あたり高品位炭の 10%減
勿来 10 号機 ：1,700t/日 年利用率 70% メンテナンス期 15 日より、年間操業日:365×0,7－15＝240
→勿来 10 号機のみで年間に削減できる燃料コストは
（8,171－8,171×0,9）×1,700×240＝
333,376,800 円
ライフサイクル（火力発電の耐用年数＝40 年）が継続すれば、
333,376,800×40＝13,335,072,000 円の削減となる。

3-2　CO2 排出の削減効果（参考文献 1,2 より）
IGCC 導入に伴う CO_2 排出原単位の差異による CO_2 排出量削減の計算を行う。
IGCC と従来火力の前提条件を第 4 回総合資源エネルギー調査会受給部会資料とする。
IGCC の CO_2 排出原単位は従来火力に比べ 106g-CO_2/kwh 少ない
よって年利用率を 70%とし、IGCC を用いた場合の年間 CO_2 排出削減量は、
$3{,}333\times10^{3}\times0.7\times24\times365\times106\times10^{-6}=2.17\times10^{6}$ （年間 217 万 t の削減）
また、CO_2 排出権取引制度が導入されれば、2500 円/t（環境省地球温暖化対策課）より、年間で $2.17\times10^{6}\times2500=542{,}500{,}000$ 円のコスト削減となる。

4　結果と考察
2-2 データ比較より初期建設費において IGCC は 147 億円の高コストであるが、3 のコスト計算により、IGCC の導入により
13,335,072,000＋542,500,000＝13,877,572,000 円
のコスト削減が期待でき、従来火力と約 9 億円のコスト差まで縮められた。展望としてはコスト計算において、CO_2 排出量のコスト削減を年間でなく CO_2 排出原単位の相場変動を分析し、IGCC のライフサイクルに落とし込んで計算していきたい。

5　参考文献
1) 噴流床石炭ガス化発電プラント実証プロジェクト評価報告書(産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会) H20,4
2) 国内排出量取引制度について(環境省) H25,7
3) 各電源の諸元一覧(経済産業省) H27,4
4) 全国の石炭火力発電所一覧(電気事業便覧) H24

P2-013
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

ミクロデータを用いた我が国における燃料貧困世帯の実態調査

Fuel Poverty in Japan: An Empirical Analysis using Microdata from Household Income and Expenditure Survey

○田畑智博*[1)]、蔡　佩宜[2)]
Tomohiro Tabata, Peii Tsai
1) 神戸大学、2) 横浜市立大学
* tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

燃料貧困世帯の定義は様々あるが、その一つは家計収入の 10%超を燃料費に費やす世帯のことをいう[1)]。燃料貧困の要因は、低収入、炭素税のような地球温暖化対策に伴う燃料価格の高騰、低断熱の住宅への居住等が挙げられる。燃料貧困世帯の存在は、英国で社会問題となっている。英国内では 2008 年時点で全家庭の 19%が燃料貧困世帯であり、且つ相対的貧困世帯の 46%が燃料貧困世帯と試算されている[1)]。

一方、わが国における 2016 年の高齢化率(全人口に占める 65 歳以上人口の割合)は 27.3%[2)]であり、少子高齢化に対する対策が急務である。加えて、高齢者の貧困も問題である。例えば、OECD[3)]によると、日本の 65 歳以上高齢者の相対的貧困層(65 歳以上高齢者の所得の中央値の半分未満の層)は 19.4%であり、OECD の平均(12.4%)よりも高い水準にある。日本でも再エネ賦課金等による電力料金の上昇がみられており、燃料貧困世帯の発生や増加が懸念される。燃料貧困世帯の増加は、生活の質の維持・向上を目的としたわが国の福祉政策に対する大きな課題となる可能性がある。そこで本研究では、わが国における燃料貧困世帯がどの程度存在する可能性があるかを、全国消費実態調査(全消)ミクロデータを用いて試算する。

2. 研究の方法

全消ミクロデータは、個人が特定できないようにコーディングが施されているが、世帯主年齢や世帯人数、世帯年収、収入及び支出などに関する詳細なデータを知ることができる。集計世帯数は、例えば 2004 年度ミクロデータは、単身世帯で約 3,936 世帯、二人以上世帯で 43,861 世帯である。但し、全消は、単身世帯は 10~11 月、二人以上世帯は 9~11 月の秋のみを対象とした調査であることに留意が必要である。また、2018 年 1 月時点で提供されているミクロデータは、2004 年度が最新であることについても留意が必要である。

本研究では、1989 年度、1994 年度、1999 年度、2004 年度の全消ミクロデータを用いて、各年度における、集計世帯別での収入総額に対する光熱費(電気代、ガス代、その他燃料代)の割合を算出する。この際、Boardman[1)]に倣い、収入総額に対する光熱費の割合が 10%を超える世帯を、燃料貧困世帯と位置づける。加えて、相対的貧困世帯に占める燃料貧困世帯の割合を算出する。相対的貧困世帯は、総務省[4)]に倣い、全人口のうち、等価可処分所得が貧困線(等価可処分所得の中央値の半分の額)を下回る人数の割合を用いる。等価可処分所得は、世帯の年間収入から非消費支出の年間相当分を除外して年間可処分所得を算出し、これを当該世帯の世帯人員数の平方根で割って算出する[4)]。

3. 結果と考察

3.1 収入総額に対する光熱費の割合

表 1 に、収入総額に対する光熱費の割合の結果を示す。なお、本表は二人以上世帯を対象とした結果である。収入総額に対する光熱費の割合が 10%を超える世帯を、燃料貧困世帯として数えた。二人以上世帯の場合、燃料貧困世帯として数えられる世帯数は 1,415 世帯(集計世帯全体の 3.2%)と多くはない。燃料貧困世帯は、年収が 550 万円未満の階級で多くみられる。これらの階級は世帯主年齢が平均より高く(450 万円未満のみ)、年間収入が平均より低い。これらの年収階級は、高齢者の割合が高い。特に世帯主が 65 歳以上高齢者の世帯における燃料貧困世帯の割合は、5.6%と全体平均よりも高い。逆に、世帯主が 65 歳未満の世帯における燃料貧困世帯の割合は、2.5%と平均より低かった。

表 1　収入総額に対する光熱費の割合(2004 年度全消、年収階級別、二人以上世帯)

世帯年収階級[万円]	集計世帯数	世帯人員[人]	世帯主年齢[歳]	世帯年収[万円]	光熱費/収入総額	燃料貧困世帯[世帯]
合計	43,861	-	-	-	-	1,415
平均	-	3.3	53.7	674	2.9%	-
200未満	1,630	2.5	58.9	140	4.9%	133
200～250	1,246	2.6	58.5	226	4.1%	64
250～300	1,852	2.6	59.6	275	3.7%	85
300～350	2,790	2.7	58.4	323	3.4%	109
350～400	3,118	2.8	57.8	373	3.2%	116
400～450	3,205	2.9	54.8	422	3.2%	129
450～500	2,945	3.1	52.7	473	3.0%	102
500～550	2,943	3.2	51.4	522	2.9%	102
550～600	2,596	3.3	51.1	573	2.7%	68
600～650	2,619	3.4	50.1	621	2.7%	83
650～700	2,151	3.5	51.4	673	2.6%	60
700～750	2,173	3.5	50.7	721	2.5%	40
750～800	1,841	3.6	50.7	772	2.5%	44
800～900	3,194	3.6	50.9	844	2.4%	53
900～1000	2,421	3.7	52.0	945	2.3%	41
1,000～1,250	3,695	3.7	52.7	1,104	2.3%	82
1,250～1,500	1,699	3.9	53.5	1,357	2.2%	30
1,500～2,000	1,210	3.9	55.8	1,677	2.5%	27
2,000以上	533	3.7	59.1	2,352	4.2%	47

2004 年度ミクロデータを用いて単身世帯をみた場合も、二人以上世帯の場合と結果は似ている。燃料貧困世帯の割合は、集計世帯全体の 2.5%であった。なお、ミクロデータは、コーディングが施されている、公開されているデータ数が少ないなどの理由から、ホームページ上に掲載されている全消の結果(HP 公開版)と数値が異なる。例えば、2004 年度ミクロデータは HP 公開版と比べて集計世帯数が少なく、年収や収入総額に対する光熱費の割合が低めに出ている。そのため、結果の解釈には注意を要する。

3.2 燃料貧困世帯の支出

燃料貧困世帯の特徴を、消費の観点から考察する。表 2 に、燃料貧困世帯とそれ以外の世帯で分けて、消費支出・非消費支出の各項目の割合を算出した結果を示す。このうち、燃料貧困世帯の消費の割合がそれ以外の世帯よりも高い項目(表中の斜字)について、母平均の差の検定を行った。その結果、10 項目において、有意な差が見られた($p<.01$; t 検定による)。燃料貧困世帯は、それ以外の世帯に比べて、基本生活(衣食、通信など)や余暇への支出割合が大きいことが伺えた。

燃料貧困世帯とそれ以外の世帯で、消費の割合の差が特に大きい食料と交通・通信について、平均支出額のクロス集計を行った。その結果、食料は穀類、肉類、魚類、野菜・海藻、油脂・調味料の項目で、交通・通信は通信の項目で、それぞれ燃料貧困世帯の方がそれ以外の世帯よりも支出の割合が高くなった。全消は調査期間が秋のため、冷暖房を使用する機会は少ないと考えると、燃料貧困世帯では調理に伴うエネルギー利用が、光熱費を高めていることが伺える。

3.3 相対的貧困世帯と燃料貧困世帯

二人以上世帯について、集計世帯全体に占める相対的貧困世帯数の割合は、1989 年度調査で 7.7%、2004 年度調査で 8.7%と漸増傾向にある。また、二人以上世帯の 2004 年度調査について、相対的貧困世帯且つ燃料貧困世帯の割合は 5.6%であり、集計世帯全体でみた場合(3.2%)よりも割合は高くなった。

図 1 に、世帯を相対的貧困世帯、燃料貧困世帯、相対的貧困世帯且つ燃料貧困世帯、それ以外の世帯(普通世帯)で分類した場合の、世帯年収と光熱費/収入総額の割合を示す。年収、光熱費、収入総額は、消費者物価指数を用いて 2015 年基準に換算した [5]。燃料貧困世帯は、世帯年収 750 万円未満で固まって存在しているものの、世帯年収によらず分散していた。また、相対的貧困世帯且つ燃料貧困世帯は世帯年収 250 万円未満で固まって存在しており、相対的貧困世帯単体よりも世帯年収の広がりの幅が狭いことが伺えた。

表 2　実支出を 100%とした場合の各消費の割合
(2004 年度全消、二人以上世帯)

		燃料貧困世帯	燃料貧困以外の世帯	t値	p値
消費支出	*食料*	***37.3%***	***10.3%***	24.14	P < 0.001 **
	住居	2.4%	2.7%	-	-
	上下水道料	***3.4%***	***0.7%***	0.90	0.37
	電気代	***10.0%***	***1.3%***	34.56	P < 0.001 **
	ガス代	***3.4%***	***0.6%***	7.13	P < 0.001 **
	他の光熱	***1.2%***	***0.1%***	4.96	P < 0.001 **
	家具・家事用品	***3.4%***	***1.5%***	14.20	P < 0.001 **
	被服及び履物	***3.5%***	***2.0%***	18.61	P < 0.001 **
	保健医療	***4.1%***	***1.9%***	15.40	P < 0.001 **
	交通・通信	***11.7%***	***6.4%***	26.08	P < 0.001 **
	教育	1.8%	2.3%	-	-
	教養娯楽サービス	***8.3%***	***4.6%***	25.84	P < 0.001 **
	諸雑費	***5.3%***	***3.2%***	25.26	P < 0.001 **
非消費支出	直接税	0.0%	2.7%	-	-
	実支出以外の支出[*1]	3.0%	50.2%	-	-
	繰越金	1.1%	9.4%	-	-

*：$P<0.05$ **：$P<0.01$ 。*1:保険金、預貯金など

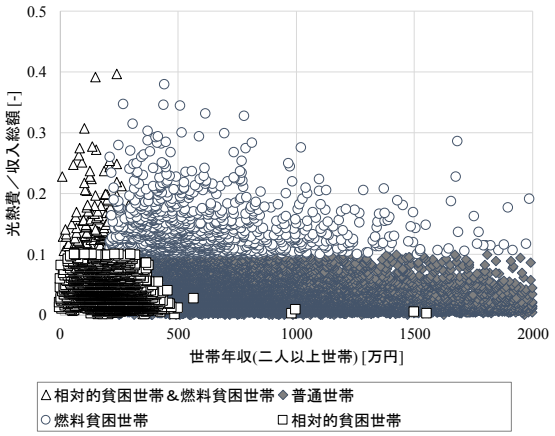


図 1　世帯年収と光熱費/収入総額の割合(1989 年度、1994 年度、1999 年度、2004 年度全消、二人以上世帯)

4. おわりに

上述のようにミクロデータを用いた解釈には注意を要するが、大まかな実態は抑えることができる。今後は、再エネ賦課金等の光熱費増加の要因が、燃料貧困世帯に及ぼす影響を分析する。

謝辞

本研究は、公益財団法人旭硝子財団の助成のもと実施した。ここに記して謝意を表す。

引用文献

1) B. Boardman: Fixing fuel poverty, (2010), Earthscan, 244pp
2) 内閣府: 高齢社会白書<平成 29 年版>, (2017), 日経印刷, 207pp
3) OECD: Pensions at a Glance 2015: OECD and G 20 indicators, (2015), OECD Publishing, 378pp
4) 総務省: 平成 26 年度版全国消費実態調査, (2017), http://www.stat.go.jp/data/zensho/2014/
5) 統計局: 消費者物価指数, (2017), http://www.stat.go.jp/data/cpi/

P2-014

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3月）

木工製品のライフサイクルアセスメントと環境ラベリング

Lifecycle assessment on woodworks

○坂神槙一 [1)]、佐藤聖央 [1)]、牧村彰一 [1)]、藤津浩輝 [1)]、若林國久 [1)]、小林謙介*[1)]、寺河未帆 [2)]

Shinichi Sakagami, Yoshihisa Satou, Syouichi Makimura, Kouki Fujitsu, Kunihisa Wakabayashi, Kensuke Kobayashi, Miho Terakawa

1) 県立広島大学, 2) 一場木工所

*kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1.背景・目的

企業活動における LCA の活用は以前にも増して幅広く実施されるようになってきている。特に、消費者に分かりやすいという点では、CFP などの環境ラベルの活用は有益である。一方、環境ラベル取得においては、規定された PCR で評価する必要があり、事業者の環境面でのこだわりが適切に評価されないケースもある。

そこで、本検討では木工製品の LCA および環境ラベルの取得事例を通し、評価結果の差異や評価における課題などについて議論した。具体的には、天然乾燥木材、地場産材、リユースなど様々な環境配慮を行った木材加工製品を評価した場合の CFP 上の結果と、適切に環境配慮分を評価した場合の評価結果の違いなどについて分析した。

2. 分析

2.1 評価対象

調査対象は広島県三次市の一場木工所のフローリング材（もりのらぐ）である。本製品の特徴は、地場の木材（広島県産材）を使用した製品であること、天然乾燥材を利用することを原則としていること、2 回のリユース（再鉋がけ）が可能なこと、さらに、使用後は製造業者が引き取りリサイクルすることなどが挙げられる。当該製品の主な想定消費地は、広島市内および東京都である。ここでは、製品の販売単位である 2 畳を機能単位として評価した。図 1 には、当該製品のフローを示す。

当該製品は、カーボンフットプリントを取得しており、広島版の管理番号は CR-CD02-17001[1)]、東京版は CR-CD02-17002[2)]として公開されている。その際に用いた CFP-PCR は木製製品（PA-CD-02）[3)]である。

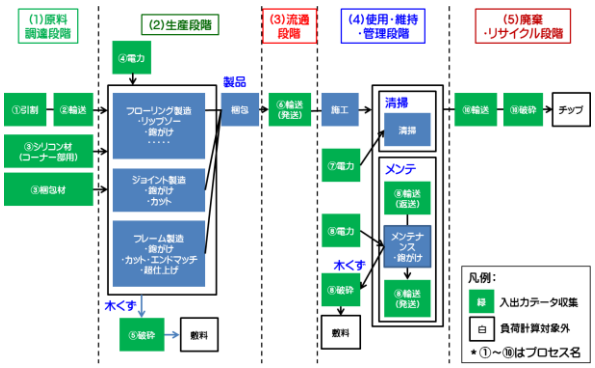


図 1　当該製品のプロセスフロー

2.2 分析の視点

本検討では、1 つ目に CFP-PCR（製品種別基準）にのっとって評価を行った場合と、環境配慮について適切に評価した場合の結果の違いについて検討した（2.3 節）。2 つ目に、環境配慮を行わなかった場合と、行った場合の比較を行った。具体的には、地場の木材を利用（調達の輸送負荷削減）、製材時は天然乾燥、再使用による長期使用、使用後の回収・リサイクルを考慮した評価を行った（2.4 節）。

2.3 CFP-PCR に準じた場合と環境配慮を適切に評価した場合の結果の差異

CFP 取得の際に用いた木製製品の PCR では、人工乾燥と天然乾燥の区別がない二次データを用いた。実際には、天然乾燥を行っており過大評価となることが予想された。2 回の再使用後は、現段階では実績がないため、CFP では PCR にのっとり、消費地の近隣で焼却処理を行うと仮定して評価した。実際には、2 回の再使用後当該事業者が回収し、別の加工品として販売して再利用することを想定しており、これらの違いについて分析した。具体的な評価の枠組みの差異を表 1 に示す。

以上の内容をもとに CFP-PCR の場合と、環境配慮を適切に評価した場合の評価結果を図 2 に示す。CFP を用いて評価した結果は環境配慮を適正に評価した結果の東京で 1.2 倍、広島で 1.5 倍となった。本事例の場合、現状の CFP-PCR のルールでは環境対策が適切に評価できず、過大な結果となっていることを定量的に示せた。

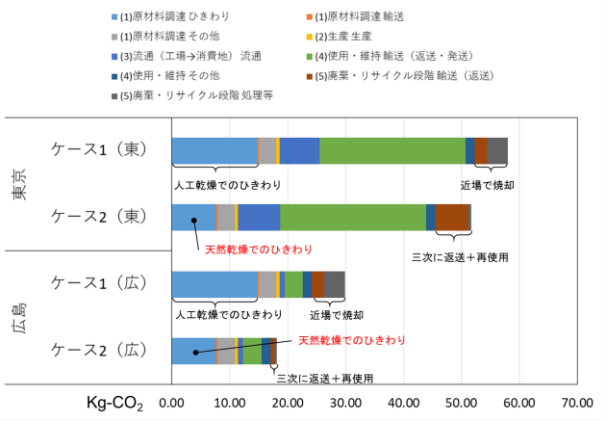


図 2　本来の条件と CFP-PCR の条件での比較

表 1　ケーススタディにおける評価の枠組の差異

プロセス		東京		
		ケース 1 (CFP)(東)	ケース2（東）	ケース3（東）
(1)原材料調達	ひきわり	人工乾燥	天然乾燥	人工乾燥
	輸送	地場材（5km）	地場材（5km）	平均距離（254km）
	その他	-	-	-
(2)生産	生産	実測結果で評価	実測結果で評価	実測結果で評価
(3)流通（工場→消費地）	流通	10ton車、800km	10ton車、800km	10ton車、800km
(4)使用・維持	輸送（返送・発送）	10ton車、800km	10ton車、800km	-
	その他	清掃（電力消費）	清掃（電力消費）	清掃（電力消費）
(5)廃棄・リサイクル段階	輸送（返送）	近場（100km）の処理場	返送（800km）	近場（100km）の処理場
	処理等	焼却	回収後再利用	焼却
その他		2回再使用後、回収し、近場で焼却。	2回再使用後、回収し、再利用。	使い捨て（3回製造＆焼却）

プロセス		広島		
		ケース1(CFP)(広)	ケース2（広）	ケース3（広）
(1)原材料調達	ひきわり	人工乾燥	天然乾燥	人工乾燥
	輸送	地場材（5km）	地場材（5km）	平均距離（254km）
	その他	-	-	-
(2)生産	生産	実測結果で評価	実測結果で評価	実測結果で評価
(3)流通（工場→消費地）	流通	10ton車、100km	10ton車、100km	10ton車、100km
(4)使用・維持	輸送（返送・発送）	10ton車、100km	10ton車、100km	-
	その他	清掃（電力消費）	清掃（電力消費）	清掃（電力消費）
(5)廃棄・リサイクル段階	輸送（返送）	近場（100km）の処理場	返送（800km）	近場（100km）の処理場
	処理等	焼却	回収後再利用	焼却
その他		2回再使用後、回収し、近場で焼却。	2回再使用後、回収し、再利用。	使い捨て（3回製造＆焼却）

2.4 環境配慮による削減効果の分析

2.1 節で示した環境配慮を行わなかった場合と行った場合の評価結果の差異について分析した。具体的に、当該製品の環境配慮とは、地場の木材を利用している点、天然乾燥木材を利用している点、再使用（2 度の鉋がけ）による長期使用を可能にしている点、使用後当該事業者が回収してリサイクルする点が挙げられる。ここでは、これらを行わなかった場合との差異を分析した。

評価の結果を、図 3 に示す。環境配慮を行わなかった場合と環境配慮を行った場合の比較の結果は、環境配慮を行った場合の方が、東京で利用を想定した場合では、5 割程度の CO_2 排出量削減ができる結果となった。また、広島市で利用を想定した場合では 2 割程度削減することが出来ており、環境配慮によって大幅に負荷削減ができていることを定量的に示すことができた。特に、効果が大きいのは、ひきわりの生産を天然乾燥で実施することの効果や、地場木材を利用することによる伐採地から加工工場までの輸送負荷の削減だった。

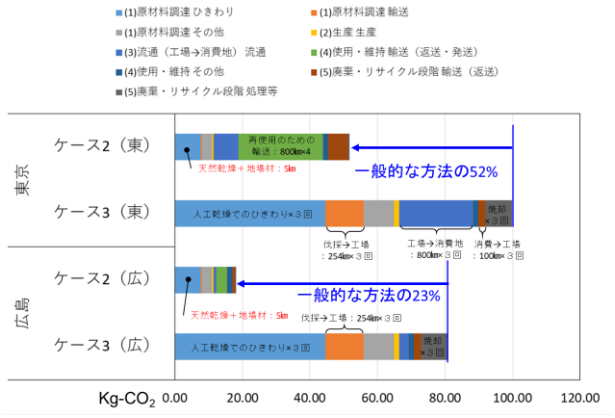


図 3　環境配慮を行った場合と行わなかった場合の CO_2 排出量の差異

3. まとめ

本報告では、様々な環境配慮を行った木工製品を事例とし、環境負荷分析を実施した。はじめに、木製品の CFP-PCR に基づいた場合と、PCR では反映できない環境配慮を考慮した場合の CO_2 排出量の評価結果を比較し、その差異が小さくないことを示した。次に、環境配慮を行った場合と行わなかった場合の結果の差異について検討し、当該製品の CO_2 排出量の削減効果が非常に大きいことを示した。

4. 参考文献

1) カーボンフットプリント登録情報：おひさまドライ「ひなたぼっこ」もりのらぐ（広島版）、https://www.cfp-japan.jp/common/pdf_permission/001425/CR-CD02-17001.pdf

2) カーボンフットプリント登録情報：おひさまドライ「ひなたぼっこ」もりのらぐ（東京版）、https://www.cfp-japan.jp/common/pdf_permission/001426/CR-CD02-17002.pdf

3) カーボンフットプリント製品種別基準（CFP-PCR）、木製製品（認定番号 PA-CD-02）、https://www.cfp-japan.jp/common/pdf_permission/001426/PA-CD-02.pdf

P2-015

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

広島県内における森林資源の持続的利用の検討

段階的な再造林率向上が将来の蓄積量に及ぼす影響

Discussion for future accumulation-amount on forest resources in Hiroshima Pref.
Case studies on gradual improvement of reforestation-ratio

○若林國久*[1)]、藤津浩輝[1)]、坂神慎一[1)]、小林謙介[1)]

Kunihisa Wakabayashi, Koki Fujitsu, Shinichi Sakagami, Kensuke Kobayashi

1) 県立広島大学

*k-wakaba@pu-hiroshima.ac.jp

1.はじめに

戦後造林した人工林(スギ・ヒノキ)が大量に伐期を迎え、公共建築物やエネルギー利用による自給率50%を目指した国産材の利用拡大が推進されている。その一方で、利用後の造林は低迷しており、これまで、利用の仕方によっては将来資源が枯渇する可能性があることを推計してきた[1)]。人工林を長期にわたって利用し続けるためには、伐採面積相当の造林が必要であるが、新たな造林は植林とその後の下狩りなどの長期の管理が必要なので造林に必要な資金、育苗、人材育成などの諸事情[2)]から急に造林面積を増やすことは難しい。そこで、本研究の目的を木材の持続的な利活用策の提案とし、西日本で最大の森林面積を有する広島県を例に、蓄積量の9割強を占める民有林の造林面積を10～80年かけて段階的に伐採面積と同じにする(造林率100%＝造林面積÷伐採面積)ことを想定した県全体と伐採中の11市町の将来の蓄積量を推計した。この推計結果をもとに木材資源の持続的利用の実現性の検討を行った。

2.蓄積量、伐採量、造林面積の調査

市町の蓄積量(齢級ごと)と伐採量(皆伐量と間伐量)は広島県林業課へのヒアリング[3)]で得た(図 1)。伐採事業所の所在地内の木材を伐採しているとし、民間事業所と森林組合の合計を伐採量とした。複数の市町がまとめられている個人分や複数の市町を管轄する森林組合の場合は市町ごとの民間事業所や森林組合の伐採量の比率で按分してそれぞれの市町の伐採量に加算した。造林面積(図 1)は広島県林務関係行政資料[4)]の 5 年間(2011～2016 年)の平均値とした。

3.蓄積量の将来推計

(1)推計方法

2100 年(伐採 2 サイクル 80 年＋α)まで現状の伐採(8 齢級以上)を継続すると仮定し、蓄積量から伐採量を差し引いた値に成長量と造林量を加えた値を将来蓄積量(立木換算値)とした[1)]。

(2)ケーススタディー

通常、造林は皆伐跡地に行うが、伐採量に占める皆伐と間伐の将来比が不明なので、皆伐跡地にのみ造林する場合(ケース②・③)と全伐採(皆伐＋間伐)跡地に造林する場合(ケース④・⑤)を想定した。造林面積は現状を継続(ケース①:現状一定)、毎年同率で伐採面積と同じにまで増やす(ケース②・④:指数関数で増加)、毎年同量で伐採面積と同じにまで増やす(ケース③・⑤:比例して増加)の 5 ケース(図 2)を想定した。造林面積が伐採面積と同じになるまでの年数は 10～80 年まで検討したが、ここでは 50 年(県内 23 市町の個々の将来蓄積量の合計が概ね現状維持できる年数)の結果を示す。

4.推計結果

伐採中の 11 市町と広島県(県内 23 市町の個々の推計値の合計)の 2100 年における蓄積量の推計結果を図 3 に示す。

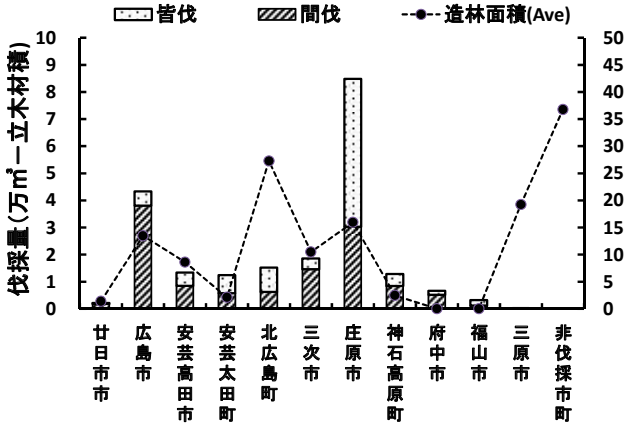


図1.市町の年間伐採量

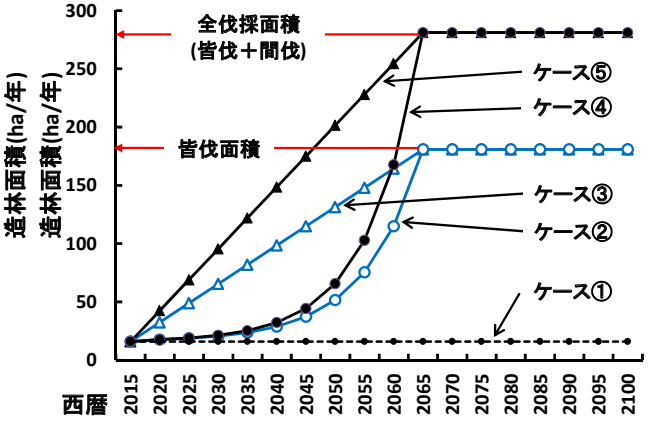


図2.造林面積の設定条件(庄原市の例)

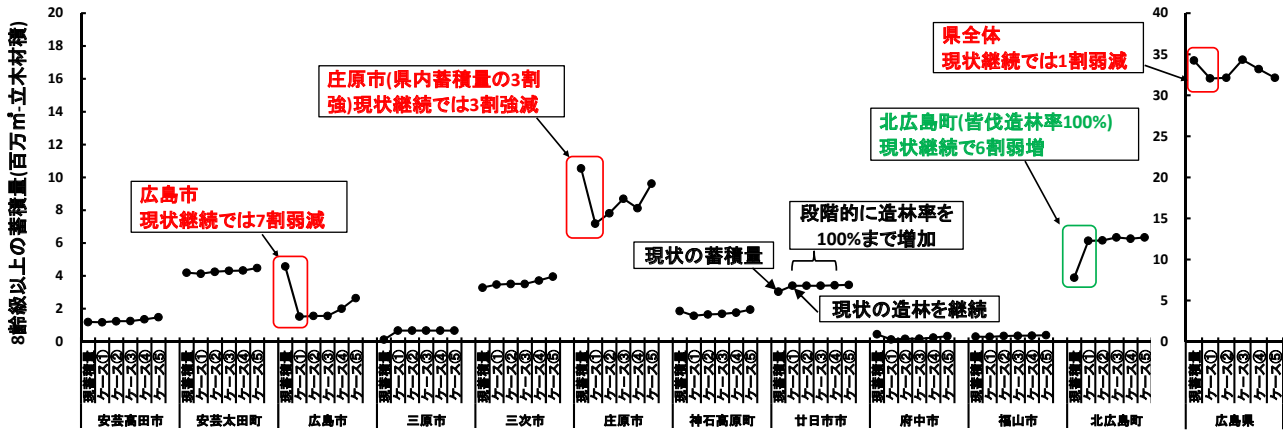


図3.現状を継続した場合と50年で段階的に100%にした場合の比較(2100年値)

(1)現状の造林を続けた場合

伐採量が多いわりに造林面積が少ない庄原市(3 割強減)と広島市(7 割弱減)の蓄積量の減少幅が大きく、造林面積が多い北広島町(6 割弱増)の蓄積量は増加幅が大きい結果となった。残りの比較的蓄積量の多い(百万m³以上)市町は 1 割強以内の増減にとどまり、市町を合計した県全体で見ると微減(1 割弱) の結果となった。市町の林業状態(伐採量や造林面積の大小)で将来の伐採可能な蓄積量に大きな差が出ることが確認できた。

(2)段階的に造林面積を増加させた場合

伐採量が多いわりに造林面積が少ない庄原市は 3 割強減が 3 割弱～1 割弱減の範囲にまで、広島市は 7 割弱減が 6 割強～4 割強減の範囲にまで蓄積量の減少を抑えられる結果となった。造林面積が多い北広島町の蓄積量は現状の造林を続けた場合と同程度の 6 割強増の結果となった。残りの比較的蓄積量の多い(百万m³以上)市町は現状の蓄積量維持～2 割強増となり、市町を合計した県全体では微減(1 割弱) ～現状維持の結果となった。このように、段階的に造林面積を増加することで将来の伐採可能な蓄積量への影響を定量的に示した。

5.木材資源の持続的利用の検討

木材資源の持続的利用の実現性について庄原市を例に検討した。庄原市は広島県の蓄積量の 3 割強、伐採量の 4 割弱を占め、県内林業に与える影響が大きい。庄原市の現状の造林を続けた場合(ケース①)と段階的に造林面積を増加した場合(ケース②～⑤)の 2100 年までの蓄積量の変化を図 4 に示す。現状の造林を続けた場合は 2100 年に現状比 3 割強減少以後も減少し続けるが、造林面積を 50 年かけて段階的に伐採面積と同じにした場合は年数経過に伴い減少が緩やかになる(2100 年に全伐採(皆伐＋間伐)跡地に造林するケース④・⑤では現状より 1 割弱～3 割弱、皆伐跡地に造林するケース②・③では現状より 2 割強～3 割弱減少)結果となった。

6.まとめ

本報告では、広島県を例に現状の造林を続けた場合の 2100 年までの蓄積量を推計し、市町の林業状態(伐採量や造林面積)により将来伐採可能な蓄積量に大きな差が出ることを明らかにした。さらに、造林面積を 10～80 年かけて伐採面積と同じにすることを想定した場合の 2100 年までの蓄積量を推計し、将来の伐採可能な蓄積量への影響を定量的に示した。これらの結果をもとに木材資源の持続的利用の実現性を県内最大の林産地(庄原市)を例に検討を行い、50 年かけて伐採面積と同じにまで造林面積を増やす施策を実行すると、現状の造林を続けた場合(3 割強減)と比較して蓄積量の減少を緩和(3 割弱～1 割弱減)できることを定量的に示した。

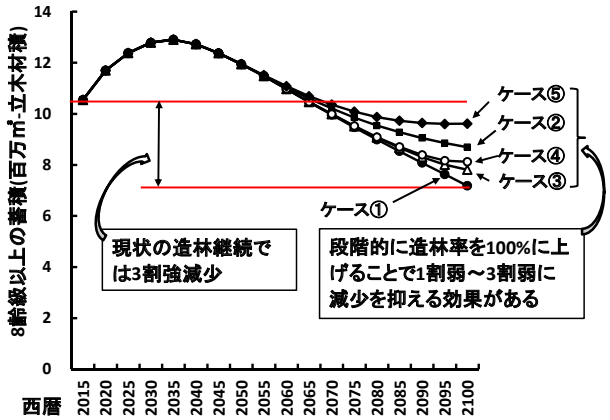


図4.影響の大きい庄原市の蓄積量(50年で100%造林)

蓄積量の減少を想定した上で、造林面積を段階的に増やしながら将来の林地に必要な蓄積量を確保するための育苗整備や人材育成などを並行して進める施策が現実的と考えられる。また、将来必要な蓄積量や課題は林地により異なるので、林地の実情を考慮しながら何年で造林面積を伐採面積に近づけていくかを施策に反映することが重要である。

7.参考文献

1)若林ら：第 12 回日本 LCA 学会研究発表会 P2-110、P2-112、2017.3

2)坂神ら：2017 年度日本建築学会大会(中国)学術講演会 40456、2017.9

3)広島県農林水産局：木材生産取り纏め表 (2015.8)

4)広島県農林水産局：林務関係行政資料(2014.7)

P2-016

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

木質ペレット事業がもたらす経済的・社会的影響：京都の事例研究

Economic and social influence of wood pellets business: Case studies of Kyoto

○戸高和彦、橋本征二 [1)]

Kazuhiko Todaka, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学

rv0046ix@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

日本は、国土面積の約 70%を森林が占める森林大国であり、木質バイオマスの有効な活用が期待されている。木質ペレットは、木を原材料とした円筒形の固形燃料であり、カーボンニュートラルなエネルギー源として近年注目を浴びている。ここで、木質ペレットの環境的な優位性を評価した研究は多く報告されているものの [1)2)]、木質ペレット事業が地域にもたらす経済的・社会的影響を評価したものは少ないのが実情である。木質ペレットの普及を促進するためにも、様々な評価を行って事業の意義を明らかにすることが重要である。

本研究では、森林面積が約 75%を占める京都府において、木質ペレット事業が地域にもたらす経済的・社会的影響を検討した。具体的には、京都府を拠点に木質ペレットを製造・販売する会社計 2 社を対象に経済的影響の評価を行うとともに、社会的影響の評価として、2 社が製造・販売を行うことにより発生した雇用創出効果、1 社が間伐材を使用することによる景観改善効果を評価した。

2. 方法

2.1 経済面評価

本研究では、地域内乗数効果を測定する LM3(Local Multiplier 3)[3)4)]を用いた。これは、資金循環の最初の 3 回だけを対象として、地域内に留まる資金の量を測定する方法である。この方法は、図 1 に示すように、まず、対象とする組織が生み出した資金（売上高）を測定し（ラウンド 1)、次に、その資金からの支出のうち、職員の給与や家賃、地域の会社からの財・サービスの購入額など地域に残留する資金を測定（ラウンド 2)、さらに、その資金のうち地域に残留するものを測定する（ラウンド 3）というものである。この方法は、乗数効果の全てを測定するものではないが、誰でも容易に地域経済における資金フローを確認できるようにすることで、望ましい資金の行き先を把握することを目的に開発された手法である。

資金循環が 3 回行われた後、地域に留まった金額の合計を A (= a1 + a2 + a3)とすると、LM3 は以下の式で求められる。

$$LM3 = A / a1 \qquad (1 \leqq A / a1 \leqq 3)$$

本研究では、国産間伐材を使用して木質ペレットを製造・販売する A 社と、外材を住宅用部材に加工する際に発生するかんな屑、おが屑を使用して木質ペレットを製造・販売する B 社を対象とした。各社が立地する市および京都府を評価スケールとし、2016-2017 年のデータを用いて分析した。

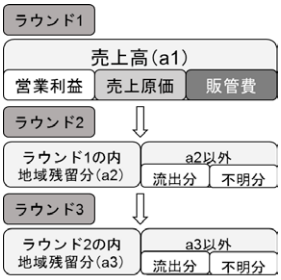


図 1　LM3 の概念図

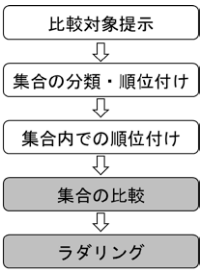


図 2　評価グリッド法の手順

2.2 社会面評価

2.2.1 雇用創出効果

上記 2 社の木質ペレット事業により創出された雇用を、ヒアリング調査により明らかにした。

2.2.2 景観改善効果

上記 2 社のうち 1 社は間伐材を原材料としていることから、間伐施業が森林景観に与えている影響を評価した。本研究では、インタビュー調査の一つである評価グリッド法 [5)]を用いて、森林景観と間伐施業の関係を紐解き、人々が持つ間伐施業に対しての潜在的な評価基準を明らかにした。評価グリッド法は、複数の写真を被験者に提示して選好度をつけてもらい、その評価の理由を問うインタビュー調査である。図 2 に手順を示す。図中のラダリングとは、評価基準の上位概念・下位概念の抽出を意味する。

被験者に提示する写真の選定基準として「間伐前」「間伐後」「間伐後数年経過」を設定した。「間伐前」は林床まで光が届かない暗い林の写真、「間伐後」は間伐施業により、林床まで太陽光が到達する環境になったが、林床植物が十分に生育していない林の写真、「間伐後数年経過」は、山肌まで太陽光が到達し、且つ林床植物が十分に生育している林の写真を用いた。

讃井 [6)]によると、評価グリッド法においては経験的に 15 人、できれば 20 人以上の被験者が必要とされる。また、神田ら [7)]は被験者 10 人と 20 人では結果に大きな差はなく、調査に必要な被験者は少なくとも 10 人、多くて 20 人程

度としている。本研究では、被験者を林業関係者と一般市民のグループに分け（以下、それぞれ林業グループ、一般グループと表記）、それぞれ 10 名（20-60 代の各年代、男女、計 20 名）を対象に調査を行った。

3.　結果と考察

本要旨では、景観改善効果（2.2.2）の調査結果の一部について報告する。本要旨作成時点で、林業グループへのインタビュー調査が終了しており、その結果を図 3 に示す。ラダリングにより、ベースとなる評価基準（図 3 中央）から上位概念（抽象的、図 3 上部）・下位概念（具体的、図 3 下部）を抽出した際、3 名以上の被験者が指摘した評価基準を記載しており、8 名以上が指摘したものについては色を付けている。また、2 名以上の回答者が挙げた評価基準間の相関を線により表しており、線の色が黒に近づき、線の幅が太くなるにつれて、相関が強いことを意味する。なお、ベースとなる評価基準は、各相関が理解しやすいように配置している。

林業グループの被験者の多くが「良い・望ましい森林景観」とみなす評価基準として挙げたのが「光が入る」「間伐」「手入れの形跡」「林床植物の生育」であった。「光が入る」ことや「林床植物の生育」があることは、「樹種が多い」ことや「森らしさ」を感じることができる可能性があり、それらを可能にするための具体的手段として「間伐」がある。また、「林業的」な優位性の観点から、「手入れの形跡」がある森林景観が高く評価された。このことから、林業グループの被験者にとって、「間伐」や森林の手入れを促進することが森林景観の改善に強く関わることが確認できた。一般グループへのインタビュー調査により、林業グループ・一般グループの総合的な評価基準を明らかにし、森林景観と間伐施業の関わりを明らかにする予定である。

その他の結果についても学会当日報告する。

謝辞：本研究を実施するにあっては、木質ペレット製造・販売会社 2 社、京都府立林業大学校、京都府に多大なご協力いただいた。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 古俣寛隆、折橋健、石川佳生、一重喬一郎、服部順昭：北海道産ペレットのライフサイクルアセスメントによる環境影響評価、木材学会誌、56(3)、139-148、2010
2) 長井翔太朗、金澤瑛、明石浩和、橋本征二：木材製品のライフサイクル炭素収支評価の枠組み：木製治山ダムへの適用、木材利用研究論文報告書、14、69-73、2015
3) 福士正博：地域内乗数効果（Local Multiplier Effect）概念の可能性、東京経大学会誌、241、205-225、2005
4) New Economics Foundation: The Money Trail, 2002
5) 讃井純一郎、丸山玄：第 3 章 2-1 評価グリッド法、より良い環境創造のための環境心理調査入門、55-64、2000
6) 讃井純一郎：「評価グリッド法」誕生の秘密、日本行動計量学会第 81 回シンポジウム『「評価グリッド法」その理論と測定・分析法の現状と進化』資料集、2004
7) 神田範明：2.5 章評価グリッド法、ヒットを生む商品企画七つ道具 よくわかる編、43-64、2000

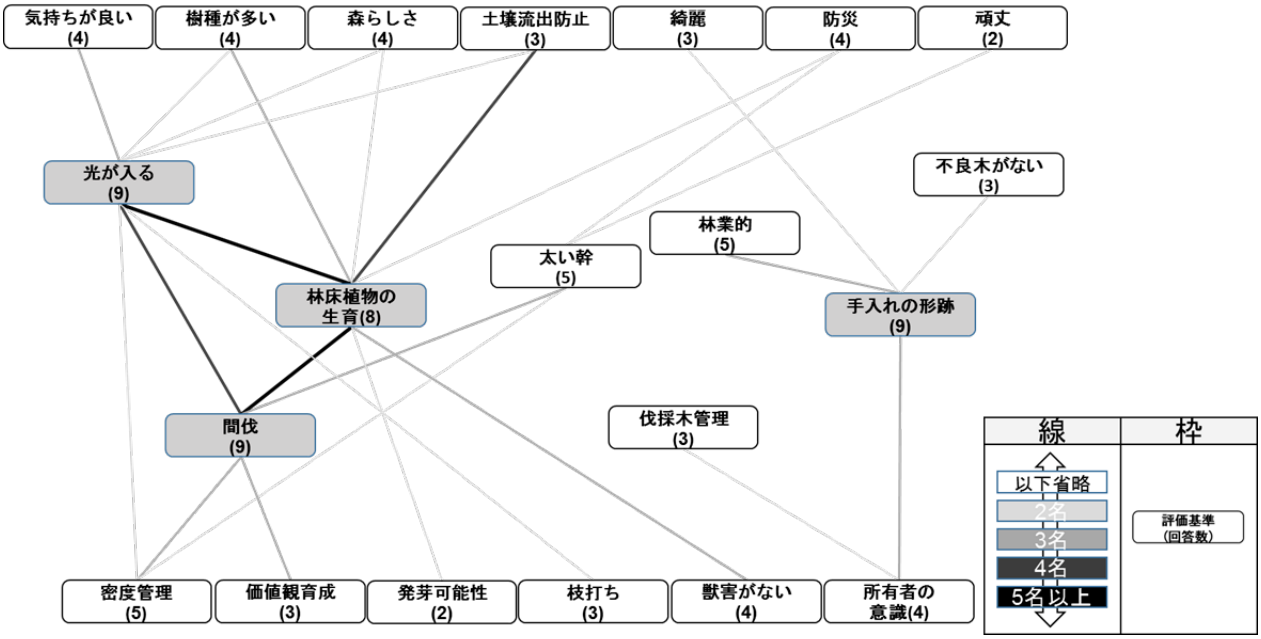


図 3　評価グリッド法結果（林業グループ）

P2-017

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

製材工場における改質リグニン原料製造の環境影響評価

Environmental impact assessment of manufacturing raw materials of glycol-modified lignin in sawmills

○道中哲也*[1)]、久保山裕史[1]、高田克彦[2]、伊神裕司[1]、本間春海[3]、陣川雅樹[1]

Tetsuya Michinaka, Hirofumi Kuboyama, Katsuhiko Takata, Yuji Ikami, Harumi Honma, Masaki Jinkawa

1)（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所, 2) 秋田県立大学木材高度加工研究所, 3) (株)ドーコン

* michinaka.t@affrc.go.jp

1. Introduction

It is known that lignin shares 20 to 35% in wood and traditionally, lignin is only the by-products of paper and paperboard industry due to its molecular complexity and the difficulty in purifying. Recently, the technologies of manufacturing lignin derivatives with high processability through a glycol-modified process using Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* (D. Don), the conifer species that has the largest plantation forest resources in Japan), and manufacturing high-performance activated carbon fiber, concrete chemical admixtures, electronic devices, etc., based on this glycol-modified lignin, however, have been developed. This hopefully would lead to a new lignin industry in the future. In order to manage the environmental impacts, we implemented life cycle assessment (LCA) to the raw materials of manufacturing glycol-modified lignin which includes wood chips, planer shavings, chip dust and sawdust processed and gathered in sawmills.

2. Methodology and data

The system boundary was shown in Figure 1. By interviewing and hearing with a structured questionnaire, we gathered data from eight sawmills located from Tohoku to Kyushu, three large-scale sawmills with annual logs consumption over 100,000 m^3, two middle-scale sawmills with annual logs consumption around 30,000 m^3, and three small-scale sawmills with annual logs consumption around 10,000 m^3. Because of the data availabilty in one samll sawmill, data obtained from seven sawmills are used.

The function unit was set as per bone-dry ton (BDt), including lumber and wood chips, planer shavings, chip dust and sawdust (the last four items are glycol-modified lignin raw materials). Bark, a by-product in sawmill, however, is not considered due to the data availability and its complexity of final treatments.

Data for logs before transporting to sawmills were sourced from IDEAv2. We gathered data of average transporting distance from log yard to sawmill, average commuting distance for sawmill employees, consumption of electricity, consumption of other engeries including fuel oil A, diesel oil, kerosene, lubricant oil and grease, blades consumption for bandsaw, circular saw, and chipper, and packaging materials consumption among other things.

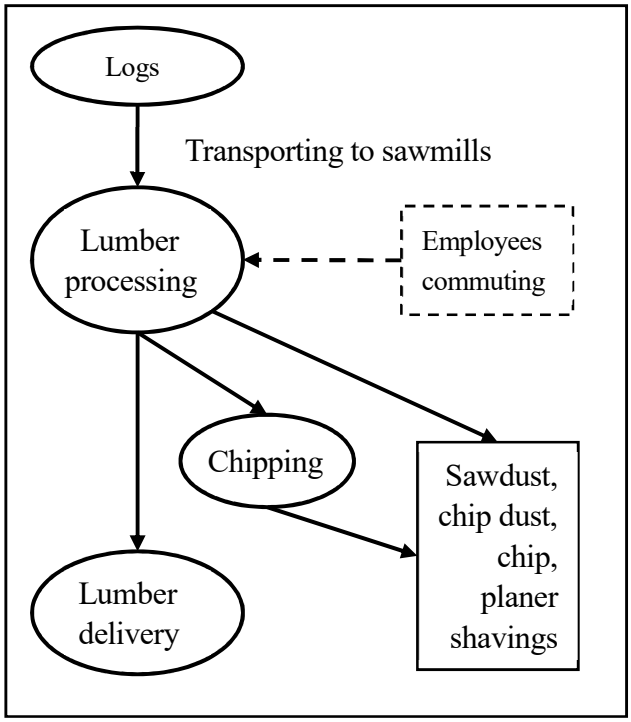


Figure 1. System boundary

The environmental impacts of employees commuting were calculated by using average round-trip distance and the most recent average gasoline mileage of cars published by MLIT [1)]. For trucks of transporting logs from log yard in logging site or log market to sawmills, the movement of trucks for the returning was also added by setting the load ratio as 0% under the one way distance.

In calcuating bone-dry tone of lumber and by-products, specific gravity of Japanese cedar lumber was set to be 0.35 BDt/m^3, specific gravity of chips set as 0.15 BDt/m^3, and those of sawdust, chip dust, and planer shavings set as 0.1 BDt/m^3. In this way, all the products, lumber and chips, etc., were summed. Therefore, all the input factors per

bone-dry ton were calculated.

Software MiLCA v.2 and database IDEAv2 are used for life cycle inventory analysis (LCI) [2]. For damage evaluation, Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling (LIME2) is used [3].

3. Results

In the research, by using LIME2 coefficients, 18 impact categories were calculated for seven items. Figure 2 shows the global warming impacts for manufacturing 1 BDt of lumber and raw materials of lignin. By LIME2, all the greenhouse gases are estimated and expressed as CO_2 equivalent. The results show that the total greenhouse gases emission was 161 kg CO_2, and the consumption of electricity emits the most, 81.4 kg, in manufacturing 1 BDt products. The planting, tendering and harvesting logs, transporting logs, and other energies follow the electricity. Consumption of blades, packaging, and employees commuting gave rather small global warming impacts.

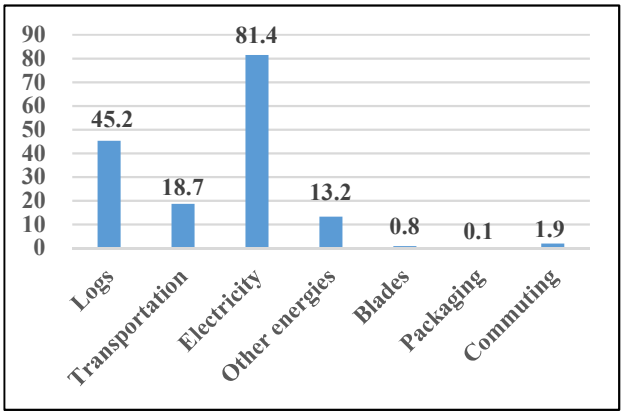


Fig. 2 Global warming impacts (Unit: CO2e)

Figure 3 shows the results of impacts of consumption of energy resources. In manufacturing lumber and raw materials of lignin, elctricity is found to be the most important energy resource.

Figure 4 shows the impacts in light of urban air pollution and acidification. The results show that transportation by trucks gives the most impacts in these fields.

4. Discussion

Electricity is found to be the most important factor in manufacturing raw materials of lignin. Logs through planting and harvesting is another important factor. Since transportation of logs are also an important factor, location of sawmills should be paid enough attention.

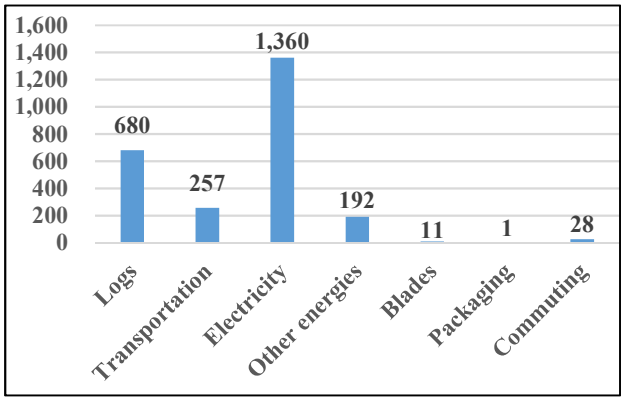


Fig. 3 Consumption of energy resources (Higher Heating Value, unit: MJ)

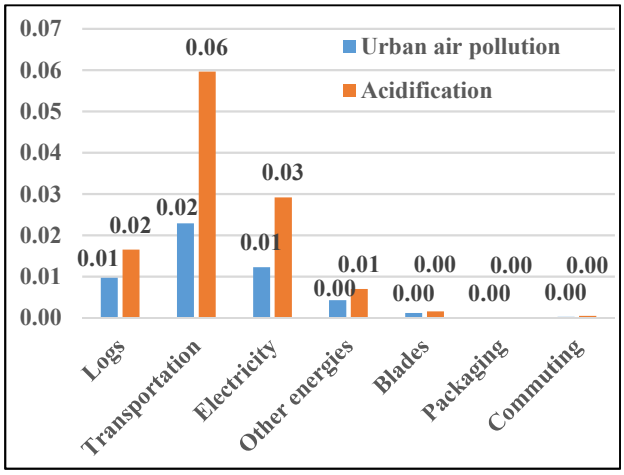


Fig. 4 Urban air pollution and Acidification (Unit: kg-SO_2e)

5. Acknowledgements

We thank the sawmills for their cooperation and providing us the related data. This work was supported by SIP-Lignin Project, Technologies for Creating Next-Generation Agriculture, Forestry and Fisheries under the Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) administered by Council for Science Technology and Innovation (CSTI), Japan.

6. References

1) Ministry of Land, infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan: Average fuel efficiency.
2) Japan Environmental Management Association For Industry (JEMAI): LCA system MiLCA v2
3) The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) and JEMAI, IDEA v2.0.
4) Itsubo, N. and Inaba, A.: LIME 2 Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling, JEMAI, (2010).

P2-018
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

食品ロス削減を通した CO_2 削減ポテンシャルの分析

Analyzing of reduction potential of carbon dioxide through reduction of food loss

○松井宏史朗*[1)]、中本裕哉 [1)]、加河茂美 [1)]
Koshiro Matsui, Yuya Nakamoto, Shigemi Kagawa

1) 九州大学
* k.m.gambarecce.cb@gmail.com

1. はじめに

国際連合食糧農業機関（FAO）によると、土地利用変化に起因する温室効果ガスの排出量を考慮しない場合、生産されたが消費されなかった食料からは、二酸化炭素換算で推定 33 億トン相当が排出されている。これは、2014 年における世界全体の CO_2 排出量 330 億トンの約 10%を占めている EDMC(2017)。すなわち、食品ロスの問題を明らかにして改善することにより、パリ協定における各国の CO_2 排出量削減目標の達成に向けて、大きく貢献すると考えられる。

農林水産省（2012）によると、食品ロスとは食べられるのに捨てられてしまう食品であると定義されている。日本における食品ロスは近年減少傾向にあるものの、家庭部門と食品関連事業者に起因する食品ロスの量は、それぞれ 312 万トンと 331 万トンであり、さらに削減する余地はある（農林水産省（2012））。

2. 研究目的

本研究では、日本の家庭部門を対象として図 1 に示される野菜類・果実類・魚介類・肉類・穀類・牛乳および乳製品の 6 分類における食材別の食品ロスの CO_2 排出量を段階ごとに比較し、食材別のライフサイクル CO_2 排出量の特性を明らかにし、その具体的な削減方法について議論・考察する。

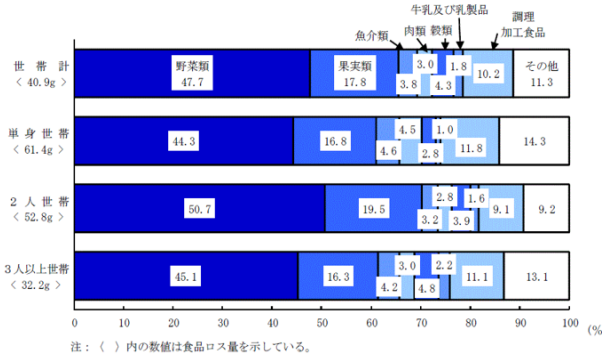


図 1. 世帯構成員別の主な食品別食品ロス量割合（平成 26 年度）

3. 方法

家庭部門の食品ロスの総量である 312 万トンに、図 1 に示される家庭部門における世帯計の食品ロス量割合に乗じることで、分類別食品ロス量を算出する。次いで分類別の食材価格をそれぞれ算出し、食品ロス量に乗じることで分類別の食品ロスの総価格を算出する。分類別食品ロスの総価格および、産業連関表における環境負荷原単位データブック（3EID）を用いて、家庭部門の食品ロスに由来する分類別のライフサイクル CO_2 排出量は式(1)のように定式化できる。

$$Q(t)=\sum_{i=1}^{6}\left\{g^{i}(t)\times price^{i}(t)\times\sum_{j=1}^{10}f^{ji}\right\} \quad (1)$$

ここで、i は野菜類・果実類・魚介類・肉類・穀類・牛乳および乳製品の 6 分類、j は CO_2 が排出される部門（生産者、卸売、小売、鉄道貨物、道路貨物、沿海・内水面輸送、港湾運送、航空輸送、貨物利用運送、倉庫の 10 部門）をそれぞれ示している。また、$Q(t)$ は、t 年における食品ロス CO_2 排出量を示しており、$g^{i}(t)$ は t 年における i 分類の食品ロス量（トン）、$price^{i}(t)$ は t 年における i 分類の食品価格（百万円）、f^{ji} は j 部門における i 分類の CO_2 排出原単位（トン/百万円）をそれぞれ示している。

また、食品価格について、「野菜類」価格はだいこん、にんじん、はくさい、キャベツ、ほうれんそう、ねぎ、レタス、きゅうり、なす、トマト、ミニトマト、ピーマン、たまねぎの 13 種類、「いも類」価格は、ばれいしょとさといもの 2 種類、「果実類」価格はみかん、あまなつみかん、いよかん、はっさく、りんご、日本なし、かき、もも、ぶどう、いちご、メロン、スイカの 13 種類のそれぞれの加重平均価格を用いた。「魚介類」価格は、冷凍魚介類、塩・干・くん製品のみであると仮定した。「肉類」に関しては豚肉、牛肉、鶏肉の 3 種類のみであり、肉類における食品ロス割合は国内での肉類消費割合と同じだと仮定する。「穀類」に関してはコメの価格と等しいと仮定し、「牛乳および乳製品」に関しては加糖れん乳、全粉乳、バター、チーズ、脱脂加糖れん乳、脱脂粉乳のみであり、牛乳および乳製品における食品ロス割合は生産量の割合に従うと仮定する。

4.　データ

「野菜類」、「果実類」価格は平成 17 年青果物産地卸売統計（農林水産省（2005a））、「魚介類」価格は平成 17 年水産物流通統計年報（総務省（2005））、「肉類」価格は食品価格動向調査（食肉・鶏卵）（農林水産省（2005b））、「穀類」価格は食料統計年報平成 17 年（農林水産省（2005c））、「牛乳および乳製品」価格は平成 17 年牛乳製品統（農林水産省（2005d））、国内統計資料牛乳、乳製品関係（農畜産業振興機構（2005））をそれぞれ用いた。

5.　結果・考察

本研究では、6 分類の食品ロス CO_2 排出量を 10 部門（生産者、卸売、小売、鉄道貨物、道路貨物、沿海・内水面輸送、港湾運送、航空輸送、貨物利用運送、倉庫）別に推計した。図 2 は、2014 年の食品ロスに由来する食材別 CO_2 排出量を示している。

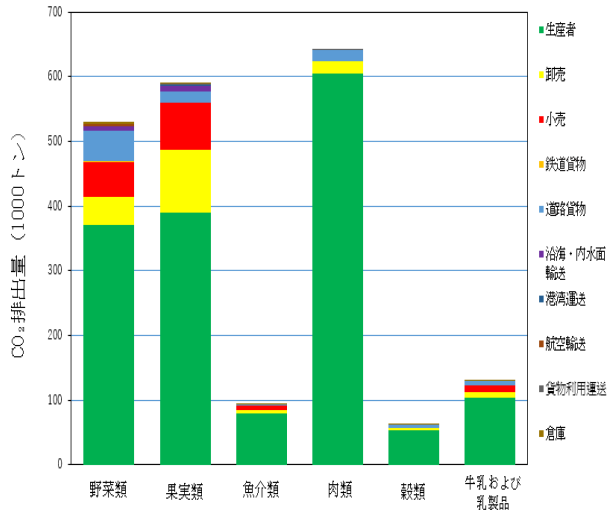


図 2.　食品ロスに由来する食材別 CO_2 排出量

図 2 からわかるように、6 分類すべてにおいて生産者部門における CO_2 排出量が全体の半分以上を占めている。これは、環境に配慮した生産技術の向上を通して食品ロスに由来する CO_2 排出量は大きな削減ポテンシャルがあることを示している。また野菜類、果実類に関しては他の 4 分類と比較して卸売部門と小売部門における CO_2 排出量が特に多いことが分かる。この原因としては、野菜類、果実類については、食品の個体差が大きく規格外商品が他の分類よりも多く存在するためであると想定される。また野菜類、果実類、肉類に関しては他の 3 分類と比較して鉄道貨物部門の CO_2 排出量が多いことがわかる。これは野菜類、果実類、肉類が気候などの環境によって産地が限定されるものが多いのに対し、他の 3 部門は比較的環境に左右されずに多くの場所で生産することができるので、運搬にかかる CO_2 排出量が少なくてすんでいると考えられる。

本研究では、日本の家庭部門を対象として野菜類・果実類・魚介類・肉類・穀類・牛乳および乳製品の 6 分類における分類別の食品ロスに由来するライフサイクル CO_2 排出量を排出部門ごとに推計した。結果として、生産者部門における CO_2 排出量が全体の半分以上を占めており、環境に配慮した生産技術の向上を通して食品ロスに由来する CO_2 排出量は大きく削減できる可能性があることが分かった。

参考文献

1)　EDMC(2017)：エネルギー・経済統計要覧 2017 年版
2)　国際連合食糧農業機関（FAO）(2014)世界の農林水産　：<http://www.fao.org/3/b-i4659o.pdf#search=%27fao+%E9%A3%9F%E5%93%81%E3%83%AD%E3%82%B9%27>
3)　農林水産省 (2005a)「平成 17 年青果物卸売統計」<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001032288>
4)　農林水産省 (2005b)「大臣官房食料安全保障課「食品価格動向調査業務の緊急調査」による全国平均小売価格」<http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/anpo/kouri/k_gyuniku/pdf/gyuuniku_kako.pdf>
5)　農林水産省 (2005c)「食料統計年報平成 17 年版」　<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001024972&cycode=0>
6)　農林水産省 (2005d)「主要乳製品の大口需要者向け価格の動向」<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/gyunyu/lin/attach/pdf/index-98.pdf>
7)　農林水産省 (2012)「食品廃棄物等の利用状況等（平成 24 年度推計）」<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/pdf/hurorev2.pdf>
8)　農林水産省 (2014)「食品ロス統計調査、世帯調査（平成 26 年度）」http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/loss_setai_14/
9)　農林水産省(2017)「食品ロスとは」<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html>
10)　総務省 (2005)「平成 17 年水産物流通統計年報」<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001037878>

P2-025

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

各種の環境意識に関する重み付けの研究

Study of weighting for various environmental consciousness

近藤紅音 [1)]，高橋郁実 [1)]，佐野慶一郎* [1)]

Akane Kondo, Ikumi Takahashi, Keiichiro Sano

1) 関東学院大学

* keisano@kanto-gakuin.ac.jp

1. はじめに

日本では、1960 年代以降、経済の高度成長に伴い、公害問題が発生した。エネルギーの消費量は、バブル経済が崩壊する 1991 年頃まで上昇を続けた。バブル経済の崩壊後も、原子力発電によるエネルギー供給の比率は上昇傾向にあった。しかし、2011 年の東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故の影響で、エネルギーの供給方法を見直す事態になった。そのため、現在、日本では、数基の原子力発電が稼働しているのみで、発電のほとんどは化石燃料に依存している。日本では、地球温暖化を抑制すべく、改革的なエネルギー政策が求められているが、その方策は見つかっていない[1)]。

現在、その他にも様々な環境問題があり、各々に対策が求められている。例えば、外来種の増加などの問題が挙げられる。

筆者らは、以前より、国内外の人々に「環境に関する意識のアンケート調査」を行ってきた[1)－3)]。様々な質問に対する回答結果を分析して、適正な環境活動の方策を提案し、環境政策の発展に繋げることを目指している。

これまでのアンケート結果から、相対的に環境意識の低い人でも行っている環境保全の行動があった。あわせて、環境意識の高い人が有する高位な考えや行動が見受けられた。例えば、日本人の大多数が「ゴミの分別を行い、ポイ捨てはしない」と回答した。あわせて、「環境の教育と慈善活動」に興味のある人は、どの質問でも意識が高く、無関心な人は意識が低い傾向が見られた[1)－3)]。

従って、人が有する環境意識の優劣は、複数の質問の回答結果を単純に合算した値ではなく、個々の質問の回答結果に適正な重み付けをした点数の合算値で、評価した方が良いと考えた。本研究では、各種質問に重み付けをして、人が有する環境意識を評価した。その結果と考察を報告する。

2. 研究方法

2.1 環境意識のアンケート調査

2017 年度に、神奈川県に在住する日本人に対して環境意識のアンケートを行った。10 代から 60 代までの各年代において、10 名（男性 5 名と女性 5 名）ずつ、合計 60 名からアンケートの回答を得た。

表 1 に各調査項目のアンケート内容を示す。10 種類の各調査項目のおいて、2 種類以上（計 30 種類）の質問を行った[1)]。アンケート内容の回答から年代別と男女別に環境意識の相違を調べた。

表1　各調査項目のアンケート内容 [1)]

①	ゴミ分別:	自宅にてゴミ分別の実施など
②	リサイクル:	リサイクル法の認知度など
③	リユース:	詰め替えシャンプーの使用など
④	リデュース:	マイボトルの使用など
⑤	環境投資:	高価なエコ製品の購入など
⑥	慈善活動:	環境活動への寄付など
⑦	環境倫理:	ゴミのポイ捨ての不快感など
⑧	原子力発電:	反対の意識など
⑨	生態系:	外来種への嫌悪感など
⑩	環境教育:	教育を受けたい意識など

2.2 環境意識の評価方法

アンケートの各質問の回答結果について、単純に合算した値、ならびに、重み付け値の合算値から、環境意識の優劣を評価した。

単純合算では、各質問に対して、意識を有して「はい」との回答には＋1 点として、それらを合算した。なお、「いいえ」の回答は零点とした。

重み付け合算の方法について説明する。今回のアンケート結果を基に、全ての質問に対して、多数が「はい」と回答した質問は「低位」、半数程度の質問は「中位」、少数の質問は「高位」として、仕分けした。「低位」は＋1 点、「中位」は＋1.5 点、「高位」は＋2.0 点として、それらを合算した。両方法での合算値は 100 点満点の値に変換した。環境意識の優劣

は、80 点以上の人を「高い」、60 点以上 80 点未満を「普通」、60 点未満を「低い」と定めた。

3. 環境意識の評価結果

図 1 に各年代において、「自宅でゴミ分別している人数」を示す。年代と性別を問わず、ほぼ全員がゴミの分別をしていることがうかがわれる。従って、この質問の重み付けは、「低位」と判断した。

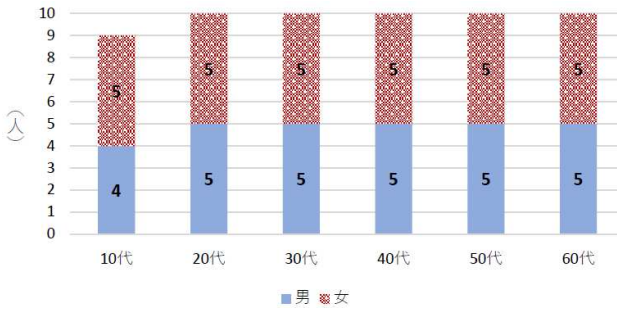


図 1　自宅でゴミ分別している人数

図 2 に、「外来種は環境に悪いと思う人数」を示す。ほぼ半数の人が外来種に嫌悪感を有していることが分かった。この質問の重み付けは、「中位」と判断した。嫌悪感を感じるのは、男性よりも、女性の方が少し多いことが分かる。

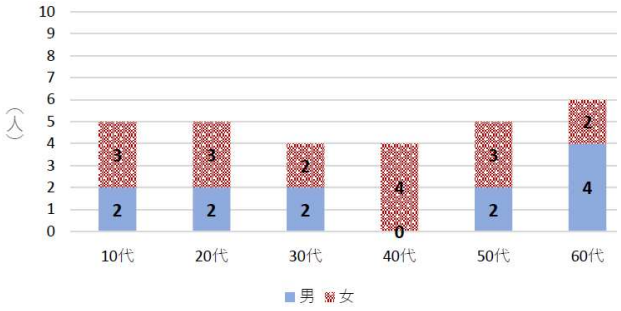


図 2　外来種は環境に悪いと思う人数

図 3 に、「環境ボランティアに参加や寄付の経験人数」を示す。約 2 割の少数の人は、慈善活動の経験があることが分かる。この質問の重み付けは、「高位」と判断した。慈善活動の経験者は、女性よりも、男性の方が少し多いことが分かる。

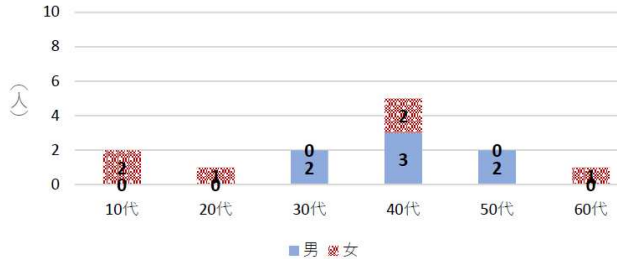


図 3　環境ボランティアに参加や寄付の経験人数

表 2 に、2 種類の評価方法による環境意識の優劣の人数を示す。単純合算よりも、重み付けによる評価の方が意識の「高い」と「普通」の人数は減り、意識の「低い」人数が増えた。つまり、厳しい評価結果となった。

表 2　アンケートによる環境意識の評価結果

環境意識	単純合算評価（人）	重み付け合算評価（人）
高い	12	10
普通	29	24
低い	19	26

4. まとめ

重み付けによる合算評価では、環境教育に関するアンケートの回答結果が、環境意識の優劣に起因している傾向が見受けられた。

環境教育を受けた経験があり、環境知識を有し、今後も環境教育を学びたい人は、環境意識が「高い」、そして、環境教育を受けた経験が無く、今後も環境教育を受ける意欲の無い人は、環境意識が「低い」傾向が見られた。

今後、さらに、アンケート結果を詳細に分析して、各種の質問に対する回答の重み付けを改善する計画にある。

5. 引用文献

1) 佐野慶一郎, 施桂栄, 叢暁波, “中国と日本の若者における環境意識の調査研究”, 関東学院大学　人間環境研究所 2015 年度研究プロジェクト報告書 p.1-18 (2017).

2) Ikumi Takahashi, Akane Kondo, Yoshika Hiroshima, Ryo Nashiki, Keiichiro Sano, Luo Shumeng, Akemi Ori, “Consciousness for 3R of material waste in China and Japan”, poster presentation, PB16, Proceedings of the 6th International Symposium on Materials Science and Surface Technology 2017, p.88-89 (8th Dec. 2017).

3) 佐野慶一郎, 山﨑稔恵, ゲイル･ボー, 木村照夫, “古衣料の廃棄と再利用に関する横浜とサンフランシスコに暮らす人々の意識調査”, 関東学院大学　人間環境研究所2012年度研究プロジェクト報告書 p.1-34 (2014).

P2-029
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

日本の大学生のエネルギーリテラシー調査と省エネ行動促進方法の検討

Investigation of Energy Literacy for a University Student in Japan

○駒田侑祐*[1)]，光斎翔貴[1)]，秋津裕[2)]，山末英嗣[1)]
Yuusuke Komada*[1)], Shoki Kosai[1)], Yutaka Akitsu[2)], Eiji Yamasue[1)]
1) 立命館大学，2) 京都大学
* komada2017rits@gmail.com

1. 諸言

パリ協定で、日本は 2030 年時点の予想電力需要から 17%以上削減する必要がある[1]。また、家庭部門では電力需要を 452 億 kWh 削減することが目標になっている[2]。これは、2030 年度の家庭部門の電力需要の 27～28%に相当する。家庭部門の省エネは家電製品の効率向上と省エネ行動に分けることができる。だが、日本はエネルギー効率が高く、省エネ技術への投資はあまり期待できないと予想される[3][4]。したがって、省エネルギー行動の推進は不可欠である。エネルギー消費については、日本の中学生を対象としたエネルギーリテラシーに関する研究がある[5]。この研究では、中学生の多くは授業やテレビ、ラジオでエネルギーの知識を習得しているが、エネルギーリテラシーの高い学生は、新聞・雑誌や博物館などの能動的な方法でエネルギーの知識を得ていることが分かった。さらに、エネルギーの知識とエネルギーへの関心、エネルギーへの関心と省エネ行動は相関があるが、エネルギーの知識と省エネ行動の間に直接相関がないことも示されている。また、中学生間の学年の比較と中学生と高校生の比較も行われている。しかし、大学生になるとどう変化するか分かっていない。また、自立するとエネルギー消費を意識することも必要になり、年齢が上がると自立の割合も上がる[6]。大学生は生活面での自立が増える時期である。これらを踏まえて、本研究では大学生に注目し、大学生のエネルギーリテラシーに関する研究を行った。この研究の目的は大学生の省エネ行動促進の検討を行うことである。そして、そのために大きく 3 つのことを行った。まず中学生と大学生のエネルギーリテラシーの比較を行った。中学生と大学生でエネルギーリテラシーがどう変わるのかを明らかにし、その原因の考察を行った。次に大学生のエネルギーリテラシーの傾向分析を行った。大学生の中でエネルギーリテラシーの高い学生はどのような傾向があるのかを分析した。最後に大学生の省エネ行動促進方法の検討を行った。

2. 研究手法

エネルギーリテラシーの調査は、アンケートに基づいて行った。このアンケートは、先述の中学生を対象としたエネルギーリテラシーの研究[5]で使われたものに新たに大学生を分類するための質問を追加したものであり、全 93 問で構成されている。内容は、エネルギー知識、関心、行動項目、大学生の属性を分類するための項目から構成されている。エネルギーの知識に関する項目では、平均値は得点率を示したものである。知識はエネルギーについての正誤問題を出題し、正解を 1 点、不正解を 0 点として算出した。関心と行動は 5 段階評価とし、最適な回答から 5~1 点として算出した。

アンケートの作成は Google フォームを使った。対象とした大学生は立命館大学の学生である。立命館大学は全国で 3 番目に学生数が多く、60 以上の国や地域から留学生が進学してくる多様な大学である。アンケートの結果は SPSS を用いて統計的に解析を行った。また、Amos を用いてパス解析を行い、因果関係も調査した。

3. 研究結果

アンケート回答は、回答の信頼性を調べる Cronbach の α 値が 0.6 以上で信頼性があるとされている。本調査では知識が 0.852、関心が 0.699、行動が 0.715 となっており、質問項目は内的整合性を有していたと考えられる。次に中学生と大学生の比較を行った。図 1 に中学生と大学生のエネルギーリ

テラシーの獲得スコアの割合を示す。知識のみ大学生が大きく上回っているが、関心と行動については差が見られなかった。また相関関係については、知識と関心、関心と行動には相関があるが（相関係数はそれぞれ r=0.262**,r=0.462**）、知識と行動の間に相関はなかった（r=0.138）。この結果は中学生と同様である。次に、大学生のエネルギーリテラシーの傾向を分析した。その結果、家庭で省エネを促されるかどうかでエネルギーリテラシーに大きな差が見られた。家庭で省エネを促される学生と促されない学生の差を図 2 に示す。また、因果関係を明らかにするためにパス解析も行った。その結果、大学生は家庭で省エネを促されるとエネルギーリテラシーが高くなることが明らかになった。また、頻繁にエネルギーについて調べることで関心と行動が高くなり、能動的に調べることで関心が高くなることも明らかになった。パス図を図 3 に示す。

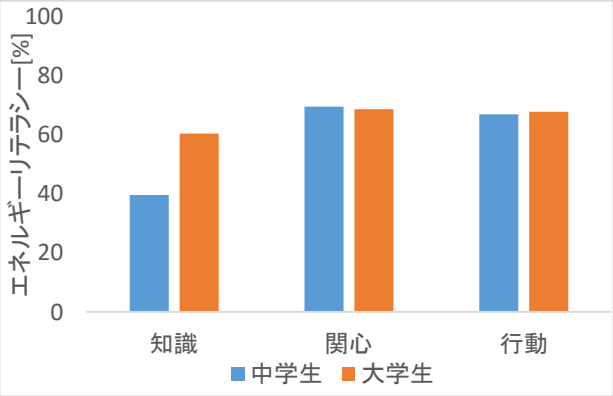


図 1 大学生と中学生のエネルギーリテラシー比較

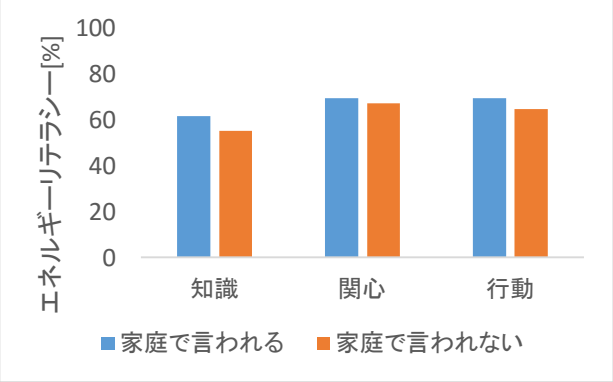


図 2 家庭で省エネを促されるかどうかによる比較

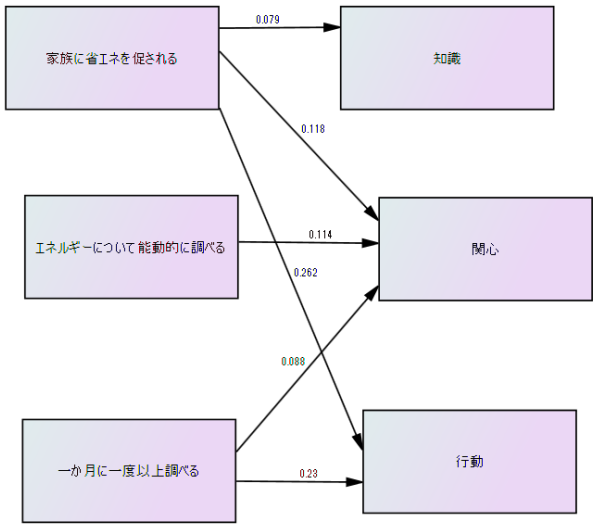


図 3 大学生の属性とエネルギーリテラシー

4. 考察

中学生と大学生の間で、関心と行動の平均値や相関関係の有無の差が見られなかった。これは、大学生は中学生に比べ、関心や行動の大きさに関わらず自然に学習する機会が増えていくため、エネルギーの知識が増えていることが理由だと考えられる。また、大学生の省エネ行動の要因は家庭で省エネを促されることと、エネルギーについて 1 カ月に 1 度以上調べることであるということが明らかになった。このことから省エネ行動を促進させるためには、家族と大学の協力が必要だと考えられる。促進のための方法として、家族が普段からエネルギーの無駄遣いをしないよう呼びかけることで省エネのための癖をつけていくことや、大学でエネルギーに関する授業と課題を学部問わず導入していき、エネルギーについて調べる機会を増やしていくことがよいのではないかと考える。

引用文献

1)大澤秀一(2016)：パリ協定を踏まえた国内の環境・エネルギー政策の現状と方向性

2)経済産業省(2015)：長期エネルギー需給見通し骨子（案）関連資料

3)一般財団法人省エネルギーセンター・国際協力本

部：日本の省エネ技術に関して
4)RITE システム研究グループ（2008）: エネルギー効率の国際比較（照明［家庭及び業務部門］）
5)秋津裕ら(2016)：日本の中学生のエネルギーリテラシー調査―知識、関心、行動の評価と日米比較―
6) 総務省(2011) : 平成 22 年国勢調査人口等基本集計結果

P2-030

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

幼児の運動能力向上のためのスポーツイベントの提案と評価

Proposal and evaluation of sports events for improving infant's athletic performance

○高築治憲 *[1)]、中口毅博[1)]

Harunori Takatsuki,Takahiro Nakaguchi

1)　芝浦工業大学

*br14067@shibaura-it.ac.jp

1. 研究の背景と目的

近年、幼児の体力・運動能力は低下傾向であり、主体的に体を動かす遊びを中心とした身体活動を、幼児の生活全体の中に確保していくことは大きな課題である。幼児期は、青年期におけるスポーツ活動の選好に影響し、ひいてはスポーツ活動の活性化を通じ地域の持続可能性を高めることにと考えられる。筆者はこれまで HLCA（ヒューマン・ライフサイクルアセスメント）＝人間の一生に着目し長期的に評価する手法を提唱してきたが、幼児期の遊びの効果を把握することは、HLCA の一部を形成するものである。したがって幼児期において、多様な動作が経験できる様々な遊びを取り入れること、楽しく体を動かす時間を確保すること、発達の特性に応じた遊びを提供することが重要である。

そこで本研究は、さいたま市の私立 S 幼稚園の園児を対象とし、幼児の特性に応じた動作を経験できる遊びを提案・実施し、その効果を評価することを目的とする。

2. 研究の流れ

研究の流れは図 1 のとおりである。日本全体と S 幼稚園の運動能力の現状・課題の明確化と参与観察による動作頻度の把握により、運動能力向上の課題を整理する。その上で、課題を解決するための遊びを提案し、実施した上でその評価を行う。

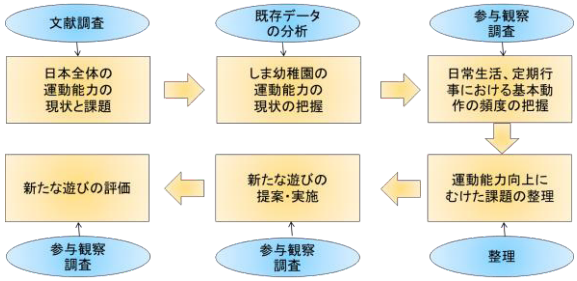


図 1　研究の流れ

3. 日本のこどもの運動能力の現状と課題

文部科学省の行った「全国体力・運動能力調査」の結果によると、全国の小学生の「握力」「ソフトボール投げ」の値が低下傾向である。2009 年度から 2017 年度にかけての「握力」「ソフトボール投げ」の値の推移は以下の図 2、図 3 のとおりである。

図 2　握力測定値推移[1)]

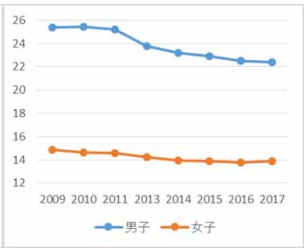


図 3　ソフトボール投げ測定値推移[1)]

4. S 幼稚園の概要

S 幼稚園は園児数 153 人（年少 54 人、年中 62 人、年長 37 人）の私立幼稚園であり、住宅街に囲まれており、東大宮駅から徒歩 10 分に位置する。教育理念、保育の特色は表 1、表 2 のとおりである。

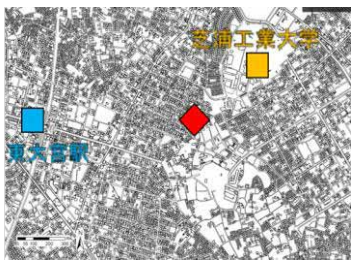


図 4　S 幼稚園周辺地図[3)]

表 1　S 幼稚園の教育理念[3)]

1	園児の健康と安全をむねとする。
2	心身ともに明るくのびのびとした子に。
3	思っている事を、はっきり言える子に。
4	素直で思いやりのある元気な子に。
5	生活習慣が身についた子に。

表 2　S 幼稚園の保育の特色[3)]

1	体力づくりに重点を置いた専門講師による体操教室
2	外国人の専門講師によるコミュニケーション幼児英話遊び
3	ダンスレッスン
4	預かり保育

5. S 幼稚園の子どもの基本動作の頻度

10 月 10 日から 11 月 3 日までの 8 回の訪問調査で、子どもたちの基本動作（バランス動作、移動動作、操作動作）が毎日の日課（A 自由遊び、B 朝の会、C マラソン、D 外遊び）と定期的に行われる行事（E 体操教室、F ダンスレッスン）における動作の頻度を観察した結果、操作動作の「投げる」「蹴る」の頻度が低いことが明らかとなった（表 5）。毎日の日課と定期的に行われる行事のタイムテーブルと基本動作の頻度は表 3～5 のとおりである。

表 3　毎日の日課のタイムテーブル

表 4　定期行事のタイムテーブル

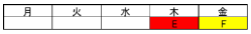


表 5　基本動作の頻度表

動作区分	基本動作の名称	行事名称 A 自由遊び	B 朝の会	C マラソン	D 外遊び	E 体操教室	F ダンス教室
バランス	起きる・起き上がる	○				◎	◎
	立つ・立ち上がる	◎	○	○	△	○	○
	座る・しゃがむ	◎	○	○	△	○	○
	その場で跳ねる	△	○			○	◎
移動	走る	○	△	◎	◎	△	△
	登る				○	○	
	おりる・とびおりる				○	○	
	逃げる・避ける	△			◎		
	スキップ・ステップする	△			○		◎
	くぐる・くぐりぬける				○	○	
操作	運ぶ・持ち上げる	○	○		○	△	
	押す・押し出す	○				○	
	引く・引っ張る	○				○	
	だきつく・しがみつく	○			△		
	投げる				△		
	蹴る				△	△	
	振る・振り回す	◎					

6. S 幼稚園への運動遊びの提案と実施

日本の子どものものを投げる能力は年々低下しており、S 幼稚園においてもものを投げる動作の頻度が著しく少ないため、ものを投げる動作を経験できる「かごキャッチ球入れ」を提案した。これにより、投げることへの関心や意欲を高め、投球能力の向上を目指す。「かごキャッチ球入れ」の概要は以下の通りである。

必要な道具　テニスボール、ソフトボール、かご

・子どもたちをいくつかのチームに分ける

・チームごとに一人一つボールを持ち、かごを持ったお兄さんに向かって投げる

・かごに入った個数を競う

7. 提案した遊びの評価

S 幼稚園の年長組（男子 9 人、女子 9 人）のかごキャッチ球入れにおける 4 つの動作(写真 1)を観察した結果、C)上体の反り、D)足の踏み出しの動作が改善されていった。しかし、A)逆手を前から後ろへ引く、B)腰の回転の動作は大きな変化が見られなかった。

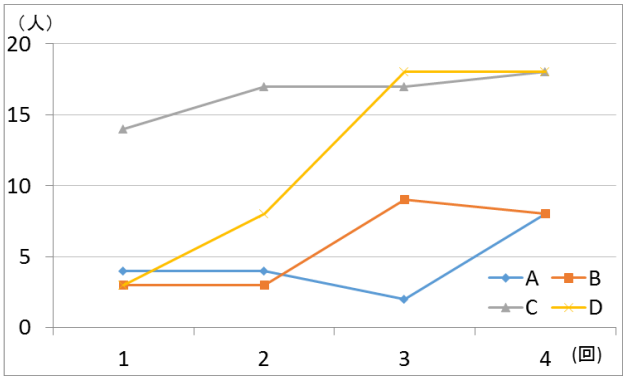
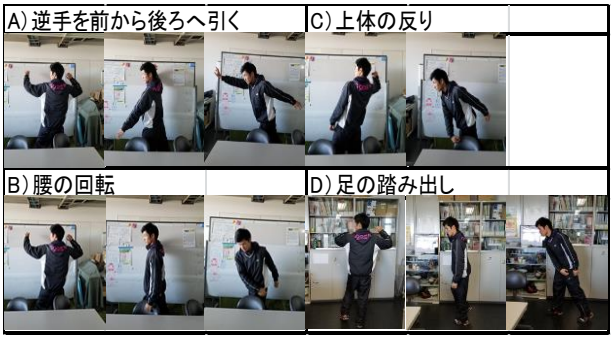


図 5　投球動作の変化

写真 1　投球動作の評価項目



8. まとめと考察

S 幼稚園の参与観察調査により、S 幼稚園のものを投げる能力が不足しており、投げる動作の頻度が少ないことが明らかとなった。そこで、S 幼稚園にて投げる動作を経験できる遊びを提案し、その評価を行ったところ、回数を重ねるごとに子どもたちの投球動作が改善されていき、外遊びの時間にボール遊びをする、したいという園児が増えた。よって、今後、他の施設において不足している運動能力を向上させるためには、不足した動作を経験できる遊びやイベントを定期的に行うと良いと思われる。

9. 参考文献

1）「全国体力・運動能力調査」文部科学省

2）「幼児期運動指針」文部科学省

3）S 幼稚園 HP

4）中口毅博, 第 12 回日本 LCA 学会, (2017), 4pp.

P2-031

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

日独の森のようちえんの比較に関する研究

A study on comparison of forest kindergarten in Japan and Germany

○市瀬友太*1)、中口毅博 1)

Yuta Ichise, Takahiro Nakaguchi

1)　芝浦工業大学

*br14018@shibaura-it.ac.jp

１．研究の背景と目的

現代の幼児は自然と触れ合い、体感する機会が減っている。幼児期において、自然と触れ合い、様々なことを知識として教えられるのではなく、体感して学ぶことが必要である。このような学びの場のひとつとして「森のようちえん」がある。そこで、本研究は環境教育の先進国であるドイツと日本の森のようちえんを比較し、教育理念や方法などの相違点とその要因を分析することを目的とする。

２．研究の流れと方法

研究の流れと方法を図 1 に示す。

まず、日独の森のようちえんの動向を把握したうえで、教育理念・保育内容・行政の支援策の 3 つの比較を行う。

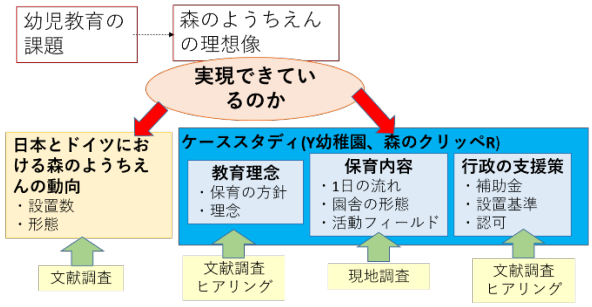


図１　研究の流れと方法

写真１　Ｙ園の位置

写真２　Ｒ園の位置

写真３　Ｒ園の位置

３．日独の森のようちえんの現状

日本の森のようちえんは 203 園であるのに対し、ドイツのようちえんは 737 園と多くなっている。園の種類をみると、ドイツでは常設型が多く、日本では非常設型が多い。本研究では常設型の森のようちえんを事例として日本とドイツを比較した。

４．日独の森のようちえんの概要

「Y 園」は大阪府泉南郡熊取町にあり、職員数は 3 名で園児の数は 5 人である。写真 1 に示すように町内外の 20 カ所以上で活動している。「M 園」は鳥取県智頭町にある。職員数は 8 名で園児の数は 26 名である。写真 2 に示すように町内の 14 カ所で活動している。一方、「R 園」はドイツのフライブルク市にある。職員は 2~3 人の保育士とインターン生で園児の数は最大 10 名である。写真 3 に示すようにフライブルク市のリーゼルフェルトの森で活動している。これらを表 1 に示す。また、活動フィールドの写真を写真 4・5・6 に示す。

表１　森のようちえんの概要

	開園時間	休日	月謝	園舎の形態
Y園（大阪府）	9:00～14:00	夏、冬、春休み、土日祝日	週5:33,000円 週3:25,000円	一軒家を事務所兼園舎として利用
M園（鳥取県）	9:00～17:00	夏、冬、春休み、土日祝日	30,000円	古民家を園舎兼事務所として利用
R園 （フライブルク市）	8:45~12:45	夏、冬休み、その他国民の休日	165ユーロ ＝22,000円程度	トレーラーハウス

写真４・５・６　Ｙ園・Ｍ園・Ｒ園の活動場所

４．教育理念の比較

今村・水谷（2011）の整理を参考に教育理念を比較したものが表 2 である。その結果、ドイツの R 園の方が掲げている項目がやや多いものの 3 園であまり違いがみられないことがわかる。

表 2　教育理念の比較表

	Y園	M園	R園
子供が自分で考える	○	○	○
子供が自然を感じる	○	○	○
生き物に対する加減を覚える	○	○	○
火、水、土、空気を体感する		○	○
子供の体の健康を支援	△	△	○
子供の心理的な健康を支援	△	△	○
子供たちを率いず、寄り添う	○	○	○
危険なことを体感して覚えさせる	○	○	○
想像力の発達	△	○	△
全体的な教育（音楽などの芸術）		△	△
社会性の教育			

○：掲げている
△：やや掲げている
空欄：掲げていない

５．保育内容の比較

ここでは保育内容について、1 日の流れによって比較した。その結果、Y 園・M 園では遊ぶ場所を毎朝子供たちと一緒に決めるのに対し、R 園では活動場所は決まっていた。3 園ともに遊ぶときの行動は子供に任せている。M 園の 1 日を表 3 に、R 園の 1 日を表 4 に示す。

表 3　M 園の 1 日の流れ

○9：00～9:30
集合→移動（連絡ノート提出、健康チェック）
○9:30～10:00
おはようの会（森におはようのごあいさつ、歌、手遊びなど）
○10:00～12:00
おさんぽ（合間におやつを食べます）
○12:00～13:00
お弁当＆自由
○13:30～14:00
さよならの会（絵本、わらべ歌、森にお別れのあいさつなど）
○14:00～14:30
園舎に移動→早帰りの子は帰宅
○14:30～17:00
お昼寝、自由遊び、おやつ
○17:00
解散

表 4　R 園の 1 日の流れ

○8時45分
子供たちは、個別に送迎される。
○9:00
モーニングサークル。すべての子どもたちを再歓迎する。
○9:20
ゲーム。広場や散策に。
○10:15
一般的な朝食
○11:00
ゲーム。また、おむつ交換も行われる。
○12:15ク
ローズグループ。歌って遊ぶ。
○12:45
ピックアップ時間。ベルが鳴ったら、待っている両親が来る。

６．行政の支援策の比較

比較表を表 5 に示す。大阪府では森のようちえんの設置基準が存在せず、補助金がないが、鳥取県、フライブルク市では設置基準が整備されており「M 園」75%、「R 園」80%の補助金が支給されている。また、3 園とも保育士の人数が定められているが、M 園と R 園では運営費の補助があるため、より多くの保育士を雇用することが可能となっている。

表 5　支援策の比較表

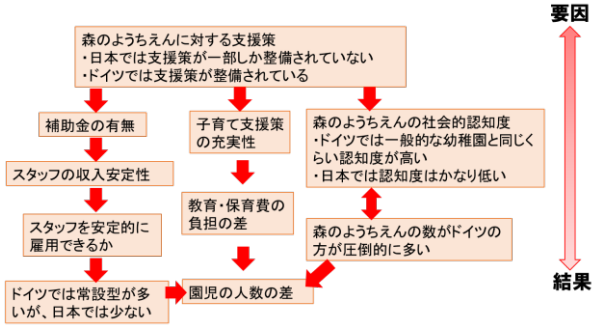
	公的設置基準の有無	設置基準		公的補助金	
		基準の性格	内容	園への補助	家庭への補助
Y園（大阪府）	×	自主基準	・従業員が最低2 ・子供7人につき1人増やす ・従業員は幼稚園、保育園の先生の資格を持っている人。など	なし	なし
M園（鳥取県）	○	鳥取県	・自従業員は最低2人。 ・従業員は子供6人につき1人。 ・1人は必ず保育士、幼稚園の先生の資格を持っていること。など	補助金のうち、鳥取県からが50%、智頭町からが25%。	第1子は無し。第2子は条件が合えば出る。第3子は無条件に出る。
R園（フライブルク市）	○	バーテン＝ヴェルテンベルク州	・建造物は許されない→トレーラーハウス ・2~3歳で10人までのグループで2人の保育士が必要。など	運営費のうち、60%が州から、20%が市から出ている。	調査中

７．結論

本研究は森のようちえんにおける教育理念・方法の日独の相違点を分析するため、３園を比較した。その結果、次のことが明らかとなった。

３園について教育理念と保育内容の違いはないが、支援策については大きな違いがあった。具体的にはＭ園とＲ園は支援策が充実しているが、Ｙ園は全くない。よって、図 2 に示すような差が生じた。

図 2　支援策の有無による違い



参考文献

１）今村光章、水谷亜由美(2011)：森の幼稚園の理念の紹介，日本環境学会

２）森のようちえん全国ネットワーク
http://www.morinoyouchien.org/modules/tinyd07/

３）社団法人　自然及び森の幼稚園連邦連盟，
http://bvnw.de/

４）杉山浩之（2014）：海外視察報告

P2-032
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

旅行商品のタイプⅠラベル認定基準の検討

Development of type 1 label certification criteria for travel products

○金子大輝 [1)]、稲葉敦*[1)]
Daiki Kaneko, Atsusi Inaba
1) 工学院大学
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1.背景

2016 年度における日本人による国内旅行者数は約 6 億 4 千万人であり、2011 年度比で約 1.05 倍とほぼ横ばい [1)]だが、、2016 年度における訪日外国人旅行者数は約 2 千 4 百万人で、2011 年度比で約 3.87 倍に増加している [2)]。2020 年の東京オリンピックが開催されることから、訪日外国人旅行者が増加すると予想され、環境影響の低い国内旅行を推奨していくことが望まれる。

本研究では、環境負荷の少ない旅行商品を提供するために、消費者に認知度の高いタイプⅠラベルを導入することを想定し、その認定基準について検討する。

2.研究手順

2.1 タイプⅠラベル認定基準の作成

2015 年度に検討した「エコツアー」の認定基準 [3)]では一般的に販売されているツアーを評価できないため、本研究ではこれを参考にして、旅行の 4 要素である移動・宿泊・食事・観光の 4 つの分野に分け、それぞれで計画されているツアーの行動を調査し、点数で評価する。さらに、タイプⅠラベルの申請者の取り組みも分野として取り入れる。

2.2 ケーススタディ

宿泊の有無、移動距離を考慮し、一般的に販売されているツアーの代表的なものを評価し、認定基準が成り立つかどうか検討する。

3.結果

3.1 タイプⅠラベル認定基準の作成

評価方法は 1～5 点の加点方式を採用した。旅行客の行動が決まっていることを前提として、本研究では添乗員同行プランの認定基準を作成する。作成した項目の詳細を次に示す。①申請者の取り組みについては、既往研究の項目としてあった「申請者が ISO14001 を取得している」、「申請者の団体に環境部門又は担当者（兼任）がいる」、「申請者が、HP またはチラシ等広報活動において、環境教育または環境への意識を促す内容の掲載を行っている」の 3 項目をそれぞれ 5 点とした。②移動については、添乗員同行プランにおいて想定しうる移動方法として現地までの移動方法は、鉄道（新幹線）、航空機、貸し切りバスによる行動を想定した。また、CO_2 排出量原単位が一番小さい鉄道（新幹線）基準として点数を付けることにした。また、現地での移動方法は、添乗員同行プランで貸し切りバスと鉄道を利用する場合を想定した。詳細を 3.3 に示す。③食事については、昼食時に環境を配慮した食事場所を使用することを 5 点として評価することとした。④宿泊については、宿泊施設をシティ・リゾートホテル（旅館を含む）とビジネスホテルで分けた。さらに、宿泊プランの食事の有無で場合分けをした。詳細を 3.3 に示す。⑤観光については、自然体験や文化遺産巡りの場合は環境負荷がないので 5 点とした。

最高獲得点数は申請者の取り組み 15 点、移動については現地への移動で 5 点と現地での移動で 5 点の合計 10 点、食事、宿泊、観光ついてそれぞれ 5 点の合計 40 点とした。

3.2 アンケート

現地までの移動については、配点に移動距離を考慮すべきと考えアンケートを実施した。また、現地での移動方法についても貸し切りバスと鉄道を利用する場合ではどちらがエコマークを推奨できるかアンケートを実施した。宿泊も宿泊施設のグレードについて考慮すべきと思いアンケートを実施した。

エコプロダクツ 2017 展で 88 人を対象にアンケートを実施し、質問項目は移動に関する質問 2 つと、宿泊に関す質問 1 つとした。次に質問項目を示す。

1) 現地までの移動方法における CO_2 排出量と移動時間を考慮した際、移動距離ごとに許容できる移動方法はどれか。2) 現地での移動方法として大阪市内を観光することを仮定すると、鉄道と貸し切り観光バスのどちらをエコマークに推奨できるか。3) 宿泊については、高価の宿泊施設は安価な宿泊施設に比べ何倍の CO_2 が排出されていると思うか。

結果の例として 1)は、約 400km 以内の場合では約 100%の人が新幹線を許容できる結果となった。バスは移動時間が長く、航空機は安全面と空港からのアクセスの不便さから許容できる人の割合は低かった。約 400 ㎞から約 700 ㎞では、バスを許容する人の割合は著しく低下し、航空機を許容する人の割合は多少上昇した。新幹線は乗車時間が増加するため許容できる人の割合が多少減少したが、80%以上の人が許容できるという結果となった。約 1000 ㎞では新幹線でも乗車時間が約 7 時間かかることから許容できる人の割合が約

40%となり、80%以上の人が航空機を許容できるという結果になった。

1）のアンケート結果を図 1 に示す。

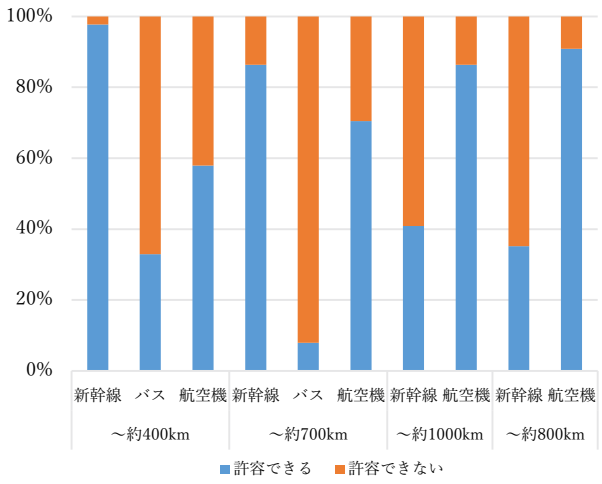


図 1　現地までの移動距離による許容できる移動方法

3.3 アンケート結果からのの点数の決定

3.3.1 アンケートと CO_2 排出量を考慮した点数の決定

(1)アンケート項目 1)の結果から移動方法において許容できる人の割合が 100%の場合を 5 点とし、図 1 の距離別による移動方法の許容できる人の割合に 5 点を掛けて、それぞれの移動方法の点数とした。アンケート項目 2)に関しても同様に計算し点数を求めた。

(2)移動方法の環境負荷も考慮して点数を決めるため、基準項目の移動の項目をアンケート結果と国土交通省が掲載している運動部門における CO_2 排出量[4]を基に点数を決めた。各移動方法における CO_2 排出量を図 2 に示す。

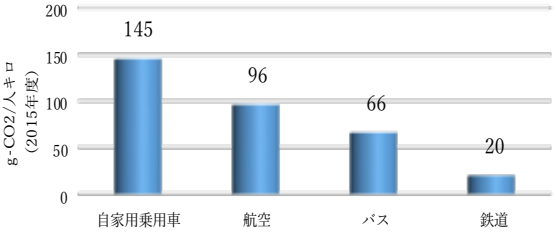


図 2　輸送量当たりの二酸化炭素の排出量（旅客）

図 2 を基に自家用乗用車の 145g-CO_2/人キロと航空、バス、鉄道の CO_2 排出量の差を一番環境負荷の少ない鉄道の値を 5 点とし、各移動方法の点数を求めた。

3.3.2 移動項目の点数

(1)、(2)で算出した各移動方法の値を足し、2 で割った点数を移動の項目とした。求めた移動の点数を表 1 に示す。

表 1　各条件の移動手段の点数

条件	現地への移動方法								現地での移動方法	
	～約400km			～約700km			～約1000km			
移動手段	新幹線	バス	航空機	新幹線	バス	航空機	新幹線	航空機	地下鉄	貸し切りバス
点数	5	3	3	5	2	3	4	3	5	3

3.3.3 宿泊の項目の重み付け

アンケート項目 3)の結果、約 5 倍の CO_2 が排出されていると想定されることが分かった。これを点数として用いるのではなく、認定基準書の付属証明書のシティ・リゾートホテル（旅館を含む）とビジネスホテルに分けた際の、重み付けとして活用した。

3.4 作成した認定基準によるケーススタディ

ケーススタディを行ったツアーの詳細を表 2 に示す。

表 2　評価したツアー名

番号	ツアー条件	各ツアー名
①	日帰りバスツアー	とろけるおいしさ♪トロゆば体験＆さくらんぼ狩りと東洋のナイアガラ吹割の滝/池袋発
②	約400km以内で新幹線を利用する	金沢・高山・信濃路の旅　3日間
③	約400km以内で新幹線を利用する	ベストヒット宮島・萩　3日間
④	約1000kmで飛行機と新幹線を利用する	こだわりたっぷり道南ハイライト　3日間
⑤	島嶼地へ行く（航空機を利用）	ホテル連泊でらくらく観光・八丈島自慢の海鮮料理に舌鼓・東京亜熱帯地区の南の楽園・独特の文化と歴史の島「八丈島」　3日間

今回の評価では申請者の取り組みはすべて満たしていると仮定し、移動、食事、宿泊、観光の全体で 35 点以上であればタイプ I ラベルを認定できることとする。日帰りのツアーは宿泊の項目を考慮しないので 30 点以上のツアーを認定できることとする。小数点第 1 位は四捨五入して考えた。5 つのケーススタディ結果を表 3 に示す。

表 3　ケーススタディ結果

各ツアーの場合	①	②	③	④	⑤
申請者の取り組み	15	15	15	15	15
移動の項目	6	7	6	7	6
食事の項目	0	0	0	0	3
宿泊の項目		0	0	0	3
観光の項目	5	5	5	3	5
合計得点	26	29	27	28	32

ケーススタディした結果、ほとんどのツアーは昼食と宿泊施設での食事の提供時に環境に配慮した取り組みが掲載されていないので得点が低くなった。

4.まとめ

タイプ I ラベル認定基準の概要を作成し、一般的に販売されているツアーを評価した結果、基準項目をさらに詳細化し、評価項目の改良が必要であることが分かった。今後は付属証明書、算定方法を検討していきたい。

参考文献

1)国土交通省　観光庁「統計情報・白書」<http://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/shouhidoukou.html>(2017-6-26)

2)日本政府観光局「訪日外客統計の集計・発表」<https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/data_info_listing/index.html >(2017-6-19)

3)吉田知史　工学院大学卒業論文（2011）P.3-77

4)国土交通省　運動部門における二酸化炭素排出量<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html>(2017-6-5)

P2-034
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

宿泊施設における 1 泊あたりの CO2 排出原単位の算定

Calculation of CO2 emission per night at accommodation facilities

○齋藤　遥香[1)]、竹内　孝曜[2)]、深津　学治[2)]、稲葉　敦[1)]*
Haruka Saitou , Takaaki Takeuchi , Gakuchi Fukatsu , Atsusi Inaba
１）工学院大学、２）グリーン購入ネットワーク（GPN）
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

近年、訪日外国人旅行者数は増加し、2016 年には 2012 年比で約 3 倍の 2,400 万人を超えるまでとなった[1)]。2020 年には東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会が開催されることから、今後も更なる旅行者数の増加が予想される。また、宿泊需要の拡大に伴い、都市部ではホテル等の新設開発が進んでいるため、宿泊に伴う CO_2排出量の増加が懸念されている。

そのような中で、東京 2020 大会では持続可能性に配慮した大会とするため、「持続可能性に配慮した運営計画」が策定され[2)]、主要 5 つのテーマのなかに「気候変動（カーボンマネジメント）」を位置づけ、大会に関連して排出される CO_2をはじめとする温室効果ガスの最初化を目指すことが示された。また、大会関係者が宿泊する施設に対する省エネ対策推進の働きかけが検討されている。

そこで、本研究では、東京 2020 大会の開催地を中心としたホテル・旅館等の宿泊施設へアンケート調査を実施し、宿泊における 1 泊あたりの CO_2排出原単位の算定を行い、環境に配慮したホテル・旅館等の取り組みの見える化、環境保全に取り組むホテル・旅館等が評価される市場の確立について検討を行う。

2. 既往研究

2010 年度に玉利ら[3)]は、ホテルへのヒアリングにより得たデータ（宿泊人数、エネルギー消費量等）をもとに、宿泊による CO_2排出量の推計式を求めた。そこでは宿泊の推計式は、エネルギー消費、水道水使用、アメニティより排出される CO_2の和とした。このとき、施設全体のエネルギー消費量から宿泊に伴う部分と宴会・結婚式等に伴う部分の切り分け方法については経済産業省の資料をもとに算定を行った。

3. 研究手順

3.1 温対法を用いた算定

温対法の報告対象となっている施設（ホテル・旅館）について、温対法の公開データより、年間 CO_2排出量（A）について調査し、次に対象施設の売上高（B）を Web で調べた。1 円あたりの CO_2排出量を算定し、ホテルの部屋代を乗じて 1 泊の CO_2 を求めた。

3.2 宿泊施設へのアンケート調査

3.2.1 調査票の作成

既往研究において、宿泊に伴う部分と宴会・結婚式等に伴う部分の切り分け方法について課題があり、アンケート調査表の作成にあたり、グリーン購入ネットワーク（GPN）会員団体の協力のもと、電気・ガスといったエネルギー消費量をどのように把握しているか、宿泊に伴う部分のエネルギー消費量についてどのように分配が可能か、ヒアリングを行った。

本研究では宿泊を 1 泊 2 食付きと定義し、宿泊施設の設備、エネルギー消費量、付属のレストランの食材の種類とその購入量等について、調査した。宿泊分と宴会分の切り分けについては、各エネルギー消費量がどの範囲のものか回答していただくこととした。

3.2.2.1　1 泊あたりの CO_2排出原単位の算定方法

本研究では、1 人 1 泊あたりの CO_2排出量の算定において、積み上げと全体からの配分する方法の 2 通りについて検討を行うこととした。

①積み上げ

1 部屋あたりの付属備品（照明・電化製品等）の種類及び数、浴槽の容量を調査し、電力や水の消費量をもとに、1 部屋あたりの一泊の CO_2排出量を求めた。

②全体から計算

施設全体のエネルギー、電気・ガス・水道の消費量のデータより、宿泊人数のデータを用いて 1 人 1 泊あたりの CO_2排出量を求めた。

3.2.2.2 食事の CO2 排出量の算定方法

施設に付属するレストランの食材購入額のデータよりと味の素の CO_2排出係数データベース[4)]を用いて、各食材金額あたりの CO_2排出量を求め、それぞれのレストランの 1 食あたりの CO_2排出量を求めた。

3.2.3 調査依頼先の選定

調査依頼先は東京 2020 大会の立候補ファイル（宿泊施設）のほか、一般社団法人日本ホテル協会・一般社団法人全日本シティホテル連盟・一般社団法人日本旅館協会の加盟施設、グリーン購入ネットワーク

（GPN）会員団体よりホテル 200 施設、旅館 120 施設を選定した。

4. 結果

4.1 温対法

温対法の報告対象施設のうち、年間売上高を公表している施設は 3 施設であった。算定が行えた 3 施設の公開情報、結果を表 1、表 2 に示す。1 部屋の値段は各ホテル 1 番数の多い部屋の値段を用いた。

表 1　ホテルの公開情報

ホテル名	年間CO_2排出量(t)		年間売上高	1部屋の
	全体	宿泊	(百万円)	値段(円)
リーガロイヤルホテル東京	5,786	2,662	703	49,896
リーガロイヤルホテル大阪	27,407	12,607	4,773	61,776
ホテルニューグランド横浜	4,472	2,057	1,170	49,896

表 2　算定結果

ホテル名	1円あたりのCO_2排出量(g-CO_2/円)	1 部屋あたりのCO_2排出量(kg-CO_2/泊)
リーガロイヤルホテル東京	3.8	188.9
リーガロイヤルホテル大阪	2.6	163.2
ホテルニューグランド横浜	1.8	87.7

4.2 宿泊施設へのアンケート調査に基づいた算定結果

調査回答施設は、ホテル 3 団体、旅館 37 団体であった。回答いただいた調査票のうち、算定に必要な項目が未記入の団体には、個別にヒアリングを行った。

4.2.1 積み上げ

調査票の回答内容より、部屋の付属備品等のエネルギー消費量を積み上げ、1 部屋の 1 泊あたりの CO_2 排出量を求めた。また、算定条件として、部屋に滞在する時間を 19 時から翌日 10 時までとし、各製品の使用時間を仮定した。電力は 0.559 [kg-CO_2/kWh][5]とした。ホテル A の算定結果を表 3 に示す。

表 3　ホテル A の 1 部屋あたりの CO_2 排出量

	電力(W)	個数	時間(h)	IDEA(kg-CO_2/kWh)	CO_2排出量(kg-CO_2)
白熱灯	60	13	8	0.559	3.49
LED	60	6	8	0.559	1.61
電気ポット	600	1	1	0.559	0.34
TV	65	1	8	0.559	0.29
空気清浄機	27	1	15	0.559	0.23
冷蔵庫	18	1	15	0.559	0.15
合計	-	-	-	-	6.10

また、浴槽の容量は 200[l]のため水の使用量は 200[l]と仮定し排出原単位を 0.367[kg-CO_2/m^3][5]とした。算定の結果 0.07[kg-CO_2]になった。浴槽の水を沸かすための温度を 10℃から 42℃と仮定しボイラーの重油の排出原単位を 0.0802[kg-CO_2/MJ][5]とした。ボイラー効率 η を 0.7 とすると算定の結果 3.07[kg-CO_2]になった。これらを合算すると、積み上げ式による 1 部屋の CO_2 排出量は 9.24[kg-CO_2]となった。

今回宿泊を 1 泊 2 食付きと定義したため、レストランの CO_2 排出量の分析も行った。付属のレストランは 5 つあり、それぞれのレストランの 1 食あたりの CO_2 排出量を求めた。その値を平均すると 9.58 [kg-CO_2]であった。2 食では 19.16 [kg-CO_2]になる。ホテルのレストランは宿泊以外での利用者がいると考えられるため合算しなかった。

4.2.2 全体から計算

調査で得たデータを用いて、年間の CO_2 排出量の計算を行った。エネルギー消費量と CO_2 排出量等について表 4 に示す。また年間宿泊者数を用いて 1 人あたりの 1 泊の CO_2 排出量の計算を行った。計算の結果、72.8[kg-CO_2/人]となった。

表 4　ホテル A の CO_2 排出量

	エネルギー消費量	IDEA(kg-co2eq)	CO_2排出量(kg-co_2)	年間宿泊者数(人)
電気使用量(kWh)	45,000,000	0.559	25,155,000	-
ガス使用量(m^3)	4,600,000	0.543	2,497,800	-
水道使用量(m^3)	530,000	0.367	194,510	-
合計	-	-	27,652,800	379,642

今回宿泊とそれ以外のエネルギー消費量を切り分けられるようにアンケートを作成したが、切り分けた回答を得ることが出来なかった。

5. まとめ

表 2 のリーガロイヤルホテル東京・リーガロイヤルホテル大阪の CO2 排出量がホテル A の約 2 倍である。リーガロイヤルホテル東京・リーガロイヤルホテル大阪は 1 部屋に 2 名で宿泊する人が多いと考えれば、1 人あたりではほぼ同等の CO_2 排出量となる。また、同様に考えると、ホテルニューグランド横浜は 1 名での宿泊が多いと思われる。

ホテル A の積み上げ式と全体からの計算を比較すると、約 8 倍異なることがわかった。宿泊とそれ以外に伴うエネルギー消費量の切り分けが今後の課題である。

6. 引用文献

1)独立行政法人　国際観光振興機構
http://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/visitor_trends/
2)東京 2020 組織委員会
https://tokyo2020.jp/jp/games/sustainability/sus-plan/
3)玉利有香,工学院大学卒業論文(2010)
4)味の素 食品関連材料 CO2 排出係数データベース(2005)
https://www.ajinomoto.com/jp/activity/environment/pdf/2010/lcco2.pdf
5)LCI データベース IDEA version 2.1.3 (2017/02/01), 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 社会と LCA 研究グループ,一般社団法人 産業環境管理協会

P2-035

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

エコマーク認定飲食店における CO_2 の削減貢献量の算定ツールの作成

Development of a tool to calculat of CO_2 reduction for restaurant in accordance with Eco Mark

○山田　大紀[1)]、大澤　亮[2)]、本間　隆之[2)]、稲葉　敦[*1)]

Taiki Yamada,Ryou Ohsawa,Takayuki Honma,Atsushi Inaba

1) 工学院大学, 2) 公共財団法人日本環境協会

*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1　緒言

2015 年のパリ協定の採択を受け、日本では民生部門（その他業務部門）における温室効果ガスの大幅な削減が課題となっている。Fig.1 に示すように民生部門の CO_2 排出量が年々増加しており、飲食店においても取組が求められている。そのような背景のもと、2017 年 9 月に「飲食店」のタイプⅠ環境ラベル「エコマーク」認定基準が制定された。本研究では、飲食店事業者がその認定基準に従って取組を推進することによる CO_2 排出削減貢献量を見える化し、各社の継続的かつ計画的な取組の推進につなげることを目的とする。また飲食店事業者が使用できる簡易計算ツールを作成する。

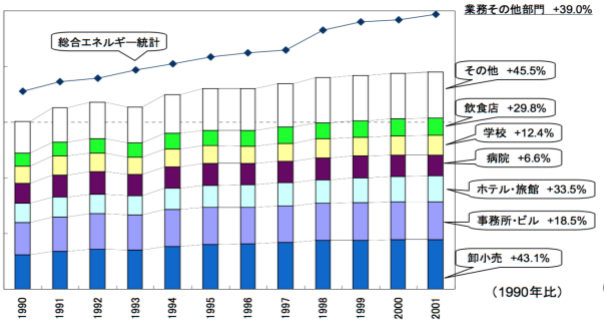


Fig.1 各業種の CO_2 排出量[1)]

2　計算方法

認定基準の代表的な項目を以下にとりあげる。

2-1 輸送距離の削減による CO_2 排出量削減

「産地から店舗までの輸送距離の削減（燃料や CO_2 排出量削減）を意識して、地元でとれた食材を使用している。」という項目である。ここでは輸送距離の削減による CO_2 排出削減量を算定する。以下 Q は飲食店の事業者が記入する入力である。

計算式；（Q;地元でとれた食材を使用した量[kg]）×（①地元の食材 1kg を使用することによる CO_2 排出削減量[kg-CO_2/kg-食材]）

①の設定;例えば関東地方の業者であれば Fig.2[3)]より域内自給率は 55%[2)]であり、CO_2 排出量は約 20［g-CO_2/kg-食材[2)]］である。関東以外の地域からの食材 45%分を関東域内からの調達に変更することにすると CO_2 排出量は（45／55）×20＝16g-CO_2 となる。一方 Fig.2(2)より関東以外の地域から輸送されている食材の CO_2 排出量は 110［g-CO_2/kg-食材］なので 110-16=94［g-CO_2/kg-食材］が削減される。なお上記の計算では店舗が立地する地域の値を使うものとする。

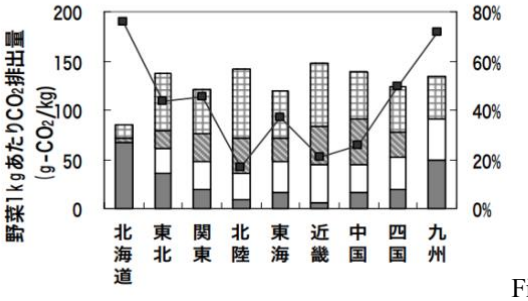


Fig. 2 消費地域別産地別の輸送 CO_2 排出量（国内産）

2-2 有機野菜の使用による CO_2 排出量削減

「有機農産物等（有機 JAS マーク）、または農薬・化学肥料の使用量を減らした特別栽培農産物を使用している。」という項目である。

計算式；（Q;有機農産物の量［kg］）×（①慣行農産物に代替することによる CO_2 排出削減量［kg-CO_2/kg-有機農産物］）

①有機農産物にすることによる CO_2 排出削減量は 120［g-CO_2/kg-有機農産物］（②÷③）とし算出した、②10a あたりの有機農産物の収穫量 853［kg−食材/10a］[4)]を③有機農産物にすることによる 10a あたりの CO_2 排出削減量の 105［kg -CO_2/10a］[3)]で除し求めた。②は、普通畑の面積（平成 25 年度）4866ha[4)]で, 野菜の収穫量（平成 25 年度）41524t[4)]を除した。これにより有機野菜の単位面積あたりの重量が算出できる。③は有機農業と慣行栽培の CO_2 排出量の差で 105［kg -CO_2/10a］[3)]とした。

なおここでは有機農産物と慣行農産物の収量が同じと仮定している。

2-3 省エネルギー型機器の使用による CO_2 排出量削減

「店舗で使用する機器を新規購入または更新するときには、省エネルギー型機器を導入している。」という項目である。

計算式；（①それぞれの業務用標準電気使用量［kwh/年・個］）×（②省エネ率［%］）×（③使用可能年数［年］）×（④電気の CO_2 排出源単［kg-CO_2/kwh］）×（Q;機器の個数［個］）

①～④に関しては機器によって値が異なる。例えば、エアコンであれば①が 3155kwh[5]②が 5.1%[5]③が 6 年[6]④が 0.512kg/kwh[7]となる.②の省エネ率は機器を変えた前年度と比較した数値になるので機器を変えてからは毎年前年度と同じ CO_2 排出削減量が計上される。

2-4 エネルギー使用量削減による CO_2 排出量削減

「過去 5 年度間の原単位評価において、年平均 1%以上の削減を達成している」という項目である。

計算式; (Q;削減%−1%［−］) × (Q;前年度の CO_2 排出量 kg)

前年度の CO_2 排出量は、エコマークの申請書には直接的に載っていないが、原油換算 kl 対年度比は申請書に添付することになっている。そこで、これも事業者がエコマーク事務局に提出することになっている当年度の CO_2 排出量(t-CO_2)と原油換算 kl 対年度比を掛け合わせて前年度の CO_2 排出量を算定する。これに達成した 1%以上の削減率を乗じる。

2-5 食品廃棄物の発生状況の把握による CO_2 排出量削減

「食品廃棄物の発生状況を対前年度比や原単位(売上高当たりの発生量など)で評価するとともに、発生抑制に向けた具体的な目標や計画を立てている。さらに、外食産業における食品廃棄物等の発生抑制の目標値を達成している」という項目である。

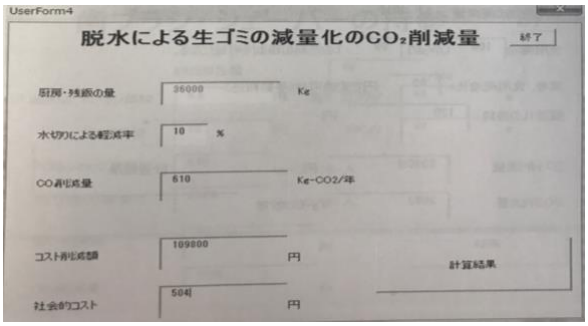
計算式; {(Q;ごみの発生抑制の目標値[kg/百万円]) − (Q;定期報告書で報告されたごみの発生量[kg/百万円])} × (①ごみ処理の CO_2 排出原単位［kg- CO_2/kg-ごみ］) × (Q;売上高[百万円])

①は、IDEA を参考に 0.0284［kg- CO_2/kg-ごみ］とする。Q の項目を事業者の定期報告書から入力すれば CO_2 排出削減量が計算できる。

3　考察及びまとめ

2-1 や 2-2 は計算式に従って未知数を入れるだけで、CO_2 排出削減量が算出できる。また、2-3 は 1 度機器を変えれば毎年 CO_2 排出量削減がされる。それらと異なり 2-4 並びに 2-5 のように重複計算をする恐れがある項目もある。どちらの項目も全体のエネルギー消費量や食品廃棄物の量を考慮する項目なので、エネルギー消費量や食品廃棄物の削減に関係している全ての項目の和と原理的には一致するはずである。しかし基準書の項目はすべてのエネルギー消費削減や廃棄物の削減に関することを取り扱う訳ではないので誤差が生じる。このような重複計算がある項目では重複している部分を自動的に減算する仕組みを作る必要がある。今後それらの要素を加味してプログラムを組み計算ソフトを作成する。Fig.3 にイメージを示す。Fig.3 では一番上の欄が Q となっており、それを入力した後、計算結果をクリックすると下の欄に結果が示される。

Fig.3 計算ツールの例



4　参考文献

1) (公財) 日本環境協会, エコマーク No505「飲食店 Version1.0」認定基準書
<https://www.ecomark.jp/restaurant/505V1_a.pdf>,
2)経済産業省 温室効果ガス排出・吸収目録より算定業務その他部門における現在までの排出量及び関連データについて p.3
https://www.env.go.jp/council/06earth/y060-13/mat_03_2.pdf
3) 立命館大学大学院 理工学研究科吉川直樹他二人
野菜の生産・輸送過程における環境負荷に関する定量的評価(2006) p.4 図 4
消費地域別産地別の輸送 CO_2 排出量
http://www.ritsumei.ac.jp/se/rv/amano/pdf/2006S-yoshikawanaoki.pdf
4) 農林水産省
有機農業の推進について　平成 27 年 2 月　p.10,11
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/yuuki/convention/h26/pdf/d01.pdf
5) 平 健太郎
有機農業における生産時 CO_2 削減効果に関する研究 (2004)p.2
http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~nakaguti/kenkyuuseika/2004/2004-taira.pdf
6) 経済産業省 省エネ性能カタログ
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/more/pdf/winter2017.pdf
7) 国税庁　耐用年数（器具・備品）（その１）より
https://www.keisan.nta.go.jp/survey/publish/34255/faq/34311/faq_34358.php
8) 環境省・経済産業省　電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) (2017) p.5
一般送配電事業者代替値　より
http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h30_coefficient.pdf

P2-037
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

低炭素型家庭ごみ処理システムの研究

Study of low-carbon household waste processing system

○安川　隼平 [1)]、田中　浩二 [2)]、稲葉　敦*[1)]
Shunpei Yasukawa, Koji Tanaka, Atsusi Inaba
1)工学院大学, 2) e.s.feed 株式会社
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1.　緒言

現在、日本の CO_2 排出量は横ばいであるが、日本政府はパリ協定で-26% [1)]を削減目標にした。また、年々高齢者の人口は上昇し、現在の高齢化率は 27.3% [2)]に達している。住民の高齢化や人口減少が顕著な地方都市では、従来型の廃棄物処理及び下水処理システムの見直しや、さらに地球温暖化対策への対応が求められている。そこで、高齢化社会におけるごみ出し労働が軽減できることや下水処理場での生ごみ由来のエネルギー回収量の増加が期待できることから、生ごみを粉砕し、水と一緒に排水管に流すディスポーザーへの関心が高まっている。生ごみを含んだ排水を住宅で何の処理もせず直接、下水管に排出するものは直投型ディスポーザーと呼ばれる。

2.　研究方法

既往の研究では、直投型ディスポーザーの普及によって得られるメタン発酵発電による電力回収の効果(CO_2 排出量及びコスト)があまり大きくなかった [3)]。そこで、本研究では、直投型ディスポーザーを導入し下水汚泥を肥料化するシステム(C)の CO_2 排出量とコストを調べ、下水処理場から発生した汚泥を脱水し焼却する従来脱水システム(A)及び下水処理場にメタン発酵発電設備を有しているシステム(B)と比較する。3 つのシステム A、B、C のフローを図 1 に示す。

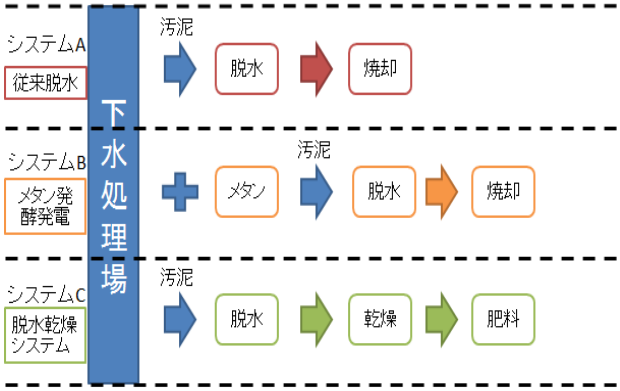


図 1　比較対象とする汚泥処理システムのフロー

3.　結果

3.1　下水汚泥を肥料化するシステム(C)

他の汚泥の資源化方法を調査するために、国土交通省・下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）による「脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術実証研究」[4)]を行っている月島機械株式会社（栃木県鹿沼市黒川終末処理場）をヒアリング調査した。開発された脱水乾燥システムは、「機内二液調質型遠心脱水機」と「円環式気流乾燥機」を組み合わせた脱水乾燥システムであり、乾燥汚泥含水率の調整が可能となる技術である。１つのシステムで様々な有効利用用途に対応することができ、地域ニーズに適合した汚泥の多様な利用が期待される。また、中小規模下水処理場において、建設費、維持管理費の削減による事業経営の改善に貢献することが期待される。

3.2　CO_2 排出量及びコストの算定

本研究では、家庭(150 戸の集合住宅)から出る可燃ごみ(紙類、プラスチック類、生ごみ)と 3 つのシステムで排水を処理する方法について、ケース①(図 1)を直投型ディスポーザー普及率 0%、ケース②(図 2)を普及率 100%の時とし、それぞれの CO_2 排出量とコストを算定した。結果を表 1 に示す。表 1 の算定項目(ⅰ)～(ⅶ)は、3 つのシステムそれぞれ同様に算定を行った。

図 2　ケース①のフロー

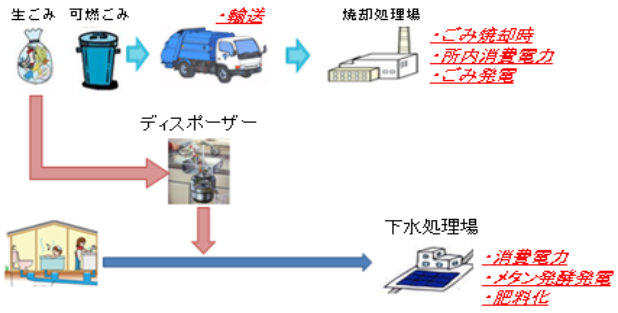


図 3　ケース②のフロー

表1　家庭ごみ処理におけるCO_2排出量及びコストの算定結果

算定項目	CO_2排出量 [t-CO_2/（年・150戸）]						コスト ×10^6[円/（年・150戸）]					
	従来脱水		メタン		肥料化		従来脱水		メタン		肥料化	
	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②	ケース①	ケース②
(ⅰ)可燃ごみ輸送	0.90	0.55	0.90	0.55	0.90	0.55	0.85	0.51	1.23	0.73	0.85	0.51
(ⅱ)ごみ（プラスチックごみ）燃焼	19.88	19.88	19.88	19.88	19.88	19.88	-	-	-	-	-	-
(ⅲ)焼却処理場	7.13	4.33	7.13	4.33	7.13	4.33	1.47	0.88	0.60	0.36	1.47	0.88
(ⅳ)助燃剤利用	0.18	0	0.18	0	0.18	0	-	-	-	-	-	-
(ⅴ)ごみ発電による削減量	-14.38	-13.32	-14.38	-13.32	-14.38	-13.32	-0.89	-0.82	-0.89	-0.82	-0.89	-0.82
(ⅵ)ディスポーザー（水及び電力消費由来）	0	1.21	0	1.21	0	1.21	0	0.17	0	0.17	0	0.17
(ⅶ)下水処理場	22.35	22.51	20.33	20.58	22.35	22.51	8.45	8.49	6.71	6.74	8.45	8.49
(ⅷ)汚泥処理及び乾燥汚泥肥料生産	58.50	60.17	21.10	21.60	23.53	24.29	2.63	2.72	1.58	1.59	1.94	2.03
(ⅸ)メタン発酵発電及び肥料化による削減量	0	0	-5.11	-5.82	-14.05	-15.27	0	0	-0.32	-0.36	-0.57	-0.61
合計	94.56	95.33	50.03	49.01	45.54	44.18	12.51	11.95	8.91	8.41	11.25	10.65

下水処理場について、既往の研究であるメタン発酵発電では、H26 年度の芝浦水再生センターのデータを用いたが、本研究では H27 年度に更新した。

3.2.1　CO_2 排出量算定

ごみ焼却の時の可燃ごみ中の生ごみ、紙ごみの燃焼による CO_2 排出量は、カーボンニュートラルの概念に基づきゼロとし、プラスチックごみの燃焼による CO_2 排出量のみを対象とした。また、ごみ発電における CO_2 排出削減量は、可燃ごみの熱量をごみ種別毎に算定し、ごみ全体の熱量に発電効率（12.84%[5]）を乗じて求めた発電量と CO_2 排出量原単位[6]より算定した。

算定項目(ⅶ)は、直投型ディスポーザーの消費電力量、水使用量（平均使用水量 5[L/（人・日）][7]）と CO_2 排出量原単位[6]より算定した。

算定項目(ⅷ)は、各ユーティリティーの量と CO_2 排出量原単位[6]より算定した。また、算定項目(ⅸ)は、生産した乾燥汚泥肥料に含まれる N 量と P_2O_5 量を CO_2 排出量原単位[6]で乗じ、足したものを肥料によってできる削減効果とした。このとき、N と P_2O_5 のみを有効成分とし、それ以外は無価値とした。

システム A では、ディスポーザーの普及によって下水中に有機物が増えるので CO_2 排出量が増した。

また、ディスポーザーの普及によって削減効果大きいのはシステム C（肥料化）であった。

3.2.2　コスト算定

コストはランニングコストのみを算定し、各施設及びディスポーザーの購入費と維持管理費等は算定外とした。コストの算定項目は、(ⅱ)と(ⅳ)を除いたものである。

算定項目(ⅸ)は、一般的に売られている化学肥料（尿素と溶性リン肥）の 1kg 当たりのコストと乾燥汚泥肥料に含まれる N 分と P_2O_5 分の 1kg 当たりのコストの差を肥料によってできる削減効果とした。このとき、N と P_2O_5 のみを有効成分とし、それ以外は無価値とした。

表 1 より、ディスポーザーの普及によって削減効果大きいのはシステム C(肥料化)であった。

4.　まとめ

CO_2 排出量では、システム C（肥料化）よりシステム B（メタン発酵発電）の方が大きく、項目(ⅸ)に大きな差があることが分かった。しかし、項目(ⅷ)ではシステム C の方が大きい。これは、肥料化するにあたり、含水率が約 97%と極めて高い下水汚泥を脱水・乾燥させなければいけないため多くの重油と凝集剤を使う必要があることが原因だと考えられる。

またコストでは、システム C（肥料化）よりシステム B（メタン発酵発電）の方が安価であることが分かった。ランニングコストのみを算定したが、メタン発酵発電施設は建設費等が大きいのに対し、システム C は脱水と乾燥を一体化にしたため建設費等が低くなるので、導入の際にはイニシャルコストも含め総合的に判断する必要があると言える。

直投型ディスポーザーの普及によって得られる削減効果（CO_2 排出量及びコスト）は、メタン発酵発電による電力回収より、下水汚泥を肥料化したときの方が大きいことが分かった。これは化学肥料に比べて乾燥汚泥肥料の CO_2 排出量及びコストがかなり低かったのが原因であるが、さらに、重油使用量と凝集剤の注入率を削減することができれば CO_2 排出量とコスト共に大きく削減できると考えられる。

5.　参考文献

1)環境省
「http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html」
2)内閣府　平成 29 年版高齢社会白書
「http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/29pdf_index.html」
3)出口明日香　工学院大学卒業論文（2016）
4)横幕宏幸，高尾大，中村友二，森田真由美，中小規模処理場向け脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術実証研究，第 54 回下水道研究発表会，p967-969
5)環境省　日本の廃棄物処理（平成 26 年度版），p.19
6)IDEA 原単位計算結果
7)国土交通省　ディスポーザー普及時の影響判定の考え方, p.31

P2-038

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

衣料品拠点回収の改善案の検討

Examination of improved station collection for clothing

○矢島佑哉*[1)]、橋本征二 [1)]

Yuya Yajima, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学

* rv0041hr@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

日本における衣料品の供給量は約144万トン、廃棄量は約136万トンと推定されているが、このうち、リサイクルされている衣料品は約30万トンに過ぎず、およそ106万トンは一般の廃棄物として焼却や直接埋立されているとされる[1)]。しかしながら、衣料品を回収しリサイクルすることで、その焼却や新規製造におけるエネルギー消費・CO_2排出を削減することができる。

衣料品の回収方法には、通常のごみ収集で資源ごみとして回収する「資源ごみ回収」、役所などの施設に回収場所を設置し回収する「拠点回収」、地域団体(自治会、子供会、PTAなど)が主催して回収する「集団回収」、イベント開催時に回収する「イベント回収」などがある。京都市では「拠点回収」を行っているが、これに関する市民の認知度を改善し、回収への協力を促進させることは、衣料品の廃棄量を減少させ、リサイクルを促進させる上で重要である。

このようなことから本研究では、京都市で行われている「拠点回収」を対象として、市民が回収拠点や衣料品リサイクルに対して持つ認識を調査し、課題を明らかにするとともに、衣料品の回収量を増加させる方策を検討した。

2. 事前調査

2.1 方法

本研究の予備調査として、行政担当者および拠点回収利用者を対象にヒアリング調査を行った。

行政担当者に対しては、回収拠点の現状把握としての表1に示すような質問を行った。

また、拠点回収利用者に対しては、広瀬の環境配慮行動モデル[2)3)]を参考に、表2に示すような質問を行いながら様々な意見聴取を行った。広瀬の環境配慮行動モデルは、社会的ジレンマの基本的構造を共有している生活排水やごみ問題などの地域レベルの資源環境問題において、環境配慮的行動全般を共通に説明しうる規定因を一般的モデルとして図1のように提起したものである。このモデルをベースに、図1に示す各認知・評価に関連する表2のような質問を行いながら、それ以外の理由についても聞き出すようヒアリングを行った。

表1　行政担当者へのヒアリング内容

① 拠点回収を行う理由
② 回収拠点の選定理由
③ 拠点回収の利用者数・推移
④ 拠点回収による回収量・推移
⑤ 拠点回収の広報の状況・市民の認知の状況
⑥ 拠点回収に関する市民からの要望・苦情
⑦ 回収された衣料品の状況(混入物・非対象物等)
⑧ 回収後の衣料品の処理状況

表2　拠点回収利用者へのヒアリング内容

導入	①どうして拠点回収を利用しようと思ったのか
環境リスク認知	②可燃ごみとして出すことは環境に良くないと思うか
責任帰属認知	③衣料品を分別して出す責任があると思うか
対処有効性認知	④衣料品を分別して出すことで環境のためになっていると思うか、⑤回収した衣料品がどうなっているのか知っているか
実行可能性評価	⑥回収拠点は利用しやすいか、⑦なぜこの拠点に出しに来たのか
便益・費用評価	⑧衣料品を分別して出すことは大変だと思うか、⑨衣料品を可燃ごみに出すことに抵抗があるか
社会規範評価	⑩周りの人も衣料品の分別をしていると思うか

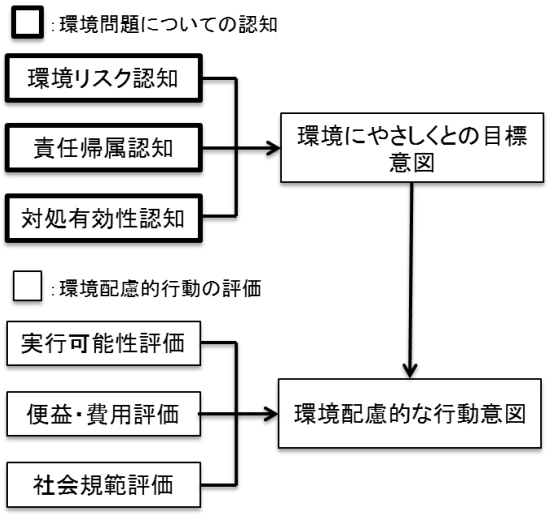


図1　環境配慮的行動と規定因との要因関連モデル

2.2 結果と考察

(1) 行政担当者へのヒアリング

2017 年 10 月 16 日、京都市役所においてヒアリングを

行った。表 1 の質問①については、平成 32 年までにゴミの量を平成 12 年から半減させる目標があり、市民が資源ごみを出す機会を増やすためとのことであった。質問②については、各行政区に一つ、そして多くの行政区に隣接している上京区に大きな拠点を設けることで、分別回収の効率を上げることを考え配置しているとのことであった。質問③については詳細なデータは無いものの、上京リサイクルステーションでは、平日約 100 人前後、土日には約 200 人前後の人が利用しているとのことであった。質問④については、回収拠点ごとのデータは無いが、市全体として衣料品の回収量が、約 145 トン(平成 26 年)から約 242 トン(平成 28 年度)へと増えているとのことであった。質問⑤については、パンフレットや市民新聞、または婦人会にてセミナーを行うなど積極的な広報の状況が確認できた。質問⑥については、「回収拠点が遠い」「土日も回収を行って欲しい」などの意見があるとのことであった。質問⑦については、対象外の汚れた下着などがあるので分別し、対象外のものは可燃ゴミとして処理しているとのことであった。質問⑧について、再利用可能なものは裁断され、工場で雑巾として使用されたり、ビリヤード台のラシャとして使用されているとのことであった。また、比較的きれいな衣料品は、海外で商品として売買されるケースもあるとのことであった。

(2) 拠点回収利用者へのヒアイング

2017年11月5日、上京リサイクルステーションに衣料品を持ち込んだ方25名を対象にヒアリング調査を行った。表2の質問①については、「捨てるのはもったいない」「車で持ち込めるので便利」のほか「家の建て替えで大量にゴミが出た」「亡くなった方の遺品処理」などの理由もあった。質問②では多くの人(22名)が「そう思う」と答えたが、「自分が回収拠点に出していても他人が出さないと何も変わらない」という意見もあった。「そう思わない」と答えた人は「分別したところで、どのように環境に良いのか分からない」とのことであった。質問③でも多くの人(19名)が「そう思う」と答えたが、「忙しい人もいるし、可燃ゴミとして出しても良いとなっているから責任までいかない」との意見もあった。質問④に対しても多くの人(19名)が「そう思う」と答えている一方で、質問⑤では多くの人(21名)が「知らない」と答えた。「回収した衣料品がどうなっているか回収拠点に掲示してほしい」との意見もあった。質問⑥では多くの人(16名)が「利用しやい」と答えたが、「利用しにくい」と答えた人は、その他の回収拠点を知らずに遠方から来られた方が多かった。質問⑦については、「近い」「他の場所を知らない」「実家に来たついでに来る」「友人の勧め」などの回答があった。質問⑧については「そう思わない」と答えた人が多く(22名)、質問⑨については「抵抗がある」と答えた人が多かった(18名)。また、質問②で「そう思わない」と答えた人が、質問⑧で「そう思う」と答えていた。質問⑩については、回答がばらついたが、「近隣住民間で回収拠点が話題にあがることもある」との意見があった。

表3　アンケートの構成

スクリーニング	家庭で主にゴミの分別やごみ出しを行っている人を対象とするための質問、拠点回収へ持って行く人と持って行かない人を峻別するための質問
拠点回収へ持って行く人への質問	拠点回収を知った理由、利用している回収拠点、当該回収拠点を利用する理由、回収拠点までの交通手段や移動時間、回収された衣料品の行方、衣料品以外に拠点回収に出している資源物、リサイクルショップ等の利用の有無などに関する質問
拠点回収へ持って行かない人への質問	衣料品以外での回収拠点の利用の有無、衣料品以外での回収拠点の利用の仕方・衣料品で利用しない理由、リサイクルショップ等の利用の有無などに関する質問
共通の質問	環境リスク認知・責任帰属認知・対処有効性認知・実行可能性評価・便益・費用評価・社会規範評価・環境にやさしくとの目標意図・環境配慮的な行動意図に関する質問、回答者の属性に関する質問

3.　本調査

3.1 方法

事前調査の結果、広瀬の環境配慮行動モデルに新たに盛り込むべき因子は同定できなかったが、拠点回収利用者へのヒアリングで「もったいない」という意見も複数聞かれたため、この設問を設けてアンケート票を設計した。アンケートの構成は表3に示す通りである。

アンケート調査は、Webアンケート調査会社の京都市民モニターに対して行い、家庭で不要となった衣料品のうち、20%程度以上を拠点回収に持って行く人200名、20%程度未満しか拠点回収に持って行かない人もしくは全く持っていかない人200名に対して行った。また、拠点回収以外のルート(リサイクルショップや衣類の販売業者が行う店頭回収等)の利用の有無についても質問した。

3.2 結果と考察

アンケートの結果については、学会当日に報告する。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3-1704)による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 所昌平：新段階の衣料品リサイクル、廃棄物資源循環学会誌、21(3)、157-168、2010
2) 広瀬幸雄：環境と消費の社会心理学-共益と利益のジレンマ-、名古屋大学出版会、1995
3) 広瀬幸雄：環境配慮的行動の規定因について、社会心理学研究、10(1)、44-55、1994

P2-039

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

IoT 導入による廃プラリサイクル促進策の評価

Assessment of measures to promote waste plastic recycling by using Internet of Things

○上鶴喜貴*[1)]、橋本征二 [1)]

Yoshiki Kamitsuru, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学

*rv0044hh@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、様々なモノをインターネットに接続して情報をやりとりし、利便性の向上や課題解決に繋げる「Internet of Things」（以下、「IoT」）が関心を集めている。静脈産業においても IoT の活用が注目され、IoT によるプロセスの効率化や高速化、省人化等が期待されているところであるが、具体的な検討・適用は途に着いたばかりである。

このような中、川崎市において IoT を活用した資源循環システムの高度化が検討されているほか [1)]、京都府において、IoT を用いた産業廃棄物リサイクルの促進策が検討されている [2)]。また、民間組織として廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会 [3)]が設立され、様々な可能性が検討されている。こうした検討においては、IoT 導入による効果の評価が不可欠である。

本研究では、京都府において検討が行われている「スマート・センサーを活用したリサイクルの促進事業」 [2)] を参考に、IoT の導入による廃プラリサイクル促進策を経済面、環境面から評価した。具体的には、IoT を導入した場合と導入しなかった場合を比較し、経済面及び環境面に与える効果を定量的に評価した。

2. 方法

2.1 IoT導入による廃プラリサイクル促進策

本研究で評価を行うのは、各事業者で排出される廃プラの量が少量で、有価売却可能な量に満たないことから焼却・最終処分されていたものを、複数の事業者で排出される廃プラ量の合計を有価売却可能な量とすることで、リサイクルを促進する策である。具体的には、図1に示すように各事業所に廃プラ排出量を計測するセンサーを導入し、複数の事業者から排出された廃プラ量の総量が有価売却可能な量になったところで、廃プラの収集を行うというものである。これにより、各事業者は廃棄物の処理費用や廃棄物の保管スペースを削減できるとともに、収集運搬業者は収集運搬を効率化（無駄な収集運搬を削減）できるものと考えられる。本研究では、このような状況を仮想的に想定し、評価を行った。

2.2 評価対象システム

IoTを導入した場合、導入しなかった場合それぞれについて、図2に示すプロセスからなるシステムを評価対象システムとした。IoTを導入しなかった場合、排出された廃プラは全て焼却・最終処分され、IoTを導入した場合に生産されるリサイクル製品と同等のオリジナル製品が生産される。一方、IoTを導入した場合、廃プラの排出状況が監視され、複数の事業者で有価売却可能な量となった場合にリサイクル製品が生産され、そうでない場合は焼却・最終処分される。

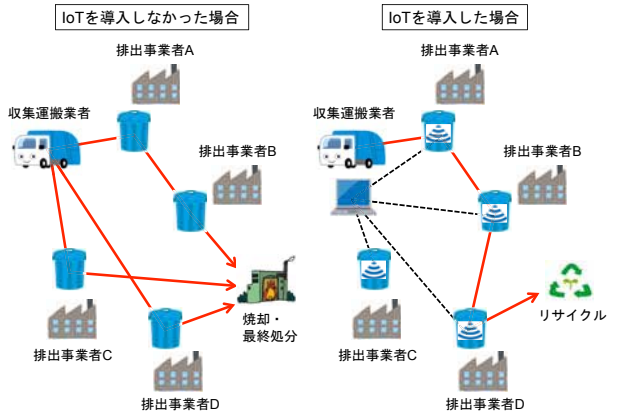


図1　IoT導入による廃プラリサイクル促進策

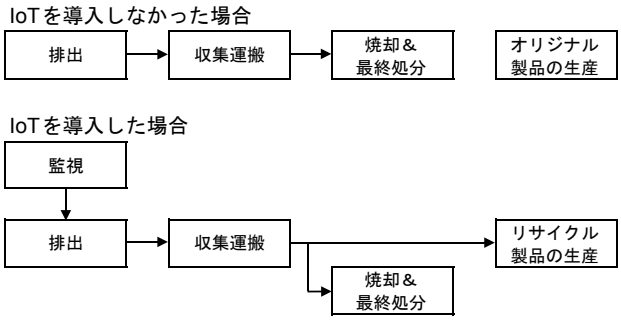


図2　評価対象システム

2.3 評価・調査項目

経済面は事業者および収集運搬業者にとっての費用、環境面は図2の評価対象システムにおけるCO_2排出量を推計し評価を行った。経済面（費用）及び環境面（CO_2排出量）の評価に必要な調査・推計項目を図2のプロセスごとに表1に示す。表のうち、基本情報（◎）は評価に必要な基本的な情報であり、廃プラの排出量が相当する。経済面評価のための情報（○）としては、各プロセスにおける人件費や用役費のほか、設備の減価償却費・維持管理費がある。また、環境面評価のための情報（●）としては、各プロセスにおける消費電力量や燃料消費量がある。

表１　プロセスごとの調査項目（◎基本情報、〇経済面評価のための情報、●環境面評価のための情報）

プロセス	排出	監視	収集運搬	焼却・最終処分	オリジナル製品の生産 リサイクル製品の生産
調査推計項目	◎廃プラの排出量	〇●センサーの電力費・電力消費量 〇●センサー及び周辺機器の購入費・維持管理費	〇収集運搬の人件費 〇●収集運搬の燃料費・燃料消費量 〇●収集運搬の距離と回数 〇●収集運搬車の購入費・維持管理費	〇焼却・最終処分費 ●焼却・最終処分の燃料消費量 ●焼却・最終処分の電力消費量	〇生産費 ●生産の電力消費量 ●生産の燃料消費量

3.　結果と考察

本要旨では、収集運搬について推計を行った結果について報告する。具体的には、京都府の事業[2)]に協力する 5 事業者のデータを参考に、各事業者の 1 日あたりの廃プラ排出量、廃プラの最大保管可能量を仮想的に設定し、120 日間の収集運搬シミュレーションを行った。IoT を導入した場合、各事業者の収集運搬のタイミングにはいくつかの考え方が想定できることから、3 つのシナリオ～①最小回収量（最大保管可能量の 50%と設定）に到達した時、到達した事業者分を回収、②最大保管可能量に近づいた時、近づいた事業者分を回収、③最大保管可能量に近づいた時、近づいた事業者分を回収するが、その時に全事業者分を回収すれば有価売却可能な量になる場合は全事業者分を回収～について検討し、これを IoT を導入しなかった場合～最大保管可能量に近づいた時、その 1 事業者分を回収～と比較した。

収集運搬距離の推計結果を図3に示す。IoTを導入した3シナリオの収集運搬距離はいずれもIoTを導入しなかった場合の収集運搬距離を下回り、IoTの導入により収集運搬が効率化されることが示された。シナリオ①では最小回収量に到達した時に回収を行うため、収集運搬回数が多く、その結果、収集運搬距離も3シナリオの中で最も長くなった。シナリオ②では、最大保管可能量に近づいた事業者分を回収するため、1事業者のみの回収がシナリオ①の半分程度となり、3シナリオの中で最も収集運搬距離が短くなった。シナリオ③では、全事業者（5事業者）分を回収する回数および収集運搬距離が増え、シナリオ②より有価売却可能な量が大幅に増加したが、全体の収集運搬距離はシナリオ②と同程度となった。有価売却可能な量を増やすには、シナリオ③のようなタイミングで回収することが望ましいと考えられる。なお、IoTを導入しなかった場合は、全て1事業者ごとに回収するため、収集運搬回数が最も多く、収集運搬距離も最長となった。

事業者および収集運搬業者にとっての費用、CO_2排出量等の分析結果については、学会当日報告する。

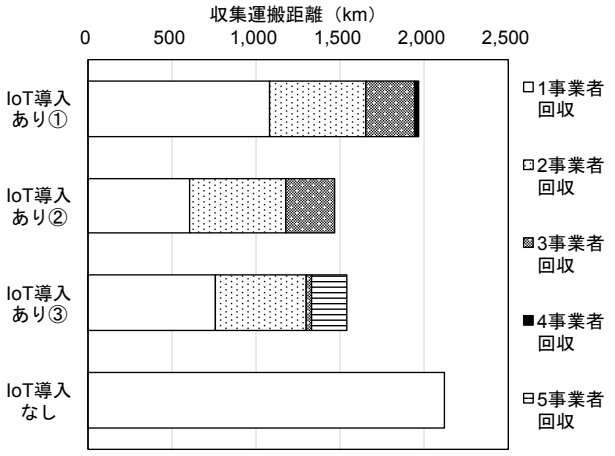


図3　シナリオごとの収集運搬距離（120日）

謝辞：本研究では、京都府のモデル事業を参考に仮想的な試算を行ったが、基礎データの提供等については、京都府および当該モデル事業の実施業務を受託した共同企業体（NTT ビジネスソリューションズ株式会社・NISSHA 株式会社・株式会社エックス都市研究所・シンクアンドアクト株式会社）の各位に多大なるご協力をいただいた。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

1)　川崎市：川崎エコタウンにおける IoT を活用した資源循環システム高度化に向けた FS 調査概要、http://www.city.kawasaki.jp/templates/press/cmsfiles/contents/0000080/80823/bessi.pdf、2017 年 8 月アクセス

2)　京都府：IoT・スマート産業廃棄物削減対策事業、http://asukyo.pref.kyoto.lg.jp/projects/871、2017 年 8 月アクセス

3)　廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会：http://iot-recycle.com、2017 年 5 月アクセス

P2-041
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

使用済み電気・電子機器リサイクル技術データベースの設計と運用に係る検討

Investigation into drafting and utilizing a database of waste electrical and electronic equipment recycling technologies

○永瀬萌*[1)]、山本悠久[1)]、村上進亮[1)]
Mei Nagase, Haruhisa Yamamoto, Shinsuke Murakami
1) 東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻
* meinagase@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

鉱物資源のほとんどを海外からの輸入に頼る我が国にとって、鉱物資源の確保は重要な国家戦略のひとつである。リサイクルは鉱物資源確保戦略の一つとしてかねてより重視されており、使用済み電気・電子機器を資源とみなしそこから金属を回収しようとする「都市鉱山」の概念なども施策に取り入れられてきた[1)]。

使用済み電気・電子機器から金属をリサイクルするためには、まず廃棄物から有価金属を回収し、回収された金属を既存の製錬プロセスでもって回収する手法が一般的である。廃棄物から有用金属を回収するプロセスを中間処理と呼ぶ。廃棄物は多種多様のものが入り混じって排出されるために、廃棄物ごとに資源回収率を向上させるような条件設定を行うことは難しく、適した条件を発見することも困難である。加えて、既存の製錬プロセスにおいて混入が望ましくない物質等も存在するため、製錬プロセスが扱いやすいよう組成に注意を払う必要がある。

このように、資源回収率を高めることを念頭に中間処理フローの設計を行うことは非常に複雑であるため、実際には回収できていない鉱物資源が少なからず存在する。中間処理業者は多数存在し、それぞれが処理に関するノウハウを蓄積しているものの、業者の多くが中小規模であることも影響してノウハウは業界間で良く共有されているとは言えない。

上記のような中間処理の問題を解決する手法として、本研究では中間処理技術に関するデータを格納するデータベースを設計した。データベースには現場で使用されている一般的な中間処理フローの他、研究段階にある最新技術についても格納した。また、これらの中間処理技術を総合的に評価する指標についても検討を行った。

2. 使用済み電気・電子機器処理プロセスの概要

2.1 中間処理プロセス

中間処理が抱える課題として以下が考えられる。

まず、1. でも述べた通り中間処理施設は中小規模のものが多数存在するため、情報が分散しておりノウハウの共有がされない。近年、製品開発技術の目覚ましい発展のために、これまで以上に処理が困難な新しい使用済製品も発生しており、適切な中間処理のために情報共有は重要であると言える。

また、処理が複雑な製品に対応するべく新しい中間処理技術や装置の開発が進んでいるが、その多くは導入に場所や高コストを必要とし、中小規模の中間処理施設には導入が難しいものも多い。

中間処理技術に関する情報を格納したデータベースを設計することで、これらの問題への対処が可能になることが期待される。

具体的には、現在分散している処理にかかる情報を収集・整理することによりノウハウの共有が可能となる。また、既存の処理プロセスに新技術を組み込むことを考えたとき、かかるコストや環境負荷について簡易推計が可能になることが期待される。

2.2 中間処理技術データベースの展望

先の展望として、データベースが公開され情報収集ツールとしても機能し、全国の中間処理施設から中間処理に関する情報を吸い上げることが可能となれば、より多くの情報を格納することができる。十分な情報を蓄えたデータベースを用いれば、機会学習等の手法を通じて、廃棄物に合わせて最適な処理フローを半自動で設計するツールの設計が可能になることも期待される。

本研究ではまず、試験的に代表的な中間処理プロセス・フローや研究段階にある最新技術をデータベースに格納し、新技術間の比較や、既存のプロセスに新技術を導入した際の課題に関して検討した。

3. データベースへの格納

3.1 データベースに格納した情報

データベースには、リサイクルのフローやフローを構成するプロセス、各プロセスで使用される装置

とその条件、投入物と産物、および一連の粉砕技術にかかるコスト等の情報を格納した。最終的な目標として、データベースには全国の中間処理業者から収集された試験・実操業データが格納・更新されていくことが望ましい。その第一歩として、現時点で一般的と考えられる中間処理フローやそのデータ、および研究室規模で検討されている最新の中間処理技術に関する情報を格納した。

3.2 格納したデータ例：代表的な中間処理

格納したデータの例として、使用済み小型家電のリサイクルフローを図 1 に示す。このデータは中間処理業者から提供された現場で使用されているフローである。処理されている小型家電は地方の自治体から中間処理業者が引き受けたものであるが、市町村の協力により小型家電があらかじめ 4 グループに分類されている。4 グループのうち小型で価値の高いもの、また処理の難しいものについては処理されずにそのまま出荷される。それ以外のグループについては一般的な手解体、破砕及び選別が行われる。

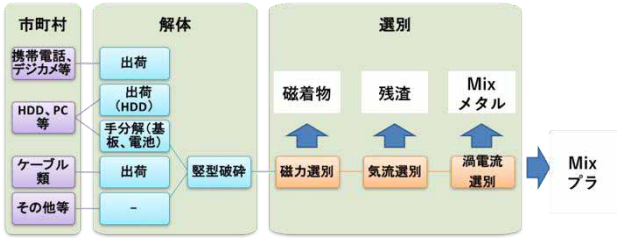


図 1 格納したデータ例：代表的な中間処理

3.3 格納したデータ例：ドラム型衝撃式破砕機

研究室規模で検討されている新技術の例として、ドラム型衝撃式破砕機による基板回収について紹介する。ドラム型衝撃式破砕機の一例として、クロスフローシュレッダー S1000（佐藤鉄工株式会社製）の構造を図 2 に示す[2]。ドラムの底部に 2 本のチェーンが取り付けられており、このチェーンが回転してドラム内の投入物に衝突することにより粉砕を引き起こす仕組みになっている。シュレッダー等の通常の破砕機に比べて投入物にかかる衝撃が弱いことが特徴である。例えば使用済み電気・電子機器の筐体のみを破壊し、基板を可能な限り非破壊で回収したり、基板を粉砕して基板上に実装されている部品を非破壊で取り外したりすることを考えたとき、クロスフローシュレッダーなどのドラム型衝撃式破砕機は有効であることが確認されている[3]。

このドラム型衝撃式破砕機は市販されており、既に実装されている中間処理施設も存在するがまだ多くはない。対してこれまでの研究開発により運用条件などのデータは蓄積されているため、今回は研究室規模で行われた検討のデータを格納した。

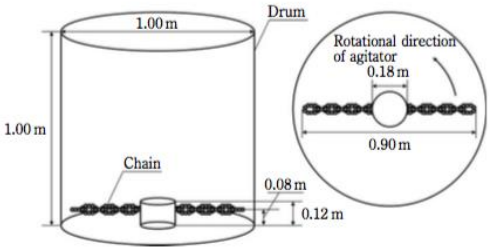


図 2 クロスフローシュレッダー S1000
（引用文献 1 より引用）

3.2 で紹介したプロセスにドラム型衝撃式破砕機を組み込むことを考えると、手分解により基板を回収するプロセスを破砕機で代替することが可能である。しかし、既存のプロセスでは電池も手分解により回収しており、このプロセスは破砕機で代替することが難しいため、市町村により予め電池も取り外されることで代替がより容易になることがわかる。また、破砕機による基板回収率は手分解と比較してやや劣るものの、効率や環境負荷の面から十分に評価が可能であるとわかる。

4. 結言

中間処理技術を格納したデータベースを設計し、代表的な中間処理プロセスや研究段階にある最新技術を格納した。これにより、最新技術間の特徴比較や、既存のプロセスに最新技術を導入した場合のコストや環境負荷に関する簡易推計が可能となった。

5. 謝辞

本研究を実行するに辺り、複数の事業者の方からデータ提供やコメントなどの形でご協力頂いた。本研究は、環境省 環境研究総合推進費(3K153009)により実施された。ここに感謝の意を表する。

6. 引用文献

1) 資源エネルギー庁 資源・燃料部: ”鉱物資源をめぐる現状と課題”, (2014)
2) 綱澤有輝, 田原一輝, 細田幸佑, 所千晴, 大和田秀二: 粉体工学会誌, 51(6), (2014), pp. 415-423
3) 大和田秀二, 古賀千香子, 影山創, 所千晴, 白鳥寿一, 湯本徹也: Journal of MMIJ, 128 (12), (2012), pp. 626-632

P2-042

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

厨芥類リサイクルと社会システム・地域特性の関係

Relationship between food waste recycling and local characteristics / social system

立石雄太*[1)]、橋本征二 [1)]

Yuta Tateishi, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学

rv0038hr@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

我が国では、年間 885 万 t の家庭系厨芥類が発生しているとされるが、そのうちリサイクルされているのは 55 万 t で残りは焼却されているとされる [1)]。一方、厨芥類は水分、塩分を含んでいることから、焼却施設において焼却温度の低下やパイプの腐食等の問題を引き起こす [2)]。このため、厨芥類の発生量を減らすとともに、出来る限り分別しリサイクルすることが望まれる。

厨芥類のリサイクルは、これまでも一定数の自治体で試みられてきたが、継続的に事業を実施できているところは必ずしも多くない。これについて、中村・和田 [3)]は、事業継続の可否を社会的技術の視点から分析している。社会的技術とは、厨芥類がリサイクルされる上で必要な分別の仕組みや再利用方法、啓発事業といった事柄(以下、社会システム)である [3)]。闇雲に厨芥類の分別・リサイクルを導入しても事業は継続しないことから、全国自治体の今までの事例からその成功、失敗要因を導き出すことが必要である。中村・和田 [3)]の研究は 2000 年初頭のものであるが、そこから現在までにバイオガス施設の導入等があるほか、研究時点でモデルケースだった自治体がその後どうなったか等についても分析をする必要がある。

このようなことから、本研究では、厨芥類リサイクルの成否と、その社会システム・地域特性との関係を分析し、その結果をもとに、厨芥類リサイクルに適した地域特性をもつ自治体に、望ましい社会システムを提案することを試みた。

2. 方法

2.1 分析対象自治体の抽出と事業継続に関する情報収集

平成 17 年度に厨芥類のリサイクルを行っている自治体 [4)]を抽出し、平成 27 年度における回収継続の有無および厨芥類の回収量、処理量を整理した。以上をもとに、厨芥類の回収と利用が明確な自治体を分析対象とした。

2.2 社会システムと地域特性の情報収集

(1) 社会システム

回収段階と再利用段階に分けて社会システムに関する情報を整理した。回収段階の社会システムとしては、回収方法、回収頻度、手数料の有無、手数料の金額、厨芥類以外のゴミの排出方法、分別種類数などのデータ [4)] を整理した。回収方法の場合は表 1 に示すようにステーション回収、戸別回収に加えて、袋の有無や種類（プラスチック、紙、指定無し）等のデータ [4)]が含まれる。再利用段階の社会システムとしては、厨芥類リサイクルの方法のデータ(堆肥化、飼料化、メタン化)[4)]を整理した。

表 1　回収方法

ステーション回収	袋有り	指定袋（プラスチック）
		指定袋（紙）
		指定なし
	袋なし	
戸別回収	袋有り	指定袋（プラスチック）
		指定袋（紙）
		指定なし

(2) 地域特性

地域特性としては、人口、人口密度、世帯構成、産業構成、農業畜産生産額、産業別の就業者割合などのデータを整理した。

2.3 分析方法

事業継続の有無、一人当たりの厨芥類回収量を目的変数、社会システムや地域特性を説明変数としてその相関を分析した。相関が見られる変数について、変数間の相関を分析して独立変数と考えられるものを選定し、判別分析ないしは重回帰分析を行った。

2.4 厨芥類リサイクルに適した自治体と望ましい社会システムの提案

判別分析ないしは重回帰分析によって有意となった説明変数を事業の継続を決定づける変数と考えた。本研究では、これらの説明変数で有意な値を持つ自治体を、厨芥類リサイクルに適した自治体と考え、望ましい社会システムを検討した。

3. 結果と考察

3.1 分析対象自治体

表 2 に示すとおり、平成 17 年度にそれぞれ 90、19、4 自治体が家庭系厨芥類の回収と堆肥化、メタン化、飼料化を行っていた。

堆肥化は、平成 27 年度に 141 自治体において行われているが、このうち平成 17 年度から継続して行っているのは 79 自治体であった。回収を中止したが堆肥化を継続している 1 自治体は、現在事業系厨芥類と畜産の糞尿のみ回収し、家庭系厨芥類は回収していない。また、回収を継続しているが堆肥化を中止した 2 自治体は、現在は消滅処理ないしはメタン化を行っている。このほか、8 自治

体が回収と堆肥化を中止していた。本研究では、継続 79 自治体と中止 8 自治体を分析対象とした。

メタン化は、平成 27 年度に 29 自治体において行われているが、このうち平成 17 年度から継続して行っているのは 17 自治体であった。回収とメタン化を中止した 2 自治体では、機械が老朽化した後更新が行われず、現在は厨芥類を燃えるゴミとして回収している。本研究では、継続 17 自治体、中止 2 自治体を分析対象とした。

飼料化は、平成 27 年度に 2 自治体において行われているが、このうち平成 17 年度から継続して行っている自治体はなかった。回収を継続しているが飼料化を中止した 2 自治体は、平成 17 年度に複数の方法でリサイクルを行っていたが、現在は堆肥化ないしはメタン化のみ行っている。厨芥類を飼料として利用するには飼料安全法に基づいた質の高い製品を生産する必要があり、これを維持することが難しいためと考えられる[5]。サンプル数も少ないことから、本研究では、飼料化を分析対象に含めないこととした。

3.2 事業継続と社会システム・地域特性との関係

本要旨ではいくつかの目的変数と説明変数の関係を見た結果を示す。

図 1 は、手数料の有無と一人当たりの厨芥類回収量の関係を見たものである。有料自治体の方が無料自治体に比べて一人当たりの厨芥類回収量の平均が高く、堆肥化・メタン化とも Welch 法による検定で有意な差(<0.05)があると判定された。手数料を有料にした自治体の方が市民のごみの分別に対する意識が高くなり、回収量が高くなると考えられる。

図 2 は、第一次産業就業者割合と一人当たりの厨芥類回収量の関係を見たものである。メタン化の継続自治体は就業者割合に対してほぼ横ばいとなっているが、堆肥化は緩やかな正の相関が見られる。これは堆肥の利用先がある自治体ほど回収に積極的であることを示唆する結果と考えられる。

現在その他の変数についても分析を進めており、判別分析や重回帰分析の結果、厨芥類リサイクルに適した自治体と望ましい社会システムの提案等は学会当日報告する。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3K163001)による成果である。ここに記して深謝する。

表２　厨芥類の回収とリサイクルの継続の有無

		回収		
		継続	中止	合計
堆肥化	継続	79	1	80
	中止	2	8	10
	合計	81	9	90
メタン化	継続	17	0	17
	中止	0	2	2
	合計	17	2	19
飼料化	継続	0	0	0
	中止	2	2	4
	合計	2	2	4

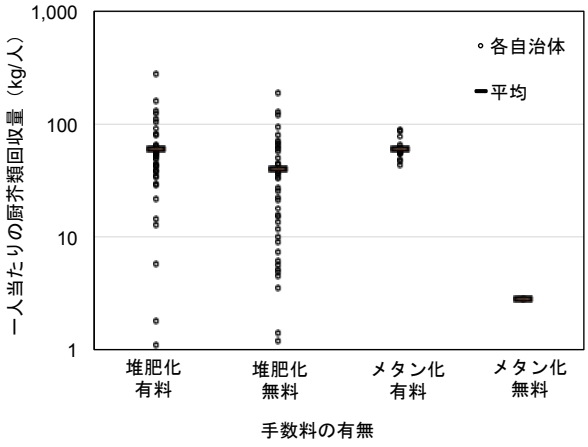


図１　手数料の有無と一人当たりの厨芥回収量の関係

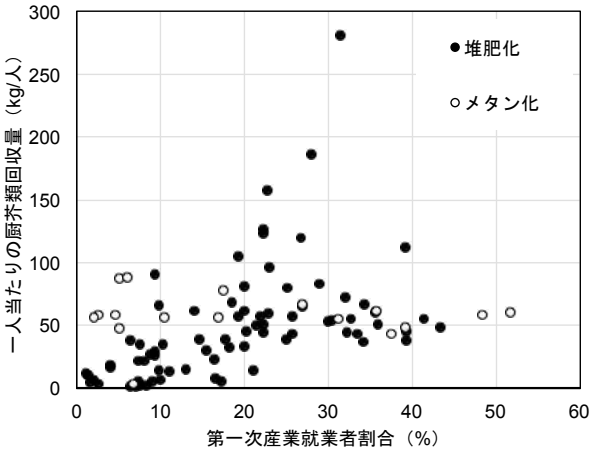


図２　第一次産業就業者割合と一人当たりの厨芥類回収量の関係

参考文献

1) 環境省:生ゴミ資源化の調査結果、https://kyushu.env.go.jp/recycle/data/chiiki/h22_hokoku/1_01.pdf、2017 年 8 月アクセス
2) ダイナックス都市環境研究所：http://www.dynax-eco.com/repo/report-50.html、2017 年 8 月アクセス
3) 中村修、和田真理：自治体における家庭系生ゴミの資源化状況について～社会的技術の視点から、長崎大学総合環境研究、6(1)、pp.17-30、2003
4) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果、http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/index.html、2017 年 7 月アクセス
5) 環境省：生ごみ等の飼料化・たい肥化の現状及び課題等について、https://www.env.go.jp/recycle/waste/conf_raw_g/04/mat01.pdf、2017 年 11 月アクセス

P2-043
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

リサイクルポートを活用した南海トラフ巨大地震の災害廃棄物処理

Disaster waste management for Nankai Megathrust Earthquake utilizing recycle ports

○水谷一平*[1)]、立尾浩一[2)]、橋本征二[3)]
Ippei Mizutani, Koichi Tachio, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院、2) 日本環境衛生センター、3)立命館大学
*rv0032xx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災では、その災害廃棄物の処理に 3 年という時間を要した。近々発生するとされる南海トラフ巨大地震においては、最大で東日本大震災の約 10 倍以上もの量の災害廃棄物が発生すると推計されている[1)]。そのため、災害廃棄物の迅速な処理が求められるが、その第一歩が災害廃棄物を一時的に保管する仮置場の確保である。

仮置場については、水谷ら[2)]が、上町断層帯地震を対象として、大阪市において必要となる仮置場面積と、仮置場としての利用が考えられる公園面積を明らかにしているほか、荒井ら[3)]が首都直下型地震を対象として、東京 23 区において必要となる仮置場面積と、公園や運動場を仮置場とした場合の受入可能量を検討している。また、水谷ら[4)]が近畿地方において南海トラフ巨大地震で必要となる仮置場面積及び利用可能面積を検討しており、大阪府、三重県、和歌山県において仮置場が不足すると推計している。不足する仮置場をどのように確保するかについては、更なる検討が必要な状況にある。

また、仮置きされた廃棄物は順に処理施設へと運ばれるが、地震や津波により鉄道や道路が寸断されている可能性がある。輸送に船舶を使用することでこの問題を解決でき、輸送費と CO_2 排出量を削減できる可能性がある。

このようなことから、本研究ではリサイクルポート[5)]と呼ばれる港を仮置場として活用しつつ、災害廃棄物の広域処理に船舶輸送を行うことの効果について検討した。具体的には、①リサイクルポートを活用することで確保できる仮置場面積、②船舶輸送を行った際の輸送費と CO_2 排出量を推計した。

2. 方法

2.1 リサイクルポートを活用することで確保できる仮置場面積の推計

(1) 仮置場として利用するリサイクルポート

仮置場として利用するリサイクルポートは沖縄県の中城湾港を除く 21 港とした。

(2) 仮置場として利用可能な面積の推計

港湾の貨物取扱場所の面積を、航空写真から GIS を用いて算出し、利用可能割合を 5 割としてリサイクルポートの仮置場として利用可能な面積を推計した。また、水谷ら[4)]が推計した全国で広域処理を行った際に必要となる仮置場面積を、リサイクルポートを活用することでどれだけ確保できるか検討した。

2.2 船舶輸送を行った際の輸送費と CO_2 排出量の推計

(1) 使用する港湾の設定

本研究では各都道府県で使用する港湾を 1 つ設定した。リサイクルポートを有する都道府県はリサイクルポートを利用するものとし、リサイクルポートもしくは港湾を 2 つ以上有する都道府県においては、都道府県庁に最も近い港湾を使用するものとした。

(2) 輸送費の推計

処理年数を 3 年として全国で広域処理を行った場合の各都道府県間の輸送費は、水谷ら[6)]が構築した輸送費の最小化を目的とした線形計画モデルより推計した。本研究では各都道府県内での廃棄物の輸送はないものとし、輸送単価は輸送距離ごとに異なるもの[7)]を使用した。また、都道府県間ごとにトラック輸送と船舶輸送の場合の輸送費を比較し、輸送費が小さい方法を利用するものして総輸送費を推計し、トラック輸送のみの場合と比較した。

＜目的関数：輸送費最小化＞

$$\sum_i \sum_j c_{ij} \times x_{ij} \rightarrow \min$$

＜制約条件①：廃棄物条件＞

$$\sum_j x_{ij} = w_i$$

＜制約条件②：処理能力条件＞

$$\sum_i x_{ij} \leq p'_j + p_j \times (y-1)$$

＜制約条件③：非負条件＞

$$x_{ij} \geq 0$$

ここで、

i : 災害廃棄物の発生都道府県
j : 災害廃棄物の処理・再資源化・処分都道府県
c_{ij} : 都道府県 i から都道府県 j へ輸送される廃棄物の輸送単価(円/t)(i＝j の時: c＝0)
x_{ij} : 都道府県 i から都道府県 j へ輸送される廃棄物量(t)
w_i : 都道府県 i で発生した災害廃棄物量(t)
p'_j : 都道府県 j の 1 年目の受入可能量(t)
p_j : 都道府県 j の 2 年目以降の受入可能量(t)
y : 処理年数

(3)　CO_2 排出量の推計

輸送に伴い発生する CO_2 排出量は、トラック輸送分は改良トンキロ法[8]、船舶輸送分は従来トンキロ法[8]を使用し、線形計画で求めた都道府県間の廃棄物輸送量を基に推計した。また、トラック輸送の場合は 10t トラック、船舶輸送の場合はコンテナ船（72TEU、20ft コンテナ）を使用すると設定した。

3.　結果と考察

3.1 リサイクルポートを活用することで確保できる仮置場面積

各都道府県のリサイクルポートの利用可能面積の推計結果を図 1 に示す。北海道、兵庫県、福岡県は複数のリサイクルポートを有しているため、利用可能面積が大きくなる結果となった。東京都はリサイクルポートを 1 つしか有していないが、貨物の取扱いが多いため貨物取扱場所の面積、すなわち利用可能面積が大きくなった。

次に、リサイクルポートを有する被災県およびその近郊府県として、愛知県、京都府、兵庫県、愛媛県における仮置場の必要面積とリサイクルポートを含む利用可能面積の推計結果を図 2 に示す。リサイクルポートで追加的に利用可能な面積はそれほど大きくなく、愛知県、愛媛県における仮置場不足を解消するには至らなかった。

3.2 船舶輸送を行った際の輸送費と CO_2 排出量

トラック輸送と、トラック輸送+船舶輸送の場合の災害廃棄物の輸送費及びCO_2排出量の推計結果を図3に示す。輸送費は、トラック輸送の場合で約 2,655 億円、トラック輸送+船舶輸送の場合で約 2,463 億円と推計され、船舶輸送を行うことで輸送費は約 200 億円減少する結果となった。CO_2 排出量は、トラック輸送の場合で約 183 万 t、トラック輸送+船舶輸送の場合で約 146 万 t と推計され、船舶輸送を行うことで CO_2 排出量は約 40 万 t 減少する結果となり、輸送費と同様に船舶輸送によるメリットが示された。これは、遠距離輸送になるほど船舶による輸送単価がトラック輸送よりも安価になり、一度に大量に輸送することで総移動距離が減るためである。

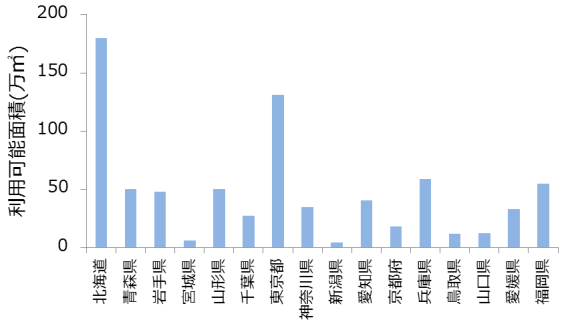


図１　各都道府県のリサイクルポート利用可能面積

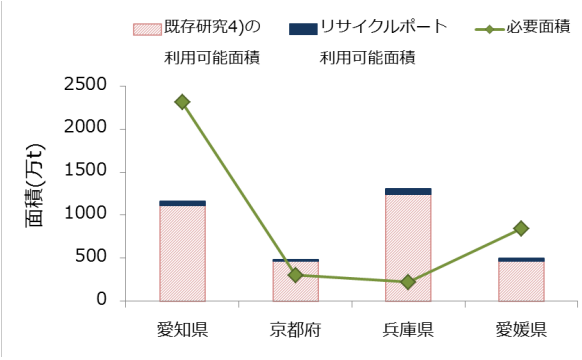


図２　仮置場の必要面積と利用可能面積の比較

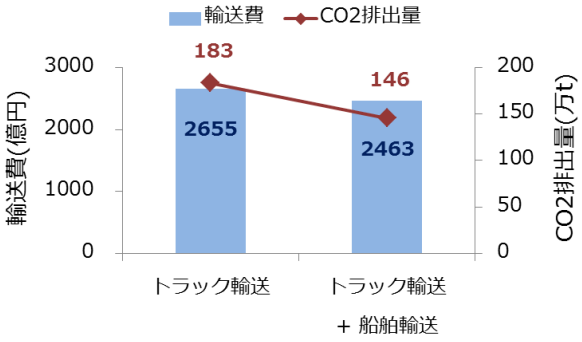


図３　輸送手段ごとの輸送費と CO_2 排出量の推計結果

参考文献

1)　環境省：巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて～中間とりまとめ、2014

2)　水谷聡、阿部能也、貫上佳則：大阪市における建物ストックと災害廃棄物発生量の推定、第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、pp.189-190、2012

3)　荒井康裕、池田有斗、稲員とよの、小泉明、茂木敏、吉田慎太朗、飯野成憲：震災廃棄物の輸送計画に関するモデル分析―１次仮置場の制約条件に着目した検討―、土木学会論文集 G（環境）、71(6)、pp.263-271、2015

4)　水谷一平、立尾浩一、橋本征二：南海トラフ巨大地震における災害廃棄物仮置場の検討、第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.418-419、2017

5)　国土交通省：リサイクルポート（総合静脈物流拠点港）http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr6_000007.html、2017 年 10 月アクセス

6)　水谷一平、梁田雄太、加用千裕、立尾浩一、橋本征二：南海トラフ巨大地震における災害廃棄物の広域処理と仮設処理施設の検討、環境システム計測制御学会誌、21(2/3)、pp.137-144、2016

7)　日本ロジスティクスシステム協会：ロジスティクス源流管理マニュアル（Ver.2）～モーダルシフト推進チェックシート・資料集～

8)　経済産業省、国土交通省：物流分野の CO_2 排出量に関する算定方法ガイドライン

P2-044

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

南海トラフ巨大地震における災害廃棄物仮置場の検討：その広域的確保について

Examination of temporary storage space for disaster waste of Nankai Megathrust Earthquake: securing it in wide area

○石川湧裕*[1)]、水谷一平[2)]、立尾浩一[3)]、橋本征二[1)]

Yuusuke Ishikawa, Seiji Hashimoto

1）立命館大学、2）立命館大学大学院、3）日本環境衛生センター

*rv0042ir@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

2011 年 3 月に発生した東日本大震災においては、膨大な災害廃棄物の問題が浮き彫りとなったが、近年発生すると予想されている南海トラフ巨大地震の災害廃棄物量は、最大で東日本大震災の約 11 倍と推計されている[1)]。災害廃棄物の迅速な処理に必要不可欠なのが、災害廃棄物を一時的に保管する仮置場の確保である。前述の東日本大震災においても、また、2016 年 4 月に発生した熊本地震においても、仮置場の不足が大きな課題となった。南海トラフ巨大地震を対象とした仮置場の検討は、水谷ら[2)]が近畿圏を対象に行っており、各府県での必要面積と利用可能面積を推計している。その結果、大阪府、三重県、和歌山県の三県での仮置場が不足するとしている。しかしながら、この検討では、仮置場の候補として都市公園、グラウンド(球場含む)、最終処分跡地しか取り上げておらず、他の候補地を考慮していなかった。また、広域処理を行う他県において、仮置場を確保するなどの対策も検討の余地がある。

このようなことから、本研究では、近畿の府県を対象に水谷ら[2)]の推計を再検討するとともに、仮置場が大きく不足すると予想される府県について、広域的に仮置場を確保することを検討した。具体的には、①広域処理で災害廃棄物を引き受ける他県において受入量分の仮置場を確保するシナリオ、②仮置場に余裕のある県において仮置場を確保しつつ広域処理を行うシナリオについて輸送コストと CO_2 排出量を推計した。なお、本研究では、災害廃棄物の大半を占める、コンクリートがら、木くず、混合ゴミ、可燃ゴミを対象として検討を行った。

2.　方法

2.1 仮置場の必要面積の算出方法

仮置場の必要面積は以下の式[3)]を用いて推計した。

必要面積(m^2) ＝集積量(t)÷見かけ比重(t/m^3)
÷積上高さ(m)×(1＋作業スペース割合)

集積量(t)＝災害廃棄物発生量(t)－1 年目処理量(t)

1 年目処理量(t)＝災害廃棄物発生量(t)÷処理期間(年)

このうち、見かけ比重[4)]はコンクリートがら 1.1(t/m^3)、木くず、混合ゴミ、可燃ゴミ 0.4(t/m^3)、積上高[5)]は 5(m)、作業スペース割合[5)]は 1 とした。また、府県別の災害廃棄物発生量は、水谷ら[6)]の推計値、処理期間については、東日本大震災時の目標処理年数であった 3 年を用いた。

2.2 仮置場としての利用可能面積の推計方法

仮置場選定の際の留意事項としては、①二次災害のある場所を避ける、②自然保護区域を避ける、③十分な面積を有している、④住居等に隣接しない、⑤ダンプトラックの往来が可能であることが挙げられるが[4)7)]、本研究ではデータの関係上、上記の①～④の条件を満たす仮置場を検討した。①②の条件に関しては、利用可能な仮置場として、水谷ら[2)]が対象とした都市公園、グラウンド(球場含む)、最終処分場跡地に加えて、耕作放棄地、工場跡地、使用中の最終処分地、未使用の埋立地を取り上げ、都市公園の中身を見直すなど、対象地の追加・修正を行い、これらの位置データと土砂災害警戒区域、浸水想定区域、自然保護区域のデータを GIS を使用し重ね合わせることで、利用に適している仮置場を抽出し、その合計面積を推計した。③の条件に関しては、2ha 以上の敷地とし[7)]、都市公園については敷地面積に 0.5 を乗じたものを用いる。④の条件に関しては、町丁目ごとの人口密度から判断し、人口密度(人/km^2)が、1000 以下、2000 以下、3000 以下、4000 以下の町丁目に該当する仮置場対象地を使用可能、また、全て使用可能とする場合の 5 つについて推計した。

2.3　広域処理の受入県での仮置場の検討

水谷ら[6)]は、輸送費の最小化を目的関数とした線形計画モデルにより、最適な広域処理量と輸送費を推計している。本シナリオでは、水谷ら[6)]が算出した広域処理の受入県における災害廃棄物の受入量のうち、当該県で仮置可能な量まで受け入れるものとして、発生府県における仮置場の不足量等について検討した。

2.4　仮置場に余裕のある県での仮置場の検討

本シナリオでは、仮置場に余裕のある県において仮置場を確保しつつ広域処理を行うことから、輸送費の最小化を目的関数として下記のような定式化ができる。

〈目的関数：輸送費最小化〉

$$\sum_i \sum_k c_{ik} \times x_{ik} + \sum_i \sum_k \sum_j c_{kj} \times x_{ikj} \quad \rightarrow min$$

〈制約条件①：廃棄物量条件〉

$$\sum_k x_{ik} = w_i \quad , \quad \sum_j \sum_k x_{ikj} = w_i$$

〈制約条件②：仮置能力条件、処理能力条件〉

$$\sum_i x_{ik} \leqq q_k$$

$$\sum_i \sum_k x_{ikj} \leqq p'_j + p_j \times (y-1)$$

〈制約条件③：非負条件〉

$$x_{ik}, x_{ikj} \geqq 0$$

ここで、

i,k,j　：災害廃棄物の発生、仮置き、処理都道府県

$c_{ik(kj)}$　：都道府県 i(k)から都道府県 k(j)へ輸送される災害廃棄物の輸送単価(円/t)(i=k(k-j)の時、c=0)

x_{ik}　：都道府県 i から都道府県 k へ輸送され仮置きされる災害廃棄物量(t)

x_{ikj}　：都道府県 i から都道府県 k へ輸送され仮置き、都道府県 k から都道府県 j へ輸送され処理される災害廃棄物量(t)

w_i　：都道府県 i で発生した災害廃棄物量(t)

q_k　：都道府県 k の仮置可能量(t)

p_j'　：都道府県 j の 1 年目の受入可能量(t)

p_j　：都道府県 j の 2 年目以降の受入可能量(t)

である。

3.　結果と考察

本要旨では、水谷ら [2] が推計した仮置場の利用可能面積を用いて、2.3 の検討(シナリオ 1 とする)を行った結果について報告する。それぞれの府県内で処理を行う場合に必要となる仮置場面積(県内処理)、それぞれの府県内で 3 年以内に処理を行う場合に必要となる仮置場面積(県内 3 年処理)、近畿ブロック内で広域的に 3 年以内に処理を行う場合に必要となる仮置場面積(ブロック内 3 年処理)、そして本研究のシナリオ 1 で必要となる仮置場面積(シナリオ 1)の推計結果を図 1 に示す。

県内処理において必要面積が利用可能面積を上まわる三重県、大阪府、和歌山県においては、県内 3 年処理やブロック内 3 年処理によって必要面積を削減することができ、三重県、和歌山県においては、シナリオ 1 によってさらに大幅な削減ができる結果となった。大阪府においては、シナリオ 1 の影響がそれほど大きくなく、必要面積は利用可能面積を大きく上まわったままとなった。これは、大阪府で発生する災害廃棄物量のうち広域的に処理される量が相対的に小さいからである。一方、他府県から災害廃棄物を受け入れる滋賀県、兵庫県ではシナリオ 1 により必要面積が大幅に増加する結果となったが、それでも利用可能面積を下回った。奈良県は利用可能面積に余裕はあるものの、その処理能力の観点から他府県で広域処理を行うため、シナリオ 1 によってさらに必要面積が削減されている。これを有効に活用する手段として、2.4 の検討(シナリオ 2)を行っているところである。

2.2、2.4 の検討結果については学会当日に報告する。

参考文献

1) 環境省：巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて～中間とりまとめ、2014

2) 水谷一平、立尾浩一、橋本征二：南海トラフ巨大地震における災害廃棄物仮置場の検討、第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.418-419、2017

3) 和歌山県：震災時における市町村用廃棄物処理マニュアル、2005

4) 環境省：東日本大震災の経験を踏まえた災害廃棄物処理の技術的事項に関する概要報告書、2016

5) 廃棄物資源循環学会：災害廃棄物分別・処理実務マニュアル―東日本大震災を踏まえて、ぎょうせい、2012

6) 水谷一平、梁田雄太、加用千裕、立尾浩一、橋本征二：南海トラフ巨大地震における災害廃棄物の広域処理と仮設処理施設の検討、環境システム計測制御学会誌、21(2/3)、pp.137-144、2016

7) 国立環境研究所：仮置場の設置と留意事項（第一報）、2011

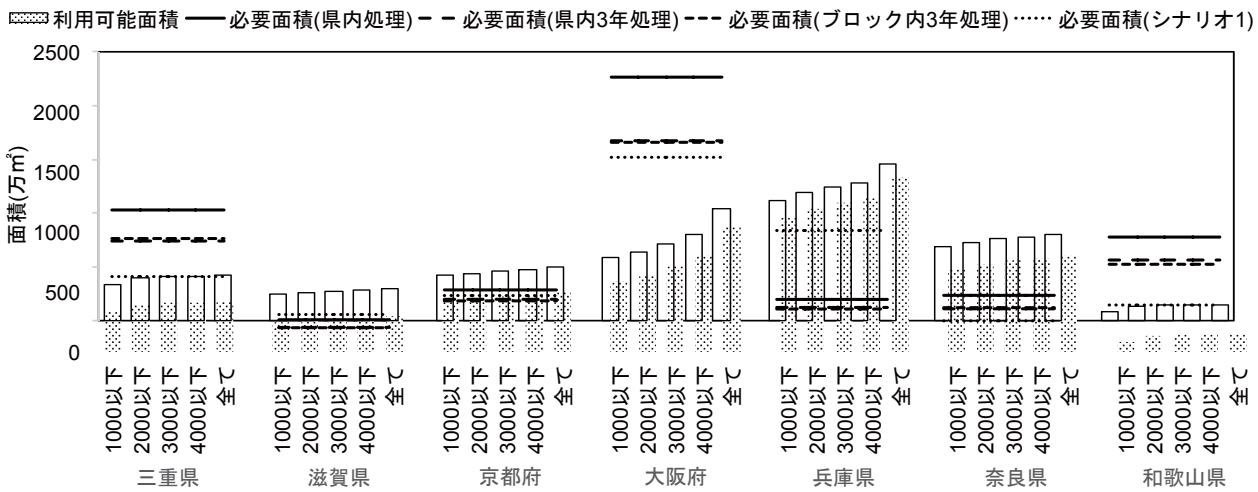


図 1　仮置場の利用可能面積と各シナリオにおける必要面積の比較

P2-045
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

地理情報を用いた熱共有システム設計に資するツール開発

A geographic information system-based design tool for achievement of total site heat integration

○田中晴佳*[1)]、大野肇[1)]、福島康裕[1)]
Haruka Tanaka, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1) 東北大学
* haruka.tanaka.s2@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

化石燃料消費低減に向けて熱の有効利用を進めるため、合理的な熱回収及び利用が求められている。単一のプロセス内での熱回収・利用だけでなく、さらなる熱の有効利用のために、複数のプロセス間での熱共有システムが設計されている。こうした熱回収システムの設計の際にはエネルギー需給が年間を通じて一定であると仮定されてきたが、実際の工場や民生需要のエネルギー需給は時間変動を伴うため、エネルギー需給変動に対応した熱回収・利用のシステム設計手法が開発された[1)]。この手法においては、エネルギー需給変動による排熱・熱需要間の時間的隔たりを緩和するために蓄熱を考慮しているが、プロセス間の熱の輸送については考慮されていない。しかし、熱の輸送手段や輸送距離によって熱損失の程度は異なるため、地理情報に基づいた熱の輸送の考慮が必要である。

本研究では、地理情報に基づいて熱の輸送を設計するため、地理情報システム(GIS)上での熱共有システム設計支援ツールの開発を進めている。本稿では、排熱を蓄熱する際及び蓄熱材から熱を取り出す際にのみ熱損失が生じる化学蓄熱に着目し、蓄熱材の利用によって削減されるエネルギー消費量を計算するツールの開発についての進捗を報告する。

2. 手法

2.1 設計対象

工場など排熱を有する建物(Supply)と、宿泊施設など熱需要を有する建物(Demand)が混在する地域を設計対象地域とし、この地域への蓄熱材用倉庫(Storage)の新規導入による熱共有を想定する。熱需要は給湯(HW)・暖房(SH)及び冷房(SC)を考慮する。

2.2 ツール

本研究ではGIS ソフト(QGIS)のプラグインとして熱共有システム設計支援ツールの開発を行っている。QGIS のベクタレイヤとして Supply、Demand 及び Storage のデータを保存し、熱需給変動がない期間を Time SLice (TSL)と定義し、各 TSL について以下の最適化を python の PuLP ライブラリを用いて行った。

$$\min \sum_i \sum_j EHU_{i,j} \cdot t_i \quad (1)$$

s.t.

$$\left(S_{i,j} - ECU_{i,j}\right) \cdot \eta_{\mathrm{c}} = \sum_k q_{i,j-k} \quad (2)$$

$$D_{i,j}^{\mathrm{HW}} + D_{i,j}^{\mathrm{SH}} + D_{i,j}^{\mathrm{SC}} = EHU_{i,j} + \sum_k q_{i,k-j} \cdot \eta_{\mathrm{d}} \quad (3)$$

$$Sto_{i,j} = Sto_{i-1,j} + \sum_k \left((q_{i,k-j} - L_{i,k-j}) - q_{i,j-k}\right) \cdot t_i \quad (4)$$

$$0 \le q_{i,j-k} \le Max \quad (5)$$

目的関数は外部から加える加熱用役量の最小化であり、熱共有を行った際の燃料消費量の合計を示している((1)式)。(2)式は排熱量と輸送される熱量の関係を、(3)式は熱需要量と輸送されてくる熱量の関係を、(4)式は蓄熱量と輸送熱量の関係を示している。また、(5)式は熱輸送量の制約を示している。

3. 計算例

種子島内の発電所と民生需要について試算を行った。発電所の排熱を近隣の市役所・2 つのホテル及び温浴施設に供給し、蓄熱装置及び蓄熱材用倉庫を発電所に併設することを想定した。月毎の排熱量及び熱需要量データ[2)]を用い、1ヶ月間は需給変動がないと仮定した。よって、各月を TSL1~TSL12 と定義し、各 TSL の熱輸送量・蓄熱量・外部用役量の計算を行った。本計算例においては輸送時に熱損失の生じない化学蓄熱を想定し($L = 0$)、化学蓄熱のエネルギー効率の計算を行った論文[3)]より$\eta_{\mathrm{c}} = 0.80$、$\eta_{\mathrm{d}} = 0.58$と仮定した。蓄熱密度 500 kJ/kg、積載量 2t のトラックで 1 日 1 回各地点に輸送可能とし、$Max = 1000$ MJ/day とした。蓄熱材から取り出した熱は給湯需要に対して優先的に供給し、次いで暖房、冷房に供給するものとした。なお、蓄熱材から取り出した熱を暖房及び冷房に利用する場合、装置のエネルギー消費効率を考慮する必要があるが、エネルギー消費効率を 1 と仮定し、エネルギー消費削減量を計算した。

4. 試算結果と考察

試算結果について、例として TSL5 の発電所からの熱輸送量を図 1 に示す。市役所は熱需要が少なく、熱を最大限輸送する必要がない一方、2 つのホテル及び温浴施設は、輸送可能熱量の制約によって蓄熱される熱量が決定されていることを示している。

動力別のエネルギー需要量と熱共有によるエネルギー消費削減量を図 2 に示す。熱共有によって削減された年間の熱需要は 7%程度であった。また、発電所の年間排熱のうち蓄熱に利用されるのはわずか 3%程度であり、排熱量の最も少ない TSL においても排熱は残ったままであった。このようにエネルギー消費削減余地はあるが、輸送可能熱量が制約となり、排熱を有効利用できていない場合、蓄熱材の蓄熱密度の向上や 1 日の輸送回数を増加させることによって制約を緩和し、さらにエネルギー消費量を削減できる。また、GIS により計算した輸送距離及びトラックの燃費から、輸送時のトラックによる CO_2 排出量を概算し、熱需要地における燃料消費削減による CO_2 排出削減量と比較することで、熱共有による正味の CO_2 排出削減量を計算することができる。同様に輸送コストを見積り、事業性の評価も可能となる。

本計算例では、発電所近隣の熱需要地のみに排熱を共有することを仮定したが、化学蓄熱材は輸送時に熱損失が生じないことから、より広範囲に熱共有を行うことができる。発電所の排熱が多量に残っていることからも、GIS を用いて熱共有範囲を設定し、熱需要地の数の変化が熱共有の効果に及ぼす影響を検討できる。また、具体的な熱需要データの入手が困難な場合でも、建物の種類によって統計から熱需要データを概算し、熱共有可能性を検討できると考える。

5. 結言

地理情報システムを用いて、蓄熱及び輸送を考慮した熱共有システム設計支援ツールの開発を進め、熱需要データ [2]を基に熱共有によるエネルギー消費削減量の試算を行った。本報告においては、蓄熱技術や輸送の条件に関しては、十分に精査されていない、独自の仮定を用いて試算を行わざるを得なかった。今後は利用可能な蓄熱材の性能や輸送可能量等の精査をすすめることで、熱共有の有効性の程度を明らかにしたい。

また、本計算では燃料消費のみに着目しており、コストは考慮していない。しかし、熱共有システムを設計する際には、蓄熱材や輸送にかかるコスト等により実施可能性は変わってくる。本研究で開発中のツールのように GIS を用いることで、位置を反映した検討ができるようになる。これは、熱のバランス計算にとどまらず、事業の経済性評価にも有効であり、これらを合わせて実施できるツールの開発を今後も行う。

記号

EHU：外部加熱用役量[MJ/day]、t：TSL の長さ[day]、S：排熱量[MJ/day]、ECU：外部冷却用役量[MJ/day]、η：蓄放熱効率[-]、q：熱輸送量[MJ/day]、D：熱需要量[MJ/day]、St：蓄熱量[MJ]、L：輸送時熱損失[MJ/day]、Max：輸送可能熱量[MJ/day]、i：TSL、j：建物(Supply, Demand, Storage)、$j-k$：jからkへの輸送、c：蓄熱、d：放熱、HW：給湯、SH：暖房、SC：冷房

謝辞

ヒアリングデータの共有や、研究内容にご意見をいただいた東京大学の兼松祐一郎氏、菊池康紀氏に感謝する。

引用文献

1) Liew P. Y., Alwi S. R. W., Klemeš J. J., Varbanov P. S., Manan Z. A.: Appl. Therm. Eng., 70, (2014), pp.1073-1083

2) Kanematsu Y., Oosawa K., Okubo T., Kikuchi Y.: Appl. Energy, 198, (2017), pp.160-172

3) Abedin A. H., Rosen M. A.: Appl. Energy, 93, (2012), pp.18-23

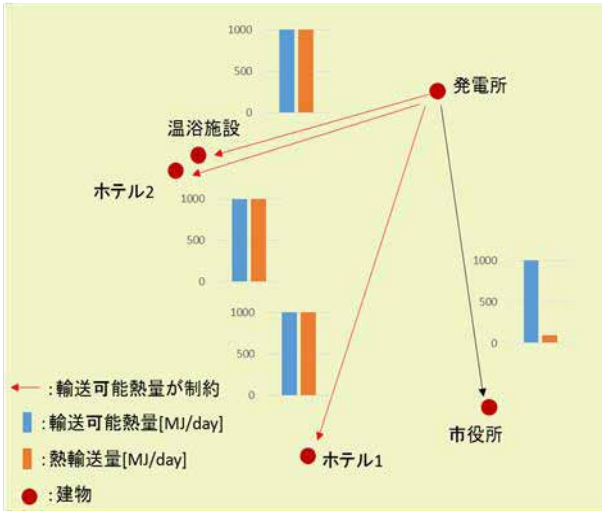


図 1　輸送可能熱量と熱輸送量(TSL5)

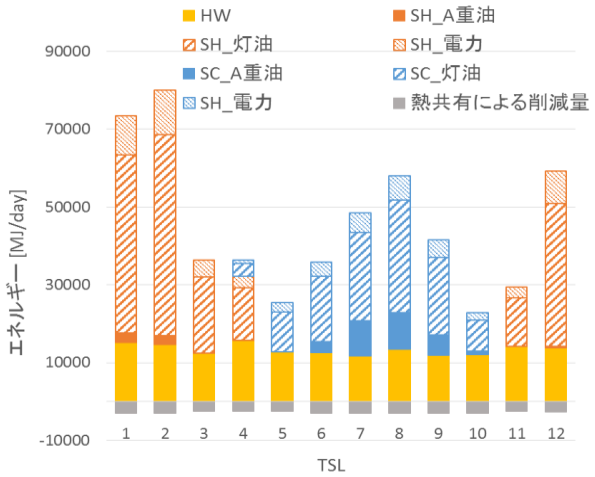


図 2　動力別エネルギー需要量と熱共有によるエネルギー削減量 [2]

P2-052
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

資源・物質利用の環境効率：鉱物に関する分析

Eco-efficiency for resources and materials use: analysis for minerals

○田中大介*[1)]、 Sebastien M.R. Dente[1)]、栗生木千佳 [1)2)]、村上進亮 [3)]、橋本征二 [1)]
Daisuke Tanaka, Sebastien M.R. Dente, Chika Aoki-Suzuki, Shinsuke Murakami, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学、2) 地球環境戦略研究機関、3) 東京大学
* rv0029kx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

第四次環境基本計画では、「環境と社会経済の関係を端的に表す指標」として「環境効率性を示す指標」や「資源生産性を示す指標」が挙げられている。前者については、当面「二酸化炭素排出量÷GDP」を用いることとしているが、生産量ベースでの指標や他の環境負荷（大気環境、化学物質など）の環境効率性についての検討が課題となっている。また、後者についても、少量だが有害な物質の影響や希少金属の価値が過小評価されるなどの課題が指摘されている。一方、「資源生産性」を重要な指標の1つとして採用している第三次循環型社会形成推進基本計画では、今後の検討課題の一つとして、環境負荷と財・サービスの付加価値の間の効率性を測る環境効率指標の検討が挙げられている。

これに関して欧州では、「資源生産性（resource productivity: €/kg）」と「環境効率（eco-efficiency: €/impact）」の両者を「資源1単位あたりの環境影響（resource specific impact: impact/kg）」で関連づけて検討する方向にある。しかしながら、そうした手法の開発は未だ諸に着いたばかりである。数少ない既存研究[1)2)]においても、資源のライフサイクルのどの段階で物質を定義するか等の課題があり、さらなる検討が必要な状況にある。

筆者らはこれまで、日本の資源・物質利用を対象としてその環境影響の推計手法の検討といくつかの事例研究を行ってきたが [3)4)5)6)]、本研究では、鉱物全体を対象として、その利用に伴う環境効率を推計し、各資源・物質利用の重要度を比較検討するとともに、環境効率の構造分解分析を行った。

2. 方法

2.1 対象資源・物質の選定

以下の手順により対象資源・物質を選定した。

a) 2011年産業連関表[7)]において資源･物質関連部門を選定。このうち、ある部門の財が50%以上別の部門の投入財（原材料）となっている場合は、その資源・物質のライフサイクルを考慮し、上流側もしくは下流側のいずれかの部門を選定。

b) LCAデータベースIDEAv2[8)]における財・サービスのうち、上記の選定部門に対応する財を同定し、その生産額が上位半分の財と、それらの財を含む部門を選定。

c) 上記の選定部門における選定財の生産額の合計がその部門の生産額の半分に満たない場合は、半分以上となるように財を追加し、対象候補財を選定。

d) 生産量（出荷量）、貿易量等のデータが利用可能な財を対象資源・物質として選定。

2.2 対象資源・物質の環境効率の試算

(1) 対象資源・物質の環境影響・付加価値の計算方法

対象資源・物質の環境影響は、上流側と下流側に分けて算出した。ただし、上流・下流の定義は対象資源・物質を基準とし、IDEAv2で計算できる範囲内とする。

a) 対象資源・物質1単位あたりの上流側の環境影響・付加価値

対象資源・物質1単位あたりの上流側の環境影響は、IDEAv2の投入係数行列と、その環境負荷行列をLIME2[9)]により統合した環境影響ベクトルを用いて算出した。また、付加価値は、IDEAv2の投入係数行列と、2011年産業連関表の付加価値と各種統計より引用した生産額から算出した付加価値ベクトルを用いて計算した。

b) 対象資源・物質の上流側の環境影響・付加価値

対象資源・物質の上流側の環境影響・付加価値を算出するにあたっては、選定した対象資源・物質が他の対象資源・物質の原材料となっている場合があるため、ダブルカウントを考慮する必要がある。そこで、他の対象資源・物質の原材料となっている対象資源・物質の環境影響・付加価値は当該資源・物質のそれから控除することとした。

c) 対象資源・物質の下流側の環境影響・付加価値

対象資源・物質の下流側の環境影響・付加価値を算出するにあたっては、下流側で発生する環境影響や付加価値の一部を対象資源・物質に割り当てる考え方が必要となる。本稿では、下流側のプロセスの投入係数の比によって、そのプロセスで発生する環境影響・付加価値を上流側の対象資源・物質に割り当てた。この割り当てを繰り返し、対象外の財・サービスの生産プロセスで発生する環境影響・付加価値を対象資源・物質に割り当て、下流側におけるこれらを算出した。

(2) 対象資源・物質の環境効率の試算

以上をもとに、対象資源・物質の環境効率（EE）を算出した。これは、算出した付加価値ベクトルの上流・下

流（V_{upi}、V_{di}）の合計を、算出した環境影響ベクトルの上流・下流（E_{upi}、E_{di}）の合計で除したものである。

$$EE = \frac{V}{E} = \frac{\sum_i V_{upi} + \sum_i V_{di}}{\sum_i E_{upi} + \sum_i E_{di}}$$

2.3　環境効率の構造分解

対象資源・物質の環境効率の構造を分析するため、2.2(2)で算出される環境効率(の逆数)を以下のように構造分解した。

$$\frac{1}{EE} = \frac{E}{V} = \sum_i \left(\frac{E_i}{V_i} \times \frac{V_i}{V} \right)$$

ここで、第1因子（E_i/V_i）は対象資源・物質iの環境効率の逆数である。したがって、各対象資源・物質の環境効率がそれぞれ改善すれば、左辺における全体としての環境効率も改善することになる。第2因子（V_i/V）は全対象資源・物質の付加価値に占める対象資源・物質iの付加価値のシェア率である。したがって、より環境効率の高い対象資源・物質iの付加価値のシェアが増えれば（より環境効率の低い対象資源・物質iの付加価値のシェアが減れば）、左辺の環境効率も改善することになる。

2時点間の環境効率の差がこれらの2つの因子の和で説明できるとすると、以下のように表すことができる。ただし、α、βはそれぞれ第1因子と第2因子に対応するものとする。

$$\frac{1}{EE_{y1}} - \frac{1}{EE_{y2}} = \alpha_{effct} + \beta_{effct}$$

ここで、左辺は、y1年における環境効率から、基準年となるy2年の環境効率を差し引いた値である。右辺は、2時点間の環境効率の差分に対する構造分解式の第1因子（α_{effct}）、第2因子（β_{effct}）の影響の大きさを表す。各因子の大きさは、complete decomposition model[10]を用いて計算することができる。例えば、y1年とy2年の環境効率の差分に対するα_{effct}とβ_{effct}は、

$$\alpha_{effct} = \Delta\alpha\beta_{_y2} + \Delta\alpha\Delta\beta/2$$

$$\beta_{effct} = \alpha_{_y2}\Delta\beta + \Delta\alpha\Delta\beta/2$$

となる。Δα は以下のように計算され、Δβ も同様である。

$$\Delta\alpha = \alpha_{_y1} - \alpha_{_y2}$$

3.　結果と考察

本要旨執筆時点で分析を実施中であり、結果については学会当日報告する。

謝辞：本研究は、第Ⅲ期環境経済の政策研究及び科学研究費補助金(15H02863)による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) van der Voet, E., et al.: Dematerialization: Not just a matter of weight, CML report 160, 2003
2) van der Voet, E., et al.: Dematerialization: Not just a matter of weight, Journal of Industrial Ecology, Vol8, pp.121-137, 2004
3) 田中大介ら：資源・物質利用の環境影響：建設用非金属鉱物を対象として、第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.244-245、2016
4) Tanaka, D., et al.: Environmental impact of resources and materials use: A case study of non-metallic minerals, Proceedings of the Joint Socio-Economic Metabolism Conference and Asia-Pacific Conference of the International Society for Industrial Ecology, p.91, 2016
5) Dente, S.M.R., et al.: Environmental impacts of resources and materials use: A case study of biomass including time-series and decomposition analysis, The 12th International Conference on EcoBalance Abstract Book, p.94, 2016
6) Aoki-Suzuki, C., etal.: Developing methodology to evaluate decoupling economic growth from environmental impacts of re-sources and materials use in Japan – preliminary comparison, The 12th International Conference on EcoBalance Abstract Book, p.94, 2016
7) 総務省：産業連関表、http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/、2018 年 1 月アクセス
8) 産業技術総合研究所：IDEAv2、https://www.aist-riss.jp/softwares/40166/、2018 年 1 月アクセス
9) 伊坪徳宏、稲葉敦編著：LIME2(Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)、産業環境管理協会、2010
10) Sun, J. W.: Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model. Energy Economics, Vol.20, pp.58-100, 1998

P2-053
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

木質バイオマスの物質フローの推計と使用効率の評価

Estimation of woody biomass material flows and evaluation of its use efficiency

○平井満規*[1)]、橋本征二 [1)]
Mitsunori Hirai, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0047pp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化の問題に対処するにあたって、近年注目されているのが木質バイオマスである。木質バイオマスは、光合成を行うことによって大気中の炭素を固定したものであることから、これを燃焼しても大気中の炭素を増加させないという特徴がある。また、木質バイオマスから生産される製品は、他素材から生産される製品と比較して、一般にその生産工程で発生する CO_2 が少ないという特徴がある。我が国には国土の約 7 割を占める森林資源があり、他国に比べても、豊富な森林資源を所有していることから、この活用を図っていくことが有益であり、そのためには国内における木質バイオマスの活用状況を的確に把握することが求められる。これについて既存研究 [1)2)]では、1960 年から 2000 年までの国内の木質バイオマスのフローが詳細に推計され、その活用状況が 6 つの指標により評価されているが、その後「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」(2001 年施行)や「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(2010 年施行)、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」(2012 年施行)等が導入され、木材の活用状況にも大きな変化が生じている。

このようなことから本研究では、2001 年以降 2015 年までの日本における木質バイオマスの物質フローを時系列で推計するとともに、それをもとにその使用効率を時系列で評価した。

2. 方法 [1)]

2.1 概要

本研究で推計する物質フローは、表 1 に示す生産活動 32 部門(列)および製品・副産物・廃棄物・資源 48 部門(行)で構成され、投入産出表の形態(各生産活動における原材料などの投入がプラスの数値で、製品・副産物・廃棄物などの産出がマイナスの数値)で記述される。

対象とする生産活動 32 部門について、2001 年から 2015 年の原材料の投入量(消費量、入荷量)や製品等の産出量(生産量、出荷量)、製品の貿易量や用途に関する統計値 [3)4)] を整理するとともに、統計値が無いものについては、2.2 に示す方法で推計した。

なお、物質フローは全て絶乾重量で表すこととした。輸入素材と輸入製材の絶乾比重は、近年に輸入された樹種の加重平均をとったものであり、チップ、パルプ、紙、板紙については、含水率を 10%とした。また、接着剤や薬品の重量も比率を用いて控除した。

表 1　対象とする生産活動 32 部門

①堆肥・家畜敷料	⑨単板積層材	⑰板紙	㉕出版物
②椎茸原木	⑩チップ	⑱段ボール	㉖建築物
③薪炭材	⑪削片板・繊維版	⑲段ボール箱	㉗土木構造物
④素材	⑫梱包材・パレット	⑳その他の容器包装紙	㉘その他の製品
⑤製材	⑬その他の木製品	㉑衛生用紙	㉙再資源化チップ
⑥集成材	⑭家具・建具	㉒その他の紙製品	㉚古紙
⑦単板	⑮パルプ	㉓新聞紙	㉛焼却
⑧合板	⑯紙	㉔印刷物	㉜埋立

また、物質フローの推計結果をもとに、既存研究 [1)2)] と同様に物質循環の 6 つの指標を用いて、木質バイオマスの使用効率の推移を評価した。

2.2 各生産活動における推計方法

各生産活動における推計方法のうち、主要なものを以下に記す。

(1) 製材、集成材：製材生産時に発生する工場残材量については、素材の消費量と製材の生産量から求めた。集成材については、製材から集成材を生産する際の歩留まりを 80%とし、製材消費量と発生する工場残材量を求めた。

(2) 単板、合板、単板積層材：単板の生産量、出荷量が不明なため、単板から合板を生産する際の歩留まり [5)6)] を用いて、合板用の単板消費量を求めた。また、合板用、単板積層材の単板消費量と単板の輸出入量から、国内での単板の供給量(＝生産量とする)を求めた。土木建築用、家具・建具・家電キャビネット用、パレット梱包用の出荷量については、出荷金額の比率 [7)] を用いて物量を按分した。

(3) チップ：チップの用途別出荷量については、削片板、繊維版生産のための入荷量をそれへの出荷量とし、残りをパルプ生産のための出荷量とした。

(4) 削片板、繊維版：原材料の入荷量、消費量が 2002 年以降不明なため、原材料の使用割合 [7)]、歩留まり、接着剤を除いた際の製品比重を用いて、原材料消費量を求めた。また、原材料の使用割合も 2013 年以降不明なため、2012

年の値を用いた。

(5) パルプ、紙、板紙：パルプ生産時に利用する再資源化チップ量については、利用する全チップ量から(3)で求めたバージンチップ量を差し引くことで求めた。紙、板紙生産時に発生する汚泥の量は、原材料(パルプ+古紙+その他の繊維)と紙、板紙の生産量(添加物を除く)から求めた。

(6) 木製品(梱包材・パレット、家具・建具、建築物、土木構造物、その他の木製品)：原材料から木箱・パレット、家具・建具、建築物、土木構造物、その他の木製品を生産する際の歩留まりを 90%とし、製品の生産量と発生する木くず量を求めた。

(7) 紙、板紙製品(段ボール、段ボール箱、その他の紙製容器包装、衛生用紙、新聞紙、印刷物、出版物、その他の紙製品)：原材料から段ボール、新聞紙、印刷物を生産する際の歩留まりを 97%、原材料から段ボール箱、その紙製容器包装、衛生用紙、その他の紙製品を生産する際の歩留まりを 90%とし、製品の生産量と発生する加工紙くず量を求めた。出版物については出版冊数と平均重量[8]から生産重量を算出した。

3.　結果と考察

本要旨では、物質循環の 6 つの指標のうち、5 つの指標について暫定的な結果を示す。図 1 から分かるように、直接物質投入量(DMI)は、木材需要の低下に伴って 1990 年代の後半から減少傾向にあり、リーマンショックの影響で 2009 年に最低の値となっている。DMI の減少が 2000 年以降の大きな特徴である。国内排出物量(DPO)も DMI と同様の傾向を示しており、近年減少傾向である。また、図 2 から分かるように、使用済み製品再資源化率(RRUP)は近年の古紙回収率の増加、2001 年に施行された「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」によって、2000 年以降も増加傾向にあり、近年では 60%に達している。特に紙製品の再資源化率が木製品に比べて著しく増加している。RRUP と同様に、使用済み製品再生利用率(URRUP)も増加傾向であるが、古紙の輸出量が増加傾向にあるため、近年 RRUP との差が広がっている。また、URRUP の増加が DMI の減少に貢献してきていることも重要な点である。なお、物質利用効率(MUE)は、各年の歩留まりに差がないために、ほとんど一定の値となった。

本研究では、2012 年に施行された「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の影響なども検討することを意図していたが、データの制約から現時点では近年のエネルギー利用を十分考慮できていない点が課題である。上述の削片板・繊維版の原材料消費量のほか、単板積層材の生産量、原材料消費量も近年不明であるため、エネルギー利用と合わせて近年の木材利用については不正確なところがある。これらの点が今後の課題である。

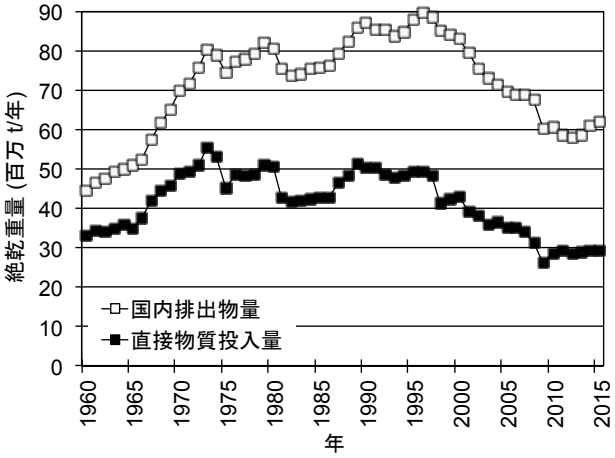


図 1　直接物質投入量と国内排出物量の推移

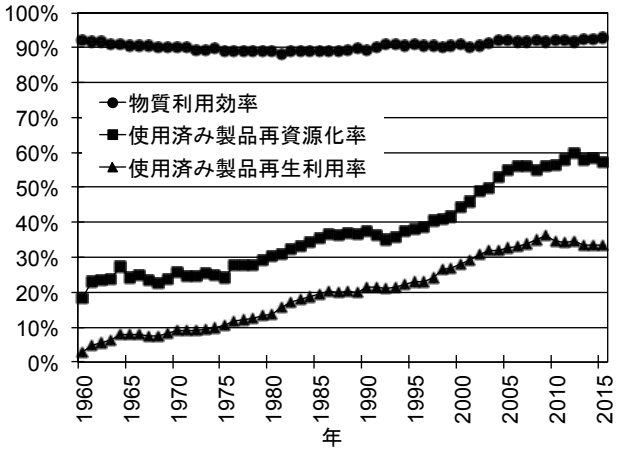


図 2　物質利用効率、使用済み製品再資源化率、使用済み製品再生利用率の推移

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3K163001)による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 橋本征二、森口祐一：日本における伐採木材のマテリアルフロー・炭素フローデータブック、国立環境研究所、2004
2) Hashimoto, S. et al.: Six indicators of material cycles for describing society's metabolism – application to wood resources in Japan, Resources, Conservation and Recycling, 40(3), pp.201-223, 2004
3) 林野庁：森林・林業統計要覧、各年版
4) 農林水産省：木材需給報告書、各年版
5) 日本住宅・木材技術センター：木実廃棄物再資源化技術開発事業報告所、1994
6) 日本木材総合情報センター：木質系残廃材を原料とするチップ製造業、1999
7) 日本住宅・木材技術センター：木材需給と木材工業の現況、各年版
8) 全国出版協会：出版指標年報、各年版

P2-054

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

Calculating life cycle eco-efficiency of materials: A review of allocation methodologies of environmental impacts and services

○Sébastien M.R. Dente [*1)], Chika Aoki-Suzuki [1)2)], Seiji Hashimoto[1)]

1) Ritsumeikan University, 2) Institute for Global Environmental strategies,

*15v01062@gst.ritsumei.ac.jp

1. Introduction

Eco-efficiency is an indicator used in environmental management policy and defined, in case of national level, as the ratio between the value of Gross Domestic Production (GDP) and the environmental impact. Disaggregation of this indicator at the level of materials leads to several issues. First, as underlined in van der Voet et.al [1)], a proper management of double counting is necessary, because materials supply chain in the upstream side are intertwined. Second, as selected materials being not necessarily final products, allocation of value added and environmental impact in the upstream and downstream side must be managed carefully. In this study, we review the different allocation methodologies and their impacts on the eco-efficiency values of materials.

2. Methodology

2.1 Distinction between upstream and downstream

The distinction between upstream and downstream was done for 64 target materials (sectors) selected from the 2011 Japanese IO table[2)] adjusted to only take into the domestic impacts. These target materials correspond to biomass resources such as rice, crops, and livestock, fossil fuels such as petroleum refinery products, coal, and resins, metallic minerals such as copper, steel, and aluminum, and non-metallic minerals such as glass products, cement, and soda chemicals. The Japanese GHG emissions are taken from 3EID[3)] and value added from the 2011 Japanese IO Table[2)]. The supply chain related unitary environmental impact and value added (I_t) were calculated as shown in eq.1 in which D_t and D_o are respectively the process emissions of target materials and non-target (other) products. The coefficient α_{tt} shows the appearance of target material supply chain within target material supply chain and is thus an indicator of double counting[4)]. The coefficient α_{ot} shows the appearance of non-target (other) products not associated with the supply chain of target materials.

$$I_t = I_t\alpha_{tt} + D_t + D_o\alpha_{ot} \ (eq.1)$$

$$with\ \alpha_{tt} = A_{tt} + A_{to}(Id - A_{oo})^{-1}A_{ot}$$

A is the intermediate matrix decomposed into four blocks: A_{tt}, A_{to}, A_{ot} and A_{oo}. Each block Aij matrix shows the input of products i to products j. Target materials are denoted by t and non-target other (products) by o. Considering X_t and X_o the production of respectively target materials and non-target (other) products, the quantity of target material production after management of double counting (X_t^{wdc}) and the repartition of non-target (other) products between upstream (X_o^{up}) and downstream (X_o^{d}) are then given by the following equations where L corresponds to the Leontief inverse matrix:

$$X_t^{wdc} = (Id - \alpha_{tt})X_t \ (eq.2)$$

$$X_o^{up} = L_{ot}X_t^{wdc} \ (eq.3)$$

$$X_o^{d} = X_o - X_o^{up} \ (eq.4)$$

2.2 Allocation methodologies in upstream

The upstream related environmental impact or value added ($E_t^{1,up}$) are calculated by multiplying the unitary supply chain value by the production adjusted from double counting:

$$E_t^{1,up} = I_t diag\left(X_t^{wdc}\right) \ (eq.5)$$

Reformulating the unitary supply chain formula as shown in eq. 6, it becomes possible to reallocate $E_t^{1,up}$ into an upstream impact $E_t^{2,up}$ containing for each target materials only their own process emissions and those of non-target (other) products.

$$I_t = (D_t + D_o\alpha_{ot})(Id - \alpha_{tt})^{-1} (eq.6)$$

$$E_t^{2,up} = \mu E_t^{1,up}\ with\ (eq.7)$$

$$\mu = diag(D_t + D_o\alpha_{ot})(Id - \alpha_{tt})^{-1}\left(diag(I_t)\right)^{-1}$$

2.3 Allocation methodologies in downstream

The calculation of downstream environmental impacts and value added of targeted materials requires the allocation of process environmental impact and value added (Vo) of non-target (other) products to target materials. The allocation is based on the cost structure of non-target (other) products given by the intermediate coefficient matrix A_{to}. The first allocation method is then considering only the direct cost structure A_{to} whereas the second methodology also incorporates indirect effect as shown in eq. 8.

$$\alpha_{to} = A_{to} * (Id - A_{oo})^{-1} \ (eq.8)$$

These two allocations are then used to calculate the share of non-target (other) products process emissions allocated to target materials as shown in equations 9 and 10.

$$E_t^{1,d} = A_{to}diag(D_o)X_o^d (eq.9)$$

$$E_t^{2,d} = \alpha_{to}diag(D_o)X_o^d \ (eq.10)$$

2.4 Combination of upstream and downstream

Environmental, value added and eco-efficiency defined as the ratio between value added and environmental impacts are then calculated for four methodologies as shown in equations 11 and

12.

$$E_t^1 = E_t^{1,up} + E_t^{1,d} \; ; \; E_t^2 = E_t^{1,up} + E_t^{2,d} \quad (eq.11)$$
$$E_t^3 = E_t^{2,up} + E_t^{1,d} \; ; \; E_t^4 = E_t^{2,up} + E_t^{2,d} \quad (eq.12)$$

3. Results and Discussion

3.1 Results according to methodology 1

The total GHG emissions and value added associated with the 64 target materials amount to respectively 446 million tCO_{2e} and 37 10^{12} JPY leading to an eco-efficiency of 0.08 JPY/gCO_{2e}. The emissions are concentrated in a few materials as the ten sectors with highest impacts contribute to as much as 77% of the total GHG emissions and 49% of the value added. The eco-efficiency ranges from 0.01 JPY/gCO_{2e} for cement to 0.97 JPY/gCO_{2e} for timber with an average of 0.08 JPY/gCO_{2e} and a median value of 0.15 JPY/gCO_{2e}.

3.2 Effects of the changes of methodologies

The changes in the values of environmental impacts, value added and eco-efficiency when using methodologies 2, 3 and 4 instead of methodology 1 are shown in Figure 1. Methodology 2 and 4 shows for most materials an increase in environmental impacts and an even more important increase for value added. These results are explained by the indirect effects in downstream added in methodology 2 and 4. Indeed, by considering indirect effects, a share of process emissions linked to services and products not using directly target materials are allocated to target material whereas there is no such allocation in methodologies 1 and 3. The effect is even bigger for value added as emissions are mainly associated with the making of materials whereas value added is mainly created by the service sectors. The comparison between methodology 1 and 3 informs on the effect of the choice of upstream methods. For most of the materials represented in Figure 1, only small differences are observed showing the important contribution of their own process emission and value added. On the opposite, only 79% of the beef cattle emissions calculated by methodology 1 is reallocated to beef cattle in methodology 2, 11% being reallocated to rice and 6% to dairy cattle.

Acknowledgements: This research was supported by the Policy Studies of Environmental Economics (Phase III) of Ministry of the Environment, Japan and Grant-in-Aid for Scientific Research (15H02863) of Japan Society for the Promotion of Science.

References

1) van der Voet, E. et al.: Dematerialisation: not just a matter of weight. Center of Environmental science, report 160, 179pp, Leiden University.
2) Ministry of Internal Affairs and Communications Japan: 2011 Input-Output Tables, 2015
3) Nansai, K. et al.: Embodied Energy and Emission Intensity data for Japan using Input-Output tables, NIES, 2017. www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/enf/page/what_is_3eid.htm
4) Dente, S.M.R. et al.,: Revealing the life cycle greenhouse gas emissions of materials – The Japanese case. Resources, Conservation & Recycling, 2017 (DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.12.011).

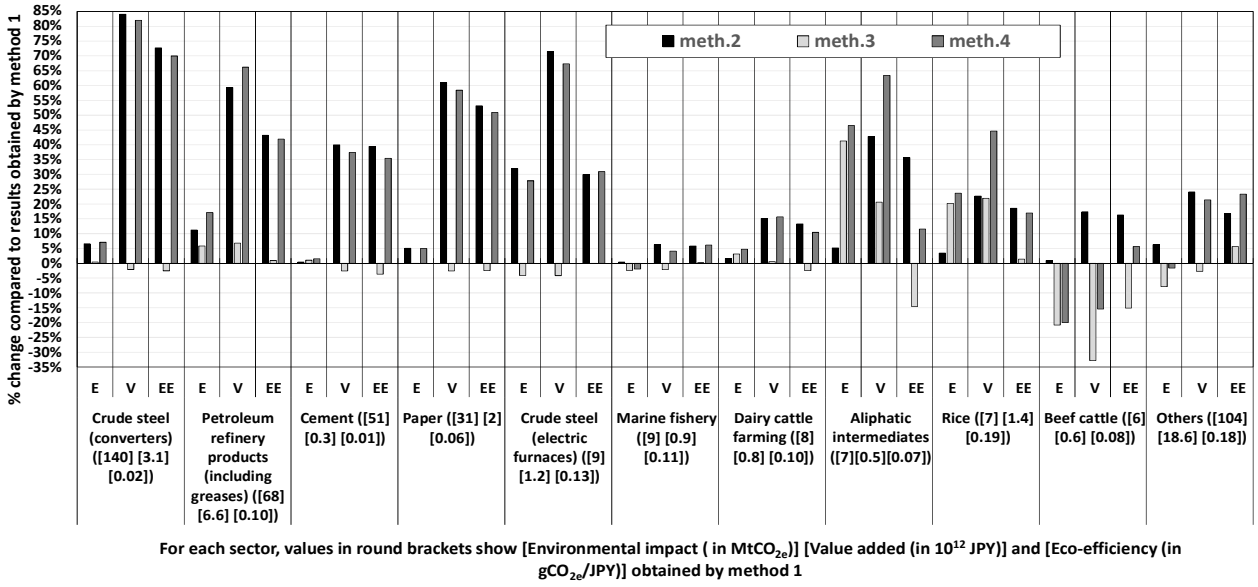


Figure 1 Changes in environmental impact (E), value added (V) and eco-efficiency when using methodologies 2, 3 and 4 instead of methodology 1

P2-055
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

マテリアルリサイクル PET 繊維の環境効率

Eco-efficiency of material recycled PET fiber

○仙波壽朗*[1)]、稲葉敦 [2)]
Toshiro Semba, Atsushi Inaba
1) 飯田女子短期大学, 2) 工学院大学
* senba@iidawjc.ac.jp

1. 緒言

化石資源への依存低減や資源の循環的利用の観点から、使用済み PET ボトルや PET 製品は、ケミカルリサイクルやマテリアルリサイクルにより材料として再利用することが望ましいとされている。ケミカルリサイクル PET（CRPET）は、PET をモノマーまで分解した後に再重合するため、バージン PET（VPET）と同等の性能を有する。しかし経済的に成り立つシステムを構築することは難しい。一方、マテリアルリサイクル PET（MRPET）は、比較的処理費用が安いが、リサイクル工程での異物の混入や重合度の低下が生じる。そのためポリマーの機械的強度が低下し、製品用途は限られている。また PET リサイクルには、リサイクルに伴う環境負荷が小さいことを前提に、VPET と同水準の品質や価格が要求される。

これまでに PET リサイクルの LCA 評価は多数報告されているが、それらに PET が有する物性やコストを関連付けた評価は行われていない。そこで本研究では、衣料用短繊維の基本的な機械的強度である引張強度および価格当たり GHG 排出量を算出し、環境効率の指標として提案した。また植物由来のポリエステルであるポリ乳酸（PLA）についても同様に評価した。

2. 研究方法

2.1 PET および PLA 製造

短繊維 1 kg を評価対象とした。CRPET 以外は廃棄工程で焼却処理を行うと仮定する。CRPET はクローズドループでのリサイクルのため、廃棄工程を除いた。また使用段階は除外した。

2.1.1 VPET 製造工程

システム境界には海外での原油採掘から PET 重合、廃棄を含めた（Fig. 1）。VPET の GHG 排出量は、経済産業省製造産業局の値 [1)]に焼却処理を含めた 3.76 kg-CO_{2e}/kg-VPET を用いた。

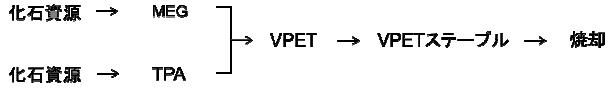


Fig. 1　VPET のシステム境界

2.1.2 MRPET 製造工程

MRPET は PET ボトルを原料として製造する。システム境界は、PET ボトル回収からベーリング、ベール輸送、フレーク製造、ペレット製造、焼却までとした（Fig. 2）。MRPET の GHG 排出量は、日本容器包装リサイクル協会の値 [2)]をもとに算出した 2.97 kg-CO_{2e}/kg-CRPET を用いた。

Fig. 2　MRPET のシステム境界

2.1.3 CRPET 製造工程

CRPET は、テレフタル酸ジメチル（DMT）を経由して製造する。回収された PET ボトルから樹脂製造までの GHG 排出量原単位は IDEA [3)] の 3.46 kg-CO_{2e}/kg-CRPET を用いた（Fig. 3）。尚、CRPET では製品の廃棄工程を除外した。

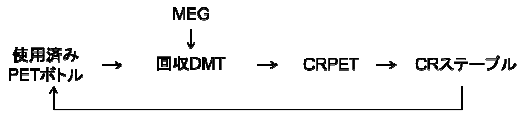


Fig. 3　CRPET のシステム境界

2.1.4 PLA 製造工程

システム境界はとうもろこし栽培から PLA 製造、廃棄までとする（Fig. 4）。PLA の GHG 排出量は、森の報告 [4)]から算出した 3.30 kg-CO_{2e}/kg-PLA を用いる。尚、とうもろこし生育時の炭素固定によるカーボンニュートラルを適用した。

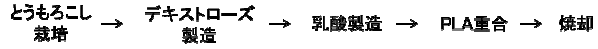


Fig. 4　PLA のシステム境界

2.2 短繊維化工程

樹脂から短繊維製造の工程は経済産業省製造産業局のプロセスデータを用い、原単位データは IDEA [3)]を引用した。

3. 各短繊維の GHG 排出量と機能価値

3.1 GHG 排出量の算定

VPET の GHG 排出量は 4.89 kg-CO_{2e}/kg となり最も大きい値を示した。一方、CRPET はクローズドループでのリサイクルにより廃棄を想定していないため、GHG 排出量は最も小さい 3.46 kg-CO_{2e}/kg となった。また MRPET は 4.06 kg-CO_{2e}/kg であり、VPET と比べ約 17 %小さい。

3.2 引張強度

短繊維の引張強度は JIS1015 に従い実施した値を用いた。VPET の引張強度は 5.40×10^{-2} N で最も大きく、PLA、MRPET の順となった。尚、CRPET はモノマーまで分解後に再重合するため、VPET と同じ引張強度とした。

3.3 価格

VPET の価格は Chemnet Tokyo より 175 円/kg [5]を引用した。また CRPET も同じ価格と仮定した。MRPET の価格はメーカーへのヒアリングより 350 円/kg とした。エコマークの登録料や衣料用で強度や伸度が要求されるためレギュラータイプより高価である。また PLA の価格は文献やメーカーへのヒアリングより 360 円/kg と設定した。

4. 環境効率

4.1 GHG 排出量当たり引張強度

GHG 排出量当たり引張強度は、その値が大きいほど短繊維のライフサイクルに伴う GHG 排出量に対し大きな引張強さを有していることを意味する。各短繊維の中で CRPET が 15.6 N/kg-CO_{2e} と最も大きい値を示した。一方 VPET の GHG 排出量は最も大きいが、高い引張強度を有するため相殺され、PLA や MRPET と同等の GHG 排出量当たり引張強度となった。

4.2 GHG 排出量当たり価格

GHG 排出量当たり価格は高いほど、GHG 排出量に対し金銭的価値が高いことを意味し、取引において最終製品製造者は不利である。MRPET と PLA はともに 80 円/kg-CO_{2e} を超えた。これは各短繊維 1kg 当たりの価格により引き上げられている。一方コストパフォーマンスに優れる VPET は 35.8 円/kg-CO_{2e} と最も低い値を示した。

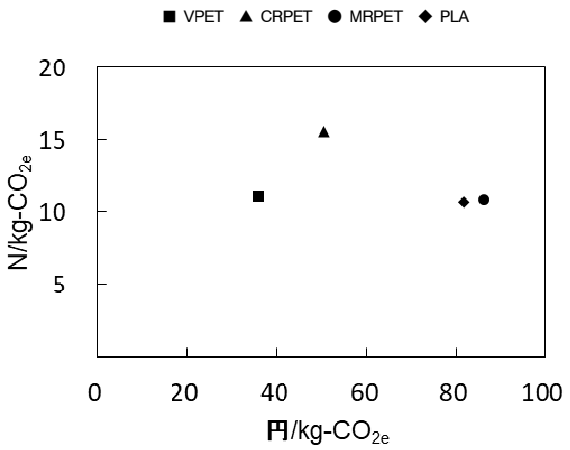


Fig. 5　各短繊維の環境効率

5. まとめ

本研究では衣料用の各短繊維の環境効率を算出した。その結果、PLA や MRPET は VPET に比べ、GHG 排出量当たり価格が 2 倍以上高いことが分かった。VPET の様に広く普及するためには、短繊維に付加価値を与えることや価格を下げることが必要である。従って GHG 排出量当たり引張強度は、環境効率として付加価値の一つに成る可能性がある。また VPET の GHG 排出量当たり価格は 35.8 円/kg-CO_{2e} である。PLA および MRPET の 1 kg 当たりの価格がそれぞれ 158 円、145 円まで下がれば同等の GHG 排出量当たり価格となり、VPET と競合できるだろう。

［引用文献］

1) 経済産業省製造産業局：繊維課繊維製品（衣料品）の LCA 調査報告書, (2009)

2) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会：使用済み PET ボトルの再商品化に伴いする環境負荷分析, (2016)

3) LCI database IDEA version 2.0

4) NPO 法人グリーンコンシューマー東京ネット：ポリ乳酸の GHG 排出量は生分解性プラスチック普及に伴う社会的影響と対応策の研究, (2004)

5) Chemnet Tokyo, 入手先 <http://www.chem-t.com/ cgi-bin/ passFile/NCODE/9082> , (参照 2017-09-20)

Table1 各短繊維の GHG 排出量と環境効率

	VPET	MRPET	CRPET	PLA
GHG 排出量（kg-CO_{2e}/kg）	4.89	4.06	3.46	4.41
引張強度（N/dtex）	5.40E-02	4.40E-02	5.40E-02	4.70E-02
価格（円/kg）	175	350	175	360
N/kg-CO_{2e}	11.1	10.8	15.6	10.7
円/kg-CO_{2e}	35.8	86.2	50.5	81.7

P2-056
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

金属のクリティカリティ評価で用いられる評価項目の検討：低炭素発電技術に使用される金属のケーススタディ

Investigation of evaluation items used in criticality assessment of metals: a case study of metals used for low-carbon technologies

○宮本渉*[1)]、橋本征二[2)]
Wataru Miyamoto, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院、2) 立命館大学
* rv0040if@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

我が国において、金属資源は機械や電気・電子機器、自動車等に利用されているように産業基盤を支える重要な資源である。鉱物資源に乏しい日本においては、これらの金属資源の戦略的な確保に関する知見が求められており、産学官で資源の安定供給に向けた多くの評価[1),2)]が行われている。一般的に資源確保においては、対象となる金属資源の「供給国におけるリスク」や「需要国における影響度」が様々な視点から評価され、優先的に確保すべき金属資源を特定している。この際、幅広くリスクや影響度を評価するため、既存研究では多くの評価項目を設けることで、様々な供給リスクを考慮しているが[2)]、項目数の増大は統合する際に各項目を過小評価してしまう恐れがある。そこで本研究では、筆者らの既報[3)]で用いた評価項目を既存研究の評価項目と比較検討することで削減し、最小限の評価項目で様々なリスクが考慮できる手法を検討した。また、低炭素社会の形成における重要度(クリティカリティ)を評価する項目を加え、今後急激に需要が増加すると考えられる低炭素発電技術に使用される金属資源を対象としたケーススタディを行った。

2. 方法

2.1 対象技術及び金属資源

本研究では、再生可能エネルギーおよび高効率火力発電を対象技術とした。再生可能エネルギーについては、「長期エネルギー需給見通し」で計画されている水力発電、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、地熱発電を、高効率火力発電については、LNG火力発電はガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)、石炭火力発電は石炭ガス化複合発電(IGCC)を対象とした。また対象とする金属資源は既報[3)]で評価した23種類とした。

2.2 評価項目の検証

本研究では、既報[3)]と同様に供給リスクと脆弱性の二軸による評価手法を採用した。ここで、既報[3)]で用いたポリシーパーセプション指数(PPI)、人間開発指数(HDI)、世界ガバナンス指数(WGI)は、各国の社会的・政治的な影響が及ぼす供給リスクを評価している。PPIは、Fraser Institute社が世界の鉱業に携わる企業を対象として行った調査に基づいた評価であり、金属資源の生産段階を評価する指標として適切であるが、HDI、WGIは鉱業を対象とした評価ではない。HDIは各国の健康・教育・所得を評価し当該国の成熟度を評価しているが、供給リスクを評価する指標の一つとして捉え難く、既存研究においても採用されている例は極めて少ない[2)]。一方で、WGIは各国の政治的な安定性を評価しており、カントリーリスクを評価する指標として、既存研究において採用されている割合は高い[2)]。そのため、本研究では金属資源の生産段階と製錬段階を考慮するため、PPIを生産国の社会的リスクを評価する指標として用い、WGIを製錬国の社会的リスクを評価する指標として用いた。また、PPI・WGIの重み付けは、ハーフィンダル・ハーシュマン指数(HHI)により行い、寡占度を考慮した評価項目とした。以下に各項目における推計方法を示す。

2.3 供給リスク

文献[4)]で提案されているフレームワークを参考に、物理的、経済的、社会的な観点から対象金属の供給リスクを評価し、各値を0-100で表した。

① **物理的**：可採年数(RPt)で評価した。RPtはRP(2014年における各金属資源の埋蔵量を2014年の生産量で除したもの)を下式に当てはめて推計した。

$$RPt = 100 - 0.2 \times RP - 0.008 \times RP^2$$

② **経済的**:副産物として生産される割合(CMF)で評価した。文献[5)]を参考に対象金属が副産物として生産される割合を基に評価した。

③ **社会的**：生産国、製錬国における社会的リスクを下式で評価した。生産国、製錬国における寡占的な影響を考慮した社会的指標(SI：ここではPPIまたはWGI)をSI_{HHI}とし、SIi(i国におけるSI)とHHIi(i国におけるHHI)を用いて、下式に当てはめて推計した。ここでHHIは各生産国の生産割合を自乗した値である。

$$SI_{HHI} = 17.212 \times \ln(\sum SIi \times HHIi) - 137.79$$

2.4 脆弱性

文献[5)]を参考に重要性、代替可能性、感受性の観点から供給制限を受けた時の脆弱性を評価し、各値を 0-100

で表した。

① **重要性**：低炭素社会の形成における重要性として、対象金属が持ちうる潜在的な CO_2 削減量(CO_2)を評価した。2015 年から 2030 年において、対象技術が従来型火力発電の代替発電として利用された場合を想定し、CO_2 削減量を推計した。

② **代替可能性**：代替金属の能力(SP)、代替金属の入手可能性(SA)で評価した。SP は文献 [5]を参考に、SA は 2.3 の手法で供給リスクを推計した。推計した SP、SA を用いて、2014 年の日本における各金属の最終製品別の需要割合で加重平均し、対象金属毎の SP、SA を推計した。

③ **感受性**：輸入依存度(IR)で評価した。供給量(国内生産量、輸入量、再生利用量、ストック量)のデータから、輸入に依存している割合を推計し評価した。

3. 結果と考察

対象金属 23 種類を用いたケーススタディの評価結果を図 1 に示す。供給リスクが大きく推計された金属は In、Cd、Se、Co であり、脆弱性が大きく推計された金属は Al、Mn であった。また、Zr は、両軸において大きい値をとった。

既存研究[1]や文献[2]で紹介されているいくつかの研究の結果と比較すると、In や Cd、Se の供給リスクが大きく評価され、筆者らの既報[3]との比較では Al の脆弱性が大きく評価された。前者については、既存研究[1]や文献[2]で紹介されている研究において評価対象外であった 2 項目(RPt、CMF)を既報[3]や本研究において考慮した結果である。上記の 3 鉱種は日本が生産国の一角を担っているため、既存研究[1),2)]では供給リスクが小さく評価されてきた。しかし、主産物(ホストメタル)の RPt や副産物として生産されるリスクを加味すると、既存研究[1)]や文献[2)]で紹介されている研究において供給リスクが高いと評価されてきた Nb や W、Nd、Dy よりも高い評価となった。また、後者については、筆者らの既報[3)]で評価対象としていなかった低炭素社会の形成に及ぼす影響度を項目に加えたことが要因である。

本研究で用いた項目を利用することで、物理的・経済的リスクを考慮することができ、社会指標に寡占度のリスクを反映させることによって項目数を削減し、また CO_2 削減量を脆弱性に加えたことで、低炭素社会の形成においてクリティカルである金属資源を評価することが可能となった。

以下では、個別の金属について考察する。

(1) 供給リスク

供給リスクが大きく推計された金属は CMF において大きな値をとった。多くの場合、希少金属の生産は経済的な理由から単体で行われることはなく、ホストメタルの需給の影響を大きく受けてしまうことが要因である。

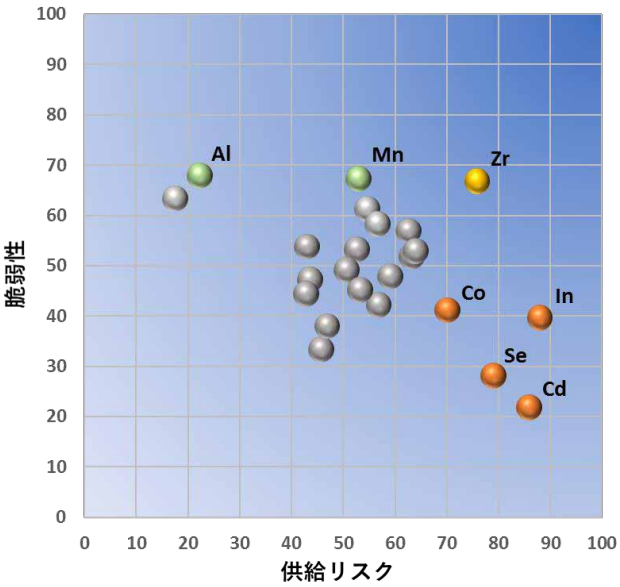


図 1　対象金属 23 種類のクリティカリティ評価

また、In、Cd、Se、Co の脆弱性の評価は小さいが、今後供給制限による影響度が大きくなった場合、グラフの右上に移動する可能性が考えられる。供給リスクを低減させるため、現在回収が行われていない精錬プロセスからの回収を促進すること等が望まれる。

(2) 脆弱性

Al は多くの低炭素発電技術に用いられ、CO_2 削減量に寄与する割合が大きいため、脆弱性が大きく推計された。また、Mn は代替可能性や IR において大きな値をとっていることが大きな要因であった。Al はカントリーリスクが大きい中国やブラジルが生産国の上位を占め、Mn は資源量が限られていることから、今後供給リスクが増大する可能性が考えられる。そのため、代替金属の開発や輸入依存度を減少させるような備蓄政策を進めることが、脆弱性を低減させる対策として望まれる。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金(15H02863)による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 有賀大輔：金属鉱物資源の安定供給に関する一考察、金属資源レポート、pp.1-12、2015

2) 株式会社三菱総合研究所：平成 28 年度エネルギー使用合理化鉱物資源開発推進基盤整備事業、2017

3) 宮本渉ら：低炭素発電技術に使用される金属のクリティカリティ評価、第 12 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集、pp.404-405、2017

4) J. Dewulf et al: Criticality on the international scene: Quo vadis?, Resources Policy, 50, pp.169-176, 2016

5) T.E. Graedel et al: Methodology of metal criticality determination, Environmental Science & Technology, 46, pp.1063-1070, 2012

P2-057
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

循環利用を考慮した素材の LCA 手法の構築

Design of LCA Methods on Materials considering repeated recycling

○木村将志*[1)]、醍醐市朗 [1)] 、榎学 [1)]
Masashi Kimura, Ichiro Daigo, Manabu Enoki
1) 東京大学大学院
* Kimura@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景・目的

Life Cycle Assessment(LCA)研究の多くは、最終製品を対象にその原料採取から廃棄まで(cradle to grave)の環境負荷を評価してきた。その中で素材については、バージン原料や二次原料の採取から素材の出荷まで(cradle to gate: C to G)の環境負荷がインベントリデータとして収集され、データベースに収録されてきた。この C to G の評価が素材選択の評価に用いられることもあるが、素材はリサイクルされることにより異なる製品に用いられながら繰り返し使われるため、C to G あるいは製品の cradle to grave の評価では、素材のライフサイクルにより誘発する環境負荷評価にならない。素材ごとに循環性は異なるものの、その情報が十分に整備されてこなかったこともあり、今まで、素材が原料採取から最終的に廃棄されるまで(material life cycle: MLC)の負荷を考慮した評価はされてこなかった。本研究では素材の環境負荷を、MLC のシステム境界で評価する手法の構築を目的とする。

2. 手法の構築

2.1. 評価の対象とするプロセスの設定

本研究で評価する範囲は、素材の原料採取から、繰り返しスクラップとして回収・再生処理され使用されたのち廃棄に至るまで(MLC)とした。但し、最終製品に組み込まれ使用されている時の環境負荷は考慮しない。「対象素材 1 kg の 1 回使用」（機能単位）あたりの環境負荷を提示する。

2.2. EoL-RR および素材の循環使用回数

系 i を循環する素材を素材 i とし、その循環使用回数n_iは、使用済み回収率:RR_i及び、回収されたスクラップ中で系 i に留まる割合:a_i、製造時の歩留率：Y_iを用いて式 1 で表せる。

$$n_i = 1/(1 - Y_i \times a_i \times RR_i) \quad \text{但し} RR_i = R_i^0/G_i^0 \quad (1)$$

ここで、G_i^0は老廃スクラップの発生ポテンシャル量、R_i^0は老廃スクラップの回収量とし、これらを含む変数は動的 MFA によって推計した。

2.3. 循環系の分類方法

対象の素材の循環系を、使用するスクラップによって、同一素材のスクラップのみを原料とする「閉循環系」と、同一素材のほか他素材のスクラップも原料とする「開循環系」の二つに分類した。

2.4. 閉循環系の素材の評価手法

系 i で循環する、1 kg の素材 i を 1 回使用する当たりの環境負荷をx_iとする。閉循環系において天然原料のみを原料として製造する時の環境負荷をx_{pr1}、スクラップのみを原料として製造する時の環境負荷をx_{re1}、循環使用回数n_1、MLC の終点である最終廃棄までではなく、スクラップとして系外に提供されたことによる回避効果Sからx_1は式(2)で表せる。

$$x_1 = \{x_{pr1} + (n_1 - 1)x_{re1} - S\}/n_1 \quad (2)$$

これは系外にスクラップを提供しない場合、文献[1]の LCI(Life Cycle Inventory)手法の式に等しい。

2.5. 開循環系の素材の評価手法

開循環系の素材の評価法の一つとして、図 1 に示す漸次型評価法を以下のように構築した。

閉循環系の系 1 と開循環系の系 2 を合わせた全体を系外にスクラップを提供しない閉循環系 3 であるとする。評価対象の系 2 では天然原料は消費せず、スクラップは系 1 から流入したもの及び系 2 内で循環しているものとする。また天然原料から製造されるものは素材 1 であるとする。素材 3 の MLC での環境負荷は、素材 3 をスクラップのみを原料として製造する時の環境負荷をx_{re3}とすると式 3 で表せる。

$$n_3 \cdot x_3 = x_{pr1} + (n_3 - 1)x_{re3} \quad (3)$$

系 1 で 1 kg の素材 1 が循環したときの系 2 への流入スクラップ量は$n_1\{RR_1(1 - a_1)\}$ kg となる。このとき系 2 での環境負荷を、系 3 の環境負荷と系 1 の環境負荷の差分として考え、式 4 で表した。

$$n_2 \cdot n_1\{RR_1(1 - a_1)\} \cdot x_2 = n_3 \cdot x_3 - n_1 \cdot x_1 \quad (4)$$

系 1 を閉循環系の 1a と系 1a からスクラップ提供を受ける開循環系の 1b に分割しても、開循環系 1b の負荷は、系 1 の負荷と系 1a の負荷の差分によって評価できる。さらに系 1a を同様に分割しこれを繰り返すことで、系の区分が細分化しても各系の負荷を評価できる。回避効果 S はスクラップ 1 kg 当りの回避効果原単位 s から式 5 で表せる。

$$\mathrm{S} = n_1\{RR_1(1 - a_1)\} \times \mathrm{s} \quad (5)$$

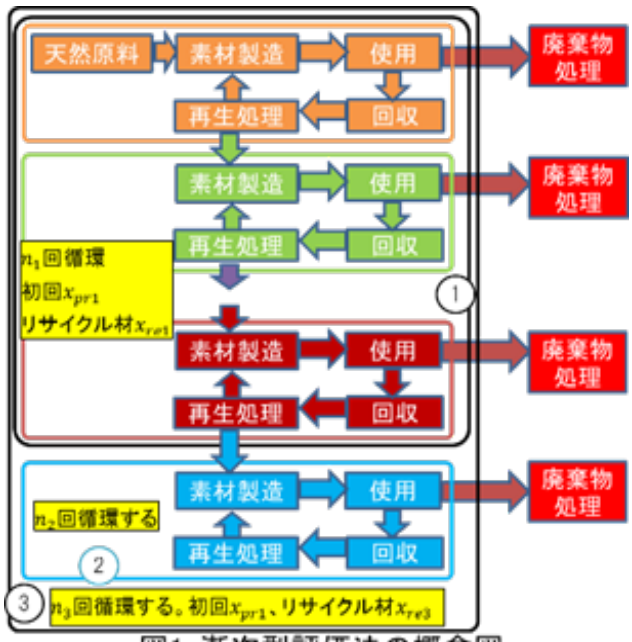


図1. 漸次型評価法の概念図

3. ケーススタディ

統計及び文献[2]の値を用いて動的 MFA を行い、上記の素材 1、2 に対応して 1 を Al 圧延品類、2 を Al 鋳物類、として、漸次型評価法を適用した。x_{pr1}、x_{re1}、x_{re3}は[kg-CO2/kg-Al]の単位においてそれぞれ 9.22、0.31、0.29 と得られた。回避効果を様々な条件で設定したときのx_1、x_2を表 1 に示した。x_1とx_2の負荷が等しくなる条件ではそれらがそれら全体の評価であるx_3より小さくなった。これは不等式 6 が成立したためであった。

$$n_2 \cdot n_1\{RR_1(1-a_1)\} + n_1 > n_3 \quad (6)$$

素材 3 の循環使用回数に比べ、素材 1 と素材 2 に区分した循環使用回数の和が大きくなった。系の区分によっては循環使用回数が異なることがわかった。系 1 の総負荷と系 2 の総負荷の合計は系 3 の総負荷と一致するものの、循環使用回数が異なることにより、異なる負荷原単位が得られるため、系の区分が重要であると考えられた。

表1　回避効果の様々な条件に応じたx_1とx_2

回避効果sの条件	x_1	x_2	x_3
回避効果なしの場合	7.85	0.24	4.11
x_{pr1}/2とした場合	5.79	1.99	
x_1=x_2となる場合	3.74	3.74	
x_{pr1}とした場合	3.73	3.74	
x_1,x_2,x_3の単位は[kg-CO_2/kg-Al]			

4. まとめ

素材のライフサイクルを通した新たな評価手法の 1 つを提案した。しかしながら、本研究で構築した評価法以外にも、開循環系の素材の評価方法は考えられ、各手法の特徴を整理し、各素材に適切な評価方法を開発することが望まれる。

引用文献

1) Worldsteel Association: LCA methodology report(2011)

P2-059

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

多地域産業連関分析からみる東南アジアにおける水利用の評価

Evaluation of water use in Southeast Asia to see from multi-regional input-output analysis

○松尾拓朗[*1)]、永島史弥[1)]、加河茂美[1)]

Takuro Matsuo, Nagasima Fumiya, Shigemi Kagawa

1)　九州大学

*1EC15123Y@s.kyushu-u.

1.　はじめに

地球上の水のうち、我々の生活に利用可能な水資源は、わずか 0.01%しか存在しない（国土交通省「国際的な水資源問題への対応)。現在、世界的には水不足であり、人口増加や経済発展によって水の需給が増加している地域が多く、OECD によると、2005 年時点ですでに、世界の人口中、半数近くが高度な水ストレスに悩まされている。特に経済発展めまぐるしいアジアでは著しく水使用量が増加しており（図 1)、その中でも東南アジア地域における水使用量の増加率は群を抜いて高くなっている。

東南アジアでは水使用量の増加に加えて、地球温暖化の影響による干魃や水質汚濁により水不足が引き起こされており深刻な問題となっている。しかしながらその一方で、東アジアや欧米諸国といった国の東南アジア地域に対する輸入需要の増大やグローバルサプライチェーンの拡大が、その財の製造段階における水利用を誘発していることも、水不足問題の一因となっているという側面がある。

本研究では東南アジア諸国の水不足の現状を、東南アジア各国の産業構造や日本・欧米諸国によって誘発された消費者基準水使用量に着目して考察し、水利用の増大に大きく寄与するグローバルサプライチェーンを構築する国々（ステークホルダー）による水不足問題解決に向けた政策提言を行う。

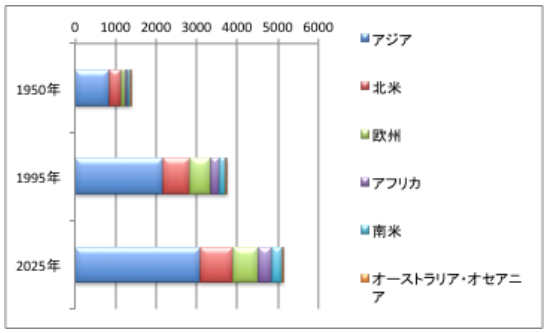


図 1　急増する水使用

2.　データ及び研究手法

2.1　データ

本研究で使用する産業連関表及び水使用のインベントリデータは、シドニー大学が作成・公開している 189 カ国を対象とした時系列世界多地域産業連関表(EORA)（http://www.worldmrio.com/）である。また本研究では、東南アジアの中でも特に水使用量の多いインドネシア(IDN)、マレーシア(MYS)、フィリピン(PHL)、タイ(THA)、ベトナム(VNM)の 5 カ国における水使用の現状についての考察を行う。

2.2　研究手法

まず、東南アジアの生産構造に着目し、生産者ベース水使用量を EORA のデータを用いて、グラフを作成する。

次に日本・欧米諸国によって誘発された消費者ベース水使用量(Q)を、EORA のデータを用いて計算する。消費者ベース水使用量を求める計算式を式(1)に示す.

$$Q = eLf \qquad (1)$$

$a_{ij} = z_{ij}/X_j$ を投入係数とし、これに対応する行列を A で表す。e を水の排出係数とし、f $=\{f_i\}$ は最終需要を表すベクトルとする。f に日本・欧米諸国の最終需要を代入することで日本・欧米諸国によって誘発された消費者基準水使用量は計算することができる。

L $=(I-A)^{-1}$ はレオンチェフ逆行列を表す。

3.　結果と考察

結果と考察については、ベトナムのみを示す。その他 4 つの国に関しては本会で発表する。

3.1　生産者ベース水使用量

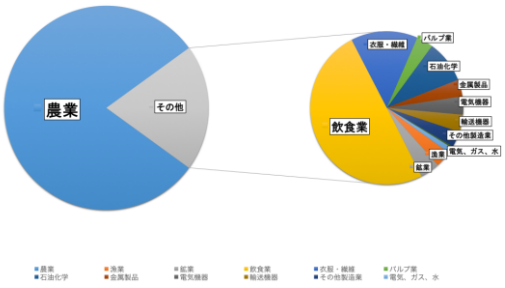


図 2　ベトナムの生産者ベース水使用量

上図はベトナムの生産者ベース水使用量を示した図である。農業における生産者ベース水使用量が 80%を超える。農業以外で見てみると、飲食業、衣服・繊維業が多くの割合を占める。ベトナム繊維縫製製品が 2012 年時点で 180 国以上の国、地域に輸出されているという現状があり、その影響で、衣服・繊維業における水使用量の割合が大きくなっているのではないかと考察する。

3.2　消費者ベース水使用量

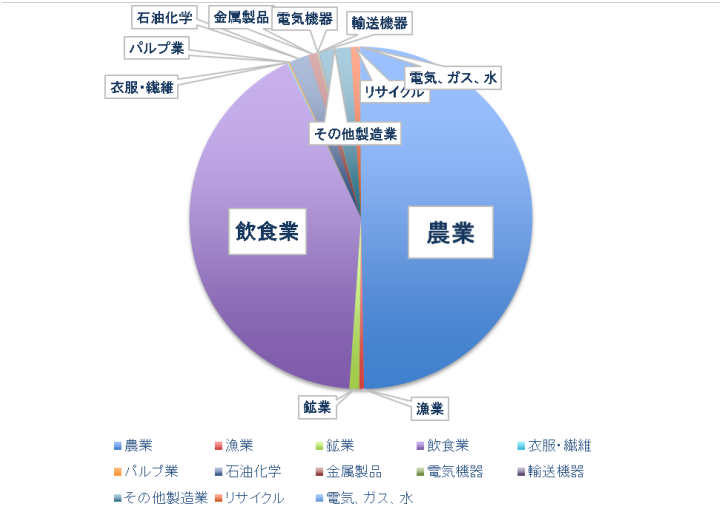


図３　ベトナムの消費者ベース水使用量

上図は日本の最終需要によって誘発されたベトナムの消費者ベース水排出量である。生産者ベース水使用量と比較してみると、農業の割合が減り、飲食業の割合が多く増加している。また、衣服・繊維業は生産者ベース水使用量と比べると割合が減少している。

4.　引用文献

1）国土交通省「国際的な水資源問題への対応」

2）UNEP Water Footprint, Neutrality & Efficiency (WaFNE) Project in support of CEO Water Mandate(2009)

P2-060

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

家計消費が窒素循環のプラネタリー・バウンダリーに与える影響

Impact of household consumption on nitrogen cycle planetary boundary

○馬場亮輔*[1)]、佐々木貴央[1)]、南斉規介[2)]、橋本征二[1)]

Ryosuke Bamba, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学　2) 国立環境研究所

* rv0047fx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、地球システムの重要なプロセスについて、人類が安全に活動できる境界を示した、「プラネタリー・バウンダリー(PB)」[1)]という概念が注目されている。PB は、気候変動、海洋の酸性化、成層圏オゾンの減少、窒素・リン循環の変化、淡水の利用、土地利用の変化、生物多様性の減少、エアロゾルの負荷、化学物質による汚染という 9 つの項目からなるが、窒素・リン循環の変化、生物多様性の減少の項目についてはすでに限界値を超えており[2)]、持続可能社会の実現のためにも人類の活動を PB の範囲内に抑えることが求められている。このためには、我々のどういった消費行動がどの PB にどれだけ影響を与えているか知る必要がある。

本研究では、9 つの PB の中でも窒素循環を対象として、我々の家計消費が窒素循環の PB(62～82 Tg N /年)に与える影響を評価し、窒素循環を PB 内に抑える方策について検討した。

2. 方法

2.1 窒素循環の PB で考慮されている窒素固定量

窒素循環の PB では、「水生生態系の富栄養化」の直接的原因となる(i)Haber-Bosch プロセスによる大気 N_2 からの人為的工業的窒素固定、(ii)意図された生物学的窒素固定が考慮され、これに対し PB の値が設定されていることから、本研究でもこの窒素フローを対象とする。他の直接的原因として、(iii)輸送および産業からの窒素酸化物(NOx)の放出による意図しない窒素固定があるが、これは気候変動の PB で考慮される。

2.2 家計消費の影響の推計方法

本研究では、「世界連結産業連関表モデル(Global Link Input Output モデル)」[3)](以下、GLIO モデル)を用いて、日本の家計消費が誘引するグローバルな直接・間接の窒素フローを PB に与える影響として推計した。GLIO モデルでは、我が国の生産消費システムと諸外国との国際貿易を通じた関係性を表 1 に表す勘定体系に基づき表現し、国内外における財やサービスのフローを記述している。本研究では、表 1 の$\sum_{k=1}^{l} Y^{(k)}$, $\sum_{k=1}^{l} Z^{(k)}$, $\sum_{k=1}^{l} W^{(k)}$を各国の国内窒素固定量のフットプリント量に換算し、産業連関分析により日本の家計消費に起因するグローバルな窒素固定量を推計した。なお、本研究では 2005 年を対象年とした。

表 1　世界連結産業連関表(GLIO)モデルの勘定体系

表頭表側は以下の通り。sc1,部門分類(第一階層); sc2,部門分類(第二階層); sn,部門番号; JP,国内部門; OS,国外部門; FD,最終需要部門; TO,総生産量部門; DC,国内品部門; IC,最終需要部門が直接需要する輸入品部門; FC,国外地域部門。添え字の k は国外商品の種類を表す。

		sc1	JP		OS	FD	TO
		sc2	DC	IC	FC		
sc1	sc2	sn	n^{JP}	n^{JP}	n^{GL}		
JP	DC	n^{JP}	x^{D}	0	E	f^{JD}	x^{JD}
	IC	n^{JP}	0	0	0	f^{Jt}	x^{Jt}
OS	FC	n^{GL}	$\sum_{k=1}^{l} Y^{(k)}$	$\sum_{k=1}^{l} Z^{(k)}$	$\sum_{k=1}^{l} W^{(k)}$	f^{G}	x^{G}

2.3 各国各部門における直接的な窒素固定量の推計方法

本研究では、表 1 の国内部門を 812 部門(n^{JP}=406、n^{JI}=406)、国外部門を 230 部門(n^{GL}=230)、国外商品を 111 種類(l=111)として、窒素固定量の推計を行った。窒素固定量のフットプリント量の変換は、GTAP(Global Trade Analysis Project)の各国の産業連関表を用いて部門別の内包型窒素固定量原単位を推計し、それを国際貿易のフローに乗じることで行った。各国各部門の直接窒素固定量の推計方法は以下の通りである。

(i) Haber-Bosch プロセスによる大気 N_2 からの人為的工業的窒素固定

Haber-Bosch プロセスにより生産されるのは NH_3 である。そのため、各国の NH_3 生産量[4)]を窒素量に換算し、これを各国の NH_3 生産部門(日本は化学肥料部門、他国は Chemical rubber products 部門)に割り付けた。

(ii)意図された生物学的窒素固定

生物学的窒素固定は主に根粒菌によるものである。根粒菌は主にマメ科植物の根に共生し、空気中の窒素を固定するはたらきを持つ。根粒菌を含む作物が単位作付面積当たりに固定する窒素量[5)]と、各国における根粒菌を含む作物の作付面積[6)]を乗じることで、各国の生物学的窒素固定量を推計した。なお、Herridge et al.[5)]は、マメ科の牧

草地面積を 110Mha としているが、FAOSTAT[6]ではマメ科の牧草地面積が不明のため、各国の全ての牧草地面積[6]に占めるマメ科の牧草地面積の割合が同じと仮定してこれを推計した。こうして推計した生物学的窒素固定量を、日本および他国の米/Paddy rice 部門、豆類/Oil seeds 部門、砂糖原料作物/Cane & beet 部門、飼料作物/Other Crops 部門に割り付けた。

3.　結果と考察

本要旨では、上記の方法で推計した各国各部門の窒素固定量の結果について報告する。

Fowler et al.[7]は、2010 年の(i)に相当する窒素固定量を 120Tg N/yr±10%の範囲、また、(ii)に相当する窒素固定量を 60Tg N/yr±30%の範囲としているが、2005 年を対象とした本研究による推計値はそれぞれ 122Tg N/yr、48Tg N/yr となり、この範囲内に収まる値となった。

図 1 に窒素固定量上位 5 カ国およびその他の国の部門別内訳を示す。中国における固定量が最も大きく、ブラジルを除くいずれの国においても化学肥料/Chemical rubber products 部門での窒素固定量が大きくなった。ブラジルでは豆類部門の比率が高くなった。また、図 2 に各部門の窒素固定量の国別内訳を示す。化学肥料/Chemical rubber products 部門における窒素固定量が全体の約 70%を占めており、化学肥料/Chemical rubber products 部門の上位 5 カ国でその約 60%を占めた。また、生物学的窒素固定に関係する他の部門については、上位 5 ヶ国でいずれも 70%程度を占めた。人為的な窒素固定が少数の国に集中していることが分かる。

以上をもとに、家計消費が窒素循環の PB に与える影響について評価した結果については学会当日報告する。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（15H02863）による成果である。ここに記して深謝する。

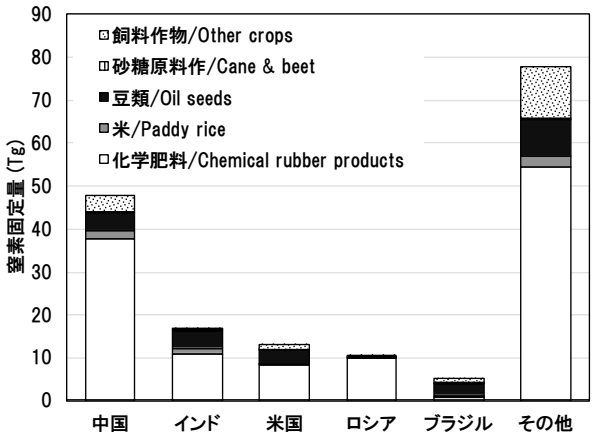
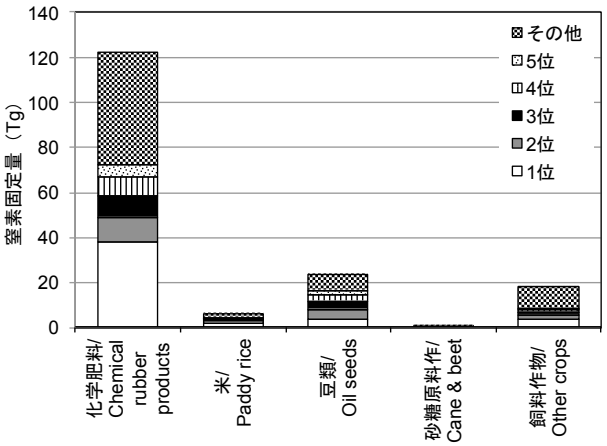


図１　窒素固定量上位 5 カ国およびその他の国の部門別内訳



1位	中国	中国	インド	ブラジル	中国
2位	インド	インド	中国	インド	豪州
3位	ロシア	インドネシア	米国	中国	米国
4位	米国	バングラディシュ	ブラジル	スロバキア	ブラジル
5位	トリニダード・トバゴ	タイ	アルゼンチン	パキスタン	カザフスタン

図2　各部門の窒素固定量の国別内訳

参考文献

1) Rockström, J. et al.: Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity, Ecology and Society, 14(2), 32, 2009
2) Steffen, W. et al.: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, Science, 347(6223), 1259855, 2015
3) Nansai, K. et al.: Improving the completeness of product carbon footprints using a global link input-output model: the case of Japan, Economic Systems Research, 21, pp.267-290, 2009
4) USGS: Minerals Yearbook Nitrogen, https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nitrogen/myb1-2008-nitro.pdf, 2017 年 7 月アクセス
5) Herridge, D.F. et al. : Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems, Plant Soil, 311, pp.1-18, 2008
6) FAO: FAOSTAT, http://www.fao.org/faostat/en/#home, 2017 年 8 月アクセス
7) Fowler D et al.: The global nitrogen cycle in the twenty-first century, Royal Society Publishing, P.1-13, 2013

P2-061
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

廃棄物産業連関表を用いた日本における資源フットプリント評価
Evaluation of material footprint in Japan using waste input-output

光井佑友子*1)、伊坪徳宏 1)
Yuko Mitsui, Norihiro Itsubo
1）東京都市大学　環境学部
* g1462064@ tcu.ac.jp

1　背景

環境省によると 2010 年時点での世界の主な地下資源のほとんどの可採年数は 100 年を下回っており、世界の人口増加と需要増を見込むとますます資源の循環利用に対する要請が高まるものと推測される。2017 年の G7 ボローニャ環境大臣会合では資源効率性に関する共通活動の推進を目指すボローニャ・5 ヵ年ロードマップが採択された。また UNEP が資源フットプリント（Material footprint：MF）として世界各国の 1 人あたりの資源消費量を報告し、G7 各国の 1 人あたりの資源消費量（約 24t）は世界平均（約 10t）を大きく上回っていることを指摘した。資源フットプリントを用いた産業連関分析を行う資源フットプリントを報告する文献は複数あるが、日本において日本の統計データに基づき廃棄物産業連関表を用いて資源の循環利用を考慮した研究例は少ない。

2　研究目的

日本の統計データと「製品ライフサイクルに立脚した環境影響評価基盤の構築と社会実装によるグリーン購入の推進」で開発した平成 23 年廃棄物産業連関表を用いて資源循環を考慮した MF 用データベースの作成と日本国民を対象とした資源フットプリントの評価を行う。

研究方法

3.1 評価対象項目

本研究では UNEP の報告書にある資源カテゴリに合わせて①生物資源、②金属資源、③非鉄金属資源、④化石燃料の 4 つに資源を分け資源消費原単位の作成と資源フットプリントの評価を行った。

3.2　使用データ

本研究では、直接資源消費係数のデータとしては、金属資源、化石燃料、砂利を除く非鉄金属資源は IDEA2(Inventory Database for Lifecycle Analysis2)(産業技術総合研究所)を用い、生物資源(作物・飼料作物・水生生物)のデータは食糧需給表、漁業・養殖業水域別生産統計(農林水産省,2011 年)を、非鉄金属資源(砂利)は砕石等統計年報(国土交通省)を用いて直接資源消費係数を推計した。

資源カテゴリ	評価対象	内訳	使用データ
生物資源		作物	食糧需給表
		飼料作物	
		水産資源	漁業・養殖業水域別生産統計
		木材	IDEA2
非金属資源	非金属鉱物	砂利	砕石等統計年報
		カオリン	IDEA2
		岩塩(資源)	
		ケイ砂	
		石灰石	
		長石	
		ドロマイト	
		粘土	
		珪石	
化石燃料	石炭	原料炭	
		一般炭	
	石油	原油	
	天然ガス	天然ガス	

資源カテゴリ	評価対象	内訳	使用データ
金属資源	鉄	鉄	IDEA2
	非鉄金属鉱物	銀	
		アルミニウム	
		金	
		ホウ素	
		バリウム	
		クロム	
		銅	
		マンガン	
		モリブデン	
		ニオブ	
		鉛	
		硫黄	
		タンタル	
		チタン	
		バナジウム	
		タングステン	
		ウラン	
		亜鉛	

表 1 資源カテゴリ・使用データ

3.3 算定方法

本研究で第一に資源消費原単位を作成した。算定式を以下に示す。

$$e_i = d_i \times (I-A)^{-1}$$

d は直接消費係数、$(I-A)^{-1}$ はレオンチェフの逆行列、e は原単位である。

d_i の直接消費係数の推計は生物資源(作物・飼料作物・水生生物)、非鉄金属資源(砂利)の消費量を廃棄物産業連関表の部門に対応させ国内生産額で除すことで推計した。その他の資源は IDEA2 の直接消費係数を用いた。

そして直接消費係数に$(I-A)^{-1}$を乗じることで資源消費原単位を作成した。

また、material flow accounting（MFA)規格によると金属鉱物の採掘から考慮する場合、金属鉱石の総量として考慮すべきであるとされていることから本研究においても金属資源の分析には金属量ではなく、金属鉱石量に換算した。換算において用いた品位（含有率）は「JEMAI-LCA の設定と解説」と JOGMEC 報告書の記載データを用いた。

次に日本における 2011 年の MF(資源消費量)を推計した。算定式を以下に示す。

$$MF = e_i \times F$$

F は国内最終需要計(廃棄物は物量)である。

4 結果

図 1 に 2011 年の日本における MF の算定結果を示した。総量はおよそ 22 億トン(ひとりあたり約 20ton)で UNEP にある程度整合した。非鉄金属資源、金属資源の値は分析に利用した資源の種類が他の研究よりも限定的であったことによるものと考えられる。

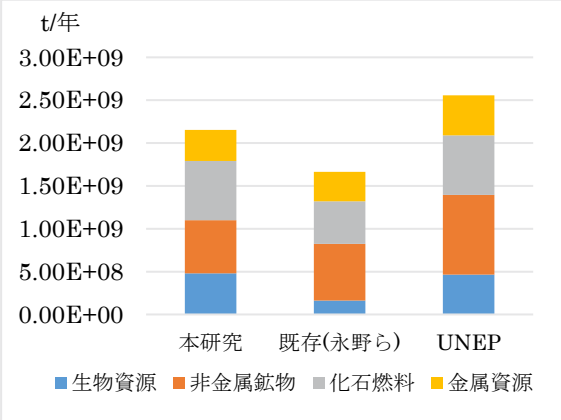


図 1 日本の MF の比較

次に本研究では 36 種の資源を考慮しているが、図 2 に示す資源消費原単位は一部抜粋したものを示した。作物や飼料作物は一次産業で大きい値となり、銅は電気機器に偏りがみられた。また原油や天然ガスはあらゆる産業で値が大きくなった。

5　結論・課題

本研究では廃棄物産業連関分析を用いて、2011 年の日本における資源消費原単位と MF を推計した。UNEP の結果と近い値となったが、値が小さくなった要因として日本の廃棄物産業連関表を用いているため、輸入における資源消費量は国産仮定となっていることが挙げられる。

また、金属資源については、ベースメタルについては評価したものの一部のレアメタルについては算定できなかったため過小評価の要因となっている。

今後の展望としては、ケーススタディの実施と資源循環の効果を示し、廃棄を含めた資源フットプリントの評価の実施が挙げられる。

参考文献

1).　環境省

2).　G7 富山環境大臣会合

3).　UNEP : Resource Efficiency: Potential and Economic Implications (2016)

4).　社団法人 日本エネルギー学会
廃棄物産業連関表と LCA　近藤康之

5).　JOGMEC

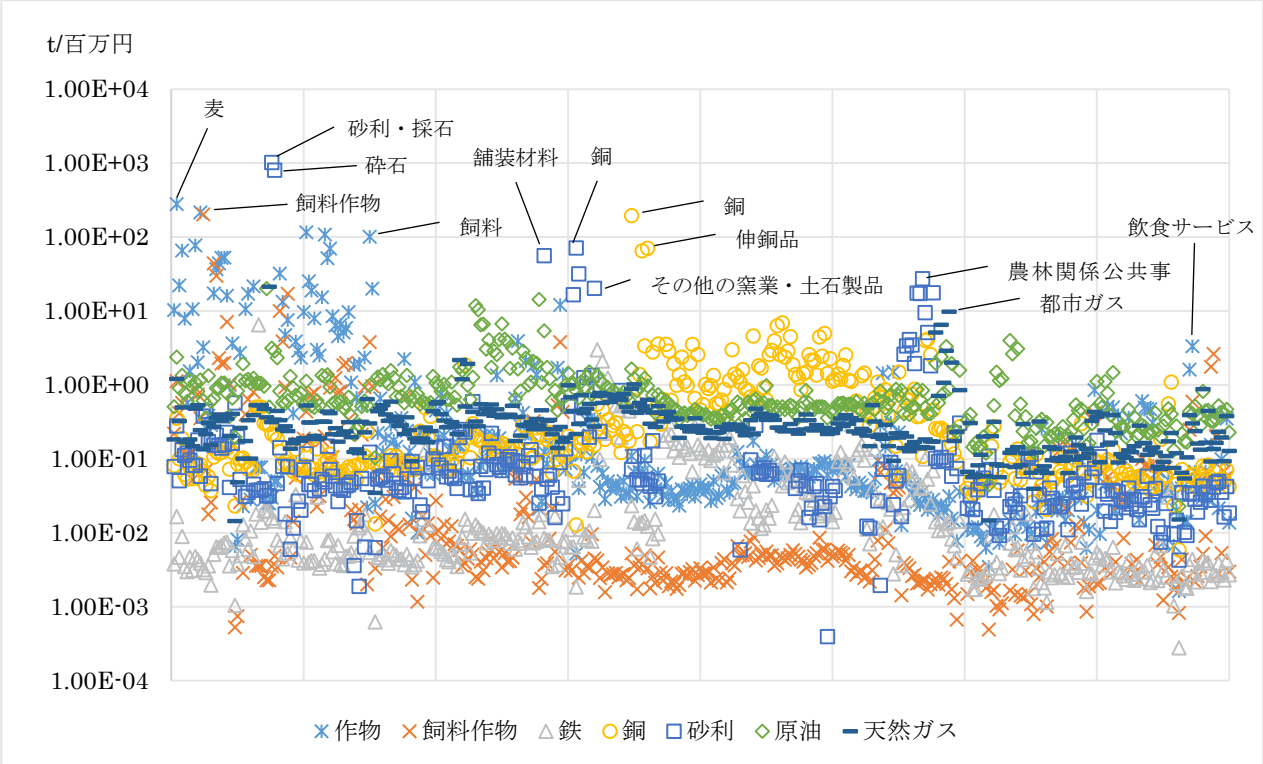


図 2 資源消費原単位

P2-062

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

水素消費に着目したバイオマス由来の炭化水素製造経路評価手法の開発

Development of Evaluation Method for Production Pathways of Biomass-Derived Carbohydrates Focusing on Hydrogen Consumption

○大内翔*[1)]、大野肇[1)]、福島康裕[1)]

Kakeru Ouchi, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima

1) 東北大学

* kakeru.ouchi.s3@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

今日、温室効果ガス（GHG）排出削減と化石資源保護に向けたバイオマス資源からの化成品、燃料製造に関する研究が活発である。バイオマスは、糖質系、セルロース系など様々な種類があり、作られる製品と製品製造プロセスも数多く存在している。バイオマスからの製品製造システムの設計指標の一例として、コスト、GHG 排出などがあるが、バイオマスには供給、組成など、製品には需要、価格など、製造プロセスには反応温度、圧力など多くの考慮事項が存在するため、これらを網羅的に考慮し、有望な製造システムを系統的に設計する手法が必要である。

加えて、バイオマスからバイオ燃料への化学変換プロセス設計における考慮事項として水素消費に着目する必要がある。バイオ燃料製造プロセスでは、分子中の酸素原子の除去のため水素化分解や脱水反応が用いられ[1)]、ここで水素を消費する。現在、水素の大部分は化石資源の水蒸気改質で製造され、ここでの GHG 排出が大きいため、バイオ燃料であっても製造プロセスでの水素消費が大きい場合には、GHG 排出削減や化石資源保護という結果を得られない場合が考えられる。

本研究では、多様に存在するバイオマス変換プロセスにおいて低コスト、低 GHG 排出なシステムを設計、評価するためのツールを開発することを目的とする。本報告では、水素消費に着目した以下の二つの評価手法による計算結果を報告する。

2. モデルの計算手法

2.1 最低燃料コストとなる反応経路の選択

近年、バイオマス原料からバイオ燃料までの連続的な化学変換を行列に記述し、有望なバイオマス変換経路を明らかにする手法（Reaction Network Flux Analysis : RNFA）[2)]が開発されている。この手法では、(1) 式による物質収支式により原料から生成物までの各反応経路の流量と生成物流量が記述される。

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{f}=\boldsymbol{b} \qquad (1)$$

$\boldsymbol{A}$ は量論行列であり、行に物質、列に反応を列挙し、各反応の量論係数を反応物、生成物について記述した行列である。$\boldsymbol{f}$ は流束ベクトルであり、各反応の進行回数を示す。$\boldsymbol{b}$ は生成物ベクトルであり、すべての反応の結果として生産される生成物の流量を示す。

反応経路の選択は (2) 式に示す最適化問題にて行った。目的関数は、熱量 1 MJ 当たりのバイオ燃料コストの最小化とし、(2) 式に示す制約の下で解いた。

$$\underset{f,\,b,\,y}{\mathrm{MIN}}\ (1\ \mathrm{MJ}\ \text{当たりのバイオ燃料コスト})$$

$$\text{s.t. } \boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{f}=\boldsymbol{b}$$

バイオマス組成

反応率制約 (2)

コスト計算

$$b_{\mathrm{Biofuel}}\Delta H_{\mathrm{Comb,product}}=\alpha$$

$$f,\ b\geq 0$$

$$y\in\{0,1\}$$

コスト計算には、バイオマス原料および外部から供給する水素（外部水素）の費用、推算式[3)]によるプラント設計の設備投資費を考慮した。今回候補となる反応経路は、Ulonska et al. (2016)によるもの[3)]に cellulose の改質により内部からの水素（内部水素）を供給する反応を加え（図 1、赤）、内部水素供給パスの有無それぞれにおいて反応経路の選択を行った。対象となるバイオ燃料は ethanol、γ-valerolactone、ethyllevulinate、

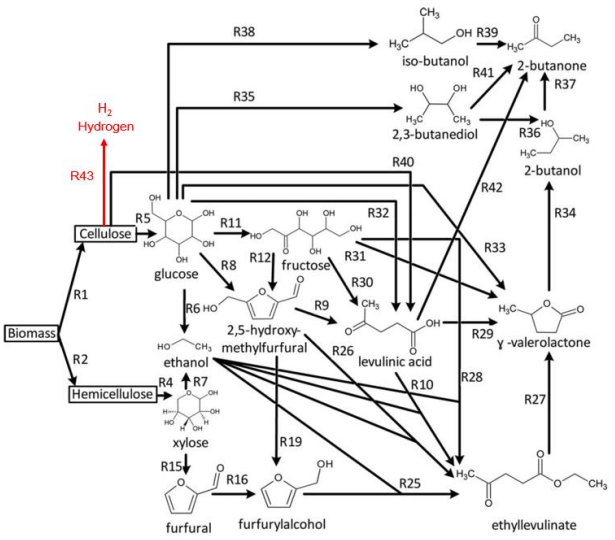


図 1. バイオマスから各バイオ燃料までの反応経路（Ulonska et al. (2016)[3)]に著者が変更を加えたもの。反応にかかわる主な反応物、生成物のみ記載。）

iso-butanol、2-butanol、2-butanone の 6 つとし、各バイオ燃料の生産量 $b_{product}$ は年間生産量（$\alpha = 2.77 \times 10^{12}$ kJ/year）を各バイオ燃料の熱量 $\Delta H_{Comb,\,product}$ で除すことで決定した。また各反応にバイナリ y を加えることで経路の選択（=1）、非選択（=0）により最適な経路が選択される。

2.2　化学量論からの水素起因 GHG 排出の算出

ここでは、glucose から hexene を得る際の水素消費に起因する GHG 排出を算定した。計算は 2 つのモデルにより行い（図 2）、反応（3）、（4）を考慮した。

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2 \rightarrow C_6H_{12} + 6H_2O \qquad (3)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12H_2 \qquad (4)$$

図中 a) は、glucose からの hexene 生成（（3）式）[1]で消費する水素に、すべて外部水素を使用する計算モデルである。水素の必要量は触媒の活性やプロセスのリサイクルフローの設計などに依存するため、このモデルでは化学量論量に対する水素消費比 y を定義した。一方 b) は、glucose から水相改質反応（（4）式）により内部水素を供給した場合の計算モデルである。glucose の改質量を z mol とし、そこから得られる水素の分だけ外部水素の必要量が減る。

a)では水素の GHG 排出原単位、y を変数とし、b)では外部水素の GHG 排出原単位は 11.2 g-CO_2/g-H_2 を固定値、z と y を変数として、外部水素消費量に水素の GHG 排出原単位を乗じて水素起因 GHG 排出を算定した。そのうえで、バイオ燃料の GHG 排出の目標値（40.85 g-CO_{2eq}/MJ）[4]から水素起因 GHG 排出を差し引くことで、水素消費以外のプロセスでの GHG 排出許容量を算出した。

3.　結果

3.1　内部水素供給パスの有無と燃料コストの変化

各バイオ燃料の最小コスト（図 3）を見ると、外部水素が高価なため、内部水素供給パスがある場合は、水素を必要とする製造パスを経由するバイオ燃料のコストは、バイオマス原料費と設備投資費がわずかに上昇し、外部水素に関わるコストが大幅に減少した。

3.2　GHG 排出許容量変化

図 4 にモデル b）の結果を示す。横軸に量論に対する水素消費比をとり、外部水素比（全消費水素中の外部水素の割合）別に GHG 排出許容量を示した。水素消費比を 1.3（文献 [5] における水素消費比）と仮定すると、外部水素比が 1 の場合では、GHG 排出許容量が負となり、水素起因 GHG 排出が排出目標に対して 6 g-CO_2/MJ 程度超える結果となった（図 4、赤点線）。一方で、内部水素比が 0.5 の場合では、17 g-CO_2/MJ の GHG 排出許容量が存在した（図 4、青点線）。

4.　結言

バイオ燃料の製造における水素消費に着目して、最も燃料コストの安い経路選択と水素起因 GHG 排出の計算方法を示した。今後は、経路選択の計算時に反応温度や圧力等も考慮するようモデルを拡張したい。

謝辞：本研究の一部は、(財)東燃ゼネラル石油研究奨励･奨学財団の研究助成金と JST 未来社会創造事業（探索加速型･「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域）によって実施した。

引用文献

1) 奥山泰世ら: J. Jpn. Pet. Inst., 59, (2016), pp.228–234
2) Voll, A.ら: AIChE J. 58, (2012), pp.1788–1801
3) Ulonska, K.ら: AIChE J. 62, (2016), pp.3096–3108
4) 経済産業省: "非化石エネルギー源利用に関する石油精製業者の判断基準（告示第242号）", (2010)
5) Huang, K.ら: ACS Sustain. Chem. Eng. 5, (2017), pp.4699-4706

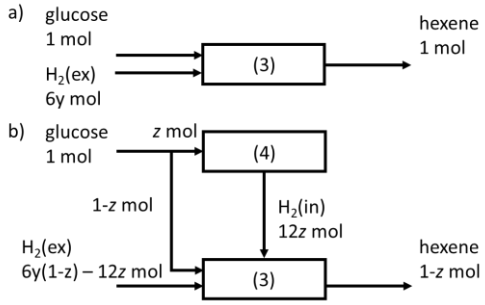


図 2.　外部水素起因 GHG 排出算出計算モデル

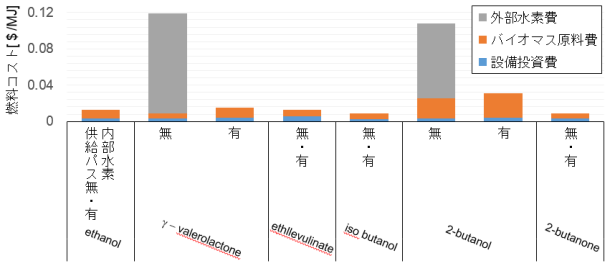


図 3.　内部水素供給パスの有無による各バイオ燃料コストの変化

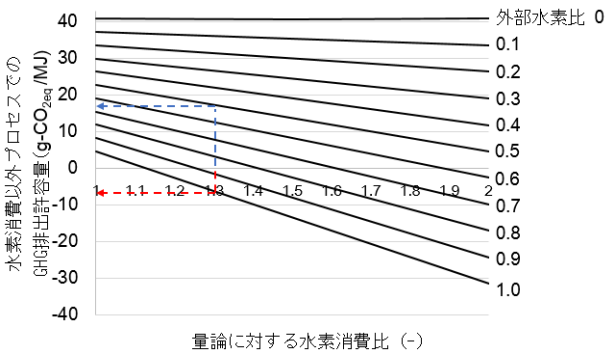


図 4.　外部水素比、量論量に対する水素消費比と GHG 排出許容量の変化

P2-063
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

地域特性を考慮した水資源の影響に関する特性化係数の考案と適用事例

Estimation of Water Availability Factor Considering Regional Characteristics: A Case Study of Environmentally Friendly Products

○山田晃史*[1)]、緒方陸[1)]、吉原哲[1)]、冨樫聡[1)]、松井初音[2)]、中川善博[2)]、伊坪徳宏[3)]
Koshi Yamada, Riku Ogata, Satoru Yoshihara, Akira Tomigashi, Hatsune Matsui, Yoshihiro Nakagawa, Norihiro Itsubo
1)八千代エンジニヤリング株式会社, 2)凸版印刷株式会社, 3)東京都市大学
* ksh-yamada@yachiyo-eng.co.jp

1. はじめに

水は、経済活動に密接に関係する資源であり、近年都市部への人口集中や気候変動等の影響により水資源の問題が顕著となっている。企業を取り巻く状況としては、ESG（環境・社会・企業統治）を投資プロセスに組み入れる ESG 投資が注目され、SDGs では企業が課題解決を担う主体として位置付けられている。このような背景の下、限りある水資源を適切に使用し、持続可能な経営を行うことが求められている。

ウォーターフットプリント（WF：Water Footprint）は、ライフサイクルを通じた水消費量やそれに伴う環境影響の定量評価手法であり、多くの企業に活用されている。矢野ら[1)]は、水消費量に水源別の特性化係数を乗じて、水の利用可能性に関する潜在影響量（WAF：Water availability footpoint）を推計する手法を定義し、国別に特性化係数（fwa）を集計した。また、木村ら[2)]は、体積当たりの木材の水消費量、面積当たりの間伐による水消費量削減効果を定義した。上記の手法は国別の比較ができるが、日本国内の水の偏在性は評価できないという課題があった。

日本国内の水資源の偏在性について、長野県[3)]、岐阜県[4)]等では県内全域を対象とした調査・解析により水資源量を可視化する試みが行われ、緒方ら[5)]は上記の水資源量可視化方法を日本全国に展開し、その活用方法として WAF への活用を紹介した。

本研究においては、緒方ら[5)]の 1 ㎞メッシュ単位の水収支解析結果をもとに、県別・水源別の特性化係数を作成した。この特性化係数を用いて、凸版印刷(株)が製造するカートカン（紙製飲料容器）の原材料・生産の過程を対象に WAF を算定した。

2. 水収支解析を活用した特性化係数の開発

特性化係数はこれまで国別の原単位が用いられてきたが（矢野ら[1)]）、緒方ら[5)]は日本国内における 1 ㎞メッシュでの特性化係数を開発した。

本研究では、緒方ら[5)]の水収支解析結果を活用し、特性化係数を県別に作成した。なお、特性化係数は、矢野ら[1)]に従い、1 年に 1.0m^2 の面積で 1.0m^3 の水資源を得る状態を基準状態（fwa＝1.0）とした。

算定結果としては、雨水が 0.3～0.6、河川水が 0.6～1.5、地下水が 1.6～6.2 となり、日本国内においても水の偏在性があることが示唆された（表 1、図 1 参照）。

表 1 県別の特性化係数

	既往文献[1)]	本研究
雨水	0.6	0.3～0.6
河川水	1.2	0.6～1.5
地下水	3.1	1.6～6.2

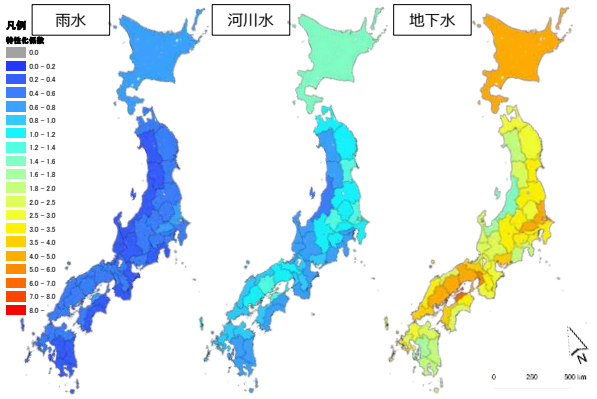


図 1　特性化係数（県別、降水・地表水・地下水）

3. 県別・水源別の特性化係数の WAF への適用

凸版印刷(株)が製造するカートカンについて、県別の特性化係数を用いて、原材料・生産の過程を対象とした WAF を算定した。カートカンはアルミ箔を使用していない紙製飲料容器であり、原紙は国内森林の間伐材パルプを使用している[6)]。水消費量（WI：Water Inventory）の算定にあたり、緒方ら[5)]の水収支解析結果を活用し、県別の「木材の水消費量」及び「間伐による水消費量削減効果」を開発した。

3.1 WAF の算定の考え方

WAF は、矢野ら[1)]の手法に基づき、fwa に WI を乗じて算定した（式(1)参照）。ここで、$fwa_{x,l}$ は対象地点 l における水源 x の特性化係数、$W\ I_{x,l}$ は対象地点 l における水源 x からの水消費量とする。

$$WAF = \Sigma\ (fwa_{x,1} \times WI_{x,1}) \quad (1)$$

3.2 木材の水消費量原単位の開発

木材の水消費量は、これまで国別の原単位が用いられてきた（木村ら[2]）。本研究では、木材の水消費量の原単位を県別に作成した。

算定方法は、van Oel and Hoekstra[7)8)]に従い、式(2)を用いた。ここで、ETa は単位面積当たりの森林の蒸発散量（m^3/(ha・年)）、Y_{wood} は単位面積当たりの森林の成長量（m^3/(ha・年)）、f_{water} は木材の含水率とする。なお、ETa は水収支解析結果[5]、Y_{wood} は統計データ[9)10)]、f_{water} は 40%（van Oel and Hoekstra[7)8)]）を用いた。

$$木材の水消費量(m^3/m^3) = \{ETa+(Y_{wood} \times f_{water})\}/Y_{wood} \quad (2)$$

3.3 間伐による水消費量削減効果原単位の開発

間伐による水消費量削減効果は、これまで国別の原単位が用いられてきた。本研究では、間伐による水消費量削減効果の原単位を県別に作成した。

算定方法は、式(3)を用いた。ここで、Re は間伐前後の水消費量削減効果（m^3/(ha・年)）、Y_{wood} は単位面積当たりの成長量（m^3/(ha・年)）とする。間伐前の水収支量は水収支解析結果、単位面積当たりの成長量は統計データ[10)]を用いた。間伐後の水収支量は、木村ら[2)]に従い、久保田ら[11)]を参考として森林流域では間伐により蒸発散量が 7%減少、地下浸透量が 6%増加すると仮定し、間伐による水消費量削減効果を算定した。

$$間伐による水消費量削減効果(m^3/m^3) = Re \div Y_{wood} \quad (3)$$

3.4 カートカンの WAF 算定

県別の木材の水消費量、間伐による水消費量削減効果、特性化係数を用いて、カートカンの WAF を算定した。その結果、水消費量は 19～48L、水消費量削減効果は 2～27L となり、地域により大きく異なる結果となった。

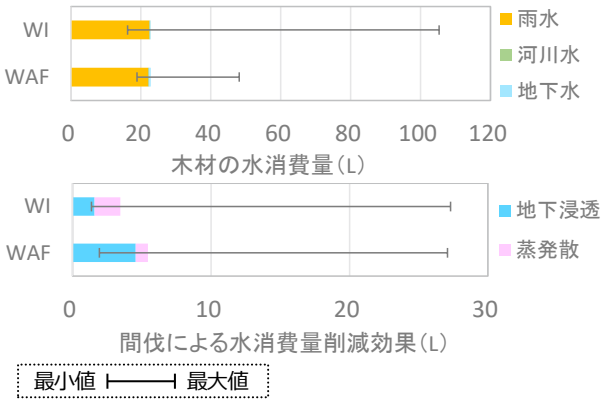


図２　カートカンの WAF 算定結果

4. 結言

本研究では、水収支解析結果[5)]を活用して、県別・水源別の特性化係数を開発し、カートカンの WAF 算定に適用した。算定にあたっては、木材の水消費量、間伐による水消費量削減効果の原単位を県別に作成した。本成果の活用により、日本国内における水の偏在性を加味した WAF 算定が可能となるとともに、この結果は木材の調達場所の選定や地域別の水リスク評価等に活用できると考えられる。今後の展開として、水収支解析は土地利用種別かつ月別に 1 ㎞メッシュで実施しているため、本検討で用いた県別・年別以外の時空間（流域別・月別等）での評価も可能である。また、特性化係数は、木材活用製品のみならず、あらゆる製品、分野での活用が可能である。

本研究の課題として、水収支解析の一部のパラメータ（森林域の蒸発散量や地域毎の減水深、水稲作付スケジュール等）を全国一律で設定しており地域特性が反映しきれていないため、現地調査や地域情報の収集、利水等の人為的影響の加味等により精度向上の余地がある。また、木材の水消費量及び、間伐による水消費量削減効果の原単位は、現在国有林の成長量を代表値として用いており、国内の約 7 割を占める民有林が含まれていないため、精度向上の余地がある。

5. 引用文献

1) 矢野伸二郎,花崎直太,伊坪徳宏,沖大幹:Journal of Life Cycle Assessment,Vol.10,No.3,(2014),pp.327-339
2) 木村元,渡邉絵里子,久保利晃,内田裕,河西亮,反町俊哉,増本隆夫,坪山良夫,伊坪徳宏,沖大幹:水利科学,58 (5), (2014), pp 74-88
3) 冨樫聡,大向弘明:水環境学会誌, Vol. 38(A), No.7, (2015),pp.235-239
4) 冨樫聡, 井川尚之, 緒方陸, 吉田広人, 加藤ひかる, 高橋努: Kansai Geo-Symposium 2017 論文集,(2017)
5) 緒方陸, 冨樫聡, 山本晃, 高橋努, 澤野真治:公益社団法人日本地下水学会 2017 年秋季講演会,青森, (2017), pp 212-217
6) 中川善博,伊坪徳宏：第 6 回日本 LCA 学会研究発表会,宮城, (2010), pp.210-211
7) van Oel, P.R. and Hoekstra A.Y.:Value of Water Research Report Series,46, (2010)
8) van Oel, P.R. and Hoekstra A.Y.: Water Resources Management, 36, (2012), pp.733-749
9) 林野庁: 森林・林業統計要覧 2017, (2017)
10) 林野庁: 森林資源の現況（H24.3.31 現在）, (2012)
11) 久保田多余子,野口正二,坪山良夫,延廣竜彦,金子智紀,岩谷綾子:森林総合研究所平成 25 年版研究成果選集,(2013),pp 38-39

Supporting Information

表 S1 水収支解析の計算条件

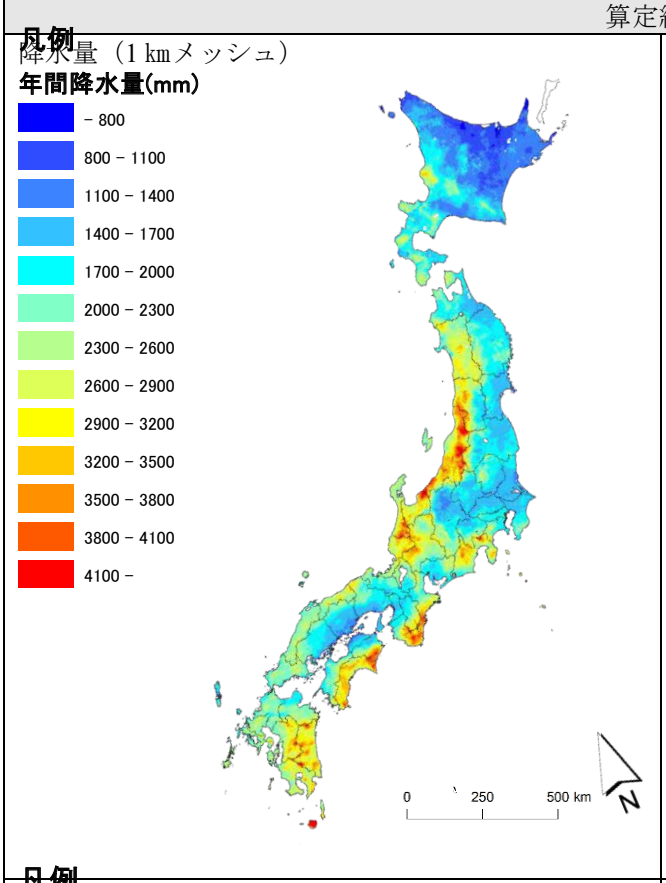
	計算条件
降水量	メッシュ平年値 2010（気象庁）※1 を解析雨量データ（国土交通省）で補正
気温	平年値（1981-2010）
全天日射量	平年値（1981-2010）
蒸発散量	土地利用種別に個別の算定式で推計
表面流出量	降水量に流出係数を乗じて推計
地下水涵養量	【山地以外】降水量から蒸発散量と表面流出量を差し引いて推計 【山地】計算上の全流出量に地質別の地下浸透率を乗じて推計
土地利用	1km メッシュの土地利用種別面積（国土数値情報土地利用 3 次メッシュデータ、2014）
その他留意点	・森林域の蒸発散量は、Sawano et. al. ※2 に従い、蒸散と地面蒸発、遮断蒸発を個別の算定式で求め、推定精度の向上を図った ・降雪、積雪、融雪、出水プロセスを考慮した ・水田湛水による地下水涵養効果は、（実際に耕作した）水稲作付面積を考慮した ・各都道府県の地域条件（森林域の蒸発散量、地域毎の減水深、水稲作付スケジュール等）の調査は行っていない。

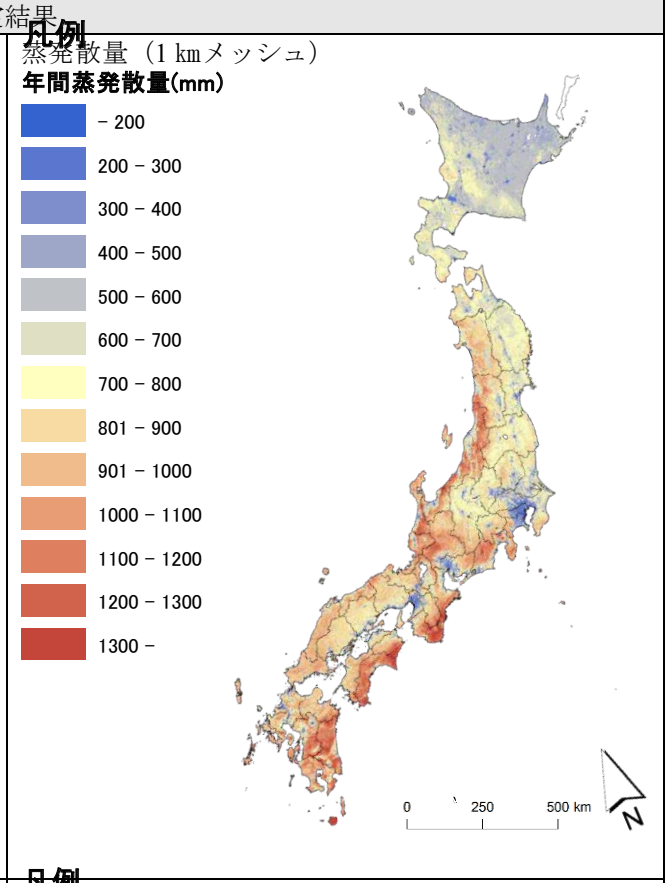
※1　気象庁管轄のアメダス観測所等の観測所データ（1981 年～2010 年の平均値）

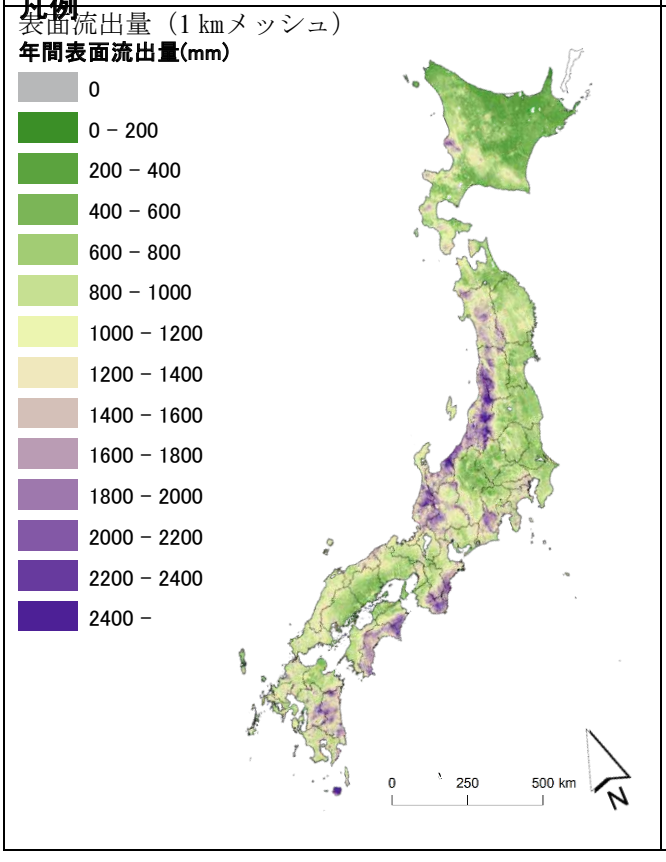
※2　Sawano, S.・Hotta, N.・Tanaka, N.・suboyama, Y. and Suzuki, M.: Ecological modeling, Vol. 309-310, (2015)，pp.93-109.

表 S2　降水量及び水収支解析結果（蒸発散量、表面流出量、地下水涵養量）

算定結果







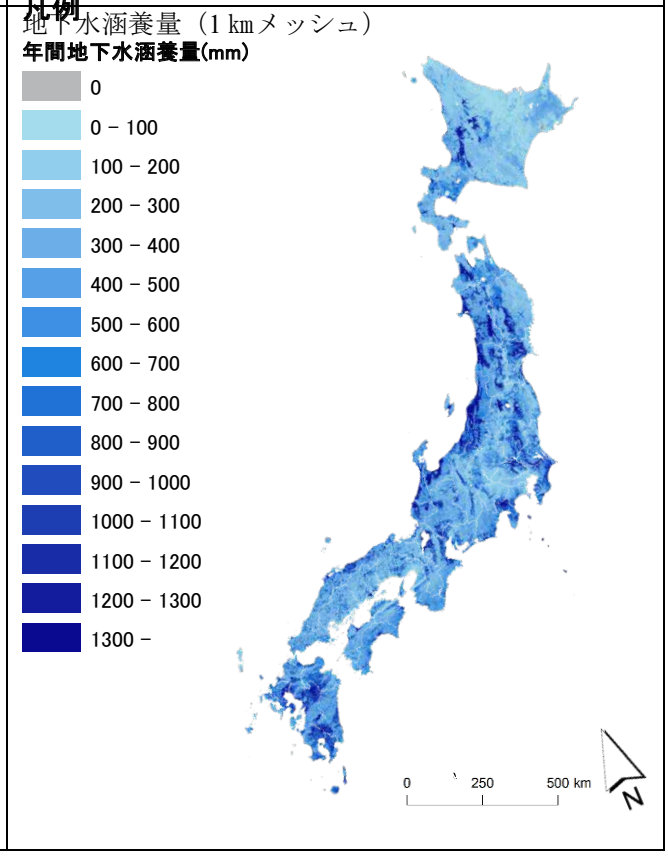
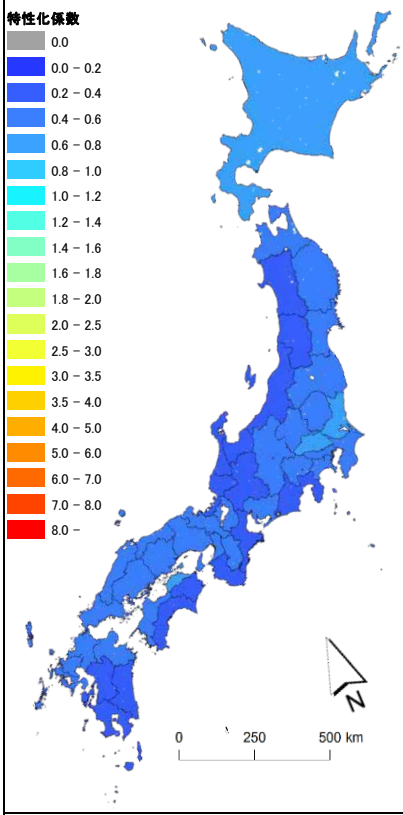


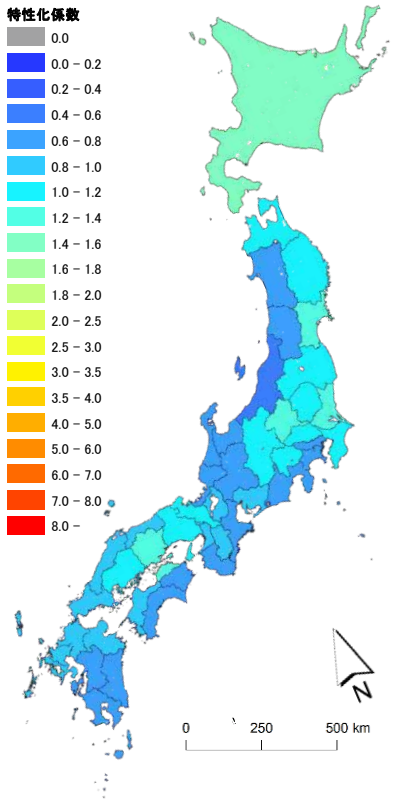
表 S3　特性化係数及び木材の水消費量、間伐による水消費量削減効果

算定結果

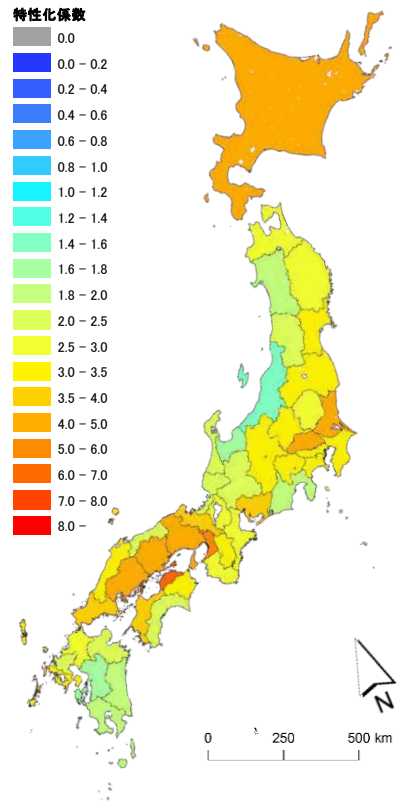
特性化係数（雨水、県別）



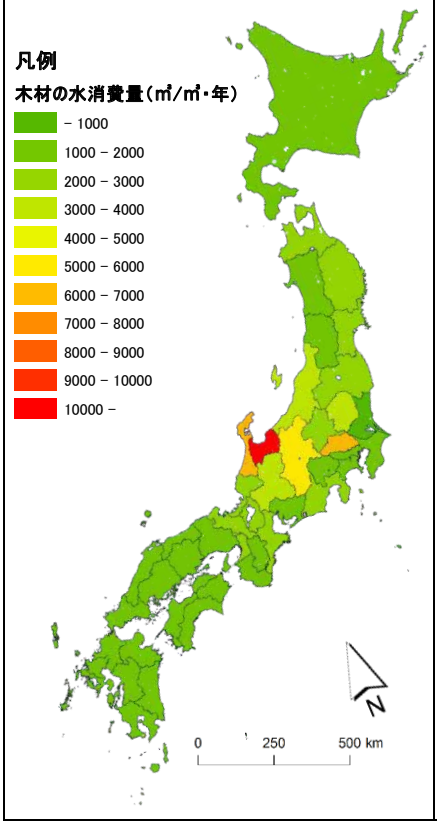
特性化係数（河川水、県別）



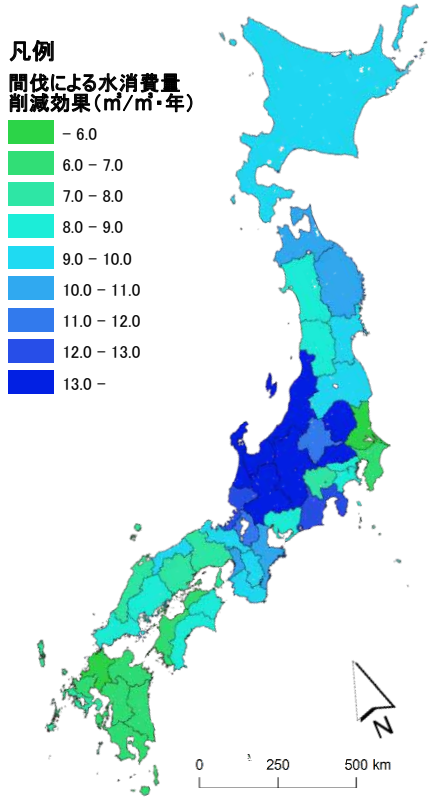
特性化係数（地下水、県別）



木材の水消費量（針葉樹、県別）



間伐による水消費量削減効果（県別）



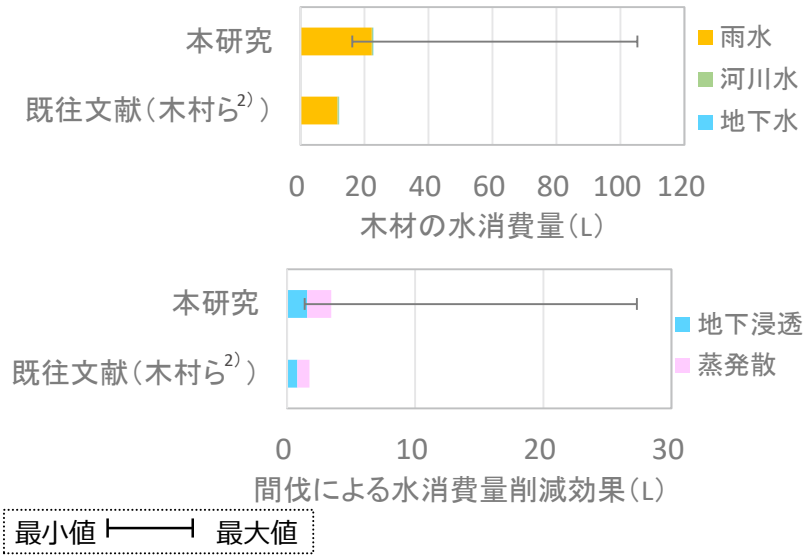


図 S1　カートカンの WI 算定結果

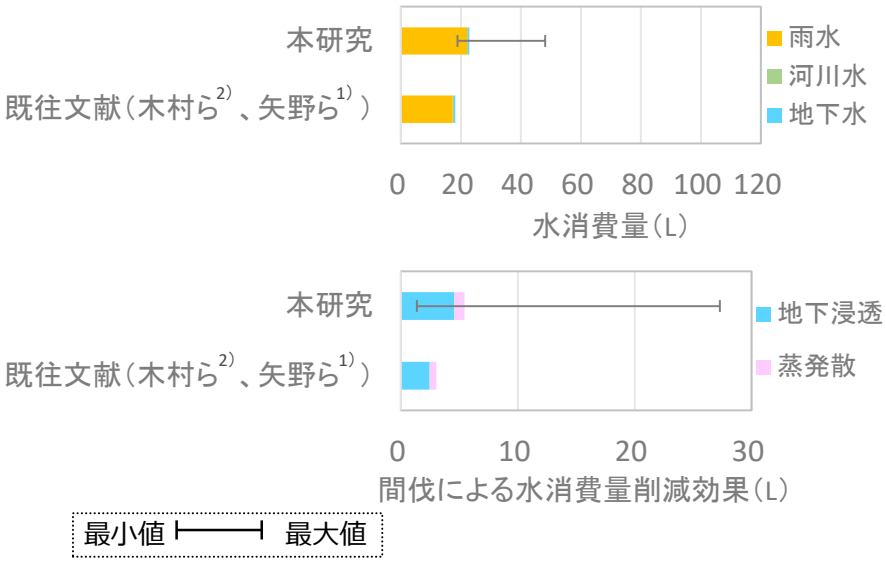


図 S2　カートカンの WAF 算定結果

P2-065

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

産業連関表を用いたサービス業の環境負荷算定と工学院大学の組織の LCA

Calculation of Environmental loads of Service sectors based on Input-Output Table and Organizational Life Cycle Assessment (OLCA) of Kogakuin University

○山田要 [1)]、田原聖隆 [2)]、藤井千陽 [2)]、稲葉敦*[1)]

Kaname Yamada, Kiyotaka Tahara, Chiharu Fujii, Atushi Inaba

1)工学院大学, 2)産業技術総合研究所

* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 諸言

近年、企業等の組織が排出する温室効果ガス(GHGs)を定量する手法として、Scope1（事業者自身の直接排出)、Scope2（他者から供給された電気・熱・蒸気等の使用に伴う間接排出)、Scope3（事業活動に関連する他者の排出）を算定する企業が増加している。しかし、Scope1,2,3 は GHGs のみの評価であるため、複数の環境影響（酸性化、都市大気汚染、資源消費等）を対象とする「組織の LCA(OLCA)」が注目されている。UNEP/SETAC Life Cycle Initiative により OLCA ガイダンス [1)]が発行され、これには既に Scope1,2,3 を算定している組織が GHGs 以外の影響領域を考慮する概念が示されているが、実際の算出方法は示されていない。

現在、多くの企業は、購入品の支払金額に、産業連関表より作成された 3EID[2)]や産業技術総合研究所が積み上げ法により作成した IDEA Ver.2(IDEAv2)[3)]などの GHGs 原単位を乗じることにより、Scope1,2,3 を計算している。本学においても 2013 年度より工学院大学及び生協（購買部及び食堂部）と学内のコンビニエンスストア並びに学生の通学や学外店舗での購入物品による GHGs を算定している。2015 年度の学生行動を含めた工学院大学の GHGs は約 4.7 万トンあり、その内の約 20%が学生由来であることが分かった。この時、IDEA に存在する製品に関しては IDEAVer.1 を用いて算定したが、IDEA はサービス業にあまり対応していないので、3EID と併用し GHGs を算定した。しかし、OLCA ガイダンスの内容に基づいて工学院大学の OLCA を実施するためは、複数の環境負荷を評価でき、かつ算定結果の整合性をとるために、全ての環境負荷の計算において IDEA を用いて行うことが望ましい。

そこで本研究では、自家輸送部門表章なしの産業連関表(IO)と公表中の IDEAv2.2 を改定した IDEAv3 α版(IDEAv3 α)を用いてサービス業の環境負荷原単位を作成し、このデータベースを使用して工学院大学の OLCA を実施した。

2. 研究手法

2.1 IO 分類コードと IDEAv3 α製品コード対応表作成

IDEAv3 α には多くのサービス業に関する情報が含まれていないので、サービス業の投入金額が記載されている IO の投入係数を活用し、IDEAv3 α にサービス業を追加した。まず、IDEAv3 α の分類と IO の部門を一致させる必要があるので、2011 年度産業連関表総合解説編 [5)]に記載されている部門の定義・範囲を基に、IO の行部門よりもさらに細かい細部門と IDEAv3 α の分類を照合して、IDEAv3 α 製品コードと IO 分類コードを照合するための対応表(IOvsIDEAv3 α 対応表)を作成した。

2.2 直接環境負荷量の算出

IDEAv3 α に存在する製品分類においては、2.1 の IOvsIDEAv3 α 対応表を用いて、IDEAv3 α の直接環境負荷量を IO の分類に統合して使用した。サービス業の直接環境負荷量は、IO より各サービス業が投入している燃料部門の投入金額に、IDEAv3 α の燃料の燃焼による環境負荷を乗ずることで算出した。

2.3 サービス業の算定方法

本項では、IO に記載されているサービス業の環境負荷算定方法を 2 つ紹介する。

2.3.1 逆行列係数を用いた算定方法

IO より逆行列係数を作成し、2.2 で示した直接環境負荷量に逆行列係数を積和することにより、円当たりのサービス業の環境負荷原単位を作成した。

2.3.2 積み上げ法と逆行列係数のハイブリットによる環境負荷算定方法

IDEAv3 α の波及構造（サプライチェーンとの繋がり）を維持しつつ、IDEAv3 α にサービス業のデータを補填するために、積み上げ法と逆行列係数のハイブリットを採用した。

投入している産業の環境負荷を算出するために、IDEAv3 α に存在する製品については、IOvsIDEAv3 α 対応表(2.1)を用いて IDEAv3 α の各製品の原単位を IO の分類に統合した。サービス業については 2.3.1 にて算出したサービス業の原単位を利用した。最後に、各投入先の環境負荷量をサービス業の投入金額で加重平均することにより、サービス業の円当たり環境負荷を算出した。例として、宿泊業の環境負荷算出方法イメージ図を図 1 に示す。

2.4 工学院大学の組織の LCA 実施方法

2016 年度会計支出データとエネルギー使用量デー

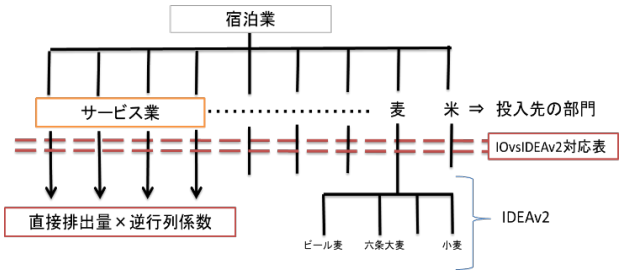


図 1　宿泊業の環境負荷算定方法イメージ図

タ、敷地面積及び新築した校舎の延床面積を教務課と学務課、並びに生協とコンビニエンスストアより販売データを入手した。学生の行動は通学と学外店舗で購入した PC，文具，昼食・軽食・飲料を対象とし、学外店舗での購入は、学内でのアンケート調査（有効回答数：171 件）より投入金額の情報を得た。土地改変においては、工学院大学の敷地面積（新宿：8,801m^2、八王子：23 万 m^2）を占有した年数で割り、LIME2 を用いて年当たりの土地改変による影響を評価した。

2.3.2 のデータを用いて、学生行動を含む工学院大学の OLCA を実施した。評価する環境影響領域は LIME2 に示された 4 項目である人間健康，社会資産，生物多様性，一次生産とした。

3. 工学院大学の組織の LCA 実施結果

図 2 に学生行動を含めた工学院大学全体の年間被害金額を示し、図 3 に被害評価別構成割合を示す。図 2 より、学生の行動を含む工学院大学全体の年間被害金額は 355 百万円であった。その約 21%が学生の行動由来であり、食品関係，書籍，通学の影響が大きいことが分かった。工学院大学単体の年間の被害金額は、282 百万円であり、これは、工学院大学の年間支払金額（約 107 億 7000 万円）の 2.6%に相当する。また、被害評価別では人間健康が 104 百万円、社会資産が 44.4 百万円、生物多様性が 16.2 百万円、一次生産が 190 百万円となった。図 3 より、各建物費や消耗品費はどの環境影響領域においても影響度が大きいが、光熱水費と各備品費は一次生産への影響が他の支払項目と比べて影響が小さいことが分かった。

4. 既往の算定手法との比較

工学院大学単体を対象にして、①IDEAv3 α に存在しないサービス業の原単位を 3EID で補った場合と②IDEAv3 α と 2.3.1 で作成した原単位を用いた場合、③IDEAv3 α と 2.3.2 で作成した原単位を用いた場合の GHGs を比較した。図 S1 に算定手法別工学院大学の GHGs を示す。この結果、①に対して②は 1.08 倍に大きくなり、①に対して③は 1.02 倍に大きくなった。①と②及び③の違いは、IDEAv3 α の直接 GHG 排出量が 3EID よりも大きいことに由来している。②と③の違いは、波及構造の違いによるものだと考えらえる。②逆行列係数を用いた場合は、関連する財・サービスを網羅することができるが、IO の細部門(3200 項目)全てに波及してしまうため環境負荷が大きく出たと考えられる。③ハイブリットでは、積み上げ法に逆行列係数で波及したサービス業の環境負荷を利用してだけなので、データの整合性を維持したまま、算出できたと考えられる。これらの結果より、3EID と IDEA は作成方法が異なるので、OLCA を実施するときに、できる限り同様な考え方で作成したデータベースを用いた方が適切な評価が出来ていると考えられる。

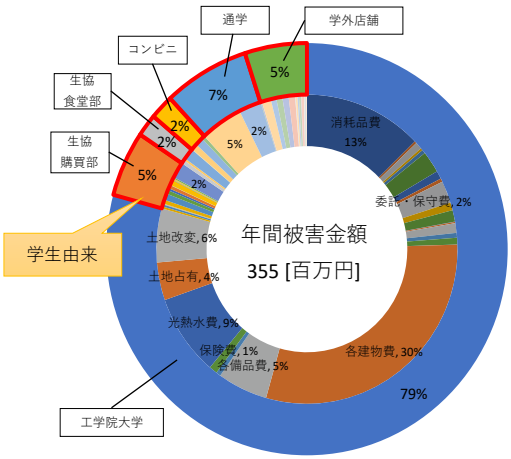


図 2　工学院大学の年間被害金額

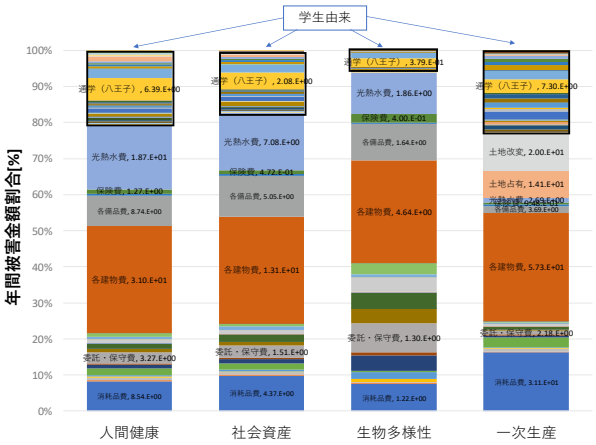


図 3　被害評価別構成割合

5. 今後の課題

算定したサービス業の原単位は、直接環境負荷量をガソリンや灯油などエネルギー部門のみを対象としているため、燃焼の時に排出される CO_2 や SO_x、NO_x の環境負荷のみ考慮されている。さらに多くの環境負荷を評価できるようにするために拡充が必要である。

6. 引用文献

1) UNEP/SETAC Life Cycle Initiative : "Guidance on OrganizatIOnal Life Cycle Assessment
2) 南斉規介, 森口祐一 (2012) 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID): 2005 年表, 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター, http://www.cger.nies.go.jp/publicatIOns/report/d031/index-j.html(2018 年 1 月 3 日確認)
3) 国立研究開発法人　産業技術総合研究所安全科学研究部門　社会と LCA 研究グループ：Inventory Database for Environmental Analysis Ver.2(IDEAv2)
4) 高野須悠人，松本奈々，田中浩二，稲葉敦：第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集,2017,pp.440-441
5) 総務省；2011 年度産業連関表総合解説編,2016,pp.184-280

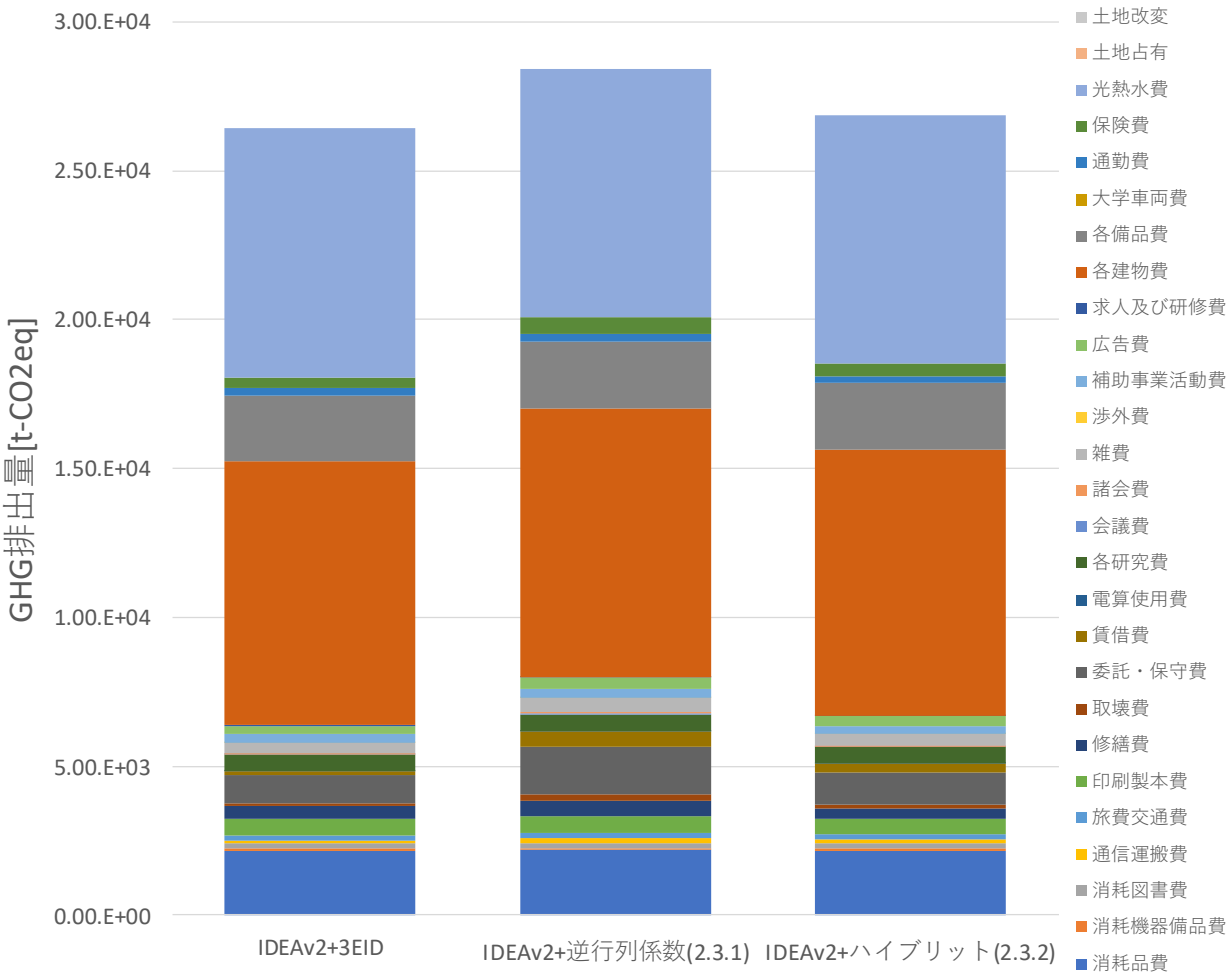


図 S1　算定手法別工学院大学の GHGs

P2-066
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

海外データの推計手法の構築

Development of simplified foreign inventory-data estimation method

台湾・インドネシア・韓国・マレーシア・ベトナムの試み

Trial estimation of Taiwan, Indonesia, Korea, Malaysia, and Vietnam

○木村祐也 1)、中井健士郎 1)、小林謙介*1)2)、藤井千陽 2)、横田真輝 2)、田原聖隆 2)
Yuya Kimura, Kenshiro Nakai, Kensuke Kobayashi, Chiharu Hujii, Maki Yokota, Kiyotaka Tahara
1) 県立広島大学,　2) 産業技術総合研究所
* kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

LCA の実施では、すべてのデータを自ら収集することが理想であるが、データの収集作業負荷を軽減するためにバックグラウンドデータベースを用いることが一般的であり、質の高いバックグラウンドデータベースは欠かすことができない。

我が国のインベントリデータベースは、IDEA Ver.2[1] などが開発されている。一方、我が国は輸出入が非常に多い国であり、海外での製品生産・サービス等に伴う環境負荷評価も欠かすことができない。海外のインベントリデータベースは、網羅的に整備されているものは殆ど無い。特に途上国ではデータベースの整備が十分ではない国も少なくなく、整備までには時間がかかると思われる。そこで、当面は、現状で整備されている日本のインベントリデータから、可能な限り高い精度で海外の原単位を推計し、評価に用いることで、世界平均データなどよりは地域事情が反映できる評価が可能になると考えられる。

これまで筆者らは、日本のデータから海外のインベントリデータの推計手法を構築することを試みてきた[2]。本報では、既報の手法を改善し、国別により精度高く推計するため、特に既報で示した中国・タイに次いで輸入量が多い、台湾・インドネシア・韓国・マレーシア・ベトナムを対象として、手法の構築を行った。

2. 推計手法の概要

本推計手法は、日本のデータベースを用いて海外のデータベースを可能な限り高い精度で推計することを目的としている。本検討では、①電力原単位、②燃焼用燃料構成比のデータ、③発電効率・熱効率を対象国のデータに変換することで推計することとした（図 1）。なお、可能な範囲で④環境対策(硫黄含有量などの燃料の質や脱硫・脱硝など)についても検討することとしているが、ここでは、①~③を優先して検討した。

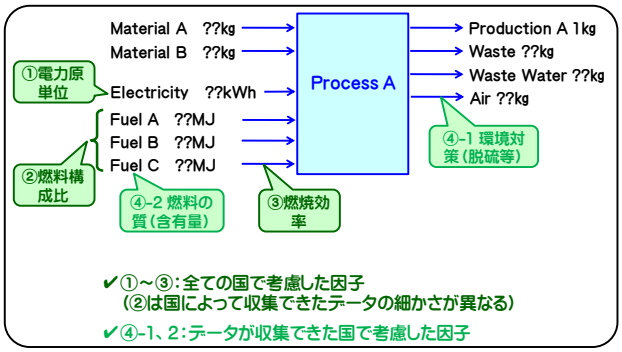


図 1　推計手法の概要

3. 推計に必要なデータベース構築

3.1 電力原単位

①電力原単位は、IDEA Ver.2 の日本の電力原単位を各国の電力原単位に置き換えた。各国の電力原単位を整備する必要がある。これは、IEA の World Energy Statistics[3]の PartIIにあるエネルギーバランス表から整備した。推計対象国の電力原単位（2011 年値）は図 2 となった。

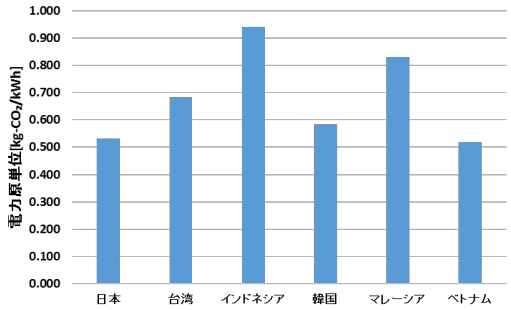


図 2 推計対象国の電力原単位

3.2 燃焼用燃料構成比

②の燃料構成比（総エネルギー消費量に占める石炭・石油・ガス等の割合）は、IDEA Ver.2 の各プロセスで消費されるエネルギー消費量の燃料種の構成比を対象国の構成比に置き換えた。このとき、IDEA Ver.2 の項目数は約 3800 であり、それぞれの項目に対して対象国のそれぞれの燃料構成比に置き換えることが望まし

い。しかし、そこまで詳細な燃料構成データを有した統計はない。各国共通で入手できるデータには、IEA の World Energy Statistics があるが、項目数は 29 しかない。そこで、それぞれの国が整備しているより詳細な分類の統計データを推計に用いた。

(1) 台湾

台湾のエネルギー統計には、臺灣地區産業關聯表 [4] があり、日本の産業連関表に該当するもので、166 項目のマトリクスで構成されている。そこで、臺灣地區産業關聯表の各項目へのエネルギー投入量を物量換算し、その項目の燃料構成比を算出することとした。石炭や石油等の燃料種ごとのエネルギー消費量は中華民国 能源統計年報 [5]を用い、それを各項目への投入金額で配分し、項目別の燃料構成比を算出した。

(2) インドネシア

インドネシアの産業連関表には、Input Output Table Indonesia[6]があり、項目数は 185 である。インドネシアについても産業連関表を用いて燃料構成比を算出することとした。燃料種ごとのエネルギー消費量は World Energy Statistics を用い、それを各項目への投入金額で配分し、項目別の燃料構成比を算出した。

(3) 韓国

韓国の産業連関表には、Input Output Tables of Korea[7] があり、項目数は 161 である。韓国についても産業連関表を用いて燃料構成比を算出することとした。燃料種ごとのエネルギー消費量は World Energy Statistics を用い、それを各項目への投入金額で配分し、項目別の燃料構成比を算出した。

(4) マレーシア

マレーシアの産業連関表には、Judual input-output Malaysia[8]があり、項目数は 124 である。マレーシアについても産業連関表を用いて燃料構成比を算出することとした。燃料種ごとのエネルギー消費量は World Energy Statistics を用い、それを各項目への投入金額で配分し、項目別の燃料構成比を算出した。

(5) ベトナム

ベトナムの産業連関表には、Bảng cân đối liên ngành của Việt Nam năm[9]があり、項目数は 138 である。ベトナムについても産業連関表を用いて燃料構成比を算出することとした。燃料種ごとのエネルギー消費量は World Energy Statistics を用い、それを各項目への投入金額で配分し、項目別の燃料構成比を算出した。

3.3 発電効率・熱効率

③発電効率・熱効率は、IEA の World Energy Balances[10]の PartII から算出した。熱効率は、本来、CHP Plant などの値を用いるべきと考えらえるが、データが不十分な国があるため、燃料別の発電効率として検討した。また、国によっては、データの有効数字が 1 桁になる国があるため、5 年間の平均値を用いることとした。推計対象国の発電効率・熱効率は表 1 となった。

表 1 推計対象国の発電効率・熱効率

国名	算出結果				対日本比			
	発電効率・熱効率（他）	熱効率（石炭系）	熱効率（石油系）	熱効率（ガス系）	発電効率・熱効率（他）	熱効率（石炭系）	熱効率（石油系）	熱効率（ガス系）
日本	44.8%	42.1%	43.7%	47.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
台湾	37.7%	37.6%	37.0%	43.0%	84.1%	89.2%	84.5%	89.7%
インドネシア	34.9%	33.3%	35.0%	38.9%	77.9%	79.1%	80.1%	81.2%
韓国	41.4%	37.1%	40.7%	55.2%	92.4%	88.2%	93.2%	115.2%
マレーシア	36.0%	34.6%	37.5%	37.1%	80.2%	82.1%	85.7%	77.4%
ベトナム	41.8%	34.0%	25.2%	51.3%	93.3%	80.7%	57.6%	107.0%

4. まとめ

本検討では、IDEA Ver.2 を用いて、可能な限り精度高く海外のインベントリデータを推計する手法を提案した。特に、台湾・インドネシア・韓国・マレーシア・ベトナムを対象として、その国で公開されている統計を用いた詳細な推計手法を検討した。これらを踏まえ、台湾・インドネシア・韓国・マレーシア・ベトナムの推計インベントリデータを構築した。

謝辞

本研究の成果の一部は、JSPS 科研費 16K06615 の助成を受けたものです。

引用文献

1) 産業技術総合研究所・産業環境管理協会 : “IDEA”, 入手先<http://www.idea-lca.jp/ >, (参照 2017-01-05)
2) 小林,田原ら : 海外インベントリデータの簡易推計手法の構築 -アジア数か国の推計データベースの構築と妥当性検証-, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会, (2013), pp. 90-91,
3) World Energy Statistics, International Energy Agency, (2017), pp. II4-II543
4) National Statistics : “臺灣地區産業關聯表”, 入手先<https://eng.stat.gov.tw/mp.asp?mp=5>, (参照 2011)
5) 中華民国 能源統計年報, 經濟部能源局, (2014), pp. 128-131
6) Input Output Table Indonesia 2010, BUDAN PUSAT STATISTIK, (2010), pp. 73-156
7) ECOS : “Input Output Tables of Korea”, 入手先<http://ecos.bok.or.kr/EIndex_en.jsp >, (参照 2014)
8) Judual input-output Malaysia, Jabatan Perangkaan Malaysia, (2010), pp. 42-82
9) Bảng cân đối liên ngành của Việt Nam năm, TỔNG CỤC THỐNG KÊ, pp. 38-157
10) World Energy Balances, International Energy Agency, (2017), pp. II2-II401

P2-067

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

海外インベントリデータの簡易推計手法の構築

Development of simplified inventory-data estimation method

中国・タイを対象にした詳細推計の実行と CO_2 排出量の算出

Execution of detailed estimates for China and Thailand calculation of CO_2 emissions

○中井健士郎 [1)]、木村祐也 [1)]、小林謙介*[1)2)]、藤井千陽 [2)]、横田真輝 [2)]、田原聖隆 [2)]

Kenshiro Nakai, Yuya Kimura, Kensuke Kobayashi, Chiharu Hujii, Maki Yokota, Kiyotaka Tahara

1) 県立広島大学,　2) 産業技術総合研究所

* kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

LCA の実施では、全データを自ら収集することが理想であるが、収集作業の負荷軽減のためにバックグラウンドデータベースを用いることが一般的である。

わが国のインベントリデータベースは、IDEA Ver.2[1)] などが開発されている。これらは、主として国内の製品・サービスを対象としたものである。一方、我が国は輸出入が非常に多い国であり、海外での製品生産・サービス等に伴う環境負荷評価も欠かすことができない。海外のインベントリデータベースは先進国・新興国などで構築されてきているが、網羅的に整備されているものは殆ど無い。また、途上国ではデータベースの整備が十分ではない国も少なくなく、整備までには時間がかかると思われる。そこで、当面は、現状で整備されている日本のインベントリデータから、可能な限り高い精度で海外の原単位を推計し、評価に用いることで、世界平均データ等よりは地域事情が反映できる評価が可能になると考えられる。

これまで筆者らは、日本のデータから海外のインベントリデータの推計手法を構築することを試みてきた[2)]。本報では、国別に、より精度高く推計するため、特に日本への輸入が多い中国・タイ [3)]を対象とし、手法の構築を行った。また、その手法をもとに、推計データベースを構築した。

2. 推計手法の概要

本推計手法の概要を図 1 に示す。本検討では、①電力原単位、②発電効率・熱効率、③燃焼用燃料構成比、④環境対策（燃料の質（例：硫黄含有量）、脱硫・脱硝等）のデータを対象国のデータに変換することで推計することとした。

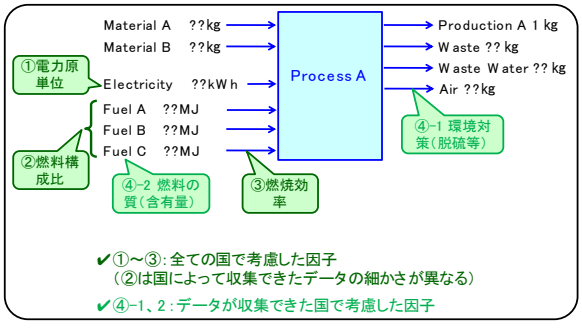


図 1　推計手法の概要

3. 推計に必要なデータベースの構築方法

① 電力原単位

電力原単位は、IDEA Ver.2 の日本の電力原単位を各国の電力原単位に置き換えた。IEA の World Energy Statistic[4)]にあるエネルギーバランス表から整備した。推計対象国の電力原単位（2011 年値）は表 1 となった。中国は日本の 1.83 倍、タイは日本の 1.13 倍となった。

表 1　IDEA Ver.2 における一般電気事業者平均原単位

国名	排出, CO2; 化石資源由来, 大気, 不特定	単位	倍率
JPN	0.531	kg-CO2/kWh	1.00
CHN	0.971	kg-CO2/kWh	1.83
THA	0.598	kg-CO2/kWh	1.13

② 発電効率・熱効率

発電効率・熱効率は、IEA の World Energy Balances[5)] から算出した。熱効率は、本来、CHP Plant などの値を用いるべきと考えらえるが、データが不十分な国があるため、燃料別の発電効率として検討した。また、国によっては、データの有効数字が 1 桁になる国があるため、5 年間の平均値を用いることとした。推計対象国の発電効率・熱効率は表 2 となった。中国はタイより効率面で劣り、日本の 84.1%となった。

表 2　対象国の発電・熱効率

国名	算出結果				対Japan比			
	total	熱効率			total	熱効率		
	発電・熱（他）	石炭系	石油系	ガス系	発電・熱（他）	石炭系	石油系	ガス系
Japan	44.8%	42.1%	43.7%	47.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
China	37.7%	37.6%	37.1%	42.7%	84.1%	89.2%	84.9%	89.2%
Thailand	43.6%	34.0%	39.0%	47.6%	97.2%	80.8%	89.1%	99.3%

3.3 燃焼用燃料構成比

③　燃料構成比（総エネルギー消費量に占める石炭・石油・ガス等の割合）は、IDEA Ver.2 の各プロセスで

消費されるエネルギー消費量の燃料種の構成比を対象国の構成比に置き換えた。このとき、IDEA Ver.2 の項目数は約 3800 であり、それぞれの項目に対して対象国のそれぞれの燃料構成比に置き換えることが望ましい。しかし、そこまで詳細な燃料構成データを有した統計はない。各国共通で入手できるデータには、IEA の World Energy Statistics があるが、項目数は 29 しかない。そこで、それぞれの国が整備しているより詳細な分類の統計データを推計に用いた。

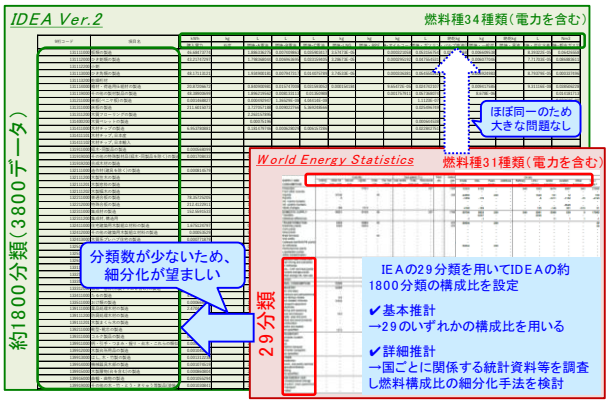


図 2 燃焼用燃料構成比の算出の考え方

(a) 中国の推計

中国のエネルギー統計で有用と考えられる、中国投入産出表 [6]は、日本の産業連関表に該当するもので、約 150 部門のマトリクスで構成されている。そこで、中国投入産出表の各部門へのエネルギー投入量を物量換算し、その部門のエネルギー構成比率を算出することとした。この際、石炭や石油等の燃料種ごとのエネルギー消費量は IEA の World Energy Statisitics の中国のデータを用い、それを各部門への投入金額で配分し、詳細化させ、部門別のエネルギー構成比を算出した。

(b) タイの推計

タイでも中国同様に Input Output Table[7]があり、部門数は約 180 である。そこで、タイについても、Input Output Table を用いてエネルギー構成比を算出した。

④環境対策等

対象国における環境対策（脱硫や脱硝など）について、日本の回収割合（および放出割合）を対象国の回収割合に置き換えた。本検討は、データが得られた中国のみ検討した。中国環境統計年報に、業種別の SOx や NOx の生産量や排出量データが掲載されている。このため、これを用いて、業種別の脱硫率・脱硝率を算出し、日本の一般炭のデータを置き換えた。

また、燃料の質（例：石炭における硫黄含有量や窒素含有量）が得られた場合に該当する燃料のプロセスデータを置き換え、また、可能な場合は燃焼時の大気放出・焼却灰の割合のデータも置き換える。アジアのエネルギー利用と地球環境には、石炭の硫黄含有量データが記載されており、中国が 1.35%（重量ベース）、タイが 2.8%となっており、これらの値を採用した。

4. 推計結果

以上をもとに算出した対象国の CO_2 排出量の推計結果を作成した(図 3)。中国では日の値の 140~160%の頻度が最も多く、全体の 73%が集中した。タイは日本の 100~120%に全体の 65%が集中し頻度が高かった。

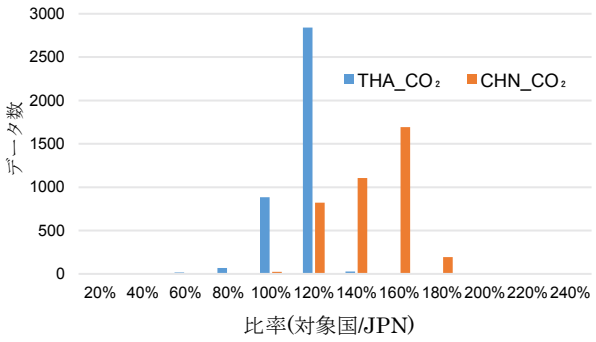


図 3 CO_2排出量比(対象国/JPN)のヒストグラム

4. まとめ

本検討では、IDEA Ver.2 を用いて、可能な限り精度高く海外のインベントリデータを推計する手法を提案した。特に、中国とタイを対象とし、各国共通で得られる統計と、各国で公開されている統計とを組み合わせることで、部門項目、燃料項目ともに分類数の細分化を行った詳細な推計手法を検討し、中国・タイの推計インベントリデータを構築した。

謝辞

本研究の成果の一部は、JSPS 科研費 16K06615 の助成を受けたものです。

参考文献

1) 産業技術総合研究所・産業環境管理協会：“IDEA”、入手先<http://www.idea-lca.jp/ >、（参照 2017-01-05）

2) 小林、田原ら：海外インベントリデータの簡易推計手法の構築　-アジア数か国の推計データベースの構築と妥当性検証-、第 8 回日本 LCA 学会研究発表会、pp.90-91、2013.3

3) 日本貿易統計(2016)

4) World Energy Statistics 2016

5) World Energy Balances 2016

6) 中国投入産出表 2012、中国国家統計局国民経済核算司

7) Input-Output Table of Thailand2005 、 Office of the National Economic and Social Development Board

P2-069

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

化学輸送モデルを用いた影響評価手法の開発と越境移動を考慮した大気汚染フットプリント分析

Development of impact assessment method using chemical transport model and air pollution footprint analysis considering transboundary movement

○小野あかり*1) 湯龍龍 2) 小野雄也 1) 伊坪徳宏 1)

1) 東京都市大学環境情報学研究科 2) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

*g1683103@tcu.ac.jp

1. はじめに

WHO によれば、2013 年の大気汚染による死亡者数が 550 万人にのぼり、環境変化を要因とした健康被害では最大規模であることが示された。国立環境研究所によると、アジア大陸で排出された大気汚染物質が西風によって日本列島に運ばれ、日本における微小粒子等の汚染レベルを押し上げることも報告されている。

大気汚染を対象とした健康影響評価を行っている既存研究を、疫学研究及び LCA 研究の双方から調査した結果、以下のような課題点が見えてきた。

・疫学研究の進展を通じて、PM2.5 摂取量と健康被害の量的関係を示すモデルが改善されているが LCIA 手法への反映は不十分である。また、世界を対象とした評価モデルが開発されているものの、地域区分や解像度、疾患の網羅性の観点から未だ十分とは言えない。

・Nature などで大気汚染による健康被害量の推定を国際貿易との関わりから考察した研究が公表されているが、フットプリント評価として消費から健康影響までの関係づけを損失余命の形で分析されていない。

2. 研究目的

本研究では研究目的として以下 2 つを挙げる。

1. 越境大気汚染の考慮・詳細な解像度及び地域区分で多物質多疾患の評価を可能とする一般大気汚染の健康被害係数を開発する
2. 全球を対象に大気汚染フットプリントの評価を行い、越境汚染の影響も含めた包括的な分析を行う。

3. 評価対象及び研究方法

3.1 評価対象

評価対象物質は SO_2，OCBC（黒色炭素、有機炭素），NOx，NH_3 とする。対象国は、EDGAR（EC）が対象としている 192 ヶ国を 32 地域に統合した。LIME3 が 10 地域を対象としたことに比べると地域区分数を大幅に増やしたこととなる。

対象疾患は、肺がん（LC），虚血性心疾患（IHD），慢性閉塞性肺疾患（COPD），脳卒中（STROKE），急性下気道性感染症（ALRI）の計 5 疾患を対象とする。

3.2. 算定方法及び使用データ

本研究では、大きく 2 つの算定フローに分けた。

(1) 健康被害係数の開発

被害係数算定フローを図 1 に示した。

図 1 被害係数算定フロー

算定フローは 6 行程から成り、その過程で、全球化学輸送モデル(MIROC-ESM-CHEMICAL)や相対リスク評価モデル(An integrated exposure–response (IER) model)を使用した。以下、使用したデータを記載する。

表 1 使用データ

被害係数算定フロー	1)運命分析	モデル	全球化輸送モデル（MIROC -ESM -CHEMICAL）
	2)リスク評価	参考文献	Addressing Global Mortality from Ambient PM2.5
		パラメーター $(\alpha, \gamma, \delta, zcf, C)$	α, γ, δ: Global burden of Disease, zcf : 5.8(μg/m3) C : 国立環境研究所 Nagashima et al.
	3)影響分析	死亡率 人口	WHO_2010 (LC,IHD,COPD,STROKE ≧ 30 ALRI < 5)
	4)被害分析	DALY 死亡者数	WHO_2010 (LC,IHD,COPD,STROKE ≧ 30 ALRI < 5)
	5)被害係数算定	大気汚染排出量	国立環境研究所 Nagashima et al.
インベントリ算定フロー	全球評価	大気汚染排出量	Eora Database

(2) 大気汚染フットプリントの算定

多地域産業連関分析 eora を利用し、世界を 32 地域に分けて大気汚染フットプリントを算出した。地域区分は共通社会経済シナリオで使用されている地域区分情報を用いた。以下に算定式を示す。

$$APF = d_p(I - A)^{-1}F_a$$

d=直接負荷（kg/百万円），
I=単位行列,
p=大気汚染物質の種類,
A=投入係数行列,
F=最終需要(百万円),
a=地域（32 地域）

4　結果

図 1 に黒色炭素、有機炭素を例に被害係数の算定結果を示す。

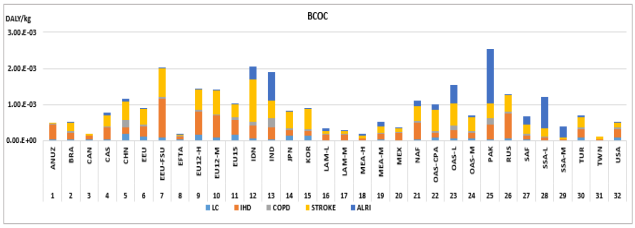


図 1 被害係数の算定結果(OCBC)

パキスタン、インド、インドネシア、欧州が大きく、南米、北米、中東が相対的に低く、地域間で 10 倍程度異なった。高齢者の多い欧州地域は、高齢者がかかりやすい虚血性心疾患の割合が大きく、小児が多いパキスタン地域では 5 歳未満を対象とした急性下気道性感染症の割合が高くなるといった地域性が見られた。

表 2 に被害係数の算定結果を比較することを目的に総排出量を乗じて年間死亡者数を推計した結果を示す。

表 2 大気汚染による年間死亡者数推定結果の比較

論文名		【既存論文1】 Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade.	【既存論文2】 The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale.	本研究
著者		Zhang et al. (2017)	Lelieveld et al. (2015)	
発行元		NATURE	NATURE	
大気濃度測定モデル		GEOS- chemical transport model.	global ECHAM5/MESSY atmospheric chemistry (EMAC)–general circulation model	全球化輸送モデル（MIROC -ESM -CHEMICAL）
解像度		不明	1.1° × 1. 1°	0.1° × 0.1°
インベントリデータベース		GTAP(2007,2008)	不明	MRIO(2010)
対象疾患		LC, IHD, COPD, STROKE	LC, IHD, COPD, CEV ≧30 ALRI < 5	LC, IHD, COPD, STROKE ≧30 ALRI < 5
死亡者数（千人）	LC	206	161	279
	IHD	1,396	1,079	1,467
	COPD	394	374	524
	STROKE	1,452	1,311	1,765
	ALRI	-	230	251

上記の表では死亡者数以外にも、各研究で使用しているデータ等を合わせて掲載した。左 2 つが既存研究となっており、右が本研究の値となっている。いずれも近い値となっており、本研究から得た妥当性は高いものと考えられた。疾患ごとに見ると、いずれも脳卒中が最大で、虚血性心疾患がこれに次いで大きかった。

各地域を対象とした大気汚染フットプリントの結果について、黒色炭素、有機炭素を例に図 3 に示した。

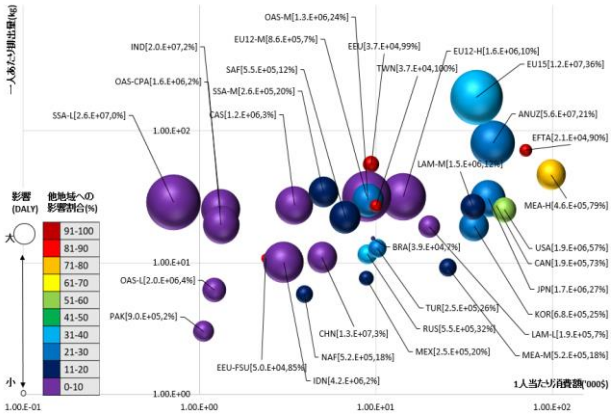


図 3 大気汚染フットプリントの算定結果(OCBC)

ここでは、年間消費額、大気汚染排出量、健康影響の関係について図示化した。横軸が消費額（‘000$/人･年）、縦軸が年間排出量(kg/人･年間)、円形が健康影響(DALY/地域･年間)となっている。円形の先に示されているカッコ内の数字は、左が DALY 値、右が他地域への影響割合(%)となっている。円形の大きさが影響の規模(DALY/人)を示しており、色が赤に近づくほど他地域への影響割合、すなわち越境移動の寄与が大きい。

欧州など一部の地域を除いて、消費額と排出量の間には相関は見られない一方で、北欧を除いて排出量が小さい地域ほど影響は小さい傾向が見られた。消費額が高い地域は影響の総量は貿易相手国への影響が大きく、消費量が低い地域はいずれも自地域における被害が大半を占めた。

5　まとめ

本研究では越境大気汚染の考慮・詳細な解像度及び地域区分で多物質多疾患の評価を可能とする一般大気汚染の健康被害係数を開発した。

さらに、大気汚染フットプリントの評価を通じて各地域の消費額・排出量・影響の関係を定量的に解析した。自地域の消費活動から排出量、そして健康影響までの一連の流れから地域ごとの特性をみることが出来た。

6　参考文献

1)　Global Burden of Disease project
2)　An Integrated Risk Function for Estimating the Global Burden of Disease Attributable to Ambient Fine Particulate Matter Exposure p.397-404
3)　Regionalized life cycle impact assessment of air pollution on the global scale: Damage to human health and vegetation p.129-137

P2-070
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

材料技術開発を対象としたLCAの枠組みの検討

Framework of LCA for Material Development

○畑山博樹*[1)]、田原聖隆 [1)] 、醍醐市朗 [2)]
Hiroki Hatayama, Kiyotaka Tahara, Ichiro Daigo
1) 産業技術総合研究所, 2) 東京大学
* h-hatayama@aist.go.jp

1. はじめに

環境へのダメージは製品やサービスの提供において外部不経済として扱われることが多く、ライフサイクルアセスメント（LCA）はそのような環境影響を定量化する手法として開発されてきた。一方で従来の LCA では、環境だけでなく経済、社会の側面を含めた正の外部効果（以下、「社会的価値」と呼ぶ）を十分に考慮しているとは言えない。このような評価は、LCA が持続可能な社会への貢献を示すツールとして今後広く利用されるために重要である。特に製品に組み込まれることで多様な機能を発現しうる材料の開発では、そのような技術評価の必要性が高まっている。

本研究の目的は、材料技術開発の社会的価値を評価する LCA 手法の開発である。手法の枠組みの検討段階において、社会的価値として考慮すべき項目を明らかにするため、材料メーカーの意識調査を実施した。また、材料に関するインベントリと影響領域の事柄について、社会的価値を含めて検討した。

2. 材料メーカーが意識する社会的価値の調査

材料メーカーが材料技術開発を行う際に意識している社会的価値を把握することは、技術評価のニーズを満たす LCA として手法を発展させるために重要である。そこで、自動車を対象とした構造材料開発を進めている複数の材料メーカーに対し、以下の点を中心に調査をおこなった。

・技術的概要
・新材料の自社にとってのメリット、企業（取引先）に対する売り、一般消費者に対する売り
・従来材料との生産プロセスの違い
・技術の目標と開発指標

調査の結果、鉄鋼材、チタン材、アルミニウム材について、表 1 に示すような技術開発の情報が得られた。自動車向けの鋼板に関する技術開発では、材料強度と延性のバランスを上げることで安全性を高めるだけでなく、設計の幅を広げることが期待されていた。また、従来鉄鋼材を代替できなかった部位のアルミ代替を進めるために、強度と加工性のバランスを向上させるアルミ材の技術開発も進められている。このような材料は車体の軽量化に貢献する一方で、自社で調整した独自の合金原料が必要となるといった制約がある。そのほか、材料そのものを製造する技術ではないが、材料を組み合わせて製品として組みたてる中でその強度を損なわないための技術である接合技術も開発されている。このような技術への LCA のアプローチについても、社会的価値とはまた別の視点ではあるが検討すべき点と考えられる。

また、アルミニウム展伸材の水平リサイクルに向けた技術開発に対しても、メーカーの強い関心が見られた。材料のリサイクル性を向上させることは燃費向上や資源消費の抑制といった社会的価値につながり、そのための不純物元素の無害化技術などが研究されてきた。一方で、製品や社会における他材料との使われ方までシステムバウンダリに含まれることで、はじめてリサイクル性を評価可能であることが示唆された。例えば、自動車に使用されている 6000 系合金は、材料メーカーによって特定の元素を添加するかしないかが分かれており、同じ合金種を集めたとしても水平リサイクルできない現状が指摘された。

表 1　材料技術開発に対するメーカー意識

	開発目標、ベネフィット	開発指標	技術内容
高張力鋼	安全性、加工性	強度・延性	組織制御、加工誘起変態
鉄鋼材接合技術	設計性	強度	抵抗スポット溶接、レーザ溶接等
チタン材	コスト	被削性	合金設計等
アルミ材	軽量化、CO_2	設計性	熱処理

材料メーカーの意識としては、強度や設計性といった機能が安全性などの社会的価値に貢献すると期待されていた。また、低炭素社会への貢献は強く意識しており、車体の軽量化のモチベーションとなっていた。一方で、リサイクル性は課題と認識しつつも技術開発の主たる検討課題とはとらえられていないようであった。また、材料特性や材料機能といったインパクト評価でいうところのインベントリやミッドポイントの意識が強く、影響領域に相当する部分についての言及は少なかった。材料開発の LCA が社会的価値を評価できるようになるためには、材料特性や機能がどのよう

な正の外部効果をもたらすかを整理する必要がある。

3. 材料の社会的価値の整理

エンドポイントレベルで環境影響を評価する LCA では、製品の製造・利用に伴う排出物質がどのような領域に影響するかを推定・モデル化している。同様に社会的価値を評価するのであれば、材料開発において開発指標とされている特性や機能を、正の外部効果の影響領域と結び付けてモデル化する必要がある。しかしながら、従来の LCA ではそのような影響領域の種類について十分に検討されていない。

そこで、まず材料がもたらす正の外部効果の整理をおこなう必要がある。著者らは KJ 法を用いた鉄鋼の社会的価値の検討を行っており、「材料特性の価値」「素材供給地が存在する価値」「文化的価値」など 6 つの社会的価値の側面を提案した [1]。ここでは、材料そのものの価値だけでなく、素材産業としての価値を材料の外部効果として考慮している点が特徴的である。また、「循環型社会」「安全・安心」など 8 つの“貢献する先の社会像”を示しており、これらは社会的価値の影響領域を定める目安となると考えられる。本研究ではこれらの価値側面や社会像を意識しつつ、材料の各ライフステージ（採掘・材料生産・材料加工・組立加工・製品使用・廃棄）ごとに、外部効果と関連すると考えられる事柄をブレインストーミングを通して列挙した。そして、それらを従来の LCA におけるインベントリとインパクトのどちらに近いかを整理した。ただし、インベントリとインパクトの関係は各ライフステージ内で完結しているわけではない。例えば材料強度の向上が材料生産段階における設計性を高めると同時に使用時の安全性を高めるといったように、ライフサイクルを通して影響しているものも多く存在する。また、あるライフステージにおいてインパクトと見なせるものが、後続のライフステージではインベントリの役割を果たしていることもある。ライフサイクルを通したインベントリとインパクトの整理は、今後検討を進める必要がある。

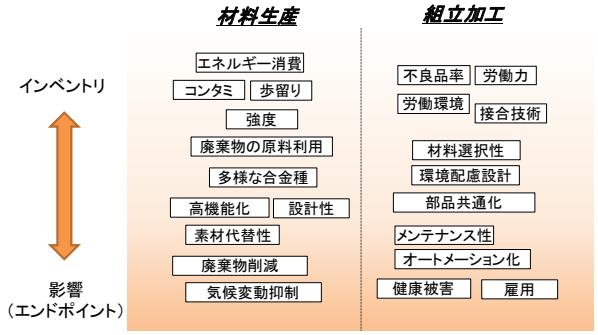


図 1　ライフステージごとの外部効果の整理例

4. 手法開発の今後

今回の整理によって、社会的価値を含めた材料の LCA モデルの構成要素をインベントリと影響領域の両面で抽出することができた。材料開発の LCA モデルの構築に向けて、これらの構成要素についてインベントリ、ミッドポイント、エンドポイントを設定し、それぞれの関係づけを行うことが次のステップとなる。そしてその後に、特性化や運命分析といったモデルの定量化を検討する必要がある。

次のステップであるモデル構成要素の関係づけは図 2 のように進められる。一部の外部効果、特に環境への負の影響については、既存の LCA で考慮されている影響領域で評価できるであろう。一方で、社会的価値を評価するためには、新たな“正の”影響領域を定義する必要が生じると考えらえる。あるいは一部の社会的価値は、最終的に「既存 LCA で考慮されていた環境影響を低減する」という形で反映されるかもしれない。このような関係づけを模索する段階では、学術分野や素材産業からより広く情報や意見を収集する必要がある。

引用文献

1) 醍醐市朗ら：第 11 回日本 LCA 学会研究発表会，柏（2016），pp.356-357.

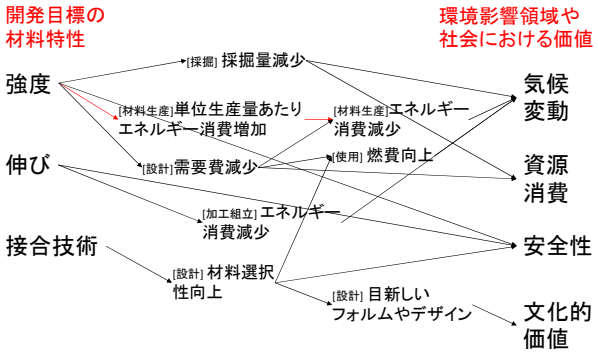


図 2　材料技術開発の LCA に向けた関係性の記述

P2-072
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

素材リサイクルにおける散逸フロー推計

Estimation of dissipative flows during materials' recycling

○中駄将人*[1)]、醍醐市朗[1)]、榎学[1)]
Masato Nakada, Ichiro Daigo, Manabu Enoki,
1) 東京大学
* nakada@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

資源消費削減の観点から、素材のリサイクルが望まれる。使用済み製品からの素材のリサイクルは、製品回収、素材の分離・回収、および二次素材生産というプロセスを経て実行される。Agrawal ら[1)]は、リサイクル推進に影響を与える要因を、促進要因と阻害要因に分けて特定し、列挙した。しかし、素材によってリサイクルプロセスが異なっているため、リサイクル推進に寄与する要因は、素材ごとに異なっていると考えられる。その要因抽出のためには、素材ごとのリサイクルプロセスにおいて、回収されていないフローを把握する必要があると考えられる。しかしながら、今までのマテリアルフロー分析では、リサイクルプロセスにおける素材の散逸プロセスならびに量は明確に示されていなかった。そこで、各素材のリサイクルプロセスからの散逸状況を把握することを目的とした。

2. 手法

2.1 EoL-RR 推計

リサイクルプロセス中の散逸は、使用済み製品の回収、素材の分離・回収、二次素材の生産の 3 つのプロセスそれぞれで起こると考えられる。二次素材の生産プロセスにおける散逸は、歩留まりに起因する。一方、使用済み製品の回収および素材の分離・回収プロセスにおける散逸に影響する要因には、いくつかの要因が存在すると考えられる。素材ごとのリサイクルの状況を把握するため、これらの 2 つのプロセスにおける散逸を、EoL-RR（End-of-Life Recycling Rate）によって評価した。これは、使用済み製品から回収された素材の量と、排出された使用済み製品に含まれる素材の量との比として定義される。本研究では、日本の鉄鋼材、銅素材、アルミニウム素材について、1987 年から 2014 年にかけて各年の EoL-RR を推計した。EoL-RR の分子となる老廃スクラップ回収量は、スクラップ需要量から、自家発生スクラップ量、スクラップ輸入量、加工スクラップ量を引くことで計算した。EoL-RR の分母となる排出量は、直接観測することが難しい。そこで、素材の用途ごとの製品寿命分布を設定し、動的マテリアルフロー分析[2)]により退役量を計算し、そこから中古品輸出量を減じることで推計した。中古品輸出による素材の散逸量は、EoL-RR の推計結果に大きな影響を及ぼす。中古品輸出量の推計方法は 2.2 節で述べる。既存研究において推計された各素材の EoL-RR では、素材ごとに異なる用途区分と製品寿命分布が設定されていたため、比較することができなかった。本研究では、対象素材の共通用途を特定し、その製品寿命分布を同一とすることで、EoL-RR の素材間比較を可能にした。

2.2 雑品スクラップ輸出量推計

中古品輸出量推計に必要な中古輸出品の用途区分には、「産業機械」、「電気機械」、「家庭用事務用機械」、「自動車」がある。廃自動車の輸出量と、それに伴う鋼材の流出量は、関係者からの内部情報で得た。そのほかの用途のほとんどは、「その他のもの(7204.49-900)」と区分されて、雑品スクラップとして中国へ輸出されていると考えられている[3)]。しかし、鉄スクラップのうち、「その他のもの」に含まれる雑品スクラップの割合は不明である。これに関して、日本と中国の貿易統計のギャップを利用した推定が行われることがある[3)]。2004 年から 2008 年にかけては、中国の鉄くず(7204.49)の輸入量が、日本の鉄くずの輸出量よりも 130～200 万トン程度過少になっている。一方で、同期間において、中国の銅くず(7404.00)の輸入量は、日本の銅くずの輸出量より、同程度の量過剰になっている。これは、鉄・非鉄混合のスクラップに関して、日本では 2 種以上の卑金属を含む物品は，重量が最大の卑金属の物品として取り扱うため，鉄スクラップとして輸出時に通関されることが多い一方で、中国では、同じスクラップに対しても，銅が回収目的であれば銅スクラップとして輸入通関がなされることが多いためである[3)]。したがって、日本で鉄スクラップとして輸出されたのち、中国では銅スクラップとして輸入される金属を「雑品スクラップ」と推定できると考えられる。しかし、2009 年から日本の輸出量報告と中国輸入量報告の差が急に小さくなっており、この方法で雑品スクラップ輸出の量を推計できない。これは、これまで鉄くずとして輸出され、銅くずとして輸入通関されていたものが、2009 年以降、鉄くずとして輸入通関されたためと考えられる。実際、2009 年以降、中国で輸入さ

れる鉄くずの単価､銅くず単価はともに上昇している。前者は、鉄くずに含まれる銅濃度が上昇したため、後者は銅くずの銅純度が上がったためだと考えられる。

そこで、2008 年までの日本が輸出した鉄くずと中国が輸入した鉄くずの単価差の原因を雑品スクラップ由来と仮定し、2009 年以降の雑品量を推計した。2008 年までに中国が輸入した鉄くずを、銅などの鉄以外の素材が含まれていない「ピュア鉄くず」であると仮定した。日本が輸出しているの鉄くずを「雑品混合鉄くず」と呼ぶ。すると、各年において、以下の等式が成り立つ。

$$UP_{mix} \times A_{mix} + UP_{Fe} \times A_{Fe} = M_{mix,Fe} \quad \text{式１}$$

ただし､UP_{mix}:雑品単価,　UP_{Fe}:ピュアくず鉄単価、A_{mix}：雑品量, A_{Fe}：ピュアくず鉄量, $A_{mix,Fe}$：雑品混合鉄くず量, $M_{mix,Fe}$：雑品混合鉄くず金額とした。

ここで、以下の式２が成り立つから、式１、式２より雑品量 A_{mix} について整理すると、式３を得る

$$A_{Fe} = A_{mix,Fe} - A_{mix} \quad \text{式２}$$

$$A_{mix} = \frac{M_{mix,Fe} - UP_{Fe} \times A_{mix,Fe}}{UP_{mix} - UP_{Fe}} \quad \text{式３}$$

雑品混合鉄くず量 $A_{mix,Fe}$ 及び雑品混合鉄くず金額 $M_{mix,Fe}$ は､日本からの鉄くず輸出量､輸出金額であり、統計から求められる。ピュア鉄くず単価 UP_{Fe} と、粗鋼(7207.20)の単価の間には正の相関があることが分かった。加えて、雑品単価 UP_{mix} と、銅くず単価の間にも正の相関があることが分かった。この２つの回帰分析の結果より、粗鋼の単価と、銅くず単価を用いて、ピュア鉄くず単価 UP_{Fe} と、雑品単価 UP_{mix} を推計した。ピュア鉄くず単価は、中国が輸入した鉄くずの単価である。一般的に、輸入の記録では商品の価格に運賃や保険料を加えた CIF(Cost, insurance and freight)価額、輸出の記録では船積み時までの費用と商品の価格である FOB(Free on board)価額が用いられる [4]。ここでは、単価の整合を取るために、CIF 価額であるピュア鉄くず単価を、CIF/FOB 比率を 1.10[5]として、FOB 価額に変換した。以上の値の推計と式３より、雑品量 A_{mix} を推計した。

3.　結果及び考察

図１に式３より推計された雑品量と、2000 年から 2008 年の、中国と日本の鉄くず輸出入量の差より推計された雑品量を示した。多くの年で、式３より推計された雑品量は、鉄くず輸出入量の差より推計した雑品量と近い値となっている。2004 年においては、回帰分析より推計されたピュア鉄くず単価と、雑品単価が近い値をとったことで､式３の分母が 0 に近づいたため、統計から推計した雑品量とは一致しなかった。しかし、それら二つの単価が極めて近い値でないそのほかの年では、式３による推計が妥当であると考えられた。

推計された雑品量を用いて、鉄鋼材、銅素材、アルミニウム素材について EoL-RR を計算した。鉄鋼材の EoL-RR は、推計した期間の大部分で、銅素材およびアルミニウム素材のそれよりも高かった。これは、鉄鋼材は磁力選別が可能であるため、他の２素材に比べて素材の分離回収が容易であるためと考えられた。鉄鋼材と銅素材では、スクラップ価格と EoL-RR の間に正の相関がみられた。このことから、価格は使用済み製品ならびに素材の単体分離に影響を与える１つの要因と考えられた。特に、この２素材においては、スクラップ価格の高い年に、回収率が 100%を超えた。これは、すでに排出されていたが、採算が合わずに回収されていなかった使用済み製品（冬眠ストック）が、価格の高騰により回収されたためと考えられた。

4.　結言

日本が輸出する雑品混合鉄くずと、中国が輸入する鉄くずの価格差が雑品スクラップ由来だと仮定し、中古品輸出量を推計した。それを用いて、鉄鋼材、銅素材、アルミニウム素材について、散逸状況を EoL-RR を求めることで把握した。

5.　引用文献

1) S. Agrawal et al.: Resour. Conserv. Recy. 97 (2015), pp 76-92
2) I. Daigo et al.: Environ. Sci. Technol. 49, (2015), pp 8691-8696
3) 寺園ら:廃棄物資源循環学会論文誌, 22 (2), (2011), pp 127-140
4) 小坂ら: 運輸政策研究 15 (2) , (2012) , pp 20-31
5) International Monetary Fund. Statistics Dept., A Guide to Direction of Trade Statistics, IMF Publication Service, (1993)

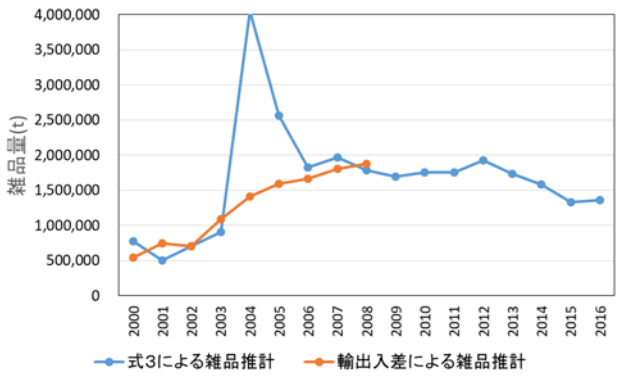


図１　雑品量推計比較

P2-075
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

日米欧を対象とした二次白金族金属資源の類型

Classification of Secondary PGM resources in Japan, the United States, and Europe

○福谷大樹*[1)]、橋本征二 [2)]
Daiki Fukutani, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院 2) 立命館大学
* rv0040pv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

科学技術の高度化にともない、金属資源の重要度が増加している。特に、精密機器によく用いられる貴金属やレアメタルの安定供給が重要な課題となっており、二次金属資源の有効活用および、利用可能な二次金属資源量の把握が注目を浴びている。

二次資源の存在状況を表記する枠組みとして、Hashimoto et al.[1)]は McKelvey 図にもとづいた二次資源の分類表を提唱している。また、Maung et al.[2)3)] は、その分類表に基づき、ベースメタルの二次資源の類型を行っている。

本研究では、自動車用途などで重要度が高い、白金族金属（Platinum Group Metals: 以下 PGM）を対象に日本、米国、欧州で二次資源の類型を行った。

2. 方法

2.1 評価対象

PGM は Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os の 6 元素で構成されるが、本研究では最終製品のデータが存在する Pt、Pd、Rh の 3 元素を対象に推計を行った。また、対象製品は自動車用触媒、電子材、化学、ガラス、歯科、宝飾品、医療、石油、その他の 9 分野、推計年は 1980 年から 2015 年とした。

2.2 二次資源の類型

図 1 に Hashimoto et al.[1)]による二次資源の類型表を示す。一次資源と同様、二次資源もその回収の収益性と二次資源に関する知識の 2 軸により分類することができる。本研究では、用いた手法の制約から収益性の軸にある「経済的」と「准経済的」、「非経済的」と「その他」をまとめて推計した。

2.3 PGM 二次資源の推計

本研究では、二次 PGM 資源の類型を行うにあたり、PGM の社会中の蓄積量および老廃スクラップの発生量の推計を行った。以下にそれぞれの算出式を示す。

$$S_{(t,a)} = \Sigma_i (U_{(i,a)} \times R_{(t-i,a)})$$

ここで、$S_{(t,a)}$は t 年における最終製品 a としての PGM 蓄積量、$U_{(i,a)}$は i 年における最終製品 a としての利用量、$R_{(t-i,a)}$は t-i 年後における最終製品 a の残存率(-)である。

$$GS_{EOL(t,a)} = \Sigma_i (U_{(i,a)} \times f_{(t-i,a)})$$

ここで、$GS_{EOL(t,a)}$は t 年における最終製品 a としての PGM

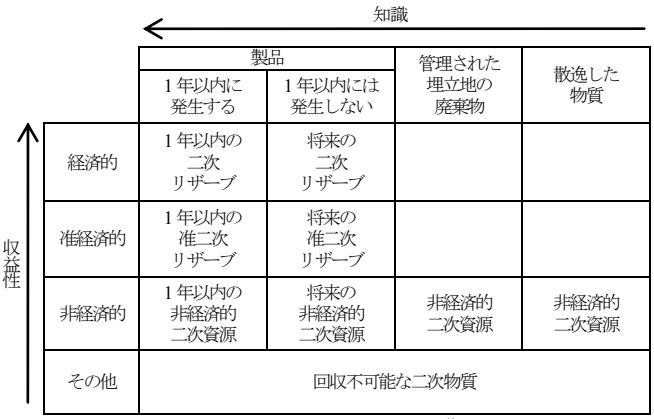


図 1 二次資源の類型 [1)]

老廃スクラップ発生量、$f_{(t-i,a)}$は t-i 年後における最終製品 a の廃棄率(-)である。$R_{(t-i,a)}$および $f_{(t-i,a)}$に用いた平均使用年数は、文献[4)5)6)]を参考に表 1 のとおり設定した。

次に、図 1 における二次リザーブおよび准二次リザーブを算出するにあたり、文献[5)6)]を参考に表 1 に示す二次埋蔵率を各分野で設定した。二次埋蔵率は社会中の蓄積量のうち再生利用可能なものの比率（使用済み製品のリサイクル率）であり、本来は時系列で変化するものであるが、本研究ではこれらの値を時間に関係なく一定として用いることとする。このため、二次リザーブと准二次リザーブの合計を推計することとした。

$$SR_{(t)} = \Sigma_a (S_{(t,a)} \times (1 - DR_{(t,a)}) \times SRR_{(a)})$$

$$SRe_{(t)} = \Sigma_a (GS_{EOL(t,a)} \times (1 - DR_{(t,a)}) \times SRR_{(a)})$$

$$SRn_{(t)} = SR_{(t)} - SRe_{(t)}$$

$$SSRe_{(t)} = \Sigma_a (GS_{EOL(t,a)} \times (1 - DR_{(t,a)})) - SRe_{(t)}$$

$$SSRn_{(t)} = \Sigma_a S_{(t,a)} - SR_{(t)} - SSRe_{(t)}$$

ここで、$SR_{(t)}$は t 年における二次リザーブと准二次リザーブの合計、$SRR_{(a)}$は最終製品 a の二次埋蔵率、$DR_{(t,a)}$は t 年における最終製品 a の散逸割合、$SSR_{(t)}$は t 年における非経済的二次資源と回収不可能な二次資源の合計であり、添え字 e は 1 年以内に発生することを、n は 1 年以内に発生しないことをそれぞれ表している。なお、散逸は主に製品の使用段階で発生するが、本研究では計算を容易にするため上式のとおり廃棄段階で設定した。$DR_{(t,a)}$は文献[5)6)]を参考に表 1 のとおり設定した。

さらに、散逸した物質量および管理された埋立地の廃

表 1 最終製品の平均使用年数、二次埋蔵率、散逸率

最終製品	平均使用年数			二次埋蔵率			散逸率		
	Pt	Pd	Rh	Pt	Pd	Rh	Pt	Pd	Rh
自動車用触媒	11.4（日）	15.3（米）	14.6（欧）	0.88（日）	0.805（米）	0.805（欧）	0.02		
電子材	10	10	10	0.376	0.376	0.1	-	-	-
化学	3.5	3.1	2.6	0.96	0.97	0.96	0.16	0.04	0.1
ガラス	2.0	-	2.0	0.98	-	0.98	0.067	-	0.067
歯科	-	35	-	-	0.9	-	-	0.72	-
宝飾品	35	35	-	0.95	0.95	-	-	-	-
医療	33.3	-	-	0.9	-	-	0.82	-	-
石油	5.0	-	-	0.98	-	-	0.015	-	-
その他	15	15	15	0.8	0.8	0.8	0.02	-	-

棄物は以下の式より推計した。

$$DM_{(t)} = \Sigma_t \Sigma_a (GS_{EOL(t,a)} \times DR_{(t,a)})$$

$$WL_{(t)} = \Sigma_t \Sigma_a (GS_{EOL(t,a)} \times (1 - DR_{(t,a)}) \times (1 - SRR_{(a)}))$$

ここで、$DM_{(t)}$は t 年にまでに散逸した物質量、$WL_{(t)}$は t 年までに管理された埋立地に蓄積された廃棄物量である。なお、散逸した物質を除いた未回収スクラップは全て管理された埋立地の廃棄物となるものとした。

3. 結果と考察

本要旨では、日本の推計結果について報告する。

表 2 に 2015 年の日本における二次 PGM 資源の類型を示す。1980 年から 2015 年の間に日本に投入された PGM 資源の累計は 2464 トンであり、これらのうち 1720 トン（70%）が製品として存在していると推計された。このうち二次利用可能な PGM は 1 年以内に発生するものが 74 トン、将来に発生するものが 1220 トンであり、日本に投入された PGM 資源の約 53%が二次利用可能であると推計された。これは、リサイクルが確立している産業用用途（化学、ガラス、石油）におけるリサイクル率（二次埋蔵率）が高いためである。一方、使用中の製品で二次利用不可能なものは、426 トン（17%）であった。また、管理された埋立地の廃棄物は 577 トン、散逸した物質は 166 トンであり、回収されなかった PGM 資源は約 30%と推計された。PGM 資源の散逸の多くは、歯科分野や医療分野におけるもの（義歯が交換されないまま人の死亡によって散逸するものや薬品の人体への投与によって散逸するもの）であるが、これらは今後も回収困難であると考えられる。一方、23.4%を占める埋立地の廃棄物については、これらを回収する方策について検討することも有益と考えられる。

上記のように、比較的多くの PGM 資源が二次利用可能であることが示された。一方で、自動車用触媒や宝飾品をはじめとする一般消費者向け用途では、中古製品としての輸出や消費者による退蔵があり、本研究ではこれらも二次リザーブの中に含めている。特に自動車用触媒は中古自動車や中古部品としての流出量が多く、本研究の二次リザーブは、実際に国内でリサイクルされる量より

表 2 日本の二次 PGM 資源の類型(2015 年)

	製品		管理された埋立地の廃棄物	散逸した物質
	1 年以内に発生する	1 年以内に発生しない		
経済的 & 准経済的	74 t (3.0%)	1220 t (49.5%)		
非経済的 & その他	24 t (1.0%)	402t (16.3%)	577 t (23.4%)	166 t (6.7%)
			合計	2464 t (100%)

も大きい。こうした検討も合わせて行うと、より有益な情報になるものと考えられる。

なお、米国、欧州の結果については学会当日発表する。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3K163001)による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) Hashimoto, S. et al.: Framework of material stock accounts - Toward assessment of material accumulation in the economic sphere. Proc. 8th Int. Conf. EcoBalance, C-08, 2008
2) Maung, K.N. et al.: Assessment of the secondary copper reserves of nations, Environmental Science & Technology, 51(7), 3824–3832, 2017
3) Maung, K.N. et al.: Assessment of secondary aluminum reserves of nations, Resources, Conservation & Recycling, 126, 34–41, 2017
4) 一般財団法人自動車検査登録情報協会、https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html、2016 年 12 月アクセス
5) Hagelüken, C. et al.: Materials flow ofplatinum group metals -systems analysis and measures fo r sustainable optimization o f the materials flow of platinum group metals, GFMS Ltd., London, 2005
6) Nassar, N.T.: Global stocks and flows, losses, and recoveries of platinum-group elements. In: PhD Dissertation. Yale University, 2015

P2-081

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

感度分析を用いた鉄鋼材料の関与物質総量の評価

Sensitivity Analysis of Total Material Requirement for Steel Materials

○小栁津顕*[1)]、光斎翔貴 [1)] 、山末英嗣 [1)]

Akira Oyaizu, Shoki Kosai, Eiji Yamasue

1) 立命館大学

*rm0060iv@ed.ritsumei.ac.jp

この演題の要旨は投稿されませんでした。

P2-082

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

繰返し素材リサイクルによる不純物元素の濃度変化説明モデル

鉄鋼材の事例

A model of chronological change on impurity element contents in materials by repeated recycling

A case study of steel

○纐纈将太*1)、醍醐市朗 1)、藤村玲央 2)、林英男 3)、Benjamin Sprecher 4)、榎学 1)、後藤芳一 1)

Shota Koketsu, Ichiro Daigo, Leo Fujimura, Hideo Hayashi, Benjamin Sprecher, Manabu Enoki, Yoshikazu Goto

1) 東京大学大学院, 2) JFE スチール, 3) 東京都立産業技術研究センター, 4) Leiden University

* koketsu@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

素材の繰り返しリサイクルでは、再生材処理プロセスにおいて商業的には除去できない不純物元素が濃化することが危惧されている。このような不純物濃度の変化については、ほとんど知見が無い。本研究では、磁性によって他素材との分離が容易でリサイクル性が高く、他の素材と比べて繰返しリサイクルされることが多いと考えられる炭素鋼を事例とし、不純物元素濃度の説明モデルを構築し、素材の持続可能な循環利用に知見を得ることを目的とした。本研究では、不純物元素の中でも特に炭素鋼の品質に悪影響を与える Cu を分析対象とした。

2. 炭素鋼中 Cu 濃度の推計手法

2.1 投入物と生産物の物質収支

炭素鋼中に含有される循環性不純物元素（トランプエレメント）の由来は 4 つに大別できると考えられる[1)]。鋼材の生産時に合金あるいは表面処理として意図して使用される元素（フローf_1）、炭素鋼の原料として用いられる炭素鋼加工スクラップ中の炭素鋼中に合金成分として含有されていた不純物元素(フローf_2)と、炭素鋼の原料として用いられる炭素鋼老廃スクラップ中の炭素鋼中に合金成分として含有されていた不純物元素(フローf_3)炭素鋼スクラップ中に混入してきた炭素鋼以外の素材を構成する不純物元素(フローf_4)である。t 年に生産された炭素鋼中に含有される Cu 量 $p^w(t)$は、式 1 のように表せる。このとき、一部の鋼材で Cu を合金元素として添加するものの、総量は小さく[1)]考慮しなかった。

$$p^w(t) = f_2^w(t) + f_3^w(t) + f_4^w(t) + f_{pig}^w(t) \quad \text{式 1}$$

ここで、$f_2^w(t)$は t 年に原料として用いられる炭素鋼加工スクラップ中の炭素鋼中に合金成分として含有される Cu 量、$f_3^w(t)$は t 年に原料として用いられる炭素鋼老廃スクラップ中の炭素鋼中に合金成分として含有される Cu 量、$f_4^w(t)$は t 年に原料として用いられる炭素鋼スクラップ中に混入してきた炭素鋼以外の素材を構成する Cu 量、$f_{Pig}^w(t)$は投入された銑鉄中の Cu 量を表す。炭素鋼中に合金成分として含有されていた Cu 量(f_2^w)は、繰り返しのリサイクルにより炭素鋼中に蓄積された Cu と考えられる。

$f_4^w(t)$はそれ自体を直接同定することが困難である。これは、炭素鋼スクラップ中に混入する他素材は、炭素鋼スクラップ中に不均一に分布すると考えられるため、その量を直接定量することは困難であると考えられたためである[1)]。そのため、式 1 の $p^w(t)$、$f_2^w(t)$、$f_3^w(t)$、$f_{pig}^w(t)$を同定することで $f_4^w(t)$を推計した。ここで、$f_3^w(t)$は、以下の式によって導出される。

$$f_3^w(t) = \sum_i \sum_{k \le t} F_i(k,t) c_i(k) \quad \text{式 2}$$

ここで、$F_i(k,t)$は品種 i の t 年における炭素鋼スクラップとして回収されたもののうち、k 年に生産された炭素鋼の回収量である $c_i(t)$は炭素鋼品種 i の t 年における Cu 濃度である。

$f_2^w(t)$は炭素鋼の各品種の生産量に、品種ごとの歩留まりを乗じて加工スクラップの発生量を推計し、さらに $c_i(t)$を乗じることで推計した。

また、$p^w(t)$は以下の式 3 にようにも表される。

$$p^w(t) = \sum_i P_i(t) c_i(t) \quad \text{式 3}$$

ここで、$P_i(t)$は品種 i の t 年における生産量である。

2.2 データ整備

本モデルでは、炭素鋼中 Cu 濃度 $c_i(t)$について、経年変化を考慮した。過去に報告されている電炉棒鋼中の Cu 濃度を、試料の推定生産年に従いプロットした。プロットされた各 Cu 濃度に対し、年を説明変数に線形回帰分析を行ったところ、傾きが 1.7×10^-4 と小さく、Cu 濃度がほとんど変化していなかった。そこで、棒鋼の Cu 濃度$c_{bar}(t)$は、これら観測値の平均 Cu 濃度 0.3%とし、経年で変化しないとした。電炉棒鋼は、各品種の中で Cu 許容濃度が最も高いことから様々なスクラップが原料として消費されるため、スクラップに混在する不純物量に最も敏感であると考えられた。その棒鋼において、Cu 濃度は経年で変化していないことから、他の品種についても Cu 濃度は経年で変化しないと考えた。モデルでは、Cu 濃度は t の関数$c_i(t)$として与えているが、各炭素鋼の品種 i の炉の区別のない代表的な平均 Cu 濃度[1)]を用い、年に依らず定数とした。

$F_i(k,t)$は、動的 MFA（material flow analysis）により推計し、データは既存研究[2)]の値を用いた。

3. 結果と考察

3.1 由来別 Cu 混入量推計結果

各年の国内の炉に投入された老廃スクラップに含有される Cu 量の割合を、老廃スクラップ中に含有される鉄スクラップに混在する炭素鋼以外の素材に由来する Cu 量 (f_4^w) の老廃スクラップ量に対する割合 f_4 と、同じく老廃スクラップ中に含有される鉄スクラップを構成する炭素鋼中の合金成分由来の Cu 量 (f_3^w) の老廃スクラップ量に対する割合 f_3 に分割して図 1 に示す。合金成分由来の Cu 量 (f_3^w) は、過去に生産された鋼材が排出され、スクラップとして回収され、投入されることで炭素鋼中に混入するが、回収される炭素鋼老廃スクラップに占める f_3^w の割合 f_3 が大きくなっていたことがわかった。これは、近年炭素鋼の品種の中で

最も高い Cu 含有率の棒鋼と、2 番目の形鋼[1]の、回収される炭素鋼老廃スクラップに占めるシェアが大きくなってきているためであった。一方で、他素材由来の Cu 量（f_4^w）の老廃スクラップに占める割合 f_3 が経年とともに大きく減少していることがわかった。1990 年以前に比べ、1990 年代は 0.05 から 0.1 ポイントほど f_4 が減少しており、さらに 2000 年頃以降著しく減少傾向を示した。これは、発生する使用済み製品を構成する素材構成比の変化により Cu 含有率が減少したか、発生した使用済み製品から鉄スクラップを回収する時に Cu の単体分離率が向上したか、2 つの要因が考えられた。次節では、前者の要因の 1 つとして雑品スクラップの輸出による影響を評価した。

3. 2 雑品スクラップの輸出

雑品スクラップとは、経済的に分離が困難な未処理の製品が混在した鉄スクラップであり、主に中国に輸出されている [3]。この雑品スクラップの輸出に関する統計は存在せず、中国への雑品スクラップの輸出分に限っては、鉄スクラップの輸出の一部として含まれていることがわかっている。既存研究 [3]による手法によって、雑品スクラップの輸出量をデータが得られた 1992 年から 2008 年の区間において推計した。1990 年代から、中国への雑品スクラップの輸出が一定量確認され始め、2000 年前後からその輸出量が増え、2008 年には約 170 万トンが輸出されたことがわかった。ここで、雑品スクラップの輸出が、老廃スクラップに含有される炭素鋼以外の素材に由来する Cu 量の割合（f_4）を減少させた要因であると考え、雑品スクラップが輸出されず国内で処理することを仮定したときの f_4 を推計した。中国において雑品スクラップは手選別され、総重量の約 4%の Cu が回収される [4]。これが雑品スクラップの Cu 含有率と考えた。次に、雑品スクラップが輸出されなかった場合は、国内にて解体・分離等の処理を経た後に鉄スクラップとなると考えられるが、雑品スクラップは 60%の Cu が分離されることを想定した。つまり、1.6%の Cu が残留した鉄スクラップとして、雑品スクラップ由来の鉄スクラップが国内で消費されるとした。その場合、老廃スクラップに含有される炭素鋼以外の素材に由来する Cu 量の割合 f_4 は、図 2 のように推計された。もし、雑品スクラップが国内で処理されていたと仮定すると、2005 年頃までは、国内で発生する老廃スクラップの Cu 含有率は減少していなかったと考えられた。1990 年代後半から 2005 年頃までの他素材に由来する Cu 量の割合 f_4 の減少は、雑品スクラップの輸出によって、発生する使用済み製品を構成する素材構成比において Cu 含有率が減少していたと考えられた。一方で、2005 年頃以降は、雑品スクラップが国内で処理されていたと仮定しても、他素材に由来する Cu 量の割合 f_4 が更に減少していた。考えられる要因は、発生した使用済み製品から鉄スクラップを回収する時に他素材の単体分離率が向上したことであり、ちょうど自動車リサイクル法の制定や施行時期と重なることから、使用済み自動車の処理における Cu の分離率が向上したことが考えられた。

4. まとめ

1980 年代からの 30 年程度で、炭素鋼のリサイクルに随伴する他素材由来の Cu 量の割合が大きく減少してきたことがわかった。その要因として、雑品スクラップが国外へ輸出されてきたことが考えられた。また、2005 年の自動車リサイクル法の制定により、使用済み自動車の処理における Cu の単体分離率が向上したことも要因の 1 つとして考えられた。

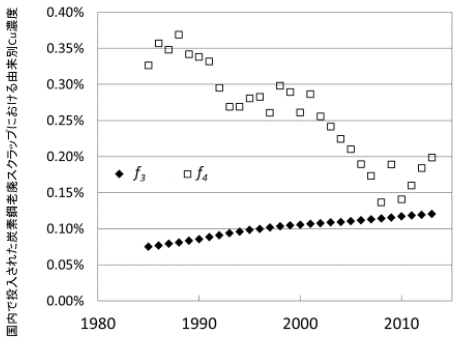


図 1. 炭素鋼老廃スクラップ中の由来別 Cu 濃度

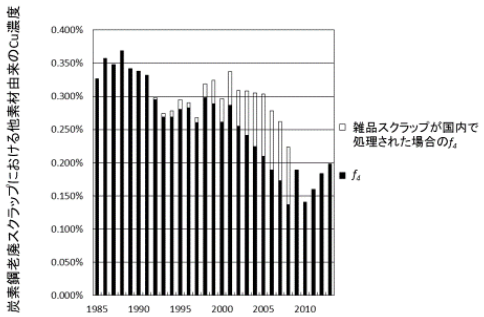


図2. 雑品スクラップが国内で処理された場合の炭素鋼老廃スクラップ中の他素材由来の Cu 濃度

参考文献

1) I.Daigo et al.: ISIJ int., **57**, (2017), pp. 388-393
2) I.Daigo et al.: Env. Sci. Tec, **49**, (2015), pp. 8691
3) 寺園ら.: 廃棄物資源循環学会論文誌, **22**, (2011), 127
4) (株)リーテム：トレーサビリティを確保した資源循環ネットワークの構築に関する調査報告書,2007

P2-083
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

シミュレーションに基づくインベントリデータの推算：バイオマス由来化成品製造の事例

Simulation-based estimation of process inventory data:
Cases in biomass-derived chemical production

○菊池康紀*[1)]、兼松祐一郎
Yasunori KIKUCHI、Yuichiro KANEMATSU
1) 東京大学
* kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

再生可能資源の大規模導入や地域資源の利活用、社会経済との親和性など、今後の技術・システムの開発においては考慮すべき観点が多様に存在するようになってきている。このような中、LCA が達成すべきライフサイクルの各種指標の定量化においては、インベントリデータが必須となっているが、新規な技術・システムの導入においては従来のデータベースをそのまま利用することはできず、何らかの手法により推算を行う必要がある。広くプロセス設計において利用されてきているプロセスシミュレーション手法は、各種評価手法に必要なデータを推算できるよう、その応用方法が検討されてきている [1)]。しかし、特に再生可能資源の利活用などにおいては、開発状況や設計段階、空間的な広がりや複数の主体による同時導入の必要性など、複雑問題化した段階の違いを考慮する必要があり、その体系的な整理が必要である。

本研究では、技術成熟度、プロセス設計段階、普及段階に着目したシミュレーション手法の整理を行い、的確なインベントリの推算に必要となるシミュレーションの要件と限界を明らかにすることを目的とする。具体事例におけるシミュレーションの事例と要件を取り上げ、実際に一部のシミュレーションを実施する。

2. 各種段階に基づくシミュレーション要件

（コンピュータ）シミュレーションは現実の仮設状況をコンピュータ上で実験することであり、現実の一部を取り扱いしやすい数式等に変換したモデルを用いることで、意思決定において必要となる情報の不足分を補うものである。図 1 にプロセスの設計・評価の段階と情報量の概念図を示す。現行のプロセス等、既に導入されている技術・システムの情報は詳細に入手できるが、代替技術については、情報が不足する。

2.1 技術成熟度とシミュレーション

技術開発の進度を技術成熟度として測ることができる [2)]。技術成熟度が上がると情報の確度が高くなってくるため、詳細なシミュレーションも可能となってくる。このとき、成熟度の上昇とともに開発の自由度は下がっていくため、シミュレーションの精度も高くなる必要がある。一方、成熟度が低い状態であれば、できる限り多くの代替案を検討するために、個別の課題の精度よりも種類を多く検討できることがシミュレーションの役割を果たすことになりうる。ただし、開発途上の技術をモデリングするためのデータの不足は解消し難く、多分に推定・仮定が必要となる。

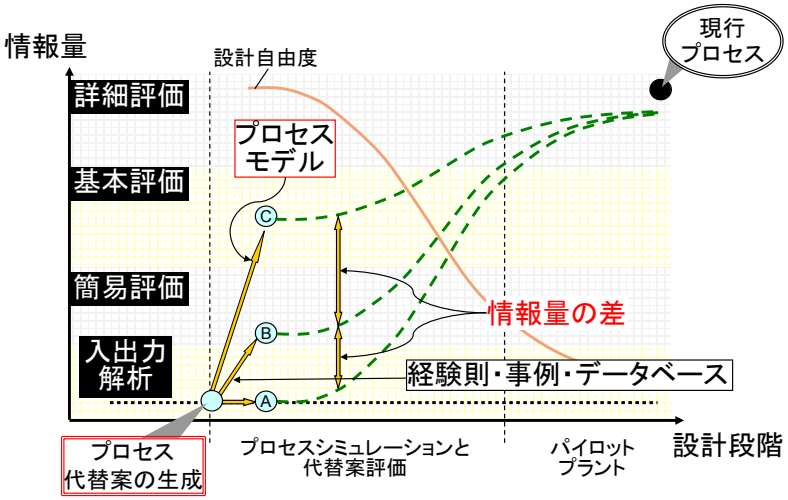


図 1　プロセスの設計・評価の段階と情報量

2.2 プロセス設計段階とシミュレーション

プロセス設計に関しては、特に化学プラントの設計において設計段階とシミュレーションの役割に関する議論が行われてきた [3)]。化学物質の合成経路の開発と探索から触媒や反応条件、分離条件の決定などに関して、ブロックフローダイアグラムやプロセスフローダイアグラムなど、各種図法が定義されているため、各段階におけるシミュレーションに求められる役割も明確化されており、Aspen Plus™

や Aspen HYSYS™、SuperPro Designer™といった商用のシミュレータが開発、普及している。化学プラントに限らず、プロセス設計においては、要素技術開発からプラントエンジニアリングまでの流れがこれまでに議論されてきており、シミュレーションの役割も明らかになっていることが多い。他方、シミュレーションそのものにも経験則が多数存在しており、目的や使い手によってその正確さが異なっている。特に、新規な合成経路に対しては実験室規模からのスケールアップが必要となり、各種実験を根拠としたシミュレーションモデルの構築が必要である。

3. シミュレーションケーススタディ

3.1 バイオマス由来汎用プラスチック製造

バイオマスから汎用プラスチックを製造するプロセスフローには複数の可能性がある [4]。同時に、バイオマス種それぞれにおいても技術が存在しており、どの地域でどのバイオマスを収集するかによって評価結果が異なる [5]。また化石資源と異なり、労働集約的な一次産業がサプライチェーンに含まれるようになり、様々な理由で補助金・交付金等が配布されることがあるため、社会経済的な影響を同時に分析できるようなシミュレーションを行う必要がある [5]。場合によっては補助を前提とした技術・システムの導入でも社会経済性を改善しうることなど、一企業の経済性に限らないバウンダリの設定が必要となる。

3.2 セルロースナノファイバーの製造

フィードストックに化石資源を用いない形で、軽量で強靭な素材を製造することを目的としているセルロースナノファイバーについては、大規模導入はまだ開始されていない。実験値や推算値を用いた LCA 事例はある [6]ものの、合成方法 [7]や解繊・混錬方法 [8]など、技術成熟度が必ずしも普及段階まで進展していないものであり、その導入可能性に関する評価が必要とされてきている。特に化学修飾によるエネルギー収支や材料特性・加工特性の変化などについては、原料調達から化学反応の動特性 [9,10]、スケールアップ等のシミュレーションが必要といえる。

4. 結言

シミュレーションの駆使により、多くの種類の技術・システムを分析可能となる。既存のシミュレータの組合せでよい場合と新たにシミュレータを開発しなければならない場合があるが、いずれにおいても、シミュレーションには一定の不確実性が含まれることは避けられない。シミュレーションがもつべき正確性は LCA の目的にもよるが、対象としている技術・システムの各種段階によっても決まりうるものといえる。一方、再生可能資源の用途については、現在様々な検討がなされている段階であり、他の用途との競合についても分析可能となる必要がある。例えば木質系のバイオマスまであればエネルギー利用も同時に検討されるべきであり [11]、地域の社会経済性との関係についても分析されるべきである [12]。新たな技術・システムの導入に向けシミュレーション手法の活用が重要となっている。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(若手研究(A)16H06126)における成果を含んでいる。東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は、(株)地球快適化インスティテュート、三井不動産(株)、信越化学工業(株)、オリックス(株)、積水ハウス（株)、東日本旅客鉄道（株）からの寄付で活動している。

参考文献

1) Kalakui, S., Malakui, P., Siemanond, K., Gani, R.: J. Clean. Prod., 71, 98-109 (2014)
2) 環境省、TRL 計算ツール、https://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/26_15/tool_manual.pdf
3) Sugiyama, H., Fischer, U., Hungerbühler, K., Hirao, M.: AIChE J., 54(4), 1037-1053 (2008)
4) Kikuchi, Y., Mayumi, K., Hirao, M.: Comput.-Aided Chem. Eng., 27, 1051-1056 (2010)
5) Kikuchi, Y., Oshita, Y., Mayumi, K., Hirao, M.: J. Clean. Prod., 167, 289-305 (2017)
6) Arvidsson, R., Nguyen, D., Svanström, M.: Environ. Sci. Technol., 49(11) 6881-6890 (2015)
7) 仙波健、伊藤彰浩、上坂貴宏、北川和男、中坪文明、矢野浩之、特許第 6091589（2017）
8) Rol, F., Karakashov, B., Nechyporchuk, O., Terrien, M., Meyer, V., Dufresne, A., Belgacem, M.N., Bras, J.: ACS Sustainable Chem. Eng., 5, 6524-6531 (2017)
9) Luo, P., Cao, C., Liang, Y., Ma, X., Xin, C., Jiao, Z., Cao, J., Zhang, J.: BioResour., 8(2), 2708–2718 (2013)
10) Luo, P., Xin, C., Ma, X., Liang, Y., Jiao, Z., Xu, S., Zhang, J.: BioResour., 8(4), 5635–5643 (2013)
11) Kanematsu, Y., Oosawa, K., Okubo, T., Kikuchi, Y.: Appl. Energ., 198, 160-172 (2017)
12) 菊池康紀、 尾下優子、 福島康裕 : PETROTECH、36(6)、461-467 (2016).

P2-084
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

日本における LNG 火力発電の普及シナリオ

Analyzing the Spread scenario of liquefied natural gas-fired power plant in Japan

○福嶋洋祐*[1)]、時任翔平[1)]
Yosuke Fukushima, Shohei Tokito
1) 九州大学
* mayosuke113@gmail.com

1. 研究背景および概要

2011 年に福島県の福島第一原子力発電所で発生した事故により、国内の原発は縮小傾向を余儀なくされた。それにより電力の安定供給が難しくなった。低炭素社会の構築が世界的な要請となっている中で、自然エネルギーが注目されているが、現代の自然エネルギー発電の技術では電力需要量に対応できない点がある。一方で火力発電はこれまで約 50 年間に亘って我が国の最大の電力供給源として貢献してきた。火力発電の優れている点は、高い信頼性に加えて、大容量化が可能で、しかも需要に応じた出力の変化も容易なことが挙げられる。しかし、化石燃料を利用するため CO2 の排出が避けられないことが大きな難点だ。また、火力発電は自然エネルギーの弱点である頻繁な出力変動を最も確実にバックアップできることから安定供給且つ二酸化炭素排出量の少ない燃料として Liquefied Natural Gas(LNG)が注目されている。

本研究ではランニングコストや老朽化した発電所の建て替えを考慮した LNG の普及シナリオを作成し、2020 年におけるシナリオごとの累積排出量を推計及び比較する。

2. 研究手法

2.1 研究対象

1)全国の一般電気事業（10 電力）と民間の電気事業の火力発電所を対象とする。また、火力発電のうち、規模に関係なく、石炭・石油・LNG を燃料とするのみを対象とする。また要素として、各燃料別の出力数とライフサイクル CO_2 排出量、発電所の建て替え費用、さらには電力事業における CO_2 の貨幣価値原単位を考慮し計算を行う。

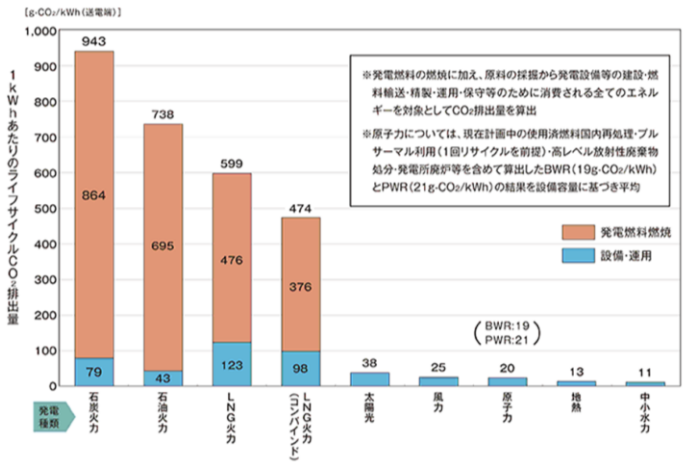
2.2 発電所数ならびに出力データ

経済産業省資源エネルギー庁に掲載の H29 年度の資料より、電気事業者の発電所数および出力を本研究の基本データとする。

2.3 各燃料別の CO_2 排出原単位

2)電気事業連合会による発表データを参考（図 1）

各燃料別のライフサイクル CO_2（図 1）



2.4 建て替え費用 3)

総合資源エネルギーより。
石炭火力発電所：25 万円/KW
石油火力発電所：20 万円/KW
LNG 火力発電所：12 万円/KW
廃棄費用=各建設費*5%

2.5 CO_2 の貨幣価値原単位

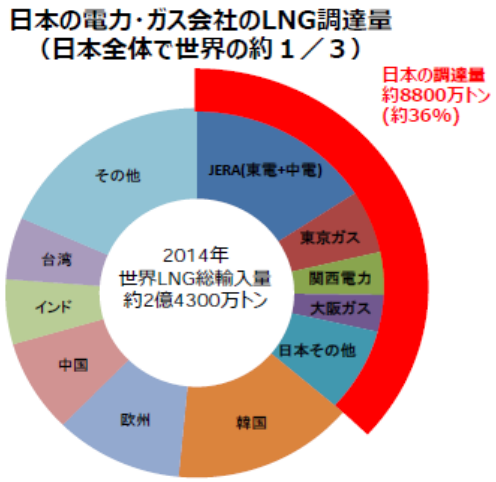
国立環境研究所により推定算出された、2020 年度における電力事業における CO_2 貨幣価値原単位を参考にする。4)
20 $ /t CO_2
＊為替レートは 2018 年 1 月時点における 113 円/ $ として計算する

3. LNG 市場の変化

過去 40 年間、世界で最も拡大したエネルギー源が天然ガス。特にアジアでは LNG（液化天然ガス:Liquefied Natural Gas）での輸入が大幅に拡大。
日本では、東京ガスと東京電力が 1969 年に輸入を開始したのが先駆けとなり、日本の電力・ガス会社が世界の LNG 市場の発展を牽引。
近年は日本（世界の 1/3 を占める最大輸入国）のみならず、中国や韓国等も LNG 輸入を開始。
また我が国の電力・ガス事業者は、自由化の進展に伴い、需要の想定が難しくなる上に、有利な燃料調達を

巡る競争が激化。欧州企業と同様、今後は我が国企業も市場指向を強めざるをえない。 5)

LNG 輸入の約 3 割を占める我が国企業の行動変化は、市場のあり様を変える潜在力があるといえる。（図 2）



（図 2）

4. 計算

2030 年度に運用 40 年を経過する石炭及び石油火力のうち、石炭火力 25 か所に匹敵する

13,564,706KW

石油火力 56 か所に匹敵する

15,444,886KW の合計 29,009,592KW 分を LNG 火力発電に建て替える。

これにより建て替えコストは

LNG 火力発電が

12 万円*29,009,592=348,115,104,000,0 円

既存の CO_2 排出量は

石炭火力が

0.86Kg-CO_2/KWh*13,564,706KW=11,665,647Kg-CO_2

石油火力が

0.7Kg-CO_2/KWh*15,444,886KW=10,811,420Kg-CO_2

の合計 22,477,067Kg-CO_2

新規の LNG 火力は

0.47Kg-CO_2/KWh*29,009,592KW=13,634,508Kg-CO_2

よって 1 時間に

8,842,559Kg-CO_2 の削減がされる。

これの貨幣価値は

8,842.6tCO_2*2,260 円=19,984,276 円

5. 結果と考察

政府発行の「電気事業における低炭素社会実行計画」の 2020 年度目標には火力発電所の新設等に当たり、プラント規模に応じて、経済的に利用可能な最良の技術（BAT）を活用すること等により、最大削減ポテンシャルとして約 700 万 t-CO2 の削減を見込むとされている。

本研究では、1 時間当たり約 8,842t-CO_2 を削減できる。CO_2 排出権取引の成立や、火力発電の運用年数の推定さらには発電ロスの削減、発電効率を算出出来れば十分に初期費用の回収の目処も立つと考える。

これからの展望は、発電にかかる費用を単一的な視点ではなく、事故リスクや損害賠償などの外部費用、電力消費者が電気に支払うコストなど多面的にコストを捉え、より正確にかつ経済的に実現可能性を探っていく。

また LNG の調達方法や価格変動なども考慮したシナリオ分析を行っていく。

6. 引用文献

1)経済産業省資源エネルギー庁統計調査 H29

2)電力事業連合会「原子力・エネルギー」図面表 2015

3)経済産業省資源エネルギー庁　発電の費用に関する評価報告書　2011

4)国立環境研究所　CO_2 の価格に関する文献　IEA 2014

5)経済産業省　「LNG 市場戦略」～流動性の高い LNG 市場と日本 LNG ハブの実現にむけて～　H28.5.2

P2-088

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

福島原発事故の経済被害推定

Estimation of economic damage by the Fukushima accident

○隠岐一輝*[1)]、加河茂美 [1)]

Kazuki Oki, Shigemi Kagawa

1)九州大学　経済学部

* 1EC15024P@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

未曽有の自然災害であった東日本大震災では直接的な人的、物的被害が多く出た。直接人々に与えた経済被害は甚大なものであり、6 年経った現在においてもいまだ完全に復興したとは言えない。

「地価」とは土地の価格であり、人々の資産である不動産の価値を決めるうえで地価は重要なものである。地価は様々な要因が相互に関わり合うことで形成されることが知られている。

本研究では、福島県の市町村を対象にして東日本大震災による原発事故が間接的にどれほど地価に影響を与えたのか重回帰分析を用いて明らかにし、震災の被害実態を定量的に分析することを目的とする。

2. 分析手法

本研究では、不動産市場を対象にしたヘドニック・アプローチを適用して、重回帰分析を行った。ヘドニック・アプローチとは、非市場財である環境質や社会資本を整備したときの便益計算手法の一つであり、土地を対象とした場合は、環境条件の違いがどのように地価の違いに反映されているかを観察し、それをもとに環境の価値計測を行う事が出来る（鹿垣、2015）。震災直前と直後のデータを用いることで東日本大震災に伴う福島原発事故の与えた経済被害額の分析が可能となる。具体的には、被説明変数として当該標準地の 1 平方メートル当たりの公示地価、説明変数として当該標準地から各市町村の役場までの直線距離（キロメートル）、当該標準地から各市町村の役場までの一般道のみを使用した時間（分）、震災前を 0、震災後を 1 とした震災ダミー、当該標準地から最寄り駅までの距離（メートル）、当該標準地の地積（平方メートル）、 当該標準地の建ぺい率（%）、 当該標準地の容積率（%）を用いて重回帰分析を行う。公示地価に与える原発事故以外の影響と震災ダミーの係数を用いて各市町村の標準地の公示地価に対する原発事故の間接的な経済的影響を分析する。

3. データ

本研究では、国土交通省地価公示データ（国土交通省、2017）より、被説明変数の当該標準地の 1 平方メートル当たりの地価（円）、当該標準地の地積（平方メートル）、当該標準地の建ぺい率（%）、当該標準地の容積率（%）を入手した。また、距離計算サイト（http://r1web.realwork.jp/index_ex.html）を用いて、説明変数の当該標準地の住所から各市町村の役場の住所までの直線距離（キロメートル）、当該標準地の住所から各市町村の役場の住所までの一般道のみを使用した時間（分）を求めた。用いた年度については、震災直前と直後の調査基準日であるものを用い、特段の記述がない限り、平成 23 年（2011 年）1 月 1 日のものを震災前、平成 24 年（2012 年）1 月 1 日のものを震災後のデータとして用いる。重回帰分析に用いたものの一覧は下記表 1 にまとめた。

表 1　推定に使用した変数

変数		内容
被説明変数	地価（円/㎡）	公示地価（住宅地）
説明変数	地積（㎡）	各地区一区画の面積
	容積率（%）	敷地面積に対する延べ床面積の割合の最大値
	建ぺい率（%）	敷地面積に対する建築面積の割合
	役場までの直線距離（km）	各標準地から各市町村の役場までの直線距離
	役場までの時間（一般道限定）（分）	各標準地から各市町村の役場までの一般道を車での移動時間
	駅までの距離（m）	各標準地から最寄り駅までの距離
	震災ダミー	震災前を0 震災後を1

4. 結果

本要旨では、福島市を対象とした結果について述べる。国土交通省地価公示データにおける福島市の標準地の定点数は 34 であった。震災前の 2011 年 1 月 1 日

時点において、福島市の 34 の標準地のうち最も公示地価が高い標準地は福島 2－福島県福島市野田町 2 丁目 189 番 3 の 70500（円/1 ㎡）であり、最も低い標準地は福島 27－福島県福島市松川町字後原 52 番 16 の 24600（円/1 ㎡）であった。震災前の 34 の標準地の平均公示価格は 45829（円/1 ㎡）であり、標準偏差は 9740 であった。

その一方で、震災後の 2012 年 1 月 1 日時点において、福島市の 34 の標準地のうち最も公示地価が高い標準地は福島 2－福島県福島市野田町 2 丁目 189 番 3 の 68500（円/1 ㎡）であり、最も低い標準地は福島 27－福島県福島市松川町字後原 52 番 16 の 22700（円/1 ㎡）であった。震災前の 34 の標準地の平均公示価格は 42968（円/1 ㎡）であり、標準偏差は 9383 であった。つまり、震災によって福島市全体の公示地価は平均で 2861（円/1 ㎡）程度減少したことが分かる。　ヘドニック・アプローチを使うことによって、震災以外の要因をコントロールすることによって、震災が公示地価に与えた影響を推計することが可能となる。福島市におけるヘドニック・アプローチに基づく重回帰分析の結果は以下の通りである。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 \quad (1)$$

ここで、

x_1：当該標準地から役場までの直線距離

x_2：当該標準地から役場までの時間（一般道限定）

x_3：当該標準地から最寄り駅までの距離

x_4：当該標準地の地積

x_5：容積率

x_6：建ぺい率

x_7：震災ダミー（震災前を 0、震災後を 1）

重回帰分析の結果、重決定 0.81、$\beta_0 = 96359$、$\beta_1 = -2808$、$\beta_2 = -566$、$\beta_3 = -2.8$、$\beta_4 = 21$、$\beta_5 = 191$、$\beta_6 = -1160$、$\beta_7 = -2862$ として推計された。それぞれのパラメータの t 値は、3.38、-5.32、-2.45、-5.26、2.41、1.46、-1.31、-2.62 であり、統計的に信頼できるものである。特に震災ダミーのパラメータを示す β_7 の値を見ると、福島市の住宅地の地価においては、原発事故は 1 平方メートルあたり 2862 円の経済被害を与えたと推定される。標準地の平均地積が 242 ㎡であったため、一戸当たり 70 万円の経済被害をもたらし、福島市の住戸総数にこの 1 戸あたりの被害額を乗じると、福島市の住宅市場全体において 920 億円程度の経済被害をもたらしたことが分かる。

表 2　重回帰分析の結果

	内容	係数	t値
β_0	切片	96359	3.38
β_1	役場までの直線距離（km）	-2808	-5.32
β_2	役場までの時間（一般道限定）（分）	-566	-2.45
β_3	駅までの距離（m）	-2.8	-5.26
β_4	地積（㎡）	21	2.41
β_5	容積率（%）	191	1.46
β_6	建ぺい率（%）	-1160	-1.31
β_7	震災ダミー	-2862	-2.62

東日本大震災による原発事故は立ち入り規制による直接的な経済被害だけでなく、原発から離れた福島市においても経済被害が甚大であったことが本研究において示された。

要旨においては福島市のみの結果を載せたが、学会当日までにはいわき市、郡山市など多くの市町村に対し同様の分析を行い県全体の経済被害を推定していく。

引用文献

鹿垣壮史, 2014 年度加河ゼミ卒業論文集, (2015), pp. 20-23.

国土交通省地価公示, 国土交通省, 入手先 <http://www.land.mlit.go.jp/landPrice/AriaServlet?MOD=0&TYP=2>, （参照 2017-12-1）

P2-093
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

東南アジアの観光動態が地域経済に与える影響分析

Regional Economic Impact of Tourism in South East Asia

○吉澤知晃*[1]、加河茂美 [1)]
Tomoaki Yoshizawa ,Sigemi Kagawa
1) 九州大学
* 1EC1515150N@s.kyushu-u.ac.jp

1. 研究背景

近年の東南アジア経済は、日ごとに目覚ましい成長を遂げていると言える。そしてその発展の一部を担うものの一つとして挙げられるのが、観光産業である。その中でも特に観光収入が多い国としては、タイ、マレーシア、シンガポール、インドネシアが挙がるが、その観光収入の対 GDP 比を見るとそれぞれ、11.3%、6.1%、5.7%、1.3%となっており、世界平均が 1.7%であることを考えれば、インドネシアを除いて、その経済への寄与の大きさが伺える。（大和総研、2017）また、外国人観光客数の増加割合を見ても、1990 年から 2015 年の 25 年間で、欧州や米国がそれぞれ 8%、6%の低下となっている一方で、アジア・太平洋地域は 11%の増加となっており、その観光産業への期待値は計り知れない（大和総研、2017)。このような東南アジアの観光産業に対する考察を進めていく第一歩として、今回は、日本、韓国、中国の東アジア 3 カ国と東ティモールを除く東南アジア 10 カ国のアジア計 13 カ国における出入国動態を分析し、東南アジアにおける人的移動ネットワークについて考察していく。

2. 方法

まず、上述した 13 カ国それぞれの 2014 年度の外国人入国者数を集計した（図 1 を参照)。図 1 の縦軸の合計値は、それぞれ、国別の出国者数の合計値（＝出次数）を表し、横軸の合計値は、それぞれ、国別の入国者数の合計値（＝入次数）を示し、これにより各国のアウトバウンドとインバウンドそれぞれの数値が明らかになる。そして、それによって求められた出次数と入次数の値を、それぞれ「東南アジア計 10 カ国」と「東南アジア＋日中韓計 13 カ国」の 2 つの場合に分けてまとめることで、東南アジア諸国と日本・中国・韓国の東アジア三カ国との関連性を考察できる。

さらに、出次数・入次数の二つの値から、人的移動量を求めることによって、東南アジア内そして日本、韓国、中国の東アジア 3 カ国を加えた域内での人的移動ネットワークの動態についてより深い分析を行うことができる。

3. 使用データ

世界の観光客到着数のデータ及び東南アジア 10 カ国と日本、韓国、中国の東アジア 3 カ国の計 13 カ国それぞれへの、国籍別または出国元別の入国者数のデータは全て、The World Tourism Organization (UNWTO)；https://www.e-unwto.org/　の提供しているデータを引用している。なお、東ティモールはその数値の占める相対的な値が微々たるものであったため割愛した。

4. 結果

集計した 2014 年データから、東南アジア 10 カ国の人的移動量の合計は約 4600 万人となり、さらに日本・中国・韓国を含めると約 9900 万人となることが分かる。これは、全世界の国際観光客到着数が 11 億 8900 万人（2014、UNWTO）であることを考えると、実に全体のおよそ 8.3%にあたる。このことから、東南アジア・日本・中国・韓国の 13 カ国間における人的移動量は、世界的に見ても、少なからず一定の影響力があると言える。ここでは、人的移動量を（i 国から j 国への出国者数+j 国から i 国への入国者数）÷2 と定義した。

先に示したように、各国の出次数と入次数のデータの集計を、それぞれ「東南アジア計 10 カ国」と「東南アジア＋日中韓計 13 カ国」の 2 つの場合に分けて行った。図 2 と 3 はその結果を示している。

図 2 と 3 から顕著にわかることは、マレーシアの圧倒的な入次数の多さ、シンガポールの圧倒的な出次数の多さである。この主な要因は、二国間内での人々の移動量にあると言える。データの内訳を見てみると、2014 年時に、シンガポールからマレーシアへと渡った人数は約 1400 万人。これはシンガポールにおける出次数のおよそ 75%を占め、マレーシアにおける入次数のおよそ 60%を占めている。しかし、逆にマレーシアからシンガポールに渡った人の数はわずか 120 万人で、これはマレーシアにおける出次数のわずか 16%、シンガポールにおける出次数のわずか 13%でしかない。よって、この東南アジア最大とも言える、マ

レーシア - シンガポール間の人的移動ネットワークは、シンガポール⇒マレーシアの向きに片寄っていると言える。また、この二国間内でこのような巨大なネットワークができあがる主な要因としては、この二国の地理的な近さ、そして電車やバスで簡単に越境ができることなどが挙げられる。

次に、その入次数の値と出次数の値を足して 2 で割った値、すなわち人的移動量を、その多い順に並べた（図 4 参照）。ここで、東南アジア各国の順位に注目すると、日中韓 3 カ国をそのネットワークに加算してもしなくても、東南アジア内における各国の人的移動量の順位は、それほど大きく変動しないということが分かる。つまり、東南アジア域内での人的移動量増加の成功と、域外での人的移動量増加の成功には相関関係があると言える。

また図 3 は、東南アジア各国の人的移動量が、日本・韓国・中国の 3 カ国の値の加算前から加算後の間に、どれほど増加したか、という上昇率の値も示している。図 3 を見ると、ベトナム・フィリピンの上昇率がそれぞれ 100%を超えていることが分かる。つまり、この 2 カ国と日中韓 3 カ国の人的移動ネットワークの大きさは、東南アジア域内で相対的に見ると、そこまで大きなものではないが、この 2 カ国それぞれにとっての日中韓 3 カ国との関連性は、絶対的なものであり、これらの国々同士の結びつきは、非常に強いものだと言える。

これらの結果を通して、東南アジア諸国と日本・中国・韓国の計 13 カ国における人的移動ネットワークが、それぞれどのような場所で、どのように形成されており、またそれぞれが、どういった意味合いを持っているのかまで考察することができた。これからは、この結果を用いることで、その個々のネットワークの更なる分析を進めていきたいと思う。

2014年	ブルネイ	カンボジア	インドネシア	ラオス	マレーシア	ミャンマー	フィリピン	シンガポール	タイ	ベトナム	中国	日本	韓国	合計
ブルネイ		990	23,667	564	1,213,110		9,677	77,656	13,927		9,163	2,202	3,214	1354170
カンボジア	331			15,342	73,700		3,276	49,776	555,852	404,159	39,285	7,454	24,179	1173354
インドネシア	15,381	35,655		4,812	2,827,533	16,345	46,757	3,025,178	495,662	68,628	566,900	158,739	208,329	7469919
ラオス	196	460,191			26,627		1,056	7,269	1,063,736	136,636	21,697	3,530	6,186	1727124
マレーシア	54,969	144,437	1,485,716	24,312		46,534	139,245	1,233,035	2,603,671	332,994	1,129,600	249,521	244,520	7888554
ミャンマー	544	6,036		2,157	95,352		6,633	112,764	207,749		132,787	13,774	59,797	637593
フィリピン	18,572	93,475	253,248	15,179	618,538	16,709		676,481	296,339	103,403	967,900	184,204	434,951	3678999
シンガポール	16,476	65,855	1,739,895	9,621	13,992,967	47,692	179,099		960,464	202,436	971,400	227,962	201,105	18554972
タイ	5,533	279,457	147,771	2,043,761	1,299,298	1,434,416	45,943	506,509		246,874	613,100	657,570	466,783	7747015
ベトナム	1,339	905,801	41,475	1,108,332	285,716	28,495	29,800	424,408	573,184		1,709,437	124,266	141,504	5373957
中国	26,473	560,335	868,539	422,440	1,612,523	809,399	394,951	1,722,380	4,631,981	1,947,236		2,409,158	6,126,865	21532280
日本	4,671	215,788	525,499	44,877	553,106	83,434	463,744	824,741	1,254,858	647,956	2,717,600		2,280,434	9616708
韓国	2,026	424,424	370,197	96,085	385,769	58,472	1,175,472	536,975	1,109,429	847,958	4,181,700	2,755,313		11943820
合計	146,711	3,192,444	5,456,007	3,787,482	22,924,239	2,549,604	2,495,653	9,197,172	13,768,852	4,938,280	13,060,569	6,793,693	10,197,867	

図 1. 対象 13 カ国間の 2014 年外国人出入国データ（単位：人）

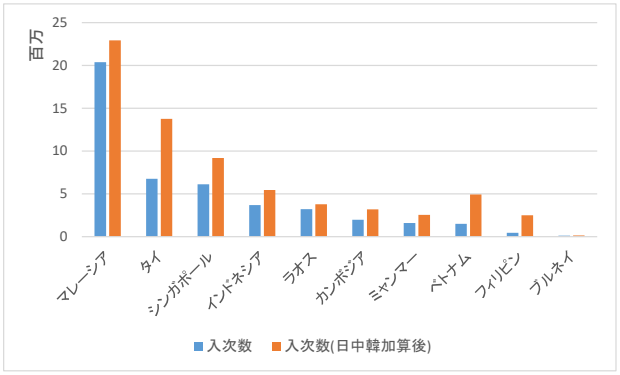


図 2. 外国人出入国データに関する入次数

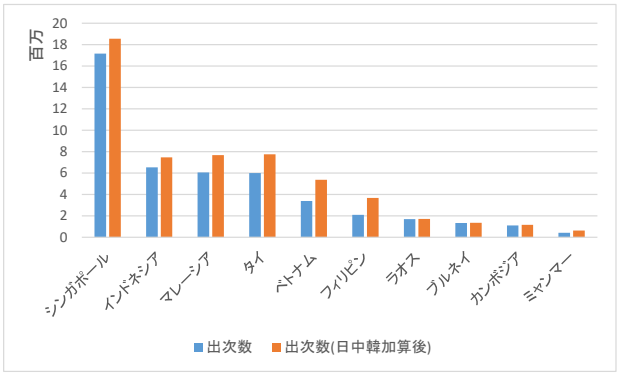


図 3. 外国人出入国データに関する出次数

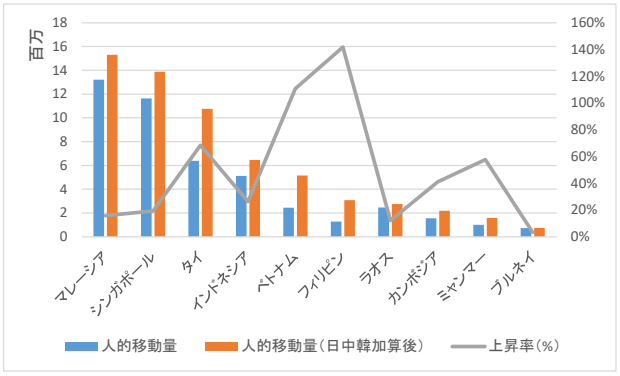


図 4. 東南アジア諸国間の国別人的移動量と日中韓の出入国データ加算後のその国別人的移動量の上昇率

5. 参考文献

1) The World Tourism Organization (UNWTO)；https://www.e-unwto.org/

2) **UNWTO** Tourism Highlights 2017 Edition 日本語版

3) （大和総研、佐藤清一郎、2017、アセアンの観光事情、http://www.dir.co.jp/research/report/overseas/asean/20170515_011973.pdf）

P2-094
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

有機薄膜太陽電池を導入したトマト施設栽培の LCA 評価

Life cycle assessment of greenhouse tomato production with electricity generation by organic photovolatics

○レオン愛*[1)]、石原慶一 [1)]
Ai Leon, Keiichi Ishihara
1) 京都大学
*leon.ai.3s@kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

営農型太陽光発電では、太陽電池モジュールは、作物を栽培している農地の上に支柱を立てて設置、または施設園芸ハウスの被覆資材の外側または内側に設置される。営農を継続しながら太陽光発電が行われるため、地球温暖化対策やエネルギー問題の解決策として注目されている。一方で、遮光により一部の作物によっては減収が報告されている [1)]。

そのため、ライフサイクルアセスメント手法を用いて営農型太陽光発電で生産される作物と電力の環境影響を評価するためには、遮光の影響を考慮しながら環境負荷を配分する方法が必要とされる。配分の方法については、ISO14044（2006）[2)] により、システム境界拡張等の配分を回避する方法、質量等の物理的基準に基づく方法、経済価値などその他の基準に基づく方法が示されてきた。しかし、これら従来の方法では、遮光による影響を考慮することができない。

そこで、本研究では、遮光を考慮する新しい配分方法を提案する。続いて、トマト施設園芸ハウスに発電用光透過型有機薄膜太陽電池（OPV）を導入する営農型太陽光発電について事例分析を行い、2 つの従来の方法（システム境界拡張と経済価値に基づく配分）と新しい配分方法（遮光に基づく配分）を取り上げ、配分方法の違いによるトマト栽培と発電側の LC-CO_2 排出量への影響を検討した。

2. 方法

2.1 トマト栽培による LC-CO_2 排出量推定

トマト栽培にかかわる資材投入量については「環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発」[3)] を用いた。システム境界は農業資材・機械の製造及び育苗から収穫までの栽培管理を設定した。機能単位は 1 kg のトマト生産または 1 kWh の発電とした。インベントリ分析は MiLCA の LCI データベース ver1.1 を用いた。

2.2 OPV による発電量

OPV の設置は京都大学附属農場（京都府木津川市）と同じ仕様を仮定した（屋根面東西設置、屋根勾配 26.6°、床面積 162 ㎡：OPV　屋根面 50 枚、東西側面 24 枚、南北妻面 12 枚：OPV 光電変換効率 2.7 %）。発電量は、近接する観測地点（京田辺）の日射量 [4)]、OPV 公称最大出力（18 W）及び温度補正係数等を用いて計算した結果、年間発電量は 1187 kWh（162 ㎡あたり）となった。

2.3　OPV 製造に伴う LC-CO_2 排出量

OPV の製造は Roll-to-Roll とし、製造に伴う CO_2 排出量は文献値 [5)] を用いた。耐用年数は、OPV とインバータともに 10 年、OPV 製造 1 枚あたり LC-CO_2 排出量は 15.3 kg、インバータ製造 1 台あたり 10.8 kg とした。

2.4　トマト栽培営農型太陽光発電からの LC-CO_2 排出量

1 kg トマト生産あたりの LC-CO_2 排出量（トマト生産、OPV とインバータ製造を含む）は 1.17 kg となった。

2.5　トマト栽培営農型太陽光発電からの LC-CO_2 排出量

システム境界の拡張では、副製品として生産される電力は石油火力発電（排出係数：0.66 kg/kWh）と代替できるとした。主製品として生産されるトマトの LC-CO_2 排出量は、全排出量から石油火力発電の排出量を差し引き求めた。配分前後の全体の環境負荷を同じにするため [6)]、副製品の LC－CO_2 排出量は石油火力発電による排出量と等しいとした。

経済価値に基づく配分方法では、2006 から 2017 年までの 1 kg あたりのトマトの平均卸値価格 [7)]（315 円）と売電価格（トマト 1 kg 生産に伴う発電量に 31 円/kWh を乗じ算出：固定買取価格制度 [8)]、2016 年）を用い配分比率を求めた。トマト栽培と発電の配分比率は各々 0.97、0.03 であった。

OPV による遮光に基づく配分方法では、OPV による被覆率（17 %）と OPV の光透過率（18 %）を考慮し配分比率を求めた。トマト栽培と発電の配分比率は各々 0.86、0.14 であった。

3. 結果

表 1 に各配分方法に基づく LC-CO_2 排出量を示す。トマト栽培の LC-CO_2 排出量は、経済価値に基づく配分方法を用いた場合が最も高く、排出量が最も低い場合（システム境界の拡張）と比べ約 1.2 倍高かった。一方で発電側の LC-CO_2 排出量は、システム境界の拡張で最も高かった。

表 1　配分方法による LC-CO_2 排出量の違い

配分方法	トマト栽培†	発電‡
システム境界拡張	0.93	0.65 / 0.24
経済価値に基づく配分	1.13	0.11 / 0.04
遮光に基づく配分	1.01	0.43 / 0.16

†1 kg トマト生産に伴う LC-CO_2 排出量（kg-eq CO_2）。
‡1 kWh 発電に伴う LC-CO_2 排出量（kg-eq CO_2（**左**））。1 kg **トマト生産に伴う発電量**（0.37 kWh）**で、**1 kg **トマト生産に伴う** LC-CO_2 **排出量を除し算出。**/ 1 kg トマト生産に伴う LC-CO_2 排出量（kg-eq CO_2 （**右**））。

4. まとめ

本研究では、遮光に基づいた配分方法を新たに提案し、従来の配分方法（システム境界の拡張と経済価値に基づく配分）との比較を行うため、OPV を導入する営農型太陽光発電について事例分析を行った。ISO14044（2006）により、配分の優先順位として、システム境界の拡張などの配分を回避する方法、物理的基準に基づく配分、その他の基準に基づく配分とされている。しかし、システム境界の拡張では、どのシステムを代替として採用するかにより結果が大きく異なる[9]。また、副製品には代替システムにおける排出量が割り当てられるため副製品にとってはメリットのない割り付けとなる[6]。例えば、本研究では、システム境界を拡張した場合、発電側の LC-CO_2 排出量は、0.65 kg eq-CO_2/kWh（代替システム：石油火力発電）となる。経済価値に基づく配分では、固定買取価格制度の買取価格は年々下がっている。そのため、発電量が増加しない限りは、営農型太陽光発電の発電側の配分比率がさらに低くなる。遮光に基づく配分の方法は、上述の 2 つの方法とは異なり、太陽電池モジュールの被覆率や太陽電池の光透過率を反映させながら配分比率を求めることができる点にメリットがある。しかし、遮光により影響を受けにくい作物（例：陰性植物）や透明・または半透明太陽電池については本発表で提案した方法をそのまま用いることができない。これらについては、今後、配分方法を検討していく必要がある。

5. 参考文献

1）本間優,土肥哲哉,吉田好邦：エネルギー資源学会論文誌, 37(6), (2016), pp.23-31
2）ISO 14044: Geneva, Switzerland, (2006).
3）農業環境技術研究所（現　農業・食品産業技術総合研究機構），“環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発”，茨城, (2003)
4）(独) 新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO)：“日射量データベース” http://app0.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html, (20171226)
5）Espinosa N., Garcia-Valverde R., Urbina A., Krebs F.: Sol. Energ. Mat. Sol. C. 95, (2011), pp.1293-1302
6）Blonk H., Kool A., Luske B., Ponsioen T., Scholten J.: Blonk Milieu Advies Bv, The Netherlands, (2010)
7）農林省農林経済局統計調査部，“青果物卸売市場調査”，農林統計協会，東京, (2017)
8）経済産業省　資源エネルギー庁：“再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック” http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2017_fit.pdf, (20171226)
9) Ekvall T., Weidema B.O.P.: Int. J. LCA, 9, (2004), pp. 161-171

【謝辞】本発表は、環境省「平成 29 年度 CO_2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」にて実施し得られた成果であり、関係者各位に感謝いたします。

P2-095
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

酪農生産システムにおける自給粗飼料生産が経営と CO_2 排出量にもたらす影響 - 北海道浜中町の事例 -

Evaluation of Milk Production System with Forage Production from Break-Even Point and CO_2 Emission at Hamanaka Town

○松島旭 [1)]、菱沼竜男* [1)]
Asahi Matsuhshima , Tatsuo Hishinuma
1) 宇都宮大学
* thishinuma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

現在、我が国の畜産経営において、飼料費は経営コストのうち 40%から 70%と大きな割合を占めている。特に、飼料穀物は海外からの輸入に依存しており、海外穀物市場の相場や為替相場が飼料費に直接的な影響を及ぼしている。そのため、飼料費は畜産経営を不安定にするものとなっている。

これに対して、飼料費の低コスト化を目的とした採草や放牧などの粗飼料の自給が推進されている。平成 27 年度における輸入乾牧草は 112 円/TDNkg であるのに対し、自給飼料の生産コストは 61～78 円/TDNkg[1)]と安価であり、その有利性が示されている。さらに、自給飼料は国際相場や乾草価格の変動を受けないため、その利用は経営の安定化・強化の効果を多数もたらしている [2)]。また、菱沼ら [3)]は、包絡分析法を用いて酪農生産システムの総合的な評価を行い、環境面における自給粗飼料の有利性を明らかにした。

しかし、自給飼料生産の資材や飼料価格の変動に対する効果の程度は判明していない。そこで本研究では、酪農生産システムにおける自給粗飼料生産が、経営と環境の両面におよぼす影響について資材価格の変動を含めて評価することを目的とした。

2. 方法

2.1 調査対象とデータ収集

調査対象は、北海道釧路支庁 JA 浜中町に所属する自給粗飼料生産を行っている酪農生産システム 230 戸の中から、分析に供するデータを得ることのできた 197 戸とした。

浜中町は北海道東部太平洋沿岸に位置し、夏期は日照時間が短く、冬期には土壌凍結が発生する。自給飼料としてトウモロコシの栽培は環境面から困難であり、調査対象の自給粗飼料生産システムにおいて、牧草は越冬性の優れたチモシーとした。

浜中町の酪農経営および粗飼料生産に関わるデータは、酪農学園大学より提供された酪農家のデータおよびクミカンデータにより、個別酪農家の飼養頭数、草地面積や資材投入量、資材投入費用などを収集した。個別酪農家の資材投入量は、町全体の資材投入量および資材投入費用から単価を算出し、資材単価と個別酪農家の資材投入費用から推計した。

環境負荷物質は CO_2 とした。CO_2 は、肥料・燃料・購入飼料の製造・利用に伴う排出量を考慮した。排出係数には、LCA システム MiLCAver.1.1（産業環境管理協会）より、LCI データベース IDEAver.1.1（産業技術総合研究所、産業環境管理協会）の値を利用した。

2.2 分析の枠組み

分析では、草地型酪農を行う 197 戸の酪農家から、代表的（平均的）な経営モデル（以下、ベースモデル）を抽出する。そのベースモデルを用いて感度分析を行い、各変数の価格変動による損益分岐点比率への影響を分析する。また、抽出したベースモデルに対して異なる経営環境を想定したシナリオ分析を行う。

2.3 平均的な経営モデルの抽出

個別酪農家の経営データに損益分岐点分析を実施し、各酪農家の損益分岐点比率を算出した。経営費用のうち売上高に応じて比例的に変動する費用を変動費、売上高に関わらず発生する費用を固定費と分類して分析を行った。損益分岐点比率の算出方法については、以下に算定式を示す。

限界利益[円]＝売上高−変動費…(1)
限界利益率[%]＝限界利益÷売上高…(2)
損益分岐点[円]＝固定費÷限界利益率…(3)
損益分岐点比率[%]＝損益分岐点÷売上高(4)

2.4 感度分析

ベースモデルを用いて、自給粗飼料生産に用いる軽油と化学肥料および単味飼料と配合飼料の 4 項目を変数として感度分析を行った。変数は、それぞれ上下 20%の幅で変動させ、その際の損益分岐点比率の変動を分析した。

2.5 シナリオの作成

シナリオ分析では、ベースモデルに対して、所有する草地面積、粗飼料の収量、資材価格、購入飼料価格、乳価についてシナリオを作成し、損益分岐点比率およ

び CO_2 排出量を分析した。分析では、生産乳量は固定し、必要な飼料量は TDN 量で決定するとした。草地面積と化学肥料・燃料の消費量の関係は比例すると仮定して分析を行った。

3. 結果と考察

3.1 平均的な経営モデルの抽出

各農家の草地面積あたり飼養頭数と、損益分岐点比率の関係をみた（図 1）。草地面積あたり飼養頭数は最小で 0.5 頭/ha、最大で 2.8 頭/ha と酪農家毎に大きく差がみられた。損益分岐点比率においても酪農家毎に大きく差があり、最小で 16%、最大で 99%となった。草地面積あたり飼養頭数と損益分岐点比率に一定の関係は見られなかった。

また、両軸の平均値に近い酪農家である No.51 をベースモデルとして抽出した。

3.2 感度分析

ベースモデルを用いた感度分析の結果から、損益分岐点比率は配合飼料価格による影響が最も大きいことがわかった（図 2）。ベースモデルにおいても自給粗飼料の生産は行われているが、経営費用のうち配合飼料の割合は大きく、その単価の影響は軽油、化学肥料、単味飼料､配合飼料のうち最も多きな変動がみられた。感度分析の結果から、配合飼料の購入を抑えることが経営にとって優位に働くことが確認できた。

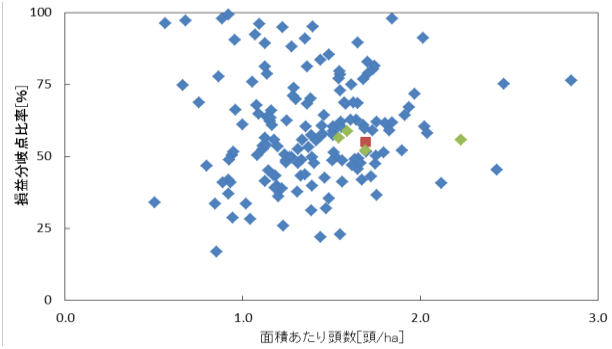


図 1　損益分岐点比率と草地面積あたり飼養頭数の関係

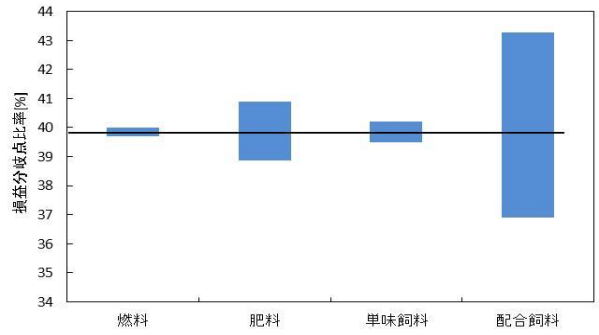


図 2 感度分析結果（損益分岐点比率）

3.3 シナリオ分析

シナリオ分析では、ベースモデルよりも草地面積が小さく配合飼料への依存度が高いシナリオと、草地面積が大きいシナリオを設定した。投入資材や飼料、生乳の価格はベースモデルの値を用い、草地面積は 197 戸の経営データから飼養頭数あたり草地面積の最小値と最高値を用いてベースモデルの飼養頭数から計算した。これらとベースモデルを含めた 3 つのシナリオにおける損益分岐点と CO_2 排出量の推計値を表 1 に示した。

表 1 草地面積の大きさと損益分岐点比率・CO_2 排出量の関係

草地面積	[ha]	損益分岐点比率[%]	CO_2排出量[kg]
小さい	20.4	85.2	143,731
ベース	42	39.8	98,450
大きい	115.1	33.5	131,419

草地面積が小さいシナリオでは、草地面積はベースモデルの草地面積に比べて約 1/2 であるが、それに対して損益分岐点比率は 2 倍以上となっていた。自給粗飼料生産のための投入資材の費用の減り幅に対して、購入飼料にかかる金額の増え幅が大きいことが示された。CO_2 排出量はベースモデルの約 1.5 倍であり、購入飼料への依存度が増すほど、CO_2 排出量が増加するという結果であった。

また、草地面積が大きいシナリオでは、飼養頭数に対して必要な TDN 量よりも約 1.8 倍の TDN 量となる粗飼料を生産していた。必要な TDN 量を自給飼料のみで満たしているが、過剰な生産に伴う軽油と化学肥料の消費により、CO_2 排出量はベースモデルに比べて増加した。

4. おわりに

本研究では、自給飼料生産を行うことが経営と環境の両面に及ぼす影響について評価を行った。感度分析では、生乳の生産コストを大きく占める飼料費が、損益分岐点比率に最も影響を及ぼすことが確認できた。シナリオ分析においては、適切な面積での自給飼料生産は経営や環境の両面において有利であることを定量的に示すことができた。

5. 参考文献

1) 農林水産省：”飼料をめぐる情勢” <http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-178.pdf>(参照 2017-10-18)

2) 農林水産省：”放牧をめぐる情勢”<https://www.naro.affrc.go.jp/nilgs/kenkyukai/files/houboku2015_koen03.pdf>(参照 2017-11-21)

3) 菱沼竜男：”第 13 回日本 LCA 学会”，東京都，(2018)

4) 中央畜産会：”日本飼養標準･乳牛”，中央畜産会，東京都(1999)

P2-096

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

食肉処理プロセスにおける温室効果ガス排出量の推計

Estimation of greenhouse gas emissions at slaughter process

○永井詩織 [1)]、菱沼竜男*[1)]

Shiori Nagai, Tatsuo Hishinuma

1)宇都宮大学

*thishinuma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

我が国における、食肉消費量は年々増加しており、平成 27 年には 1 人 1 日当たり 127.1 g 消費している。これは、平成 2 年の 108.7g の約 1.2 倍になっており、それに伴って食肉の生産量も増加傾向にある [1)]。一方、温室効果ガス（GHG）排出量は 13 億 2,470 万 t-CO_2（平成 27 年度）となり、基準年（平成 2 年度）の 12 億 7,360 万 t-CO_2 と比べて 4.0%増加している。そのうち、農業の GHG 排出量は 3,370 万 t-CO_2 であり [2)]、日本の総 GHG 排出量の 2.5%を占める。全体に占める割合は少ないが、環境負荷を削減していかなければならない。

そこで、生産システムのプロセスごとにどのくらいの環境負荷が出ているのか明らかにする必要がある。これに有効であると考えられる手法が、製品やサービスのライフサイクル全体、またはその特定段階における環境負荷を定量的に評価する、LCA 手法である。この LCA を用いた食肉の生産に関する研究事例として、菱沼ら [3)] は豚肉生産システムの中の糞尿処理システムを取り上げ、糞尿処理施設やシステムなど糞尿処理に伴う環境負荷の定量化を行い、環境影響評価を行っている。また、Hishinuma et al.[4)] は食肉の生産・供給システムの中の屠畜と食肉加工プロセスを取り上げて、食肉処理に伴う GHG 排出量を推計するとともにエネルギー資材消費量の変動性の感度分析を行っている。しかし、調査対象の食肉処理施設が千葉県の 2 件のみの分析となっていたため、全国の様々な規模や業態の処理施設における GHG 排出量の違いについて分析を行う必要があるという課題を残している。

本研究では豚肉生産システムの中から、食肉処理プロセス（屠畜・食肉処理）を取り上げ、LCA 手法を用いて GHG 排出量の推計を行い、全国の処理施設の規模や業態の違いで GHG 排出量に差が生じるのか検討を行う。また、月別のエネルギー資材消費量から月別の GHG 排出量の変動の分析を行う。

2. 研究方法

2.1 調査対象と調査範囲

調査対象は、食肉関連の企業としそれぞれ屠畜+内臓処理を業態Ａ、屠畜（内臓処理を含む）+部分肉処理を業態Ｂ、屠畜+部分肉処理+加工処理を業態Ｃとして業態区分を行った。また、屠畜能力が日量 1000 頭以上を大規模、600 頭以上 1000 頭未満を中規模、600 頭未満を小規模として規模区分を行い検討した（表 1）。

調査範囲は、肥育豚が食肉処理場に搬入されて処理されるまでとして、業態Ａは、屠畜、内臓処理までとし、業態Ｂは屠畜、内臓処理と部分肉処理まで、業態Ｃは屠畜、内臓処理、部分肉処理と加工処理までとした（図１）。

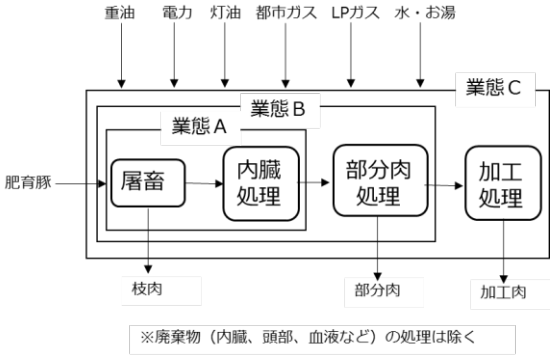


図１　システム境界

2.2 データ収集

データの収集は、食肉関連の企業への聞き取り調査と関連データの提供を依頼し、収集した。また、文献調査 [5)]、関連資料と企業の Web サイトの調査によって、日本各地にある 36 件の食肉関連の企業における処理場の規模や業態、エネルギー消費量についてデータを得た。家畜の屠畜頭数は、牛と豚の搬入頭数を調査項目とした。

表１　食肉処理場の業態・規模区分（単位：件）

	大規模	中規模	小規模	合計
業態Ａ	2	2		4
業態Ｂ	12	9	2	23
業態Ｃ	7	2		9
合計	21	13	2	36

エネルギー消費量は、電力、重油、LP ガス、都市ガスが合算されたエネルギー総消費量のデータとエネルギー資材別の割合が業態ごとに得られたので、エネルギー資材別で物量に換算した。これらの食肉処理施設の運用で消費される電力、重油、灯油、LP ガス、都市ガス、ガソリンなどの物量を調査項目とし平成 26 年度のデータを得た。また、１社の企業については、平成

26、27 年度の月別実績値も得ることができた。

2.3 環境負荷物質と温室効果ガス排出量

評価対象とした環境負荷物質は、各種エネルギー資材に由来し排出される CO_2、CH_4、N_2O を対象とした。また、電力や燃料などの投入資材の生産、消費に伴う GHG 排出量の排出係数には、LCA システム MiLCAver.1.1（産業環境管理協会）より、LCI データベース IDEAver.1.1（産業技術総合研究所、産業環境管理協会）の値を利用した。推計した環境負荷物質は地球温暖化係数（CO_2：1、CH_4：25、N_2O：298）[6] を用いて評価を行った。評価基準は、豚換算（牛 1 頭を豚 4 頭に換算）1 頭当たりとした。

3. 結果・考察

3.1 業態別における温室効果ガス排出量

業態別での豚換算 1 頭当たりの GHG 排出量を推計し、最も件数の多かった業態 B についてまとめた（図２）。GHG 総排出量の範囲が 16.1－51.9kg-CO_2e/頭であり、平均値が 26.9kg-CO_2e/頭であった。業態 A と C の平均値はそれぞれ 24.1、26.8 kg-CO_2e/頭であり、平均値には大きな差がなかった。そのため、処理工程に部分肉処理や加工処理が加わっても GHG 排出量の差はほとんどないことがわかった。

また、肥育豚 1 頭 110kg としてその 7 割が精肉 [5] と仮定して、精肉 1kg 当たりで GHG 排出量を推計した。その結果、業態 B において範囲は 0.21～0.67kg-CO_2e/kg(精肉)であり、平均値は 0.35kg-CO_2e/kg(精肉)となった。千葉県の食肉センターを対象とした事例 [4] では、範囲は 0.098～0.31kg-CO_2e/kg(精肉)であり、平均値は 0.16kg-CO_2e/kg(精肉)と推計していたため、約 2 倍大きい値となった。GHG 排出量の内訳を比較すると、電力と重油による影響が大きい傾向は一致していた。

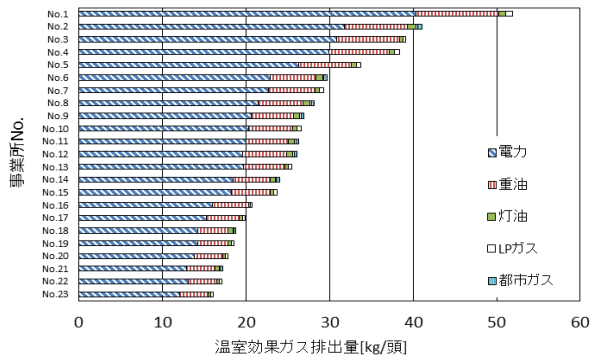


図２　業態Ｂの温室効果ガス排出量の推計値

3.2 温室効果ガス排出量の月別変動

１件の食肉関連の企業について、月別のエネルギー資材消費量の変動を考慮して豚肉 1 頭当たりの GHG 排出量を推計した（図３）。月別での GHG 排出量は、平成 26 年度において範囲が 14.2－20.1kg-CO_2e/頭であり、平均値が 16.7 kg-CO_2e/頭であった。また、平成 27 年度においては、範囲が 14.1－17.9 kg-CO_2e/頭であり、平均値が 16.1 kg-CO_2e/頭であった。この 2 年間の月別の変動率をみると、7.6－9.6%でありほとんど変化はなかった。エネルギー資材別の GHG 排出量の割合をみると、電力、重油、ガソリンの順で排出量が多く、環境負荷が大きいことがわかった。また、季節的な変動をみると、夏場の GHG 排出量が多く、冬場の排出量が少なくなっていることがわかった。これは、処理頭数が夏場は少なく、冬場が多くなっている影響であると考えられる。

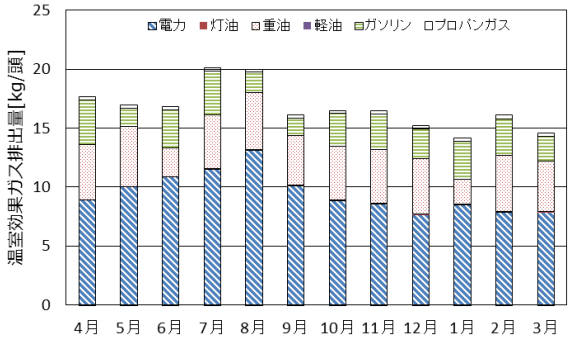


図３　月別温室効果ガス排出量の推計値（H26）

4. おわりに

本研究では、規模や業態が異なる日本の 36 件の食肉関連の企業に対する調査から、食肉処理に伴う GHG 排出量を推計した。分析結果から、食肉処理施設の業態の違いによる GHG 排出量との関係性はないことがわかった。また、1 件の食肉処理場について月別のエネルギー資材消費量のデータより、食肉処理に伴う GHG 排出量の月別の変動を把握することができた。

今後の課題としては、今回の研究ではエネルギー総消費量のデータが得られ、エネルギー資材別のエネルギー消費量は割合から換算したため、個々の食肉処理施設におけるエネルギー資材別のエネルギー消費量のデータを得る必要がある。

5. 参考文献

1）農林水産省：“食料需給表” <http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/>(参照 2017-12-13)

2）国立環境研究所：“日本国温室効果ガスインベントリ報告書”（2017）

3）菱沼竜男，井原智彦，志水章夫，楊翠芬，玄地裕：農業施設，38 巻（1 号），（2007）pp.43-56

4）Tatsuo Hisinuma, Hideaki Kurishima, Yutaka Genchi “EcoBalance 2012” Yokohama, (2012)

5）中央畜産会：“食肉便覧”中央畜産会，東京都（2008）

6）環境省：“温室効果ガス総排出量算出方法ガイドライン”（2015）

P2-097
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

「飛ばないナミテントウ」を利用したナス栽培の環境影響評価

Environmental impact assessment of the eggplant cultivation using "flightless lady beetle (Harmonia axyridis)"

○志村もと子*、世古智一、松森堅治
Motoko Shimura, Tomokazu Seko, Kenji Matsumori
農研機構　西日本農業研究センター
* shimura@affrc.go.jp

1. はじめに

近年、食品の安全・安心に対する消費者の関心の高まりや化学農薬に対する抵抗性をもつ害虫の出現により、化学農薬を使わず天敵を利用した害虫防除が各地で実施されている。天敵昆虫をはじめとする生物農薬（天敵製剤）は、特別栽培農産物（農薬使用回数が慣行レベルの５割以下に制限）の栽培で農薬にカウントされないことや、農水省による IPM（総合的病害虫・雑草管理）実践の推奨もあり、今後も利用が増えていくと思われる。しかし、その導入が環境へ与える影響について評価した事例は非常に少ない。

そこで本研究では、天敵昆虫のひとつである「飛ばないナミテントウ」技術の導入が環境に与える影響をライフサイクル全体で明らかにすることを目的として環境影響評価（LCA）を行った。

2. 研究の方法

2.1 研究対象技術・作物

「飛ばないナミテントウ」は、西日本農研で開発した、アブラムシを防除するための生物農薬で、2 齢・3 齢幼虫が市販されている。飛翔能力の低い個体を人為的に選抜、かけ合わせて育成したもので、遺伝的に飛翔能力が欠けているため、放飼した場所から飛んで逃げることがなく、その場で害虫（アブラムシ類）を食べ続けるため防除効果が高い。

本研究の対象作物は、施設栽培のナスである。インベントリデータのうち、化学農薬利用（慣行）と天敵導入とで異なる項目を表 1 に示す。天敵を導入すると化学農薬は減るが、天敵の飼育設備等が必要になる。

2.2 システム境界

システム境界は生産から収穫・選果までとし、栽培に使用する機械や資材の製造を含めた。それ以降の流通・消費、昆虫の飼育室の製造および圃場整備は対象外とした。

2.3 解析方法

解析には、LCA ソフトウェア SimaPro (Ver.8.4.0)を使用した。評価手法は、地球温暖化では IPCC 2013 GWP 100a V1.00 を、生態毒性、土地利用等の 14 項目は LIME を使用した。

インパクト評価は、６過程（資材製造・耕地からの排出・燃料使用・機械製造・化学肥料製造・農薬製造）に分けて行い、ナス収量 1kg あたりの値を算出した。

2.4 インベントリデータ

ナミテントウの飼育に関しては、販売元での飼育方法の詳細が入手不能であったため、西日本農研センターの飼育室で飼育した場合のデータを用いた（表 2）。ナミテントウは人工餌が開発されているが、公表されている餌では成長はするが産卵しないという問題があるため、今回は生餌（アブラムシ）のみで飼育すると仮定した。また、現場での放飼はコレマンアブラバチ製剤を併用し、100 頭/10a を年 2 回行うとした。

栽培に関する農業機械、燃料、肥料、農薬、資材、収穫量等のデータは、岡山県の農業経営指標「なす（ハウス・促成栽培）」（未公開）の情報を用いた。

栽培時の大気中への窒素ガス排出量は、実測値がないため、既往の研究から排出係数を求めた。国内の農耕地土壌からの N_2O 排出係数は、合成肥料および有機質肥料中窒素の 0.62%である [3]という報告を用い、排出量を算出した。

機械や農薬、肥料などについては、種類別のインベントリデータが不十分なため、機械は重量 [4]、農薬は有効成分量、肥料は成分量を用いた。

3. 結果

3.1 地球温暖化

地球温暖化への影響を示す GHG（温室効果ガス）排出量は、ナス収量 1kg あたりのインパクトは慣行 0.386 $kgCO_2$ eq/kg、天敵導入 0.387 $kgCO_2$ eq/kg であった（図 1）。天敵導入では農薬使用量と散布時のガソリン消費量が慣行より減少する一方で、天敵飼育時の電力消費量・資材使用量等が増加した。ハウスでの重油・電力による排出量が全体の 68%、機械・肥料製造過程がそれぞれ約 11%を占めた。ナミテントウの生産に関連する排出量は 0.2%であった。

3.2 生態毒性（水生生物）

今回評価した項目のうち、天敵導入により影響が最も減少したのが生態毒性であった（図２）。生態毒性は基準物質ベンゼンに換算して示される。収量 1kg あた

りのインパクトは慣行栽培で 0.000141 kgC_6H_6 eq/kg、天敵導入で 0.000138kgC_6H_6 eq/kg であった。農薬による影響（慣行）は 93%と大きく、うち殺虫剤による影響が 23%、天敵導入によって削減されるアブラムシ用殺虫剤が 3%であった。

この数値を EINES（生物種の絶滅リスクに関する指標）で評価してみる。１EINES は、１種が新たに絶滅することを示す数値である。ベンゼン 1kg が水域に排出された場合の EINES は藻類・甲殻類・魚類・その他の合計で 7.54×10^{-9} とされている [5]。仮に、国内のナス施設栽培面積 1,410ha（H19、農林水産省、園芸用施設及び農業用廃プラスチックに関する調査）で、収量が 8,500kg/10a（岡山県農業経営指標）あったとし、すべてにナミテントウを導入したと仮定すると、EINES を国内全体で 3.3×10^{-6} 減少させることができる。

4. 結論

本研究により、ナミテントウの導入はアブラムシ用の殺虫剤の使用量を削減することができ、特に水生生物への毒性による影響を抑制する手段として有効であることがわかった。

天敵導入を始めた現場では、他の害虫に対しても生物農薬を使いたいという要望が強い。また、現在は施設栽培での導入が主であるが、露地栽培への導入も検討されているほか、人工餌の開発等の生産段階の技術開発も盛んに行われている。

この分野の今後の動向には注視していく必要があり、生態毒性だけではなく、他のインパクトも考慮した総合的な評価を行っていくべきである。

5. 引用文献

1) 西日本農業研究センター：“「飛ばないナミテントウ」特集ページ”，農研機構，（オンライン），入手先 <http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/tobaten/>，（2018-1-9）
2) Seko T., Sumi A., Kaneshiro M., Kaneda T., Miura K.: J. Appl. Entomol., 138, (2014), pp.326-337
3) Akiyama H., Yan X., Yagi K.: Soil Sci. Plant Nutr., 52 (6), (2006), pp.774-787
4) 日本農業機械化協会，“農業機械・施設便覧 2013/2014”，(2013)
5) 伊坪徳宏・稲葉敦，“LIME2-意思決定を支援する環境影響評価手法”，丸善，東京，(2010)，p.340

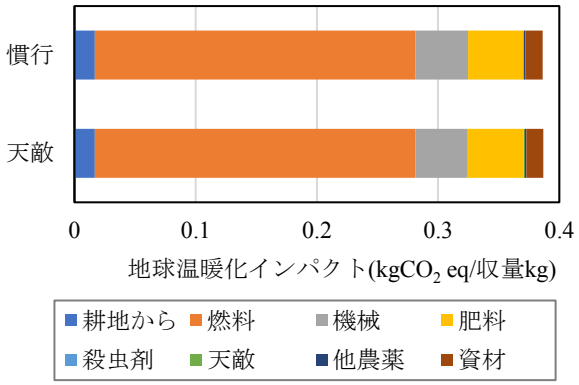


図1　排出過程別のGHG排出量

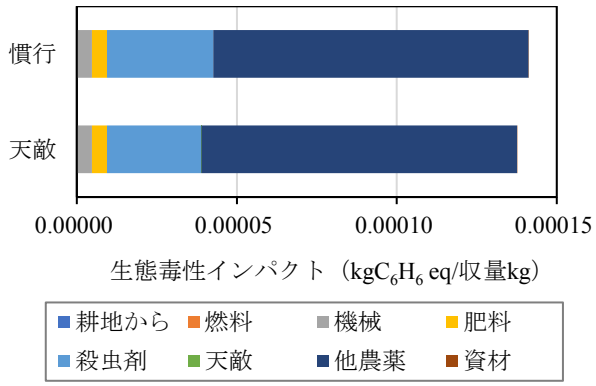


図2　排出過程別の生体毒性（水生生物）への影響

表 1　化学農薬と天敵導入のインベントリデータ

項目		単位/10a	化学農薬（慣行）	天敵
燃料	A 重油	L	4564	4564
	ガソリン		25	22
	電力	kWh	2675	2675
農薬	殺虫剤	kg	0.136	0.121
	殺菌剤		1.107	1.107
	除草剤		0.093	0.093

表 2　天敵生産に関するインベントリデータ（ナミテントウ幼虫生産 10000 頭あたり）

項目		
燃料	電力	806kWh
資材	熱可塑性樹脂	0.38kg
	紙	0.09kg
種子	ソラマメ種子	2.8kg
肥料	窒素 N	0.014kg
	りん P	0.023kg
	カリウム K	0.021kg

P2-099

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

Improving Sustainability of Coconut in Parigi, Indonesia using Life Cycle Assessment

○Nia Desiana* [1,2], Kiyoshi Dowaki [1], and Mustika Sufiati Purwanegara [2]
[1]Department of Industrial Administration (IA) – Tokyo University of Science (TUS), Japan
[2]School of Business and Management (SBM) – Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia
nia.desiana@sbm-itb.ac.id

1. Background

Agriculture sector is a large generator of waste materials. However, a comprehensive assessment of the environmental impacts of the agriculture industry is still lacking. Therefore, the need for agriculture sustainable resource management is increasingly urgent. The first goal of any waste management system is to maximize the economic benefit from the waste resource and maintain acceptable environmental standards.

Coconut is one of the potential commodity in Indonesia. All parts of coconut can be utilized for the human benefit. In Indonesia, the coconut processing industries produced general products such as coconut oil, desiccated coconut, activated carbon, cocopeat, and *nata de coco*. However, the main problem comes from the coconut processing waste. The processing industries produced environmental impacts and a lot of waste including coconut water, coconut flakes, coconut cake, husk, and shells. Moreover, limited issues concerning environmental analysis of coconut industries have been considered in the literature. Based on the findings, this study aims to evaluate the system boundaries of coconut in Indonesia and provide new ideas to improve its sustainability with an environmental perspective using Life Cycle Assessment (LCA) approach.

2. Environmental analysis in coconut sector

Some previous researches have already addressed the impact of coconut production to the environment such as Sreejith et al. (2013). This study investigates the suitability of coconut shell-derived producer gas (a secondary gaseous biofuel) as a substitute for coal gas from an environmental perspective using life cycle assessment (LCA) approach in India. The researchers also compared it with coal gas. The result of this study claimed that coconut shell-derived producer gas life cycle is capable of saving 18.3% of emissions causing Global Warming Potential, 64.1% of emissions causing Ozone Depletion Potential, and 71.5% of nonrenewable energy consumption. The analysis of energy and exergy consumptions of the two life cycles reveal that the renewable fraction in the total energy demand is 62.9% for producer gas life cycle, while it is only 2.8% for coal gas life cycle [1]. However, to date, there is still limited studies about coconut Life Cycle Assessment. Specifically, in LCA coconut sector, the research is limited to some Indonesian researchers. Coconut LCA was also conducted by Arena et al. (2016). The study considers the Life Cycle Assessment of activated carbons from waste coconut shells in Indonesia. This study evaluates environmental impacts of their manufacturing chain taking the specific case of activated carbon produced from coconut shells in Indonesia. The result of this study claimed that the impact categories of Global Warming Potential, Human Toxicity Potential and Acidification Potential, as those that play a key role in the overall environmental performance of the production chain [2].

The scope of this study is different from previous studies which generally only utilizing the specific processing phase. This study utilizing from cultivation, processing, until distribution phase. To fill this gap, the study integrated the findings of different investigations from the literature with field measured data in order to obtain a more comprehensive framework representative of the area under study. This paper addresses these issues. Thus, this paper contributes to broadening Indonesia agriculture research area. These life cycle designs will produce coconut product with environmental values and will possibly be accepted or applied by other coconuts farmer's group in Indonesia. This study offers a useful information for policy makers and government for developing agriculture waste management in Indonesia.

3. Life Cycle Inventory Analysis in coconut production

LCA is a tool for analyzing and dealing with decision environmental support to make the products, resources, and waste management more sustainable [3]. It is based on ISO 14040 and 14044:2006. Also, the tool in this study is SimaPro ver. 8.3.

3.1 Goal and scope definition

The goal of LCA analysis is helping to uncover the environmental profile of coconut processing under several assumptions generated during the interview to strictly gain the same standard among several coconut farmer's group in Parigi. Due to the wide variety of coconut products, the scope in the study considers the production of coconut oil from fresh coconut in Indonesia. The coconuts have been considered to be available as a raw material for coconut oil.

This study will be using the CML-IA method with SimaPro software. CML-IA is the method used from the Leiden University in the Netherlands and commonly used in several LCA papers. It defined a set of impact categories in problem-oriented approach or midpoints (Figure 1). The five specific baseline indicators are

selected in this study such as Global Warming potential (GWP), Acidification potential (AP), Eutrophication potential (EP), Human Toxicity potential (HTP), and Freshwater Aquatic Ecotoxicity potential (FAEP). The functional unit of the study is based on 1 kg of fresh coconut for coconut cultivation phase and an enterprise to produce of "1 liter of coconut oil, packaging included", to be used by consumers for cooking for coconut processing phase.

3.2 System Boundary

The base case is the conventional coconut life cycle with maximum rate allowable. As in other LCA's of agricultural products, the boundaries of this study were from 'cradle-to-gate' due to the limited sources of the data. It includes process from cultivation phase to distribution phase. The use phase, final disposal, and waste assessment after the use phase have not been considered and will be elaborated in the future research. The system boundary is schematically shown in Figure 2. The manufacturing of a product involves inputs of material and energy resources and outputs such as emissions to air, water and ground, waste and material for recycling (Figure 3).

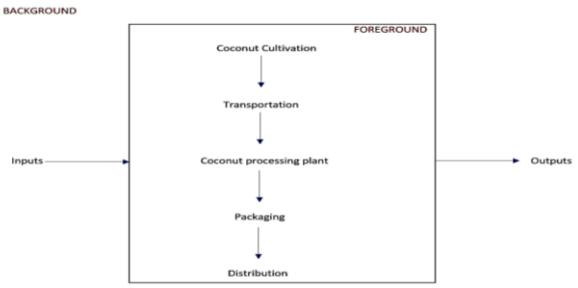


Figure 2. System boundary of coconut life cycle

3.3 Life Cycle Inventory (LCI)

The inventories data are gathered through in-depth interviews with five representatives of coconut farmers in Parigi, Indonesia and cooperative coconut as processing factory (Koperasi Produsen Mitra Kelapa Pangandaran). Coconut palms are cultivated in rain-fed conditions. Parigi, one of the region of Pangandaran, is blessed with abundant rain fall in the range of 2,987 to 3,322 mm/year. The inventory data (Table 1) for coconut cultivation is based on primary data include seed preparation, land preparation, planting, maintenance, plant protection, and harvest. The chemical processes or emissions of the application from fertilizers, pesticide, and irrigation are included in the system boundary. The data quality is utilized for the foreground system and most of the background system is high, since most of the data derive from coconut processing factory and scientific literature. A normalization process is used to identify the most significant impact categories for the system under analysis.

3.4 Life Cycle Impact Assessment and interpretation

3.4.1 Sensitivity Analysis

The life cycle emissions of the coconut life cycle are broadly divided into four contributors such as coconut cultivation and transportation, processing, packaging, and distribution. Table 2 shows percentage share of coconut life cycle stages to environmental impact categories. The results identified that impact categories that play a key role in the overall environmental performance of the production chain is GWP.

Scenario approach is widely used in LCA studies for suggesting improvement options to environmental impacts, is adopted here to address the savings and reducing waste. The alternative scenarios were analyzed to account for their sensitivity on the base case GWP: (1) *organic farming*. A case in which 50% weight of synthetic fertilizers replaced by organic fertilizers for coconut cultivation is generated. This results in improvement in and (2) *zero waste management*. The specialty of coconut palm is that every part of it has valuable applications. The abundant quantity of waste such as coconut water, flakes, husk, shells, and cake from processing phase can be reduced by turning it into a value-added product such as desiccated coconut, activated carbon, cocopeat, *nata de coco*, and animal feed (Table 3). Zero waste management can become the solution for both environment and economic issue. It is a very effective and efficient method of turning a waste material into a value-added product.

The base case and organic farming life cycle were compared in terms of their environmental impacts by conducting a LCA study with respect to Indonesia conditions (Figure 4). The all environmental impacts of organic farming are lower than base case indicating better environmental performance of coconut life cycle. The estimation results are transformed into several recommendations for more sustainable coconut life cycle design in Parigi, Indonesia such as organic farming and Zero Waste management to encourages the redesign of resource life cycles so that all products are reused and improvement on reduction of emissions and more specifically to the sourcing and to the efficiency of energy usage.

References

1) Sreejith, C.C, Muraleedharan, C., and Arun, P.: International Journal of Energy and Environmental Engineering 4(8), (2013), pp.1-22
2) Arena, N., Lee, J., and Clift, R.: Journal of Cleaner Production, 125, (2016), pp. 68-77.
3) European Commission, "ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance", 1st edition, ISPRA, (2010), pp.1-5

Supporting Information

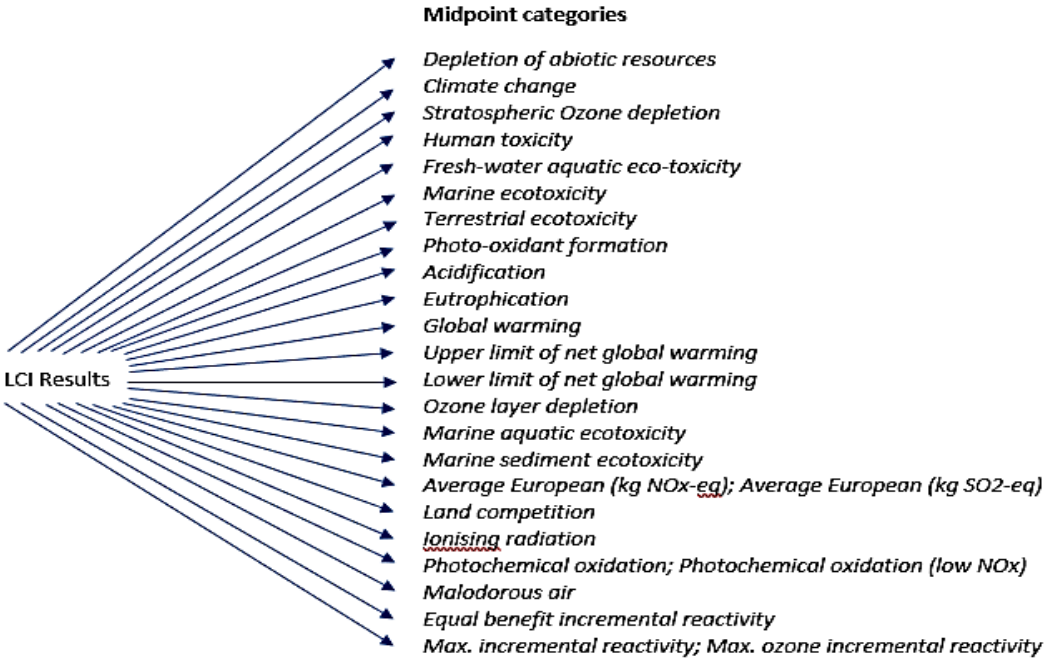


Figure 1. Overall scheme of CML-IA framework

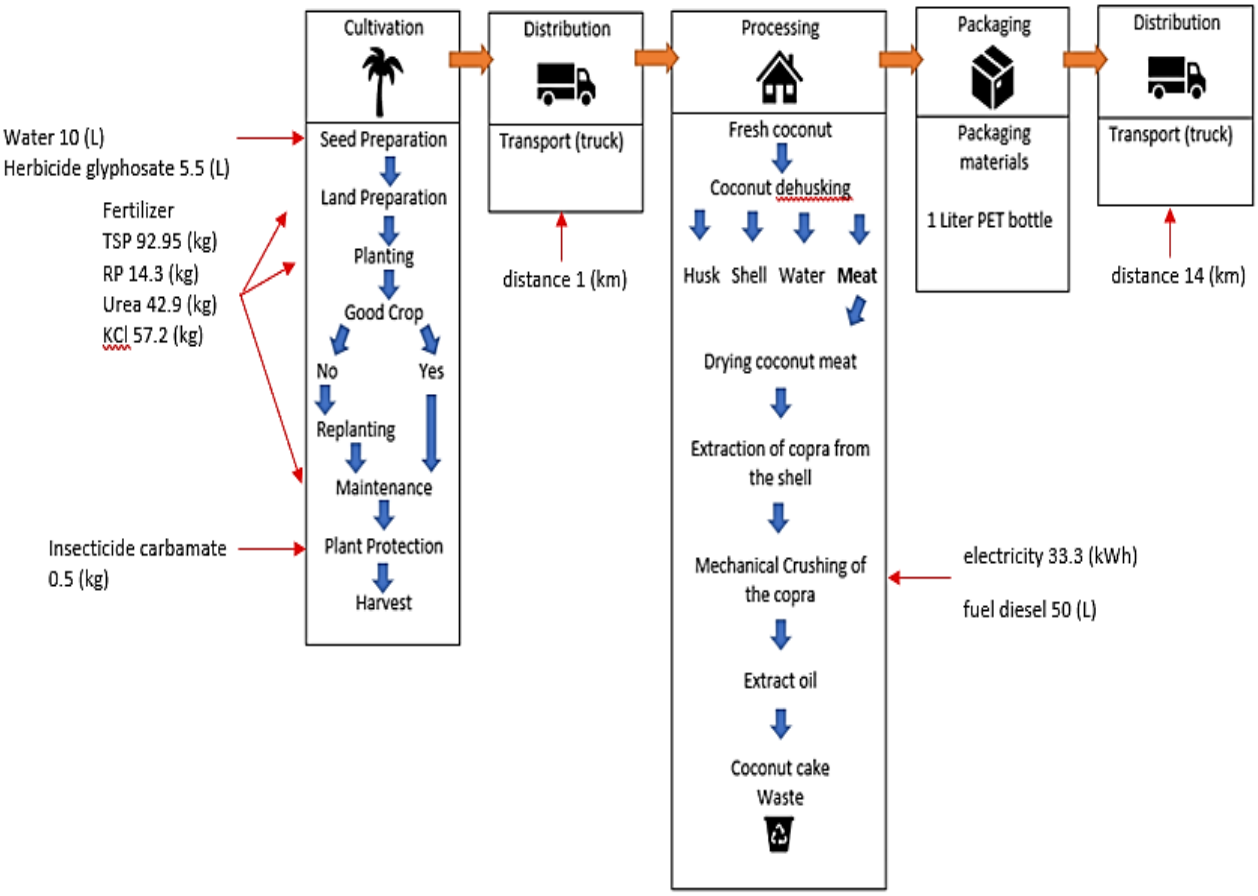


Figure 3. Schematic design of coconut life cycle

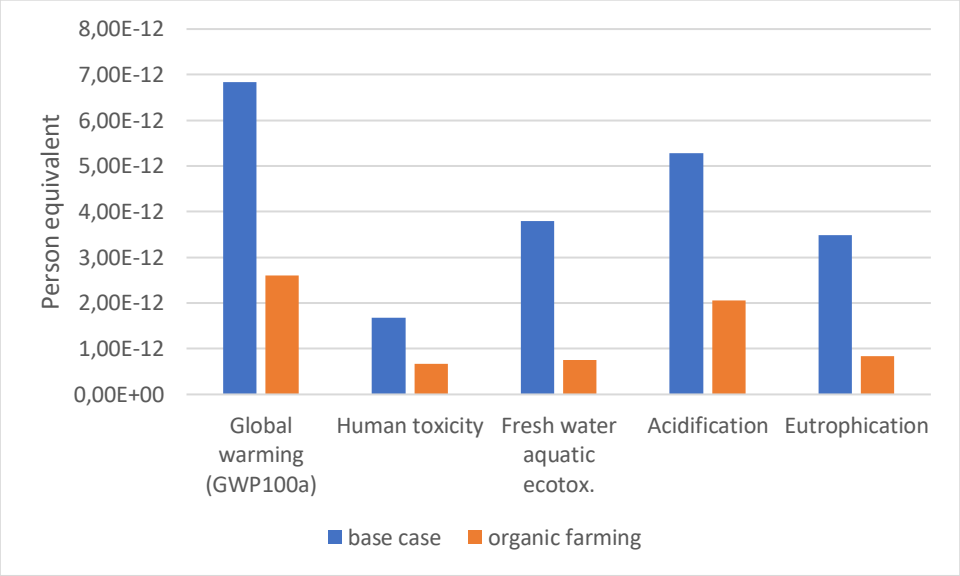


Figure 4. Comparison of normalized results of life cycle impact assessment between the base case and organic farming

Table 1. Inventory data of coconut life cycle

Fertilizer consumption	Phase	Quantity (kg)
TSP (Triple super phosphate)	Land preparation	42.9
	Planting	14.3
	Maintenance	35.75
	Total	92.95
RP (Rock phosphate)	Planting	14.3
Urea	Planting	14.3
	Maintenance	28.6
	Total	42.9
KCl (Muriate of Potash)	Planting	14.3
	Maintenance	42.9
	Total	57.2
Pesticide consumption	Phase	Quantity (kg)
Herbicide glyphosate	Land preparation	5.5
Insecticide carbamate	Plant protection	0.5
Water consumption	Phase	Quantity (L, mm)
Water, well, in ground	seed preparation	10 L
Water, rain	planting	200 mm
Energy consumption per day	Phase	Quantity (kWh, Kg, L)
Electricity	Processing	33.3 kWh
Fuel Diesel	Processing	50 L
Transport mode	Phase	Distance (km)
Truck (road)	Transport to plant	1 km
Truck (road)	Distribution to local market	14 km
Type of waste	Phase	Quantity (kg,L)
coconut water	Processing	126.5 L

coconut flakes	Processing	146.25 kg
coconut husk	Processing	300 kg
coconut shells	Processing	173.5 kg
coconut cake	Processing	100 kg

Table 2. Percentage share of coconut life cycle stages to environmental impact categories

Stage in life cycle	Percentage contribution to the environmental impacts				
	GWP	AP	EP	HTP	FAEP
Coconut cultivation and transportation	32.41	25.08	16.57	7.94	17.99
Coconut processing	69.73	0.43	0.06	29.17	0.61
Packaging	93.62	0.47	0.03	5.79	0.09
Distribution	82.32	0.60	0.09	14.92	2.06

Table 3. Product, co-product, and by-products of coconut palm

Category	Item	Uses
Product	Fresh coconut	Direct consumption, processing
Co-product	Coconut oil	cooking
By-product	Coconut water	Nata de coco
	Coconut flakes	Desiccated coconut
	Coconut husk	Cocopeat
	Coconut shells	Activated carbon
	Coconut cake	Animal feed, green manure

P2-100　　第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

鶏肉の CO_2 排出量の算定

Calculation of CO_2 emission for production of broiler chicken

○櫻岡透 [1)]、荻野　暁史 [2)] 稲葉　敦*[1)]
Tooru sakuraoka, Akifumi Ogino,Atushi Inaba
1) 工学院大学, 2) 農研機構
*a-inaba@cs.kogakuin.ac.jp

1.緒言

我が国の食肉の消費量は、それぞれ 861 千トン(牛肉)、1761 千トン(豚肉)、2369 千トン(鶏肉)であり[1)]、鶏肉が最も多く消費されている。また、鶏肉消費量は平成 12 年度比で 1.09 倍に増加している[2)]。近年の健康志向から、今後さらに消費量が増加すると思われ、温室効果ガス(GHG)排出量の増加が懸念されている。

本研究では、統計データの収集、企業へのヒアリング等より鶏肉 1 kg当たりの GHG 排出量を算出し、排出抑制に資することを目的とする。

2.研究手順

2.1 鶏肉の基本情報

本研究では主に H27 年度のデータ(農林水産省)から日本全国の鶏肉 1 kg当たりの GHG 排出量を求め、企業へのヒアリング調査で補完する。今回基本となる生体情報を表 1 に示す。鶏肉生産量は骨付き肉ベースであり、49 日間飼養したものとする。

表 1.本研究での生体基本情報

H27 年度の鶏肉生産量[3)]	1.52E+09kg
肉用鶏出荷羽数[4)]	6.67E+05 千羽
廃鶏羽数[4)]	7.81E+04 千羽
廃鶏処理重量[4)]	1.39E+08kg
生体重[5)]	2.50kg
1 羽当たりの可食部位[5)]	1.86kg

2.2 鶏肉の調査範囲

鶏肉の生産工程を飼料生産と輸送、飼養、処理加工、店頭への輸送に分けて評価する。

2.3 鶏肉の飼料生産段階の CO_2 排出量

本研究ではブロイラー飼料の消費量を流通飼料等価格実態調査(H27)[6)]から求めた。トウモロコシ、大豆油粕、飼料用米、こうりゃん、菜種油粕が 87%の割合を占める。これらの飼料はほとんどが輸入のため原産地を調査し輸入に関しての GHG 排出量も考慮した。飼料添加物は国内生産と仮定した。飼料生産の原単位は 4 パターン使用し、①IDEAv2 の原単位のみを使用②味の素データベース(2005)[7)]のみ使用③IDEAv2、味の素データベース(2005)の両方を使用④IDEAv2、味の素データベース(2005)、小林(2006)[8)]の 3 つを使用とした。輸送方法と飼料添加物の原単位は IDEAv2 を使用した。

2.4 飼養

飼養時にかかるエネルギー(電気、ガス) は企業へのヒアリングを行い、糞尿処理、廃鶏処理に分け計算した。糞尿処理に関しては堆肥化、焼却処理、焼却処理の N_2O のみ考慮の 3 パターンに分け計算を行った。堆肥化と焼却処理の GHG 原単位には IDEAv2 を用い、焼却処理の N_2O のみは温室効果ガスの算定方法[9),10)]に基づき求め、GWP を 298 とした。廃鶏の処理に関しては、表 1 のデータと IDEAv2 の焼却処理(家畜の死体)の GHG 原単位を用い求めた。なお飼養のエネルギーでは本来は水の使用量を含まなければいけないが本研究では含まれていない。

2.5 処理加工

処理加工の工程は処理加工場のエネルギー(電気、ガス)は企業へのヒアリングを行い、不可食部位の処理、加工パックの生産の 3 つの工程に分け計算した。不可食部位の処理に関しては表 1 のデータとフェザーミールと肉骨粉のリサイクルを考慮した(流通量のみを考慮)。加工パックの生産については表 1 のデータと実際に売られているパックを HDPE、容量 800g、重量 7g とした。処理加工段階でのエネルギーは、本来は水使用量を含まなければならないが、本研究では含まれていない。

2.6 店頭への輸送

主な鶏肉の生産地を西日本は鹿児島、東日本は岩手と仮定し全都道府県に均等に輸送するとし、それぞれの全都道府県の県庁所在地までの距離をグーグルマップで求めた。本来はそれぞれの都道府県の鶏肉消費量で重み付けをしなければならないがここでは単純に平均距離を使用した。15t トラック(冷凍車)で運ぶと仮定し IDEAv2 の GHG 原単位を用い計算を行った。

3.鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量の算定結果

3.1 飼料生産

2.3 で示した①～④について飼料生産段階での鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量を図 1 に示す。IDEAv2 の GHG 原単位は国内生産を仮定しているので海外輸送

分を別に考慮しなければならない。生産国ごとに輸送方法も違い、誤差が大きいと思われる。④の小林(2006)は海外輸送分の考慮を行っているので GHG 排出量として適切と思われる。飼料生産段階の GHG 排出量の中で割合が大きいものは①～④でトウモロコシとなった。

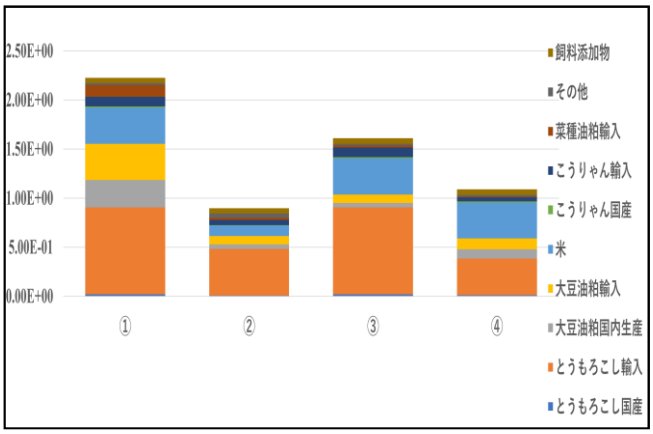


図 1_飼料別 GHG 排出量(kg-CO_2eq/kg-鶏肉)

3.2 飼養

飼養段階での鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量はエネルギー(電気、ガス)では 3.16E-01 kg-CO_2eq/kg-鶏肉、糞尿の処理では堆肥化 9.51E-06 kg-CO_2eq/kg-鶏肉、焼却 6.47E-01 kg-CO_2eq/kg-鶏肉、焼却処理の N_2O のみでは 2.34E-01 kg-CO_2eq/kg-鶏肉となり、廃鶏の処理では 1.89E-02 kg-CO_2eq/kg-鶏肉となった。

3.3 処理加工

処理加工段階での鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量はエネルギー(電気、ガス)では 1.32E-01 kg-CO_2eq/kg-鶏肉、不可食部位の処理では 4.73E-02 kg-CO_2eq/kg-鶏肉、加工パックの生産では 2.21E-02 kg-CO_2eq/kg-鶏肉となった。

3.4 店頭への輸送

店頭への輸送段階での鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量は 9.84E-02 kg-CO_2eq/kg-鶏肉となった。

3.5 鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量のまとめ

それぞれの工程と合計の鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量を表 2 に示す。

表 2_本研究での鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量

生産工程	飼料生産	飼養	処理加工	輸送	計
CO_2eq /kg-鶏肉	①2.23 ②9.00E-01 ③1.61 ④1.09	3.35E-01(堆) 9.82E-01(焼) 5.50E-01(N)	1.54E-01	9.84E-02	最小 1.49 最大 3.46

本研究では鶏肉 1kg 当たりの GHG 排出量は 1.49～3.46 kg-CO_2eq/kg-鶏肉となった。

4.比較と考察

本研究の結果を海外の論文並びに国内での鶏肉の LCA の結果と比較したものを表 3 に示す。

表 3_他文献との比較

単位	kg-CO_2eq/kg-鶏肉	kg-CO_2eq/kg-鶏肉	kg-CO_2eq/kg-鶏肉	kg-CO_2eq/kg-鶏肉
論文（国）、企業	飼料生産	飼養	処理加工	合計
オーストラリア[11]	1.32	4.80E-01	4.00E-01	2.20
フランスとブラジル[12]	F2.31 B2.15	F8.00E-01 B5.60E-01	F7.00E-02 B4.00E02	F3.18 B2.15
イギリス[13]	3.14	6.70E-01	不明	4.41
アマタケ[14]	5.00E-01	3.90E01	5.00E01	1.40
本研究	2.23~9.00E-01	9.82E-01~3.35E-01	1.54E-01	1.49~3.46

店頭への輸送比較は行っていない。飼料生産の GHG が大きく、文献間の差も大きい。本研究でも飼料生産の割合が 64.5%～42.3%を占める形となった。鶏肉生産の環境負荷を減らすには輸入飼料の低減、すなわち、飼料用米、食品残さを利用したエコフィードなど国内生産の飼料の割合を増やしていくことが必要である。

引用文献

1)　生産局畜産部食肉鶏卵課:“食肉鶏卵をめぐる情勢”,農林水産省,入手先<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/shokuniku/lin/attach/pdf/index-91.pdf>,(参照 2017-12-22)

2) 農林水産省:“農林水産物品目別参考資料畜産物抜粋”,農林水産省,入手先　<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/tpp/block/pdf/sankou1_1.pdf>,(参照 2017-12-22)

3)生産局畜産部食肉鶏卵課:“食料需給表”,農林水産省,入手先<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/shokuniku/lin/>,(参照 2017-12-22>

4) 大臣官房統計部消費統計室:“食鳥流通統計調査 H27”,農林水産省,入手先<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/syoku_tori_15/>,(参照 2017-12-22)

5)農林水産省:“食鳥若鳥歩留り（例）”,日本食鳥協会,入手先http://www.j-chicken.jp/museum/arekore/05.html>,(参照 2017-12-22)

6)畜産部飼料課:“流通飼料価格等実態調査 H27”,農林水産省,入手先<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/ lin/l_siryo/cyosa/attach/pdf/kako-2.pdf>,(参照 2017-12-22)

7) 環境・安全部:“CO2 排出係数データベース”,味の素株式会社,入手先<https://www.ajinomoto.com/jp/activit y/environment/pdf/2010/lcco2.pdf>,(参照 2017-10-31)

8)小林久ほか：環境情報科学論文集,35-3 ,(2006)

9)社団法人産業環境管理協会:“特性化係数リスト”,LCA 日本フォーラム,入手先<http://lca-forum.org/database/impact/>,(参照 2017-12-22)

10)環境省:“第II編　温室効果ガスの算定方法”,環境省,入手先<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/manual/chpt2_4-3_rev.pdf>,(参照 2017-12-22)

11)S.G.Wiedemann ほか:-J.CleanerProd,140-675-684, (2017)

12)V.Prudencio da Silva ほか:-J.Environ.Manag,-133-222-231-(2014)

13)I.Leinonen ほか:Poultry Sci,91:8-25-(2011)

14)みずほ情報総研加地靖:“南部鳥のライフサイクルフロー”,株式会社アマタケ,入手先<http://www.amatake.co.jp/amatake>,(参照 2017-10-31)

P2-102

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

加工食品の CO_2 排出量の算定

The calculation of the carbon dioxide amount of emission of processed foods

○戸田千晶*[1)]、稲葉　敦[2)]

Chiaki Toda, Atusi Inaba

1) 工学院大学, 2) 工学院大学

* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

家庭における CO_2 排出量は 1990 年に比べて 2015 年は 1.37 倍に増加している。特に食の分野では生活スタイルの多様化、女性の社会進出、単身世帯の増加、高齢化の進行などといった要因から食の外部化が進んでいる [1)]。このような背景から、食料品における加工食品の支出が増加する傾向にある [2)]。また、人々の環境問題への関心は高いが食品購入時の環境配慮商品の購入に直接つながるわけではない。本研究では、家庭で実施できる CO_2 排出量の低減を目指して、スーパーマーケットで販売されている食品を商品群ごとに分類し、それぞれの CO_2 排出量を消費者に見せ、低炭素な購買行動を促すことを目指す。本報告では惣菜に着目し、食材・調味料から排出される CO_2 排出量と調理時に排出される CO_2 排出量の合計を算定する。

2. 研究方法

2.1 スーパーにおける食品分類表の作成

株式会社インテージ [3)]のスーパーマーケットにおける商品のカテゴリー分類を基にして IDEA データベース [5)]の加工食品と合致するものをまとめる。また、生鮮食品などスーパーマーケットの食品分類に必要とされる項目を追加する。

2.2 惣菜の CO_2 排出量の算定方法

（1）食材・調味料の CO_2 排出量の算定方法

算定する惣菜のレシピ [4)]を調べ、使用する食材・調味料の重量を推計する。その後、2.1 で作成したスーパーにおける食品分類表を用いて、食品の食材・調味料部分の CO_2 排出量を調査する。

（2）調理時の CO_2 排出量の算定方法

算定する惣菜のレシピを基に、調理方法別に「煮る・茹でる・蒸す・焼く・揚げる」の推算式 [6)] を用いて、算定する食品の調理部分のガスのエネルギー消費量を算定する。最後に求めたガスのエネルギー消費量を 58.9[kg-CO_2/MJ][6)]を用いて CO_2 排出量に換算する.また、「揚げる」の推算式に必要な食材の含水率、脱水率、比熱を調査する。

3. 結果

3.1 スーパーにおける食品分類表の作成

表 1 にスーパーにおける食品分類表として「主食」部分の抜粋を示す。インテージのカテゴリーは主食、嗜好品、調味料、加工食品、飲料、アルコールの 6 項目の大分類から成る。表 1 に大分類である主食の細分類とそれに合致する IDEAv2 製品名を記載した。また、空白の部分は IDEAv2 にはあるがインテージカテゴリーには無い細分類である。

表 1　スーパーにおける食品分類表（抜粋）

インテージカテゴリー分類		IDEA製品名
主食	米	精米
		米飯類
	食パン・調理パン	食パン
		菓子パン
	シリアル類	その他の菓子
	カップインスタント麺	即席めん類
	乾麺	和風めん
		中華めん
	生麺・ゆで麺	めん類, 4桁, 小麦重量換算
	スパゲティ	洋風めん
	マカロニ類	
	小麦粉	小麦粉
	天ぷら粉	その他の精穀品、その他の製粉品
	から揚げ粉	
	パン粉	
	プレミックス	

3.2 CO_2 排出量の算定

3.2.1 食材・調味料の CO_2 排出量の算定

表 2 に算定した「うま煮」の食材・調味料の重量および対応する IDEAv2 の排出原単位を示す。表 2 の排出原単位は、3.1 で作成したスーパーにおける食品分類表から食材・調味料に対応した IDEAv2 のデータを引用した。食材・調味料の重量と対応した排出原単位を乗じ、積算した。

3.2.2 調理時の CO_2 排出量の算定方法

「うま煮」を例に調理時の CO_2 排出量の算定方法表 2 に示す。うま煮の調理手順の中で里芋、レンコン、たけのこ、人参といった食材をカットするなどして出る食品ロスについては考慮していない。また、鍋に加える塩、砂糖、醤油などの調味料の重量は無視した。算定ではレシピ [4)]に記載されている加熱時間のみを用いて行った。使用する鍋は一般的に煮物料理に使用される 20cm 鍋とした。調理に必要な水は 1600g とした。算定方法は既往の文献 [6)] から「煮る」の推算式である沸騰までのガスのエネルギー消費量、沸騰後のガスのエネルギー消費量の推算式を引用した。既往の文献 [6)] は家庭での調理のエネルギー消費量の推算式を示している。スーパーでの惣菜の調理は家庭での調理と同じであることが仮定されている。次に、「フライ」を例に「揚げる」の調理時の CO_2 排出量の算定方法を示す。今回の算定では、タラ 200g をフライパンを使用して揚げ、調理に使用する油の量は 100g とし、油の温度を 180℃に加熱して揚げると仮定した。フライの調理工程「揚げる」では他の工程と違い、食材の含水率 [7)]、脱水率 [8)]、比熱 [9)] が必要である。表 3 にフライの食材・調味料、重量、CO_2 排出量、およびタラの含水率、脱水率、比熱を示す。

表 2　うま煮(2 人分)のデータ

食材・調味料	重量	排出原単位 [kg-CO_2/kg-食材]	食材・調味料のCO_2[kg-CO_2]	調理時のCO_2[kg-CO_2]	
里芋	300g	6.66E-01	2.00E-01		
米	12.5g	1.82E+00	2.76E-02	調理法「煮る」	
レンコン	100g	2.79E-01	2.79E-02		
たけのこ	150g	2.79E-01	4.19E-02	水の量1600g	
人参	200g	2.93E-01	5.86E-02		
だし汁	810g	4.76E+00	3.86E+00	算出結果	
砂糖	18g	1.33E+00	2.39E-02	2.35E-1 [kg-CO_2]	
みりん	75mL	1.60E+00	1.20E-01		
醤油	30mL	5.52E-01	1.66E-02		
塩	15g	8.64E-01	1.30E-02		合計
		合計	4.38E+00	2.35E-01	4.62E+00

表 3　タラのフライ(2 人分)のデータ

食材・調味料	重量	排出原単位 [kg-CO_2/kg-食材]	食材・調味料のCO_2[kg-CO_2]	調理時のCO_2[kg-CO_2]	
タラ	200g	1.63E+00	3.26E-01	調理法「揚げる」	
塩	2g	8.64E-01	1.73E-03	含水率 80.9 [%]	
小麦粉	6g	9.54E-01	5.72E-03	脱水率 9 [%]	
卵	60g	1.77E+00	1.06E-01	比熱 3595 [J/kg K]	
パン粉	60g	1.52E+00	9.12E-02	結果 2.59E-2 [kg-	合計
		合計	5.31E-01	2.59E-02	5.57E-01

表 3 からタラのフライ（2 人分）の食材由来の CO_2 排出量は 0.531[kg-CO_2]になった。調理時の CO_2 排出量は 0.0259[kg-CO_2]となり、合計で 0.557[kg-CO_2]となった。

3.3　惣菜の CO_2 排出量

算定した惣菜の CO_2 排出量結果をそれぞれ 1 人分として図 1 に示す。

図 1 から「うま煮」が 2.31[kg-CO_2]と CO_2 排出量が最も大きく、「卵焼」が 0.116 [kg-CO_2]と最も CO_2 排出量が小さい結果となった。うま煮の中のだし汁の重量が 810g と重く、排出原単位が 4.76 [kg-CO_2/kg-食材]と他の原単位よりも大きいことに起因する。IDEAv2 による排出原単位の内訳は粗糖（糖みつ、黒糖を含む）が 57.6%で 2.74[kg-CO_2]と最も高く、水酸化ナトリウム 6.9%で 0.328[kg-CO_2]、塩化アンモニウム 5.94%で 0.283[kg-CO_2]、その他エネルギー由来が占めていることがわかった。また、卵焼は使用する食材・調味料が少なく、低重量であること、調理に必要な加熱時間が短いことから CO_2 排出量が小さい。また、図 1 より調理時よりもはるかに食材・調味料から排出される CO_2 が大きいことがわかった。

4.　まとめ

スーパーにおける食品分類表を作成し、特に惣菜について、食材・調味料および調理時に排出される CO_2 排出量を算定した。図 1 からハンバーグ、うま煮が突出して CO_2 排出量が大きく、逆にサラダ、卵焼が突出して小さい値を示す結果となった。この結果から食材の重量に対して排出原単位が大きい食品と小さい食品で CO_2 排出量に大きな差が生まれることがわかった。また、図 1 より調理時の CO_2 排出量よりもはるかに食材・調味料の CO_2 排出量が大きい結果となった。今後、食品のカロリーや値段などと CO_2 排出量を比較し、消費者に対して環境配慮商品の選択につながるよう検討していきたい。

5.　参考文献

1）　公共財団法人　食の安全・安心財団 <http://www.anan-zaidan.or.jp/data/index.html> (2017-6-28)

2）　農林水産政策研究所　人口減少局面における食料消費の将来設計 <http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/bukai/H26/pdf/140627_03_01kai.pdf>

3）　株式会社インテージ　<https://www.intage.co.jp/>

4）和田美代子、クッキング基本大百科、集英社、東京（2001）、p.32

5）　国立研究開発法人産業技術総合研究所　インベントリデータベース(IDEAv2)

6）稲葉敦ほか、家庭での調理の CO_2 排出量の推算方法、p158-159

7）香川芳子、食品成分表 2014 資料編、女子栄養大学出版部、東京（2014）

8）柴山真理子・上田志摩子（1990）、帯広大谷短期大学紀要、27、7-15

9）日本熱物性学会編（2008）、“C.12 食品・農水産物”、新編 熱物性ハンドブック、養賢堂、東京

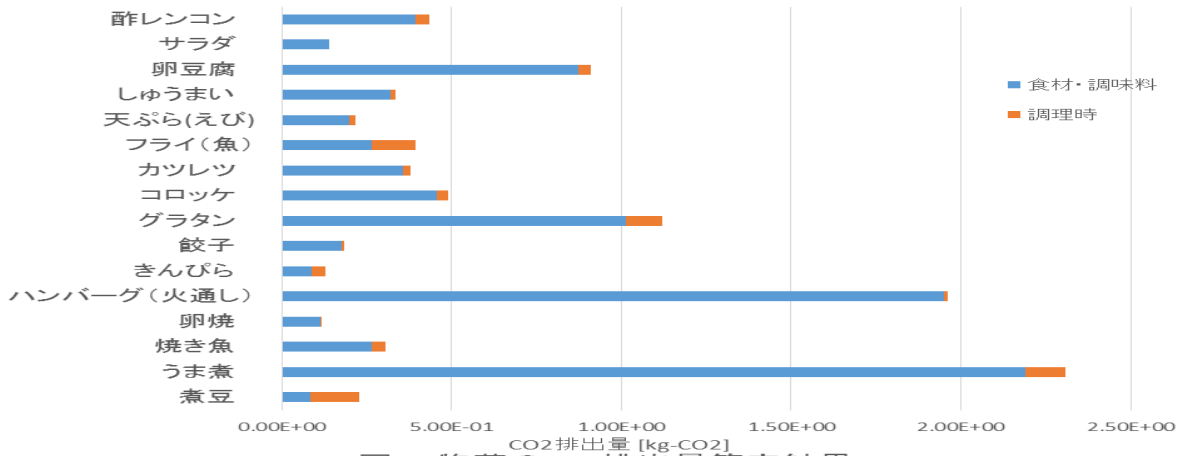


図1　惣菜のCO_2排出量算定結果

P2-103

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

建築分野における LCA の活用

Discussion for Utilization for Building LCA

建築物の評価における基礎的分析と評価における目安の検討

Fundamental analysis and discussion for guideline on housing LCA

○佐藤整央 [1)]、小林謙介*[1)]、牧村彰一 [1)]

Yoshihisa Sato, Kensuke Kobayashi, Shoichi Makimura

1）県立広島大学

* kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1.はじめに

LCA は、以前にも増して様々な活用がなされている。建築分野においても、カーボンフットプリント(CFP)[1)]の取得事例が見られるほか、LEED Ver.4[2)]において LCA の実施が加点につながるなど、活用の幅が広がってきている。一方、こうした評価を実施する際には、評価のルールが必要になる。例えば CFP-PCR[3)]は、現状では躯体と仕上げ材のみを対象としており、設備等が含まれていないことや運用時の負荷が含まれていないなど、発展途上な部分が少なくない。建築物は、基本的に一品生産であり、また部品点数が非常に多いため、評価における作業負荷が非常に大きい。また、評価の目的も多様で、システムバウンダリの考え方や分析の精度もさまざまである。こうした煩雑さが、初心者が LCA に取り組む際の障壁の一つになっていることも考えらえる

以上の背景を踏まえ、建築分野の LCA の一層の活用のために、初心者でも行える評価に必要な目安の構築を目指して基礎的な検討を行った。本検討は、①同じ機能を有した構造の異なる住宅を評価した場合の支配的要因の差異の分析、②CFP、LEED における LCA の評価のルールを用いて住宅を評価した場合の評価結果の差異の分析を通して、住宅 1 戸の評価の在り方について検討した。

本研究では、建築学会の標準問題モデル [4)]の住宅を対象として評価を行った。標準問題モデルは求められている機能が同一なので、比較を行いやすいという特徴がある。住宅の種類は木造･鉄筋コンクリート造（RC 造）･鉄骨造（S 造）の 3 件を用いた。住宅の概要を表 1 に示す。

2.標準問題モデル住宅の評価

2.1 分析方法

3 件のモデル住宅について、インベントリデータベース IDEA Ver.2 を用いて、製造段階における環境負荷の定量化を実施した。ここでは、CO_2 排出量と統合化の 2 つの結果を例示する。本分析では、目的とする

表 1 標準問題モデル住宅概要

住宅の構造	資材数	延床面積(m2)	耐用年数
木造	155	125.86	30年
鉄筋コンクリート造(RC造)	170		
鉄骨造(S造)	190		

※全図で共通の凡例

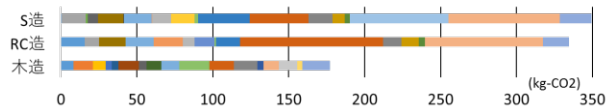


図 2-1 住宅の CO2 排出量

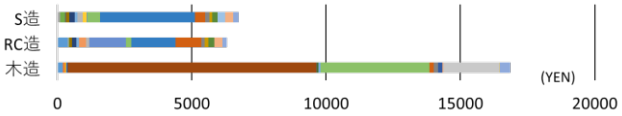


図 2-2 住宅の統合化評価

分析精度に対し、どの程度細かくデータ収集等を実施すべきかを明らかにするため、それぞれの支配的な要因を検討した。具体的には、影響が大きいものから順に抽出し、合計が全体の上位 90%、95%、99%を占める項目を整理した。

2.2 分析結果

CO_2 排出量の結果を図 2-1 に、統合化の結果を 2-2 に示す。図 2-1 では CO_2 排出量が一番小さいものは木造となっているが、図 2-2 の統合化による評価では極端に大きくなった。次に、資材ごとの環境負荷発生量への寄与度を分析した。木造住宅では、全 155 項目の投入資材データのうち、CO_2 排出量では 37 項目、統

合化では 12 項目で 90%の評価をすることができる。同様に、RC 造住宅では、170 項目のうち CO_2 排出量で 31 項目、統合化で 36 項目だった。S 造住宅では 190 項目のうち CO_2 排出量で 42 項目、統合化で 39 項目だった。このように、支配的な項目は限定的であることを確認できた。

3. CFP・LEED の評価ルールを用いた場合の結果の差異

3.1 分析方法

建築分野にかかわる LCA を活用したラベリング・環境配慮設計では、それぞれの主旨に沿った様々な評価方法となっている。その際、環境ラベルや、環境配慮設計の評価ツールなどのいずれにも対応できるシステムバウンダリの在り方が示されていれば、一度評価するだけで全てに対応できるようになると考える。また、支配的な要因を示すことができれば、今後の環境ラベルや環境配慮設計における評価ルール改善の際の参考にできると考える。

ここでは、それらを視野に入れた評価の目安の構築を目的として、①全ての投入データを評価した場合、②CFP-PCR（住宅（躯体および仕上げ材）：PA-EI-01）に基づいた場合、③LEED Ver.4 の評価基準に基づいた場合の 3 種類で、3 件のモデル住宅について、製造段階における CO_2 排出量および統合化の評価を実施し、結果の差異について分析した。それぞれの評価の枠組みの差異を表 2 に示す。今回は、最低限の評価に必要な資材を検討するために LEED Ver.4 の評価では、オプショナルを除いた評価を行った。なお、本分析では、IDEA Ver.2 を用いた。

表 2 各評価ルールの差異

	評価するもの	オプショナル	評価しないもの
CFP	建築資材		住宅に設置される設備、給排水設備、空調設備
LEED	一般基礎、特注基礎、スラブ、地下壁、床、屋根、外皮の窓および扉、屋根開口部、階段	室内壁および扉、階段仕上げ、壁仕上げ、床仕上げ、天井仕上げ	掘削、衛生機器、設備

3.2 分析結果

それぞれの住宅の評価結果を図 3-1（木造）、3-2（RC 造）、3-3（S 造）に示す。CFP による評価では全データと比較した場合、住宅設備が含まれないため、各住宅で 1 割ほど小さくなった。LEED Ver.4 による評価では、住宅設備と、オプショナルの室内壁及び仕上げ材が含まれないため、全データを評価した場合に比べ 2 割ほど小さくなった。

全データで評価した場合に上位 90%以内に含まれていた、支配的な資材の中で、LEED Ver.4 による評価では含まれなかった資材を表 3 に示す。影響が大きかったものの一つに強化プラスチックがあったが、これは設備に含まれる「ユニットバス」で用いられる原単位であった。今後より精度の高い枠組みへの改善を検討する際には、これらの項目の考慮が重要となると考えられる。

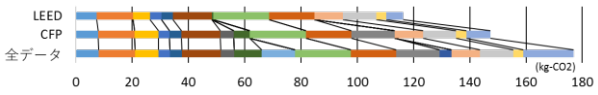


図 3-1　木造住宅の CO_2 排出量評価

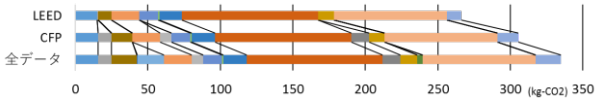


図 3-2　RC 造住宅の CO_2 排出量評価

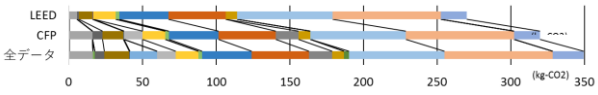


図 3-3　S 造住宅の CO_2 排出量評価

表 3 上位 90%を占める項目のうち LEED Ver.4 には含まれなかった資材

木造	RC造	S造
強化プラスチック製容器	強化プラスチック製容器	強化プラスチック製容器
石こうボード	石こうボード・同製品	石こうボード・同製品
通信ケーブル	プラスチック板・棒	ガラス繊維・同製品
コンクリート成形パネル	他に分類されない窯業	建築用金属製品
普通板ガラス		
塩化ビニル形材		
プラスチックシート		

4. まとめ

本報告では、建築物の LCA 実施に参考となる目安の構築を目指して基礎的な検討を行った。具体的に、建築学会の標準問題モデル住宅を対象に、支配的要因の差異の分析を行い、求める分析精度に応じた収集すべきデータ量について検討した。また、CFP、LEED における評価のルールを用いて住宅を評価した場合の評価結果の差異の分析を行い、今後の評価の枠組みの改善の参考となる情報を整理した。

5. 参考文献

1) JEMAI 環境ラベルプログラム、http://www.jemai-label.jp/

2) LEED Ver.4、https://new.usgbc.org/leed

3) カーボンフットプリント製品種別基準　住宅（躯体および仕上げ材）、https://www.cfp-japan.jp/common/pdf_authorize/000230/PA-EI-01.pdf

4) 一般社団法人-日本建築学会:建物の LCA 指針温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール－改訂版、2013.2

P2-104

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

利用実態の違いを考慮した洗濯機の環境影響評価

Environmental impact assessment of washing machine considering spatial differences

○西田諒生*[1)]、伊坪徳宏[1)]

Ryo Nishida, Norihiro Itsubo

1) 東京都市大学　環境学部

* g1462055@ tcu.ac.jp

1.　背景

国際連合教育科学文化機関（UNESCO）が公表した世界の年間水使用量の推移と将来的に予測されている年間水使用量の見通しによると、2025 年の世界の年間水使用量は 1995 年の約 1.4 倍に増加する見込みであり、なかでもアジアを中心とした新興国の水使用量は経済発展に伴い大きく増加していくものと予測されている。

水道技術センターが公表した一部の国での１人当たり 1 日の生活用水使用量とその内訳からはどの国でも家庭用水の内訳として、風呂・シャワー、トイレ、洗濯が多くの割合を占めており、これらの行動で使用される水を減らすことは生活用水全体の削減につながるといえる。

一般社団法人日本家電工業会が公表した報告書によれば、世界 62 か国における需要が最も高い増加傾向を示すのが電気洗濯機であり、今後もさらなる生産量の増加が予想される。

各国での利用実態を考慮し洗濯機の環境影響評価をすることで、その国に適した洗濯機を提案することができ、環境影響、資源を削減することにつながると考えられる。

2.　研究目的

本研究では、世界 22 ヶ国を対象に LCA を用いて洗濯機の GHG 排出量、水使用量を算定し、環境影響を明らかにする。さらに、地域間で比較を行うことで環境側面から見た地域の特徴を考察する。

洗濯機のタイプの違いに加えて、利用実態を考慮することで利用頻度や所持率などの違いも反映した分析を行う。

3.　評価対象および研究方法

3.1.　評価対象

本研究では、各国における自動洗濯機とする。自動洗濯機は地域によって縦型洗濯機とドラム式洗濯機の 2 種類から対象地域で所持率の多い種類に設定する。また、縦型洗濯機は容量を 30L と 45L の 2 種類に分け、縦型洗濯機を使用している対象国での一般的な容量によって分類する。

3.2.　評価範囲

本研究では、金属や樹脂といった原材料の調達段階から製造、使用までのライフサイクルをシステム境界とした。使用段階には洗濯機を使用する際に消費する洗濯用洗剤も含まれている。ただし、輸送、廃棄・リサイクルはシステム境界外とする。

3.3.　データ収集

本研究では既存文献や統計局のデータなどの 2 次データを使用している。また 2 次データを基に算定したデータについては以下の(式 1.2)に示す。

洗濯機の年間電気消費量
=年間洗濯回数×1 回の電気消費量（式 1）
洗濯機の年間水消費量
=年間洗濯回数×1 回の水消費量（式 2）

3.4.　算定方法

本研究での CFP、WF、統合化の算定には原単位法を使用した。（算定式は以下の式 1,2, 示す）

CFP＝Σ（活動量×原単位×特性化係数）（式 3）
WF＝Σ（活動量×原単位×特性化係数）（式 4）

活動量には、文献から得た 2 次データを使用している。（式 3,4）の原単位には、IDEA（産業技術総合研究所）を使用した。（式 3）の特性化係数には GWP を、（式 4）の特性化係数には、矢野らが開発した水消費量特性化係数を使用した。

4.　結果

4.1.　各国でのカーボンフットプリント

各国での洗濯機の GHG 排出量を図 1 に示す。いずれも使用における電力が大きく占めた。特に東ヨーロッパの地域では温水を使用している点などから使用時の電気消費量が大きく、GHG 排出量も大きい傾向にあることが分かる。スロバキア、スイスの GHG 排出量が小さいのは電力の原単位が小さいためである。また、中国では手洗いをしている地域があり、洗濯機の所持率が低いことから最も小さい結果となった。製造における GHG 排出量が小さく出ているのは洗濯機が使用頻度の高い製品でありためであると考えられる。

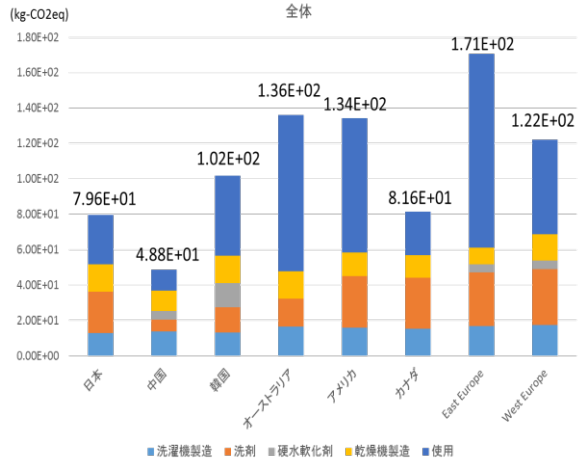


図 1　各国における洗濯機のカーボンフットプリント算定結果

4.2.　乾燥機の GHG 排出量

全ての国で同じタイプの乾燥機を使用したと設定している。East Europe では所持率が低かった為、負荷が小さい結果となったと考えられる。次いで小さい結果となった中国も同様の理由で小さい結果となった。

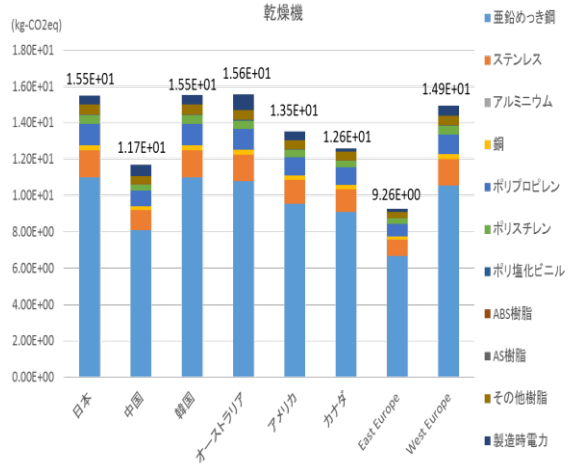


図 2　乾燥機製造の GHG 排出量

4.3.　ウォーターフットプリント

各国における WF 算定結果を図 3 に示す。オーストラリアが最も大きく、次いでカナダ、アメリカが大きかった。いずれの国も縦型洗濯機を使用しているため水の消費量が多いのに加えて、オーストラリアの場合は特性化係数が大きいことも影響した。縦型洗濯機を使用している日本では水消費量は大きいが特性化係数が小さいため、結果として大きくならなかった。

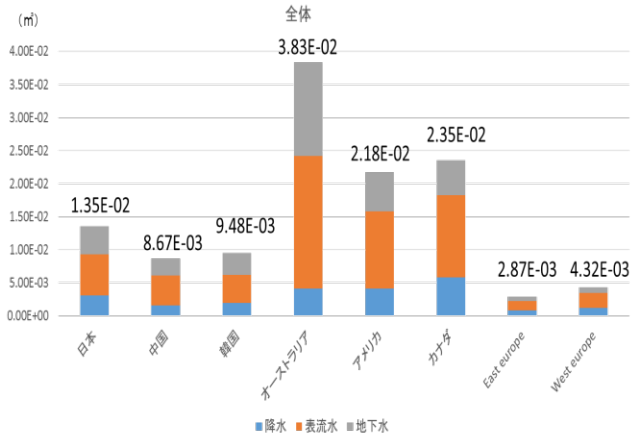


図 3　各国における洗濯機のウォーターフットプリント算定結果

5.　結論

全体での GHG 排出量の結果では、使用する際の GHG 排出量が最も大きく占めており、これは洗濯機が年間での使用回数が多い家電製品である為だと考えられる。GHG 排出量ではヨーロッパの地域が大きく出ており、選択の際に温水を使用していることが大きく寄与していると考えられる。また、電力ミックスの褐青炭火力発電由来の電力が多くを占めており、褐青炭火力発電では GHG 排出量が他の発電方法と比べると大きく出ることが原因だと考えられる。

水資源消費量の結果ではオーストラリア、アメリカ、カナダが大きい結果となった。これは、水を多く使う縦型洗濯機を使用している国である点と、と降水量が比較的少ない地域であることが原因だと考えられる。

6.　課題

本研究では輸送における負荷が含まれていないため、過小評価である。また、比較対象の縦型洗濯機をより最新のデータを使うことでより精度の高い算定をすることが出来る。

各国の洗濯機、洗剤のデータはそれぞれの国における統計データが得られなかったこと、手洗い及び手動洗濯機の影響を含めていないため、特にウォーターフットプリントの不確実性が高いものと想定される。

7.　参考文献

1) WORLD RESOURCES INSTITUTE
2) 一般社団法人日本電機工業会
3) Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide

P2-105
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

空調冷熱システムを対象とした環境フットプリント

Product Environmental Footprint of Air-Conditioning & Refrigeration Systems

○廣瀬悦子*[1)]、藤崎克己 [1)]
Etsuko Hirose, Katsumi Fujisaki
1)　三菱電機株式会社
*Hirose.Etsuko@aj.MitsubishiElectric.co.jp

1.　はじめに

現在、欧州委員会が検討を進めている「環境フットプリント」は、カーボンフットプリントのような地球温暖化といった単一の環境影響の評価ではなく、水や資源、人間健康等15項目の環境影響評価を対象とする評価手法である[1)]。原料の採取から廃棄・リサイクルまで、製品や企業活動等がそのライフサイクルの中で環境にどれだけの負荷を与えているか、LCA手法を活用して定量的に評価し、最終的には欧州で販売する個々の製品に対し環境情報の表示の義務化等が想定されている。2013年に基本的な算定ルールを定めた製品および組織の環境フットプリントの手法論ガイドが発行された後、同年11月から製品分野別、業種別の詳細な算定ルールの策定や算定結果の消費者等へのコミュニケーション方法等の検討のため、試行事業を3年間実施してきた。日本からはIT機器：ストレージ（外部記録装置）事業に参画しており、進捗状況は日本電機工業会の電機・電子4団体環境フットプリントWGを通して業界内に情報共有されている。すでに2016年にはパイロット事業が完了し、2017年以降の活用に向け検討・試行が進められ、欧州連合では、2020年頃に制度化を目指している。

そこで今回は、欧州向け空調冷熱システムを評価対象とし、ライフサイクル全体での重要な環境影響領域やその中で影響の大きい材料を明らかにすることを目的に、環境フットプリントを算定し、改善案による効果を検証した。その一例として、欧州で一般的なラジエータ暖房や床暖房用に、従来の化石燃料燃焼系ボイラをヒートポンプ熱源に置き換えたAir to Water（ATW）ヒートポンプシステムについて評価した結果を報告する。

2.　評価方法

2.1　対象とする製品システム

三菱電機では、2007 年から空調機技術をベースに、ブランド名“ecodan”で、ヒートポンプ熱源（室外機）を既存システムへ供給することから市場に参入した。2011 年には事業範囲の拡大を狙い、シリンダユニット（室内機）を開発し自社システムを完成した。ATW ヒートポンプシステムの基本構成を図１に示す。

今回の評価対象範囲は、自社 ATW システム（図１の赤枠で囲った部分）のみとし、欧州の主力機種である 8.5kW の ATW ヒートポンプシステム“ecodan”（室外機：PUHZ-W85VHA2 とシリンダユニット:EHPT20X-VM2HB で構成）とした。また、室外機とシリンダユニット間の接続配管は含むが、シリンダユニットからの住宅内のラジエータや床暖房への配管類等は評価対象としないこととした。

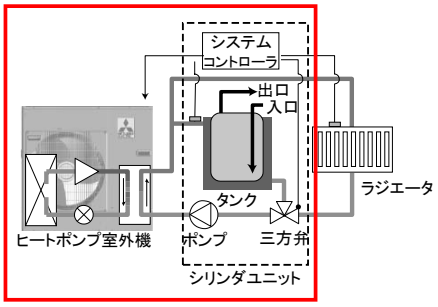


図１．ATW ヒートポンプシステムの基本構成

2.2　システム境界の設定

本評価のシステム境界は、素材製造⇒部品製造⇒製品製造⇒製品輸送⇒使用⇒廃棄・リサイクルとした。同梱する付属品（リモコン、マニュアル類等）や梱包材は素材段階で、消耗・交換部品は、サービス・メンテナンスマニュアルをもとに部品と交換頻度を設定し、使用段階で評価した。

一方、素材・部品に関する輸送工程は、個々の素材・部品の生産地、輸送形態が多岐にわたるため、正確な調査が困難と判断し調査範囲から除外した。廃棄・リサイクル段階においても、リサイクル控除の考え方がまだ決まっていないため、今回はリサイクルを考慮せず、廃棄時の破砕処理のみを評価した。

2.3　インベントリ分析

調達（素材・部品加工）段階は、室外機とシリンダユニットについて、パーツカタログ、主要部品仕様表をもとに各機器の材料構成データを収集した。

ATW ヒートポンプシステムの製造・組立段階は、欧州の自社グループ工場で行われており、１年間の実測データをもとに、単純に当該工場における年間製品生産台数で按分した。内製部品は、国内自社工場の製造ラインの年間実測データを生産台数で除し 1 台あたりの投入エネルギー量を算出した。

製品輸送は、最終組立工場から欧州国内で使用する際の輸送ルートとして、トラックに対象製品 12 トンを搭載し、工場での実績データをもとに 604km を 1 回輸送する場合を設定した。

使用時の年間電力量は、暖房モードにおけるシステムの期間エネルギー効率を計算するための欧州規格：EN14825「Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling — Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance」に基づき算定した。さらに、この条件下での給湯使用時の電力量は、欧州規格 EN16147「Heat pumps with electrically driven compressors —Testing and requirements for marking of domestic hot water units」の給湯負荷条件をもとに、電力量を算出した。

使用年数は 10 年とし、消耗・交換部品としては、接続配管の他に、サービス・メンテナンスマニュアルに基づき、シリンダユニットの 6 部品をそれぞれ適性年数で交換することとした。その他、使用時には製品から冷媒は漏れることがないため、漏れ量は考慮していない。

廃棄段階において使用済み製品は、全量回収⇒破砕されるとし、その際の解体・破砕にかかるエネルギー量は、日本のリサイクルプラントにおける年間使用電力量を年間処理重量で割った消費電力量で代用した。

2.4　環境影響評価

評価には LCA ソフト「SimaPro 8」を用い、各種素材やエネルギー源等に関する原単位は ecoinvent Ver.3 のデータベースを使用した。ただし、不足している鉄関連のデータベース：PCM 鋼板、溶融亜鉛メッキ鋼板、鋼線等については、材料のプロセスと加工処理のプロセスを組合せて新規データベースを作成した。例えば塗装鋼板の場合、原料となる「Steel」のプロセスと加工処理の「Powder coat」プロセスのデータを加算することで、塗装鋼板のデータベースとした。また、冷媒の製造エネルギーは、HFC-134a で代用した。影響評価手法は、環境フットプリントで規定されている 15 項目の環境影響評価が可能な「ILCD 2011 Midpoint」（EU プロジェクトデフォルト値）を用い、環境負荷指数（Point）として数値化し、環境影響評価結果とした。

3.　評価結果

ATW ヒートポンプシステムにおけるライフサイクル全体の環境影響評価した結果、15 の影響領域の中から、重要な影響領域として「淡水生態毒性」、「富栄養化-海水域」、「ヒト毒性-発がん影響」、「ヒト毒性-発がん影響以外」、「資源枯渇-鉱物化石」の 5 項目を特定した。

ライフサイクル段階ごとに比較すると、図 2 に示すように 10 年間使用するためほとんどの影響領域で、使用段階が 90%前後を占める結果となった。次いで、調達段階の影響が大きく、「資源枯渇-鉱物、化石」においては、調達段階の環境負荷が 75%と大きい結果となった。

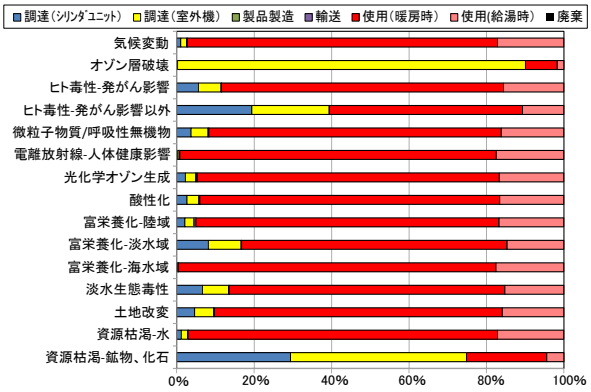


図２．ライフサイクル別環境影響評価結果

そこで、室外機の調達段階に着目し構成材料別の評価を行った。その結果を図 3 に示す。これより重要な影響領域として特定した 5 項目に影響を及ぼす材料は、銅と積層基板であることがわかった。

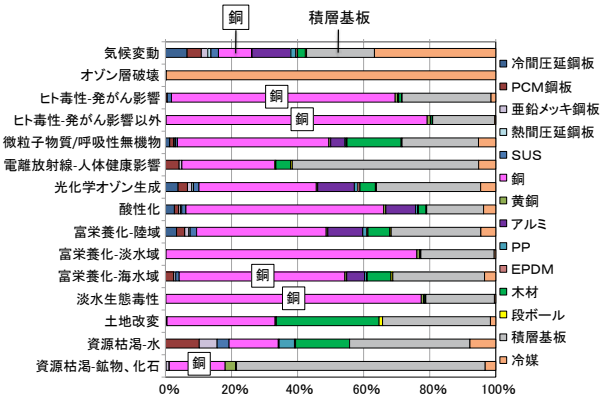


図３．室外機：材料別の環境影響評価結果

4.　まとめ

ATW を対象として、EU 製品環境フットプリントの実施ガイダンスをもとに環境フットプリントを評価した。その結果、15 の影響領域の中から重要な影響領域として 5 項目を特定した。構成材料別では、室外機の銅と積層基板が環境影響領域に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。また、事前に予想された通り、ほとんどの影響領域で、使用段階がライフサイクル全体の 90%前後を占めた。今後、さらなる省エネ化を進める中で、F ガス規制に伴う新冷媒の採用等による環境負荷低減効果を検証していく。

5.　参考文献

1) “Product Environmental Footprint Pilot Guidance”, 入手先 http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/Guidance_products.pdf, (参照 Version 5.2 – February 2016)

P2-109
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

AI の環境・経済・社会的価値の評価方法の開発

Development of Evaluation Method of Environmental, Economic and Social Value for AI

○坂口真里奈 [1)]、並河治 [2)]、稲葉敦[*1)]
Marina Sakaguchi, Osamu Namikawa, Atsushi Inaba
1)工学院大学, 2) （株）日立製作所
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

ICT の活用による CO_2 排出削減の取組みは，「グリーン IT」として行われており，ICT 機器の普及による，CO_2 排出削減効果は 2020 年には 1.25 億トンにも及ぶとされている [1)]．しかし ICT は CO_2 削減効果だけでなく，全体の費用の低減や使用者が感じる幸福度の増加にも効果があると考えられる．そこで，本研究室では，環境，経済，社会的価値の 3 軸で ICT を評価することを試みてきた．

さらに，近年では ICT が進展した人工知能（AI）・IoT（Internet of Things）及びビックデータなどの技術の台頭による，第 4 次産業革命が注目されている．中でも，AI 技術への注目度は大きく，AI を環境分野に活用しようという流れがある．また，産業構造・就業構造変革など大きな社会的変化が予想され，AI の市場規模の増加，経済効果が見込まれる．さらに AI に期待が集まる大きな要因として人の幸福度への効果が挙げられる．

そこで，本研究では，ICT で評価してきた方法に基づき，AI を用いたソリューションを評価し，現時点の AI が環境，経済，社会的価値に対してどのような影響を与えるのか明確にすることを試みた．

2. 評価方法

本研究では，CO_2 排出量，費用及び社会的価値の 3 軸を金額に換算して，総合的に評価した．プレイヤーは製造者，導入者，使用者，社会全体に大きく分けられ，それぞれ製造・導入・使用の段階に分けて考えた．

また，既往研究では，社会的価値を楽しさ，便利さ，安心・安全の 3 つで構成していたが，他の社会的価値が存在するかどうかについても検討し，評価した．

2.1 CO_2 排出量の評価方法

ライフサイクル段階別での CO_2 排出量を調査した．また，直接排出される CO_2 以外に，AI ソリューションによって間接的に CO_2 の削減効果が見られるもの，時間的遅れによりすぐに効果は見られないが，今後効果に期待できるみなし効果についても調査した．

その CO_2 の排出量に LIME2（2.3[円/kg-CO_2]）を掛けて金額に換算した．

2.2 費用の算出方法

AI ソリューションの購入金額，使用料金，電力料金，及び導入により削減された費用を調査した．

2.3 社会的価値の評価方法

AI ソリューションを用いることで得られる人の幸福度を調査した．例えば，導入前後での労働時間の変化などを調査し，労働時間あたりの平均給与を乗じて金額に換算した．

3. 評価対象

以下の 3 つを選定した．

3.1 顧客インサイト分析サービス [2)]

概要：顧客一人ひとりの購買傾向を分析し，趣味嗜好やライフスタイルを見える化することで，効果的な施策検討を支援するサービス．

3.2 AI アシスタントサービス [3)]

概要：チャット型 AI アシスタントが情報探索や連絡業務などを実行し，業務効率化，生産性の向上を目ざすサービス．

3.3 需要予測向上・共有化による省エネ物流プロジェクト [4)]

概要：AI を活用し，天候を加味した需要予測モデルにより，食品ロスが削減された経産省補助事業のプロジェクト．

4. 算定結果

ここでは，3.1 に示した顧客インサイト分析サービスの結果を示す．

4.1 CO_2 排出量の評価

ライフサイクル段階別における CO_2 排出量を調査した．導入前と後での CO_2 排出量の比較を Figure 1 に示す．

導入前のライフサイクル全体の CO_2 排出量は，2509[kg-CO_2]，導入後のライフサイクル全体の CO_2 排出量は，357[kg-CO_2]であった．CO_2 排出量に LIME2 をかけ，金額換算すると導入前は，5771[円]，導入後は 821[円]となった．従って削減量は，2152[kg-CO_2]，削減費用は，4950[円]となった．

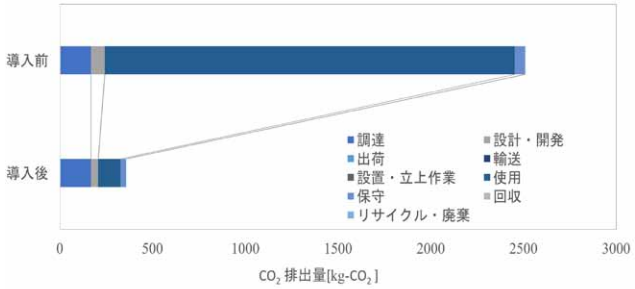


Figure 1 導入前と後での CO_2 排出量の比較

4.2　費用の評価

初期導入費用，定期運用費用，保守費用については製品パンフレット [2] に記載されている価格の最低値とし，エネルギー費用では，使用期間における電力料金を調査した．今回使用期間は 1 年間とした．Table 1 に全体費用を示す．

Table 1　全体費用

初期導入費用	10^3 円/年	1700
定期運用費用	10^3 円/年	3600
保守費用	10^3 円/年	255
エネルギー費用	円/年	114
合計	10^3 円/年	5555

4.3　社会的価値の評価

ICT での既往研究では，楽しさ，時間の短縮，安心安全の 3 つで評価してきた．いくつかの AI ソリューションを検討した結果，今回は，その 3 つに加えて知的能力の拡張，物理的労力の軽減，先進性/目新しさ，精神的負担の軽減の計 7 つで評価することを試みた．Figure 2 に AI による社会的価値についてラダリング法を用いた結果を示す．

顧客インサイト分析サービスの社会的価値については，分析時間の削減，分析を行っていた方の精神的負担の減少，分析の精度向上などが挙げられる．しかし，幾つか定量的に算出しきれていない項目があるため，現在結果を整理中である．

3.2 と 3.3 に示した評価対象については LCA 学会の発表時に示す．

5.　結言

本研究では，AI ソリューションによる影響，効果を CO_2 排出量，費用，社会的価値の 3 軸で評価する方法の開発を試みた．

すでに定量的に算出できている社会的価値だけでなく，精神的負担の軽減など，まだ定量化できていない部分があるため，AI ソリューションならではの社会的価値の軸の定量化を検討する．そして CO_2 排出量と費用，社会的価値の 3 軸全体で，AI を用いていない ICT 機器と比較してどのような差分が見られるかを明確にしていきたい．

引用文献

1) 総務省：“平成 22 年 情報通信白書”, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h22/html/md212000.html>,（参照 2017-12-18）

2) 株式会社日立製作所：“顧客インサイト分析サービス”, <http://www.hitachi.co.jp/products/it/it-pf/itmv/no16/pdf/itmv0016.pdf>,（参照 2017-12-18）

3) 株式会社日立ソリューションズ：“AI アシスタントサービス “, <http://www.hitachi-solutions.co.jp/pdf/wsi_aia.pdf>,（参照　2017-12-18）

4) 経済産業省：“気象情報等を用いた需要予測で食品ロスゼロを実現しました”, <http://www.meti.go.jp/press/2017/06/20170605004/20170605004.html>,（参照　2017-12-18）

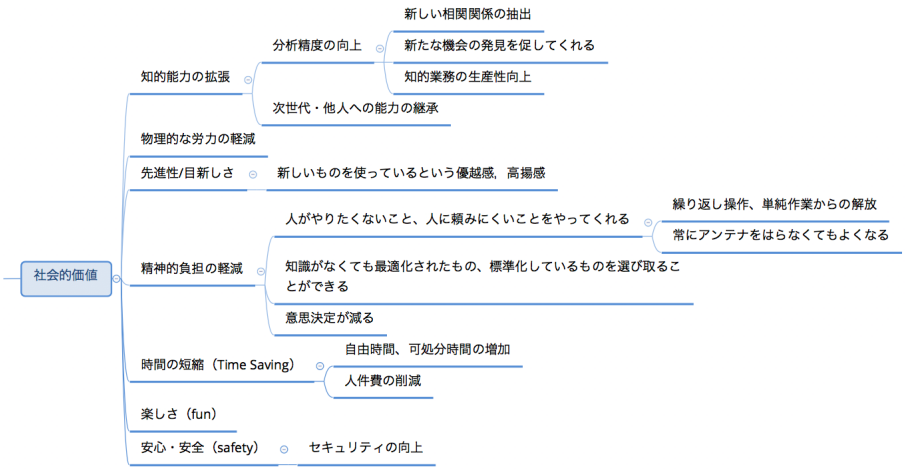


Figure 2　AI による社会的価値のラダリング図

P2-113

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

萌芽技術の技術経済性分析手法の整理

Techno-economic assessment methods for assessment of emerging technologies

○雨宮大雅*[1)],大野肇 [1)],福島康裕 [1)]

Taiga Amemiya, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima

1) 東北大学

* taiga.amemiya.t4@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

低炭素化、枯渇性資源への依存の緩和などを目指した新規プロセス技術の一刻も早い導入にむけて研究開発が加速している。これらの技術の導入のためには、環境影響の削減が十分に達成されるのと同時に、経済的に持続可能となる必要がある。これを支援するために、技術開発の早期の段階から環境影響と経済性の分析が行われるようになってきた。環境影響の評価には LCA が用いられるのが一般的であるが、本発表では、合わせて実施される経済性の検討方法を議論する。

技術の経済性は事業として評価される必要がある。このため、近年盛んに行われるようになってきたプロセス技術の経済性分析（Techno-economic assessment）では、事業を継続・発展していくための収益を確保し続けるために、どれだけ製品を生産し、どのような値段で販売するのかが、工場の建築や機材の導入から原料価格や人件費など販売価格に影響してくる様々な事柄を踏まえて、分析、検討される。多くの文献ではリスクなどに応じて設定される、望ましい正味現在価値（Net Present Value, NPV）や内部収益率(Internal Rate of Return, IRR)を設定し、製品の最低販売価格(Minimum Selling Price, MSP)を指標として検討が行われている。しかしながら、その検討方法の妥当性については議論されることがほとんどない。例えば NPV 計算を行うには、キャッシュフロー（CF）の想定が必要となるが、CF の記載はあっても、どのようにその想定が行われたのかが記載されることは僅少であり、その妥当性は不明である。

企業が新規プロセスを導入する事業を検討する際には、原材料の調達、立地、適用される減税等優遇措置、融資条件などの検討結果から具体的な CF を作成する。一方、新規プロセスの研究段階では、まだ具体的な想定はされないため、わかっていない値や事項がおおく存在しており、CF の想定が困難である。

そこで、本報告では文献で用いられている経済性評価の手法や製品の原価計算について調査し、レビューを進めているので、これを報告すると同時に、これからの経済性評価手法について議論したい。

2. 文献整理

本報告では、バイオマスのプロセス技術導入に関する文献を主に扱う。この理由としては、前述の通り、近年の低炭素化、枯渇性資源への依存の削減など環境に配慮した新規プロセスに、バイオマス資源を活用したものが多く検討されているためである。文献ではそれぞれ、樹脂や医農薬中間体原料とされる 1,5-ペンタンジオールの生成 [1)]、トウヒ・トウモロコシを原料とした C6 糖製品の製造 [2)]、褐藻からの高価値な機能的食品の製造 [3)]、カーボンニュートラルな水素精製 [4)]について議論されている。

表 1 に各文献における CF 計算で考慮されていた事項をおおまかにまとめた。これらは原価計算をするうえで、無視することができない事項であり、その値の増減で原価価格が大きく変化し得る。表 1 に示すように、どの文献においても土地については考慮していない。また、設備費と製造費はどの文献でも扱っていることがわかる。このように、ある程度の共通はあるものの、考慮事項の数、種類は文献によってまちまちで、新規プロセス技術の経済性の検討結果の比較を困難にしている現状が見えて来た。

表 1　各文献における CF 計算での考慮事項

	土地	設備費	建設費	製造費	人件費	減価償却費	税金
Conversion of Furfural to 1,5-Pentanediol: US [1)]	×	○	○	○	○	○	○
C6 sugars production: Netherlands [2)]	×	○	×	○	○	○	○
Food products from the brown seaweeds: Australia [3)]	×	○	○	○	×	×	×
CO_2-neutral H_2 production: Austria [4)]	×	○	×	○	○	○	○

3. CF 計算

3.1　CF 計算表

CF 計算では、製品を製造する過程のどのタイミングで資金の投入や利益が生じ、それらが製品価格にどのような影響を与えるかを理解するために使用される。CF 計算表は文献 2)、4）に掲載されていた。文献 4）は簡易的に CF 計算をまとめた表を掲載し、一方、文献 2）では、より詳細な CF 計算の結果を掲載している。その他の文献では、NPV の結果について議論されているものの、その値をどのような CF 計算表で求めているのかが明らかにされていない。各新規プロセス技術を経済性の観点から評価・比較することために、CF 計算のテンプレートを用いることができるようにすること、何らかの類型化を施した変数のセットや推算モデルを提供することで技術の開発段階での経済性評価の簡便性と客観性を高めることができるのではないかと考えている。

3.2　CF 計算表の形式と各値の算出

CF 計算表の形式を作成する上で文献 2)、6）で掲載されていた NPV 計算表を形式の参考とした。前述の通り、製品原価を決定する際には様々な事柄を考慮する必要があるが、すべての値が判明しているわけではないため、それらの判明していない値を一定の基準で定め CF 計算に盛り込む必要がある。そこで本報告では、引用文献 5）を参照し判明していない考慮事項の各値を設備費に基準を置き、値を算出し、NPV を計算する CF 計算表の形式を作成した。このように不明な値を一定の基準で取り決めることで、CF 計算に経済性評価の際に考慮しておきたい様々なデータを盛り込むができる。表 2 に作成した NPV を求める際に使用する CF 計算表のテンプレートを示す。表 2 に示す事柄を各年で表示していくことで CF 計算を行い、これを基に経済性の諸指標を検討していくことができるようになる。

表 2　CF 計算表

Year	-2	-1	0...
Land cost			
Property tax (land)			
Fixed-Capital Investment			
Working Capital			
Total Capital Investment			
Start-up cost			
Operating rate, Fraction of capacity			
Annual sales			
Annual variableproduct cost			
Annual fixed procust cost			
Short time breakdown			
Annual depreciation			
Property tax (depreciation)			
Disposal of equipment			
Annual Gross Profit			
Annual Net Profit			
Annual Operating cash flow			
Total Annual cash flow			
Cumulative cash position			
Present worth factor			
Present worth of annual cash flow			
Cumulative NPV			

3.3　CF 計算に用いた値の妥当性

今回 NPV を計算する上で用いた値の多くは、設備費に対する比率を用いて決定した。その比率については、引用文献 5）に記載されている値を引用した。しかしながら、これらの値の普遍性についてはまだ検討できていない。今後、様々な文献や実際のデータを整理し、妥当性の高い比率を決定していくこと、CF に影響を与える様々な事情を整理して設定値を数通りに類型化することで、技術開発に資する経済性の議論に貢献していくことができると考えている。

4. 結言

本報告では、CF 計算に着目し、新規プロセス技術の経済性を議論していく上で必要になってくる事柄を整理してきた。製造の過程で必要となるお金の流れをより多く含ませることで、細かい CF 計算を行うことができ、詳細な技術の経済性評価を行うことが可能になる。

引用文献

1. K Huang., Zachary J. B., Kevin J. B., James A. D., Geoge W. H., Christos T. M.: ACS Sustainable Chem. Eng., 5, (2017), pp.4699-4706
2. Jonathan M., Iris V. G., Wouter J.J. H., Jan W. D., Andrea R.: Journal of Cleaner Production., 170, (2018), pp.610-624
3. Suvimol C., Andrew J. L., Christopher M.M. F., Su P., Michael A. C., Zhang W.: Algal Research., 29, (2018), pp.80-91
4. Yao J., Michael K., Florian V., Hermann H.: Energy Conversion and Management., 145, (2017), pp.278-292
5. Max S. Peters., Klaus D. Timmerhaus., Ronald E. West, “Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fifth Edition”, Mc Graw Hill, (2003), pp.226-318
6. 吉川武文, “技術屋が書いた会計の本”, 秀和システム, (2016), pp.45-92

P2-114

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

Drone 配送による GHG の削減効果

Effect on GHG reduction by drone delivery

○桜井慶太郎 [1)]、稲葉敦[*1)]

1)Keitaro Sakurai,Atusi Inaba

工学院大学

*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

近年、通信販売市場の拡大に伴い宅配便市場が拡大し労働力不足や労働環境の悪化、排ガスなどの問題が生じている。これらは利便性の高いサービス・電子商取引市場の拡大・ネット通販利用の拡大などによる宅配便取扱個数の増加が大きな要因となっている。一方ドローンはここ数年で注目を集めており技術の進歩は著しい。無人で飛行できることから現場の無人化、高速配達、人件費削減などの可能性があり多くの企業や政府がドローン配送を研究開発中である。

本研究では、既存のトラック配送から、無人で配達でき、かつガソリンや軽油の燃焼による直接的な温室効果ガス（GHGs）を排出しないドローン配送に置き換えることによる GHGs 排出量の削減効果を算定する。

2. 研究手順

2.1 配送システムの設定

システムを設定する際、配達に関する情報を得るため物流企業へのヒアリング調査を行った。近年はフリマサイト等を活用した個人間取引の拡大により小型荷物が増加しているので、本研究では荷物重量は最大 5.0kg とし、1 台のドローンに対して 1 つの荷物を搭載し飛行するとする。

トラック配送は 1.5t 車を使用することにする。積載率は 1%～100%までとし荷物個数は 1 個~300 個となる。しかし、ヒアリング調査では配送地域によっても異なるが平均して 1 日 1 人のドライバーが配達できる限度は約 100~150 個となっている。ここでは荷物をまとめて配達できる場所として大規模マンションを選択し、配達距離は 1km、5km、10km、20km の 4 つのパターンを設定した。

またトラック配送とドローン配送共に再配達を考えないものとする。マンションに宅配レールを製作しマンションの外部から内部の管理室まで繋げ、管理者が消費者に配達する。レールを荷物が滑り落ちることにより無動力で管理室に届けることができる。

2.2 トラック配達の CO_2 排出量

軽油を燃料とする 1.5t 車で 1 年間 365 日配達する。軽油の燃焼による CO_2 排出量 0.07795 (kg-CO_2/MJ)[1)]、軽油の発熱量 38.2 (MJ/L)[1)]とする。走行距離 A(km)、1.5t トラックの燃費を 11.20(km/L)[2)]とすると 1 年間で必要な軽油量は A(km)/11.20(km/L)×365(回)＝32.59A(L)となる。1L の軽油の CO_2 排出量は 0.07795(kg-CO_2/MJ)×38.2(MJ/L)＝2.978(kg-CO_2/L)となる。積載率を B(%)とすると荷物の個数は 1500(kg)/3.0(kg)×B(%)＝500B(個)。荷物 1 個配送する時に排出される CO_2 量は[32.59A(L)×2.978(kg-CO_2/L)]/500B(個)＝0.1941A/B(kg-CO_2/個)となる。

2.3 ドローンの基本情報及び事例調査

ドローンはロボットの 1 種を指す言葉で遠隔操作（肉眼で見ることができない範囲）、自律自動で動作する無人航空機全般の総称である。従ってラジコンとの違いは大きく分けて遠隔操作、自律自動の有無によって分類される [3)]。

ドローンを使用し荷物を配送する研究は日本以外にも世界各地で IT 業界、物流業界を中心に研究事例がある。米 Amazon や独 DHL 社は山間部や過疎地域においてドローンによる全自動配送の実証実験に成功している。また日本でも政府や各企業が多数のドローンを衝突させず運行させる実証実験を行っている [4)]。ドローンの技術で現実的には可能だが、航空法などの法律や人々の意識的な問題が大きな壁になっていると言える。

2.4 ペイロードの補正値

2 台の機体サイズが異なるドローンを購入し、プロペラの性能、モータの回転数などから機体が運べる最大積載量（ペイロード）の理論値を算出した。また実際にペットボトルに水を入れてドローンに持たせ、空中でドローンが安定して静止することができる荷物重量を測定した。ペイロードの理論値と実測値を表 1 に示す。

表 1：機体サイズ別の補正値

	F183DH	HS300
機体サイズ	30.5cm × 30.5cm	49cm × 49cm
①ペイロード（理論値）	564g	1484g
②ペイロード（実測値）	209g	1136g
②/①	0.3706	0.7654

本研究では荷物の重量と安定性を考慮し 4 枚羽ではなく 8 枚羽で回転するオクトコプターを想定し、サイズは 105cm×105cm とする。2 台のドローンの実測値/理論値とプロペラサイズによる補正値を図 1 へ示す。

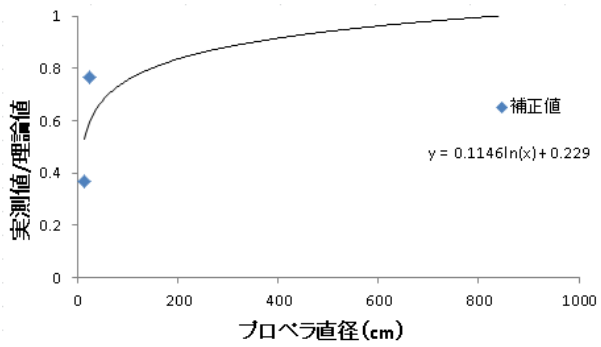


図1: プロペラ補正値の近似曲線図

表 1 よりプロペラのサイズが大きい方が実測値は理論値に近づくことが分かる。図 1 よりプロペラ補正値を y=0.1146In(x)+0.229 と近似する。オクトコプターのプロペラ直径は約 40cm なので補正値を 0.653 とする。

2.5 使用するオクトコプターの選定

ドローンは全ての飛行過程で 40(km/h)で飛行しモータの出力は常時 75%とする。20km 先へ飛ばすには 30 分間要することになる。バッテリーは放電電力 10Ah、電圧 22.2V、6 セルのリチウムポリマーバッテリー5 つ搭載する。75%時のブラシレスモータ 1 つあたりの消費電力は 244.2wh[5]となる。従って飛行時間は約 34 分となり 4 分間の余裕を持つ。また GPS やセンサー等の各基盤の消費電力は考慮しないものとする。

約 34 分間飛行し、5kg の荷物を配達することができるオクトコプターの部品を調査した。5kg の荷物と機体の重量、5 つのバッテリー等の総重量は約 15.96kg となる。プロペラの直径は 17.5inch、ピッチ 6.5inch、モータの KV 値は 380rpm[5]よりオクトコプターのペイロードの理論値は約 24.5kg となる。2.4 で算出したオクトコプターの補正値 0.653 を考慮すると飛行可能なペイロードは 15.99kg となり飛行可能である。

2.6 ドローン飛行時の二酸化炭素排出量

機体はリチウムポリマーバッテリーを使用するため飛行時に直接 CO_2 を排出しない。しかし充電に必要な電力を発電所で発電する際に排出される CO_2 を算定する必要がある。バッテリーへの充電効率は 1 としエネルギー損失は無いものとする。バッテリーに充電した電気量 0.5586(kg-CO_2/kwh)[1]より CO_2 へ換算した結果を表 2 へ示す。

表 2：ドローンの飛行時と製造時の CO_2 排出量

	1km	5km	10km	20km
飛行時の排出量 (kg-CO_2)	0.05456	0.2728	0.5456	1.0912
製造時の排出量 (kg-CO_2/kWh)	0.00566	0.0283	0.0566	0.1132
合計排出量 (kg-CO_2)	0.06022	0.0283	0.6022	1.2204

2.7 ドローン製造時の CO2 排出量

ドローン製造時に排出される CO_2 は 2.5 で選択したオクトコプターの部品を各材料ごとに分類し、インターネットで部品の価格を調べ IDEAver2[1]より製造時の排出量を算出した。その結果 1 台あたり約 340(kg-CO_2)となった。

ブラシレスモータの平均寿命は約 40000(h)[4]である。30℃の条件下で 15℃温度が上昇するたびに寿命は半減される[4]。モータの表面温度を 75 度まで上昇すると仮定すると寿命は$(1/2)^3$ となるドローンの時速 40(km/h)、1 日のうち 6 割だけ飛行するとすれば生涯飛行距離は 40000(h)×$(1/2)^3$×40(km/h)×0.6＝12×10^3km となる。1km あたりに換算すると 340(kg-CO_2)/ 12×10^3(km)＝0.00283(kg-CO_2)という結果になった。したがって飛行距離を考慮すると表 2 となる

3. 結果

トラック配送とドローン配送において荷物 1 個を目的地へ配達するための CO_2 排出量と積載率の関係を図 2 に示す。ドローン配達は 1 台に 1 つの荷物を搭載するので 1 個あたりの CO_2 排出量は輸送距離に比例する。トラックの積載率が 7～8%まではドローンで配送する方が環境負荷が少ないが、7～8%を超えるとトラック配送の方が環境負荷は少ないという結果になった。

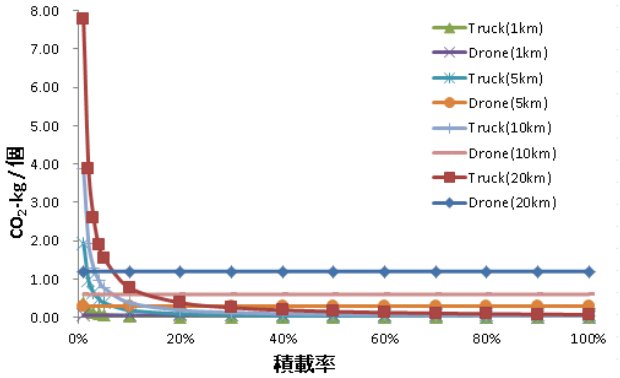


図2: 荷物1個あたりのCO_2量と積載率の関係

4. 引用文献

1) 経済産業省,“IDEAver2,”(2017-10-15)
2)国土交通省,“自動車燃費一覧（平成 27 年 3 月）”
<http://www.mlit.go.jp/common/000206664.pdf>
(2017-12-18)
3) 株式会社工学社,“ドローン完全ガイド”,
星正明,東京,(2015),p.23,(2017-5-15)
4) ケータイ Warch,“ドローン/ロボット”
<https://k-tai.watch.impress.co.jp/>（2017-6-20）
5) RCHHOBBY,“パワーシステムコンボ”
<https://www.rchobby-jp.com/>（2017-12-18）
6) オリエンタルモータ株式会社,“寿命について”
<https://www.orientalmotor.co.jp/>（2018-1-10）

P2-115
第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

製造時を考慮した仮想摩擦係数による輸送機関のエネルギー効率評価

Energy Efficiency Evaluation of transportation using Overall Friction Coefficient considering Manufacturing Processes

○中西正樹*[1)]、光斎翔貴[1)]、山末英嗣[1)]
Masaki Nakanishi, Shoki Kosai, Eiji Yamasue
1) 立命館大学
＊nmasaki5000@gmail.com

1. はじめに

過去数十年間に、人口の増加や重工業化が世界のエネルギー景観を大幅に変えた。特に輸送部門は、世界のエネルギー消費量の 27.8%を消費し、2013 年の消費量は 1971 年比で 22.5%増加した[1)]。輸送システムが社会経済活動の維持と発展に不可欠な役割を果たすことを考えると、輸送部門におけるエネルギー効率を改善することが最も重要である。近年の運輸部門におけるエネルギー高効率化に資する研究の動向として、単位燃料当たりの輸送質量・距離[2)]、モーダルシフトの推進による交通需要マネジメント[3)]、人キロ・トンキロあたりのエネルギー消費・CO_2 排出量[4)5)]などに関する研究が行われている。輸送におけるエネルギー損失には地面や空気の抵抗のような物理的要因のみではなく、停発車や乗車率といった社会的要因が考えられる。

このような社会的要因を含めるために、醍醐ら[6)]は仮想摩擦係数を提案し、輸送効率の評価を行っている。しかし、この評価は輸送機関の製造段階で必要とされるエネルギーが考慮されておらず、使用段階が支配的とならないような交通機関においてエネルギー効率を正しく評価出来ていない可能性がある。

そこで本研究では、従来の仮想摩擦係数のフレームワークを拡張し，使用段階と製造段階の両方で必要とされるエネルギーを考慮し，様々な交通手段のエネルギー効率を評価することを目的とする。

2. 算定式及び研究手法

2.1 仮想摩擦係数の算定式

仮想摩擦係数とは単位距離・質量あたりの消費エネルギーで算出されるエネルギー効率と意味することは同じであるが、無次元数であるため物理定数である摩擦係数と比較できるという特徴を持つ。
次に、製造時を考慮した仮想摩擦係数の算定式を下記に示す。

$$\mu = \frac{Q1 + Q2}{(m + M)gL}$$

μ(-)：仮想摩擦係数、Q_1(J)：製造時の消費エネルギー、Q_2(J)：走行時の消費エネルギー、m(kg)：旅客(貨物)質量、M(kg)：輸送機関の質量、g(m/s^2)：重力加速度、L(m)：輸送距離

2.2 調査対象

本研究で調査対象とした輸送機関は、日本における人の歩行・自転車・自動車・鉄道・新幹線・飛行機・船舶である。

2.3 推計方法

輸送機関の組成や走行条件の調査を行うにあたって、文献や自動車会社の Website[7)8)]を使用した。また、それぞれの素材のエネルギー原単位についてはライフサイクルアセスメント支援システムである MiLCA を使用した。仮想摩擦係数を算出する際、輸送質量は旅客の質量と輸送機関の質量とし、消費エネルギーについてはライフサイクル的な観点から評価を行うため、走行時のみでなく製造時も考慮する。

3. 結果および考察

3.1 各輸送機関の仮想摩擦係数

各輸送機関における最大乗車人数時の仮想摩擦係数の算出結果を図 1 に示す。

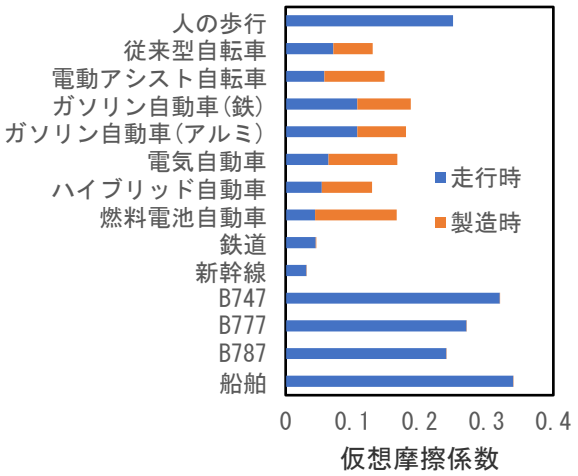


図 1　各輸送機関の仮想摩擦係数

結果から製造時を加味した輸送機関の仮想摩擦係数は概ね 0.03~0.4 の範囲に存在していることがわかった。鉄道の 0.04 という値は雪の上をヒッコリーのスキー板で滑ったときの摩擦係数(0.04~0.06)[6)]と近し

く、また、従来型自転車の 0.13 はポリエチレンの丸棒でポリエチレンの平板を摩擦した時の摩擦係数(0.1 程度)[6]より少し大きい値であり、仮想摩擦係数の大きさにイメージを持つことができる。

自転車や自動車といった小型輸送機関においては製造時における影響が大きくみられたが、他の大型輸送機関では走行時の値が支配的となった。大型輸送機関は小型輸送機関に比べて走行距離が長いため製造時の影響が相対的に小さくなったと考えられる。走行時のみでみた場合、燃料電池自動車は鉄道より高いエネルギー効率を示しているが、製造時を加味して評価した場合はこの結果は逆転する。従来型自転車と電動アシスト自転車でも同様のことがいえる。

3.2　感度分析

次にエネルギー効率の影響因子を調査するために感度分析として、乗車率の変化による仮想摩擦係数の変化をみた。棒グラフの値は平均乗車率での仮想摩擦係数を示す。それぞれの乗車率(エラーバー)の範囲として自動車は 20~100%、鉄道・新幹線・飛行機は 10~100%、飛行機は 36.5~100%とした。

どの輸送機関についても大幅な仮想摩擦係数の変化はなかった。鉄道や新幹線は乗車率が低い場合でも仮想摩擦係数が小さく、エネルギー効率の観点で優位性があることがわかる。

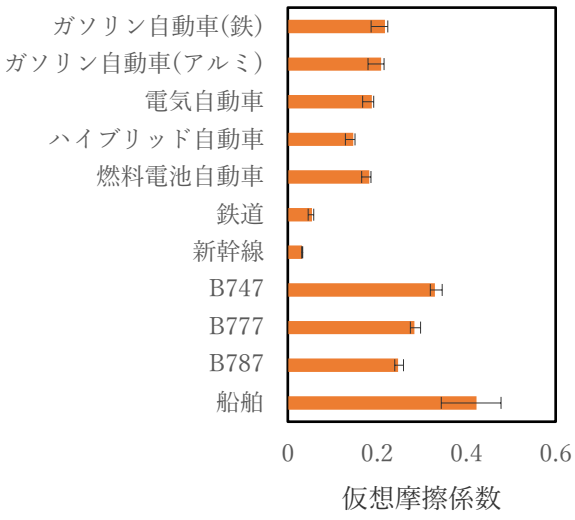


図 2　乗車率の変化に伴う仮想摩擦係数の変化

3.3　シナリオ分析

近年、技術改革の進んでいる次世代自動車の普及に伴いエネルギー効率の変化に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、世界の車種別販売台数とその割合の将来予測に関するデータ[7]を用いて、自動車に着目した世界全体の仮想摩擦係数の平均値を算出した。

2040 年までは値が下がっているのに対し、2050 年に大きくなっていることがわかる。これはエネルギー効率の良いハイブリッド自動車の販売台数が減少したことが原因の 1 つと考えられる。次世代自動車における技術は現在発展途中であるため、車体の構造改革による製造時のエネルギー消費量低減、または燃費の改良が進められることを考えると図 3 の結果は小さくなることが予想できる。

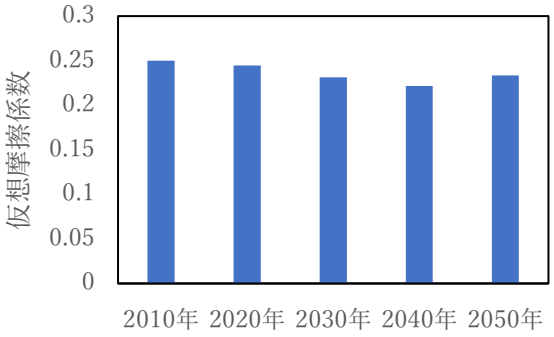


図 3　次世代自動車の普及に伴う世界の自動車の仮想摩擦係数

4.　まとめ

この先も自動車の普及が見込まれている中で、陸路での移動の場合、意識的に鉄道や新幹線を使用することでエネルギー消費量低減に繋がる。しかし自動車は電車や新幹線と比べ、プライベート空間を保持できるということやタイムテーブルに縛られないといった利便性を持っており、これらとエネルギー効率とのトレードオフを検討しなければならない。

参考文献

1)経済産業省・資源エネルギー庁：”「平成 27 年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書 2016）”,東京都,(2016),pp.196.

2) J. Hermans: EPJ Web of Conferences, 98, 07001, (2015)

3) 黒川久幸、鶴田三郎、松浦伸枝、風間富一：日本造船学会論文集, 189, (2001), pp405-412

4) Phillip Y. Lipscy, Lee Schipper: Energy Policy, 56, (2013), pp248-258

5) William Chung, Guanghui Zhou, Iris M.H. Yeung: Applied Energy, 112, (2013), pp1066-1077

6)醍醐市朗、若松貴史、山末英嗣、石原慶一：Journal of the Japan Institute of Energy, 84, (2005), pp.119-125

7) Website of Toyota Motor Corporation <https://toyota.jp/>. November/4/2017 accessed

8) Website of Nissan Motor Corporation < http://www.nissan.co.jp/ >. November/4/2017 accessed

9)International Energy Agency：Energy Technology Perspectives 2012 Pathways to a Clean Energy System, (2012)

P2-116

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年 3 月）

日本の国際線に着目した航空ネットワークに付随する CO_2 排出量分析

CO_2 emissions associated with international air networks centered around Japan

○鬼頭みなみ*[1)]、時任翔平[1)]、西嶋大輔[1)]、加河茂美[1)]

Minami Kito , Syohei Tokitou , Daisuke Nishijima ,Sigemi Kagawa

1) 九州大学

* 1EC15039K@s.kyushu-u.ac.jp

1. 研究背景

国際化の進展に伴って国際航空ネットワークの重要性が増し、今後航空部門からの CO_2 排出量が増加することが予想される中、2016 年 10 月に開かれた ICAO(国際民間航空機関)総会にて発表された CORSIA(Carbon offsetting and Reduction Sheme for International Aviation)によって国際航空部門における CO_2 排出量削減に向けてのルールが具体化された[1)]。第一段階として 2021～2026 年においては、自発的に参加する国の航空会社に対して 2020 年度の実績を基準とした CO_2 排出枠が割り当てられ、それを超えた分については排出権の購入が必要になる。第二段階の 2027～2035 年にかけては、小規模排出国・後発開発途上国を除く ICAO 加盟国すべてにこの制度への参加が義務付けられることになった。このように航空会社ごとに CO_2 排出量の上限が定められることとなり、それを超えた分に関しては排出権の購入などの追加的な費用が必要となるため、航空会社は CO_2 排出量の削減に向けて、環境面から見てより効率的な航空運営に取り組むことが大きな課題となっている。

そこで本研究では、日本発着の国際線に着目し、日本を代表する航空会社である JAL と ANA の 2 社を対象として、飛行時における乗客 1 人当たり CO_2 排出量を月別・路線地域別に算出し、乗客 1 人当たり CO_2 排出量からみた両社の環境効率性について分析する。

2. 方法

2.1 計算手法

本研究では、乗客 1 人当たり CO_2 排出量を以下の式(1)、(2)によって推計する。

$$E_{j,k} = \frac{C_{j,k}}{N_{j,k}} \qquad (1)$$

$$C_{j,k} = \frac{\left(\sum_i \frac{d_{i,k}}{FE_{i,j,k}} \times l_{i,j,k}\right)}{7} \times e \times D_j \qquad (2)$$

ここで j は月、k は路線地域、i は路線地域 k に属する個別の路線を示す添え字であり、Ej,k は月別・路線地域別の 1 人当たり CO_2 排出量、Cj,k は対象の路線地域の飛行時における月ごとの CO_2 排出量、Nj,k は月別・路線地域別の利用旅客数、di,k は各個別路線の往復就航距離　FEi,j,k は各路線の使用機材の燃費、li,j,k は週当たりの各路線の便数、e はジェット燃料 1 単位当たりの CO_2 排出係数　Dj は各月の日数を示している。本研究では、式(1)によって推計される月別・路線地域別の 1 人当たり CO_2 排出量 Ej,k の値が小さいほど、環境面から見て効率的な運航であると捉えることとする。

2.2 使用データ

本研究では、JAL と ANA の 2015 年度・2016 年度の 2 年間を対象として算出を行った。各路線の往復就航距離、使用機材、週当たりの便数については、国土交通省の国際線就航状況[2)] (2015 年夏ダイヤ・冬ダイヤ、2016 年夏ダイヤ・冬ダイヤ)のデータを用いた。月ごとの利用旅客数・搭乗率は JAL グループマンスリーレポート[3)] (2015 年 4 月～2017 年 3 月)、ANA プレスリリース[4)] (2015 年 4 月～2017 年 3 月)を用いた。航空機の燃費は、ボーイング社ホームページ[5)]掲載のデータを用いて、最大航続距離を最大搭載燃料で除することで算出した。ジェット燃料の CO_2 排出係数は、環境省(2015)[6)]に掲載されている値を用いた。

3. 結果

3.1 JAL

JAL についての結果を図 1、2 に示す。2015 年度と 2016 年度の搭乗率（折れ線グラフ）を比較すると、2015 年度は低かった 11 月～3 月にかけての搭乗率が 2016 年度の同じ時期では前年度に比べて 4%程度上昇していることがわかる(図 1・図 2 参照)。一方で 1 人当たり CO_2 排出量（棒グラフ）を見ると、2015 年度に比べて搭乗率が上昇した 2016 年度の 11 月～3 月にかけての 1 人当たり CO_2 排出量が前年度より増加している。この結果から、JAL については搭乗率の上昇が 1 人当たり CO_2 排出量の減少につながっていないことが示された。

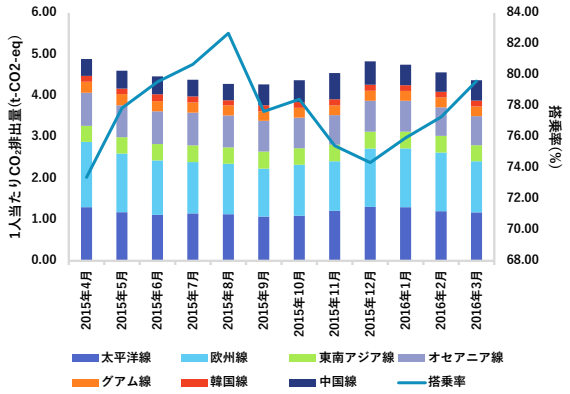


図 1　JAL の 2015 年度路線別 1 人当たり CO_2 排出量(左軸)と搭乗率(右軸)

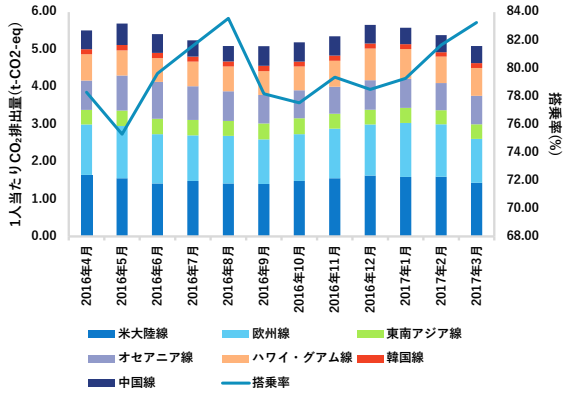


図 2　JAL の 2016 年度路線別 1 人当たり CO_2 排出量(左軸)と搭乗率(右軸)

3.2　ANA

ANA についての結果を図 3、4 に示す。2015 年度と 2016 年度の搭乗率（折れ線グラフ）を比較すると、JAL と同様に 2015 年度は低かった 11 月～3 月の搭乗率が 2016 年度では前年度の同じ時期に比べて 3%程度上昇していることがわかる(図 3・4 参照)。一方で乗客 1 人当たり CO_2 排出量（棒グラフ）を見ると、前年度に比べて搭乗率が上昇した 2016 年度の 11 月～3 月にかけての 1 人当たり CO_2 排出量は減少している。この結果から、ANA については搭乗率の向上とともに 1 人当たり CO_2 排出量が減少していることが示された。

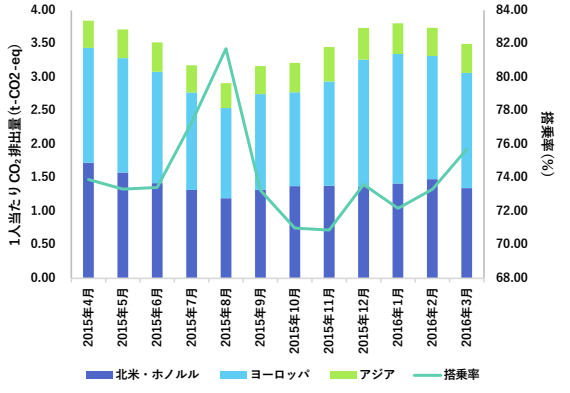


図 3　ANA の 2015 年度路線別 1 人当たり CO_2 排出量(左軸)と搭乗率(右軸)

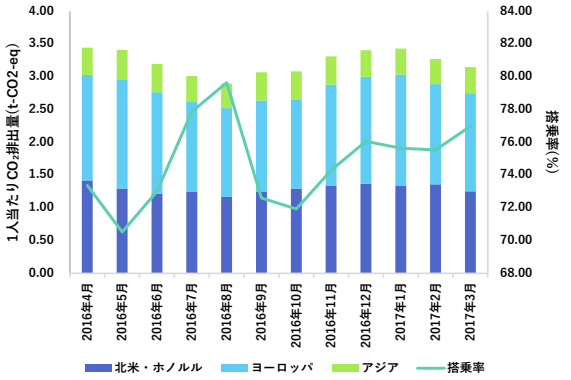


図 4　ANA の 2016 年度路線別 1 人当たり CO_2 排出量(左軸)と搭乗率(右軸)

3.3　2 社の比較

JAL と ANA の搭乗率を比較すると、両社とも 2015 年度に比べて 2016 年度の閑散期(ここでは 11 月～3 月)の搭乗率は上昇している。しかしながら 1 人当たり CO_2 排出量で比較すると、ANA では前年度に比べて搭乗率の上昇した閑散期の 1 人当たり CO_2 排出量が減少しているのに対して、JAL は前年度よりも排出量が増加している。搭乗率の上昇は 1 機当たりの搭乗客数が増加していることを意味し、それは乗客 1 人当たり CO_2 排出量の減少をもたらすと考えられる。しかし、今回の JAL の結果から分かるように、搭乗率の上昇が必ずしも乗客 1 人当たり CO_2 排出量の減少をもたらすとは限らないことが示された。そのため、今後の国際航空部門の CO_2 排出量の削減に向けて、環境面でより効率的な航空運営を目指すうえでは、搭乗率の上昇だけに囚われず、より広範な視点での運営改善を考えるべきである。

4.　参考文献

1)　“Historic agreement reached to mitigate international aviation emissions” , ICAO UNITING AVIATION , (オンライン) , 入手先 <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/Historic-agreement-reached-to-mitigate-international-aviation-emissions.aspx > , (参照 2017-12-26)

2)　国土交通省：“国際線就航状況" , (2015・2016)

3)　JAL：“マンスリーレポート” , (2015～2017)

4)　ANA：“プレスリリース” , (2015～2017)

5)　“ボーイング民間航空機部門” ,ボーイング,(オンライン) , 入手先<http://www.boeing.jp> , (参照 2017-12-26)

6)　環境省 : “温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン” , (2015)

P2-118

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

乗用車における金属部品のリサイクルに関する LCA

LCA Study for Recycling of Automotive Metal Parts

大井康寛 [1)]，佐野慶一郎*[1)]，八木田浩史 [2)]，小杉信明 [3)]

Yasuhiro Ooi, Keiichiro Sano, Hiroshi Yagita, Nobuaki Kosugi

1） 関東学院大学，2） 日本工業大学，3） いすゞ自動車株式会社

＊ keisano@kanto-gakuin.ac.jp

1.　はじめに

近年，新興国での産業の発展に伴い，大量の自動車が生産され，普及している。特に世界で使用されている自動車は，４台のうち３台が乗用車であるとされている [1)]。

乗用車のライフサイクル（製造と走行，メンテナンス，リサイクルの各段階）では，いまだ多くの石油が使用されている。そのため，資源枯渇や温暖化が問題視されている。

また，現在，廃棄されている乗用車の材料は，95wt%以上がリサイクルされている [2)]。しかし，材料をリサイクルした場合の二酸化炭素（以下，CO_2と記す）の低減効果は，ほとんど知られていない。

本研究では，一般的な小型乗用車をケーススタディとし，LCA を行った。

本研究の目的は，乗用車のライフサイクルにおける各段階の CO_2排出量の試算，および鉄系部品（鉄鋼，鋳鉄，ステンレス鋼）とアルミニウム部品のリサイクルによる CO_2の低減効果の試算を行い，リサイクルの意義を考察することである。

2.　乗用車の LCA 手法 [3)]

一般的な小型乗用車（以下，乗用車と記す）の仕様は，2006 年以降に販売された代表的な国産の乗用車 3 機種を選び，平均値を求めた（表 1）。

表 1　LCA に用いる乗用車の仕様

	数値範囲	平均値
総排気量（cc）	1, 400～1, 600	1, 500
車両重量（kg）	1, 000～1, 200	1, 100
JC08 モードによる燃料消費量（km/L）	17～23	20

*ガソリンエンジン車

＜製造＞　乗用車は，3 万点以上の部品から構成されている。完成車メーカは，多くの部品をサプライヤーから購入している。本研究では，数万点の部品を 15 種の材料とみなし，材料の集合体とし，LCA を行った。また，フロンや白金等の少量材は，車両重量の 1.5wt%未満となり，本 LCA に含まないこととした。

製造段階においては，材料採掘から材料製造，部品製造，材料および部品の輸送までを評価範囲とした。

＜走行＞　乗用車は，10 万 km を走行すると仮定した。評価範囲は，原油採掘から燃料製造，燃料燃焼とした。

＜メンテナンス＞　メンテナンス段階では，交換部品として，タイヤとエンジンオイル，バッテリー液の LCA を行った。それぞれの交換回数は，10 万 km の走行距離に対し，文献値をもとに設定した。

評価範囲は，交換部品における材料採掘から材料製造，部品製造，材料および部品の輸送とした。

＜リサイクル＞　リサイクル段階では，リサイクル材の製造により，同量のバージン材の製造が無くなり，CO_2排出量が低減することを効果とした。本研究では，リサイクル工程での CO_2排出量からバージン材製造での CO_2排出量を減算した負の CO_2量を環境への効果と定義した。

評価範囲は，車体を破砕し，有用材料を取り出し，リサイクル材を製造するまでのプロセスとした。

3.　LCA 結果

3-1 製造段階の LCA 結果

材料と部品の製造における CO_2原単位，部品重量に対する CO_2排出量を表 2 に示す。

製造段階では，材料の製造と部品の製造に分けられた。また，本研究では，材料製造で排出される CO_2量と部品製造で排出される CO_2量を合算した値を製造段階の原単位とした。製造段階の原

単位に各材料の重量を乗じることにより，CO_2排出量を試算した。

表 2　材料と部品の製造における CO_2 の原単位と排出量

材料	材料製造* ($kg-CO_2$)	部品製造 ($kg-CO_2/kg$)	重量 (kg)	CO_2排出量 ($kg-CO_2$)
鉄鋼	3.38	0.22	643.0	2,315
鋳鉄	1.18	1.06	143.0	321
プラスチック	1.70	1.00	121.0	327
アルミニウム合金	12.0	1.00	44.0	572
ガソリン	0.53	0.00	39.0	20.7
タイヤ	2.65	1.15	27.5	105
ガラス	1.08	0.84	25.3	48.5
銅	3.48	0.11	15.4	55.3
鉛	1.65	0.02	11.0	18.4
ゴム	1.69	1.08	11.0	30.5
潤滑油	1.02	0.00	11.0	11.2
不凍液	0.98	0.03	6.6	6.67
ステンレス鋼	6.61	0.22	2.2	15.0
ウォッシャー液	0.30	0.04	2.2	0.75
バッテリー液	0.16	0.02	2.2	0.40

*歩留まりを考慮した値

3-2 走行段階の LCA 結果

燃料製造による CO_2排出量は，2,200kg-CO_2であり，燃料燃焼による CO_2排出量は，13,000kg-CO_2と試算された。燃料燃焼による CO_2排出量は，走行段階全体の 85%を占め，環境負荷が高いことが確認された。

3-3 メンテナンス段階の LCA 結果

メンテナンスの LCA の結果，タイヤ交換による CO_2排出量が最も多く，418kg-CO_2と試算された。これは，タイヤが他のメンテナンス部品と比較し，交換品の総重量が最も重いためと考えられる。また，バッテリー液交換による CO_2排出量は，最も少なく，1.6kg-CO_2と試算された。これは，バッテリー液の消費が少量で，且つその原単位が低いためであると考えられる。また，エンジンオイル交換による CO_2排出量は，19.2kg-CO_2と試算された。

3-4 リサイクル段階の LCA 結果

リサイクル段階では，バージン材をリサイクル材に代替した場合の CO_2排出量を試算した。その結果，すべての材料において，リサイクルによる CO_2低減効果が確認された。図 1 に鉄系部品のリサイクルの LCA を行うためのフローチャートを示す。また，図 2 にアルミニウム部品のリサイクルの LCA を行うためのフローチャートを示す。

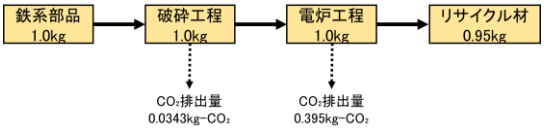


図 1　鉄系部品のリサイクルフローチャート

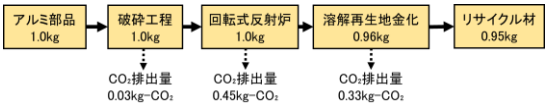


図 2　アルミニウム部品のリサイクルフローチャート

4.　考察

乗用車のライフサイクル全体での LCA 結果を表 3 に示す。

表 3　乗用車の LCA 結果

段階	CO_2排出量 ($kg-CO_2$)	比率 (%)
製造	3,850	20
走行	15,200	78
メンテナンス	440	2
鉄系部品のリサイクル	△1,140	△5.8
アルミニウム部品のリサイクル	△280	△1.4

乗用車の製造におけるアルミニウムの消費量は，鉄鋼の消費量と比較し，少ない。しかし，アルミニウム部品のリサイクルによる CO_2低減量においては，鉄鋼に次いで多い。このことから，アルミニウムの消費量は，少ないが，リサイクルによる CO_2低減効果は，高いことがわかった。

5.　結論

乗用車のライフサイクルにおいて，鉄系部品とアルミニウム部品をリサイクルすることにより，乗用車の製造と走行，メンテナンスで生じる総 CO_2量の約 7.2%の CO_2が低減されると試算された。

参考文献

1)　日本自動車工業会，公開資料, April (2017)
http://www.jama.or.jp/world/world/

2)　日本自動車工業会，「リサイクルの促進と廃棄物の低減をめざして」http://www.jama.or.jp/eco/recycle/index.html

3)　佐野慶一郎，冨岡佳祐，大井康寛　「自動車リサイクルの LCA 検証」，自動車技術会春季大会要旨 (2017).

P2-119

第 13 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2018 年3月）

中国における省別固定資本形成の将来変化に着目した消費基準環境負荷量の解析

Consumption-based environmental burdens induced by provincial fixed capital formation in China focusing on growth in fixed capital formation

○林　小木*[1)]，南齋規介 [2)]，東野　達 [3)]，Qian Zhang[4)]

Xiaomu Lin, Keisuke Nansai, Susumu Tohno, Qian Zhang

1) 京都大学，2)国立環境研究所，3)東京大学

* iversonlinxiaomu@yahoo.co.jp

1.　背景と目的

中国は 21 世紀以来急速な経済発展を遂げ，そのGDP は 2010 年に日本を超え，世界第二位となった.それに伴って，中国の経済成長における固定資本投資の寄与度は特に高まっている.これは 2008 年末に発表された 4 兆元の景気対策が主に公共投資に充てられたことが主因であり，景気対策が実行される中で鉄道·道路·電力などのインフラ建設が大きく進展した.特に近年，アジア投資銀行の政策や投資によって外資企業から大量の資本が注入されており，その上，中国における国民の可処分収入の増加に伴う購買能力の上昇による消費パターンの変化など様々な要因によって，今後誘発される固定資本投資に伴う固定資本形成の構造にも大きな変化が生じることが予想される.

固定資本形成は中国における将来の GHG 排出にとって最も重要な要因の一つであり [1)]，将来の固定資本形成を把握することは GHG のみならず多くの環境負荷の管理においても極めて重要である.ところが，近年の経済発展の多様化により，中国は他の先進国に比べて固定資本形成に関わる要因の影響が複雑で，国土は広大で各地域における工業発展や経済格差がかなり大きい.さらに，中国政府の「一帯一路」構想に伴って生産能力の東部から中西部への移転が加速され，格差が拡大している.中国における固定資産の将来推定に関しては，地域間格差を要因として含めた研究は非常に少ない.したがって，本研究では省別格差に着目し，マクロな視点から 2050 年までの各省における固定資本形成額を推定し，それに伴う GHG や $PM_{2.5}$ を対象として省間の排出依存構造を明らかにする.

2.　研究手法

2.1　中国の省別地域間産業連関モデル

本研究では，最終需要の省別固定資本形成部門に着目した誘発環境負荷量 **e** を分析するため，中国の 2010 年 30 省市 30 部門多地域間産業連関（MRIO）モデルを式(1)のように作成した.

$$\mathbf{e} = \mathbf{d}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f} \qquad (1)$$

ここで, **A** は投入係数行列, **f** は最終需要ベクトル, **I** は単位行列を示す.**d** は省別部門別の単位環境負荷ベクトルであり，要素は各部門の年間直接環境負荷量をそれぞれの国内生産額で除して求めた.本研究では，最終需要ベクトルに固定資本形成額を用いることで，各省の固定資本形成が中国国内に誘因する環境負荷量を算定した.

省別部門別の CO_2 排出量は CEADs [2)]，$PM_{2.5}$ は一次粒子を対象とし EDGAR4.3.1 [3)]から排出量を推計した.

2.2　省別固定資本形成額の将来推計

中国の省別固定資本形成額のデータは年次が限定され，過去のトレンドを直接的に回帰することが容易でない．一方，31 省市の固定資本投資額は年別に入手可能であり，固定資本形成額との間には図 S 1 に示すように明らかに線形の正相関が確認できる.そこで，本研究では固定資本投資額に対する推計モデルを作成し, それを用いて図 S1 の回帰式を用いて得られた将来の固定資本投資額から固定資本形成額を求めた.

固定資本投資額の将来推計モデルは GDP，人口，貯蓄額を説明変数とした.これらは固定資本投資額と相関性の高い指標である [4)]とともに，データは過去十数年に渡って整備されている．また，GDP と人口は 2050 年までの将来予測値が示されている [5),6)].

31 省市部門別の 2002 年～2015 年まで 13 年間（2013 年はデータが無いため除外）の固定資本投資

額，GDP，人口，貯蓄額のパネルデータを整備した.本研究では，将来推計モデルの開発を主眼とすることから，パネルデータをプーリングデータとして利用してリッジ回帰分析を行い，固定資本投資額の推定式（線形回帰）を決定した.分析はサンプルデータをランダム（計算回数：1 万回）31 のデータを除外し，残りのデータに対する推計精度が最小となるようリッジ回帰のパラメータを決定した.

得られた推計モデルを用いて 2050 年までの各省の GDP，人口および貯蓄額から省別の総投資額を求め，さらに総固定資本形成額を推定した.それを 2010 年における各省の固定資本形成額の部門別比率を用いて，部門別の形成額を決定し，式(1)に代入した.

3.　結果

3.1　GHG・$PM_{2.5}$ 排出構造

2010 年 MRIO 表より求めた固定資本形成部門が誘発する CO_2・CH_4・N_2O を含む GHG と $PM_{2.5}$ 排出量は，図 S2,S3 に示すように，両方とも最大の排出部門は建築業で約 6 割を占め，次いで一般設備製造業となり，交通・運輸設備製品も大きな割合を占めている.地域別総排出量から見ると，GHG に関して,湖北省と内モンゴルにおける排出量は，図 1 より約 16MtCO_2eq に達して他地域を圧倒しており，その次に沿海地域の浙江省なども 10MtCO_2eq 前後の排出量となっている.四川省も平均で約 8Mt CO_2eq となり，排出量が少ない他の西部省市と著しい差異を示している．$PM_{2.5}$ について,上位 4 つの省は図 2 に示す．湖北省が 15Mt と最大で,東方地域の遼寧省も約 14Mt の排出を誘発している.

3.2 交易が誘発する GHG 排出量の流入・流出

省間の交易が GHG 排出の移動にかなり大きな影響を与える.図 S4～S7 に示すように,流入・流出量が高い上位 4 省の内訳から見ると,流動性の高い製造業・サービス業が高い割合を占めていることが分かる.図 S8 より,内モンゴルは第 13 回 5 カ年計画の経済開発地域として,外省からの移入に伴って大量の排出量を誘発している.ここで,中国の中心地域と沿海地域も GHG 流出に大いに貢献されていた.

3.3 固定資本形成の誘発 GHG 排出量の将来変化

本研究では,2010 年の生産構造は 2050 年まで同一とし、固定資本形成の将来変化のみの影響を検討する.図 S9 は 2050 年に固定資本形成が誘発する GHG の排出量を示す.急速な経済発展のため,湖北省の GHG 排出量は約 64Mt になり,2010 年の約 4 倍に増加する.また,2010 年に比べて著しい変化は,中心地域の河南省と山東省の誘発量が急増し 50Mt 前後に迫っている.逆に，沿海地域の排出量は 30 年間で穏やかに上昇することが見込まれる.

4.　参考文献

1) Guan, D., Hubacek, K., Weber, C.L., Peters, G.P., Reiner, D.M.: Global Environ. Change, 18(4), (2008), pp.626-634

2) Emission Inventories by Sectoral Approach, <http://www.ceads.net/data/inventory-by-sectoral-approach/>,（参照 2017-2-15）

3) European Commission: Global Emissions EDGARv4.3.1,<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=4>,（参照 2017-2-15）

4) Guan, D., Su, X., Zhang, Q., Peters, G.P.: Environ. Res. Lett., 9, (2014), 024010.

5) “GDP long-term forecast”, OECD data, <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>,（参照 2017-10-24）

6) 姜彤, 赵晶, 景丞,他:IPCC 共享社会经济路径下中国和分省人口变化预估, 2017, 13 (2): 128-137

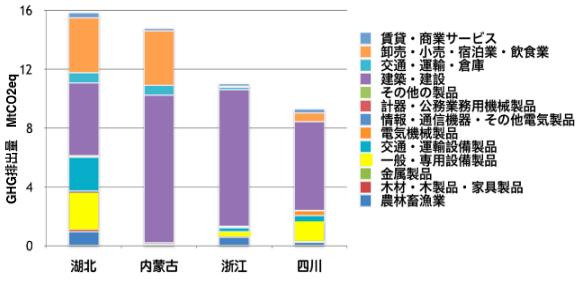


図 1　2010 年に固定資本形成が誘発する GHG 排出量の部門別内訳

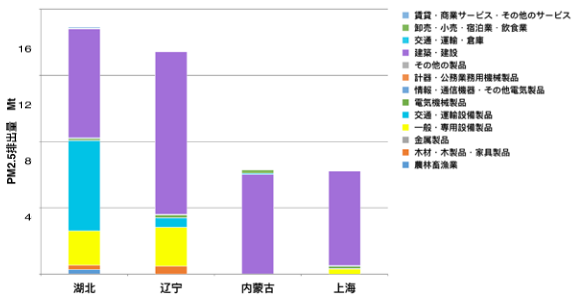


図 2　2010 年に固定資本形成が誘発する部門別 $PM_{2.5}$ 排出量の上位 4 省

Supporting Information

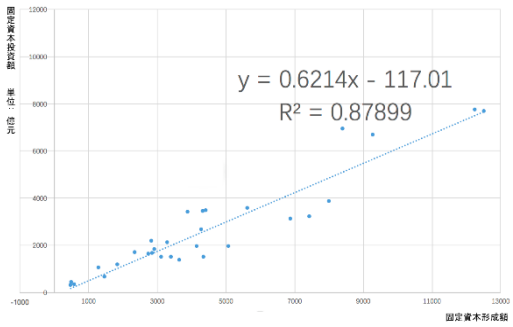


図 S1　中国の省別固定資本形成額と固定資本投資の関係(2010 年)

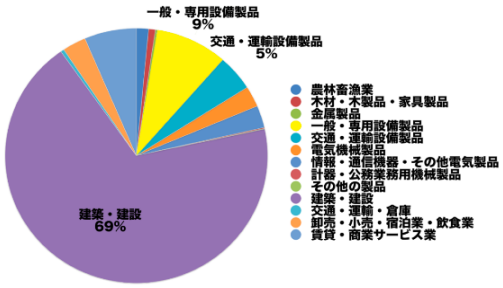


図 S2　2010 年に固定資本形成が誘発する中国全体の GHG 排出部門の内訳

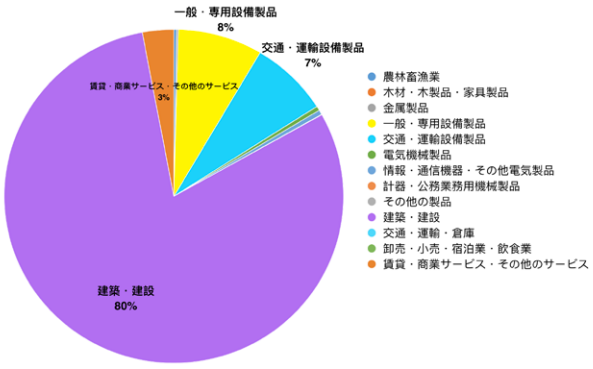


図 S3　2010 年に固定資本形成が誘発する中国全体の $PM_{2.5}$ 排出部門の内訳

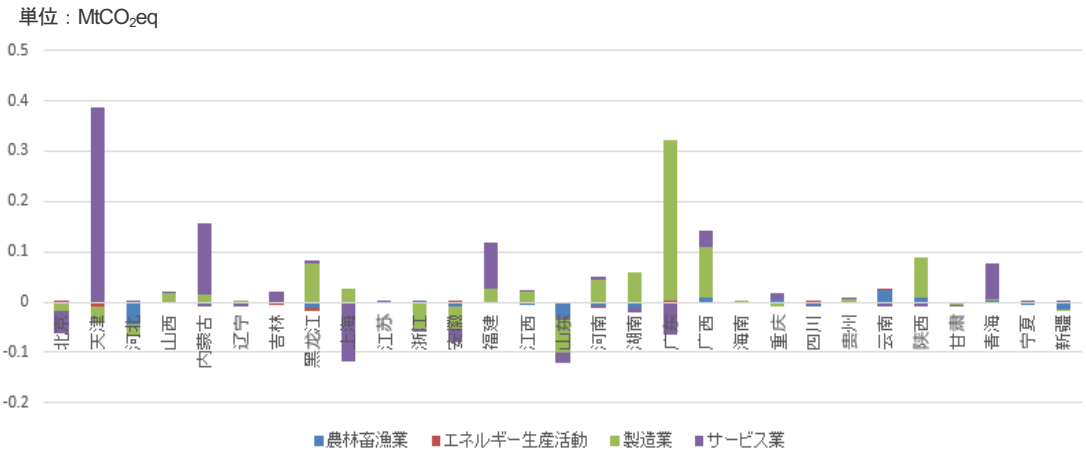


図 S4 湖北省の貿易が誘発する GHG の流入・流出

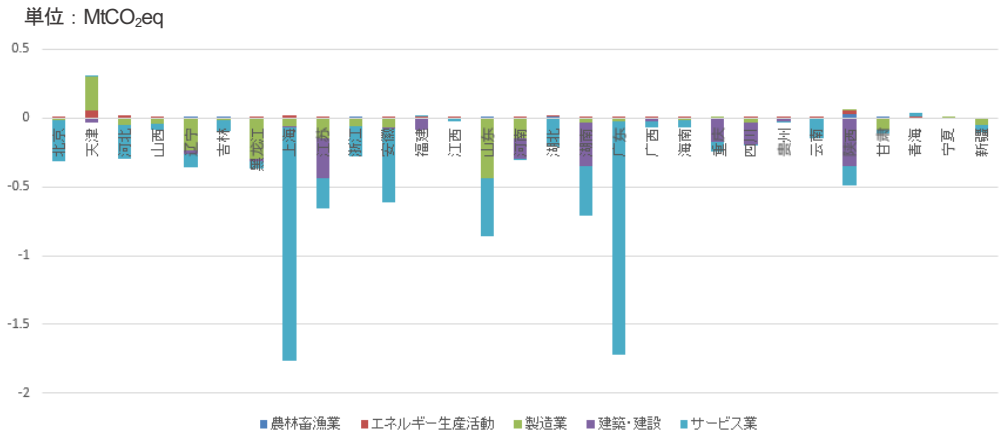


図 S5　内モンゴル自治区の貿易が誘発する GHG の流入・流出

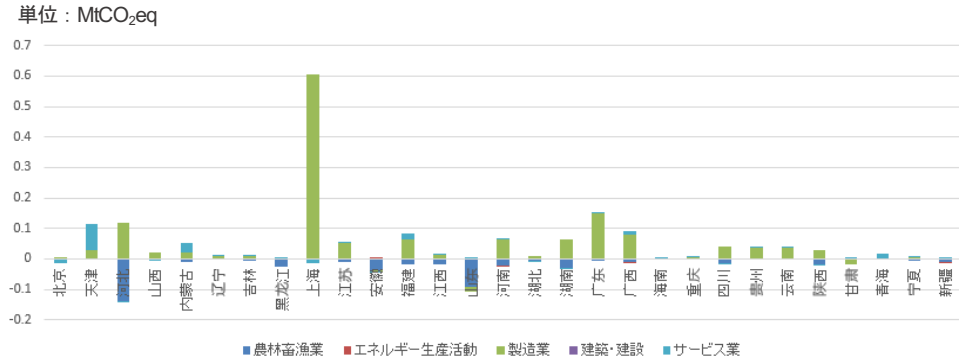


図 S6　湖北省の貿易が誘発する GHG の流入・流出

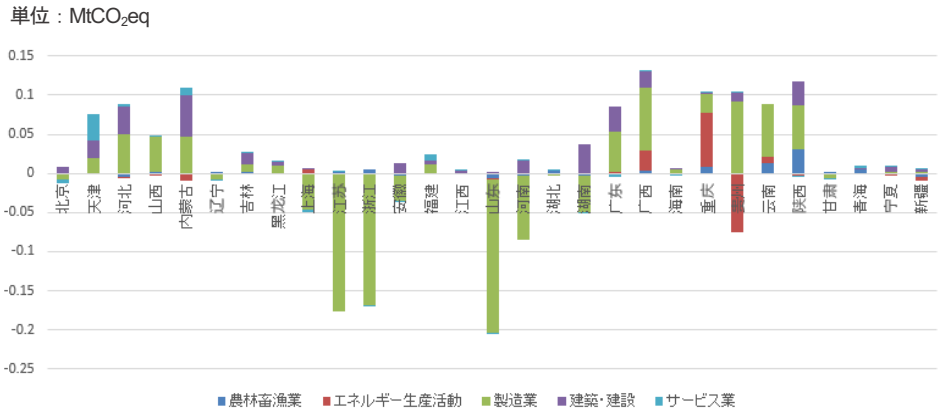


図 S7　四川省の貿易が誘発する GHG の流入・流出

図 S8　2010 年に交易が誘発する GHG 排出量の流入・流出

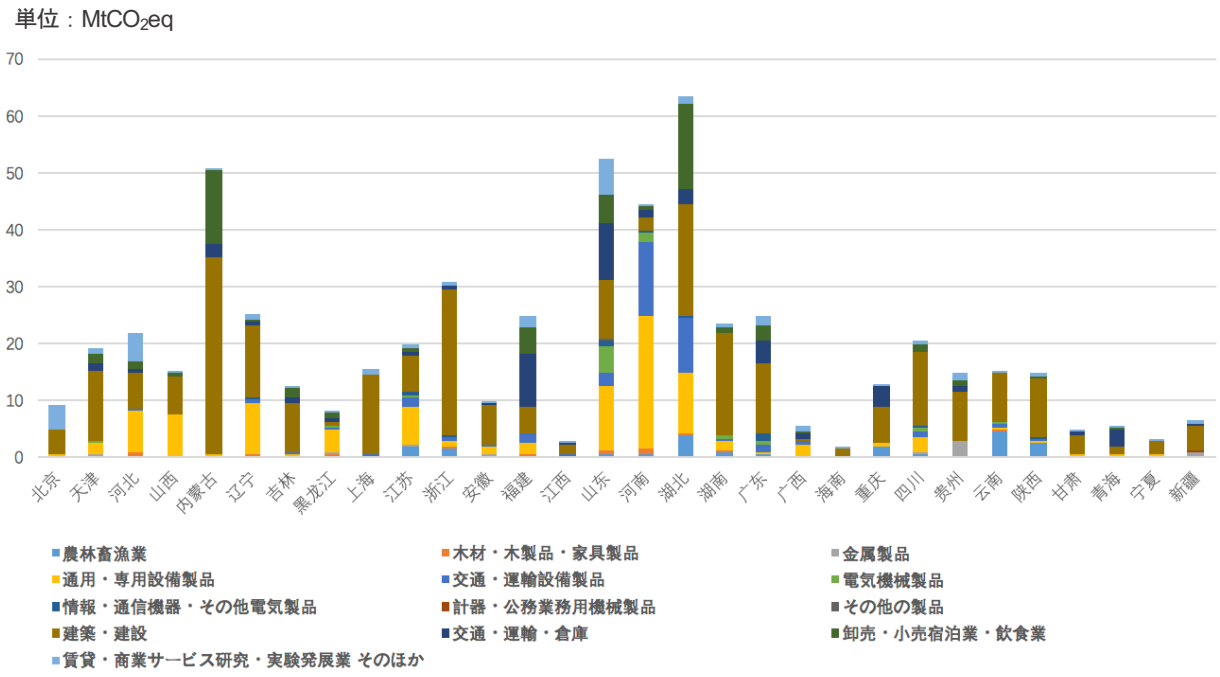


図 S9　2050 年に固定資本形成が誘発する省別・部門別 GHG 排出量

日本 LCA 学会学生交流ネットワーク 2017 年度活動報告

ILCAJ-Student Communication Network Activity report 2017

○横井崚佑*[1)]、一杉佑貴[2)]、田髙初奈[3)]、武山健太郎[4)]、永島史弥[5)]、水谷一平[6)]

Ryosuke Yokoi, Yuki Ichisugi, Hatsuna Tadaka, Kentaro Takeyama, Fumiya Nagashima, Ippei Mizutani

1) 東京大学, 2) 東京都市大学, 3) 横浜国立大学, 4) 東北大学, 5) 九州大学, 6) 立命館大学

* yokoi@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

環境問題が現代社会における一つの大きな問題となった中で、ライフサイクルアセスメント（LCA: Life Cycle Assessment）を基盤とし、持続可能性のための科学的かつ定量的な評価方法とそれに基づく意思決定方法を検討する日本 LCA 学会が果たすべき役割は拡大してきた。本会に所属する学生会員は、研究発表会をはじめとする各種活動に参加し、様々な知識や経験を得ている。同学会に所属し、広い意味での環境問題という同じ問題を考える学生同士で、文理の垣根を越えて意見や考えを交換することは、各学生にとって非常に有意義である。学生会員の間で研究活動をはじめとする様々な問題に対処するための知識や人脈のネットワークを形成することを目指し、日本 LCA 学会の研究会の一つとして学生交流ネットワーク（SCN: Student Communication Network）が設立された。SCN では、学生会員の LCA への理解を深める契機として、様々なイベントを企画、開催している。SCN 設立から現在までの流れを図 1 に示す。

2. 主な活動内容

・現場権学会（年 1 回開催）

実際に工場施設や研究所を見学することで、プロセスの仕組みや現場での LCA の利用法を理解し、議論を行う。本年度は北海道苫小牧市にて行われている二酸化炭素回収貯留 (CCS: Carbon dioxide Caputure and Storage) 大規模実証プロジェクトの見学を行った。

・ワークショップ（年 1 回開催）

研究成果を発表形式で報告する。本年度は 9 月 19 日から 21 日にかけて、北海道札幌市にある札幌国際ユースホステルで開催した。

・セミナー（年 1~2 回開催）

環境に関する研究に取り組む学生会員の現在の研究活動を将来にどう活かしていくのか、企業やアカデミアに所属する正会員による講演などを通して意見交換を行う。本年度は第 13 回日本 LCA 学会研究発表会の会期中に、招待講演者による講演を予定している。

・学生総会（年 1 回開催）

毎年開催される日本 LCA 学会研究発表会の会期中に開催する。活動報告や、翌年度の活動内容の検討、役員の決定などを行う。

2008年　夏	学生組織設立に向けて始動
2008年　10月	学生部会設立の熱意書を理事会に提出 （提案者2名、賛同者9名）
2008年　12月	学生部会（仮称）設立が理事会に承認される 設立集会（第8回EcoBalance国際会議会期中）
2009年　3月	第1回学生総会（第4回日本LCA学会研究発表会会期中）
2009年　9月	第1回工場見学会およびワークショップ2009開催
2010年　1月	第1回工場見学会およびワークショップ2009の様子を学会誌で報告
2010年　3月	第2回学生総会（第5回日本LCA学会研究発表会会期中） 2009年度の活動を第5回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第1回セミナー開催（第5回日本LCA学会研究発表会会期中）
2010年　8月	第2回工場見学会およびワークショップ2010開催
2011年　3月	第3回学生総会（第6回日本LCA学会研究発表会会期中） 2010年度の活動を第6回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第2回セミナー開催（第6回日本LCA学会研究発表会会期中）
2011年　4月	第2回工場見学会およびワークショップ2010の様子を学会誌で報告
2011年　9月	第3回工場見学会およびワークショップ2011開催
2012年　3月	第4回学生総会（第7回日本LCA学会研究発表会会期中） 2011年度の活動を第7回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第3回セミナー開催（第7回日本LCA学会研究発表会会期中）
2012年　9月	第4回工場見学会およびワークショップ2012開催
2013年　3月	第5回学生総会（第8回日本LCA学会研究発表会会期中） 2012年度の活動を第8回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第4回セミナー開催（第8回日本LCA学会研究発表会会期中）
2013年　9月	第5回工場見学会およびワークショップ2013開催
2014年　3月	第6回学生総会（第9回日本LCA学会研究発表会会期中） 2013年度の活動を第9回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第5回セミナー開催（第9回日本LCA学会研究発表会会期中）
2014年　9月	ワークショップ2014開催
2014年　10月	1st Young Researchers Meetingを開催（EcoBalance 2014会期中）
2015年　1月	ワークショップ2014の様子を学会誌で報告
2015年　3月	第7回学生総会（第10回日本LCA学会研究発表会会期中） 2014年度の活動を第10回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第6回セミナー開催（第10回日本LCA学会研究発表会会期中）
2015年　9月	第6回工場・研究所見学会およびワークショップ2015開催
2016年　3月	第8回学生総会（第11回日本LCA学会研究発表会会期中） 2015年度の活動を第11回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第7回セミナー開催（第11回日本LCA学会研究発表会会期中）
2016年　8月	第7回現場見学会およびワークショップ2016開催
2016年　10月	2nd Young Researchers Meetingを開催（EcoBalance 2016会期中）
2017年　3月	第9回学生総会（第12回日本LCA学会研究発表会会期中） 2016年度の活動を第12回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第8回セミナー開催（第12回日本LCA学会研究発表会会期中）
2017年　9月	第8回現場見学会およびワークショップ2017開催

図 1 SCN 設立から現在までの流れ

・Young Researchers Meeting (EcoBalance 会期中に開催)

EcoBalance2014 にて SCN の主催により初めて開催され、会期中に招待講演や世界各国から参加する若手研究者による研究発表会等を行う。

・懇親会（随時開催）

研究活動や進路選択、普段の生活まで様々なことについて学生同士で話し合い、情報交換を行う。

3. 2017 年度現場見学会およびワークショップにおける活動報告（2017 年 9 月 19~21 日）

本年度の第 8 回現場見学会およびワークショップ 2017 は、9 月 19 日から 21 日にかけて北海道札幌市で開催され、6 大学 8 研究室から総勢 31 名の参加者が集った。本要旨では、その内容と参加学生からの反応について報告する。

3.1 第 8 回現場見学会の様子

今年度は、北海道苫小牧市にて行われている日本初の CCS 大規模実証プロジェクトの見学を行った。CCS は地球温暖化の有力な解決策の 1 つとして世界的にも期待されている技術であり、環境問題を研究テーマとする我々にとって関わりが深く、触れる価値のあるトピックであると考え、本見学会は企画された。

実証センターでは、まずプロジェクトに携わる方々から CCS の仕組みや実証プロジェクトの経緯や内容に関して説明を受けた。そして説明の後、実際にいくつかの施設に案内いただき、説明を受けながら見学を行った。また説明や見学の際には適宜質疑の時間が設けられ、たくさんの参加者から活発な質疑が行われた（図 2, 3）。

図 2　CCS 実証センター見学の様子

3.2 ワークショップ 2017

2 泊 3 日で行われたワークショップでは、8 研究室からの参加者による研究発表会が行われ、27 件の口頭発表が行われ、各自 10 分の発表時間と 5 分の質疑応答の時間が設けられた。研究対象は、マテリアルフロー分析（レアメタルや木質バイオマス、製品等）、産業連関分析、低炭素技術の導入ポテンシャルや環境影響評価、製造プロセスや施設配置の最適化、耐久財の買い替えモデルなど非常に多岐に渡った。

例年に引き続き、ワークショップのはじめに各研究室による研究室紹介の時間を設け、それぞれの研究室の雰囲気や研究内容に関して理解を深めた。そして一昨年度、昨年度に続き、全参加学生の投票による優秀発表者の表彰（修士課程学生及び学部生が表彰対象）が今年度も引き続き行われ、最優秀発表賞を高藪広隆さん（九州大学・加河研究室）、優秀発表賞を水谷一平さん（立命館大学・橋本研究室）がそれぞれ受賞した。

また今年度の取り組みとして、研究発表の途中で、本学会にて頻繁に用いられる手法（ライフサイクルアセスメント、産業連関分析、マテリアルフロー分析）に関して、博士課程学生による手法解説の時間を設けた。

3.3 参加学生からの反応について

研究所見学・ワークショップ終了後、メールにて参加者全員を対象にアンケート調査を実施した。多くの回答では、現場見学会と研究発表会の内容を肯定的に捉えており、一定の成果があったといえる。また現場見学会の内容に関しては、ほとんどの回答で「有意義であった」および「理解が深まった」という結果が得られた。手法解説に関しても多くで「有意義だった」という結果が得られたが、手法解説の時間に関しては「適切でない（短かった）」という回答も見られ、より有意義な内容とすべく、検討が望まれる。

また今年度のワークショップでは、一部の日程で宿泊場所と発表を行う会議室の移動を必要としたが、その点に関しては改善を求む回答がいくつか見られた。今後の会場選びにおいて注意すべき点の 1 つと言える。また今回は前回に引き続き関東圏以外の開催となったが、開催場所に関して「毎年開催場所を変えるべき」との回答が多く、引き続き開催場所についても留意していくことが求められる。

図 3　CCS 実証センターでの集合写真

4. 今後の活動に向けて

SCN では、これまでの経験と反省を活かしながら、今後も学生会員同士のみならず、学生と企業あるいは大学の間のネットワークを広げる活動を続けていく予定である。正会員や賛助会員の皆様には、SCN の活動にご理解いただくとともに、工場・現場見学会や招待講演などで今後もご協力いただければ幸いである。また、学生会員の皆様には、是非 SCN の活動に積極的に参加していただきたい。

学会賞受賞者講演

3日目　3月９日（金）　M 会場

13:20 – 13:35　**【奨励賞】ライフサイクル的思考の農業・食料分野への適用に関する研究**
◎折笠貴寛（岩手大学）

13:35 – 13:50　**【奨励賞】ライフサイクル思考に基づく技術・システムの設計**
◎菊池康紀（東京大学）

13:50 – 14:05　**【奨励賞】LCA の建築分野への適用とインベントリデータベースに関わる研究**
◎小林謙介（県立広島大学）

14:05 – 14:20　**【論文賞】* Development of human health damage factors for PM2.5 based on a global chemical transport model**
◎湯龍龍（農業環境技術研究所）、永島達也（国立環境研究所）、長谷川晃一（中電シーティーアイ）、大原利眞（国立環境研究所）、須藤健吾（名古屋大学）、伊坪徳宏（東京都市大学）

14:20 – 14:35　**【論文賞】** 責任あるサプライチェーンの実現に向けたニッケル資源利用に関わるリスク要因の整理と解析**
佐々木翔（東北大学）、◎松八重一代（東北大学）、中島謙一（国立環境研究所）、村上進亮（東京大学）、長坂徹也（東北大学）

14:35 – 14:50　**【論文賞】*** 木質バイオマス発電および熱電併給のライフサイクル環境影響と外部コストの評価**
◎古俣寛隆（北海道立総合研究機構）、石川佳生（北海道立総合研究機構）、本藤祐樹（横浜国立大学）

14:50 – 15:10　**【功績賞】持続可能な農業生産システム確立のための LCA 研究**
◎林清忠（農業・食品産業技術総合研究機構）

* 要旨の掲載はありません。受賞論文は、
International Journal of Life Cycle Assessment, https://doi.org/10.1007/s11367-014-0837-8 です。

** 受賞論文（日本 LCA 学会誌，Vol.13, No.1, pp.2-11（2017）を転載しています。

*** 受賞論文（日本 LCA 学会誌，Vol.13, No.1, pp.73-83（2017）を転載しています。

奨励賞受賞講演

ライフサイクル的思考の農業・食料分野への適用に関する研究

Study on Applying Life Cycle Thinking to Agriculture and Food Sector

○折笠貴寛*[1)]

Takahiro Orikasa

1) 岩手大学

* orikasa@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

近年、International Journal of Life Cycle Assessment 誌において、農業・食料に関する論文数が増加傾向にあり[1)]、農業・食料分野における LCA 研究の重要性が世界的に認識されつつある。筆者は、2007 年からライフサイクル的思考を農業・食料分野へ適用する研究に携わってきたが、まだまだ未熟であるにもかかわらず、日本 LCA 学会奨励賞を受賞することになったのは、今以上に農業･食料分野における LCA 研究に注力し、もっと研究を発展させなさいという学会からのメッセージであると理解している。本稿では、筆者がこれまで実施してきた LCA 研究の概要を振り返り、今後の展開について考察したい。

2. 青果物流通プロセスにおける LC-CO_2

2.1 生鮮トマトのライフサイクル[2)]

生鮮トマトのライフサイクル全体における CO_2 排出量ついて評価した。その結果、輸送条件や栽培手法の違いが、ライフサイクル全体の CO_2 排出量に大きく影響を及ぼすことを示した。特に、海外で雨よけ栽培した場合と国内の温室加温栽培を比較すると、後者の方がライフサイクル全体の CO_2 排出量が多くなることがわかった。栽培方法、輸送条件等が、ライフサイクル全体の CO_2 排出量に大きく影響を及ぼすことを示し、フードマイレージの問題点を指摘した。

2.2 新規輸送コンテナを用いた青果物流通プロセス[3)]

我が国において、ほとんどの青果物はワンウェイで利用されるダンボールを用いて輸送されているが、出荷容器として段ボール箱に替えてリユース式新規コンテナを青果物流通に利用した場合の CO_2 排出量削減の可能性について検討した。その結果、段ボールを用いたダイコン輸送の CO_2 排出量は、小型コンテナおよび新規コンテナといった他の輸送資材を用いた輸送方式におけるそれと比べて大となった。例えば、段ボール輸送と比べて新規コンテナを用いた輸送では、CO_2 排出量を 41%削減する結果となった。小型コンテナおよび段ボールの容器製造・輸送工程の CO_2 排出量は大きいものの、ダイコン輸送の CO_2 排出量は全体の CO_2 排出量に寄与する。この結果は、ダイコン輸送における総 CO_2 排出量は、輸送距離が増加するにしたがって増加することを示した。新規コンテナの耐用回数を増加させた時の影響についても検討したところ、新規コンテナの耐用回数を向上させることにより、更なる CO_2 排出量の削減が期待される。

2.3 卸売市場流通における環境負荷低減の可能性[4)]

卸売市場流通における環境影響の特徴比較を目的として、車両サイズと輸送モードを考慮した卸売市場流通の LC-CO_2 の解析を行い、卸売市場流通の特徴である大量輸送の環境負荷低減効果を調べた。さらに、低温管理を含む LC-CO_2 の解析を比較することにより卸売市場流通における環境負荷低減の可能性を検討し、卸売市場流通における二酸化炭素排出削減につながるいくつかの方策を提案した。

3. コメの加工プロセスへの適用[5)]

コメの加工プロセスの違いがエネルギー消費および品質に及ぼす影響について調査した。精米過程におけるエネルギー消費は精米歩合が増加するに伴い増加する傾向が見られた。また、調理過程におけるエネルギー消費および調理時の水分含有量は精米歩合とコメの品種に依存する傾向が示された。全エネルギー消費量は精白米、分づき米、パーボイルドライスと比べ、玄米で最も大きかった。これは、適切な食味（硬さ）を得るために炊飯に長時間を要することが原因である。ライフサイクルのエネルギー節約および栄養成分の保持といった観点から、精米歩合の低い分づき米が最も優れていることがわかった。

4. バイオエタノール生産プロセスへの適用[6)7)8)]

稲わらからのバイオエタノール生産プロセスに LCA 手法を適用してコスト、CO_2 排出量およびエネルギー収支について解析した。バイオエタノール生産におけるトータルコストを低減させるためには、高効率なバイオエタノール変換技術の開発のみならず、バイオマスの高効率収集システムの開発が必要であること、CO_2 排出量とエネルギー消費量を低減させるためには、リグニンなどの副産物を燃焼させ熱回収するシステムの組み込みが必要であることを示した。また、近年、

原料の酵素糖化性を向上させる新たなバイオエタノール製造法（CaCCO 法[9]、SRB-CaCCO 法[10]）が提案されている。これらに LCA 手法を適用し、プロセスのライフサイクルにおけるコスト、CO_2 排出量およびエネルギー消費について検討したところ、稲わらからのバイオエタノール製造プロセスに SRB-CaCCO 法を導入することにより、バイオエタノール製造コストの削減が期待されることを示した。さらに、CO_2 排出量およびエネルギー消費量共に、ガソリン代替の値を下回っており、SRB-CaCCO 法は CO_2 排出量削減およびエネルギー生産の効果があることを示した。

5. おわりに

平成 26 年度食品需給表によると、我が国における野菜および果実の輸送中におけるロス率（減耗率）は、それぞれ 10%および 17%と推計される。これらポストハーベストロスの発生に伴い、生産、流通、廃棄の各プロセスに過剰なエネルギーが消費されている状況は、省エネルギーに向けた世界的な流れと逆行しており、また、将来の人口増に伴う食料供給不足の観点からも看過できる状況にはない。青果物のポストハーベストロスを減らすためには、包装・冷蔵・冷凍など、品質保持に関わる対策を講じる必要がある。しかし、発生したポストハーベストロスの廃棄処理に伴う環境負荷とポストハーベストロスを減らすための対策に伴う環境負荷はトレードオフの関係にあると考えられる（図１）。適切なレベルのポストハーベスト手段（例えば、青果物流通において包装資材を使用するなど）によりポストハーベストロスを削減することは、食料供給における環境負荷を最小化することに貢献できることになる。包装・冷蔵・冷凍など品質を保持する手段を適切に組み合わせ、環境負荷が最小となるポストハーベスト技術の選択が重要となろう。今後は、ポストハーベストの各プロセス（青果物の鮮度保持・流通・加工）を中心にライフサイクル的思考を適用し、皆様と意見交換を重ねながら環境負荷を考慮した最適な青果物流通プロセスの構築に関する研究を進めていきたい。

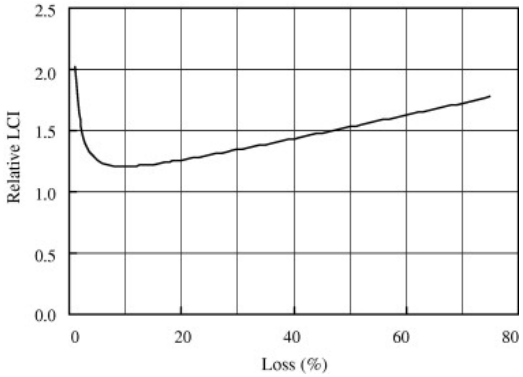


図1　食品ロス率と環境負荷[11]

謝辞

この度の日本 LCA 学会奨励賞の受賞に際して、格別のご高配を賜りました学会長、審査委員長ならびに選考委員会の皆様に謹んで御礼申し上げます。また、本奨励賞にご推薦下さいました千葉大学椎名武夫教授、東北大学齋藤雅典教授、宮城県渡邊一仁博士には厚く御礼申し上げます。特に、LCA 研究をイントロダクションから指導していただいた千葉大学椎名武夫教授には、一連の LCA 関連研究の共同研究者として大変有意義なご助言、ご協力を賜りました。心より御礼申し上げます。また、研究の推進に当たり、日ごろから貴重なコメントを頂戴している岩手大学農学部小出章二教授、食産業と LCA の関わりについて貴重なご助言を賜りました元宮城大学矢野歳和教授にも、厚く御礼申し上げます。

引用文献

1) 林 清忠：日本 LCA 学会誌, 13(3), (2017), pp.224-233.
2) Roy, P., Nei, D., Okadome, H., Nakamura, N., Orikasa, T., Shiina, T.: *J. Food Eng.*, 86, (2008), pp.225-233.
3) 折笠貴寛, 中村宣貴, Roy, P., Thammawong, M., 兼田朋子, 吉田 誠, 曽我綾香, 大野誠治, 新實誉也, 横山幸一, 西尾 恵, 小出章二, 椎名武夫: 日本包装学会誌, 23(4), (2014), pp.293-304.
4) 折笠貴寛, 椎名武夫: 農産物流通技術研究会会報, 284, (2010), pp.13-16.
5) Roy, P., Ijiri, T., Okadome, H., Nei, D., Orikasa, T., Nakamura, N., Shiina, T.: *J. Food Eng.*, 89, (2008), pp.343-348.
6) Orikasa, T., Roy, P., Tokuyasu, K., Park, J.-Y., Ike, M., Kondo, M., Arai-Sanoh, Y., Nakamura, N., Koide, S., Shiina, T.: *Eng. Agric. Environ. Food*, 8, (2015) pp.161-168.
7) Roy, P., Tokuyasu, K., Orikasa, T., Nakamura, N., Shiina,T.: *Biomass and Bioenergy*, 37, (2012), pp.188-195.
8) 折笠貴寛, 池 正和, 趙 鋭, 徳安 健, 椎名武夫: 第９回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2014), pp. 116-117.
9) Park, J.-Y., Shiroma, R., Al-Haq, M.I., Zhang, Y., Ike, M., Arai-Sanoh, Y., Ida, A., Kondo, M., Tokuyasu, K.: *Bioresource Tech.*, 101, (2010), pp. 6805-6811.
10) Chao, R., Yun, M.S., Shiroma, R., Ike, M., Guan, D., Tokuyasu, K.: *Bioresource Tech.*, 148, (2013), pp. 422-427.
11) Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T.: *J. Food Eng.*, 90, (2009), pp.1-10.

奨励賞受賞講演

ライフサイクル思考に基づく技術・システムの設計および導入支援手法の研究

Design and Implementation Support of Technology and System Options Based on Life Cycle Thinking

○菊池康紀*
Yasunori KIKUCHI
1) 東京大学
* kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

価値と目的関数の多様化につれ、技術・システムの開発、設計、導入においては、ライフサイクル思考が不可欠となってきた。しかし、技術・システムの開発者や設計者、導入の意思決定者は必ずしも LCA をはじめとするライフサイクル思考による研究者や技術者であるとは限らず、何らかの支援が必要である場合がある。

本講演では、技術・システムの設計および導入支援に関して過去の研究をレビューし、今後の研究において必要となる要素を精査する。

2. 統合的プロセスシステム工学

技術・システムの研究開発における研究分野を統合的プロセスシステム工学として図１に概念的に示す。システムを構築する技術間の関係を統合的に表現する統合的技術モデル研究から、プロセスシステム設計を行う手法研究、設計したプロセスシステムをコンピュータ上で実験するためのシステムシミュレーション研究を経て、システム評価・最適化を行う手法を研究することで、導入の議論につなげることができるようになる。これを研究成果の実践と効果の評価としての流れと、研究開発要素を特定する流れの双方向でまわすことで、技術・システムのライフサイクルを思考することが必要といえる。

3. 技術・システムの設計と導入支援

3.1 中小企業における技術導入効果の分析

中小企業においてもライフサイクル思考の実践が必要となってきている。これまでに、特に有機溶剤を利用する産業洗浄プロセスに関するリスク評価手法を開発[1]し、溶剤種類間の比較[2]から、国内数十社のプロセス分析[3]、サプライチェーン間での情報の共有に関する研究[4]を行い、実際にリスク管理を実施するためのフレームワーク[5]と支援ツール[6]を開発してきた。中小企業では、規模が必ずしも大きくなく、一般に資金的、知識的、技術的な不足をかかえており、ライフサイクル思考の支援が必要であることがわかっている。

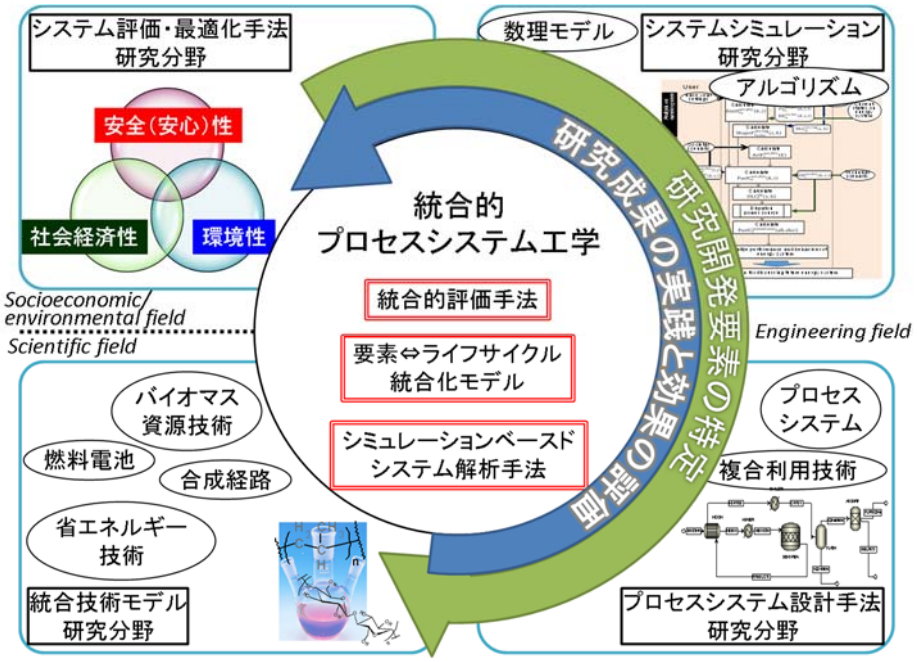


図１　統合的プロセスシステム工学の概念

3.2 エネルギー関連技術の分析

エネルギー技術には、要素の技術としてその性能を評価すべきもの[7]から、システムとしての性能を把握しなければならないもの[8]などがあり、さらにそれらを一つのエネルギー需給構造の中で組み合わせていかねばならない。国内の水素エネルギー導入効果のポテンシャルを地域別に分析した結果からは、地域によって技術の最適導入割合が存在しうることが示唆されている[9]。

3.3 農林工横断的なシステムの分析と技術導入支援

地域エネルギーシステムが抱えている事情に対応したスマートシステムの設計と分析[10]が必要であり、農工横断的な解析[11]などを実施してきた。技術の導入に向けて工程内の単位操作の設計[12]や新規な蓄熱技術の導入可能性の評価[13]などを行ってきた。また、林業に関しても、樹齢分布の健全化に向けたバックキャスティング[14]に基づき、地域で使用すべき木材資源量を特定し、地域熱供給で使用した場合の効果を分析[15]した。また、技術評価の枠組みの中で、産業連関分析などの社会経済的手法とも組合せる必要があることを確認してきた[16]。

3.4 地域システムにおける技術・システムの導入支援

エネルギーシステムと産業システムは地域において重要なシステムであり、基盤といえる。地域別のシステム設計の必要性について分析[17]し、実際に地域において技術・システムの設計・導入評価の実施と発信を行ってきた[18,19]。

4. おわりに

技術・システムの設計および導入支援手法の研究においては、必ずしも全く新しい手法を開発する必要がない場合があり、既に開発済であったり、他の適用事例が存在する手法を用いたりすることが多い。しかし、対象とする技術、システム、地域、や定量化する指標、目標とする到達点、実際の実施者などが異なると、開発済で適用事例がある手法であっても、途端にその活用が困難になることが分かっている。既に得られている知識の活用方法を開発し、知識の活用者を増やしていくことが、社会的な課題に対して真に解決に向けた活動を推進していくために必須であることがこれまでに分かっており、今後も継続したライフサイクル思考の普及に向けた研究活動を行っていく。

謝辞

ライフサイクル思考とシステム設計について幅広く師事させて頂いた平尾雅彦先生をはじめとし、多くの諸先生方、先輩方へ、心から感謝致します。研究に協力頂いた関係企業、省庁、研究機関の皆様にも感謝致します。また、作業を共にしてくれた同僚、後輩、スタッフの皆さんと、学生らに感謝します。

引用文献

1) Kikuchi, Y., Hirao, M.: Environ. Sci. Technol., 42(12) 4527-4533 (2008)
2) 菊池康紀, 平尾雅彦, 日本 LCA 学会誌, 4(2) 147-160 (2008)
3) Kikuchi, Y., Hirao, M.: Int. J. Life Cycle Assess., 15(1) 17-31 (2010)
4) 上原恵美、菊池康紀、平尾雅彦、化学工学論文集、40(3) 174-186 (2014)
5) Kikuchi-Uehara, E., Kikuchi, Y., Wada, T., Odagiri, T., Doi, J., Hirao, M.: J. Chem. Eng. Jpn., 49 (8), 776-784, (2016)
6) Kikuchi, Y., Kikuchi-Uehara, E., Matoba, H., Wada, T., Odagiri, T., Doi, J., Hirao, M.: J. Chem. Eng. Jpn., 50(1), 68-78, (2017)
7) Taufiq, B.N., Kikuchi, Y., Ishimoto, T., Honda, K., Koyama, M.: Appl. Energ., 147, 486-499 (2015)
8) Kikuchi, Y., Kimura, S., Okamoto, Y., Koyama, M.: Appl. Energ., 132, 586-601 (2014)
9) Shimizu, T., Tsukushi, Y., Hasegawa, K., Ihara, M., Okubo, T., Kikuchi, Y.: Int. J. Hydrogen Energ., in press, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.11.128
10) Kikuchi, Y., Kanematsu, Y., Ugo, M., Hamada, H., Okubo, T., J. Ind. Ecol., 20(2) 276-288 (2016)
11) Ouchida, K., Fukushima, Y., Ohara, S., Sugimoto, A., Hirao, M., Kikuchi, Y.: AIChE J., 63(2), 560-581 (2017)
12) Kikuchi, Y., Ouchida, K., Kanematsu, Y., Ohara, S., Fukushima, Y.: J. Chem. Eng. Jpn., 50(4), 297-308, (2017)
13) Fujii, S., Kanematsu, Y., Kikuchi, Y., Nakagaki, T., Mechanic. Eng. J., 3(5), 16-00334, (2016)
14) Oosawa, K., Kanematsu, Y., Kikuchi, Y., Forestry and Wood Industry, DOI: 10.1007/978-4-431-55951_26, in "Energy Technology Roadmaps of Japan" edited by Kato, Y., Koyama, M., Fukushima, Y., Nakagaki, T., Springer: Tokyo, ISBN13: 9784431559498 (2016)
15) Kanematsu, Y., Oosawa, K., Okubo, T., Kikuchi, Y.: Appl. Energ., 198, 160-172 (2017)
16) Kikuchi, Y., Oshita, Y., Mayumi, K., Hirao, M.: J. Clean. Prod., 167, 289-305 (2017)
17) 菊池康紀、 尾下優子、 福島康裕 : PETROTECH、 36(6)、 (2016)、 461-467.
18) 菊池康紀、サトウキビで形作るスマートシステムの在り方：種子島の事例、平成 28 年度 さとうきび・甘蔗糖関係検討会、西之表市、(2016)
19) 西之表市、自然と共生するスマートエコアイランド種子島シンポジウム～動き始めた大学等との連携による新たな可能性～、西之表市, (2016) http://www.city.nishinoomote.lg.jp/admin/soshiki/keizaikankoka/shoukouseisaku/ecoiland/2995.html
20) 鹿児島県立種子島高等高校 HP、 http://taneko.edu.pref.kagoshima.jp/category/bunrui/bunrui31/

奨励賞受賞講演

LCA の建築分野への適用とインベントリデータベースに関わる研究

Application of Lifecycle Assessment to Building and Development of Inventory Database

○小林謙介*[1)]
Kensuke Kobayashi
1) 県立広島大学
* kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

建築物は、我々人間が活動する上でなくてはならないものである。建築に起因して及ぼされる環境への影響は、CO_2 排出量で見ると我が国の約 1/3 を占めるといわれている。また、廃棄物の発生量は、建設起因が 2 割程度を占めており、土木分を除いても及ぼす影響は小さくないと考えられる。こうしたことから、建築物に係る環境負荷削減の検討は必要不可欠と考える。

筆者はこれまでに、ライフサイクル思考を踏まえつつ、建築分野における環境負荷削減や資源循環の在り方について検討を行ってきた。また、評価経験を踏まえつつ、いっそうの LCA の利活用に向け、課題調査や改善策の検討を行ってきた。特に、インベントリデータベースについては、建築分野の枠を超えて研究開発に取り組んできた。本項では、こうした取り組みを述べながら得られた知見を紹介することとする。

2. 建築分野における様々な観点からの環境負荷削減

紙面の制約上、ここでは、建築物の解体・廃棄物処理に着目した効率的な資源循環の在り方の検討、森林や建築を横断的にとらえた持続可能で低環境負荷な木材の活用策の検討、建築にかかわる LCA の活用実態・課題の検討について記載する。

2.1 解体・処理に着目した効率的な資源循環の在り方

建設産業は、廃棄物排出量で全産業の約 2 割、埋立処分量で約 3 割を占めており、再資源化（廃棄物処理）は、大きな課題であった。しかし、当時（2000 年代前半）は再資源化に関する実態が殆ど不明で、実態を踏まえた建物設計・解体等の在り方など、包括的な資源循環の在り方が十分に見出せていなかった。そこで、建築における資源循環の在り方を提案することを目的として、再資源化だけではなく温暖化などの視点も含めた環境影響評価を実施した。

全国規模の実態調査を行い、殆どの処理施設で異物混入が大きな課題であることを明らかにした。異物の種類ごとに、組成を捉え、処理に伴う埋立処分量や CO_2 排出量の観点から異物が及ぼす影響を捉えた。廃棄物処理における課題を踏まえ、解体実態調査を行い、材料別・部位別の異物の発生源について整理した。解体調査を基に、解体方法等の差異を考慮した発生廃棄物の性状分析を行い、組成や環境負荷の観点で影響が大きい異物を明らかにした [1)]。

2.2 森林や建築を横断的にとらえた持続可能で低環境負荷な木材の活用策の検討

2.1 のような視点での取組を行っていると、解体・廃棄物処理にとどまらず、建材のライフサイクルを通して活用の在り方を検討することが重要と認識するようになった。主要な建築材料の一つに木材があるが、木材は適正な管理のもとで活用すれば、持続的な利用が可能な材料の一つである。一方で、近年、安価な外材の流入や伐採後の再造林率の低迷などから、持続的な利用が維持できない危険性がある。そうした点から、木材に着眼点を置き、消費側である建築分野のみならず供給側である林業と結び付けて、長期的な視点で資源循環の在り方を検討してきた。

具体的に、建築を中心とした長期的な木材の利活用策の検討のため、全国および西日本最大の森林面積を有する広島県について、現状のマテリアルフローを構築した。また、森林資源と建築用材の消費量の 2060 年までの将来予測を行った。その結果、森林資源は（人工林のスギ・ヒノキ）は、利用量が減少すれば一層の余剰が出る一方で、状況によっては森林資源が不足する事態もありえることを定量的に示した [2、3)]。

2.3 建築にかかわる LCA の活用実態・課題の検討

2.1、2.2 節で示したような様々な視点からの環境負荷削減策の検討は、限られた専門家のみが実施するのではなく、多くの人がそれぞれの立場で自ら検討することが重要と考える。冒頭で述べた通り、建築分野における LCA のいっそうの普及には、様々な課題があると考えられる。そこで、建築に関わる実務者に対して、LCA 利用の利用実態や利用における課題を調査し明らかにすることで、今後の建築物の評価の在り方・評価ツール・データベースの改善策の方向性を検討した。調査は、平成 27 年に、日本建築学会地球環境委員会に所属する約 200 名を対象に実施した。その結果 25 名から回答を得た。その結果の詳細は文献 [4)]を参照されたい。

主要な内容を紹介すると、LCA の実施目的について質問した結果、使用する建材を変更した場合の評価、省エネルギーのための材料・機器・システム等の導入

効果、木材利用システムにおける負荷削減効果、廃棄物のリサイクルに伴う負荷削減効果、長寿命化など、様々な視点で LCA が実施されていることが確認できた。また、建築物の評価の在り方に対する意見や、評価ツール、インベントリデータベースなどについての課題を網羅的に整理することができた。一例ではあるが、データベースについて望むことについて質問した結果、建築分野でのニーズが高い原単位追加・他の影響物質での評価・海外のデータ・単位換算データ・耐用年数データなど多様な視点で指摘があった。これらを改善すべく、研究・開発を継続している。

3. インベントリデータベース IDEA の研究・開発

3.1 IDEA の研究・開発

筆者は、インベントリデータベース IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）の開発に当初時から深く携わってきた[5]。IDEA はデータ数が約 3800 の我が国最大級のデータベースであり、統計の分類を活用した網羅性の高いデータベースとなっていることが特徴である。特に、統計や文献からのデータの作成方法、データの品質や利用における誤差、海外データの構築などについて研究を行ってきた。

3.2 IDEA を用いたバックグラウンドデータ利用による誤差の評価手法の構築

バックグラウンドデータの連鎖においては、評価目的に合致したデータを連鎖できればよいが適切なデータが見つからない場合や、有効範囲の合致状況などが十分に確認されないまま利用されることも少なくない。

そこで、LCA 実施におけるバックグラウンドデータの品質評価手法を開発し、有効範囲が合致していないデータを用いることによって生じる誤差の分析手法を開発することを目的として研究を実施した。本検討では、IDEA が階層構造を有しているという特徴を活用して、各階層構造の下位にあるデータのばらつきを上位の誤差と考えたものである。また、この手法を用いて誤差データベースを開発した。開発したデータベースをもとに、建築物の評価において評価結果に誤差を生じやすいバックグラウンドデータを明らかにし、優先的に改善すべきデータの項目を明らかにした[6、7]。

3.3 海外のインベントリデータの推計

IDEA は、主として国内全体を対象としたデータベースが開発されるにとどまっている。しかし、輸出入が盛んな我が国にとって、海外での影響を考慮した評価は必要不可欠である。

そこで、既存の日本平均の原単位データベースを活用し、入手可能なデータ（統計データなど）を用い、可能な限り精度高く、海外や地域のデータを推計する手法を開発することを目指し、研究を実施した。本手法は、IDEA を用い、①電力原単位、②発電効率・熱効率、③燃焼用燃料構成比、④環境対策（燃料の質（例：硫黄含有量）、脱硫・脱硝等）のデータを対象国のデータに変換することで推計することとした。それらの手法を用い各国に適用を進めているところで、現段階で、アジアの中で日本との取引が多い 7 か国（中国・タイ・韓国・台湾・マレーシア・インドネシア・ベトナム）についての推計データベースを構築した[8、9]。

4. おわりに

これまでの調査・研究は、筆者一人によって成しえたものではなく、多くの方々のご指導・ご鞭撻によるものと考えております。特に、建築分野の評価については、東京理科大学 井上隆教授、慶應義塾大学 伊香賀俊治教授をはじめとする皆様、インベントリデータベースについては、工学院大学 稲葉敦教授、産業技術総合研究所 田原聖隆氏、産総研関係の皆様、をはじめとし、関係した本当に多くの方々に記して謝意を表させていただきます。

引用文献

1) 小林謙介，田中秀樹，近田智也，間宮尚，井上隆：日本建築学会環境系論文集，No.615，(2007)，pp.73-85
2) 小林謙介，中島史郎，恒次祐子，伊香賀俊治：日本建築学会環境系論文集 No.659, (2011), pp.91-96
3) 小林謙介，若林國久：日本建築学会環境系論文集 No.720，(2016)，pp.255-261
4) 小林謙介，阿保ことり，新家佑城，佐藤整央，磯部孝行:第 12 回日本 LCA 学会研究発表会, (2017), pp.34-35
5) Kiyotaka TAHARA, Kensuke KOBAYASHI, Toshio ONOUE, Masayuki KANZAKI and Katsuyuki NAKANO: The 8th International Conference on EcoBalance，(2018)
6) 小林謙介, 尾上俊雄, 田原聖隆: 日本 LCA 学会誌, 第 5 巻第 4 号，(2009)，pp.529-541
7) 小林謙介，河上慎太郎，田原聖隆，井上隆：日本建築学会環境系論文集，No.718，(2015)，pp.1163-1170
8) Kensuke KOBAYASHI, Kiyotaka TAHARA, Baoren WEI: A Method to Estimate Inventory Data on Foreign Products: The 10th International Conference on EcoBalance，(2012)，P-145
9) 小林謙介，中野裕貴，中井健士郎，藤井千陽，横田真輝，田原聖隆：第 12 回日本 LCA 学会研究発表会，(2017)，pp.424-425

論文賞受賞講演

特集「第11回日本LCA学会研究発表会からの投稿」

研 究 論 文(Research Article)

責任あるサプライチェーンの実現に向けたニッケル資源利用に関わるリスク要因の整理と解析

佐々木　翔[1,*]・松八重　一代[2]・中島　謙一[3]・村上　進亮[4]・長坂　徹也[1]

Frameworking of Risk Factors about Nickel Resource Use for Advancing Responsible Supply Chain

Sho SASAKI[1,*], Kazuyo MATSUBAE[2], Kenichi NAKAJIMA[3], Shinsuke MURAKAMI[4] and Tetsuya NAGASAKA[1]

Synopsis:

Objective. Supply and demand trends for mineral resources are changing rapidly due to economic growth in emerging nations and technological innovation in industrialized nations. There is a wide range of direct and indirect impediments that pose potential risks to mineral resource supply chains. These factors include stoppage of mining operations due to strikes, interruption of transport routes due to natural disasters, and policies prohibiting ore exports due to resource nationalism. Strategic management of resources based on these direct and indirect risk factors inherent to supply chains has become an important issue. In this study, the following analyses were performed for the purpose of presenting measures to prevent adverse impacts on mineral resource supply: (1) framework design to comprehensively and broadly capture a variety of risk factors influencing the supply chain, using nickel as a case study; (2) factor analysis to analyze numerous examples of supply impediments with the number of incidents and environmental risk factors as one index; land area modified by ore extraction and geopolitical factors as one index; and a quantitative analysis of the degree of the concentration of ore production.

Results and Discussion. The five categories (Economic, Environmental, Geopolitical, Societal, and Technological) were subdivided by factor into 31 subcategories. It became clear that there were some risk factors for which obtaining data was difficult. A collection of risk events of nickel resource supply impediments confirmed countries regions, and risk factors for which cases data was difficult to obtain. Analysis of land area transformation by nickel resource extraction showed that land modification is increasing with increasing ore extraction in resource producing countries. Estimates of the degree of concentration of nickel ore production for specific mines found that, in certain countries/regions, production was concentrated in specific mines.

Conclusions. To prevent impediments to mineral resource supply, the following conclusions were determined from our analysis:

- It is necessary to pay attention to risk factors that have been difficult to identify until now.
- It is important to consider relationships between communities and specific mines or smelters, and to evaluate potential environmental issues related to land transformation.
- Finally, it is important to plan for dispersion of risk by dispersing supply. When advancing supply from expensive countries with high mineral concentrations, it is necessary to preempt potential failures in the supply chain, including storage, by putting advanced countermeasures in place.

Keywords: Material flow; nickel; supply chain risk; sustainable development

1　東北大学大学院 工学研究科／〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02
2　東北大学大学院 環境科学研究科／〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
3　国立研究開発法人 国立環境研究所／〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2
4　東京大学大学院 工学系研究科／〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
1　Graduate School of Engineering, Tohoku University / 6-6-02 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-0855
2　Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University / 468-1 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-0845
3　National Institute for Environmental Studies / 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506
4　Graduate School of Engineering, University of Tokyo / 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656
＊連絡先(Corresponding author), sho.sasaki.r4@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒論

新興国の経済成長や先進国における技術革新に伴い、鉱物資源の需給動向は大きく変化している。近年の新興国の経済成長に伴い、鉱物資源需要の更なる拡大が予想される[1]だけではなく、先進国における低炭素技術の導入に伴い、鉱物資源需給は大きく変化することが予想されている[2]。しかしながら、鉱物資源のサプライチェーンの背後には、ストライキ発生による鉱山の操業停止や、自然災害による輸送ルートの寸断、資源ナショナリズムによる鉱石輸出禁止政策など、鉱物資源の供給障害の直接的・間接的な要因となり得る様々なリスク要因が潜在している[3]。他方、サプライチェーンのグローバル化に伴い、人権、労働、環境、腐敗に関連する社会問題が顕在化してきたことから、CSR (Corporate Social Responsibility) [4]や持続可能な開発[5]に対する関心が高まっている。これらの社会問題は、企業の経済活動へ大きな影響を与えるだけではなく、ストライキの発生や環境規制等の鉱物資源供給のリスク要因へと発展する可能性も有しているため、持続可能な資源調達のためには無視することのできない問題である。とりわけ、日本においては、産業競争力の源泉が、鉱物資源を原料とした次世代自動車、ネオジム磁石等の世界で大きなシェアを持つ製品である[6]。しかしながら、その原料となる鉱物資源を供給するための有望な鉱山は日本国内にはほとんどなく、鉱物資源の調達は、もっぱら海外からの供給に依存している。そのため、サプライチェーンに内在する直接的あるいは間接的に供給制約となり得るリスク要因を踏まえた戦略的な資源管理が重要な課題となっている。

資源を含めた資源の流れの同定については、マテリアルフロー分析 (Material Flow Analysis, MFA) の研究により、経済活動に関わる物質の流れを、サプライチェーン全体で定量化し、物質の流れを戦略的に管理することを目指した研究[7, 8]が精力的に実施されている。一方、リスク要因の解析においては、サプライチェーンリスクを整理した事例として、パンデミック[脚注1)]や大量破壊兵器の保持などグローバル規模リスク要因に特化した抽出[9, 10]や，生産管理や知的財産権などビジネス向けのリスク要因に特化した抽出[11-14]などがある。また、Graedelら[15]は、62種類の金属元素を対象に、それぞれの鉱種別に供給リスクの解析を行っている。しかしながら、前者[9-14]については、対象とするリスク要因が特定のリスク要因に特化している事、後者[15]については、鉱種別のリスク要因の解析は進んでいるものの国・地域別あるいは個別の鉱山などに関する議論までは至っていない。

そこで本研究では、鉱物資源のサプライチェーンの背後に潜在する多種多様なリスク要因の広範な抽出及び体系的な整理を行うとともに、ニッケルを事例としてサプライチェーンの上流部分である採掘・製錬に着目し、ニッケル資源生産国別のリスク要因を定量的に解析することで、鉱物資源供給への影響を未然に防ぐための対応策を示すことを目的とする。ニッケルは、ステンレス鋼やニッケル水素電池などを始めとする多岐に渡る用途があり、更なる需要拡大が予想される鉱物資源の1つである。また、採掘や製錬に伴い、生物多様性への影響[16]や自然保護区との重複や近接[17]、採掘に伴う土地改変[18]など様々な地球環境問題が報告されているため、戦略的かつ責任ある資源管理が緊要となっている。物理的な供給寸断リスクのみならず、資源利用に伴う環境・社会的な責任の観点からの調達リスクも考慮すべき素材であることから、本研究における広範なリスク要因解析の対象素材として選択した。

2. 方法

サプライチェーンに内在するリスク要因としては、WORLD ECONOMIC FORUM[10]が採用している5つの分類（経済、環境、地政、社会、技術）を基本の枠組みとして、より細かな分類については、サプライチェーンリスクに関する既存の議論の定義[9-14]、CSR調達の原則[4]や持続可能な開発のための行動計画[5]を網羅するように、更には、既に個別のリスク要因として顕在化している供給障害事例など[3, 19]を包含できるように整理を行った。これにより、企業や国家が安定的かつ持続可能な資源供給・調達を行うための鉱物資源のサプライチェーンの背後に潜在するリスク要因のチェックリストを整備する。

更に、ニッケルを事例に取り上げて、総合的なリスク要因の指標として（1）供給障害に関わる事例件数を取り上げて要因別の発生件数についての解析を行うと共に、環境に関わるリスク要因の指標の1つとして（2）鉱石の採掘に伴う土地改変面積、そして、地政学的なリスク要因の指標の1つとして（3）鉱石生産の集中度を取り上げて定量的な解析を実施した。これにより、資源国の供給リスクを明らかにすることで、鉱物資源供給への影響を未然に防ぐための対応策を示すことを目的とする。

はじめに、ニッケル資源の供給障害に関わる事例抽出については、鉱物資源の供給障害に関する事例を扱うWebニュース[19]やレポート[3]を参考に、1967年から2016年までの事例を収集した。本研究では、要因ごとにキーワードを設定して検索を実施して、顕在化している供給障害等の事例を収集した。なお、要因ごとのキーワードについては、Appendixに示した。

脚注1）　ある感染症や伝染病が世界的に流行し、著しい感染や死亡被害が発生するような事態。

次に、国・地域ごとのニッケル鉱石の採掘に伴う土地改変面積の推計を実施した。推計は、既存研究[20, 21]を参考に、ニッケル鉱石の採掘に伴う土地利用強度（Land use intensity, m^2 / t-Ni in ore）に各年の鉱石採掘量を乗じて推計を行った。ここで、ニッケル鉱石の採掘に伴う土地利用強度とは、単位ニッケル量を含むニッケル鉱石の採掘に伴う土地改変面積とする。鉱石採掘量については、Raw materials data（RMD）から得られる2005年および2011年の鉱石生産量を用いた。土地利用強度について、ニッケル協会が実施した調査[20]では、2種類の採掘方法（露天掘り：Open Pit Mining（OP），坑内掘り：Underground Mining（UG））について、資源採掘活動に伴う土地改変面積を公表している。一方、Tangら[21]は、前述の採掘方法に加えて、鉱石の種類（硫化鉱（Sulfide），酸化鉱（Laterite））、更には、鉱石品位や剝土比などを考慮することで、鉱山毎に、資源採掘に伴う土地改変面積を推計している。また、Tangらの推計では、38の鉱山を対象とした解析結果をもとに、採掘方法や鉱石種類に加えて、鉱石品位により、資源採掘に伴う土地利用強度が大きく異なる可能性を示している。そこで、本研究では、Tangら[21]の推計手法および推計結果を用いて、鉱山ごとのニッケル鉱石の採掘に伴う土地利用強度を設定した。なお、Tangらの推計手法では、鉱山毎に様々なパラメータを必要とするため、推計可能な鉱山は、操業状況などが公表されている鉱山に限定される。このため剝土比などの必要なパラメータが得られない鉱山については、Tangら[21]の推計結果に基づいて相関式を作成し土地利用強度を設定した。相関式を式（1），（2），（3）に、各相関式の相関関係をFigure 1に示す。

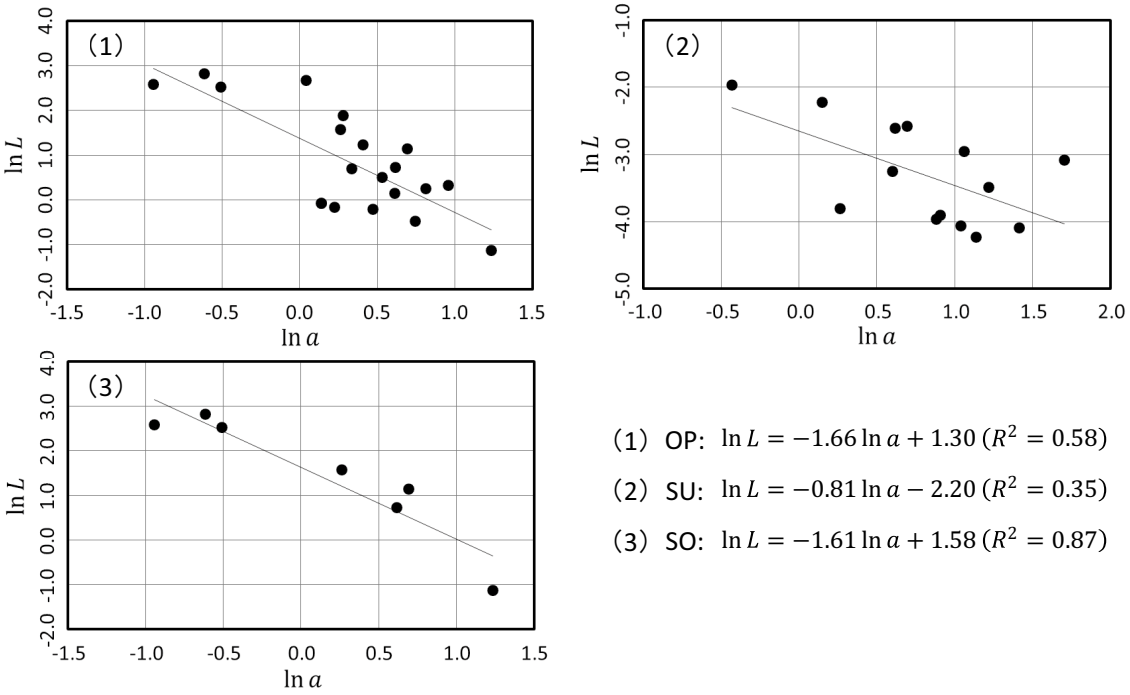
$$\mathrm{OP}：\ln L = -1.66 \ln a + 1.30 \quad (R^2 = 0.58) \qquad (1)$$

$$\mathrm{SU}：\ln L = -0.81 \ln a - 2.20 \quad (R^2 = 0.35) \qquad (2)$$

$$\mathrm{SO}：\ln L = -1.61 \ln a + 1.58 \quad (R^2 = 0.87) \qquad (3)$$

ここで、Lはニッケル鉱石の採掘に伴う土地利用強度（Land use intensity, m^2 / t-Ni in ore）、aはニッケル鉱石品位（%）、SUは硫化鉱（Sulfide）で坑内掘り（Underground）の鉱山を、SOは硫化鉱（Sulfide）で露天掘り（Open Pit）の鉱山を示す。相関式の決定係数（R^2）については、採掘方法別ではOPが0.58、SUが0.35であった。OPを鉱種毎に分けた場合、SOの鉱山については0.87というより高い相関係数が得られたため、それらの鉱山については式（3）を適用した。世界の各鉱山の採掘方法、鉱種、鉱石品位、ニッケル鉱石生産量については、RMD[22]のものを用いた。採掘方法や鉱石品位が不明な鉱山については、それらの鉱山が属する国の中で土地改変量が既知である各鉱山の生産量によって加重平均した値を土地利用強度とした。

最後に、鉱石生産の集中度については、特定の国あるいは地域への集中度を把握するために、各国あるいは各地域における鉱山ごとの鉱石生産量をもとに、HHI（ハーフィンダール・ハーシュマン・インデックス）を用いて指標を作成して解析を実施した。推計式を式（4）に示す。



（1）OP: $\ln L = -1.66 \ln a + 1.30 \ (R^2 = 0.58)$

（2）SU: $\ln L = -0.81 \ln a - 2.20 \ (R^2 = 0.35)$

（3）SO: $\ln L = -1.61 \ln a + 1.58 \ (R^2 = 0.87)$

Figure 1. Correlation between previous results and ore grade

$$HHI = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{P_i}{P_{total}} \right)^2 \quad (4)$$

ここで、P_iはA国のi番目の鉱山における鉱石生産量（kt-Ni）を、P_{total}はA国全体のニッケル鉱石生産量（kt-Ni）を示している。ある国全体のニッケル鉱石生産量とその国内の全鉱山のニッケル鉱石生産量に差異がある場合、その差分を、鉱石生産量が不明ではあるが、操業状況がOperatingまたはActiveとなっている鉱山に均等分配することで計算した。各鉱山のニッケル鉱石生産量は土地改変量と同様にRMD [22] のデータを用いて推計した。

3. 結果

3.1 サプライチェーンリスクの背後のリスク要因の類型化

サプライチェーンの背後に潜在する様々なリスク要因の抽出結果と、収集されたニッケル資源の供給障害に関わる事例件数、更に既存のサプライチェーンリスクを整理した議論との対応関係をTable 1に示す。

上述の5つの分類（経済、環境、地政、社会、技術）を要因別に31分類に細分化した。その結果、既存のサプライチェーンリスクにおける議論[9-14]にて共通して焦点があてられている要因（ストライキ、自然災害、テロなど）の他に、グローバル規模のリスク要因の把握と管理を目的

Table 1. Organization of proposed risk factors and correspondence to prior discussions

No.	Categories	Subcategories	Correspondence to prior discussions					
			Global scale risk factors		Risk factors for business and corporate			
			Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5	Ref. 6
1	Economic	Strikes		✔	✔	✔	✔	✔
2		Volatility	✔	✔	✔		✔	✔
3		Energy/Infrastructure shortage	✔	✔				
4		Disorder in an operating unit					✔	✔
5		Failure of raw material procurement			✔		✔	✔
6		Barrier to entry	✔					
7		Product management	✔				✔	
8		Intellectual property			✔	✔	✔	
9	Environmental	Pandemic	✔	✔				✔
10		Natural disaster	✔	✔	✔	✔	✔	✔
11		Extreme weather	✔	✔				✔
12		Environmental impact		✔		✔		✔
13		Depletion		✔				
14	Geopolitical	Defect in transport	✔		✔	✔	✔	✔
15		Possession of weapons of mass destruction	✔	✔				
16		Terrorism	✔	✔	✔	✔	✔	✔
17		Political instability	✔	✔	✔	✔		✔
18		Trade barrier	✔		✔	✔		✔
19		Bilateral relationship	✔	✔	✔	✔		✔
20		Shutdown based on the law			✔			✔
21	Societal	Social operating permit		✔	✔	✔		✔
22		Scarcity of food		✔				
23		Large-scale involuntary migration		✔				
24		Failure of urban planning		✔				
25		Gender discrimination						
26		Inadequate education						
27		Caught in another's dispute						✔
28	Technological	Misuse of technologies		✔				
29		Data security/IT incidents	✔	✔	✔		✔	✔
30		Accident/Breakdown of equipment			✔			✔
31		Risks of the press						

Ref. 1 : New Models for Addressing Supply Chain and Transport Risk[9]
Ref. 2 : WORLD ECONOMIC FORUM Insight Report Global Risks 2015 10th Edition[10]
Ref. 3 : INNOVATIVE APPROACHES TO SUPPLY CHAIN RISK[11]
Ref. 4 : bsi. Supply Chain Solutions[12]
Ref. 5 : Managing Risk to Avoid Supply-Chain Breakdown[13]
Ref. 6 : AGCS Managing disruptions[14]

とした議論[9, 10]でのみ焦点をあてている要因（大量破壊兵器の所持、食料不足、テクノロジーの悪用など）やビジネスや企業戦略向けのリスク要因の把握と管理を目的とした議論[11-14]でのみ焦点があてられている要因（事業所の経営状態の混乱、知的財産権、設備の事故/故障など）が明らかとなった。更に、ジェンダー差別、不十分な教育、報道リスクについては、既存のいずれの議論[9-14]においても焦点があてられていなかった事が明らかとなった。このうち、ジェンダーや教育に関する問題は、持続可能な開発の議論[5]においても持続可能な開発目標として取り上げられている要因であり、注視が必要であると考えられる。

3.2 ニッケル資源の供給に関わる事例解析

3.2.1 鉱物資源の供給障害に関わる事例件数の解析

鉱物資源の供給障害に関する事例を扱うWebニュース[19]やレポート[3]を対象とした検索により、81件（経済：30件、環境：14件、地政：10件、社会：8件、技術：19件）の供給障害に関する事例を抽出した。収集した事例を発生国別にまとめた結果をFigure 2に示す。

Figure 2の国の表記は、文献[22-25]から把握できた1969年から2014年までのニッケル鉱石の累積生産量の降順である。ここで、1969年から1983年までは鉱物資源データブック[23]、1984年から2013年まではRMD[22]及び世界の鉱業の趨勢[24]、2014年については世界の鉱業の趨勢[24]及びUnited States Geological Survey[25]からデータを引用した。なお、ドミニカ共和国（2014年）、ベネズエラ（1969年～1983年、2014年）、グアテマラ（1984年～2005年）、ザンビア（1969年～1983年）、ベトナム（1969年～2000年）については、鉱石生産量が把握できていないため含めていない。また、ロシアの1969年から1990年までの生産量については、ソビエト連邦のデータを引用した。

国別に見ると、カナダやオーストラリア、ニューカレドニア、インドネシアなど累積鉱石生産量が大きい国ほど収集された事例件数が多い傾向が見られた。一方で、ロシアやフィリピンなど累積生産量が大きいにも関わらず抽出された事例件数が極端に少ない国も見受けられた。また、リスク要因別に見た場合は、経済（30件）、技術（19件）、環境（14件）に該当する事例が多く抽出された。

累積生産量かつ事例件数が多い国は、以前から大規模な開発を行っている国[22, 23]である。一方、累積生産量が6位であるにも関わらず、事例件数が少なかったフィリピンについては、2006年から急激に生産量を伸ばしており[22]、大規模な開発を行っている期間が比較的短い。このことから、大規模な鉱石生産を行っている期間が長いほど事例件数が多くなると考えられる。

また、同様の情報源でニッケル以外の鉱種に関する事例件数を収集した結果、経済が111件、環境が68件、地政が59件、社会が37件、技術が26件であった。技術に関する事例は比較的少ないものの、経済、環境の事例件数が多くなっており、ニッケル資源の事例件数と類似した傾向を示すことがわかる。このことから、要因別の差異は情報源における事例抽出の傾向によるものであると考えられる。

3.2.2 ニッケル鉱石の採掘に伴う土地改変面積

次に、既存研究[20, 21]を参考に、世界のニッケル資源生産国におけるニッケル鉱石採掘に伴う土地改変面積を推計した結果をFigure 3に示す。本研究の対象ではないが、将来的に産業連関分析を応用した手法を用いて、物質フロー・サプライチェーン情報に基づいた解析を行うことを想定して、ここでは産業連関表の対象年度である2005年及び2011年について解析を行った。

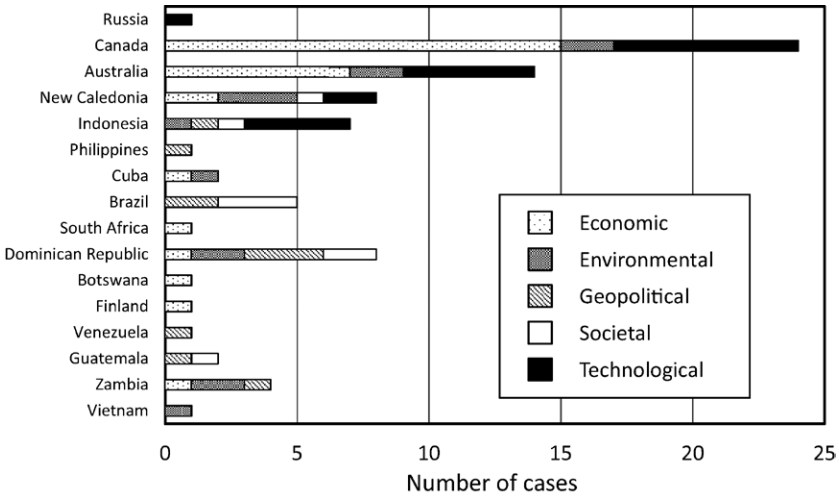


Figure 2. Number of risk event impediments to nickel resource supply by country and by risk factor

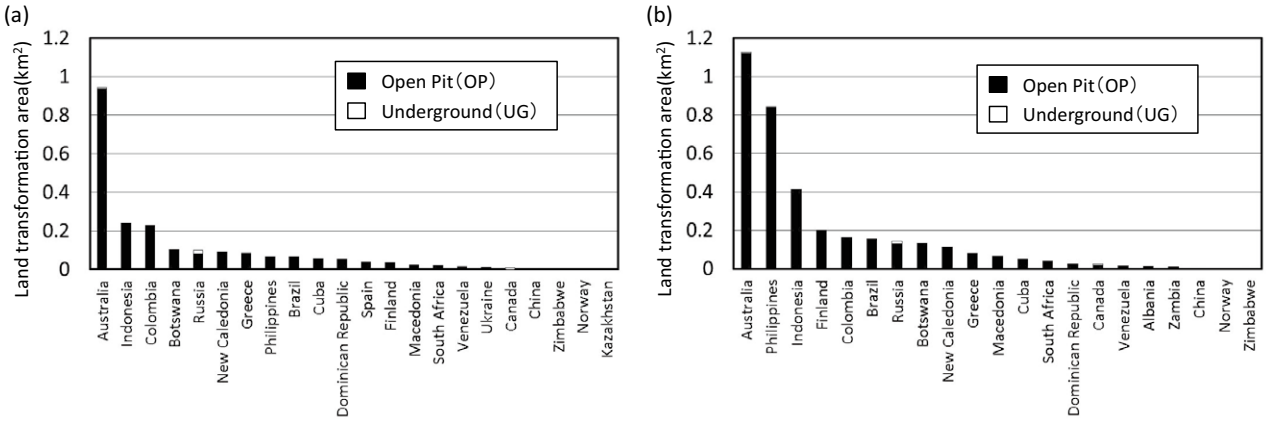


Figure 3. Land area transformed by nickel ore mining in (a) 2005 and (b) 2011

結果から、2005年と2011年のいずれにおいても、オーストラリアの土地改変面積が突出して大きいことが明らかとなった。また、2005年から2011年にかけて、フィンランド（5.3倍）、フィリピン（12.5倍）、ブラジル（2.4倍）、インドネシア（1.7倍）の土地改変面積が大きく増大していることが明らかとなった。さらに、2005年と2011年のいずれにおいても、露天掘り（OP）による土地改変が支配的であることが明らかになった。

オーストラリアのニッケル鉱石生産量を見ると、2005年はロシア、カナダに継いで3位、2011年はフィリピン、ロシア、カナダ、インドネシアに継いで5位[22]であり、生産量が突出して大きいわけではないことがわかる。故に、オーストラリアの改変面積の突出は、オーストラリアの鉱山の剥土比が大きい[21]ことに起因していると考えられる。

次に、2005年から2011年にかけて、一部の国の土地改変面積が増大した理由について考える。それぞれのニッケル鉱石生産量が増加した（フィンランド：5.6倍、フィリピン：12倍、ブラジル：2.1倍、インドネシア：1.6倍）[22]ことに起因していると考えられる。

最後に、2005年と2011年のいずれにおいてもOPによる土地改変が支配的であった理由について考える。UGは、地表から坑道を開削し地下の鉱体を採掘する方法であるのに対し、OPは地表付近の鉱体に対して、崩落の発生を防ぐために、安定なピットを形成するように採掘を行う[26]。そのため、ズリと呼ばれる鉱石採掘の際に発生する岩石・土砂等の鉱業廃棄物が大量に発生し、OPのLand Use Intensity（m^2/t-Ni）はUGのそれに対し15～135倍と非常に大きな偏差を有する[21]。一方で、採掘方法別の生産量の割合を比較すると、OPによる鉱石生産が全体に占める割合は、2005年は48%、2011年は65%[22]であり、生産量が支配的であるわけではない。以上の理由で、OPによる土地改変が支配的であったと考えられる。

3.2.3 国・地域別のニッケル鉱石生産の集中度

最後に、HHI（ハーフィンダール・ハーシュマン・インデックス）を用いて、世界のニッケル生産国における特定の鉱山へのニッケル鉱石生産の集中度を推計した結果をFigure 4に示す。3.2.2と同様に、対象年度は2005年及び2011年とした。

2005年においてはロシア、オーストラリア、ニューカレドニア、南アフリカ共和国等の国々のHHIが低い一方で、コロンビア、ドミニカ共和国、ギリシャ、ベネズエラ、マケドニア、スペイン、ノルウェーといった国々のHHIが1を示した。また2011年においては、フィリピン、オーストラリア、ロシア、南アフリカ共和国のHHIが低い一方、コロンビア、マケドニア、ギリシャ、ベネズエラ、ドミニカ共和国、ノルウェーといった国々のHHIが1を示した。このように、全体的な傾向として、鉱石生産量の多い国ほど鉱石生産の集中度が低く、鉱石生産量が少ない国ほど鉱石生産の集中度が高いことが明らかとなった。また、2005年から2011年にかけて、フィリピン、カナダの集中度がそれぞれ0.45倍、0.51倍と大きく低下していることがわかる。

鉱石生産量と集中度の傾向については、生産量が多い国ほど多くの鉱山を保有している[22]ことに起因すると考えられる。また、2005年から2011年にかけてのフィリピン、カナダにおける集中度の低下については、新規鉱山の開発が進められたことや大規模な生産を行っていた鉱山の減産[22, 23]に起因するものであると考えられる。

4. 考察

4.1 資源の直接的・間接的な供給制約による影響を未然に防ぐための対応策

情報源の網羅性については後述するが、鉱物資源の供給障害のリスク要因を広範に捉えるための枠組み設計、及びそれぞれの指標の定量的な解析に対する考察を行う。

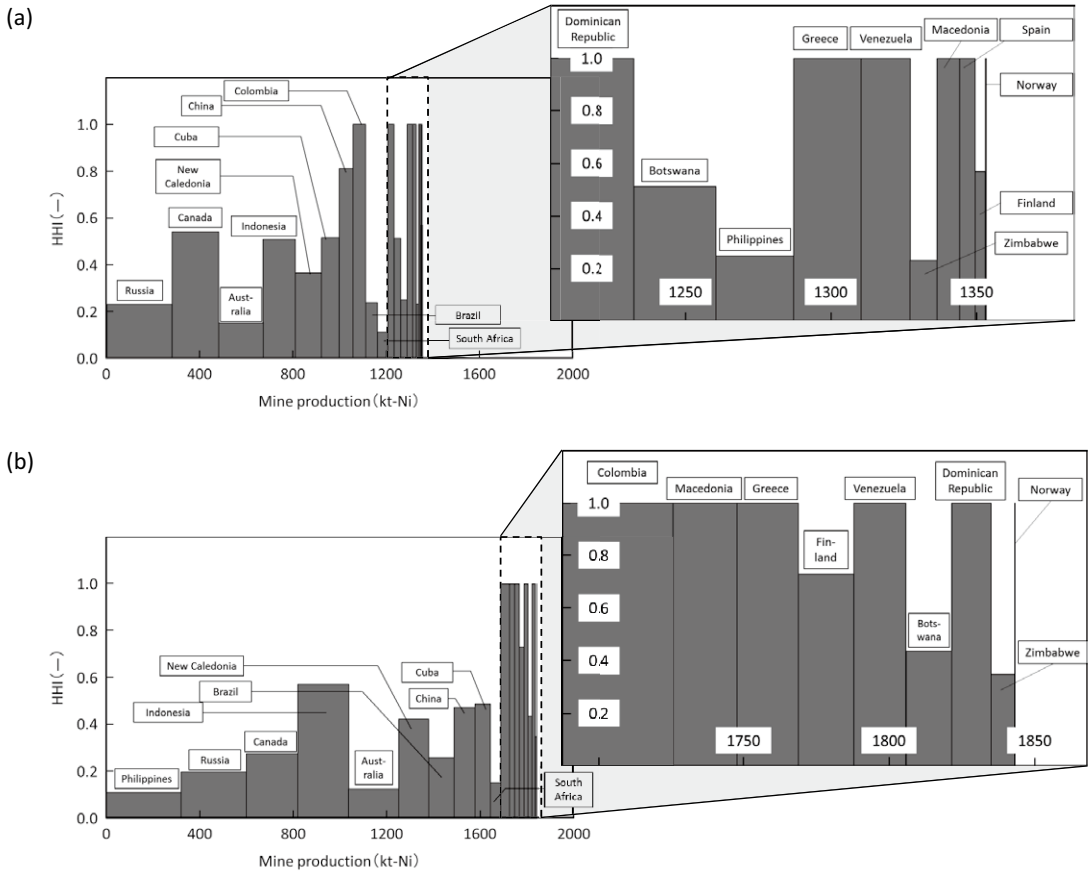


Figure 4. Degree of concentration of nickel ore production by country in (a) 2005 and (b) 2011

サプライチェーンリスクを整理した既存の議論からリスク要因を抽出した結果、グローバル規模のリスク要因の把握と管理を目的とした議論[9, 10]でのみ焦点をあてている要因やビジネスや企業戦略向けのリスク要因の把握と管理を目的とした議論[11-14]でのみ焦点があてられている要因、更に既存のいずれの議論[9-14]においても焦点があてられていなかった要因があることが明らかになった。

鉱物資源の供給障害に関する事例を収集した結果、事例が発生した国・地域、または要因に差異が見られた。これは、その国・地域の開発期間や情報源の傾向によるものであると考えられる。事例件数は1967年から2016年までの累積で計上しているため、大規模な開発を行っている期間が長ければ長いほど、多くの事例が抽出されやすいということが考えられる。また、本研究で事例抽出の際に用いた情報源の性質上、報道対象になりやすいもの、時勢に応じて社会的な関心が高いものの事例が多く収集される傾向があったと考えられる。また、環境規制が緩いあるいは実効性を有しない国・地域の場合、同程度の環境汚染事例が発生したとしても、報道の対象とならない場合がある[27]。そのため各国の事例件数の多寡がリスク要因の数に正比例しない点は留意すべきである。

また、資源採掘に伴う土地改変面積の推計により、大規模な土地改変を行っている国・地域があることが明らかとなった。資源の採掘に伴う土地利用と関連して、先住民の土地の不正使用を受けて操業停止命令が下された事例（ブラジル：2012年）[19]や、鉱山活動が水源や生物多様性へ深刻な影響を与えるとして、環境保護団体が活動停止を求めたことにより鉱山操業を一時閉鎖した事例（ドミニカ共和国：2013年）[19]などが確認されている。

最後に鉱石生産の集中度について、特定の鉱山における鉱石生産に伴い集中度が高くなっている国・地域があることが明らかになった。例えば、一つの鉱山で鉱石生産を行っているスペインでは、2005年では鉱石生産が行われていたが、2011年では鉱石生産が行われていなかった。この背景にあるのは、大雨を原因とした採掘場の崩壊事故による操業停止（2010年12月から2012年8月）[24]である。このように、特定の鉱山へ生産が集中している国・地域は、一度自然災害や事故等により供給障害が生じた場合に大きな影響を受けやすいと考えられる。

以上を踏まえ、資源供給への影響を未然に防ぐために、以下の対応策が示唆された。

対応策①：大量破壊兵器の所持、設備の事故/故障、ジェンダー差別や教育など今まで注視されにくかったリスク要因に配慮する必要がある。

対応策②：鉱山操業に際しては、地域コミュニティとの関係や生物多様性への影響などの環境問題に配慮する必要がある。3.2.2の土地改変面積に関する分析結果より、世界的に今後、供給増大が予想される地域におけるニッケル鉱山開発は主にOPで行われていることから、歴史的なニッケル利用と比較して、より土地利用強度が大きくなることが予想される。そのため、今後のニッケル資源利用の際は、土地改変に伴う生物多様性への影響や地域コミュニティとの土地の権利をめぐる紛争などのリスク要因により注意を払う必要がある点が定量的な解析結果に基づき示された。対応策③：調達に際しては、2次3次サプライヤーを用意する等して、リスクの分散を図る措置を取る必要がある。3.2.3の鉱石生産の集中度解析の結果より、2005年と2011年の比較においては、大きな資源供給を行う国々はおおよそ集中度が低下傾向にあり、市場集中度の観点からのリスクは軽減傾向にあったと考えられる。しかしながら、今後、新規に鉱山開発が進められる国・地域からの資源調達を考える際には、集中度が高いことによるリスク、たとえば鉱山周辺での災害等による影響が背後にあることに留意の上、対応策を講ずるべきである。

4.2 不確実性と限界

事例抽出に際しては、4.1でも述べたように、社会的な関心が大きく、報道対象になりやすい事例が抽出される傾向が、事例抽出の偏りを生むことは留意されるべきである。情報源の選択という点では、本研究で解析対象としたもの以外に、USGS（United States Geological Survey）のニュースから同様の情報抽出を行った結果、同様の傾向を示し、抽出傾向に大きな差が出ないことが確認されている。そのため、さらに情報抽出の網羅性を高めることによって不確実性を回避するためには、発展的な取り組みとして、自然言語処理技術を活用したビッグデータ解析等より、現状では報道対象になりにくい事例を抽出できるような仕組みを構築することも必要であろう。

資源採掘に伴う土地改変面積、鉱石生産の集中度の推計においては、RMDからデータを引用した。土地改変面積は、各鉱山の採掘方法、鉱種、剥土比や鉱石品位によって大きく異なる。また、鉱石生産の集中度は、鉱山数と各鉱山の生産量によって決定される。しかしながらRMDでは、推計に必要な情報（採掘方法、鉱種、鉱石品位、操業状況）が欠落している鉱山や、生産が行われているにも関わらず、鉱山が一つも掲載されていない国・地域があった。また、RMDに掲載されている鉱山の鉱石生産量の和と、その国・地域全体の鉱石生産量の間に差異が見られる国・地域もあった。さらに、複数の鉱山が企業体やプロジェクト毎に一つにまとめられている場合もあった。今後の解析の課題として、把握できていない鉱山や情報が不足している鉱山、企業やプロジェクトごとにまとめられている場合は鉱山毎に解析を行うことでより精度の高い解析が可能であると考えられる。

5. 結論

本研究では、鉱物資源の供給に関わるサプライチェーンに内在するリスク要因を広範に抽出し、5分類（経済、環境、地政、社会、技術）に整理した。更に、ニッケルを事例として、供給障害に関わる要因別の発生件数、資源採掘に伴う土地改変面積、そして特定の鉱山への鉱石生産の集中度を取り上げて、それぞれについて定量的な解析を実施した。以下に、本研究の主な結論と共に、資源供給への影響を未然に防ぐための対応策を示した。

- 鉱物資源のサプライチェーンの背後のリスク要因を抽出した結果、これまで注視されにくかったリスク要因があることが明らかになった。資源供給への影響を未然に防ぐためには、これらのリスク要因に注意する必要がある。
- 国・地域別のニッケル資源採掘に伴う改変面積の解析により、資源産出国では鉱石の採掘に伴い土地改変が進行していること、さらに、急速に土地改変面積が拡大している国・地域があることが明らかとなった。調達に際しては、資源の供給制約を回避するために、鉱山・製錬所の地域コミュニティとの関係性や土地改変に伴う環境問題への対策の配慮が必要であると考えられる。
- 特定の鉱山へのニッケル鉱石生産の集中度の推計により、特定の鉱山に生産が集中している国・地域があることが明らかになった。調達に際しては、分散的な調達によるリスクの分散を図る必要がある。あるいは、集中度の高い国・地域からの供給を進める際には、備蓄を含めて供給障害が生じた場合を想定した対応策の整備等を図る必要がある。

謝辞

本研究は、JST-RISTEXによる科学技術イノベーション政策のための科学研究開発プログラム「リソースロジスティクスの可視化に立脚したイノベーション戦略策定支援」研究開発プロジェクト、科学研究費助成事業「サプライチェーンを通じた資源利用と環境影響の解析と資源利用の高度化・高効率化研究」（KAKENHI 26281059）および「サプライチェーンが産み出す価値と環境・資源ストレスの統合的ホットスポット分析」（KAKENHI 15H01750）で取り組んでいる研究成果の一部です。また研究支援を株式会社本田技術研究所より受けております。ここに記して深く感謝申し上げます。

（平成28年7月29日受付、平成28年12月29日採択）

参照文献

1) van Vuuren D. P., Strengers B. J., De Vries H. J. M. (1999): Resources Policy, 25(4), 239-255
2) Kleijn R., van der Voet E., Kramer G. J., van Oers L., van der Giesen C. (2011): Metal requirements of low-carbon power generation, Energy, 36, 5640-5648
3) 掘琢磨 (2006): 地質ニュース, 623, 21-41
4) グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパン, 国連グローバル・コンパクトの10原則, グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパンホームページ, 入手先 <http://ungcjn.org/gc/principles/index.html>, (参照 2016-6-17)
5) United Nations, SUSTAINABLE DEVEROPMENT GOALS (SDGs), United Nationsホームページ, 入手先 <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>, (参照 2016-6-17)
6) 経済産業省 (2014): 今後の鉱物資源政策のあり方について (骨子案), 1-7
7) Nakajima K., Ohno H., Kondo Y., Matsubae K., Takeda O., Miki T., Nakamura S., Nagasaka T. (2013): Environmental Science & Technology, 47, 4653-4660.
8) Nakajima K., Otsuka Y., Iwatsuki Y., Nansai K., Yamano H., Matsubae K., Murakami , Nagasaka T. (2014): Metallurgical Research and Technology, 111, 339-346.
9) WORLD ECONOMIC FORUM (2012): New Models for Addressing Supply Chain and Transport Risk, 25pp.
10) WORLD ECONOMIC FORUM (2015): Global Risks 2015 10th Edition, 65pp.
11) SCM World (2014): INNOVATIVE APPROACHES TO SUPPLY CHAIN RISK, 21 pp.
12) The British Standards Institution (BSI), Supply Chain Risks , BSI Supply Chain Service and Solutionsホームページ, 入手先 <http://bsi-supplychainsolutions.com/en-US/supply-chain-risks/>, (参照 2015-12-15)
13) MIT Sloan (2004): Managing Risk To Avoid Supply-Chain Breakdown, 53-61
14) Alianz Global Corporate & Specialty (2012): Managing disruptions Supply chain risk: an insurer's perspective, 34 pp.
15) Graedel T. E., Harper E. M., Nassar N. T., Nuss P., Reck B.K. (2015): PNAS,112(14), 4257-4262
16) G. M. Mudd (2010): Resources Policy, 35, 98-115
17) Durán A. P., Rauch J., Gaston K.J. (2013): Biological Conservation, 160, 272-278
18) Nakajima K., Ohno H., Kondo Y., Matsubae K., Takeda O., Miki T., Nakamura S., Nagasaka T. (2013): Environmental Science & Technology, 47, 4653-4660
19) JOGMEC 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, ニュース・フラッシュ , 金属資源情報, JOGMECホームページ, 入手先 <http://mric.jogmec.go.jp/>, (参照 2016-1-4)
20) Ecobalance, Inc.・Nickel Industry LCA Group (2000): Life Cycle Assessment of Nickel Products Final Report, 87pp.
21) Tang L., Nakajima K., Murakami S., Itsubo N., Matsuda T. (2016): Int J Life Cycle Assess, 21, 51-59
22) SNL Metals & Mining, Raw Materials Data, SNL Metals & Miningホームページ, 入手先 <http://www.intierrarmg.com/Products/Raw-Materials-Data.aspx>, (参照 2015-2-2)
23) 資源・素材学会資源経済部門委員会、東京大学生産技術研究所 (2006): 世界 鉱物資源データブック (第2版), 442-443
24) JOGMEC 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 世界の鉱業の趨勢, 金属資源情報, JOGMECホームページ, 入手先 <http://mric.jogmec.go.jp/>, (参照 2016-7-17)
25) United States Geological Survey(USGS), Nickel Statstics and Information, USGSホームページ, 入手先 <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/>, (参照 2016-6-17)
26) 西川有司, 嶽山輝夫, 臼井凱也, 家守伸正, 飯田修, 山冨二郎, 賀川鐵一, 福田勇, 阿部一郎, 後藤敬一, 木村卓郎, 西谷毅, JOGMEC 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (編) (2008): 非鉄金属資源の開発技術, 金属資源開発の基礎,朝倉書店, 東京, 122-125
27) G. M. Mudd(2010): Ore Geology Reviews, 38, 9-26

Appendix

Table A1. Keywords for proposed risk factors

No.	Categories	Subcategories	Keywords
1	Economic	Strikes	Strikes, Dismissal, Working conditions, Labor environment
2		Volatility	Demand volatility/slump, Commodity price volatility/slump, Fluctuation of the exchange rate, Reduced production
3		Energy/Infrastructure shortage	Shortage of energy, Power shortage, Shortage of water, Disruption of infrastructure
4		Disorder in an operating unit	Confusion of business conditions, Shareholder's dispute, Corporate acquisition
5		Failure of raw material procurement	Shortage of raw material, Bankruptcy of cririca l supplier, Failure of tier 2 supplier
6		Barrier to entry	Barriers to entry
7		Product management	Inaccurate forecasts, Capacity, Shortage of labor force, Product value, Product obsolescence, Inventory holding cost
8		Intellectual property	Breach of intellectual property rights, Counterfeit products
9	Environmental	Pandemic	Pandemic, Spread of infectious diseases
10		Natural disaster	Earthquake, Volcanic activity, Tsunami, Sediment disaster, Land subsidence
11		Extreme weather	Heavy rain, Cyclone, Hurricane
12		Environmental impact	Influence of biodiversity, Soil pollution, Water pollution, Atmospheric pollution
13		Depletion	Depletion of resources
14	Geopolitical	Defect in transport	Disruption of transportation routes, Border delays, Closure of trading port
15		Possession of weapons of mass destruction	Nuclear, Chemical, Biological and Radiological technologies and materials
16		Terrorism	Terrorism
17		Political instability	Armed conflict, Corruption, Financial crisis
18		Trade barrier	Resource nationalism, Trade regulaions, Tariff
19		Bilateral relationship	Economic sanctions, Asset freezing
20		Shutdown based on the law	Cancellation of mining license, Unpaid license fee, Environmental regulation
21	Societal	Social operating permit	Forced and Child labor, Relationship with local communities, Exception from pro-environment group, Illegal mining
22		Scarcity of food	Food crisis
23		Large-scale involuntary migration	Large-scale involuntary migration
24		Failure of urban planning	Failure of urban planning
25		Gender discrimination	Sexual discrimination, Woman's suffrage
26		Inadequate education	Illiteracy
27		Caught in another's dispute	Caught in another's dispute
28	Technological	Misuse of technologies	Misuse of 3D printer, Artificial intelligence, Geoengineering
29		Data security/IT incidents	Critical information infrastructure breakdown, Cyber attacks, Data fraud or theft
30		Accident/breakdown of equipment	Equipment accident/breakdown/repair
31		Risks of the press	The news to incite supply anxiety

論文賞受賞講演

研 究 論 文(Research Article)

木質バイオマス発電および熱電併給のライフサイクル環境影響と外部コストの評価

古俣　寛隆[1,*]・石川　佳生[1]・本藤　祐樹[2]

Assessment of Life Cycle Environmental Impacts and External Costs for Woody Power Generation and Cogeneration

Hirotaka KOMATA[1,*], Yoshio ISHIKAWA[1] and Hiroki HONDO[2]

Synopsis:

Objective. A feed-in tariff (FIT) scheme came into effect in Japan in 2012. Because fossil fuels are consumed in the harvest, transportation, and manufacture of fuel chips, it is necessary to perform a life cycle assessment (LCA) of woody biomass-based energy production systems (woody biomass systems). In recent years, there has been increasing demand not only for environmental impact assessment related to global warming, such as the generation of carbon dioxide and other greenhouse gases, but also for comprehensive assessment of other environmental impact categories. However, the environmental impacts of woody biomass systems have, as yet, not been assessed. Therefore, the present study aims to determine all the characteristics of such systems with respect to their environmental performances.

Results and Discussion. Two systems were examined using LCA under the assumption that 100,000 m^3 (log equivalent)/year of woody biomass is available: system B_1, which is a power plant that consumes the woody biomass to produce electricity; and system B_2, in which the woody biomass is consumed by a cogeneration (combined heat and power: CHP) plant, which produces both heat and electricity. We compared these systems to the corresponding alternative fossil fuel systems, systems F_1 and F_2, respectively. The external costs associated with woody biomass systems are at least 36.8% (system B_1) and at most 72.4% (system B_2) lower than those associated with fossil fuel systems F_1 and F_2, respectively. In woody biomass systems, 57.8% of the total external costs are associated with the disposal of combustion ash. If electricity only was produced from woody biomass by using a steam turbine system with a sufficiently low power generation efficiency and all of the combustion ash and residue were landfilled, the expected external costs would be higher than those of the alternative fossil fuel system. For this reason, when the woody power generation efficiency is less than the threshold of 15.3%, the external costs are higher than those of a commercial power system.

Conclusions. The external costs of woody biomass systems are smaller compared to those of the alternative fossil fuel systems. In addition, this reduction in the external costs is greater for CHP systems, which produce both heat and electricity, than systems that produce electricity only.

Keywords: Combustion ash; energy utilization efficiency; feed-in tariff (FIT); life cycle impact assessment; steam turbine

1　北海道立総合研究機構 林産試験場／〒071-0198 旭川市西神楽1線10号
2　横浜国立大学大学院環境情報研究院／〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7
1　Hokkaido Research Organization, Forest Products Research Institute / 1-10 Nishikagura, Asahikawa, Hokkaido 071-0198
2　Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University / 79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 240-8501
＊連絡先(Corresponding author), komata-hirotaka@hro.or.jp

1. はじめに

2012年7月から再生可能エネルギーの固定価格買取制度（Feed-in Tariff、以下、FITという）が開始された。世界有数の森林国である我が国では、木質バイオマスを原料とした発電（以下、木質バイオマス発電という）に注目が集まっている。ここで、発電所において木質バイオマスを燃焼することによって生じる二酸化炭素は、森林資源が持続的に管理されているという条件下においてはカーボンニュートラルの概念に従うとカウントされない。しかしながら、木質バイオマス発電においても丸太生産、輸送およびチップ製造等のプロセスで化石燃料が消費されるため、ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment、以下、LCAという）の適用が不可欠である。近年では、欧州における環境フットプリント政策の検討にも見られるように、影響領域を地球温暖化に限定せず、可能な限り多くの影響領域を考慮したライフサイクル影響評価（Life Cycle Impact Assessment、以下、LCIAという）が要求されている[1)]。

木質バイオマスエネルギーに関するLCA研究については、例えば、チップ[2)]、木質ペレット[3)]などの木質燃料の製造に注目したもの、商用発電における混焼[4, 5)]、ガス化[6-8)]や糖化・発酵による液体燃料製造[6)]などの利用技術に注目したもの、導入ポテンシャルや環境負荷削減ポテンシャルに注目したもの[6, 9)]など国内外に数多くの報告[10)]がある。しかしながら、木質バイオマスのみを用いた発電および熱電併給（CogenerationあるいはCombined Heat and Power: 以下、CHPという）システムを対象とした報告例は少ない。海外では、木質バイオマスを燃料としたガス化方式によるCHPシステムのLCIA[7, 8)]が散見されるが、我が国で一般的な蒸気タービン方式[11)]に関しては、CHPシステムを熱生産システムとして評価した例[12)]が見られるのみである。国内では、1000 kW[13)]および1500 kW[14)]の蒸気タービン方式の発電システムを対象とした報告があるものの、GHG排出や土地利用など限られた項目によるインベントリ分析（以下、LCIという）もしくはLCIAに限られる。すなわち、蒸気タービン方式の発電ならびにCHPシステムについては、国際的に見ても総合的な環境影響に関する知見は十分とは言えず、さらに、我が国の現状を反映してこれら両システムの総合的な環境影響を検討した例は著者らが知る限りでは見当たらない。

また、木質バイオマスのエネルギー利用における議論では、電力のみを製造するより、電力と熱を同時に製造する方がエネルギー利用効率は高く、森林資源の有効利用という観点からCHPを推進すべきとの声がある[15-17)]。この点に関して、ライフサイクルの観点から検証する必要があるものの、蒸気タービン方式の発電システムとCHPシステムを比較している既往研究はみられず、木質バイオマスを用いたCHPシステムが発電システム対して、総合的な環境影響の観点から優位性を持つのか否かをライフサイクルの視点から定量的に比較検討する必要がある。

以上より、我が国を対象とした具体的なエネルギーシステムを想定し、総合的な環境影響の観点から比較することは、我が国の木質バイオマス利用に関する議論の一助となる。

本研究では以下の2つを目的とした。第一に、我が国で現実的に想定される規模の木質バイオマス利用条件を設定した上で、化石燃料による発電およびCHPのシステムに対する各木質バイオマスエネルギーシステムの環境性能を定量的に明らかにした。第二に、木質バイオマスによる発電システムとCHPシステムの環境性能を比較し、総合的な環境影響の面からCHPの優位性を検証した。機能の異なる発電およびCHPシステムの比較においては、同一機能を持つそれぞれの化石燃料のシステムを代替することによって削減される外部コストを比較することで優位性を検証した。

2. 方法

2.1 機能単位とシステム境界

システム境界をFigure 1および2に示した。原料に木質バイオマスを利用したシステム（以下、木質バイオマスのシステムという）として、発電（システムB_1）とCHP（システムB_2）を設定し、これら木質バイオマスのシステムによって代替される系統電力および重油による蒸気製造システム（以下、化石燃料のシステムという）をそれぞれ設定した。具体的には、システムF_1には系統電力のシステムを、システムF_2には系統電力と重油ボイラーで構成されるシステムを想定し、電力のみを製造するシステムB_1の代替としてシステムF_1を、熱および電力を製造するシステムB_2の代替としてシステムF_2を設定した。いずれのシステムにおいても、木質バイオマスの調達から各エネルギー製造を経て廃棄物の処理までを評価範囲とし、機械製造や建物建設は評価範囲外とした。機能単位は各システムから製造される1 kWhのエネルギー需要とした。ここで、各システムから製造される1 kWhのエネルギーについて、システムB_1およびF_1は電力であり、システムB_2およびF_2は熱と電気のミックスである（詳細は2.2および2.4項で述べる）。なお、各システムで製造されるエネルギーは全て利用され、エネルギーの需要と供給は一致しているものとして評価を実施した。

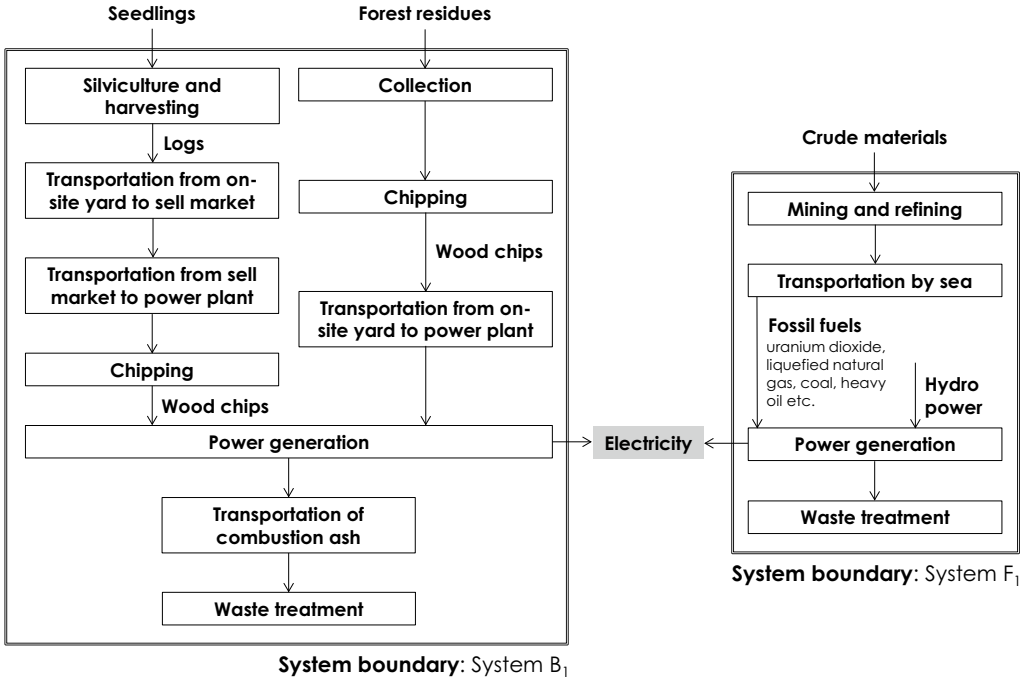


Figure 1. System boundary for electricity generation

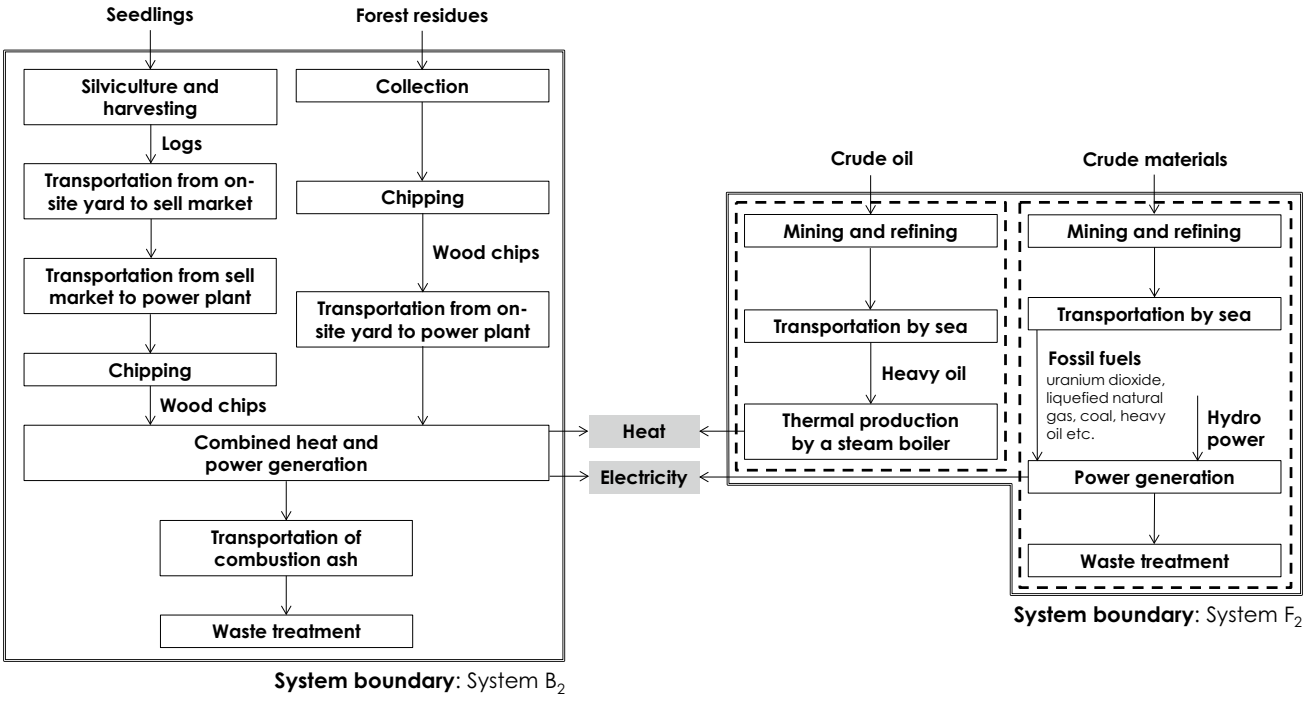


Figure 2. System boundary for heat and electricity generation

2.2 木質バイオマスのシステムにおけるプラント条件とエネルギー製造量

木質バイオマスのシステムにおけるプラントの規模は、木質バイオマスの年間消費量を丸太換算で10万 m^3 として設定した。全ての木質バイオマスは、FITの原料区分[18]において間伐材等由来の木質バイオマスに該当し、かつ林野庁ガイドライン[19]に記載される方法で証明を受けているものとした。また、平均容積密度には、スギ、ヒノキ、トドマツ、カラマツなどの国内の発電原料に想定されている樹種の平均値[20]程度として350 kg/m^3 を設定した。木材の低位発熱量は、燃焼時の含水率を40%、無水時の高位発熱量を20 MJ/kg、水素含有率を6%として算出式[21]よ

り算出した（Table 1）。

電気のみを製造するシステムB_1のプラントの発電出力は、農林水産省のモデル資料[22]を参考に5700 kW、設備利用率は文献[23]を参考に80%とし、システムの年間の発電量を（1）式に基づいて算出した。

年間発電量［kWh/y］＝ 発電出力［kW］× 24［h/d］
× 365［d/y］× 設備利用率［%］÷ 100　（1）

CHPであるシステムB_2のプラントの発電出力および熱出力については以下のように設定した。まず、熱はタービンから蒸気の一部を抽気して利用することとした。具体的には、圧力0.6 MPa、温度159℃の飽和蒸気を流量10 t/hで抽気し、製材の乾燥のために利用することとした。なお、この抽気蒸気を用いて針葉樹板類[24]の乾燥を行う場合、必要となる平均蒸気量[25]および乾燥のサイクルタイム（乾燥機への出し入れを含め6日間）から推定すると、最大で年間8万m^3程度の乾燥製材の生産が可能となる。プラントの発電出力および熱出力は、エネカルク Ver.3の計算シート「蒸気タービン」[26]（以下、エネカルク計算シートという）を用いて算出した。エネカルク計算シートは、抽気復水の蒸気タービン方式の発電およびCHPシステムの熱バランスをシミュレートするツールであり、ボイラー主蒸気（温度、圧力、蒸発量）の条件、抽気蒸気（圧力、流量）の条件、配管の圧力損失、復水器の真空度およびタービンの内部効率から、発電出力や熱出力の推計ができる。システムB_2のボイラー主蒸気の条件はシステムB_1と同一とし、ボイラーメーカーのCSR報告書[27]から2か所の5800 kW発電プラントの平均値を設定した。圧力損失は文献[28]を参考に設定した。復水器の真空度は5800 kW級の発電事業者から入手したプラント設計書（3件）の平均値を設定した。タービンの内部効率はエネカルク計算シートに主蒸気、圧力損失、復水器の真空度の条件を入力し、発電出力が5700 kWとなるように調整して求めた。以上、エネカルク計算シートへの入力条件をTable 2に示した。

計算の結果、システムB_2の出力は、発電出力が4805 kW、熱出力が8068 kWと推計された。システムB_2の設備利用率はシステムB_1と同じ80%とし、年間の発電量は（1）式に基づいて、製造熱量は（2）式に基づいて算出した。

年間製造熱量［kWh/y］＝ 熱出力［kW］× 24［h/d］
× 365［d/y］× 設備利用率［%］÷ 100　（2）

各システムにおける出力、年間の発電量、熱製造量およびエネルギー利用効率をTable 3に示した。また、本稿におけるエネルギー利用効率の定義を（3）式に示した。

エネルギー利用効率［%］＝エネルギー製造量［kWh/y］
÷ 木質バイオマスの低位発熱量［kWh/y］× 100　（3）

Table 1. Properties of woody biomass

Parameter	Value	unit
Average basic density*1)	350	kg/m^3
Moisture content*2) at combustion	40	%
Density*3) at combustion	583	kg/m^3
Lower calorific value at combustion	10.2	MJ/kg

*1) Basic density［kg/m^3］= oven dry mass［kg］÷ green log volume［m^3］
*2) on an oven dry basis.
*3) Log volume based

Table 2. Input condition for Enecalc calculation of the system B_2 plants

Parameter		Value	unit	Reference
Specification of a boiler	Evaporation	28.3	t/h	27)
	Steam temperture	425	℃	27)
	Steam pressure	6.0	MPa	27)
Pressure loss	High pressure turbin	5	%	28)
	Low pressure turbin	2	%	28)
Vacuum degree in a condenser		10	kPa	Set value
Internal efficiency of a turbin		63.9	%	Set value
Extruction condition for process steam	Kind of steams	Saturated	-	-
	Pressure	0.6	MPa	Set value
	Temperature	159	℃	Calculation
	Flow rate	10	t/h	Set value

Table 3. Estimated power output, energy production and energy utilization efficiency

		unit	System B_1	System B_2
Power output	Electricity*1)	kW	5,700	4,805
	Heat*2)	kW	-	8,068
	Total	kW	5,700	12,873
Energy production*3)	Electricity (A)	MWh/y	39,946	33,673
	Heat (B)	MWh/y	0	56,541
	Total	MWh/y	39,946	90,214
Allocation factors of energy production	Electricity	%	100.0	37.3
	Heat	%	0.0	62.7
	Total	%	100.0	100.0
Energy input	Woody biomass (C)	MWh/y	164,991	←
Energy utilization efficiency*4)	Electricity (A ÷ C × 100)	%	24.2	20.4
	Heat (B ÷ C × 100)	%	-	34.3
	Total	%	24.2	54.7

*1) at power generation end.
*2) at extraction steam turbine facility end.
*3) Energy production = Power output × 24 [h/d] × 365 [d/y] × 80 [%] (utilization factor of the equipments) ÷ 100
*4) Energy utilization efficiency [%] = energy production [kW/h] ÷ energy input [kW/h] × 100

2.3 木質バイオマスのシステムにおけるLCIおよびLCIA

2.3.1 LCIAの概要

LCIおよびLCIAは、LCA算定支援ソフトMiLCA Ver.1.1.6[29]（以下、MiLCAという）を用いてモデル化し、実施した。LCIAでは特性化と統合化を実施し、各種重み付け係数にはLIME2（LIME: Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modelingの第2版）[30]を利用した。特性化の影響領域には、地球温暖化、資源消費、酸性化、廃棄物、光化学オキシダント、富栄養化、人間毒性、生態毒性、エネルギー消費、都市域大気汚染を設定した。検討した入出力のインベントリ項目は上記影響領域に関連する138項目である。統合化における単一指標には外部コスト（円）を採用した。

2.3.2 活動量データ

木質バイオマスのシステムに関する活動量データの収集については以下のとおりである。木質バイオマスは、間伐材・主伐材を由来とする丸太と林地残材（通常は伐採現場に放置される残材）の2種類とした。破砕はタブグラインダーを利用することとして、これにかかる燃料消費量は文献[31]の単位質量あたりの燃料消費量から算出した。木質バイオマスエネルギー利用推進協議会の調査[32]によると、現在稼働する木質バイオマス発電所の原料は間伐材等の丸太形状のものがほとんどであるが、今後は根株、梢端、枝条といった林地残材の供給も増える見込みである。本稿ではそれを踏まえて木材の原料比率（熱量基準）を、間伐材・主伐材：林地残材 = 8：2に設定した。発電・熱電併給プロセスにおける木質バイオマス以外の原料投入は、ボイラー給水や冷却等に消費される工業用水とプラント内の運搬用車両に消費される軽油を考慮した。工業用水の消費量は、5800 kW級の発電事業者から入手したプラント設計書（3件）から1日あたり・蒸発量あたりの消費量の平均値を算出し、これをボイラー蒸発量に乗じて求めた。運搬用車両は、チップヤードにおけるチップの整理やホッパーへの原料チップの投入に使用されることとし、木質バイオマスを原料の一部として地域熱供給を行う北海道内の事業者1社より年間のチップ消費量およびプラント内のホイールローダー（バケットサイズ1.4 m^3）の燃料消費量を入手し、チップ消費量あたりの燃焼消費原単位を作成して用いた。木質バイオマスの燃焼による灰と燃え殻の発生割合は、木質バイオマスの絶乾質量の2%[33]とし、リサイクルのほとんど進んでいない実態を考慮して全量を産業廃棄物として埋め立てることとした。木質バイオマスの調達場所（間伐材・主伐材は木材市場、林地残材は山土場とする）からプラントまでの輸送条件およびプラントから埋立地までの灰と燃え殻の輸送条件はそれぞれ、往路は積載率80%の10トントラックにより50 km、復路は空荷で50 kmの合計100 km運搬することとした。林地残材の収集およびチップの製造に関する燃料消費量には、北海道内の8か所の現場から得たチップ収集量あたりの加重平均値を用いた。

2.3.3 環境負荷原単位データ

環境負荷原単位には、MiLCAに搭載されるデータベースIDEA Ver.1.1.0[34]（以下、IDEAという）を使用した。ただし、木質バイオマスボイラーにおける木材燃焼の環境負荷原単位については、以下に示す方法により推計したTable 4の値を用いた。温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素）についてはIDEAの原単位を、上流の丸太生産プロセスを削除して用いた。ただし、生物由来のCO_2排出についてはLCI、LCIAで考慮しない。温室効果ガス以外の大気汚染物質（ばいじん、窒素酸化物、塩化水素）については、2箇所の木質バイオマス発電所の環境アセスメント事後評価報告書[35, 36]に基づき推計した。各発電所の大気汚染物質の年間排出量を環境報告ガイドライン[37]に従って算出し、それを文献[35, 38, 39]に基づき設定した年間の投入低位発熱量で除すことで、低位発熱量1 MJあたりの木材燃焼の大気汚染物質原単位を推計した。本研究ではこれらの推計値の単純平均値を採用した。なお、硫黄酸化物については、スギ、ヒノキ、トドマツ、カラマツなどの国内の発電原料に想定されている樹種材部の硫黄分は0.00%[40]であるためゼロとし、また、ダイオキシンについてはMiLCAの大気排出カテゴリにないため本研究では考慮しなかった。

2.4 化石燃料のシステムにおけるLCIおよびLCIA

LCIおよびLCIAは、木質バイオマスのシステムと同様にMiLCAを用いてモデル化し、実施した。

系統電力の原単位について、IDEAにデフォルトで格納されている系統電力の原単位は2011年度のものである。2015年7月に経済産業省から公表された長期エネルギー需給見通し[41]によると、現実的かつバランスのとれたエネルギー需給構造のためには原子力発電所の再稼働が求められており、2030年の電源構成における原子力発電の割合の目標値は、東日本大震災前の依存度よりも低下するものの20～22%とされている。従って、2011年以降に原子力の比率が極端に低下している状況[42]は一時的であると考えられた。そこで、産業環境管理協会よりIDEAの旧バージョン（IDEA Ver.1.0）に搭載されていた震災前の2004年から2009年までの6カ年の平均データを入手し、新たにMiLCAにインポートして用いた。この原単位は受電端の値であるため、送配電損失率を4.8%[43]として送電端電力量1 kWhあたりに換算した。蒸気製造の原単位はIDEAより、蒸気エンタルピーをシステムB_2における抽気蒸気と同様の2.9 MJ/kgとして単位の換算を行い、使用した。

システムF_2における機能単位あたりの熱と電力の内訳は、Table 3のシステムB_2における熱と電力のエネルギー製造の配分比率を用い、各発熱量にそれぞれの原単位を乗じてシステムF_2のインベントリを算出した。

Table 4. Emissions per unit (lower calorific value input) from a biomass boiler of a power plant

Emission	Value	unit
CO_2 (bio-based)	1.27E-01	kg/MJ
CH_4	7.40E-05	kg/MJ
N_2O	5.80E-07	kg/MJ
Dust (>PM10)	2.27E-07	kg/MJ
NOx	3.94E-05	kg/MJ
HCl	1.20E-05	kg/MJ

2.5 木質バイオマス発電システムに対するCHPシステムの優位性検証

木質バイオマス発電システムに対するCHPシステムの優位性を、代替されるそれぞれの化石燃料のシステムとの外部コストの比較を通じて評価した。

評価の模式図をFigure 3に示した。初めに、システムF_1とB_1、システムF_2とB_2の機能単位あたりの外部コストの差を取り、代替される化石燃料のシステムに対する木質バイオマスのシステムの外部コスト削減額をそれぞれ求めた。次に、これらをTable 3に示した各木質バイオマスのシステムにおける年間エネルギー製造量に乗じた。最後に、それぞれの外部コストの年間削減額を比較し、システムB_1とシステムB_2の環境性能の優劣を判断した。

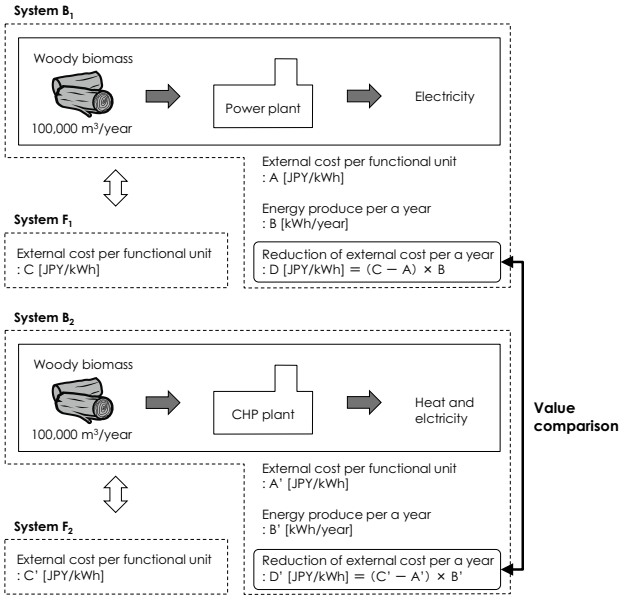


Figure 3. Conceptual diagram for comparison of external costs reduction

3. 結果と考察

3.1 機能単位あたりの環境影響と外部コストの比較

特性化の結果をFigure 4に示した。製造エネルギー別に木質バイオマスのシステムと化石燃料のシステムを比較（電力のみを製造するシステムとしてB_1とF_1を、熱と電力を製造するシステムとしてB_2とF_2をそれぞれ比較）したところ、評価をおこなった13の影響領域のうち、10の影響領域において、木質バイオマスのシステムの方が化石燃料のシステムよりも環境影響が低くなった。残りの3つの影響領域のうち、廃棄物と水資源消費の影響領域では化石燃料のシステムの方が木質バイオマスのシステムより環境影響が低くなり、酸性化の影響領域では電力のみを製造するシステムにおいて化石燃料のシステムの方が木質バイオマスのシステムより環境影響が低くなった。

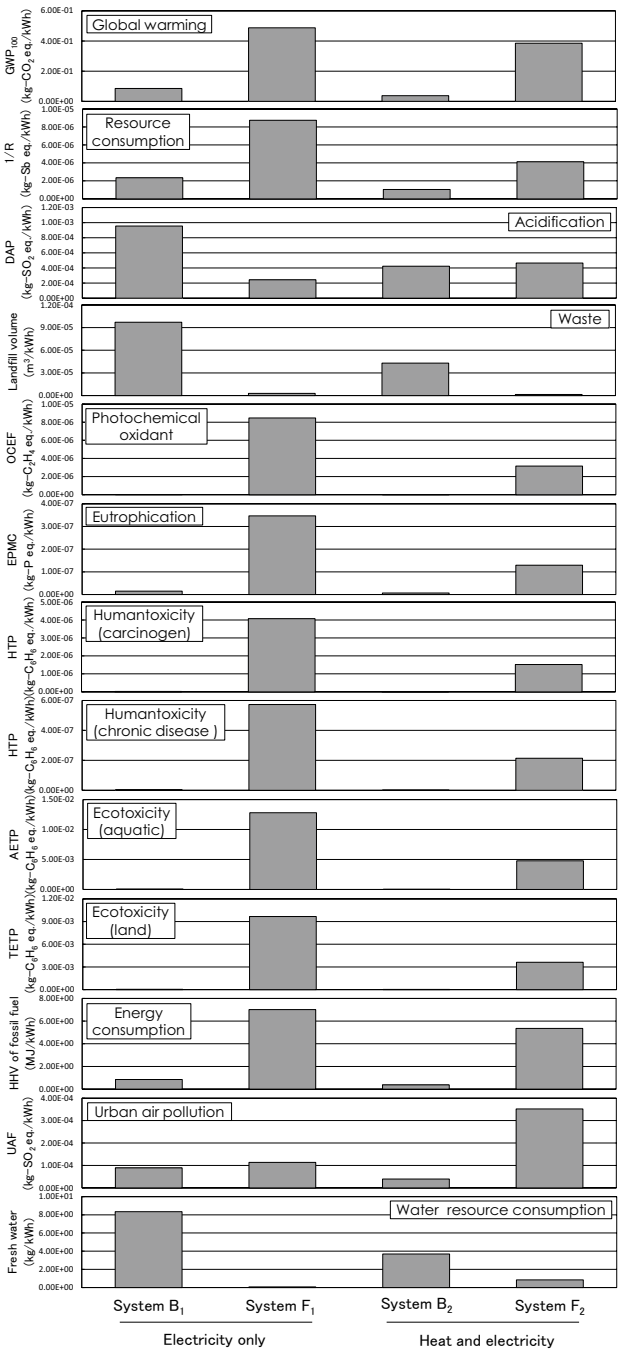


Figure 4. Results of the characterization

廃棄物について、木質バイオマスのシステムにおけるその影響のほとんど全ては、エネルギー製造プロセスにおいて木材の燃焼に伴って発生する灰と燃え殻が占めた。一方、化石燃料のシステムでは廃棄物の影響は非常に小さかったが、この要因としては、第一に、熱は重油ボイラーから製造されており燃焼時の廃棄物は発生しないこと、第二に、電力は日本の平均的な電源構成に基づいて算出されており、その大部分は灰や燃え殻が発生する発電システムではなく、電源構成の3割弱を占める石炭火力発電[42]においても、石炭灰は法律により有効利用が義務付けられている[44]ために埋め立て処理が回避されていることが考えられた。木質バイオマスのシステムにおける水資源消費は、燃焼プロセスの工業用水、すなわち淡水の消費に起因していた。これに対して、系統電力における水資源消費の大部分は、淡水ではなく、海水が使用されると考えられ、そのために影響が小さいものと示唆された。

木質バイオマスのシステムにおける酸性化の影響の99%は、発電あるいはCHPプロセスにおける木材燃焼が占めていた。ガス化方式ではあるが、木質CHPシステムのLCIAを実施した報告[7, 8]においても、酸性化における影響の大部分をCHPプロセスが占めており、本稿との類似性が認められた。

環境負荷の総合評価のために実施した統合化の結果をFigure 5に示した。まず、木質バイオマスのシステムの外部コストは、電力のみが製造されるシステムB_1で1.27円/kWhと算出された。対して、システムF_1の外部コストは2.02円/kWhと算出され、システムF_1に対するシステムB_1の外部コストの削減額は0.74円/kWh、削減割合は36.8%となった。一方、熱および電力が製造されるシステムB_2の外部コストは0.56円/kWhと算出された。システムF_2（2.04円/kWh）に対する削減額は1.48円/kWh、削減割合は72.4%となった。木質バイオマスのシステムにおける外部コストで大きな割合を占めた影響領域は、廃棄物（57.8%）、地球温暖化（16.9%）、都市域大気汚染（11.5%）、酸性化（9.3%）であった。他方、木質バイオマス発電のシステムによるシステムB_1とシステムF_1の外部コストが逆転するシステムB_1のエネルギー利用効率を求めたところ15.3%となった。すなわち、木質バイオマス発電の発電効率が15.3%より低くなる場合には、製造された電力の外部コストが系統電力のそれよりも高くなる可能性が示唆された。

条件設定が結果に与える影響を検討するため、1）木質バイオマスの原料比率と、2）木質バイオマスボイラーの排出原単位について感度分析を実施した。

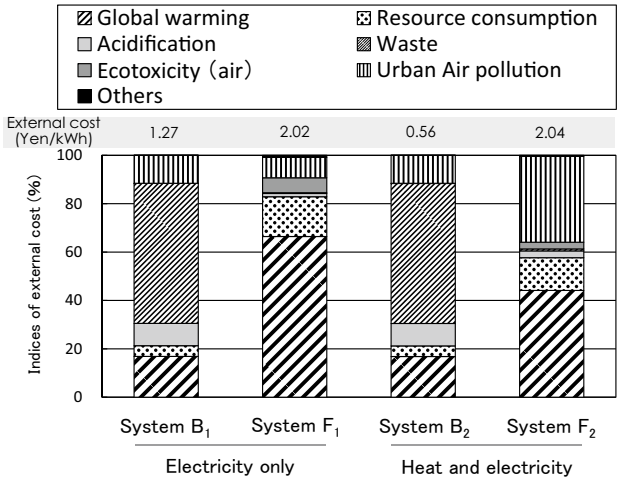


Figure 5. Results of the single-index by impact categories

1) 林地残材は一般用材（間伐材・主伐材）よりも、収集のためのエネルギー消費量が大きく、単位発熱量あたりの環境負荷物質排出量も大きい。木質バイオマスの原料比率の違いによる影響を評価するため、原料比率（熱量基準）を初期値から間伐材・主伐材：林地残材＝2：8に逆転させた。その結果、システムB_1は1.39円/kWh、システムB_2は0.62円/kWhと算出され、原料比率の変動による外部コストへの影響は小さいと判断された。

2) 木材燃焼の原単位作成で対象とした2つのプラントでは接着剤や塗料等の窒素分を含む建築解体材を燃焼させており、大気汚染防止法の排出基準を満たすために脱硝装置が設置されている。しかし、木材中に窒素はほとんど含まれておらず、さらに、ボイラーの燃焼温度が低いため燃焼による窒素酸化物生成量も少ない[45]ことから、一般的に5000 kWクラスの未利用木材専焼のプラントに脱硝装置は設置されない。この点で、本研究で対象としたプラントと、原単位作成で対象としたプラントは異なるが、5000 kWクラスの未利用木材専焼プラントにおける原単位もTable 4の設定値とほぼ同じ程度であることは確認している[脚注1)]。ただし、窒素酸化物の排出による影響が外部コストの2割程度を占め、プラントによって排出量が異なる可能性もあることから、その不確実性について検討した。理論上の最大値として、大気汚染防止法における窒素酸化物濃度の排出基準値（250 ppm（酸素濃度6%時））を想定して外部コストを推計した。その結果、外部コストはシステムB_1が1.77円/kWh、システムB_2が0.79円/kWhと推計され、化石燃料のシステムのそれらよりも小さいことには変わりなかった。このとき、システムB_1とシステムF_1の外部コストが逆転するシステムB_1のエネルギー利用効率は21.2%と推計された。ただし、これらの値は理論上の最大値であり、基準値の限界でプラントを稼働させることは現実的ではないことには留意すべきである。

3.2 木質バイオマス発電およびCHPシステムにおける外部コストの年間削減量ならびに環境性能の高いシステムに向けた考察

化石燃料のシステムに対する木質バイオマスのシステムの外部コストの削減額は、システムB_1が2968万円/年、システムB_2が1億3351万円/年となり、削減額はCHPであるシステムB_2の方が4.5倍大きいことが分かった（Table 5）。

以上の結果から、木質バイオマスを原料とするエネルギー製造システムは化石燃料のそれに対して環境性能が高く、また、発電のみ行うよりもCHPにより熱と電力を製造する方がより多くの外部コストを削減できる可能性が示された。

統合化の結果からは、木質バイオマスのシステムによるエネルギーの環境負荷削減のためには廃棄物の発生量を減らすことが重要であり、そのためには、燃焼後に灰となる土砂等異物の混入を減らすこと、完全燃焼により未燃焼の燃え殻を減らすことが重要であることが示唆された。しかしながら、現実には需要者であるプラント側でそれを制御するのには限界があることも事実である。FITの導入前までは、建築解体材を用いた発電がほとんどであった[46]ため、重金属および有害化学物質等混入の懸念から発生する灰と燃え殻のほとんど全ては産業廃棄物として処理されるのが一般的であり、それらのリサイクルの機運はなく、また市場も形成されてこなかった。しかし、今後利用量が増加すると考えられる間伐材等のバージン木材の灰と燃え殻にはそのような危険性は低いと考えられる。石炭灰は法律によりリサイクルが推進されており、その利用率は100%に近い[44]。仮に、セメント材料等へのリサイクルの環境負荷が埋め立てよりも低いのであれば、灰と燃え殻の埋め立てを回避するため、リサイクルの取り組みを積極的に行う必要があると考えられる。また、外部コスト全体に占める酸性化および都市域大気汚染の影響割合も20%程度と無視できないため、現時点では不確実性が残るものの、ボイラー排出ガス中のばいじん、窒素酸化物濃度を低減させる取り組みも外部コスト削減という観点では効果的と考えられる。

脚注1）5000 kWクラスのプラントの排出ガスの窒素酸化物濃度（2ヶ月ごと1年間の実測値）を事業者より提供戴いているが、公表できないため、本研究では2.3節で述べたように公表値[35-39]を用いて原単位を作成した。なお、5000 kWクラスのプラントは環境アセスメントの対象外だが、その規模のボイラーは大気汚染防止法の規制対象である。

Table 5. External costs reduction of per a year by introducing woody biomass systems

		System B_1	System B_2	unit
Energy produce		39,946	90,214	MWh/y
Reduction of external costs	against each fossil fuel system	0.74	1.48	JPY/kWh
	per a year	29.7	133.5	Million JPY/y

4. まとめ

本稿で得られた結果は以下のとおりである。

・発電およびCHPによる木質バイオマスのシステムは代替される系統電力や化石燃料のシステムと比較して環境性能が高い。

・しかしながら、例えば、発電効率の低い蒸気タービン方式により電力を製造し、灰および燃え殻の全量を埋め立て処理する場合には、系統電力よりも外部コストが高くなる可能性がある。その閾値となるエネルギー利用効率は15.3%であった。

・CHPによる木質バイオマスのシステムは、エネルギー利用効率が高く、同量の原料から電力のみを製造する場合と比較して外部コストを効率的に削減する。

・木質バイオマスのシステムにおける環境負荷の低減のためには、エネルギー利用効率を高めるとともに、影響割合の最も大きな灰および燃え殻の埋め立てを回避し、環境負荷の低いリサイクル技術を促進することが効果的かつ重要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり貴重なデータをご提供戴いた事業者の皆様に感謝申し上げます。なお、本研究はJSPS 科研費 25450249 の助成を受けて実施しました。

（平成27年11月2日受付、平成28年11月7日採択）

参照文献

1) 岩下果林, EC環境フットプリントとScope3（スコープ3）について, LCA日本フォーラムホームページ, 入手先 <http://lca-forum.org/seminar/pdf/20130315/3-SCOPE3-mizuho.pdf>, (参照 2015-6-12)

2) Lindholm E.-L., Berg S., Hansson P.-A. (2010): European Journal of Forest Research, 129, 1223-1235

3) Fantozzi F., Buratti C. (2010): Biomass and Bioenergy, 34, 1796-1804

4) 牧野陽祐, 加藤丈佳, 鈴置保雄 (2007): 電気学会論文誌B (電力・エネルギー部門誌), 127 (1), 201-207

5) Sebastián F., Royo J., Gómez M. (2011): Energy, 36, 2029-2037

6) 田原聖隆, 堤友哉, 山崎章弘, 里川重夫, 小島紀徳 (2009): 日本エネルギー学会誌, 88, 205-212

7) Guest G., Bright M. R., Cherubini F., Michelsen O., Strømman H. A. (2011): Journal of Industrial Ecology, 15 (6), 908-921

8) Boschiero M., Cherubini F., Nati C., Zerbe S. (2016): Journal of Cleaner Production, 112, 2569-2580

9) Steubing B., Zah R., Ludwig C. (2012): Environmental Science & Technology, 46, 164-171

10) Cambero C., Sowlati T. (2014): Renewable and Sustainable Energy Reviews, 36, 62-73

11) 熊崎実, 小規模木質バイオマス発電の「別区分化」: 狙いは何か, 一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会ホームページ, 入手先 <http://www.jwba.or.jp/report/wbioene-division/>, (参照 2016-5-25)

12) Dones R., Bauer C., Bolliger R., Burger B., Faist Emmenegger M., Frischknecht R., Heck T., Jungbluth N., Röder A. (2007): Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. Data v2.0, No. 5. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 176pp.

13) 高村功, 平尾雅彦 (2007): 第2回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 東京, 60-61

14) 野田秀樹, 髙橋玲子, 高畑和夫 (2015): 日本LCA学会誌, 11 (2), 154-171

15) 泊みゆき, 2 未利用材を主とする木質バイオマス利用の目指すべき方向とは, バイオマス産業社会ネットワークホームページ, 入手先 <http://www.npobin.net/hakusho/2014/topix_02.html>, (参照 2016-5-20)

16) 熊崎実, ドイツのFITはバイオマス発電をどう変えたか, 一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会ホームページ, 入手先 <http://www.jwba.or.jp/president/ドイツfit/>, (参照 2015-6-12)

17) 認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所, 固定価格買取制度の運用見直し等に対する意見と提言, 認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所ホームページ, 入手先 <http://www.isep.or.jp/wp/wp-content/uploads/2015/01/ISEP-PR20150106.pdf>, (参照 2015-6-12)

18) 経済産業省資源エネルギー庁, なっとく!再生可能エネルギー, 買取価格・期間等, 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ, 入手先 <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html>, (参照 2015-6-12)
19) 林野庁, 木質バイオマス発電・証明ガイドラインQ&A, 林野庁ホームページ, 入手先 <http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/hatsudenriyougaidorainqa.pdf>, (参照 2015-6-12)
20) 地球環境研究センター (2015): 日本国温室効果ガスインベントリ報告書, 320pp.
21) 森林総合研究所監修: 木材工業ハンドブック改訂4版, 丸善, 東京, 1037pp.
22) 農林水産省, 調達価格等算定委員会 (第18回) - 配布資料、資料2 小規模な木質バイオマス発電の推進について, 経済産業省ホームページ, 入手先 <http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/018_02_00.pdf>, (参照 2015-6-12)
23) 農林水産省, バイオマス事業化戦略検討チーム (第7回会合) 配布資料 - 配布資料、資料1-1 固定価格買取制度とバイオマスビジネスの活性化について, 経済産業省ホームページ, 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kenntou/07/pdf/siryo1_1.pdf>, (参照 2016-5-25)
24) 日農林水産省告示第1083号, 製材の日本農林規格, 林野庁ホームページ, 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kikaku_40.pdf>, (参照 2015-6-12)
25) 日本木材加工技術協会 (2012): 木材乾燥講習会テキスト平成24年度, 41pp.
26) 小西二郎 (2010): 省エネ計算ツールエネカルクVer.3 (CD-ROM), 一般財団法人 省エネルギーセンター出版部, 東京
27) 株式会社タクマ, CSR報告書2015, 株式会社タクマホームページ, 入手先 <http://www.takuma.co.jp/csr/csr_report/images/2015/CSR-report-2015.pdf>, (参照 2016-2-1)
28) 電気学会著, 瀬間徹 (監修) (2002): 火力発電総論, 東京, 電気学会, 130
29) 一般社団法人 産業環境管理協会, MiLCA, Ver1.1.6, 東京, (更新 2015-5-1)
30) 伊坪徳宏, 稲葉敦 (2010): LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法, 社団法人産業環境管理協会, 東京, 600-605
31) 北海道南富良野町森林組合 (2009): 平成20年度「地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業」事業化フィージビリティースタディ調査 木質バイオマス利用のハウス栽培事業化調査, 20pp.
32) 木質バイオマスエネルギー利用推進協議会, 供給サプライチェーン報告WG, 一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会ホームページ, 入手先 <http://www.jwba.org/2015/03/17/木質バイオマスエネルギー利用推進セミナー -開催報告/>, (参照 2015-6-12)
33) 株式会社森のエネルギー研究所, 木質バイオマスボイラー導入指針, 株式会社森のエネルギー研究所ホームページ, 入手先 <http://www.mori-energy.jp/pdf/lca_boilershishin.pdf>, (参照 2015-6-16)
34) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所, 一般社団法人 産業環境管理協会, IDEA, Ver1.1.0, 東京, (更新 2012-7-10)
35) 日本ノボパン工業株式会社, ノボパン木屑リサイクル事業に係る事後評価報告書 (平成21年7月～9月分), 大阪府ホームページ, 入手先 <http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/1756/00013157/jigotyousa21.79.pdf>, (参照 2015-6-14)
36) 株式会社吾妻バイオパワー, 吾妻木質バイオマス発電事業に係る環境影響評価事後調査報告書, 株式会社吾妻バイオパワーホームページ, 入手先 <http://agatsuma.orix-eco.jp/files/130809_ORIXJ.pdf>, (参照 2015-6-14)
37) 環境省, 環境報告ガイドライン (2012年版) 参考資料, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/policy/report/h24-01/11_ref.pdf>, (参照 2015-6-14)
38) 大亦宏和, 清滝徹, 日高永昌, 八木賢治郎 (2008): 木質バイオマスボイラー発電設備〈事例紹介 日本ノボパン工業 (株) 堺工場のバイオマスリサイクル事業〉, 配管技術, 50 (6), 35-38
39) 株式会社バイオマス群馬, バイオマス産業社会ネットワーク第120回研究会資料 バイオマス発電事業の計画から発電所の稼働までの経緯, NPO法人バイオマス産業社会ネットワークホームページ, 入手先 <http://www.npobin.net/120thMori1.pdf>, (参照 2015-6-15)
40) 桜井孝一 (1986): 林業試験場研究報告, 335, 141-145
41) 経済産業省, 長期エネルギー需給見通し, 経済産業省ホームページ, 入手先 <http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf>, (参照 2015-9-27)
42) 電気事業連合会, 電源別発電電力量構成比, 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ, 入手先 <http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/pdf/kaiken_s1_20150522.pdf>, (参照 2015-7-13)
43) 電気事業連合会, 電気事業60年の統計 -18損失率 (1)送配電損失率, 電気事業連合会ホームページ, 入手先

<http://www.fepc.or.jp/library/data/60tokei/>, (参照 2015-6-12)

44) 経済産業省資源エネルギー庁, 我が国の石炭灰リサイクルの現状と今後の方向 =2009年石炭灰有効利用シンポジウム=, 資源エネルギー庁ホームページ, 入手先 <http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/coal/japan/pdf/6.pdf>, (参照 2015-6-12)

45) Easterly J. L., Burnham M (1996): Biomass and Bioenergy, 10, 79-92

46) 古俣寛隆, 再生可能エネルギーの固定価格買取制度と木質バイオマス発電 (前編), 北海道立総合研究機森林研究本部構林産試験場ホームページ, 入手先 <http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/dayori/1412/1412-3.pdf>, (参照 2015-6-12)

功績賞受賞講演

持続可能な農業生産システム確立のための LCA 研究

Life Cycle Assessment for the Establishment of Sustainable Agricultural Production Systems

林清忠
Kiyotada Hayashi
農業・食品産業技術総合研究機構
hayashi@affrc.go.jp

1. はじめに

LCA に本格的に取り組むようになった頃を改めて振り返ると、当時、次のような問題意識をもっていたことが思い起こされる。「環境にやさしい」農業への関心は高まっているが、「環境にやさしい」とはどういうことであろうか。

典型的には有機農業をどう捉えるかということである [1]。複数の基準を用いた評価は既に研究対象としていたため [2]、影響領域間でトレードオフが存在することは容易に想像できたが、「ライフサイクル」に多基準評価とは異なった魅力と困難があるという印象を抱いた記憶がある。

本報告では、このような観点からこれまでに取り組んだ研究を紹介したい。第１は、基本ともいえる比較 LCA である。OR 風に言えば離散的選択問題であるが、農業技術の評価の場面で必ずというほど顔を出す現地実証試験といかに連結させるかという問いが根本にある。第２は、評価の枠組みである。比較 LCA をより適切に行うためには、どのような評価の枠組みを用いるべきかという問いの探索である。機能単位に関する議論の曖昧さを解決したいという狙いもある。第３は、LCA と意思決定の関係である。意思決定（選択問題）に関する研究の視点から LCA をみたときに、何がいえるかの検討である。これは、農業分野における LCA が目指す方向の明確化でもある。併せて、ネットワーキングに関する活動も紹介したい。

2. 農業生産システムの比較 LCA

まず取り組んだのは比較 LCA であり、複数の代替的な農業生産システムの比較検討を実施した [3,4,5]。その際に留意したのは、現地実証試験といかに整合的に LCA を実施するかという点である。これは、地域条件に応じて展開している農業生産の評価は事例ベースとならざるを得ないという考えに基づいている。この場合、各都道府県の事業との連携が重要となり、実際に、福島県、長野県、新潟県等と共同で取り組んだ。

たとえば福島県においては、有機（アイガモ）栽培、特別栽培、慣行栽培の比較 LCA を実施した [3]。これは、農家の圃場への有機農業の導入試験を含むものであり、結果として、有機農業への転換過程の 5 年間を対象とすることができた。この成果は、水稲作の LCA に関する基本的文献として引用されている [6]。

この流れの研究については、事例研究の方法論としての洗練化、さらには農業投入財のインベントリデータ整備等に今後とも取組むことが必要であると考えている [7,8]。

3. 機能単位の議論は越えられるか

次の課題は、より意味のある比較 LCA を実施する枠組みの構築である [9]。農業の LCA の特徴として機能単位の複数性が指摘されることがあり、機能単位を面積とするか生産物とするかにより、結果が異なるというような説明がなされているが、ここにはある種の曖昧さがある。それを明らかにする課題に取り組んだ。その中で、生産物と環境影響が土地からのアウトプットであるという見方（land-oriented expression）と環境影響が生産物からのアウトプットであるという見方（product-oriented expression）を相互に関連付けた。

この枠組みを活用して、いくつかの研究を実施した。まず、有機および慣行輪作体系を、両者のフロンティア（包絡線）に注目しつつ分析した [10]。有機農家の協力の下、作物の作付順序による収量の違いも考慮した評価を行った。輪作はヨーロッパにおいても重要なテーマであり、本分析は LCA による輪作研究において重要な位置づけを与えられている [11]。さらに、この枠組みにより、相関不確実性の分析も行った [12]。分析対象は新たな製造法による堆肥、慣行の堆肥、化学肥料をそれぞれ使用した水稲生産システムである。LCA においては pedigree matrix に基づく不確実性分析が一般的であるが、圃場試験から得られたデータに基づいて、収量と面積当たり環境影響の相関を検討した。成熟した技術では不確実性が小さく、相関が正であり、そこにはポートフォリオ効果があると考えられた。

また、多くの事例を評価する中で、技術開発の方向性を検討する際にこの枠組みが有効であると理解するようになった。有機農業への転換のように、面積当たり環境影響の低減は期待できても収量が低下する場合、肥料製造方法の改善のように、収量の低下を招かずに面積当たり環境影響を低減できる場合、追加的資材の投入により面積当たり環境負荷の若干の増加はあるが、

収量の増加が期待できる場合等を視覚化できる。

4. 意思決定の視点からの再考

ここまでの議論をより明確にすれば、意思決定は機能単位でなく意思決定基準に基づくべきであるということになる [9]。自明のことを指摘しているようであるが、農業生産システムの比較 LCA においても、意思決定の視点をとることによってみえてくる多くことがある。

そのことにはっきりと気づいたのは、land sharing と land sparing を比較した論文 [13]を目にした時であった。そこでのモデルは land-oriented expression に相当するが、本来評価基準とみなされるべき指標が、決定変数であるかのごとく扱われており、いわば目的空間と決定空間が混同されている [14]。これは環境影響を低減するための道筋が示せないことを意味している。

インベントリデータ（ユニットプロセス）には意思決定が示されていると捉えられるが、影響評価が必ずしもその結果を表現していないという類似した問題は、UNEP-SETAC ライフサイクルイニシアチブでの生物多様性の評価手法の中にみられる [15]。持続可能な社会への転換というようなより大きな問題に取り組む際にも、この視点は重要な役割を果たすと考えている。

5. ネットワーキング

農業分野における LCA については、その研究基盤は必ずしも十分ではなく、本格的な取組みを始めた頃から、どのような形で研究を展開していくかという課題があった。研究内容自体ではないが、この点に関する紹介もしておきたい。

その一つのアプローチとしてまず試みたのは、先行して取り組んでいるスイス等の研究グループとの連携である。具体的には、OECD 共同研究プログラムのリサーチ・フェローシップに基づく ETH の環境意思決定研究所での短期滞在、JSPS 外国人招へい研究者（短期）に基づく Thomas Nemecek の招聘と国内関連機関の訪問、JSPS 二国間交流事業に基づくスイスの国立農業試験研究機関（Agroscope）等とのセミナー開催 [16]である。

エコバランス国際会議へも OECD 国際研究プログラムの会議支援に基づき、ヨーロッパの主要国等から 9 名を招へいした。また、農業・食品 LCA 国際会議での活動も、研究展開上有用であったと考えている [17]。

これらの活動を通して感じたことに触れておきたい。それは、日本における農業関係の LCA 研究においては、その研究の仕組みに今後工夫が必要ではないかということである。例えば、INRA における PhD コース、さらにはポスドクを組織的かつ国際的に雇用する仕組みには学ぶ点が多々あるように思われる。

6. おわりに

これまでの取組みを改めて振り返ってみると、成し遂げたことよりも、いまだ成就できていないことの方が先に頭に浮かぶというのが率直なところである。スイスではその後、Agroscope も、有機農業研究所も、新たな LCA 研究を展開している。世界的にも、ヨーロッパ、南北アメリカ、オセアニア、アジア等で LCA に関わる様々な活動がみられる。これを機に、新たな挑戦をしたい。

謝辞

このたびは功績賞という名誉ある賞を賜り、大変光栄に存じます。LCA 研究の特徴もあり、研究実施にあたっては、数多くの皆様からご指導、ご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。

引用文献

1) 林清忠: 日本 LCA 学会誌, 4(2), (2008), pp.112–118
2) Hayashi, K.: Eur. J. Oper. Res., 122, (2000), pp.486–500
3) Hokazono, S., Hayashi, K.: J. Clean. Prod., 28, (2012), pp.101–112
4) Uchida, S., Hayashi, K.: Biomass Bioenergy, 36, (2012), pp.302–315
5) Hayashi, K., Makino, N., Shobatake, K., Hokazono, S.: J. Clean. Prod., 43, (2014), pp.109–115
6) Tilman, D., Clark, M.: Nature, 515, (2014), pp.518–522
7) Blumer, Y.B., Stauffacher, M., Lang, D., Hayashi, K., Uchida, S.: Energ. Policy, 60, (2013), pp.386–395
8) 林清忠: 農業機械学会誌, 74(3), (2012), pp.164–167
9) Hayashi, K.: Int. J. Life Cycle Assess., 18, (2013), pp.331–339
10) Hokazono, S., Hayashi, K.: Int. J. Life Cycle Assess., 20, (2015), pp.1061–1075
11) Goglio, P., Brankatschk, G., Knudsen, M., Williams, A., Nemecek, T.: Int. J. Life Cycle Assess., Online, (2017), pp.1–9
12) Hayashi, K., Nagumo, Y., Domoto, A.: Sci. Total Environ., 571, (2016), pp.134–141.
13) Phalan, B., Onial, M., Balmford, A., Green, R.: Science, 333, (2011), pp.1289–1291
14) Hayashi, K.: Science, 334, (2011), pp.593–594
15) Antón, A., 林清忠, 湯龍龍: 日本 LCA 学会誌, 13(3), (2017), pp.239–244
16) 林清忠, Gaillard, G.: 日本 LCA 学会誌, 4(2), (2008), pp.141–146
17) 林清忠: 日本 LCA 学会誌, 13(3), (2017), pp.224–233

MiLCA新バージョンのご案内

最新の国内LCAデータを豊富に搭載した高機能なLCAソフト

MiLCA（みるか）がバージョンアップします（2017年6月リリース）

MiLCA Multiple Interface Life Cycle Assessment

✓ MiLCAは、ライフサイクルアセスメント（LCA）実施を支援するソフトです。産業技術総合研究所とJEMAIが共同開発した新LCAデータベース（IDEAv2）と日本版被害算定型影響評価手法（LIME2）などを搭載することで、国内の実態に即したLCAをより簡便に実施できます。

MiLCA v2 の改良点

✓インストール・操作の安定性向上！
✓算定スピードの向上！
✓将来の特性化係数拡充などへの対応体制が充実！
✓国内最大規模の*LCA*データベース、*IDEA v2*を初期搭載！

ソフトウェア名	MiLCAv1	MiLCAv2
搭載LCAデータベース	IDEAv1	IDEAv2（2016年リリース）
搭載影響評価手法	LIME2、T-E2A、TMR、海外主要特性化モデルを搭載。	

MiLCAの特徴

- マウスによる直感的な操作で製品システムをモデル化し、ケーススタディの実施が可能
- 環境影響評価手法として1,000を超える環境負荷物質を対象としたLIME2を搭載し、様々な視点からの評価が可能
- これらの手法にて算定した結果を棒グラフや円グラフ等で分かりやすく表示

MiLCA v2（IDEA v2 搭載）
価格（標準ライセンス）：60万円（税別）

- MiLCAv2の価格は初期費用のみになります。（更新利用料はありません）
- 現行版（MiLCAv1）のユーザーを含め、MiLCA v2は新規購入が必要です。

◆MiLCA v2の詳細情報
www.milca-milca.net

IDEA v2 ：LCAデータベース
価格（標準ライセンス）：26万円（税別）

- IDEAデータベース部分のみの先行販売を開始しました。
- IDEA v2ライセンスをご購入済の方は、MiLCAv2購入時に当該料金を割引します。

◆IDEA v2の詳細情報
http://www.jemai.or.jp/lca/idea/

MiLCA v1

- MiLCA v1の新規販売は終了しております。

2019年3月末：プログラム終了

◆お問合せ先
一般社団法人産業環境管理協会　LCA事業室
E-mail：jemai-lca@jemai.or.jp
TEL：03-5209-7708
HP：　http://www.jemai.or.jp/

JEMAI

ご注意
本書の内容の一部または全部を、個人で使用するほかは、著作権上、日本 LCA 学会、および
著作権者の承諾を得ずに無断で、転写、複製することは禁じられております。

第 13 回日本 LCA 学会研究発表講演要旨集
2018 年 3 月 7 日発行　【定価：1,000 円（CD-ROM 版）、10,000 円（印刷版）】
発行者　　：第 13 回日本 LCA 学会研究発表会実行委員会
発行所　　：日本 LCA 学会事務局
〒 231-0002
神奈川県横浜市中区海岸通 3-9　横濱ビル 210 号室
株式会社シーエーティ　内
印刷・製本：（有）創文社