第14回日本LCA学会研究発表会

講演要旨集

2019年3月5日(火)－7日(木)

福岡

九州大学 伊都キャンパス

第 14 回日本 LCA 学会研究発表会開催案内

第 14 回日本 LCA 学会研究発表会ウェブサイトの URL
http://ilcaj.org/meeting/14th/index.html

主　　催：日本ＬＣＡ学会
共　　催：九州大学大学院経済学研究院、九州大学エネルギー研究教育機構
日　　時：2019 年 3 月 5 日（火）～ 3 月 7 日（木）
会　　場：九州大学　伊都キャンパス　イースト 2 号館（福岡市西区元岡 744）
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。
ポスター発表では、A0 サイズ（84 cm × 119 cm）のポスターが掲示できる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（13:20 ～ 14:20）です。
・ポスター番号が偶数のポスターは、コアタイム B（14:20 ～ 15:20）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：　参加者には、すべての発表の要旨が収録された要旨集（完全版）を研究発表会開催の 1 週間前までに電子データで提供します。また、研究発表会終了後には、一般公開が希望された要旨が収録された要旨集（一般公開版）をウェブサイト上で公開します。別途、CD-ROM 版（1,000 円）、印刷版（10,000 円）の 2 種を受注販売します。購入のお申し込みは、参加登録の際に当該欄にてお願いします。

無線 LAN：主会場内では、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。

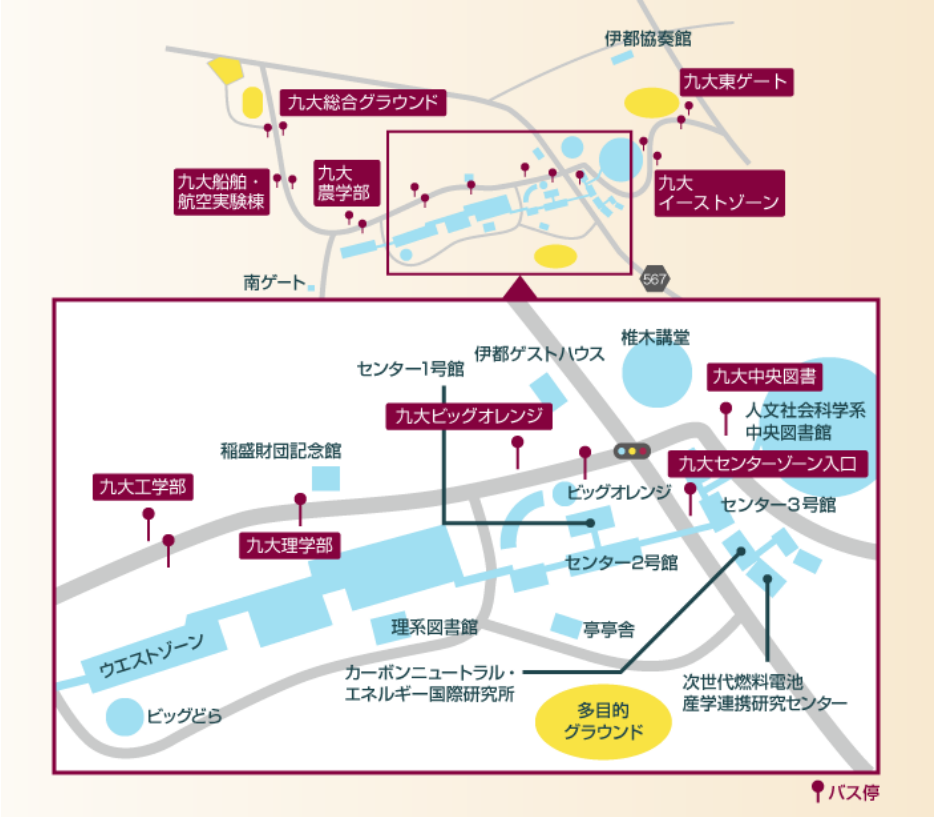
交 流 会：研究発表会初日の 3 月 5 日（火）18:00 から、イーストゾーン内ビッグスカイにて交流会を開催します。本研究発表会に参加登録頂いた方については、交流会参加費は無料です。

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。

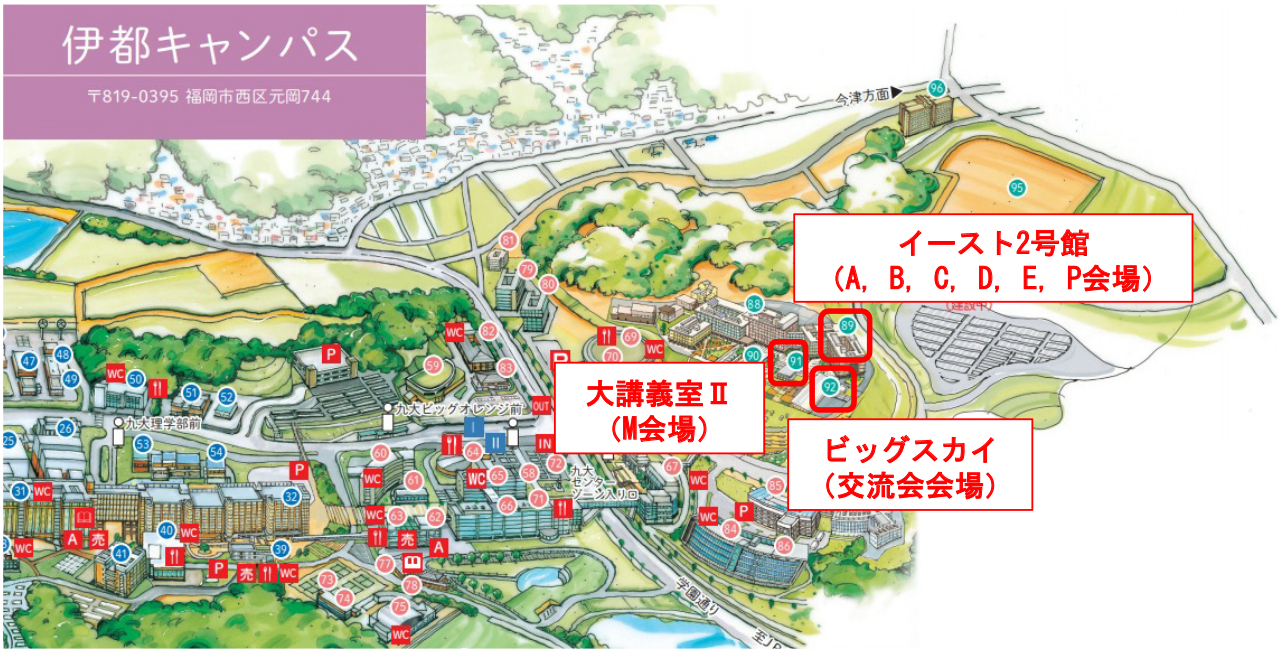
交通案内

●福岡空港・博多駅 →（地下鉄空港線）→「姪浜駅」(JR 筑肥線へ乗換）→「九大学研都市駅」→昭和バス（4 番乗り場）または大会シャトルバス→「イーストゾーン」下車
●福岡空港・博多駅 →（地下鉄空港線）→「博多駅」→西鉄バス→「伊都キャンパス」

九州大学　伊都キャンパス　https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/campus/ito/

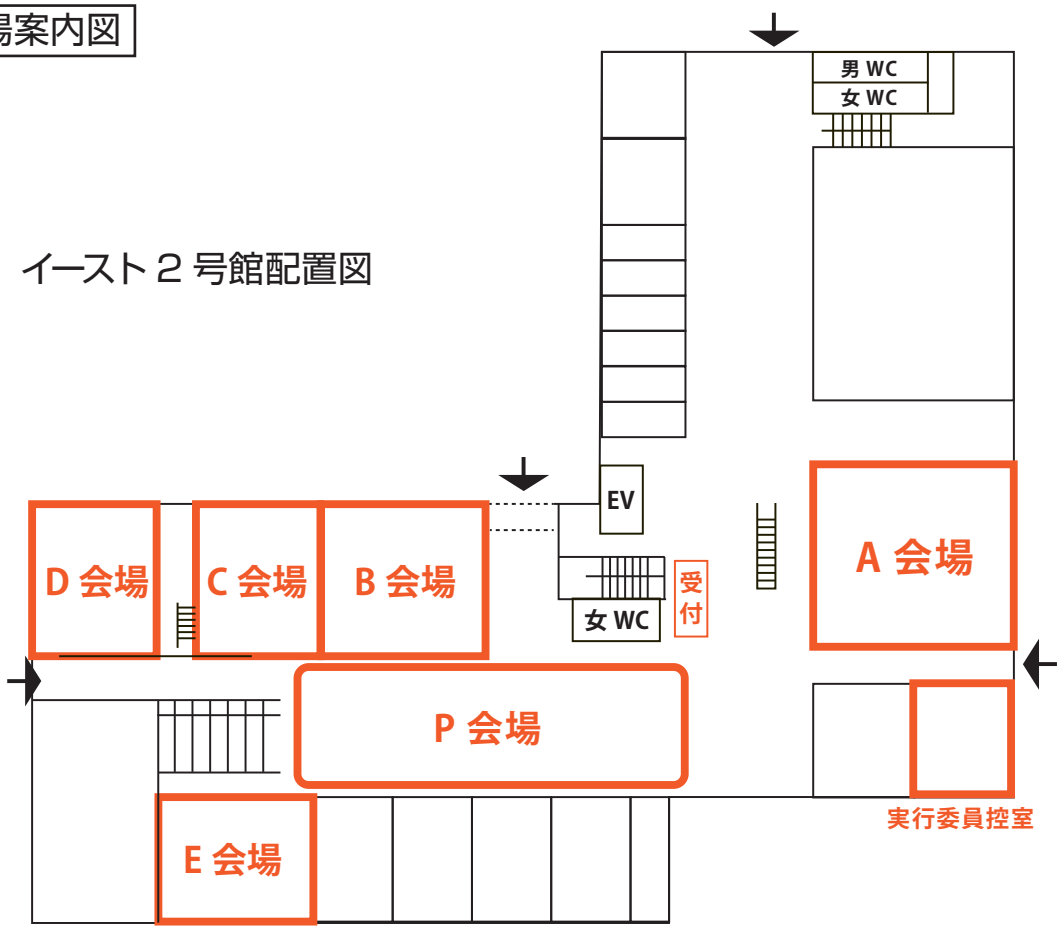


会場周辺マップ

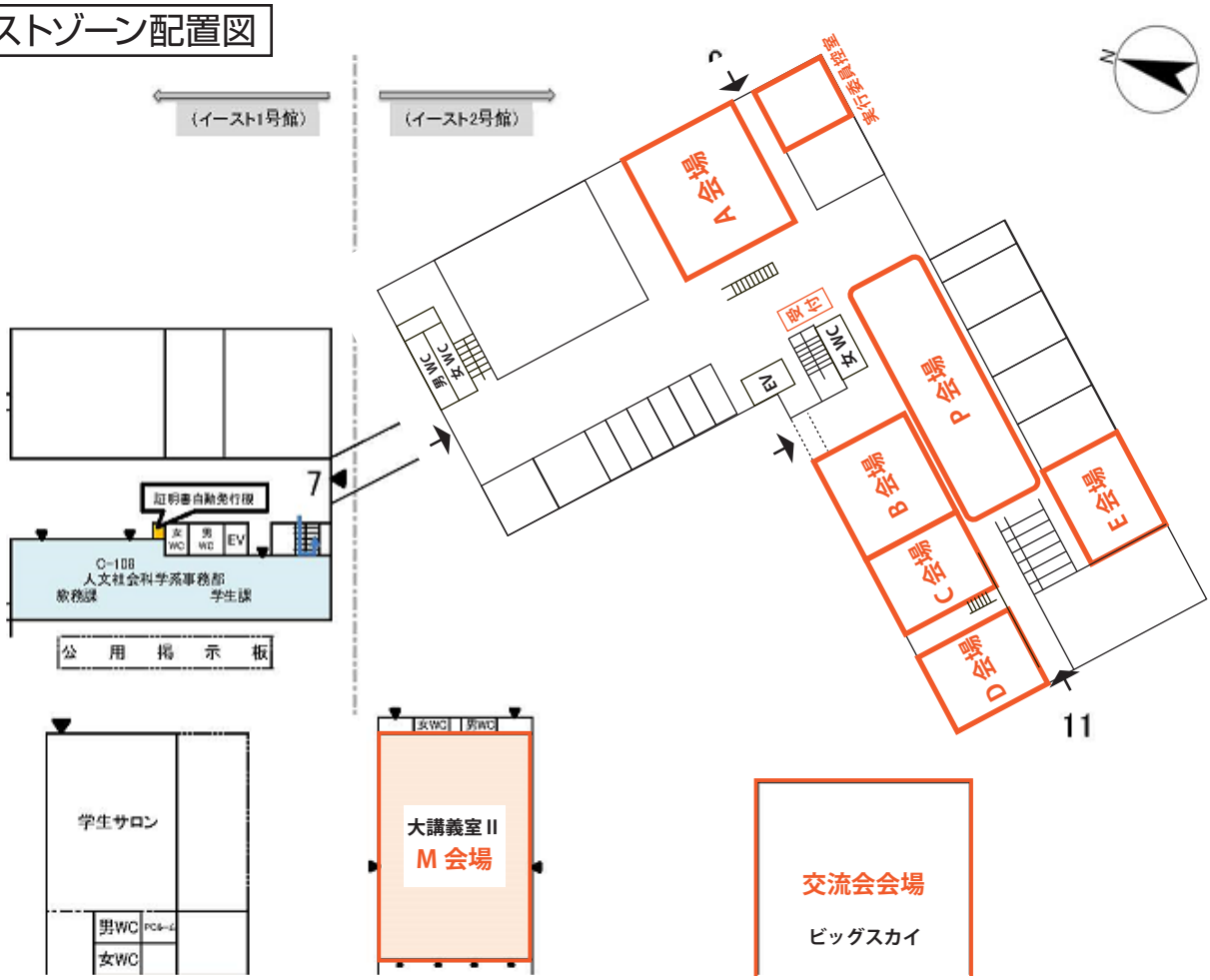


会場案内図

イースト２号館配置図



イーストゾーン配置図



第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会　実行委員会名簿

実行委員長	九州大学	加河 茂美
副委員長	九州大学	藤井 秀道
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
	福岡大学	江口 昌伍
	日本環境協会	大澤 亮
	尾道市立大学	岡本 隼輔
	産業技術総合研究所	小澤 暁人
	神戸大学	尾下 優子
	国立環境研究所	河井 紘輔
	東京大学	菊池 康紀
	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
	長崎大学	重富 陽介
	九州大学	高島 伸幸
	武蔵野大学	高橋 和枝
	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
	横浜国立大学	稗貫 峻一
	九州大学	藤田 敏之
	九州大学	堀井 伸浩
	九州大学	馬奈木 俊介
	立命館大学	吉川 直樹
	九州大学	吉田 謙太郎
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
	株式会社シーエーティー	渡辺 奈保子

第14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5日(火)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
10:30-12:00	オープニング、基調講演(M会場)				
12:00-13:00	昼休み				
13:00-13:20	家計消費	水素・エネキャリ	バイオマスと バイオ燃料	シェアリング	評価手法開発
13:20-13:40					
13:40-14:00					
14:00-14:20					
14:20-14:40	休憩				
14:40-15:00	環境価値と消費行動	産業ネットワーク	技術評価	自動車(1)	ケーススタディ
15:00-15:20					
15:20-15:40					
15:40-16:00					
16:00-16:20	休憩				
16:20-16:40	国際評価	持続可能性評価	物質ストック フロー分析	自動車(2)	低炭素技術
16:40-17:00					
17:00-17:20					
17:20-17:40					
17:40-18:00	移動				
18:00-	交流会(ビッグスカイ)				

2日目　3月6日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:40-10:00	特別セッション：食のサプライチェーン(1)	資源評価	データベース	社会性評価	外部コスト
10:00-10:20					
10:20-10:40					
10:40-11:00	休憩				
11:00-11:20	特別セッション：食のサプライチェーン(2)	公募企画セッション：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	消費行動調査	建設	鉄鋼
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-12:20					
12:20-13:20	昼休み				
13:20-14:20	ポスターセッション1(P会場)　*コアタイム:奇数番号				
14:20-15:20	ポスターセッション2(P会場)　*コアタイム:偶数番号				
15:20-15:40	休憩				
15:40-16:00	特別セッション：環境教育		産業評価	廃棄物	ICT
16:00-16:20		公募企画セッション：企業活動と生物多様性・自然資本の評価			
16:20-16:40					
16:40-17:00					
17:00-17:20					

3日目　3月7日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:40-10:00	再生可能エネルギー(1)	輸送	サーキュラーエコノミー	資源と環境(1)	イベント評価
10:00-10:20					
10:20-10:40					
10:40-11:00	休憩				
11:00-11:20	再生可能エネルギー(2)	公募企画セッション：現在と2050年をつなげるエネルギーシナリオを考える	農業	資源と評価(2)	
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-12:20					
12:20-13:20	昼休み				
13:20-15:40	学会賞受賞者講演、クロージング(M会場)				

全体セッション プログラム

1日目(3月5日(火))

M 会 場

10:30-	オープニング
10:40-11:40	【基調講演】 脱炭素社会実現に向けた水素エネルギーの現状と将来展望 佐々木 一成氏(九州大学)

3日目(3月7日(木))

M 会 場

13:20-13:35 奨励賞	ライフサイクル思考に基づく社会インフラ環境マネジメントに関する研究 柴原尚希（中部大学）	406
13:35-13:50 論文賞	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（資生堂）、目野高嗣（資生堂）	408
13:50-14:05 論文賞	食料消費に関わる世界の淡水資源需給バランスに対する国際貿易の影響評価 山口陽平（立命館大学）、田村賢人（立命館大学）、吉川直樹（立命館大学）、天野耕二（立命館大学）、橋本征二（立命館大学）	418
14:05-14:25 功績賞	廃棄物資源循環分野における産業連関分析 近藤康之（早稲田大学）	433
14:25-15:40	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5日(火)）

＊は登壇者

13:00 ～ 14:20

◆ A 会場 ＜家計消費＞

座長：重富陽介（長崎大学）

13:00-13:20 **A1-11** *(P2-097)*
家計支出と生活時間の統計を用いた家庭内の行動に伴うCO_2排出量の評価 …… 2
姜 怡達*、井原 智彦／東京大学

13:20-13:40 **A1-12** *(P2-103)*
日本の家計消費が誘発する水圏へのリンフローの推計 …… 4
佐々木 貴央*（1）、南斉 規介（2）、Sebastien Dente（1）、橋本 征二（1）／1: 立命館大学； 2: 国立環境研究所

13:40-14:00 **A1-13** *(P2-107)*
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：推計手法の改善 …… 6
馬場 亮輔*（1）、佐々木 貴央（1）、南斉 規介（2）、Dente Sebastien（1）、橋本 征二（1）／1: 立命館大学; 2: 国立環境研究所

14:00-14:20 **A1-14**
行動時間の変化に着目した家計フットプリントの解析 …… 8
青野 祐馬*、重富 陽介／長崎大学

◆ B 会場 ＜水素・エネキャリ＞

座長：田原聖隆（産業技術総合研究所）

13:00-13:20 **B1-11**
産業連関表を用いた水素エネルギーシステムの効率性分析 …… 10
稗貫 峻一*、野口 和彦、澁谷 忠弘、三宅 淳巳／横浜国立大学

13:20-13:40 **B1-12** *(P2-114)*
エネルギーキャリア技術導入適地の探索 …… 12
清水 輝之*、大久保 達也、菊池 康紀／東京大学

13:40-14:00 **B1-13** *(P2-079)*
蓄電池を活用した再エネ水素製造システムの環境性・技術経済性分析 …… 14
佐孝 成寿*（1）、古山 通久（2）、大久保 達也（1）、菊池 康紀（1,2）／1: 東京大学； 2: 物質・材料研究機構

14:00-14:20 **B1-14**
アンモニア発電のライフサイクルCO_2排出量評価 …… 16
工藤 祐揮*、小澤 暁人、北川 直美、村松 良二／産業技術総合研究所

◆ C 会場 ＜バイオマスとバイオ燃料＞

座長：藤井実（国立環境研究所）

13:00-13:20 **C1-11**
キリバスにおけるバイオマス利用と海面上昇 …… 18
小野 洋*（1）、山下 善道（2）、金井 源太（2）、野中 章久（2）／1: 日本大学； 2: 農研機構

13:20-13:40 **C1-12**
序列付きシステム合成による未知な条件の存在下でのバイオマス利用システムとその運転スケジュール設計支援 …… 20
川音 侑輝*（1）、大野 肇（1）、小原 聡（2）、福島 康裕（1）／1: 東北大学； 2: アサヒグループホールディングス株式会社

13:40-14:00 **C1-13** *(P2-112)*
C5/C6オレフィンを主成分とするバイオガソリンのライフサイクル評価と技術経済性分析 …… 22
奥山 泰世*（1）、楊 路（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）／1: 昭和シェル石油株式会社； 2: 東北大学大学院

14:00-14:20 **C1-14** *(P2-115)*
バイオジェット燃料のコンセプチュアル製造プロセスにおけるWTWa GHG排出量試算 …… 24
楊 路*（1）、奥山 泰世（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）／1: 昭和シェル石油株式会社； 2: 東北大学大学院

◆D 会場 <シェアリング>

座長：文多美（東京大学）

13:00-13:20 **D1-11**	**製品のシェアリングによる環境負荷削減ポテンシャルのパターン分析** 天沢 逸里*、文 多美、平尾 雅彦／東京大学	26
13:20-13:40 **D1-12** *(P2-068)*	**地域特性のモデルに基づいた環境配慮型自転車シェアリングシステムの設計** 外野 圭太*、天沢 逸里、杉山 弘和、平尾 雅彦／東京大学	28
13:40-14:00 **D1-13** *(P2-094)*	**詳細な条件設定による副次的な効果まで含めたシェアリングサービスの環境負荷評価** 辻 克哉*、栗栖 聖、中谷 隼、森口 祐一／東京大学工学部都市工学科都市資源管理研究室	30
14:00-14:20 **D1-14** *(P2-093)*	**循環経済を思考したオフィス家具リユース事業の環境影響評価** 杉山 聖佳* (1)、天野 太郎 (2)、戸間 竜太郎 (2)、田中 裕美子 (2)、門元 英憲 (3)、伊坪 徳宏 (1) ／ 1: 伊坪研究室； 2: 株式会社オフィスバスターズ； 3: 株式会社内田洋行	32

◆E 会場 <評価手法開発>

座長：河尻耕太郎（産業技術総合研究所）

13:00-13:20 **E1-11**	**Comparing exergetic efficiency of industries among countries** Liu Junxi*、Daigo Ichiro、Enoki Manabu ／ The University of Tokyo	34
13:20-13:40 **E1-12**	**熱交換によるインベントリデータの変化を組み込んだ低炭素化エネルギーシステム合成ツールの開発** 田中 晴佳*、大野 肇、福島 康裕／東北大学	36
13:40-14:00 **E1-13** *(P2-073)*	**産業共生における技術導入計画に向けた評価支援基盤** 兼松 祐一郎*、大久保 達也、菊池 康紀／東京大学	38
14:00-14:20 **E1-14**	**再生可能エネルギー政策の受容性向上に向けた「物語」の活用** 中野 祐樹*、本藤 祐樹／横浜国立大学	40

14:40 ～ 16:00

◆A 会場 <環境価値と消費行動>

座長：井原智彦（東京大学）

14:40-15:00 **A1-16** *(P2-109)*	**価値観とライフスタイルを考慮した社会的公平性の可視化** 重富 陽介* (1)、Chapman Andrew (2)、南齋 規介 (3)、東野 達 (4) ／ 1: 長崎大学； 2: 九州大学； 3: シドニー大学； 4: 京都大学	42
15:00-15:20 **A1-17** *(P2-100)*	**外出による電力消費量と活動量の効果に関する研究** 長浜 駿多*、磐田 朋子／芝浦工業大学	44
15:20-15:40 **A1-18** *(P2-077)*	**健康管理に関する自治体事業の経済波及効果の分析** 三浦 友裕*、碓井 政貴、大西 貴子、永瀬 寛典、山田 博己、山田 真弘、下野 僚子、兵法 彩、堀内 美佐、菊池 康紀／東京大学	46
15:40-16:00 **A1-19**	**Mitigation and Adaptation to Climate Change through Life Cycle Assessment of Air-Conditioners: comparison between Japan and developing countries with consideration of the future environmental impacts** Karkour Selim* (1)、Ihara Tomohiko (2)、Itsubo Norihiro (1) ／ 1: 東京都市大学； 2: 東京大学	48

◆B 会場 <産業ネットワーク>

座長：稗貫峻一（横浜国立大学）

14:40-15:00 **B1-16**	**産業単位でのサプライチェーンを通じた気候変動への適応検討** 中野 勝行* (1)、佐伯 順子 (2) ／ 1: 立命館大学； 2: 産業環境管理協会	50
15:00-15:20 **B1-17**	**産業連関ネットワークの可視化** 時任 翔平*／九州大学	52
15:20-15:40 **B1-18**	**経済構造の類似性に基づく二酸化炭素排出構造の分析** 白新田 佳代子* (1)、加河 茂美 (1)、近藤 康之 (2) ／ 1: 九州大学； 2: 早稲田大学	54
15:40-16:00 **B1-19**	**NAFTA圏内産業における化学物質排出量のクラスター分析** 岡本 隼輔* (1)、藤井 秀道 (2)、加河 茂美 (2) ／ 1: 尾道市立大学； 2: 九州大学	56

◆C 会場 <技術評価>

座長：福島康裕（東北大学）

14:40-15:00 **C1-16**
将来技術による環境負荷削減効果評価手法の開発 …… 58
河尻 耕太郎*（1）、天沢 逸里（2）、菊池 康紀（2）、木下 裕介（2）、坂本 魁都（1）、田原 聖隆（1）、中野 勝行（3）、山岸 健（4）／1: 産業技術総合研究所； 2: 東京大学； 3: 立命館大学； 4: 産業環境管理協会

15:00-15:20 **C1-17** *(P2-120)*
材料代替によるライフサイクルへの波及効果を考慮した製品設計支援：コンセプトカー開発を例として 60
長谷川 幹晃*、横川 直毅、天沢 逸里、杉山 弘和、平尾 雅彦／東京大学

15:20-15:40 **C1-18** *(P2-117)*
多機能製品が持つ各機能への環境影響配分手法 …… 62
横川 直毅*、天沢 逸里、杉山 弘和、平尾 雅彦／東京大学

15:40-16:00 **C1-19**
将来シナリオを考慮したLCIデータベースの試作～自動車のケーススタディ～ …… 64
鶴田 祥一郎*（1）、神崎 昌之（1）、越智 崇充（2）、中野 勝行（3）／1: 一般社団法人産業環境管理協会; 2: デロイトトーマツコンサルティング合同会社； 3: 学校法人立命館立命館大学

◆D 会場 <自動車（1）>

座長：吉田謙太郎（九州大学）

14:40-15:00 **D1-16** *(P2-080)*
ベトナムにおける自動二輪車の廃棄台数予測 …… 66
黒木 大暉*（1）、光斎 翔貴（1）、Tran Duc Huy（2）、Nguyen Duc Quang（2）、山末 英嗣（1）／1: 立命館大学 理工学部； 2: ハノイ工科大学

15:00-15:20 **D1-17**
自動車市場の部分均衡を考慮したCAFE基準評価 …… 68
金子 満來*、加河 茂美／九州大学

15:20-15:40 **D1-18**
電気自動車のバーチャルパワープラント活用による環境影響評価分析 …… 70
坂本 魁都*（1,2）、岡島 敬一（2）、河尻 耕太郎（1）／1: 産業技術総合研究所； 2: 筑波大学

15:40-16:00 **D1-19**
LCAによる内燃機関自動車とBEVのCO_2排出量の算定 …… 72
河本 竜路*（1）、望月 英生（1）、森口 義久（1）、中野 隆裕（1）、本橋 真之（1）、酒井 裕司（2）、稲葉 敦（2）／1: マツダ株式会社； 2: 工学院大学

◆E 会場 <ケーススタディ>

座長：小原聡（アサヒグループホールディングス）

14:40-15:00 **E1-16** *(P2-067)*
医薬成分を対象とした環境影響評価-遺伝子組換えカイコによる環境負荷低減効果- …… 74
西山 雄馬*（1）、冨田 正浩（2）、瀬筒 秀樹（3）、立松 謙一郎（3）、伊坪 徳宏（1）／1: 東京都市大学 伊坪研究室； 2: 株式会社免疫生物研究所； 3: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

15:00-15:20 **E1-17**
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：実スケールの管理による実証 …… 76
林 清忠*（1）、南嶋 晋二郎（2）、北川 隆徳（3）／1: 農業・食品産業技術総合研究機構； 2: 株式会社アコーディア・ゴルフ； 3: アサヒバイオサイクル株式会社

15:20-15:40 **E1-18**
業務用太陽熱給湯システムの建物用途・地域別CO_2削減効果 …… 78
竹村 彩花*、本藤 祐樹／横浜国立大学

15:40-16:00 **E1-19**
欧州における化粧品容器の環境フットプリント評価方法の標準化について …… 80
大橋 憲司*／株式会社資生堂

16:20 ～ 17:40

◆ A 会場 ＜国際評価＞

座長：栗島英明（芝浦工業大学）

16:20-16:40 **A1-21** *(P2-031)*
Development of regionalized Life Cycle Impact Assessment method for African Countries …… 82
Karkour Selim* (1)、Longlong Tang (2)、Itsubo Norihiro (1) ／1: 東京都市大学； 2: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

16:40-17:00 **A1-22**
DEAデータ包絡分析による中国石炭火力発電所の効率性分析 …… 84
吉澤 知晃* (1)、加河 茂美 (1)、Lin Chen (2) ／1: 九州大学； 2: 中国人民大学

17:00-17:20 **A1-23**
オーストリアにおける過去四半世紀にわたる都市ごみ管理フローの変遷 …… 86
稲葉 陸太* (1)、田崎 智宏 (1)、久保田 利恵子 (1)、Cencic Oliver (2)、Rechberger Helmut (2) ／1: 国立環境研究所； 2: ウィーン工科大学

◆ B 会場 ＜持続可能性評価＞

座長：平尾雅彦（東京大学）

16:20-16:40 **B1-21**
バランス・スコアカードを活用したSDGsマネジメントシステムに関する研究 …… 88
金藤 正直* ／法政大学

16:40-17:00 **B1-22**
素材産業による持続可能な開発目標の捉え方に関する現状分析 …… 90
畑山 博樹* (1)、醍醐 市朗 (2)、田原 聖隆 (1) ／1: 産業技術総合研究所； 2: 東京大学

17:00-17:20 **B1-23**
エコマーク認定サービスにおける環境負荷低減効果（CO_2換算）の推計方法の検討 …… 92
大澤 亮* (1)、本間 隆之 (1)、稲葉 敦 (2) ／1: 公益財団法人日本環境協会； 2: 工学院大学

◆ C 会場 ＜物質ストックフロー分析＞

座長：中谷隼（東京大学）

16:20-16:40 **C1-21**
日本におけるベースメタルの使用済み回収率の評価 …… 94
醍醐 市朗* (1)、中駄 将人 (1)、布施 正暁 (2)、榎 学 (1) ／1: 東京大学大学院工学系研究科； 2: 広島大学大学院工学研究科

16:40-17:00 **C1-22** *(P2-108)*
プラスチックの製品種類および蓄積先に着目した物質フロー分析 …… 96
丸山 多聞*、中谷 隼、森口 祐一／東京大学

17:00-17:20 **C1-23** *(P2-130)*
ストック分析に基づく二次物質ストックの回収容易性評価の枠組み構築と日本の銅ストックへの適用 98
横井 崚佑*、中谷 隼、森口 祐一／東京大学

17:20-17:40 **C1-24** *(P2-075)*
災害廃棄物の仮置場利用可能面積：各都道府県を対象とした検討 …… 100
石川 湧裕* (1)、水谷 一平 (1)、立尾 浩一 (2)、橋本 征二 (1) ／1: 立命館大学； 2: 日本環境衛生センター

◆ D 会場 ＜自動車（2）＞

座長：大野肇（東北大学）

16:20-16:40 **D1-21** *(P2-088)*
動的マテリアルフロー分析を用いた自動車解体技術の資源循環に与える影響の評価 …… 102
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) ／1: 東北大学； 2: 国立環境研究所； 3: 早稲田大学

16:40-17:00 **D1-22** *(P2-083)*
関与物質総量から見た自動車素材に着目し資源採掘に伴う地域別負荷依存度分析 …… 104
廖 翰卿* (1)、山末 英嗣 (2)、松八重 一代 (1) ／1: 東北大学環境科学研究科； 2: 立命館大学理工学部

17:00-17:20 **D1-23** *(P2-122)*
関与物質総量を通じた自動車用リチウムイオン電池の資源強度評価 …… 106
鷹田 祐京*、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学山末研究室

17:20-17:40 **D1-24**
自動車寿命によるグローバルCO_2排出量変化の要因分解分析 …… 108
中本 裕哉*、加河 茂美／九州大学

◆E 会場 ＜低炭素技術＞

座長：鶴田祥一郎（産業環境管理協会）

16:20-16:40 **E1-21** *(P2-087)*	CeO_2を用いたバイオガス中の不純物除去システムの設計及び環境影響評価 坂口 昌幸*／東京理科大学	110
16:40-17:00 **E1-22**	ネガティブエミッション技術とLCA 佐伯 順子*、山岸 健、鶴田 祥一郎／一般社団法人　産業環境管理協会	112
17:00-17:20 **E1-23**	希少金属含有量を考慮した家庭用燃料電池コージェネレーションの包絡分析 佐藤 聖史、中台 健人、奥野 蒼太、徐 維那、片山 昇、堂脇 清志*／東京理科大学	114
17:20-17:40 **E1-24** *(P2-118)*	低炭素社会を支える技術に関する反応性窒素についての考察 片桐 究*、種田 あずさ、松八重 一代、長坂 徹也／東北大学	116

2日目（3月6日(水)）

＊は登壇者

9:40 ～ 10:40

◆ A 会場 ＜特別セッション：食のサプライチェーン(1)＞

座長：椎名武夫（千葉大学）

9:40-10:00 **A2-01** *(P2-124)*
フットプリント分析に基づく島嶼地域における食の持続可能性評価 …… 120
清水 直＊、中谷 隼、栗栖 聖、森口 祐一／東京大学

10:00-10:20 **A2-02** *(P2-105)*
食料貿易を考慮した食料需給バランスに基づく世界の淡水資源必要量の現状評価 …… 122
山口 陽平＊、吉川 直樹、天野 耕二、橋本 征二／立命館大学

10:20-10:40 **A2-03**
アジアの食料消費構造の変化に伴う窒素・リンフットプリントの経年変化 …… 124
種田 あずさ＊、Webeck Elizabeth、松八重 一代／東北大学

◆ B 会場 ＜資源評価＞

座長：山末英嗣（立命館大学）

9:40-10:00 **B2-01** *(P2-099)*
滋賀県におけるリン需給構造の分析 …… 126
間野 由布子＊、松八重 一代／東北大学

10:00-10:20 **B2-02** *(P2-123)*
P-イノベーションプロセスによる黄リン製造のLCA …… 128
舞良 俊紀＊ (1)、平木 岳人 (2)、三木 貴博 (2)、松八重 一代 (3)、長坂 徹也 (2) ／ 1: 東北大学 工学部材料科学総合学科； 2: 東北大学大学院工学研究科； 3: 東北大学大学院環境科学研究科

10:20-10:40 **B2-03** *(P2-085)*
水資源に焦点を当てた銅鉱石採掘に伴うサプライチェーンリスク解析 …… 130
大足 葵＊ (1)、松八重 一代 (2)、中島 謙一 (3)、長坂 徹也 (1) ／ 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； 3: 国立環境研究所

◆ C 会場 ＜データベース＞

座長：中野勝行（立命館大学）

9:40-10:00 **C2-01**
「単文間距離」を用いた二酸化炭素排出原単位収集法の開発 …… 132
上田 健太＊、永野 宏治／室蘭工業大学

10:00-10:20 **C2-02**
ESG投資に向けた国内全上場企業を網羅した温室効果ガス排出データベースの開発 …… 134
本田 智則＊ (1)、稲葉 敦 (2) ／ 1: 産業技術総合研究所； 2: 工学院大学

10:20-10:40 **C2-03** *(P2-125)*
CGEモデルとLCAの融合による日本のCFP将来推計 …… 136
一杉 佑貴＊ (1)、増井 利彦 (2)、伊坪 徳宏 (1) ／ 1: 東京都市大学； 2: 国立環境研究所

◆ D 会場 ＜社会性評価＞

座長：小林英樹（大阪大学）

9:40-10:00 **D2-01**
持続可能な消費と生産のための充足性評価指標の開発 …… 138
荒井 翔太＊、小林 英樹、村田 秀則、福重 真一／大阪大学　大学院工学研究科

10:00-10:20 **D2-02** *(P2-116)*
ジェンダー・福利厚生・賃金など各種労働問題を考慮したS-LCAの実装 …… 140
廣川 達也＊、井原 智彦、吉田 好邦／東京大学

10:20-10:40 **D2-03**
中国の火力発電所由来の大気汚染物質に伴う健康被害の空間分布分析 …… 142
永島 史弥＊ (1)、加河 茂美 (1)、南斉 規介 (2)、茶谷 聡 (2) ／ 1: 九州大学； 2: 国立環境研究所

◆ E 会場 ＜外部コスト＞

座長：光斎翔貴（立命館大学）

9:40-10:00 **E2-01** *(P2-082)*
使用済み船舶解体の外部コスト評価 …… 144
松本 拓磨＊、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学

10:00-10:20 **E2-02** *(P2-071)*
Comparative analysis on urban flood countermeasures based on life cycle thinking …… 146
Fan Xuezhou＊、Matsumoto Toru ／北九州市立大学

10:20-10:40 **E2-03**
資本の活用と持続可能性 …… 148
山口 臨太郎＊／国立環境研究所

11:00 ～ 12:20

◆ A 会場 ＜特別セッション：食のサプライチェーン(2) ＞

座長：堂脇清志（東京理科大学）

11:00-11:20 **A2-05** — **カキ養殖業のライフサイクルアセスメント-宮城県南三陸町志津川湾の事例研究-** …… 150
渡邊 一仁* (1)、小幡 範雄 (2)、吉岡 泰亮 (2) ／ 1: 宮城県庁； 2: 立命館大学

11:20-11:40 **A2-06** — **水産養殖における海洋深層水利用の効果** …… 152
小野 奈都美* (1)、仲道 司 (2)、安里 一月 (2)、伊藝 聡 (1)、伊佐 真賢 (1)、岡村 盡 (3)、田原 聖隆 (4) ／ 1: (株)沖縄エネテック； 2: 久米島海洋深層水開発(株)； 3: (株)ゼネシス； 4: 産業技術総合研究所

11:40-12:00 **A2-07** — **自然栽培茶のライフサイクルアセスメント** …… 154
吉川 直樹* (1)、伊川 健一 (2)、辻 航己 (1)、降簱 駿汰 (1)、天野 耕二 (1) ／ 1: 立命館大学； 2: 健一自然農園

12:00-12:20 **A2-08** *(P2-102)* — **野菜における新たな複合的環境指標提案と市場効果検証** …… 156
渡辺 泰子*、堂脇 清志、徐 維奈／東京理科大学

◆ B 会場 ＜公募企画セッション：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)

◆ C 会場 ＜消費行動調査＞

座長：天沢逸里（東京大学）

11:00-11:20 **C2-05** *(P2-101)* — **個人の生活状況と価値観に基づいた効果的な環境配慮行動提案手法の検討** …… 158
吉元 達彦*、栗栖 聖、中谷 隼、森口 祐一／東京大学工学部都市工学科

11:20-11:40 **C2-06** *(P2-070)* — **製品の長期使用に対する消費者意識の研究** …… 160
山本 悠久*、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

11:40-12:00 **C2-07** *(P2-081)* — **パソコンの所有・廃棄の実態把握に基づく適正な回収制度の提案** …… 162
三浦 潤*、森口 祐一、栗栖 聖、中谷 隼／東京大学大学院工学系研究科

12:00-12:20 **C2-08** — **消費者アンケート調査による持続可能な洗濯行動パターンの分析** …… 164
文 多美* (1)、田原 聖隆 (2)、天沢 逸里 (1)、平尾 雅彦 (1) ／ 1: 東京大学； 2: 産業技術総合研究所

◆ D 会場 ＜建設＞

座長：小澤暁人（産業技術総合研究所）

11:00-11:20 **D2-05** — **ニーズを踏まえた建築実務者向けのバックグラウンドデータの検討** …… 166
小林 謙介* (1)、外岡 豊 (2)、鈴木 好幸 (3)、磯部 孝行 (4)、下川 夏寿輝 (1) ／ 1: 県立広島大学； 2: 埼玉大学； 3: 安藤ハザマ； 4: 武蔵野大学

11:20-11:40 **D2-06** — **国際対応型LCIA手法LIME3の枠組みに基づく世界42カ国の行政区域の環境効率性評価** …… 168
山崎 潤也* (1)、伊香賀 俊治 (1)、伊坪 徳宏 (2) ／ 1: 慶應義塾大学； 2: 東京都市大学

11:40-12:00 **D2-07** — **道路整備事業のSDGsへの貢献量評価手法の検討** …… 170
柴原 尚希* (1)、森田 紘圭 (2)、加知 範康 (3)、林 良嗣 (1) ／ 1: 中部大学； 2: 大日本コンサルタント株式会社； 3: 東洋大学

12:00-12:20 **D2-08** *(P2-129)* — **コンクリートを対象とした開ループリサイクルのLCI分析手法の構築** …… 172
河野 航大* (1)、醍醐 市朗 (1)、谷川 寛樹 (2)、榎 学 (1) ／ 1: 東京大学工学部マテリアル工学科榎・醍醐研究室； 2: 名古屋大学環境学研究科

◆ E 会場 ＜鉄鋼＞

座長：菊池康紀（東京大学）

11:00-11:20 **E2-05**	Degradation mechanism of structural materials during ELVs recycling Panasiuk Daryna*、Daigo Ichiro、Enoki Manabu ／ University of Tokyo	174
11:20-11:40 **E2-06** *(P2-084)*	動的MFAによる世界規模での鉄鋼材中Cu濃度の将来推計 木本 悠介*、榎 学、醍醐 市朗／東京大学マテリアル工学科榎・醍醐研究室	176
11:40-12:00 **E2-07** *(P2-086)*	統計分析を用いたリサイクル鋼材中の不純物混入起源の推定手法の構築 濱田 航*、醍醐 市朗、榎 学／東京大学	178
12:00-12:20 **E2-08**	多地域産業連関表を用いた鉄鋼産業のサプライチェーン効率性分析モデルの開発 高藪 広隆*、加河 茂美／九州大学	180

15:40 ～ 17:20

◆ A 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）

15:40-16:00 **A2-19**	豚肉を事例としたライフサイクル思考を取り入れた食育教材の試作 菱沼 竜男*、大森 玲子／宇都宮大学	182
16:00-16:20 **A2-20** *(P2-098)*	学校給食と食育を活用した食品ロス対応プログラムの模索と検討 海老原 誠治*（1,2）、白井 ひで子（4）、江口 敏幸（5）、布川 美穂（6）、西尾 チヅル（2,3）／1: 三信化工; 2: 資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」; 3: 筑波大学; 4: 小平市立小平第六小学校; 5: 杉並区立三谷小学校; 6: 栄養教諭	184
16:20-16:40 **A2-21**	持続可能な消費と生産につなげるための食品ロス飼料化を題材とした情報提供プログラムの開発（1）：消費者行動由来の食品ロス発生に対する認知度と改善行動の実行可能性に関する調査結果 栗島 英明*（1）、菱沼 竜男（2）、大森 玲子（2）／1: 芝浦工業大学; 2: 宇都宮大学	186
16:40-17:00 **A2-22** *(P2-104)*	化学基礎におけるライフサイクル思考の導入を可能にする題材探索 大角 茂登*（1）、岡部 響（2）、松本 真哉（1）／1: 横浜国立大学大学院 環境情報学府; 2: 横浜国立大学理工学部	188
17:00-17:20 **A2-23**	総合討論	

◆ B 会場 ＜公募企画セッション：企業活動と生物多様性・自然資本の評価＞

オーガナイザー：吉田 謙太郎（九州大学）

◆ C 会場 ＜産業評価＞

座長：大橋憲司（資生堂）

15:40-16:00 **C2-19**	クリティカルレビューによるLCA報告書の品質改善効果：更生ドラム缶のLCA調査事例を通じて 山岸 健*（1）、澤村 翔太（1）、井上 晋一（2）、森本 久夫（3）／1: 産業環境管理協会; 2: イーコンパス; 3: 日本ドラム缶更生工業会	190
16:00-16:20 **C2-20** *(P2-069)*	乾式オフィス製紙機を対象にした環境フットプリント 木下 涼子*（1）、小野 雄也（1）、一杉 佑貴（1）、岡村 岳彦（2）、横山 孝一郎（2）、林 正明（2）、伊坪 徳宏（1）／1: 東京都市大学 伊坪研究室; 2: セイコーエプソン株式会社	192
16:20-16:40 **C2-21** *(P2-076)*	グラビア印刷物を対象とした環境・社会側面の定量分析 石川 泰久*（1）、入江 俊行（2）、富川 恵子（2）、中川 善博（3）、伊坪 徳宏（1）／1: 東京都市大学; 2: 東洋インキSCホールディングス; 3: 凸版印刷株式会社	194
16:40-17:00 **C2-22**	紙の再利用を可能にした複写機の環境負荷低減に関する事例研究 鈴木 春生*、伊坪 徳宏／東京都市大学	196
17:00-17:20 **C2-23** *(P2-066)*	アルミダイカスト工場を対象とした環境フットプリント 一杉 佑貴*（1）、小関 康雄（1）、杉本 和明（2）、大熊 那夫紀（2）、恒川 智行（3）、伊坪 徳宏（1）／1: 東京都市大学; 2: 造水促進センター; 3: アイシン精機株式会社	198

◆D会場 <廃棄物>

座長：鶴巻峰夫（和歌山工業高等専門学校）

15:40-16:00 **D2-19** *(P2-128)*
IoT導入による産業廃棄物の収集運搬効率化策の評価 …… 200
上鶴 喜貴*、橋本 征二／立命館大学

16:00-16:20 **D2-20** *(P2-090)*
施設配置を考慮した容器包装プラスチックリサイクルの効率化の分析 …… 202
安田 智文*、中谷 隼、栗栖 聖、森口 祐一／東京大学

16:20-16:40 **D2-21** *(P2-089)*
横断型プラスチックリサイクルのシナリオ分析 …… 204
東野 航平*、中谷 隼、栗栖 聖、森口 祐一／東京大学

16:40-17:00 **D2-22**
インドネシアの工場におけるオンサイト型生活排水システムのライフサイクルアセスメント …… 206
金子 愛里*（1）、松本 亨（2）、蝦江 美孝（3）／1: 株式会社新菱/北九州市立大学； 2: 北九州市立大学； 3: 国立環境研究所

17:00-17:20 **D2-23**
少子高齢化する地方圏において持続可能な可燃ごみ・下水処理に関する研究 …… 208
川崎 聡汰*、鶴巻 峰夫／和歌山工業高等専門学校

◆E会場 <ICT>

座長：並河治（日立製作所）

15:40-16:00 **E2-19** *(P2-121)*
金属資源のクリティカリティを考慮したIT機器の環境影響評価 …… 210
Environmental impact assessment of the IT equipment considering criticality of metal
神澤 優磨*（1）、竹中 みゆき（2）、畑山 博樹（3）、伊坪 徳宏（1）／1: 東京都市大学 伊坪研究室； 2: 株式会社 日立ハイテクノロジーズ； 3: 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

16:00-16:20 **E2-20**
ICT利用による日本のエネルギー需要とCO_2排出削減に及ぼす効果の将来予測 …… 212
張 暁曦*（1）、篠塚 真智子（1）、高田 英俊（1）、林 克也（1）、田中 百合子（1）、金森 有子（2）、増井 利彦（2）／1: NTT； 2: 国立環境研究所

16:20-16:40 **E2-21**
トンガ王国における家電修理実態と故障後の消費者行動分析 ～廃棄物減量に貢献する製品長寿命化の観点から～ …… 214
藪兼 忠昭*／横浜市立大学大学院

16:40-17:00 **E2-22** *(P2-095)*
ICTの持続可能性の評価方法の開発 …… 216
武田 明日花*（1）、並河 治（2）、稲葉 敦（1）／1: 工学院大学大学院； 2: 株式会社日立製作所

17:00-17:20 **E2-23** *(P2-078)*
低炭素機器導入住宅における機器更新費用を考慮した最適機器運用計画の検討 …… 218
山中 隆世*、磐田 朋子／芝浦工業大学

3日目（3月7日(木)）

＊は登壇者

9:40 ～ 10:40

◆ A 会場 <再生可能エネルギー（1）>

座長：森泉由恵（横浜国立大学）

9:40-10:00 **A3-01** *(P2-113)*
地中熱ヒートポンプのCO_2削減効果を最大化する導入条件の探索 …… 222
早乙女 裕紀*、本藤 祐樹、森泉 由恵／横浜国立大学

10:00-10:20 **A3-02** *(P2-111)*
太陽光発電システム搭載住宅における最適な機器運用に関する研究 …… 224
戸佐 圭佑*、磐田 朋子／芝浦工業大学

10:20-10:40 **A3-03** *(P2-096)*
芝浦工業大学大宮キャンパスにおけるRE100の検討 …… 226
井上 優太*／芝浦工業大学

◆ B 会場 <輸送>

座長：加藤博和（名古屋大学）

9:40-10:00 **B3-01**
日本の航空会社の国際線運航に付随するCO_2排出量に関する要因分解分析 …… 228
鬼頭 みなみ*、永島 史弥、白新田 佳代子、加河 茂美／九州大学

10:00-10:20 **B3-02** *(P2-110)*
都市域内輸送のエネルギー強度評価：日本におけるケーススタディ …… 230
湯浅 夢叶*、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学　理工学部

10:20-10:40 **B3-03**
中国における車種別年間平均走行距離とガソリン消費量の推計 …… 232
沈 卉*、加河 茂美／九州大学

◆ C 会場 <サーキュラーエコノミー>

座長：Chapman Andrew（九州大学）

9:40-10:00 **C3-01** *(P2-091)*
電気機器産業における循環型経済指標の解析 …… 234
朱 見春*（1）、重富 陽介（1）、藤井 秀道（2）／1: 長崎大学；　2: 九州大学

10:00-10:20 **C3-02**
Indicators to measure the progress of circular economy considering life cycle assessment perspectives
Ikhlayel Mahdi*、Hashimoto Seiji／Ritsumeikan University …… 236

10:20-10:40 **C3-03**
ＥＵサーキュラーエコノミーのキーテクノロジーとなる高温鉛フリーはんだの開発と実用化展開 … 238
末次 憲一郎*（1）、松木 一弘（2）、許 哲峰（2）／1: 神戸大学 安全衛生・環境管理統括室；　2: 広島大学 工学研究科

◆ D 会場 <資源と環境（1）>

座長：藤田敏之（九州大学）

9:40-10:00 **D3-01**
LCAと動的マテリアルフロー解析の連成モデルによる循環生産システムの検討 …… 240
陳 怡靜*、大野　肇、福島 康裕／東北大学

10:00-10:20 **D3-02**
付加価値の付与に着目した製品の長寿命化とそれに伴う環境負荷削減に関する分析 …… 242
西嶋 大輔*（1）、南斉 規介（1）、加河 茂美（2）、小口 正弘（1）／1: 国立環境研究所；　2: 九州大学

10:20-10:40 **D3-03**
関与物質総量で可視化される資源問題ー直接重量・地球温暖化係数との比較を通じてー …… 244
山末 英嗣*（1）、光斎 翔貴（1）、村上 進亮（2）、橋本 征二（1）、マクレラン ベンジャミン（3）／1: 立命館大学；　2: 東京大学；　3: 京都大学

◆ E 会場 <イベント評価>

座長：納富信（早稲田大学）

9:40-10:00 **E3-01** *(P2-106)*
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 ～温暖化防止普及啓発イベントの効果評価～ …… 246
王 任卓*、納富 信／早稲田大学　環境・エネルギー研究科　納富研究室

10:00-10:20 **E3-02**
アンケート調査を活用した住民向けイベントの実施効果分析 …… 248
兵法 彩*（1）、下野 僚子（1）、堀内 美佐（1,2）、大久保 達也（1）、菊池 康紀（1）／1: 東京大学；　2: 和歌山県

10:20-10:40 **E3-03** *(P2-092)*
持続可能性評価を目指した観光消費に着目した観光MICEのホットスポット分析 …… 250
北村 祐介*、一杉 佑貴、鈴木 春生、伊坪 徳宏／東京都市大学

11:00 ～ 12:20

◆ A 会場 ＜再生可能エネルギー（2）＞

座長：岡本隼輔（尾道市立大学）

11:00-11:20 **A3-05** *(P2-074)*
つくば市研究学園における異部門間電力融通の検討 …… 252
川田 彩花*、磐田 朋子／芝浦工業大学

11:20-11:40 **A3-06**
廃棄物発電のネットワーク化・小売事業化を想定した最適スケジューリングによる環境・経済評価 … 254
林 直樹、松本 亨*、藤山 淳史／北九州市立大学

11:40-12:00 **A3-07** *(P2-055)*
電力融通街区におけるエネルギーモデルの構築とFIT終了後システムの検討 …… 256
市川 裕太*／芝浦工業大学

12:00-12:20 **A3-08**
産業連関表を用いた地域エネルギーシステムの社会経済性分析の比較：種子島を例に …… 258
尾下 優子*（1）、福島 康裕（2）、菊池 康紀（3）／1: 神戸大学； 2: 東北大学； 3: 東京大学

◆ B 会場 ＜公募企画セッション：現在と2050年をつなげるエネルギーシナリオを考える＞

オーガナイザー：本藤 祐樹（横浜国立大学）

◆ C 会場 ＜農業＞

座長：林清忠（農業・食品産業技術総合研究機構）

11:00-11:20 **C3-05** *(P2-127)*
光害による稲作への定量的評価 …… 260
倉原 瑤子*、伊坪 徳宏／東京都市大学

11:20-11:40 **C3-06**
水稲作LCAのための農薬排出量推計モデルの開発 …… 262
湯 龍龍*（1）、林 清忠（1）、稲生 圭哉（1）、Birkved Morten（2）、Bruun Sander（3）、神山 和則（1）、志村 もと子（1）／1: 農業・食品産業技術総合研究機構； 2: University of Southern Denmark； 3: University of Copenhagen

11:40-12:00 **C3-07**
J-TRA（日本版技術熟度評価）のバイオマス利活用プロジェクトへの適用～東南アジアにおける農業系バイオマスのエネルギー転換技術を例として～ …… 264
ほう 達*、Pandyaswargo Andante Hadi、小野田 弘士、庵原 一水／早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科

◆ D 会場 ＜資源と評価（2）＞

座長：橋本征二（立命館大学）

11:00-11:20 **D3-05** *(P2-126)*
Life cycle thinking in the circular and functional economy: tracking materials through their multiple lives
Dente Sebastien Michael Rene*、Hashimoto Seiji／Ritsumeikan University, Japan …… 266

11:20-11:40 **D3-06**
代表濃度経路シナリオを考慮した資源投入量および移動量の地域別推計 …… 268
森岡 涼子*（1）、津田 宏治（2）、中島 謙一（3）、南斉 規介（3,4）／1: 農研機構； 2: 東京大学； 3: 国立環境研究所； 4: シドニー大学

11:40-12:00 **D3-07** *(P2-119)*
採掘活動から見た日本における将来電源構成の資源強度 …… 270
中川 奈那美*、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学

ポスターセッション プログラム

2日目（3月6日(水)）13:20-15:20（コアタイムA：13:20-14:20、コアタイムB：14:20-15:20）

P会場

A	P2-001	高効率照明の普及による環境影響評価 田中 萌衣*、加河 茂美／九州大学	274
B	P2-002	木製玩具「森のドミノ」のライフサイクルアセスメントと環境ラベリング 平林 茜*（1）、小林 謙介（1）、寺河 未帆（2）／1: 県立広島大学；　2: 一場木工所	276
A	P2-003	中古車市場における車種別寿命の推計 内田 泉*、中本 裕哉、加河 茂美／九州大学	278
B	P2-004	リマニュファクチャリング事業のための最適回収：部品を考慮した検討 塩崎 史奈*／立命館大学	280
A	P2-005	リース・リユースによる物質利用削減効果：中古製品の需給分布を用いた検討 大平 菜央*、橋本 征二／立命館大学	282
B	P2-006	次世代自動車の発展と普及に伴う環境影響評価 川野 俊樹*、加河 茂美／九州大学	284
A	P2-007	観光動態の分析を通じた地域経済効果の評価 岸 光太郎*、加河 茂美／九州大学	286
B	P2-008	福島県を対象としたカーボンフットプリントの推移 西尾 潤也*、一杉 佑貴、伊坪 徳宏／伊坪研究室	288
A	P2-009	木橋及び木製魚礁の気候変動緩和ポテンシャル 野間 菜々子*（1）、加用 千裕（2）、橋本 征二（1）／1: 立命館大学；　2: 東京農工大学	290
B	P2-010	都市のコンパクト度と物質ストック量・物質ストック利用効率の関係 長谷川 裕之*（1）、奥岡 桂次郎（2）、谷川 寛樹（2）、橋本 征二（1）／1: 立命館大学；　2: 名古屋大学	292
A	P2-011	自治体の規模を考慮した災害廃棄物処理システムの構築方法の検討 ～和歌山県におけるケーススタディ～ 橋本 誠悟*（1）、鶴巻 峰夫（2）、田畑 智博（1）／1: 神戸大学；　2: 和歌山工業高等専門学校	294
B	P2-012	走行モードの違いによるパワートレインの優位性を考慮した自動車のライフサイクル評価 岩井 凌*、栗島 英明／芝浦工業大学	296
A	P2-013	北海道三笠市における屋根融雪に利用可能な未利用エネルギーの検討 大島 隆宏*、栗島 英明／芝浦工業大学	298
B	P2-014	地域エネルギーを活用した観光ツーリズムの検討 伊吹 将司*／芝浦工業大学	300
A	P2-015	電気自動車の購買行動に関する要因分析 堀田 潤*、浅見 卓郎、池之上 良、田中 風歌、藤井 秀道／九州大学	302
B	P2-016	飲食店のエコマーク認定によるCO_2排出削減量の算定 土屋 友祐*（1）、大澤 亮（2）、本間 隆之（2）、稲葉 敦（1）／1: 工学院大学；　2: 公益財団法人 日本環境協会 エコマーク事務局	304
A	P2-017	植物を活用した医薬品開発の研究開発に関する影響要因分析 野島 大輔*、藤井 秀道／九州大学	306
B	P2-018	日本における農業系バイオマスの物質フロー：物質循環の6つの指標による評価 谷畑 佑典*（1）、Krausmann Fridolin（2）、Lauk Christian（2）、佐々木 貴央（1）、橋本 征二（3）／1: 立命館大学大学院；　2: Klagenfurt University；　3: 立命館大学	308
A	P2-019	木質バイオマスの熱利用を志向した地域活性化策に関する考察～神戸市と六甲山を事例にして～ 周 俊男*、吉田 美生、大野 朋子、田畑 智博／神戸大学	310
B	P2-020	衣類のリサイクル方法によるGHG削減量の算定 石川 実玖*（1）、仙波 壽朗（2）、稲葉 敦（1）／1: 工学院大学；　2: 飯田女子大学	312
A	P2-021	乗用車とトラックのタイヤ交換に関するLCA 大井 康寛*（1）、深井 晶央（2）、小杉 信明（3）、八木田 浩史（4）、香西 博明（5）、佐野 慶一郎（6）／1: 関東学院大学大学院工学研究科；　2: いすゞ自動車株式会社；　3: いすゞ自動車株式会社；　4: 日本工業大学；　5: 関東学院大学理工学部；　6: 関東学院大学人間共生学部	314

B	P2-022	自治体レベルにおける一般廃棄物の排出要因分析 濱畑 涼音*、加河 茂美／九州大学	316
A	P2-023	低炭素発電技術に使用される金属資源のクリティカリティ評価-評価手法の提案とその適用- 宮本 渉* (1)、橋本 征二 (2) ／1: 立命館大学大学院;　2: 立命館大学	318
B	P2-024	日本におけるポリ塩化ビニルの二次埋蔵量の評価 三俣 陽太郎*、福谷 大樹、橋本 征二／立命館大学	320
A	P2-025	日本における白金族金属のフロー・ストックの時系列分析 福谷 大樹* (1)、橋本 征二 (2) ／1: 立命館大学大学院;　2: 立命館大学	322
B	P2-026	日本における水銀の物質フロー・ストックの推計 青木 一将*、橋本 征二／立命館大学	324
A	P2-027	インド国内におけるPM2.5排出状況分析 三苫 春香*、加河 茂美、永島 史弥／九州大学	326
B	P2-028	産業の多角化がCO_2排出量に与える影響の分析 前野 啓太郎*、加河 茂美／九州大学経済学部	328
A	P2-029	省エネ冷蔵庫買い替えに対する意識とCO_2削減効果に関する研究 宮坂 桃花*／芝浦工業大学	330
B	P2-030	訪日外国人観光客の動態に伴う環境経済的な影響 諸泉 智子*、加河 茂美／九州大学	332
A	P2-031 *(A1-21)*	Development of regionalized Life Cycle Impact Assessment method for African Countries Karkour Selim* (1)、Longlong Tang (2)、Itsubo Norihiro (1) ／1: 東京都市大学;　2: 国立研究開発法人　農業・食品産業技術総合研究機構	82
B	P2-032	衣類の修復サービスを対象とした環境影響評価 岸野 ほなみ*、伊坪 徳宏 ／東京都市大学　伊坪徳宏研究室	334
A	P2-033	オリンピックと環境(1)資源循環からみたオリンピック 高橋 和枝*／武蔵野大学	336
B	P2-034	グリーン製品の普及によるGHG排出削減効果の推定 高橋 彩* (1)、竹内 孝曜 (2)、深津 学治 (2)、稲葉 敦 (1) ／1: 工学院大学;　2: グリーン購入ネットワーク(GPN)	338
A	P2-035	日常的な働きかけが太陽光発電システムへの心理的近接性に及ぼす影響 ～環境配慮行動の促進を狙ったデジタルサイネージの設計～ 都築 尚仁*、本藤 祐樹／横浜国立大学	340
B	P2-036	大規模オフィスビルにおける省エネルギー実態およびポテンシャル量の推計：カーボンプライシング制度への示唆 鷲津 明由、尾沼 広基*、有村 俊秀／早稲田大学	342
A	P2-037	直交集成板を用いた木橋のライフサイクルアセスメント 岩瀬 鉄也* (1)、佐々木 貴信 (2)、橋本 征二 (3)、加用 千裕 (1) ／1: 東京農工大学;　2: 秋田県立大学;　3: 立命館大学	344
B	P2-038	企業の持続可能性に向けた生産・調達活動の調査 松井 克久* (1)、竹内 孝曜 (2)、深津 学治 (2)、稲葉 敦 (1)／1: 工学院大学;　2: グリーン購入ネットワーク(GPN)	346
A	P2-039	カスケードリサイクルと製品の長寿命化が日本の木材炭素フローに与える影響評価 平井 満規* (1)、Pau Brunet Navarro (2)、橋本 征二 (1) ／1: 立命館大学;　2: Universitat Politècnica de València	348
B	P2-040	カーボンフットプリントに関する消費者の意識と行動ー環境見える化指標の検討 平湯 直子*／武蔵野大学	350
A	P2-041	変化要因分析を通した食品ロスメカニズムの国際比較 佐藤 愛香*、加河 茂美／九州大学	352
B	P2-042	東京オリンピック・パラリンピックの食に関する調達基準の評価 岩崎 裕太*、稲葉 敦／工学院大学	354
A	P2-043	業務用木質ペレット空調システムのライフサイクルCO_2削減効果 小幡 遼央*、本藤 祐樹、森泉 由恵／横浜国立大学	356

B	P2-044	一般廃棄物中食品廃棄物・食品ロス量の推計と発生抑制・再資源化よる効果の検討：滋賀県の事例研究 清 圭佑*、谷畑 佑典、橋本 征二／立命館大学	358
A	P2-045	中国での家庭ごみの処理方法の提言 叶 俏*、稲葉 敦／工学院大学	360
B	P2-046	木材がそのライフサイクルで提供する価値の推計 大神 正史*、Dente Sebastien、橋本 征二／立命館大学	362
A	P2-047	食料廃棄物のバイオディーゼル化について 緒方 鞠*、加河 茂美／九州大学	364
B	P2-048	地域材を原料とした木質ペレットのエネルギー収支とライフサイクルCO_2排出量 紺野 大地*、佐藤 理夫、小井土 賢二／福島大学	366
A	P2-049	広葉樹を中心とする里山林のバイオマス利活用に向けた調査研究 武藤 美緒*／芝浦工業大学	368
B	P2-050	メタン発酵消化液の液肥利用を考慮したバイオガスCHPのコスト分析 ータイの事例ー 小井土 賢二*（1）、竹内 一佐枝（2）、長谷川 達也（2）／1: 福島大学；　2: 名古屋大学	370
A	P2-051	Life cycle assessment of household waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of 4th district for Kabul city Azimi Ahmad Nadim*、Hashimoto Seiji／Ritsumeikan University	372
B	P2-052	住宅電力需要予測に向けた深層学習の実装 小澤 暁人*、本田 智則、工藤 祐揮／産業技術総合研究所	374
A	P2-053	広島県における木材のマテリアルフロー分析とLCAの実施による環境負荷削減策の検討 藤津 浩輝*、谷口 沙也佳、若林 國久、小林 謙介／県立広島大学　生命環境学部　環境科学科	376
B	P2-054	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シナリオ策定手法に関する検討 内藤 雄斗*、吉川 直樹、天野 耕二、島田 幸司／立命館大学	378
A	P2-055 *(A3-07)*	電力融通街区におけるエネルギーモデルの構築とFIT終了後システムの検討 市川 裕太*／芝浦工業大学	256
B	P2-056	高温高圧水素環境を例にした腐食環境における化学装置の劣化抑止技術の最適化 八木原 昂輝*、大野 肇、福島 康裕／東北大学	380
A	P2-057	森林開発がもたらす絶滅生物種数の期待値の推計と生物多様性を対象としたLCIA手法の検討 植屋 純平*（1）、橋本 征二（2）／1: 立命館大学大学院；　2: 立命館大学	382
B	P2-058	全国における木材のマテリアルフロー分析とLCAの実施による環境負荷削減策の検討 若林 國久*、谷口 沙也佳、藤津 浩輝、小林 謙介／県立広島大学	384
A	P2-059	海外データの簡易推計手法の構築　～主要12か国の推計データベースの構築～ 山本 大夢*（1）、木村 祐也（1）、小林 謙介（1）、田原 聖隆（2）、藤井 千陽（2）、横田 真輝（2）／1: 県立広島大学；　2: 国立研究開発法人産業技術総合研究所	386
B	P2-060	産業連関表の要素間の相関を考慮した不確実性分析 金 健*、近藤 康之／早稲田大学	388
A	P2-061	産業廃棄物事犯の要因分析 高橋 和宏*、加河 茂美／九州大学	390
B	P2-062	マルチクライテリアでの評価を想定した建築物のライフサイクルにおける支配的要因の分析 牧村 彰一*、小林 謙介、平林 茜／県立広島大学	392
A	P2-063	Municipal solid waste collection service in Kabul City: Comparison between private and public sector Hasanyar Hasibullah*、Hashimoto Seiji／Ritsumeikan University	394
B	P2-064	人口減少社会における焼却施設のマネジメント：滋賀県を対象とした分析 渡辺 梓*、橋本 征二／立命館大学	396
A	P2-065	南海トラフ巨大地震によって発生する木くずのリサイクルの検討：静岡県を対象とした事例研究 野末 浩佑*（1）、奥岡 桂次郎（2）、谷川 寛樹（2）、橋本 征二（1）／1: 立命館大学；　2: 名古屋大学	398
B	P2-066 *(C2-23)*	アルミダイカスト工場を対象とした環境フットプリント 一杉 佑貴*（1）、小関 康雄（1）、杉本 和明（2）、大熊 那夫紀（2）、恒川 智行（3）、伊坪 徳宏（1）／1: 東京都市大学；　2: 造水促進センター；　3: アイシン精機株式会社	198
A	P2-067 *(E1-16)*	医薬成分を対象とした環境影響評価-遺伝子組換えカイコによる環境負荷低減効果- 西山 雄馬*（1）、冨田 正浩（2）、瀬筒 秀樹（3）、立松 謙一郎（3）、伊坪 徳宏（1）／1: 東京都市大学 伊坪研究室；　2: 株式会社免疫生物研究所；　3: 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構	74

B	**P2-068** *(D1-12)*	**地域特性のモデルに基づいた環境配慮型自転車シェアリングシステムの設計** 外野 圭太*、天沢 逸里、杉山 弘和、平尾 雅彦／東京大学	28
A	**P2-069** *(C2-20)*	**乾式オフィス製紙機を対象にした環境フットプリント** 木下 涼子* (1)、小野 雄也 (1)、一杉 佑貴 (1)、岡村 岳彦 (2)、横山 孝一郎 (2)、林 正明 (2)、伊坪 徳宏 (1) ／1: 東京都市大学 伊坪研究室; 2: セイコーエプソン株式会社	192
B	**P2-070** *(C2-06)*	**製品の長期使用に対する消費者意識の研究** 山本 悠久*、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	160
A	**P2-071** *(E2-02)*	**Comparative analysis on urban flood countermeasures based on life cycle thinking** Fan Xuezhou*、Matsumoto Toru ／北九州市立大学	146
B	**P2-072**	**最適化による技術選択手法を応用した新技術の複数要素間すり合わせに資するライフサイクル視点導入** 安地 幸乃*、大野 肇、福島 康裕／東北大学	400
A	**P2-073** *(E1-13)*	**産業共生における技術導入計画に向けた評価支援基盤** 兼松 祐一郎*、大久保 達也、菊池 康紀／東京大学	38
B	**P2-074** *(A3-05)*	**つくば市研究学園における異部門間電力融通の検討** 川田 彩花*、磐田 朋子／芝浦工業大学	252
A	**P2-075** *(C1-24)*	**災害廃棄物の仮置場利用可能面積：各都道府県を対象とした検討** 石川 湧裕* (1)、水谷 一平 (1)、立尾 浩一 (2)、橋本 征二 (1)／1: 立命館大学; 2: 日本環境衛生センター	100
B	**P2-076** *(C2-21)*	**グラビア印刷物を対象とした環境・社会側面の定量分析** 石川 泰久* (1)、入江 俊行 (2)、富川 恵子 (2)、中川 善博 (3)、伊坪 徳宏 (1) ／1: 東京都市大学; 2: 東洋インキSCホールディングス; 3: 凸版印刷株式会社	194
A	**P2-077** *(A1-18)*	**健康管理に関する自治体事業の経済波及効果の分析** 三浦 友裕*、碓井 政貴、大西 貴子、永瀬 寛典、山田 博己、山田 真弘、下野 僚子、兵法 彩、堀内 美佐、菊池 康紀／東京大学	46
B	**P2-078** *(E2-23)*	**低炭素機器導入住宅における機器更新費用を考慮した最適機器運用計画の検討** 山中 隆世*、磐田 朋子／芝浦工業大学	218
A	**P2-079** *(B1-13)*	**蓄電池を活用した再エネ水素製造システムの環境性・技術経済性分析** 佐孝 成寿* (1)、古山 通久 (2)、大久保 達也 (1)、菊池 康紀 (1,2) ／1: 東京大学; 2: 物質・材料研究機構	14
B	**P2-080** *(D1-16)*	**ベトナムにおける自動二輪車の廃棄台数予測** 黒木 大暉* (1)、光斎 翔貴 (1)、Tran Duc Huy (2)、Nguyen Duc Quang (2)、山末 英嗣 (1) ／1: 立命館大学 理工学部; 2: ハノイ工科大学	66
A	**P2-081** *(C2-07)*	**パソコンの所有・廃棄の実態把握に基づく適正な回収制度の提案** 三浦 潤*、森口 祐一、栗栖 聖、中谷 隼／東京大学大学院工学系研究科	162
B	**P2-082** *(E2-01)*	**使用済み船舶解体の外部コスト評価** 松本 拓磨*、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学	144
A	**P2-083** *(D1-22)*	**関与物質総量から見た自動車素材に着目し資源採掘に伴う地域別負荷依存度分析** 廖 翰卿* (1)、山末 英嗣 (2)、松八重 一代 (1) ／1: 東北大学環境科学研究科; 2: 立命館大学理工学部	104
B	**P2-084** *(E2-06)*	**動的MFAによる世界規模での鉄鋼材中Cu濃度の将来推計** 木本 悠介*、榎 学、醍醐 市朗／東京大学マテリアル工学科榎・醍醐研究室	176
A	**P2-085** *(B2-03)*	**水資源に焦点を当てた銅鉱石採掘に伴うサプライチェーンリスク解析** 大足 葵* (1)、松八重 一代 (2)、中島 謙一 (3)、長坂 徹也 (1) ／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; 3: 国立環境研究所	130
B	**P2-086** *(E2-07)*	**統計分析を用いたリサイクル鋼材中の不純物混入起源の推定手法の構築** 濱田 航*、醍醐 市朗、榎 学／東京大学	178
A	**P2-087** *(E1-21)*	**CeO_2を用いたバイオガス中の不純物除去システムの設計及び環境影響評価** 坂口 昌幸*／東京理科大学	110
B	**P2-088** *(D1-21)*	**動的マテリアルフロー分析を用いた自動車解体技術の資源循環に与える影響の評価** 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) ／1: 東北大学; 2: 国立環境研究所; 3: 早稲田大学	102
A	**P2-089** *(D2-21)*	**横断型プラスチックリサイクルのシナリオ分析** 東野 航平*、中谷 隼、栗栖 聖、森口 祐一／東京大学	204

B	**P2-090** *(D2-20)*	**施設配置を考慮した容器包装プラスチックリサイクルの効率化の分析** 安田 智文*、中谷 隼、栗栖 聖、森口 祐一／東京大学	202
A	**P2-091** *(C3-01)*	**電気機器産業における循環型経済指標の解析** 朱 見春*(1)、重富 陽介 (1)、藤井 秀道 (2) ／1: 長崎大学; 2: 九州大学	234
B	**P2-092** *(E3-03)*	**持続可能性評価を目指した観光消費に着目した観光MICEのホットスポット分析** 北村 祐介*、一杉 佑貴、鈴木 春生、伊坪 徳宏／東京都市大学	250
A	**P2-093** *(D1-14)*	**循環経済を思考したオフィス家具リユース事業の環境影響評価** 杉山 聖佳*(1)、天野 太郎 (2)、戸間 竜太郎 (2)、田中 裕美子 (2)、門元 英憲 (3)、伊坪 徳宏 (1) ／1: 伊坪研究室; 2: 株式会社オフィスバスターズ; 3: 株式会社内田洋行	32
B	**P2-094** *(D1-13)*	**詳細な条件設定による副次的な効果まで含めたシェアリングサービスの環境負荷評価** 辻 克哉*、栗栖 聖、中谷 隼、森口 祐一／東京大学工学部都市工学科都市資源管理研究室	30
A	**P2-095** *(E2-22)*	**ICTの持続可能性の評価方法の開発** 武田 明日花*(1)、並河 治 (2)、稲葉 敦 (1) ／1: 工学院大学大学院; 2: 株式会社日立製作所	216
B	**P2-096** *(A3-03)*	**芝浦工業大学大宮キャンパスにおけるRE100の検討** 井上 優太*／芝浦工業大学	226
A	**P2-097** *(A1-11)*	**家計支出と生活時間の統計を用いた家庭内の行動に伴うCO_2排出量の評価** 姜 怡達*、井原 智彦／東京大学	2
B	**P2-098** *(A2-20)*	**学校給食と食育を活用した食品ロス対応プログラムの模索と検討** 海老原 誠治*(1,2)、白井 ひで子 (4)、江口 敏幸 (5)、布川 美穂 (6)、西尾 チヅル (2,3) ／1: 三信化工; 2: 資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」; 3: 筑波大学; 4: 小平市立小平第六小学校; 5: 杉並区立三谷小学校; 6: 栄養教諭	184
A	**P2-099** *(B2-01)*	**滋賀県におけるリン需給構造の分析** 間野 由布子*、松八重 一代／東北大学	126
B	**P2-100** *(A1-17)*	**外出による電力消費量と活動量の効果に関する研究** 長浜 駿多*、磐田 朋子／芝浦工業大学	44
A	**P2-101** *(C2-05)*	**個人の生活状況と価値観に基づいた効果的な環境配慮行動提案手法の検討** 吉元 達彦*、栗栖 聖、中谷 隼、森口 祐一／東京大学工学部都市工学科	158
B	**P2-102** *(A2-08)*	**野菜における新たな複合的環境指標提案と市場効果検証** 渡辺 泰子*、堂脇 清志、徐 維奈／東京理科大学	156
A	**P2-103** *(A1-12)*	**日本の家計消費が誘発する水圏へのリンフローの推計** 佐々木 貴央*(1)、南斉 規介 (2)、Sebastien Dente (1)、橋本 征二 (1) ／1: 立命館大学; 2: 国立環境研究所	4
B	**P2-104** *(A2-22)*	**化学基礎におけるライフサイクル思考の導入を可能にする題材探索** 大角 茂登*(1)、岡部 響 (2)、松本 真哉 (1) ／1: 横浜国立大学大学院 環境情報学府; 2: 横浜国立大学理工学部	188
A	**P2-105** *(A2-02)*	**食料貿易を考慮した食料需給バランスに基づく世界の淡水資源必要量の現状評価** 山口 陽平*、吉川 直樹、天野 耕二、橋本 征二／立命館大学	122
B	**P2-106** *(E3-01)*	**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 ～温暖化防止普及啓発イベントの効果評価～** 王 任卓*、納富 信／早稲田大学　環境・エネルギー研究科　納富研究室	246
A	**P2-107** *(A1-13)*	**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：推計手法の改善** 馬場 亮輔*(1)、佐々木 貴央 (1)、南斉 規介 (2)、Dente Sebastien (1)、橋本 征二 (1) ／1: 立命館大学; 2: 国立環境研究所	6
B	**P2-108** *(C1-22)*	**プラスチックの製品種類および蓄積先に着目した物質フロー分析** 丸山 多聞*、中谷 隼、森口 祐一／東京大学	96
A	**P2-109** *(A1-16)*	**価値観とライフスタイルを考慮した社会的公平性の可視化** 重富 陽介*(1)、Chapman Andrew (2)、南齋 規介 (3)、東野 達 (4) ／1: 長崎大学; 2: 九州大学; 3: シドニー大学; 4: 京都大学	42
B	**P2-110** *(B3-02)*	**都市域内輸送のエネルギー強度評価：日本におけるケーススタディ** 湯浅 夢叶*、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学　理工学部	230
A	**P2-111** *(A3-02)*	**太陽光発電システム搭載住宅における最適な機器運用に関する研究** 戸佐 圭佑*、磐田 朋子／芝浦工業大学	224

B	P2-112 *(C1-13)*	C5/C6オレフィンを主成分とするバイオガソリンのライフサイクル評価と技術経済性分析 ····· 22 奥山 泰世* (1)、楊 路 (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) ／1: 昭和シェル石油株式会社； 2: 東北大学大学院	
A	P2-113 *(A3-01)*	地中熱ヒートポンプのCO_2削減効果を最大化する導入条件の探索 ····· 222 早乙女 裕紀*、本藤 祐樹、森泉 由恵／横浜国立大学	
B	P2-114 *(B1-12)*	エネルギーキャリア技術導入適地の探索 ····· 12 清水 輝之*、大久保 達也、菊池 康紀／東京大学	
A	P2-115 *(C1-14)*	バイオジェット燃料のコンセプチュアル製造プロセスにおけるWTWa GHG排出量試算 ····· 24 楊 路* (1)、奥山 泰世 (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) ／1: 昭和シェル石油株式会社； 2: 東北大学大学院	
B	P2-116 *(D2-02)*	ジェンダー・福利厚生・賃金など各種労働問題を考慮したS-LCAの実装 ····· 140 廣川 達也*、井原 智彦、吉田 好邦／東京大学	
A	P2-117 *(C1-18)*	多機能製品が持つ各機能への環境影響配分手法 ····· 62 横川 直毅*、天沢 逸里、杉山 弘和、平尾 雅彦／東京大学	
B	P2-118 *(E1-24)*	低炭素社会を支える技術に関する反応性窒素についての考察 ····· 116 片桐 究*、種田 あずさ、松八重 一代、長坂 徹也／東北大学	
A	P2-119 *(D3-07)*	採掘活動から見た日本における将来電源構成の資源強度 ····· 270 中川 奈那美*、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学	
B	P2-120 *(C1-17)*	材料代替によるライフサイクルへの波及効果を考慮した製品設計支援：コンセプトカー開発を例として 長谷川 幹晃*、横川 直毅、天沢 逸里、杉山 弘和、平尾 雅彦／東京大学 ····· 60	
A	P2-121 *(E2-19)*	金属資源のクリティカリティを考慮したIT機器の環境影響評価 ····· 210 Environmental impact assessment of the IT equipment considering criticality of metal 神澤 優磨* (1)、竹中 みゆき (2)、畑山 博樹 (3)、伊坪 徳宏 (1) ／1: 東京都市大学 伊坪研究室； 2: 株式会社 日立ハイテクノロジーズ； 3: 国立研究開発法人 産業技術総合研究所	
B	P2-122 *(D1-23)*	関与物質総量を通じた自動車用リチウムイオン電池の資源強度評価 ····· 106 鷹田 祐京*、光斎 翔貴、山末 英嗣／立命館大学山末研究室	
A	P2-123 *(B2-02)*	P-イノベーションプロセスによる黄リン製造のLCA ····· 128 舞良 俊紀* (1)、平木 岳人 (2)、三木 貴博 (2)、松八重 一代 (3)、長坂 徹也 (2) ／1: 東北大学 工学部材料科学総合学科； 2: 東北大学大学院工学研究科； 3: 東北大学大学院環境科学研究科	
B	P2-124 *(A2-01)*	フットプリント分析に基づく島嶼地域における食の持続可能性評価 ····· 120 清水 直*、中谷 隼、栗栖 聖、森口 祐一／東京大学	
A	P2-125 *(C2-03)*	CGEモデルとLCAの融合による日本のCFP将来推計 ····· 136 一杉 佑貴* (1)、増井 利彦 (2)、伊坪 徳宏 (1) ／1: 東京都市大学； 2: 国立環境研究所	
B	P2-126 *(D3-05)*	Life cycle thinking in the circular and functional economy: tracking materials through their multiple lives ····· 266 Dente Sebastien Michael Rene*、Hashimoto Seiji ／ Ritsumeikan University, Japan	
A	P2-127 *(C3-05)*	光害による稲作への定量的評価 ····· 260 倉原 瑤子*、伊坪 徳宏／東京都市大学	
B	P2-128 *(D2-19)*	IoT導入による産業廃棄物の収集運搬効率化策の評価 ····· 200 上鶴 喜貴*、橋本 征二／立命館大学	
A	P2-129 *(D2-08)*	コンクリートを対象とした開ループリサイクルのLCI分析手法の構築 ····· 172 河野 航大* (1)、醍醐 市朗 (1)、谷川 寛樹 (2)、榎 学 (1) ／1: 東京大学工学部マテリアル工学科榎・醍醐研究室； 2: 名古屋大学環境学研究科	
B	P2-130 *(C1-23)*	ストック分析に基づく二次物質ストックの回収容易性評価の枠組み構築と日本の銅ストックへの適用 98 横井 崚佑*、中谷 隼、森口 祐一／東京大学	
AB	P2-SCN	日本LCA学会学生交流ネットワーク　2018年度活動報告 ····· 402 一杉 佑貴* (1)、武山 健太郎 (2)、高藪 広隆 (3)、植屋 純平 (4)、都築 尚仁 (5)、三浦 潤 (6) ／1: 東京都市大学； 2: 東北大学； 3: 九州大学； 4: 立命館大学； 5: 横浜国立大学； 6: 東京大学	

公募企画セッション　3/6　11：00～12：20

第14回日本LCA学会研究発表会公募企画セッション概要

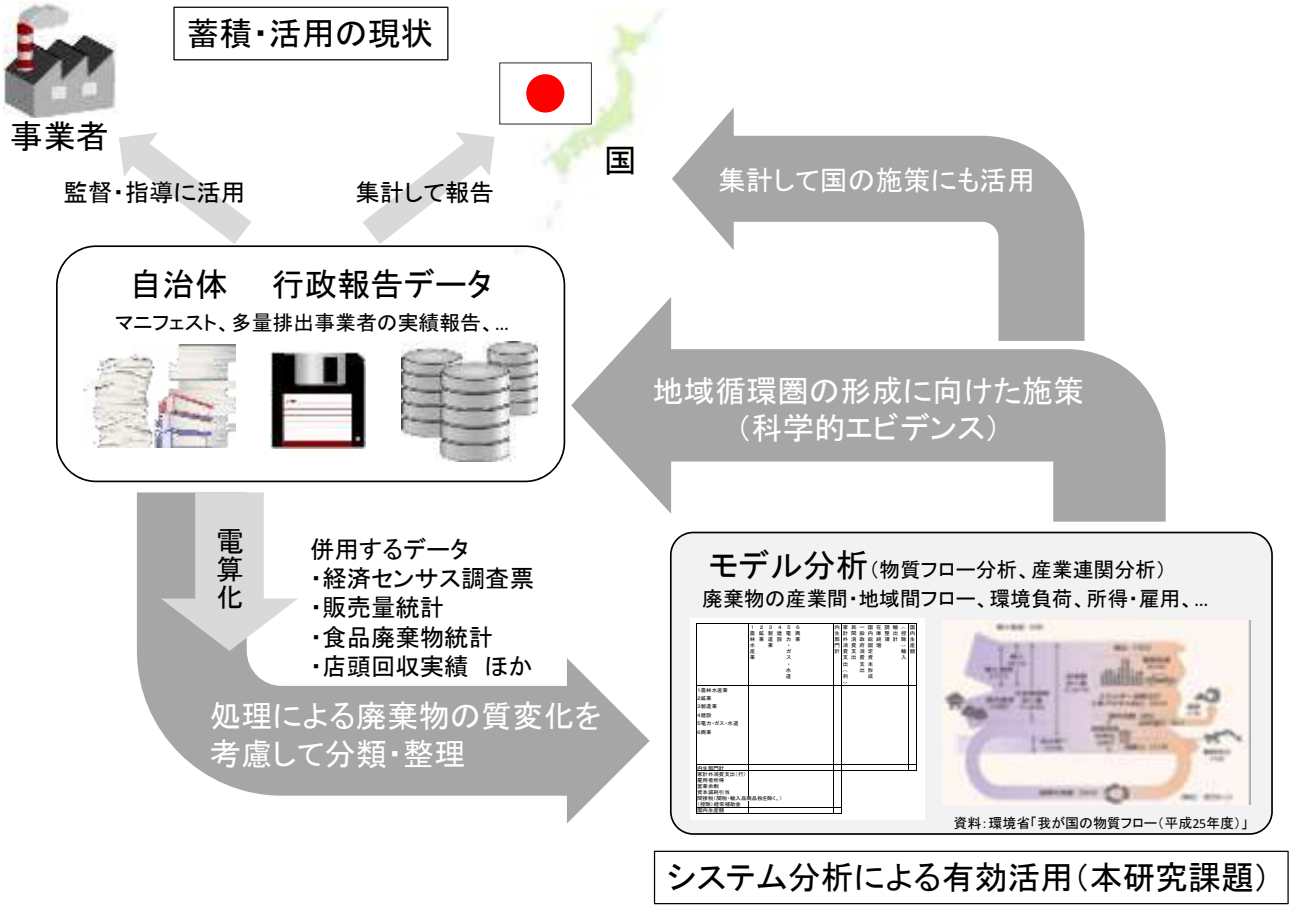
行政報告データ等の活用による自治体レベルの物質循環分析の展望

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、公募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



公募企画セッション　3/6　16：00～17：20

公募企画セッション「企業活動と生物多様性・自然資本の評価」

（オーガナイザー：九州大学エネルギー研究教育機構　吉田謙太郎）

ESG 投資などを通じて、温室効果ガスに加えて、企業活動によるさらに幅広い自然資本、生物多様性、生態系サービスへの影響を把握することが求められている。本セッションでは、企業活動による自然資本、生物多様性、生態系サービスへの影響を定量的に把握する評価と応用事例について報告する。自然資本評価を、企業戦略策定や環境コミュニケーション手段として活用していくには、どのような方法が適切であるのかという側面から議論する。特に、多地域間産業連関モデルを活かした LCA とのハイブリッド手法、Best-Worst Scaling 等の環境経済評価手法、自然資本プロトコル等の国内外における応用研究事例にもとづき、自然資本・生物多様性評価を企業戦略に活用する現実的な方法、及び今後の展開方向性について意見交換を行う。

モデレーター：藤田香（日経 BP　ESG 経営フォーラム）

（報告１）脇山尚子&マンフレッド・レンゼン（シドニー大学）「多地域間産業連関モデルを活かした生物多様性評価手法の検討」

資源問題や大気汚染、気候変動、生物多様性の損失といった環境問題において、異なる地域が、より複雑に相互に関連している。このような問題に対応するために開発された、日本の都市レベルで分析を実施することが可能な、サプライチェーンを通じた直接・間接的な環境負荷を分析する LCA 及び産業連関表を応用した細分化した多地域間産業連関モデル（日本 IELab）を紹介する。サプライチェーン分析の問題として、データの分野による偏りやデータ更新の遅れなどが挙げられる。日本 IELab は、1984 市町村、4291 セクターを含んだより詳細な項目のデータを網羅的にカバーしており、データも最新のデータ（現時点では 2016 年までのデータ）を更新できる設定となっている。さらに、さまざまな環境問題に対処するために学際的な共同研究やデータ管理のニーズが高まっているなか、本モデルを用いることにより、各プロジェクトに合わせてカスタマイズされたハイブリッド LCA 法による環境資源経済分析を、省コスト、短期間で実施できるようになる。

（報告２）吉田謙太郎（九州大学）「Best-Worst Scaling（BWS）による環境経済評価」

LCA と経済評価を統合するため、LIME3 等ではコンジョイント分析が使用されてきた。最新の環境経済評価手法として、コンジョイント分析の応用・発展型である BWS が注目を集めている。BWS の応用研究は国内では十分に普及していないため、現時点での適用事例は限定的である。コンジョイント分析との相違点や長所・短所について、環境認証や電気自動車等の事例に基づき、新たな評価手法である BWS の特徴について紹介する。

（報告３）松本郁子（公益財団法人地球環境戦略研究機関：IGES）「国内・海外企業による自然資本･生態系サービス評価とその手法」

これまでに、自然資本･生態系サービスの評価においては、単一の手法ではなくさまざまな手法が用いられてきている。企業における自然資本･生態系サービスの評価においても、各国、地域ごとに多様な手法が用いられてきた。2017 年に持続可能な開発のための世界経済人会議や自然資本連合が発表した自然資本プロトコル・ツールキットをもとに、自然資本・生態系サービスの評価に関わるツールを分析した結果、そして企業による自然資本評価の具体的事例に基づき、自然資本･生態系サービス評価とその手法に関わる課題を整理し、日本企業における自然資本･生態系サービス評価のあり方について考察する。

（報告４）幸福智（いであ株式会社）「外食産業における生物多様性・自然資本評価の事例」

自然資本連合等が公表した自然資本プロトコルは、企業による自然資本評価の実質的な標準となると考えられる。しかしながら、同プロトコルは検討の手順や枠組みのみを示したものであり、一般の企業による適用には技術的障壁が存在する。ここでは、一般の企業が自然資本プロトコルを適用する際の参考とすることを目的として、外食産業（レストランチェーン）を事例とした自然資本プロトコルを適用した試行評価を行った結果を紹介する。

（総合討論及び質疑応答）

公募企画セッション　3/7　11：00～12：20

第 14 回日本 LCA 学会研究発表会
企画セッション

現在と 2050 年をつなげるエネルギーシナリオを考える

セッションの趣旨

我が国では、温室効果ガスの排出量を 2050 年に 80%削減するという目標を掲げており、今後、低炭素社会の実現に向け、再生可能エネルギーの大幅な利用拡大は必要不可欠です。

再生可能エネルギーの利用は、化石燃料の消費や二酸化炭素の排出を抑制するだけではなく、雇用を生み出す、新しい産業を創り出す、国のエネルギー安全保障を高める、など様々な価値を持ち得ます。特に、地方の疲弊が加速化しつつある我が国では、将来の低炭素化社会を目指す過程において、再生可能エネルギーが地域にもたらす価値を考えることは重要と考えられます。

本セッションでは、国際情勢も不確実性を増す中で、2050 年に向けた再生可能エネルギーを中心とするエネルギーシステムに到達する道筋を多面的に議論したいと思います。

セッションの構成

本セッションは、環境研究総合推進費（2-1804）「2050 年の社会像を見据えた再生可能エネルギー利用拡大への道筋」において得られた成果ならびに関連する内容の報告に基づき、特に「コベネフィット」を考慮した「シナリオの作成」に重点をおいて議論する予定です。

1. セッションの趣旨説明（10 分）	
2050 年の社会像を見据えた再生可能エネルギーの利用拡大への道筋	本藤祐樹（横浜国立大学）
2. 話題提供（12 分×4）（題目は仮題）	
再生可能エネルギーがもたらす地域コベネフィット	森泉由恵（横浜国立大学）
海洋エネルギー技術のコベネフィットと将来可能性	田原聖隆（産業技術総合研究所）
長期的なエネルギー供給に関するモデル分析	小澤暁人（産業技術総合研究所）
エネルギーシナリオ作成に関する一考察	福島康裕（東北大学）
3. 議論（20 分）	
セッション参加者による意見交換	参加者全員

環境研究総合推進費の研究課題 2-1804 の概要

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_2_03/2-1804.pdf

環境研究総合推進費の研究課題 2-1804 の実施者

本藤祐樹、森泉由恵（横浜国立大学）
田原聖隆、工藤祐揮、小澤暁人（産業技術総合研究所）

1日目
（3/5）

タイムテーブル

1日目　3月5日(火)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
10:30-12:00	オープニング、基調講演(M会場)				
12:00-13:00	昼休み				
13:00-13:20	家計消費	水素・エネキャリ	バイオマスと バイオ燃料	シェアリング	評価手法開発
13:20-13:40					
13:40-14:00					
14:00-14:20					
14:20-14:40	休憩				
14:40-15:00	環境価値と消費行動	産業ネットワーク	技術評価	自動車(1)	ケーススタディ
15:00-15:20					
15:20-15:40					
15:40-16:00					
16:00-16:20	休憩				
16:20-16:40	国際評価	持続可能性評価	物質ストック フロー分析	自動車(2)	低炭素技術
16:40-17:00					
17:00-17:20					
17:20-17:40					
17:40-18:00	移動				
18:00-	交流会(ビッグスカイ)				

A1-11,P2-097　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

家計支出と生活時間の統計を用いた家庭内の行動に伴う CO_2 排出量の評価

Evaluations of Household Activity-Induced CO_2 Emissions Using Microdata on Consumption and Time Use

○姜怡達*[1)]、井原智彦 [1)]
Yida Jiang, Tomohiko Ihara
1) 東京大学
* yida.jiang@s.k.u-tokyo.ac.jp

1. Introduction

Consumer activities can be regarded as the combination of patterns of monetary expenditure and time use. CO_2 emissions resulting from household consumption can be evaluated using data from national surveys of household expenditures following the methods of Life Cycle Assessment (LCA) [1]. Moreover, when household allocations of time to different activities are also known, the consequent CO_2 emissions by various household activities can be derived with this information [2]. Unlike monetary expenditure, which is variable across different households, the limit of available time is universal. On this principle, household CO_2 emission mitigation is potentially achievable by a lifestyle shift toward one composed of activities with less CO_2 intensity of time. In order to find out the less CO_2-intensitve activities, the CO_2 emission intensity of time for each household activity in Japan is evaluated in this study, using the microdata of national surveys.

2. Methodology

The objective of this study is to calculate the CO_2 emission intensity of time of each household activity in Japan. Consumptions, i.e. items of expenditure, surveyed in household expenditure surveys, are first multiplied with corresponding CO_2 intensities of expenditure, producing total CO_2 emissions resulting from each of the consumptions. Secondly, consumptions are allocated to each of the household activities, which thus links the quantity of CO_2 emissions with household activities. Lastly, divide the CO_2 emissions of each household activity by the corresponding time spent on the activity, which produces the CO_2 emission intensity of time of the activity.

2.1 Principal datasets used in this study

Three principal datasets are used in this study: the microdata of 2004 National Survey of Family Income and Expenditure (NSFIE) [3], which covers 48007 households and 320 items of household expenditures; the microdata of 2006 Survey on Time Use and Leisure Activities (STULA) [4], whose questionnaire B covers 18291 responses from 3866 households reporting their time use
on different activities; CO_2 intensity of expenditure, derived using data provided by 3EID [5] for year 2005, for linking household expenditures with consequent CO_2 emissions.

2.2 Framework of computation

The framework computation can be described using a form of matrix multiplication, as is shown below.

$$I = S \times C \times P \times M \times R \qquad (1)$$

Where I is the matrix whose rows represent each activity's CO_2 intensity of time for each of the households. S is a vector with all ones which, when multiplied to the left of a matrix, sums the columns of the matrix. C is the consumption matrix which represents the consumptions by surveyed households with its rows being households and columns being items of consumption. P is a diagonal matrix with its diagonal elements being each expenditure item's CO_2 intensity. Multiplying P with C produces a matrix whose columns are consumption items and elements the corresponding CO_2 emissions. M is the correlating matrix with its rows being expenditure items and columns being the activities. Elements in M represents the shares of expenditure items allocated to the activities. Matrix R is a diagonal matrix with its elements being the inverse of time spent on each activity. Multiplication of R with previous matrices produces the CO_2 emission intensity of each of the activities.

2.3 Matching households across datasets

A household's lifestyle can be accounted directly as a combination of its pattern of expenditure and time use. However, the 2004 NSFIE and the 2006 STULA were conducted on different samples, which means the expenditures of households and time use of households are not of a one-to-one correspondence. In order to approximate to the patterns of expenditure and time use within one household, households from the two samples are matched based on similarities in their feature. The features selected in this study include household size, household income, ownership of cars, etc.

2.4 Allocating expenditures to activities

As different activities involve different set of expenditure items respectively, a relationship between expenditures and activities needs to be established. In this study, expenditure items are allocated to activities with specific shares using relatively length of time derived from time use data in STULA as well as empirical evidence and additional surveys. For example, all expenditures on food are allocated to three meals in a day, with the share determined by the time spent on the three meals; expenditures of gasoline were allocated to movement-type activities using the 2005 Survey of Urban Transportation Characteristics [6].

3. Results

Figure 1 shows the national average CO_2 intensity of time of Japanese household activities. Activities related to caring and motion have the highest CO_2 intensity of time.

4. Discussion

By evaluating the CO_2 intensity of time of Japanese household activities, this study may contribute to sustainable policymaking by providing information on environmental impacts of household lifestyle from the perspective of household activities. Moreover, deeper insights into household behavior is necessary for practical policymaking, which should be done through observations at an individual level in future studies.

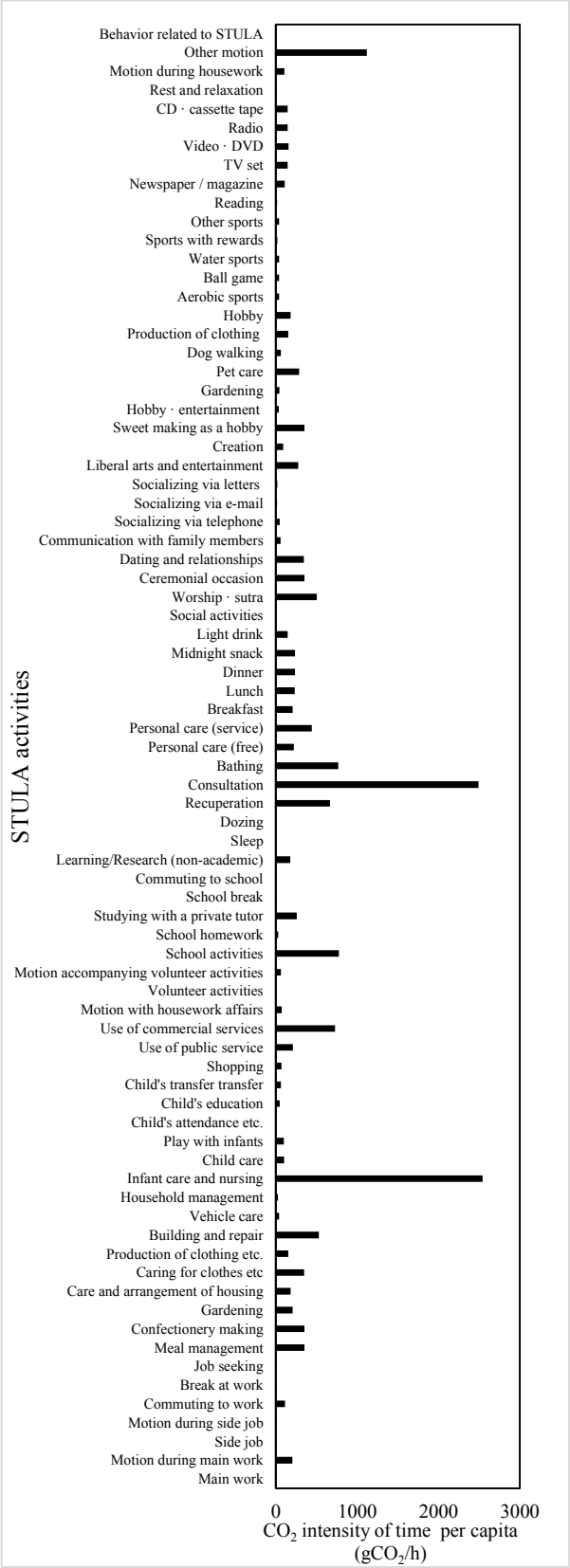


Figure 1 Average CO_2 intensity of time of Japanese household activities

Supporting Information

References

[1] Hirano, Y., Ihara, T. & Yoshida, Y., Build. Environ. 103, (2016), pp1–8

[2] De Lauretis, S., Ghersi, F. & Cayla, J. M., Appl. Energy 206, (2017), pp 634–648.

[3] 総務省統計局，平成 16 年全国消費実態調査

[4] 総務省統計局，平成 18 年社会生活基本調査

[5]国立環境研究所，産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）

[6] 国土交通省，全国都市交通特性調査

More results

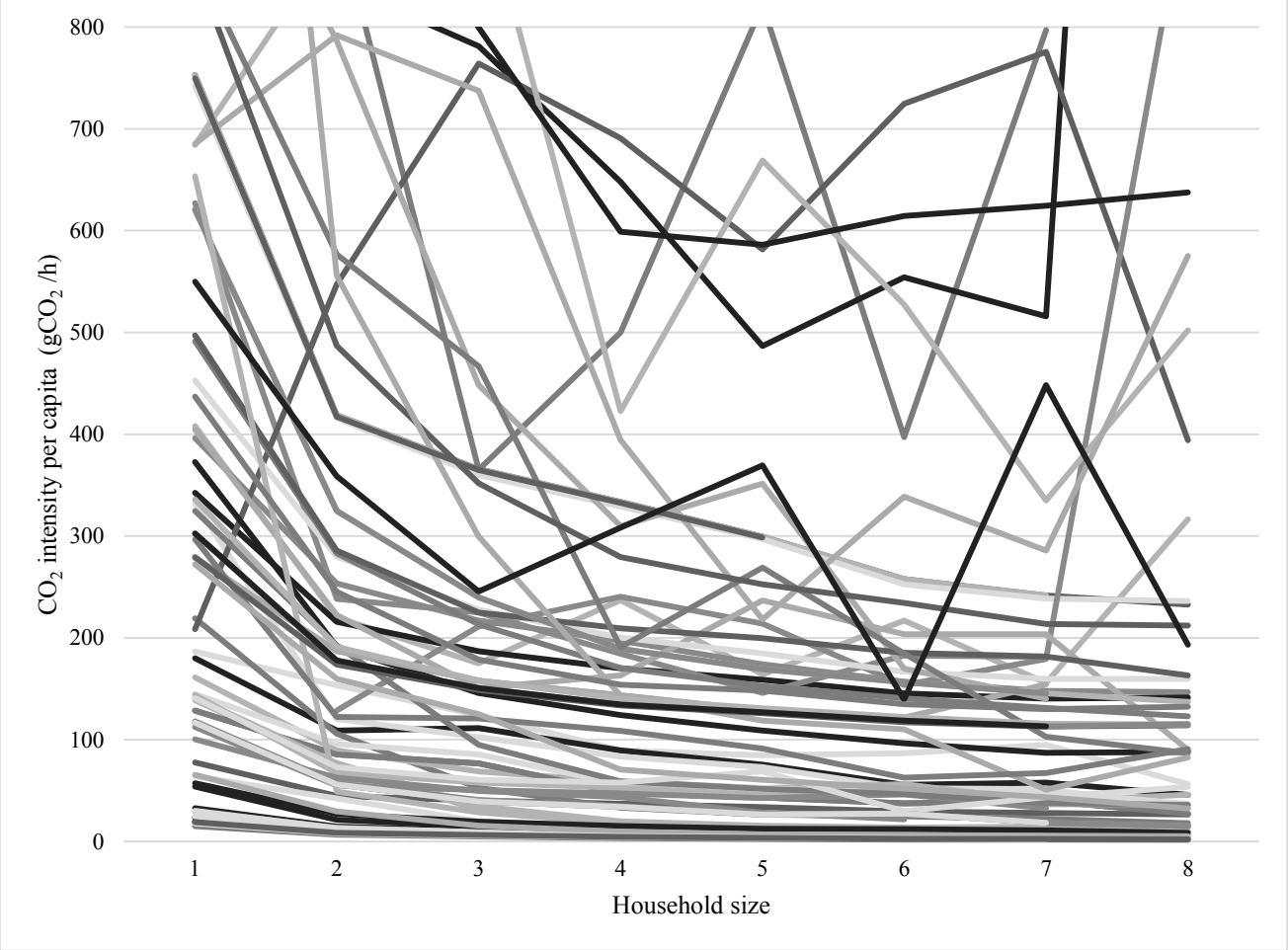


Figure 2 Trend of household activity CO_2 intensity of time per capita against household size

As the graph suggests, for most of the Japanese household activities the CO_2 intensity of time decreases as the household size, i.e. the number of people in a household, increases, implying that bigger families tend to be less carbon-intensive per family member.

日本の家計消費が誘発する水圏へのリンフローの推計

Estimation of the amount of phosphorus flow into hydrosphere induced by Japan's household consumption

○佐々木貴央*[1)]、南斉規介[2)]、Sebastien Dente[3)]、橋本征二[3)]

1) 立命館大学院、2) 国立環境研究所、3) 立命館大学

* rv0037ie@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

リンは、植物の生長に必要不可欠な肥料の三要素の一つである一方、地表水の富栄養化を招き、赤潮・青潮などの環境問題の原因ともなっている。過去 50 年間で 5 億トン近くのリンが水圏に流出してきたとされ[1)]、現在では年間 2200 万トンの流出があるとされる[2)3)]。この値はプラネタリー・バウンダリー[2)3)]で定められるリンの水圏流出の限界の 2 倍に相当する量である。本研究では、日本の家計消費が国内外で誘発する水圏へのリンフローを推計し、流出量軽減のための方策を検討した。なお、本稿執筆時点でリンフローの推計値が確定していないことから、ここでは方法のみ記す。

2. 方法

2.1 家計消費の影響の推計方法

世界連結産業連関モデル(Global Link Input-Output model)[4)]を用いて国内外の水圏へのリンフローを推計した。具体的には、GTAP (Global Trade Analysis Project)の各国の産業連関表を用いて部門別の水圏へのリンフローに関する内包型原単位を推計し、それを国際貿易のフローに乗じることでフットプリント量への変換を行った。なお、本研究では全てのデータが整備可能な 2005 年を対象とした。

2.2 各国各部門の水圏へのリンフローの推計方法

図 1 に示すように、水圏へのリンフローを農地由来(PF_a)、家畜糞尿由来(PF_p+PF_o+PF_d)、排泄物由来(PF_{e1}+PF_{e2})、雑排水由来(PF_{g1}+PF_{g2})に分け、既存研究[5)]を一部改善して推計を行った。農地由来のリンフローは、作物ごとの単位面積あたりに施用される化学肥料のリン量に収穫面積を乗じたものに、排泄物、家畜糞尿からのフロー(各排出量×r_e、r_a)を足し合わせ、農地からのリン流出率(R_1)を乗じて推計した。家畜糞尿由来のリンフローは、家畜 1 頭当たりの排泄物に含まれるリン量に家畜頭数を乗じ、土地ごとの配分率や直接廃棄率(r_p、r_o、r_d)、土地については リン流出率(R_2、R_3)を乗じて推計した。推計した農地由来、家畜糞尿由来のリンフローを表 1 に示す GTAP の農業部門、畜産部門に割り付けた。排泄物由来と雑排水由来のリンフローは、家計からの直接排出として計上した。

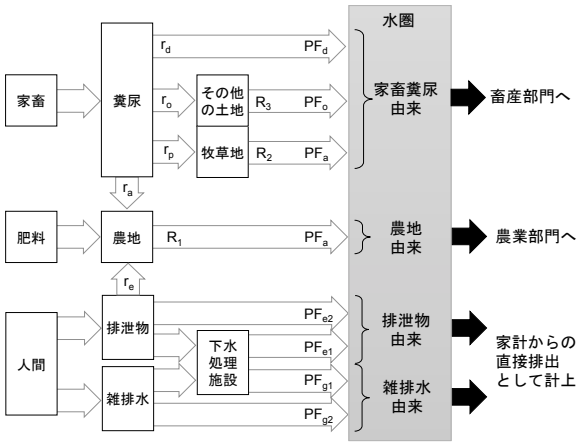


図 1　水圏へのリンフロー(Lwin ら[5)]を改変)

表 1 対応する GTAP の部門

部門	部門番号	対応する品目
農業	1	米
	2	小麦
	3	その他の穀物
	4	野菜、果物
	5	油糧作物
	6	砂糖用作物
	7	繊維作物
	8	その他の作物
畜産	9	牛、ヤギ、羊、馬
	10	豚、鶏、卵などのその他の動物製品
	11	生乳

謝辞：本研究は、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) D. Cordell et al: Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options, Chemosphere, 84, pp.747–758, 2011
2) Steffen, W. et al.: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, Science, 347(6223), 1259855, 2015
3) Rockström J. et al.: A safe operating space for humanity, Nature, 461(24), pp.472-475, 2009
4) 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
5) Lwin, C.M., et al.: The implications of allocation scenarios for global phosphorus flow from agriculture and wastewater, Resources, Conservation and Recycling, 122, pp.94–105, 2017

A1-13,P2-107　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 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：推計手法の改善

Impact of household consumption on nitrogen cycle planetary boundary: methodological improvement

○馬場亮輔*[1)]、佐々木貴央[1)]、南斉規介[2)]、Dente Sebastien[3)]、橋本征二[3)]

Ryosuke Bamba, Takahiro Sasaki, Keisuke Nansai, Dente Sebastien, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学大学院　2) 国立環境研究所　3) 立命館大学

* 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。筆者らは、9 つの PB のうち窒素循環を対象として、日本の家計消費が与える影響の推計を試みたが[2)]、NH_3 の生産量を統合された化学製品部門に割り付けたため、石油製品部門等において誘発窒素固定量が過大に推計されていると考えられた。本研究では、この割付け方法を修正し再推計を行った。

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[1)]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ていることから、本研究でもこの窒素フローを対象とした。

2.2 家計消費の影響の推計方法

本研究では 2005 年を対象年とし、世界連結産業連関表モデル(GLIO モデル)[3)]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、国内部門が 812 部門、国外部門が 230 部門、国外商品が 111 種類で構成される。

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

既報[2)]では、NH_3 の生産量を多様な化学製品を生産する部門(Chemical, rubber, plastic products 部門)に割り付けたが、本研究では化学肥料に利用される窒素については、それが実際に利用される農業部門(Paddy rice 部門、Wheat 部門、Cereal grains nec 部門、Vegetables, fruit, nuts 部門、Oil seeds 部門、Sugar cane, sugar beet 部門、Plant-based fibers 部門、Crops nec 部門)に割り付け、化学肥料以外の窒素工業製品に利用される窒素については、それを含む部門(Chemical, rubber, plastic products 部門)に割り付けた。世界各国の農作物生産における(ii)意図された生物学的窒素固定については、既報[2)]と同じである。

具体的には、化学肥料に利用される窒素については、各農業部門の耕作地面積[4)5)]に応じて、化学肥料消費量の総量を割り振った。化学肥料以外の窒素工業製品に利用される窒素については、「NH3 に含まれる窒素の国内消費量」から「化学肥料の生産に利用される窒素の国内消費量」を差し引いて求めた。

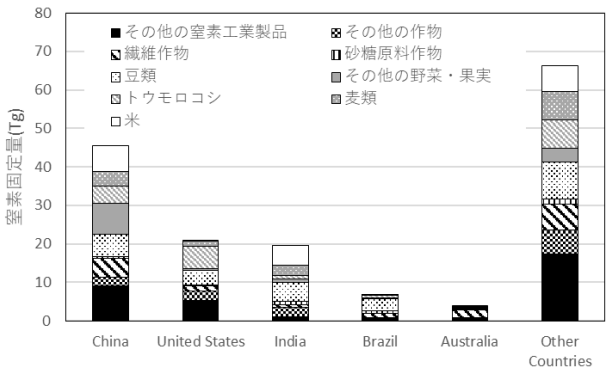


図 1　窒素固定量上位 5 カ国およびその他の国の部門別内訳

3. 結果と考察

(i)と(ii)に相当する窒素固定量はそれぞれ 122Tg N/yr、42Tg N/yr となった。(i)について、本研究では、化学肥料が利用される農業部門と多様な化学製品を生産する部門に 88Tg N/yr、34Tg N/yr を割り付ける結果となった。

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。窒素固定量の大きさは中国、米国、インド、ブラジル、豪州の順となった。この 5 か国は世界の総窒素固定量の約 60%を占めた。窒素固定の内訳については化学肥料に含まれる窒素量が一番多く、世界の総窒素固定量の約 54%を占めた。

以上をもとに、家計消費が窒素循環の PB に与える影響の評価結果については学会当日報告する。

謝辞：本研究は、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業による成果である。ここに記して深謝する。

引用文献

1) Rockström, J. et al.: Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity, Ecology and Society, 14(2), 32, 2009
2) 馬場亮輔ほか：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、第 13 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.362-363、2018
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) FAO: FAOSTAT, http://www.fao.org/faostat/, 2018 年 12 月アクセス
5) IFA: IFASTAT, https://www.ifastat.org, 2018 年 12 月アクセス

行動時間の変化に着目したライフスタイルに伴う直接・間接環境負荷の解析

Analyzing Lifestyle-Based Environmental Footprints with a Focus on Time Use Shifts

○青野祐馬*[1)]、重富陽介 [1)]
Yuma Aono, Yosuke Shigetomi
1) 長崎大学
*bb40115001@ms.nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

近年の IPCC1.5ºC 特別報告書に示されるように、地球温暖化の原因とされる温室効果ガス (GHG) 排出量の削減は、国際的に喫緊の課題である。日本においては、1997 年に開催された京都議定書 (COP3) における目標削減率の達成を経て、現在パリ協定 (COP24) における 2030 年度に 2013 年度比 26%GHG 削減が国際公約となっている。この目標に対し、政府は再生可能エネルギーの活用やトップランナー制度等の枠組みの活用、省エネルギー機器・自動車の普及、HEMS や BEMS の導入など、主に政府や産業分野の供給側の観点から目標達成のための対策と施策を定めている [1)]。

一方で、ライフサイクル思考の観点からは、需要側である消費者の役割も重要である。例えば、2005 年の日本の国内ライフサイクル GHG 排出量 (カーボンフットプリント) のうち、家計消費由来の排出が全体の約 60%を占めていたことが報告されている [2)]。こうした家計消費由来のカーボンフットプリントを低減するためには、時間の使い方に着目したアプローチによって、個人の生活行動の変化に伴う削減策を具体的に模索することが可能となる [3)]。

そこで本研究では、年間の家計消費由来の環境フットプリントを日本人の行動時間データと対応させることによって、行動時間別に環境負荷量を見える化し、時間の使い方の観点からそれらの効果的な削減について検討する。

2. 方法

2.1 家計消費由来の環境フットプリントの算出

本研究では、先行研究 [4)] において全国消費実態調査、エネルギーバランス表および産業連関法によるライフサイクルインベントリ (IO-LCI) データをもとに推計された、2005 年の日本の家計消費由来のカーボンフットプリントとウォーターフットプリントを利用した。

2.2 各種フットプリントと社会生活基本調査の項目の対応

2.1 で算出された 2005 年の家計消費由来のカーボン・ウォーターフットプリントの商品項目を消費者の行動時間と対応付けることで、行動時間別フットプリントに変換した。項目対応の方法については、井原らの先行研究を参考に、以下のデータと手順に基づいて行った。

まず、消費者の行動時間を把握するため、社会生活基本調査を利用した。社会生活基本調査は、総務省によって 5 年おきに発行され、生活時間の配分や余暇時間における主な活動の状況など、国民の社会生活の実態を明らかにするための基礎資料を得ることを目的とした調査である。社会生活基本調査では、調査票 A を用いたものと調査票 B を用いたものの二種類の調査方法がある。それぞれの調査票には、生活時間欄が設けられており、調査票 A はプリコード方式 (Pre-coding)、調査票 B はアフターコード方式 (After-cording) である。本研究では、行動時間の分類がより詳細である調査票 B を主に用いて、項目対応の分類を行った。ただし、平成 8 年以前では、調査票 B を用いた調査は行われていないため、調査票 A の結果を部分的に用いた。

耐久財および半耐久財のうち、家具等の項目は、社会生活基本調査調査票 B の行動の場所に基づき、自宅または自宅以外の場所のどちらで使用されているかに応じて対応させた。また、被服等の項目に関しては、詳細な用途が不明であるため、単に衣類を着用していると想定される行動時間で按分することで対応を行った。

非耐久財のうち灯油、LPG、電力、都市ガスに関しては、2016 年度家庭部門世帯当たり用途別エネルギー源別エネルギー消費量に基づき按分した。また、上水道・簡易水道、下水道に関しては、全国の使用実態を把握する文献が見当たらなかったため、東京都の平成 27 年度一般家庭水使用目的別実態調査の結果に基づき按分した。

非耐久財のうち、灯油、LPG、電力、都市ガスに関しては、2016 年度家庭部門世帯当たり用途別エネルギー源別エネルギー消費量に基づき按分した。また、上

水道・簡易水道、下水道に関しては、平成 27 年度一般家庭水使用目的別実態調査の結果に基づき按分した。

また、有償労働の項目に関しては、家計消費由来のカーボンフットプリントとの関連性が低いために、今回は除外した。

3. 結果と考察

図 1 に、2016 年における日本に住む一人の 1 日あたり平均行動時間と、その行動に対応する家計消費由来のカーボンフットプリントおよびウォーターフットプリントを示す。行動時間においては、睡眠時間に次いでテレビ鑑賞などのマスメディア利用、食事が続き、これらの時間が全体の 50%以上を占めた。一方で、カーボンフットプリントについては行動時間で見れば全体の 2.9%に過ぎない移動による寄与が、ウォーターフットプリントについては食事による寄与が、それぞれ最大となった。単位時間あたりの行動別フットプリントで見ると、前者は移動、身体的ケア、社会参加・宗教活動、食事の順に大きく、後者は食事、社会参加・宗教活動、家事、身体的ケアの順に大きくなった。これらの結果は、それぞれの行動を構成する商品項目の原単位の大きさに起因しているが、省エネルギーや移動頻度の低下などを目的とする行動時間の短縮によっても減少させることができると考えられる。例えば、移動時間を短縮する取り組みとしては、ネットショッピングの利用や、まとめ買いを行いこまめな買い物を減らすことで、買い物等の家事に関する移動時間を減らす取り組みが考えられる。また、業務におけるテレワークの活用も、移動時間を減らす取り組みとして有効であると考えられる。仮に移動時間が平均で 1 日あたり 30 分減り、その分が身の回りの用事の時間に充てられたとすると、1.8 kg-CO_2eq/日の削減につながると推計される。近年東京都は、2020 年の東京オリンピック・パラリンピック期間中に、本庁職員の約半数が週 1 回以上、テレワークを実施することを目指すとしている。 こういった取り組みは、交通混雑の緩和や、育児・介護や療養中でも業務に関われる体制を構築することが主な目的とされている場合が多いが、GHG 低減に対しても大きな影響があることが示唆される。

次に、この単位時間あたりフットプリントの結果をもとに、様々な行動パターンの変容によって家計消費由来のカーボン・ウォーターフットプリントがどのように変動しうるか解析した。ここではスペースの都合上、カーボンフットプリントの結果についてのみ取りあげる。図 2 に、これまでの日本の平均行動時間にシフトした場合に生じると予想される 1 人の 1 日あたりカーボンフットプリントを示す。社会生活基本調査に

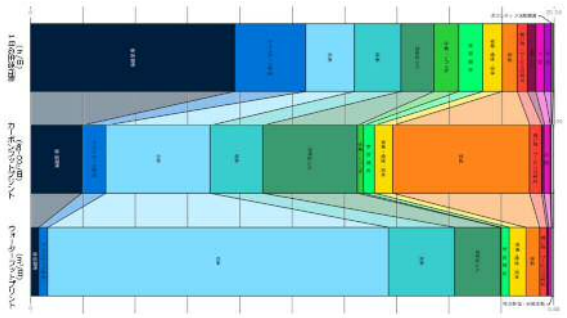


図 1． 一人あたり 1 日の平均行動時間とその時間に対応する単位時間あたりカーボン・ウォーターフットプリントの内訳

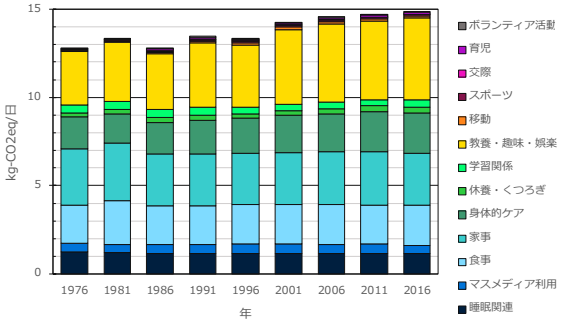


図 2. 一人あたり 1 日の単位時間あたりカーボンフットプリントの推移

よれば、1976 年以降、平均睡眠時間はやや減少しており、代わりに身の回りの用事や移動、休養・くつろぎ、趣味・娯楽などの時間が微増している。これらは、労働時間の変化だけでなく、交通網の整備や、パソコンや携帯電話といった娯楽耐久財の出現が反映されていると考えられる。こうした行動時間の変化により、カーボンフットプリントは 2016 年を基準に、1976 年以降の 40 年間の行動パターンに応じて、最大で 14%減少しうると推計された。換言すれば、当然ながら全く同様の生活習慣を送ることは前述したインフラや技術の変化からも現実的でないが、時間の使い方の見直しによって GHG 排出量を削減できる可能性があることが示唆された。

4. 引用文献

1. 環境省,地球温暖化対策計画 , 2016.5
2. Nansai, K. et al., *Environ. Sci. Technol*. 46, 155–163 (2012).
3. Wiedenhofer, D. et al., *Curr. Opin. Environ. Sustain*. 30, 7–17 (2018)
4. Chapman, A. & Shigetomi, Y. *Sci. Total Environ*. 639, 385–396 (2018).

B1-11

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3月）

産業連関表を用いた水素エネルギーシステムの効率性分析

Efficiency Analysis of Hydrogen Energy System using the Input-Output Table

○稗貫峻一*1)、野口和彦 1)、澁谷忠弘 1)、三宅淳巳 1)

Shunichi Hienuki, Kazuhiko Noguchi, Tadahiro Shibutani, Atsumi Miyake

1）横浜国立大学

* hienuki-shunichi-sh@ynu.jp

1. 背景と目的

エネルギー利用の効率性や環境性の面から二次エネルギーとしての水素が期待されている。その一方で、技術面、コスト面、制度面で多くの課題が残されている [1)]。水素エネルギー技術を対象とした分析はこれまでにいくつか行われている。例えば、燃料電池自動車のライフサイクルエネルギー消費量 [2)]や水素製造に伴う CO_2 排出量や社会経済分析 [3)4)]がある。しかし、水素エネルギーシステム全体のライフサイクルを考慮した分析評価や、既存のエネルギーシステムとの比較を行った事例は少ない。

そこで本研究は、水素エネルギーシステム（H_2 システム）のライフサイクルに渡るエネルギー消費量を推計し、既存のガソリンエネルギーシステム（G システム）と比較することで、水素エネルギーの効率性を明らかにすることを目的とした。本要旨では、ナフサ改質による水素で FCV (Fuel Cell Vehicle)1km 走行あたりに投入されるエネルギー消費量について記載する。

2. 方法

2.1 ライフサイクルエネルギー消費量の推計

直接間接に生じるエネルギー消費量$\boldsymbol{E}$は式(1)に従い求められる。ここでのC_{travel}は走行時の直接エネルギー消費量、$\hat{\boldsymbol{c}}$はエネルギー消費係数の対角行列、$\boldsymbol{I}$は単位行列、$\boldsymbol{A}$は投入係数行列、$\boldsymbol{f}$は最終需要ベクトルを示す。

$$\boldsymbol{E} = C_{travel} + \hat{\boldsymbol{c}}\,(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{f} \qquad (1)$$

また、関連する生産活動は全て国内で生じると仮定し、分析には 2005 年の産業連関表 [5)]、国立環境研究所の 3EID（Embodied energy and emission intensity data for Japan using input–output tables）[6)]を用いた。

2.2 システム境界

図 1 に本研究のシステム境界と機能単位を示す。H_2 システムは、システムの設備製造（建設を含む）、燃料生産、燃料輸送、供給設備（水素ステーションもしくはガソリンスタンド）運用、自動車利用の 5 段階とした。ただし、FCV と GV(Gasolin Vehicle)の車両製造とメンテナンスに関しては、利用者の選好に大きく依存するため考慮していない。

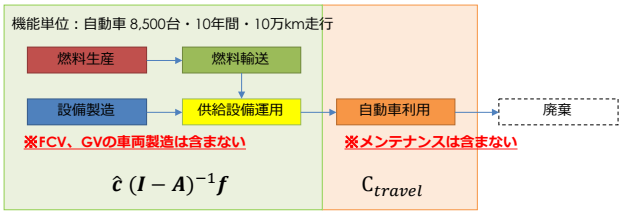


図 1 システム境界と機能単位

また機能単位は 10 年使用・10 万 km 走行とした。なお、H_2 システムについては、2020 年から 2025 年の価格と技術レベルを想定しており、公表されている情報を用いた。

2.3 前提条件

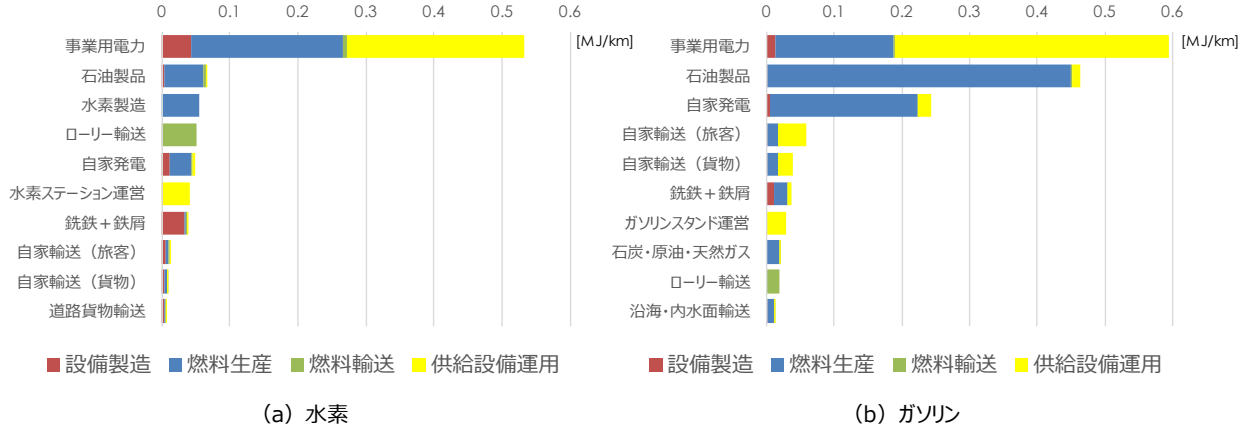
2.3.1 水素エネルギーシステム（H_2 システム）

水素は実用化と経済性の観点から原油（ナフサ）の水蒸気改質から製造し、高圧ガスにより 8 ヵ所の水素ステーションに輸送され、FCV に充填されると想定した。製油所の生産能力は 1,500 [Nm^3/h]、水素ステーションの供給能力は 300 [Nm^3/h]、輸送は 1[(回・1 ヵ所)/日]、設備利用率は 80%、建設費は 260 [百万円]、販売価格は 1,080[円/kg]を想定した。また、全ての耐用年数は 10 年、H_2 システムの水素供給量は 9,450t-H_2 であり、約 8,500 台がシステム内で 10 年間・10 万 km 走行することが可能である。なお、製油所に関連する設備製造は、ナフサ改質に必要な圧力変動吸着装置、水素圧縮機、サクションドラム、オフガス圧縮機の増設設備のみを考慮した。これらの詳細な前提条件は Hienuki (2017)[5)]を参照されたい。

自動車利用によるエネルギー消費量C_{travel}は、充填される水素量と低位発熱量 120 [MJ/kg]から推計した。燃費は、横浜国立大学が所有する MIRAI の年間の燃費 90 [km/kg]を用いた。

2.3.2 ガソリンエネルギーシステム（G システム）

ガソリンは、製油所で生産し、専業の中規模事業者が運営する平均月間ガソリン販売量 100 kL のガソリンスタンド [7)]8 ヵ所に輸送され、GV に給油されると想定した。ガソリンスタンドの建設費は 100 百万円と想定し、地下タンク 40 百万円，設備機器 10 百万円，その他土木建設費など 50 百万円とした。耐用年数、GV の車両数は H_2 システムと同じ



（a）水素　　（b）ガソリン

図 2 エネルギーシステムの部門別エネルギー消費量（FCV、GV の車両製造とメンテナンスを除く）

条件とし、G システムのガソリン供給量は 96,000 [kL]とした。その際、レギュラーガソリン販売価格 140 円/L とし、コスト構造は、産業連関表の小売部門とコスモ石油（2012）[8]を参考に按分することで詳細に推計した。また、ガソリンスタンドのエネルギー消費量は、東京都環境局（2012）[9]を参考に営業時間を考慮して、電力消費量を約 58,000kWh/月とした。

自動車利用によるエネルギー消費量C_{travel}は、ガソリンの消費量と量あたりの排出係数 [10] から推計した。燃費は、MIRAI と同じ重量区分の燃費基準値 8.9 [km/L][11]を用いた。

2.3.3 関連する部門の新設・拡張

H_2 システムと G システムの技術特性を反映するために、水素製造、ローリー輸送（水素・ガソリン共通）、水素ステーション運営、ガソリンスタンド運営の 4 部門を既存の投入係数表に新設した。前述した前提条件に従い、4 部門を追加した投入係数行列（$\boldsymbol{A}$）、エネルギー消費係数（$\boldsymbol{c}$）を作成した。その一方で、製造、建設段階の推計は、詳細なコストデータに限りがある点から、最終需要ベクトル（$\boldsymbol{f}$）を詳細に設定することで推計した。

3. 結果

H_2 システムと G システムのライフサイクル全体のエネルギー消費量は 1 [km]あたり、それぞれ 2.27 [MJ]、5.53 [MJ]と推計された。このうち、自動車走行段階に伴う消費量はそれぞれライフサイクル全体の 59%、70%、燃料生産段階は 17%、18%を占めている。

図 2(a)、図 2(b)はそれぞれ H_2 システムと G システムの産業部門別消費量を示している。両方のシステムに共通して、事業用電力部門で消費されるエネルギーが、それぞれライフサイクル全体の 23%、11%を占めており、2 つのシステムは、電力生産との関係が非常に強いことが示された。また自家輸送や道路貨物輸送部門などの原料や燃料を輸送する際に消費されるエネルギーも比較的大きい。ただし、石油製品の生産に伴うエネルギー消費量の推計は、産業連関表の性質上、複数の製品の価格が平均化されている、加えて本研究は強い前提条件を置いているため、今後詳細な情報の収集と分析への反映が必要である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 若手研究「次世代エネルギーシステムを対象としたエクセルギー産業連関分析手法の構築と応用」18K18230 の助成を受けたものです。

参考文献

1) 経済産業省：“エネルギー基本計画”，2018
2) 日本自動車研究所：“総合効率と GHG 排出の分析報告書”，
3) Ozawa, A., Inoue, M., Kitagawa, N., Muramatsu, R., Anzai, Y., Genchi, Y., & Kudoh, Y. (2017). Sustainability, 9(7), 1101.
4) Hienuki, S. (2017). Sustainability, 9(8), 1376.
5) 総務省：“平成 17 年（2005 年）産業連関表”（2009）
6) 南斉規介，森口祐一：“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，2012
7) 野村総合研究所：“SS の経営力強化に係る実態調査報告書”，（2016）
8) コスモ石油：“ガソリン価格の中身”，コスモビークルライフ，（オンライン），入手先＜http://www.cosmo-thecard.com/cblp/chousadan/vol_006.html＞，（参照 2019-1-7）
9) 東京都環境局：“ガソリンスタンドの省エネルギー対策”，（2012）
10) 環境省：“温室効果ガス排出算定に関する検討結果 エネルギー・工業プロセス分科会報告書”，2006
11) 国土交通省：“自動車の燃費基準値”，入手先＜http://www.mlit.go.jp/common/001125048.pdf＞，（参照 2019-1-7）

B1-12,P2-114　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

エネルギーキャリア技術導入適地の探索

Examining regional applicability of technology implementation of energy carrier

○清水輝之*[1)]、大久保達也 [1)]、菊池康紀 [1)]

Teruyuki Shimizu, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi

1）東京大学

* shimizu@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

太陽光発電や風力発電のように変動性の再生可能エネルギー導入拡大による系統電力の調整力等の問題に対応するために水素等のエネルギーキャリアを利用したエネルギーシステムの構築が議論されている [1)]。日本では、家庭用燃料電池コジェネレーションシステム(FCCGh)の普及が世界に先駆けて進んでおり [2)]、燃料電池自動車(FCV)の販売も始まっている。多くの自治体で水素等を活用するための技術導入が検討されている（例えば、岩手県 [3)] や福岡市 [4)]）。

新たなエネルギーキャリアを利用するためには、それらを製造、輸送、使用するための新たな技術導入を行い、インフラとして機能しなくてはならない。インフラとして導入された技術は、長期にわたって社会に影響を及ぼすため、導入する前にその効用を慎重に検討すべきである。地域によって再生可能資源量やエネルギーの利用形態には違いがあり、適切なエネルギーシステムは異なるはずであり、それぞれに適した技術導入が必要である。これまでに、地域別での技術導入効用を分析し、導入適地の探索を行う研究を行ってきた [5)]。しかし、導入による効用が高くても必ずしも導入されるわけではない。エネルギーキャリア技術がインフラとして機能するためには、単独の技術導入ではなく、複数の技術が一緒に導入されなくてはならない。このような技術導入においては、政策誘導や産業、個人の投資活動を行う主体の能力や活発性が重要であると考えられる。本研究では、技術導入可能性も含めて導入適地を探索するための方法を提案し、その利用可能性について議論する。

2. 地域別導入分析方法

2.1 技術導入効用の要素分解

技術普及可能性も含めた技術導入による効用について、地域ごとにその違いを分析するために、規模、導入力、単位効用という要素に分解した。規模はポテンシャルとしてどの程度技術導入が可能かを表し、地域における資源とエネルギー需要に依存する。導入力は、その規模に対し導入される技術の量であり、自治体等の経済的・行政的な余裕、能力に依存するものとして考えられ、公・産・民の観点からの経済力および自治体の行政力、さらに新規技術導入においては将来の人口動向が重要であると考え、指標として採用した。単位効用は一人当たりのライフサイクル CO_2 などの指標が考えられ、技術導入された際のシステムをモデル化し、シミュレーションベースのライフサイクルアセスメント(LCA)を行うことにより分析可能で、これまでに開発してきたモデル [5)] を用いて分析を行う。

2.2 技術導入適地の探索

技術導入適地を探索するためのプロセスを図 2 に示す。まず、分析を行うための地域区分を設定し、それらの地域データを収集･推計する。地域区分としては、都道府県や市町村のような行政区分の他に、商圏など機能に着目した区分、気候区分などがあり得る。次の地域別分析では、先述した要素ごとに地域の評価を行う。さらに、これらの評価結果に応じて地域を分類して、グラフ化などを行う。

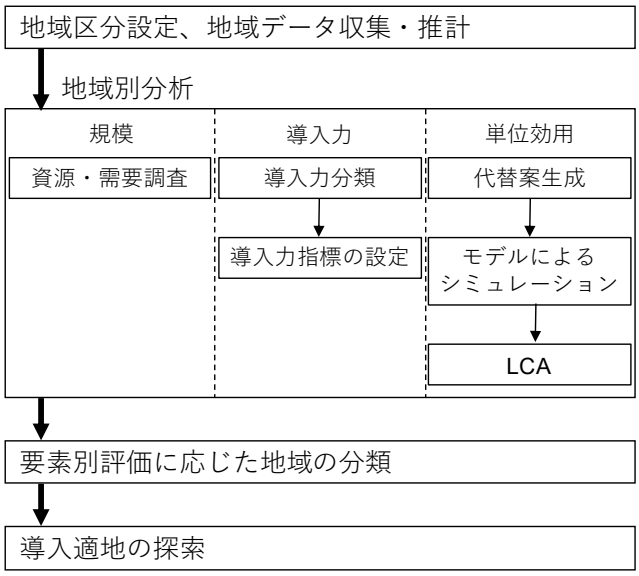


図 2 技術導入適地探索プロセス

2.3 ケーススタディ

提案したプロセスにより技術導入適地探索を行い、どのような議論が可能かを検証するためにケーススタディを行った。ケーススタディでは、太陽光発電および水電解を用いて水素を製造し、FCCGh もしくは FCV で利用し、既存の家庭での電力および給湯エネルギーや自家用乗用車を代替するシステムを想定した。単位効用として一人当たりのライフサイクルでの温室効果ガス変化および都市域大気汚染変化を評価した。

分析結果を可視化するためにバブルチャートおよび地理情報システム(GIS)を用いたマップチャートを使用した。これらの可視化手法により、要素別の評価結果やそれらを統合した結果が可視化された。

3. 分析結果

地域によって各要素の評価結果が異なり、特に大都市の地域では、規模、導入力ともに大きいが、温室効果ガス削減における単位効用が小さい傾向が見られた。一方で岩手県などの地域では、FCCGh 導入時の温室効果ガス削減における単位効用は大きいものの、規模、導入力ともに小さい傾向が見られた。導入力や単位効用の指標を変えるとこれらの評価結果も変化することが分かった。導入力の変化の傾向をさらに分類したところ、全ての導入力が低いもしくは高い傾向を示す地域や産業の経済力など特定の導入力のみが高い地域に分類された。

このような結果から、高い導入力を示す大都市の地域では、単位効用として低くとも規模としても大きいことから最も早く導入が進むことが予想され、このような地域で積極的に導入促進が行われることで、徐々に技術が普及していくものと考えられる。このような地域では、単位効用を向上させるために、燃料電池コジェネレーションシステムの業務、産業への応用や FCV のタクシー、カーシェアへの応用など、応用先をよく検討することが必要である。

これらの地域に続いて、特定の導入力が高く、規模、単位効用がある程度高い地域が導入適地となり得る。先の地域での導入がある程度進み、導入障壁が少し下がったときに、導入力の高いプレイヤーを起点として導入を進めることで、高い効用が得られるようになるはずである。

全ての導入力が低い地域では、導入は他の地域よりも遅れるであろう。他の地域で技術が普及し、コスト面などで導入障壁が十分に下がってから導入されるようになると考えられる。規模や単位効用が小さすぎる場合や、導入障壁が十分に下がらない場合、このような地域ではほとんど導入されない可能性もある。

4. まとめ

技術導入の効用を規模、導入力、単位効用という要素に分解して、それぞれについて各地域を分析した。それらの評価結果に基づいて地域を分類し、地域の特性に応じてどのような特性を持つ地域が導入適地となり得るかについて議論した。

普及可能性を考えるために、自治体、産業、個人の経済的、行政的な面、および人口変化の面から導入力を検討した。この他にも住民の環境志向が強い等の導入力も考えられるが、データとして地域間比較が困難な場合も多く、個々の地域でそのような要素について検討する必要がある。

インフラとして機能するためには、複数のプレイヤーが相互に連携して技術導入がなされなくてはならず、プレイヤー同士がいかに連携するかも重要な課題である。このような分析は、プレイヤー間連携の動機づけやプレイヤー間のビジョン共有にも役立つと考えられる。

謝辞

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) McPherson M., Johnson N., Strubegger M.: Appl. Energy 216, (2018). pp 649–61
2) Dodds P. E., Staffell I., Hawkes A. D., Li F., Grünewald P., McDowall W., Ekins P.: Int. J. Hydrogen Energy 40 (5), (2015). pp 2065–83
3) 岩手県、次期総合計画の策定に向けて、http://www.pref.iwate.jp/seisaku/suishin/60323/index.html
4) 福岡市、水素リーダー都市プロジェクト、http://www.city.fukuoka.lg.jp/keizai/kagakugijutsu/business/suisoleader.html
5) Shimizu T., Tsukushi Y., Hasegawa K., Ihara M., Okubo T., Kikuchi Y.: Int. J. Hydrogen Energy, in press, (2019)

B1-13,P2-079　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

蓄電池を活用した再エネ水素製造システムの環境性・技術経済性分析

Environmental and technoeconomic analysis of battery-assisted hydrogen production system from renewable energy

○佐孝成寿*[1)], 古山通久[2)], 大久保達也[1)], 菊池康紀[1,2)]

Narihisa Sako, Michihisa Koyama, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi

1) 東京大学, 2) 物質・材料研究機構

kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

再生可能エネルギー(再エネ)の大規模利用には、その資源の特性に合わせた技術の組合せを検討する必要がある。太陽光や風力といった自然エネルギーを利用した発電は気象条件によって変動するため、電力網への接続に制限があり、すでに九州電力では大規模な出力制御が実施された[1)]。水素への変換は、こうした未利用化する再エネを活用可能にさせうる技術であるが、設備投資が必要となるため、経済的に成立するシステムの姿を描くことが困難であった。システム設計のためには、必要な技術水準や適切な設備容量比について検討する必要がある。既往の研究により蓄電池を活用した再エネ水素製造システムの技術経済性分析[2)]が行われており、蓄電池導入により水素コストが低減する条件が蓄電池、太陽光パネル(PV)、電解装置の規模と導入単価について求められている。一方、水素製造システム評価には、環境性に関する分析が不可欠であり、技術経済性と並行して実施すべきである。

水素製造システムの有効性には、システムを導入する地域の需給条件が影響する。例えば、需要の規模や、揚水発電による調整能力の有無、気象条件や再エネ導入ポテンシャルなどが地域差となる。出力制御が発生しない条件を満たす再エネ電源の規模(接続可能量)は需要の大きさや発電技術の調整能力など、需給条件によって地域ごとに異なる。

本研究では、蓄電池を活用した再エネによる水素製造システムを特定の地域に導入したときの環境性・技術経済性を分析する。ここでは、電力網への接続が出力制御の原因となりうる再エネ(接続不可の再エネ)を水素に変換する。PV、蓄電池、電解装置の環境性・技術経済性パラメータを技術ロードマップや既往研究から抽出し、各技術の導入容量比によって変動する均等化水素原価や温室効果ガス(GHG)排出原単位の到達可能な水準を解析する。これらを都道府県ごとに分析し、地域の違いについて考察する。

2. 対象と方法

2.1 システム構成と最適化問題の設定

Figure 1 に本研究で対象とする蓄電池を活用した水素製造システムを示す。電解装置への電力供給と、蓄電池の充放電はエネルギーマネジメントシステム(EMS)によって管理される。蓄電池の空き容量と電解容量の都合で発生する余剰電力は抑制される。このシステムの中で、PV の規模、蓄電池導入規模、電解設備規模が変数となり、それぞれの装置の単価、製造時 GHG 排出原単位が設定値となる。最適化問題においては、各装置の単価、製造時 GHG 排出原単位を設定し、導入規模を変数として均等化水素原価、または水素の GHG 排出原単位を最小化した。これを、日本を 6 気候区分[3)]に分け、各地域の代表都市として札幌、東京、新潟、長野、広島、那覇の条件[4)]を用いて行った。

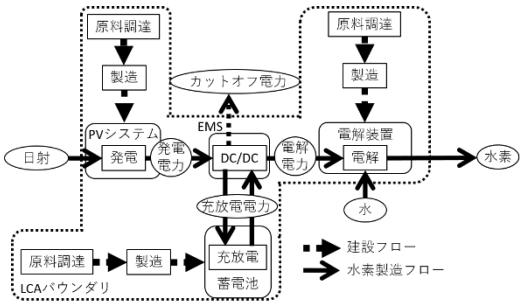


Figure 1 蓄電池を活用した水素製造システム概要

2.2 環境性・技術経済性パラメータの特定

PV、蓄電池、電解装置に関する既往の研究[4-6)]から環境性パラメータを、国内外ロードマップから技術経済性パラメータ[2)]を抽出した。環境性パラメータについては、PV：600~2500 kg-CO_2eq/kW[4)]、蓄電池：30~250 kg-CO_2eq/kWh[5)]、電解装置：90 kg-CO_2eq/kW[6)]を用いた。技術経済性については既往の研究と同様[2)]とした。

2.3 都道府県ごとの PV 接続可能量の推計

月・都道府県別の電源種別電力供給実績[7)]と電力需要実績[7)]、1 時間ごとの電源種別電力需給実績[8)]に基づき、1 時間ごとの都道府県別電力需給を推計した。この電力需給条件と導入済み PV 容量、ならびに PV 導入ポテンシャル[9)]から、今後接続可能な PV 容量を推算した。PV 接続可能量(On-Cap_{PV})の条件は、各都道府県で再エネ電力が需要を超えないこと、火力発電、揚水発電、太陽光発電以外の電力が現在と同一で、火力

発電の下げ代を稼働容量の 50%と仮定した場合に各電力会社で余剰電力が発生しないことの 2 条件とした。また、PV 接続不可量(Off-Cap$_{PV}$)は PV 導入ポテンシャルと On-Cap$_{PV}$ の差とした。

3.　結果

3.1 均等化水素原価、GHG 排出原単位の最小化分析

既往の研究による環境性パラメータに基づき、水素製造時の GHG 排出原単位の最小化を行った。水素原単位に占める主な寄与は PV 製造によるものであった。蓄電池導入による GHG 削減効果はほとんど見られなかった。一方で、既存の技術経済性パラメータに基づき、均等化水素原価の最小化を行った結果、蓄電池の導入により均等化水素原価が低減する条件が存在した[2)]。均等化水素原価が最小になる条件で GHG 排出原単位を分析した結果、蓄電池の GHG 排出原単位の影響が大きいことが分かった。札幌、東京、新潟、長野、広島、那覇の 6 地点でコストを最小化したところ、均等化発電原価が同一の場合、気候区分による均等化水素原価、GHG 排出原単位への影響は 10 %程度であった。ただし、年間日射量や PV 設置角度、工事費等による均等化発電原価の違いについては未検討である。

3.2 水素製造システムの地域導入効果分析

On-Cap$_{PV}$ と Off-Cap$_{PV}$ を、都道府県ごとに解析した。鹿児島県や北海道などではすでに On-Cap$_{PV}$ が小さく、Off-Cap$_{PV}$ が大きいという結果が得られた。47 都道府県中 37 都道府県で、Off-Cap$_{PV}$ > On-Cap$_{PV}$ であり、大半の都道府県で接続可能量が導入ポテンシャルの半分未満であった。四国電力、中国電力、北陸電力では都道府県間の On-Cap$_{PV}$ の差が小さく、九州電力同様、出力制御問題が同時に発生する可能性が高いと予想した。

地域のエネルギー需要に合わせた水素の需給バランスの解析を行った。例えば、ガソリン車を全て燃料電池車で代替した場合でも、水素の供給量が燃料需要を上回る可能性があることが確認された。水素への変換により、電力系統の空き容量などの制約なしに他の地域と融通することができるメリットがあるが、水素輸送インフラの整備が必要となり、今後の課題である。一方、再エネポテンシャルが高く、寒冷地で、自動車 1 台あたりの走行距離が長い地域などでは、単一の代替技術の導入で高い効果が得られうるため、再エネ由来水素製造システムの導入の動機が高いと考えられる。

4.　結言

PV、蓄電池、電解装置に関する各種環境性・技術経済性パラメータを体系的に集約し、特に太陽光に着目して、再エネからの水素製造システムに関する技術モデリングを行った。均等化水素原価および水素の GHG 排出原単位を分析可能とし、これらを最小化しうる各技術の導入規模を解析できるようにした。これにより、技術の組合せによって均等化水素原価だけでなく水素の GHG 排出原単位が異なること、技術の GHG 製造原単位の低減が必要であることなどが明らかとなった。また、都道府県別に需給構造を分析し、系統接続が困難な PV ポテンシャルを用いた水素製造の導入可能性について解析可能とした。特定の寒冷地などの水素製造システムが有効となりうる地域を特定した。本研究の成果を用いて、再エネ水素の製造に関する地域別の議論へと展開していく必要がある。

謝辞

本研究は文部科学省・統合型材料開発プロジェクト、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) 九州電力株式会社:“平成 30 年度 10 月 13 日(土曜日)の需給実績”, 九州電力, 入手先< http://www.kyuden.co.jp/notice_181013.html> (参照 2019-1-4)
2) Kikuchi Y., Ichikawa T., Sugiyama M., Koyama M., Int. J. Hydrogen Energ. 44 (3), (2019), pp1451-1465
3) 気象庁,:”過去の気象データ・ダウンロード”, 国土交通省気象庁, 入手先<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (参照 2018-12-14)
4) Nian V., Appl. Energ., 183, (2016), pp.1471–1487
5) Romare M., Dahllöf L.: “The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries”, (2017)
6) Zhang X., Bauer C., Mutel C., Volkart K.: Appl. Energ., 190, (2017), pp.326–338
7) 資源エネルギー庁, “電力調査統計表 過去のデータ”, 経済産業省資源エネルギー庁, 入手先<http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results_archive.html> (参照 2017-11-14)
8) 電力広域的運営推進機関, “供給区域別の需給実績の公表”, 電力広域的運営推進機関 入手先<https://www.occto.or.jp/oshirase/sonotaoshirase/2016/170106_juyojisseki.html>, (参照 2018-10-27)
9) 環境省: “平成 24 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書”, (2013)

アンモニア発電のライフサイクル CO2 排出量評価

Life Cycle CO2 Emissions from Ammonia Power Generation

○工藤祐揮*[1)]、小澤暁人[1)]、北川直美[1)]、村松良二[1)]

Yuki Kudoh, Akito Ozawa, Naomi Kitagawa, Ryoji Muramatsu

1) 産業技術総合研究所

* kudoh.yuki@aist.go.jp

1. はじめに

アンモニア（NH3）は基礎化学品や肥料の原料、また脱硝設備の還元剤として幅広く用いられており、その製造、輸送、貯蔵、消費のサプライチェーンが確立している。一方で NH3 は、水素エネルギーキャリアであると同時に直接燃焼させた場合に二酸化炭素（CO2）を発生しない可燃性ガスであるという特徴を有するため、低炭素エネルギーとしての利用が期待されており、平成 29 年 12 月に策定された水素基本戦略[1)]には、2020 年代半ばまでに水素製造時に CO2 を排出しない水素（「CO2 フリー水素」）から製造した「CO2 フリーアンモニア」の導入・利用開始を目指すことが記された。

しかし、NH3 の直接燃焼によって CO2 が排出されなくても、一次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サプライチェーン全体ではエネルギーやその他の資源の投入があるため、LCA 的な視点に立つと NH3 サプライチェーンからは CO2 が排出される。そのため、NH3 をエネルギーとして利用することによる低炭素化への貢献は、サプライチェーン全体で評価する必要がある。

発表者らの研究グループでは、これまでに文献調査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、燃料電池車用燃料[2)]、発電用燃料[3)]などを対象として各種水素エネルギーキャリアの各種ライフサイクルインベントリ分析を行ってきている。本分析では、「CO2 フリーアンモニア」を利用する発電を対象としたライフサイクル CO2 排出量の評価結果を報告する。

2. 分析の前提条件

- 表 1 に示すように、本分析では石炭火力への NH3 混焼発電および、NH3 専焼発電を対象とした。また比較対象として、石炭専焼発電と二酸化炭素回収貯留（CCS）付き石炭専焼発電を選択した。
- NH3 は、アラブ首長国連邦で天然ガス（NG-1：CCS なし、NG-2：原料由来の CO2 全量と、補助ボイラー・改質器煙道ガスからの CO2 の 90%を CCS で回収、生産規模はいずれも 1850[t-NH3/day]）[3)]および、太陽光発電（PV）、蓄熱槽付き集光型太陽熱発電（CSP）を用いた再エネ水電解水素（生産規模はいずれも 460[t-NH3/day]）[4)]を原料として製造することを想定した。天然ガスからの NH3 製造のインベントリには想定したプロセスに対するプロセスシミュレータの結果を、再エネからの NH3 製造のインベントリには、別途実施したコスト分析[4)]の前提条件を用いた。PV・CSP のインベントリには、それぞれ文献[5),6)]の値を用いた。
- 石炭サプライチェーンおよび発電所のインベントリには、文献[5)]を用いた。
- 石炭火力における発電後 CCS のインベントリには、文献[7)]を用いた。また NH3 製造プロセスでの CCS（NG-2）には CO2 分離回収が不要なため、インベントリは文献[7)]の CO2 パイプライン輸送、CO2 貯留のみを考慮した。
- サプライチェーンを構成するプロセスiへの投入物jの投入量を$x_{i,j}$、投入物jの CO2 排出原単位をe_jとすると、サプライチェーンからの CO2 排出量Eを次式で求める。

$$E = \sum_{i,j}(x_{i,j} \times e_j)$$

ここで、国内プロセスへの投入物のe_jは IDEA の値を、海外プロセスへの投入物のe_jは、jが非エネルギーの場合は国内プロセスと同じ IDEA の値を、jが電力の場合は IEA 統計[8)]の発電部門における化石燃料燃焼起因の CO2 を、jが燃料の場合はその燃料の直接 CO2 排出係数を用いる。

- NH3 サプライチェーンの設備に伴う CO2 排出量は、デフレータで調整したコスト分析の結果[4)]に、3EID[9)]の 2011 年表原単位を乗じて算出した。

表 1　発電所の前提条件

	NH3混焼	NH3専焼	石炭専焼
NH3混焼率（HHV基準）	20%		
容量[MW]	1,000	1,000	1,000
設備利用率	70%	70%	70%
発電効率（HHV）	39.6%	53%	39.6%
所内率	5.06%	2.08%	5.06%（CCS付36.9%）
発電CCS			CO2回収/液化・船舶輸送・貯留層圧入

3. 分析結果

図 1 に、NH3 サプライチェーン（天然ガス・再エネからの NH3 から、発電所手前で再ガス化するまで）からの CO2 排出量を示す。NG-1 に対する削減率は、NG-2、PV、CSP でそれぞれ 83%、36%、48%である。全体に対する設備分の寄与は、NG-1 は 2%、NG-2 は 13%に対し、PV は 44%、CSP は 33%と、再エネ起源のサプライチェーンで設備分の寄与が高いことがわかる。これは、再エネ設備からの排出量が多いことに加え、PV については日照がある時間内に必要な水電解水素を作るための大型水電解装置と、その水素を貯蔵するためのタンクが必要になるためである。

また図 2 に、NH3 混焼・専焼発電からの CO2 排出量と、石炭専焼・CCS 付き石炭専焼発電からの排出量を示す。石炭専焼発電に対する NH3 混焼発電の削減率は、NG-1 は 2%、NG-2 は 17%、PV は 8%、CSP は 10%であるのに対し、NH3 専焼発電ではそれぞれ 35%、89%、58%、66%となる。CO2 削減を目指した NH3 発電には低炭素 NH3 サプライチェーンの構築が必要になるのは当然であるが、天然ガスからの NH3 製造プロセスに CCS を組み合わせた（NG-2）サプライチェーンによる NH3 専焼発電からの CO2 排出量は、CCS 付き石炭専焼発電からの排出量よりも低くなる可能性があることは興味深い。

謝辞

本研究は、内閣府科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「エネルギーキャリア」により実施した。

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) Kudoh et. Al: Proceedings of EVS30, (2018)
3) 工藤ほか：第 25 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，（2019）
4) Hiraoka et. Al: Proceedings of Nitrogen + Syngas 2019, (2019)
5) 電力中央研究所：総合報告 Y06，（2016）
6) Sullivan et. Al: ANL/ESD/10-5, (2010)
7) 電力中央研究所：研究報告 V13021，（2014）
8) International Energy Agency: CO2 Emissions from Fuel Combustion 2016
9) 国立環境研究所：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)

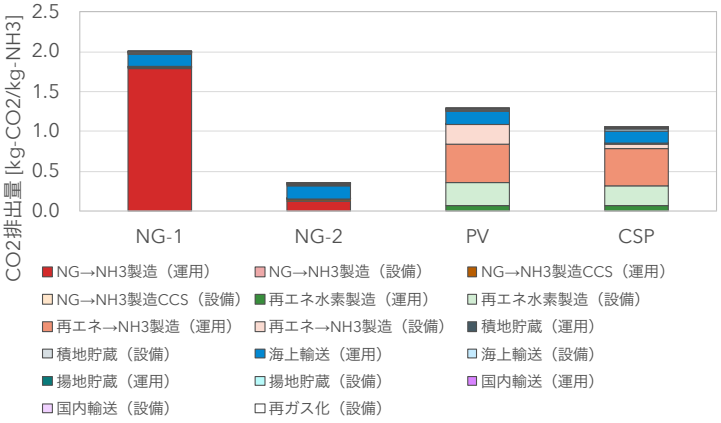


図 1 NH3 サプライチェーンからの CO2 排出量

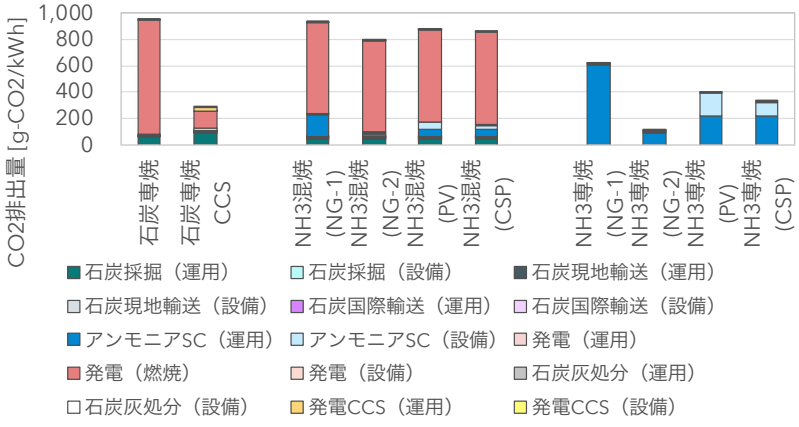


図 2 NH3 発電・石炭専焼発電からの CO2 排出量

C1-11

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

キリバスにおけるバイオマス利用と海面上昇

Issues on Biomass Use and Sea Level Rise in Kiribati Republic

○小野洋*[1)]、山下善道[2)]、金井源太[2)]、野中章久[2)]

Hiroshi Ono, Yoshimichi Yamashita, Genta Kanai, Akihisa Nonaka

1) 日本大学　2) 農研機構

* ono.hrioshi@nihon-u.ac.jp

1. はじめに

経済発展にともなう化石燃料の消費増大は、地球温暖化等の様々な問題を引き起こしている。パリ協定では「温室効果ガス削減の重要性を途上国・島嶼国を含めた全世界が共有」するに至った。その際、南太平洋島嶼国の政府関係者が、COP21 総会や各種メディアにおいて、温室効果ガス増加による海面上昇の被害を指摘したのは記憶に新しい。本報告が対象とするキリバス共和国においても、前大統領アノテ・トンは積極的に発言した[註1)]。

キリバスは国土のほとんどが海抜 2～4m の環礁(low-island)にあり、かつ人口の 95%がこの環礁に住んでいる。有人の陸島(high-island)は首都から 2,000km 離れたクリスマス島 1 つのみである。

海面上昇の被害に脆弱とされるキリバスを、われわれは 2015 年以降、4 度にわたり調査した。目的は、海面上昇の被害の確認、対策の現状把握と、化石燃料削減のための方策の検討であった。

現地調査からは、未利用バイオマス資源の活用が重要なファクターとなること得られた。以下詳細を報告する。

2. キリバス共和国の概要

キリバスは太平洋の中央、フィジーの北、ハワイの南の赤道付近、北緯 1 度に位置し、2016 年現在、33 の島に 11 万人(うち首都南タラワに 5.6 万人)が居住し、一人当たり GDP は約 2,000USD、国連の定義では世界に 47 ある後発発展途上国(LDC)に位置づけられている[註2)]。

就業状況をみる。給与所得者は 2 万人、農業・漁業専業者が 2.7 万人、給与所得者のうち公務員及び政府関連企業の従業者が半数を占める。民間企業は運輸、通信、食品加工等の数社に限られる。なお、レストラン、スーパー等は中国資本がほとんどである。

風間 [1)]は、キリバスを、確たる資源もなく、地理的辺境性から観光産業も未発達であるゆえ、搾取する資源すら存在しない、「周辺国の周辺」に位置づけている[註3)]。

南タラワは電気・ガス・水道等の生活インフラが整備され、人口の 5 割が集中する政治・経済の中心地である。人口増加率は年率 2.5%と極めて高く、このペースでは 2038 年には 10 万人を超えることになる。このためゴミ処理・水質等各種の生活環境問題が喫緊の課題であり、地球温暖化及び海面上昇への関心は極めて低い。他方、首都以外では生活インフラの整備水準が低く、経済格差が拡大している。

3. 農業生産とバイオマス利用

主食は米、コプラ（成熟したヤシの実の果肉）、パンの実(bread fruit)等である。副菜は魚介類が中心である。

ほぼ全土が石灰質土壌のため、土壌有機物の絶対量が不足しており、かつ日射量が過剰であるため、農業生産には遮光が必要となる等、条件は極めて悪い。米(主に calrose)は全量輸入、野菜も国内生産はカボチャと chinese cabagge にほぼ限られ、多くが輸入である。

食料価格は高い。キャベツは日本円で 1 玉 2,500 円。一般的な食堂のメニューは、最も安いものでも 300 円である。なお最低賃金は日本円で時給 90 円である(いずれも 2018 年 9 月現在)。以上の理由から、国民は慢性的な野菜不足状態にある。これに砂糖の大量摂取が加わることで、平均寿命は 66 歳(世界銀行 2016)と短い。

栄養改善のための低価格での野菜供給、すなわち国内での農業生産が求められている。現在は、国交を有する台湾が野菜の技術指導・苗販売を実施し、トマトやナス、chinese cabagge の生産が行われているが、いずれも家庭菜園＋α程度である。生産物は自家消費や親族への譲渡、庭先販売がほとんどである。市場の形成には至っていない。

石灰質土壌下での農業生産には、土壌有機物の増加が不可欠である。この問題を解決するために、バイオマス資源の利活用が検討され、昨年度から、市役所が中心となった堆肥化プロジェクトが開始された。これは街路樹等の剪定枝等に家畜ふんを混合し、発酵させ、堆肥として販売するものであり、我々も技術指導を行っている。但し、製品となる堆肥は 1 袋(約 20 リットル)90 円であり、まずは、堆肥の安定的かつ安価での供給が求められている。

4. 化石燃料削減とバイオマス利用

パリ協定では、途上国に対しても温室効果ガスの削減

努力を課している。キリバスにおける課題は「高価な化石燃料の使用を削減するための、未利用バイオマス資源の活用」であり、先進国とは背景が大きくに異なる。

キリバスの一人当たり GDP は日本の 1/20 であるが、灯油価格は 120 円/ℓと日本よりも高い。これには、家庭用の灯油需要量が少なく、また国内に石油精製施設がない、というキリバスの特殊事情がかかわっている。ジェット燃料の残余分を家庭用灯油として利用したほうが安価なため、国民は、不必要に高スペックなジェット燃料を高い価格で購入し、日常の煮炊きに使用している。

表 1 には、2010 年及び 2015 年の調理用熱源割合を示した。首都では急激に都市化が進んでおり、灯油の使用割合が増えている。離島部においても、都市での生活経験者や出稼ぎ者により、灯油を利用する調理器具が島に持ち込まれ、同様に灯油の使用が増えている。

他方、首都・離島部ともにバイオマス資源の利用割合は低下している。この 5 年間の人口増加(首都 10%増、離島 1%増)を勘案しても、バイオマス資源利用の絶対量は減少していると推察される。

コプラ殻の有効利用に関する技術開発については、これまでも各国による経験がある。離島部では、首都向けのコプラ殻の燃料化プロジェクトが行われたが、原料生産ゆえ利幅が少なく、かつ輸送上の問題もあったため、普及・定着には至っていない。

しかし、表にみるように、この 5 年をみても、離島部での化石燃料(灯油)利用は進んでいる。我々は、ローテクによるバイオマス利用システムの開発に取り組んでいる。こうした取り組みは、化石燃料の削減による外貨節約、離島での産業振興、さらには温室効果ガス排出削減の実現を目標としている。

表１　家庭における主たる調理用熱源割合（%）

	首都	離島部	全国
2010			
灯油	59.6	6.3	28.6
木材・コプラ殻/残渣	34.7	93.0	68.2
ガス	5.4	0.4	2.5
購買電力	0.2	0.1	0.1
その他	0.1	0.1	0.1
2015			
灯油	74.9	12.0	39.8
木材・コプラ殻/残渣	14.3	77.1	55.0
ガス	9.6	0.6	4.6
購買電力	0.7	0.2	0.5
その他	0.1	0.1	0.1

資料：Kiribati 2010, 2015 Census report

5.　おわりに

海面上昇の被害に最も脆弱とされる、南太平洋のキリバス共和国を対象に、これまで実態調査を実施してきた。

現時点で得られた課題は以下である。1.石灰質土壌ゆえ農作物栽培が困難であり、バイオマス資源利用による堆肥投入が求められている。2.化石燃料の相対価格は極めて高い一方、国内には未利用バイオマス資源が存在する。このため、未利用バイオマス資源の利活用が求められている。1.については、収集業者と地元自治体とのトラブルにより、現在は一時中断を余儀なくされているが、我々は技術提供等の連携関係を継続している。2.については、実証は緒についたばかりであり、今後発生する様々な課題にいかに対応するかが求められる。

地球温暖化問題に関連しては、調査で得られた知見として、次の点を指摘しておく。

3.キリバスにおける海面上昇被害の発生については、留保が必要である[註4)]。粗雑な工事が原因の浸水を海面上昇の被害と報じたり、King Tide(年に数回の大潮)発生時にのみ取材にやってくる先進国メディアに対する国民の目は比較的厳しい。キリバス国民にとってのプライオリティは、経済問題、栄養問題、生活環境問題にある。温暖化問題への関心が、こうした課題への対応を遅らせることへの懸念は強い。

註 1) COP21 の温室効果ガス削減努力目標が達成されたとしても、キリバスの大部分は 50～100 年後には海面下に沈むことになる。キリバスは 2014 年、国民避難用にフィジーの土地 22k ㎡を 877 万ドルで購入した。

註 2)不十分な港湾設備、複雑な船舶航路が経済発展の足かせとなっている。前者は大型船の接岸を困難にし、輸送効率を下げ、後者は輸送コスト上昇と国際競争力低下をもたらしている。

註 3)日本大使館はなく、JICA も出張所を置いているが、常駐職員はいない。長期在住日本人は 1 名である。

註 4)2016 年にキリバスを調査した杉山[3)]も同様の指摘をしている。また Weiss[4)]は、キリバスの陸地拡大に関する研究成果を紹介している。

6.　参考文献

1) 風間計博,“窮乏の民族誌”,大学教育出版, 岡山, (2003), p.325

2) National Statistics Office, Kiribati Republic,:2010, 2015, Population and Housing Census, volume 1: Management Report and Basic Tables, (2012), (2016).

3) 杉山大志: “キリバスの地球温暖化への適応について”, キャノングローバル戦略研究所ワーキングペーパー, 17-003J, (2017)

4) K.R. Weiss: Before we drown we may die of thirst, Nature, 526, (2015), pp.624–627.

序列付きシステム合成による未知の条件の存在下での バイオマス利用システムとその運転スケジュール設計支援

Design support of biomass utilization system and its operation schedule in the presense of unknown condition by system sysnthesis with a rank order

○川音侑輝*[1)]、大野肇[1)]、小原聡[2)]、福島康裕[1)]

Yuki Kawaoto, Hajime Ohno, Satoshi Ohara, Yasuhiro Fukushima

1）東北大学、2）アサヒグループホールディングス株式会社

* kawaoto@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

バイオマス利用システムの設計では、利用可能な原料・技術・製品の網羅的探索や考慮すべき制約条件の検討、複数の目的間の調整などといった問題の定義をいかに効率よく、包括的に行えるかが課題である。システム設計初期においては、利用可能な資源や事業規模などに関して未知、未定の事項が存在し得るが、システムの目指す目的（例：収益、環境負荷）に対して肝となる事項が未理解の段階で調査を行えば、要素間の関連が不明瞭なため過大な時間と労力を要するおそれがある。

原料や変換プロセス、製品などシステム構成要素の組み合わせについて、Maronese ら [1)]は Integer-Cuts Constraint（ICC）法を用いた序列付きシステム合成手法を提案している。我々は、この手法の応用により序列に影響を与える要素を抽出することで、さらなる調査の必要がある事項を明確化し、詳細設計のベースとなる概念設計を効率的に支援できると考えた。本研究では、それぞれの組み合わせに付随して、原料の利用可能限度と変換プロセス設備の導入規模がそれぞれ最大量より小さくなるケースをも序列に含めるという新たな着想と、それを実現する数理的工夫を加えた。これにより、合成されたシステムに関してステークホルダーへのヒアリングや網羅的文献調査など、労力をかけて調査を行うべき事項を提示し、境界条件の変化に対する目的安定性を理解できるようになった。

さらに，バイオマス利用システム特有の事情に、季節依存性がある。これを克服し設備稼働率を向上するためには物質貯蔵を柔軟に組み込んだ運転スケジュールの最適化が必要である [2)]（図 1）。この機構を上記の序列付きシステム合成に組み込んだ例で既知のものはなく、初の試みとなる。本発表ではその概要を、ケーススタディにより示す。

2. 貯蔵を含む時系列モデルによるシステム合成手法

本研究では変数に時系列変化が生じないと仮定できる期間をタイムスライス（TSL）[1)]と定義し、TSL の循環により季節依存性を含む時系列をモデル化する。シ

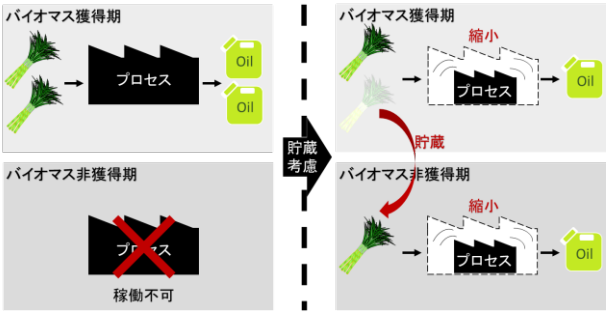


図 1　物質貯蔵による稼働率向上効果イメージ

ステム合成はスーパーストラクチャ（SS, 考え得るすべてのシステム構造をその部分構造として含んだ構造）に数理最適化（利潤の最大化や環境影響の最小化）を適用することでおこなう [2)]。所定の目的関数（利潤の最大化（式 1-1）や GHG 排出量の最小化（式 1-2））に応じ、原料や中間製品などの貯蔵に対応したシステムが序列付きで合成される。

$$\text{Max } \mathbf{C_M}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w}-(\mathbf{C_O}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{v}+\mathbf{C_I}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y_I}) \quad (1\text{-}1)$$

$$\text{Min } \frac{\mathbf{E_M}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w}+\mathbf{E_O}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{v}+\mathbf{E_I}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y_I}}{\boldsymbol{w}_{product}} \quad (1\text{-}2)$$

$$\mathbf{S}\boldsymbol{v}=\boldsymbol{w} \quad (2)$$

本手法における SS は選択肢となるプロセスの原単位を用い、導入可能な貯蔵庫を自動追加した行列 **S** として構築される。このときすべての変換プロセスと貯蔵庫は設定した数だけあらかじめ複製しておく。この SS に対しプロセス稼働量を示す設計変数ベクトル $\boldsymbol{v}$ を乗じてシステム全体の正味の物質収支 $\boldsymbol{w}$ を算出することができる（2）。なお、異なる TSL に属する変換プロセス、物質はそれぞれ区別して記述しておく。物質の変換は TSL 内のみで行われ、貯蔵庫を用いた場合のみ物質は次の TSL への移動を許容（＝次の TSL における同物質への変換が可能と）する。

次に合成時の制約条件として、変換プロセス導入規模・稼働量、原料供給量、製品需要量、貯蔵可能量を制約する。制約条件は TSL ごとに記述できる。例えばある TSL において設備整備等でプロセスが一時停止する場合は、その TSL の当該変換プロセスの稼働量の

上限を 0 にすることで表現する。バイオマス資源利用可能量の季節変動もこの作業で設定する。また、前段階で複製した変換プロセスや貯蔵庫について、異なる導入規模を定義することで、仮想的に規模の異なるプロセスを SS に含めるようにした。

最後に整数線形計画法(MILP)を用いてシステムを序列付きで合成する。序列の作成は ICC 法 [1]に基づき、制約条件を逐次追加していく方法を用いて行うが、従来法と異なり、組み合わせだけでなく規模変動による効果も序列に反映される。

3.　ケーススタディ

オーストラリアにあるエタノール製造能を持つ製糖工場のシステム設計支援を行う。選択肢となる変換プロセスはサトウキビ収穫、製糖工程、エタノール製造、バイオガス製造、エンジン、ボイラーでこれらの組み合わせと規模を考慮し序列付きシステム設計を行う。TSL はサトウキビが収穫されない休糖期（251 日）を TSL1、収穫される製糖期（114 日）を TSL2 とした。製糖は晶析前に還元糖のみを選択的に発酵する「逆転生産プロセス」[3]の導入を想定し、製糖工程において粗糖とその副生物である糖蜜・バガスだけでなく 2 wt%エタノールも製造される。無水エタノールは逆転生産プロセスにより製造された糖蜜（逆転糖蜜）、外部から購入する糖蜜（購入糖蜜）、粗糖、40 wt%エタノールから製造可能とした。エタノール製造の副生物である蒸留廃液は発酵によるバイオガス製造に、バイオガスはエンジンによる発電に、バガス及び製糖工場周辺から収集可能なグリーン系燃料はボイラーを用いた発電に利用可能とした（図 2）。すべての変換プロセスは 10 個に複製され、均等に規模が変動するように設定した。目的関数は利潤の最大化を採用し、上記のモデルを用いて序列付きでシステムを合成した。

序列一位のシステムは利潤が 21,084,000 AUD（オーストラリアドル）/year で貯蔵物質はバガス、粗糖および蒸留廃液となった（図 3 および S1）。序列結果を用いた設計支援として、例えばバガスの貯蔵が不可能だという制約の存在が明らかになった場合、バガスを貯蔵しないシステムで最も序列の高いシステムは序列 14 位に位置し、その利潤は序列一位の 88 %であることが判断できる。また設計されたそれぞれのシステムを比較すると、粗糖の製品量および各 TSL における売電量が異なることやバガスが貯蔵されない代わりに序列 1 位のシステムでは貯蔵されていなかった蒸留廃液が貯蔵されていることがわかる（図 S1 および S2）。本ケーススタディではすべての物質を貯蔵可能であると仮定して設計を行ったが、上記のように貯蔵物質の選択によって利潤や販売製品量が変化することから、各中間体の貯蔵可能性はシステムの詳細設計の事前に十分調査する必要があるといえる。

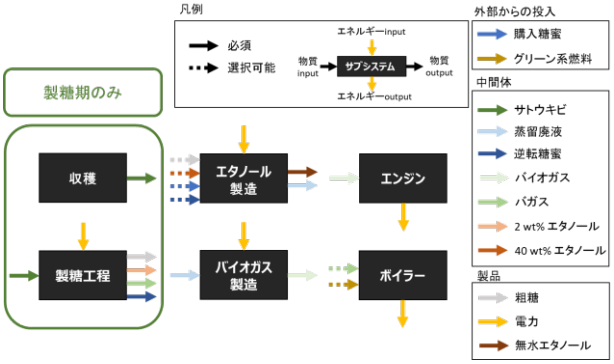


図 2　ケーススタディで用いるプロセス原単位

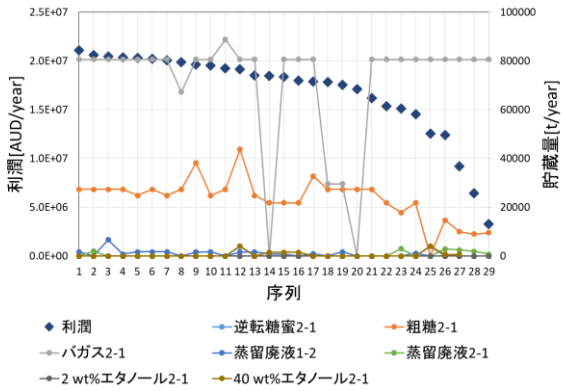


図 3　序列に対する利潤と貯蔵物質・量の推移
（物質 i-j : TSLi から TSLj への物質貯蔵）

4.　結言

バイオマスの季節依存性および物質貯蔵を組み込んだ序列付きシステム合成モデルを開発した。本稿で紹介したケーススタディでは経済的な評価のみを行ったが、GHG 排出量による評価を加えることで経済性と環境影響の両面からの設計支援も可能であると考える。

5.　記号

$\mathbf{C_M}$：製品価格、$\boldsymbol{w}$：正味物質収支、$\mathbf{C_O}$：運転費、$\boldsymbol{v}$：プロセス稼働量、$\mathbf{C_I}$：設備投資費、$\boldsymbol{y_I}$：プロセス選択バイナリ、$\mathbf{E_M}$：原料調達に係る GHG 排出量、$\mathbf{E_O}$：運転に係る GHG 排出量、$\mathbf{E_I}$：設備投資に係る GHG 排出量、$\mathbf{S}$：スーパーストラクチャ行列

6.　引用文献

1)　Maronese S., Ensinas A. V., Mian A., Lazzaretto A., Marechal F. : Ind. Eng. Chem. Res. 54, (2015), pp.7038-7046

2)　Gerber L., Faslollahi S., Marechal F. : Comput. Chem. Eng. 59, (2013), pp.2-16

3)　Ohara S., Fukushima Y., Sugimoto A., Terajima Y., Ishida T., Sakoda A.: Biomass Bioenerg., 42, (2012), pp. 78-85

Supporting Information

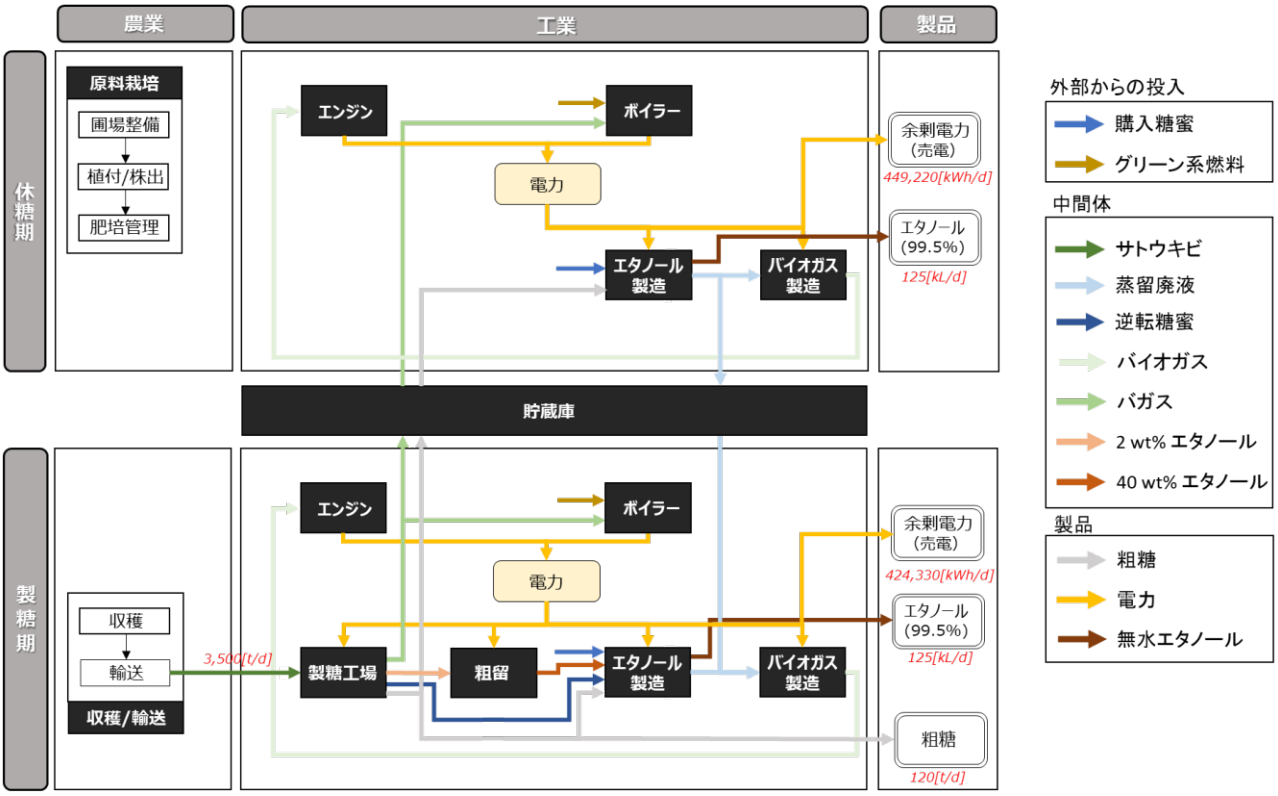


図 S1　序列 1 位のシステム

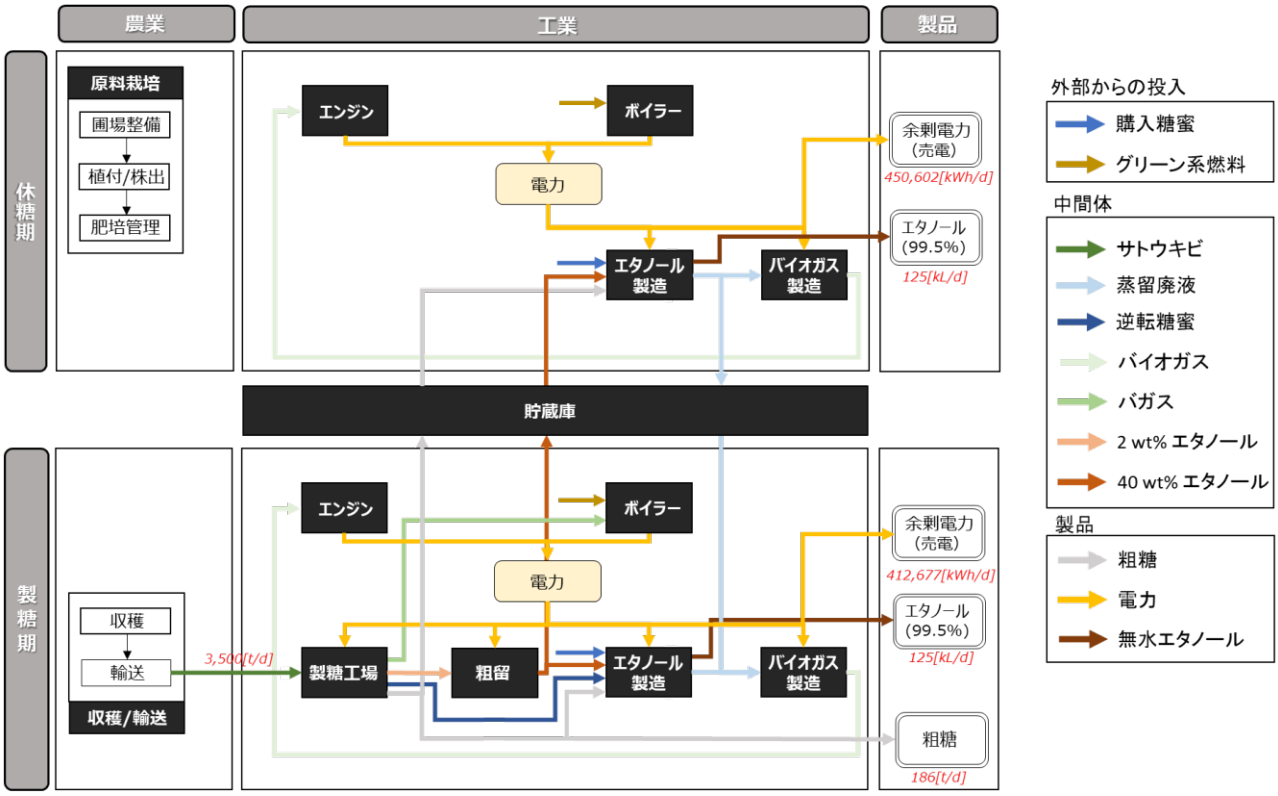


図 S2　バガスの貯蔵が許容されないときのシステム（序列 14 位）

C1-13,P2-112　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

C5/C6 オレフィンを主成分とするバイオガソリンの ライフサイクル評価と技術経済性分析

Life Cycle Assessment and Techno-Economic Analysis for biogasoline consisting of C5/C6 olefins

○奥山泰世*[1)]、楊路 [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, Lu Yang, Hajime Ohno, 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。我々は、新規固体触媒を用いて、セルロース由来の糖の水素化分解を行い C5/C6 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、これを脱水し、従来の石油由来のガソリンにも含まれる C5/C6 オレフィン(ペンテン/ヘキセン)を製造するプロセス(バイオガソリン製造プロセス)の研究開発を進めている [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(84.11 g-CO_{2e}/MJ-gasoline)に対して、WTW(Well to Wheels)で 55%以上の排出削減(排出量上限 37.8 g-CO_{2e}/MJ-gasoline)が求められている [2)]。バイオガソリンの WTW での GHG 排出は、①原料(セルロース系バイオマス)の生産と調整、②原料の輸送、③バイオガソリンへの変換(バイオリファイナリー)、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。①、②、及び④からの GHG 排出量は、JEC の報告値 [4)] を我々の条件に適合させることで算出した。③のバイオリファイナリーは米国 National Renewable Energy Laboratory (NREL)の報告を参考に、ⅰ)原料ハンドリング、ⅱ)前処理、ⅲ)酵素糖化、ⅳ)酵素製造、ⅴ)触媒変換、ⅵ)廃水処理、ⅶ)貯蔵、ⅷ)熱電併給、ⅸ)ユーティリティの 9 つのエリアで構成されると想定した。この中で、我々のバイオガソリン製造プロセスはⅴ)触媒変換であり、後述するシミュレーションによって GHG 排出量を算出した。その他のエリアからの GHG 排出量は NREL の報告値を使用した。

バイオガソリン製造プロセスで用いられる熱と電気は、バイオリファイナリー内で得られるリグニンやパージガスを燃料とする熱電併給で賄われる(余剰電力が発生する場合は、グリッドに売電してグリッドの炭素排出強度をクレジットとして得ることができる)。よって、バイオガソリン製造プロセスで生じるGHG排出は水素化分解に用いる外部水素の炭素排出強度のみに由来する。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は、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、バイオリファイナリーからのGHG排出の大半を占めることになる。そこで、外部水素の使用量を減らすため、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)機能を付与した新規固体触媒(Pt-Ir-ReO_x/SiO_2)の開発に取り組んでいるが [5)]、その一方で、触媒開発のゴールを想定した生成物の収率をベースに、APR反応がGHG削減効果に及ぼす影響を検討してきた [6)]。

バイオガソリンは持続可能性基準だけではなく、コスト競争力も求められるため、ライフサイクル評価(LCA)と共に技術経済性分析(TEA)も重要である。本研究では、Aspen HYSYS®でバイオガソリン製造プロセスのモデルを作成し、物質・エネルギー収支及び設備設置コストを求め、WTW の GHG 排出量及び最小燃料販売価格(MFSP)を算出して LCA 及び TEA を実施した。

2. バイオガソリン製造プロセスの概要

図 SI にバイオガソリン製造プロセスのフローと想定する触媒変換の反応式を示す。バイオリファイナリーのバイオマス処理量は 2,000 dry-biomass ton /day とし、バイオガソリン製造プロセスに入るセルロース由来の糖はすべてグルコースとした。グルコース水溶液、外部水素及びリサイクル水素は、所定の温度に加熱され、Pt-Ir-ReO_x/SiO_2 が充填されたリアクター1 に入る。グルコースは全て水素化されてソルビトールとなり(SI eq.1)、そのソルビトールは APR 反応(SI eq.2)と水素化分解反応(SI eqs.3-6)に供される。本研究では、ソルビトールが APR 反応に供される割合を APR 反応選択率 θ_{APR}(SI eq.7)とし、この値を任意に変化させてシミュレーションを行った。APR 反応に供されなかったソルビトールは全て水素化分解反応に用いられ、各反応の割合は触媒開発のゴールを想定して決定した。リアク

ター1 のエフリューエントは冷却後、オフガス、有機相(水素化分解生成物)及び水の三相に分離される。オフガスは水素回収装置(Pressure Swing Adsorption :PSA)で水素を回収してリサイクルされ、残りはパージガスとなり、バイオリファイナリー内にある熱電併給の燃料となる。有機相は再び所定の温度に加熱され、脱水反応用の固体酸触媒が充填されたリアクター2 に入り、水素化分解反応によって生成されたヘキサノール及びペンタノールはすべて脱水されて、ヘキセン及びペンテンとなる(eqs.8-9)。リアクター2 のエフリューエントは冷却され、水分を除去された後、C5/C6 オレフィンを主成分とするバイオガソリンが得られる。

3. MFSP の計算方法

MFSP は NREL のバイオリファイナリーの割引キャッシュフロー計算(プラント寿命 30 年、割引率 10%)を参考に [3]、NREL の v)触媒変換をバイオガソリン製造プロセスに置き替えた時の NPV(Net Present Value)が 0 となる燃料販売価格として算出した。ここで、開発途上の触媒のコストは、暫定的な触媒充填量、触媒寿命、及び担持貴金属の単価を基に見積もった。

4. 結果

図 1 に θ_{APR} を変化させた時の WTW での GHG 排出量及び θ_{APR} が 0%-C の時を基準とした MFSP の変化率を示す。θ_{APR} を増大させると炭素排出強度の高い外部水素使用量を削減できるため、GHG 排出量を削減できるが、MFSP は θ_{APR} が 20%-C まで増加すると 10%以上増加することが分かった。これは、θ_{APR} が増大すると原料のセルロース由来の糖の一部が水素製造に用いられるので、製造されるバイオガソリンの収量が減少するためである。

次に、図 2 に一例として、θ_{APR} が 0%-C の時の MFSP へのコスト寄与率を示す。リファイナリー全体におけるバイオガソリン製造プロセスのコスト寄与率は 39.3%と非常に大きいことが分かった。そして、その内訳は、固定費 0.4%、設備費 1.5%、水素 20.2%、及び触媒 17.1%であった。よって、製造するバイオガソリンのコスト競争力を向上させるためには、バイオガソリン製造プロセスにおいて、水素及び触媒のコストを削減できるようなプロセス設計や触媒の改良がポイントとなる。

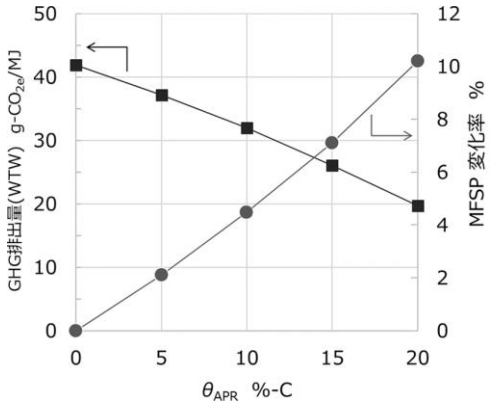


図 1　θ_{APR} を変化させた時の GHG 排出量と MFSP
■：GHG 排出量(WTW)　●：MFSP 変化率

5. まとめ

θ_{APR} を増大させて外部水素使用量を削減することで GHG 排出量を削減できたが、MFSP は増加した。つまり、我々のバイオガソリン製造プロセスのコンセプトでは環境性能とコスト競争力はトレードオフの関係であることが明確になった。また、バイオガソリン製造プロセスの MFSP へのコスト寄与率は、触媒や水素の費用が大半を占めており、その削減がコスト競争力の改善に大きく影響することが分かった。今回のような基礎研究段階における LCA や TEA の結果は、研究開発の重点項目を明確にすることや開発目標の設定に活用することができる。

6. 引用文献

1) Y. Okuyama, et al.: *J. Jpn. Petrol. Inst*., 59 (5), (2016), 228-234.
2) 経済産業省: “平成 30 年度以降の 5 年間についての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”, (2018).
3) 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.
6) 奥山泰世ほか: “第 13 回日本 LCA 学会研究発表会” つくば, (2017), pp.168-169.

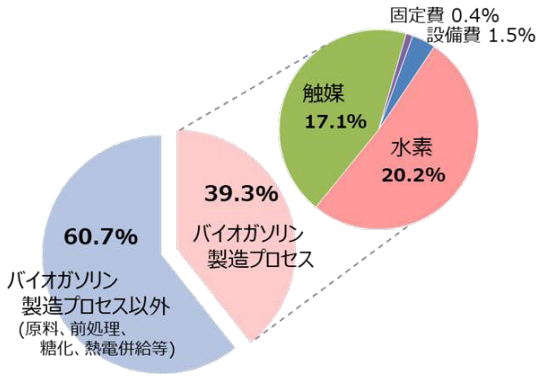
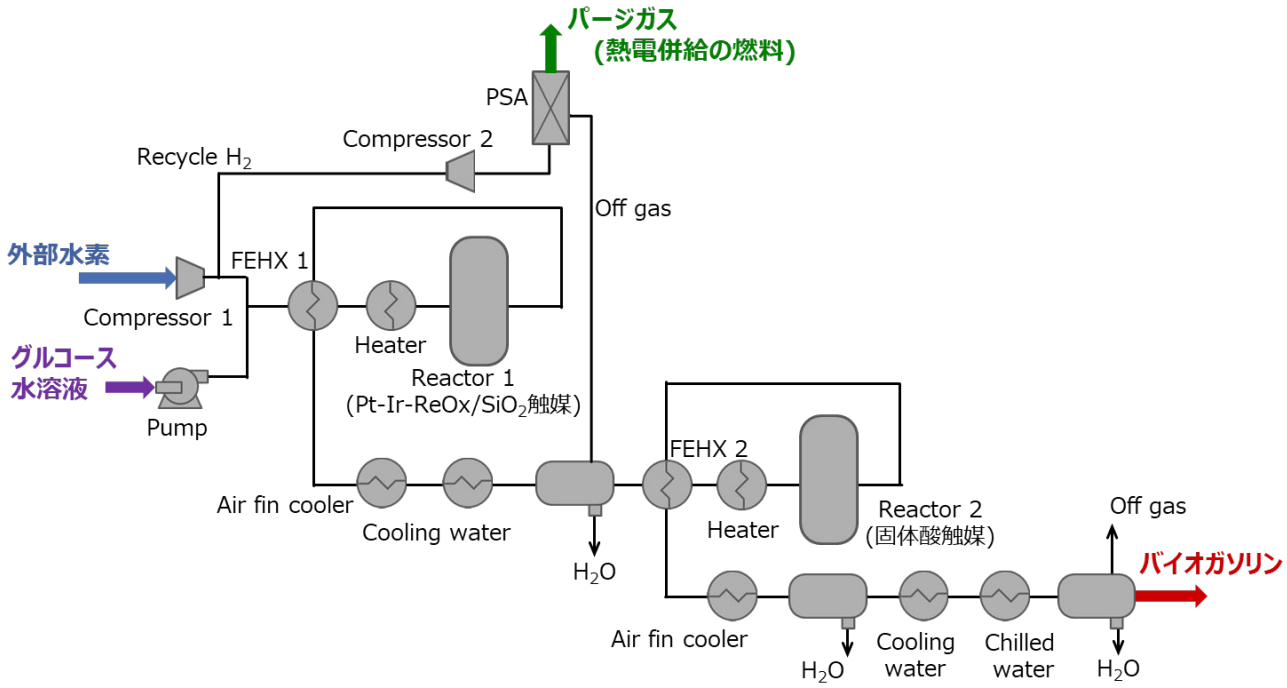


図 2　MFSP へのコスト寄与率(θ_{APR}＝0%-C)

Supporting Information



Reactor 1

水素化反応

$C_6H_{12}O_6$ (glucose) + H_2 → $C_6H_{14}O_6$ (sorbitol) (1)

APR 反応

$C_6H_{14}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 13H_2$ (2)

水素化分解反応

$C_6H_{14}O_6 + 5H_2 \rightarrow C_6H_{14}O$ (hexanols) $+ 5H_2O$ (3)

$C_6H_{14}O_6 + 6H_2 \rightarrow C_5H_{12}O$ (pentanols) $+ CH_4 + 5H_2O$ (4)

$C_6H_{14}O_6 + 6H_2 \rightarrow C_6H_{14}$ (hexane) $+ 6H_2O$ (5)

$C_6H_{14}O_6 + 7H_2 \rightarrow C_5H_{12}$ (pentane) $+ CH_4 + 6H_2O$ (6)

APR 反応選択率(θ_{APR})

θ_{APR} = (APR 反応に供されるソルビトールの炭素モル数)

÷ (APR 及び水素化分解反応に供されるソルビトールの炭素モル数) ×100 (7)

Reactor 2

脱水反応

$C_6H_{14}O$ (hexanols) → C_6H_{12} (hexenes) $+ H_2O$ (8)

$C_5H_{12}O$ (pentanols) → C_5H_{10} (pentenes) $+ H_2O$ (9)

図 SI バイオガソリン製造プロセスのフロー概要と想定する触媒変換の反応式

C1-14,P2-115　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

バイオジェット燃料のコンセプチュアル製造プロセスにおける WTWa GHG 排出量試算

Well-to-Wake greenhouse gas emissions from a conceptual process of biojet fuel production

○楊路*[1)]、奥山泰世[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)]
Lu Yang, Yasuyo Okuyama, Hajime Ohno, 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
* Lu.Yang@showa-shell.co.jp

1. はじめに

近年、航空業界では運航時の CO_2 排出削減のための種々の取組が行われている。その中で、IATA（International Air Transport Association：国際航空運送協会）は 2050 年迄に 2005 年比較で CO_2 排出量半減の目標を掲げている。この目標を達成するためには、カーボンニュートラルなバイオジェット燃料の導入が不可欠となり、その市場規模は 2030 年に約 4 兆円にも達することが見込まれる[1)]。

バイオジェット燃料へのニーズが高まりつつある中、代表的な製造技術としては、ガス化 FT 合成（Gasification and Fischer-Tropsch synthesis）、HEFA（Hydroprocessed Esters and Fatty Acids）、ATJ（Alcohol to Jet）等[2)]が挙げられるが、HEFA を除いては商用化フェーズに至っておらず、実用化に向けた多種多様な製造技術の開発が行われているのが現状である。

我々はセルロース由来の糖から C5/C6 モノオールを介する C5/C6 オレフィンを製造するドロップインバイオガソリンの開発[3)]に取り組んでおり、これをベースにしてオレフィンの重合工程を加えることにより、バイオジェット燃料を製造するコンセプチュアルプロセスを考案した。製造技術の開発においては LCA と経済性両方の観点から技術のフィージビリティや優位性を検証することが強く求められている。したがって、本研究では、我々の考案したバイオジェット燃料の製造プロセスにおける Well-to-Wake（WTWa）GHG 排出量の試算、及び影響要因である副原料の水素と副産物の余剰電力に対する感度分析の結果を紹介する。

2. 方法

2.1 プロセスフロー

バイオジェット燃料のサプライチェーンにおける原料の栽培・調達、バイオリファイナリー、燃料の貯蔵・輸送、及びエンドユースをシステムバウンダリーとする。バイオリファイナリーでは、米国 National Renewable Energy Laboratory（NREL）の報告書[4)]を参考に、①原料ハンドリング、②前処理、③酵素糖化、④酵素製造、⑤触媒変換、⑥廃水処理、⑦貯蔵、⑧熱電併給、⑨ユーティリティの 9 つのエリアから構成されると想定した。我々が考案した⑤触媒変換エリアは、糖から水素化分解により C5/C6 モノオールへの変換、モノオールの脱水により C5/C6 オレフィンへの変換、オレフィンの重合及び水素化の工程が含まれるジェット燃料とディーゼルを製造するプロセスである（図 1 参照）。

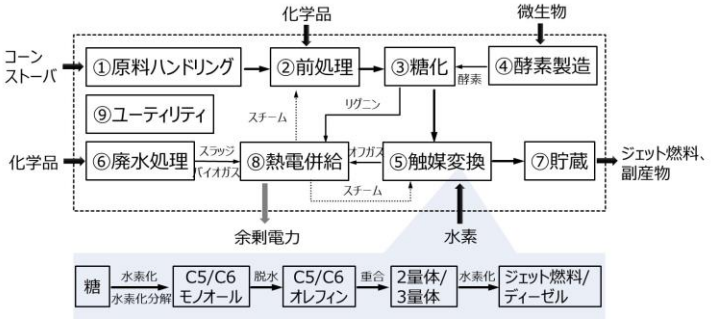


図 1 バイオリファイナリー及び触媒変換工程

2.2 インベントリデータ

インベントリデータを推算するにあたり、バイオリファイナリー中の⑤触媒変換エリアに対しては、プロセスシミュレーターである Aspen HYSYS®を用い、物質・エネルギー収支を算出することにより、インベントリデータを得た。ここで、原料の処理量は 2,000 dry biomass ton/day 規模であると想定する。一方、バイオリファイナリー中の⑤触媒変換以外のエリアでは、NREL の報告書に記述されたデータを参照した。WTWa におけるバイオリファイナリー以外の段階については、JEC のバイオ燃料の Well-to-Wheel での GHG 排出量に関する報告書の値[5)]を参考にした。

2.3 副産物の扱い

バイオリファイナリーでは、必要とされる熱と電気は全て構内の糖化や触媒変換エリアから出てくるリグニンやパージガス等の燃焼による熱電併給で賄われると想定したため、本プロセスはエネルギー自給できるシステムである。発電量が各工程の需要を満たした後、

余剰電力が発生した場合、電力グリッドへの外販によりグリッドの炭素排出強度のクレジットがもらえると想定した。一方で、我々の触媒変換工程からジェット燃料とディーゼル 2 種類の製品が生産されるため、ジェット燃料とディーゼルの熱量比によって、即ちエネルギーアロケーション法で製造プロセスから生じる GHG 排出量を配分することとした。

3. 結果

3.1 GHG 排出量と削減効果の算出

我々のコンセプチュアル製造プロセスにおけるバイオジェット燃料の WTWa GHG 排出量は 45.0 g CO_2e/MJ であり、その中バイオリファイナリーとそれ以外（原料調達、燃料輸送等）由来がそれぞれ 91.8%、8.2%を占めた。バイオリファイナリーにおいては、外部水素、電力クレジット、及び前処理で用いる化学品等由来の割合がそれぞれ 110.4%、-29.1%、及び 18.7%であり、外部水素の購入と余剰電力の外販が GHG 排出量に大きなインパクトを与えることが示された。また、石油由来のジェット燃料の GHG 排出量（87.5 g CO_2e/MJ）[2]をベースラインとし、本製造プロセスでの GHG 削減効果が 48.6%であると算出した。

3.2 感度分析

水素と余剰電力外販によるクレジットがトータルの GHG 排出量に大きく寄与するため、それに関する感度分析を行った。

表 1 水素製造における炭素排出強度[6]と GHG 排出量

水素製造法	炭素排出強度 [kg CO_2e/kg H_2]	GHG 排出量 [g CO_2e/MJ]
メタン水蒸気改質	11.2	45.0
従来の水電解	29.3	118.6
PV 電源水電解	2.4	9.2
バイオマスガス化	1.4	5.3

バイオリファイナリーで使用する外部水素はメタンの水蒸気改質（ベースケース）、従来の水電解、PV 電源を利用する水電解、及びバイオマスガス化により製造されると想定した（表 1 参照）。電力においては、アメリカ（ベースケース）、インド、日本、ブラジル、フランス各国の電力グリッドの平均炭素排出強度を考察した（表 2 参照）。水素の炭素排出強度が下がれば、バイオジェット燃料の GHG 排出量が減るのに対し、グリッドの炭素排出強度が下がるともらえるクレジットが減るため、GHG 排出量が増える結果となった。

図 2 は、将来の低炭素社会に向けて、水素とグリッドの炭素排出強度が共に低下した際の“等 GHG 削減効果”ラインを示したものである。仮に水素とグリッドの炭素排出強度が図中の傾きに沿って低下する場合は、我々のバイオジェット燃料の GHG 削減効果（図中の点線の交点）は維持されることになる。

表 2 電力グリッドの炭素排出強度[7]と GHG 排出量

電力グリッド	炭素排出強度 [kg CO_2e/kWh]	GHG 排出量 [g CO_2e/MJ]
アメリカ	0.65	45.0
インド	0.81	42.0
日本	0.52	47.4
ブラジル	0.10	55.2
フランス	0.05	56.1

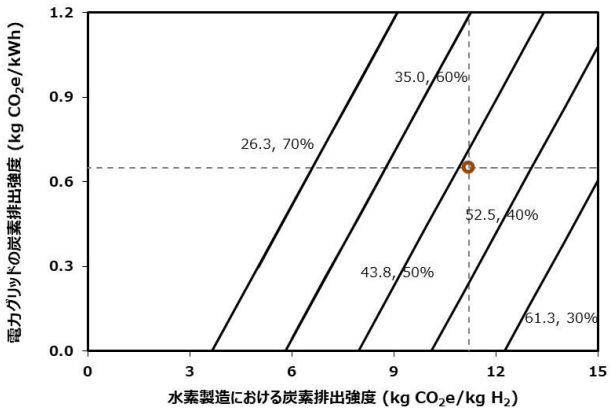


図 2 バイオジェット燃料の“等 GHG 削減効果”ライン（図中の数字は GHG 排出量, GHG 削減効果を表す）

4. まとめ

本研究では、バイオマス由来の糖を原料としてバイオジェット燃料を製造するコンセプチュアルプロセスを考案し、その WTWa GHG 排出量を試算した。感度分析の結果から、GHG 排出量は、副原料として用いる水素、及び発電グリッドの炭素排出強度に強く依存することが見い出された。

5. 引用文献

1) NEDO: “次世代バイオ燃料分野の技術戦略策定に向けて”, (2017)
2) NREL: “Review of Biojet Fuel Conversion Technologies”, (2016)
3) Y. Okuyama, et al.: J. Jpn. Petrol. Inst., 59 (5), (2016), 228-234
4) NREL: “Process Design and Economics for the Conversion of Lignocellulosic Biomass to Hydrocarbons”, (2015)
5) JEC: “Well-to-Tank Report Version 4.a”, (2014)
6) JST-LCS: “カーボンフリー水素の経済性と CO_2 排出量”, (2018)
7) 資源エネルギー庁: “地球温暖化について”, (2018)

D1-11
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

製品のシェアリングによる環境負荷削減ポテンシャルのパターン分析

Product classification to strategically analyze the environmental potential of product sharing

○天沢逸里*[1)]、文多美 [1)]、平尾雅彦 [1)]
Eri Amasawa, Dami Moon, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* aamasawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、モノやサービスを他の人と共用・共有することで経済を回す Sharing Economy（シェアリングエコノミー）が国内外で拡大している。消費活動を所有から使用へ、モノからコトへと促すこの経済構図は、消費者のニーズを満たしつつ、脱物質化や資源の有効活用が期待できるため、持続可能な社会の創出を担うとして脚光を浴びている [1)]。シェアリングエコノミーへの期待は大きいものの、実際の環境負荷削減ポテンシャルは不透明なままである。既往研究において、シェアリングの環境負荷削減ポテンシャルは概念的な議論が中心であり、定量的な解析は単独所有（例 自家用車の所有）とひとつのシェアリング形態（例 ライドシェアリングの利用）といった一対比較のケーススタディが主流である [2)]。現状を踏まえて、著者らは多様に存在する所有に頼らない提供形態を一度に比較する、多重比較を試行してきた [3)]。これまでに提供形態の類型化手法を開発し、手法を用いて書籍、自動車、洗濯機をケースに解析を進めた。その結果、各製品の低環境負荷な提供形態は一致せず、シェアリングが必ずしも単独所有と比べて環境負荷を減らすとは限らないことがわかった。環境面からシェアリングに適した製品を具体化するためには、製品特性とその製品の提供形態の関連付けが必要である。

そこで本研究は、現在シェアリングエコノミーで取引されている様々な製品をライフサイクル特性によって分類し、分類とその低環境負荷な提供形態の関連を分析した。ここで呼ぶライフサイクル特性とは、製品を単独所有した場合のライフサイクル環境影響量の内訳分布である。ライフサイクル特性による分類により、製品群の低環境負荷な提供形態が一般化できると、どのような製品をどう提供していくべきか、指針を立てることができるようになる。なお、本研究でシェアリングとは、個人同士が中間業者のプラットフォームを介してモノやサービスを貸し借りすることを指す。

2. 研究手法

2.1 製品の特定

本研究ではまず、シェアリングエコノミー市場で取引されている製品調査するため、2018 年 8 月にベルリンで開催された 1st Life Cycle Innovation Conference にて 1 時間のワークショップを実施した。学会参加者から募ったワークショップには約 22 名参加し、参加者の出身地域ごとにグループを作り、各地域でシェアリングされている製品を挙げてもらった。列挙された製品の中から形のある 30 製品を抽出し、さらに複数製品を代表する 11 製品（**表 1**）を分析対象として選出した。

表1 分析対象とした 11 製品

道具	モビリティ	メディア
電動ドリル	乗用車	書籍
衣類洗濯機	自転車	音楽 CD
家具（テーブル）		
傘		
スーツケース		
衣服（T シャツ）		
食器（コップ）		

2.2 ライフサイクルアセスメント

選出した代表製品をライフサイクル特性により分類するため、製品を単独所有した際のライフサイクルアセスメント（LCA）を実施した。機能単位は製品の機能を考慮して 1 製品もしくは 1 使用と設定した。簡略的な LCA で分類を試行するため、システム境界は**図 1** に示すように製品の製造、消費者の移動、使用、メンテナンスに限定した。

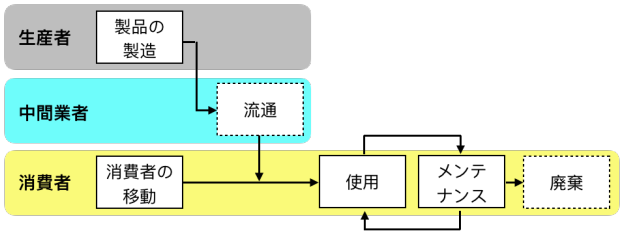


図1 LCA のシステム境界（点線のプロセスはシステム境界外）

地理的条件は日本を想定し、製品の購入は店舗まで物理的に出向くとした。店舗までの移動（i.e. 消費者の移動）はほとんどの製品は片道 2 km の乗用車移動と設定したが、家具は一般製品と比べて店舗数が少ないため、15 km と設定した。また、傘は傘のみを購入するために移動する可能性が低いため、移動は 0 km とした。各製品の耐用年数と使用回数は既往文献を中心に参照し、他は推計値を用いた。製品の製造やメン

テナンスにまつわるインベントリデータは、IDEA (ver. 2.1.3) [5]または既往文献を活用した。環境影響領域は、データの質で一貫性が見込める地球温暖化を選んだ。

3.　ライフサイクル結果に基づく分類結果

11 製品の LCA を遂行した結果、ライフサイクル特性は 4 種類に分類できることが示唆された。本章では、各分類の特徴とその製品群をシェアリングした場合の環境負荷削減ポテンシャルと実現可能性を議論する。

3.1 Production-intensive products

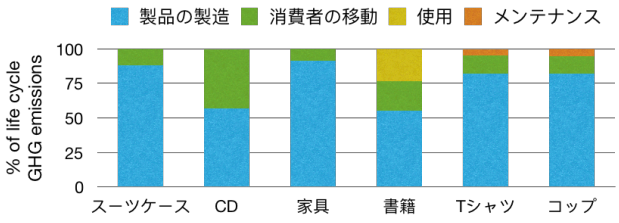
ライフサイクル環境影響量の内訳で、製造が 9 割以上を占める製品群が Production-intensive products である。この製品群には、自転車、傘、電動ドリルが含まれ、いずれも使用段階においてエネルギーを消費しなかったり、製品の使用回数（または使用時間）が製品の耐用年数に対して極端に小さいという特徴がある。このような製品は、消費者の移動を最小に収めることができれば、シェアリングによって製品あたりの使用人数を増やすことで機能単位あたりの環境負荷が削減できる。移動を伴わない地域内の共有や、効率化された流通網を活用すれば、この製品群はシェアリングによって環境負荷を削減することができる。

3.2 Use-intensive products

次に、使用段階がライフサイクル環境影響の 7 割以上を占めた製品群を Use-intensive products とした。この群は乗用車と洗濯機を含み、一般家電と駆動にエネルギー資源を消費するモビリティ全般も同様に属すると考える。製品群に共通することは、機能単位が製品寿命で定義されることである。そのため、Use-intensive products は使用段階を共用することで環境負荷が減る。使用段階を共用するシェアリングの実現可能性として、自動車といったモビリティはライドシェアが考案されているが、洗濯の共用は複数人の洗濯物を一度に同じ洗濯機で回すことを意味する。現実的に洗濯のシェアリングは受容が厳しいかもしれないが、洗濯代行という形で業者が複数人の洗濯物を集約し、洗濯機を限界容量で動かすことができるかもしれない。

3.3 Consumer-travel visible products

3 つ目に、消費者の移動が内訳において 1~4 割を占めた製品を Consumer-travel visible products と呼んだ（**図 2**）。この製品群の共通項は、使用段階とメンテナンスにおける資源消費量がゼロ、またはとても小さいことである。このような製品は、シェアリングのために消費者が移動すると、移動による負荷の割合が急速に増える。そのため、Production-intensive products 同様、消費者が移動せずに（または資源を消費せずに移動）製品を共有することができれば、環境負荷を低減するシェアリング形態になる。



製品群	Consumer-travel visible				Maintenance-visible	
機能単位	[個]				[個]	
生涯利用時間・回数	N/A	2 hrs	N/A	7 hrs	22 uses	100 uses
消費者の移動	2 km	2 km	15 km	2 km	8.5 km	2 km

図 2 Consumer-travel visible products と Maintenance- visible products に属する製品のライフサイクル環境影響量の内訳

3.4 Maintenance-visible products

最後は、**図2**の T シャツとコップが示すような、メンテナンスの割合が全体の 0.5%を占める、Maintenance-visible products 群である。この製品群に属する製品は繰り返し使うために洗剤を使用するため、洗剤による環境負荷が全体の環境影響量に寄与する。これらはメンテナンスを集約することで、シェアリングによる環境負荷の増加を軽減できると考えられる。

4.　おわりに

本研究では、製品のシェアリングによる環境負荷削減ポテンシャルを明らかにするため、11 製品の LCA 結果から製品を 4 群に分類し、製品群ごとにシェアリングで環境負荷が減る条件を挙げた。今後はシステム境界を拡げ、多様な製品への適合性を確認したい。

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）と、JSPS 科研費 JP18K18232 により実施された。

引用文献

1) Ellen McArthur Foundation: “Towards the Circular Economy Vol.3: Accelerating the scale-up across global supply chains”, (2014)
2) Nijland H., van Meerkrek J.: Environ Innov Soc Trans, 23, (2017), pp. 84-91
3) Amasawa E., Suzuki Y., Moon D., Nakatani J., Sugiyama H., Hirao M.: Sustainability, 10, (2018), pp. 2687
4) 柴田翼, 天沢逸里, 杉山弘和, 平尾雅彦: “第 13 回 LCA 学会研究発表会”, 新宿, (2017), pp. 278-279
5) 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 IDEAVer.2.1.3 (2017/04/01)”

D1-12,P2-068　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

地域特性のモデルに基づいた環境配慮型自転車シェアリングシステムの設計

Design of an environmentally-conscious bicycle sharing system based on a model of regional characteristics

○外野　圭太*[1)]、天沢　逸里[1)]、杉山　弘和[1)]、平尾　雅彦[1)]
Keita Hokano, Eri Amasawa, Hirokazu Sugiyama, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* k-hokano@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

自転車シェアリングは一定のエリア内に複数の自転車貸出拠点を設置し、利用者が貸出拠点において自転車を借用・返却できるサービスである。普及に向けた先行研究として、自転車シェアリングの利用者特性の把握[1,2)]、貸出拠点間の自転車偏在予測モデルの構築[3)]、街の魅力に与える効果の把握[4)]がある。これらの研究では、自転車シェアリングシステムの環境影響として移動手段の変化による環境負荷削減効果を対象としている。だが、図 1 に示すように自転車シェアリングシステムは、移動手段の変化以外に貸出拠点間の自転車の偏りを正す再配置なども考慮してシステム設計をする必要がある。本研究では、環境配慮型自転車シェアリングシステムの設計を目的とし、設計変数・評価指標の設定と評価指標に影響する地域特性の抽出を行う。

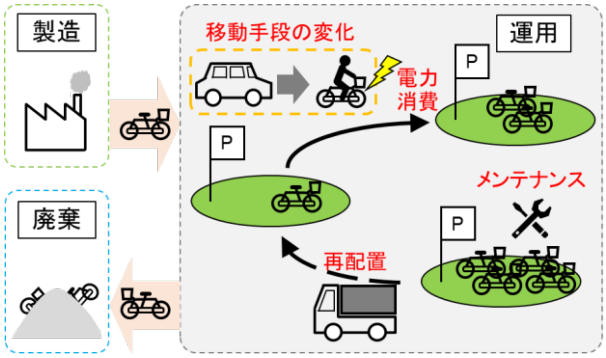


図 1　自転車シェアリングシステムの環境影響

2. 研究方針

地域特性の抽出にあたり、図 2 に示した 3 つのステップで分析を進める。図 1 に示した自転車シェアリングシステムの改善すべき点を見つけるために、環境影響評価を通してホットスポット分析をする。その後、改善すべき点における設計変数と評価指標を設定し、評価指標に影響する地域特性を抽出する。

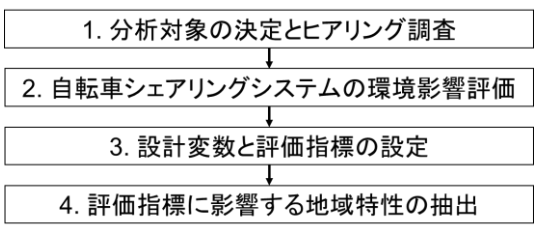


図 2　研究方針

3. 設計に向けた分析手法と結果

3.1 分析対象の決定とヒアリング調査

本研究の分析対象は、横浜都心部コミュニティサイクル事業（以下 baybike‡ と呼ぶ。）とした。baybike は、実施期間は 2014 年 4 月～2019 年 3 月、自転車台数は約 670 台、貸出拠点数は 72 か所（2018 年 10 月 31 日現在）と日本有数の事業である。実施主体である横浜市都市整備局、及び運営主体である株式会社ドコモ・バイクシェアへのヒアリング調査によって、自転車シェアリングシステムの再配置の状況等を得た。加えて、アンケート調査の結果や利用者の貸出拠点間移動データも得た。

3.2 自転車シェアリングシステムの環境影響評価

自転車シェアリングシステムの 1 年間の運用を機能単位として環境影響を評価する。自転車シェアリングシステム導入の目的の一つが交通部門の低炭素化に寄与することなので、評価指標は温室効果ガス(GHG)排出量とした。評価項目は、a.-e.の 5 つとした。

a.　電動アシスト自転車の製造・廃棄
b.　電動アシスト自転車使用時の電力消費
c.　メンテナンス（タイヤ交換と注油）
d.　貸出拠点間の自転車の偏りを正す再配置
e.　移動手段の変化

a.-e.の原単位の詳細は SI に示す。活動量はヒアリング調査の結果をもとに仮定した。e. は、3.1 で得たアンケート調査の結果と利用回数から、移動手段の変化による GHG 排出量変化を推算した。鉄道やバス等の公共交通機関は個人の利用の有無に関係なく運行するため、公共交通機関から自転車シェアリングへの転換による GHG 排出量変化はないとした。

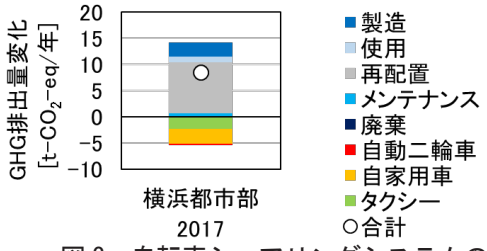


図 3　自転車シェアリングシステムの GHG 排出量変化

‡ baybike は（株）NTT ドコモの登録商標である。

図 3 に評価結果を示す。再配置による環境負荷は、製造や廃棄による環境負荷、移動手段の変化による環境負荷抑制効果と比較すると大きいことがわかった。環境配慮型自転車シェアリングシステム設計に向けて、再配置について分析する必要がある。

3.3 設計変数と評価指標の設定

再配置による環境影響を減らし、利用者の利便性を損なわないシステムを設計するために、貸出拠点の配置を設計変数として、貸出拠点の周辺状況（JR 駅近傍など。地域特性と定義する。）が環境影響と利便性にどのような影響を与えるかを分析した。まず、3.1 で得たデータと環境影響・利用者の利便性を結びつけるために、自転車の偏りを表す再配置指数と利用者の利便性を表す利用回数の 2 つの評価指標を設定した。再配置指数は式(1)で定義した。

$$\text{再配置指数} = \text{返却回数} - \text{貸出回数} \quad (1)$$

再配置指数が 0 に近づくと再配置の必要性が低い貸出拠点、絶対値が大きくなると再配置の必要性が高い貸出拠点であることを示している。

利用回数は式(2)で定義した。

$$\text{利用回数} = \text{貸出回数} + \text{返却回数} \quad (2)$$

利用回数が大きくなると利用者の利便性が高い貸出拠点、0 に近づくと利便性が低い貸出拠点であることを示している。

3.4 評価指標に影響する地域特性の抽出

評価指標に影響を与える地域特性を抽出するため、地域特性の有無で評価指標に有意な差があるかを検定する。はじめに、評価指標のデータの分布をシャピロ-ウィルク検定によって求めると、利用回数の分布は対数正規分布、再配置指数の分布は正規分布であると有意水準 5%で確認された。よって、平均の差の検定として t 検定を用いた。貸出拠点周辺の地域特性として以下の 9 つを挙げた。

① JR 駅 300 m 圏内
② みなとみらい線駅 300 m 圏内
③ ブルーライン駅 300 m 圏内
④ 京急本線駅 300 m 圏内
⑤ 観光施設 300 m 圏内
⑥ 店舗面積 10,000 m^2 以上の商業施設 300 m 圏内
⑦ 隣接道路の自転車走行空間の存在
⑧ 500 m メッシュ単位の人口代表値 4000 人以上
⑨ 周囲の貸出拠点との標高差 10 m 以上

「300 m」は、3.1 で得たアンケート調査の結果において、利用者の半数は貸出拠点が徒歩 5 分以内であれば利用しやすいと考えていることから、歩行速度を 3.6 km/時と仮定したきに算出されるものである。これらの地域特性が該当するか否かで 70 個の貸出拠点を 2 群に分け、t 検定を行った。

検定の結果、①・⑥は利用回数への、②・⑤・⑥・⑧は再配置指数への統計的有意差がみられた。**表 1** に有意差のある地域特性が評価指標に与える影響を示す。これより、環境影響・利用者の利便性に関わる地域特性を抽出できた。

表 1　有意差のある地域特性が利用回数と再配置指数に与える影響（*:p<0.05、:p<0.01）**

地域特性	利用回数	再配置指数
①JR 駅 300 m 圏内	増加*	
②みなとみらい線駅 300 m 圏内		増加**
⑤観光施設 300 m 圏内		増加**
⑥商業施設 300 m 圏内	増加**	増加*
⑧500 m メッシュ人口代表値 4000 人以上		減少**

4. まとめ

本研究では、環境影響評価を通じて現在の自転車シェアリングシステムの再配置を改善点として捉えた。貸出拠点の配置を設計変数、再配置指数と利用回数を評価指標として、評価指標への地域特性による統計的有意差を検定することで、評価指標に影響する地域特性を抽出した。今後、評価指標と環境影響・利用者の利便性の関係性を明らかにすることで、再配置による環境影響を減らし、利用者の利便性を損なわない貸出拠点の配置を提案する。

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（S-16）により実施された。本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた横浜市都市整備局都市交通課の栢沼伸茂氏、山岡努氏、株式会社ドコモ・バイクシェアの笹田浩司氏、田保祐一郎氏に感謝いたします。

引用文献

1) 松本江利奈, 宮澤仁: 季刊地理学, 67, (2015), pp.69-86
2) Ogilvie F., Goodman A.: Preventive Medicine, 55, (2012), pp.40-45
3) Chemla D., Meunier F., Calvo W. R.: Discrete Optimization, 10, (2013), pp.120-146
4) 橋本成仁, 中島那枝: 都市計画論文集, 52, (2017), pp.188-197

Supporting Information

3.2 自転車シェアリングシステムの環境影響評価で用いたインベントリーデータの詳細を**表 S1** に示す。また、環境影響評価で設定した仮定の詳細を**表 S2** に示す。

表 S1　環境影響評価で用いたインベントリーデータの詳細

分類	項目名	値	単位
製造	自転車の製造 [1)]	46.5	kg-CO_2eq/台
	電動自転車の製造 [1)]	74.7	kg-CO_2eq/台
廃棄	自転車の廃棄（下記①～③に重量を掛けて合計）	2.29	kg-CO_2eq/台
	①廃棄･建築物混合廃棄物破砕選別サービス [2)]	0.0195	kg-CO_2eq/kg
	②産廃処理サービス，廃プラスチック類 [2)]	0.766	kg-CO_2eq/kg
	③産廃処理サービス，金属くず [2)]	0.000156	kg-CO_2eq/kg
	自転車の金属重量 [3)]	14.5	kg/台
	自転車のプラスチック類重量 [3)]	2.55	kg/台
メンテナンス	自転車用タイヤ・チューブ [2)]	1.92	kg-CO_2eq/台
	注油用潤滑油（30ml/回） [2)]	0.0177	kg-CO_2eq/台
使用	電力，東京電力，2015 年度 [2)]	0.549	kg-CO_2eq/kWh
再配置	二酸化炭素排出係数（軽油） [4)]	2.58	kg-CO_2eq/L
	最大積載量 2,000～3,999kg の標準燃費（軽油） [4)]	4.58	km/L

表 S2　環境影響評価で設定した仮定の詳細

分類	項目名	値	単位
製造・廃棄	電動自転車の製品寿命	10000	km/台
メンテナンス	注油頻度	0.25	年/回
再配置	再配置用トラックの運行時間比（対営業時間）	0.05	-
	再配置用トラックの走行速度	30.00	km/時

参考文献
1) 加藤博和，山本充洋，柴原尚希: 廃棄物資源循環学会誌, 22(3), (2011), pp.220-227
2) 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，“LCI データベース IDEA version 2.1.3”
3) “ecoinvent Version 3”
4) 経済産業省、国土交通省: “ロジスティックス分野における CO2 排出量算定方法共同ガイドライン Ver.3.1”, (2016)

D1-13,P2-094　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

詳細な条件設定による副次的な効果まで含めたシェアリングサービスの環境負荷評価

Evaluating Environmental Impact of Sharing Economy Including Rebound Effect by Detailed Condition Setting

○辻克哉 [1)]、栗栖聖*[1)]、中谷隼 [1)]、森口祐一 [1)]

Katsuya Tsuji, Kiyo Kurisu, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi

1) 東京大学

* kiyo@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

Sustainable Development Goals の中のターゲット 12 で持続可能な生産と消費が掲げられる中、新たな消費形態としてシェアリングサービスが世界中で拡がりを見せている。

シェアリングサービスは、サービス提供者、利用者の双方が「環境に良い」と考えている場合が多い [1,2]。新規生産量の削減や効率的な運用など環境負荷を低減させる要素は確かにある。一方で、追加で発生する輸送や洗浄といった副次的効果や、消費自体の拡大といったリバウンド効果もあると考えられる [3)]。

そこで本研究では、カーシェアリングを題材に、現在の自動車の利用実態やシェアリングを導入した場合の利用者の行動の変化等について詳細な条件設定を行い、各条件を変化させたシミュレーションによって、自動車所有という現状からシェアリングに移行した場合の、環境負荷や自動車台数の変化について分析することを研究目的とした。

2. 手法及び計算条件

本研究では、初期の普通車、小型車、軽自動車保有台数および各燃料タイプ（ガソリン：GV、ハイブリッド：HEV、電気：BEV）、所有形態（単数か複数所有の何台目か）を設定し（表 1）、変数として表 2 に示したように、各車の台数、平均年間走行距離、燃費、シェアリングの増加率や、利用の増加を表すリバウンド効果等様々な要素を設定した。初期台数は高崎市を参照し、同市に関する統計データおよび文献値 を参考に定めた。高崎市は平成 28 年時で世帯数は 151,978 世帯 [4)] 、自動車は 241,205 台 [5)] である。またガソリン車の割合は全国平均の 88 %[6)] としている。

シミュレーションにはモンテカルロ法を用い、変数の初期値および一部の変数の年毎の変化率を条件として設定し、Basecase（シェアリングがない場合）と Scenario（シェアリングがある場合）の双方について、10 年分の環境負荷及び台数の変化を Crystal Ball（Oracle, U.S.）を用いて計算した。環境負荷については生産段階および使用段階を計算の対象とし廃棄段階は除いた。これは廃棄段階の環境負荷は廃棄された自動車の輸送及び機械の稼働に使う電力によるものであり、生産・使用段階と比較して小さいためである。また、シェアリングに使用される自動車の種類は小型 HEV と仮定した。

生産時環境負荷 M_{spbmn} および使用時環境負荷 A_{spbmn} は以下の式により表される。なお添え字の設定は表 1 に示した。m = 0 または 1 の場合の n 年目の環境負荷は下式により算定される。m = 2 の場合は γ が δ となる。

α = 0.12[6)]、β = 1.48×10^{-3} [6)]、μ = 1,000 は固定値として設定し、そのほかの変数の分布はすべて正規分布を仮定した。各変数の範囲、パラメータは SI に記す。

$$\sum_{s,p,b} M_{spbmn} = \sum_{s,p,b} P_{spbmn} \times \frac{N_{spbmn} \times R_{spbmn}}{D_{spbmn}} \times (1-\gamma)$$

$$\sum_{s,p,b} A_{spbmn} = \sum_{s,p,b} U_{spbmn} \times \frac{N_{spbmn} \times R_{spbmn}}{E_{spbmn}}$$

表 1　添え字設定

記号	内容	設定
s	サイズ	普通[1], 小型[2], 軽[3]
p	動力	GV[1], HEV[2], BEV[3]
b	所有形態（数）	単数[1], 複数所有 1 台目[2], 複数所有 2 台目[3], シェアリング[4]
m	シナリオ	初期値[0], Basecase[1], Scenario[2]
n	経過年数	n 年目 （0≦n≦10）

3. 結果

ここでは特定の 1 つのシナリオ結果のみを示す。燃費および GV の生産時環境負荷に矢部ら [7)]および Kudo[8)] の値を、電力環境負荷原単位に東京電力 2017 年度実績値 [9)] を、その他の変数について設定範囲の平均値を用いた場合の計算結果を図 1～3 に示した。本シナリオでは ε = 1 であり、リバウンド効果が無い設定である。

対象地域の総台数は初年度 241,205 台だが、パラメータの γ（設定値：0.1）により Basecase でも 10 年

目で 222,165 台に減少する。シェアリングが普及する Scenario においてはパラメータ δ（設定値：0.25）の追加的影響によりさらに減少し、10 年目では Basecase の 0.92 倍の 203,767 台となる。

生産時環境負荷は Scenario の場合 1 年目で大きく減少する。これは 0 年目ではシェアリングを導入していないため A の計算時に γ を採用しているが、1 年目以降では δ を採用するためである。使用時の環境負荷は生産時環境負荷の約 6～7 倍程度であるが、Basecase と Scenario 間での差は小さい。これは ε＝1、すなわちシェアリングが導入されても、自動車の利用距離自体はあまり変化しないと仮定しているためである。1 年目では Scenario からの総使用段階環境負荷が Basecase を上回っており、リバウンド効果が生じた場合（ε＞1）には、シェアリングを利用した方が環境負荷が大きくなる可能性もあることが示された。

表 2　変数とその記号

変数名	
生産時環境負荷（$kgCO_2$/年）	M
使用時環境負荷（$kgCO_2$/年）	A
台数（台）	N
平均年間走行距離（km/台・年）	R
平均生涯走行距離（km/台）	D
生産時環境負荷（$kgCO_2$/台）	P
燃費（km/L） 電費（kWh）	E
燃料環境負荷原単位（$kgCO_2$/L） 電力環境負荷原単位（$kgCO_2$/kWh）	U
寿命を迎えたが買い換えられなかった台数（台）	X
0 年目の HEV 台数の全体に対する割合（－）	α
0 年目の BEV 台数の全体に対する割合（－）	β
買い換えられなかった台数の寿命を迎えた台数に対する割合（シェアリング無し）（－）	γ
買い換えられなかった台数の寿命を迎えた台数に対する割合（シェアリングあり）（－）	δ
リバウンド効果（－）	ε
シェアリングカーを利用する 1 日当たりの人数（人/日）	ζ
HEV 台数の全体に対する割合の年毎の増加率（－）	η
BEV 台数の全体に対する割合の年毎の増加率（－）	θ
電力環境負荷原単位前年比（－）	ι
GV 生産時環境負荷前年比（－）	κ
燃費前年比（－）	λ
シェアリング初期投入台数（台）	μ
シェアリング投入台数の年毎の増加率（－）	ν
0 年目における軽自動車が複数所有の 2 台目として所有されている割合（－）	ξ

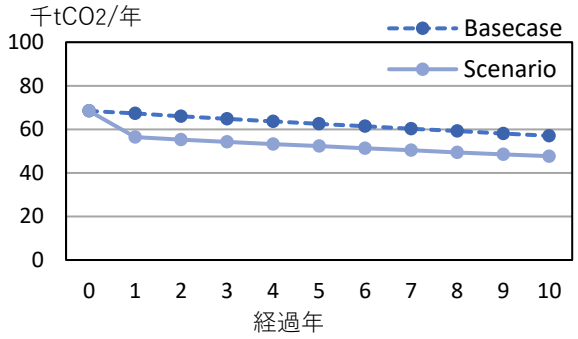


図 1 対象地域の総生産時環境負荷の経年変化

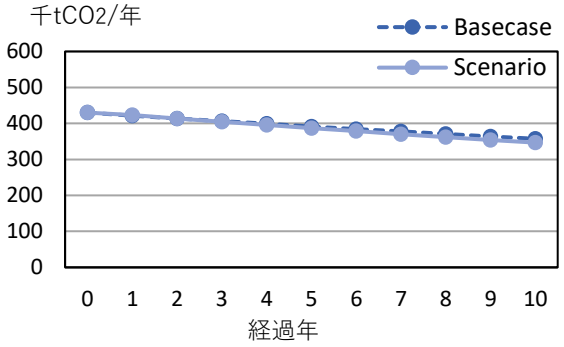


図 2　対象地域の総使用段階環境負荷の経年変化

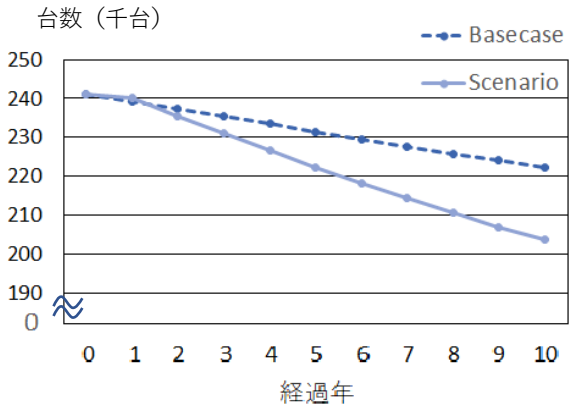


図 3　対象地域の総台数の経年変化

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) 郡嶌ら, 2006, 環境システム研究論文集, 34,335-346.
2) 和田, 中野, 2006, 土木学会論文集 G, 62(2), 211-219.
3) Demailly, D. *et al*, 2014, Studies N°03/14, 30 p.
4) 高崎市, 2018, 高崎市統計季報 NO.226 2018/7.8.9
5) 高崎市, 2018, 高崎市の統計 2017 年
6) 次世代自動車振興センター, EV 等保有台数統計
7) 矢部ら, 2011, *Journal of JSER*, 32 (4), 18-24.
8) Kudo, Y., 2015, *JSEE*, 6, 1-7.
9) 東京電力, 2017, (2018 年 12 月閲覧)
http://www.tepco.co.jp/about/csr/lowcarbon/internal.html

Supporting Information

各変数の範囲、分布、パラメータ

表 S1　燃（電）費、平均生涯走行距離、燃料（電力）環境負荷原単位、生産時環境負荷の範囲

		燃（電）費（E）	平均生涯走行距離（R）		燃料（電力）環境負荷原単位（U）	生産時環境負荷（P）
			自家用車（b=1,2.3）	シェアリング（b=4）		
		km/L or km/kWh	km/台	km/台	$kgCO_2$/L or $kgCO_2$/kWh	$kgCO_2$/台
普通自動車（s=1）	GV（p=1）	9.4～15.7	10 万～14 万	15 万～25 万	2.32	4100～4490
	HEV（p=2）	12.8～20.2	10 万～14 万	15 万～25 万	2.32	GV の 1.1～1.2 倍
	BEV（p=3）	3.0～5.0	10 万～14 万	15 万～25 万	0.37～0.47	GV の 1.9～2.1 倍
小型自動車（s=2）	GV（p=1）	13.2～17.2	10 万～14 万	15 万～25 万	2.32	3660～3880
	HEV（p=2）	20.2～24.1	10 万～14 万	15 万～25 万	2.32	GV の 1.1～1.2 倍
	BEV（p=3）	5.0～7.0	10 万～14 万	15 万～25 万	0.37～0.47	GV の 1.9～2.1 倍
軽自動車（s=3）	GV（p=1）	16.8～20.8	10 万～14 万	15 万～25 万	2.32	3250～3590
	HEV（p=2）	25.1～29.1	10 万～14 万	15 万～25 万	2.32	GV の 1.1～1.2 倍
	BEV（p=3）	6.0～8.0	10 万～14 万	15 万～25 万	0.37～0.47	GV の 1.9～2.1 倍

表 S1 に掲載している変数に関しては、すべて分布は正規分布で、平均値は設定範囲の最大値と最小値の平均値、標準偏差は平均値と最大値との差となっている。

表 S2　表 S1 に掲載していない N,R, ζ 以外の変数の制約条件、分布、パラメータ

記号	制約条件	パラメータ	
		設定平均値	標準偏差
α	0.12		各変数に設定（ただし固定値のものは設定しない）
β	1.48×10^{-3}		
γ	0～1	0.1	
δ	0～1	0.25	
ε	0.8～1.2	1.0	
η	1 以上	1.05	
θ	1 以上	1.01	
ι	1 以下	0.95	
κ	1 以下	0.99	
λ	1 以上	1.01	
μ	1000		
ν	1 以上	1.2	
ξ	1 以下	0.8	

D1-14,P2-093　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

循環経済を思考したオフィス家具リユース事業の環境影響評価

Environmental impact assessment of reuse service for various office furniture based on circular economy

○杉山聖佳*1)、天野太郎 2)、戸間竜太郎 2)、田中裕美子 2)、門元英憲 3)、岡本安都夫 3)、伊坪徳宏 1)

Seika Sugiyama, Taro Amano, Ryutaro Toma, Yumiko Tanaka, Hidenori Kadomoto, Atsuo Okamoto, Norihiro Itsubo

1）東京都市大学, 2）株式会社オフィスバスターズ,3)株式会社内田洋行

* g1562041@ tcu.ac.jp

1. 背景

UNEP 国際資源パネルによれば、1970 年～2015 年の間に物質の採掘・使用量は 4 倍に増加しており、2050 年の資源消費量は 1,860 億トンにまで及び、このままでは資源を供給し続けることが不可能であることが指摘された。アクセンチュアが公表した調査では、サーキュラーエコノミーへの移行による経済効果は 2030 年までに世界で 4.5 兆ドルを上回ると報告された。サーキュラーエコノミーは欧州委員会が政策パッケージを制定したことを受けて、今後は具体的なビジネスへと展開していくことが期待される。

近年、オフィス家具業界においてもサーキュラーエコノミーに対する注目が高まっており、新たなビジネスモデルとしてオフィス家具のリユース・レンタルサービスが出てきている。一方で、これらのサービスを対象とした LCA の実施例は少ないのが現状である。

2. 研究目的

本研究では、オフィス家具のリースとレンタルサービス業を対象とし、当該業務の実施による環境影響についてライフサイクルの視点に基づき、気候変動および資源消費に注目して評価することを目的とした。

3. 研究方法

3.1 評価対象製品

本研究では、株式会社内田洋行が製造している机と椅子を評価対象とした。評価対象として、机は 1 台 24.5kg、椅子は 1 台 12.4kg とした。

3.2 評価範囲

本研究では、新品オフィス家具製品を評価対象とした。図 1 にシステム境界を示した。主なレンタル等の期間は、聞き取り調査より「レンタル : 1.5 年、リユース販売 : 5 年」とした。機能単位としては、販売時の平均的な使用期間を採用することとしたが、文献によって異なるため、以下の二種類を採用した。(1) 6.4 年(机と椅子)(ザイマックス総研) (2)(机 : 10 年、椅子 : 8 年)(JOIFA によるオフィス家具標準使用期間)

影響領域に関しては、気候変動と資源消費とした。

以下に本研究において採用したシナリオを 3 つ示す。
シナリオ①　レンタル・リユースサービスに着目したもの
シナリオ②　ザイマックス総研が出している販売・売り切りで 6.4 年(机と椅子)
シナリオ③　JOIFA が出している販売・売り切りで(机 : 10 年、椅子 : 8 年)

シナリオ①

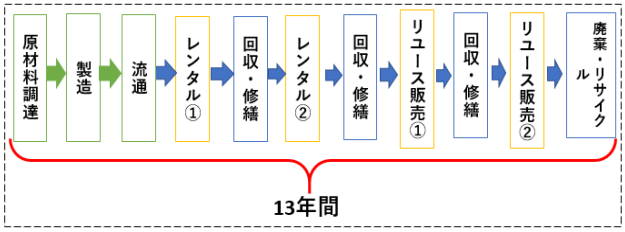


図 1 レンタル・リユースサービス

シナリオ②

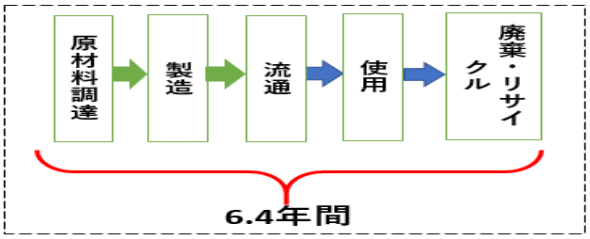


図 2 ザイマックス総研が出している販売・売り切り期間

シナリオ③

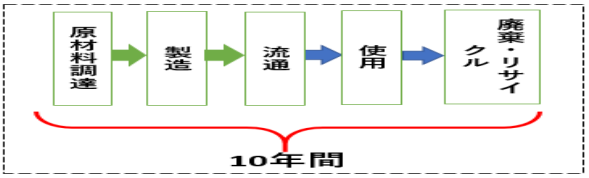


図 3JOIFA が出している販売・売り切り期間

3.3 算定方法

本研究における算定式を以下に示す。

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）

活動量に関しては株式会社オフィスバスターズと株式会社内田洋行よりヒアリングで得た一次データを、インベントリ原単位には IDEA ver2 を使用した。式 2 の特性化には LIME2 を用いた。

4. 結果

レンタル・リユースサービスの結果を図 4 に示す。製品から最終結果まで 3.50E+01kg-CO_2eq となった。その結果の中で製品が 6.37E+01kg-CO_2eq となった。製品の内に主に資源を占めている天板と脚が大きくなった。廃棄・リサイクルに関しては日本での廃棄を行う際には金属は再資源化とし、リサイクル効果は最終消費国により異なるが、本研究ではヒアリングより日本で利用されることとした。そのため机の主な重量を占めている天板や脚に鋼板が使用されており、リサイクル効果を占めている。レンタル・リユースに関する負荷を含めているが、レンタル・リユースを行う工場と拠点場所の輸送距離が近く、また工場のユーティリティーも小さいため負荷が小さくなった。レンタル・リユースの導入によって負荷は上がるが、13 年間辺り 1 台で済むため寿命は延びることが分かった。

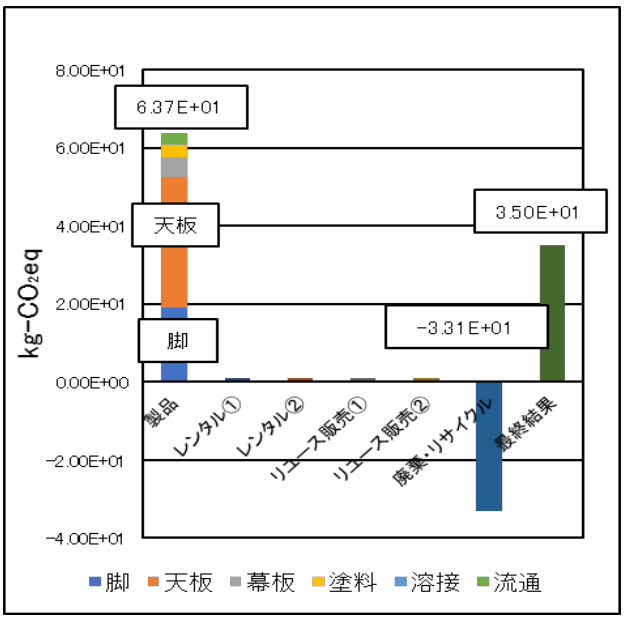


図 4 レンタル・リユースサービス(シナリオ①)の特性化結果(机,気候変動)

シナリオ 3 種を比較した結果を図 5 に示す。3 種を比較するとシナリオ①が最も小さい結果となった。シナリオ①では、図 4 で示した最終結果をまとめたものとなっている。シナリオ②,③に関しては、1 台辺りの負荷をそれぞれ耐用年数に合わせる為に掛け合わせたものとなっている。また流通段階に関しては卸売りや小売を考慮しているため、シナリオ①よりも値が大きくなった。シナリオ②では、機能単位を 13 年間で合わせると 2 台必要となるためシナリオ①と比較を行うと約 2.4 台の差が生じた。また、シナリオ③では、機能単位を 13 年間に合わせると約 1.3 台必要となるためシナリオ①と比較を行うと約 1.5 台の差が生じた。レンタル・リユースを行うことによって製品の寿命が延びることによる負荷低減効果が見られた。

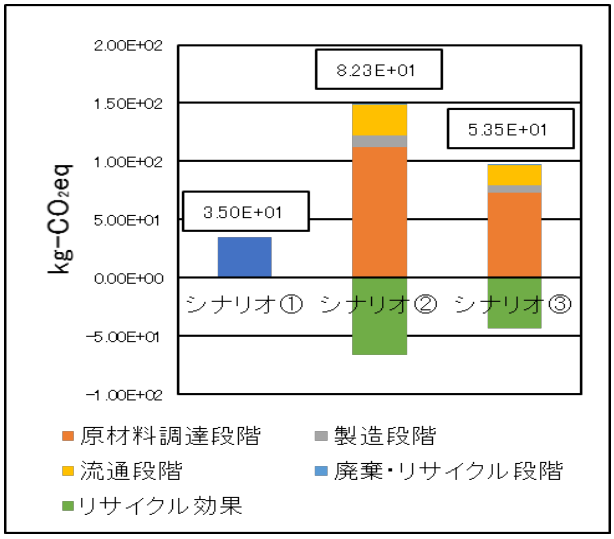


図 5 シナリオ①～③での比較結果(机,気候変動)

5. まとめ

本研究では、オフィス家具のレンタル・リユース販売サービスに注目した。気候変動と資源消費ともに、レンタル・リユースサービスを通じて環境負荷量を軽減することができるものと確認された。

6. 参考文献

1)UNEP　資源効率性に関する統合報告書
http://www.env.go.jp/press/files/jp/102839.pdf
2)アクセンチュア
https://www.accenture.com/jp-ja/insight-creating-advantage-circular-economy
3) ザイマックス総研　オフィスのテナントの入居期間について
https://soken.xymax.co.jp/2014/05/26/140526-how_long_will_the_office_tenant_continue_to_stay/
4) JOIFA　オフィス家具の標準使用基準
http://www.joifa.or.jp/about/security.html

産業におけるエクセルギー効率の比較

Comparing exergetic efficiency of industries among countries

○劉俊希*、醍醐市朗、星野岳穂、榎学

Junxi Liu, Ichiro Daigo, Takeo Hoshino, Manabu Enoki

東京大学

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

1. Introduction

Energy is conserved according to the first law of thermodynamics, whereas different forms of energy have their own qualities and natural processes always happen with the degradation of qualities. Exergy, as the maximum available work which can be extracted from the system, reveals the quality of the energy and has been widely used in process optimization within manufacturing industries through inefficiency identification [1]. Exergy also measures how far the contrast is with equilibrium in the environment. When we define a state which is named Reference Environment (R.E.), then it is possible to determine the exergy value of all materials not only of energy resources but the exergy of materials resources. Production is accompanied with resources consumption and wastes generation. Exergetic analysis can be used to assess not only the resource efficiency but also environmental impact [2,3,5,6]. To increase the resource efficiency, optimize resource consumption pattern and minimize the environmental impact, are the three ways to contribute to a more sustainable world, with the potential to assess not only energy resources but also wastes, renewable and material resources, exergy analysis can be a useful tool in the assessment of sustainability. Therefore, this work is to develop a comprehensive methodology of exergy analysis to assess sustainability, eventually to compare the exergetic efficiency among countries.

2. Methodology

2.1. Types of exergy

Currently, mainly 8 categories of exergy have been discussed. Materials with a unique composition and concentration which makes it different from its surroundings have chemical exergy, because of the complexity and diversity of the raw materials, and also the criticism in the definition of the R.E., calculation of the chemical exergy of complex materials is difficult. According to the past work, chemical exergy stemming from special composition of the i^{th} substance: $Ex^{o}_{ch,i}$, is given by eq.1.

$$Ex^{o}_{ch,i} = \Delta G^{o}_{r} + \sum_{k} n_k Ex^{o}_{ch,k*} \quad (1)$$

ΔG^{o}_{r} is the standard Gibbs energy of reaction of the reference substances [2], n_k and $Ex^{o}_{ch,k*}$ are molar number and standard chemical exergy of the k^{th} reference substance. Moreover, the chemical exergy coming from contrast in concentration is given by eq.1'.

$$Ex_c = -RT_0 lnz_0, \quad (1')$$

T_0 is standard ambient temperature, 298 K, z_0 is the molar fraction of the material.

Physical exergy originates from its temperature and pressure being different from surroundings.

$$Ex_{ph} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (2)$$

Here, H is enthalpy, S is entropy, the subscript represents standard H and S under T_0.

Potential exergy is due to its position in a given body force field, kinetical exergy stems from its velocity with respect to a fixed reference frame. Both potential and kinetic exergy equal to their energy separately as eq. 3 and eq. 4.

$$Ex_k = En_k \quad (3)$$

$$Ex_p = En_p \quad (4)$$

Besides those, exergy of a number of resources can also be calculated with a specific 'β' ratio to energy [3].

The radiation exergy Ex_{rad} is expressed by eq.5.

$$Ex_{rad} = [1 + \frac{1}{3}\left(\frac{T_0}{T}\right)^4 - \frac{4T_0}{3T}]En_{rad} \quad (5)$$

Here, T is the temperature of the radiation. The β of solar irradiation equals to 0.933 (T is round to 6000 K).

The nuclear exergy usually has 2 ways of calculation, one is based on the Einstein's mass-energy formula as shown in eq.6.

$$Ex_{nu} = \Delta mc^2 - E_{neutrino} \quad (6)$$

Here, the energy of neutrino is lost which makes the nuclear exergy has a β of 0.95. The other is a more empirical way due to the usage of nuclear fuel in the real process, in which a β for the exergy is a function of the temperature, T, of a reactor core as in eq. 6'.

$$Ex_{nu} = (1 - T_0/T)En_{nu} \quad (6')$$

Another type is comminution exergy which relates to the cohesion of the materials and is a function of the particle size. It is given by eq.7.

$$Ex_{com} = 1/2\,(\sigma_t^2/E_Y)V + \Delta(\gamma A) \approx \Delta(\gamma A) \quad (7)$$

Here, γ is the surface tension of a material, A is the cross section area of the piece. However, it is known that Ex_{com} is negligible small comparing to Ex_c[4], and thus it is not taken into account in this work.

The last special one is the exergy of electricity, since it can fully convert to work, so electricity has a β equals to unity as shown in eq.8.

$$Ex_{elec} = En_{elec} \quad (8)$$

2.2. Reference Environment

A reference environment is a crucial definition of

exergy analysis. In this study, our evaluation aims to assess how far from sustainable processes. When we suppose a sustainable use of resources, a status of the environment shall not be changed after a life cycle of the use. In a sustainable manner, the matters which we can use is a part of the current environment. Therefore, a temperature and a pressure for physical exergy are defined as ambient temperature and ambient pressure. R.E. is also a necessity to obtain chemical exergy of resources. The most advanced and complete R.E. was defined by Szargut and colleagues in 2005 with the purpose to obtain the chemical exergy of the natural resources [5]. For each element, it has a reference species which is the most probable product of an interaction between the natural substances and the waste products of the processes. 85 elements' exergy has been obtained with respect to 85 separate reference species which fall into 3 phrases, i.e. solid, liquid and gaseous. The chemical exergy of any substances is given by eq.1.

However, exergy of fossil fuels always dominates when Szargut's R.E. is applied, and some results which appears to contradict our common sense like exergy of silver is lower than iron exist. To resolve these issues, Valero brought up another reference model called Thanatia, a commercial end of the upper layer of crust, to lay importance on the concentration exergy of the minerals [6]. It consists of 294 minerals (all at least most abundant minerals in nature) with the lower limit of concentration which cannot be extracted. From Thanatia to the crust at present, the minimum exergy (ΔEx_c) spent by the Nature to concentrate those minerals. Because exergy measures the minimum thermodynamic value needed in the reversible processes, with the best available technology, every production process is irreversible, the actual exergy needed is much higher than ΔEx_c which is called Exergy Replacement Cost (ERC). ERC methodology includes concentration exergy of minerals, with the technology influence, makes the exergy of minerals be comparable to fuel's and represents the sustainability and reversibility of the metal production processes. However, the results show ERC values of some minerals are even much higher than chemical exergy of fuels, and the consideration of the technology development assigned extra economical value onto the metallic resources. Besides, Thanatia does not provide reference levels for other resources so as to offer standards to evaluate them. Therefore, Szargut's R.E. for the calculation of chemical exergy is selected in following work.

3. Case study

With Szargut's R.E. being applied, ten impact categories are formed to reflect the exergy consumption pattern for iron and steel, aluminum, and copper industries. All the inputs are directing to the resources coming from nature, the chemical exergy Ex^o_{ch} of the metallic output products for the three industries are taken into consideration, the efficiencies results are displayed in **Fig 1**. The iron and steel industry has the highest exergy efficiency. Although iron and steel industry emits quite a large portion of GHGs in the world, their production efficiency has already been well-developed compared to other industries. And as assumed, over 75% of the input exergy in iron and steel industry and aluminum industry are from fossil fuels, but for copper industry, whose whole efficiency is one digit smaller than the others, almost 70% lies in metallic mineral resources.

4. Future work

Szargut's reference environment theoretically enables to calculate the chemical exergy of all materials of specific composition. But it is still hard to obtain exergy of materials with a complex composition like biomass, and it has no separate models for atmosphere, hydrosphere and crust. What is the real end of the earth after use, the definition and the calculation of other types of exergy, and the exergy related indicators used in sustainability assessment are still not clarified. So the next steps of the work are,

(i) to construct a comprehensive reference environment assimilates to the real thermodynamic end of the Earth,

(ii) to include exergy of by-products and wastes of the production processes to assess the broad meaning of exergetic efficiency, environmental impact and thus sustainability of industries in countries, and

(iii) The efficiency and sustainability will be discussed when the life cycle of products is taken into consideration.

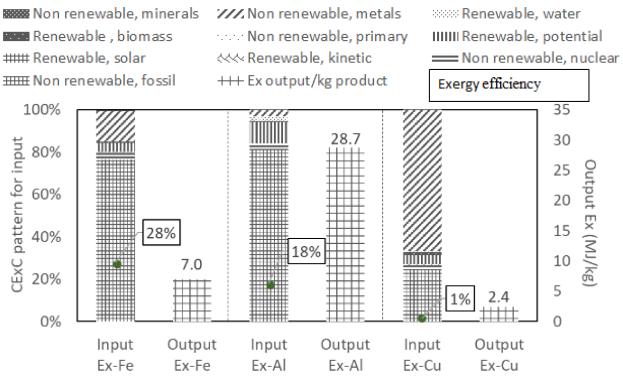


Fig 1. Cumulative exergy consumption pattern, output exergy, and exergy efficiency for iron and steel, aluminum and copper making industries by using the Ecoinvent database.

Reference

[1] Ayres U., Ayres W., Martinas, K.: *Energy*, **23**, (1998), 355–363

[2] Dewulf, J., Van H., Muys, B., Bruers S., Bakshi R., Grubb F., Sciubba E.: *Environ. Sci. Technol.*, **42**, (2008), 2221–2232

[3] Gong M., Wall G.: *Exergy Int. J.*, **1**, (2001), 128–145

[4] Valero A., Valero A.: *Energy*, **44**, (2012), 1085–1093.

[5] Szargut J., Valero A., Stanek W., Valero A.: *Proc. of ECOS*, **1**, (2005)

[6] Valero A., Valero A., Stanek W.: *Energy*,**163** (2018), 1140–1149

熱交換によるインベントリデータの変化を組み込んだ低炭素化エネルギーシステム合成ツールの開発

An inventory data-based low-carbon energy system synthesis tool considering various levels of heat exchange

○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

新プロセス技術の導入に関する経済性や環境影響を評価する場合には、プロセスシミュレータを用いてプロセスの設計が行われるのが一般的であるが、その際には設計対象となる単位操作の組み合わせとそれらの繋がりを決める「プロセス合成」が初めに行われる。その際には、設備投資費、運転費、環境影響、安全性など様々な側面をある程度まで考慮して候補が検討される。その際にプロセス内にどのような熱交換器ネットワーク（HEN）の導入を想定するかによってエネルギー収支やコストは異なり、経済性や環境影響の面でどのプロセスが優れているかは変化し得る。そのため、プロセス内での HEN を変化させた複数のプロセスを提示することは、よい候補を見逃さない、より合理的な提案につながりうる。

本研究では、低炭素化を目指すエネルギーシステム合成を行う際に用いるインベントリデータを、熱交換器の組み合わせを変化させて序列付きで作成するツールの開発を進めている。本稿では、プロセス内のストリームデータを用いて HEN を序列付きで提案する手法の開発について進捗を報告する。

2. 手法

Pinch Analysis（PA）は、プロセス内の熱交換を最大化した場合の加熱・冷却用役必要量を求めることができる手法だが、実際にどのような HEN を導入すれば良いかは PA では示されない。そこで、ストリーム同士での複数段階にわたる熱交換を考慮して HEN の最適化を行う手法（Stage-Wise Superstructure: SWS）[1-3]が開発されたが、SWS の最適化結果を用いた他のプロセスとの比較や、HEN の違いによるエネルギー収支やコストの変化がシステム全体に及ぼす影響の検討は体系化されていない。本手法では、SWS と Integer-Cut Constraint（ICC）法[4]を用いることによって序列付きで複数の HEN の提案を行う。

SWS の各温度帯を Stage とし、最初の Stage では Hot Utility（HU）と Cold Process stream（CP）との、最後の Stage では Cold Utility（CU）と Hot Process stream（HP）との熱交換を行い、その他の Stage では HP と CP の熱交換を行うものとする。設計変数は、HU 及び CU の使用量・各ストリーム同士の熱交換量・各 Stage 間でのストリームの温度・各熱交換器の有無及び熱交換面積とし、各 HP 及び CP のストリームデータ（供給温度（T^{s}）、到達温度（T^{t}）、熱容量係数（F））を満たすことを制約条件とする。用役使用による環境影響（EI）の最小化あるいは熱交換に関する年間コスト（TAC）の最小化から目的関数を選択可能とし、選択しなかったものについては最適解について数値の算出を行う。EIは、HU 及び CU の使用量に応じて計算する（式(1)）。TACは、HU 及び CU の使用による運転コストと熱交換器の導入コストの和として定義する（式(2)）。熱交換器のコストは、固定費（式(2) 第 3 項）と面積に応じた変動費（式(2) 第 4 項）を計上する。なお、本稿においては簡便のため、$\sum_{i\in A}\sum_{j\in B}\sum_{k\in C}$ を $\sum_{A,B,C}$ と表す。

$$\min EI = \sum_{HU,CP,K} E_i \cdot q_{i,j,k} + \sum_{HP,CU,K} E_j \cdot q_{i,j,k} \quad (1)$$

$$\min TAC = \sum_{HU,CP,K} C_i \cdot q_{i,j,k} + \sum_{HP,CU,K} C_j \cdot q_{i,j,k} + AF\left(\sum_{H,C,K} CF_{ij} \cdot y_{i,j,k} + \sum_{H,C,K} AC_{ij} \cdot A_{i,j,k}\right) \quad (2)$$

ICC 法では、最適解におけるバイナリの組み合わせとは異なる組み合わせを用いることを制約に追加して繰り返し最適化を行うため、本モデルにおいては、導入する熱交換器の組み合わせを変化させた HEN の提案が可能となる。

以上のモデルを MATLAB の OPTI Toolbox[5]を用いて構築した。

3. 手法適用例

手法適用例として表 1 に示すストリームについて、TACの最小化を目的関数とし、Stage の数を 4 として

HEN の最適化を行った。表 1 における HU 及び CU の環境影響係数（E）及びコスト係数（C）の値は文献値[3]であり、熱交換器のコストについても文献値（$CF_{ij} = 13000$ \$、$AC_{ij} = 4333$ \$/m^2）[3]を用いた。

表 1　手法適用例におけるストリームデータ

	T^s [℃]	T^t [℃]	F [kW/℃]	E [/kWh]	C [$/(kW year)]
HP1	250	200	20		
HP2	180	150	30		
CP1	60	100	50		
HU1[3]	250	249		100	396
CU1[3]	30	40		10	5.76

図 1 は SWS における全ての熱交換器の選択肢を示しており、最適解において選択された熱交換器を実線で、選択されなかった熱交換器を点線で表示している。最適解では、CP1 を HP2 と HP1 によって段階的に加熱し、加熱不足分を HU1 で補う結果となり、CU は使用されなかった。本適用例においては、HU 及び CU は各 1 種類としたが、複数の用役を想定すれば用役の選定も可能となる。さらに、コスト係数及び環境影響係数の値が負である CU を定義すれば、加熱用役回収による利益創出や環境影響削減の考慮も可能である。ICC 法により作成したTACの序列解について、最適解とのTACの比を横軸にとり、その解における環境影響をプロットした（図 2）。プロットは大きく 2 つの領域（クラスター1,2）に分かれ、全ての加熱・冷却を用役で行う場合は最適解の 5.5 倍のコストと 20 倍の環境影響を示した。クラスター1 では、最適解と比較して熱交換器の組み合わせは変化しているが、用役の使用は HU のみであり、使用量も等しいため環境影響は同値を示した。一方、クラスター2 については、HU 及び CU を両方使用しており、最適解と比較してコストは 3 倍以上、環境影響は 10 倍程度を示し、経済性・環境影響ともにクラスター1 に大きく劣る結果となった。よって本適用例においては、熱交換器に関わる年間コストを目的関数としたが、環境影響面を考慮した場合でも、クラスター1 内の HEN を選択すべきことが示唆された。

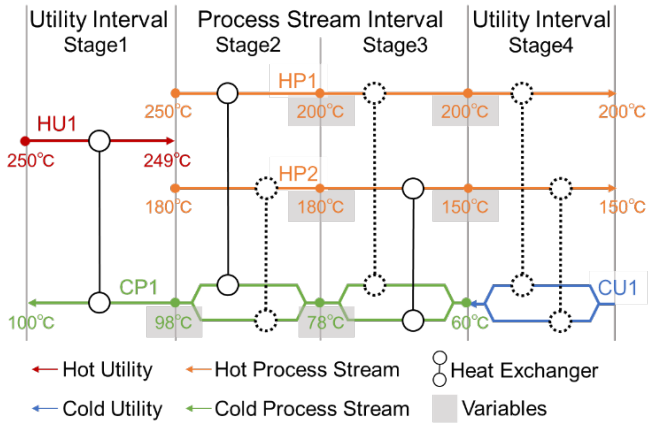


図 1　HEN 最適化結果の例
（実線:選択、点線:非選択）

4. 結言

本手法により、プロセス内のストリームデータから、目的関数に応じて熱交換器の組み合わせを変化させ、序列付きで HEN を提案することが可能になった。これにより作成したインベントリデータを用いることにより、プロセス内での熱交換の程度の違いを考慮した他のプロセスとの比較が可能となる。

謝辞

本研究の一部は JST 未来社会創造事業（JPMJMI17E4）の支援を受けて実施した。

記号

A：熱交換器面積、AC：熱交換器面積コスト係数、AF：年換算係数、C：用役使用量コスト係数、CF：熱交換器固定費、E：用役環境影響係数、q：熱交換量、y：熱交換器導入の有無のバイナリ、i：HP 及び HU、j：CP 及び CU、k：Stage

引用文献

1) Yee T. F., Grossmann I. E.: Comput. Chem. Eng., 14 (10), (1990), pp.1165-1184
2) Bogataj M., Kravanja Z.: Appl. Therm. Eng., 23 (2012), pp.75-90
3) Isafiade A. J., Short M., Bogataj M., Kravanja Z.: Comput. Chem. Eng., 99 (2017), pp.51-65
4) Maronese S, Ensinas A. V., Mian A., Lazzaretto A., Marechal F.: Ind. Eng. Chem. Res., 54 (28) (2015), pp.7038-7046
5) Currie J., Wilson D. I.: "OPTI: Lowering the Barrier Between Open Source Optimizers and the Industrial MATLAB User," Foundations of Computer-Aided Process Operations, Georgia, USA, (2012)

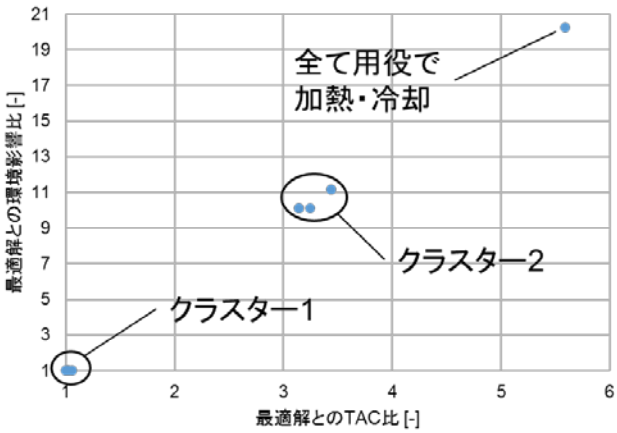


図 2　ICC 法における最適解とのTAC及び環境影響比

E1-13,P2-073　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

産業共生における技術導入計画に向けた評価支援基盤

An Assessment Support Infrastructure for Technology Installation Planning in Industrial Symbiosis

○兼松祐一郎 1)、大久保達也 1)、菊池康紀*1)
Yuichiro Kanematsu, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi
1) 東京大学
* kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

産業共生とは、ある産業の副産物、廃棄物や未利用エネルギーを他の産業が資源として活用し、複数の地域産業が一体となって、環境性、経済性などの向上を目指す取り組みである [1]。産業間ネットワークの形成のために、地域を巻き込んだエネルギーや資源の変換、輸送、貯蔵などの技術導入を伴う。計画的な技術導入のためには将来技術を含めた広範な技術評価が必要となり、その実行は容易ではなく、実行可能な人材も現状では限られている。本研究では、産業共生の普及展開を可能とするために、上記のような技術導入計画のための評価支援基盤を提示する。

2. 産業共生における技術の導入計画と評価の要件

2.1 産業共生の計画事例

国内での産業共生の具体的な計画事例として、種子島（鹿児島県）におけるサトウキビ産業および林業を中心とした計画が進められてきた。この事例で検討された産業共生のシステムフローを図 1 に示す。大きく二つのサブシステムから構成されており、ひとつは、製糖用の既存 CHP（Combined Heating and Power：熱電併給）プラントを活用するシステム [3]、もうひとつは、新規に木質系バイオマス CHP を中心としたシステム [4]である。いずれの技術システムも、地域の自治体や関連する事業者とともに、地域事業としてワークショップや検討委員会を組成して、あるべき技術システムの構成が議論されている。そのコミュニケーションにおいて、LCA に基づく技術評価によって、定量的な議論を可能としている。

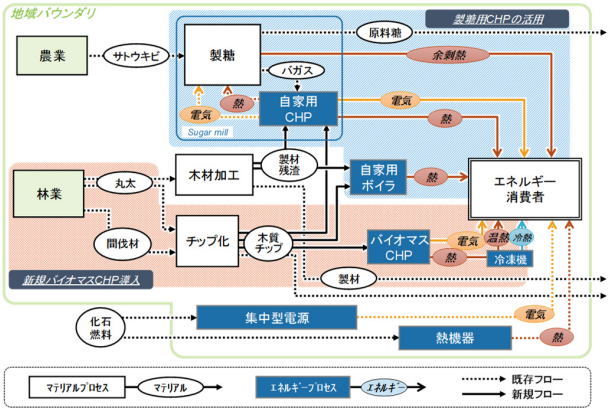


図 1　種子島における産業共生の概要 [2]

2.2 技術導入計画における評価上の課題

2.1 の事例の分析から、産業共生における技術の導入計画、その実行のための評価、それらを各地に普及展開するための課題を特定した。この事例では、各サブシステムに対して個別に計画と評価を行っている。いずれの評価においても、将来的な新規技術導入による効果を、現状との差として評価しており、現行システムのインベントリに関するデータ収集と、将来技術の導入による物質およびエネルギーのフロー変化の推算を必要としている。将来技術に対しては、システム案に含まれる各要素技術に対して数理的なモデル(以下、「技術モデル」)を構築し、相互に接続することで、諸条件におけるシステム全体の入出力変化のシミュレーションを可能としている。

ここで、産業共生の推進における特徴として、先行する海外の事例 [5]でも見られるように、複数の事業者やサイトに対して、段階的で複合的な技術導入や、資源循環の変化を伴うという点が挙げられる。このとき、単発の技術導入を個別に行っていては技術間の相互作用が考慮されず、ある技術が他の技術導入に対する制約として作用してしまう場合もある。そのため、将来的な複合システムの姿を描いて、その評価を行うことが望ましいが、例えば 2.1 の事例では、ゼロベースからの技術モデル構築を含めると数か月間の時間と労力を要している。さらに他種の技術を含む複合システムのシミュレーションに基づく評価を、限られた時間の中で実現するためには、技術モデルの蓄積と再利用を可能とする仕組みが必要である。

2.3 情報基盤の必要性と要件

2.1 の事例におけるふたつのサブシステム検討において実務の大きな流れは共通しており、業務プロセスの標準化が可能と考えられる。業務プロセスが標準化できれば、その支援のための情報システムが設計可能である。計画や評価において収集する情報の中には、技術情報や評価用インベントリデータなど、複数の地域で共通して利用可能な情報も多く、これらをデータベースとして集積し、再利用可能とすることで計画業務を支援できる。さらに 2.2 で述べ

たような技術モデルの蓄積と再利用のためには情報システムの活用が不可欠である。計画業務に対する支援ツールとデータベースを統合した情報基盤が必要と言える。

3. 評価支援基盤の設計

3.1 基盤設計の概要

情報システムの設計においては、その支援対象となる業務と、その業務上で取り扱うデータをそれぞれ「業務モデル」と「データモデル」として可視化し、機能要件を明確化することで設計を進める。以下、産業共生における技術導入計画を対象とした業務モデリングとデータモデリングについて述べる。

3.2 技術導入計画の業務モデリング

業務モデリングの手法としては、IDEF0 機能モデリング手法[6]を適用した。産業共生の計画における業務モデル[7]の概要版を図 2 に示す。IDEF0 の表記法では，作業（Activity）を Control に示す条件の下で、Mechanism に示すツールや情報、人材を用いて、Input を Output に変換することを表現している。A2[現状調査]、A3[代替案生成]、A4[シミュレーション]、A5[評価]からなる「計画実務」と、その実務の A1[管理]、A6[レビュー]から構成される業務プロセスとして標準化を試みた。LCA を行う場合は A5[評価]において実施するが、その実行のためには A1 で問題を正しく定式化することと、A2~A4 が実行できることが必要である。その支援のために必要と考えられるツールとして「フローシミュレータ」、「評価手法&ツール」などを Mechanism に示した。このモデルでも表現されているように、技術導入計画を支援するためには、評価のみを支援するのでは不十分であり、代替案生成やフローシミュレーションとの連携を前提とした統合的な支援が必要である。

3.3 計画実行に必要な情報のデータモデリング

データモデリングには、統一モデリング言語 UML[8]におけるクラス図の表記法を適用した。構築したデータモデル[7]の図は割愛する。このデータモデルでは、産業共生を構成する産業、技術、資源などの要素のデータセットとしての表現と、各要素間の連関を示した。これにより、産業共生における技術導入計画の実行に必要な情報に関するデータベースの基本設計が可能となり、地域資源や新規技術システムの情報の収集、蓄積、再利用を促進できる。

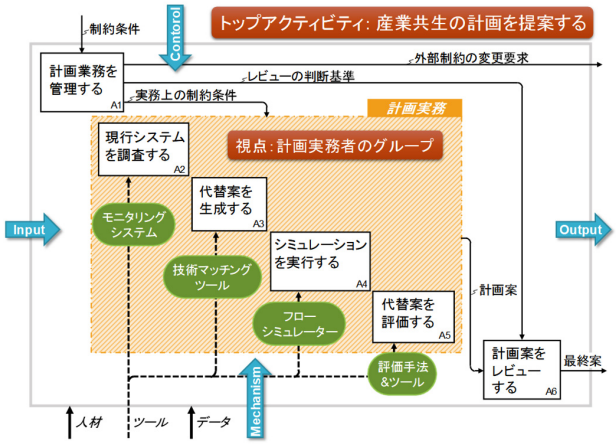


図 2　産業共生の計画業務モデル概要[2]

3.4 提案する支援基盤

以上のように、技術導入計画のための支援ツールとデータベースの概念設計を行うことができたが、そのコンテンツとなる技術モデルや評価手法、評価のためのデータなどは、技術の進展とともに継続的に開発、蓄積していく必要がある。細分化した最先端研究に対して、それらを情報システムの研究開発者のみで網羅することは事実上不可能であり、技術開発者や評価研究者との協業が必要である。以上より、(1) 業務モデルに示した標準化された計画プロセス、(2) 計画プロセスの実行支援ツール群、(3) 支援ツールと連携したデータベース、(4) これらを継続的にアップデートする協業の仕組み、を統合した支援基盤を提案する。

4. おわりに

産業共生のような将来の地域、産業、技術の状態を対象とした計画を実行するためには、本項で示したようなモデリングとシミュレーションに基づく技術評価が必要であり、それを実行可能とするために、システム代替案の生成やシミュレーションと統合された評価支援の仕組みを提案した。今後は、地域の長期ビジョンの策定手法や、評価手法および指標の開発が必要である。

謝辞

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) Chertow, M. R.: J. Ind. Ecol. 11 (1), (2008), pp11–30
2) 兼松祐一郎: 化学工学, 83 (1), (2019), pp 58-60
3) Kikuchi Y., Kanematsu Y., Ugo M., Hamada Y., Okubo T.: J. Ind. Ecol, 20 (2), (2016), pp 276-288
4) Kanematsu Y., Oosawa K., Okubo T., Kikuchi Y.: Applied Energy, 198, (2017), pp 160-172
5) 例えば Jacobsen, N. B.: J. Ind. Ecol., 10 (1–2), (2008), pp 239–255
6) Knowledge Based Systems Inc.: IDEF0 Method Report (1993)
7) 兼松祐一郎, 大久保達也, 菊池康紀: 化学工学論文集, 43 (5), (2017), pp347-357
8) Object Management Group : OMG Unified Modeling Language Version 2.3（2010）

E1-14

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

再生可能エネルギー政策の受容性向上に向けた「物語」の活用

Using “narratives” to grow support for renewable energy policy

○中野　祐樹*1)、本藤　祐樹 1)

Yuuki NAKANO, Hiroki HONDO

1）横浜国立大学

* nakano-yuuki-mc@ynu.jp

1. はじめに

持続可能な社会の構築に向けて、再生可能エネルギー（再エネ）の導入拡大が求められている。一方で割高なコスト水準が課題の一つとして挙げられ、今後もさらに普及を進めていくためには、社会でその費用を負担することに対する受容性を高める必要がある。政策の受容性向上には情報提供が有効であると考えられており、これまで様々な形式の情報が開発されてきたが、本研究では「物語 (narrative)」の活用を試みる。

物語を読むことで人々の態度や信念、行動に変化が生じることが知られている。これを応用して、物語の性質を持たせた情報（物語型情報）を用いるコミュニケーション手法が提案されており、特に健康や医療の分野で研究が進められてきた。物語型情報を利用することで、一般的な情報を提示する場合よりも高い効果が得られることが明らかになっている。

以上より本研究の目的を、物語型情報の提供が再エネ政策の受容性に与える影響を明らかにすること、と設定する。

2. 仮説

物語型情報の提供が高い有効性をもつ理由は「移入」と「同一化」によって説明される [1)]。移入とは読者が物語に集中することで、物語の世界に入り込んだかのように感じる現象を指す。また、同一化とは読者が物語の登場人物と一体化し、その視点からストーリーを体験することを意味する。両者によって、感情的反応の生起やイメージの鮮明化が生じ、情報に対する納得感や関心が向上すると考えられている。

物語に関する実証研究は、例えば禁煙の促進や予防接種の推奨など、主に個人的問題を対象に行われ、その有効性が確認されてきた。一方で社会的問題に活用した事例は少なく、特にエネルギー問題に応用した研究は皆無に等しいため、その適用可能性は明らかでない。そこで本研究では、物語型の情報提供を行うことで再エネ政策、特に賦課金や税金などの経済的負担に対する受容性が向上するという仮説を設定し、分析を行う。

3. 方法

3.1 情報資料の作成

本研究では実験群に提示する物語型情報、統制群に提示する説明文型情報の 2 種類を作成した。両資料は物語性の有無のみが唯一の相違点となるよう、同一の情報によって構成した。文字数の違いも最小限に留め、物語型は 1,112 字、説明文型は 1,018 字とした。

環境政策の受容意識に影響する要素として政策がもたらす効果の認知が挙げられることから、両資料の中心的情報は、再エネが発電時に二酸化炭素を発生しないこと、日本のエネルギー自給率向上につながると考えられていることの2点とした。

物語型情報は主人公の大学生らがキャンパス内への再エネ導入を提案し、様々な人の協力を得ながら目標を達成するというストーリーの中で上記の情報を提示した。既往研究を参考に、読者の移入が深まるよう、身近な状況設定や会話文の多用などの操作を行い、一人称視点での語りとすることで同一化の促進を狙った。一方の通常型情報は序論・本論・結論という構成に従って、事実情報のみを淡々と配列することで構成した。

3.2 質問紙調査

調査は特定の講義に出席した大学生とし、講義中に配布・回収を行った。調査の概要を Fig. 1 に示す。事前調査を実施した 4 週間後に参加者を実験群または統制群のいずれか一方に割り当て、対応する形式の情報資料を配布した。読了後直ちに事後調査への回答を要請した。2 回の調査では情報提供による変化が確認できるよう、同一の質問項目によって政策受容性を測定した。調査は無記名で行ったが、照合を取るために学籍番号の記入を求めた。

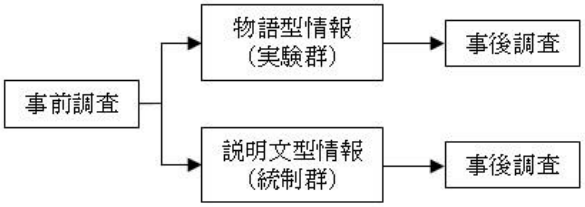


Fig. 1 質問紙調査の概要

3.3 質問項目

政策受容性は、再エネに対する一般的支持、費用負担の受容、毎月の支払意思額(WTP)の 3 点によって、事前調査と事後調査で測定した。事後調査では資料の理解度と共に、情報提供の効果に影響を与えるとされる要因として､関心や共感性の程度を測定した｡また、実験群にのみ移入と同一化の程度、ストーリーの現実性の評価を求めた。質問項目が同数になるよう、統制群にはフィラー項目を提示した。回答方法は WTP のみ自由記述式、それ以外は 5 件法とした。

4. 結果と考察

4.1 全体分析

欠損のある回答を除いた有効回答数は 63（実験群 37、統制群 26）である。再エネに対する一般的支持と費用負担の受容について、2 回の調査の平均スコアを群別に Table 1 に示す。

Table 1. 再エネ政策受容スコアの変化量

	一般的支持			負担の受容		
	事前	事後	変化量	事前	事後	変化量
実験群	4.57	4.68	+0.11	3.78	3.65	-0.14
統制群	4.92	4.77	-0.15	4.08	3.81	-0.27

変化量はいずれも微増または微減で、対応のある t 検定によって 5%水準で有意な変化が認められる項目はない。その原因のひとつに参加者の回答が高得点に偏っていたことが挙げられる。事前調査では実験群の「負担の受容」を除いて、平均得点と標準偏差の和が最高得点(5)を超える天井効果が見られる。これは対象とした大学生が、講義や報道を通じてエネルギー問題に関する情報に触れる機会が多く、再エネの拡大を支持する傾向にあったためと考えられる。

つづいて、2 回の調査で得られた WTP の中央値を Table2 に示す。

Table2. WTP の中央値

	事前	事後	変化量
実験群	759	765	+6
統制群	1,035	1,000	-35

WTP の中央値は実験群で微増､統制群で微減となった。本研究で採用した自由記述式はバイアスの影響を低減できる利点がある一方、回答が難しいという欠点があることが指摘される。これにより、回答者の WTP を正確に把握できず、結果として情報提供による中央値の上昇が見られなかった可能性が考えられる。

4.2 関心の影響

実験群には負担の受容性が向上した回答者と低下した回答者が混在しており、37 名中 8 名は向上、10 名は低下を報告した。前者を向上群、後者を低下群として回答を比較すると、関心尺度の平均得点に有意差が見られ、Fig.2 に示す通り向上群の方が低い(p=.05)。これより、再エネに対する関心が低い人ほど、物語型情報の提供によって負担の受容性が高まる傾向にあると言える。

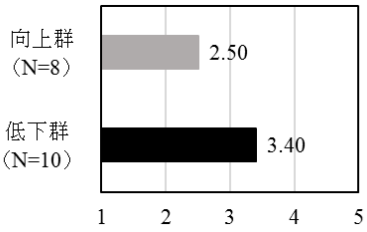


Fig. 2 関心尺度の比較

4.3 移入の影響

各質問項目の間で Spearman の相関係数を算出した。特筆すべき点として、実験群において事後調査の「負担の受容」と「移入」の間には弱い正の相関(r=.370)が生じている(p=.024)。既往研究においても、移入の程度が大きいほど物語の内容に沿った態度の変化が大きくなることが確認されている [2)]。

本研究では移入尺度の平均得点は3.02に留まっている。作成した物語型情報の品質が十分でなかったために、物語への移入が促進されなかった可能性が考えられる。以上より、物語型情報の編集をより高い水準で行うことができれば深い移入が生じ、再エネ政策の受容性を有意に向上させることができると期待される。

5. おわりに

本研究では物語型情報の提供による再エネ政策の受容性向上を確認することはできなかった。一方で、特にエネルギー問題への関心の低い人に対して、より質の高い物語型情報を提示することで受容性の向上につながる可能性が示唆された。

【謝辞】

調査にご協力いただいた皆さまにお礼申し上げます。

引用文献

1) O'Keefe D., "Persuasion Theory and Research", SAGE, California, (2016), pp. 218-219

2) van Laer T., de Ruyter K., Visconti L., Wetzels M.: J. Consumer Res., 40, (2013), pp. 797-817

A1-16,P2-109　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

価値観とライフスタイルを考慮した社会的公平性の可視化

Visualizing Subjectively Weighted Lifestyle-Based Social Equity

○重富陽介*[1)]，Andrew Chapman[2)]，南齋規介[3)]，東野達[4)]
Yosuke Shigetomi, Andrew Chapman, Keisuke Nansai, Susumu Tohno
1) 長崎大学, 2) 九州大学, 3) The University of Sydney, 4) 京都大学
* y-shigetomi@nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

国や地域レベルの原料調達から最終消費までのライフサイクル環境負荷 (環境フットプリント) において、家計消費は最も重要な排出源である。ゆえに、これまで数多くの家計フットプリントが解析されてきた。とりわけ所得と環境フットプリントの関係に注目した研究が多く見られ、両者の間に環境的な不平等 (environmental inequality) が生じている重大性が指摘されている[1)]。こうしたライフサイクル思考にもとづく不平等ないし不公平 (equity) のギャップを是正するためには、環境フットプリントのような負荷の定量的な情報だけでなく、そこに係るステークホルダー (消費者) の定性的な価値観も考慮した上で、適切な方策を実行することが不可欠となる。

本研究では、日本をケーススタディとして、先行研究で開発した環境産業連関分析とエネルギー政策に係る持続可能性フレームワークを組み合わせた IOSEF (input-output analysis with sustainability evaluation framework)[2)] にもとづき、ステークホルダーの価値観を反映した世帯収入の差異に起因する社会的不公平性 (social inequity) の定量化を目指す。昨年度の本学会では、重み付けを行わずに日本の少子高齢化に伴う世代間の社会的不公平性の定量化を実施して議論を行った。本発表では、より公平性の観点を強めるために、世帯収入別の環境フットプリントを次のように推計し、重み付けの有無による社会的不公平性の変動を計測する。

2. 方法

IOSEF では、家計に関する社会経済統計と IO-LCI データ、およびステークホルダーの価値観 (重み付け) を抽出するための大規模アンケート調査を利用する。以下にそれぞれの手順を簡潔に記す。

2.1 家計由来環境フットプリントの推計

本研究では Environmental Injustices に関する文献を中心とするレビューをもとに、社会的不公平性を構成する 6 つの指標 (温室効果ガス (GHG)、エネルギー、水資源、廃棄物、$PM_{2.5}$、ネオジム利用リスク) に関する家計フットプリントを式(1)に基づいて推計した。

$$Q_t^{EF,k} = \hat{\mathbf{e}}^{EF}\mathbf{y}_t^k \otimes \mathbf{H}_t^k \quad (1)$$

Q は環境フットプリントの値、 $\mathbf{e}$ は環境フットプリント原単位ベクトル、$\mathbf{y}$ と $\mathbf{H}$ はそれぞれ世帯収入階級別の年間家計消費支出額ベクトルと収入階級別世帯数ベクトルである。添字の EF、k、t はそれぞれ解析対象のフットプリント、世帯収入階級、対象年を表す。⊗はアダマール積である。ここでは世帯収入を 200 万円未満 (very low)、200-400 万円 (low)、400-600 万円 (low-mid)、600-800 万円 (middle)、800-1000 万円 (upper-mid)、1000-1500 万円 (high)、1500 万円以降 (very high) の 7 階級 (k=1…7)、解析対象年を 1990 年から 2040 年までの 11 期間 (t=1…11) で区分した。式(1)が示すように、環境フットプリント原単位は定数であり、IO-LCI データの制約上 t によらず 2005 年の各数値を用いた。平成 2-7-12-17 年接続産業連関表および全国消費実態調査、国民生活基礎調査を利用して、1990 年から 2005 年までの収入階級別支出額を推計した。さらに、2010 年から 2040 年までの環境フットプリントを、2005 年の収入階級別支出額をもとに、社人研による将来総世帯数 (中位) と推定収入階級分布[3)] によって算出した世帯数を乗じて推計した。

2.2 ステークホルダーの重み付け指標

本研究では、解析対象のフットプリントに係る 7 つの世帯収入階級別世帯の平均的な価値観を反映する重み付け指標を、2018 年 3 月に実施した全国アンケート調査 (N=6,634) の結果[4)] を用いて決定した。このアンケート調査は、環境・社会・経済の持続可能性に関連した 30 項目の質問に対し、ステークホルダーが考える関心度を 1 から 7 までのリッカート尺度によって測定したものである。解析対象のフットプリントのみに絞った回答ではないため、所得の増加や生活の利便性の向上など、環境問題以外の事項も加味した上での関心度が得られていると考えられる。用いた世帯別重み付け指標は、式(2)および(3)にもとづいて決定した。

$$V_t^{EF,k} = \frac{v_{r\in EF}^k H_t^k}{\sum_r \sum_k v_r^k H_t^k} \quad (2)$$

$$W_t^{EF,k} = \begin{cases} 1 & (V_t^{EF,k} < 1.01) \\ 0.95 & (1.01 \le V_t^{EF,k} \le 1.05) \\ 0.90 & (V_t^{EF,k} > 1.05) \end{cases} \quad (3)$$

v はアンケート調査の項目 r におけるリッカート尺度、H は **H** の要素、V は正規化された価値観である。得られた V によって、今回は重み付け指標 W の閾値を式(3)のように定めた。すなわち、全体の回答に対してその環境フットプリントに係る回答への関心度の高さが1%を上回らない場合、ステークホルダーの行動の変容は全く起こらない (Business as Usual: BaU) と想定する。その関心度が 1%から 5%の間で上回る場合は、5%の環境フットプリント削減、5%以降は 10%の削減が期待できると仮定する。これらの重み付けは、今後の環境フットプリントに対して適用されるとし、2020 年以後の社会的公平性を評価する際に利用した。

2.3 社会的不公平性の評価

2.1 と 2.2 で算出した Q および W を用いて、次の式(4)のように社会的不公平性を計測した。

$$rSI_t^k = \sum_{EF} \bar{Q}_t^{EF,k} W_t^{EF,k} \quad (4)$$

rSI は相対的社会的不公平性、$\bar{Q}$ は式(1)の Q を解析期間内の各世帯別フットプリントの最大値で正規化した値を表す。次に、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 rSI を y 軸にプロットして描かれる多面体の幾何重心の座標を導出した。その x 座標は社会的不公平性の発生源の偏り (consumption burden)、y 座標は社会的不公平性の程度 (social inequity score) を表現し、解析年ごとの推移を記述する。例として、図 1 に 1990 年と 2010 年における重心座標の推移の概念図を表す。詳細は既報 [2] を参照されたい。

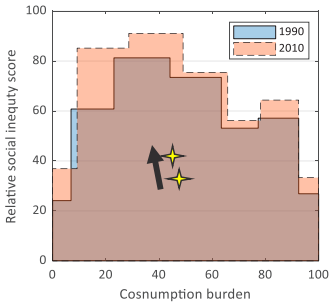


図 1. 本研究における社会的不公平性の定量化の概念図。十字星の x 座標と y 座標を計測する。

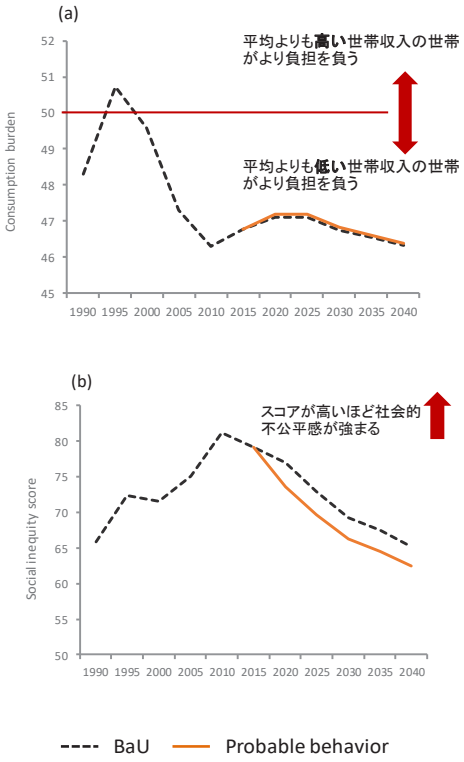


図 2. 1990 年から 2040 年までの社会的不公平性の発生源の偏り (a)、およびその程度の推移。破線は重み付けがない場合、実線はアンケート調査の結果にもとづく重み付けを行った場合を表す。

3. 結果と考察

上記のフレームワークにより、推計した 1990 年から 2040 年までの 6 種の家計フットプリントと重み付け指標をもとに計測した社会的不公平性の発生源および程度 (スコア) を図 2 に示す。

図の(a) 発生源を見ると、1995 年以後は 2040 年まで平均以下の世帯収入の世帯に負担が集中し続けることが予想される。これは主に高齢化に伴う低収入世帯の増大に起因する。(b) の社会的不公平性スコアについては 2010 年にピークを迎え、以後は減少傾向が見られた。この傾向は大多数が 2020 年に最大となる家計フットプリントと連動しておらず、低収入世帯の増加の影響が生じていると考えられる。さらに、重み付けを行った場合にはスコアがより低下した。この結果は、ステークホルダーの「思い」を考慮し、それにしたがってライフスタイルに係る環境負荷を低減することで、国内の社会的不公平の是正を促進させる可能性があるという重要な知見を示唆する。

学会当日は口頭とポスターの双方で発表を行う。

4. 引用文献

1) Hubacek et al., 2017, *Nat. Commun.*, 8, 1-9.
2) Chapman and Shigetomi, *Sci. Tot. Environ.*, 2018a, 639, 385-396.
3) 稲垣誠一, 2013, 季刊社会保障研究, 48(4), 396-409.
4) Chapman and Shigetomi, 2018b, *J. Clean. Prod.*, 200, 39-47.

A1-17,P2-100　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

外出による電力消費量と活動量の効果に関する研究

Study on the Effect of Electricity Consumption and Activity Amount by Going Out

○長浜駿多*[1)]、磐田朋子 [1)]
Shunta Nagahama, Tomoko Iwata
1）芝浦工業大学
* br15058@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

温暖化対策の枠組み「パリ協定」が採択されたことで、日本は二酸化炭素排出などの温室効果ガスを 2050 年までに 2013 年度比で 80%削減することを目指している。故に、社会の低炭素化は取り組まなくてはいけない課題となっている。わが国で排出される二酸化炭素排出量は家庭部門において大幅な増加傾向にある。このことから、日々の暮らしを見直す必要がある。

この課題を解決する一つの方法として、クールシェアによる夏季の節電や電力ピークカットが期待されている。クールシェアとは、一人一台のエアコンの使用をやめ、涼しい場所に皆で集まってシェアをすることで、節電効果だけでなく外出機会やコミュニケーション機会を増やし、地域の絆も深めることが期待されている取り組みである。しかしながら、節電効果（EB）やそれ以外の効果（NEB）について定量的にはほとんど把握されていない。

そこで本研究では、外出による節電効果を明らかにすることに加えて、健康増進（歩数と会話量）の効果も明らかにすることを目的とした。昨年度行った実験対象者が体操教室の参加者ということもあり、被験者の多くが活動量の多い人であった [1)]。そのため、今年度は活動量が少ない人のデータも取得するため、埼玉県上尾市原市団地の居住者全戸から被験者の応募を募った。昨年度の実験結果からは、「外出時間が長くなると電力消費量が減少する（図１）」、「同居者全員で外出すると省エネ効果がある（図２）」という結果が見られたが、統計的に相関があるとは言えない。「クールシェアで期待できる効果はピークカット効果であり、1 日単位での電力消費量は変化がないのではないか。節電効果はないのではないか。」という仮説をたて研究を進めていく。

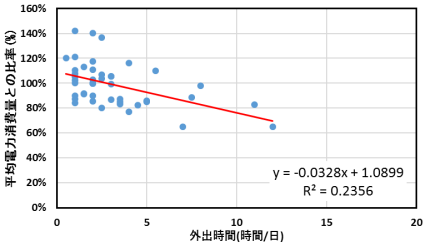


図１　「全員外出の日単位時間」と「平均電力消費量との比率」[1)]

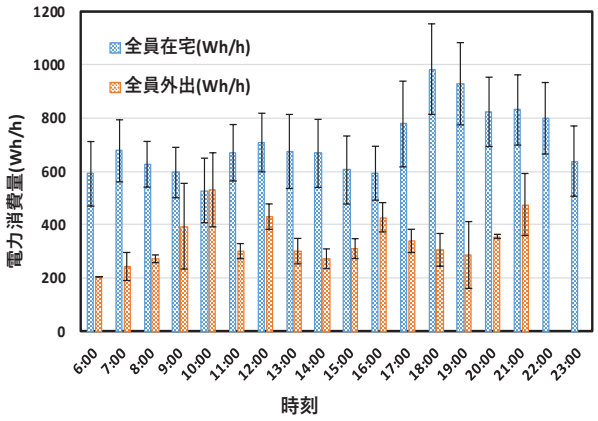


図２　時刻毎の節電効果（全員外出）[1)]

2. 研究概要

2.1 研究対象

原市団地 1582 世帯にポスティングした結果、応募のあった７人を実験対象とした（表１）。

表１　実験対象者概要

世帯	世帯人数	対象者年代	性別
A	1	30 代	女性
B	2	80 代	女性
C	1	70 代	男性
D	3	20 代	男性
E	2	60 代	男性
F	2	80 代	男性
G	1	60 代	男性

2.2　研究手法

省エネナビによる消費電力の計測、活動量計による会話量と歩数の計測、生活行動調査表による実験対象者の同居者を含めた外出時間の調査を行った。その後在宅時と外出時の効果について分析を進めていく。

2.3　研究機器

2.3.1　生活行動調査表

対象者と対象者の同居者全員の外出時間を 30 分単位で調査した。

2.3.2　活動量計

活動量計は「TDK 株式会社　SilmeeW20」(リストバンド型)を使用した。本機器を手首に付けてもらい、1 分毎の歩数、会話量などを計測した。

2.3.3　電力計測

電力計測は「中国計器工業株式会社　省エネナビ CK‐５」を使用した。本機器は分電盤および計測したい電化製品（冷蔵庫/テレビ等）に設置することで、15 分/30 分/1 時間毎の電力消費量を計測することができる。本実験では、分電盤で計測した家庭全体の電力消費量 30 分データのみ使用した。

3　実験結果

3.1　在・不在時電力消費量動向

2018 年 8 月 22 日から 9 月 21 日にかけて電力消費量及び活動量の計測を行った。この章では表 1 の D 世帯の計測結果を例として示す。

電力消費量に関しては、昨年度の結果同様、「同居者全員が外出している時間帯」と「家に誰もいない時間帯」において、差があることがわかった。（図 3）

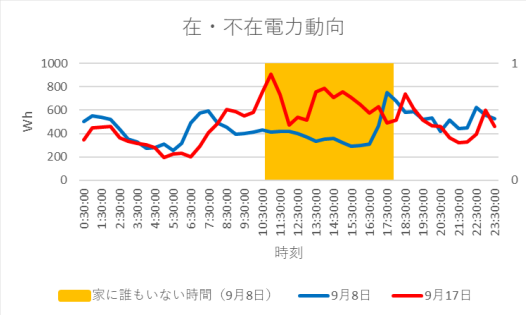


図 3 在・不在時電力消費量動向

3.2　外出時間と活動量の関係

3.2.1　外出時間と歩数の関係

歩数は電力消費量同様に対象者自身が外出をしているかどうか状態で大きな差があり、これも昨年度同様の結果であることがわかった。（図 4）

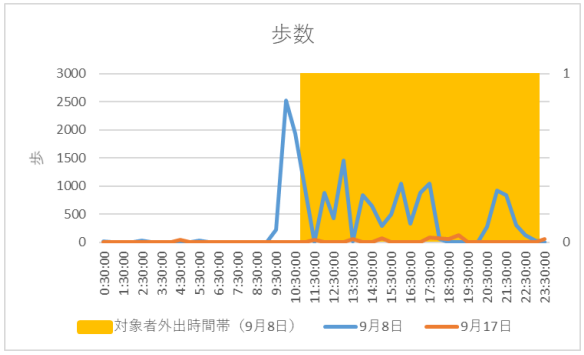


図 4 対象者の外出による歩数の差

3.2.2　外出時間と会話量の関係

昨年度の結果では、会話量も外出時間により増減するという結果であったが、今回は在宅時または家族全員で外出している時間に会話量が増えるという結果になった（図 5）。在宅時に会話量が増えた要因として、家族がいると会話が生まれることが予想できる。

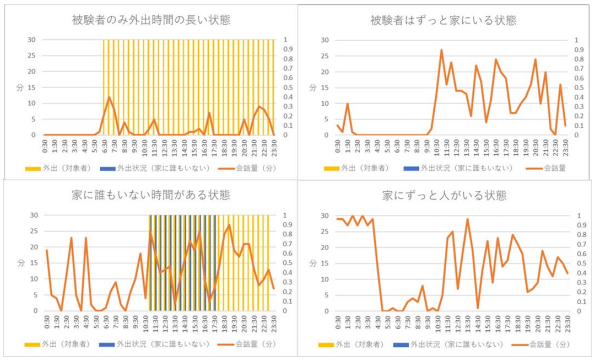


図 5 外出時間と会話量の関係

4　考察

「電力消費量と活動量の関係」について、電力や歩数においては昨年度も今年度も同様の傾向が見られた。会話量では昨年度と今年度で異なる傾向が示されたため、数値上の記録だけではなく、対象者の性格や思考を分析し、グループ化するとわかりやすくまとめることができるのではないかと考えた。そのためには、サンプル数の増加や他の対象に対しての計測が必要と考えられた。

引用文献

1)　関口雄太:“外出による電力消費量と活動量の効果に関する研究”,（2018）,pp15-20

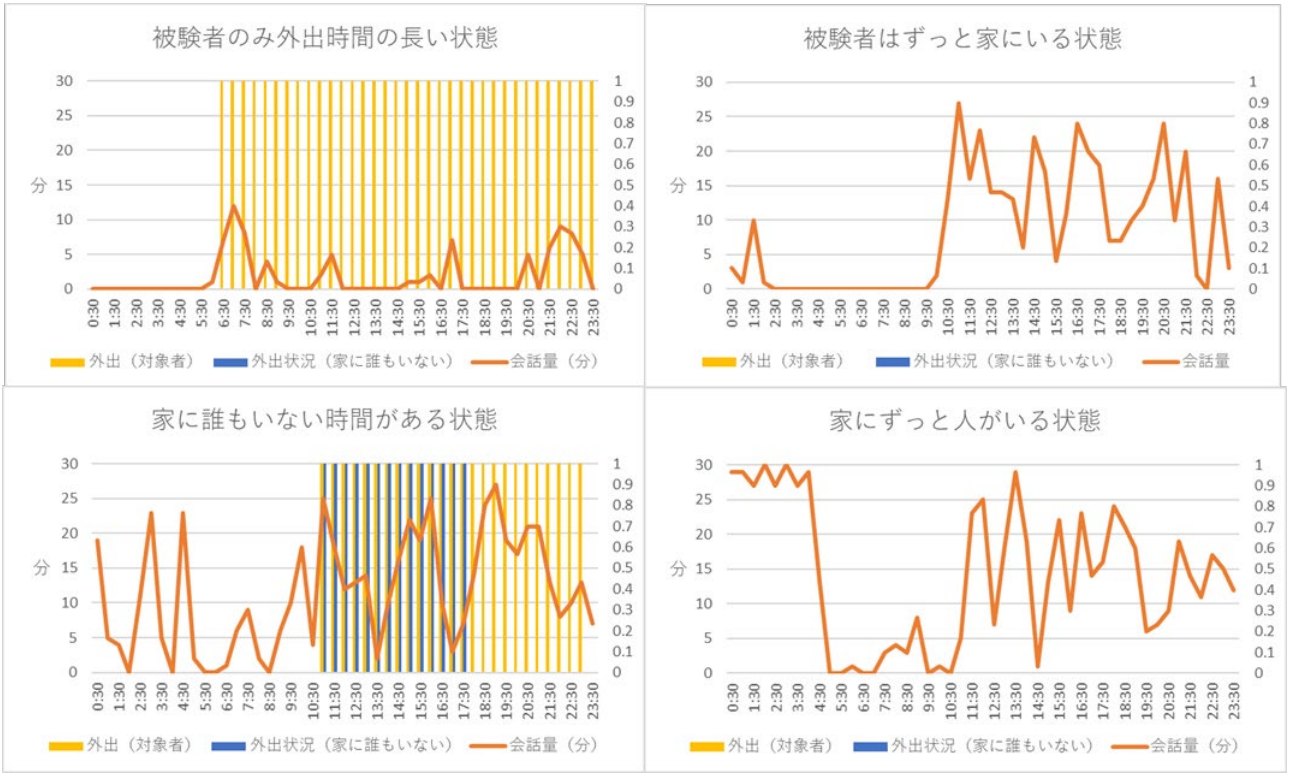


図６　外出時間と会話量の関係

A1-18,P2-077　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

健康管理に関する自治体事業の経済波及効果の分析

Analysis of Economic Impact for Health-Management Projects by Local Government

○三浦友裕*[1)]、碓井政貴[1)]、大西貴子[1)]、永瀬寛典[1)]、山田博己[1)]、山田真弘[1)]、
下野僚子[1)]、兵法彩[1)]、堀内美佐[1)]、菊池康紀[1)]

Tomohiro Miura, Masataka Usui, Takako Onishi, Hironori Nagase, Hiroki Yamada, Masahiro Yamada,
Ryoko Shimono, Aya Heiho, Misa Horiuchi, Yasunori Kikuchi

1) 東京大学

* t-miura@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

健康増進の推進を図る基本的な方向や具体的な目標等を示した健康日本 21（第二次）[1)]のもと、健康管理事業を行う自治体が増加している。本研究における健康管理事業とは、人々の健康維持と疾病予防を目的として行われる事業を指し、医療費の抑制も期待される。一般に自治体が事業を行う場合、目的に沿った事業内容の決定後、実行・評価を行い、評価結果に基づき事業内容の改善を行う。自治体による健康管理事業については、健康状態の維持・向上や医療費抑制における有効性に加え、事業として持続するには経済性が求められる。このため事業設計の意思決定においては、経済性の観点から事業の特性を把握する必要がある。健康管理事業においては、産業連関表[2)]を用いた経済波及効果の分析や、既往の知見にもとづく医療費抑制効果の分析が有効とみられる。

医療サービスや福祉事業における産業連関表を用いた研究として、松田らによる北九州市における医療・福祉・社会保障部門への経済波及効果[3)]、Yamada[4)]らによる国全体での経済波及効果の分析がある。しかし、既存の保健医療や介護制度のもとで実施される医療行為ではなく、病気を未然に防ぐことを目的とした健康管理事業に関する研究はこれまでに無い。

本研究では、自治体が行う健康管理事業による、経済波及や医療費抑制の両方を踏まえた経済性の評価を目的とする。健康管理事業の特徴の整理にもとづき、特徴の異なる複数の事業について、経済波及効果及び医療費抑制の分析を行い、事業間の違いや改善点の考察を行う。これにより自治体が事業を選択する際の意思決定支援をめざす。

2. 方法

2.1 分析対象事業の選定

各都道府県のウェブページで公表されている健康管理に関する事業を調査し、内容（食事、運動、禁煙など）と、実施期間（単発的か、継続的か）という観点を抽出した。

健康管理事業の実施期間と内容の観点より、ウォーキングイベント事業（単発・運動）、運動に関する健康ポイント事業（継続・運動）、食事に野菜・油・塩の量の基準を満たすメニューを用いる V.O.S.[5)]事業（継続・食事）の 3 事業を選定した。

2.2 経済波及効果の算出

事業に関係するプレイヤごとに事業プロセスの可視化、経済波及効果に寄与する各要素の調査にもとづく最終需要額の導出にもとづき、産業連関表（2011）を用いた経済波及効果の分析を行った。

ウォーキングイベント事業については、他のマラソンイベントの際に算出された最終需要額を調査[6-8)]し、さらに調査対象イベントにおける特典を加味して算出した[9)]

健康ポイント事業については、プロセスの可視化によって経済波及効果を及ぼすと予想される行動を洗い出し、それぞれについて最終需要額を算出した[10-12)]。

V.O.S.事業については、まず健康飲食サービスの市場規模と総事業者数より、V.O.S.事業にかかる費用を算出した。その後、賃金分を差し引き、付加価値効果を考慮した後、各食材については給食部門、その他については飲食サービス部門の比率を用いることで各部門の最終需要額の導出に基づいて分析した。

2.3 医療費抑制効果の算出

対象疾患について罹患率、発症減少率、1 人当たりの年間治療費を調査し医療費抑制効果を算出した。対象疾患としては、診断例の多い生活習慣病であることから、運動では糖尿病、がん、高血圧といった循環器疾患、食事では肥満、胃がん、循環器疾患[13)]を取り上げた。

文献調査[14-18)]によりイベント開催に伴い新たに運動習慣を持ち始めた人数を推定し、各疾患の日本人の罹患率を掛けることで、事業により発症可能性がある人数を算出した。この人数に発症減少率[19,20)]を掛けることで算出した発症抑制人数に、一人当たりの年間治療費を掛けることでイベントによる医療費抑制額を計算した。他事業に関して、生活習慣の改善割合と発症減少率に仮定をおき、医療費抑制効果の算出を行った。

3. 結果と考察

ウォーキングイベント事業、健康ポイント事業、V.O.S. 事業について、1 年間あたりの最終需要額、生産誘発額および医療費抑制額を算出した。また、最終需要額に対する生産誘発額の割合を算出した。

ウォーキングイベント事業は単発であるため、他の事業と比較して最終需要額が小さくなった。そのため、宿泊者や宿泊日数の増加、地域に根ざした特産品の提供・販売により、地域産業を中心に直接的な関連部門への経済波及効果の増加を促すことが必要と考えられる。健康ポイント事業では、生産誘発額に加え、最終需要額に対する生産誘発額の割合が大きくなった。しかし、当事業では最終需要額のうち、事業運営者側が負担する実施経費も高額になる。よって、事業を継続的に運営していくには、補助金等の活用も考慮した事業設計が必要と考えられる。V.O.S.事業は、最終需要額に対する生産誘発額の割合が 3 事業の中で小さくなった。最終需要に占める栄養士への報酬といった付加価値の割合が大きくなったため、経済波及効果が小さくなったものと推測される。今後は付加価値による経済波及効果の分析も必要と考えられる。

医療費抑制効果に目を向けると、健康ポイント事業および V.O.S.事業といった継続的な事業において大きくなった。この結果から、健康管理事業を企画・運営するには、参加者が日常的に自分の健康に気を配るように促す事業であることが望ましいと考えられる。

地域における事業の持続可能性について、健康分野での議論は少ない。本研究は、自治体等による健康管理にかかる政策や事業の選定や計画において判断材料を提供できる点で有用といえる。

4. 結言

本研究では、健康管理事業を事業内容と実施期間の観点で分類し、各分類に対して経済波及効果と医療費抑制効果の分析を行った。最終需要額に対する生産誘発額の割合が事業の特徴によって差がみられることから、自治体等による健康管理事業立案の判断材料を提供できる点で有用であることが示唆された。

自治体事業について考える場合は、地域の活性化が望まれる。その場合、県や地域の産業連関表を用いた評価が必要になる。また、イベントのオプションについて、特産品や地理的条件などの地域の特性を考慮した計算も行う必要がある。また、健康管理に関する事業内容として、ウェアラブルデバイスやアプリを用いた生活習慣の管理など、本研究で対象とした事業とは異なるものも考えられ、本研究で得られた知見の適用範囲には注意が必要である。

参加者が健康であり続けることにより、就労の持続や消費活動の向上も見込まれるため、その波及効果も分析を行う必要がある。

引用文献

1) 厚生労働省:　“国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針”，(2012)
2) 総務省:　“産業連関表”，(オンライン)，入手先<http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/index.htm>，(参照 2019-01-09)
3) 松田晋哉，村田洋，舟谷文男:　医療経済研究，4，(1997)，pp51-69
4) Yamada G.，Imanaka Y.：Environ. Health Prev. Med. 20，(2015)，pp379-387
5) 大坂府:V.O.S.メニュー”，(オンライン)，入手先<http://www.pref.osaka.lg.jp/kenkozukuri/vos-menu/index.html>，(参照 2019-01-09)
6) 埼玉県:“経済波及効果分析ツール”，(オンライン)，入手先<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0206/a152/bunseki-tool.html>，(参照 2018-12-17)
7) NPO 法人未来をつなぐ子ども資金:　“杉並チャリティー・ウォーク 2016　実施報告書”，(2016)
8) いわきサンシャインマラソン 2018 実行委員会:“平成 28 年度収支決算書”，(2018)
9) 全国商工会連合会:”ニッポン全国物産展 2015 来場者アンケート集計結果”，(2015)
10) 総務省身近な IoT プロジェクト:　“平成 27 年度補正予算 IoT 健康サービス創出支援事業 成果報告書”，(2017)
11) 久保和之，横井康博，原田尚幸，守能信次：中京大学体育学論議，39-2，(1998)，pp69-77
12) 埼玉県:　“埼玉コバトン健康マイレージ”，(オンライン)，入手先<https://kobaton-mileage.jp>，(参照 2019-01-07)
13) 厚生労働省:“平成 26 年版厚生労働白書”，(2015)
14) 長谷川直人，佐藤和佳子：山形医学，28(1)，(2010)，pp13-23
15) 横浜市健康福祉局保険事業化　横浜市衛生研究所:“平成 28 年度「横浜ウォーキングポイント」参加者アンケート調査結果報告書”，(2016)
16) 厚生労働省:“平成 26 年患者調査の概況”，(2014)
17) 厚生労働省:“平成 26 年度国民医療費の概況”，(2014)
18) 総務省:“人口推計(平成 26 年 10 月 1 日現在)”(オンライン)，入手先<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2014np/pdf/2014np.pdf>，(参照 2018-07-26)
19) Okada K.，Hayashi T.，Tsumura K.，Suematsut C.，Endo G. and Fujii S.：Diabetic Medicine，17，(2000)，pp 53-58
20) Lee K.，Inoue M.，Otani T.，Iwasaki M.，Sasazuki S.，Tsugane S.,：Cancer Causes Control，18，(2007)，pp199-209

Mitigation and Adaptation to Climate Change through Life Cycle Assessment of Air-Conditioners: comparison between Japan and developing countries with consideration of the future environmental impacts

○カーコー セリム*[1)]、井原智彦[2)]、伊坪徳宏[1)]

Selim Karkour, Tomohiko Ihara, Norihiro Itsubo

1）東京都市大学, 2）東京大学

* g1893103@tcu.ac.jp

1. Introduction

The use of air conditioners is growing around the world due to the increase of temperature and the steady growing economy of countries located in the hottest parts of the globe. According to a report published by the IEA [1], the stock of ACs has been multiplied by nearly three times between 1990 and 2016. This increase has an impact on the total energy consumed for space cooling (2020 TWh in 2016) and therefore in the rise of CO2 emissions from building, space cooling emits nowadays about 100 Mt of CO2 per year, which account for 10% of the building sector emissions.

This study focuses on three countries which are contributing to the rise but also expected to be major actors for the sector in the future: India, Indonesia and Japan. The market in India and Indonesia present some similarities: the current ownership rate is still low in both countries (respectively 1% and 2.7%) while the sales (3 and 1 million units sold in 2016) are still far below the Chinese market (41 million units) or Japanese one (9 million units). This latter represents the 3rd market in the world with an ownership rate of more than 90%. While the market is expected to remain stable in Japan, the situation in India and Indonesia is projected to change drastically by 2050 as these two countries might become respectively the 2nd and 4th biggest market. Coal being the main input to product electricity in those countries, it is then possible to imagine that the increasing stock of ACs will have an impact on the environment.

A life cycle assessment study is then performed in the three countries to evaluate the impact of Air Conditioners. The study focuses mainly on climate change as well the resource depletion. It also evaluates the environmental cost by using integration. SimaPro 8 which include Ecoinvent v3 database was used for this study as well as LIME2/LIME3 for the impact assessment.

2. Methodology

2.1 Air conditioner

An Air Conditioning system is mainly composed with two units: one indoor and the other outdoor. The following major components are found inside these units: heat exchanger, motor, fan, compressor. Ten models were taken into consideration for our analysis: 3 in Indonesia (all residentials-IDN), 3 in Japan (two residentials and one commercial-JPN) and 4 in India (all residentials-IND). The total weight range of the residential ACs is between 35 kg and 68 kg. For the commercial unit, the weight is 154kg. The lifetime of all the residential models is 10 years, for the commercial unit 13 years. The refrigerant leaks were also taken into account for each model (For Japan only, it is assumed that 30% of the leaks are captured). Except for Indonesia where the models are produced in Thailand, all are the models are produced and later used in the same country. Only the results for residentials ACs are provided in this summary.

2.2 Electricity mix

The data from the IEA (IEA Electricity information) [2] are used as shown on Fig. 1. For Indonesia, Japan and India: respectively 54%, 33% and 73% of the electricity is produced from Coal; 10%, 11% and 2% from Oil; 23 %, 40% and 5% is produced from Natural Gas. All this information is contained in the Ecoinvent database.

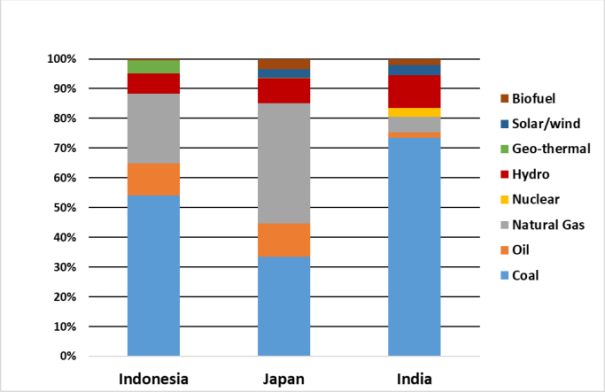


Fig. 1 Electricity production by source

2.3 LIME

LIME2 method [3] was adopted for the evaluation at midpoint, two indicators were chosen relevant: Global Warming Potential (kg-CO2eq) and Resource consumption (kg-Sbeq). To evaluate the monetary impact of ACs (USD/unit), LIME3 method [4] was selected with a focus on four indicators: Global warming, Air Pollution, Resource consumption and Water use.

3. Results and interpretation

3.1 Midpoint characterization

Concerning Global Warming, most of the impact occur as expected during the use phase as shown in Fig. 2. The electricity production mainly based on Coal in India and Indonesia is explaining the higher results, on the contrary, the better efficiency of the models produced in Japan explain the lower results. For Indonesia, the presence of inverter along with the high performance refrigerant justify the difference of results between each models.

Concerning the Resource consumption, the impact is also more important during the use phase however the materials/parts manufacturing is also having an influence because of the use of Copper, Iron and Steel (Fig. 3). The model A in Japan being much heavier than the other models of our study, the materials/part manufacturing shows a higher impact than the use stage.

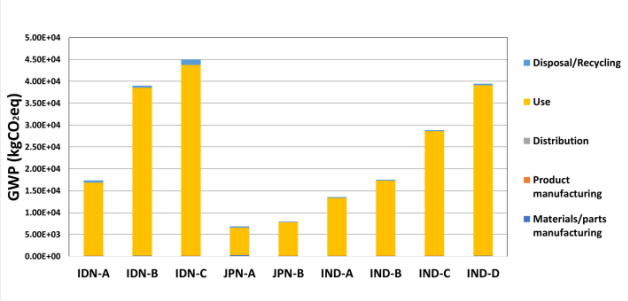


Fig.2 Global Warming impact

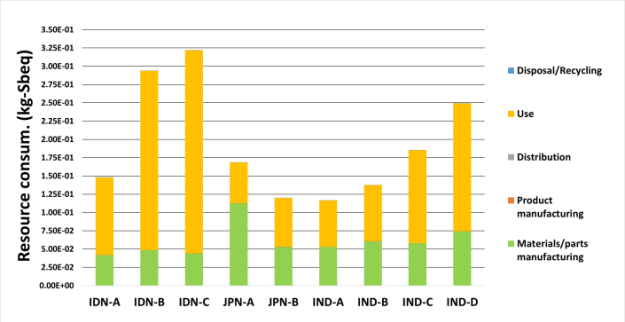


Fig. 3 Resource consumption impact

3.2 Integration

The integration introduced in LIME3 enable to estimate at a global scale, the monetary valuation of the environmental impacts (in USD). The integration results are shown higher in Indonesia and in India than in Japan (Fig. 4), explained again by the use phase. However, by looking at the contribution of each stage (Fig 5.), the trend for each country is different: The resource consumption is much higher in Indonesia than in other countries, the impact of Air Pollution is higher in India due to the higher density of the population.

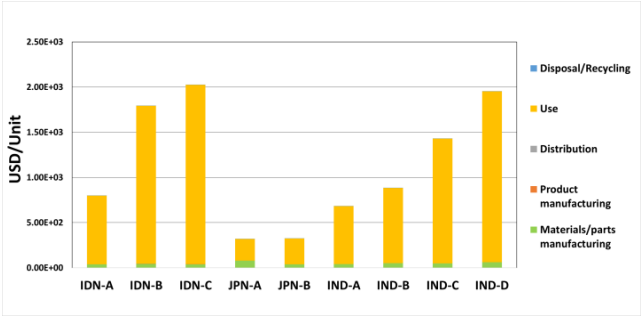


Fig. 4 Integration results by stage

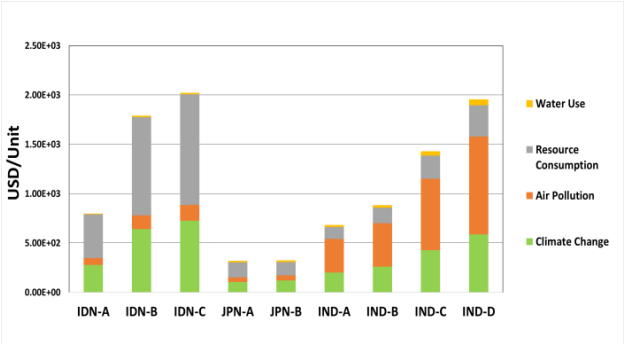


Fig. 5 Integration results by impact category

4. Conclusion

LCA was applied in this study to air conditioners systems used in three different countries: India, Indonesia and Japan. It was shown that the use phase is mostly responsible for the environmental impacts, the main source (coal, natural gas or oil) to produce electricity has a strong influence on the results.

Concerning the integration results, the results in Indonesia (due to the Resource consumption) and in India (due to Air Pollution) are higher than in Japan where the burden is shared between Climate change and resource consumption.

It is then necessary for the Air conditioners makers to continuing improving the efficiency of the models especially in developing countries. Policies to promote renewable energies would highly contribute to lower the burden of air cooling.

5. References

1) International Energy Agency, “The Future of Cooling”, (2018)
2) International Energy Agency, “Electricity information”, (2016)
3) Itsubo Norihiro: “LIME2 Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling” JLCA Newsletter, (Online), http://lca-forum.org/english/pdf/No14_C1_Outline.pdf
4) JEMAI, “LIME3”, Maruzen, Tokyo, (2018)

SI

Hi-Inverter (FTKV Series)

Inverter　Cooling Only　R-32

It's Time for DC Inverter.
Inverter air conditioners are well known for their precise control.

In fact, their outstanding efficiency can cut energy bills compared to non-inverter models. This precision also means greater comfort, plus full power at the touch of a button.



Model Name	Indoor Unit		FTKV25NVM4	FTKV35NVM4	FTKV50NVM4	FTKV60NVM4
	Outdoor Unit		RKV25NVM4	RKV35NVM4	RKV50NVM4	RKV60NVM4
Capacity	Rated (Min.-Max.)	kW	2.5 (1.2-3.4)	3.5 (1.3-4.1)	5.2 (1.7-6.0)	6.0 (1.9-7.0)
		Btu/h	8,500 (4,100-11,600)	11,900 (4,400-14,000)	17,700 (5,800-20,500)	20,500 (6,500-23,900)
Power Consumption	Rated	W	540 (220 - 850)	910 (230 - 1,280)	1300 (260 - 1,730)	1580 (300 - 2,060)
COP		W/W	4.63	3.85	4.00	3.80
Indoor Unit			FTKV25NVM4	FTKV35NVM4	FTKV50NVM4	FTKV60NVM4
Fan Speed			5 Speed, Quiet, Automatic			
Sound Pressure Levels	H/L/SL	dB(A)	37/25/22	38/26/23	43/34/31	46/35/32
Dimensions	H x W x D	mm	283 x 800 x 195		290 x 1,050 x 250	
Machine Weight		kg	9		12	

SI. 1 Model IDN-A (LC Use Stage: 13780 kWh)

Deluxe (FTM Series)

Cooling Only　R-32

Beyond Cool

Daikin air conditioners are not just for cooling - they offer total control of your living space. Various airflow controls help to create a comfortable environment while low sound pressure levels allow you to relax in peace.
Now is the time to enjoy greater comfort with Daikin technology.
FTM-K Series Using Next-Generation Refrigerant R-32.



Model Name	Indoor Unit		FTM25JV14	FTM35JV14	FTM50JV1V
	Outdoor Unit		RM25JV14	RM35JV14	RM50JV1V
Capacity	Rated (Min.-Max.)	kW	2.60	3.69	5.10
		Btu/h	8,900	12,700	18,090
Power Consumption		W	722	1,042	1,493
COP		W/W	3.60	3.55	3.55
Indoor Unit			FTM25JV14	FTM35JV14	RM50JV14
Fan Speed			5 Speed and Automatic		
Sound Pressure Level	H/L	dB(A)	37/28	40/31	45/35
Dimensions	H x W x D	mm	283 x 800 x 195		290 x 1,050 x 238
Machine Weight		kg	9		12

SI. 2 Model IDN-B (LC Use Stage: 31760 kWh)

Super Mini Split (FTNE-MV Series)

Cooling Only　R-410A

Daikin's sophisticated airflow control and low sound pressure levels surround you with a cloud of quiet comfort.



Model Name	Indoor Unit		FTNE15MV14	FTNE20MV14	FTNE25MV14
	Outdoor Unit		RNE15MV14	RNE20MV14	RNE25MV14
Capacity		kW	1.46	2.09	2.62
		Btu/h	5,000	7,000	9,000
Power Consumption		W	390	633	819
COP		W/W	3.75	3.30	3.20
Indoor Unit			FTNE15MV14	FTNE20MV14	FTNE25MV14
Fan Speed			5 Speed, Quiet, Automatic		
Sound Pressure Level		dB(A)	35/28	37/28	
Dimensions H x W x D		mm	273 x 784 x 195		
Machine Weight		kg	8		

SI. 3 Model IDN-C (LC Use Stage: 36030 kWh)

基本仕様			
タイプ 解説	壁掛け	電源	100 V
冷房(木造和室目安) *1	8 畳	冷房(鉄筋洋室目安) *1	12 畳
暖房(木造和室目安) *1	8 畳	暖房(鉄筋洋室目安) *1	10 畳
冷房能力	2.8 kW	暖房能力	3.6 kW
冷房消費電力	550 W	暖房消費電力	660 W
冷房COP 解説	5.09	暖房COP 解説	5.45
低温暖房能力	6 kW		

SI. 4 Model JPN-A (LC Use Stage: 7790 kWh)

基本仕様			
タイプ 解説	壁掛け	電源	100 V
冷房(木造和室目安) *1	8 畳	冷房(鉄筋洋室目安) *1	12 畳
暖房(木造和室目安) *1	8 畳	暖房(鉄筋洋室目安) *1	10 畳
冷房能力	2.8 kW	暖房能力	3.6 kW
冷房消費電力	780 W	暖房消費電力	860 W
冷房COP 解説	3.59	暖房COP 解説	4.19
低温暖房能力	3.5 kW		

SI. 5 Model JPN-B (LC Use Stage: 9290 kWh)

基本仕様			
タイプ 解説	壁掛け	電源	100 V
暖房(木造和室目安) *1	5 畳	暖房(鉄筋洋室目安) *1	6 畳
冷房(木造和室目安) *1	6 畳	冷房(鉄筋洋室目安) *1	9 畳
暖房能力	2.2 kW	冷房能力	2.2 kW
暖房消費電力	470 W	冷房消費電力	560 W
暖房COP 解説		冷房COP 解説	
低温暖房能力	2.8 kW		

SI. 6 Model IND-A (LC Use Stage: 7600 kWh)

基本仕様			
タイプ 解説	壁掛け	電源	100 V
暖房(木造和室目安) *1	8 畳	暖房(鉄筋洋室目安) *1	10 畳
冷房(木造和室目安) *1	8 畳	冷房(鉄筋洋室目安) *1	12 畳
暖房能力	3.6 kW	冷房能力	2.8 kW
暖房消費電力	800 W	冷房消費電力	735 W
暖房COP 解説		冷房COP 解説	
低温暖房能力	3.5 kW		

SI. 7 Model IND-B (LC Use Stage: 9860 kWh)

基本仕様			
タイプ 解説	壁掛け	電源	200 V
暖房(木造和室目安) *1	15 畳	暖房(鉄筋洋室目安) *1	18 畳
冷房(木造和室目安) *1	15 畳	冷房(鉄筋洋室目安) *1	23 畳
暖房能力	6.7 kW	冷房能力	5.6 kW
暖房消費電力	1860 W	冷房消費電力	1890 W
暖房COP 解説		冷房COP 解説	
低温暖房能力	6.6 kW		

SI. 8 Model IND-C (LC Use Stage: 16360 kWh)

基本仕様			
タイプ 解説	壁掛け	電源	200 V
暖房(木造和室目安) *1	11 畳	暖房(鉄筋洋室目安) *1	14 畳
冷房(木造和室目安) *1	11 畳	冷房(鉄筋洋室目安) *1	17 畳
暖房能力	5 kW	冷房能力	4 kW
暖房消費電力	1330 W	冷房消費電力	1250 W
暖房COP 解説		冷房COP 解説	
低温暖房能力	5.4 kW		

SI. 9 Model IND-D (LC Use Stage: 22440 kWh)



呼称能力〈相当馬力〉			P112形〈4馬力〉	P140形〈5馬力〉	P160形〈6馬力〉
機種名			SSRC112B	SSRC140B	SSRC160B
メーカー希望小売価格 ※6			1,030,000円	1,210,000円	1,315,000円
定格性能	冷房能力 ※1	kW	10.0	12.5	14.0
	暖房能力 ※2	kW	11.2	14.0	16.0
APF ※3			6.4	6.0	5.7
外形寸法〈H×W×D〉※5	室内機	mm	840×840〔338×950×950〕		
	室外機	mm	1,430×940×320		
接続配管	液側		φ9.5	φ9.5	φ9.5
	ガス側		φ15.9	φ15.9	φ15.9

SI. 10 Model JPN-C (Use Stage: 33436 kWh)

B1-17

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

産業連関ネットワークの可視化

Visualization of Input-Output Network

○時任翔平*1)
Shohei Tokito*1)
1) 九州大学
*stkyuuni103@gmail.com

1. はじめに

これまで、産業連関表を用いたサプライチェーンネットワークの可視化は様々な研究で行われてきた。産業連関表の持つ数十から数百もの産業間取引の情報量は非常に大きいため、様々な分析手法によって「重要な」取引を抽出し、分かりやすく可視化することで、経済政策や環境政策に役立ててきた。

本研究では Hanaka *et al.* (2018) における、既存の「生産者基準排出量」、「消費者基準排出量」に Liang *et al.* (2016) で提案された「媒介者基準排出量」を加えた産業の「3 視点の排出量」を、産業から産業間取引に拡張することで、グローバルサプライチェーンにおける 3 つの視点の辺排出量を算出し、それぞれの視点における CO_2 排出量の大きな取引を抽出し可視化を行い、持続可能な開発のために重要な取引を見つける。

2. データ

本研究では世界多地域産業連関表 EORA (Lenzen *et al.*, 2012, 2013) 26 部門表の 2015 年表を用いて、各国の最終需要に誘発される二酸化炭素排出量取引ネットワークグラフを作成する。EORA26 部門表は 189 カ国 26 部門で構成される。

3. 分析手法

3.1. MRIO モデル

本研究では、各産業間取引についての 3 視点の排出量を、MRIO モデルを用いて算出する。国 r における産業 i から国 s における産業 j への中間投入を $Z_{ij}^{rs}\left(i,j=1,...,M;\ r,s=1,...,N\right)$、国 s における消費者の国 r における産業 i に対する最終需要を $F_i^{rs}\left(i=1,...,M;\ r,s=1,...,N\right)$ と定義すると、国 r における産業 i の総産出は $x_i^r=\sum_{s=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}Z_{ij}^{rs}+\sum_{s=1}^{N}F_i^{rs}$ となる。ここで投入係数を $a_{ij}^{rs}=Z_{ij}^{rs}/x_j^s$ と定義すると、産出ベクトル $\mathbf{x}$ について $\mathbf{x}=\mathbf{Ax}+\mathbf{f}$ が成り立つ。ここで $\mathbf{x}=\left(x_j^s\right)$, $\mathbf{A}=\left(a_{ij}^{rs}\right)$、 $\mathbf{f}=\left(\sum_{s=1}^{N}F_i^{rs}\right)$ である。

Multi-Regional Input-Output (MRIO) モデルを用いたグローバルな最終需要が直接間接的に誘発する各産業の産出は下式で算出できる。

$$\mathbf{x}=\left(\mathbf{I}-\mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{f}=\mathbf{Lf},$$

ここで $\mathbf{I}$ は単位ベクトルであり、$\mathbf{L}=\left(\mathbf{I}-\mathbf{A}\right)^{-1}=\left(l_{ij}^{rs}\right)$ は直接間接的な連関構造を示すレオンチェフ逆行列を表す。

また、 r 国における産業 i の 1 単位当たり CO_2 排出量を示す CO_2 排出係数ベクトルを $\mathbf{e}=\left(e_i^r\right)$ とすると、最終需要に誘発される国 r における産業 i から国 s における産業 j への直接間接的な取引に伴う CO_2 排出量 g_{ij}^{rs} は式 (1) で表せる。

$$\mathbf{G}=\hat{\mathbf{e}}\mathbf{L}\hat{\mathbf{f}}=\left\{g_{ij}^{rs}\right\} \tag{1}$$

ここで $\hat{\mathbf{e}}$, $\hat{\mathbf{f}}$ はそれぞれのベクトルの要素を対角に持つ対角行列である。

3.2. 生産者基準の排出量取引ネットワーク

生産者基準排出量は、グローバルな最終需要に誘発される各国各産業の排出量であり、排出を伴う生産を行った各国各産業に帰属する。本研究では各国各産業の生産者基準排出量を各国各産業間取引に分解することで、グローバルな最終需要に誘発される各国各産業間取引に伴う CO_2 排出量（生産者基準辺排出量）を算出する。

3.3. 消費者基準の排出量取引ネットワーク

消費者基準排出量は、各国各産業の最終需要によってグローバルサプライチェーンの中で誘発された排出量であり、排出を伴う生産を誘発した、つまり消費した各国各産業に帰属する。本研究では各国各産業の消費者基準排

出量を各国各産業間取引に分解することで、各国各産業間取引が誘発する生産に伴う CO_2 排出量（消費者基準辺排出量）を算出する。

3. 4. 媒介者基準の排出量取引ネットワーク

媒介者基準排出量 (Liang *et al.*, 2016; Hanaka *et al.*, 2017) は、グローバルな最終需要に誘発されるサプライチェーンの中で各国各産業が媒介する排出量であり、排出を伴うサプライチェーンに存在する各国各産業に帰属する。本研究では Hanaka *et al.* (2017) によって提案された産業連関の辺媒介性と Hypothetical Extraction Method (HEM) (Dietzenbacher., 1993)を用いて、グローバルサプライチェーンの中で各国各産業間取引が媒介する CO_2 排出量（媒介者基準辺排出量）を算出する。

4.　結果

本研究で定義された手法によって 3 視点の取引に伴う排出量を算出した。本会では本結果を用いて CO_2 排出量削減政策について包括的に議論を行う。

表 1　生産者基準辺排出量ランキング

	Source_sector		Target_sector	p_{ij} (Mt-CO_2)
1	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Electricity, Gas and Water	799
2	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	526
3	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Metal Products	462
4	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	→	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	342
5	IND _ Electricity, Gas and Water	→	IND _ Transport	302
6	IND _ Electricity, Gas and Water	→	IND _ Electricity, Gas and Water	288
7	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Electrical and Machinery	227
8	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Mining and Quarrying	200
9	USA _ Electricity, Gas and Water	→	USA _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	193
10	USA _ Electricity, Gas and Water	→	USA _ Finacial Intermediation and Business Activities	191

表 2　消費者基準辺排出量ランキング

	Source_sector		Target_sector	c_{ij} (Mt-CO_2)
1	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	→	CHN _ Construction	799
2	CHN _ Metal Products	→	CHN _ Construction	526
3	CHN _ Electrical and Machinery	→	CHN _ Electrical and Machinery	462
4	IND _ Electricity, Gas and Water	→	IND _ Transport	342
5	CHN _ Metal Products	→	CHN _ Electrical and Machinery	302
6	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Construction	288
7	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	→	CHN _ Education, Health and Other Services	227
8	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Electricity, Gas and Water	200
9	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Education, Health and Other Services	193
10	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Electrical and Machinery	191

表 3　媒介者基準辺排出量ランキング

	Source_sector		Target_sector	b_{ij} (Mt-CO_2)
1	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Electricity, Gas and Water	1484
2	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	1360
3	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	→	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	1230
4	CHN _ Electricity, Gas and Water	→	CHN _ Metal Products	944
5	CHN _ Metal Products	→	CHN _ Metal Products	891
6	CHN _ Electrical and Machinery	→	CHN _ Electrical and Machinery	847
7	CHN _ Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	→	CHN _ Construction	837
8	CHN _ Metal Products	→	CHN _ Electrical and Machinery	787
9	IND _ Electricity, Gas and Water	→	IND _ Transport	590
10	CHN _ Metal Products	→	CHN _ Construction	551

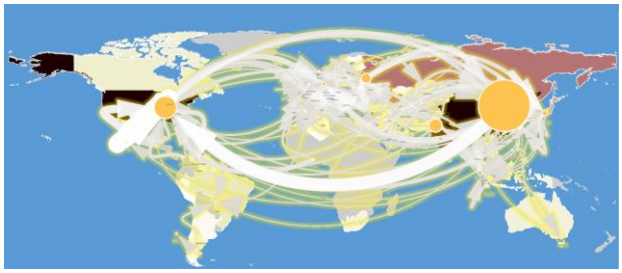


図 1　生産者基準排出取引ネットワーク

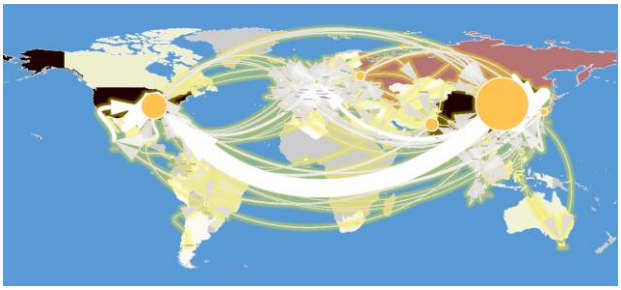


図 2　消費者基準排出取引ネットワーク



図 3　媒介者基準排出取引ネットワーク

5.　参考文献

1. Dietzenbacher, E., Linden, J., Steenge, A. (1993) The Regional Extraction Method: EC Input–Output Comparisons. *Economic Systems Research* 5(2): 185–206

2. Hanaka, T., Kagawa, S., Ono, H., Kanemoto, K. (2017) Finding Environmental Critical Transmission Sectors, Transactions, and Path in Global Supply Chain Networks.

3. 土中、金本、加河（2018）帰属分析を用いた環境経済構造の把握。第 12 回 PAPAIOS

4. Lenzen, M., Kanemoto, K., Moran, D., Geschke, A. (2012) Mapping the Structure of the World Economy. *Environmental Science & Technology* 46(15): 8374–8381.

5. Lenzen, M., Kanemoto, K., Moran, D., Geschke, A. (2013) Building Eora: a Global Multi-Region Input-Output Database at High Country and Sector Resolution. *Economic Systems Research* 25(1): 20-49.

6. Liang, S., Qu, S., Xu, M. (2016) Betweeness-Based Method to Identify Critical Transmission Sectors for Supply Chain Environmental Pressure Mitigation. *Environmental Science & Technology* 50: 1330-1337.

B1-18

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

経済構造の類似性に基づく二酸化炭素排出構造の分析

The analysis of CO_2 emission structure based on the economic structure similarities

○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

生産技術や運輸・通信技術の成長等を背景に、各国の経済構造の変化は先進国や途上国間わず多様化している。しかしながら、この経済構造の変化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。経済構造の変化や発展パターンを分析することは、今後の世界各国の経済成長を予想するだけでなく、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 2008 年の世界産業連関表 (World Input-Output Databas)[2)]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。さらにこの類似性にスペクトラルクラスタリング分析を適用することで世界各国についてグループ化を行った。さらに各グループの二酸化炭素排出に対して構造的な類似性が果たす役割について議論する。

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生産技術の類似度と定義し、2 国の経済構造（すなわち投入係数行列）の距離として(1)式によって推計した。

$$k_{sr} = \exp\left(-\left\|\mathbf{T}^s - \mathbf{T}^r\right\| / \sigma^2\right) \tag{1}$$

ここで、$\mathbf{T}^s = \mathbf{Z}^{*s} / \mathrm{diag}(\mathbf{x}^s)$ は s 国の技術係数行列である。$\mathbf{Z}^{*s} = (Z_{ij}^{*s})$ は輸入を計上した中間投入行列、$\mathbf{x}^s = (x_j^s)$ は生産額ベクトルである。

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 $\mathbf{K}$ は重み付き隣接行列とみなすことが出来る。i 国の重み付き次数は(2)式で計算される。

$$d_i = \sum_i k_{ij} \tag{2}$$

$\mathbf{D}$ を対角成分に重み付き次数 di を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。

$$\mathbf{L}^* = \mathbf{D}^{-\frac{1}{2}}\left(\mathbf{D} - \mathbf{K}\right)\mathbf{D}^{-\frac{1}{2}} \tag{3}$$

(3)式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。またクラスタリングの最適なグループ数はモジュラリティ・インデックス [3)]から決定される。本分析で適用したスペクトラルクラスタリング [1,3)] およびモジュラリティ・インデックス [3)] に関する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。

2.3 消費基準 CO_2 排出量の推計

第 n グループの消費基準CO_2排出量を(4)式によって推計する。

$$Q^n = \mathbf{e}^n \mathbf{F}^n \tag{4}$$

ここで $\mathbf{F}^n$ は第 n グループに属する国の総家計消費ベクトルであり、$\mathbf{e}^n$は第 n グループに属する国の平均的な排出集約度を要素にもつベクトルであり、 それぞれ次式から推計される。

$$\mathbf{e}^n = \frac{\mathbf{e}_1^n * \mathbf{L}_1^n * diag\left(\mathbf{f}_1^n\right) + \mathbf{e}_2^n * \mathbf{L}_2^n * diag\left(\mathbf{f}_2^n\right) + \cdots \mathbf{e}_m^n * \mathbf{L}_m^n * diag\left(\mathbf{f}_m^n\right)}{\mathbf{f}_1^n + \mathbf{f}_2^n + \cdots \mathbf{f}_m^n}$$

$$\mathbf{F}^n = \sum_m \mathbf{f}_m^n$$

$\mathbf{L}_m^n$ は第 n グループの m 国のレオンチェフ逆行列、$\mathbf{f}_m^n$ の家計消費ベクトル（輸入財を含む）である。

3. データ

本研究では、世界産業連関表 The World InputOutput Database (WIOD)[2]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 カ国（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 40 カ国の単地域産業連関表を抽出した。

4. 結果

4.1 経済構造の類似性に基づくクラスタリング分析

2 節で先述したモジュラリティ・インデックスから 1995 年時の最適なグループ数は 2 であることが推計された。その情報を基に 1995 年のクラスタリング分析を行った結果を図 1 にまとめた。Cluster A は属する国はアメリカ、カナダ、西欧諸国（イギリス、フランス。ドイツなど）、メキシコ、オーストラリア、韓国から構成されているのに対し、Cluster B はロシア、東欧諸国、アジア諸国、ブラジルから構成された。1995 年から 2008 年にかけてグループを構成する国は多少の変動はあるが、挙げた国に関してはグループの変動がほぼ観察されなかった。以降は、1995 年時のクラスタリング分析から得られたグループを基準として分析を展開する。

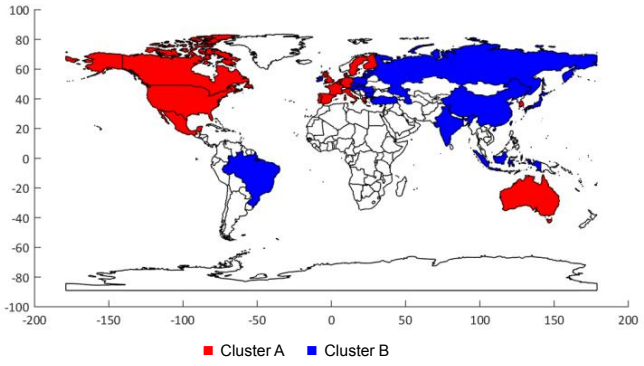


図 1. 1995 年時点の経済構造に基づくクラスタリングの結果

4.2 消費基準 CO_2 排出量の推計

4.1 節のクラスタリング分析の結果を基に、各グループの消費基準 CO_2 排出量を推計し、図 2 としてスカイライン図を作成した。各棒グラフの面積は、1995 年時の家計による産業部門の消費に伴い誘発された消費基準 CO_2 排出量である。Cluster A の総家計消費額は Cluster B の約 2 倍であり、特にサービス産業の消費額の占める割合が大きいことが特徴である。一方で排出集約度は全体的に低く、Cluster A の製造はより効率的に行われていたと示唆される。結果、本分析で推計された Cluster A の消費基準 CO_2 排出量は Cluster B の 0.6 倍程度に抑えられていた。

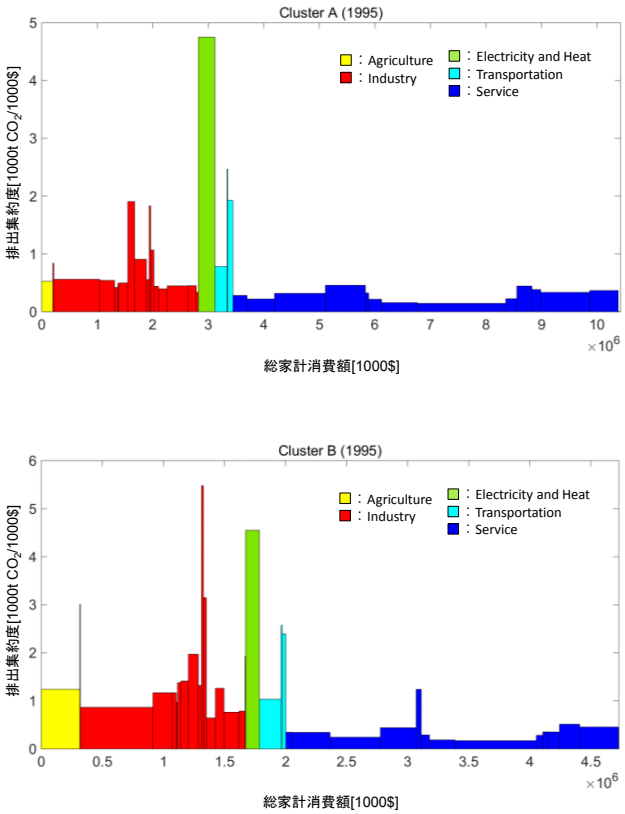


図 2. 1995 年の消費基準 CO_2 排出量

5. 考察と結論

研究発表会にて、以上の結果および本論文で取り扱わなかった年に関する結果を踏まえた考察を行い、経済構造の類似性と排出削減の国際的な枠組みについて議論を深める。

6. 引用文献

1) Shi J., Malik J.: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(8), (2000), pp888-905
2) Timmer M. P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer, R. de Vries, G. J.: Review of International Economics, 23, (2015), pp575-605
3) Kagawa S., Suh S., Kondo Y., Nansai K.: Economic Systems Research, 25, pp265-286

NAFTA 圏内産業における化学物質排出量のクラスター分析

Clustering Analysis of Toxic Chemical Substances Emissions among NAFTA industries

○岡本隼輔*1)、藤井秀道 2)、加河茂美 2)

Shunsuke Okamoto, Hidemichi Fujii, Shigemi Kagawa

1）尾道市立大学, 2）九州大学

* s-okamoto@onomichi-u.ac.jp

1. 研究背景

近年、毒性化学物質管理が世界的に求められている。毒性化学物質の排出は生産活動に付随して副産物として生じる。財やサービスの生産においては排出を避けることができない一方、大気中や水質中に排出されることは避けるほうが好ましく、生産現場での排出抑制や低負荷なサプライチェーンの構築等が急務となっている。

産業から排出される毒性化学物質の情報管理として、1986 年から米国が Toxic Release Inventory(TRI)制度を開始し、事業所単位での毒性化学物質排出量の情報公開が制度化されて以降、現在では多くの国々で届出制度が導入されている。1999 年から日本が PRTR 制度を、加えて、EU では 2003 年には生産､回収現場における鉛や水銀等の有毒化学物質の暴露リスクを懸念して RoHS 指令が公布された [1-4]。2006 年からは EU が REACH を開始し、製品サプライチェーンにおける化学物質利用について情報の公開を求めている [5-9]。このように、毒性化学物質の管理は世界全体での大きな関心事であることも窺える。

グローバル化の進んだ今日では製品サプライチェーンは複数国に跨っており、かつ自由貿易協定を結んでいる国々の間においては､その現象は顕著になると考えられる [9,10]。アメリカ、カナダ、メキシコの 3 国は北米自由貿易協定（North American Free Trade Agreement : NAFTA）に基づいて、より中間財を頻繁に取引していると考えられる [11]。従って、財の生産に必要となる中間財を他国から輸入することも頻繁に生じる。

その結果として、副産物である毒性化学物質を発生させるサプライチェーンネットワークも複雑になる。このネットワークの中で、毒性化学物質の排出に大きく寄与する部分はどこなのかについてはよくわかっていない。ネットワークの中で排出の中心となる産業の集まりが現状どこなのかを解明することで、そのネットワークに組み込むべき産業を示唆することが本研究の目的である。本分析の結果を踏まえて、毒性化学物質の包括的な削減に向けて国や産業を越えた枠組みとしての動きを提唱することが可能になる。

2. 研究手法

2.1 毒性化学物質排出係数の推計

本研究では、国別産業別で排出される産業起源の毒性化学物質を対象とする。TRI 制度等では事業所単位で各化学物質の排出量が計上されているため、産業全体でどれだけ排出されたかを把握できる。しかしながら化学物質ごとに毒性の強さは異なるため、重みづけを行う必要がある。米国環境保護庁から公開されている Toxicity Weighting データベースを排出量に乗じることにより、重量単位のものから毒性指数に単位を変更することが可能である。加えて産業連関表における産業別の生産額で排出量を割ることで、産業あたりの排出係数を算出する。

2.2 産業連関表を用いたネットワークの作成

本研究では、産業に付随して生じるサプライチェーンネットワークについて産業連関表を用いて捕捉する。産業連関表には各国各産業間での中間財の取引額が載っている。

最終需要に起因して生じる各産業間での中間取引に対応した毒性化学物質排出行列を以下の(1)式で定義する（Kagawa et al., 2013）。

$$\mathbf{B} = \left(b_{ij}\right) = \hat{\mathbf{e}}\hat{\mathbf{f}} + \hat{\mathbf{e}}\mathbf{A}\hat{\mathbf{f}} + \hat{\mathbf{e}}\mathbf{A}^2\hat{\mathbf{f}} = \hat{\mathbf{e}}\left(\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2\right)\hat{\mathbf{f}} \quad (1)$$

ここで $\hat{\mathbf{e}}$ は排出係数ベクトルを対角化した行列、$\hat{\mathbf{f}}$ は最終需要ベクトルを対角化した行列、$\mathbf{A}$ は投入係数行列、$\mathbf{I}$ は単位行列を表す。(1)式を用いることで、毒性化学物質排出量で各産業間を測った場合にどの程度の強さでつながっているかを示す行列を得ることができる。

さらに、非階層的分類法でのクラスター分析を行うために､行列 $\mathbf{B}$ を対称化する必要がある｡以下の(2)式を用いて、対称行列を作成する。

$$\mathbf{G} = \left(g_{ij}\right) = \begin{cases} b_{ij} + b_{ji} \left(i \neq j\right) \\ 0 \left(i = j\right) \end{cases} \quad (2)$$

行列 $\mathbf{G}$ には、産業同士がどれほどの強さでつながっているかを示す情報が含まれており、この行列を用いて毒性化学物質排出量で測った産業間のネットワークを描くことができる。

2.3 固有値分解法を用いたクラスター分析

本研究では、行列 **G** によって描かれるネットワークから集約度の高い集団（クラスター）を抽出する際に、固有値分解法を採用する [13-15]。

ネットワークにおける点として表される各産業を集約度の高い複数の集団に分割する際に、以下の(3)式を用いて *Ncut* と呼ばれる指標を算出することができる。

$$Ncut = \sum_{y=1}^{Y} \frac{\sum_{i \in Vy,\, j \in V} g_{ij} - \sum_{i \in Vy,\, j \in Vy} g_{ij}}{\sum_{i \in Vy} d_i}$$

$$= \sum_{y=1}^{Y} \frac{\mathbf{h}_y^T (\mathbf{D} - \mathbf{G}) \mathbf{h}_y}{\mathbf{h}_y^T \mathbf{D} \mathbf{h}_y} \quad (3)$$

$$\left(\mathbf{D} = (d_{ij}) = diag(\mathbf{G} \cdot \mathbf{1}), \mathbf{h} = (h_{iy}) = \begin{cases} 1 (i \in Vy) \\ 0 (i \notin Vy) \end{cases} \right)$$

ここで、*Y* はクラスターの数、*V* は産業の全集合、*Vy* は *y* 番目のクラスター、*T* は行列の転置を表す。行列 **h** は、産業 *i* がどのクラスターに属するかを決定するものであるが、*Ncut* が最小になるように、行列 **h** を決定する必要がある。しかし産業の数が多いと、**h** で決定されるクラスターの組み合わせパターンが多すぎることになる。計算のためには工夫が必要であり、これを緩和する手段としてラプラシアン行列を用いた固有値分解法がこれまでに提案されている。本研究ではそれに倣って産業のクラスターへの割当を行う。

3. 分析結果

毒性化学物質排出量で測った産業間ネットワークから、集約度の高い集合（クラスター）を検出する。図 1 は結果のイメージ図であるが、詳細は本会にて報告する。

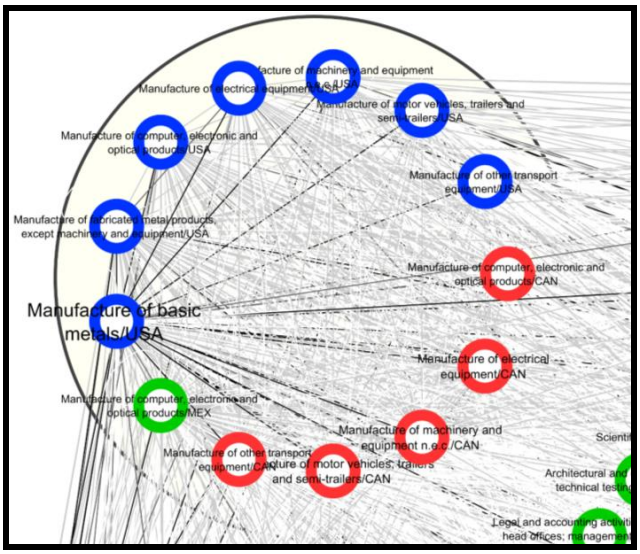


図 1. 分析結果のイメージ図

引用文献

1) Groß R., Bunke D., Gensch C. O., Zangl S., Manhart, A.: Final Report. Freiburg, 17, (2008)
2) Saurat M., Ritthoff M., (2010) <http://engineering. dartmouth. edu>
3) Ohata M., Hioki A.: Analytical Sciences, 29(2), (2013), pp. 239-246
4) Jürgens M. D., Johnson A. C., Jones K. C., Hughes D., Lawlor A. J.: Science of the Total Environment, 461, (2013), pp. 441-452
5) Beamon B. M.: Logistics information management, 12(4), (1999), pp. 332-342
6) Fujii H., Managi S., Kawahara H.: Journal of Cleaner Production, 19, (2011), pp. 1330–1338
7) Fujii H., Managi S.: Journal of Industrial Ecology, 17, (2013), pp. 461–471
8) Fujii H., Okamoto S., Kagawa S., Managi S.: Environmental Research Letters, 12(12), (2017), 124008
9) Lee, H. Y.: Journal of International Logistics and trade, 12(1), (2014), pp.3-21
10) Anderson J. E., Yotov Y. V.: Journal of International Economics, 99, (2016), pp. 279-298
11) Caliendo L., Parro F.: The Review of Economic Studies, 82(1), (2015), pp. 1-44
12) Kagawa S., Okamoto S., Suh S., Kondo Y., Nansai K.: Social Networks, 35, (2013), pp. 423-438
13) Shi J., Malik J.: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22, (2000), 888–905
14) Ng A.Y., Jordan M.I., Weiss Y.: Advances in Neural Information Processing Systems 14, (2001)
15) Azran A. and Ghahramani Z.: Proceedings of the CVPR Conference, (2006), pp. 190-197.

将来技術による環境負荷削減効果評価手法の開発

Development of methodology for LCA of emerging technologies

○河尻耕太郎*[1)]，天沢逸里[2)]，菊池康紀[2)]，木下裕介[2)]，坂本魁都[1,3)]
田原聖隆[1)]，中野勝行[4)]，山岸健[5)]

Kotaro Kawajiri, Eri Amasawa, Yasunori Kikuchi, Yusuke Kishita, Kaito Sakamoto
Kiyotaka Tahara, Katsuyuki Nakano, Ken Yamagishi
1) 産業技術総合研究所，2) 東京大学，3) 筑波大学，4) 立命館大学，5) 産業環境管理協会
* 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。すでに、既存製品・技術の環境負荷については、概ね評価が実施され、結果は学会や論文等で公開されるとともに、Ecoinvent[1)]、GABi[2)]、IDEA[3)]等のデータベースに収録されつつある。したがって、今後は、よりアーリーステージの技術の評価へとケーススタディの対象を拡げ、ケーススタディの対象を探索する必要が生じつつある。また、研究開発段階の革新的な技術の環境負荷削減ポテンシャルを適正に評価できれば、その普及を後押しできるため、その実務的な意義は大きい。しかしながら、LCA の枠組みの中で、研究開発段階の技術を評価する際には、様々な課題が存在する。

前述の課題を解決するため、本稿の著者らは、LCA 学会において「将来技術環境影響評価手法研究会」を設立し、2018 年度より幹事として活動を行ってきた[4)]。本研究会は、研究開発段階の将来技術が、大規模実用化された状況を想定して LCA 評価を行うための方法論を検討することが目的である。

本稿ではそれら研究会の中で議論された内容について、インベントリ分析と社会受容性評価の 2 つの観点から議論をまとめ、報告を行う。

2. インベントリ分析

一般的な LCA の作業としては、ある程度実用化された技術に対して、企業等の技術者から、製造プロセスのインベントリを収集し、それに基づいて評価を行う。しかしながら、研究開発段階における将来技術は、まだ実用化されていないため、実用化スケールの製造プロセスのインベントリが存在しないケースが多い。そのため、大学等の研究者から提供されたラボスケールのデータや、あるいは特許や論文などの文献情報に基づいて、インベントリを作成する必要がある。しかしながら、それらの一次情報から直接的に得られるインベントリと、将来技術が実用化された際の実用化スケールのインベントリには乖離が存在する。したがって、一次情報から得られるインベントリから、実用化スケールのインベントリを推計するための方法論が必要不可欠である。

化学工学の分野では、プラントシステムエンジニアリングが学問体系として発達しており、化学メーカーやエンジニアリング会社は、それらを活用して生産プロセスのシミュレーションを行ってきた。プラントシステムエンジニアリングの知見は、実用化スケールのインベントリを作成するうえで極めて有効である。すでにプラントシステムエンジニアリングの手法やソフトウェアは LCA 評価の研究にも活用されている[5)]。

一方で、現場の LCA 実施者が、必ずしもプラントシステムエンジニアリングの専門家ではない場合も多い。そのため、そのような現場の LCA 実施者が、多少ラフではあっても自ら将来技術の評価を行うための手法も開発がすすめられている[6-7)]。また、本研究会参加者からは、評価の際にどのような点に留意して評価を行い、具体的にどのような方法論でインベントリを作成したらよいのか、そのための簡易的なマニュアルやツールの開発に対する要望があった。さらに、実際にメーカーの中で LCA を実施するためには、ステージ間での情報共有や、シナリオ設定に課題があり、それらの課題解決のためのコミュニケーションやマネジメントの難しさについても報告がなされた[8)]。

また、過去に開発された将来技術に対して、前述のようなシミュレーション、推計によって得られた結果と、その将来技術が実際に実用化されたときの評価結果に、どのような乖離が存在するのか、その検証をして欲しいという声もあった。

3. 社会受容性評価

前述のインベントリ分析においては、製造プロセスのスケールの設定が非常に重要である。化学工学の分野では、加熱プロセスにおいて、プロセスの消費エネルギーは、装置の容量の 2/3 乗に比例するという、スケール効果の存在が知られている。他にも様々な製造装置においてスケール効果が確認されており、製造ス

ケールによって最終的な環境影響は大きく異なる。製造スケールを設定するためには、その技術の製造量（需要）を推計するための方法論が必要である。

また、その製品・技術の需要を推計出来れば、次の二つのメリットがある。第一に、もし需要が推計出来れば、LCA による製品・技術の機能単位当たりの環境負荷に需要をかけることで、その製品・技術による社会全体への環境影響を推計することが可能となる。第二に、製品・技術の社会全体への影響が評価できれば、異なる機能単位を有する製品・技術を横並びで比較することが可能となる。例えば、乗用車向けのタイヤの素材と、トラック向けのタイヤの素材も、それぞれの需要が分かれば横並びで比較が可能である。同様に、タイヤの素材と半導体の製造技術など、全く異なる製品・技術間での比較も可能である。そのため、行政機関や企業等の投資機関は、分野の異なる様々な製品・技術に対して、社会全体への環境影響という観点から、製品・技術に対する費用対効果を定量的に評価し、優先順位を検討することが可能となる。

需要を評価するための手法として、シナリオ分析等を用いる手法が提案されているが[9]、まだ市場に出ていない技術の需要を評価することは、不確実性が高いという指摘があった。特に、近年ではモノからコトに消費が変化しているが、iPhone など、従来の製品のような物理的な側面で機能単位（付加価値）をとらえることが難しい製品や、過去の技術からの飛躍が大きいものについては評価が難しいという指摘があった。また、最終的に需要を定量的に評価するためには、アンケート等を用いることが多いが、素材や生産技術等の BtoB 向けの技術については、アンケート等での調査が難しい。さらに、調査の目的や手法によって、同じ技術を調査対象としても、結果が異なる可能性があるという課題も指摘された。

4. まとめ

本稿では、「将来技術環境影響評価手法研究会」における議論について、インベントリ分析、社会受容性評価という観点からまとめた。

インベントリ分析については、化学工学を中心に、ある程度確立された手法論が存在し、物理的な推計も可能であることから、それらの過去の知見を中心に手法やデータを活用することが可能なように思われる。しかしながら、ケースバイケースで決まる部分や、専門家の判断が必要な部分が存在し、それらの知見が企業の技術者に蓄積されていることも多い。したがって、それらの知見やノウハウをどのように共有していくのかという点に課題があるように思われた。

一方で、社会受容性評価については、その重要性とメリットは高いものの、評価の不確実性が高いという課題がある。したがって、手法の課題や限界に留意したうえで、それぞれの目的に対してどのような手法が適用できるのか、その整理をすることがまず必要なように思われた。

以上で本稿をまとめるが、研究発表会での発表では、過去の事例紹介や、LCA 分野における将来技術評価手法の研究開発動向についても、紹介を行う予定である。

本研究会では、今後、前述のような課題を解決し、将来技術が社会全体に与える環境影響を評価するための方法論（図 1）を確立し、将来的にはマニュアル等の形で成果を公開・普及することを目指したい。

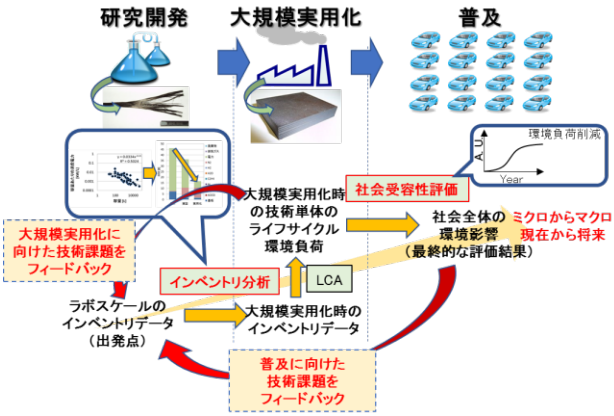


図 1. 将来技術評価手法イメージ

5. 引用文献

1) Ecoinvent, https://www.ecoinvent.org/
2) GaBi, http://www.gabi-software.com/japanese/databases/gabi-databases/
3) 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.
4) 日本 LCA 学会：将来技術環境影響評価手法研究会, https://ilcaj.org/lcahp/kenkyukai-12.php
5) Kikuchi Y. and Hirao M., Environmental Science & Technology42 (12), (2008), pp. 4527-453.
6) Kawajiri K. And Inoue T. , Journal of Cleaner Production, 112 (5), (2016), pp. 4065-4070.
7) Amasawa E, Ihara T., Ohta T., Hanaki K, Journal of Cleaner Production, 135 (1), (2016), pp.1340-1350.
8) 中野勝行, 山岸健, 鶴田祥一郎, 佐伯順子, 柴原尚希, 神崎昌之, 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集（2018）, pp. 50-51.
9) Kishita, Y., et al.: Journal of Cleaner Production, 126, (2016), pp.607-619.

C1-17,P2-120　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

材料代替によるライフサイクルへの波及効果を考慮した製品設計支援: コンセプトカー開発を例として

Product design support that considers consequential effects of material substitutions on the product life cycle: case of concept car development

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

1. 緒言

開発材料は、製品に実装されることで、材料代替・製品性能・リサイクル性の変化など各ライフサイクルステージに影響を及ぼす。そして、各ライフサイクルステージの変化の結果、ライフサイクルにおける環境面・社会経済性に対して波及効果を及ぼす。しかし、**図 1** に示すように材料開発者は、主に材料物性の向上を目的として開発を行っており、開発材料の部品・製品実装後のライフサイクルステージはスコープの範囲外にある。持続可能な材料開発を行うためには、材料開発に関わるステークホルダーが、目的とする材料及びその材料物性の製品ライフサイクルに与える影響及び環境・社会経済性への波及効果までを評価する必要がある。

研究目的は、材料代替のライフサイクルへの影響を分析する仕組みの構築及び、材料開発者のための製品設計支援とする。開発材料による材料代替の影響評価とはすなわち将来技術評価であり、製造プロセスの量産スケール時のデータが不確実である問題や、開発材料が導入される部品・製品が不確定なため、向上する製品機能が不確実という問題がある。これらの問題に対して、我々はラボ・パイロットスケールから商業スケールの製造プロセスのデータの推算を行ってきた [1)]。さらに本研究では材料開発事例を取り上げ、シナリオ生成に基づいてライフサイクルへの影響及び環境・社会経済性への波及効果の評価・分析を実施する。

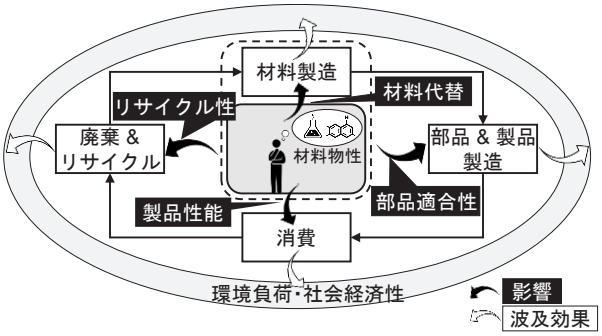


図 1 材料開発のライフサイクルへの影響と波及効果

2. ケーススタディ

2.1 材料開発プロジェクト

ケーススタディは、ポリマー材料の薄膜化・強靭化を目的とした材料開発プロジェクトとする。プロジェクトではリチウムイオンバッテリー(LIB)を搭載した EV のコンセプトカーを並行して開発しており、ボディは炭素繊維強化プラスチック(CFRP)、タイヤは新規複合ゴム材料(New)、窓はポリメタクリル酸メチル樹脂(PMMA)をそれぞれタフ化した部材を実装する。

自動車のボディは従来のスチールから CFRP に代替することで、車体重量の軽量化が期待できる。窓は従来のガラスから、樹脂窓として PMMA を採用することで高視界キャビンの実現及び窓重量の軽量化が期待できる。タイヤは従来のゴム材料(Conv.)を New に代替することで、耐久性と低燃費性を維持・向上しつつ、更なるタイヤの薄ゲージ化の実現が期待できる。

2.2 シナリオ生成

本研究では社会実装されていない材料・製品をケースとして扱うため、まず評価のためのシナリオ生成を行った。目的とするコンセプトカーの製品機能を電費[km/kWh]と設定し、電費及び搭載する電池容量の推算モデルを構築した。モデル構築には式(S1),(S2)の Vehicle-specific power (VSP)モデル [2)]とバッテリーの重量と容量の関係式(S3)を用いた。計算時の制約条件として、一充電走行距離S_{charge}を 256 km とした。Supporting Information (SI)に推算モデルと文字記号の意味を示す。そして**表 S2** に示すように、部品及び車のデザインをシナリオ変数とし、式(S1)からシナリオ変数に連動して変化するパラメタを定義した。

また**表 1** に示すように、シナリオ変数を用いて開発材料の導入シナリオを構築した。既存の部材で構成される S シナリオに対して、開発材料を導入する B−C シナリオの一充電走行に対応した電費を設定した。全ての部材を開発材料に代替した C シナリオでは、各部材変更による相乗効果により電費が大きく向上した。以降は**表 1** のシナリオを基に環境影響・社会経済性を分析した。

表 1 生成シナリオ

シナリオ変数	パラメタ	シナリオ名 ICEV	S	B	T	W	C
Body	*M*	A	A	B	A	A	B
Window	*M*	A	A	A	A	B	B
Tire	*μ*	A	A	A	B	A	B
Design	*Cd*	A	B	B	B	A	B
電費 [km/kWh]			7.04	9.58	7.53	7.88	10.50

※各記号の意味は表 S1, S2 参照

3. 環境影響評価

3.1 インベントリ分析

環境影響を評価するため、Life Cycle Assessment (LCA)を実施した。機能単位は使用期間を 10 年 10 万 km 走行とし、システム境界は材料製造から部品製造・自動車組立・使用・廃棄・リサイクルを含む。インベントリ構築には自動車の LCA に関する既往研究 [3]を参考に、電気自動車の製造プロセスを整理し、環境負荷は LCA データベース IDEA Ver.2 [4]により算出した。

3.2 温室効果ガス排出量評価

図 2 に製品ライフサイクルでの環境影響評価を示す。ICEV に対し、他の全シナリオで GHG 削減効果が得られるが、シナリオ間で大きな変化は見られない。GHG 排出量の内訳に着目すると、シナリオ間で各ライフサイクルステージの寄与が大きく異なる。B と C シナリオの比較の場合、シナリオ変数が Steel から CFRP を選択することで、製造時の GHG 排出量は増加するが、使用時の GHG 排出量は減少する。材料開発時に本評価を実施することで、材料開発者にライフサイクルで生じる波及効果を定量的に示すことができる。

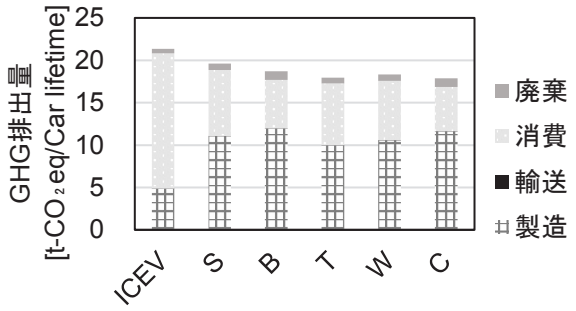


図 2 各シナリオの環境影響評価結果

4. 社会経済性評価: 産業連関分析

社会経済性を評価するため、産業連関分析を実施した。既往研究の手法 [5]を参考に、2011 年度の産業連関表をベースに、環境影響評価実施時に作成したインベントリデータを用いて、行と列に「LIB」と「CFRP」という二つの部門を新設した。その上で、「乗用車」と「自動車部品」の投入係数の組換えを実施し、各シナリオを反映した投入係数行列$\boldsymbol{A}''$を作成した。影響力係数B_jを社会経済性への波及効果の指標とし、SI に示す式(4S)(5S)から各シナリオの影響力係数を算出した。

各シナリオの自動車産業(j=246)の影響力係数を表 2 に示す。ガソリンから LIB にパワートレインが変化することで、自動車産業が有する波及効果の低下が示唆された。また、S と B シナリオの比較より、ボディ部材をスチールから CFRP に変更することでさらなる波及効果の低下が示唆された。要因として、CFRP の原料となる炭素繊維(CF)価格が高額で、自動車産業の投入構造に占める CFRP の割合が大きいことが考えられる。CF 価格は CF 製造プロセスに起因しており、プロセス改善によって、GHG 排出量削減及び CF 単価低下による社会経済性への波及効果の変化が期待できる。

表 2 各シナリオの影響力係数

	シナリオ名 ICEV	S	B	T	W	C
B_{246}	1.467	1.370	1.346	1.373	1.374	1.351

5. 結言

材料開発による材料代替がライフサイクルへ及ぼす影響の分析をシナリオ生成により実施した。環境影響は LCA、社会経済性は産業連関分析を用いて、各シナリオの波及効果を明かにした。環境影響は定量的な結果を出力できた。社会経済性については、産業連関分析の詳細度に限界があるものの、各設計者間で情報を集約することで、環境影響と合わせて半定量的な議論が可能となった。これにより、シナリオ毎の評価結果を各ステークホルダーの設計者間で共有し、ステークホルダー間のバランスを考慮することで、持続可能な材料開発支援を可能にする。

謝辞

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

引用文献

1) 長谷川幹晃, 大田弥由紀, 天沢逸里, 杉山弘和, 平尾雅彦: 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会, 早稲田大学, (2018), pp. 14-15
2) Koupal J., Landman L., Nam E., Warila J., Scarbro C., Glover E., Giannelli R.: “MOVES2004 Energy and Emission Inputs”, (2005), pp. 1-15
3) Hawkins T. R., Singh B., Majeau-Bettez G., Strømman A. H.: J Ind Ecol., 17(1), (2013), pp. 53-64
4) 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 Ver.2.1.3 (2018/12/5)”
5) 白石浩介ほか: “技術予測産業連関表の作成による革新的技術の評価”, (2012), pp. 252-274

Supporting Information

電費及び電池容量推算のためのモデル式を示す。

$$VSP = \mu g v_{\mathrm{JC08}} + \frac{C_d \rho A}{2M} v_{\mathrm{JC08}}^3 + \left(1 + \frac{\Delta m}{M}\right) a \tag{S1}$$

$$F = \frac{M}{\varepsilon \eta} \int_{VSP \geq 0} VSP\, dt + \emptyset \int_{VSP < 0} VSP\, dt \tag{S2}$$

$$uM_{\mathrm{battery}} = \frac{FS_{\mathrm{charge}}}{\int v_{\mathrm{JC08}}\, dt} \tag{S3}$$

表 S1 に、式(S1)－(S3)で使用した文字記号の定義を示す。

表 S1　文字記号の定義

文字記号	定義	単位
A	前面投影面積	[m^2]
a	加速度	[m/s^2]
C_d	空気抵抗係数	[–]
g	重力加速度	[m/s^2]
M	車体重量	[kg]
S_{charge}	一充電走行距離	[km]
u	エネルギー密度	[J/kg]
v_{JC08}	JC08 走行モードの速度	[m/s]
Δm	回転部の等価慣性質量	[kg]
ε	正味熱効率	[–]
η	総伝達効率	[–]
μ	転がり抵抗係数	[–]
ρ	空気密度	[kg/m^3]
$\emptyset$	回生エネルギー回収率	[–]

表 S2 に**表 1** で用いたシナリオ変数とシナリオパラメタを示す。シナリオ変数を変更することで、シナリオパラメタも変化し、製品機能(電費)が変化する。

表 S2　シナリオ変数とパラメタ

シナリオ変数名			パラメタ
Body	A. Steel	B. CFRP	*M*
Window	A. Glass	B. PMMA	*M*
Tire	A. Conv.	B. New	*μ*
Design	A. Conv.	B. Concept	*Cd*

産業連関分析に用いた式を示す。
$\boldsymbol{f}$:需要ベクトル、$\boldsymbol{x}$:総生産ベクトル、b_{ij}:レオンチェフ逆行列の ij 成分である。

$$\boldsymbol{x} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A}'')^{-1}\boldsymbol{f} \tag{S4}$$

$$\mathrm{B}_j = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{b}_{ij} \Big/ \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \mathrm{b}_{ij} \right) \tag{S5}$$

C1-18,P2-117　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

多機能製品が持つ各機能への環境影響配分手法

Function-based environmental impact allocation method of multi-functional products

○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

環境配慮設計などに向け、製品システムを対象としたライフサイクルアセスメント（LCA）が様々な製品に対して実施されてきた [1]。この LCA が持つ手法的な問題の 1 つに環境影響の配分がある。例えば、リサイクル効果の製品への配分や、副生産物のあるプロセスでの各製品への配分である。これらに対する環境影響の配分手法は提案されてきた [2,3]。しかし、LCA では機能単位を揃え、機能を同一視して評価することが基盤であり、機能に環境影響を配分して機能基準の環境影響を示す手法は未確立である。そのため、機能を中心に捉える製品設計に合う情報を与えられていない。

製品設計者は製品機能の向上を主眼におくが、社会的要求から環境配慮設計も必要となった。製品機能を向上する技術等は新たな環境負荷を生じやすいため、社会的要求に応えるために、製品設計者は機能面と環境面のトレードオフを考慮する必要がある。容器包装の例では、情報を記載して消費者等に情報を発信する情報提供機能は、インクを必要とするため環境負荷が増える。さらに廃棄段階で不純物が増え、廃棄しやすさといった廃棄機能の低下にもつながる。LCA による評価が製品設計に資するためには、**図 1** のように、製品ライフサイクルに対し、機能が付与・発現を通して関わる影響を特定することで、機能を基準とした環境影響を評価する手法が必要となる。

本研究の目的は、多機能製品が持つ各機能への環境影響配分手法を構築することである。LCA の一般的な枠組みに加え、これまで我々が解析した設計変数と機能の関係 [4]を統合した。そして、比較手法を用いることで、機能基準の環境影響評価をおこなう。

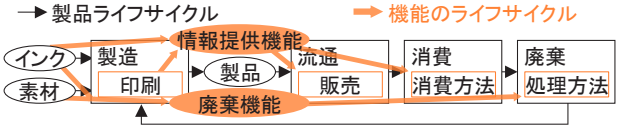


図 1　製品ライフサイクルと
機能付与・発現に基づく機能のライフサイクルの例

2. 手法

図 2 に、本研究で構築した環境影響配分手法を示す。

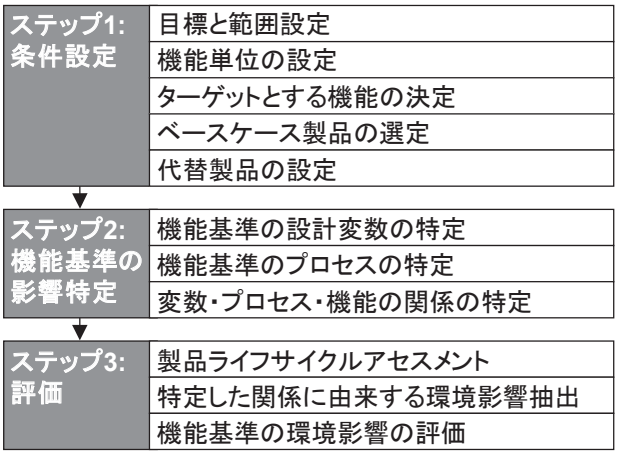


図 2　機能への環境影響配分手法

以下では、手法の 3 ステップについて説明する。

2.1 ステップ 1: 条件設定

評価実施のための条件を設定する。ISO-LCA の枠組みに則り、目標と範囲を設定する。また、機能単位の設定では、製品基準の評価のための機能単位を定める。機能単位に加えて評価対象とする機能を決定する。

本手法は比較手法を採用しており、2 つの設計案を選定する必要がある。ベースケース案は、評価の基準となるように選定する。また、代替案は、評価対象の機能の性能がベースケース案とは異なる設計案を選定する。本稿では、代替案はベースケース案よりも高機能化された設計案であるとする。

2.2 ステップ 2: 機能基準の影響特定

機能がライフサイクルへ与える影響を特定するため、各ライフサイクルステージに存在する設計変数とプロセスとの関係を特定する。機能付与に必要な設計変数やプロセスと、機能発現の影響を受けるプロセスを特定する。これにより、対象機能の付与から発現までの「機能のライフサイクル」を特定する。ここで、対象機能の付与・向上により、対象機能の主目的ではない別の機能への副次的な影響も把握する必要がある。

2.3 ステップ 3: 評価

特定した「機能のライフサイクル」を基に、機能基準の LCA をおこなう。機能基準の評価のために、まず機能基準の LCA を実施し、ベースケース案と代替案

の製品基準の環境影響を求める。次に、各設計案において、対象機能の「機能のライフサイクル」の環境影響（$E^{function}{}_{product}$）を抽出する。最後に、代替案の抽出した環境影響とベースケース案の抽出した環境影響の差をとることで、機能の向上（劣化）による環境影響（$E^{function}$）を評価する。以上から求める機能基準の環境影響は、式(1)によって表される。

$$E^{function} = E^{function}_{\text{Alternative}} - E^{function}_{\text{Base-case}} \quad (1)$$

これら 3 つのステップにより、機能への環境影響の配分が可能となる。その結果を解釈することで、これまで製品基準の評価では見えなかった機能の環境面の効果を定量的に表すことが可能となる。

3. ケーススタディ

構築した手法の適用性を示すために、ケーススタディを実施した。本稿では、キャベツとその容器包装に着目した結果を示す。丸キャベツのほかに、すでに千切りされた状態で販売されているカットキャベツの需要が高まっている。この 2 つの設計案を比較する。

3.1 条件設定

製造から廃棄までのライフサイクルを対象とし、機能単位は 1 kg のカットされたキャベツとした。対象機能は、内容量が小さくすることで消費しやすい小分け機能と、千切りされたことによる家庭での調理時間を短縮する時短機能の 2 つとした。ベースケース案として 1 kg の丸キャベツを、代替案として内容量 130 g のカットキャベツを設定した。

3.2 機能基準の影響特定

小分け機能と時短機能に関して、ライフサイクルへの影響を特定した。我々がこれまでに容器包装に関して分析した機能と設計変数との関係 [4]に基づいた。小分け機能は、消費しやすくすることが主目的だが、単位重量あたりの体積増加が生じ、廃棄段階での容器包装の量の増加が副次的に起きる。時短機能は、工場で食品を切ることで実現している一方で、千切り状態の食品を保護するために容器包装の厚みが増加する。これらの影響を、表 S1 にまとめた。

3.3 評価結果

製品基準の評価と特定した影響を基に、機能基準の環境影響評価をおこなった。**図 3** に、評価結果を示す。環境影響を計算する上での仮定は、表 S2 にまとめた。

機能基準の評価によって、カットキャベツの環境影響増加の由来を特定した。図 3(a)の製品基準の評価では、カットキャベツの環境影響が丸キャベツより大きかった。図 3(b)の小分け機能基準の評価では、容器包装由来の環境負荷の増加があった一方で、消費段階では体積減少によって環境負荷が削減された。図 3(c)の時短機能基準の評価では、食品製造段階の寄与がとても大きいが、食品廃棄処理段階で環境影響が削減された。このように、環境影響を生じる段階やその寄与が起因する機能を示すことが可能となった。

図 3(b)と(c)を比較すると、小分け機能のほうが時短機能よりも環境影響が小さい。この結果のみから機能を判断することは、機能ごとに消費者にとっての価値が異なるためできない。しかし、機能に環境影響を配分することで、機能の価値とのリンクが容易となる。本手法によって出力される結果は、製品設計時に各機能が環境影響に値する機能であるか判断する礎となる。

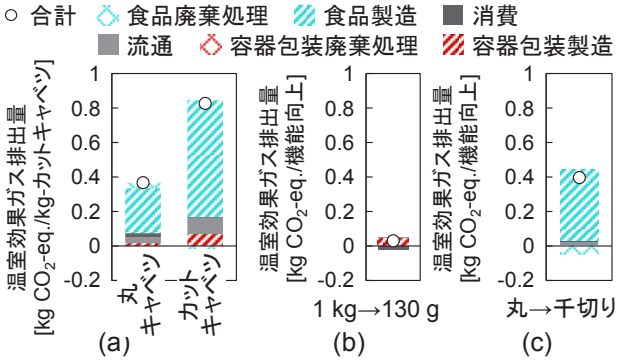


図 3　キャベツにおける機能基準の環境影響評価結果
(a) 製品基準 (b) 小分け機能基準 (c) 時短機能基準

4. 結言

本研究では、多機能製品が持つ各機能への環境影響配分手法を構築した。ケーススタディを通して複数の機能を同時に評価することで、機能ごとの環境影響の特徴を示すことが可能であることを示した。今後は、他の製品に対しても対象にして適用範囲を拡張する。加えて、各機能の消費者満足度や社会的価値と統合することで、機能性と環境性のトレードオフを評価可能にし、持続可能な多機能製品設計へと貢献する。

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) Hellweg S., Milà i Canals L.: Science, 344 (6188), (2014), pp 1109-1113
2) Schrijvers D., Loubet P., Sonnemann G.: Int J Life Cycle Assess, 21 (7), (2016), pp 976-993
3) Brankatschk G., Finkbeiner M.: J Clean Prod, 73, (2014), pp 72-79
4) 横川直毅, 天沢逸里 杉山弘和, 平尾雅彦: “第 13 回日本 LCA 学会研究発表会”, 新宿, (2018), pp 2-3

Supporting Information

表 S1　キャベツのケーススタディにおける機能がライフサイクルへ与える影響

	ライフサイクルの段階	小分け機能		時短機能	
機能の付与	容器包装製造	単位当たり容器包装重量増加		単位当たり容器包装重量増加 容器包装の厚み増加	
	食品製造	加工プロセス（カット）追加		加工プロセス（千切り・洗浄）追加	
機能の発現		機能	与える影響	機能	与える影響
	流通	輸送機能	輸送プロセスにおける体積減少 輸送プロセスにおける単位当たり製品重量増加	輸送機能	輸送プロセスにおける体積増加
	消費	**主目的**	消費プロセスにおける体積減少	**主目的**	調理プロセスにおける調理不要
				保管機能	保管プロセスにおける体積増加
	容器包装廃棄	容器包装の廃棄機能	廃棄プロセスにおける単位当たり容器包装重量増加	容器包装の廃棄機能	廃棄プロセスにおける単位当たり容器包装重量増加
	食品廃棄	–	–	食品のリサイクル機能	リサイクルプロセスにおける不可食部のリサイクル率増加

表 S2　計算上の仮定

製品ライフサイクルの段階	小分け機能 （130 g に分けられたキャベツとの比較を仮定）	時短機能
容器包装製造	1 製品につき 1 kg のキャベツに使用されているフィルムの、4 分の 1 サイズのフィルムを使用する。	実測値に基づいた。
食品製造	人力であり、エネルギー消費等はない。	ヒアリング調査によって得た値に基づいた。
流通	体積が小さい分、輸送包装に詰められる。	ヒアリング調査によって得た値に基づいた。
消費	キャベツを洗うために使用する 1 回当たりの水の量は、製品の体積に比例する。	カットキャベツを洗わない。
容器包装廃棄	リサイクル率は 80%である。	リサイクル率は 80%である。
食品廃棄	–	工場で除かれた芯等の不可食部は、肥料へとリサイクルされる。

将来シナリオを考慮した LCI データベースの試作

～自動車のケーススタディ～

Building an LCI database considering future scenarios ~Case study of future evaluation on car~

○鶴田祥一郎*[1)]、神崎昌之 [1)] 、越智崇充 [2)] 、中野勝行 [3)]

Shoichiro Tsuruta, Masayuki Kanzaki, Takamichi Ochi, Katsuyuki Nakano

1)産業環境管理協会, 2) デロイトトーマツコンサルティング, 3)立命館大学

* tsuruta@jemai.or.jp

1. はじめに

世界の平均気温の上昇を 2 度未満に抑えるために、科学的な知見と整合した削減目標を設定する Science Based Targets(SBT)など、2030 年や 2050 年といった中長期の温室効果ガス(GHG)削減目標の策定をする企業が増加している。政府は中長期の地球温暖化対策として、それら活動を支援する政策も展開している。また、長期地球温暖化対策プラットフォームにおいては、製品の使用段階のみならず、それを構成する素材・部品製造時といったバリューチェーンでの GHG 削減が必要であるとしている。

LCA を用いた製品レベルの将来の GHG 排出量評価においては、使用段階における効率性や電源構成の変化等による分析はあるものの、素材等の生産効率の向上等による将来の状況を反映したデータベースを用いた事例評価が少ない。

そこで、本研究は将来製品の LCA を実施する際、素材等の生産効率の向上等の影響を評価する必要性を明らかにするための予備的検討を目的とする。そのため、本報では将来シナリオを用いたインベントリデータベースを試作し、素材等の GHG 原単位考慮による結果への影響について検討した。本報では自動車を事例とし、将来を 2030 年および 2050 年とし、温室効果ガス排出量のみを評価対象にした。インベントリデータベースとして、LCA ソフトの MiLCA v2 に搭載されている IDEA v2 のデータベースを基本とした。

2. 方法

2.1 将来シナリオを用いたデータベースの試作

2030 年、2050 年のそれぞれの将来シナリオを表 1 に示す。将来シナリオでは電力の他、燃料電池自動車(FCV)で必要となる水素、自動車の素材・部品等で影響される鉄、銅、アルミについて考慮した。

2030 年の将来シナリオについては、各業界が発表している低炭素実行計画における目標値等をベースとして設定し、不足部分は業界団体や政府が発表している目標値で補完した。2050 年シナリオについては政府・業界が目標値として設定した。電力においては、2030 年をトヨタ自動車の調査データ [1)]を用い、2050 年においては再生可能エネルギーを約 8 割の導入を考慮し、設定した。水素については、現在は都市ガス改質による水素製とし、2030 年及び 2050 年については電力原単位比率と同等で削減されるとした。

表 1：将来シナリオ

	2030年	2050年
電力	0.43kg-GHG/kWh	8割程度の再生可能エネルギーを導入
鉄	エネルギー原単位の10%改善	エネルギー原単位の30%改善
銅	エネルギー原単位の1%の改善	2030年より更に1%の改善
アルミ	2030年で3.3%改善	2050年で6.05%改善
ガソリン	生産効率が年間3.45%の改善	2030年以降、生産効率が年間1%の改善
水素	電力と同等の削減率	電力と同等の削減率

2.2 モデル自動車の設定

自動車のケーススタディとして、ガソリン自動車（ICEV）の他、ハイブリット自動車（HV）、電気自動車（EV）、FCV の 4 種類を評価した。ICEV、HV、EV における自動車の重量や部品、加工重量等については、Mayyas et al.(2017)[2)]のデータを加工し用いた。各自動車特有の部品については、文献、LCA 日本フォーラムデータベース等を用いて設定した。FCV については、燃料電池、蓄電池、水素充填タンク等の FCV 特有の部品以外は EV の部品割合をもとに、FCV の実際の車種への割戻しによって設定し、評価を行った。4 種類のスペック等については、表 2 に示す。

表 2：各種自動車のスペック及び走行シナリオ

	ICEV	HV	EV	FCV
車体重量	1,283 kg	1,310 kg	1,480 kg	1,850 kg
燃費・電費	18 km/L	25 km/L	7.9 km/kWh	119 km/kg-H_2
バッテリー種類	鉛	リチウムイオン	リチウムイオン	ニッケル水素
耐用年数	10 年			
走行距離	122,160 km			

2.3 インベントリ分析

IDEA v2.1 をベースに、2.1 項で設定した将来シナリオを考慮したデータベースを再構築し、それらデータベースを

用いてインベントリ分析を行った。ただし、モデル自動車の材料等のインプット及びアウトプット量は同一とした。

インベントリ分析では、素材製造、加工・製造、走行、解体の 4 つの段階に分けて実施し、解体の段階では、解体後のリサイクル効果は考慮しないこととした。走行段階においては、エコドライブをアシストするナビシステム及び自動運転システムによる改善効果についても考慮し、2030 年では、エコドライブシステムで 3.5%、自動運転で 18%の燃費改善が、2050 年では、エコドライブシステムで 6.6%、自動運転で 23%の燃費改善と設定し、実施した。

3. 評価結果について

4.1. 将来データベースを用いた評価結果

自動車のケーススタディの結果を図 1 に示す。ケーススタディでは、現在、2030 年、2050 年のデータベースを用いて評価を行った。

2050 年シナリオでの評価では ICEV 及び HV において、走行段階の排出量が大きい結果となったが、EV 及び FCV では素材製造時の排出量が大きい傾向となった。

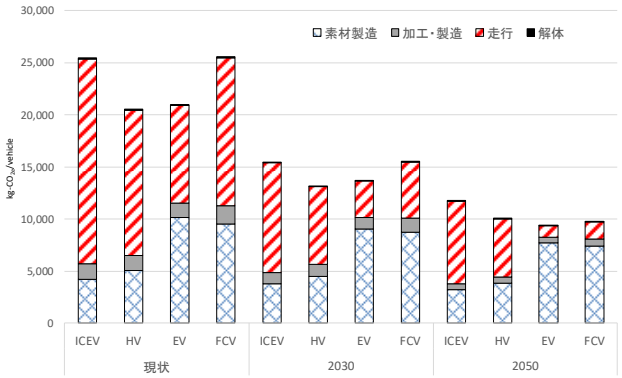


図 1：自動車のケーススタディ結果

4.2. 使用段階のみ将来シナリオを考慮した結果との比較

走行段階以外は既存のデータベースを用い、走行段階のみ将来シナリオを考慮した結果と、4.1 項で試算した素材製造から解体まで将来シナリオで考慮したデータベースを用いて評価した結果を図 2 に示す。走行段階のみの考慮のものを、それぞれ「2030UO」、「2050UO」として示す。

結果として、ICEV の 2030 年シナリオの評価で約 5%、EV の 2050 年シナリオの評価においては約 26%程度の違いを生じる結果となり、フルライフサイクルでの評価の必要性が示唆された。

4. まとめ

比較した結果として約 5%～26%程度の違いが生じており、将来のシナリオを考慮したデータベースを用いて評価することで結果が大きく異なる可能性があることがわかった。企業の戦略的な中長期目標や、政府の削減目標など、詳細な検討においては走行段階のみならず、製造段階等の将来シナリオも考慮したデータベースを用いた評価を実施することが有用な方法ではないかと考える。

ただし本研究では、2030 年及び 2050 年シナリオにおいて、データベースの考慮はしているものの、自動車を構成する材料や部品といった将来変化を考慮していない。今後は、将来シナリオの精査はもちろんのこと、構成素材等の変化についても検討し、評価を実施したい。

5. 引用文献

1) トヨタ自動車株式会社：“CO2 フリー水素の定義”, みずほ情報総研株式会社（オンライン）, 入手先 <https://www.mizuho-ir.co.jp/seminar/info/2017/pdf/bif0131_04toyota_sankou.pdf>,（参照 2019-1-7）

2) Mayyas A., Omar M., Hayajneh M., Mayyas A.R.: J. Clean. Prod, 167, (2017), pp 687-701

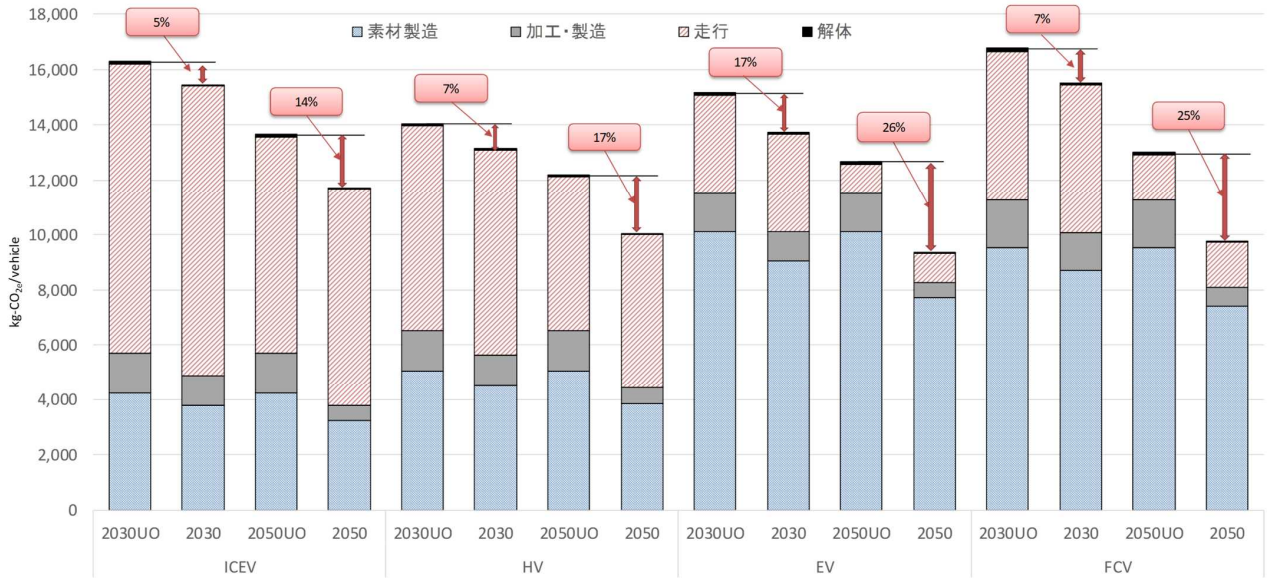


図 2：将来シナリオの考慮範囲を走行段階のみとした場合とフルライフサイクルとした場合の比較結果

D1-16,P2-080　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

ベトナムにおける自動二輪車の廃棄台数予測

Estimation of Discarded Number of Motorcycle in Vietnam

○黒木大暉*[1)]、光斎翔貴[1)]、Tran Duc Huy[2)]、Nguyen Duc Quang[2)]、山末英嗣[1)]

Daiki Kurogi, Shoki Kosai, Tran Duc Huy, Nguyen Duc Quang, Eiji Yamasue

1）立命館大学, 2）ハノイ工科大学

* rm0099xp@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

途上国において急速な都市化，人口の急増，ライフスタイルの変化，モータリゼーション化などにより，耐久消費財の急速な普及が進んでいる．その結果，近未来的にこれらの大量の廃棄が伴い，適正な処理やリサイクルが追いつかず資源の拡散や環境汚染につながることが予測される．

その中でも輸送部門における輸送手段の世界的な増加は著しい．IEA によると 2050 年の道路輸送における燃料使用量は 2010 年の 2 倍に増加すると予測されていると報告されている[1)]．

ベトナムでは自動二輪車は主要な移動手段として用いられており，その保有率は高い．例えば，2016 年における保有率は約 36%[2)]と報告されており，未だ増加傾向にあると考えられる．保有率とは，国内総保有台数を総人口で除したものであり，（1）式で示される．

$$n_t = \frac{N_t}{H_t} \quad (1)$$

n_t は t 年の保有率，N_t は t 年の国内総保有台数，H_t は t 年の人口とする．

現在ベトナムには，資源ごみの回収や再利用を担うリサイクル工芸村(Craft Village)と呼ばれる地区があり，自動二輪車の多くもここで処理されている．この地区では，有害物質に対して適切な処理が行われていないことが多く，大気汚染や土壌汚染の原因となっている．このような状況を鑑みると，ベトナムにおける自動二輪車を対象に廃棄台数の予測をすることは適切な処理計画やリサイクル施設確保のために価値があると考えられる．

廃棄台数を予測する方法の一つとして，寿命分布をワイブル分布で表す方法がある．先行研究において，ワイブル分布は廃棄物量を計算するために、製品の寿命分析に適用されてきた[3)4)5)]．ワイブル分布は，平均使用年数と分布の幅を表す形状パラメータにより表現される関数である．

以上より，本研究における目的は，アンケート調査を通して，ベトナムにおける自動二輪車の寿命分布を明らかにし，将来の廃棄台数を予測することである．

2.　研究手法

2.1　アンケート調査

アンケートの対象者はベトナム在住の方々として 2018 年の 11 月から 12 月にアンケート調査を行った．アンケートでは，大きく分けて 3 つの項目について質問を行った．現在の所有している自動二輪車，過去に所有していた自動二輪車，回答者の属性についての質問を行った．アンケート調査の主な焦点は，現在所有している自動二輪車の生産年である．この回答より小口らの報告[3)]を参考に寿命分布を推計する方法を以下に示す．

①. アンケート調査によって得た各生産年毎の保有台数に調査時点における(世帯数/回答数)を乗じることで各生産年毎の国内保有台数へと拡大推計した．

②. 算出した各生産年毎の保有台数を各年の出荷台数で除することで，i 年前に出荷された製品の調査時点における残存率を算出する．

③. アンケート調査のデータのばらつきを考慮して，三項移動平均によって残存率の平滑化を行う．また，使用年数が 0 年のとき，残存率が 1 となる必要があるため y=1,y=2,y=3 年の残存率の平均値で除して基準化を行う．算出した平滑化・基準化後の残存率を R`(y)とする．

④. ワイブル分布の累積確立密度関数 F(y)は式(2)で表すことができるため，残存率 R'(y)を R(y) へ最小二乗法でフィッティングを行い$\bar{y}$，b を求める．

$$F(\mathrm{y}) = 1 - exp[-(\frac{y}{\bar{y}})^b \times \left\{\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right)\right\}^b] = 1 - \mathrm{R(y)} \quad (2)$$

y は生産からの経過年数，$\bar{y}$は平均使用年数，b は分布の幅の狭さを示すパラメータである．

2.2　ポピュレーションバランスモデル

自動二輪車の将来の廃棄台数を推計するためには，将来の出荷台数，保有台数も推計する必要がある．田崎らによって提案されたポピュレーションバランスモデル[4)]は t 年の保有台数 N_t，(t−1)年の保有台数 N_{t-i}，t 年の出荷台数 P_t，t 年の廃棄台数 W_t の関係より表され式(3)に示す．式(3)は t 年の出荷台数 P_t を未知数として用いる．

$$N_t - N_{t-1} = P_t - W_t \quad (3)$$

保有台数を推定するために，保有率の推定をする必要が

ある．2016 年までの保有率の推定には 100 世帯当たりの保有台数のデータが 2002 年から 2016 年までに 2 年ごとに調査された統計データ用いて式(4)より推定した．

$$n_t = \frac{n_{100_t}}{Hs \times 100} \quad (4)$$

n_t は t 年の保有率，n_{100_t} は t 年の 100 世帯当たりの保有台数，Hs_t は t 年の平均世帯人数とする．

将来の保有率は，(4)式で求めた 2016 年までの保有率を式(5)で表されるロジスティック関数に当てはめることで，2030 年まで予測した．この予測値に式(6)のように将来人口の推計値 [6]を乗じることで保有台数を算出した．

$$n_t = \frac{n_{max}}{1+Aexp\{-B(t-t_0)\}} \quad (5)$$

$$N_t = n_t \times H_t \quad (6)$$

n_t は t 年の保有率，n_{max} は最大保有率，t_0 は基準年とする．A,B をパラメータ，N_t は t 年の保有台数，H_t は t 年の人口とする．

次に，製品が生産されて i 年後に廃棄される確率を f_i として廃棄台数 W_t を式(7)で求める．

$$W_t = \sum\{P_{t-i} \times f_t(i)\} \quad (7)$$

$$f_t(\mathrm{i}) = \mathrm{R}(i-1) - \mathrm{R}(i) \quad (8)$$

ただし，P_{t-i} は(t-i)年の出荷台数，R(i)は生産から i 年経過後の残存率，R(i-1)は生産から(i-1)年経過後の残存率とする．

式(6)，式(7)で求めた N_t，W_t を式(3)に代入することで t 年の生産台数 P_t を求める．この値を用いて(t+1)年の廃棄台数 W_{t+1} を式(7)より求めることが可能となる．このようにして，廃棄台数と出荷台数を各年毎に順番に繰り返し求めることにより，将来の廃棄台数の推計を行う．

3.　結果と考察

アンケートの回答者数は 261 人であった．寿命分布の推計に用いる，現在所有している自動二輪車の生産年のデータは 187 台分集まった．このアンケート結果より推算した平均使用年数は，16.9 年となった．ワイブル分布の形状パラメータは，1.6 となった．推計したワイブル分布を図 1 に示す．

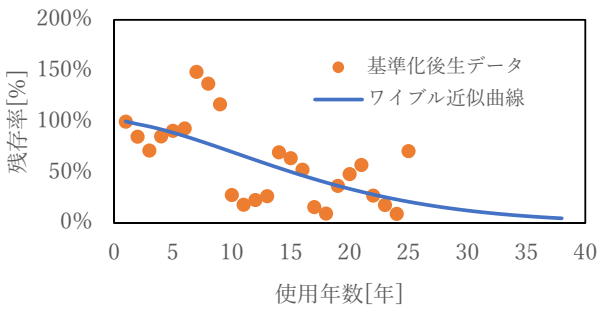


Figure 1　使用年数分布

ロジスティック関数を用いて推算した保有率の推移を図 2 に示す．グラフより，ベトナム国内の人口あたりの自動二輪車の最大保有率は約 44%とみなせる．

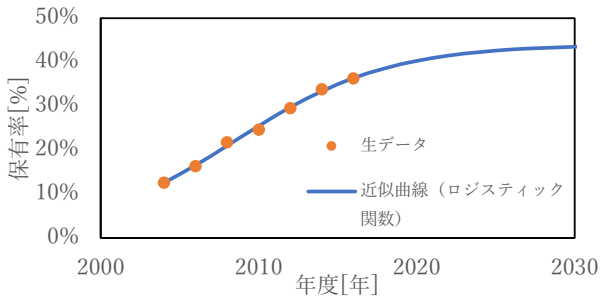


Figure 2 保有率の推移

統計データが存在する 2016 年の保有台数は約 3400 万台に対し，2018 年の保有台数は約 3700 万台，2030 年の保有台数は，約 4600 万台という結果になった．出荷台数の 2018 年以降の推計値は，毎年約 300 万台となった．

平均使用年数と各年毎の出荷台数より推算した廃棄台数は，2018 年に約 150 万台，2030 年に約 240 万台となった．

4.　まとめ

本研究では，ベトナムの自動二輪車の寿命分布をアンケート調査を通して推計し，ポピュレーションバランスモデルを用いて，2030 年までの廃棄台数を推計した．今後の廃棄台数の増加と自動二輪車により誘発される資源需要を鑑みると，自動二輪車のリサイクルを効率的に進める必要がある．したがって，本研究で推計した廃棄台数を元に適切な処理計画やリサイクル施設確保のために資源戦略を講じる必要がある．

5.　参考文献

1) IEA, "Technology roadmap. Fuel economy of road vehicles. Technical report," International Energy Agency, Paris, 2012.
2) General Statistic Office of Vietnam: Household Living Standard Survey 2016
3) 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),pp.50-60
4) 小口正弘，布施正暁: 第 7 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集，東京，(2012)，pp.107-108
5) 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),pp.49-58
6) United Nations https://esa.un.org/unpd/wpp/DataQuery/ 閲覧日（9/21）

D1-17

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

自動車市場の部分均衡を考慮した CAFE 基準評価

The Evaluation of the CAFE standard under the partial equilibrium of automobile market

○金子満來*[1)]、加河茂美 [1)]

Mitsuki Kaneko, Shigemi Kagawa

1) 九州大学

* m.kaneko.9559@gmail.com

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、自動車市場の部分均衡のもとでの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。

$$C = \frac{X}{\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{z_i}} \tag{1}$$

ここで、X は企業の販売台数、x_i は企業のモデルiの販売台数、z_iは企業のモデル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。

$$\tilde{C} = \frac{X}{\sum_{k=1}^{M} \frac{x_k}{\tilde{z}_k}} \tag{2}$$

ここで、x_kは車両重要区分 k に属する販売台数、$\tilde{z}_k$ は乗用車の重量区分 k 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 を推計する。

$$Q = \sum_{i=1}^{N} x_i f_{m,i} + \sum_{i=1}^{N} x_i f_{g,i} + \sum_{i=1}^{N} x_i f_{h,i} \tag{3}$$

ここでx_iは車種 i の販売台数、$f_{m,j}$は車種 i の製造時の CO_2 排出原単位、$f_{g,j}$は車種 i の走行時の CO_2 排出原単位、$f_{h,i}$ は車種 i の廃棄時の 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。

$$\begin{aligned} &\max \sum_{i=1}^{N} p_i x_i \\ &\text{subject to} \\ &\frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{\sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{(1+\lambda) z_i}} \geq \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{\sum_{k=1}^{M} \sum_{i_k=1}^{N_j} \frac{x_i}{\tilde{z}_k}} \\ &\sum_{i=1}^{N} x_i \leq \beta \sum_{i=1}^{N} x_i^* \end{aligned} \tag{4}$$

企業が CAFE 基準を達成するという制約式を設けるが、その際、燃費の向上率を λ で表し、燃費を一律向上させ

たシナリオ分析を行う。また、総販売台数の上限は 2015 年の総販売台数から変化しないという制約式も設ける。

また、消費者の価格と燃費より得られる効用関数(U)として以下の(5)式を用いる。効用関数は確定項(V)と攪乱項(ε)に分解できる。

$$U_{jk} = V_{jk} + \varepsilon_{jk} = \alpha p_{jk} + \beta z_{jk} + \varepsilon_{jk} \qquad (5)$$

このとき、個人jが車種kを選ぶ確率は(6)式で表される。

$$P_{jk} = \frac{\exp\left(V_{jk}\right)}{\sum_{j}\sum_{k}\exp\left(V_{jk}\right)} \qquad (6)$$

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
A	17.6	19.0
B	18.0	17.9
C	19.1	21.6
D	16.4	13.3
E	20.6	18.2
F	23.2	21.2
G	17.4	15.1

表 1 より、A 社と C 社のみが CAFE 基準値を超えていることがわかる。CAFE 基準値の企業ごとの相違は企業ごとに得意とする車種が違うため、車重の軽い車種を製造、販売している企業の CAFE 基準値が高く設定されることに留意しなければならない。

また、図 1 は 2015 年の各企業の売上から(4)式の利潤最大化問題を燃費は変化させずに解いたときの売上の変化率をとったものである。

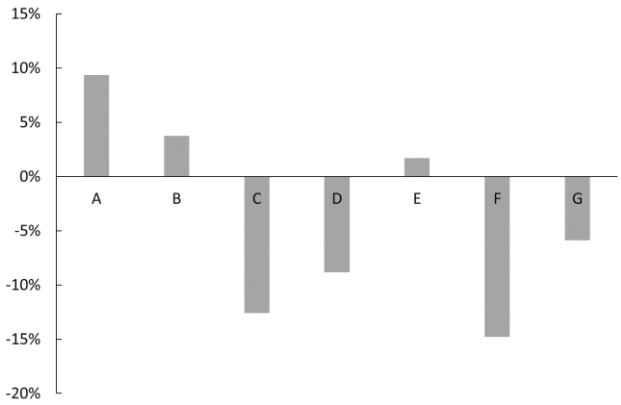


図 1．最適化後の売上と 2015 年売上実績値に対する変化率

図 1 より、売上の最大化を目指すと CAFE 基準を達成している C 社の売上が 2015 年より減少することがわかる。

本会では、効用関数の特定を行い、燃費を変化させた際の CAF 基準達成状況とライフサイクル CO2 排出量の推計を行う。

5.　参考文献

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), U.S.A. (2016) https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy. （2018 年 4 月 10 日に使用）

United National Framework Convention Climate Change (UNFCCC) (2015) http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. （2018 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 （2018 年 4 月 10 日に使用）

電気自動車のバーチャルパワープラント活用による環境影響評価分析

Environmental impact assessment of electric vehicle using virtual power plant

○坂本魁都*[1, 2]、岡島敬一[2]、河尻耕太郎[1]

Kaito Sakamoto, Keiichi Okajima, Kotaro Kawajiri

1）産業技術総合研究所, 2）筑波大学

* kaito-sakamoto@aist.go.jp

1. はじめに

運輸部門における温室効果ガス（GHG：Greenhouse gas）排出量を削減するため、電気自動車（EV：Electric vehicle）の普及が期待されている。EV は大容量の蓄電池を搭載しており、その利用には電力の充放電が伴うことから、再生可能エネルギーや原子力由来の電力充電によるさらなる走行 GHG の削減や、V2G（Vehicle-to-grid）や V2H（Vehicle-to-home）などを含む V2X（Vehicle-to-X）技術の活用による電力負荷の安定化や災害時の電力利用などといった応用が可能である。

現在の EV 普及台数は既存のガソリン車と比較すると少ないが、その数は年々増加しており、将来的にはそのエネルギー貯蔵能力によるバーチャルパワープラント（VPP：Virtual power plant）の活用が期待されている。VPP によって、エネルギー貯蔵技術の充放電量・変動型再生可能エネルギー（VRE：Variable renewable energy）の発電量・各種建物の電力負荷量を集約して管理することで、主に余剰電力の蓄電や夜間電力の有効利用、グリッド電力負荷の平準化等が期待できる。しかし、VRE 発電量の変動は不確実性が高く、VPP を活用した EV の運用には天候と消費者の行動パターンの検討が必要であると考えられる。

本研究の目的は、EV の VPP 活用による環境影響をシナリオによって評価し、その運用方法を提案することである。そこで本研究では VPP 電力需給モデルの構築を行い、勤務地に EV で通勤する従業員の自宅充電設備の有無および自宅―勤務地距離の遠近で比較した環境影響評価を行った。

2. 研究手法

2.1 VPP 電力需給モデルの概要

本研究の VPP 電力需給モデルは、EV 充放電量、PV 発電量、勤務地の電力負荷によって構成されている。勤務地の電力負荷は、平日の日中においては EV 所有者の多くが各自の勤務地へ EV で出勤することを想定しており、勤務地で充電することによって EV の PV 電力充電の促進と利便性の向上をめざした。また勤務地側の利益として、V2W（Vehicle-to-workplace）による勤務地のピークカットを、本モデルにおける VPP の役割の 1 つとして考慮した。なお、EV 以外の定置型蓄電池のようなエネルギー貯蔵技術や、勤務地における電力需要の抑制等による下げディマンドリスポンスは今回考慮していない。ピークカットのためのピーク推定は PV 発電量が最も低くなる雨（雪）の日を基準に各季節で行い、予想される供給可能な V2W 電力量を基に算出する。本モデルの天候パターンは「晴れ」・「曇り」・「雨（雪）」を想定し、各季節は 1 年間を、春期：3 月～5 月、夏期：6 月～8 月、秋期：9 月～11 月、冬期：12 月～2 月で分割した。なお、本研究における環境影響は GHG 排出量を指標とした。VPP 電力需給モデルの概略図を図 1 に示す。

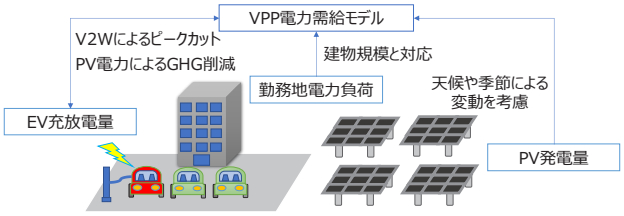


図 1　VPP 電力需給モデルの概略図

2.2 EV 前提条件

本研究において EV のバッテリー容量は 40 kWh とし，バッテリーの充放電容量（SOC：State of Charge）範囲は 80－30%に設定した。なお、自宅出発時の SOC は最低 50%あるものとした。また、急速充電の利用と EV 充放電にかかわる電力損失等は考慮せず、自宅や勤務地における充放電は普通充電レベル（最大 3 kW）と想定した。

本研究でばらつきを与える EV の SOC 変動は、まず、自宅充電設備の有無で大別した。さらにそれぞれ自宅―勤務地距離の遠・近で場合分けを行うことで、計 4 パターンの設定を行った。各従業員の出勤時間は 8:00、退勤時間は 18:00 で一律とした。なお、EV の充放電量は、それぞれ天候によって変化するように調整した。最後に、本研究で設定した各 EV の利用パターンを表 1 にまとめた。

また、全体の従業員数に対する EV 通勤者数を以下のように想定した。まず、全体の従業員のうち 46.5%が自家用車通勤を行っていると仮定した[1]。次に、2030 年における EV とプラグインハイブリッド自動車の普及目標が 20～30%である[2]ことから、EV 単体では 10～15%の普及が行われると仮定した。以上より、全体の従業員数に対する EV 通勤者数は 4.7～7.0%とした。

表 1　VPP 接続 EV の各利用パターンの設定

	自宅給電設備あり		自宅給電設備なし	
	近距離	遠距離	近距離	遠距離
V2W	あり (大)	あり (小)	なし	なし
通勤電力消費量 [%]	5	15	5	15
通勤時間 [min]	20	60	20	60
通勤距離 [km]	15	45	15	45

2.3 PV 発電量及び勤務地電力負荷

本研究で VPP に接続する PV システムは年度初めに契約が行われ、年度内に容量の増減は行われないと仮定した。PV 発電量カーブの作成には、東京電力管内の 2016 年度および 2017 年度の時系列な需要実績を参照した [3]。天候パターンの決定には過去の東京の情報を参照し [4]、それぞれ季節および天候パターン別 PV 発電量カーブを作成した。

また、VPP に接続する勤務地は標準的な事業所を想定し、延床面積あたりの電力負荷カーブを季節別に作成した [5]。今回は従業員 1 人当たりの事務所延床面積を 15 m^2 と仮定した。なお、建物電力負荷カーブへの天候の影響は考慮しなかった。ピークカット推定は VPP 接続したすべての建物の電力負荷の和を基に、2.1 節で既述したように算出する。

3. VPP 電力需給モデルのケーススタディ

ケーススタディを実施するにあたり、従業員数 100 人を基準として検討を行った。すなわち、2.3 節の前提条件より事業所の延床面積を 1,500 m^2 とした。また、春における事業所電力負荷のピークは約 50 kW であることから、導入する PV 発電規模は 50 kW とした。次に、2.2 節の前提条件より 6 人が EV 通勤を行うと設定した。この 6 人は自宅充電設備ありで遠・近距離の 2 パターンで 2 人ずつ、自宅充電設備なしで遠・近距離の 2 パターンで 1 人ずつとした。

PV を導入した事業所電力負荷を基に、合計 38 kWh の V2W 電力量から各季節におけるピーク時の負荷を算出した。ピークカットを含む夏の VPP 電力負荷を図 2 に示す。図 2 より、夏の雨におけるピークカットは 9 時～17 時の間で行われ、約 55 kW から約 47 kW に削減することが分かった。夏の晴れにおける各 EV の SOC 変動を図 3 に示した。なお、給電ポテンシャルはピークまでの電力量を指す。最後に、晴れの日の勤務地での PV 電力の充電による各 EV の GHG 排出削減量を図 4 に示す。これはグリッド電力で充電した場合との比較であり、GHG 排出量は LCA 用インベントリデータベース「IDEA v2」によって算出した [6]。図 4 より、今回のケース設定では遠距離通勤を行う方が GHG 排出削減量の寄与がみられた。これは自宅出発時の SOC に制限があることに起因するが、自宅充電設備がある場合、近距離通勤の従業員がピークカットに大きく貢献しているため、何らかのインセンティブの付与が望ましい。

4. まとめ

本研究のケーススタディでは事業所延床面積 1,500 m^2、PV 発電規模 50 kW、EV 台数 6 台という設定で VPP 電力需給モデルを構築し、約 8 kW のピークカットを行った。また、今回のケースでの勤務地充電による GHG 排出削減量の比較では、遠距離通勤を行う従業員の EV は充電量が多く、結果として大きな GHG 排出削減効果が見られた。

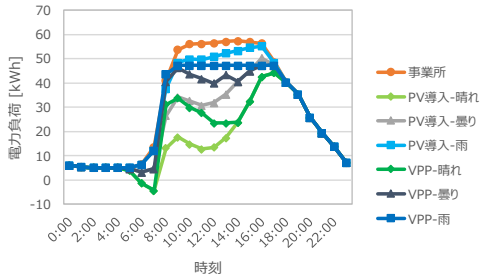


図 2　夏の事業所および VPP の電力負荷カーブ

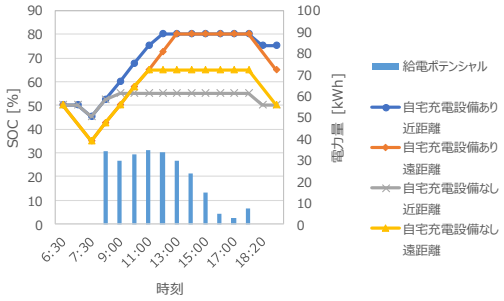


図 3　夏の晴れにおける各 EV の SOC 変動

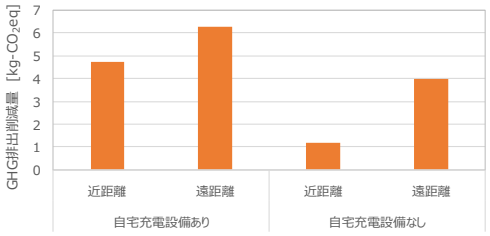


図 4　勤務地での PV 電力の充電による各 EV の GHG 排出削減効果

引用文献

1) 平成 22 年国勢調査最終報告書「日本の人口・世帯」, 第 11 章 通勤・通学人口及び昼間人口, 11-5 利用交通手段
2) 経済産業省, 自動車新時代戦略会議（第 1 回）資料, 平成 30 年 4 月 18 日
3) 東京電力パワーグリッド, エリアの需給実績公表について, 2016 年 4 月～2017 年 3 月の需給実績, 2017 年 4 月～2018 年 3 月の需給実績
4) YAHOO! JAPAN 天気・災害, 東京「過去の天気」
5) 柏木孝夫(監修), 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008, （社）日本エネルギー学会編
6) 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.

D1-19

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

LCA による内燃機関自動車と BEV の CO_2 排出量の算定

Estimation of CO_2 emissions of internal combustion engine vehicle and battery electric vehicle using LCA

○河本竜路*[1)]、望月英生 [1)]、森口義久 [1)]、中野隆裕 [1)]、本橋真之 [1)]、酒井裕司 [2)]、稲葉敦 [2)]

Ryuji Kawamoto, Hideo Mochizuki, Yoshihisa Moriguchi, Takahiro Nakano, Masayuki Motohashi, Yuji Sakai, Atsushi Inaba

1) マツダ株式会社, 2) 工学院大学

* kawamoto.r@mazda.co.jp

1. はじめに

近年は自動車の生涯での CO_2 排出を包括的に評価できる LCA の取組みにも世の中の注目が集まっている。

内燃機関の自動車（ICV）と、電気自動車（BEV）など先進的なパワートレインの LCA についてはいくつか研究事例がある（例えば [1)]）。これらの研究では、地域、生涯走行距離並びにバッテリー製造時の CO_2 排出量をある条件に固定して、ライフサイクルでの CO_2 排出量が計算されているが、実際には、BEV に電力供給するための電源構成や、自動車の生涯走行距離は、地域ごとに異なっている。また BEV のリチウムイオンバッテリー製造時の CO_2 排出は文献ごとに異なる（例えば [2)3)4)5)]）。よって、これらの違いによる影響を分析することが不可欠である。

本研究では、ICV であるガソリン車（GE）とディーゼル車（DE）の、また BEV のライフサイクルでの CO_2 排出量を算出した。自動車が使用される地域として米国、欧州、日本、中国、オーストラリアを選定し、地域ごとの燃費値、電費値、燃料製造の CO_2 排出係数、電力の CO_2 排出係数を適用した。そして、生涯走行距離と、バッテリー製造時の温室効果ガスの排出量のばらつきによる、ライフサイクル CO_2 排出量への影響を評価した。

2. 方法

2.1 枠組み

本研究では ICV（GE、DE）と BEV は全てコンパクトサイズの自動車と設定した。各車種の燃費値と電費値は、2018 年 4 月時点に各地域で販売されていた実在の車種の公表情報を参考に、表 1 に示す数値とした。同一の車両における燃費値の地域ごとの違いは、車両の走行速度や積載重量などの、各国の走行条件の違いに起因するものである。中国およびオーストラリアでは実際には BEV が販売されていないため、電費値は試験サイクルが類似している欧州の数値で代用した。一方、DE は実際に自動車が販売されている EU と日本のみで計算した。

生涯走行距離は、欧州、米国、日本での自動車の LCA 事例を参考に、0 km から 200,000 km までの変数とした。

評価範囲は自動車のライフサイクル全体とし、「車両製造」、「燃料製造／発電」、「使用」、「メンテナンス」、「廃棄」、の 5 段階でそれぞれ CO_2 排出量を評価した。

表 1 評価車種の燃費値／電費値

Region/country	Gasoline engine vehicle (GE)	Diesel engine vehicle (DE)	Battery electric vehicle (BEV)
US (5 Cycle)	13.2 km/L	-	5.75 km/kWh
Europe (NEDC)	19.6 km/L	26.3 km/L	7.87 km/kWh
Japan (JC08)	19.6 km/L	21.6 km/L	8.06 km/kWh
China (NEDC)	16.1 km/L	-	7.87 km/kWh
Australia (NEDC)	17.2 km/L	-	7.87 km/kWh

2.2 車両製造段階

車両の製造段階での CO_2 排出量は、それらを次の 4 つの部分に分けて計算した（詳細な数値は SI に記載）。

① シャシー系部品（各車両で共通）：文献 [6)]より引用
② GE と DE のエンジンと変速機：文献 [6)]より引用
③ BEV のモーターとインバータ：文献 [7)]より引用
④ BEV のバッテリー製造：文献 [2)3)4)5)]の平均値

2.3 燃料製造および発電段階、使用（燃料燃焼）段階

燃費値（電費値）から燃料（電力）の消費量を算出し、それに CO_2 排出係数を掛け合わせて計算した。燃料製造と発電の係数は文献 [8)]より 2013 年のデータを引用した。GE、DE 使用時のガソリン、軽油の燃焼の CO_2 係数はそれぞれ 2.28、2.62 [$kgCO_2/L$]とした。

2.4 メンテナンス段階

主要な部品の交換を想定した(SI に記載)。BEV については、BEV 販売メーカー各社が設定する性能保証距離を参考に、160,000 km でバッテリーを交換することとした。

2.5 廃棄段階

廃棄処理として解体、シュレッダ、残渣の輸送、埋め立てを想定した（SI に記載）。なお、解体処理で取り外した部品のリサイクル（再資源化）は評価対象外とした。

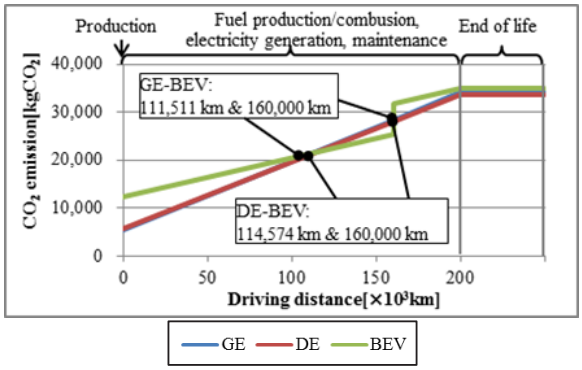


図 1. ライフサイクル CO_2 評価結果、日本の場合

表 2. 各地域における、CO_2 排出量が等しくなる走行距離と電力係数（相対値）

(a) GE と BEV

Country	Driving distance [km]	Relative value of CO_2 factor* of electricity
US	60,779	100
Europe	76,545	72
Japan	111,511 & 160,000	110
China	119,104 & 160,000	144
Australia	(Not intersect)	160

(b) DE と BEV

Country	Driving distance [km]	Relative value of CO_2 factor* of electricity
Europe	109,415 & 160,000	72
Japan	114,574 & 160,000	110

* US の係数を 100 としたときの相対値

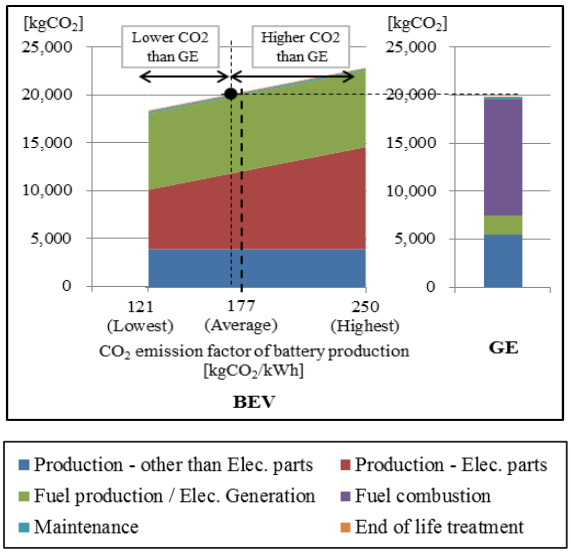


図 2. 異なるバッテリー製造の CO_2 排出係数における、BEV と GE の CO_2 排出量の比較
（日本、走行距離 100,000 km の場合）

3. 評価結果と考察

図 1 に日本におけるライフサイクル CO_2 の計算結果を示す。ここから、車両の製造時点（0 km）では GE、DE の方が BEV よりも CO_2 排出量が低いことがわかる。また、走行距離が増加するに従い、両者の CO_2 の差が近くなり、GE では 111,511 km で、DE では 114,574 km で、それぞれ BEV より CO_2 排出量が多くなる。この距離は、GE と DE のグラフの傾き（燃費値に反比例）が大きくなるほど、また BEV のグラフの傾き（電費値に反比例、電力 CO_2 係数に比例）が小さくなるほど、短くなると言える。この GE、DE と BEV の CO_2 排出量が等しくなる距離を 5 つの対象地域について算出した結果と、地域毎の電力 CO_2 係数（相対値）を表 2 に示す。表 2(a)の GE と BEV の結果からは、米国を除き電力係数が大きくなるにつれ距離が長くなる傾向が読み取れる。これは米国市場の燃費値が他地域より小さいことが要因であると考えられる。表 2(b)の DE と BEV の結果も(a)と同様、欧州よりも電力係数が大きい日本の方が距離は長い。以上より、電力係数や燃費／電費値等の地域の特性に応じて ICV や BEV を導入することが CO_2 排出削減に必要であると言える。

また図 2 に本評価で引用したバッテリー製造時の CO_2 排出係数を、最小値から最小値まで変動させた時の BEV と GE の CO_2 の計算結果を示す。最小値では BEV は GE よりも CO_2 排出が少なくなるが、最大値では BEV の方が排出は多く、逆の結果となる。ここから、現状では BEV の CO_2 排出量は大きな幅を持つと言える。

4. まとめ

本研究は、ICV と BEV の CO_2 排出量が、地域に依存すること及び、バッテリー製造の環境性能に依存することを示した。今後、地域の電源構成の変化や先進的な ICV 技術の導入を考慮し、さらに、より精査されたバッテリー製造時の CO_2 排出量のデータを用いた評価を実施することが望まれる。

引用文献

1) Ellingsen, L.A.W., Singh, B., Strømman, A.H., Environ. Res. Lett. 11, 5 (2016), 054010
2) Zackrisson, M., Avellán, L., Orlenius, J., J. Clean. Prod. 18, (2010), pp.1519-1529
3) Majeau-Bettez, G., Hawkins, T. R., Strømman, A. H., Environ. Sci. Technol. 45, (2011), pp.4548–4554
4) Amarakoon, S., Smith, J., Segal, B., EPA 744-R-12-001, (2013)
5) Ellingsen, L.A.W., Majeau-Bettez, G., Singh, B., Srivastava, A.K., Valøen, L.O., Strømman, A.H., J. Ind. Ecol. 18, (2013), pp.113-124
6) JLCA, LCA database 2015FY 4th Edition
7) Hawkins, T., Singh, B., Majeau-Bettez, G., Strømman, A. H., J. Ind. Ecol. 17, (2012), pp.53-64
8) thinkstep AG, GaBi: Software and database contents for Life Cycle Engineering, (2017)

Supporting Information

表 S1 本研究における GE、DE、BEV の諸元（燃費以外）

Vehicle		**Gasoline engine vehicle (GE)**	**Diesel engine vehicle (DE)**	**Battery electric vehicle (BEV)**
Weight	[kg]	1,310	1,360	1,590
Displacement	[cc]	1,998	1,498	-
Battery capacity	[kWh]	-	-	35.8
Output	[kW]	88 - 114	77	100
Torque	[Nm]	196	270	290

表 S2　バッテリー製造時の CO_2 排出量(文献より引用)

Literature	**Cathode Type*1**	**CO_2 emission factor [kg-CO_2eq/kWh]**
2) Zackrisson et al.(2010)	LFP	166
3) Majeau-Bettez et al. (2011)	NMC	200
	LFP	250
4) Amarakoon et al.(2013)	NMC	121
	LFP	151
5) Ellingsen et al.(2013)	NMC	172
Average		**177**

*1 NMC: Lithium nickel-manganese-cobalt oxide
LFP: Lithium iron phosphate

表 S3 車両製造段階の CO_2 排出量

Part name		**Reference**	**Referenced data**		**Apply to**
			Value	**Unit**	
Chassis parts (Body, tires, interior, etc.)		6) JLCA(2015)	4,219 (76.8 % of overall production)	kg-CO_2	GE, DE, BEV
Gasoline engine and transmission		6) JLCA(2015)	1,275 (23.2 % of overall production)	kg-CO_2	GE
Diesel engine and transmission		6) JLCA(2015) modified*1	1,540 (20.8% higher than the gasoline engine)	kg-CO_2	DE
Electric drive unit parts (Elec. parts)	Traction battery	CO_2 factor: average of Table S2 Capacity: Table S1	6,337 (177 kg-CO_2/kWh ×35.8kWh)	kg-CO_2	BEV
	Motor	7) Hawkins et al. (2012)	1,070	kg-CO_2	BEV
	Inverter	7) Hawkins et al. (2012)	641	kg-CO_2	BEV

*1 DE は GE とよりも 50 kg 重く、その分ディーゼルエンジンの CO_2 排出量は
ガソリンエンジンのそれに比例して多くなる、と想定し算出

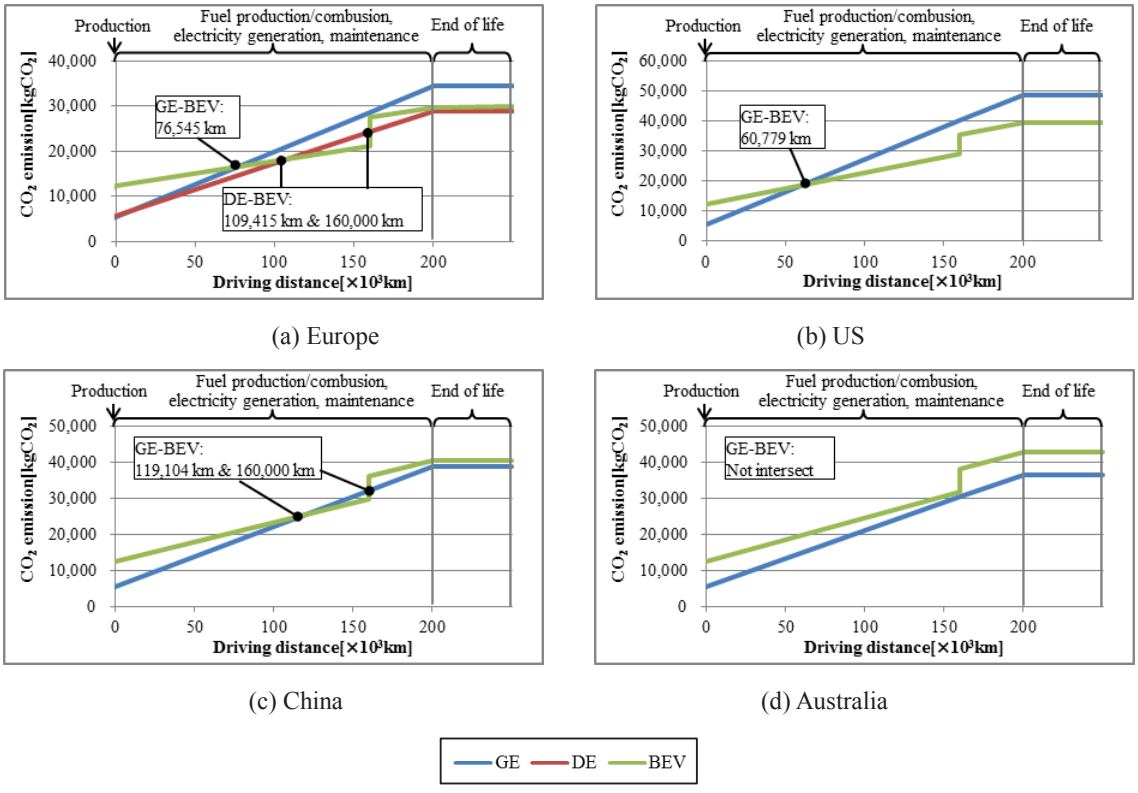
表 S4　メンテナンス段階の対象部品の交換頻度と 1 回あたりの CO_2 排出量

Part name	Maintenance interval [km / maintenance]	CO_2 emission [kg-CO_2 / maintenance]	Reference	Applied vehicles
Tire	40,000	108	6) JLCA(2015)	GE, DE, BEV
Lead-acid battery	50,000	19.5	6) JLCA(2015)	GE, DE, BEV
Engine oil	10,000	3.22	6) JLCA(2015)	GE, DE
Radiator coolant	27,000	7.03	6) JLCA(2015)	GE, DE
Li-ion traction battery	160,000	6,337	CO_2 emission: Table S2	BEV

表 S5 廃棄段階での CO_2 排出量（文献 S1) より引用、GE／DE／BEV 共通）

Process name	CO_2 emission [kg-CO_2]
Disassembly*	-
Shredding and sorting	24
Transport	4
Landfilling	38
Total	65

*: 解体(Disassembly)におけるエネルギー消費は他の工程と比較して小さい S1)



(a) Europe　(b) US

(c) China　(d) Australia

図 S1. ライフサイクル CO_2 評価結果、日本以外の 4 か国（欧州、米国、中国、オーストラリア）

SI における引用文献

S1) Funasaki, A., Katsunori T, 2002. J. Soc. Automot. Eng. Jpn. 56, 7, (2002), pp.57-63

E1-16,P2-067　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

医薬品成分を対象とした環境影響評価

-遺伝子組換えカイコによる環境負荷低減効果-

Environmental impact assessment of clinical reagent avoiding cell culture
- Reduction of environmental burdens by genetically modified silkworm-

○西山雄馬*[1)]、冨田正浩[2)]、瀬筒秀樹[3)]、伊坪徳宏[1)]

Yuma Nishiyma, Masahiro Tomita, Hideki Sezutsu, Norihiro Itsubo

1）東京都市大学, 2）株式会社免疫生物研究所, 3)国立研究開発法人・食品産業技術研究機構

* g1562050@tcu.ac.jp

1. 背景

WHO(日本保健機構)によると世界の HIV 感染者が 7,610 万人、AIDS 感染者は 3,670 万人と言われている。最も多い地域がアフリカ地域であり、全体の約 7 割を占めている。次に日本の HIV・AIDS 問題について述べていく。日本の HIV・AIDS は世界に比べて非常に小さい値になる。厚生労働省エイズ動向委員会[1)]によると 2015 年度における HIV 感染者は 1,434 人であり、AIDS 感染者は 428 人である。近年では横ばいだが、20 年前と比較すると増加傾向にある。

HIV 感染者の増加を受けて、近年では HIV 医薬の開発が行われているが、近年生物効用としてカイコに対する注目が高まっている。昭和初期、カイコの生糸は外貨を得るためのツールだった。産業の進化に伴い化学繊維の普及により養蚕業は衰退した。しかし、最近は医薬品の成分としての利用が注目されている。カイコの特徴を他の成分と比較したものを表 1 に示す。カイコは生産コスト、生産できるタンパク質の種類、精製の容易であるため哺乳類動物培養細胞より安価になる。カイコは 1 世代、約 2 ヶ月で 200 倍程度に増殖できるため、1 ペアのカイコから半年で 800 万個体へ増殖することができる。

表 1 抗体医薬品成分特徴

	カイコ	酵母	大腸菌	哺乳類動物培養細胞
生産コスト	低い	低い	低い	高い
生産できるタンパク質	複雑な構造のタンパク質も可能	単純タンパク質	単純タンパク質	複雑な構造のタンパク質も可能
精製	容易	比較的困難	比較的困難	比較的容易
大量生産	容易	容易	容易	比較的容易

2. 研究目的

現在、遺伝子組換えをしたカイコのタンパク質を用いた医薬成分等が研究開発されている。

既存文献では、医薬品を対象に LCA(Life Cycle assessment) を用いて、環境負荷を評価している文献は少なく、また創薬など開発工程全て網羅した文献はない。

そこで本研究では、カイコのタンパク質を用いた医薬品を対象に GHG 排出量、土地利用、水資源を影響領域として定量的に評価した。

3. 方法

評価対象は株式会社生物免疫研究所が開発している遺伝子組換えカイコを用いた HIV 抗体薬品である。

機能単位は株式会社免疫生物研究所にヒアリングを行い 1 工程あたり 1,120 人分とする。

本研究におけるシステム境界は図 1 で示す。

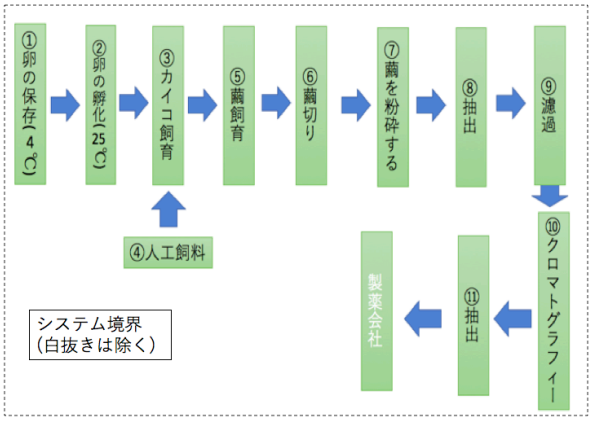


図 1 本研究のシステム境界

カイコ飼育装置は新菱冷熱工業株式会社[2)]作成のものを利用した。最大で 90,000 頭のカイコを飼育することができる。この装置の特徴は最適環境制御であり、空調制御と回転棚により飼育環境の温度条件を均一に保つことができる。回転棚の上にはダンボールを敷いて飼育する。ダンボールは 1 回使用後は焼却処理される。

3.1 使用データ

本研究は株式会社免疫生物研究所にヒアリングを行い、カイコを飼育し成分抽出までのデータ提供を受けて算定を行った。

3.2 算定方法

本研究での GHG 排出量、水資源消費、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 に示す。

GHG 排出量=Σ（活動量×原単位×特性化係数）（式 1）

土地占有=Σ（活動量×原単位×特性化係数）（式 2）

計算には SimaPro8.1.22 を使用した。環境負荷原単

位は IDEA2 を、特性化係数は LIME2 を用いた。本研究では環境負荷低減効果を示すために都市大、産総研、早稲田大が開発したホットスポット分析計算ツールを行った。

4. 結果

4.1 GHG 排出量

図 2 はカイコの成分抽出までを示した GHG 排出量の結果である。総量はおよそ 63 トンであり、なかでも繭とカイコの飼育による環境負荷が大きかった。繭飼育に着目するとほとんどが電力の負荷であることがわかった。繭飼育では湿度を 25%に保つ必要があるため大型のデジカント除湿機を動かしている。そのため繭飼育が寄与している。

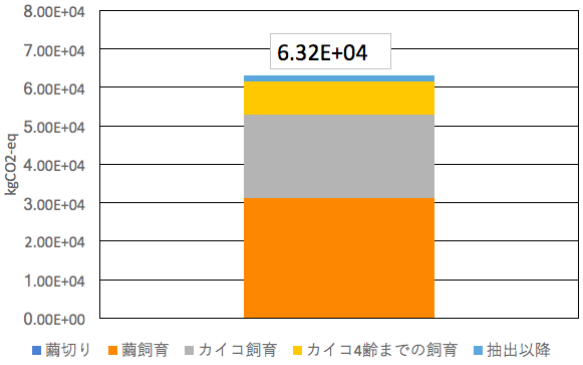


図 2 カイコ成分抽出段階までを対象とした GHG 排出量算定結果

本研究とホットスポット分析(HSA)と比較した結果を図 3 に示した。右に示す抗体医薬品平均値は国内で主に用いられている HIV 抗体医薬品の 4 種の成分を参考に得た平均値である。抗体医薬品の GHG 排出量は 4.75E+05kgCO_2-eq となった。本研究が対象としたカイコ法は平均値よりも大幅に低く、当該製法が潜在的に製薬における環境影響の低減に寄与し得ることが確認された。

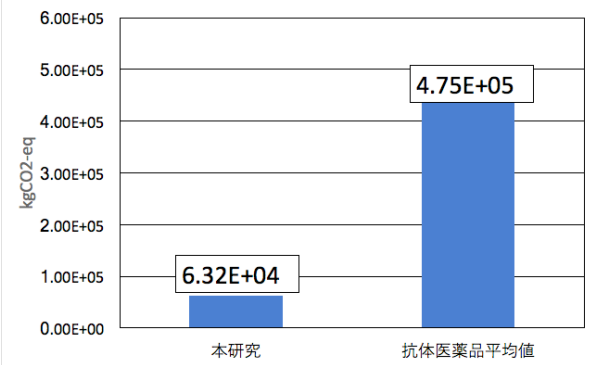


図 3 本研究とホットスポット分析(抗体医薬品)の比較図

4.2 土地占有

本研究における土地占有の結果を図 4 に示した。土地占有の結果は 1.38E+02 ㎡となった。なかでも最も大きかった工程はカイコ飼育であった。内訳をみると人工飼料の寄与が大きかった。人工飼料で最も起因していた物質は大豆であることがわかった。大豆を作る際に土地部分が大きいため大きくなったと考えられる。本研究の人工飼料は 100%桑の葉ではない。理由としては桑の葉には旬があり月々の収穫量に偏りが生じるため人工飼料を用いている。

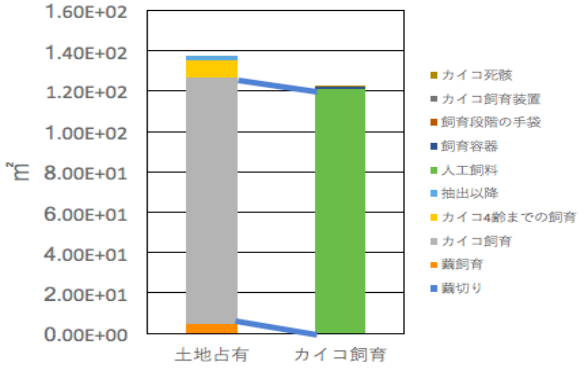


図 4 カイコ成分抽出段階までを対象とした土地占有算定結果

本研究とホットスポット分析(HSA)と比較した結果を図 5 で示した。右に示す抗体医薬品は GHG 排出量時に説明した方法で得た平均値である。抗体医薬品の土地占有は 1.43E+02 ㎡となった。本研究が対象としたカイコ法は平均値とほとんど変わらない結果を得た。今後人工飼料の改善によりさらなる環境負荷低減が可能になると推測される。

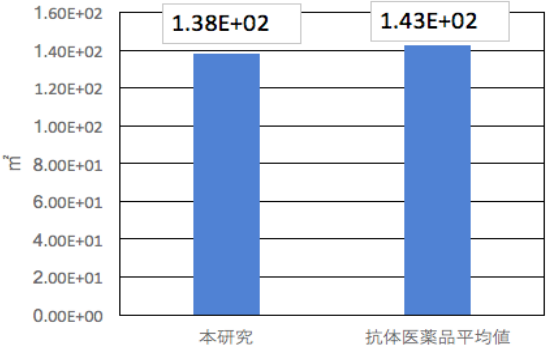


図 5 本研究とホットスポット分析(抗体医薬品)の比較図

5. 結論

本研究は遺伝子組み換えカイコを用いた抗体医薬の成分開発に関する環境負荷を GHG 排出量、土地占有に着目して算定した。得られた結果はホットスポット分析を用いて抗体医薬品の平均値と比較した結果、当該手法は環境負荷削減の潜在的が大きいものと考えられた。GHG 排出量並びに土地占有の負荷が抗体医薬品の平均値より小さいことがわかった。今回の評価によれば、繭飼育及びカイコ飼育に負荷が相対的に大きかった。今後人工飼料の大豆栽培の改善等により特に土地占有の負荷が小さくなるものと期待される。

6. 参考文献

1)厚生労働省エイズ委員会
{http://api-net.jfap.or.jp/status/2016/16nenpo/16nenpo_menu.html}
2)新菱冷熱工業株式会社
{https://www.shinryo.com/news/20170406.html}

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：実スケールの管理による実証

Life Cycle Assessment of Golf Course Management Using a Fertilizer Derived from Brewing By-products: Real-scale Demonstration of Field Management Practices

○林清忠*[1)]、南嶋晋二郎 [2)]、北川隆徳 [3)]

Kiyotada Hayashi, Shinjiro Minamijima, Takanori Kitagawa

1）農業・食品産業技術総合研究機構, 2）株式会社アコーディア・ゴルフ, 3）アサヒバイオサイクル株式会社

* hayashi@affrc.go.jp

1. はじめに

持続可能なゴルフコース管理に対する関心が高まっている。持続可能性を高めるためには、ゴルフコースへの投入側において肥料・農薬等の適正かつ効率的な利用が必要であり、産出側においてゴルフコースが提供するサービスの維持・向上が必要である。投入・産出両面での改善を目指した新たな管理法を実際に導入するにあたっては、試験圃場のレベルから実際のゴルフコースまでの異なったスケールでの実証を踏まえた意思決定が必要とされる。

この研究では、新たな液体肥料（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）[1)]を活用したゴルフコース管理の可能性を検討する。圃場試験を踏まえた暫定的評価 [2)]、研究用ゴルフコースでの評価 [3)]をさらにスケールアップし、18 ホールを有する実ゴルフコースにおいてデータ収集を実施し、新たな管理法を慣行の管理法と比較する。

2. 方法

2.1 実ゴルフコースに基づく比較 LCA

実ゴルフコースの管理データは、千葉県成田市の成田ゴルフ倶楽部において収集した。実コースのスケールでの評価は、研究用ゴルフコースにおける試験区と慣行区の区別がないため、新たな管理法を導入した 2018 年の実績を、慣行の管理法としての 2016 年の実績と比較することにより実施した。2017 年はトーナメントが開催される特異年と考えられたため、2016 年のデータを使用した。

2.2 投入と産出（環境影響とサービス）の枠組

ビール酵母細胞壁からの抽出物を含む液体肥料を活用する新たなゴルフコースの管理を導入することにより、投入側においては、農薬（殺菌剤）等の削減が期待される。また、追加的な液肥散布のための機械作業時間は増加するものの、農薬削減分については、機械作業時間は減少すると期待される。これら効果の連鎖は、ライフサイクルでの環境影響（GHG 排出量）によって考慮する。

産出側については、環境影響以外に、ゴルフコースが提供するサービスを表現するため、スティンプ（グリーンの速さ）、コンパクション、刈取量、根長、サッチ厚、芽数の 6 属性からなる多属性価値関数を構成する。

本研究では、以上に基づき、単位面積当たりの GHG 排出量に加え、価値（サービス）当たりの GHG 排出量を計算し、新たな管理法と慣行の管理法を比較する。前者は、面積に焦点を当てた農業生産システムの比較 LCA[4,5)]に相当する。後者は、生産物に焦点を当てた農業生産システムの比較 LCA[4,5)]に相当するが、産出は生産物でなく、ゴルフコースが提供するサービスである。

2.3 ゴルフコース管理のインベントリ

新たな液体肥料を導入した管理を開始したグリーン（18 ホールの全グリーン）における管理データを収集した。ティ、フェアウェイ、ラフ等についても、参考として管理データを収集した。対象期間は、各年 4～11 月とした。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、スティンプ、コンパクション、刈取量、根長、サッチ厚、芽数の計測を行った。

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 [2,3)]。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 [2,3,6)]。燃料については、地球温暖化対策の推進に関する法律における設定値、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 [2,3)]。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 [2,3)]。

2.5 影響評価と多属性評価

本研究では、影響領域として地球温暖化（IPCC 2013 GWP 100a）を取り上げ、新たな液肥導入が与える影響（ライフサイクル GHG 排出量）を評価する。

芝の状態を表現する複数の調査データから多属性価値関数を構成する際には、まず、評価尺度のレンジ（その属性が現実的にとり得る最大値と最小値の幅）を設定した。単属性価値関数は線形とした。スティンプ、コンパクション、刈取量、根長、サッチ厚、芽数の 6 属性間の相対的重要性（ウェイト）の決定にあたっては、レンジとウェイトの関係（前者が大きくなれば、後者も大きくならなければならないという関係）を考慮し、swing weighting[7]と同様の手順を用いた。レンジならびにウェイトは、南嶋が暫定的に数値を設定した。

3. 分析結果

3.1 面積当たりの GHG 排出量

単位面積当たりのライフサイクル GHG 排出量は、慣行の管理法（2016）の場合が 0.734 kg CO_2 eq./m^2、新たな管理法（2018）の場合が 0.732 kg CO_2 eq./m^2 であった。後者の前者に対する比は 0.997、削減量は 2.55×10^{-3} kg CO_2 eq./m^2 と計算され、僅かな改善が認められる結果となった。

3.2 価値（サービス）当たりの GHG 排出量

計算された単属性価値は、スティンプ、コンパクション、刈取量、根長、サッチ厚、芽数のそれぞれに対して、慣行の管理法（2016）の場合が、0.625、0.281、0.557、0.750、0.556、0.270、新たな管理法（2018）の場合が、0.688、0.594、0.473、0.763、0.725、0.676 であった。それぞれの属性に対するウェイトは、0.111、0.028、0.250、0.139、0.194、0.278 となった。以上より、総価値（ゴルフコースが提供するサービスの代理指標）は、慣行の管理法（2016）の場合が 0.504、新たな管理法（2018）の場合が 0.646 となり、1.28 倍のサービスを提供するように改善されたと計算された。

計算された総価値当たりのライフサイクル GHG 排出量は、慣行の管理法（2016）の場合が 1.458 kg CO_2 eq./value、新たな管理法（2018）の場合が 1.133 kg CO_2 eq./value であった。このとき、後者の前者に対する比は 0.777 となり、単位面積当たりの評価に比べ明らかな改善効果が認められた。

4. 考察と結論

単位面積当たりのライフサイクル GHG 排出量の計算において、目砂の採取、製造、輸送のプロセスはシステム境界外としたが、新たな管理法により目砂使用量は減少するため、今後、インベントリの構築を実施する必要がある。今回の計算では、焼砂プロセスはゴルフ場内であるため評価結果に反映されているものの、青森県で採取された川砂がゴルフ場に持ち込まれるまでのプロセスは反映されていない。後者のプロセスを考慮した場合には、さらなる改善効果が表れると期待される。

価値当たりのライフサイクル GHG 排出量については、新たな管理法導入による明らかな改善効果が認められたが、多属性価値の計算はゴルフコースが提供するサービスの計測に対する一つのアプローチであり、今後のさらなる検討が必要である。多属性価値には、m^2 や kg のような単位がないため、計算された改善効果を削減量として示した場合には、その理解にやや困難が伴うからである。

圃場試験を踏まえた暫定的評価から、研究用ゴルフコースでの評価、実ゴルフコースでの評価へのスケールアップに伴い、期待される改善効果の具体化とともに、評価方法上の留意点も顕在化した。これらの経験の一般化は今後の課題である。

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、アサヒバイオサイクル株式会社の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) 林清忠, 安井芳彦, 北川隆徳, 南嶋晋二郎, 高橋右京: 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 東京, (2018), pp. 72-73
4) Hayashi K.: Int. J. LCA, 18, (2013), pp.331–339
5) Hayashi K., Nagumo Y., Domoto A.: Sci. Total Environ., 571, (2016), pp.134–141
6) 林清忠, 正畠宏一, 牧野直樹, 内田晋: 第7回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集, (2012), pp.156–157
7) Goodwin P., Wright G.: Decision Analysis for Management Judgment, 5th ed., John Wiley & Sons, Chichester, UK, (2014)

業務用太陽熱給湯システムの建物用途・地域別 CO_2 削減効果

CO_2 reduction effect by installing solar water heating systems for commercial bulidings considering building types and regions

○竹村彩花*[1)]、本藤祐樹 [1)]

Ayaka Takemura, Hiroki Hondo

1)横浜国立大学

* takemura-ayaka-tg@ynu.jp

1. はじめに

近年の地球温暖化問題を受け、家庭・業務部門において 2030 年までに CO_2 排出量約 40%の削減目標が掲げられている。業務部門エネルギー消費のうち約 13%が熱利用となっており、CO_2 削減の観点から太陽熱利用システムの利用が期待されている。太陽熱利用システムは給湯利用が一般的で、住宅や給湯需要の多いホテルや病院などの業務用建物での使用に適しているとされ、政府も導入拡大を図っている。しかし、業務用太陽熱給湯システム（業務用 SWHS）は家庭用のものと比べ導入が停滞しており、またライフサイクルでの経済性や環境影響を評価した研究 [1)]は国内・海外を含め非常少ない。そのため、業務用 SWHS の効果的な導入の道筋も明らかとなっていない現状である。

本研究では、業務用 SWHS 導入による CO_2 削減費用を、給湯利用形態が異なる建物用途別に、かつ、気候条件等が異なる地域別に推計し、業務用システムの高い導入効果が得られる条件を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2.1 設定

評価対象とする業務用 SWHS は、強制循環型太陽熱給湯設備に従来型給湯システム(CWHS)を補助機器として組み合わせたシステムとし、CWHS はボイラー、燃料は重油、灯油、都市ガス、LPG の 4 種を想定する。強制循環式 SWHS は、集熱器と貯湯槽が分離しており、集熱した太陽熱を熱媒(不凍液)を介して循環させ間接的に集熱する仕組みである。運用では不凍液を循環させるポンプと、主に寒冷地において給水管、採湯管の凍結を防止するヒーターの電力消費が伴う。

評価範囲は、機器製造・設置・運用(15 年間)とし、太陽熱機器および従来機器の耐用年数は 15 年とする。

対象建物はホテル・病院・飲食店とし、建物規模および給湯量の想定はモデル建物法 [2)]で使用されるモデル建物の設定を使用する。1 日の給湯パターンは、建物用途別に 1 時間ごとの給湯負荷率のデータ [3)4)]を使用する。また、集熱器面積は各建物の 1 日の給湯量をもとに設定する。表 1 には、建物延床面積と各建物の 1 日当たりの給湯量、集熱器の設定面積を示す。

表 1.　建物延床面積および集熱面積

	ホテル	病院	飲食店
延床面積	5,000 m^2	5,000 m^2	1,500 m^2
給湯量(1 日)	51,810 L	20,465 L	51,250 L
集熱面積	520 m^2	210 m^2	520 m^2

なお、本研究で考慮する地域条件は、日射量 [5)]、気温 [5)]、給水温度 [6)]、電源構成、燃料単価(2017)とする。

2.2 総費用の推計

各システムのライフサイクルでの総費用(LCC)は、以下に示す式に従い推計する。

$$LCC_{i,t} = IC_t + (MC + H_{i,t} \times c_{i,t} + O_i \times ec_i) \times Y$$

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、Y:耐用年数、c:燃料単価、ec:電力単価、i:市町村、t:燃料である。燃料・電力単価は、各エネルギー別に 2017 年の平均単価を市町村別に設定する。また、H,O は、清水ら [1)]の計算モデルを用いて、各地域の日射量・気温・給水温度・各建物の給湯負荷・機器サイズを入力条件として 1 時間間隔で計算している。

2.3 ライフサイクルでの CO_2 排出量の推計

各システムのライフサイクルでの CO_2 排出量($LCCO_2$)は、産業連関表と国立環境研究所が公表している 3EID 等を用いて、以下の計算式に従い推計する。

$$LCCO_{2i,t} = e^T (I - A)^{-1} f_t + (H_{i,t} \times g_{i,t} + O_i \times eg_i) \times Y$$

ここで、e^T:転置した直接 CO2 排出原単位ベクトル(3EID)、$(I - A)^{-1}$:レオンチェフ逆行列、:システムの費用ベクトル、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、機器の製造・設置・保守に伴う CO_2 排出量を表す。第 2 項と第 3 項は、前述の計算モデルより計算した H と O に起因する CO_2 排出量を表している。

2.4 CO_2 削減費用（AC）の試算

本研究で求める CO_2 削減費用は、業務部門へ SWHS を導入し、CO_2 を削減するために必要な費用を意味している。建物用途・地域別の CO_2 削減コストは、従来機器の使用燃料ごとに、以下に示す式に従って求める。

$$AC_{i,t} = \frac{TC_{SWHS,i,t} - TC_{CWHS,i,t}}{LCCO_{2,CWHS,i,t} - LCCO_{2,SWHS,i,t}}$$

分母は CWHS・SWHS の各 $LCCO_2$ の差で、CO_2 削減量にあたる。分子は CWHS・SWHS それぞれ 15 年分にかかる総費用の差額にあたる。

3. 結果と考察

CO_2 削減費用は建物用途別(ホテル・病院・飲食店)、市町村別に推計を行うが、今回は対象建物/ホテル・従来燃料/重油としたケースの試算結果を示す。

図 1 は、神奈川県横浜市での CWHS・SWHS の 1 年あたりのライフサイクル CO_2 排出量を表したグラフである。CO_2 排出量はそれぞれ、CWHS が 190 [t-CO_2/年]、SWHS が 103 [t-CO_2/年]となる。SWHS の運用には、集熱ポンプ・凍結防止ヒータの運転、メンテンナンス、補助ボイラーの運転が含まれる。運用に伴う CO_2 排出量のうち約 95%が補助ボイラーの燃料燃焼によるものであり、運用段階における SWHS 起源の CO_2 排出割合は残り 5%である。この CWHS と SWHS の CO_2 排出量の差が CO_2 削減量にあたり、横浜市では 87 [t-CO_2/年]となる。

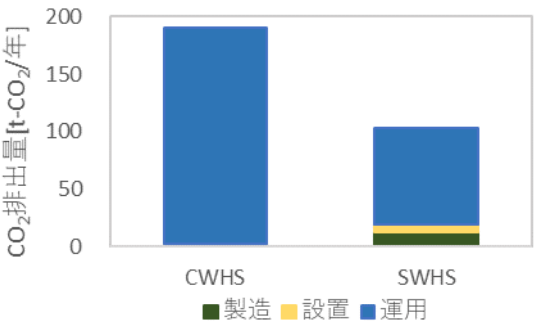


図 1. 横浜市 CWHS・SWHS の CO_2 排出量（試算値）

地域ごとの比較として、図 2 には札幌市・横浜市、甲府市の 3 地域の CO_2 削減費用の結果を示す。地域条件の中では日射量、気温(給水温度)が結果に大きく影響している。甲府市は、日射量が特に多い地域であり太陽依存率が高い。つまり、より多くの給湯負荷を SWHS で代替できることで、従来機器の燃料燃焼による CO_2 排出を削減できる。その結果、CO_2 削減費用は 1.14 [万円/t-CO_2]となり、横浜市の 1.63 [万円/t-CO_2]に対して費用対効果が大きい。一方、札幌市は給水温度が低く、給湯温度までの昇温に多くのエネルギーを要する。しかし、太陽依存率が 40%と低く SWHS で賄える給湯熱負荷は小さい。さらに、札幌市では SWHS の凍結防止ヒーター運転の電力消費による CO_2 排出量は横浜の 2.5 倍以上となっている。これらの要因が重なることで、CO_2 削減費用は 2.23 [万円/t-CO_2]と、他の 2 地域と比べ高いと考えられる。

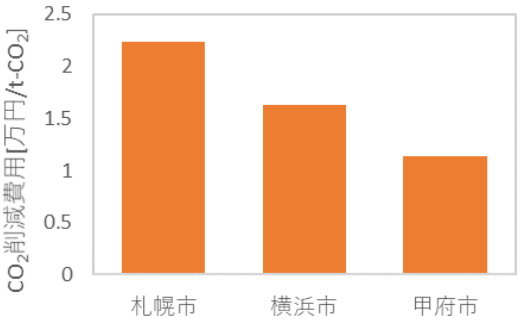


図 2. 地域別 CO_2 削減費用（試算値）

【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ならびに関連事業者の皆様に謝意を表する。なお、本研究は（独） 環境再生保全機構の環境研究総合推進費（2-1804）により実施された。

4. 引用文献

1) 清水恭亮, 本藤祐樹, 森泉由恵: 日本エネルギー学会誌, 97 巻 6 号, (2018), pp.147-159
2) 国立研究開発法人研究所: “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” ,建築物の省エネルギー消費性能に関する技術情報, (オンライン), 入手先 <https://www.kenken.go.jp/becc/index.html>, （参照 2019.1.2）
3) 空気調和・衛生工学会: “都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価”, 丸善, 東京, (1994), pp138-139
4) ヒートポンプ・蓄熱センター: “蓄熱式給湯システムのポイント”, 技術情報, (オンライン), 入手先 <http://www.hptcj.or.jp/tabid/170/Default.aspx>, （参照 2019.1.2）
5) 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 2019.1.2）
6) 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)

欧州における化粧品容器の環境フットプリント評価方法の標準化について

Standardization and harmonization of environmental footprint for cosmetic packaging

○大橋憲司*

Kenji Ohashi

株式会社資生堂

* kenji.oohashi@to.shiseido.co.jp

1. はじめに

プラスチックは、成形性、機械特性、化学特性、長期安定性に優れ、歯ブラシやコップなどの日用品から自動車や飛行機といった社会インフラに至るまで、日常生活のあらゆる場面で利用されている。2018 年には日本人の平均寿命が男性は 81 歳、女性は 87 歳を超えたが、こうした長寿は、食品や医薬品などの安価で衛生的な生活サービスの賜であり、プラスチックの貢献抜きには実現不可能といっても過言ではない。一方で、プラスチックの優れた特性のひとつである長期安定性は、いったんプラスチックが環境中に流出した場合には、長期間にわたって分解されることなく滞留し、生態系に被害をもたらす要因となる。

近年、プラスチックごみの海洋流出は年間 800 万トンに上ると推計され、それによる海鳥やウミガメなど海洋生態系への影響や、食物連鎖を介したヒトへの有害性が懸念されている [1]。こうした世論の高まりを受け、2018 年にカナダで開催された G7 シャルルボワサミットでは、海洋プラスチック問題の解決に向けた具体的な対策を促す「健全な海洋及び強じんな沿岸コミュニティのためのシャルルボワ・ブループリント」が採択された。加えて、リユースやリサイクルといった自国内でのプラスチック政策推進を掲げた「海洋プラスチック憲章」が議長国であるカナダから提案され、英国、フランス、ドイツ、イタリアがこれに賛同し、提案国を含めた 5 か国が署名した。プラスチック問題は、今や世界全体で取り組むべき新たな重要課題として、産学官民のあらゆる場面で議論されている。

化粧品では、容器包装材料として、また櫛や塗布具といった化粧用具類の素材として多種多様なプラスチックが利用されており、容器包装の環境配慮設計を進めることが消費者からも期待されている。2008 年に行ったインターネット調査（N=1,025）では、「化粧品メーカーに望む環境における社会貢献活動は何か？（複数選択式）」との質問に対し、「パッケージの簡素化」「環境負荷の少ないパッケージの開発」といった容器包装に関する要望が回答上位を占める結果となり（図 1）、海洋プラスチック問題が話題になる以前から容器に対する改善ニーズが高かったことがうかがえる [2]。

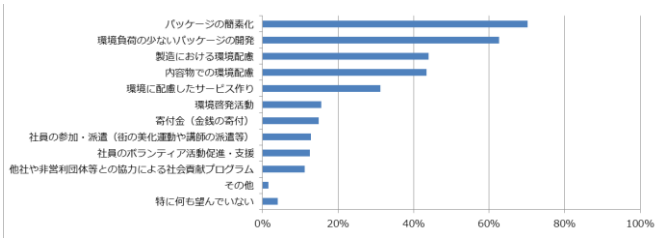


図 1　消費者が化粧品に望む環境配慮

2. SPICE Initiative

2.1 評価対象製品と機能単位

化粧品業界は、製品、特に容器包装の持続可能性に関して、消費者や規制当局、NGO といった外部のステークホルダーからの期待の高まりに直面している。こうした期待に応え、環境情報を消費者にコミュニケーションしていくことを目的に、製品の環境負荷を適切に計測する手法の標準化と、容器包装のエコデザインを推進していくためのプラットフォームとして、フランスに本拠を置く化粧品メーカーL'Oréal とスイスの環境コンサルティング会社 Quantis により SPICE Initiative（the Sustainable Packaging Initiative for CosmEtics）が 2018 年 5 月に設立された。資生堂は、SPICE Initiative の趣旨に賛同し、設立当初からの企業会員として参加している。同年 10 月には OEM メーカーやガラス容器メーカーが加わり、会員の幅が広がりつつある。こうしたグローバルかつ業界を通じたルールメークに加わることは、自社の環境配慮努力を顧客や消費者に適切に伝えるための機会を拡げることにつながることから、日本の化粧品や容器包装のステークホルダーの積極的な議論への参加が待たれる。

本報告では、SPICE Initiative の目的や活動の方向性、そして当社の持続可能なパッケージに向けた取り組みについて紹介する。

3. サステナブルデザインと環境フットプリント評価に向けた取り組み

3.1 環境フットプリントガイダンス

我々は、化粧品の容器包装だけでなく、内容物も含めた環境配慮設計に積極的に取り組むとともに、それ

による環境負荷の削減効果を LCA やライフサイクル GHG 排出量によって確認し、その一部は WEB ページなどを通じて開示してきた。2013 年からは、1 年間の企業活動に伴う GHG 排出量を GHG プロトコル・スコープ 3 基準に沿って算定し開示しているが、こうした製品や企業活動を対象とした LCA の実施における化粧品分野に特有の仮定を含めた計算条件を「製品および組織の環境フットプリント評価のためのガイダンス（以下では「環境フットプリントガイダンス」と記載する）」としてとりまとめ、2018 年 6 月に公開した（URL https://www.shiseidogroup.jp/sustainability/env/policy/pdf/footprint.pdf）。

3.2 詰め替え製品の環境負荷について

詰め替え製品は一般的に、本体製品に比べて容器包装の重量が軽く、構成が単純であるため、GHG 排出量をはじめとする環境負荷を低く抑えることが可能である。化粧品における詰め替え製品の歴史は古く、資生堂は 1926 年（大正 15 年）に最初の付け替え可能な白粉を発売している（図 2）。当社が環境報告書の発行を開始した 1997 年には、詰め替え製品はシャンプー・コンディショナーなどわずか数品目を数えるだけであったが、2019 年現在では、シャンプー・コンディショナー類だけでなく、ファンデーション・白粉類、ポイントメーキャップ製品、化粧水・乳液など、多くの主要製品に配置されている。



図 2　消費者が化粧品に望む環境配慮

3.1 で紹介した環境フットプリントガイダンスでは、こうした詰め替え製品の配置による環境負荷削減効果を、本体製品と詰め替え製品の内容物量と販売数量による加重平均値を採用することにより評価することを提案している。

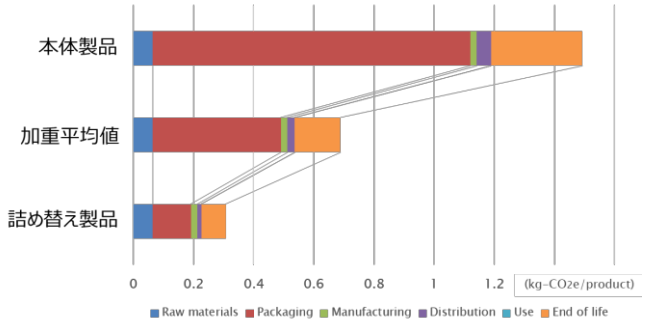


図 3　保湿クリームのカーボンフットプリント

図 3 は、ある保湿クリーム製品のカーボンフットプリントを示したものであるが、もしも詰め替え製品を配置していない場合には、約 1.5 kg-CO_2e の GHG 排出と評価されるが、本ガイダンスが提案する算定方法では、詰め替え製品を配置したことにより約 0.70 kg-CO_2e の GHG 排出と評価できる。

4. まとめ

詰め替え製品の配置は容器包装ないし製品のエコデザインの一例であるにすぎず、リサイクル適正の向上、再生可能素材や生分解素材の採用など、いくつものオプションを取りうる。エコデザインや、社会性の概念まで包含したサステナビリティが消費者から一定の支持を得られる市場では、こうしたエコデザインをグリーンウォッシュにならないように配慮しながら適切に評価し、消費者に対してコミュニケーションしていくことが商品価値の向上にもつながる。

SPICE Initiative は、化粧品に関わるステークホルダーが企業の垣根を乗り越えて、容器包装のエコデザインに関する適切な評価手法の標準化と、エコデザインの推進とを目指したグローバルイニシアチブであり、それにはライフサイクル思考に基づいた評価と設計が重要であることは論を待たない。こうした動きが日本でも拡がるとともに、広く消費者に分かりやすい形でコミュニケーションが図られ、持続可能な社会の構築に貢献することを期待したい。

5. 参考文献

1) The Ocean Conference (2017) Factsheet: Marine pollution <入手先：https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Ocean_Factsheet_Pollution.pdf>
2) 大橋憲司 (2014) 化粧品の環境負荷とその削減の取り組み，廃棄物資源循環学会誌 Vol. 25 (3) pp.186-193

A1-21,P2-031　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

Development of regionalized Life Cycle Impact Assessment method for African Countries

○カーコー セリム*1)、湯 龍龍 2)、伊坪徳宏 1)
Selim Karkour, Tang Longlong, Norihiro Itsubo
1）東京都市大学, 2) NARO, AFFRC
* g1893103@tcu.ac.jp

1. Introduction

African population and economy are expecting to grow at a high pace in the future (UN [1] and PWC [2]). This expansion might cause an important instability on the environment situation on the continent. The AEO-3 report [3] already highlighted several environmental problems including air pollution, water scarcity or land degradation. For Air pollution for example, the WHO estimated that 500,000 deaths occurred in Africa in 2016 due to ambient air pollution.

From the viewpoint of Life Cycle Assessment (LCA), while especially America, Europe and Japan have been well studied so far, either by the several different case studies or by the implantation of country specific Life Cycle Impact Assessment method (LCIA), nothing has been really done in the 54 African countries, the continent is still lacking of LCA networks as well as practitioners.

This research focuses on the first part of our study: Air Pollution. In order to develop the characterization factors expressed in DALY per unit of pollutant, four relevant substances were chosen in accordance with the previous studies: Primary PM2.5, NO_x, SO_2 and NH_3. The increase of concentration of PM2.5 in each country/regions was evaluated following a rise in the emissions of precursor. Later, the latest global health estimates provided by the WHO [4] were used in order to evaluate the possible effects and damages on the African population.

2. Methodology

2.1 Characterization factor

Following the method described in Van Zelm et al (2016) [5], the CF (expressed in DALY per kton) are defined by : a dimensionless intake fraction (IF) which symbolizes the change of concentration of PM2.5 in region j following a change in precursor x (Primary PM2.5, SO_2, NH_3 and NO_x) in region i ; an emission factor (EF) which is the increase number of diseases e (Lung Cancers and Cardiovascular problems) provoked by the change of PM2.5 background concentration ; finally the Damage Factor (DF) is the years of life lost per case of health effect e. To sum up, here is the equation:

$$CF_{PM2.5,x,i} = \sum_j ((\mathrm{IF}_{PM2.5,x,i\to j}) \cdot \sum_e (EF_{e,PM2.5,\mathrm{j}} \cdot \ DF_{e,PM2.5,\mathrm{j}}))$$

2.2 Intake Fraction

The intake fraction can be calculated by multiplying the change in concentration of PM2.5 ($\mathrm{d}C_{PM2.5,j}$) following the change of precursor emission ($dM_{x,i}$) with the population in each country (N_j) and the average breathing rate per person (BR, 4745 m^3 per year):

$$IF_{PM2.5,x,i\to j} = \frac{dC_{PM2.5,j} \cdot N_j \cdot BR}{dM_{x,i}}$$

2.3 Effect Factor

The effect factor can be obtained by dividing the concentration response function (CRF) with the breathing rate as follows:

$$EF_{e,PM2.5,j} = \frac{CRF_{e,PM2.5,j}}{BR}$$

Where the country-specific CRF is determined as:

$$CRF_{e,PM2.5,j} = \frac{(RR_{e,PM2.5} - 1) \cdot \ MR_{e,j}}{(RR_{e,PM2.5} - 1) \cdot \ C_{PM2.5,j} + 1}$$

where $RR_{e,PM2.5}$ is the relative risk to get health effect e due to exposure to PM2.5 (per μg m^{-3}), RR is equal to 1.013 for cardiopulmonary and 1.014 for lung cancer. $MR_{e,j}$ is the mortality rate for health effect e in country j (deaths/person/year) and $C_{PM2.5,j}$ is the yearly average background concentration of PM2.5 in a country (μg/m^3). These two last parameters are obtained from the WHO for each country.

2.4 Damage Factor

The Damage Factor is the years of life lost (YLL) due to the incidence case of health effect e (INC):

$$DF_{e,PM2.5,j} = \frac{dYLL_{e,PM2.5,j}}{dINC_{e,PM2.5,j}}$$

This information is also provided from the world health estimates, year 2016.

3. Results and discussion

3.1 Intake fraction

The intake fraction for the primary PM2.5 provided by the global chemistry transport model TM5 are presented in table 1. Due to the limitation of the simulation, the data can be obtained only for 6 regions/countries in Africa: Northern Africa, Egypt, Western Africa, Eastern Africa, Southern Africa and South Africa. The details concerning the division of each region are provided in the SI.

Northern Africa	1.74E-06
Egypt	6.63E-06
Western Africa	5.46E-07
Eastern Africa	3.23E-07
Southern Africa	1.42E-07
South Africa	7.44E-07

Table 1 Intake fraction for Primary PM2.5 (-)

3.2 Effect and Damage Factor

For the first time concerning Africa, the factors were calculated at a country level contrary to Van Zelm et. (2016) and Tang et al. (2016). Only the relative risk does not change depending on the location. In the data from the WHO, diseases with the GHE code 680 (Trachea, bronchus, lung cancers), 1130 (Ischemic heart disease), 1140 (Stroke) and 1170 (Respiratory diseases) were included in this study (only the damage on the population over 30 years old was taken into account). We can of course discuss of the reliability of the WHO data, knowing the lack of government body practicing active disease monitoring on the continent. However as far as the authors know, these are the only data available concerning Africa.

3.3 Characterization factors

The results are presented in the Fig. 1, knowing the limitation of this research summary format, only the data for Primary PM2.5 are introduced (this substance having the highest impact). The CF for the other substances (NO_x, NH_3, SO_2) are presented in the SI. The results were found to be the highest in Egypt (1683 DALY/kton) and particularly low in Eastern, Central and Southern Africa (between 10 and 150 DALY/kton). The higher results can be explained by the fact that the Primary PM2.5 does not have an important dispersion. The population in Egypt for example is the 3rd highest in Africa (nearly 95 million) what's more being mostly concentrated around the Nile river, the impact will be more important than in some other countries such as RD Congo where even if the number of people is high (100 million), the density of the population is much lower (about 30 inh/km^2). Among the parameters which are influencing the results, we can see that the intake fraction plays an important part, the higher the intake fraction is, the higher will be the characterization factors. This parameter being provided at a regional level, we can doubt about its reliability, the results might be underestimated in Western Africa for example, where there are some disparities between each country population densities. We could expect that Nigeria having the highest population in Africa (190 million) as well as a high urbanization rate, the results should be higher.

Concerning the EF and the DF, the results obtained are skeptically low for some countries (ex: Kenya). The missing data in the WHO study might be the source.

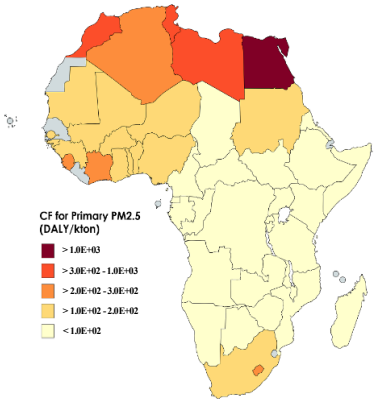


Fig.1 Characterization factors due to Primary PM2.5

4. Conclusion

For the first time, the air pollution characterization factors for 54 African countries were determined. In the case of primary PM2.5 it was shown that the results are higher in the upper part of Africa, center Africa showed the lowest. The results can still be questioned, some countries such as Nigeria shows very low results. In the future, it would be probably needed to perform the simulation with not only six African regions but a higher resolution to improve the reliability of the intake fraction. Concerning the other impact categories, specific African-based models for water and land use still need to be developed.

5. References

1) United Nations, "World Population Prospects", (2017)
2) PWC, "The World in 2050", (2017)
3) UNEP, "Africa Environment Outlook 3", (2013)
4) WHO: "Global Health Estimates", (Online), <https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/en/>
5) Van Zelm et al. : Atmospheric Environment, 134, (2016), pp129-137

SI

Northern Africa	1.72E-07
Egypt	2.34E-06
Western Africa	3.60E-08
Eastern Africa	2.06E-08
Southern Africa	1.04E-08
South Africa	1.31E-07

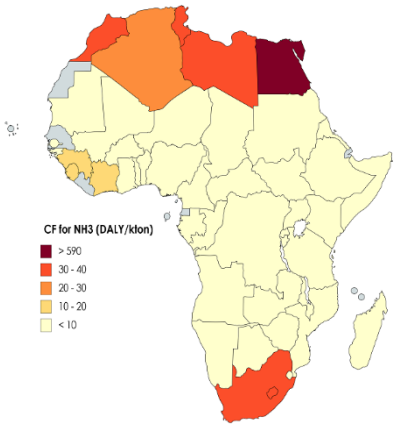
SI. 1 Intake fraction for NH3 (-)

Northern Africa	9.32E-08
Egypt	6.09E-08
Western Africa	8.10E-09
Eastern Africa	6.51E-09
Southern Africa	1.94E-09
South Africa	5.08E-09

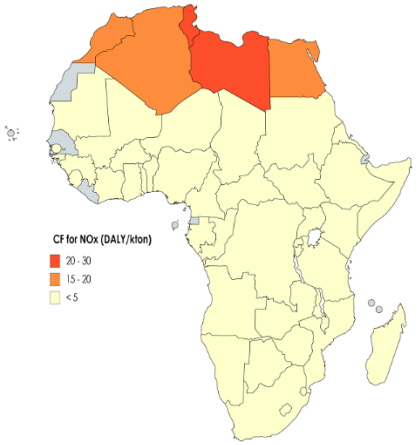
SI. 2 Intake fraction for NOx (-)

Northern Africa	4.19E-07
Egypt	4.65E-07
Western Africa	2.11E-07
Eastern Africa	2.47E-07
Southern Africa	1.05E-07
South Africa	1.09E-07

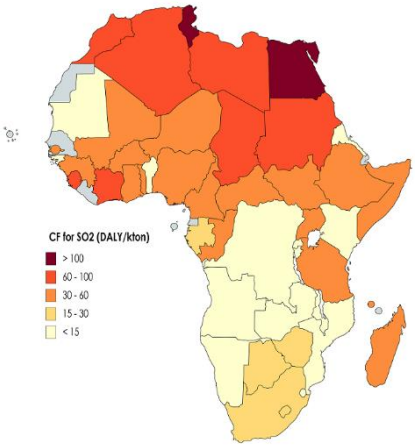
SI. 3 Intake fraction for SO_2 (-)



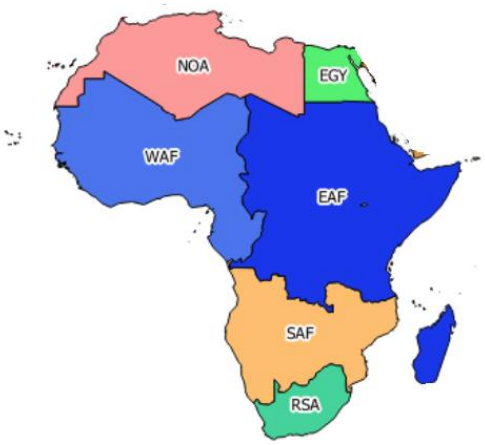
SI. 4 Characterization factors due to NH_3



SI. 5 Characterization factors due to NOx



SI. 6 Characterization factors due to SO_2



Northern Africa	NOA
Egypt	EGY
Western Africa	WAF
Eastern Africa	EAF
Southern Africa	SAF
South Africa	RSA

SI. 7 Region definition of TM5 model

DEA-データ包絡分析-による中国石炭火力発電所の効率性分析

A Data Envelopment Analysis of the Efficiency of China's Thermal Power Plants

○吉澤　知晃*[1)]・高藪　広隆[2)]・加河　茂美[3)]・Chen Lin[4)]

Tomoaki Yoshizawa, Hirotaka Takayabu, Shigemi kagawa, Lin Chen

1)九州大学, 2) Renmin University of China

* 1EC1515150N@s.kyushu-u.ac.jp

1. 研究背景

1978 年の改革開放以降、中国経済は実に順調な成長を見せてきた。今やその名目 GDP（2016 年）は、米国に続く世界第 2 位の約 11 兆 2 千億ドルとなり、世界総 GDP のおよそ 15%を占める[1)]。そして、このような急速な経済成長は、同時に大量の CO_2 排出を引き起こした。現在、中国の総 CO_2 排出量は約 91 億トン。これは世界全体のエネルギー起源 CO_2 のおよそ 3 割に当たる[2)]。この大量の CO_2 排出の要因の一つが、石炭火力発電への極端な依存である。実際に、中国のエネルギー起源総 CO_2 排出量のうち、約 40%は石炭火力発電部門由来のもの[3)]で、その環境問題への寄与の大きさがうかがえる。発電所内での、低効率なエネルギー消費を伴う電力生産が、大量の CO_2 排出という結果を生み出しているのである。このことから、現在、中国国内の石炭火力発電所の発電効率を向上させ、よりクリーンな発電を行うことが急務となっており、そのためにもまず、発電所の技術効率を適切に評価することが重要となっている。そこで本研究は、DEA（データ包絡分析）を用い、中国国内に存在する石炭火力発電所 546 基の発電効率性の評価を、プラントレベルで行い、その中でベンチマークとなりうる石炭火力発電所の把握を行うことを目的とする。

2. 既存研究

DEA（データ包絡分析）を用い、中国の石炭火力発電を対象とし、その発電効率性を評価する研究は、これまでにもいくつか行われてきた。例えば、Lam and Shiu, 2001[4)]では、DEA（VRS モデル）と回帰分析の 2 ステージモデルを用い、1995 年と 1996 年の中国国内 30 省の火力発電所の技術効率性を省別に分析。東沿岸部及び石炭の主要生産地である地域では発電所の技術効率性が高いこと、また、労働力の余剰が重大な問題であることを明らかにした。また、Liu et al, 2010[5)]では、DEA（CRS/VRS モデル）を用い、2004～2006 年の台湾における 12 基の火力発電所の発電効率性を分析。主要な 12 の発電所の技術効率性は比較的高水準であり、その中でも特に CHP の発電所は高い技術効率性を持つことを示した。このように DEA を用いた発電所の効率性分析はいくつか存在するが、中国の石炭火力発電に関する研究は、そのデータの入手が困難であるという制約もあって、未だ不十分だと言える。また、プラントレベルの詳細なデータを用い、同様の分析を行っている既存研究は、ほとんど存在しないのが現状である。

3. 研究手法・データ

本研究では、中国国内の石炭火力発電所の効率性を計るため、DEA（データ包絡分析）を用いる。DEA とは、企業や公的機関などのあらゆる意思決定主体（Decision Making Unit：DMU）の活動における効率性を、相対的に評価するための線形計画法における手法の一つである。1978 年に、Charnes et al.[6)]によって最初の DEA モデルであり、規模に関する収穫一定を仮定した CRS（Constant Returns to the Scale）モデルが、続く 1984 年には、Banker et al.[7)]によって規模に関する収穫可変を仮定した、VRS（Variable Returns to the Scale）モデルが提案され、それ以降、主にこの 2 つのモデルを中心に、DEA は様々な分野でその意思決定主体の効率性評価に適用されてきた。本研究では、その実証性の高さから、VRS（Variable returns to scale）モデルを採用。投入項目としては、各発電所の「生産設備キャパシティ」、「年稼働時間」、「石炭消費量」「所内消費電力」の 4 項目を、産出項目としては、「電力生産量」の 1 項目を設定した。また、現在の中国における電力供給過多の現状から、出力を一定レベルに保ったまま入力を最小化する、入力指向型モデルを採用した。さらに、本モデルは、従来の基本的な DEA モデルとは異なり、発電所の純粋なエネルギー消費の非効率性を評価するという狙いから、非エネルギー投入項目は、その値を固定したまま、エネルギー投入項目である「石炭消費量」の値のみを削減することを指向する、ノンラディアルな DEA モデルとなっている。モデルは以下のように定式化できる。

$$min.\ \theta_o$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^{J} \lambda_j x_{kj}^{E} \le \theta x_{ko}^{E}, \quad k = 1,2,\dots,K$$

$$\sum_{j=1}^{J} \lambda_j x_{lj}^N \le x_{lo}^N, \qquad l = 1,2,\dots,L$$

$$\sum_{J=1}^{J} \lambda_j \, y_{mj} \ge y_{mo} \qquad m = 1,2,\dots,M$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \ge 0, \qquad j = 1,2,\dots,J \qquad (1)$$

ここで、評価を行う DMU（発電所）を DMUo と表すと、x_{ko}^E と x_{lo}^N はそれぞれ、DMUo の k 番目のエネルギー投入（石炭消費量）と DMUo の l 番目の非エネルギー投入（設備キャパシティ・年稼働時間・所内消費電力）を指す。y_{mo} は DMUo の m 番目の出力（電力生産量）である。また、λ_j は未知のウェイトであり、$j = 1,2,\dots,J$ は DMU の番号に対応している。そして K、L、M はそれぞれ、エネルギー・非エネルギー入力および出力項目の数を表している。分析年次は 2011 年。評価する DMU（発電所）の数は、中国国内 27 省の石炭火力発電所、計 546 基となっている [8]。

4. 結果

まず、DEA による発電効率性分析の結果を、全体的、そしてエリア別に見ていく。図 1 は、石炭火力発電所 546 基の相対的な発電効率値の結果を、エリア別にヒストグラムで示したものである。これからは、各 3 つのエリアともに、その多くの DMU（発電所）が、効率値 0～0.2 の間の値をとっていることがわかり、加えて、全体の平均発電効率値もわずか 0.18 であったことも踏まえると、中国国内の石炭火力発電所の発電効率性が、全体的に非常に低水準であること。また、国内の発電所間で、非常に激しい発電効率性の格差が存在していることがわかる。さらに、エリアごとの平均発電効率値をみると、EAST エリアと CENTRAL エリアのそれがそれぞれ 0.22、0.18 であるのに対し、WEST エリアではわずか 0.09 であった。これから、EAST エリア・CENTRAL エリアの発電所は、WEST エリアに比べ、比較的発電効率が高いことがわかる。次に、DEA による発電効率性分析の結果を、発電所別に見る。表 1 は、最も発電効率の高かった 24 基の DMU（発電所）を示している。この表からもすべての効率的な発電所は EAST 及び CENTRAL エリアに存在することがわかる。

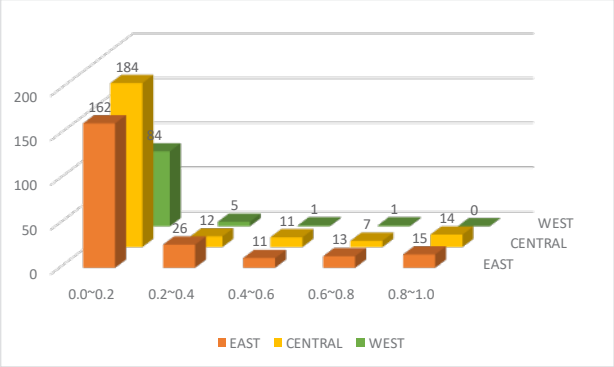


図 1. エリア別ヒストグラム

Province	Area	Name	Coal Consumption (Kt)	Capacity (MW)	Annual Utilization Hours (hr)	Erectricity Used(TWh)	Electricity Production (TWh)	θ (VRS)
Hebei	East	河北邯郸黑猫炭黑有限责任公司电厂	1675	30	5770	205.63	3807.9	1.00
Shanxi	Central	山西静乐电厂	1	12	68	0.10	0.8	1.00
Shanxi	Central	山西曲沃福利电厂	1	6	4080	1.69	12.2	1.00
Inner Mongolia	Central	内蒙古大唐托克托发电公司	15653	4800	6147	1268.74	29505.7	1.00
Inner Mongolia	Central	内蒙古乌尔旗汉五九煤矿电厂	41	6	5923	4.19	35.5	1.00
Liaoning	East	辽宁五矿营口中板公司电厂	4	42	4435	13.41	186.3	1.00
Liaoning	East	辽宁营口鞍钢鲅鱼圈发电厂	46	150	8139	46.39	1220.9	1.00
Heilongjiang	Central	黑龙江哈尔滨飞机工业有限责任公司燃煤	13	6	3722	3.35	22.3	1.00
Jiangsu	East	华能南京金陵发电有限责任公司(煤机)	2688	1000	6366	461.05	11526.3	1.00
Jiangsu	East	江阴利港发电股份公司	3619	1260	6155	648.75	13803.1	1.00
Zhejiang	East	浙江国电北仑第三发电有限公司	4896	2000	6435	424.68	12869.2	1.00
Zhejiang	East	浙江华能玉环电厂	10841	4000	6692	1151.04	26768.3	1.00
Zhejiang	East	浙江兰溪协鑫环保热电有限公司	21	21	4122	2.16	86.6	1.00
Zhejiang	East	浙江宁波正源电力公司	20	38	1250	0.98	46.9	1.00
Anhui	Central	安徽滁州电厂	9	39	451	0.35	17.6	1.00
Fujian	East	福建华阳后石电厂	9608	4200	5721	1441.68	24027.9	1.00
Shandong	East	山东东阿金华电厂	30	6	8339	5.00	50.0	1.00
Hennan	Central	河南华阳电厂二期	1181	1320	5154	265.30	6802.7	1.00
Hunan	Central	湖南白沙电力公司白沙厂	5	12	2970	10.45	95.0	1.00
Hunan	Central	湖南大唐株洲电厂	183	620	6424	254.92	3983.2	1.00
Hunan	Central	湖南华电长沙发电有限公司	272	1300	5728	350.66	7305.4	1.00
Hunan	Central	湖南华能岳阳发电有限责任公司	491	1925	5576	592.58	10973.6	1.00
Hunan	Central	湖南华润电力鳌鱼江有限公司	240	600	6960	254.75	4176.3	1.00
Hunan	Central	湖南华润电力有限公司	258	1300	5372	432.99	6983.8	1.00

表 1. 効率的 24 DMUs（発電所）

5. 参考文献

1) Statistics Japan; http://www.stat.go.jp/data/sekai/0116.html
2) IEA, Coal Information: Overview (2017 edition)
3) Yuli Shan, Dabo Guan, Heran Zheng, Jiamin Ou, Yuan Li, Jing Meng, Zhifu Mi, Zhu Liu, and Qiang Zhang, 2018. China CO2 emission accounts 1997–2015.
4) Pun-Lee Lam and Alice Shiu. A data envelopment analysis of the efficiency of China's thermal power generation. Utilities Policy 10 (2001), p.75–83.
5) C.H. Liu, Sue J. Lin, and Charles Lewis. 2010. Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis. Energy Policy 38, 1049–1058.
6) Charnes, A., et al., 1978. Measuring efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research 2, 429–444.
7) Banker, R.D., et al., 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science 30, 1078–1092.
8) China Electricity Council, 2014 Power Industry Statistics (2015)

オーストリアにおける過去四半世紀にわたる都市ごみ管理フローの変遷

Shift of Municipal Waste Management Flow over the Past Quarter Century in Austria

○稲葉陸太*[1)]、田崎智宏 [1)]、久保田利恵子 [1)]、Oliver Cencic[2)]、Helmut Rechberger[2)]
Rokuta Inaba, Tomohiro Tasaki, Rieko Kubota, Oliver Cencic, Helmut Rechberger
1）国立環境研究所, 2) Technische Universität Wien,
* inaba.rokuta@ nies.go.jp

1. はじめに

欧州連合（EU）では、2015 年に Circular Economy（CE）が提唱されて以来、その行動計画に基づいて廃棄物の有効利用のための努力が進められており、その基本概念の一つとして Waste hierarchy（WH）が設定されている。EU では、CE の提唱以前から Waste to Energy（WtE）が進展していたが、WH における WtE の優先順位は低く設定されている。しかし、資源としての廃棄物の質が低い場合、またはリサイクルのためのエネルギー消費が高い場合、WtE は廃棄物処理の有効な手段となりえる。CE の取り組みをより効果的なものとするためには、エネルギー消費、コスト、CO_2 排出量などの観点から WtE を適切に位置付けることが必要である。ここで、オーストリアは EU 諸国の中で最高水準のリサイクル率を示すと同時に、WtE にも積極的でエネルギー効率でも高い水準を実現している。

本研究では、同国における廃棄物の有効利用が高水準である理由を探るべく、都市ごみ管理システムに注目して 1990 年から 2015 年のデータを収集し、フローの変化を明らかにした。具体的には、同国の連邦廃棄物管理計画から都市ごみ管理システム（フローとプロセスで構成）のデータを抽出した。次に、比較の一貫性を保つために、フローやプロセスの名称と連関を各年期で統一したものとなるように調整した。このようにして、25 年間にわたる同システムの変化を分析した。

2. 手法

まず、1999 年から 2015 年までにかけてのオーストリア連邦廃棄物管理計画（FWMP）をウェブサイトから取得した。その後、連邦持続可能性・観光省の担当者に直接問い合わせて、ウェブサイトに掲載されていない年期の FWMP も入手した。次に、FWMP に示されている都市ごみ管理システムの図からフローとプロセスの名称と値を抽出した。なお、同図におけるフローとプロセスの名称と連関は、計画の年期によって相違がある。それらの情報をふまえて、すべての年期に共通する都市ごみ処理システムのモデル構築を試みた。FWMP には英語版とドイツ語版があるが、同システムの各名称は英語で統一した。このような作業をふまえて、各年期のシステムは各フローの量や連関の変化、および各フローやプロセスの有無で表した。なお、FWMP で提示されている図では、一部のフローに値が表示されてない。また、焼却からの排ガスのようないくつかのフローの値も示されていない。そこで、これらの不明なフローをふくめてシステム全体で整合した物質フロー量を推定するために、MFA のソフトウェアである STAN[1)]を適用した。同ソフトは stan2web.net から無料で入手できるものである。

3. 結果と考察

オーストリア政府のウェブサイトからは 1999 年、2004 年、2009 年および 2015 年の廃棄物管理システムの情報を示した FWMP[2-7)]を、持続可能性・観光省の担当者からは 1990 年、1993 年、1996 年の同情報を示した FWMP[8-10)]を入手した。このように、断続的ではあるが四半世紀にわたる情報を入手したことになる。

このように収集された情報を全ての年期に対して一貫して評価するために、プロセスとフローの名前を統一し、必要に応じてフローの連関を調整したモデルを構築した。次に、上記モデルの各年期におけるシステムのフローとプロセスが STAN によって出力された。例として、図 2 に 2015 年のシステムの状況を示す。また、廃棄物発生量に対する、25 年間の選別処理（Sorting）、リサイクル（Recycling）、熱処理（Thermal T）、および埋立処分（Landfilling）の割合の変化を図 1 に示す。同図において、データを抽出した各処理は同一断面ではないため（例：選別の後に熱処理を実施、熱処理の後に埋立を実施）、割合の合計は 100%とはならない。

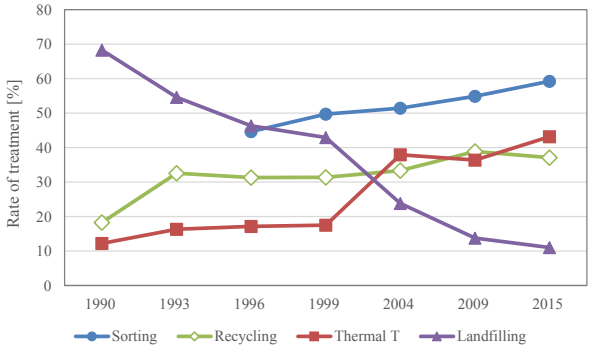


図 1 都市ごみ処理手法の変化（発生量に対する割合）

オーストリアで発生する都市ごみは年々増加しているが、分別収集された廃棄物の割合が着実に増加していることも明らかになった。図 1 に示すように、リサイクルの割合は何年もの間増加した後、2010 年ごろには増加しなくなった。熱処理の割合は着実に増加しており、エネルギー利用率も増加していることが予想される。埋め立て割合は確実に減少した。廃棄物管理システムの構造に関しては、選別プロセスが増加し、および高カロリー成分が選別された後の熱処理速度も増加するなどの変化がみられた。また、選別処理の割合も年々増加しており、リサイクルと熱処理の割合との相関は高い。

4. おわりに

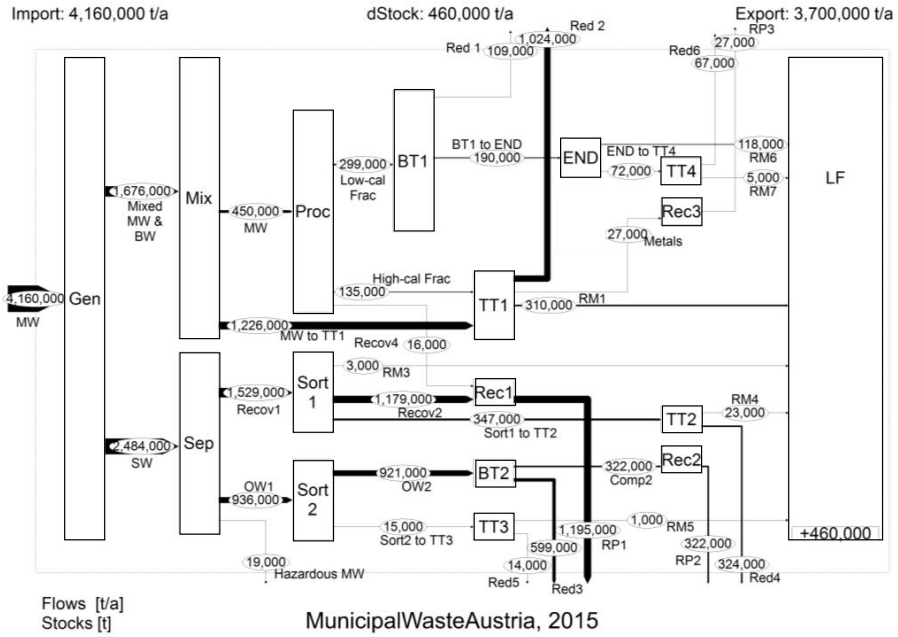
オーストリアの都市ごみ管理を過去四半世紀にわたって分析した結果、発生量は年々増加しており、処理方法としてはリサイクルおよび熱処理ともに割合が増加した。これらは選別処理の割合の増加とも高い相関がみられた。選別処理は量的な割合だけでなく、段階も増加している。このようなことから、選別処理の充実が廃棄物の質に応じた有効利用を促進し、その割合を高めている可能性が示された。

謝辞

連邦廃棄物管理計画（FWMP）の入手にあたっては、オーストリア連邦持続可能性・観光省の Hubert Grech 氏から多大なご協力をいただいた。ここで感謝の意を表する。

引用文献

1) Cencic, O., and Rechberger, H.: J. Environ. Eng. Mgmt., 18 (1), (2008), pp. 3-7
2) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft: “Bundes- Abfallwirtschaftplan 2001 “ (German), (2001)
3) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft: “Bundes- Abfallwirtschaftplan 2006 “(German), (2006)
4) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft: “Bundes- Abfallwirtschaftplan 2011 “(German), (2011)
5) Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management: “Federal Waste Management Plan 2011”, (2011)
6) Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus: “Bundes-Abfallwirtschaftplan 2017” (German), (2017)
7) Federal Ministry Sustainability and Tourism: “Federal Waste Management Plan 2017”, (2017)
8) Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie: “Bundes-Abfallwirtschaftplan 1992” (German), (1992)
9) Federal Ministry of the Environment: “Federal Waste Management Plan 1995”, (1995)
10) Federal Ministry of Environment, Youth and Family Affairs: “Federal Waste Management Plan 1998”, (1998)



Gen: generation, Mix: mixed collection, Sep: separated collection, Proc: processing, Sort: sorting, BT: biological treatment, TT: thermal treatment, Rec: recycling, END: end screening, Sum: summation, LF: landfilling, MW: municipal waste, BW: bulky waste, SW: separated waste, Recov: recoverables, OW: organic waste, cal: calorific, Frac: fraction, RM: residual materials, Comp: compost, RP: recycled products, Red: reduction

図 2 オーストリアの都市ごみ管理システム（2015 年）

バランス・スコアカードを活用した SDGs マネジメントシステムに関する研究

A Study on the SDGs Management System Using Balanced Scorecard

○金藤正直*1)

Masanao Kanetoh

1）法政大学

* kanetoh@hosei.ac.jp

1．日本企業の SDGs マネジメントへの現状分析

国連サミットで 2015 年 9 月に採択された持続可能な開発目標（SDGs）では、先進国を含む国際社会全体の開発目標として、2030 年を期限とする包括的な 17 の目標、169 のターゲット、232 の指標が設定されている。SDGs を達成するためには、国だけではなく、自治体、企業、NPO なども連携することが必要とされているが[1]、まずは、個々の組織で何ができるか、また、何をすべきかを明らかにすべきである。

そこで、本研究では、SDGs 達成に向けて、従来の経営戦略との統合とその実行への積極的な対応が求められている企業を対象とし、SDGs を加味したサステナビリティ経営戦略の策定とその実行（SDGs マネジメント）を、有効的かつ効率的に展開していくための方法について検討する。

日本において、企業における SDGs マネジメントの現状については、一般財団法人日本経済団体連合会（経団連）（2018）の『企業行動憲章に関するアンケート調査結果』の中で、以下の①～③のように、いまだ組織内の理解・浸透が十分とはいえないことが理解できる[2]。

①持続可能な社会の実現を、「経営理念」、「企業行動に関する規範・指針」に反映しているとの回答が 8 割で、「経営戦略」や「中長期経営計画」は 6 割前後となっている。さらなる進展のためには、理念を経営戦略や経営計画に落とし込む必要がある。

②SDGs の社内への理解・浸透に関して行っている取り組みは、CSR 部門や経営トップからの情報発信が、「経営層を対象とした勉強会」や「社員を対象とした研修」に先行している。SDGs を取り組む上での課題として、社内への理解・浸透を挙げる企業が最も多く、全社的な取り組みをするためには、ベスト・プラクティスの共有などが求められる。

③SDGs を活用して既に実施している取り組みについては、SDGs の経営への統合を第 1 段階とされる「事業活動を SDGs の各目標にマッピング」でも 35%となっている。

また、日本企業の SDGs マネジメントに関する先行研究については、SDG Compass[3] の内容も加味した竹原・金藤・八木（2016）[4] や八木（2017）[5] がある。これらの研究のうち、前者の研究では、企業が、SDGs を加味したサステナビリティ経営戦略と、この戦略を有効的かつ効率的に実行していくためのツール・ガイドラインをもとにしたサステナビリティ・マネジメント・コントロール（SMC）との関係とその仕組みを提示している（図 1）。また、この研究では、サステナビリティ経営戦略の策定とその実行のための SMC を支援するツールとしては、バランス・スコアカード（BSC）・戦略マップを位置付けている。SDGs マネジメントと BSC・戦略マップとの図 1 のような関係やその重要性については、先述の八木（2017）の研究にも触れられている。

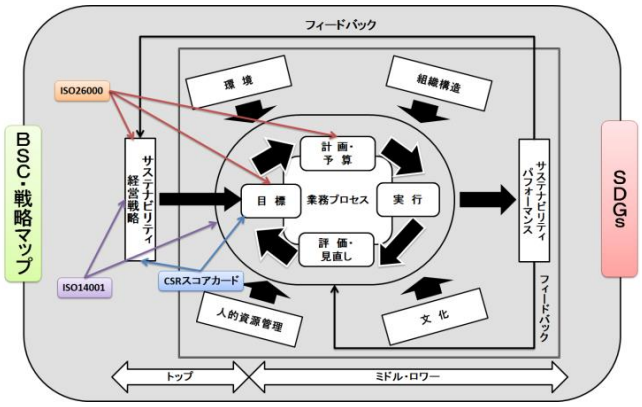


図 1　サステナビリティ経営戦略と SMC

日本企業におけるこうした SDGs の現状や、先行研究を踏まえ、本研究では、図 1 をもとにした BSC・戦略マップを活用した SDGs マネジメントシステムモデルを検討する。

2．BSC の概要と適用可能性

BSC とは、企業や自治体などの組織が、ビジョンと戦略を策定し，それを有効的かつ効率的に実行して経営の品質向上に繋げていくために、まず、SWOT 分析をもとに事業化のためのビジョンと戦略を設定し、それを実現していくための 4 つの視点（財務、顧客、業務プロセス、人材と変革）とともに、各視点に 5 つの項目（戦略目標、重要成功要因、業績評価指標、ターゲット、アクション・プラン）を設定し、これらをバランスさせながら、組織全体に業績評価とその実行、そして、評価結果の分析・報告を促していくためのマネジメントシステムとして機能する（図 2）。

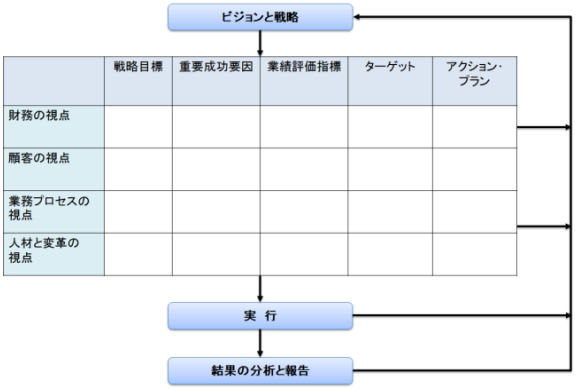


図 2　BSC の基本モデル

SDG Compass を加味しつつ、SDGs マネジメントを BSC を活用し、組織内で理解や浸透させていくためには、サステナビリティ・サプライチェーン（またはバリューチェーン）を考慮に入れた BSC、つまり、図 3 のような戦略マップをもとにしたサステナビリティ・サプライチェーン・バランス・スコアカード（SSBSC）の展開が必要不可欠となる [6]。

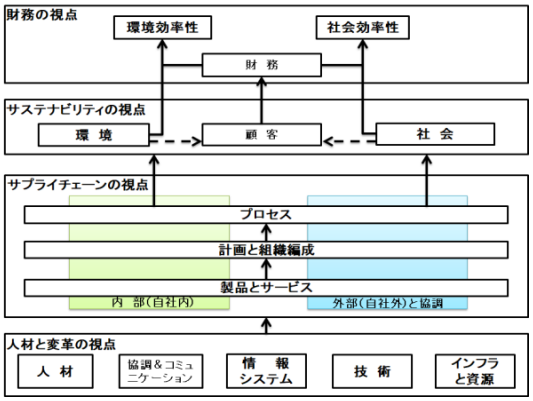


図 3　SSBSC の概念図

3．BSC を用いた SDGs マネジメントへの導入・実践方法

企業で BSC を用いた SDGs マネジメントを導入し、組織内への理解や浸透を実践していくためには、SDG コンパスとその 5 つのステップ（①SDGs を理解する⇒②優先課題を決定する⇒③目標を設定する⇒④経営へ統合する⇒⑤報告とコミュニケーションを行う）を活かすことが必要である。しかし、一般社団法人グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパン（GCNJ）と公益財団法人地球環境戦略研究機関（IGES）（2018）による『未来につなげる SDGs とビジネス～日本における企業の取組み現場から～』の調査の中で、ステップ 1 とステップ 2 にとどまる企業が全体の 70%以上あり、まだ本業での SDGs 実施を模索している企業も多い [7]、という結果が示されている。そこで、BSC を図 3 の SSBSC のように改良し、それを有効的に活用することにより、ステップ 1 から 5 を以下のように導入し、実践させることができる。

①ステップ 1 ：「財務の視点」を中心として、SDGs に取組みことにより、経済だけでなく、環境・社会のパフォーマンスを向上できることや、自社の責任を明確にする。

②ステップ 2 ：「サプライチェーンの視点」を中心に、他の 3 つの視点とも関係させながら、バリューチェーンにおけるマッピングや影響領域を特定化する。また、SSBSC の 4 つの視点における 5 つの項目をもとに指標の選択とデータの収集を行うことにより、優先課題も明確にする。

③ステップ 3 ：ステップ 2 で選択した指標と収集したデータを用いて、同じステップ 2 で決定した優先課題をもとに目標の範囲・タイプとこれらに関する KPI（Key Performance Indicator）を検討し、設定する。

④ステップ 4 ：ステップ 3 で設定した全社レベルの目標と KPI を、バリューチェーンに関わる組織に情報提供し、SDGs マネジメントの理解や浸透を促す。

⑤ステップ 5 ：SSBSC の 4 つの視点をもとに実行された取組みとその結果を分析するとともに、分析結果をサステナビリティ報告書や統合報告書などを用いて、バリューチェーンに関わる組織やそれ以外の組織に報告する。

4．研究成果と今後の課題

本研究では、BSC を活用し、日本企業に SDG compass をもとにした SDGs マネジメントシステムを展開していくための方法を理論的に提示した。各企業にこの方法を導入することにより、SDGs マネジメントシステムが展開できると考えられるが、このシステムの運営・管理主体はどのような部署が適当なのか、また、このシステムの有効性については、実際に企業への社会実装などによる検証が必要とされる。これらについては、今後の検討課題とする。

謝辞：本研究の成果は、科学研究費補助金 基盤研究（C）研究課題番号（15K03788）の一部である。

引用文献

1）自治体 SDGs ガイドライン検討委員会，“私たちのまちにとっての SDGs（持続可能な開発目標）－導入のためのガイドライン－2018 年 3 月版”，(2018)，pp.1-96
2）一般財団法人日本経済団体連合会，“企業行動憲章に関するアンケート調査結果調査”，(2018)，pp.12-14
3）GRI，UNGC，WBCSD，“SDG Compass The guide for business action on the SDGs，(2016)，pp.1-30
4）竹原正篤，金藤正直，八木裕之：横浜経営研究，37(2)，(2016)，pp.29-45
5）八木裕之：會計，192(5)，(2017)，pp.14-27
6）Cetinkaya, B.,Cuthbertson, R., Ewer, G., Klaas-Wissing, T., Piotrowicz, W., Tyssen, C.,“Sustainable Supply Chain Management Practical Ideas for Moving Towards Best Practice”, Springer,（2011），p.45
7）GCNJ，IGES，“未来につなげる SDGs とビジネス～日本における企業の取組み現場から～”，(2018)，pp.5-6

B1-22

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

素材産業による持続可能な開発目標の捉え方に関する現状分析

Current Situation of Material Industry's Consciousness of the Sustainable Development Goals

○畑山博樹*[1)]、醍醐市朗[2)]、田原聖隆[1)]

Hiroki Hatayama, Ichiro Daigo, Kiyotaka Tahara

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

持続可能な開発目標（SDGs: Sustainable Development Goals）は、環境、経済、社会の各側面において各国政府だけでなく企業をはじめとしたあらゆる組織や個人が取り組むべき課題を示している。特に企業にとっては、SDGs への貢献が責任投資原則の新たな規範の 1 つとなりつつある中で、企業活動が各 Goal の達成とどのように結びついているかを自己分析し、社会にアピールする必要性が高まっている。

しかしながら、企業活動の SDGs への貢献を環境報告書等を通して説明できているのは大企業に限っても半数以下にとどまり、特に BtoB 事業である石油・ガス産業や材料産業でその割合が低い[1)]。企業のビジネスサプライチェーンと SDGs との関りの分析は、持続可能な社会に向けた企業の取組を後押しすると同時に、LCA における新たな影響評価への発展にもつながると期待される。そこで本研究では、鉄鋼業を対象として産業界の SDGs への貢献に関する捉え方の分析をおこなった。

2. 研究手法

本研究では、世界の鉄鋼生産量上位 50 社、粗鋼生産量上位 10 か国の鉄鋼連盟、世界鉄鋼連盟の計 61 組織を対象とした分析を行った。まず、これらの組織のウェブサイトや環境報告書、サステナビリティレポートを閲覧し、事業活動と SDGs の関連性に関する記述の有無を調査した。調査は、2018 年 12 月時点で公開されている情報を対象とした。

大部分の組織が SDGs への具体的な貢献に言及できていない一方で、一部の組織はそれぞれの事業活動（活動実績だけでなく、方針や行動規範を含む）が 17 の Goal のうちのどれと関連深いか、あるいは各 Goal に関連してどのような事業活動をおこなっているかを報告している。例えば世界鉄鋼連盟は、持続可能な社会に向けた 7 つの行動方針と共に、それらがどの SDGs に直接的・間接的に貢献することになるかを図 1 のように示している。本研究では、より多くの事業活動と結び付けられている Goal は、その組織が貢献する機会が多いと認識していると仮定した。そして、各組織が事業活動に関連付けているそれぞれの Goal への言及回数を整理することで、鉄鋼業の SDGs に対する現状認識を分析した。

3. 結果と考察

事業活動と個別の Goals の関連性に関する記述は、61 組織中 11 組織であった。各 Goal への言及回数を表 1 に示す。

組織ごとに言及回数を見た場合、その合計は Goal と結び付ける事業活動の規模によって大きく異なる。世界鉄鋼連盟や日本の鉄鋼メーカーがすべての Goal に言及している一方で、Erdemir や SSAB のように重点項目を絞って言及する組織も存在していた。全体で

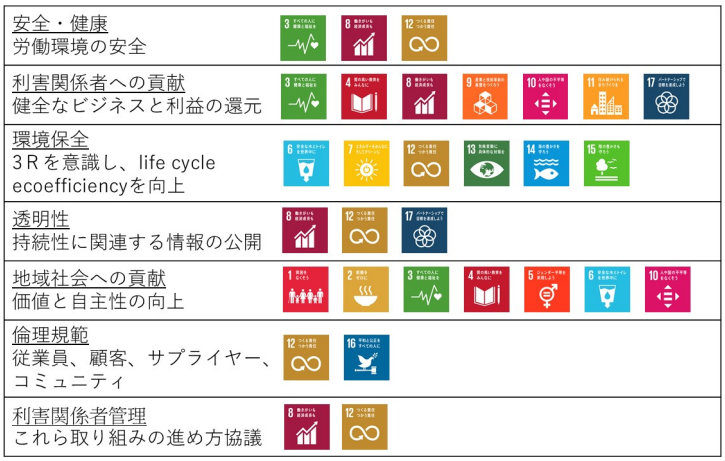


図 1　事業活動と SDGs の関連性の記述
（世界鉄鋼連盟資料[2)]を基に著者作成）

表 1　17 の Goal への組織別言及回数

Goal #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
WorldSteel	1	1	3	2	1	2	1	4	1	2	1	5	1	1	1	1	2
ArcelorMittal			2			1	1	3	4		3	6	1		1		1
NSSMC	3	3	3	3	4	5	4	5	5	4	4	4	4	5	3	5	4
JFE	1	1	3	4	3	1	4	3	6	5	2	8	3	2	2	3	1
POSCO				7		3	4	4			4	3	2	2		2	3
Tata Steel	1	1	2	1	1				1				1				
Hyundai	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1			1	
JSW			2		1	3	1	1	2	1		4	1				
CSC			1	3	2	1	3	5	3		2	5	2		1	1	1
Erdemir						1	1	1	1			1	1		1		
SSAB					1		1		1			1	1			1	1

SDGsに言及している媒体：

WorldSteel	World Steel Association: Policy and indicators 2016
ArcelorMittal	ArcelorMittal: 企業ウェブサイト
NSSMC	新日鐵住金株式会社：環境・社会報告書2018
JFE	JFEグループ：CSR報告書2018
POSCO	POSCO：POSCO Report 2017
Tata Steel	TATA Sustainability Group: The TATA Group and the SDGs
Hyundai	Hyundai Steel: Hyundai Steel Integrated Report 2017
JSW	JSW Steel; JSW Steel Sustainability Report 2017-2018
CSC	CHINASTEEL: 2016 Corporate Sustainability Report
Erdemir	OYAK Mining Metallurgy Group: 2017 Sustainability Report
SSAB	SSAB: Annual Report 2017

みると、Goal 7「持続的なエネルギーアクセス」、Goal 8「包摂的で持続可能な経済成長、雇用」、Goal 9「強靭なインフラ、工業化・イノベーション」、Goal 12「持続可能な消費と生産」といった、先進国内での事業活動と結びつけやすい Goal については、従来の企業理念の延長として言及されている回数が多い。一方で、主に途上国で社会問題となっている課題の解決については、自らの活動との関連を強く示せていない。Goal 3「健康、福祉」、Goal 4「教育」については、企業オフィスでの取組を挙げる事で一定の言及回数があるが、途上国での貧困や飢餓といった課題（Goal 1、Goal 2）への貢献は特に言及回数が少なかった。

また、地球環境問題の中でも Goal 13「気候変動」に関しては多くの言及回数が見られたが、それ以外の Goal 14「水域生態系」、Goal 15「陸域生態系」については、関連性を示すのに苦慮している様子が明らかになった。

全業種を対象とした調査では、Goal 3、Goal 8、Goal 13 は企業からの注目度が高く、Goal 2、Goal 14、Goal 15 は低いとされており [1]、鉄鋼業を対象とした今回の結果も他業種と同様の傾向を示していることが明らかになった。一方で今回の分析では、Goal 14 への貢献として「鉄鋼スラグを活用した海域環境改善の推進（NSSMC）」が示されるなど、鉄鋼業独自の貢献の在り方も抽出された。このような特徴の抽出は SDGs への貢献を示したい産業界にとって有益な情報と考えられるため、非鉄金属や非金属素材に対しての同様の分析と比較が今後の発展として考えらえる。また、本分析で抽出された結果は産業界の自己認識であり、学術界における Social LCA をはじめとした近年の新たな評価との相互のフィードバックが期待される。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、一般社団法人日本鉄鋼協会の支援を受けて実施した。

引用文献

1) KPMG, “How to report on the SDGs”, (2016).
2) World Steel Association, “Sustainable steel - Policy and indicators 2016”, <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:c2fc4379-e6dc-4631-badb-8e7c41660b32/sustainable_steel_2016_vfinal.pdf>, （参照 2019-1-9）

B1-23

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

エコマーク認定サービスにおける環境負荷低減効果(CO_2 換算)の推計方法の検討

Examination of estimation method of the environmental benefit (in CO_2 equivalent) of the Eco Mark certified services

○大澤　亮*[1)]、本間 隆之[1)]、稲葉　敦[2)]

Ryo Ohsawa, Takayuki Honma, Atsushi Inaba

1)公益財団法人日本環境協会, 2)工学院大学

* ryo.ohsawa@ecomark.jp

1. はじめに

1978 年にドイツで初めて開始された環境ラベルは、今や環境配慮型商品を選ぶためのツールとして世界中で広がりをみせている。日本の環境ラベルであるエコマーク(図 1)は、1989 年 2 月より(公財)日本環境協会が実施し、間もなく 30 周年を迎える。日本の環境ラベルでは唯一、ISO14024(環境ラベル及び宣言―タイプ I 環境ラベル表示・原則及び手続き)に則って運営されている。



図 1　エコマーク

エコマークはライフサイクルの各段階(「資源採取」、「製造」、「流通」、「使用消費」、「リサイクル」、「廃棄」)を通じて、総合的に環境負荷低減に資する商品を第三者が認定する制度である。2001 年施行の「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律(グリーン購入法)」を契機に、公的機関や組織のグリーン調達にも広く活用されている。2016 年度の認定商品の市場規模は 4.7 兆円に達し、認定商品数は 2018 年 12 月末時点で 50,795 まで拡大した。67 の商品分野に基準が設定され、現在では「飲食店」、「小売店舗」や「ホテル・旅館」などのサービス分野にもその対象が広がっている。

エコマークは商品にロゴが表示されることで、消費者が環境に配慮した購入の目印とすることを目的としているが、ライフサイクル全体を考慮した多項目の基準に基づいて評価されていることや、認定商品の環境メリットは十分には伝えられていない。

そこで認定商品の環境負荷低減効果を「見える化」するために、2014 年の 1 年間に市場に投入された全エコマーク商品のライフサイクルにおける CO_2 削減効果を調査した結果、その効果は 101 万 t と推計[1)]されたが、近年認定が増加しているサービス分野の CO_2 削減効果は含んでいなかった。

そこで昨年度、エコマーク認定「飲食店」を対象として、認定されたことによる CO_2 削減効果を推計する方法を検討した。そして今般、推計範囲を拡大し、主なエコマーク認定サービス(小売店舗、ホテル・旅館、飲食店)の CO_2 削減効果を推計する方法を検討したので、報告する。

2. 推計方法

2.1 推計対象のサービスと認定基準の概要

今回、推計方法を検討する対象は、エコマーク商品類型 No.501「小売店舗 Version2」(2019 年 3 月制定予定)、No.503「ホテル・旅館 Version2」(2019 年 3 月制定予定)、No.505「飲食店 Version1」(2017 年 9 月制定)認定基準の 3 サービスとした。これらのサービスは物品提供のほか、便利さや快適さを提供する施設であるという特徴を有している。そのため製品分野の基準とは異なり、環境対応の実施方法も、業態や地域、事業規模などによって大きく異なる。そこで小売店舗の基準では、評価カテゴリー毎に設定された必須項目に適合し、さらに選択項目の一定以上のポイントに適合することで認定される(表 1)。各評価カテゴリーには、概ね 9～10 項目程度の選択項目が設定されており、これらの項目は定量的または定性的な基準が設定されている。なお、どの選択項目を選択し申請するかは申請者に委ねられる。

表 1　No.501「小売店舗 Version2」の評価カテゴリーと項目数

No.	評価カテゴリー	必須項目	選択項目 (最大ポイント※)
1	環境に配慮した商品販売	1 項目	9 項目(12 p)
2	環境コミュニケーション	1 項目	9 項目(9 p)
3	廃棄物削減とリサイクル	1 項目	9 項目(12 p)
4	省エネ・節水	1 項目	9 項目(12 p)
5	物流の効率化	－	10 項目(10 p)
6	環境を意識した店舗運営	1 項目	9 項目(9 p)
合　計		5 項目	55 項目(64 p)
認定要件(飲食料品を扱う店舗)		必須 5 項目＋選択項目 26 p 以上	
(飲食料品を扱わない店舗)		必須 5 項目＋選択項目 21 p 以上	

2.2 推計手法の考え方

当該サービスの認定施設における 1 年間の CO_2 削減効果を定量化するためには、きわめて多項目(原材料の変更、使用時電力量の削減等)を対象に推計を行なわなければならないが、本検討では、全体的な規模感の把握を優先することとし、簡易な算定手法とした。このため、過大評価にならないように留意した。

2.3 算定対象項目の設定

対象サービスの認定施設について、カテゴリー毎に

主たる基準項目に着目し、それを基に算定対象とするか否かを検討した。その過程で、CO_2 削減と直接の関係性が薄い、定量化が困難な基準項目は算定対象範囲から除いた。

2.4 シナリオの設定と推計方法

2.3 の推計項目を CO_2 削減効果の発揮の仕方から、前述の全エコマーク商品の CO_2 削減効果 [1)]の算定で用いた方法に準じて主に 3 つに分類した(表 2)。ただし、製品の CO_2 削減効果の推計では、一つの基準項目に対して一つの算定方法が設定できるが、サービス分野では事業者毎に様々なアプローチによって基準への適合が実現されているために、算定方法が統一し難い。そのため、小売店舗における代表的な取組例を想定して算定方法に当てはめることで統一を図っている。例えば、算定対象項目として、「(54)社内で使用する物品などについて、エコマークなどの環境配慮型商品(文具、トイレットペーパーなど)を優先的に購入するための社内基準を定めている。」があるが、「エコマーク認定のトイレットペーパー(古紙パルプ配合率 100%)の 1 年間の購入量」を代表的な取組例と想定し、表 2 の A に従って評価した。また、比較対象商品は、市場で平均的な商品を類推してベースラインに設定することが理想であるが、統計データの不足等から、環境配慮が特に意識されていない商品(例えばバージン材を 100%利用した商品)や既存の LCA のケーススタディまたは WEB サイトの情報などを基にベースラインを設定し、過大評価にならないように努めた。

表 2　削減効果の算定方法

分類	ベースライン	算定方法
A.原材料の変更 (再生材の利用など、原材料の変更に係るもの)	バージン材 100%の商品、または未利用材等を用いない商品	1 商品あたりの原材料使用量 ×原材料の原単位の差分
B.原材料等の削減(例：持ち帰り袋の辞退による原材料の削減に係るもの)	基準項目を実施しない場合の原材料の使用量	原材料使用量の差分 ×原材料原単位
C.使用エネルギー量等の削減(使用時の省エネ・節水等に係るもの)	エコマークの基準値(または業界の標準的な数値)	エネルギー使用量の差分 ×エネルギーの原単位

2.5 使用する原単位

算定に必要となる原単位(ある活動当たりの CO_2 削減効果)は、IDEA v2 等の既存データベースを活用した。

3. 推計方法の検討結果と考察

No.501「小売店舗」認定基準で算定対象とした項目は、表 3 に示す通りである。同様に No.503「ホテル・旅館」認定基準では 22 項目を、No.505「飲食店」認定基準では 15 項目を算定対象とした。各認定基準とも、「環境コミュニケーション」の評価カテゴリーは、定性的な取組の評価が多く、算定可能な項目を設定することができなかった。

表 3　No.501「小売店舗 Version2」の算定対象項目数

No.	評価カテゴリー	項目数 (必須項目＋選択項目)	算定対象 項目数
1	環境に配慮した商品販売	10	4
2	環境コミュニケーション	10	0
3	廃棄物削減とリサイクル	10	1
4	省エネ・節水	10	1
5	物流の効率化	10	2
6	環境を意識した店舗運営	10	2
合　計		60	10

また、小売店舗や飲食店などの大手事業者ではチェーン展開をしているケースが多く、省エネ法に基づく定期報告書を国に毎年提出する対象になっている。この定期報告では、燃料および熱、電力に関して使用量を原油換算で報告し、店舗全体の CO_2 排出量の算出や原単位評価を求めている。一方、エコマークでは、「4. 省エネ・節水」において、「店舗における 5 年度間平均原単位を年 1%以上低減していること」を選択項目として設定し、証明方法として定期報告書の写しの提出を求めているが、それとは別に選択項目として「個別省エネ機器の導入」が設けられ、機器導入による CO_2 削減効果も算定対象としている。本検討では、機器導入による CO_2 削減効果も算定対象としているため、CO_2 削減効果の二重計上(ダブルカウント)を避ける必要から、前者の省エネ法の数値、すなわち店舗全体の CO_2 排出量は推計対象から除外している。

昨今、サービス業における人手不足などが叫ばれるなか、環境対応を経営までに落とし込んで取組んでいる事業者は多くはない。これまで、サービス業に係る事業者が CO_2 排出量を意識する場面は、省エネ法の定期報告などに限られていたが、今回の推計方法を用いて算定することで、店舗全体の CO_2 排出量だけでなく、個々の機器導入による CO_2 削減効果や地産地消などの省エネ以外の様々な取組の効果を「見える化」でき、経営者による環境対応方針の決定や、従業員等への環境への取組意欲の向上につながることが期待できる。

4. おわりに

本推計は CO_2 削減効果の規模感を把握することを目的とし、多くの仮定の基に成り立っている。事業者によっては、算定対象項目であっても取組内容が異なるために推計できないケースが考えられる。今後の課題としては、実際にエコマーク認定事業者に試行をしてもらうことで、不確実性を低くしていく必要がある。

引用文献

1) 公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局:エコマーク認定商品による CO_2 削減効果の推計結果,入手先<https://www.ecomark.jp/pdf/CO2summary2015.pdf>

日本におけるベースメタルの使用済み回収率の評価

End-of-life recycling rates of base metals in Japan

○醍醐 市朗*1)、中駄 将人 1)、布施 正暁 2) 、星野 岳穂 1) 、榎 学 1)

Ichiro Daigo, Masato Nakada, Masaaki Fuse, Takeo Hoshino, Manabu Enoki

1）東京大学大学院工学系研究科, 2）広島大学大学院工学研究科

* daigo@material.t.u-tokyo.ac.jp

1.　諸言

天然資源の消費に伴う環境負荷だけでなく、天然資源から素材を生産するまでのプロセスにおける環境負荷の低減も望まれている。サービス化などの脱物質化によって使用する資源量自体を削減するアプローチも考えられるが、一度使用した資源を散逸させることなく循環利用することを促進することが環境負荷低減に重要である。

使用済み製品から素材を回収しリサイクルする歩留りは、EoL-RR（End-of-Life Recycling Rate）によって評価できる。EoL-RR は、排出された使用済み製品に含まれる素材の量に対する、使用済み製品から回収された素材の量の比として定義される[1]。既存研究では、鉄鋼材[2] 、アルミニウム素材[3]、銅素材[4]について EoL-RR が評価され、それぞれ素材価格の上昇が回収のインセンティブとなることが示唆されている。

鉄鋼材は、磁力選別による素材の分離が比較的容易であるため、鉄鋼以外の素材を含む混合物の状態でも鉄鋼材として回収されると考えられる。そのため、銅素材が鉄鋼材とともに回収され、銅素材として分離されずにリサイクルされ鉄鋼材中の合金として機能的に散逸する量が無視できない[5]。これら素材の回収状況は相互に影響し合うもののこれまで異なる素材の EoL-RR は比較されてこなかった。その大きな理由の 1 つとして、先述の定義の分母は実測が不可能であるため推計することになり、その推計に用いるモデルならびにその前提や変数を統一しなければ比較できないことが挙げられる。そこで、本研究では、日本におけるベースメタルを対象に、統一した推計手法により EoL-RR を評価することを目的とする。

2.　研究手法

2.1　EoL-RR 推計モデル

本研究では、日本におけるベースメタルとして鉄鋼材、アルミニウム素材、銅素材の 3 素材を対象とした。使用済み素材が使用済み製品に含まれて排出されてからリサイクルされるまでのフローを図 1 のようにモデル化した。本研究で推計した EoL-RR は、分母は排出された使用済み製品に含まれる素材量として回収される可能性のあるポテシャルとして図 1 の(2)の量とし、分子は使用済み製品から分離回収された素材量として図 1 の(4)とした。

2.2　分母の推計

排出された使用済み製品に含まれる各素材量は、直接観測することは困難であり直接統計等から得ることはできない。そこで Dynamic Material Flow Analysis (dMFA)を用いて推計した。dMFA は、素材用途毎の寿命分布と社会への投入量から、社会中のストック量や、使用済み製品として社会から排出される量（退役量）を推計する手法である。本研究では、日本におけるベースメタルを対象に、統一した推計手法を適用するため、3 素材の用途区分について整合をとり、各々の用途に対して同じ製品寿命分布を用いた。ただし、建築物に関しては、各素材で最も多く消費されている建物の種類が異なるため、鉄鋼材では鉄骨事務所、その他の素材では木造住宅の寿命分布とした。また、機械類等の用途に関しては製品寿命分布が明確に観測されていないことから、1 つの代表的と考えられる平均製品寿命と共に、可能性のある長い平均製品寿命と短いそれとを設定し幅を与え、dMFA の結果も代表値と共に幅を持たせた。

ここで、一般に得られる製品寿命分布は国内において観測された製品使用期間であることから、使用後に中古品として輸出された製品も国内では使用期間が終了したと考慮されていると考えられる。そこで、中古品として輸出されるものは国内での回収可能性がないため、dMFA の推計で得られる退役量から中古輸出品に含まれる素材量を減じたものを分母とした。中古品輸出については、一部を除き貿易統計から直接観察することは困難であるため、その量を無視できないと考えられる中古自動車ならびに中古自動車部品[6]と、2.4 で後述の雑品スクラップ輸出[7]を考慮した。

2.3　分子の推計

EoL-RR の分子は、使用済み製品から分離回収された素材量であり、回収の後に輸出入される場合があることと、

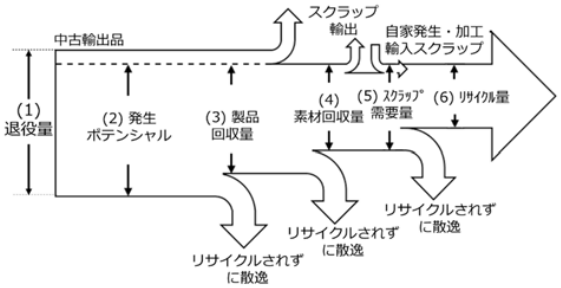


図 1　素材リサイクルフローの概要

スクラップの流通量はほとんど観測されていないため、スクラップの消費量は把握されるものの消費時には使用済み製品に由来したものか否かの区別が困難であることから、生産統計の原料として得られるスクラップ消費量から輸入スクラップ量、自家発生スクラップおよび加工スクラップ量を減じ、スクラップ輸出量を加えたものとして推計した。

2.4　雑品スクラップの輸出量推計

雑品スクラップは、日本の HS コード「鉄鋼のくず及び鉄鋼の再溶解用のインゴット(72.04)その他のもの(7204.49)その他のもの（7204.49.900)」に含まれ、その大半が中国に輸出されている[7]。2008 年までの輸出量は、日本と中国の間の鉄スクラップと銅スクラップの貿易量差から推計できることが知られている[7]が、それ以降は通関品目の一致により推計困難となった。そこで、雑品スクラップは 2009 年以降も「その他のもの（7204.49.900)」に含まれることから、その品目の輸出金額が雑品スクラップとそれ以外の鉄スクラップの和となると考え、各年のその品目に含まれる雑品スクラップと鉄スクラップの単価を推計することで、雑品スクラップ輸出量を推計する手法を構築した。雑品スクラップの単価は、2000 年から 2008 年までの雑品スクラップ単価を、鉄鋼材半製品(7207.20)と銅スクラップ(7404.00)の単価を説明変数とする重回帰分析により得た回帰式を 2009 年以降に適用して算出した。それ以外の鉄スクラップの単価は、2000 年から 2008 年までの中国の「その他のもの（7204.49.900)」の輸入単価を、鉄鋼材半製品(7207.20)の単価を説明変数とする単回帰分析で得た回帰式を 2009 年以降に適用した。また、同手法を 2000 年から 2008 年に適用し、貿易量差による推計値との誤差から本手法の推計誤差を設定した。

3.　結果と考察

3.1　雑品スクラップ輸出の影響

2009 年以降の雑品スクラップ量は、150～200 万 t 程度で推移したと推計された。2015 年では 150 万 t±30 万 t の誤差と推計され、その組成[8]を用い、同年の鉄鋼材、アルミニウム素材、銅素材の退役量に対する雑品スクラップの割合は、それぞれ最大で 4.8%、4.0%、7.3%と大きな割合を占めることが分かった。

3.2　EoL-RR 推計結果

1988 年から 2015 年までの EoL-RR を推計した。ほとんどの年で鉄鋼材の EoL-RR が他の素材よりも高かった。これは、鉄鋼材が磁力選別が可能な特性を持つため、他素材との分離が比較的容易であることによると考えられた。鉄鋼材では、dMFA で設定した不確実性の幅を考慮しても EoL-RR が 100%を超える年が 2007 年と 2008 年の 2 年あった。これは、過去に使用済みとなったが回収されず残置されていた冬眠ストック[2]が回収されたためと考えられた。また、2013 年からの 3 年間は銅素材の EoL-RR が鉄鋼材を上回った。これは近年精鉱中の硫黄分が増加していることによって、炉内の反応によって生じる熱が多くなっており、炉の温度を下げる冷材としてのスクラップ需要が高まっている[10]ことも理由の 1 つであると考えられた。

1988 年から 2005 年のスクラップ価格が比較的低く安定していた時期と 2005 年から 2015 年の資源価格が大きく変動した時期では EoL-RR の変動は異なる機構に基づいていると考えられたが、その要因の同定にまでは至っていない。更なる研究による詳細な分析が待たれる。

4.　結言

日本におけるベースメタル(鉄鋼材、アルミニウム素材、銅素材）を対象に、統一した推計手法により 1988 年から 2015 年の EoL-RR を評価した。雑品スクラップは量的にそれら素材に対して大きな影響をすることが分かった。

この成果の一部は、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）の委託業務の結果得られたものである。

引用文献

[1] UNEP International Resource Panel: Recycling Rates of Metals – A Status Report, (2011)

[2] I. Daigo, K. Iwata, I. Ohkata, Y. Goto: Macroscopic Evidence for the Hibernating Behavior of Materials Stock. *Environmental Science and Technology* **49** (14) 8691-8696 (2015).

[3] W-Q. Chen: Recycling Rates of Aluminum in the United States. *Jounal of Industrial Ecology* **17**(6) 926–938 (2013).

[4] 川原健吾、醍醐市朗、松野泰也、足立芳寛:　銅スクラップの回収に対する素材価格の影響分析, *日本金属学会誌* **75**(6) , 327-331 (2011).

[5]I. Daigo, S. Hashimoto, Y. Matsuno, Y. Adachi: Material stock and flow accounting for copper and copper-based alloys in Japan, *Resources Conservation & Recycling* **53**(4), 208-217 (2009).

[6]　布施正暁、中島謙一、八木田浩史: 使用済み自動車に着目した日本からの資源流出, *日本金属学会誌* **72**(8), 557-564 (2008).

[7] 寺園淳, 林誠一,吉田綾,村上進亮: 有害物質管理と資源回収の観点からの金属スクラップ（雑品）発生・輸出の実態解明, *廃棄物資源循環学会論文誌* **22**(2) 127-140, (2011).

[8] 株式会社三菱総合研究所　環境・エネルギー事業本部, 平成 28 年度　温暖化対策基盤整備関連調査（国際的な資源循環フローに関する調査事業）報告書, (2017).

[9] 醍醐市朗、纐纈将太、太田暁、林英男、榎学: 日本における普通鋼中の Cu 濃度を決定する要因の同定, *鉄と鋼* **104**(8), 461-466 (2018)

[10] 池田真奈美, 畝井杏奈: 銅の需給動向等―安定供給上の課題―, *JOGMEC 金属資源レポート* **45**(3), 308-318 (2015)

C1-22,P2-108　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

プラスチックの製品種類及び蓄積先に着目した物質フロー分析

Material Flow Analysis of Plastic Considering Product Types and Accumulation Sectors

○丸山多聞*[1)]、中谷隼 [1)]、森口祐一 [1)]

Tamon Mauryama, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi

1) 東京大学

* maruyama@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

日本では現在約 1000 万トンのプラスチックが生産され、そのうち約 400 万トンが容器包装になっている[1)]。容器包装は一回使用すると廃棄されるため、廃プラスチック増加の原因になっている。

廃プラスチックを削減するためにはプラスチックのフローを追い、廃棄量を把握する必要がある。そこで、本研究では産業連関表を用いた物質フロー分析を用いてプラスチック製品、特に容器包装が蓄積する部門、形態、量を明らかにする。

産業連関表を利用した物質フロー分析の例としては WIO-MFA[2)]や Joosten et al.[3)]などが挙げられる。WIO-MFA は、製品を構成するマテリアルの量を推計する手法である。中村ら [4)]では自動車に含まれる金属量、Nakamura et al.[5)]では PVC のフロー、Ohno et al.[6)]では炭素のフローを推計している。しかし、WIO-MFA では容器包装と製品の区別がないため、容器包装と製品が一体となったまま流れてしまう。また、物的投入や産出のない部門への投入や産出を考慮していないが、実際にはそれらの部門への製品の投入や産出がある。

Joosten et al.では、プラスチックの種類について分けられておらず、製品と樹脂の関係が把握できない。

そこで、本研究では WIO-MFA の考え方を参考に、樹脂・プラスチック製品部門を詳細化した産業連関表を用いて容器包装を含むプラスチック製品のフローを推計した。また、容器包装が一般的な製品と異なり、容器包装を需要した製品の産出先で廃棄されることと、製品または容器包装がサービス業に投入及び産出されること、最終需要部門だけでなく内生部門へ蓄積することを表現できるような新たなモデルを構築した。

2. 分析手法

合成樹脂部門とプラスチック製品部門を詳細化した産業連関表を作成し、その各部門について製品を産出する部門、容器包装を産出する部門、サービスを産出する部門の 3 つにわける。

製品のフローは 2 通り、容器包装のフローは 5 通り存在し、具体的には以下のようになる。

(1-1)　最終需要部門に投入され、その部門に蓄積する製品、(1-2)　内生部門に投入され、その部門に蓄積する製品、(2-1)　製品を産出する内生部門に投入され、製品の産出先の部門で不要になる容器包装、(2-2)　製品を産出する内生部門に投入され、その部門に蓄積する容器包装、(2-3)　サービスを産出する内生部門に投入され、サービスの産出先の部門で不要になる容器包装、(2-4)　サービスを産出する内生部門に投入され、その部門に蓄積する容器包装、(2-5)　最終需要部門に投入され、その部門に蓄積する容器包装

容器包装は使用後すぐに捨てられると考えられるが、本研究では短時間蓄積した後廃棄されると考えた。

これらの 7 つのフローについての式は SI に示す。

3.　分析結果

3.1　プラスチックの蓄積量の推計

2011 年の国内需要及び輸出に伴うプラスチックのフローを推計し図 1 に示した。箱の大きさ及び線の太さがフローの大きさを示している。緑色のフローが容器包装のフローであり、左から容器包装を構成する樹脂の種類、容器包装を需要している製品の種類と容器包装の最終的な蓄積先を表している。灰色のフローは製品、直接輸出される樹脂、加工ロスのフローである。また、本研究のモデルの特徴であるサービス業への投入及び産出や内生部門への蓄積が図に示されている。

3.2　容器包装の廃棄量の推計

容器包装がどの部門に蓄積し、どのような樹脂で構成され、どの製品に需要されたのかを示したのが図 2 である。

内側の円が蓄積先、中の円が樹脂の種類、外の円が製品の種類を示している。蓄積先では民間消費支出が最も多い。樹脂の種類では民間消費支出では高機能性樹脂が多く、その他の部門では LDPE が多い。民間消費支出では PET ボトルが、その他の蓄積先ではフィルムが多く利用されているからだと考えられる。

樹脂を需要した製品を見ると、民間消費支出では一次産業・飲食料品が多く、食品容器が蓄積していることがわかる。

4.　おわりに

本研究では容器包装に着目した新たなマテリアルフロー分析の手法を開発し、2011 年の日本のプラスチックのマテリアルフローの推計に適用した。本研究の特徴として、容器包装とその他の製品の廃棄段階の違いを考慮したこと、サービス業を含む内生部門への製品の蓄積を考慮したこと、製品を産出しないが容器包装を他部門へと産出するようなサービス業について考慮したことがあげられる。

本研究により、製品及び容器包装がどのような形態でどの部門にどれだけ蓄積しているかを明らかにすることができた。

引用文献は SI に示す。

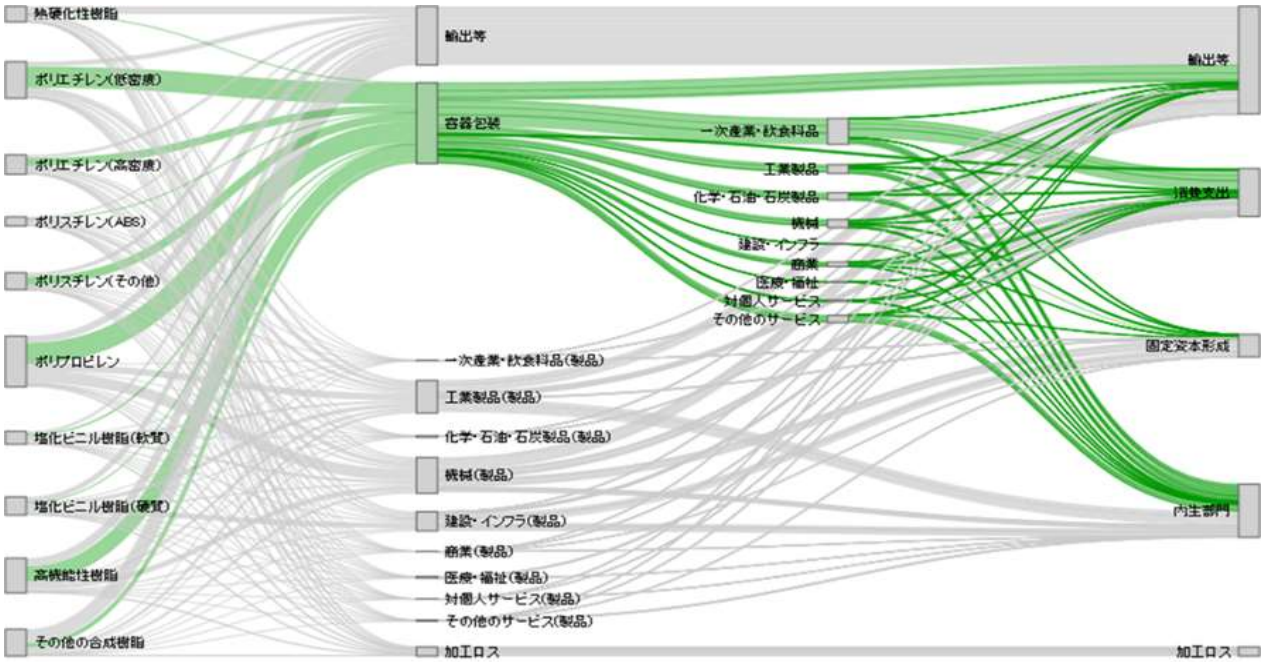


図 1　国内需要及び輸出に伴う 2011 年のプラスチックのフロー

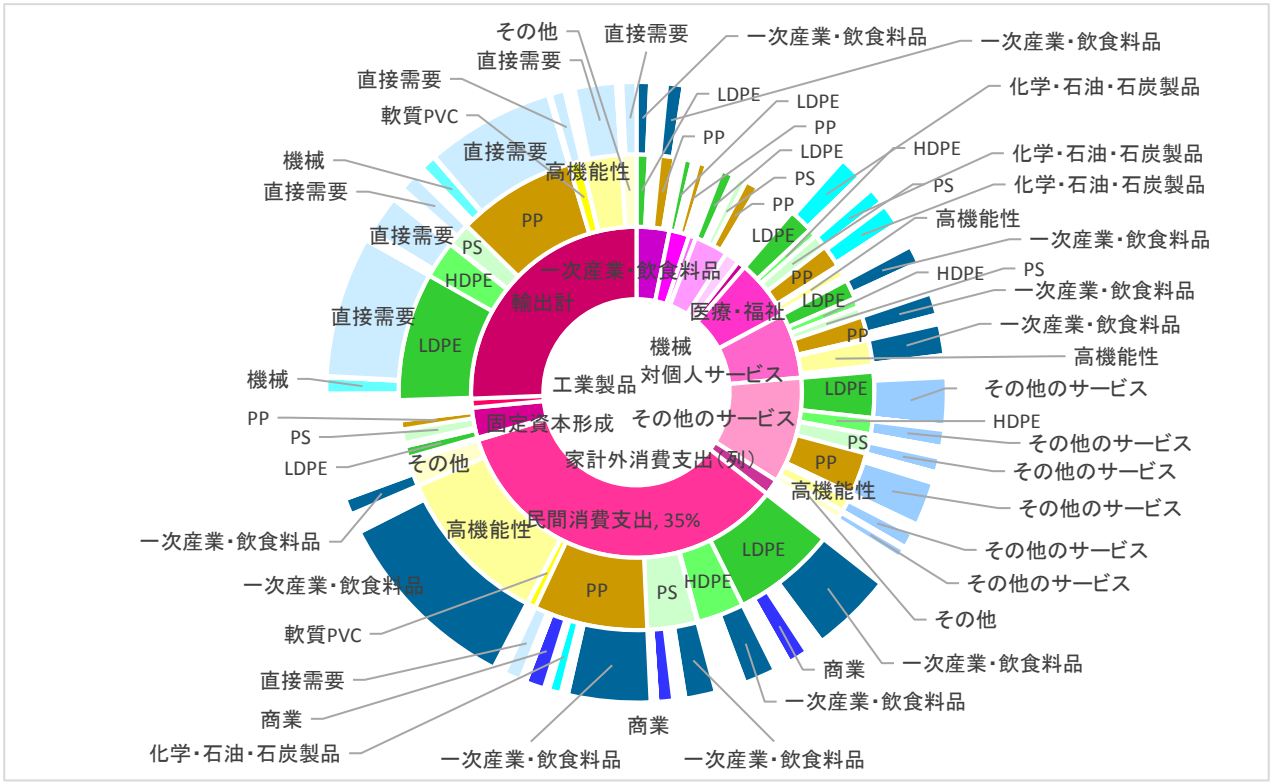


図 2　容器包装の蓄積先、構成する樹脂の種類、需要された製品の種類

Supporting Information

SI1.　フローの定式化

製品と容器包装のフローを定式化すると以下の(1)式から(8)式までのようになる。

最終需要部門に最終製品に含有されて蓄積する樹脂量を表したp行fの行列Q^{DF}は(1)式で表される。

$$\boldsymbol{Q}^{DF} = \boldsymbol{C} \times ((\boldsymbol{O^F} - \boldsymbol{\Psi}^F) \odot \boldsymbol{F}) \quad (1)$$

ただし、p: 合成樹脂部門、f: 最終需要部門、d: 最終製品、j: 内生部門、$\boldsymbol{C}$: 単位金額あたりの最終製品に直接・間接的に含有される樹脂の量を表したp行j列の行列、$\boldsymbol{O^F}$: すべての要素が 1 のj行f列の行列、$\boldsymbol{\Psi}^F$: 容器包装フィルタ行列（j行f列）、$\boldsymbol{F}$: 最終需要ベクトル（j行f列）、⊙: アダマール積（行列の要素ごとの積をとる計算記号）と定義する。

また、$\boldsymbol{C}$は以下の(2)式により計算される。

$$\boldsymbol{C} = (\boldsymbol{\Gamma}^P \odot \boldsymbol{\Theta}^P \odot \boldsymbol{P}) \times (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{\Gamma} \odot \boldsymbol{\Phi} \odot \boldsymbol{\theta} \odot \boldsymbol{A})^{-1} \quad (2)$$

ただし、i: 内生部門（部門数はjと同じ）、$\boldsymbol{\Gamma}$: 歩留まり行列（i行j列）、$\boldsymbol{\Gamma}^P$: 歩留まり行列の合成樹脂行を取り出したp行i列の行列、$\boldsymbol{\Phi}$: 原料フィルタ行列（i行j列）、Θ: プラスチックフィルタ行列（i行j列）、$\boldsymbol{\Theta}^P$: プラスチックフィルタ行列の合成樹脂行を取り出した行列（p行i列）、$\boldsymbol{P}$: 物量係数行列（p行i列）、$\boldsymbol{I}$: 単位行列（i行j列）、$\boldsymbol{A}$: 投入係数行列（i行j列）と定義する。

内生部門へ最終製品に含有されて蓄積する樹脂量を表したp行j列の行列$\boldsymbol{Q}^{DJ}$は以下の(3)式によって表される。

$$\boldsymbol{Q}^{DJ} = \boldsymbol{C} \times \left((\boldsymbol{O^J} - \boldsymbol{\Phi} - \boldsymbol{\Psi}^J) \odot \boldsymbol{A}\right) \times diag(\boldsymbol{X}) \quad (3)$$

ただし、$\boldsymbol{O^J}$: すべての要素が 1 のi行j列の行列、$\boldsymbol{\Psi}^J$: 容器包装フィルタ行列（i行j列）、$\boldsymbol{X}$: 国内生産額行列（1 行j列）、$diag(\boldsymbol{X})$: $\boldsymbol{X}$の要素を対角成分に記述した正方行列（j行j列）と定義する。

内生部門に直接需要される容器包装に含有されて最終需要部門に蓄積する樹脂量を表したp行f列の行列$\boldsymbol{Q}^{HF}$は以下の(4)式によって表される。

$$\boldsymbol{Q}^{HF} = \boldsymbol{C^H} \times (\boldsymbol{\Psi}^J \odot \boldsymbol{A}) \times diag(\boldsymbol{X}) \times \boldsymbol{G}^F \quad (4)$$

ただし、h: 容器包装部門、$\boldsymbol{C}^H$: $\boldsymbol{C}$のうち容器包装行以外を 0 にした行列、$\boldsymbol{G}_F$: 移行行列（i行f列）（容器包装の産出割合を示した行列）と定義する。

G_Fは以下の(5)式によって計算される。

$$g^F_{j,f} = \frac{x_{j,f}}{\sum_k x_{j,k} - x_{j,j}} \quad (5)$$

ただし、x: 部門間の取引額と定義する。

内生部門に直接需要される容器包装に含有されて内生部門に蓄積する樹脂量を表したp行j列の行列Q^{HJ}は以下の(6)式によって表される。

$$Q^{HJ} = \boldsymbol{C} \times (\boldsymbol{\Psi} \odot \boldsymbol{A}) \times diag(\boldsymbol{X}) \times \boldsymbol{G^J} \quad (6)$$

ただし、$\boldsymbol{G^J}$: 移行行列（i行j列）と定義する。

$\boldsymbol{G^J}$は以下の(7)式によって計算される。

$$\boldsymbol{G^J} = \frac{x_{i,j}}{\sum_k x_{i,k} - x_{i,i}} \quad (7)$$

最終需要部門に直接需要される容器包装に含有されて最終需要部門に蓄積する樹脂量を表したp行f列の行列$\boldsymbol{Q}^{HF}$は以下の(8)式によって表される。

$$\boldsymbol{Q}^{HF} = \boldsymbol{C} \times (\boldsymbol{\Psi}^F \odot \boldsymbol{F}) \quad (8)$$

SI2.　各種係数の設定

各種行列における係数の設定方法について記述する。

$\boldsymbol{\Psi}^F, \boldsymbol{\Psi}^J$: 容器包装行には 1、それ以外の行には 0 を記述する。

$\boldsymbol{\Gamma}$: 原料として投入された商品iが産出された商品jに含まれる割合を要素(i, j)に記述する。

$\boldsymbol{\Phi}$: i部門の製品の何割がj部門の製品の原材料となるかを示した行列であり、100%原材料になる場合は1、まったく原材料とならない場合は 0、一部が原材料となる場合は 0 から 1 の間の数字を記述する。

Θ: 樹脂行の中で、樹脂列および樹脂がプラスチックにならないと考えられる列（合成繊維部門やゼラチン・接着剤部門など）に 0、それ以外の要素に 1 を記述する。

$\boldsymbol{P}$: 単位金額あたりの商品に直接投入された樹脂の量を表した行列であり、樹脂行を物量に変換した取引基本表の樹脂行部分を国内生産額で割ることによって求める。

$\boldsymbol{A}$: 正方化した取引基本表を国内生産額で割ることによって求める。

SI3. 容器包装の廃棄量の推計

また、民間消費支出に蓄積した容器包装を構成する樹脂、容器包装の加工形態、需要した製品について示したのが図 3 である。

内側の円は樹脂の種類、中の円は容器包装の加工形態、外の円は製品の種類を示している。

LDPE は包装印刷やフィルム、加工品に使用され、HDPE は容器に多く使用されている。PS はほとんどが発泡製品で、PP は包装印刷、フィルム、容器などに満遍なく利用されている。高機能性の大部分は飲料用ボトルに利用されている。

外側の円グラフを見ると、大部分が一次産業・飲食料品による需要であることがわかるが、商業部門によるフィルムの需要や化学・石炭・石油製品による容器の需要なども見られた。

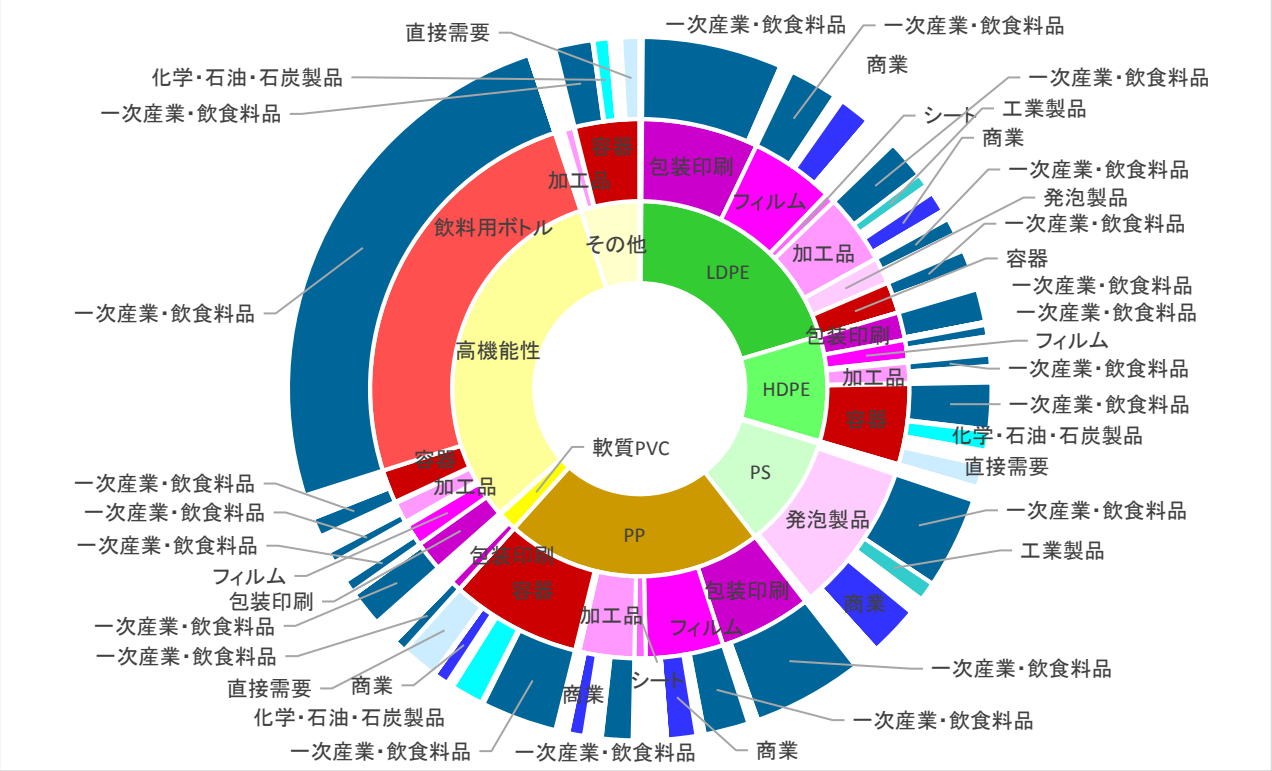


図 3　民間消費支出部門に蓄積する容器包装を構成する樹脂の種類、容器包装の加工形態、容器包装を需要した製品の内訳

SI4.　引用文献

1) “プラスチックのマテリアルフロー図”, 一般社団法人プラスチック循環利用協会, https://www.pwmi.or.jp/, (参照 2019-01-08)

2) Shinichiro Nakamura, Kenichi Nakajima, Yasushi Kondo, Tetsuya Nagasaka, *Journal of Industrial Ecology*, 2007, 11(4), pp50-63

3) L.A.J. Joosten, M.P Hekkert, E. Worrell, *Resources, Conservation and Recycling*, 2000, 30, pp135-161

4) 中村慎一郎, 中島謙一, *日本金属学会誌*, 2006, 70(6), pp505-510

5) Shinichiro Nakamura, Kenichi Nakajima, Yoshie Yoshizawa, Kazuyo Matsubae-Yokoyama, Tetsuya Nagasaka, *Journal of Industrial Ecology*, 2009, 13(5), pp706-717

6) Hajime Ohno, Hirokazu Sato, Yasuhiro Fukushima, *Environmental Science and Technology*, 2018, 52, pp3899-3907

C1-23,P2-130　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

ストック分析に基づく二次物質ストックの回収容易性評価の枠組み構築と日本の銅ストックへの適用

Development of a framework for recoverability assessment of secondary material stocks based on stock analysis and 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供給リスク、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への対策の一つとして、使用済み製品のリサイクルの重要性は大きい。リサイクルや資源戦略に関する議論を行う上ではリサイクル可能な資源量の推計は重要な知見である。そして製品として使用され社会中に蓄積している資源 (二次物質ストック) は将来における二次資源の供給源であるため、物質フロー分析 (MFA: Material Flow Analysis) といった手法によって主にそのストックの総量やストックからの排出量 (廃棄量) が様々な物質および地域スケールに関して推計されてきた。

一般に、リサイクルが実際に行われるかには採算性をはじめとした様々な要素が関わる。そして採算性は収集や解体といったリサイクルにおける各プロセスでの費用とリサイクルによる収入のバランスによって決定されるが、そこには発生する廃棄物の地理的分布や収集システム、製品の性質、解体技術など様々な要素が影響する。廃棄量はその年におけるリサイクル可能量の最大値を表すと基本的に考えることができるが、二次資源の供給源の観点からのストックの評価においては、ストック量や廃棄量だけでなく、その地理的分布や最終製品の種類、蓄積先の部門といった「総量」以外の要素も含めて推計し、そこからのリサイクル可能量を評価することが望ましい。しかし上記の観点に立った既往研究 [1,2)] は対象とする製品や地域が限定されているものや数種類の最終用途に基づいて一定のリサイクル率を設定しているものとなっており、「総量」以外の要素を考慮してストック全体を対象として包括的に評価した研究は不十分であるといえる。

本研究では、使用済みとなり廃棄された製品の収集から二次資源の生産までのプロセス全体を「資源回収」と呼ぶこととする。そして資源回収がいかに容易かを表す指標を「資源回収容易性」と呼ぶこととし、文献レビューを通して資源回収容易性評価の枠組みを検討する。また筆者らはこれまでに、産業連関分析を応用した詳細な物質フローの分析やストック量および廃棄量の推計を国内の銅を対象に行ってきた [3,4)]。本研究ではそれらの成果に加えて国内における銅のストック量および廃棄量の地理的分布を推計する。そして以上のストック分析結果に基づいて、ストックの資源回収容易性に関して議論する。

2. 方法

2.1 国内における銅ストック量および廃棄量の推計

産業連関分析の応用による経年の「最終製品」「蓄積先部門 (家計消費部門や個別の製造部門など)」別の国内における銅フローの推計結果 [3)] に対して、最終製品に応じて国内サービス期間分布を既存研究に基づいて設定 (一部の最終製品は蓄積先部門や廃棄年にも応じて設定) することで、経年の銅のストック量および廃棄量を「最終製品」「蓄積先部門」別に推計した [4)]。なお、ここでの「最終製品」および「蓄積先部門」は日本の産業連関表における部門分類に従う。

2.2 銅ストック量および廃棄量の地理的分布の推計

2.1 における銅のストック量および廃棄量の推計結果を 1894 の市区町村へと配分することで地理的分布を推計した。各地域への配分のための割合は、「最終製品」および「蓄積先部門」に応じて市区町村別の統計データや GIS データ等を用いて算定した。例えば「住宅」部門に蓄積する「住宅建築 (木造)」としての銅ストック量の地域配分用割合は持家 (木造) の市区町村別延べ床面積から、「運輸」部門に蓄積する「鉄道軌道建設」としての銅ストック量 (多くが架空電車線と考えられる) の地域配分用割合は鉄道軌道のラインデータと各路線の線数および電化区間に関する情報から算定した。また「携帯電話機」といった様々な部門に蓄積している最終製品の地域配分用割合は、蓄積先部門に応じて産業部門別の従業者数や世帯数などのデータから算定した。

2.3 資源回収容易性の評価

資源回収におけるプロセスを大きく「収集」「選別」「再資源化」に分け、それぞれにおける容易性を統合したスコ

アとして資源回収容易性が決定されると考えた。またそれぞれのプロセスにおける容易性に関わる要素を、ストックの地理的分布や最終製品の種類および構造といったストックの形成時に基本的に決定している「ストックの属性」、収集システムや再資源化の手順、技術といった資源回収システムの内部の要素と考えられる「システム内要素」、法制度や需給状況といた資源回収システムの外部の要素と考えられる「システム外要素」の 3 つに分けて整理した。ストック全体の資源回収容易性を決定するためには各最終製品に関してこれらの要素を決定する必要があることになる。本研究では、これらの要素のうち主に「ストックの属性」に着目し、最終製品の再資源化容易性の評価と地理的分布をふまえた資源回収容易性評価に向けた議論を行う。

再資源化プロセスの構成要素である解体に関して、個別の最終製品の解体容易性の評価においては解体樹に基づいたアプローチがしばしば用いられる [5] ように、最終製品の構造は重要な要素の 1 つである。本研究では多様な最終製品の構造を考慮した再資源化容易性の評価において、産業連関分析におけるアプローチを利用した。「銅」部門から直接産出がある (構成される) 場合を 1 次構成、銅部門から直接産出されている他の製品の製造部門から直接産出がある場合を 2 次構成と定義し、以下同様に n 次構成を定義する。この時、各製品の単位生産額当たりの n 次構成する銅の物量を要素とする行列$\boldsymbol{C^n_{mP}}$は次式で与えられる。

$$\boldsymbol{C^n_{mP}} = \boldsymbol{V_{mP}} \odot \boldsymbol{\tilde{A}_{mP}} \boldsymbol{\tilde{A}_{PP}}^{\boldsymbol{n-1}} \quad (1)$$

ここで、$\boldsymbol{V_{mP}}$は銅部門から各製品部門への投入における銅の単価の逆数を要素とする行列、$\boldsymbol{\tilde{A}_{mP}}$は構成要素となるかどうかおよび歩留まりを考慮した銅部門から各製品部門への投入における投入係数行列、$\boldsymbol{\tilde{A}_{PP}}$は製品部門間の取引における構成要素となるかどうかおよび歩留まりを考慮した投入係数行列を表す。再資源化容易性評価では各最終製品に関して(1)式から得られる各次数で含有される銅量を重みづけして足し合わせることで行う。

3. 結果

ストック量と廃棄量ともに総量については市区町村の規模の影響が大きいため、図 1 に 2011 年における市区町村別の単位面積当たり廃棄量を、図 2 に 2011 年における市区町村別の一人当たり廃棄量の推計結果を示す。面積当たり廃棄量は東京 23 区や大阪市、名古屋市、横浜市といった特別区や政令指令都市内の区が上位を占めた。個別の最終製品に関して見ると、送配電線といった「電力施設建設」としての銅ストックおよび廃棄量は上記に挙げたような地域以外にも分布しているが、建築物やオフィスおよび家庭内の電子機器は上記の地域におけるストック量が大きかった。一方、一人当たり廃棄量に関しては一番大きい値を示した市区町村は千代田区であったものの、様々な地域における市区町村が上位に位置した。これはインフラとしてのストックなど人口以外の要素が関わるストックの影響などが考えられる。

研究発表会では、上記の結果に加えて再資源化容易性の評価結果も併せて資源回収容易性に関して議論を行う。

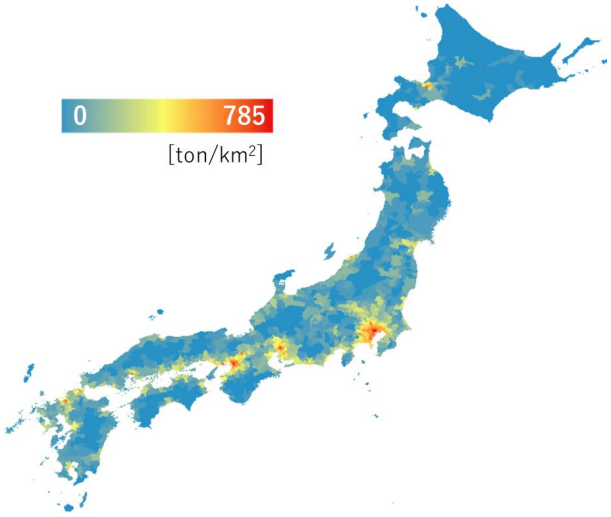


図 1　2011 年の市区町村別単位面積当たり廃棄量

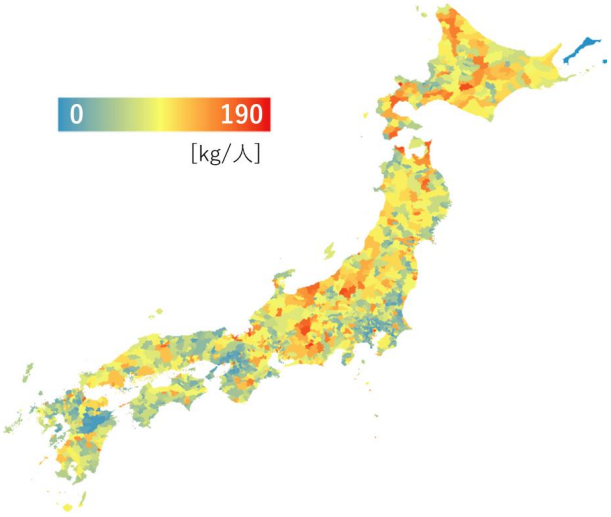


図 2　2011 年の市区町村別一人当たり廃棄量

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18J13512 の助成を受けた。

引用文献

1) Yokoi *et al.*: Sustainabililty, 10(3), (2018), 876: pp.1-16
2) 横井他: 日本 LCA 学会, 東京, (2018), pp.158-159
3) Winterstetter *et al.*: J Clean Prod, 133, (2016), pp.599-615
4) Maung *et al.*: Environ Sci Technol, 51, (2017), pp.3824-3832
5) Veerakamolmal *et al.*: J Electron Manuf, 9(1), (1999), pp.79-95

C1-24,P2-075　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

災害廃棄物の仮置場利用可能面積：各都道府県を対象とした検討

Available area for temporary storage of disaster waste: prefecture-level assessment

○石川湧裕*[1)]、水谷一平[1)]、立尾浩一[2)]、橋本征二[3)]
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
*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、災害廃棄物処理の問題が浮き彫りとなったが、南海トラフ巨大地震で発生する災害廃棄物量は、最大で東日本大震災の約 11 倍と推計されている。豪雨や台風等により発生する災害廃棄物を含め、そ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。本研究では、これまでの検討範囲[1)]を拡張し、全都道府県を対象に仮置場の利用可能面積を推計した。

2. 方法

2.1　利用可能な仮置場の選定

仮置場の候補地として、都市公園、グラウンド（球場含む）、最終処分場跡地、使用中の最終処分場、リサイクルポート、耕作放棄地を対象とし、仮置場選定の際の留意事項を考慮して利用可能な土地の選定を行った。具体的には、(1)上記候補地の地図データと土砂災害警戒区域、浸水想定区域、自然保護区域の地図データを重ね合わせ、利用に適している候補地を抽出した。(2)このうち、2ha 以上の敷地を有するものを利用可能な仮置場とした。さらに、(3)人口密度が 300 人/km2、1000 人/km2 以下の町丁目にある仮置場を使用可能、また、全ての仮置場を使用可能とした場合の 3 つに区分し面積を推計した。

2.2　仮置場として利用可能な面積の推計

(1) 都市公園、耕作放棄地：各地図データより対象となる属性を抽出し、2.1 の条件と照合した。面積は、GIS 上のジオメトリ演算を用いて算出し、0.5 を乗じた。
(2) グラウンド（球場含む）、リサイクルポート：各施設の座標や住所から GIS 上の衛星画像上にポリゴンを作成し、2.1 の条件と照合した。面積は、GIS 上のジオメトリ演算を用いて算出し、リサイクルポートのみ 0.5 を乗じた。
(3) 最終処分場跡地、使用中の最終処分場：生活環境保全上適切な場所に建設されているため、2.1 の条件との照合は行わず利用可能とした。面積は、使用中の最終処分場については、残余容量に基づき算出した。

3. 結果と考察

図 1 に示すように、都市公園と耕作放棄地の利用可能面積が大きいと推計された。耕作放棄地については、北海道、東北地方、岡山県、長崎県等の利用可能面積が著しく大きくなったが、これは、各地域のそもそもの耕作地面積の大きさに加え、各地域における近年の耕作状況を反映したものと考えられる。また、使用中の最終処分場については、東京都、大阪府、兵庫県の利用可能面積が大きくなった。これは、東京都では東京都新海面処分場、大阪府では大阪湾広域臨海環境整備センター、兵庫県はこれに加えて布施畑環境センター・淡河環境センターの残余容量が大きいことが要因となっている。なお、図 1 は潜在的な仮置場利用可能面積であり、実際の選定にあたっては、周辺環境への影響、災害廃棄物の発生地からの距離等、様々な要素を考慮する必要がある。グラウンドを含めた結果については学会当日発表する。

参考文献

1) 石川湧裕ら：南海トラフ巨大地震における災害廃棄物仮置場利用可能面積の検討、第 29 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、pp.151-152、2018

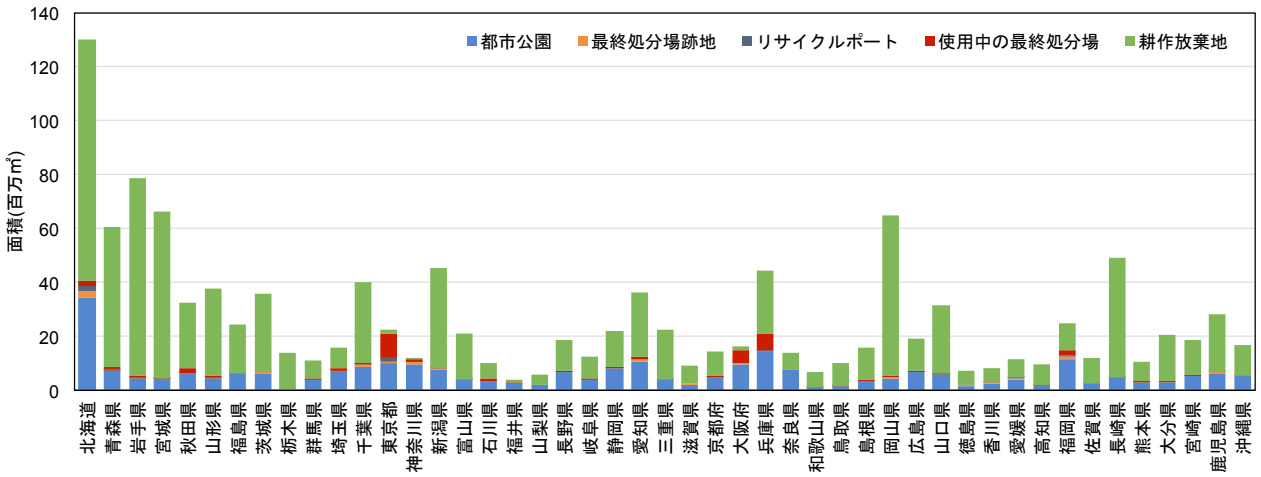


図 1　仮置場利用可能面積の推計結果（グラウンド除く、全ての仮置場を使用可能とした場合）

D1-21,P2-088　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

動的マテリアルフロー分析を用いた自動車解体技術の資源循環に与える影響の評価

Fate analysis of non-ferrous material in resource circulation focusing on automotive demolishing technology using dynamic material flow analysis

○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] また、国際的な資源需要の増大に伴い、将来的に現存の資源埋蔵量のみでは需要を賄う事が出来ないと予測されているため、[2] 資源の循環利用への関心が高まっている。その一方で、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。本研究においては最大の生産量を誇る金属材料である鉄鋼材に着目する。鉄鋼材は特性の発現のために様々な元素が添加されている。そのため、鉄鋼業ではクロム(Cr)やニッケル(Ni)を含む様々な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、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老廃屑は鋼種の把握が難しく、合金元素の管理が不十分なことや、使用済み製品からの鉄スクラップ回収の際に異種素材が混入する事によるトランプエレメントである銅(Cu)等が混入する事が鉄鋼材の性能の低下の一因となっている。

先行研究において、ポピュレーションバランスモデルを用いた鋼材への銅の蓄積の分析や [6] 動態モデルを用いた自動車の易解体設計導入による鋼材への銅の蓄積低減効果の評価を行っている。[7] しかし、これら研究においては、鋼種別ではなく用途別で計算を行っている事に加え、銅の混入は発生した鉄スクラップの量に対して一定割合で生じると仮定して評価を行っている。そのため、特殊鋼への銅の蓄積を過大/過少評価している可能性がある。本研究では、産業連関分析に基づいた動的マテリアルフロー分析モデルである MaTrace モデルを拡張し、鉄鋼材およびそれに随伴する Ni と Cr、異材として Cu およびアルミニウム(Al)の蓄積状態の時系列変化を推計し、自動車解体技術が鉄鋼材への Cu や Al の蓄積状況に与える影響を評価する。

2. 手法

MaTrace モデル [8]は WIO-MFA(Waste Input-Output MFA)モデル [9]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。先行研究において鉄鋼材に随伴する合金元素のフローについての分析を行うために、WIO-MFA 表における粗鋼・鋼材・スクラップの部門を鋼種別に分割を行っている。[5] 加えて、各種粗鋼精練炉に対するスクラップの投入量の推計を行い、リサイクルフローの精緻化を行っている。本研究では、各種スクラップへの異種素材の混入フローを推計する事が出来るようにモデル拡張を行う。スクラップへの異種素材の混入量を推計するために、使用済み製品から回収された素材をスクラップに分配する係数を拡張し、異種素材が老廃スクラップに混入するフローを記述する。表 1 に各種素材のスクラップへの分配率表の概要を示す。a_{Cu}, a_{Al} は Cu, Al の鉄スクラップへの混入率を表し、発生した使用済み製品中の Cu と Al 量に混入率を掛けた量が普通鋼スクラップへと混入し、残りはそれぞれの素材として再度リサイクルされると仮定する。

表 1 各種素材のスクラップへの分配率

	Ni-SUS scrap	Cr-SUS scrap	SS scrap	OS scrap	Cu scrap	Al scrap
Ni-SUS	既存の値				0	0
Cr-SUS					0	0
Other SS					0	0
OS					0	0
Cu	0	0	0	a_{Cu}	$1-a_{Cu}$	0
Al	0	0	0	a_{Al}	0	$1-a_{Al}$

本研究では 2005 年の産業連関表に基づいた WIO-MFA 情報 [5]を用い、産業構造が一定かつ生産量が一定という仮定の元で生産された全ての製品に含まれる鉄鋼材および随伴する Ni、Cr および異種素材として Cu と Al を対象に分析を行う。また、混入率 a_{Cu}, a_{Al} は自動車および機械製品由来の Cu, Al 素材については 5%, その他の製品由来のものは 0%と設定している。

3. 結果

図 1 に普通鋼スクラップ中の Cu 濃度の推移を示す。最初の生産年から 20 年は Cu 濃度が上昇し、その後約 0.07%の一定の値を取っている。この要因としては、Cu の混入率が設定されている製品群はされていない製品群より製品寿命が短い事が考えられる。これにより、最初は Cu が異材として混入しているスクラップが多く発生するため Cu 濃度が上昇するが、時間経過とともにその他の製品由来の Cu が混入しないスクラップの量が増加するため Cu 濃度は低下し、両方の排出量が平衡年度以降一定の値となる。

図 2 に電炉で生産される普通鋼小棒中および電炉で生産される Fe-Cr-Ni 系ステンレス鋼(オーステナイト系ステンレス鋼)中の Cu 濃度の推移を示す。普通鋼小棒は製造に使用するスクラップとして主に Cu の混入の可能性がある普通鋼スクラップを使用しているため、上に示した普通鋼スクラップに含まれる Cu の濃度の影響を大きく受けている。しかし、その濃度は一方でオーステナイト系ステンレス鋼は主に Ni を含むステンレス鋼や特殊鋼スクラップを主に消費しているため、普通鋼スクラップの Cu 濃度の影響を直接は受けにくい。しかし、普通鋼スクラップを原料に含む再生特殊鋼が特殊鋼スクラップとして投入されることにより、オーステナイト系ステンレス鋼にも Cu の混入が生じていると考えられる。

一方で、Al の混入に着目した場合、Al は熱力学的分析より鉄鋼製錬プロセスにおいて鉄鋼に残留せず酸化しスラグに入る傾向のある元素であるため、[10] 本報告においては鉄鋼精錬プロセスにおける Al の歩留まり率を 0 に設定しているため、普通鋼に混入した Al 材は鉄鋼製品に蓄積しないと考えられる。よって、Al の鉄スクラップへの混入は鉄鋼資源循環に大きな影響を与えないものと考えられる。

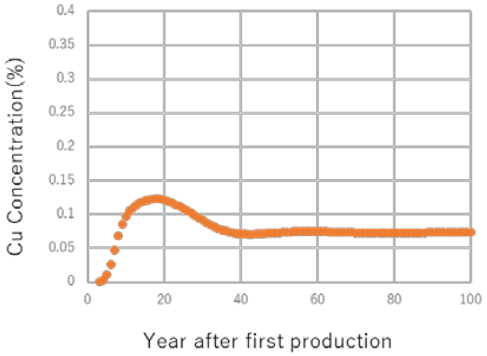


図 1 普通鋼スクラップ中の Cu 濃度の推移

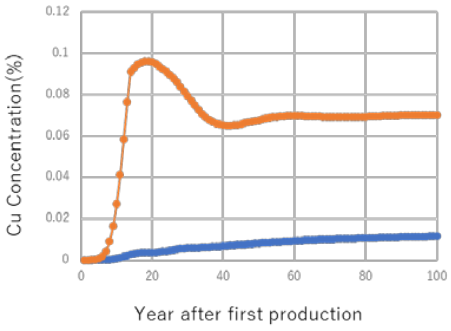


図 2 鋼材中の Cu 濃度の推移
(橙: 普通鋼小棒, 青: オーステナイト系ステンレス鋼)

Cu 素材の混入率を変化させ、平衡後の鋼材中 Cu 濃度が先行研究 [7]において建設・土木用鋼材に設定されている許容 Cu 濃度である 0.4%を上回る混入率の計算を行う。推計の結果、約 30%の混入率の場合に普通鋼スクラップ中の Cu 濃度が約 0.57%になり、それに伴い普通鋼小棒を含む全ての普通鋼において Cu 濃度が 0.4%を超える事が明らかとなった。

4. 考察

以上の結果より、自動車および機械製品の解体プロセスにおける Cu の混入率を 30%以下に抑えることで、Cu 濃度の制限の観点から継続的に利用可能なスクラップリサイクルが可能であると明らかになった。しかし、本報告においては、輸出入フローを考慮していないため、輸入してきた自動車・機械製品由来の混入について考慮出来ていない。加えて、鉄鋼材の循環を考える上で今回考慮している Cr や Ni 等の許容濃度についても考慮する必要がある。また、先行研究 [7]に示されている電炉で生産された鋼材中の Cu 濃度と乖離が生じているため、混入率の設定の精査が必要である。

引用文献

1) UNEP, Global material flows and resource productivity, (2016)
2) 原田幸明, 島田正典, 井島清: 日本金属学会誌, 71-10, (2007), 831-839
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) 角舘慶治, 河村光隆, 足立芳寛, 鈴木俊夫: 鉄と鋼, 86, (2000), 425-430
7) 醍醐市朗, 藤巻大輔, 松野泰也, 足立芳寛: 鉄と鋼, 91, (2005), 179-183
8) S. Nakamura, Y. Kondo, S. Kagawa, K. Matsubae, K. Nakajima, T. Nagasaka: Environ. Sci. Technol., 48, (2014), 7207-7214
9) S. Nakamura, K. Nakajima: Mater. Trans., 46, (2005), 2550-2553
10) K. Nakajima, O. Takeda, T. Miki, K. Matsubae, T. Nagasaka: Environ. Sci. Technol., 45, (2011), 4929-493

D1-22,P2-083　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

関与物質総量から見た自動車素材に着目し資源採掘に伴う地域別負荷依存度分析

Mineral external dependency analysis of automobile materials by Total Material Requirement

○廖　翰卿*1)、山末　英嗣 2)、松八重　一代 1)

Hanqing Liao, Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae

1) 東北大学大学院環境科学研究科, 2) 立命館大学理工学部機械工学科

* liao.hanqing.t3@dc.tohoku.ac.jp

1.緒言

自動車産業は人類社会を支える重要な基幹産業の一つである。2015 年では世界全体で約 8500 万台[1)]の自動車が生産されたが、世界人口の増大や世界的な経済発展により、これからも自動車の需要は増大傾向にある[2)]。しかし、資源採掘によりもたらされる土地改変や環境撹乱は、直接・間接的に採掘現地の環境に負の影響を与えることが予想されている。土地改変による環境攪乱は森林面積の減少や生物多様性損失など様々な負の環境影響をもたらすことが懸念されている[3)]。関与物質総量（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総量を重量単位で示す指標であり、土地改変を量的に測り、環境影響を評価する際に有力な指標である。資源・素材を輸入し製品製造を行う国においては、国内で直面する資源の流れ、環境への影響の背後に、資源生産国、素材精錬国において発生する廃棄物・環境攪乱があることを実感することが難しい。しかしながら SDGs における責任ある消費と生産を実現するためには、ライフサイクルを通じた様々な環境影響について、ステークホルダー間で共有することの重要性がますます増してきている。

2.目的

本研究はガソリン車 TMR 内訳、すなわちガソリン車地域別環境負荷依存度の推計を行うことにより、製品の背後で地域別に発生する環境攪乱の可視化を試みた。

ここでは、松井ら[5)]の先行研究に基づきガソリン車一台あたりの TMR 推計を精緻化し、生産地を日本とした際の地域別環境負荷依存度を推計する。資源・素材調達については 2011 年度の貿易統計[6)]を参照した。

3.手法

本研究では、ガソリン乗用車一台を単位にし、計算を行った。まず、資料[8) 9)]に基づき、自動車素材別でインベントリ分析を行い、一台あたりの TMR を再計算する。まず、ガソリン車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、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。

次に資料[6)]を用いて、日本産ガソリン車素材の輸入情報を地域別で整う。最後に TMR を地域別で分配する、結果を算出する。

以下、自動車 TMR 重量の計算方式について、説明する。

X_jを自動車に用いられる素材 j の重量、X_iを自動車にある部品 i の重量とし、以下の式を得る。

$$X_j = \sum_i^n x_{ij} X_i$$

さらにT_jを自動車素材 j の TMR 重量、S_jを素材 j の TMR 係数とする。

$$T_j = \sum_j^n X_j S_j$$

上記の式により、自動車の TMR を算出する。

次に海外依存度の計算手法について、以下のように求めた。z_{jk}を k 国に輸入した素材 j のシェア、Z_kを k 国への環境負荷依存度とする。

$$Z_k = \frac{z_{jk} T_j}{T}$$

上記の式により、各国への環境負荷依存度Z_kを算出した。

4.結果

本研究の結果を図１と図２に示す

ガソリン車一台当たりの TMR 重量は 30860kg と推計された。TMR ベースで考えると製造段階でガソリン車は金属消費に起因する環境負荷が大きいだけでなく、エネルギーによる環境負荷（16%ほど）もかなりの量を占めている。

地域別で見ると、日本産のガソリン車は TMR ベースでの海外依存率が 90%を上回っている。そのうち、オーストラリア、中国、ロシアの三国が 40%を占めており、貴金属はほとんど南アフリカに頼っていることが示された。

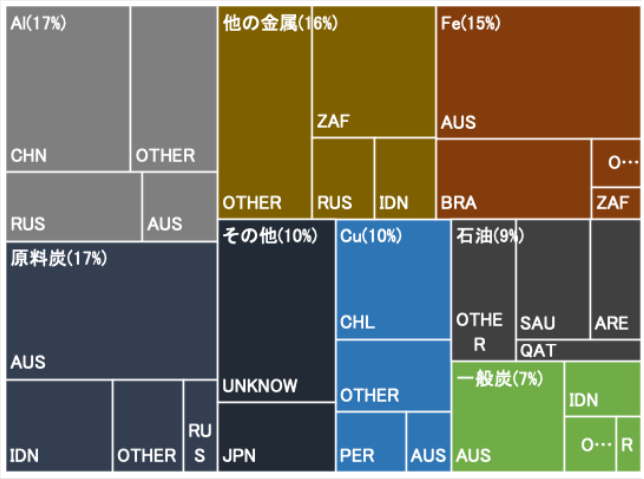


図 1　ガソリン車 TMR 素材別内訳

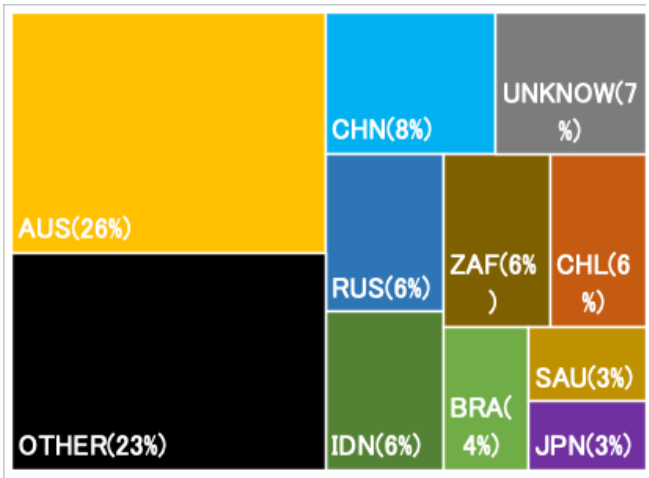


図 2　ガソリン車一台当たり TMR 地域別依存度

5.引用文献

1) “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>

2) “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/>

3) 門村浩, 山本博:地学雑誌, 1978 Volume 87 Issue 1 pp. 1-15

4) “SDGｓについて”, 外務省, 入手先＜ https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/about_sdgs_summary.pdf＞

5) “自動車の技術変化と素材に着目した資源需要分析”, 松井健裕, 小柳津顕, 山末英嗣, 松八重一代, 長坂徹也, 第 13 回 LCA 学会, 早稲田大学, (2017), pp. 104-105

6) “UN Comtrade Database”, 入手先＜ https://comtrade.un.org＞

7) 居城克治. ″自動車産業におけるサプライチェーンと地域産業集積に関する一考察: 自動車産業における開発・部品調達・組立生産機能のリンケージから.″ 福岡大学商学論叢 51.4 (2007): 305-332.

8) “Inventory Database for Environmental Analysis”, 入手先＜http://idea-lca.com＞

9) 独立行政法人　物質・材料研究機構: “概説　資源端重量”, (2009)

D1-23,P2-122　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

自動車用リチウムイオン電池の資源強度評価

Evaluation of resource intensity of lithium ion battery for vehicle

○鷹田祐京*[1)]、光斎翔貴 [1)]、山末英嗣 [1)]
Ukyo Takata, Shoki Kosai, Eiji Yamasue
1）立命館大学
* rm0104pv@ed.ritsumei.ac.jp

1. 緒言

国際エネルギー機関によると，2050 年における自動車の普及台数は 2000 年から約 4 倍に増加し 20 億台に達するとされ，約 90%が次世代自動車になるとされている [1)]．近年の次世代自動車の多くには車載用バッテリーとして高いエネルギー密度と長いサイクル寿命を持つリチウムイオンバッテリー（LiB）が使われている．

しかし，予想されている次世代自動車用 LiB の生産の急増に対して，使用済み LiB の処理方法は確立されていない．使用済み LiB の多くは，現在のところ，LiB に含まれるレアメタルも含めて焼却されて路盤材に利用されている．適切なリサイクルを通じて，路盤材になる物質を再資源化することで，LiB 生産による資源使用量を低減する．LiB にはコバルトやニッケルなどの高価な材料が含まれており，リサイクルによって生産に必要な材料や廃棄コストが削減され，LiB の生産コスト削減を可能にすると推計されている [2)]．材料は電池のセルコストの半分以上を占めるため重要な要因となっている．特に，コバルトの価格は 2 年で 4 倍に高騰しており，こうした材料を回収することで材料価格の上昇と変動の緩和に寄与し，安定した低コストの供給源となる可能性がある．また LiB に使われるコバルトの多くはコンゴ民主共和国から供給されるものの，政情不安定性から安定供給が脆弱である．リサイクルはそうした外国への資源依存低減にもつながる．

これらの持続可能な環境の構築，経済的，政治的観点からの諸問題は LiB に関する資源使用量の増大が原因である．そのため，LiB のリサイクルについて資源使用量の観点から評価する必要がある．ここで資源使用量を評価できる資源強度評価の指標の 1 つに関与物質総量（Total Material Requirement, TMR）[3)]がある．TMR は直接・間接の物質投入だけでなく，いわゆる隠れたフローも評価する指標であり，資源採取に関わる採掘活動量を定量化することができる．LiB のリサイクル性を TMR で推算することは各ケースを客観的に評価するという点で重要である．CO_2 排出量 [4)]や金属枯渇ポテンシャル [4)]で評価を行なっている例はあるが，TMR の観点から評価した例はない．そこで本研究では，使用済み LiB をリユース・リマン・リサイクルの 3 つのケースで処理した場合の LiB 生産の採掘活動量に対する効果を TMR を用いて評価を行い，最も効率良く LiB を実装するためのシナリオを提案する．

2. 研究手法

2.1 評価対象

本研究で想定した LiB の組成を Figure 1 に示す．対象はバッテリーパックの詳細な組成情報が記載されていた Ellingsen[4)]らの報告を参考にした．対象の LiB は EV 用の三元系正極材を使う LiB であり，重量は 253kg である．HV，PHEV については組成に関するデータ入手が困難なため，EV 用のバッテリーをそれぞれ 24.5kg,120kg で重量換算したものを使用した．

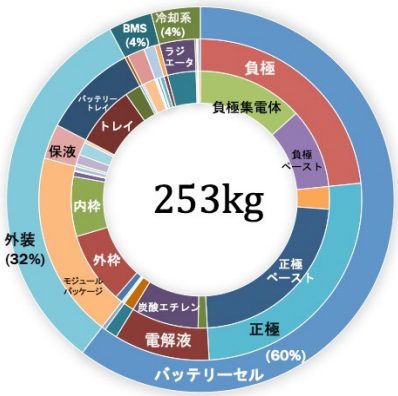


Figure 1 LiB の組成

2.2 システム境界

システム境界は採掘活動・素材製造・LiB 製造・解体を経てリユース・リマン・リサイクルの各シナリオで処理するまでとする．それぞれのプロセスにおける輸送やエネルギーについても考慮した．ここでは製品使用中の物質投入，例えば EV 充電の電力消費については考慮しない．

2.3 TMR の推算法

TMR の推算には物質の投入量（kg，L，m^3，J）,TMR 係数（kg-TMR/kg，kg-TMR/L，kg-TMR/m^3，kg-TMR/J），投入される物質の個数の 3 つの要素が必要であり，その関係は次の式で表される [5)]

$$(\mathrm{TMR}) = (\text{TMR 係数}) \times (\text{投入量}) \times (\text{投入される物質の個数})$$

本研究では LiB に関わる材料，エネルギー，輸送の TMR について考慮する．材料の TMR は LiB の組成に各材料の TMR 係数をかけたものを使用した．エネルギーの TMR はセル製造の際の電力ミックスに発電様式の TMR 係数をかけたものを使用した．輸送 TMR は鉄道輸送，トラック輸送，コンテナ船輸送の 3 つを考慮した．また，機能単位として「製造された素材 1kg」を設定した．

2.4 処理方法の設定

本研究では使用済み LiB の処理方法について 3 つのケースを考慮した．ケース 1 は自動車に対してリユース，ケース 2 は定置利用の蓄電池にするリマン，ケース 3 は LiB の素材のリサイクルとした．

3. 結果と考察

3.1 LiB の TMR 推計

材料，エネルギー，輸送の 3 つのライフサイクルを考慮した LiB の TMR 推計を行なった結果，材料 TMR が全体の 78%と TMR では支配的であり，エネルギーTMR は全体の 24%を占め，輸送 TMR については全体の 0.05%と TMR の観点では無視できる大きさであることが分かった．

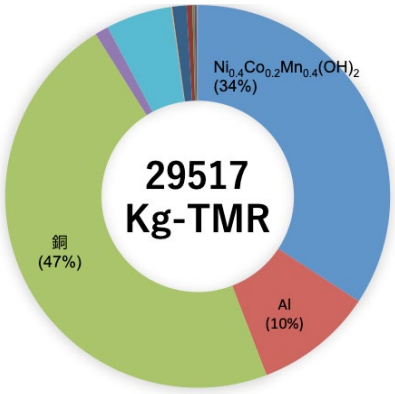


Figure 2 LiB の材料 TMR

また材料に注目した TMR 推計を Figure 2 に示す．重量比では正極に用いられるニッケル，コバルト，マンガンの三元系が 22%，Al が 18%，銅が 15%となっているが，TMR の観点で見ると銅が全体の 47%と TMR ではかなり支配的であり，次に三元系が 34%であることが分かった．これは三元系の TMR 係数の 184.4kg-TMR/kg に対して銅の TMR 係数が 360kg-TMR/kg と高いことに起因する．

3.2 将来の自動車普及シナリオとの接続

LiB を使用する次世代自動車の普及シナリオを用いて，LiB の生産に関わる TMR の将来的な推移を Figure 3 に示す．　2015 年から 2050 年にかけて LiB に関わる採掘活動量がおよそ 35 倍にも増えることが分かった．ここから走行時の二酸化炭素排出量は減るが資源の使用量が増えるというトレードオフが見える．

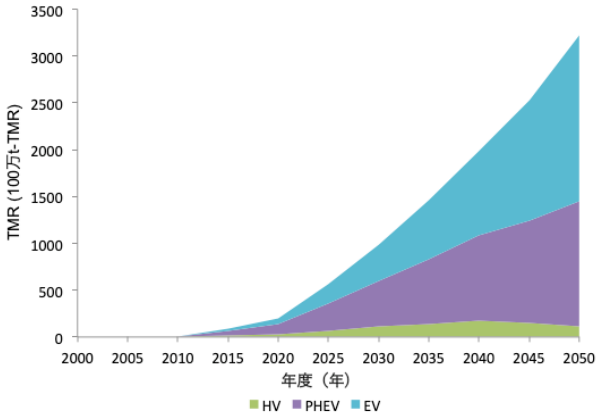


Figure 3 次世代自動車用 LiB の需要に対する TMR の推移

4. 結言

今回の TMR 推計でライフサイクルを考慮した場合，材料 TMR が支配的であり，材料 TMR では銅が支配的であることが分かった．このことから LiB 生産においては，銅をより精査に評価する必要があることがわかった．

自動車用 LiB の関与物質総量を用いたそれぞれのリサイクルシナリオの詳細な評価は当日報告する予定である．

参考文献

1) IEA, Energy Technology Perspectives 2012, IEA ホームページ（オンライン），入手先<https://www.iea.org >, (参照 2018-4-16)
2) Linda Gaines., Kirti Richa and Jeffrey Spangenberger:MRS Energy&Sustainabil, 5(14),(2018),p1-14
3) 山末英嗣，南埜良太，奥村英之，石原慶一 (2010): 日本 LCA 学会誌, 6(2), 110-117
4) Linda Ager-Wick Ellingsen., Guillaume Majeau-Bettez., Bhawna Singh., Akhilesh Kumar Srivastava., Lars Ole Valøen, and Anders Hammer Strømman :Jornal of Industrial Ecology, 18(1),(2013),p113-12
5) Shoki Kosai,Seiji Hashimoto, Kazuyo Matsubae, Benjamin Mclellan and Eiji Yamasue:Minerals,8(114),(2018),p1-20

自動車寿命によるグローバル CO_2 排出量変化の要因分解分析

Spatial Structural Decomposition Analysis with a Focus on Product Lifetime

○中本裕哉*[1)]、加河茂美 [1)]

[1)]九州大学

*y.nakamoto0527@gmail.com

1.　はじめに

一般的に、製品の長寿命化は、消費者の新製品への買い替えの鈍化をもたらし、新製品の製造に付随する CO_2 を減少させることに寄与する。ところが、その買い替えの鈍化のためにエネルギー効率の悪い旧型製品の多くが社会に残存することによって製品使用に付随する CO_2 排出は増加する(Cooper, 2005)。自動車の寿命延長を対象とした既存研究(Spielmann and Althaus, 2007; Kagawa et al., 2011)は以下の問題点を有している。(1)製品寿命の変化がその製品に付随するカーボンフットプリントに与える影響に関する国際比較がなされていない、(2)当該国における製品寿命の変化がグローバルサプライチェーンに付随するカーボンフットプリントに与える影響が推計されていない。

これらの重要な二つの問題に取り組みために、本研究は、 アメリカ、ドイツ、日本の自動車の寿命分布に基づいて定式化されるストック・フローモデルと世界多地域産業連関分析を組み合わせることによって新たなライフサイクル分析手法を提案した。具体的には、World input output database (WIOD) (Timmer et al., 2015)を用いて、前述の 3 ヶ国における 1987 年から 2009 年までに販売され保有された乗用車に焦点を当て、構造分解分析を適用することにより、当該国で保有されている自動車の寿命の変化が 1995 年から 2009 年までの自動車由来のグローバルなカーボンフットプリントに与える影響を推計した。また、構造分解分析によって得られる最終需要効果を、追加的に分解することで、乗用車に付随する最終需要のダイナミズムおよび寿命変化の影響を明らかにした。

2.　研究手法

t 年における c 国の乗用車と石油製品のグローバル最終需要は以下のように定式化できる:

$$\mathbf{f}_c\left(t;\bar{\mu}_c\right)=\begin{bmatrix}0\\ f^{auto}_{c,1c}\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ f^{petro}_{c,1c}\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ 0\\ \vdots\\ 0\\ f^{auto}_{c,Nc}\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ f^{petro}_{c,Nc}\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ 0\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\ \tau^{auto}_{1c}\left(t\right)p^{auto}_{c}\left(t\right)B_c\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ \tau^{petro}_{1c}\left(t\right)p^{petro}_{c}\left(t\right)q_c\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ 0\\ \vdots\\ 0\\ \tau^{auto}_{Nc}\left(t\right)p^{auto}_{c}\left(t\right)B_c\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ \tau^{petro}_{Nc}\left(t\right)p^{petro}_{c}\left(t\right)q_c\left(t;\bar{\mu}_c\right)\\ 0\end{bmatrix} \tag{1}$$

ここで、$B_c\left(t;\bar{\mu}_c\right)$ は t 年における c 国の自動車販売台数、$q_c\left(t;\bar{\mu}_c\right)$ は t 年における c 国の自動車による年間ガソリン消費量を示している。また、$p^{auto}_{c}\left(t\right)$ と $p^{petro}_{c}\left(t\right)$ は t 年における c 国の新車価格とガソリン価格をそれぞれ示している。

重要なことは、(1)式のグローバル最終需要ベクトルは、乗用車の平均寿命 $\bar{\mu}$ の関数としてみなすことができる。すなわち、特定の国の自動車の平均寿命の変化がグローバル最終需要ベクトルに与える影響を推計することが可能である。t 年における c 国の乗用車と乗用車に関する石油製品のグローバル最終需要に付随する間接 CO_2 排出量は、以下のように推計できる:

$$\begin{aligned}Q_{c,\,indirect}\left(t;\mu_c\right)&=\mathbf{e}\left(t\right)\left(\mathbf{I}-\mathbf{A}\left(t\right)\right)^{-1}\mathbf{f}_c\left(t;\mu_c\right)\\&=\mathbf{e}\left(t\right)\mathbf{L}\left(t\right)\mathbf{f}_c\left(t;\mu_c\right)\end{aligned} \tag{2}$$

多地域産業連関分析に基づいて、CO_2 排出係数ベクトル $\mathbf{e}\left(t\right)=\left(\mathrm{e}_i\left(t\right)\right)$ は t 年における i 産業の一単位の製造による直接 CO_2 排出量を示している。$\mathbf{I}$ は単位行列であり、投入係数行列 $\mathbf{A}\left(t\right)=\left(a_{ij}\left(t\right)\right)$ は t 年における j 産業の一単位の製造に必要な i 産業の投入量を示している。

$\mathbf{L}(t)=(\mathbf{I}-\mathbf{A}(t))^{-1}$ は、t 年の多地域産業連関表にもとづくレオンチェフ逆行列である。すなわち、原料採掘時、製造時、走行時の直接排出および間接排出を含めたライフサイクル CO_2 排出量は最終的に以下のように定式化できる:

$$Q_c(t;\mu_c)=Q_{c,\,indirect}(t;\mu_c)+G_c(t;\mu_c) \tag{3}$$

さらに c 国の t-1 年から t 年までのカーボンフットプリントの変化は以下のように定式化できる:

$$\begin{aligned}\Delta Q_c &= Q_c(t;\mu_c)-Q_c(t-1;\mu_c)\\ &= \mathbf{e}(t)\mathbf{L}(t)\mathbf{f}_c(t;\mu_c)+G_c(t;\mu_c)\\ &\quad -\{\mathbf{e}(t-1)\mathbf{L}(t-1)\mathbf{f}_c(t-1;\mu_c)+G_c(t-1;\mu_c)\}\\ &= \Delta E_c+\Delta L_c+\Delta F_c+\Delta G_c\end{aligned} \tag{4}$$

ここで、$\Delta E_c=\mathbf{e}(t)-\mathbf{e}(t-1)$: 第一項は産業の排出原単位効果、$\Delta L_c=\mathbf{L}(t)-\mathbf{L}(t-1)$: 第二項は投入構造効果、$\Delta F_c=\mathbf{f}_c(t;\mu_c)-\mathbf{f}_c(t-1;\mu_c)$: 第三項は最終需要効果、$\Delta G_c=G_c(t;\mu_c)-G_c(t-1;\mu_c)$: 第四項はガソリン消費の直接排出効果をそれぞれ示している。

3.　分析結果と考察

構造分解分析法を用いて、1995 年から 2009 年における当該国の自動車の国内最終需要によって誘発された間接 CO_2 排出と当該国のガソリン消費に伴う直接 CO_2 排出を合計した自動車のカーボンフットプリントの変化の要因を分析した。本研究は、1995 年から 2009 年までの 14 年間を、4 期間 : 1995-2000 (5 年間), 2000-2005 (5 年間), 2005-2008 (3 年間), 2008-2009 (1 年間)に分割しており、特に経済危機の影響を大きく受けている 2008-2009 の分析結果は、2005 年から 2008 年までの分析結果と区別されている。t-1 年から t 年までのカーボンフットプリントの変化要因は、産業の排出原単位効果, 投入構造効果, 最終需要効果, ガソリン消費の直接排出効果の 4 つに分解することが出来る（図 1）。

図 1 は、アメリカのカーボンフットプリントの変化要因を示している。自動車製造に直接間接的に携わるサプライヤーの排出原単位効果(E)は排出削減に寄与しており、技術革新を通した排出強度の低い自動車製造がグローバルに進んでいる（図 1）。一方で、1995 年から 2008 年の間、アメリカの投入構造効果(L)は、およそ 30%の排出増加に寄与しており、マイナスの排出原単位効果を完全に相殺している。投入構造の脱炭素化させることが決定的に重要である。

新車と旧型車の走行時に伴うガソリン需要効果は、2008 年から 2009 年に減少に大きく寄与しており、驚くべきことに排出係数効果による減少分を上回っている(図 1)。保有台数効果は、2008 年までに増加に大きく寄与しており、それ以降は減少にわずかに寄与している。この結果は、2008 年以降、新車の販売台数よりも寿命に従って廃棄される自動車の方が多いことを示している。また、乗用車とガソリンの交易効果は小さく、乗用車の貿易構造の変化が自動車のカーボンフットプリントに与える影響は限定的である。

結果から、1995 年から 2009 年までに対象 3 ヶ国において、自動車製造に直接間接的に携わるサプライヤーの排出原単位効果は排出削減に寄与していた。技術革新を通した環境にやさしい自動車製造がグローバルに進む一方で、産業の投入構造は脱炭素化と逆行しており排出原単位効果を完全に相殺していた。さらに構造分解分析によって、経済波及をもたらす最終需要部門の需要ダイナミズムは透明度が高くなり詳細な議論を可能にした。驚くべきことに、寿命延長による新車需要の抑制はカーボンフットプリントを大幅に削減し、産業の技術効果と同じ水準かそれ以上で実現した。低炭素社会の構築には、技術革新による排出強度の低い製品製造に加えて、製品の長寿命化も重要な役割を果たす。

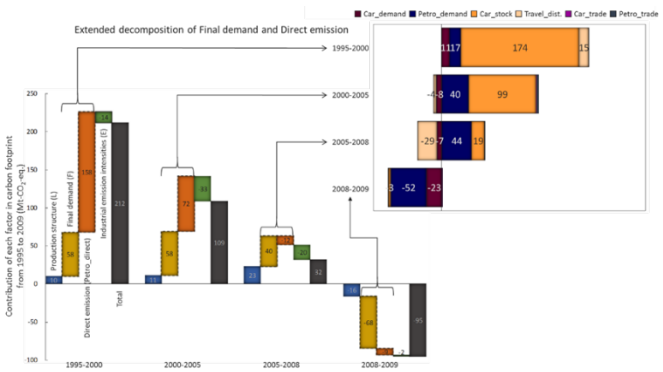


図　1: SDA and E-SDA of the carbon footprint of automobiles during 1995 to 2009 (U.S.A.).

4.　参考文献

1)　Cooper, T. (2005) *J. Ind. Ecol.* 9(1), 51–67.

2)　Spielmann, M. and Althaus, H. J. (2007) *J. Clean. Prod.* 15 (11-12), 1122–1134.

3)　Kagawa, S., *et al.* (2011) *Environ. Sci. Technol.* 45(4), 1184–1191.

4)　Timmer, M. P., *et al.* (2015) *Rev. Int. Econ.* 23 (3), 575–605.

E1-21,P2-087　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

CeO_2 を用いたバイオガス中の不純物除去システムの設計及び環境影響評価

Designs of Impurity Removal System using CeO_2 and Environmental Impact Assessment

○坂口昌幸 [1)]，堂脇清志*[1)]
Masayuki Sakaguchi, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学
* dowaki@rs.noda.tus.ac.jp

1. はじめに

再生可能エネルギーは，都市部より郊外・地方部において中小規模発電の導入ポテンシャルが大きく，その中でも小規模分散型電源としての固体酸化物形燃料電池(SOFC)が注目されている．また，高温領域で運転する SOFC の燃料としては，低環境負荷の水素社会へ向けて利用が期待されている観点から、バイオマス由来ガスが 1 つの候補として検討されている．例えば，メタン発酵由来のバイオガスには CH_4 が含まれており低温で燃料電池に利用すると炭素が析出する恐れがあり，SOFC で利用する場合には、CH_4 を主成分とする燃料ガスについては再加熱が必要となる。他方，熱分解ガス化による合成ガスも利用可能であるが、この場合、燃料の再加熱は必要がないものの、SOFC の安定的な運転を確保するためには、高温領域において不純物の除去が必要となる。このような背景から、本研究では合成ガスの燃料による SOFC の運転評価について、不純物除去の観点から実施した。特に、当該燃料として，国内の民間企業が 15t/day を標準規模とした高温でのガス化が可能な小規模バイオマスガス化プラントと生成したガスと SOFC 発電を結合させるコンバインドサイクルシステム(BT-SOFC)に着目することとした．

一般的に燃料電池は，使用する燃料ガスに存在する不純物により触媒が被毒され，電圧低下を招くため不純物除去の対策が重要となる．熱分解ガス化によって得られた合成ガスには、硫黄分などが含まれており，それらの除去は化学吸着または物理吸着のいずれかによって達成することができる．但し、今後は、これらの設計においては環境問題の観点から，金属資源枯渇等の環境影響指標についても考慮する必要があろう。

当該システムにおいて、不純物除去を考える場合には、前述したように SOFC における運転温度と除去性能に起因する温度のバランスが重要となる。特に、SOFC は内部改質が行われるため炭化水素系の燃料を直接投入することが可能であるが、例えば、酸化金属による除去仕様によりより 500℃程度まで温度を低下させた場合には、C1 以上の炭化水素の共存が懸念され運転性能の低下を招くことになる。一方、温度を低下させないで不純物を除去する場合には、利用できる酸化金属が限定されることになり、環境影響指標により、その選択がなされることが必要となる。そこで，本研究では再生可能かつ資源が豊富にある酸化セリウム(CeO_2)での化学吸着を想定し酸化金属の使用量低減の可能性についてシステム評価を行い、検討した．なお、本研究においては、不純物として硫化水素(H_2S)を考えることに注意されたい。

2. 研究手法:ケーススタディの定義

2.1 システム境界の定義

本研究のバイオマスガス化 SOFC コンバインドサイクルシステム(BT-SOFC)は，スギ材を原料と熱分解ガス化プロセスの後段に SOFC を結合させたシステムを想定した．また、LCA 評価のシステム境界については、WtT アプローチとし，バイオマスの収集後，チップ化，輸送，発電までとした（図 1 参照）．但し，燃料電池を除くプラントの資本財については評価から除外した．原料収集から発電までを対象とした。

本研究では，当該システムにおける吸着剤の影響を評価するため，「Case1： 酸化鉄(Fe_2O_3)を用いた脱硫プロセス」、「Case2： 酸化セリウム(CeO_2)を用いた脱硫プロセス」の 2 つの比較を行い、機能単位を

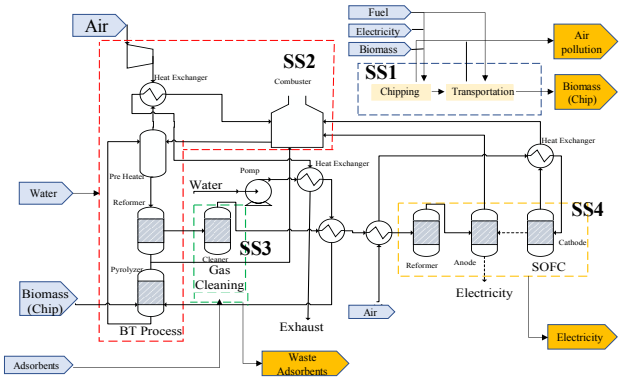


図 1 BT-SOFC コンバインドシステムバウンダリー

電力 100kWh とした。

2.2 原料収集，チップ化(SS1)

まず、バイオマス原料の収集に関しては橋本らの研究より，この規模のプラントであれば，50km 圏内でバイオマスが確保できることから [1]、収集範囲を 5-50km の平均をとり，27.5km とした。また、チップ化については渡辺らの研究より，エネルギー消費量は軽油 1.033 g/kg-feed，電力 0.0136 kWh/kg-feed とした [2]。なお, 原料のスギについては, Ecoinvent 3.2 のデータベースにある針葉樹廃材をバックグラウンドデータとして使用した.

2.3 BT-SOFC システム (SS2, SS3, SS4)

次に、BT-SOFC の性能については，定常運転時のプロセス設計をプロセス計算ソフト Aspen Plus® V8.8 を用いて設計を行った．なお、前述したように２つの酸化金属による脱硫工程を比較対象としているが、この場合、それぞれ除去温度は同じとして評価したことに注意されたい。 なお、脱硫工程では，本研究のバイオガス中には 20ppm の H_2S 含有を想定し，当該プラントが運転可能である濃度範囲 5ppm までの除去を 700℃で行うとものとした．また、当該プラントの年間運転時間は、メインテナンス期間を考慮し 10 か月とした。

ここで、当該サブシステムにおけるインベントリーデータについては、Aspen Plus®の結果を用いたほか，吸着剤の充填量に関しては各吸着剤の脱硫試験の研究を参考にした [3),4)]. また、燃料電池については、被毒による交換等を考慮し Young らの研究 [5)]を参考にし、インパクトカテゴリーは Fuel Cells and H2 Technologies に関するハンドブックを参考にした [6)].

3. 結果と考察

3.1 プロセス設計の結果

BT-SOFC コンバインドシステムのプロセス設計結果から，電力 100kWh あたりの直接分に関するインベントリーデータを表 1 に示す.

3.2 環境影響評価

次に、環境影響評価については，CML 手法を用いてミッドポイントまでの分析を 11 カテゴリーに対して行い，SimaPro 8.2 ソフトウェアを用いて計算した．このとき、バックグラウンドデータに関しては Ecoinvent 3 のデータベースを利用した.

本研究では、各カテゴリーに対して、Case1 の値を基準(100%)とした場合のインパクト評価結果(一部抜粋)を示した(図 2 参照).

表 1 プラントのインベントリーデータ

	Case1	Case2
Input		
Adsorbents(SS3)[kg]	3.42.E-02	5.55.E-03
Air(SS1,SS4)[kg]	5.70	5.70
biomass(SS2)[kg]	1.01	1.01
Water(SS2)[kg]	0.36	0.36
Emissoin		
Electricity(SS4)[kWh]	100	100

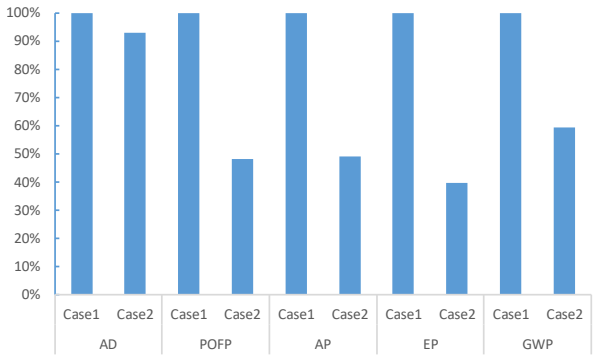


図 2 インパクト評価結果 (SS3 抜粋)

この結果、光化学オキシダント(POFP)，酸性化(AP)，富栄養化(EP）については，CeO_2 を用いることで 50%前後の改善が見られ，地球温暖化(GWP）についても 40%程の改善がみられた．さらに，資源枯渇性(AD)についても、10%程度の改善が見られた。

4. まとめ

本研究では, BT-SOFC の吸着剤を考慮した環境評価を行った．その結果，脱硫システムに CeO_2 を導入することで，POFP，AP，EP，GWP が大幅に改善し，AD もわずかながら改善することがわかった．なお、今後は運転温度での脱硫効果及び SOFC の劣化試験を行い、LCA の結果に反映させたい。

引用文献

1) 橋本征二，小原卓巳，寺島泰:土木学会論文集, 643(Ⅶ-14), (2000), pp.37-48

2) Watanabe Y., Sato Y., Kawano D., Koido K., Dowaki K.: Int. J. LCA, 9 (1), (2013), pp 20-36

3) Kempegowda, Rajesh Shivanahalli, Navadol Laosiripojana, and Suttichai Assabumrungrat. *Korean Journal of Chemical Engineering* 25.2 (2008): 223

4) Ren, X., Chang, L., Li, F., & Xie, K. (2010). Fuel, 89(4), 883-887

5) Lee, Y. D., Ahn, K. Y., Morosuk, T., & Tsatsaronis, G. (2015).Energy, 79, 455-466.

6) Masoni, P., & Zamagni, A. (2011). Guidance Document for performing LCAs on Fuel Cells and H2 Technologies. Project deliverable for Fuel cell and Hydrogen-Joint Undertaking.

ネガティブエミッション技術と LCA

Negative emission technologies and LCA

○佐伯順子、 山岸　健、鶴田　祥一郎
Yoriko Saeki, Ken Yamagishi, Shoichiro Tsuruta
産業環境管理協会
* saeki@jemai.or.jp

1. はじめに

2018 年 10 月に発表された IPCC の 1.5℃報告書では、世界の温室効果ガス排出量を 2030 年までに 45%減、2050 年には実質 0 にするという目標が掲げられている。複数のモデルを基に、この目標を達成するシナリオが報告されているが、そのほとんどのモデルで二酸化炭素を積極的に除去することが前提となっている。この積極的な二酸化炭素の除去により二酸化炭素排出量のネット・ネガティブを目指す技術はいくつか存在するが、現在各技術は多様であり、一長一短である。これらの技術について文献調査し、LCA の必要性、LCA 実施時の課題について議論する。

2. 方法

2.1　ネガティブエミッション技術

人為的に大気中から CO_2 を除去することを可能にする技術をネガティブエミッション技術という [10]。各技術の概要を表 1 に示す。

2.2　文献検索

これら各技術および「Life cycle assessment」をキーワードとして、2015 年以降に発表された文献を検索エンジン Google scholar を利用して検索した。今回の調査では、CCS、BECCS、DAC、土壌炭素貯留、バイオ炭、風化促進、海洋肥沃に着目した。検索された文献の中から LCA の観点から分析している査読付き論文およびレビュー論文を中心に抽出し整理した。

3. 結果

3.1　各技術における LCA

各技術における LCA 実施状況のまとめを表 2 に示す。CCS および BECCS は、現在実証実験およびプラントでの運用が世界各地で行われている。コストに課題があるものの、CO_2 除去の量的ポテンシャルが高いとされ、産業と組み合わせた運用が可能である。このため、CCS が運用されているプラントにおける LCA が他技術と比較して多く行われており、コストと共に算定されるケースが多い。それら評価における機能単位は、電力プラントにおける発電単位あたりなどその施設に併せた単位が用いられている。バウンダリは、原材料調達から CO_2 貯蔵までの全ライフサイクルを含み、プラントの資本財も含まれているケースがほとんどであった。さらに気候変動以外の環境影響領域、主に富栄養化、酸性化、生態毒性、光化学オキシダントへの評価も行われている [2]。CO_2 除去とこれらの環境影響領域とのトレードオフの可能性が存在している [6]。

CCS および BECCS では、CO_2 を分離する際の手法および溶媒、また貯蔵方法により、算定結果に差異があった。運用されている発電設備等（例：石炭ガス化複合発電、ガスタービン複合発電）により CO_2 分離手法の適性が異なるため、各設備での LCA が実施され CO_2 回収効率の検討に用いられている。例えば、従来火力発電で CCS を行わない場合、平均 876kgCO_2eq/MWh の排出量であるのに対し、燃焼後回収にモノエタノールアミン溶媒を用いた CCS を採用した場合は 203kgCO_2eq/MWh、酸素燃焼による回収を行った場合は平均 154kgCO_2eq/MWh と報告されている [2]。

表 1 ネガティブエミッション技術とその概要

ネガティブエミッション技術	概要
炭素捕集貯留（CCS）	一般に化石資源に由来する発生した CO_2 を分離回収、貯留する技術。発電所、製鉄工場などの CO_2 排出が多い場所で採用されることが多い。厳密には、ネット・ネガティブとはならない
バイオエネルギー・二酸化炭素捕集貯留（BECCS）	バイオマスエネルギーの燃焼により発生した CO_2 を捕集貯留する技術
直接炭素捕集（DAC）	大気中の CO_2 を直接捕集する技術。CCS との組み合わせでネット・ネガティブとなる
土壌炭素貯留	有機物を土壌に貯蔵・管理する技術。CO_2 貯留量が、自然分解による土壌からの CO_2 放出量より多い場合に土壌炭素貯留となる
バイオ炭	有機物を熱分解により炭化しを土壌に埋設することにより炭素を固定する技術。土壌炭素隔離技術の一つ
風化促進	ケイ酸塩鉱物などの岩石を粉砕し表面積を大きくするなどして、風化を人工的に促進する技術。風化の過程で CO_2 を吸収
海洋肥沃	海洋に養分を散布することにより生物学的生産を促す技術。最終的に大気中からの CO_2 の吸収量の増加を見込む
植林・再生林	樹木による CO_2 吸収を促進する技術

表2　各ネガティブエミッション技術でのLCA

	気候変動以外の環境影響領域	LCAにおける課題
CCS/BECCS	酸性化、富栄養化、生態毒性、光化学オキシダント	不確実性、運用方法による結果の変動、圧縮、注入、輸送について不確実性、CO_2の漏洩考慮
BECCS		原材料の生産効率の変動
DAC	富栄養化、資源枯渇、酸性化、光化学オキシダント、生態毒性、人間毒性	バウンダリの設定（資本財、貯留方法などの取り扱い）、手法による回収効率の変動
バイオ炭/土壌炭素貯留	光化学オキシダント、酸性化、富栄養化、発がん性物質、生態毒性、資源枯渇	バウンダリの設定（副産物としての取り扱い、他の生態系への影響など）、メタンやNOxなどの他のGHGガス排出量の算定、原材料の競合
風化促進	NA	LCAの事例はない：技術開発途上、自然環境の影響が大
海洋肥沃	NA	LCAの事例はない：技術開発途上、自然環境の影響が大

CCS および BECCS の LCA における課題点は、もっぱら CO_2 の圧縮および注入、溶媒など各種技法、輸送等に関連するデータ不足、そしてインフラ設定のシナリオ等に起因する不確実性である [6]。また BECCS においては、燃料となるバイオマスの生産効率の変動も不確実性の要因となっている [4]。さらに、貯留後の CO2 漏洩は 1%以下とされ [2]、モニタリングなどに係る負荷も含まれていない [11]。

BECCS で燃料となるバイオマスは、農業などの他の産業との競合も指摘されており [11]、コンセクエンシャル LCA を用いて評価している例もある [12]。

DAC における LCA の事例では、GHG 排出量はネットネガティブになっているが、その効率はシナリオ、手法により変動するため、不確実性が存在する [7]。バイオ炭および土壌炭素貯留は、土壌改良の特性から生態系および経済へのメリットを論じられることが多いが、より包括した形での LCA が必要と報告されている [8]。風化促進の技術について LCA が行われている事例は、本調査で発見できなかった。風化促進は、主にケイ酸塩鉱物が CO_2 と反応し吸収する特性を活かしたもので、長期間漏洩の心配がなく、ケイ酸塩鉱物資源も豊富なため、今後の技術開発が期待されている [9]。しかしながら、風化促進ではケイ酸塩鉱物の反応を促進するために、鉱物の粉砕、輸送、散布に係るエネルギーを必要とするため、二酸化炭素吸収量がそのエネルギー消費による排出量を上回る運用の規模等を図るためにも LCA が求められている [3]。海洋肥沃についての LCA 事例は見出すことはできなかった。風化促進同様、未知なことが多く、副作用も懸念されている [5]。自然の中で運用する技術であることも LCA 実施の難しさの要因かもしれない。

3.2　考察

Fuss ら [5]および Minx ら [10]が、各ネガティブエミッション技術の CO_2 除去の量的ポテンシャルおよびコスト、そして副作用を、約 6000 ある関連文献から網羅的に整理した。これらの論文では CO_2 除去の量的ポテンシャルは、試算によるものが多く算定根拠も様々である。今後これらの技術を実際に運用していくためには、さらに確度を高めた算定が求められる。この状況の中、各技術分野で LCA が求められていることが様々な文献で確認された。特に、CCS やバイオ炭では LCA についての解説、実施方法についての文献が発表されており [1,4]、LCA 導入への関心が伺える。

ネガティブエミッション技術を評価する LCA 実施の進展度合いは各技術の成熟度および影響度を反映して異なっているものと考えられる。例えば、CCS については、文献数および各研究の完成度もその技術への関心度の高さを示していると言える。他方、風化促進については、関心の高さは伺うことが出来るが、データが不足し研究が進んでいない。海洋肥沃についても、副作用への懸念や技術規模の大きさが技術開発の障壁となっていると考えられる。

3.3　今後の展望

今後のネガティブエミッション技術の開発、効率向上、運用において、これら技術による CO_2 排出量が除去量を下回り、ネット・ネガティブになっていることを LCA で確認することは必要不可欠である [14]。また、技術効率向上のためにも LCA は役立てられる。[13]。今後さらに新技術が開発されると考えられるこの分野で、新技術の効果を評価するためのコンセクエンシャル LCA も必要とされると考えられる。そして、将来予想を加味したシナリオでより精緻な議論を可能にする LCA 手法がさらに期待される。

4. 引用文献

1) Bergman R, Gu H, Page-Dumroese D, Anderson N (2017) Biochar: A regional supply chain approach in view of climate change mitigation. Cambridge University Press., Cambridge, United Kingdom
2) Cuellar-Franca, R. M. And Azapagic, A. Jounal of CO_2 utilization 9: 82-102. (2015).
3) Edwards DP, Lim F, James, RH, Pearce CR, Scholes J, Freckleton RP, Beerling DJ. Biol. Lett. 13: 20160715. (2017).
4) Falano, T., & Thornley, P. Unlocking Negative Emissions, 117–127. (2018).
5) Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Minx, J. C. (2018). Environmental Research Letters: 13(6). 2018.
6) Gough C, Garcia-Freites S, Jones C, Mander S, Moore B, Pereira C, Röder M, Vaughan N, Welfle A. Global Sustainability 1, e5, 1–9. (2018).
7) de Jonge, M. M. J., Daemen, J., Loriaux, J. M., Steinmann, Z. J. N., and Huijbregts, M. A. J. International Journal of Greenhouse Gass Control 80: 25-31.
8) Lal, R. M. Guo, Z. He, and M.Uchimiya, editors, Agricultural and environmental applications of biochar: Advances and barriers. SSSA Spec. Pub. 63. SSSA, Madison, WI. (2015).
9) Li, J.; Hitch, M.; Power, I.M.; Pan, Y. Minerals 8, 147–164. (2018).
10) Minx, J. C., W. F. Lamb, M. W. Callaghan, S. Fuss, J. Hilaire, D. Lenzi, G. Nemet, F. Creutzig, T. Amann, T. Beringer, W. de Oliveira Garcia, J. Hartmann, T. Khanna, G. Luderer, G. F. Nemet, J. Rogelj, S. Rogers, P. Smith, and M. del Mar Zamora. Environmental Research Letters 13(6). (2017).
11) Singh, B., Stromman, A. H., and Hertwich, E. International Journal of Greenhouse Gas Control 5:457-466. (2011)
12) Slade, R., Bauen, A., Shah, N. Biotechnol. Biofuels 2, 15–19 (2009)
13) Wang, J. Zhao, J. Wang, Y., Deng, S., Sun, T., and Li, K. Journal of Cleaner Production 154: 541-552. (2017).
14) 内閣府「ボトルネック課題研究会」、https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/houkousei.pdf

希少金属含有量を考慮した家庭用燃料電池コージェネレーションの包絡分析

A Data Envelope Analysis of the Stationary Fuel Cell Power Systems for Residential Applications in Consideration of Rare Metals Consumption

佐藤 聖史[1)], 中台 健人[1)], 奥野 蒼太[1)], 徐 維那[1)], 片山 昇[1)], ○堂脇 清志*[1)]

Kiyofumi Sato, Kento Nakadai, Sota Okuno, Yuna Seo, Noboru Katayama, Kiyoshi Dowaki

1）東京理科大学

* dowaki@rs.noda.tus.ac.jp

1. はじめに

現在，家庭用燃料電池システム(Fuel Cell Cogeneration System : FC-CGS)の普及が日本国内において進んでおり，海外においても注目を浴びている．このような普及状況に応じて，国際電気標準会議(International Electrical Committee : IEC)では，燃料電池の国際標準を作成することを目指し，同会議のIEC/TC105にて製品・技術面と環境面を考慮した審議が行われている．特に，TC105の燃料電池LCA分科会において，燃料電池のライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment : LCA)による統合化指標づくりの検討が行われている．

これまでの研究においては，FC-CGSを対象としたLCAが行われているが、FC-CGSの製造段階のみを評価しており，使用段階を評価できていない例が多く，直接間接部分を含め，どの段階が最も環境負荷が大きいのか，あるいは，性能に影響を与える部分はどこなのかがという視点が必ずしも十分ではなかった[1)]．

そこで筆者らは、これまでFC-CGSにおけるGHG排出量と資源枯渇の影響を分析し，環境負荷と生産ノウハウを考慮した包絡分析による指標(FC-DEA)の提案を行ってきた[2)]．しかしながら，これまでの研究では，運転性能に影響与える部分と実際の運転性能，全体の環境負荷を関連させた評価については十分でなかった．そこで本研究では，固体高分子型FC-CGS(Polymer Electrolyte Fuel Cell Cogeneration System : PEFC-CGS)のPt添加量と性能(I-V特性)をモデル化し，さらにその妥当性を検証するために，Pt添加量を変化させたときのセルのI-V特性を実測した．この結果をもとに，プロセス設計を行い，CO_2削減量最大化による最適モデルにより，運転時のCO_2削減量を求め，統合指標の一環としてFC-DEAによる分析を行った．

2. 分析条件

2.1 対象システムの概要

本研究では家庭用燃料電池として発売されているエネファーム(PEFC-CGS)を研究対象とした．定格出力700 Wであり，耐用年数10年間を想定した．また，各燃料電池システムの仕様ついてはPEFC-CGSは，平成19年度みずほ情報総研による報告書をベースにして，現在のメーカーの仕様に合うようにヒアリング等によりデータを一部変更して分析を行った(詳細は表S1を参照)[2)3)]．

2.2 需要データ(標準家庭)

次に，本研究で行う家庭の需要データは，家庭用の電力及び給湯需要に対して，10 kW以下の小形燃料電池システムのエネルギー効率測定法(日本工業規格 : JISC8851)で使用されている標準家庭の年間の電力負荷パターン及び標準家庭の年間の給湯保温負荷パターンを用いた．これらの負荷パターンは夏期92日(7月，8月及び9月)，春季及び秋季152日(4月～6月，10月及び11月)及び冬期121日(12月～3月)の季節ごとを考慮したものとなっている(詳細は表S2，図S1及びS2を参照)[4)]．

3. FC-DEA

3.1 分析概要

本研究ではPEFC-CGSにおけるPt添加量と環境影響の関係性を踏まえた上でFC-DEAを算出した(図1参照)．ここで用いるDEAは，複数のケースの入力要因と出力要因の重みから，その効率性を判断するものであり，それぞれの改善値の定量的な把握が可能等の特徴を持つ．ここでは，Pt添加量に関するシナリオを設定し分析を行った．

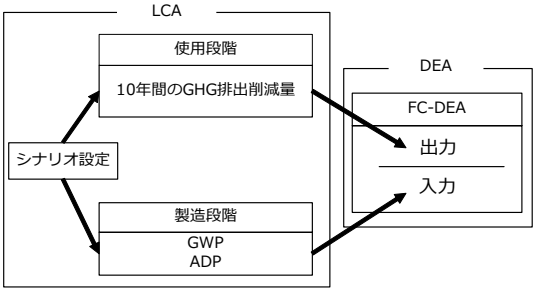


図1　DEA概要

3.2 シナリオ設定

Suzikiらの研究によると，PEFCのセル性能において，触

媒内の白金量及びセルの厚さはそれぞれ独立に変化させることで性能が影響されることが分かっている[5]．そこで，本研究では白金の添付量の違いによって3つのシナリオを設定した(表1参照)．

表1　触媒内の白金量に応じたシナリオ設定

Scenario	Pt添加量
Scenario 1	0.05 mg/cm^2
Scenario 2	0.10 mg/cm^2
Scenario 3	0.20 mg/cm^2

3.3 LCA

本研究におけるLCAは，機能単位を家庭用燃料電池システム1台分とし，シナリオを基づいた製造段階までのインベントリ分析を行い，CML手法による影響分析(GWP[kg-CO_2 eq./unit]とADP[kg-Sb eq./unit])を行った(システム境界は図S3参照)．なお，データベースはEcoinvent 3.5を用い，LCAソフトウェアはSimaPro ver 8.5.0.0を使用した．続いて，使用段階でのインベントリ分析では，Pt添加量によるI-V特性を考慮し，想定されているエネルギー需要に対して，従来ケースと比較してGHG排出削減量が最大となるような最適化モデルにより分析を行った．

ここでの研究目的は，セル特性からプロセス設計を行うことによりPt添加量の影響を評価し，これをLCA視点により簡易的に製品特性を把握することである．従って，PEFCの触媒内のPt添加量に対応したI-V特性のモデル化は製品性能の向上を図る上でも重要となろう．本研究では，PEFCのモデル化については，C粒子の周りにPt粒子が均等に添加され，その周りをイオノマー膜が覆っているものとし，さらにPt/C粒子が均等に分布されているものと仮定し，Pt量に対応した抵抗値を算出し開回路電圧値と合わせることでI-V特性をモデル化することを試みた[6]．

$$V = f\left(V_0, T, P, L_{Pt}, RH, i\right) \qquad (1)$$

V :セル電圧[V]，V_0 :開回路電圧[V]，T :セル温度[℃]，P :セル内全圧[Pa]，L_{Pt} :Pt添加量[mg/cm^2]，RH :セル内湿度[%]，i : 電流密度[A/cm^2]

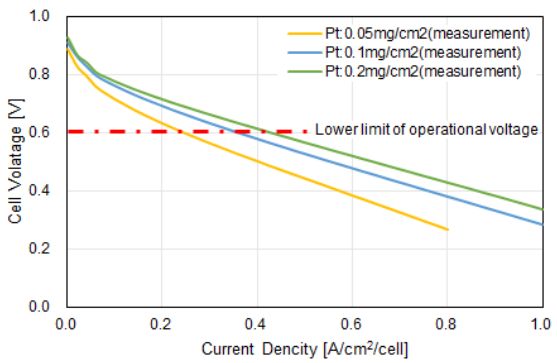


図2　I-V特性試験結果

なお，V_0 は標準状態では1.23Vであるが，ここでは，実験による開回路電圧を用いデータフィッティングにより当該モデルの妥当性を評価することができる。これにより、Pt以外のパラメータの影響についても検討することが可能となる。なお，本研究のセルの性能試験については，セル温度50℃，水素及び酸素の供給圧力を0.15～0.40MPa，5cm^{2}のMEAを用いて測定を行った(図2参照)．

この実験結果からPEFC-CGSの運転性能に係るCO_2排出削減量はFC-CGSを導入しない場合(従来ケース)に比して，それぞれ157.1kg-CO_2/yr，351.4kg-CO_2/yr及び380.9 kg-CO_2/yrとなった．

3.4 DEAによる統合化指標

以上の結果をもとにDEAによる統合化指標を作成した．入力項目として製造段階におけるGWP [kg-CO_2 eq.]，ADP [kg-Sb eq.]とし，出力項目として10年間でのGHG排出削減量の2入力1出力により分析を行った(詳細は表S3参照)．Scenario別の効率値の結果，効率はScenario 2，Scenario 3，Scenario 1の順になった(図3参照)．すなわち，Pt添付量と運転時のCO_2削減効果はトレードオフの関係があり，最適なPt添加量があり、最適な設計方針があること示唆された．

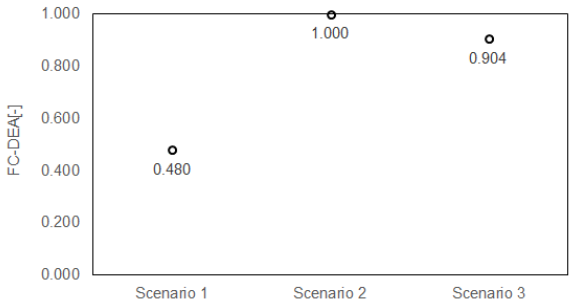


図3　シナリオ別FC-DEAの結果

4. 引用文献

1) 佐藤聖史, 徐維那, 堂脇清志：LCA学会誌, 14(1), (2018), pp.36-45
2) みずほ情報総研：“定置用燃料電池システム及び燃料電池自動車のライフサイクル評価に関する調査”, (2008)
3) 東京ガス：”エネファーム製品仕様”，入手先 <http://home.tokyo-gas.co.jp/enefarm_special/enefarm/specific.html >, (参照2016-8-10)
4) 日本工業規格：”小形燃料電池システムの11モードエネルギー効率及び標準家庭の年間消費エネルギー量の測定方法”, kikakurui.comホームページ, 入手先 <http://kikakurui.com/c8/C8851-2013-01.html>, (参照2017-6-15)
5) Suzuki T., Tsushima S., Hirai S., J. Power Sources, 233, (2013), pp.269-276
6) Hao L., Moriyama K., Gu W., Wang C. Y., J. The Electrochemical Society, 162 (8), (2015), pp. 854-867

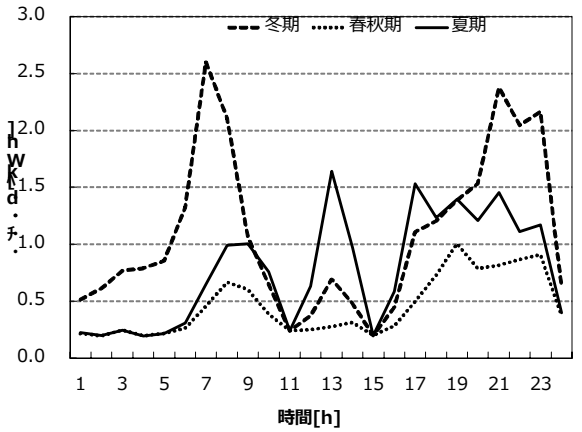
Supporting Information

表S1　エネファームの仕様[3)]

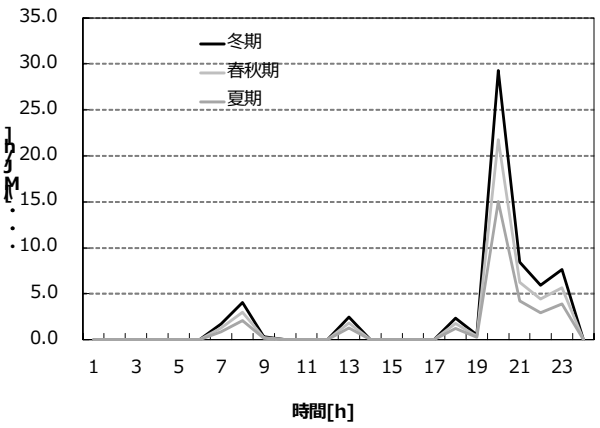
項目	仕様数値
燃料電池種類別	固体高分子型(PEFC)
利用形態	家庭用
使用年数	10年間
仕様燃料種	都市ガス13A
定格出力	700 W
貯湯タンク容量	140 L

表S2　対象とする家庭[4)]

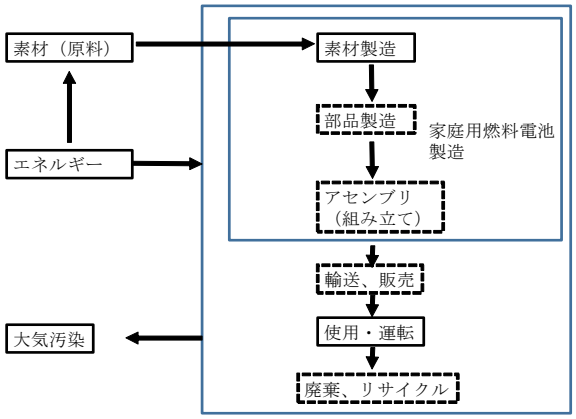
地域	関東
建て方	戸建
世帯人員	夫(勤め人)
	妻(専業主婦)
	長女(高校)
	長男(中学生)
生活スケジュール	平日　NHK国民生活時間調査など参照
季節	春秋期　152日(4月~6月，10月11月) 夏期　92日(7月8月9月) 冬期121日(12月1月2月)



図S1　電力需要[4)]



図S2　給湯需要[4)]



図S3　システム境界

FC-DEAは、次式の線計画問題を解くことによって求めることができる。

目的関数

$$max\ \theta = u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k} \cdots + u_n y_{nk} \quad \text{(S1)}$$

制約式

$$v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} \cdots + v_m x_{mk} = 1 \quad \text{(S2)}$$

$$u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k} \cdots + u_n y_{nk} \le v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} \cdots + v_m x_{mk} \quad \text{(S3)}$$

$$v_1, v_2, \cdots v_m \ge 0 \quad \text{(S4)}$$

$$u_1, u_2, \cdots u_s \ge 0 \quad \text{(S5)}$$

ここで、x_i及びy_jは、それぞれ入出力を表し、また、v_i及びu_jは、それぞれ入力ウェイト及び出力ウェイトを表す。なお、添え字kは、シナリオ数を表す。この方程式の目的関数(FC-DEA)の最大値をθ^*(=1)とすれば、このときの分析対象を効率的であるという。さらに、最適解として得られた$(\boldsymbol{v}^*, \boldsymbol{u}^*)$は、分析対象に対する最適ウェイトを表す。ここでは、表S3のように2入力1出力を想定しているので、(S1)~(S5)式のモデル式より、$\theta^* = 1$となったシナリオが環境性と運転性能を両立した製品であると評価され、そのときに得られた解$(\boldsymbol{v}^*, \boldsymbol{u}^*)$が最適なウェイトとなる。

表S3　システム境界

DMU	Input		Output
	#1	#2	#1
Scenario 1	1.292E+03	8.734E+00	1.571E+03
Scenario 2	1.377E+03	9.372E+00	3.515E+03
Scenario 3	1.650E+03	1.143E+01	3.809E+03

E1-24,P2-118　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

低炭素社会を支える技術に関する反応性窒素についての考察

Considerations on the reactive nitrogen associated with the technologies that underlie low-carbon society

○片桐究*1)、種田あずさ 1)、松八重一代 1)、長坂徹也 1)

Kiwamu Katagiri, Azusa Oita, Kazuyo Matsubae, Tetsuya Nagasaka

1）東北大学

* kiwamu.katagiri.r5@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

1.1 反応性窒素とは

反応性窒素（Reactive nitrogen: Nr）は窒素ガス（N_2）を除く、すべての窒素化合物（例えば、アンモニアや硝酸イオン）のことを言う。経済圏において製品等に伴って流れる反応性窒素のほとんどは Haber-Bostch 法により固定されたアンモニアを開始物質としている。発表者らは、2015 年の日本において人為的に生産された反応性窒素（アンモニア）のうち、56 %は工業用途に用いられていており、これは世界のアンモニア利用のうち工業用途への割合（約 20 %）を大きく上回っていたことを報告している [1]。このことから、日本における反応性窒素需給は食料生産の肥料の生産だけなく、産業における製品生産の影響も無視できないと言える。

1.2 低炭素社会を支える技術と反応性窒素

パリ協定において、日本は 2013 年までに温室効果ガス（GHG）の排出量を 2013 年比で 26 %削減することを目標として掲げている。低炭素社会に向けて様々な取り組みを行う中で、それらを支えるために反応性窒素需要の増加が見込まれる。例えば半導体産業におけるガス状窒素化合物（例：アンモニア、三フッ化窒素、一酸化二窒素）がその一つである。窒素化合物ガスは、半導体の製造行程において表面窒化層の作製やエッチングに用いられる。さらに発光ダイオード（Light emitting diode: LED）やパワーデバイス等に使われる窒化ガリウム、窒化インジウムについては、原料としてのアンモニア需要が見込まれる。

現に 2005 年から 2015 年にかけて、半導体産業で用いられる窒素化合物ガスの生産量は、1880 t から 6644 t と 3.5 倍に増加している [2]。また鉄鋼産業においても、還元剤としてアンモニアを混合することで、GHG 排出量を低減させるという取り組みもある。Hosokai ら [3]によれば、アンモニアを還元剤として用いることで、450 ℃でヘマタイト（Fe_2O_3）から鉄への直接還元が観察され、GHG 排出の少ない新たな製鉄プロセスとして期待されている。

本研究では、国内産業における反応性窒素需給構造を分析するための手法開発およびそれを用いた日本国内の反応性窒素フローの分析を行った。また産業連関分析の結果を踏まえて、低炭素社会を支える技術に関する新たな反応性窒素需給についての考察を行った。

2. 分析手法

2.1 産業連関表の拡張

産業連関表の拡張にあたり、産業連関表に追加した行、列、および物量化した部門を表 1 および表 2 に示す。既存の産業連関表において、アンモニアは化学肥料に含まれ、工業・肥料用途共に同じ行から投入される。そのためアンモニアをはじめとして、アンモニア一次派生物（尿素、硫安、その他）を化学肥料部門から抜き出した。また硝酸やその他のアンモニア一次派生物の一部は、その他の無機化学製品部門より抜き出して拡張した。抜き出した各部門の物量化を行い、それらの行列を 2011 年版産業連関表に接続し、拡張した。

拡張にあたり、物量化した各行部門の各行部門への配分は以下の三通りの方法により行った。

①マテリアルフロー分析 [1]により明らかになった量的需要関係 [2]を用いて各供給先へ配分した。

②産業連関表付帯の部門別品目別生産額表から窒素関連財の各供給先との量的関係が把握出来ている場合には、式（1）を用いることで該当する窒素関連財 i の各供給部門への供給量に応じて、窒素関連財 i 中の窒素を配分した。

$$\text{窒素関連財 i の列部門 j への供給量} = \text{窒素関連財 i 中の窒素量} \times \frac{\text{窒素関連財}i\text{の列部門 j への供給量}}{\text{窒素関連財 i の国内需要量}} \quad (1)$$

③窒素関連財の中で、その供給先との量的な需給関係に関するデータが不足している部門については、既存

の産業連関表における各部門への金額ベースの需給データを用いた方法で、式 (2)を用いることで該当する窒素関連財 i の各供給部門への供給金額に応じて、窒素関連財 i 中の窒素を分配した。

$$\text{窒素関連財 i の列部門 j への供給量} = \text{窒素関連財 i 中の窒素量} \times \frac{\text{窒素関連財}i\text{の列部門 j への供給金額}}{\text{窒素関連財 i の国内需要金額}} \quad (2)$$

表 1　反応性窒素フロー解析用産業連関モデルにおいて拡張した部門

既存の分類	拡張した分類
化学肥料	アンモニア
	アンモニア（工業用途）
	尿素
	硫酸アンモニウム
	窒素質肥料
その他の無機化学製品	硝酸
	半導体産業用特殊窒素含有ガス
	その他のアンモニア派生物
	その他の窒素含有無機化学製品
有機質肥料	窒素含有有機質肥料
	非窒素含有有機質窒素

表 2　反応性窒素フロー解析用産業連関モデルにおいて物量化した部門

物量化部門	
アンモニア	熱可塑性樹脂
アンモニア（工業用途）	熱硬化性樹脂
半導体向け特殊材料ガス	高機能性樹脂
有機質肥料（窒素含有動物性）	その他の合成樹脂
窒素質肥料	合成繊維
アクリロニトリル	医薬品
カプロラクタム	塗料
尿素	油脂加工製品・他
硝酸	農薬
硫酸アンモニウム	ゼラチン接着剤
その他アンモニア一次派生物	その他ゴム製品
塗工紙・建築用加工紙	金属表面処理・脱硝
その他の窒素を含む無機化学製品	その他の窒素を含む化学最終製品
脂肪族中間物	製革・毛皮
合成ゴム	電池
可塑剤	
青：原料　紫：アンモニア一次派生物　白：窒素化合物製品	

2.2 反応性窒素フロー解析用産業連関分析

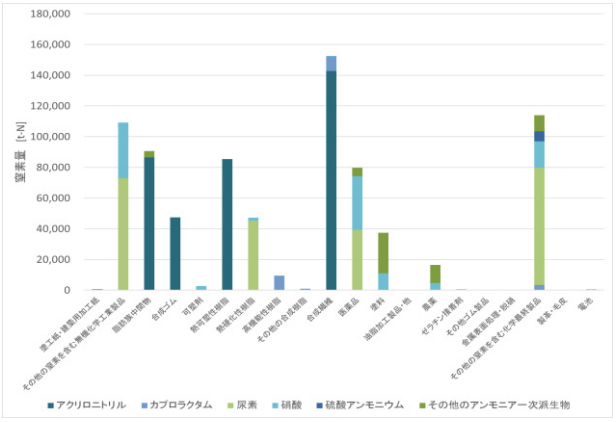
2.1 において作成した産業連関モデルを用いて、アンモニア一次派生物およびアンモニア一次派生物によって生産される製品についての需給分析を行った。

3. 結果

図 1 にアンモニア一次派生物の化学製品部門への需給分析の結果を示す。その他の製品を除くと、反応性窒素フローが大きい行き先は合成繊維（152 kt-N）、脂肪族中間物（91 kt-N）、熱可塑性樹脂（85 kt-N）、医薬品（80 kt-N）であった。派生物の中でもアクリロニトリルと尿素を原料として用いる製品産業は多岐にわたるため、それらの供給の安定は多くの製品の供給の安定に影響を及ぼすことが示唆された。

口頭発表およびポスターでは、低炭素社会を支える技術に関する反応性窒素の需給構造についての議論を加えて行う。

図 1 反応性窒素フロー解析用産業連関モデルを用いたアンモニア一次派生物の化学産業部門における需給分析結果



4. まとめ

本研究では、日本国内における反応性窒素需給構造を分析するために産業連関表の拡張を行った。また拡張した産業連関表を用いて、日本国内産業における反応性窒素の自給構造を把握することを可能にした。

将来的には、他の産業連関モデルとの接続や寿命関数の導入を行うことで、環境影響等の分析にも活用されることが期待される。

引用文献

1) 片桐究、溝口修史、松八重一代、長坂徹也: 日本 LCA 学会誌, 14 (4), (2018), pp.319-331
2) 株式会社ガスレビュー, “ガスジオラマ 2017”, 株式会社ガスレビュー, 大阪, (2016) p.198
3) Hosokai S., Kasiwaya Y., Matsui K., Okinaka N., Akiyama T.: *Environ. Sci. Technol.*, 45, (2011), pp. 821-826

2日目
（3/6）

タイムテーブル

2日目　3月6日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:40-10:00	特別セッション：食のサプライチェーン(1)	資源評価	データベース	社会性評価	外部コスト
10:00-10:20					
10:20-10:40					
10:40-11:00	休憩				
11:00-11:20	特別セッション：食のサプライチェーン(2)	公募企画セッション：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	消費行動調査	建設	鉄鋼
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-12:20					
12:20-13:20	昼休み				
13:20-14:20	ポスターセッション1(P会場)　*コアタイム:奇数番号				
14:20-15:20	ポスターセッション2(P会場)　*コアタイム:偶数番号				
15:20-15:40	休憩				
15:40-16:00	特別セッション：環境教育		産業評価	廃棄物	ICT
16:00-16:20		公募企画セッション：企業活動と生物多様性・自然資本の評価			
16:20-16:40					
16:40-17:00					
17:00-17:20					

A2-01,P2-124　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

フットプリント分析に基づく島嶼地域における食の持続可能性評価

Sustainability Assessment of the Food System of an Island Region Based on Footprinting

○清水直 [1)]、中谷隼*[1)] 、栗栖聖 [1)] 、森口祐一 [1)]
Nao Shimizu, Jun Nakatani, Kiyo Kurisu, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
* nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

島嶼地域は一般的に移輸入食品への依存度が高く、島嶼地域における食の持続可能性を評価するには、食品の地域内生産に伴う土地や水などの地域資源の消費だけでなく、食品の移輸入に伴う地域外における資源消費を明らかにすることが求められる。

グローバルなサプライチェーン全体の環境負荷や資源消費を分析するために近年広く用いられているのが、多地域間産業連関表（MRIO）である。しかし、MRIO が対象とするのは国家間の取引が主であるため、既往研究は国家スケールの分析が多く、地域スケールの分析に MRIO を応用する手法は十分に確立されていない。

そこで本研究では、平成 23 年沖縄県産業連関表 [1)]と、多地域間産業連関表 Eora [2)3)]（2012 年）に基づく国別・部門別の内包型環境負荷原単位（以下「Eora 原単位」）を結び付けるモデルの構築を試み、沖縄県における最終需要が、県内生産・移入・輸入をどれだけ誘発し、それに伴って世界のどの地域で耕地利用（EF cropland, 以下「EF」）が発生しているかを分析した。

2. 方法

2.1 沖縄県産業連関表の正方化

初めに、平成 23 年沖縄県産業連関表（401×343 部門）を部門統合・分割によって 345×345 部門に正方化した。基本的には列部門の区分に合わせて行部門を統合したが、列部門「食肉」については、肉の種類（牛肉、豚肉、鶏肉など）ごとのサプライチェーンの差異を反映させるために、「肉用牛」「豚」「肉鶏」などの投入額を基に、行部門の区分に合わせて分割した。

2.2 内包型 EF 原単位の算出式

沖縄県内の最終需要（県内最終需要・移輸出）によって各部門の県内生産・移入・輸入が誘発される。ここで、県内生産に伴い県内で発生する EF を県内 EF、移入に伴い県外の地域 p で誘発される EF を移入 EF(p)、輸入に伴い県外の地域 p で誘発される EF を輸入 EF(p) とし、部門 i の県内最終需要 1 単位（$\mathbf{F}_i$）、移輸出 1 単位（$\mathbf{Ex}_i$）当たりの内包型 EF 原単位を表 1 のように算出した。

表 1　部門 i の内包型 EF 原単位

	県内最終需要ベース	移輸出ベース
県内 EF	$\mathbf{e_Q B \Gamma F}_i$	$\mathbf{e_Q B Ex}_i$
移入 EF(p)	$\mathbf{e_{R,p}(NAB\Gamma + N)F}_i$	$\mathbf{e_{R,p}NABEx}_i$
輸入 EF(p)	$\mathbf{e_{S,p}(MAB\Gamma + M)F}_i$	$\mathbf{e_{S,p}MABEx}_i$

ただし、それぞれ各 345 部門の $\mathbf{A}$: 投入係数, $\mathbf{M}$: 輸入率, $\mathbf{N}$: 移入率, $\mathbf{e_Q}$: 県内生産 1 単位当たりの県内 EF, $\mathbf{e_{R,p}}$, $\mathbf{e_{S,p}}$: それぞれ移入及び輸入 1 単位当たりの移入 EF(p), 輸入 EF(p)を要素とする行列。
また、$\mathbf{\Gamma = I - (M + N)}$、$\mathbf{B = (I - \Gamma A)^{-1}}$ である。

2.3 部門別単位 EF の推定

各部門の単位当たり EF は以下のように推定した。

(1) 県内生産 1 単位当たりの県内 EF（$\mathbf{e_Q}$）

作物ごとの EF を次式のように計算し、該当部門に割り当てることで部門別の EF を求め、部門別 EF を県内生産額で除して算出した。なお、P_iは沖縄県の統計 [4)]、$Y_{W,i}$は FAOSTAT [5)]（ともに 2011 年値）を参照した。

$$\mathrm{EF}_i = \frac{P_i}{Y_{W,i}} \cdot EQF$$

EF_i: 作物 i の EF [gha], P_i: 作物 i の県内収穫量 [t], $Y_{W,i}$: 作物 i の世界平均の収率 [t/wha], EQF（2014 年）: グローバルヘクタール（gha）への換算係数 [6)] [gha/wha]

(2) 移入 1 単位当たりの移入 EF(p)（$\mathbf{e_{R,p}}$）

沖縄県産業連関表の 345 部門が、Eora における日本の 402 部門のどれに該当するかを特定し、該当部門の Eora 原単位（地域 p で発生する EF）を割り当てるか、多部門に該当する場合は平均を取った。

(3) 輸入 1 単位当たりの輸入 EF(p)（$\mathbf{e_{S,p}}$）

まず、沖縄税関における 2011 年の品目別輸入相手国別の輸入額 [7)] を沖縄県産業連関表の部門別に組替集計し、各部門の輸入 1 単位当たりの輸入相手国シェアを推定した。更に、各部門の輸入が Eora のどの部門に該当するかを輸入相手国別に特定し、該当部門の Eora 原単位（地域 p で発生する EF）を、輸入相手国シェアによって加重平均することで算出した。

なお、(2)(3)で利用した EF Cropland の Eora 原単位には、189 ヶ国・地域の計 14,838 部門について、189 ヶ国・地域で発生する耕地利用の内訳が含まれている。

3. 結果

3.1 全体像

沖縄県における各部門への最終需要（県内最終需要・移輸出）に伴って、各部門に対して県内生産・移入・輸入別に直接需要が発生し、そのうち県内生産の直接需要に伴って各部門の県内生産・移入・輸入が誘発され、それらを合わせた県内生産・移入・輸入に伴って世界各地で耕地利用が発生する構造を図 1 に示す。

「耕地利用」の列の棒グラフの高さは、各地域で発生した EF の大きさを、それ以外の列の棒グラフの高さは、各段階に由来する EF（図 1 の⑧であれば、誘発された県内生産に由来する EF）の大きさを表し、各列の棒グラフの高さの和は等しい。沖縄県で発生する EF が 8.4×10^4 gha であったのに対して、県外で発生する EF の合計は 8.2×10^5 gha となった。

3.2 部門別内訳

図 1 の①～⑧について、部門別の内訳を図 2 に示す。①～⑤の内訳からは、どの部門の県内生産・移入・輸入の直接需要が、サプライチェーンを通して大きな EF を誘発しているかを分析できる。一方、⑥～⑧の内訳からは、直接需要とそれによって誘発された県内生産・移入・輸入を含め、どの部門の製品を県内生産・移入・輸入することによる EF が大きいのかを分析できる。

4. まとめ

以上のように、沖縄県における最終需要に起因して地域別に誘発される EF を可視化し、需要段階や、誘発段階において重要な部門を分析することができた。

一方、部門別単位 EF の推定では、Eora 原単位の日本の耕地利用の中に沖縄県における耕地利用も一部含まれることや、輸入相手国によって Eora の部門分類の詳細さが異なることが課題として挙げられる。

謝辞　Eora 原単位を提供していただいた株式会社 Green Guardian 小野雄也氏に謝意を表する。本研究は、JSPS 科研費 JP18H03417 の助成を受けて実施された。

引用文献

1) 沖縄県：“平成 23 年沖縄県産業連関表”, (2016)
2) Lenzen M *et.al.*：*Environ. Sci. Technol.*, 46(15), (2012), pp.8374–8381.
3) Lenzen M *et.al.*：*Econ. Syst. Res.*, 25(1), (2013), pp.20-49
4) 沖縄県：“農業関係統計（平成 28 年 3 月版）”, (2016)
5) FAO：“FAOSTAT”, http://www.fao.org/faostat/en/#data
6) Global Footprint Network：“National Footprint Accounts, 2018 Edition”, (2018)
7) 財務省：“普通貿易統計”, http://www.customs.go.jp/toukei/info/tsdl.htm

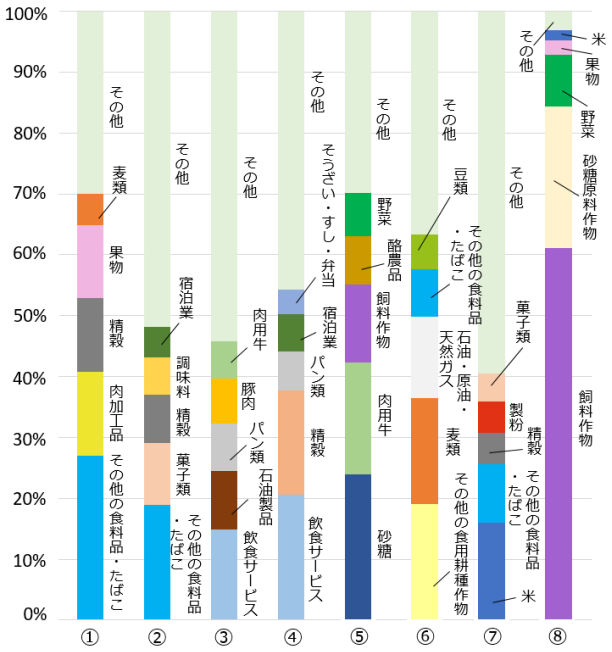


図 2　沖縄県における最終需要に起因する EF 誘発の部門別内訳

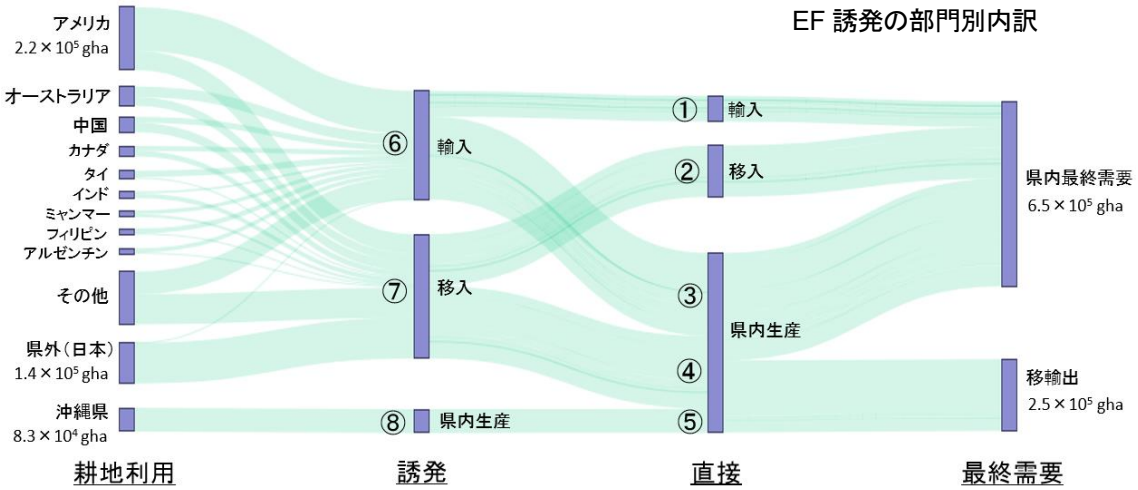


図 1　沖縄県における最終需要に起因する EF 誘発の全体像

A2-02,P2-105　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

食料貿易を考慮した食料需給バランスに基づく世界の淡水資源必要量の現状評価

Evaluation of current global fresh water requirement based on food demand and supply balance considering food trade

○山口陽平*[1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)]、橋本征二 [1)]

Yohei Yamaguchi, Naoki Yoshikawa, Koji Amano, Seiji Hashimoto

1）立命館大学

* rv0023hs@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

食料は人間活動の継続に不可欠であり、多量の淡水消費を要する。Shen et al.[1)]によると、世界の農業用水取水量は世界全体の淡水消費量の 70%（2,658 km^3）に相当する。そのため、食料生産に要する土地や淡水資源の乏しい地域では、食料貿易が不可欠であり、輸入食料の生産時に消費された生産国の淡水資源を仮想水として間接消費せざるを得なくなる。仮想水を考慮した各国の淡水資源需給バランスの評価は重要である。

Mekonnen and Hoekstra [2)]は、国際貿易に伴う仮想水移動量を世界規模で評価した。しかし、各国の貿易収支や食料需給バランスは不明確である。また、各国の淡水資源需給バランスについても評価されていない。

本研究では、①食料貿易収支および食料需給バランを推計し、②供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量を比較評価した。また、③淡水資源必要量と淡水資源供給可能量を比較し、水ストレスを評価した。

2. 研究手法

2.1 食料貿易収支の推計

本研究では、評価対象年を 2010 年とし、216 ヵ国、78 食料品目を評価対象とした。貿易収支の基礎データとして、FAOSTAT の Food Balance Sheets（FAO 食料需給表）の輸入量データを用いた。FAOSTAT の Detail Trade Matrix（FAO 貿易収支表）の相手国別輸入量データに対してその欠損値を同表の相手国別輸出量データで補填し、これらに準拠して FAO 食料需給表の輸入量データを輸入相手国別に配分した。その際、貿易相手国が不明な輸入量データは Not Identified に分類し、貿易収支の調整項目とした。これらを初期値とした食料貿易収支マトリックスを 78 品目別に作成した。

各々の食料貿易収支マトリックスについて、輸出国別に各成分の和をとり、FAO 食料需給表の輸出量データと照合した。両者の値が一致するように、各成分を RAS 法により調整し、各国間の貿易量を推計した。

2.2 食料需給バランスの推計

調整済み食料貿易収支マトリックスより、調整済み輸入量 IQ_{ij}、調整済み輸出量 EQ_{ij} を推計した。国内生産量 PRD_{ij}、国内消費量 DSQ_{ij}、在庫変動量 SV_{ij} とし、(1)式の食料需給バランスを推計した。正の場合を在庫減少量 $SD_{ij}=SV_{ij}$、負の場合を在庫増加量 $SI_{ij}=-SV_{ij}$ とした。添え字 i と j は各々、対象国と対象品目を表す。

$$PRD_{ij} + IQ_{ij} + SV_{ij} = DSQ_{ij} + EQ_{ij} \quad (1)$$

なお、国内消費量 DSQ_{ij} は、飼料、加工品原料、食料、種子、廃棄物、その他原料から構成される。飼料と加工品原料を中間需要、食料を最終需要と見なした。

2.3 淡水資源必要量の推計

本研究では、Green Water と Blue Water を対象に、供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量を Water Footprint（WF）より評価した。供給サイドは、国内生産、輸入、在庫減少を対象とした。需要サイドは、最終需要、廃棄物、輸出、在庫増加を対象とした。また、農作物は栽培段階の直接消費水のみ、畜産物は飼料作物の栽培段階における直接消費水、家畜の飲料用水、飼育環境維持に要する淡水消費を対象とした。

上記 7 つの食料需給項目それぞれに WF 原単位 [2)]を乗じて、各項目に由来する Green Water 消費量と Blue Water 消費量を推計した。Blue Water 消費量は、灌漑効率 [3)]で除すことにより Blue Water 取水量に換算した。

2.4 水ストレスの推計

本研究では、次式(2)より、Substantial Water Stress Index（SWSI）を定義し、国別に推計した。

$$SWSI_i = \frac{\sum_j^{N_j}\{WR_{ij}(PRD) + WR_{ij}(SD) + WR_{ij}(IQ) - WR_{ij}(EQ)\}}{AWR_i} \quad (2)$$

ここで、$WR_{ij}(PRD)$、$WR_{ij}(SD)$、$WR_{ij}(IQ)$、$WR_{ij}(EQ)$はそれぞれ、国内生産、在庫減少、輸入、輸出由来の Blue Water 取水量、AWR_i は淡水資源供給可能量、N_j は品目 j の数を表す。水ストレスの判断基準 [4)]を表 1 に示す。

表 1　水ストレス判断基準 [4)]

Range of Water Stress	Degrees of Water Stress
WSI ＜ 0.1	No Stress
0.1 ≦ WSI ＜ 0.2	Low Stress
0.2 ≦ WSI ＜ 0.4	Moderate Stress
0.4 ≦ WSI ＜ 0.8	High Stress
WSI ≧ 0.8	Very High Stress

3. 結果と考察

3.1 食料貿易収支と食料需給バランスの評価

コメに関する食料貿易収支と食料需給バランスの結果を表 2 と表 3 に示す。表 2 より、世界的に域内貿易が活発であることがわかる。表 3 より、アジアがコメの主要生産地であり、アフリカ、欧州、オセアニアでコメの輸入依存度が高いことがわかる。

表 2　食料貿易収支（Rice）

Unit: [千トン]

	Africa	Asia	Europe	North America	Oceania	South America	Total
Africa	469	175	144	42	0	0	829
Asia	8,313	11,842	1,428	965	290	67	22,907
Europe	87	183	1,746	36	4	5	2,060
North America	316	966	121	1,754	32	210	3,400
Oceania	1	76	2	1	33	1	113
South America	374	260	245	559	0	940	2,378
Total	9,560	13,502	3,686	3,357	360	1,223	31,688

表 3　食料需給バランス（Rice）

Unit: [千トン]

	PRD	IQ	SD	Supply Side	DSQ	EQ	SI	Demand Side
Africa	16,687	9,560	1,059	27,306	25,556	829	921	27,306
Asia	424,779	13,502	885	439,166	406,850	22,907	9,409	439,166
Europe	2,874	3,686	9	6,569	4,181	2,060	328	6,569
North America	8,382	3,357	37	11,776	7,723	3,400	653	11,776
Oceania	227	360	6	592	473	113	6	592
South America	16,342	1,223	241	17,806	15,240	2,378	188	17,806
Total	469,291	31,688	2,237	503,215	460,023	31,688	11,505	503,215

3.2 淡水資源必要量の比較

各地域の供給サイドと需要サイドの淡水資源必要量の需給項目別シェアを図 1 と図 2 に示す。各図の淡水資源必要量は、Green Water 必要量と Blue Water 取水量の全品目和である。両図を比較すると、オセアニアと南米において、国内生産（各々187 km^3、1,456 km^3）が最終需要（同 65 km^3、742 km^3）を大きく上回っており、この 2 地域は食料の主要輸出地帯であることがわかる。

また、アジアの総淡水資源必要量は、供給サイドで 9,200 km^3、需要サイドで 7,498 km^3 であり、いずれも世界全体の総淡水資源必要量の約 5 割を占める。アジアは主要な淡水消費地帯であることがわかる。

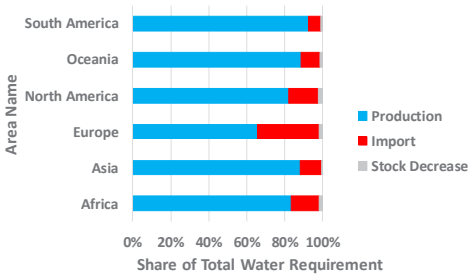


図 1：供給サイドの淡水資源必要量のシェア

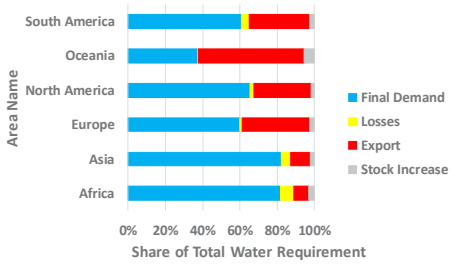


図 2：需要サイドの淡水資源必要量のシェア

3.3 SWSI による淡水資源需給バランスの評価

SWSI の強度分布図を図 3 に示す。同図より、乾燥地帯に属する国、工業国、人口規模の大きい国など、SWSI が比較的高い国は、中緯度地域に集中していることがわかる。今後は各国の SWSI を高める要因について分析する必要がある。

参考文献

1) Shen Y., Oki T., Utsumi N., Kanae S., Hanasaki N.: Hydrological Sciences Journal, 53(1), (2008), pp11-33.
2) Mekonnen M. M., Hoekstra Y. A.: Value of Water Research Report Series, 50 (2), (2011), pp 1-94.
3) Döll P., Siebert S.: Water Resources Research, 38 (4), pp 8-1-8-10.
4) Smakhtin V., Revenga C., Döll P.: Comprehensive Assessment Research Report 2, IWMI, (2004), pp1-32.

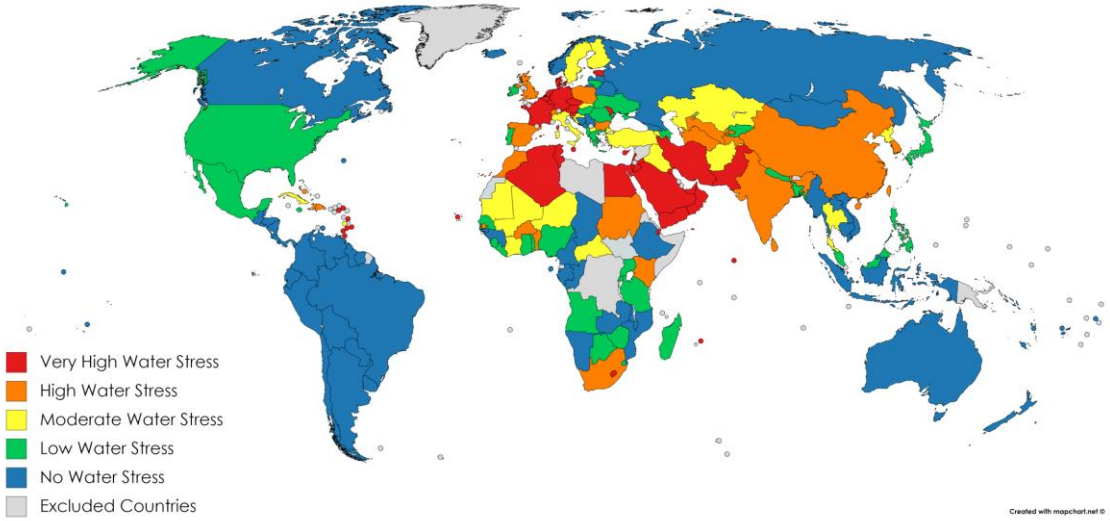


図 3：SWSI の強度分布図

A2-03
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

アジアの食料消費構造の変化に伴う窒素・リンフットプリントの経年変化

Time series of nitrogen and phosphorus footprints in response to food consumption structure changes in Asia

○種田あずさ*[1)]、Webeck Elizabeth[1)]、松八重一代[1)]
Azusa Oita, Elizabeth Webeck, Kazuyo Matsubae
1) 東北大学
* azusa.oita.a3@tohoku.ac.jp

1. はじめに

食料生産の過程では、食品として口に入るよりずっと多くの窒素・リン肥料、エネルギー、水などが投入され、環境に負荷を与えている。窒素肥料は、その生産時に多くのエネルギーを要し、また水域の富栄養化や硝酸性窒素による地下水汚染をはじめとする環境汚染の原因となっている[1)]。リン肥料は、リン鉱石の資源散逸や水域の富栄養化を引き起こしている[2)]。人口増加と畜肉需要の増加は今後も続くため、世界的な窒素・リン負荷の増大が懸念されている。

フットプリントは、消費を通じて直接・間接的に必要となる資源や環境中に排出される負荷の総量を測る指標である[3)]。窒素フットプリントは、ライフサイクルにおける反応性窒素（不活性な窒素ガス N_2 を除く窒素種の総称）排出量について、リンフットプリントは、リン資源の需要量について、それぞれ食料などの消費量を基に評価する[4-6)]。

各国の具体的な食生活の変化については、日本[7)]や中国[8)]の窒素フットプリント、日本・中国・インドのリンフットプリント[9)]の分析事例が報告されている。

本研究では、現在の世界人口の3分の1余りを占める中国・インドと、世界で最も高齢化率が高いとともに日本食の健康増進効果が報告されている日本の3カ国を対象に、1961年から2013年における食料消費に関する窒素およびリンフットプリントを食品構成の変化に着目して比較する。

2. 方法

2.1 食料窒素フットプリントの算出

食品として摂取した窒素（消費窒素 CN）に対して、何倍の反応性窒素が食料生産の過程で環境中に排出されたかを示す各国・食品分類別の係数を仮想窒素係数（VNF）という[4)]。

各国（i）の一人当たりの食料窒素フットプリントは、タンパク質重量あたりの窒素量を 16%として[4)]、国際連合食糧農業機関（FAO）の一人当たり年間食料タンパク質供給量（SP）[10)]、水産物[11)]・日本[12)]・中国[8)]の窒素フットプリントに関する既往文献に記載された 29 の食品分類（j）別の食品ロス率（a）・VNF および下水処理による窒素除去率（b）を用いて式(1)、式(2)により算出した。中国の VNF および食品ロス率は 1960 年代から 2000 年代まで 10 年おきに示されているため、各年の値は加重平均により求め、2010 年代は 2000 年代と同じと仮定した。インドの食料窒素フットプリントに関する文献はないため、水産物を除く動物性食品の VNF と下水処理による窒素除去率は中国の 2000 年代と同じ、食品ロス率と植物性食品の VNF は日本と中国の 2000 年代の平均と仮定した。

$$CN_{ij} = SP_{ij} \times 0.16 \times (1 - a_{ij}) \quad (1)$$

一人当たり食料窒素フットプリント

$$= \sum_{j}^{29} (CN_{ij} \times VNF_{ij}) + CN_{ij} \times b_i \quad (2)$$

2.2 食料リンフットプリントの算出

各国の一人当たりの食料リンフットプリントは、FAO の一人当たり年間食料供給重量（SF）[10)]、既往文献[9)]で用いられた各国共通の 19 の食品分類（k）別の水分率（c）、乾燥重量当たりリン含有率（d）、リンの歩留まり率（e）を用いて、式(3)により算出した。仮想窒素係数に相当する仮想リン係数（VPF）についても、リンの歩留まり率から、$1/e_k - 1$ として求めた。

一人当たり食料リンフットプリント

$$= \sum_{k}^{19} \left\{ SF_k \times (1 - c_k) \times d_k / e_k \right\} \quad (3)$$

3. 結果と考察

一人当たりの食料フットプリントの総量においては、中国・インドの窒素・リンともに増加傾向であったが、日本は近年微減傾向であった（図 1、図 2）。中国と日本では肉類と野菜類が大きく寄与していたのに対し、菜食主義者の多いインドでは牛乳・乳製品と野菜類の寄与が大きかった。また、中国の 1980 年代以降の野菜類の窒素フットプリントの増加が著しかった（図 1）。

これは、消費量の伸びに加え、野菜・果物・穀物の VNF が増加し、窒素肥料効率が下がったことに起因する。

食品分類別に 2000 年代以降の VNF と VPF を比べると、豆類では、根粒菌などの窒素固定を生かした栽培段階での高い窒素利用効率により、VNF は 0.9–1.3 で、VPF の 3.1 より低い。肉類では、リンは骨に蓄積されるため、VNF の 5.2–12.4 に対し、VPF は 17.9 と高い。

各食品分類が全体のフットプリントに占める割合の経年変化をみると、日本と中国では窒素・リンともに肉類が最も増加していたが、インドでは、窒素は牛乳・乳製品、リンは野菜類の増加が最も著しかった。

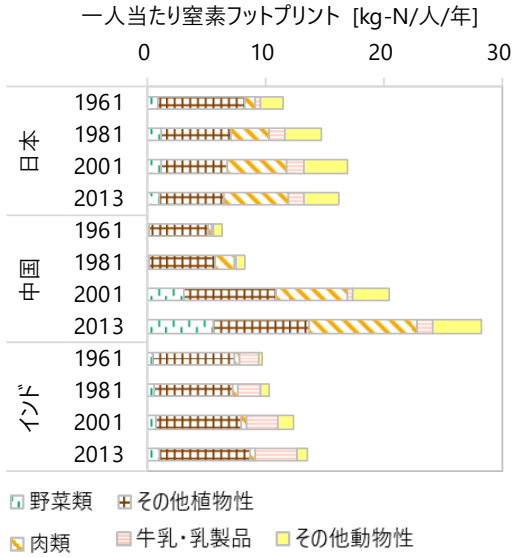


図1 対象３カ国の食料窒素フットプリントの経年変化

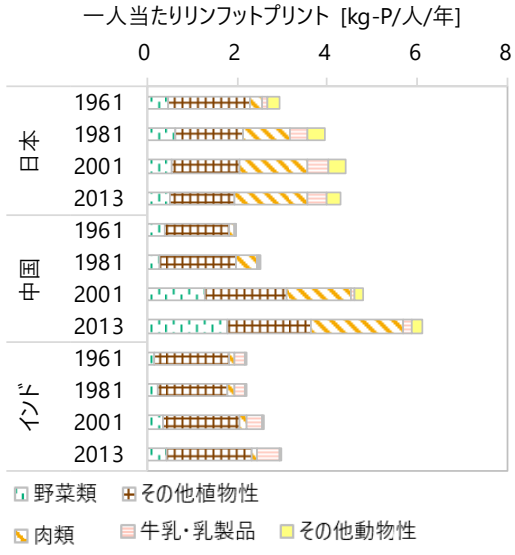


図2 対象３カ国の食料リンフットプリントの経年変化

4. おわりに

本研究では、二大大国である中国とインドは食料窒素・リンフットプリントともに増加傾向であり、共通する野菜類消費寄与に加え、中国では肉類、インドでは牛乳・乳製品の寄与が重要であることを示した。また、日本の窒素・リン食料フットプリントは近年微減傾向であるものの、肉類の寄与は引き続き重要である。今後は、人口増加の続く他のアジア・アフリカ地域の食料窒素・リンフットプリントや国内地域間における差を考慮することで、各地の食文化を踏まえたフットプリント低減策の検討につなげていくべきである。

5. 謝辞

本研究は、総合地球環境学研究所プロジェクト“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”、東北大学男女共同参画推進センター（TUMUG）が実施する TUMUG 支援事業（男女共同参画・女性研究者支援事業）の支援を受けて実施した研究成果の一部である。

6. 引用文献

1) Bodirsky B. L., Popp A., Lotze-Campen H., Dietrich J. P., Rolinski S., Weindl I., Schmitz C., Müller C, Bonsch M, Humpenöder F, Biewald A, Stevanovic M.: Nat Commun., 5, (2014), p 3858
2) Chen M, Graedel T. E.: Glob Environ Chang., 36, (2016), pp 139-152
3) Hoekstra, A. Y., Wiedmann, T. O.: Science, 344, (2014), pp 1114–1117
4) Leach A. M., Galloway J. N., Bleeker A., Erisman J. W., Kohn R., Kitzes J.: Environ. Dev., 1(1), (2012), pp 40–66.
5) 種田あずさ, 柴田英昭, 新藤純子: 日本 LCA 学会誌, 14 (2) , (2018) , pp 120-133
6) Matsubae K., Kajiyama J., Hiraki T. Nagasaka T.: Chemosphere, 84, (2011), pp 767–772.
7) Oita A., Nagano I. Matsuda H.: Ambio, 47, (2018), pp 318–326
8) Guo M., Chen X., Bai Z., Jiang R., Galloway J. N., Leach A. M., Cattaneo L. R., Oenema O., Ma L., Zhang F.: Environ. Res. Lett., 12, (2017), p 104006.
9) Webeck, E., Matsubae, K. Nagasaka, T.: Environ. Econ. Policy Stud., 17, (2015), pp 455–469
10) FAO：“Food Balance Sheets”, FAOSTAT, （オンライン）, 入手先 <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>, （参照 2018-07-17）
11) Oita A., Nagano I., Matsuda H.: Ecol. Indic., 60, (2016), pp 1091-1103
12) Shibata H., Cattaneo L. R., Leach A. M., Galloway J. N.: Environ. Res. Lett., 9(11), (2014), p 115013.

B2-01,P2-099　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

滋賀県におけるリン需給構造の分析

○間野　由布子*、松八重　一代

東北大学

※ 本発表の要旨は、所定の期日までに提出されませんでした。

B2-02,P2-123　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

P-イノベーションプロセスによる黄リン製造の LCA

Life Cycle Assessment of White Phosphorus Production by P-innovation Process

○舞良　俊紀* 1)、平木　岳人 2)　三木　貴博 2)、松八重　一代 3)　長坂　徹也 2)

Toshinori　Moryo, Taketo Hiraki, Takahiro Miki, Kazuyo Matsubae, Tetsuya Nagasaka

1)東北大学　工学部材料科学総合学科, 2)東北大学　工学研究科, 3) 東北大学　環境科学研究科

* toshinori.moryo.s1@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

黄リンは食品、医薬品、化成品、電子部品産業に用いられている高純度リン酸・リン酸塩の出発原料である。現在黄リンはリン鉱石、コークス、硅石を原料に、約 1400℃の高温で、電気炉内で還元し製造している。黄リン 1 トン当たりの製造には約 14000kWh という大電力を要するため、安価な電力を供給できる国でなければ製造は難しい。また、リン鉱石は資源偏在性が大きく、埋蔵量はモロッコだけで 75%、生産量については中国、アメリカ、モロッコだけで約 70%を占めている。[1)]

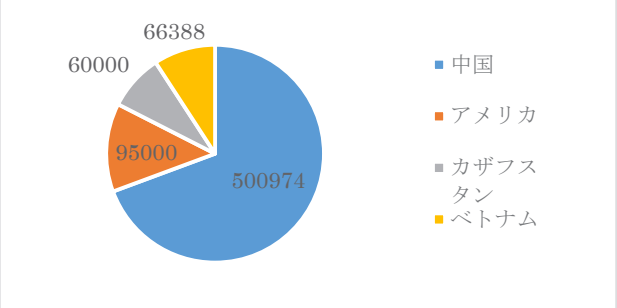


図 1　2014 年の黄リン年間生産量のグラフ[t]

黄リンは資源確保と安価な電力を充実させた国でなければ製造できず、図 1 に示すように現在中国、ベトナム、アメリカ、カザフスタンの 4 カ国のみが黄リン製造国である。このように黄リンは高い戦略性を持っているとにもかかわらず、日本は年間需要の全量を輸入に頼っている。以上の背景を踏まえると、黄リンの供給途絶リスクを抱える日本にとって、国内の未利用リン資源を効果的に利用して黄リンを確保することは必須といえる。

現在長坂らが取り組んでいる P-イノベーション創出技術開発 [2)]は、国内の製鋼所で廃棄物として得られる製鋼スラグから粗リン酸を抽出し、その粗リン酸から後述の反応式で示される炭素還元法によって省エネルギーで黄リンを製造するものである。現在ラボスケールでの黄リン製造には成功しているが、プロセス全体の投入物、排出物、エネルギー消費、環境影響については見積もりが為されていない。今後スケールアップする際の評価の基礎を作るためには、それらを見積もり、P-イノベーションプロセスが持つポテンシャルを現行プロセスのそれと比較していくことが重要である。

そこで本研究では、精製黄リンを製造する際の投入エネルギー資源、環境負荷排出の量が、イノベーションプロセスの実施によりどれだけ変化するか評価することを目的とする。具体的には各ステップの実験結果、操業データ、文献値、データベースを参照し、現行プロセスおよび P-イノベーションプロセス双方のインベントリを把握する。そしてそれらを基に、二酸化炭素などの環境負荷的側面からもプロセスを検討する。

2. 現行プロセスと P-イノベーションプロセス

2.1 現行プロセス概要

図 2 に現行の黄リン製造フローを示す。黄リン 1 トンあたりの製造に必要な原料は、約 8 トンのリン鉱石($P_2O_5$31%)、約 1.25 トンのコークス(固定炭素 90%)、約 2.8 トンの硅石($SiO_2$97%)であり、これらを混合し電気炉内で還元することで黄リンを製造している。還元反応は以下の式で示される。

$$2\,Ca_3P_2O_8 + 10\,C \rightarrow P_4 + 6\,CaO + 10\,CO \qquad (1)$$

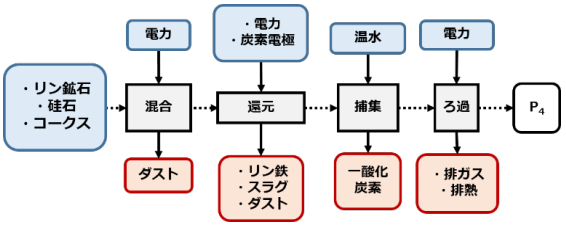


図 2　現行の黄リン製造フロー

現行法の特徴としては

・黄リン 1 トンあたり 14000kWh という電力を消費する。

・鉱石由来の放射性物質や重金属を含むダスト・廃棄物が発生する。

以上が挙げられる。

2.2 P-イノベーションプロセス概要

全体としては大きく三つの小プロセスで構成されている。

1. 製鋼スラグからヒドロキシアパタイト(HAP)を製造

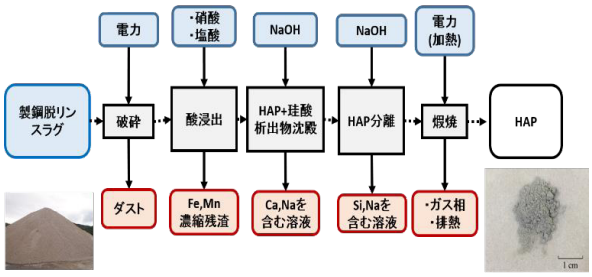


図 3　HAP 製造フロー

2．1．で得られた HAP から粗リン酸を製造

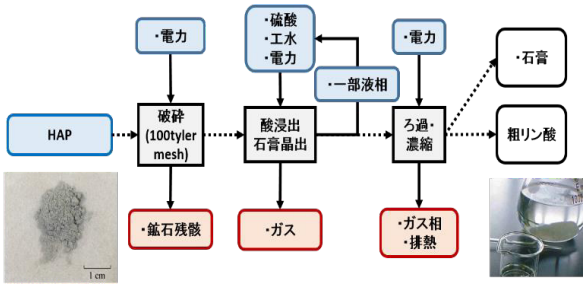


図 4　粗リン酸製造フロー

3．2．で得られた粗リン酸を炭素熱還元し黄リンを製造

このプロセスにおける還元反応式は次の通りである。

$$\frac{4}{n}\,H_{n+2}P_nO_{3n+1} + 10\,C = P_4 + \frac{2(n+2)}{n}\,H_2O + 10\,CO \qquad (2)$$

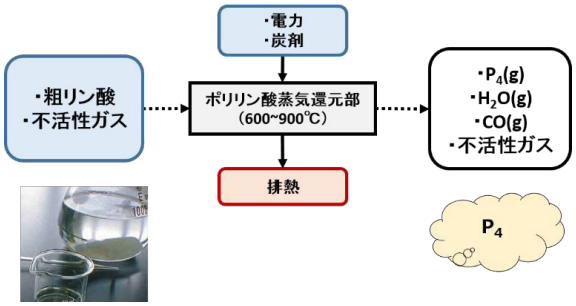


図 5　黄リン製造フロー

メリットとしては

・廃棄物である製鋼スラグから黄リンを製造できる。

・温度が 700~1000℃と現行法の 1400℃よりもはるかに低く、省エネルギーが見込める。

・放射性物質や重金属を含むダスト・廃棄物が発生しない。

以上の三点が挙げられる。

2.3　データソース

バックグラウンドデータは IDEA Ver2[3]を参照したが、新プロセスの反応熱などは化学反応式より算出した。

P-イノベーションプロセスについては、用いられる製鋼スラグは国内に存在する、すなわち製造に一切の投入物・排出物を伴わないものとして扱う。年間で発生する製鋼スラグ中のリンの絶対量は国内の黄リン年間需要 2 万トンを上回る[1]ので、完全に新プロセスのみで供給すると考える。

3．結果

以下に現行プロセスと新プロセスそれぞれで黄リン 1 トンを製造する場合について、原料の調達を考慮した、還元部における二酸化炭素排出量の内訳を示した。還元反応自体の消費電力は現行法が 14000kWh であるのに対して、新プロセスは理論上約 5500kWh 程度まで落とし込めるので二酸化炭素量は減少するが、新プロセスでは原料のリン酸製造において二酸化炭素が多量に排出されると考えられる。

当日はスラグからのリン酸製造などの実験から得られた効率なども考慮し、さらに原料の輸送などさらに上工程まで網羅したうえで発表する予定である。

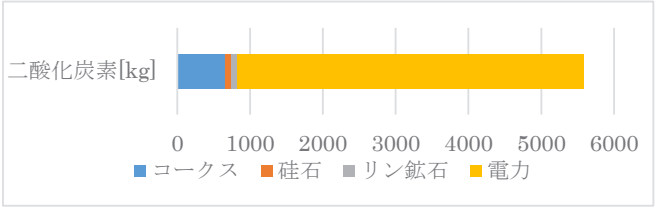


図 6　現行プロセスの二酸化炭素量推算

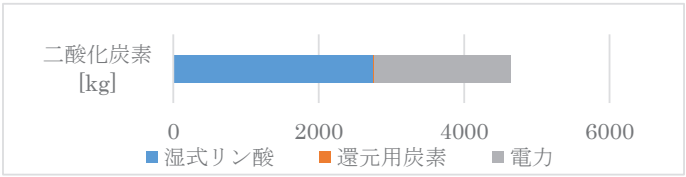


図 7　新プロセスの二酸化炭素量推算

4．結言

現行プロセス、ラボスケールの数値をもとにした P-イノベーションプロセスのインベントリを調査した結果をもとに、今後の社会実装に向けて効率面でどれだけの改善が見込まれるか、もしくは非効率的な面があるのかを明らかにし、P-イノベーションプロセスが現時点で持つメリット、改善点を論ずる予定である。

5．参考文献

1)大竹久夫ら　編　「リンの事典」　朝倉書店(2017)

2)国立研究開発法人　科学技術振興機構　未来社会開発事業ホームページ　<http://www.jst.go.jp/mirai/jp/>

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，　産業環境管理協会　LCI データベース　IDEA version 2.1.3（2017/04/01）

B2-03,P2-085　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

水資源に焦点を当てた銅鉱石採掘に伴うサプライチェーンリスク解析

Analyzing international supply chain risk in copper mining —focus on water resources

○大足葵*[1)]、松八重一代[2)]、中島謙一[3)]、長坂徹也[1)]

Aoi Oashi, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, 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, 3）国立環境研究所

* aoi08301220@gmail.com

1. 緒言

世界の鉱石採掘量は 1970 年から 2010 年にかけて 250%以上増加しており、膨大な採掘活動を伴う銅の採掘は、世界の鉱石採掘量の約 3 割を占める[1)]。特に、近年においては世界各国で銅の需要は急増し[2)]、今後もインフラ整備や次世代自動車の普及により更なる銅の需要拡大が予測されている[3)]。一方で、銅鉱石の採掘国は、特定の国・地域に限られており[4)]、多くの国・地域が国際貿易を通じて銅資源の調達を行っている[5)]。

銅資源の生産においては、鉱石の採掘に伴う選鉱を主として多くの水資源を必要[6)]とする。しかし、Northey et al.[7)]によると、銅鉱石の採掘国の多くが、水資源の調達に係るリスクを抱えていると共に、将来的に気候変動によって水資源の調達に影響が生じる可能性を有していることが指摘されている。加えて、Reig et al.[8)]は、人口増加に伴って、2025 年までに世界人口の約 2/3 が水の使用に関してストレスを感じる状況に陥るという予測も示している。なお World Resource Institute(WRI)の調査[9)]により水の賦存量や水を利用出来る環境は国・地域ごとに差異を有することが示されているが、これらの解析結果[7-8)]も同様に、国・地域ごとの差異を明示している。

本研究では、各国の経済活動を支える銅資源の調達に関わる水利用量および水の供給リスクを加味した水利用量を推計する。これにより、水へのアクセスに際して注視すべき国・地域を水利用量と供給リスクを加味した水利用量の双方の視点から同定する。そして、銅資源の調達において自国、他国での安定的な水の確保を実現するために、調達国が把握、管理すべき国・地域を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

本研究では、国・地域 i における銅資源の調達に関わる水利用量W_i (kL)を、下記(1)式により、国・地域 i の銅資源の生産に伴う水利用量 W_i^{dp} (kL)と国・地域 i が輸入する銅鉱石の採掘・選鉱に伴う水利用量 W_i^{ip} (kL)の合計として求めた。

$$W_i = W_i^{dp} + W_i^{ip} \quad (1)$$

ここで、W_i^{dp}は国・地域 i における銅鉱石の採掘・選鉱、鉱山におけるリーチングによる銅生産に伴う水利用量の合計として、下記(2)式により求めた。また、W_i^{ip}は、下記(3)式により求めた。

$$W_i^{dp} = w_i^o \cdot X_i^o + w_i^l \cdot X_i^l \quad (2)$$

$$W_i^{ip} = \sum_k w_k^o \cdot q^o Y_{i,k}^o \quad (3)$$

上記(2)式において、w_i^oは国・地域 i における銅鉱石採掘・選鉱の水利用強度(kL/t Cu)、X_i^oは年間銅鉱石生産量(t)であり、w_i^lは国・地域 i における、リーチングの水利用強度(kL/t Cu)、X_i^lはリーチングによる年間銅生産量(t)を示している。なお、水利用強度は純分量あたりの銅を生産するため、採掘と選鉱において使用された水資源の量またはリーチングにおいて投入された水資源の量と定義した。年間銅鉱石生産量、リーチングの年間銅生産量については USGS のデータ[4)]を参照した。リーチングの水利用強度においては、先行研究[6)]において求められた値を参照し、$w_i^l = 0.25$(kL/t Cu) とした。上記(3)式において、w_k^oは輸入相手国kの銅鉱石の採掘・選鉱に伴う水利用強度(kL/t Cu)、$Y_{i,k}^o$はi国がk国から輸入した銅精鉱の重量(t)、$\mathbf{q}^o$ は精鉱の銅品位を意味している。銅精鉱の輸入量は UNcomtrade の統計[10)]をもとに、i国が報告している 2015 年の HS260300(copper ores and concentrates)の値を用いた。精鉱の銅品位については、代表的な銅鉱石採掘国であるチリの Caletone 製錬所における品位[11)]を採用し、$q^o = 0.31$ と設定した。また、水の供給リスクを加味したときの水利用量 R_i (kL)を下記(4)式により、自国の銅資源生産において供給リスクを加味した水利用量R_i^{dp}(kL)と、銅鉱石輸入に伴い輸入相手国の水供給リスクを加味した水利用量R_i^{ip}(kL)の合計として求めた。R_i^{dp}は式(5)、R_i^{ip}は式(6)によって推計した。ここでS_i 、S_k は、それぞれi国、k国における水ストレス係数を表し、Luo et al[9)]の値を用いた。

$$R_i = R_i^{dp} + R_i^{ip} \quad (4)$$

$$R_i^{dp} = W_i^{dp} \cdot S_i \quad (5)$$

$$R_i^{ip} = \sum_k w_k^o \cdot q^o Y_{i,k}^o \cdot S_k \quad (6)$$

3. 結果と考察

2015 年における、銅資源生産量上位 15 か国と銅鉱石輸入量上位 15 カ国の双方を対象(計 24 か国)に、自国での銅資源の生産に伴う水利用量と鉱石輸入に伴って他国で誘発

する水利用量の推計結果を輸入相手国別に示した(図 1)。世界全体の銅資源生産量に対して、図中の 24 か国の生産量が占める割合は 93%に相当し、これらの生産量に伴う水利用量の合計は 3,333GL と推計された。また、世界の銅鉱石輸入量に対して図中の 24 か国の輸入量が占める割合は 98%に相当し、これらの輸入量に伴う水利用量の合計は 1,799GL と推計された。以下では、銅資源の調達に伴う水利用量について、自国での誘発が大きい国(チリ、ペルーなど)、他国での誘発が大きい国(日本、韓国など)、自国での誘発および他国での誘発が大きい国(中国)に大別した上で、主要な結果と共に、今後の銅資源の調達において安定的な水資源の確保を実現するための各国・各地域の管理指針を示す。

①チリ、ペルーなどのように、銅資源の調達に伴って自国で誘発する水利用量が大きい国では、自国の水資源の確保や保全に力を入れることが重要である。

②日本や韓国のように、銅資源の調達に伴って他国で誘発する水利用量が大きい国では、採掘国の水利用状況を把握することが求められる。日本はチリ、ペルー、カナダ、インドネシアの水利用状況を、韓国、ブラジル、インドはチリの水利用状況を優先的に把握することが求められる。

③中国では自国の銅資源生産のみならず、チリ、ペルー、カナダ、アメリカ、メキシコ、オーストラリアにおいて大きな水利用量を誘発している。よって、それらの国の水利用状況について、関心を持つことが求められる。

なお、銅資源の主要な生産国(e.g. メキシコ)のなかには、賦存量や降水量等の観点から水へのアクセスに制約を伴う国・地域が含まれる。これらの国・地域は、Luo et al.により水ストレス数値が高く設定されている。上記(4)式に基づく水の供給リスクを加味したときの水利用量の推計結果および結果から得られる示唆については当日の報告で紹介する。

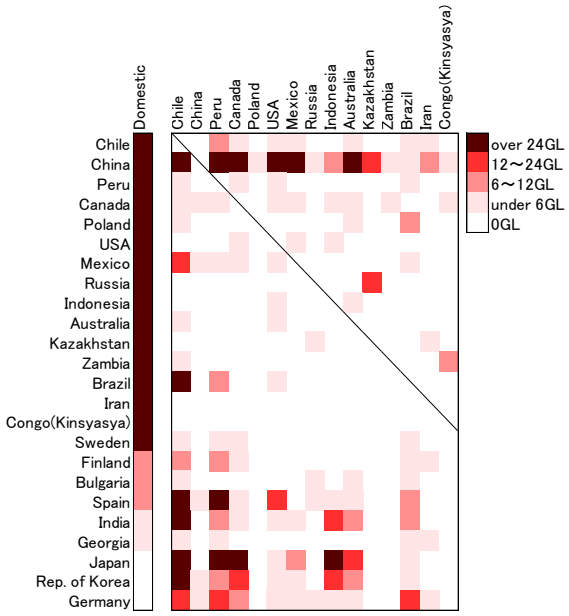


図 1 銅資源の調達に伴い誘発された水利用量

4. 引用文献

1) United Nations Environmental Programme, International Resource Panel (UNEP IRP) : “Global Material Flows and Resource Productivity ”, 入手先 <www.resourcepanel.org/file/423/download?token=Av9xJsGS>, (参照 2018-11-16)

2) Kenichi Nakajima, Ichiro Daigo, Keisuke Nansai, Kazuyo Matsubae, Wataru Takayanagi, Makoto Tomita, Yasunari Matsuno: Resources, Conservation & Recycling, 133, (2018), pp 369-374

3) Toshihide Ito,Youquig Chen and Soichiro Ito: Journal of MMIJ, 124, (2008), pp 856-863

4) USGS：“Minerals Yearbook” 入手先< https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/copper/myb1-2015-coppe.pdf>, （参照 2018-11-16）

5) 2016 International Trade Statstics Yearbook, VollumeII, Trade by Product, 入手先 <https://comtrade.un.org/pb/downloads/2016/VolII2016.pdf >, (参照 2018-11-16)

6) Claudia A. Pena and Mark A. J. Huijbregts: Journal of Industrial Ecology, 18, (2013), pp 49-58

7) Stephen A. Northey, Gavin M. Mudd, Timothy T. Werner, Simon M. Jowitt, Nawshad Haque, Mohan Yellishetty, Zhehan Weng: Global Environmental Change, 44, (2017), pp 109-124

8) Paul Reig, Tien Shiao, and Francis Gassert, World Resource Institute, Working Paper, (2013), pp 1-16

9) Tianyi Luo, Robert Young, Paul Reig: World Resource Institute, Technical note, (2015), pp 1-16

10) UN Comtrade, 入手先< https://comtrade.un.org/data/ >, (参照 2018-07-29)

11) Mark E. Schlesinger, matthew J.King, Kathryn C. Sole, William G. Davenport, “Extractive Metallurgy of Copper fifth edition”, Elsevier, (2011), p.57

「単文間距離」を用い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 Distance between Single Sentences

○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

昨今、問題視されている環境問題の一つとして、地球温暖化の問題が挙げられる。世界中で地球温暖化への対策が行われており、日本でも 2008 年に「福田ビジョン」が発表された。「福田ビジョン」とは、地球温暖化の原因となる温室効果ガス排出量削減に向けた構想である。その「福田ビジョン」において、「CO_2 排出量の見える化」の手法にカーボンフットプリント(Carbon Footprint of Products,CFP)が示された [1)]。

CFP の算出には、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、単位量あ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。CFP は、製品の原材料の基本単位と、原単位を用いて算出される。

同種の製品であっても、原単位は企業ごとに異なる。原材料の種類・重量や、製造方法の差異から、原単位の値に違いが生まれる。また、同企業の製品であっても、年度ごとに原単位が異なる場合がある。

製品の原材料それぞれの原単位を、CFP 計算に組み込むことができれば、CFP の計算精度を向上できる。しかし、企業・製品・年度ごとに異なる原単位を、手作業で収集する時の作業量は膨大である。そのため、本研究では原単位収集作業の効率化を目的に、インターネットにおける原単位収集作業の自動化を目指す。

2. 距離考慮型 TF-DF モデル

インターネットから原単位を収集するためには、ウェブテキストに記載されている原単位の数値を抽出する必要がある。しかし、ウェブテキストの中には、原単位以外の数値も併記されている。併記された数値から原単位を特定するために、原単位が記載されたウェブページ内の単語を特定の手掛かりにする。

本研究では、原単位が記載されているウェブページに頻出する単語には、原単位との関連性があると考え、その原単位と単語の関連性を評価する手法を開発する。原単位と単語の関連性の評価を行うために、原単位と単語の「単文間距離」に注目した。「単文間距離」とは、原単位と単語の間にある単文数と定義する。このウェブページにおける単語の頻出性と「単文間距離」を指標とした評価値を、本研究では「単語評価値」と定義する。そして、「単語評価値」を評価する「距離考慮型 TF-DF モデル」[2)]を考案した。

「距離考慮型 TF-DF モデル」とは、文書中の単語のキーワード重要度を算出する「TF-IDF(Term Frequency – Inverse Document Frequency)モデル」[3)]を、本研究の目的に合わせて改変したモデルである。「距離考慮型 TF-DF」モデルは、「文書内出現頻度」と「文書頻度」、「単文間距離の評価」の 3 つの指標から、単語を評価する。

「文書内出現頻度」は、TF(Term Frequency)値と表され、文書内における単語の頻出性を表現する。製品の原単位について書かれたウェブページ p における単語 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 内の全単語数を$\sum_{s\in p} n_{s,p}$と表す。以上より、tf(t,p)は

$$\mathrm{tf}(t,p) = \frac{n_{t,p}}{\sum_{s\in p} n_{s,p}} \quad (1)$$

とする。

「文書頻度」は、DF(Document Frequency)値と表され、ウェブページ全体において単語が出現するウェブページ数である。複数のページに出現する単語ほど、単語と原単位の関連性が高いと考え、DF 値は高くなる。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数を df(t,p)とする。

「単文間距離の評価」は、製品の原単位について書かれたウェブページ p 内における単語 t と原単位の「単文間距離」の評価を$D_{t,p}$と表す。p 内における t の「単文間距離」の平均を$E_p[t]$、標準偏差をV_p[t]とする。$D_{t,p}$は、

$$D_{t,p} = \frac{1}{\int_{-L}^{L} -\left(\frac{1}{\left(V_p[t]+1\right)^2}x^2 + E_p[t] + 1\right)dx} \quad (2)$$

$$L = \left(V_p[t]+1\right)\sqrt{E_p[t]+1} \quad (3)$$

と表す。式(2)と式(3)は、p 内の「距離」の平均と分散によって、「単文間距離」の評価を変える。p 内における t と原単位の「単文間距離」の平均と標準偏差によって区間$[-L.L]$の長さが変わり、「単文間距離」の評価$D_{t,p}$が低くなる。

以上の指標から、ウェブページ単体における単語の評価

を求める。原単位について書かれたウェブページ数を N として、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 $W_{page}(t,p)$ は、

$$W_{page}(t,p) = D_{t,p} \times \mathrm{tf}(t,p) \times \frac{df(t)}{N} \quad (4)$$

と定義する。

それぞれのウェブページにおける単語の関連性の評価から、「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

$$W_{word}(t) = \sum_{p \in P} W_{page}(t,p)$$

とする。

3. 「単語評価値」を用いた単文の評価実験

「単語評価値」の有効性を確認するために、実際に存在するウェブページの評価実験を行った。本評価実験において収集する原単位は、電力の原単位で行った。電力の原単位に注目した理由は、CFP の算出の際に、生産した工場の住所から電力会社ごとの原単位を計算に組み込むことで、CFP の計算精度の向上が期待できるからである。

本評価実験では、「単語評価値」の算出に用いた電力会社 4 社のウェブページ 24 点と、上記以外の電力会社 6 社のウェブページ 6 点で実験を行った。「単語評価値」を算出した単語は、1331 単語である。

また、本評価実験では、java の形態素解析ライブラリ「lucene-gosen 4.6.0」[4]を用いている。形態素解析とは、言語それぞれが持つ文法とその言語の辞書から、自然言語の文章中に登場する単語の品詞を解析する手法である。本実験における形態素解析で使用する辞書には、「ipadic」を用いた。

形態素解析を利用して、品詞ごとの単文評価の実験も行った。評価した品詞は、「名詞」、「未知語」、「動詞」、「その他」の 4 種類である。「未知語」とは、形態素解析を行う上で、辞書に掲載されていないなどの問題から分類ができなかった品詞である。「その他」とは、評価した全 1331 単語の内、単語数が 5%未満の品詞を、すべて「その他」として分類した。このように分類した理由として、評価した単語数が少ない品詞の単語が、連続して出現する状況は考えにくいためである。

以上を踏まえた評価実験の結果の一例を図 1 に示す。拡大した図は SI に示す。黒色で示されている単語は、ウェブページ中に実際に原単位が含まれている単文である。

本評価実験における縦軸は、単文中に含まれる単語の「単語評価値」の平均をとり、単文の評価値としている。なお、未評価の単語については、関連性の評価が不明であるため、単文の評価値の計算では考慮しないものとする。

本評価実験における横軸は、「単文番号」である。「単文番号」とは、ウェブページ中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。本評価実験では、句読点や改行により区切られた部分を、ひとつの単文とする。

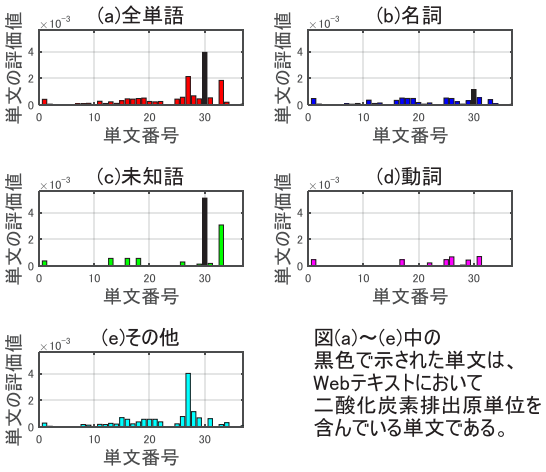


図 1　2016 年度北陸電力の単文評価

評価実験を行った結果、電力会社 10 社のウェブページ 30 点のうち、22 点のデータにおいて、原単位を含んだ単文の評価が最も高くなった。また、残る 8 点のデータにおいても、同ページ全体の評価で見ると、評価が高くなる傾向が見られた。以上により、「単語評価値」は原単位の特定に一定の有用性があると考えられる。

品詞ごとの評価結果では、それぞれの電力会社ごとに特徴は見られるものの、評価実験を行ったウェブページ全体の傾向自体は見られなかった。単文の評価は、ウェブページ中の文章の書き方に依存しており、電力会社ごとの書き方の違いから、評価への影響があると考えた。

また、評価実験においては問題点も見られた。単文に含まれる単語が多い単文は、評価が低くなる傾向が見られた。一単文に含まれる単語数が多くなるほど、「単語評価値」の低い単語を含む可能性が高くなるためである。

引用文献

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) 上田健太,永野宏治: “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”, 日本 LCA 学会, 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 2018, pp120-121

3) 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

4) 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

SI の書式は自由です。

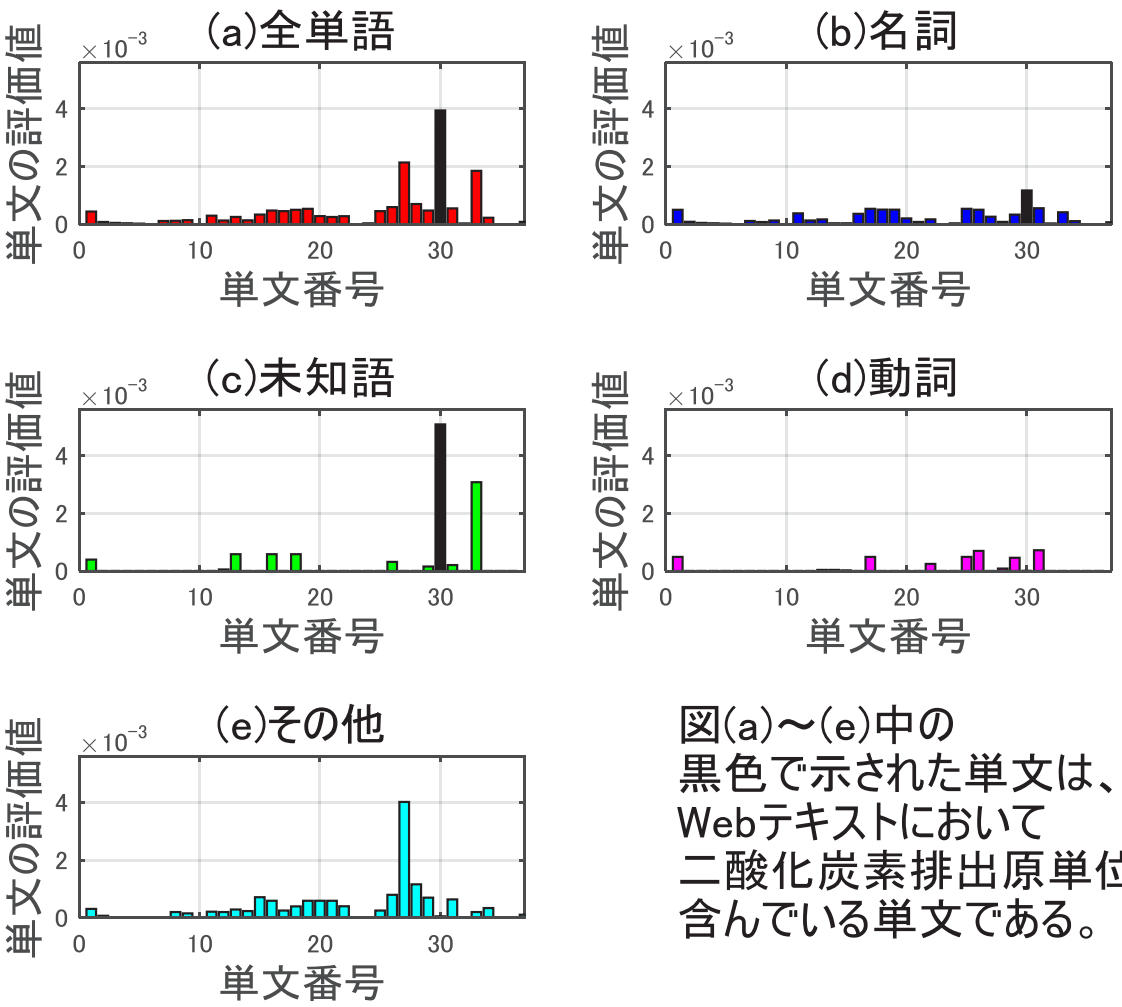


図 S1　2016 年度北陸電力の原単位ページにおける単文の評価

ESG 投資に向けた国内全上場企業を網羅した温室効果ガス排出データベースの開発

Development of GHGs emission database covering all domestic listed companies for ESG

○本田智則*1)、稲葉敦 2)

Tomonori Honda, Atsushi Inaba

1）産業技術総合研究所, 2）工学院大学

* Tomonori-honda@aist.go.jp

1. はじめに

近年の ESG 投資増大等の要因によって、市場において企業の環境情報の重要性は増している。Global Sustainable Investment Alliance の集計によれば、世界全体の ESG 投資資産残高は 2014 年時点で 18 兆 2760 億ドルであったものが、2016 年までに 22 兆 8900 億ドルに達している。また、日本の ESG 投資資産残価は 2014 年時点で約 1 兆円であったものが、2017 年までに 52 兆円へと急激な伸びを示した。

このように ESG 投資が急速な伸びを示す一方で、環境や社会性を配慮に入れた投資先選定の手法については多くの課題を抱えている。

現状では、企業の環境取り組みはアンケート調査やヒアリング調査といった定性的な情報に基づいて評価が行われることが一般的である。一方、ESG 投資家が企業各社に対して温暖化リスクの開示を求めるなど、定量的な環境情報に対するニーズの高まりが見られる。

しかし、現状において投資家がアクセス可能な企業の環境活動の結果を示す環境情報、すなわち環境負荷の排出データの整備はほとんど行われておらず、ESG 投資における環境側面において最も重視されていると考えられる温暖化対策の結果を示す温室効果ガス排出量についてさえ体系的かつ網羅的な定量情報は存在していない。

2. 目的

現状、国内において投資の対象となり得る上場企業が排出する温室効果ガス排出量のデータとしては企業各社が公開する CSR レポート等の記載に基づいたデータを取りまとめたものが一般的である。しかし、CSR レポートの開示は企業の任意であるため開示しない企業も多く存在し、網羅性には乏しい。また、CSR レポートはで開示されるデータは各社が任意にバウンダリを設定することを許容しており、企業によって温室効果ガス排出量の算定バウンダリが異なっているため、CSR レポートによって開示されたデータでは企業間比較を伴う投資先選定に利用することは困難である。また、世界的には国際 NGO である CDP が算定手法等も厳格に定めて独自に企業の温室効果ガス排出量を集計、公表している。しかし、CDP の調査は世界的な大企業を対象としたものであり、また、調査への回答は任意であることから、2017 年時点で国内企業のデータは 265 社に留まっている。国内に投資対象となる上場企業は 3 千社以上存在することを踏まえると、その網羅性は十分とは言えない。

そこで、本研究では地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）によって開示されている「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」に基づく開示データ（以下、温対法データ）を用いて、全上場企業を対象とした企業各社の温室効果ガス排出データベースを開発した。

3. 方法

温対法では、2006 年 4 月 1 日から法に定められた規模の事業者はその活動によって生じた温室効果ガス排出量を国が定めた方法によって算定し、その結果を国に報告することが義務づけられており、報告されたデータは「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」に基づき、開示が行われている。

温対法データは上場・非上場にかかわらず一定規模以上の企業の事業活動によって排出される温室効果ガス排出量は、算定手法が統一された体系性を有し、また、アンケート調査等とは異なり法的報告義務に基づき収集されたデータであることから高い網羅性を有している。しかし、温対法データは事業所・企業単位での報告が行われているものであり、企業の連結関係は考慮されていない。一般に企業の温室効果ガス排出量と言った場合は、その企業の子会社、関連会社を含むのが一般的であるため温対法デーi タだけでは、連結を考慮に入れた温室効果ガス排出量を知ることはできない。そこで、本研究では企業の株式所有関係に着目し、株式所有構造のマッピングを作成し、企業の親子関係を明らかにした上で上場企業の温室効果ガス排出量の算定を行った。

4. 結果

開発したデータベースでは 3972 社の上場企業（上場廃止企業も含む）の 2006 年度～2015 年度までの温室効果ガス排出量を子会社、関連会社、その他関係会社に分けて集計し取りまとめた。

結果については、産業技術総合研究所より公表する。

C2-03,P2-125　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

CGE モデルと LCA の融合による日本の CFP 将来推計

Combining Computable General Equilibrium Model and Life Cycle Assessment for Carbon Footprint Projections in Japan

○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 2) 国立環境研究所
* g1793102@ tcu.ac.jp

1. 背景

2015 年のパリ協定では、世界各国が 2030 年に向けて、GHG 排出量の削減目標を議論し、気候変動の深刻化に対する意識が高まった。さらに、2018 年に IPCC の特別報告書[1)]が承認され、第五次報告書で目標としていた 2℃未満ではなく 1.5℃未満に維持することの重要性が共通の認識となった。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っている。

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、市場価格メカニズムをベースに、家計なら効用が最大になり、企業であれば便益が最大になるように、経済主体の行動が市場でどのように達成されるかを描写するモデルである。炭素税を考慮することで、将来の最終エネルギー需要や GHG 排出量を推計することができる。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評価は少ないのが現状である。

本研究では、日本を対象に CGE を用いて CFP の将来推計を行う。CFP 結果を産業ごとに分析することで、最終的には、国の政策で用いることを目指す。

2. 方法

2.1 算定方法

本研究では、国立環境研究所が開発している、AIM（Asia-Pacific Integrated Model）/CGE[Japan]モデル[2)]を用いる。このモデルは日本を対象にしたモデルであり、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）[3)]が公開している GHG 排出量と整合性がとれるようにした。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。

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

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。

2.2 想定シナリオ

政府が公開している約束草案（NDC）[4)]のシナリオを採用した。約束草案では、基準年を 2005 年比で 2030 年の GHG 排出量は 25.4%削減することを目標にしており、電力ミックスにおける再生可能エネルギーの割合を約 10%から約 22%～24%に設定している。を決めている。今回は現状の評価として 2005 年の再現計算を行い、将来の評価として 2030 年の CFP を推計した。

3. 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[5)]を用いて推計した CFP、約束草案をベースに将来推計した CFP の比較結果である。2005 年の再現計算と 3EID を用いた CFP の比較を行うと、本研究の結果が約 6%大きな値となった。これは 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ことに加え、産業ごとの直接 GHG 排出量は投入されるエネルギーから GHG 排出量に変換する際に一物一価で計算するため、誤差が生じたことに起因すると考えられる。2030 年の CFP は約 20%削減されるという推計結果になる、NDC で想定している目標値に対して近い推計結果となった。

図 2、図 3 は、内側に最終需要の内訳、外側に最終需要内の産業部門で内訳を示した円グラフである。家計消費における、飲食料品は生活に欠かせない要素で

あるため将来推計でも、同じくらいの割合になっている。一方で、エネルギー利用が抑えられることにより、石油製品、電力、運輸・郵便の負荷が低減されていることが分かる。また、三次産業が発達することで、対個人サービスの割合が大きくなる結果となった。固定資本、政府においては、全体に占める割合は小さくなっている。これは相対的に家計消費の CFP より削減幅が他より少ないためである。政府に関しては、公務、医療福祉の占める割合が大きくなるのは、高齢化が進むことによる影響であると考える。

4. 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少し大きな値になるが、ある程度の妥当性があることが分かった。将来の CFP 推計結果に関しては、再生可能エネルギーの導入により、全体の総量は約 19%削減されるという結果となり、政府が目標とする 25.4%より少ない削減幅となった。産業連関表をベースにした推計を行うことで、最終需要における産業部門ごとの分析を行うことが可能となった。

5. 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。今回は、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、別のシナリオで推計した場合を検討する。今後はこれらの課題に取り組みつつ、政策の意思決定に用いることを想定した活用方法を検討する。

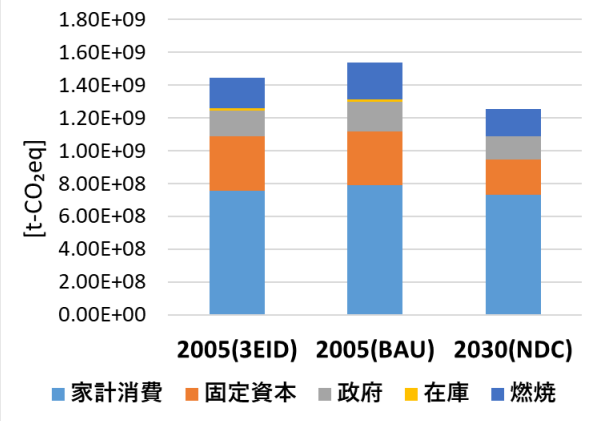


図 1　CFP 推計結果の比較

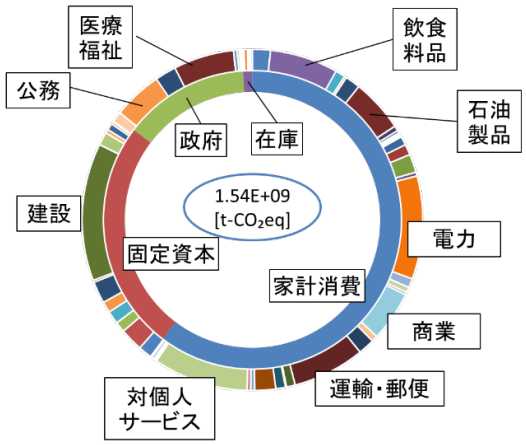


図 2　2005 年の CFP 内訳

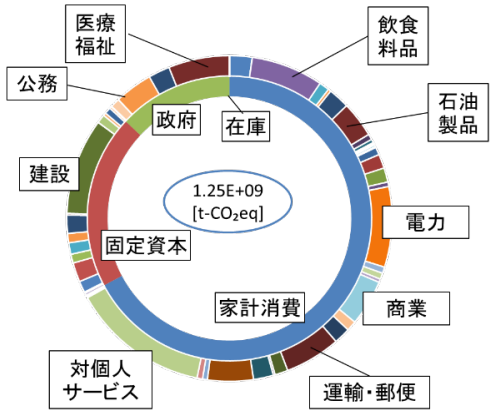


図 3　2030 年の CFP 内訳

参考文献

1) “IPCC 特別報告書『1.5℃の地球温暖化』”, 国際連合広報センター, 入手先, (オンライン), ＜http://www.unic.or.jp/news_press/info/30738/＞2019 年 1 月 9 日

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

3) “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

4) “日本の約束草案”, 環境省, 入手先, (オンライン), ＜https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html＞2019 年 1 月 9 日

5) 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, (オンライン), ＜http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html＞2019 年 1 月 9 日

D2-01
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

持続可能な消費と生産のための充足性評価指標の開発

Development of Sufficiency Index for Sustainable Consumption and Production

○荒井翔太*[1)]、小林英樹 [1)]、村田秀則 [1)]、福重真一 [1)]
Shota Arai, Hideki Kobayashi, Hidenori Murata, Shinichi Fukushige
1）大阪大学大学院工学研究科
* arai@ssd.mech.eng.osaka-u.ac.jp

1. 序論

持続可能な消費と生産（SCP: Sustainable Consumption and Production）の実現には、環境負荷の低減だけでなく、消費者の基本ニーズの充足性を考慮した製品開発が必要である[1)]。本研究では基本ニーズとして、Max-Neef が提案する基本ニーズを扱う[2)]。基本ニーズは普遍的な 9 種類（生存、保護、愛情、理解、参加、無為、創造、アイデンティティ、自由）で構成され、これらは地域によらず、互いの優劣はない。基本ニーズの充足手段としてサティスファイアが提案されている。これは地域の文化や時代などの要因により変化し、各基本ニーズに対し複数存在し得る。

本研究では、居住地域に特有の条件を製品仕様に反映することで基本ニーズの充足と環境負荷の低減を目指す設計を地域指向サステナブルデザインと呼ぶ。筆者らはこの実現手段の一つとして、生活圏アプローチを提案している[3)]。これは個々の製品による基本ニーズの充足性を体系的に理解するアプローチである。本研究では、各製品の基本ニーズへの充足性を定量化する評価指標を開発する。

2. 充足性評価指標

対象とする地域と住民の属性及び、製品とその機能を設定する。平均世帯を想定して、製品による充足率を算出する。生活圏アプローチでは基本ニーズ、サティスファイア、製品群が階層構造を成し、製品群から基本ニーズまで順に接続される(図 1)。

はじめに製品群によるサティスファイアの充足を定量化する。ここでは製品がもつ機能に注目し、機能によってサティスファイアが充足されるとする。

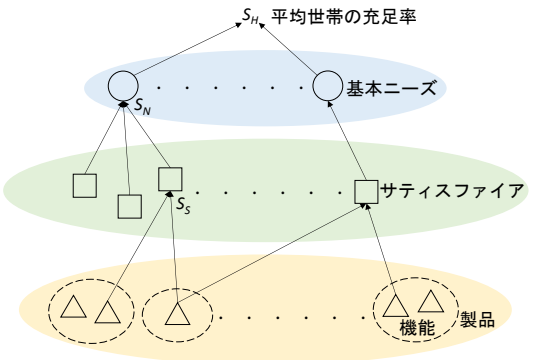


図 1　生活圏アプローチの概念図

サティスファイアの充足に貢献する、即ちサティスファイアに接続される製品機能数cと製品普及率rを用いて、サティスファイアに対する製品の寄与度$C_p = rc$を定義する。対象製品をK個設定する場合は、(1)のようにサティスファイアに対する製品群の寄与度C_{p_Total}を表す。

$$C_{p_Total} = \sum_{k=1}^{K} C_{pk} \qquad (1)$$

サティスファイアの充足率は接続する製品の機能が多いほど増加するが、限界効用逓減の法則に従い、充足率の増加量は減少するものとした。本研究では式(2)でサティスファイアの充足率S_sを算出する。

$$S_s = 2\left\{\frac{1}{1+exp\left(-C_{p_Total}\right)} - \frac{1}{2}\right\} \qquad (2)$$

次にサティスファイアによる基本ニーズの充足を定量化する。一つの基本ニーズに対して接続するL個のサティスファイアは互いに独立であり、かつ等しく基本ニーズに寄与すると仮定し、式(3)で基本ニーズの充足率S_Nを算出する。

$$S_N = \sum_{l=1}^{L} \frac{1}{L} S_{Sl} \qquad (3)$$

最後に基本ニーズによる平均世帯の充足を定量化する。9 種類の基本ニーズは互いに優劣がないとされるので、等しく充足に寄与するものとし、全基本ニーズの充足率の平均値を平均世帯の充足率S_Hとする。

3. 事例研究

ベトナムの都市中間層を評価対象に設定した。評価対象の平均的な世帯で使われている耐久消費財のなかで普及率データ入手可能な製品 11 種類を対象製品とし、機能を設定した。開発した指標を用いてベトナムの都市中間層の充足率推移を推計した結果を図 2 に示す。ただし本事例では、ベトナム全体での製品普及率データを用いている[4)]。図 2 よりスマートフォンと二輪自動車が充足率に大きく寄与していることが分かる。スマートフォンの充足率が高い理由は、3 種類の主要機能を設定したことにより多くのサティスファイアと接続されたためである。二輪自動車の充足率が高い理由は、主要機能を 1 種類しか設定していないが、「モノの入手」や「他者との交流」など、接続されるサティスファイアが多かったためである。

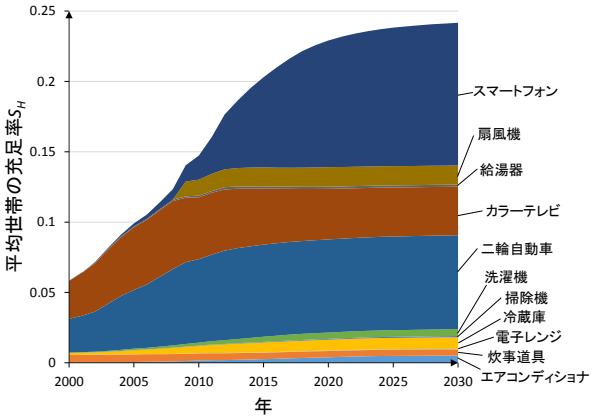


図 2 ベトナムの都市中間層の充足率推移

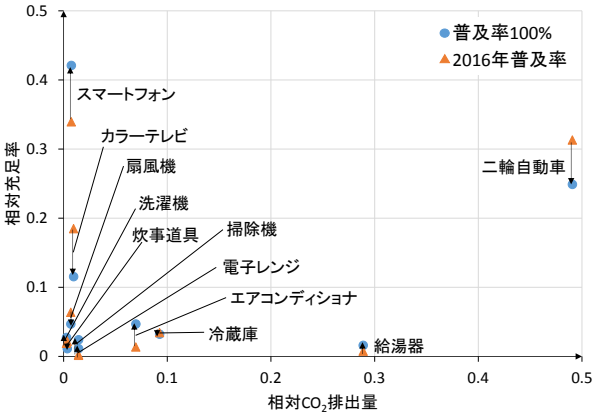


図 3　製品分析チャート

また製品普及率の上昇とともに充足率は向上するが、全製品の普及率を 100%と仮定した場合でも 0.28 にとどまる。

製品の相対充足率と相対 CO_2 排出量からなる製品分析チャートを作成した(図 3)。製品の CO_2 排出量は、原単位データベース IDEA(Inventory Database for Environmental Analysis)を用いて算出した製造段階と使用段階における 1 年あたりの値である [5]。相対充足率は 2016 年での製品普及率を用いて算出した値と、全製品の普及率を 100%と仮定した場合の値を利用している。図 3 より、二輪自動車は 2016 年時の充足率に比べ製品普及率が 100%のときの充足率が減少していることがわかる。これは二輪自動車の 2016 年時点での 11 製品に対する寄与割合に対し、100%時点では他の製品の普及率が上昇したため二輪自動車の寄与割合が相対的に減少したからである。また、給湯器は一貫して充足率への寄与が小さく環境負荷が大きい製品であることが分かる。そのため給湯器を SCP の観点から設計改善の優先度が高い製品とみなし、より充足度の高い、あるいは環境負荷の低い製品で代替することを考える。これまでの現地調査からベトナムは日照時間が長く、太陽熱が十分であるという情報を得ている。このことから太陽熱温水器を給湯器の代替製品に設定する。

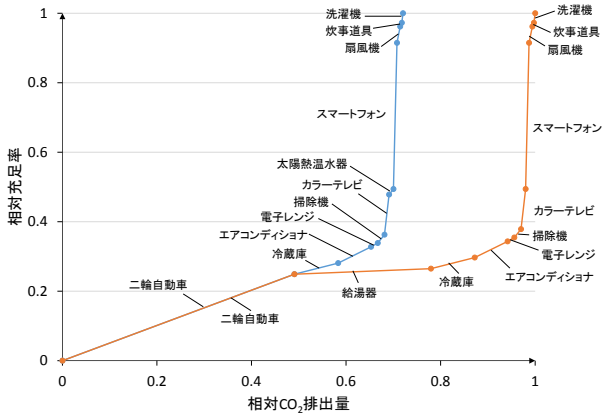


図 4　製品別積算チャート

太陽熱温水器導入前後の、製品別の相対充足率と相対 CO_2 排出量の積算チャートを図 4 に示す。ただし充足率は全製品の普及率を 100%とした場合の値である。図 4 から、給湯器を太陽熱温水器で代替することで環境負荷が大きく低減することが分かる。この理由として、太陽熱温水器は電力を消費せず、長寿命であるため CO_2 排出量が給湯器の CO_2 排出量の約 3%であることが挙げられる。一方で充足率に変化はなかった。これは両製品ともに温水を得るという同じ機能をもつため、接続されるサティスファイア数に変化がなかったからである。この事例で、充足率と環境負荷の双方で改善を行うためには、共通の機能とは異なる機能も有する代替製品を設定することが有効であると考えられる。

4. 結論

本研究では、生活圏アプローチにおける充足性評価指標を開発した。事例研究でベトナムの都市中間層に対し開発指標を用い、基本ニーズの充足に寄与する製品を明らかにできることを示した。

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: “Global outlook on sustainable consumption and production policies”, (2012)
2) Max-Neef M.: The Apex Press, New York, (1991)
3) Kobayashi H., Fukushige S.: Journal of Remanufacturing, 8 (3), (2018), pp 101-113
4) Euromonitor International: “Passport”, (2016)
5) 産業技術総合研究所, 産業環境管理協会: LCI データベース IDEA version 2.1.3

D2-02,P2-116　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

ジェンダー・福利厚生・賃金など各種労働問題を考慮した S-LCA の実装

THE IMPLEMENTATION OF S-LCA INTEGRATING GENDER, SOCIAL WELFARE, FAIR SALARY AND OTHER IMPACTS ON WORKERS

○廣川　達也[*1)]、吉田　好邦[1)]、井原　智彦[1)]

Tatsuya Hirokawa, Yoshikuni Yoshida, Tomohiko Ihara

1)東京大学

* hirokawa-tatsuya952@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

１．背景と目的

持続可能な発展を実現するためには、製品・サービスの環境に対する影響だけでなく、社会に対する影響もライフサイクル的視点で評価することが重要である。S-LCA は、社会的持続可能性を LCA の枠組みと同様に評価することを目的として開発された手法であり、2009 年に国連環境計画(UNEP)によってガイドラインが発行され、近年、多くの研究が行われている[1)]。倫理的消費行動が増加するなか[2)]、製品・サービスを提供する企業にとっても社会的持続可能性を考慮したサプライチェーンの構築は必要になってきている。労働問題は児童労働、安全面の懸念などさまざまあるが、低賃金が児童労働につながっていたり、長時間労働が危険な労働環境につながっていたりと、労働問題はお互いに影響しあっている。また、労働時間外において労働者の生活に大きく影響するのが国による社会保障制度である。したがって、労働者に対する製品の影響を評価するにあたっては、これらの問題を統合的に評価することが重要である。本研究では T シャツを題材に、サプライチェーン上での労働者に対する社会的影響を評価した。消費者の評価を基に、UNEP のガイドラインに沿った形で幅広い労働問題を統合的に定量化したことがこの研究の特徴である。

２．手法

2.1 手法の概要

まず、UNEP のガイドラインに沿って労働者に対する社会的影響を 8 つに分類した（1.労働三権 2.児童労働 3.不公正な賃金 4.長時間労働 5.強制労働 6.男女平等 7.労働災害のリスク 8.医療・教育の充実度)。アンケートにより、T シャツ購入時の、8 つの労働問題に対する WTP を算出した。また、性別や年齢、国籍、1 年で服にかける金額、労働問題に対する考え方や態度が WTP に影響を与えているか検証した。そして、算出した WTP を基に、サプライチェーンごとの労働問題の深刻度を定量化した。

2.2 直接調査

有機栽培、洗濯条件の有無、8 つの労働問題に対する WTP を直接質問した。個人の属性に関する質問項目は、服を購入する頻度、1 年間で服にかける金額、T シャツの想定する値段、年代、性別であった。合計 200 人から回答を得た。日本語でのアンケートの回答者は 146 名、英語での回答者は 54 名であった。

2.3 コンジョイント分析

インターネット調査会社のモニター400 名を対象にアンケート調査を実施し、ペアワイズ型コンジョイント分析によって各労働問題に対する WTP を算出した。アンケート調査の属性・水準は表 1 の通りである。T シャツの値段は直接調査回答を参考に決定した。なお、T シャツの属性として、有機栽培かどうか、洗濯条件があるかどうかを付け加えたが、これは T シャツの労働問題以外の属性を付け加えることで、実際の購買場面に近づけるためである。

表 1 アンケート調査の属性・水準

属性	水準1	水準2	水準3	水準4
価格	1, 500円	1, 800円	2, 100円	2, 400円
洗濯条件	中性洗剤・ネット使用	特になし		
有機栽培	通常栽培	有機栽培		
児童労働	5人に1人	ほとんど確認されない		
強制労働	国全体に広がっており深刻	国全体で法整備とともに抑制されている		
労働災害のリスク	日常生活で交通事故にあう確率の3倍以上	日常生活で交通事故にあう確率の1/3以下		
不公正な賃金	平均的な人は国の法定最低賃金よりも25%少ない給料で働いている	平均的な人は国の法定最低賃金よりも25%多い給料で働いている		
男女平等	中東・南アジアの水準であり、男女平等の概念はあまり広まっていない。	西ヨーロッパ、北米の水準であり、男女平等が積極的に進められている。		
長時間労働	週60時間以上働いている人が半分以上	週60時間以上働いている人が10%未満		
労働三権	労働三権は一般的でない/法律に定められていない	労働三権は法律に定められており、普及している		
医療・教育の充実度	最も値が小さい地域である南アジア・サハラ以南アフリカの水準	病気・失業の際に受けることのできる社会保障、中等教育までの義務教育などが整備されているOECD水準		

2.4 サプライチェーンの定量評価

ある国における産業ごとの労働問題の深刻度は Social Hotspots Database (SHDB)[3] のデータを用いた。また、労働時間のデータも SHDB を利用し、WTP を労働時間に比例して各生産段階に分配した。

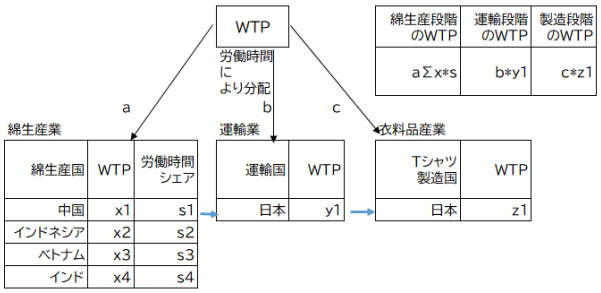


図１　労働時間による WTP の分配

３．結果

3.1 直接調査の結果

紙面の都合上、直接調査の結果をここでは掲載する。WTP の結果は表 2 の通りである。

表２　各労働問題に対する WTP

労働問題	WTP(円)	Tシャツの値段に対する割合
児童労働	596	26%
強制労働	534	24%
男女平等	494	20%
医療・教育の充実度	469	19%
不公正な賃金	349	18%
労働災害のリスク	173	8%
長時間労働	160	8%
労働三権	141	6%

WTP の値と個人の属性の間にはいくつか相関がみられる項目があった。例えば、T シャツの値段をより高く予想した人は、有機栽培、児童労働、労働三権に対する WTP が高かった。また、女性の不公正な賃金、労働災害のリスクに対する WTP が高かった。そのほか、英語での回答者の男女平等、医療・教育の充実度に対する WTP が高かった。なお、有機栽培に対する WTP は 591 円(23%)であったが、これは既往研究の結果である$3.23(29%)[4] と矛盾しない水準である[3]。

3.2 サプライチェーンの定量評価

SHDB のデータを用いて、産業ごとに労働問題の深刻度を数値化し、WTP とかけあわせた。綿素材の製造部門での例が表 3 である。また、綿素材の製造(Textile)部門、運輸(Transport)部門、Ｔシャツの製造(Wearing apparel)部門の労働時間の比は 0.48: 0.01: 0.51 であった。この労働時間と各産業の労働問題の深刻度をかけた値の比で WTP を分配した（表 4）。

表３　綿生産国に対する WTP

綿生産国	労働問題に対する WTP（円）
インド	2,331
中国	2,325
ベトナム	2,280
タイ	2,220
インドネシア	2,131

表４　Ｔシャツ製造国に対する WTP

Tシャツ製造国	綿の生産段階での労働問題に対する WTP（円）	運輸段階での労働問題に対する WTP（円）	製造段階での労働問題に対する WTP（円）	合計（円）
ベトナム	1,112	20	725	1,857
中国	1,090	20	679	1,789
日本	1,078	10	549	1,637
インドネシア	1,019	18	591	1,628

４．考察・今後の課題

8 つの労働問題のうち、児童労働、強制労働、男女平等、不公正な賃金においては WTP の中央値が 200 円以上であった。これは様々な労働環境を気にかけ、その改善につながる購買行動をする消費者が多数派であることを示している。

個人の属性に関して、女性の方がいくつかの労働問題に対して WTP が大きかったが、その理由は確かでない。また、アジア人のほうが有機栽培に対する WTP が小さいという既往研究[4]と、本研究の英語での回答者の男女平等、医療・教育の充実度に対する WTP が高いという結果が関連するものなのか、さらなる検証に値する。

S-LCA の手法開発において、この研究では綿 100%の T シャツを題材に複数の生産段階での労働者に対する社会的影響を評価したが、廃棄など、データが不十分な段階に関して評価できていない。対象範囲を拡大させることが S-LCA の発展に必要である。また、労働者に対する社会的影響だけでなく、複数のステークホルダーに対する影響を統合することも、製品の総合的な影響評価のために望まれる。

引用文献

1) 高橋 和枝、佐々木 重邦: 武蔵野大学環境研究所紀要(4),(2015), pp. 63-73

2) Shaw, D. and Tomolillo, D.A.C., International Retail Marketing: A Case Study Approach, (2004), pp.141–154

3) Catherine B.N.: “social hotspots database”, The Social Hotspots Database, (オンライン), 入手先 <http://socialhotspot.org/>, (2019-01-06)

4) Joan L. Ellis, Vicki A. McCracken, Nathan Skuza: Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 16(3), (2012), pp.290–305

D2-03
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

中国の火力発電所由来の大気汚染物質に伴う健康被害の空間分布分析

Spatial distribution of health impacts associated with air pollutants emitted from thermal power plants in China

○永島史弥*[1)]、加河茂美 [1)]、南斉規介 [2)] 、茶谷聡 [2)]
Fumiya Nagashima, Shigemi Kagawa, 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。特に中国国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。中国の大気汚染の特徴として、中国経済の石炭への強い依存が挙げられる。『世界エネルギー統計年鑑 2018』（引用文献（1））によれば、2017 年の中国の石炭消費量は約 36 億トンにものぼり、世界の石炭需要のほぼ半分を占めている。中国政府はこれまで大気汚染対策として石炭消費を抑制する政策を打ち出してきており近年はその消費量も減少傾向にあるものの、依然として石炭に依存せざるを得ない経済・エネルギー構造を脱却できずにいる。

中国における石炭消費のうち、その大半は発電用に用いられているため、中国の石炭火力発電部門が国内の大気汚染物質の排出に大きく寄与していることは明らかで、その排出実態の定量的把握が喫緊の課題となっていることから、セクターレベルでの大気汚染物質排出インベントリについては様々な機関が用途に応じてデータベースの整備を行ってきた。また、社会と環境の相互作用を示す枠組みである DPSIR（要因（Driving Forces）、負荷（Pressures）、状態（States）、影響（Impacts）、対策（Responses））フレームワーク [2)]の観点から大気汚染物質の排出に伴う健康被害やその対策についても議論していく必要がある。筆者は既報（引用文献（3））において、中国で発生した大気汚染由来の早期死亡者を各セクターの生産活動（及びそれに伴う $PM_{2.5}$ の排出）に帰属させることで、いわゆる「健康被害のインベントリデータ」を作成した。また、多地域産業連関モデルを応用し各国の消費が誘発する「消費基準での健康被害」を推計し、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、健康被害の効果的な削減のために、どの国のどのセクターに対して排出削減策を講じるべきであるかを発電部門由来の排出に焦点を当てて議論してきた。

しかしながら、それらの既存研究の分析結果では $PM_{2.5}$ の排出責任の観点の議論や優先的に削減すべきサプライチェーンの抽出には有用であるが、発電部門に対する具体的な健康被害削減策とその有効性の評価については言及することができない。そこで本研究では発電部門に関してセクターレベルではなく、より細かな発電所レベルでの排出分析および健康影響分析を行う。また発電効率の上昇が健康被害の削減にどれだけ貢献するかを数量的に分析する。

2.　研究手法

2.1.　各石炭火力発電所のインベントリデータ作成

本研究では『中国电力工业统计资料汇编 2014』[4)]から中国の 546 の石炭火力発電所と各発電所の石炭使用量のデータをグローバル発電所データベース [5)]の位置情報と統合する（図 1 参照。石炭消費量の多い 10 の発電所を記載）。また本研究では Takahashi ら（2014）[6)]と GAINS-East Asia の発生源別排出データベースから一次粒子の BC、OC、二次粒子の前駆物質である SO_2、NO_x、NH_3、VOC を対象に、排出原単位を石炭消費量

No.	Power Plant	Province	Coal Consumption (tonnes)
1	Datang Tuoketuo power station	Inner Mongolia	15,653,126
2	Huaneng Yuhuan power station	Zhejing	10,840,726
3	Houshi power station	Fujian	9,608,423
4	Dalate power station	Inner Mongolia	8,957,244
5	Suizhong power station	Liaoning	8,776,299
6	Guohua Taishan power station	Guandong	8,613,381
7	Chaozhou Sanbaimen power station	Guandong	8,556,562
8	Daihai power station	Inner Mongolia	8,172,622
9	Datong-1 power station	Shanxi	7,500,622
10	Tieling power station	Liaoning	7,244,374

No.	Location	Power Plant	Province	BC emissions (Mt)	OC emissions (Mt)
1	111.36°E, 40.20°N	Datang Tuoketuo power station	Inner Mongolia	939	235
2	121.14°E, 28.12°N	Huaneng Yuhuan power station	Zhejing	650	163
3	118.13°E, 24.30°N	Houshi power station	Fujian	577	144
4	110.00°E, 40.36°N	Dalate power station	Inner Mongolia	537	134
5	120.01°E, 40.08°N	Suizhong power station	Liaoning	527	132
6	112.92°E, 21.86°N	Guohua Taishan power station	Guandong	517	129
7	117.10°E, 23.57°N	Chaozhou Sanbaimen power station	Guandong	513	128
8	112.67°E, 40.52°N	Daihai power station	Inner Mongolia	490	123
9	113.10°E, 39.95°N	Datong-1 power station	Shanxi	450	113
10	123.80°E, 42.35°N	Tieling power station	Liaoning	449	112

図 1　石炭火力発電所データベースの作成

あたりの排出量に変換し、得られた新たな排出原単位（$PM_{2.5}$/石炭消費量）を各石炭火力発電所の石炭消費量に掛け合わせることで個別発電所の $PM_{2.5}$ 排出量を推計する。

2.2.　早期死亡者数分布の作成

東アジア領域（中国、日本、韓国）を対象に、気象モデル WRF で気象場を計算し、さらに大気汚染物質のインベントリデータを用いて化学輸送計算モデル CMAQ で年平均濃度分布の計算を行う（図 2 参照）。

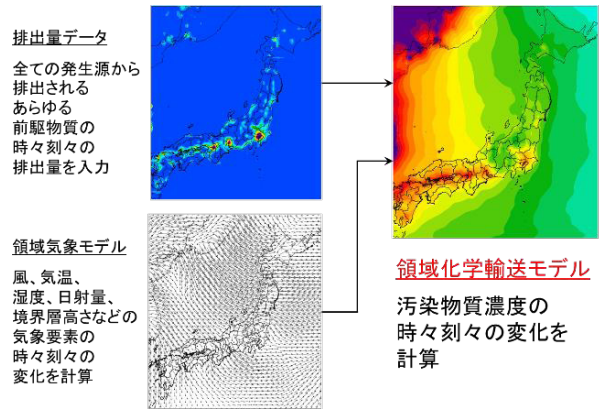


図 2　$PM_{2.5}$ の年平均濃度分布の計算

得られた汚染物質の年平均濃度と国別・省別人口データ及び疫学の既往研究の成果 [7]を用いて早期死亡者数を推定する。各石炭火力発電所の大気汚染物質排出による汚染濃度と早期死亡者の計算に用いる相対リスクには非線形の関係があるものの、本研究では線形を仮定して早期死亡者の計算を行う。

また、さまざまな中国の 13 次五か年計画の目標値（石炭消費量の削減、エネルギー効率の改善、排出強度の改善、エネルギーミックスの改善）や、経済・経営学分野の効率性分析モデルであるデータ包絡分析手法を用いた石炭消費削減可能量の推計などさまざまなシナリオを想定し、個別発電所における $PM_{2.5}$ 排出削減可能量を計算する。さらにそれら各発電所での排出削減が中国をはじめとする東アジア地域の健康被害の削減にどれだけ寄与するのか推計する。

3.　結果と考察

図 3 は 2010 年における中国の発電部門（全ての発電所が含まれる）由来の $PM_{2.5}$ の年平均濃度分布を表している。中国国内で排出された大気汚染物質は、中国国内で約 11 万人の早期死亡者を誘発していることが明らかになった。また、大気汚染物質の越境輸送を通じて中国国内だけでなく、近隣諸国に対しても大気汚染の与える影響は甚大で、例えば日本では約 4 千人、韓国では千人の早期死亡者を誘発していることが分かった。本研究ではこの濃度分布をベースラインとして早期死亡者を推計していく。

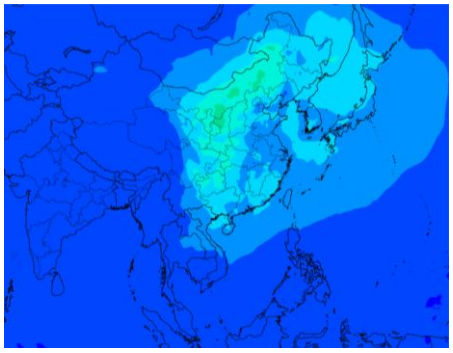


図 3　発電部門由来の $PM_{2.5}$ 年平均濃度分布

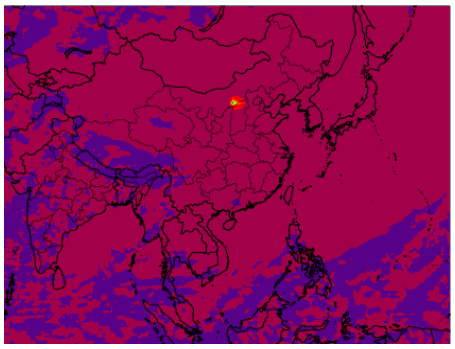


図 4　個別の火力発電所由来の $PM_{2.5}$ 年平均濃度分布

図 4 は図 1 で示された石炭消費量の最も多い火力発電所由来の $PM_{2.5}$（ここでは BC、OC のみを計算）年平均濃度を表している。これら各発電所が寄与する早期死亡者の推計結果は LCA 学会発表会にて詳細を述べる。

4.　引用文献

1) Enerdata, “Global Energy Statistical Yearbook 2018”, <https://yearbook.enerdata.net/coal-lignite/coal-world-consumption-data.html>, (2019/01/07 参照)
2) Smeets, E., Weterings, R.: *Environmental indicators: Typology and overview*, European Environment Agency Copenhagen, (1999).
3) 永島史弥, 南斉規介, 茶谷聡: 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会, 東京, (2018), pp.86-87.
4) 中国电力联合会: “中国电力工业统计资料汇编 2014”, (2014).
5) World Resources Institute, “Global Power Plant Database”,<http://datasets.wri.org/dataset/globalpowerplantdatabase>, (2019/01/07 参照)
6) Takahashi, K., Nansai, K., Tohno, S., Nishizawa, M., Kurokawa, J., Ohara, T.: *Atmos. Environ.*, (2014), 97, pp.406–415.
7) Apte, J.S., Marshall, J.D., Cohen, A.J. and Brauer, M.: *Environ. Sci. Tech.*, (2015), 49, pp.8057−8066.

E2-01,P2-082
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

使用済み船舶解体の外部コスト評価

External Cost of ship recycling : Comparison between Japan and India

○松本拓磨*[1)],光斎翔貴[1)],山末英嗣[1)]
Takuma Matsumoto, Shoki Kosai, Eiji Yamasue
1) 立命館大学
* rm0116hs@ ed.ritsumei.ac.jp

1. 緒言

1.1 研究背景

近年の急激な人口増加や産業化によって，人や物の輸送に対する需要は高まり続けている．特に，輸送機関の中でも国際的な輸送の大半を担っているのが海上輸送であり，世界全体においても 2005 年においておよそ 66 億トンだった輸送量が，2016 年には 112 億トンまで増加している．この輸送量増加に対応するため，世界的に船腹量（載貨重量トン）が大きく増加している[1)]．

船腹量が増加するに伴い，廃棄される船舶も増加する．廃棄された船舶の大半は解体されスクラップとして利用される．特に，近年の船舶解体の大半はアジアの発展途上国において行われている．しかし，これらの国々では労働管理や環境対策が十分に行われておらず，様々な労働災害や環境汚染が起こっているのが現状である．

そこで，発展途上国での適切な船舶解体に向けて， 2009 年 5 月に IMO の条約採択外交会議でシップリサイクル条約が採択された．本条約では，様々な環境や労働条件に関わる規制を含んでいる．また，ほぼ同じ内容のシップリサイクルに関する EU 規制が 2018 年末から EU 船籍船に対し適用されている．

このような社会的背景を基に，既存研究において，船舶解体への環境規制の歴史[2)]，船舶解体施設付近における海中金属汚染[3)]，インド付近での海中における船舶解体由来の有機物及び重金属による汚染[4)]，解体された船舶の排水量[5)]といった観点から，船舶解体の問題点や環境負荷が議論されてきた．その一方で，船舶解体による環境汚染の顕在化していないコスト（外部コスト）の分析は十分になされておらず，船舶解体がもたらす環境負荷に関する包括的な議論は不足している．また，発展途上国のみでの船舶解体となると，シップリサイクル条約や EU 規制に適合した解体施設が不足する可能性があるが，先進国で船舶の解体があまりなされていない現状もある．

そこで本研究では，環境分野に対して発展途上国と先進国の場合について船舶解体が周辺環境に及ぼす影響を外部コストとして評価することを目的とする．

2. 研究手法

2.1 指標の選定

環境負荷の外部コストを包括的に分析するために，適切な指標を選定する必要がある．ここでは，広く用いられているサスティナビリティ経営の報告書の基準である GRI スタンダードの項目を用いる．この項目から，船舶解体に関する論文において共通して指摘されている側面に関連するものを抽出していく．本研究で抽出された環境に関する指標は以下の 5 つとなった．

・原材料
・エネルギー
・生物多様性
・大気への排出
・廃棄物および排水

2.2 評価範囲

各項目に対して，類似する分野の論文の評価範囲を分析し，多数の論文で評価がされていた項目について評価を行う．環境影響について直接的，間接的な影響など様々な影響を評価したものがあるが，本研究では類似する論文の影響評価範囲から多くの論文で評価されている，農林水産業・健康・建築物について評価を行った．評価手法に関しては発展途上国も対象として評価を行うため，手に入る観測データを使用して評価ができるものを使用した．

2.3 ケーススタディ

ケーススタディとして，本研究では先進国の代表として日本を，発展途上国の代表としてインドの場合について評価を行い，比較検討した．日本に関しては，北海道の室蘭で行われた船舶解体の実証実験のデータを使用した．インドに関しては，グジャラート州のアラン・ソシヤ周辺での船舶解体を想定し，評価を行った．

ここでは例として，大気への排出について計算方法を示す．

今回は PM10 による健康への影響について評価するが，インドの解体施設周辺では SPM の観測のみが行われている．そのため，解体施設から最寄りの都市であるアーメダバードにて観測された SPM と PM10 の観測データから SPM と PM10 の関係性を求め，SPM のデータを PM10 のデータに変換する．用いる式は以下のものである[6)]．

$$E_{AP} = \frac{N \times V_{PM}}{0.75} \quad (1)$$

$$N = F \times P_E \left[1 - \frac{1}{1+\left\{\frac{0.016}{10}(E-B)\right\}}\right] \quad (2)$$

E_{ap}　大気汚染による被害額
V_{pm}　失われた人生の価値
0.75　罹患率―死亡率係数
P_E　PM10 による全死者数
N　船舶由来の PM10 による全死者数
E　PM10 の年平均濃度

B　PM10 のバックグラウンド濃度
F　船舶解体の寄与度

3. 結果および考察

日本とインドについて大気への排出による外部コストおよび，廃棄物より費用の推算結果について図 1 に示す．

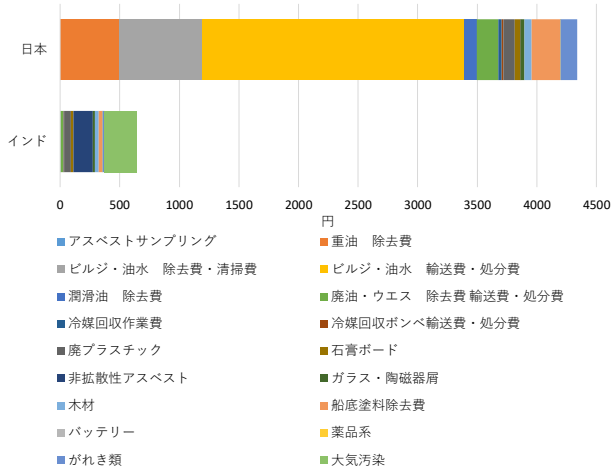


図 1　大気汚染による外部コストと廃棄物処理費用

図 1 のように廃棄物処理費用は日本のほうが高い．理由としては，日本では高コストの原因となっている重油などが燃料に準ずるものとして有価物として扱われていることなど，日本で廃棄物として扱われているものが中古品や有価物として取引されることによって費用が圧縮されていることがあげられる．また，大気汚染による健康被害にかかわるコストはインドでは１ ｔの鉄スクラップあたり約 270 円かかっており，日本では 0 円となった．日本でこのようになった要因は船舶解体施設の最寄りの観測所での観測値がバックグラウンド濃度を下回っているためである．これは船舶解体施設がある室蘭は 3 方向が海，1 方向が山となっているため他に汚染源が少なく，風も比較的強いために汚染物質が拡散しやすいこと，解体にガスバーナー以外の重機によるシャーリング，ウォーターカッターによる解体などを使用したため汚染物質の発生も少なかったと考えられる．

4. まとめ

インドでは日本で廃棄物としているものが中古品となったり，廃棄物を不適切に処理しているために見かけ上の費用が低くなっているがこのような処理はシップリサイクル条約などの規制には適合できない．また，処理の過程ではこれ以外にも様々な外部コストが発生している．それらを考慮した計算結果は学会にて発表する．

5. 参考文献

1　一般社団法人　日本船主協会,海運統計要覧,https://www.jsanet.or.jp/data/data.html 2019 年 1 月 7 日
2　Garud, P (Garud, Parimal),Incorporation of global environmental norms into Indian legal systems: Social and economic challenges, with special reference to ship-breaking ,INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING ECONOMIES - PROSPECTS AND CHALLENGES (ICEE-2012) 第 37 号 150-156,2012
3　Mohammed ashraful Azam Khan, Yusuf Sharif Ahmed Khan,Trace Metals in Littoral Sediments from the North East Coast of the Bay of Bengal along the Ship Breaking Area, Chittagong, Bangladesh,Journal of Biological Sciences 3 (11): 1050-1057, 2003 ISSN 1727-3048. 2003 Asian Network for Scientific Information,2013
4　Reddy, MS (Reddy, MS); Basha, S (Basha, S); Joshi, HV (Joshi, HV); Ramachandraiah, G (Ramachandraiah, G),Seasonal distribution and contamination levels of total PHCs, PAHs and heavy metals in coastal waters of the Alang-Sosiya ship scrapping yard, Gulf of Cambay, India ,CHEMOSPHERE 第 61 巻 11 号 1587-1593,2005
5　Sujauddin, M (Sujauddin, Mohammad); Koide, R (Koide, Ryu); Komatsu, T (Komatsu, Takahiro); Hossain, MM (Hossain, Mohammad Mosharraf); Tokoro, C (Tokoro, Chiharu); Murakami, S (Murakami, Shinsuke),Characterization of ship breaking industry in Bangladesh ,JOURNAL OF MATERIAL CYCLES AND WASTE MANAGEMENT 第 17 巻 1 号 72-83 ,2015
6　Jordi Cravioton, Eiji Yamasue, Hideyuki Okumura, Keiichi N. Ishiha,Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons,Transport Policy　Volume 30, November 2013, Pages 63-76,2013

E2-02,P2-071

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

Comparative analysis on urban flood countermeasures based on life cycle thinking

○Xuezhou Fan*[1)], Toru Matsumoto[1)]

1) The University of Kitakyushu

* x6dac404@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. INTRODUCTION

The increasing of summer storm waterlogging disasters has acutely threatened the sustainable urban development in China. Main reason was considered as severe rainfall in short time and the regional drainage capacity is insufficient. Therefore, overflow cannot be drained promptly. There is traditional strategy to solve this problem: Drainpipe replacement project, in which existing drainpipe should be removed at first step and then new larger diameter pipe is installed. However, there is a new countermeasure emerged recently in Chinese cities. Its name is Sponge city project (Fig.1). Drainpipe replacement project aims at enlarging the discharge of water when summer storm happens by broadening urban drain system and Sponge city project aims at enlarging the absorption of water by increasing the curves of urban land.

Although there are many studies on environmental impact estimate on drainpipe replacement project, study on environmental impact estimate on sponge city construction is insufficient, especially from life cycle perspective. This paper is trying to propose a LCA (Life Cycle Assessment) frame work on sponge city construction and make a comparison between drainpipes replacement project and sponge city project.

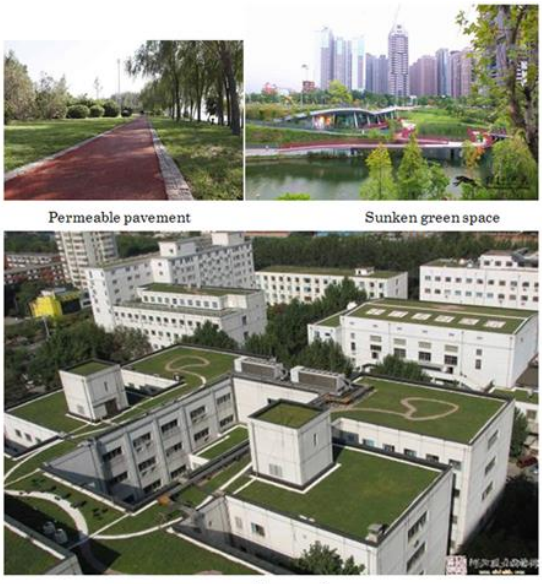


Fig. 1 Sponge city project

2. METHODOLOGY

In this study we assume two scenarios that one is building a sample sponge city and one is conducting drainpipe replacement project with the same overflow control effect in target area. We assume to use open-cut way to remove the existing pipe and replace it with new larger one. First step, we calculate total internal cost (without environment impact) including construction fee and maintenance fee separately in two scenarios, and conduct average cost analysis in life cycle; second step we calculate total cost including internal cost: construction fee, maintenance fee and external cost: environment impact cost, time loss and safety, and conduct average cost analysis in life cycle. Finally we compared the tendency to change of average cost.

3. CASE STUDY

3.1 Target area

The district of Nangang is located in mid-south of Harbin city, Heilongjiang province in Northeastern China. It provides a regional drainage capacity of 18mm/h (Data collected from Harbin Water Affairs Bureau). According to calculating, sponge city project can make overflow volume increase by 11.61mm/h. Considering the present drainpipe was DN (Diameter Nominal) 600mm (inner) and the drainage capacity was 18mm/h, here we proposed to replace the old pipes with DN 800mm (inner) new pipes, which can increase the drainage capacity by 14mm/h.

3.2 Calculation of internal cost

①Construction fee and maintenance fee for sponge city project

Investment for sample sponge city was shown in Table 1.

Table 1 Internal cost for sponge city project

Item	unit	amount
Construction fee	(million, RMB)	105
Maintenance fee	(million, RMB)	0.6

②Construction fee for drainpipe replacement project

The calculation was based on existed drainpipe replacement projects and the data was collected.

Table 2 Construction fee for drainpipe replacement project

Item	unit	amount
Project duration	Day	180
Pipe length	m	3,590
Pipe diameter	mm	800
Trench depth	m	3
Cost characteristics		
civil engineering fee	(million, RMB)	1.623
drainpipe replace fee	(million, RMB)	5.970
road recover fee	(million, RMB)	2.703
extra (indirect) fee	(million, RMB)	3.442
Total	(million, RMB)	13.74

③Maintenance fee for drainpipe replacement project

The calculation was based on existed sewer system pipe replacement projects and the data was collected.

Table 3 Maintenance fee for drainpipe replacement project

Item	unit	amount
Maintenance length	m	3,590
Maintenance fee	(million, RMB)	0.153

3.3 Calculation of external cost

External Cost consists of environment impact including air pollution (NO_2) and global warming gas (CO_2) emission caused by machine and vehicle because of traffic jam, noisy cost, vibration cost, travel delay and safety in construction phase. In operation phase, there are positive effects on environment including rainwater harvesting, carbon sink and oxygen release. All the cost was shown in Table 4, 5.

Table 4 External cost for sponge city project

Item	unit	amount
Cost for emission of CO2	(RMB)	8,317
Cost for emission of NO2	(RMB)	5,513
Noisy pollution cost	(RMB)	11,320
Vibration cost	(RMB)	1,358
Water harvesting	(RMB)	685,076
Carbon sink	(RMB)	59,580
Oxygen release	(RMB)	1,988,000
Travel delay	(RMB)	16,074
safety	(RMB)	40

Table 5 External cost for drainpipe replacement project

Item	unit	amount
Cost for emission of CO2	(RMB)	6,415
Cost for emission of NO2	(RMB)	3,217
Noisy pollution cost	(RMB)	11,453
Vibration cost	(RMB)	1,374
Travel delay	(RMB)	26,390
safety	(RMB)	45

4. Conclusion

Dividing internal cost of two projects by years, we got get the graph (Fig.2, left). Dividing total cost (Sum of internal cost and external cost) of two projects by years, we got another graph (Fig.2, right).

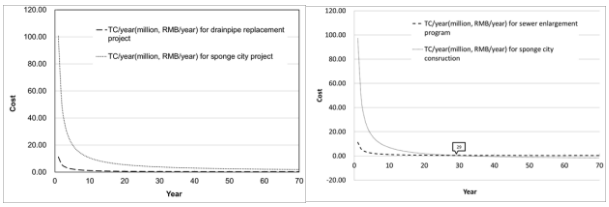


Fig. 2 The tendency to change of average cost for two projects.

From Fig.2, we have come to the conclusion that: ① Without considering of external cost, the average cost for drainpipe replacement project is always lower than sponge city project, which demonstrates drainpipe replacement project is more efficient. ②With considering external cost, the inflexion emerged, which means before inflexion the average cost for drainpipe replacement project is lower than sponge city project. However, behind inflexion the average cost for drainpipe replacement project is higher than sponge city project. This demonstrates that if residual life for existed drainpipe is longer than inflexion, sponge city project is more efficient. Otherwise, drainpipe replacement project is more efficient.

REFERENCE

[1]Tatsuya IWASHITA, Yasuhiro SEWAKI, Toru MATSUMOTO: J of Life Cycle Assessment, Japan, Vol.7, NO.4, (2011), 339-349.

[2]Wang Zhongzhu: Comprehensive cost analysis on urban sewer system replacement project, J of Civil engineering, China, Vol. 34, NO. 6, (2018), 95-99.

E2-03
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

資本の活用と持続可能性

Unemployed capital

○山口臨太郎*1)
Rintaro Yamaguchi
1）国立環境研究所　社会環境システム研究センター
* yamaguchi.rintaro@nies.go.jp

1. はじめに

資本アプローチによる持続可能な発展の指標の一つとして、包括的富（Inclusive Wealth; IW）がある。具体的には、人工・人的・自然資本という三つの資本にシャドー価格を用いて重みづけを行い、集計して算出された IW が減少しないことを基準とする [1-3]。国レベルの IW は、世界銀行と国連環境計画が数年おきに公表を行っている [4-9]。資本や IW の価値は、主に供給サイドにおいて、ポテンシャルとしてどれだけの資本があるかという情報に基づいて計算されてきた。これは、ブルントラント委員会による持続可能な発展の定義の「将来世代がニーズを満たす能力を損なわない」という部分の趣旨に合致していると考えられる。

一方で、将来世代がニーズを満たす能力のみならず、実際に実現しているニーズや福祉に注目するのであれば、供給された資本が実際にどれだけ使われているかという需要サイドにも注目する必要がある。そこで本稿では、資本が実際に使われて福祉が実現しているかどうかを確認するための理論的な基盤を提供する。さらに数値例を通じて、供給・需要サイドの両面に基づいた持続可能な発展の指標を構築することを提案する。

2. 関連する研究

厚生経済学や開発経済学の分野では、善い生についてどんな考えを持っていたとしても必要なものとして、ロールズが基本財の概念を提唱し、具体的には機会、権利、自由、所得、富などがそれにあたるとした [10]。これに対してセンは、人々の多様な状態によって基本財を使えるかどうかが異なるため、財を使える潜在能力（ケイパビリティ）が重要であるとした [11]。さらにこの潜在能力を通じて最終的に人々が実現するものを機能と呼んだ。したがって本研究が対象とする包括的富とその需要サイドによる修正は、基本財と機能にそれぞれ相当するとも考えられる。なおロールズは、善い生についての考え方は人や社会によって異なり、個人の自由な選択を重んじる立場からも、潜在能力や機能にまで踏み込むべきではないという考え方をとった。

3. 理論枠組み

3.1 包括的富

社会経済の中に存在する人工・人的・自然資本(K, H, N)は、ある資源配分メカニズム（RAM）に従って将来の経済変数に変換される [12]。$U(C)$を消費による効用とすると、この特定の RAM の下、t 時点での福祉Wを、現在の三つの資本の関数として書ける。

$$V(K,H,N,t) = W(t) = \int_t^{\infty} U\big(C(\tau)\big) e^{-\delta(\tau - t)} d\tau. \quad (1)$$

すなわち福祉Wの増減は、包括的富Vの増減によって確認できる。最適とは限らない RAM の下で各変数が将来的にどう動くかという将来予測を制約条件として、資本が福祉に与える追加的な貢献

$$p_K \equiv \frac{\partial V}{\partial K}, p_H \equiv \frac{\partial V}{\partial H}, p_N \equiv \frac{\partial V}{\partial N} \quad (2)$$

をシャドー価格と定義する。すると、ある短い期間における福祉の変化は、シャドー価格で重みづけした資本の変化

$$\frac{dV}{dt} = p_K \frac{dK_t}{dt} + p_H \frac{dH_t}{dt} + p_N \frac{dN_t}{dt} + \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3)$$

がプラスかどうかを確認することによって行える。これが持続可能な発展の指標としての包括的富の変化である。

3.2 需要サイドの調整

（3）式により供給サイドで与えられる資本と包括的富は、構造的な失業をなくすといった RAM の改善により、利活用の程度が向上すると考えられる。具体的に需要サイドの状況によって調整するには、二つの方法がある。

第一に、実際の IW 会計で使われているシャドー価格に合わせて、資本の数量を調整する方法がある。例えば人工資本や人的資本や農地は、市場で取引される財の価格をもとにシャドー価格が算出されているため、資本の利活用の程度がすでに反映されている。そのため、数量を実際に雇用されている資本に合わせて調整することになる。

また再生不能な自然資本のうち、化石燃料については、今後の温室効果ガス排出目標を考えると実質的に採掘できない量が存在する。これらを含めて、国の資産として計上するのはミスリーディングだろう。そのため、市場価格が利活用の程度を反映しているわけではないものの、数量による調整を行う。

第二に、実際の会計で使われているシャドー価格そのものを調整する方法がある。例えば人的資本については、ポテンシャルとしての資本量はそのままにして、シャドー価格を調整するというものである。具体的には、市場で観察

される賃金は雇用されている労働力に対応するものであるので、もし失業がなくすべての人的資本を雇用するとしたら、平均賃金は下がるだろう。そのため、労働力全体に対して支払われた賃金総額を、失業者も含めた人的資本全体で除した金額の割引現在価値を、調整済みシャドー価格として用いることになる。

使われていない資本の価値をゼロと単純化した場合、第一の方法と第二の方法とは等価である。このほか、調整が特に必要ない資本もある。たとえば再生可能な自然資本のうち、森林については、人がアクセス可能な範囲に限って価値が計上されているため、需要サイドの情報が既に反映されていると考えられる。

4. 事例

4.1 ナイジェリアの包括的富

ここでは事例として、アフリカで最大の経済と人口と有するナイジェリアを事例として取り上げる。自然資本（石油）を人工資本や人的資本に転換し、急増する若年層に雇用機会を創出して社会の安定と繁栄をもたらすことが課題となっている。

データの都合上、2007 年と 2014 年とを比較する [8-9]。表 1 は、人口一人当たりでみた各資本と包括的富の推移を示している。人工資本は増えたものの、その他の資本はいずれも減少している。人工資本と人的資本はいずれも合計では増えているのだが、人口が 1 億 4,642 万人から 1 億 7,646 万人に 20.6%増加しており、一人当たりでは減少した。さらに、自然資本では森林、漁業資源、化石燃料がいずれも減少し、全体としての富の減少の主因となっている。

4.2 利活用できる資本

人工資本について、世界銀行グループによる資本の稼働率は、対象期間に 67%から 74%に上がっている [13]。人的資本について、世界銀行 WDI データベースによる失業率は、4.1%から 4.6%に微増している [14]。

自然資本のうち化石燃料については、パリ協定の 2 度目標を CCS ありで実現するために、地下に閉じ込めておくべき（燃焼できない）ストック量が計算されている [15]。アフリカにおいては、石油 21%、天然ガス 33%、石炭 85%とされており、これを 2007 年にあてはめる。再生可能な自然資本（農地・森林）は、上述の理由から修正を行わない。

4.3 結果

表 1 の通り、需要サイドにおける利活用の度合いを反映すると、人工資本は増加率が大きく向上した一方、人的資本の失業率を反映すると減少率が悪化した。2 度目標下で使用可能な化石燃料ストックに対する使用量は相対的に大きくなるので、化石燃料の減少率は 3 ポイント悪化した。

結果として、IW は 11.6%の減少から 11.7%の減少にやや悪化しており、特に人的・自然資本の減少を食い止めることが期待される。

表 1 ナイジェリアの一人当たり富
（上段：潜在、下段：利用可能）

	2007($)	2014($)	変化率(%)
人工資本	1,266	1,504	18.8
	845	1,113	31.7
人的資本	5,992	5,718	-4.6
	5,744	5,455	-5.0
化石燃料	3,745	2,678	-28.5
	2,944	2,014	-31.6
農地・森林	1,631	1,271	-22.1
包括的富	12,633	11,172	-11.6
	11,164	9,944	-11.7

引用文献

1) Hamilton K., Clemens M.: World Bank Econ. Rev., 13(2), (1999), pp 333-356
2) Dasgupta P., Mäler K.-G.: Env. Dev. Econ., 5(1), (2000), pp 69-93
3) Dasgupta, P., “Human well-being and the natural environment”, Oxford University Press, Oxford, (2001/2004) (植田和弘監訳, ”サステイナビリティの経済学―人間の福祉と自然環境”, 岩波書店, 東京, (2007)
4) World Bank, “The changing wealth of nations”, World Bank, Washington, DC, (2011)
5) Lange G.M., et al., ed., “The changing wealth of nations”, World Bank, Washington, DC, (2018)
6) UNU-IHDP, UNEP, “Inclusive Wealth Report 2012”, Cambridge University Press, Cambridge, (2012)（植田和弘・山口臨太郎訳, 武内和彦監修 “国連大学　包括的「富」報告書―自然資本・人工資本・人的資本の国際比較”, 明石書店, 東京, (2014)
7) UNU-IHDP, UNEP, “Inclusive Wealth Report 2014”, Cambridge University Press, Cambridge, (2014)
8) Managi, S., Kumar, P., ed., “Inclusive Wealth Report 2018”, Routledge, (2018)
9) Yamaguchi R., Islam M., Managi S.: Lett. Spat. Res. Sci., forthcoming, (2019)
10) Rawls, J., “A theory of justice”, (1971)
11) Sen, A.K., “Commodities and capabilities”, (1985)
12) 山口臨太郎: 環境経済・政策研究, 10(2), (2017), pp 4-17
13) World Bank Group, “Enterprise Surveys” , (2018)
14) World Bank, “World Development Indicators”, (2018)
15) McGlade C., Ekins P.: Nature, 517(7533), (2015), pp 187-190

カキ養殖業のライフサイクルアセスメント-宮城県南三陸町志津川湾の事例-

Life Cycle Assessment for Oyster aquaculture –Case study of Shizugawa bay Minamisanriku-cho, Miyagi Prefecture-

○渡邊一仁*1)、小幡範雄 2) 、吉岡泰亮 2)
Kazuhito Watanabe, Norio Obata, Taisuke Yoshioka
1）宮城県庁, 2）立命館大学
* watanabe-ka825@pref.miyagi.lg.jp

1. はじめに

2015 年 9 月に国連の持続可能な開発サミットで採択された Sustainable Development Goals（SDGs）では、国連加盟 193 カ国が 2016 年から 2030 年の 15 年間で達成する行動計画が示されている。SDGs はあらゆる分野が対象となっており、水産分野においても例外ではなく、「持続可能な生産」と「持続可能な消費」の両面から持続可能な体制へ移行することが求められている。

カキ（マガキ *Crassostrea gigas*）は内湾や汽水域に生息する二枚貝で、「海のミルク」と称されるほど栄養価が高い人気の食材である。広島県や宮城県がカキの主要産地となっており、いずれも養殖生産されている。

養殖業の持続性を高めるには環境配慮が大事な要件であることから、養殖業に LCA が適用され、サケ類 [1-2]や海藻類 [3]等の報告がなされている。しかしながら、カキ養殖業の LCA に関する研究事例はあまりない。

そこで、本研究では、宮城県南三陸町でおこなわれているカキ養殖業を対象に LCA を実施し、カキ生産に伴う環境負荷や環境影響の定量化をおこなう。また、カキ消費に伴うカーボンフットプリントを試算する。さらに、東日本大震災前後の比較から、持続可能なカキ養殖業のあり方を検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 システム境界

本研究で評価対象としたカキ養殖業のシステム境界を図 1 に示す。この中では漁船、資材、燃料を投入、生産物（カキ）および環境負荷物質を産出とした。投入される資材やエネルギーは原料採掘段階まで遡って考慮した。ただし、資材の廃棄・解体は物の流れが不明瞭なことから評価に含めなかった。また、資材と漁船は複数年使用することから、耐用年数により単年に換算した。環境負荷物質の評価の機能単位は、重量基準（生産量 1t）で求めた。

2.2 データの収集と分析

宮城県漁業協同組合志津川支所および養殖業者にヒアリングすることで、フォアグランドデータとして平成 29 年 9 月から平成 30 年 8 月におけるカキ漁業の実態（養殖設備、養殖条件、燃料消費）や経営収支（漁獲量、漁獲金額、出荷）に関する資料を入手した。分析には産業技術総合研究所が開発した IDEA のデータベースを用いた。インベントリ分析では、後述する環境影響に起因する 20 の環境負荷物質から CO_2、NOx、SO_2、HC を代表として示した。また、影響評価では、温暖化、酸性化、富栄養化、水生生態毒性、光化学オキシダントの 5 項目に対する寄与率を整理した。

2.3 カーボンフットプリントの試算

カキ消費に伴うカーボンフットプリントは次のシナリオで試算した。志津川湾で生産されたカキが、剥き身にされて製品化（200g パック）された後、冷蔵車両（2 トン：積載率 100%）で 100km 離れた仙台のスーパーに運ばれ、カキ 1 パック（200g）が販売され、生食される。この際、カキの可食部重量は 13 個体の実測値からの平均値をとり、残った殻と輸送箱は埋め立て処分されるとして計算した。

2.4 東日本大震災後のカキ養殖業の変化

震災前後におけるカキ養殖業の変化による環境負荷排出への影響を CO_2 指標で比較した。また、カキ養殖業の収量と環境負荷の関係から政策的示唆を検討した。

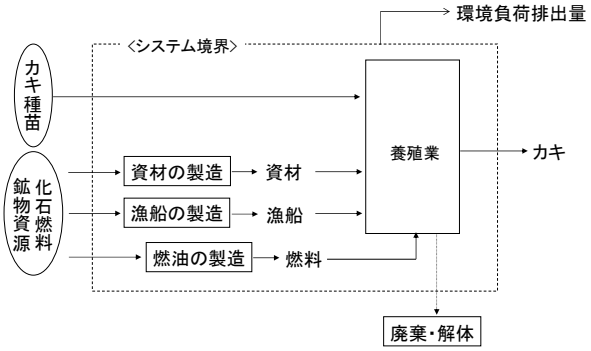


図 1 システム境界

3. 結果と考察

3.1 カキ養殖業の実態

志津川湾のカキ養殖業は、4.2 トンクラスの漁船で

営まれ、乗組員は 1-3 人である。カキの養殖施設は延縄式と筏式の大きく 2 パターンがあるが、志津川湾では延縄式によりおこなわれている。出荷するカキの生産工程はサイズにより販売戦略が異なるが、2 年子（2 年もの：志津川湾の場合は長殻 15cm 程度）の場合に 1 年目に種苗を購入し、挟み込み、本養成を開始して付着物駆除などをおこない、2 年目に本養成の継続、施設のメンテナンスや付着物駆除を経て収穫に至る。志津川湾の生産時期の操業パターンは、2 時間程度の操業で水揚げし、港に戻ってからは出荷のためのカキ剥き作業をおこなっている。

3.2 カキ養殖業の環境影響

カキ養殖業の投入産出を表 1 に示す。カキ養殖業では、漁船 1 隻（4.2 トン）、養殖資材（延縄式ダブル）8 セット、軽油 2,000L が投入され、アカガイ 5.9t が生産されていた。環境負荷物質では、生産 1t あたり CO_2 が 1.6t、NOx が 0.8kg、SO_2 が 1.0kg、HC が 7.8g となっていた。CO_2 でみると、カキ養殖業のこの値は、養殖業全体の中で優良な部類となった。CO_2 の排出要因については、直接的な燃料消費が 58%を占めていたが、養殖資材の割合も 42%と大きかった。一方、漁船により影響はほとんどみられなかった。環境影響では、各影響項目で発生要因が異なっていた。温暖化、酸性化、富栄養化に対しては、直接的な燃油消費、また、水生生態毒性や光化学オキシダントでは漁船や養殖資材が高く寄与していた。

表 1　カキ養殖業の投入産出表

投入

分類	名称	投入量	単年換算の投入量
漁船[4]	4.2トン（1隻）	1	0.05
養殖資材	延縄式（ダブル）	8	1.6
エネルギー	軽油（L）	2,000	2,000

産出

分類	名称	生産量（kg）	漁獲金額（百万円）
生産物	カキ	5,896	9.1
		排出量	機能単位（/t生産）
環境負荷	CO_2（t）	9.2	1.6
	NOx（kg）	4.9	0.8
	SO_2（kg）	5.9	1.0
	HC（g）	46.1	7.8

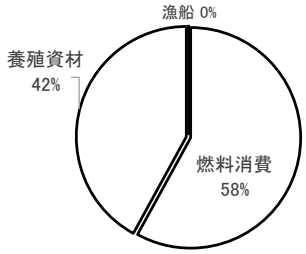


図 2　カキ養殖業における CO_2 排出要因の内訳

3.3 カキ消費に伴うカーボンフットプリント

シナリオに基づきカキ 1 パック（200g）を食するとしたときの各段階の CO_2 排出量は、カキの可食分率を実測値に基づき 20%で計算した場合、カキ養殖 1,280g、輸送 42g、処分 8g となり、全工程を合わせると 1,330g と試算された（図 3）。工程別の寄与割合は、カキ養殖 86%、輸送 11%、処分 2%でカキ養殖が全工程の中で大きな割合であった。貝類は殻に対して可食部重量が相対的に小さくなる傾向にあることから、CO_2 排出量も大きく見積もられた。

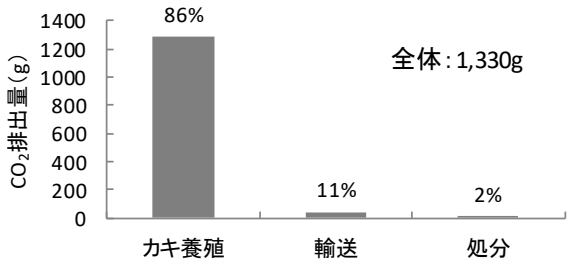


図 3　カキ消費に伴うカーボンフットプリント

3.4 東日本大震災前後の環境負荷の変化

東日本大震災からの復興を考える中で、志津川湾の漁業者は従前から指摘されていた過密養殖の見直しを検討しはじめ、養殖施設の設置間隔を 10m から 40m に拡大、また、施設台数を 3 分の 1 まで削減する取り組みをおこなった。その結果、カキの身入りが改善し、甘みも向上していた。さらに、施設を減らしたことで労働時間の短縮にも繋がった。震災後のカキの単位収量は 1.2 倍に増えた一方、燃料消費や投入する資材も減少していたことから、CO_2 の排出量においては震災前との比較で約 3 割の削減効果があった。これらの取り組みは水産養殖物の国際エコラベル ASC 認証の国内初の取得にも繋がった。このことは、自然の営みとして、環境収容の中でバランスのとれた生産体系を構築することが持続性に繋がることを示しており、持続可能な養殖業を推進する重要な視点と考えられた。

4. 引用文献

1) Ayer, N., Tyedmers, P.: Journal of Cleaner Production(2009), 17(3), 362-373
2) Ford, J.S., Pelletier, N.L., Ziegler, F., Scholz, A.J., Tyedmers, P., Sonesson, U.,Kruse, S.A., Silverman, H.: Journal of Industrial Ecology(2012), 330 16(2), 254-265
3) 渡邊一仁:環境情報科学論文集(2011), 25, 1-6
4) 木原洸,　亀山道弘,　平岡克英ほか：海上技術安全究所報告第 2 巻第 2 号 (2002), 132-133, 153-16

A2-06

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

水産養殖における海洋深層水利用の効果

Effect of deep sea water used in aquaculture

○小野奈都美*[1)]、仲道司[2)]、安里一月[2)]、伊佐真賢[1)]、伊藝聡[1)]、岡村盡[3)]、田原聖隆[4)]

Natsumi Ono, Tsukasa Nakamichi, Itsuki Asato, Masataka Isa, Satoshi Igei, Shin Okamura, Kiyotaka Tahara

1）沖縄エネテック, 2）久米島海洋深層水開発, 3）ゼネシス, 4）産業技術総合研究所

* n-ono@o-enetech.co.jp

1. はじめに

海洋深層水は水深 200m 以深から取水される海水を指し、水温が低い（低温性）、ウイルスが少ない（清浄性）、栄養塩が多い（富栄養性）などの特徴を有することから、様々な産業における活用が期待されている[1)]。沖縄県の久米島では、水深 612m から取水した海洋深層水を発電（海洋温度差発電：OTEC）、水産業、農業、食品産業等の産業に利用する研究開発が盛んに行われており、一部は商用化されている。久米島町では将来的に 1MW 級の OTEC を導入し、産業と組み合わせて海洋深層水を利用することでエネルギー自給と産業振興を両立させる「久米島モデル」の実現を目指している。我々は、久米島モデルが提案する OTEC を中心とした海洋深層水利用システムの環境及び社会影響を包括的に評価することを最終目標とし、本研究では海ぶどう養殖を事例に水産養殖における海洋深層水利用効果を検証することを目的として、平成 29 年度に沖縄県が実施した「海洋温度差発電における発電後海水の高度複合利用実証事業」における検討内容をベースに、気候変動を評価対象とした LCA を実施している。

海ぶどう（クビレヅタ）は熱帯海域に生育する海藻であり沖縄県の各地で養殖が行われているが、沖縄在来種苗の生育適温は夏季の表層海水温よりも低い水温であることから、夏季には生産量が下がる。久米島では、表層海水に低温の深層水を混合することで、高水温期でも生育適温を維持することができ、年間を通じて質の高い海ぶどうの安定的な生産を可能にしている。本研究では、現状設備での海洋深層水を利用した海ぶどう養殖に係る CO_2 排出量を算定するとともに、将来の久米島モデルを想定し、1MW 級の OTEC による電力供給が行われた場合における CO_2 排出量の変化についても試算した。

2. 方法

2.1　評価対象と範囲

システム境界を図 1 に示す。海ぶどうは栄養繁殖であり、施設内のコンクリートタンク等で陸上養殖されている。天然種苗の採取はない。また、収穫後に乾燥等の加工処理はせず、県内及び国内の各地に出荷している。本研究では、養殖事業に係る施設・設備製造、材料製造、エネルギー利用、輸送および廃棄を対象として海ぶどうの単位生産量および生産額あたりの CO_2 排出量の算定を行った。なお、生産物の出荷、販売、消費先での廃棄については計算対象外とした。

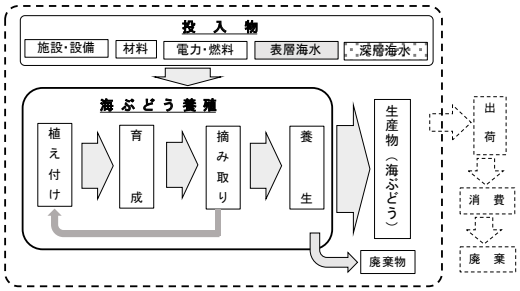


図 1　システム境界

2.2 インベントリデータ

2.2.1 海水利用

現在、養殖に利用する海水は沖縄県海洋深層水研究所内に設置されている取水設備から取水され、各利用者へ配水されている。現状の深層水および表層水の利用に係る CO_2 負荷は、当該設備からの供給を想定し、海水 1t あたりの負荷量を計算した。一方、久米島モデルでは、現在の約 10 倍の規模の海水が必要とされており、取水設備の規模拡大が検討されている。このことから、1MW 級 OTEC による電力を利用した生産を想定するケースでは、大規模取水管を導入した場合の供給を想定して、海水 1t あたりの負荷量を計算した。

2.2.2 電力利用

久米島は沖縄本島から独立した電力系統となっており、島内の電力は重油を燃料としたディーゼル発電で供給されている。現状の電力供給に係る CO_2 排出量は、久米島の電力需要量や一般的なディーゼル発電の燃料消費量を基に久米島独自の電力原単位を計算し、これを用いた。また、将来的な久米島モデ

ルでの電力供給に係る CO_2 排出量は、1MW 級 OTEC による電力原単位を計算し、これを用いた。

2.2.3 その他のインベントリデータ

養殖施設、設備製造、輸送、廃棄の CO_2 排出量はインベントリデータベース IDEAv2 の原単位データを参照した。また、取水管の建設に係る CO_2 排出量は国土技術政策総合研究所のデータを参照した [2)]。

3. 結果と考察

現状の設備における海ぶどう養殖による CO_2 排出量は、海ぶどう生産量 1kg（湿重量）あたり 3.9kg-CO_2eq であり、生産額百万円あたり 1470kg-CO_2eq であった。内訳をみると、図 2 に示すように養殖場で使用する電力が最も大きく 59.7%を占めており、次いで表層水の使用が 18.0%、であった。深層水の使用にかかる排出は 4.6%であった。久米島では発電による CO_2 排出原単位が高く、電力利用による負荷が大きい。

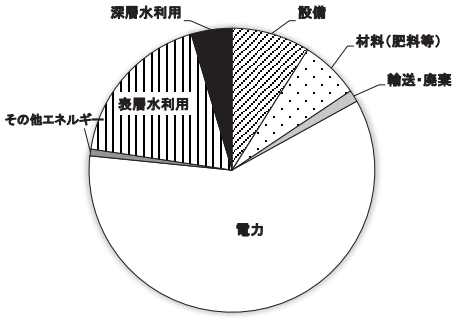


図 2　海ぶどう養殖に係る CO_2 排出量の内訳

一方、海水の冷却と利用に係る海ぶどう生産量 1kg あたりの CO_2 排出量について、深層水による冷却を行った場合と、同等の生産機能を電力利用によって確保する場合との比較を行った。その結果、図 3 に示すように、深層水による冷却を行わなかった場合、電力利用による排出分の増加から現状の約 18 倍の CO_2 排出量となると試算された。なお、ここでは水質性状の変化に伴う生産量の変化は考慮していない。

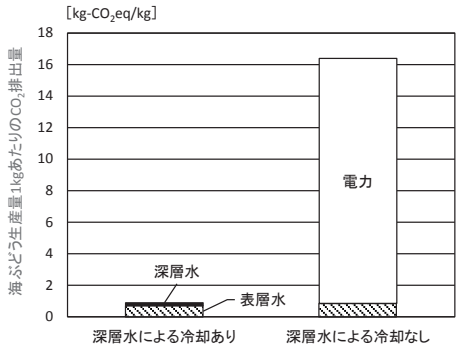


図 3　海水利用と冷却に係る CO_2 排出量の比較

さらに、現在の取水規模を拡大し 1MW 級 OTEC から電力が供給された場合を想定すると、図 4 に示すように、電力利用に係る CO_2 排出量が現状の 16.4 %まで低減される結果となった。以上のことから、深層水の混合による水温調節に再生可能エネルギーを組み合わせることで、さらに高い CO_2 排出削減効果が得られることが示唆された。

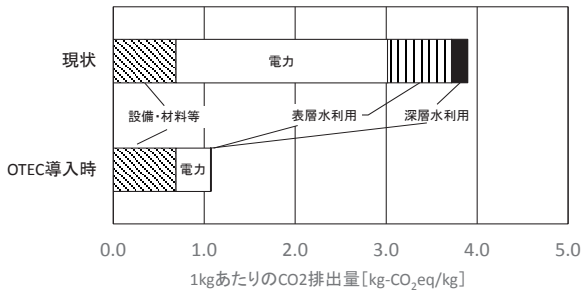


図 4　現状と OTEC 導入時想定 CO_2 排出量の比較

注：OTEC 導入時の想定として車えびと海ぶどうの生産施設で深層水および表層水を利用することとし、その利用量を除いた海水で発電を行ったと仮定した。

4. まとめと課題

本研究で、海洋深層水の冷熱を水産養殖時の養殖用海水として、また電力として、直接的、間接的に利用することで、CO_2 排出量削減に大きな効果が得られることが示された。化石燃料への依存度が高く、環境面、エネルギー面で大きな課題を抱える離島において、島の周辺に豊富に賦存する海水を有効に活用し、食糧生産や産業振興のエネルギーを得ることは意義深いと言える。久米島モデルでは、さらに発電後の熱交換された海水を産業に利用する「発電後海水の複合利用」を検討している。海ぶどう生産においては、深層水で効率的に海水が冷却できる一方で、深層水の富栄養性により水槽内に他の珪藻等が繁茂するという弊害が起こる。そこで現在、OTEC で熱交換を行った後の冷たい表層水を用いた養殖技術が検討されている。このように発電後海水を温度や性状に応じて適宜配分していくことで、更なる CO_2 削減効果や生産性の向上が期待される。LCA では、同じ海水を異なる複数の産業で利用することで、環境負荷がどのように配分されるのか、全体の環境負荷低減にどのように影響するかを包括的に評価していくことが今後の課題であると考えている。

5. 引用文献

1) 藤田大介・高橋正征編著，“海洋深層水利用学”，成山堂書店，東京, (2006), p.201

2) 国土技術政策総合研究所：“社会資本 LCA 用環境負荷原単位一覧表”（オンライン）<http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/lca/database.htm>, (参照 2018-12-20)

A2-07
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

自然栽培茶のライフサイクルアセスメント

Life cycle assessment of no-input farming of tea

○吉川直樹 [1)], 伊川健一 [2)], 辻航己 [1)], 降簱駿汰 [1)], 天野耕二 [1)]
Naoki Yoshikawa, Kenichi Ikawa, Koki Tsuji, Shunta Furihata, Koji Amano
1）立命館大学, 2）健一自然農園
*n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

環境保全型農業への関心が高まる中、環境負荷を削減するための様々な取り組みが推進されている。その中心は化学肥料・化学合成農薬の削減にあるが、その形態のみに着目しても種々の手法が存在する。現在、「特別栽培」「有機栽培」に区分される農法の取組面積が多いとされる一方、「自然栽培」「自然農法」等と呼ばれる有機肥料を含む施肥や農薬散布を行わない栽培法（以下、自然栽培）にも注目が集まっている。

自然栽培については法律上の定まった定義は存在しない。したがって作物残渣のすき込みや除草の有無など、行われている栽培管理方法も多様であるが、原則として圃場外からの肥料・農薬の投入を行わないことは共通している。

自然栽培は極めて低投入であることから、面積あたりのライフサイクル環境負荷は低いことが予想される。一方で、生産物あたりの環境負荷を考える場合、事例により単収のばらつきが大きいこと、加えて、低投入にもかかわらず高い収量性を維持しているケースにおいてその機構が十分に明らかになっていない [1)]ことから、客観的なデータに基づく判断は難しい。また、自然栽培の LCA 評価自体も現時点で極めて少ない [2)]。

そこで、本稿では一定の単収を維持している自然栽培茶園を対象に、茶生産に伴うライフサイクル環境負荷および生産コストを評価したうえで、慣行栽培との比較を試みる。

2. 方法

2.1 研究概要

本研究では、奈良県宇陀市にて自然栽培で生産し、加工された番茶を対象とする。この生産者においては、化学肥料・有機肥料・農薬の投入は行わず、人力による除草を行っている。また、取り除いた草は圃場の表面に敷き、還元を行っている。自然栽培による茶の生産は 2 通りの生産方式で行われている。1 つは「一年番茶」と呼ばれ、通常の番茶の通り茶葉を摘採し用いるものである。もう一つは「三年番茶」と呼ばれており、3 年間摘採を行わない茶樹を、枝を含めて全体を収穫し、刻んで茶として利用するものである。本研究では、この 2 通りの茶について評価した。比較対象として慣行栽培についても評価した。当生産者は慣行栽培を行っていないため、文献値を用いて標準的と思われる栽培方法を想定した。各生産方式の概要について表 1 に示す。

表 1　生産方式の概要

	慣行栽培	一年番茶	三年番茶
化学肥料	○	×	
有機肥料	○	×	
窒素投入 (kg-N/ha/year) （作物残渣を含む）	904	192	115
除草	除草剤	人力（圃場に施用）	
収穫	年数回		3 年に 1 回
単収(kg/ha/year)	4500	3000	3200

茶の加工は一般的に化石燃料を用いて行われるが、当生産者では一部で薪火による焙煎を行っている。本稿では、化石燃料を用いた場合と薪を用いた場合の両方を比較した。機能単位は、荒茶 1kg あたりとした。一年番茶・三年番茶では、実や花についても茶以外の用途で加工利用がなされるが、本稿では環境負荷はすべて荒茶に配分することとした。

システム境界は茶の生産・加工工程を対象とした。生産工程においては茶樹の植え付けを含む茶園の整備、最初の収穫までの生育、農業機械の製造にかかる環境負荷は対象外とし、1 年間の資材投入と茶生産量から環境負荷を算出した。加工工程では、当生産者の工場の実績データから算定を行った。算定対象とする環境負荷は温室効果ガス(GHG)および化石エネルギー消費量とし、生産コストも同時に評価した。GHG においては、土壌排出として、窒素施肥および農業残渣の還元に伴う N_2O 排出量を計上した。コストの算定対象項目は、GHG やエネルギーの評価と同様の投入資材に関わる費用に加え、人件費を計上した。その他の費用は含んでいない。

2.2 データ収集

自然栽培におけるフォアグラウンドデータは、生産者からのヒアリングにより収集した。慣行栽培については生産費統計 [3)]および施肥基準をもとにインベント

リデータを作成した。加工工程については、生産者からのヒアリングをもとに必要熱量を推計し、化石燃料利用と薪利用のそれぞれのケースについて必要量を算出した。

バックグラウンドデータは IDEA v2 を用いた。薪の生産のみ別途、既報[4]の投入資材データをもとに Milca v2 で再計算した値を用いた。

3. 結果と考察

ライフサイクル環境負荷および生産費用の推計結果を図 1～図 3 に示す。

慣行栽培で製茶加工に化石燃料を利用した場合、LC-GHG 排出量は 10.6 kg-CO_2/kg-荒茶となった。製茶加工の燃料を薪に転換した場合、6.77kg-CO_2/kg-荒茶となり、製品形態の近い一年番茶（薪利用）の LC-GHG 排出量では、2.3kg kg-CO_2/kg-荒茶まで減少した。慣行栽培（化石燃料）と一年番茶（薪利用）を工程ごとに

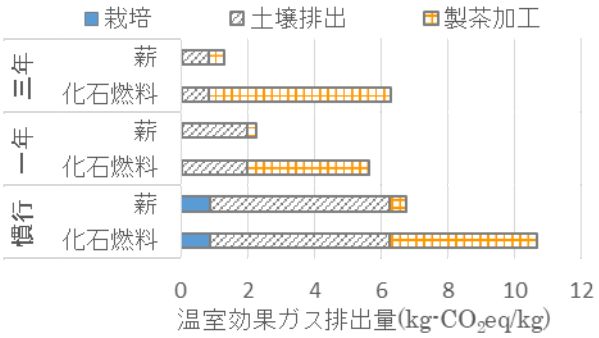


図 1　荒茶 1kg あたりライフサイクル GHG 排出量

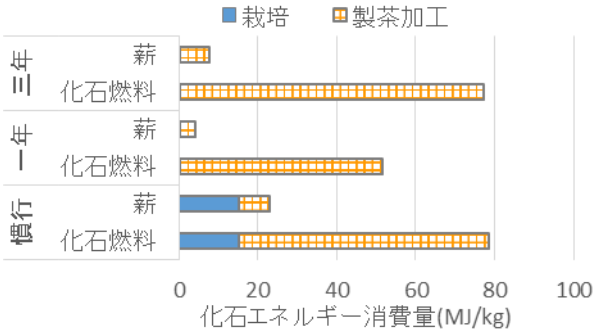


図 2　荒茶 1kg あたり化石エネルギー消費量

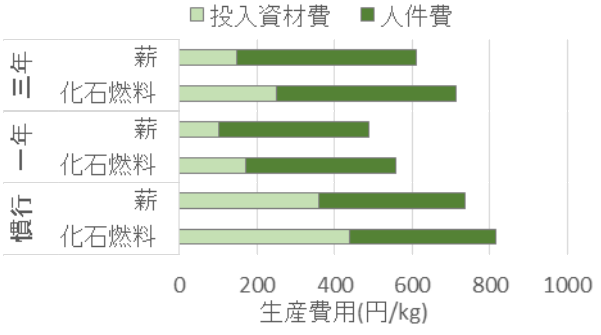


図 3　荒茶 1kg あたり生産費用

比較すると、土壌排出を除く栽培工程では、肥料・農薬の不施用、機械利用を伴う栽培管理の減少によって LC-GHG 排出量は 98%削減された。窒素施肥由来の土壌排出に関しては、窒素投入の減少により LC-GHG 排出量は 63%低減した。製茶加工では、燃料転換と加工工程の違いによって LC-GHG 排出量は 94%減少する結果となった。慣行栽培（化石燃料）と一年番茶（薪利用）の化石エネルギー消費量を比較した場合、栽培工程で 98%、製茶加工で 94%削減され、合計では 95%の低減となった。

三年番茶（化石燃料）の LC-GHG 排出量を一年番茶（化石燃料）と比較すると、単収はほぼ同等であり、加工工程・栽培工程では燃料消費量の違いによりそれぞれ 1.4 倍、1.5 倍に増加する。一方、三年番茶では整枝由来の窒素の還元がないことから、N_2O 排出量は 58%減少した。合計すると三年番茶は一年番茶の 1.1 倍の LC-GHG 排出量になるが、両者とも薪燃料に転換した場合を比較すると、大小関係は逆転する。

生産費用の観点では、10a あたりの人件費は肥料・農薬散布といった作業工程のより少ない自然栽培において小さくなった。荒茶重量あたりでは単収の差により自然栽培が慣行栽培よりも 2～23%大きくなる一方、投入資材費は投入の少ない自然栽培がより小さくなった。荒茶重量あたり合計費用は慣行栽培（化石燃料）より 13～40%削減できることがわかった。

4. まとめ

本研究では、自然栽培茶のライフサイクル GHG 排出量・化石エネルギー消費量・生産費用を推計し、慣行栽培からの転換による削減可能性を検討した。自然栽培のいくつかのシナリオのすべてにおいて、製茶加工に化石燃料を使用した生産方式に比べて環境負荷、生産コストを削減可能であることがわかった。

本稿では、単年度の実績データを用いて自然栽培の優位性を検討したが、窒素等について人為的な投入量より持ち出し量が多い低投入型の農業において正しい判断を下すためには、長期的な収量の変動を考慮に入れた評価が必要になると考えられる。この点については今後の課題である。

引用文献

1)　細谷啓太：岩手大学博士論文, (2017)

2)　飯田惣也・久保正英・深谷将世・伊坪徳宏: 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2013), pp 136-137

3)　農林水産省：工芸農作物等の生産費

4)　株式会社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)

A2-08,P2-102　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

野菜における新たな複合的環境指標と市場効果検証

A Proposal of Advanced Multi-environmental Indicators for Vegetables and Verification of Market Effects

○渡辺泰子*[1)]、堂脇清志[1)]、徐維那[1)]

Yasuko Watanabe、Kiyoshi Dowaki、Yuna Seo

1)　東京理科大学

*7417624@ed.tus.ac.jp

1.　はじめに

農業における温室効果ガスの排出は、肥料や農薬の施用、作業機械の動力やハウス栽培の空調などで消費されることによって発生する。近年の地球環境問題の観点から、農業分野でも化石エネルギーに依存することなく栽培することやその他の貢献が求められるが、農作物は人間を含め様々な動物への食料となることや農家の安定した経営を行うためには、ニーズに応じて作物を効率良く生産していく必要があると指摘されている[1)]。

一方で、人々のライフスタイルの変化に伴い、食生活そのものも多様化している。その結果、食事の栄養バランスが悪化し、糖尿病や高血圧などの健康上の問題が増加しており、そのため、栄養バランスを考える医食同源という考え方が見直されており[2)]、消費者の機能性表示食品の購買は増えている。

このような背景から、環境・栄養・品質情報を考慮した消費者が分かりやすい指標を作成し、その指標の市場効果を検証することを目的とした。

2.　研究方法

農業における地球環境問題に対する環境意識向上のために、LCA 手法を使用した環境評価を行った。また、消費者のニーズに着目し、生鮮野菜の栄養素、味に関する情報を環境評価と共に複合的な指標(API: Agriculture Product Indicator)を作成した。また、本研究では、サンプル野菜を入手し、種類・季節別での各種評価を行い、実際の市場での指標効果を検証することとした。

2.1 環境評価

本研究においての環境評価は、LCA に則って CO_2 等価排出量を算定した。機能単位は、販売量当たりとした(表 S1)。なお、システム境界は、栽培から市場までとした(図 S1)。また、インベントリデータは各野菜栽培農家からヒアリング調査結果と一部データを参考文献により補填し、積み上げにより算出した。

2.2 栄養評価

次に、栄養評価に関しては、厚生労働省の提唱している健康日本 21 における日本人の 1 日当たりの野菜摂取基準で使用されている栄養素、カルシウム、カリウム、ビタミン C、及び食物繊維と、外部検査機関により成分分析を行った[3)] (表 S2-S5)。

2.3 呈味評価

呈味は、硝酸イオンとの相関であり、これは江崎ら[4)]の研究に基づいている。本研究で扱う苦味は、野菜が摂取量(あるいは好み)の影響要因であることから、この指標を採用した[5)]。ここでは、対象となる野菜を硝酸イオンメータにて実測した。なお、評価基準をセロリの硝酸イオンの含有量(嫌いな野菜の上位の野菜)とし相対評価により決定した[6)]。

2.4 指標の市場効果検証

本研究では、まず、民間調査により市場の現状調査を行い、選定項目、対象野菜種等の選定を行った。その結果を用いて、潜在的に見込まれる収入への影響を推定した。続いて、モデル地域として湘南野菜を対象とし、青果市場の協力を得て実地調査を行った。

3.　分析結果

3.1 環境評価結果

各野菜の等価 CO_2 排出量の構成割合からは、施設栽培であるトマトを除き、20℃以上での栽培が可能

である場合、肥料が大きく等価 CO_2 排出量に影響し、逆に 15℃前後の栽培が可能である場合、肥料以外が大きく影響している。このことから、野菜の種類の等価 CO_2 排出量は野菜の栽培気候に依存すると示唆された。

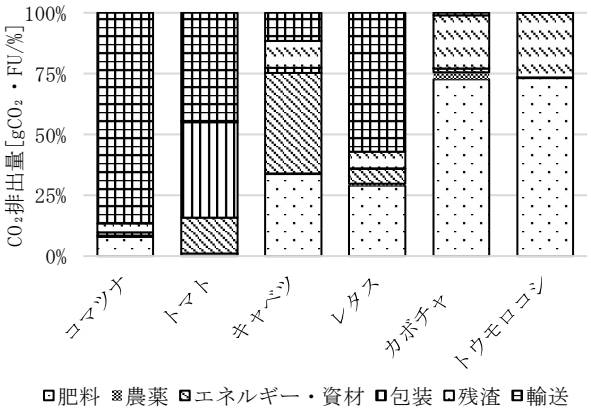


図 1　各野菜の等価 CO_2 排出量の構成割合

3.2 評価項目別比較

次に、本研究で定義した評価指標の結果について、図 5 及び 6 に示す。これらの結果から、野菜の種類別、季節別での差別化(旬とそうでない時期との違い)が図れることが分かった。但し、トマトについては、施設栽培が多く対象産物が季節による栄養変化がないため、差が生じなかった。

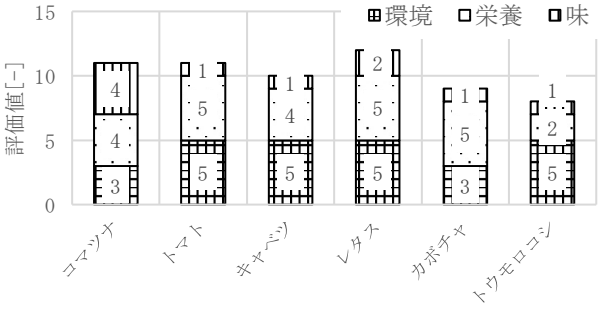


図 2　野菜の種類別評価値比較

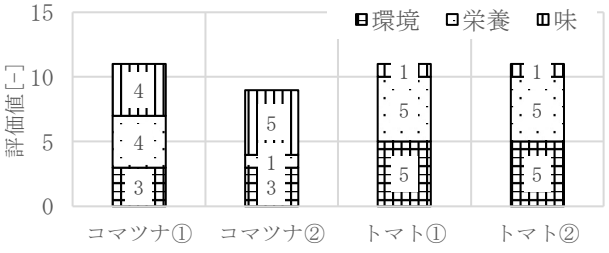


図 3　野菜の季節別評価値比較

3.2 市場効果検証

最後に、市場効果の検証においては、提案指標が消費者に受け入れられることが前提となる。指標貼付による調査を行った結果、約 4 割の消費者が関心を示した(図 S3)。その結果をもとに、重量が同じ商品を指標有りで金額 20 円増加としたとき、指標の有無での感度分析を行った。この結果、購買数における指標効果はどの野菜でも約 1 割の収入効果が得られることとなった。

4.　まとめ

近年、農業における地球環境問題や消費者の健康意識の上昇に伴い、消費者の嗜好性を考慮した環境性と品質に関する情報を提供することが求められている。本研究では、新しい環境複合指標を開発し、市場効果を検証した。その結果、野菜の種類・季節別における差別化が可能である指標は、市場においては収入増加に対して有効であることが示唆された。

5.　謝辞

本研究は、株式会社湘南青果の協力のもと実施された。ここに感謝の意を表する。

引用文献

1) 望月和博:IEEJ Journal、Vol.136(6)、(2016)、pp.344-347

2) 山本万里ほか:”食品の機能性表示と機能性農産物開発”、 食衛誌 Vol.58(2)、(2017)、pp.65-75

3) 厚生労働省:”栄養・食生活分科会報告”、(2000)

4) 江崎一子ほか:”有機栽培レタスの食味及び内容成分に関する基礎研究”、Memories of Beppu University、(2011)、pp.157-167

5)定真理子:”嫌いな野菜を嫌いな理由”、エバラ食品、<URL https://www.ebarafoods.com/sp/asaduke/enquete/result3.html>、(参照 2018-10-23)

6)タキイ種苗株式会社: “2018 年度　野菜と家庭菜園に関する調査”、<URL http://www.takii.co.jp/info/news_180809.html>、(参照 2018-10-23)

Supporting Information

2.1 環境評価

図 S1 にシステム境界、表 S1 に各野菜の販売単位当たりの重量、表 S2 に栄養素内容成分分析に関する詳細情報、表 S3 に環境評価基準、表 S4 に栄養評価基準、表 S5 に呈味評価基準を示す。

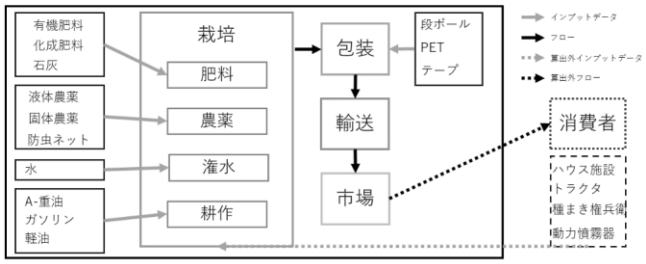


図 S1　システム境界

表 S1 各野菜の販売単位当たりの重量

	栽培方法	販売単位[g]
コマツナ	露地	400
トマト	施設	135.3
キャベツ	露地	1028.5
レタス	露地	274.8
カボチャ	露地	2456.4
トウモロコシ	露地	349.3

表 S2 栄養素成分分析に関する詳細情報

分析会社	株式会社つくば分析センター	
成分と方法	カルシウム	原子吸光光度方法
	カリウム	原子吸光光度方法
	ビタミン C	高速液体クロマトグラフ法
	食物繊維	酵素-重量法

表 S3 環境評価基準

5 段階評価	1	2	3	4	5
1 人 1 日当たりの CO_2 排出量に対する各野菜の CO_2 排出量の割合	100 %以上	75 %以上	50 %以上	25 %以上	25 %以下

表 S4 栄養評価基準

5 段階評価	1	2	3	4	5
標準値に対する実測した栄養素含有量の割合	標準	1 割増	2 割増	3 割増	4 割増

表 S5 呈味評価基準

5 段階評価	1	2	3	4	5
セロリの硝酸イオン濃度に対するコマツナの割合	75% 減	50% 減	25% 減	セロリと同等	セロリ以上

2.4 指標の市場効果検証

指標の完成図を図 S1 に示す。

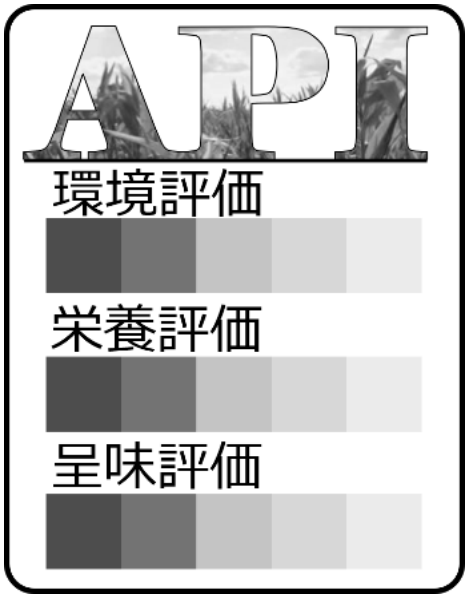


図 S2 複合的環境指標(API)

3.2 市場効果検証

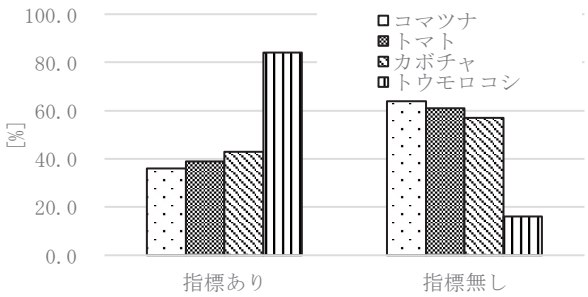


図 S3 指標効果割合

C2-05,P2-101　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

個人の生活状況と価値観に基づいた効果的な環境配慮行動提案手法の検討

Effective Methodology to Propose Proenvironmental Action based on Personal Living Conditions and Sense of Values

○吉元達彦 1)、栗栖聖*1)、中谷隼 1)、森口祐一 1)
Tatsuhiko Yoshimoto, Kiyo Kurisu, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
* kiyo@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

温室効果ガス削減に向けては民生部門でのさらなる努力が求められている。しかし環境配慮行動に関する情報や行動変容に向けた既往のツールに十分な魅力があるとは言いがたく、環境問題に興味関心がない人も含めて、一般の人が環境配慮行動に取り組みたくなるようなツール開発が必要である。

そこで本研究では、親しみやすいインターフェースを備えた簡易な行動推奨ツールを作成し、その効果や妥当性を検討することで、民生部門の温室効果ガス削減に向けてより多くの市民にアプローチする手法提案を目的とした。

2. 調査の設計

2.1 診断ツールの設計

本研究では、複数の簡易な質問によって回答者をタイプ分けし、そのタイプに応じて効果が高いと思われる環境配慮行動を推奨する診断ツールを作成する。その上で、同ツールをモニターに使用してもらい、使用後のアンケート回答結果を通じてツールの効果や妥当性について検討するものとした。

本診断ツールの全体構成を図 1 に示す。まず回答者を類型化する日常の行動選択に関する複数の質問を設け、同回答内容に応じた診断テスト結果（タイプ）を示し、その後にラッキーアクションとして環境配慮行動を推奨する形とした。

回答者を類型化する要素として、「環境意識」「経済的節約」「健康維持増進」「面倒の回避」「現状維持」の 5 要素を取り上げた。日常の行動選択として「献立」および「引っ越し先」決定の 2 場面を取り上げ、それぞれについて、前述した要素に基づく 5 つの選択肢をイラスト付きで示し、最も当てはまるもの 1 つを選択させた。

加えて、一部の回答者を除き、自動車に関わる環境配慮行動を推奨行動に加えるかの判断に用いるため、「平日の自動車利用」について、「ガソリン車を利用」「ハイブリッド車か電気自動車を利用」「自動車を利用しない」の 3 つより選択させた。

これら 3 問の回答結果によって回答者を 12 類型に分岐した後、まず診断テストの結果として回答者のタイプを動物のキャラクターで示し、次画面にてラッキーアクションとして推奨環境配慮行動を示した（図 1 および表 S1 参照）。

環境配慮行動を提案する際には、公的機関等が公開している行動の内、二酸化炭素（CO_2）削減量の大きい行動を優先し、Q1～Q3 の回答に基づき、推奨行動を決定した。

さらに推奨行動の効果として年間の CO_2 削減量と節約金額の 2 つの情報を提示した。CO_2 削減量を示す際には絶対値に加えて、冷房設定を 27℃から 28℃に 1℃上げる効果の何倍であるかも示した。その上で実行可能かを回答者に問い、可能と回答した場合は診断ツールを終了する。不可能と回答した場合は最大 2 回まで他の推奨行動を提案した。診断ツール終了後は、後述のアンケートに移動するものとした。分岐の詳細を表 S1 に示した。

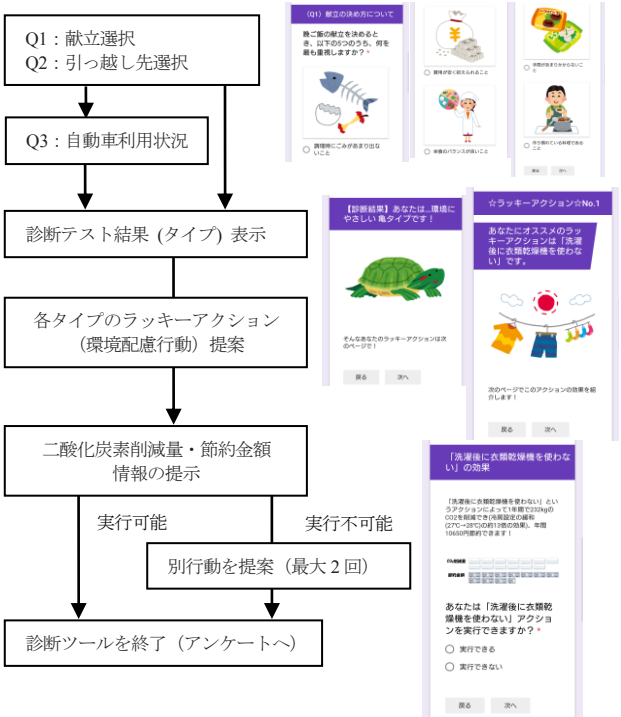


図 1　診断ツール概要図

2.2 アンケートの設計

診断ツール終了の次画面からは、回答者の診断ツールに対する評価、診断ツールでの類型化の妥当性を確認するためのアンケートを引き続き設けた。

まず、診断ツールの面白さや情報の有益さ等、ツールに対して抱いた印象を問う質問を 10 問、さらに前述の 5 要素について 4 問ずつ尋ねる 20 問を設け、それぞれ 6 件法で尋ねた。「環境意識」には社会考慮尺度 [1] を、「経済的節約」には価値志向性尺度 [2]の 6 つの下位尺度の中の「経済」に関する尺度を、「健康維持増進」には日本版 HLC(主観的健康統制感)尺度 [3]の 5 因子の内「自分自身」に関する尺度と健康不安感尺度 [4]の 3 つの下位尺度の内「身体的健康に対する心配」に関する尺度を用いた。「面倒の回避」には新性格検査 [5]の中から「活動性」に関する尺度を、「現状維持」にはゆとり(感)尺度 [6]の 8 つの下位尺度の内「挑戦性」に関する項目を一部逆転させて用いた。その後に、個人属性として性別、年齢、居住地（都道府県）、同居人数を尋ね、最後に自由記入欄を設けた。

2.3 調査概要

上記の診断ツール及びアンケート票は Google Form により一連の調査票として作成した。その上で、オンライン調査会社（クロスマーケティング）が保有する日本全国 15～79 歳の男女モニターに対し、2018 年 12 月 17 日～12 月 20 日にかけて回答を依頼し、7,740 名より回答を得た。

3. 結果

Q1～Q3 の回答結果で最も多かったのは、Q1「経済的節約」Q2「経済的節約」Q3「(質問なし)」の組み合わせ（n = 933）であり、続いて「健康維持増進」「現状維持」「(質問なし)」（n = 714）、「現状維持」「現状維持」「(質問なし)」（n＝429）となった。

5 要素に対応させた 20 問への回答結果に対して因子分析（最尤法、プロマックス回転）を適用した結果、「非活動的」「経済性」「社会考慮」「健康重視」「現状維持」の 5 因子が抽出された（説明分散割合 ＝62.9 %）。図 2 には Q1 の回答毎に各因子得点の平均値を示した。Q1 で環境意識、健康維持増進、面倒の回避、現状維持を選択した群はそれぞれ社会考慮、健康重視、非活動的、現状維持の因子得点が高くなるという想定した結果が得られた。加えて、経済的節約を選択した群において非活動的の得点が高く、また、環境意識を選択した群において経済性の因子得点が負に大きくなるといった傾向が見られた。

提案した環境配慮行動が実行可能かを尋ねた質問においては、全体の 78.7 %が第 1 の推奨行動で、9.5 %が第 2 で、4.4 %が第 3 で実行可能と回答した。この割合は類型タイプごとに異なり、特に「健康維持増進」「面倒の回避」「自動車を利用しない」の群で第 1 行動での実行可能回答割合が高く（95.7 %）、最も低かったのは「健康維持増進」「健康維持増進」「ガソリン車を利用」の群であった（41.6 %）。

「お勧めされた行動をやってみたいと思った」という行動意図は、とてもそう思う(6)～全くそう思わない(1)とした結果、全体の平均は 3.03 だった。行動意図が最も高かったのは「面倒の回避」「健康維持増進」「ハイブリッド車か電気自動車を利用」の群で（3.88）、「環境意識」「経済的節約」「(質問なし)」が続いた（3.52）。「全体的に面白かった」「診断結果のキャラクターは面白かった」という魅力度についても同様に集計すると平均はともに 3.18 だった。前述の行動意図について、これらの魅力度との単相関係数はそれぞれ 0.74、0.71 であり、「示された CO_2 の情報は有益だった」「示された節約金額の情報は有益だった」という情報有益度との相関（0.60 及び 0.62）より大きかった。また、行動意図の魅力度弾力性は 0.72、0.70 であったのに対し、行動意図の情報有益度弾力性は 0.65、0.67 であった。以上より、提供する数値情報よりツールとしての魅力度の方がより行動意図へと繋がる可能性が示唆された。

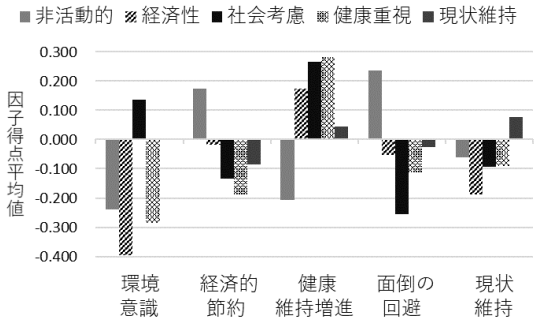


図 2　Q1 回答毎の要素因子得点平均値

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) 吉田俊和ほか: 名古屋大学教育学部紀要（心理学）, 46, (1999), pp.53-73
2) 酒井恵子ほか: 教育心理学研究, 46, (1998), pp.153-162
3) 堀毛裕子: 健康心理学研究, 4, (1991), pp.1-7
4) 鈴木宏和ほか: 厚生の指標, 57(1), (2010), pp.21-27
5) 柳井晴夫ほか: 心理学研究, 58, (1987), pp.158-165
6) 古川秀夫ほか: 社会心理学研究, 9, (1993), pp.171-180

Supporting Information

表 S1　回答者類型化と推奨行動

回答結果			診断タイプ	推奨行動		
Q1/Q2(順不同)		Q3*		1	2	3
環境	環境	A	環境に優しい亀	洗濯後に衣類乾燥機を使わない	自動車の代わりに電車を利用	自動車の代わりにバスを利用
環境	健康					
環境	環境	B	将来を見据える鷹		家電を使わない時は主電源を切る	追い炊きせずに続けてお風呂に入る
	経済	—				
	健康	B				
経済	健康					
健康	健康					
環境	面倒	A	自分も仲間も大切にする羊		週末のお出かけで車を使わない	
健康						
面倒						
環境	面倒	B	しっかり考えて行動する犬		追い炊きせずに続けてお風呂に入る	白熱電球を LED に買い換える
健康						
面倒						
経済	経済	—	貯金上手なリス			家電を使わない時は主電源を切る
経済	面倒	B	愛すべき草食系キリン			シャワーの時間を1分短縮する
経済	面倒	A	癒し系のパンダ			週末のお出かけで車を使わない
経済	健康	A	活力に溢れたライオン		家電を使わない時は主電源を切る	
環境	現状	—	温和でやさしいうさぎ	家電を使わない時は主電源を切る	白熱電球を LED に買い換える	シャワーの時間を1分短縮する
健康	現状					
現状	現状					
経済	現状	—	安定感のある象		シャワーの時間を1分短縮する	白熱電球を LED に買い換える
面倒	現状	—	皆を和ませる猫	白熱電球を LED に買い換える		冷蔵庫の中身を整理する
健康	健康	A	健康長生き鶴	自動車の代わりに電車を利用	自動車の代わりにバスを利用	洗濯後に衣類乾燥機を使わない

*A：ガソリン車、B：A 以外の回答、—：質問していない

C2-06,P2-070　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

製品の長期使用に対する消費者意識の研究

Consumer’s perceptions to longer product use: an empirical research

○山本 悠久*、村上 進亮
Haruhisa Yamamoto, Shinsuke Murakami
東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻
* yamamoto-haruhisa202@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

1. 序論

1.1 研究背景

素材資源の消費量の削減に向けて、製品の使用期間の長期化は有効な方策である。しかし消費者の多くが、まだ使用可能な製品を使用済みとしていることが明らかとなっており [1), 2)]、消費者には使用している製品をより長く使用すること（長期使用）が求められる。

これまで様々な研究において、リサイクル等の特定の行動に対する肯定的な態度や行動意図が高い人は、実際にその行動を行う傾向が強いと示されており [3)]、その態度や行動意図を高める方策が探求されてきた [4)]。一方、長期使用に関して、長期使用に対する態度や行動意図による製品の使用期間への影響を分析した研究は行われていない。

一方、製品の実際の使用期間に加え、消費者がその製品に期待している使用期間（期待使用期間）について、使用期間の長期間のポテンシャルを示しているとして注目が集まっている [5)]。加えて、保有期間と保有予定期間とに関連する要因の違いに関する研究もあり [6)]、消費者の考え方が使用期間に与える影響についてのより詳細な理解に向け、期待使用期間との比較を行うことは有用だと考えられる。

1.2 研究目的

以上の背景より、本研究では、長期使用に対する肯定的な態度や行動意図等の消費者の考え方と、製品の実際の使用期間、および期待使用期間との関連について分析し、長期使用の促進のための消費者への働きかけに向けた示唆を得ることとする。

2. 手法

2.1 アンケート調査の設計

日本国内の一般消費者を対象にインターネットによるアンケート調査を 2018 年 2 月～3 月に実施し、2310 名の回答を得た（性別・年代別・地域別人口構成は総務省の人口推計 [7)]にしたがう）。

本分析では次の 2 点の設問の回答を利用した。なお、全ての設問はパソコンを対象製品としている。また、基礎属性として性別・年代・地域・結婚の有無・子供の有無・世帯年収・個人年収・職業を別途得ている。

表 1　長期使用に関する考え方についての設問文と各考え方の略称

設問文	略称
実際に長い期間使おうとしている	行動意図
長い期間使いたいと思う	肯定的態度
長い期間使うことはよいことだと思う	肯定的評価
実際に長い期間使うことは困難である	実行の困難性
長い期間使うことは環境によい	環境性
長い期間使うことは経済的だ	経済性
長い期間使うことはエネルギー消費の抑制につながる	省エネ性
長い期間使うことは素材資源（金属・プラスチックなど）の消費の抑制につながる	素材資源の節約
長い期間使うためには手間がかかる	実行への手間の多さ
長い期間使うと機能が遅れたものになってしまうので嫌だ	機能の陳腐化への懸念

1)　現在使用中の製品、および一番最近に手放した製品について、それぞれ実際に使用している／していた期間（実使用期間）、および使用する予定である／だった期間（使用予定期間）
：それぞれ 1 年単位で尋ねた。

2)　製品の長期使用に対する考え方
：表 1 に示した 10 の考え方について、「そう思う」～「そう思わない」の 5 件法で尋ねた。

2.2 分析手法

製品の実使用期間もしくは使用予定期間を非説明変数、基礎属性と長期使用に関する考え方を説明変数とした、Cox の比例ハザードモデルによる分析を行った。多重共線性、および比例ハザード性の検証を行った上で各説明変数を採用し、Wald 検定によりそれらの有意性を確認した。なお、説明変数のうち世帯年収・個人年収には欠損値が存在したため、20 回の連鎖式による多重代入によって補完した。

全ての分析に統計ソフト R を利用した。

3. 結果・考察

生存時間解析の結果について、長期使用に関する考え方との関連についてのみを表 2 に示す。なお、基礎属性も含めた分析結果は SI の表 S1 に載せる。

長期使用の行動意図、および長期使用に対する肯定的な態度は、実使用期間・使用予定期間の両方に有意な関連があると確認された。比例ハザードモデルにおいて、負の係

表 2　製品の使用期間と長期使用に対する考え方との関連（抜粋）

	実使用期間	使用予定期間
行動意図	-0.125*	-0.122*
肯定的態度	-0.125*	-0.155*
肯定的評価	-0.016	-0.037
実行の困難性	0.047	0.035‡
環境性	0.009	-0.061†
経済性	0.075‡	0.052‡
省エネ性	-0.043	0.051†
素材資源の節約	0.033	0.013
実行への手間の多さ	-0.018	-0.011
機能の陳腐化への懸念	0.005	0.096*

* p≤0.01　† p≤0.05　‡ p≤0.10

数をもつ変数は、その変数の値が大きいと使用期間が長くなる傾向が強いことを意味するため、行動意図・態度は長期使用を促進する効果があることが示唆された。これはリサイクル行動などの他の行動とも一致する結果である。

一方、その他の長期使用に対する考え方については、長期使用の経済性の認知が 10%水準で有意であった他には、いずれも実使用期間と有意な関連が見られなかった。それに対し、使用予定期間に対しては、長期使用の環境性の認知・長期使用によるエネルギー消費削減効果の認知・長期使用による機能の陳腐化への懸念が 5%水準で、また長期使用の実行の困難性の認知・長期使用の環境性の認知が 10%水準で有意であると示された。したがって、消費者の考え方に大きく依存する使用予定期間とは異なり、製品の実使用期間は消費者の影響にとどまらない、様々な要因の影響を受けていることが示唆される。

加えて、一番最近に手放した製品について、実使用期間が使用予定期間とどの程度異なっているかを確認した結果、多くの回答者について差異がなかったものの、使用予定期間の方が実使用期間より長い回答者の割合が、使用予定期間の方が短い回答者よりも多かった。特に、使用予定期間の方が長い回答者について、長期使用に対する行動意図、および肯定的態度の程度が強い回答者の割合が多いと示された。これは、行動意図・態度が強いと直接的に使用予定期間が長くなるが、実使用期間は、消費者の影響とは異なるその他の要因にも影響を受けることで、行動意図・態度の影響が限定されていると考えられる。

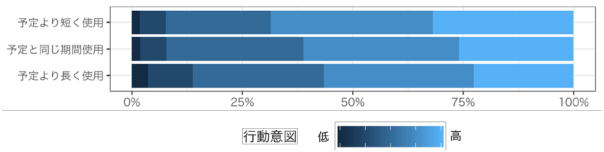


図 1　使用予定期間と実使用期間の差と長期使用に対する行動意図の関連

4. 結論

本研究では、長期使用に対する消費者の考え方が、製品の実際の使用期間、および消費者による使用予定期間に与える影響を定量的に分析した。その結果、長期使用に対する行動意図、及び肯定的態度が使用予定期間のみならず実使用期間を長期化させる効果が示唆されたものの、その効果は限定的であり、消費者の考え方ではないその他の要因に大きく影響されていることが示唆された。したがって、消費者の長期使用に対する態度を向上させるような施策を打つことは、長期使用の促進に向け一定の効果があるものの、製品属性や社会的要因など、単なる消費者の考え方にとどまらない、様々な要因の影響も同時に分析することが不可欠である。加えて、消費者の使用期間に対する期待がいかに形成されているのかを明らかにすることで、実際の使用期間の決定機構についてもより明らかになるであろう。

謝辞

本研究は複数の企業や研究者の支援のもと実施された。ここに感謝の意を表する。

引用文献

1) Cooper T., “Longer Lasting Products”, Gower Publishing, England, (2010), pp.319-350
2) Echegaray F.: J Clean Prod, 134, (2016), pp.191-203
3) Ramayah T., Lee JWC, Lim S.: J. Environ. Manage., 102, (2012), pp.141-147
4) Botetzagias I., Dima A., Malesios C.: Resour Conserv Recycl, 95, (2015), pp.58–67
5) Oguchi M., Tasaki T., Daigo I., Cooper T., Cole C., Gnanapragasam A.: Electronics Goes Green 2016+ (EGG), Berlin, (2016), pp. 1-6.
6) 山本俊行, 松田忠士, 北村隆一: 土木計画学研究・論文集, 14, (1998), pp.799-808
7) 総務省統計局：“人口推計”, （オンライン）, 入手先< https://www.stat.go.jp/data/jinsui/>, （参照 2019-1-10）

Supporting Information

表 S1　長期使用に関する考え方と各使用期間との関連（基礎属性を含む）

	実使用期間	使用予定期間
長期使用に関する考え方		
行動意図	-0.125*	-0.122*
肯定的態度	-0.125*	-0.155*
肯定的評価	-0.016	-0.037
実行の困難性	0.047	0.035‡
環境性	0.009	-0.061†
経済性	0.075‡	0.052‡
省エネ性	-0.043	0.051†
素材資源の節約	0.033	0.013
実行への手間の多さ	-0.018	-0.011
機能の陳腐化への懸念	0.005	0.096*
性別（男性を基準）		
女性	-0.078	-0.037
年齢（20 代を基準）		
30 代	-0.282†	-0.456*
40 代	-0.265†	-0.553*
50 代	-0.198‡	-0.508*
60 代以上	-0.265†	-0.609*
地方（北海道を基準）		
東北地方	0.023	0.023
関東地方	0.049	0.015
中部地方	-0.087	-0.086
近畿地方	0.044	0.022
中国地方	-0.074	-0.053
四国地方	-0.198	-0.081
九州地方	-0.036	-0.038
結婚の有無（未婚を基準）		
既婚	0.006	-0.110†
子供の有無（子供なしを基準）		
子供あり	0.085	0.088‡
世帯収入（低収入を基準）[1]		
高収入	0.115	0.126†
個人収入（低収入を基準）[1]		
高収入	0.082	0.151*
職業（無職を基準）		
パートタイム	0.023	0.110†
フルタイム	0.040	0.057

* $p \leq 0.01$　† $p \leq 0.05$　‡ $p \leq 0.10$

[1] 政府統計を元に年代ごとに分類した。

C2-07,P2-081　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

パソコンの所有・廃棄の実態把握に基づく適正な回収制度の提案

Proposal for the appropriate collecting system of used personal computers in Japan based on the investigation of possession and disposal

○三浦潤*[1)]、森口祐一[1)]、栗栖聖[1)]、中谷隼[1)]

Jun Miura, Yuichi Moriguchi, Kiyo Kurisu, Jun Nakatani

1）東京大学

* j_miura@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

近年、レアメタルなどをはじめとした世界的な資源需要の高まりの一方、それらの枯渇への懸念の中で、使用済み電子機器が注目を集めており、「都市鉱山」と呼ばれて新たな金属資源の供給源として期待されている[1)]。

この都市鉱山に関して、レアメタルの一つであるインジウムを例にとると、日本におけるその規模は世界埋蔵量の約 61%に相当すると推計されており、これらを加味すると日本は世界有数の資源保有国であると言える[2)]。

このような状況を受け、現在日本では法制度による使用済み電子機器の回収及びリサイクル制度が整備されてきてはいるものの、小型家電に関しては未だ発展途上にある。本研究では、そのうちのパソコンに焦点をあてる。パソコンは、資源有効利用促進法においてメーカーによる自主回収・再資源化が義務付けられており、また、小型家電リサイクル法ではリサイクルの重点品目にも指定されるなど、法制度自体の整備は進んでいるが、その回収率は 5~10%と推計され[3)]、現状では適正なものとはなっていない。

一方、こうした制度の設計にあたっては、現況の把握が必要不可欠である。パソコンにおいては、廃棄に関する統計データが不足していることから、その推計が行われている。しかし、小型家電の特有の性質として、製品寿命を迎えた後も廃棄されずに保有され続ける、いわゆる「退蔵」が見られるが、パソコンの退蔵に関しては、その詳細な把握や推計には至っていない。

従って本研究では、現行制度に代わるより適正な使用済みパソコンの回収制度を提案することを最終目的とし、そのための退蔵も考慮した台数の推計、及びフォーマルな法制度での回収を妨げていると考えられる退蔵のメカニズムをあきらかにすることも目的とする。なお、本研究では家庭系のパソコンのみを対象とする。

2. 研究手法

2.1 実態調査

先述の通りパソコンに関する統計データが不足していることから、本研究では所有・退蔵・廃棄の現況を把握するための実態調査を行った。調査は、調査会社が保有するモニターに対しオンラインアンケートにより実施した。また、東京都に在住する 20 歳以上の者のうち、現在パソコンを個人または世帯で保有している者を対象とし、2018 年 8 月 24 日～8 月 29 日に実施した。回答の総数は 1000 件、そのうち回答の整合性が取れていないものなどを取り除き、984 件を有効回答とした。なお、調査票では、現在保有しているすべてのパソコンの入手年・退蔵の有無・退蔵期間・退蔵理由・退蔵品を排出する動機、及び直近で廃棄したパソコン 1 台の入手年・廃棄年・退蔵の有無・退蔵理由・退蔵後の廃棄理由を主な構成要素とした。

2.2 退蔵及び廃棄台数の推計

退蔵及び廃棄台数の推計にあたり、まずは各年で使用済になる台数の推計を行った。これにあたっては、既往研究に倣い、t 年度末において使用年数 y 年までに使用済になった割合$w_t(y)$が、以下の式で表されるワイブル累積確率密度関数に従うという仮定を用いた[3)]。

$$W_t(y) = 1 - exp[-\{y/\bar{y}_t\}^b \cdot \{\Gamma(1+1/b)\}^b]$$

ただし、$\bar{y}_t$は平均使用年数、bは使用年数分布の幅、Γはガンマ関数である。

これと図 1 の出荷台数のデータを用いることで、使用済みとなる台数が算出される。なお、データの利用可能性の観点から、ここでは 2008 年度～2018 年度上半期の期間に出荷されたもののみを対象として推計を行った。

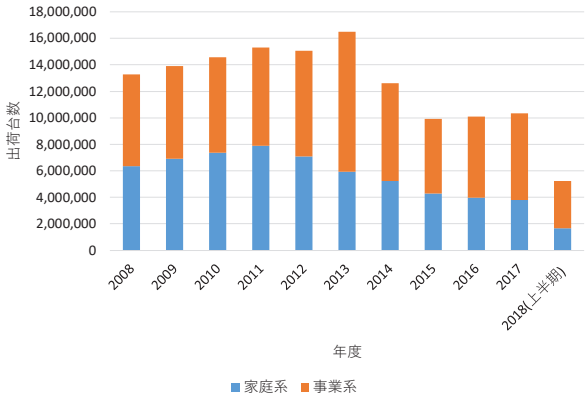


図 1 パソコンの出荷台数の推移（[4)]より作成）

表 1 退蔵期間と現在の退蔵理由（複数回答可）の関係

	捨て方を知らない	捨て方がわかりにくい	捨てるのが面倒くさい	お金がかかるから	データの消し方がわからない・消せる自信がない	愛着がある	捨てるのがもったいない	万が一の時の予備として	まだ使えるかもしれないから	大事なデータが入っているから	その他	回答数
1年未満	6.3%	5.1%	10.7%	7.0%	7.5%	5.7%	10.6%	18.5%	13.9%	12.5%	2.2%	725(100%)
1年以上3年未満	7.5%	7.5%	16.5%	4.7%	10.8%	3.3%	7.5%	17.5%	9.9%	12.3%	2.4%	209(100%)
3年以上5年未満	8.6%	6.5%	17.2%	10.8%	11.3%	7.5%	2.7%	10.8%	10.2%	12.4%	2.2%	189(100%)
5年以上10年未満	6.3%	8.8%	13.8%	11.3%	10.1%	6.3%	6.3%	11.9%	6.9%	11.9%	6.3%	174(100%)
10年以上	6.5%	8.7%	15.2%	17.4%	8.7%	4.3%	4.3%	13.0%	6.5%	6.5%	8.7%	49(100%)
回答数	91	84	176	110	119	75	113	220	157	162	39	1346

その後、使用済み台数に対して、アンケート調査から得られた退蔵関数を掛け合わせることにより退蔵台数と廃棄台数をそれぞれ推計した。

3. 結果と考察

3.1 実態調査

退蔵のメカニズムを明らかにするため、現在退蔵されているパソコンの退蔵理由の解析を行った。退蔵期間と退蔵理由の関係を表した結果が表 1 の通りである。これに対してカイ二乗検定を行ったところ、退蔵期間ごとに有意な差が見られた（$p = 3.7\times10^{-4} < 0.05$）。これはすなわち、退蔵期間が長くなるにつれてその主な退蔵理由も変化していくことを示しており、従って、回収制度の設計にあたってこの退蔵パソコンの排出を促す場合、その退蔵期間に応じた対応が必要になると考えられる。

また、アンケートで得られた使用終了から廃棄までの期間の結果を用い、使用終了からの期間（退蔵期間）と未廃棄率の関係を表したものが以下の図 2 である。本研究では、指数関数による近似を行い、そこで得た関数を退蔵関数として定義して推計に用いることとした。なお、退蔵期間が 10 年を超えたパソコンに関しては、その後に廃棄されることがほとんどないと仮定し、推計の上では半永久的に退蔵されるものとして扱うこととした。

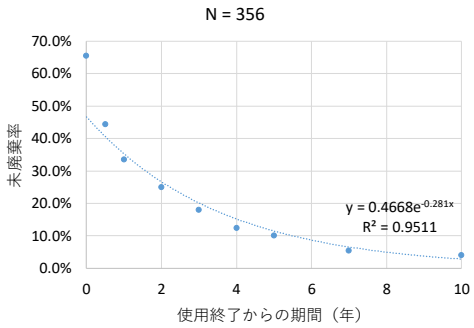


図 2 退蔵期間と未廃棄率の関係（退蔵関数）

3.2 退蔵及び廃棄台数の推計

図 2 の退蔵関数を用いて推計された、2008 年度～2018 年度上半期に出荷されたパソコンの退蔵台数は図 3 に示す

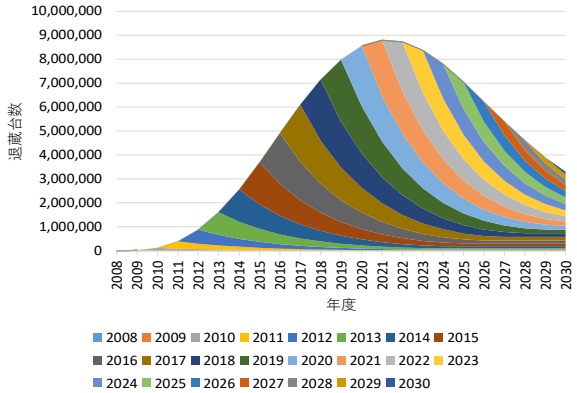


図 3 使用済みになった年ごとの年度と退蔵台数

通りである。なお、本研究では退蔵行動に関しては心理的影響が強く、入手年の影響は受けにくいと仮定し、使用みとなった年を基準として退蔵台数を推計している。

これによると、2030 年の時点では 103.8 万台ものパソコンが半永久的に退蔵されていることとなるが、これは資源有効利用促進法による年間のパソコンの回収台数の約 5~6 倍にも相当する。従って、回収量の向上に向けたポテンシャルがあることが示された。

また、先述の手法に従って廃棄台数に関しても推計を行った。2008 年度～2018 年度上半期に出荷されたパソコンの廃棄台数は 2020 年に最大となる結果となり、それに向けた制度構築が急務であることが示唆された。

引用文献

1) 中央審議会, 使用済製品の有用金属の再生利用の在り方について（第二次答申）, 2012.
2) NIMS, 我が国の都市鉱山は世界有数の資源国に匹敵―我が国に蓄積された都市鉱山の規模を計算―, <http://www.nims.go.jp/jpn/news/press/pdf/press215.pdf>
3) 小口 正弘, 亀屋 隆志, 田崎 智宏, 玉井 伸明, 谷川 昇, 電気・電子製品 23 品目の使用年数分布と使用済み台数の推計, 廃棄物学会論文誌, Vol.17, No.1, pp. 50-60, 2006.
4) MM 総研 HP, ニュースリリース, 入手先 <https://www.m2ri.jp/news>,（参照 2019-1-9）

消費者アンケート調査による持続可能な洗濯行動パターンの分析

An Analysis on the Sustainable Patterns of Laundry Behavior According to the Results of Consumer Questionnaire survey

○文　多美[*1)]、田原　聖隆[2)]、天沢　逸里[1)]、平尾　雅彦[1)]

Dami Moon, Kiyotaka Tahara, Eri Amasawa, 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

シェアリングは、モノやサービスを所有しないで複数の人と共同利用しながら機能の利用に価値を見出す消費行動である。シェアリングによる消費行動は、生産台数を増やさずに効率的に製品共有が行われると同時に、製品使用に関する消費者のニーズも充足できる。そのため、近年におけるシェアリングは、持続可能な発展に向けた新たな生産・消費パターンへの挑戦として注目を集めている。しかし、シェアリングを実行する消費者による消費行動の時点から考えると、新たな消費行動を選択・実施する時にはそれに伴う詳細な消費習慣も大きく変わるので、シェアリングによる消費行動が環境面において効果的であるかについては疑問である[1)]。そこで、本研究では、シェアリングが持つ環境側面での意義を明確にし、持続可能な消費行動を議論するために、家電製品を用いた消費者の行動類型化、比較分析を行うことを目的した。特に、日常生活の中で時間・手間がかかる「洗濯行動」を研究対象とした。また、洗濯行動に用いられる洗濯関連機器（洗濯機・乾燥機など）を共用するコインランドリーの利用をシェアリングに設定した。

2. 研究方法

2.1 洗濯行動の類型化

本研究は、2017 年 11 月に自分で洗濯行動を行っている人を対象に実施した、「洗濯機の使用に関する消費者意識調査（日本を対象にした WEB アンケート調査、回答者数：613 人）」の結果を用いた。コインランドリーの利用形態を考慮した消費者の洗濯行動を類型化するため、「コインランドリーの使用有無」と「洗濯関連機器の所有有無」の 2 つの問いの回答結果から回答者を 5 つのタイプに分類した（図 1）。具体的には、HW（Home Washing user、自家用洗濯関連機器のみ使用）、IL（Infrequent Laundromat user、コインランドリーをたまに使用）、FL（Frequent Laundromat user、コインランドリーを良く使用）、EL（Exclusive Laundromat user、自家用洗濯関連機器を持っているがコインランドリーのみ使用）、OL（Only Laundromat user、洗濯機を持っていないでコインランドリーのみ使用）の 5 つである。そして、コインランドリーの使用による洗濯行動の違いを確認するため、洗濯関連機器の所有有無、洗濯頻度、洗濯量、機械乾燥有無・頻度などをタイプ別にまとめた。

2.2 環境影響評価

回答者の洗濯行動タイプ別、使用する洗濯機の製造、運搬、使用（洗濯・乾燥）、廃棄の全てのプロセスにおいて温室効果ガス(GHG)排出量を推計し、環境面に及ぼす効果を定量的に評価した。洗濯関連機器の種類と容量（所有の場合：自家用洗濯(乾燥)機（5kg・9kg・12kg）、コインランドリー使用の場合：業務用洗濯機・乾燥機（10kg・15kg・25kg））、洗濯量、洗濯頻度、機械乾燥の使用といった GHG 排出量の推計に関わる洗濯行動の条件は、WEB アンケート調査の回答結果を用いた。アンケート調査の回答結果から得られない洗濯関連機器の製品寿命については、自家用洗濯機と業務用洗濯関連機器でそれぞれ 11 年/台と 15 年/台に設定した。また、シェアリングの対象になる業務用洗濯関連機(洗濯機・乾燥機)は、6 世帯で共同利用すると仮定した。各プロセスで発生するエネルギー量に対する GHG 排出量の推計には IDEA[2)]に登載されている環境負荷原単位を用いた。

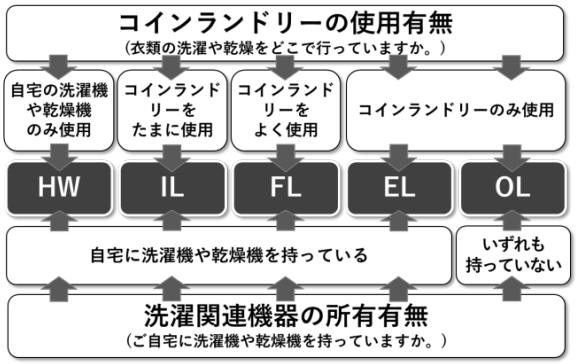


図 1 洗濯行動別、回答者の類型化

3. 研究結果・考察

3.1 タイプ別、洗濯行動の違い

回答者のタイプ別、1 世帯当たりの人数（平均）は、HW、IL、FL、EL、OL で、各 2.4 人/世帯、2.7 人/世帯、1.8 人/世帯、2.2 人/世帯、1.2 人/世帯であった。タイプ別洗濯行動を見ると、まず、タイプ別年間洗濯頻度は、コインランドリーへの利用が多くなるほど、年間洗濯頻度も減少する傾向が見られた。タイプ別に見ると、HW、IL、FL、EL、OL で、それぞれ 270.6 回/年、313.8 回/年、220.1 回/年、78.1

回/年、75.7 回/年で、その中コインランドリーの利用割合は、各 0.0%、19.1%、28.4%、100.0%、100.0%となった。年間洗濯量にも類似した傾向が見られ、5 つのタイプで、各 1,797kg/年、2,403kg/年、1,537kg/年、662kg/年、863kg/年であった。一方、乾燥にかかわる洗濯行動の場合、コインランドリーの利用頻度が増えるほど、自然乾燥より機械による乾燥を選好する傾向が見られ、機械による乾燥の割合は、年間洗濯頻度の中、HW、IL、FL、EL、OL で各 10.4%、29.8%、34.8%、43.4%、69.7%となる。タイプ別所有・使用中である洗濯機の容量を見ると、現在所有している自家用洗濯機の容量は、洗濯機を持ったない OL を除いた HW、IL、FL、EL で各 8.6kg/台、8.5 kg/台、7.6 kg/台、8.1 kg/台で、4 つのパターンで大きく変わりは見られないが、コインランドリーで使用している業務用洗濯機の容量は、IL、FL、EL、OL でそれぞれ 10.4 kg/台、12.3 kg/台、12.9 kg/台、14.7 kg/台となり、コインランドリーの利用が多いほど容量の大きい洗濯機を利用している。

3.2 タイプ別、環境影響評価

回答者のタイプ別、GHG 排出量の推計結果を図 2 に示す。一人・1 回当たり洗濯による GHG 排出量は、自家用洗濯機を使用する HW に比べて、コインランドリーのみ利用する OL は約 9 倍に大きくなる。プロセス別 GHG 排出量の構成を見ると、機械乾燥と洗濯など使用段階での増加に目立つ。まず、タイプ別機械乾燥を見ると、OL になるほどコインランドリーに設置されている業務用乾燥機を用いた機械乾燥の頻度が増えるため、ほぼ自然乾燥を行う HW に比べ、OL の GHG 排出量は約 54 倍に増える。また、コインランドリーでの洗濯頻度が多くなる OL になるほど大型の業務用洗濯機の使用が選好されるため、OL での洗濯にかかわる GHG 排出量は HW に比べて、約 2.4 倍に大きい。

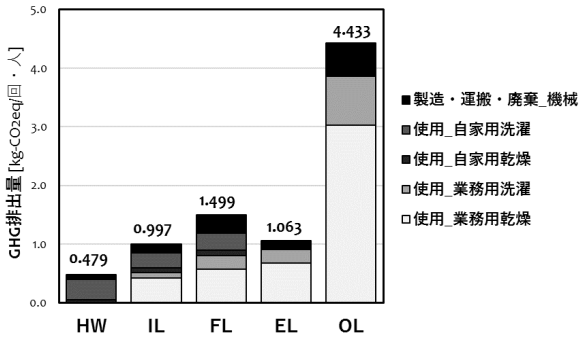


図 2 タイプ別、洗濯 1 回あたり GHG 排出量の割合

3.3 洗濯関連機器を持たない生活への移行可能性

洗濯関連機器を持たずにコインランドリーのみの生活に移行可能なコインランドリーの条件に関する回答結果から、回答者のタイプで回答に統計的に有意差が認められる「他の店と併設（χ^2=11.364, df=4, p< 0.05(0.023)）」「洗濯代行（χ^2=11.374, df=4, p< 0.05(0.023)）」「最新機種（χ^2=11.016, df=4, p< 0.05(0.026)）」「集合住宅内で共用（χ^2=19.825, df=4, p< 0.01(0.001)）」といった 4 つを選んだ。そして、コインランドリーの条件別、洗濯関連機器を持たない生活に移行可能な回答者の割合を表 1 にまとめた。4 つの条件の中から、「最新機種」「集合住宅内で共用」は、タイプを問わず移行できると答えた人の割合が多かった。特に、「集合住宅内で共用」の場合、コインランドリーまでのアクセスの負担が軽減されると同時に、自宅用洗濯機を共用して動かすことも可能であるので、持続可能な洗濯パターンが実行できる条件として期待できる。

表 1 コインランドリーの条件別、洗濯関連機器を持たない生活に移行可能な回答者の割合

区分	他の店と併設	洗濯代行	最新機種	集合住宅内で共用
HW	33.0%	10.2%	40.3%	41.7%
IL	43.8%	21.9%	48.8%	53.2%
FL	41.8%	21.8%	40.0%	41.8%
EL	25.3%	15.7%	34.9%	25.3%
OL	32.4%	16.2%	57.4%	48.5%
全体	36.2%	16.5%	44.2%	44.0%

*各条件に対する回答は、５段階（(完全に）シフトできる・たぶんシフトできるだろう・どちらとも言えない・たぶんシフトできないだろう・(完全に）シフトできない）から回答してもらった。回答者全体の中、「(完全に）シフトできる」と「たぶんシフトできるだろう」の２つを答えた回答者の割合を移行可能な回答者の割合として用いた。

4. まとめ

本研究では、コインランドリーの使用が洗濯行動とそれに伴う環境負荷に及ぼす影響を評価するため、コインランドリーの使用タイプ別、洗濯行動の比較と GHG 排出量の推計を実施した。以上の結果により、コインランドリーのみ利用タイプである OL は、他タイプに比べ年間洗濯頻度、洗濯量は少なくなるが、コインランドリーに設置されている乾燥機・大型洗濯機を使用しているため、環境負荷は大きいことが分析された。これらの研究を通してコインランドリーのみ利用タイプの洗濯行動を把握し、GHG 排出への影響要因が把握できた。また、持続可能な消費行動に向け洗濯関連機器の共用による洗濯行動の方向性についても考察された。

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) 文多美, 鈴木祐里絵, 中谷隼, 天沢逸里, 田原聖隆, 平尾雅彦:“第13回日本LCA学会研究発表会”, 東京都, (2018), pp.178-179
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

D2-05
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

ニーズを踏まえた建築実務者向けのバックグラウンドデータの検討

Discussion for development of background database for building based on surveys

○小林謙介*[1]、下川夏寿輝[1]、外岡豊[2]、鈴木好幸[3]、磯部孝行[4]
Kensuke Kobayashi, Kazuki Shimokawa, Yutaka Tonooka, Yoshiyuki Suzuki, Takayuki Isobe
1) 県立広島大学 2) 埼玉大学 3) 安藤・間 4) 武蔵野大学
*kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1.はじめに

建築分野におけるLCAは、以前にも増して活用の幅が広がってきている。製品設計における環境負荷削減策の検討はもちろん、カーボンフットプリント・エコリーフ環境ラベルなどの環境ラベルとしての活用も見られるようになってきている。また、環境配慮設計では、LEED Ver.4[1]でLCAの実施による複数の環境負荷物質についての負荷削減の取組が加点項目になった。このほか、CSRの観点からもLCAの実施が重要な視点の一つになっている。

一方、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ことも普及を妨げる要因の一つと考えられる。こうした評価作業の軽減も含め、LCAの実施においてバックグラウンドデータは不可欠であるが、評価者（建物の設計者など）のこだわりが反映できるようなデータベースが整備されているとは言い難い。

こうした背景を踏まえ、筆者らは、建築分野で多く利用されているAIJ-LCAデータベース（産業連関表ベース）[2]の最新年版原単位の構築を行っている。加えて、マルチクライテリアでの評価の可能性も踏まえ、IDEA[3]の活用を想定した検討を行っている（IDEAの活用は文献[4]で報告）。更に、いずれのデータベースを活用した場合でも建築物の評価の“こだわり”を反映するに耐え得るデータが不足するため、それらの補完策について検討しており、その内容を報告する。

2. AIJ-LCA 原単位データベース（2011 年版）の構築

現在建築学会で公表している原単位データベースは、2005 年版の産業連関表をもとに構築されたものである。最新の産業連関表は 2011 年のため、2011 年版産業連関表を用いたデータベースの構築を実施している。最新の 2011 年統計は、物量表の制約や諸統計の廃止・簡略化などに伴って、実態を反映した推計が一段と難しくなった。そこで、資源エネルギー庁が公表するエネルギー・バランス表や、その他の関連統計を活用しながら、精度の向上を図るための推計手法を行っている。

特に、その他の石油製品については、物量の金額しか掲載されておらず、加えて、投入物が原料用として用いられているのか燃料用として用いられているのかの推計も難しい。そのため、その他の石油製品について、エネルギー・バランス表と比較しつつ内訳の推計を行った。今後これらの検討内容を踏まえて、2011 年版の原単位データベースに盛り込む予定である。

3. 建築向けバックグラウンドデータベースの構築

3.1 検討概要

建築物の LCA を実施する際に、収集されるフォアグラウンドデータは、設計・積算情報をもとに収集することが考えられる。この時、評価対象となる投入原材料と、AIJ-LCA データベースや IDEA などのバックグラウンドデータは、殆どの場合、有効範囲が合致しないことが分かっている[5]。また、合致する場合でも、機能単位が合致しないことも少なくない。こうした課題を解決するため、評価のニーズに応じたバックグラウンドデータ・単位換算データの整備を目的に検討を行った。

本検討では、公共建築工事積算基準等資料[6]や、建築物のライフサイクルマネジメント用データ集[7]における資材項目リストを活用し、構造、仕上、設備に活用される資材リストを作成した。作成したリストは 924 の項目があり、すべての項目を一度に整備することは難しいため、特にニーズが高い項目の検討を実施した。

3.2 専門家へのニーズ調査

2018 年 11~12 月にかけ、建築分野で LCA に関わる専門家 9 名を対象に、必要性の高いデータについて調査を実施した。本調査では、3.1 節で作成した項目リストをもとに、特に必要性が高いと考える項目を 100 項目選定する形とし、これを 1 点として集計した。また、上位 100 項目には入らないものの、必要性が高いと判断する項目を上限なく選定し、0.5 点として集計した。

これらをもとに、各者の回答を集計した結果を、表 1、に示す。表 1 は分野別の得点のばらつきを示している。特に、構造材（コンクリート・鉄・木材など）に関する関心が高い傾向がうかがえる。例えばコンクリートでは強度別、木材では製法（乾燥方法）別などのように、設計における“こだわり”が反映できるような、詳細なデータ整備が求められていることが分かった。また、得点が上位となった項目をみると、石こうボード、製材、

合板、集成材、コンクリート、鉄筋、アスファルト防水材、ALC 板などが挙がった。

表 1 分野別のニーズ分析の得点のばらつき

分類	対象工種	0点	0～1点	1～2点	2～3点	3～4点	4～5点	5～6点	6～7点	7～8点	8～9点	合計
構造	土工事	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	1
	地業工事	0%	0%	0%	0%	30%	50%	10%	10%	0%	0%	10
	鉄筋工事	0%	0%	0%	13%	38%	38%	0%	13%	0%	0%	8
	コンクリート工事	0%	0%	3%	0%	0%	72%	23%	3%	0%	0%	39
	木工事・型枠工事	0%	5%	0%	0%	0%	14%	50%	27%	5%	0%	22
	鉄骨工事	0%	10%	24%	14%	10%	38%	0%	5%	0%	0%	21
仕上	既製コンクリート	0%	0%	0%	0%	20%	40%	0%	40%	0%	0%	5
	防水工事	0%	12%	31%	23%	23%	4%	4%	4%	0%	0%	26
	石工事	0%	92%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12
	タイル工事	0%	0%	14%	57%	14%	0%	14%	0%	0%	0%	7
	木工事	13%	13%	50%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8
	屋根及びとい工事	0%	18%	32%	32%	14%	5%	0%	0%	0%	0%	22
	金属工事	20%	54%	17%	2%	2%	0%	4%	0%	0%	0%	46
	左官工事	3%	36%	16%	16%	16%	5%	5%	3%	0%	0%	58
	建具工事	0%	80%	8%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25
	塗装工事	3%	30%	27%	20%	11%	3%	3%	2%	0%	2%	64
	内外装工事	0%	60%	20%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5
	仕上ユニット	33%	47%	13%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15
	雑工事	36%	52%	7%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	42
設備	電気設備	70%	20%	5%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	213
	空調設備	30%	46%	19%	1%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	122
	衛生設備	47%	34%	9%	4%	2%	2%	1%	0%	0%	0%	140
	搬送設備	85%	8%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13

3.3 実建物(5 件)におけるニーズ分析

木造・S 造・RC 造低層住宅、RC 集合住宅、学校の計 5 件の事例建物を対象に、これらで投入されている資材について、3.1 節で作成した項目リストとの照合を行った。ここでは、3.1 節で作成した項目ごとに、実建物で一つでもその項目に該当する投入資材が使用されていれば 1 点と考えた。あくまでも 5 件の事例ではあるが、本分析で頻出する項目は重要性が高いと判断するための判断材料として活用できると考えた。

これらをもとに、各者の回答を集計した結果を、表 2、に示す。表 2 は分野別の得点のばらつきを示している。ここでは、使用されていれば 1 点と考えているため、分野による大きなばらつきは見られなかった。また、得点が上位となった項目には、コンクリート等の基礎的な材料のほか、木造・S 造・RC 造などの構造に依存せずに利用されるシーリング材、サッシ、樋などの仕上げ材が目立つ結果となった。

表 2 分野別のモデル建物分析の得点のばらつき

分類	対象工種	0点	1点	2点	3点	4点	5点	総計
構造	土工事	100%	0%	0%	0%	0%	0%	1
	地業工事	80%	0%	10%	10%	0%	0%	10
	鉄筋工事	13%	75%	0%	13%	0%	0%	8
	コンクリート工事	82%	10%	5%	0%	0%	3%	39
	木工事・型枠工事	82%	5%	0%	0%	14%	0%	22
	鉄骨工事	67%	24%	5%	5%	0%	0%	21
仕上	既製コンクリート	80%	20%	0%	0%	0%	0%	5
	防水工事	46%	42%	8%	0%	4%	0%	26
	石工事	75%	25%	0%	0%	0%	0%	12
	タイル工事	71%	0%	29%	0%	0%	0%	7
	木工事	75%	25%	0%	0%	0%	0%	8
	屋根及びとい工事	68%	23%	0%	9%	0%	0%	22
	金属工事	72%	15%	9%	4%	0%	0%	46
	左官工事	60%	24%	10%	3%	2%	0%	58
	建具工事	72%	20%	8%	0%	0%	0%	25
	塗装工事	80%	17%	2%	2%	0%	0%	64
	内外装工事	80%	20%	0%	0%	0%	0%	5
	仕上ユニット	60%	33%	7%	0%	0%	0%	15
	雑工事	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0

3.4 優先順の高いデータの作成(今後の課題)

上述の 3.2 節及び 3.3 節の内容を通し、重要性が高い項目を明らかにできた。今後は、プロセスデータと機能単位の単位換算データを作成することが課題である。

データの作成方法は多様な情報源が考えられるが、ここでは、情報源を明記したうえで、複数の作成方法を検討する。具体的には、図 1 に示す方法を検討しており、まず、AIJ-LCA ツールで公開されている複合原単位用のプロセスデータの活用を検討する。また、既往文献等の関連データの引用、それでも難しい場合は、統計や、メーカへのヒアリング等によってデータを収集し、データ作成を試みる予定である。

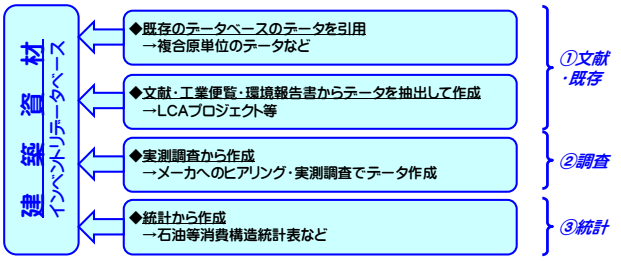


図 1 建築資材のデータ作成方法

4. まとめ

本報告では、建築分野での LCA 活用者を想定し、最新の産業連関表を用いた原単位データベースの開発状況の報告を行うとともに、建築実務者の評価のこだわりが反映できるようなニーズ分析を踏まえた詳細なデータの構築について述べた。

5. 謝辞

本分析にあたり、日本建築学会 地球環境委員会 LCA 小委員会の委員の皆様から多大なご協力を賜りました。記して謝意を表します。

6. 参考文献

1) LEED Ver.4、https://new.usgbc.org/leed

2) 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一改訂版、2013.2

3) Kiyotaka TAHARA et. al.: Development of Inventory Database for Environmental Analysis （IDEA）, The 9th International Conference on EcoBalance, 2010.11

4) 牧村、小林ら：マルチクライテリアでの評価を想定した建築物のライフサイクルにおける支配的要因の分析、第 14 回日本 LCA 学会研究発表会、2019.3

5) 小林ら：住宅建築時における投入資材の CO_2 排出量の評価においてバックグラウンドデータの利用によって生じる誤差　建築物の LCA における評価精度の検討、日本建築学会環境系論文集、2015.12

6) 国土交通省：公共建築工事積算基準等資料（平成 30 年版）、http://www.mlit.go.jp/gobuild/shiryou_sekisan_unnyou.htm

7) ロングライフビル推進協会:建築物のライフサイクルマネジメント用データ集、2016.3

D2-06
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

国際対応型 LCIA 手法 LIME3 の枠組みに基づく 世界 42 カ国の行政区域の環境効率性評価

Environmental Efficiency Assessment of Administrative Division in 42 Countries Based on the Framework of Global-scale LCIA Method “LIME3”

○山崎潤也*1)、伊香賀俊治 1)、伊坪徳宏 2)
Junya Yamasaki, Toshiharu Ikaga, Norihiro Itsubo
1）慶應義塾大学, 2）東京都市大学
* woodenbat@a6.keio.jp

1. はじめに

近年では国際連合が主導する SDGs の採択やパリ協定の発効など、国際的な環境関連の条約締結が各国の環境活動への取り組みを後押ししている。また各国の事業者は環境配慮を推進していく上で自らの経済状況を勘案した意思決定をすることが不可欠であり、各組織が自らの環境活動を貨幣的、数量的に報告していく環境会計の動きは各国の民間企業のみでなく地方自治体でも導入例がある。しかし公的な組織である地方自治体において環境価値を客観的に測定することは容易ではなく、行政機関の環境会計に対する国際標準となる方法論は提示されていない。他方、LCA の研究分野においてはライフサイクル影響評価（LCIA）の概念があり、複数の環境影響領域に対する影響量を統合して金額指標の評価結果を得る方法論が提案されている。そこで本報では域内総生産（GRP）及び LCIA の知見に基づく環境影響被害額の双方の金額指標に基づき、OECD 加盟国を中心とした世界 42 カ国の行政区域における環境効率の概念を定量化した。これらの知見により、今後の地方自治体の環境会計に関する国際的な方法論を構築していく上での初歩となる知見が提供されることを期待したい。

2. 評価方法

本報では行政区域内の GPR（単位：US$）から環境影響被害額（単位：US$）を除することで、地方自治体の生産性に関する環境効率の指標（単位：無次元）を定義した。その計算式を以下に示す。

$$(\text{生産性の環境効率})\,[\text{-}] = \frac{(\text{GRP})\,[\text{US\$}]}{(\text{環境影響被害額})\,[\text{US\$}]} \quad (1)$$

ここで、本報では域内の環境影響被害額を測定する上で、グローバルスケールに対応した被害算定型の LCIA 手法である LIME3 を利用した[文 1)]。LIME3 の評価枠組みを図 S1 に示す。LIME3 の評価プロセスは被害評価、統合化の 2 段階を採用しており、それぞれの係数リストをインベントリに乗じることで評価目的に応じた結果を得ることができる。本報では評価結果を統合化された単一の金額指標で得ることを目的としているため、「統合化係数リスト」を利用した。「統合化係数リスト」は、環境負荷物質ごと、影響領域ごと、環境負荷の発生国ごと、保護対象ごとに設けられている。これらの統合化係数[注 1)]に対応するインベントリデータを乗じたのち、それらを積算することで貨幣換算された単一指標（単位：US＄）の評価結果を得ることができる。その計算式を以下に示す。

$$SI = \sum_{Impact} \sum_{X} Inv(X) \times IF^{Impact}(X) \quad (2)$$

SI：統合化結果［US$］　$Inv(X)$：物質 X のインベントリ［kg］
$IF^{Impact}(X)$：物質 X の統合化係数［US$/kg］

3. 評価対象

本報では国際機関の OECD に着目し、OECD 加盟国を中心とした各国家の地方自治体を評価対象とした。OECD 統計局は世界各国の統計局から情報を取りまとめており[文 2)]、地方自治体単位の情報を一律に公開する国際統計機関としては最も情報量が多い機関の一つである。本報では OECD 統計局が豊富に情報を公開する OECD 加盟国 35 カ国に他 7 カ国（ブラジル、中国、コロンビア、インド、リトアニア、ロシア、南アフリカ）を加えた全 42 カ国を評価対象とし、ここから得られない一部のデータに関しては他の国際統計情報または各国統計局から順次参照した。

OECD 統計局では、統計情報を公開する全ての国家の地域区分を TL という独自の区分によって定義している。この TL は OECD 統計局が取りまとめる国家において統一された地域区分の定義であり、これらは概ね各国の行政区域と合致している。本報ではこの TL の定義に従って各国の地方自治体の評価対象範囲を決定し、データの入手可能性の観点により OECD 加盟国の 35 カ国は TL3 単位で、その他の 7 カ国は TL2 単位を最小の評価対象範囲とした。

本報では評価対象期間を西暦 2015 年の 1 年間とし、その年のデータが入手できない場合は最も近い年のデータで代用した。環境影響被害額の算定に関する統計情報の調査結果を表 S1 に示す。なお、「土地利用」の項目に関しては National Mapping Organizations (NMO)が公開する各種土地利用データを基に[文 3)]、ArcGIS のソフトウェアを利用して TL3 単位のデータに当てはめることで必要データを得た。また「土地利用」の評価対象項目として、本報では人為的

に利用されている「田」「農耕地」「社会基盤」の面積のみを評価対象とした。なお、TL3 または TL2 単位に細分化されたデータが得られなかったインベントリに関しては、国家単位のデータから TL 単位のデータを按分推計することで対応した。「大気汚染」「光化学オキシダント」の各インベントリの排出量は業種別就業者数のデータを用いて、「水、化石資源、木材資源消費」の各インベントリは人口データを用いて按分推計を行った。また、「鉱物資源消費」の項目に関しては種別データの入手可能性およびデータの推計精度の問題により本報では評価対象から外すこととした。

4. 評価結果

前述の条件に基づき算出した世界 42 カ国の行政区域の人口当たりの GRP、人口当たりの環境影響被害額（統計値は表 S2 に示す。）、及び環境効率の値を世界地図上に表したものを図 1, 2, 3 に、さらにヨーロッパ周辺を拡大したものを図 S2, S3, S4 に示す。ここでは各指標の頻度分布において 10%ごとの数値を境に色を変えて結果を表した。環境効率に関しては中央値が 13.6 と計算されたため、それより高い（環境効率が良い）行政区域を寒色系、それより低い（環境効率が悪い）行政区域を暖色系で表した。図 3 の結果について世界全体の地域性を俯瞰すると、全体的な傾向として人口がまばらな地域は比較的に環境効率が低く、それに対して人口の集中する都市部では環境効率が高い区域が多い傾向が示された。しかし詳細は各国・各地域で異なり、各々の特徴が表れた格好となった。

北米では一人当たりの GRP の数値が世界でも最高水準である区域が多いが、一方で被害額も大きいために環境効率の指標は広域的に高水準の結果とはならなかった。特に人口密度の低い砂漠地域などは環境効率が低い結果となり、西海岸、東海岸、五大湖周辺の都市部は相対的に高い結果が示された。北米の各地域は GRP と被害額の共に高い傾向が環境効率の結果に表れる格好となった。

南米では森林地帯など人口密度が低い地域は環境効率が低く、各国の都市部は相対的に高い結果が示された。ボゴタ、サンティアゴの都市部は国内で特に GRP が高く、その傾向が環境効率の国内格差に表れる結果となった。

ヨーロッパでは環境効率が高い地域が比較的多い結果となった。特に各国の主要都市などの都市部は GRP が国内で相対的に高く、環境効率も高い結果が示された。またスイス、リヒテンシュタイン、オーストリア等は国家全体として被害額が低い一方で GRP は高水準であり、環境効率が広域的に高い結果となった。

南アフリカでは都市部であるヨハネスブルグ、ケープタウン周辺において GRP が相対的に高く、結果として同区域の環境効率も相対的に高い結果が示された。

アジアおよびロシア東部では人口のまばらな地域では広域的に環境効率が低いが、人口の集中する都市部では相対的に高い結果が示された。中国沿岸は被害額が大きいが

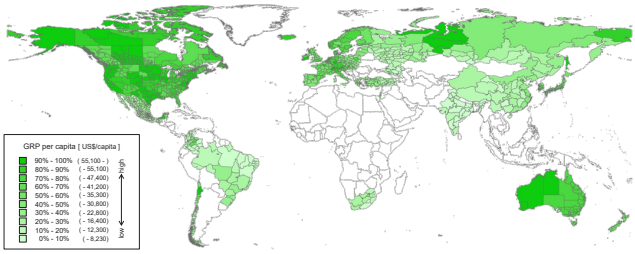


図 1 人口当たりの域内総生産（GRP）

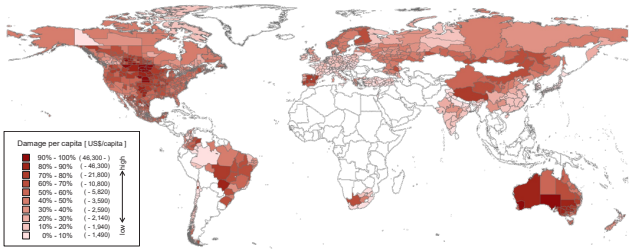


図 2 人口当たりの環境影響被害額

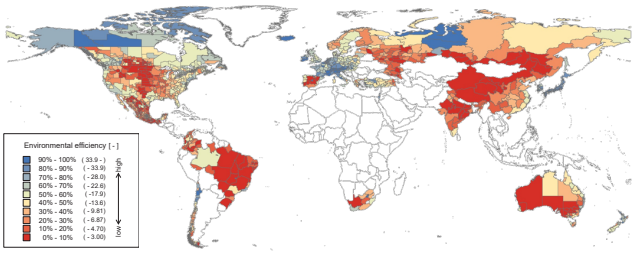


図 3 生産性の環境効率

GRP も高水準であるため、国内では相対的に環境効率が高い結果となった。また韓国、日本も GRP が高水準であり、広域的に環境効率が高い結果が示された。

オセアニアではオーストラリアの砂漠地域など人口密度の低い地域は環境効率が低い結果となったが、シドニー、ウェリントンなどの都市部では GRP が高水準であり、その地域の環境効率は相対的に高い結果となった。

5. まとめ

本報より、世界 42 カ国の各行政区域における生産性の環境効率を定量的に比較することにより、世界全域的に国家間、または国内の地域間において環境効率の格差を視覚的に認識することが可能となった。

注釈

1) 本報では評価対象全域に対して「統合化係数・経済価値評価用（消費国）（利子率 3%）」を利用し、重み付け条件は G20 の人口加重平均とした。

引用文献

1) 伊坪徳宏ほか, “LIME3 –グローバルスケールの LCA を実現する環境影響評価手法”, 丸善, 東京, (2018), p286
2) OECD: “OECD.Stat”, (オンライン), 入手先< https://stats.oecd.org/>, (参照 2018-12-26) 3) NMO: “Land Cover (GLCNMO) – Global version”, (オンライン), 入手先< https://globalmaps.github.io/glcnmo.html>, (参照 2018-12-26)

Supporting Information

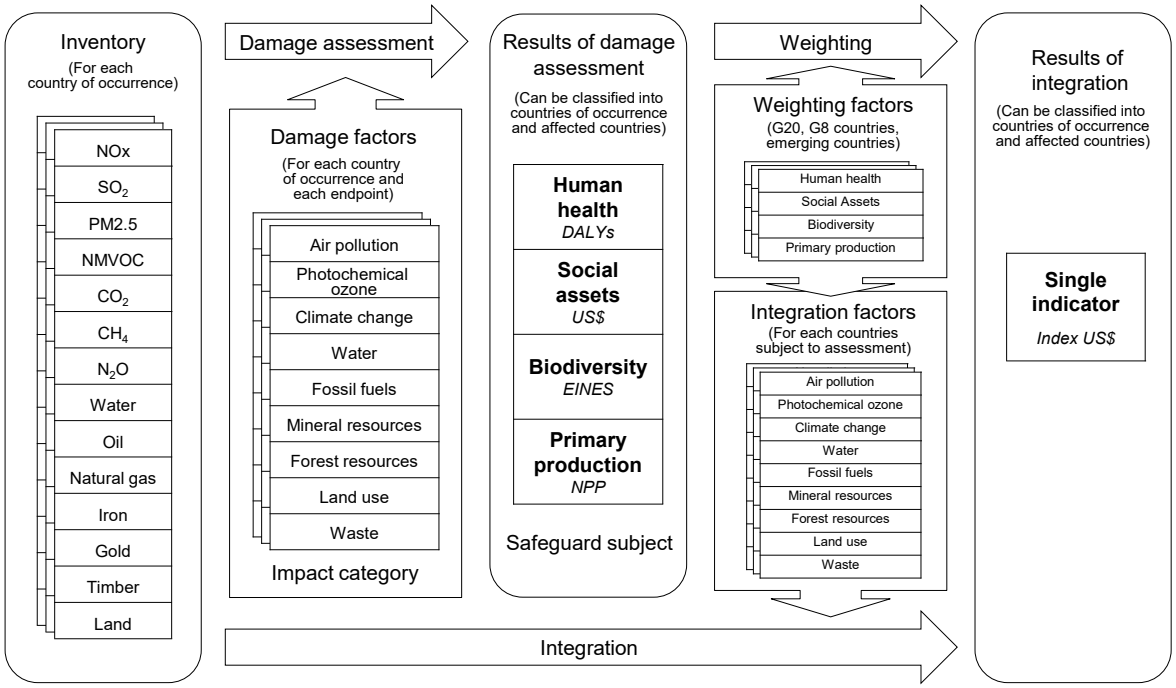


図 S1 LIME3 の評価枠組み（引用文献(1) p16 より引用）

表 S1 環境影響被害額の算定に関する統計情報の調査結果

Impact category	Inventory	Main reference	Indicator	Minimum area
Climate change	CO_2	Regional Social and Environmental indicators by OECD.Stat	Emission amount [kg]	TL3
Air pollution	BCOC (PM2.5)	Air Emission Accounts by OECD.Stat	Emission amount [kg]	Country
	SO_2 (PM2.5)			
	NO_X (PM2.5)			
Photochemical ozone	NO_X (O_3)	Air Emission Accounts by OECD.Stat	Emission amount [kg]	Country
	NMVOC (O_3)			
Waste	Waste	Regional Social and Environmental indicators by OECD.Stat	Disposal amount [kg]	TL3
Water consumption	Water	Annual water consumption by OECD.Stat	Consumption amount [kg]	Country
Land use	Paddy field	The Global Land Cover by National Mapping Organizations (GLCNMO)	Current area [m^2]	TL3
	Cropland			
	Infrastructure			
Fossil fuels consumption	Fossil energy	Material resources by OECD.Stat	Consumption amount [kg]	Country
Forest resources consumption	Wood	Material resources by OECD.Stat	Consumption amount [kg]	Country

表 S2 環境影響被害額に関する影響領域・保護対象ごとの統計値

	Item	Damage amount by TL2 per area			Damage amount by TL2 per capita		
		Average [US$/km^2]	Standard deviation [US$/km^2]	Variation coefficient [-]	Average [US$/capita]	Standard deviation [US$/capita]	Variation coefficient [-]
Impact category	Climate change	3.73×10^{4}	1.10×10^{5}	2.95	1.67×10^{2}	2.07×10^{2}	1.24
	Air pollution	1.33×10^{4}	7.27×10^{4}	5.47	2.51×10^{1}	3.69×10^{1}	1.47
	Photochemical ozone	9.76×10^{2}	3.26×10^{3}	3.34	2.23×10^{0}	1.88×10^{0}	0.84
	Waste	3.87×10^{4}	1.86×10^{5}	4.80	1.29×10^{2}	1.11×10^{2}	0.86
	Water consumption	7.29×10^{4}	3.64×10^{5}	5.00	1.55×10^{2}	1.79×10^{2}	1.16
	Land use	7.76×10^{4}	1.40×10^{5}	1.81	1.50×10^{3}	4.44×10^{3}	2.95
	Fossil fuels consumption	2.37×10^{5}	8.66×10^{5}	3.65	7.36×10^{2}	6.03×10^{2}	0.82
	Forest resources consumption	6.18×10^{4}	2.62×10^{5}	4.23	2.45×10^{2}	4.79×10^{2}	1.95
Safeguard subject	Human health	1.08×10^{5}	4.53×10^{5}	4.19	2.76×10^{2}	2.24×10^{2}	0.81
	Social assets	2.76×10^{5}	1.01×10^{6}	3.67	8.64×10^{2}	6.53×10^{2}	0.76
	Biodiversity	1.11×10^{5}	2.21×10^{5}	1.99	1.44×10^{3}	4.24×10^{3}	2.96
	Primary production	4.49×10^{4}	2.08×10^{5}	4.63	3.88×10^{2}	7.69×10^{2}	1.98
Summation		5.40×10^{5}	1.60×10^{6}	2.96	2.96×10^{3}	4.66×10^{3}	1.57

Number of samples: 677

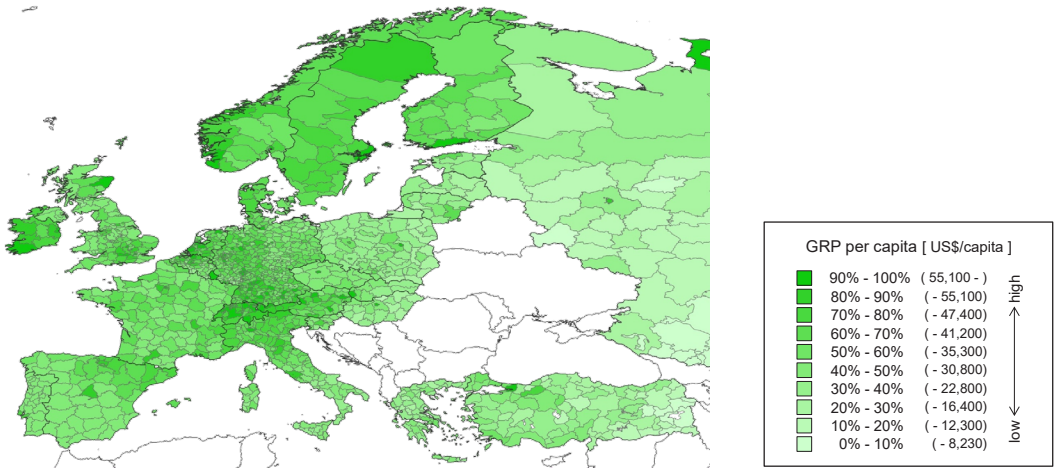


図 S2　人口当たりの域内総生産（GRP）（ヨーロッパ周辺）

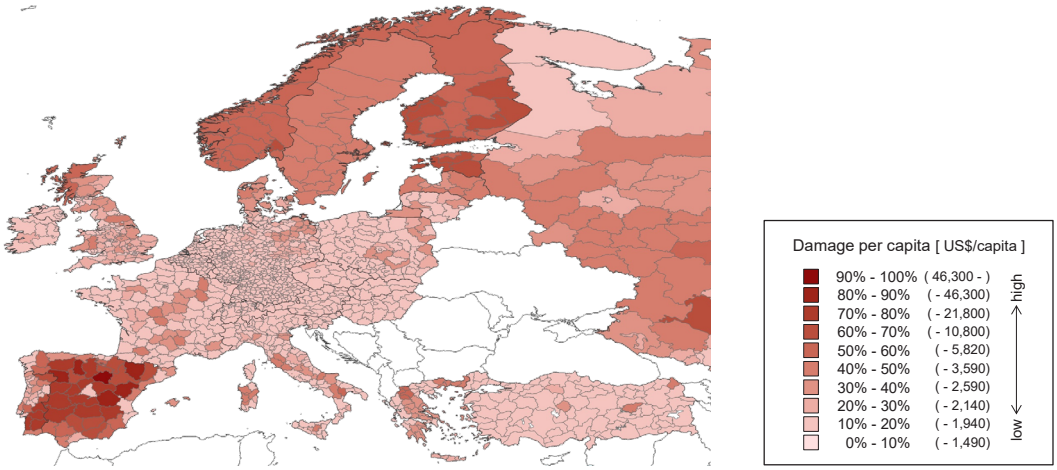


図 S3　人口当たりの環境影響被害額（ヨーロッパ周辺）

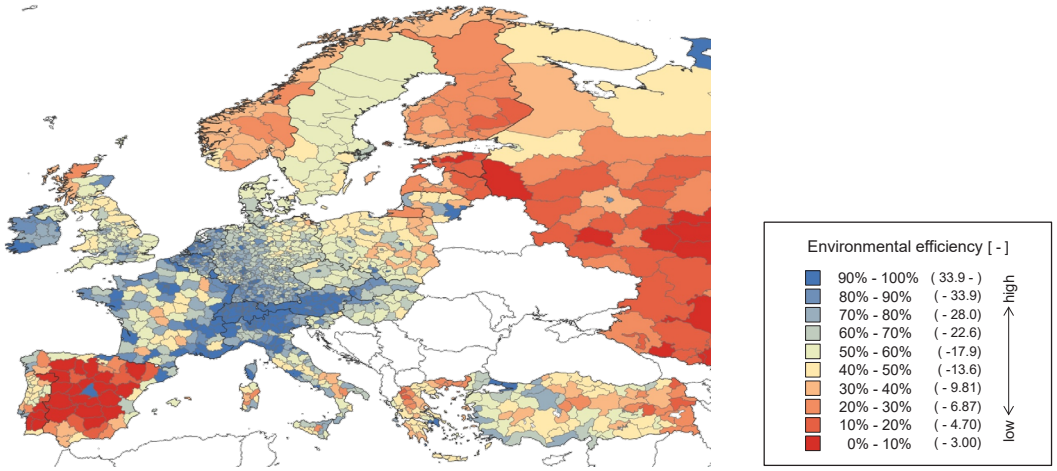


図 S4　生産性の環境効率（ヨーロッパ周辺）

D2-07
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

道路整備事業の SDGs への貢献量評価手法の検討

A Method for Assessing the Contribution of Road Construction Project to Sustainable Development Goals

○柴原尚希*[1)]，森田紘圭[2)]，加知範康[3)]，林良嗣[1)]
Naoki SHIBAHARA, Hiroyoshi MORITA, Noriyasu KACHI, Yoshitsugu HAYASHI
1)中部大学，2)大日本コンサルタント，3)東洋大学
* shibahara@isc.chubu.ac.jp

1. はじめに

従来の道路整備事業に関する費用便益分析では、主に 3 つの便益（走行時間短縮、走行経費削減、交通事故減少）のみを考慮してきた。しかし、高齢化の進展やライフスタイルの多様化により多目的・分散需要型の道路利用社会となった現在においては、これらの価値を適正に評価するために、様々なニーズを持つ個人ごとに異なる経済面以外の便益も考慮した道路事業評価が必要となる。さらに、今後の国際協力・インフラ輸出を考えると、国際目標である Sustainable Development Goals (SDGs)への貢献を示すことも不可欠である。そこで本研究では、国内外の道路事業評価手法の現状を調査し、道路整備事業に伴う SDGs への貢献を定量的・包括的に評価する手法を検討する。

2. 国内外の道路事業評価の現状と課題の調査

現在使われている費用便益分析は、イギリスで速達性と事故の大幅軽減を目指して高速道路の建設が盛んになった 1960 年代に、その効果を計測するために開発された手法が 1970 年代初頭にパッケージ COBA として定着し、それが各国に導入されたものである。これは半世紀前のことであり、現在の日本における多様な利用者による多様な目的の評価には対応できなくなってきている。また、現在国内外において「救急医療」「産業・観光振興」「生活支援」等、Quality of Life (QOL)向上に資する多様な効果に関する評価研究も実施されているものの、これらを包括的に評価する方法論はいまだ確立していない。さらに、2016 年に導入された SDGs が国土開発の分野においても重要な目標になると考えられる。

そこで、各国が以上のような視点を道路をはじめとしたインフラ整備の意義として評価の中でどのように捉えているかを調査するため、2018 年 9 月に、独・仏・英 3 か国の交通に関する公的機関や研究者に対して、1)各国の交通事業評価制度の現状、2)交通事業評価に関する各国の関心事、等についてヒアリング調査を行った。要点を以下に示す。

2.1 ドイツ

(1) 事業評価手法の現状

費用便益分析では、転換交通の考慮や環境アセスメント結果の内部化などが行われている。事業評価全体として、B/C とは別にネットワーク性の評価や都市開発誘導効果の評価もパッケージ化している。時間価値の原単位として表明選好法（SP 調査）も活用している。

(2) EU 都市間交通シミュレーション“HIGH-TOOL”

EU の都市間交通プロジェクトを包括的に分析するためのツールを開発しており、無料公開している。EU では、投資に対する国間や都市間での配分問題を抱えており、公平性と投資のバランスに関心がある。

(3) 新たなモビリティ普及による雇用効果

新たなモビリティサービスや車両が普及した場合における経済波及効果を分析した研究も行われている。全体として雇用は増進する傾向にあるが、製造業での雇用が減少し、ライドシェアのドライバーなどサービス業従事者が増加すると予想される。インフラや交通サービスの変化による雇用問題は、都市や国家にとって重要な問題になると考えられる。

2.2 フランス

(1) 事業評価手法の現状

フランスの費用便益分析の考え方は厳格であり、新しい効果をあまり勘定しない傾向にあり、SP 調査も原則として用いていない。ただし、時間価値については、様々な属性に分類しており、特に距離の長いトリップほど高い時間価値を採用している。これは高所得者ほど長距離移動を行うためであり、高速鉄道（HSR）整備等への関心が高まっている現在、有効な手法であると考えられる。

(2) 富の勘定における格差と公平性の考慮

フランスをはじめ、ヨーロッパ（特に、交通経済学の分野）では、格差や公平性をどのように富として勘定するかについて関心が高まっている。Effective Speed による交通事業整備効果の評価も提案されており、所要時間だけでなく、運賃を稼ぐために必要な労働時間を加えた速度指標も提案されている。その指標では、

交通速度が限界まで速くなった場合、富の格差の問題に収斂すると考えられる。

2.3 イギリス

(1) 事業評価手法の現状

近年取り入れられた Wider Economic Impact（広範な経済波及効果）は、アクセシビリティをもとに経済波及効果を評価するものとして重要な役割を担っている。ただし、雇用効果などは土地利用モデルを前提としているため、活用は限定的である。交通事業評価において、その効果の配分についての分析も必須となりつつあり、人種や所得などに対し公平なサービスを提供できているかといった評価を、アクセシビリティ分析で実施しようとしているのが現状である。

(2) 時間価値に対する議論

近年、HSR では揺れも少なく定時性も向上しているとともに、社内での食事や WiFi 利用等、アメニティが充実してきているため、これらを従来通りの時間価値として考えてよいのかという議論がある。仕事もできる環境に近づいているという点では、道路における自動運転車にも通じる議論である。

3. 今後の道路事業評価手法を検討する上での論点

2 章に示した調査結果を踏まえ、道路整備事業の SDGs への貢献量評価手法を検討する上での論点を以下に整理する。

(1) 3 便益以外の評価項目の組み入れ

- 環境的側面に関する項目をはじめとした、新たな便益項目導入の検討
- Wide Economic Impact など集積効果を考慮した便益項目の考慮（アクセシビリティの活用）
- トリップ目的地の変更など転換交通の考慮

(2) 時間価値による重みづけ

- HSR 整備評価を参考にした時間価値の細分化
- 私用交通と業務交通、トリップ距離に応じた時間価値の区別（一部では SP 調査を使用）
- HSR の快適性や自動運転の普及を見据えた時間価値の再考

(3) 格差と分配、都市開発との関係

- 得られた便益がどのように地域や階層に配分されるのか、格差と分配に関する評価
- 都市開発への貢献の程度に関する評価（例えば、バイパス整備による既存道路の更新、開発ポテンシャル向上等の視点の考慮）

4. SDGs への貢献量評価手法の枠組

本研究では、道路投資がもたらす整備効果を図 1 のように仮定し、多様な道路事業（高規格道路―街路、新設―道路空間再配分等）に対し、各事業目的に合わせて、多様な生活者の視点からその効果を評価する手法の確立を目指す。具体的には、QOL 評価、ライフサイクル思考に基づく環境評価を包括した SDGs への貢献量評価手法を構築する。

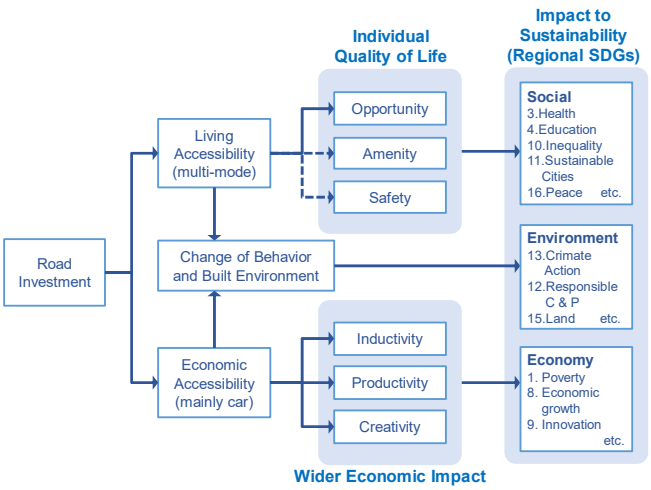


図 1　道路投資がもたらす整備効果の仮定

(1) QOL 評価

「経済・雇用機会」「生活・文化機会」等、道路アクセス向上により直接的に効果が期待される事項だけでなく、「居住快適性」「安全安心性」等の視点から、利用者や沿線居住者にもたらされる QOL 向上を評価する指標群を提案する。

(2) ライフサイクル環境評価

道路整備政策に伴い環境負荷が削減されるか否かを、建設・走行段階を含めて包括的に確認しておくことが重要であり、その算定に LCA を活用する。道路が新規に整備されると、短期的には、所要時間、交通の発生頻度、目的地、交通手段、経路等が変化する。長期的には、企業・商業立地に伴う発生交通や目的地の変化、人口の推移に伴う交通手段分担の変化だけにとどまらず、電気自動車・水素自動車の台頭、自動運転の可能性が高まったことで、これまで環境負荷増大要因だった道路(自動車)の価値が反転する可能性がある。このような道路整備に伴う影響を考慮した、ライフサイクル環境負荷推計手法を提案する。

(3) SDGs への貢献評価

(1)では、住民個人の便益帰着効果を、高解像度のメッシュ単位で算定できることで、目標 3（保健）や目標 11（都市）等への貢献度が分析できる。(2)では、目標 12（生産・消費）や目標 13（気候変動）等に関して定量化できる。すなわち、SDGs の社会的側面ついては「あらゆる基礎的サービスへのアクセスの包摂性・公平性」を、環境的側面については「環境負荷削減への貢献」を、主に評価することを目指す。

D2-08,P2-129　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

コンクリートを対象とした開ループリサイクルの LCI 分析手法の構築

Construction of LCI Analysis Method for Open-Loop Recycling in the Case of Concrete

○河野航大*[1)]、醍醐市朗 [1)]、谷川寛樹 [2)]、星野岳穂 [1)]、榎学 [1)]
Kodai Kawano, Ichiro Daigo, Hiroki Tanikawa, Takeo Hoshino, Manabu Enoki
1）東京大学, 2）名古屋大学
* kawano@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

ライフサイクルアセスメントは、様々な分野で持続可能な開発のための意思決定の一助となってきた。材料選択の場合にはリサイクルも考慮したライフサイクル(Life Cycle, LC)の観点から環境影響を評価することが重要である。近年、リサイクルが推進されているものの、多くの素材では、同一製品の材料にリサイクルされる（閉ループリサイクル）のではなく、異なる機能を有する素材へとリサイクル（開ループリサイクル）される。開ループリサイクルシステムの Life Cycle Inventory (LCI) 分析手法は、これまでもいくつか提案されてきた [1,2)]が、具体的な素材を想定した手法はほとんどない。素材の中で、セメントは生産プロセスでの温室効果ガス排出量が多いため、セメントを原料とするコンクリートの LCI 分析は重要である。一方、コンクリートは開ループリサイクルシステムを有している。本研究ではコンクリートを対象とした LCI 分析手法の構築を試みた。

2. 手法の構築

2.1 コンクリートのリサイクルシステム

コンクリートは主にポルトランドセメントと砕石（骨材）を原料として生産され、使用済みとなった後に回収されたコンクリート塊は路盤材にリサイクルされることが多く、コンクリートのリサイクルシステムは開ループリサイクルと言える。そこで、コンクリートの LCI 分析のために図 1 の模式的なフローを想定した。コンクリート塊は再生骨材としてコンクリートへ再利用されることもある。本稿では議論を簡単にするため、図 1 に示すような、素材 A（コンクリート）と B（路盤材）の 2 つの製品 LC の LCI 分析とした。V_1、V_2、W_1、W_2 及び R_1 は入出力のフローに伴う環境負荷排出量を表す。なお、路盤材利用のあとは明示的に廃棄処分されることはなく残置されるか散逸するため、W_2 は 0 とした。

2.2 既存手法

最も簡便な LCI 手法は、評価対象の製品 LC の環境負荷を計上する Cut-off アプローチであるが、使用済み製品から二次資源を回収したことが十分に考慮されない。リサイクルによりの製品 LC において新たな機能が発現するため、機能単位を上流の製品 LC だけでなく下流の製品 LC まで含めて設定し、システムを拡張することが有効である。

開ループリサイクルにおけるシステムを拡張した LCI 手法論は多く提案されており [1)]、Partitioning アプローチと Substitution アプローチに大別できる。Partitioning アプローチでは、2 つの製品 LC を通した環境負荷を計上した後に、異なる機能を有する素材 A と B に対して、評価実施者が定めた割合に基づいて環境負荷を分割する手法である。その分割の対象とするプロセスの選定や分割比率の決定には様々な手法がある [2)]ものの、本稿ではその中で古くから提案されている最も簡便な手法を取り上げた。素材 A と素材 B の LCI 分析手法を以下に示す。

$$E_A^P = \frac{V_1 + W_1 - RR(W_1 - R_1)}{1 + qRR}$$

$$E_B^P = V_2 + W_2 - RC(V_2 - qE_A)$$

ここで q は素材 A に対する素材 B の価値比であり、物性値や経済価値を基準に決定される。RR は素材 A の使用済み回収率、RC は素材 B のリサイクル材使用率である。

Partitioning アプローチが attributional LCA であるのに対して、Substitution アプローチは consequential LCA でありリサイクルに関する決定によって生じた結果を考慮したシステム拡張による手法である。具体的には、リサイクルにより上流 LC での廃棄 W_1 と下流 LC での資源消費 V_2 が回避されたと見なし、これらの回避効果を控除する。この回避効果は、素材 A と B の間で、ある割合で配分される。ここでは、その配分割合を A とした。素材 A と B の LCI 分析手法を以下に示す。A=1 では Avoided Burden 手法、A=0 では Waste Mining 手法、A=0.5 では 50/50 手法と呼ばれる。その他に Market price-based 手法として、二次資源の経済価値が低いほど小さな A とし、リサイクル材を使用した下流 LC 側に回避効果を大きく配分する考え方もある [1)]。

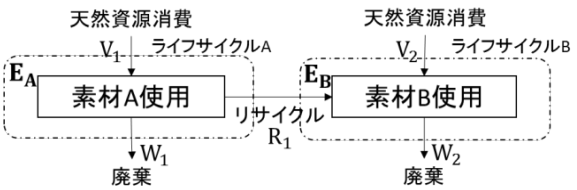


図 1　LCI 分析のためのコンクリートの模式フロー

$$E_A^S = V_1 + W_1 - A \cdot RR(V_2 + W_1 - R_1)$$
$$E_B^S = V_2(1 - RC) + W_2 - (1 - A)RC(V_2 + W_1 - R_1)$$

2.3 各手法の比較及び考察

Cut-off アプローチは、Partitioning アプローチにおいて q を 0 とした場合とも解釈でき、素材 B の価値を認めないこととなるため、適切でないと考えられた。

Partitioning アプローチにおいて、素材 A に関するフローに伴う環境負荷排出量（V_1、W_1、R_1）は 2 つの製品 LC 間で分配され、素材 B に関するフローに伴う環境負荷排出量（V_2、W_2）は下流 LC のみに配分されており、下流の方が不利な分割とも考えられる。そこで、他にも様々な分割の対象のプロセスの選定手法が提案されてはいる [2]ものの、一意な手法がない点が課題であるとなっている。一方、Substitution アプローチでは、分割対象とするプロセスを選定する必要がない点は長所と考えられる。他方、回避効果を実排出量から控除していることから、素材 A と素材 B の LCI 分析結果を合計しても実排出量より小さくなることがあり、本アプローチの用途が制限される可能性がある。更に、V_2 が V_1 や W_1 を大きく上回る場合には、回避効果が排出量を上回り、素材 A の環境負荷排出量が負値となってしまう可能性がある。これに対し、Partitioning アプローチでは素材 A と素材 B の LCI 分析結果の合計は必ず実排出量に一致し、これは同手法の長所と考えられる。

3. コンクリートの MFA（material flow analysis）

まず、建築物床面積（構造別）にコンクリートの使用原単位を乗じることで、過去各年の建築物用コンクリートの投入量を得た。構造別の建物寿命分布 [3]を用いた動的 MFA により、建築物からのコンクリート塊の発生ポテンシャルを推計した。次にセメント生産量から建設用コンクリート投入量を推計し、先の建築物用コンクリート投入量を引くことで土木用コンクリート投入量を得た。同様に土木構造物からのコンクリート塊発生ポテンシャルを推計した。コンクリート投入量の 1%は、戻りコン・残コンとして建築副産物に計上されると考えられた。コンクリート塊の再利用量からこれを引き、解体された建設物からのコンクリート塊の回収量とした。その結果、発生ポテンシャルに対する再利用量（使用済み回収率 RR）は 0.16 と推計された。発生ポテンシャルのうち回収されないコンクリートは残置されると考えられ、それらに関する環境負荷は無いとした。

4. コンクリートの LCI 分析

各種プロセス（生コンクリート V_1、最終処分 W_1、再生骨材（路盤材用）R_1、砕石 V_2）のインベントリデータは IDEAv2.1.3 から得た。コンクリートのマテリアル LC を評価対象として各素材 1 t 使用あたりの CO_2 排出量を LCI 分析した（図 2）。便宜上、q と A を同軸にして表した。次に、路盤材の LCI 分析として、天然資源由来の消費分も考慮した。このとき V_2 は 2017 年の砕石消費量を用いて、RC 値は 0.33 と推計された。路盤材 1 t 使用あたりの CO_2 排出量 $E_B^{P'}$ を同様に図 2 に示した。

Substitution アプローチでは E_A^S および E_B^S は A によりほとんど変化しなかった。これはコンクリート生産時の CO_2 排出量に比べ、回避効果が小さいためと考えられる。一方、Partitioning アプローチでは、q が大きくなるに従い E_A^P は小さくなった。これは、V_1 を路盤材側にも配分したためと考えられる。E_B^P は、二次資源としてのコンクリート塊が次の LC で利用される際に持つ負荷を表しており、これを一次資源から生産された路盤材の負荷と加重平均したものが $E_B^{P'}$ となる。

本研究に用いたインベントリデータでは、生コンクリートの原料に高炉スラグ、熱源に廃油、廃プラスチック、廃タイヤが投入されている。しかし、廃タイヤ以外はそれらの処理プロセスを排出する上流 LC の投入として扱っている。これは一部の廃棄物では Cut-off アプローチとも言えるが、生コンクリート製造時で廃油と廃プラの燃焼に伴って排出される CO_2 がそれらの発生プロセスに負わされており、本稿で紹介したどのアプローチでもない配分となっている。本研究では IDEAv2.1.3 のインベントリデータをそのまま用いたが、本来であればシステム拡張した LCI 分析では、同じアプローチをそれら原料にも用いる必要がある。特に熱源に関しては、Substitution アプローチであっても化石燃料の代替を想定すると結果に大きな影響を与えることが考えられた。なお、全熱量のうちのそれら熱源からの供給分は 5%程度と無視はできない比率であることもわかった。

5. 結言

本研究では、開ループリサイクルを伴う素材の LCI 分析手法を整理し、コンクリートに適用して評価を行った。

6. 引用文献

1) Shrijvers D, Loubet P, Sonnemann G.: Int. J. LCA, 21(7), (2016), pp 976-993
2) Ekvall T, Tillman A.M.:Int.J.LCA, 2(3), (1997), pp 155-162
3) Daigo I, Iwata K, Oguchi M, Goto Y: Procedia CIRP 61, (2017), pp 146-151.

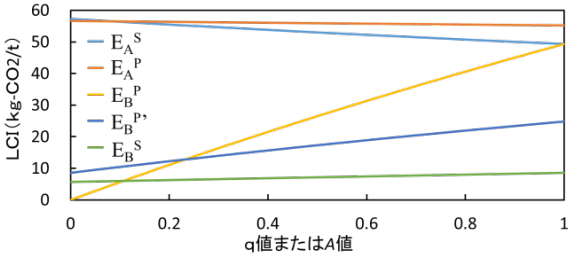


図 2　コンクリートと路盤材の LCI 分析結果

使用済み自動車リサイクルにおける構造材料の劣化機構

Degradation mechanism of structural materials during ELVs recycling
Methodological development

○パナシュク ダリナ* 1), 醍醐市朗 1), 星野岳穂 1), 榎学 1)

Daryna Panasiuk, Ichiro Daigo, Takeo Hoshino, Manabu Enoki

1) 東京大学

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

1. Introduction

Circular economy and sustainable lifecycle design strategies underline the importance of improving the resource efficiency and closing the material cycle. With this end in mind, the focus must be driven on the quality of the recycled materials, so that recycled materials can be integrated in the subsequent material life cycles. However, currently the recycling is not always functional, meaning that the grade of the recycled material is lower compared to the original material.

The objective of this contribution is to develop a methodology to characterize the degradation mechanisms of structural materials during the recycling process. Understanding degradation mechanisms should make it possible to point out their origin in the sequence of recycling processes and improve the knowledge on whether the degradation can be avoided and at which cost (economic and energetic).

To fulfil this objective, this contribution provides fundamental definitions used in the study, reviews the existing approaches to estimate the degradation of material during recycling and proposes a methodology for characterization of the degradation mechanism according to currently available recycling technologies.

2. Background

2.1 Fundamental definitions

Structural materials are materials primarily used for their capacity to bear mechanical stress applied to a structure. For example, materials used in construction must be able to support high levels of permanent load for a long time. Structural materials englobe metal-based, cement-based, polymer-based, carbon-based and ceramic-based materials [1].

Material degradation involves the deterioration of inherent properties of material due to external physical or chemical exposure. Material degradation occurs during different life cycle stages. For example, during use (e.g. mechanical stress, chemical, environmental degradation, etc.) and during recycling.

The material degradation during the recycling process is called downcycling. Downcycling occurs when, for example, scrap to be recycled contains undesired elements, if the scrap of different grades is mixed or if glass cullet contains iron, chromium or organic residues. As a consequence, downcycling leads to changes in the inherent properties of materials, so that the recycled material cannot be used for the same function in the subsequent life cycles.

Inherent properties of materials refer to the properties which may be altered through physical or chemical interactions [2]. These properties are defined by the microstructure of materials – a geometrical arrangement of atoms and the type of bonding between them.

2.2 Literature review

The degradation of the materials during recycling process was previously estimated using energy analysis and in a framework of material circularity. In the energy analysis, indicators like thermodynamic rarity [3] and exergy [4] are applied for estimation of material grade loss during product recycling. A shift to a circular economy stimulated the elaboration of circularity metrics. Literature review [5] summarizes elaborated indicators, which focus solely on the product level, as in energy analysis.

Sustainable lifecycle design embodies numerous approaches, aiming at the consideration at the design stage the ability to recycle materials (i.e. eco-design, design for sustainability, design for recycling and for disassemble). These approaches are, however, only focusing on the recyclability of the product, the downcycling being only a consequence to prevent.

The review shows that currently available studies are mostly focusing on the product level, i.e. considering mostly the ability of material to be recycled. This level, however, is not sufficient for the consideration of the integration of the recycled materials into the subsequent material cycles.

Dwek [6] proposed a multi-variable indicator for circular material value, i.e. the potential of materials for subsequent cycles in respect to the defined End of Life (EoL) scenarios. One of the variables of this indicator is the coefficient of the material degradation caused by the EoL process. The variable reflects the gradual loss of material properties after each EoL treatment and

is based on the maximum number of cycles after the first EoL recovery. Even if this study adopts the material perspective, only the maximum number of cycles is estimated; no further investigation of the material degradation is provided.

To contribute to filling this gap, the present study proposes to investigate the degradation mechanisms of materials during recycling based on the function that material provides and associated inherent properties. The investigation of material quality degradation contributes to the knowledge of the EoL processes, to circular economy, sustainable life cycle design and Life Cycle Assessment (LCA) (e.g. allocation in open-loop recycling).

3. Research framework and methodology

During the design stage, materials are selected on the base of properties (e.g. mechanical properties, like strength, elasticity, etc.), and characteristics (manufacturing, economic, environmental, etc.) required to fulfil the core function. For example, structural materials have different applications, but the main function considered here is their capacity to bear the structure. On the base of this function, the set of inherent properties required from materials can be defined. This makes it possible to investigate the degradation mechanism for a limited, yet representative, quantity of materials.

As mentioned previously, the inherent properties of materials are defined by the microstructure. The process of recycling might modify the microstructure and, consequently, the inherent properties of recycled material.

The described interrelation between material properties, candidate materials and structural features, as well the impact of the recycling is illustrated in Figure 1.

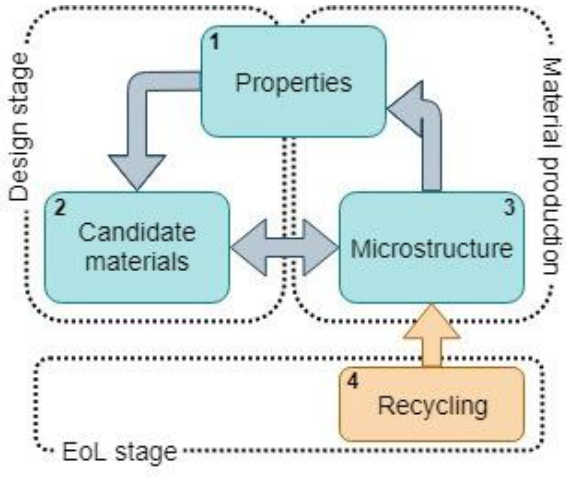


Figure 1 Interaction between the element of the research framework

The methodology aiming at the characterisation of the degradation mechanism of structural materials, related to the technological aspects of the recycling process is composed of the following steps:

1. Definition of the properties required from materials to fulfil the function.
2. Definition of materials that correspond to the requested properties.
3. Definition of microstructures that ensure the requested properties.
4. Definition of the possible degradation mechanisms imposed by recycling technologies.
5. Connection of casual effects between steps 3 and 4.

The proposed methodology, for the moment, focuses only on technological aspects of recycling, the material degradation during use is not considered. The methodology does not include the product complexity for recycling, neither considers economic and legislative context.

The results can contribute to the material selection during the design stage, offering a multiple material life cycle perspective.

4. Case study

The methodology is applied to the case study of structural materials used in the automotive sector. This sector is selected as it is shifting toward lightweight materials in order to decrease the fuel consumption. It has been shown that “materials offering the highest weight saving potential offer limited life cycle environmental benefit due to energy demanding manufacturing” [7]. This statement might also be valid for recycling, since the technology for recycling of new materials is developed during the lifetime of these materials. The recycling of “traditional” materials, like steel and aluminium, might be prone to less downcycling, compared to new lightweight materials.

5. References

1. M. F. Ashby, H. Shercliff, D. Cebon, Materials: Engineering, Science, Processing and Design (Butterworth-Heinemann, 2013).

2. T. Sirkin, M. ten Houten, Resources, Conservation and Recycling. 10, 213–276 (1994).

3. A. Ortego, A. Valero, A. Valero, M. Iglesias, Resources, Conservation and Recycling. 136, 24–32 (2018).

4. S. H. Amini, J. A. M. Remmerswaal, M. B. Castro, M. A. Reuter, Journal of Cleaner Production. 15, 907–913 (2007).

5. M. Linder, S. Sarasini, P. van Loon, Journal of Industrial Ecology. 21, 545–558 (2017).

6. M. Dwek, thesis, Grenoble Alpes (2017).

7. S. Poulikidou et al., Materials & Design. 83, 704–712 (2015).

E2-06,P2-084　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

動的 MFA による世界規模での鉄鋼材中 Cu 濃度の将来推計

Estimation of the Worldwide Future Concentration of Cu in Steel by a Dynamic MFA

○木本悠介*[1)]、醍醐市朗[1)]、星野岳穂[1)]、榎学[1)]

Yusuke Kimoto, Ichiro Daigo, Takeo Hoshino, Manabu Enoki,

1）東京大学

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

1.　はじめに

素材を電気製品や自動車等の使用済み製品から二次資源として回収する際には、それらを機械破砕した後に機械選別により各素材に分別する。このため、回収した二次資源には、回収目的の素材以外の他素材が混在することが多い。更に、その元となる使用済み製品が多様であることと、処理プロセスも処理工場によって様々であることから、回収された二次資源に随伴する他素材の量のばらつきが大きい。

それらの二次資源を原料として用いた素材生産プロセスでは、他素材から混入する不純物成分の一部は除去されるが、金属素材の中には熱力学的な理由から除去困難な元素が存在する[1)]。社会に流通する素材を繰返しリサイクルすることで、再生産された素材中に含まれる不純物の濃度が上昇し、その素材に求める機能が発現できなくなる可能性がある。その場合には、素材生産時に二次資源を利用しないか、不純物を取り除くプロセスを追加しなければならず、循環型社会を推進していく上で、そうしたリサイクル制約は極力回避することが望ましい。

鉄鋼材においては、許容される Cu 濃度があり、実際の Cu 濃度が超えると鉄鋼材のリサイクル制約が生じる。以前から鋼材中の不純物成分としての Cu 濃化が危惧されてきた。Pauliuk ら[2)]は、将来の世界全体の鉄鋼材需要とスクラップ供給可能量を推計し、2100 年時点でも、粗鋼生産全体の約 3 割は鉄鉱石から生産する必要があると予測しており、この鉄鉱石からの生産で Cu の混入による濃度上昇に対して希釈される可能性が考えられる。しかし Daehn ら[3)]は、その将来推計を基に先進国における現状の Cu の混入実態が将来も続くと仮定すれば、鉄鉱石からの生産による濃度の希釈効果を考慮しても、2050 年頃には、鉄スクラップに混入する Cu 量は生産側において許容される Cu 量を超えると推計した。一方、機械破砕と手解体では素材の分別能力が異なるため、先進国と途上国でリサイクル鋼材中の Cu 濃度が異なることが報告されており[4)]、世界全体での Cu 濃化モデルではこの違いを考慮することが望まれる。更に、近年の研究で鋼材中の Cu 濃度分布が明らかにされてきており[5)]、その分布の分散が小さいほど許容される平均 Cu 濃度は高くなると考えられるが、今までは濃度の平均値でしか議論されてこなかった。そこで本研究では、経済発展による各国・地域間のリサイクルシステムの違いや原料中の不純物濃度分布を考慮し、鉄鋼材に混入する Cu を例として、将来の不純物濃度の推計を目的とする。

2.　研究手法

2.1　研究手法の概要

世界全体の鉄鋼材中の将来の Cu 濃度とその許容値を推計した。生産材の Cu 濃度は、1 年間に消費された原料に含まれる Cu の総量（Cu 流入量）を全粗鋼生産量で除することで算出した。

2.2　マテリアルフロー分析

世界全体の粗鋼生産量の 91%をカバーする 22 か国・地域（アルゼンチン、オーストラリア、ベルギー・ルクセンブルク、C.I.S.、カナダ、中国、コロンビア、エジプト、ドイツ、インド、イラン、日本、韓国、メキシコ、ニュージーランド、南アフリカ、スペイン、台湾、トルコ、イギリス、アメリカ）を評価対象としてマテリアルフロー分析を行った。用途毎の素材の寿命は国・地域を 5 つのグループに分けて表 1 のように設定した。

2.3　用途別 Cu 濃度の設定

2.3.1　供給側

鉄鋼材生産に供給される原料は銑鉄、加工スクラップ、老廃スクラップを考慮した。スクラップに含まれる Cu 量は、過去のリサイクルにおいて既に鉄鋼材を構成する合金元素として存在する Cu の量とした。Cu 濃度は用途別に区分した物質フロー分析と、用途別に設定した Cu 濃度を基に推計した。OECD 加盟国を先進国、非加盟国を途上国とし、それらで異なる Cu 濃度[3)]を設定した。なお、考慮した用途は表 1 に示した。更に、老廃スクラップには鉄スクラップに随伴する他素材を構成する Cu の量を追加した。

表 1　用途別の平均製品寿命（単位：年）

	ヨーロッパ C.I.S. アフリカ	南北アメリカ	日本	中国	その他アジア 中東 オセアニア
土木	60	75	34.5	32.5	33.5
建築	60	75	28.9	32.5	30.7
機械	16	15	12.1	21.5	16.8
自動車	13	20	13	17	15
造船	60	60	60	60	60
容器	生産年に廃棄				
その他	25	15	12.1	10	11.1

国・地域によって経済発展の度合いに違いがあるため、他素材由来の Cu 流入量も異なると考えられる。そこで、老廃スクラップに混入する他素材由来の Cu の割合を、1 人当たり GDP の関数とした（図 1）。手解体から機械破砕・選別に移行する GDP を、7,630 USD/cap とした。

2.3.2　需要（許容）側

Cu 濃度の許容値は、用途別の Cu 許容濃度を用途別の粗鋼生産量で加重平均して算出した。用途別の Cu 許容濃度は、品種別の Cu 許容濃度を各用途の品種別の粗鋼生産量で加重平均して算出した。鉄鋼材の Cu 濃度は、スクラップ原料の Cu 濃度の不確かさによる分布を持つ。それゆえ一部の溶鋼は許容値を超え、計画していた品種より Cu 許容値の高い品種へ供給先が変更される。最も高い Cu 許容値の品種は、供給先の変更ができないため、許容値を超えると下工程で追加の工程を経て生産される。生産ヒートのうち 5%までは許容値を超えても操業に問題が無いと仮定し、本研究では、棒鋼の許容できる Cu 濃度を、従来の Cu 許容値が濃度分布の 95 パーセンタイル値となる濃度分布の平均値とした。分布の考慮前後での用途別 Cu 許容濃度を表 2 に示す。

2.4　将来推計

鉄鋼材の将来推計には、ストック駆動モデル [6]を用いて算出した。2010 年までの過去各年の国・地域別用途別鉄鋼材需要量は、既存研究 [6]の手法を用いて算出した。自動車の普及関数はゴンペルツ関数を、他の製品用途にはロジスティック関数を適用した。容器は、寿命が短いことから物質ストックは0と見なし、投入量は2010年から一定とした。造船以外の用途の物質ストック量は各国・地域毎に将来推計した。造船は世界規模での物質ストックと考え、世界合計で将来推計した。鉄鋼材需要の飽和レベルは既存研究 [4]の設定を用いた。2010 年時点で飽和レベルを超える国・地域や 1 人当たり物質ストックが減少傾向にある国・地域は既に飽和水準に達していると見なして、2010 年の 1 人当たり物質ストック量で一定とした。使用済み回収率は、既存研究 [2]の値で設定した（図 2）。

3.　結果と考察

粗鋼生産量は 2010 年の 11 億 t に対して 2019 年の 25 億 t に一旦ピークを示し、その後 2032 年に 20 億 t となった後に再び上昇し、2050 年には 21 億 t に達すると推計された。一方、老廃スクラップ消費量は単調に上昇し、2010 年の 4 億 t に対して 2050 年には 18 億 t と推計された。

生産材の Cu 濃度が許容値を超えるのは 2047 年と推計された。文献 4 と同じ設定となるよう、老廃スクラップに混入する Cu 割合を全ての対象国・地域で先進国並みとし、原料の Cu 濃度分布も考慮しなかった場合は、2045 年に許容値を超えると推計された。途上国も先進国と同じ Cu 混入率と設定する場合には、生産材の Cu 濃度はより高く推計された。その増加割合は、2036 年で 22%であったのに対し 2037 年には 15%と、その違いが僅か 1 年間で著しく小さくなると算出されたが、これは、2037 年で老廃スクラップ発生量が世界全体の 19%を占めるインドで、経済発展に伴い同年から機械破砕に移行すると仮定したことで他素材由来の Cu 混入率が先進国に近くなるためと考えられる。一方、2045 年時点で、原料の Cu 濃度分布によって許容できる Cu 濃度に約 8%違いが見られた。各国・地域間での処理方法の相違と原料中 Cu 濃度の不確かさの推計結果への影響は、いずれも無視できない程度であることがわかった。

4.　おわりに

二次資源の将来推計においては、経済発展による処理方法の違いや原料中 Cu 濃度分布を考慮することが重要であることを示した。

1) Nakajima K. et al, Environ. Sci. Technol. 45, 4929-4936, 2011
2) Pauliuk S. et al., Environ. Sci. Technol. 47, 3448-3454, 2013
3) Daehn K.E. et al., Environ. Sci. Technol. 51, 6599-6606, 2017.
4) 醍醐市朗、後藤芳一, 鉄と鋼 100, 756-760, 2014.
5) Daigo I. et al.: ISIJ Int. 57(2) 388-393, 2017.
6) Hatyama H. et al. Environ. Sci. Technol. (2010)

表 2　用途毎の Cu 許容濃度

	土木	建築	機械	自動車	造船	容器	その他
分布未考慮	0.28%	0.30%	0.08%	0.10%	0.12%	0.06%	0.10%
分布考慮	0.26%	0.27%	0.08%	0.10%	0.12%	0.06%	0.10%

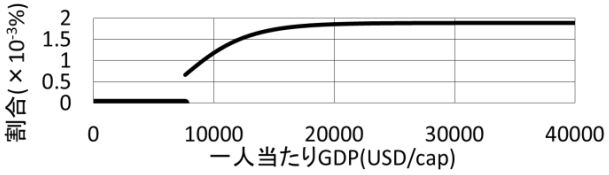


図 1　1 人当たり GDP に対する老廃スクラップに混入する Cu 割合の変化

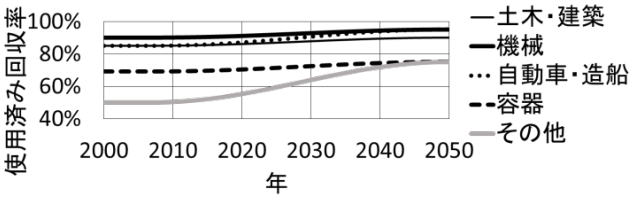


図 2　用途別使用済み回収率

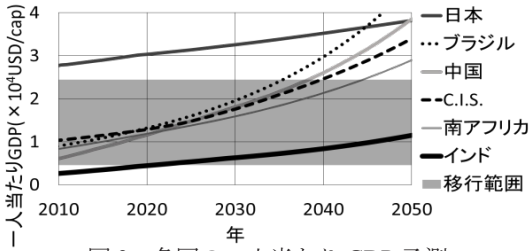


図 3　各国の一人当たり GDP 予測

E2-07,P2-086　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

統計分析を用いたリサイクル鋼材中の不純物混入起源の推定手法の構築

Construction of estimation method of impurity contamination origin in recycled steel materials by statistical analysis

○濱田航*1)、醍醐市朗 2)、星野岳穂 3)、榎学 4)

Ko Hamada, Ichiro Daigo,Takeo Hoshino,Manabu Enoki

1）東京大学, 2,3,4）東京大学大学院工学系研究科

＊ hamada@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1.緒言

使用済み製品から二次資源を回収する際に、解体プロセスにおいて異なる素材間の接合が分離されなかったり、選別プロセスにおいて他の素材を巻き込んだりする。そのため、目的の二次資源を完全に単体分離することは困難であり、回収された二次資源には意図せず他の素材が混在する。二次資源を用いた二次素材生産プロセスでは、一部の不純物成分は除去されるが、必ずしも全ての不純物成分は除去されない [1)]。これは、リサイクル材において提供する機能の制約になる場合もあるため、循環型社会の推進において不純物の混入は極力回避されることが望まれる。しかしながら、それらの意図しない不純物成分の由来を同定することは困難である。いくつかの使用済み製品の処理フローにおける分析は実施されてきているものの [2)]、多くの製品については、混入源は明らかになっていない。実際に生産されている素材等を分析すれば、不純物混入後の実態は確認が可能である。この意図しない不純物が混在する実態から、その由来を遡って推定する手法があれば、その起源が同定できると期待される。観測事象から起因である原因事象を遡って確率的に推定する手法として、ベイズ確率の考え方に基づくベイズ推定がある。そこで本研究では、リサイクル時に意図せず混入する不純物に対して、ベイズ推定によりその起源を推定する手法の構築を目的とした。

2.推定手法の構築

2.1 データ整備

鉄鋼材においては、意図しない不純物成分が混入した結果としての鋼材中の各元素濃度が調査されている [3)]が、他の素材における意図しない不純物と同様に、その混入源は明らかにされていない。鉄鋼材は品種によって不純物濃度が異なることが知られており、棒鋼の不純物濃度が最も高い [3)]。そこで本研究では、ケースとして 2011 年から 2016 年に日本でサンプリングした 191 点の電炉棒鋼の Cu 濃度分布 [3)]を用いて分析を行った(図 1)。

2.2 ベイズ推定の適用

2.2.1 手法の概要

サンプリングにより得られた電炉棒鋼の Cu 濃度分布(図 1)は、単一のガウス関数で近似するには誤差が大きい。そこで、分光学における多峰性スペクトルと同様に、いくつかの特徴的な分布としてガウス関数の重ね合わせで表すことができる可能性を考えた。多峰性スペクトルを、ガウス関数に代表される単峰性の基底関数の線形和で式(1)で表現するスペクトル分解に有効な手法である、交換モンテカルロ法を用いたベイズ推定により、スペクトル分解が可能である [4)]。

$$y = \sum_{k=1}^{K} b_k exp\left(-\frac{(x-\mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right) \qquad (1)$$

ここで、(x, y)はデータ群、K はガウス関数の個数、b_k は k 番目のガウス関数の大きさ、μ_kは k 番目のガウス関数の平均値、σ_k^2は k 番目のガウス関数の分散を表している。

ガウス関数のパラメータである平均μ_k、分散σ_k^2、それぞれのガウス関数の大きさb_k、分解される分布の個数K（$\ni 1, 2, 3, 4, 5$）を、交換モンテカルロ法を用いたベイズ推定手法を用いて推定することにより、Cu 濃度分布を分解した。

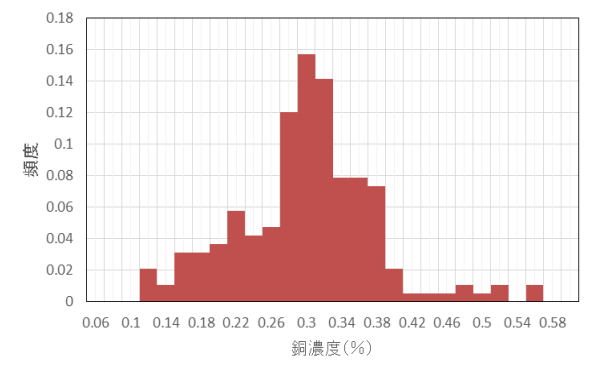


図 1 電炉棒鋼の Cu 濃度分布

2.2.2 交換モンテカルロ法

交換モンテカルロ法は、複数の系でサンプリングを並列に実行し、確率的に系を交換することにより局所解から脱却し、効率的に最適解を探索できる手法である。系は逆温度と呼ばれるパラメータβ_j ($0=\beta_1<\beta_2<\cdots<\beta_L=1$)により設定される。$x$ を濃度とした時の観測された不純物濃度分布 y が式 2 で表される時、ベイズの定理より式 3 でパラメータの事後分布が表される。

$$y = f(x) + \epsilon \qquad (2)$$

$$p(\theta|D) = \frac{1}{Z(D)} exp(-\frac{n}{\sigma^2}E(\theta))\varphi(\theta) \qquad (3)$$

ここでϵは$N(0,\sigma^2)$に従うノイズ、θは関数fのパラメータ、D はデータ群(x,y)、nはデータ数、Eはy とf の誤差の二乗和の合計、φは事前分布、Zは周辺尤度という規格化定数を表す。交換モンテカルロ法では、式 3 に逆温度β_jを導入した事後分布を求め、パラメータの推定にはβ_L=1 の事後分布を用いた。

2.3 混入起源の推定

分解された各々の不純物の濃度分布は、様々な原料から生産されていると考えられる。これらの原料が特定できることで、その不純物の由来となる混入起源が推定される。

本研究でケースとする電炉棒鋼の場合、可能性のある原料は、自家発生スクラップ、加工スクラップ、老廃スクラップの 3 つと考えられるため、以下では 3 種類の異なる原料である場合で手法を構築する。

分解されたそれぞれの不純物の濃度分布を持つ材料を生産するための上記 3 種類の原料の消費割合をそれぞれ$a_{k,h}$、$a_{k,i}$、$a_{k,o}$ ($a_{k,h}+a_{k,i}+a_{k,o}=1$)とする。各々の原料の平均不純物濃度を$x_{k,h}$、$x_{k,i}$、$x_{k,o}$とした時に、生産された材料の平均不純物濃度$x_k$は式(4)のように表される。

$$x_k = a_{k,h}x_{k,h} + a_{k,i}x_{k,i} + a_{k,o}x_{k,o} \qquad (4)$$

3 種類の原料の不純物濃度$x_{k,h}$、$x_{k,i}$、$x_{k,o}$が、それぞれ正規分布 $N(\mu_{k,h},\sigma_{k,h}^2)$,$N(\mu_{k,i},\sigma_{k,i}^2)$,$N(\mu_{k,o},\sigma_{k,o}^2)$に従うと仮定すると、正規分布の再生性により生産された材料の不純物濃度x_kは、式(5)に従う。

$$x_k \sim N(a_{k,h}\mu_{k,h} + a_{k,i}\mu_{k,i} + a_{k,o}\mu_{k,o}, a_{k,h}^2\sigma_{k,h}^2 + a_{k,i}^2\sigma_{k,i}^2 + a_{k,o}^2\sigma_{k,o}^2) \qquad (5)$$

鉄スクラップの正規分布は、同様に交換モンテカルロ法を用いたベイズ推定手法を用いて推定した。

ここで、分析に必要ないくつかのデータは、推計ではなく統計等から得られる数値を基に仮定した。自家発生スクラップの割合a_hは、統計から得られる自家発生スクラップ消費量を全てのスクラップの消費量で除した値 0.099 と仮定した。加工スクラップは、スクラップ検収品種の 1 つである新断と仮定し、新断の平均$\mu_{k,i}$及び分散$\sigma_{k,i}^2$は、転炉板鋼の平均値 0.004%及び分散 0.010^2[3]とした。自家発生スクラップについては、その Cu 濃度分布がそれぞれ異なる場合と同じ場合を考えた。すなわち、自家発生スクラップの Cu 濃度分布がそれぞれ分解された K 個の分布になる場合と、全て分解前の電炉棒鋼の分布 $y(\mu_{k,h}=0.300,\sigma_{k,h}^2=0.078^2)$ となる場合の２つを想定した。それぞれの場合に対して、残りのパラメータである$a_{k,i}$、$a_{k,o}$、$\mu_{k,o}$、$\sigma_{k,o}^2$を推定した。その際に設定した各パラメータの事前分布について、$a_{k,i}$は一様分布 U(0,0.901)、$a_{k,o}$は一様分布 U(0,0.901)、$\mu_{k,o}$は一様分布 U(0,0.6)、$\sigma_{k,o}$は一様分布 U(0,0.2)とした。逆温度β_jについて、β_1は 0、β_jは j=2,3,…,70 に対して 1.05^{j-70} とした。

3.手法の適用結果

電炉棒鋼の Cu 濃度分布（図 1）をいくつかの正規分布に分解した結果、

y=0.29N(0.213,0.052^2)+0.49N(0.306,0.025^2)+0.18N(0.372,0.018^2) と 3 つの分布に分解されたとき（$K=3$ の時）が最適と推定された。

また、それぞれの濃度分布を構成する鉄スクラップの分布のパラメータを推定した結果、加工スクラップの消費割合$a_{k,i}$の加重平均が 0.203、0.199 と推計された。統計値から算出される値では、電炉での全てのスクラップ消費量に対する加工スクラップの消費量の割合は 0.250 であるが、加工スクラップは転炉でも消費されることを考えると、いずれの結果とも$a_{k,i}$の加重平均がこれより小さい値を示しており、本研究で用いた手法が実態に近い推計となっている可能性が示唆された。

4.結言

リサイクル時に素材に意図せず混入する不純物のケースとして、本研究では、電炉棒鋼に混入する Cu を対象として、交換モンテカルロ法を用いたベイズ推定によって濃度分布を複数の正規分布に分解することで、その混入起源を推定する手法を構築した。

引用文献

1) Nakajima K.,Takeda O.,Miki T.,Matsubae K.,Nagasaka T., Environ. Sci. Technol., 45, (2011), pp4929-4936
2) Ohno H.,Matsubae K.,Nakajima K.,Nakamura S.,Nagasaka T., Journal of Industrial Ecology, 18, (2014), pp242-253
3) Daigo I.,Fujimura L.,Hayashi H.,Yamasue E.,Ohta S.,Tran Duc Huy.,Goto Y., ISIJ Int., 57, (2017), pp388-393
4) Nagata K.,Sugita S.,Okada M., Neural Networks, 28, (2012), pp82-89

E2-08

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

多地域産業連関表を用いた鉄鋼産業のサプライチェーン効率性分析モデルの開発

Developing a model for evaluating supply chain efficiency with
a multi-regional input-output table: Case study in iron and steel industry

○高藪　広隆*[1)]、加河　茂美 [1)]
Hirotaka Takayabu, Shigemi Kagawa
1) 九州大学
* takayabu0318@gmail.com

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、その実現のために低炭素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）には大きな違いがあり、生産技術の低い国での技術改善を積極的に行うことが、気候変動緩和に向けた重要な課題である。生産効率性評価には、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るインパクトを定量化することは、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。

DEA を用いた従来の分析では、各国が生産に用いたエネルギー投入データなどを用いているが、その投入に付随する上流産業での投入・産出データは考慮されていない。各事業体は環境・サプライチェーンマネジメントに注力しており、サプライチェーン効率性評価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[3]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重要であるのかを議論することが本研究の目的である。

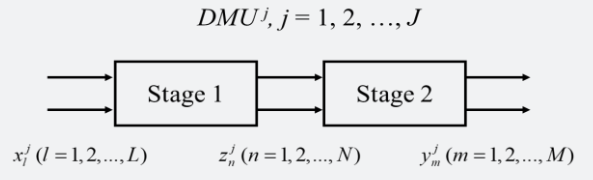


図 1. 2 段階のサプライチェーンネットワーク

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 i 産業の効率性は、j 国 i 産業が用いた投入要素 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 i 産の効率性スコアを示し、$\theta^{ij} = 1$ となる時 j 国 i 産業は効率的であり、θ^{ij} が 0 に近いほど非効率的であると評価される。

本研究では、Two-stage Network DEA (Liang et al, 2008)[3]を用いて鉄鋼産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。

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

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

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。

3. データ

本研究では、多地域産業連関表 EXIOBASE3 より、47 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、鉄鋼産業の上流にあるエネルギー産業との 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。エネルギー産業に関しても同様の投入・産出データを、産業連関分析の手法を用いて入手して、Two stage nework DEA を用いた分析を行う。

4. 結果

図 1 は EXIOBASE3 のデータを用いて、1995 年、2010 年における 47 か国の鉄鋼産業の効率性分析の結果を示している。横軸が Stage 1 (エネルギー産業)の効率性スコア、縦軸が Stage 2 (鉄鋼産業)の効率性スコアを示している。ここで、Stage 1 の効率性スコアは鉄鋼産業のエネルギー調達に関するネットワーク効率性を示し、Stage 2 の効率性スコアは鉄鋼産業の技術効率性と解釈することができる。

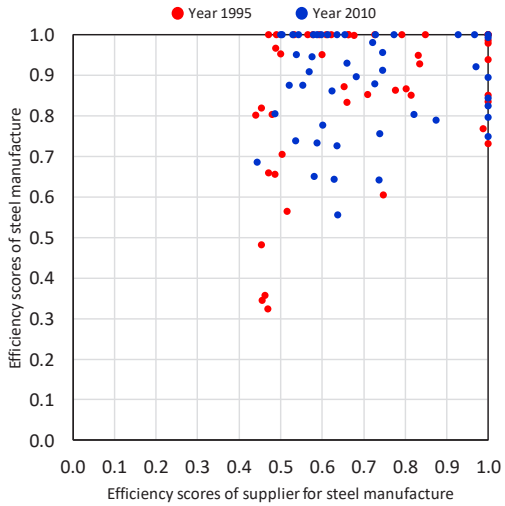


図 1. サプライチェーン効率性スコア

図 1 より、1995 年から 2010 年にかけて Stage 2 (鉄鋼産業)の効率性スコアは全体的に改善の傾向にある一方で、Stage 1 (エネルギー産業)の効率性スコアには大きな変化が見られないことがわかる。Stage 2 (鉄鋼産業)の効率性スコアの改善は、この分析期間中に各国の技術開発により、世界全体の技術格差が縮まったことが理由と考えられる。

本会までに、鉄鋼産業のサプライチェーン効率性分析の結果から、Stage 2 の効率性スコアの改善が見られた要因、Stage 1 の効率性スコアに大きな変化が見られなかった要因について考察を行い、各国の鉄鋼産業のサプライチェーン効率性改善、また、気候変動緩和に向けたグリーンサプライチェーンマネジメントに関する政策提言を行う予定である。

5. 参考文献

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

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

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

A2-19
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

豚肉を事例としたライフサイクル思考を取り入れた食育教材の試作

Development of the Materials to Learning of Food and Nutrition Education with Life Cycle Thinking: a Case of Pork Production System

○菱沼竜男*[1)]、大森玲子[1)]
Tatsuo Hishinuma, Reiko Ohmori
1) 宇都宮大学
* thishinuma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化に代表される地球規模の環境問題の原因が、生産活動だけでなく消費者を含めた一連の経済活動にあることがわかっている。その解決の方向性として、環境影響を最小化した持続可能なライフスタイルを構築していくことが求められる中で、環境問題に関する正しい理解と責任を持って環境を守るための行動がとれることをねらいとしている環境教育の果たす役割は大きくなっている。特に、現在の環境問題が他人事ではなく、消費者である私たち自身の生活と密接につながっていることを理解することは、消費者が環境影響の低減につながる行動を主体的に選択する能力や態度を育成するために必要だと考える。

これに対して、製品やサービスに関する「作る・使う・捨てる」の流れの中で消費される資材や排出される環境負荷物質を包括的に考えるライフサイクル思考（LC 思考）を取り込んだ環境教育プログラム開発が進められている。また、私たちの身近な生活場面である食や食生活などを取り上げた教育として食育がある。食育には消費者という立場から食材や調理、食事に関連して栄養や健康、社会、環境の知識の習得が含まれている。さらに、食には、上流に農畜産物の生産や加工などの「作る」があり、購買方法、外食、内食などの食事である「使う」がある。食の下流側には食べ残し、食品廃棄物の処理などの「捨てる」ことに伴う社会的な課題とつながっている。食育に LC 思考を取り入れた教育プログラムを開発することは、環境問題が私たちの生活の延長線上にあることを比較的容易に意識化でき、ひいては環境影響に配慮した食行動へとライフスタイルを転換する可能性があると考えられる。

そこで本研究では、小学生を対象として LC 思考を取り入れた食育の教材開発と実施に取り組んだ。

2. LC 思考を取り入れた食育プログラムと教材の作成

2.1 これまでに作成した食育プログラムの課題

開発する教材は、小学校低学年向けに平成 28 年度から継続的に作成､改善してきた豚肉を事例とした LC 思考を取り入れた食育プログラム[1)]で利用できるものとした。平成 28 年度に作成した食育プログラムは、豚肉生産で排出される温室効果ガス[2)]を題材として、食卓に届くまでの各プロセスで温室効果ガスが排出されていることに気付かせることをねらいとした。しかし、ワークシートへの回答内容や実施後のアンケートの回答から、紙芝居の内容や設問が低学年には難解であったことが課題として挙げられた。

2.2 食育プログラムの改善

本研究で改善した教育プログラムでは、低学年には難解と考えられた地球温暖化や二酸化炭素に関わる内容を削除し、LC 思考の基本部分である「プロセスのつながり」に焦点を当てた内容とした（表 1）。

学習活動では、紙芝居とワークシートを利用して豚肉生産に関係するプロセスのつながりと投入資材について、食卓から養豚農家へ遡る流れで説明する。紙芝居の実施では、学習者らの注意を集めるために、大判マグネットシートを利用してプロセスの流れを説明しながら、各プロセスで消費される資材のイラストが描かれたピースを貼り付けていくなど、説明側に動きを取り入れる工夫をした。また、実際に家畜用の飼料穀物に触れさせて説明内容と現実とをつなげる工夫を取り込んだ。ワークシートは、紙芝居の説明内容を確認する設問と豚肉生産に関係するプロセスのつながりを確認する設問に大別して構成した。まとめでは、食卓での豚肉に投入されている資材への気づきを確認するために､「食べ残し」によるムダの内容を考えさせる問いを設けた。

2.3 食育と LC 思考を学ぶ教材の試作

本研究では、これまでに作成した食育プログラムの内容から、豚肉の生産から消費に至るプロセスのつながりと各プロセスで様々な投入資材があること、食べ残しのムダを考える部分を抽出した教材を試作した。

試作教材は、各種イラストシートに適切な絵の描かれたピースを貼り付けて、プロセスの流れや投入資材を確認していく内容となっている（図 1）。試作教材は導入、展開、まとめで構成されており、展開 1 では児童に飼料生産、養豚などの各プロセスのピースを食卓からスーパー・お肉屋さん、養豚場と上流側に遡る方向で順序通りに並べさせる。展開 2 では、各プロセスの枠に投入されるエサ、燃料、電気などの各種資材の

ピースを貼らせる。まとめでは、食べ残しに伴うムダについて問いかけて、各種資材ピースから該当するものを選択させ、選択の理由を説明させる内容とした。

2.4 食育プログラムの実施状況

改善した食育プログラムを第 12 回うつのみや食育フェア（平成 29 年 10 月 1 日）で実施した。食育プログラムの実施回数は 4 回、参加者 10 名であり、小学校 3、4、6 年生の児童であった。

食べ残しによってムダになるものを尋ねた設問では「命とか電気」、「豚肉を食べるまでに使われるもの」（3 年生）、「命、電気などいろいろなことがムダになる」（4 年生）、「豚の命、エサ、運ぶための燃料、保管するための電気など」、「エサ、電気、動物の命」（6 年生）という回答があった。

2.5 LC 思考を学ぶ食育教材の試行状況

LC 思考を学ぶ食育教材は、宇都宮大学教育学部附属小学校の 1 年生を対象として、平成 30 年 3 月 7 日の昼休み時間（12:50～13:20）に試行した（図 2）。

参加児童数は 59 名であった。実施後の児童から「豚肉を作るのに長い時間がかかることがわかった」、「ゲームをやって電気が使われていることがわかった」や「残しものをすることでムダになるものがたくさんあるのは残念だと思った」などの感想が挙げられた。

3. 結果および考察

改善した食育プログラムに対して、紙芝居の時間配分が長いという指摘が 50%弱を占めていた。紙芝居の途中で飽きてしまった児童があったこともあり、対象年齢と時間配分に改善点があると考える。

実施後の回答内容や感想から、改善した食育プログラムや試作教材を利用することで小学校低学年からでも LC 思考としてプロセスの連鎖と投入資材の存在を意識させると考えられた。今後は、発達段階別に LC 思考を学ぶプログラム内容や教材の作成が求められると考える。

謝辞

本教材を用いた教育プログラムの試行に協力いただいた宇都宮大学教育学部附属小学校の教職員、栄養士職員と児童の方々にお礼申し上げます。

引用文献

1) 菱沼竜男, 大森玲子: “食育とライフサイクル思考を組み合わせた教育プログラムの開発”, 平成28年度 地域志向教育研究支援事業報告書, (2017), pp59-61.　2) 菱沼竜男: 環境情報科学学術研究論文集, 29, (2015), pp 159-164.

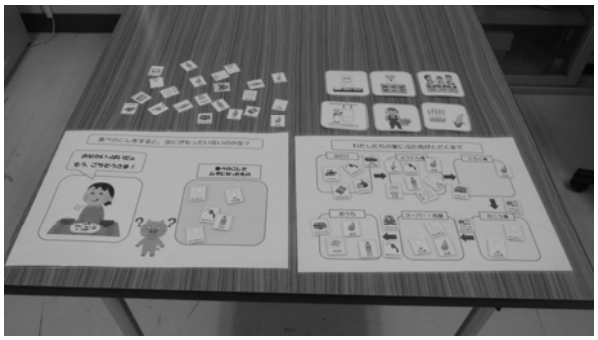


図 1 豚肉を事例にした食育と LC 思考の教材



図 2 教材を利用した食育の試行状況

表 1 豚肉を事例にした LC 思考を取り入れた食育プログラム

学習内容	学習活動・指導	資料
紙芝居 （15 分）	・紙芝居とマグネットボードを用いた説明 （豚肉を題材にして「食卓」から遡る方向で豚肉生産システムのプロセスを確認していく「食卓→小売→と畜・加工→養豚（家畜飼養）→飼料」） ・ワークシートを用いたクイズ （豚の特徴やと畜工程、飼料について確認していく）	紙芝居，ワークシート、 マグネットボードほか
観察 （5 分）	・豚の穀物飼料に触れる ・穀物の種類を説明する （ピンセットや虫眼鏡で飼料を観察する）	配合飼料，ピンセット， 虫眼鏡など
ワークシート （5 分）	・ワークシートを用いた確認クイズ （プロセスの流れやプロセス毎に利用される資材の理解度を確認するための設問を解かせる）	ワークシート、 マグネットボードほか

A2-20,P2-098　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

学校給食と食育を活用した食品ロス対応プログラムの模索と検討

Study of food loss countermeasure program by school lunch and food education

○　海老原誠治*1)2)、　白井　ひで子3)、　江口　敏幸4)

布川　美穂5)、西尾チヅル6)

Ebihara Seiji,　Hideko Shirai,　Toshiyuki Eguti,　Nunokawa Miho,　Chizuru Nishio

1）三信化工,　2）資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」,　3）小平市立小平第六小学校,

4)杉並区立三谷小学校,　5）栄養教諭,　6）筑波大学

* s-ebihara@sanshin-kako.co.jp

1. 目的

2015、SDGsの17項目が掲げられ、貧困・食糧・栄養・水・食品ロスの問題が包括された。一方、欧州委員会ではCircular Economyが約60億ユーロの予算を携え資源効率政策とされた。また2016富山環境G7では資源効率性、2017ボローニャ環境Ｇ７ではより具体的なRRRDRが示され、経済成長と資源利用とのデカップリングが、より効率的・具体的に促されている。その様な中、国内では、東日本大震災を契機に整備され賞味期限を迎えた備蓄食糧の処理が課題となっている。

さらには、 SDGsに対応した行動の指標として、2018年6月に閣議決定された第四次循環型社会形成推進基本計画では、家庭からの食品ロスを半減とする目標が掲げられた。これを踏まえ、学校教育において給食を軸に学校へ備蓄食糧を導入・再利用・環境行動の実践とし、環境負荷削減量数値化とあわせ、食糧資源の「生きた教材」のプログラム化を試み、また児童および保護者への意識行動変容への影響力を検討した。

2. 方法

都内公立校に在籍の栄養教諭・学校栄養職員により、防災備蓄食糧を活用したメニューを開発。幾つかの学校では、学校給食に導入。授業・教室での口頭演示・配布資料を通じ、防災備蓄および食品ロスの知識に関し介入する。児童および保護者への受容性調査を行う。また環境負荷の算定。

3. 結果

防災備蓄メニュー導入給食における受容性調査の結果では、食品ロス削減に対する肯定的な意識が確認された。（図１）また、実施実績がそのまま環境効果のアウトカムとなり、環境教育・食育に対する介入の評価と出来た。具体的には、唐揚げの衣にα化米を１人当たり１０ｇ用いた際には、WFPの概算で１００Lの水負荷の概算となる。またハンバーグにおいて、パン粉の代替えとして乾パ30gンを用いた場合、CFPの概算として３０ｇ程度のCO2負荷が削減を示すことが出来た。このことは、介入のOutcomeとして示せるが、この数値の見える化自体が教材としての活用できる可能が示唆された。

4. 考察

まず先行した環境行動が実践されるため、被介入者にとって自己肯定感に促された意識変容が期待できるが、現時点で相関は示せない。今後、プログラムの繰り返し介入に対する調査から、意識変容の動向調査が必要とされる。

引用文献

1)　環境省 『第四次循環型社会形成推進基本計画』、 環境省、平成30年6月

Supporting Information

小学４～６年；　児童調査

事前　　n＝　１６６
非介入群　n＝　１４１
介入群　　n＝　　５２

非介入群（４・５年生）；　防災備蓄給食　＋　給食の放送
介入群（６年生）　　；　授業　＋　防災備蓄給食　＋　給食の放送

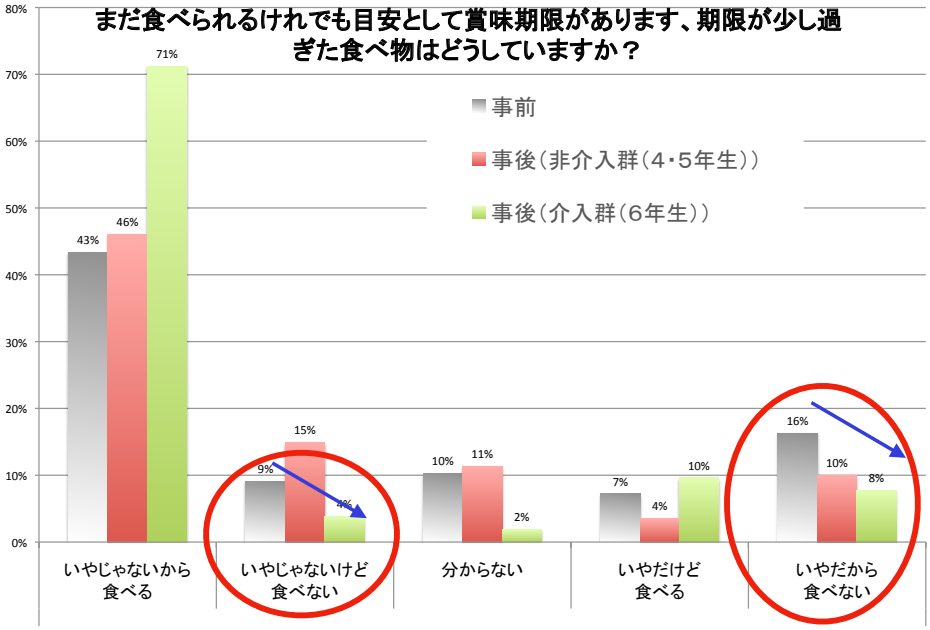


図2　受容性調査結果

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

持続可能な消費と生産につなげるための食品ロス飼料化を題材とした情報提供プログラムの開発(1)：消費者行動由来の食品ロス発生に対する認知度と改善行動の実行可能性に関する調査結果

Development of Information Provision Program for Food-loss-derived-feed Leading to Sustainable Consumption and Production, Part 1: Survey on Awareness of Food Loss Caused by Consumer Behaviors and Feasibility of Improvement Behaviors

○栗島英明*[1)]、菱沼竜男 [2)]、大森玲子 [2)]

Hideaki Kurishima, Tatsuo Hishinuma, Reiko Omori

1）芝浦工業大学, 2）宇都宮大学

* kurikuri@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

持続的でない消費と生産の問題として食品ロスがある。また、日本の畜産システムの問題として、輸入飼料に依存する非循環型システムとなっている点が指摘される。こうした課題に対する手段として食品ロスの飼料化があるが、その普及・拡大は十分ではない。従来研究では、生産者や流通業者、消費者等のステークホルダーの認知の低さや飼料・畜産物の品質・安全性への懸念がその原因として挙げられている [1)]。

本研究開発では、食品ロス飼料化の環境面・経済面および各ステークホルダーへの意識調査を踏まえた社会面の定量的・定性的な評価・分析を行ったうえで、その情報をステークホルダーに伝える情報提供プログラムの開発とその意識向上効果の測定・検証を行う。本研究開発では、食品ロスの飼料化の普及のみならず、食品ロスの大量発生や地域資源循環の崩壊という今日的課題の認知や、食と農への意識・関心向上によって持続可能な消費と生産につなげることを意識する。

本報告では、研究開発の枠組みを示した上で、消費段階の直接的な食品ロス発生 [2)]だけでなく、消費者の行動に由来するサプライチェーン上での間接的な食品ロス発生 [3)]に対する消費者の認知度や改善行動の実行可能性について調査した web アンケート調査の結果について報告する。

2. 研究開発の枠組み

2.1 ステークホルダー意識調査・分析

発信すべき情報の抽出と普及阻害メカニズムの明確化を目的として、ステークホルダー意識調査・分析を行う。食品ロス排出業者、飼料化業者、畜産農家、流通業者にはインタビュー調査を、消費者には web アンケート調査を実施する。

2.2 食品ロス飼料化化システムの評価

飼料化～畜産物販売までを対象とした畜産システムの環境・経済・社会面の定量的・定性的評価を行い、情報提供プログラムに反映させる。調査票を作成し、排出業者、飼料化業者、畜産農家、流通業者を対象としてライフサイクル評価（LCA、LCC)を行う。さらに、当該システムの課題を抽出し、改善方策を検討する。

2.3 情報提供プログラムの開発と実施

食品ロスの飼料化に関する交流イベント型と教育プログラム型の 2 種類の情報提供プログラムを開発する。前者は、ステークホルダーが交流する 1 日体験型のものを実施する。後者は、将来の消費者であり、小学校家庭科で「身近な消費生活と環境」の単元を学んだ中学生への授業として実施する。プログラム（イベント計画案、指導案、教材等）を作成、実施するとともに、作成した指導マニュアルや教材等を、web ページ等で公開し、成果の普及を行う。

2.4 情報提供プログラムの効果分析

情報提供プログラムの短期・中長期の効果を測定・分析する。文献調査を進めてプログラムの効果測定方法を検討し、プログラムの効果測定を行う。具体的には、実施前後の短期的な意識・行動変化を、参加者へのアンケート調査や給食の残飯量調査等で評価する。実施後半年～1 年での中長期的な意識・行動変化についても参加者の追跡調査や給食の残飯量調査等で評価する。分析結果を小課題 3 にフィードバックし、プログラムの改善につなげる。

3. 消費者 web アンケート調査

3.1 調査内容

本調査では、消費者行動由来の食品ロス発生について、消費者がどの程度認識しており、また行動の改善に取り組む意思があるのかを調査した。調査項目は、以下の通りである。

・食品ロス発生につながる可能性のある行動の実践度
・「食品ロス」「賞味期限と消費期限の違い」「1/3 ルール」「エコフィード」などの食品ロスに関わる事項の認知度
・消費段階で直接的な食品ロスを発生させる行動の認識度

・サプライチェーン上で発生する食品ロスにつながる消費者行動の認識度
・改善行動の実行可能性

3.2 調査の実施

2018 年 12 月に調査会社の 20 歳以上のモニターに対する web でのアンケート調査を実施した。回収数は 960 であった。

3.3 調査結果

スペースの関係上、以下では「消費段階で直接的な食品ロスを発生させる行動の認識度」「サプライチェーン上で発生する食品ロスにつながる消費者行動の認識度」「改善行動の実行可能性」の一部の結果を示す。

3.3.1 消費段階で直接的な食品ロスを発生させる行動の認識度

消費段階での直接的な食品ロス、いわゆる「直接廃棄」「食べ残し」「過剰除去」について、6～7 割の消費者が「強く認識」「なんとなく認識」と回答した。中でも、「まだ食べられるにもかかわらず、賞味期限が切れていたという理由だけで廃棄される」「料理を作りすぎたり、スーパーやコンビニで購入した弁当や惣菜、ファストフードのテイクアウトなどを食べきれず、廃棄される」については「強く認識」が 2 割を超えていた。

3.3.2 サプライチェーン上で発生する食品ロスにつながる消費者行動の認識度

サプライチェーン上において消費者行動由来で間接的に発生する食品ロスについて、5～7 割の消費者が「強く認識」「なんとなく認識」と回答した。間接的な食品ロス発生については、消費者の認識度が低いと考えていたが、予想以上に認識度が高かった。特に「消費者が、形や色のよい野菜や傷のない野菜を求めることから、そうでない野菜は、たとえ食べられるものであっても、畑や流通過程で廃棄される」「飲食店の予約が直前にキャンセルされ、用意した料理や食材が無駄になって廃棄される」の「強く認識」は 2 割を超えていた。

一方、「スーパーなどで、一度買い物かごに入れられた商品が、本来の売り場でない場所で放置されていた場合、鮮度管理や安全上の理由（異物混入の疑いなど）から廃棄される」は、「強く認識」「なんとなく認識」を合わせても 5 割を超えなかった。認識度の低い行動については、情報提供プログラムで取り扱うことも検討する。

3.3.3 改善行動の実行可能性

食品ロスの削減につながる改善行動については、「実施できる」「おおよそ実施できる」と回答した数が多かった行動の上位 3 つは、「飲食店の予約は直前でキャンセルしないこと」「外食の際、注文したものは必ず食べきること」「自宅で食べきれなかった料理は、保存容器に入れて保存し、早めに食べきること」と、直接・間接に関わらず「食べ残し」を減らす行動であった。

一方、「実施できない」「あまり実施できない」と回答した数が多かった行動の上位 3 つは、「フードバンクに寄付すること」「食品を買う際、棚の奥のものではなく、手前のものを買うこと」「食品を買う際、まとめ買いではなく、なるべくこまめに買い物に行くこと」であった。「フードバンクに寄付」については、身近にそういった組織がない、もしくはあっても知らないことが原因と考えられる。「手前のものを買う」については、様々なメディアで食品ロスを減らす方策として紹介され、かつ先の行動の認識度でも「買い物の際、消費者が、棚の手前の賞味期限が近い商品ではなく、棚の奥の賞味期限が先の商品を選ぶことで、賞味期限の切れた食品が廃棄される」の認識度が 7 割近くあったことを考えると、消費者にとっては「理解しているが実践できない」行動であることが示された。つまり、問題の認識や改善行動の働きかけだけでは、情報提供プログラムとして不十分であることが示唆された。「こまめに買い物にいく」については、買い物に行く頻度を増やすことが消費者にとって負担であることが示された。

4. おわりに

研究開発全体としては、ステークホルダーへの意識調査と情報提供プログラムの開発・試行を進めている段階である。特に、小売からの返品などが多い卸売市場やまだ食べられる食品を飼料化する工場への見学会を通じて、食品ロスの問題と飼料化の意義について認識してもらえることを確認している。

しかし、消費者への web アンケート調査からは、問題の認識や改善行動の働きかけだけでは、情報提供プログラムとして不十分であることも明らかとなった。今後は、行動改善につながるような情報提供プログラムの方法について更に検討するとともに、消費者以外の食品ロスに関わるステークホルダーに対する情報提供についても検討していきたい。

引用文献

1) 一般社団法人食品ロス・リボーンセンター: “平成 29 年度エコフィード利用畜産物の差別化販売モデル確率事業報告書”, (2018), 56p
2) 環境省: “食品ロスポータルサイト－食べ物を捨てない社会へ”, 入手先<http://www.env.go.jp/recycle/foodloss/index.html>, (参照 2018-12-1)
3) 井手留美: “賞味期限のウソ－食品ロスはなぜ生まれるのか”, 幻冬舎, 東京, (2016), 220p-

A2-22,P2-104　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

化学基礎におけるライフサイクル思考の導入を可能にする題材探索

Practicable subject for teaching the concept of life cycle thinking in Kagaku-Kiso

○大角茂登*[1)]、岡部響[2)]、松本真哉[1),2)]
Shigeto Osumi, Hibiki Okabe, Shinya Matsumoto
1）横浜国立大学　大学院　環境情報学府,2）横浜国立大学　理工学部
* osumi-shigeto-rz@ynu.jp

1．諸言

持続可能な社会の実現は、環境教育の重要な目標の一つである。2002 年に開かれたヨハネスブルク会議において、日本の政府と NGO が提案した“環境教育”と“持続可能な開発のための教育(ESD)”を結びつけた「国連・持続可能な開発のための教育(国連 ESD)」が採択され、2005 年～2014 年まで国際的に推進された。その後この取り組みは「持続可能な開発目標(SDGs)」に展開され、現在は SDGs の達成に向けた活動が活発になっている。持続可能な社会の実現には日常生活を支える科学技術や関連する社会構造を理解し、日常生活における消費行動を見直すことが重要である。そのためには、環境教育の主な受講対象である児童生徒が、現代社会の問題を自らの問題として捉え、身近なところから取り組むための素養を身につける必要がある。しかし、地球規模の問題は空間・時間的に遠い問題であり、我々の日常生活とのつながりを実感することは容易ではない。このつながりを感じるために、製品のライフサイクルにおける環境負荷を考え、我々の消費生活が間接的にも環境に影響を与えていることを理解するための「ライフサイクル思考（LCT）」の視点が重要である。

LCT を取り入れた環境教育用の教材はこれまで多く開発と実践が進められ、LCT の学びにより受講者の意識と行動が変化することが知られている[1-4)]。しかしこのような教材の学校での実践を考えた場合、時間確保や通常授業との内容の隔たりなどの課題が残されている。そこで通常授業における LCT 環境教育の導入可能性を検討することを目的として、かなりの割合の高校生が受講する化学基礎の内容における LCT 環境教育向け題材の探索を行った。

2．方法

本研究では、中学校学習指導要領(2008 年、2017 年告示)の「理科」および高等学校学習指導要領(2009 年告示)の「化学基礎」における「環境」に関する記述を整理・比較した。中学校の指導要領については、高校での学びの基礎に該当する内容を含むと考えられるため併せて調査した。さらに、現在使用されている高等学校の「化学基礎」の教科書について、環境に関するキーワードと LCT に関連する内容などを抽出・整理し、分析することで、本教科内容に LCT の学びを導入するための候補となる題材について検討した。

3．結果と考察

新中学校学習指導要領では、旧学習指導要領と内容の取扱が大きく変化しており、従来の知識および技能だけでなく、思考力と判断力、表現力などを相互に関連させながら、資質・能力の育成を目指すものとなった。理科第 1 分野の目標を比較すると、「物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を通して、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。」という記述が、「物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い，これらの活動を通して科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深め，科学的に考える態度を養うとともに，自然を総合的に見ることができるようにする。」に変化した。このことから、教育目標が、近年の目覚ましい科学技術の発展と日常生活を結びつけ、思考力や判断力、表現力を持って自然と人間とのかかわり方を考えさせるように変化したといえる。

高等学校学習指導要領では、(1)「科学と人間生活」の「内容の取扱い」において、「代表的な金属やプラスチックを扱うこと。その際、再利用にも触れること」とあり、解説において「科学の学習は環境に配慮した上で、健康で安全な生活を送るためには欠かせないものであることを、実感をもって理解させたい」と記述されているだけである。つまり、直接的な環境負荷に関しては考慮されているが、日常生活における間接的な環境負荷については考えられていないことがうかがえる。

「化学基礎」の教科書分析は表 1 に示す 5 社 14 種類の教科書について行った(**表 1**)。

表 1．高等学校「化学基礎」(5 社 14 種類)　教科書一覧

A	啓林館 (306)	F	東京書籍 (314)	K	数研出版 (319)
B	啓林館 (307)	G	実教出版 (315)	L	数研出版 (320)
C	数研出版 (309)	H	実教出版 (316)	M	第一学習社 (321)
D	第一学習社 (312)	I	実教出版 (317)	N	第一学習社 (322)
E	東京書籍 (313)	J	啓林館 (318)		

まず、環境問題に関する記述を調査した。学習指導要領に示されている水質汚染を筆頭に様々な環境問題が記述されており、化学物質が環境問題の原因であることが記述されていた。しかし、学習指導要領と同様に、自動車の排気ガスと酸性雨のように直接的な関係は記されていたが、日常生活と環境問題の間接的な関係の記述はなく、LCT 環境

教育によって原因と結果を結びつける思考を補完できる可能性があることがわかった(表 2)。

表 2.「環境問題」に関係するキーワード分析の結果

掲載語句	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
水質汚染	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
大気汚染	●	●												
酸性雨	●	●	●	●		●		●			●	●		●
オゾン層の破壊	●	●										●		
地球温暖化	●	●										●		
酸性河川の中和	●	●						●		●		●		
COD	●						●			●	●			

次に循環型社会に関する記述を調べた。その結果、全ての教科書にリサイクルの記述があったが、その詳しい内容やリユースとリデュースについての記述は少なかった。この点に関しても、LCT 環境教育によってこれらの項目を補完できる可能性があるといえる(表 3)。

表 3.「循環型社会」に関係するキーワード分析の結果

掲載語句	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
金属のリサイクル	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
レアメタル				●	●	●	●				●			
都市鉱山					●	●	●				●			
プラスチックのリサイクル	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
マテリアルリサイクル	●				●	●	●				●	●		
ケミカルリサイクル					●	●	●				●	●		
サーマルリサイクル							●				●	●		
リユース					●	●	●				●			
リデュース					●	●	●				●			

最後に環境技術に関する記述を調査した。ほとんどの教科書で環境に優しい技術に関する記述があった(表 4)。しかし、この技術を用いた製品として、主に燃料電池や太陽電池を搭載した自動車が取り上げられていた。確かにこれらの製品は現在やこれからの社会において大きな重要性を持つが、一方で、生徒の日常生活との接点を考えると、そのかかわりが大きいとは言い難い。すでに指摘されているが[5]、本検討で考案を検討する教材では、生徒にとってより身近な題材を提示する必要があると考えられる。

表 4.「環境技術」に関係するキーワード分析の結果

掲載語句	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
燃料電池	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●
太陽電池			●	●						●			●	●
生分解性プラスチック					●	●	●			●				●
高分子吸収体										●				●

LCT に関する記述は 1 社 3 種類の教科書にあった。言葉に多少の違いはあるが、ライフサイクル全過程における安全性への考慮について記されており、安全性には環境への影響も含まれると考えると、教科書に LCT の視点が含まれていると考えることができる。

これまでの調査結果を整理し、化学基礎の教育内容において導入が可能な LCT 環境教育用教材の条件を考察した。まず前提条件として、取り扱う題材が児童生徒にとって身近なものであることと、教育内容が児童生徒の思考力や判断力、表現力などを養う内容であることが必要である。そして、対象となる題材が教科書で取り上げられていることに加え、その題材のライフサイクルに関係する内容の理解に教科書で学ぶ知識が必要であることが必須である。そして、教材によって学んだ内容を基に、環境負荷を考慮した児童生徒の行動変化に実行可能性があることも取り入れる必要があると考えた。

これらの条件に適する題材として、陶磁器とガラスが候補として挙げられる。陶磁器は食器類や実験器具など多様な用途で使用されており、関連技術を活用したファインセラミックスは環境に優しい LED として使われている[6]。また、陶磁器製品の一つである瀬戸焼について、生徒の目が届かない製造過程において二酸化炭素を一番放出していることが報告されている[7]。さらに陶磁器製品は、リサイクルは容易ではないが、洗浄することでリユースができ、何度も使うことで消費量を減らすリデュースにつながる可能性もある。このように学んだことを日常生活で体感できる特徴も持つ。なお、陶器製の食器のライフサイクルに関する教材として、すごろく形式の教材が既に開発され実践されている[8]。またガラスも窓ガラス・実験器具など生徒にとって身近な製品に用いられており、また環境技術の一つと考えられる断熱窓は環境優しい製品として実用化されていることから、候補の一つと考えた。陶磁器と同様に製造段階での環境負荷が大きく[9]、リユースやリデュースによって、授業での学習を基に環境負荷軽減を受講者が考えることができる素材であるといえる。

４．今後の課題

陶磁器やガラスを題材とした教材開発を検討し、教育現場での有効性を確かめる必要がある。

５．参考文献

1) 成田 明沙美, 井上 弘毅, 松本 真哉, 中村 栄子:日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), 393-402

2) 笠井 利浩, 荒木 史代:日本 LCA 学会誌, 11(4), (2015), pp.337-347

3) 平山 世志衣, 天野 雄太, 大内 康弘, 本藤 祐樹:日本 LCA 学会誌, 11(4), (2015), pp.348-358

4) 田高 初奈, 平山 世志衣, 高岡 由紀子, 津田 祥子, 水野 建樹, 松本 真哉:日本 LCA 学会誌, 13(4), (2017), pp.349-359

5) 松本 真哉:日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), pp.338-343

6) 日本セラミックス協会:“日本のやきもの”, セラミックス博物館, (オンライン), 入手先 <http://www.ceramic.or.jp/museum/yakimono/contents/michika.html>, (参照 2018-02-22)

7) 立花 潤三, 周 敦史, 蒲原 弘継, 後藤 尚弘: 環境科学会誌, 27(5), (2014), pp.277-288

8) エコが見える学校: うつわの一生, (オンライン), 入手先 <http://www.kababon.org/contents.html >, (参照 2019-01-09)

9) 醍醐 市朗, 張 玄庚, 松野 泰也: 日本 LCA 学会誌, 7(1), (2011), pp.72-78

クリティカルレビューによる LCA 報告書の品質改善効果：更生ドラム缶の LCA 調査事例を通じて

The quality improving effect of LCA report by critical review: through reconditioned steel drums' LCA case study

○山岸 健*1)、澤村 翔太*1) 、井上 晋一*2) 、森本 久夫*3)
Ken Yamagishi, Shota Sawamura, Shinichi Inoue, Hisao Morimoto
1）産業環境管理協会, 2）イーコンパス, 3）日本ドラム缶更生工業会
* Yamagishi@jemai.or.jp

1. 背景

クリティカルレビューとは、LCA の国際規格である ISO14044[1]に記されている通り、LCA 報告書の品質を高めるためのプロセスである。企業は実施した LCA 調査結果を外部公表する際、その品質向上のため外部の LCA 専門家によるクリティカルレビューを受けることがある。しかし、クリティカルレビューは一般に非公開であり、実際にクリティカルレビューを受けたことがない企業にとっては、その価値・効果をイメージしにくい。そこで、本発表では 2018 年に実際にクリティカルレビューを受けた更生ドラム缶の LCA 調査事例[2]を通じてクリティカルレビューによる具体的な LCA 報告書の品質改善効果を分析する。

2. 方法

クリティカルレビュー実施前後の LCA 報告書を比較し、レビューの手順毎に指摘されたコメントを ISO14044 におけるクリティカルレビューの一般原則に従って類型化した。レビューの手順は産業環境管理協会が実施しているクリティカルレビュープログラム[3]の手順（表 1）に従った。

表 1　クリティカルレビューの手順

手順	内容	所要日時
事前チェック	事務局による LCA 報告書の完成度の確認。	本件では 1 ヶ月程度
書面レビュー	事前レビュー実施者（LCA 専門家）による書面レビュー。	本件では 1 ヶ月半程度
対面レビュー	事前レビュー実施者（LCA 専門家）による対面レビュー。	本件では半日
レビューパネル	レビューパネル（LCA 専門家による委員会）でのレビュー	本件では 3 時間

また、クリティカルレビューの一般原則は次に挙げる 5 点とした。

表 2　クリティカルレビューの一般原則[1]

A	国際規格への合致	LCA を実施するために用いた方法が、この国際規格に合致していること。
B	科学的・技術的妥当性	LCA を実施するために用いた方法が、科学的及び技術的に妥当であること。
C	使用データの適切性・合理性	使用したデータが、調査の目的に照らして適切、かつ、合理的であること。
D	解釈の妥当性	解釈は、明らかになった限界及び調査の目的を反映していること。
E	報告書の透明性・整合性	調査報告は、透明性及び整合性があること。

ISO14044[1]によると、表 1 の E に示した透明性とは「開かれた、包括的で分かりやすい情報の提示」と定義され、整合性とは「結論に達する前に、前提条件、方法及びデータが、調査の全体にわたって一貫して適用され、かつ、目的及び調査範囲の設定に従っていること」と定義される。

3. 結果

更生ドラム缶の LCA 調査事例におけるクリティカルレビュー手順毎の指摘事項についてクリティカルレビューの一般原則毎に集計した（表 3）。

表 3　クリティカルレビューによる指摘事項の類型

	A	B	C	D	E	合計
事前チェック					20	20
書面レビュー	1	1	4	1	45	52
対面レビュー		1	2			3
レビューパネル		2	2	2	16	22
合計	1	4	8	3	81	97

レビューの手順全体を通じて合計で 97 件の指摘があり、事業者によって全指摘への対応がなされた。全体的には E

報告書の透明性・整合性に関する指摘数が多く全体の 8 割を占めた。特に事前チェックや書面レビューといったレビュー手順の初期において割合が高かった。その他の指摘（A-D）については絶対数は少ないものの対面レビューやレビューパネルといった手順の後期に指摘があった。

続いて各一般原則の指摘事項の例について表 4 に示す。

表 4　各一般原則の指摘事項の例

A	国際規格への合致	・機能単位の設定方法
B	科学的・技術的妥当性	・カットオフ基準に基づいたカットオフ対象の判断
C	使用データの適切性・合理性	・適切なバックグラウンドデータへの変更 ・データの代表性の追記（データ収集社数だけでなくデータ収集対象の生産本数による代表性の追記）
D	解釈の妥当性	・一部に古いバックグラウンドデータを使用していることによる限界 ・更生回数には推計が含まれることによる限界
E	報告書の透明性・整合性	・更生ドラム製造時のエネルギー消費量の配分方法の追記 ・ライフサイクルフロー図の明確化

具体的に主要な指摘があった機能単位の記述について述べる。当初の機能単位は「本数（1 本または 10 本）」とされていた。クリティカルレビューにおける度々の指摘により、最終的な機能単位の記述は「主に化学品、塗料、溶剤、潤滑油、医療原料などの液体の「容器」として機能し、200ℓの内容物の運搬、貯蔵などに用いられる鋼製ドラム「1 本」とする。」となった。当初の機能単位が 1 本と 10 本の併記がされていたのは 10 本分あたりの更生ドラムの割合を示すことによる直感的な LCA の結果のわかり易さを意識したためであった。一方で、機能単位の主目的の一つは算定基準を与えることであり、複数の機能単位があることは国際規格に馴染まないとの指摘があったため、最終的には機能単位は 1 本あたりとし、LCA の結果を図表で示す際に 10 本あたりの結果も併記する形に落ち着いた。また、容器であること、容量、主な内容物、主な機能（運搬・貯蔵）といった記述がされることで透明性が向上した。

4. 考察

E 報告書の透明性・整合性については、指摘数が最も多かったが、理由としては ISO14044[1]の細かな要求事項の記載不足への指摘が多かったためと考えられる。

レビュー手順後期のレビューパネルにおいても、E 報告書の透明性・整合性に関する指摘が過半を占めた。レビューパネルでは異なる分野の専門性を持つ複数の LCA 専門家が関与することにより異なる視点での指摘がされたためと考えられる。

以上が指摘事項の数に注目した分析である。続いて、指摘事項の質に関する分析について述べる。レビュー手順の初期段階で指摘対応が進むと LCA 報告書の読みやすさが向上し ISO14044[1]の要求事項を網羅した報告書となる。それによって本質的な課題に気づきやすくなるため、レビュー手順の後期では、再算定を求める指摘や解釈に関する指摘などデータ・解釈の精度向上につながる重要性の高い指摘があったものと考えられる。本クリティカルレビュー全体を通じて主要な議論のポイントになったのは、2018 年時点で適用事例の少ない日本鉄鋼連盟の Life cycle inventory data[4]の適用方法、算定のための適切な機能単位と適切なコミュニケーションのための単位が異なること、調査範囲（CO_2 のみとするか温室効果ガス全般やその他の環境影響も含めるべきか）といった点であった。これらの論点については LCA 専門家によっても意見が分かれ、特定の知識が無いと判断が困難であった。ISO14044[1]では単独の外部専門家によるクリティカルレビューも選択肢として示されているが、本件では、複数の LCA 専門家が関与するクリティカルレビューパネルによってさらなる LCA 報告書の品質改善が認められたものと考えられる。

5. 最後に

本発表では更生ドラム缶の LCA 調査事例を通じてクリティカルレビューによる具体的な LCA 報告書の品質改善効果を分析した。結果として、報告書の透明性・整合性に関する指摘が多く、レビューの初期段階でこれに関する対応がなされることで ISO14044[1]の要求事項を網羅した分かりやすい LCA 報告書となった。さらに複数の LCA 専門家が関与するレビューパネルを経ることで手法・データ・解釈の精度といった品質改善効果が認められ、より本質的な課題にも対応した LCA 報告書となった。今後は他の事例調査を進めることにより、分析を深めていきたい。

引用文献

1) ISO, “ISO14044 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines”,(2006)
2) 日本ドラム缶更生工業会,イーコンパス：“鋼製ドラムの LCI 実施報告書”, (2018)
3) 産業環境管理協会：“クリティカルレビュー”,（オンライン），入手先 ＜http://www.jemai.or.jp/lca/review/index.html>,（参照 2018-12-28）
4) 日本鉄鋼連盟：“鉄鋼業界の取り組み②life cycle inventory data”,（オンライン），入手先 ＜http://www.jisf.or.jp/business/lca/data/index.html >,（参照 2018-12-2）

C2-20,P2-069　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

乾式オフィス製紙機を対象にした環境フットプリント

Environmental footprint of dry office papermaking system

○木下涼子*[1)]、小野雄也 [1)]、一杉佑貴 [1)]、岡村岳彦 [2)]、横山孝一郎 [2)]、林正明 [2)]、伊坪徳宏 [1)]
Ryoko Kinoshita, Yuya Ono,Yuki Ichisugi, Takehiko Okamura, Koichiro Yokoyama,Masaaki Hayashi, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) セイコーエプソン株式会社
* g1562022@ tcu.ac.jp

1. 研究背景

経済協力開発機構（OECD）の「OECD Environmental Outlook to 2050（2012）」によると、2000 年から 2050 年までに製造業の工業用水（＋400%）、発電（＋140%）、生活用水（＋30%）はいずれも大幅に増加することが予測されている。さらに、2050 年は、深刻な水不足に見舞われる河川流域の人口は、39 億人（世界人口の 40%以上）に上るものと予測されている [1)]

なかでも、製造業の工業用水に関しては 400%の増加が見込まれているため、本カテゴリの水使用量をいかに削減していくかが重要な課題であると言える。

日本製紙連合会では 2016 年 3 月に、「2020 年度までに古紙利用率 65%の目標達成に努める」という努力目標を新たに掲げた。古紙の利用率を上昇させることで(1)製紙原料の安定供給、(2)省エネ、地球温暖化防止、(3)循環型社会の形成、(4)健全な紙のリサイクルシステムの維持などの社会的効果があるものと指摘されているが、これらに加えて水資源への影響も大きいものと考えられる。 [2)]

2. 研究目的

本研究では、これらの社会背景から新しい用紙の回収システムである乾式オフィス製紙機を研究対象にした。乾式オフィス製紙機を利用することで、紙の再生産をオフィス内で再生パルプを介することなく実施することが可能となるため、水使用量の削減や紙の輸送段階の GHG 排出量を削減することが期待されている。資源調達から使用、廃棄を含むライフサイクル全体で複数の影響領域を対象に定量的に分析することを研究目的とした。

① 乾式オフィス製紙機に古紙を投入し新たな紙を製造する際の環境影響について GHG 排出量とＷＦの２つの項目を定量的に評価を行う。
② PPC 用紙（コピー用紙）1t とオフィス製紙機 1 台分＋ユーザーの実データを元に使用段階のシナリオを設定した算定を行う

3. 研究方法

3.1 評価対象と調査範囲

評価対象は乾式オフィス製紙機を対象とした。機能単位は 1t 当たりにした。本研究ではシステム境界を素材調達・製造から廃棄までのフローに対する内容は次の通りである。素材調達・製造には本体を製造するための部品、製造時の電気、ユニット交換部品、カードリッジ部品が含まれる。輸送にはカードリッジや交換部品の輸送、使用には製紙工程時の電気や水が含まれる。廃棄段階には製品本体の廃棄と成果物である製紙の廃棄による負荷が含まれる。一方で製紙機の販売工程及び廃棄処分場への輸送、PPC に関する負荷などは含まないとものとする。

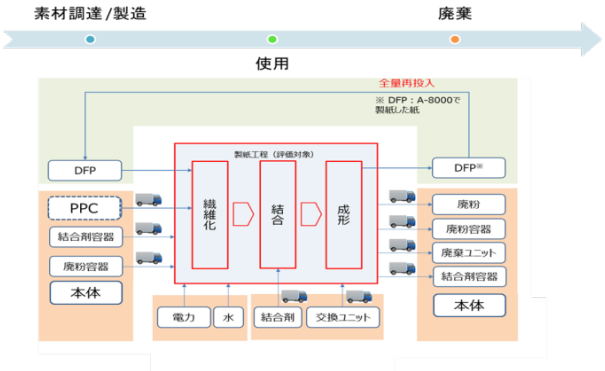


図 1 システム境界

3.2 使用データ

本研究では、原材料生産、製品生産、メンテナンス、使用に関わる活動量に関しては製造拠点から提供された一次データを使用した。環境負荷原単位は、製造までは産業連関表ベースのもの（3EID、丸田ら）を、使用し以降は積み上げ法ベースのもの（IDEA2）を用いた。

3.3 事前評価

比較対象である紙の結果に関しては都市大、産総研、早稲田大学が開発したホットスポット分析計算ツールを使用した。算定のインベントリデータベースは産業技術総合研究所が開発した IDEA2（Inventory Database for Lifecycle

Analysis）、および早稲田大学が開発した 2011 年版 WIO（Waste Input-Output table）を使用した。対象データは製紙連合会が出している再生上質紙（古紙 70%以上）の一次データを採用した。2004 年のデータを使用（ただし、植林・チップ調達に係わるデータについては 2000 年調査、古紙収集・運搬については 2003 年度調査データを使用）した。その結果 1t 当たりの合計値は 2.04E＋03kg-CO_{2eq} となった。なかでも製造段階が最も負荷が大きかった。

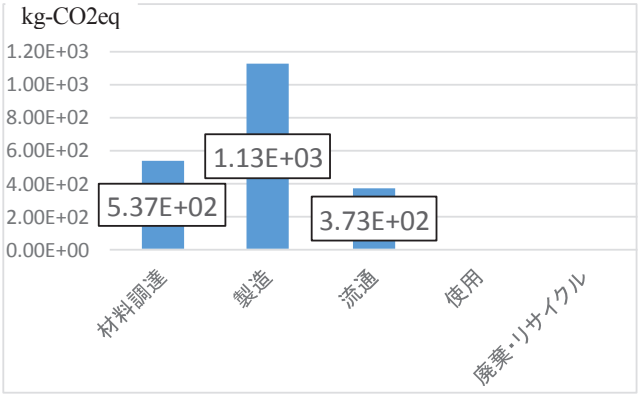


図 2 1 t 当たりの再生上質紙（古紙 70%以上）の結果（kg-CO_{2eq}）

4. 結果

結果に関してはここでは研究目的である①のみを表す。

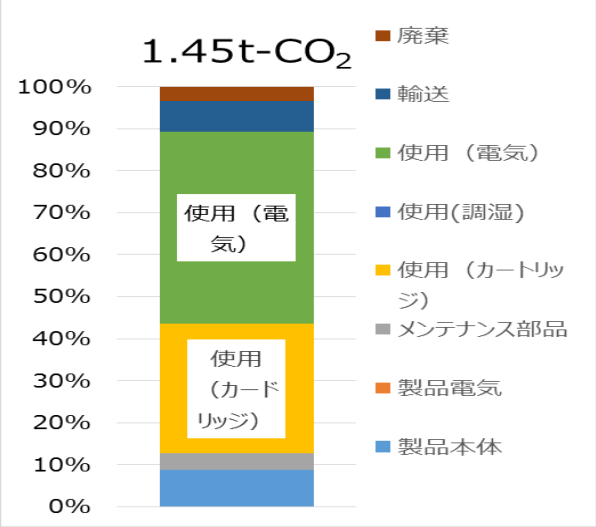


図 3 乾式オフィス製紙機の 1t 当たりのカーボンフットプリント（t-CO_{2eq}）

ライフサイクル全体で 1.4t/1t であり、なかでも使用（製紙）段階の負荷が大きかった。使用段階には、製紙機利用時の電力と繊維を結合する結着材生産の負荷が寄与する。生産、輸送に関する負荷は使用に比べると小さかった。製紙機を利用することで使用済みの用紙を再生紙生産工場まで運ぶ負荷を削減することができる。生産時の負荷はライフタイムでの生産量から割り戻す形で求めているため、生産量に応じて環境負荷は変化する。

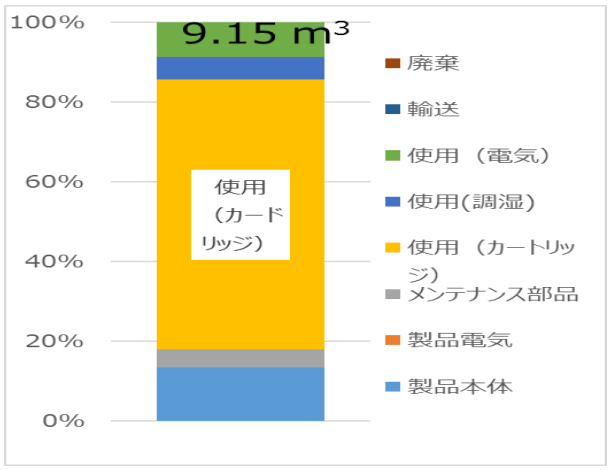


図 4 乾式オフィス製紙機の 1t 当たりのウォーターフットプリント（m^3/t）

図 4 にウォーターフットプリントの結果を示した。総量がおよそ 9m^3であり、使用が大半を占めた。これは再生紙のウォーターフットプリントの 2 桁小さい。大量の水を要するパルプの生産工程を回避することができるためである。

5. まとめと今後の方針

乾式オフィス製紙機の LCA を実地した結果、紙 1ton 当たりの CO_2 が 1.4ton、WF が 9m^3となった。特に水消費量に対する影響を顕著に低減できる可能性が示唆された。いずれも製紙機を使用する際の負荷が大きい結果となった。本体部分の負荷に関しては全体の 1～2 割程度になり、余り負荷がかからないことがわかる。このことから最も負荷のかかる使用部分の省エネ化やカートリッジ内の結着材の使用量抑制がさらに環境影響を削減するための要点として考えられる。

6. 参考文献

1） 経済協力開発機構（OECD）「OECD Environmental Outlook to 2050（2012）
2） 製紙連合会　HP
3） 国土交通省　HP
4） 国際連合国際センター　HP
5） EPSON　HP
6） 丸田　隆之,伊坪徳宏（2016）地域差を考慮したウォーターフットプリント

C2-21,P2-076　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

グラビア印刷物を対象とした環境・社会側面の定量分析

Quantitative Analysis of Environmental and Social Aspects for gravure printing

○石川泰久*[1)]、入江俊行[2)]，富川恵子[2)]，中川善博[3)]、伊坪徳宏[1)]
Yasuhisa Ishikawa, Toshiyuki Irie,keiko Tomikawa,Yoshihiro Nakagawa,Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 東洋インキ SC ホールディングス株式会社,3)凸版印刷株式会社
g1562074@tcu.ac.jp

1. 背景

2015 年に、国連持続可能な開発サミットにおいて、持続可能な開発目標として SDGs が合意された。この中では、環境側面として、気候変動や水、社会側面として雇用や人権といった側面が存在し、政府のみならず、企業の取り組みが不可欠なものとなっている。

これまで、LCA では主に環境側面として、地球温暖化や水、資源が評価対象となり、既に様々な製品やサービスに対する評価が実施されている。一方で、近年では、UNEP/SETAC Life cycle Initiative によって、製品の社会側面に対する評価(Social-LCA)のガイドラインが発行され、持続可能性の評価に期待が高まっている。

インキと印刷産業では、VOC（揮発性有機化合物）や水資源消費の抑制対策を実施する中で、環境側面に対する対策の効果について LCA を通じた分析が複数実施されている。一方で、印刷業を対象にしたソーシャル LCA の実施例は殆どない。さらに、同一の評価対象とバウンダリのもとで環境と社会の両側面について分析した事例はこれまでにない。環境・社会影響いずれも生産国によって異なるものと考えられるが、国間の違いについて注目した分析はこれまでにない。

2. 研究目的

以上の社会背景、研究背景を踏まえ、研究目的を以下の 2 点に設定した。

・グラビアインキと印刷物を対象として、環境と社会の両側面に注目し、定量的な評価を実施する。
・日本、中国、タイといった複数の国を対象とした分析を通して、環境・社会影響の国間の差異について検討する。

3. 研究方法

3.1 評価対象

本研究における算定対象製品は、グラビアインキとそのインキを用いた印刷物とする。
また、印刷物は食品包装を用途として使用されているものであり、主な原料はポリエチレンである。
機能単位は、インキを 1kg、印刷物を 1m^2(9.17E-02kg)とした。
環境側面には、気候変動、水、都市域大気汚染(VOC)を対象とした。社会側面の影響領域としては、労働時間、失業、貧困、健康、法律制度を対象とした。

3.2 評価範囲

本研究では、インキについては、原材料調達段階から製造、溶剤燃焼段階をシステム境界とした。印刷物では、インキを含む原材料調達段階から、印刷段階、溶剤燃焼段階、廃棄段階をシステム境界とした。

3.3 データの収集

本研究では、インキの活動量に関する一次データを東洋インキ SC ホールディングス株式会社から、印刷物の活動量に関する一次データを凸版印刷株式会社より取得した。

3.4 算定方法

環境・社会影響の評価はいずれも原単位法を用いた。環境側面では、気候変動、水資源消費量、VOC 排出量について評価した。上記の影響領域に寄与するインベントリ分析結果を得た後、統合化を行い、単一指標を得た。算定式を以下に示す。

インベントリ分析結果=Σ(活動量×原単位)　**(式 1)**
統合化=Σ(インベントリ結果×統合化係数)　**(式 2)**

(式 1)及び(式 2)における活動量には、ヒアリングを実施した際に得られた一次データを、原単位には、Ecoinvent3 を利用した。(式 2)の統合化係数には、伊坪らが開発した LIME3(伊坪・稲葉 2018)を利用した。

社会側面の評価では、労働時間、失業、貧困、健康、法律制度には SHDB2016(SocialHotspotsDatabase2016)が採用する原単位を用いた。本手法では活動量としては経済指標を適用する必要がある為、物量データを貨幣情報に変換したものを用いた。影響評価係数には、SHDB2016 に搭載され、各国のリスク毎に割り当てられた重み付け係数を利用した。算定式を以下に示す。

社会評価=Σ(活動量×原単位×社会評価係数)

4. 算定結果

4.1 環境側面の算定結果

4.1.1 インキの環境側面の統合化結果

インキを対象とした環境側面の統合化結果を表 1 に示した。1kg のインキ生産までの環境影響の統合化結果は、9.00E-02～1.30E-01$/kg であり国間の差はあまり大きくなかった。いずれの国においても、原材料調達までの気候変動に対する影響が最大であった。日本の場合は、原材料調達までの水消費による影響が大きかった。LIME3 では水消費による影響を回避するための

国際貿易を通じた輸入国への影響を評価に含めており、特に日本の場合は水消費による他国への波及が大きく統合化係数が相対的に大きいことが寄与している。一方、中国とタイは VOC の大気放散による影響が大きい。日本は大気汚染防止法の観点から VOC の回収と燃焼に積極的であるが、中国とタイは VOC の回収率は日本ほど高くなく、VOC の放散率が高い。

表 4.1.1 インキの環境側面の統合化結果

評価地域	影響領域	単位/ライフステージ	原材料調達	製造	溶剤燃焼
日本	気候変動	(US$/kg)	8.66E-02	1.01E-02	2.58E-02
	水	(US$/kg)	3.92E-02	2.64E-04	0.00E+00
	VOC	(US$/kg)	1.83E-05	7.23E-07	0.00E+00
	合計	(US$/kg)	1.26E-01	1.04E-02	2.58E-02
中国	気候変動	(US$/kg)	8.79E-02	3.09E-03	2.58E-02
	水	(US$/kg)	1.27E-02	1.27E-05	0.00E+00
	VOC	(US$/kg)	6.18E-05	6.75E-07	0.00E+00
	合計	(US$/kg)	1.01E-01	3.10E-03	2.58E-02
タイ	気候変動	(US$/kg)	8.79E-02	3.09E-03	2.58E-02
	水	(US$/kg)	6.80E-03	−2.74E-06	0.00E+00
	VOC	(US$/kg)	3.72E-05	4.32E-07	0.00E+00
	合計	(US$/kg)	9.47E-02	3.09E-03	2.58E-02

4.1.2　印刷物の環境側面の統合化結果

印刷物を対象とした環境側面の統合化結果を表 2 に示した。合計は印刷物 1m^2(約 90g)あたり 7.00E-03～1.00E-02 ドルとなった。気候変動の原材料調達段階が最も大きな割合を占めた。フィルムの負荷が大きな割合を占め、これらの生産までの GHG 排出量が多いことが要因として挙げられる。ただし、国間で影響量が大きく異なった。次いで、製造段階の気候変動が大きかった。いずれの国も、製造段階のエネルギー源となる電力が大きな割合を占めたことが要因として挙げられた。

表 4.1.2 印刷物の環境側面の統合化結果

評価地域	影響領域	単位/ライフステージ	原材料	製造	溶剤燃焼	廃棄
日本	気候変動	(US$/9.17E-02kg)	6.94E-03	2.97E-03	8.41E-05	5.97E-04
	水	(US$/9.17E-02kg)	2.50E-04	6.02E-04	1.05E-05	5.94E-06
	VOC	(US$/9.17E-02kg)	2.79E-06	1.57E-06	1.49E-04	3.21E-08
	合計	(US$/9.17E-02kg)	7.19E-03	3.57E-03	2.44E-04	6.03E-04
中国	気候変動	(US$/9.17E-02kg)	7.05E-03	3.68E-03	8.41E-05	5.97E-04
	水	(US$/9.17E-02kg)	1.06E-04	2.06E-04	3.41E-06	1.93E-05
	VOC	(US$/9.17E-02kg)	1.86E-05	3.16E-06	4.49E-04	9.66E-08
	合計	(US$/9.17E-02kg)	7.17E-03	3.89E-03	5.37E-04	6.16E-04
タイ	気候変動	(US$/9.17E-02kg)	7.04E-03	2.96E-03	8.41E-05	5.97E-04
	水	(US$/9.17E-02kg)	1.06E-04	2.06E-04	3.41E-06	1.93E-05
	VOC	(US$/9.17E-02kg)	9.74E-06	2.42E-06	2.35E-04	5.05E-08
	合計	(US$/9.17E-02kg)	7.16E-03	3.17E-03	3.22E-04	6.16E-04

4.2 社会側面の算定結果

4.2.1 インキを対象とした社会側面の算定結果

インキを対象とした社会側面の算定を行った。国間を比較すると、いずれの項目においても中国とタイの社会影響が日本よりも 3 倍程度大きかった。中国とタイはインキ原材料と希釈溶剤の生産に関する影響が同程度に大きかった。一方、日本はインキ原材料の生産までの社会影響が相対的に大きかった。

労働時間に注目した日本、中国、タイの評価結果を図 1 に示した。日本は中国やタイに比べて相対的に生産性が高く、生産額あたりの労働時間が短い為、全体的に小さい結果となった。

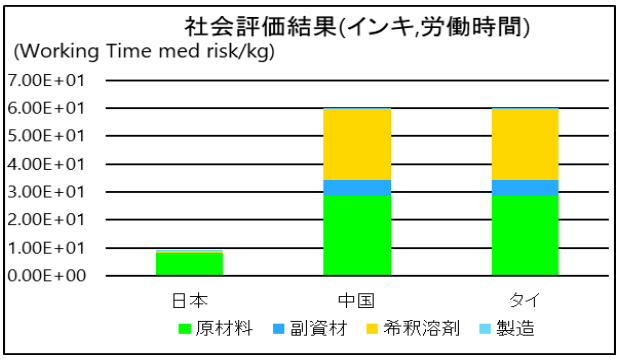


図 1 インキの社会評価結果(労働時間)

4.2.2 印刷物を対象とした社会側面の算定結果

印刷物に注目して社会影響評価を行った。労働時間、法律、健康、失業、貧困のいずれの側面についても中国とタイの方が日本よりも相対的に影響が大きかった。また、いずれの国も原材料調達段階が最大で、インキの原材料調達段階はこれに次いで大きかった。印刷物の原材料とインキの重量が相対的に大きいことが要因として挙げられる。中国が日本よりも影響が大きいのは、生産性の違いによるところが大きい。これらのプロセスに比べて、副資材や印刷工程における影響は相対的に小さかった。

労働時間に注目した日本、中国、タイの評価結果を図 2 に示した。日本は中国やタイに比べて相対的に生産性が高く、生産額あたりの労働時間が短いため、全体的に小さい結果となった。

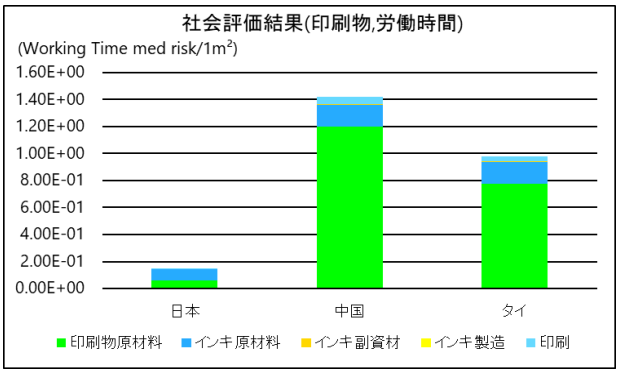


図 2 印刷物の社会評価結果(労働時間)

5. 結論

本研究では、インキと印刷物を対象に環境と社会側面を網羅した持続可能性評価を実施した。環境側面と社会側面では共に、国別に設定された影響評価係数を利用することで、生産地点の違いを考慮することが出来た。国別の比較では、共通点と相違点の双方が確認された。いずれも原材料生産時の相対的な影響が大きいことが示されたが、環境側面では溶剤燃焼が、社会側面ではインキの生産が相対的に大きかった。

6. 参考文献

1)Social Hotspots Database のホームページ
入手先<https://www.socialhotspot.org/>
2)伊坪徳宏・稲葉敦著「グローバルスケールの LCA を実現するための環境影響評価手法」(2018,丸善出版)

C2-22

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

紙の再利用を可能にした複写機の環境負荷低減に関する事例研究

Case Study on Reducing Environmental Impact of Copying Machine for Paper Reuse

○鈴木春生*[1)]、伊坪徳宏 [1)]

Haruo Suzuki, Norihiro Itsubo

1) 東京都市大学

* h3suzuki@tcu.ac.jp

1. はじめに

情報化社会の到来と共に普及してきた複写機の業界ではコピー機能の向上だけでなく、早くから環境負荷の低減に取り組み、複写機本体の省資源、運用時の省資源や省エネルギーが図られてきた。

それらの取り組みの一環として、年間 80 万トン生産されるコピー用紙の使用量を削減するため、両面コピー、縮小コピーや裏紙の再利用を通じて用紙の削減が試みられているが、大きな効果は得られていない。

その解決策の一つとして本発表では、消色可能なトナーを活用して紙を再利用するリユースシステムの評価を行い、紙の使用量の削減による地球温暖化や水資源消費の環境負荷を低減する効果について検討を行った。

2. 研究目的

本研究は、2017 年に発表された「黒トナー印刷」と「消色可能トナー印刷」の両方の機能を 1 台に搭載したハイブリッド複合機を評価対象とし、コピー用紙の消費量削減に伴う地球温暖化や水資源消費の低減効果を把握する。

3. 研究方法

3.1 評価対象と評価範囲の設定

本研究で評価対象としたハイブリッド複合機は、上記の 2 種類のトナー切り換えだけでなく、後者のトナーで印刷した用紙を消色する機能を合せ持つため、複合機単体でのコピー用紙の再利用が可能である。

従って、同じハイブリッド複合機で表 1 に示す 2 通りの使い方をした場合の環境負荷を算出する。

①コピー資料の長期保存を想定した「黒トナー印刷」

②コピー資料を一時的に使用する「消色可能トナー印刷」

表 1 機能単位とシナリオ設定

評価対象	ハイブリッド複合機 黒トナー印刷	ハイブリッド複合機 消色可能トナー印刷
機能単位	当該複写機 1 台及び消耗品の材料調達～廃棄･リサイクル	当該複写機 1 台及び消耗品の材料調達～廃棄･リサイクル
使用期間	5 年	5 年
印刷枚数	687,120 枚	687,120 枚
リユース回数	なし	4 回（80%用紙削減）
消費枚数	687,120 枚	137,424 枚
消色枚数	なし	549,696 枚

表 1 の「黒トナー印刷」「消色可能トナー印刷」の当該機を、以後「通常機」「リユース機」と呼ぶものとする。

リユース機のリユース回数は、コピー済み用紙を 4 回消色して 1 枚の紙を 5 回使用するものとした。

図 1 にシステム境界を示す。

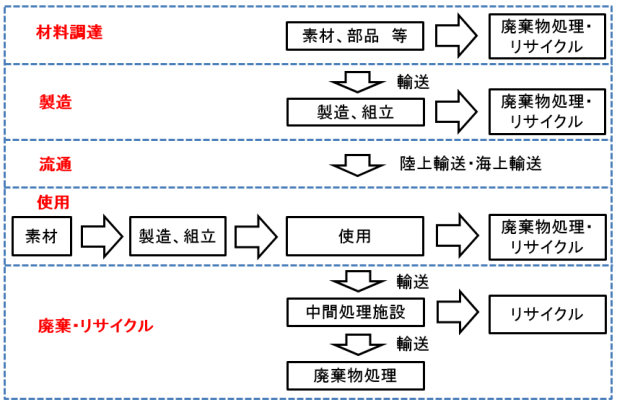


図 1 システム境界

図 1 の縦方向が、複合機本体と同梱品のフローを示し、使用段階の横方向のフローは、使用時に消費するコピー用紙、消耗品ほかの材料調達から廃棄・リサイクルまでのライフサイクルが、使用段階にすべて計上されることを示す。

従って、両者の違いは使用段階のみに表れることになる。

3.2 計算方法

本研究は、複合機メーカから提供された一次データに基づいて算定を行った。

算定には、産業技術総合研究所が開発した IDEA2 (Inventory Database for Lifecycle Analysis)、および早稲田大学が開発した 2011 年版 WIO (Waste Input-Output table)のインベントリデータベースを使用し、影響評価手法は LIME2 (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)を用いて評価を行った。

(1)材料調達、製造段階

複合機メーカより提供された一次データの内、複合機本体の素材・部品および加工時のエネルギー等を、材料調達段階に計上した。

製造段階では、複合機製造時のエネルギーほかのユーテ

ィリティだけでなく、同梱される消耗品や交換部品の材料調達・製造・輸送に関わる一次データをすべて計上した。

(2)流通

流通輸送に関しては、複合機本体と同梱品が出荷されてエンドユーザに届くまでの一次データを計上した。

(3)使用

使用段階では、複合機の消費電力のほか印刷するコピー用紙やトナー・消耗品の一次データを計上した。

コピー用紙やトナー・消耗品の素材調達から廃棄・リサイクルに至るライフサイクルの環境負荷は、輸送も含め全て使用段階に計上した。

(4)廃棄・リサイクル

廃棄・リサイクルに関わる一次データは、すべて WIO の該当する部門にあてはめて計上した。

(5)LIME2 を活用した環境影響評価

上記(1)～(4)で計上した一次データに基づき、インベントリ分析を行った後に LIME2 を活用して特性化、統合化を行い、ライフサイクル別の環境影響評価結果を算出した。

4. 結果

4.1 地球温暖化の比較

地球温暖化の算出結果を図 2 に示す。

図 2 の材料調達、製造、流通および廃棄・リサイクルは、通常機とリユース機共通の複合機本体と同梱品であるため棒グラフは各々1 本とし、使用段階のみ通常機とリユース機の 2 本の棒グラフを示した。

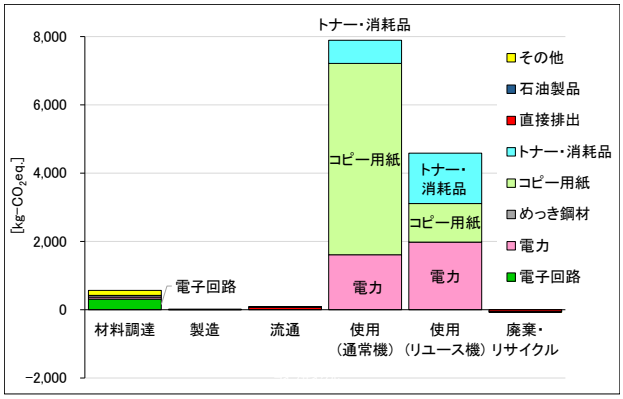


図 2 使用段階に注目した地球温暖化の比較

図 2 から複合機のライフサイクルでは、使用段階の GHG 排出量がもっとも大きいことがわかる。

使用段階を比較すると、通常機に比べリユース機の GHG 排出量が大きく減少している。

これは、消色機能を合わせ持つトナー・消耗品の使用による増加、消色するための電力量の増加に対し、コピー用紙の再利用による GHG 排出量の削減効果が大きいことを示している。

4.2 水資源消費の比較

水資源消費の算出結果を図 3 に示す。

図 3 の使用段階を比較すると、通常機に比べリユース機の水資源消費量の減少が、先の地球温暖化より大きい。これはコピー用紙の再利用による削減効果が顕著であり、トナー・消耗品や電力量の増加分を大きく上回っていることを示している。

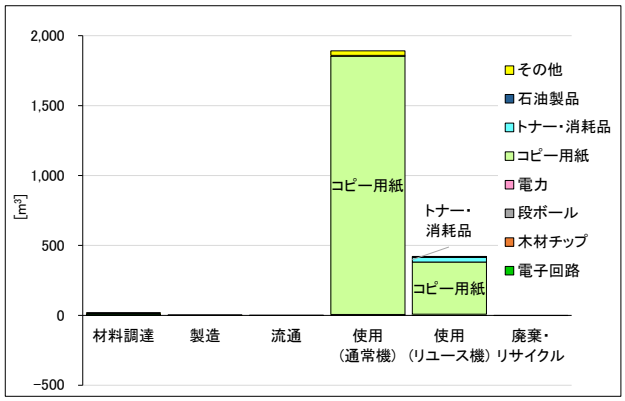


図 3 使用段階に注目した水資源消費の比較

5. 結論

本研究では、複写機を使用する上でコピー用紙の再利用が、地球温暖化や水資源消費の低減に大きく貢献することが確認できた。

今回はコピー済み用紙を 4 回リユースする事例を元に算出したが、リユース回数を増やすことで更なる低減効果が得られることが明らかになった。

今後は、当該複合機のユーザ各社の使用実態に基づいてコピー紙の再利用の効果を算出し、紙の有効利用に向けた各社の取り組みの一助となるよう提案して行く予定である。

6. 引用文献

1) 横山創, 伊坪徳宏: 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会, 草津, (2013), pp.12-13
2) 伊坪徳宏: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会, つくば, (2017), pp.170-171
3) 近藤康之: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会, つくば, (2017), pp.174-175
4) 鈴木春生, 一杉佑貴: 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会, つくば, (2017), pp.176-177
5) 田原聖隆, 近藤康之, 伊坪徳宏: 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会, 早稲田, (2018), pp.30

C2-23,P2-066　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

アルミダイカスト工場を対象とした環境フットプリント

Environmental Footprint of Aluminum Die-cast Factory

○一杉佑貴*1)、小関康雄 1)、杉本和明 2)、大熊那夫紀 2)、恒川智行 3)、伊坪徳宏 1)

Yuki Ichisugi, Yasuo Koseki, Kazuaki Sugimoto, Naoki Ohkuma, Tomoyuki Tsunekawa, Norihiro Itsubo

1）東京都市大学, 2)造水促進センター, 3)アイシン精機株式会社

* g1793102@tcu.ac.jp

1. 背景

Carbon Disclosure Project では全世界の企業を対象として、気候変動に着目した報告書だけではなく、水利用に着目した Global Water Report[1]を発行している。その 2017 年の報告書によると全世界の約 2000 社の回答で、年間 56 億 ML の水利用が報告されている。また、水利用量を定量的に評価する Water Footprint(WF)が 2014 年に国際規格 ISO14046[2]となったこともあり、水利用量をライフサイクル全体として定量的に分析することが活発になった。一方、UNEP SETAC/ Life Cycle Initiative は、組織評価のガイドラインとして Guidance on Organizational Life Cycle Assessment[3]を発行した。その中で、サプライチェーンを網羅するというライフサイクルの視点をもつことと、評価指標を気候変動に対する GHG 排出量のみではなく水消費量や土地利用など複数の環境影響を対象としたマルチクライテリア評価とすることを推奨している。あわせて、LCA 手法を製品だけでなく組織評価に応用させることで、組織の活動に関わる環境影響を総合的に定量的に評価し、企業の CSR レポートや統合報告書で情報開示することの重要性を述べている。

そこで、本研究では実際のアルミダイカスト工場を対象にした組織評価のケーススタディとして、GHG 排出量(気候変動)だけではなく、水消費量を考慮した環境フットプリントの算定を行った。このとき、今後の工場に関わる環境戦略立案に資する指標の開発を目標として検討を行った。

2. 研究方法

2.1 システム境界と評価項目

アイシン精機株式会社のアルミダイカスト工場を対象に、評価に必要なデータに関するヒアリングを行い、一次データを収集した。結果は年間の値として算定したが、年間データが得られなかった項目については収集したデータをもとに、一年間の工場稼働を想定し、推定して求めた。

システム境界を図 1 に示す。工場のライフサイクル(LC)では、工場建設、工場運用･製品製造を対象とし、工場廃棄は対象外とした。工場建設では、建屋と設備の造設費を考慮し、それぞれの耐用年数で除して一年間の造設費とした。一方、製品の LC では、材料調達、工場運用･製品製造までを対象とし、製品の使用と廃棄は対象外とした。工場運用･製品製造では、工場操業のための使用電力、燃料量及び水等を考慮した。なお、水については、工場が使用している工業用水と地下水のデータをもとに算出した。

本研究では、従来の工場を旧モデルとし、新たに建設された機械化･自動化等の新技術を導入した工場を新モデルとして比較を行った。なお、旧モデルと新モデルとは生産規模が異なるので、投入するアルミニウム重量あたりで比較を行った。

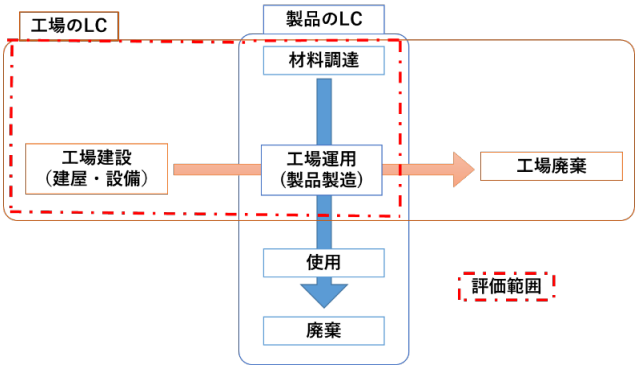


図 1　本研究におけるシステム境界

2.2 環境フットプリントの算定

気候変動と水消費量を対象とし、Carbon Footprint(CFP)と WF を算出した。CFP は南斉らが開発した 3EID[4]を用いて算出を行った。WF は小野らが開発した水消費原単位[5]をベースに、2011 年を対象年としたデータベースを用いてインベントリ分析を行い、特性化は矢野らが開発した特性化係数[6]を用いて算出を行った。インベントリ分析に用いた 3EID と水消費原単位は、産業連関分析をベースに開発されたデータベースである。算定式を以下に示す。

CFP ＝ 活動量 × 原単位　　(式 1)

WF ＝ 活動量 × 原単位 × 特性化係数　　(式 2)

3. 研究結果

図 2 は旧モデルと新モデルのアルミニウム投入量あたりの CFP 結果で、図 3 は WF 結果である。それぞれの運用段階についての内訳は図 4 (CFP)、図 5(WF)となる。内訳の結果から、いずれも原材料として投入されるアルミニウムの負荷が大きくなっていることが分かる。

CFP に関しては、若干新モデルの方が少ない負荷となっているものの、旧モデルとの大きな違いはない。これはアル

ミニウム投入量あたりでみた場合、両者のエネルギー使用に大きな違いがないことによる。一方、WF では新モデルの方が旧モデルに比べ、負荷が約 35%低減される結果となった。その主な理由として、図 5 の運用段階の WF に着目すると、直接水としての工業用水と地下水の使用が大幅に削減されたことが挙げられる。これは、新モデルで導入された新しい技術により、生産及びそれに係る水使用が効率化された結果であると評価することができる。

4. 結論

新モデルではエネルギー利用についても改善が図られるよう設備設計されているが、負荷の大きいアルミニウムの調達とその溶解が旧モデルと同様に必要となるため、今回の検討のようにアルミニウム投入量あたりでみると両者の負荷はさほど変わらない結果となった。これに関し、今回は対比できるデータの得られたアルミニウム投入量を用いたが、新旧モデルでの CFP の差違を明確化するためには、生産額あたりなどの別の見方が必要となると考えられる。産業連関表をベースとした算定であるので、サプライチェーンとして、原材料であれば調達までの負荷が考慮されている。その結果、当該工場では先述のようにアルミニウムが大きな負荷となっていることが判明した。一方、WF では生産に直接使用される水の削減による環境改善効果が示され、工場における効率的な水使用の評価が可能であることが分かった。今後の工場の環境戦略立案に向けて、今回の評価手法が活用されていくことが期待される。

課題として、アルミニウムの占める負荷が大きいことを踏まえ、製品としての歩留まりを考慮しつつ、アルミニウムの再利用の効果を含めて検討することが重要であると考える。また、今回、算定対象外とした工場の廃棄、製品の使用及び廃棄も含め、SCOPE3 と同様な組織評価を検討していく必要があると考えられる。

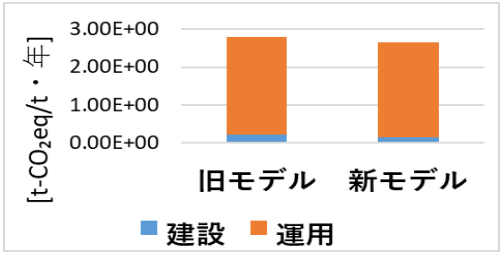


図 2　アルミニウム投入量あたりの CFP 比較

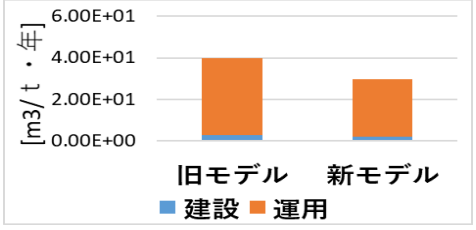


図 3　アルミニウム投入量あたりの WF 比較

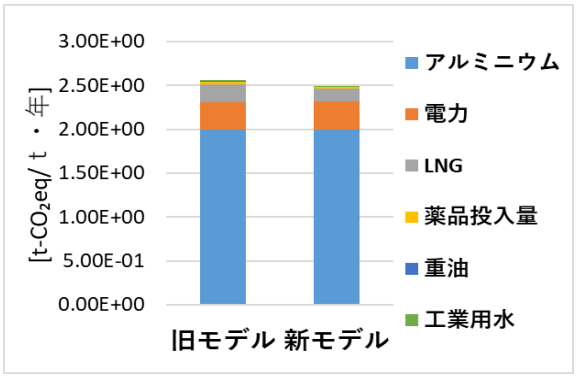


図 4　アルミニウム投入量あたりの運用段階 CFP 比較

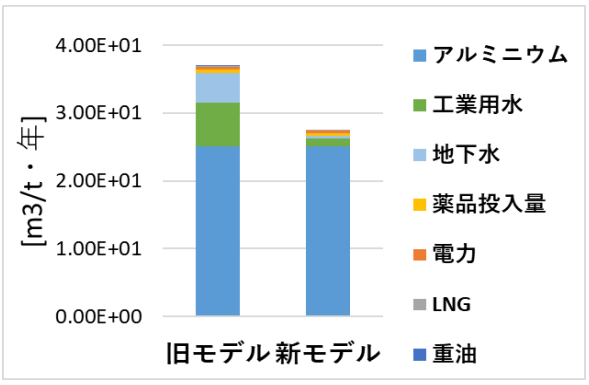


図 5　アルミニウム投入量あたりの運用段階 WF 比較

5. 引用文献

1) “Global Water Report”, Carbon Disclosure Project, (オンライン), 入手先＜https://www.cdp.net/ja/research/global-reports/global-water-report-2017＞, 2019 年 1 月 8 日

2) “ISO 14046:2014 Environmantal management –Water footprint-- Principles, requirement and guidelines”, International Organization for Standardization, (オンライン), 入手先＜https://www.iso.org/standard/43263.html＞, 2019 年 1 月 8 日

3) “Guidance on Organizational Life Cycle Assessment”, UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, (オンライン), 入手先＜https://www.lifecycleinitiative.org/activities/phase-iii/lca-in-organisations/＞,2019 年 1 月 8 日

4) 南斉規介 (2018) 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID), 国立研究開発法人国立環境研究所, (オンライン), 入手先＜http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html＞, 2019 年 1 月 8 日

5) 小野 雄也, 堀口 健, 伊坪 徳宏：“産業連関分析を用いた日本におけるウォーターフットプリント原単位データベースの開発 (2013)：LCA 学会誌, Vol.9, No2, 108-115 (2010)

6) 矢野伸二郎,”全球水資源モデルを用いて水源の違いを考慮した水資源への影響に関する係数の開発”, 日本 LCA 学会誌 Vol.10, 327-339

D2-19,P2-128　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

IoT 導入による産業廃棄物の収集運搬効率化策の評価

Assessment of measure to improve the efficiency of industrial waste collection 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。廃棄物分野においても 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・適用はまだ途に就いたばかりである。筆者らは、2017 年度に京都府で行われた廃プラスチックのリサイクル促進事業を対象に、IoT 導入の経済面、環境面への影響を評価したが[1)]、本研究は、対象地と参加企業数を拡大して 2018 年度に行われている事業を対象に更なる検討を行ったものである。本稿執筆時点では事業が終了していないことから、ここでは方法のみ記す。

2. 方法

2.1 IoT 導入による廃プラスチック収集運搬効率化策

本事業は、図 1 に示すように各事業所に廃プラスチックの排出量をモニタリングするセンサーを設置し、各事業所の廃プラスチック量が一定量を越えたところで、複数事業所の廃プラスチックを回収し、収集運搬を効率化(無駄な収集運搬を削減)するものである。本研究では、IoT を導入しなかった場合と IoT を導入した場合のそれぞれについて、その経済面と環境面を比較し評価を行う。排出事業者は、京都市で 4 事業者、福知山市で 13 事業者である(本稿執筆時点)。

2.2 収集運搬シナリオ

IoT を導入した場合については、廃プラスチックを回収するタイミングが異なる 2 つのシナリオを設定し分析を行う。

① 排出量が最小回収量に到達した時（保管可能量の 50%と設定）、到達した排出事業者分を回収
② 排出量が最大保管可能量に近づいた時（保管可能量の 80%と設定）、到達した排出事業者分を回収

2.3 収集運搬シミュレーション

本事業で計測された各事業者の廃プラスチック排出量等のデータをもとに、120 日間の収集運搬シミュレーションを行う。2.2 の収集運搬シナリオにもとづいて廃プラスチックを回収する排出事業者を特定し、その最短回収ルートを同定して、収集運搬距離、収集運搬時間等を理論値として算出する。

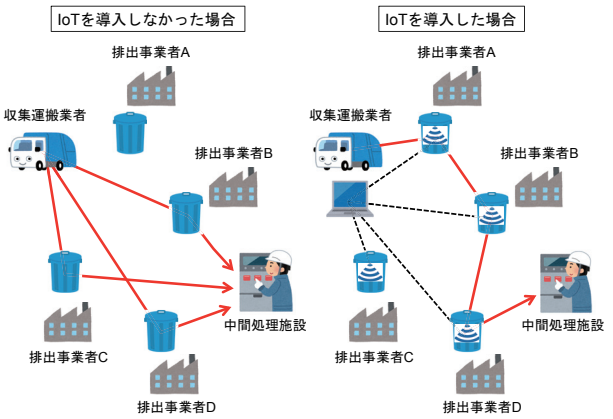


図 1　IoT 導入による収集運搬効率化策

表 1 経済面および環境面の評価項目

	モニタリング	収集運搬
経済面	・センサーの電力費 ・センサーの減価償却費 ・センサーの維持管理費	・収集運搬の人件費 ・収集運搬の燃料費 ・収集運搬車の減価償却費 ・収集運搬車の維持管理費
環境面	・センサーの電力消費に関わる CO_2 排出量 ・センサーの生産・維持管理に関わる CO_2 排出量	・収集運搬の燃料消費に関わる CO_2 排出量 ・収集運搬車の生産・維持管理に関わる CO_2 排出量

2.4 経済面と環境面の評価方法

経済面は処理費用、環境面は CO_2 排出量で評価する。各評価項目は表 1 のとおりである。

謝辞：本研究では、京都府および事業を実施する西日本電信電話株式会社・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頂いた。ここに記して深謝する次第である。

引用文献

1) 上鶴喜貴、橋本征二：IoT 導入による廃プラスチック収集運搬効率化策の評価、環境システム計測制御学会誌、23(2/3)、(2018)、pp.196-199

D2-20,P2-090
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

施設配置を考慮した容器包装プラスチックリサイクルの効率化の分析

Optimization of facility location for containers and packaging plastic recycling

○安田智文*[1)]、中谷隼[1)]、栗栖聖[1)]、森口祐一[1)]
Tomofumi Yasuda, Jun Nakatani, Kiyo Kurisu, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
* yasuda@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

日本における容器包装プラスチックは容器包装リサイクル法下でリサイクルシステムが確立されている。しかし、その中でもプラスチック製容器包装（その他プラ）については現行システムでのコスト効率化の余地が考えられている。その代表的なものとして、マテリアルリサイクル(MR)の処理コストがフィードストックリサイクル(FR)と比べて非常に大きく、MR 処理量確保のため入札制度において MR 事業者の優先枠が設けられていることの是非や、選別段階が保管施設と再資源化施設の双方で重複して存在している二重選別の問題が挙げられる。

これらの課題解決が可能な方法として、選別段階を統合した中間選別施設の導入が考えられる。この中間選別施設は保管施設と再資源化施設の選別段階を統合した異物除去と樹脂種別の選別を行う施設であり、二重選別が解消されるだけでなく、MR 施設の残渣処理コストを低減し、コスト効率的に MR 処理量を確保できる可能性がある。この中間選別施設については容器包装リサイクル協会による検討事例[1)]が存在しているが、選別精度やコストといった選別施設自体の検討に留まり、実際に導入した場合の規模、配置については議論されていない。

そこで本研究では、保管施設から中間選別施設を経由して再資源化施設までのコスト(主に輸送について)を混合整数線形計画法で最適化することで、中間選別施設を実際に導入した場合どのような施設規模、配置、施設間輸送とするべきか検討を行った。

2. 方法

2.1 リサイクルフローと最適化範囲

本研究におけるリサイクルフロー、最適化範囲は図 1 の通りである。中間選別施設は保管施設と再資源化施設の間に配置され、保管施設から輸送されたプラスチック製容器包装のベールについて異物除去と樹脂別の選別を行う。選別されたプラスチックは再資源化施設まで輸送され、処理される。処理残渣については中間選別施設と再資源化施設から排出されるものとする。

本研究における最適化範囲は、輸送段階として①保管施設～中間選別施設、②中間選別施設～再資源化施設、③中間選別施設からの残渣輸送、④再資源化施設からの残渣輸送を考慮する。保管施設以前の家庭からの収集段階については、選別施設の導入による変化が生じないと考えられるため本研究では考慮しない。

輸送以外のコストについては、⑤中間選別施設からの残渣処理、⑥再資源化施設からの残渣処理、⑦中間選別施設の導入・運用を考慮する。⑤、⑥の残渣処理を最適化計算に組み込むことで、再資源化可能なプラスチックが多量に残渣処理されるといった解を排除できる。同様に、⑦の選別施設に係るコストによって、現実的に運用が困難な小規模な選別施設を含むような解を排除できる。

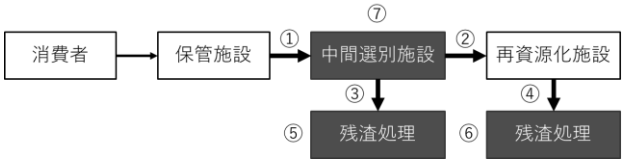


図 1　本研究におけるリサイクルフローと最適化範囲

2.2 最適化における前提条件

保管施設および再資源化施設は、平成 28 年度の落札実績に準拠するものとした。保管施設の収集実績、再資源化施設の処理実績は落札実績から、再資源化施設の処理能力は各事業者のホームページと同年度の再商品化見込量より推計した。再資源化施設については手法（MR または FR）毎に樹脂種別の残渣割合を設定し、受入量にこの割合を掛けたものを処理残渣量とした。

中間選別施設については候補地の具体的な検討事例がないため、本研究では一定規模の収集量、処理能力を持つ保管施設または再資源化施設を候補地とした。これは、選別施設の導入時には大規模な用地が必要となること、既存の施設に導入することで現行フローの各施設に存在する選別設備を利用できる可能性があることから、小規模でない保管施設や再資源化施設の施設内か隣接した敷地に導入することが現実的であると考えたためである。

中間選別施設に輸送されたベールは事前に設定した種類別割合を掛けることで樹脂種別に按分した。この

割合では樹脂種別に単一樹脂に選別可能なものと選別が不可能なもので区別を行った。

残渣処理については、残渣処理が可能な施設が全国に多数存在するため、残渣処理コストに加え輸送コストも距離に依存せず処理量に比例するものとした。

各施設間距離については容器包装リサイクル協会の位置情報データを用い、Google Map の API により有料道路および高速道路を基本的に用いない前提のもとで自動車使用時の道のりを推計した。海上輸送については、本州～沖縄間など回避できない場合のみ考慮し、輸送コストベースで陸上輸送距離に換算した。

2.3 最適化における目的関数

残渣以外の輸送コスト(①, ②)については、輸送トンキロに輸送単価を掛けることで求めた。輸送単価は 10 t トラックで 7.5 t のベール輸送を 200 km 輸送した場合の運賃 60,000 円を用いて推計した。

残渣輸送・処理コスト(③, ④, ⑤, ⑥))については発生残渣量に輸送・処理単価を掛けることで考慮した。

選別施設の導入・運用コスト(⑦)は SOS2 変数群を用い、少量の処理時も一定のコストが掛かるコスト関数（定数項＋線形）を適用した。

2.4 シナリオ設定

最適化シナリオとして、本研究では施設配置(保管施設側か再資源化施設側)、MR での利用可能樹脂種(PP・PE のみ, PS 利用, 複合樹脂(PO)利用)、再商品化製品の需要量制約の設定を組み合わせてシナリオを設計し、シナリオ間でのリサイクルフローの比較を行った。

3. 結果

施設配置を再資源化施設側、MR での利用可能樹脂種は PP・PE のみ、再商品化製品の需要制約なしとしたシナリオでの最適化結果を示す。その結果、中間選別施設は30箇所のうち16箇所の候補地に導入された。

各選別施設の詳細は表 1 に示す。施設規模は施設毎にばらつきがあり、4,000～140,000 t/year 程度である。再資源化施設側の配置であるため、選別施設に輸送後、自施設での処理を行うフローが基本となる。特徴的なフローとしては北海道においては自地域で処理が完結していることが挙げられる。また、図 2 は地域毎の収集量と再資源化施設の処理能力を示したものであるが、需要量の高い関東や中部に大規模の選別施設が立地し、処理能力が大きく不足する近畿地方では、例えば兵庫県の保管施設から中部地方の中規模の選別施設を経由して九州の再資源化施設に搬入されるといったフローも見られる。

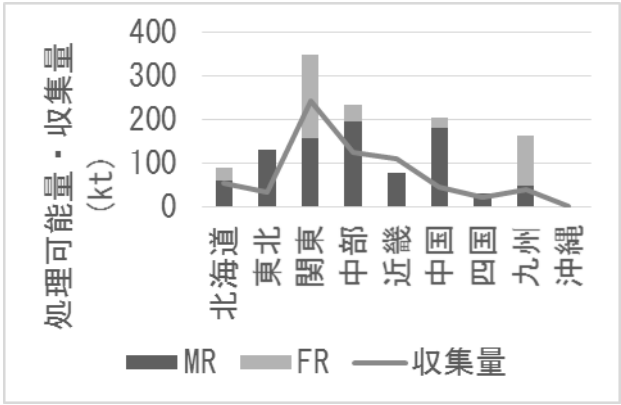


図 2　地域別収集量・処理能力(H28 年度)

4. まとめ

本研究では中間選別施設導入時のコスト最適化(主に輸送について)を行い、選別施設の施設規模、配置を検討した。考えられる導入像として施設候補地、MR 利用樹脂種、需要量制約を組み合わせたシナリオ別に最適化計算を行った。

5. 引用文献

1) 公共財団法人日本容器包装リサイクル協会: プラスチック製容器包装に係る実証実験(平成 24 年 4 月～3 月実施)　報告書, (2014)

表 1　最適化結果における中間選別施設の選別処理量および所在地と輸送元・輸送先

番号	再資源化手法	選別処理量(t)	所在地	輸送元都道府県（保管施設）									輸送先都道府県（再資源化施設）		
1	MR	16623	北海道	北海道									北海道		
2	MR	4257	青森県	青森県	岩手県	秋田県							青森県		
3	MR	21983	宮城県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県					宮城県	千葉県	
4	MR	97391	千葉県	福島県	茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	長野県		千葉県		
5	MR	9647	新潟県	山形県	新潟県								新潟県		
6	MR	12825	富山県	富山県	石川県	福井県	岐阜県						富山県		
7	MR	15098	長野県	新潟県	長野県								埼玉県	千葉県	長野県
8	MR	19015	静岡県	長野県	静岡県	愛知県							神奈川県	静岡県	
9	MR	104296	滋賀県	福井県	三重県	滋賀県	京都府	大阪府	兵庫県	奈良県	和歌山県		滋賀県		
10	MR	39543	広島県	兵庫県	鳥取県	岡山県	広島県	徳島県	香川県	愛媛県	高知県		岡山県	広島県	福岡県
11	FR	40001	北海道	北海道									北海道		
12	FR	35628	千葉県	福島県	茨城県	千葉県	東京都	神奈川県					千葉県		
13	FR	59929	愛知県	福井県	岐阜県	愛知県	三重県	滋賀県					岐阜県	愛知県	
14	FR	49542	福岡県	島根県	広島県	山口県	福岡県	佐賀県	長崎県				福岡県		
15	FR	23737	大分県	熊本県	大分県	宮崎県	鹿児島県	沖縄県					大分県		
16	FR	144511	神奈川県	埼玉県	東京都	神奈川県	山梨県	長野県	静岡県				千葉県	東京都	神奈川県

D2-21,P2-089　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

横断型プラスチックリサイクルのシナリオ分析

Scenario Analysis of Transverse Plastic Recycling

○東野航平 1)、中谷隼*1)、栗栖聖 1)、森口祐一 1)

Kohei Higashino, Jun Nakatani, Kiyo Kurisu, Yuichi Moriguchi

1) 東京大学

* nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

2017 年･2018 年に中国が発表した廃プラスチックの輸入規制、また EU が 2018 年 1 月に発表したプラスチック戦略により、日本国内でもプラスチックごみやプラスチックリサイクルについての関心が高まっている。特に主な廃プラスチックの輸出先となっていた中国の輸入規制による影響は大きく、日本のプラスチックリサイクル事業は再考を求められている。

本研究では、既存の容器包装リサイクル法の範囲では回収されてこなかったプラスチック製品・容器包装についての回収範囲・シナリオを策定し、それらをリサイクルした際の各手法間の環境負荷削減効果を比較することで、より効率的なプラスチックリサイクルのあり方について検討した。

具体的には、各プラスチックリサイクルの手法についてプラスチック樹脂毎の化石資源消費量・二酸化炭素排出量をインベントリデータをもとに算出した。それを原単位とした上で、2011 年のプラスチックのマテリアルフローを用いて各シナリオの樹脂毎のプラスチック回収量を推定し、各リサイクル手法の環境負荷原単位を掛けることで各シナリオの環境負荷を比較した。

2. 分析方法

2.1 プラスチックリサイクルの樹脂毎の環境負荷

プラスチックリサイクルの各手法(MR・油化・ガス化・高炉還元剤粒化、コークス炉化学原料化・RPF 燃料・セメント焼成・焼却発電)について、容リプラベール 1kg あたりの環境負荷を求めたのち、容リプラベール・再商品化製品・残渣・燃焼残渣・埋立残渣における樹脂の組成をもとにプロセス毎の樹脂 1kg あたりの環境負荷を算出し合計した。代替物の環境負荷については熱量換算や樹脂の炭素含有率による重量配分を行った。

システム境界については、回収された容リプラベールがリサイクル手法により再商品化され消費されるまでとし、代替効果は再商品化製品により何が代替されたかを各手法で設定して算出した。

インベントリデータは主に日本容器包装リサイクル協会(2007)を参照した。また、高炉還元剤粒化・コークス炉化学原料化の樹脂毎のインベントリデータは Nishijima et al.(2011)を参照した。燃料等の化石資源消費量・二酸化炭素間接排出量については LCI データベース IDEAv2 を参照した。

2.2 シナリオ分析

いくつかの部門やプラスチックの種類を参考とし、現実的な回収可能性を踏まえて回収範囲を広げ、現行の容器包装プラスチック収集と比較することとした。回収シナリオは以下の 8 つを考慮することとした。各シナリオにおける樹脂組成を図 1 に示す。

- 現行の容器包装プラスチック収集
- 家庭系製品プラスチックのみの収集
- 家庭系製品プラスチック・容器包装プラスチック混合収集
- 家庭系・事業系容器包装プラスチック混合回収
- 家庭系・事業系製品プラスチック混合収集
- 家庭系・事業系製品プラスチック・容器包装プラスチック混合収集
- サービス業容器包装プラスチック収集
- 建設・インフラ業容器包装プラスチック収集

これらのシナリオについて、丸山ら(2019)による 2011 年のプラスチックのマテリアルフローをもとに樹脂毎のプラスチック回収量を推定した。ここで、単位重量あたりのベールに対する金属類・水分の混入量をそれぞれ 2.6%、7.3%と仮定し、それらも回収されるものとした。樹脂毎の回収量をもとに、ベール 1 kg あたりの樹脂の組成をシナリオ毎に算出し、2.1 で算出した環境負荷原単位と掛け合わせることで、リサイクル手法間で環境負荷を比較した。

3. 分析結果

3.1 プラスチックリサイクルの樹脂毎の環境負荷

プラスチックリサイクルの樹脂毎の環境負荷を図 2 および図 3 に示す。樹脂毎に環境負荷削減効果のある手法が違うことが示されている。材料リサイクル(代替率 1)では PE・PP に対する環境負荷削減効果が相対的に大きく、コークス炉化学原料化では PET の環境負荷削減効果が相対的に大きい。

3.2 シナリオ分析

各シナリオでのベール 1 kg あたりの各手法間での環境負荷を図 4 および図 5 に示す。製品プラスチックのみ回収を

行ったシナリオにおいては手法間の優位性が他のシナリオに対して若干異なっており、それ以外のシナリオでは手法間の優位性に大きな違いは見られなかった。これは現行の容器包装プラスチックを回収した時の PVC 樹脂・その他樹脂の割合が約 2%・6%であったのに対し、製品プラスチックを回収した時の PVC 樹脂・その他樹脂の割合が約 12%・23%であったことに起因すると考えられる。これはガス化以外のケミカルリサイクルについて、その他樹脂の原単位の検討が不十分であることにも起因しているが、製品プラスチックを回収・リサイクルした際の環境負荷削減効果は慎重に解釈する必要がある。容器包装プラスチックと製品プラスチックを回収するルートを分け、それぞれに対して適切なリサイクル手法を選択するべきであると解釈することもできる。

4. おわりに

本研究ではプラスチックリサイクル手法での樹脂毎の環境負荷削減効果を算出し、横断型シナリオ毎のプラスチック樹脂回収量を推定することで環境負荷削減効果の手法間比較を行った。

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 1-1601 により実施された。

6. 引用文献

丸山多聞・中谷隼・森口祐一：第 14 回日本 LCA 学会研究発表会，C1-22（2019）

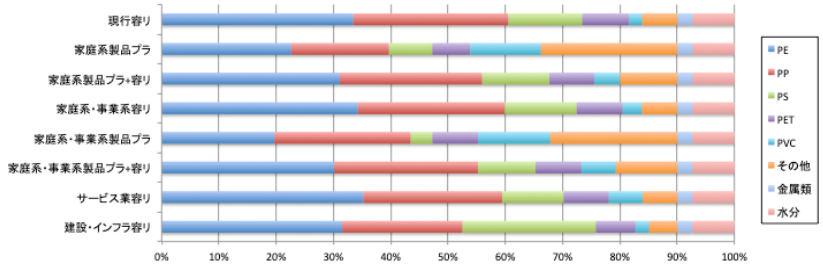


図 1 各シナリオの樹脂組成

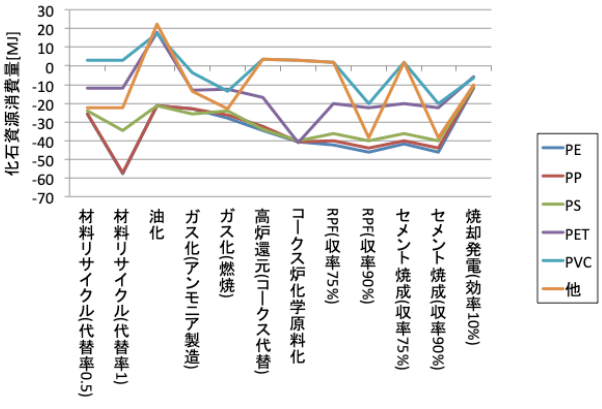


図 2 各リサイクル手法の樹脂別の環境負荷
(化石資源消費量)

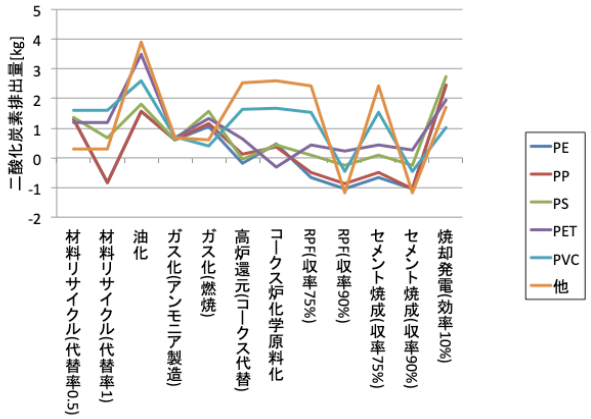


図 3 各リサイクル手法の樹脂別の環境負荷
(二酸化炭素排出量)

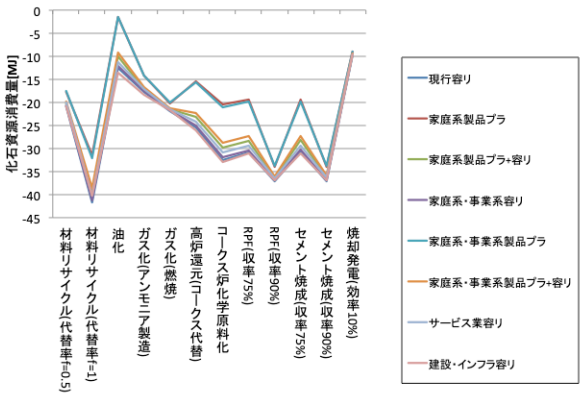


図 4 各シナリオのベール 1kg での環境負荷
(化石資源消費量)

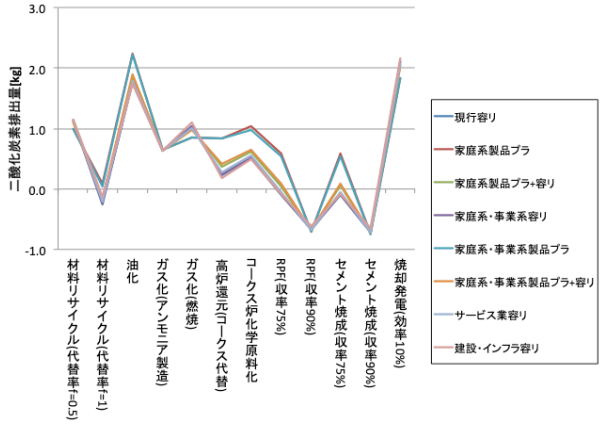


図 5 各シナリオのベール 1kg での環境負荷
(二酸化炭素排出量)

D2-22

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

インドネシアの工場におけるオンサイト型生活排水処理システムのライフサイクルアセスメント

Life Cycle Assessment of Domestic Wastewater Treatment Systems in a Factory of Indonesia

○金子愛里*1),2), 松本 亨 2), 蛯江美孝 3)

Airi Kaneko, Toru Matsumoto, Yoshitaka Ebie

1) 株式会社新菱, 2)北九州市立大学, 3)国立環境研究所

＊ kaneko.airi@ma.shinryo-gr.com

1. はじめに

インドネシアの河川の 75%は深刻に汚染されており、その汚染源の約 60%は生活系排水である。同国では生活排水処理システムとして、家庭、産業施設ともにオンサイト型の Septic tank が広く普及しているが、環境負荷が高いことが懸念されている。そのため大手工場等の産業施設が先駆けとなり、従来式の Septic tank の代替システムとして、日本の技術である浄化槽の普及が始まりつつある。本論文の目的は、インドネシアの工場を対象に、従来式の Septic tank と、日本で開発され同国に導入されている浄化槽のライフサイクルアセスメント（LCA）を行い、それぞれのシステムが BOD 量の除去に要する温室効果ガス（GHG）排出量を比較することにより、排水処理システムに係る環境効率の向上を検討することである。排水処理工程で排出される亜酸化窒素（N_2O）、メタン（CH_4）は地球温暖化係数（GWP）が高いため、これらのガス排出量の把握は重要であるが、同国では有用な実測データがない。そこで本調査では、ジャカルタ市内の工場において Septic tank、浄化槽それぞれのガス分析を実施した。

2. 分析対象資材及びインベントリデータの集計･分析方法

2.1 対象システムの概要とシステム境界

ジャカルタ首都特別州の工場内に設置された Septic tank と浄化槽、それぞれ一基を対象とした。調査対象とした排水処理システムの概要を表 1 に示す。

表 1 排水処理システムの概要

対象システム	処理能力（m³/日）	容量（m³）	平均流入量（m³/日）	使用人数（人）	処理システム
Septic Tank	-	7.22	0.435	164	固液分離
浄化槽	30	21.04	0.968	357	固液分離担体流動方式（窒素高度処理型）

各システムの原料調達から廃棄までの各ステージにおける GHG 排出量、及び廃棄物の排出量を求めた。運転時に直接排出される GHG には CO_2、CH_4、N_2O が挙げられるが CO_2 はカーボンニュートラルとされ、評価対象にならない[1)]。

その他の使用段階の環境負荷として BOD を評価対象とし、その他の COD、SS、アンモニアアンモニア態窒素、pH を参考値として計測した。なお本調査では、排水の自然界における分解により放出する温室効果ガスについては、推計の対象範囲に含めない。機能単位は、流入水約 2.7L/日の処理とし、処理水準についての統一は図られていない。

また廃棄物として、発生する汚泥量と、使用済みの廃棄製品の素材ごとの重量を調査した。なお Septic tank 及び浄化槽はどちらも耐用年数を 30 年とした。

2.2 サンプリング・分析、その他の情報収集方法

流入水と放流水は、計 44 日間のサンプリングを行い、インドネシア国家基準に準じて分析した。

ガスサンプルは既報の論文[2),3),4)]を参考に、2 日にわたり日中に複数回行った。原則として 5 分おきに計 4 検体採取するとともに、周辺空気をバックグラウンドとして採取した。1 回のサンプリングで得られる 4 検体の N_2O、CH_4 濃度の測定値から、バックグラウンドの測定値を差し引き、4 つの値の平均濃度を求め、以下式によりガス重量を求めた。

$$w = \frac{pVM}{RT}$$

w=重量、p=気圧、V=体積、M=分子量、R=モル気体定数、T=熱力学温度

また各システムの素材重量、運搬・製造にかかるエネルギー、運転時の電力消費量及び汚泥発生量については、既往文献と現地調査をもとにデータ収集又は算出した。軽油消費量に関しては、輸送重量と走行距離から、トンキロ法を用いて CO_2 排出量を算出した。

2.3 原単位データと地球温暖化係数(GWP)

電力[5)]、製品材料の大部分を占めるセメント、鉄筋、プラスチックのみインドネシアの現状を反映させるため、そ

れぞれの産業における原料製造にかかるエネルギー量をインドネシアと日本で比較し、IDEA ver. 2 の原単位にその比率を乗じた。その他の素材、及び軽油については、ライフサイクル全体に占める割合が非常に少ないため、IDEA ver. 2 または参考文献から原単位をそのまま用いた。また CH_4、N_2O の GWP は、最新の IPCC 評価報告書（2013 年）AR5 にしたがい、それぞれ 28、265 を用いた。

2.4 環境効率

次の式により環境効率を求めた。

$$\text{環境効率} = \frac{\text{BOD除去量(kg/人/年)}}{\text{GHG排出量(kg-CO2eq/人/年)}}$$

3. インベントリデータの集計・分析結果

3.1 水質

水質分析の結果、Septic tank の BOD 除去率は 23%であったのに対し、浄化槽は 91%と高い処理能力を発揮した。しかし浄化槽のアンモニア態窒素については、一回目は分析を実施せず、二回目は基準値を超過していた。その原因は不確定ではあるが、汚泥の引き抜きが一年以上行われていなかったこと、また流入水はし尿が主体であり、アンモニア態窒素含有量が設計値のおよそ 2 倍であったため、通常よりもアンモニア態窒素が多く残留したことが考えられる。浄化槽は、従来システムの Septic tank よりも大幅に環境負荷を低減できると考えられるが、同国の基準値を満たすには、汚泥引き抜きや、循環量の管理を適切に行うことが重要である。また Septic tank についてもその処理性能は、過去のメンテナンス状況等に左右されることが考えられ、精緻なデータを得るにはさらなる調査が必要である。

3.2 温室効果ガス（CH_4、N_2O）

Septic tank から直接排出される N_2O は 0.06kg/tank/年、CH_4 は 262kg/tank/年となった。一方、浄化槽の N_2O 排出量は 3.51kg/tank/年、CH_4 は 42kg/tank/年であった。Septic tank の一人当たりの N_2O 排出量は浄化槽より約 26 倍低く、CH_4 排出量は約 14 倍高かった。今回は、Septic tank、浄化槽ともに 1 現場ごとの単発の調査結果であり、精緻なデータを得るにはさらなる実地調査が必要と考えられるが、本調査結果は、処理機構の違いを如実に反映されていることが示唆された。

4. 排水処理システムの環境効率比較結果

水質分析の結果から、それぞれの処理システムによる BOD 除去削減量は、Septic tank で 20.4/人/年、浄化槽で 105.3/人/年であった。Septic tank のライフサイクルにおける一人当たりの GHG 排出量は 48.1kg-CO^2eq/人/年、浄化槽は 26.2kg-CO2eq/人/年であった。Septic tank の環境効率は 0.4、浄化槽は 4.0 であり、浄化槽は Septic tank に比べて 10 倍環境効率が高い結果となった。

どちらのシステムのおいても運転段階の GHG 排出量がライフサイクル全体のほとんどを占めたが、その要因は異なった。Septic tank では排ガスが全体の 93%を占めた一方、浄化槽ではブロワの電力使用による CO_2 排出量が 61%と最も高い結果となった。直接排出される N_2O、CH_4 を除いた GHG 排出量と運転・メンテナンス時内訳の比較を図 1 に示す。

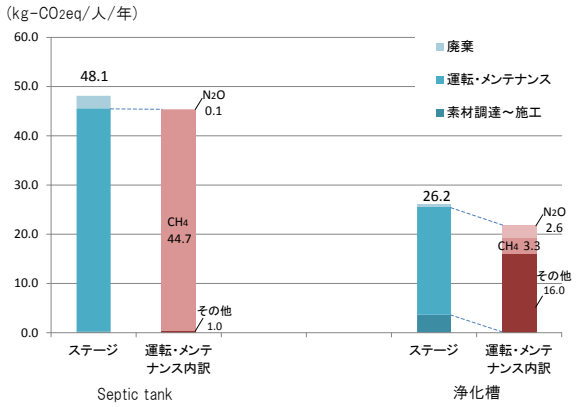


図 5　一人当たりの年間 GHG 排出量と運転・メンテナンス時の内訳

ガス発生量は、メンテナンス状況、流入水質、水量等により変動し得るが、現地では比較できる実測データが不足している。一般性を高めるためにはより多くの事例が求められるが、本調査の結果からは Septic tank の代替システムとして浄化槽を導入することで、運転時の N_2O、CH_4 の排出量を大幅に削減し、ライフサイクル全体では GHG 排出量を 46%%削減できることがわかった。一方で、浄化槽によるさらなる GHG 削減に向けては、ブロワの省エネ化等による電力使用量の削減が求められる。

引用文献

1) Intergovernmental Panel on Climate Change (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
2) 蛯江美孝, 山崎宏史, 小椋有未永, 徐開欽 (2012): 浄化槽における CH4, N2O 排出量に及ぼす原水流入変動と嫌気-好気循環の影響解析, 水環境学会誌, 35 (2), 27-32
3) Ebie Y., Yamazaki H., Inamura S., Jimbo Y., Kobayashi T., Ueda H. (2014): Development of Emissions Factor for the Decentralized Domestic Wastewater Treatment for the National Greenhouse Gas Inventory. Journal of Water and Environment Technology, 12 (1), 33-41
4) 山崎宏史, 豊貞佳奈子, 蛯江美孝, 西村修 (2017): 節水機器の導入が浄化槽からの温室効果ガス排出量に及ぼす影響, 土木学会論文集 G（環境）, Vol. 73, Ⅲ_71-Ⅲ_77
5) Institute for Global Environmental Strategies (2017): IGES List of Grid Emission Factors, Update version 9.2

Supporting Information

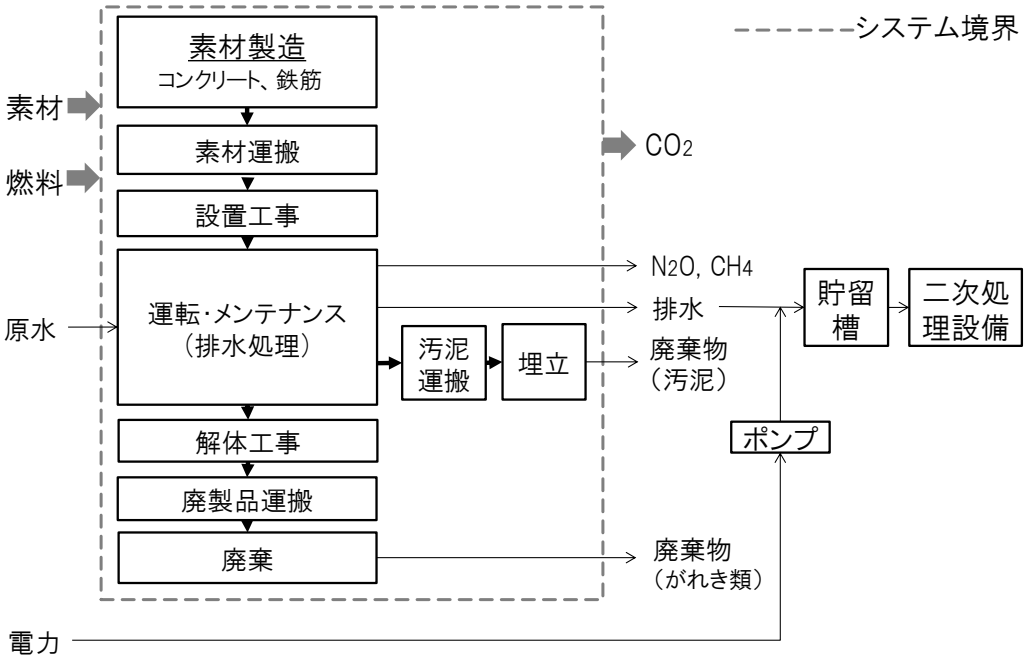


図 1 Septic tank のシステム境界

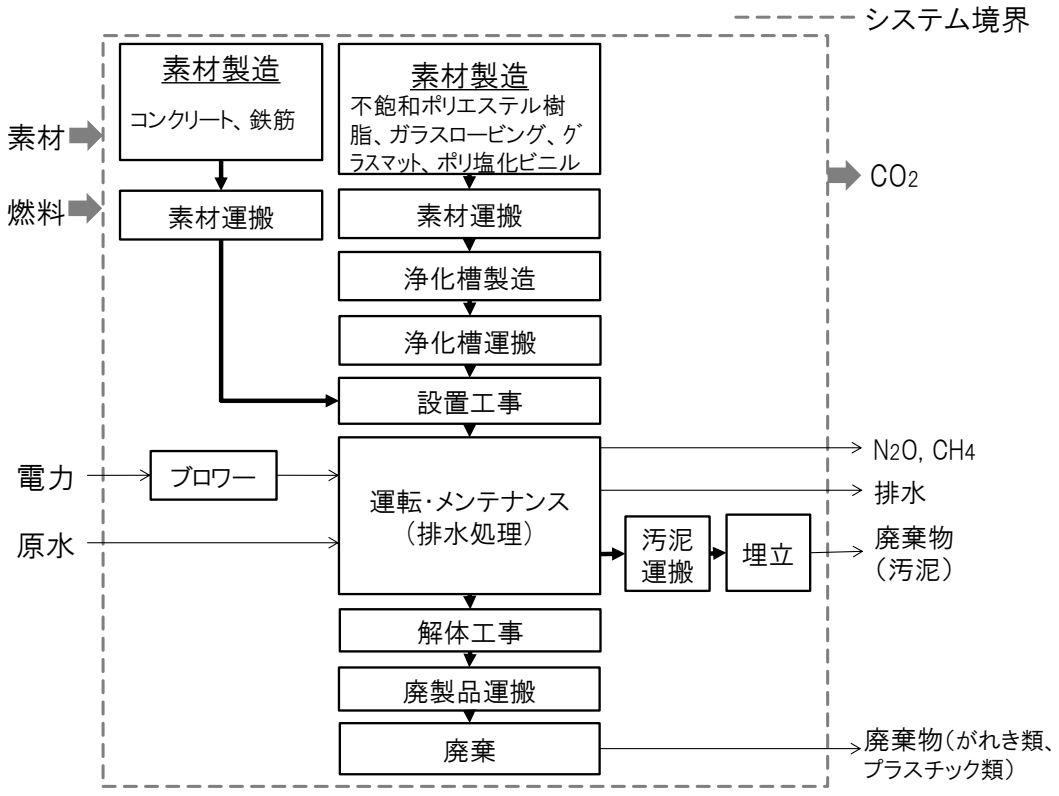


図 2 浄化槽のシステム境界

D2-23
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

少子高齢化する地方圏において持続可能な可燃ごみ・下水処理に関する研究

Study on sustainable combustible waste and sewage treatment in rural areas with declining birthrate and aging population

○川﨑聡太*[1)]、鷲巻峰夫[1)]
Sota Kawasaki, Mineo Tsurumaki
1) 和歌山工業高等専門学校
* kawasakisota@gmail.com

1.　はじめに

我が国では、少子高齢化が進行するとともに人口減少が始まっている。特に、地方では急速な人口流出も伴っており、地域社会の持続にとって大きな問題となっている。このような地域においては、地域の縮小化に対して生活インフラに関わるサービスも再編が必須であり、その質的な維持が課題となる。本研究は、可燃ごみ処理と下水処理について、連携処理の強化によって、縮小する地方社会においても低炭素社会にも貢献できる持続可能なシステムの提案を行うことを目的として行っている。

本報では、和歌山県中部に位置する田辺市を事例研究対象として、小規模施設でも外部への供給で経費削減に貢献可能なエネルギー回収、処理対象物の組み替えによるごみ収集の効率化等について、その効果を温室効果ガス（以下「GHG」）で検討した結果を報告する。

2.　研究方法

2.1　事例研究の対象地域の概要

検討対象の田辺市は和歌山県南部に位置し、平成 17 年度に旧田辺市等 1 市 2 町 2 村が合併して現在の田辺市となった。人口約 74 千人（H.30 年 11 月現在）、総面積は 1,027 km^2 で和歌山県総面積の約 22%を占めており、広域行政圏としても捉えることができる面積を有している。同市は和歌山県第 2 の都市であるが、今後大幅な人口減少が予測されている。

2.2　適用技術について

2.2.1　乾式メタン発酵

可燃ごみのエネルギーリサイクルとしては焼却廃熱発電があるが、小規模な施設には適しておらず、今後人口減少が予測される田辺市での広域化を前提としても導入は難しい。そこで、粉砕した紙や脱水汚泥等にも適用可能な乾式メタン発酵の適用を考慮する。乾式メタン発酵の対象となるのは、可燃ごみ中の厨芥・紙・木及び下水汚泥とした。

乾式メタン発酵は対象汚泥の固形分濃度が 15～40%（含水率が 85～60%）[1)]とされている。ここでは、メタン発酵対象の廃棄物を混合した物の固形分濃度が 20%前後の横型発酵槽の乾式 A、40%前後の縦型発酵槽の乾式 B の 2 方式の導入を考慮する。なお、現状においてごみの分別が比較的徹底されていることと、住民の協力を前提に発酵不適物等の排除のための前処理は考慮しない。

2.2.2　下水道直投型ディスポーザーと可燃ごみ収集

厨芥類を可燃ごみ収集から取り除くことで、収集頻度を削減することとし、下水道直投型ディスポーザー（以下「直投型 DP」）の導入を提案する。直投型 DP は、将来的に全ての家庭に導入されるとした。導入により生じる下水道への負荷は SS で 8.1g/（人・日）、汚水量は 5L/（人・日）[2)]とした。

可燃ごみから易分解性の厨芥を排除することにより、収集頻度を 2 回/週から、1 回/2 週に削減することを想定する。

2.2.3　汚泥濃縮車

浄化槽汚泥収集の効率化として汚泥濃縮車による収集で含水率 96%まで濃縮できることを想定し、輸送の燃費向上を考慮する。また、厨芥排除後及び乾式 B 導入時には水分調整としての利用も考慮する。

2.2.4　メタン発酵残渣の発熱量維持

メタン発酵残渣は焼却処理を行う。残渣は発熱量が低下するので、自燃するレベルとされる低位発熱量以上となるように対策を講じる。乾式 A では、高効率脱水技術の導入を前提とする。乾式 B では含水率が高く脱水の効率が著しく低下するので、前処理の段階で紙ごみ・繊維類の 15～25%を取り除き、メタン発酵をバイパスして焼却に回すこととする。

2.3　検討ケース

全体のケースとしては、乾式 A、B、直投型 DP 等の適用の有無により表 1 に示す 7 ケース（現状 : 1 ケース、将来 : 6 ケース）を設定した。

表 1　検討ケース

	年	下水整備	デイスポーザー	メタン発酵	汚泥濃縮車
Case-1	2013	-	-	-	-
Case-2	2040	完備	-	-	-
Case-3	2040	完備	導入	-	-
Case-4-1	2040	完備	-	乾式A	-
Case-4-2	2040	完備	導入	乾式A	-
Case-5-1	2040	完備	-	乾式B	導入
Case-5-2	2040	完備	導入	乾式B	導入

人口は、2020 年から 2040 年までの人口を田辺市の旧市

町村構成別で2010～15年の国勢調査人口をベースとしてコーホート法で 5 年ごとに予測した。将来ケースの検討には予測した 2040 年の総人口を用いた。

生活排水処理については、県の汚水適正処理構想にもとづいて区域設定して、未整備である中心市街地での整備と各集合処理区域での 100%接続を想定し、その他は合併浄化槽とした。

各ケースにおける可燃ごみ発生量、下水汚泥発生量は、現状での原単位を用いて予測した。新設の中心市街地の下水道については、下水道統計の実績から原単位を設定した。

GHG 排出量の計算に用いた原単位は製品やエネルギーについてはMiLCA の原単位データベースである IDEA（旧バージョン）、反応による直接排出については環境省の「温室効果ガス算定・報告・公表制度」における原単位を用いた。

3.　結果と考察

5 年ごとに予測した人口のうち、2010 年、2025 年、2040 年の旧市町村別構成人口を図 1 に示す。2040 年における田辺市の総人口は 48,505 人なり、2013 年の 79,748 人から約 39%減少する結果となった。旧市町村構成別に 2010 年→2040 年の変化を見ると、旧田辺市は約 33%の減少にとどまったのに対し、他の 4 町村は約 56～76%の減少となり、人口減少・過疎化の影響を大きく受けることが分かった。これは旧田辺市を除く 4 町村は山間部に位置していることが要因だと考えられる。

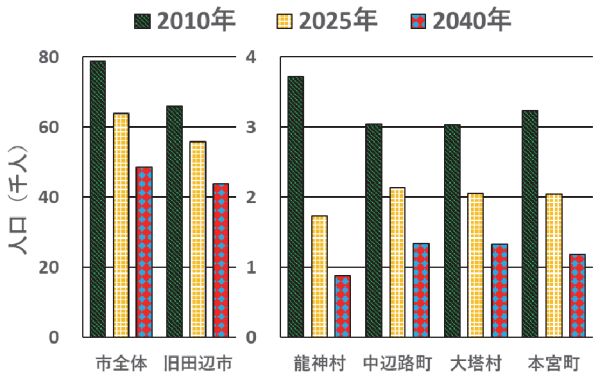


図 1　旧市町村構成別人口の推移

予測した 7 ケースにおける GHG 排出量･削減量のうち 3 ケースをグラフにしたものを図 2 に示す。3 ケースのうち GHG 排出量は Case-2 が最大となった。これは、Case-2 を除く 2 ケースは、乾式メタン発酵によるエネルギーリサイクルにより GHG 排出量を削減できたからである。3 割程度の GHG 排出量を削減できることが分かり、乾式メタン発酵の導入はエネルギーリサイクルとして有効的な技術と考えられる。

次に、図 2 から Case-4-1、Case-5-1 の GHG 排出量を比較する。Case-5-1 におけるメタン発酵残渣は脱水が不要であることから、「汚泥再生施設」の項目の GHG 排出量が 0 となっている。これは、脱水及び水処理が不要になったためである。また、Case-5-1 は Case-4-1 より低含水率であることから、メタン発酵対象廃棄物の容積がより小さくなり、「メタン発酵・運転」にかかる GHG 排出量が小さくなった。一方、「メタン発酵・削減」を比較すると、Case-5-1 は Case-4-1 より GHG 削減量が小さくなった。これは、乾式 B では残渣の脱水を不要とするため紙ごみ・繊維類の一部をあらかじめ取り除いたことが要因となった。これらをまとめた GHG 排出量の合計は Case-5-1 の方が Case-4-1 に比べ小さくなった。

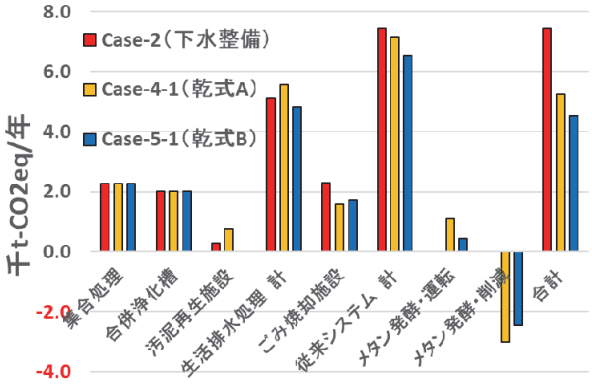


図 2　GHG 排出量

4.　まとめ

本研究では、GHG 排出量を指標とし、少子高齢化・人口減少が予想され、今後、効率的なごみ・下水処理が困難と考えられる地域における可燃ごみ・生活排水の連携処理を検討した。エネルギーリサイクルの技術として乾式メタン発酵の導入は GHG 排出量の削減に効果的だと分かった。また、汚泥濃縮車の導入による施設への入り口での搬入物の含水率調整で、乾式 B の方式では、汚泥処理を含む排水処理過程が省略できる可能性が示された。

今後の課題としては、経済的評価に加えて、今回、効果が現れなかった直投型 DP について、下水道への負荷を見直す予定にしている。既に導入している地域の処理施設での実績では、水質負荷の増加が見られておらず、現在、実験によって検証を行っている。

引用文献

1)　株式会社タクマ等:“コンポガス式メタン発酵技術”, 社団法人　全国都市清掃会議, (2001), p58

2)　国土技術政策総合研究所資料：“ ディスポーザー導入による影響評価に関する研究報告”, No.222, (2005), pp.27-34

E2-19,P2-121　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

金属資源のクリティカリティを考慮した IT 機器の環境影響評価

Environmental impact assessment of the IT equipment considering criticality of metal

○神澤優磨*[1)]、竹中みゆき [2)]、畑山博樹 [3)]、伊坪徳宏 [1)]

Yuma Kanzawa*[1)], Miyuki Takenaka[2)], Hiroki Hatayama[3)], Norihiro Itsubo[1)]

1) 東京都市大学　2) 株式会社日立ハイテクノロジーズ　3) 国立研究開発法人産業技術総合研究所

* g1562019@ tcu.ac.jp

1. 背景

金属資源は現代社会にとって必要不可欠で様々な製品等に利用される一方で、枯渇、偏在性、採掘に伴う環境破壊等、様々な課題がある。金属資源の調達を巡っては、各国が戦略として優先的に確保すべき金属資源を定めている。これは自国の経済を第一に考えた戦略のひとつと考えられる。一方で、サーキュラー・エコノミーに代表されるように世界規模での循環型経済の実現に向けた取り組みは、各分野において活発に行われており、LCA でもその効果に対する定量分析が行われている。

LCA は一般に資源消費をひとつの影響領域と捉えており、これまでに多くの特性化係数が開発されている。一方で、既存の特性化係数は枯渇性に注目しており、偏在性など他の側面に関する評価は対象外であることが多い。LCA が実施されている一方で、上に挙げた複数の課題に注目した評価事例は少ない。

近年金属のクリティカリティに注目した評価が各国で行われている。クリティカリティ評価では、対象国にとって戦略的に確保すべき資源を定めるために実施されることが多いが、企業や製品ライフサイクルの視点から評価を行った研究は少ない。

2. 研究目的

本研究では、金属資源を対象にクリティカリティ評価が対象とする範囲を網羅しつつ、LCA を通じて製品ライフサイクルに注目した分析を行うための評価手法を開発することを目的とする。

さらに、当該手法を IT 機器を対象とした評価に適用することで、その評価手法の利用可能性について検証する。

3. クリティカリティ評価用特性化係数の開発

3.1 評価対象項目

本研究では、スマートフォンなどの IT 機器に利用される主な金属資源を評価項目とした。具体的には、表 1 に示す金属資源 22 種類を評価項目とした。

表 1 本研究で対象とする金属資源

亜鉛(Zn)	白金(Pt)	アルミニウム(Al)
金(Au)	クロム(Cr)	ジルコニウム(Zr)
銀(Ag)	コバルト(Co)	ストロンチウム(Sr)
水銀(Hg)	タンタル(Ta)	タングステン(W)
錫(Sn)	チタン(Ti)	パラジウム(Pd)
鉄(Fe)	ニオブ(Nb)	モリブデン(Mo)
銅(Cu)	ニッケル(Ni)	
鉛(Pb)	マンガン(Mn)	

3.2 算定方法

LIME2 の特性化係数を参考に、クリティカリティ評価用の係数開発を行った。本研究では、地政学、地質学、代替性の三側面に注目し、それぞれの側面について鉄を基準金属として係数開発を行った。その際に利用するパラメータは、USGS[1)]より生産量(2016 年)・埋蔵量(2018 年)、世界ガバナンス指数 [2)]より Political Stability and Absence of Violence/Terrorism の Rank(2016 年)、EU の報告書 [3)]より代替性指標を用いた。

・地政学

「地政学」で考慮する要素は、地理的な要因と生産国の政治安定性とした。特性化係数作成の算定式を以下に示す。

$$HHI_{WGI} = \sum_{c} \left(S_{ic}\right)^2 WGI_c$$

HHI：Herfindahl-Hirschman Index

Sic：c 国の生産量シェア度

WGIc：c 国の World Governance Indicator

$$CF(\text{地政学}) = (HHI_{WGI\,r} / P_r) / (HHI_{WGI\,Fe} / P_{Fe})$$

r：資源の種類、P：世界の年間生産量

・地質学

「地質学」では資源枯渇の切迫度について注目した。本研究では可採年数をパラメータとして用いることとした。特性化係数作成の算定式を以下に示す。

$$CF(\text{地質学}) = \{1 / (R_r / P_r)\} / \{1 / (R_{Fe} / P_{Fe})\}$$

R：埋蔵量、r：資源の種類、P：世界の年間生産量

・代替性

「代替性」では、代替可能性に関する側面に注目した。特性化係数の算定式を以下に示す。

$$\sigma_i = \sum_s A_s \sigma_s$$

i：資源の種類、A：シェア度、s：使用時の用途、

σ ：Substitutability Index

$$CF(\text{代替性}) = (\sigma_r / P_r) / (\sigma_{Fe} / P_{Fe})$$

σ ：代替性、r：資源の種類、P：世界の年間生産量

4. IT 機器を対象としたクリティカリティ評価

4.1 使用データ

本研究では、スマートフォンとタブレットを対象に、蛍光 X 線分析により製品中の金属含有量を得た。これらを活動量として用いるとともに、本研究で開発した特性化係数との積和により影響評価を行った。以下に算定式を示す。

$$\text{特性化} = \Sigma(\text{活動量} \times \text{特性化係数})$$

5. 結果

開発したクリティカリティ評価用の特性化係数についての結果を図 1 に示す。係数化には各金属の生産量を除して計算し、生産量が少ない金属は値が大きく、生産量が多い金属は値が小さくなるようにした。影響が大きい金属として白金等の貴金属が挙げられる。一方、影響が小さい金属としてはアルミニウム等のベースメタルが挙げられる。その差は約 6 桁であった。

次に、係数化に用いたパラメータについて考察する。地政学において最も値が大きい金属はニオブである。ニオブ生産の約 8 割はブラジルで行われており、ブラジルの政治安定性は中国と同等に比較的不安定であることが起因していると考えられる。一方で、最も値が小さい金属はニッケルである。フィリピン、ロシア等の様々な国で生産される金属であることが起因していると考えられる。地質学において最も値が大きい金属は錫である。可採年数は約 17 年と推計された。一方で、最も値が小さい金属はジルコニウムである。可採年数は約 8300 年と推計された。代替性において最も値が大きい金属はクロムである。製品中のクロムは他の金属で代替することが難しいと考えられる。一方で、最も値が小さい金属はチタンである。

6. 結論

既存のクリティカリティ評価を参考に金属毎の生産量を用いて係数化し、影響領域毎に各金属が及ぼす影響を確認することができた。

また、本研究にて用いた手法を IT 機器に適用させた場合の結果については学会報告時に示す。

7. 課題

製品含有金属資源の影響は確認できたが、製品化に伴う金属資源のロスや投入資源について考慮するまでは至らなかった。また、WGI の値がない国や Substitutability Index の値がない金属は、対象国や対象金属における平均値を当てはめたため不確実性が高い。

8. 参考文献

1） USGS：Mineral Commodity Summaries 2018 入手先 <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>

2） Worldwide Governance Indicators 入手先 <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>

3） OAKDENE HOLLINS : Study on Critical Raw Materials at EU Level – Final Report(2013)

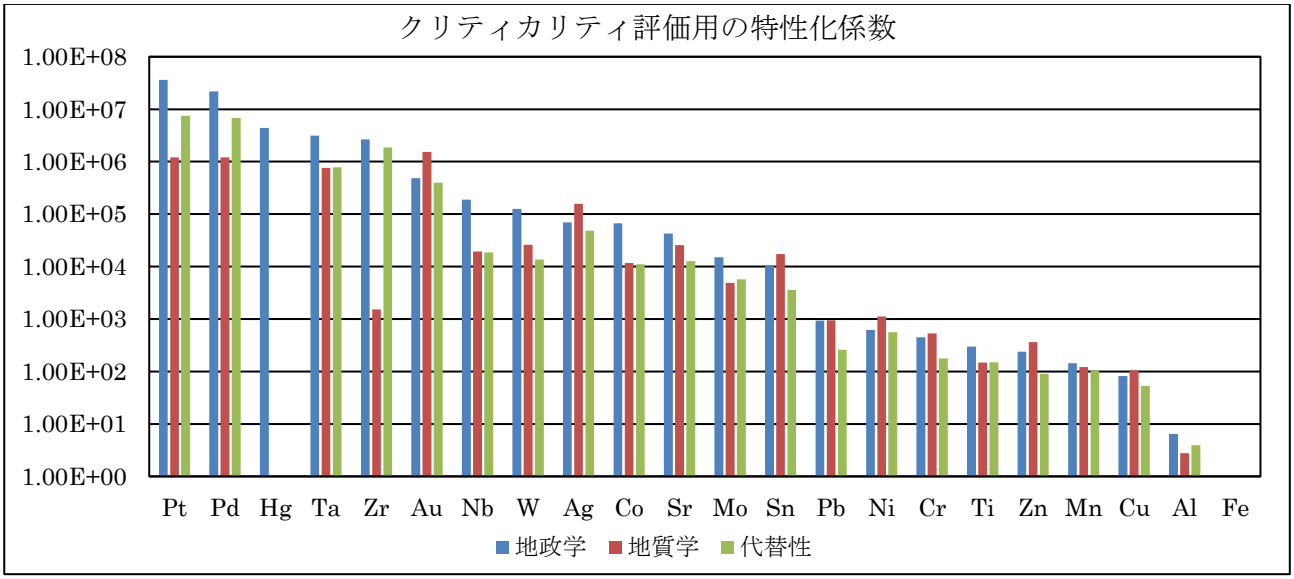


図 1 本研究で開発したクリティカリティ評価用の特性化係数(各金属)

ICT 利用による日本のエネルギー需要と CO_2 排出削減に及ぼす影響の将来予測

A Prediction on Impacts of using ICT Services on the Reduction of Energy Demand and CO_2 Emissions in Japan

○張暁曦 [1)]，篠塚真智子 [1)]，高田英俊 [1)]，林克也 [1)]，田中百合子 [1)]，金森有子 [2)]，増井利彦 [2)]

X. Zhang, M. Shinozuka, H. Takada, K. Hayashi, Y. Tanaka, Y. Kanamori, T. Masui

1) NTT ネットワーク基盤技術研究所，　2)国立環境研究所

1)NTT Network Technology Laboratories 2) National Institute of Environmental Studies

* xiaoxi.zhang.bc@hco.ntt.co.jp

1. はじめに

情報通信技術（ICT）は，ICT 機器の利用による環境負荷（電力消費による CO_2 排出など）が発生する面を持つ一方，生産・消費効率の大幅の向上や脱物質化などを通じて環境負荷の削減に貢献できる技術の一つでもある．これまでに，ICT サービスの利用による環境及び経済への影響評価が行われている [1)-3)]．著者ら [3)] では，応用一般均衡モデル [4)]を用いて，代表的な 20 種類の ICT サービスの利用による環境及び経済面の効果として，2013 年においては ICT サービスを導入しない場合と比べて，CO_2 は 695 万 t-CO2 削減され，GDP は 10.57 兆円増加すると試算した．

一方で，近年 ICT の進歩が非常に速く，将来に向けて ICT の発展が日本の CO_2 排出削減に対して重要なファクターの一つとしてあげられるが，ICT の利用による CO_2 排出削減効果に関する将来推計がまだほとんど行われていない．そこで，本研究では，ICT の利用による環境（エネルギー需要，CO_2 排出）及び経済への影響について逐次動学型応用一般均衡モデルを用いて 2030 年までの定量的な分析を行う．

2. 分析方法

2.1　モデルと使用データ

本研究では，著者ら [3)]で使用されている日本を対象とした静学応用一般均衡モデルを逐次動学に拡張した応用一般均衡モデルを用いて分析を行っている．モデルは 2005 年を基準年とし，2005 年の産業連関表を使用して基準年におけるモデルの様々な係数のキャリブレーションを行っている．将来の技術進歩についてのシナリオは，新規に導入される資本を対象に想定し，こうした資本が各部門に蓄積されることで技術進歩が実現するとしている．ICT サービスが普及する過程も同様に，ICT サービスを提供する資本が新規投資として導入されることを通じて定式化している．つまり，従来の方法でサービスを提供する資本に対して，ICT 技術によって効率化された方法でサービスを提供する資本が，資本蓄積の過程でシェアを拡大することで ICT サービスの普及が拡大するとしている．

2.2　ICT サービス

今回の分析では，表 1 に示す 6 分野 20 種類の ICT サービスを評価対象としている．これらのサービスの利用による直接な効果によるモデルの係数の変化ついては著者ら [3)]に基づいて設定している．

表 1 対象とする ICT サービス

金融	A_1　ネットバンキング
	A_2　電子債権
公務	B_1　電子入札
製造業	C_1　生産流通管理
	C_2　中古自動車部品
	C_3　産業機械
	C_4　建設機械
	C_5　電算機及び関連機器
流通・サービス業	D_1　BtoC　電子商取引
	D_2　航空券のネット予約
	D_3　コンビニ店におけるネットサー
	D_4　BtoB　電子商取引
	D_5　音楽系コンテンツの電子化
	D_6　映像系コンテンツの電子化
	D_7　PC ソフトの電子化
	D_8　書籍の電子化
	D_9　遠隔管理
医療	E_1　電子カルテ
共通	F_1　テレワーク
	F_2　遠隔会議

2.3　将来シナリオ

将来における ICT の利用による環境及び経済への影響を分析するために，2030 年までの将来シナリオを設定し，分析を行う．GDP や人口の前提はすべてのシナリオで共通して，2015 年に開催された COP21 に向けて日本政府から提出された約束草案の想定を用いた．また，2005 年から 2017 年までの普及率データ [5)]に基づいて各 ICT サービスの普及率近似曲線を外挿すると，各 ICT サービスの 2030 年までの普及率は表 2 のように推定される．さらに，これらの ICT サービスを普及

するための ICT 投資額は,「全国 SI/NI ベンダーの新ビジネス戦略調査」[6] にある SI/NI 全国市場規模を参考に 2030 年まで推計し，これらの値をもとに ICT サービスを提供する活動を定義している．

定量化においては，ICT サービスの普及が現状から進展しない BAU シナリオ(A)と ICT サービスの提供が可能な資本が導入される ICT シナリオ(B)の２種類である．

表２　各シナリオにおける ICT サービスの普及推計

	普及率指標	2030 年	
		シナリオ（A）	シナリオ（B）
A_1	ネットバンキング口座数	8209 万	14646 万
A_2	電子債権記録請求件数	582 万	2371 万
B_1	入札件数	83 万	96 万
C_1	システム導入率	40.00%	54.00%
C_2	リサイクル率×BtoB EC 化率	0.29%	0.45%
C_3	リサイクル率×BtoB EC 化率	1.69%	2.68%
C_4	リサイクル率×BtoB EC 化率	1.43%	2.27%
C_5	リサイクル率×BtoB EC 化率	2.16%	3.43%
D_1	EC 化率	5.79%	12.20%
D_2	オンライン予約率	52.00%	72.00%
D_3	サービス利用率	18.40%	25.40%
D_4	EC 化率	29.60%	41.30%
D_5	電子配信率	53.60%	53.60%
D_6	電子配信率	48.50%	60.00%
D_7	ASP 進展率	37.00%	100.00%
D_8	電子書籍率	13.92%	47.90%
D_9	システム導入率	34.00%	100.00%
E_1	システム導入率	34.40%	74.40%
F_1	テレワーカー割合	14.70%	34.00%
F_2	システム利用率	13.64%	29.00%

3. 分析結果

本稿では，表２で示している 20ICT サービスのうち普及が大きく進むと想定される普及率が上位８位までのサービスによる評価結果を示す．現時点での結果として，BAU シナリオに対する ICT シナリオの GDP 増加額と CO_2 削減量をそれぞれ経年的に示したものを図１に示す．本分析では取り上げる ICT サービスが限定的ではあるため変化量は少ないが，静学モデル[3]と同様に，ICT サービスの普及に伴い，CO_2 排出削減効果と経済効果の両方を生み出していることがわかる．変化の傾向を見ると，GDP の変化については，投資することによって利益が迅速に出る産業部門に集中しがちな傾向があり，変化幅がやや大きい．CO_2 排出削減については，ICT サービスの普及状況に大きく依存するため，GDP の変化と比べてなめらかな変化がみられる．

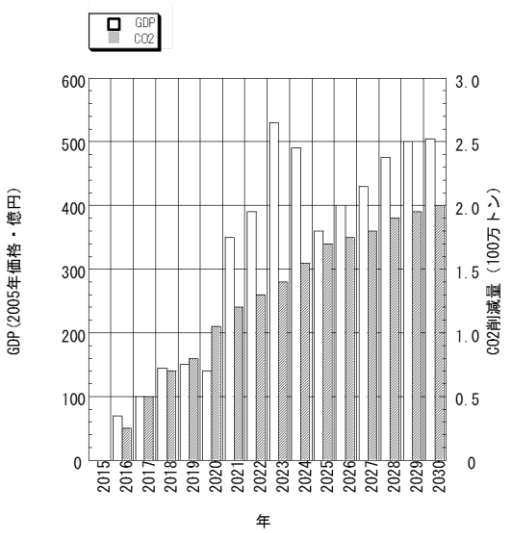


図１　対象とした ICT サービスによる GDP の増加と CO_2 排出削減量の推移

4. 本研究の結論と今後の課題

本研究では，ICT サービスの普及の違いによる 2030 年の経済活動及び CO_2 排出量への影響について分析を行った．8 種類の ICT サービスを対象とした分析であったが，これまでの静学モデルによる分析と同様に，経済的なメリットともに CO_2 排出削減効果を確認することができた．

今後の課題として，表１に示したすべての ICT サービスの普及による定量化が挙げられる．また，動学モデルによる分析の特徴を生かすためにも，ICT サービス技術の普及のメカニズムを精緻化することや，今後の技術展開に伴う新たな ICT 技術及びサービスの出現と既存サービスとの置き換えといった分析なども必要になると考えている．

5. 引用文献

1) 松本光崇，浜野絢子，田村徹也，井口浩人，ユビキタス化が日本のエネルギー需要にもたらす影響の分析，IEEJ Trans. EIS,125,1544-1551(2005)
2) Nagao, T., Hara, M., Hannoe, S., Nakamura, J.: Ecodesign 2015, Tokyo, (2015)
3) T. Origuchi, M. Shinozuka, X. Zhang, Y. Munesue, Y. Kanamori, T. Masui (2017): Assessment of impacts on CO2 emissions and GDP of ICT services in Japan using computable general equibrium model, Proceeding of Ecodesign 2017 International Symposium (2017)
4) 増井利彦，日比野剛，大城賢；土木学会論文集 G(環境), 70 (5), (2014), pp.I_43-I_51
5) 総務省，情報通信白書，各年度
6) 富士キメラ総研,「全国 SI/NI ベンダーの新ビジネス戦略調査　2017 年版

E2-22,P2-095　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

ICT の持続可能性の評価方法の開発

Development of Evaluation Method for Sustainable ICT

○武田明日花 1)、並河治 2)、稲葉敦*1)
Asuka TAKEDA, Osamu NAMIKAWA, Yuji SAKAI, Atsushi INABA
1) 工学院大学, 2) 株式会社日立製作所
* a-inaba@cc.kogakuin.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]。2016 年の情報通信業の市場規模(名目国内生産額)は 94.4 兆円を占めており、全産業の中で最大規模の産業である [2]。さらに、ICT は時間短縮、安全性、楽しさといった社会的価値があり、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 [3]。本研究では、ICT が社会に普及する理由を分析する。そのために、ICT の 3 軸評価による評価方法を開発する。特に、LIME2 による炭素価格(2.3 円/kg-CO_2)では、3 軸評価の中で炭素価格が安く環境面の影響が非常に小さく評価されてしまうため、炭素価格を見直し評価方法を検討する。

2. 研究方法

2.1 炭素価格の再検討

日本と諸外国における炭素価格を調査した(表 1)。

3. 結果および考察

表 1 から、2016-2100 の長期シナリオにおけるパリ協定達成(1.5℃目標)に必要な明示的炭素価格(28 円/kg-CO_2)を TV 会議システムの事例 [3]に適用し、図 1 に示す。28 円/kg-CO_2(右)を適用しても全体の 4%しか占めない。炭素価格による金銭換算によって、ICT を活用した時の環境側面は経済・社会側面よりも小さいことがわかった。しかしながら、CO_2 排出量は発生しており、環境負荷が全くないということではないため、CO_2 排出量と経済・社会的価値の関係に焦点を当て、評価方法を検討した。

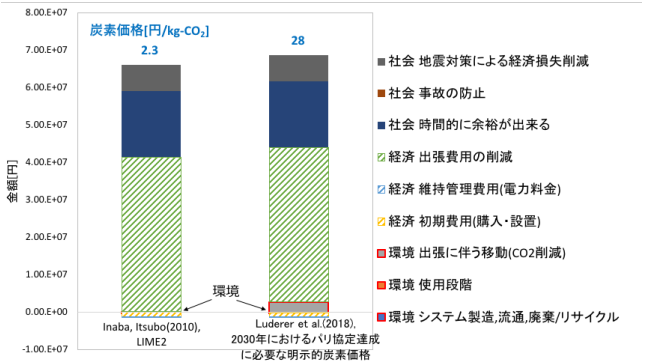


図 1　炭素価格と 3 軸評価（事例 TV 会議システム）

4. 社会的価値を含めた削減費用の検討

ICT が普及した時の CO_2 排出量と経済・社会的価値の関係を示すことで、ICT が社会に普及する理由を分析することができる。CO_2 排出量と経済・社会的価値の関係は、削減費用(円/kg-CO_2)で示すこととする。

はじめに、ICT の算定事例 [3]から 1 台製品あたりの削減費用を算定した。1 台製品について、CO_2 排出量は、直接排出量と間接排出量とみなし効果の差分を CO_2 削減量とした。経済・社会的価値は直接費用、間接費用、社会的価値の差分による費用を算出しコストとした。このときのコストを CO_2 削減量で除し、1 台製品あたりの CO_2 削減量(図 2)と削減費用(図 3)を算定した。次に、日本における 4 製品の普及台数を調査した。TV 会議システムの普及台数は、出荷台数 [4]とした。クラウドは、国内企業数 [5]からクラウドの利用率 [6]を調査した。このとき、1 社あたりのクラウドシステムを 1 件導入することとした。スマートウォッチは、

表 1　日本と諸外国における炭素価格

論文名	算定対象	炭素価格
High-Level Commission on Carbon Prices(2017), “Report of the High-Level Commission on Carbon Prices”	インフラや技術、設備への投資を促す明示的炭素価格の検討	(～2020年) 4.4～8.9円/kg-CO_2 (～2030年) 5.6～11円/kgCO_2
環境省(2010),地球温暖化対策税について	ガソリン、軽油、重油、石炭、天然ガスのエネルギー課税の合計を、各エネルギーによるCO_2排出量で重み付け	0.76円/kg-CO_2(日本のみ)
OECD(2016),”Effective Carbon Rates”	エネルギー起源CO_2排出1tあたりの市場メカニズム施策による「実効炭素価格」	4.4円/kg-CO_2(日本のみ)
IMF(2014),”Getting Energy Prices Right”	燃料消費による是正措置税（CO_2排出削減費用に関わる費用）	280円/kg-CO_2(日本のみ)
Parry et al.(2014),”How much carbon pricing is in countries’ own interests?”	CO_2排出削減によるコベネフィット （健康被害削減、渋滞緩和、交通事故による死亡の減少）	3.9円/kg-CO_2(日本のみ)
Gunnar Luderer et al.(2018), “Residual fossil CO_2 emissions in 1.5-2℃ pathways”	2016-2100の長期シナリオにおけるパリ協定達成（1.5℃目標）に必要な明示的炭素価格（2030年時点）	28円/kg-CO_2
RITE(2018),長期CO_2ゼロエミッションに向けての気候変動リスク対応戦略	パリ協定達成（2℃目標）のためのCO_2限界削減費用	15円/kg-CO_2

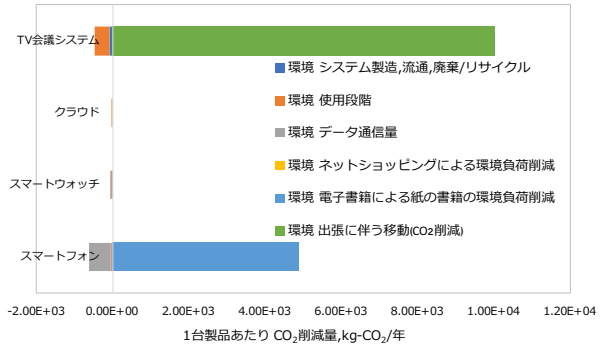


図２　１台あたり CO_2 削減量

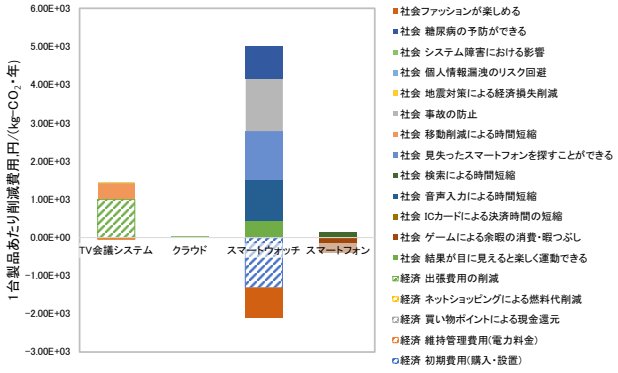


図３　１台あたり削減費用

腕時計型ウェアラブル端末の出荷台数 [7]とした。スマートフォンは、国内人口 [8]からスマートフォンの個人保有率 [9]を調査した。4 製品の普及台数を表 2 に示す。

表２　４製品の普及台数

製品	普及台数,台
TV会議システム	4.00.E+04
クラウド	2.31.E+06
スマートウォッチ	5.66.E+05
スマートフォン	7.41.E+07

図 3 の 1 台製品あたり削減費用と表 2 の普及台数を乗じることにより、日本における 4 製品における削減費用を算定した(図 4)。スマートウォッチとクラウドは、他 2 製品と比べて CO_2 排出量が削減されず(図 2)、コストが削減されるため(図 3)、図 4 では現れない。スマートフォンは、CO_2 排出量を大いに減少させるが、コストが増加する。TV 会議システムは、スマートフォンほど CO_2 排出量を削減できないが、コストを減少させる。これらのことから、削減費用による評価は普及台数に依存することが示された。

5. まとめ

ICT の持続可能性について、炭素価格による評価を見直し、削減費用による評価を行った。今後は SGDs の枠組みに適用し、評価方法を検討していく。

引用文献

1)総務省,"平成 22 年版情報通信白書",pp91-92.
2)総務省,"平成 30 年版情報通信白書",p208.
3)武田明日花,並河治,稲葉敦,"第 13 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集",pp292-293.
4)VTV ジャパン(株),2017 年／テレビ会議最新市場調査レポート<https://vtvjmn.xsrv.jp/howto/201706_h.html>(2018.11.28 確認)
5)総務省(2015),平成 26 年経済センサス 基礎調査 結果の要約,p22.
6)総務省(2017),平成 29 年通信利用動向調査報告書(企業編),p29.
7)IDC Japan(株)(2018),2022 年までのウェアラブルデバイスの世界／国内出荷台数予測を発表<https://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/201810171Apr.html>(2018.11.28 確認)
8)総務省(2018),人口推計.
9)総務省(2017),平成 29 年通信利用動向調査の結果報道資料,p3.

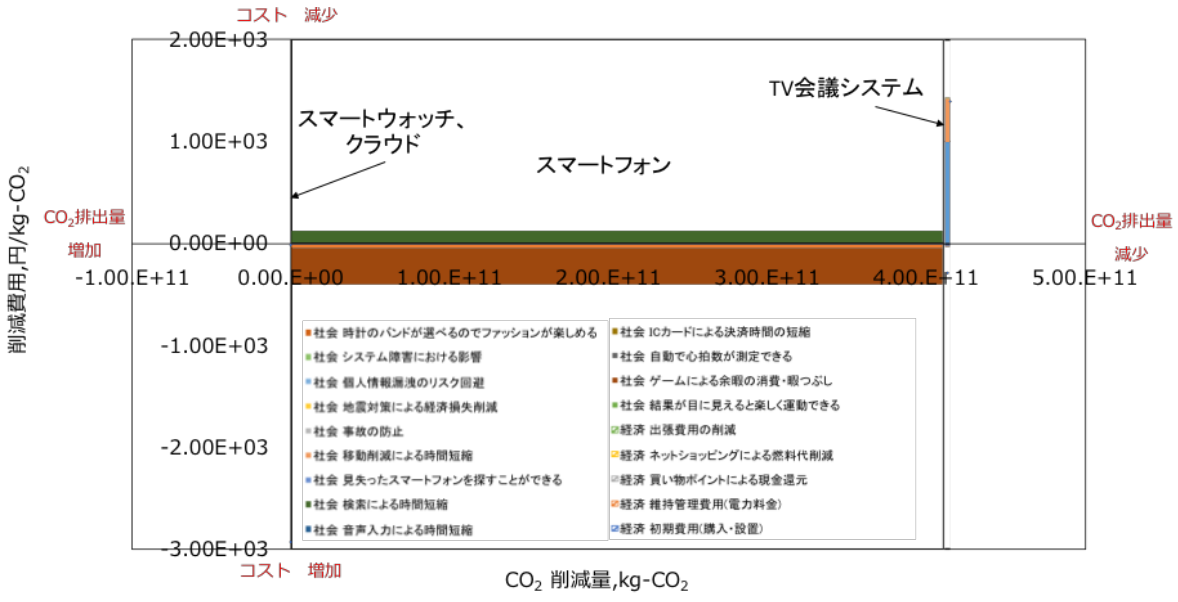


図４　日本における ICT(4 製品)普及における削減費用

E2-23,P2-078　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年 3 月）

低炭素機器導入住宅における機器更新費用を考慮した最適機器運用計画の検討

Optimal Operation Planning Considered Renewal Cost in Household with Low Carbon Equipment

○山中隆世*1)、磐田朋子 1)
Ryusei Yamanaka, Tomoko Iwata
1）芝浦工業大学
* br15087@shibaura-it.ac.jp

1. 背景と目的

2016 年にパリ協定が発効され、2100 年に脱炭素社会を実現するべく、再生可能エネルギーの導入が進んでいる。2019 年以降は固定価格買取制度(FIT)終了家庭が増加してくる為、エネルギー自立型住宅の普及が求められている。

東日本大震災後に国の復興予算が投入され建設された低炭素機器導入住宅では、建設から 7 年が経過しており、一部の機器について更新時期が近づいている。導入当時と比べて、蓄電池や HEMS(Home Energy Management System)などの性能は近年格段に向上しており、システム全体を見直す必要性が生じている。本研究では実際に当該住宅において取得されたエネルギーデータに基づき、機器更新費用及び機器の再編成を考慮した機器運用計画の検討を行うことを目的とした。

2. 研究対象

2.1 研究対象概要

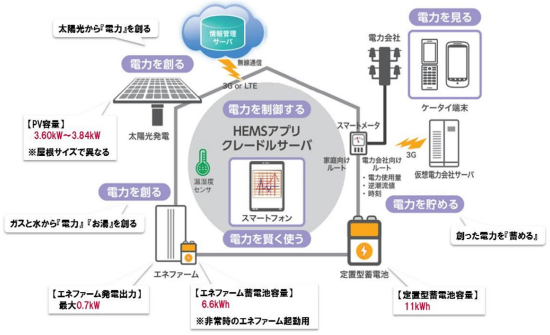


図 1 研究対象住宅概要（拡大したものを SI に記す）

宮城県仙台市スマートビレッジ街区における 3 電池搭載住宅（3.84kW の太陽電池、11kWh の蓄電池、発電出力最大 0.7kW の固体高分子型燃料電池、燃料電池緊急起動用の 6.6kWh の蓄電池が設置。）において計測されたエネルギーデータを用いた。使用データは、2016 年 4 月から 2017 年 3 月に対象住宅で計測された、約 1 分毎のエネルギーデータ（太陽電池発電量及び逆潮流量、系統電力買電量、燃料電池発電量、蓄電池充放電量、電力需要量）を月別に 1 時間単位で平均化したものとし、熱需要は実際の燃料電池発電量から逆算したものを用いた。データ提供住宅 14 宅の中より、電力需要量が最も多い A 宅、電力需要量が最も少ない B 宅、熱需要が比較的多い C 宅の 3 つを選び本研究に用いた。

2.2 研究対象住宅の現状

燃料電池のメーカー保証は、発電時間 40,000 時間、発電回数 4,000 回、導入から 10 年間のいずれかが超過すると終了になる。対象街区のほとんどの住宅が、発電時間40,000時間に到達しつつある状態である。また、当時家庭用蓄電池が一般的に販売されておらず、11kWh の業務用蓄電池を導入したが、負荷追従機能が備わっていない為、全て HEMS で制御する必要がある。

次に、HEMS を含めた住宅機器運用システムと住宅機器本体のシステムに齟齬がある。系統に太陽電池発電分以外を逆潮流することは禁止とされており、ミリ秒単位で作動する防止機能が備わっている。HEMS は 1 分間隔で制御を行っており、1 分未満の電力需要の変動には反応しない。その際逆潮流が起こる需供給バランスになると防止機能が動作し機器の保護停止が行われ、最適な運用が行われなくなってしまう。

加えて、この街区は FIT 適用ではなく、今後全国で発生する FIT 切れ住宅のモデルケースとなり得る。

3. シナリオ・シミュレーションモデル

現状を踏まえると、今後機器更新は必須となる事が予想される。これらの事から、HEMS による制御が行われている現状を再現するのではなく、HEMS 撤去を想定し、各機器の負荷追従機能で運用した場合のモデル開発を行った。GAMS（The General Algebraic Modeling System）を用い、本モデルでは、混合整数線形計画となる為、ソルバーには CPLEX を用いて、目的関数をコスト最小化もしくは CO_2 排出量最小化として最適化計算を行った。電気料金は、基本料金を 1404

円/月とし、深夜 22 時～翌 7 時まで 12 円/kWh、8 時～21 時まで 33 円/kWh（東北電力「よりそう＋ナイト 10」）に設定し、ガス料金は、基本料金を 864 円/月とし、時間を問わず一律 160 円/m^3（平成 30 年 12 月仙台市ガス局一般契約の 2 段と 3 段の中間値）に設定した。

また、機器の更新時期が近づいていることから、機器の入れ替え、撤去した場合を考慮し、以下に記すシナリオを作成しそれぞれについて最適化計算を行った。CASE1-1 は現状とほぼ同じ構成である為、この CASE を現状と仮定した。

CASE1-1:太陽電池＋蓄電池(11kWh)＋燃料電池（現状）
CASE1-2:太陽電池＋蓄電池(6.6kWh)＋燃料電池
CASE2-1:太陽電池＋蓄電池(11kWh)
CASE2-2:太陽電池＋蓄電池(6.6kWh)
CASE3:太陽電池＋蓄電池(6.6kWh)＋ヒートポンプ給湯器

4. 結果

前述したように各 CASE について 2 つの目的関数でシミュレーションを行い、コストが少ない方を結果とした。C 宅については、記録機器の故障により 10 月から 12 月までのデータが欠損している。

まず、各 CASE におけるランニングコストを表 1 に示す。この場合だと、どの家庭についても CASE3 がコスト最小であり、最適な機器構成となる。特に C 宅に関しては、約 5 万円以上のコスト削減となった。

表 1 一年間当たりのランニングコスト

年間コスト（円）	A 宅	B 宅	C 宅
CASE1-1	159,000	125,000	132,000
CASE1-2	171,000	129,000	137,000
CASE2-1	155,000	114,000	121,000
CASE2-2	167,000	126,000	129,000
CASE3	129,000	77,000	78,000

次に、CASE ごとに機器の総メンテナンス及び機器の入れ替えを実施してから、5 年間で発生する機器関連コストを 1 年当たりに換算したものを表 2 に示す。CASE1-1 から CASE2-1 で発生している機器コストは、機器寿命が迫っている燃料電池及び 11kWh の蓄電池の買い替えコストである。CASE3 で発生している機器コストは、ヒートポンプ給湯器導入に当たり発生するコストである。また、燃料電池は 2 年ごとに点検が必要であり、これが CASE1-1 と CASE1-2 のトータルコスト増加の 1 つの原因となっている。

以上の事を踏まえ、機器関連コストのみで考えると、最も構成機器の少なく機器コストがない、CASE2-2 がコスト最小となる。ランニングコストで考えた際と、機器関連コストで考えた際とでは、コスト最小化となる CASE が異なる結果となった。

表 2 一年間当たりの機器関連コスト

	メンテナンスコスト（円）	機器コスト（円）	トータルコスト（円）
CASE1-1	169,000	199,000	368,000
CASE1-2	159,800	100,000	259,800
CASE2-1	84,200	99,000	183,200
CASE2-2	84,200	0	84,200
CASE3	84,200	38,000	122,200

次に、各住宅のランニングコストに機器関連コストを含んだ総コストを算出したものを表 3 に示す。A 宅を除いて、CASE3 がコスト最小となった。これは CASE1-1 から CASE3 にすることによるランニングコスト削減効果が大きい為に、ヒートポンプ給湯器の機器コストを減価償却可能であるためだ。A 宅においては、CASE3 にすることによるランニングコスト削減額と減価償却に必要な額が等しかった為に、CASE2-2 と CASE3 どちらの構成に変更したとしても同じ総コストになった。

以上の結果から、基本的には CASE3 の機器構成が最適な機器運用であると考えられた。加えて、比較的熱需要が多い C 宅において特にランニングコスト削減効果が大きかった事から、熱需要が多い家庭ほど CASE3 に変更する恩恵が大きくなると考えられた。

表 3 一年間の総コスト

年間コスト（円）	A 宅	B 宅	C 宅
CASE1-1	527,000	493,000	500,000
CASE1-2	430,800	388,800	396,800
CASE2-1	338,200	297,200	304,200
CASE2-2	251,200	210,200	213,200
CASE3	251,200	199,200	200,200

5. まとめ

本研究より、低炭素機器導入住宅において機器更新費用を考慮した最適な機器運用を検討した結果、電力・熱需要の大小で多少の差はあるものの、総じて太陽電池・蓄電池・ヒートポンプ給湯器の組み合わせが最適であるとの結果を得られた。ただし、今後各機器が普及し価格の低下が進めば、今回の結果とは異なる結論になると推測される。

謝辞）本研究は一般社団法人仙台グリーン・コミュニティ推進協議会様の協力のもと実施した。

Supporting Information

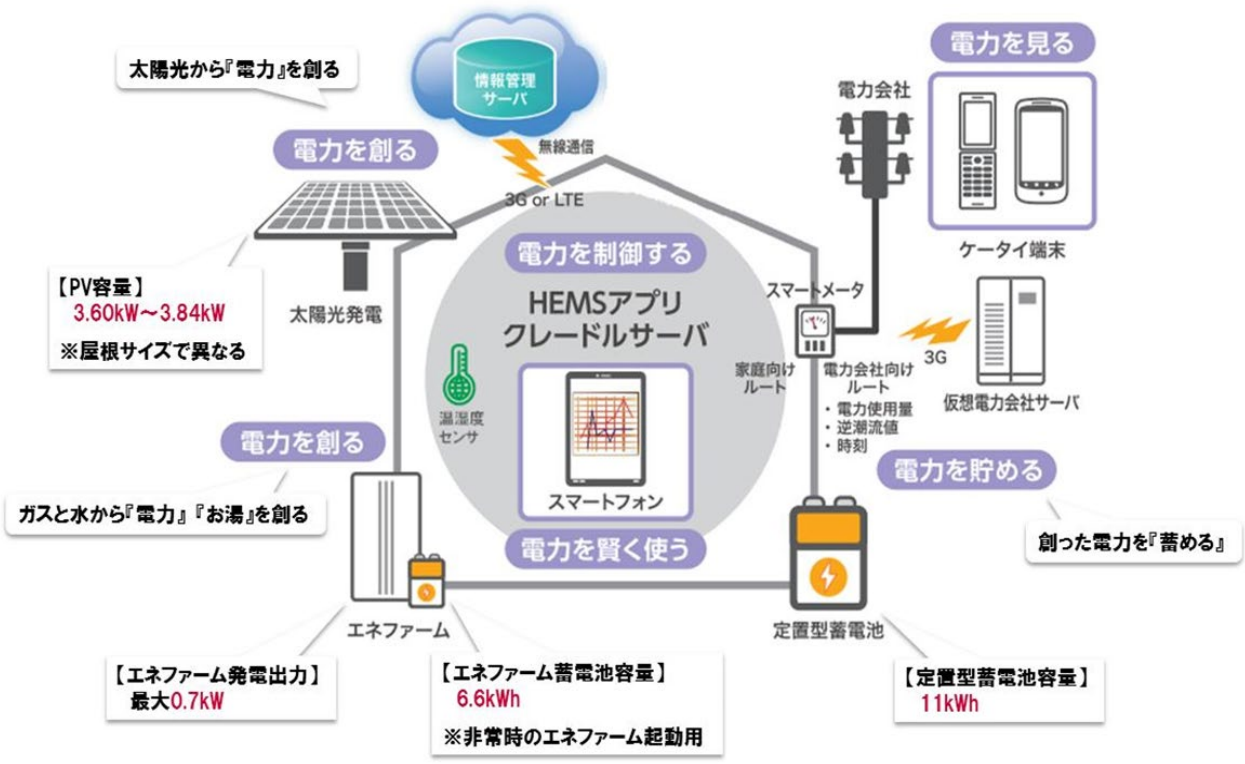


図 1　研究対象住宅概要

*一般社団法人仙台グリーン・コミュニティ推進協議会　住宅機器仕様資料より引用

3日目
（3/7）

タイムテーブル

3日目　3月7日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:40-10:00	再生可能エネルギー(1)	輸送	サーキュラーエコノミー	資源と環境(1)	イベント評価
10:00-10:20					
10:20-10:40					
10:40-11:00	休憩				
11:00-11:20	再生可能エネルギー(2)	公募企画セッション：現在と2050年をつなげるエネルギーシナリオを考える	農業	資源と評価(2)	
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-12:20					
12:20-13:20	昼休み				
13:20-15:40	学会賞受賞者講演、クロージング(M会場)				

A3-01,P2-113　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

地中熱ヒートポンプの CO_2 削減効果を最大化する導入条件の探索

Exploring conditions to maximize CO_2 reduction effects of ground-source heat pumps

○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[1)]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、それを導入する建物の条件（例えば、立地している気候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、導入条件別に 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、導入条件の違いが十分に反映されていない。また、運用時のみの評価が多く、ライフサイクル全体を考慮し、かつ導入条件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、導入条件別に、ライフサイクル全体で評価し、GSHPs の効果的な導入のあり方を明らかにすることである。

2. 研究方法

2.1 基本設定

2.1.1 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。今回は代表的な業種として業務部門のエネルギー消費量の内 21.8%[1)](2015 年度)を占める事務所・ビル業種を対象とする。

2.1.2 前提条件

システム境界は各空調システムの建設・運用。機能単位は建物一軒の 15 年分の空調需要。評価指標はライフサイクル CO_2 削減率(S)とライフサイクル CO_2 削減コスト(C)の 2 種である。

2.1.3 考慮する導入条件の要素

本研究では導入条件による導入効果の違いを見るために 4 種の要素を変化させる。具体的には、気候、使用電力、建物規模、既存空調システムである。

気候は「建物の省エネルギー基準」において使用されている 8 気候区分別に設定する。気候 1～気候 8 まであり、番号が小さいほど寒冷な気候である。

使用電力の電源構成の違いを考慮するため、主要 10 電力会社の電力の CO_2 排出係数と価格を使用する。

建物規模の違いによる影響を考慮するため、中小規模(延べ床面積 4,500m^2)と大規模(延べ床面積 45,000m^2)の 2 種類の建物について推計を行う。

表 1 に示すように、既存の空調機器として 5 種を取り上げ、これらの機器を組み合わせることで、GSHPs で代替される 5 種の既存空調システムを想定する。

以上の 4 種の要素を組み合わせることにより、本研究では 560 通りの導入条件を想定し推計を行う。

2.2 ライフサイクルコストの推計

各システムのライフサイクルコスト(LCC)は以下の式を用いて推計する。

$$LCC_{i,j,k,l}=h_{i,j,k,l} \times IC_{i,k,l}+Y\times \sum_{m} E_{i,j,k,l,m}\times c_{i,j,m}$$

h：導入条件により変化する補正係数
IC：イニシャルコスト
Y：評価期間、E：年間のエネルギー消費量
c：各エネルギーの価格、i：気候
j：使用電力、k：建物規模、l：空調システム
m：燃料種

IC は実データ等をもとに設定する。運用時の年間エネルギー消費(E)は国立研究開発法人建築研究所が公開している「エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版)Ver.2.6.1」を用い求める。

2.3 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、建設時の CO_2 排出量($BLCO_2$)と運用時の CO_2 排出量($OPCO_2$)の合計とする。

$BLCO_2$ は前述の IC より設定した最終需要ベクトル(f)と工事現場で消費するエネルギーに起因する CO_2 排出(d)を基に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、以下の式を用い推計する。

$$BLCO_{2\ i,k,l}=h_{i,j,k,l}[e^{T}(I\text{-}A)^{-1}f_{l}+d_{l}]$$

e：CO_2 排出原単位（3EID）、T：転置
$(I\text{-}A)^{-1}$：レオンチェフ逆行列

他方、$OPCO_2$ は以下の式を用い推計する。

$$OPCO_{2\ i,j,k,l}=Y\times \sum_{m} E_{i,j,k,l,m}\times e'_{i,j,m}$$

e'：各エネルギーの CO_2 排出係数

2.4 ライフサイクル CO_2 削減率の推計

GSHPs によるライフサイクル CO_2 削減率(S)は以下の式の様に既存空調システムと GSHPs の $LCCO_2$ の差分を既存空調システムの $LCCO_2$ で割ることで推計する。

$$S_{i,j,k,l} = \frac{LCCO_{2\,i,j,k,l} - LCCO_{2\,i,j,k,GSHPs}}{LCCO_{2\,i,j,k,l}}$$

2.5 ライフサイクル CO_2 削減コスト

GSHPs によるライフサイクル CO_2 削減コスト(C)は以下の式の様に既存空調システムと GSHPs の LCC の差分を $LCCO_2$ の差分で割ることで推計する。

$$C_{i,j,k,l} = \frac{LCC_{i,j,k,GSHPs} - LCC_{i,j,k,l}}{LCCO_{2\,i,j,k,l} - LCCO_{2\,i,j,k,GSHPs}}$$

3. 結果と考察

想定した 640 通りの導入条件のうち、119 通りで CO_2 削減効果が認められた。それらの導入条件(119 通り)は、表 2 に示されるように、大きく 4 類型に分けられる。Ⅰ・Ⅱは既存空調システムが AS-AS の場合であり、Ⅲ・Ⅳは既存空調システムが AB-AB の場合である。また、類型Ⅰ・Ⅳは CO_2 削減率がⅡ・Ⅲに比べ高い。

図 1 に各類型の CO_2 削減率と CO_2 削減コストの平均値を示す。

Ⅰは CO_2 削減率が 8.3%と最も高く、CO_2 削減コストも 0.14[百万円/t-CO_2]と最も低い。寒冷地では、空気熱源式ヒートポンプによる暖房時の COP が低下するため稼働時の電力消費に起因する CO_2 排出量が大きい。対して、GSHPs は、空気熱源式ヒートポンプに比べ COP の低下が小さいため、CO_2 排出量が少ない。そのため、寒冷地における空気熱源式ヒートポンプの GSHPs による代替は高い削減効果をもたらす。

Ⅱは、Ⅰとは異なり、寒冷地ではないため、空気熱源式ヒートポンプの COP の低下はそれほど大きくない。そのため、Ⅱの削減効果はⅠに比べ小さい。

Ⅲ・Ⅳはどちらも CO_2 削減コストが比較的低い。これは、中小規模の建物における削減コストが小さいことに起因する。特にⅢでは顕著であり、中小規模のみでの削減コストは 0.017[百万円/t-CO_2]と平均値(図 1 の値)の 1 割に満たない。なぜなら、中小規模の建物では、吸収式冷温水機の導入に伴う LCC が高く、GSHPs で代替する際のコスト増加が小さいためである。

CO_2 削減率に目を向けると、Ⅳの方がⅢよりも高い。GSHPs は稼働時に電力を使用するため、使用電力の CO_2 排出係数が低いほど CO_2 排出量も少なくなる。対して、吸収式冷温水機は化石燃料を主燃料とするため、CO_2 排出量は使用電力の影響をそれほど受けない。したがって、使用電力の CO_2 排出係数が低い地域ほど、GSHPs による吸収式冷温水機の代替に伴う削減率は高い値を示す。

4. 謝辞

(特非)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。また、本研究は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費（課題番号：2-1804）により実施された。ここに謝意を表する。

引用文献

1)日本エネルギー経済研究所,”エネルギー・経済統計要覧 2018”,省エネルギーセンター,東京,2018,pp118-122

表 1　既存空調システム

既存の空調機器	空気熱源式ヒートポンプ(AS)、吸収式冷温水機(AB)、ガスエンジンヒートポンプ(GH)、ターボ冷凍機(RE)、ボイラー(BO) ※AS・RE は電気を、AB・GH・BO は主に都市ガス・LPG・灯油・重油のいずれかを消費し稼働する。
既存空調システム	AS-AS、AB-AB、AS-BO、GH-GH、RE-BO ※ハイフン(-)の左が冷房機器、右が暖房機器を示す

表 2　削減効果が確認できた導入条件の類型

番号	既存空調システム	気候	使用電力の CO_2 排出係数
Ⅰ	AS-AS	1,2,3	
Ⅱ	AS-AS	4,5,6	
Ⅲ	AB-AB		高い※
Ⅳ	AB-AB		低い※

※10 電力会社のうち、東北電力、東京電力、中部電力、関西電力、九州電力を「低い」としている

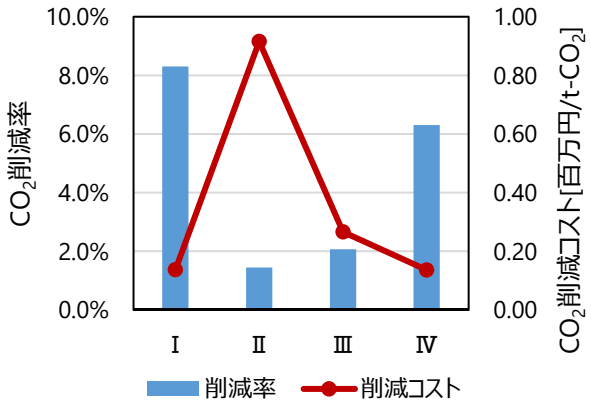


図 1　各類型の評価指標の平均値（試算値）

A3-02,P2-111　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

太陽光発電システム搭載住宅における最適な機器運用に関する研究

Optimal Equipment Operation in Household with Photovoltaic System

○戸佐圭佑*[1)]、磐田朋子 [1)]
Keisuke Tosa, Tomoko Iwata
1）芝浦工業大学
* br15049@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

2016 年、新たな国際的枠組みであるパリ協定が発効された。パリ協定では地球温暖化の主な原因である温室効果ガス削減に取り組むことが全世界で約束されている。日本での取り組みとして、温室効果ガスの排出が少ない再生可能エネルギーの利用が注目されており、再生可能エネルギーは今後も発電比率が高まることが予測されている。中でも、太陽光発電は 2012 年から始まった固定価格買取制度(FIT)により家庭でも普及が進み、同時に相性の良い電池を導入する家庭が増えている。しかし、FIT 終了時期を迎えて太陽光発電を導入する家庭自体が減少することが懸念される。

既往研究では太陽光発電搭載住宅に蓄電池や燃料電池といった各種電池を搭載したケースを作成し、ケースごとにシミュレーションはされている [1)]。しかし、実エネルギーデータを用いた研究というのは少なく、予測値によって行われた研究というのが大半を占める。また、家庭のエネルギー消費状況によって最適な機器導入戦略は異なると考えられるため、本研究では、複数家庭から入手した多様な実エネルギーデータに基づいて、FIT 終了後の機器運用および機器の再編成戦略を混合整数線形計画法により検討することを目的とした。

2. 手法

2.1 使用データ

茨城県内の住宅において 2016 年 4 月から 2017 年 3 月の間に計測されたエネルギーデータを用いた。データ提供世帯 104 戸から図 1 に基づき 4 世帯選定し、それぞれ A,B,C,D 宅とした。

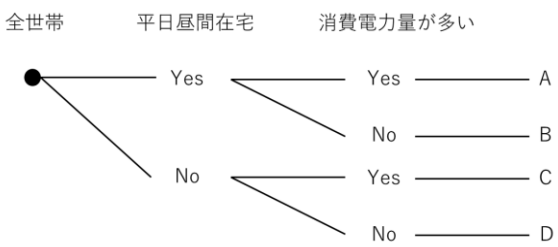


図 1　世帯選定

2.2 モデルケース

太陽光発電によって生み出された電力を多く売電するために、創/蓄エネルギー機器も導入されている家庭が多い。また、その機器導入パターンは複数存在する。そのため、本研究では合計 7 つのシミュレーションケースを作成した。

表 1 シミュレーションケース

	太陽光発電	蓄電池	燃料電池	電気自動車	補助給湯器	HP給湯器
Case0	×	×	×	×	○	×
Case1	○	×	×	×	○	×
Case2	○	○	×	×	○	×
Case3	○	×	×	○	○	×
Case4	○	×	○	○	○	×
Case5	○	○	×	×	×	○
Case6	○	○	○	×	○	×

2.3 エネルギー供給モデルの構築

GAMS(General Algebraic Modeling System)を使用し，混合整数線形計画法による発電設備運転計画問題をケースごとに定式化して解く。例として選定世帯と同じ機器運用である Case6 のモデルを示す。

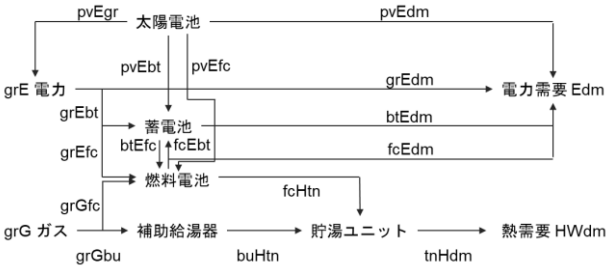


図 2　Case6_エネルギーフロー

2.4 各機器の制約 [1)2)]

① 太陽電池

発電出力 3.5kW で、系統から電力供給を行っている間は売電することができないものとした。

② 蓄電池

容量 6.2kWh・蓄電率下限 0.3・上限 1.0・充放電効率 0.95・定格出力電力 0.2kW・定格入力電力 1.5kW で 1 時間に充電か放電のいずれかの状態のみとした。

③ 燃料電池(PEFC)

発電出力 0.7kW・ガス発熱量 12.5kWh/N ㎥・起動時ガス消費量 0.06 ㎥・発電量に応じた三段階の発電効率と排熱回収率は発電量 0.1～0.3kWh、0.3～0.5kWh、0.5

～0.7kWh の範囲で、それぞれの発電効率 0.25、0.28、0.30 とし排熱回収率は 0.41、0.50、0.52 とした。

④　電気自動車(EV)

容量 40kWh・蓄電率下限 0.3・上限 1.0 とした。また、電池から家庭に電力供給できるように Vehicle to Home(V2H)を設置し、充放電効率 0.83・定格出力電力 6.0kW・定格入力電力 6.0kW とした。A,B 宅は平日 10 時~14 時、休日 11 時~16 時、C,D 宅は平日 8 時~19 時、休日 11 時~16 時は交通手段として使用するものとし、電費 10km/kWh・走行距離 10575km/年とした。

⑤　補助給湯器

熱効率 0.95・熱放出率 0.222・貯湯容量 147L とした。

⑥　ヒートポンプ給湯器(HP)

熱放出率 0.01・貯湯容量 370L・成績係数(中間期 4.71 夏季 5.08 冬季 3.00)とした。

2.5　経済的評価

ランニングコストは電力・ガス料金の合計から太陽光発電売電収入を引いたものとする。

$$income_pv(h)=sum(t,pvEgr(t,h))\times prEsell \quad (1)$$

$$costE(h)=sum(t,grE(t,h)\times prEbuy(t)) \quad (2)$$

$$costG(h)=CHr_G\times sum(t,grG(t,h)) \quad (3)$$

$$cost_total=sum(h,costE(h)+costG(h)) - income_pv(h) \quad (4)$$

costE(h):電気代[円]

grE(t,h):系統から買電する電力量[kWh]

prEbuy(t):系統からの買電価格[kWh あたり円]

23~7 時は 12 円、7~23 時は 29 円

CHr_G:ガス従量料金[円]

grG:系統から購入するガス量[m^3]

costG(h):ガス代[円]

cost_total:ランニングコスト[円]

income_pv(h):売電収入[円]

その後に GAMS 上で算出したランニングコストに各機器の初期費用から耐用年数で割ったもの(イニシャルコスト)を加え、Case3、Case4 を除いたケースには EV での走行分と同じになるようにガソリン代(燃費 19.4km/l・ガソリン代 143.4 円/l・走行距離 10575km/年)を追加して年間トータルコストを算出する。

表 2 各機器イニシャルコスト(円/年)

太陽電池	37,500
燃料電池	80,000
蓄電池	55,800
Vehicle to Home	39,800
ヒートポンプ給湯器	16,250

3. 結果

太陽光発電売電価格は FIT 制度終了後を想定して 8 円/kWh と設定した。図 3 は A 宅 FIT 終了後の年間コストを示す。この結果から、創/蓄エネルギー機器を導入することで、ランニングコストは下がる傾向にあるが、それ以上にイニシャルコストによってトータルコストが高くなる傾向がある。A,B 宅と C,D 宅とでは行動パターンに違いがあるが、どの世帯も買電価格が安い深夜帯に買電又は蓄電池・EV に充電するので多少差異もあるが、同様の形のグラフを示した。

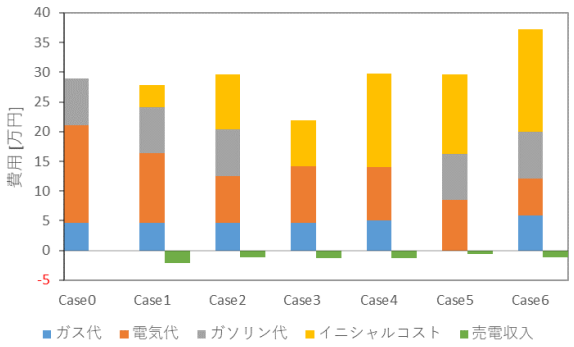


図 3　A 宅_年間コスト

表 3 年間トータルコスト(円/年)

	Case0	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
A宅	289,358	257,527	285,249	205,551	285,103	290,658	361,757
B宅	187,440	162,460	195,837	120,488	200,539	212,688	275,928
C宅	340,654	297,271	322,204	244,784	322,039	316,638	393,780
D宅	145,270	130,375	171,173	97,723	177,756	201,751	251,252

4. 終わりに

今回の結果から、FIT 終了後の太陽光発電システム搭載住宅の最適な機器運用は、どのような世帯タイプでも、太陽電池と EV 車(Case3)で機器運用することが最適であり、特に、年間消費電力量の多い家庭（A,C 宅）でその傾向が顕著であった。しかし、年間消費電力量が少ない家庭（B,D 宅）では、Case1 と Case3 を比較しても、さほどコスト差がないので、少し前提条件が変わっただけでも最適な機器運用が変わることが考えられた。

5. 引用文献

1)　天野浩史，樋口恭弘，齋藤篤史，千田二郎:コージェネ，太陽光発電，およびヒートポンプ給湯器を主軸とした住宅地型マイクログリッドにおける CO2 排出量の評価*,日本機械学会論文集(B 編),78(787),(2012-3),pp309-310

2)　有山葉那:3 電池(太陽光発電・蓄電池・燃料電池)搭載住宅における設備機器運用最適モデル開発と検証,芝浦工業大学,平成 29 年度卒業論文

A3-03,P2-096　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

芝浦工業大学大宮キャンパスにおける RE100 の検討

Study on Energy Strategy of Shibaura Institute of Technology Omiya Campus towards RE100

○井上優太*[1)]、磐田朋子 [1)]
Yuta Inoue, Tomoko Iwata
1）芝浦工業大学
* br15012@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

2015 年 12 月 12 日に採択されたパリ協定を受けて、世界各国で地球温暖化対策がなされている。その中で、事業運営を 100%再生可能エネルギーで調達することを目標に掲げたイニシアチブが The Climate Group（国際環境 NGO）によって発足された。これを RE100（Renewable Energy 100）と呼ぶ。世界の大手企業はこの RE100 に続々と加盟している。日本の企業では、リコーや積水ハウスが代表的である。また、千葉商科大学は日本の大学として初めて RE100 の宣言をした。所有している大規模なメガソーラー発電所による太陽光発電や省エネなどで、2020 年度の達成を目指している。

そこで、芝浦工業大学大宮キャンパスでも RE100 を検討した場合、どのような方策をとるべきなのかを考えるのが本研究の目的である。RE100 達成には以下の 2 つのオプションが存在する。

(1)自社施設内や他の施設で再生可能エネルギー電力を自ら発電する
(2)市場で発電事業者または仲介供給者から再生可能エネルギー電力を購入する
このことを満たす方策を検討する必要がある。

2. 研究方針

本研究を行うにあたり、第一に大宮キャンパスのエネルギーの需要を調査した。そこから得られたデータをもとに RE100 達成の方策を検討した。その評価として、再生可能エネルギーを導入するにあたっての費用や電力の市場価格などを考慮した経済面でのコストシミュレーションも行った。

また、RE100 達成を考える上で省エネによる消費電力の削減が効果的であるが、本研究は過去の電力需要をもとに再生可能エネルギーの導入を検討するので、省エネについては考慮しないこととする。

3. エネルギー需要の分析

初めに、現状分析として大宮キャンパスのエネルギー消費状況についての調査を行った。大宮キャンパスのエネルギー源としては、電力とガスの 2 つが挙げられる。

3.1 電力需要

図 S1 に、大宮キャンパスの時刻別の平均電力消費量を示す。どの月も学生がいる日中の電力消費が多くなっている。なお、一般的な家庭の電力需要とは違い、冬よりも夏の電力消費の方が多いというデータが得られた。これは、冷房が暖房に比べ電力を多く消費していることを示している。また、中間期は空調の電力需要が少ないため、消費電力の値も少なくなっている。

3.2 ガス需要

図 1 に、大宮キャンパスの電力・ガスを合わせた月別のエネルギー消費量を示す。夏季や冬季には、空調で多くのガスを使用するためガスの比率が高くなっている。電気とガスを併用している理由は、電力の消費を抑え高圧の電力契約を避け契約料金を抑えるためである。調査した結果、ガスの再生可能エネルギーへの変換をする場合、設備や契約において多大なコストがかかると予測されるので、本研究ではガスを考慮しないこととする。

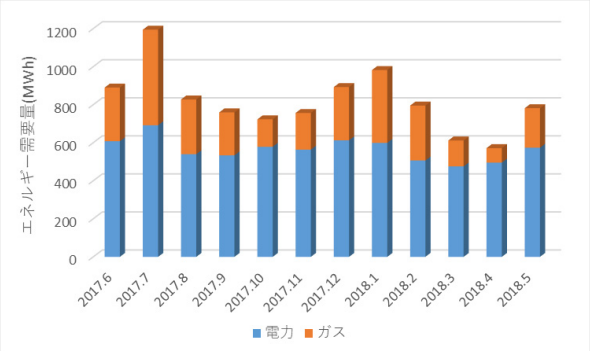


図 1　月別電力・ガス消費量

4. 太陽光発電による電力供給ポテンシャルの分析

現状分析より、日中の電力消費が多く太陽光発電導入による効果が大きいという結果が得られた。そこで、RE100 達成の方法の一つとして太陽光発電の導入を検討した。分析の手法として、ソーラーパネルを導入することのできる面積を調べ、その面積をもとに発電効率 14%のソーラーパネルを想定し、以下の式で発電ポ

テンシャルを分析した。

定格容量(kW) = 面積(㎡) ÷ (1 ÷ 0.14)　(1)

年間発電量(kW) = 定格容量(kW) × 年積算日射量 (kWh/m²・y) × 総合設計係数　(2)

4.1 導入場所の検討

まず、導入場所としてキャンパス内の設置可能な建物のほかに、駐輪場と駐車場に屋根を設置しその上にソーラーパネルを取り付ける場合を検討した。その場合、設置できる面積は合計で 16,880 ㎡となり、定格容量は 2,363kW となった。年間発電量は約 2,052MWh となり、大宮キャンパスの 2017 年の年間電力消費量は約 6,800MWh なので、約 30%の電力を賄えることになる。

しかし、駐輪場や駐車場への導入には大規模な工事が伴い、費用も高くなってしまうので実現性は低いと判断した。そこで、実現性を考慮しいくつかのケースに分け検討を行うことにした。

4.2 ケース分けによる検討

4.2.1 ケース 1

まず、実現可能性の高い第一のケースとして面積を多く取れる建物の屋上へのソーラーパネルの導入を検討した。本研究では航空写真で判断し、屋上に 500 ㎡以上空き面積のある建物を対象とする。その結果合計で 1,300 ㎡となった。

4.2.2 ケース 2

ケース 2 では、面積はあまり広くないが導入は可能な建物の屋上全てにソーラーパネルを導入する検討をした。導入できる面積は増えるが設置する場所が多くなるほど、工事費用や設備費用が高くなってしまうので、実現性は低いと言える。ケース 2 の合計面積は 7,480 ㎡となった。

4.2.3 ケース 3

ケース 3 では、前述したように建物だけでなく駐輪場や駐車場に屋根を付け、そこにソーラーパネルを取り付けるという検討をした。このケースでは大規模な工事が予測されるので実現性はかなり低いと思われる。

4.3 消費電力と発電ポテンシャルの比較

図 2 に、キャンパスの電力消費量とケースごとの予測発電量を示す。発電量と消費電力の差は月によって一定ではないものの、どの月もキャンパスの電力消費量予測発電量を大きく上回ることが明らかとなった。

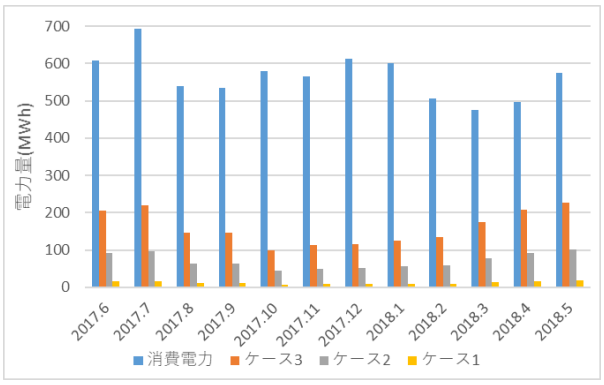


図 2　月別予測発電量・消費電力

また、図 3 に時刻別の電力消費量とケースごとの予測発電量を示す。基本的には、どの時刻も電力消費量が上回るが、季節によってケース 3 の予測発電量が電力消費量を上回る時間帯があるという結果となった。このことから、キャンパスの電力需要を満たすためにケース 3 以上の太陽光発電導入をする場合には、余剰電力の廃棄または系統電力への逆潮流を想定するか、もしくは蓄電池を合わせて導入する必要があることが示唆された。

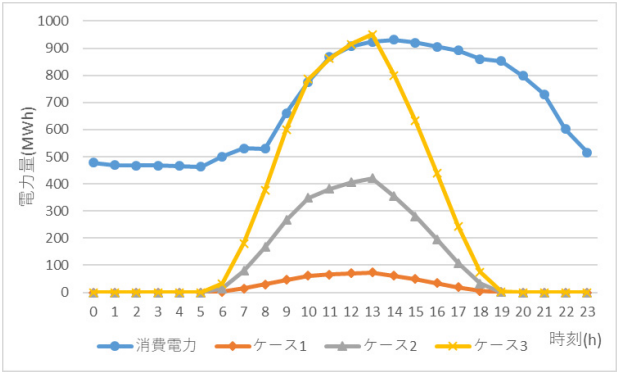


図 3　時刻別予測発電量・消費電力(4 月)

5. 考察

本研究では、芝浦工業大学大宮キャンパスの RE100 達成方策について検討した。その結果、キャンパス内にソーラーパネルを最大限導入しても、電力需要には及ばないことが分かった。キャンパスが RE100 を達成するためには、周辺住宅に太陽光発電を導入し余剰電力を融通するシステムについても検討が必要であると考えられた。その場合には、蓄電池の導入も視野に入れる必要があることが明らかとなった。また、キャンパスの電力契約（高圧一括受電）、電力市場から電気を調達する場合の市場価格や設備導入費用などを考慮した、最適なシステム設計が求められることが示唆された。

Supporting Information

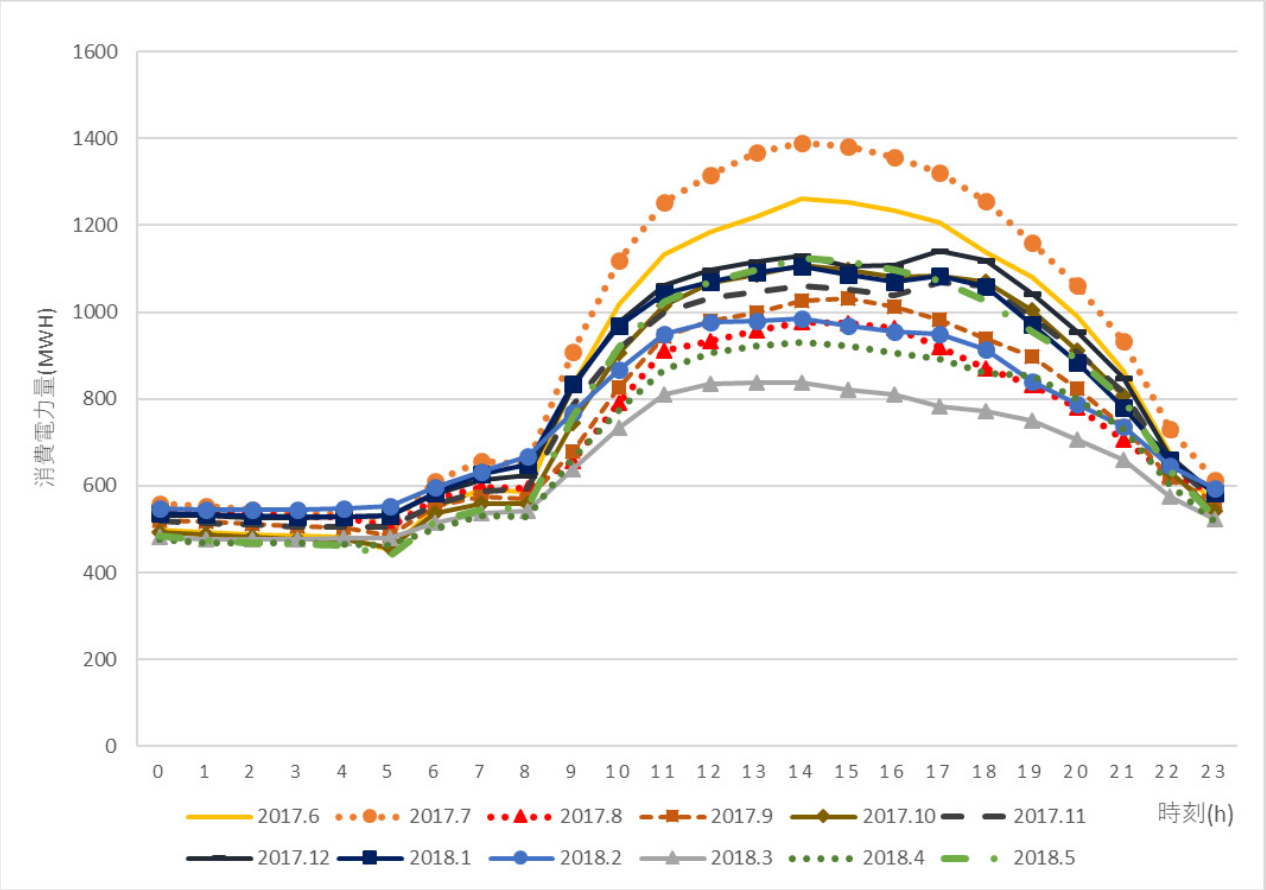


図 S1　大宮キャンパスの時刻別平均消費電力

B3-01

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

日本の航空会社の国際線運航に付随する CO_2 排出量に関する要因分解分析

Decomposition of the CO_2 emissions associated with international flights of the Japanese airline industry

○鬼頭みなみ [1)]、永島史弥 [2)]、白新田佳代子 [2)]、加河茂美 [3)]

Minami Kito, Fumiya Nagashima, Kayoko Shironitta, Shigemi Kagawa

1)九州大学経済学部、2)九州大学大学院経済学府、3)九州大学経済学研究院

*1EC15039K@s.kyushu-u.ac.jp

1. 研究背景

2015 年度の日本全体の CO_2 排出量の約 13 億トンのうち、運輸部門からの CO_2 排出量は約 2 億トンで、全体の 20%を占めている [1)]。運輸部門からの CO_2 排出量に占める航空部門からの CO_2 排出量は約 5%であるが、これは国内線運航に付随する CO_2 排出量のみで、国際線運航に付随する CO_2 排出量は含まれていない。国際航空部門からの CO_2 排出量を含めると、日本全体の CO_2 排出量が更に増加する。一方で ICAO（国際民間航空機関）は 2021 年度以降国際航空部門からの CO_2 排出量の上限を航空会社ごとに設けることを決定した [2)]。この決定を受けて、航空会社ごとに CO_2 排出量削減に向けた取り組みを行うことがより強く求められている。

本研究では、JAL と ANA が運航する日本発着の国際線直行便旅客部門を対象として、飛行時に排出される CO_2 排出量の経年変化について要因分解分析を用いてその変化要因を明らかにすることで、今後航空会社が CO_2 排出量削減に向けてどのような取り組みを行うことが効果的であるかを議論する。

2. 研究手法・使用データ

2.1 研究手法

t 年における 1 週間当たりの当該航空会社（本研究では JAL または ANA）の国際路線 i 地域に関する飛行時のジェット燃料消費に付随する直接 CO_2 排出量を以下の(1)式で推計する。

$$CO_{2i}{}^{t} = \frac{CO_{2i}{}^{t}}{F_i^{t}} \times \frac{F_i^{t}}{d_i^{t}} \times \frac{d_i^{t}}{b_i^{t}} \times \frac{b_i^{t}}{\sum_i b_i^{t}} \times \sum_i b_i \tag{1}$$

$$= EI_i^{t} \times FE_i^{t} \times AD_i^{t} \times RS_i^{t} \times AN^{t} \tag{2}$$

ここで t は年、i は路線地域を示す添え字であり、$CO_{2i}{}^{t}$ は t 年 i 地域からの直接 CO_2 排出量(t-CO_2)、F_i^{t} は i 地域における 1 週間当たりの燃料消費量(L)、d_i^{t} は各路線の 1 週間当たりの就航距離(km)、b_i^{t} は各路線地域の 1 週間当たりの便数(便)を示している。(1)式より、EI_i^{t} は燃料 1 単位当たりの CO_2 排出量、FE_i^{t} は使用機材の燃費、AD_i^{t} は i 地域内における平均就航距離、RS_i^{t} は総便数に占める i 地域への便数、AN^{t} は対象年の総便数を示している。本研究では使用燃料をジェット燃料のみと仮定しているため、EI_i^{t} の値は一定となる。(1)式に対して、夏ダイヤ(4~10 月)については 30 を乗じ、冬ダイヤ(11~3 月)については 22 を乗じることで年間の総排出量を(3)式から推計する。ここで n は当該航空会社の就航地域数を示しており、本研究ではアジア、北米、オセアニア、ヨーロッパの 4 地域を表す。

$$CO_2{}^{t} = \sum_{i=1}^{n} EI_i{}^{t} \times FE_i{}^{t} \times AD_i{}^{t} \times RS_i{}^{t} \times AN^{t} \tag{3}$$

(3)式について、要因分解分析を用いると、(4)式のように EI、FE、AD、RS、AN の 5 つの要因に分解され、両社の CO_2 排出量の増減に何が影響を与えたのかを分析できる。

$$\frac{CO_2{}^{T}}{CO_2{}^{0}} = \frac{EI^{T}}{EI^{0}} \times \frac{FE^{T}}{FE^{0}} \times \frac{AD^{T}}{AD^{0}} \times \frac{RS^{T}}{RS^{0}} \times \frac{AN^{T}}{AN^{0}} \tag{4}$$

(4)式について、LMDI 法を用いて分解すると以下の(5)式が得られる。

$$\ln CO_2{}^{T} - \ln CO_2{}^{0} = \ln\left(\frac{EI^{T}}{EI^{0}}\right) + \ln\left(\frac{FE^{T}}{FE^{0}}\right) + \ln\left(\frac{AD^{T}}{AD^{0}}\right) + \ln\left(\frac{RS^{T}}{RS^{0}}\right) + \ln\left(\frac{AN^{T}}{AN^{0}}\right) \tag{5}$$

(5)式の両辺に(6)式を乗じることで(7)式を得る。

$$w_i^{T} = \frac{CO_2{}^{T} - CO_2{}^{0}}{\ln CO_2{}^{T} - \ln CO_2{}^{0}} \tag{6}$$

$$CO_2^T - CO_2^0 = \Delta CO_2 = w_i^T \ln\left(\frac{EI^T}{EI^0}\right) + w_i^T \ln\left(\frac{FE^T}{FE^0}\right) + w_i^T \ln\left(\frac{AD^T}{AD^0}\right) + w_i^T \ln\left(\frac{RS^T}{RS^0}\right) + w_i^T \ln\left(\frac{AN^T}{AN^0}\right) \quad (7)$$

2.2 使用データ

本研究では、JAL と ANA の運航する国際線直行便旅客部門を対象とし、2005 年度、2010 年度、2015 年度における飛行時の直接 CO_2排出量の算出を行った。路線の運航状況、便数、使用機材のデータは JTB 時刻表 [3](2005 年度・2010 年度)、国土交通省の国際線就航状況 [4] (2015 年度)のデータを用いた。各路線の往復就航距離は ICAO Carbon Emission Calculator 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排出係数については環境省に掲載されている値を用いた。

3 結果・考察

3.1 総 CO_2排出量と総便数

はじめに、JAL・ANA の 2 社合計の国際線運航によって排出される CO_2排出量について比較すると、2005 年度は 1200 万(t-CO_2)、2010 年度は 900 万(t-CO_2)、2015 年度は 115 万(t-CO_2)と推移していた。同じ年度について 2 社合わせた総便数を比較すると、2005 年度は 800（便/週）、2010 年度は 790（便/週）、2015 年度は 1000（便/週）と推移していた。2010 年度から 2015 年度の推移を比較すると、総便数の増加割合に比べて CO_2排出量の増加割合が小さいため、総便数だけが排出量増加に影響を与えるとは限らないということが言える。

3.2 JAL の CO_2排出量

JAL の 2010 年度と 2015 年度の CO_2排出量を比較した要因分解分析の結果を図 1 に示す。図 1 は各要因の寄与度について 4 つの路線地域別の結果を示している。このグラフから FE がすべての路線地域においてマイナスに寄与していることが分かった。特に削減効果が大きかった北米路線では 2012 年以降従来使用機よりも約 20%燃費の良い機材を導入したため、大幅な CO_2排出量の削減ができたと考えられる。

3.3 ANA の CO_2排出量

ANA の 2010 年度から 2015 年度への CO_2排出量の変化に関する要因分解分析の結果を図 2 に示す。JAL の結果同様、FE によるマイナスの効果は見られたが、その他ほとんどの要因がプラスに寄与していることが分かった。なかでも AN によるプラスの効果が大きかったが、これは 2010 年度に比べて各路線地域の便数が 1.5～2 倍に増加したことによってもたらされたと考えられる。

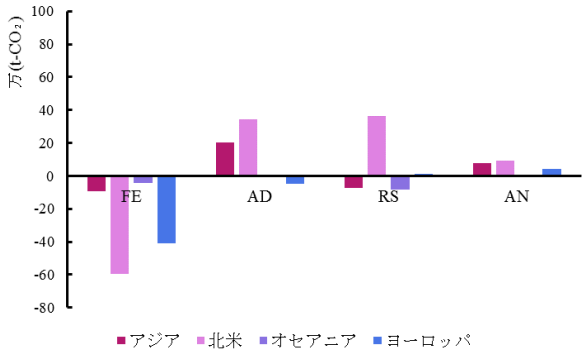


図 1. JAL2010 年度-2015 年度の各要因の寄与度

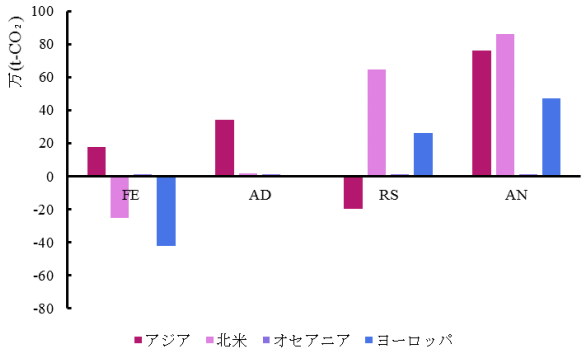


図 2. ANA2010 年度-2015 年度の各要因の寄与度

4. 結論

要因分解分析の結果から、総便数以外にも CO_2排出量の増減に大きな影響を与える要因があることが分かった。これより、単純に総便数を減らすことだけが航空部門からの CO_2排出量の減少をもたらすとは限らず、使用機材や路線構成まで配慮することでより効率的に CO_2排出量を削減することが可能になると言える。また近年ではバイオジェット燃料の実用化に向けた取り組みも活発に行われており、商用化が実現すれば使用燃料の変更による更なる削減も見込まれる。ICAO が決定した 2021 年度以降排出枠上限設定制度が施行されることを踏まえても、CO_2排出量削減に向けて運航効率の改善を行っていくことが求められている。

5. 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”, (2016)
2) ICAO UNITING AVIATION：“Historic agreement reached to mitigate international aviation emissions”, (2016)
3) “JTB 時刻表”, JTB パブリッシング, 東京, (2005, 2006, 2010, 2011)
4) 国土交通省：“国際線就航状況”, (2015)

B3-02,P2-110　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

都市域内輸送のエネルギー強度評価：日本におけるケーススタディ

Evaluation of transport energy intensity in cities: Japan as a case study

○湯浅夢叶*1)、中西正樹 1)、光斎翔貴 1)、山末英嗣 1)
Muku Yuasa, Masaki Nakanishi, Shoki Kosai, Eiji Yamasue

1）立命館大学
* rm0072kv@ ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

世界的な人口の増加，重工業化によりエネルギー消費量は年々増加しており，都市における効率的なエネルギー使用は大きな課題となっている．特に，世界中な自動車の普及により，都市における輸送用エネルギー消費は急速に増加している [1)]．実際に，輸送部門は二酸化炭素削減において最も複雑な部門と考えられており，2050 年の道路交通における燃料使用量は 2010 年に比べて 2 倍になると予想されている [2)3)]．そのため，都市域内輸送のエネルギー効率の評価が大変重要である．

これまで様々な既存研究において，輸送エネルギーに関連する指標（輸送エネルギー強度など）と都市の特性（人口密度など）の間に負の相関があることが報告されてきた [4)]．しかし，先行研究では，輸送エネルギーのライフサイクル的なエネルギー消費は考慮されていない．また，各都市の経時的な変化はあまり分析されていないというのが現状である．

そこで本研究の目的は，日本を例として，ライフサイクル的な観点から都市毎における域内輸送のエネルギー強度の経時的特徴を明らかにする．

2. 研究手法

2.1 評価対象

本研究では，人の歩行，自転車，ガソリン自動車（カローラフィールダー），バス（エルガ），電車（山手線 205 系）を都市内における輸送機関とみなす．ただし，自動車，バス，電車の占有率は平均の値を使用した．

また，輸送機関のライフサイクル的なエネルギー消費評価範囲を，製造段階，Well to Wheel(Well to Tank + Tank to Wheel)とした．ただし，電源構成は日本全体のものを使用した．

2.2 輸送エネルギー強度

2.2.1 輸送エネルギー強度算出式

各輸送機関における輸送エネルギー強度の算出式を以下に示す．

$$\mu = \frac{Q}{(m+M)gL}$$

μ：輸送エネルギー強度　Q[J]：輸送エネルギー消費量
$m[kg]$：人の質量　$M[kg]$：輸送機関の質量
$g[m/s^2]$：重力加速度　$L[m]$：輸送距離

輸送エネルギー強度はエネルギー消費量に比例するため，数値が低いほど環境に良い．

2.2.2 交通分担率

本研究で使用した交通分担率S_iの定義式を以下に示す．

$$S_i = \frac{\text{ある地域の１日に生じた代表輸送機関 } i \text{のトリップ数}}{\text{ある地域の１日に生じた全トリップ数}}$$

トリップとは「目的を持った一塊の移動」であり，１トリップにつき１つの代表輸送機関が決まる．代表輸送機関の優先度は 電車>バス>自動車>自転車>徒歩である．

2.2.3 域内輸送エネルギー強度

本研究では，各輸送機関における輸送エネルギー強度とその交通分担率を用い，域内輸送のエネルギー強度を以下の算出式で定義する．

$$\mu_{in-city} = \sum(\mu_i \times S_i)$$

$\mu_{in-city}$:域内輸送のエネルギー強度
μ_i:輸送機関iのエネルギー強度
S_i:輸送機関iの交通分担率

2.3 ケーススタディ

表 1 にあるように，日本国内の 11 つの都市を 5 つのセグメントに分類する．また，日本の電源構成と各都市における交通分担率の経年変化を考慮することで，1987 年，1992 年，1999 年，2005 年，2010 年，2015 年の各都市内における輸送エネルギー強度を求めた．

表１　評価対象とする都市とセグメント

都市セグメント	対象の都市		
三大都市圏	東京２３区	名古屋市	大阪市
地方中枢都市圏	札幌市	福岡市	
地方中核都市圏 (40 万人以上)	宇都宮市	熊本市	
地方中核都市圏 (40 万人未満)	盛岡市	高知市	
地方中心都市圏	湯沢市	今治市	

3. 結果及び考察

3.1 各輸送機関の輸送エネルギー強度

各輸送機関の輸送におけるエネルギー強度の数値をグラフ 1 に表す.

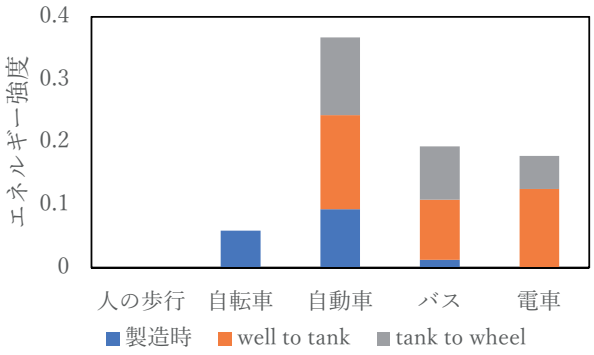


図1　各輸送機関のエネルギー強度

自動車，バス，電車における Well to Tank の輸送エネルギー強度は無視できないほど大きい．特に電気を燃料として使う電車では，Well to Tank が 7 割を占める．これは日本の電源構成が，エネルギー消費率（燃料に対して必要な一次エネルギーの割合）が高いことが原因と考えられる．電力の需要と供給，環境影響，災害へのリスク，経済的コストを考慮した上で，よりエネルギー消費率が低い電源構成にする必要があると考えられる．

また，自動車の輸送エネルギー強度はバス，電車に比べて 2 倍近く大きくなった．これは生涯走行距離，車体重量，定員重量が小さいことに起因すると考えられる．

3.2 人口密度との比較

11 都市の人口密度とエネルギー強度の結果を図 2 に示す．比較のため，ガソリン自動車（黒色線），電車（灰色線）も載せた．1987 年から 2015 年の推移を矢印を用いて表した．

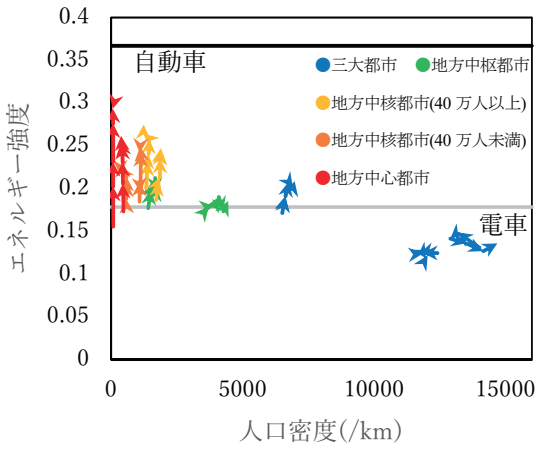


図2　人口密度との比較

三大都市圏，地方中枢都市圏では，2005 年までにかけて人口密度が増加すると輸送エネルギー強度は増加しているが，2010 年では下がっている．これは 2005 年までは自動車の使用率が上昇していたが，それ以降は減少し，電車，徒歩，自転車の使用率が高くなったことに起因すると考えられる．一方で，地方中核都市圏，地方中心都市圏では，人口密度の変化によらずエネルギー強度の推移は増加し続けている．この原因としては，人口密度が低いことにより，公共交通機関の拡大が困難で，自動車の使用率だけが増加したことが考えられる．

以上より，人口を密集化させることで，自動車の使用率を下げることができ，公共交通機関および徒歩，自転車の利用を増やすことで，域内輸送のエネルギー強度を抑制することができると考えられる．

4. まとめ

都市部と地方でエネルギー強度と人口密度の推移の傾向は大きく違った．都市部では，人口密度の増加とともにエネルギー強度は逆 U 字型になったが，地方では人口密度の変化によらずエネルギー強度の推移は増加している．経年変化を分析することで，人口密度と輸送エネルギー強度の関係性がより明らかとなった．

5. 参考文献

1) U.S.Energy Information Administration, International Energy Outlook 2016, P127, 2017

2) C. Brand, M. Tran and J. Anable, "The UK transport carbon model: an integrated life cycle approach to explore low carbon futures," Energy Policy, 41, pp.107-124, 2012.

3) IEA, "Technology roadmap. Fuel economy of road vehicles. Technical report," International Energy Agency, Paris, 2012.

4) Q. Su, "The effect of population density, road network density, and congestion on household gasoline consumption in U.S. urban areas," Energy Economics, 33, pp.445-452, 201

B3-03

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年３月）

中国における車種別年間平均走行距離とガソリン消費量の推計

Measuring the Annual Driving Distance of Different Types of Vehicles and Gasoline Consumptions for China

○沈卉*1)、加河茂美 1)

Ki Chin, Shigemi Kagawa

1) 九州大学

* shenhui927@gmail.com

1. はじめに

中国の自動車保有量はすでに世界二位になっている一方で、その自動車由来の環境汚染問題が深刻になっている。

自動車保有台数および燃費とともに、輸送関連のエネルギー使用に影響を与える主な要因の 1 つは、自動車の使用強度である。自動車が一年間にどれぐらい走っているかが自動車によるガソリン消費量と CO_2 の排出に大きな影響を与える。

しかし、中国における自動車の年間走行距離の分析は進んでいると言えない。毎年自動車関連データを公表する多くの先進国とは異なり、中国は公式的な年間走行距離のデータが公表されていない [1)]。

これらの現状を踏まえ、本研究では中国の主な中古車販売サイトから自動車データを収集し、車種別年間平均走行距離を推計することを目的とする。さらに、中国の年間ガソリン消費量を推計し、ガソリンの使用状況を全体的に把握する。

2. 研究手法

2.1 研究対象とデータ収集

本研究では、個人乗用車の中で、コンパクトカー、中型車、SUV（Sport Utility Vehicle）、MPV（Multi-Purpose Vehicles）の四つの車種を対象にする。

中国で最も利用されている中古車販売サイト３つ（捜狐汽車、瓜子二手車、人人二手車）を中心に、データ収集をした。具体的にいうと、自動車のブランドやモデルをはじめ、初年度登録年度、最終使用年度、累積走行距離（km)、燃費（*l*/km)、排気量（*l*）などである。

2.2　年間平均走行距離の推計

年間平均走行距離$\bar{D}$は以下の式で計算される。

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{D_i}{T_{ri} - T_{di}} \right)}{n} \quad (1)$$

ここで、i は自動車、D_i は車 i の累積走行距離、T_{ri}は車 i における初年度登録年数、T_{di}は車 i における最終使用年数、n はサンプル数をそれぞれ示している。本研究のサンプル数は 1000 である。

2.3　車種別から見る使用年数と累積走行距離の関係

利用年数が 1 単位(年)を伸びると、自動車の走行距離の増加量はどうなるかについて車種別の使用年数と車種別の累積走行距離のデータを用いて回帰分析を行い推計した。

3. 結果と考察

図 1 から、中国の個人乗用車の年間平均走行距離は約 15000 ㎞であることがわかった。車種別から見ると、MPV の年間平均走行距離はもっとも長く、1.74 万㎞であることに対して、コンパクトカーは 1.42 万㎞である。この大きな違いは利用者にあると考えられる。MPV は多人数での乗車を目的に作られた乗用車で、ファミリーカーとして人気を博している。その一方で、コンパクトカーはサラリーマンによる通勤目的で利用されることが多く、走行距離は相対的に短くなっている。

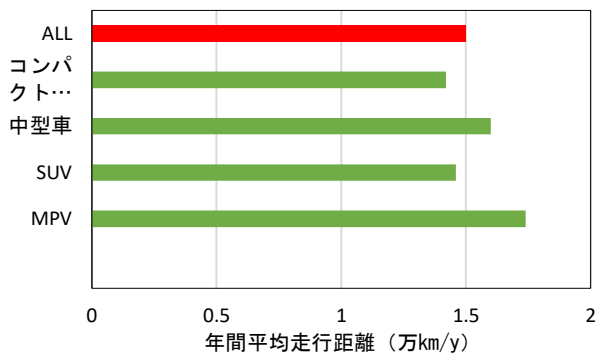


図 1.　車種別乗用車の年間平均走行距離

図 2、図 3、図 4 はコンパクトカー、中型車、大型車(SUV と MPV)における利用年数と累積走行距離の関係を表している。利用年数が伸びるほど、累積走行距離が増加するのはもちろんだが、それぞれ増加の幅に違いが見られる。コンパクトカーの場合では、一年間の伸びは 1.08 万㎞で、中型車だと 1.38 万㎞である。SUV と MPV は 1.36 万㎞の増加がわかる。この結果は、年間平均走行距離の相違と同じ原因だと思う。

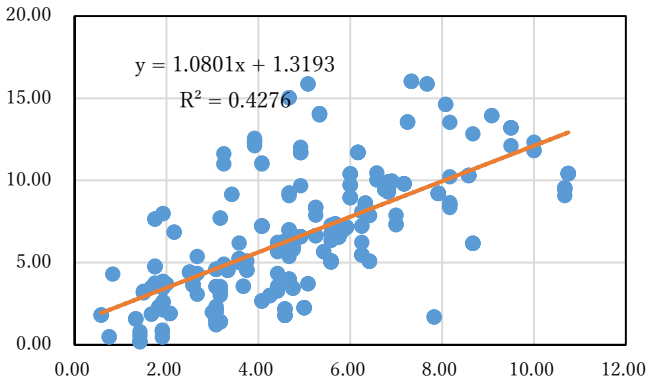


図 2. コンパクトカーにおける利用年数（年）と累積走行距離（万 km）の関係

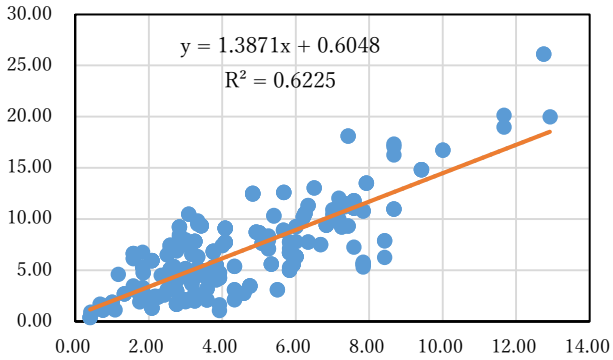


図 3.　中型車における利用年数（年）と累積走行距離（万 km）の関係

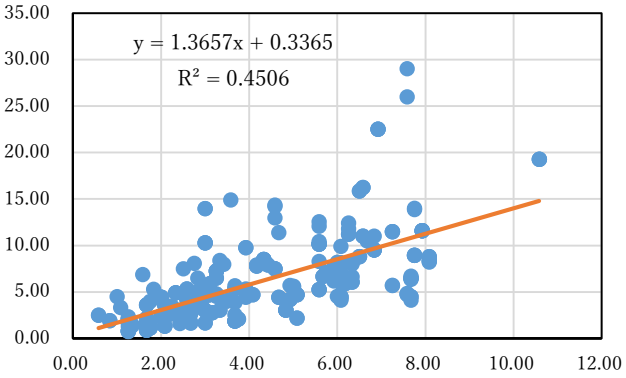


図 4.　大型車（SUV と MPV）における利用年数（年）と累積走行距離（万 km）の関係

中国自働車へのより良い理解は、エネルギーの節約に提言できるだけではなく、持続可能の中国社会にもつなげる。

引用文献

1) Hong Huo, Qiang, Zhang, Kebin He, Zhiliang Yao, Michael Wang: *Energy Policy*, 43, (2012), pp.6-16

2) Hong Huo, Michael Wang: *Energy Policy*, 43, (2012), pp.17-29

3) Hong Huo, Kebin He, Michael Wang, Zhiliang Yao: *Energy Policy*, 43 (2012), pp.30–36

4) Han Hao, Minggao Ouyang: *Energy Policy*, 36 (2011), pp.1010-1021

C3-01,P2-091　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

電気機器産業における循環型経済指標の解析

Analysis of the Circular Economy Indices for Electrical Appliance Manufacturing

○朱見春*[1)]、重富陽介[1)]、藤井秀道[2)]
Jianchun Zhu, Yosuke Shigetomi, Hidemichi Fujii
1) 長崎大学　2) 九州大学
*bb53617802@ms.nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

急激な経済成長に伴う天然資源の枯渇問題は、社会全体に大きなリスクをもたらしており、その緩和策が各国で推進されている。日本では2000年に「循環型社会形成推進基本法」、中国では2009年に「循環型経済促進法」、EUでは2015年に「循環型経済行動指針」がそれぞれ実施され、いずれも資源循環を核として利用量の削減と利用効率の向上を目的としている。こうした動きは企業レベルにおいても、2010年にEllen MacArthur Foundationを中心にCircular Economy (CE)[1)]が提唱されたことを機に、枯渇性資源の利活用に関する情報について、企業のホームページや報告書を通じて開示を行う活動が進められている。

近年ではCEの進展とともに、その進捗を評価するための指標開発 (CE Indicators) が進められており、現存の指標は国レベル[2)]、工業地域レベル[3)]、企業レベル、商品レベルと多岐に渡っている 。しかしながら、CEに取り組んでいる企業が増えつつある一方で、それらを評価できる指標はその他の対象と比較して少ない。また、学術的には国や工業地域におけるCEの進度を解析した研究事例が多く見られるものの[4)]、特定の企業や業界に着目された研究事例は現状では見られない。

以上の背景を踏まえ、本研究では世界的に需要が拡大しているハイテク電気機器産業に着目し、企業の持続可能な経営にとって重要となるCE指標を用いて、中心的な複数の企業の活動を評価した。また、一部の指標の変動要因を構造分解分析により可視化した。分析結果をもとに、現状のCE政策を通じた企業の環境経営への影響を明らかにしつつ、今後企業が政策を後押しするための方策について考察した。

2. 研究方法

2.1 対象企業とデータの取得方法

本研究では、電気機器産業に属している代表的な企業としてApple、Dell、Huawei、Lenovo、三菱電機、パナソニックの6社を分析対象として、企業がホームページや報告書で公開している温室効果ガス (GHG) 排出量、エネルギー利用量、廃棄物排出量のデータを取得した。

2.2 企業報告書におけるCEに関するキーワード分析

CEは比較的新しい概念であるため、本研究では初めに解析対象とする企業レベルにおける浸透度を計測した。ここでは、式(1)を利用することで、企業が発行する社会的責任 (CSR) 報告書の中で循環型経済に関連するキーワードの出現率を算出し、対象企業の関心率の高さを考察した。

$$\text{キーワードの出現率} = \frac{\text{キーワードの出現回数}}{\text{CSR の単語数}} \quad (1)$$

2.3 循環型経済指標

CE指標には数々の指標が含まれており、本研究ではこのうち経済活動の影響を評価する指標 (Complementary impact indicators[1)]) を用いた。対象企業が公表した過去のCSR報告書から必要となるデータを抽出し、企業のGHG排出強度および廃棄物排出強度、エネルギー消費強度をそれぞれ算出して比較した。

2.4 リサイクル総量の変化要因の分解

リサイクルおよびリユースに関する指標は企業の循環利用状況を知る上で重要である。ここでは企業のリサイクル総量の変化要因を、次の式(2)のように分解することで解析を試みた。

$$\text{Recycle} = \frac{\text{Recyle}}{\text{Waste}} \times \frac{\text{Waste}}{\text{Sale}} \times \text{Sale} = \text{RR} \times \text{WI} \times \text{S} \quad (2)$$

ここで、Recycle、Waste、Sale (S) はそれぞれ、企業の年間リサイクル総量および企業の廃棄物総量、売上を示す。RR (Recycle Rate) はリサイクル率、WI (Waste Intensity) は廃棄物強度を表す。次に、式(3)で表される二時点間の企業リサイクル総量の変化において、式(2)で設定した三つの異なる要素の変化 ΔRR, ΔWI, ΔS における各寄与度を、LMDI-I[5)] によって定量化した。

$$\Delta\text{Recycle} = \frac{\text{Recycle}^{(T)}}{\text{Recycle}^{(0)}} = \Delta\text{RR} \times \Delta\text{WI} \times \Delta\text{S} \quad (3)$$

上付き文字の T 及び0は、それぞれ比較の対象年と基準年を表す。本研究では、2012年(T=0), 2013年 (T=1), 2014年 (T=2), 2015年 (T=3), 2016年 (T=4), 2017年 (T=5) とした。これらの結果はすべて、基準年からのリサイクル総量の変化に対する寄与率で表現される。

3. 結果と考察

3.1 CSR に関連したキーワード出現率の変化

分析結果より、Apple、三菱電機では報告書内における CSR 関連キーワードの出現率が減少傾向にあった。このような結果が得られた理由の一つに、報告書の記載内容として経営戦略や社会貢献に関する内容が増えており、相対的に環境に関する記載内容が少なくなった点が挙げられる。一方で Lenovo、Huawei、パナソニックの分析結果では、CSR に関するキーワード出現率は年々増加傾向にあった。とりわけ中国では、2008 年から数多くの環境政策が制定されており、Lenovo と Huawei の CSR におけるキーワードの出現率の増加に寄与したと考えられる。Dell の CSR については、期間を通じてキーワード出現率の変化が少ない傾向が見られた。

3.2 GHG 及び廃棄物排出強度の変化

図 1・2 に GHG と廃棄物の排出強度の推移を示す。2015 年まで、三菱電機と Dell における GHG 排出強度が増加した。特に、三菱電機は大きく増加しており、東日本大震災による原子力発電所の停止の影響が大きいと考えられる。一方で Huawei は GHG の排出強度が減少の傾向にある。これは、中国国内の環境政策の実施による影響が強いと考えられる。パナソニックにおける GHG 排出強度は 2014 年に一度減少し、2015 年に再び増加に転じた。また、2016 年以降、三菱電機、Dell、パナソニックの GHG 排出強度が減少傾向にある。これは、2015 年に発効されたパリ協定の影響を他の企業よりも強くうけていると示唆される。Huawei では GHG 排出強度が増加した。また、2012 年から 2017 年まで、Lenovo と Apple では GHG 排出強度が減少傾向にある。

Apple と Lenovo では廃棄物排出強度は売上と同様に増加傾向がみられる。一方で Dell と Huawei では、売上に比例せず全体的に減少傾向がみられ、廃棄物の低減に努力していると考えられる。パナソニックと三菱電機では、2015 年まで増加した後、減少に転じた。

3.3 企業のリサイクル総量の変化要因

ここではスペースの都合上、Huawei の結果のみを図 3 に示す。2011 年と比べ、Huawei のリサイクル総量は増加傾向にあり、主に S の増大が寄与している。RR もリサイクル総量を増加させる方向に寄与しており、他の企業と比較して高い傾向にあることから、Huawei はリサイクルに注力していると考えられる。また、S が増加しつつ WI が減少傾向にあったため、Huawei はリサイクルを通じて廃棄物の低減を重視していることが示唆された。このようなリサイクル総量の変化要因は、企業により異なる傾向が表れた。とりわけ WI の変化により、リサイクルが増加する企業が多く見られたため、今後はさらに廃棄物低減を重視して活動していく必要がある。また、RR の変化によってリサイクル総量が増加する企業が少ないため、生産段階からリサイクルしやすい商品の開発を進めることが重要であると考えられる。

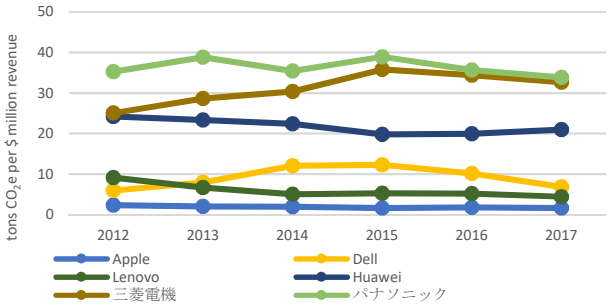


図 1　各企業における GHG 排出強度の推移

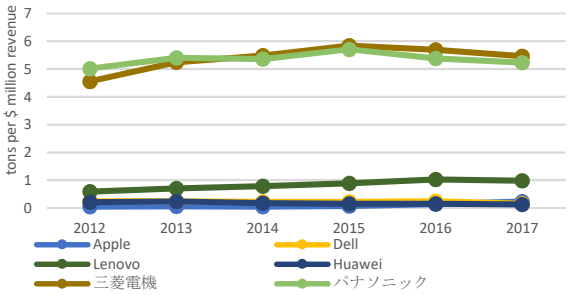


図 2　各企業における廃棄物排出強度の推移

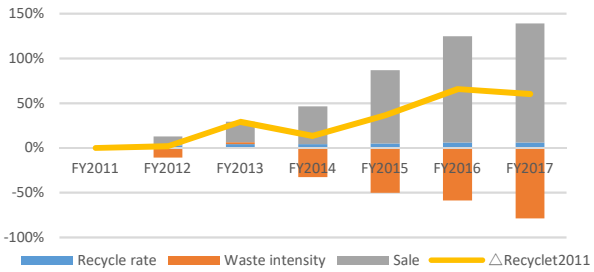


図 3　Huawei のリサイクル総量の変化

4. 参考文献

1) Ellen MacArthur Foundation, Granta Design, 2015.
2) Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., Yu, X, 2013. Journal of Cleaner Production 42 (2013) 215-227.
3) Geng, Y., Fu, J,. Sarkis, J,. Xue, B,. 2012. Journal of Cleaner Production 23 (2012) 216-224.
4) EASAC. 2016.
5) Fujii, H., Managi, S., 2013. Journal of Industrial Ecology 17(3),461-471.

Indicators to measure the progress of circular economy considering life-cycle assessment perspectives

Mahdi Ikhlayel*[1)], Seiji Hashimoto[1)]
1) Ritsumeikan University
* mi.ikhlayel@gmail.com

1. Introduction

The concept of the circular economy (CE) is a trending topic, and it has been a proliferation of scholars, practitioners, industry, and policymakers[1)2)]. CE aims to overcome the prevalent take-make-use-dispose linear pattern of production and consumption. A circular pattern put back the value of resources and materials, utilizing them in the economy as long as possible; advocating reduced primary resources extraction in favor of secondary ones[2)]. This article explores three major concepts of CE: the economic, environmental, and social aspects and synthesizing the relationship between them. It aims to (1) review and classify the CE aspects and key concepts in the literature through Qualitative Data Analysis (QDA) of the articles published on CE, including the various CE definitions; and (2) classify CE indicators to measure how close or far countries and industries are from the transition to CE.

2. Review Method

This article follows a systematic literature review on the Web of Science database to search for relevant literature. First, a search query was performed in the title field only. The search query was designed to look into the articles that contain the exact "circular economy" phrase in their titles in which 480 articles were found. Second, EndNote was used to perform literature extraction and bibliographic analysis. 351 articles were found on-campus with the full text. Third, an inclusion and exclusion criteria were designed to serve the objective of this study and it was applied to the 351 articles. The inclusion criteria were articles that discuss (1) the historical development of CE; (2) the concepts and definitions of CE and resource efficiency (RE); (3) indicators for CE or RE assessment; (4) the key aspects of CE; (5) methodological approaches to CE and RE; and (6) reviews or literature analysis on CE and RE research. Articles that apply the concepts of CE and RE on specific case studies or topics were excluded. Fourth, the inclusion and exclusion criteria were applied to the abstracts of the 351 articles after a skim read. 208 articles were considered for the final review. Fifth, 114 definitions of CE were analyzed and classified based on keyword analysis. Sixth, the abstract of the 208 articles were extracted, and the QDA method was employed. Seventh, the keywords of the sixth step, where used as “codes” for QDA to analyze the title, keywords, and the text of the abstracts. Eighth, the full text of the 208 articles were analyzed with QDA based on a defined coding system. At the last step, indicators employed in the literature were reviewed and classified corresponding to the CE aspects of the sixth step.

3. Results and Discussions

The preliminary findings show that the implementation of CE worldwide still in the early stages, mainly focused on recycling rather than reuse. The literature on CE is involved in several concepts in which many of them are common in various applications. Waste management appears as the second most field of focus after the economic ones. The findings show that 30 key aspects are discussed in the reviewed literature as follows: economic (including, e.g., cost, benefits, revenues, growth, development, and models); waste (including, e.g., waste hierarchy, and waste management); sustainability; environmental; resources; products and production; industrial (including, e.g., industrial ecology, industrial parks, and industrial systems); 3R; policy; design; energy; materials (including material cycles); consumption; social; supply chain; business models; sustainable development; performance; life-cycle; closed loops; innovation; end-of-life (including lifespan of products); RE; cleaner production; technology; ecosystem; cultural; socioeconomic; competitiveness; and metabolism. Regarding the methodological approaches, CE is approached in literature utilizing methods are mainly concentrated on modeling and decision-making. CE assessment can be categorized as (1) material flow analysis, (2) environmental life-cycle assessment, and (3) performance evaluation using, e.g., indicators. With LCA, its results reveal trade-offs between resources circularity and environmental impact reduction. The CE aspects and their indicators classification will be discussed at the conference.

Acknowledgements: This research was supported by the Environment Research and Technology Development Fund (3K163001, 3-1704) of Ministry of the Environment, Japan.

References

1) Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M.: Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources Conservation and Recycling, 127, pp.221-232, 2017.
2) Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A.: How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, 178, pp.703-722, 2018.

ＥＵサーキュラーエコノミーのキーテクノロジーとなる高温鉛フリーはんだの開発と実用化への推進

Development and practical use promotion of high melting point lead free solder which is the key technology to EU Circular Economy

○ 末次　憲一郎*[1)]、松木一弘[2)]、許哲峰[2)]

Kenichiro Suetsugu, Kazuhiro Matsugi, Teppo Kyo, Takuma Konishi, Hiroki Yagi, Keigo Terada

1) 神戸大学,　2) 広島大学

*ksuetsugu@port.kobe-u.ac.jp

1. 緒　　言

現在、製品や素材の効率的な利用で天然資源の消費や廃棄物の発生を抑える『サーキュラーエコノミー（ＣＥ、循環経済）』の動きが欧州から世界へと広がっている（図1）[1)]。このＥＵの動きを受けて経産省は、家電分野でのＣＥ化を従来の３Ｒをベースとする事業化イメージを発表している[2)]。事業化イメージにおける技術課題の一つに、現在も使用されている高温系鉛はんだによる鉛汚染がある。この対策には、高温鉛はんだを完全に除外すること、すなわち高温鉛はんだから高温鉛フリーはんだにへの移行が不可欠と考えられる。

我々は省エネ製品として現在多方面への使用が増加し、かつ約１４０℃の高温下にさらされるＬＥＤ製品に着目してこれをモデルとし、ＣＥ化対応による部品取替えや個別接合実装における高温鉛フリーはんだを用いた検討を行った。

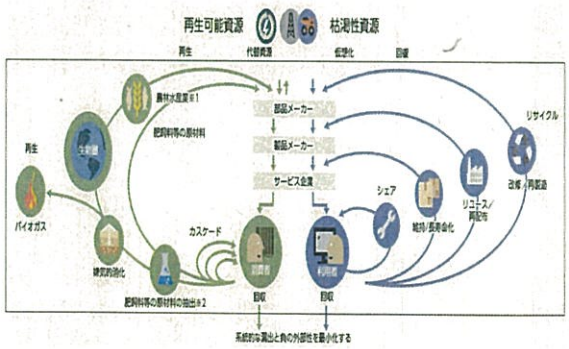


図1．ＥＵが提案する循環経済（ＣＥ）のイメージ

2. 高温鉛フリーはんだの開発と実用化検討

2.1. 高温系鉛フリーはんだＢｉ系材料の開発とＬＥＤ基板での特性評価

電子機器の鉛問題に関し、これまで中温系はんだ（融点２５０℃以下）については、すでに１９９８年ポータブルMDプレーヤの製品化に成功したことで、我々は世界の鉛フリー化を推進することに貢献できた。その結果、世界の鉛はんだの約８０％が鉛フリー化へと代替されるまでとなった[3)]。しかしながら高温系鉛フリーはんだ（融点２５０℃以上）については世界中で開発が進められた

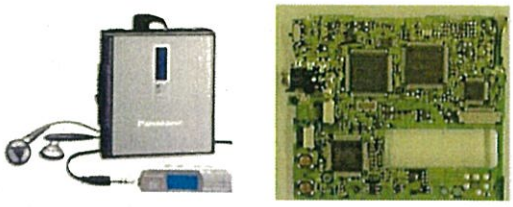


図2．世界初のポータブルMDプレーヤ回路基板

が成功していなかった[3)]。我々はベース材料の選択を行った結果、ビスマス系材料をベース材料として、ＢｉにＣｕを微量添加することにより伸びが数十％程度へと増大することを突きとめた（図3）。

これらの検討をもとに材料設計を行った結果、テストピース実験では現行の Sn3.0AgCu はんだに比べて伸び特性が同等であり、融点が６０℃以上高い約２７０℃の機械特性や熱特性に優れた開発材料を得ることができた[4)]。

今回開発したビスマス系高温はんだ材料を用い、従来鉛はんだとの差異について LED 実機基板によるヒートサイクル試験を実施して調べたところ、実機基板でのはんだ付け特性の評価を行うと、ヒートサイクル試験（－５０～＋１５０℃、各３０）において現行ＳｎＡｇＣｕはんだでは１００サイクルでクラックが生じるのに対して、１５０サイクルでもクラックが生じなかった。したがって今回開発した高温系鉛

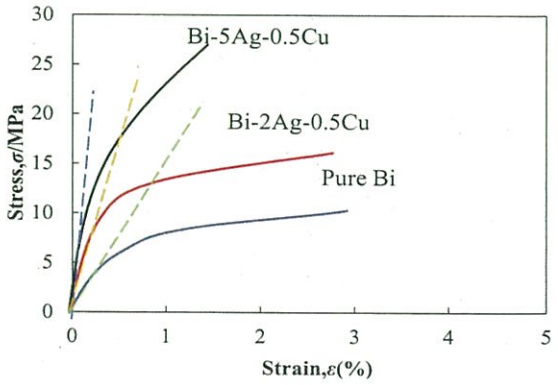


図3．Ｂｉ系材料の引張り試験結果

フリーはんだ材料は現行のＳｎ3.0ＡｇＣｕはんだ材料に比べて、はるかに熱疲労特性が良好なことがわかった。

3．サーキュラーエコノミーを想定した高温鉛フリーはんだ活用による廃家電の循環ものづくり予備検討

3.1. トランス部品の廃家電からの取り外しと他基板への接合

廃家電のなかで利用可能な部品の一つにトランス部品がある。トランス部品の端子部は高温鉛はんだで端子処理されており、ＳｎＡｇＣｕはんだで基板に接合されている。そこで接合部を加熱してトランス部品を外し、接合部のはんだをすべて溶融させ吸引除去した。次に別の基板に、高温鉛フリーはんだをシリンジで塗布供給した後、使用済みトランス部品の端子を挿入して加熱接合させた。接合後常温において、屈曲、捩じりなど想定される機械的な応力をかけたが部品は外れず、基板に接合されていた。このことからも接合部に現行はんだの一部が残存しても問題が生じない可能性が得られた。

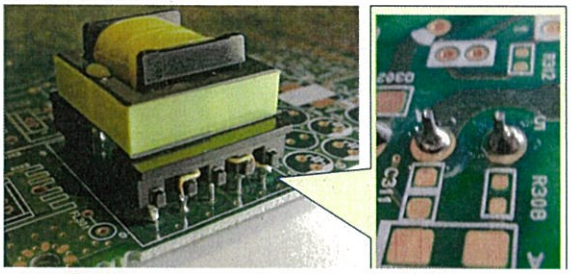


図4．トランス部品の取り外しと再加熱接合実験

3.2. 微小及び弱耐熱部品のブルーレーザーを用いた個別接合実験

サーキュラーエコノミーでは、高温下のＬＥＤではんだクラックが生じた場合、その故障した特定部品のみを取り外し故障のないＬＥＤをその場所に再加熱接合することが必要となる。即ち故障した微小部品周辺を加熱して部品を取り除いた後、高温系鉛フリーはんだをシリンジで供給塗布しその部位を加熱接合する必要があり、通常の熱風では故障部品周辺をさらに過熱して熱ダメージを与える可能性がある。



図5．チップコンデンサ（左）と発光素子半導体（右）

このため周囲に熱ダメージを与えない個別接合が必要となるため、高効率のブルーレーザーを用いて接合するプロセスを検討した。

その結果、ブルーレーザーを用いたプロセスによって、微小部品や弱体熱部品に熱ダメージを与える事なく接合できる可能性が確認できた。

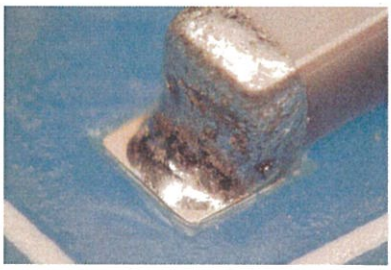


図6．微小部品（1005）接合外観

3.3　その他の部品接合の検討と接合断面の解析

上記以外の部品についても、熱風プロセスや光プロセスを用いて、接合断面の解析を行い接合状況の確認を行っている。現在では現行はんだ材料であるＳｎＡｇＣｕが残留していても、今回のビスマス系高温鉛フリーはんだ材料への阻害が少ないと考えられ、今後さらに信頼性を含めて検討を行っていく。

4．結　　言

ＥＵからサーキュラーエコノミーという新しいモノづくりが発信されたが、廃家電においては、まだ高温鉛はんだが実製品に搭載されており、この循環を阻害することが考えられる。しかしながらビスマス材料を用いた高温鉛フリーはんだの使用により、今回の予備検討においては残留現行はんだ材料の影響は少なく、またブルーレーザーによる熱ダメージの極少化の可能性が得られた。今後、このビスマス系高温鉛フリーはんだ材料[4]のさらなる開発を進め、車載やパワーエレクトロニクス等々の電子回路機器への拡充を図り、サーキュラーエコノミー化を実現して行く。

参　考　文　献

1) European Commishon:” Closingg the loopi-An EU action plan for the Circular Economy”, Dec. 2015.
2) 経産省、“資源循環を巡る最近の動きについて”、産業技術環境局資料、2018 年 2 月 13 日
3) K. Suetsugu, A. Furusawa, M. Tanaka, H. Takano. H. Takehara, T. Horiuchi and K. Matsusige, Mater. Trans. 47, No4 (2006) pp1082-1089
4) 広島大学ホームページ広報・報道“高融点化を実現した次世代用高温はんだ材料を開発“、2018 年 11 月 28 日

D3-01

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

LCA と動的マテリアルフロー解析の連成モデルによる循環生産システムの検討

Coupled models of LCA and dynamic MFA for design of a supply chain system

○陳　怡靜*[1)]、大野　肇[1)]、福島　康裕[1)]

I-Ching Chen, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima

1）東北大学

* chen@tohoku.ac.jp

1.　はじめに

持続可能な経済成長や新規雇用創出などが期待されることから、近年、欧州中心に Circular Economy (CE) の実現を経済成長戦略の一つとして位置づけている。国連の持続可能な開発目標（SDGs）においても、資源の持続可能な管理および効率的な生産とサプライチェーンを構築することで、環境負荷を低減させることを目標の一つに掲げられている [1]。しかし、それが効果的に進んでいない背景には、従来のシステムでは個別最適があっても全体最適な設計へと移行出来ていないと考えられる。製品ライフサイクル管理において、メンテナンス、回収、リユース、リサイクル等のオプションがあって、どの段階でどのオプションをとれば全体最適になるかの評価や管理の仕組みが不十分である。その持続可能な循環生産システムの実現には、使用済み製品から回収された素材や部品の効果的な再利用に鍵があり、素材や部品の流れと製品の生産、使用、回収、再利用など各段階において生じる環境影響の循環状態を検討しなければならない。

本発表では、動的マテリアルフロー解析（MFA）モデルを元に、製品とそれに含まれるリユース可能部品の動的 MFA と並行して各ライフサイクルステージにおける LCA を実施可能な連成モデルを構築し、循環生産システムの設計に対する指針の提供を目指す。

2.　研究方法

2.1　動的 MFA

製品の生産システムについての MFA を行うには、産業連関表など統計資料を情報源とし、その他の対象産業に関する統計からの情報を統合して、物質の動態を明らかにできる。Nakamura らは長期的な素材利用形態遷移を動的に解析できる MaTrace モデル [2]を開発し、ある素材についてその素材を含有する製品の寿命や各段階でのロスを考慮して利用形態遷移を可視化した。しかし、既往の研究では、対象は素材のみであり、製品や部品のリユースを含めた分析は提案されていない。また、従来の MFA では物質の流れのみを考慮し、各ライフサイクルステージでのユーティリティ消費などは考慮されなかった。本研究では、循環型社会構成技術の評価を体系的に論じ、製品中部品の形態遷移を下記の事項を考慮しモデル構築する。

- それぞれの機能を時間依存で数理化
- 異なる機能レベルを利用する複数製品を想定

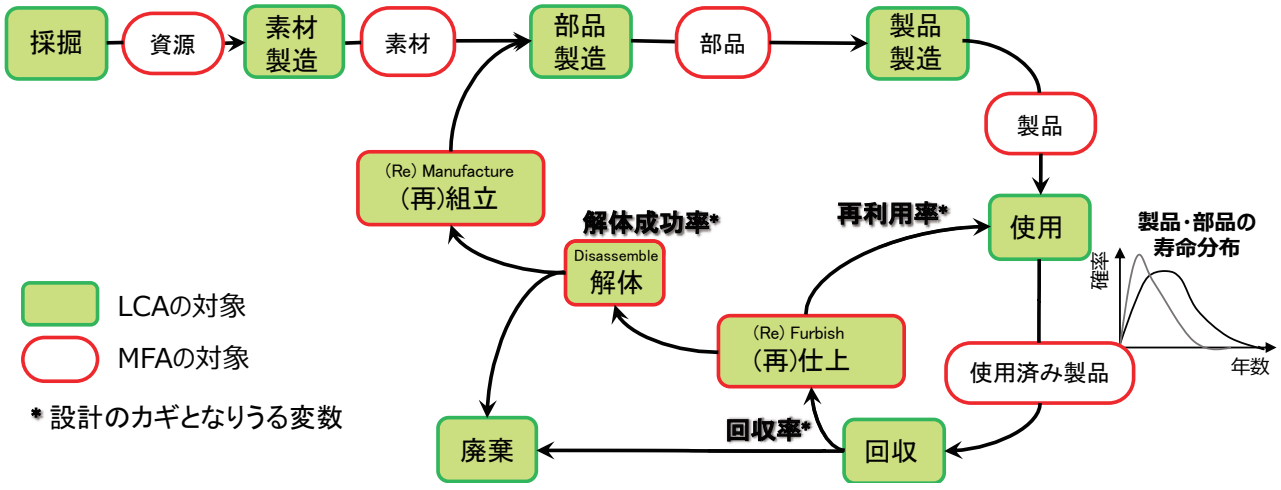


図 1 LCA と MFA の連生モデルによる循環システム（単一製品単一部品モデルの例）

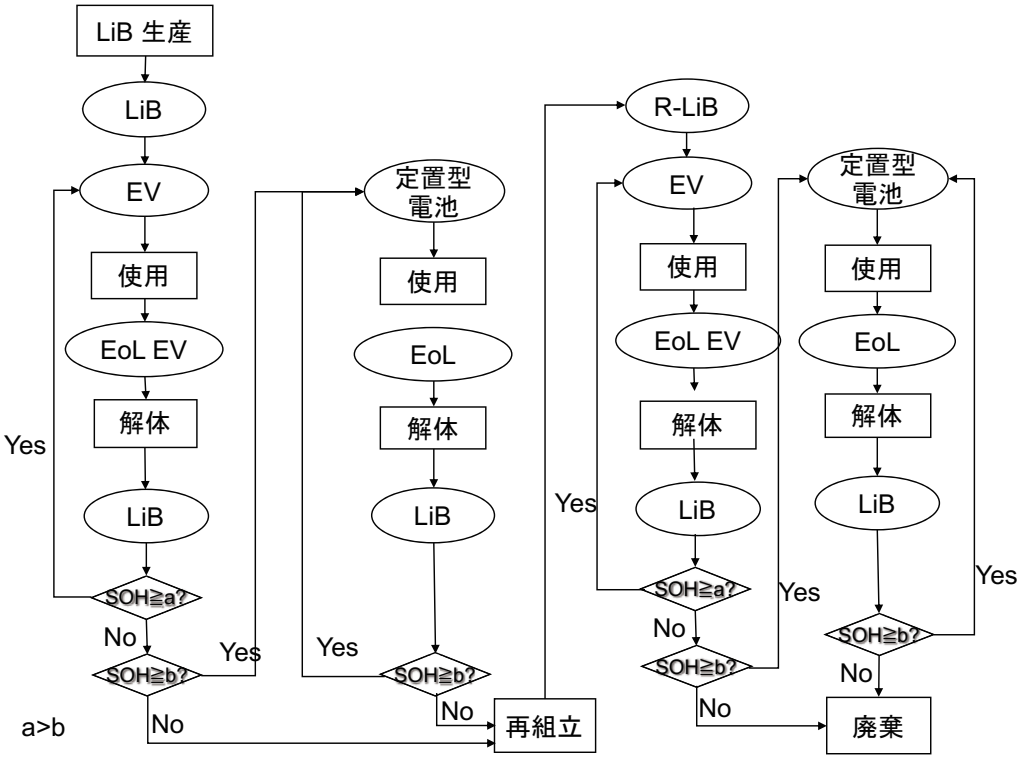


図 2 LiB 循環生産シナリオ

2.2　LCA との連成

本研究では、図 1 に示したように、製品とそれに含まれるリユース可能部品の動的 MFA と並行して各ライフサイクルステージにおけるLCA を逐次的に実施可能な MFA/LCA 連成モデルを構築する。モデル内では製品寿命、回収率、再利用率、メンテナンス頻度、効率の経年劣化度等をパラメタとして与えることで、様々なシステム状態の再現を可能とする。LCA の計算を連成させることによって、リユースやリサイクルの最適なシナリオに基づいて、実際の製品を新造品と再生品とを区別せずに再び製造する具体的なプロセスを最適化し、可視化できるようになる。

3.　ケーススタディー：リチウムイオン電池への統合循環生産シナリオの適用

本研究で構築したモデルを用い、図 2 のようにリチウムイオン電池（LiB）の循環生産シナリオを想定した。LiB の劣化状態を表す指標である State of Health (SOH)から判定し、電気自動車（EV）で使用済み LiB を定置型利用へリユース、SOH に従ってリマン、再び EV へ用いるや廃棄等を動的 MFA による分析する。LiB の経済や環境負荷は製造プロセスベースのボトムアップモデル[3, 4]を用いて定量的に分析する。本発表では、その結果の一部を示し議論する予定である。

4.　おわりに

LCA に MFA を組み合わせることによって、処理対象物の部品やストック量を含めた動的な量が明らかとなる。このよう可視化の結果により、循環生産システムに関わる技術開発の目標設定へとフィードバックし、描く社会の評価とその実現に貢献するための戦略的な開発への貢献を目指している。

謝辞

本研究の一部は科学技術振興機構（JST）未来社会創造事業(JPMJMI17C1)の支援により実施された。

引用文献

[1] United Nations General Assembly (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
[2] Nakamura, S., Kondo, Y., Kagawa, S., Matsubae, K., Nakajima, K., Nagasaka, T.: Environmental Science and Technology, 48 (13), (2014)
[3] Chen, I.-C., Hamano, H., Iwasaki, H., Yamada, K.: Journal of Chemical Engineering of Japan. DOI: 10.1252/jcej.17we302
[4] Sakti, A., Michalek, J. J., Fuchs b, E. R.H., Whitacre, J. F: Journal of Power Sources, 273, (2015)

D3-02

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

付加価値の付与に着目した製品の長寿命化と それに伴う環境負荷削減に関する分析

Analysis on longevity of products and its reduction effect of environmental burdens focusing on value addition.

○西嶋大輔*[1)]、南斉規介 [1,2)]、加河茂美 [3)]、小口正弘 [1)]

Taro Kankyo, Hanako Hyoka

1）国立環境研究所, 2）シドニー大学, 3）九州大学

* nishijima.daisuke@nies.go.jp

1. はじめに

持続可能な社会に関する考え方の一つとして、「サーキュラーエコノミー」が着目されている。欧州委員会のサーキュラーエコノミーに対する行動計画 [1)]では、その実現に向けた方策として耐久性や修理可能性が高まる製品設計を示しており、これにより製品の長寿命化が促進され資源消費や廃棄物発生の抑制につながるとしている。

しかし長期使用のための製品設計の改良には、基本的には技術進歩や高価な材料が必要であり、それらは製品コストの上昇に繋がる。また参考文献 1)でもあるように、長期使用を促すうえでは、製品の保証期間をさらに延ばすなどして消費者の長期使用をサポートする必要もあり、この保証期間の延長は部品の管理費用などの上昇に繋がるため、この点でも製品のコストが嵩むと考えられる。一方で製品の長期使用によって買い替え需要が減少し、その製品を製造する企業の売上は下がることとなる。以上を鑑みると、企業が現状の価格で長期使用の製品デザインを施した製品の生産を維持することは経済的に難しく、その製品デザイン改良を付加価値として製品価格に乗せる形で評価することが重要である。さらに、長期使用に向けた製品設計の改良が製品の長期使用に十分結びつかない可能性もある。Cooper (2004) [2)]や Wrap (2011) [3)]では、廃棄された電化製品の状態を調査し、廃棄製品のうち約 30%は修理無しでまだ使用できる状態であるという報告が為されている。すなわちこれらの製品については、製品設計を向上しても製品の長期使用に繋がらないため、長期使用の促進が十分に達成されない可能性がある。そのため他の長期使用を促す策も必要となるが、その策の一つとして、前述した製品設計の改良に伴う製品価格の上昇がある。製品価格上昇は消費者が買い替えを控え保有製品を長く使うインセンティブとなる。

以上のような背景から、製品の長期使用（長寿命化）に向けた製品設計の改良を付加価値として製品価格に反映させることが、長期使用の促進、そして経済面も含めた持続可能な社会の実現に向けて重要であると考えられる。そのため、そうした付加価値の付与に付随する製品価格の上昇に伴う長期使用の促進が、環境や経済にどのような影響を及ぼすかを知ることが必要である。またサーキュラーエコノミーでは、主に資源消費削減や資源効率性の向上に重点が置かれているが、パリ協定の採択をはじめとして、地球温暖化問題も解決すべき重要な環境問題の一つであることから、GHG 排出量に与える影響について同時に見ることも重要な視点である。そこで本研究では、日本の家庭用エアコンをケーススタディとして、買い替え選択とその諸要因（製品の価格やエネルギー効率など）との関係を定量的に分析する動的離散選択モデルを応用し、長寿命化の製品デザインの進展に伴う製品価格の上昇が資源消費量と GHG 排出量、エアコンの売上に与える影響について定量的に分析するフレームワークの構築を行う。

2. 研究手法とデータ

2.1 動的離散選択モデルの推定

本研究では、はじめに日本の家庭用エアコンについての動的離散選択モデルの推定を行う。本研究では動的理離散選択モデルにおける「保有（買い替えない）」および「買い替える」を選択した際の効用 $u_{i,t}\left(a_{i,t}=0\right)$ と $u_{i,t}\left(a_{i,t}=1\right)$ を以下の式(1)のように設定する。

$$\begin{cases} u_{i,t}\left(a_{i,t}=0\right)=\alpha_0+\alpha_1\left(e_{i,t}-e_t^{new}\right)p_t^e \\ u_{i,t}\left(a_{i,t}=1\right)=\alpha_2 p_t^{ac} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、添え字 t は買い替え選択を行う年、添え字 i は保有するエアコンの製造年を示す。また、$\alpha_0,\alpha_1,\alpha_2$ は動的離散選択モデルのパラメータ、$e_{i,t}$ は保有する製造年 i の t 年における年間電力消費量、e_t^{new} は t 年に販売された新製品のエアコンの年間電力消費量、$p_{e,t}$ は t 年の電力単価、$p_{ac,t}$ は t 年に販売された新製品のエアコンの価格を示す。式(1)の効用関数を用いることで、動的離散選択モデルにおける製造年 i のエアコン保有者が t 年に「買い替える」を選択する確率 $P\left(a_{i,t}=1\right)$ は以下の式(2)のように表される。

$$P\left(a_{i,t}=1\right)=\frac{\exp\left\{u_{i,t}\left(e_t^{new},p_t^{ac},a_{i,t}=1\right)+\beta E\left[V\left(e_t^{new},p_t^{ac}\middle|a_{i,t}=1\right)\right]\right\}}{\sum_{\tilde{a}_{i,t}=0,1}\exp\left\{u\left(e_t^{new},p_t^{ac},\tilde{a}_{i,t}\right)+\beta E\left[V\left(e_t^{new},p_t^{ac}\middle|\tilde{a}_{i,t}\right)\right]\right\}} \quad (2)$$

ここで、β は割引因子を示し、本研究では先行研究 [4,5)]

を参考に $\beta = 0.9$ と設定した。また $V\left(e_t^{new}, p_t^{ac} \middle| \tilde{a}_{i,t}\right)$ はベルマン方程式における行動価値関数を示す。先行研究 [4,5]に倣い、式(2)の買い替え確率と買い替え選択に関する標本データを基に、パラメータ $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ を最尤法によって推定した。推定の際のデータとしては、参考文献 5)-9)を用いた。

2.2 製品価格上昇による買い替え選択の変化、およびそれに伴う資源消費量と GHG 排出量の変化の推計

2.1 節の動的離散選択モデルを用いて、製品価格上昇による資源消費量と GHG 排出量への影響を推計する。エアコンの製品価格が $\left(\Delta p^{ac} \times 100\right)$ %上昇した場合の買い替え確率 $P'\left(a_{i,t}=1\right)$ は次の式(3)のように表される。

$$P'\left(a_{i,t}=1\right) = \frac{\exp\left\{u\left(e_t^{new}, \left(1+\Delta p^{ac}\right) p_t^{ac}, a_{i,t}=1\right) + \beta E\left[V\left(e_t^{new}, \left(1+\Delta p^{ac}\right) p_t^{ac} \middle| a_{i,t}=1\right)\right]\right\}}{\sum_{\tilde{a}_{i,t}=0,1} \exp\left\{u\left(e_t^{new}, \left(1+\Delta p^{ac}\right) p_t^{ac}, \tilde{a}_{i,t}\right) + \beta E\left[V\left(e_t^{new}, \left(1+\Delta p^{ac}\right) p_t^{ac} \middle| \tilde{a}_{i,t}\right)\right]\right\}} \quad (3)$$

式(2)の価格が変化していない場合の買い替え確率と、式(3)の価格が上昇した場合の買い替え確率を用いて、それぞれの場合の各年の買い替え台数や残存台数を求める。それらの値に、資源消費量や GHG 排出量の原単位、エアコンの単価を掛け合わせ、エアコンの製品価格の上昇による力消費量と資源消費量、エアコンの売上への影響を推計する。なお、資源消費量についてはエアコンの製造に直接用いられる資源について、GHG 排出量については直接・間接を含むエアコンの製造と使用に付随する GHG 排出について加味する。推計の際には、参考文献 10)-11)を用いた。

3. 結果と考察

本結果は用いたデータの制約から、2005 年から 2013 年に買い替えられた 1995 年製から 1999 年製のエアコンについての結果であることに注意が必要である。

図 1 は製品価格が 5%、10%、15%上昇した場合の 2005 年から 2013 年の累積での資源消費量（鉄、銅、アルミニウム）と GHG 排出量の変化を示している。製品価格上昇による買い替え時期の延長によって対象期間におけるエアコンの買い替え台数が減った結果、製品価格の上昇は資源消費量を減少させるとともに、製品価格の上昇幅が大きいほど資源消費の削減量も大きくなっていることが分かる。一方で GHG 排出量をみると、製品価格の上昇は GHG 排出量の増加に貢献しており、価格の上昇幅が大きくなるとその増加量も増えていくことが示された。これは製品価格上昇に伴う買い替え延長による製造時の GHG 排出削減効果よりも、古い製品を使い続けることによる使用時の GHG 排出増加の効果のほうが大きいためと考えられる。図 2 は製品価格の上昇がエアコンの売上額に与える影響を示したものである。本研究の結果では、価格上昇によって売上額は減少しており、価格上昇による売上単価の増加分は買い替え需要の減少による売上減少分を賄えないことが示された。

本研究の結果では、長寿命化に向けた製品デザインの向上に伴うエアコンの製品価格の上昇によって、資源消費量は削減できるが、GHG 排出量は増加しエアコンの売上額は減少することが示された。この結果から、長寿命化の製品デザインの向上による価格の増加から得られる製品 1 台当たりの収入の増加分は、その製品デザイン自体だけでなく GHG 排出増加や売上減少への対策にも使われることが、持続可能な社会の実現の上で重要であると示唆される。

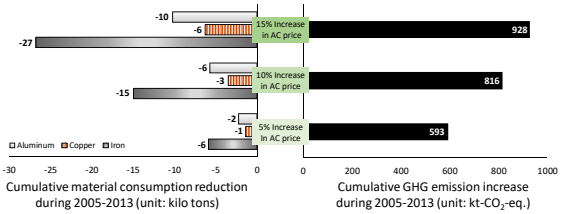


図 1 エアコンの製品価格上昇による 2005-2013 年の累積での資源消費削減量と GHG 排出増加量

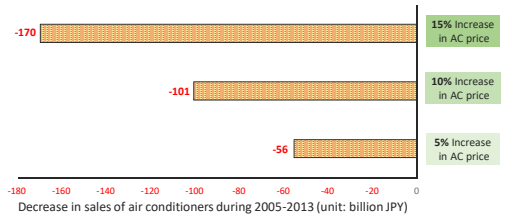


図 2 エアコンの製品価格上昇による 2005-2013 年の累積でのエアコンの売上額の変化

引用文献

1) European Commission: “Closing the loop – An EU action plan for the circular economy”, (2015).
2) Cooper, T.: J. Consumer Policy, 27, (2004), pp 421-449
3) Wrap: “Realising the Reuse Value of Household WEEE” (2011)
4) Rapson, D.: J. Environ. Econ. Manag., 68, (2014) pp.141-160.
5) 一般財団法人　家電製品協会: “使用済家電 4 品目の経過年数等調査報告書, (2006-2014)
6) 資源エネルギー庁: “省エネ性能カタログ”
7) 一般社団法人　日本冷凍空調工業会: “家庭用エアコン（ルームエアコン）国内出荷実績”, 入手先 <https://www.jraia.or.jp/statistic/detail.html?ca=0&ca2=0>, （参照 2018-6-30）
8) 電気事業連合会: “電力統計情報”, 入手先 <http://www.fepc.or.jp/english/library/statistics/index.html>, （参照 2017-11-09）
9) 一般財団法人　家電製品協会: “家電 4 品目のリサイクル実施状況”,
10) 国立環境研究所: “産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）

E3-01,P2-106　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

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

～温暖化防止普及啓発イベントの効果評価～

The sustainability assessment of global warming prevention activities for regional level: The effect of environmental events

○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を目的とした、国際的枠組みである「パリ協定」が発効した。日本も、家庭部門は比較的に高い温室効果ガス排出削減目標を設定した。そのため、地域レベルでの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、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や普及啓発方向性への課題がある。

全国地球温暖化防止活動推進センターの報告書[1]には、各地域レベルでの温暖化防止普及啓発活動の手段として温暖化以外を主目的としたものもあるが、概して普及啓発活動における参加者の意識に与える影響や効果は不明瞭である。また、地域での普及啓発活動の参加者の温暖化に関する意識や省エネ取り組み等の認識、実施状況も確認する必要がある。

本稿では、温暖化防止に積極的に取り組む埼玉県内での普及啓発活動である「さいたま打ち水大作戦 2018」(7 月 21 日)と「さいたまエコフェスタ in Summer 2018」（8 月 4 日）を対象として、活動の普及啓発効果を明らかにするための参加者の省エネ取り組み実施状況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

本研究は省エネ取り組み行動までの心理プロセス全体及び各心理段階に影響規定因を把握するため、三阪の認識・行動心理プロセスモデル[2]を参考として、環境配慮的行動の規定因に関連する表 1 の内容の意識調査（7 段階の評定尺度法）を行った。また、参加者の省エネ取り組みに対する認知度と実施状況を把握するため、国民の意識調査レポート[3]を基にして、表 2 に示す家庭内省エネ取り組みの実施状況を調査した。

回答者の基本属性の分類には、年齢、性別、職業、普及啓発活動の参加有無、および活動の体験内容等の項目を設定した。

表 1 温暖化・省エネ意識の調査内容

規定因要項	質問内容
危機感	「地球温暖化」に対して、危機感を抱いていますか?
責任感	省エネ活動を実施するのは、自分の役割だと思いますか?
有効感	省エネ活動の実施によって、「地球温暖化」の抑制に貢献できると思いますか?
欲求	省エネ活動の具体的な実施方法を知りたいですか?
関心	「地球温暖化」に対して、関心や興味がありますか?
動機	「地球温暖化」の防止活動と関わりたいですか?

表 2 家庭内省エネ取り組みの調査内容

番号	取り組み内容
1	白熱電球を LED 電球に取り替える
2	テレビ画面を明るすぎないように調整する
3	冷蔵庫に物を詰め込みすぎないようにする
4	エアコンのフィルターを毎月清掃する
5	冷房 28 度や暖房 20 度を意識して温度設定する
6	できるだけ意識して公共交通を利用する

2.2　データ収集と評価方法

埼玉県での普及啓発活動の参加者に対してアンケート調査を実施した。また、活動参加者の意識変化を把握するため，各普及啓発体験活動の実施前後に、規定因に関する意識調査を計 2 回行った。アンケートにおける回答者の回収状況と属性を表 3 に示す。

評価方法として、アンケートの回答結果に関して、単純集計値、ならびに平均値の比較をおこない、環境意識の変化や省エネ取り組みの認識・実施状況を把握する。

表 3 家庭内省エネ取り組みの調査内容

回答者基本情報		打ち水大作戦	エコフェスタ
アンケート回収数		34	43
性別	男性割合	35.3%	23.3%
	女性割合	64.7%	76.7%
年齢	10~20 代	17.6%	7.1%
	30~40 代	70.6%	90.5%
	50~70 代	11.8%	2.4%
職業	会社員・パート	58.8%	60.0%
	専業主婦	32.4%	32.5%
	学生・その他	8.8%	7.5%

3　結果

3.1　地球温暖化・省エネに関する意識

図 1 に各活動参加前の温暖化・省エネに関する意識の平均値を示す。意識尺度の平均値より、普及啓発活動に参加する前においても、各意識について全てポジティブな感覚を持っていたことがわかる。

また、温暖化防止活動動機に関する意識が、比較的に低いこともわかった。

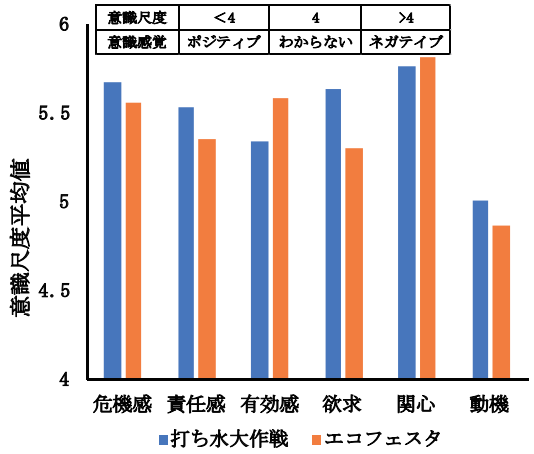


図 1 温暖化・省エネ意識状況

3.2　省エネ取り組みの認知度と実施度

表 4 に、回答者の家庭内での省エネ取り組みに関する認知度と実施度を示す。結果より、「LED 電球交換」と「エアコン温度を適切設定」に対する認知度と実施度が、比較的高いことがわかった。また「エアコンの掃除」の実施率が低いこともわかった。

3.3　普及啓発活動の効果

回答者の活動参加前後における、温暖化・省エネに対する意識の変化を図２に示す。結果より、活動の参加によって回答者の各意識がポジティブに変化することがわかり、普及活動の意識変化への影響（効果）があることがわかった。

表 4 家庭省エネ取り組み認知・実施度

打ち水大作戦						
省エネ取り組み	1	2	3	4	5	6
認知度	97%	74%	74%	71%	85%	71%
実施度	79%	64%	48%	33%	66%	46%
エコフェスタ						
省エネ取り組み	1	2	3	4	5	6
認知度	86%	63%	77%	72%	88%	86%
実施度	70%	59%	52%	45%	68%	51%

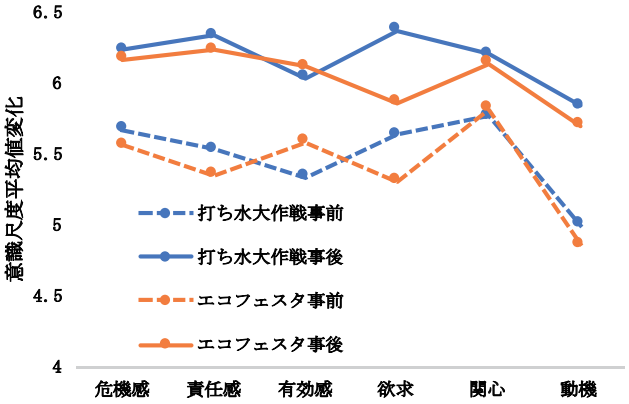


図 2 参加者の温暖化・省エネ意識変化

4.　まとめ

調査・評価の結果から、普及啓発活動の参加によって、回答者の意識がポジティブに変化することを確認した。また、家庭内での省エネ取り組みの実施程度にも大きな差があることから、各行動を規定する要因の分析を引き続きおこなう必要がある。

今後、さらに、アンケート結果を詳しく分析して、各省エネ取り組みの実施影響要因を明らかにして、体験活動の内容による参加者の意識変化への影響因子を明らかにする予定である。

5.　参考文献

〔1〕全国地球温暖化防止活動推進センター: “全国の地域地球温暖化防止活動推進センター活動集”, (2018)

〔2〕三阪　和宏: 日本環境教育学会,13(1), (2003), pp. 3-14

〔3〕全国地球温暖化防止活動推進センター: “地域における COOL CHOICE 国民運動の認知・実践状況に関する調査年次レポート”, (2017)

E3-02

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

アンケート調査を活用した住民向けイベントの実施効果分析

Analysis of a Questionnaire on the Effects of a Community Event

○兵法彩*[1)], 下野僚子 [1)], 堀内美佐 [1,2)], 大久保達也 [1)], 菊池康紀 [1)]

Aya HEIHO, Ryoko SHIMONO, Misa HORIUCHI, Tatsuya OKUBO, Yasunori KIKUCHI

1) 東京大学, 2) 和歌山県

* heiho-aya@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

生活習慣病の増加や高齢化が進む日本では、発症前の予防（健康づくり）によって、国民が社会生活を営むための機能維持・向上を図ることが重要となる。健康意識向上を目的として、自治体等が主催する健康関連イベント（健康測定、運動・食体験（食育など））が多数実施されているが、イベント実施による効果に関する議論は不足している。例えば、生活習慣改善意欲への効果や、地域で実施することによる産業への経済波及効果など、複数の観点でイベント実施を評価することができる。より効果的なイベント設計に繋げるためには、どの評価軸が重要となるか明らかにする必要がある。そこで、本研究は和歌山県の住民向けイベント（わかやま健康と食のフェスタ 2018）を対象とするアンケート調査を行い実施効果の分析を行う。

2. 対象事例

「わかやま健康と食のフェスタ 2018」は、和歌山県庁が健康・食育等推進に関わる団体、企業などと連携し、県民の意識高揚を図る場として実施しているイベントである。会場では、約 60 の出展ブースで健康づくりに関する多様な取組みが行われている。10 月 14 日（日）に開催され、約 8,000 人の住民が参加した。

3. アンケート調査の実施

「わかやま健康と食のフェスタ 2018」の主催者、出展者、参加者を対象とする 3 種類のアンケート調査を行った（図 1）。主催者向け調査は、事前に行い、イベント関係者の整理、イベント実施に必要な経費・工数に関する情報を収集した。出展者向け調査は事前と当日の 2 回に分けて実施し、事前調査票では、イベント実施に必要な経費・工数・啓発物（配布物）に関する情報を収集した。当日の調査票では、ブース訪問者数の情報を収集した。参加者向け調査票は、当日入口で配布し出口付近ブースで回収する形で、参加目的、運動習慣・食習慣、生活習慣改善意欲、印象に残った出展内容などの情報を収集した。

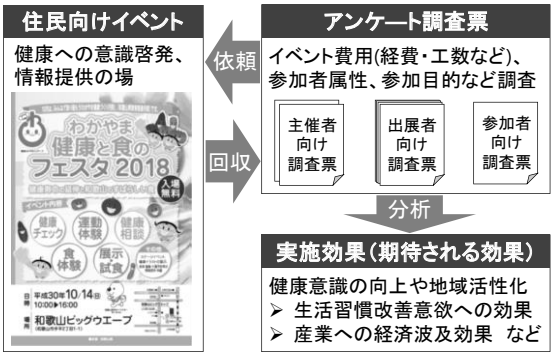


図 1　アンケート調査を用いた実施効果分析
（チラシは和歌山県 HP[1)] から引用）

4. 結果

イベント実施に必要な経費（主催者経費と出展者経費合計）は、およそ 1,000 万円（体組成計などの高額な測定機器の購入費、一部人件費は除く。）となった。多くの出展ブースで、情報提供のためのチラシ・パンフレット、試供品の配布が行われていたことから、印刷や試供品購入の費用が上位となった。また、食体験では試飲・試食による普及啓発を行っていたため、食品類や消耗品に一定量の費用が必要となっている。

5. おわりに

和歌山県の健康関連イベントを対象に複数のアンケート調査を行った。今後は、集めた情報から生活習慣改善意欲や経済波及効果などの実施効果を分析し、イベント設計時に活用可能な評価手法を検討する。

謝辞

本研究にご協力いただきました和歌山県福祉保健部健康局健康推進課の皆様に深謝申し上げます。なお本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（C）17K01245）の成果を含んでいます。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ます。

引用文献

1) 和歌山県: “わかやま健康と食のフェスタ 2018” ,和歌山県庁,（オンライン）,入手先<https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070300/hp_syokuiku/d00156203_d/fil/festa2018chirashi.pdf>,（参照 2018-12-28）

E3-03,P2-092

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

持続可能性評価を目指した観光消費に着目した観光 MICE のホットスポット分析

Sustainability Evaluation for tourism and MICE based on tourist's consumption Using hotspots analysis

○北村祐介*[1)]、一杉佑貴 [1)]、鈴木春生 [1)]、伊坪徳宏 [1)]

Yusuke Kitamura, Yuki Ichisugi, Haruo Suzuki, Norihiro Itsubo

1) 東京都市大学

* g1893104@tcu.ac.jp

1. 社会背景

近年の国際社会は２つの大きな転換期を迎えた。

一つ目は、パリ協定で、歴史上初めて先進国・途上国の区別なく温室効果ガスの具体的な削減目標の設定を目指す枠組みとして、低炭素社会から脱炭素社会に向けて国際社会が足並みを揃えた。

二つ目は、SDGs で、特にターゲット「12.b」では「雇用創出、地方の文化振興、産品販促につながる持続可能な観光業に対して持続可能な開発がもたらす影響を測定する手法を開発・導入する」ことが明確に記述されており、世界の観光分野では SDGs への貢献を目指し「Tourism for SDGs」という取組みがはじまっている。このような国際動向への対応は、日本のビジネスイベント（MICE）を含む観光産業も例外ではない。

SDGs の取り組み方法を示す「SDG compass」では、「Step2 優先課題を決定する」でバリューチェーンの中で高い影響領域をマッピングする手段のひとつとして「Life Cycle Assessment (LCA)」が紹介されている。すなわち、SDGs のような国際動向に対応した取組みを行う上で複数の影響領域を評価し、優先度を確認する「マテリアリティの特定」は、取組みのステップの中に組み込まれていることを意味する。

世界の観光分野で環境負荷を定量化した例は、個別製品・サービス、国や地域、世界の観光産業 [1)]と評価事例がいくつか挙げられるが、いずれも carbon footprint(CFP)の算出にとどまる。日本においても、観光や MICE では、気候変動の影響に着目した CFP 以外の複数領域に関わる環境影響の定量化の事例は特に少ない。

2. 目的と評価範囲

上記の社会背景を受け、本研究では日本の観光 MICE における環境影響を定量化するため、LCA 手法を用いてライフサイクルインベントリ分析（LCI）とライフサイクル環境影響評価（LCIA）を実施する。

本研究の評価範囲は訪日観光消費（訪日者の国内消費）、国内観光消費（国内旅行「宿泊・日帰り・海外旅行（国内分）」）と海外観光消費（海外支出分）に加え、MICE イベント来場者（出張・業務）の消費とする。ただし、MICE 主催者の調達消費分は含まれない。

ライフサイクルステージは旅行種別ごとに、その影響を考慮することから「準備」「訪日旅行」「国内旅行」「海外旅行」「事後」とした。

3. 評価手法

本研究における評価手法はホットスポット分析（HSA）手法を用いる。HSA とは、2014 年に UNEP (United Nations Environment Program) / SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) / Life Cycle Initiative によってまとめられた手法論 [2)]である。これらはライフサイクルの情報を基にしており「beyond LCA」と呼ばれ、経済/環境/エシカル（倫理的）/社会のサステイナビリティを考える際などに役立ち、一目で影響の傾向を示すことが特徴である。

本研究では、この手法論に基づき日本国内で東京都市大学（伊坪ら）、早稲田大学（近藤ら）、（独）産業技術総合研究所（AIST）（田原ら）で開発した分析手法 [3) 4)]（以下、本手法）を用いる。本手法のインベントリデータは田原らの開発する IDEA2 データベース、廃棄物の評価は近藤らの開発した廃棄物産業連関表（WIO）、環境影響評価は伊坪らの開発した日本版被害型環境影響評価手法(LIME2)の係数を採用されている。

4. 評価データ

観光庁では、定期的に調査発表している観光統計データとして「購入時期別内部観光消費及び国民観光消費額」が集計されている。各消費項目は、観光商品 6 分類 56 項目を旅行・観光サテライト勘定（TSA）に基づき整理している。本手法では、上記で分類された項目に基づき、評価対象の商品分類を項目ごとに HAS で利用するデータベースに対応させた。尚、評価データには、2015 年のデータ [5)]を扱う。

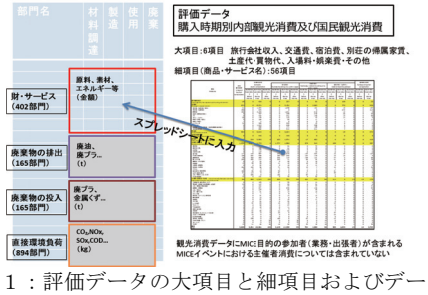


図１：評価データの大項目と細項目およびデータインプットのイメージ

5.　結果

5.1　ライフサイクルインベントリ（LCI）

LCI の結果から CO2 排出量は、約 1 億 42 万 t-CO2 となった。これは日本全体 CO2 排出量（2015 確報値 [6]）の 7.68%程度に相当する。

内訳は、国内旅行の影響がもっとも高く、航空輸送の割合が大きく、次いで宿泊サービス、石油製品、飲食サービス、鉄道輸送、菓子類の順が示された。

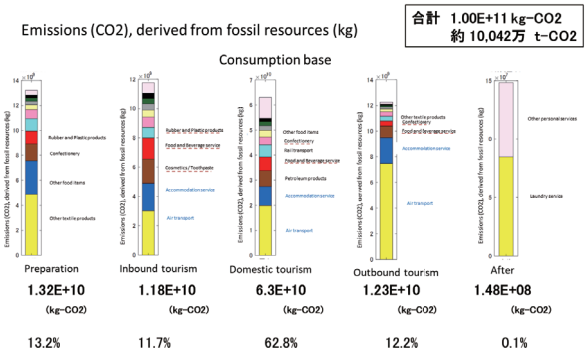


図２：観光消費の LCI 結果（CO2 排出量）

5.2　環境影響評価（LCIA）

以下に LCIA 結果を示す。国内旅行の影響が高く、資源（森林から畑地への転換）と CO2 排出（化石資源由来）の割合が大きい。資源では菓子類、飲食サービス、その他の食料品、宿泊サービスの順に割合が大きいことが示された。

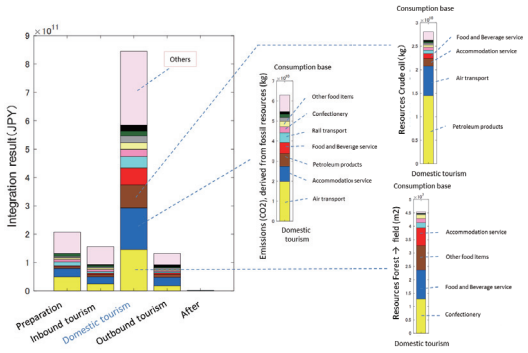


図３：国内旅行の LCIA 結果

6.　結論

本研究では、各旅行種別で、観光消費の特徴を表す傾向が確認できた。CO2 排出量においては、移動と滞在に欠かせない航空移動と宿泊サービス利用だけでなく、お土産品としての化粧品や靴の購入消費も高い寄与が示された。

また、環境影響評価では、お土産品としての菓子類、その他食料品、滞在時などの食事提供（飲食サービス、宿泊サービス）からも影響受けることが確認できた。これらの高い影響は気候変動や土地利用の影響カテゴリーに寄与している結果となった。

表１：LC ステージ別の高い影響項目の比較（CO2 排出量）

Emissions (CO2), derived from fossil resources (kg)

	Preparation	Inbound tourism	Domestic tourism	Outbound tourism	After
1	Other textile products	Air transport	Air transport	Air transport	Laundry service
2	Other food items	Accommodation service	Accommodation service	Accommodation service	Other personal services
3	Confectionery	Cosmetics / Toothbrush	Petroleum products	Food and Beverage service	-
4	Rubber / plastic footwear	Food and Beverage service	Food and Beverage service	Confectionery	-
5	Other manufactured goods	Rubber / plastic footwear	Rail transport	Other textile products	-

表２：LC ステージ別の高い影響項目の比較（土地利用）

Resources Forest → field (m2)

	Preparation	Inbound tourism	Domestic tourism	Outbound tourism	After
1	Confectionery	Food and Beverage service	Confectionery	Accommodation service	-
2	Other food items	Other food items	Food and Beverage service	Food and Beverage service	-
3	Food and Beverage service	Accommodation service	Other food items	Confectionery	-
4	Rubber / plastic footwear	Confectionery	Accommodation service	Entertainment venue (Except movie theaters)	-
5	Other manufactured goods	Entertainment venue (Except movie theaters)	Entertainment venue (Except movie theaters)	Air transport	-

7.　今後の課題

観光産業で消費される商品・サービスとして、航空輸送はもちろん、宿泊サービスやお土産品などの環境影響を低減する具体的な方策を考えなければならない。訪日旅行に関して、本研究から CO2 排出量と環境影響において、他の旅行種別と比較し、突出した高い影響は確認できなかった。近年、訪日観光客の増加によって消費拡大が期待され、その裏側で環境負荷や環境影響の増加が懸念される。今後は、消費拡大と低環境影響の取組みの両立が期待される。

本研究のバックグランドデータとなる、評価データは観光庁により各年で集計がされていることから、最新年版が公開された場合、最新データを用いた評価へ更新が必要になる。また、過去から複数年の評価による経年変化などの視点からも観光業に関する傾向を把握することも行いたい。さらに、本研究では対象外とした MICE 主催者の調達消費についても含めて評価ができるよう情報収集を行い、情報の網羅性を高める必要を認識している。

8.　引用文献

1)Manfred Lenzen et al.：“The carbon footprint of global tourism”,nature climate change,

2)wrap：“Hotspots Analysis: mapping of existing methodologies, tools and guidance and initial recommendations for the development of global guidance”,(2014)

3)東京都市大学伊坪研究室：”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”

4)伊坪徳宏：“「製品ライフサ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」”(2017)

5)観光庁：“「旅行・観光産業の経済効果に関する調査研究（2016 年版）」”,（2018）

6)環境省：“環境省　2016 年度（平成 28 年度）の温室効果ガス排出量（確報値）＜概要＞”

A3-05,P2-074　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

つくば市研究学園における異部門間電力融通の検討

Study on Power Interchange System between Different Sectors in Tsukuba city

○川田彩花*[1)]、磐田朋子 [1)]
Ayaka Kawata, Tomoko Iwata
1）芝浦工業大学
* br15022@shibaura-it.ac.jp

1. 研究の背景

近年は、固定価格買取制度（再生可能エネルギーによって発電した電気を、電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が約束する制度）によって家庭における太陽光発電の利用が盛んになっている。しかし、買い取り期間終了後の電力会社による買取価格は定まっていない。日中に発生しがちな余剰電力をより有効に活用するためには「電力会社への売電」以外の用途に利用できないか模索する必要がある。

そこで考えられる手法が電力融通である。電力融通とは、電力を必要としている他の建物へ余剰電力を融通する手法である。これにより、太陽光発電で作った電気を無駄なく活用でき、さらに電力会社を通さずにアグリゲータを通して電気の消費者へ直接売電するなど新たな電力配分の仕組みを検討できる可能性がある。

本研究で対象地として選定した茨城県つくば市・研究学園では電力融通は行われていないが、いわゆるスマートシティが存在し、三電池（太陽電池、蓄電池、燃料電池）を備えた住宅が集まっている。そのため電力融通を行うポテンシャルが高いと考えられる。文献 1 によると、平成 28 年度の研究学園内のスマートシティ街区全体で FIT 終了後に予想される日中の余剰電力量は表 1 のように予想される。

表 1 街区内余剰電力量（平成 28 年）[1)]

（Wh/月）	1 月	5 月	8 月	10 月
余剰電力	77,204	209,150	39,662	130,130

表 1 より、特に中間期に余剰電力が発生しやすいことが読み取れる。そこで本研究では、この電力を電力融通で活用することを検討した。

2. 研究の目的と手法

本研究では、複数のジャンルの施設を巻き込んだ電力融通モデルを作成し、以下３つのことを求めることを目的とした。

1.FIT 終了後を想定した家庭内の最適な機器運用方法はなにか
2.エネルギー需要をどれくらい過不足なく満たせるか
3.どのくらいのコストが削減できるか

3. 研究対象地区の概要

茨城県つくば市・研究学園内で本研究が対象とする施設は以下の 2 つである。

1.つくば市役所（業務部門）

市役所は、主に日中に業務を行うという性質故に、その時間帯に電力を多く消費すると思われる。日中は太陽光発電によって電力が作られる時間帯である。これより、市役所は電力融通における電力の受け取り手に最適であるという仮説が導かれる。

2.「スマ・エコシティつくば研究学園」（家庭部門）

つくば市役所の近隣に位置する住宅街。三電池を備えた世帯が集まる「スマートシティ」である。この研究においては太陽光発電によってできた余剰電力を融通する側と位置づける。

4. 電力融通モデルの概要

図 1 は電力融通システムの全体像を表している。対象地域のスマートシティの住宅は全部で 103 軒ある。これらの住宅には 3.5kW の太陽光電池、最大容量 6.2kWh・充放電効率 0.95・定格出力電力 2.0kW の蓄電池、発電出力 0.7kW の燃料電池が設置されている。住宅も市役所も同じように系統から電力やガスを購入しているが、三電池を持つ住宅側は発電も行っているため電力の売り手側に回ることもできる。一方、市役所は専ら電力の買い手に徹する。

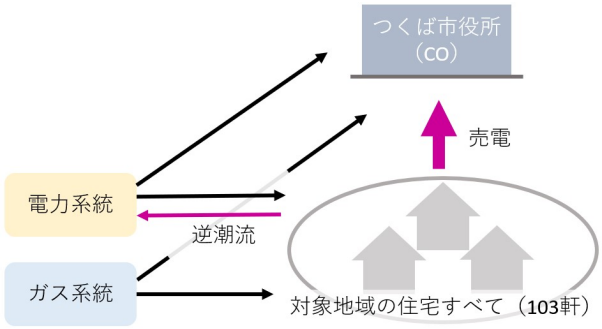


図 1 電力融通システムの全体像

図 2 に、住宅の機器運用を具体化した電力融通モデルの概要を示す。系統から買電するのは勿論、さらに太陽光発電や燃料電池で発電を行い、適宜蓄電池に蓄電したり消費に回したりする。燃料電池はガスを用いて電気と熱を生み出すため、電気・ガスを合わせたコストの削減が期待できる。ただし熱需要を満たすために燃料電池だけでなく補助給湯機も併用する。収益を最大化するため、太陽光発電で発電した電力の余剰分はできる限り市役所へ高く売電し、残りは系統へ逆潮流する。全住宅の電気代・ガス代・収益などを含めた総コストの最小化を目的関数とし、計算を行う。

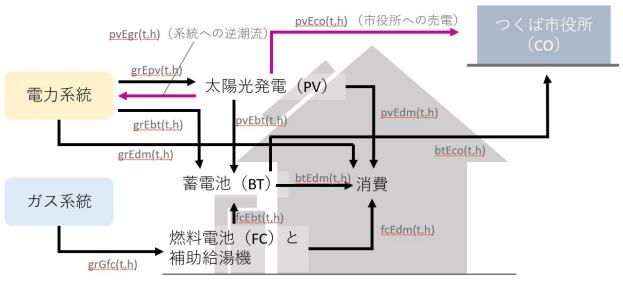


図 2 電力融通モデルの概要

5. 電力融通モデルにおける制御式および設定値

本研究では、GAMS というソフトを用いて電力融通のシミュレーションを行った。図 3 に、シミュレーションを行うにあたって必要なもの（インプットデータと変数）とそこから得られる成果物（アウトプットデータ）をまとめた。以下に、シミュレーションに使用する制御式および設定値のうち、特に重要なものを示す。なお、式中の各変数は図 2 中に記載したエネルギーフローの各変数に対応している。

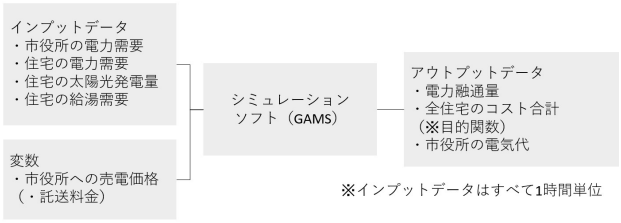


図 3 インプットデータとアウトプットデータ

5.1 電力収支に関する設定

式(1)は系統電力の収支を表す。系統からの買電分は、直接需要で消費されるか、蓄電池に充電される。

式(2)は家庭における電力需給バランスを表す。系統電力、太陽光発電、蓄電池からの供給によって満たされる。

式(3)は太陽光発電でつくられた電力が自家消費されるか充電されるか市役所や系統へ売電（逆潮流）されることを表す。

なお、t は時刻(0～23)、h は家庭を示す。

$$grE(t,h)=grEdm(t,h)+grEbt(t,h)..(1)$$

※grE(t,h)：系統から購入する電力[kWh/h]。

$$Edm(t,h)=grEdm(t,h)+pvEdm(t,h)+btEdm(t,h)+fcEdm(t,h)..(2)$$

※Edm(t,h)：各家庭の電力需要[kWh/h]。

$$pvE(t,h)=pvEco(t,h)+pvEgr(t,h)+pvEdm(t,h)+pvEbt(t,h)..(3)$$

※pvE(t,h)：太陽光発電でつくられた電力量[kWh/h]。

5.2 経済性に関する設定

式(4)は一家庭あたりの 1 日の太陽光発電での売電収入を表す。

式(5)は一家庭あたりの 1 日の電気代を表す。

式(6)は一家庭あたりの 1 日のガス代を表す。

式(7)は全家庭の 1 日あたりのコスト合計を表す。本式をコスト最小化の目的関数とし、計算を行った。

$$income_pv(h)=sum(t,pvEco)\times(prEsell_co-Esend(t))+sum(t,pvEgr(t,h))\times prEsell_gr..(4)$$

※presell_co：市役所への売電価格[円/kWh]。任意の数とする。

※Esend(t)：電力融通で電力会社の送電網を借りる際に発生する託送料金[円/kWh]。昼間時間は 8.05 円、夜間時間は 6.43 円。

※presell_gr：系統への売電価格[円/kWh]。FIT 終了後を想定し、0 円とする。

$$costE(h)=sum(t,grE(t,h)\times prEbuy(t))-income_pv(h)..(5)$$

※prEbuy(t)：買電価格[円/kWh]。23～6 時のとき 12 円、7～22 時のとき 29 円。

$$costG(h)=sum(t,grG(t,h))\times CHr_G..(6)$$

※grG(t,h)：系統から購入するガスの量[m3]。

※CHr_G：ガスの重量料金[円/m3]。126.45 円である。

$$cost_total=sum(h,costE(h)+costG(h))..(7)$$

5.3 市役所への電力融通に関する設定

式(8)は全家庭が市役所へ融通する電力量の合計を表す。

式(9)は市役所の電力需要を示す。系統電力と式(8)で求めた電力によって満たされる。

$$seEco(t)=sum(h,pvEco(t,h))..(8)$$

※seEco(t)：市役所へ融通される電力の総量[kWh/h]。

$$coEdm(t)=grEco(t)+seEco(t)..(9)$$

※coEdm(t)：市役所の電力需要[kWh/h]。

※grEco(t)：市役所が系統から購入する電力[kWh/h]。

6. 引用文献

1) 浅野未沙：“環境配慮型住宅における街区内電力融通による低炭素化の検討”,芝浦工業大学卒業論文，2018

A3-06

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

廃棄物発電のネットワーク化・小売事業化を想定した最適スケジューリングによる環境・経済評価

Environment and Economic Evaluation for Optimal Scheduling Assuming Networking of Waste Generation and Retail Commercialization

林直樹 [1)]、○松本亨*[1)]、藤山淳史 [1)]

Naoki Hayashi, Toru Matsumoto, Atsushi Fujiyama

1) 北九州市立大学

* matsumoto-t@kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

エネルギーシステムの強靭化と低炭素化を指向して、再生可能エネルギー等の活用を中心とした分散型エネルギーの導入が促進されている。このような社会背景の中、分散型電源であり、かつ安定供給が可能である廃棄物発電の果たす役割が大きくなることが期待されている。廃棄物発電の施設が持つ地域エネルギーセンターとしての機能を高めるためには、電力システム改革に対応して廃棄物発電による電力供給の安定化・効率化を可能とする新たなスキームを構築する必要がある。

廃棄物発電のネットワーク化は、定期検査時の一般電気事業者からの買電量減少によるコスト削減等が期待される。小売事業化、つまり廃棄物発電を主力電源とした地域電力会社により、地域経済への波及効果が期待できる。さらに、電力の CO_2 排出原単位の差分から、CO_2 排出量の削減効果も想定される。本研究では、北九州市内に立地する 3 つの清掃工場を対象として、ネットワーク化および小売事業化、廃棄物発電の定期検査の最適スケジューリングによる経済面・環境面の評価を行う。

2. 分析フレーム

2.1 ケース設定

本研究では、廃棄物発電をネットワーク化した前後での変化を比較するため、下記に示す 3 つのケース（図 1～3）を設定した。

ケース 1　清掃工場が単独で発電し、余剰電力を一般電気事業者に売電。公共施設等への電力供給は一般電気事業者が行う。

ケース 2　清掃工場の定期点検・故障時の不足電力は、他の清掃工場の発電電力を自己託送により当該清掃工場に送電。余剰電力は固定価格買取制度（以下、FIT）を用いて売電する。

ケース 3　公共施設等への小売事業を地域電力会社を通じて行う。小売事業での需要不足分は電力市場から調達。余剰電力は FIT 制度を用いて売電する。

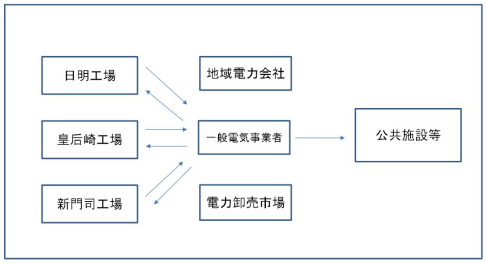


図 1　ケース 1 の設定

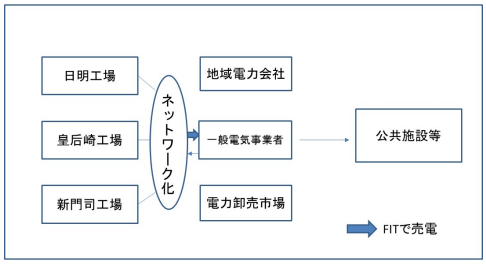


図 2　ケース 2 の設定

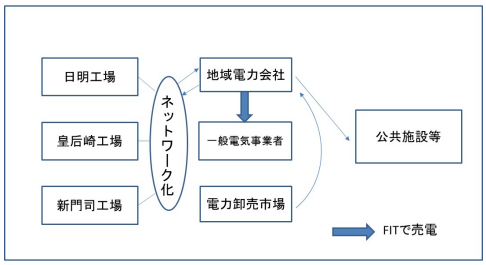


図 3　ケース 3 の設定

2.2 評価方法と条件設定 [1)]

2017 年度の清掃工場の日報データと、2017 年度の公共施設等の需要量データをもとに、以下に設定した条件設定のもと、経済面としての地域内事業収支、環境面としての CO_2 排出量を試算し、影響を分析した。

◇条件設定

・経済評価

ア. 廃棄物発電の余剰電力の買取価格は、実勢価格を参考に 10 円/kWh と設定した。

イ. 電力卸売市場からの買電価格は2017年度の買電実績である、9.71 円/kWh とした。

ウ. 公共施設等に対する地域電力会社からの売電価格は、九州電力の価格の 95%の、従量料金夏季 12.14 円/kWh、他季 11.28 円/kWh とした。

エ. FIT を利用したときの、清掃工場から電気事業者への売電価格は、バイオマス分を 60%とし、夏期は 12.5 円、その他は 12.3 円とした。

オ. 清掃工場から地域電力会社への売電価格は、エの FIT 価格と同様に設定した。

・環境評価

ア. 廃棄物発電に係る CO_2 排出原単位を、廃棄物発電用途のために廃棄物の焼却処理に追加的な活動が生じた場合のみ CO_2 排出量をカウントし、ここでは実質 0 相当とする。

イ. 卸電力市場調達分の電力に係る CO_2 排出原単位は、*0.502t-CO_2/MWh を用いて計算した。*JEPX（2015 年度）

ウ. 系統電力に係る CO_2 排出原単位は、*0.438t-CO_2/MWh を用いて計算した。

* 九州電力(株)の実排出係数

2.3 点検期間の最適スケジューリング

点検期間の最適スケジューリングについては、対象となる公共施設等の時間帯別の需要量ピークおよび清掃工場におけるごみ焼却量、点検期間を決める際に配慮するべき項目（点検日数や北九州市内 3 施設の処理能力の配分等）を考慮したうえで、一般電気事業者からの買電量が最小となるよう点検期間の配置を最適化した。

3. 分析結果

3.1 地域内事業収支

ケース 1 および 2 の地域内事業収支については、余剰電力の売電価格（清掃工場の収入）と一般電気事業者の買電価格の差とし、ケース 3 については、清掃工場の収入と地域電力会社の収入を合計したものとした。結果を図 4 に示した。ケース 2（FIT 制度活用）では、地域事業内収支は約 2 倍増加した。ケース 3（地域電力事業）では、市内公共施設等が電気事業者から買電していた電力を地域電力会社から買電することにより、地域内事業収支は約 5 倍増加した。

3.2 CO_2 排出量

電力需要量および清掃工場の不足電力量に関する CO_2 排出量は不足電力量に系統電力に係る CO_2 排出原単位を乗じることで、電力卸売市場（以下、JEPX）からの電力量に関する CO_2 排出量は電力量に JEPX に係る CO_2 排出原単位を乗じることで算出した。結果を図 5 に示す。ケース 2（FIT

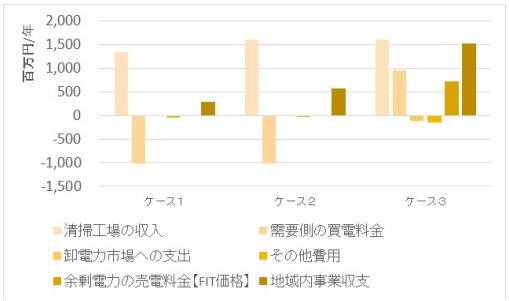


図 4　2017 年度の地域内事業収支

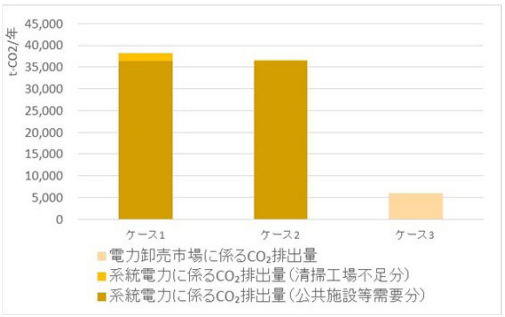


図 5　2017 年度の CO_2 排出量

制度活用）では、CO_2 排出量は約 4%の削減に繋がった。ケース 3（地域電力事業）では、一般電気事業者からの買電量の減少により、約 84%の削減効果があることがわかった。

3.3 点検期間の最適スケジューリングによる評価

一般電気事業者からの買電量が最小となるよう点検期間を最適化し、経済面と環境面への影響について解析を行った。

4. まとめと今後の課題

ネットワーク化、小売事業化を行うことによって、地域内事業収支は向上するとともに、CO_2 排出量の削減にも寄与することが示された。今後の課題として、①太陽光発電等を組み合わせることにより、卸電力市場からの売電量を減少させるケース、②蓄電池などを用いて、夜間の余剰電力を昼間に供給することにより、電力卸売市場からの買電を減少させるケース、③今後の事業拡大における、市内の地域エネルギー（風力、バイオマス、LNG 等）との組み合わせケースなど、新たなケース設定を行い、評価を行う必要もあると考えている。

引用文献

1)　“平成 28 年度北九州市における廃棄物発電のネットワーク化に関する実現可能性調査委託業務報告書”, 環境省, 入手先 <https://www.env.go.jp/recycle/report/h29-05/index.html> (参照 2018/8/2)

A3-07,P2-055　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

電力融通街区におけるエネルギーモデルの構築と FIT 終了後システムの検討

Study on Power Interchange System between Households in Post- FIT Society

○市川裕太 [1)]、磐田朋子 [1)]

Yuta Ichikawa,Tomoko Iwata

1) 芝浦工業大学

br15009@shibaura-it.ac.jp

1. 研究の背景及び目的

2012 年の固定価格買取制度(FIT)施行により太陽光発電によって発電した電力の買取価格は長期にわたり保証された。それにより太陽光発電による発電量は増加し電力供給が需要を上回ることが見込まれるようになった。

本研究では再生可能エネルギーを需要側で操作することが出来る電力融通システムを所持する愛知県のまちの一部を研究対象地域として電力融通の導入効果を明らかにするとともに、FIT 終了後の太陽光発電の価値や経済性を推定することを目的とした。

2. 研究対象地域の概要

3 戸の住宅と集会所を一つの電力融通街区とし、電力会社から電力小売事業者が買売電を行い電力融通街区へ電力供給を行っている。街区内の太陽光発電で発電した電力や家庭用リチウムイオン蓄電池の電力も融通を行い、余った電力は電力小売事業者が買い取り一括して電力会社へ売電を行っている。

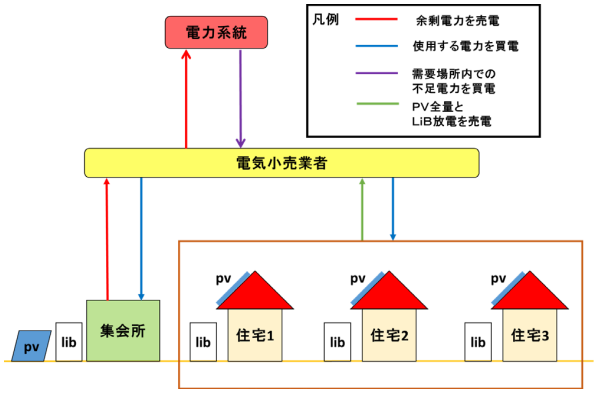


図 1　研究対象地区の概要図

3. 研究対象地域のエネルギーフロー

電力融通を行う際は図 2 のように太陽光発電、蓄電池の状況、電力需要等を 3 件分まとめて最適化を行った。電力小売事業者は一定の金額で電力の売買を行っている。電力融通を行う際は電力小売業者を仲介するため、通常の電気料金や売電価格は変化する。

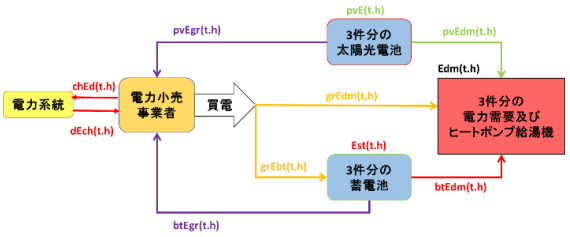


図 2　電力融通を行う際のエネルギーフロー図

同様に、電力融通を行わない際の最適化も行った。図 3 のように太陽光発電と蓄電池を加えて家庭の電力需要を補う。この際、電力小売業者は仲介せず電力系統から直接電力を買売電する。

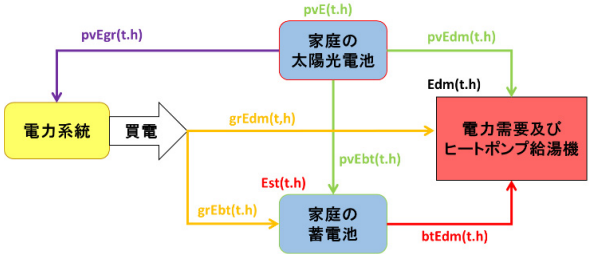


図 3　電力融通を行わない際のエネルギーフロー図

4. シミュレーションモデルの設定

4. 1 太陽光発電の仕様

家庭の太陽光パネルは出力 3.5kW のものを使用しており、集会所には家庭よりも規模が大きい出力 12kW のものが設置されている。

4. 2 蓄電池の仕様

研究対象地域の蓄電池の最大容量は 6.2kWh である。

電力融通を行うモデルの検証を行う場合は合計の 18.6kWh を最大容量とした。充放電効率は 0.89、定格出力電力は 2.0kW とした。

4.3 経済性の仕様

系統から電力を買う際は時間帯によって価格が大きく異なり、23 時～翌朝 8 時までは 1kWh あたり 13.92 円と安い価格で買う設定とした。FIT 適用期間中（対象地域では 20 年間）は、電力小売業者から電力系統への買電価格を約 26 円/kWh とし、FIT 終了後のケースを検証する際は 8 円/kwh とした。電力小売業者と家庭間の電力売買価格も任意に設定した。

5. 電力融通モデルの精度検証

2017 年 10 月 1 日～10 月 3 日の実データ（図 4）を用いて、電力融通モデルの精度検証を行った。家庭の電力需要と太陽光発電の発電量の実データを入力情報とした時のモデルシミュレーション結果を図 5 に示す。

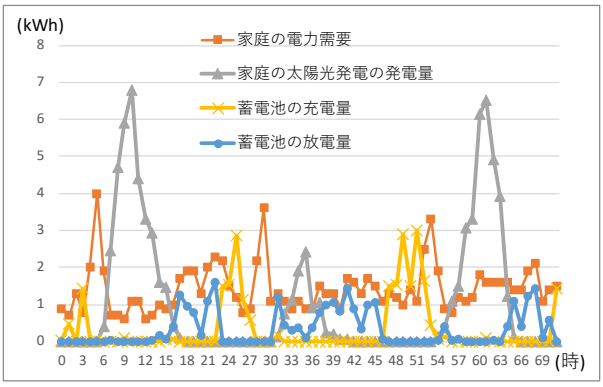


図 4　実データでの省エネ機器の動きと電力需要

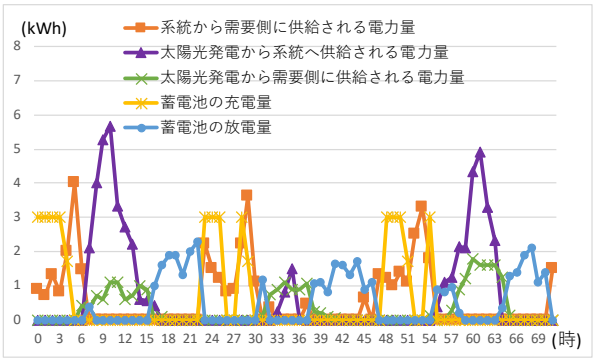


図 5　電力融通モデルの省エネ機器と電力需要

電力融通モデルによる各機器運用シミュレーション結果は、日中は太陽光発電で発電した電力を電力融通街区内で自家消費し、余剰分を電力会社に売電、夕方からは蓄電池が放電を行い、夜中には充電を行っていることから、実データの内容とほぼ一致した。

6. 電力融通シミュレーション結果と考察

6.1 電力融通の導入による省エネ効果

電力融通の有無（図 2, 図 3）を分けて機器運用最適化シミュレーションを行った結果、系統から需要側へ供給される電力量を約 5%削減できることが分かった（表 1）。

また、蓄電池側の運転制約である“一定以上の電力需要が発生しないと放電しない”という条件を、複数家庭をまとめることで解決できるようになり、一定以上の電力需要が発生しやすくなった結果、蓄電池の稼働率が向上することが分かった。

表 1　エネルギー消費量計算結果

電力融通あり	電力量[kWh]	電力融通なし	電力量[kWh]
家庭の9月の系統から需要側に供給される電力量の合計	382.901	全家庭の9月の系統から需要側に供給される電力量の合計	401.679
家庭の9月の太陽光発電から系統へ供給される電力量の合計	805.185	全家庭の9月の太陽光発電から系統へ供給される電力量の合計	823.135
家庭の9月の太陽光発電から需要側へ供給される電力量の合計	303.198	全家庭の9月の太陽光発電から需要側へ供給される電力量の合計	285.365
家庭の10月の系統から需要側に供給される電力量の合計	518.165	全家庭の10月の系統から需要側に供給される電力量の合計	548.395
家庭の10月の太陽光発電から系統へ供給される電力量の合計	544.391	全家庭の10月の太陽光発電から系統へ供給される電力量の合計	519.6
家庭の10月の太陽光発電から需要側へ供給される電力量の合計	222.465	全家庭の10月の太陽光発電から需要側へ供給される電力量の合計	246.5

6.2 FIT 終了後を想定した電力融通シミュレーション

FIT 終了に伴い、太陽光発電の自家消費量が増加することが確認された。しかしながら、売買電の価格設定によって機器運用状況が大きく異なったことから精査が必要である。また、電力融通の有無でどの程度電力自給率が変わるのか、検討が必要である。

引用文献

1) 三浦雄大(2017)「蓄電池を活用した住宅間電力融通システムに関する研究」　芝浦工業大学　平成 29 年度卒業論文

2) 相原翔（2014)「革新技術を導入した低圧および一括受電住宅用エネルギーマネジメントシステムの設計に関する研究」東京大学　2014 年度修士論文

3) 矢部邦明、林康弘：電気学会論文誌 B(電力・エネルギー部門誌), vol. 138 No. 2, (2017), p. 178-182

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

産業連関表を用いた地域エネルギーシステムの社会経済性分析の比較：種子島を例に

Comparative Study of Socio-Economic Effect on Regional Energy Systems derived by Regional Input-Output Tables: Case of Tanegashima

○尾下優子*[1)]、福島康裕[2)]、菊池康紀[3)]
Yuko Oshita, Yasuhiro Fukushima, Yasunori Kikuchi
1) 神戸大学, 2) 東北大学, 3) 東京大学
* y_oshita@maritime.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

地球環境の保全だけでなく、地域経済の持続性を考える上で、地域資源を活用した地域エネルギーシステムの導入による、当該地域への社会経済的な効果（以下、社会経済性）の分析は重要である。ここでいう社会経済性とは、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。環境技術の社会経済性評価手法として、産業連関分析が広く活用されてきたが[1)]、一部の市町村を除き、利用可能な最小単位の産業連関表は都道府県表であり、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。また、全国表もしくは都道府県表から推計する既存の地域産業連関表（以下、地域表）の作成方法から、必ずしも地域エネルギーシステムに関わる部門の投入構造が当該地域の実態と合致していない場合も多い。

地域エネルギーシステム導入の社会経済性をより正確に分析するためには、システムの導入範囲と一致した産業連関表を用いるべきであるが、地域表の作成には多大な労力と知識が必要である。そのため、多くの地域や事例に対して汎用的な評価手法を検討するためには、地域表と、公表されている都道府県表などを使用した場合の結果の差異を分析する必要がある。

2. これまでの研究と本研究の目的

上記の問題意識の下、地域エネルギーシステム導入の社会経済性評価手法について、地域エネルギーシステムの実装研究が進められており、地域表を持たない種子島地域を対象に、いくつかの研究を行ってきた。まず、種子島地域が所属する鹿児島県表[2)]から、当該地域の主要産業と既存エネルギー部門に関して、特に拡張・修正した種子島産業連関表（以下、種子島表）を作成した[3)]。さらに、導入が検討されている地域エネルギーシステム（以下、新エネルギーシステム）[4-8)]を反映した種子島表（以下、新種子島表）を作成し、この 2 つの表を比較することにより、導入に伴う社会経済性の分析を行った[3)]。

続いて、上記の結果と、鹿児島県表に種子島の新エネルギー部門のみを拡張した表（以下、新鹿児島県表）を用いた結果を比較したが、両結果には、特に新エネルギーシステムと関係が深い（材料やサービスを供給している）部門と、種子島の主要産業に、小さくない結果の差異が生じることが分かった[9)]。

そこで本研究では、新エネルギー部門だけでなく、当該部門へ主要な材料やサービスを供給している種子島の部門を鹿児島県表に拡張し、鹿児島県表上に種子島表の一部を再現することにより、結果の差異をどの程度縮小することができるかを分析する。

3. 鹿児島県表の拡張

本研究では、種子島における新エネルギー部門への主要供給部門等について拡張したものを種子島－鹿児島県表、種子島－鹿児島県表に新エネルギー部門を拡張したものを新種子島－鹿児島県表と呼ぶこととする。

種子島－鹿児島県表で拡張を行う部門は、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、送配変電販売部門（以下、種子島部門）である。これらの部門については、種子島の数値を用い（同名の部門が鹿児島県表に存在する場合は、種子島と分けて作成する）、当該部門が内包されている鹿児島県表の部門から種子島部門の数値を差し引くことで調整を行う。

新種子島－鹿児島県表に拡張する新エネルギー部門は、新種子島表[3)]、新鹿児島県表[9)]と同様に、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。各新エネルギー部門の投入・産出構造を推計・設定するための前提条件やその方法も、新種子島表[3)]と新鹿児島表[9)]と同様である。

新設部門の新設に伴う需給の変化については、まず、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る。前者のうち、種子島部門から供給される材料・サービス（例えば、バイオマス熱供給業に供給されるバガス（原料糖部門から供給））については、全量、当該部門から供給される。前者のうち、種子島部門を持たない部門から供給される材料・サービス（例えば、木質バイオマス発電に需要される木質チップや道路貨物輸送など）は、鹿児島県部門から全量、供給される。それ以外については、当該部門の鹿児島県表の移輸入率に応じて、県内外から供給されると設定した。

種子島表を用いる場合をケース I、鹿児島表を用いる場合をケース II、種子島－鹿児島表を用いる場合をケース III とし、それぞれの社会経済性の結果の差異を比較する（図 1 参照）。

4. 分析結果と今後の展望

ケースI～IIIの結果を比較すると、ケースIIに比べ、ケース III の方が、ケースIに近い結果が得られた。特に、ケース II 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小さいために、過小に推計されていたその他の食用作物（砂糖原料作物）への波及や、鹿児島県表の電力部門は石炭火力や原子力発電なども内包されているため、過小に推計されていた重油（石油製品）移入の減少額などに大きな差が生じた。

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、また都道府県表を分析に応じて拡張した場合で、社会経済性の分析結果にどのような差異をもたらすかを明らかにした。今後は、拡張すべき部門の選定や、地域や技術の違いによる結果への影響について分析を行い、より汎用性の高い評価手法の開発とその指標づくりを目指す。

謝辞

本研究は、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）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) 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
4) Ohara, S., et al.: Biomass and Bioenergy, 42, (2012), pp.78–85
5) 福島康裕、北川尚美: 化学工学会第 82 年会, 東京, (2017)
6) Ouchida, K. et al.: AIChE J., 63(2), (2017), pp.560-581
7) Kanematsu, Y., et al.: Applied Energy, 198, (2017), pp. 160-172
8) Kikuchi, Y., et al.: JIE, 20, (2016), pp.276-288
9) 尾下ほか、“第 13 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集”, 早稲田, (2018), pp.192-193

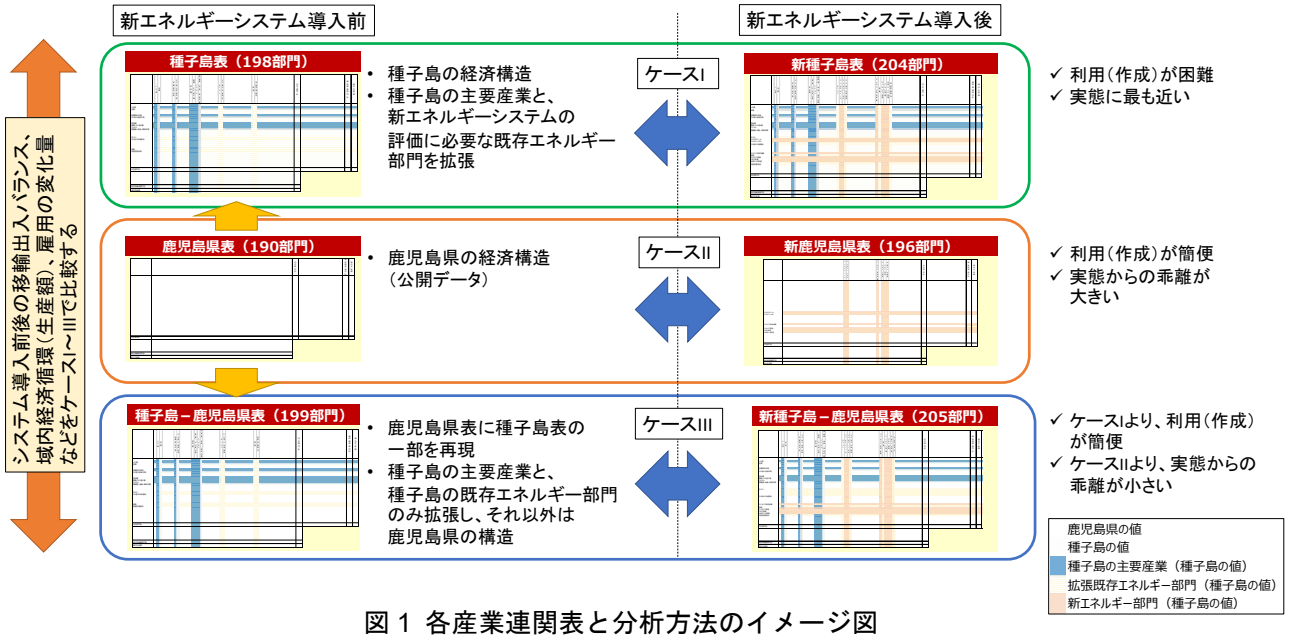


図 1 各産業連関表と分析方法のイメージ図

C3-05,P2-127　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

光害による稲作への定量的評価

Quantitative Evaluation of Rice Production Considering the Impact of Light Pollution

○倉原瑤子*[1)]　伊坪徳宏 [1)]

Yoko Kurahara[1)], Norihiro Itsubo[1)]

1)　東京都市大学

* g1883107@tcu.ac.jp

1. 背景

近年、夜間人工照明の明るさが年々増加し、その範囲が広がっていることが明らかになった。2012 年～2016 年にかけて、世界における人工光で照らされた屋外面積は毎年 2%以上広がったことが報告された [1)]。

環境省では、このような良好な「照明環境」の形成が、屋外照明等の漏れ光によって阻害されている状況又はそれによる悪影響を「光害」と定義している。光害は、人間活動、野生動植物、農作物・家畜等への様々な影響を及ぼしていると事例が報告されている。

イネも光害の影響を受ける農作物の一つである。イネは、限界暗期より長くなると花芽が形成される短日植物である。夜間照明により稲の生育が妨げられ、出穂遅延を引き起こす一種の公害として光害が問題化されている。光害のイネに関する先行研究 [2)]では、水銀灯を夜間照明として使用した場合、イネへ 5lx 以上の光の照射により出穂遅延が発生することが報告された。

今日、田園地帯の都市化により、道路照明や看板照明が増加している。そのため、夜間照明の増加が光害の影響の増加に寄与するものと考えられる。品種別や地域別の影響が検討されているものの、光害の影響を定量化する評価は検討されていない。また、LCA において光害に対する影響について定量化された研究は限定的である。光源の種類によって光害の影響の程度が異なることがわかっている。白熱灯から LED への転換による気候変動の影響については数多くの検討が行われているが、光害の影響についての定量化は行われておらず、気候変動と光害の関係についても議論された例はない。

2. 研究目的

本研究では、光害に関連する基礎研究を基に日本の代表的作物である稲作に対する影響を定量的評価するための手法を開発する。さらに、本研究で開発した手法を道路灯設置による稲作の影響について LCA の観点から分析し、気候変動と光害の双方に関する影響について定量的に評価することを目的とする。

これらの検討を通じて得られた成果は、包括的な観点に基づいた照明器具の設計や設置に寄与することが期待される。

3. 方法

稲作への定量的評価を行うため文献収集を行い、以下の算定を試みる。

1)　地域別の下方光束に向けた照度と収量減のポテンシャルを推定

2)　街路灯 1 基あたりの収量減の評価

3)　特定の照明利用により照度増加に伴う収量変化を定量化する

3.1　使用データと算定式

1)照明学会「屋外照明等の国内実態に関する調査」報告書を基に地域別の全光束量から上方光束を減算し、面積で除算することで下方向に向けた照度を求めた。

$$E = \frac{\Phi - x}{S} * 10000 \qquad (1)$$

E:地域別下方光束照度(lx)
Φ:ランプ光束量(lm)
x:上方光束量(lm)
S:面積(ha)

原田ら(2014)の放射照度と収量のパラメータを用いて地域別の単位面積当たりの収量減について試算した。

$$y = -5.4408x + 460.46 \qquad (2)$$

y: 地域別単位面積当たりの収量減(g/㎡)
x: 地域別の下方光束照度 (lx)

2)山本らによる、混合 LED 照明の照度分布、水平面照度と出穂遅延日数の関係、出穂遅延日数と収量の関係式を用いて、街路灯を田の沿道に 1 基設置した場合の収量減について品種別に試算した。図 1 に算定フローを示す。

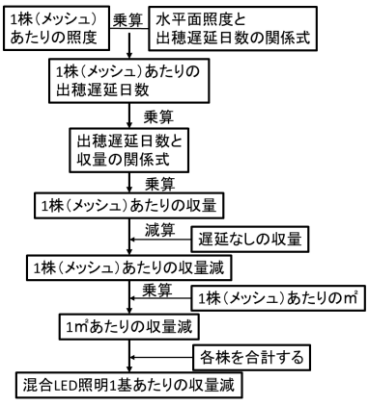


図 1：被害係数の算定フロー

4. 試算結果

以下、地域別の下方光束に向けた照度、収量減のポテンシャル推計結果と街路灯 1 基あたりの収量変化の試算結果を示す。

1)地域別の下方光束に向けた照度と収量減のポテンシャル推計結果

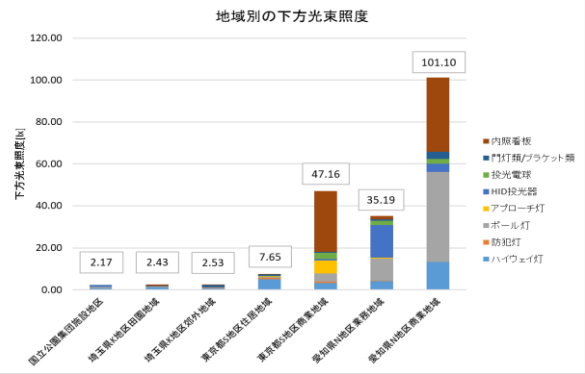


図 2：地域別の下方光束照度

商業地区は照度が最も高いところで、101.1lx、住居、郊外、田園地域ではそれぞれ 7.65lx,2.53lx,2.43lx と低い結果となった。商業地区で利用される内相看板やボール灯は他の照明器具に比べて使用している個数が多くまた、ランプ光速が大きいことから照度が高くなった。

先行研究によると、2lx 以上の照射は出穂遅延を引き起こし、5lx 以上では収量に影響を及ぼすといわれている。報告書の調査対象地域では、水田が存在すると仮定すると、田園地域及び郊外では、出穂遅延が生じ、都市部の商業地域では収量に影響を及ぼす可能性があるといえる。

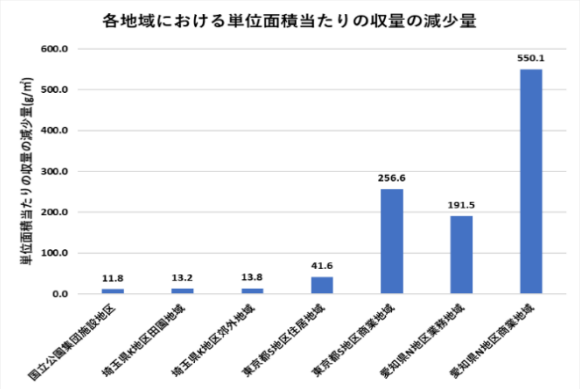


図 3：地域別単位面積あたりの収量減

田園地域では、上記の下方照度が照射された場合、13.2g/㎡収量が減少する結果となった。都市部ほど、照度が高い影響により、収量減は増加した。今後、都市化により商業看板や住宅の漏れ光が増加すると光害の影響は大きくなる可能性がある。

2) 街路灯 1 基あたりの収量減の評価結果

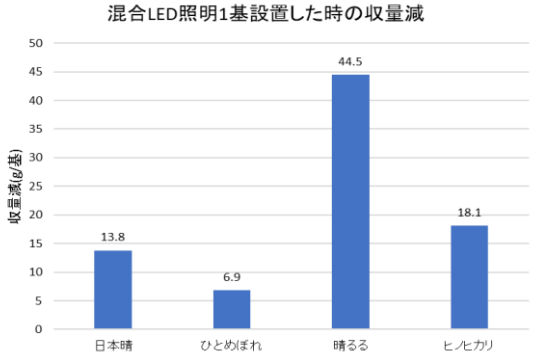


図 4：品種別混合 LED を 1 基設置した場合の収量減

図 4 に LED 照明を田の沿道に設置、利用した際における収量の減少分について算定した結果を示す。品種により光害に対する影響は大きく異なっている。なかでも晴るるが最も収量に影響を与えることが分かった。晴るるは、山口県のオリジナルでコシヒカリとヤマホウシの混合品種である。既存文献では、コシヒカリは出穂遅延の影響が大きいとされ、全国 1 位の生量を誇る代表品種であるため、光害による影響が大きいものと懸念される

混合 LED 照明は、山口大学が開発した光害の影響を抑えた照明器具であり、白色 LED や水銀灯を対象に評価した場合、それらの照明による影響はより大きくなる可能性がある。

図 5 に蛍光水銀灯を使用した場合の稲作の収量変化量と混合 LED 照明を用いた場合の収量変化と比較した結果を示す。

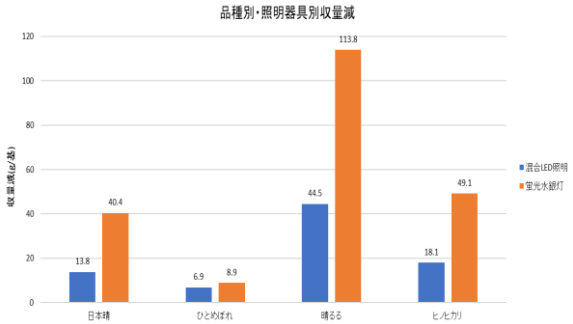


図 5：品種別・照明器具別にみたイネの収量減

蛍光水銀灯は、混合 LED 照明より約 2.5 倍高い結果となった。既存文献では、赤色光（約 600~700nm）の波長域の照射が出穂遅延に大きく影響を与えていると報告されている。特に水銀灯は、イネの生育に強く影響を与える赤色光の波長が含まれているため影響が高い結果となったと考えられる。

5. 課題と今後の予定

今回の定量的評価を通じて、光害による農作物への影響を定量的に示す可能性を見出すことができた。一方で、基礎研究・報告書等による定量化に利用できるデータ数が少ないため、評価結果の代表性が十分でないことが課題として挙げられる。

今後は、品種別・照明器具別に特定の照明利用により照度増加に伴う収量変化を定量化し、影響評価係数の作成を行うとともに、これらの成果を LCA に適用して気候変動に対する影響との定量的関係づけを行う。

参考文献

1. Kyba, Christopher CM, et al. "Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent." Science advances 3.11 (2017): e1701528.
2. 原田陽子, et al. "LED 照明の夜間照射がイネ品種 「ヒノヒカリ」 の出穂および収量に及ぼす影響." *照明学会誌* 98.2 (2014): 74-78.
3. 照明学会,「屋外照明等の国内実態に関する調査報告書」,1997

水稲作 LCA のための農薬排出量推計モデルの開発

Development of an estimation model for field emissions of pesticide from paddy rice production in Japan

○湯龍龍*[1)]、林清忠[1)]、稲生圭哉[1)]、Morten Birkved[2)]、Sander Bruun[3)]、神山和則[1)]、志村もと子[1)]

Longlong TANG, Kiyotada HAYASHI, Keiya INAO, Morten BIRKVED, Sander BRUUN, Kazunori KOHYAMA, Motoko SHIMURA

1) 農業・食品産業技術総合研究機構, 2) University of Southern Denmark, 3) University of Copenhagen

*tanglonglong@affrc.go.jp

1.　はじめに

持続可能な農業の可能性を検討する上で、農薬削減の影響評価が重要な役割を果たすと考えられる[1)]。たとえば、総合的病虫害管理（IPM）は多様な防除技術を用いて、農薬使用量の軽減を目指しており[2)]、これら技術の環境的優位性を定量的に示すには、管理方法によって、各環境媒体へ排出される農薬の違いを定量的に示す必要がある。

LCA ではこれらを農薬排出係数で示すが、既存の排出係数は全量土壌へ排出するなどとの仮定がみられる[3)]。近年、欧州では PestLCI モデルを開発し、農薬の特性データ、農薬の散布方法によって、農薬の排出媒体と排出量の違いを推計できるようにした[4)]。しかし、このモデルは普通畑を対象とし、水田が対象外となっている。本研究の目的は、水稲作を対象とした農薬排出量推計モデルを構築し、管理方法別の農薬排出係数を算出する。なお、本報告は評価方法の概要を中心に紹介する。

2.　評価方法

2.1　推計モデルの評価枠組み

モデルは、農薬 1 単位排出から各環境媒体（大気、圃場外の表層水）へ到達する割合を算出する。地下水について、水田の場合は湛水時に地下水位を高く維持し、中干しや落水時は地下に設置される暗渠に通じて余分な水を排水路に流出する。その結果、農薬が暗渠よりも下への浸透は非常に少ないため、地下水への浸透は無しとした。各項目の割合（図 1）の計算は、一次分布と二次分布の 2 ステップで行う。算定される全項目の割合は以下の 3 つの農薬排出係数に集計する。全係数の合計が 1 となる(式 1)。

$$1 = f_{air} + f_{surface\ water} + f_{lost} \quad (1)$$

なお、f_{air} はドリフトと揮発が考慮される。$f_{surface\ water}$ は、表面流出と畦畔浸透および、鉛直浸透（50cm の深さにある暗渠システムによる排水路への流出）を含む。f_{lost} は水中、土壌および葉面での分解と、葉および根の吸収の合計である。

2.2　一次分布

一次分布はドリフト、稲沈着、田面水沈着に分かれるが、農薬の散布方法と剤型の組合せによって考慮する項目が異なる。粒剤は、全量が田面水に沈着するものとした。液剤と粉剤は、ドリフトと稲沈着を推計した後、残りを田面水沈着とした。

ドリフトは、ブームスプレーヤーと無人航空機による液剤散布を対象とした。前者は PestLCI モデル[4)]を参照した。後者は、農研機構が行ったシミュレーション結果[5)]を

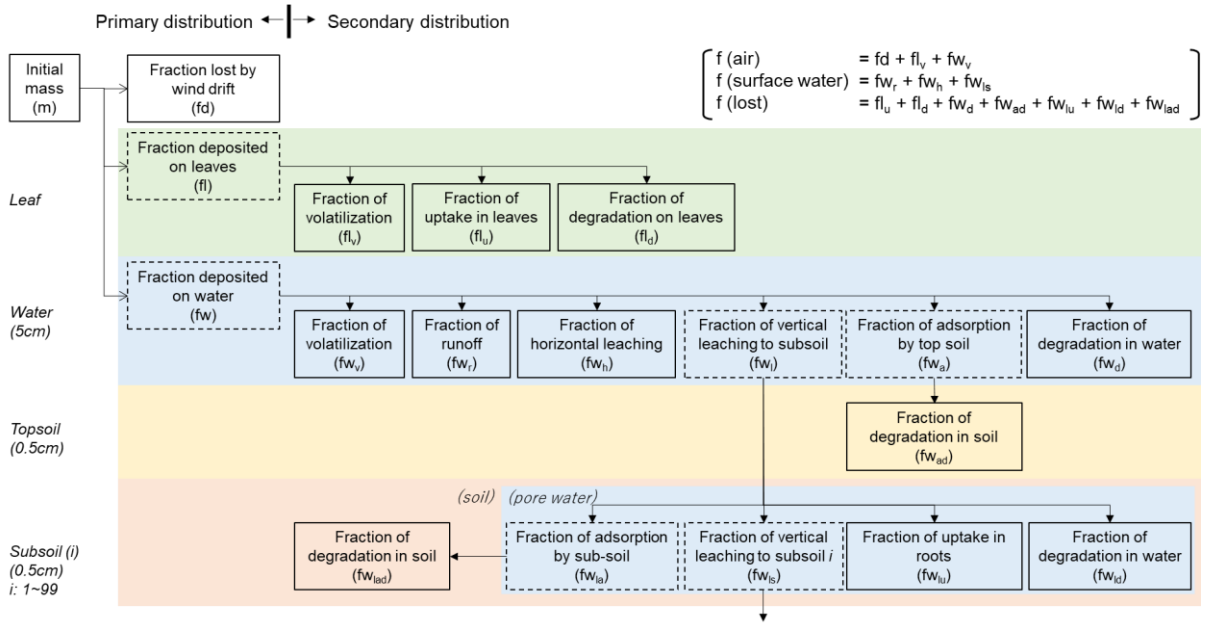


図 1　モデルの枠組み_液剤の場合（破線は途中の輸送プロセスを指す）

基に、距離に応じたドリフト割合の関係式を設定した。なお、粉剤のブームスプレーヤーは、データが得られなかったため、液剤と同じとした。

稲沈着は、稲の生長に応じて、葉が田面をカバーする割合に影響される。柴田ら[6]が稲の生育期に応じて推計した葉の田面カバー率を基に、両者の関係を定式化した。

2.3　二次分布

2.3.1　稲沈着(fl)

稲に沈着後の運命は PestLCI モデルに準拠し、揮発、稲の葉による吸収、光分解が考慮される。各挙動プロセスの反応速度はいずれも一次反応関数に従うと仮定している。上記 3 つのプロセスは、稲での沈着量を奪い合い、沈着量が無くなる時点の割合を算出する（式 2）。

$$fl = fl_v + fl_u + fl_d \quad (2)$$

なお、fl_v、fl_u、fl_dはそれぞれ揮発、葉の吸収と光分解の割合である。各プロセスの反応速度の推計は、農薬の蒸気圧や分子量などの特性値以外に、気温、場所（日射量）の違いも考慮されている。詳細は PestLCI を参照されたい。

2.3.2　田面水沈着(fw)

田面水に沈着後の運命は、日本の PADDY モデル[7]を参考に、田面水(5cm)、表層土(0.5cm)、下層土(49.5cm)の 3 層に分かれる各挙動プロセスを対象に、分布割合の簡易的な推計式を構築した。各プロセスにおける農薬の挙動は一次反応関数に従うと仮定した。反応速度は PADDY モデルより得られる各種反応速度定数を用いた。

田面水の層では 6 つの挙動プロセスを考慮し、各プロセスは競合関係であり、沈着量が無くなる時点の割合を算出する（式 3）。

$$fw = fw_v + fw_r + fw_h + fw_l + fw_a + fw_d \quad (3)$$

ここで、fw_vは揮発、fw_rとfw_hはそれぞれ表面流出と畦畔浸透の割合である。fw_lとfw_dは孔隙水を通じて鉛直浸透する割合と水中分解の割合である。fw_aは水と土壌粒子間での吸着／脱着反応を経て、最終的に表層土壌に吸着される割合である（以後土壌吸着の割合とする）。

表層土の層では、吸着された農薬が土壌で分解するプロセスのみである。よって、fw_{ad}はfw_aと同じである。

下層土の層では、5mm/層による 99 層で構成され、地下 50cm に暗渠が設置される。各層において、鉛直浸透してきた農薬は孔隙水において、水中の分解(fw_{ld})、根の吸収(fw_{lu})、土壌吸着(fw_{la})および i 層への鉛直浸透(fw_{ls})が考慮される。これら 4 プロセスは競合関係である（式 4）。なお、根の吸収(fw_{lu})は地下 10cm までの層のみ考慮する。

$$fw_l = fw_{la} + fw_{ls} + fw_{ld} + fw_{lu}. \quad (4)$$

土壌吸着(fw_{la})は全量土壌で分解されるため、分解割合(fw_{lad})と同じである。鉛直浸透(fw_{ls})は地下 50cm に到達した分が暗渠によって排水路に流出する割合とする。なお、鉛直浸透の速度(mm/day)は全層で同じと仮定した。

3.　議論

3.1　検証について

大気への排出については、既存の評価方法（例 : IMAG Drift Calculator）による結果と比較する予定である。圃場外の水系への排出については検証が困難である。なお、主要な水稲適用農薬の田面水中における実測濃度は、農薬抄録によりデータが公開されている。また、数は少ないが、田面水中と土壌中の濃度データの両方を有する既報も利用可能である。これらデータと比較することができる。

3.2　管理方法の考慮

本モデルは、農薬の散布方法と水管理による影響を考慮できる。散布方法では、散布機械（ブームスプレーヤーや無人航空機）と剤型（液剤、粒剤など）の各種組合せを考慮している。また、二次分布の推計では、散布時期（稲成長）、気温（揮発など）、降雨量（表面流出）、散布場所（日射量）の違いも考慮している。さらに、農薬散布後に数日間の止水管理や、畦塗りの徹底による畦畔浸透の減少が、水系への農薬排出量の低減効果も評価可能である。

4.　まとめと今後の課題

本研究は水稲作LCA向けの農薬排出量推計モデルを開発した。特徴は以下の通りである。①モジュールの組合せで推計モデルを構築しているため、モジュールごとに最新知見の適用により、推計モデルの更新がしやすい。②農薬の散布方法、水田での管理を考慮することができる。

本推計モデルは湛水時の農薬散布が対象とするため、落水時や畦畔での農薬散布は今後の課題である。また、定量化に際して、多くの仮定を置いており、今後の精緻化が求められる。例えば、地下への鉛直浸透は、水が浸透しにくい耕盤層を経るため、浸透速度に影響するものの、未考慮である。これらの課題に取り組むことにより、より実践的なモデルが開発できると期待される。

参考文献

1) Pretty J.: Science 362, eaav0294 (2018), DOI: 10.1126/science.aav0294
2) Pretty J., Bharucha Z.P.: Insects 6 (2015), pp.152-182
3) Nemecek T., Kägi T. “Life cycle inventories of agricultural production systems.” (2007), pp.308
4) Birkveda M., Hauschild M.Z.: Ecological modelling 198 (2006), pp.433-451
5) 小原裕三：“無人ヘリコプターの散布手法の検討”,<http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/regulatory_science/ppd/2607_re.pdf>, （参照 2018-11-24）
6) 柴田ら：農業機械学会誌 64 (1), (2002), pp.127-135
7) Inao K., Kitamura Y.: Pestic Sci 55, (1999), pp.38-46

J-TRA（日本版技術熟度評価）のバイオマス利活用プロジェクトへの適用

～東南アジアにおける農業系バイオマスのエネルギー転換技術を例として～

Application of J-TRA (Japanese version of Technology Readiness Assessment) to biomass utilization projects: with focus Biomass Energy Conversion Technologies in Southeast Asia

○ホウ　達*[1)]、PANDYASWARGO Andante Hadi [1)]、小野田　弘士 [1)]、庵原　一水 [2)]

Da Pang, Andante Hadi Pandyaswargo, Hiroshi Onoda, Issui Ihara

1）早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科，2）デロイトトーマツコンサルティング株式会社

* pangda0708@akane.waseda.jp

1.はじめに

近年、東南アジアは人口の伸びと経済成長により、エネルギーの安定的な供給が将来的に確保できるかが大きな課題となっている。こうした状況を受け、東南アジアにある国は、省エネルギーと再生可能エネルギーの導入促進に向けた温室効果ガスの排出削減目標を設定している。本報では、賦存量の豊富な農業系バイオマスに着目する。わが国にとって、東南アジアへの技術移転は、温室効果ガス削減対策のための有効の手段となる。これらをより円滑に進めるためには、対象技術の成熟度やその開発の進捗状況を客観的に評価することが重要である。

本研究では、東南アジアにおける農業系バイオマスのエネルギー転換技術に焦点をあて、日系企業等による国際連携プロジェクトをデータベース化した、さらに、多様なプロジェクトにおける個々の技術の進捗状況や異なる技術の成熟度の比較をサポートするため、TRA（Technology Readiness Assessment）による評価を試みた。

2. 東南アジアにける農業系バイオマスに関する動向

2.1 農業系バイオマスのポテンシャル

東南アジアにおいては大量の農業系バイオマスが排出されている。農業系バイオマス由来の利用可能な残渣としては、穀物残渣や根茎作物残渣、サトウキビ残渣などがあげられる。2050 年の農業系バイオマスの発生見通しは地域別に文献[1)]より取りまとめており、図 1 に示す。各国のポテンシャルは高くなることが示された。

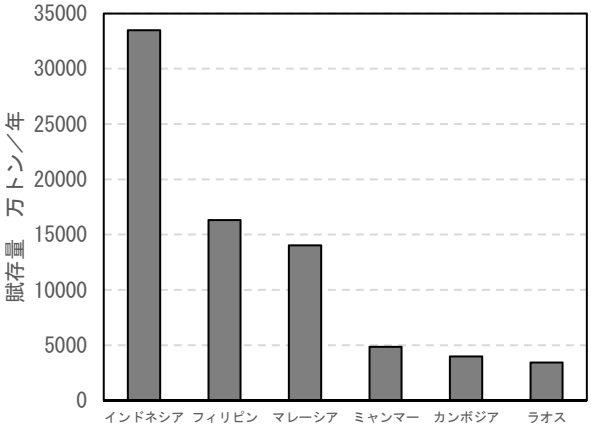


図 1　2050 の年農業系バイオマス発生見通し

表 1 東南アジア諸国のバイオマスの FIT の制度 [1)]

国名	導入時間（年）	買取期間（年）	設備容量	買取価格（円／kWh）
インドネシア	2012	20	バイオマス（中圧）	8.74×F
			バイオマス（低圧）	11.41×F
			バイオガス（中圧）	7.98×F
			バイオガス（低圧）	10.65×F
タイ	2015	20	1 MW以下	18.14
			1MW～3MW	16.38
			3MW以上	14.40
ベトナム	2014	20	NA	6.43
マレーシア	2011	16	10MW以下	8.16
			10MW～20MW	7.63
			20MW～30MW	7.13
フィリピン	2012	20	NA	14.75

*1 F:ファクター、地域によって決定される（0.6～1.6）。
*2 中圧（10MW未満）、低圧（250kW未満）。
*3 為替レートは、2018年10月時点で計算した。

2.2 バイオマスの FIT 制度の導入状況

再生可能エネルギーのなかで、バイオマス発電は東南アジアで有力視されている。そこて、バイオエネルギープロジェクトのための優遇策として、各国に固定価格買取制度（FIT）を導入している。表 1 は東南アジア諸国のバイオマス FIT の買取価格である。バイオエネルギーの導入は、各国とも固定買取制度（FIT）制度が強い後押し要因になっており、東南アジアにおいては、財政の方面、如何にして、今後の温室効果ガス削減対策の一環としても重要となる。

2.3 農業系バイオマスに関する国際連携プロジェクト

図 2 は、東南アジアにおける 2010 年～2018 年に使用された技術に基づく農業系バイオマスのエネルギー転換プロジェクトの件数である。今回のデータベースは、NEDO、JICA、JST、JCM、MOFA のホームページの公開資料より作成し、合計 103 件を整理した。同図では、各国、技術別のプロジェクト件数を図示している。こうした情報と各国のエネルギー政策や賦存量に着目することで導入傾向を把握することが可能となる。

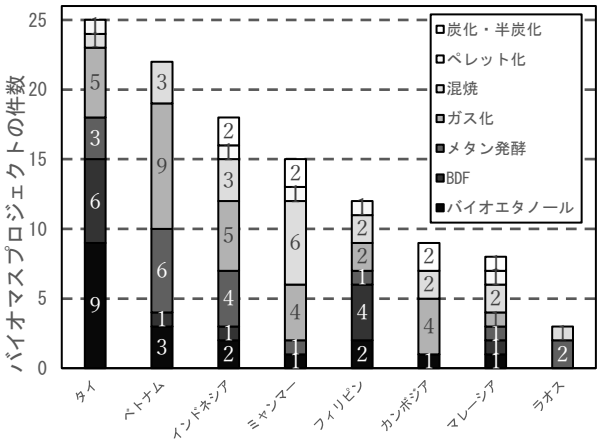


図 2 バイオマス技術に基づくプロジェクト件数

3. TRA 評価について

3.1 本研究における TRL（技術熟度）の定義

TRA は、技術の成熟度をレベル別に区分した TRL（Technology Readiness Level）と呼ばれる評価指標で整理される。 TRL は 8 つのレベルで構成され、そのなかに、TRL1 は、TRL の最下層であり、対象となる技術の基本原理が提示された「基礎研究」段階であり、TRL2 、TRL3 は、技術の基本概念や応用が明確化されて、実験的な検討が行われた「応用研究」段階である。TRL4、TRL5 は限定的な地域モデルが機器・システムとして機能することが確認された「実証」段階であり、TRL7 以上については「水平展開」段階にあることと定義した。

3.2 TRL 評価の手順

TRL の判定に用いる設問については, 環境省の「TRL 計算ツール利用マニュアル[2)]」を参考として設定した(表2)。質問への客観性及び妥当性を確保する観点から，回答は YES/NO 方式とし、その根拠は各プロジェクトの成果報告書を分析して、YES の回答率より TRL を判定した。

3.3 プロジェクトに対する TRL 評価結果の例

図3は今回データベース化したプロジェクトのなかで、インドネシアにおける農業系バイオマスのエネルギー転換技術の TRL 評価結果を一例として示した。技術分野別の回答状況をみると，現在インドネシアに実施したプロジェクトは、各バイオマス技術の主要構成要素の性能に関する把握を主要的としている傾向がみられた。しかし、実証研究事業の商用化程度、事業化に向けた正確なコスト、地域モデルの水平展開に係るコンセプトは不十分であるといえる。プロジェクトを推進するためには、技術課題だけではない、商用化に結びつく可能性や、事業に関連法規・政策も考慮する必要がある。

表 2　J-TRA の TRL 判定に用いられる質問の一覧[2)]

分野	質問内容(質問数)
A-市場	量産化や水平展開に向けた市場調査や規制対応等に関する質問(7 項目)
B-開発	製品化又は社会システム化を進めるにあたり必要となる情報収集，検討や プロトタイプの作成等の進捗に関する質問(7 項目)
C-統合	構成要素を統合した状態におけるシステム全体としての機能に関する質問(4 項目)
D-検証	各構成要素の機能に関する質問(6 項目)
E-安全性	機器・システムの使用における安全性の確保に関する質問(4 項目)
F-事業化	製品の量産化，モデルの水平展開の観点において必要な製造／供給体制 の準備に関する質問(4 項目)
G-コスト／リスク	開発におけるコストやリスクを考慮したスケジューリング等に関する質問(4 項目)

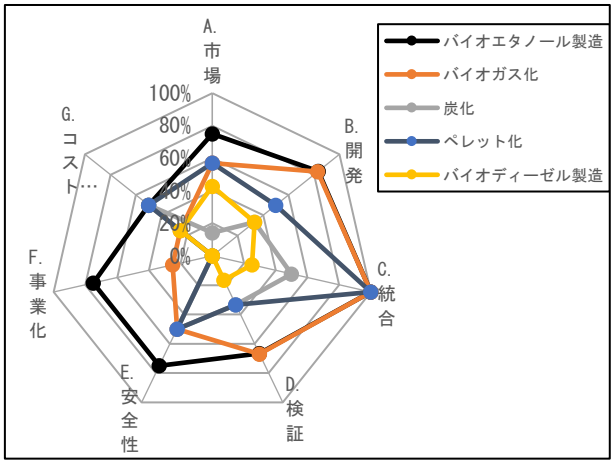


図 3 インドネシアおける各プロジェクトの TRL 評価

5.まとめ

本研究により、J-TRA を行うことで、東南アジアにおける農業系バイオマスの利活用技術の普及、また地産地消型地域の構築が期待できる。今後の課題としては、各国の再生可能エネルギー政策に応じて、有用なバイオマス利活用戦略を提案する。

引用文献

1) 一般財団法人新エネルギー財団: 東南アジアの再生可能エネルギー情報，(2018)
https://www.asiabiomass.jp/download/south_east_asia_info.pdf
2) 環境省: TRL 計算ツール利用マニュアル，(2016)
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/29_a01/7_trlmanual.pdf

D3-05,P2-126　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

Life cycle thinking in the circular and functional economy: tracking materials through their multiple lives

○Sébastien M.R. Dente [*1)] Seiji Hashimoto[1)]
1) Ritsumeikan University
*sdente@fc.ritsumei.ac.jp

1. Introduction

Traditional management of resources is linear: resources are extracted from the environment, transformed and embodied into products which fulfill intended functions during their use phase before being discarded as wastes to the environment. This management of resource is responsible for an accelerated degradation of natural resources induced by the need of virgin materials at each production cycle and an increase of the amount of waste generated and associated environmental impacts. Introducing circularity in the economy through recycling, remanufacturing, and reuse of products is one way to reduce the pressure on natural resources and the environment[1)]. Extending the lifetime of products through the adoption of business models targeting function and better eco-design of products is another one[2)]. Still, the way of measuring the additional value generated by the extension of the lifetime of materials through multiple life cycles has received little attention from the literature on circular and functional economy. Here, we present a methodology to assess the resource efficiency of a material, i.e. the ratio between the value generated by the production and use of one unit of the material, considering multiple life cycles.

2. Methodology

2.1 Basic principles

An important distinction of vocabulary has to be made between process, product, material, and value added as shown in Figure 1. Process transform products, e.g. P1 and P2, into intended products such as P3 and unintended products which quit the economy and named as sink hereafter (S). This transformation is made through the rearrangement of the material content of each product such as M1 and M2 in Figure 1. Mass is conserved at the level of materials. Value added is linked to the gross operating surplus and workforce wages engaged during the production process. Value is thus primarily linked to the process and then through the accounting rules of national accounts[3)] totally allocated to the process related intended product, here P3. The basic principle of the proposed methodology is to move from the material level to the product and associated process level to capture the value added and then come back to the material level.

2.2 Material flow analysis and Markov chain

The initial situation considered is the realization of a material flow analysis organized in an input – output (IO) table. The normalization of this IO table leads to a transition table (T) and a Markov chain diagram, an example of which are shown in Table 1 and Figure 2. The studied material, i.e M1, included initially in product P1 is transferred for 40% in product P2 and 50 % in product P3 while 10% are exiting the system via the sink (S). Ultimately, all the material will exit the system via the sink, but each transition step will lead to a new transfer of the studied material into the products stated in the IO table simultaneously capturing a part of their associated value added. The cumulative material amounts associated to each product when considering infinite loops is then shown in eq.1.

$$T^{\infty} = (Id - T)^{-1} - Id \quad (eq.1)$$

2.3 From material to product level

Eq. 1 represents the multiple lives of a material at the material level. To access the value added, a property attached to the product, it is necessary to move to the product level. For this, we multiplied the weight percentage (r_w) of the studied material in each product by T^{∞} and obtained the corresponding product weight. Then, the corresponding product weight is changed into monetary value (M) by multiplying with the product price per weight (P) as shown in eq.2 with the element wise multiplication operator.

$$M = P \odot r_w^{-1} \odot T^{\infty} \quad (eq.2)$$

2.4 Incorporation and allocation of value added

From the monetary input-output table, it is possible to obtain the unitary value added (v). Multiplying v by the total monetary output (M) associated with the use of

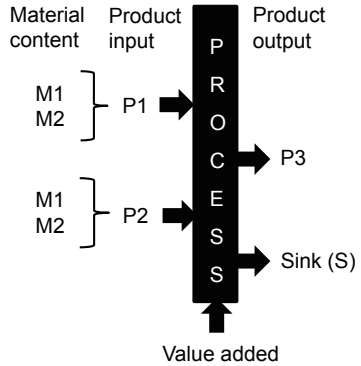


Figure 1 Process, product, material and value added

Table 1 Transition table

	P1	P2	P3	R	S
P1	0	0.4	0.5	0	0.1
P2	0	0	0.8	0	0.2
P3	0	0	0	0.4	0.6
R	0	0.7	0	0	0.3
S	0	0	0	0	1

Pi: Product i; R: Recycled material; S: Sink

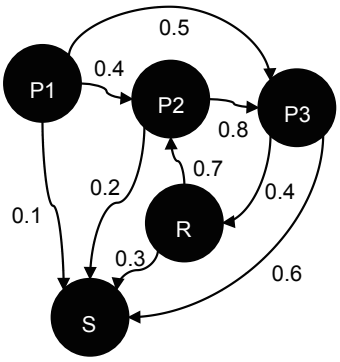


Figure 2 Markov chain diagram

Table 2 Data required

	P1	P2	P3	R
r_w (%)	100%	50%	10%	20%
P(JPY/kg)	2	3	2.5	1.5
v (JPY/JPY)	10%	20%	30%	40%
α (%)	100%	25%	5%	10%

Table 3 Resource productivity calculation

	P1	P2	P3	R	TOT
T^{∞}	0	0.70	1.06	0.42	2.18
$r_w^{-1} \odot T^{\infty}$	0	1.39	10.57	2.11	14.07
M	0	4.18	26.42	3.17	33.76
V	0	0.84	7.93	1.27	1.03
RP^U	0	0.21	0.39	0.13	0.73
RP	2.00	0.21	0.39	0.13	2.73

material initially included in P1, we obtain the associated value added (V) that has to be reallocated to the material.

$$V = v \odot M \ (eq.3)$$

The resource productivity associated with the use phase of the studied material (RP^U) is then given by eq.4, considering the allocation coefficient α.

$$RP^U = \alpha \odot V \ (eq.4)$$

The coefficient α is defined as the cost share of the studied material in each product considering unitary material cost (ci) and its weight percentage.

$$\alpha_i = c_i r_{w,i} / \sum c_i r_{w,i} \ \text{(eq.5)}$$

2.5 Final formulation of resource productivity

Eq.4 informs on the resource productivity associated with the use phase of the material. To be complete, the production of the material must also be accounted. In this case, r_w and α equals 1 by definition. Then, the resource productivity of the material equals simply the price per weight (P) which is the cumulative value added associated with the production supply chain as shown in eq.6. The total resource productivity is the sum of production and use related resource productivity (eq.7)

$$RP^P = P \ \text{(eq.6)}$$

$$RP = RP^P + RP^U \ \text{(eq.7)}$$

3. Example and discussion

In the example given in Table 1 and Figure 2, three products are considered (P1, P2 and P3) and the circularity aspect is represented by a recycling process (R). Table 2 shows all the data necessary for the resource productivity calculation the different steps of which are presented in Table 3. The resource productivity considered is the one of material P1. The resource productivity of this material production and use are respectively 2.00 JPY/kg and 0.73 JPY/kg for a total resource productivity of 2.73 JPY/kg (cf. Table 3).

The methodology presented in this paper enables the calculation of the resource productivity of material by linking the material level with the monetary level using the product level as a bridge between these two levels. Application of such methodology to available material flow analysis will allow the characterization of the associated resource productivity at the condition of the existence of a connection between the MFA and IOT nomenclatures.

Acknowledgements: This research was supported by the Environment Research and Technology Development Fund (3K163001) of Ministry of the Environment, Japan.

References

1) Blomsma F. and Brennan G. (2017). The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity. Journal of Industrial Ecology, 21(3), pp. 603 – 614.
2) Tukker A. (2015). Product services for a resource – efficient and circular economy – a review. Journal of Cleaner Production, 97, pp.76 – 91.
3) United Nations (2009) System of National Accounts 2008.

D3-06

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

代表濃度経路シナリオを考慮した資源投入量および移動量の地域別推計

Regional estimates of direct material input and resource mobility based on RCPs scenarios

○森岡涼子*1)、津田宏治 2)、中島謙一 3)、南斉規介 3,4)

Ryoko Morioka, Koji Tsuda, Kenichi Nakajima, Nansai Keisuke

1）農業・食品産業技術総合研究機構, 2）東京大学, 3）国立環境研究所, 4）シドニー大学

* moriokar791@ affrc.go.jp

1. はじめに

気候変動予測の計画（CMIP6）に新たな代表濃度経路シナリオ（RCP1.9）が追加され、温室効果ガス（GHG）排出量の更なる削減の必要性がより明確になった。温室効果ガスの削減には経済的、技術的変化が社会に求められ、その変化を見通しておくことが円滑な移行に不可欠である。本研究では、国際貿易を通じた資源の国間移動に注目し，各 RCP シナリオに基づき、2100 年までの各資源の国際移動を推定する方法を開発した。加えて、資源ごとの国際移動推定値をもとに 2100 年までの資源採掘量の推定を行った。本稿では，銅を事例とし、推定した国際移動量と採掘量に基づき、地域ごとの資源投入量を算出した。

2. 手法

2.1 貿易データの分解と再構成

国×国×品目の 3 次元貿易データを、各品目ごとの輸出国×輸入国の行列、各国輸出総量×品目、各国輸入総量×品目の 3 種類の行列に分けてそれぞれをカーネル構造と貿易量に分解する [1]。

分解する行列をa_{ij}とすると、そのカーネル構造 $\mathcal{K}_{ij}$ は

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

と定義される。貿易量 η は、それぞれの行列の行和と列和に対応する。

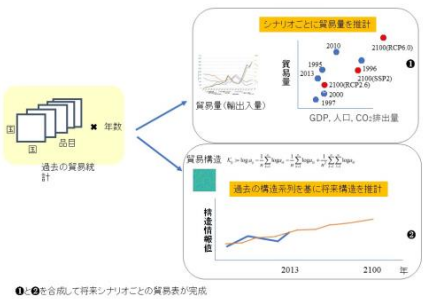


図 1　推計概要

2.1, 2.2 で後述する推計により分解要素であるカーネル構造と貿易量を推計後、貿易データに戻すときは以下の数値演算を用いて再構成する(図 1)。

$$\boldsymbol{a}_{new} = RAS(exp(\mathcal{K}_{any}), \boldsymbol{\eta}^{A}_{any}).$$

ここで *RAS* は産業連関表推計で用いられる RAS 法の演算を指す。

2.2 貿易量推計

2.1 で分解して得られる要素のうち貿易量に対応する国別輸出総量、国別輸入総量、品目別貿易総量の各要素は、世界のすべての国の GDP, 人口, GHG 排出量から次のように二次計画法で推定する。

$$\min_{W} ||\boldsymbol{y} - W\boldsymbol{x}||_2^2 + \lambda||W||_2^2,$$

$$y \geqq 0.$$

ここで$\boldsymbol{x}$は世界のすべての国の GDP, 人口排出量, GHG 排出量を標準化したベクトルであり、λは複雑度パラメータで交差検定により決定する定数、yは各貿易量である。

2.3 構造推計

スケールフリー情報を表すカーネル構造は過去の推移をもとに下記のように 10 年の遷移行列を求め、延長推計する。

$$W_{10years} = \underset{W_a}{\operatorname{argmin}}\left[||y_a - W_a x_a|| + \lambda_a||W_a||_2^2\right]$$

ここでx_aは現在のカーネル構造行列の列を積んでベクトルにしたもの、y_aは 10 年後のカーネル構造行列の列を積んでベクトルにしたもの、λ_aは複雑度パラメータで交差検定により決定する定数である。

2.4 採掘推計

2.1 から 2.3 で算出した将来貿易データをもとに資源ごとに各産出国における将来産出量を推計する。過去データ

における最新年の 2013 年の貿易量（物量ベース）と各元素含有量貿易時系列をもとに各品目の元素含有率を算出し、2100 年までの原単位とする。貿易データから対象とする元素を含む品目の貿易表を抽出し、原単位をかけて推定対象の産出国の品目別輸出ベクトル（元素含有量ベクトル）にしたものをx, 対象産出国における元素換算採掘量をyとし、2.1 の貿易量推計と同じ手法で推計する。

3. データ

過去データは 1995 年から 2013 年の毎年の BACI 貿易時系列データ（物量ベース）[2] および GDP(PPP), 人口、GHG 排出量 [3] を用いた。将来シナリオは **Shared Socioeconomic Pathways version 1.1**[4] の Region 別 RCP シナリオを対応する SSP シナリオの値で按分して 2100 年まで 10 年おきの国別の GDP(PPP), 人口、GHG 排出量を算出した。GHG 排出量は対応する SSP の国別 GHG 排出量データがないため、対応する SSP の GDP の値で按分した。

4. 結果

推定した 2020 年から 10 年おきに 2100 年までの貿易データおよび採掘データを用いて、地域ごとに 1 国平均の直接資源投入量を算出した。

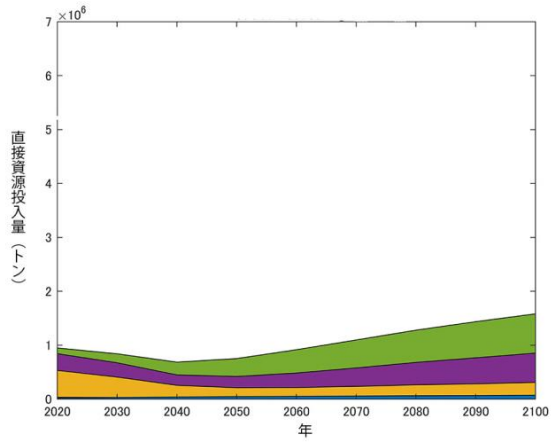


図 2　アフリカの銅 DMI (RCP2.6)

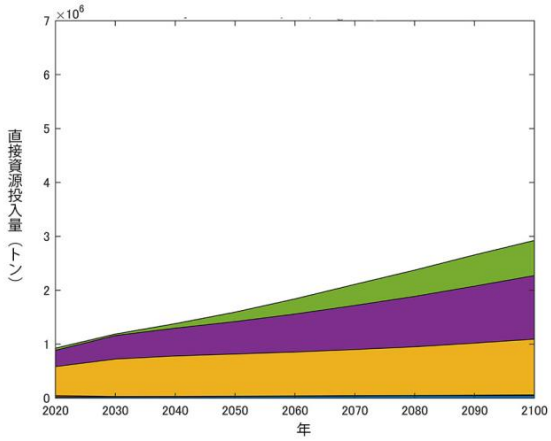


図 3 アフリカの銅 DMI (RCP6.0)

図 2, 3 はアフリカの直接資源投入量（DMI）の 1 国あたり平均の 2100 年までの変遷を表している。グラフ上で上から黄緑色の帯は銅含有鉱石輸入量、紫色は銅素材輸入量、黄色は銅製品輸入量、青は採掘量に対応する。RCP2.6 では 2040 年までは銅換算の 1 国あたりの投入量総量が減っているがその後徐々に増加に転じるのに対し、RCP6.0 では投入量総量は 2100 年まで単調増加を示している。銅素材と銅製品の 1 国あたり輸入量が 2100 年時点で RCP6.0 は RCP2.6 の 2−4 倍になっている。現在銅の産出国の少ないアフリカでは温暖化対策が緩和するにつれて銅の輸入依存度が高まることが示唆される。他の地域の結果と合わせて、RCP シナリオによって変動する銅の国際移動をさらに分析する予定である。

5. 引用文献

1) Morioka R., Nansai K., Tsuda K.: Journal of Economic Structures 7:7 (2019)
2) CEPII: “BACI international trade database”(online),<http://www.cepii.fr/CEPII/en/publications/wp/abstract.asp?NoDoc=2726>, (参照 2017-10-18)
3) グローバルノート株式会社: “GLOBAL NOTE” (online), <https://www.globalnote.jp/>, (参照 2017-10-18)
4) IIASA: “SSP Database (Shared Socioeconomic Pathways) - Version 1.1” (online) <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about> , (参照 2017-10-18)

D3-07,P2-119　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

採掘活動から見た日本における将来電源構成の資源強度

Resource Intensity of Future Power Generation Mix in Japan by means of Mining Activities

○中川奈那美*[1)]，光斎翔貴[1)]，山末英嗣[1)]
Nanami Nakagawa, Shoki Kosai, Eiji Yamasue
1)　立命館大学　理工学部
* rm0108fk@ed.ritsumei.ac.jp

1.　諸言

人口の増加による産業の急速な工業化は，電力の消費量を年々増加させており，最適な電源構成の構築は世界各国の大きな課題の一つとなっている．これまで，最適な電源構成は安定供給，経済，環境の 3 つの観点から考えられてきた．特に環境では，地球温暖化問題が様々な場面で議論されており，直接的な要因である GHG 排出が主な焦点となってきた[1][2]．一方で，土地利用による環境影響に関しては考慮されていないのが現状である．資源の利用には採掘活動が伴い，その背景には土砂やずりの移動，森林伐採，生態系破壊等が隠れている．これら採掘活動から引き起こされる環境負荷は GHG 排出とは別に着目すべきであることが筆者らによって，示唆された[3]．

これまでの GHG 排出に視点を置いた評価に加え，採掘活動の程度を定量的に示す指標の一つである資源強度の観点から電源構成を評価することは重要である．特に，エネルギー分野を材料資源的な観点から分析することで，より包括的な電源構成の考慮に寄与すると期待できる．本研究では，発電施設の詳細データを用いて発電による関与物質総量(TMR)を推算し，将来の電源構成予測による関与物質総量(TMR)の推移を評価する．

2.　関与物質総量(TMR)

本研究では資源強度の指標である関与物質総量(TMR)を用いて，発電所設備，燃料のインベントリデータから 1[kWh]あたりの TMR 係数を推算する．関与物質総量(TMR)とは，1[kg]の素材を製造するために必要となる総物質量[kg-TMR/kg]のことを指し，隠れたフロー，間接投入物質を考慮することで，採掘活動に伴う物質量から資源への依存度を可視化する．物質 *i* の TMR は式(1)より求められる．この時，M_{1i}は直接物質投入量，M_{2i}は間接物質投入量，M_{3i}は隠れた物質フロー量を表す[4]．

$$TMR_i = \Sigma M_{1i} + \Sigma M_{2i} + \Sigma M_{3i}$$　式(1)

3.　研究手法

発電方法別の 1[kWh]あたりの TMR 係数(TMR_{power})は式(2)より求められる．この時，W_i は物質 *i* の投入量，P は発電量である．

$$TMR_{power} = \frac{\Sigma(TMR_i \times W_i)}{P}$$　式(2)

ここでは既存の TMR 係数を用いて発電施設基礎素材，プラント機器・部品のインベントリデータから発電技術ごとの TMR 係数を求める．

対象とした発電方法は，石炭火力発電，石油火力発電，LNG 火力発電，原子力発電，水力発電，地熱発電，住宅用太陽光発電，事業用太陽光発電，風力発電，洋上風力発電，バイオマス発電である．

本研究では，平成 28 年度の電力中央研究所報告書のデータをインベントリデータとして使用している[5]．記載されていなかったバイオマス発電については，間伐材・廃材の使用割合等の燃料内訳詳細データの入手が困難であったため，使用燃料を木材チップのみとした．発電施設基礎素材は火力発電と発電施設が同じであるため燃料以外は同様のデータを用いた．評価の範囲は燃料の生産から発電(送電端)までとし，途中の輸送に伴う資源は考慮していない．また，算出結果は各年において同様と仮定した．
将来の電源構成に関しては，再生可能エネルギーの導入と低コストに注目した経済産業省によるレポートを参考にする[6]．

4.　結果・考察

まず，各発電様式における TMR 係数の算出結果を図 1 に示す．1kWh あたりの TMR 係数においてバイオマス発電，石油火力発電，石炭火力発電が比較的大きな数値となった．LNG の TMR 係数は石炭・石油に比べ値が小さく，LNG 火力発電は化石燃料による発電のなかでは最も小さな値をとった．

次に，各発電様式における TMR 係数と CO_2 排出量の比較を図 2 に示す．事業用太陽光発電と地熱発電の TMR 係数との間に大きな差はみられなかったが，CO_2 排出量との関係では，再生可能エネルギーの約 10 倍の値となった．　また，TMR 係数が比較的大きかったバイオマス，石炭火力，石油火力発電は CO_2 排出量においても大きな値となっている．

1973 年から 2050 年までの電源構成における TMR 推移の推移を図 3 に示す．1973 年から 2015 年までは，石炭火力発電が支配的になっており，TMR 増加の要因となっている．2013 年付近の急激な増加は，原発事故の影響を受け低下した発電量を補うための化石燃料による発電量増加と推測する[7].

2015 年から 2050 年までは，日本では脱炭素を考慮して石炭火力発電からの脱却を目指しており，その分の電力を再生可能エネルギー，原子力発電で補うことを想定している．TMR 推移でみると 2050 年には 2015-2030 年の約 3 分の 1 にまで減少している．TMR 係数が大きい石炭火力発電が全体の TMR に大きく影響していたのは明白である[6].

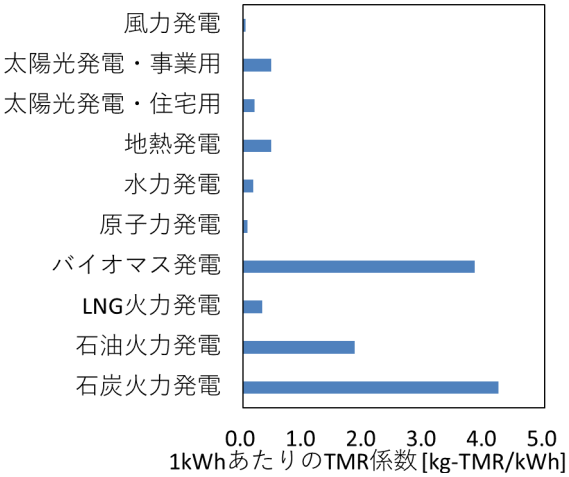


図 1 火力発電の 1kWh あたりの TMR 係数

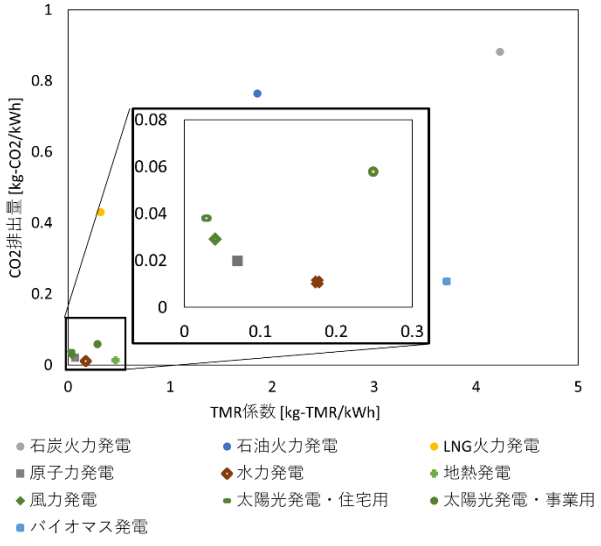


図 2　CO2 排出量と TMR 係数の関係

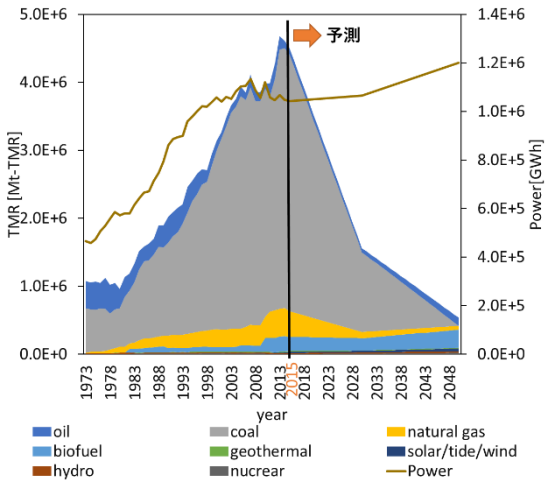


図 3　2050 年までの TMR 推移

5.　まとめ

資源強度の観点から，日本の電源構成を評価した．発電方法において，採掘活動からの視点では化石燃料を使用した発電方法の方が，燃料を必要としない再生可能エネルギーより関与物質総量(TMR)が大きくなる．しかし，LNG 火力発電と太陽光・地熱発電，原子力発電と風力発電の TMR 係数の間に大きな差はみられない．また，CO_2 排出量の少ない火力発電であるバイオマス発電は，今度利用率が増える見込みであるが，土地環境への影響は大きいと考えられる．これより， TMR 係数，CO_2 排出量の両観点からは，バイオマス発電の安易な導入は避け，どちらの数値も低い原子力や風力発電の使用を増やすべきであると考えられる．

6.　引用文献

[1] Qi ZHANGa, Hailong LIb Benjamin MCLELLAN, An Integrated Scenario Analysis for Future Zero-Carbon Energy System, Science of the Total Environment, pp2801-2804(2014)

[2]PARIS AGREEMENT, United Nations, 2015

[3] Shoki Kosai , Eiji Yamasue,Global warming potential and total material requirement in metal production: Identification of changes in environmental impact through metal substitution,Science of the Total Environment, 651, pp.1764-1775(2019)

[4] 中島謙一・原田幸明・井島清・長坂徹也，関与物質総量(TMR)の算定，vol2, Life Cycle Assessment Japan, 2006

[5] 日本における発電技術のライフサイクル CO2 排出量の総合評価,電力中央研究所報告,2016

[6] 経済産業省，長期エネルギー需要見通し，2015

[7]IEA,https://www.iea.org/Sankey/#?c=Japan&s=Balance,2015

ポスター

タイムテーブル

2日目　3月6日(水)

13:20-14:20	ポスターセッション1(P会場)　*コアタイム:奇数番号
14:20-15:20	ポスターセッション2(P会場)　*コアタイム:偶数番号

高効率照明の普及による環境影響評価

Evaluation of Environmental Impact by the Diffusion of High Efficiency-light Bulb

○田中萌衣*1)、加河茂美 1)

Mei Tanaka, Shigemi Kagawa

1) 九州大学

* 1EC16088M@s.kyushu-u.ac.jp

1. 研究背景

近年、地球温暖化は深刻化しているが、その要因の 1 つである電力消費に着目すると、照明器具の利用による電力消費は家庭における総電力使用量の 13.4%を占めており、電気冷蔵庫に次いで高い割合となっている（環境省、2018）。そこで、環境省及び経済産業省は、高効率照明への切り替えの推進を行い、CO_2を削減しようとするキャンペーン・アクションとして、「あかり未来計画」を実施している（環境省、2018）。その一方で、経済産業省は高効率照明を 2020 年までにフローベースで 100%、2030 年までにストックベースで 100%普及させる目標を掲げている（経済産業省、2012）。蛍光灯照明器具の生産の中止を発表する企業も出現し、今後、高効率照明器具は一層普及することが予測される。そこで、本研究では、高効率照明の普及による CO_2 削減可能性について分析する。

2. 研究方法

一般照明用電球が約 3 か月ごとに寿命を迎えて買い替えられるという結果を利用して（経済産業省、2012）、寿命を迎えて廃棄される一般照明用電球にとって代わって、「新規に買い替えられる電球のうち一定の割合が電球型 LED ランプに買い替えられ、残りは再び一般照明用電球に買い替えられた場合」と「新規に買い替えられる全ての電球が再び一般照明用電球に買い替えられる場合」における電球に付随するライフサイクル CO_2 排出量を比較分析する。

3 か月ごとに電球の買い替えが行われると仮定すると、単年度（12 か月）を 4 期に分割して各期について電球に付随するライフサイクル CO_2 排出量の計算を行うことができる。まず、“電球の使用時”の CO_2 排出量を計算するために、以下のように一般の火力石炭発電所からの CO_2 排出量を火力石炭発電所の発電量（kWh）で割ることによって、電力 1kWh 当たりの CO_2 排出係数（t-CO_2/kWh）を求めた。

一般照明用電球に買い替えられる電球と電球型 LED ランプに買い替えられる電球の割合については、各年度における一般照明用電球と電球型 LED ランプの出荷数量の割合（すなわち、マーケットシェア）を用いた。

本研究では、2010 年度に新規購入された一般照明用電球に焦点を当て、その新規購入量を一定の保有台数と仮定して、時間の経過とともに一般照明用電球が 3 か月ごとに寿命を迎えて買い替えられた場合における一般照明用電球と電球型 LED ランプの保有割合の変化に焦点を当てる。そして、この一般照明用電球と電球型 LED ランプの保有台数の変化が電力消費起源の CO_2 排出量に与える影響について、各期における電力消費量に使用時の CO_2 排出係数を乗じて計算した。

新規に買い替えられた一般照明用電球と電球型 LED ランプの製造時の CO_2 排出量は、それぞれの新規の購入台数にそれぞれの製造起源のライフサイクル CO_2 排出係数を乗じることによって計算した。

3. データ

電球類日本照明工業会自主統計より、2010 年度以降の一般照明用電球および電球型 LED ランプの出荷数量のデータを得た。電球使用時の CO_2 排出係数の算定には、平成 23 年（2011 年）産業連関表部門別品目別国内生産額表および産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)より、部門別直接エネルギー消費量および各種 GHG 排出量、エネルギー原単位および GHG 原単位を用いた。

電球製造時の CO_2 排出係数については日本照明工業会「附属書電球形 LED ランプの LCA 評価」より電球 1 個当たりのライフサイクル CO_2 排出量を用いた。特に、電球使用時の CO_2 排出量については、本研究で算出した CO_2 排出係数を用いた場合と日本照明工業会が公開している CO_2 排出係数を用いた場合のそれぞれについて計算を行った。なお、本研究の電力消費起源の CO_2 排出係数は 0.496 (kg-CO_2/kWh)、日本照明工業会の電力消費起源の CO_2 排出係数は 0.271-0.303 (kg-CO_2/kWh)である。

1 日あたりの照明の点灯時間については、年間夜間時間の全国平均値を 365 日で割った 11.8 時間とした。

各電球の消費電力及び寿命については、経済産業省（2012）のデータを用いた。消費電力については各電球の光量（機能単位）を揃えて計算し直したものを用いた。

本研究で用いたデータを以下の表 1 に示す。

表 1. 各電球の消費電力と寿命

	一般照明用電球	電球型 LED ランプ
消費電力(W)	54	8.95
寿命(時間)	1000	40000

4. 結果

図 1 から、電球 1 個あたりライフサイクル CO_2 排出量に関して、電球型 LED ランプの方が一般照明用電球よりも CO_2 排出量が多くなっていることが分かる。また、本研究の電球使用時の CO_2 排出係数を用いた場合と日本照明工業会の電球使用時の CO_2 排出係数を用いた場合とでは、本研究の CO_2 排出係数を用いた場合の方が大きくなることが分かる。この点については、CO_2 排出係数の算定にあたり、本研究では発電量の計算時に事業用火力発電の単価のみを考慮している点から発生した差であると考えられる。

買い替えシナリオごとのライフサイクル CO_2 排出量については、図 3 に示すように、一般照明用電球から一般照明用電球への買い替えを繰り返す場合には CO_2 排出量は約 2500（t-CO_2）で推移するのに対し、一般照明用電球から電球型 LED ランプへの買い替えを行った場合には CO_2 排出量が大幅に減少することが分かる。この場合には、一般照明用電球への買い替えを繰り返す場合と比較して、6 年間で本研究の使用時の CO_2 排出係数を用いた場合には約 78%、日本照明工業会の使用時の CO_2 排出係数を用いた場合には約 77%減少することが分かった。これは、一般照明用電球の寿命を 1000 時間、電球型 LED ランプの寿命を 40000 時間と仮定している点から発生するものであると考えられる。

また、一般照明用電球から電球型 LED ランプへの切り替えを推進した場合、その CO_2 排出量削減効果は、本研究の CO_2 排出係数を用いた場合には削減効果の約 89%、日本照明工業会の CO_2 排出係数を用いた場合には削減効果の約 90%が、一般照明用電球から電球型 LED ランプへの買い替えが行われ始めた年から 2 年以内に現れることが分かった。

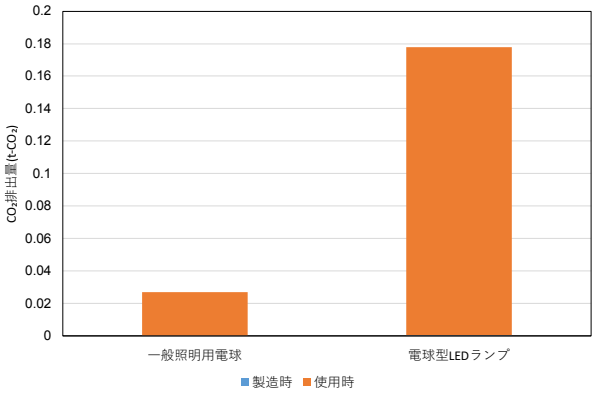


図 1. 電球 1 個当たりのライフサイクル CO_2 排出量（本研究で算定された電球使用時の CO_2 排出量を用いた場合）

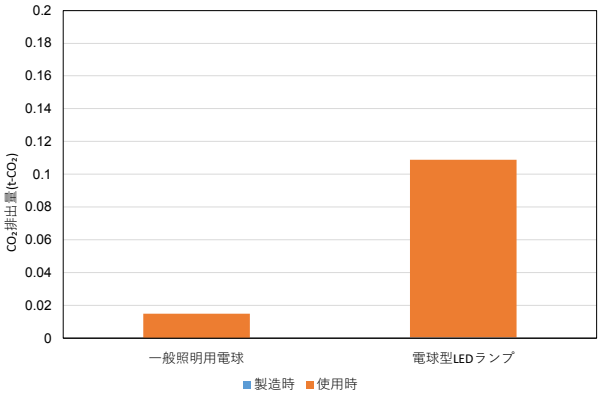


図 2. 電球 1 個当たりライフサイクル CO_2 排出量（日本照明工業会の使用時の排出係数を用いた場合）

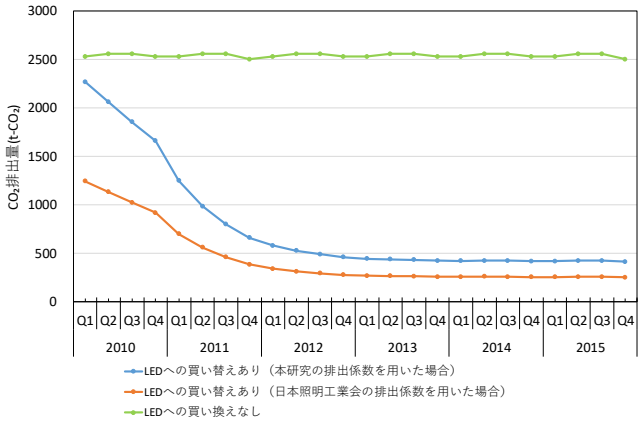


図 3.CO_2 排出量の変化

4. 参考文献

1) 日本照明工業会：電球類・日本照明工業会自主統計。

2) 独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)”,” 生産者価格基準原単位（内訳データを含む）および購入者価格基準原単位（2018）。

3) 総務省：平成 23 年（2011 年）産業連関表　部門別品目別国内生産額表（2011）。

4) 日本照明工業会:附属書電球形 LED ランプの LCA 評価。

5) 環境省: 地域照明環境計画策定マニュアル（2002）。

6) 経済産業省商務情報政策局情報通信機器課:LED 照明産業を取り巻く現状（2012）。

P2-002

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

木製玩具「ひなたぼっこのドミノ」の ライフサイクルアセスメントと環境ラベリング

Life Cycle Assessment and Environmental Labeling of Wooden Toy "hinatabokko domino"

平林茜*1)、小林謙介 2)、寺河未帆 3)

Akane Hirabayasihi, Kensuke Kobayashi, Miho Teragawa

1), 2)県立広島大学,3) 有限会社一場木工所

* q606040au@ed.pu-hiroshima.ac.jp

1. 背景・目的

事業活動における 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カーボンフットプリント（CFP）、エコリーフ環境ラベルなどの環境ラベル [1)]の活用は有益である。一方、これらの環境ラベル取得においては規定された製品種別基準（Product Category Rule：PCR）[2)]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がある。

そこで、本検討では、これまでに事例がなかった、木製玩具の LCA 及び環境ラベルの取得を通し、評価結果の差異や評価における課題について議論した。具体的には PCR にのっとって評価を実施した場合の結果と適切に環境配慮を実施した場合の評価結果の違いについて分析した。

2. 分析

2.1 評価対象

評価対象は広島県三次市にある一場木工所の木製玩具「ひなたぼっこドミノ」である。本製品の特長は地場の木材（広島県産材）を使用した製品であること、天然乾燥材の利用を検討していることがあげられる。当該製品の主な販売地は広島県内のアウトレットモールである。ここでは、製品の販売単位であるドミノ 75 個を機能単位として評価した。なお、本製品の付属品としてドミノを収納する木箱がある。

図 1 には、当該製品のフローを示す。ドミノ本体を生産するために板類が用いられるほか、加工工程で着色のため

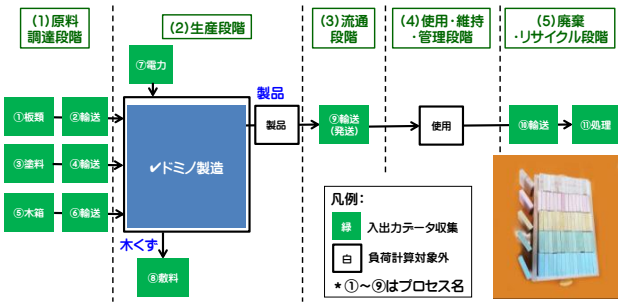


図1　ひなたぼっこドミノのプロセスフロー

に塗料が用いられる。また、木箱は他の県内事業者から購入しているが、今後自社生産も想定している。

当該製品は、カーボンフットプリントとエコリーフ環境ラベルを取得している。その際に用いた PCR は木製製品【第 2 版】（認定 PCR 番号：PA-120000-AM-02）[3)]である。また、両環境ラベル取得の際は、JEMAI 環境ラベル 算定ツール（IDEA Ver.2.1.3 がベース）を用いて計算したが、本分析では、最新版である IDEA Ver.2.2[4)]を用いた。

2.2 分析の視点

本検討では、1 つ目に PCR にのっとって評価を行った場合と、事業者のこだわりや今後の検討内容を適切に反映した場合の環境負荷削減効果を評価し、その結果の違いについて検討した。具体的に、原材料である板類について、①天然乾燥を行った場合の効果、②適切に管理された森林（再造林率 100%）から供給された木材を利用した場合の効果を検討した。また、③木箱について、他社から購入した場合と、自社生産した場合の結果の差異についても分析した。以上の条件の組合せで、表 1 に示すような合計 8 種類のケーススタディを実施した。このうち、環境ラベル取得時のケースは、(A)である。

表 1 想定したケース

ケース	原材料の乾燥	再造林率	木箱の生産
(A)	人工	50%	他社
(B)	人工	100%	他社
(C)	人工	50%	自社
(D)	人工	100%	自社
(E)	天然	50%	他社
(F)	天然	100%	他社
(G)	天然	50%	自社
(H)	天然	100%	自社

なお、分析は、IDEA Ver.2.2（エクセル版）を用いた。本データベースにおいて、板類などの木製製品の原単位は、天然乾燥と人工乾燥の区別なく、また、再造林率が 50%で計算された値となっている。これは、環境ラベル取得時に

用いる算定ツールの二次データも同じである。これと、天然乾燥を行った場合、再造林率が 100%の森林から伐採した場合との環境負荷の差異を分析した。また、評価は様々な環境負荷物質、影響領域で行ったが、本報告では、CO_2 排出量と統合化の結果を示す。このほか統合化で支配的な要因となった、一次生産の結果も示す。

2.3 分析結果

(1) CO_2 排出量

図 2 に CO_2 排出量の結果を示す。いずれのケースにおいても、原材料調達段階と生産段階が圧倒的に多な割合を占めた。特に、人工乾燥した場合は原材料調達段階が大きく、天然乾燥を行った場合は生産段階が大きい結果となった。例えば(A)と(H)を比較すると、(H)は(A)の 1.3 倍となった。

なお、木箱自社生産の方が生産段階の CO_2 排出量が大きくなるのは、購入の場合は木箱の生産負荷が原材料調達段階に計上され、自社生産の場合は生産段階に計上されるためである。また、木箱の他社購入・自社生産の違いは、評価における木箱の単価設定および製造歩留まりの設定条件などの違いから生じている差異と考えられる。

(2) 統合化

図 3 に統合化の結果を示す。統合化の結果、再造林率が 50%の場合と 100%の場合とで結果が大きく異なった。例えば、ケース(A)と(B)では、(B)の方が 2.7 倍となった。このことから、再造林率が環境負荷削減に大きな影響を及ぼしていることを定量的に確認できた。また、これらの影響に比べれば、乾燥方法の差異による環境負荷量への影響は大きくなかった。

(3) 一次生産

統合化において、大きな差異が生じた再造林率については、一次生産（さらに落とし込むと、土地利用（維持））の影響が大きかった。そこで、図 4 に一次生産の結果を示す。その結果を見ると、すべてのケースで再造林の影響が極めて大きな影響を及ぼしていることを確認できた。このことから、木製製品の活用においては、適切に管理された森林（特に適切に再造林された森林）から調達していることが重要な要素となることが分かった。

3. まとめ

本報告では、カーボンフットプリントとエコリーフ環境ラベルを取得した木製玩具（ひなたぼっこドミノ）を事例として、環境ラベルの PCR にのっとって評価した場合と、PCR では十分に反映できない事業者の“こだわり”を反映した評価を行った場合の評価結果の差異について分析を行った。分析は、CO_2 排出量や統合化などの視点で行った。その結果、原料となる板類の調達（適切に再造林された森林からの調達）や、板類の生産における乾燥方法などによる環境負荷排出量の差異が非常に大きいことを示した。

4. 参考文献

1) JEMAI 環境ラベル、http://www.jemai-label.jp/
2) 製品種別基準、http://www.jemai-label.jp/pcr/v9suas000000004b-att/PA-120000-AM-02.pdf
3) 木製製品【第 2 版】(認定 PCR 番号:PA-120000-AM-02)、
4) IDEA Ver.2.2、http://idea-lca.com/

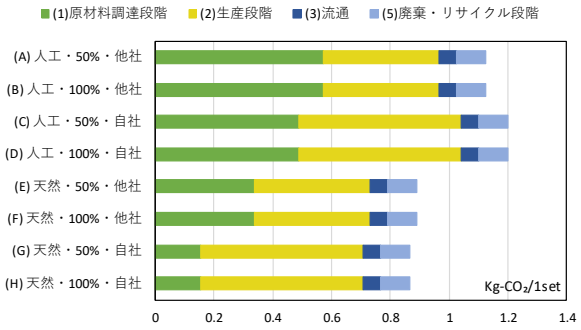


図2 CO2排出量の結果

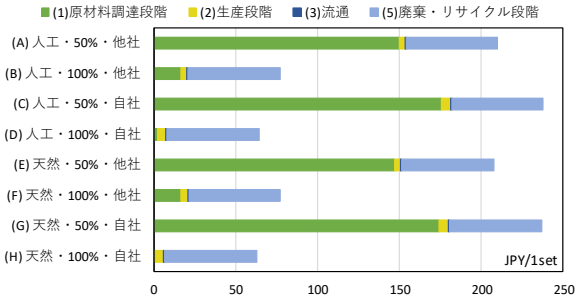


図3 統合化の結果

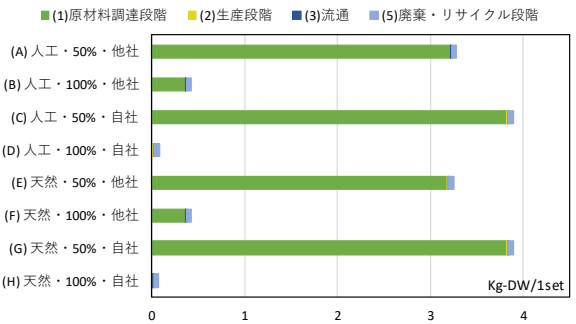


図4 一次生産の結果

P2-003

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

中古車市場における車種別寿命の推定

Estimation of Vehicle Lifetime in the Used Car Market

○内田泉*[1)]、中本裕哉 [1)]、加河茂美 [1)]

[1)]九州大学

*mushmush0315@gmail.com

1.　はじめに

日本自動車工業会[1)] による 2017 年乗用車市場動向調査によると、乗用車の平均保有年数(購入から買い替えまでの年数)は 7.0 年であるが、その調査範囲はガソリン車だけに止まり、次世代自動車にまで及んでいない。しかし、IEA(2012)[2)]によると、今後はガソリン車の保有台数は減少し、次世代自動車の重要が大幅に上昇するという見込みである。一方で、リクルートマーケティングパートナーズ[3)]による 2017 年中古車購入実態調査では、全国の中古車小売台数は年間 250.3 万台（当該年の新車販売台数は 440 万台）にのぼり、近年中古車の年間購入台数は増加傾向にある。すなわち、中古車市場への流通増加が見込まれる次世代自動車を対象とした買い替え分析を行うことは決定的に重要である。

これまでの次世代自動車を対象としたライフサイクル分析においては、製品使用時（自動車保有者による保有期間や走行距離など）の消費動向分析が欠落しており、環境負荷を正確に把握できているとは言えない。そこで本研究では、買い替えデータに基づいてそれぞれ新車ガソリン車、中古ガソリン車、新車次世代車、中古次世代車の買い替え分析を行う。さらに消費者行動に基づいた次世代自動車の経済的寿命を推計することで、次世代自動車のライフサイクル分析および中古車市場への流通に与える影響を推計する。

2.　研究手法

本研究では、新車保有者と中古車保有者の買い替え行動は正規分布と Weibull 分布に従うと仮定する。ここでは Weibull 分布について詳しく述べる。今、0 年に購入された車が t 年までに買い替えられる確率は下式(1)のような Weibull 分布関数として定式化できる。

$$F(t)=1-\exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{m}\right\} \quad (t\geq 0) \qquad (1)$$

$$\mu=\eta\Gamma(1+1/m) \qquad (2)$$

ここで、m は形状パラメータ、η がスケールパラメータ、μ は平均で、Γ は一般化ガンマ関数を示している。また、(2)式は、平均μ を表している。(1)式によって新車保有者と中古車保有者の買い替え動向を分析することが可能である。また、0 年に購入された車が t 年まで保有され続けている確率は$\varphi_n(t)=1-F(t)$として得ることが出来る。ここで、 $\varphi_n(0)=1$ は、0 年に購入された車は全て 0 年に保有されていることを示す。

本研究では、買い替えデータから自動車の買い替え率を特定化する。具体的には、最尤法を用いることで正規分布と Weibull 分布のパラメーターの最尤推定をした。

3.　データ

本研究における自動車の買い替えデータはプロトコーポレーション[4)]による Car User Report 2017 のローデータを用いる。このデータでは、原動機別（ガソリン車、クリーンディーゼル車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車）、車種別（軽自動車、コンパクトカー、ミニバン／ワンボックス、セダン、クーペ、ステーションワゴン、SUV／クロカン、オープンカー、その他）の分類によって当該車両保有者の買い替え年数をアンケート調査している。本稿では、研究の第一段階としてガソリン車を対象に車種を統一して、新車ガソリン車と中古ガソリン車の買い替え確率を分析した。

本研究で使用した、新車保有者の買い替え年数データは 527 台、中古車保有者の買い替え年数データは 2768 台で

あった。

4.　分析結果と考察

最尤推定法により、新車、中古車別の保有年数データから保有年数毎の買い替え確率を推計した。表 1 は、それぞれ正規分布と Weibull 分布に基づく新車と中古車の買い替え確率のパラメーターを示している。これによると、新車の平均保有年数は 6.8 年であるのに対して、中古車の平均保有年数は 5.4 年と比較的短いことが分かる(表 1)。また、新車と中古車の買い替え確率の尤度比検定を行うことで、それぞれ新車ではワイブル分布が、中古車では正規分布が買い替え確率において採択される。

表 1：新車と中古車の買い替え確率のパラメーター

	New cars		Used cars	
Distribution	Normal	Weibull	Normal	Weibull
Scale paremeter		2.97		2.33
Shape paremeter		7.66		6.06
Mean	6.84	6.84	5.36	5.37
Variance	6.77	6.28	6.08	5.99
Log likelihood	-1251.73	-1252.78	-6425.64	-6338.22
	Number of obs.=527		Number of obs.=2768	

表 1 のパラメーターに基づいた買い替え確率の分布を、新車と中古車それぞれ図 1,2 に示す。縦軸は買い替え確率、横軸は購入からの保有年数を示している。推計された中古車の買い替え確率は、データによる買い替えの動向をうまく捉えている(図 2)。一方で、推計された新車の買い替え確率はデータの変動に添っているとは言い難く、新車保有者の買い替え行動を表すのには不十分である。これは、新車購入から 3 年目、5 年目、以後 2 年ごとに支払う必要がある車検費用や自動車保有者の選好に基づく買い替え行動を分布関数では十分にキャッチアップできないためであると考える。

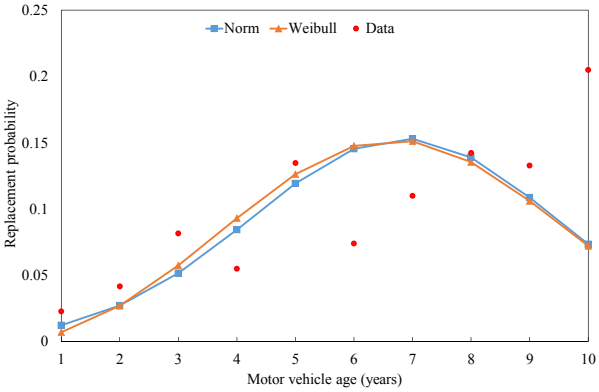


図 1：新車の買い替え確率

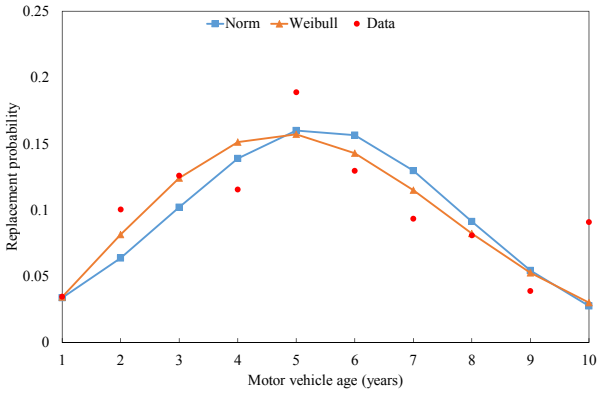


図 2：中古車の買い替え確率

本研究では、新車と中古車の買い替えデータから自動車の買い替え率を特定化した。新車の平均保有年数に対して、中古車の平均保有年数は比較的短いことが分かった。最尤推定により、中古車の買い替え動向はキャッチアップできた。しかしながら、新車の買い替え確率はデータによる買い替え行動の変動をうまく捉えることができなかった。従って、新車保有者の買い替え分析には、離散選択モデルなどによる追加的な消費者行動分析が必要であると言える。

5.　参考文献

1)　日本自動車工業会 (2017) 2017 年乗用車市場動向調査。
2)　IEA (2012) Energy Technology Perspectives 2012.
3)　リクルートマーケティングパートナーズ (2017) 2017 年中古車購入実態調査。
4)　プロトコーポレーション (2017) Car User Report 2017.

P2-004
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

リマニュファクチャリング事業のための最適回収：部品を考慮した検討

Optimal acquisition for remanufacturing: consideration of parts

○塩崎史奈*[1)]、橋本征二[1)]
Fumina Shiozaki, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0053rh@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

リマニファクチャリング（リマン）は資源効率を高める有用な事業であるが、回収される使用済み製品の品質は様々であり、どれだけリマンを行うかの判断が必要となる。これについて、Galbreth and Blackburn[1)]は、使用済み製品の品質にばらつきがあることを考慮してリマン費用をモデル化し、特定のリマン製品需要に対する最適な使用済み製品の回収量を導出している。また、Zhou et al.[2)]は二酸化炭素の排出量も考慮した最適な回収を検討している。しかしながら、これらの研究では、部品レベルの品質は考慮されていない。本研究では、既存研究における費用モデルを拡張し、部品レベルの品質のばらつきを考慮した費用モデルを作成し、これに仮想的な数値を当てはめて最適回収の方針を議論した。

2. 方法

2.1 製品ベースの費用モデル

回収した使用済み製品P個のうちリマンされた製品R個の割合を$\alpha = R/P$(-)とすると、リマンの総費用$TC(\alpha)$(円)は、回収費用$CC(\alpha)$(円)、リマン費用$RC(\alpha)$(円)、廃棄物処理費用$WC(\alpha)$(円)からなる。

$$TC(\alpha) = CC(\alpha) + RC(\alpha) + WC(\alpha)$$

$$= uP + P\int_0^{G^{-1}(\alpha)} xg(x)dx + k(P - R)$$

ここで、u、kはそれぞれ単位使用済み製品あたりの回収費用(円/個)、廃棄物処理費用(円/個)、$g(x)$、$G(x)$はそれぞれリマン費用x (円/個)の確率密度関数、累積確率密度関数である。第2項は、使用済み製品のリマン費用x(円/個)の分布が$g(x)$のとき、$G^{-1}(\alpha)$(円/個)までリマンを行う費用である。

2.2 部品ベースの費用モデル

2つの部品からなる製品の$RC'(\alpha)$(円)は、使用済み製品の解体費用$DC(\alpha)$(円)、部品1、部品2のリマン費用$RC_1(\alpha)$(円)、$RC_2(\alpha)$(円)、製品の組み立て費用$MC(\alpha)$(円)からなる。

$$RC'(\alpha) = DC(\alpha) + RC_1(\alpha) + RC_2(\alpha) + MC(\alpha)$$

$$= dQ + P\int_0^{G_1^{-1}(\alpha)} xg_1(x)dx + P\int_0^{G_1^{-2}(\alpha)} xg_2(x)dx + mR$$

ここで、d、mはそれぞれ単位使用済み製品あたりの解体費用(円/個)、組み立て費用(円/個)、$g_n(x)$、

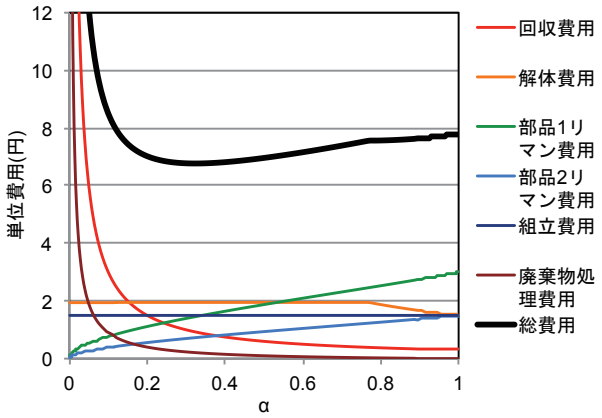


図1　リマン製品あたりの費用

$G_n(x)$はそれぞれ部品 n のリマン費用x(円/個)の確率密度関数、累積確率密度関数である。第2項、第3項は、解体した使用済み製品 Q 個のうち、リマン費用の低い部品からそれぞれ R 個をリマンする費用である。ここで、式(2)を式(1)に代入しN＝Q/R として整理すると、単位リマン製品あたりの総費用$UTC'(\alpha)$は下式で表される。

$$UTC'(\alpha) = \frac{1}{\alpha}\left(u + \int_0^{G_1^{-1}(\alpha)} xg_1(x)dx + \int_0^{G_2^{-1}(\alpha)} xg_2(x)dx + k\right) + dN + m - k$$

3. 適用例

上記の式に仮の数値を代入して計算した結果が図1である。αが上昇するにつれて、部品のリマン費用の単価は増加していくが、回収費用、廃棄物処理費用の単価は大きく減少し、総費用は$\alpha = 0.3$あたりで最小となることが分かる。ただし、部品のリマン費用が大きく下がると、αが上昇しても総費用は下がり、部品のリマン費用が高くなると最小点が左にシフトする結果となった。

参考文献

1) Galbreth, M.R., Blackburn, J.D.: Optimal acquisition and sorting policies for remanufacturing, Production and Operations Management, 15(3), pp. 384–392, 2006
2) Zhou, J., Deng, Q., Li, T.: Optimal acquisition and remanufacturing policies considering the effect of quality uncertainty on carbon emissions, Journal of Cleaner Production, 186, pp.180–190, 2018

P2-005
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

リース・リユースによる物質利用削減効果:中古製品の需給分布を用いた検討

The reduction of material use by lease/reuse: an examination using supply and demand distribution for second-hand products

○大平菜央*[1)]、橋本征二 [1)]
Nao Ohira, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0051xr@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

循環型社会の構築に向けて、リースやリユースの推進が望まれている。リースは、製品の使用期間が短くなるが、中古製品を確実に回収し、リユースやリサイクルに繋げられる利点がある。一方、リースやリユースの需要が増加しても、中古製品の需給が合致しなかったり、製品の使用期間が短かったりした場合は、逆に物質利用が増える可能性もある。本研究では、梅田ら [1)]を参考に中古製品の需要・供給分布を用いてその需給を考慮しつつ、製品ロス率という指標を考案してリース･リユースによる物質利用削減効果を分析した。

2. 方法

ある製品の期待寿命をLとし、期待寿命Lから個別の製品iの実際の使用期間T_iを差し引いた残存使用可能期間$L-T_i$を製品ロスと定義する。一般に、製品を長期間使用した方が物質利用は少なくてすむため、製品ロス$L-T_i$が小さいほど物質利用削減効果が高くなる。期待寿命に対する製品ロスの割合を製品ロス率とすると、N個の製品の製品ロス率は、下式で表せる。

$$Product\ Loss\ Rate = \frac{\sum_i^N (L-T_i)}{L \times N} \qquad (1)$$

図 1 に示すように、新品(n)、リース(l)、中古(r)製品のt年における需要量を$D_e(t)$(eはnまたはlまたはr)、τ年に需要された新品、リース製品のt年における廃棄量を$W_e(\tau,t)$(eはnまたはl)とする。廃棄後の製品は、(A)回収されない退蔵・散逸製品、(B)国内中古市場へ供給される製品、(C)海外中古市場へ供給されるかリサイクルされる製品に分かれる。(A)、(B)の割合を使用期間$t-\tau$の関数$RA_e(t-\tau)$、$RB_e(t-\tau)$として$W_e(\tau,t)$に乗ずると、t年における(A)(B)の量を求めることができる。さらに、(B)の量と中古製品の需要量$D_r(t)$を比較することで、リユースされる製品量と、中古製品の余剰もしくは新品製品の追加需要を求めることができる。

本研究では、(A)(B)の合計を(1)式のNとし、N個の各製品の使用期間T_iを用いて、様々な条件のもとでの製品ロス率を算出した。適用例として、iPhone の 1 機種を対象に、Web アンケート調査を実施して各種パラメータを設定した。なお、リース製品は、購入から 25 ヶ月以内に販売会社に引き渡した製品とした。

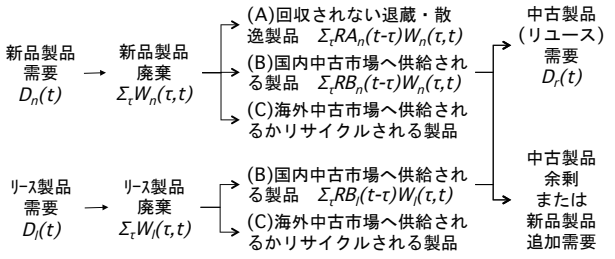


図 1　製品フロー

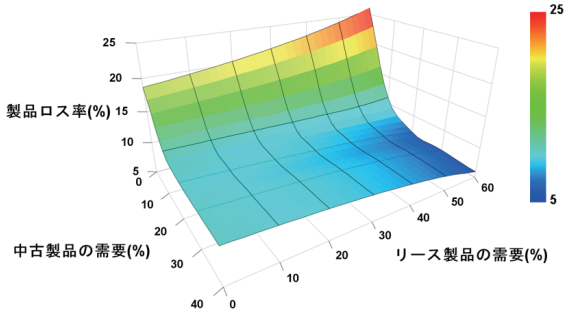


図 2　リース、中古製品の各需要割合と製品ロス率

3. 結果と考察

リース製品、中古製品の各需要割合と製品ロス率の関係を図 2 に示す。ここで、需要割合とは、新品、リース、中古製品の需要の合計に対する各製品の需要割合である。中古製品の需要割合が 10%より大きく、かつリース製品の需要割合が大きくなるほど製品ロス率が低い結果となった。これは、図の青色の部分では中古製品の需要＞供給のため中古製品の余剰がほとんど発生せず、かつリース製品の需要の増加で回収されない製品が減少するためである。しかしながら、中古製品の需要が 10%以下のときは、リース製品の需要が増加するほど製品ロス率は増加する。これは、中古製品の需要＜供給のため、使用期間の短いリース製品が余剰となるためである。よって、リース・リユースによる物質利用削減効果を考える際は、中古製品の需給バランスと、中古市場へ供給されたリース製品がリユースされるかどうかが重要な視点になるといえる。

参考文献

1) 梅田靖、近藤伸亮、杉野隆：製品のリユース可能性評価のための「限界リユース率」の提案、日本機械学会論文集(c 編)、73(725)、(2007)、pp. 339-346

P2-006
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

次世代自動車の発展と普及に伴う環境影響評価

Environmental impact assessment associated with the development and diffusion of next-generation automobiles

○川野俊樹*1)、時任翔平1)、加河茂美1)
Toshiki Kawano, Shouhei Tokitou, Shigemi Kagawa
1) 九州大学
*1 EC16098P@s.kyushu-u.ac.jp

1 背景

情報技術の発展により、工業部門における情報化が著しく、工業製品のスマート化が進展している（経済産業省、2017)。特に、電気自動車といった世界的に大きな需要が見込まれる次世代自動車の普及に伴う自動車の電子化はより一層進むことが予想される（佐伯、2013)。またスマート化には、自動車に限らずその投入構造に大きな変化をもたらすといわれる。例えば、CPU の電子基板には金や銀、燃料電池や電気自動車のバッテリーにはコバルトやニッケルなどの希少金属が用いられており、生産段階においては、それらの採掘、精錬、加工、廃棄に至るライフサイクルの中で、従来の製品よりも負荷がかかると予想される（図 1）（TOYOTA, 2016)。スマート化製品の生産段階におけるライフサイクルインベントリを分析することは、これからの持続可能な発展には重要であり、スマート化、エコ化の普及推進と同時に考慮しなければいけない。そのためにスマート化に伴う自動車産業のサプライチェーンにおける構造変化の分析が重要である。

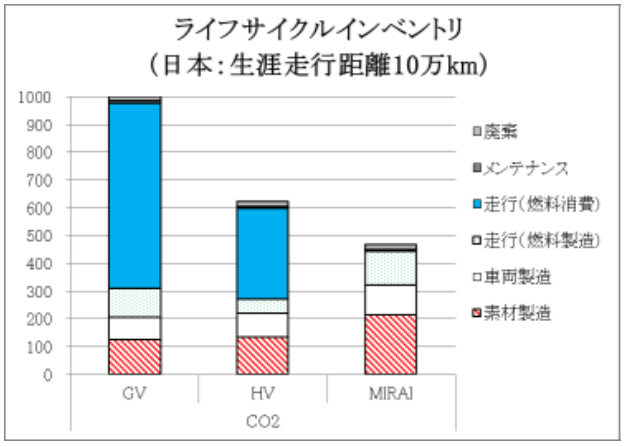


図 1 ガソリン自動車と水素自動車のライフサイクル CO_2 排出量（TOYOTA. 2016）

2. 研究目的

本研究では産業連関分析を用いて、日本における自動車の電子化が進展したことによる投入構造の変化を分析し、その環境影響評価を行う。

3. 研究手法とデータ

本研究では、産業連関分析を用いて自動車 1 単位の消費に誘発された直接間接的な取引に伴う CO_2 排出量を算出する。産業連関表は総務省が発表する接続産業連関表を用いる。これは平成 12、17、23 年の産業連関表を実質化し、184 部門に統合したものである。また国立環境研究所地球環境研究センターが発表する環境負荷原単位データブックを用いて 184 部門の CO_2 排出係数を作成した。

産業連関分析では、最終需要が発生した場合に、その需要が産業の相互連関を通じてどのように波及していくかを調べることができる。作成したデータより、 t 年における自動車 1 単位の消費に誘発される各産業起源の CO_2 排出量 $\mathbf{q}^t$ は次式で求められる。

$$\mathbf{q}^t = \hat{\mathbf{e}}^t(\mathbf{I}-\mathbf{A}^t)^{-1}\mathbf{f}^{自} = \hat{\mathbf{e}}^t\mathbf{L}^t\mathbf{f}^{自}$$

ここで、t は 2000 年、20005 年、2011 年の年次であり、$\hat{\mathbf{e}}^t$ は t 年次における排出係数ベクトルを対角化した正方行列である。また、$\mathbf{L}=(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}$ は直接間接的な波及効果を表すレオンチェフ逆行列を、$\mathbf{f}^{自}$ は $(N\times 1)$ のベクトルであり、$f_i^{自}=1(i=自動車), f_i^{自}=0(otherwise)$ である。

4 結果と考察

まず各年次で CO_2 排出量を比較すると少しではあるが、年を経るにつれ、その排出量が増加していることが分かった。その結果が下の図 2 で表されている。

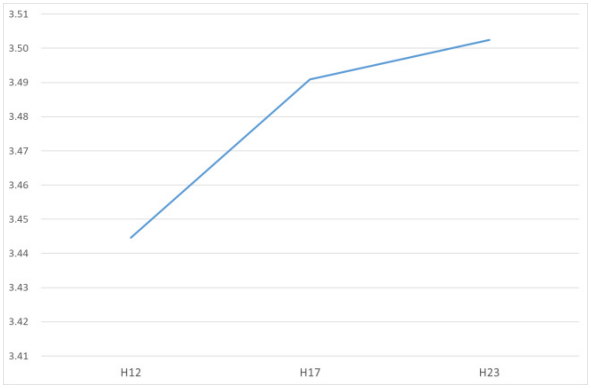


図 2　各年次の CO_2 排出量の合計

次に産業連関分析を用いて 2000 年、2005 年、2011 年の CO_2 排出を算出した結果の図 2 は次のようになる。

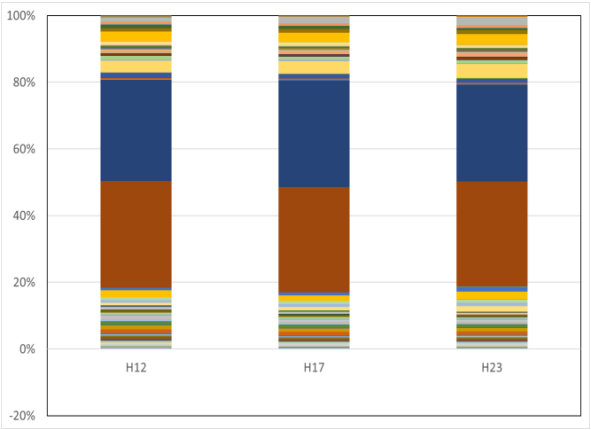


図 2　自動車 1 単位の消費に誘発される CO_2 排出量

上の図を見てわかるように、自動車が 1 単位消費されるとき、二つの品目がその大半を占めていることがわかる。「乗用車」と「自動車部品・同付属品」である。次に CO_2 排出量の変化を年次ごとに算出して、その上位 10 品目を表にした。その結果が下の表 1、表 2 である。

表 1　CO_2 排出量変化（H12-H17）

CO_2 排出量変化（H12-H17）		
順位	品目名	CO_2 排出量（t/百万円）
1	自動車部品・同付属品	0.0732
2	その他の対事業所サービス	0.0171
3	卸売	0.0152
4	電子デバイス	0.0087
5	その他の電子部品	0.0065
6	物品賃貸業（貸自動車業を除く。）	0.0065
7	民生用電子機器	0.0059
8	道路貨物輸送（自家輸送を除く。）	0.0056
9	小売	0.0031
10	都市ガス	0.0014

表 2　CO_2 排出量変化（H17-H23）

CO_2 排出量変化（H17-H23）		
順位	品目名	CO_2 排出量（t/百万円）
1	その他の電気機械	0.0268
2	その他の対事業所サービス	0.0240
3	民生用電子機器	0.0205
4	電子デバイス	0.0198
5	企業内研究開発	0.0186
6	卸売	0.0133
7	不動産仲介及び賃貸	0.0067
8	道路貨物輸送（自家輸送を除く。）	0.0056
9	産業用電気機器	0.0049
10	電気通信	0.0034

まずは表 1 から見てみる。H12 から H17 になり、最も CO_2 排出量が増加したのは「自動車部品・同付属品」であった。またその後順番に「その他の対事業所サービス」、「卸売」、「電子デバイス」というように続いている。

次に表 2 を見てみる。H17 から H23 になると、「その他の電気機械」が最も CO 排出量が増加したことがわかる。またその後を見てみると、「その他の対事業所サービス」、「民生用電子機器」、「電子デバイス」と続いていくことが分かった。これは表 1 のときと比較すると、電子に関係した品目が多く増加していることが見受けられる。これは次世代自動車の販売数が大いに増加していることと比例していると推測した。実際にプリウスを例に考察してみると、プリウスは 1997 年代にその第 1 代目が販売開始となった。そして 2003 年ごろに 2 代目プリウスが誕生し、2004 年あたり非常に多くのプリウス車が販売されるようになった。また 2009 年からは電気自動車の発売が開始され、電気自動車の販売台数も年々上昇傾向にある。

これらの次世代自動車の販売台数の増加が電子機器や電子部品といった品目の CO_2 排出量増加を誘発したと考える。

5　まとめ

本研究では、産業連関分析を用いて投入構造の変化を分析した。各年次比較すると CO_2 排出量は年々増加していることが分かった。自動車の電子化が進展している中でこの増加を減らしていくためには、CO_2 排出量の変化が大きかった電子機器や電子デバイスといった、電子に関係している品目に対して何らかのマネジメントを行う必要があると考えた。

6　参考文献

・経済産業省：ものづくりスマート化ロードマップ調査（2017），p3
・佐伯靖雄：自動車産業における電動化・電子化関連部品市場の取引環境分析（2013）
・トヨタ自動車：The MIRAI LCA レポート for communication(2015)p11
・総務省ホームページ
＜
https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200603&tstat=000001083896&cycle=0＞
・産業連関表による環境負荷原単位データブック（３EID）
＜
http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/page/data_file.htm＞

P2-007

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年３月）

観光動態の分析を通じた地域経済効果の評価

Evaluation of Regional Economic Impacts by Tourism Analysis

○岸光太郎*[1)]、加河茂美 [1)]

Kotaro Kishi, Shigemi Kagawa

1) 九州大学

*1EC16150M@s.kyushu-u.ac.jp

1.　はじめに

2017 年、訪日外国人の数は過去最高の 2869 万人を記録した（日本政府観光局、2018）。この数字は 10 年前の 2007 年が 834 万人であったのに対し、3 倍を上回る数字である。近年訪日外国人の数は加速度的な増加を示しており、2020 年の東京オリンピックの開催によって、今後もさらなる増加が見込まれる。

現在日本経済は人口減少に伴って内需が縮小しており、この訪日外国人による消費をいかに呼び込めるかが日本経済の活性化にとって重要である。

こうした状況の中、各自治体は外国人観光客をターゲットにして様々な取り組みを行っているが、訪日外国人観光客から多額の経済効果を得ている自治体もあれば、あまり得ていない自治体もある。そこで本研究は、各都道府県のおける訪日外国人観光客の平均宿泊日数と旅行消費単価に着目し、宿泊日数が旅行消費額に果たす役割について分析する。

2.　研究手法

本研究では、宿泊日数が旅行消費額に果たす役割について分析するために、以下の(1)式を用いた単回帰分析を行った。

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{it} + \varepsilon_{it} \qquad (1)$$

ここで、y_{it} は t 年に都道府県 i を訪問した訪日外国人観光客の旅行消費単価、x_{it} は t 年に都道府県 i を訪問した訪日外国人観光客の平均宿泊日数を表している。

3.　データ

観光庁による『訪日外国人消費動向調査』から、2015 年、2016 年、2017 年における 47 都道府県ごとの訪日外国人観光客の平均宿泊日数と、旅行消費単価を調査した。

表 1 は、2015 年、2016 年、2017 年に各都道府県を訪問した外国人観光客の平均宿泊日数を示したものである。表 1 から、平均宿泊日数の第 1 位は埼玉県の 4.6 泊、第 2 位は北海道の 4.5 泊であった。

表 1. 2015 年、2016 年、2017 年に各都道府県を訪問した外国人観光客の平均宿泊日数

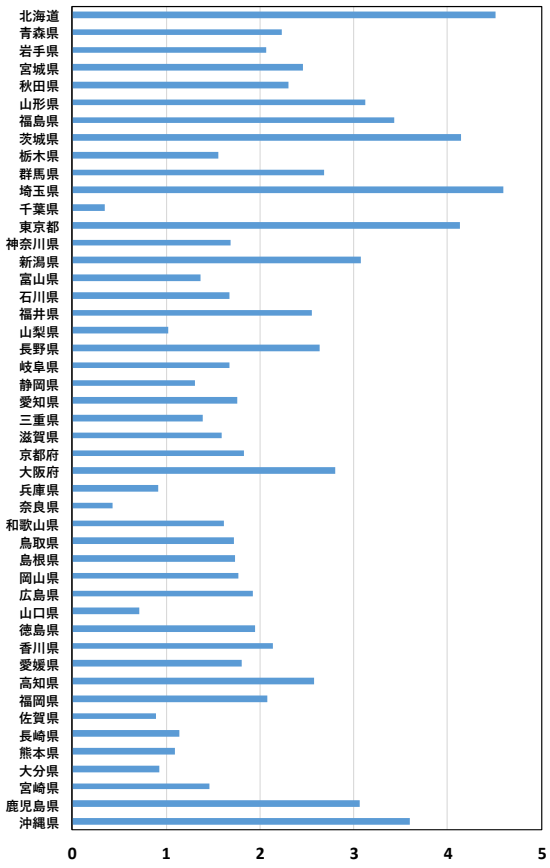
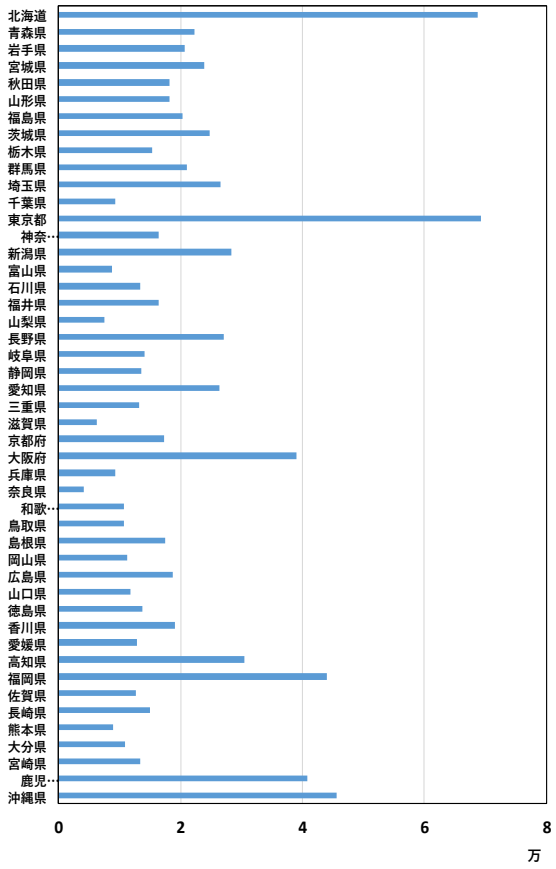


表 2 に示すのは、2015 年、2016 年、2017 年に各都道府県を訪問した外国人観光客の一人あたりの旅行消費単価である。第 1 位は東京都の 69314 円、第 2 位は北海道の 68761 円であった。

表 2. 2015 年、2016 年、2017 年に各都道府県を訪問した外国人観光客の平均旅行消費単価



上記の表 1、表 2 から、各都道府県の平均宿泊数と旅行消費単価を知ることができる。次に、両者の関係性を調べるために、(1)式について単回帰分析を行った。

4.　結果

単回帰分析を行った結果、$\beta_1 = 8909$ と推定された。その β_1 の t 値は 10.2 であり、統計的に有意なパラメーターであることが分かった。

このパラメータの推計結果は、宿泊を一泊延長した場合、一人当たりの旅行消費額が 8909 円増えるということを意味している。

また、日本政府観光局『年別訪日外客数、出国日本人数の推移』によれば、2017 年における観光目的以外も含む全訪日外国人の数は 2869 万人であり、それに『訪日外国人消費動向調査』に記載されている観光目的の割合 74.9%を掛け合わせたところ、2017 年の訪日外国人観光客数は 2149 万人と推定される。

仮に、2017 年における訪日外国人観光客 2149 万人全員が 1 泊ずつ宿泊を延長した場合、旅行消費総額は 1888 億円増加することになる。これは同年の訪日外国人旅行消費額 4 兆 4162 億円と比較して、4.3%もの増加につながることが分かった。したがって、訪日外国人観光客の宿泊数を伸ばすための取り組みを各都道府県は積極的に検討すべきである。

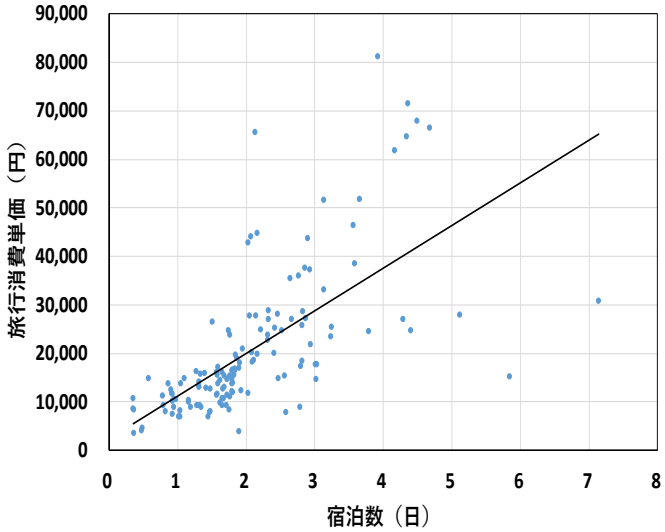


図 1.　宿泊日数と旅行消費単価の関係

引用文献

・観光庁（2015、2016、2017）『訪日外国人消費動向調査』
・日本政府観光局（2018）『年別訪日外客数、出国日本人数の推移』

P2-008

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年３月）

福島県を対象としたカーボンフットプリントの推移

Transition of Carbon Footprint in Fukushima Prefecture Using Input-Output Analysis

西尾潤也*1)、一杉佑貴 1)、伊坪徳宏 1)

Junya Nishio, Yuki Ichisugi, Norihiro Itsubo

1）東京都市大学　環境学部

* g1562048@ tcu.ac.jp

1. 背景

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震により、東北地方を中心に多大な被害を被った。また、福島第一原子力発電所を持つ福島県においては、津波被害によって原子炉の損傷が発生した結果、原発事故を引き起こすこととなった。福島県では復興計画に加えて、地球温暖化対策推進計画を震災当時から明示しており、復興と環境を視野に入れた取り組みを推進している。福島県民のエネルギーや気候変動対策に対する関心は高いものと推測されるが、消費行動と環境負荷の定量的な関係について明示するための研究は少なく、かつ、震災前後におけるカーボンフットプリントの変化についてみた研究は少ない。

2. 研究目的

本研究では福島県を対象に、震災前の 2005 年、震災当時の 2011 年、震災後の 2013 年の 3 カ年のカーボンフットプリント（以下 CFP とする。）を算出し、その推移について考察する。

また、福島県の復興計画や地球温暖化対策推進計画の成果をもとに環境負荷と経済成長の間でデカップリングが見られるか、CFP の観点から検証を行う。さらに、得られた結果を全国と比較することで、福島県との産業の移出入の関係を検証する。

3. 研究方法

3.1 評価対象項目

評価対象は福島県を研究対象とした。東日本大震災発生前後で比較することを目的として、2005 年、2011 年、2013 年における福島県の CFP を算出する。

3.2 使用データ

3.2-1）福島県、全国の使用データ

表 1 本研究において利用した主なデータの一覧

	2005 年	2011 年	2013 年
福島県	・2005 年福島県産業連関表（107 部門） ・2005 年部門別排出量と内包型原単位@3EID ・2005 年内生部門整理表@e-stat	・2011 年福島県産業連関表（107 部門） ・2011 年部門別排出量と内包型原単位@3EID ・2011 年内生部門整理表@e-stat	・2013 年福島県産業連関表（107 部門） ・2011 年部門別排出量と内包型原単位@3EID ・2011 年基準延長部門分類表@経済産業省
全国	・2005 年全国産業連関表（108 部門） ・2005 年部門別排出量と内包型原単位@3EID ・2005 年内生部門整理表@e-stat	・2011 年全国産業連関表（108 部門） ・2011 年部門別排出量と内包型原単位@3EID ・2011 年内生部門整理表@e-stat	・2013 年全国産業連関表（98 部門） ・2011 年部門別排出量と内包型原単位@3EID ・2011 年基準延長部門分類表@経済産業省

本研究で利用した主なデータの一覧を表 1 に示した。福島県 3 年分、全国 3 年分の計 6 種類の CFP を算定、比較を行う。

なお、福島県シナリオでは電力を除いて直接の排出量係数(生産額当たりの CO_2 排出量)を入手できなかったため、全国平均の値を当てはめた。

3.3 算定方法

・CFP の算定方法を図 1 に示す。

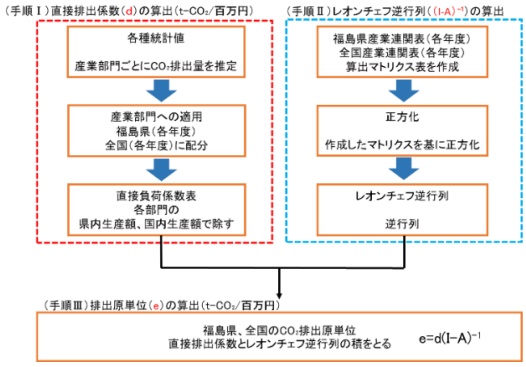


図 1 本研究の実施手順

3.4-1）CFP の算出方法

・最終需要部門（一人当たり）の算定方法

（ t-CO_2eq ）=e（t-CO_2eq/百万円）×活動量（百万円）/人口

4. 算定結果

4.1 CFP

各シナリオの GHG 排出量の CFP の算定結果を図 2 に

示す。福島県、全国ともに CFP は増加傾向にあることが分かり、6 シナリオとも CFP の上位 10 部門に変動はあまり見られなかった。電力部門が 6 シナリオで最も大きい割合を占める結果となった。福島県 2011 年、福島県 2013 年には土木建設部門、公務部門が相対的に大きいことが特徴である。建設や補修など、福島県の復興事業による影響が大きいと思われる。

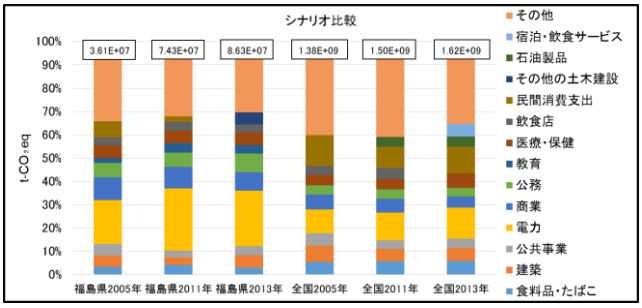


図 2 福島県と全国を対象とした CFP 算定結果と部門別内訳

4.2 最終需要部門（一人当たり）

各シナリオの GHG 排出量の最終需要の部門ごとにみた一人当たりの CFP の算定結果を図 3 に示す。福島県、全国ともに増加傾向が見られたが、福島県は 2013 年において大きな変化が見られた。政府消費と固定資本による CO_2 排出量が大幅に増加し、家計消費にある CO_2 排出量が大きく減少した。これは復興計画の実施により政府消費が増えた一方で、住民の県外移転や消費額が減少したことが要因として挙げられる。

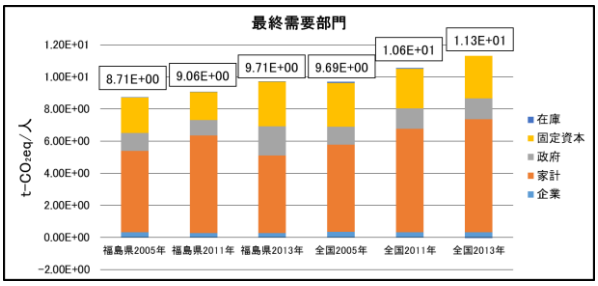


図 3 最終需要部門ごとにみた一人当たりの CFP 結果

4.3 デカップリング

福島県 3 シナリオの CFP と生産額の関係を図 5 に示す。各シナリオの産業部門を 13 にまとめ、2005 年を基準にデカップリングの検証を行った。福島県では生産額が上昇しつつ、CFP が減少している産業部門を確認することはできなかった。反対に、生産額は減少しているものの CFP が上昇している産業部門が 7 つあり、復興と環境問題の両立に向けて重要な課題となる。全国 3 シナリオを対象に同条件で行うと、生産額が上昇し、CFP が減少している産業部門が 2 つ（建築、商業）でることが確認できた。

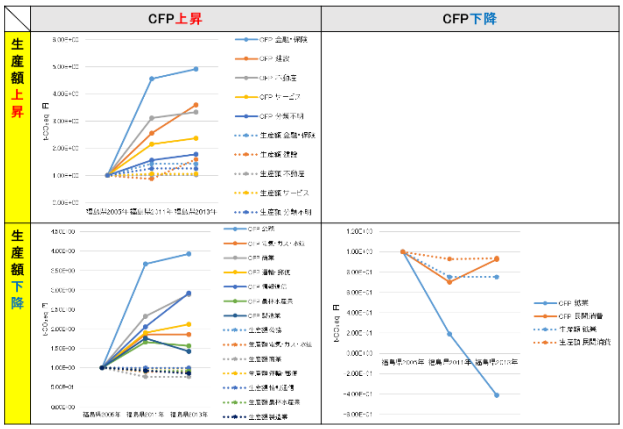


図 5 福島県 3 シナリオの CFP と生産額のデカップリング

5. 結論

本研究では、福島県と全国の各 3 年度、計 6 シナリオを対象に CFP、一人当たりの最終需要部門、CFP と生産額のデカップリングの検証を行った。CFP、最終需要部門の構成割合については福島県と全国ではあまり変化はないことが分かった。デカップリングの検証では、理想である生産額が上昇し、CFP が減少している産業部門を確認することはできなかったが、全国シナリオでは確認ができたため環境と経済のデカップリングは不可能ではないと言えるだろう。

参考文献

福島県産業連関表
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11045b/17023.html>
総務省統計局
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/kihon1/00/01.html>

P2-009

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

木橋及び木製魚礁の気候変動緩和ポテンシャル

Climate change mitigation potential of wooden bridge and wooden reef

○野間菜々子*[1)]、加用千裕[2)]、橋本征二[1)]

Nanako Noma, Chihiro Kayo, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学　2) 東京農工大学

* rv0054hp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

木材は、製品として炭素を貯蔵するとともに、炭素強度の高い材料を代替することで CO_2 排出を削減することができるほか、廃棄される木くずで化石燃料を代替すれば、さらに排出量を削減できる等の特徴がある。これらのことから、木材の利用を進めることが、地球温暖化防止に貢献するとされる。Kayo and Noda[1)]は、2018 年から 2050 年を対象に、木杭・木製治山ダム・歩道チップ舗装・木製ガードレール・木製遮音壁の利用による土木分野での気候変動緩和ポテンシャルを推計しているが、他にも木材が活用できる土木構造物がある。本研究では、木橋及び木製漁礁を対象として、木材利用による気候変動緩和ポテンシャルを評価した。

2. 方法

2.1 対象期間と導入ポテンシャルの検討

2018 年から 2050 年[1)]を対象とした。2017 年における木橋及び木製魚礁の導入量は 0 と仮定し、2050 年における最大導入ポテンシャルをシナリオ 1、現実的な導入ポテンシャルをシナリオ 2 とし、2018 年から 2050 年はシグモイド曲線により徐々に普及するものとした。

2.2 炭素貯蔵効果の推計

土木構造物に使用された木材に貯蔵される炭素量($t\text{-}CO_2$)の変化を推計した。具体的には、木材利用量(m^3/年)に寿命関数を乗じる方法を用いて木材ストック量(m^3)を算定し、これに容積密度(t/m^3)、炭素含有(t-C/t)、CO_2 への換算係数($t\text{-}CO_2$/t-C)を乗じることで推計した。

2.3 材料代替効果の推計

多くの土木構造物はコンクリート・鉄鋼材でできているが、これらの代わりに木材を使用した場合の温室効果ガス削減量($t\text{-}CO_{2eq}$)を推計した。具体的には、コンクリート・鋼製の $LCCO_{2eq}$ と木製の $LCCO_{2eq}$ の差を導入ポテンシャルに乗じることで推計した。木橋の $LCCO_2$ は文献[2)]を参考に、木製魚礁の $LCCO_2$ は独自に算出した。

2.4 エネルギー代替効果の推計

木製構造物を建設する際および廃棄する際に排出される木くずを、化石燃料の代わりに使用した場合の温室効果ガス削減量($t\text{-}CO_2$)を推計した。具体的には、重油の $LCCO_2$/J と木くずの $LCCO_2$/J の差を木くず量(J)に乗じることで推計した。

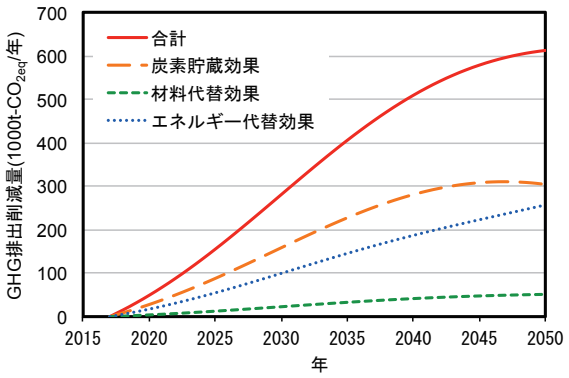


図 1 木橋の気候変動緩和効果(シナリオ 1)

3. 結果と考察

ここでは、木橋の検討結果について報告する。橋梁は強度が必要となるため、橋長は 2～15m が適しているとされる[3)]。平成 29 年度の 2～15m の橋梁は合計 2,287 千 m 存在することから[4)]、寿命 30 年の場合の毎年の架け替え長は平均して 76 千 m/年となる。シナリオ 1 では 2050 年にこの全てを木橋に、シナリオ 2 では 2050 年にこの 10%(7.6 千 m/年)を木橋として架け替えることとした。

シナリオ 1 では(図 1)、2050 年の炭素貯蔵効果が約 300 千 $t\text{-}CO_2$/年、材料代替効果が約 50 千 $t\text{-}CO_{2eq}$/年、エネルギー代替効果が約 260 千 $t\text{-}CO_2$/年になると推計された。合計では約 610 千 $t\text{-}CO_{2eq}$/年であり、既存研究のシナリオ 1[1)]と比較すると、木杭及び木製ガードレールの効果(それぞれ約 5,500、1,000 千 $t\text{-}CO_{2eq}$/年)は下回るものの、木製治山ダム・歩道チップ舗装・木製遮音壁の効果の合計(約 460 千 $t\text{-}CO_{2eq}$/年)を上回る結果となった。しかしながら、実際にどれだけ既存橋を置き換えられるかが課題であり、シナリオ 2 では約 61 千 $t\text{-}CO_{2eq}$/年の効果となる。

参考文献

1) Kayo, C., Noda, R.: Climate change mitigation potential of wood use in civil engineering in Japan based on Life-Cycle Assessment, Sustainability, 10(2), 561, 2018

2) 橋本征二ら：防腐処理木材のライフサイクルアセスメント～木橋のケーススタディー～、土木学会論文集、30、45-56、2004

3) 外崎真理雄：木材利用実績及び土木における利用ポテンシャル、2009 年度木材における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書、土木学会木材工学特別委員会、63-74、2010

4) 国土交通省：道路統計年報 2017、http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html

P2-010

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

都市のコンパクト度と物質ストック量・物質ストック利用効率の関係

Relationship between the degree of urban compaction and material stock / material stock use efficiency

○長谷川裕之*[1)]、奥岡桂次郎[2)]、谷川寛樹[2)]、橋本征二[1)]

Hiroyuki Hasegawa, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学　2) 名古屋大学大学院

* rv0054ef@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

今後の人口減少の動向を受けて、都市マスタープランや立地適正化計画を軸にコンパクトシティに関する政策が進められている。一方、資源の消費を抑制し、限りある資源を有効に使用するため、フロー型社会からストック型社会への転換が求められている。コンパクトシティ化とストック型社会への転換は相乗効果をもたらすことが期待されるが、これらの関係は必ずしも明確ではない。このようなことから本研究では、近畿府県の市町村を対象に「都市のコンパクト度」と「物質ストック量・物質ストック利用効率」の関係を明らかにすることを試みた。

2. 方法

2.1　対象市町村の選定方法

コンパクトシティの基本要素の一つとして、都市群を公共交通ネットワークで結ぶ都市圏がある。本研究では、この要素をもとに、第 5 回近畿圏パーソントリップ調査の設定地域毎に、人口を基準として対象市町村を選定した。

2.2　都市のコンパクト度の評価方法

既存文献[1)]を参考に、10 の指標（人口集中度、形状まとまり度、人口密度、就業者数居住者数比、大型店舗集積度、公共公益的施設アクセス性、鉄道駅勢圏カバー率、生活利便施設カバー率、文化的要素密度、公共文化教育施設密度）を用いて対象都市のコンパクト度を評価した。各指標を標準化し、その総和をもって対象都市のコンパクト度とした。

2.3　都市の物質ストック量・利用効率の評価方法

物質ストック量については、Tanikawa ら[2)]の物質ストックデータベースを用いて建築物と道路を評価した。物質ストック利用効率については、八柳ら[3)]と山下ら[4)]を参考に、ストックが発揮している機能を設定し、それを物質ストック量で除することで評価した。

2.4　都市のコンパクト度と物質ストック量･物質ストック利用効率の関係の分析方法

対象都市のコンパクト度を横軸、物質ストック量・物質ストック利用効率を縦軸にとり、相関関係の有無と要因を分析した。このとき、クラスター分析を用いて対象都市のグループ分け等も実施した。

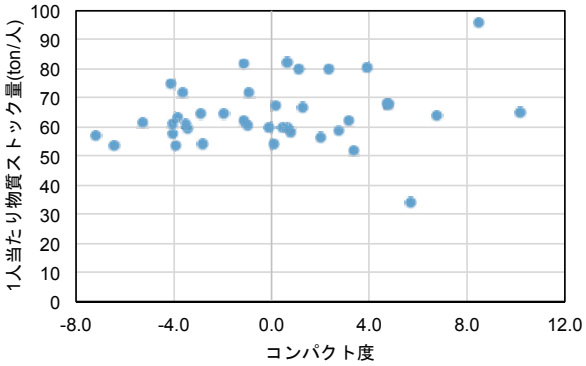


図１　都市のコンパクト度と１人当たり物質ストック量の関係

3. 結果と考察

図 1 に示すように､選定された 43 市町村のコンパクト度と 1 人当たり物質ストック量には、関係性が見られない結果となった｡縦軸を物質ストック利用効率（例えば、GDP/物質ストック量）とした場合も同様であった。コンパクトシティ化を進めても、都市の物質利用を効率化することには必ずしも繋がらないことを示唆する結果である。なお、物質ストック量と GDP の間には正の相関が見られた。物質ストックが多い都市は経済活動もより活発なためと考えられる。都市のコンパクト度と GDP については相関が見られなかったが、コンパクト度が低く GDP が高い市町村はなかった。

謝辞：本研究は、環境経済の政策研究 IV による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 武田裕之ら：コンパクトシティ指標の開発と都市間ランキング評価－39 人口集中地区の相互比較分析、 日本建築学会論文集、76(661)、pp.601-607、2011
2) Tanikawa,H. et al.: The weight of society over time and space: A comprehensive account of the construction material stock of Japan, 1945–2010, Journal of Industrial Ecology, 19(5), pp.778-791, 2015
3) 八柳有紗、橋本征二：ストック型社会に向けた蓄積物質使用効率の評価～建設物のケーススタディ、第 43 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.217-222、2015
4) 山下剛弥ら：マテリアルストックデータベースの拡充とストック利用効率の検討、土木学会論文集 G(環境)、71(6)、pp.II_319-II_327、2015

P2-011
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

自治体の規模を考慮した災害廃棄物処理システムの構築方法の検討
～和歌山県におけるケーススタディ～

Development of a method for disaster waste management systemconsidering the scale in local municipalities -Case study in Wakayama Prefecture-

○橋本誠悟*[1)]、田畑智博[1)]、鶴巻峰夫[2)]
Seigo Hashimoto, Tomohiro Tabata, Mineo Tsurumaki
1)神戸大学、2)和歌山工業高等専門学校
* hashimoto9636@gmail.com

1.　はじめに

大規模自然災害で発生した災害廃棄物の迅速な処理は、被災地が早期に復興に着手するための重要な課題である。各自治体が策定する災害廃棄物処理計画では、災害廃棄物の広域処理が推奨されているが、受入側自治体や住民の理解度が低く、その効果が具体的に示されていないといった課題が山積している。加藤[1)]は、災害廃棄物の広域処理において、根拠を元にしたリスクコミュニケーションが受け入れ側との対話に必要であると論じている。受け入れ側の協力を得るためには、具体的な根拠を元に広域処理の必要性を議論する必要がある。本研究は、南海トラフ大地震による和歌山県の被害を想定し、本県での災害廃棄物の迅速な処理に向けての課題を明らかにし、費用・環境負荷の少ない効果的な処理システムを構築することを目的とする。また、広域処理の実施による費用・環境負荷への影響等を明らかにすることで、広域処理による効果を定量的に示し、必要性を確認するための決定材料を提示するための方法を構築することを目指す。

2.　研究の方法

2.1 災害廃棄物発生量の推計

図 1 に災害廃棄物発生量の推計フローを示す。基本情報は内閣府[2)]の情報を利用して計算した。建物は住宅や施設を対象とし、対象の被害は、揺れ、津波、液状化、土砂災害の 4 種である。各種被害に対して建物の倒壊確率を算出し、重複のないように 1 つにまとめた後に建物の資材ストック量資材ストック原単位[3)]より推計)を乗じることで、各建物の災害廃棄物発生量を算出した。地理情報システム(GIS)を用いて、発生場所の空間分布を可視化した。

2.2 仮置き場、処理施設の設定

仮置き場については、学校のグラウンドや都市公園を仮置き場候補地とし、災害時の避難場所として設定されている箇所を除いた上で 7 割を仮置き用地として確保できると仮定した。積み上げ高さは、安全を考慮して 3m とした[4)]。また、災害廃棄物発生量に対して仮置き場容量が不足する場合は、その他空き地を候補地として追加して容量を補った。供給箇所とその面積は、災害廃棄物発生量の推計と同様、GIS を用いて求めた。

処理施設は一般廃棄物処理施設と産業廃棄物処理施設が災害廃棄物の処理の一部を請け負うと仮定した。処理施設の情報は、和歌山県[5)]の廃棄物処理計画から入手した。施設の災害時の処理能力は、平時の処理実績量に分担率を乗じることで算出した。処理期間は和歌山県における災害廃棄物処理計画が定める 3 年を適用し、比較を行った。

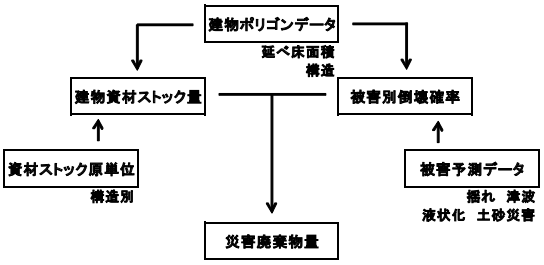


図 1　災害廃棄物発生量の推計フロー

2.3 処理を行う自治体の規模設定

一般的に、災害廃棄物の処理は広域処理が推奨されている。広域処理は余裕のある自治体が他の自治体の廃棄物の処理を請け負い、処理を一本化することにより無駄が省ける利点がある。それを踏まえて、和歌山県において災害廃棄物の処理を行う自治体の規模をいくつか設定した。

3.　結果と考察

建物由来の災害廃棄物発生量の推計結果は図 2(a)のような配置で、沿岸部を中心に合計約 2,600 万 t となった。次に、仮置き場は和歌山県内に 377 か所(図 2(b))選定された。災害廃棄物は最寄りの仮置き場に輸送され、容量を超えた場合は余裕のある仮置き場に送られると仮定し、それぞれ配分した。廃棄物処理施設は焼却施設が 18 件、その他処理施設(破砕・選別等)が 78 件

の計 96 件となった。

災害時の廃棄物処理施設の能力と災害廃棄物発生量との比較を行った(図 3)。その結果、災害廃棄物を 3 年以内に処理するためには、焼却施設の処理能力が木質系廃棄物の発生量に対し約 64 万 t 分不足することがわかった。これを回避するため、余剰面積の大きい仮置き場に仮設焼却炉を設置することで焼却能力を補った。

処理を行う空間範囲は、県内処理を前提として、市町村単位での単独処理、都市計画における分類および都市雇用圏における分類から導いた 6 つのブロック単位での広域処理(図 4)、県全体での広域処理の 3 段階を設定した。例えば、木質系廃棄物の焼却を 3 年以内に完了するために必要となる仮設焼却炉(処理能力 100t/日)の基数は、市町村単位とブロック単位でそれぞれ 33 基、16 基となる。仮設焼却炉の配置の変化に伴い、仮置き場から処理施設までの最短距離が変化する。ArcGIS を用いて総距離を試算した結果、市町村単位で 209 万 km、ブロック単位で 321 万 km となった。広域処理を行うことで仮設焼却炉の建設コストを抑制できる一方で、処理の一極化に伴う輸送コストの増大が生じることが示唆された。ただし、他にも道路の損壊や炉の方式等、考慮するべき内容が多い。広域処理の具体的な効果を示すために、より詳細かつ現実に則した定量化が必要である。

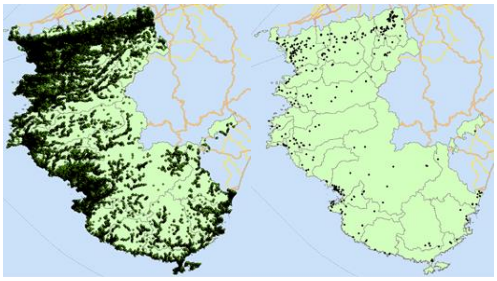
4.　おわりに

今回の結果から、焼却施設の不足により、県内で 3 年以内の処理完了のためには、仮設焼却炉の設置が必要不可欠となることが示唆された。また、仮設焼却炉の設置の方法、処理規模の変化によって輸送距離に変化が生じることが示された。今後は、被害の大きさや道路の損壊状況などの変化を想定したうえで広域処理の実施によるコストおよび環境負荷の変化を推測することにより、災害時における広域処理の効果を示すことを予定している。

引用文献

1)　加藤 勝：日本評価研究 12, pp. 3_15-3_25, (2013)
2)　内閣府：南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/2_2.pdf
3)　谷川寛樹・平川隆之・韓 驥等：環境システム研究論文発表会講演集 39, pp. 401-406, (2011)
4)　国立環境研究所：災害廃棄物情報プラットフォーム, http://dwasteinfo.nies.go.jp/
5)　和歌山県：第 4 次和歌山県廃棄物処理計画, https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/031800/shorik

eikaku4/keikakusakutei.html

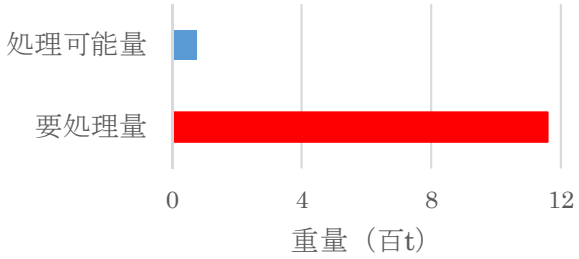


(a) 災害廃棄物の分布 (b) 仮置き場の分布

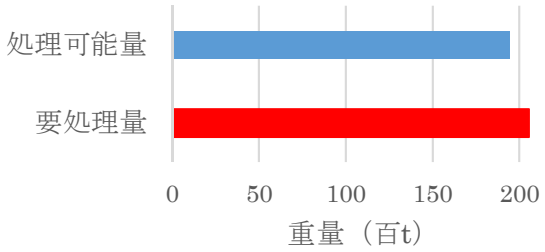
図 2　空間分布を考慮した推計結果

表 1　災害時の処理施設の処理可能量

処理施設		処理可能量 (t)
一般廃棄物処理施設		77, 005
産業廃棄物処理施設	破砕施設	19, 467, 843
	圧縮施設	243, 154
	焼却溶融施設	30, 402



(a) 木質系廃棄物



(b) がれき類

図 3　災害廃棄物の要処理量と処理可能量の比較



図 4　和歌山県のブロック分け

P2-012

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

走行モードの違いによるパワートレインの優位性を考慮した自動車のライフサイクル評価

Life Cycle Inventory of Vehicles in Consideration of Superiority of Powertrains by the Difference in Driving Modes

○岩井　凌*1)、栗島英明 1)

Ryo Iwai, Hideaki Kurishima

1）芝浦工業大学

* ab14016@shibaura-it.ac.jp

1. 研究背景と目的

通常，自動車のカタログ燃費は，定められた走行モードを基準にしており，実走行の燃費とは異なっている．工藤ら(2008)は，給油ログデータを用いて 10・15 モードの燃費と実走行燃費を比較し，分析している [1]．また，パワートレインの燃費(電費)の優位性は，走行状況により変化する．中田ら(2018)は，シミュレーションを用いてパワートレインごとに 4 つの走行パターンの燃費特性を分析している [2]．自動車のライフサイクル CO_2 は，走行段階の占める割合が大きいため，その評価にあたっては走行状況の違いを考慮する必要がある．

そこで本研究では，ガソリン車，電気自動車，ハイブリッド車の 3 つのパワートレインの仮想車両を用いて，独自に設定した走行モードによるシミュレーションを行い，その結果をもとにパワートレインごとの自動車のライフサイクル評価を行う．

2. 研究方法

2.1 仮想車両の設定

ガソリン車，電気自動車，ハイブリッド車の 3 つの仮想車両の諸元を表 1 に示す．

表 1　仮想車両の諸元

	ガソリン車	ハイブリッド車	電気自動車
最大出力	92.1kW/5300rpm		100kW
最大トルク	205.4N-m/2300rpm		290N-m
駆動方式	FF		
全長×全幅×全高	4265×1800×1480		
車両総重量	1320kg	1400kg	1670kg
減速比	4.437		3.608
タイヤサイズ	205/55R16		

2.2 走行モードの作成

本研究では，実際に首都圏の様々な道路を走行して，GPS アプリにより 1 秒ごとの速度データを測定・記録し，それをベースに低速，中速，高速，超高速の 4 つのコースを作成する．図 1，2 に低速と高速の速度履歴を示す．

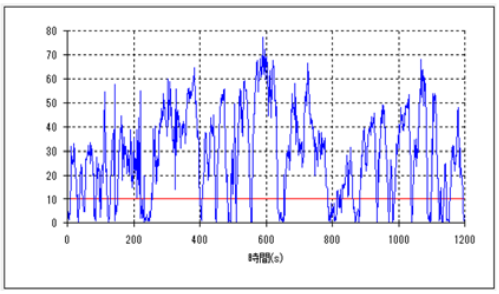


図 1　低速コース

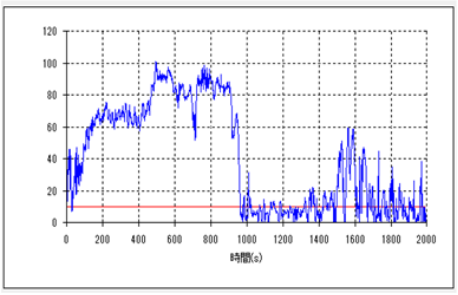


図 2　高速コース

2.3 製造段階の CO_2 排出量の推計

製造段階の CO_2 排出量は，公表されているメーカーのデータ [3][4][5] をもとに簡易的に推計する．

2.4 走行段階の CO_2 排出量の推計

走行段階の CO_2 排出量は，走行性能・燃費シミュレーションソフト DRIVESIM を用いる [6]．シミュレーションで求めた燃費，電費の値を用い，走行段階の CO_2 排出量を推計する．排出係数は，ガソリンは環境省(2017)[7]，電力は東京電力(2016)[8]の値を使用した．

2.5 ライフサイクル CO_2 の算出

上記を踏まえ、走行モードを反映した各パワートレインの LC-CO_2 を算出した．

3. 研究結果

製造段階の CO_2 排出量を表 2 に示す．

走行シミュレーションによって推計された低速コースと

高速コースの燃費，電費と CO_2 排出量を表 3，4 に示す．

表 2　製造段階の CO_2 排出量

	CO_2 排出量(t)
ガソリン車	4.4
ハイブリッド車	6.4
電気自動車	9.8

表 3　低速コースの結果

	燃費(km/L) 電費(km/kWh)	CO_2 排出量 (kg-CO_2/km)
ガソリン車	11.63	0.199
ハイブリッド車	34.7	0.0669
電気自動車補機なし	9.25	0.0525
電気自動車補機あり	7.00	0.0694

表 4　高速コースの結果

	燃費(km/L) 電費(km/kWh)	CO_2 排出量 (kg-CO_2/km)
ガソリン車	17.0	0.137
ハイブリッド車	26.52	0.0876
電気自動車補機なし	7.99	0.0608
電気自動車補機あり	7.02	0.0692

以上の結果を踏まえて LC-CO_2 を算出する．低速コースと高速コースの結果を図 3，4 に示す．なお，走行距離は 10 万 km とし，全て同じモードで走行したと仮定している．

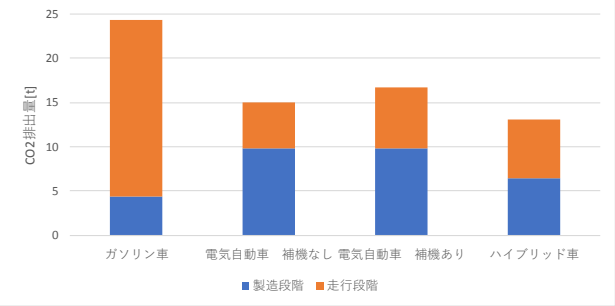


図 3　低速コースの LC-CO_2

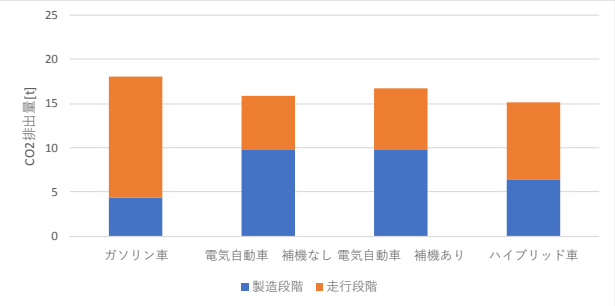


図 4　高速コースの LC-CO_2

4. 考察と結論

以上のように走行モードの変化により，燃費，電費は大きく変化した．それによってハイブリッド車や電気自動車は，高速走行が多いケースでは，ガソリン車との CO_2 排出量の差が小さくなった．本研究では，走行段階の CO_2 排出量をシミュレーションにより推計したが，これは理想的な運転状態であり，実際にはより排出量が増えるものと予想される．また，電気自動車では，補機の使用の有無が電費や CO_2 排出量に大きく影響した．製造段階の CO_2 排出量は，ガソリン車に比べてハイブリッド車や電気自動車が多いため，走行条件(高速走行の割合が多い，補機を多く使用する，走行距離が短い場合等)によっては，ライフサイクル全体での CO_2 排出量が逆転する可能性がある．

現状では，電気自動車やハイブリッド車が「エコカーである」というイメージが定着し，利用形態を踏まえたパワートレインの選択はほとんど行われていない．今後はこうしたパワートレインごとの特性を販売者・購入者が理解し，利用形態に即した自動車を選択することが，自動車由来の CO_2 削減にさらに有効であると考える．

引用文献

1) 工藤祐揮，松橋啓介，近藤美則，小林伸治，森口祐一，八木田浩史：日本エネルギー学会誌，87(11)，(2008)，pp 930-937
2) 中田凌，長沼要，小林祐範：自動車技術会論文集，49(1)，(2018)，pp 101-106
3) Volkswagen A.G.：“The Golf: Environmental Commendation Background Report”，入手先<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779580640224/L7_2_101129_VW_HB_Golf_GB.pdf>，(参照 2018-11-29)
4) 日産自動車株式会社：“電気自動車「日産リーフ」のライフサイクル CO2 排出量評価”，入手先<https://www.nissan-global.com/JP/ENVIRONMENT/CAR/LCA/>，(参照 2018-11-29)
5) トヨタ自動車株式会社：“プリウスの LCA 評価”，入手先< https://toyota.jp/catalog/prius_main/book/?padid=ag341_tjp_wcata_prius_main_d#target/page_no=60>，(参照 2018-11-29)
6) 松尾典孝：自動車走行性能・燃費シミュレーションソフト DRIVESIM11.2，http://www2.wbs.ne.jp/~mec/DRIVESIMCAT90.htm
7) 環境省：“温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン ver.1.0”，入手先<https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/guideline.pdf>，(2017)
8) 東京電力：2016 年度の CO2 排出係数の報告について，入手先<http://www.tepco.co.jp/ep/notice/pressrelease/2017/1447610_8662.html>，(参照 2018-11-29)

P2-013
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

北海道三笠市における屋根融雪に利用可能な未利用エネルギーの検討

Study on Potential of Unutilized Energy to Roof Snow Melting in Mikasa City, Hokkaido

○大島隆宏*1)、栗島英明 1)
Takahiro Ohshima, Hideaki Kurishima
1) 芝浦工業大学
* ab13013@shibaura-it.ac.jp

1. 序論

1.1 研究背景と目的

北海道をはじめとする積雪地域では、例年多くの雪による人的被害・住家被害が生じており、特に高齢者が屋根の雪下ろし等の除雪作業中に命を落とす事例が多い。高齢化や人口減少が進む中、事故の削減や除雪負担の軽減が必要である。こうした課題に対応する技術システムとして、センサーで降雪を感知し、電熱や温水、温風を用いて自動で融雪を行う屋根融雪システムがある。しかし、積雪地域では、すでに暖房用に多くのエネルギーを消費しており、融雪システムによるさらなるエネルギー消費は、CO_2 排出量やコストの増加が懸念される。そこで、現在は未利用のエネルギーを屋根融雪に利用することが考えられる。

屋根融雪システムへの未利用エネルギーの導入についての既往研究は、管見の限り見当たらない。しかし、屋根融雪に類する技術であるロードヒーティングへの未利用エネルギー導入について既往研究がある。石田ら(2001)は、福島県猪苗代湖の湖水熱をヒートポンプで回収し、融雪に利用する実証実験を行い、路面融雪へ供給される熱量の 75%を湖水熱でまかなうことが可能であることを示した [1]。鉄建建設株式会社(2007)は、地中熱利用システムと暖房排熱利用システムを合わせることで低コスト、高効率を両立する無散水融雪システムを開発している [2]。両システムともに、熱交換パイプを直接路盤内部に設置し、未利用の熱源から得た熱を循環水から放熱させ融雪を促すものであり、運転に必要なエネルギーは循環ポンプ運転時に消費される電力だけであるため、従来のシステムに比べてエネルギー消費量・CO_2 排出量の削減につながっている。

そこで本研究では、融雪に必要となるエネルギー量や対象地域における地域特性を考慮したうえで、従前よりもエネルギー消費量・CO_2 排出量の削減が期待される未利用エネルギーを熱源とした屋根融雪システムを検討する。

1.2 研究対象地域

本研究の対象地域である北海道三笠市は、かつて製炭業で栄えたが、炭鉱閉山後は人口減少・高齢化が進んでいる。また、特別豪雪地帯に指定されており、例年多くの降雪があり、除雪作業の負担が大きい。

一方、屋根融雪の対象施設とした三笠市立博物館付近には、地下 12m 付近に地下水、650m ほど離れた旧炭鉱(奔別炭鉱)立坑に坑内水という 2 つのエネルギーソースがある。市による調査時の地下水の水温は 15.1℃、流量 70L/min であり、坑内水の水温は 30℃、流量 0.6t/min となっている。

2. 研究方法

三笠市の未利用エネルギーについて現地調査・インタビューを行うとともに、気象庁の過去気象データベースより過去 10 年間で最も降雪の多い年度の降雪時期の気象データを取得する。

取得した気象データをもとに融雪部のモデル化を行い、融雪に必要なエネルギー量について推定する。

推定された必要エネルギー量と当該地域の地域特性を踏まえ、屋根融雪システムに利用可能な未利用エネルギーの調査を行う。

未利用エネルギーを熱源として利用する屋根融雪システムと、従来の化石燃料・系統電力を熱源として利用する屋根融雪システムを比較し、その結果を考察する。

3. 結果

3.1 融雪に必要な熱量

融雪熱量の導出には、融雪システムの最大必要熱量を求める W.P.Chapman の式を使用した [3]。三笠市の気象データについては、過去 10 年間で最も雪の多かった 2011 年度(2011/11/1～2012/3/31)のものを使用した [4]。以上の条件から導出された必要熱量を図 1 に示す。

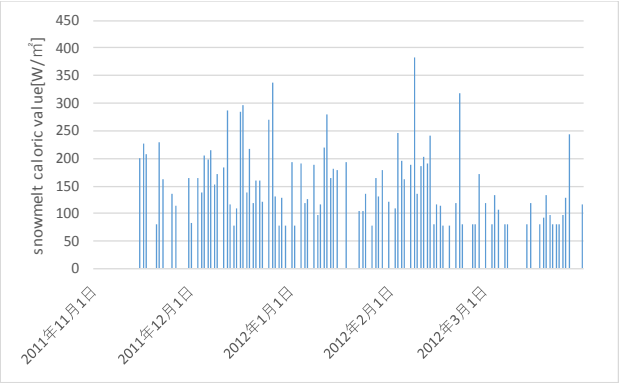


図 1 融雪に必要な熱量

3.2 融雪システムのエネルギー消費量・CO_2 排出量

電熱線利用の従来型屋根融雪と、地下水利用型および坑内水利用型の 2 つのタイプの屋根融雪とで比較を行った。なお、融雪屋根面積は 90 ㎡とした。従来型と地下水利用型のエネルギー消費量の比較結果を図 2、CO_2 排出量を図 3 に示す。また、従来型と坑内水利用型のエネルギー消費量の比較結果を図 4、CO_2 排出量を図 5 に示す。

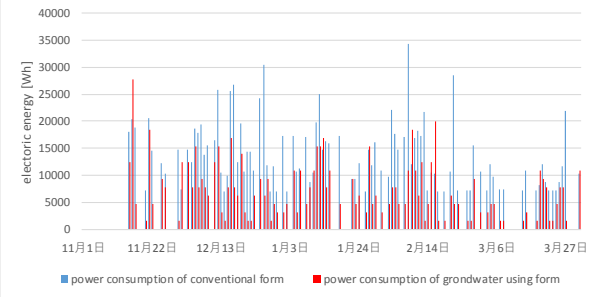


図 2　従来型、地下水利用型の消費エネルギー

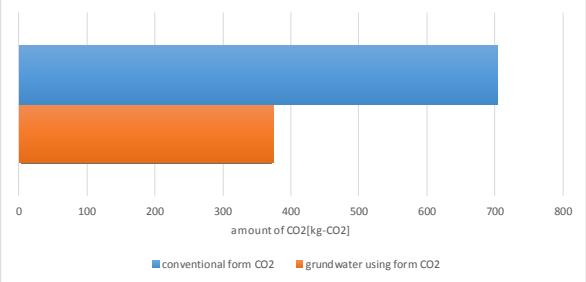


図 3　従来型、地下水利用型の CO_2 排出量

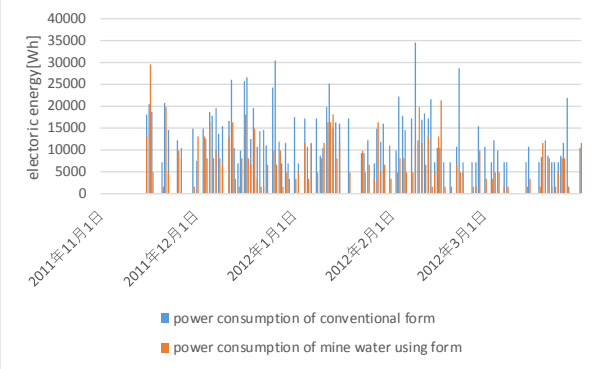


図 4　従来型、坑内水利用型の消費エネルギー

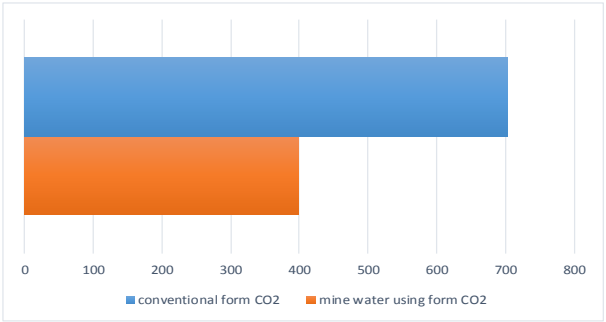


図 5　従来型、坑内水利用型の CO_2 排出量

4. 考察と結論

地下水利用型は、従来型に比べて約半分のエネルギー消費量と CO_2 排出量となった。坑内水利用型は、融雪に必要なエネルギー量から、必要水量 3L/min であることとクローズドループであることから流速を早く保つ必要がないと考えたため、エネルギー消費量、CO_2 排出量ともに、地下水利用型とほぼ同様の結果となった。以上より、地下水利用型、坑内水利用型ともに、従来型に比べてエネルギー消費量や CO2 排出量の削減につながる可能性があることが示された。

しかしながら、今回の検討では積雪期における融雪時のエネルギー消費量と CO_2 排出量を検討したが、地下水利用型であれば採熱井戸の掘削、坑内水利用型であれば坑内水の搬送設備の設置等が必要となるため、システムの施工時のエネルギー消費量や CO_2 排出量についても併せて検討する必要がある。

また、地下水の水温・流量から推計されるエネルギーポテンシャルは、今回の対象施設 50 棟分の融雪熱量に相当し、坑内水の水温・流量から推計されるエネルギーポテンシャルは、対象施設 500 棟分の融雪熱量に相当する。そのため、まずは館内暖房など他の用途で利用したうえで、残りの温度差エネルギーを用いて融雪を行うなどの熱のカスケード利用についても検討する余地があると考える。

引用文献

1) 石田悦一, 高橋敏彦, 石津健司: 日本雪工学会誌, 17(1), (2001), pp40-43

2) 鉄建建設株式会社: “地中熱並びに暖房排熱を利用した無散水融雪システムを開発”, 入手先< http://www.tekken.co.jp/cms/whats/20080212_193248w5xA.pdf >, (2008), (参照 2018-6-21)

3) ユニカーボン株式会社: “技術資料(熱量計算)”, 入手先<http://unicarbon.co.jp/data/doc_calc.pdf>, (参照 2018-6-21)

4) 気象庁: “過去の気象データ検索”, 入手先<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (参照 2018-11-1)

P2-014
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

長野県大町市の活性化を目指した水資源利用戦略の検討

Investigation of Water Resources Utilization Strategy Aimed at Revitalization of Omachi-City, Nagano Prefecture

○伊吹将司*[1)]、磐田朋子[1)]
Masashi Ibuki, Tomoko Iwata
1) 芝浦工業大学
* br15013@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

近年日本では、少子高齢化や人口減少という構造変化の下、多くの地域で緩やかながらも生産年齢人口の減少が続いている。働き手の減少は、地域の持っていた所得を稼ぐ力、付加価値創造力が失われることを意味する。こうした慢性的な人口減少問題の弊害を受ける地域経済の現状を踏まえ、立て直しに向けた取組について検討しなければならない。

本研究は、長野県大町市を対象とした。大町市は、2016 年の全国平均高齢化率 27.3%を上回る 35.3%であり、社会動態も含め人口減少に歯止めがかっておらず、地区別 に見ると中心市街地や中山間地域の人口減少が顕著であり、日本創成会議 が指摘した消滅可能性都市にもリストアップされている。地域経済を立て直すために、大町市では観光に着目しているが、現在は黒部ダム、白馬村、安曇野市など市域周辺への通過型の観光が主であり、市内拠点への立ち寄りが少ない状況にある。そのため、大町市は地域特性を活かした独自の取り組みとして、地域の未利用エネルギーを活用した新たな観光ルートを開拓することを検討している。

本研究では、地域の未利用エネルギー資源に関する利用可能量評価に基づき、大町市が検討している新たな観光ルートでの活用可能性や、高齢者の暮らしやすい環境を提案することを目的とした。

2. 手法

2.1 使用データ

長野県大町市の上白沢・白沢導送水管路において 2016 年 4 月から 2017 年 3 月の間に計測されたエネルギーデータを用いた。

本研究では、水道管を活用したマイクロ水力発電の導入について検討した。水道管を活用することにより、一定の水量を確保することができ、年間を通して安定した発電量を確保することできると考えたためである。また、市街地に近く、水源の終着地点であり最大落差を得られることから上白沢水系第二配水池・白沢低区配水池を選定した。

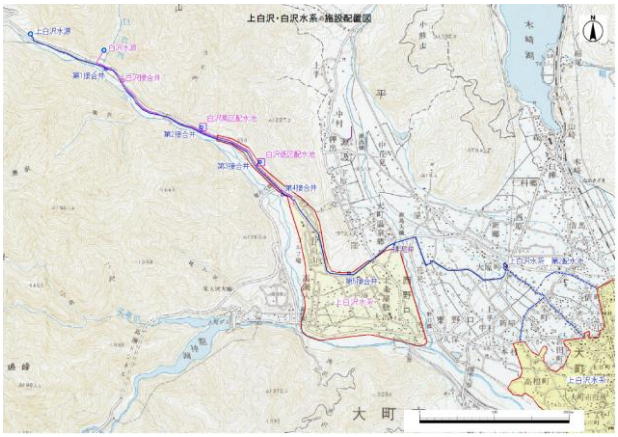


図 1 上白沢水系・白沢水系　施設配置図

2.2 マイクロ水力発電により期待される発電量

マイクロ水力発電の計算式として以下の式を用いた。

・発電電力(kW)=有効落差(m)×流量(m^3/s)×重力加速度(m/s^2) ×総合効率(%)･･･(1)

・有効落差=総落差(m)-損失落差(m)･･･(2)

・年間発電量(kWh)=発電電力(kW)×8760(h)×設備利用率(%)･･･(3)

損失落差はヘーゼン･ウィリアムの公式を用いて算出した。

・損失落差(h)=$5.47755\times10^{-3}\times C^{-1.85}\times D^{-4.87}\times Q^{1.85}\times L$･･･(4)

ただし、C:　流速係数
D:　管径(mm)
Q:　流速(m^3/min)
L:　管長(m)

なお、本研究では、流速係数 130、設備利用率 80%、総合効率 60%、上白沢水系第二配水池　総落差 37.3(m)、白沢低区配水池　総落差 57.1(m)を用いた。上白沢水系第二配水池における損失落差は 3 管の合計である。

表 1、表 2 より上白沢水系第二配水池では 7 月の発電量 6003(kWh)で最も高く、2 月の発電量 5204(kWh)で最も低い値になることが予想された。

また、白沢低区配水池では 12 月の発電量 3296(kWh)で最も高く、2 月の発電量 2976(kWh)で最も低い値になることが予想された。

表 1 上白沢水系第二配水池における月別・年間発電量

	流量(㎥/s)	有効落差(m)	発電電力(kW)	発電量(kWh)
4月	0.08	21.4	9.90	5699.63
5月	0.08	22.3	10.05	5980.62
6月	0.07	24.7	10.08	5808.28
7月	0.07	25.4	10.08	6002.52
8月	0.06	26.9	9.99	5948.64
9月	0.06	28.7	9.54	5496.31
10月	0.06	28.7	9.55	5682.58
11月	0.05	29.9	9.24	5322.85
12月	0.06	28.1	9.72	5782.76
1月	0.06	29.2	9.45	5622.78
2月	0.06	28.2	9.68	5204.52
3月	0.06	29.1	9.43	5613.37
年間				68164.85

表 2 白沢低区配水池における月別・年間発電量

	流量(㎥/s)	有効落差(m)	発電電力(kW)	発電量(kWh)
4月	0.02	49.6	5.44	3136.06
5月	0.02	50	5.35	3181.41
6月	0.02	49.9	5.39	3107.43
7月	0.02	49.4	5.46	3252.06
8月	0.02	49.1	5.53	3290.95
9月	0.02	49.6	5.46	3147.79
10月	0.02	49.3	5.49	3266.67
11月	0.02	49.3	5.52	3179.13
12月	0.02	48.9	5.54	3296.33
1月	0.02	48.9	5.55	3301.00
2月	0.02	48.9	5.54	2976.40
3月	0.02	49.1	5.53	3291.21
年間				38426.43

2.3 マイクロ水力発電における 1kWh あたりのコスト

本研究では、ダイキン工業が開発したマイクロ水力発電システムを想定した。ヒアリングの結果、初期費用は最低でも 30,000,000 円必要になることがわかった。

また、マイクロ水力発電施設の法定耐用年数が 22 年であることから 1kWh あたりのコストを算出した。

表 3　1kWh あたりのコスト

	上白沢水系第二配水池	白沢低区配水池
初期費用	30,000,000	30,000,000
1年間あたりの負担額(円)	1,363,636	1,363,636
年間発電量(kWh)	68164.85	38,426
1kWhあたり（円）	20	35

この結果から上白沢水系第二配水池と白沢低区配水池を比較し、実現性の高い上白沢水系第二配水池におけるマイクロ水力発電のみを選定することにした。

3. マイクロ水力発電で得る電力の活用法

本研究では、マイクロ水力発電で得ることのできる電力を観光・日常使いに分けて検討した。土曜日・日曜日・祝日といったような観光客が多く集まる日は観光に適した活用を行い、平日は大町市民（特に高齢化率の高い大町市では高齢者）の暮らしを支えることを考えた活用を検討した。大町市役所へのヒアリングの結果、公共交通機関の駅から最終目的地までの短い区間（ラストワンマイル）をカバーできていないことが課題であったため、本研究ではグリーンスローモビリティの導入による課題解決を試みた。

グリーンスローモビリティとは、電力で稼働し時速 20(km)未満で公道を走る事が可能な 4 人乗り以上のモビリティのことである。導入により、高齢化が進む地域での地域内交通の確保や、観光資源となるような新たな観光モビリティの展開など、地域が抱える様々な交通の課題の解決と、地域での低炭素型モビリティの普及を同時に進められることができる。

本研究ではヤマハモーターパワープロダクツ株式会社のグリーンスローモビリティの導入を想定した。ヒアリングの結果、満充電走行距離 30～40(km)、充電は専用の単相 200V の充電設備が必要で、充電容量 5.52(kWh)、充電時間は 8 時間程度、上白沢水系第二配水池の年間発電量で走行距離 12348.7(km)、白沢低区配水池の年間発電量で走行距離 6961.3(km)が可能であることが示唆された。

観光用（土、日、祝日）として、大町市温泉郷内の巡回にグリーンスローモビリティを活用する場合について検討した。大町温泉郷内は一周約 1.5(km)あり、本研究で検討しているマイクロ水力発電所から 2.28(km)の場所に位置している。このことから一周 4.5(分)で巡回することができ満充電の場合 23 回周回することが可能であることが明らかとなった。

次に、日常用（平日）にグリーンスローモビリティを活用する場合について検討した。高齢者へのアンケート結果 [1]より、高齢者が普段手伝ってもらっているものとして買物・通院が挙げられた。このことからバス停から遠い高齢者でも買物や通院がしやすい環境を作ることを検討した。そこで、図 2 に示すように日常使いとして、バス停から 1(km)以上離れている地域の人々をバス停まで送り届けることを検討した。

4. 終わりに

本研究では、地域の未利用エネルギー資源に関する利用可能量評価に基づき、大町市が検討している新たな観光ルートでの活用可能性や、高齢者の暮らしやすい環境を提案した。また、マイクロ水力発電により上白沢水系第二配水池では 68165(kWh/y),白沢低区配水池では 38426(kWh/y)の発電ポテンシャルが確認できた。活用方法として観光用・日常用に分けて検討した。

引用文献

1)　山口商工会議所:高齢者が求める製品・サービスニーズ調査事業　報告書,(平成 23 年度),pp10-14

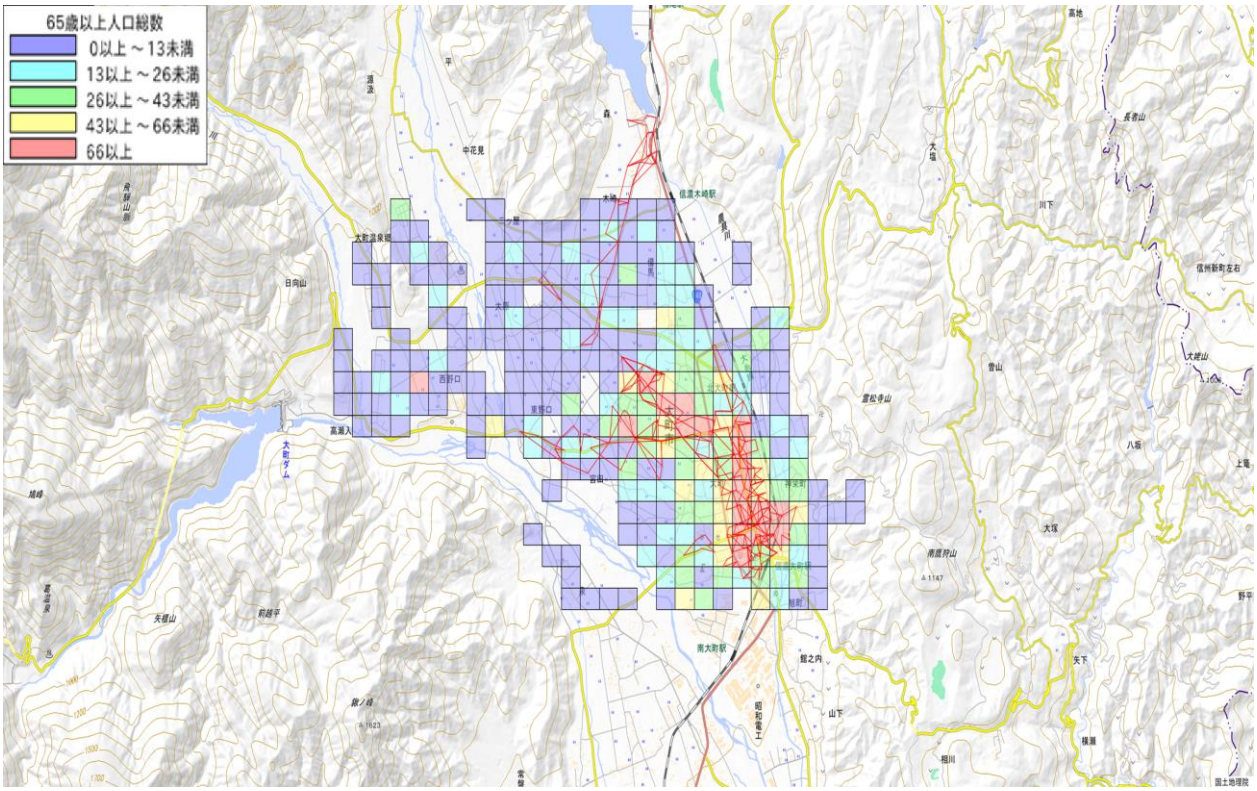


図 2 グリーンスローモビリティの日常用ルート検討過程
（ただし、図中の赤線内はバス停から道路距離で 1(km)の範囲を示す）

P2-015

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

電気自動車の購買行動に関する要因分析

Factor Analysis on Buying Behavior of Electric Car

○堀田潤*[1)]、浅見卓朗 [1)]、池之上良 [1)]、田中風歌 [1)]、藤井秀道 [2)]

Jun Hotta, Takuro Asami, Ryo Ikenoue, Fuka Tanaka, Hidemichi Fujii

1）九州大学 経済学部　2）九州大学大学院　経済学研究院

* 1EC16119W@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

近年、CO_2を中心とする温室効果ガスの排出量増加の影響で、地球温暖化が加速している。気候変動問題の解決を進める上で、交通部門からのCO_2排出量削減は必要不可欠である [1)]。政府においてもこの点を問題視しており、「次世代自動車戦略 2010」[2)]では、環境負荷の小さい次世代自動車の普及を CO_2排出量削減のための取り組みの一つとしている。「第 1 回自動車新時代戦略会議」（経済産業省）によると、次世代自動車の販売台数について、2017 年の実績と 2030 年までの普及目標に大きな差があるのが、電気自動車（以下 EV）である。

環境負荷を小さくするためには、自動車を保有可能な中・高所得者層に目を向け、EV への購買意欲を高めるような制度設計を打ち出すことが重要であると考える。本研究では、EV の普及を促進させるための制度設計に向けて、消費者の EV 購買行動に関する要因を明らかにすることを目的とする。

2. 分析手法

分析には、国内消費者 22 万人を対象としたアンケート調査データを用い、（1）ガソリン車との比較における EV の所有要因と（2）EV の潜在的購入者（EV 購入が見込まれる消費者）について計量的アプローチから分析する。

2.1. ＥＶ所有の要因分析

年齢、生活における自然環境の重要度、二酸化炭素排出削減等の環境対策の重要度、自家発電システム設置の有無、世帯年収、住居形態が EV 所有にどのような影響を与えるのかをロジット分析を用いて分析した。

従属変数として、EV 所有者を１、ガソリン車所有者を０とした保有ダミー変数を設定した。また、説明変数として、生活における自然環境の重要度と CO_2 排出削減の重要度に関する認知指標を利用している。これら変数は５段階評価であり、数値が大きいほど重要性を強く認知している。加えて、太陽光発電を含む自家発電システム設置の有無についても、保有を１としたダミー変数を設定している。これら変数に加えて、年齢、世帯年収（「回答したくない・わからない」を除き、各階級の中央値を利用）及び住居形態（持ち家一戸建てダミー）を用いた。

2.2. EV の潜在的購入者について

EV の潜在的購入者について、大きく二つの分析を行う。一つ目は、非所有者を所有者に変容させうるＥＶのメリットと、購入検討者を所有者に変容させうるそれの分析である。分析にはロジット分析を用いる。従属変数に所有者を 1 とする従属変数、説明変数に各メリットの（０，１）変数を用いた。二つ目は、EV 購入検討者が考えるＥＶに関する改善点に着目した。指摘した人の割合が高い改善点の項目（車両価格の低下、航続距離の延長、色々な場所への充電スポットの設置）に注目し、データから集計した。

3. 分析結果と考察

3.1. ＥＶ所有の要因に関する分析結果

分析結果を表１に示す。自家発電システムの設置については、オッズ比が 3.7 と高くなっており、EV の所有に大きく影響している。次いで、持ち家一戸建てであることが、EV 所有に影響している。また、生活における自然環境の重要度については有意な結果が得られず、二酸化炭素排出量の削減等の重要度は、電気自動車の所有に有意に負の影響を与えていることが明らかとなった。すなわち、電気自動車の所有には環境への意識は関係あるとは言えず、むしろ自家発電システムを生かしたランニングコストの負担減少が電気自動車を所有する大きなインセンティブとなっていることが示唆される。

表１ ガソリン車所有者をＥＶ所有者に変容させうる要因

	回帰係数	オッズ比	P値	有意水準
年齢	-9.39E-03	9.91E-01	0.0157	*
生活における自然環境の重要度	6.79E-02	1.07E+00	0.2674	
CO2排出削減等の対策の重要度	-2.15E-01	8.07E-01	2.87E-05	***
自家発電システム設置の有無	1.33E+00	3.76E+00	< 2.00E-16	***
世帯年収	8.49E-04	1.00E+00	< 2.00E-16	***
持ち家一戸建てダミー	6.16E-01	1.85E+00	4.44E-09	***
Signif.codes　0'***' 0.001'**' 0.01'*' 0.05'.' 0.1' ' 1				

3.2. EV の潜在的購入者について

EV 非所有者を所有者に変容させうるメリットに関してロジット分析を行った。分析結果を表２に示す。ほぼすべてのメリットが統計的有意にＥＶ所有確率を高める方向に

寄与しており、特に乗り心地と加速性能が大きく影響を与えていることが明らかとなった。

表２　非所有者を所有者に変容させうるメリット

メリット詳細	オッズ比	有意水準
燃費がいい	0.46	＊＊＊
環境にやさしい	0.71	＊＊＊
走行音や振動が小さい	1.63	＊＊＊
災害時、停電時の非常電源になる	0.42	＊＊＊
家で充電できる	1.52	＊＊＊
コンビニやショッピングセンターなどで充電できる	1.28	＊
乗り心地がいい	5.03	＊＊＊
ステイタスである	2.96	＊＊＊
車体のデザインがいい	0.31	＊＊＊
加速性能がいい	5.43	＊＊＊
政府の補助金が得られる	1.44	＊＊＊
外部電源として利用できる	0.51	＊＊＊
夜間電力が有効に使える	1.29	＊
ガソリン車に比べ車体空間が広い	0.43	＊＊＊
わからない	0.30	＊＊＊

***=0.001 **=0.01 *=0.05

表３　検討者をＥＶ所有者に変容させうるメリット

メリット詳細	オッズ比	有意水準
燃費がいい	0.33	＊＊＊
環境にやさしい	0.76	＊＊
走行音や振動が小さい	1.47	＊＊＊
災害時、停電時の非常電源になる	0.46	＊＊＊
家で充電できる	1.18	
コンビニやショッピングセンターなどで充電できる	1.25	・
乗り心地がいい	3.91	＊＊＊
ステイタスである	1.27	
車体のデザインがいい	0.33	＊＊＊
加速性能がいい	3.56	＊＊＊
政府の補助金が得られる	1.27	＊
外部電源として利用できる	0.44	＊＊＊
夜間電力が有効に使える	1.23	・
ガソリン車に比べ車体空間が広い	0.63	＊
わからない	2.80	＊＊＊

***=0.001 **=0.01 *＝0.05　・＝0.1

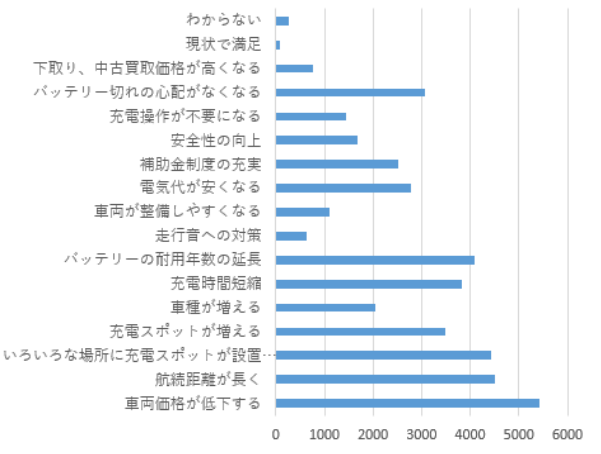


図１　EV 購入検討者の考えるEVに関する改善点（回答数）

次に、購入検討者を所有者に変容させうるメリットについての分析結果を図３に示す。図３より、有意水準にバラツキがあったものの、乗り心地と加速性能に関しては同じく大きく影響を及ぼしていた。

統計的有意に所有確率を上昇させない項目については、検討者には響かないであろう項目であると解釈できる。アンケート調査の単純集計結果から得られたＥＶ購入検討者の考える改善点について図１に示す。棒グラフは回答数を示しており、数値が大きいほど改善が必要であると考えている購入検討者が多いことを示している。図１の中で車両価格について改善が必要であるとする回答が多いことが分かる。追加設問で、希望購入価格に関して調査したところ、多くの回答が 151 万～250 万円に集まっており、そういった価格帯に設置する必要性が読み取れる。また、充電スポットに関しては、購入検討者が設置を望む且つ、相対的に普及していない場所への設置が有効であると結論付けた。

これらの分析結果より、購入検討者をターゲットにした販売戦略立案の際はアピールするＥＶ保有メリットを非保有者に向けた際より、絞る必要があることが示唆される。

4. 結論と政策提言

現在、EV 購入促進に向けた補助金や免税措置、充電スポット設置のための融資など、EV 普及のために国を挙げての取組が行われている。しかしながら、その普及政策に関して、EV の所有要因に関して、自家発電システムを設置していることが EV の所有に関係があることより、自家発電システムの設置との抱き合わせの EV 販売が、効果があるのではないかと考える。

例えば、EV の購入者限定で、太陽光発電システムの設置にかかる工事費や、自宅での EV 用充電機設置の工事費等を値下げするなど、中・高所得者に向けて EV と自家発電システムを同時に購入するインセンティブを高めるような政策や事業は有効であろう。

購入検討者を保有者に変容させうるメリットに関しては、非保有者を保有者に変容させうるそれと共通して、「乗り心地」と「加速性能」であることが分かった。また、検討者にＥＶの良さをアピールする際には、興味を持つ度合いが異なる点を踏まえて、紹介するメリットに優先順位をつける必要があることが示唆された。

購入検討者に関して判明したこれらの性質を、購入検討者が集まるカーディーラーや展示会などでアピールすれば、EV の販売台数の増加を期待出来るであろう。

引用文献

1)田辺他（2018）『環境負荷を減らして幸福度を高めることは可能か？－アンケート調査による環境負荷と幸福度の関係』武蔵野大学環境研究所紀要 vol.7, pp. 111-125.

2) 経済産業省(2010)『次世代自動車戦略 2010』

P2-016　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

飲食店のエコマーク認定による CO_2 排出削減量の算定

Calculation of the emission reduction amount of CO_2 by eco mark authorizationat the restaurant

○土屋友祐*[1)]、大澤亮 [2)] 、本間隆之 [2)]、稲葉敦 [1)]、
Yusuke Tsuchiya, Ryo Ohsawa, Takayuki Honma, Atsushi Inaba
1）工学院大学, 2）エコマーク事務局
* b513405@ns.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

2015 年のパリ協定の採択を受け、日本の業温室効果ガスの大幅な削減が課題となっている。我が国では業務その他部門の CO_2 排出量は増加傾向にあり [1)]。特に飲食店はサービス重視の傾向が強環境配慮の面で改善の余地が大きいと言われている。CO_2 排出の要因として食品ロスやエアコン・冷蔵庫等の電力消費が挙げられている。

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。エコマーク認定は食品ロスの削減や省エネ等に関わるいくつかの項目があり、企業が認定基準に従って取組を推進することで CO_2 の削減が期待されている。本研究では、飲食店がエコマーク認定基準に従って取組を推進することで削減される CO_2排出量を算定し、具体的に示すことで、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

2. 研究内容

2.1 CO_2 排出削減量算定ツールの作成

「飲食店」のエコマーク認定基準書 [2)] より表 1 に示す 15 項目を抜粋し、CO_2 排出削減量を求める計算式を作成した。作成した計算式を用いて CO_2 排出削減量算定ツールを作成した。計算の例を以下に示す。

2.1.1　脱水による減量化

「生ごみは、水切りネットなどで脱水(減量化)してから廃棄処分している。」という項目である。ここでは脱水に伴う焼却エネルギーの削減による 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 年間に焼却する食品廃棄物量 [kg/年]) ×（脱水による生ゴミ重量の削減率 [3)] 0.1[%]）×（都市ガスの CO2 排出原単位 [4)] 0.0627[kg-CO_2/MJ]）×（水の蒸発に必要な熱量 2.257[MJ/kg]）

表 1 エコマーク認定基準中の CO_2 排出削減に関係する項目

1.地元でとれた食材の使用	16.食品廃棄物の発生量の把握
2. 有機農産物の使用	24.省エネルギー機器の導入
4.エコフィード育成食材の使用	25.節水機器の導入
7.通い箱の使用	31.リユース箸の使用
12.ドギーバックの使用	32.再生PET繊維の採用
13.メニューサイズの明示	33.詰め替え容器の使用
15.脱水による減量化	34.容器包装の軽量化
	36.自然冷媒の使用

2.2 企業の CO_2 排出削減量の算定

2.1 で作成した CO_2 排出削減量算定ツールを用いて、エコマークを取得した企業による CO_2 排出削減量を算定した。表 2 にエコマーク事務局がエコマークを取得した企業に対して実施したアンケートの回答店舗数を示す。アンケートは 9 社中 5 社が回答し、エコマーク認定店舗数は 2,553 店舗であった。2017 年度の 2553 店舗全体の CO_2 排出量の合計は 2.46×10^5 [t-CO2/年]であった。図 1 に示すようにエコマーク認定店舗 2,553 店の CO_2 排出削減量は 1.5×10^4 [t-CO_2/年]なので CO_2 削減効果は 5.74%となる。

表 2. エコマーク事務局の企業アンケート結果

算定項目	アンケートで得られたデータ
（1） 地元で採れた食材の使用	1.00×10^5[kg/年] 19店舗（四国）
（2） 有機農産物の使用	-
（4） エコフィード育成食材の使用	-
（7） 通い箱の使用	3.59×10^4 [個] 2,342店舗
（12） ドギーバッグの使用	-
（13） メニューサイズの明示	8.50×10^6 [個/年] 555店舗
（15） 脱水による減量化	1.51×10^7 [kg/年] 2,553店舗
（16） 食品廃棄物の発生量の把握	1.35×10^7 [kg/年] 2,553店舗
（24） 省エネ機器の導入（エアコン）	155 [台] 2,323店舗
（24） 省エネ機器の導入（冷蔵庫）	181 [台] 1,969店舗
（24） 省エネ器の導入（LED）	1.96×10^5 [台] 2,168店舗
（25） 節水機器の導入	8.20×10^6[m3/年] 2,546店舗
（31） リユース箸の使用	1.46×10^8 [人/年] 758店舗
（32） 再生PET繊維の採用	2.00×10^3 [着] 232店舗
（33） 詰め替え容器の使用	3.68×10^5 [個/年] 2,343店舗
（34） 容器包装の軽量化	-
（36） 自然冷媒の使用（エアコン）	43 [台/年] 200店舗
（36） 自然冷媒の使用（冷蔵庫）	-

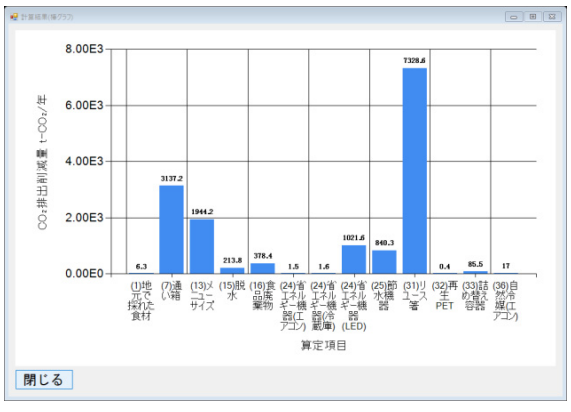


図 1 エコマーク認定店舗の CO_2 排出削減量

2.3　日本全国の CO_2 排出削減量の算定

エコマークの取得が日本全国の飲食店に拡大した場合を想定し、2.2 と同じ手法で CO_2 排出削減量を計算した。表 3 に項目ごとの日本全国の推定値を示し、図 2 に CO_2 排出削減量を示す。日本の飲食店店舗数は 453,541 店舗[5]、宿泊業･飲食サービス業の CO_2 排出量は 2.66×10^7[t-CO_2/年][1]となる。日本全国の飲食店の CO_2 排出削減量は 1.11×10^6 [t-CO_2/年]なので CO_2 削減効果は 4.17%となる。

表 3　日本全国の飲食店の統計

算定項目	全国統計データ
（1） 地元で採れた食材の使用	-
（2） 有機農産物の使用	2.67×10^8[kg/年]
（4） エコフィード育成食材の使用	8.86×10^7[kg/年]
（7） 通い箱の使用	-
（12） ドギーバッグの使用	-
（13） メニューサイズの明示	-
（15） 脱水による減量化	1.99×10^9[kg/年]
（16） 食品廃棄物の発生量の把握	1.84×10^7[百万円/年]
（24） 省エネ機器の導入(エアコン)	6.13×10^5 [台/年]
（24） 省エネ機器の導入(冷蔵庫)	2.37×10^5 [台/年]
（24） 省エネ機器の導入(LED)	-
（25） 節水機器の導入	-
（31） リユース箸の使用	1.00×10^{10}[人/年]
（32） 再生PET繊維の採用	4.24×10^6[着/年]
（33） 詰め替え容器の使用	-
（34） 容器包装の軽量化	-
（36） 自然冷媒の使用(エアコン)	6.13×10^5 [台/年]
（36） 自然冷媒の使用(冷蔵庫)	2.37×10^5 [台/年]

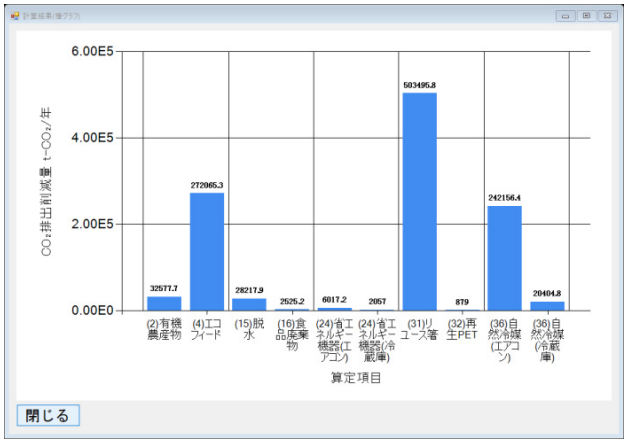


図 2 日本全国の飲食店の CO_2排出削減量

2.4　3. 考察

2.2、2.3 の算定結果はどちらの算定でも「リユース箸の使用」の CO_2排出削減量が最も大きくなることが分かった。これは割りばしの CO_2排出量に中国・ロシアからの輸送の CO_2 が含まれるので割りばし一本当たりの CO_2排出量が大きく推定されているからである[6]。

同様に、どちらの算定でも「ドギーバッグの使用」、「容器包装の軽量化」の 2 項目の数値を得ることが出来ないことが分かった。「ドギーバッグの使用」は一般人への普及がほとんどなされておらず店舗側としても採用するメリットが少ないことが原因だと考えられる。「容器包装の軽量化」についても同様に、店舗側が容器包装の軽量化にコストをかけるメリットが少ないことが原因だと考えられる。

3. 4. まとめ

CO_2 排出削減量算定ツールを作成し、飲食店のエコマーク認定を受けることによる CO_2排出量削減効果を評価したその結果、図 1、2 に示すように、削減効果は項目により大きく異なることが分かった。今後は、統計データを用いてエコマーク認定が日本全体の飲食店に普及した場合の CO_2 排出削減量の算定をさらに進めていきたい。

4. 5. 引用文献

1）“日本の温室効果ガス排出量データ【訂正版】 2018 年公開版　（確報値：1990～2016 年度）”，温室効果ガスインベントリオフィス，(オンライン)，入手先 <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html >(参照 2019-01-09)

2）“「飲食店 Version1.0」認定基準書”，エコマーク事務局，(オンライン)，入手先 < https://www.ecomark.jp/restaurant/505V1_a.pdf >(参照 2019-01-09)

3）“ホテルの食品廃棄物対策”，コスモ エコロネット，(オンライン)，入手先 <http://www.ecolonet.com/genkou/20090929.pdf>(参照 2019-01-09)

4）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，“LCI データベース IDEA version 2.2 (2018/01/18)”，一般社団法人 産業環境管理協会，(オンライン)，

5）“平成 28 年経済センサス-活動調査”，総務省統計局，(オンライン)，入手先 <https://www.stat.go.jp/data/e-census/2016/kekka/gaiyo.html>(参照 2019-01-09)

6)中島賢一，“第 9 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要集”，芝浦工業大学 豊洲キャンパス，(2014)，pp.129-13

P2-017

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

植物を活用した医薬品開発の研究開発に関する影響要因分析

Effect Factor Analysis for Research and Development of Biological medicines

○野島大輔*1)、藤井秀道*2)

Daisuke Nojima，Hidemichi Fujii

1) 九州大学大学院 経済学府 経済システム専攻，2) 九州大学大学院 経済学研究院

*dnojima0112@gmail.com

１．はじめに

近年、生物多様性資源の保全やバイオテクノロジーの取り扱いに関して、国際的にも注目が集まっている。生物多様性に関しては、2015 年の国連サミットで定められた持続可能な開発目標である SDGs（Sustainable Development Goals）でも重要性が唱えられており、17 の達成目標のうち、14 番目及び 15 番目の目標として、海洋や陸上の資源保全が掲げられている。

バイオテクノロジーに関しては遺伝子工学の出現で人類は技術の新しい時代に突入したとし、遺伝子組み換え技術などを含むバイオテクノロジーの重要性を述べている[1)]。また日本国内においては、2017 年にバイオテクノロジー等による遺伝子実験に関して定めた「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）」が改正され、2018 年に施行されている。

また、植物や動物などを含めた、生物資源の取り扱いに関しては国際的に様々な取り決めが定められている。1993 年に生物多様性の取り扱いに関して包括的に定めた生物多様性条約が 1993 年に発効されて以降、バイオテクノロジーにより改変された生物の取り扱いに関して定めたカルタヘナ議定書が 2002 年に、他国の生物資源を用いる際のルールを定めた名古屋議定書が 2014 年に発効されている。また、生物多様性に関する国際的または日本国内においての諸政策は表 1 の通りである。

表１　生物多様性条約に関する国際的な取り組み

世界	日本
生物多様性条約採択（1992年）	生物多様性条約締結（1993年）
生物多様性条約発効（1993年）	生物多様性国家戦略策定（1995年）
カルタヘナ議定書採択（2000年）	新・生物多様性国家戦略策定（2002年）
ボン・ガイドライン策定（2002年）	カルタヘナ議定書締結、発効（2003年）
カルタヘナ議定書発効（2003年）	カルタヘナ法施行（2004年）
名古屋議定書採択（2010年）	第三次生物多様性国家戦略策定（2007年）
名古屋・クアラルンプール補足議定書採択（2010年）	生物多様性基本法施行（2008年）
名古屋議定書発効（2014年）	生物多様性国家戦略2010策定（2010年）
名古屋・クアラルンプール補足議定書発効（2018年）	生物多様性国家戦略2012-2020策定（2012年）
	名古屋議定書採択（2017年）
	名古屋・クアラルンプール補足議定書承認（2017年）

生物多様性保全に関する諸規定が定められている一方で、日本における生物由来の医薬品に関する特許公開数は図 1 の通り、年々減少もしくは停滞していることが分かる。本研究では、生物由来の医薬品として、動物もしくは植物由来の医薬品を指す。

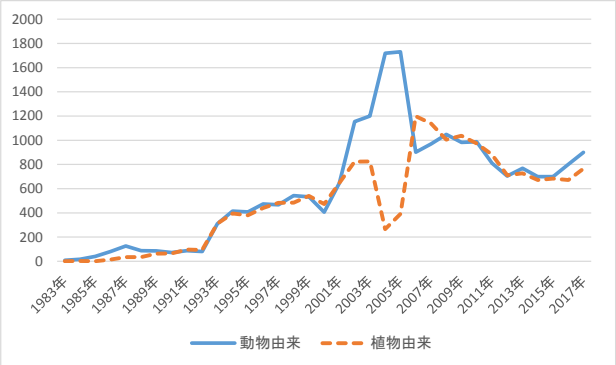


図１　動植物由来の医薬品特許公開数の推移（件）

植物由来の医薬品は 2004 年から 2006 年に大きな変動があったものの、近年は減少傾向である。動物由来の医薬品は 2005 年以降、特許公開数は激減し、以降低迷している。

また、2000 年代以降で採択発効された生物多様性条約の諸議定書の中には、むやみに生物資源を用いて研究開発を行うことを抑制するものもある。

本研究では、2000 年代前半に着目し、主にカルタヘナ議定書に関する様々な取り組みの前後で生物資源を用いた医薬品特許出願推計数はどのように推移したのかという、政策の影響評価分析を行う。

２．分析方法

本研究では政策影響評価分析手法の一つである、DID（Difference In Difference）分析を用いて、政策評価を行う。DID 分析とは、政策の影響を受けたもの（以下トリートメント群）と政策の影響を受けなかったもの（コントロール群）の変化を、ある政策が導入された年の前後で比較し、その差分を用いて評価する手法である。DID 分析は、特許法改正[2)]や、都道府県別の知財戦略[3)]の影響分析などにも用いられている。また、本研究では WIPO（World Intellectual Property Organization：世界知的所有権機関）の作成した PATENTSCOPE という国際特許等が収録されたデータベースを用いている。

WIPO は知的財産保護の促進や、諸条約の推進するために設立され、現在は国連に所属する機関である。PATENTSCOPE は公開された国際特許に加え、諸国の特許庁が管理する特許など 70 億件以上もの特許文献を検索で

きるデータベースである。また特許公開年で検索することが可能であるため、国際的な特許制度の観点から、その年月から１年６か月遡った年月を出願推計年とする。

WIPO は IPC(International Patent Classification)というコードを用いて特許を分類している。本研究では、医薬用，歯科用又は化粧用製剤に関する IPC である「A61K」に属する技術を対象とし分析するが、トリートメント群には動物用いた医薬品技術が多い特許分類である A61K35 と植物を用いた医薬品技術が多い特許分類である A61K36 を、コントロール群にはその他の A61K の技術を設定し分析する。

表２　医薬用製剤等（A61K）に関する特許一覧

6/00	歯科用製剤	39/00	抗原または抗体を含むもの
8/00	化粧品･香料	41/00	波動エネルギーや粒子線物質で処理して得られるもの
9/00	特別な物理的形態によって特徴づけられたもの	45/00	31/00~41/00のどれにも属さないもの
31/00	有機活性成分を含んだもの	47/00	担体または不活性添加剤などのもの
33/00	無機活性成分を含んだもの	48/00	生体の細胞内に挿入する遺伝物質を含むもの
35/00	構造未知の物質またはその反応生成物を含むもの	49/00	生体内試験のためのもの
36/00	植物等やその派生物を含む構造未知のもの	50/00	生体内での治療または検査に用いる導電材
38/00	ペプチドを含むもの	51/00	生体内での治療または検査に用いる放射性物質を含むもの

３．結果と考察

DID 分析を行うために、特許公開年 1993 年～2013 年（出願推計年月 1992 年７月～2012 年６月）の間で、treatment、postperiod、cross という３つ変数を設定した。treatment についてはトリートメント群を「1」コントロール群を「0」のダミー変数を設定し、postperiod については、政策が実施されるまでの年月を「0」、政策実施以降の年月を「1」とするダミー変数を設定した。また treatment と postperiod のダミー変数の交差項として cross を設定し、DID 分析を行った。分析対象の政策は、カルタヘナ議定書への早期批准を目指した『新・生物多様性国家戦略』策定（2002 年３月）と、日本のカルタヘナ議定書締結（2003 年 11 月）である。分析の結果、表３、４の通り、カルタヘナ議定書の早期批准を目標に掲げた国家戦略が策定されたことよりも、実際に日本がカルタヘナ議定書を締結したことに関して、特許公開数を減少させる影響が、統計的有意に観測された。このことより、日本のカルタヘナ議定書締結の方が、新・生物多様性国家戦略策定よりも企業の医薬品研究開発活動に影響を与えた可能性があることが推測される。

次に、なぜカルタヘナ議定書が実際に締結されるまで企業等は対策を取らなかった可能性があるのか、その理由について、「生物多様性」や「カルタヘナ議定書」などをどのくらい企業が重視していたかを企業ＨＰ及び報告書を対象に調査を実施した。その結果、カルタヘナ議定書やバイオテクノロジーに対して、具体的な取り組みを行うことを明示している企業は少なかった。しかし、多くの企業は生物多様性保全のために様々な取り組みを行っていた。

以上より、生物資源を用いて研究開発を行う企業は、生物多様性に関心はあるものの、生物多様性保全に対する具体的な制度に関して認知度が高いとは言えない状況であり、取るべき研究開発対策が遅れている可能性が示唆される。こうした状況により、動植物由来の医薬品開発に関する特許数が減少もしくは低迷を続けているのではないかと考えた。そのため、企業にとって、生物多様性保全のための国際的枠組みが整っているのかを知ることができるような機会を増やすことが重要になってくると言える。

しかし、本研究では諸制度の策定時期のみを考慮して分析しているため、特許数の変化に影響を与えたその他の社会的な要因については分析できていない。これらを考慮し分析を行うことが今後の課題である。

表３　新・生物多様性国家戦略の影響

回帰統計	
重相関 R	0.238
重決定 R2	0.057
補正 R2	0.056
標準誤差	133.413
観測数	3840

	係数	標準誤差	t	P-値
切片	66.238	3.296	20.094	0.000
treatment	-18.012	9.324	-1.932	0.053
postperiod	64.372	4.605	13.980	0.000
cross	-33.761	13.024	-2.592	0.010

表４　カルタヘナ議定書の影響

回帰統計	
重相関 R	0.221
重決定 R2	0.049
補正 R2	0.048
標準誤差	133.976
観測数	3840

	係数	標準誤差	t	P-値
切片	73.584	3.059	24.054	0.000
treatment	-20.460	8.653	-2.365	0.018
postperiod	59.755	4.670	12.796	0.000
cross	-34.612	13.208	-2.621	0.009

４．参考文献

1)　キャスリーン・フォーゲル、イザベル・マイスター（1995)「バイオテクノロジー生物多様性条約―安全性をどう確保するか―」『生物多様性条約をめぐる国際状況』pp.27-29

2)　政策研究大学院大学（2006)『地域の知財政策として大学支援策を実施するためのガイドライン策定研究－大学で創出された産業財産権の活用による地域振興の推進に向けて―』

3)　後藤英夫（2009)『「相当の対価」訴訟判決と特許法 35 条改正が企業の株価に与えた影響の分析』

P2-018

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

日本における農業系バイオマスの物質フロー

：物質循環の 6 つの指標による評価

Agricultural biomass flows in Japan: Assessment using six indicators of material cycle

○谷畑佑典*[1)]、Fridolin Krausmann[2)]、Christian Lauk[2)]、佐々木貴央[1)]、橋本征二[3)]

Yusuke Tanihata, Fridolin Krausmann, Christian Lauk, Takahiro Sasaki, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学大学院, 2) Klagenfurt University, 3) 立命館大学

* rv0038fk@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

カーボンニュートラルで再生可能な資源として、近年バイオマスが注目されている。しかし、バイオマス全体の体系的なフローの把握や、その利用効率の評価は必ずしも進んでいない。本研究では、農業系バイオマスを対象として、そのライフサイクルにわたる物質フローを推計し、未利用バイオマスや廃棄物バイオマスの利用ポテンシャルを明らかにするとともに、物質循環指標の 6 つの指標[1)]を用いてその評価を行った。

2. 方法

2.1 物質フローの推計

対象年度を 2005 年～2013 年として各部門の物質収支の推計を行った。対象部門は産業連関表を参考に農作物が生産されてから廃棄されるまでの計 48 部門とした。大別すると農畜産物生産部門 22 部門、食品製造部門 25 部門、最終需要部門 1 部門である。

農畜産物生産部門では、農作物と家畜の生産部門における物質収支を推計した。前者は産出のみを考慮し、統計資料の国内仕向量とした(文献[2)]を参照)。後者は既存研究[3)]を参考にその物質収支を推計した。

食品製造部門では、農畜産物生産部門において産出され、食品として利用されたものを「原材料」としての投入とした。また、2005 年の産業連関表に付帯する物量表を参考に食品製造時に発生する加工くず量を推計し、各部門の廃棄物発生係数(生産重量に対する比)を作成した(文献[2)]を参照)。これを各年、各部門の生産重量に乗じることで廃棄物量を推計した。

最終需要部門では、食品製造部門から産出された「製品」を投入とした。産出については「代謝」と「廃棄物」の項目があり、「廃棄物」は報告書[4)]の厨芥の値を引用した。「代謝」は投入重量と廃棄物重量の差とした。

2.2 物質循環の 6 つの指標の適用

物質循環の 6 つの指標[1)]を用いて、推計した農業系バイオマスの物質フローを評価した。指標には、直接物質投入量(DMI)、使用済み製品再生利用率(URRUP)、物質利用効率(MUE)、物質利用時間(MUT)、使用済み製品再資源化率(RRUP)、国内排出物量(DPO)があるが、農業系バイオマスは寿命が短いので、本研究では MUT を対象外とした。

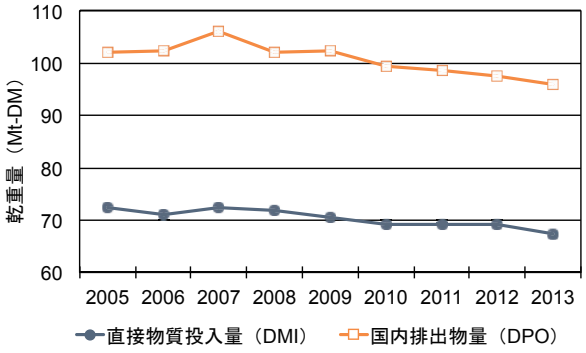


図 1.　2005 年～2013 年の DMI と DPO

3. 結果と考察

2005 年について見ると、DMI 及び DPO は 72Mt-DM、102Mt-DM と推計された。MUE は 57%であり低い結果となった。これは DMI の 53%が家畜の飼料として利用されているが、摂取した飼料の大半が代謝され、投入した飼料に比べ生産物が少なく、有効利用量が少なくなるからである。次に、URRUP と RRUP は、それぞれ 0.17%、4%と推計された。いずれも非常に低いが、これは最終需要部門からの廃棄物の大半が焼却され、再利用される量が非常に少ないことが要因である。

DMI と DPO の経年変化を見ると(図 1)、全体としては減少傾向であった。URRUP、MUE、RRUP は、同期間にすべて微増しており、再利用等による資源の効率的利用が DMI と DPO の減少に幾分貢献していると考えられるが、人口減少による農畜産物需要の減少や輸入加工食品の増加がより影響していると考えられる。

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。

引用文献

1) Hashimoto S, Moriguchi Y: Resources, Conservation and Recycling, 40(3), (2004), pp.185-200
2) 谷畑佑典、佐々木貴央、橋本征二：“第 13 回 LCA 学会”、東京、(2018)、pp.170-171
3) Krausmann F, Lauk C, Haas W, Wiedenhofer D: Gloval Evvironmental Change, 52, (2018), pp.131-140
4) 環境省：“廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用実態調査報告書”, (2015～2013)

P2-019

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

木質バイオマスの熱利用を志向した地域活性化策に関する考察

～神戸市と六甲山を事例にして～

Consideration on Regional Revitalization Measures aimed at Thermal Utilization of Woody Biomass ~Cases of Kobe City and Mt. Rokko~

○周　俊男*[1)]、吉田美生 [1)]、大野朋子 [1)]、田畑智博 [1)]

Junnan Zhou, Mio Yoshida, Tomoko Ohno, Tomohiro Tabata

1) 神戸大学

* syuusyunnan@yahoo.co.jp

1. はじめに

近年、地域活性化の一環として、その地域に賦存する木質バイオマスを利用した発電事業が全国で盛んとなっている。しかし、発電は効率が低く、固定価格買取制度の売電価格に事業が左右されるほか、木質バイオマスを海外で調達している事業も多く、地域活性化に繋がるといえるか疑問である。木質バイオマスの地産地消というメリットを発揮し、効率的な利用を実現するためには、発電に加えて熱利用も不可欠である。その際、木質バイオマスの熱利用が地域活性化に与える環境的・経済的影響だけでなく、地域住民や観光客などの熱の受益者の意識も明らかにする必要がある。

中原・田畑 [1)]は、六甲山系に存在する木質バイオマスから生産した熱を利用する温浴施設の事業を想定し、仮想評価法などを用いて神戸市民の事業に対する意識を明らかにした。本研究では、この結果を足がかりとし、神戸市における六甲山の木質バイオマスを利用した環境・経済・社会的に持続可能なまちづくりを行うための方法論を構築することを目的とする。本稿では、そのための基礎的な情報を整理した結果を報告する。

2. 研究の方法

2.1 地域活性化策と SDGs との関係性の整理

2015 年に国連により持続可能な開発目標(SDGs)が提唱され、地域活性化においても、SDGs の考慮が必要となっている [2)]。ここでは神戸市の六甲山を用いた地域活性化策(六甲山森林整備戦略 [3)])と政府の SDGs 関連政策(第 5 次環境基本計画 [4)]、SDGs アクションプラン [2)])との関係性を整理した。これにより、SDGs の観点から木質バイオマスを利用した地域活性化策を検討する際に、どのような点が重要となるかを考察した。

2.2 六甲山観光客を対象としたアンケート調査

六甲山の観光客を対象とし、対面によるアンケート調査を行った。調査期間は 2018 年 11 月 24、25 日であり、201 人からの回答を得た。

質問を表 1 に示す。(3)は、既往研究 [1)]と同じ質問である。ここでは、仮想評価法(CVM)で得られる支払意志額(WTP)の結果が、神戸市の住民と観光客でどの程度違うのかを考察した。調査結果の分析は、記述統計により行った。WTP の算出は、「Excel でできる CVM[5)]」を使用し、対数線形ロジットモデルを用いて WTP を算出した。

3. 結果と考察

3.1 地域活性化策と SDGs との関係性の整理

整理した結果を表 2 に示す。森林管理を共通のキーワードとして、再エネ、地域活性化、森林の保全の 3 分類に分けて整理した。その結果、六甲山を用いた地域活性化は、政府の再エネ、地方創生、人材育成など、環境・経済・社会の各項目と密接に関わっていることを示すことができた。

アンケート調査の結果

主な質問に対する回答結果を表 3 に示す。回答者の年齢は、20 代(約 31%)、30 代(約 22%)が大半であった。観光客の居住地は、兵庫県内が約 40%(うち、六甲山周辺の市(神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市)に居住は 25%)と最も多く、次いで大阪府(約 29%)、奈良県(約 5%)、東京都(約 4%)、京都府(約 4%)であった。また、約 40%の観光客は、六甲山への訪問が初めてであった。

表 1　質問の概要

(1) 基本属性	年齢、性別、居住地、訪問人数、訪問回数、訪問者構成、訪問の目的、旅行時間、訪問のきっかけ
(2) 六甲山への関心	具体的な質問はSupporting informationに記載 ・・・1：大変そうと思う、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
(3) 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。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「大人一人あたり800円」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100円にして、再度たずねる。

表２　六甲山を用いた地域活性化策と政府の SDGs 関連政策との関係性

	SDGsアクションプラン（2018）	環境基本計画（2018）	六甲山森林整備戦略（2012）
再エネ	1、再エネの導入促進	地域資源を活用した再エネの導入	既存の森林資源活用システムの再構築
			バイオマスエネルギーとしての活用
		未利用系バイオマス資源を活用した地域づくり	バイオマスエネルギーとしての活用
		地域新電力の推進	―
地域活性化	1、農山漁村の活性化	森・里・川・海をつなぎ、支える取組	―
		都市と農山漁村の共生・対流	
		エコツーリズムなど各種ツーリズムの推進	
		自然に育まれた多様な文化的資源の活用	「六甲山ブランド」の形成
		環境保全や持続可能性に着目した地域産業の付加価値向上	「六甲山ブランド」の形成
	2、地方を始めとする人材育成	人づくりに要る地域づくり	人材育成の展開
	3、国立公園満喫プロジェクト等の推進	国立公園等を軸とした地方創生	都市公園における一体的な森林管理の推進
			基盤整備
			人材育成の展開
	―	未利用系バイオマス資源を活用した地域づくり	バイオマスエネルギーとしての活用
森林の保全	1、国立公園満喫プロジェクト等の推進	国立公園等を軸とした地方創生	同上
	2、林業の成長産業化と森林の多面的機能の発揮	森林の整備・保全	マネジメント体制の構築
			森林整備費用を確保する仕組みづくり
			基盤整備
			県民緑税の活用による市民参加型整備の推進
	―	新たな木材需要の創出及び消費者等の理解の醸成	既存の森林資源活用システムの再構築

表３　主な質問に対する回答結果

基本属性					
性別	男性	42%	地域	兵庫県	40%
	女性	58%		大阪府	29%
年齢階級	19歳以下	3%		奈良県	5%
	20～29歳	31%		東京都	4%
	30～39歳	22%		京都府	4%
	40～49歳	15%	間伐材の熱利用		
	50～59歳	15%	負担金200円	はい	80%
	60歳以上	14%		いいえ	20%
訪問回数	初めて	40%	負担金300円（200円ではいと答えた場合）	はい	59%
	2～３回目	32%		いいえ	41%
	4～9回目	13%	負担金100円（200でいいえと答えた場合）	はい	77%
	10回目以上	14%		いいえ	23%

表４　観光客と神戸市民 [1]との WTP の比較

		観光客	神戸市民
支払＊意志	YY	48%	36%
	YN	34%	27%
	NY	14%	16%
	NN	4%	21%
WTP	中央値	298円	234円
	平均値（最大提示額で裾切り）	254円	210円
ＷＴＰへの影響		なし	六甲山への訪問頻度や関心、森林や六甲山に関する意識など

＊：YY：負担金300円上乗せ。YN：負担金200円上乗せ。
NY：負担金100円上乗せ。NN：負担金上乗せがない。

3.2 WTP の算出結果と既往研究との比較

観光客と神戸市民 [1]の WTP の結果を表 4 に示す。結果として、観光客の WTP は中央値で 298 円、平均値で 254 円となった。神戸市民の結果と比較すると、観光客の方が大幅に高い結果となっている。神戸市民の支払意志は観光客に比べて相対的に低く、全く支払意志がない人は 21%にのぼっている。逆に、支払意志がない観光客は 4%しかいなかった。観光客の目的は六甲山の観光というリクリエーションに価値を見出すことであり、彼らはこの価値観に基づいて支払意思額を回答している。即ち、観光客は観光のために六甲山に訪れており、観光の対価として多少の負担を受け入れることをいとわないと考えている可能性がある。そのため、支払意思額に好意的な回答を示す観光客が、神戸市民に比べて多かったといえる。基本属性や六甲山への関心が WTP に及ぼす影響を分析した結果、神戸市民の場合は複数の項目が影響していたのに対し、観光客の場合はどの項目も影響を及ぼさない結果となった。観光客は、神戸市民ほど六甲山に意識はなく、観光の一環として訪問していることが伺える。

4. おわりに

本研究では、神戸市における六甲山の木質バイオマスを利用した、環境・経済・社会的に持続可能なまちづくりを行うための方法論を構築するための基礎的な情報を整理した。まず、神戸市の六甲山を利用した地域活性化策において考慮すべきことを、SDGs の観点から整理した。続いて、六甲山の観光客に対して、六甲山の木質バイオマスを用いた熱利用に対する負担金の支払意思をたずね、神戸市民でたずねた結果と比較、考察した。結果として、六甲山は観光地であることから、木質バイオマスの熱利用推進には、住民だけでなく観光客の視点も反映する必要があることがわかった。

5. 引用文献

1) 中原由佳, 田畑智博: 第 13 回日本 LCA 学会研究発表会論文集, (2018), pp.298-299
2) SDGs 推進本部: 拡大版 SDG アクションプラン 2018, (2018), https://www.kantei.go.jp/jp/singi/sdgs/
3) 環境省: 第五次環境基本計画, (2018), https://www.kantei.go.jp/jp/singi/sdgs/
4) 神戸市: 六甲山森林整備戦略, (2012), http://www.city.kobe.lg.jp/life/town/flower/rokkou/
5) 栗山浩一: Excel でできる CVM Version4.0, http://kkuri.eco.coocan.jp/

Supporting Information

表 3　六甲山への関心

1	六甲山の自然が豊である。
2	六甲山の森林・植物は地域活性化貢献できる。
3	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。
4	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。
5	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。
6	六甲山をまた訪問したいと思う

P2-020
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

衣服のリサイクル方法による GHG 削減量の算定

Calculation of GHG reduction by clothing recycling method

○石川実玖*[1)]、稲葉敦 [1)]、仙波壽朗 [2)]
Miku Ishikawa, Atsushi Inaba, Toshirou Semba
1）工学院大学, 2）飯田短期女子大学
* s315005@ns.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

日本での衣類のリユース及びリサイクル率は約 11%[1)]である。衣類のリサイクル率は紙 (57%)[2)]、プラスチック (44%)[2)]、アルミ缶 (78.5%)[2)]、スチール缶 (82.9%)[3)]のリサイクル率に比べて非常に少ない。2009 年の古着のフローを次ページの図 1[4)]に示す。本研究では、アンケートにより、最近の古着のフローを明らかにし、それを基に服のリサイクル、リユースによる CO_2 排出量削減の方法を考察する。

2. 研究方法

2.1 アンケート

エコプロダクツ展 2018 で、衣服の購入、処分方法についてアンケートを行った。男性 60 名、女性 71 名の回答を得た。

アンケートでは、衣類の購入枚数、処分枚数についてそれぞれ自分の枚数のみか家族分の枚数も含めるのかを調査した。自分の枚数のみの回答は 103 人、家族単位での回答は 28 人であり調査対象人数は、193 人であった。

衣類の購入枚数をアイテムごとに重さに換算した。次に回答人数で割り、1 人当たりの重さを算出した。1 人当たりの重さに日本の人口 1.27×10^8 人 [5)]をかけ、日本での購入重量を推定した。日本の購入量のグラフを図 2 に示す。

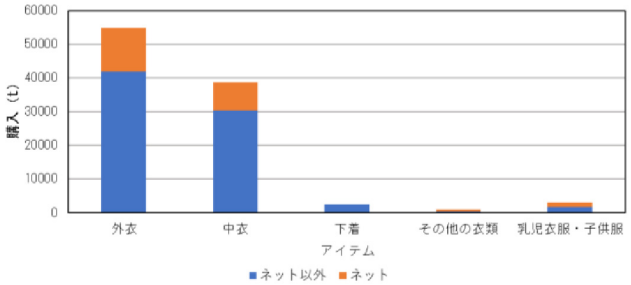


図 2　日本の購入量

同様に、衣類の処分枚数をアイテム及び処分方法ごとに重さに換算し、日本でのアイテム、処分方法別の処分重量を推定した。推定した日本の古着のフローを次ページの図 3 に示す。図 3 のフローの数値は、環境省の「一般廃棄物処理実態調査結果」[6)]から布類の廃棄物の中の 63.2%が衣類であることを基に集団回収の衣類の量を定めた。これを基に全体量を想定した。

2009 年と 2017 年のフローを比べると家庭からの衣料品排出量は増加している。また、2017 年ではネットオークションやスマホアプリなどでの販売量が増加しているが、集団回収に排出する量は減少している。これは、フリマアプリなどが普及したことより、2009 年に比べて気軽に古着の販売や購入ができるようになったためだと考えられる。

3. 衣服のリユース及びリサイクルについての調査

3.1 ナカノ株式会社

ナカノ株式会社では、日本の古着を海外へ輸出している。中古衣料は子供服、大人の服、トップス、ズボン、スカートなどに分別され、種類別に 100kg に梱包し輸出される。

使い込んだ綿の衣類は、機械の油拭きなどに使うウエスになる。中古衣料、ウエスとして使えないもの、痛んだものは反毛し、多くはフェルトとして自動車の内装材に使われる。

3.2 株式会社ワコールホールディングス

ワコールでは、不要になったブラジャーを回収し燃料となる RPF に加工している [7)]。RPF 化のメリットとして、運搬性の向上、質量当たりの熱量の安定化がある。RPF の製造フローチャートを図 4 に示す。

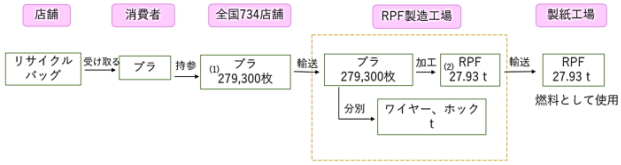


図 4　RPF の製造フローチャート

3.3 日本環境設計株式会社

日本環境設計では、PET 製品をケミカルリサイクルしている。衣料品の約 60%はポリエステル繊維が使用され、おおよそ年間 4000 万トン以上が生産されている。ケミカルリ

サイクルでは、ポリエステルだけを解重合させるため、混紡されていたり、ボタンやファスナーが付属していたりする衣料品でもリサイクルが可能である[8]。

4. CO_2 排出量削減の可能性

アンケートの実施により現在（2017 年）の衣類の処分方法は可燃ごみ、不燃ごみに捨てられていることが多いことが分かった。この捨てられている衣類を適切なリユース、リサイクルをすることで CO_2 排出量を削減できる可能性がある。

衣類は、中古服の状態により様々な方法でリユース、リサイクルされる。古着の輸出先は韓国やマレーシアが多いが、それらの国は再輸出するため輸出先の追跡は難しいことが課題となっている。

CO_2 排出量の削減効果は当日発表予定である。

5. 引用文献

1) 松本大樹：“衣料品リユースによる低炭素化の検討”，第 6 回日本 LCA 学会研究発表会 講演要旨集，P3-59

2) 公益財団法人古紙再生促進センター，公益財団法人古紙再生促進センター，（オンライン） 入手先 <http://www.prpc.or.jp/linkfile/japanese-paperrecycling.pdf>（参照 2018-7-27）

3) スチール缶リサイクル協会：“リサイクル率”，スチール缶リサイクル協会，（オンライン），入手先 <http://steelcan.jp/recycle/index.html>（参照 2018-7-27）

4) 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”（参照 2018-6-18）

5) 総務省統計局統計調査部国勢統計課：“年齢 （５歳階級），男女別人口 ”，e-Stat（オンライン），入手先 <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files>（参照 2018-12-20）

6) 環境省：“一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 28 年度)について”環境省廃棄物処理技術情報，(オンライン)，入手先 <http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/data/env_press.pdf>（参照 2018-12-27）

7) Wacoal：“BRA Recycle”，Wacoal，（オンライン）入手先 <http://www.wacoal.jp/braeco/what/>（参照 2018-4-19）

8) 日本環境設計：“クローズドループ「服から服をつくる技術」”，日本環境設計（オンライン），入手先 <http://www.jeplan.co.jp/ja/technology/polyester_recycle/>（参照 2018-5-21）

家庭からの排出量　863760 t								
中古製品として市場に投入される量			家庭からの回収量			一般廃棄物としての排出量		
1.54E+05			5.77E+04			6.52E+05		
リペア（修繕・リメイク）	譲渡	リサイクルショップ、バザー、フリーマーケット、ネットオークション	企業による回収（販売店での下取り）	集団回収		資源ごみ	可燃ゴミ・不燃ゴミ	
1.54E+04	4.06E+04	9.85E+04	1.20E+04	4.57E+04		4.83E+04	6.03E+05	
リユース			故繊維業者				再資源化	焼却処分・焼却残渣の埋立処分
1.37E+05			1.24E+05					
リペア	譲渡	再販売（国内）	再販売（国内）	再販売（国外）	処分	ウエス・反毛化		
1.54E+04	4.06E+04	8.10E+04	2.25E+04	2.20E+04	2.46E+04	5.44E+04	1.69E+04	5.86E+05

図 1　2009 年の古着のフロー

家庭からの排出量 1.10E+06 t							
中古製品として市場に投入される量				家庭からの回収量		一般廃棄物としての排出量	
5.09E+05				1.00E+05		4.92E+05	
リペア（修繕・リメイク）	譲渡	ネットで販売	ネット以外で販売	企業による回収（販売店での下取り）	集団回収	資源ごみ	可燃ゴミ・不燃ゴミ
6.36E+04	1.89E+05	6.10E+04	1.95E+05	5.60E+04	4.43E+04	5.11E+04	4.41E+05
リユース			故繊維業者				廃棄
4.55E+05			1.24E+05				焼却、埋立
リペア	譲渡	再販売（国内）	再販売（国内）	再販売（国外）	産業廃棄物	ウエス 反毛原料	
6.36E+04	1.89E+05	2.02E+05	2.68E+03	5.29E+04	2.06E+04	4.63E+04 8.34E+04	4.41E+05

図 3　2017 年の古着のフロー

P2-021

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

乗用車とトラックのタイヤ交換に関する LCA

LCA of Replacement Tire by Compact Car and Truck

○大井康寛[*1)]、深井晶央[2)]、小杉信明[2)]、八木田浩史[3)]、香西博明[4)]、佐野慶一郎[4)]

Yasuhiro Oi, Akihisa Fukai, Nobuaki Kosugi, Hiroshi Yagita, Hiroaki Kouzai, Keiichiro Sano

1)　関東学院大学大学院, 2) いすゞ自動車株式会社, 3) 日本工業大学, 4) 関東学院大学

* m18J6004@kanto-gakuin.ac.jp

1.　はじめに

自動車のメンテナンス部品において、タイヤ交換による環境負荷は大きい。乗用車とトラックのタイヤ交換による CO_2 (二酸化炭素) 排出量は、メンテナンス部品 (バッテリーやエンジンオイル、タイヤ) 交換において、最も多く、約 95%を占める[1)]。

タイヤ交換による環境負荷が高い理由として、タイヤは、重量物であり、製造段階において多くの資源とエネルギーを使用する。特にトラックは、乗用車と比較し、廃車に至るまでの走行距離が長く、タイヤの交換回数が多いことが CO_2 排出量に影響している。

上記のタイヤ交換の環境負荷が高い理由を鑑みると、自動車 1 台当たりのライフサイクルにおいて、タイヤ交換が地球環境に与える負荷は、想像以上に高い可能性がある。

本研究では、小型乗用車と車両重量の異なる代表的なトラック 3 車種のタイヤ交換によるインベントリー分析を行い、タイヤ交換と自動車 1 台当たりの材料製造段階での CO_2 排出量を概算し、比較した。

2.　タイヤ交換の LCA 手法

2. 1.　評価領域の設定

図 1 に、タイヤ製造の LCA 評価領域を示す。

＜タイヤ製造＞

材料製造 → 材料輸送 → 部品製造 → 部品輸送

図 1 タイヤ製造の LCA 評価領域

CO_2 排出量の計算は、thinkstep(株)製の LCA ソフトウェア GaBi を用いた[2)]。

表 1 にタイヤの材料製造、材料輸送、部品製造、部品輸送時におけるタイヤ 1 本当たりの CO_2 排出原単位を示す。これらの原単位は、一般社団法人日本自動車タイヤ協会「タイヤの $LCCO_2$ 算定ガイドライン」を引用した[3)]。

表 1 タイヤ製造時の CO_2 排出原単位

項目	小型 乗用車 (kg-CO_2/本)	小型 トラック (kg-CO_2/本)	中型 トラック (kg-CO_2/本)	大型 トラック (kg-CO_2/本)
材料製造	18.23	32.56	53.89	126.20
材料輸送	1.72	5.61	9.29	21.75
部品製造	6.24	9.19	15.20	35.60
部品輸送	1.28	2.68	4.44	10.40

2. 2.　評価条件の設定

小型乗用車、トラックのタイヤ交換の LCA を行うにあたり、タイヤ 1 本当たりの走行距離を文献値から算出した[3)]。

タイヤの交換回数は、総走行距離をタイヤ 1 本当たりの走行距離で除することで算出した。表 2 に総走行距離とタイヤ 1 本当たりの走行距離、タイヤの交換回数、交換本数を示す。また、表 3 に材料及び部品輸送時の評価条件を示す[3)]。

タイヤ交換による CO_2 排出量は、タイヤ 1 本当たりの重量 (kg/本) をタイヤ 1 本当たりにおける製造時の CO_2 排出原単位 (kg-CO_2/本)(表 1) を乗じ、さらに 1 台当たりの生涯におけるタイヤ交換回数 (回/台) を乗じ、算出した。

表 2 総走行距離とタイヤ 1 本当たりの走行距離の関係

項目	小型 乗用車	小型 トラック	中型 トラック	大型 トラック
総走行距離 (万 km/台)	10[4)]	70[4)]	140[4)]	140[4)]
タイヤ 1 本当たりの 走行距離 (万 km/本)	2.50[3)]	6.00[3)]	12.00[3)]	12.00[3)]
タイヤ交換回数 (回)	4	12	12	12
タイヤ交換本数 (本/回)	4	6	6	10

表 3 材料及び部品輸送時の評価条件[3)]

項目	材料輸送	部品輸送
輸送距離	500 km	1,000 km
使用トラック	10 トン	10 トン
積載率	50 %	50 %

表 4 に小型乗用車とトラック 3 車種の車両重量とタイヤ交換重量の相対比較を示す。各項目の数値は、小型乗用車の車両重量を 1.00 とした相対値で表した。このことから、タイヤ交換回数が多い大型トラックは、生涯走行で交換されたタイヤの総重量が車両重量を上回ることが確認された。

表 4 車両重量と交換タイヤ総重量の相対比較

項目	小型乗用車	小型トラック	中型トラック	大型トラック
車両重量 (相対値)	1.00	1.71	2.71	5.78
交換タイヤ総重量 (相対値)	0.10	0.95	1.57	6.13

3. タイヤ交換の LCA 結果

表 5 にタイヤ製造時の LCA 結果を示す。各項目での環境負荷の大きさは、小型乗用車 1 台を製造した時の総 CO_2 排出量を 1.00 とした相対値で表した。

小型乗用車と小型トラック、中型トラックのタイヤ製造は、車 (トラック) 1 台の材料製造と比較し、CO_2 排出量が低いことが確認された。しかし、大型トラックにおいて、タイヤ製造は、トラック 1 台の材料製造と比較し、CO_2 排出量が高い結果になった。

図 2 に車 (トラック) の生涯におけるタイヤ製造時の車両別 CO_2 排出量の比較を示す。車 (トラック) の生涯におけるタイヤ交換本数は、小型乗用車が 16 本、小型トラックと中型トラックが 72 本、大型トラックが 120 本である。車 (トラック) 1 台当たりの CO_2 排出量は、小型乗用車のタイヤ製造による CO_2 排出量を 1.00 とした相対値で表した。

その結果、小型トラックと中型トラックのタイヤ製造の比較では、大きな差は見られなかったが、大型トラックのタイヤ製造は、小型トラックのタイヤ製造と比較し、約 6.5 倍の CO_2 が排出されることが確認された。これは、大型トラックは、小型トラック、中型トラックと比較し、生涯走行で交換されるタイヤ重量が高いことが影響している。

表 5 タイヤ製造時の LCA 結果 (CO_2 排出量を相対値で示す)

評価項目		小型乗用車	小型トラック	中型トラック	大型トラック
車の材料製造		1.00 (基準値)	1.65	2.61	5.70
タイヤ製造	材料製造	0.09	0.70	1.16	4.52
	材料輸送	0.01	0.12	0.20	0.78
	部品製造	0.03	0.20	0.33	1.27
	部品輸送	0.01	0.06	0.10	0.37
	合　計	0.13	1.07	1.78	6.94

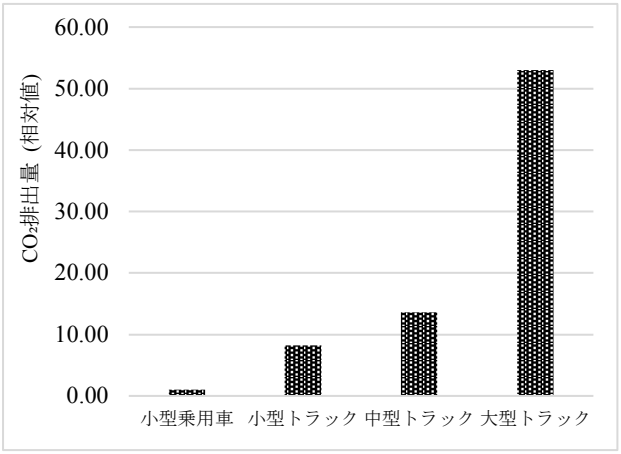


図 2 乗用車とトラックにおけるタイヤ交換による総 CO_2 排出量

4. 結論

1) 小型トラックは、小型乗用車に比べ、生涯走行によるタイヤ交換の CO_2 総排出量が約 8.2 倍と高く算出された。これは、トラックのタイヤは、1 本当たりが重く、交換本数が小型乗用車と比較し、多いためである。

2) 中型トラックは、小型トラックに比べ、生涯走行によるタイヤ交換の CO_2 総排出量が約 1.7 倍と少し高く算出された。これは、中型トラックのタイヤの交換本数が小型トラックと同じであるためと考えられる。

3) 大型トラックのタイヤ交換による CO_2 総排出量は、トラック 1 台製造と比較し、約 1.2 倍高くなる。このことから、大型トラックでは、リトレッドタイヤの使用による環境負荷の低減効果が高いと考えられる。

今後、大型トラックのリトレッドタイヤの使用による LCA を行う予定である。

5. 参考文献

1) 大井康寛, 冨岡佳祐, 佐野慶一郎, 八木田浩史, 小杉信明, トラックの車両重量別の LCA 研究, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp 420-421

2) thinkstep（株）LCA ソフトウェア GaBi

3) 一般社団法人日本自動車タイヤ協会, 「タイヤの LCCO$_2$ 算定ガイドライン Ver.2.0」, 2012 年 4 月

4) 国土交通省「自動車輸送統計年報」第 54 巻第 13 号 平成 28 年度分

P2-022

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

自治体レベルにおける一般廃棄物の排出要因分析

Determinants of Municipal Solid Waste Emissions at City Level

○濱畑涼音*1)、加河茂美 1)

Suzune Hamahata, Shigemi Kagawa

1)九州大学経済学部

* 1EC16007G@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

2016年度の日本の一般廃棄物排出量は約4000万トンであり、これを処理するために2億円もの経費が使われた[1][2]。一般廃棄物は、家庭から排出されるごみと企業から排出されるごみに大別されるが、先述した4000万トンのうち家庭から排出される生活系ごみ（以下では「家庭系ごみ」と呼ぶ）は2800万トンを占めた[1]。これは国民一人あたり一日に646gの家庭系ごみを排出していることに一致するが、2003年度の743gから徐々に減少傾向にある[3]。その理由の一つとしては、3R（リデュース、リユース、リサイクル）という考え方が広く普及し、国民一人一人が家庭系ごみの排出を抑える行動を実践するようになったということが考えられる。

一方、自治体レベルの取り組みとして、ごみ袋の有料化や、分別数を増やすことによって資源ごみ化することなどが挙げられる。例えば、本研究で取り上げる福岡県では60市町村のうち59市町村でごみ袋が有料化されている。分別数も福岡市などのように3分別の所もあれば八女市などのように20を超える所もある。しかし、自治体によって分別数や有料化状況が異なるため、その家庭系ごみの排出量も大きく異なっている。そこで本研究では、福岡県の市町村ごとの家庭系ごみ排出量に着目し、地域特性や自治体の政策との関係について分析する。

2. 分析手法

本研究では、市町村レベルにおける家庭系ごみの排出量と各要因の純的な分析として、式(1)を用いて単回帰分析を行った。

$$y_i = a + b \cdot x_i + \varepsilon_i \qquad (1)$$

ここで、y_iは市町村iに関する被説明変数、x_iは市町村iに関する説明変数、ε_iは市町村iに関する誤差項を表している。

3. データ

被説明変数に関して、福岡県の各市町村における一人あたりの一年間の家庭系ごみの排出量を、環境省の一般廃棄物処理実態調査結果データ（平成28年度）から家庭系ごみ（混合ごみ、可燃ごみ、不燃ごみ、資源ごみ、その他のごみ、粗大ごみ）排出量を使用し、各市町村の人口は福岡県庁の人口移動調査データ（平成28年度10月）より入手した。この各市町村の家庭系ごみ排出量を各市町村の人口で割って福岡県の各市町村における一人あたりの一年間の家庭系ごみの排出量とした。

説明変数に関しては以下のように様々な変数についてその関係性を分析した。

【地域特性に関する変数】

各市町村の平均年収(千円) :

この変数は納税義務者一人あたりの課税対象所得を表す変数である。e-Statの納税義務者一人あたりの課税対象所得を用いた。

老年人口割合(%):

この変数は、その自治体の総人口に占める65歳以上の人口の割合を表す変数である。福岡県庁の年齢別人口データ（平成28年度）から入手した。

【政策特性に関する変数】

1Lあたりのごみ袋の価格(円/L):

この変数は、可燃ごみ、不燃ごみの市町村指定ごみ袋の1Lあたりの価格を表している。価格のデータは各市町村のホームページを参照し、ごみ袋の大き

さが明記された25の市町村をサンプルとしている。

分別数:

この変数は、自治体が制定しているごみの分け方の数を表した変数である。ごみの分別数は各市町村のホームページを参照し、ごみの分別数が明記された59の市町村をサンプルとしている。

4. 結果

4.1. 地域特性に関する変数

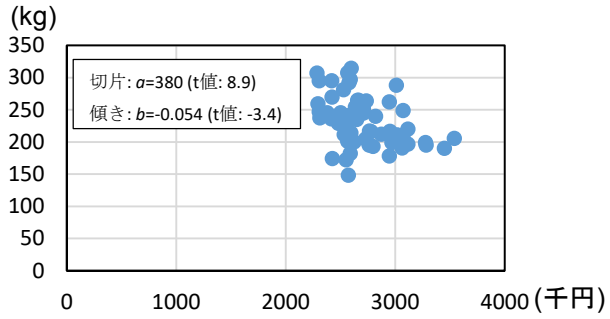


図1. 家庭系ごみ排出量と平均所得の関係

図1から、平均所得は家庭系ごみの排出量に負の影響を与えるという結果が得られた。具体的には、平均所得が10万円上昇すると一人あたりの家庭系ごみ排出量が年間で5.4kg減少することを示している。

また、老年人口割合は家庭系ごみの排出量に正の影響を与えるという結果が得られた。具体的には、老年人口割合が1%上昇すると一人あたりの家庭系ごみ排出量が年間で2.4kg上昇する結果が得られた。

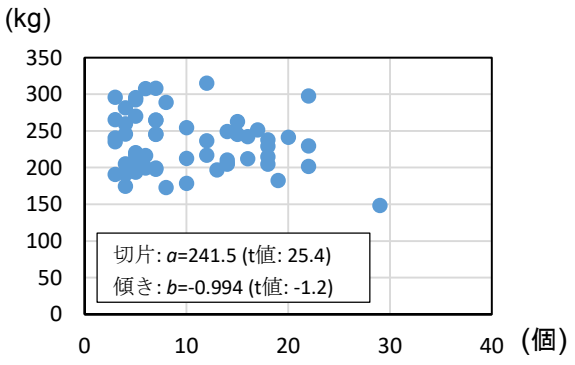


図2. 家庭系ごみ排出量と分別数の関係

また、分別数は家庭系ごみ排出量にほとんど影響を与えないという結果が得られた（図2）。具体的には八女市、新宮町、水巻町は一人あたりの家庭系ごみ排出量が年間約200kgであるが、分別数はそれぞれ22、14、5である。

重要な点として、ごみ袋の価格は家庭系ごみ排出量に負の影響を与えるという結果が得られた。具体的には、1Lあたりのごみ袋価格が1円上昇すると一人あたりの家庭系ごみ排出量が年間25kg減少することが分かった。

4. 考察・結論

本研究では福岡県の市町村ごとの家庭系ごみ排出量に着目し、地域特性や自治体の政策との関係について分析した。地域特性に関する変数として平均所得と老年人口割合を説明変数としたが、それぞれ家庭系ごみ排出量に負の影響、正の影響を与えるという結果が得られた。平均所得の高い世帯では自炊をせず外食をすることで生活系ごみが減少していることが考えられる。また、65歳以上は在宅時間が長く自宅で食事をすませることで生活系ごみ排出量が増加していることが考えられる。

政策特性に関する変数としては分別数とごみ袋価格を説明変数としたが、分別数は家庭系ごみ排出量にほとんど影響を与えていなかった。分別数が多いということが人々の家庭系ごみ排出量を減らそうとするインセンティブにはならないということであると考えられる。また、ごみ袋価格は家庭系ごみ排出量に負の影響を与えるという結果が得られたが、平均所得別に見てみると、平均所得が高くなるほど影響は小さくなるという傾向がみられた。

4. 参考文献

[1] 環境省：平成28年度全体集計結果（ごみ処理状況）（http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/index.html、最終検索日：2018年12月31日）

[2] 環境省：平成28年度一般廃棄物の排出及び処理状況等について（http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h28/data/env_press.pdf、最終検索日：2018年12月31日）

[3] 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果統計表一覧（http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/stats.html、最終検索日：2018 年 12 月 31 日）

P2-023
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

低炭素発電技術に使用される金属資源のクリティカリティ評価

−評価手法の提案とその適用−

Criticality assessment of metals used for low-carbon power generation technologies - A proposal of evaluation method and its application -

○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

近年、地球温暖化対策技術として再生可能エネルギーや高効率火力発電が注目されている。これらの低炭素発電技術には多くの金属資源が利用されており、鉱物資源に乏しい我が国においては、その戦略的な確保が求められている。これまで筆者らは、既存研究 1)を参考に、低炭素発電技術に利用される金属資源のクリティカリティ評価を実施してきた。しかしながら、既報 2)では低炭素発電技術の急激な需要増加がもたらす需給バランスの影響を定量的に評価するには至っていなかった。

そこで本研究では、急激な需要増加がもたらす影響を評価に組み込み、新たにクリティカリティ評価を実施した。また既報 2)の結果と比較を行い、需要増加が評価結果に与える影響を考察した。

2. 方法

2.1 対象技術と対象金属資源

長期エネルギー需給見通しにおいて 2030 年の電源を構成する、水力発電、風力発電、太陽光発電、地熱発電、バイオマス発電、原子力発電、LNG 火力発電（GTCC）、石炭火力発電（A-USC）の 8 技術、これらの技術に利用される金属資源 3)のうち、29 鉱種を対象とした。

2.2 金属資源のクリティカリティ評価

既存研究 1)を参考に、供給リスク（SR）と脆弱性（VSR）の二軸で金属資源のクリティカリティ評価を実施した。SR として地質的・技術的・経済的リスク、社会的・規制的リスク、地政学的リスクを評価し、VSR として、低炭素社会形成における重要性、代替可能性、感受性を評価した。本研究では、重要性の項目に対象金属資源の需要増加の影響を新たに追加し、評価を実施した。ここで新たに設けた需要増加の評価方法については、まず、長期エネルギー需給見通しで計画されている各発電技術導入量に発電技術毎の金属含有率 3)を掛け合わせることで将来の需要量を推計し、2014 年の総需要量に対する増加率として評価した。

最終的に、各々の推計式に従って 0-100 のスケールで評価し、その後、両軸でそれぞれの項目の値を等しく重み付けして、各金属資源の SR、VSR を推計した。

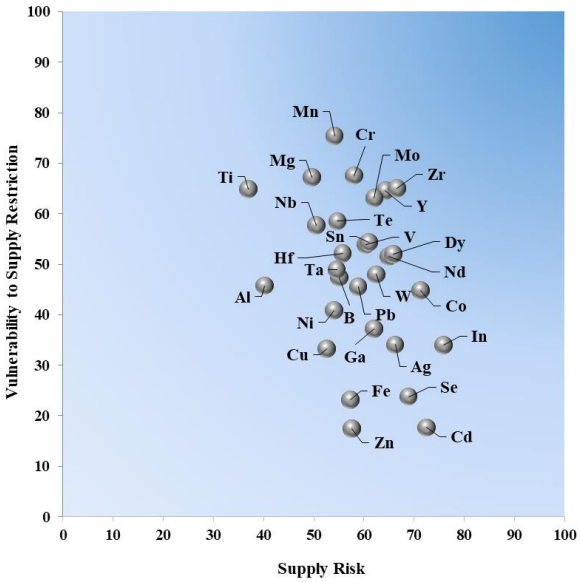


図 1　対象 29 鉱種のクリティカリティ評価

3. 結果と考察

対象とした 29 鉱種の評価結果を図 1 に示す。同図では、横軸に SR を縦軸に VSR をとっており、右上に位置する金属資源ほどクリティカルであると評価される。同図から、SR が大きい金属資源として In、Cd、Co、また、VSR が大きい金属資源として Mn、Cr、Mg が同定された。また両軸の値が比較的大きい金属資源として Zr、Mn、Y が同定された。

本研究で新たに設けた需要増加の影響は、Te で大きく推計された。Te は太陽光発電による需要量増加の影響が大きく、他の金属資源に比べ同項目で大きな値をとった。しかし、他の金属資源の結果に大きな違いを生まなかったことから、既報でのクリティカルメタルと本研究でのクリティカルメタルにはあまり差が見られない結果となった。

引用文献

1) Graedel T. E. et al.: Environ. Sci. Technol., 46, (2012), pp 1063-1070
2) 宮本渉, 橋本征二：“第 34 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス”, 東京,（2018）, pp. 219-222
3) European Commission：”Critical Metals in the Path towards the Decarbonization of the EU Energy Sector”, (2013)

P2-024　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

日本におけるポリ塩化ビニルの二次埋蔵量の評価

The estimate of secondary reserve of PVC in japan

○三俣陽太郎*[1)]、福谷大樹 [2)]、橋本征二 [1)]

Yotaro Mitsumata, Daiki Fukutani, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学　2) 立命館大学大学院

* rv0056sx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

プラスチックについては、近年海洋ごみの問題が注目されているほか、燃焼すると CO_2 の排出源となることなどから、その循環的な利用が望まれている。プラスチックの中でもポリ塩化ビニル(PVC)は、素材の劣化が起こりにくい等の特性から、マテリアルリサイクルに適した素材とされる。また、PVC 最終製品の多くは建設材として使用されており、使用年数が長いことからその市中ストック量に比較して廃棄量が極めて少なく、多くの潜在的な廃棄物が存在することが指摘されている [1)]。しかしながら、それらは同時に潜在的な二次資源でもある。これについては、Hashimoto ら [2)]が、経済社会に存在する二次物質の埋蔵量という概念を提示している。本研究では、これを PVC に適用し、日本の経済社会に存在する PVC のうち二次資源として利用可能な量、すなわち二次埋蔵量の推計を行った。

2. 方法

PVC のストック量、廃棄量、二次埋蔵量は、下式で推計した。

$$S(t)= \Sigma a\, Sa(t)= \Sigma a \Sigma i\{Ua(i)\cdot Ra(t-i)\}$$

$$GS_{EOL}(t)=\Sigma a \Sigma i\{Ua(i)\cdot fa(t-i)\}$$

$$SR(t)=SR_1(t)+SR_2(t)$$

$$= \Sigma a\{GS_{EOL}(t)\cdot ra(t)\}+\Sigma a\{Sa(t)\cdot ra(t)\}$$

$$Ra(x)=1-\Sigma x\, fa(x)$$

$$fa(x)=1/(2\pi\sigma)^{1/2}\cdot \exp[-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)]$$

ここで、S(t)は t 年における PVC のストック量(t)、Sa(t)は t 年における最終製品 a としての PVC ストック量(t)、Ua(i)は i 年における最終製品 a としての PVC 利用量(t/y)、Ra(x)は最終製品 a の x 年後の残存率(-)、$GS_{EOL}(t)$は使用済み PVC 最終製品の発生量、fa(x)は最終製品 a の x 年後の廃棄率(-)、SR(t)は t 年における PVC の二次埋蔵量(t)、$SR_1(t)$、$SR_2(t)$はそれぞれ耐用年数が 1 年以下、2 年以上の最終製品の t 年における PVC の二次埋蔵量(t)、ra(t)は t 年における最終製品 a の PVC の二次埋蔵率(-)、μ、σ はそれぞれ正規分布 fa(x)の平均、標準偏差である。なお、PVC の二次埋蔵率 ra(t)は、経済社会に存在する PVC のうち経済的に回収可能なものの比率であり、各最終製品の現状のリサイクル率として設定した。

3. 結果と考察

3.1　PVC のストック量と廃棄量

PVC のストック量は建設材が大部分を占め、1955 年から 2016 年にかけて増加から徐々に横ばいと推計された。これは、近年 PVC 最終製品の需要が減少していることに加え、長期耐久製品である建設材の廃棄量が増加しているためである。特に、パイプとしての PVC ストック量が大きく、全体の約 7 割を占める結果となった。パイプとしての PVC 廃棄量は増加傾向にあり、今後の更なる増加が予想される。パイプを除く建設材の PVC ストック量も増加していることから、今後の廃棄量増加に備え、そのリサイクルのためのシステムを検討していくことが重要と考えらえる。

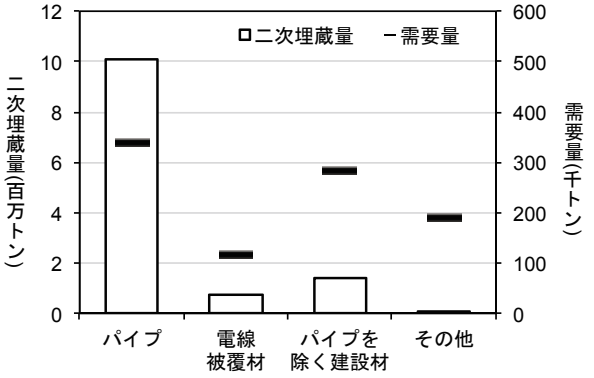


図 1　2016 年における PVC の二次埋蔵量と需要量

3.2　PVC の二次埋蔵量

2016 年における PVC の二次埋蔵量は約 1200 万トンと推計され、これは同年の需要量の約 12 年分に相当する結果となった。最終製品別では(図 1)、パイプとしての二次埋蔵量が 1007 万トンで同需要量の約 30 倍、電線被覆としての二次埋蔵量が 74 万トンで同需要量の約 6 倍、パイプを除く建設材としての二次埋蔵量が 144 万トンで同需要量の約 5 倍と推計された。ただし、我が国では PVC のリサイクルの多くを海外に依存しており [3)]、供給される二次資源の多くは上記の国内需要を代替していない。プラスチックの輸出に関わる昨今の情勢が続けば、二次埋蔵量も減少する可能性があり、国内におけるリサイクルシステムの高度化が求められる。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3K163001)及び環境経済の政策研究 IV による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 中井和彦ら：塩化ビニル樹脂のストック量と廃棄量の予測及びマテリアルフローの解明、第 28 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.113-120、2000

2) 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

3) 磯部孝行ら：東アジアにおける塩化ビニル廃材のマテリアルフロー分析、日本 LCA 学会誌、12(3)、pp.196-207、2016

P2-025　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

日本における白金族金属のフロー・ストックの時系列分析

Time-series analysis on PGM flows and stocks in Japan

○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

白金族金属(PGM: Platinum Group Metals)は、その特異な性質から幅広い分野において欠かせない材料となっているが、鉱石産出国の偏在などにより供給リスクの高い物質ともされている。日本においても、PGM の効率的な利用や PGM 資源の確保を図っていく必要があるが、その基礎情報として、PGM のフローやストックの状況を把握することが必要である。PGM の物質フロー分析(MFA: Material Flow Analysis)についてはいくつかの報告[1)2)]があるが、包括的なフロー・ストックの把握には至っておらず、特にストックやリサイクルフローに関する情報は乏しい状況にある。本研究では、日本における PGM のフロー・ストックを時系列で推計し、PGM の利用動向やリサイクルに関する情報の整理を行った。

2. 方法

本研究では、PGM のうちデータの入手が可能な Pt, Pd, Rh の 3 物質を対象とし、2005、2010 年、2015 年のフロー・ストックを推計した。また、PGM の最終製品分野として、自動車用触媒、電子材、歯科、宝飾品、医療、その他の計 6 つの民生用途、化学、ガラス、石油の計 3 つの産業用途を設定した。

各プロセスにおける PGM のフローは、筆者らによる既報[3)]に基づき算出した。「原料生産」段階では、リサイクル材、他鉱石製錬残渣、素材の輸出入量を考慮した。「加工・製造」段階では、最終製品分野ごとの PGM 需要量データ[4)]を引用した。「使用」段階では、最終製品としての PGM 輸出入量、中古製品としての PGM 輸出を考慮した。「廃棄物処理」段階では、リサイクル量、未回収スクラップ量、老廃スクラップの輸出入量を考慮した。なお、使用段階での製品としての PGM ストック量および使用済み製品としての PGM 排出量は下式により推計した。

$$S(t) = \sum_i F^{in}(i) \times R(t-i)$$

$$F^{out}(t) = F^{in}(t) - S(t) + S(t-1)$$

ここで、$S(t)$は t 年における経済社会中の PGM ストック量、$F^{in}(i)$は i 年における使用段階への PGM 投入量、$R(y)$は y 年後の残存率(-)、$F^{out}(t)$は t 年における使用済み製品としての PGM 排出量である。この排出量には中古製品としての PGM 輸出も含まれる。

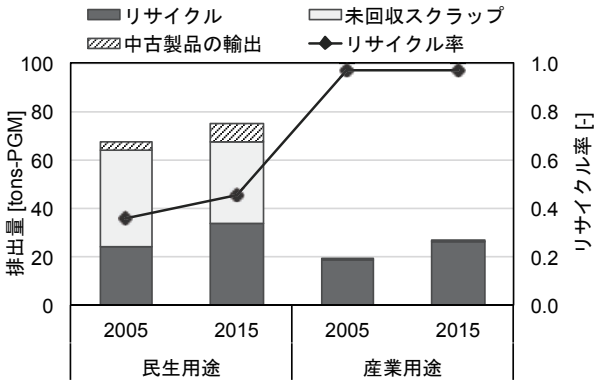


図１　PGM 排出量とリサイクル率

3. 結果と考察

本要旨では、2005 年と 2015 年時点での PGM フローについて記載する。「使用」段階への PGM 投入量 F^{in} は 2005 年から 2015 年にかけて約 116.7 トンから約 97.9 トンと約 19%減少しており、これは主要用途である宝飾品需要低下の影響である。2005 年から 2015 年にかけての PGM 排出量 F^{out} に関しては、約 85.9 トンから約 99.4 トンと約 16%増加しており、民生用途と産業用途のいずれにおいても増加する結果となった（図 1 参照）。また、使用済み製品のリサイクル率に関しても、比較的リサイクル率の高い自動車用触媒や宝飾品の排出増加にともない、10 年間で約 49%から約 59%へ約 19%増加した。ただし、自動車用触媒に関しては、中古車としての国外への流出フローも無視できない量がある。実際、中古車や中古エンジンとしての PGM 輸出量は 10 年間で約 3.2 トンから約 7.4 トンへと約 130%の増加している。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3K163001)及び環境経済の政策研究 IV による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) 栗木辰悟ら：白金族金属のリサイクルポテンシャル評価、日本金属学会誌、74(12)、801-805、2010
2) JOGMEC：鉱物資源マテリアルフロー
3) 福谷大樹ら：日本における白金族金属類二次埋蔵量評価、第 12 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集、402-403、2016
4) Johnson Matthey: Market data tables, http://www.platinum.matthey.com/, 2017 年 12 月アクセス

P2-026
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

日本における水銀の物質フロー・ストックの推計

Estimation of material flows and stocks of mercury in Japan

○青木一将*[1)]、橋本征二 [1)]
Kazumasa Aoki, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
*rv0049rs@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

2013 年、水俣市において「水銀に関する水俣条約」が採択され、我が国では 2015 年に「水銀による環境の汚染の防止に関する法律」が制定された。これを受け、水銀のマテリアルフローの把握がより重要となっており、環境省においてもその推計が行われている [1)]。また、研究レベルでも、水銀条約が水銀マテリアルフローに与える影響 [2)]や地域レベルでの水銀マテリアルフロー[3)]を検討したものが報告されている。しかしながら、現状の課題として、①各工程の物質収支が保たれた形で全体のマテリアルフローが描けていないこと、②ストックの把握が十分ではないこと、等が挙げられる。このようなことから本研究では、環境省の水銀マテリアルフロー[1)]の改善を目的として、各工程の物質収支を可能な限り改善するとともに、可能な範囲でストックの推計を試みた。

2. 方法

2.1 環境省水銀マテリアルフローの課題の同定と改善策の検討

環境省が作成した2014 年の水銀マテリアルフロー[1)]は、5 つの分野(原燃料等、製品、水銀等、廃棄物及び水銀含有再生資源、環境中への水銀排出)に分けて推計が行われているが、各工程の物質収支や 5 分野間の整合性等は必ずしも明確ではない。そこで、上記 5 分野で取り上げられている工程に着目してその整合性を確認し、課題を同定した。具体的には、環境省の水銀マテリアルフロー[1)]を 40 程度の工程・財からなる投入産出表で表記し、各工程の物質収支および各財の需給の物質収支を確認した。また、物質収支が合わない場合には、その原因と改善案を検討した。

2.2 水銀マテリアルストックの推計

環境省の水銀マテリアルフロー[1)]に記載のある 24 程度の水銀含有最終製品の時系列の生産ないしは出荷データを収集し、ポピュレーションバランスモデルを用いて、市中製品の水銀マテリアルストックを推計した。この際、製品の使用年数に関する既存研究 [4)]や水銀使用廃製品からの水銀排出量を推計した既存研究 [2)]を参考にした。

3. 結果と考察

3.1 環境省水銀マテリアルフローの課題と改善策

各工程の物質収支について見ると、一次製鉄やセメント生産(図１)において大きな物質収支の不具合が見られた。原因として、製鉄の脱硫石膏に含まれる水銀の未計上や鉄鉱石の水銀含有量の過大計上、工程内における水銀の残留・蓄積や原材料・製品・廃棄物の在庫の影響等が考えられた。製鉄の脱硫石膏に含まれる水銀の計上や鉄鉱石の水銀含有量の精査、蓄積・在庫の計上などを通じて物質収支の差は縮まると考えられる。

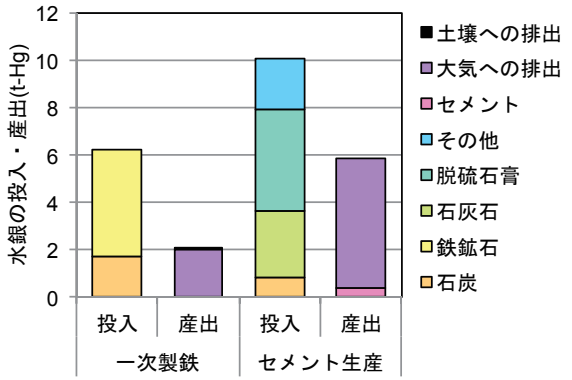


図１ 一次製鉄、セメント生産における水銀の物質収支

各財の需給の物質収支について見ると、(回収)水銀や廃棄物に関連する項目で大きな物質収支の不具合がみられた。これらは主に廃棄物等の産出側の情報が不足していることによるものであり、ストックの推計なども通じて今後情報を整理していく必要があると考えられた。

3.2 水銀マテリアルストック

24 程度の水銀含有最終製品のうち、過去 10 年程度の時系列データが入手できた 4 製品(酸化銀電池、蛍光ランプ、HID ランプ、水銀血圧計)を対象に水銀マテリアルストックの推計を行ったところ、蛍光ランプと水銀血圧計で大きな値となった。ただし、各製品の想定寿命を考慮するとより長期の時系列データを用いて計算することが望ましく、今後改善を行っていく予定である。

参考文献

1) 環境省：我が国の水銀に関するマテリアルフロー、http://www.env.go.jp/chemi/tmms/materialflow.html、2018 年 7 月アクセス
2) 袖野玲子、高岡昌輝：水俣条約による日本の水銀マテリアルフローへの影響と将来推計、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.28、pp.128-139、2017
3) 徳永晴樹ら：熊本県における水銀のマテリアルフロー、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.28、pp.184-198、2017
4) 小口正弘ら：電気・電子製品 23 品目の使用年数分布と使用済み台数の推計、廃棄物学会論文誌、Vol.17、pp. 50- 60、2006

P2-027
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

インドにおける $PM_{2.5}$ 排出状況分析

○三苫春香*1)、加河茂美 1) 、永島史弥 1)
Haruka Mitoma Kagawa Shigemi Fumiya Nagashima
1）九州大学
* mtmhrk1997@gmail.com

1.　はじめに

今日 $PM_{2.5}$ を初めとする大気汚染は人体に深刻な影響を与える要因となっている。とりわけ中国やインドなどの経済成長や人口増加が著しい地域では $PM_{2.5}$ 濃度が高く健康被害も深刻である。SOGA(2017)[1]によると、2015 年における世界全体の大気汚染に起因する早期死亡者のうち 50%が中国、インドにおけるものである。インドにおける 2015 年の大気汚染に起因する早期死亡者数は中国に並ぶが、その増加率は中国を上回っており、対策が急務であるといえる。

REAS（2000−2008）[2]のデータによると家計部門と電力部門による石炭などの固形燃料の燃焼がインドの $PM_{2.5}$ 排出の主な原因であるものの、地域別に着目すると、貧困農村地域から都市へと経済発展する段階で主な排出源が家計部門から電力部門へと移行していく傾向が見られた。インドでは依然として人口の約半数は貧しい環境で生活しているものの、2003 年から 2007 年の間においてはおよそ 8%の経済成長を果たしており、特に鉱工業（9.5%）、建設業（13.3%）、サービス業（10%）に関しては全体よりも顕著な成長を記録した。[3]インドでは国内 GDP に占める第三次産業の割合が大きいものの、この先の内需の拡大に伴いインフラ整備や農村地域の都市化が進むにつれて第二次産業を中心に大幅な経済発展が見込まれる。製造業をはじめとする第二次産業は多くの中間財の投入が必要となり、その過程で直接・間接的に使用される電力部門の需要も増加し、それに伴う電力由来の $PM_{2.5}$ の排出が増加することが見込まれる。電力部門はこのような製品の製造サプライチェーンにおいて重要な役割を果たしているため、効果的な削減のために、近年企業の間で浸透しているサプライチェーンマネジメントという考えが必須となっている。2011 年には企業がサプライチェーン全体の GHG（温室効果ガス）の排出量を算定・報告するための国際基準である GHG プロトコル「Scope3」基準が発行され、企業が投資家やステイクホルダーから、サプライチェーン全体での GHG 排出量情報を公開することを求められるようになってきた。実際に企業の低炭素化に向けた取り組みを評価し、スコア化し公開する CDP は、企業にサプライチェーンレベルでの GHG の算定・報告を要求し、スコアリング結果を公開している。[4] このようにサプライチェーン全体での GHG 排出量を可視化する取り組みが行われている中で、$PM_{2.5}$ のような大気汚染物質においてもサプライチェーン全体で算定し評価していく取り組みが必要であるといえる。しかしながら、$PM_{2.5}$ は GHG とは異なり、直接的に人体へ影響を及ぼすため、排出量のみで評価するのは不十分であり、健康被害を指標として扱い、評価することが必要である。そこで本研究では $PM_{2.5}$ 排出による健康被害とサプライチェーンを関連させた分析を行っていく。具体的には①二次粒子も含めた電力部門由来の健康被害のインベントリを作成し、②産業連関表を用いて、サプライチェーン全体での $PM_{2.5}$ 排出量を算定する。さらに③優先的に対策を講じるべきサプライチェーンを明らかにする。

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[5]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）。

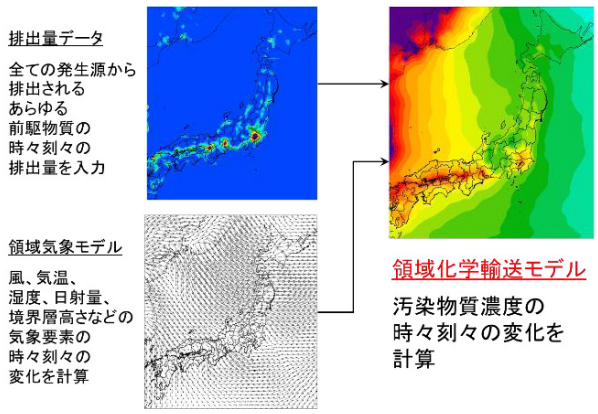


図 1　大気汚染物質の年平均濃度分布の計算

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。

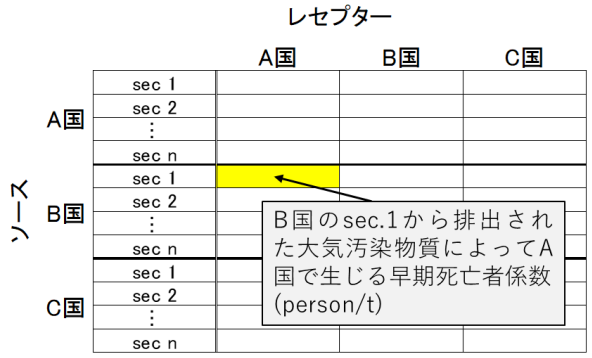


図 2　ソース・レセプター関係行列の構造

2.2 産業連関分析への応用

本研究では、187 か国を対象とした世界多地域産業連関表(EORA)を用いる。EORA を用いて当該国（地域）の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

インドの電力部門由来の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）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

分析結果から、インドの電力部門で発生する大気汚染物質に伴うインド国内の早期死亡者は 12 万人であることが明らかになった。図 3 はインドを除く各国の最終需要が誘発するインドの電力部門由来排出に伴うインド国内で発生した早期死亡者数を示している。インド国内で発生した電力部門由来の早期死亡者のうち、およそ 10 万人は国内需要によって発生したことが分かった。インド国外の需要がもたらす早期死亡者のうち、アメリカや中国などの最終需要が誘発する影響が大きい。

表 1 は図 3 で示した消費ベース健康被害量のうち、アメリカの最終需要がインドの被害量に対し最も寄与するサプライチェーンを表している。表 1 から石油や服飾・繊維部門への需要が電力部門への間接需要を通してインドへの健康被害をもたらしていることが明らかになった。また電化製品への需要は 1 次、2 次波及を通して多くの電力需要をもたらし、その間接需要を通して排出された大気汚染物質による健康影響も大きいことが分かった。

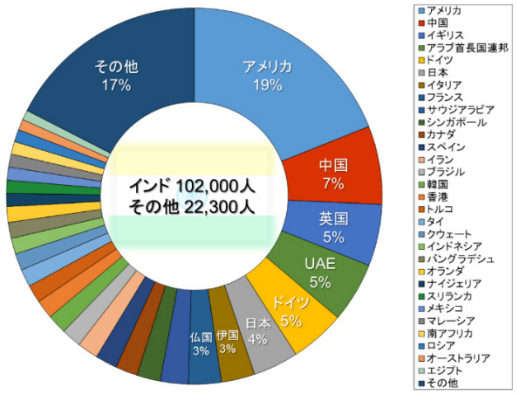


図 3　各国(インドを除く)の最終需要が誘発するインドの電力部門由来排出に伴うインド国内の早期死亡者

表 1　大気輸送を考慮した構造経路分析の結果

Rank	早期死亡者	消費国	経路		被害国
1	139人	USA	→ IND: 石油&非金属鉱物製品 → IND: エネルギー	→	IND
2	130人	USA	→ IND: 繊維&服飾 → IND: エネルギー	→	IND
3	102人	USA	→ IND: 電化製品 → IND: エネルギー	→	IND
4	58人	USA	→ IND: その他製造業 → IND: エネルギー	→	IND
5	42人	USA	→ IND: 電化製品 → IND: 鉄鋼製品 → IND: エネルギー	→	IND

2.　引用文献

1) Health Effects Institute. 2017. State of Global Air 2017.,p10, Special Report. Boston, MA:Health Effects Institute.

2) Kurokawa(2013)

3) 清水聡:”インドの経済成長～長期的課題と短期見通し”,(2009)

4) “サプライチェーン GHG 排出量（Scope3）見える化支援,みずほ情報総研 HP, 入手先 <https://www.mizuho-ir.co.jp/solution/improvement/csr/environment/scope3_cdp/index.html>, （参照 2019-01-06）

P2-028

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年３月）

産業の多角化が CO_2 排出量に与える影響の分析

○前野啓太郎*[1)], 加河茂美 [1)], 高藪広隆 [1)]

Keitaro Maeno, Shigemi Kagawa, Hirotaka Takayabu

1)九州大学

*mkkmagc173@gmail.com

1. 研究背景・目的

近年、法的緩和も相まって日本企業の事業多角化が進んでいる。しかし一方で環境に対する問題意識も高まってきており、将来的に国内外問わず環境規制もより一層強化されていくことが予想される。よって企業は環境負荷を十分に考慮したうえで事業多角化を進めていく必要がある。そこで本研究では、産業連関表(V 表)から日本産業の多角化の現状を明らかにし、環境負荷原単位データブック(3EID)を用いて各産業における環境負荷を分析・評価する。

2. 分析手法・データ

2.1 分析手法

2000 年、2005 年、2011 年の産業連関表・付帯供給表(V 表)から各産業における商品別産出割合を算出する。続いてそれらの数値を用いることによって、各産業のハーフィンダール・ハーシュマン指数（以下 HHI とする）を算出する。この指数を各年毎に比較することによって日本の産業の多角化について分析する。また、3EID の分類項目が V 表のそれと同じものになるように整理し、各商品の直接 CO_2 排出原単位を算出する。算出された原単位を用いて各産業の環境負荷を明らかにし、各年で比較することによって、環境負荷の変化を分析する。また、上述で求めた HHI と関連付けて考慮し、両者の関係性について分析・評価を行う。

2.2 データ

・総務省：2000・2005・2011 年 V 表

産業別商品産出表とも呼ばれる産業連関表の一部。行に産業、列に商品を示す表。本研究では 2000 年、2005 年、2011 年のデータを使用した。

・NIES：環境負荷原単位データブック（3EID）

本研究では 2000 年、2005 年、2011 年の生産者価格基準原単位と購入者価格基準原単位を使用した。

3. 結果・考察

3.1 商品別生産高 HHI と CO_2 排出量変化率の関係

2000 年、2005 年、2011 年の産業の HHI（横軸）と 5 年間の CO_2 排出量変化率（縦軸）の関係を以下の図 1～6 に示す。HHI 値が小さいほど多角度が高いことに注意されたい。

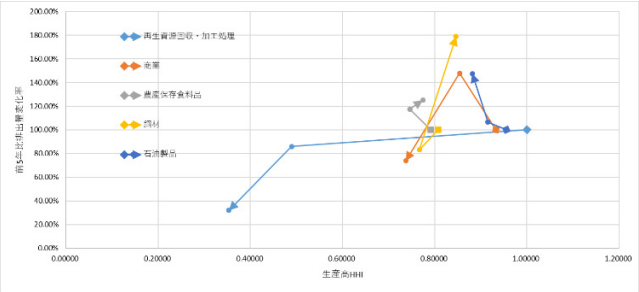


図 1.2000-2005 生産高 HHI 減少率 TOP5

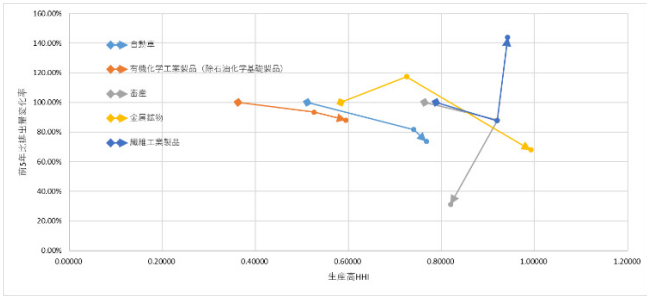


図 2.2000-2005 生産高 HHI 増加率 TOP5

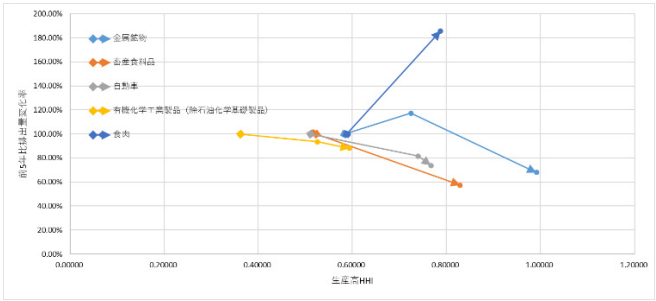


図 6.2000-2011 生産高 HHI 増加率 TOP5

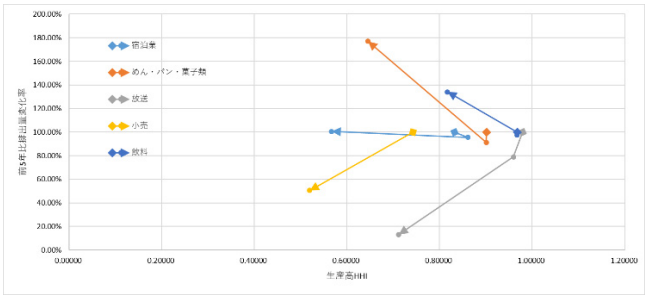


図 3.2005-2011 生産高 HHI 減少率 TOP5

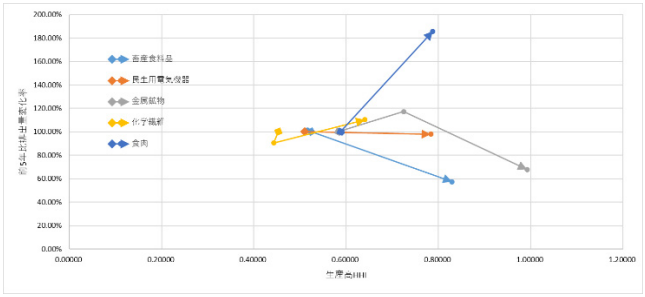


図 4.2005-2011 生産高 HHI 増加率 TOP5

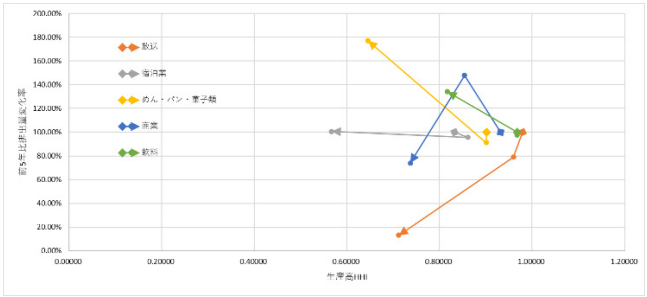


図 5.2000-2011 生産高 HHI 減少率 TOP5

図 1 と図 2 が 2000 年から 2005 年の変化が大きかった産業、図 3 と図 4 が 2005 年から 2011 年までの変化が大きかった産業、図 5 と図 6 が 2000 年から 2011 年までの変化が大きかった産業を表している。図 1、図 3、図 5 に示される産業においては、多角化度合いの増加（すなわち、HHI の減少）と CO_2 排出量の増減については関連性が薄いと考えられる。一方で、図 2、図 4、図 6 から多角化度合いの減少とともに CO_2 排出量の減少に寄与している産業（例えば、図 6 における自動車や畜産食料品）も存在することが分かった。

産業の生産高の変化や商品産出内訳の変化などより多くの要素を考慮に入れたうえで各産業の多角化と環境負荷に与える影響について考える必要がある。よって LCA 学会では以上の点を踏まえ、より多面的な分析を行い、ポスター発表を行う。

4. 参考文献

・総務省「産業連関表 V 表」

・国立環境研究所「環境負荷原単位データブック (3EID)」

P2-029
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

省エネ冷蔵庫買い替えに対する意識と電力消費量推計手法の検討

Study on Conservation and Energy Consumption Estimation Method for Energy Saving Refrigerator Replacement

○宮坂桃花*[1)]、磐田朋子[2)]
Momoka Miyasaka, Tomoko Iwata
1）芝浦工業大学
* br15080@ shibaura-it.ac.jp

1. 研究背景・目的

家庭にけるエネルギー消費を無理なく抑制できる取り組みの一つとして、省エネ家電への買い替えが挙げられる。特に冷蔵庫が家庭の電力消費を占める割合は大きい。しかしながら、冷蔵庫買い替えは初期費用が高額で、まだ壊れていない冷蔵庫を省エネ目的で買い換える人は少ない。そのため、冷蔵庫の買換えを促進するために、買い替えにかかる高額な初期費用を減額し、月々の光熱費の一部で減額分を返却する新たな仕組みが提案されており、実証段階にある[1)]。

本研究では、この仕組みを支援するために必要となる返済費用簡易計算ツールの開発および精度検証を行うことを目的とした。

2. 省エネ冷蔵庫買い替えによる CO_2 削減効果

24 時間稼働している冷蔵庫は、他の家電に比べて省エネ型への買い替えに伴う節電効果が高いことが予想される。また、ここ 10 年で冷蔵庫の電力消費量は 3 分の 1 程度まで省エネ[2)]が進んでおり、古い冷蔵庫の買い替え効果は大きいと予想される。製品の一生（原料製造、組立て、輸送、使用、廃棄、リサイクルまでの工程全て）の中で使用時の CO_2 排出量が最も大きく全体の 81%を占めている[3)]。壊れていないのに買い替えるのは“もったいない”と感じるが、CO_2 削減の観点から見ると買い替えないほうが“もったいない”と言える。

3. 冷蔵庫買い替えに対する意識

本学授業の受講者 192 名に冷蔵庫に関するアンケート調査を行った。

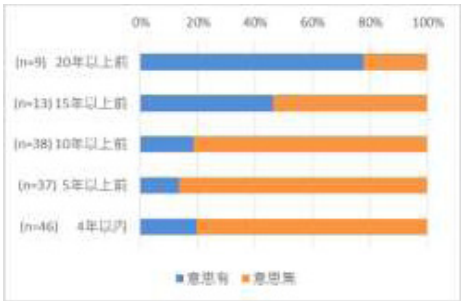


図１　製造年数による冷蔵庫買い替え意思

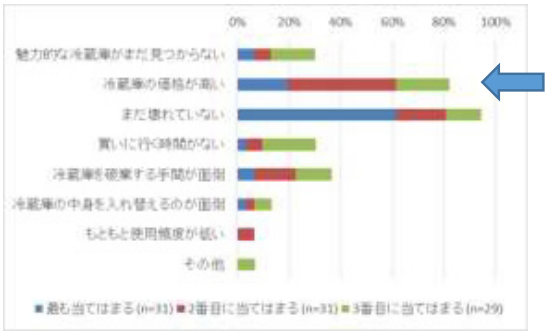


図２　冷蔵庫を買い替えない理由

20 年以上前の冷蔵庫を使用している人は冷蔵庫買い替え意思有が 78%と高い。10 年以上前の冷蔵庫を使用している人に、冷蔵庫を買い替えない理由を尋ねたところ、一番多かったのは、「まだ壊れていないから」。2 番目に多かったのは「冷蔵庫の価格が高いから」。買い替えたいと思っていても、初期費用が買い替えのハードルとなっていることがわかる。

4. 節電払いの仕組み

家庭に省エネ対策を導入することで、エネルギーの需要を大幅に削減できる可能性があるが、省エネ家電への買い替えは、初期費用が大きいことが普及の壁となっている。そこで、 JST 低炭素社会戦略センターと東京大学は、2014 年に「電気代そのまま払い」の実現に向けた枠組み作りを提案した[1)]。「電気代そのまま払い」は、家庭が省エネ機器を買い替える際に、必要な初期費用の全額またはその一部を金融機関などが立て替えし、省エネ機器の導入によって節約した電気代相当額を月々の実際の電気代と一緒に支払うことで、機器代を返済する仕組みである（図 3）。

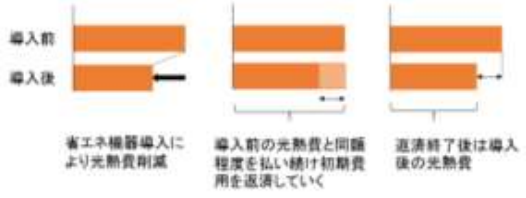


図３　電気代そのまま払いの仕組み

5. 電力消費量推計

5.1 製造年や容量による電力消費量の違い

「電気代そのまま払い」で冷蔵庫買い替えを実行するかどうか判断する際の重要な情報は、「何年で返済が完了するか」である。別途実施した調査では、冷蔵庫の買換え意思のある家庭の約 4 割が返済年数を重要視していた。返済年数を算出するためには、現在使用中の冷蔵庫の電力消費量を精度よく推測する必要がある。冷蔵庫のカタログに記載されている電力消費量と、実際の電力消費量には大きな開きがあるため、カタログ値をそのまま利用することはできない。しかし一方で、電力消費量の計測は手間と時間がかかり、計測器も高いことが課題である。冷蔵庫の電力消費量は製造年や容量によって異なるほか、気温とも相関関係にあるが（図 4、図 5）、坂本ら [4]が行ったカタログ値からの実電力消費量推計式には製造年や容量の要素はあるものの気温の要素が含まれておらず、その他の既往研究も見当たらない。

そこで本研究では、冷蔵庫にカタログ記載情報と、居住地付近の外気温データから、年間の冷蔵庫電力消費量を推計する手法を検討した。

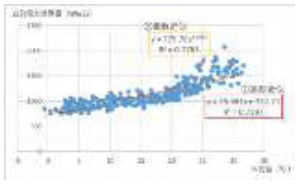


図 4 製造 2013 年,容量 415L

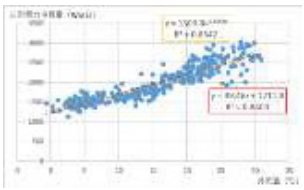


図 5 製造 1996 年,容量 370L

5.2 電力消費量予測ツールの開発

以下の手順で電力消費量予測ツールを開発した。

1. 過去の冷蔵庫電力消費量実測データ [5]を用いて、約 200 世帯分の冷蔵庫日別電力消費量と外気温の散布図を作成する。
2. 各世帯について、以下 3 パターンの回帰式を算出する。

①$y=ax+b$

②$y=ae^{bx}$

③$y=a(\text{where} < t_1)$

$y=ax+b(\text{where}\quad t \geqq t_1)$

3. 回帰式の切片および説明変数について、カタログ記載の静的項目（製造年数や容量など）で重回帰分析を行う。

手順 2 における式③は、外気温が非常に低くなっても宅内はある程度の室温を保つことを仮定した式である。3 パターンの回帰式について分析したところ、全世帯において式③の決定係数が最も高かった。

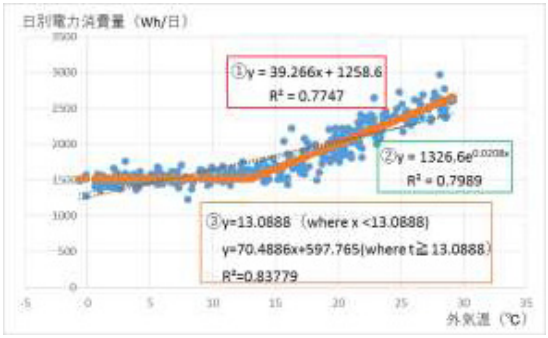


図 6　3 パターンの回帰結果例

5.3 電力消費量予測ツールの流れ

電力消費量を予測ツールは①～⑤の順に返済完了年数を予測する。

① カタログ値、スペックをツールに入力
② 使用している冷蔵庫の年間の電力消費量推測
③ 最新の省エネ冷蔵庫の年間電力消費量
④ ②③から年間で得する額を算出
⑤ 返済にかかる年数を算出

6. まとめ

今後は回帰式の切片や説明変数について、カタログ記載の静的項目（製造年数や容量など）で重回帰分析を行う。ツールが完成すれば、最終的には冷蔵庫のカタログ記載情報をツールに入力することで、電力消費量推定値がわかり、買い替えや支払いに関する情報を簡単に見ることが可能となる。ただし、古い冷蔵庫を使用していても、そもそも買い替えに無関心な人たちに、どのようにそのツールを広めるかが課題である。

7. 引用文献

1) 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会センター：“家庭・中小業務における「電気代そのまま払い」社会実装のための提案書”, (2017-3)
2) 資源エネルギー庁:“省エネ性能カタログ 2015 年冬版”, (2015), p.37
3) 一般財団法人日本電機工業会環境技術専門委員会 LCA－WG : “冷蔵庫のライフライクル・インベントリ（LCI）分析報告書”, (2013-3)
4) 坂本智幸,奥村清香,前田怜那,高瀬香絵,松橋隆治 : エネルギー・資源学会論文誌, 37 (5), “実測データを用いた冷蔵庫のエネルギー効率の改善による実消費量への影響に関する考察”,(2016) pp.8-15
5) 低炭素社会戦略センター：“家庭の電力使用量見える化実験”,(2014)

P2-030
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

訪日外国人観光客の動態に伴う環境経済的な影響

Environmental an Economic Impacts Associated with Foreign Visitors to Japan

○諸泉智子*[1)]、加河茂美 [1)]
Tomoko Moroizumi, Shigemi Kagawa
1) 九州大学
* yougo13tomo@ gmail.com

1. はじめに

日本政府観光局は、2003 年からビジット・ジャパン事業を始めた。ビジット・ジャパン事業とは、訪日外国人旅行者の増加を目的とした訪日プロモーション事業である。対象市場である韓国・台湾・中国・香港・タイ・シンガポール・マレーシア・インドネシア・フィリピン・ベトナム・インド・オーストラリア・アメリカ・カナダ・イギリス・フランス・ドイツ・ロシア・イタリア・スペインを中心に、海外での事業展開のノウハウ及びネットワークを通じて、市場の最新動向・ニーズを収集・分析し、それらを提供することで観光政策の立案に貢献している。

こうした事業のおかげで、日本は近年訪日外国人数を伸ばしており、2016 年には訪日観光客が 2000 万人を突破した。1 年後の 2020 年には東京オリンピック開催も控えており、安倍政権はオリンピックを機に 2020 年の年間訪日観光客数 4000 万人を目標としている。

日本を訪れる海外の方が日本にもたらす経済効果は膨大で、今や我々にとってなくてはならない存在である。その一方で、インフラ整備などの社会駅な費用面などの様々な問題が生じているのも事実だ。そこで本研究では観光に付随する経済効果を増加するにはどうすればよいか、また 1 年後のオリンピックに向けて今何をしなければならないのか、訪日外国人観光客の動態に伴う環境経済的な影響を分析する。

2. データと分析

本研究は日本政府観光局が公表している 2017 年の観光統計データを利用した。その統計によると、2017 年の訪日外国人の総数は 2869 万人で、そのうち訪日観光客は 2544 万人である。

訪日外国人の消費動向を明らかにすることを目的として、訪日外国人消費動向調査を用いて、トランジット・乗員・1 年以上の滞在者などを除く日本を出国する訪日外国人旅行者を調査対象とした消費動向の分析を行った。

次に、国籍・地域別の都道府県別訪問率をもとに訪日外国人がどの都道府県に多く訪れているか、またその上位の都道府県に関してはどの国からの旅行者が多いかを分析した。

訪問地別 1 人 1 回旅行消費単価を用いて、日本全体と訪日外国人が多い上位 5 都道府県における訪日外国人の消費額の計算も行った。この計算には旅行消費単価に訪日外国人数を乗じる必要があるため、各都道府県の観光統計を用いた。

最後に、品目別購入者単価より、国別の訪日外国人の消費額を計算し、その国別の違いを分析した。

3. 分析結果

訪日外国人が最も訪れている都道府県は、上位から、大阪府、東京都、千葉県、京都府、福岡県、北海道である。千葉県に関しては成田空港があるため外国人の出国入国が多いと考え、以下では北海道を繰り上げて考えることにする。また国別の訪日外国人の数を見ると、日本と地理的な距離が近い、韓国、中国、台湾などのアジアが上位を占めた。中でも顕著だったのは福岡で、訪日外国人の約 8 割を韓国、次いで台湾や中国が占めていた。これは単純に、福岡とアジアの距離が近いことや博多港へのフェリーの増加が要因と考えられる。

次に消費額について考察する。図 1 は訪日外国人数と消費単価を、図 2 は訪日外国人による消費額をグラフにしたものである。2017 年の GDP が約 531 兆円であったの対し訪日外国人の消費額は約 3.7 兆円で割合としてはおよそ 0.7%である。消費単価を見ると、東京と北海道はそれぞれ、67,926 円と 67,684

円で大差はないが、訪れている人数が大きく違うため消費額としては圧倒的に東京の方が高くなっている。また訪問人数は京都が福岡の約 2.5 倍であるのに対して消費額は福岡が勝っている。これは福岡の消費単価が京都の約 2.6 倍高いからである。このように、訪問人数の消費単価が福岡や北海道の大きな経済効果につながっている。

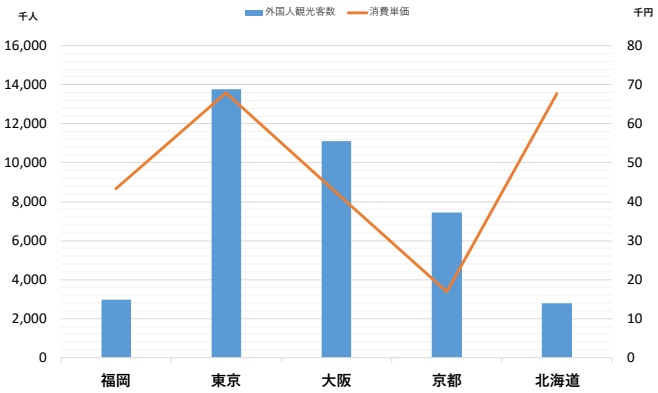


図 1. 訪日外客に対する消費単価

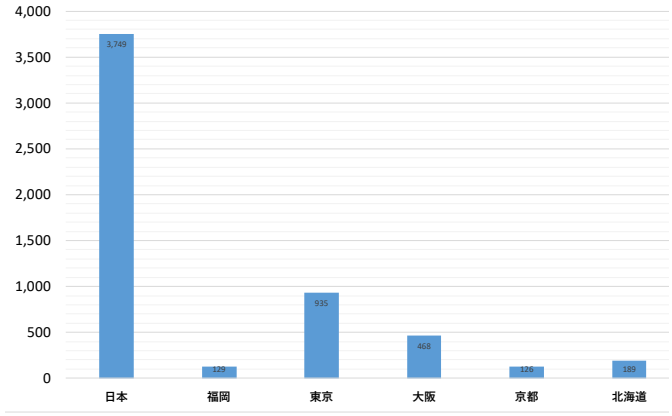


図 2.　訪日観光客の国別観光消費額（10 億円）

購入者単価から旅行者が何にどれだけお金を消費しているか、国別に考察する。図 3 と 4 は国別旅行者が何にお金を消費しているかをそれぞれ円単位と消費性向から見たものである。消費の対象品目を大きく、宿泊料金・飲食費・娯楽サービス費・買い物代に分け、買い物代のみ細かく分類した。図 3 から、平均的に中国人が最もお金を消費していることがわかる。最も消費額が低い韓国の 3 倍近い額である。図 4 より、平均的にオーストラリア、アメリカ、イタリアはアジアの国より宿泊料金にお金をかける傾向があるとわかる。また買い物代の中でも、アジア人は化粧品や香水、医薬品を多く買う傾向にあるようだ。例えばアメリカからの旅行者に対しては値段と質の高い宿泊施設を宣伝するなど、国や地域によって誘致の方法を変えると今より経済効果が期待できると考える。

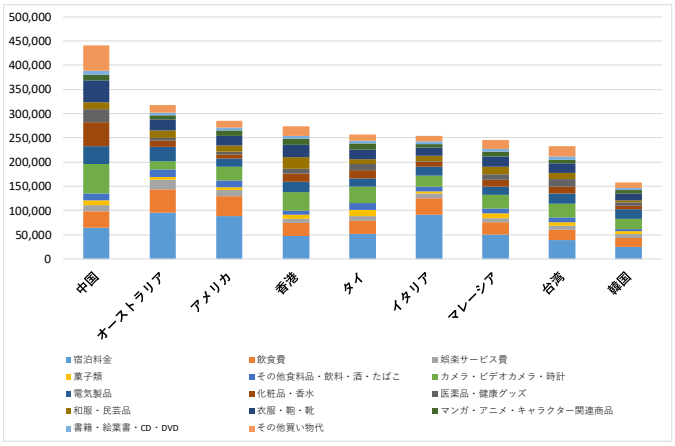


図 3.　国別訪日外国人の消費動向（円）

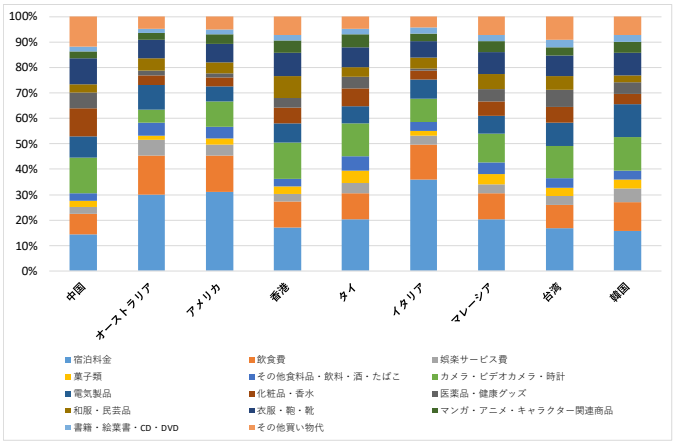


図 4.　国別訪日外国人の消費性向（%）

参考文献

(1)　JNTO　日本政府観光局「ビジットジャパン事業」https://www.jnto.go.jp/jpn/projects/promotion/vj/index.html＞

(2)　日本政府観光局（JNTO）「訪日外客数」

(3)　日本政府観光局（JNTO）「訪日外国人消費動向調査」

(4)　福岡市「福岡市観光統計」

(5)　東京都産業労働局「東京都観光客数等実態調査」

(6)　大阪府「観光統計調査来阪外国人旅行者数」

(7)　京都市「京都観光総合調査」

(8)　北海道経済部観光局「北海道観光入込客数の推移」

P2-032
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

衣類の修復サービスを対象とした環境影響評価

Environmental impact assessment of repair service for clothes

○岸野ほなみ 1)、伊坪徳宏 1)
Honami Kishino, Norihiro Itsubo
1)東京都市大学
* g1562021@ tcu.ac.jp

1.　社会背景

2030 年に向けた持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）が採択されたことを受けて、持続可能な消費と生産の推進に向けてサーキュラーエコノミーへの関心が高まっている。使用後の製品から価値を創出することで、温室効果ガスや廃棄物の削減を促すとともに、経済成長を実現する持続可能な循環型経済を目指す。シェアリングエコノミー、モノのサービス化、アップサイクル、修復サービスなど新たなビジネスが生まれており、これらの活動の推進が SDGs の 12「つくる責任・つかう責任」の達成へとつながるものと期待されている。

持続可能性が注目される中で、日常の必需品である衣類の生産、販売を行うアパレル業界においてテキスタイルの生産による二酸化炭素排出総量は年間 12 億トンである。これは石油業界に次いで 2 番目に多く、2030 年までに 60%も増加すると予測されている。業界の現在の廃棄処分モデルは、多くの環境影響と大きな経済的価値の損失の根本的な原因だ。毎秒、衣類のゴミ収集車 1 台分が埋め立てられるか燃やされている。日本においても国内のアパレル（外衣）供給は約 29 億点に対し、消費はプロパー、セール、アウトレット、リユースすべて含めて約 13 億 5200 万点。売れ残りの約 15 億 5000 万点の過半が廃棄処分となり、その多くが焼却処分されている。衣類はほとんど着用されていない。このような現状の中で衣類の修復サービスが近年着目されている。修復サービスの推進による環境負荷削減効果を可視化することができれば、服を長寿命化する意義をステイクホルダー間で共有できるものと考えた。

2.　研究目的

本研究では日本における衣類の修復サービスのイベントを対象とし、以下の 2 点を研究目的とした。

① 衣類の修復サービスを対象とした環境影響の定量化
② 従来のモデル(販売)と修復サービスを利用した場合の評価結果を比較するとともに、関係者への情報伝達による意識変化について確認する。

3.　研究方法

3.1.　評価対象

衣類の修復サービスのイベント及び、新規衣類（スノージャケット）を対象とする。なお、新規衣類の使用時の洗濯は 1 年に 1 回とした。商品やサービスの機能については、関係者ヒヤリングより「新規衣類は使用年数 5 年」「修復後の衣類は使用年数 3 年延長」「修復サービスのイベントを通じて修復された点数を 540 着」とした。これらの情報を受けて、新規衣類購入時と修復サービス利用時を比較する場合の機能単位を 40 年とした。修復サービス利用時は修復サービスのイベントを 1 着分の修復とする。比較時の機能単位を表 1 に示す。

表 1 新規衣類購入時と修復サービス利用時の機能単位

40年使用	修復サービス利用時	新規衣類購入時
新規衣類購入	5着	8着
修復サービス利用	5回	0回

3.2.　評価範囲

本研究の評価範囲を図 1、図 2 に示す。

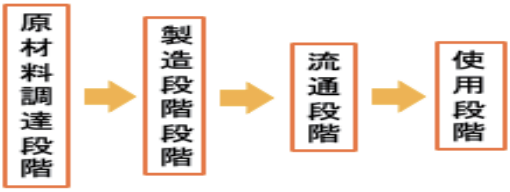


図 1 新規衣類 1 着の評価範囲



図 2 修復サービスのイベントの評価範囲

3.3 算定方法

インベントリ=Σ（活動量×原単位）　（式 1）
＊原単位：産業連関表より使用
特性化=Σ（インベントリ×特性化係数）　（式 2）
活動量には関係者よりヒヤリングを通じて得た一次データを使用した。

4. 結果

4.1. 気候変動

新規衣類１着の気候変動の特性化結果を図３に示す。ライフステージ別で見ると材料調達段階が約６割を占めている結果となった。これは生地を作る際の工場での電力の使用量が大きいこと。また、染色整理の際、生地にする前に汚れを落とし、漂白や光沢を出す工程であり、石油や重油を使用していることによる負荷が大きいと原因だと考える。次いで、流通段階における負荷が大きい。これは貨物輸送よりも小売、つまり店舗販売の電力消費が負荷の原因であると考える。

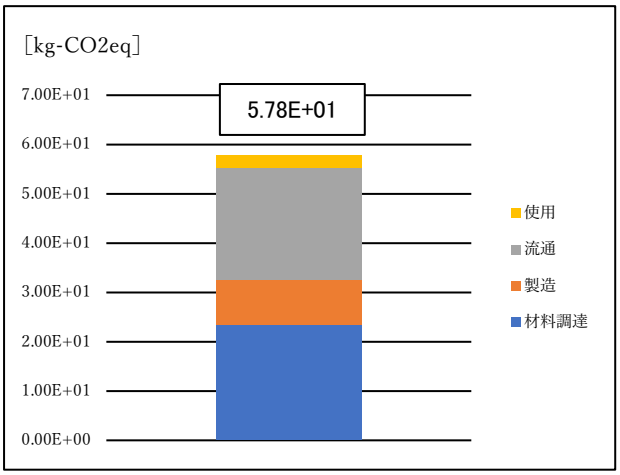


図３ 新規衣類１着を対象とした $LCCO_2$ 結果

次に衣類の修復サービスのイベントを対象とした気候変動の特性化結果を図４に示す。イベント全体の $LCCO_2$ はおよそ 12ton であった。ライフステージ別でみると準備段階と実施段階がほとんどを占めている結果となった。準備段階では、イベントに使用される物資際が寄与しており、実施段階ではイベント時にスタッフが宿泊する際の宿泊施設の利用による負荷が大きかった。

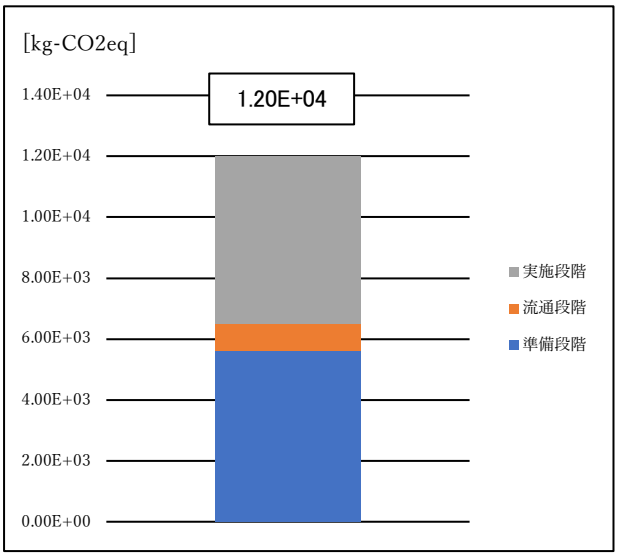


図４ 修復サービスのイベントを対象とした $LCCO_2$ 結果

4.2. 比較結果

機能単位 40 年で新規衣類８着購入時と修復サービスを５回利用して機能単位をあわせた場合の気候変動の結果を比較したものを図５に示す。比較すると約１割削減できることがわかった。修復サービスを利用することでサービス分の負荷は増大するが、使用年数を増やすことが環境負荷総量の削減を可能にしたものと考える。

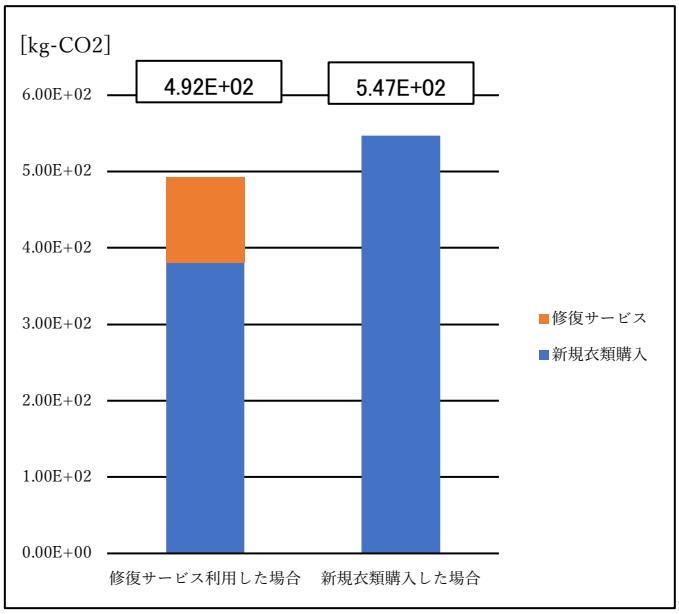


図５ 新規衣類購入時と修復サービス利用時の気候変動

5. まとめ

本研究では、衣類の修復サービスにおける環境影響評価を実施した。修復サービスの実施による衣類の長寿命化が環境影響の削減に寄与し得ることを確認できた。今回実施した比較は使用期間の設定により評価結果が大きく変わり得る。本研究では生産者らのヒヤリング調査から推定したが、アンケート調査の実施等を通じてより信頼性の高い情報を収集することが求められる。

6. 引用文献

松本大樹ら：アパレル産業における低炭素化の検討 (2011)

GORE TEX®: Life cycle Assessment of a GORE branded waterproof, windproof and breathable jacket (2013)

P2-033

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

オリンピックと環境（１） 資源循環からみたオリンピック

Environmental issues of Olympic
Material cycles in 2020 Tokyo Olympic

○髙橋和枝*
Kazue Ichino Takahashi
武蔵野大学*
kazutaka@ musashino-u.ac.jp

1. はじめに

2020 年に開催予定の東京オリンピック・パラリンピック競技大会（以下、東京大会）に向けた準備が急ピッチで進められている。多くの競技場等が新設され、既存設備の修復が行われている他、交通網の整備や、宿泊施設の増設・補強等が行われており、特に競技場が集中している東京湾岸地域の変容ぶりは、目を見張るものがある。

多くの人々が集う東京大会に対し、経済効果や国際化への期待が高まる一方で、暑さ対策の不備、交通渋滞等が不安視されている。さらに、将来的には老朽化した施設に対する保守・保全対策や、大量の廃棄物への対応が必要となる。そこで、持続可能なオリンピックを実現するために、ライフサイクルに亘って、東京大会が及ぼす環境影響を特に資源循環の観点から明らかにすることを目的として本研究を開始した。

具体的な研究対象として、まず、廃棄小型家電から回収した再生資源からメダルを製作するプロジェクトとした [1)]。このプロジェクトは 2017 年 4 月に開始され、約 2 年がたつ。2019 年 3 月末までこのプロジェクトは継続される予定である。小型家電リサイクルは、関係法の施行後も回収量が伸び悩んでおり、このプロジェクトを機に市民にリサイクルを定着させることも目的の一つである。しかしながら、まだ必要な資源量は回収できていないことが報告されている。そこで、その原因を探るため、まず、一般市民へのアンケート調査を行った。

2. 研究方法

2.1 対面調査

質問の有効性を検証するため、大学内の行事に集まった人に対面方式でアンケートを実施した。67 サンプルが回収でき、男性の回答者が多く 69%を占めていた。調査では、メダル作製プロジェクトに関する認知度の他、環境配慮行動、小型家電リサイクル等についても質問をした。

2.2 インターネットアンケート

商用インターネットアンケートサービス（NTT コムオンライン・マーケティングソリューション提供）を用いて一般消費者に向けたクローズド調査を 2 回実施した。質問は、対面調査の調査票を元にインターネットで回答できるように修正して用いた。さらに 2 回目のインターネットアンケートでは、オリンピックに関する意識調査も追加した。回答者の属性は、男女の回答者数はほぼ同数とし、さらに、年代ごとの人数を可能な限り平滑化するように実施した。以上の実施状況を表 1 にまとめて示す。

表 1 アンケートの実施状況

	アンケート方法	実施日	回答数
1	対面	2017. 12.　9	67
2	インターネット	2018. 1. 17	227
3	インターネット	2018.　9.　6	354

3. 結果と考察

3.1 メダル作製プロジェクトの認知度の変化

1 回目のインターネットアンケートのプロジェクトに対して、回答者の 28%が知っていると答えた。その内訳は、男性の方が 32%と女性の 25%よりも高かった。一方、対面式のアンケートのアンケート結果でプロジェクトを回答者の 40%が知っていると答えたが、主な理由として、回答者に環境系の学生が多かったことが考えられる。この 2 つのアンケートはほぼ同時期に行ったが、このような差が生じた背景には、環境に関する情報量の違いが反映されていると考えている。さらに 2 回目のインターネットアンケートの結果、プロジェクトの認知度は約半年で、8 ポイント向上し、36%となる一方、認知度は男性の方が高く（44. 5%）、女性（28. 7%）との差はさらに拡大する結果となった。プロジェクトを知ることになったきっかけについて質問をした結果、テレビ、新聞、インターネットが上位にあげられた（図 1）。メディアを使った宣伝にある程度の効果があったことが検証できた。

さらにアンケートの中で、プロジェクトの説明を加えたところ、プロジェクトに協力したいとする回答者が増えたことから、まずは、認知度を上げるように情報を発し、さ

らに機会を増やすことが重要であることが分かった。

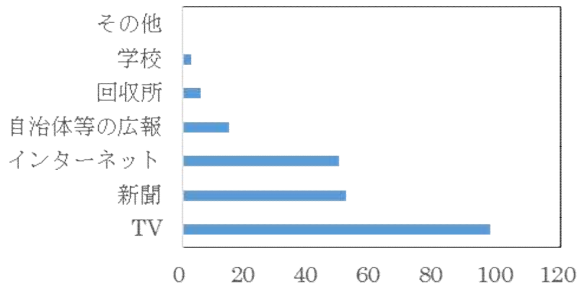


図 1 プロジェクトを知ったきっかけ

3.2 回収資源量の状況

プロジェクトで集められた携帯電話等の台数や回収資源量について、昨年 10 月に途中経過が報道されている。その結果、対象としている回収資源である金、銀、銅のうち、銅のみが目標量を達成したが、金は必要量の約半分、銀にいたっては約 2300kg が不足していると報道されている[1)]。しかしながら、携帯電話[2)]をはじめ、小型家電一般に含まれる銀の量は多くないことが知られており、小型家電リサイクルのみでメダルを作製するということは、かなり困難であると言わざるを得ない。

3.3 回収量の改善策

第 1 回インターネットアンケートの結果より、プロジェクトとは関係なく、小型家電リサイクルに協力したことがある回答者は、全体の半数程度（54%）であった。これは、他の環境配慮行動であるゴミの分別（93%）、省エネ（81%）、エコバッグの利用（74%）などと比較して低く、まだ十分、浸透しているとはいえない。今後も一般市民の意識を変えるような啓発運動が大事であろう。

プロジェクトの回収拠点として、市役所等の公的機関の他、駅等にも回収箇所が設置されているが、アンケートの結果からは、回収場所が不明とする回答者が全体の 38%を占めており、代わりに、コンビニエンスストア・スーパーなど、目につきやすく、かつ自身が立ち寄りやすい場所を希望する意見が多かった（図 2）。このことから、まだ間に合うようであれば、このプロジェクトに関しても、回収箇所、機会を追加することが望ましいことが分かった。

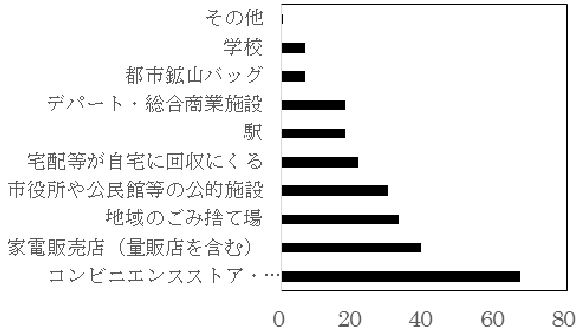


図 2 回収場所の希望

4. 今後の課題

オリンピックの環境負荷を考える上で、検討すべきその他の資源循環の課題として、社会インフラ(オリンピック施設・交通・上下水道)や食品がある。いずれの課題も大会の成功のみを近視眼的に捉えることなく、20 年後、50 年後を見据えたライフサイクルの視点から検討すべきである。

5. 引用文献

1) 公益財団法人東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会：”都市鉱山からつくる！みんなのメダルプロジェクト”， http://www.toshi-kouzan.jp/ (2019.1.10)

2) 中島謙一、山本圭介、中野加都子、黒田光太郎、原田幸明、長坂徹也、日本 LCA 学会誌，2(4)，(2006)，pp 341-346

P2-034

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

グリーン製品の普及による GHG 削減効果の推定

Estimate of the GHG reduction effect by the spread of green products

○高橋彩*1)、深津学治 2)、竹内孝曜 2)、稲葉敦 1)

Aya Takahashi, Gakuji Fukatsu, Takaaki Takeuchi

1）工学院大学, 2）グリーン購入ネットワーク

*s315042@ns. kogakuin.ac.jp

1. はじめに

近年、GHG 排出量が家庭部門と業務その他部門で増加傾向にある [1]。その削減のためには、省エネ型商品や製造時に CO_2 排出量が少ない商品の購入を促進する必要がある。

また、国等の機関では、グリーン購入の実施率は高いが地方公共団体での実施率が低い。それは、グリーン購入による効果がよくわからないからとされている [2]。このことから、グリーン購入をすることでどの程度の GHG 排出削減効果があるのかを明示できれば地方公共団体などの機関でもグリーン購入が促進されていくと思われる。

環境省では、グリーン購入法施工前の平成 12 年度と平成 27 年度における特定調達物品を比較し GHG 排出削減量を算出している [3]。

本研究では、平成 27 年度の国等の機関の特定調達物品の調達量を基に、グリーン購入ネットワーク（GPN）のエコ商品ねっと [4]に掲載されているグリーン購入法に適合した商品を使用することによる GHG 排出削減量を算出する。エコ商品ねっとでは、エコマークなどの環境ラベル取得商品やグリーン購入法に適合した商品・サービスなどを簡単に検索することが可能である。総掲載件数は 2019 年 1 月 5 日時点で 14,247 件である。

2. 研究方法

2.1 概要

平成 27 年度の国等の機関の特定調達物品の調達量を基に、紙類、文具類、オフィス家具、画像機器等、電子計算機器等、オフィス機器等、家電製品等、照明、自動車等、制服・作業服、インテリア、災害用備蓄用品、その他の 13 個の分野に分類した。このとき、平成 27 年度の国等の機関の特定調達物品にはあるが、エコ商品ねっとに掲載されていない品目は除いた。それぞれの品目の GHG 排出削減量の算出は、品目によってそれぞれ条件を変えて考えた。

2.2 算定方法

表 1 に、紙類、家電製品、自動車等の 3 分類の GHG 排出削減量を示す。

紙類は、クラフトパルプで紙を製造した時と、エコ商品ねっとの古紙パルプ配合率分だけ古紙パルプを使用して紙を製造した時とを比較して GHG 排出削減量を算出した。古紙パルプ配合率は、エコ商品ねっとのグリーン法適合製品の平均値を用いた。コピー用紙は 85.7%、フォーム用紙は 70%、インクジェットカラープリンタ用塗工用紙は 80%、非塗工印刷用紙は 74.5%、塗工印刷用紙は、66.8%、トイレットペーパーとティッシュペーパーは 100%であった。

家電製品、自動車等、画像機器等、電子計算機器等、オフィス機器等の 6 分野では、使用段階が最も環境に対する影響力が大きいと考え、使用段階のみでの GHG 排出削減量を算出することにした。

家電製品等は、全て省エネカタログ [5]の 2011 年と 2017 年の年間消費電力量を比較して省エネ率を算出した。省エネカタログから省エネ率を求める際に、エコ商品ねっとに商品が掲載されているメーカーのみに絞り算出した。冷蔵庫は、省エネカタログより、定格内容積が 500L 以上の冷蔵庫が主流となっていることから、2011 年度と 2017 年度の定格内容積 500L 以上の冷蔵庫の年間消費電力量を比較した。電気便座は瞬間式と貯湯式があるが、エコ商品ねっとの製品は全て瞬間式であったため、瞬間式のみで考えて省エネ率を算出した。エアーコンディショナーは冷房能力の違いで分けたうえで平均年間消費電力量を算出し、省エネ率を計算した。異なる冷房能力ごとに算出した省エネ率を平均した値をエアーコンディショナーの省エネ率とした。また、家電製品の平均使用年数は、内閣府の消費動向調査 [6]の平成 29 年度 4 月～平成 30 年度 3 月までの主要耐久消費財の買い替え状況統計表の値を参考にした。ただし、電気便座はその資料に平均使用年数が記載されていなかったため、経済産業省の資料より 10 年が買い替え時期の目安であることから、その値を参考にした。

自動車等は、ガソリン乗用車、ハイブリッド自動車、貨物車については、国土交通省の H.23 の JC08 モードで測定した資料とエコ商品ねっとのそれぞれの平均燃費を比較した。この時、燃費基準値が車両重量によって異なるため、重量別で分けたうえで平均燃費を算出した。電気自動車は、H.23 のガソリン乗用車とエコ商品ねっとの製品とを比較した。「EV へのシフトと CO_2 排出量に関する考察」よりエアコンを使う条件で考えたときに 8.5 [km/kWh]となっていたため、この値を参考にして GHG 排出削減量を算出した。天然ガス自動車、燃料電池車、プラグインハイブリッド自動車の低公害車においては、電気自動車と同様に H.23 のガソ

リン乗用車とエコ商品ねっとの製品とを比較し GHG 排出削減量を算出した。自動車の平均使用年数は、家電製品と同様に、内閣府の消費動向調査の統計表を参考にした。年間平均走行距離は、国土交通省の自動車燃料消費量の統計[7]より、車 1 台、1 日当たりの走行キロを参考に年間平均走行距離を算出した。4 品目全てにおいて平均使用年数と年間平均走行距離は、同じで計算した。

3. まとめ

本研究では、GPN のエコ商品ねっとに掲載されている製品を調達することによる GHG 排出削減量の算出方法を説明した。表 1 以外の分野や品目の詳細な GHG 排出削減量については、ポスター発表当日報告する予定である。エコ商品ねっとの製品を購入すると、どのくらいの GHG 排出削減効果があるのかを分かりやすく明示することで、グリーン購入が今後更に促進され、持続可能な社会になっていくことを期待する。

引用文献

1) 環境省：“2016 年度(平成 28 年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について”，環境省及び国立環境研究所，（オンライン），入手先 ＜ https://www.env.go.jp/press/files/jp/109035.pdf>，（参照 2018-1-9）

2) 環境省:“平成29年度地方公共団体のグリーン購入法、環境配慮契約法及び環境配慮促進法に関する調査結果（グリーン購入法に関する調査結果　抜粋版）”，pp.18（オンライン），入手先 <https://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/archive/refe/result_of_qs17.pdf>，（参照　平成 29 年）

3) 環境省：“国等の機関によるグリーン購入の実績及びその環境負荷低減効果等”，（オンライン），入手先 <https://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/archive/refe/result_of_qs17.pdf>

4) グリーン購入ネットワーク：“エコ商品ねっとー「買う」からはじめるエコーグリーン購入ネットワーク”，（オンライン），入手先<http://www.gpn.jp/econet/>

5) 経済産業省資源エネルギー庁：“省エネを実践したい方へ｜家庭向け省エネ関連情報”，（オンライン），入手先 <http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/more/>

6) 内閣府：“統計表一覧：消費動向調査　内閣府”，（オンライン），入手先 <https://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/shouhi.html>

7) 国土交通省：“自動車燃料消費量統計　年報　平成 29 年度分”，（オンライン），入手先 <http://www.mlit.go.jp/k-toukei/22/annual/index.pdf>

表 1　品目ごとの GHG 排出削減量

		特定調達物品調達量	削減量 [kg-CO_2]	合計削減量
紙類	コピー用紙	50224000 [kg]	4.53E-01	2.28E+07
	フォーム用紙	1504000 [kg]	3.70E-01	5.57E+05
	インクジェットカラープリンタ用塗工用紙	331000 [kg]	4.23E-01	1.40E+05
	非塗工印刷用紙	6129000 [kg]	3.94E-01	2.42E+06
	塗工印刷用紙	1919000 [kg]	3.53E-01	6.77E+05
	トイレットペーパー	5664000 [kg]	5.29E-01	3.00E+06
	ティッシュペーパー	386000 [kg]	5.29E-01	2.04E+05
合計		66157000 [kg]	3.05E+00	2.98E+07
家電製品	冷蔵庫等	8918 [台]	1.80E+02	1.61E+06
	電気便座	1465 [台]	7.54E+01	1.10E+05
	エアーコンディショナー	5428 [台]	2.56E+02	5.33E+06
合計		15811 [台]	5.11E+02	7.05E+06
自動車等	電気自動車	11 [台]	8.69E+03	9.56E+04
	天然ガス自動車	8 [台]	5.18E+02	4.15E+03
	プラグインハイブリッド自動車	11 [台]	8.27E+03	9.10E+04
	ハイブリッド自動車	803 [台]	4.11+E01	3.30E+04
	燃料電池車	17 [台]	9.53E+03	1.62E+05
	乗用車(ガソリン)	6720 [台]	1.46E+03	9.75E+06
	貨物車(車両総重量 3.5t 以下)	375 [台]	2.46E+02	8.52E+04
合計		7853 [台]	2.88E+04	1.02E+07

P2-035
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

日常的な働きかけが太陽光発電システムへの心理的近接性に及ぼす影響
～環境配慮行動の促進を狙ったデジタルサイネージの設計～

Effect of Daily Approach on Psychological Proximity to Photovoltaic Systems
: Design of Digital Signage Aiming to Pro-Environmental Behavior

○都築尚仁*[1)]、本藤祐樹 [1)]
Naomasa Tsuzuki, Hiroki Hondo
1) 横浜国立大学
* tsuzuki-naomasa-ys@ynu.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化をはじめとする諸問題の解決策として再生可能エネルギー技術に注目が集まっている。再生可能エネルギー技術は、小規模分散型という特徴を有しており、その特徴を有した代表的な技術の一つとして太陽光発電(PV)システムがある。PV システムは、住宅や公共施設等の生活圏への普及が進んでいる。

PV システムの生活圏への普及が、人々の意識をエネルギーの使用だけではなく作る側にも向けることで、人々に対して何らかの心理的な影響を及ぼすと考えられる。PV システムによる心理面への影響に着目した研究によると、住宅や公共施設への PV システムの設置が、居住者や近隣住民の環境配慮行動の促進に寄与する可能性が示唆されている[(1)-(2)]。また、PV システムが人々の環境配慮行動を促進するメカニズムに着目した研究[(3)]によると、「PV システムへの心理的近接性（PV システムに対して心理的な距離を近しく感じること）」がその促進要因の 1 つであるとしている。

本研究の目的は、PV システムを利用した日常的な働きかけ（具体的には、保育園での生活風景写真を利用したデジタルサイネージ）によって、PV システムへの心理的近接性を向上させ、環境配慮行動の促進につなげることである。

2. 単純接触効果の強化

本研究では、PV システムへの心理的近接性を高めるために、単純接触効果へ着目する。単純接触効果とは、対象に繰り返し接触することによって好意度が高まるという心理効果である。これは、図形をはじめ人物の顔写真のような社会的な対象においても生起すると考えられている。既往研究において、単純接触効果は反復接触と多面的接触によって説明される。

反復接触とは、同じ対象に繰り返し接触することである。これは、単純接触効果を生起するために必要な要素であると考えられている。そして、反復接触する対象が変化していても同じ対象であるとみなされれば、単純接触効果は生起することが明らかになっている。

多面的接触とは、対象の異なる側面に接触することである。これは、単純接触効果を強化するために必要な要素であると考えられている。対象の知覚的側面に比べて感情的側面への多面的接触は好意度への影響を及ぼしやすいことが明らかになっている。

感情的側面への多面的接触は、単純接触効果の強化に加えて、副次的にアイキャッチ(対象が目を惹く)効果を得られることが知られている。これは、対象への反復接触を高めることにつながる可能性がある。

以上のことより、感情的側面への多面的接触を高めることで反復接触にも寄与し、単純接触効果を強化することが期待できる。

3. 仮説

本研究の仮説は、保育園での生活風景写真を利用したデジタルサイネージを毎日目にすることによって、PV システムへの単純接触効果が高まり、PV システムへの心理的近接性の向上と環境配慮行動の促進につながるというものである。

仮説検証には、設計したデジタルサイネージによる介入実験を行う。そして、介入が対象者の心理面にどのような影響を及ぼしているかを質問紙調査によって明らかにする。

4. 方法

4.1 介入実験

介入実験は、PV システムが設置された保育園の保護者を対象に行う。介入は、日常的な働きかけを行うことで保育園に設置された PV システムに対して単純接触効果が働くことを狙っている。

具体的な介入方法は、単純接触効果を高めることを狙って設計したデジタルサイネージを保育園の昇降口に設置することである。設計したデジタルサイネージの運用は 2018 年 11 月 5 日から開始している。

4.2 デジタルサイネージの設計

本研究では、保育園での園児の写真を用いた生活風景スライド(Figure 1)と PV システムへの訴求メッセージを用いた PV 訴求スライド(Figure 2)、それぞれ 3 枚ずつで構成されたコンテンツを作成した。各スライドが 1 枚ずつ交互に表示されるようにデジタルサイネージを設計している。また、デジタルサイネージの鮮度を保つために、コンテンツは上述した構成で異なるパターンを毎日順番に表示している。そして、生活風景スライドに使用する写真は定期的に更新を行っている。

4.2.1 生活風景スライド

生活風景スライドの目的は、「感情的側面への多面的接触」と「保護者のアイキャッチ効果の向上」である。

構成は、保育園での園児の写真を 1 スライドにつき 4 枚の表示である。表示する写真は、保育園よりいただいている。そして、同じスライドに表示する写真は、撮影月が異なるように選定を行っている。

実際に表示している写真は外部への公開不可であるため、Figure 1 には森のルーナ保育園の HP [(4)] から入手した写真を使用して具体例を示す。

4.2.2 PV 訴求スライド

PV 訴求スライドの目的は、保育園の PV システムに保護者の意識を向けることである。

構成は、背景写真とメッセージである。背景には、保育園全景の写真もしくは長野県飯田市のエネルギー・電気の象徴であるさんぽちゃんの写真を用いている。また、メッセージは PV システムに意識を向けさせることを狙っている。実際に使用している PV 訴求スライドの一例を Figure 2 に示す。

4.3 デジタルサイネージの有効性の検討

有効性の検討は、2019 年 2 月に実施する質問紙調査によって行う。質問紙調査の概要を Table 1 に示す。

Table 1　質問紙調査概要

対象	実験群 (PV 設置園)	統制群 (PV 非設置園)
調査対象	長野県飯田市の各保育園に子供を通園させている保護者	
実施方法	保育園経由での配布と回収	
回答方法	記名式	
調査項目	共通：VBN 項目(26 項目) 実験群のみ：PV への心理的近接性(3 項目)、PV 視認行動(1 項目)、モニター視認行動(1 項目)	

質問紙調査は、環境配慮行動につながる心理プロセスとして VBN 理論(Value-Belief-Norm Theory)に基づいた質問項目を用いる。

分析は、VBN 項目について実験群と統制群の違いを t 検定により行う。また、各質問項目間の関係を相関分析により検討する。

5. 終わりに

本研究では、単純接触効果を狙ったデジタルサイネージの設計を行い、その効果を PV への心理的近接性及び VBN 理論によって検討している。質問紙調査に基づく分析結果は当日報告する。

最後にご協力いただいた皆様に御礼申し上げます。

6. 参考文献

(1) J. Keirstead: Energy Policy 35(8), (2007), pp.4138-4141

(2) 野田肇,本藤祐樹: エネルギー・資源学会論文誌 32(1), (2011), pp.1-7

(3) 藤本ひかり, 本藤祐樹, 弘中雄介: 日本エネルギー学会誌 12(1), (2016), pp1-13

(4) 森のルーナ保育園, 入手先 <http://luna-hoikuen.com/morino/>, (参照：2019-01-03)



Figure 1　生活風景スライド例



Figure 2　PV 訴求スライド

P2-037

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

直交集成板を用いた木橋のライフサイクルアセスメント

Life Cycle Assessment of Wooden Bridge Using Cross Laminated Timber

○岩瀬鉄也*[1)]、佐々木貴信[2)]、橋本征二[3)]、加用千裕[1)]

Tetsuya Iwase, Takanobu Sasaki, Seiji Hashimoto, Chihiro Kayo

1）東京農工大学, 2）秋田県立大学, 3）立命館大学

* s185867v@st.go.tuat.ac.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化対策、伐採適齢期を迎えた日本の人工林の利用と林業振興、持続可能な建設産業等の観点から、再生可能で環境負荷の小さい資源である木材の土木構造物への利用が推進されている。

日本における代表的な土木構造物のひとつとして橋梁がある。国内には橋梁が約 73 万橋あり、そのほとんどが鋼橋やコンクリート橋である。この内、地方公共団体が管理する橋梁は約 66 万橋と、9 割以上を占めている。また、2018 年時点で建設後 50 年を経過した橋梁の割合は約 25%であるが、10 年後には約 50%に急増すると見込まれており[1)]、改修や更新が必要となる。

このような中、近年普及が進んでいる新しい木質材料である直交集成板（Cross Laminated Timber: CLT）の橋梁への利用が注目されている。CLT は挽き板を繊維方向が直交するように積層接着した木質材料であり、厚みのある大きい板を製造できることや単位体積重量がコンクリートの 1/6～1/4 程度と軽量であること等の特徴がある。そのため、老朽化した橋梁の床版の改修に、大きさと軽さを兼ね備えた CLT を用いることにより、橋桁や橋台の補強を行わず改修できる可能性がある[2)]。これにより、主な橋梁管理者である地方公共団体の経済的負担の軽減や環境影響の削減が期待できる。

しかし、CLT の環境影響や経済性の検討については、建築物への利用を対象とした先行研究[3-4)]はあるが、橋梁を含む土木構造物への利用を対象とした研究事例はこれまで報告されていない。また、製材・集成材を利用した木橋の環境影響評価を行った先行研究[5)]は報告されているが、CLT のような新しい木質材料を活用した橋梁の環境影響や経済性の検討はまだ行われていない。

そこで、本研究では、日本において初めて土木構造物に CLT を活用した事例として、秋田県における CLT 床版を用いた農道橋の改修を対象として、ライフサイクルアセスメント（LCA）による環境影響評価を行った。その際、CLT 床版の課題として挙げられる腐朽への対策にも着目し、防水処理を考慮することとした。さらに、一般的な床版材料である鉄筋コンクリート（RC）との比較により、CLT の橋梁への利用による環境影響削減の可能性を検討した。なお、今後は経済性も考慮した検討を行う予定である。

2. 方法

2.1 対象とした CLT 農道橋

評価対象とした CLT 農道橋は秋田県大仙市に位置しており、橋梁管理者は秋田県である。1990 年に架設された橋長 10m、有効幅員 3.3m の橋梁であり、改修前は橋桁の形鋼 4 主桁の上に、床版としてクリの角材を橋軸方向に並べたつくりであった。架設後 25 年以上が経過して床版の腐朽が進行し、床版補修の必要があったため、CLT を用いた床版への取替による橋梁補修工事が 2018 年 3 月に行われた。なお、橋桁と橋台は改修前の構造が維持されている[2)]。

CLT 農道橋の側面図と平面図を図 1 に示した。本橋の通行車の最大重量から設計荷重を 40kN として CLT 床版を設計した結果、面積は 1990 mm×3450 mm、厚さは 120 mm の床版を 5 枚敷き並べる構成となった。また、防水処理のために、CLT 床版にポリマーセメント系の防水材（2 mm 厚）と表面保護材を塗布した。幅員の両端に設置された地覆木も CLT で製作し、同様の防水材と表面保護材を塗布した。CLT 床版の設置前に床版を支持させる補助横構 4 本を主桁上面に現場溶接し、床版側面に取り付けた金具を介して連結させ、床版を固定した。このとき、補助横構の隙間に硬質ゴムのスペーサーを敷設することで調整した[2)]。

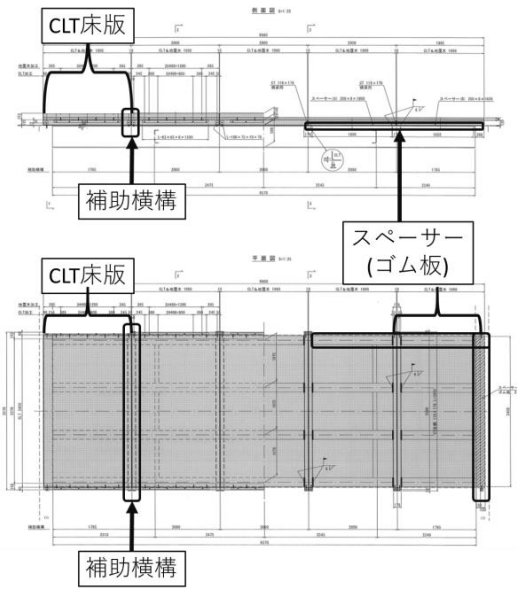


図 1 CLT 農道橋の側面図（上）と平面図（下）

一方、CLT 床版の比較対象とした RC 床版については、機能単位を統一するために、CLT 床版と同様の設計荷重を設定した結果から、RC 床版の厚さは 160 mm とし、同様に橋桁と橋台の補強はしないものとした。

2.2 環境影響評価

評価対象としたライフサイクル過程は、農道橋の改修に伴う材料製造、材料輸送、施工、維持管理、廃棄・再利用の各過程とし、図 2 に CLT 農道橋の評価対象範囲を示した。

評価期間は 50 年とし、維持管理として 15 年ごとに防水材・表面保護材の再塗布を行う「防水処理あり」と、防水処理は行わず 15 年ごとに CLT 床版を新規に更新する「防水処理なし」の 2 つのケースを想定することとした。なお、上記の防水処理ありのケースの再塗布時期は設計・施工業者への聞き取り調査から、防水処理なしのケースの更新時期は木橋の法定耐用年数から設定した。

インベントリ分析における各材料・燃料の使用量は、フォアグラウンドデータとして現地調査、設計・施工業者への聞き取り調査、設計見積書の入手等によって収集した。また、バックグラウンドデータとして LCI データベース IDEAv2.1.3 を用いた。なお、CLT 製造業者への聞き取り調査により、CLT の生産に伴うインベントリデータは集成材とほぼ同様との見解を得たことから、IDEAv2.1.3 において集成材のデータを用いることとした。影響評価は LIME2 を用いて行った。

また、廃棄・再利用過程において、床版と地覆木の CLT は燃料利用によって重油を代替することとし、補助横構等の鋼材は再生粗鋼の生産によって新規に生産される粗鋼を代替することとした。

CLT 床版の比較対象とした RC 床版についても、鉄筋コンクリートの生産、施工、廃棄・再利用等のライフサイクル過程におけるインベントリ分析および影響評価を行った。

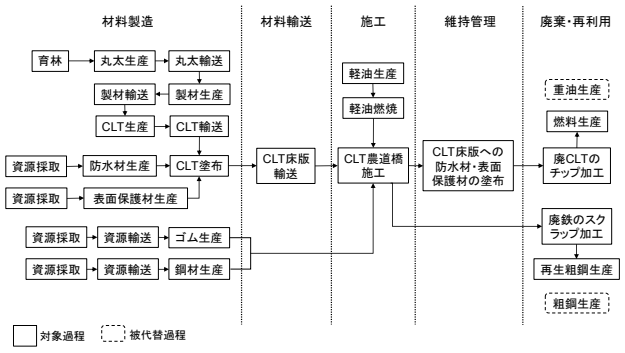


図 2　CLT 農道橋の LCA 評価対象範囲

3. 結果及び考察

今回は、CLT 農道橋の温室効果ガス（GHG）排出量の結果について報告することとし、評価期間 50 年における防水処理の有無による排出量の比較を図 3 に示した。材料製造過程から維持管理過程までの排出量をみると、防水処理ありのケースの排出量は防水処理なしのケースの約 3 割に留まり小さかった。すなわち、防水処理ありのケースでは、防水材・表面保護材の生産・塗布を繰り返すことに伴う排出があるが、防水処理なしのケースでは、CLT 床版の更新に伴い、関連する材料の新規製造を繰り返すことによる排出が生じ、前者の方が排出量は小さい結果となった。なお、防水処理の有無に関わらず、材料製造過程において、特に鋼材および CLT 由来の排出量の割合が大きく、材料製造過程の排出量全体の約 8 割を占めた。一方、廃棄・再利用過程に着目すると、防水処理なしのケースの排出削減量は防水処理ありのケースの 3 倍大きく、特に廃 CLT の燃料利用による重油代替の効果が大きかった。しかしながら、排出量から排出削減量を差し引いた実質排出量は、防水処理ありのケースでは約 1.2 t-CO_2eq、防水処理なしのケースでは約 3.4 t-CO_2eq となり、前者の方が小さくなることが分かった。以上の結果から、CLT 農道橋の施工において、CLT 床版の防水処理を行うことにより耐用年数の延長を図ることは、GHG 排出削減の観点から重要であることが示唆された。

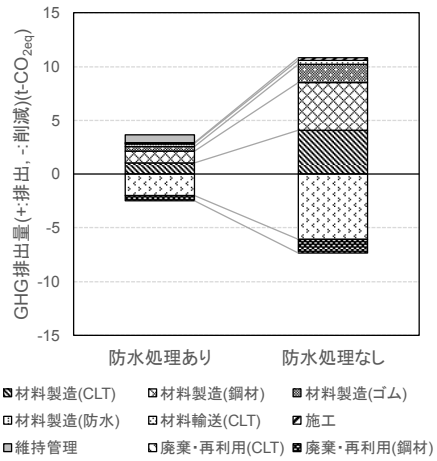


図 3 評価期間 50 年における CLT 農道橋の防水処理の有無による温室効果ガス（GHG）排出量の比較

謝辞

本研究を行うにあたり、農道橋の設計および施工に関わる業者の方々に多大なご協力を頂きました。ここに記して深く感謝申し上げます。

引用文献

1) 国土交通省: 道路メンテナンス年報, (2018)
2) 佐々木貴信: 建設機械, 54 (11), (2018), pp.28-33
3) Liu Y. et al.: Sustainability, 8 (10), (2016), 1047
4) Skullestad J. L. et al.: Energy Procedia, 96, (2016), pp.112-123
5) 橋本征二ら: 土木学会論文集, 755, (2004), pp.45-56

P2-038
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

企業の持続可能性に向けた生産・調達の調査

Survey on production and procurement for corporate sustainability

○松井克久*1)、竹内孝曜 2)、深津学治 2)、稲葉敦*1)
Katsuhisa Matsui, Takaaki Takeuchi, Gakuji Fukatsu, Atsushi Inaba
1）工学院大学, 2）グリーン購入ネットワーク（GPN）
* a-inaba@cs.kogakuin.ac.

1. はじめに

近年、ESG 投資が注目され、企業は非財務情報の開示状況やその取り組みについて外部より評価を受けるようになった。それに伴い、企業において、CSR 活動を中心とする環境面、社会面の取り組みの重要性が増し、企業価値向上のための取り組みとして位置づけられるようになった。

そのような中、CSR 活動と財務業績の関連性に対して、「正の相関」[1]を示した先行研究がある一方、「正・負のどちらの関係も認められなかった」[2]とする研究もあり、明確な結論には至っていない。さらに、企業が公開する CSR 活動レポート等といった公開情報と、第三者評価の関連性を示した研究が行われていない。そこで、本研究では、①企業の CSR 活動に関する第三者評価と財務業績の相関と、②企業が公開する公開情報と第三者評価の関連性について調査する。

2. 分析方法

2.1 CSR 活動の第三者評価と企業財務業績の関連性

ここでは、CSR 活動と企業財務業績の関連性について分析する。CSR 活動の評価には、東洋経済新報社の「CSR 企業ランキング」を用いる。このデータは東洋経済新報社が毎年行っている CSR 企業調査のアンケートを基に作成されており、CSR 活動項目として、環境、人材活用、企業統治・社会性、財務の 4 項目に分かれている。環境、人材活用、企業統治・社会性の項目は各 100 点満点、財務を 300 点満点で評価し、合計 700 点満点として上位 700 社を東洋経済 ONLINE ホームページに公開している。本研究は一般公開されている CSR 企業ランキング 2014[3]、2018[4]各上位　700 社に共通して掲載されている企業 300 社のデータを用いる。企業財務業績については、過去 5 年間（2014～2018）の、企業の成長性を示す売上高比 [5]、企業の生産性を示す営業利益 [5]／連結従業員数、企業の安定性を示す一株利益 [5]を用いる。表 1 に本研究で用いる指標を示す。

2.2 公開情報と第三者評価の関連性

公開情報と第三者評価の関連性を示すためにグリーン購入ネットワーク（GPN）が作成した持続可能な調達アクションプログラム [6] の評価チェックリストを用いて、東洋経済新報社 CSR 企業ランキングとの比較を行う。評価チェックリストの項目は、CSR 活動を中心とする環境面、社会面の取り組み等があり、公開情報と照らし合わせ、取り組み状況で評価ポイントを付与する方式となっている。

表 1.　本研究で用いる指標

	指標	算出方法
成長性	売上高比	売上高（2018）／売上高（2014）
生産性	営業利益／連結従業員数	営業利益（2018）／連結従業員数
安定性	一株利益	—
情報開示度	東洋経済新報社 CSR 企業ランキングスコア	—

3. 分析結果

3.1 CSR 企業の第三者評価と売上高比の関連性

縦軸を売上高比、横軸を CSR 企業ランキング(2018)　700 社中、上位 100 社、中間 100 社、下位 100 社でとり、計 300 社のスコアを用いて関連性を図 1 に示す。

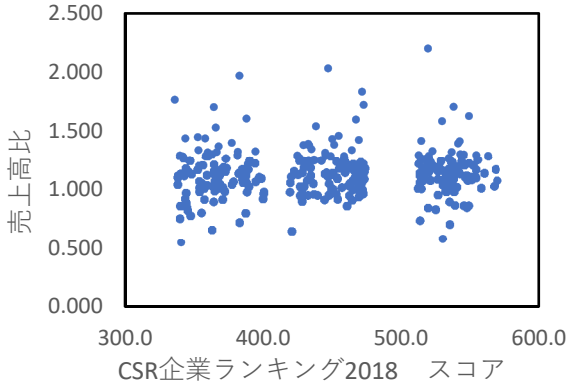


図 1.　第三者評価と売上高比の関連性

正の相関が見られないが、下位企業に比べ上位企業は点群が密集している。よって、CSR 活動が積極的な企業、情報開示している企業ほど安定な経営状態、情報開示に積極的な企業だと分析できる。

3.2 CSR 企業の第三者評価の変動値と売上高比の関連性

縦軸を売上高比、横軸を CSR 企業ランキング 2014、2018 に共通する計 300 社の過去 5 年間でのスコア変動値を用いて関連性を図 2 に示す。

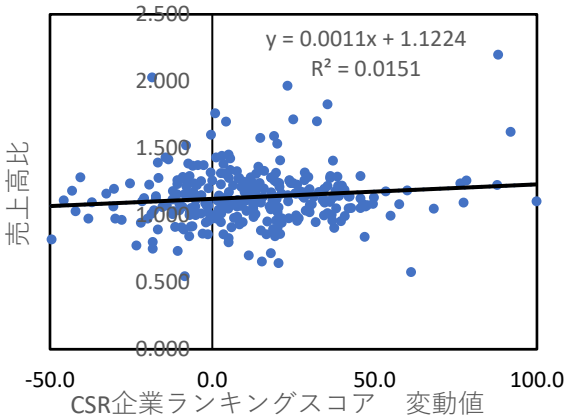


図 2.　第三者評価の変動値と売上高比の関連性

正の相関がみられる。よって、2014 年～2018 年度で情報開示が進んでいる企業は売上高比を伸ばしていると分析できる。

3.3 CSR 企業の第三者評価と営業利益/連結従業員数の関連性

縦軸を営業利益／連結従業員数、横軸を CSR 企業ランキング(2018)　700 社中、上位 100 社、中間 100 社、下位 100 社でとり、計 300 社のスコアを用いて、関連性を図 3 に示す。

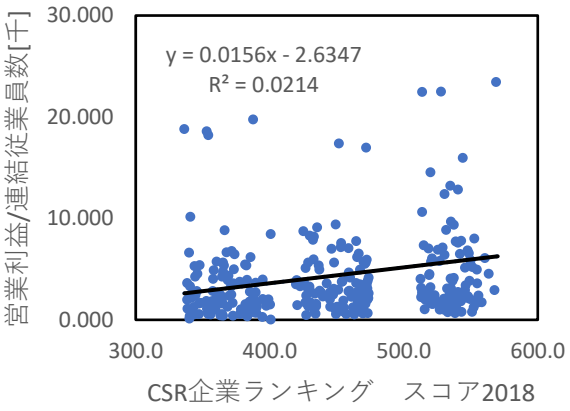


図 3.　第三者評価と営業利益/連結従業員数の関連性

正の相関がみられる。よって、情報開示している企業ほど的確な人材活用を行い、情報開示に積極的な企業だと分析できる。今後、業種別においても分析を行う。

3.4 CSR 企業の第三者評価と一株利益の関連性

縦軸を一株利益、横軸を CSR 企業ランキング(2018)　700 社中、上位 100 社、中間 100 社、下位 100 社でとり、計 300 社のスコアを用いて関連性を図 4 に示す。

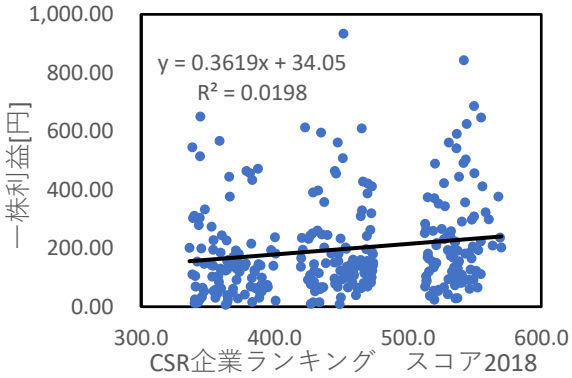


図 4.　第三者評価と一株利益の関連性

正の相関がみられる。よって、情報開示している企業ほど、業績動向が良好であり、情報開示に余裕がある企業だと分析できる。2014 年、業種別においても分析を行う。

4. 公開情報と第三者評価の関連性

CSR 企業ランキング(2018)　700 社中、上位 30 社を対象に、HP・各種報告書の公開情報を基にと持続可能な調達アクションプログラムの評価チェックリストを用いて、評価ポイントを算定し、取り組み状況を調査した。30 社全てが A ランクの評価ポイントとなったが、公開情報より CSR 活動に関連する方針の策定有無等は判断できるものの、方針がどのように運用されているか、実態までは調査することができないことがわかった。

5. 結論、今後の課題

CSR 企業ランキングから、CSR 活動と財務業績を定量的に分析した。しかし、各企業活動の方針の違い、企業戦略、主要業務との関連性までは把握することができなかった。今後は、CSR 報告書など掲載されている個別企業の情報や、CSR 情報の表彰結果、環境ラベル取得など、定性的な分析も含めた上で CSR 活動と企業業績との関連性を検証したい。

引用文献

1) 荒木真貴子：CSR 活動と財務業績の関係に関する実証分析, http://daigakuin.soka.ac.jp/assets/files/pdf/major/kiyou/21_keizai2.pdf,31,(2009),pp13-31
2) 遠藤業鏡：CSR 経営が企業価値に及ぼす効果, 経済経営研究　34,(2),(2013),pp8-11,pp25
3) 東洋経済新報社：CSR 企業ランキング 2014 https://toyokeizai.net/articles/-/37124
4) 東洋経済新報社：CSR 企業ランキング 2018 https://toyokeizai.net/articles/-/223678
5) 日本経済新聞　日経会社情報 DIGITAL：https://www.nikkei.com/nkd/?n_cid=DSNKD003
6) 持続可能な調達アクションプログラム：http://www.gpn.jp/

P2-039

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

カスケードリサイクルと製品の長寿命化が日本の木材炭素フローに与える影響評価

Effect of cascade recycling and lifespan extension of products on carbon flows of wood in Japan

○平井満規*[1)]、Pau Brunet Navarro[2)]、橋本征二[1)]

Mitsunori Hirai, Pau Brunet Navarro, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学, 2) Universitat Politècnica de València

* rv0047pp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

森林や木材製品は、その炭素貯蔵効果、低炭素素材としての代替効果、低炭素エネルギーとしての代替効果等により、中長期に渡って気候変動の緩和に貢献することができる。一方、廃木材をカスケードリサイクルすること、木材製品を長期的に利用していくことにより、森林資源の消費量、木材製品の廃棄量を削減することができる。これは、森林の炭素貯蔵量を強化し、木材由来の炭素排出量を削減することにつながる。本研究では、カスケードリサイクルと製品の長寿命化が国内の木材炭素フローに与える影響を評価した。

2. 方法

2.1 ベースラインシナリオ

木材のマテリアルフローデータ[1)]を参考に、2015 年までの炭素フローを推計し、これをもとに、「森林・林業基本計画」の目標値[2)]を利用して、2030 年までの木材のマテリアルフロー・炭素フローのベースラインシナリオを設定した。具体的には、2020 年、2025 年の国産材の利用量、また輸入量を含めた総需要量の目標値(製材用材、パルプ・チップ用材、合板用材、燃料材、その他)[2)]をもとに、2030 年までのマテリアルフローを設定した。製品を生産する際の歩留まり、最終利用製品への分配割合、使用済み製品の再資源化率、焼却率等については、2014 年の値を参考にした。また、各製品の寿命は、建築物、土木構造物を 45 年、家具を 10 年、梱包材・パレット、その他木製品を 5 年、紙・板紙製品を 1.25 年、再資源化されたチップの用途は、パルプに 18.6%、木質ボードに 20.6%、エネルギー利用に 60.8%とした。

2.2 カスケードリサイクル及び製品の長寿命化シナリオ

上記のベースラインシナリオにおける各製品のマテリアルストック・炭素ストック量を各年の製品需要と仮定し、その製品需要を満たすように、カスケードリサイクル、製品の長寿命化を行った場合のマテリアルフロー・炭素フローを推計した。

カスケードリサイクルのシナリオでは、使用済み製品の再資源化率を 10%増加させると共に、再資源化チップのマテリアル利用を増加させた(パルプに 18.6%、木質ボードに 40.6%、エネルギー利用に 40.8%)。製品の長寿命化シナリオでは、木材製品需要の中で最も大きな割合を占める建築物の寿命を 20 年延長させた。

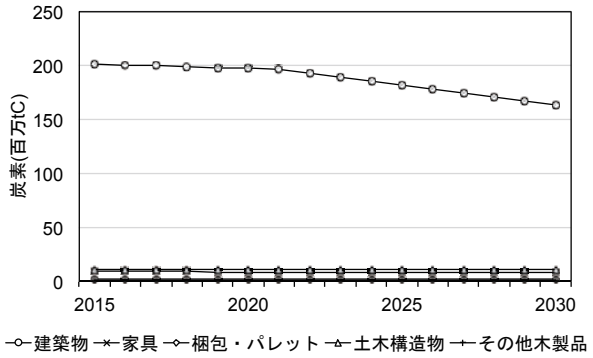


図１　2030 年の各木材製品の需要量

3. 結果と考察

本要旨では、ベースラインシナリオのもとで推計した将来の各製品の炭素ストック量を示す(図 1)。建築物の炭素ストック量が他の製品と比較して非常に大きく、今後減少していくと推計された。2030 年にかけて、解体される木造建築物の量が、新たに建設される木造建築物の量を上回り、建築物としての炭素貯蔵効果は小さくなっていくものと考えられる。また、他の製品は、建築物に比べて木材の利用量も少なく寿命も短いことから、炭素ストック量は非常に少なく、大きな経年変化は見られない結果となった。カスケードリサイクル及び製品の長寿命化シナリオにおけるマテリアル・炭素フローの推計結果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(3K163001)による成果である。ここに記して深謝する。

引用文献

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) 林野庁：“森林・林業基本計画”、(2016)

P2-040

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

カーボンフットプリントに関する消費者の意識と行動

―環境見える化指標の検討―

Environmental action and consciousness about Carbon Footprint of Products:
Consider about visualization index of Environment

○平湯直子*

Naoko Hirayu

武蔵野大学

* n_hirayu@ musashino-u.ac.jp

1. 研究の目的

カーボンフットプリント（以後、CFP）は「商品やサービスの原材料調達から廃棄・リサイクルに至るまでのライフサイクル全体を通して排出される温室効果ガスの排出量を CO_2 に換算して、商品やサービスに分かりやすく表示する仕組み」である [1]。日本では経済産業省等の主導により 2009 年度から制度化に向けて CFP 試行事業が実施されてきた。試行事業は 2011 年度に終了し、2012 年度より一般社団法人産業管理協会(JEMAI)による「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム」として運用が行われている。2017 年 4 月からはエコリーフ環境ラベルと統合し、「JEMAI 環境ラベルプログラム [2]」としての運用が開始されている。

CFP は「製品環境情報の定量的開示」であるタイプⅢの環境ラベルに分類される。①排出量算出（定量評価）、②消費者に伝達、以上の 2 つの側面を持つ。事業者は排出量の算出を行うことで非効率的な工程を把握し、さらなる削減努力を率先して行う。消費者は事業者からの「見える化」された信頼性の高い情報に基づき、買い方・使い方の工夫を行い、より主体的に排出削減行動を行う。

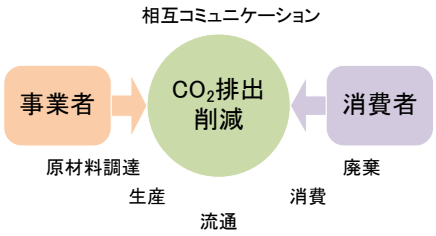


図 1 CFP の概念図

このように CFP は事業者と消費者相互の“気づき”が重要であり、双方が「見える化」された情報に基づいて相互コミュニケーションを促進し、CO_2 排出量削減に向かうことを目的とする（図 1）。そして製品やサービスの環境負荷の「見える化」を通して、持続可能な開発目標（SDGs）の 17 目標のうち、特に「7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「12 つくる責任つかう責任」「13 気候変動に具体的な対策を」の達成への貢献が大きく期待されている。

一方、消費者の CFP に対する認知度が高くないために普及が進んでいない点も指摘されている。みずほ情報総研 [3] によると、「CFP に関する消費者受容性調査」（2011 年、有効回答数 732）を実施した結果、回答者の約 7 割は「CFP を知らなかった」、約 2 割は「聞いたことはあるが意味は知らない」、一方、「意味まで知っている」は約 1 割であった。また、福島他 [4] も CFP に対する認知度が低い点を指摘し、消費者の受容性および教育効果に関する研究結果から CFP 普及のための提言をまとめている。

そこで本研究では、アンケート調査を設計・実施し、CFP 認知度を把握したうえで、認知向上を高め、実際に CFP 貼付品の購入「行動」に結びつく可能性があるのはどのような属性であるのかを探り、望ましい環境見える化指標を検討するにあたっての判断材料を得ることを目的とする。

2. 研究の概要

2.1 研究の方法

消費者アンケート調査を設計・実施・解析することを通して、環境見える化指標の検討をおこなう。調査結果をもとに本研究では、CFP に関する１．認知・受容性、２．教育効果の 2 点に関して分析をおこなう。１．では、CFP マークの閲覧有無に関する調査結果より、CFP に関する認知・受容性の高い属性を、意識と行動の観点から明らかにする。２．では、CFP 初見者に焦点をあて、CFP の仕組みを説明したうえで、理解度および購入意思を調査し、CFP に関して教育効果の高い属性を明らかにする。

2.2 調査の概要

全国 20 歳以上 70 代までの約 500 名を対象に、アンケート調査を設計・実施した。調査の概要を表 1 に示す。調査は、基本属性、環境問題に対する認知・認識、環境配慮行動、食品購入時の関心事項、CFP 認知・貼付品購入意思・支払意思額に関する計 14 問で構成される。なお、CFP マーク貼付対象製品の約 37%は食品関連であることから [1]、食料品（生鮮・加工）を週 1 回以上購入する者を対象に調

査を実施した。回答者の基本属性を図 2 に示す。

表 1 アンケート調査の概要

調査方法	Webアンケート調査（株式会社マクロミルに調査委託）
調査日	【本調査】2018年3月28日（水）～3月29日（木）
調査対象者	全国20歳以上70代まで（実際の人口構成反映）約500名
調査項目【スクリーニング調査（2問）】	
・生鮮食品の購入頻度 ・加工食品の購入頻度	
調査項目【本調査（14問）】	
・基本属性（同居子供数・学歴・住居・在宅時間 ・自身の経済状況 ・環境問題に対する認知・認識 ・環境行動 ・生鮮食品購入時の関心 ・加工食品購入時の関心 ・カーボンフットプリントマークの認知・理解度・購入意欲・支払意思額	

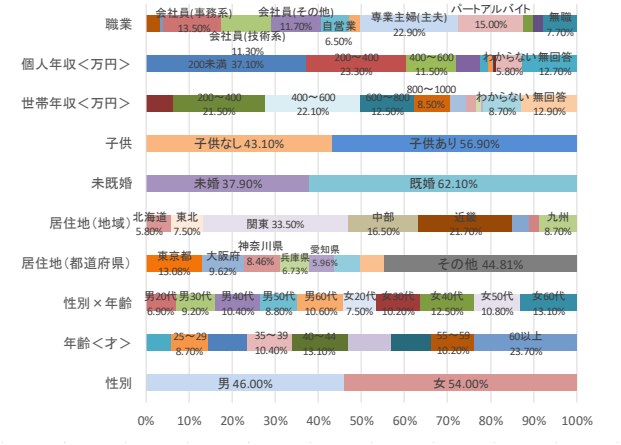


図 2 回答者基本属性（N=520）

3. 調査結果の概要

CFP マークを「見たことがある」と回答した者は全体の約 6.7%であり、約 93%は「見たことがない」である。

3.1 認知・受容性

地球温暖化問題に対する意識（11 問）[5]および環境配慮行動（12 問）[6]に関する設問結果（ポイント化）と CFP マークの認知の関係を把握した。環境意識の高低（平均ポイントを基準）による CFP 認知には有意な差がみられ（カイ二乗検定 1%）、同様に、環境配慮行動の多少（平均ポイントを基準）と CFP 認知にも有意な差がみられる（同 1%）。環境意識の高い層、環境配慮行動をより多く実践している層での CFP 認知が高いことが把握された。

また、CFP マークの認知を基本属性および各設問結果との関係性でみたところ、CFP 認知に正の影響があるのは世帯年収が多い、高い学歴、環境意識が高い、環境配慮行動をより行っている層であり、他方、負の影響があるのは未婚であることが把握された（いずれも有意なもののみ）。他に、戸建住まい、地球温暖化問題の認知は正の影響、子供なし、短い在宅時間、経済的に不安を感じていないは負の影響を与えている。

3.2 教育効果

CFP マーク初見者（見たことがない）を対象に、CFP の図解説明を実施し、理解度と購入意思を問う設問結果から、CFP 教育効果を把握した。表 2 は調査対象者の区分である。

表 2 分析グループの分類

	理解できた		理解できない		
	購入したい	購入したくない	購入したい	購入したくない	
見たことがある	タイプⅠ 32(91.43%)	タイプⅡ 0(0%)	タイプⅢ 3(8.57%)	タイプⅣ 0(0%)	35
見たことがない	タイプⅤ 298(61.44%)	タイプⅥ 27(5.57%)	タイプⅦ 90(18.56%)	タイプⅧ 70(14.43%)	485

CFP に関する説明を理解したうえで購入希望を示すタイプⅤを最も教育効果がある層と捉え、対極であるタイプⅧを最も教育効果がない層とし、両者の属性の違いを把握した。年齢（65 歳以上）、学歴（大卒・大学院卒）、居住タイプ（戸建）、経済的不安の感じ方（感じていない）、地球温暖化問題の認知（知っている）、地球温暖化問題に対する意識（高ポイント）、環境配慮行動（高ポイント）で有意な差がみられた。なかでも、地球温暖化問題に対する意識と環境配慮行動のポイントには大きな差があり、環境問題に対する意識と行動力の程度が、見込まれる CFP の教育効果に大きく影響することが把握された。

4. おわりに

CFP の認知・受容性と教育効果には多くの属性が影響していることが把握されたが、特に地球温暖化問題に対する意識と行動の影響が大きいことが明らかとなった。今後は、アンケート調査結果をより精緻に解析し、CFP 認知向上の手がかりを探るとともに、消費者にとってより良い環境見える化指標の検討を引き続き行っていく予定である。

謝辞：

本研究は、JSPS 科研費 26870637 の助成を受けたものである。CFP に関心を持つ機会を下さった鷲津明由教授（早稲田大学）、環境指標の定量化（ポイント化）手法をご教示下さった藤澤美恵子教授（金沢大学）に御礼申し上げます。

引用文献・資料

1) カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム HP, <http://www.cfp-japan.jp/>（参照 2018-12-29）
2) JEMAI 環境ラベルプログラム, <http://www.jemai-label.jp>
3) みずほ情報総研株式会社, “カーボンフットプリントに関する消費者受容性調査を実施”, <https://www.mizuho-ir.co.jp/company/release/2011/cfp1101.html>（参照 2018-12-28）
4) 福島直子, 中原秀樹, 日本 LCA 学会, 横浜（2010）, pp.184-185
5) 井元りえほか: 日本家政学会誌, 52(9), (2001), pp.827-837
6) 竹橋洋毅：JGSS Research Series, 8

P2-041
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

変化要因分析を通した食品ロスメカニズムの国際比較

International Comparison of Food loss mechanism through Factor analysis

○佐藤愛香*1)、加河茂美 1)
Manaka Sato, Shigemi Kagawa
1)　九州大学
*mnk.s.3.31@gmail.com

1. 研究背景

近年、農作物や漁業が地球温暖化の影響を受け、食料供給にも悪影響を及ぼしうるといわれている。2011 年 5 月には、世界全体で失われている食料と無駄に捨てられている食料に対する懸念や、これらが世界の貧困や飢餓に与える影響、さらには気候変動や自然資源の利用に関する懸念に関して、国際包装産業フェア'Interpack2011'における国際会議'Save Food!'が開催された(JAICAF[1], 2011) 。そのような懸念があるにもかかわらず、現在、世界では消費用商品の約 3 分の 1 が廃棄されており、その量は年 13 億トンにものぼるといわれている(JAICAF[1], 2011) 。

また、一般的に食品ロスとは、食べられるのに捨てられてしまう食品(農林水産省 [2])と言われているが、ここでは、FAO(国際連合食糧農業機関)の定義に従い、生産され最終的に消費されるまでのサプライチェーンを通る過程で失われる食品と定義する(FAO[3])。

また、FAO のフードバランスシートによると、2003 年と 2013 年の国内で廃棄された食品の量を比較すると、中国は約 1.27 倍、ブラジルは 4.2 倍、インドは約 1.71 倍増加し、アメリカは 0.95 倍、日本は 0.89 倍減少しており(日本経済新聞 [4])、先進国の中でも、食品ロス量が増加傾向にある国と減少傾向にある国がある。

そこで本研究では、上記の 5 か国の、2003 年度から 2013 年度にわたる、総食品ロス量の要因分解を行う。また、上記のように、食品ロス量が増加傾向にある中国、ブラジル、インド、減少傾向にある日本、アメリカをそれぞれ比較分析する。

2. 方法

2. 1 計算方法

t 年における i 国の総食品ロス量を(1)式で推計する。

$$Q_i^t = L_i^t \times D_i^t \times P_i^t \quad (1)$$

ここで t は年度、i は国、Q_i^t は i 国における t 年度の総食品ロス量(t)、L_i^t は i 国における t 年度のロス率、D_i^t は i 国における t 年度の一人当たり国内供給量(t)、P_i^t は i 国における t 年度の人口をあらわす。(1)について構造分解を行うと(2)が得られる。

$$\begin{aligned}\Delta Q &= Q_{2013} - Q_{2003} \\ &= \Delta L D_{2003} P_{2003} + L_{2003} \Delta D P_{2003} + L_{2003} D_{2003} \Delta P \\ &+ \frac{1}{2}\Delta L \Delta D P_{2003} + \frac{1}{2}\Delta L \Delta D P_{2003} \\ &+ \frac{1}{2} L_{2003} \Delta D \Delta P + \frac{1}{2} L_{2003} \Delta D \Delta P \\ &+ \frac{1}{2}\Delta L D_{2003} \Delta P + \frac{1}{2}\Delta L D_{2003} \Delta P \\ &+ \frac{1}{3}\Delta L \Delta D \Delta P + \frac{1}{3}\Delta L \Delta D \Delta P + \frac{1}{3}\Delta L \Delta D \Delta P\end{aligned} \quad (2)$$

ΔL はロス率による効果、ΔD は一人当たりの国内供給量による効果、ΔP は人口による効果をあらわす。

2.2　使用データ

本研究では、中国、ブラジル、インド、日本、アメリカの 5 か国の 2003 年から 2013 年の 11 年間を対象として算出を行った。5 か国の人口は国際連合(UN[5])、国内供給量、ロス量は FAO のフードバランスシート [6] のデータを用いた。ロス率は、全体のロス量を全体の国内供給量で除することで算出した。

3. 結果

3.1 中国・ブラジル・インド

中国・ブラジル・インドについての結果を図 1 に示す。ΔL、ΔD、ΔP はロス率、1 人当たり国内供給量、人口の 2003 年から 2013 年の変化が、それぞれの国の総食品ロス量の変化にどのくらいの量が影響しているかを表している。また、縦軸は ΔL、ΔD、ΔP による食品ロス量(単位:1000t)を表している。

はじめに、中国に関してみると、中国の食品ロス量は、2003 年から 2013 年にわたり、約 2000 万トンも増加していた。その増加要因は、図 1 より 1 人当たり国内供給量による影響が大きいとわかる。

次にブラジルに関してみると、ブラジルの食品ロス量は、2003 年から 2013 年にわたり約 5800 万トン増加

しており、今回対象にした国の中で最もロス量が増加している国であった。その増加要因は、図 2 より、人口による影響が最も大きいとわかる。

最後にインドに関してみると、インドの食品ロス量は約 2300 万トン増加していた。その増加要因は図 1 より、3 つすべての要因が同程度の影響を与えていることがわかった。

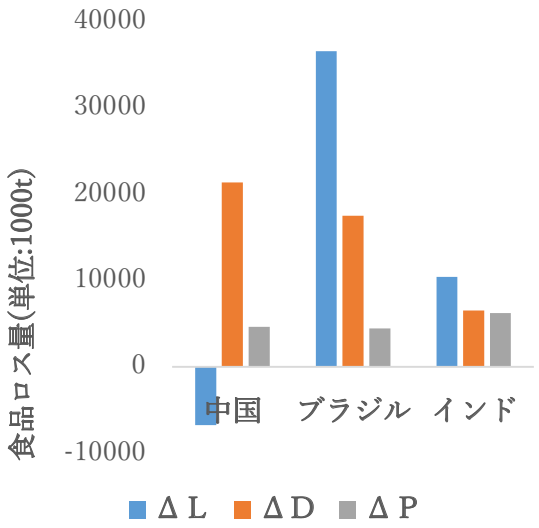


図 1 中国・ブラジル・インドの食品ロス量の変化要因

3.2 日本・アメリカ

次に、日本・アメリカについての結果を図 2 に示す。ΔL、ΔD、ΔP はロス率、1 人当たり国内供給量、人口の、2003 年から 2013 年の変化が、それぞれの国の総食品ロス量の変化にどのくらいの量が影響しているかを表している。また、縦軸は ΔL、ΔD、ΔP による食品ロス量(単位:1000t)を表している。

日本に関してみると、日本の食品ロス量は 2003 年から 2013 年にわたり、35.6 万トン減少していた。この減少は、図 2 よりロス率、1 人当たり国内供給量によってもたらされたと考えられる。一方で、人口の変化による影響はほとんどないことがわかった。

アメリカに関してみると、アメリカの食品ロス量は、2003 年から 2013 年の期間で、約 37.2 万トン減少していた。この減少は、図 2 よりロス率と人口の変化による影響が大きいことがわかった。しかしながら、人口の変化は食品ロス量の増加に大きな影響を与えているということがわかった。

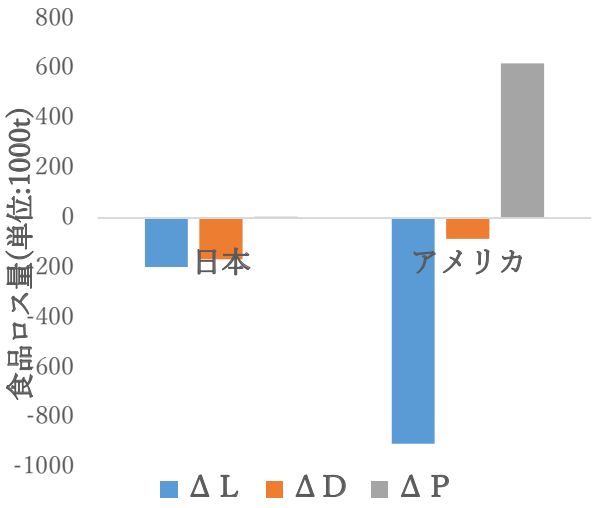


図 2 日本・アメリカの食品ロス量の変化要因

3.3 5 か国の比較

5 か国を比較すると、食品ロス量が増加傾向にある国は一人当たり国内供給量の変化による影響が大きく、減少傾向にある国は、それぞれの要因の影響に差がほとんどないか、減少させる要因がある一方、増加させる要因も同じくらい影響を与えていることがわかる。以上より、全体の国内供給量だけでなく、どの食品が変化に影響を与えているかも分析する必要がある。

4. 参考文献

1)JAICAF:”世界の食料ロスと食料廃棄”, (2011), pp.7-8

2)農林水産省:”食品ロスとは”, 農林水産省, (オンライン), 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html>

3) FAO: “Food Loss and Food Waste” ,FAO,(オンライン), 入手先 <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>

4)日本経済新聞:”カロリーから廃棄まで　大国にみる世界の食事情”, 日本経済新聞, (オンライン), 入手先 <https://vdata.nikkei.com/datadiscovery/08calorie/>

5)UN:“World Population Prospects 2017”,United Nations,(オンライン),入手先 <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>

6)FAO:“FAOSTAT”,FAO,(オンライン), 入手先<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>

P2-042

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

東京オリンピック・パラリンピックの食に関する調達基準の評価

Evaluation of procurement standard about foods for Tokyo Olympic Paralympic

○岩﨑裕太 [1)]、稲葉敦*[1)]

Yuta Iwasaki, Atushi Inaba

1）工学院大学

* a-inaba@cs.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

2020 年に東京でオリンピック・パラリンピックが開催されることが決まり、建設業や観光業など、様々な経済効果が期待されている。また、近年オリンピックは拡大傾向にあり、今後も規模拡大の可能性が高い。それに伴い GHG 排出量の増加が懸念される。

今大会では調達基準が策定されており、経済、環境、人権などの項目からどのような物品・サービスを調達すべきか定めている。特に食品では調達基準として GLOBALGAP、ASIAGAP などの第三者認証が採用されている。本研究ではこの食に関する調達基準を遵守することでどの程度 GHG が削減できるか評価する。

2. 研究手順

①選手村、IBC（国際放送センター）・MPC（メインプレスセンター）、会場の 3 か所の利用者数と必要食材量を算出する。

②慣行での GHG 排出量を算出する。

③調達基準により適した削減シナリオを設定した場合の GHG 排出量を算定する。

④慣行とシナリオでの GHG 排出量を比較する。

3. 大会の利用者数と必要食材量

選手村、IBC・MPC、会場の 3 ヶ所の利用者数と必要食材量を表 1 に示す。

表 1　主要施設の利用者数 [1)]

施設	利用者数 [人]	必要食材量 [t]
選手村	26,200	594
IBC・MPC	35,300	756
会場	3,828,500	2,893
合計	3,890,000	4,243

会場の利用者数は立候補ファイルの発行チケット枚数から 1 人当たり 3 試合を観戦することを想定して算出した。

各施設の利用者の食事回数と滞在日数は、選手が 1 日 3 食・18 日間滞在、メディア関係者が 1 日 3 食・17 日滞在、観客が 1 日 1 食・70%が日帰り、20%が 2 泊、10%が 4 泊であると仮定し必要食材量を算出した。必要食材量は組織委員会が公表している選手村での食事の資料 [2)]を基に利用者数 1 人が 1 食あたり一定量を食すと仮定して作成した。

本大会で必要になる食材の割合を図 1 に示す。最も必要な食材は野菜類の 36%で次いで主食の 23%、肉類の 22%となっている。

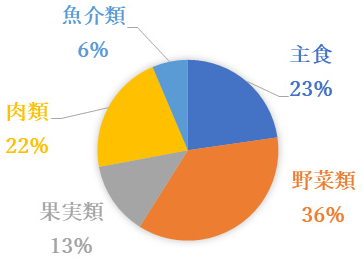


図 1　東京 2020 大会の必要食材量内訳

4. 削減シナリオ

4.1 主食

米類は林ら [3)]に基づき水稲作に係る農薬を低減する。パン類、麺類は濱村ら [4)]に基づき、原材料となる小麦の生産に係る農薬と施肥量を低減する。また小麦の生産の GHG 排出の割合は、それぞれパン類で 23.8%、麺類で 40.7%とし、この工程で GHG 削減効果があるとする。

4.2 野菜類・果実類

トマト・その他果菜類は、吉川ら [5)]に基づき、加温設備を A 重油からヒートポンプに転換する。キャベツは農研機構 [6)]に基づき、機械化一貫栽培に移行する。また、その他葉茎菜類、根菜類、果実類は吉川ら [5)]に基づき、施肥量を一律 20%削減する。その際の収穫量の変化はないものとする。

4.3 肉類

鶏肉、豚肉は、辻元ら [7)]に基づき、飼料にアミノ酸添加することで排泄物を低減する。またふん尿処理工程の GHG 排出の割合はそれぞれ鶏肉で 25%、豚肉で 35%とし、この工程において GHG 排出削減効果があるとする。

5. 結果

各食材の必要食材量と CO_2 排出原単位に IDEA v2.2[8)]を用いた慣行およびシナリオで育成した場合の GHG 排出量を

表 2 に示す。工場などで加工が必要になるパン類などで GHG 排出が多くなった。また、多くの飼料投入やふん尿処理に多くの GHG 排出を要する肉類も環境への寄与が大きい。一方で野菜類、果実類は肥料や農薬由来の GHG 排出があるが、露地栽培の場合はその他からの GHG 排出が少ないため必要食材量に対して GHG 排出量は少なくなる。

表 2　食材の必要量と GHG 排出量

品目		必要食材量 [t]	GHG 排出量[t-CO_2eq]	
			慣行	シナリオ
主食	パン類	693	2371	2279
	米類	93	168	141
	麺類	179	350	327
野菜類	トマト	264	347	331
	果菜類	240	385	366
	キャベツ	279	88	75
	たまねぎ	136	45	44
	葉茎菜類	494	182	176
	にんじん	64	19	18
	根菜類	58	16.3	15.8
果実類	かんきつ類	143	102	99
	すいか	64	40	39
	柿	7.1	4.4	4.3
	仁果果実	278	126	122
	核果果実	58	55	53
	熱帯産果実	6.9	3.5	3.4
肉類	鶏肉	364	673	631
	豚肉	264	810	739

次に各食材の慣行とシナリオ適応時の GHG 排出量を食材ごとにまとめたものを図 2 に示す。

主食は、小麦生産、水稲生産の減農薬によりパン類で 3.9%、麺類で 6.6%、米類で 16%の GHG 削減効果がある。本大会の主食全体では 4.9%の GHG 削減効果が期待できる。

野菜類では、トマトが 4.8%、その他の果菜類では 5.0%の GHG 削減効果が省エネルギー化で可能になる。キャベツは作業の機械化で 14%、根菜類やその他の野菜では施肥量の低減で 3.1%の GHG 削減効果がある。本大会の野菜類全体では 5.2%の GHG 削減効果が期待できる。

果実類は施肥量の低減により本大会では 3.1%の GHG 削減効果が期待できる。

肉類では鶏、豚の飼養において、飼料にアミノ酸添加をすることにより鶏肉で 6.2%、豚肉で 8.8%の GHG 排出削減効果がある。肉類全体では 3.3%の GHG 排出削減効果が期待できる。

本大会を通して、設定したシナリオに遵守したものを調達した場合、322[t-CO_2eq]の削減効果が期待できる。

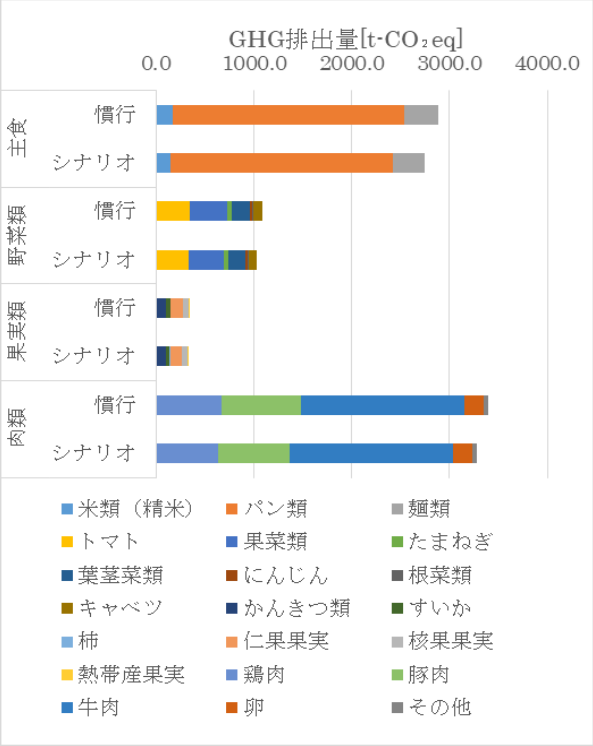


図 2 各食材の慣行とシナリオの GHG 排出量

6.　おわりに

本研究により東京オリンピック・パラリンピックにおける調達基準の効果が検証され、食材別の GHG 排出量が明らかになった。GHG 排出において肉類、主食の寄与が大きく、食の調達の約 80%を占めている。この分野での GHG 削減方法の模索が急務となる。

引用文献

1)　東京 2020 組織委員会：東京 2020 大会飲食提供に係る基本戦略,(2018),pp.5-8
2)　東京 2020 組織委員会：“立候補ファイル第 1 巻”(2015),PP.66-74
3)　林清忠，外園信吾，佐藤正衛：農業および園芸,86(5),(2011),pp.537-540
4)　濱村寿史，白井康裕，三宅俊輔：北農,80(4),(2013),pp.407-415
5)　吉川直樹，天野耕二，島田幸司：環境システム研究論文集,35,(2007),pp.499-509
6)　独立行政法人産業環境技術研究所：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,(2003),pp.23-26
7)　辻元進，高木智，長田隆，荻野暁史：日本 LCA 学会,野田,(2012),pp.166-167
8)　産業技術総合研究所，産業環境管理協会：LCI データベース IDEA version 2.2 (2018/01/18)

P2-043
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

業務用木質ペレット空調システムのライフサイクル CO_2 削減効果

Life cycle CO_2 reduction effects of wood pellet space heating systems

○小幡遼央*[1)]、本藤祐樹 [1)] 、森泉由恵 [1)]
Ryo Obata, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi
1）横浜国立大学
* obata-ryo-zg@ynu.jp

1. はじめに

木質バイオマス燃料は、カーボンニュートラルの性質を持つことから、化石燃料を代替するエネルギーとして注目されており、今後の利用拡大が期待される。同燃料の利用技術は、発電、熱利用、輸送燃料と多岐にわたり、今後の利用拡大を見据えた様々な利用技術の評価を行う必要がある。日本では、事務所やビル等の業務部門のエネルギー需要のうち約 4 割が空調・給湯等の熱需要であり、その約 8 割が化石燃料によって満たされていることから、今後の木質バイオマス燃料による代替が期待される。

しかし、国内の木質バイオマス研究において、燃料製造技術や発電技術の環境影響評価事例は数多く報告されているが、熱利用技術の研究はペレットストーブを用いた小規模暖房や製材乾燥の環境影響評価事例等 [1,2)]が確認されるのみであり、熱利用技術に関する知見は十分でない。したがって、今後の利用拡大に向けた熱利用技術の可能性の模索のためにも、様々な熱利用技術の評価を進めていくべきである。

本研究では、業務部門において木質ペレット空調システムが既存空調システムを代替した際のライフサイクル CO_2 削減効果を明示することを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、LCA の手法を用いて、業務用建物に木質ペレット空調システムを導入した場合の CO_2 排出量を推計し、既存空調システムの CO_2 排出量と比較することで CO_2 削減効果を求める。

2.1 評価対象

評価対象とした木質ペレット空調システムはペレットボイラーを熱源主機とし､加えて吸収式冷凍機･冷却塔を用いて冷暖房を行うシステムであり、同システムは東北地方の公共施設（空調対象面積 4,700m^2）に導入されるとする。表 1 に対象空調システムにおける熱源機器の機器仕様を示す。

既存空調システムとして想定したのは、A 重油ボイラーを熱源主機とし、同様に冷暖房を行うシステムである。A 重油ボイラーに関しては出力 700kW、ボイラー効率 90%のボイラーを想定し、他の熱源機器の種類・機器仕様は同様のものとしている。

表 1　熱源機器の機器仕様

熱源機器	機器仕様		
ペレットボイラー	出力	700	kW
	ボイラー効率	85	%
吸収式冷凍機	冷凍能力	700	kW
	SCOP	0.67	
冷却塔	冷却能力	1,754	kW

2.2 システム境界及び機能単位

システム境界は、各空調システムの設備建設、設備運用、燃料製造とし、機能単位は、対象建物の 15 年間分の冷暖房需要とする。

2.3 インベントリデータの作成

2.3.1 木質ペレット空調システム

設備建設段階は対象空調設備の工事見積書、設備運用段階は実際の運用データといった実データに加えて、後述する Web プログラムによって算出されるエネルギー消費量の計算結果を用いてインベントリデータの作成を行う。Web プログラムとは、建築研究所作成の「エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版) Ver.2.6」を指し、建物の立地地域や建物性能、空調設備の性能等を入力することで機器の負荷変動等が考慮された実態に近い空調設備の年間のエネルギー消費量を算出できる。

また、燃料製造段階は、各種報告書・論文やヒアリングデータより、林地残材を原材料とする全国平均的な木質ペレット製造プラント（年間生産量 1,750 トン）を想定し、設定した年間運用費に基づいてインベントリデータの作成を行う。

2.3.2 既存空調システム

木質ペレット空調システムと同様に、各種データや Web プログラムによって算出される空調設備の年間のエネルギー消費量の計算結果を用いてインベントリデータの作成を行う。

2.4 ライフサイクル CO_2 排出量の推計

作成したインベントリデータを用いて、産業連関法と積み上げ法を組み合わせ、以下の式に従い各空調システムのライフサイクル CO_2 排出量（$LCCO_2$）を推計する。

$$LCCO_{2,i,j,k} = \sum_{i,j} e_{3EID}{}^{T}(I-A)^{-1}F_j + \sum_{i,j,k} e_k \times P_{j,k}$$

i：空調システム，j：ライフサイクルの各段階

k：燃料種，e_{3EID}：CO_2 排出原単位（3EID）

T：転置，$(I-A)^{-1}$：レオンチェフ逆行列

F：15 年間の最終需要額ベクトル

e：CO_2 排出係数，P：15 年間の化石燃料消費量

上式の第 1 項は、システムを構成する製品・サービスの上流工程で排出される CO_2 であり、産業連関法を用いて推計を行う。2011 年全国版産業連関表と国立環境研究所による 2005 年 3EID を使用し、作成した最終需要額ベクトルにレオンチェフ逆行列と 3EID を掛け合わせて推計を行っている。

第 2 項は、システム内での化石燃料使用時の直接燃焼によって排出される CO_2 であり、積み上げ法を用いて推計を行う。算出された各化石燃料の消費量に CO_2 排出係数を掛け合わせて推計を行っている。

3. 結果と考察

図 1、図 2 は、各空調システムの $LCCO_2$ の推計結果であり、各段階の CO_2 排出量と主な CO_2 排出要因を示している。15 年間の総 CO_2 排出量は木質ペレット空調システム、既存空調システムの順に、3,416[t-CO_2/15 年], 6,735[t-CO_2/15 年]となり、供給熱量当たりのライフサイクル CO_2 排出原単位はそれぞれ、123[kg-CO_2/GJ], 242[kg-CO_2/GJ]である。これらの結果から、木質ペレット空調システムによって既存空調システムを代替することで 49%のライフサイクル CO_2 削減効果が得られることが明らかとなった。この CO_2 削減効果は主に木質ペレットのカーボンニュートラルの性質によるものである。

各段階の CO_2 排出量に着目すると、両空調システムともに設備運用段階がライフサイクル全体に占める割合が大きく、空調設備の動力としての電力消費に起因する CO_2 排出量が多いことが確認できる。表 2 に空調設備動力に起因する CO_2 排出量の内訳を示す。これらは両空調システムに共通する値であるため、空調設備動力に起因する CO_2 排出量が削減された場合には、CO_2 削減効果はより大きくなる。

4. おわりに

本研究では、業務用建物に木質ペレット空調システムを導入した場合の CO_2 排出量を推計し、既存空調システムを代替した場合のライフサイクル CO_2 削減効果を明らかにした。今後は、同システムを業務部門の他の業種・他の地域の建物に導入した場合の CO_2 削減効果、さらには木質バイオマス地域熱供給システムの評価を行っていく予定である。

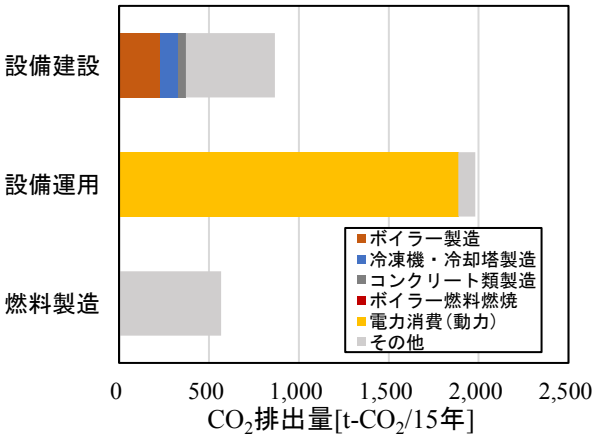


図 1　木質ペレット空調システムの $LCCO_2$（試算値）

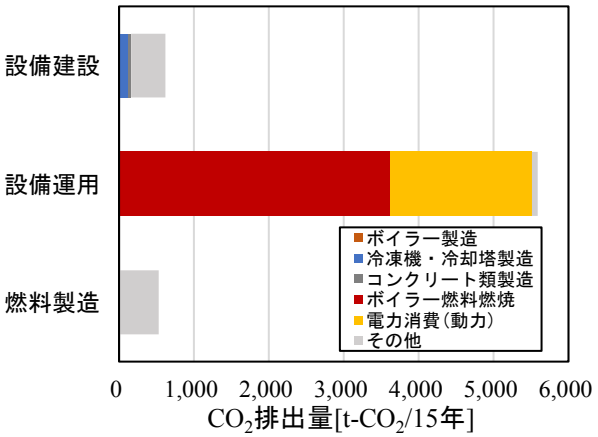


図 2　既存空調システムの $LCCO_2$（試算値）

表 2　空調設備動力に起因する CO_2 排出量の内訳

	電力消費量 [MWh/15 年]	CO_2 排出量 [t-CO_2/15 年]
熱源機器	131	43
冷却塔ファン	320	110
冷却水ポンプ	640	221
一次ポンプ	725	244
二次ポンプ	558	188
空調ファン	3,211	1,082

謝辞

データ提供やヒアリング等にてご協力いただいた基礎自治体と事業者の皆様に謝意を表する。本研究は、(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (2-1804) により実施された。

引用文献

1) 石坂和明, 村山克己, 伊坪徳宏: 日本 LCA 学会誌, 3(1), (2007), pp 45-51

2) 一重喬一郎, 服部順昭: 木材学会誌, 57(2), (2011), pp 63-71

P2-044

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年３月）

一般廃棄物中食品廃棄物・食品ロス量の推計と発生抑制・再資源化よる効果の検討：滋賀県の事例研究

Estimation of food waste and food loss in general waste and examination of the effectiveness of prevention and recycling: a case study of Shiga Prefecture

○清圭佑*[1)]、谷畑佑典[2)]、橋本征二[1)]

Keisuke Sei, Yusuke Tanihata, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学 2) 立命館大学大学院

* rv0053se@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

日本では、平成 27 年度において約 2842 万トンの食品廃棄物、約 646 万トンの食品ロスが発生したと推計されており、このうち約 289 万トンが家庭系とされる[1)]。各自治体において食品ロスの削減に向けた取り組みが始まっているが、家庭から排出された食品廃棄物量や食品ロス量の推計を行っている自治体は少なく、多くの自治体で取り組みの評価が行えない状態にある。本研究では、滋賀県内の市町を対象として家庭から排出される食品廃棄物・食品ロス量を複数の手法で推計するとともに、これらの市町において食品廃棄物・食品ロスの発生抑制・再資源化が行われた際の環境上の便益を検討した。

2. 方法

2.1 一般廃棄物中食品廃棄物・食品ロス量の推計

環境省の一般廃棄物処理実態調査結果[2)]における「処理状況」および「施設整備状況」の各種データを用いて、各市町の食品廃棄物量を推計し、これに食品廃棄物中の食品ロスの割合[3)]を乗じて食品ロスの推計を行った。また、農林水産省の食品ロス統計調査[4)]における「世帯員構成別の食品ロス量」および「食事管理者の年齢階層別の食品ロス量」を用いて各市町の食品ロス量を推計し、これら推計値の比較検証を行った。

2.2 発生抑制・再資源化よる効果の検討

既存の LCI 分析[5)]を用いて、各市町ごとの食品ロスの発生抑制、食品廃棄物の再資源化による温室効果ガス削減効果を推計した。発生抑制については、食品ロスが削減された際に、生産から小売・卸売までに発生する温室効果ガスの削減効果、再資源化については、食品廃棄物が分別収集バイオガス化、機械選別バイオガス化により再資源化された際の温室効果ガスの削減効果を検討した。

3. 結果と考察

本要旨では、一般廃棄物中の食品ロス発生量を推計した結果を示す(図 1)。環境省データによる推計(a)、農林水産省データによる推計(b、c)いずれも一部の市町を除いて比較的近い値となり、推計誤差の範囲内と考えられる結果となった。1 人あたり発生量を見ると、環境省データによる推計(a)において市町による大きな違いが見られたが、発生量の小さな高島市、守山市、草津市等においては、焼却される一般廃棄物中の厨芥類の割合が低い傾向にあり、発生量の大きな栗東市、近江八幡市においてはその割合が高い傾向にあった。農林水産省データによる推計(b、c)にもとづくと、1 人あたり発生量が大きい市町は、単身世帯人口、60 歳以上の年齢人口が多かった。

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。

参考文献

1) 環境省：我が国の食品廃棄物等及び食品ロスの量の推計値（平成 27 年度）等の公表について
2) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果
3) 環境省：食品廃棄物等の発生抑制及び再生利用の促進の取組に係る実態調査
4) 農林水産省：食品ロス統計調査
5) 松田健士ほか：厨芥類の発生抑制と再資源化のトレードオフを考慮した家庭系廃棄物処理のライフサイクル分析、日本 LCA 学会誌、6(4)、pp.280-287、2010

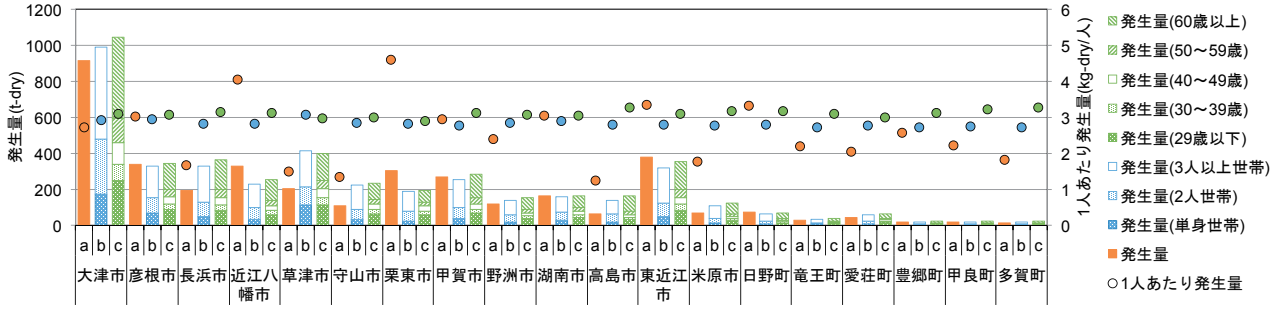


図 1　食品ロス量の推計結果(a:環境省データ、b:農林水産省データ(世帯別)、c:農林水産省データ(年齢別))(2015 年度)

P2-045

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

中国での家庭ごみの処理方法の提言

A suggestion on household waste disposal in China

○叶　俏[1]、稲葉　敦*[1]

Qiao Ye, Atushi Inaba

1)工学院大学

*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

中国では、人口増加や経済発展と共に家庭ごみ総量が大きく増加している。政策上、家庭ごみを減らすためにごみ分別方法が徐々に広がっている。また、中国は世界で一番 CO_2 を排出している国である。そこで、ディスポーザーを使用して、可燃ごみを減らすことで、削減出来る CO_2 排出量を算定する。

ディスポーザーとは、生ごみを粉砕し下水に流す装置である。排水が直接に排出されるものは直投型ディスポーザーと呼ばれる。既往研究[1]により、これが普及すると、家庭からの生ごみが減少し、下水処理場で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が分かっている。本研究では、直投型ディスポーザーを取り入れた家庭ごみ処理システムを中国に導入することを提案する。

2. 研究方法

本研究は下記の手順によって進めた。

①既往の研究[1]を参考し、モデル化した集合住宅を想定して、日本と中国におけるディスポーザー普及率 0%と100%のとき、それぞれの CO_2 排出量を算定する。

②インターネットで現在のごみ処理方法やディスポーザーの導入についてアンケート調査を行い、中国の住民の意思を把握する。

③算定及び調査の結果を基いて、中国での家庭ごみの処理方法の在り方を検討し提言する。

3. 結果

3.1. CO_2 排出量

本研究ではディスポーザーの普及率が 0%と 100%の場合を 2 ケースに設定し、日本と中国のいくつかのパタンに分けて、それぞれの CO_2 排出量を算定した。パタンの分け方は表 1 に示す。

表１　計算におけるパタン分け

	ごみの内訳		ごみ総量		電力原単位		汚泥の性状	
データ元	日本	中国	日本	中国	日本	中国	日本	中国
パタンA	○		○		○		○	
パタンB		○	○		○		○	
パタンC		○		○	○		○	
パタンD		○		○		○	○	
パタンE		○		○		○		○

家庭（1 棟 150 戸の集合住宅）から出る可燃ごみ（紙類、プラスチック類、生ごみなど）の内訳を表 2 に示す。

表２　家庭ごみの内訳

	紙類	生ごみ	プラスチック類	その他	不燃ごみ
日本[2]	42.64%	22.08%	18.91%	15.22%	1.15%
中国[3]	10.9%	66.2%	13.1%	4.5%	5.3%

計算に用いる電力の CO_2 排出量原単位は、日本は 0.6313 [kg- CO_2/kWh]、中国は 0.954 [kg- CO_2/kWh]を用いる。汚泥の性状を表 3 に示す。

表３　汚泥の性状

	BOD[mg/L]	SS[mg/L]
日本[4]	180	153
中国[5]	175	250

算定項目とパタン A と D の結果を表 4 に示す。ディスポーザー普及率 100%の時は a、c、d、i の 4 項目に対し、CO_2 排出量が 0%の時より削減された。日本の場合（パタン A）、トータルの削減量は 0.27[t-CO_2/(年・150 戸)]となった。中国の場合（パタン D）、トータルの削減量は 23.84[t-CO_2/(年・150 戸)]となった。

表４　家庭ごみ処理における CO_2 排出量

算定項目	CO_2 排出量[t-CO_2/(年・150戸)]					
	パタンA			パタンD		
	ケース①	ケース②	差	ケース⑦	ケース⑧	差
a 可燃ごみ輸送のCO_2排出量	0.82	0.64	▲ 0.18	1.12	0.34	▲ 0.78
b ごみ燃焼のCO_2排出量	29.49	29.49	0	29.19	29.19	0
c 焼却処理場の電力消費によるCO_2排出量	6.57	5.10	▲ 1.47	40.72	12.26	▲ 28.47
d 助燃剤利用によるCO_2排出量	0.15	0.00	▲ 0.15	0.62	0.00	▲ 0.62
e ごみ発電によるCO_2排出削減量	-16.55	-16.12	0.43	-18.87	-16.13	2.74
f ディスポーザーのCO_2排出量	0.00	1.21	1.21	0.00	5.26	5.26
g 下水処理場の電力消費によるCO_2排出量	22.70	22.82	0.12	42.08	42.76	0.69
h 下水処理場の汚泥処理におけるCO_2排出量	20.28	20.76	0.48	28.49	31.10	2.60
i 下水処理場のメタン発酵発電におけるCO_2排出削減量	-5.07	-5.78	▲ 0.71	-9.40	-14.65	▲ 5.25
合計	58.38	58.11	▲ 0.27	113.97	90.13	▲ 23.84

3.2.　アンケート調査

インターネットでのアンケートの回答者は男性が 33 人、女性が 51 人となった。回答者の年齢について、0～39 才の回答者が 45.2%、40 才以上のが 54.8%となった。40 才未満の場合、男女の割合が大体同じであったが、40 才以上の場合、女性回答者が男性の 2 倍であった。

3.2.1.　一般ごみの処理方法

普段の処理方法として、段ボール、古本と一般の紙製品を売る人が一番多く、それぞれ全回答者数の約 8 割に占めた。電池、ガラス製品、ゴム製品と布類製品を売る人は比較的少なかった。

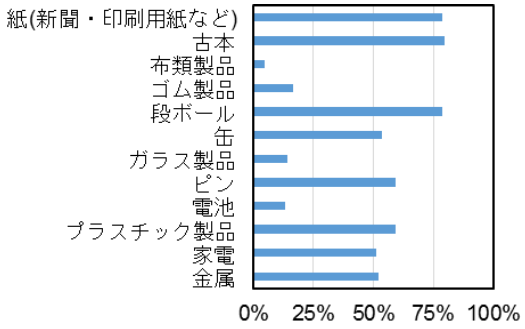


図１　それぞれ廃棄物を売る人の割合

3.2.2.　ごみ回収ボックスの状況

日常生活でのごみ回収ボックスの状況を図 2 に示す。一般的に、回収可能ごみとその他のごみの 2 つに分けられている場合が多く、資源物の分別が行われていない。

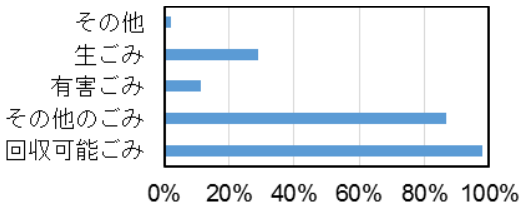


図２　各種ごみ回収ボックスの設置状況

3.2.3.　回答者のごみ分別状況

回答者自身のごみ分別状況を図 3 に示す。約 6 割の人が分別していると回答した。また、他の人が分別していないと思っている人が 5 割であった。

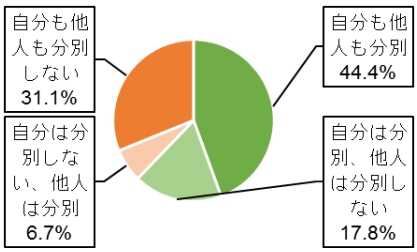


図３　回答者のごみ分別状況

3.2.4.　分別方法について

また、分別方法については、家庭で分別してから出す方がいいと思っている人が 7 割いた。8 割の回答者が中国のごみ分別方法（回収可能・有害・その他（厨芥）の 3 種類（或いは 4 種類）種類に分ける）より日本の方法が良いと思っていると回答した。

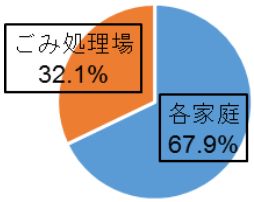


図４　ごみを分別すべき場所の選択割合

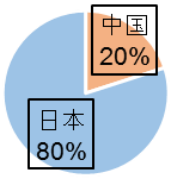


図５　中国と日本のどちらの分別方法が良いかの割合

3.2.5.　ディスポーザーについて

最後にディスポーザーについて、半分以上の人がディスポーザーを知らなかった。使っていない人もその多数がディスポーザーの導入に賛成していた。

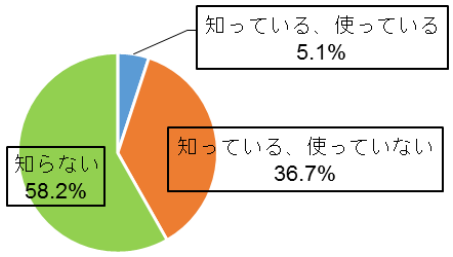


図６　ディスポーザーについて

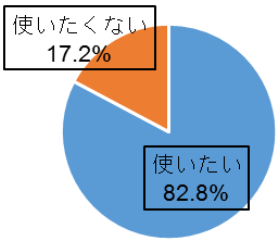


図７　ディスポーザーを使いたい人の割合

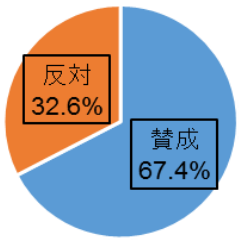


図８　ディスポーザーの導入について

4.　まとめ

ディスポーザーの導入によって、CO_2 排出量が削減できることが分かった。特に中国の場合、生ごみの割合が多いため、より多く削減できることが分かった。

アンケート調査の結果から、中国の住民が現在のごみ分別に不満足で、ディスポーザーの導入を歓迎していると考えられる。したがって、直投型ディスポーザーを取り入れた家庭ごみ処理システムを中国に導入することを提案する。中国の汚泥の性状を考慮した CO_2 排出削減量の分析（パタン E）の結果はポスター発表で報告する。

5.　参考文献

1)　出口明日花ほか：“第 12 回日本 LCA 学会研究発表会”，つくば，(2016)，pp.412-413

2)　“ごみ性状調査結果”，東京二十三区清掃一部事務組合，（オンライン），入手先<http://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/gijutsu/kankyo/toke/seijyou.html>，(参照 2019-01-10)

3)　Wang H. et al.，Waste Management，31，(2013)，pp.67-72

4)　国土交通省，“ディスポーザー導入時の影響判定の考え方　参考資料 6”，表 6.17

5)　CHUNLIAN XU et al.，Japanese Journal of Water Treatment Biology，47(2)，(2011)，pp.51-58

P2-046
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

木材がそのライフサイクルで提供する価値の推計

Estimation of the value that wood provides in its lifecycle

○大神正史*[1)]、Sébastien M.R. Dente [2)]、橋本征二 [2)]
Masashi Oogami, Sébastien M.R. Dente, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院　2) 立命館大学
* rv0043ie@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

欧州の循環経済政策パッケージの公表を受けて、循環経済の進捗をモニタリングする指標の開発が進められているが、議論は未だ緒に就いたところである。循環経済づくりを推進する団体の 1 つである Ellen MacArthur Foundation が示す循環経済の原則の 2 つ目は、平たくいえば「採取した天然資源は可能な限り社会の中で使いつくす」ということであるが、この「使いつくす」「価値を最大限に引き出す」状況を計測することができれば、循環経済の進捗を適切に表せると考えられる。この計測は従来のリサイクル率やリユース率等のアプローチでは不可能であり、新たな考え方が必要となっている。本研究では、筆者らが開発した手法[1)]を木材に適用し、木材がそのライフサイクルで提供する価値の推計を試みた。

2. 方法

2.1 ライフサイクルで提供する価値推計の概要[1)]

マルコフ連鎖モデルを適用することにより、木材のライフサイクルにおける各状態の経由回数を推計し、この経由回数に各状態を 1 回経由する際に生み出される付加価値を乗じて合計することにより、ある年の木材マテリアルフローのもとで、そのライフサイクルが提供する価値を推計した。

2.2 各状態の経由回数の推計

木材のマテリアルフロー[2)]を用いて、木材の状態推移表(各行が示す部門から各列が示す部門への推移量を表した表)を作成した。次に、この表の各要素をx_{ij}、行和をX_iとして、下式により算出される要素を成分に持つ正方行列Aを作成した。この正方行列Aは、部門iから部門jに推移する確率を示す状態推移確率行列である。ただし、埋め立てや焼却等、それ以降に投入される部門を持たないものを、最終部門Wとする。

$A = [a_{ij}]$、$a_{ij} = x_{ij}/X_i (i \notin W)$、$a_{ij} = 0 (i \in W)$

最後に、この状態推移確率行列Aを用いて、木材がこの状態推移を無限に繰り返した結果としての$(\mathrm{I} - A)^{-1}$を算出し、各状態の経由回数を推計した。

2.3 各状態で生み出される付加価値

木材のマテリアルフローにおける各状態を産業連関表における各部門と対応させた。次に、各部門(状態)の製品に使用される木材重量の比率および製品の重量単価から、各部門(状態)を経由することで生み出された価値(製品の産出額)を推計した。最後に、各部門の投入係数を用いて製品の生産が生み出した付加価値を木材に割り振り、これを全部門(状態)について足し合わせることで、木材がそのライフサイクルにおいて提供した価値を推計した。

3. 結果

2000 年の木材マテリアルフローにもとづいて、各状態の経由回数を推計した結果を図 1 に示す。丸太のほとんどは素材を経由して各状態に推移している。製材、チップ、パルプ、紙、建築物、古紙などの状態を経由する回数が多く推計された。各状態で生み出される付加価値について推計した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(3K163001)による成果である。ここに記して深謝する。

参考文献

1) Dente, S.M.R., S. Hashimoto: Life cycle thinking in the circular and functional economy: tracking materials through their multiple lives、第 14 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、in press
2) 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、CGER-REPORT D034、国立環境研究所、2014

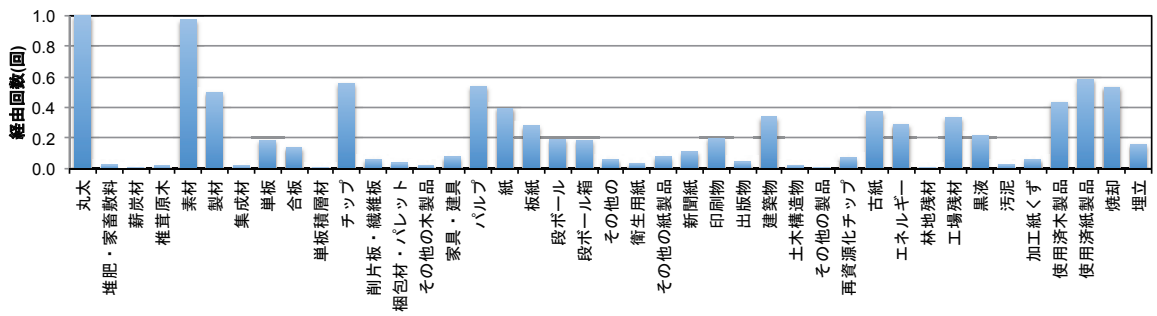


図 1　2000 年の木材マテリアルフローにもとづく各状態の経由回数の推計結果

P2-047

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

食料廃棄物のバイオディーゼル化について

Analyzing Biodiesel from the Food Waste

○緒方鞠、加河茂美

Mari Ogata, Shigemi Kagawa

九州大学

1EC16030Y@s.kyushu-u.ac.jp

1. 研究背景

バイオディーゼル燃料（BDF）とは、植物油から作られるディーゼルエンジン用燃料の総称であり、生物体の持つエネルギーを利用したバイオマス燃料の一種である。BDF には、化石燃料の代替物になる、二酸化炭素を増加させない（カーボンニュートラル）、エネルギー自給率向上などのメリットを持っている。そのため、日本ではバイオマス活用推進基本法をはじめとする様々な制度がつくられ、今後バイオマスのエネルギー利用に対する期待が高まっていくことが予想される。

日本では、食品廃棄物の一つである廃食油を原料として使って BDF を製造するのが一般的であり、BDF 製造はリサイクルによる廃食油の減少にも貢献することができる。

現在日本には BDF を製造する施設が 60 か所以上あり、家庭や給食、その他の事業所から廃食油を回収、そして製造している。（地球環境資源センター、2018）しかし、実際は BDF の生産に多大なコストがかかり、多くの事業所は地方公共団体からの補助金に頼らざるを得ない状況にある。この問題を解決するために、日本にある BDF 製造施設の製造に関するデータを使って、施設ごとの BDF 製造の効率性を分析する。

2. データ

本研究では社団法人地域環境資源センターが運用しているサイト「バイオマス利活用技術情報データベース」にある 35 の BDF 燃料製造施設のバイオマス、メタノール、水酸化カルシウムの投入量、BDF、グリセリンの製造量のデータを使った。

3. 手法

データ包絡分析法（DEA）を使って、35 の各 BDF 燃料製造施設がどれだけ効率的に稼働しているかを調べた。DEA には、効率的フロンティアを決めるのに入力志向型アプローチと出力志向型アプローチの二つのアプローチがあるが、今回は廃食油やエタノール、水酸化カルシウム（入力）をできるだけ少ない量でより多くの BDF や副産物であるグリセリン（出力）を製造できるかを調べるために、出力をそのままのレベルにしたままで入力を最小化する入力志向型包絡モデルを使った。これを使うことによって、各工場の効率値や、より効率的にするためにどの工場の入力にどれだけ近づければよいかがわかる。以下は本研究で用いた入力志向包絡モデル式である。

目的関数　Min. θ

制約条件

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{io}, i = 1,2,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro}, r = 1,2,...,s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \lambda_j \ge 0, j = 1,2,...,n$$

ここで、評価対象となっている DMU を DMU_o と表す。x_{io} と y_{io} は DMU_o のそれぞれ i 番目の入力と r 番目の出力である。上のモデルでは、λ_j は未知のウェイトであり、j=1,..,n は DMU の番号に対応している。

4. 結果

表 1 は各 BDF 燃料製造施設の生産効率値の結果である。35 の BDF プラントの生産効率値の平均値は 0.94 であり、効率的なプラントが多く、また非効率的なプラントも比較的効率的であることがわかる。そして、生産効率値の分散は 0.005 であることからも、プラントの生産効率値の散らばりがあまりないこともわかる。

35 のプラントのうち生産効率値が 1.00 であった 19 の施設が効率性フロンティア上にあり、それ以外の 16 の施設が非効率的なプラントであった。つまり、全プラントのうち 46% が非効率的なプラントであった。

また、最も効率値が低かったプラントは、佐賀市清掃工場（効率値 0.77）であり、次いで、東近江市あいとうエコプラザ菜の花館（0.82）、TEK リサイクルセンター高岡と水ロテクノスリサイクルセンター（効率値 0.83）であった。生産効率値が最も低い佐賀市清掃工場の参照集合は 4 つあり、それぞれの λ の値は、いなべ市廃食用油再生センターが 0.3、株式会社フチガミエステル燃料化施設が 0.01、京都市廃食用油燃料化施設が 0.03、田原市役所車庫が 0.66 であり、特に田原市役所車庫の BDF 製造技術が参考になるということがわかった。

最も BDF 生産量が多かった上位 7 つのプラントの生産

効率値は 1 であり、効率的であった。

BDF 製造量でトップ 10 入りしている BDF 製造プラント福島、TEK リサイクルセンター高岡、佐賀市清掃工場の生産効率値はそれぞれ 0.92、0.83、0.77 であり、これらの値を 1 に近づければ、より多くの BDF が製造できる。

表 1. 35 の各 BDF 燃料製造施設の生産効率性

	企業名	効率値	17のλ
1	BDF製造装置（BDF工房）	0.98	0.00
2	BDF製造プラント_福島	0.92	0.00
3	BDF製造プラント_沖縄	0.90	0.00
4	ecoilファクトリー	1.00	0.00
5	TEKリサイクルセンター高岡	0.83	0.00
6	安曇野市バイオディーゼル燃料製造施設	0.93	0.00
7	一色町廃食用油燃料化施設	0.92	0.00
8	いなべ市廃食用油再生センター	1.00	0.30
9	エコデス株式会社	1.00	0.00
10	エポック・サービス白老工場	1.00	0.00
11	おおき循環センター	0.87	0.00
12	岡山県中部環境施設組合	0.84	0.00
13	株式会社フチガミエステル燃料化施設	1.00	0.01
14	協業組合仙台清掃公社廃食油リサイクル工場	0.88	0.00
15	京都市廃食用油燃料化施設	1.00	0.03
16	クリーン筑紫野有限会社	0.90	0.00
17	佐賀市清掃工場	0.77	0.00
18	高島工場	1.00	0.00
19	多治見市堆肥化センター	1.00	0.00
20	田原市役所車庫	1.00	0.66
21	中津川市廃食用油燃料精製所	1.00	0.00
22	七日町BDFプラント	0.92	0.00
23	西田商運BDF製造所	1.00	0.00
24	バイオディーゼル庫	1.00	0.00
25	バイオディーゼル燃料製造施設（仮名）滋賀	1.00	0.00
26	廃食油燃料化施設	1.00	0.00
27	廃食用油軽油代替燃料化施設	1.00	0.00
28	廃食用油変換装置	1.00	0.00
29	廃食用油リサイクル燃料製造施設	0.87	0.00
30	廃食用油リサイクルプラント	1.00	0.00
31	東近江市あいとうエコプラザ菜の花館	0.82	0.00
32	益田市リサイクルプラザ	1.00	0.00
33	松江市廃食用油リサイクルプラント	0.87	0.00
34	水口テクノスリサイクルセンター	0.83	0.00
35	屋久島町リサイクル施設	1.00	0.00

引用文献

1) バイオマス活用推進基本計画（平成 28 年）, 農林水産省

2) 社団法人　地域環境資源センター : バイオマス利活用技術情報データベース, 入手先 http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/

3) Wade D. Cook , Joe Zhu, 森田浩（訳）, データ包絡分析法　DEA,

P2-048

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

地域材を原料とした木質ペレットのエネルギー収支とライフサイクル CO_2 排出量

Life cycle energy and carbon dioxide emission of wood pellet production from local timbers

○紺野大地 1)*、佐藤理夫 1)、小井土賢二 1)

Daichi Konno, Michio Sato, Kenji Koido

1）福島大学

* s1870013@ipc.fukushima-u.ac.jp

1. はじめに

近年，国内では木質バイオマスを燃料とする火力発電所（専焼、混焼）や、地域分散型の小規模な熱電併給(CHP)や木質バイオマスボイラーの導入が、固定価格買取制度を利用して急速に進んでいる。特に地域的な小規模のシステムでは木質ペレットを燃料とするケースが多く、木質ペレットの需要も増加しており、海外からの輸入量も増加している [1]。木質ペレットの製造を国内で持続可能に行うためには環境低負荷かつ低エネルギー需要である木質ペレット製造が求められる。

これまで土屋ら [2]による研究では、日本における木質ペレット製造のエネルギー収支分析を行ったほか、古俣ら [3]による研究では、木質ペレットの原料の輸送から焼却灰の廃棄までの環境影響評価を行った。しかしながら、環境低負荷・低エネルギー需要化を目指し、乾燥工程のプロセス設計と比較検討を行った前例は著者の知る限りない。

本研究では、木質ペレットのライフサイクルにおける木材調達から生産段階までの CO_2 排出量およびエネルギー収支比を明らかにし、低エネルギー需要、低 CO_2 排出のシステムを提案する。

2. 方法

評価対象は木材調達、木材輸送、チップ生産、おが粉生産、チップ輸送、おが粉輸送、ペレット生産の各段階とし、システム境界を図 1 に示した。ペレット製造システムにすでにあるものを利用するとして、設備や機器の製造・輸送・廃棄などの各段階は評価対象に含めなかった。おが粉乾燥のための熱供給プロセスとして、図 1(a), (b), (c)に示す３つの異なるフローを想定し設計を行った。

(a) 乾燥用ボイラー(燃料：規格外ペレット，製品ペレット)

(b) 乾燥用ボイラー(燃料：規格外ペレット，木質チップ)

(c) ガス化熱電併給（熱電併給用燃料：乾燥木質チップ，チップ乾燥用燃料：規格外ペレット，木質チップ）

エネルギー収支比および CO_2 排出量の評価における機能単位は製造したペレット 1 MJ とする。それぞれの計算方法を以下の式(1)および式(2)によって示す。

$$\text{エネルギー収支比(MJ/MJ)} = \frac{\text{一次エネルギー投入量}}{\text{生産したペレットの低位発熱量}} \quad (1)$$

$$\text{CO}_2\text{排出量(g-CO}_2\text{/MJ)} = \frac{\text{CO}_2\text{原単位} \times \text{一次エネルギー投入量}}{\text{生産したペレットの低位発熱量}} \quad (2)$$

3. インベントリデータ

インベントリについては参考情報として表 S1 にまとめた。木材調達において、伐木・造材段階ではチェーンソー、搬出機械（グラップル，フォワーダ，プロセッサー）が使用されている。この工程におけるチェーンソー、搬出機械の燃料（ガソリン、軽油）の消費を対象とし、燃料の消費量は聞き取り調査によって得られたデータを用いた。

輸送段階では，山林現場から破砕・粉砕を行う現場までの木材の輸送，破砕・粉砕後の木質チップおよびおが粉のペレット工場までの輸送を評価した。トラックの燃費や輸送距離は，聞き取り調査によって得られたデータを用いた。

破砕・粉砕段階では，木材をチップ化し、チップをおが粉にするまでの過程をそれぞれ評価した。使用する破砕機・粉砕機の燃料（軽油）の消費を対象として評価を行った。燃料の消費量およびチップ・おが粉の製造能力は聞き取り調査によって得られたデータを用いた。

ペレット生産段階では，聞き取り調査によって得た工場全体の電力需要、乾燥用ボイラーの熱需要を用いた。また、おが粉の乾燥工程の熱源としては、前記のとおり３つの異なるフローを想定した。熱電併給によって得られた電力は工場内で使用し、余剰分は売電することとした。規格外品

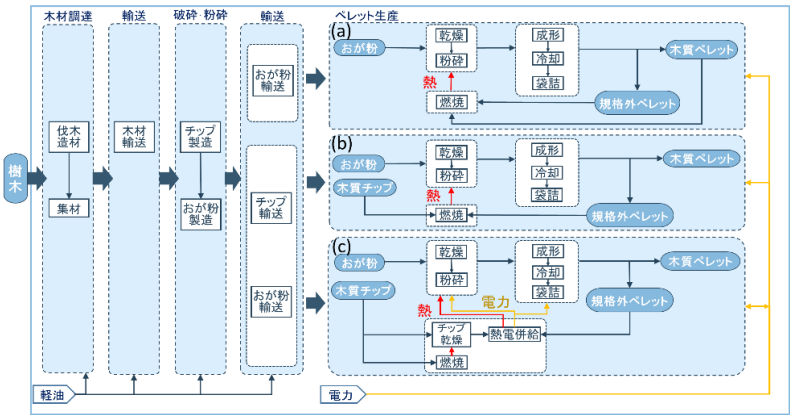


図 1 ペレット製造のシステム境界

の発生量は、製造したペレットのうちの 15%であることが聞き取り調査の結果から分かっている。このときのペレットおよびチップの燃焼による CO_2 排出量は、カーボンニュートラルの考え方からゼロと仮定して計算を行った。

4. インベントリデータ分析結果と考察

前節で整理したインベントリデータを用いて、ペレット製造に伴うエネルギー収支比及び CO_2 排出量を算出した結果を図 2、図 3 に示す。

木材調達からペレット生産過程までのエネルギー収支比は、乾燥工程に製品ペレットの燃焼による熱供給を行った場合(a)は夏季・冬季それぞれ 0.33、0.45 MJ/MJ-Pellet であり、乾燥工程にチップの燃焼による熱供給を行った場合(b)は、夏季・冬季それぞれ 0.34、0.35 MJ/MJ-Pellet だった。その内訳では、ペレット生産における電力由来のエネルギー消費が 79～83%を占めていることがわかる。また、夏季は規格外ペレットで熱を十分に賄えているため、ほとんど変わりないが、冬季はチップを使用することにより、エネルギー収支比の値が 22%減少することが示唆された。一方、乾燥工程に熱電併給による熱供給を行った場合(c)は、夏季・冬季それぞれ 0.12、-0.088 MJ/MJ-Pellet であり、夏季は製品ペレットおよびチップを燃焼させた場合と比較するとエネルギー収支比の値が約 64%減少することが明らかとなった。冬季は電力の余剰が発生し、売電を行っている状況である。そのため、エネルギー収支比の値がマイナスになることが明らかとなった。

CO_2 排出量は、乾燥工程に製品ペレットの燃焼による熱供給を行った場合(a)は夏季・冬季それぞれ 22.4、30.8 g-CO_2/MJ-Pellet であり、乾燥工程にチップの燃焼による熱供給を行った場合(b)は、夏季・冬季それぞれ 22.8、23.7 g-CO_2/MJ-Pellet だった。一方、乾燥工程に熱電併給による熱供給を行った場合(c)は、夏季・冬季それぞれ 9.17、-4.01 g-CO_2/MJ-Pellet であり、製品ペレット及びチップを用いた熱供給と比べて、CO_2 排出量を夏季は約 46%削減可能であり、冬季は CO_2 排出量の値がマイナスとなり、大幅に削減可能であることが明らかとなった。しかし、熱電併給で冬季における乾燥工程に必要な熱をすべて賄うというシステムでは、夏季は乾燥における熱需要の値が冬季に比べて小さく、熱電併給の稼働率が低くなってしまうことがわかる。そのため、熱電併給と乾燥用ボイラーを組み合わせた乾燥システムが現実的であると考える。今後、熱電併給と乾燥用ボイラーをどの割合の組み合わせが良いのか比較、検討する。

5. まとめ

本研究では、国内事例を対象に、おが粉乾燥に使用する熱源が異なる 3 つのフローを想定して木質ペレットのライフサイクルにおける木材調達から生産段階までのエネルギー収支比と CO_2 排出量をそれぞれ算出し、比較を行った。その結果、乾燥の熱源として熱電併給の熱を用いた場合が最もエネルギー収支比・CO_2 排出量の値が小さくなり、チップの燃焼による熱供給を行った場合と製品ペレットの燃焼による熱供給を行った場合と比較して優位性が定量的に明らかとなった。

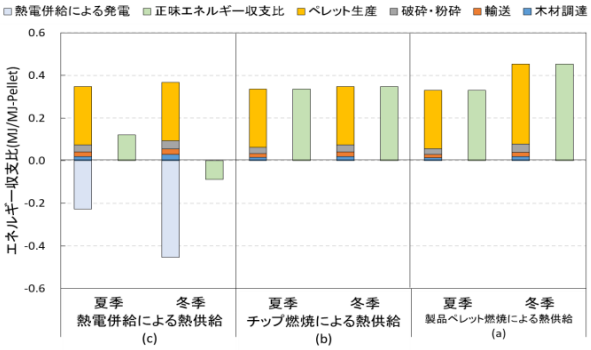


図 2　各過程の夏季及び冬季におけるエネルギー収支比

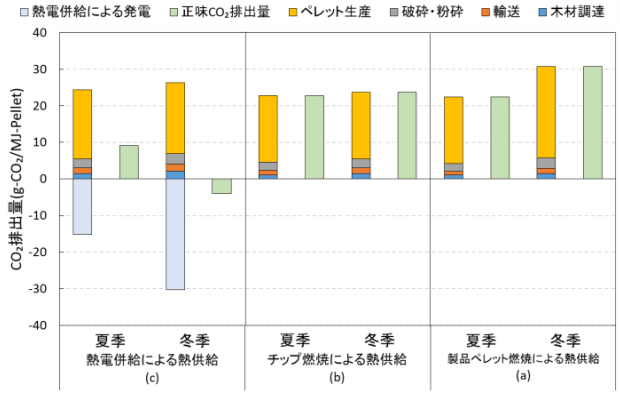


図 3　各過程の夏季及び冬季における CO_2 排出量

謝辞

本研究を行うにあたり，ペレット事業者の方々に多大なる協力をいただいた。ここに謝意を表する。

引用文献

1) 日本木質バイオマスエネルギー協会, “木質バイオマスエネルギーデータブック 2018”,(オンライン), <https://www.jwba.or.jp/データベース/一般公開用データ-目次/木質バイオマスエネルギー-データブック 2018/>, (参照 2018 10 25)
2) 土屋陽子ほか: 木材学会誌, Vol. 56, No. 6, (2010), pp. 427-436
3) 古俣寛隆ほか: 木材学会誌, Vol. 56, No. 3, (2010), pp. 139-148
4) “Volter 40 kW 熱電併給システム-フォレストエナジー株式会社”, フォレストエナジー株式会社, (オンライン), <http://forestenergy.jp/volter>, (参照 2018-12-21),
5) 東北電力, “東北電力 環境問題への取り組み ピックアップ”, 東北電力, (オンライン), (参照 2018 11-04) <www.tohoku-epco.co.jp/enviro/picup/co.html>
6) 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット, “EDMC/エネルギー・経済統計要覧”, 省エネルギーセンター, 2015/02/27
7) 日本木質バイオマスエネルギー協会: “解説-一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会” (オンライン)<https://www.jwba.or.jp/woodbiomass-chip-quality-standard/ 解説/>, (参照 2018-12-03)
8) 加用千裕ほか: 木材学会誌, Vol. 62, No. 5, (2016), pp.172-181

Supporting Information

表 S1 ペレット製造のインベントリデータ

過程	使用機械		燃料消費	単位	値	参考文献
木材調達	造材・集材		軽油消費	L/m^3-Log	3.7	聞き取り調査
	伐木		ガソリン消費		0.098	
	木材生産量(好条件地最大)			m^3-Log/日	50	
輸送	6 tトラック(木材運搬)	積載率：83%	軽油消費	L/(km*t)	0.073	
	4 tトラック(おが粉運搬)	積載率：75%	軽油消費		0.042	
破砕	破砕機(チップ化)		軽油消費	L/m^3-Tipp	0.0051	
	粉砕機(おが粉)		軽油消費	L/m^3-Sawdust	0.0094	
	おが粉(含水率:30～50%-wet)容積密度			kg/m^3	380	
ペレット生産	前処理	燃焼	熱需要(冬)	MJ/日	9500	
			熱需要(夏)		3800	
			電力消費	kWh/kg-Sawdust	0.43	
		乾燥	電力消費			
		粉砕	電力消費			
	成形	成形	電力消費			
		冷却	電力消費			
		袋詰め	電力消費			
	熱電併給		電力消費	kWh/kg-Tipp	0.04	文献4)
			電力出力	kWe	40	
			熱出力	kWt	100	
電力消費におけるCO_2排出係数				kg-CO_2/kWh	0.523	文献5)
日本国内における発電施設の発電効率(石油換算)				%	45.93	文献6)
チップ低位発熱量				MJ/kg	11.7	文献7)
ペレット低位発熱量				MJ/kg	19	聞き取り調査
軽油消費におけるCO_2排出係数				kg-CO_2/L	2.821	文献8)
ガソリン消費におけるCO_2排出係数				kg-CO_2/L	2.72	

P2-049
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

里山林のバイオマス利活用に向けた調査研究

Research Survey for Biomass Utilization in Satoyama Forest

○武藤美緒*[1)]、磐田朋子 [2)]
Mio Muto, Tomoko Iwata
1）芝浦工業大学
*br15082@shibaura-it.ac.jp

1.　背景と目的

木質バイオマスとは木材からなる再生可能な有機性資源のことであり、未利用間伐材や工場残材、建築発生木材などがある。製品の原料としての利用のみならず、近年ではエネルギーとしての利用に期待が高まっている。その中で未利用間伐材については、収集・運搬コストがかかることからほとんど利用が進んでいない状況であった。平成 21 年の森林・林業再生プラン[1)]では 10 年後の木材自給率を 50%以上にするという目標が掲げられた。近年ではバイオマス発電などのエネルギー利用の需要が高まっていることもあり、間伐材は徐々に未利用状態が減ってきてはいるが、まだ利用が進んでいない場所もいくつかある。

また、里山において多く見られる広葉樹は、薪やチップ原料としての取引価格が近年高騰しており、多形態・多用途な材が利用可能となれば、経済的にも利活用が進むと期待されている。そこで本研究では、二次林の利活用事業を展開している長野県大町市における林業組合へのヒアリング調査に基づき、里山林利活用システムの環境・経済性評価を行う。

2.　研究方法

①林業事業体へのヒアリングに基づく大町の森林調査
②木材流通の検討
③　里山林の利活用による環境面と経済面の評価

3.　里山林とは [2)]

里山林とは、薪炭用木材の山菜取り、落ち葉を肥料として利用するなどを通じて、地域住民の生活との密接に結びついて存在している森林の総称である。クヌギやコナラを中心とする落葉広葉樹林、アカマツ林のほか、スギ、ヒノキ等の人工林を含む種類の森林から構成される。昭和 30 年代の燃料革命、化学肥料の普及等により、里山林の依存度が急減し、荒廃や生物種の減少、ゴミの投棄などが目立つようになった。しかし近年では、地域の生活環境や景観を保全する上での価値及び歴史的・文化的価値が見直されつつある。

4.　対象地区 [3)]

4.1 対象地区の概要

長野県大町市は長野県の北西部に位置しており、市の西部には標高 3000ｍの広大な北アルプス、東部には 1000ｍ近い山々が連なる。図 1 に大町市の気象情報を、図 2 に大町市の森林面積の内訳を示す。大町市の総面積(56,515ha)に対して森林面積は約 88%(49,453ha)を示している。

年平均気温	9.3℃
最高気温	33.9℃
最低気温	-15.4℃
年間降水量	1531.0mm
年間降雪量	380cm

図 1　平成 26 年大町市の気象情報

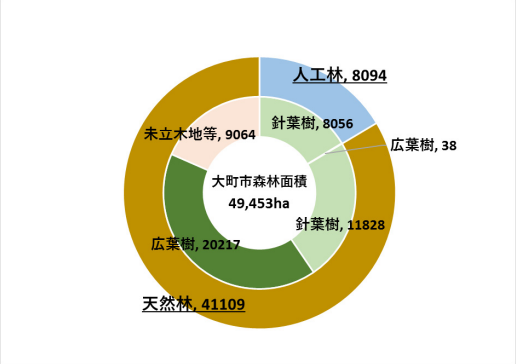


図 2　大町市の森林面積(ha)

4.2 対象地区の現状

大町市は、天然林が多く、その中でも広葉樹の割合が最も多い。ヒアリング調査を行った林業事業体では、間伐材も含め、伐った木は全て搬出している。しかし、搬出先は大町市内ではなく、市外や県外がほとんどである。大町市内には製材所等がないため、市内での活用があまり行われていない(図 3)。また、図 4 の第 17 期販売集計によるとバイオマス発電材の材積が最も多く、続いて県外の製材業者、県外の合板が多いことがわかる。図 5 の明細金額からもこれらの材がほとんどの売り上げを占めていることがわかる。図 6 の平均価格からは、バイオマス発電材の価格は安く、きのこ原木が最も高いことが読み取れる。

大町市内の里山は住民生活との関わりが少なく、業者が整備を行っている状況である。市内での里山林利活用を図ることでコスト、CO_2がどれだけ削減できるのか検討する。



☆林業事業体　①合板製造工場　②製造・販売店
③製材工場　④製造・販売店　⑤発電所
⑥森林整備・管理　⑦製造・販売店　⑧原木市場

図３　生産材流通マップ

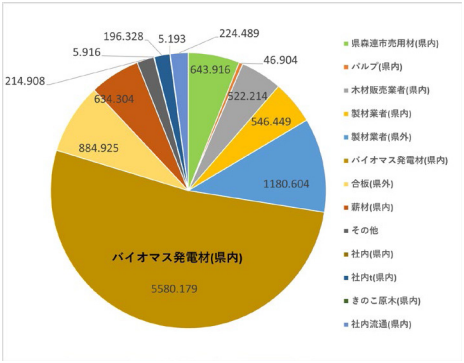


図４　第 17 期販売集計(ha)

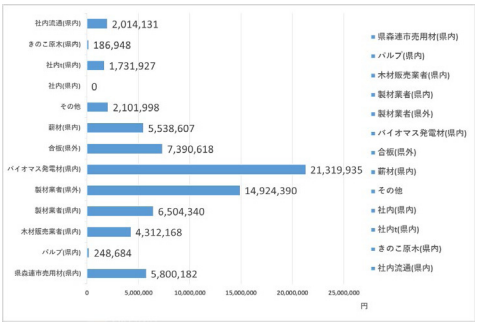


図５　明細価格(円)

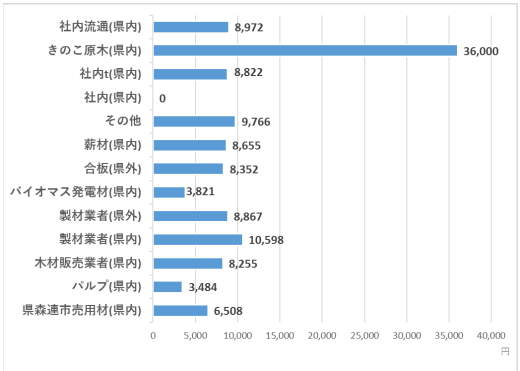


図６　平均金額(円)

5.　里山林利活用の評価方法

5.1 市場の省略

ヒアリングを行った林業事業体では、原木市場での市売りを無くし、直売、直送を行っている。山から原木を直接仕入れ、製材から最終製品まで一気に加工することが主流になってきている。さらに、市場を木材生産現場で開く取り組みも行っている。流通のコストや、CO_2の削減効果がある一方で、木材現場から施工現場までが、常時連携した管理が必要となる。また、需要の調整をどこでやるのか、という問題もある。

5.2 熱需要の開拓

図４で示した通り、林業事業体ではバイオマス発電材の材積が最も多い。この木質バイオマスを発電ではなく、熱利用を目的とした、入浴施設や病院、高齢者施設などでの利用を検討する。大町市には、多くの入浴施設や高齢者施設がある。また、熱利用は発電所と比べて小規模での利用が可能である。しかし、熱利用で使う木質バイオマスは乾燥したものでなければ利用ができないため、乾燥場所が必要となる。

6. 今後の評価

5.1、5.2 を海外の木材を利用場合、県外に木材を運ぶ場合と比べて、どれだけコストやCO_2が削減できるのかを評価する予定である。

7. 引用文献

１)林野庁“森林・林業再生プランについて”, 林野庁, 入手先＜http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/saisei/＞,（参照 2018-10-16）

２)林野庁“里山林を活かした生業(なりわい)づくりの手引き”, 林野庁, 入手先＜http://www.rinya.maff.go.jp/j/sanson/kassei/pdf/satoyamatebiki_jirei.pdf＞,（参照 2018-10-24）

３)大町市“大町市森林整備計画”, 大町市公式サイト, 入手先＜http://www.city.omachi.nagano.jp/00010000/00010200/00010612_2_2.html＞,（参照 2018-10-10）

P2-050

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

メタン発酵消化液の液肥利用を考慮したバイオガス CHP のコスト分析 ータイの事例ー

Life cycle economic analysis of food-waste biogas combined heat and power with digestate nutrient management for fig fertilisation in Thailand

○小井土賢二*[1)]、竹内一佐枝 [2)]、長谷川達也 [2)]

Kenji Koido, Hisae Takeuchi, Tatsuya Hasegawa

1）福島大学, 2）名古屋大学

* koido@sss.fukushima-u.ac.jp

1. はじめに

タイでは、これまで国内のエネルギー需要の不足分を輸入により賄ってきた背景がある [1)]。代替エネルギー利用とバイオエネルギー開発の促進のために、タイ政府が「新・代替エネルギー開発計画 2012-2021（new Alternative Energy Development Plan 2012-2021, (AEDP)）」を 2011 年に立案し、2021 年までに最終国内消費の代替エネルギー分を 25%まで引き上げる計画を打ち出した [1,2)]。この AEDP の一環として、食品残渣を原料とする小規模バイオメタン製造が可能な、バイオガスプラントが、タイ・ナコーンナーヨック県で稼働している [3)]。しかしながら、Feed-in-tariff (FIT)を用いたメタン発酵バイオガス発電において消化液の処理は運用コストに大きく影響を与えることがわかっている [4)]。

本研究ではメタン発酵消化液の液肥利用を考慮して、バイオメタンによる熱・電力供給の運転を行った際のコスト分析を、タイのプラントを対象にして行った。特にイチジクの栽培を対象にし、必要な肥料三要素成分を満たすよう消化液によって化学肥料を置き換えたときのコスト削減分を収益と見立てて、消化液の液肥利用におけるコスト計算を行った。

2. 方法

メタン発酵バイオガスによる熱電併給 （CHP）で得られる電力の FIT 売電と、家庭用の温水供給を行うほか、発生する消化液を液肥として圃場散布した場合のコスト計算を、タイ・ナコーンナーヨック県で稼働するプラントを例として検討することを目的とし、システム境界は図 S1 に示す。

2.1 経済性分析

バイオガスシステムの採算性を計算するために現在価値(NPV)とペイバックタイムの概念を評価基準として用いた。

$$NPV = -CI + \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

ただし、CIは初期投資[THB]、r は割引率である。CF_t は時刻 t におけるキャッシュフローで次式によって計算される。

$$CF_t = p_t - X_t - FC \quad (2)$$

ただし、収入 p_t（食品残渣処理費、電力、温水、消化液、バイオメタン）、変動費 X_t（原料逆有償、維持管理費）、固定費 FC（人件費、利息、金利、租税公課）とする。

2.1.1.初期投資

初期投資 CI [THB]は 25, 50, 100 t/d における建設費の値 [5)] から得られた次の回帰式($R^2 = 1.0$)により計算した。

$$CI = (25.33\times10^6)\cdot PS^{0.7999} \quad (3)$$

ただし、PS [t/d]はプラント規模である。

2.1.2.年間収入

売電による収入 C_{elec} [THB]は、

$$C_{\mathrm{elec}} = EP \cdot P \cdot D \cdot Opt \quad (4)$$

ただし、EP は売電価格 [THB/kWh]、P は電力 [kW]、D は年間稼働日数 [d/y]、Opt は稼働時間 [h/d]である。所内率は 25%とし､残りの 75%はバイオガスによる FIT 売電価格 3.76 THB/kWh で売電するとした。

ナコーンナーヨック県の試験場において消化液をすべて液肥として用いたイチジク(*Ficus carica* L.) 栽培が可能であることがわかった [3)]。そこで、イチジク栽培の栄養素必要量である窒素 : 430 g/tree、リン酸 : 200 g/tree、酸化カリウム : 430 g/tree の一部を消化液で賄い、残りを化学肥料で補うことを仮定した [6)]。消化液の圃場散布により、イチジク肥料費の一部を消化液で置換えた場合の肥料費削減分を収益と見立てた次式を用いた（図 1）。

$$\text{消化液収益 [THB/kg]} = \frac{\text{肥料費 [THB/y]} - \text{消化液利用の肥料費 [THB/y]}}{\text{発生消化液重量 [kg/y]}} \quad (5)$$

2.1.3.年間支出

メンテナンス費 MC はバイオガスプラント規模(PS [t/d])の関数として回帰式 ($R^2 = 0.9998$) により決定した [7)]。

$$MC = (1.486\times10^6)\cdot PS^{0.5966} \quad (6)$$

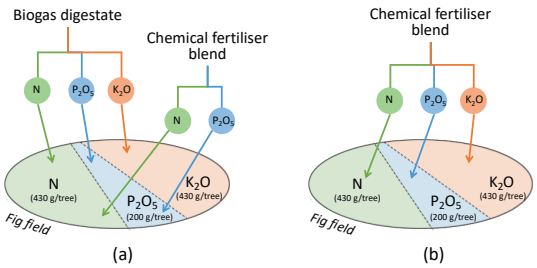


図 1 イチジク栽培での消化液散布による化学肥料置換え

3. 結果と考察

3.1 経常収支

図 2 にバイオガスプラント（規模 35 t/d と仮定）による熱電併給の経常収支を示す。収入については、食品残渣の逆有償による収益が全体の 46.3%（29.4 MTHB/y）を占めたほか、売電による収入が 35.0%（22.2 MTHB/y）だった。CHP による熱で給湯需要を置換えた分の収入が 14.7%（9.33 MTHB/y）であり、消化液の液肥利用による収益が 4.1%（2.58 THB/y）であった。逆有償による収入の確保が非常に重要であることがわかった。

支出については、支払利息が 36.6%（11.5 MTHB/y）で最も高いインパクトであった。二番目に高い項目は、メンテナンス費が 35.8%（11.3 MTHB/y）である。ユーティリティ費が 6.7%（2.11 MTHB/y）、人件費が 5.2%（1.65 MTHB/y）、租税公課が 15.7%（5.0 MTHB/y）だった。

3.2 ペイバックタイムの感度分析

ペイバックタイムの感度分析の結果を図 3 に示す。基準ケースからのパラメータ変化に対するペイバックタイムの変化率をプロットした。プラント規模、売電価格、温水価格、バイオメタン収率の変化はペイバックタイムに対して負相関である。これらのうち最も感度が高いのはバイオメタン収率だった。バイオメタン収率が 30%増加したとき、ペイバックタイム変化率は–28.3%だった。逆に収率が–30%変化したとき、ペイバックタイム変化率は 112.1%となる。だった。収益性のある事業のためには、バイオメタン収率は高く保たなければならない。バイオメタン収率は、バイオガスに含まれるメタン濃度、嫌気性消化効率、脂質などの阻害因子の存在などに依存するため、これらを適切に管理することが求められる。

また、売電価格が二番目に感度の高いパラメータだった。+30%の売電価格の変化に対し、ペイバックタイムは–24.2%、–30%の変化に対してペイバックタイムは+44.3%だった。売電価格は再生可能エネルギー導入政策に基づいた FIT 売電価格に依存している。三番目に感度が高いのは、プラント規模で、+30%のスケール変化に対しペイバックタイムは–18.2%の変化、–30%変化に対し+31.7%のペイバックタイムの変化だった。また温水価格が最も感度が低かった。

メンテナンス費のみ正相関で+30%のメンテナンス費変化に対し、12.4%のペイバックタイム増加だった。

4. まとめ

イチジク栽培のために必要な肥料 N-P-K 成分を満たすように、消化液によって化学肥料を代替した量を、収益とみなしてバイオメタンプラントのコスト計算を行った結果、収入については食品残渣の逆有償と売電収入、支出については支払利息とメンテナンス費が大きな割合を占めた。また感度分析の結果からバイオメタン収率がペイバックタイムに対し最も感度が高く、収益性のある事業のためには、バイオメタン収率を高く保たなければならない。

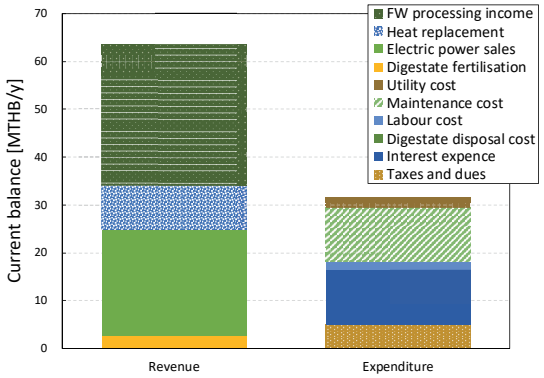


図 2 食品残渣メタン発酵(35 t/d)の CHP の経常収支

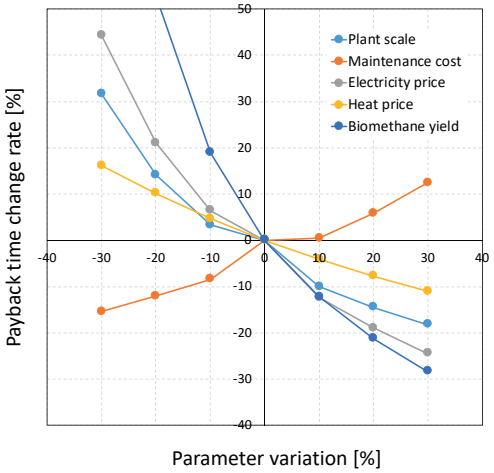


図 3 ペイバックタイムの感度分析

5. 謝辞

本研究は名古屋大学未来材料・システム研究所，共同研究「タイ・ナコーンナーヨック県におけるバイオメタン導入に向けてのライフサイクル・コスト分析」（2016 年 6 月～2017 年 2 月）による補助を受けて行われた。

6. 引用文献

1) Wattana S.: Energy Procedia, 52, (2014), pp. 506–515.
2) Sutabutr, T.: Int J. Renew. Energ., 7, (2012), pp. 1–10.
3) 関根産業: “タイ・ナコンナヨク県スマートシティ構想実現のためのバイオメタンエネルギーシステム”，平成 25 年度貿易投資促進事業報告書.
4) 小井土賢二, 竹内一佐枝, 長谷川達也, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会
5) 農研機構, バイオマス利活用システムの設計と評価, 第 3 章，バイオマス変換施設のコスト試算，pp. 7988.
6) İrget et al.: Scientia Horticulturae 118, (2008), pp. 308–313.
7) 環境省，メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版），2017 年

Supporting Information

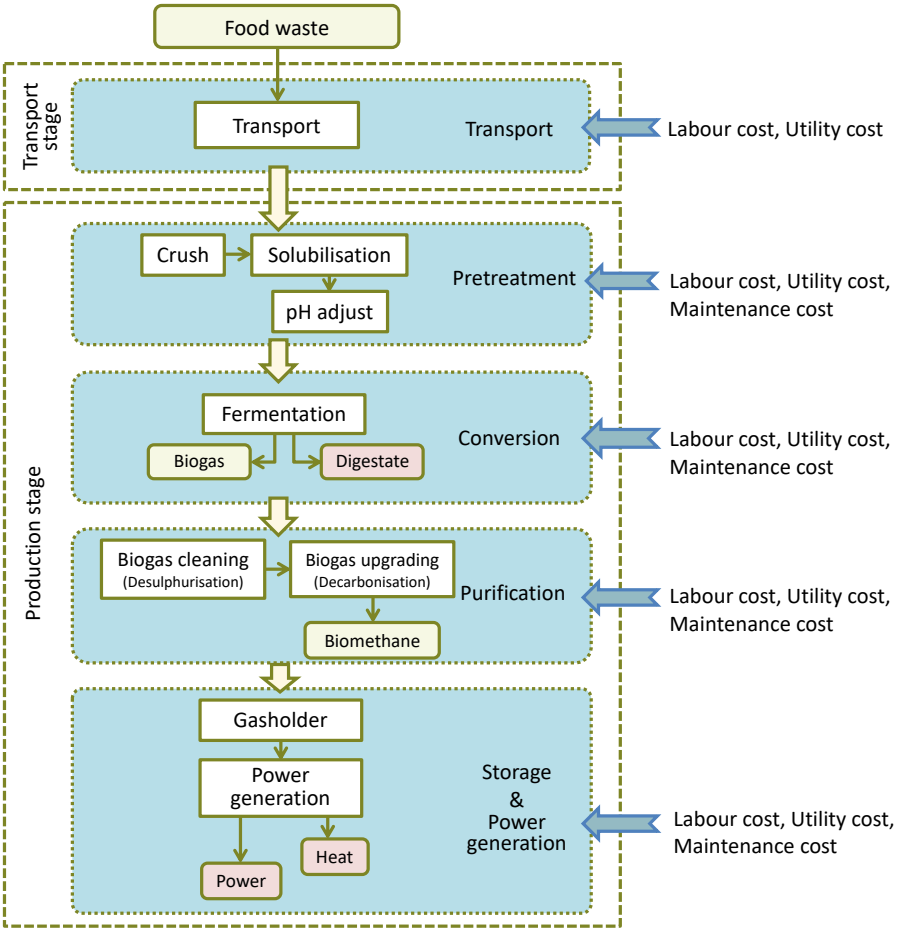


図 S1　コスト分析のシステム境界

P2-051

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

Life cycle assessment of household waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of 4th district for Kabul city

○Ahmad Nadim Azimi[*1)], Seiji Hashimoto[1)]

1) Ritsumeikan University,

*azimi.nadim883@gmail.com

1. Introduction

Waste collection constitutes the major part of waste management process in developing countries. In Kabul city, collection of waste can help to protect human health and environment through moving from the point of generation to facilities for processing, treatment and disposal, but it also produces emissions of air pollutants and greenhouse gases (GHGs). These emissions can be reduced through designing and planning efficient routes for waste collection service, which can also reduce health risks and fuel consumption. The aim of the study is to optimize the waste collection routes using Geographic Information System (GIS), to quantify and compare GHG emissions of existing and optimized collection routes of 4th district in Kabul city.

2. Methodology

2.1 Functional unit and system boundary

The functional unit considered was the collection of 1 ton of household waste. The system boundary covered collection of waste from residential areas and then transported to the landfill site.

2.2 Optimal location of containers and optimization of collection routes

Due to the lack of proper analysis, there is uneven distribution of waste containers across the ward and inefficient collection routes are used. To overcome this issue, the alterative placement of waste containers was proposed based on the number of houses, width of street, and travel distance with buffer zone of not more than 250m. Then, the optimization of the collection routes was conducted in terms of minimization of travel distance using ArcGIS Network Analyst tool.

2.3 Data collection

In co-operation with Kabul municipality (KM) and by the literature reviews, the following required data (both primary and secondary) were collected: population, household size; type, volume, number and distribution pattern of waste containers; land use and satellite imagery of the municipality; digitizing road networks; classification of roads and considered restrictions, traffic volume details; average vehicle speed and fuel consumption of the trucks, along with truck capacities and their characteristics.

3. Results and Discussion

The analysis showed that the appropriate size and number of waste containers were 1.1 m^3 and 55, with 10% safety margins (Table 1). According to KM, 85 and 67 waste containers of $1m^3$ and $7m^3$ respectively are currently used for commercial, institutional, and household wastes. These numbers cannot be directly compared because our analysis focuses on household waste. But if $1m^3$ containers were mainly used for household waste, our result indicates the potential to reduce the number of waste containers. Through the optimization of waste collection, 4 routes (a total round trip distance of 64, 62, 60, 57 km) were obtained. Based on our calculation, 2 trucks, 2 trips/truck/day to landfill site, with the capacities of 10 and 15 m^3 are required to collect all household waste every day; while 10 trucks with different volumes are currently used. The optimized waste collection routes compared with existing routes showed a reduction of 27% in travel distance and 30% in fuel consumption and emissions to environment (Table 1).

Table1. Comparison between existing and optimized waste collection systems

	Existing	Optimized	Benefit
Number of waste containers	(85)	55	
Average travel distance of round trip per truck (km)	84	61	-27%
GHG emissions for 1 ton of collected waste (kg CO2-eq)	30	21	-30%

Acknowledgement: This research was supported by Project for the Promotion and Enhancement of the Afghan Capacity for Effective Development (PEACE) program of Japan International Cooperation Agency (JICA).

P2-053　　第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

広島県における木材のマテリアルフロー分析と LCA の実施による環境負荷削減策の検討

Reduction of environmental load on woody resource based on MFA and LCA in Hiroshima Pref.

○藤津浩輝[1)]、谷口沙也佳[1)]、若林國久[1)]、小林謙介*[1)]
Koki Fujitsu , Sayaka Taniguchi , Kunihisa Wakabayashi , Kensuke Kobayashi
1) 県立広島大学
*kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

近年、社会環境の変化により、高度経済成長期に植林した大量の人工林が主伐期を迎え、積極的に森林資源を木質建材やエネルギーとして活用する動きが出てきている。しかし、再造林率は低迷しており、無計画な伐採は森林資源の枯渇につながる可能性があると考えられる。森林資源の減少を抑えるには、再造林の促進が必要であるが、森林管理に対して様々な課題を抱えており、森林環境の整備や再造林の向上などが難しい現状にある。また、森林環境を適切に管理していかなければ、自然災害や生物多様性への影響なども懸念される[1)]。

そこで、本研究では、西日本で最大の森林面積を有する広島県の森林資源を対象とし、森林資源の持続利用可能な社会・低環境負荷な社会を構築していくための提案をすることを目的とした。

まず、広島県内の木材の産業活動における流量動態を明らかにするために、マテリアルフロー分析(MFA)を行った。次に、LCA を実施し、環境負荷動態を示した。CO_2排出量の算出だけでなく、被害評価や統合化まで実施した。その結果を基に、再造林率の環境影響のケーススタディを行い、環境負荷削減策の検討を行った。

2. マテリアルフロー分析

2.1. 分析方法

広島県の MFA については、既報[2)]で 2012 年の分析結果があるが、直近で入手可能な 2016 年のデータを用いて流量動態を明らかにし、環境負荷量が大きい丸太(原木)や紙などは可能な限り細分化した(図 1)。分析は、木材需給表や森林林業統計要覧などのデータを活用した。収集データと推計方法の概要を表 1 に示す。

2.2. 分析結果

県内の森林資源量は 110,259 千㎥で、5 年間で 1 割弱増加した。用途別では製材が 1 割強、チップ用材が 2 割弱増加した。県内の丸太生産は 339 千㎥で 2012 年と比較すると、県産材が 3 割強増加、丸太輸入量は 1,770 千㎥で 1 割強増加し、県内資源量の利用が進んだことが分かった。

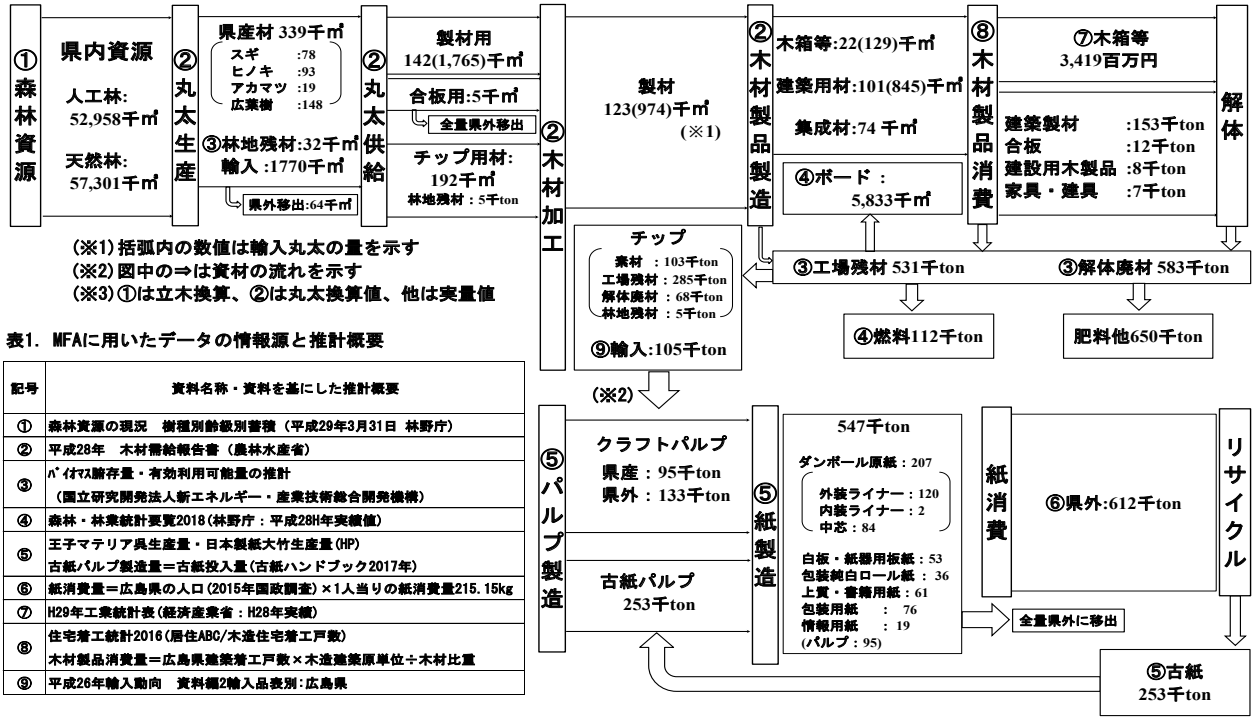


表1. MFAに用いたデータの情報源と推計概要

記号	資料名称・資料を基にした推計概要
①	森林資源の現況　樹種別齢級別蓄積（平成29年3月31日 林野庁）
②	平成28年　木材需給報告書（農林水産省）
③	ﾊﾞｲｵﾏｽ賦存量・有効利用可能量の推計（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）
④	森林・林業統計要覧2018（林野庁：平成28H年実績値）
⑤	王子マテリア呉生産量・日本製紙大竹生産量(HP) 古紙パルプ製造量＝古紙投入量(古紙ハンドブック2017年)
⑥	紙消費量＝広島県の人口(2015年国政調査)×1人当りの紙消費量215.15kg
⑦	H29年工業統計表(経済産業省：H28年実績)
⑧	住宅着工統計2016(居住ABC/木造住宅着工戸数) 木材製品消費量＝広島県建築着工戸数×木造建築原単位÷木材比重
⑨	平成26年輸入動向　資料編2輸入品表別：広島県

図１．木材の物質フロー分析

3. 環境負荷分析

3.1. LCA の実施方法

MFA の結果を基に、木材産業活動における LCA を実施するために、IDEA ver2.2 を用いてインベントリ分析を行った。環境負荷分析は、CO_2排出量を算出するだけでなく、LIME2（日本版被害算定型影響評価手法）で被害評価・統合化まで行った。

3.2. 分析条件

評価範囲は、丸太の生産(育林から伐採)から木材製品の消費までを対象とした。輸入丸太や輸入チップ、県外から県内製紙事業所への移入パルプは、MFA のそれぞれのプロセスにおいて広島県内ですべて生産・製造した場合を想定し、広島県内の生産量に加えた。また、原単位に影響する再造林率は 23.7%とした[3)]。

3.3. CO_2排出量

全体の CO_2排出量は 91.6 万 ton であり、その内、紙の製造が 5 割強（包装用紙の 2 割強、板紙・外装用ライナ・塗工用紙はそれぞれ 2 割弱）を、またパルプの製造は 3 割弱を占めた。排出量全体の 6 割弱（丸太生産の 9 割強、紙の製造の 7 割強、パルプの製造の 5 割弱）が化石燃料の燃焼による結果となった（図 2）。

3.4. 特性化

土地利用（改変）の 9 割強を紙の製造プロセスの影響が占めた。次いで、都市域大気汚染で 7 割弱、酸性化で 6 割強、気候変動で 5 割強紙の製造プロセスが占める結果となった。パルプの製造プロセスはオゾン層破壊で 7 割強を占めた。また、土地利用（維持）と富栄養化で、丸太生産プロセスの影響は、それぞれ 9 割強を占めることが分かった。土地利用（維持）は、伐採後の再造林による影響が推測される。富栄養化に関しては、丸太生産プロセスにおける取水・利用後の雨水が汚泥として扱われていることによる（図 3）。

3.5. 被害評価・統合化

人間健康、社会資産は紙の製造の影響を 6 割弱、生物多様性は 9 割弱を、またパルプの製造の影響は人間健康、社会資産で 3 割弱を占めた。一方で、一次生産は丸太生産の影響が 9 割強、統合化すると同様の影響が 8 割弱を占めた（図 4）。ゆえに、被害評価と統合化の結果を加味すると、木材ライフサイクルに影響するプロセスは土地利用（維持）であると言える。

3.6. 再造林に関する感度分析

土地利用（維持）の影響は再造林率に大きく影響するため、再造林率をパラメータ（0%、23.7%、50%、90%、100%）としたケーススタディを行った。具体的には、現状の 23.7%よりも低い 0%に下げると、一次生産、統合化への影響はともに 3 割強増加した。50%に上げると、ともに 3 割強減少し、さらに 90%まで上げると、ともに 9 割弱減少した。100%（伐採跡地にすべて再造林）にした場合はほとんど影響がなくなった（図 5、図 6）。

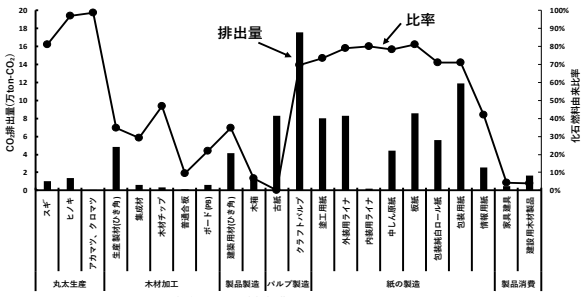


図２．広島県の木材産業活動におけるCO_2排出量

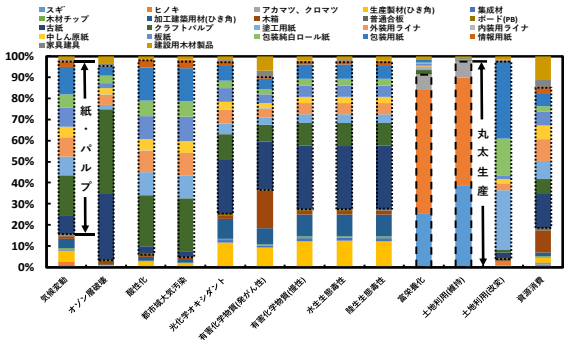


図３．広島県の木材産業活動における特性化

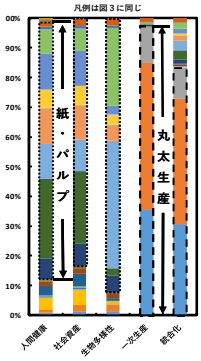


図４．被害評価と統合化

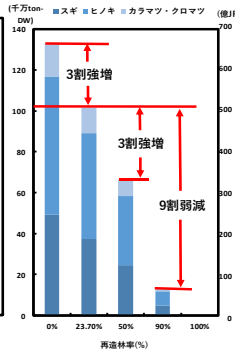


図５．一次生産

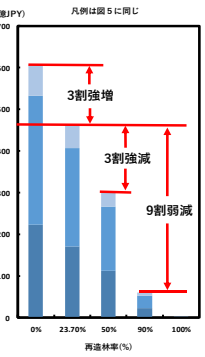


図６．統合化

4. まとめ

本研究では、広島県の木材産業活動におけるマテリアルフローをデータ入手可能な2016年を基準年として構築し、森林資源の直近の需給動態を明らかにした。さらに、MFA の結果を基に LCA を実施し、木材ライフサイクルにおける環境負荷動態を明らかにし、化石由来の燃料の利用削減だけでなく、再造林率の向上が環境負荷削減に重要であることを示唆した。

5. 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) 小林ら：建築における環境面からの木材の有効利活用に関する研究～全国及び広島県の動態分析～ No.720、p.255-261、2016.02

3) 小林ら：第 13 回 LCA 学会研究発表会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～

P2-054

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 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シナリオ策定手法に関する検討

Investigation on formulation method of greenhouse gas reduction scenario 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、企業の温室効果ガス削減戦略では企業が工場等から発生する温室効果ガス(GHG)の直接排出である Scope1、電気や熱の使用に伴う GHG の間接排出である Scope2 のみが考慮され、サプライチェーン全体の排出量である Scope3 に関わる情報は活用されていない状況にある。この Scope3 の情報を活用することによって企業が GHG 削減シナリオを策定する際に、より環境に配慮した施策を策定し各企業が取り組むことが可能ではないかと考えた。そこで本研究では、製品のライフサイクルを通じた削減貢献量を考慮した温室効果ガス削減シナリオ策定手法を提案する。その際、手法の構築に当たっては、将来の温室効果ガス削減シナリオの設定に必要な将来の削減貢献量の算出に関して、技術的な課題を精査する。そして、その対応策を検討する。

2. 技術的課題

ここでは、将来における削減貢献量を算出する際の課題を 3 点掲げたうえで整理する。

2.1　将来の技術予測の考慮（課題①）

削減貢献量は、現在普及しているベースラインとなる製品と新しく製造され販売される製品の、サプライチェーンを通して排出された GHG の差分を取ることで算出される。この削減貢献量を用いることで新規製品の優位性を示すことが可能となることがある。新規製品は多くの人に販売され将来的に広く普及することが考えられる。この際、ある時点で最も普及している製品がベースラインになるという考えに基づくと、新規製品がベースラインの製品に置き換わる可能性がある。そうした場合には、新しい技術製品と比較した GHG 排出量の差を削減貢献量とするために、削減貢献量が将来的にゼロとみなされる。一方、将来的にはさらに技術開発が進み現状の製品の技術水準の向上によって、新規製品の削減貢献量が見かけ上小さくなることも考えられる。その場合、削減貢献量の過大な評価につながることになる。

2.2 削減貢献量の配分（課題②）

実際に削減貢献量を算出する際には、原料調達段階から廃棄までの GHG 排出量を比較し算出する。新規製品では、製造段階において新規製品の GHG が大きくなることが多く、使用段階では GHG が比較製品より少なくなることがある。その際に、算出された削減貢献量は製品に携わった各企業に配分をしなければ、各企業において削減貢献量の情報を取り込んで施策に活かすことは難しい。削減貢献量には様々な配分方法を考えることが可能でありそれぞれの方法を検討する必要がある。

2.3 温室効果ガス削減シナリオ設定（課題③）

企業は将来における GHG 削減目標値を設定し、その目標値に整合するように様々な施策を設定し企業活動を行う。目標設定の 1 つの方法として SBT(Science Based Targets)指標 [1]がある。この指標においては Scope1,Scope2 の目標値を設定する。新規製品の製造を多く行うと Scope1,Scope2 の排出量が大きく増加する可能性がある。しかし、削減貢献量を考慮すると、よりライフサイクル GHG 排出量が少ないシナリオを策定することができる場合がある。そのため、どのようなシナリオ設定の下で評価を行うのかを検討する必要がある。

以上の 3 点の課題について検討を行いそれぞれについて課題を解決することで削減貢献量を考慮した温室効果ガス削減シナリオ策定手法を提案する。本稿では、1 つ目の課題についての検討状況について述べる。

3. 課題①の検討

課題①に関して、世界全体で新規導入される航空機において削減貢献量の算出を行う際に、将来のベースラインの変化によって削減貢献量がどのように変化する可能性があるのかを検討する。

3.1　対象製品

検討する上で対象とする製品を、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)を機体の重量比 50%使用した航空機とした。

3.2　方法

2017 年から 2037 年に導入される CFRP を機体の重量比 50%使用した航空機と従来航空機との GHG 排出量の差である削減貢献量を算出する [2]。その後、ワイブル累積分布関数により各年に導入する航空機の機数を算出し、ワイブル分布で求めた確率から将来において残存する機数を算出する [3]。

$$F_x = 1 - e^{(-\frac{x}{\beta})\alpha} \quad \cdots (1)$$

ここで、F_x:x 年目に故障する航空機の確率、x:年目、α:形状パラメータ(=3)、β:分布を特徴づけるパラメータ(=14. 65)

$$MN_x = MN_{(x-1)} - F_x \times NP \cdots (2)$$

ここで、MN_x:x 年目に残存している機数(機)、$MN_{(x-1)}$:x−1 年目に残存している機数(機)、NP:初期導入機数(=2805 機)

そして、各年の導入機数合計から削減貢献量(基準年シナリオ)を算出する。

$$TA_y = C_{AE} \times TN_y \cdots (3)$$

ここで、TA_y:y 年に算出される削減貢献量(t/年)、y:年、C_{AE}:航空機 1 機あたりの削減貢献量(=2700t/機・年)、TN_y:y 年に残存している航空機の合計機数(機)

次に、削減貢献量シナリオを複数検討する。今回検討するシナリオは、「1. ベースラインとなる対象製品が変化することなく比較製品との削減貢献量を算出する基準年シナリオ」「2. 各年において主流となっている製品をベースラインとして削減貢献量を算出するベースライン変化シナリオ」とした。ベースライン変化シナリオにおいては、普及率が 50%もしくは 80%の時にベースラインが変化するとして算出を行った。

3.3. 検討結果・考察

(1) (2)式により、推計した機数の経年変化を 2017 年を例に図 1 に示す。なお、航空機の平均寿命は 13 年である。

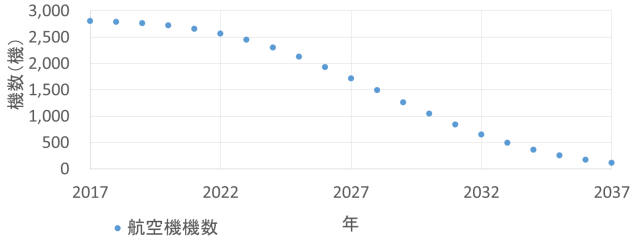


図 1　2017 年導入機数の経年変化

2017 年に導入した航空機は、導入 20 年後には初期導入期数の 5%が残存していると推計された。

次に、(3)式を用いて各年における削減貢献量を算出し 2 つのシナリオについて検討を行った。結果を図 2 に示す。3 つのシナリオにおいて削減貢献量を比較した場合、ベースラインが変化することなく削減貢献量を算出した

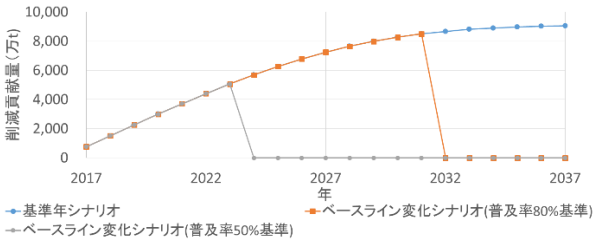


図 2　シナリオ別各年の削減貢献量の推移

2023 年までは、どのシナリオの削減貢献量も差は生じなかった。しかし、ベースラインが変化するとした 2023 年および2032 年からはベースライン変化シナリオにおいては、削減貢献量が 0 となった。そのため累計削減貢献量の差は、普及率 50%基準で 111, 766 万 t、普及率 80%基準で 53, 404 万 t となりシナリオの設定によって削減貢献量に大きな差が生じることが分かった。

また、航空機 1 機における累積削減貢献量を導入する年にまとめて計上する方法と、各年において削減貢献量を算出し計上する方法が考えられる。導入する年にまとめて計上する方法にすると、ベースラインが変化することを考慮できず、削減貢献量を過大評価する可能性についても考慮しなければならない。そのため、各年において削減貢献量を算出し評価する必要性がある。

4. まとめ

本研究では将来の削減貢献量算出に関して、技術的な課題を精査した上で、将来の技術予測(課題①)に関して検討を行った。CFRP 航空機を対象に将来の航空機機数の変化から 3 つのシナリオに基づき、将来の削減貢献量を算出した。基準年シナリオとベースライン変化シナリオを比較すると削減貢献量に大きな差が生じると推計された。シナリオ設定によって削減貢献量がゼロとなることも考えられるため、将来の技術予測を考慮した上で削減貢献量を算出していく必要性があると考えられる。今後は、航空機の例だけではなく、他の製品についても検討を行うことが必要である。

今後、課題①・②・③それぞれに関して検討を行うことで解決策をそれぞれ提示する。その後、それぞれの解決策を組み合わせることで将来における削減貢献量算出方法を構築し、削減貢献量を考慮した温室効果ガス削減シナリオ策定手法を提案したい。

参考文献

1) SCIENCE BASED TARGETS: “SCIENCE BASED TARGETS”,入手先 <http://sciencebasedtargets.org/>,(参照 2017-5)

2) 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)

3) 田渕祥之:MMIJ,125(2),(2009),pp68-74

P2-056

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

高温高圧水素環境を例にした
腐食環境における化学装置の劣化抑止技術の最適化

Optimization of Preventive Technology for Degradation of Chemical Equipment for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures

○八木原昂輝*1)、大野肇 1)、福島康裕 1)

Koki Yagihara, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima

1）東北大学

* koki.yagihara.p8@ dc.tohoku.ac.jp

1.　緒言

化学プロセスの反応温度の選択は、主に収率など化学反応の都合で決定され、装置の材質や強度、構造などはこれに合わせて設計されている。特に高圧である、腐食性が高い等の理由で装置材料や加工に工夫が必要となり、維持コストも高くなるような系では、この設計方法が最適とは言えないことがありうる。

腐食とは、装置材料が周囲の環境（気体や金属など）と化学反応を起こすことにより、溶けたり亀裂が発生したりすることを指す。硫黄分（硫化水素、硫酸など）や水素は、石油化学における代表的な腐食性物質であり、装置材料の機械的特性に影響を与え化学装置を劣化させる。劣化は、その化学装置の使用可能年数に大きな影響を与えるため、腐食性物質が含まれる反応プロセスには、劣化抑止技術（例: 脱硫、コーティング等）が導入される。例えば、高温高圧水素は化学装置の鋼材に含まれる炭素分と反応すること（水素脆化）により化学装置の劣化を促進させるため、高温高圧水素環境下で運転を行う化学装置には耐腐食性の高い鋼材が使用される。

水素は、化学製品の原料だけでなく、金属や電子部品などの製造に使用されたり近年注目されている燃料電池の燃料に利用されたりと、その使用用途は多岐にわたる。現在、水素の主な工業的製造方法はメタンと水蒸気を原料にした水蒸気改質だが、製造時には 2.0 MPa 以上、750～900 ℃の高温高圧プロセス [1]が必要となる。既往の研究では、水蒸気改質およびケミカルループ法による水素生成プラントなど、あるプロセスに着目したライフサイクル評価 [2]が行われていたが、ライフサイクル総コストの影響を考慮して劣化抑止技術の最適化を行い、その技術の評価を行った例は見られない。本発表では、高温高圧水素を扱うおよび反応器における水素脆化を例に、ストリームの低温化技術のコスト低減効果について考察する。

2.　手法

2.1　反応管材料の選定

水蒸気改質反応器は、触媒の入った反応管とそれらに熱を供給する改質炉で構成されている。円形直管の最低厚さ t_{min} は、API RP579 Fitness-For-Service (2016)より (1)式 [3]で求められる。

$$t_{\min} = \frac{PD}{2(0.7S + 0.4P)} \quad (1)$$

P は内圧、D は管内径、S は各温度における鋼材の許容応力である。

次に API RP581 Risk Based Inspection Technology (2008)により、各反応温度における反応管の故障確率を求めた。導入されてから t 年経過した円形直管の故障確率 $p(t)$および検査が実施された t_I年から t 年までの累積故障確率 $P(t_I \rightarrow t)$は、それぞれ(2)式 [4]と(3)式で表される。

$$p(t) = 3.06 \times 10^5 D(t) \quad (2)$$

$$P(t_I \rightarrow t) = \int_{t_I}^{t} p(t)dt \quad (3)$$

$D(t)$は損傷係数であり、腐食機構および腐食環境により変化する [2]。水蒸気改質反応器では、高温高圧水素による脆化が腐食機構である。これらで求めた故障確率および累積故障確率より、反応管の検査頻度及び交換頻度を求めた。

反応管材料の選定は(4)式に示す最適化問題にて行った。目的関数は、反応管製造コスト C_{RT}、検査コスト C_Iおよび交換コスト C_R を含めた反応管コストの最小化とし、(4)式に示す制約の下で解いた。

$$\mathrm{Min}\left(C_{RT} + \sum_m C_{I,m} + \sum_n C_{R,n}\right) \quad (4)$$

s.t. $p(t) \geq 0.01$の場合反応管交換

$P(t_I \rightarrow t) \geq 5 \times 10^{-4}$の場合反応器検査

$C_{I,m} = P(t_I \rightarrow t) \times C_{RT} + 10000$ [$]

$C_{R,n} = C_{RT} + 10000$ [$]

設計変数　t：プラント稼働年数[年]

コスト計算では、L. Lao *et al.* (2016)に記載されていた内径 12.6 cm、管長さ 12.5 m の反応管 336 本を有する水蒸気改質プラントを想定した。入口ガスはメタンおよび水蒸気（メタン／水蒸気＝1／3.5）とし、Aspen HYSYS V10 により図 1 のプロセスをシミュレートした。水素製造プロセスでは、(5)式に示す水蒸気改質反応（Steam Methane Reforming, SMR）に加え、(6)式に示す水蒸気と SMR で生成した一酸

化炭素が反応して水素を生成する水性ガスシフト（Water Gas Shift, WGS）の 2 つの化学反応を個別の反応器で進行させる場合が多い。図 1 のプロセスでは、それぞれの反応が各反応器で一方のみが進行すると仮定した。

$$SMR:\ CH_4 + H_2O \rightarrow H_2 + CO \quad (2)$$

$$WGS:\ CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2 \quad (3)$$

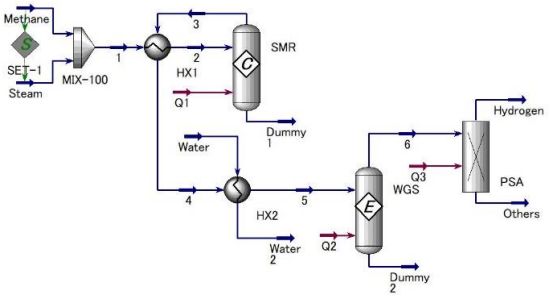


図 1　想定した水蒸気改質プロセス

2.2　経済性評価およびライフサイクルアセスメント

現在の水蒸気改質プラントの建設総コストの約 10 %を反応管が占めていることが知られている [3]。耐腐食性鋼材は高価なため、腐食環境の緩和でより低い耐腐食性の鋼材に代替が可能になり、反応管コストの低減が可能になる。これが水素価格にどの程度影響を及ぼすかを、技術経済性評価により評価した。C.N. Hamelinck *et al.* (2002)を参考にし、図 1 のプロセスを元に水素プラントの初期投資額を決定した。水素価格は、初期投資額を 5 年で回収するとした水素ガス 1 kg 当たりの最低販売価格を算出した。また、ストリーム低温化や反応管材料の変更に伴う、改質器加熱に利用される天然ガス消費量および反応管製造時に発生する温室効果ガス（GHG）排出量の変化を考慮して、水素ガス 1 kg 製造時の GHG 排出量を算出した。天然ガス転化率は、900 ℃の場合のものとして各温度条件にて一定にした。

3.　結果

3.1　反応管材料の選定と SMR 反応器総コスト

300～900 ℃の各反応温度での反応管材料の最適化結果および稼働年数 30 年の SMR 反応器のライフサイクル総コストを表 1 に示す。600 ℃以下の場合の反応管コストは、900 ℃の場合と比較して 24 %減少した。一方、反応温度 500 ℃のときの、製造コストが小さな上位 3 種類の反応管のライフサイクル総コストを図 2 に示す。製造コストが最も小さな 1.0Cr-0.5Mo 鋼は、検査コストや交換コストが他の材料より大きくなるため、2 番目に製造コストの小さなステンレス鋼が反応管材料として選定された。これにより、腐食環境下にある化学装置では、検査や交換などの維持コストを考慮する必要があることが示された。

3.2　温度条件の変更による水素ガスの最低販売価格および GHG 排出削減量の変化

300～900 ℃までの各反応温度で製造された水素ガス 1 kg 当たりの最低販売価格および製造時に排出される GHG の削減量の変化を図 3 に示す。反応温度の低下により水素の最低販売価格は低下し、GHG 削減量は増加した。これは、改質器加熱用の天然ガス消費量と反応管製造時の GHG 排出量が減少したことによると考えられる。

4.　結言

高温高圧水素環境での化学装置の劣化抑止技術の最適化が可能になった。また、最適化結果を用いて、その技術導入が及ぼす効果を評価することが可能になった。

謝辞

本研究の一部は JST 未来社会創造事業（JPMJMI17E4）の支援を受けて実施した。

引用文献

1) L. Lao ら: Chem. Eng. Sci, 148, (2016), pp 78-92
2) Khojasteh Salkuyeh, Y ら: Int. J. Hydrogen Energ., 42, (2017), pp18894-18909
3) American Petroleum Institute: “API 579-1 Fitness-For-Service, (2016), pp 98
4) American Petroleum Institute: “API 581 Risk Based Inspection Technology”, (2008), pp 128

表 1 反応管材料の選定結果と 30 年間の SMR 反応器総コスト

反応温度 [℃]	反応管材料	検査頻度 [回]	反応管コスト [×10⁶ $]	反応器総コスト [×10⁶ $]
300	1.0Cr-0.5Mo 鋼	1	0.097	46.847
400	1.0Cr-0.5Mo 鋼	1	0.102	46.860
500	ステンレス鋼	1	0.143	46.953
600	ステンレス鋼	1	0.191	47.064
700	ステンレス鋼	1	0.582	47.962
800	ニッケル超合金	1	1.804	50.774
900	ニッケル超合金	1	6.578	61.759

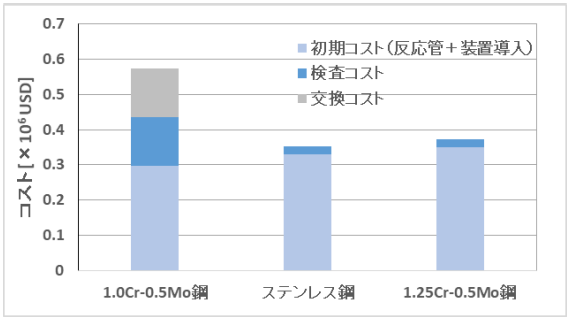


図 2　500℃における SMR 反応器総コストの変化

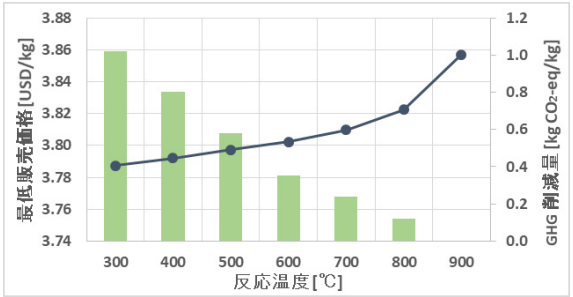


図 3　温度条件による水素ガス 1 kg 当たりの最低販売価格（折れ線）および製造時の GHG 削減量（棒）の変化

P2-057

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

森林開発がもたらす絶滅生物種数の増加量の期待値の推計と生物多様性を対象としたLCIA手法の検討

Estimation of the expected value of species extinction caused by forest development and examination of LCIA methodology for biodiversity.

○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、森林から農地への転換といった土地利用の変化を誘発している。土地利用の変化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おり、これらを保全していくためには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。また、途上国で起こる森林開発の多くは先進国への製品輸出が背景にあり、消費国側から見た影響評価も重要である。LCIAの枠組みにおいても、生物多様性の影響評価手法の検討がなされてきているが、多くは維管束植物のみを対象としていることから、動物種を対象とした影響評価手法の検討も必要と考えられる。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、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用いて評価した。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 絶滅生物種数の増加量の期待値の推計

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、10kmメッシュごとに森林が失われることによる絶滅生物種数の増加量の期待値を推計した。

メッシュごとの絶滅生物種数の増加量の期待値は、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した。Maclean&Wilson[1)]を参考に、メッシュが失われることによる生息地減少率から個体群減少率を算出し、各生物種の絶滅確率の増加量を算出した[2)]。

2.2 生物多様性を対象としたLCIA手法の検討

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ことから、2.1で得られた結果より各国の生物多様性の平均的なダメージ係数を推計した。

また、その適用例として、世界各国の森林減少面積や日本の家計消費がもたらす森林減少面積[3)]に各国のダメージ係数をかけ合わせることにより、世界各国の森林減少や日本の家計消費による生物多様性への影響評価を行った。

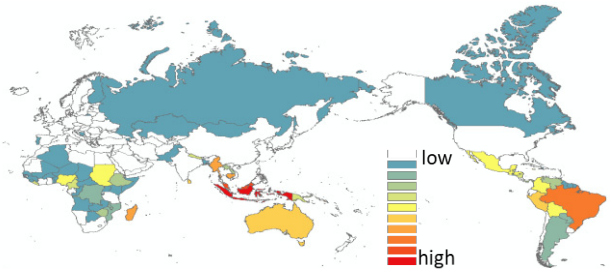


図1　日本の家計消費による生物多様性の被害量(種/年)の分布図

3.　結果

3.1 生息種数と絶滅生物種数の増加量の期待値

1メッシュ当たりの最大生息種数は57種であり、絶滅生物種数の増加量の期待値は1.43種/メッシュという結果となった。1.0E-08種/メッシュ以下のメッシュが全体の約50%、1.0E-05種/メッシュ以上のメッシュは全体の4.2%であり、期待値の高いメッシュは東南アジア、中央アフリカ、アマゾン熱帯雨林の地域に多く分布していた。

3.2 生物多様性を対象としたLCIA

各国のダメージ係数は、セントルシアで最も大きく9.54E-06種/haであり、カリブ海周辺やアフリカ南東部の島国で係数の値が大きく推計された。

また、世界各国の森林減少による生物多様性の被害量の合計は7.17E-03種/年、日本の家計消費がもたらす被害量は2.14E-05種/年と推計され、日本の影響は全体の0.30%となった。日本の家計消費による被害量の分布図を図1に示す。被害量は、インドネシアが全体の47.4%を占め、次いでマレーシア、ドミニカ国の順に大きくなり、全体の15.5%、7.85%を占めた。

参考文献

1) 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

2) 植屋純平、橋本征二：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、第 13 回日本 LCA 学会発表研究会講演要旨集、pp.76-77、2018

3) 佐々木貴央ら：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、第 13 回日本 LCA 学会発表研究会講演要旨集、pp.40-41、2018

P2-058

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年３月）

全国における木材のマテリアルフロー分析と LCA の実施による環境負荷削減策の検討

Reduction of environmental load on woody resource based on MFA and LCA in Japan

○若林國久*[1)]、谷口沙也佳[1)]、藤津浩輝[1)]、小林謙介[1)]

Kunihisa Wakabayashi, Sayaka Taniguchi,Koki Fujitsu, 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、自給率50%を目指して公共建築物等への国産材の利用拡大が推進されている。この状況を踏まえ、これまでに資源量に着目した将来推計を行い利用後の再造林率(人口造林面積と立木主伐面積の比率)が低迷(2010年以降34～41%)[1)]したままでは資源が枯渇に向かう可能性を示唆してきた[2)]。再造林率を上げるためには木材価格低迷や後継者難等の諸事情を解決する必要があるが、森林は人類の生存に必要不可欠な「CO_2蓄積などの地球環境保全機能」「土壌保全・土砂災害防止機能」「水源かん養機能」などを担っており、再造林の低迷は資源量だけでなく、環境影響も懸念される。そこで、全国の森林資源のマテリアルフロー分析と環境影響評価(LCA)を実施して木材利活用のライフサイクルにおける環境負荷動態を明らかにし、負荷削減策の検討を行った。マテリアルフロー分析はデータが入手できる2016年の木材統計などの公開統計資料を活用し、既存資料などから環境負荷量が大きい丸太(原木)や紙などは可能な限り細分化した。LCAは統合化まで実施し、再造林率の環境影響のケーススタディーを行った。

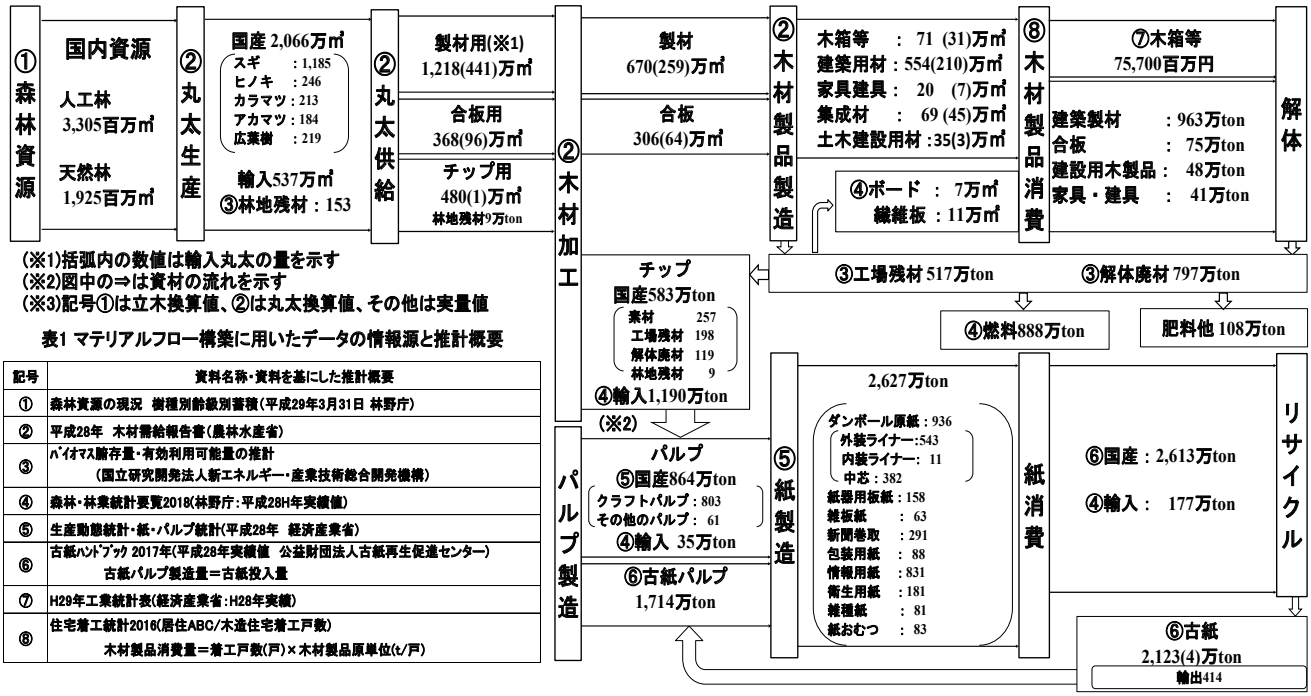
2.マテリアルフロー分析

2.1 分析方法

既報[3)]で 2000～2010 年の分析結果があるが、リーマンショックなどの社会・経済情勢の変化もあるので、直近でデータ入手可能な 2016 年を基準年にマテリアルフローを構築した(図 1)。分析は、木材需給表や森林林業統計要覧などの既報データを活用した。具体的な収集データと推計方法の概要を表 1 に示す。

2.2 分析結果

国内資源は 5,230 百万㎥で 5 年間に 1 割弱増加した。国産丸太生産量は 2,066 万㎥で 2010 年比 2 割強増加した半面、丸太輸入量 537 万㎥やチップ輸入量 1,190 万 ton は 2 割弱減少し、全体としては微増している。



(※1)括弧内の数値は輸入丸太の量を示す
(※2)図中の⇒は資材の流れを示す
(※3)記号①は立木換算値、②は丸太換算値、その他は実量値

表1 マテリアルフロー構築に用いたデータの情報源と推計概要

記号	資料名称・資料を基にした推計概要
①	森林資源の現況　樹種別齢級別蓄積(平成29年3月31日 林野庁)
②	平成28年　木材需給報告書(農林水産省)
③	ﾊﾞｲｵﾏｽ賦存量・有効利用可能量の推計 (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)
④	森林・林業統計要覧2018(林野庁:平成28H年実績値)
⑤	生産動態統計・紙・パルプ統計(平成28年　経済産業省)
⑥	古紙ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ 2017年(平成28年実績値　公益財団法人古紙再生促進センター) 古紙パルプ製造量＝古紙投入量
⑦	H29年工業統計表(経済産業省:H28年実績)
⑧	住宅着工統計2016(居住ABC/木造住宅着工戸数) 木材製品消費量＝着工戸数(戸)×木材製品原単位(t/戸)

図1木材の物質フロー分析

3.環境負荷分析

3.1 方法

構築したマテリアルフローをもとにLCA を実施した。分析は IDEA ver. 2.2 と LIMEIIを用いて統合化まで行った。環境影響の代表的な指標である CO_2 排出量と、特性化・被害評価・統合化で支配的要因を明らかにし、詳細に分析した。

3.2 分析条件

評価範囲は丸太生産(育林から伐採)から木材製品消費までを対象とした。輸入丸太や輸入チップ、輸入パルプはマテリアルフローのそれぞれのプロセスにおいて国内ですべて生産・製造した場合を想定し、国内生産量に加えた。また、原単位に影響する再造林率は現状(2016 年)値 35%とした。

3.3 CO_2 排出量

CO_2 排出量は 5,341 万 ton で、プロセス別では紙製造が 6 割強、パルプ製造が 3 割強、丸太生産・木材製品製造ほかが 1 割弱を占めた。紙製造・パルプ製造全体の 7 割弱を情報紙と古紙が占める結果となった。排出量全体の 6 割強(紙・パルプ製造の 7 割弱、丸太生産の 8 割強、木材製品製造ほかの 2 割強)が石炭や石油などの化石由来の燃料燃焼による結果となった(図 2)。

3.4 特性化

土地利用(維持) と富栄養化を除く気候変動などは紙製造とパルプ製造の割合(9 割強)が大きく、化石由来の燃料燃焼の影響と考えられる。一方、土地利用(維持) は丸太生産の割合(9 割強)が大きかった(図 3)。丸太生産した跡地への再造林の影響が推測される。ここで、富栄養化に丸太生産の割合(6 割強)が大きいのは、丸太生産プロセスにおける取水・利用後の雨水が汚泥として扱われていることによる。

3.5 被害評価・統合化

人間健康、社会資産、生物多様性に影響する支配的なプロセスは紙製造が 7 割弱、パルプ製造が 3 割弱を占め、一次生産は 9 割強を丸太生産が占める結果となった。統合化すると、丸太生産が 6 割弱を占め最も影響が大きく、次いで、紙製造が 3 割弱、パルプ製造が 1 割強寄与する結果となった(図 4)。被害評価と統合化の結果を加味すると、木材ライフサイクルに影響するプロセスは丸太の生産(土地利用(維持))であると言える。

3.6 再造林に関する感度分析

土地利用(維持)の影響は再造林率が大きく影響するので、再造林率をパラメータ(0%、現状(35%)、50%、90%、100%)にその影響をケーススタディーした(図 5)。その結果、現状の再造林率 35%から下げると一次生産への丸太生産の影響は大きくなり、上げていくと小さくなり、統合化への影響も同様に変化した。具体的には、再造林率 0%に下げると影響は 5 割強大きくなった。

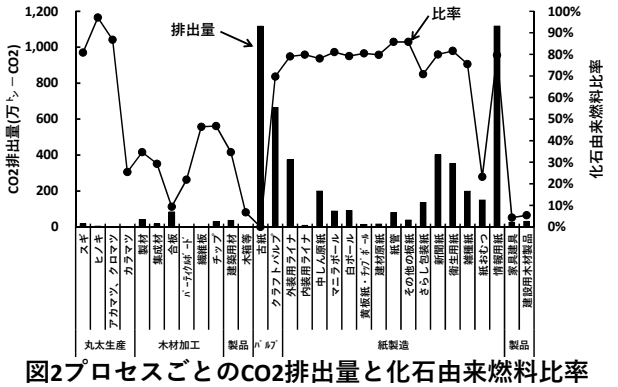


図2プロセスごとのCO2排出量と化石由来燃料比率

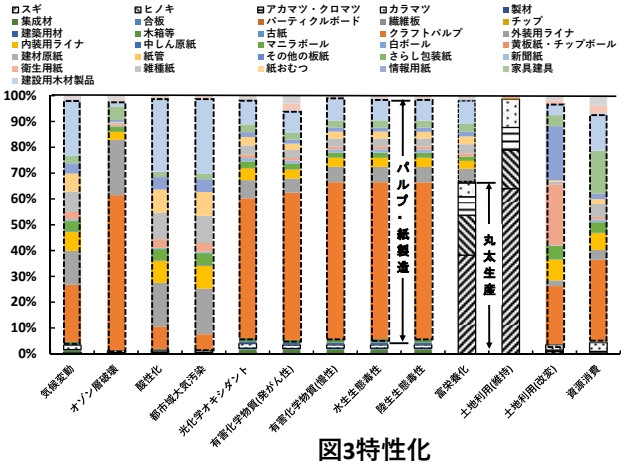


図3特性化

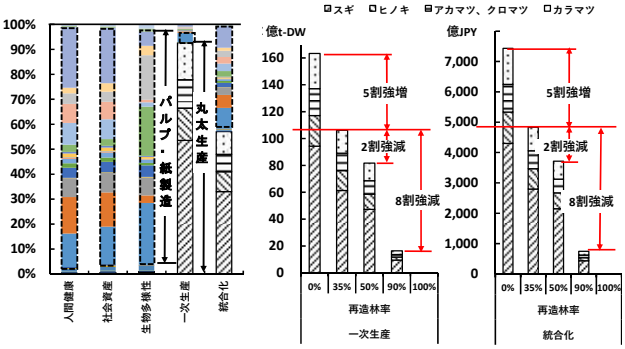


図4影響評価・統合化　　図5 再造林率の影響

50%に上げると影響は 2 割強小さく、90%に上げると 8 割強小さくなった。伐採跡地にすべて再造林(100%)すると影響は殆どなくなる結果となった。

4.まとめ

本報告では、全国の木材資源のマテリアルフローをデータ入手可能な 2016 年を基準年に構築して森林資源の直近の需給動態を明らかにした。さらに、木材利活用のライフサイクルにおける環境動態を明らかにし、化石由来の燃料の利用削減だけでなく、再造林率の向上が環境負荷削減に重要であることを示唆した。

5.参考文献

1)農林水産省：森林・林業統計要覧 2016,2018

2)若林ら：第 12 回日本 LCA 学会研究発表会 P2-110、P2-112、2017.3

3)小林ら：日本建築学会環境系論文集 No.659、pp.91-96、2011.1

P2-059
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

海外データの簡易推計手法の構築

Development of simplified foreign inventory-data estimation method

～主要 12 か国の推計データベースの構築～

Development of major 12 countries estimation inventory-database

○山本大夢 [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)]
Hiromu Yamamoto, Yuya Kimura, Kensuke Kobayashi, Chiharu Fujii, 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) 3)]。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、既報で構築したアジア 7 か国と新たにアメリカ・フランス・イギリス・トルコ・ブラジルを対象として、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、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。

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ものに置き換えた。各国の電力原単位を整備するため、新たに IEA の Extended world energy balances[4)]と World Energy Statistics[5)]の Part Ⅱ にあるエネルギーバランス表を用いた。これにより、以前より多くの燃料種を考慮した電力原単位を作成することができた。推計対象国の電力原単位(2015)年値は図 2 となった。

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。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(表 1)。

3.3 発電効率・熱効率

③発電効率・熱効率は、IEA の World Energy Balances[6)]の Part Ⅱ 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、国によってデータの有効数字が 1 桁になるため、5 年間の平均値を用いることとした。発電効率・熱効率の結果は図 3 となった。

4. 推計手法の精度検証

本手法で作成された原単位データの精度を検証するため、日本のデータベースを推計し、IDEA Ver.2 との比を分析し、そのばらつきを表 2 に示した。この結果から 90%以上の項目で差異が±1 割未満の差異

となり、推計手法の精度は低くないと考える。

5. 推計結果

表 3 は式 1 で求めた CO_2 排出原単位の比 R をヒストグラムにまとめたものである。データ区間 0～20%とは、IDEA Ver.2 に対し、原単位が 0～20%の値になっている項目の数を示している。

$R = I_{CO2i}/I_{CO2j}$ …式 1

I_{CO2i}:対象国の CO_2 排出原単位

I_{CO2j}:日本の CO_2 排出原単位

6. 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。新たにアメリカ・フランス・イギリス・トルコ・ブラジルを対象として、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、既往のアジア 7 か国を含めた 12 か国の推計インベントリデータを構築した。

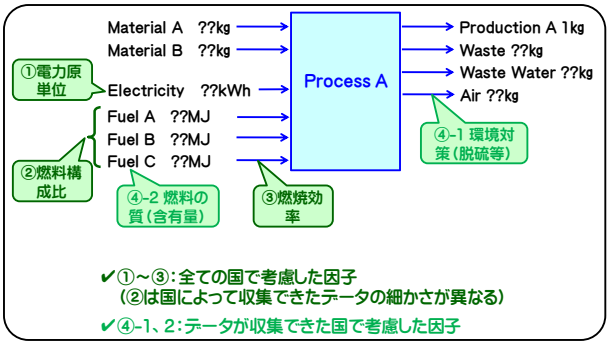


図 1　推計手法の概要

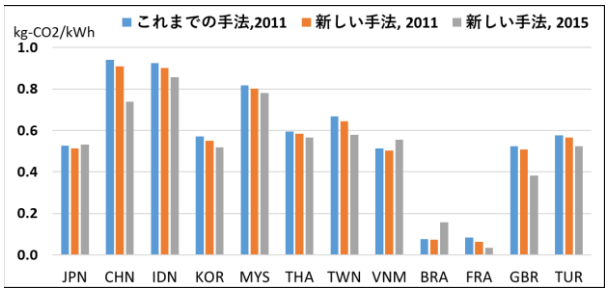


図 2 推計対象国の電力原単位

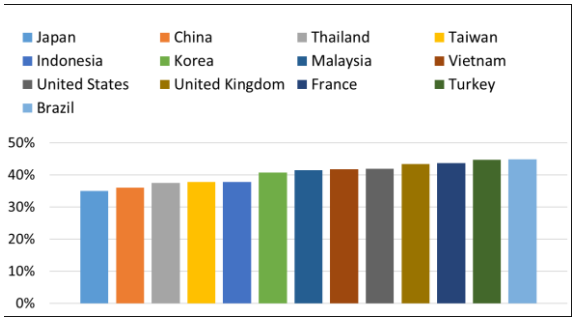


図 3 推計対象国の発電効率・熱効率

表 1 各国の細分化に用いた統計

国名	統計名	項目数	年次
アメリカ	Bureau of Economic Analysis	389	2007
フランス	Les comptes de la Nation en 2015	38	2015
イギリス	UK input-output analytical tables	127	2014
トルコ	Input-Output Table 2012	64	2012
ブラジル	Matriz_de_Insumo_ Produto_2010	67	2010

表 2　IDEA Ver2 に対する CO_2 排出原単位の比

大分類	0.9~0.925	0.925~0.95	0.95~0.975	0.975~1	1~1.025	1.025~1.05	1.05~1.075	1.075~1.1	1.1~1.125
農業	4%	3%	8%	18%	31%	31%	2%	2%	0%
林業	0%	0%	0%	0%	44%	39%	0%	0%	0%
漁業	0%	0%	0%	0%	5%	92%	2%	0%	0%
鉱業	0%	0%	0%	0%	5%	92%	2%	1%	0%
建築業	9%	0%	6%	18%	67%	0%	0%	0%	0%
土木業	0%	0%	0%	0%	70%	30%	0%	0%	0%
食料品製造業	3%	2%	5%	6%	42%	26%	9%	1%	2%
飲料・タバコ・飼料製造業	0%	0%	5%	5%	75%	8%	5%	0%	3%
繊維工業	0%	0%	0%	2%	37%	37%	24%	0%	0%
衣服	0%	0%	0%	0%	56%	31%	9%	3%	0%
木材	3%	0%	5%	6%	39%	35%	6%	3%	0%
家具・装備品製造業	0%	6%	27%	33%	3%	30%	0%	0%	0%
全体	1%	1%	2%	5%	20%	41%	12%	6%	4%

表 3　IDEA Ver2 に対する対象国の比

データ区間	CHN	IDN	KOR	MYS	THA	TWN	VNM	BRA	FRA	GBR	TUR	USA
0~20 %	0	6	6	0	1	1	1	5	72	3	3	0
20~40 %	0	1	77	2	0	0	1	186	215	30	27	0
40~60 %	0	51	185	7	14	34	2	409	607	22	7	17
60~80 %	1	43	389	23	69	67	17	1334	1270	851	77	135
80~100 %	17	62	1811	144	1458	302	1549	1719	1573	2572	3497	3561
100~120%	1277	969	1349	1308	2252	2470	1385	170	94	276	218	125
120~140 %	2023	1992	18	2120	40	960	535	13	7	78	9	0
140~160 %	513	653	2	229	2	3	179	2	0	6	0	0
160~180 %	6	59	1	6	0	2	164	0	0	1	0	0
180~200%	1	0	0	0	1	0	6	1	1	0	1	1
200~220	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
220~240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
次の級	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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 2019-01-08)
2) 中井, 小林 ,田原ら：海外データの推計手法の構築　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、第 13 回日本 LCA 学会研究発表会(2018)
3) 木村, 小林, 田原ら：海外データの推計手法の構築　台湾・インドネシア・韓国・マレーシア・ベトナムの試み、第 13 回日本 LCA 学会研究発表会(2018)
4) Extended world energy balances, International Energy Agency, (2017)
5) World Energy Statistics, International Energy Agency, (2017)
6) World Energy Balances, International Energy Agency, (2017)

P2-060

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

産業連関表の要素間の相関を考慮した不確実性分析

Uncertainty Analysis with Consideration of Correlation between the Elements of Input-Output Table

○金健*1)、近藤康之1)

Jian Jin, Yasushi Kondo

1) 早稲田大学

* kinken@asagi.waseda.jp

1. はじめに

産業連関分析の不確実性は、モンテカルロ法などにより検討されてきた[1–6]。しかし、これまでの研究は、投入係数行列の要素が互いに統計的に独立であると仮定することが多く、要素間の相関を適切に考慮していなかった（Rodrigues et al.[6]は数少ない例外である）。本研究は、投入係数行列の要素間の独立性を仮定しない不確実性分析の手法を提案する。

2. 係数行列の要素間の従属性

通常の産業連関表では、部門間取引が金額（取引額）であらわされる。そのような産業連関表を利用するとき、投入係数行列 $\mathbf{A}=(a_{ij})$ と付加価値係数ベクトル $\mathbf{v}=(v_j)$ には、次の等式の関係がある。

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij} + v_j = 1 \quad (j=1,\dots,n) \qquad (1)$$

ここで、n は内生部門数をあらわす。

産業連関表を利用するときは、それに含まれる不確実性を考慮することが望ましい。そのために、産業連関表の要素を確率変数と見なす。このとき、産業連関表に基づいて算定される投入係数行列 $\mathbf{A}$ と付加価値係数ベクトル $\mathbf{v}$ も確率変数である。既存の多くの不確実性分析[1–5]では、投入係数行列の n^2 個の要素は互いに独立であると仮定されていた。しかし、$\mathbf{A}$ と $\mathbf{v}$ の合計 $n(n+1)$ 個の要素は式(1)を満たすから、互いに独立ではない。不確実性分析では、この要素間の従属性を適切に考慮する必要がある。

3. 不確実性分析の手法

既存の多くの不確実性分析[1–5]では、係数行列の要素が特定の分布（例えば、正規分布）に従うと仮定されていた。本研究でも、係数行列の要素の分布を仮定して不確実性分析を行う。

係数行列 $(\mathbf{A},\mathbf{v})$ のゼロでない要素は式(1)を満たし、値の範囲は 0 から 1 である。これらの性質を持つ確率分布に、ディリクレ分布（Dirichlet distribution）[7,8]がある。ディリクレ分布は、周辺分布が単峰のベータ分布であり、変数の合計が 1 に等しい多変量確率分布である。

部門 j の係数ベクトル $\mathbf{c}_j=(v_j,a_{1j},\dots,a_{nj})$ を考える。本研究で提案する不確実性分析の手法は、次の仮定の下でのモンテカルロ法に基づく。

(a) $\mathbf{c}_1,\dots,\mathbf{c}_n$ は互いに独立である。

(b) $\mathbf{c}_j$ はパラメータ $\boldsymbol{\gamma}_j=(\gamma_{0j},\gamma_{1j},\dots,\gamma_{nj})$ のディリクレ分布に従う（$j=1,\dots,n$）。

すなわち、ある部門の係数は、他部門の係数と独立であるのに対して、式(1)に因る同じ部門の係数間の従属性は適切に考慮される。

研究発表会においては、WIODの産業連関表[9]を用いた応用例を報告する。本研究で提案する手法と、既存研究と同様に係数間の独立性を仮定した場合の不確実性分析の結果を比較して、提案する手法の特徴を明らかにする。

謝辞

本研究はJSPS科研費 JP18KK0303の助成を受けたものです。

引用文献

1) West G.R.: Econometrica, 54 (2), (1986), 363–374
2) ten Raa T., Steel M.F.J.: Reg. Sci. Urban Econ, 24 (3), (1994), 361–371
3) Dietzenbacher E.: J. Reg. Sci., 46 (4), (2006), 773–786
4) Lenzen M., Wood R., Wiedmann T.: Econ. Syst. Res., 22 (1), (2010), 43–63
5) Nagashima F.: Energy Econ., 72, (2018), 307–312
6) Rodrigues J.F., Moran D., Wood R., Behrens P.: Environ. Sci. Technol., 52 (13), (2018), 7577–7586
7) Johnson N.L., Kotz S.: “Distributions in Statistics: Continuous Multivariate Distributions,” Wiley, (1972).
8) Ng K.W., Tian G.L., Tang M.L.: “Dirichlet and Related Distributions: Theory, Methods and Applications,” Wiley, (2011).
9) Timmer M.P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer R., de Vries G.J.: Rev. Int. Econ., 23, (2015) , 575–605.

P2-061

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

産業廃棄物事犯の要因分析

○高橋和宏*1)、加河茂美 1)

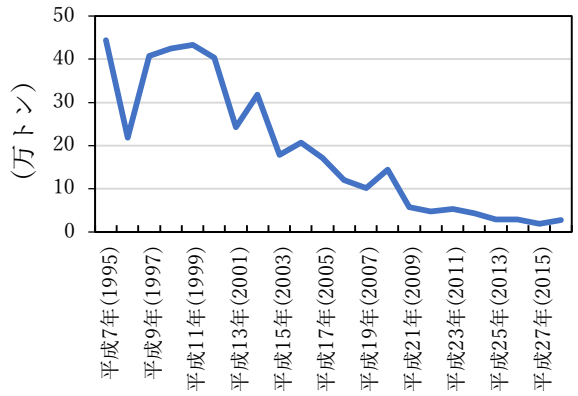
Kazuhiro Takahashi, Shigemi Kagawa

1) 九州大学

*1EC16149N@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

産業廃棄物の不法投棄は、近年減少傾向にはあるが、一度なされると、その被害の回復に多大の時間と費用を要する（朝日新聞(2018)）。それゆえ、産業廃棄物の不法投棄の対策としては、不法投棄を未然に防ぐことが重要である。そして、人がどのような条件の下で産業廃棄物不法投棄を行うかがわかれば、不法投棄を未然に防ぐための手法を考える手助けとなる。そこで、近年の日本における産業廃棄物不法投棄量が急速に減少している要因を分析することによって（図 1 を参照）、どのような条件が、産業廃棄物事犯の要因となっているかを明らかにする。



注:警察庁(2018)のデータにより著者が作成

図 1. 産業廃棄物不法投棄量の推移

2. モデル

東京都環境局(2018)によると、産業廃棄物のうち 8 割近くを建設系の廃棄物が占めている。よって、建設投資額と産業廃棄物不法投棄量との間には負の関係があると考えられる。また、産業廃棄物が国外に輸出されれば、国内での不法投棄が減ると考えられる。よって、産業廃棄物の輸出量と産業廃棄物不法投棄量との間には負の関係があると考えられる。そこで、本稿では以下のモデルを分析する。

$$DIS_i = \beta_1 + \beta_2 CON_i + \beta_3 EXP_i + u_i \qquad (1)$$

ここで、DIS_iは i 年の産業廃棄物不法投棄量、CON_iは i 年の建設投資である。β_1は定数項である。β_2は建設投資が 1 単位増加したときに、産業廃棄物不法投棄量がβ_2単位増えることを示すパラメータであり、β_3は、産業廃棄物の輸出が 1 単位増加したときに、産業廃棄物不法投棄量がβ_3単位だけ増加することを表すパラメータである。u_iは残差項を示している。

3. データ

推定に使用したデータは次の通りである。まず、産業廃棄物不法投棄量DIS_iは、環境省『産業廃棄物の不法投棄等の状況（平成 28 年度）について』から取得した。建設投資CON_iは、国土交通省総合政策局情報政策課建設経済統計調査室　『平成 29 年度 建設投資見通し概要』から取得した。産業廃棄物輸出量EXP_iは、環境省『廃棄物処理法に基づく廃棄物の輸出確認及び輸入許可(平成 29 年)について』から取得した。

本研究では、平成 7 年(1995 年)から平成 28 年(2016 年)まで 22 年間を対象とした。データの基本統計量を表 1 に示す。

表 1. 基本統計量

	DIS_i	CON_i	EXP_i
平均	566	146	368062
標準偏差	368	12	607

4. 推定結果

(1)式に関する推定結果は以下のようになった。

$$DIS_i = -7.74 + 0.60CON_i - 0.013EXP_i$$
$$\text{(-0.74)} \quad \text{(3.66)} \qquad \text{(-4.11)}$$

$$(R^2 = 0.824,\ \bar{R}^2 = 0.805,\ s = 6.758) \qquad (2)$$

ここで、s は残差の標準偏差、カッコ内の値は t 値を表している。

最初に、(1)式に示されているパラメターの符号条件については、すべての係数パラメーター推定値が理論的にもっともらしい符号条件（すなわち、$\beta_2 > 0$と$\beta_3 < 0$）を満たしていることが確認できる。

次に、説明変数の係数の推定パラメーターの有意性の検定を行う。

$$\begin{cases} H_0 : \beta_i = 0 \\ H_1 : \beta_i \neq 0 \end{cases} \quad (i = 2,3) \qquad (3)$$

このとき、推計パラメータに関する t 統計量は、自由度 19 の t 分布に従い、有意水準 5%の臨界値は統計表より $t_{19,0.025} = 2.093$ として求められる。したがって β_2 では、t 値=3.66>2.093 より、有意水準 5%で帰無仮説 H_0 は棄却される。同様に、β_3 の仮説検定においても、t 値の絶対値は 4.11 なので、有意水準 5%で帰無仮説 H_0 は棄却される。以上から、説明変数の係数のパラメーターは有意水準 5%で有意である。したがって、産業廃棄物の不法投棄量には、建設投資や産業廃棄物の輸出が関連していることがわかった。

さらに、(2)式で示される推定結果から、自由度修正済み決定係数の値は 0.805 とある程度高く、モデルの当てはまりがよいことも確認できる。

ここまで、平成 7 年(1995 年)から平成 28 年(2016 年)まで 22 年間の年データで産業廃棄物不法投棄量を推定してきた。しかし、平成 12 年(2000 年)から、廃棄物事犯に対する罰則が厳しくなっており、この年を境にして、産業廃棄物不法投棄の傾向は変化している可能性がある。そこで、平成 12 年(2000 年)を境に、構造変化の検定を行う。平成 12 年(2000 年)からすべてのパラメーターが変化する可能性のあるモデルは、以下で与えることができる。

$$\begin{cases} \text{前半：} DIS_i = \beta_1^* + \beta_2^* CON_i + \beta_3^* EXP_i + u_i \\ \qquad\qquad (i = 1995, \ldots, 1999) \\ \text{後半：} DIS_i = \beta_1' + \beta_2' CON_i + \beta_3' EXP_i + u_i \\ \qquad\qquad (i = 2000, \ldots, 2016) \end{cases} \tag{4}$$

ここで検定する仮説は、以下で与えられる。

$$\begin{cases} H_0 : \beta_1^* = \beta_1', \quad \beta_2^* = \beta_2', \quad \beta_3^* = \beta_3' \\ H_1 : H_0 \text{ではない} \end{cases} \tag{5}$$

山本(2013)より、F 統計量は、構造変化を前提したときの制約の数が G=3、H_1 モデルのパラメーターの数が k=6 であるので、

$$F = \frac{(SSE_0 - SSE_1)/3}{SSE_1/(22-6)} \tag{6}$$

推定結果より、SSE_0=868、SSE_1=375 である。したがって、

$$F^* = \frac{\frac{868-375}{3}}{\frac{375}{16}} = 7.02 \tag{7}$$

として計算される。ここで SSE_0 は H_0 モデルのもとでの残差 2 乗和、SSE_1 は H_1 モデルのもとでの残差の 2 乗和である。この F 統計量は $F_{3,16}$ 分布に従い、有意水準 5 %の棄却域の臨界点は、$F_{3,16,0.05}$=3.24 となる。F^*>3.24 より(5)式に示される帰無仮説 H_0 は有意水準 5%で棄却される。したがって、平成 12 年(2000 年)に構造変化があったことが認められる。

5. おわりに

本稿では、産業廃棄物不法投棄量が建設投資額や廃棄物の輸出量に影響を受けるか否か、また、廃棄物事犯の罰則が厳しくなり始めた平成 12 年(2000 年)を境にして、産業廃棄物の不法投棄量の傾向が変化したか否かの分析を行った。

推定の結果から、建設投資額と廃棄物の輸出量が産業廃棄物不法投棄に対して有意に影響を与えていることが t 検定の結果より示された。この結果を受け、産業廃棄物不法投棄量が建設投資額と廃棄物輸出量の両方に依存しているモデルを使い、構造変化の検定を行ったところ、廃棄物事犯の罰則が厳しくなり始めた平成 12 年(2000 年)を境に、構造変化が確認された。

これらより、近年日本で産業廃棄物不法投棄量が減少している要因としては、産業構造の変化により建設投資額が減っていること、産業廃棄物を海外に輸出していること、廃棄物事犯の罰則が強化されたことを指摘できる。

6. 参考文献

(1) 朝日新聞(2018)「豊島産廃見えぬ決着」<http://www.asahi.com/area/kagawa/articles/MTW20180606380370001.html>(参照 2019-1-9)
(2) 環境省『産業廃棄物の不法投棄等の状況（平成 28 年度）について』
(3) 国土交通省総合政策局情報政策課建設経済統計調査室　『平成 29 年度 建設投資見通し概要』
(4) 環境省『廃棄物処理法に基づく廃棄物の輸出確認及び輸入許可(平成 29 年)について』
(5) 山本拓・竹内明香(2013)『入門計量経済学』,新世社
(6) 山本拓(2009)『計量経済学』,新世社

P2-062

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

マルチクライテリアでの評価を想定した 建築物のライフサイクルにおける支配的要因の分析

Discussion aimed at development of a guideline based on the fundamental multi-criteria analysis of building LCA

○牧村彰一*1)、小林謙介*1)、平林茜 1)

Shoichi Makimura, Kensuke Kobayasi, Akane Hirabayashi

1）県立広島大学

* kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

建築分野に関わる LCA は、以前にも増して活用の幅が広がってきている。製品設計における環境負荷削減策の検討はもちろん、最近では、環境ラベルでは、カーボンフットプリント（CFP）・エコリーフ環境ラベルなどの事例も出てきた。また、環境配慮設計では、LEED Ver.4[1)]で LCA の実施による複数の環境負荷物質についての負荷削減の取組が加点項目になった。このほか、CSR の観点からも LCA の実施が加点項目になっている。

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 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く、ライフサイクル全体での適切な評価が望まれる。また、我が国での環境ラベル等の取り組み事例は決して多いとは言えず、例えば、CFP は、2 事業者が取得するにとどまっている。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ことも一つの要因と考えられる。こうしたことから、評価で求められる分析精度に応じた、最低限収集すべき項目（支配的要因）を整理し、評価の在り方を検討することが重要と考える。

このほか、今後は、エコリーフ環境ラベルや LEED Ver.4 などのように、マルチクライテリアでの評価が重要になると認識する。我が国の殆どの報告では、エネルギーや CO_2 排出量にとどまっており、マルチクライテリアでの評価事例は極めて少ない。こうしたマルチクライテリアで評価し、支配的要因を整理することが欠かせないと考える。

以上を踏まえ、本研究では、住宅と事務所のライフサイクルでの環境負荷量における支配的要因を明らかにすることを目的に検討した。本検討は、同じ機能を有した構造の異なる住宅 3 件（木造・S 造・RC 造）と事務所について LCA を実施し、それぞれの環境負荷排出量における支配的要因を明らかにした。

2. 分析概要

本分析において、住宅は建築学会の標準問題モデルの住宅（木造・S 造・RC 造）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。また、RC 造の事務所も評価を行った。RC 造事務所は、建物の LCA 指針 [2)]に同包されているツールのデフォルトデータを用いた。それぞれの概要を表 1 に示す。対象としたプロセスは、ライフサイクル全体に係る環境負荷である。また、評価に用いたバックグラウンドデータベースは IDEA Ver.2.2 である。

3. 分析結果

ライフサイクル全体に占めるそれぞれの段階の割合を示したものを図 1 に CO_2 の結果、図 2 に統合化の結果を示す。CO_2、統合化ともに運用段階が全体の 6 割から 7 割程度と

表1 標準問題モデルの概要

住宅名	資材数	延床面積(m²)	耐用年数
木造	155	125.86	30
鉄筋コンクリート造(RC造)	170		
鉄骨造(S造)	190		
事務所	175	7583	35

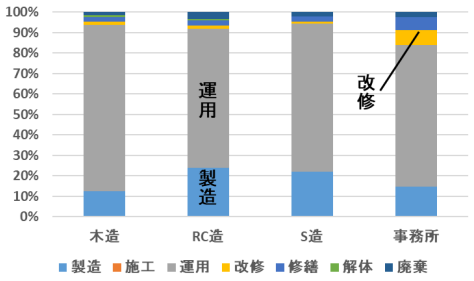


図1 それぞれの住宅のCO_2のLCA実施結果

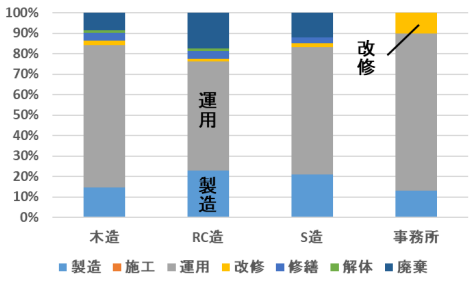


図2 それぞれの住宅の統合化のLCA実施結果

非常に大きく、次いで製造・改修・廃棄等が大きくなる結果となった。運用段階の評価は、省エネ基準に基づく一次エネルギー消費量をもとに算出されることが少なくない。従って、その算定方法に基づく環境負荷削減が重要となる。そこで今回は運用段階を除くライフサイクルにおいて支配的要因を整理することとした。

図 3 はそれぞれの住宅における、影響の大きい資材から順に、全体の上位 90%、95%、99%までの評価に必要な資材数の割合を表したものである。全体の 90%を捉えることを想定した場合、収集すべきデータ数は全体の 2 割前後で、95%でも 3 割前後であることが分かる。このことから支配的要因は限定的であることが確認できる。

図 4 は図 3 の上位 90%の資材を CO_2 排出量と統合化の結果について、原単位の項目ごとに比較したものである。RC 造と S 造では支配的となる原単位の項目が非常に似ていることが分かる。一方、事務所では、CO_2 排出量では見られなかった電力ケーブルが、統合化では支配的要因の一つとなっている。また、木造でも、CO_2 排出量と統合化で支配的要因が異なることが確認できる。

表 2 は、木造住宅を例に、CO_2 排出量と統合化それぞれについて、支配的要因（上位 90%）をまとめたものである。表中の赤字は CO_2 排出量と統合化で支配的要因が異なった項目である。木造住宅では、構造材や集成材などは CO_2 では支配的要因であるが、統合化では支配的要因ではないことが特徴である。なお、今回の結果は、再造林率を 100%として計算した場合であり、これを 50%としてケーススタディすると、木質建材の影響が圧倒的に大きい結果となることも確認している。従って、再造林率は、建築物の環境影響評価においては欠かせない要因の一つと言える。

4. まとめと今後の課題

本研究では、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、住宅は建築学会の標準問題モデル住宅（木造・S 造・RC 造）、事務所は AIJ-LCA ツールのデフォルトデータを用い、ライフサイクルにおける環境負荷量を算出した。その結果を踏まえ、CO_2 排出量・統合化などの視点で、環境負荷排出量が上位 90%までの支配的要因をなす投入資材について整理した。また、CO_2 排出量 と統合化のおける支配的要因の差異を明らかにすることができた。

こうした事例分析をもとに、今後は、建築物の評価における、収集すべき入出力データの目安の構築を行うことが重要と考える。

5. 参考文献

1) LEED Ver.4、https://new.usgbc.org/leed

2) 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一改訂版、2013.2

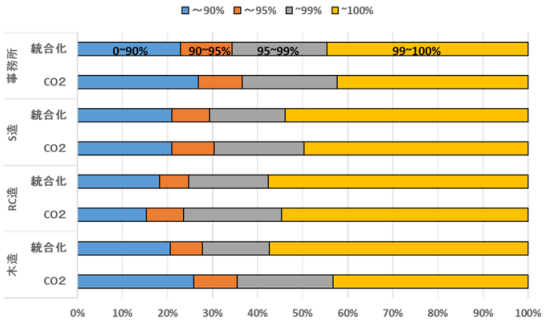


図3 支配的資材が占める割合

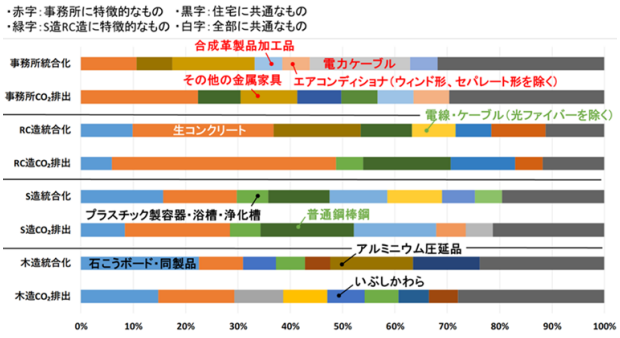


図4 それぞれの住宅の上位90%の原単位

表2 木造住宅の支配的要因

		木造	
大分類	小分類	CO_2	統合化
2．土工・地業	2.1 土工事	防湿フィルム 1.62%	防湿フィルム 7.21%
	2.3 基礎	鉄筋コンクリート 12.59%	鉄筋コンクリート 1.56%
3．躯体	3.4 鉄筋	異形鉄筋 SD－295A D13 3.12%	異形鉄筋 SD－295A D13 1.67%
		異形鉄筋 SD－295A D10 0.83%	
	3.5 木	構造用集成材 6.98%	
		構造材 米栂 4.34%	
		造作用集成材 0.64%	
		構造材 杉 0.61%	
4．外部仕上げ	4.1 屋根	屋根 日本瓦葺 6.49%	屋根 日本瓦葺 0.62%
		屋根 構造用合板 0.56%	
	4.2 外壁	壁 グラスウール充填 2.70%	壁 グラスウール充填 0.70%
		壁 ﾓﾙﾀﾙｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ 2.51%	壁 ﾓﾙﾀﾙｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ 0.70%
		壁 構造用合板 0.94%	
	4.3 開口部	AW－4 引違窓 1.80%	AW－4 引違窓 6.28%
		ﾌﾛｰﾄｶﾞﾗｽ t 5.0 2.18m2以下 1.71%	AW－2 引違窓 5.63%
		AW－2 引違窓 1.00%	AW－1 引違窓 3.49%
		AW－1 引違窓 0.60%	ﾌﾛｰﾄｶﾞﾗｽ t 5.0 2.18m2以下 2.09%
			AW－3 引違窓 1.87%
			AW－5 下部嵌殺付片開窓 1.53%
			AD－1 片開戸 1.45%
5．内部仕上げ	5.1 床	床下地 構造用合板 0.71%	床仕上 ｽﾀｲﾛ畳 4.79%
		床下地 ﾌﾛｱｰ合板 0.52%	
		床仕上 ｽﾀｲﾛ畳 0.48%	
		床下 グラスウール充填 0.44%	
	5.2 壁	壁 石膏ボード 1.15%	壁 耐水石膏ボード 2.25%
		壁 耐水石膏ボード 1.03%	壁 ﾋﾞﾆｰﾙｸﾛｽ 2.25%
		壁 ﾋﾞﾆｰﾙｸﾛｽ 1.03%	壁 ｷｯﾁﾝﾊﾟﾈﾙ 見切縁 1.27%
			壁 石膏ボード 13.18%
	5.3 天井	天井 石膏ボード 2.64%	天井 石膏ボード 1.15%
		天井 廻縁 1.53%	天井 廻縁 0.99%
		天井裏 グラスウール充填 1.48%	天井 ﾋﾞﾆｰﾙｸﾛｽ 0.94%
		天井 ﾋﾞﾆｰﾙｸﾛｽ 1.27%	天井裏 グラスウール充填 0.88%
		玄関 床 陶磁器ﾀｲﾙ 1.27%	
	5.4 玄関	玄関 巾木 陶磁器ﾀｲﾙ 100角 H=300 3.14%	玄関 巾木 陶磁器ﾀｲﾙ 100角 H=300 0.85%
	5.9 内部雑	造作材面 ｵﾚﾌｨﾝｼｰﾄ 8.68%	
		木製建具面 化粧ｼｰﾄ 4.27%	
6．設備	6.1 設備機器	ﾕﾆｯﾄﾊﾞｽ 5.94%	ﾕﾆｯﾄﾊﾞｽ 5.12%
		ｼｽﾃﾑｷｯﾁﾝ 1.30%	ｼｽﾃﾑｷｯﾁﾝ 5.00%
	6.2 電力引込	ｹｰﾌﾞﾙ 1.06%	ｹｰﾌﾞﾙ 3.95%
	6.3 電灯・コンセント	ｹｰﾌﾞﾙ ＶＶＦ2.0mm-3Ｃ 0.95%	ｹｰﾌﾞﾙ ＶＶＦ2.0mm-3Ｃ 3.75%
		ｹｰﾌﾞﾙ ＶＶＦ1.6mm-3Ｃ 0.73%	ｹｰﾌﾞﾙ ＶＶＦ1.6mm-3Ｃ 3.48%
		ｴｺｼﾐｽﾞｯｸｽ 0.54%	ｹｰﾌﾞﾙ ＶＶＦ2.0mm-2Ｃ 2.59%
	6.4 ﾃﾚﾋﾞ共聴		ﾃﾚﾋﾞ共聴ｹｰﾌﾞﾙ 1.24%
	6.8 空調設備	硬質塩化ﾋﾞﾆﾙ管 ＶＰ-100 0.51%	
	7.1 排水設備	硬質塩化ﾋﾞﾆﾙ管 ＶＰ-100 0.46%	硬質塩化ﾋﾞﾆﾙ管 ＶＰ-100 0.96%
	7.2 給湯設備		被覆銅管（Mﾀｲﾌﾟ） 0.91%

P2-063

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

Municipal Solid Waste Collection Service in Kabul City

: Comparison between Private and Public Sector

Hasibullah HASANYAR *[1], Seiji HASHIMOTO [1]

1) Ritsumeikan University

* gr0340hp@ed.ritsumei.ac.jp

1. Introduction

Kabul Municipality (KM) as the public sector provides all the solid waste management (SWM) services in Kabul city. Lack of enough service delivery by KM has encouraged private sector to take part in collection of solid waste (SW) under the supervision of the municipal districts. This study compares the effectiveness and efficiency of SW collection service between public and private sector in Kabul City.

2. Methodology

The effectiveness refers to the level of performance on the demanded result while efficiency stands for the use of resources and the management of processes to optimize the outcomes[1]. Effectiveness was measured through quality of service rendered whereas efficiency was measured through utilization of collection capacity and time for purchasing new vehicles. The primary data used in this research includes interviews with public and private sector and household questionnaire survey. Different public sector managers and four private sector representatives were interviewed on March 2018. A face-to-face interview was also conducted with 335 residents in several districts of Kabul City.

3. Results and Discussion

3.1 Comparison of effectiveness

The expectation and actual performance in delivering the SW collection service were compared as well as people satisfaction level of public and private sector services. Although the frequency set by the public sector to collect the SW from collection points is daily and once in two days, it is common to see that the majority of communal waste bins are overflowing and the SW is not collected by the expected frequency. The household survey revealed that the SW is collected once a week (29%) and once in more than a week (47%) in communal collection system by the public sector. It also found that the percentage of dissatisfied residents receiving door-to-door collection by the private sector is low compared to the communal collection by the public sector. Higher collection frequencies have shown positive results with greater satisfaction.

3.2 Comparison of efficiency

3.2.1 Utilization of collection capacity

The public sector SW collection vehicles collect about 2000 tons per day having 3-4 trips per day to Gazak2 landfill site[2]. The utilization of collection capacity is estimated by amount of daily waste collection per available collection capacity (total vehicles' volume) and is shown in Table 1. It shows that private sector has 2-3 times efficient utilization of collection capacity than the public sector.

Table 1: Collection capacity utilization

Service Provider	A: Waste collection (tons/day)	B: Total volume (m3/day)	C:A/B (tons/m3)
Public: Kabul Municipality	2000	7429	**0.27**
Private: A	8	14	**0.93**
Private: B	13	16	**0.5**
Private: C	5.6	20	**0.28**
Private: D	22.4	48	**0.47**

3.2.2 Vehicles purchasing time

Availability of proper and well-designed vehicles could improve the collection efficiency[1]. The procedures of purchasing new vehicles and equipment and sale of old vehicles and equipment are bureaucratic in public sector that affects the efficient and sustainable services. Average time to purchase new vehicles is approximately 1 year for KM while it is a couple of months for private sector. Overall, the private sector is more efficient in purchasing vehicles and equipment due to simple and less bureaucratic procedures.

4 Conclusion

Engaging private sector in the delivery of SWM services offers a range of potential benefits to municipalities and fills the service gaps. The service provided by the private sector was admired by the citizens. The effectiveness and efficiency of SW collection service provided by private sector were higher than the public sector. The quality of service delivered will effect on willingness to pay of SW generators. Capacity building could increase the effectiveness and efficiency of both sector' services.

Acknowledgement: This research was supported by Project for the Promotion and Enhancement of the Afghan Capacity for Effective Development (PEACE) program of Japan International Cooperation Agency (JICA).

References

1) Bolaane, B. and E. Isaac: Privatization of solid waste collection services: Lessons from Gaborone. *Waste Management*, Vol.41, pp.14-21, 2015.

2) World Bank: *Rapid Assessment of Kabul Municipality's Solid Waste Management System.* Washington: World Bank Group, 2016.

P2-064

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

人口減少社会における焼却施設のマネジメント：滋賀県を対象とした分析

Management of incineration facilities in a society with decreasing population : an analysis for Shiga Prefecture

○渡辺梓*[1)]、橋本征二[2)]

Azusa Watanabe, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学大学院　2) 立命館大学

* rv0041xp@ ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年 3R 意識の向上や人口の減少により一般廃棄物の排出量は減少傾向にあるが、それに応じて、廃棄物処理施設の規模も縮小してゆくことが求められる。一方、既存の焼却施設の約半数において建替えもしくは延命化が必要とされる中で[1)]、社会資本整備費は縮小している。このようなことから、今後は限られた予算で、広域処理や施設の延命化、ごみ発電等をうまく組み合わせ、施設運営を行ってゆくことが求められる。

本研究では、これらの運営手法の組み合わせによる費用削減ポテンシャルを検討した。具体的には、滋賀県を対象に、2018 年から 2045 年までの一般廃棄物の焼却需要量を推計するとともに、広域処理や施設の延命化、ごみ発電を考慮したうえで、焼却施設の運営・更新に必要な費用を推計し、今後の運営方針について検討した。

2. 方法

2.1 一般廃棄物の焼却需要量のシナリオの作成

滋賀県における市町村別の 1 人 1 日当たり一般廃棄物直接焼却量原単位[2)]、その事業系･家庭系の比率[2)]、1 人 1 日当たり中間処理施設からの搬入量原単位[2)]、事業系一般廃棄物と家庭系一般廃棄物の組成データを用いて、1 人 1 日当たりの焼却需要量のシナリオを作成した。2016 年時点での廃棄物排出量原単位が将来もそのまま続くシナリオを A、食品ロスの削減や古紙の再資源化への取り組み、ペーパーレス化やインターネット通販の普及等、今後の社会変化を考慮し、廃棄物組成別の今後の変化率を設定したシナリオを B とした。次に、推計人口の中位シナリオ[3)]を用いて、今後の滋賀県における一般廃棄物の焼却需要量を推計した。

2.2 焼却施設の運営・更新費用の推計

大窪ら[4)]が提案した、対象地域全体におけるライフサイクルコストが最小となる焼却施設の更新・廃止計画を算出する多時点最適施設配置モデルを一部変更し、廃棄物処理費用、輸送費用、施設更新費用、施設の一部停止、売電収入、延命化工事費を考慮したうえで、滋賀県における最適な焼却施設の運営計画と運営費用を算出した。また、得られた結果を用いて、焼却需要量のシナリオごとに運営方針を検討した。

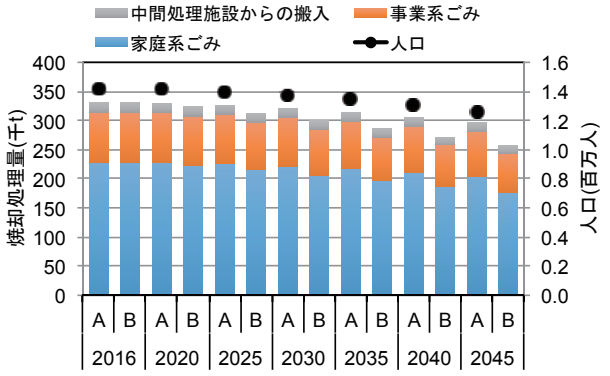


図 1 滋賀県における焼却需要量のシナリオ(A、B)

3. 結果と考察

本要旨では、一般廃棄物の焼却需要量のシナリオの作成結果について記す。図 1 に示すように、シナリオ A では人口減少により 2045 年には焼却需要量が約 10%減少、また組成変化を考慮したシナリオ B では約 23%減少すると推計された。シナリオ B の焼却需要量へ与える影響が大きかったのは、一般廃棄物の約 45%を占める厨芥類のうち、30~40%を占める食べ残しが検討期間内で大幅に削減されるとしたことであり、減少量の約 70%を占める結果となった。次に、古紙の再資源化やペーパーレス化による家庭由来の新聞紙や書籍類の減少が大きく、減少量の約 7%を占めた。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費(3K163001、3-1704)による成果である。ここに記して深謝する。

引用文献

1) 環境省：廃棄物処理施設長寿命化総合計画作成の手引き(ごみ焼却施設編)、2015
2) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果、2016
3) 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、各年版
4) 大窪和明、奥村誠、吾妻樹：土木学会論文集 D3、70(5)、(2014)、pp.211-220

P2-065
第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

南海トラフ巨大地震によって発生する木くずのリサイクルの検討
：静岡県を対象とした事例研究

Examination of recycling for waste wood generated by Nankai Megathrust Earthquake
: a case study of Shizuoka Prefecture

○野末浩佑*[1)]、奥岡桂次郎[2)]、谷川寛樹[2)]、橋本征二[1)]
Kosuke Nozue, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学　2) 名古屋大学
*rv0054hx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

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 11 倍の災害廃棄物が発生すると推計されている。大規模災害で発生する廃棄物をいかに迅速に処理して復興につなげるかは、地震大国である日本にとって大きな課題である。東日本大震災の経験からも、災害廃棄物はできる限りリサイクルすることが肝要であるが、想定される津波によって、海底の泥土や砂が付着し、海水を吸収して塩分を多く含有する廃棄物も多く発生することになる[1)]。このようなことから、本研究では、南海トラフ巨大地震において津波の影響を受ける地域の 1 つである静岡県を対象に、塩分を含有する木くずの発生量を推計するとともに、そのリサイクルのための検討を行った。

2. 方法

2.1 塩分含有木くずの発生量の推計

静岡県内の建築物および建築物に使用されている木材量の地図情報[2)]、南海トラフ巨大地震における津波浸水地域の地図情報[3)]を重ね合わせ、津波によって被害を受ける可能性のある建築物の抽出および木くず発生量の推計を行った。ここで、東日本大震災における浸水深別・建物構造別被害率[4)]を考慮した。全壊する建築物から発生する木くず量は当該建築物に使用されている木材量とし、半壊する建築物から発生する木くず量は当該建築物に使用されている木材量に半壊係数（0.5）を乗じた[5)]。

2.2 塩分含有木くずのリサイクルの検討

塩分含有木くずは、仮置場で一定期間降雨にさらし、塩分を除去する必要がある[6)]。塩分を含有した木くずの樹皮 1cm 以内にほとんどの塩分が含有していることから、累計 80mm 程度の降雨にさらすことで再利用が可能とされる塩分濃度 1%以下にすることが可能である。本研究では、「累積 80mm 程度の降雨、高さ 5m 以下、面積 200m2 以下、山と山の間 2m 以上」の条件[6)]のもと、必要となる仮置場面積と降雨で塩分除去を行う場合に必要となるおよその期間を推計した。また、代用として散水で行う場合に必要となる水量について検討した。

3. 結果と考察

塩分含有木くずの発生量は 68 万 t と推計された。静岡県で発生する木くずの総量が 296 万 t[7)]と推計されていることから、塩分含有木くずは、その 20 数%を占めることとなる。浸水深ごとの塩分含有木くずの発生量を見ると（図 1）、浸水深 2m を境にして全壊と半壊の比率が大きく異なる結果となった。これにより、浸水深 2m 以上における浸水棟数が全体の約 60%であるのに対し、塩分含有木くずの発生量では約 70%を占めた。なお、今回の推計は東日本大震災時の浸水深別・建物構造別被害率[4)]を用いて推計を行っているが、東日本大震災より強い地震が起きると予測される南海トラフ巨大地震においては、地震動による被害がより大きく、本推計値より多くの塩分含有木くずが発生する可能性がある。塩分含有木くずのリサイクルの検討結果については学会当日に報告する。

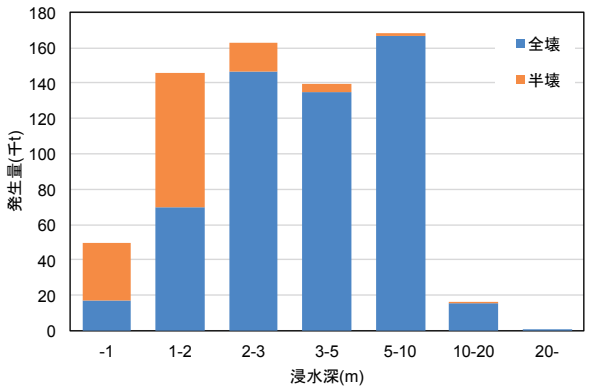


図１　浸水深ごとの塩分含有木くず発生量の推計結果

参考文献

1) 大迫政浩、遠藤和人：地球環境、18(1)、45-54、2013
2) Tanikawa, H. et al.: Journal of Industrial Ecology, 19(5), 778-791, 2015
3) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス
4) 国土交通省：東日本大震災からの津波被災市街地復興手法検討調査のとりまとめについて
5) 前田真佐樹、大西暁生：土木学会論文集 G（環境）、73(4)、143-158、2017
6) 環境省：災害廃棄物対策指針、海水を被った木材等の処理
7) 水谷一平ら：環境システム計測制御学会誌、21(2/3)、137-144、2016

P2-072

第 14 回日本ＬＣＡ学会研究発表会講演要旨集（2019 年3月）

最適化による技術選択手法を応用した 新技術の複数要素間すり合わせに資するライフサイクル視点導入

Introduction of life cycle viewpoint that contributes to adjustment among multiple elements of new technology applying technology selection method by numerical optimization

○安地幸乃*[1)]、大野肇[1)]、福島康裕[1)]

Yukino Anchi, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima

1) 東北大学

* yukino.anchi.s2@dc.tohoku.ac.jp

1. 緒言

廃プラスチックの有効利用率は焼却発電や熱利用等も含め 2016 年で 84%、年 759 万 t にものぼる[1)]。現在のプラスチックリサイクルで大きな割合を占めるのは固形燃料化、熱利用、セメント原燃料化等のエネルギー回収を目的としたものである。これは厳密な分離選別の必要性が低いことから特に一般廃プラスチックに多くみられる処理法であり、近年の有効利用率の上昇はこれらの利用量の増加によるところが大きい。しかしながら、上記の利用法ではプラスチック中の炭素やその他の物質は回収不能であり、物質の循環構造が構築できない。廃棄物処理に伴う GHG 排出量の低減や廃プラスチック中に含まれる物質の再利用等の要請がある中で、既存のものに替わる新たな循環指向のリサイクル手法を検討する必要がある。その実装に先立ち、開発段階で逐次 LCA を実施し、既存技術に対して性能面でどれほど差があるのか、既存技術より秀でるには具体的にどの程度の性能が必要となるのかを把握し開発に還元することにより、開発工程の効率化およびその後の円滑な社会実装が期待できる。

本研究ではプラスチックリサイクルを例に取り、技術選択最適化によって新技術と既存技術を包含するシステムの中から経済性・環境適合性の高い組み合わせを抽出する中で新技術に求められる要件を導く手法を開発する。

2. 手法

既存のプロセスと新規プロセスをどちらも包括したスーパーストラクチャ(SS)(図 1)について、利潤と GHG 排出量を目的関数としてそれぞれ最適化を行った。最適化結果が新規プロセスを選択しない場合、新規プロセスのインベントリの値を徐々に変更し、選択されるまで最適化を繰り返し、その際のインベントリと結果の変移について検討を行う。

SS を用いた全プロセスの物質収支式を式 1 に示す。

$$\boldsymbol{S}\boldsymbol{v} = \boldsymbol{w} \tag{1}$$

利潤最大化の場合、最終生成物の売上から材料購入費を引き$(\mathbf{c_m}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w})$、さらに運転費$(\mathbf{c_o}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{v})$・設備建設費$(\mathbf{c_i}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y_i})$を差し引いたものを目的関数として設定した(式 2)。

$$\mathrm{Max}\ \mathbf{c_m}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w} - (\mathbf{c_o}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{v} + \mathbf{c_i}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y_i}) \tag{2}$$

GHG 排出量最小化の場合は、購入材料製造分に相当する GHG 排出から最終生成物による代替分の GHG 排出を控除し$(\mathbf{e_m}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w})$、これに運転・設備建設による GHG 排出$(\mathbf{e_o}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{v}, \mathbf{e_i}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y_i})$を加えた、正味の GHG 排出量を目的関数として設定した(式 3)。

$$\mathrm{Min}\ \mathbf{e_o}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{v} + \mathbf{e_i}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y_i} - \mathbf{e_m}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{w} \tag{3}$$

加えて、主原料量・系外からの投入物質の利用可能上限や各プロセスの最大処理量を制約条件として設定した。

3. ケーススタディ

ケーススタディとして、廃プラスチックのリサイクルを想定した計算を行った。原料となる廃プラスチック内の種別内訳は産廃プラスチック[2)]に準拠し、PVC はそのうち質量比で 15%であるとした。

まず、既存のプロセスとして、現在国内で行われている主な PVC 処理手法 5 種類を仮定した(マテリアルリサイクル(MR)、フィードストックリサイクル(FR)、エネルギー回収(ER)、単純焼却、埋立)。FR については産廃プラスチック中の PVC リサイクルの大部分を占める[3)]ガス化を仮定し、生成物は炭化水素ガスであるとした。ER には焼却・発電・排ガス処理工程が含まれており、発電効率を 11.61%[2)]として、原料に含まれる各種プラスチックの低位発熱量よりそれぞれの発電量を見積もった。図 1 中の数字は PVC 廃棄物が該当手法で処理されている割合であり[4)]、これに沿って混合廃プラスチック中の PVC が配分された場合の処理量が各プロセスの処理量上限となるように制約条件を設定した。

評価対象とする新規プロセスとして、PVC とその他プラスチックが混ざった状態でも PVC を分離することなく脱塩素処理が行える装置[5)]を想定した。脱塩素処理された PVC は焼却発電による ER の燃料として利用するものとした。このプロセスの優れた点は、MR を除く従来のリサイクルでは排ガス等として放出されていた PVC 中の塩素を

NaCl の形で資源として回収可能な点にあり、国内のアルカリ産業が多く輸入塩に頼っている現状 [4]を補う効果が期待される。今回のケーススタディはこのプロセスを GHG 排出量と利潤の面で既存プロセスと比較評価した。既存のプロセスを黒色で、新規プロセスを青色で図 1 に示した。

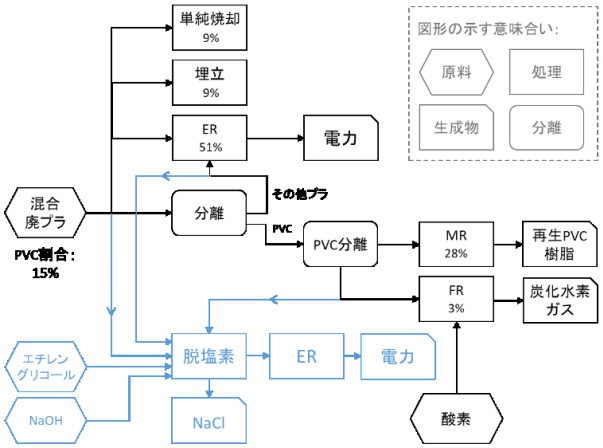


図 1　対象とするプロセス群(既存: 黒、新規: 青)

これらをもとに、混合廃プラスチックを 10[t]処理する場合を想定して計算を行った。このとき、設備建設時にのみ発生するため処理量に関わらず固定値とした設備建築費・GHG 排出($\mathbf{c_i}^T\boldsymbol{y_i}, \mathbf{e_i}^T\boldsymbol{y_i}$)について、原料プラスチック 10[t]に対して上記 2 つの項に設備建設時の全費用・GHG 排出量をそのまま適用した場合$\mathbf{c_i}^T\boldsymbol{y_i}, \mathbf{e_i}^T\boldsymbol{y_i}$の計算結果に寄与する割合が必要以上に大きくなってしまうため、必要に応じて補正した値を用いた。

利潤最大化・GHG 排出量最小化の結果、どちらにおいても既存プロセスのみで構成された経路が選択された。ここで、GHG 排出量に焦点を当て、演繹的 LCA による比較検討を行う。式 3 中のプロセス運転・設備建築時 GHG 排出量を示すためのベクトル$\mathbf{e_o}$および$\mathbf{e_i}$について、脱塩素処理に相当する項の値（以下e_{o_de-Cl}, e_{i_de-Cl}と表記）を変更していき、新規プロセスが選択され得るこれらの値の組み合わせを得た(図２)。

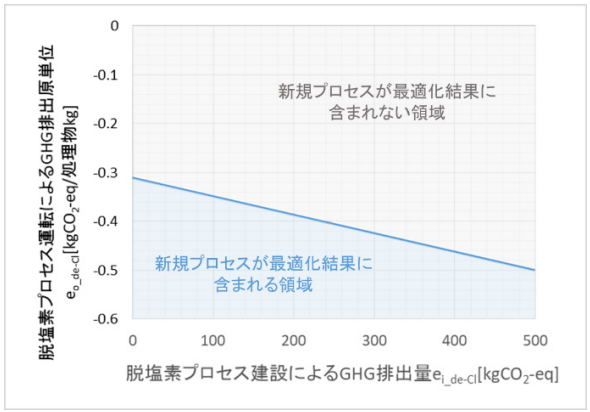


図 2　新規プロセスが選択されるe_{o_de-Cl}, e_{i_de-Cl}の範囲

図 2 は、e_{o_de-Cl}およびe_{i_de-Cl}が直線より左下の領域に含まれる場合、新規プロセスが最適化により選択されることを示している。GHG 排出控除に関わる項は$\mathbf{e_m}^T\boldsymbol{w}$のみであり$\mathbf{e_o}$および$\mathbf{e_i}$は負の値を取り得ないことに対し、図 2 ではどちらも正の値となる領域が存在しないことから、本研究で設定した条件下において脱塩素プロセスの改良のみでは GHG 排出量の面で優位性を得るには十分ではなく、例えば必要な原料を副生成物として得られるプロセスと組み合わせる、脱塩素後の物質を ER 以外の方法で処理することを検討するなど、実装に際しては他プロセスとの組み合わせを前提として評価する必要性があると予想できる。

4.　結言

本研究では、プラスチックリサイクルを例にとり、SS による候補プロセスを包括した経路最適化を実施した。また、結果をもとに、求める性能に達するための具体的な指標の導出に向けた計算方法の検討を行った。今後、輸送コストやプロセスの耐久年数等も含めた計算を行えるように拡張することでより有用な手法となると考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費(JP17H00795)および(独)環境保全機構環境総合推進費(3-1801)の助成により実施された。

記号

$\mathbf{S}$: スーパーストラクチャ行列、$\mathbf{c_m}$: 単位量あたりの購入・売上金額[円/ kg]、$\mathbf{c_o}$: 運転費[円/主処理物 kg]、$\mathbf{c_i}$: 設備建設費[円]、$\mathbf{e_m}$: 原料購入・最終生成物売却による GHG 排出原単位[製造時 kg-CO_2eq / kg]、$\mathbf{e_o}$: プロセス運転による GHG 排出原単位 [該当プロセス運転時 kg-CO_2eq /主処理物 kg]、$\mathbf{e_i}$: 設備建設による GHG 排出原単位 [kg-CO_2eq]、$\boldsymbol{w}$: 正味物質収支[kg]、$\boldsymbol{v}$: プロセス規模[主処理物 kg]、$\mathbf{y_i}$: プロセス有無を示すバイナリ[-]

引用文献

1) 一般社団法人プラスチック循環利用協会: “プラスチックリサイクルの基礎知識 2018”, (2018)
2) 一般社団法人プラスチック循環利用協会: “「廃プラスチックの有効利用状況の LCA による評価手法の開発」に関する調査研究事業”, (2013)
3) 一般社団法人プラスチック循環利用協会: “「プラスチックのマテリアルフローの LCA 分析の精度向上」に関する調査研究事業報告書”, (2014)
4) Kumagai, S., Lu J., Fukushima Y., Ohno H., Kameda T., Yoshioka T.: Resour. Conserv. Recycl., 133, (2017), pp 354-361
5) Kameda T., Ono M., Grause G., Mizoguchi T., Yoshioka T: Ind. Eng. Chem. Res., 47 (22), (2008), pp 8619–8624

日本 LCA 学会学生交流ネットワーク 2018 年度活動報告

ILCAJ-Student Communication Network Activity report 2018

○一杉佑貴*[1)]、武山健太郎[2)]、高藪広隆[3)]、植屋純平[4)]、都築尚仁[5)]、三浦潤[6)]

Yuki Ichisugi, Kentaro Takeyama,

1) 東京都市大学, 2) 東北大学, 3) 九州大学, 4) 立命館大学, 5) 横浜国立大学, 6) 東京大学

* 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。

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
2018 年　3 月	第 10 回学生総会（第 13 回日本 LCA 学会研究発表会会期中） 2017 年度の活動を第 13 回日本 LCA 学会研究発表会にてポスター発表 第 9 回セミナー開催（第 13 回日本 LCA 学会研究発表会会期中）
2018 年　9 月	第 9 回現場見学会およびワークショップ 2018 開催
2018 年　10 月	3rd Young Researchers Meeting を開催（EcoBalance 2018 会期中）

図 1 SCN 設立から現在までの流れ

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。本年度は大分県にある八丁原地熱発電所の施設見学を行った。

・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 1 日から 3 日にかけて、九州地区国立大学　九重共同研修所で開催した。

・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 14 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。

・Young Researchers Meeting (EcoBalance 会期中に開催)

EcoBalance2018 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. 2018 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（2018 年 9 月 1~3 日）

本年度の第 9 回現場見学会およびワークショップ

2018 は、9 月 1 日から 3 日にかけて大分県の九州地区国立大学　九重共同研修所で開催され、6 大学 11 研究室から総勢 40 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 9 回現場見学会の様子

今年度は、大分県九重町で稼働している日本最大規模の八丁原地熱発電所の施設を見学した。近年、気候変動問題の有力な解決策のひとつとして、再生可能エネルギーへのエネルギー転換が世界的に重視されており、地熱発電は解決策の 1 つとして注目されている。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。

発電所では、まず現場の方々から地熱発電の仕組みや造設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。見学の際には適宜質疑の時間が設けられ、たくさんの質疑が行われた（図 2, 3）。



図 2　八丁原地熱発電所（ホームページより引用 http://www.kyuden.co.jp/life_pavilion_hachobaru_index.html）

3.2　ワークショップ 2018

2 泊 3 日で行われたワークショップでは、11 研究室からの参加者による研究発表会が行われ、35 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。例年に続き、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、最優秀発表賞を学部生の部で吉澤知晃さん（九州大学・加河研究室）、修正生の部で福谷大樹さん（立命館大学・橋本研究室）、優秀発表賞を宮本渉さん（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、博士課程の学生から本学会で利用される手法やその概要（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、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、共同研修施設を利用したため、宿泊・会議場所の予算を抑えることができた。一方で、研修所までの移動がバスで片道 2 時間かかる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。



図 3　本年度の集合写真

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７日（木）　M 会場

13:20 – 13:35　**【奨励賞】ライフサイクル思考に基づく社会インフラ環境マネジメントに関する研究**

◎柴原尚希（中部大学）

13:35 – 13:50　**【論文賞】* 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（資生堂）、目野高嗣（資生堂）

13:50 – 14:05　**【論文賞】** 食料消費に関わる世界の淡水資源需給バランスに対する国際貿易の影響評価**

◎山口陽平（立命館大学）、田村賢人（立命館大学）、吉川直樹（立命館大学）、天野耕二（立命館大学）、橋本征二（立命館大学）

14:05 – 14:25　**【功績賞】廃棄物資源循環分野における産業連関分析**

◎近藤康之（早稲田大学）

* 受賞論文（日本 LCA 学会誌，Vol.14, No.2, pp.161-170（2018）を転載しています。

** 受賞論文（日本 LCA 学会誌，Vol.14, No.1, pp.21-35（2018）を転載しています。

奨励賞受賞講演

ライフサイクル思考に基づく社会インフラ環境マネジメントに関する研究

Research on Environmental Management for Social Infrastructures with Life Cycle Thinking

○柴原尚希*1)
Naoki SHIBAHARA
1)中部大学
* shibahara@isc.chubu.ac.jp

1. きっかけ

三重県伊勢市出身の私にとって、自給自足で 1300 年以上持続してきた神宮と観光地特有のまちづくりや交通渋滞の問題が、子供の頃から身近にありました。大学で土木計画を学び、大学院で都市持続発展を論じる道を選んだことは、自然な選択でもあり、巡り合わせでもあります。工学部社会環境工学科 4 年生として都市環境学専攻 林・加藤研究室に配属となった 2001 年は、名古屋大学において環境学研究科が始動した年です。以来、環境にやさしい社会資本や低炭素交通システムを見出すために、LCA を適用した研究や実務に携わり続けています。卒業論文のテーマは、つくばエクスプレスの LCA。当時、まさにその名称が発表されたばかりで、建設の真最中だった路線の開業後の姿を想像しながら行う LCA は、事業の計画段階における挑戦的なケーススタディでした。

2. 人生を考えたくなる

元々、地域社会に貢献できる仕事に身を投じたかった私は、修士論文を書き上げた後、地元に戻り運輸事業者に就職しました。当然、現場に関わる部署に配属されると期待していたのですが、ふたを開けてみれば経理部会計担当になり、しかも早い段階から親会社単体の決算だけでなく、グループの連結決算も任されました。それまでの CO_2 を中心とした環境負荷量から、会社のヒト・モノ・カネの流れに集計対象が変わったわけですが、アカウンティングという意味では同じだから適任だろうと人事部は判断したのかもしれません。

確かに、会計と LCA が似ていると感じたことは多々あります(連結決算はシステム境界の拡張？ 管理会計はホットスポット分析？ リマインダーフローは通過勘定？ など)。それは会計業務に携わりながらも、LCA がどこか頭の片隅から離れなかったからかもしれません。当時は、ベストセラーになった会計本を足掛かりに、会計の本質を興味深く勉強しました。反面、日々の伝票処理や、四半期ごとにやってくる決算短信などの適時開示、有価証券報告書などの IR 情報作成に追われていると、ふと自分自身のライフサイクルがルーティンワークでよいのかと思うこともありました。

3. 僕が行かなきゃ誰が行くんだ？

そんな社会人生活のスタートと並行して、2004 年に日本 LCA 学会が設立されました。もし、自分が学生の頃にこの学会があれば、他分野の情報収集や苦労話の共有などができただろうから、もっと研究の幅が広がったのにと、うらやましい気持ちを抱えながら、業務に全く関係ないにもかかわらず、設立後すぐ個人的に入会しました。それは、時を同じくして、博士前期課程時の研究の内容をまとめて投稿していた 3 本の査読論文が、すべて不採択になったことも少なからず影響しています。悔しかったというか、純粋に LCA をもっと勉強したかったのでしょうね。

一方で、2005 年の姉歯事件、2006 年のライブドア事件、新会社法スタートなど、コンプライアンスやディスクロージャーを取り巻く環境の激変を受け、監査対応は厳しさを増していきました。決算情報の一字一句に神経をとがらせながら、これからは会計情報だけでなく環境情報についても、不備があれば偽計や風説の流布として罪に問われる時代が来るのではないか？ それを防ぐ方も調べる方も LCA の素養が必要になってくるのではないか？ 学会もできたことだし、ついに LCA の時代が来る。そんな大きな勘違いを携えながら、2007 年に名古屋大学に復帰することを決めました。

4. 知りたいこと

幸いにも研究員として採用いただいたおかげで、給与を頂戴しながら、博士論文に取り組むことができました。研究テーマが業務と直接関係していなかったので苦労はありましたが、交通 LCA の確立を一途に探究できて、むしろありがたかったです。

製品への適用を想定して発展してきた LCA を、社会資本に援用する際の課題は、a)機能単位の設定（インフラ整備＝機能向上)、b)空間境界の設定（波及効果の考慮)、c)時間境界の設定(将来の不確実性、割引率)、d)評価指標の設定（環境アセスメントとの関係など)、という 4 つの論点に集約されます。これらは答えの出ない永遠のテーマとも言え、交通・都市計画分野において長きにわたり方法論整備に粘り強く取り組んできたのは加藤研究室をおいて他にないと思われます。た

だし、ニッチというのは「ひとりよがり」に陥る危険性と隣り合わせですし、「それはLCAではない」などと言われてしまうことも往々にしてあるわけですから、私としては、ISOやLCA業界で常識な言葉で、社会資本LCAも紡いでいきたいという意欲がありました。博士論文では、主にc)について論じたのですが、アリストテレスの「自然学」を登場させるなど、根源的に考えれば考えるほど深みにはまるテーマでした。

翻って、実務的な目的に立ち返ってみると、あくまで環境にやさしい交通システムを見出したり、都市の持続性を考えたりしたいわけですから、環境負荷排出量を評価することを意図するLCAを越える必要がどうしてもありました。そこで提案したのが、社会資本整備を「将来の環境負荷削減のために前もって環境負荷を排出させる先行投資」と捉えることで、環境負荷を効率的に削減しうる投資の時間的・空間的配分パターンを検討する「環境アセットマネジメント」です。インフラ維持管理の分野において、ライフサイクルコスト削減や、構造物の長寿命化につながる補修のタイミングという観点で、社会資本のアセットマネジメントの重要性が叫ばれていた時期でしたので、環境負荷排出の面からインフラマネジメントを検討するフレームワークが提案できて良かったと考えています。

5. 新しい世界

名古屋大学の助教を経て、産業環境管理協会（JEMAI）に4年間お世話になりましたが、前半2年間は、LCA事業推進センターにおいて、飲料、電線、材料など､様々な企業のLCA算定支援を行いました。業界ごとの事情は当然異なり、それぞれに特有の課題があることを認識したので、社会資本の分野だけ取り立ててアウェイ感を持つ必要はなく、製品と社会資本という対立軸でLCAの方法論を検討してこなくてもよかったのかなと感じました。また、LCAの社会への普及のためにはデータベースやソフトウェアといったLCA実施基盤の有用性の向上が大切だとも実感したので、IDEAデータとLCA日本フォーラムデータの連結に多少なりとも貢献できて良かったです。

後半2年間は、再生可能エネルギー設備の導入といった、各種補助金事業の検証・評価業務の主担当でしたが、それはLCAのスペシャリストたちが担う仕事なのかという疑問を持っていた人もいたと思います。しかし、現場でのC（Check）からPDCAサイクルを回し始め、計画達成状況を検証・評価することで明らかになった課題の改善方法を考案（Action）し、新たな計画・対策（Plan）につなげていくことは、ライフサイクルマネジメントそのものと捉えて、私は取り組んでいました。今ではこのコンセプトが、併設の地域・産業支援センターの礎となって、JEMAIのLCA業務が製品の環境評価やラベリングにとどまらず、環境・エネルギーを軸とした地域計画策定やプロジェクトマネジメントへと展開されていると理解してます。

エコデザイン室の同僚が、環境ラベル事業を「いろいろなデータを集めてひたすら四則計算しそれを常に管理し続けるもの」だと言っていましたが、環境サービスを仕事として提供するためには、評価だけにとどまらず、マネジメントも行っていくことが不可欠なのだなと、辞めた今になって改めて感じています。

6. 未来の答え

現在は中部大学に所属し、工学部都市建設工学科の学生に対して教育や研究指導を行いながら、中部高等学術研究所 持続発展･スマートシティ国際研究センター（英語名を略すとSDGsセンター）が受託しているSATREPSプロジェクトの一員として、タイ・バンコク市民のQOL向上と社会の低炭素化を同時に達成する交通戦略の策定にも取り組んでいます。研究代表者で元上司の林良嗣教授の呼び戻しで現職に就いたわけですが、その際、私の専門分野を「インフラ環境マネジメント」と定義してくれたのも林先生です。一度定年退職してもなおパワフルな先生ですが、交通渋滞が解消されQOLが向上した未来のバンコクを見届けられるかどうかは定かではありませんし、少なくとも2050年において自らの研究の答え合わせをすることは難しいでしょう。だからこそ、このプロジェクトの成果がバンコクの未来にとってのスタートとなっているかを確認し、必要に応じてマネジメントしていくことが、次世代を生きる我々にとっての責務だと自覚しながら、これからもがんばっていきたいと思っています。

7. つづく

LCAの実務に携わる人は誰しも、「LCAは1人ではできない」ことや「LCA業務の8割は関係者との調整である」ことを実感すると思います。また、現場に入って実際にヒアリングを行っていると、これからの地域社会や企業が持続的であるために必要なのは、結局は次世代を担う「人」だという結論に至ります。では、その人とはどういう人だと考える時、私はライフサイクル思考が根底にある人材だと確信しています。

現状、LCAを教える講義は持っていませんし、研究室にはようやく3年生が配属されたばかりで、本格的な研究活動も始まっていませんが､LCAに取り組むことで、学生には俯瞰力だけでなく、共同推進力、駆動力、課題解決力といった能力を身につけてもらいたいですし、願わくは何年後かにLCA学会で発表できる教え子が育っていてくれればなと考えています。

Journal of Life Cycle Assessment, Japan

［事例論文］

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[1,*], 目野 高嗣[1]

1 株式会社 資生堂

*連絡先：kenji.oohashi@to.shiseido.co.jp

概要：洗顔料やシャンプーといった顔や頭髪の洗浄を目的とする製品は、「原材料の調達」「製品の製造」「流通」「使用」「廃棄」の製品ライフサイクルの中で、製品使用時の環境負荷が最も大きい。これは、内容物の使用量に比して、洗い流しに必要となる水または湯の量が著しく多くなる事に起因している。一般に、こうした洗浄製品のライフサイクルGHG排出量は、他の化粧品・パーソナルケア製品と比較して著しく大きいことに加え、洗浄製品は製品の販売数が多いことから、化粧品事業者の事業活動全体を通じたGHG排出に占める寄与が大きい。このため、洗浄製品の使用時における負荷を削減することは、パーソナルケア製品を取り扱う企業にとっては従来から大きな課題となっていた。これに着目し、株式会社資生堂は、汚れ成分の水への分散性を高める処方上の工夫により洗い流しの湯量を大きく削減した泡状洗顔料を2014年に上市している。本研究では、当該製品を評価対象とし、従来製品である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ライフサイクルGHG排出および水消費の削減効果を確認した。レギュラー品とつめ替え品との使用実態を考慮して「洗顔164回」という機能単位を設定し、40℃の湯ですすぎを行うという使用条件で算定した結果、評価対象製品はペースト状製品、通常の泡状洗顔料と比べて、1.40 kg-CO_2e、1.96 kg-CO_2eのGHG排出と、0.282 m^3、0.404 m^3の水消費とをそれぞれ削減していることを明らかとした。しかしながら、使用時の湯温が21℃以下となる場合には、ペースト状洗顔料のGHG排出量を下回ることが不可能となることが確認できた。製品の使用条件には、市場となる地域の気候だけでなく消費者の習慣や社会インフラなど様々な変動要因が関わってくる。製品開発の場面において環境負荷の削減を志向するにあたっては、こうした地域の独特な事情を加味した詳細な分析に基づき、より効果的な選択を製品設計に反映させることが重要であろう。

キーワード：洗顔料、GHG排出量、つめ替え、使用条件、水消費量

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[1]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、世界経済フォーラムは世界経済に悪影響を与えるインパクトの大きな脆弱性要因として「気候変動への対応の失敗」を、バブル経済や雇用問題といった直接的な経済要因を差し置いて、第5位に位置付けている[2]。気候の変化は、単純に世界の平均気温を押し上げるだけでなく、海面上昇による利用可能な市街地や農耕地の退縮、降雨状態の変化[3]による農業生産への悪影響[4]、極端な気象現象による洪水被害の発生確率の上昇[5]などにより、企業活動にとって原材料調達の不安定化や操業停止といった損害の発生要因となる。つまり、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[6]、また、製品レベルでもLCAやカーボンフットプリント分析の結果から製品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[7-9]。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[7]、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。我々は、汚れ成分の水への分散性を高める処方上の工夫により、すすぎの湯量を大きく削減した洗顔料[10]を2014年に上市した。使用段階に着目した環境負荷の削減については、ハイブリッド自動車[11]や洗濯洗剤[12]の事例が報告されているが、頭髪や身体への使用を目的とする

パーソナルケア製品や化粧品においては、こうした実際の製品でのすすぎ性能の向上による削減効果を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（表1）。

製品を構成する内容物の処方、容器包装の部材について表2に示す。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（使用回数：120回分）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、評価対象製品と比較対象製品2の処方構成は表2に示されない範囲で異なっている。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。

表1　評価対象製品および比較対象製品

	種類		内容量	1回あたりの内容物使用量
評価対象製品	すすぎ性を向上した泡状洗顔料	レギュラー品	150 mL	2～3 g
		つめ替え品	130 mL	
比較対象製品1	ペースト状洗顔料		120 g	1 g
比較対象製品2	通常の泡状洗顔料	レギュラー品	150 mL	2～3 g
		つめ替え品	130 mL	

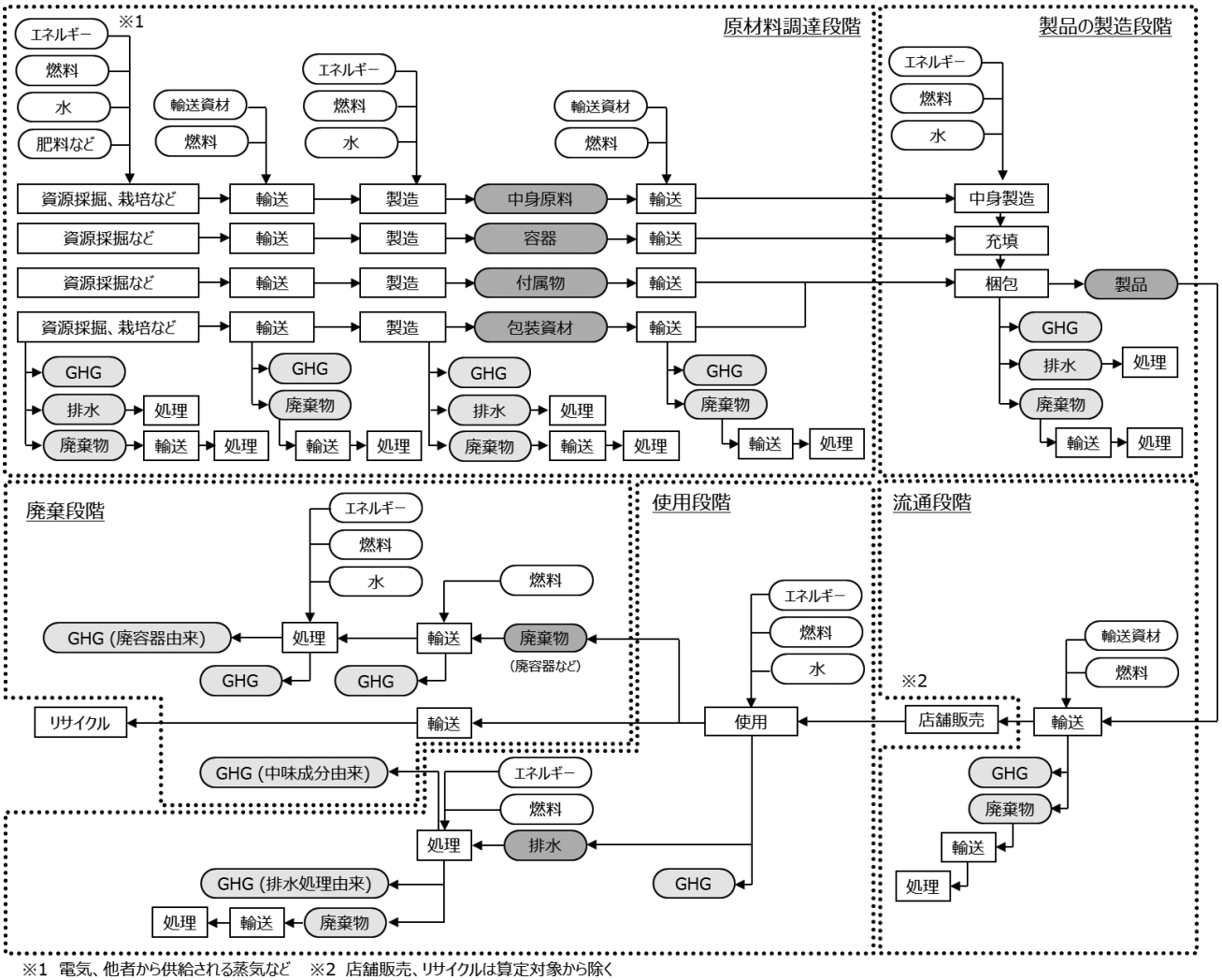
表2　製品の内容物および容器包装の構成

評価対象製品	構成		原材料
評価対象製品（泡状洗顔料）	内容物		脂肪酸石けん
			両性界面活性剤
			保湿剤　ほか
	容器包装	レギュラー品	ポンプ（PPほか）
			ボトル（HDPE）
		つめ替え品	スタンディングパウチ（積層樹脂フィルム）
比較対象製品1（ペースト状洗顔料）	内容物		脂肪酸石けん
			非イオン性界面活性剤
			保湿剤　ほか
	容器包装		ヒンジ栓（PP）
			チューブ（HDPEほか）
比較対象製品2（泡状洗顔料）	内容物		脂肪酸石けん
			両性界面活性剤
			保湿剤　ほか
	容器包装	レギュラー品	ポンプ（PPほか）
			ボトル（HDPE）
		つめ替え品	スタンディングパウチ（積層樹脂フィルム）

2.2 システム境界と使用条件

「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。洗顔料使用時に消費される湯を沸かすための条件に関して表3に記す。



※1　電気、他者から供給される蒸気など　※2　店舗販売、リサイクルは算定対象から除く

図1　ライフサイクルフローとシステム境界

表3　製品使用時の湯沸かしの条件

項目	条件	備考
平均気温（＝水温）	17℃	東京の年間平均気温
使用湯温	40℃	
燃料種類	都市ガス13 A	低位発熱量：40.6 MJ/Nm^3
熱効率	80%	

2.3 製品使用時のすすぎ水量の計測

使用段階におけるすすぎ条件については、社内パネルによる評価対象製品および両比較対象製品の洗顔テストを実施し、すすぎ始めからすすぎ終わりまでにかかる時間を計測した。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の平均値に乗じることにより、すすぎで使用される水量を求めた。

2.4 製品の GHG 排出

製品のGHG排出量は原単位法により評価を行った。原材料調達段階の評価については、各評価製品の内容物原料の配合量、容器包装の素材重量に、原単位を乗じることによって求めた。2次データとしてカーボンフットプリントコミュニケーションプログラム基本データベース[13]を利用した。製品の製造段階の評価にあたっては、まず評価対象製品の生産工場である資生堂久喜工場の各生産プロセスにおける電力や水などのユーティリティ投入量（2015年度実績）を調査し、その結果から久喜工場の年間GHG排出量を求めた。久喜工場の年間GHG排出量を内容物の年間生産量で除することにより単位内容量あたりのGHG排出量を求め、これに評価製品の内容量を乗ずることによって算定した。調達輸送や流通、廃棄段階ついては、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムの広範囲PCR（エネルギー非使用型製品）（PCR番号：PA-BR-01, 廃止）[14]に沿ってシナリオを設定した。使用段階の洗顔1回あたりの都市ガス13 A使用量の計算方法を式（1）に、GHG排出量の計算方法を式（2）に記す。40℃の湯1 Lを使用する場合には、0.00297 Nm^3の都市ガス13 Aを消費し、0.00851 kg-CO_2eのGHGを排出する計算になる。なお、通常の洗顔料の使用実態を考慮して、すすぎ水を冷却して使用することは想定しないこと（すなわち $T_1 \geq T_0$）とした。

［都市ガス使用量］

$$M = (W * (T_1 - T_0) * C) / Q / \eta \quad (1)$$

M：都市ガス使用量［Nm^3］
W：すすぎに使用する水量［mL］
T_1：すすぎ水の温度［℃］
T_0：使用地点（東京）の気温［℃］
C：水の比熱［J/mL/℃］
Q：都市ガス13 Aの低位発熱量［J/Nm^3］
η：給湯の熱効率［—］

［使用段階のGHG排出量］

$$G = M * G_M + W * 10^{-6} * (G_{TW} + G_{WW}) \quad (2)$$

G：GHG排出量［kg-CO_2e］
G_M：都市ガス13 Aのボイラーでの燃焼に関するGHG排出量原単位[13]［kg-CO_2e/Nm^3］
G_{TW}：上水道のGHG排出量原単位[13]［kg-CO_2e/m^3］
G_{WW}：下水処理のGHG排出量原単位[13]［kg-CO_2e/m^3］

2.5 製品の水消費の評価

製品の水消費量は原単位法により評価を行った。2次データとして小野らが開発した水原単位データベース[15]を利用し、各評価製品の内容物原料の配合量、容器包装の素材重量といった投入物やユーティリティの重量に水消費原単位を乗じることによって求めた。界面活性剤など植物由来成分が原料の全てまたは一部を構成する素材の調達段階における水消費については、植物成分の重量または成分中の植物由来官能基の重量から当該成分の生産に必要となる作物量を推計し、その重量に応じて、作物栽培時の水消費量を計算し補完することとした[7]。製品の製造段階の評価は、2.4で収集した久喜工場の年間水消費量を内容物の年間生産量で除することにより単位生産量あたりの水消費量を求め、これに評価製品の内容量を乗ずることによって算定した。調達輸送や流通、廃棄段階ついては、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムの広範囲PCR（エネルギー非使用型製品）（PCR番号：PA-BR-01, 廃止）[14]に沿ってシナリオを設定した。

3. 結果

3.1 製品使用時のすすぎ水量比較

評価対象製品が比較対象製品1（ペースト状洗顔料）に比べて、洗顔時のすすぎ水（湯）の量がどれだけ節約できるのかを確認するため、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（図2）。

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（図3）。

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。両実験において、評価対象製品のすすぎ時間がやや異なっていたことから、すすぎに使用した水量の多い比較対象製品1との比較試験の結果を評価対象製品のすすぎ水量と設定した。比較対象製品2の使用水量については、計測した比較対象製品2のすすぎ水量に、比較対象製品1との比較試験および比較対象製品2との比較試験で計測した評価対象製品のすすぎ時間の相対比を乗じることで求めた（表4）。

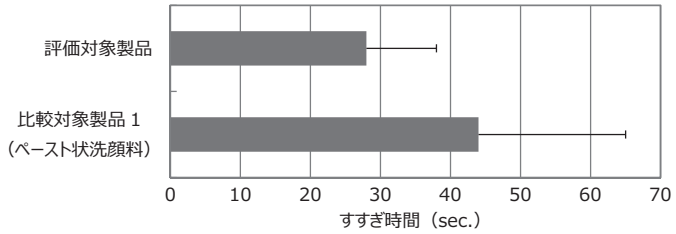


図２　評価対象製品と比較対象製品１のすすぎ時間比較

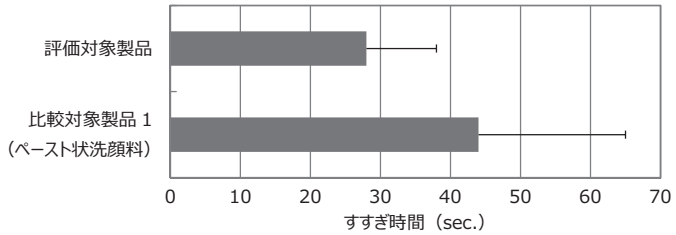


図３　評価対象製品と比較対象製品２のすすぎ時間比較

表４　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　ペースト状洗顔料	4110 mL
比較対象製品２　通常の泡状洗顔料	4020 mL

3.2 １製品あたりの GHG 排出量

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排出量を算定し（表5）、１製品あたりのGHG排出量を「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（図4）。いずれの製品においても使用段階のGHG排出が他の段階に比べて圧倒的に大きく、使用段階のGHG排出を低く抑えることの重要性が改めて示唆された。

3.3 機能単位あたりの GHG 排出量算定および水消費量

3.2の結果は、それぞれの製品の使用可能な回数が異なることから、単純にGHG排出量を比較することができない。そこで、機能単位（洗顔164回）あたりのGHG排出量を「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5）。

評価対象製品では、洗顔時のすすぎに使用する湯の量が少なくてすむことから、製品ライフサイクルを通じたGHG排出量が比較対象製品１に比べて1.40 kg-CO_2e、比較対象製品２に比べて1.96 kg-CO_2eの削減となっていることが確認できた。同じ泡状洗顔料である比較対象製品２の方が比較対象製品１に比べてGHG排出量が大きくなったのは、比較対象製品１の容器が単純な構成（チューブ）であるのに対し、比較対象製品２にはポンプフォーマーなど複雑かつ重量の大きな容器包装を採用していることに加えて、使用時のすすぎに使用する湯量に大きな差がなかったことに起因している。

ライフサイクルを通じた水消費量の比較においては、評価対象製品は比較対象製品１に比べて0.282 m^3、比較対象製品２に比べて0.404 m^3の削減という結果となった（図6）。これは比較対象製品１のライフサイクル水消費量の約30%、比較対象製品2の約38%の削減に相当する。評価対象製品は、同じ泡状洗顔料である比較対象製品２に比べて、使用段階だけでなく原料調達段階においても約46%もの大幅な水消費の削減を達成している。これは、洗浄力を維持しながらすすぎ性を向上させることを目的として、汚れ成分の水への分散性を高めた処方上の工夫により、結果的に界面活性剤などの植物由来成分の配合量を低く抑えることができたためと考えられる。

表５　製品使用時のGHG排出量

項目	使用１回あたり	機能単位あたり（洗顔164回）
評価対象製品	0.0235 kg-CO_2e	3.86 kg-CO_2e
比較対象製品１　ペースト状洗顔料	0.0369 kg-CO_2e	6.06 kg-CO_2e
比較対象製品２　通常の泡状洗顔料	0.0361 kg-CO_2e	5.92 kg-CO_2e

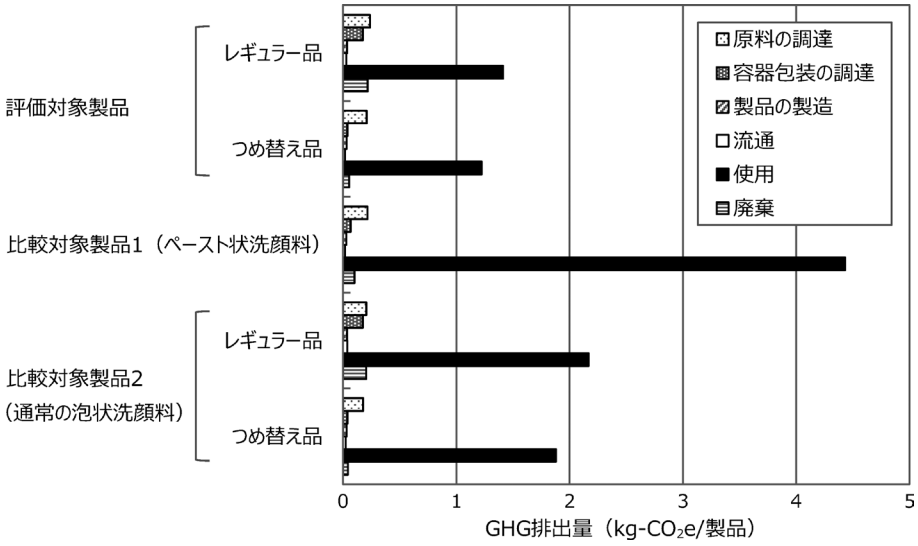


図４　１製品あたりのGHG排出量比較

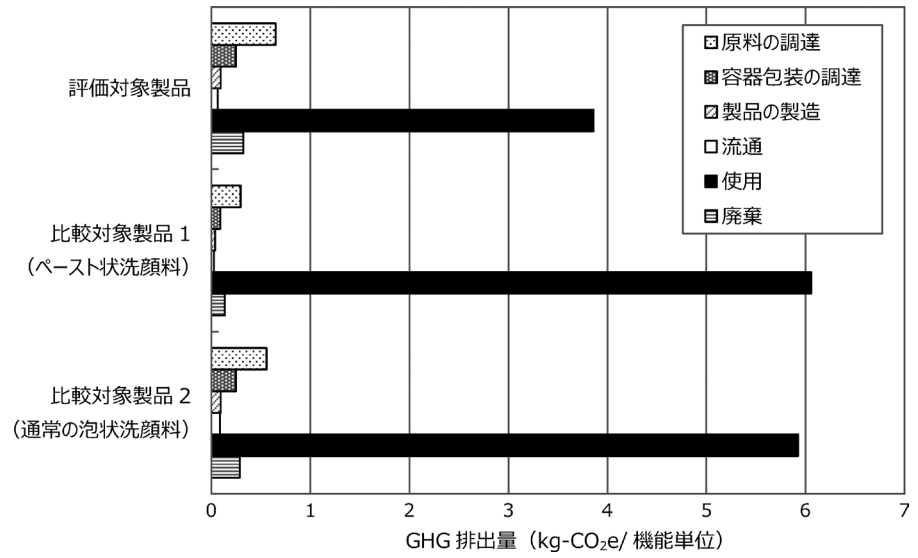


図５　機能単位（洗顔164回）あたりのGHG排出量

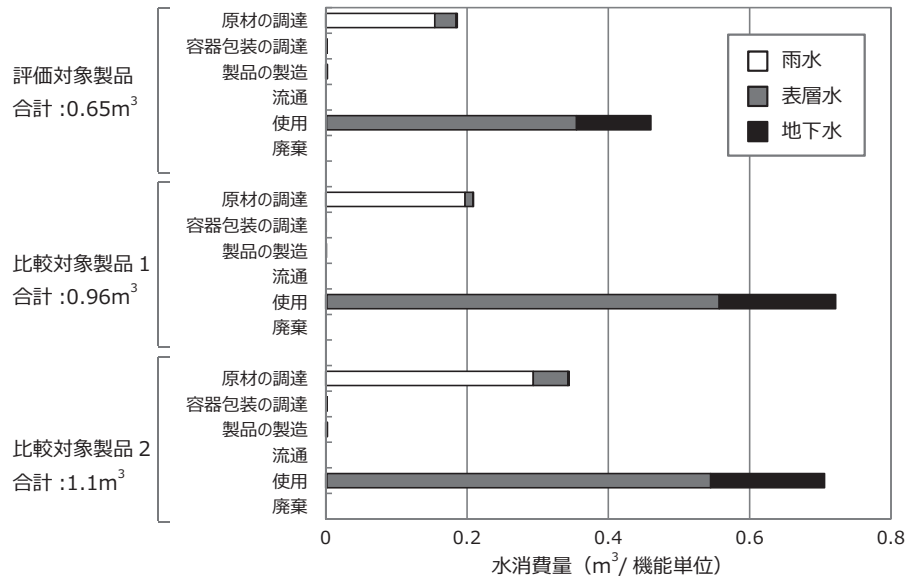


図６　機能単位（洗顔164回）あたりの水消費量

3.4 使用シナリオによるGHG排出量への影響

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（図7）。

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1を上回る結果となった。これは、すすぎの湯を沸かすために必要となる都市ガス13 A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などによるGHG排出の寄与が大きくなるためである。この結果は、GHG排出に限って言えば、例えば熱帯地域などの洗顔時に湯を使用しない地域においては、使用時の環境負荷を削減するよりも内容物の成分処方や容器の軽量化などの取り組みの方が有効であることを示唆している。

3.5 使用条件とつめ替え行為によるGHG排出削減効果への影響

3.4では、すすぎに使用する湯の温度によって、レギュラー品と2回のつめ替えの使用を前提とした機能単位（洗顔164回）における評価対象製品と比較対象製品1のGHG排出量が逆転することを示した。しかしながら、湯温23℃の条件では、評価対象製品のつめ替え製品のGHG排出量が、比較対象製品1のGHG排出量を同使用回数で按分したGHG排出量に比べて小さいことから、継続的につめ替えを行えば、いずれは評価対象製品が比較対象製品1よりもGHG排出量が小さくなる。そこで、湯温23℃の条件において、何回つめ替えを行えば評価対象製品が比較対象製品1に比べてGHG排出量が小さくなるのか、また、何回つめ替えを行っても逆転しない使用条件は何℃であるのかを求めた（図8）。

その結果、湯温23℃の場合には、つめ替えを4回以上行えば評価対象製品のGHG排出量が比較対象製品1のGHG排出量を下回ることが確認できた。また、湯温が21℃を下回ると、評価対象製品のつめ替え商品のGHG排出量が比較対象製品1のGHG排出量を同使用回数で按分したGHG排出量を上回り、たとえ何回つめ替えを行っても、評価対象製品のGHG排出量は比較対象製品1のGHG排出量よりも大きくなることが明らかとなった。

4. おわりに

本研究では、すすぎ性を向上した泡状洗顔料を評価対象とし、レギュラー品の使用に加えて2回のつめ替えを前提とした「洗顔164回」を機能単位と設定した場合のライフサイクル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することができた。

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、消費者がつめ替え品を何回継続購入するかによっても、大きく変わってくる。今回は、気温や販売実績など日本におけるデータを

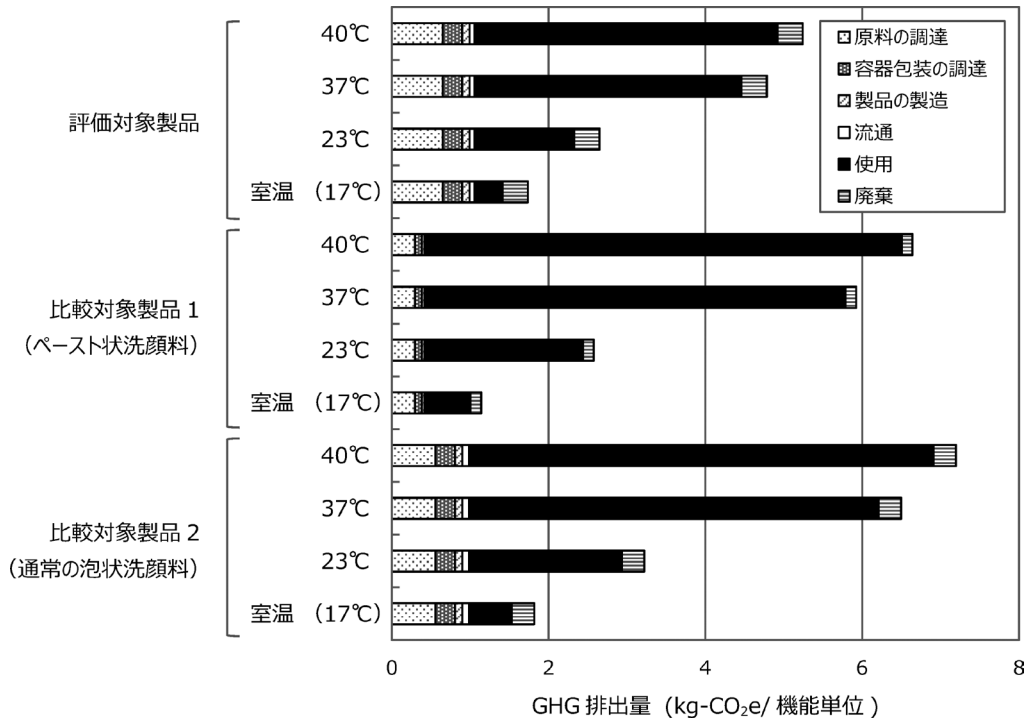


図7　すすぎの湯温によるライフサイクルGHG排出量の比較

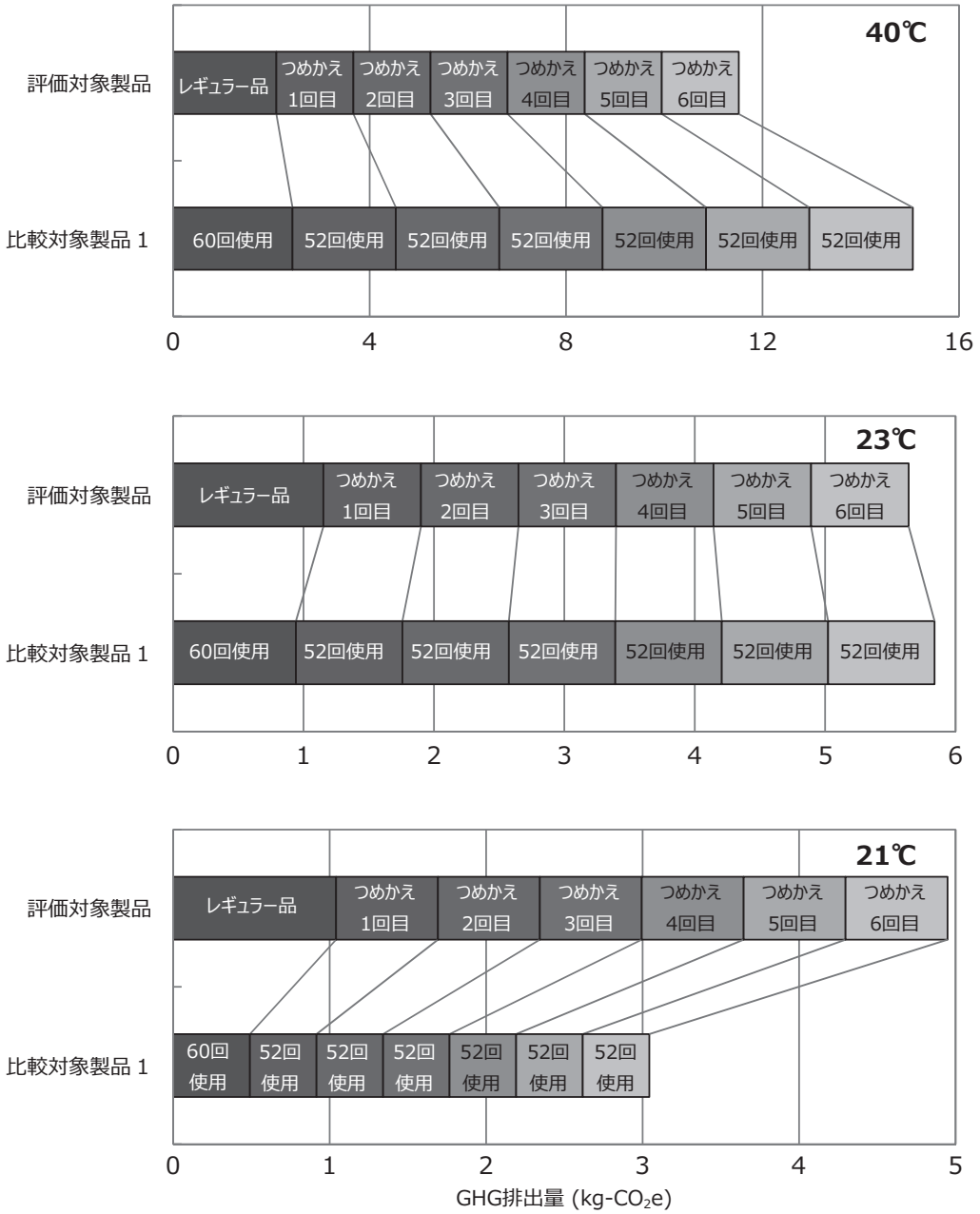


図 8　つめ替え行為と使用条件によるGHG排出削減効果への寄与

もとにシナリオを設定して評価を実施したが、日本国外での評価に際しては、製品の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により、評価結果は影響を受ける。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と考えられる。

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（carbon Life Cycle Analysis）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。

（平成29年7月10日受付、平成29年12月25日採択）

参照文献

1) United Nations, Paris Agreement, United Nations Framework Convention on Climate Changeホームページ, 入手先 <http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php>, (参照 2017-9-15)

2) World Economic Forum, The Global Risks Report 2017, World Economic Forumホームページ, 入手先

<https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2017>, (参照 2017-9-15)

3) Hanasaki N., Fujimori S., Yamamoto T., Yoshikawa S., Masaki Y., Hijioka Y., Kainuma M., Kanamori Y., Masui T., Takahashi K., Kanae S. (2013): Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 2393-2413

4) Iizumi T., Furuya J., Shen Z., Kim W., Okada M., Fujimori S., Hasegawa T., Nishimori M. (2017) : Scientific Reports 7, Article number: 7800

5) Hirabayashi Y., Mahendran R., Koirala S., Konoshima L., Yamazaki D., Watanabe S., Kim H., Kanae S. (2013): Nature Climate Change, 3, 816-821

6) UNEP / SETAC Life Cycle Initiative (2015): Guidance on Organizational Life Cycle Assessment, 145pp.

7) 大橋憲司 (2015) : 日本LCA学会誌, 11(3), 269-277

8) The PCF Project Germany, Documentation of the Case Study Schauma within the PCF Pilot Project Germany, The PCF Project Germanyホームページ, 入手先 <http://www.pcf-projekt.de/files/1236586214/pcf_henkel_shampoo.pdf>, (参照 2017-9-15)

9) 花王株式会社, 花王CSRレポート 2009, 花王株式会社ホームページ, 入手先 <http://www.kao.com/content/dam/sites/kao/www-kao-com/jp/ja/corporate/sustainability/pdf/pdf_reports_01_05_01_001.pdf>, (参照 2017-9-15)

10) 目野高嗣 (2014) : 日本特許公開公報, 特開2014-210720

11) トヨタ自動車株式会, 環境報告書 2001, トヨタ自動車株式会社ホームページ, 入手先 <https://www.toyota.co.jp/jp/environmental_rep/01/pdf/p17.pdf>, (参照 2017-9-15)

12) 大田和康規, 三浦泰毅, 伊坪徳宏 (2015) : 日本LCA学会誌, 11(3), 300-307

13) カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム (CFPプログラム), 基本データベース v1.01, CFPプログラムホームページ, 入手先 <https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>, (参照 2016-9-13)

14) カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム (CFPプログラム), 広範囲PCR(エネルギー非使用型製品) (PCR番号：PA-BR-01, 廃止), CFPプログラムホームページ, 入手先 <https://www.cfp-japan.jp/calculate/authorize/pcr.php?p=9&row=10&q=>, (参照 2016-9-13)

15) 小野雄也, 堀口健, 伊坪徳宏 (2013) : 日本LCA学会誌, 9(2) 108-115

[Case Study Research Article]

The Carbon Footprint and the Water Consumption of Easy-Rinse Foaming Face Wash

Kenji OHASHI[1,*] and Takashi MENO[1]

1 Shiseido Company, Limited

*Corresponding author: kenji.oohashi@to.shiseido.co.jp

Synopsis:

Objective. The environmental hot-spot of a product for cleaning the face and washing hair, such as face wash and shampoo is in the use stage. This is due to the fact that the amount of water or hot water required for rinsing off is significantly higher than the amount of the product contents. The contribution of these cleansing products in organizational GHG emissions is the largest among the personal care products business due to the carbon footprint of individual products and sales volume. For this reason, reduction of the environmental burden at the use stage of the cleaning products has been a big problem for personal care sector industry. Shiseido Company, Limited launched the easy-rinse foaming face wash which has the improvement on reducing the volume of rinsing water by the dispersibility of dirt into the water. In this study, we selected the easy-rinse foaming face wash as a research target, and evaluated the reduction effect on life cycle GHG emissions and water consumption compared to the paste type product or the conventional foaming product.

Result and Discussion. This study clarified that the target product reduces 1.40 kg-CO_2e and 1.96 kg-CO_2e of GHG emissions respectively, compared to the paste type one and the conventional foaming type one on the premise of a functional unit: “164 times of washing faces” with 40℃ hot water. The functional unit is defined based on the actual usage in the market. Also, on the water consumption, it can reduce 0.282 m^3 and 0.404 m^3 respectively throughout the product life cycle. However, in the case of under 21℃ or less of rinsing water, the GHG emissions of the target product becomes always higher than that of the paste type face wash. The use condition is affected by various factors such as consumer habits, social infrastructure, as well as the climate in the market area. When we aspire reducing the environmental burden of a product, it is important for product developer to reflect more effective option onto a product design based on detailed analysis taking the local and unique circumstances into consideration.

Keywords: face wash; GHG emissions; refilling; use-condition; water consumption

Journal of Life Cycle Assessment, Japan

特集「第12回日本LCA学会研究発表会からの投稿」

［研究論文］

食料消費に関わる世界の淡水資源需給バランスに対する国際貿易の影響評価

山口 陽平[1,*], 田村 賢人[1], 吉川 直樹[2], 天野 耕二[2], 橋本 征二[2]

1 立命館大学大学院 理工学研究科, 2 立命館大学 理工学部

*連絡先：rv0023hs@ed.ritsumei.ac.jp

概要：本研究では、食料消費に関わる灌漑用水消費に焦点を当て、水ストレス指標により、世界全体の淡水資源需給バランスに対する国際貿易の影響を評価した。淡水資源消費量については、ウォーター・フットプリントにより、各国の国内生産による淡水資源の直接消費量と、当該国の他国からの国際貿易に伴う淡水資源の間接消費量に分けて評価した。さらに、灌漑効率を用いて、淡水資源消費量を淡水資源取水量に換算した。淡水資源利用可能量は、農業において最大限利用可能な淡水資源量として定義した。2010年時点において、41ヶ国が高いストレス（28ヶ国、19億人）または中位のストレス（13ヶ国、18億人）に直面している可能性が示唆された。このうち8ヶ国では、他国への食料輸出により水ストレスが強まっている可能性が示唆された。Thailandの場合、輸出向け食料の生産に要する同国の灌漑用水取水量の86%（26.7 km^3）を占める米の輸出によって、同国の水ストレスが強められている可能性が示唆された。

キーワード：国際貿易、淡水資源需給バランス、食料需要、灌漑用水、水ストレス指標

1. はじめに

1.1 研究背景

人間の社会活動にとって不可欠な食料の生産には、淡水資源消費が必要となる。既往研究[1)]によると、世界全体の年間淡水資源消費量に占める農業用水消費量の割合は、2000年時点で70%（2,658 km^3）に達することが推計されている。したがって、世界全体の食料生産に対する淡水資源制約は無視できないと考えられ、食料生産に要する農業用水に焦点を当てて淡水資源必要量を評価することは重要である。

淡水資源は地域ごとに偏在しており、淡水資源単体の直接的な国際貿易も困難であると言われている[2)]。そのため、自国の食料需要量を賄えるだけの淡水資源を得られない地域では、淡水資源の豊富な地域からの食料輸入を通して、間接的に淡水資源を消費せざるを得なくなる。したがって、食料の国内生産によって直接消費される淡水資源量に加えて、食料貿易由来の仮想水移動量を考慮することが重要である。さらに、前述した淡水資源の地域偏在性によって、水資源の需給不均衡が顕在化しつつある。そのため、近年では、淡水資源必要量の評価に加えて、実際に利用可能な淡水資源量と淡水資源消費量を比較し、淡水資源需給バランスを評価することが注目されている。

1.2 淡水資源の評価手法

Hoekstra and Hung[3)]は、淡水資源消費量の評価手法として、ウォーター・フットプリント（water footprint; WF）と呼ばれる概念を提唱した。本来、製品やサービスが生産後その場ですぐに消費されることは少なく、ほとんどの場合、原料段階から加工段階、流通・販売段階を経て最終消費段階に至る。ここで、最終消費段階は、消費者による家庭や事業所等での製品やサービスの消費段階を指す。WFでは、製品やサービスに関わる淡水資源消費量をいくつかの段階に分けた後、各段階における淡水資源消費量を積み上げ方式で足し合わせ、その合計値により、各段階で消費された淡水資源量を評価する。Hoekstra et al.[4)]によると、WFでは淡水資源消費量を3種類（green water, blue water, grey water）に区別して評価する。同文献において、green waterは降水由来の淡水資源消費量と定義されており、地表水や地下水に直ちに還元されない、田畑や作物からの蒸発散量を表す。地表水・地下水に還元された淡水資源の一部は、水循環のプロセスを経て、地表水・地下水に由来する灌漑用水としてblue waterの形で消費される。また、grey waterは、仮に現行の水質環境基準まで汚濁負荷物質の希釈した場合に必要な淡水資源量を表す。

淡水資源は日常生活における飲料水や生活用水として以外に、農業用水や工業用水のような形で農業や工業などの経済活動にも利用される。特に、急速な国際化が進行する現代では、世界規模での製品やサービスの輸出入が頻繁に行われている。Allan[5)]は、製品やサービスの輸入の際に支払った対価により、これら輸入品自体の購入と合わせて、

それらの生産に消費された淡水資源量を購入したものと解釈できることを述べ、バーチャル・ウォーター（virtual water; VW）の概念を提唱した。上記の場合、輸入国はこれら輸入品を国内生産した場合に消費されるはずだった淡水資源量を輸出国との国際貿易によって節約したことになり、この分の淡水資源消費量を輸出国が負担し、輸入国は自国で節約できた淡水資源量と等価の淡水資源量を輸出国から間接的に消費したものと捉える[6]。なお、WFは生産国で製品やサービスを実際に生産した際に消費される「実際の淡水資源消費量」を表しているが、VWはそれらを輸入国において仮に生産した場合に消費されると考えられる「仮の淡水資源消費量」を表す[7]。どちらの指標も、製品やサービスの生産に伴って消費された淡水資源量を評価している点は共通している。

水ストレス指標は、淡水資源需給バランスを評価する指標として広く利用されており、これまでにいくつかの定義式が提案されている[8-11]が、いずれの指標も淡水資源供給可能量に対する淡水資源必要量の比として定義される。例えば、淡水賦存量に対する取水量の比[9-11]（withdrawal to water resources ratio; WWR）、90%流量（Q90）に対する淡水消費量の比[8, 9]（consumption to Q90 ratio; CQ90）、取水可能量に対する取水量の比[9, 11]（cumulative withdrawal to demand ratio; CWD）などが、水ストレス指標の代表例として挙げられる。CQ90では、淡水資源供給可能量として月ごとに乾燥状況下での河川流量（Q90）を推計するため、水ストレスの評価に対する季節性の考慮が可能となり、WWRと比較して水ストレスの閾値に対する物理的解釈が容易になると考えられている[8, 9]。CWDでは、取水可能量を淡水資源供給可能量として扱うことにより、季節ごとの取水量の変化に加えて、より現実に近い淡水資源の利用可能量に基づいて、水ストレスを評価できるようになると考えられている[9, 11]。CQ90とCWDの双方とも季節性を評価に反映できるため、気候変動等による将来の長期的な水ストレスの変化を見る場合は、WWRよりも信頼性の高い結果が得られると言われている[9, 11]。しかし、いずれも利用可能な統計データが限られているため、WWRと比較してデータ収集が困難であることが課題とされている[11]。一方、WWRでは、他の2つの指標に比べて、比較的容易に利用できる淡水消費量や淡水賦存量の統計データを用いて、水ストレスを評価できる[8, 11]。それにも関わらず、現状の水ストレス分布について、ある程度信頼性の高い結果が得られることが示されている[9]。これらの特徴は、WWRの利点であるといえる。

前述したように、評価対象の製品やサービス、あるいは評価範囲を決定すれば、WFを用いて淡水資源必要量を簡易に評価できる。さらに、WFの評価範囲の設定時に、製品・サービスごとに各国間の貿易収支を明確にすることで、輸入国（消費国）のVWを輸出国（生産国）のWFとして捉え直すことが可能となる。生産国で直接消費されたWFに加えて、当該生産国からの輸入により輸入国で間接消費されたVWについても当該生産国の淡水消費として計上し、両者の和をWWRの淡水資源必要量として用いることにより、当該生産国について、水ストレスに対する国際貿易の影響を簡易に評価できる。

1.3 研究目的

世界規模での淡水資源需給バランスの評価については数多く研究がなされている[8, 10, 11]。これらの研究では、農業用水・生活用水・工業用水を対象に、水ストレス指標を用いた淡水資源需給バランスの評価が行われており、社会経済変化や気候変動に関する将来シナリオに基づいて、水ストレスの将来推移が予測されている。そのため、主に水ストレスの将来予測に焦点が置かれており、食料貿易由来の仮想水移動がもたらす水ストレスへの影響については不明確である。一方、食料貿易由来の仮想水移動量の評価については、既往文献[12, 13]などで現状評価が行われているが、いずれも淡水資源必要量の評価のみに止まっている。

以上より、国別・食料品目別に、食料貿易由来の仮想水移動がもたらす水ストレスへの影響を評価した研究は少ないと考えられる。前述したように、国ごとに資源が偏在する現代において、地球規模での食料需給問題を緩和するためには、ある程度の食料貿易による仮想水移動は避けられない。淡水資源の観点から持続可能性を向上させていくためには、その第一歩として、現状の食料貿易がもたらす淡水資源への影響の定量評価が重要であると考える。そこで、本研究では、食料消費に焦点を当てた上で、食料の国内生産に要する直接消費水、および国際貿易由来の仮想水移動量について、国別・食料品目別に世界規模で推計した。次に、推計した食料消費に関わる淡水資源必要量を淡水資源供給可能量と比較し、淡水資源需給バランスを評価した。最後に、国際貿易由来の仮想水移動量が淡水資源需給バランスに及ぼす影響を、国別・食料品目別に評価した。

2. 研究手法

2.1 推計の流れ

本研究の推計フローの概要をFigure 1に図示する。まず、食料需給バランス式を用いて、一次生産レベルの食料需要量、および畜産物需要量を推計した（2.3.1節）。これらの食料需要推計値を国内生産と輸入に配分し、国内生産食料需要量と輸入食料需要量を推計した。また、各対象国の輸入食料需要量に対して、別途設定した輸入相手国別配分係数を乗じることにより、輸入相手国別輸入食料需要量を推計

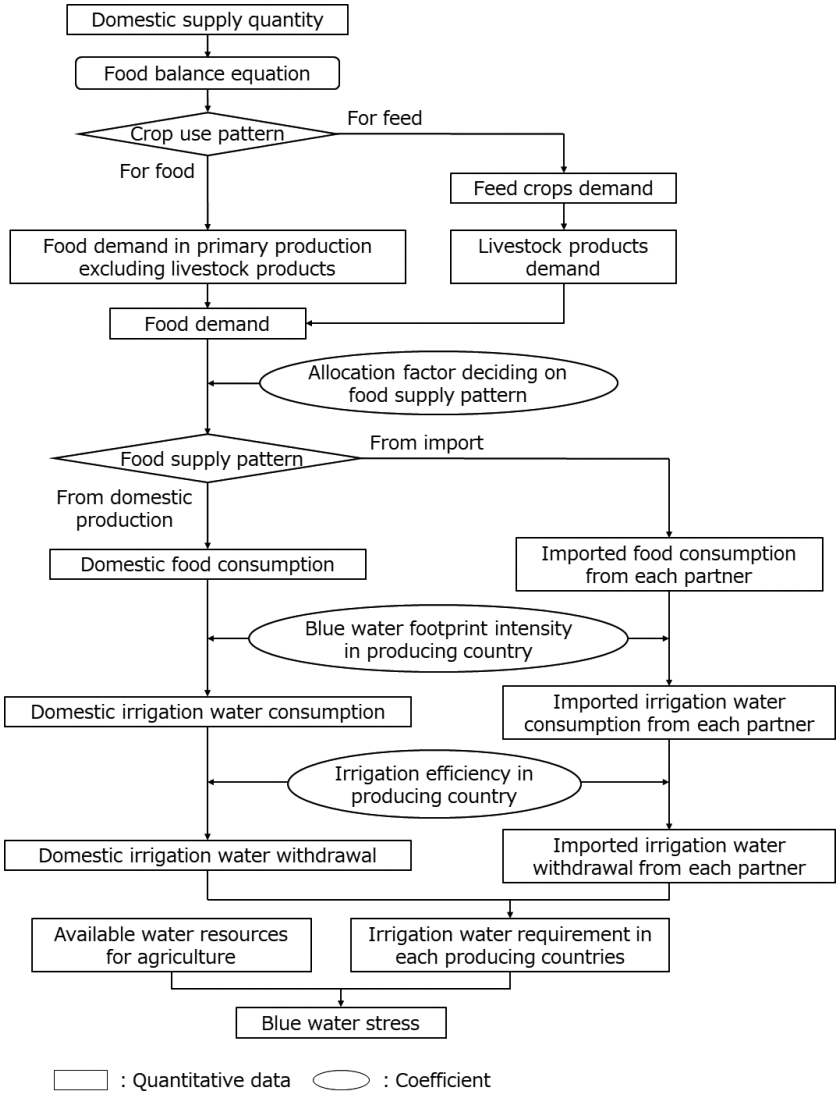


Figure 1　Schematic calculation flow in the evaluation of irrigation water supply-demand balances as blue water stress.

した（2.3.2節）。国内生産食料需要量と輸入食料需要量それぞれに生産国の淡水資源消費原単位を乗じることにより、消費量ベースで国内生産淡水資源必要量と輸入淡水資源必要量を推計した。さらに、各々を生産国の灌漑効率で除すことにより、消費量ベースから取水量ベースに換算した（2.3.3節）。各国の国内生産淡水資源必要量については当該国の淡水資源必要量、輸入相手国別輸入淡水資源必要量については輸入相手国の淡水資源必要量として集計することにより、生産国別に生産ベースの淡水資源必要量を推計した。別途推計した淡水資源供給可能量（2.3.4節）に対する淡水資源必要量の比により、水ストレス指標を定義し、各国の食料消費に関わる淡水資源需給バランスを評価した（2.3.5節）。

2.2　使用データと対象設定

本研究では、評価対象年を2010年に設定した。本研究の評価対象国は、国際連合食糧農業機関（Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO）のFAOSTATデータベースにおける食料需給表[14]（以下、FAO食料需給表）、および同データベースにおける貿易収支表[14]（以下、FAO貿易収支表）に記載の134ヶ国とした。また、本研究の評価対象品目は、FAO食料需給表に記載の96品目とした。

食料需要量の推計（2.3.1節）では、一次生産レベルの食料需要量および畜産物需要量を推計するための投入係数行列の作成において、国際貿易分析プロジェクト（Global Trade Analysis Project; GTAP）のデータベース[15]、畜産物の生産効率の仮定[16]、およびFAOの生産物樹形図の技術変換率[17]を用いた。

食料消費内訳の推計（2.3.2節）では、一次生産レベルの食料需要量および畜産物需要量の各々を国内生産と輸入に配分するための配分係数の設定において、FAO食料需給表[14]を用いた。また、各国の輸入食料需要量を輸入相手国別に配分するために、FAO貿易収支表[14]を用いて輸入

相手国別配分係数を設定した。ここで、輸入相手国別配分係数の設定のために用いた原料換算係数として、国土交通省の報告書[18]に記載された品目については、同文献の原料換算係数を使用した。また、同文献に記載されていない品目に関しては、文部科学省の日本食品標準成分表2010の統計データ[19]やUSDAの報告書に記載された文献値[20]を参考に、独自に原料換算係数を設定した。

淡水資源必要量の推計（2.3.3節）では、2.3.2節で推計した各国の国内生産食料需要量および輸入食料需要量の各々を消費ベースの淡水資源必要量に換算するために、ウォーター・フットプリント・ネットワーク（Water Footprint Network; WFN）が公表している国別・品目別の淡水資源消費原単位[21]（以下、WFN淡水資源消費原単位）を用いた。さらに、灌漑効率の文献値[22]を用いて、消費ベースの淡水資源必要量を取水ベースに換算した。

淡水資源供給可能量（2.3.4節）の推計では、FAOのAQUASTATデータベース[23]に記載された各国の淡水資源賦存量、農業用水取水量、総取水量の統計データを用いて、淡水資源供給可能量を設定した。

2.3 推計モデル

2.3.1 食料需要量の推計

本研究では、基準年における最終消費レベルの食料需要量データとして、FAO食料需給表[14]に記載された国内消費仕向け量の項目を用いた。最終消費レベルの食料需要量は、食事において直接消費される食料の量を表す。本研究では、食料消費に関わる淡水資源必要量の推計（2.4節）において、食用・飼料作物の栽培段階に要する灌漑用水消費、および生育段階の畜産物の直接消費水のみを評価対象とした。そこで、最終消費レベルの食料需要量から、中間投入による間接的な作物消費を含めた一次生産レベルの食料需要量を推計した。

FAO食料需給表において、国内消費仕向け量は、家畜飼料、食料、加工食品原料、種子用食料、廃棄物発生量、その他原料の6項目に振り分けられている。このうち、その他原料は、食品以外の加工品の原料として用いられる作物の消費量であるため、食料需要とは無関係である。そこで、既往文献[24]を参考に、その他原料を除いた国内消費仕向けベクトル$\boldsymbol{x}$（成分x_j）を次式（1）のようにおいて、食料需給バランス式を設定した。

$$\boldsymbol{x} = A\boldsymbol{x} + \boldsymbol{s} + \boldsymbol{w} + \boldsymbol{f} \quad (1)$$

ここで、A（成分a_{ij}）は家畜飼料および加工食品原料の投入係数行列、$\boldsymbol{s}$（成分s_j）は種子ベクトル、$\boldsymbol{w}$（成分w_j）は廃棄物ベクトル、$\boldsymbol{f}$（成分f_j）は食料の最終需要ベクトルを表す。また、添え字iは投入される品目、jは産出される品目を表し、いずれもFAO食料需給表に記載の96品目とした。

次に、種子係数を対角成分とする対角行列S、および廃棄物発生率を対角成分とする対角行列Wをそれぞれ設定した。種子係数は、国内消費仕向け量に占める種子用食料の割合とした。また、廃棄物発生率は、国内消費仕向け量に占める廃棄物発生量の割合とした。（1）式の種子ベクトル$\boldsymbol{s}$、および廃棄物ベクトル$\boldsymbol{w}$は、対角行列SとWを用いて、次式（2）と（3）のように表せる。

$$\boldsymbol{s} = S\boldsymbol{x} \quad (2)$$

$$\boldsymbol{w} = W\boldsymbol{x} \quad (3)$$

したがって、（1）式の食料需給バランス式から、国内消費仕向けベクトル$\boldsymbol{x}$は、

$$\boldsymbol{x} = (I - A - S - W)^{-1}\boldsymbol{f} \quad (4)$$

と表される。（4）式のIは単位行列を表す。同式の$\boldsymbol{f}$の各成分を最終消費レベルの食料需要量に置き換えることにより、一次生産レベルの食料需要量を推計した。ここで、家畜飼料に関しては、一次生産レベルの食料需要量から畜産物需要量に換算した。

なお、（4）式の投入係数行列Aについて、投入係数$a_{ij} = m_{ij} / q_j$は、畜産物または加工食品jの単位生産に必要な家畜飼料または加工食品原料iの投入量を表す。ここで、q_jは畜産物または加工食品の国内生産量を表し、FAO食料需給表における国内生産量の項目に相当する。m_{ij}はこれらの食品を生産するために原料として投入される家畜飼料または加工食品原料の投入量を表す。家畜飼料の投入配分については、国際貿易分析プロジェクト（Global Trade Analysis Project; GTAP）のデータベースにおける2007年基準の産業部門間の中間財取引財[15]、および畜産物の生産効率の仮定[16]より決定した。また、加工食品原料の投入配分については、GTAPにおける食料生産部門の中間財取引財[15]、およびFAOの生産物樹形図の技術変換率[17]より決定した。

2.3.2 食料消費内訳の推計

畜産飼料以外の一次生産レベルの食料需要量、および畜産物需要量（以下、食料需要推計値）では、食料需要が国内生産・輸入のいずれに由来するのか、その内訳は不明である。しかし、本研究では、各国間の国際貿易の影響を推計に反映させるため、食料需要に対する国内生産・輸入の内訳を考慮する必要がある。そこで、これらの食料消費内訳を推計に反映させるために、食料需要推計値に対して食料消費内訳の配分を試みた。

まず、FAO食料需給表[14]に記載された国内生産量、輸入量、在庫純減量の3項目を用いて、国内生産内訳係数、輸入内訳係数、在庫内訳係数をそれぞれ設定した。すなわち、国内生産量・輸入量・在庫純減量の合計値に対する国内生産量、輸入量、在庫純減量それぞれの寄与の割合を決

定した。各々の食料消費内訳係数を食料需要推計値に乗じることにより、基準年における、国内生産由来国内消費量、輸入由来国内消費量、および国内在庫量を推計した。さらに、本研究では、基準年の在庫の次年度への繰り越しが発生しない状況を想定した。そこで、在庫内訳係数に対して、国内生産量・輸入量の合計値に対する国内生産量、輸入量それぞれの寄与の割合を乗じることにより、国内生産由来在庫内訳係数および輸入由来在庫内訳係数を設定した。基準年の国内在庫量に対して、国内生産由来在庫内訳係数と輸入由来在庫内訳係数をそれぞれ乗じることにより、当該年の国内生産由来在庫量および輸入由来在庫量に配分した。最後に、国内生産由来国内消費量と国内生産由来在庫量の和、および輸入由来国内消費量と輸入由来在庫量の和をそれぞれとって、国内生産食料需要量および輸入食料需要量を推計した。なお、FAO食料需給表の国内生産量、輸入量、在庫純減量のデータは、いずれも2009－2011年の3年平均値を基準年値として用いた。

次に、国際貿易による食料生産地と食料消費地の乖離の関係性を評価に反映させるために、FAO貿易収支表[14]に記載された各国の品目別の貿易収支データを用いて、輸入食料需要量に対して可能な範囲で貿易収支の反映を試みた。すなわち、次式（5）により、輸入相手国別配分係数R_{klm}（対象国k、輸入相手国l、輸入品目m）を設定した。輸入相手国別配分係数は、各国の輸入に占める輸入相手国別の輸入依存率の割合を表す。

$$R_{klm}=\frac{C_m\cdot Imp_{klm}}{\sum_{l}^{N_l}\sum_{m}^{N_{m,j}}\left(C_m\cdot Imp_{klm}\right)} \quad (5)$$

ここで、Imp_{klm}はFAO貿易収支表の輸入量、C_mは原料換算係数、N_lは輸入国kの輸入相手国lの数、$N_{m,j}$は品目jに対応するFAO貿易収支表に記載された輸入品目mの数を表す。FAO貿易収支表の輸入量については、2009－2011年の3年平均値を基準年値として用いた。その際、輸入品目mはFAO貿易収支表に記載された品目のうち、食料品目に該当する319品目とし、FAO食料需給表に記載の96品目と対応させた。

なお、（5）式の原料換算係数C_mは、FAO貿易収支表に記載の食料品目を生鮮品当量に原料換算するための係数である。生鮮加工品、飲料品については、各食品に関する原料換算係数の文献値[18]を引用した。肉類・卵については、同文献に原料換算係数が記載されていなかったが、日本食品標準成分表2010[19]において、肉類単体と肉類加工品との間で摂取カロリー量にほとんど違いが見られなかったため、一律に1.00と設定した。乳製品については、各乳製品と生乳に関する乳脂肪分率の文献値[20]を用いて、各乳製品を生乳換算した。乾燥品については、各乾燥品とその生鮮原料品に関する水分率・可食部率等の統計データ[19]を用いて、各乾燥品の生鮮品原料に当量換算した。

最後に、（5）式で定義した輸入相手国別配分係数を輸入食料需要量に乗じることにより、輸入相手国別輸入食料需要量を推計した。

なお、本研究では、モデルを単純化するために、国際貿易の形態として、2国間での食料輸入が行われる状況を想定した。すなわち、輸入国から見た場合、輸入品目はすべて輸入相手国内で生産されるものと仮定した。ここで、国際貿易の形態として輸入を想定した理由は、輸入（すなわち消費）の観点から国際貿易を捉えることにより、輸出よりも比較的高い精度で、各国の食料供給の事情（食料自給の高い国かどうか、食料輸入依存国かどうかなど）を反映した推計が可能になると考えたためである。

2.3.3 淡水資源必要量の推計

本研究では、灌漑用水を評価対象とし、食料消費に関わる淡水資源必要量について、消費量ベースの淡水資源必要量を推計した。まず、2.3節で推計した国内生産食料需要量および輸入相手国別輸入食料需要量それぞれに対して、生産国における品目別のWFN淡水資源消費原単位[21]を乗じることにより、国内生産淡水資源消費量および輸入淡水資源消費量を推計した。WFN淡水資源消費原単位は、green water（降水由来の淡水資源消費量）、blue water（地表水・地下水由来の灌漑用水消費量）、grey water（汚濁負荷物質に対する希釈水量）の3種類のwater footprint（WF）から構成されており、生産国別・品目別に、単位生産量あたりの淡水資源消費量［m^3/ton］の10年平均値（1995－2005年）として与えられている。本研究では、灌漑用水を評価対象としているため、3種類のWFN淡水資源消費原単位のうち、blue waterのみを用いた。

ここで、本研究では、加工段階以降の淡水資源消費に関するデータが得られなかったため、食料品の原料作物の栽培段階に投入される淡水資源の直接消費量のみをWFの対象範囲とした。すなわち、農作物については、栽培段階で直接消費される淡水資源量のみを評価対象とした。また、畜産物については、飼料用作物の栽培段階、および家畜の飼育段階における淡水資源の直接消費量を評価対象とした。したがって、食用作物・飼料用作物の原料栽培時に使用される肥料・農薬・農業用具等の製造などにより上流部で消費される淡水資源量、および原料作物の加工段階から最終消費段階までの各過程における淡水資源消費量は、すべて評価対象外とした。

なお、輸入相手国別の貿易収支データが明確な134ヶ国のうち、WFN淡水資源消費原単位に記載されていない国に関しては、他国のWFN淡水資源消費原単位、または未

記載国に隣接する国のWFN淡水資源消費原単位を単純平均したもので代用した。また、水産物と蜂蜜に関しては、各々の生育過程がもたらす淡水資源消費量に対する影響は小さいと仮定し、淡水資源消費原単位を0と設定した。水産物に関しては、その餌の大部分を海藻や小魚などの水生動植物あるいはプランクトンが占めているため、餌の生産による灌漑用水消費の寄与はほとんどないものと見なした。また、蜂蜜についても、養蜂業の形態から考えてその生産に灌漑用水は消費されないものと見なした。

次に、国内生産淡水資源消費量および輸入淡水資源消費量をそれぞれ、生産国の灌漑効率で除することにより、消費量ベースから取水量ベースに換算して国内生産淡水資源必要量および輸入淡水資源必要量を推計した。ここで、灌漑効率のデータについては、文献値[22]を引用した。同文献では、世界を19地域・国に分類した上で、riceとnon-riceの2品目について、灌漑効率のデータが記載されている。本研究では、国別・品目別の詳細な灌漑効率のデータが得られなかったため、この文献に記載された地域分類と品目分類を本研究の対象国・対象品目と対応させて、灌漑効率を設定した。同文献では、Middle Africaについてのデータが欠如していたため、他の4地域のAfricaのデータを品目別に単純平均したもので代用した。ここで、畜産物については、その生育段階に要する飼料作物の栽培に灌漑効率が伴うものと考え、non-riceの灌漑効率を一律に適用した。

2.3.4 淡水資源供給可能量の推計

本研究では、輸入相手国別の貿易収支データが明確な134ヶ国のうち、AQUASTATデータベース[23]に記載の120ヶ国を評価対象として、基準年における生産国別の淡水資源供給可能量を推計した。l国における淡水資源供給可能量AWR_lは、農業に最大限利用可能な淡水資源量を表しており、次式（6）により定義した。

$$AWR_l = TRWR_l \cdot \frac{AWW_l}{TWW_l} \tag{6}$$

ここで、$TRWR_l$は淡水資源賦存量、AWW_lは農業用水取水量、TWW_lは総取水量を表し、いずれもAQUASTATデータベース[23]に記載された2008－2012年の5年平均値を基準年値として用いた。このうち、AWW_lおよびTWW_lについては、当該年のデータに欠如が見られる国が存在したため、その場合は当該年の前後で最も近い年度のデータを代用した。また、すべての年度においてTWW_lが0となる国については、淡水資源供給可能量の評価対象から除外した。

2.3.5 淡水資源需給バランスの推計

本研究では、2.5節で示した120ヶ国を対象に、水ストレス指標より食料消費に関わる淡水資源需給バランスを評価した。l国における水ストレスWSI_lは、次式（7）により定義した。

Table 1　Criteria of water stress index.

WSI Ranges	Degrees of Water Stress
WSI ＜ 0.2	Low Water Stress
0.2 ≦ WSI ＜ 0.4	Moderate Water Stress
0.4 ≦ WSI	High Water Stress

$$WSI_l = \frac{WR_l}{AWR_l} \tag{7}$$

ここで、WR_lは総淡水資源必要量を表す。なお、WR_lの推計において、各対象国の国内生産淡水資源必要量については当該国の淡水資源必要量、輸入相手国別輸入淡水資源必要量については輸入相手国の淡水資源必要量（以下、淡水資源貿易量）として集計した。

本研究では、Table 1に示した3段階の判断基準により、（7）式の水ストレスを評価した。同表の判断基準は、既往文献[25]を参考に設定した。同表おいて、Low Water Stressは低い水ストレス（$WSI < 0.2$）、Moderate Water Stressは中位の水ストレス（$0.2 \leq WSI < 0.4$）、High Water Stressは高い水ストレス（$0.4 \leq WSI$）を表す。なお、本研究では、水ストレスの判断基準において、環境流量は考慮していない。環境流量[26]は、流域生態系構造や河川基底流量の維持、およびそれらに関係する湿地帯の維持に必要とされる淡水資源量を指す。

3. 結果と考察

3.1 統計値との比較

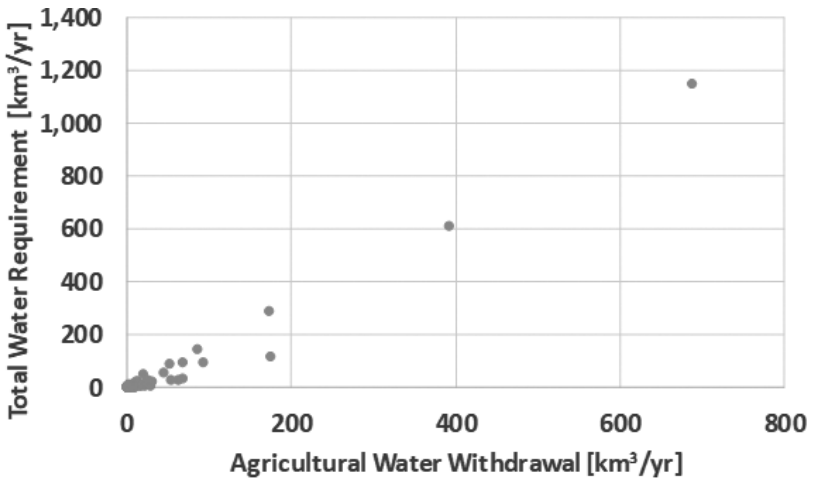
本研究の総淡水資源必要量について、その推計結果の妥当性を検証するために、総淡水資源必要量と農業用水取水量の実測値の間で、単回帰分析を行った。Table 2は回帰分析の検定結果を抜粋した表である。また、総淡水資源必要量に対して、農業用水取水量の実測値をプロットした散布図をFigure 2に示す。ここで、横軸の農業用水取水量の実測値として、AQUASTATデータベース[23]における各国の農業用水取水量［km^3/yr］の統計値を用いた。また、縦軸の総淡水資源必要量［km^3/yr］は、本研究で推計した国内生産淡水資源必要量および淡水資源貿易量を生産国ごとに合計した値である。

Figure 2より、散布図のプロットはほぼ対角線上に並んでいることが分かる。また、Table 2より、本研究の推計値は、有意水準1%で実測値と有意に整合していると判断される。以上のことから、本研究の総淡水資源必要量は、高い精度で基準年の淡水資源取水量を表現できているといえる。

Table 2　Implementation results of regression analysis: comparison between total water requirement and agricultural water withdrawal.

Parameter	Intercept	Partial Regression Coefficient
Correlation Coefficient (R)	0.9862	
Coefficient of Determination (R^2)	0.9725	
Adjusted R-Square	0.9723	
Significant F-Number	6.214×10^{-94}	
Parameter Value	−4.486	1.585
t-Value	−2.343	64.60
P-Value	0.02081	6.214×10^{-94}

Note: Total water requirement [km³/yr] means simulated irrigation water requirement (withdrawal base) in this study. Agricultural water withdrawal [km³/yr] is used as an observed value, which is referred to the AQUASTAT database.



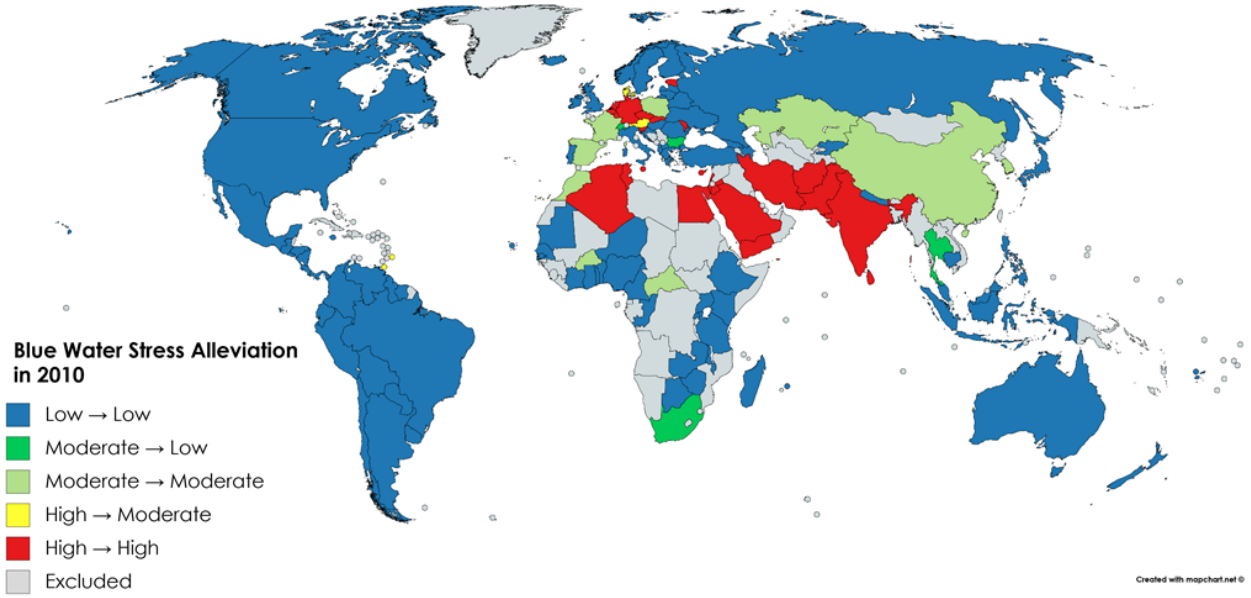
Note: As a scatter diagram, total water requirement and agricultural water withdrawal are put on vertical and horizontal axis, respectively. Total water requirement [km³/yr] means simulated irrigation water requirement (withdrawal base) in this study. Agricultural water withdrawal [km³/yr] is used as an observed value, which is referred to the AQUASTAT database.

Figure 2　Comparison between total water requirement and agricultural water withdrawal in all the targeted countries (134 countries).

ただし、本研究では、食用・飼料用作物の栽培段階に要する灌漑用水消費、および生育段階における家畜の直接消費水に限定して、総淡水資源必要量を推計した。そのため、本来であれば、これらの食料生産に要する淡水資源量の実測値と本研究の総淡水資源必要量を比較するべきであるが、本研究では該当する実測値データを得られなかった。そこで、淡水資源必要量の実測値として、AQUASTATデータベースにおける農業用水取水量の統計データを用いるものとした。しかし、AQUASTATデータベースの農業用水取水量は、食用・飼料作物および非食用作物の栽培に要する淡水資源取水量の総量を表すため、本研究の推計値が実測値と有意に整合していると判断された場合であっても、対象国によっては、本研究の総淡水資源必要量に過大評価を生じている可能性があることを注記しておく。

3.2　輸出の考慮有無による水ストレスの強度変化

本研究で推計した水ストレスの結果に基づいて、輸出の考慮有無による水ストレスの強度変化をFigure 3に示す。この図では、各国の国内生産淡水資源必要量と淡水資源貿易量（輸出食料生産に必要な淡水資源量）の合計値を（7）式の分子に適用して算出した水ストレス（以下、総食料生産由来の水ストレス）と、各国の国内生産淡水資源必要量のみを（7）式の分子に適用して算出した水ストレス（以下、国内生産由来の水ストレス）を比較し、前者と後者の間で水ストレスの強度に変化が現れたかどうかを評価している。Figure 3において、黄色領域および濃緑色領域は、総淡水資源必要量から淡水資源貿易量を除いた結果、水ストレスの強度が緩和された国を表す。また、水ストレス強度に属する国の割合と人口分布について、淡水資源貿易量を含めた場合の結果をTable 3、淡水資源貿易量を除外した場合の結果をTable 4に示す。



Note: Arrow's left label expresses the degrees of blue water stress including exported irrigation water requirement in simulated irrigation water requirement. Arrow's right label is that excluding exported irrigation water requirement.

Figure 3　Alleviation effect caused by excluding export on blue water stress.

Table 3　Comparison of global blue water stress by three indicators including export.

Degree of Water Stress	Number of Countries	Population Rate	Population
Unit	–	%	billion
Low Water Stress	79	41	2.6
Moderate Water Stress	13	28	1.8
High Water Stress	28	30	1.9

Note: Three indicators are as follows: the number of countries, population rate [percent] and population [billion]. Those are including exported irrigation water requirement in simulated irrigation water requirement. Population rate is calculated as the ratio of regional population classified by the degrees of water stress to the world population.

Table 4　Comparison of global blue water stress by three indicators excluding export.

Degree of Water Stress	Number of Countries	Population Rate	Population
Unit	–	%	billion
Low Water Stress	83	43	2.7
Moderate Water Stress	13	26	1.7
High Water Stress	24	30	1.9

Note: Three indicators are as follows: the number of countries, population rate [percent] and population [billion]. Those are excluding exported irrigation water requirement from simulated irrigation water requirement. Population rate is calculated as the ratio of regional population classified by the degrees of water stress to the world population.

Figure 3より、総食料生産由来の水ストレスを見た場合、41ヶ国において、食料生産に伴って高い水ストレス（28ヶ国）または中位の水ストレス（13ヶ国）が発生している可能性が示唆された。この結果は、全対象国の人口のうちの30%（19億人）と28%（18億人）に相当することが分かる。さらに、Figure 3において、国内生産由来の水ストレス結果を見ると、上記41ヶ国のうち、8ヶ国において、輸出由来の淡水資源消費を除くことで、水ストレスの強度が緩和されたことが分かる。すなわち、これら8ヶ国では、他国への食料輸出によって、当該国の水ストレスが強められている可能性が示唆された。ここで、Table 3とTable 4を見比べると、淡水資源貿易量を除外することに

より、高い水ストレスの国が4ヶ国減少し、低い水ストレスの国が4ヶ国増加したことが分かる。両表を見比べた場合、中位の水ストレスの国に変化が起こっていないように見えるが、これは淡水資源貿易量を除外することにより、高い水ストレスの国が中位の水ストレスに遷移したと同時に、中位の水ストレスからも4ヶ国が低いストレスに遷移したことを表している。

ただし、本研究では、淡水資源貿易量の推計において2国間貿易の仮定を想定したため、輸出食料の生産に要する淡水資源量は、すべて輸出国内で生産されている評価モデルとなっている。実際には、加工貿易等により、他国から輸入した原料・飼料作物を用いて生産した食料を他国に輸出している場合が考えられる。本研究の評価モデルでは、ある国が他国への食料輸出のために輸入した原料作物・飼料作物の生産に要する淡水資源量についても、当該輸出国が負担することになっているため、当該輸出国における輸出食料の生産に要する淡水資源量に過大評価を生じている可能性がある。その結果、当該輸出国の水ストレスに関して、過大評価を生じている可能性があることを注記しておく。

3.3 既往文献との水ストレスの比較

本研究では、Table 3に示した総食料生産由来の水ストレスの推計結果の妥当性検討として、総取水量に由来する水ストレス（以下、総取水量由来の水ストレス）を別途推計し、この推計値を既往研究の結果と比較した。総取水由来の水ストレスで見た場合、17ヶ国（18億人）が高い水ストレス、14ヶ国（19億人）が中位の水ストレス、89ヶ国（27億人）が低い水ストレスに属している結果となった。若干の差が認められるものの、本研究の総取水由来の水ストレスの結果は、既往文献[10]において提示されている水ストレスの結果（高い水ストレス：4～26億人、中位の水ストレス：4～15億人、低い水ストレス：17～44億人）とほぼ整合している。ここで、両者の比較結果に差が見られた理由としては、本研究と既往研究の間での推計手法の差異によるものであり、この結果は両研究の不確実性の幅を表していると考えられる。以上のことから、本研究における総取水量由来の水ストレスの結果は、ある程度の妥当性を有していると考えられる。既往文献[1]より、世界全体の総取水量に占める農業用水取水量の割合は約70%を占めると言われていることから、総食料生産由来の水ストレスについても、ある程度の妥当性を有すると判断した。しかし、厳密には総取水量と農業用水取水量との間に差異が存在するため、総食料生産由来の水ストレスの結果についての妥当性の厳密な比較評価は、本研究における今後の課題である。

次に、総取水由来の水ストレスに関する国別の傾向について、既往研究の結果と比較した。既往文献[9]では、1.2節で例示した、WWR、CWD、CQ90の3種類の水ストレス指標それぞれについて、世界全体の水ストレスの強度分布が提示されている。同文献における各指標の水ストレス強度の分布図によると、アメリカ中西部、北部アフリカ、地中海沿岸地域、中東・西アジア、南アジア、および中国北東部において、中位または高い水ストレスが発生している。この傾向は、本研究における総取水量由来の水ストレスの傾向とほぼ整合している。この点からも、本研究における総取水量由来の水ストレスの結果は、ある程度の妥当性を有していると考えられる。

Table 5は、本研究における総取水由来の水ストレス、総食料生産由来の水ストレス、および国内生産由来の水ストレスについて、各々の水ストレスの強度を比較した表である。同表によると、Barbados、Bulgaria、South Africa、およびThailandの4ヶ国では、総取水由来の水ストレスと総食料生産由来の水ストレスの間で水ストレスの強度に変化が現れておらず、国内生産由来の水ストレスのみに変化が認められる。すなわち、これら4ヶ国では、水ストレス

Table 5　Comparison of the degrees of blue water stress by three indicators in selected eight countries.

Country Name	Degrees of Water Stress (All Sectors)	Degrees of Water Stress (Agricultural Sector including Export)	Degrees of Water Stress (Agricultural Sector excluding Export)
Austria	Low	High	Moderate
Barbados	High	High	Moderate
Bulgaria	Moderate	Moderate	Low
Denmark	Moderate	High	Moderate
South Africa	Moderate	Moderate	Low
Switzerland	Low	Moderate	Low
Thailand	Moderate	Moderate	Low
Trinidad and Tobago	Low	High	Moderate

Note: Three indicators are as follows: water stress index in All Sectors, Agricultural Sector including or excluding Export. "All Sectors" consists of the agricultural, domestic and industrial sector. "Agricultural Sector including Export" is calculated by including exported irrigation water requirement. "Agricultural Sector excluding Export" is calculated by that without exported.

の緩和に対する淡水資源貿易量の削減効果が大きいことが期待される。一方、Austria、Denmark、Switzerland、およびTrinidad and Tobagoの4ヶ国では、総取水由来の水ストレスよりも総食料生産由来の水ストレスが高くなっている。すなわち、これら4ヶ国では、全部門で見た場合と比べて、農業部門のみに由来する水ストレスの方が相対的に高いことが分かる。さらに、総食料生産由来の水ストレスと国内生産由来の水ストレスを比較すると、後者の水ストレスの強度が相対的に低くなっている。以上より、これら4ヶ国では、農業部門の淡水消費が水ストレスを強める主因となっている可能性が高く、かつ、水ストレスの緩和に対する淡水資源貿易量の低減効果も大きいことが期待される。よって、これら4ヶ国では、水ストレスの緩和に対する農業用水消費の低減が、特に有効であることが期待される。

3.4 水ストレスに対する国際貿易の影響

Table 6は淡水資源貿易量によって水ストレスが強められている可能性のある8ヶ国について、国内生産淡水資源量、淡水資源貿易量（輸出食料生産に必要な淡水資源量）、淡水資源供給可能量、および水ストレスの値をまとめた表である。同表より、Denmarkでは、淡水資源貿易量が国内生産淡水資源必要量を大きく上回っており、総淡水資源必要量の7割以上を淡水資源貿易量が占める結果となった。また、Austria、Bulgaria、Switzerlandの3ヶ国では、国内生産淡水資源必要量と淡水資源貿易量が同程度の大きさを示している。残りの4ヶ国については、総淡水資源必要量に占める淡水資源貿易量の割合が2～3割程度に止まっているものの、3.2節のFigure 3で見たように、国内生産淡水資源必要量に淡水資源貿易量が加わることにより、これら4ヶ国の水ストレスの強度をより強める結果となった。この結果から国内生産淡水資源必要量と比較して淡水資源貿易量の大きさが小さく見えるような場合であっても、対象国によっては、そのわずかな淡水資源貿易量が水ストレスを強める恐れがあることが示唆された。したがって、水ストレスに対する淡水資源貿易量の影響は、必ずしも無視できるものではないということがいえる。

次に、どのような国への輸出、あるいはどのような食料品目の輸出によって、上記8ヶ国の水ストレスが強められているか、その定量評価を試みた。Figure 4は、これら8ヶ国の淡水資源貿易量の輸出先別シェアを示したものである。同図より、これら8ヶ国のうち、ほとんどの国では、近隣諸国との国際貿易が盛んに行われていることが分かる。例えば、Austria、Bulgaria、およびDenmarkの3ヶ国については、ヨーロッパ連合（European Union; EU）との国際貿易の比重が最も高くなっている。同様に、South Africa、Trinidad and Tobagoではそれぞれ、Africa、Central America and Caribbeanとの国際貿易が盛んであること分かる。以上の結果から、これら5ヶ国では、近隣諸国との国際貿易により、水ストレスが強められている可能性がある。一方、BarbadosではEU諸国、SwitzerlandではAfricaと国際貿易が盛んに行われている。この結果から、国によっては、必ずしも近隣諸国との国際貿易の比重が高くなる訳ではなく、ある程度遠方の諸国との国際貿易によっても、水ストレスが強められる可能性が考えられる。したがって、水ストレスに対する国際貿易の影響を評価する際は、世界全体で貿易収支を評価することが重要であるといえる。

Table 6　Evaluation of irrigation water requirement, available water resources (respectively, million m^3/yr) and blue water stress in the agricultural sector in selected eight countries.

Country Name	Domestic WW	Export WW	AWR	WSI (including Export)	WSI (excluding Export)
Unit	million m^3/yr	million m^3/yr	million m^3/yr	–	–
Austria	381	403	1,715	0.46	0.22
Barbados	20	8	54	0.53	0.38
Bulgaria	351	334	2,402	0.29	0.15
Denmark	320	1,036	1,509	0.90	0.21
South Africa	6,168	1,830	32,102	0.25	0.19
Switzerland	566	419	4,272	0.23	0.13
Thailand	60,151	31,105	396,382	0.23	0.15
Trinidad and Tobago	64	16	167	0.48	0.38

Note: WW, AWR and WSI are short for water withdrawal, available water resources and water stress index, respectively. "Domestic WW" and "Export WW" are calculated as the irrigation water requirement caused by domestic food production and food exportation, respectively. "WSI including Export" is evaluated by dividing the sum of Domestic WW and Exported WW by AWR. In the evaluation of "WSI excluding Export", AWR and Exported WW are used as the denominator and numerator of WSI, respectively.

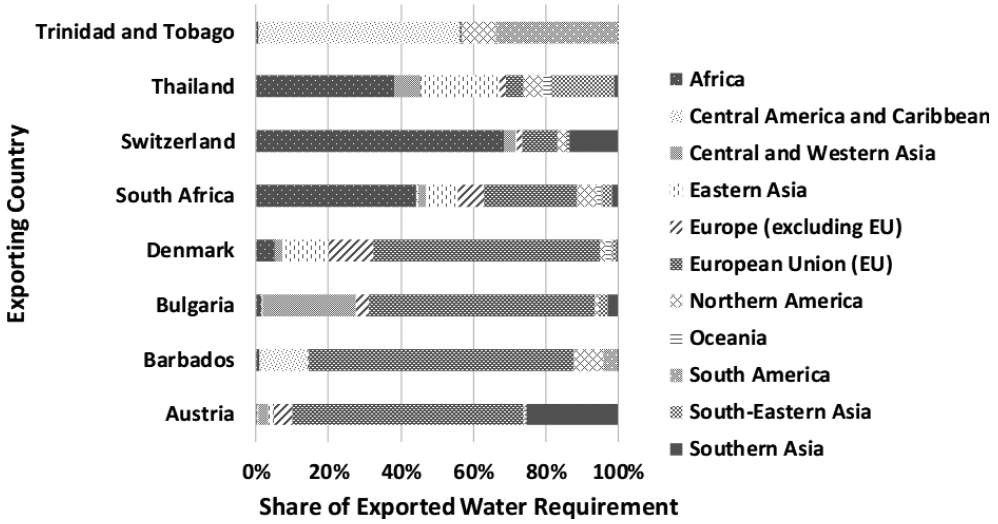


Figure 4　Exported region's share of exported irrigation water requirement derived from eight exporting countries [percent].

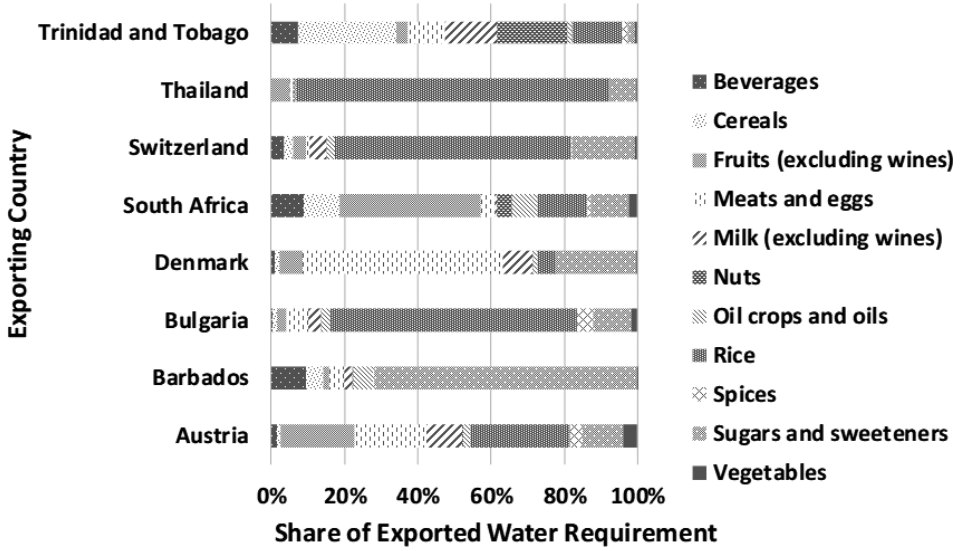


Figure 5　Exported item's share of exported irrigation water requirement derived from eight exporting countries [percent].

次に、上記の8ヶ国について、各国の淡水資源貿易量の輸出品目別シェアをFigure 5に示す。同図より、淡水資源貿易量に占める食料品目の種類に、各国間で差異が見られることが分かる。例えば、Bulgaria、Switzerland、Thailandの3ヶ国では、輸出食料の6～8割（淡水資源量として、225×10^6 m^3、270×10^6 m^3、26.7 km^3）をriceが占めており、この品目の輸出が3ヶ国の水ストレスを強めている可能性がある。これに対して、Barbadosではsugars and sweetenersが輸出食料の71%（6.08×10^6 m^3）を占めており、これが同国の水ストレスを強めている可能性がある。また、Denmarkでは輸出食料の55%（56×10^6 m^3）をmeats and eggsが占めている。South Africaでは輸出食料の39%（706×10^6 m^3）をfruitsが占めている。両国では、各々の品目の輸出が今後、水ストレスを強める可能性がある。以上の結果は、国ごとに水ストレスを強めている食料品目に差異が存在することを示唆している。一方で、上記以外の3ヶ国では、複数の食料品目について、淡水資源貿易量に占める割合が同程度となっている。そのため、これら3ヶ国では、水ストレスを強める可能性のある食料品目を直ちに特定することは困難であるが、それらの品目の輸出が合わさることにより、水ストレスが強められている可能性は否定できない。以上の結果より、水ストレスに対する国際貿易の影響を評価する際には、ある程度、対象品目の種類の幅を広げることが重要であるといえる。

ここで、上記8ヶ国の淡水資源貿易量の値を比較すると、Thailandが突出して高くなっていることが分かる。Thailandでは現在、地下水位の低下により、地下水の塩化

による水質悪化や地盤沈下が問題とされている[27]。ここで、同国の部門別の地下水利用量の内訳を見ると、2003年時点で、全地下水利用量（175.55×10^6 m^3）に占める工業用水と生活用水の割合が各々、60.8%、38.6%であり、農業用水の0.2%に比べると突出して高い[27]。このため、同国では現在、種々の規制的手法や経済的手法により、工業用水や生活用水としての地下水利用の抑制に努めている。加えて、工業用水や生活用水を確保する手段として、水道管の整備、海水淡水化、排水の再生利用技術の導入も進められている。一方、農業に関しては、同国内の農業従事者を完全に把握できていない状況にあるため、現在は地下水利用に規制がかけられておらず、地下水利用の代替手段も議論されていない[27]。同国では今後、最大で7,647万人まで人口が増加することが予測されており[28]、食料生産の拡大に伴う将来的な淡水資源消費量の増加が予想される。また、Figure 5を見ても分かるように、同国は主要な米の輸出国でもある。以上のことから、同国では将来的に農業用水を賄えなくなる恐れがあるため、現状の農業用水消費を低減させて水ストレスを緩和することが必要になると考えられる。しかし、水ストレスを緩和する手段として、同国からの米の禁輸を導入することは、現実には不可能であるように思われる。このような状況において、同国の農業用水消費を低減させるためには、米の品種改良や灌漑効率向上のための技術の支援が最も有効であると考える。

また、世界的に見ても、淡水賦存量が乏しい国では、先進国、途上国を問わず、自国で消費する淡水資源の安定確保を目的に、海水淡水化や排水の再生利用技術の導入、あるいは水取引制度による水市場の導入など、自国の淡水自給率を高める政策に主眼が置かれる傾向にある[29]。よって、現在のところ、国際貿易による間接的な淡水消費に対する政策は、世界全体でもほとんど導入されていないように思われる。しかし、輸出によって水ストレスが高められているとはいえ、これに該当する国の輸出品に対して、禁輸などを通して輸出量の規制をかけることは現実的ではない。比較優位性などの地理的・経済的要因が淡水資源制約と合わさることにより、最終的な輸出量が決定されている可能性を否定できないためである。よって、世界全体で水ストレスを緩和させるためには、品種改良や灌漑効率向上のための技術の導入が最も有効であると考える。そのためには、輸出により水ストレスが強まっている国を特定し、該当国に対してこれらの技術の導入を促進することが必要である。

最後に、上記の8ヶ国について、淡水資源貿易量の輸出先別・輸出品目別のシェアを合わせた評価を試みた。Figure 6は、輸出に占めるriceの割合が特に高い値を示したBulgaria、Switzerland、およびThailandの3ヶ国について、その輸出先別のシェアを示した図である。同図より、Switzerlandでは Africa向けの輸出が99%（267×10^6 m^3）を占めており、これが同国の水ストレスを強めている可能性がある。また、本論文では、推計結果の図表を記載していないが、Barbadosでは、sugars and sweetenersのEU諸国向け輸出がほぼ100%（6.07×10^6 m^3）を占めており、これが同国の水ストレスを強めている可能性がある。

例えば、Bulgariaについて見ると、本研究の推計では、

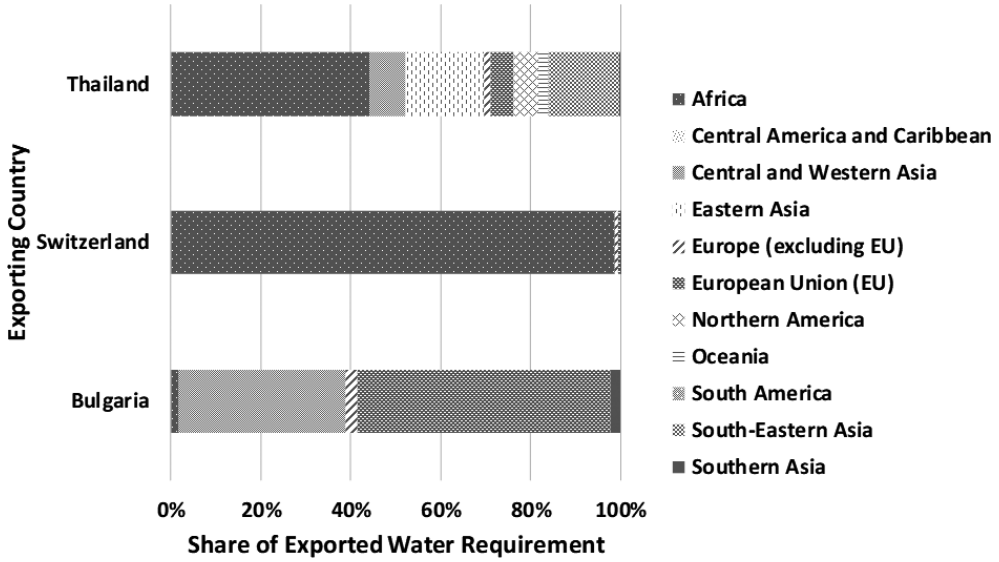


Figure 6　Exported region's share of exported irrigation water requirement derived from three prominent exporting countries in terms of rice exportation [percent].

米の国内生産量と輸入量がそれぞれ、13.2千トン、9.54千トン、輸出量は20.5千トンとなっている。Figure 6におけるBulgariaの米の淡水資源貿易量は、上記の米の輸出量を取水量ベースの淡水資源必要量に換算したものである。本研究では、米の灌漑効率を低く設定したため、米の輸出量を淡水資源必要量に換算する過程において、同国の米の淡水資源貿易量が高くなったと考えられる。輸出量の値が国内生産量と輸入量それぞれの値を上回っていることから、同国では、国内生産された米に輸入米が加わることにより、米の輸出が賄われている可能性が示唆される。

一方、Switzerlandについて見ると、本研究の推計では、基準年における同国の米の国内生産量は0となっており、同国内では米を全く生産していないことが分かる。実際、本研究の推計によると、同国の米の輸入量が38.4千トン、輸出量は32.7千トンとなっていることから、同国では、自国内で消費される米の供給のすべてを国外からの輸入に依存している現状にあり、輸出用の米についても輸入ですべて賄われていることが分かる。それにも関わらず、Figure 6では、同国の淡水資源貿易量に占める米の割合が突出して高くなっており、輸出向けの米を自国で国内生産している結果となっている。このような矛盾は、輸出食料はすべて輸出国内で生産されるという仮定（2国間貿易の仮定）により、同国からの輸出量に過大評価を生じて発生したと考えられる。したがって、現状の評価モデルでは、Switzerlandの米の需給バランスを正確に表現できていないといえる。評価モデルにおける国際貿易の取り扱いは、本研究における今後の課題である。

4. おわりに

本研究では、食料消費に焦点を当てた上で、国内生産淡水資源必要量および淡水資源貿易量について、国別・品目別に世界規模で推計した。次に、推計した総淡水資源必要量を淡水資源供給可能量と比較し、水ストレス指標を用いて淡水資源需給バランスを評価した。最後に、淡水資源貿易量が及ぼす水ストレスへの影響を評価した。その結果、2010年時点では、41ヶ国が高いストレス（28ヶ国、19億人）または中位のストレス（13ヶ国、18億人）に直面している可能性が示唆された。このうち8ヶ国では、他国への食料輸出により水ストレスが強まっている可能性が示唆された。Thailandの場合、輸出向け食料の生産に要する同国の灌漑用水取水量の86%（26.7 km^3）を占める米の輸出によって、同国の水ストレスが強められている可能性が示唆された。同国のように、淡水資源貿易量を除外することで水ストレスが緩和された国では、水ストレスの改善に対する淡水資源貿易量の削減効果が大きいことが期待される。しかし、現在のところ、国際貿易による間接的な淡水消費に対する政策は、世界全体でほとんど導入されておらず、むしろ自国で消費する淡水資源の安定確保を目的に、自国の淡水自給率を高める政策に主眼が置かれる傾向にある。そこで、同国の水ストレスを緩和するためには、品種改良や灌漑効率向上のための技術の導入により、栽培段階における淡水消費の効率を高めることが最も有効であると考える。本研究で得られた知見は、水ストレスの緩和に向けて、淡水消費の効率化のための技術を優先的に導入するべき国を特定する判断指標の1つになると考える。本研究により、地球規模での食料需給問題に関して、淡水資源の観点から持続可能性を向上させていくための第一歩となる重要な知見を提示できると考える。

本研究では、国際貿易の取り扱いとして、2国間での食料輸入を想定しており、輸入国から見た場合、輸入品目はすべて輸入相手国内で生産されると仮定した。実際には、ある国が他国へ輸出する食料の生産において、当該輸出国が他国から輸入した原料・飼料作物を使用している場合が考えられるため、2国間貿易の仮定の下では、当該輸出国の淡水資源貿易量に過大評価を生じている可能性がある。また、本研究では、大まかな分類に従って、灌漑効率を設定した。そのため、一部の対象国では、設定した灌漑効率に過大評価を生じている可能性がある。さらに、本研究の推計値に対する実測値・文献値との比較についても、課題が残る結果となった。これらの問題点の改善は、本研究の今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費（S-11）の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

（平成29年6月26日受付、平成29年11月13日採択）

参照文献

1) Shen Y., Oki T., Utsumi N., Kanae S., Hanasaki N. (2008): Hydrological Sciences Journal Science, 53 (1), 11-33
2) Hoekstra Y. A. (2003): Virtual water: An introduction, Value of Water Research Report Series, No.12, UNESCO-IHE, Delft, NLD, 13-23
3) Hoekstra Y. A., Hung. Q. P. (2002): Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Value of Water Research Report Series, No.11, UNESCO-IHE, Delft, NLD, 1-66
4) Hoekstra Y. A., Chapagain K. A., Aldaya M. M.,

Mekonnen M. M. (2011): The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard, Earthscan, London, GBR, Washington DC, USA, 228pp.

5) Allan T. (1993): Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydropolitical futures would be impossible, Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management, ODA, London, GBR, 13-26

6) Oki T., Kanae S. (2004): Water Science and Technology, 49 (7), 203-209

7) 小野雄也, 堀口健, 伊坪徳宏 (2013): 日本LCA学会誌, 9 (2), 108-115

8) Alcamo A., Flörke M., Märker M. (2007): Hydrological Sciences Journal, 52 (2), 247-275

9) Hanasaki N., Kanae S., Oki T., Masuda K., Motoya K., Shirakawa N., Shen Y., Tanaka K. (2008): Hydrology and Earth System Sciences, 12 (4), 1027-1037

10) Wada Y., van Beek H. P. L., Viviroli D., Dürr H. H., Weingartner R., Bierkens P. F. M. (2011): Water Resources Research, 47 (7), 1-17

11) Hanasaki N., Fujimori S., Yamamoto T., Yoshikawa S., Masaki Y., Hijioka Y., Kainuma M., Kanamori Y., Masui T., Takahashi K., Kanae S. (2013): Hydrology and Earth System Sciences, 17 (7), 2393-2413

12) Yang H., Wang L., Abbaspour C. Y., Zehnder B. J. A. (2006): Hydrology and Earth System Science, 10 (3), 443-454

13) Mekonnen M. M., Hoekstra Y. A. (2011): National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption-Volume 1: Main Report, Value of Water Research Report Series, No.50, UNESCO-IHE, Delft, NLD, 1-50

14) FAO, FAOSTAT, FAOホームページ, 入手先 <http://www.fao.org/faostat/en/#data>, (参照 2015-12-11)

15) Narayanan G. B., Agular A., McDougall R., Eds. (2012): Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, GTAPホームページ, 入手先 <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/>, (参照 2017-6-25)

16) Speedy W. A., Overview of world feed protein needs and supply, Animal Production and Health Division, FAO Expert Consultation and Workshop on Protein Sources for the Animal Feed Industry, Apr 29 -May 3, FAOホームページ, 入手先 <http://www.fao.org/docrep/007/y5019e/y5019e05.htm>, (参照 2017-6-25)

17) FAO, Technical Conversion Factors for Agricultural Commodities, 1-782

18) 国土交通省国土計画局 (2003): 自然界の物質循環への負荷の少ない社会を目指した資源消費水準のあり方検討調査報告書, 参考3-1-参考3-11

19) 文部科学省, 資源調査分科会報告「日本食品標準成分表2010」について, 文部科学省ホームページ, 入手先 <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/houkoku/1298713.htm>, (参照 2015-10-13)

20) USDA (1992): Weights, Measures, and Conversion Factors for Agricultural Commodities and Their Products, Agricultural Handbook, No.697, Economic Research Service, USA, 1-77

21) Mekonnen M. M., Hoekstra Y. A. (2011): National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption – Volume 2: Appendices, Value of Water Research Report Series, No.50, UNESCO-IHE, Delft, NLD, 1-94

22) Döll P., Siebert S. (2002): Water Resources Research, 38 (4), 8-1-8-10

23) FAO, AQUASTAT, FAOホームページ, 入手先 <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>, (参照 2017-6-19)

24) 棟居洋介, 増井利彦 (2008): 環境科学会誌, 21(1), 63-88

25) Smakhtin V., Revenga C., Döll P. (2004): Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments, Comprehensive Assessment Research Report 2, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, IWMI, Colombo, Sri Lanka, 1-32

26) Acreman M., Dunbar J. M. (2004): Hydrology and Earth System Sciences, 8 (5), 861-876

27) Institute for Global Environmental Strategies (2006): Sustainable groundwater management in Asian cities: A final report of research on sustainable water management policy, 26-43

28) IIASA, SSP Database (Shared Socioeconomic Pathways) – Version 1.1, IIASAホームページ, 入手先 <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>, (参照 2017-3-17)

29) 小寺正一 (2010): レファレンス, 60 (6), 国立国会図書館調査及び立法考査局, 73-97

Journal of Life Cycle Assessment, Japan

[Research Article]

Assessment for the Impact of International Trade on the Global Water Supply-Demand Balance Focusing on Food Consumption

Yohei YAMAGUCHI[1,*], Kento TAMURA[1], Naoki YOSHIKAWA[2], Koji AMANO[2] and Seiji HASHIMOTO[2]

1 Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University;
2 College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

*Corresponding author: rv0023hs@ed.ritsumei.ac.jp

Synopsis: This study aims to evaluate the impact of international trade on global water supply-demand balance, focusing on irrigation water requirements derived from food consumption. In this study, the water supply-demand balance is estimated by using the water stress index. The concept of a water footprint is applied to evaluate indirect water consumption caused by importing food, along with direct water consumption derived from domestic food production. Irrigation efficiency is used to convert water consumption into water withdrawal. The amount of available water resources is defined as a restriction on the maximum water availability for agriculture, which does not mean all the renewable water resources used in the agricultural sector. In 2010, 41 countries were found to be under high or moderate water stress, those are equivalent to 30% (1.9 billion) and 28% (1.8 billion) of the world population, respectively. In addition, water stress of the 8 countries in these 41 countries should be caused by food exportation. For example, in Thailand, water stress should be caused by exporting rice, which is accounted for 86% (26.7 km^3) of its irrigation water withdrawal originated from food production for export.

Keywords: International trade; water supply-demand balance; food demand; irrigation water; water stress index

功績賞受賞講演

廃棄物資源循環分野における産業連関分析

Input-Output Analysis of Material Cycles and Waste Management

○近藤康之*1)

Yasushi Kondo

1)　早稲田大学

* ykondo@waseda.jp

1. はじめに

本報告では、日本LCA学会賞（功績賞）の受賞にあたり、筆者のこれまでの廃棄物資源循環分野における産業連関分析の研究を振り返るとともに、最近の研究を紹介したい。

2. 廃棄物産業連関

廃棄物産業連関（WIO）[1,2]の基本的な勘定体系と分析モデルは、1999年頃までに早稲田大学の中村愼一郎氏により開発されたものである[3,4]。筆者は1999年頃にWIOの研究開発に参画し、WIOの拡張と応用に関する研究に中村氏らと共同で取り組んできた。得られた成果には、家電リサイクルの評価[5]、ライフサイクル費用の分析[6,7]、物質フロー分析[8,9]、動的物質フロー分析[10,11]などがある。最近は、WIOとMaTrace alloy[11]を統合した動的WIO（dWIO）の開発に取り組んでいる[12]。

学生時代に経済学に加えて数理計画について訓練を受ける機会に恵まれたこともあって、廃棄物資源循環分野における産業連関分析に対して、とくに数理モデルの開発と線形計画法等の応用により貢献することができた[13–15]。UPIOMの論文[9]では、産業間物質フローをあらわす図として、ヒートマップ（図1）を用いた。同図における産業部門の順序は、産業連関表の三角化の手法[16]を応用して決定した。産業間フロー構造の可視化と比較分析のために独自に開発した三角化手法[14]は、複数の物質のUPIOMをヒートマップとして可視化するための産業部門の順序として、物質ごとに異なる「最適な」順序を採用する可能性を検討する過程で着想したものである。

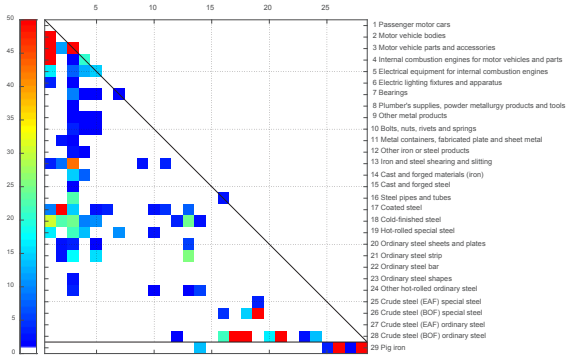


図1　乗用車1台を達成する銑鉄のUPIOM（文献[9]、Fig. 3）

（単位：kg）許可を得て掲載。Copyright (2011) American Chemical Society

LCAやフットプリント分析を含む産業エコロジー分野の研究と実務に、産業連関分析が広く用いられるようになった。2000年頃には、商品・サービスの部門間フローを金額で把握することに対する否定的意見も少なくなかったことを考えると、この20年のあいだに起きた変化は非常に大きいものであると言える。利用者が増えたことにより、質の高いデータベース整備と分析手法開発の必要性はますます高まっている。このような問題意識から、最近は第2節で紹介するデータベース構築と応用、第3節で紹介する手法開発に関する研究を行っている。

2. 地域資源循環に向けて

環境研究総合推進費の研究課題（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、WIOを応用した自治体レベルの物質循環分析を行っている。環境政策の観点から動機付けられた研究であるが、データベース構築のための手法開発に特徴がある。

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、廃棄物処理等の目的で多くのデータが自治体に蓄積され、利用されている。しかし、これらのデータは、政策意思決定のためのシステム分析等のためには、十分に利用されてこなかった。自治体に既に蓄積されているこれらのデータ（行政報告データ）を有効に活用することにより、安価かつ効率的に産業部門別・廃棄物種類別の排出量等を推計して、廃棄物産業連関表データベースを構築することが可能となる。

3. 不確実性分析の普及に向けて

産業連関分析はデータを用いた分析であるから、その計算結果には必然的に誤差を伴う。したがって、計

算された数値を報告するだけでなく、その不確実性に関する情報（信頼区間など）も合わせて報告することが望ましい[17]。しかし、産業連関分析の応用において、そのような不確実性が報告されることは稀であり、使いやすい不確実性分析手法の開発が必要である。

産業連関分析の不確実性は、上で述べたように実施例は多くないものの、これまでもモンテカルロ法により検討されてきた[17–21]。しかし、これまでの研究においては、少数の例外[21] を除いて、投入係数行列の要素が互いに独立な確率変数であると仮定することが多く、要素間の相関を適切に考慮していなかった。この点を改善した使いやすい不確実性分析を目指して、手法の開発を進めている[22]。

4. おわりに

名誉ある日本LCA学会賞（功績賞）を賜り、身に余る光栄に存じます。賞の名を汚さぬように、今まで以上に挑戦を続けたいと思います。

これまで多くの方々からご指導、ご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。研究室の学生のみなさんとの共同研究[22–24] や他大学の学生のみなさんとの共同研究[25–30] の機会に恵まれたことに感謝いたします。若いみなさんから沢山の刺激を受けることができました。今後も、これまでお世話になった方々とのご縁と、日本LCA学会での新しい出会いを大切にして、研鑽を重ねたいと思います。

引用文献

1) Nakamura S, Kondo Y: J. Ind. Ecol. 6(1), (2002), 39–63
2) Nakamura S, Kondo Y: “Waste Input-Output Analysis: Concepts and Application to Industrial Ecology,” Springer, Dordrecht, The Netherlands, (2009)
3) Nakamura S: Input-output analysis of waste cycles. In: Yoshikawa H, Yamamoto R, Kimura F, Suga T, Umeda Y (eds.), Proceedings: First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, (1999), pp. 475–480
4) 中村愼一郎 : 廃棄物学会論文誌 11(2), (2000), 84–93
5) Kondo Y, Nakamura S: Int. J. Life Cycle Assess. 9(4), (2004), 236–246
6) Nakamura S, Kondo Y: Ecol. Econ. 57(3), (2006), 494–506
7) Nakamura S, Kondo Y: Int. J. Life Cycle Assess. 11(5), (2006), 305–314
8) Nakamura S, Nakajima K, Kondo Y, Nagasaka T: J. Ind. Ecol. 11(4), (2007), 50–63
9) Nakamura S, Kondo K, Matsubae K, Nakajima K, Nagasaka T: Environ. Sci. Technol. 45(3), (2010), 1114–1120
10) Nakamura S, Kondo Y, Kagawa S, Matsubae K, Nakajima K, Nagasaka T: Environ. Sci. Technol. 48(13), (2014), 7207–7214
11) Nakamura S, Kondo Y, Nakajima K, Ohno H, Pauliuk S: Environ. Sci. Technol. 51(17), (2017), 9469–9476
12) Nakamura S, Kondo Y: Resour. Conserv. Recycl. 139, (2018), 326–332
13) Kondo Y, Nakamura S: Econ. Syst. Res. 17(4), (2005), 393–408
14) Kondo Y: J. Econ. Struct. 3, (2014), 2
15) Ohno H, Matsubae K, Nakajima K, Kond Y, Nakamura S, Fukushima Y, Nagasaka T: Environ. Sci. Technol. 51(22), (2017), 13086–13094
16) Simpson D, Tsukui J: Rev. Econ. Stat. 47(4), (1965), 434–446
17) Lenzen M., Wood R., Wiedmann T.: Econ. Syst. Res., 22 (1), (2010), 43–63
18) West G.R.: Econometrica, 54 (2), (1986), 363–374
19) Dietzenbacher E.: J. Reg. Sci., 46 (4), (2006), 773–786
20) Nagashima F.: Energy Econ., 72, (2018), 307–312
21) Rodrigues J.F., Moran D., Wood R., Behrens P.: Environ. Sci. Technol., 52 (13), (2018), 7577–7586
22) 金健, 近藤康之：第14回日本LCA学会研究発表会, 福岡, (2019)
23) 輿石拓真, 佐藤邦光, 近藤康之：第10回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 神戸, (2015), pp. 98–99
24) 劉倩, 近藤康之：第12回日本LCA学会研究発表会, つくば, (2017), pp. 270–271
25) 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 近藤康之, 中村愼一郎, 長坂徹也：第9回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 東京, (2014), pp. 26–27
26) 重富陽介, 南齋規介, 加河茂美, 近藤康之, 東野達 : 第11回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 柏, (2016), pp. 234–235
27) 武山健太郎, 大野肇, 松八重一代, 中島謙一, 近藤康之, 中村愼一郎, 長坂徹也：第11回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 柏, (2016), pp. 224–225
28) 一杉佑貴, 村主さとみ, 鈴木春生, 藤井千陽, 田原聖隆, 近藤康之, 伊坪徳宏：第12回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, つくば, (2017), pp. 214–215
29) 村主さとみ, 一杉佑貴, 田原聖隆, 近藤康之, 伊坪徳宏：第12回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, つくば, (2017), pp. 298–299
30) 白新田佳代子, 加河茂美, 近藤康之：第13回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 東京, (2018), pp. 144–145

オフィスバスターズはサーキュラー・循環で社会貢献いたします



オフィス家具

お預かり



専用のマテハン機器を備えた柏家具レンタル倉庫にて、お客様の家具をお預かりいたします。



再生

再出荷・物流



充実のサポート

家具をお客様の元にお返しする際には、配送・設置まで弊社にて手配させていただきます。

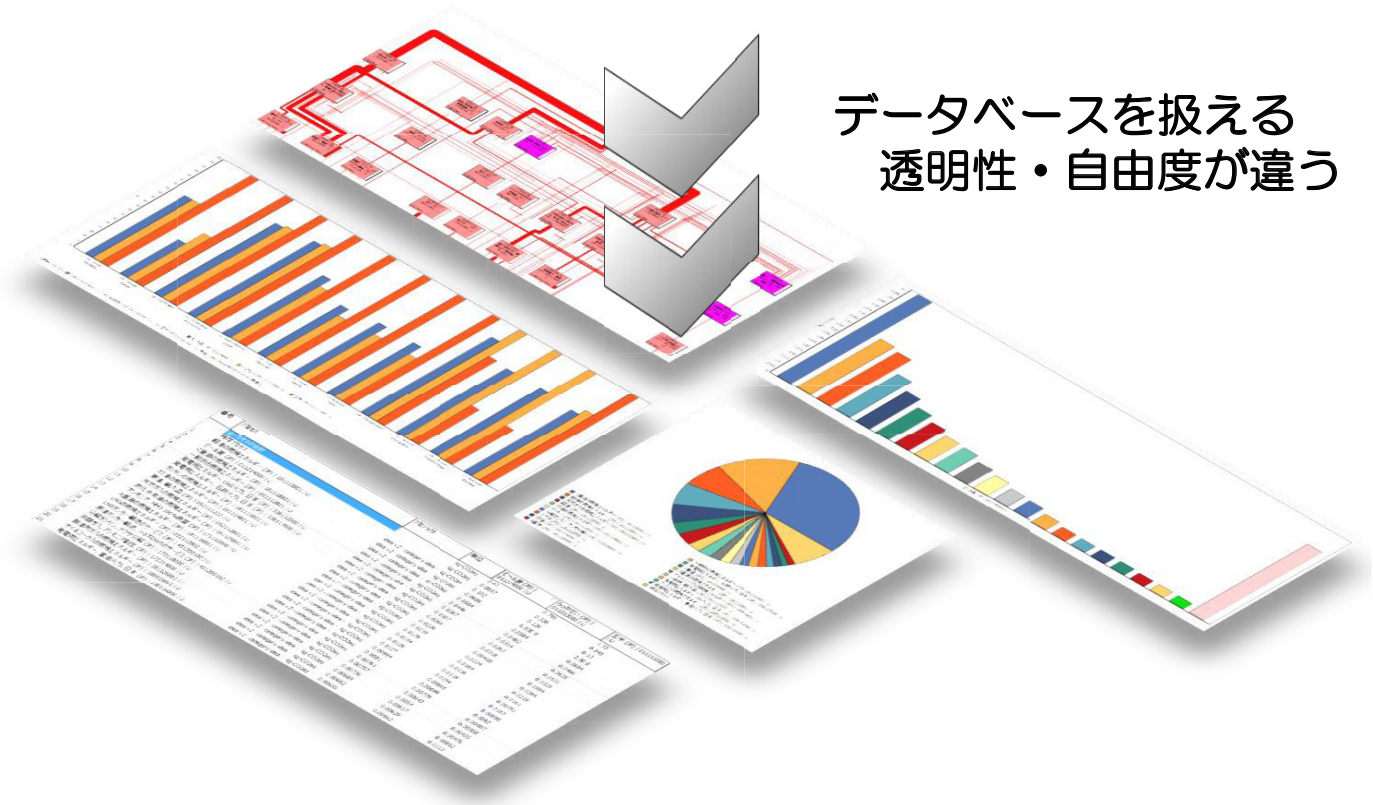
office busters

【お問い合わせ先】
株式会社オフィスバスターズ
TEL:03-6262-3155
http://www.officebusters.co.jp

日本の最新LCAデータベース を使い切る

IDEA
Inventory Database for Environmental Analysis

SimaPro



データベースを扱える
透明性・自由度が違う

お問い合わせ先

TCO2株式会社
Email：LCA@tco2.com
TEL：03-6272-6814
（受付時間 平日 10:00 ～ 17:00）

simapro 検索

IDEA LCA 検索

SimaPro Partner Network
TCO2
Insights for Sustainability

一般社団法人産業環境管理協会

Japan Environmental Management Association For Industry

環境の定量指標でSDGs対応を支援!

1 豊富な実績

豊富な実績による ネットワークと信頼感!

主な実績

- LCA関連のISO規格策定へ参画
- LCA/LCA日本フォーラムの運営
- LCAソフト、データベースの開発
- 各種LCA研修会の開催、書籍出版
- エコリーフやカーボンフットプリントといったJEMAI環境ラベルプログラム運営
- 多くの国家プロジェクトやコンサル実績

↓

- 経験豊富なコンサルタントが懇切丁寧にLCA/CFP/エコリーフ実施を支援します。

その他、多様な支援が可能です。

- 海外動向の紹介

(欧州環境フットプリント、SDGs、サーキュラーエコノミー 等)

- プロジェクトマネジメント
- 学識者の派遣、レビュー 等



2 豊富なメニュー

JEMAI環境ラベルプログラムに準拠したメニュー!

産業環境管理協会は、カーボンフットプリント(CFP)とエコリーフ(EL)を統合した「JEMAI環境ラベルプログラム」の運営事務局です。
JEMAI環境ラベル支援コンサルでは、「JEMAI環境ラベルプログラム」の支援はもちろん、最新情報を正確にお伝えします!

JEMAI環境ラベルコンサルメニュー

PCR策定支援/算定研修会/LCA実施体制構築支援/算定支援 等

PCR原案作成 → PCRレビュー → PCR認定

CFP/EL検証申請書作成 → CFP/EL検証 → CFP/EL宣言

3 強み

MiLCAを用いて効率的なLCAの算定を支援!

- LCAソフトMiLCAは国内最大級のデータベースであるIDEAを搭載しています。
- MiLCAを用いることで、データ収集の手間を大幅に軽減できます。



- MiLCAで算定実施のためのデータベースのカスタマイズについても支援いたします。それにより、将来シナリオ等に基づいた算定の実施が可能です。

IDEA Inventory Database for Environmental Analysis　MiLCA

MiLCAホームページ
http://www.milca-milca.net

★技術相談窓口

プロジェクト単位や製品単位のコンサルをお願いするほどではないけれど、日頃の小さな相談にいろいろと乗ってほしい…

➡ **実務上の悩みに何でもお答えします**

★簡易報告書レビュー

LCA報告書をチェックしてほしいが、「クリティカルビュー」をお願いするほどではない…

➡ **LCAエキスパート(1名～)がチェックします**

★その他の多様なメニュー

- LCA関連の海外動向紹介
- SCOPE3、SDGs対応支援
- 社内でのLCA検討会参加
- 取引先へのデータ授受サポート
- LCA社内説明サポート
- 社内LCAガイドライン作成支援
- 環境フットプリント対応支援
- 社内でのLCA展開サポート
- LCA結果の社外公開サポート
- LIME手法の解説　など

ライフサイクル思考に関係する調査研究業務も受託しています!

詳しい内容や料金は WEBをご覧ください。 Check

JEMAI　LCAコンサル

※価格的にも取り組みやすいメニューになっています。

まずはお問い合わせください!

一般社団法人産業環境管理協会　LCA事業室
〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町2-2-1
E-mail:jemai-lca@jemai.or.jp　TEL:03-5209-7708

MiLCAv2のご案内

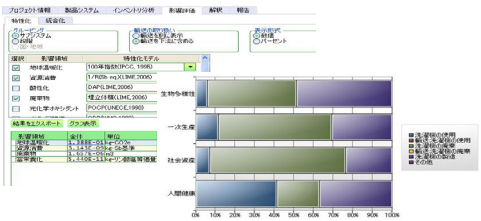
最新の国内LCAデータを豊富に搭載した高機能なLCAソフト

MiLCA（みるか）
MiLCAv2を販売しております。

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/

※MiLCAv1の販売は終了しています。
2018年3月末：更新終了
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 14 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集
2019 年 3 月 5 日発行　【定価：1,000 円（CD-ROM 版）、10,000 円（印刷版）】
発行者　　：第 14 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
〒 231-0011
神奈川県横浜市中区太田町 6-72-1-703
株式会社シーエーティ　内
印刷・製本：（有）創文社