

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

S-16-1 全体の統括と消費と生産の関連性を強化した政策デザインによる
温室効果ガス排出抑制と資源循環方策
(JPMEERF16S11610)
平成28年度～令和2年度

Measures to Reduce Green House Gas Emissions and to Promote Resource Circulation by
Intensifying Relations between Consumption and Production

<研究代表機関>

国立大学法人 東京大学

<研究分担機関>

国立大学法人 大阪大学
国立研究開発法人 産業技術総合研究所
学校法人 立命館

<研究協力機関>

国立大学法人 京都大学
タイ・チュラロンコン大学
タイ・カセサート大学
タイ・国立科学技術開発庁
マレーシア国民大学
ベトナム科学技術院
ベトナム社会科学院

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和3年7月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	1
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究目標		
4. 研究開発内容		
5. 研究成果		
5-1. 成果の概要		
5-2. 環境政策等への貢献		
5-3. 研究目標の達成状況		
6. 研究成果の発表状況		
6-1. 査読付き論文		
6-2. 知的財産権		
6-3. その他発表件数		
7. 国際共同研究等の状況		
8. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 消費と生産の関連性の強化のための政策デザイン	・・・・・・・・・・	16
(国立大学法人 東京大学)		
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-2 地域を指向したものづくりのためのサステナブル・デザイン	・・・・・・・・・・	35
(国立大学法人 大阪大学)		
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-3 リマニュファクチャリングを中心とした持続可能性な生産	・・・・・・・・・・	48
(国立研究開発法人 産業技術総合研究所)		

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

II-4 効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ (学校法人 立命館)	・・・・・・・・・・	63
--	------------	----

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

III. 研究成果の発表状況の詳細	・・・・・・・・・・	84
IV. 英文Abstract	・・・・・・・・・・	101

I. 成果の概要

課題名 S-16-1 全体の統括と消費と生産の関連性を強化した政策デザインによる
温室効果ガス排出規制と資源循環方策

課題代表者名 平尾 雅彦 (国立大学法人東京大学大学院工学系研究科化学システム専攻教授)

研究実施期間 平成28年度～令和2年度
但し、新型コロナウイルスの影響のため、令和3年5月まで延長

研究経費 (千円)

	契約額	実績額 (前事業年度繰越分支出額含む)
平成28年度	57,613	57,613
平成29年度	62,223	60,493
平成30年度	59,112	57,454
平成31(令和1)年度	62,223	64,104
令和2年度	62,223	60,662
令和3年度	1,200	629
合計額	304,594	300,957

本研究のキーワード アジアの持続可能な消費と生産、消費と生産の連携強化、SCPシナリオ、シェアリングサービス、地域指向製品設計、リマニュファクチャリング、責任ある国際資源循環、環境配慮行動、ライフサイクル思考

研究体制

- (サブテーマ1) 「消費と生産の関連性の強化のための政策デザイン」
(国立大学法人 東京大学) (JPMEERF16S11601)
- (サブテーマ2) 「地域を指向したものづくりのためのサステナブル・デザイン」
(国立大学法人 大阪大学) (JPMEERF16S11602)
- (サブテーマ3) 「リマニュファクチャリングを中心とした持続可能性な生産」
(国立研究開発法人 産業技術総合研究所) (JPMEERF16S11603)
- (サブテーマ4) 「効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ」
(学校法人 立命館) (JPMEERF16S11604)

研究協力機関

国立大学法人 京都大学
タイ・チュラロンコン大学
タイ・カセサート大学
タイ・国立科学技術開発庁
マレーシア国民大学
ベトナム科学技術院
ベトナム社会科学院

1. はじめに（研究背景等）

国連持続可能な開発会議（Rio+20）では、持続可能な開発を達成する上でグリーン経済は重要なツールと認識され、先進国、新興国、開発途上国を問わず持続可能な消費・生産（SCP）パターンへの転換と定着が不可欠である。この目標のために、「持続可能な消費と生産に関する10年計画枠組み（10YFP）」が採択され、国連環境計画（UNEP）において、プログラムが策定・実施されている。また、国連では持続可能な開発目標（SDGs）も合意され、その中でもSCPは目標の一つになっている。SCPは、G7サミットで議論されている気候変動への対処、資源効率性の向上にも寄与する。

SCPパターンへの転換を促すために、生産者から消費者までを含む多様なステークホルダーによって社会全体を変革する施策の提示及び実践は限定的であった。SCPパターンへの転換に資する政策・制度・技術の多くは、省エネルギー性能向上や再生資源利用などの主に製品やサービス単位での効率性向上とその普及を目指す生産側に対する効率性アプローチであった。今後は、各国の特性に応じて、いかなる消費と生産の構造を構築するのかというニーズにも目を向けた施策の検討が求められる。そのためには、効率性アプローチからのリバウンド効果への対応を念頭に消費側のニーズ自体を転換し、その充足に寄与する充足性アプローチも求められる。

2. 研究開発目的

消費と生産の関係性の強化という観点から、アジアにおける持続可能なパターンへの転換とその定着を実現するための政策提案を行う。このために、生産者の関与のあるべき姿、効果、必要な施策について、設計から製造、製品と資源循環に至るシナリオを作成する。持続可能な生産を誘起しその効果を最大限に発揮するための有力なステークホルダーである消費者について、ライフサイクル指向向上と価値観変容に向けた直接的な行動介入シナリオを作成する。

テーマ1の研究活動に加え、プロジェクト全体の統括を行い、各テーマの成果をもとに持続可能な消費と生産パターン定着のための政策の評価と提言を行う。

3. 研究目標

全体目標	アジア地域における消費と生産の関連性強化における課題とその課題を解決するために必要な方策を示す。このために、設計-生産-循環一貫型のアジアの持続可能な消費と生産シナリオを提示し、消費および生産それぞれへの介入施策を提示する。
------	--

サブテーマ1	消費と生産の関連性の強化のための政策デザイン
サブテーマリーダー /所属機関	平尾 雅彦 / 国立大学法人東京大学
目標	全サブテーマの成果を統合し、設計-生産-循環一貫型のアジアの持続可能な消費と生産シナリオを提示する。消費におけるSCP定着のための環境教材を作成する。シェアリングなどを例として、消費と生産との連携方策を提示する。全テーマの成果から消費と生産の関連性強化によるSCP定着のための政策提言を取り纏める。

サブテーマ2	地域を指向したものづくりのためのサステナブル・デザイン
サブテーマリーダー /所属機関	小林 英樹 国立大学法人 大阪大学
目標	生活者の基本ニーズを充足させるために、地域に特有の制約や要求を製品仕様 に的確に反映する地域指向の製品開発方法論を確立し、地域生活情報と製品分 析情報に基づいた拡張機能構造マップを用いた設計支援システムを構築する。

サブテーマ3	リマニュファクチャリングを中心とした持続可能な生産
サブテーマリーダー /所属機関	松本 光崇 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
目標	アジア地域でのリマニュファクチャリング普及の障害要因を整理し、リマニュ ファクチャリングを中心としたアジアの持続可能な消費と生産の実現に向けた 普及シミュレータを構築する。

サブテーマ4	効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ
サブテーマリーダー /所属機関	山末 英嗣 学校法人 立命館
目標	資源循環のための最適なロジスティック構築のため、3Rの様々なライフサイク ルオプションとその実現に向けた政策・規制緩和等を調査・検討すると共に、 資源消費の定量的評価手法を確立し、アジア地域における「責任ある国際資源 循環」の姿を提示する。

4. 研究開発内容

本テーマでは、図0-1に示すように、分断された消費と生産の関係を、図2のような協働関係にする研究を行う。生産がより専門的になり、大量生産による効率化を目指すことによって、生産から消費への流れは一方的なものとなり、消費から生産に向かう流れは、廃棄物処理の概念で分断されている。消費

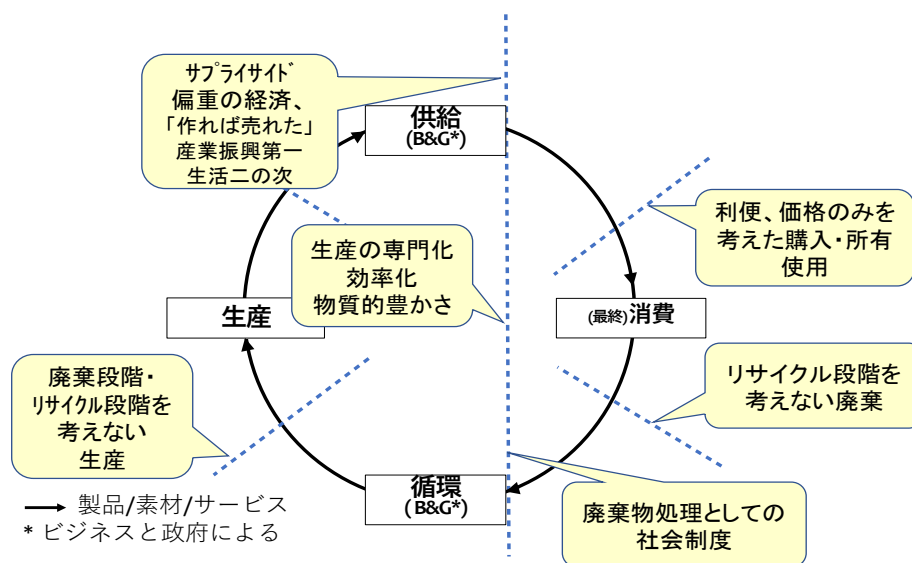


図0-1 現在の分断した消費と生産の関係

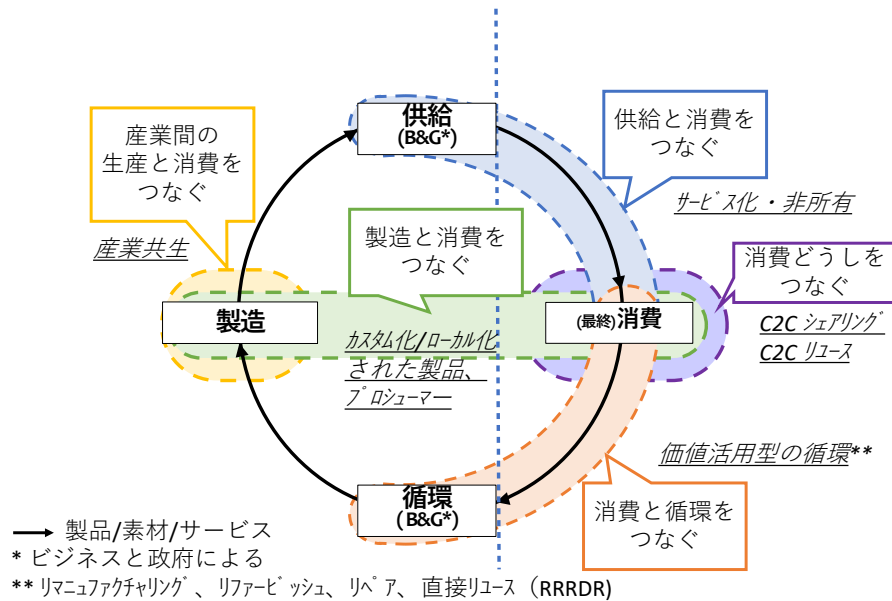


図0-2 本テーマで目指す消費と生産の連携関係

は、利便と価格での意思決定を行い、生産はその製品の廃棄段階に配慮することは少ない。ここに、サービス化やシェアリングというビジネスモデルによる消費側の非所有による機能利用を取り入れたり、消費者間の中古品取引で廃棄をしない消費を実現する。廃棄から製品機能価値や資源価値などの価値活用型の循環を実現する。また、地域社会のニーズに合わせた地域指向設計や個人満足感を充足するカスタム設計を消費と生産が連携して行うことにより、システムとしての効率性と消費の充足性を同時に満たす。

このような検討から、以下のような研究を各サブテーマで実施した。

4.1 設計-生産-循環一貫型シナリオの作成 (サブテーマ1, 2, 3, 4)

フォアキャストとバックキャストの考え方を組み合わせるアプローチで、シナリオを開発した。前者は、現在の経済成長パターンが将来も継続するものとして、現在の製品普及率などの統計情報と既往の製品普及モデルからBusiness as Usual (BaU) シナリオを作成する。後者は、将来の姿をビジョンとして設定し、専門家ワークショップでシナリオを作成する。持続可能社会シナリオシミュレーターでシナリオを比較評価する。

本研究では、2050年を目標年とし、対BaU比で温室効果ガス排出量、資源消費量ともに50%減をターゲットとした。専門家ワークショップは、日本国内およびマレーシアで実施し、ベトナムとマレーシアを対象としたSCPシナリオを作成した。

4.2 地域指向の製品開発方法論、および設計支援システム (サブテーマ2)

設計-生産-循環一貫型シナリオにおける設計の実現手法の開発に位置付けられる。地域の製品特性情報を得るために、地域情報の調査、具体的には都市と郊外の生活調査、使用製品調査、産業の実態調査、商業の実態調査、自治体などの調査を実施した上で、製品設計プロセスである (1) 問題認識とアイデア発想、(2) 設計案評価の支援システムを構築した。図2-1にその枠組みを示す。拡張機能・構造マップ (EFSM: Extended function structure map) およびMixed Prototyping (MP) 環境を用いた設計支援手法であり、地域の現地観察や地域のニーズを取り入れていることが特徴である。

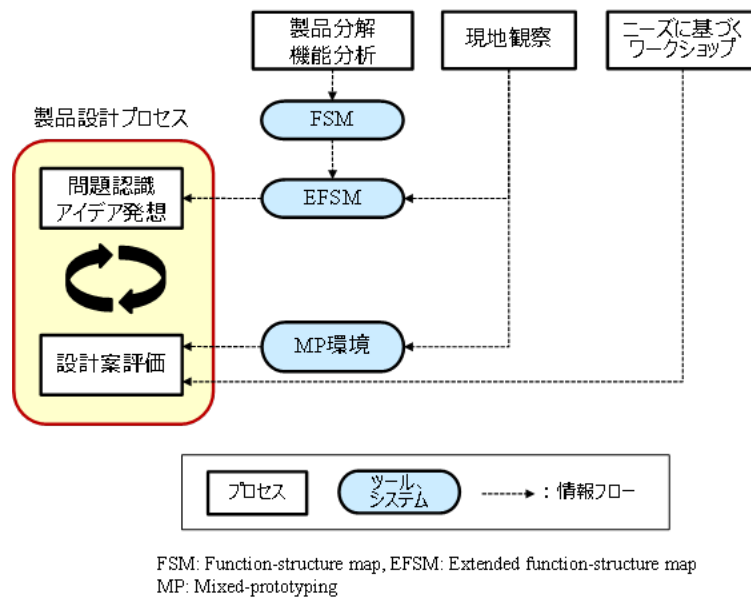


図2-1 地域指向製品開発方法論の枠組

Mixed Prototyping環境では、製品評価者はヘッドマウントディスプレイによる仮想環境で設計案の目視や、生活空間での使い勝手を仮想的に経験することができるため、製品開発者のアイデアと消費者の充足感を連携させることができる。

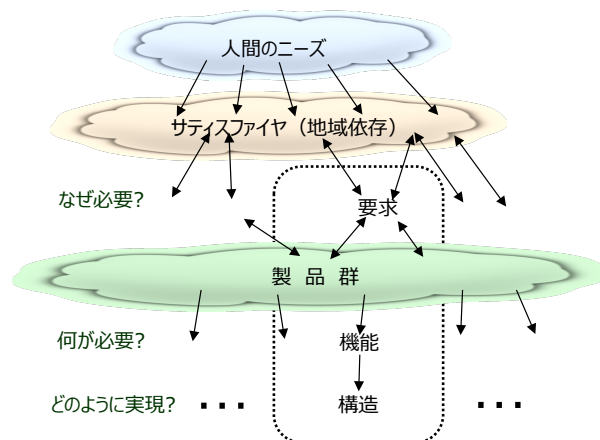


図2-4 生活圏アプローチの枠組み

この方法論は、図2-4に示すように製品と人間の基本ニーズ充足の関係性を明示化する生活圏アプローチの概念的枠組に基づくものである。SCP実現のためには個人の限りない欲望ではなく、人々の基本ニーズが満たされるべきであることから、最上位層に基本的なニーズ概念をおき、本研究ではMax-Neefが定めた9種の普遍的な人間のニーズ（生存、保護、愛情、理解、参加、無為、創造、個性、自由）に着目した。第2層より下層には対象製品の存在理由やユーザにとっての価値、およびそれがどのような機能、構造で実現されるかを表した価値グラフを位置付けた。製品と地域住民のニーズ充足を統合した枠組を提供する点が生活圏アプローチの特徴である。

4.3 リマニュファクチャリングの可能性と推進策（サブテーマ3）

設計-生産-循環一貫型シナリオにおける製品レベルでの生産と循環の実現手法の開発に位置付けられる。図3. 1に示すように、リマニュファクチャリング（以下「リマン」と記す）の可能性と推進を

検討するために、現状調査と分析、障害要因・成立要因・受容性の分析から、リマン普及シミュレータを構築した。

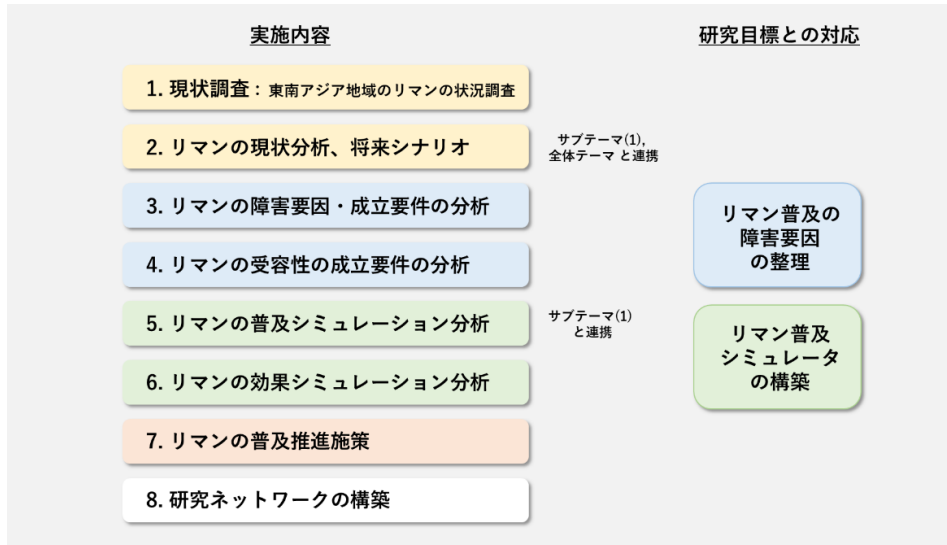


図3. 1 リマニュファクチャリングの可能性と推進策の研究内容

4.4 効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ（サブテーマ4）

設計-生産-循環一貫型シナリオにおける素材レベルでの生産と循環の実現手法の開発に位置付けられる。アジアで使用量の多い素材（鋼材・セメントを中心）、小型製品（照明機器・家電製品を中心）、大型製品（自動二輪車、自動車（従来型・次世代自動車））、そして輸送プロセスを対象とし、その資源依存性を関与物質総量(Total Material Requirement, TMR)を指標として分散型循環生産シナリオを構築した。

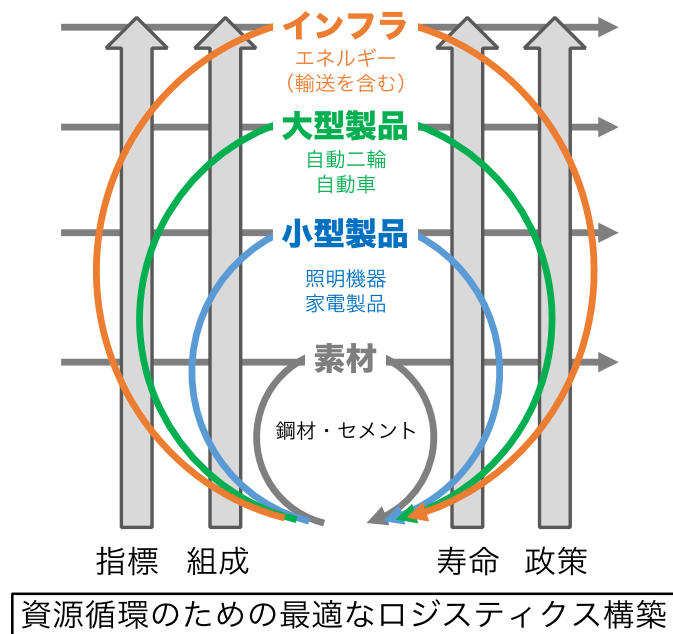


図4-1 効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ構築

4.5 新しい消費形態としてのシェアリングサービスの評価（サブテーマ1、2）

シェアリングサービスは、製品の所有によらず製品の機能を複数の消費者で共有することで全体としての環境負荷を削減する効果が期待されている。しかし、製品特性やサービス形態による環境負荷の変化は自明ではない。所有からシェアリングに移行する確率の推定モデル、サービス形態や製品特性の類型化モデルを構築し、評価を行い、シェアリングサービスのあり方を検討した。シェアリングを選択する消費者行動の特徴把握から行動変容プロセスの提案を行った。

4.6 環境情報の提供と消費者意識（サブテーマ1）

環境配慮製品の選択を消費者にうながすためにラベルやカタログ、店頭説明などで環境情報の提供が行われる。日常生活での行動、利用経験、新興国・発展途上国と先進国の違いなどと環境配慮行動の関係を調査し、実行意図を規定する要因の分析を行った。さらに、消費者の環境行動定着のための環境教材を作成した。

4.7 政策デザインのためのアジアの関連法制度・法政策の現状調査（サブテーマ1）

アジアにおける多くの制定法から構成される物質管理法制度を、物質ライフサイクル全体にわたって横断的に比較法学的視点から分析し、複数のベストプラクティスを選択してガイダンスの作成を試みた。

4.8 プロジェクト全体の統合タスクフォースの計画と実施（全テーマ）

本テーマ1では、サブテーマとしての研究の他に、プロジェクトリーダーの元に統合タスクフォースを設置し、各テーマリーダーおよび主要な参加研究者によって、各テーマの成果をもとに持続可能な消費と生産パターン定着のための政策デザインのフレームワークを構築する。この統合タスクフォースの実施と成果は、プロジェクト全体の成果としてプロジェクト全体の終了報告書に記載したので、本報告には記載しない。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

5-1.1 設計-生産-循環一貫型シナリオの作成（サブテーマ1, 2, 3, 4）

ベトナムとマレーシアについてSCPシナリオを作成した。ベトナムについては、まず統計データと製品普及モデルから家電や自動車の普及のBaUシナリオを作成した。このBaUシナリオに対して「2050年時点の一人当たり資源・エネルギー消費量を半減させること」を目標としてSCPシナリオを作成した。バックキャスティングによる専門家のアイデア発想を支援するために、ビジョン、キーフレーズ、実現方策、地域性の4つのレイヤーに分けたロジックツリー（図1-4）を作成し、地域性（例えば、シェアサービスの利用に抵抗がない、新しいもの好き、など）を反映させながら、SCP実現のために有効と思われる様々な方策（例えば、シェアリングの活用、製品の一般化部分のカスタマイズ部分の区別）を列挙

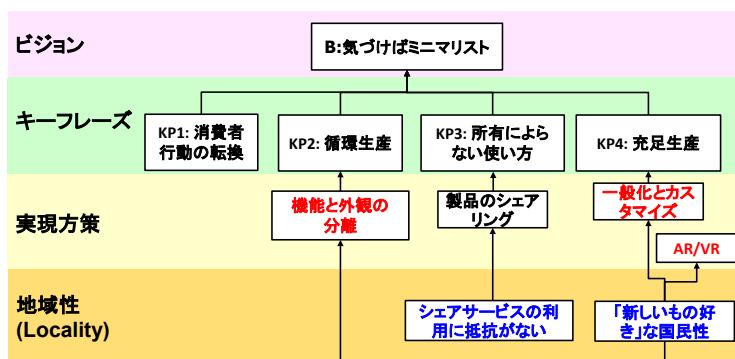


図1-4 ベトナムを対象としたSCPシナリオのロジックツリー作成例

し、SCPシナリオを構築した。このシナリオの妥当性は「持続可能社会シナリオシミュレータ」で検証

した。

5-1.2 地域指向の製品開発方法論、および設計支援システム（サブテーマ2）

地域情報と製品の機能・構造の関係を明示した拡張機能・構造マップ（EFSM: Extended function structure map）とEFSMを操作・表示する設計支援システム、および地域空間情報から再構成した仮想環境と物理的プロトタイプから成るMixed Prototyping（MP）環境を構築した。この方法論の検証として、ベトナム庶民向けの二層式洗濯機を仮想設計した。ベトナムでは、衣類はまず洗濯桶で手洗いしてから洗濯機に投入されるため、洗濯桶を二層式洗濯機の上部に組み合わせるアイデアが設計者から提案された。この設計案を仮想環境で現地ユーザーに全自動洗濯機と比較して使用感を確認し、図2-14の主観評価で地域ニーズを満たす設計であると確認された。

この製品開発方法論によって消費と生産が連携し、地域の消費者のニーズを充足する製品設計を実現できた。

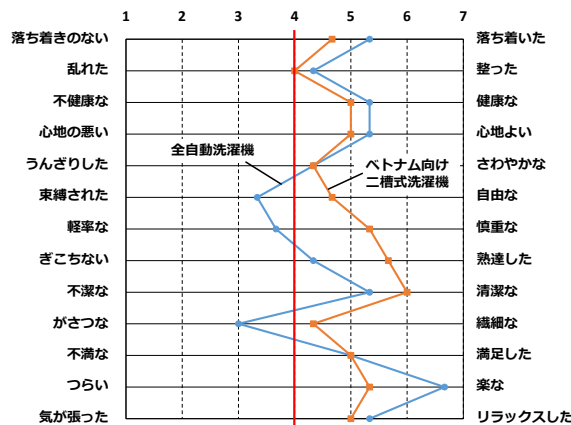


図2-14 Semantic Differential（SD）法を用いた地域指向製品の主観評価の結果

5-1.3 リマニュファクチャリングの可能性と推進策（サブテーマ3）

これまで実態が把握されていなかった東南アジア地域のリマニュファクチャリング（以下リマン）の状況の調査を行い、その実態を把握するとともに、先進国地域のリマンと、小規模なリペア等を含む新興国地域のリマンの特徴を抽出し、図3-3に示すように、経済発展とともに変化するリマンの発展パスの提示を行った。発展パスにおける障害要因としては、1) 製品回収の障害、2) 制度的な障害(リマン製品の

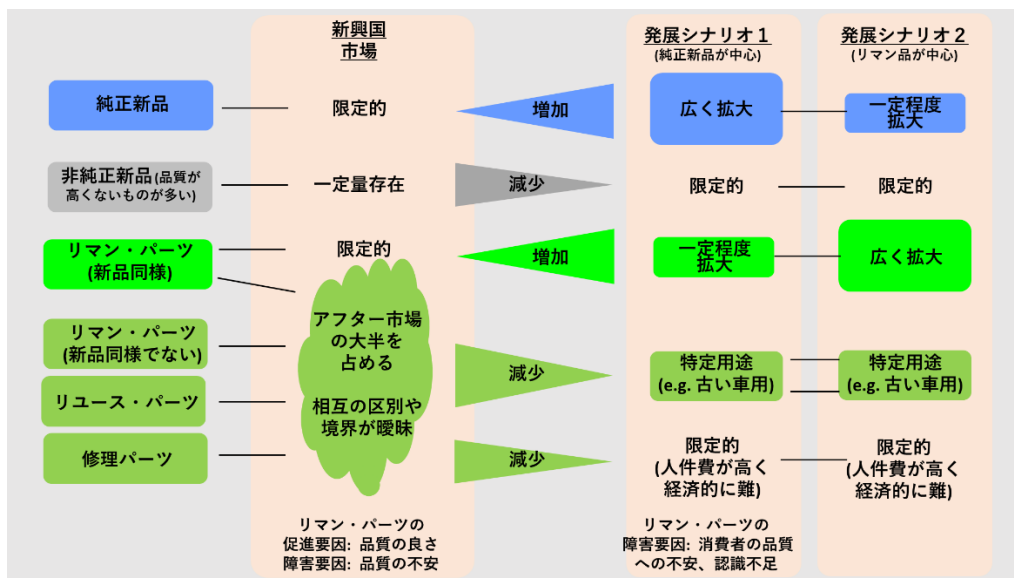


図3-3 経済発展に伴うリマンの一般的な発展のパス

越境の障害等)、3)市場の障害、4)技術的な障害をあげた。消費者受容性による障害に焦点を当て、東南アジア地域の消費者のリマン製品に対する購買意思の分析を実施し、リマン受容の障害要因の抽出し、解消手段を提案した。

リマンの普及シミュレータの構築を行い、市場シミュレーション、発展パスのシナリオ検証、普及手段の効果検証、リマンの省資源効果評価を行った。

5-1.4 効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ（サブテーマ4）

資源利用に関する指標である関与物質総量(TMR)を算定するための係数データベースを構築し、さらに算定手法として廃棄物処理を考慮するためのシステム拡張を行った。アジアでは現状で違法な埋め立

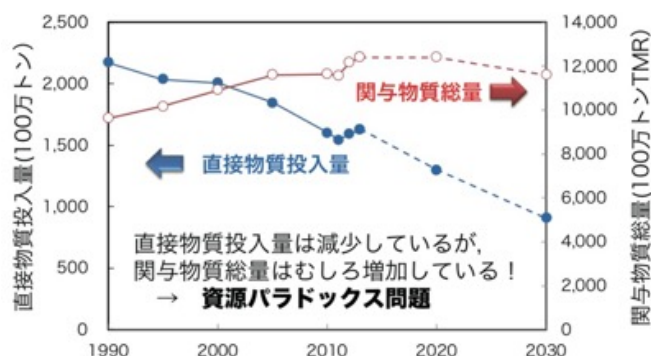


図4-6 国レベルでの資源パラドックス問題（直接重量とTMRの比較）

て処理が行われており、この影響をTMR算定で考慮可能となった。このTMRによる評価をリチウムイオン電池や電気自動車に適用し、温室効果ガス排出指標である地球温暖化係数(GWP)の評価と比較した。GWP減少のための新規技術がTMRの観点からは環境負荷増大となることを明らかにし、図4-6に示すように資源パラドックス問題があることを示した。

資源パラドックス問題の解決のために、リマンに代表されるRRRDRのような製品レベルでの循環に加えて、素材循環のための産業共生の有効性をライフサイクルシミュレーションによる資源ペイバックタイムの評価によって示した。

アジアにおける製品寿命を推定し、将来的な製品廃棄物発生量を推定し、アジアの国別の産業構造(例えば鉄リサイクルのための電炉設備容量)から国際連携による資源循環の必要性、新技術による分散型リサイクル拠点の有効性を示した。

5-1.5 新しい消費形態としてのシェアリングサービスの評価（サブテーマ1、2）

シェアリングサービスは、所有権、提供者、製品に付加されるサービスの3変数で消費・生産パターンを体系的に類型化できることを明らかにし、所有権と提供者によって消費・生産パターンを分類すると、パターンは売り切り式、レンタル・リース式、フリーマーケット式、シェアリング式の4グループに分かれる。これを体系的に類型化した。図1-8は、書籍の例であり、(a)は類型化を可視化したものであり、(b)は、消費・生産パターンにおける環境影響評価を同じ図に示している。ここから消費者の移動手段が大きく結果に影響することが分かった。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の評価事例について、製品群ごとにシェアリングによる環境負荷・資源消費の増加または減少要因を整理した。その結果、負荷の増加要因1件と減少要因4件を抽出し、事例によって考慮されているか、根拠が示されているかによって評価結果が異なることがわかった。

コインランドリーを例として、東京とバンコクの消費者のシェアリング選好の要因をアンケート調査で分析し、洗濯機所有率・洗濯習慣のシェアリングの利用形態と地域間差を考慮して洗濯機シェアへの行動変容プロセスを提案した。地域によって重視する消費価値が異なり、洗濯機所有への愛着が強い日本では、洗濯機シェアの経験を増やす必要性を、タイでは地域性を活かした洗濯機シェアの普及による

洗濯行動の効率性を高めることの必要性を示した。

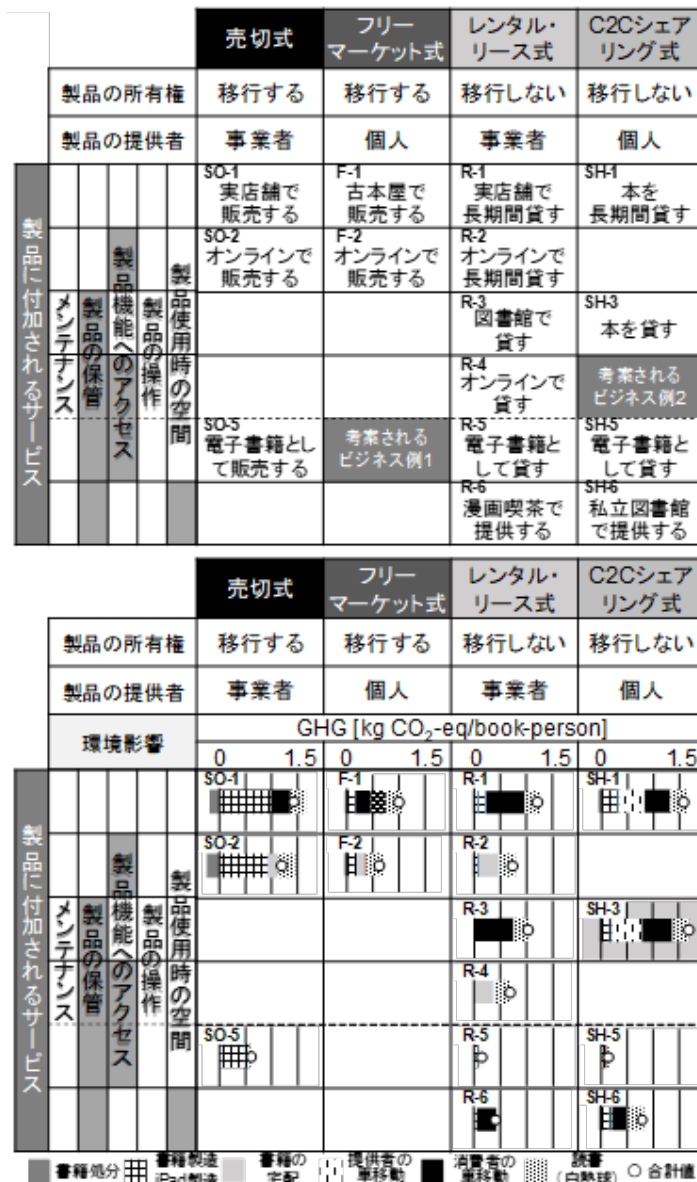


図1-8(a) 製品機能の提供スタイル分類表；(b) 書籍の各提供スタイルの環境影響評価結果

5-1.6 環境情報の提供と消費者意識 (サブテーマ1)

バンコクにおけるライフサイクル思考 (LCT) に基づく環境情報の効果の調査・分析を行った。情報提

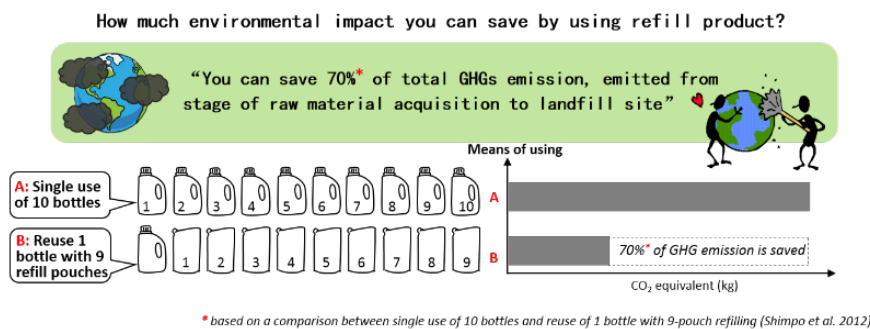


図1-2 詰替製品の購入についてのLCTベースの情報提供

供のパターンを変化させて人々の態度や行動に対するLCTの影響を評価し、LCTベースの情報の影響を他のパターンの情報提供と比較した。LCTベースおよび比較対象となる情報は、(a)廃棄物の分別と、(b)詰替製品の購入（図1-2に例示）という2つの環境配慮行動の促進を対象として作成した。廃棄物の分別および詰替製品の購入に関するLCTベースの情報は、両方の対象行動に関して有用であった。以上の分析結果から、持続可能な消費の促進と教育にLCTの概念を利用することの有用性が示唆された。

東京、ソウル、バンコクにおける環境配慮行動の調査・分析から、発展途上国および先進国の都市における環境配慮行動の実施状況と理由について、異なる傾向が示された。バンコクでは、最も実施されたのは省エネ分野の行動であったが、ソウルと東京では、廃棄物の分別、省エネ、輸送など、いくつかの分野の行動が含まれていた（表1-3）。これらの分析から環境配慮行動を実行する場合には単一の強い理由がある一方で、実行に反対する理由は多様であることが分かった。以上の分析結果から、3都市の文脈的要因に基づく環境配慮行動の実践に関する差異を考慮する必要性を示した。

表1-3 都市ごとの環境配慮行動の実践頻度の上位10行動

(a). Top 10 highest scored behaviors by city

Rank	Bangkok		Tokyo		Seoul	
1	B9	Switch off light	<u>T19</u>	<u>Waste separation</u>	<u>S19</u>	<u>Waste separation</u>
2	<u>B8</u>	<u>Switch off A/C</u>	<u>T8</u>	<u>Switch off A/C</u>	S9	Switch off light
3	<u>B10</u>	<u>Switch off TV</u>	T9	Switch off light	S13	Less laundry
4	B35	Eco appliances	T42	Cycling/walking	<u>S43</u>	<u>Use public transport</u>
5	B1	Fridge door	T13	Less laundry	S23	Donate old clothes
6	B13	Less laundry	<u>T43</u>	<u>Use public transport</u>	S12	Switch off monitor
7	B14	Less detergent	T24	Sufficient cooking	S4	Fridge food cooling
8	B4	Fridge food cooling	T32	Refill products	S33	My bag
9	B48	Car idling	T25	Eco cooking	<u>S10</u>	<u>Switch off TV</u>
10	B32	Refill products	T4	Fridge food cooling	S22	Double-sided paper use

Note: Rank 1 indicates the behavior with the *highest* average score in each city. The behavior that ranks in all 3 cities is indicated in **bold**. 1 behavior that ranks in 2 cities is underlined. B=Bangkok, T=Tokyo, and S=Seoul.

5-1.7 政策デザインのためのアジアの関連法制度・法政策の現状調査（サブテーマ1）

化学物質管理法制度については、先進国として、オーストラリア、カナダ、EU、ニュージーランド、アメリカの5カ国を分析対象国とし、生産プロセス、消費プロセス、および廃棄プロセスに係る主要な制定法を比較した。複数のベストプラクティスを選択してガイドランスとして、アジアの先進国としての日本及び新興国としてのタイの法制度の見直しの必要性を分析し、特にライフサイクルを通じた複数法制度のリンクが十分ではないことが資源循環の障壁となることを指摘した。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

- 2018年7月の国連のSDGsに関するハイレベル政治フォーラム（HLPF）のサイドイベント（インドネシア、タイ、日本の3か国で共催）にてS-16とアジア太平洋持続可能な消費と生産円卓会議が共同発表した政策ブリーフに、本テーマの成果が活用された。

- ・ 2017年2月にブリュッセルで開催されたG7 meeting on Resource Efficiency の会議に、サブテーマ代表の松本が出席し、ステークホルダーのパネル会議に登壇する機会を持った。パネル会議ではリマンの推進の重要性、リマンの社会的認知の向上の重要性、途上国のリマンとの協力の重要性等について発言し、パネル参加者とともに議論を行った。

参考：

https://ec.europa.eu/environment/international_issues/pdf/8_9_february_2017/G7_meeting_on_resource_efficiency_final_report.pdf

<行政等が活用することが見込まれる成果>

- ・ 地域指向製品設計は、現在のプロトタイプの支援環境がシステムとして実用となれば、民間企業においても製品設計に活用することができる。また、産業政策として活用することも見込まれる。
- ・ 欧州の資源循環政策において、リマニュファクチャリングは製品レベルでの循環を促す主要な手法として認知されつつあり、日本を含むアジアにおいてもリマンを含むRRRDRの推進政策の策定が進むと考えられる。本テーマでの成果は、先進国にも途上国にも課題があることを示しており、提示した普及促進施策が活用されると見込まれる。
- ・ 産業構造や経済発展段階が異なるアジアにおいては、国際資源循環が求められる。使用済み製品の越境流通に関わる政策立案に活用されることが見込まれる。
- ・ シェアリングサービスは、すでにコミュニティに根付いているサービスに加え、デジタル技術の発展による新たなビジネスモデルとしても注目されており、本テーマで提示した評価モデルや消費者普及への課題とその促進策は、ビジネス立案者および産業政策立案者による活用が見込まれる。
- ・ 消費者を対象とした政策において、教育での意識醸成は主要な課題である。地球環境問題あるいは持続可能性にかかわる教育政策の検討に活用が見込まれる。本テーマで提案したライフサイクル思考教育のためのゲームは、教育現場での活用が見込まれる。

5-3. 研究目標の達成状況

アジア地域における消費と生産の関連性強化における課題とその課題を解決するために必要な方策として、まず設計-生産-循環一貫型シナリオを示した上で、以下のような成果を得た。

このような総括から、本テーマは目標を十分に達成できたと考えている。

- (1) 地域指向の製品開発方法論を開発し、設計者が利用可能な設計支援システムを作成した。この方法論では、地域の消費者と製品設計者が連携して製品開発を行うことができる。
- (2) リマニュファクチャリングの可能性と推進策を示した。リマニュファクチャリング製品の消費者の受容性から社会経済システムまでを含めた分析によって、その推進政策を提案した。
- (3) 効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオを提示し、国際資源循環に向けた課題を明らかにし、その解決のための施策を提案した。
- (4) シェアリングサービスの類型化を行い、その評価方法を開発した。シェアリングサービス普及に向けた消費者への介入施策を示した。
- (5) これらの研究遂行においては、現地調査によるファクト情報の蓄積に務め、それに基づいた現実に即した施策提示を行った。
- (6) 関与物質総量算定のためのツールとデータベース、地域指向製品設計ツール、シナリオ分析のためのシミュレータ、ライフサイクル思考獲得のためのボードゲームなどを開発し、研究

成果を研究者や技術者、政策立案者、教育者が利用可能な形とした。

- (7) タイやマレーシアを中心に、アジアのSCP研究者や研究機関との連携によって研究を推進した。共同執筆の論文も発表し、連携が強固なものとなった。
- (8) 全サブグループ参加によるワークショップなどにより、テーマ内の連携に務めた。
- (9) 若手研究者・学生の参画を促し、当該分野の研究者育成に努めた。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

62件

<主な査読付き論文>

- 1) D. MOON, E. AMASAWA and M. HIRAO: Sustain., 12, 22, 9756 (2020) Consumer motivation and environmental impact of laundry machine-sharing: analysis of surveys in Tokyo and Bangkok
- 2) E. AMASAWA, T. SHIBATA, H. SUGIYAMA, and M. HIRAO: J. Clean. Prod, 242 (2020) Environmental potential of reusing, renting, and sharing consumer products: systematic analysis approach
- 3) S. PHUPHISITH, K. KURISU, K. HANAKI: Journal of Cleaner Production, 253, 1198822020 (2020), A Comparison of the Practices and Influential Factors of Pro-Environmental Behaviors in Three Asian Megacities: Bangkok, Tokyo, and Seoul.
- 4) S. ONOZUKA, Y. KISHITA, M. MATSUMOTO, M. KOJIMA and Y. UMEDA: Procedia CIRP, 98 (2021) Quantitative assessment method for supporting scenario workshops toward sustainable consumption and production.
- 5) H. KOBAYASHI and S. FUKUSHIGE: Journal of Remanufacturing, 8-3, 103-113 (2018), A Living-sphere Approach for Locally Oriented Sustainable Design
- 6) 村田秀則, 小林英樹: 生活圏アプローチのための概念モデリング手法, 日本機械学会論文集, Vol.86, No.886 (2020), DOI:10.1299/transjsme.19-00390.
- 7) M. MATSUMOTO, K. CHINEN and H. ENDO: Journal of Cleaner Production, 205, 1029-1041 (2018). Paving the way for sustainable remanufacturing in Southeast Asia: An analysis of auto parts markets. (IF(2020):6.4)
- 8) K. CHINEN and M. MATSUMOTO: Sustainability, 13, 7 (2021). Indonesians' perceptions of auto parts remanufactured in China: Implications for global remanufacturing operations. (IF(2020):2.6)
- 9) S. Kosai, Y. Kishita, E. Yamasue: Resources, Conservation & Recycling, Vol.154, 104621 (2020) (IF: 8.1) Estimation of the metal flow of WEEE in Vietnam Considering Lifespan Transition, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104621>
- 10) J. Cravioto, E. Yamasue, Duc-Quang Nguyen, Tran-Duc Huy, Journal of Cleaner Production, vol.312, 127702 (2021), (IF: 7.2) Benefits of a regional co-processing scheme: the case of steel/iron and cement industries in Vietnam, Laos, and Cambodia, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127702>

6-2. 知的財産権

No.	特許等の名称	出願番号 (出願日)	出願人	発明者
1	リチウムイオンバッテリーからのコバルト回収に関する技術開発	特願2020-163029	学校法人立命館大学	山末英嗣 中村亮介 光斎翔貴

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	12件
口頭発表（学会等）	149件
「国民との科学・技術対話」の実施	26件
マスコミ等への公表・報道等	0件
本研究に関連する受賞	4件

7. 国際共同研究等の状況

- マレーシア国民大学・Institute for Environment and Development (LESTARI)のAhmad Fariz Mohamed准教授と連携して、2050年マレーシアにおけるSCPのビジョンを作成した。研究期間中、合計4回にわたり対面・オンラインの専門家ワークショップを実施した。SCPのビジョンについては欧州の研究者が検討している事例があるものの、本共同研究は新興国の多いアジア地域を対象とした先駆的な研究に位置づけることができる。
- タイ・チュラロンコン大学交通研究所のPongsun Bunditsakulchai講師およびカセサート大学のSaroch Boonsiripant講師と連携して、2030年頃までのタイ・バンコクを対象としたカーシェアリング普及シナリオを作成した。カーシェアリングについては北米や欧州を対象とした既存研究は数多く存在するが、自家用車保有台数が依然増加傾向にあるアジアの都市を対象とした研究として、先駆的な成果に位置づけられる。
- ベトナム科学技術アカデミー (VAST)、「生活者の基本ニーズ充足に関する研究」、Assoc. Prof. Dr. Trinh Van Tuyen、環境技術研究所 (IET) 所長、ベトナム。ベトナム人のサティスファイア情報の収集と分析について共同研究した。
- ベトナム社会科学アカデミー (VASS)、「生活者の基本ニーズ充足に関する研究」、Nguyen Dinh Chuc、持続可能地域開発研究所 (IRSD) 所長、ベトナム。ベトナム人のサティスファイア情報の収集と分析について共同研究した。
- APRSCP (The Asia Pacific Roundtable on Sustainable Consumption and Production) と共同で、アジア地域SCP政策案の策定を行っている。APRSCPを通して、アジア各国のSCP専門家との意見交換を実施した。
- インドネシア Muhammadiyah University of Magelang (UMM大学)。Dr. Yun Arifatul Fatimahと、インドネシアのリマニュファクチャリングの調査・分析を行った。
- UMM大学と 産総研 製造技術研究部門の間で本研究の協力について Letter of Intent (LOI) を締結 (2016~2021)。共著論文を執筆・発表した。
- シンガポール Advanced Remanufacturing & Technology Centre (ARTC研究所)。Dr. Shanshan Yangとシンガポールのリマニュファクチャリングの調査・分析を行った。共著論文を執筆中。
- マレーシア Universiti Teknologi Malaysia (UTM大学)。Assoc. Prof. Khairur Rijal Jamaludinとマレーシアのリマニュファクチャリングの調査・分析を行い、共著論文を執筆・発表した。

- ベトナム Vietnamese-German University。Dr. Thomas Guidatとベトナムのリマニュファクチャリングの調査・分析を行い、共著論文を執筆中。
- インドネシア Petra Christian University。Dr. Shu-San Ganとインドネシアのリマニュファクチャリングの調査・分析を行い、共著論文を執筆中。
- アメリカ California State University Sacramento。Prof. Kenichiro Chinenとリマニュファクチャリングの受容性分析を行い、共著論文を執筆・発表。

8. 研究者略歴

研究代表者

平尾 雅彦

東京大学大学院工学系研究科博士課程満期退学、工学博士、現在、東京大学大学院工学系研究科教授

研究分担者

1) 梅田 靖 (サブテーマ1においてサブテーマリーダーに準ずる役割を担った)

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士(工学)、現在、東京大学大学院工学系研究科教授

2) 小林 英樹

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士(工学)、現在、大阪大学大学院工学研究科教授

3) 松本 光崇

東京工業大学大学院社会理工学研究科博士課程単位取得、学術博士、現在 産業技術総合研究所製造技術研究部門積層加工システム研究グループ 研究グループ長

4) 山末 英嗣

東京工業大学理工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)、現在、立命館大学理工学部教授

II. 成果の詳細

II-1 消費と生産の関連性の強化のための政策デザイン

国立大学法人東京大学

大学院工学系研究科化学システム工学専攻	教授	平尾	雅彦
大学院工学系研究科 人工物工学研究センター	教授	梅田	靖
大学院工学系研究科 精密工学専攻	准教授	木下	裕介
大学院工学系研究科 都市工学専攻	准教授	栗栖	聖
大学院工学系研究科 都市工学専攻	講師	中谷	隼

<研究協力者>

大学院工学系研究科 化学システム工学専攻	助教	天沢	逸里	(平成29年度～)
大学院工学系研究科 化学システム工学専攻	特任研究員	文	多美	
大学院工学系研究科 化学システム工学専攻	特任研究員	河野	眞貴子	
大学院工学系研究科 精密工学専攻	客員研究員	小島	道一	
タイ・チュラロンコン大学 交通研究所	講師	Pongsun	Bunditsakulchai	
タイ・カセサート大学	講師	Saroch	Boonsiripant	
タイ・国立科学技術開発庁金属材料技術研究センター	主任研究員	Jitti	Mungkalasiri	
マレーシア国民大学 環境開発研究所 (LESTARI)	准教授	Ahmad	Fariz Mohamed	
国立大学法人京都大学 エネルギー科学研究科	准教授	ベンジャミン・マクレラン		

[要旨]

アジア地域におけるSCPへの生産者と消費者の関係のあるべき姿、効果、必要な施策について明らかにすることを目指した。まず、生産者の側のあるべき方向を示すために、設計-生産-循環一貫型の持続可能な消費と生産シナリオの作成方法を開発した。フォアキャストを用いるなりゆき(business-as-usual; BaU)シナリオと、専門家ワークショップによるバックキャストシナリオを比較することによって、将来ビジョンを達成できるSCPシナリオを作成するアプローチである。開発した手法に基づいて、サブテーマ2, 3, 4と協働して東南アジア地域を対象としたSCPシナリオを作成した。

消費者側のライフスタイル変更や行動変容を促す新しい消費形態として、シェアリングサービスの類型化を行い、環境影響評価手法を開発した。また、シェアリングサービスの消費者受容性の分析を行った。これらの成果から、シェアリングサービスのあり方や消費者の行動変容を促す施策を提案した。消費者の行動変容の1つの前提となるライフサイクル思考を理解させるためにボードゲームを開発し、その有効性を確認した。

資源循環に関連する法制度として、制約となりうる化学物質管理制度と促進となり得るプラスチックリサイクル制度を複数の国間で比較し、現在の法制度の課題とあるべき制度についての提案をした。

1. 研究開発目的

アジア地域におけるSCPへの生産者と消費者の関係のあるべき姿、効果、必要な施策について明らかにするために、設計-生産-循環一貫型の持続可能な消費と生産(SCP)シナリオの作成方法を開発する。開発した手法に基づいて、専門家ワークショップを用いて東南アジア地域を対象としたSCPシナリオを作成する。持続可能な生産を誘起し、その効果を最大限に発揮するための有力なステークホルダーである消費者について、ライフスタイル的思考向上と価値観変容に向けた直接的な行動介入シナリオを作成する。

2. 研究目標

全サブテーマの成果を統合し、設計-生産-循環一貫型のアジアの持続可能な消費と生産シナリオを提示する。消費におけるSCP定着のための環境教材を作成する。シェアリングなどを例として、消費と生産との連携方策を提示する。全テーマの成果から消費と生産の関連性強化によるSCP定着のための

政策提言を取り纏める。

3. 研究開発内容

1. 設計－生産－循環－貫型シナリオの作成

(1) SCPシナリオ作成手法の開発と事例分析

設計－生産－循環－貫型のアジアのSCPシナリオを作成するために、本研究では現在から2050年までの時間軸を想定し、フォアキャストとバックキャストの考え方を組み合わせるアプローチを採用した。すなわち、SCPシナリオを以下の2つの段階a)、b)に分けて作成した。

- a) フォアキャストを用いたなりゆき (business-as-usual; BaU) シナリオの作成 (現在～2030年までを対象)
- b) バックキャストを用いたSCPビジョン・シナリオの作成 (現在～2050年までを対象)

a)のBaUシナリオ作成では、製品普及予測のためにマーケティング科学分野でよく用いられるBassモデル¹⁾を活用し、現在から2030年までの耐久消費財(自動車、冷蔵庫、洗濯機など)の普及率を推計した。本研究では普及推計のための根拠として、対象地域における現在の耐久消費財の普及率、ならびに、GDP/capと人口の予測データを文献調査により収集した。なお、データ収集はテーマ1内のサブテーマ(2)、(3)と連携することで効率化を図った。b)では、専門家ワークショップ(WS)を用いて2050年の将来ビジョンを含めたSCPシナリオを作成および定量評価するための手法を開発した。この手法では、対象地域の地域性(locality)を反映させたSCPのビジョンを作成するために、WSで出てきた様々なアイデアをロジックツリー²⁾により因果関係に基づいて構造化した。また、作成したSCPシナリオを環境負荷の観点から定量的に評価するため、ライフサイクルシミュレーション³⁾の考え方をを用いて、対象製品の一生の流れを動的にシミュレーション可能な「製品循環モデル」を構築した。専門家ワークショップを日本国内およびマレーシアで実施することによって、ベトナムとマレーシアを対象としたSCPシナリオをそれぞれ作成した。さらに、計算機を用いたシナリオ設計支援のために木下ら⁴⁾が開発してきた「持続可能社会シナリオシミュレータ(3Sシミュレータ)」を活用することで、作成・定量化したSCPシナリオをその根拠情報が明示できるようにグラフ形式で記述した。

2. 新しい消費形態としてのシェアリングサービスの評価

シェアリングは、それによる追加的な環境負荷とリバウンド効果が懸念される一方で、新規製品の生産の抑制と効果的な使用によって、環境負荷を減少させることが期待されている。

(1) バンコクを対象としたカーシェアリング普及シナリオの作成

耐久消費財の中でも相対的に環境負荷への影響が大きな自家用車に着目し、カーシェアリングサービス(カーシェア)による将来環境負荷への低減効果を分析するためのシナリオを作成した。図1のとおり、基本シナリオ(現状を維持したなりゆきのシナリオ)と対策シナリオ(カーシェア普及のための政策・施策の実施を想定したシナリオ)の2種類を想定し、その差分によって環境負荷への低減効果を評価した。本研究では、将来、個人*i*が既存の交通モード(自家用車保有、公共交通利用など)からカーシェアに移行する確率を推計するために、二項ロジットモデルと呼ばれるモデルを利用した。

$$U_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k \times X_{ik}$$

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-U_i}}$$

ここで、 U_i は効用関数、 k は属性、 β_0 は特定定数、 β_k は属性 k の重み、 X_{ik} は個人*i*の属性 k の属性値、 P_i は2つの選択肢が与えられた際の一方の選択肢の選択確率である。このうち、属性 k は、既存研究の文献調査によってカーシェア選択に影響しうる要因を抽出した。また、 β_0 、 β_k はバンコク市民を対象としたアンケート調査(N=277)により収集した消費者選好データに基づき、最尤法により同定した。

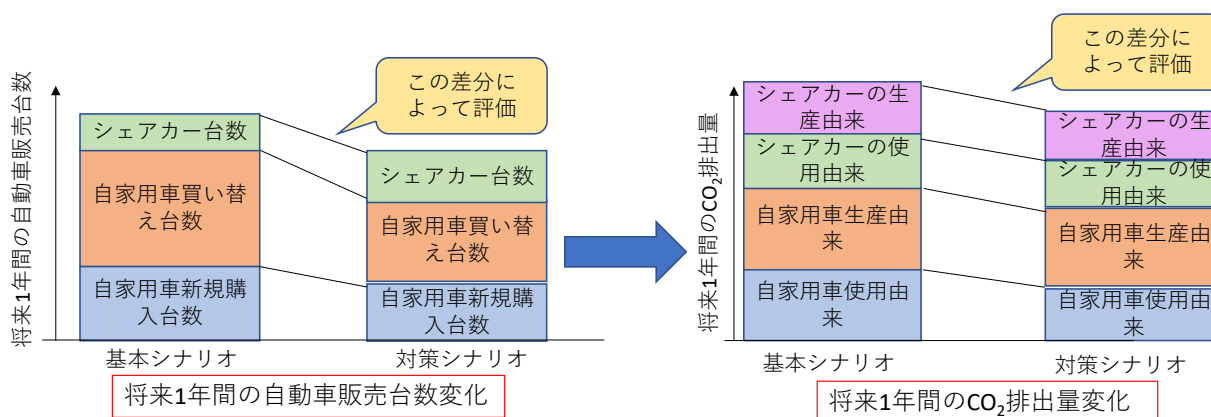


図1-1 カーシェアリングによるCO2排出量変化の評価方法

(2) 消費・生産パターンの類型化と環境影響評価

乗用車と書籍の事例分析を通して、耐久消費財の消費・生産パターン分類表を作成した。さらに、開発した類型表をもちいて、乗用車、書籍、自転車、洗濯機、衣服の多様な消費・生産パターンにおける環境影響を評価した。これらの消費・生産パターンの環境影響評価結果から、シェアリングによって環境負荷が低減する条件を製品の特徴と共に整理した。

(3) シェアリングビジネスの評価と設計手法の開発

自転車と衣服のシェアリングビジネスを対象に、ビジネスを取り巻く社会システムの評価と設計手法を開発した。自転車においては、日本のバイクシェアリングの実施・運営主体から得たデータから、環境配慮型自転車シェアリングシステムの設計に関わる設計変数と評価指標の設定と分析を行ない、利用率に影響する貸出拠点の地域特性を抽出した。また、衣服を対象とした研究では、衣類の種類による環境影響の特徴を明らかにするために、衣服ライフサイクルモデルを構築した。さらに、衣服シェアリングビジネスが提供する機能を整理し、構築したモデルを用いて複数の機能単位における環境影響を評価した。

3. 製品の環境情報提供と消費者意識に関する考察

(1) 持続可能な消費行動を促す環境情報の提示方法の提案

環境配慮製品の購入行動の促進に有効な環境情報の表示仕組みを提案するため、環境情報提示のフレームワークを提案した。そのため、東京に在住の一般消費者を対象にWeb. アンケート（2016年9月5日）とインタビュー（2017年1月10日～12日）を実施し、製品購入の必要性認識から製品購入に至るまでの意思決定段階ごとに、環境情報の表示方法と有効な情報源について調べた。

(2) シェアリングサービスへの消費者の受容

既往研究ではシェアリングサービスへの消費者の参加意図に影響を与える要因に関する分析が限定的であり、シェアリングサービスをより効率的に推進するためには、消費者の参加意向に影響を与える心理的要因を明らかにすることが欠かせない。

一方、ライフサイクル思考（LCT）の概念が持続可能な消費と製品開発に不可欠であることは、特に近年、社会的にも認知されつつある。LCTは、先進的な環境分野の取組では広く採用されており、製品のカーボンフットプリントなど、さまざまな形で一般市民への普及が企図されている。しかし、LCTの概念に対する人々の理解や、人々の環境意識および行動への影響の分析は不足している。LCTは単なる概念ではなく、日常の行動に関連している必要があり、初等教育だけでなく高等教育でもLCTを学ぶことが重要である。

以上の問題意識のもと、様々な製品のシェアリングサービスの利用を含む環境配慮行動について、その実施状況を国内外で調査するとともに、その実行意図を規定する要因について分析した。具体的には、以下の①から③のケースについて研究を実施した。これらの分析から得られた知見を反映して、④LCTに

基づいた環境行動促進に向けた情報提供について検討した上で、⑤消費におけるSCP定着のための環境教材を作成した。

① バンコクにおける環境配慮行動の調査・分析（東京およびソウルとの比較分析）

アジアにおける新興国・発展途上国と先進国の間の環境配慮行動の差異を調査した。バンコクにおける調査結果から42の環境配慮行動の実践と理由を分析し、過去に実施されたソウルと東京における調査結果と比較した⁵⁾。

② 様々なシェアリングサービスに対する消費者の動機と障壁の解明（日本とスイスの比較分析）

様々なシェアリングサービスの差異に焦点を当て、利用経験や将来の利用意図に基づいて消費者間の違いを調査した。ここでは、日本とスイスの2か国で消費者の動機および障壁を調査した⁶⁾。

③ バンコクにおける自転車および衣服のシェアリングサービスの利用・供給意図の分析

既往研究では、特定のシェアリングサービスを対象として、参加頻度が異なるグループ間を比較した事例はなかった。また、多くの研究事例では、サービス供給者の意見を考慮せず、利用者の意見のみが調査の対象とされてきた。そこで、バンコクを対象地域として、自転車および洋服のシェアリングの取組を説明する2つのモデルを開発した。ここでは、過去の自転車と衣服のレンタルの経験に基づいて被験者を2つのグループに分けた。さらに、バンコクにおけるシェアリングサービスの現状に関する重要な洞察を得るために、サービス供給3社に対して調査を実施した。

④ バンコクにおけるLCTに基づく環境情報の効果の調査・分析

情報提供のパターンを変化させて人々の態度や行動に対するLCTの影響を評価し、LCTベースの情報の影響を他のパターンの情報提供と比較した。LCTベースおよび比較対象となる情報は、(a)廃棄物の分別と、(b)詰替製品の購入という2つの環境配慮行動の促進を対象として作成された（図1）。これらは、バンコクおよび周辺地域で実施されたWebベースの調査において被験者に提示された。

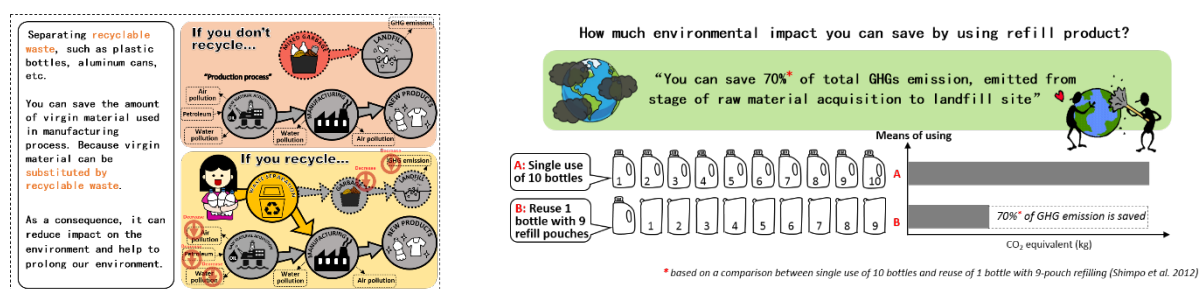


図1-2 LCTベースの情報提供：(左)廃棄物の分別；(右)詰替製品の購入

⑤ ボードゲーム形式の環境教材の開発と、大学生を対象とした試行

多くの既往研究によって、アクティブラーニングとゲームが学習の効果を高めることができることが示唆されている。こうした背景から、LCTを学ぶためのボードゲームを開発し、大学生を対象とした試行を通じて有効性を検討した。参加者には、ゲーム実施の前後において、習得したLCTの知識とゲームに対する評価のための調査を実施した。

(3) シェアリングに関わる消費者行動の特徴把握と行動変容プロセスの提案

洗濯機のシェアリングであるコインランドリーの使用（洗濯機シェア）を事例として、洗濯機所有と洗濯機シェアの洗濯行動と環境影響を比較分析しながら、洗濯機シェアへの行動変容の実現に向けた経路を提案した。さらに、洗濯機所有・コインランドリー設置現状等洗濯行動に関わる消費特徴の異なる日本とタイで消費者調査（日本：Web. アンケート(2017年11月28-30日)、タイ：対面アンケート・インタビュー(2018年10月22-24日)、Web. アンケート(2019年12月2日))を行い、洗濯機シェアを用いた洗濯行動の現状と利用意向の地域間差を確認した。

4. 政策デザインのためのアジアの法政策の現状

まず、化学物質法制度については、ライフサイクル全体をつなげ、SCP2.0に対応できるようにする必要があるため、複数先進国の化学物質管理に関連する多くの法制度を横断的に見渡し、ベストプラクティスを抽出し、ガイドランスの作成に役立てることとした。さらに、将来におけるICTの利用による化学物質管理を見越して、その足がかりとして重要な情報伝達制度である、現行のChemSHERPAを例として、課題や改善点を探ることとした。

また、ライフサイクルに関する公的制度という観点から、持続可能性評価の可能性を検討するために、EUの土壤保護枠組み指令案における規制影響評価の実施を分析した。

Circular Economyの促進のために重要なプラスチックリサイクル制度について、政策と実施を同時に分析するために、社会科学的手法（比較法的手法）を半定量分析と併せて実施することとした。

アジアにおける多くの制定法から構成される物質管理法制度を、物質ライフサイクル全体にわたって横断的に比較法学的視点から分析し、複数のベストプラクティスを選択してガイドランスの作成を試みた。アジアの先進国としての日本及び新興国としてのタイの法制度の改善点を抽出した。また循環経済の促進のために重要なプラスチックリサイクル制度について、日本と欧州の比較分析を行い、アジアに適切なリサイクルシステムの構築にむけた検討を行った。

5. 統合タスクフォース

全テーマの研究成果としての事例、評価モデル、政策提案などを全テーマから収集、整理し、SCP政策立案における13の機会をまとめ、政策決定者が参照できるマトリクスを構築した。

4. 結果及び考察

1. 設計-生産-循環一貫型シナリオの作成

(1) SCPシナリオ作成手法の開発と事例分析

a) フォアキャストを用いたBaUシナリオの作成

ベトナムを対象としたBaUシナリオの作成結果の一部を図2に示す。ベトナムの一人当たりGDPは、2016年から2030年にかけて、1500ドル前後から3500ドル前後へと2.3倍程度増加することが見込まれている。携帯電話とテレビは2016年時点で世帯保有率がほぼ100%に達しているが、その一方で、自動車、冷蔵庫、テレビ、エアコン、洗濯機等は2030年にかけて急速に普及が進むという予測結果が得られた。例えば、自動車は2016年の世帯保有率数%から、2030年には40%近くまで上昇する可能性が示された。

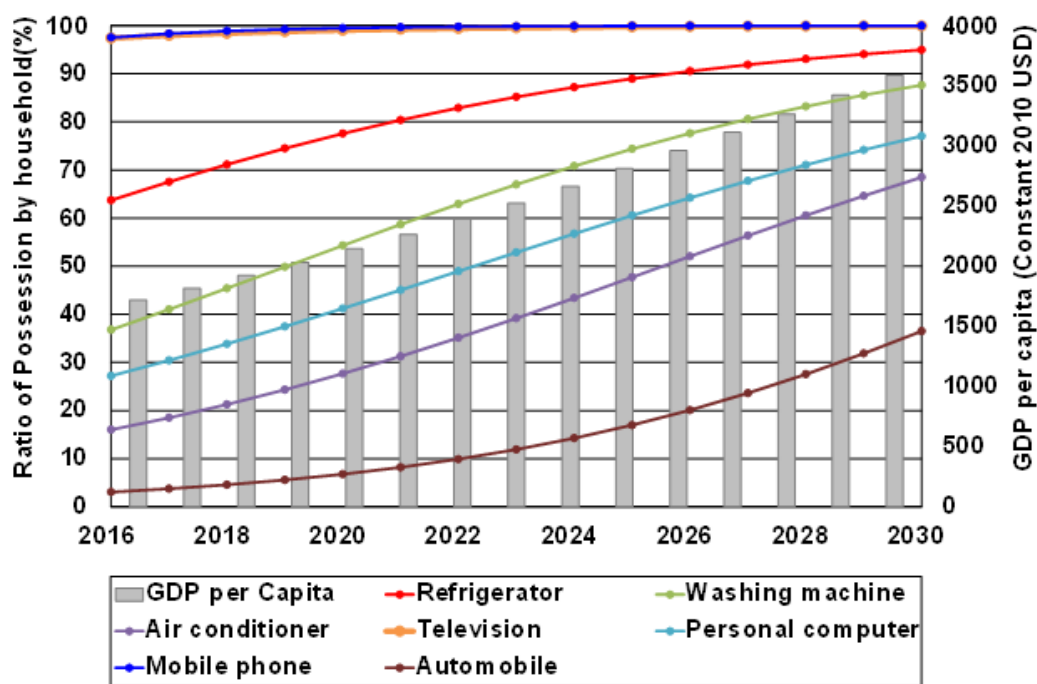


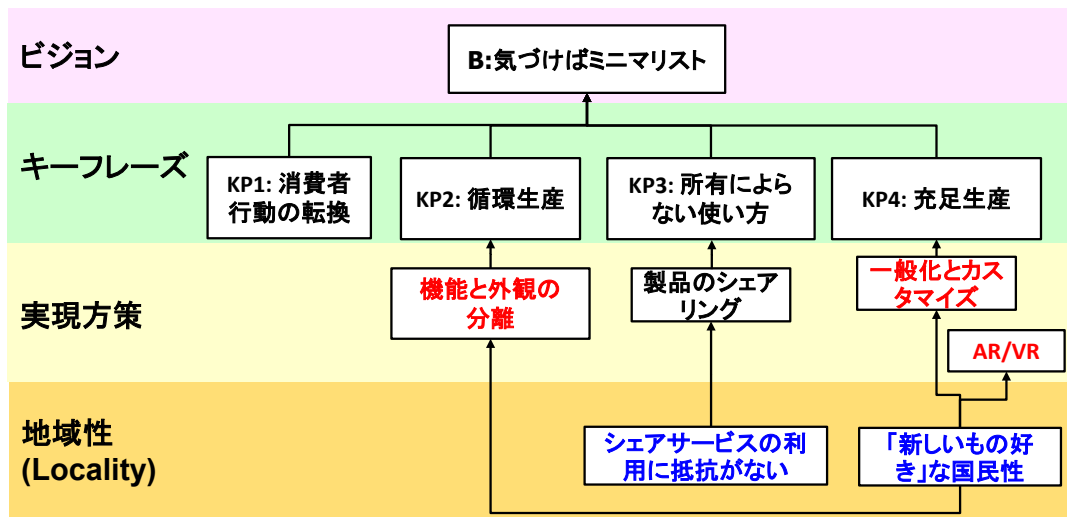
図1-3 ベトナムを対象としたBaUシナリオの作成結果（一部）⁷⁾

GDP per Capitaは右軸、それ以外は左軸

b) バックキャストを用いたSCPビジョン・シナリオの作成

本研究では、ベトナムとマレーシアを対象としたSCPシナリオを作成した^{2) 8)}。ベトナムを対象とした結果について以下に説明する。

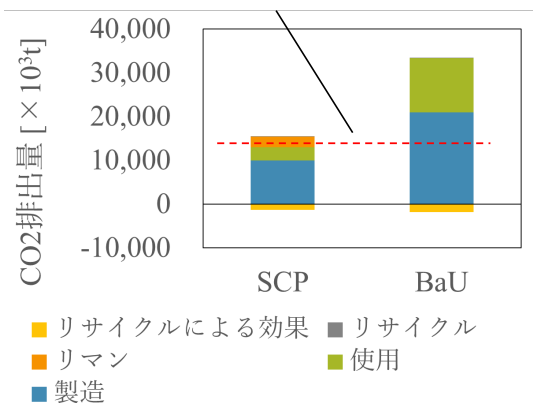
図2の結果に基づいて、サブテーマ1ではSCPシナリオが2050年までに達成すべき環境目標を「2050年時点の一人当たり資源・エネルギー消費量をBaUシナリオに比べて半減させること」と設定した。合計3回にわたる専門家ワークショップを通してSCPシナリオを作成した結果を図3、表1に示す。提案手法では、バックキャストによる専門家のアイデア発想を支援するために、図3のように、ビジョン、キーフレーズ、実現方策、地域性の4つのレイヤーに分けたロジックツリーを作成した。ここで、4つのキーフレーズ（消費者行動の転換、循環生産、所有によらない使い方、充足生産）は、本研究で専門家間の議論に基づいて、SCPに向けて生産者と消費者の関係を変革させるためのパターンとして抽出した。WSでのロジックツリーを用いた議論を通して、ベトナムの地域性（例えば、シェアサービスの利用に抵抗がない、新しいもの好き、など）を反映させながら、SCP実現のために有効と思われる様々な方策（例えば、シェアリングの活用、製品の一般化部分のカスタマイズ部分の区別）を列挙することができた。結果として、表1のようにSCPシナリオのストーリーを文章形式で作成した。

図1-4 ベトナムを対象としたSCPシナリオのロジックツリー作成例²⁾表1-1 ベトナムを対象としたSCPシナリオのストーリーライン (一部)²⁾

タイトル	ストーリーライン
A: BICS 共生社会	B(ビジネス), I(個性), C(コンシューマ), S(シェアリング)が共生している。あらゆる製品がシェアリング可能である一方, PIY (Produce it yourself) を行う Prosumerと呼ばれる人々が登場する。
B: 気づけばミニマリスト	消費者が物質的にミニマルで快適な生活に自然と移行しており, その手段として, シェアリングやAR/VRを用いたジェネラライズ・カスタマイズや, 分散型インフラなどがある。
C: インフラ改革 2.0	消費者への情報共有が進み, 消費者はスマホアプリなどを通じた情報の見える化によって, SCPにつながるライフスタイルのイメージを得つつ, 製品やサービスを選ぶことができる。修理・メンテナンスの制度の整備も進んでいる。

本研究で開発した製品循環モデルを用いて、表1のSCPシナリオを定量化した結果の一部を図4に示す。あらかじめ設定したSCPの目標（2050年の資源・エネルギー消費量半減）を達成するための方策を専門家による定量化WSで議論し、実現可能と思われる条件を提示することができた。WSでの議論の過程、根拠情報と定量化結果を3Sシミュレータにより記述した結果を図5に示す。2050年のSCP目標達成のために必要な定量化条件（例えば、シェアカーの普及率50%）を、それらの設定根拠とともに明示することで、SCPシナリオの妥当性を検証可能とした点が提案手法の特徴である。以上のように、アジア地域のSCPシナリオ作成・定量化のための方法を開発し、その妥当性を一定程度検証することができた。

SCPの目標ライン

図1-5 SCPシナリオ「BICS共生社会」の定量評価結果⁹⁾

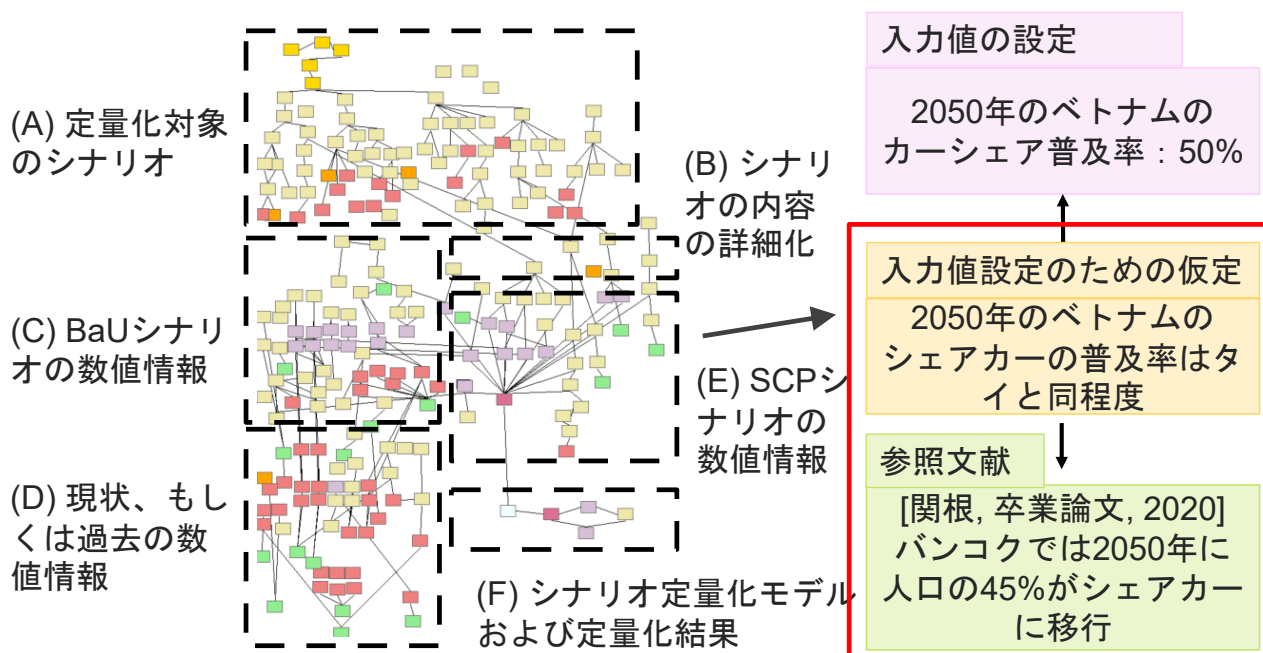


図1-6 3SシミュレータによるSCPシナリオの構造化結果⁹⁾

2. 新しい消費形態としてのシェアリングサービスの評価

(1) バンコクを対象としたカーシェアリング普及シナリオの作成

現在自家用車を保有している、もしくは、将来的に自家用車を購入する可能性があるバンコク市民を対象として、カーシェア選択に関するアンケート調査（N=277）を実施した。その結果、標本集団は、現在自家用車を保有しているグループ（88人、32%）と現在自家用車を保有していない（189人、68%）に大別できることがわかった。各グループに対して、以下の6本のシナリオを提示し、既存の交通モードもしくはカーシェアのいずれかを選択してもらった実験を実施した。

- シナリオ1:基本シナリオ
- シナリオ2:カーシェアのランニングコスト28%低減
- シナリオ3:カーシェアのアクセスタイム50%低減
- シナリオ4:シナリオ2,3の組み合わせ
- シナリオ5:自家用車のインシヤルコスト10%増加
- シナリオ6:シナリオ3,5の組み合わせ

このうち、シナリオ2～6は対策シナリオである。また、シナリオによって変化させる属性として、本研究ではインシヤルコスト、ランニングコスト、駐車場までのアクセスタイムなどを設定した。

C02排出量の観点からシナリオ間の比較結果（上記2つのグループによる結果を合算したもの）を図6に示す。シナリオ6では、シナリオ1（基本シナリオ）に対してC02排出量が48.9%低減する可能性が示された。シナリオ間の比較より、カーシェア普及の要因として自家用車のインシヤルコストとカーシェア駐車場へのアクセスタイムが重要であることが明らかとなった。例えば、基本シナリオからC02排出量を約20%低減させるには、インシヤルコストを6%増加させ、アクセスタイムを30%低減させる施策が考えられる。市民の利便性を損なうことなくカーシェアを普及させるためには、カーシェアと公共交通の適切な組み合わせ（カーシェアの駐車場を鉄道駅の近くに配置するなど）が特に重要であることが示唆された。

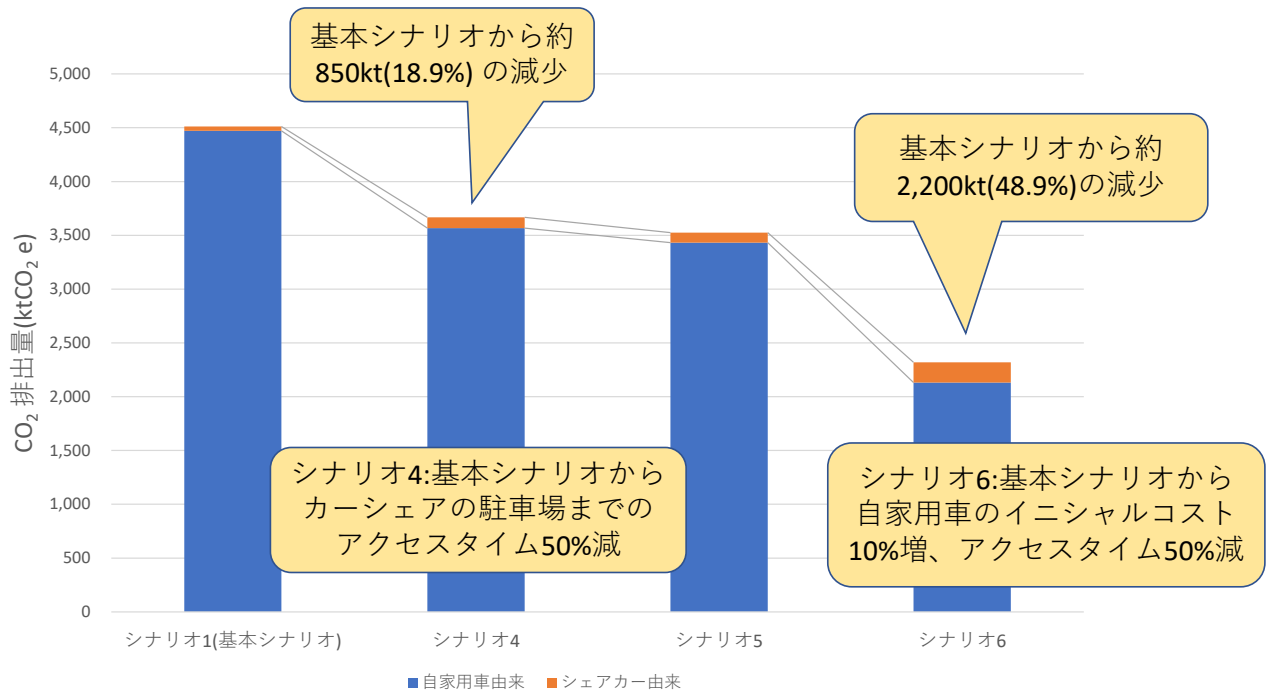


図1-7 カーシェアリング普及シナリオの比較¹⁰⁾

(2) 消費・生産パターンの類型化と環境影響評価

経済活動の様々な特徴をレビューした結果、所有権、提供者、製品に付加されるサービスの3変数で消費・生産パターンを体系的に類型化できることがわかった。所有権と提供者によって消費・生産パターンを分類すると、パターンは売り切り式、レンタル・リース式、フリーマーケット式、シェアリング式の4グループに分かれる(図1-8(a))。さらに製品に付加されるサービスを分類変数に加えることにより、各グループにおける消費・生産パターンの相違点を表現できるようになった。

		売切式	フリーマーケット式	レンタル・リース式	C2Cシェアリング式
製品の所有権		移行する	移行する	移行しない	移行しない
製品の提供者		事業者	個人	事業者	個人
製品に付加されるサービス	製品機能へのアクセス	SO-1 実店舗で販売する	F-1 古本屋で販売する	R-1 実店舗で長期間貸す	SH-1 本を長期間貸す
	製品の保管	SO-2 オンラインで販売する	F-2 オンラインで販売する	R-2 オンラインで長期間貸す	SH-2 本を貸す
	製品の操作			R-3 図書館で貸す	SH-3 本を貸す
	製品使用時の空間			R-4 オンラインで貸す	SH-4 本を貸す
	メンテナンス	SO-5 電子書籍として販売する	考慮されるビジネス例1	R-5 電子書籍として貸す	SH-5 電子書籍として貸す
			R-6 漫画喫茶で提供する	SH-6 私立図書館で提供する	

書籍の事例を類型表に当てはめた結果を図1-8(a)に示す。表の空欄および製品に付加されるサービスに着目することで、ビジネスの実例が存在しない提供スタイルを抽出し、新たなビジネスモデルを考案することが可能になった。例えば、中古の電子書籍を売買するフリーマーケット(例1)や、長期間オンラインで人が書籍貸出すプラットフォーム(例2)の構築が考案できる。

		売切式	フリーマーケット式	レンタル・リース式	C2Cシェアリング式
製品の所有権		移行する	移行する	移行しない	移行しない
製品の提供者		事業者	個人	事業者	個人
環境影響		GHG [kg CO ₂ -eq/book-person]			
		0	1.5	0	1.5
製品に付加されるサービス	製品機能へのアクセス	SO-1	F-1	R-1	SH-1
	製品の保管	SO-2	F-2	R-2	
	製品の操作			R-3	SH-3
	製品使用時の空間			R-4	
	メンテナンス	SO-5		R-5	SH-5
				R-6	SH-6

書籍の多様な消費・生産パターンにおける環境影響評価では、消費者の移動手段が大きく結果に影響することが分かった(図1-8(b))。製品の保管サービスを付加し、1冊の書籍を複数人に提供するスタイルの1つのR-3では、書籍の製造で生じるGHGが読了人数で配分され、総GHGはSO-1より削減されるが、SH-3のように書籍の消費者と提供者がともに自動車移動した場合、総GHGは増加する可能性がある。このように、シェアリングでも環境負荷が単独所有に比べて増加するリスク要因を洗い出すことができた¹¹⁾。

図1-8(a) 製品機能の提供スタイル分類表;
(b) 書籍の各提供スタイルの環境影響評価結果

さらに、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の評価事例をレビューし、製品群ごとにシェアリングによる環境負荷・資源消費の増加または減少要因を整理した。その結果、負荷の増

加要因1件と減少要因4件を抽出し、事例によって考慮されているか、根拠が示されているかによって評価結果が異なることがわかった¹⁰⁾。

(3) シェアリングビジネスの評価と設計手法の開発

環境配慮型自転車シェアリングシステムを設計するには、利用回数を増やしつつ再配置を最小限に収めることが環境負荷削減につながる。本研究から、利用回数に影響する地域特性は、鉄道駅近辺と商業施設近辺、再配置指数に関わる地域特性は、鉄道駅近辺、観光施設、商業施設近辺であることが統計的有意差で示された。人口密度からは統計的有意差が見られなかった。今回抽出した設計変数・評価指標の設定と評価指標に影響する地域特性を参考に、分析方法をアジアの他地域に適用することにより、地域特性を考慮した環境配慮型シェアリングシステムを設計できると考える。

構築した衣服ライフサイクルモデルは、製造段階では素材、デザイン、季節といった衣服の特徴を、使用段階では着用回数や洗濯頻度を入力することで、衣服のライフサイクルにおけるGHG排出量を計算する。このモデルを活用し、夏と冬のコーディネートにおけるGHG排出量を計算したところ、最大で冬服は夏服の5倍ほどのGHG排出量となることが分かった。この結果から、冬服は夏服よりもシェアリングによる環境負荷削減に繋がると考察できる。また、本ツールは衣服設計にも活用できるため、消

費者と生産者の連携を定量的に分析することができる」と期待される。

実在する衣服シェアリングビジネスが提供するサービスを調査し、機能をMurdick et al. (1990)¹³⁾のサービスの定義とサービスを受ける対象¹⁴⁾によって分類して表1-2に示す。これらの機能から「様々な衣服との出会い[着用あたり]」、「保管[m³あたり]」、「月額制[JPYあたり]」の機能単位で所有とシェアリングにおけるGHG排出量を計算した。その結果、[着用あたり]と[JPYあたり]ではGHG排出量が減ったものの、[m³あたり]では最大でGHG排出量が1000倍増加することが分かった。この枠組みを用いて、消費者が認識するサービスの重要度を定量化することで、消費形態の統合評価指標の開発や、政策立案につながると考える。

表1-2 衣服シェアリングビジネスの機能の分類¹³⁾¹⁴⁾

		提供物			
		時間	空間	心理的効用	経済的効用
対象	物（衣服）	洗濯、修理、廃棄	保管	—	—
	人（消費者）	衣服の入手、コーディネート の選択	—	様々な衣服との 出会い	月額制

3. 製品の環境情報提供と消費者意識に関する考察

(1) 持続可能な消費行動を促す環境情報の提示方法の提案

製品購入時に消費者が参考にする情報源を意思決定段階別にみると、製品購入の必要性を感じる初期段階では理想的な製品イメージが消費者の意思と関係なく受信されるCMやチラシ、新聞報告が参考となった。製品検索段階では製品の客観的情報や使用経験に関する感想が受信できる情報源を、製品決定段階には店舗訪問による製品の实物確認や店員からの説明聴取を用いた。また、消費者に重視される製品条件について、製品のサイズ・容量といった製品の物理的条件は意思決定の全プロセスにかけて重視点としてあげられた。具体的に意思決定の初期段階では、購入予算や使用時の費用が重視されるが、意思決定の後期段階に行くほど、一定条件を満たす製品間比較に役立つ製品機能やデザインが重視された。さらに、消費者に提供する環境情報の大きさは消費者の製品に対する意識変更に大きく影響しないことが明らかになった。以上の調査結果も踏まえ、家電製品の購入に至るまでの意思決定を「必要性認識」「製品検索」「購入製品の絞込み」、また、家電製品の購入意思決定段階別情報収集の流れを「情報源に触れる」「情報に気付く」「情報を参考にする」に分けて、家電製品購入における環境情報提供のフレームワークを提案した（図1-9）。これらを通して、製品選択に向けた消費者の意思決定プロセスの中で、情報内容と情報源を考慮した効果的な環境情報の表示方向を提案した。

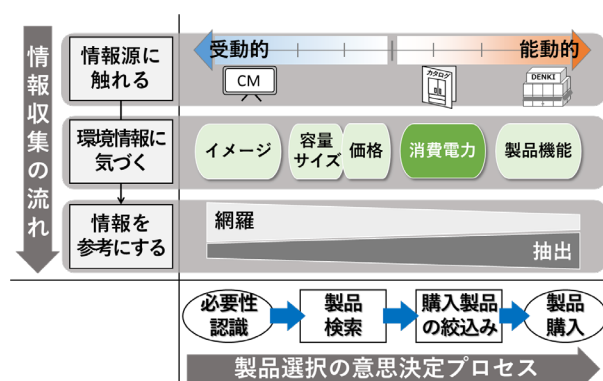


図1-9 消費者の購入意思決定段階と情報収集方法に着目した環境情報表示のフレームワーク

(2) シェアリングサービスへの消費者の受容意識

① バンコクにおける環境配慮行動の調査・分析（東京およびソウルとの比較分析）

調査結果から、発展途上国および先進国の都市における環境配慮行動の実施状況と理由について、異なる傾向が示された。バンコクでは、最も実施されたのは省エネ分野の行動であったが、ソウルと東京では、廃棄物の分別、省エネ、輸送など、いくつかの分野の行動が含まれていた（表1-3(a)）。一方で、環境配慮型の製品の購入が少なかったことなど、3つの都市では実践が少ない行動に類似性が見られた（表1-3(b)）。実行理由と行動のコレスポネンス分析によるマッピングでは、環境配慮行動を実行する理由または反対する理由が都市によって異なることが示された。環境配慮行動を実行する場合には単一の強い理由がある一方で、実行に反対する理由は多様であることが分かった。以上の分析結果から、3都市の文脈的要因に基づく環境配慮行動の実践に関する差異と、得られた示唆および将来の研究に向けた課題を議論した。

② 様々なシェアリングサービスに対する消費者の動機と障壁の解明（日本とスイスの比較分析）

調査結果から、過去にシェアリングサービスの利用経験のある個人は、今後の利用意向も高いことが明らかとなった。経済（価格）面、スペース、品質、安全性の問題など、将来の利用意図がある回答者は現実的な動機と障壁を持っていたのに対して、将来の利用意図がない回答者には「使いたくない」「商品がない」といった障壁があり、「新しい人と知り合う」「面白い経験」といった付加的な価値を得る動機があることも分かった。過去の利用経験を持つ個人は比較的若く、物質主義かつ規範的な傾向が高く、シェアリングサービスの利用者が活動的かつ積極的な特徴を持っていることが示された。日本とスイスの比較結果では、サービスの成熟度、つまりサービス開始からの経過時間によって、利用方法や動機に差異が見られた。さらに、文化的および経済的な違いが、動機や障壁の差異、中古品の使用に対する受容性レベルの差異の要因となっている可能性が示唆された（図1-10）。以上の分析結果によって、消費者の過去のシェアリングサービスの利用経験が、将来の利用意図や動機および障壁に影響を及ぼすことが明らかになった。また、日本とスイスの国際比較を通じて、サービスが成熟するにつれて動機と障壁が変化する可能性があることも示された。

③ 様々なシェアリングサービスに対する消費者の動機と障壁の解明（日本とスイスの比較分析）

調査結果から、過去にシェアリングサービスの利用経験のある個人は、今後の利用意向も高いことが明らかとなった。経済（価格）面、スペース、品質、安全性の問題など、将来の利用意図がある回答者は現実的な動機と障壁を持っていたのに対して、将来の利用意図がない回答者には「使いたくない」「商品がない」といった障壁があり、「新しい人と知り合う」「面白い経験」といった付加的な価値を得る動機があることも分かった。過去の利用経験を持つ個人は比較的若く、物質主義かつ規範的な傾向が高く、シェアリングサービスの利用者が活動的かつ積極的な特徴を持っていることが示された。日本とスイスの比較結果では、サービスの成熟度、つまりサービス開始からの経過時間によって、利用方法や動機に差異が見られた。さらに、文化的および経済的な違いが、動機や障壁の差異、中古品の使用に対する受容性レベルの差異の要因となっている可能性が示唆された（図1-10）。以上の分析結果によって、消費者の過去のシェアリングサービスの利用経験が、将来の利用意図や動機および障壁に影響を及ぼすことが明らかになった。また、日本とスイスの国際比較を通じて、サービスが成熟するにつれて動機と障壁が変化する可能性があることも示された。

表 1-3 都市ごとの環境配慮行動の実践頻度の(a) 上位10行動と(b) 下位10行動

(a). Top 10 highest scored behaviors by city

Rank	Bangkok	Tokyo	Seoul
1	B9 Switch off light	<u>T19</u> <u>Waste separation</u>	<u>S19</u> <u>Waste separation</u>
2	<u>B8</u> <u>Switch off A/C</u>	<u>T8</u> <u>Switch off A/C</u>	S9 Switch off light
3	<u>B10</u> <u>Switch off TV</u>	T9 Switch off light	S13 Less laundry
4	B35 Eco appliances	T42 Cycling/walking	<u>S43</u> <u>Use public transport</u>
5	B1 Fridge door	T13 Less laundry	S23 Donate old clothes
6	B13 Less laundry	<u>T43</u> <u>Use public transport</u>	S12 Switch off monitor
7	B14 Less detergent	T24 Sufficient cooking	S4 Fridge food cooling
8	B4 Fridge food cooling	T32 Refill products	S33 My bag
9	B48 Car idling	T25 Eco cooking	<u>S10</u> <u>Switch off TV</u>
10	B32 Refill products	T4 Fridge food cooling	S22 Double-sided paper use

Note: Rank 1 indicates the behavior with the *highest* average score in each city. The behavior that ranks in all 3 cities is indicated in **bold**. The behavior that ranks in 2 cities is underlined. B=Bangkok, T=Tokyo, and S=Seoul.

(b) Top 10 lowest scored behaviors by city

Rank	Bangkok	Tokyo	Seoul
1	B42 Cycling/walking	T30 Reusable containers	S1 Fridge door
2	B19 Waste separation	<u>T6</u> <u>Clean filter</u>	S40 Buy organic goods
3	B27 Kitchen waste dehydration	T11 Unplug	S37 Buy recycled goods
4	B34 Few packages	T45 Hybrid cars	S3 Fridge overload
5	B7 Use LED	T37 Buy recycled goods	<u>S6</u> <u>Clean filter</u>
6	B40 Buy organic goods	T23 Donate old clothes	S2 Set fridge temperature
7	B45 Hybrid cars	<u>T44</u> <u>Use stairs</u>	S45 Hybrid cars
8	B33 My bag	T40 Buy organic goods	S7 Use LED
9	B37 Buy recycled goods	T7 Use LED	<u>S44</u> <u>Use stairs</u>
10	B26 Kitchen waste composting	T26 Kitchen waste composting	S26 Kitchen waste composting

Note: Rank 10 indicates behavior with the *lowest* average score in each city. The behavior that ranks in all 3 cities is indicated in **bold**. The behavior that ranks in 2 cities is underlined. B=Bangkok, T=Tokyo, and S=Seoul.

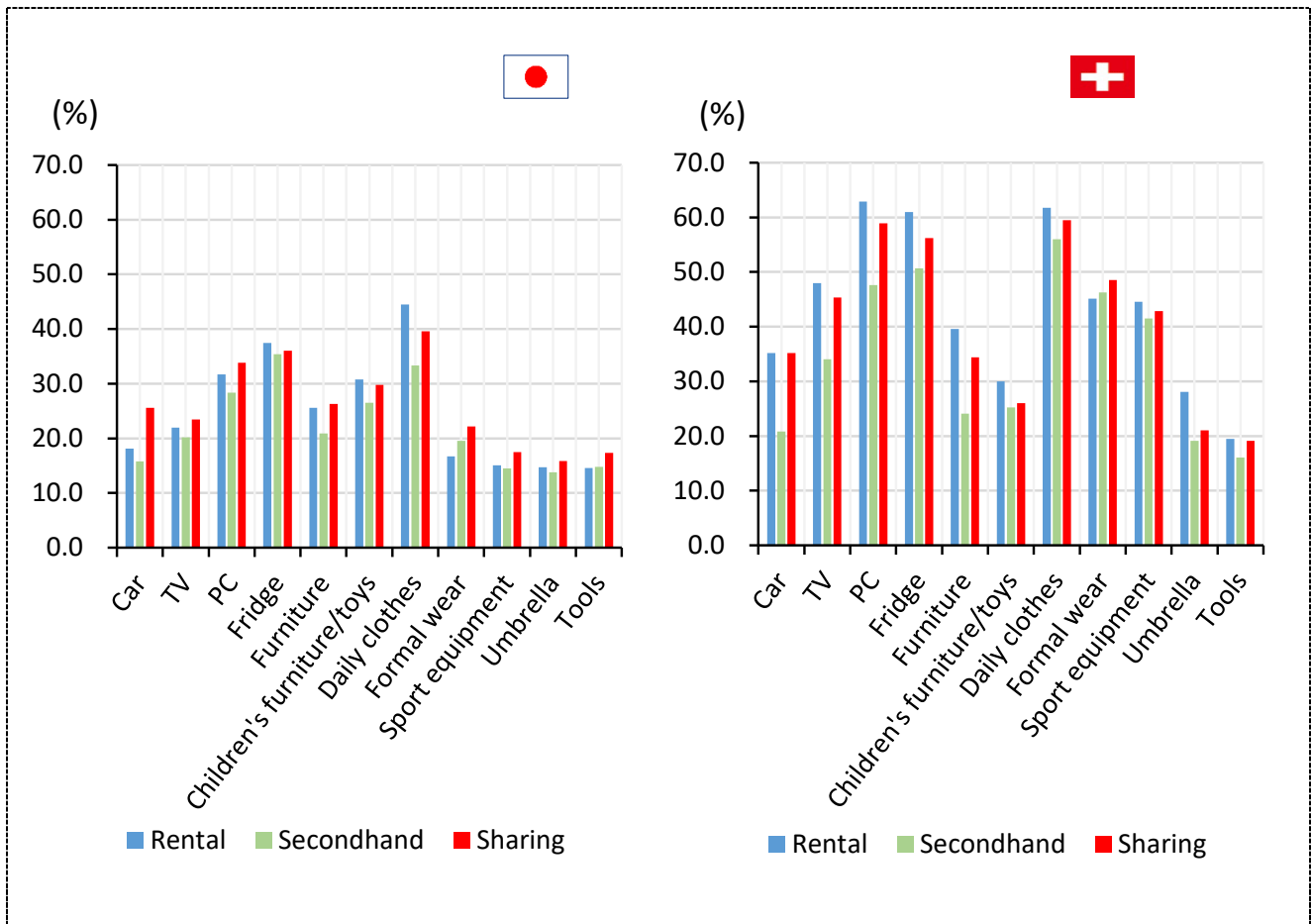


図1-10 他人が使った中古品を使いたくない回答者の割合

④ バンコクにおける自転車および衣服のシェアリングサービスの利用・供給意図の分析

自転車シェアリングのモデルの出力結果は、サイクリングへの意図が自転車シェアリングの利用意図の重要な決定要因である可能性があることを示唆した。また、衣類シェアリングのモデルの出力結果は、コストと利益の感覚が利用意図に影響を与える最も強い要因であることを示した。また、自転車および衣服のシェアリングの双方について、過去の自転車と衣服のレンタルの経験に基づく2つのグループ間で大きな差異が見られた。一方、シェアリングサービスの供給者に対する調査結果からは、バンコクにおけるシェアリングサービスの促進に対する障壁の存在が明らかになった。例えば、劣悪な道路状況がサイクリングや自転車のシェアリングを妨げる可能性がある。また、衣類のシェアリングサービスで頻繁に洗濯をすると、環境負荷が高まる可能性もある。以上の分析結果から、バンコクにおいて持続可能かつユーザーフレンドリーなシェアリングサービスを実現するためには、その利用者と供給者の両方から得られた影響を十分に考慮する必要があることが示された。

⑤ バンコクにおけるLCTに基づく環境情報の効果の調査・分析

廃棄物の分別および詰替製品の購入に関するLCTベースの情報は、対象の行動に対する回答者の態度の改善に大きな影響を及ぼしたものの、いずれの行動の改善にはわずかな影響しか及ぼさなかった。詰替製品に関するLCTベースの情報に関する知識のレベルは、廃棄物の分別に関するLCTベースの情報の知識レベルよりも低かった。比較対象となる情報の提供と比較して、LCTベースの情報は両方の対象行動に関して有用であった。以上の分析結果から、持続可能な消費の促進と教育にLCTの概念を利用することの有用性が示唆された。

⑥ ボードゲーム形式の環境教材の開発と、大学生を対象とした試行

作成したボードゲームには、電源構成、燃料効率、製品の生産に関連するCO2排出量、運用条件と効率、シェアリング行動、使い捨て製品と耐久消費財といった、持続可能性の鍵となる問題をカバーした

(図1-11)。調査結果では、参加者(大学生)のLCTの知識が大幅に向上し、ゲームへの参加前のLCT知識が低いグループで向上幅がより大きくなった。また、参加者は満足度と日常生活への発展性に関してゲームを高く評価した。そうした肯定的な評価は、ゲーム前のLCT知識が高いグループについてはLCT知識の増加と直接的には関係していなかったが、ゲームの満足度は、ゲーム前のLCT知識が低いグループのLCT知識の向上に正の影響を及ぼした。分析結果を受けて、ゲームと学習後の活動を組み合わせることや、行動の価値を示す手段など、改善可能性についても議論した。

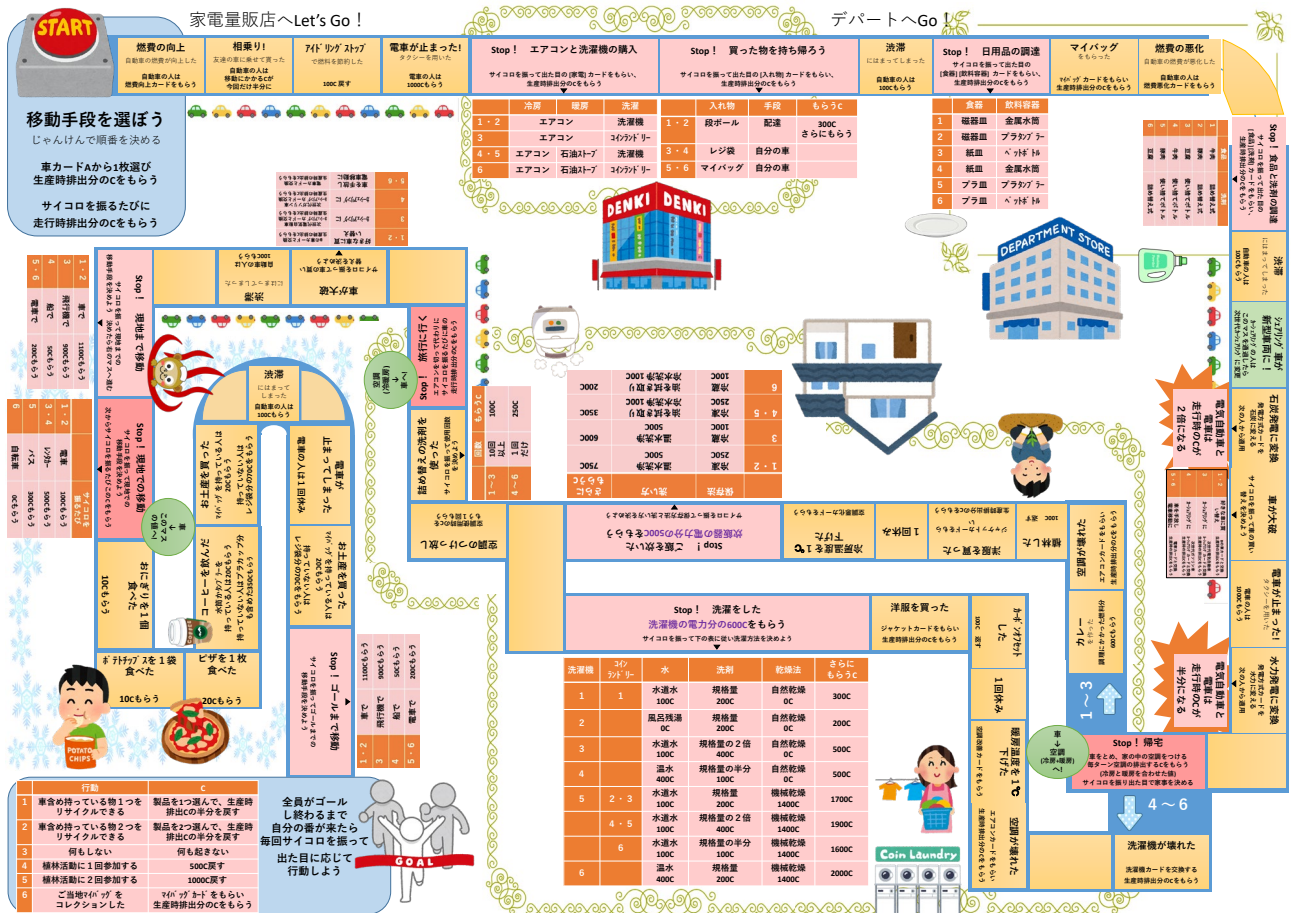


図1-11 環境教材のボードゲームの全体像

(3) シェアリングに関わる消費者行動の特徴把握と行動変容プロセスの提案

コインランドリーの利用による洗濯機シェアの実施有無によって回答者をPW-only(自家用洗濯機のみ使用者)、CL-only w/o(コインランドリーのみ使用者)、CL-only w/(自家用洗濯機所有しながらコインランドリーのみ使用者)、Mix(自家用洗濯機・コインランドリー両方使用者)といった4つのグループに分類し、それぞれの洗濯行動とGHG排出量を推計した(図1-12)。洗濯機所有率がほぼ100%に至り洗濯機を必須品として認識する傾向の強い東京(日本)では、コインランドリーは自家用洗濯機の付加機能として用いられることが多いので、コインランドリーを使用するグループ(Mix, CL-only w/, CL-only w/o)の洗濯量当たりGHG排出量はPWより高かった。一方、洗濯機普及率が70%のバンコク(タイ)では、自家用洗濯機の代替としてコインランドリーを用いることが多いため、コインランドリーを使用するグループ(CL-only w/, CL-only w/o)の洗濯量当たりGHG排出量はPWに比べて低かった。特に、Mixは自家用洗濯機と洗濯機シェアを混合使用するので、地域を問わず洗濯量当たりGHG排出量が一番高かった。この結果から、洗濯機シェアの普及による環境影響は地域別異なることを予想される。また、洗濯機シェアを洗濯機所有の代替ではなく洗濯行動の付加機能として利用することは、地域を問わず環境負荷に悪影響を及ぼすことを明らかにした¹⁵⁾。さらに、CL-only w/oはPWに比べて洗濯頻度は

低い、機械乾燥が最も多く行われることから、洗濯機シェアの移行によるGHG排出量の増加可能性を予測できる。従って、持続可能な消費パターンとしてシェアリングを提案するためには、シェアリングによる消費行動と環境影響の地域特徴を考慮する必要がある。また、環境負荷の削減につながる消費行動のガイドラインの提案も必要である。

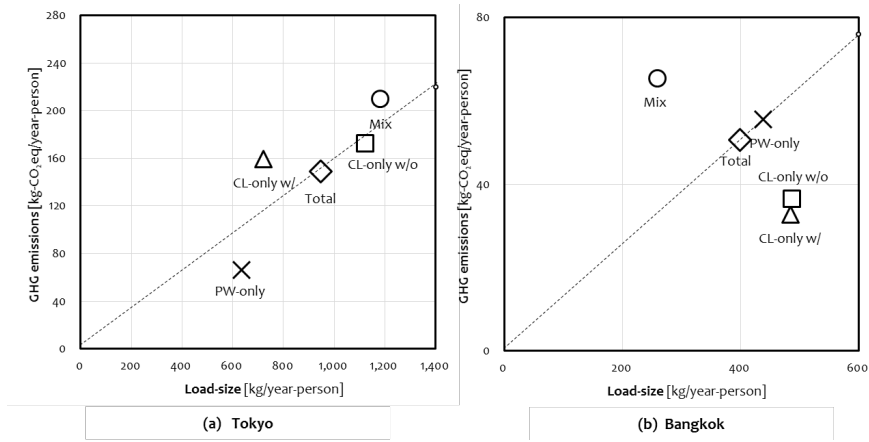


図1-12 グループ別、東京とバンコクの一人当たり年間洗濯量とGHG排出量（一人世帯）
 ((a)東京(N=82)、(b)バンコク(N=43))

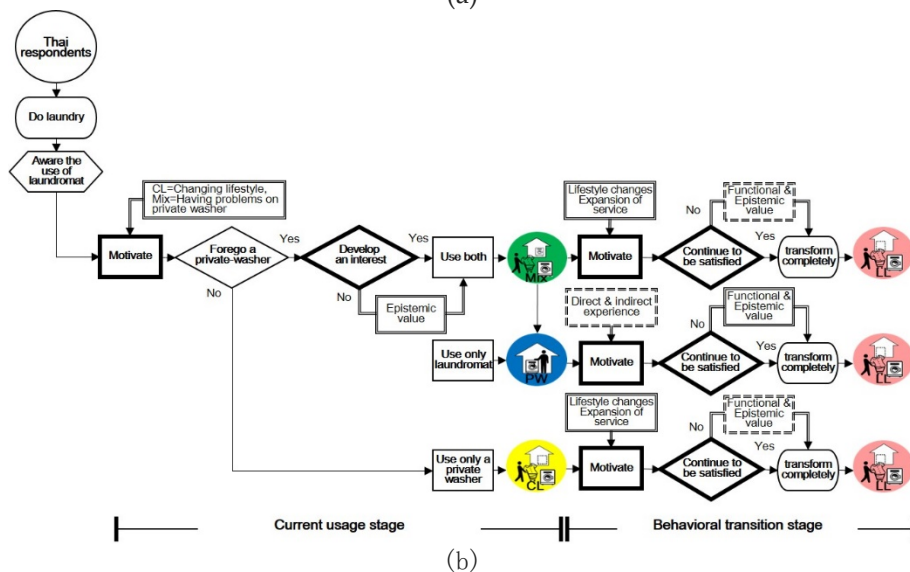
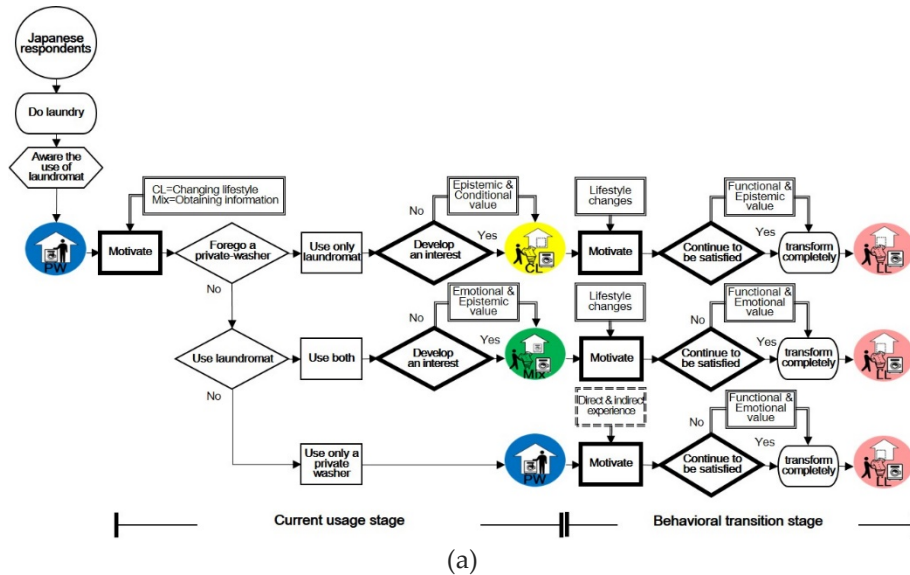


図1-13 シェアリングの利用形態と地域性を考慮した洗濯機シェアへの行動変容プロセス

((a) 日本、(b) Thailand)

次に、洗濯機所有率・洗濯習慣のシェアリングの利用形態と地域間差を考慮して洗濯機シェアへの行動変容プロセスを提案した（図1-13）。現在利用段階において洗濯機シェアを促すためには、洗濯行動の手間の軽減・時間の節約(epistemic value)が地域を問わず重視された。しかし、行動移行段階で洗濯機シェアの行動変容を実現するためには、地域によって重視する消費価値が異なった。洗濯機所有への愛着が強い日本は、洗濯機シェアの経験を増やして消費生活に密接な関係性を築くこと(emotional value)が重視される。一方、タイは洗濯機所有の消費パターンの定着にこだわらず、地域性を活かした洗濯機シェアの普及による洗濯行動の効率性を高める方法があげられる。

4. 政策デザインのためのアジアの法政策の現状

化学物質管理法制度については、アジア以外の先進国として、オーストラリア、カナダ、EU、ニュージーランド、アメリカの5カ国を分析対象国とした。分析対象制度は、生産プロセス、消費プロセス、および廃棄プロセスに係る主要な制定法である。特定の国にとってのベストプラクティスが他国にとっては必ずしもベストとは限らないため、複数のベストプラクティスを選択した。最後に、当該ガイダンスをモデルケースとして参照し、アジアの先進国としての日本及び新興国としてのタイの法制度の見直し、いずれの国においてもライフサイクルを通じた複数法制度のリンクが十分ではないことを指摘した。

化学物質管理のための情報伝達制度の一例である日本のChemSHERPAに関連しては、まずCircular Economyと化学物質管理の理論的な関連性を確認するところから開始し、新しいSCP概念にふさわしいように、抜け落ちている観点（特に廃棄物の最終処分管理すべき元素）を追加することを提案した。

プラスチックリサイクル制度においては、前処理施設の規模に着目した。欧米では大規模施設が多いが、日本では小規模施設が多いという特徴があった。そのうえで、イギリスの制度と半定量的なデータを用いつつ、比較を行った。3重に構成されているプラスチックリサイクルに関連する法制度をより上位から修正する必要も示唆された。このような巨視的な視点からの分析に基づくシナリオを作成し、再度定量的な分析を行うことが、改善に資すると思われる。

5. 統合タスクフォース

プロジェクトのテマリーダーと各テーマの主要メンバーから構成する統合タスクフォースによって、SCP政策を討議した。SCP政策立案における主要な点を12の機会にとりまとめ、2018年度には「S-16Policy Brief」政策提言として国連HLPFにて発表した。

また、SCP政策立案のアジアへの展開を視野に、共創型政策立案ワークショップを日本国内で開催。その後、バンコク、マレーシアにて開催した。また本年度は、取り纏めた移動、就業、購買、家事などのドメインでのSCPパターンや地域性に基づいて、同様の共創型政策立案ワークショップをオンラインで実施できるように改良し、実施した。まず日本側メンバーによる討議で原案を作成し、この原案について、タイ側メンバーを含むワークショップを開催し、その妥当性を確認した。これに加え、新型コロナ感染拡大によって認識された課題を討議し、新たに追加すべき政策の論点を取り纏め、全体を整理して新たに13の機会とした。

並行して、全テーマの研究成果としての事例、評価モデル、政策提案などを全テーマから収集、整理し、SCP政策立案における13の機会との関連を分析し、政策決定者が参照できるマトリクスを構築した。

これらの統合タスクフォースでの分析や議論の結果、アジア地域における持続可能な消費と生産推進政策の方向性、消費・生産パターンの転換政策、そしてアジア地域からの変革について、合わせて16項目の政策提言として取り纏めを行った。今後の持続可能な消費と生産推進政策の対象領域の拡大、そのための共創型政策立案の必要性、そして、長期目標の設定とその実現のためのEnvisioning-Based Policy Makingの提示が骨子である。

*詳細はプロジェクト全体の成果報告書を参照

5. 研究目標の達成状況

消費・生産パターンの類型化と環境影響評価の結果から、シェアリングによる環境影響増減要因はシェアリングのビジネスモデルで提供されるサービスと、製品の種類、そしてシェアリング利用者の消費者行動に依存することが分かった。また、コインランドリーの事例から、シェアリング利用者の消費行動の特徴と環境影響、地域差が明らかになったことから、シェアリングの利用形態と地域性を考慮したシェアリングへの行動変容プロセスを提案することができた。自転車と衣服のシェアリングビジネスの影響評価を通して、シェアリングビジネスの評価・設計手法を開発した。最後に、消費者の環境配慮行動に役立つ環境情報表示のフレームワークを提案できた。以上の成果は、消費・生産パターンの総合的政策デザインに活用できる。

本プロジェクトでは複数の製品と数ある事例から調査を遂行したが、汎用性のある手法、そして結果であるかどうかは、議論の余地がある。地域特性も日本とタイのケースにとどまり、国による消費者像の違いがどれだけ本プロジェクトの結果に影響しているかは課題として残る。

6. 引用文献

- 1) Frank M. Bass: "A new product growth model for consumer durables," *Management Science*, 15, (1969), 215-227.
- 2) Yusuke Kishita, Shogo Kuroyama, Mitsutaka Matsumoto, Michikazu Kojima and Yasushi Umeda, "Designing Future Visions of Sustainable Consumption and Production in Southeast Asia," *Procedia CIRP*, Vol. 69, (2018), pp. 66-71,
- 3) Yasushi Umeda, Akira Nonomura, Tetsuo Tomiyama: "Study on life-cycle design for the post mass production paradigm," *AIEDAM*, 14(2), (2000), pp. 149-161.
- 4) Yusuke Kishita et al. "Scenario Structuring Methodology for Computer-Aided Scenario Design: An Application to Envisioning Sustainable Futures," *Technological Forecasting and Social Change*, 160, (2020), 120207.
- 5) Phuphisith, K. Kurisu, K. Hanaki: A comparison of the practices and influential factors of pro-environmental behaviors in three Asian megacities: Bangkok, Tokyo, and Seoul, *Journal of Cleaner Production* 253, 119882 (2020); DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119882
- 6) K. Kurisu, R. Ikeuchi, J. Nakatani, Y. Moriguchi: Consumers' motivations and barriers concerning various sharing services, *Journal of Cleaner Production* 308, 127269 (2021); DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127269
- 7) Chuang Bao, Yusuke Kishita and Yasushi Umeda: "Demand Estimation of Consumer Durables in Southeast Asia in 2030: A Business-As-Usual Scenario," *Proc. of the 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2017*, A32-1, (2017).
- 8) Yusuke Kishita, Ahmad Fariz Mohamad, Michikazu Kojima, Eri Amasawa, Benjamin McLellan, Ayumi Isoda, Yasushi Umeda, "Future Scenarios of Sustainable Consumption and Production: Comparative Analysis of Expert Workshops in Japan and Malaysia," *Proc. of CARE Innovation 2018*, 1.6.5, November 26-29, 2018, Vienna, Austria, (2018), 3 pages.
- 9) Sota Onozuka, Yusuke Kishita, Michikazu Kojima, Mitsutaka Matsumoto, Yasushi Umeda, "Quantitative Assessment Method for Supporting Scenario Workshops toward Sustainable Consumption and Production," *Procedia CIRP*, Vol. 98, (2021), pp. 49-54.
- 10) Ryota Odagaki et al. "Undertaking Scenario Analysis of the Diffusion of Car Sharing Services: A Case Study in Bangkok, Thailand," *EcoDesign 2021*. (to appear)
- 11) Eri Amasawa, Tsubasa Shibata, Hirokazu Sugiyama, and Masahiko Hirao "Environmental potential of reusing, renting, and sharing consumer products: systematic analysis approach" *Journal of Cleaner Production*, 2020, 242, 118487

- 12) 天沢 逸里, 文 多美, 中谷 隼 “シェアリングエコノミー：ライフサイクル思考の観点から” 日本LCA学会誌, 15(2), 161-173 (2019)
- 13) Murdick, R.G., Render, B., Russell, R.S., 1990. Service Operations Management. Allyn and Bacon, Boston.
- 14) Lovelock, C.H., 1983. Classifying services to gain strategic marketing insights. J. Mark. 47.S.
- 15) D. MOON, E. AMASAWA and M. HIRAO: Sustain., 12, 22, 9756 (2020) Consumer motivation and environmental impact of laundry machine-sharing: analysis of surveys in Tokyo and Bangkok

II-2 地域を指向したものづくりのためのサステナブル・デザイン

国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻	教授 小林 英樹
学校法人早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 経営システム工学科	教授 福重 真一
<研究協力者>	
国立大学法人大阪大学 グローバルイニシアティブ機構	准教授 住村 欣範
国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻	助教 村田 秀則

[要旨]

本研究ではアジア地域を念頭において、地域特性と充足性を考慮した製品開発方法論の確立を目的とした設計手法および設計支援システムを構築した。地域情報と製品の機能・構造の関係を明示した拡張機能・構造マップ（EFSM: Extended function structure map）とEFSMを操作・表示する設計支援システム、および地域空間情報から再構成した仮想環境と物理的プロトタイプから成るMixed Prototyping (MP) 環境を構築した。これらを組み合わせて用いる地域指向の製品開発方法論を確立し、その有効性をベトナムの事例によって検証した。

1. 研究開発目的

持続可能な消費と生産 (SCP) の特徴の一つは、対象地域によってSCPの実現形態が異なることである。もう一つの特徴は、製品・サービスの効率性だけでなく、物質需要そのものの削減に深く関わる生活者の充足性にも目を向ける必要があることである。本研究ではアジア地域における製品開発の観点から、地域特性と充足性を考慮した製品開発方法論の確立を目的とする。

2. 研究目標

生活者の基本ニーズを充足させるために、地域に特有の制約や要求を製品仕様に的確に反映する地域指向の製品開発方法論を確立し、地域生活情報と製品分析情報に基づいた拡張機能・構造マップを用いた設計支援システムを構築する。

3. 研究開発内容

3.1 地域指向の製品開発方法論、および設計支援システム

方法論開発と並行して、ベトナムを中心とした地域情報の調査、具体的には都市と郊外の生活調査、使用製品調査、産業の実態調査、商業の実態調査、自治体などの調査を実施した。主な調査先は以下の通りである。なお、比較検証のために必要な日本国内の地域情報も適宜収集した。

- 2016年、ベトナム（ホーチミン）
農村部世帯、都市部世帯、家電販売店、廃棄物処理業者、スクラップ処理業者、日系企業（家電、素材製造）。
- 2016年、タイ（バンコク）
地域コミュニティ、家電販売店、日系企業（家電、事務機械）
- 2017年、ベトナム（ホーチミン、ハノイ）
農村部世帯、都市部世帯、家電販売店、VAST
- 2018年、ベトナム（ホーチミン、ハノイ）
農村部世帯、都市部世帯、家電販売店、ライドシェアリング、コインランドリー、地場企業（太陽光発電、車いす）、日系企業（バイク）、VAST、VASS
- 2019年、ベトナム（ホーチミン、ハノイ）

エコタウン、農村部世帯、都市部世帯、家電販売店、地場企業（プラスチック成型）、日系企業（トイレ）、VAST、VASS

図2-1に構築した地域指向製品開発方法論の枠組を示す(1)。本方法論は製品の改良設計に適用することを想定している。製品設計プロセスは、大きく(1)問題認識とアイデア発想、(2)設計案評価、の2つのプロセスで構成されるが、本研究ではプロセス(1)および(2)を支援するため、それぞれ拡張機能・構造マップ(EFSM: Extended function structure map)およびMixed Prototyping(MP)環境を用いた設計支援手法およびシステムを開発した。これらは単独でも有効だが、組み合わせて用いることによって多様な地域情報を製品設計に有効活用することができる。

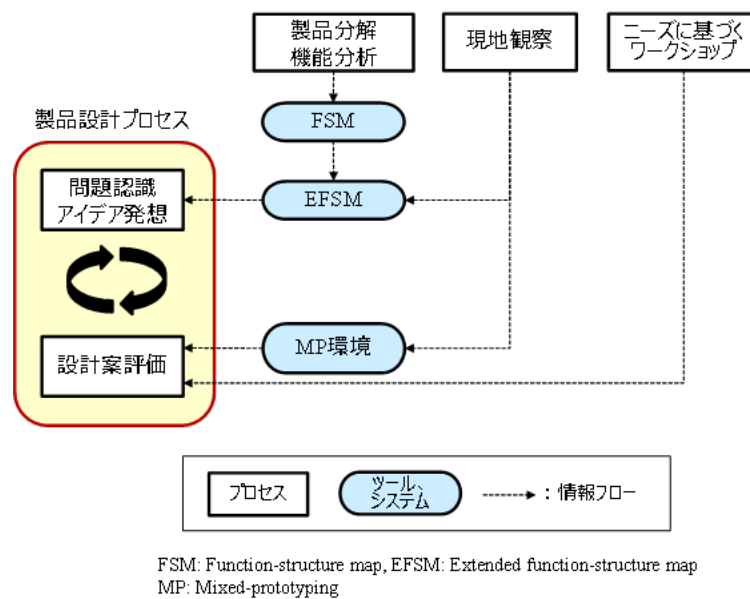


図2-1 地域指向製品開発方法論の枠組⁽¹⁾

対象製品が与えられた際に、まず当該製品の分解、機能分析を実施し、機能・構造マップ(FSM: Function-structure map)を作成する。FSMに現地観察で収集した地域情報を付加してEFSMを作成する。EFSMは、自然言語で表現された特徴的な地域情報と機能あるいは部品ノードとの関係を視覚化することにより、地域の文化的文脈に焦点をあてた問題認識と設計アイデアの発想を支援するツールである(図2-2)。本研究ではEFSMを作成、可視化する設計支援システムを開発した。

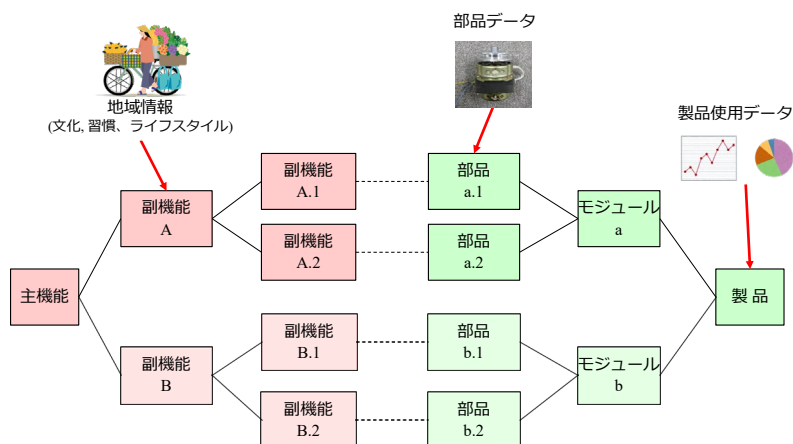


図2-2 拡張機能・構造マップの概要

一方、現地観察で収集される地域情報の中には、日常生活空間における住居や他製品との位置関係、あるいは姿勢などの空間情報も含まれている。こうした空間情報はEFSMで適切に扱うことができないため、MP環境で活用することを試みた⁽²⁾。図2-3に対象製品が日常生活で使用される生活空間をMP環境で再現するイメージを示す。このMP環境は、製品の物理的なプロトタイプとその仮想モデルで構成され、評価者はヘッドマウントディスプレイによる目視観察や、製品使用時の評価者の体の動きや触覚に伴う作業負荷を体験することができる。現地観察で得られた空間情報をもとに、実空間と同じスケールで作成された仮想空間に、観測対象領域の典型的な居住空間を再構築する。また、評価者の手足は仮想空間で再現され、その動きは実空間での評価者の実際の手足の動きを反映している。実空間では、評価者が触れることができる簡略化された物理的プロトタイプが、仮想空間で作成された製品と同じ位置に配置される。仮想モデルが物理的プロトタイプにオーバーレイされたMP環境により、評価者は現実に近い動き、負荷、および触覚を体験可能となる。MP環境で製品を体験した評価ユーザは、Semantic Differential (SD) 法を用いた主観評価を行い、改良設計前後の設計解の評価結果を比較分析する。SD法は、何かに対する個人の心理的意味を測定する方法で、本研究では対象地域の住民から抽出したサティスファエアを評価形容詞として用いる。なお、サティスファエアは後述するニーズに基づくワークショップを通じて抽出される自然言語で表された一般的且つ抽象的なニーズ充足手段を指す。

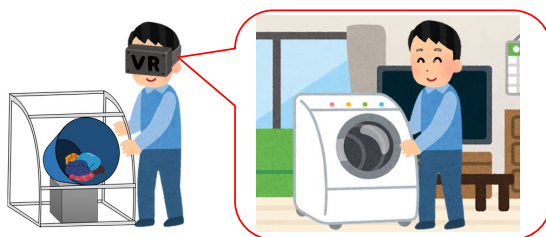


図2-3 MP環境を用いた評価イメージ

現実世界において製品とユーザは単独に存在するのではなく、それぞれ「地域文化」という文脈の中に存在する。この文脈の中で製品群と人間の基本ニーズ充足の関係性を明示化する生活圏アプローチの概念的枠組を提案した(図2-4)⁽³⁾。SCP実現のためには個人の限りない欲望ではなく、人々の基本ニーズが優先的に満たされるべきであることから、本枠組の最上位層には人間の基本的なニーズ概念を位置付けた。本研究ではMax-Neefが定めた9種の普遍的な人間のニーズ(生存、保護、愛情、理解、参加、無為、創造、個性、自由)に着目した。第2層にはMax-Neefのニーズ枠組に従い、ニーズ充足の一般的手段であるサティスファエア概念を位置付けた。サティスファエアは、対象地域の文化、歴史、気候、政治、制度などの要因に依存し、その内容は時代と共に変わる性質を持つ。各ニーズを満たすサティスファエアは4種の存在形式(あること、所有すること、行うこと、交流すること)によって分類され、 $9 \times 4 = 36$ のマトリクス要素に整理される。本研究では、地域住民に共通するサティスファエアを、地域性を表す重要概念とみなした。第2層より下層には対象製品の存在理由やユーザにとっての価値、およびそれがどのような機能、構造で実現されるかを表した価値グラフを位置付けた。製品概念が対象地域のサティスファエアと結合することによって、充足性の観点において製品存在の意義が生じると考えた。このように製品と地域住民のニーズ充足を統合した枠組を提供する点が生活圏アプローチの特徴である。

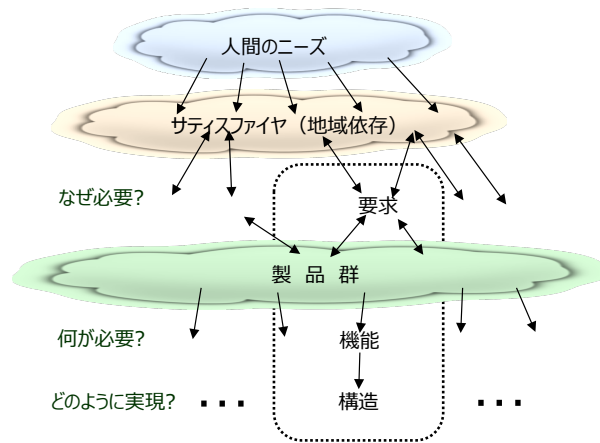


図2-4 生活圏アプローチの枠組み⁽³⁾

生活圏アプローチでは対象地域のサティスファイア情報の獲得が鍵である。そのためのニーズに基づくワークショップ法を開発した⁽⁴⁾。なお、2020年度は新型コロナウイルス感染症が蔓延して対面式のワークショップを開催できなくなった。そこで急遽研究計画を修正して、サティスファイア情報の収集に特化したオンライン・ワークショップ法、および支援システムを開発した⁽⁵⁾。

生活圏アプローチに基づいて、日常生活で使用される製品群のニーズ充足に対する寄与を定量化する正味充足度指標を開発した。本指標は、製品がサティスファイアを介して充足性を向上させることと、製品がニーズ充足の阻害要因（バリア）を介して充足性を低下させることを総合評価することを定式化したものである。図2-5に正味充足度の概念図を示す⁽⁶⁾。

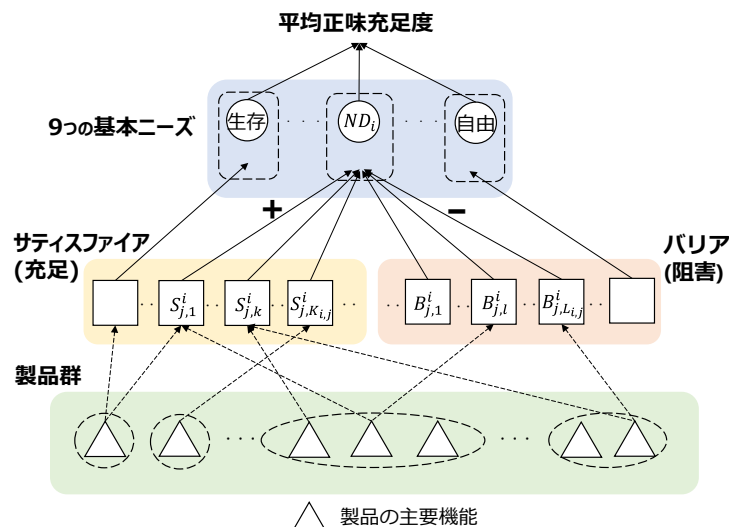


図2-5 正味充足性評価指標の概念図⁽⁶⁾

さらに、生活圏アプローチに基づいて、個別製品の機能・構造とサティスファイアをラダリング法によって接続する手法を提案した⁽⁷⁾。サティスファイアは概念抽象度は高いため、製品概念とサティスファイアを直接関係づけることは分析者のスキルに依存している。製品とサティスファイアの間には顧客要求と地域要求概念を定義し、接続関係の詳細化を試みた。なお、地域要求とは地域住民に特有の要求であり、対象製品には依存しない。

3. 2 自動車シェアリングのライフサイクルシミュレーション手法の開発

物質需要そのものを削減するポテンシャルを有するシェアリングサービスの設計と普及は、テーマ共通の課題である。本研究では、ライフサイクルシミュレーション (LCS) を用いて自動車シェアリングと

電動化を総合した環境負荷を定量化する手法を開発した⁽⁸⁾。

これまでのLCS手法では製品の新規生産量の設定に二通りの方式、すなわちプッシュ型あるいはプル型生産方式、のどちらかを適用していた。前者は需要予測に基づく生産計画によって予め定めた台数を生産する方式で、後者は市場から発注された台数だけ生産することで生産在庫を最小化する方式である。いずれもユーザがシェアリングサービスを選択することで生じる車個体ごとの生涯走行距離、乗車人数などの変化とその新規生産台数への反映は課題であった。さらに、自動車の脱炭素化を進める上で電気自動車への移行を扱うことは必須である。本研究では、製品の使用形態選択と電気自動車への移行を陽にモデル化したLCS手法を開発した。図2-6に開発した自動車のライフサイクルプロセスモデルを示す⁽⁸⁾。

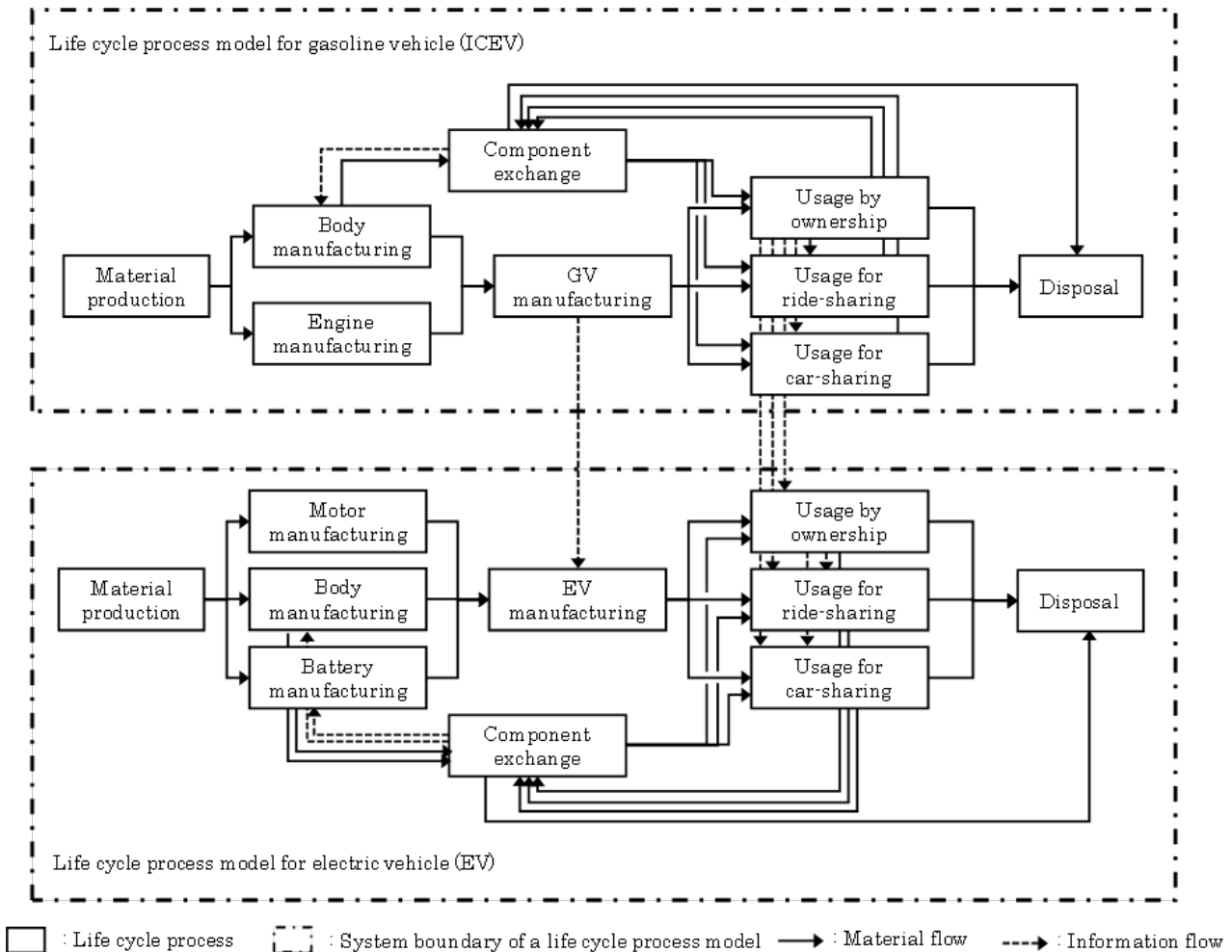


図2-6 シェアリングと電気自動車への移行を考慮したライフサイクルプロセスモデル⁽⁸⁾

4. 結果及び考察

4.1 地域指向の製品開発方法論、および設計支援システム

開発した設計方法論の有効性を検証するためにベトナム庶民向けの二層式洗濯機を仮想設計した。既にインドネシアやフィリピンなどの同じ市場セグメントでは二層式洗濯機の人気が比較的高い。図2-7に、洗濯機、洗濯桶、洗面台、シャワー、トイレで構成された、伝統的なベトナム家庭の防水床エリアを示す。衣類はまず洗濯桶で手洗いしてから洗濯機に投入される。こうした洗濯の習慣はベトナムで広く普及している。図2-8に戸外で衣類や食器を洗う共通的な桶を示す。



図2-7 伝統的なベトナム一般家庭の防水床エリア



図2-8 食器や衣類を手洗する桶

現地基準製品としてベトナム庶民向けの全自動洗濯機を分解し、FSMを作成した。本製品は高所得国で販売されている洗濯機と比較すると少数の部品で構成されている。図2-9に分解写真を示す。



図2-9 分解した現地基準製品

FSMに地域情報、製品情報を付加したEFSMを作成した。図2-10に情報システム上に表示された基準製品のEFSMを示す。図の左上には「住民は、手洗いしてから洗濯機に入れるのが最善の方法だと考えていますが、忙しいので洗濯機のみ使う」「洗濯機は速くて便利ですが、手洗いの方が汚れは落ちやすい」「手洗いしてから洗濯機で汚れを落とす習慣がある」などの地域情報が記載されている。図の右下には「弱いトルク」と洗浄モーターの写真が表示されている。

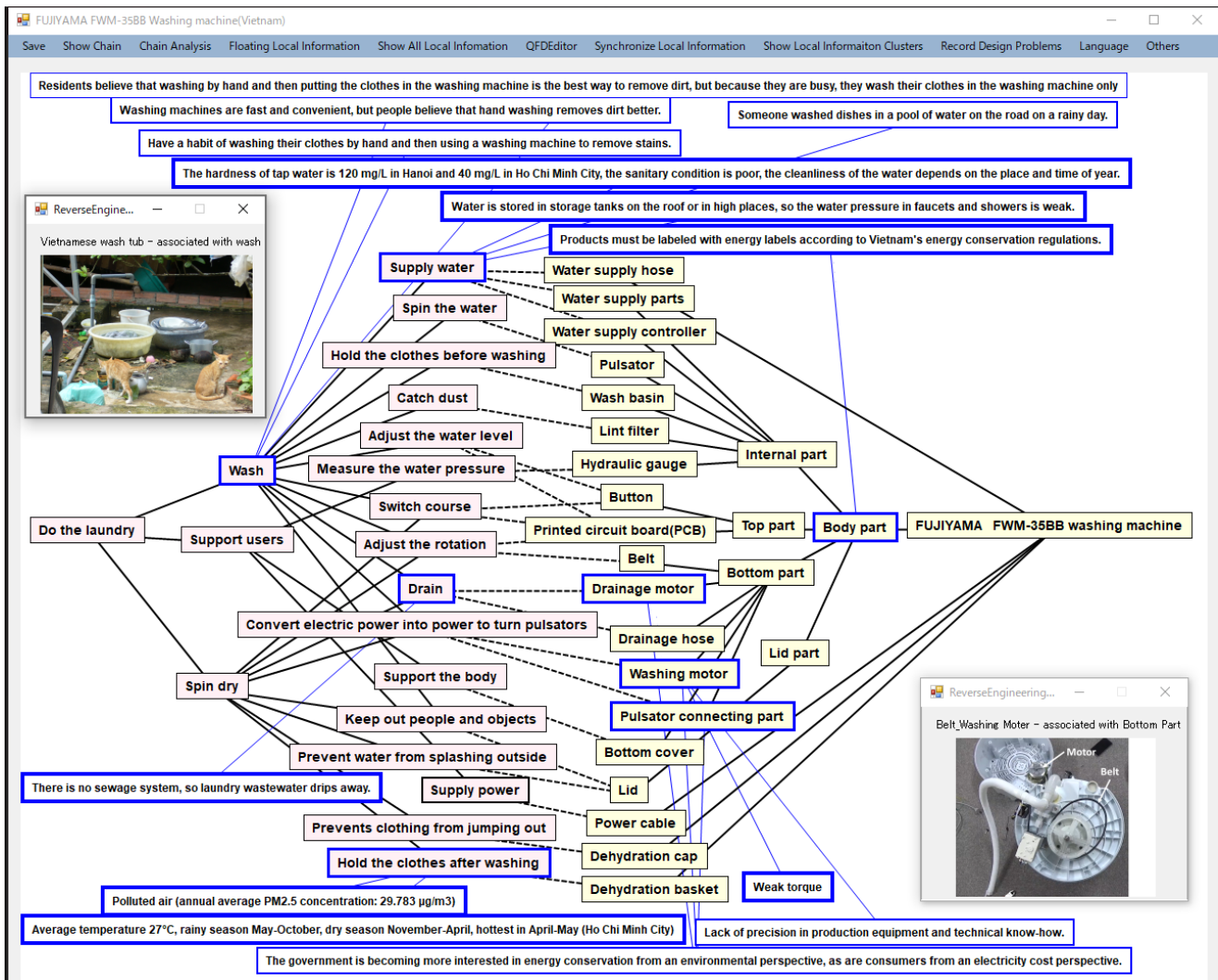


図2-10 現地基準製品のEFSM

EFSMの情報から問題を認識した設計者は、二層式洗濯機の上部に洗濯桶を組み合わせるアイデアを発想した(図2-11)。これによりユーザは立ったまま洗濯機上で手洗いができる。

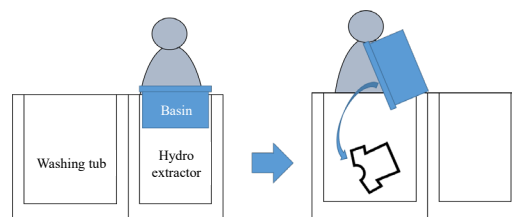


図2-11 設計アイデアのポンチ絵

設計案を評価するために、現地観察によって撮影した室内画像をもとにMP環境を構築した(図2-12)。評価者の手と足は仮想空間で再現され、これらの仮想モデルは、実空間での評価者の実際の手と足にリンクされている。さらに、図2-13に示すように、洗濯機、洗濯槽、水、洗濯物を簡略化した物理的プロトタイプを実空間に配置した。



図2-12 構築したMP環境（仮想側）

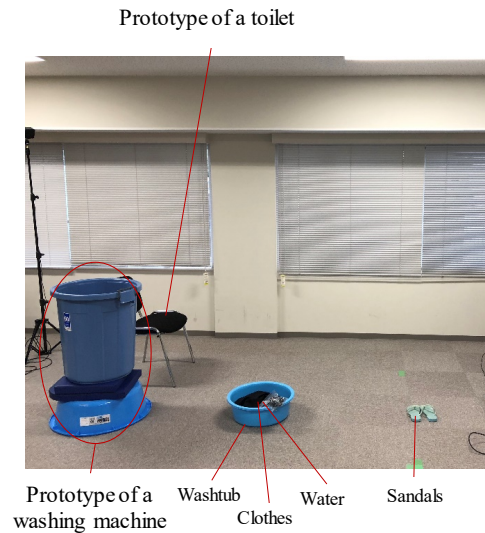


図2-13 物理的プロトタイプ

次に、新旧の洗濯機を同じベトナムのMP環境に設置し、3人のベトナム人ユーザ（男性2人と女性1人）が物理的プロトタイプを含む仮想バスルームにて洗濯プロセスを体験した。旧型の体験では、床に置いた洗濯桶による手洗後に全自動洗濯機に衣類を投入した。新型体験では、二層式洗濯機の上部に取り付けられた洗濯桶を使って手洗い後に、洗濯機に衣類投入した。こうした体験をSD法によって評価した。

3人の評価者のSD評価平均値を図2-14に示す。平均値4.0を超えることがポジティブな評価であることを意味する。すべての基準の平均値は、全自動洗濯機で4.8であり、二層式洗濯機で5.0とわずかに高かった。ただし、「楽な」のスコアは、全自動洗濯機の6.7からツインタブ洗濯機の5.3に低下した。洗濯、すすぎ、絞りのプロセスを切り替えることと、衣類を洗濯タンクから水力抽出器（つまり、絞りと紡績タンク）に移す作業が二層式洗濯機の評価点を下げている。一方、二層式は水量や洗浄時間を簡単に調整できるため「自由な」の点数が上がった。各基準で4.0を下回ったスコアはなかったため、洗濯プロセスの変更が充足性に悪影響を及ぼしたとは見なされなかった。いくつかの結果は、さらなる改良設計の必要を示唆している。例えば、洗濯槽から脱水槽への衣類移動の容易化であるが、詳細なレビューが必要である。

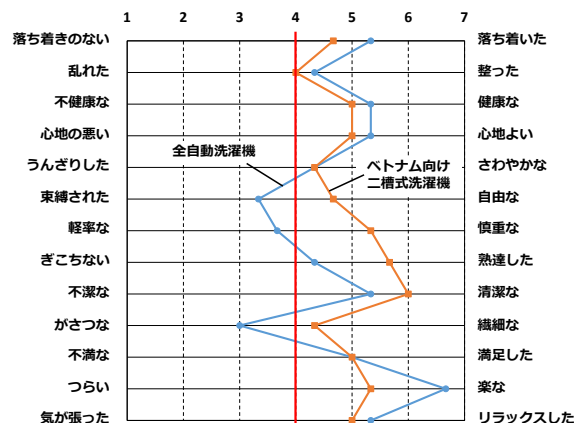


図2-14 Semantic Differential (SD) 法を用いた地域指向製品の主観評価の結果

SD法の評価基準として用いたサティスファイアは、事前にベトナムで開催したワークショップにて抽出した。図2-15にニーズに基づくワークショップの様子を示す。また、本研究で用いた学生、社会人に共通するサティスファイア（ハノイ在住ベトナム人）を図2-16に示す。



図2-15 ニーズに基づくワークショップの様子（ハノイ、ベトナム）

	Being	Having	Doing	Interacting
Subsistence	joyful healthy sufficient	house food money drinking water clothes	enjoying leisure time breathing eating drinking resting exercising	loving conversation interaction
Protection	healthy protected	protective tools insurance	keeping good health having interests helping	flood prevention environmental protection
Affection	joyful happy to love familiar	partner	loving sharing kissing hugging taking care of someone having interests communicating	taking care of someone loving interaction
Understanding	erudite	knowledge document books life skills qualification	learning to study studying reading a book	learning in groups
Participation	enthusiastic excited sociable joyful familiar	responsibility	participating in social activities going out expressing an opinion working	N/A
Idleness	fresh comfortable	games having a car	playing a game reading a book playing participating in social activities	group participation talking with each other
Creation	imaginative thinking	wisdom sensibility	drawing a picture	considering the opinions of others
Identity	active enthusiastic sociable diligent	N/A	N/A	cultural enlightenment activities
Freedom	N/A	money private space rights and interests	doing as one pleases traveling talking listening to music shopping	N/A

図2-16 ベトナム人共通サティスファイア（2018年度）

(2)-17に開発したオンライン・ワークショップ支援システムの画面例を示す。WherebyとmiroというWebツールをベースに参加者の発話量自動カウント、進捗管理などのファシリテーション支援機能を備えており、国内のワークショップでその実用性を検証した。今後は、海外対面式ワークショップへの適用を計る。

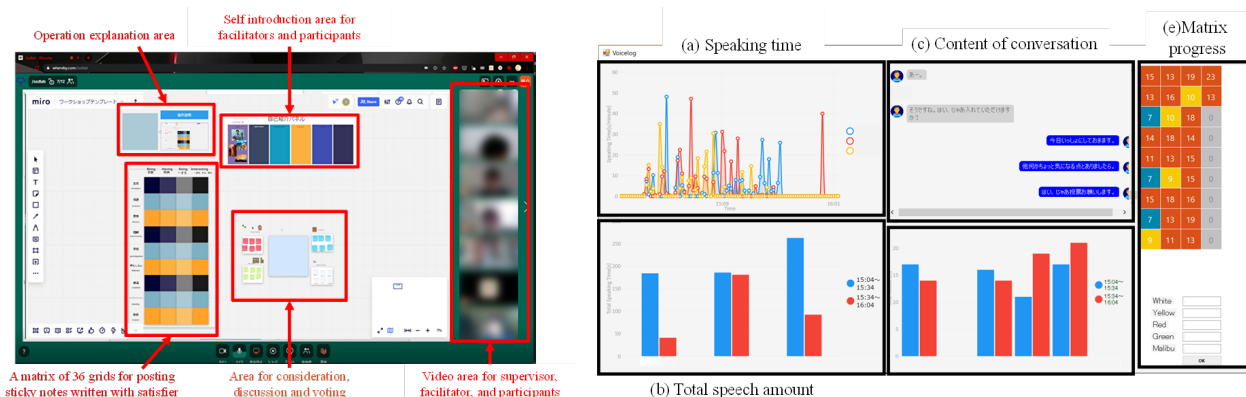


図2-17 開発したオンライン・ワークショップ支援システムの画面例⁽⁵⁾

生活圏アプローチの研究展開として、日本とベトナムを比較した正味充足性評価の結果を示す。統計データを根拠に、一般家庭に存在し得る製品として各々154品目（日本）、53品目（ベトナム）を設定した。2018年度、2019年度のワークショップで抽出したサティスファイア、バリア情報と製品主機能を分析者が直接的に接続して計算した。図2-18に平均充足度と平均正味充足度の評価結果を示す。ここで充足度は製品とサティスファイアとの接続のみ考慮した指標、正味充足度は製品とサティスファイア、バリア双方の接続を考慮した指標、「平均」とは製品とサティスファイアあるいはバリアの接続度を0から1の値の一様分布乱数で1,000回試行した平均値を意味する。バリアを考慮することで充足度が大きく低下することが明らかになった。これは製品の負の影響の大きさを表している。特に日本では製品の負の側面の影響が大きく、製品数（機能数）の多さが必ずしも充足度向上に線形的に寄与するわけではないことが分かった。本研究結果から、今後基本ニーズ充足に対する製品の負の側面も考慮しつつ、アジア地域での製品普及を進めることが重要と言える。

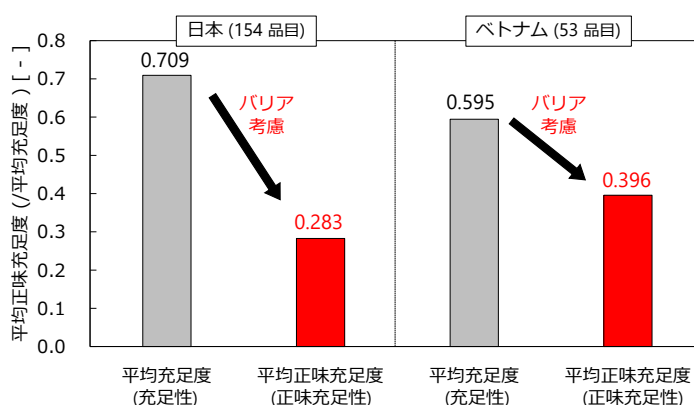


図2-18 平均充足度の比較結果

図2-19は日本製炊飯器とベトナム人サティスファイアの接続例である。構造からサティスファイアの関係性分析にはSystems Modeling Language (SysML)を用いた。本図は製品の機能、構造と対象地域のサティスファイアの関係性を分析する基礎情報となっている。この結果では、共通サティスファイアの半数近くが炊飯器と関係づけられた。しかし、高々一つの製品が充足に寄与するサティスファイア

アの数は過剰である可能性を示唆している。結果の詳細分析は今後の課題である。また、ラダリング法による質問回数を変更することで関係づけられるサティスファイアの数に制御できる可能性があるが、その妥当性についても今後の課題である。

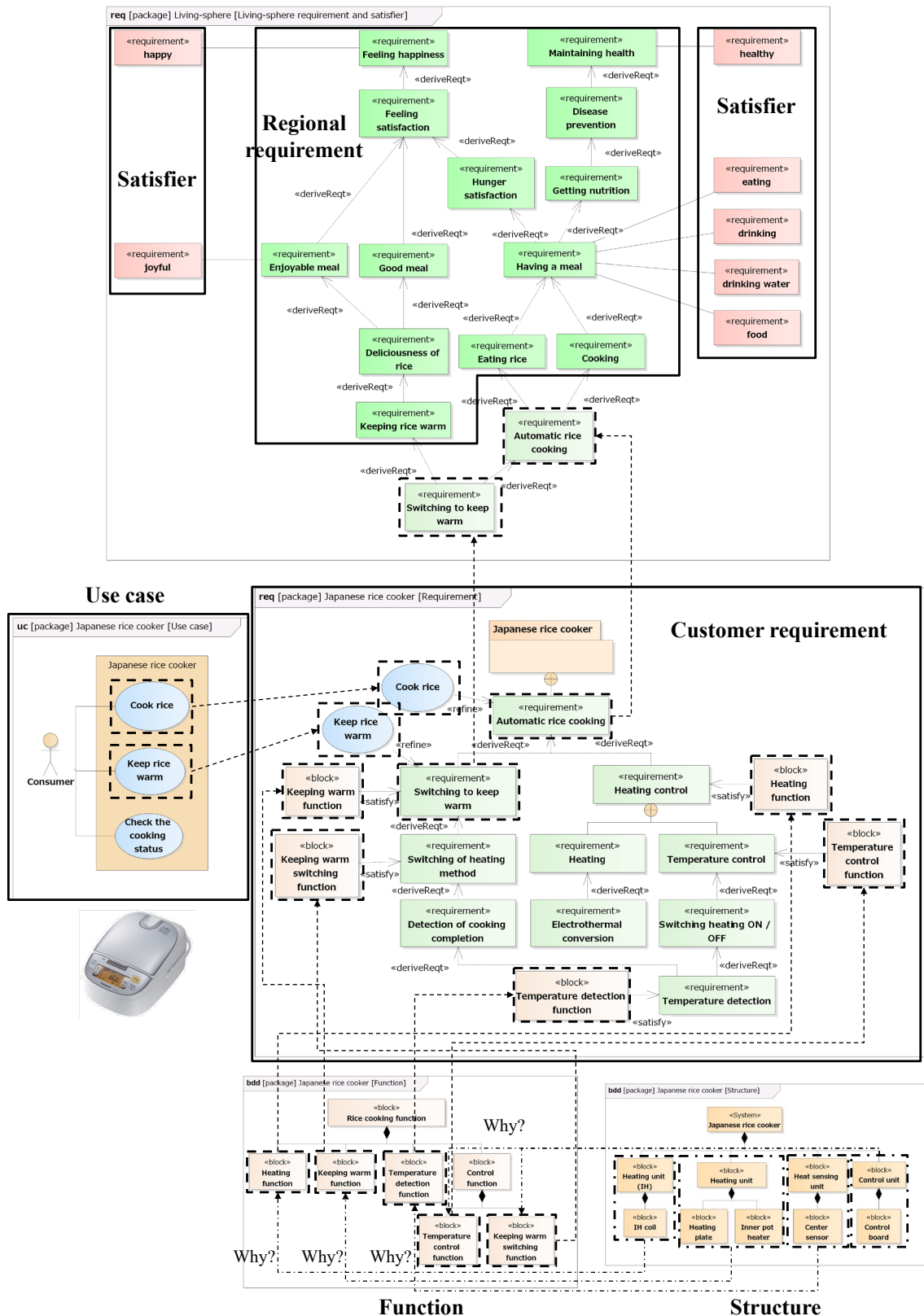


図2-19 日本製炊飯器の機能・構造とベトナム人サティスファイアの概念接続例

4. 2 自動車シェアリングのライフサイクルシミュレーション手法の開発

開発したLCS手法を自動車のカーシェアおよびライドシェアサービス普及と電気自動車の普及が同時に進行していく国内シナリオに適用して検証した⁽⁸⁾。評価期間は2015年から2035年の20年間とした。人口40万人程度の日本の都市を想定し、評価初年度に使用されている自動車はガソリン自動車20万台で、シェアリングサービスおよび電気自動車は普及していないものとした。本研究では鉄道やバスなどの公共交通機関による移動を考慮せず、自動車の総移動需要は一定であると仮定した。

図2-20に月ごとの関与物質総量（TMR）の時間推移を示す。電気自動車が普及するシナリオ（II、IV-I、IV-II）ではガソリン車のみのシナリオ（I、III）と比べてTMRは増加している。図2-21に評価期間中の累積TMRを示す。電気自動車普及によって累積TMRは増加する一方で、シェアリングサービス普及によって累積TMRは減少する（シナリオIに対するIII、シナリオIIに対するIV-I、IV-II）。この結果から、シェアリングサービスの普及は電気自動車普及によるマテリアルフローの増加を抑制することに貢献できると考えられる。なお、本研究の意義は、自動車シェアリングと電動化を同時にシナリオ評価できる手法の開発にあり、検証事例はその計算可能性を示したに過ぎない。

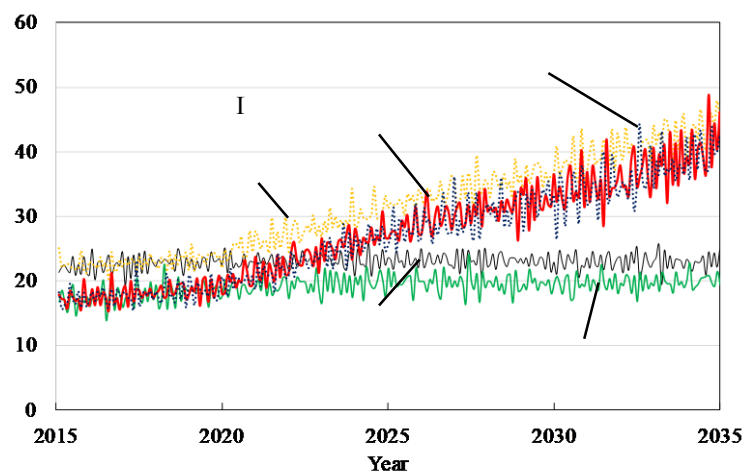


図2-20 月ごとのTMRの時間推移

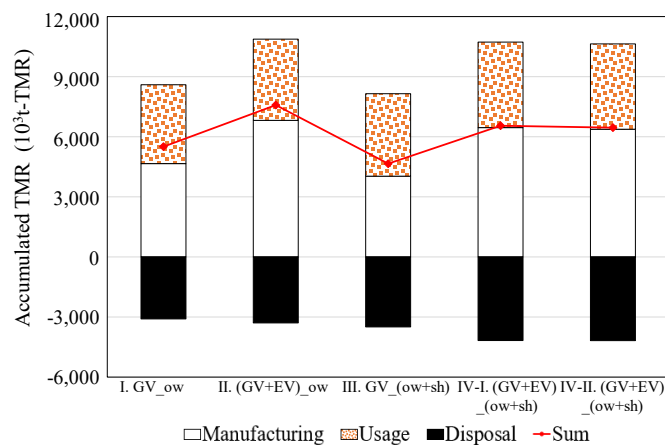


図2-21 累積TMRのシナリオ比較

5. 研究目標の達成状況

地域情報と製品の機能・構造の関係を明示したEFSM、それを操作・表示する設計支援システム、および地域空間情報から再構成した仮想環境と物理的プロトタイプから成るMP環境を構築した。これらを用いた地域指向の製品開発方法論を確立し、その有効性を検証し、当初目標を達成した。研究の過程で、製品と地域特有のニーズ充足を統合する生活圈アプローチを提案し、ニーズ充足の中核概念であるサテ

イスファイアをワークショップによって実際に抽出し、上記方法論における設計案評価における活用方法を示した。また、個別製品とサテイスファイアの概念接続手法、および日常生活で用いる製品群全体による充足性評価指標についても、地域指向の製品開発に今後寄与し得る成果を得た。

当初目標になかった自動車シェアリングサービスを対象としたLCS手法の開発についてもテーマ1の共通研究テーマとして実施し、成果を得た。

6. 引用文献

- 1) H. KOBAYASHI, S. FUKUSHIGE, H. MURATA: Global Environmental Research, 25 (2021), A Framework of Locally-oriented Product Design Support Using Extended Function-structure Map and Mixed-prototyping Environment, in reviewing.
- 2) A. KANO, Y. WATANABE, H. MURATA, S. FUKUSHIGE, H. KOBAYASHI: The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Yokohama, 2019 “Needs-Based Design Evaluation Method Using Mixed Prototyping Environment”
- 3) H. KOBAYASHI and S. FUKUSHIGE: Journal of Remanufacturing, 8-3, 103-113 (2018), A Living-sphere Approach for Locally Oriented Sustainable Design.
- 4) H. KOBAYASHI, Y. SUMIMURA, C. DINH, M. TRAN, H. MURATA, S. FUKUSHIGE: Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, 155, 35-47 (2019), Needs-based Workshops for Sustainable Consumption and Production in Vietnam.
- 5) S. HORIO, H. MURATA, H. KOBAYASHI: The 14th International Conference on EcoBalance, On-demand video, 2021
“Development of online needs-based workshop support system”
- 6) 加地涼太郎, 村田秀則, 小林英樹:第16回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, (2021)
「持続可能な消費と生産のための充足性評価指標の開発(第2報)」加地
- 7) 村田秀則, 小林英樹:生活圏アプローチのための概念モデリング手法, 日本機械学会論文集, Vol. 86, No. 886 (2020), DOI:10.1299/transjsme.19-00390.
- 8) 川口太郎, 村田秀則, 福重真一, 小林英樹:自動車シェアリングサービスと電気自動車の普及を対象としたライフサイクルシミュレーション手法の提案, 精密工学会誌, 採択済み.

II-3 リマニュファクチャリングを中心とした持続可能な生産

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

製造技術研究部門 積層加工システム研究グループ 研究グループ長 松本 光崇

安全科学研究部門 IDEAラボ ラボ長 田原 聖隆

インダストリアルCPS研究センター 副研究センター長 増井慶次郎

<研究協力者>

安全科学研究部門 社会とLCA研究グループ 研究員 Chun Yoon-Young (平成30～令和2年度)

【要旨】

アジア地域のマテリアル資源の消費の増加を抑制していくために、アジア地域でリマニュファクチャリング（リマン）等広義のリユースや製造物の長期使用化を推進していくことが重要である。本研究ではこれまで実態が把握されていなかった東南アジア地域のリマンの状況の調査を行い、その実態を把握するとともに、先進国地域のリマンと、小規模なリペア等を含む新興国地域のリマンの特徴を抽出し、一般に経済発展とともに変化するリマンの発展パスの提示を行った。またその中でリマンの成立・発展の障害となる要因の抽出と、その解消に必要な課題事項の提示を行った。障害要因としては、1) 製品回収の障害、2) 制度的な障害(リマン製品の越境の障害等)、3) 市場の障害、4) 技術的な障害、が挙げられる。また本研究はこの中で「市場の障害」の一つである、消費者がリマン製品を受容しない可能性による障害に焦点を当て、東南アジア地域の消費者のリマン製品に対する購買意思の分析を実施し、リマン受容の障害要因の抽出とその解消手段の検討を行った。手段として特に、リマンに対する消費者認知の向上、リマンの信頼性の向上支援、リマンの市場環境の整備、ブランディング等が重要である。また本研究ではリマンの普及シミュレータの構築を行い、リマン市場のシミュレーション、リマンの発展パスのシナリオ検証、リマンの普及手段の効果検証、リマンの省資源効果評価を行った。いくつかの地域・製品を対象ケースとして、製品ライフサイクルモデル（製品のフロー・ストックのモデル）と、需要側の購買意思決定モデルの定式化と定量化を行い、シミュレーション環境の構築と、リマンの普及シナリオ評価のシミュレーションを行った。自動車パーツのリマンの普及による省資源効果ポテンシャルを算定し、自動車消費するマテリアル資源の約5%の量に相当することが算定された。以上の成果と検討を踏まえて、アジア地域における適切なリマンの普及とリマンを中心とする持続可能な生産のビジョンを形成し、その実現に向けた推進策の提示を行った。本研究の推進にあたっては、東南アジア地域の研究者との連携の構築を行い、研究ネットワークの構築を行った。

1. 研究開発目的

経済発展が進むアジア地域では今後資源消費の拡大が進むことは間違いなく、その拡大を緩和するために3Rの推進が必要である。3Rの中でも特にリユースに分類されるリマニュファクチャリングの普及拡大は有用である。製品や部品の長期使用に資するリマニュファクチャリングは、資源消費の拡大抑制の他、産業の進展、雇用の創出等にも資する可能性が期待されており、欧州の循環経済（サーキュラー・エコノミー）でも一つの柱を成す。アジア地域、特にその中で経済新興国地域でのリマニュファクチャリングの可能性と推進についての検討が必要であり、本サブテーマではその検討を行った。

表3.1には東南アジア地域（ASEAN10国）の基本的な経済関連指標を示す。東南アジア地域は今日、人口で世界の約8.5%を占めるのに対して、製品の例として自動車を見ると新車販売台数では世界の3.8%、保有台数では4.5%、また資源消費として鉄の消費量を見ると世界の4.9%であり、いずれも人口の比率よりも小さく、今後当地域で見込まれる経済発展を鑑みると、当地域の製品の消費とマテリアル資源の消費が大きく拡大することは間違いない。あらゆる製品、マテリアル資源、エネルギー資源に共通する。リマニュファクチャリングを一つの要素として、資源消費の拡大を抑制した発展、つまり経済と資源消費のデカップリングが必要である。本サブテーマではそうした未来を展望するための要因の整理とビジョン検討を行った。

表 3. 1 東南アジア諸国と地域（ASEAN10）の今日の経済指標

	人口 2020年 (百万人) ^a	一人当たり GDP 2019年 (USD current prices) ^b	新車販売数 2019年 (千台) ^c	自動車 保有台数 2015年 (千台) ^d	千人あたり 自動車保有 台数 2015年 ^d	鉄使用量 2019年 (千トン、 crude steel equivalent) ^e	一人当たり 鉄使用量 2019年 (kg crude steel equivalent) ^e
インドネシア	271.7	4,200	1,030	22,513	87	19,140	71
マレーシア	32.8	11,210	604	13,309	439	10,706	335
フィリピン	109.6	3,510	410	3,823	38	11,697	108
シンガポール	5.8	65,640	91	813	145	2,899	499
タイ	66.5	7,820	1,008	15,491	228	21,416	308
ベトナム	96.2	3,420	277	2,170	23	27,318	283
ASEAN10 ^f (世界割合)	662.0 (8.5%)	4,940	3,471 (3.8%)	58,118 (4.5%)	88	93,176 (4.9%)	140
日本	126.0	40,800	5,195	77,404	609	69,782	550
中国	1410.6	10,240	25,797	162,845	118	947,519	659
アメリカ	329.9	65,250	17,037	264,194	821	108,500	330
EU27+UK	447.0	46,590	17,896	294,213	581	172,437	336
世界	7773	11,540	90,424	1,282,270	182	1,888,890	245

^a 出典: Population Reference Bureau <https://www.prb.org/2020-world-population-data-sheet/>

^b 出典: International Monetary Fund <https://www.imf.org/external/datamapper/datasets/WEO>

^c 出典: OICA (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers) Sales statistics. <https://www.oica.net/category/sales-statistics/>

^d 出典: OICA (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers) Vehicles in use. <https://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>

^e 出典: World Steel Association (WSA) Statistical Yearbook 2020 concise version.

<https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html>

^f ASEAN (Association of Southeast Asian Nations) の構成 10 カ国 - Indonesia, Malaysia, Philippines, Singapore, Thailand, Vietnam, Brunei, Cambodia, Laos, and Myanmar.

2. 研究目標

アジア地域でのリマニュファクチャリング普及の障害要因を整理し、リマニュファクチャリングを中心としたアジアの持続可能な消費と生産の実現に向けた普及シミュレータを構築する。

3. 研究開発内容

本研究ではアジア地域の中で特に東南アジア地域に焦点をあててリマニュファクチャリング（以下「リマン」と記す）の可能性と推進を検討した。またリマンは協議に定義すると（定義は後述）限られた取り組みになるが、リペアや直接リユース、リファービッシュ（後述）等を含めて検討対象とした。

本研究の実施内容項目を図3.1に示す。図中に示す次の項目を計画した。

1. 現状調査： 本研究は東南アジア地域のリマンの現状を調査することから開始する計画とした。リマンの現状や市場状況は、米国や欧州では近年明らかになってきているが、世界的にもあまり実態が把握されておらず、特に新興地域は把握されていない。現地の研究者との連携も構築して現状調査を行うこととした。
2. リマンの現状分析、将来シナリオ： 現状調査に基づき、現状分析とビジョン作成、将来シナリオを検討した。将来シナリオ作成については、サブテーマ（1）や他のテーマとも連携して実施する計画とした。
3. リマンの障害要因・成立要件の分析： 上項の現状分析を踏まえて、東南アジア地域でリマンが普及することの障害要因の分析と、リマンが普及すること、成立することの要件分析を行うこと

とした。本項目は研究目標である「リマン普及の障害要因の整理」に直接対応する。

4. リマンの受容性の成立要件の分析： リマン普及の障害要因のうち、消費者など需要側のリマン製品の受容性の欠如は、障害要因の中でも大きな比重を占めると予想される。東南アジア地域における消費者のリマン製品の受容性分析を行い、受容性拡大の成立要件の分析を行う計画とした。本項目も「リマン普及の障害要因の整理」に対応するものである。
5. リマンの普及シミュレーション分析： 上項の受容性の分析に基づき、リマン製品の市場をモデル化し、社会普及のシナリオ評価を行うためのシミュレータ構築を行う計画とした。本項目は研究目標の「リマン普及シミュレータの構築」に対応する。
6. リマンの効果シミュレーション分析： リマンの普及の効果推定を行うために、上述のリマン普及シミュレータに、製品の量や資源消費の量、リマンの省資源効果等のデータを組み入れ、リマンの普及の効果推定を行う計画とした。
7. リマンの普及推進施策： リマンの現状分析、障害要因整理、普及シナリオ検討を踏まえて、リマンの普及推進施策を検討する計画とした。
8. 研究ネットワークの構築： 本研究を推進するにあたり、また今後のリマンや持続可能な生産に関わる研究活動を推進していくにあたり、東南アジア地域の研究者との研究ネットワークを構築することも目標とした。

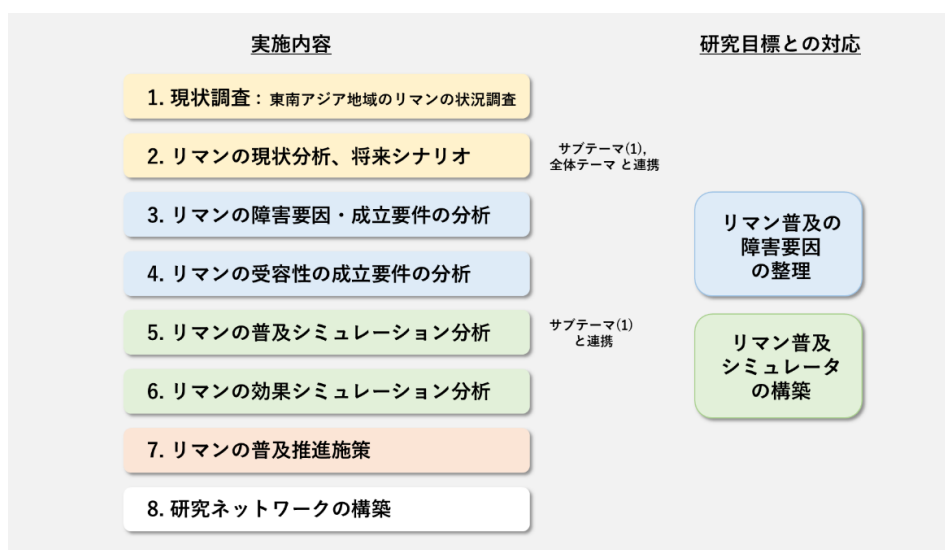


図3. 1 サブテーマ3の研究実施内容

4. 結果及び考察

前節（図3.1）で示した研究実施内容8項目に対して、結果と考察を以下4-1節から4-8節でそれぞれ示す。

4-1. 現状調査

4-1-1. リマンの定義と概要、研究の背景

リマンは、一度使用した製品を、回収して解体、洗浄、検査、修復、再組立て、最終検査して再度製品に戻すプロセスであり、部品（サブパーツ）レベルでのリユース・長期使用に相当する。製品の修

理（リペア）やリユースとも類似するが、厳密に区分する場合は、製品を新品と同等以上の機能状態にすることが特徴である¹⁾。リマンは製品分野によってはリビルトやリコンディション、レトロフィット、オーバーホール等とも呼ばれる。またリファービッシュは一般にリマンよりも性能が低いもの（新品同様以上とは限らないもの）に使われることが多い。最終的にはいずれの場合もリサイクルに至るが、リマンやリユースなどの長期使用は、すぐにリサイクルに回すことに比べて、省エネルギーであり、資源効率も高く（省資源）、経済的な付加価値が高い。リマンは低資源消費社会の実現に必須であり、また製造業の付加価値向上と競争力強化にも資することが期待される。

リマンは市場統計等が整備されていないため、市場規模については十分に把握されていない。しかし2010年代以降米国や欧州で調査が進められており、米国では400億ドル強²⁾、欧州では300億ユーロ弱³⁾、いずれも4兆円規模の産業と推定されている。対象製品は、米国と欧州ではいずれも航空機分野が最も大きく、次いで建機・鉱山機械と自動車パーツが多い。その他に医療機器、産業機械、印刷機械・複写機、IT製品等でリマンが行われている。コンシューマ製品のリマンの普及は課題であるが、スマートフォンのリマンなどが近年行われている。

リマンはその取り組み自体は古くからあるが、世界的に認知されるようになったのは2010年代に入ってからである。欧州では各種のリマンの研究プロジェクトが2010年代に入って行われるようになった。G7サミットの文書で初めてリマンに触れられたのは、2015年のエルマウ・サミットであった。その中で、新興国地域のリマンや、特に本研究の対象とした東南アジア地域のリマンについては、少なくとも本研究の提案と開始の時点（2016年頃時点）では、論文も極めて限られており、学界ではほとんど知られていなかった。次項（4-2節）で示すように、リマンは経済成長とともに発展し普及していく可能性が現れる。したがって、新興国では現時点でリマンの実施規模が小さいとしても、リマンの現状を把握し、将来の普及を見越した施策を検討することが重要である。本研究は東南アジア地域のリマンの状況を、当該地域の研究者と連携して調査し分析することから開始した。

4-1-2. リマンの現地調査とケーススタディ

調査にあたり、現地のリマン企業の訪問を行った。図3.2の左図に訪問を行った企業を示す。また併せて、現地の連携研究者および調査会社を通じてコンタクトして調査を行った。図3.2の右図にそうした調査の対象企業を示す。訪問またはコンタクトした企業は、主には現地のローカルな企業であるが、日本のメーカーの現地のサービス拠点等も含まれる。対象製品分野は、複写機、自動車パーツ、建設機械・鉱山機械パーツが多かった（図3.2）。調査では、それぞれの企業のリマン事業の概要、市場の状況、事業の推進要因、事業の障害要因等についてヒアリングと意見交換を行った。

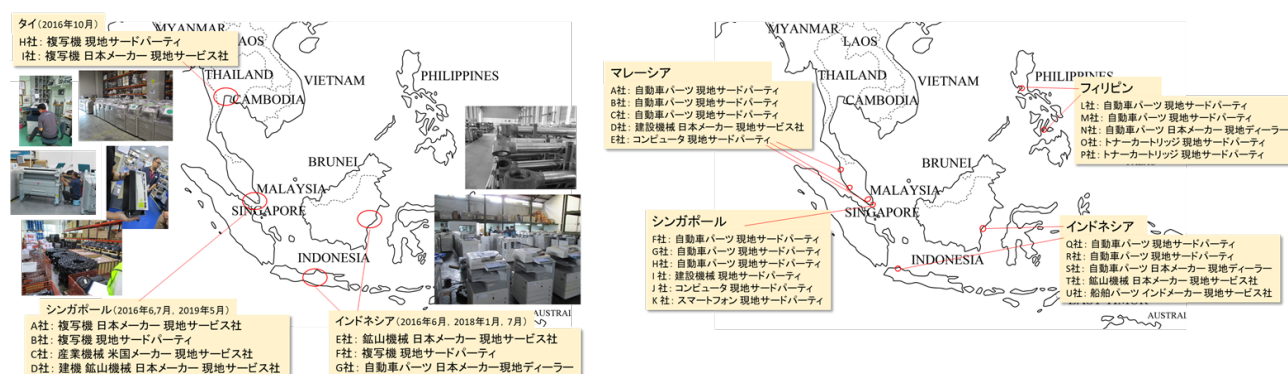


図3.2 調査訪問した企業（左）および連携研究者・調査会社を通じて調査した企業（右）
（左図中の写真はいずれもサブテーマ代表者の撮影のもの）

調査で得た知見の概要を示す。まずリマンの概況について以下の知見を得た^{4,5,6)}。

- ▶ メーカー（主に域外メーカー）が実施する、高価・高機能な製品のリマンは、例えば鉱山機械のパーツのリマンは、東南アジア地域のリマンと、先進国地域のリマンとで大きな相違はない。

- ▶ 一方、自動車パーツや建設機械パーツ、複写機、消費者エレクトロニクス製品のリマンは、主に現地のローカルな企業が実施しており、小規模な事業者も多い。先進国のリマンと比べると、リペア（製品ごとに個別対応）に近く、また労働集約性も高い。
- ▶ 製品によってはリマン製品の市場シェアが高い。インドネシアではモノクロ複写機の約70%がリマン製品（海外から使用済み製品を輸入してリマンした製品）である（2016年時点のヒアリング調査より）⁴⁾。自動車パーツや建設機械も、地域によっては域外（日本など）から多くの中古品が輸入され、リユース品やリマン品として使用されている。
- ▶ リマン製品は、国・製品によっては、新製品の代替というよりも、新製品を買えないセグメントが購入していることが多い。そのため、それらのリマンが厳密な意味で省資源に寄与しているかは難しいが、少なくとも社会厚生の上向上に寄与している。
- ▶ ローカル企業によるリマンは、縮小の傾向にあると見る事業者が多い。特に複写機や建設機械などでそうした見解が多かった。縮小するものもあるであろうし、自動車パーツ等では個別対応型のリマンから工場型のリマンに変わるなど、事業形態が変わっていくものもあると思われる。
- ▶ 経済の発展とともにリマンの形態は変わる。人件費上昇等により、供給側も変わり、顧客嗜好の変化等、需要側も変わる。

調査によりリマンの推進要因と障害要因の知見を得た。リマンの推進要因とリマンのメリットとしては以下が挙げられる。

- ▶ リマン製品は新製品よりも安価で生産され提供される。そのため需要サイドにメリットがある。またリマンの普及の現在の最も大きな推進要因である。新製品より安いために受容されている。
- ▶ リマンを実施する企業にとって収益性がある。リマンが利益になるために、事業者はリマンを実施し、リマン製品を供給している。
- ▶ 先進国の企業が東南アジアにリマンの生産拠点を持っているケースがある。安価で高度な労働力が得られるためである。安価で高度な労働力はリマンの推進要因である。
- ▶ 政府がリマンを後押ししているものもある。例えばマレーシア政府は自動車パーツのリマンを推奨している。こうした推奨は推進要因になる。

一方、障害要因とデメリットとしては以下の点等が挙げられた。

- ▶ リマン製品や、リマン製品の元となる使用済み製品（コアと呼ばれる）について、越境に制限がかかる場合がある。最も顕著なのは、インドネシアは使用済み製品の輸入に強い制約があり、リマンの一つの障害になっている。またインドネシアに限らず、e-waste問題など廃棄物の越境問題への懸念から、使用済み製品の越境の制限は強化される傾向にある。さらに、例えばメーカーが製品の修理やメンテナンスのために、他国の自社拠点に製品を移動させることも以前より難しくなっている。リマンの障害要因である。なお、上述したインドネシアの複写機のリマンは、モノクロの複写機の使用済み製品は特別に輸入可能であるが、カラーの複写機の使用済み製品は、他の製品と同じく輸入が強く制限されている。
- ▶ リマン製品の品質・信頼性が様々である。特にメーカーでない企業（サードパーティ企業）が供給するリマン製品は高品質なものから、非常に低品質なものまでがあり、低品質のものは、需要側のリマン製品に対する信用を落とし、リマン市場全体に悪影響をもたらす。低品質のリマン製品と、需要サイドのリマン製品に対する不安はリマンの障害要因である。
- ▶ 新しい製品の価格が下落しているものもあり、そうした製品領域では、新製品の方がリマン製品よりも安いということが起こる。複写機などでそうしたケースがあった。新製品の価格低下はリマンの障害要因になる。
- ▶ また新製品の性能が向上しているものもリマンは難しい。一例としては、自動車エンジンの排ガス規制が年々強化されているフィリピンでは、エンジンのリマンは、直近の排ガス規制をクリアできないために難しいという例があった。

以上の調査はケーススタディとして学術成果として発表するとともに^{4,6)}、本研究の以降の分析とモデル構築の基礎とした。

4-2. リマンの現状分析、将来シナリオ

調査を行った東南アジア地域のリマンは、これまでリマンの取り組みとして知られていた日本を含む先進国地域のリマン、すなわち複写機メーカーによる複写機のリマンや、建機・重機パーツのリマン、自動車パーツのリマン（リビルド）等と比較して、共通する項目もあれば、異なる点もある。前項で現地調査のまとめとして記したが、製品のメーカーによる特に高機能で高価格な製品のリマンは、先進国のリマンと東南アジア地域のリマンの間で大きな相違はなかった。前節と一部に内容の重複もあるが、東南アジア地域のリマンの特性として、特に先進国地域のリマンと対比したときの特徴として次の点が挙げられる⁴⁾。

- ▶ リマンに用いる使用済み製品（コア）の回収は、自国内で実施されない場合が多く、先進国地域から輸入される場合が多い。例えば複写機や建機パーツ、自動車パーツ等のコアは先進国地域から輸入されているものが多い。これ自体は決して悪いことではないが、新興国地域ではしばしば域内ではコア回収の仕組みを現在は構築しにくいことにも起因している。リサイクル法や廃棄物法などの法制度を含めた製品回収の体制・インフラが未整備である。
- ▶ リマンの事業者は小規模なものも少なくない。リマンのための技能や技術、設備、ノウハウ、熟練労働力に不足している場合が少なくない。
- ▶ またリマンというよりも中古販売（ダイレクトリユース）や修理（リペア）に近いものが多い。リマンとリユース、あるいはリマンとリペアは、先進国でも必ずしも区別が明確ではないが、新興国地域ではさらに区別が難しくなる。メーカーが自ら実施するリマンを別にすれば、リマン製品の品質や性能がそれほど高くないためとも言える。
- ▶ 関連して、新興国地域のリマンの市場は未だ発展途上であり、低品質なリマン製品が現れる可能性が低くない。一方、先進国のリマンの市場では企業ブランドや評判が既に一定程度確立されており、低品質な製品を出す事業者は、市場から排除されるというメカニズムが働く。
- ▶ 需要サイドも、製品の品質・信頼性よりも、価格の安さに重点を置くことが、先進国よりも多い。このこともリマン製品の品質・信頼性が必ずしも高くないことの一因である。

以上より、新興国地域は先進国地域と比較して、資源循環のための法制度と社会インフラ、リマンに関わる技術、設備、ノウハウが不足していることが少なくない。需要側のニーズも性能・信頼性よりも価格（低価格）の重点が大きいことが多い。一方で、労働賃金が先進国よりも低いことは有利である。先進国では経済的に成立しない労働集約的な修理（リペア）も、新興国では成立することがある。また先進国の製造業はしばしば大量生産・大量廃棄のリニア経済（非循環経済）体制にロックされているのに対して、新興国のリマンはよりダイナミックに循環経済に移行できる可能性を持つ。

また先進国と新興国はリマンの需要と供給の双方で相補的な関係を持つ。そのためリマン製品の国際流通と、リマンの国際サプライチェーンの構築支援は、リマンの推進に大きく寄与する。現在は逆にリマンの国際流通には制約があり、その制約はさらに強化される方向にある。この点は 4.3 節と 4.7 節で再度触れる。越境の制約を緩和していくことが重要である。

今日の新興国のリマンは、その国の経済の発展とともに変化していく。上述のとおり、今日の先進国のリマンと新興国のリマンは異なる特性を持ち、今日の先進国のリマンも経済の発展とともに変化してきた^{4,5)}。図 3.3 にはリマンの一般的な発展パスを示す⁵⁾。リマンの形態は、経済発展とともに、特に労働賃金の上昇と需要側の要求の変化（価格重視から性能重視）により変化する。図 3.3 にある二つの発展シナリオは、一つは現在のリマンが経済発展とともに純正新品に置き換えられていくシナリオである（シナリオ 1）。このシナリオでは資源消費が増加する。もう一つは、現在のリマンがより生産性の高いリマンに移行していくシナリオである（シナリオ 2）。サービス化やシェアリングによる低環境負荷

型の生産・消費の実現に加えて、リマンと製品の長期使用の推進により、資源消費を極小化する生産と消費の実現が有効である。

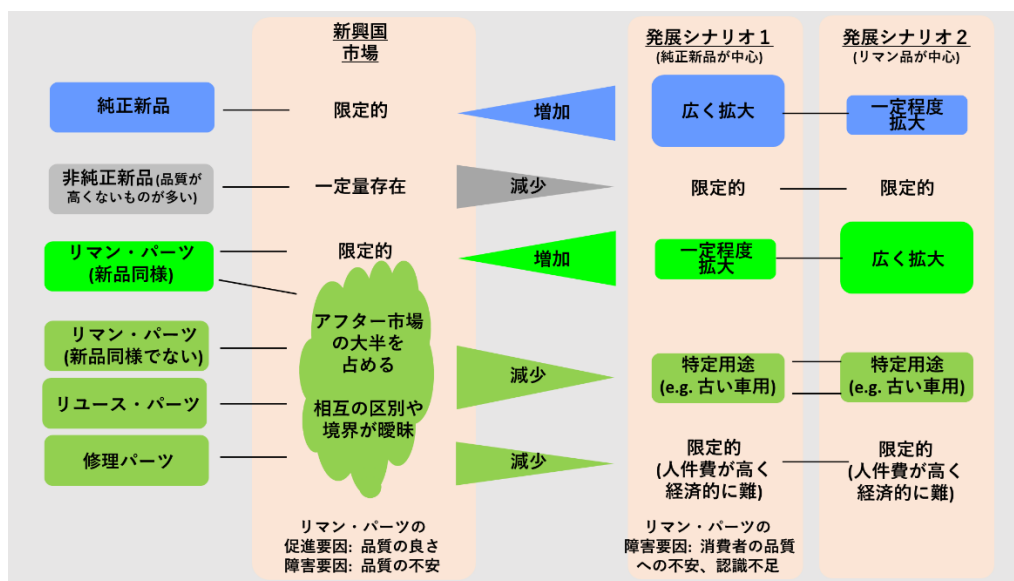


図 3. 3 経済発展に伴うリマンの一般的な発展のパス⁵⁾

4-3. リマンの障害要因・成立要件の分析

リマンが今後東南アジア地域に普及する上での障害要因、あるいは今後普及していくための要件を、上述の調査と文献を参照してまとめると、次のとおりである¹⁾。

- 1) 回収の課題(collection barriers)：一般に使用済み製品の回収は困難でありコストがかかる。リマンに用いる使用済み製品(コア)と、廃棄物との区別が曖昧である。特に新興国地域では回収の社会インフラが整備されていないことが多い。
- 2) 制度的な課題(regulatory barriers)：リマンのための制度が整備されていない。使用済み製品(コア)とリマン製品の越境・輸出入に様々な制約がある。コアと廃棄物の区別がないためでもある。リマン製品の定義も不十分である。
- 3) 市場の課題(market barriers)：需要側(顧客・消費者)が品質の不安やイメージの悪さを持ち、リマンを受容しないことがある。リマン製品の品質を担保するための品質基準や認証制度がない。また供給側(メーカーなど)が新製品の販売の減少を恐れてリマンに消極的であることがある。
- 4) 技術的な課題(technological barriers)：リマンのコスト低減と品質確保のためには各種技術課題がある。熟練技能と設備が必要である。また特にサードパーティ企業には研究開発と設備投資の負担が大きい。

この中で特に企業や産業界にとっては、回収、技術、市場の課題が重要である。リマンのビジネスの構築、ビジネスモデルの構築、サプライチェーンの構築、そして技術開発によりリマンを事業として成立させていく必要がある。一方、政策決定者には、制度と市場の課題が重要であり、次いで回収や技術開発の課題解消を支援していくことが重要である。学界はそれぞれを支援していくことが期待される。

リマンの技術的な課題も多くの課題項目がある^{7,8)}。技術的な課題には、プロセス技術課題とシステム技術課題とがあり、前者はリマンの各プロセスに対応する技術的な課題であり、製品の解体、部品の検査、洗浄、修復、再組立て、最終検査のそれぞれの技術課題である。またシステム技術課題は横断的な課題項目であり、リマンのための製品設計(DfRem: Design for Remanufacturing)、製品ライフサイクル設計、生産管理、IoT利用の課題等である⁸⁾。

4-4. リマンの消費者受容性の成立要件の分析

上項の整理のとおり、市場の障害、中でも特に需要側がリマンを受け入れないことは、リマンの大きな障害要因である。本研究でアジア地域の消費者のリマンの受容要因分析を行った。学術的には、こうした消費者のリマン選好分析は先行する研究が存在したが、2010年終わりから大きく論文が増加しており、本研究はその一つの先駆けとなった。

マレーシア、タイ、ベトナム、インドネシアの4カ国と、比較対象として日本、アメリカの計6カ国で各国500名を対象にしたWebアンケート調査を行い、自動車パーツのリマン製品の受容性の分析を行った。結果は、6カ国で共通して、リマンパーツの購買意思に、リマンパーツの製品知識と便益認識(コストメリット、環境メリットの認識)が正に影響し、一方、リマンパーツへのリスク認識は日米で負に影響するのに対して、4カ国では影響が見られなかった(図3.4の左表と右上図)^{5,9)}。4カ国の消費者のリマンパーツの購買意思は、日本の消費者と比較すると高かった(図3.4の右下図)。リマン普及の潜在的な障害要因として、製品知識の不足と便益認識の不足が抽出された⁵⁾。

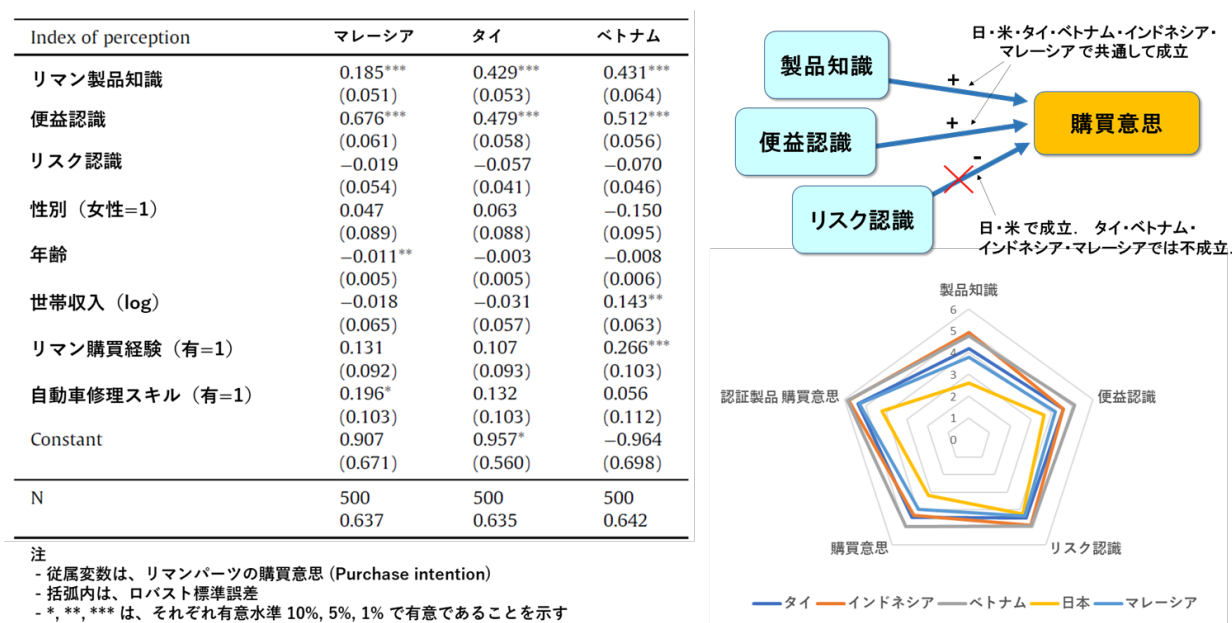


図3.4 自動車リマンのパーツ製品に対する消費者受容性の分析

マレーシア・タイ・ベトナム・インドネシアの4カ国と、比較対象として米国・日本で実施

リマン製品の購買意思への影響要因として、製品知識、便益認識、リスク認識の影響を分析した上述の研究に加えて、いくつかの発展研究を実施した。一つは、リマン製品の品質認証と製造国の影響の分析である¹⁰⁾。製造国の影響の分析は、マーケティング分野の country-of-origin の分析に相当する。併せて、図3.4の分析では回帰分析を用いたのに対して、構造方程式モデル(SEM: Structural Equation Modeling)の適用に拡張した。インドネシアの消費者を対象に、世界的にリマン製品のシェアが高まる中国のリマン自動車パーツの選好の分析を行うこととし、インドネシアの消費者500名にWebアンケートを行い分析した。結果からは、1) リマン製品の知識(製品知識)は、リマン製品の便益認識とリスク認識に影響する(正の影響)、2) リマン事業者の品質認証があるとすると、その品質認証への信頼が高いほどリマン製品の購買意識も大きい、3) 自国のリマン製品の購買意思がより高いが、自国の製品の購買意思が高いほど、他国製のリマン製品の購買意思も高い、ことが抽出された(図3.5左図)。リマンの普及推進にあたり、リマンの認知度の向上の重要性、企業のブランド戦略のあり方、製品認証のあり方に示唆を与えた¹⁰⁾。

二つ目の発展は、消費者の環境意識の効果の分析を行った¹¹⁾。消費者の環境意識は循環経済の推進の重要な原動力である。また消費者の環境意識は、先進国が新興国よりも高いとは限らないことが近年は示されている¹²⁾。インドネシアとタイ、中国で各国480名、計1,440名にWebアンケートを行い分析し

た。分析の結果は、消費者の「環境意識」がリマン製品の「購買意思」に影響するあり方は、消費者のリマン製品の機能への信頼性(「機能志向性」)が部分媒介すること (partial mediation) が示された(図 3.5 中央図)。つまり、環境意識は直接に購買意思に影響し、同時に機能志向性にも影響して機能志向性を通じて購買意思を高める効果を持つ。このことからリマンの普及にあたり、環境意識を喚起すること、環境意識が高いセグメントに訴求すること、そして環境意識が高いセグメントにリマン製品の機能性(信頼性が高いこと)の認知を広めることが効果的であることが示唆された¹¹⁾。

三つ目の展開として、リマン普及に資するサービスビジネスの受容性分析を行った¹³⁾。製造業のサービス化はリマンの普及と密接に関連する。製品製造者や製品サービス提供者が製品を所有し、その維持管理を担い、消費者(顧客)に製品の機能を販売するビジネスモデルが成立すれば、リマンを行うインセンティブが高まる。製品サービスシステム(PSS: Product Service System)の議論でもある。カーシェアリング等の MaaS (Mobility-as-a-Service) の普及は自動車保有数の抑制の他、自動車パーツのリマンの普及の契機になる。サブテーマ 1 と連携してカーシェアの受容性分析を行った。インドネシアの消費者 600 名に Web アンケート調査を行い分析し(図 3.5 右図)、その結果、便益認識(コストメリットや利便性の認識)、所得水準、自動車のステータスシンボルとしての認識(負の影響)が、カーシェア利用意識に影響していることが抽出された¹³⁾。

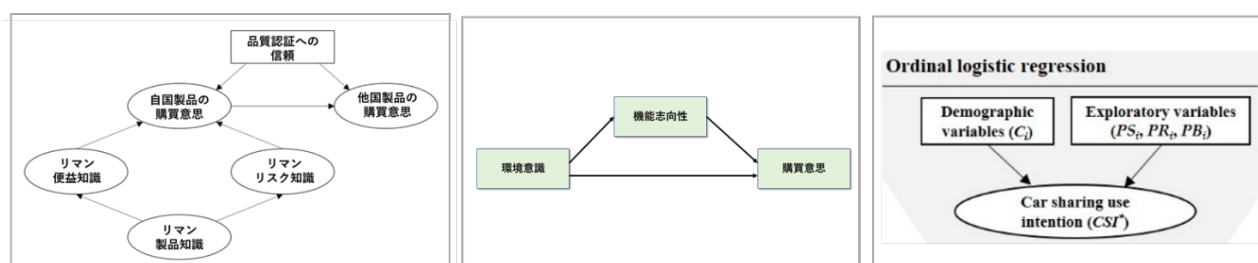


図 3. 5 消費者のリマン受容性の分析の拡張. リマンの country-of-origin の影響分析(左)、環境意識の影響モデル(中央)、カーシェアリング受容分析モデル(右).

4-5. リマンの普及シミュレーション分析

本研究ではリマンの普及の評価を行うシミュレータの構築を行った。リマンの普及シミュレータにより、上述のリマンの普及シナリオの定量的な評価や、普及の影響要因の変化の影響評価、リマン供給の制約の評価(リマンが必要とする元の使用済み製品が十分あるかの評価)、リマンの環境効果や省資源効果の評価等が可能になる。本節と次節で、構築したシミュレータの構成の概要と評価の結果例を示す。

4-2 節では自動車パーツのリマンの発展のシナリオとして、純正新品パーツが中心になる発展シナリオと、リマンパーツが中心になる発展シナリオを提示した。いずれのシナリオに至るかは、需要側の購買選択と、4-4 節で検証した需要者選好への影響要因とに依存する。本研究ではこうしたリマン市場の発展シナリオの評価のためのモデル構築を実施した。リマン普及シミュレータのモデル構成要素として、需要側の購買意思決定モデルと、製品のライフサイクルモデルを構築した。また定量化の対象として、タイの市場を想定した自動車パーツのリマン普及モデルと^{14,15)}、複写機のリマン普及モデルとを構築し¹⁶⁾、評価を行った。モデル構成は共通する部分が多いが、以下本節では自動車パーツのリマン普及モデルを示す¹⁴⁾。

図 3.6 に製品ライフサイクルモデルの構成を示す。製品自体である自動車と、その部品である自動車パーツのライフサイクルモデルの構成をそれぞれ左図と中央図に示す。また図の右にはモデルの変数を示す。モデルは、約 40 の変数と、各変数の数式、および変数間の関係を表す数式で構成される。

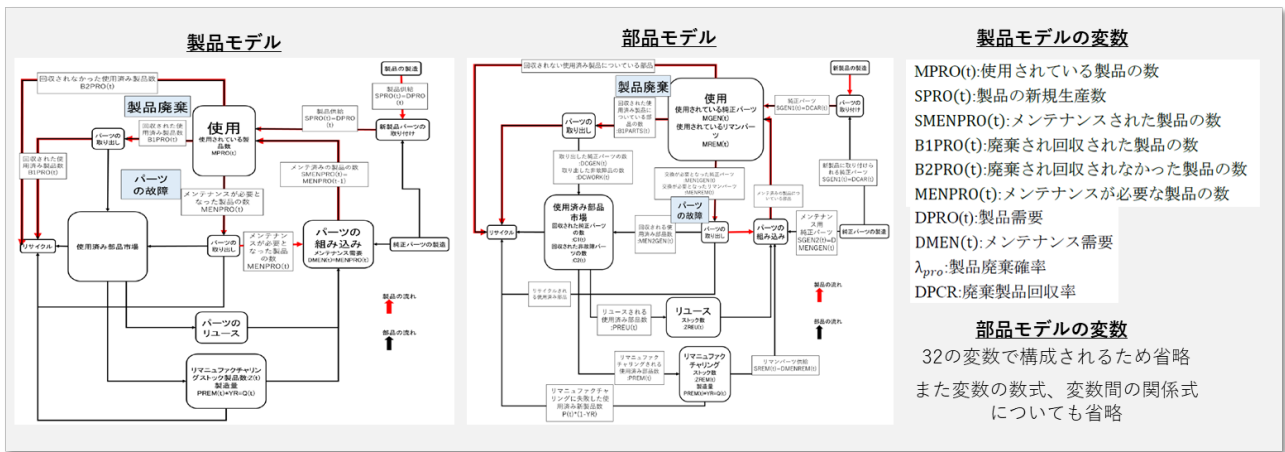


図 3. 6 リマン普及シミュレーションモデルのライフサイクルモデル部分の構成
 製品のライフサイクルモデル（左）、部品のライフサイクルモデル（中央）、モデルの変数（右）

需要側の購買意思決定モデルは、多項ロジットモデルに基づくモデルとした。多項ロジットモデルは、複数の購買選択肢がある中で、各選択肢の効用を選択肢の属性の重みづけ線形和で表し、その効用を元に各選択肢の選択確率を導出するモデルである。需要者 k の選択肢 j の効用 V_{kj} を以下のように定義する。

$$V_{kj} = \sum_{i=1}^S a_{ki} * X_{ij}$$

ここで、 X_{ij} は 選択肢 j の属性 i の値であり、 a_{ki} は 需要者 k の属性 i への重みである。需要者 k の選択肢 j の購買選択確率 P_{kj} が以下で定義される。

$$P_{kj} = \frac{\exp(v_{kj})}{\sum_{l=1}^N \exp(v_{kl})}$$

この購買選択確率により、新製品かリマン製品か他の選択肢かを選択する。 X_{ij} 値は市場値で設定し、 a_{ki} は消費者に Web アンケートを実施し、その結果から最尤計算を行って算定し推計した。

タイの市場を対象に、自動車パーツ（AC コンプレッサーを対象とした）のリマン普及モデルを構築した。製品選択肢 j には、純正新品パーツ、サードパーティ新品パーツ、リマンパーツ、リユースパーツの 4 種を設定し、属性 i には、価格、製造者、品質(耐久年数)、品質保証の 4 点を設定した。タイの消費者 600 名を対象に Web アンケートを実施し、選好重み変数 a_{ki} の定量化に用いた。

シミュレーションの結果を図 3.7 に示す。図 3.7 の左図は基本シナリオの普及推移であり、基本シナリオは抽出された今日の消費者選好と製品属性を反映している。純正新品パーツが市場の大勢(71%)を占める。一方リマンパーツは 8.3%に留まった。基本シナリオに加えて、シナリオの作成とその評価を行った。図 3.7 の右図は、消費者のリマンパーツに対する信頼度が高まることを想定したシナリオに対する結果である。2020 年以降にリマンパーツの製造者がサードパーティからメーカーに移行し、品質保証期間が長期間になることを想定した。そのように X_{ij} に変化を加えた。このシナリオでは消費者のリマンパーツに対する効用 V_{kj} が高まり、選択確率 P_{kj} が高まり、リマンパーツのシェアが増加する。リマンパーツの選択は市場の 81%を占めた。しかし使用済みパーツ（コア）の供給（排出）に制約が現れ、結果としてリマンパーツのシェアは 48%であった（図 3.7 右図）。

リマンの普及シミュレータによって、リマンに関連する製品部品のフローと、ステークホルダーの意思決定、市場の状況をモデル化し、リマンの普及シナリオの評価と、リマンの各種普及策の効果影響評価を行う環境を構築した。

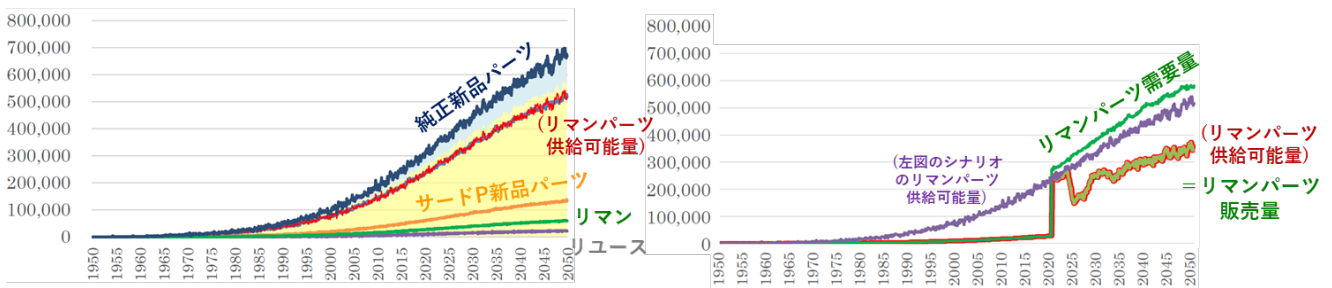


図3. 7 タイの自動車パーツのリマン普及シミュレーションの結果
基本シナリオの結果（左）とリマン信頼性向上シナリオの結果（右）

4-6. リマンの効果シミュレーション分析

リマンが普及することによる社会レベル（マクロレベル）での省資源効果についてはほとんど明らかにされていない。個々の事例、つまりマイクロレベルのリマンの省資源効果評価やCO₂のLCA評価については多くの研究事例があり、リマンは新品生産と比較して80%程度の省資源効果と省CO₂効果がある^{1, 17, 18}。例えば自動車パーツのオルタネータでは、80%の省資源効果、86%の省エネルギー効果があるとする報告がある¹⁸。リマンの効果を総合した社会レベルでの効果の推定はほとんど行われていない。本研究では、前項4-5節で示したリマン普及シミュレータを元に、特に製品ライフサイクルモデルと部品ライフサイクルモデルの定量化を進め、加えて製品の素材構成インベントリデータを組み入れることで、リマンの効果測定シミュレータを構築した。当シミュレータにより、自動車パーツのリマンの効果測定を行い、東南アジア地域における自動車パーツのリマンのマクロレベルでの省資源効果の評価を行った¹⁹。

自動車と製品ライフサイクルモデルと部品ライフサイクルモデルを構築し、図3.6のモデルを主要パーツについて国ごとに定量化した。表3.1の指標値を含め基本的な統計データをモデルに組み入れた。図3.8には、各国の自動車の保有台数の推移（2010年～2030年）の推定結果を示す。東南アジア全体（ASEAN10）では、2010年の4300万台から2030年には9000万台に増加すると推計された。

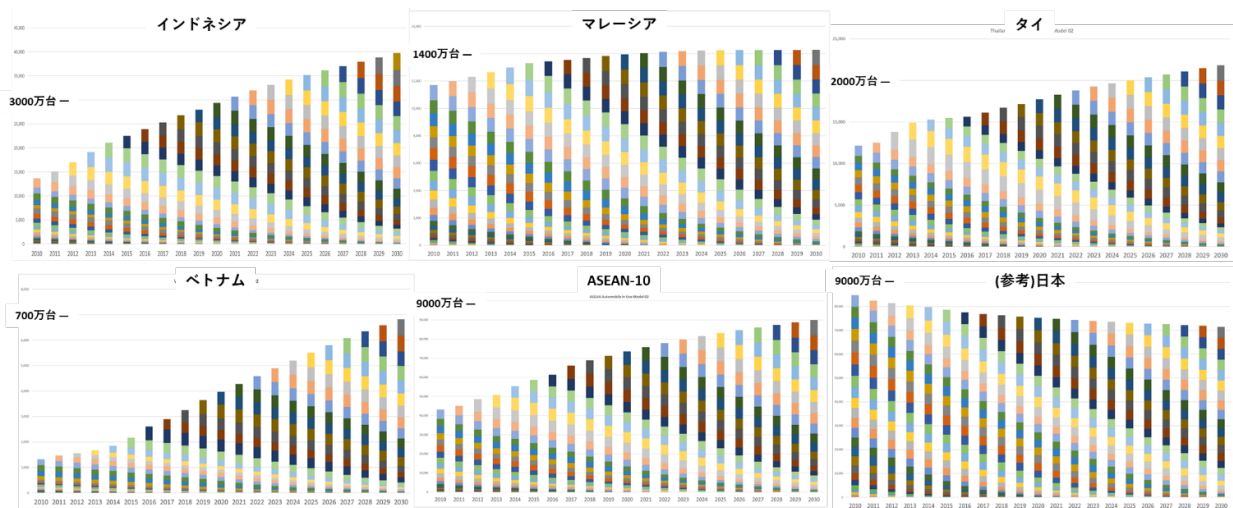


図3. 8 各国・地域の自動車の保有台数の推移（2010年～2030年）の推定結果
（色は、販売年（車齢）を表す）

主要な自動車パーツについて、図3.6の部品のライフサイクルモデルを定量化した。自動車パーツごとの組成データ（例えばエンジンの総重量、エンジンを構成する各組成（鉄、銅、アルミ、樹脂等）の重量のデータ）²⁰を組み入れた。表3.2には10の自動車パーツの重量と鉄材料重量、自動車ストックあたりの年間スペアパーツ需要を示す。

表3. 2 自動車パーツの重量、鉄材料重量、自動車ストックあたりの年間スペアパーツ需要¹⁹⁾

	重量 (kg)	鉄系材 料重量 (kg)	車ストックあたり 年間スペアパーツ 需要
エンジン	135.0	73.6	0.5%
オルタネータ	4.5	2.7	2%
スタータ	2.5	1.5	2%
ACコンプレッサー	5.8	2.4	2%
トランスミッション	102.5	82.0	0.5%
ドライブシャフト	7.6	6.9	2%
電子制御ユニット	5	3	0.5%
クラッチ	6	6	0.5%
ブレーキキャリパー	5	5	1%
ラック・ピニオン ス	6.6	6.6	0.5%
テアリングギア			
ウォーターポンプ	1.9	1.2	0.5%

図3.9に結果を示す。2030年を見ると、東南アジアの新車販売（フロー）は450万台、そのマテリアル重量は520万トン、保有車（ストック）は5810万台と推計され、スペアパーツの需要は、マテリアル重量で31.4万トンと推計された。スペアパーツがいずれもリマンパーツで供給されることがリマンの最大量（ポテンシャル量）であると見なすと、リマンは新品製造よりも資源消費が80%少ないとして、リマンによる省資源効果ポテンシャルは年間25.1万トンと算定された（図3.9）。鉄材料について見ると、新車（フロー）の鉄材料重量が350万トン、リマンで節約される鉄材料重量が17万トンであり、それぞれは東南アジア地域の鉄材料消費量の2.7%、0.13%に相当する（図3.9）。鉄の消費全体に占める自動車の鉄の割合（2.7%）は、世界全体では約10%であり²¹⁾、東南アジア地域の割合は低めであるが、自動車の鉄消費の約5%（17万トン／（350+17）万トン）をリマンにより節減できる可能性があり、鉄消費全体の0.13%を自動車パーツのリマンにより節減できる可能性が示された。また自動車そのものの平均使用期間を仮に平均20年から21年に延長できたとすると、単純計算で同程度の約5%の節減が可能である。

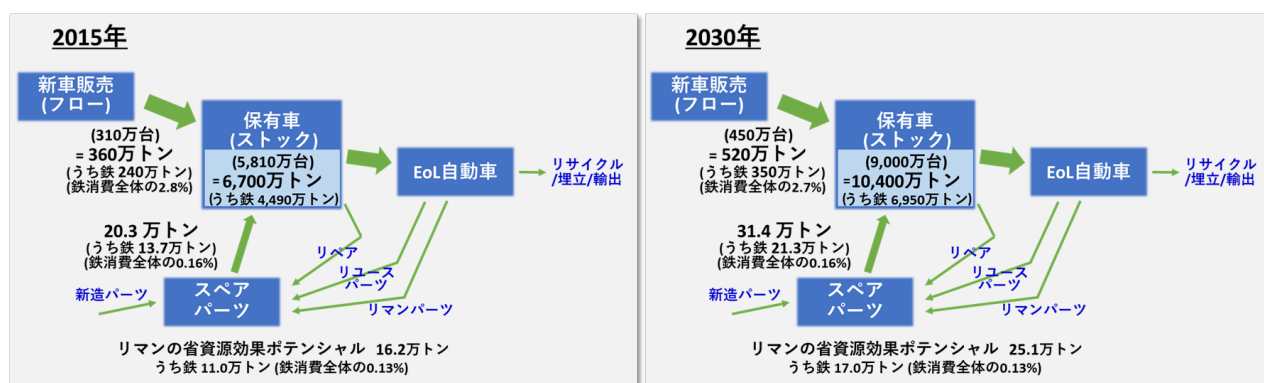


図3. 9 東南アジアの自動車とスペアパーツのフロー・ストックと、自動車パーツのリマンの省資源効果の推計

4-7. リマンの普及推進施策

4-7-1. リマンの普及を推進するための政策

リマンの推進は、資源消費の増加抑制、エネルギー消費の増加抑制、経済的な価値の創出、雇用機会の創出等の効果を持つ。4-3節、4-4節で見たとおり、リマンの普及には障害要因がある。4-3節で見た四つの障害要因のうち、市場の障害と、技術的な障害は、それぞれリマンの需要側の受容性と、供給側の供給能力を制約する要因である。一方、回収の障害と、制度的な障害は、供給側から需要側へのモノの流れを制約する要因である。これらの障害要因の解消に資する政策が必要である。政策としては、リ

マンの適切な仕組みの構築、インセンティブの付与、制度の構築、インフラの整備、リマンの概念の明確化が必要である。以下に挙げる。

- ▶ リマンの元となる使用済み製品(コア)の回収を支援することが重要である。使用済み製品が無用にリサイクルや埋立処分されないよう促す制度が必要である。
- ▶ リマンの元になる使用済み製品(コア)と、リマン製品の越境・輸出入の制約の解消が必要である。コアとリマン製品の国際流通、リマンの国際サプライチェーンの構築を支援することが重要である。
- ▶ そのために、コアとリマン製品の明確な定義と、また廃棄物との区別が必要である。
- ▶ リマンの基準と品質認証、ラベルの制度が有用である。信頼できる制度である必要がある。政府が主導するのが良いか、業界団体や個別企業の主導が適切か、標準化機関の主導が適切かは状況次第であるが、特にリマンの市場が未成熟である地域・製品の市場では、需要者にリマン製品の品質が見える化する仕組みが必要である。
- ▶ 消費者や社会のリマンの認知を上げるための啓蒙やキャンペーンの活動が有用である。政府がリマンを支援する姿勢を明示することも重要である。
- ▶ グリーン公共調達制度で、政府がリマン製品を支援する姿勢を示すことが重要である。取り組みの事例も世界的に見られ始めているが、拡大することが重要である。
- ▶ リマンの技術開発や人材教育に政府が支援していくことが重要である。リマンは少量多品種生産の最たる対象であり、技術開発課題は多い。開発投資のリターンも大きいと期待される。

4-7-2. 政策的貢献の機会

政策に関わる場の機会としては、2017年2月にブリュッセルで開催された G7 meeting on Resource Efficiency の会議に、サブテーマ代表の松本が出席し、ステークホルダーのパネル会議に登壇する機会を持った。パネル会議ではリマンの推進の重要性、リマンの社会的認知の向上の重要性、途上国のリマンとの協力の重要性等について発言し、パネル参加者とともに議論を行った(図 3.10)。

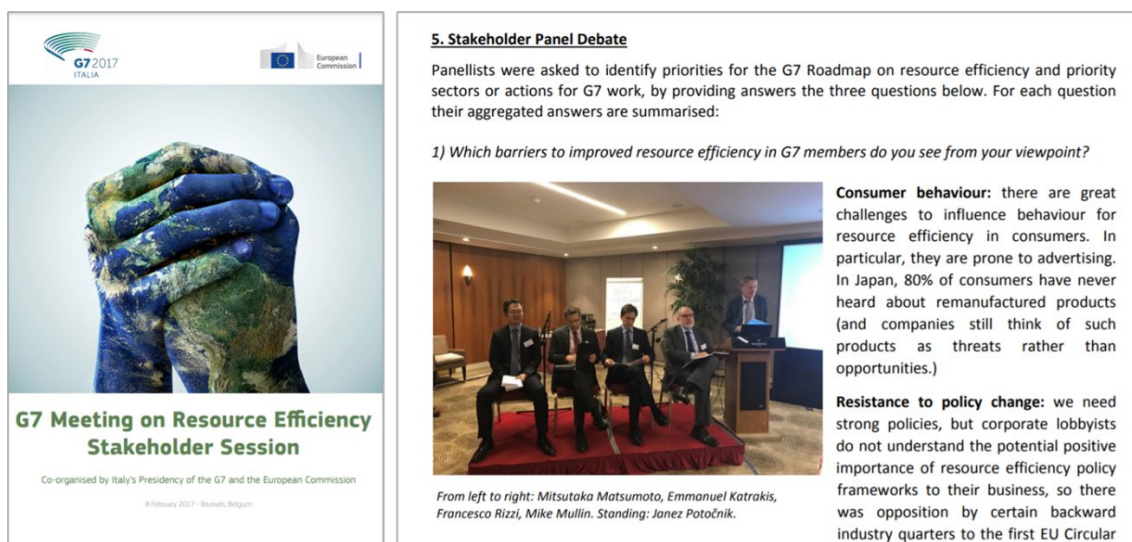


図 3.10 G7 meeting on Resource Efficiency のステークホルダー会合 (2017年2月)
(ステークホルダーパネルに登壇。右図写真の最左)

(https://ec.europa.eu/environment/international_issues/pdf/8_9_february_2017/G7_meeting_on_resource_efficiency_final_report.pdf)

4-8. 研究ネットワークの構築

本研究を推進する中で、東南アジア地域の研究者との連携を構築し推進した。リマンの研究は当地域では多くの場合新しく、新たに取り組みを始める研究者との連携も構築しながら推進した。図 3.11 は訪問して交流した研究機関 (1 機関は来訪) を示す。協働して実施した研究の成果は共著で論文発表

したものもある。図中の2機関の研究者と共著論文を発表し、投稿中の論文も含めれば計5機関の研究者と共著論文を作成した。

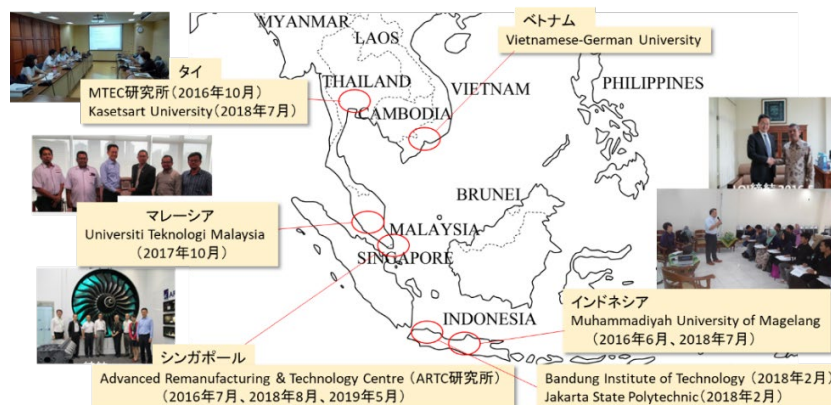


図3. 1.1 研究交流のための訪問や連携をした研究機関

リマンを含めて持続可能な消費と生産はもはや一国に閉じて推進することは無意味であり、国際的な連携を以って推進することが益々重要になる。本研究を通じて国内外の研究ネットワークを構築し広げることに寄与した。

5. 研究目標の達成状況

アジア地域におけるリマンの現状の調査と分析を踏まえて、リマンの普及の障害要因の特定と、それを解消していくための施策を検討した。またリマン普及のシナリオ評価と効果推定をするためのリマン普及シミュレータを構築した。目標を達成することができた。

6. 引用文献

- 1) UNEP-IRP (United Nations Environment Programme, International Resource Panel): Re-defining value - The manufacturing revolution. Remanufacturing, refurbishment, repair and direct reuse in the circular economy, 2018.
- 2) U.S. International Trade Commission (USITC): Remanufactured goods: An overview of the U.S. and global industries, markets, and trade, USITC Publication 4356, No.332-525, 2013.
- 3) European Remanufacturing Network (ERN): Remanufacturing market study. European Commission, 2015.
- 4) K. Kamigaki, M. Matsumoto and Y. Fatimah: Remanufacturing and refurbishing in developed and developing countries in Asia - A case study in photocopiers. Procedia CIRP, 61, 645-650, 2017. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 5) M. Matsumoto, K. Chinen and H. Endo: Paving the way for sustainable remanufacturing in Southeast Asia: An analysis of auto parts markets. Journal of Cleaner Production, 205, 1029-1041, 2018. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 6) M. Matsumoto, K. Chinen, K.R. Jamaludin and B.S.M. Yusoff: Barriers for the remanufacturing business in Southeast Asia: The role of governments in the circular economy. In Kishita et al., eds. EcoDesign and Sustainability I, 151-161, 2021. (本研究成果, 成果リストに記載あり)

- 7) GIS RIT: Technology roadmap for remanufacturing in the circular economy. 2017.
https://www.rit.edu/sustainabilityinstitute/public/Reman_Roadmap_2017.pdf
- 8) 松本光崇, 土屋哲男: リマニュファクチャリングのためのエコデザイン. 設計工学会誌, 56(4), 172-179, 2021. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 9) M. Matsumoto, K. Chinen and H. Endo: Remanufactured auto parts market in Japan: Historical review and factors affecting green purchasing behaviour. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4494-4505, 2018. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 10) K. Chinen and M. Matsumoto: Indonesians' perceptions of auto parts remanufactured in China: Implications for global remanufacturing operations. *Sustainability*, 13(7), 2021. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 11) (投稿中) K. Chinen, M. Matsumoto, S. McQuitty and M. Kojima: The mediating role of functionality-orientation for purchasing remanufactured products: cases in China, Indonesia, and Thailand.
- 12) M. A. Vicente-Molina, A. Fernández-Sáinz and J. Izagirre-Olaizola: Environmental knowledge and other variables affecting pro-environmental behaviour: comparison of university students from emerging and advanced countries, *Journal of Cleaner Production*, 61, 130-138, 2013.
- 13) Y. Y. Chun, M. Matsumoto, K. Tahara, K. Chinen and H. Endo: Exploring factors affecting car sharing use intention in the Southeast-Asia region: A case study in Java, Indonesia. *Sustainability*, 11, 5103, 2019.
- 14) 石田涼, 松本光崇, 木下裕介, 梅田靖: 「アジアにおける自動車部品のリマニュファクチャリング品普及のための市場シミュレーション」, 精密工学会 春季大会学術講演会 講演論文集, pp. 595-596, 2019. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 15) M. Matsumoto, N. L. Senevirathne Y. Umeda: Developing a model to simulate the markets of remanufactured products. The 13th International Conference on EcoBalance, Toyo, 2018. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 16) Y. Umeda, K. Ishizuka, M. Matsumoto and Y. Kishita: Modeling competitive market of remanufactured products. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(1), 61-64, 2017. (本研究成果, 成果リストに記載あり)
- 17) S. Bobba, F. Marques dos Santos, T. Maury, P. Tecchio, D. Mehn, F. Weiland, F. Pekar, F. Mathieux and F. Andente: Sustainable use of materials through automotive remanufacturing to boost resource efficiency in the road transport system, 2021.
- 18) H. Y. Kim, V. Raichur and S. J. Skerlos: Economic and environmental assessment of automotive remanufacturing: alternator case study, *Proceedings of the 2008 International Manufacturing Science and Engineering Conference*, 2008.
- 19) (投稿中) M. Matsumoto, Y. Y. Chun, T. Guidat and K. Tahara: Environmental benefits and consumer acceptances of automotive parts remanufacturing in Southeast Asia.
- 20) K. Tahara, S. Sinha, R. Sakamoto, T. Kojima, K. Taneda, A. Funasaki, T. Ohtaki and A. Inaba: Comparison of CO2 emission from alternative and conventional vehicles, *World Resource Review*, 13(1), 52-60, 2001.
- 21) J. M. Allwood and J. M. Cullen: *Sustainable materials without the hot air*, 2nd edition, UIT Cambridge, 2015.

II-4 効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ

学校法人 立命館

立命館大学 理工学部 機械工学科 教授 山末 英嗣

<研究協力者>

国立大学法人京都大学 エネルギー科学研究科 准教授 ベンジャミン マクレラン

立命館大学 総合科学技術研究機構 研究教員(助教) 光斎 翔貴

立命館大学 総合科学技術研究機構 補助研究員 クラビオット ジョルディ(平成28~平成30年度)

[要旨]

本テーマでは、資源循環のための最適なロジスティクス構築のため、3Rの様々なライフサイクルオプションとその実現に向けた政策・規制緩和等を調査・検討すると共に、資源消費の定量的評価手法を確立し、アジア地域における「責任ある国際資源循環」の姿を提示することを目標として研究を進めた。

現在、アジアにおける生産プロセスの現状は、国や地域においてそれぞれが得意分野とする生産・リサイクル拠点が分散的に存在しているのみで、それらが連携しておらず、せいぜい部分最適な解が得られている状態である。責任ある国際資源循環とは、これらを有機的に接続し、分散型ではあるが総体として効率的かつ健全な循環生産ループを構成することである。そのため、持続可能な生産と消費のためのスキームを構築することが肝要である。しかし、特に資源循環においてはその効率性と健全性を追求するに値する評価手法の確立が十分でない。本テーマでは、マテリアルフロー分析(MFA)を軸とし、採掘活動量を定量化できる関与物質総量(Total Material Requirement, TMR)を指標と用いることで、製品利用の背後でどの程度の資源利用が隠れているか、そして使用技術の差異やリサイクルの導入によりそれらがどのように変化するかを定量的かつ包括的に評価し、それぞれの国や地域の特徴を考慮しつつ全体最適の道につながる社会像(ビジョン)を示し、それを実現するためのシナリオを提案した。

本テーマでは素材だけでなく種々の製品、あるいはエネルギーや輸送まで考慮した。これら種々の製品群を横糸とすると、指標・(製品)組成・寿命・政策といった縦糸を分析手法として組み込むことで、資源循環のための最適なロジスティクスの戦略を構築した。まず指標データベースとして1100以上の素材、エネルギー、食材、製品等についてTMR係数を整備した。さらに廃棄物処理を評価できるようにTMR推定の枠組みを拡張する手法を提案した。同時に、採掘活動を軸とした資源依存性評価手法、複数の指標と機能を統合的に評価するための「マテリアルDEA」と呼ばれる手法を提案した。得られたTMR係数データベースを基に、直接物質投入や二酸化炭素排出量、あるいは地球温暖化係数と比較したところ、それらを削減する背後で過剰に資源を必要とする「資源パラドックス問題」が誘発される場合があること、そしてそれは素材、製品、国といった種々のレベルで起こり得ることを明らかにした。

この問題を解決するため、素材についてはベトナムと周辺国をベースとしセメント産業と鉄鋼産業間での産業共生の効果を評価した。また、製品については、その資源消費パターンを「使用段階支配型」「製造段階支配型」「複合型」に分類し、それぞれについて対策を変える必要があることを明らかにした。これらではRRRDRの導入も重要であるが社会システムの変革による影響も重要であった。なおRRRDRを促進するためには使用済み製品の排出量の予測が重要となる。そこに必要な情報として「製品寿命」に関する深い知見が必要であることを明らかにし、家電製品や自動二輪車を中心とした評価を行った。家電製品のうちエアコン、洗濯機、冷蔵庫は1人あたりの購買力平価が増加すると、製品の使用年数がいったん減少し、その後増加に転じるという現象が観察されたが、テレビについてはそのような傾向は見られなかった。このようにして得られた寿命情報をベースとして、ベトナムにおける家電製品と自動二輪車の廃棄台数の推定を行い、現時点では不十分なリサイクル施設をどのようにすれば将来的に準備できるかの方策について議論を行った。最後に、リサイクル(製錬)に特化した技術としてマイクロ波加熱を提案し、それを社会に導入した場合の効果について、アルカリマンガン電池からの亜鉛・マンガンをリサイクルをケーススタディとして評価を行った。

これらの分析により、国境を越えた産業共生、リサイクルシステムの構築、すなわち社会システムの変革が重要であると共に、リサイクルに特化した製錬技術の開発が必要不可欠であることも示した。本テーマの目標は、部分最適に陥っていたリサイクルオプションについて、システム全体で最適化することであり、炭素や直接重量だけでなく資源制約も満たしつつ、産業共生、外資、新しい技術を導入することで最適化に向けたシナリオの一側面を構築した。

1. 研究開発目的

アジア諸国のほとんどは未だフロー型社会からの脱却が進んでいない。アジアでの持続可能な発展目標(SDGs)を実現するためには、国・地域の特徴を踏まえたビジョンを提示し、低炭素化と資源効率の改善を進める必要がある。生産プロセスはSDGsにおける重要な要素の一つであり、その中で資源循環は不可欠な問題である。アジアにおける生産プロセスの現状は、それぞれの国や地域においてそれぞれが得意分野とする生産・リサイクル拠点が分散的に存在しているのみで、それらが連携しておらず、せいぜい部分最適な解が得られている状態である。責任ある国際資源循環とは、これらを有機的に接続し、分散型ではあるが総体として効率的かつ健全な循環生産ループを構成することである。

しかし、特に資源循環においてはその効率性と健全性を追求するに値する評価手法の確立が十分でない。それは従来の評価がサイト管理型であり、各生産拠点・リサイクル拠点の入出力を管理するだけでは全体のフローが見えず、結果として部分最適となるためである。それに対しフロー型の管理を実現できれば、製品や資源の流れのトレーサビリティが向上し、全体の最適化につながる。現状の学問体系の枠組みで、これらを実現できるのはマテリアルフロー分析(MFA)であり、そこで用いられる指標の一つである関与物質総量(Total Material Requirement, TMR)は、資源採掘に関わる地球改変量を重量として評価できる指標である。本研究では、責任ある国際資源循環を論じるため、TMRを新たな指標として導入してフロー管理を行い、製品利用の背後で、どの国の資源にどの程度どのような多様性をもって依存しているのか、そして使用技術の差異やリサイクルの導入によりそれらがどのように変化するかを定量的かつ包括的に評価し、それぞれの国や地域の特徴を考慮しつつ全体最適の道につながる社会像（ビジョン）を示し、それを実現するためのシナリオの提案を行うことを目的とする。

2. 研究目標

資源循環のための最適なロジスティクス構築のため、3Rの様々なライフサイクルオプションとその実現に向けた政策・規制緩和等を調査・検討すると共に、資源消費の定量的評価手法を確立し、アジア地域における「責任ある国際資源循環」の姿を提示する。

3. 研究開発内容

効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオを描くため、素材だけでなく種々の製品、あるいはエネルギーや輸送まで考慮した。これら種々の製品群を横糸とすると、指標・（製品）組成・寿命・政策といった縦糸を分析手法として組み込むことで、資源循環のための最適なロジスティクスの戦略を構築した。下図はこのような研究開発内容を概略図として示したものである。

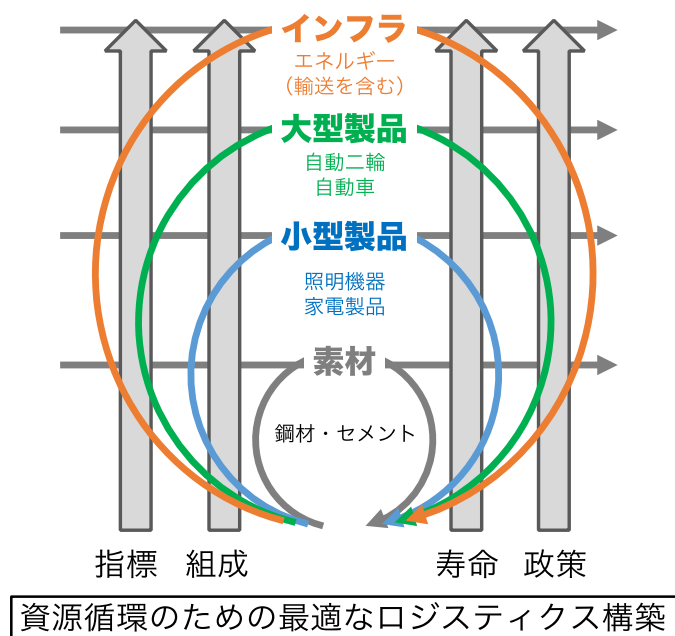


図4-1：効率性と健全性を追求した分散型循環生産シナリオ構築のための研究開発内容概念図

図から分かるように、横系についてはアジアで使用量の多い素材（鋼材・セメントを中心）とし、小型製品（照明機器・家電製品を中心）、大型製品（自動二輪車、自動車（従来型・次世代自動車））、そして輸送プロセスを対象とした。縦系の指標としては、計画通り採掘活動量を定量化できる関与物質総量(Total Material Requirement, TMR)をもちいた。TMRについてはデータベースの拡充を行うだけでなく、従来の評価の枠組みで見えてこなかった「廃棄段階」について評価を行えるようなフレームワークの拡張を行った。また、TMRを従来のプロセス毎ではなく国別に分類し、広義の資源依存性を評価できるように拡張した。これらの成果は同じシステムを持つLC-CO2と比較し、指標としての違いを検討した。製品群については、その資源依存を評価するため「製品組成」の情報が重要となる。これは文献データだけで無く、実際の機器（自動二輪車等）を解体することで推定を行った。また、将来的な排出量を推定するためには、製品の「寿命」情報も必要となる。これも文献だけで無く、実際に現地（自動二輪車はベトナム・日本、照明はマレーシア）におけるアンケートを行うことで推定を行った。このようにして得られた成果を集約しながら、最適なロジスティック構築のため3Rの様々なライフサイクルオプションとその実現に向けた政策・規制緩和等を検討し、アジア地域における「責任ある国際資源循環」の最終的な姿を描き、各サブテーマの成果を統合し、アジアの持続可能な消費と生産シナリオを示した。

4. 結果及び考察

このような研究計画の下で得られた成果を以下に示す。

資源利用に関する指標データベース構築

・TMR 係数データベース

資源利用に関する評価指標の一つとして関与物質総量(Total Material Requirement, TMR)を採用した。製品利用の背後にある資源利用、そしてどの国の資源にどの程度どのような多様性をもって依存しているのか、そして使用技術の差異やリサイクルの導入によりそれらがどのように変化するかを定量的かつ包括的に評価するため、TMR 係数（単位量生産あたりの TMR、単位 kg-TMR/kg あるいは単位 kg-TMR/kWh, kg-TMR/製品）のデータベースを拡充した。最終的に約 1000 以上の素材、エネルギー（電力、水素）、中間物質等についてのデータベースを構築した（図 4-2）。

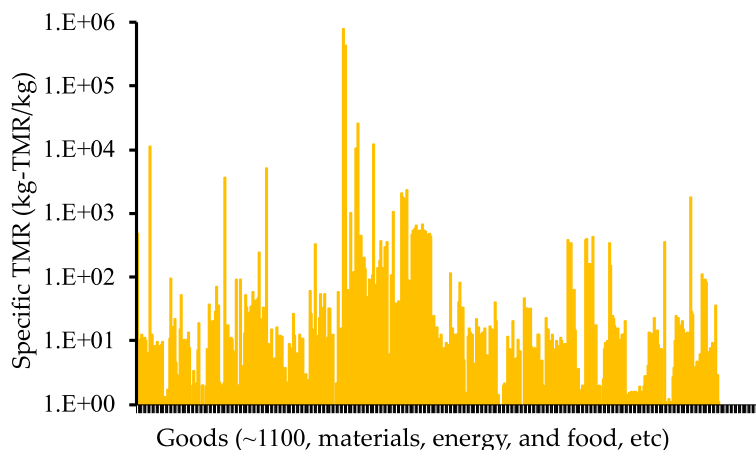


図4-2：構築したTMR係数データベース

このデータベースを基に、種々の製品群（自動車、家電製品等）の TMR を決定することが可能となり、後に説明する資源パドックス問題（グリーンイノベーションによる資源消費量の過剰な増加）を可視化することができた。たとえば 26.6 kWh の容量を有する自動車用リチウムイオン電池（直接重量 253 kg）の TMR は約 50 t-TMR となる[1]（図 2-4-3）。

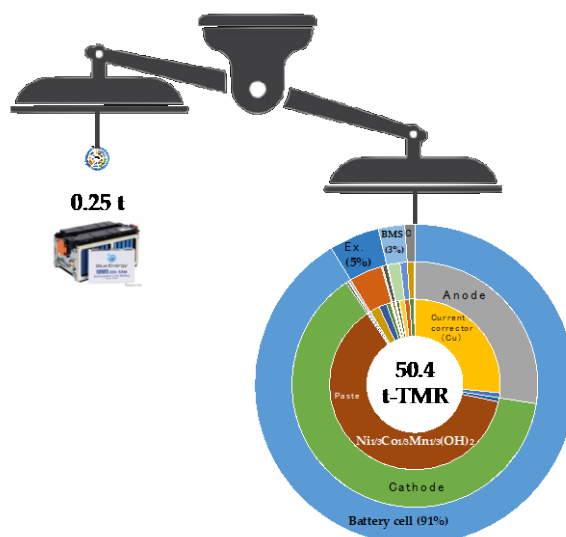


図4-3：26.6 kWhの容量を有する自動車用リチウムイオン電池（直接重量253 kg）のTMR

この値は従来型自動車 2 台分に相当し、リチウムイオン電池の資源という視点からの負荷がいかに高いかが分かる。なお、現在普及している電気自動車のリチウムイオン電池容量は 40 から 60 kWh であり、中には 90~100 kWh もの容量を持つものも存在する。このようなリチウムイオン電池はさらに高い TMR となることが予測され、走行段階の電費で回収することは困難なものと予測される。なお、このデータベースは論文として公表したのから順次ウェブサイト公開している。

(<http://www.ritsumei.ac.jp/~yamasue/tmr/index.html>)

・廃棄物処理を考慮するためのシステム拡張

また、特に途上国でよく見られる違法な埋め立てと言った処理を評価できるように TMR の枠組みを拡張した。具体的には埋め立てによって引き起こされる汚染物質の濃度上昇を、自然界レベルまで引き下げるために必要な希釈量を評価に組み込んだ。その新しい枠組みで評価された TMR 係数を LF-TMR (landfilling-TMR) とし、従来の TMR 係数（リサイクルの TMR 係数）と比較したものが図 2-4-4 である。図

から分かるように、従来の枠組みでは、リサイクルをする方(UO-TMR)がバージン材(NO-TMR)に比べて採掘活動量（地球の攪乱量）が高くなるという結論が得られるが、LF-TMRの導入により、違法な埋め立て処理等を看過するより、リサイクル施策を導入した方がよい可能性を可視化することができた（厳格ケース）。

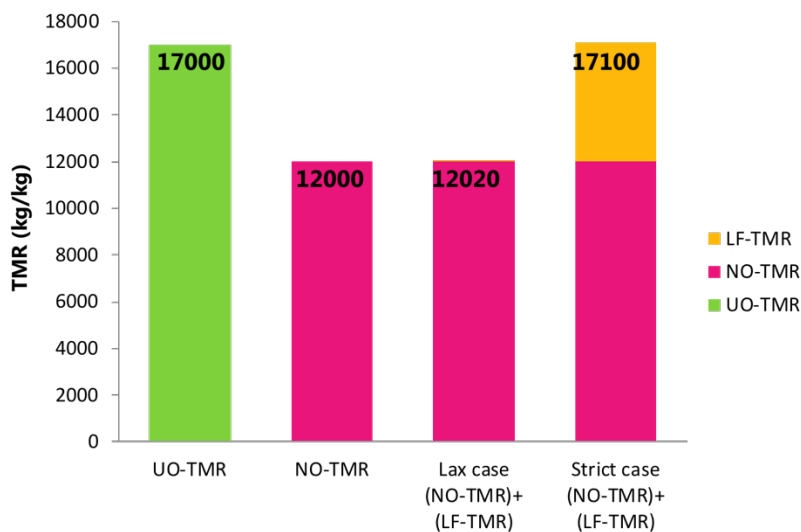


図4-4：拡張したTMR係数(LF-TMR)と従来のTMR係数の比較（ノートPCからのインジウム汚染）

環境影響の評価指標にはTMRに限らず多くの指標がある。これのうちどれを選択するかは現在のライフサイクル評価でも大きな課題であるが、本研究では包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)と呼ばれる手法を用い、複数の環境影響評価指標と機能を統合的に評価する手法（マテリアルDEA）を開発した[2]。ケーススタディとしてステンレス鋼を対象とし、環境影響指標としてTMR, LC-CO₂, 機能として耐腐食性、延び、強度を考慮し、リサイクルの影響を評価した。その結果の一例を図2-4-5に示す。図からリサイクルをしない場合、ニッケルを多く含むオーステナイト系ステンレス鋼はDEA効率が低いが、リサイクルをすることでDEA効率が改善することが分かる。

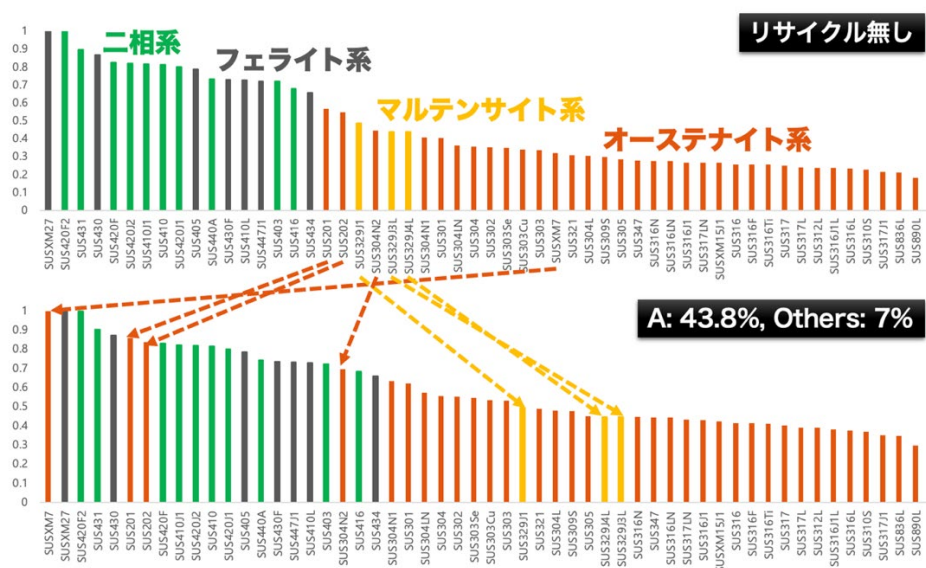


図4-5：ステンレス鋼に対してマテリアルDEAを適用した結果

資源パラドックス問題の発見

脱炭素・脱物質は現代社会の共通の目標であることは言うまでも無い。そのために種々のグリーンイノベーションが継続して開発されている。一方で、これらのグリーンイノベーションの背後に過剰な資

源投入が隠れていることが経験的に懸念されていた。本サブテーマでは、このような問題を「(グリーンイノベーションの)資源パラドックス問題」と定義した[3]。上述の TMR 係数データベースを用いることで、これまで経験的に述べられていた資源パラドックス問題を定量的に可視化することが可能となり、それは素材、製品、国といったあらゆるレベルで観測された。以下にその結果の一部を示す。

まず、種々の金属(素材レベル)についての評価を行った。低炭素化に向けて多くの元素代替が提案されている。しかし、細かい解析をするまでもなく、例えばアルミニウムと銅の代替で素材レベルの資源パラドックス問題が起こりうることは容易に想像できる。アルミニウムは電気の缶詰めと呼ばれるほど製錬に大量の電力を要求する一方、銅は貴な金属であるため製錬そのものにはエネルギーをそれほど要しない。しかし、鉱石品位(採掘活動量)に注目すると、アルミニウムの原料であるボーキサイトは50%以上ある一方で、銅の粗鉱品位は近年では1%を下回るものも珍しくない。したがって、銅とアルミニウムの安易な代替は資源パラドックス問題を誘発する。そこで75種の元素代替に伴う地球温暖化係数(GWP)とTMRの変化をまとめたものが、図4-6である[4]。

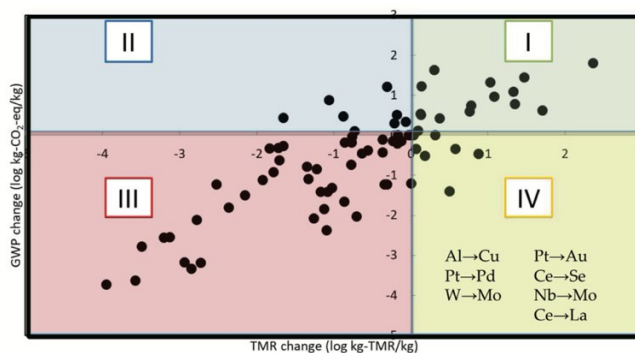


図4-6: 75種の金属素材代替におけるGWPとTMRの変化

この図は天然資源からの製造を仮定していることに注意しなければならないが、図において I では GWP も TMR も増加、II では GWP は増加するが TMR は減少、III は GWP も TMR も減少、IV では GWP は減少するが TMR は増加する。従前のように GWP のみで評価する場合、III か IV の素材代替が選択される。III の代替は TMR も減少するため問題なく、これは検討した 75 種の代替のうち 44 種(59%)を占めていた。一方、IV の領域では GWP は減少する一方で TMR が増加する領域であり、これはまさに資源パラドックス問題に相当する。これに該当する代替はアルミニウム→銅、白金→パラジウム、タングステン→モリブデン、白金→金、セリウム→セレン、ニオブ→モリブデン、セリウム→ランタンであり、これらの代替には注意を要することが分かる。

次に国レベルでの評価を行った。図 2-4-6 は日本における直接物質投入量と関与物質総量の推移を示したものである[5]。1990年における直接物質投入量は年間22億t程度であったが、2013年には16億t程度まで減少している。このこと自体は素晴らしい事実であるが、TMRの視点から物質投入を再評価すると、むしろ増加傾向にあることが分かる。これはエコノミーワイドな資源パラドックス問題の典型例と言えるだろう。その主要な原因として、鉱石品位が年々低下していること、また同一の製品でもより高機能を実現するため、銅やレアメタル等の TMR 係数の高い素材が多用されるようになってきていることが挙げられる。

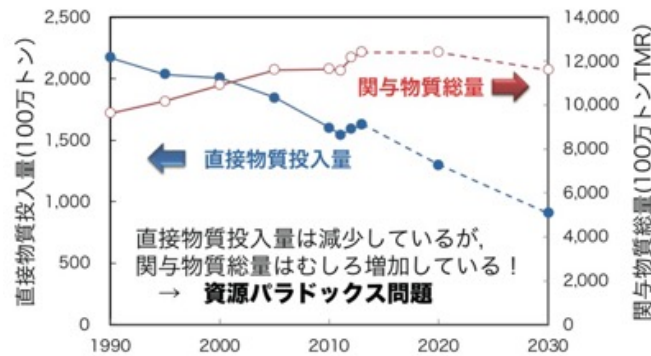


図4-6: 国レベルでの資源パラドックス問題（直接重量とTMRの比較）

次に製品レベルでの評価を行った。まず、図4-7は種々の自動車の製造段階におけるTMRである。図から分かるように、いわゆる次世代自動車と呼ばれる自動車は製造段階のTMRが大きい。電気自動車(EV)と従来型自動車(CV)の差の大部分は、上述の通りリチウムイオン電池による。この結果は26.6kWhの容量を仮定しているため、より容量の大きい電池が搭載されている場合、差はさらに拡大する。

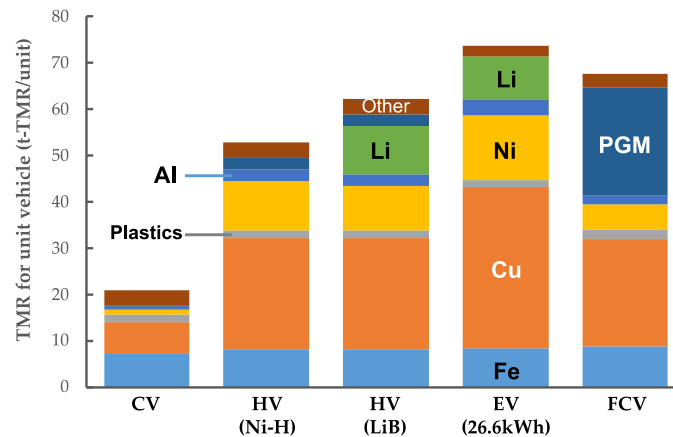


図4-7: 種々の自動車における製造段階のTMR

この結果は、製造段階のみを評価しているため、次に走行段階も考慮した結果を示す（図4-8）。

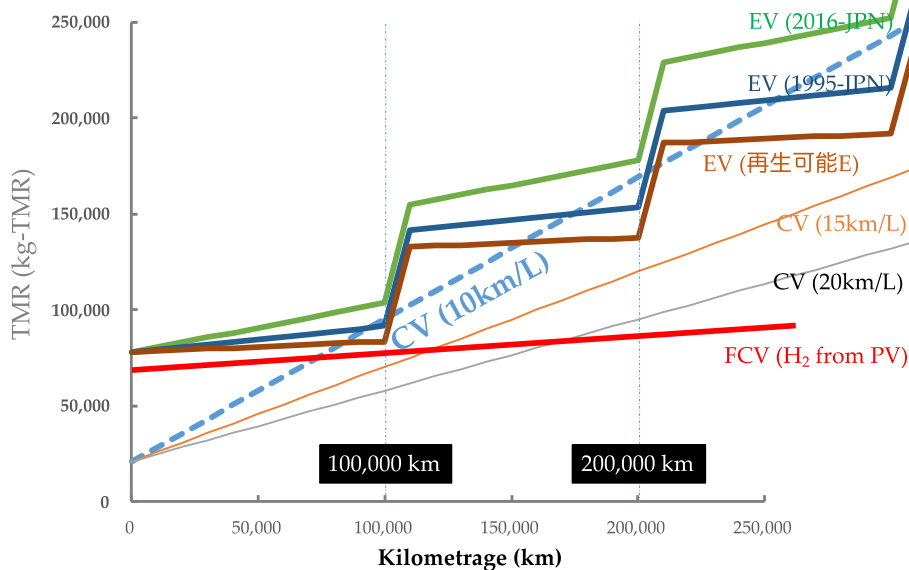


図4-8: 走行に伴う自動車のTMRの変化

従来型自動車については燃費に応じて3種類、電気自動車は電源ミックス(1995年の日本、2016年の日本、全て再生可能エネルギー(太陽光))を考慮した3種類、燃料電池車(FCV)は水を太陽光発電由来の電力で電気分化することで生成した水素の使用を仮定した。図から分かるように、電気自動車はどのよ

うな電源ミックスであっても、本質的に燃費が10 km/Lの次世代型自動車と同等のTMRの推移であった。なお10万kmごとの急激なTMRの増加は、電池交換によるものである。仮にこの電池交換がないとしても、電気自動車のTMRが従来型自動車を下回るのは、10~20万kmの走行後となる。ただし、これは電気自動車の電池容量が26.6 kWhを仮定した結果であり、現行の40~60 kWh、将来的に浮遊すると予測される100 kWh以上の電池を用いた場合、仮に電池交換をしなくても自動車の寿命以内にTMRが逆転しなくなる可能性が十分に生じる。

資源パラドックス問題の解決策

このような資源パラドックス問題を解決するためには、あらゆるアプローチがある。例えば、RRRDR(Remanufacture, Refurbishment, Repair, and Direct Reuse)[6]は中でも重要なアプローチであるが、これは製品の省資源化にとって重要である一方、素材産業についてはRRRDRの概念を直接活用できないため別のアプローチが必要である。そこで、まず素材産業について検討した。

・素材における産業共生の効果

日本においては当然のように行われている産業間連携（産業共生）が東南アジア諸国においては国内においてすらそれほど行われていないことが明らかになった。本研究ではベトナムをケーススタディとして、素材産業における産業共生の効果を見積もった[7]。具体的には、ベトナムを軸とし、カンボジアとラオスの3カ国の鉄鋼産業とセメント産業の間で、国境を越えた産業共生の効果を見積もった。なお、ベトナムは、アジアで5番目に大きい鉄鋼生産国であり、2018年にはセメント輸出量が世界一となっている。セメント産業は種々の廃棄物を受け入れることができ、日本においても高い循環利用率の担い手となっている。分析の結果、セメント施設において鉄鋼スラグをセメント生産量の1%から10%受け入れると、年間0.83~8.33百万トンの原材料を節約でき、その結果0.95~9.07百万円のCO₂を削減できる事が分かった。これは総排出量の1.6~15.6%に相当し、平均で6%の削減に相当する（図4-9）。

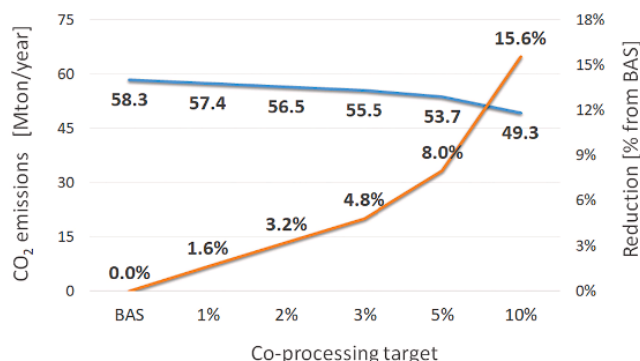


図4-9: ベトナム、カンボジア、ラオスの鉄鋼・セメント産業共生による二酸化炭素排出量削減効果

・資源消費パターンの類型化による製品群毎の最適な対策提案

次に製品群についての対策について議論を行った。その結果、下図のような資源消費の類型化を行い、それぞれのパターンに応じた対策を講じることが重要であることが分かった。

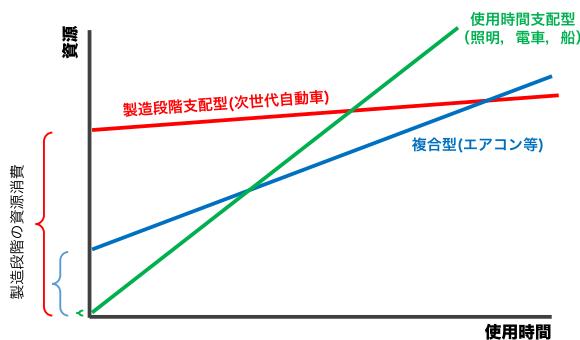


図4-10: 資源消費の類型化

図から分かるように資源消費パターンは大きく3つに分けることが可能である。

1つは使用時間支配型であり、本研究により後述する照明や長距離の輸送を行う電車等はこのパターンに属する。このパターンに属する製品群は、製造段階における資源投入は使用段階に比べ相対的に無視できる。したがって、製造段階にある程度資源を投入してでも、使用段階における傾きを小さくするような対策が必要である。図4-11は使用時間支配型の一例として、マレーシアにおける照明の製造と使用段階を考慮した際のTMRの推移を示したものである[8]。

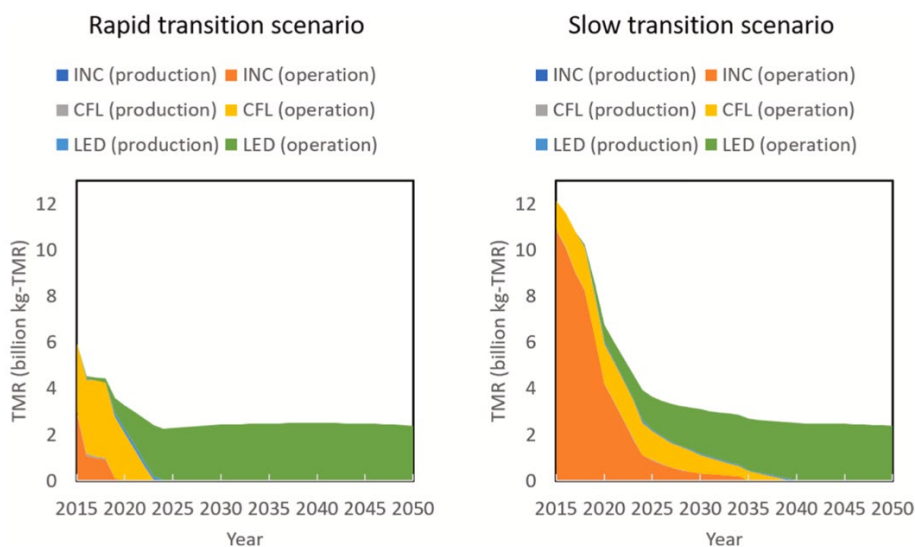


図4-11: マレーシアにおける家庭内照明機器によるTMRの推移

図ではマレーシアにおいてLED照明が普及する速度で2種類のシナリオを比較しているが、いずれも注目すべきは白熱電球、蛍光灯、LED照明のいずれにおいても使用段階におけるTMRが支配的であり、製造段階はLED照明ですら無視できる。このような製品群はLEDの様に製造段階において資源を多少投入してでも使用段階における資源消費を減少させた方が良い。また電力を使用するような製品の場合、再生可能エネルギーの積極的な導入も効果が高い。上の結果は現在のマレーシアにおける電力ミックスを考慮しているが、再生可能エネルギーの導入によりさらなるTMR削減効果が期待される。いずれにせよこのようなパターンの製品群については、政府や自治体が補助金を準備することで迅速な社会実装を促す事が好ましいと考えられる。

次の資源消費パターンとして、製造段階支配型の製品群に注目する。この代表として、図4-8にもある次世代型自動車を挙げるができる。電気自動車においてはリチウムイオン電池の占めるTMRが高く、それ単体(26.6 kWhを仮定)で従来型自動車の2.5台分に相当する採掘活動量を誘発することになる。このような製品群に対しては、製造段階における資源利用を下げるのが肝要である。そのためには資源強度(TMR)の高い金属(車載用リチウムイオン電池の場合、銅、コバルト、ニッケル等)を使用しない、あるいは使用量を減少できる新技術の開発が重要である。しかし、現時点の技術では急速にそれらを解決することは難しい。そこでRRRDRの一環として、車載用リチウムイオン電池を建築物等へ

の定置用電源としてリユースする，あるいはリサイクルにより有価金属を回収し，それを再びリチウムイオン電池に環流する方法が考えられる．

図 4-12 は使用済み電動自動車からリユースされたリチウムイオン電池および二次材を用いて製造されるリチウムイオン電池（容量はいずれも 26.6 kWh）の TMR である．全て一次資源から製造されたリチウムイオン電池の TMR は約 50 t-TMR であったにも関わらず，リユースされたものは約 0.5 t-TMR であり，1%程度の値となる．このリユースリチウムイオン電池を 10 万 km 毎のバッテリー交換時に再利用した場合の走行段階における TMR の推移を示したものを図 4-13 に示す．図 4-8 と比較すると分かるように，10 万 km ごとの急激な TMR の増加が抑えられていることが分かる．ただし，それでも初期の製造における TMR が高いことから，最短でも 8 万 km，実際には 13 万 km から 20 万 km 以上走行しないと従来型自動車より TMR が低くならない．リサイクル材を用いたリチウムイオン電池は，全て一次資源利用したものより TMR は小さいがそれでも従来型自動車 1 台分に相当する約 20 t-TMR の値となる．

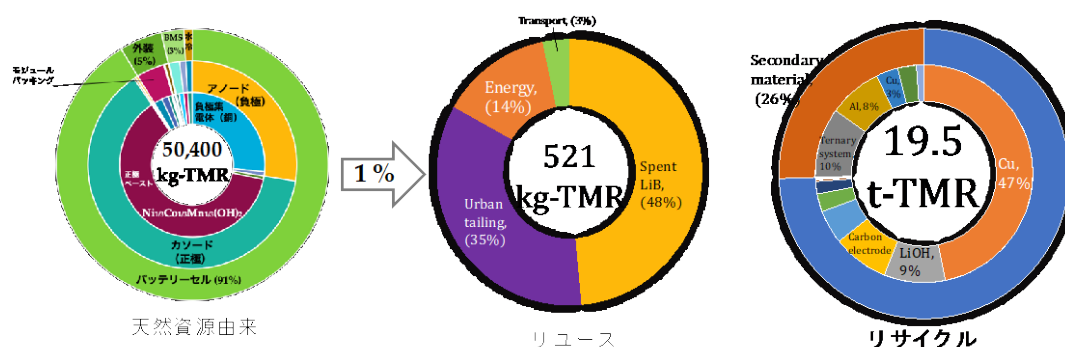


図 4-12: 車載用リチウムイオン電池製造の TMR に与えるリユース・リサイクルの効果

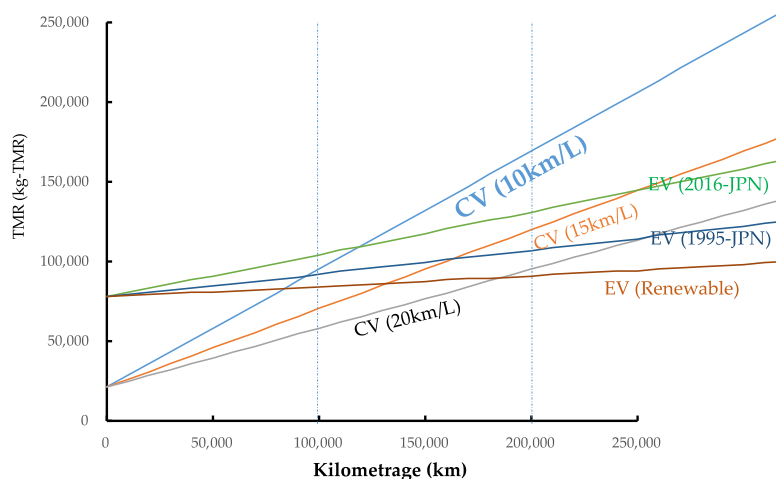


図 4-13: リユースリチウムイオン電池を用いた場合における走行段階まで考慮した TMR の推移

これらの分析は，1 台の自動車に着目し，その一生の間にもどのように資源を消費するかを分析したものである．しかし，実際には使用済み電気自動車から回収されたリチウムイオン電池が定置利用としてリユースされ，それらが最終的に廃棄されたものをリサイクルするような循環を検討しなければならない．さらにはそれらの需要と供給量のバランスを考慮しながら，社会全体としてどの程度資源強度(TMR)を減少できるかを評価する必要がある．本研究ではそれをライフサイクルシミュレーションと称し，図 4-14 に示すような循環プロセスを想定してシステムダイナミクスによるシミュレーションをおこなった．

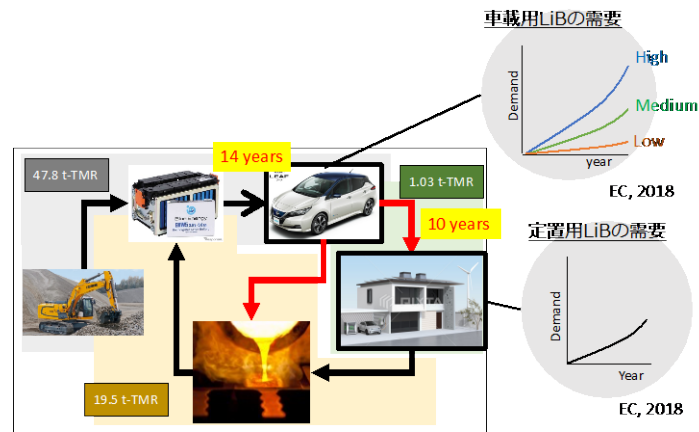


図 4-14:車載用リチウムイオン電池のライフサイクルシミュレーション

図 4-15 は結果の一例である． 図中， High, Medium, Low はそれぞれ車載用リチウムイオン電池の需要に対応している． 需要の多寡によりリユース・リサイクルの効果は変わってくるが， その影響は-37～-24%程度である． これは無視できない数値ではあるものの， 抜本的に電気自動車の資源利用量を改善するものでもない． したがって自動車に関して， 安易な電動化は資源という視点からは好ましくない事が分かる．

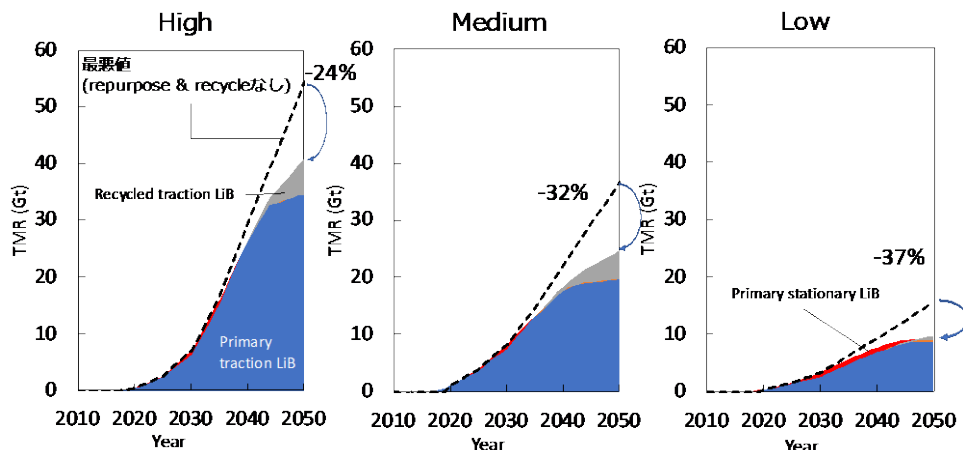


図 4-15: ライフサイクルシミュレーションによる車載用リチウムイオン電池のリユース・リサイクルの効果

最後の資源消費パターンとして， 複合型を検討する． これは使用時間支配型でも製造段階支配型でもない中間のタイプである． 図 4-16 はエアコンの製造段階と使用段階を考慮した場合の TMR の推移を示したものである． 図中， 横軸は 4 年までしか示していないが， エアコンの寿命はおよそ 15 年程度であり， そこまで使用したとするとエアコンの資源消費パターンは使用時間支配型に近くなる． ただし， ここでいう使用年数は， JIS C 9612:2013(ルームエアコンディショナ)を仮定している． すなわち， 冷房期間は 5 月 23 日～10 月 4 日， 暖房期間は 11 月 8 日～4 月 16 日で， 1 日の使用時間は 6:00～24:00 の 18 時間である． しかし， 実際にはそのような長時間を使用することは希であり， 民生利用の場合， 設置する部屋によっては年間の稼働時間が相当短い場合もある． その場合， 実質的な使用年数は短くなり， 資源消費パターンは製造段階支配型となる．

この問題をもう少し詳細に検討するため， 資源ペイバックタイムの概念を導入した． 先に示した図 4-16 には， 2 種類の直線が描かれている． これは 2018 年に製造された 2 種類のエアコン（上位モデルと普及モデル）について， 実際に組成解析を行い， またカタログスペックに記載されている定格消費電力を用いてプロットしたものである． この交点(=2.6 年)は両者の TMR が逆転する年で， いわば資源ペイバックタイムと呼ぶことができる． この年より長時間使用すると上位モデルの資源効率が良くなる． ただし

この資源ペイバックタイムは JIS 規格にしたがって、エアコンが使用された場合の結果である。しかし、4 人家族世帯におけるリビングルームではこのような使用パターンが起こりえる一方、客間や寝室では年間稼働時間が短くなり、結果として資源ペイバックタイムが長くなる可能性がある。そこで、本研究ではエアコンが使用される部屋における平均の年間稼働時間を推定し、それに伴う資源ペイバックタイムの変化を調査した。その結果を図 4-17 に示す。

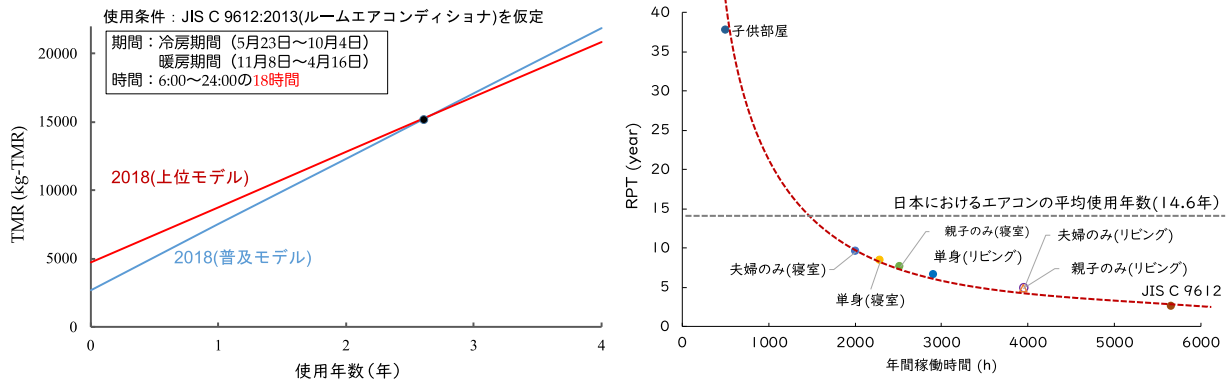


図 4-16: エアコンの資源消費パターン 図 4-16: エアコンの使用頻度による資源ペイバックタイムの変化

図から分かるように、資源ペイバックタイムは年間稼働時間に対して反比例する形状を描く。この結果は、エアコンの平均使用期間が 14.6 年の日本では、単身世帯、夫婦のみの世帯、親子のみの世帯で、上位モデルのエアコンの方が TMR の観点から望ましい一方、子供部屋は普及モデルの方が望ましい。

年間稼働時間と RPT は反比例の関係にあることを意味している。エアコンの平均時間 14.6 年を超えるかどうかの閾値は、年間稼働時間が 1500 時間であり、その時間に伴い最適なエアコンを選択する必要がある。この結果は、日本におけるエネルギーミックスを想定しているが、当然エネルギーミックスが変化すると結果も変化する。また、同じ年に生産されたエアコン同士で比較した結果を示したが、比較対象次第で資源ペイバックタイムは大きく変化することに注意しなければならない。ただし、重要なことは、複合型に属する製品はむやみに高機能製品(長時間の利用で TMR が小さくなるような製品)を選択するのではなく、その使用実態を正しく推定した上で正しく製品選択しなければならない点である。

なおエネルギーミックスの問題は要注意である。例えば、図 4-17 は 3 種類の照明の資源ペイバックタイムの比較をしたものであるが、ここではマレーシアにおける電力ミックスを仮定している。この場合、資源ペイバックタイムはそれぞれ約 40 時間（白熱電球と蛍光灯）、約 700 時間（蛍光灯と LED）である。言い換えれば、40 時間から 700 時間の利用であれば蛍光灯を選択すべきで、それ以下であれば白熱電球、それ以上であれば LED 照明を選択すべきである。一般的に照明は比較的長時間使用することが前提であるので、特殊な例を除く多くの場合で LED を選択すべき事がここから分かる。

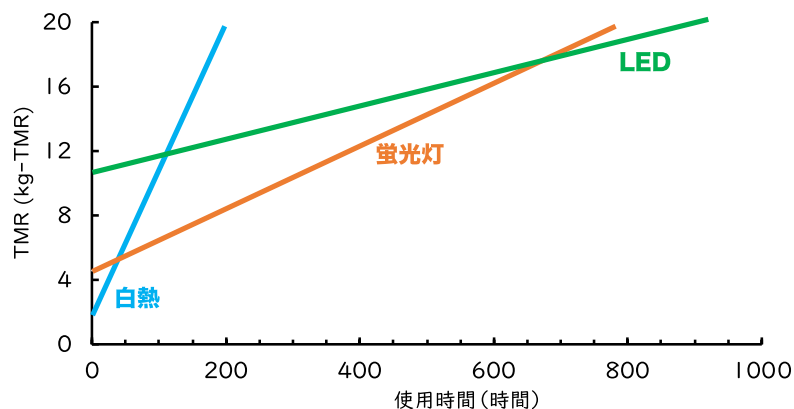


図 4-17: 3 種類の照明機器の資源ペイバックタイムの推定

しかし、ここでエネルギーミックスが再生可能エネルギー(太陽光発電)になった場合に同じ分析をすると図 4-18 のような結果が得られる。途中、急に数値が階段状に増加しているのは寿命による新しい照明の導入を意味する。再生可能エネルギーは電力の使用に伴う資源(TMR)消費が小さいため、資源ペイバックタイムが長時間側にシフトし、結果として資源ペイバックタイムは複雑な関係を呈する。概ね、白熱電球より蛍光灯や LED を選択すべきであるが、それでも 1 日あたり 1 時間しか使用しない場合でも白熱電球と蛍光灯の資源ペイバックタイムを超えるのに 10 年程度を必要とする。このような使用状況では、白熱電球の利用も視野に入る。また、蛍光灯と LED 照明の比較でも、かなりの場合において蛍光灯を選択した方が良い結果となることも起こりうる。このように再生可能エネルギーの導入は、機器選択にも大きな影響を与えることを留意しなければならない。

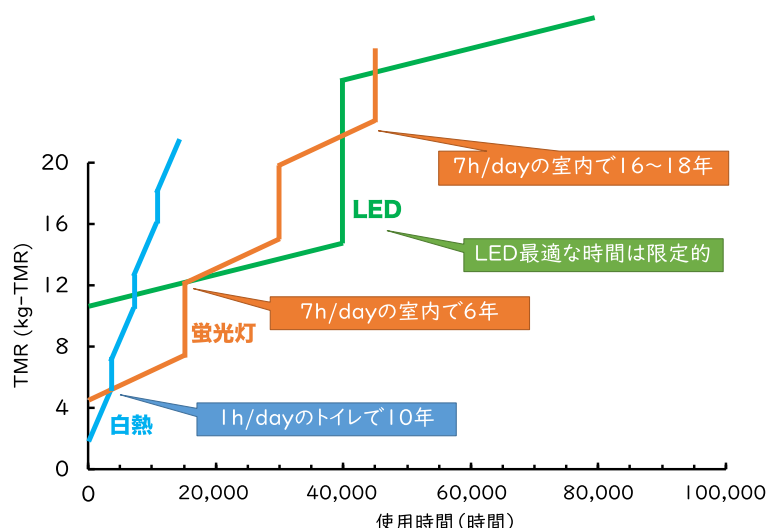


図 4-17: 3 種類の照明機器の資源ペイバックタイムの推定 (再生可能エネルギー)

対策案を講じる際に検討しておくべき事項(製品寿命と廃棄物発生量の把握)

・製品寿命の把握

図 4-15 のシミュレーションにおいても述べたように、RRRDR を促進するためには使用済み製品の排出量の予測が重要となる。持続可能な生産と消費(SCP)を中長期的に促進することは、SDGs の達成に向けた直接的な対応として必要不可欠な要素となる。そのためには生産側の効率性アプローチだけでなく、消費側の充足性がどのように醸成されるのかについても分析し、SCP への転換を促す施策、あるいは多様なステークホルダーによって社会全体を変革する施策の提示を進めなければならない。しかし、そのような施策の提示のために必要な生産と消費の構造の把握が途上国や新興国については不十分あるのが現状である。たとえば、日本といった先進国における製品寿命は比較的把握されているものの[9]、アジア地域における情報量は非常に限られている。

そこで本研究ではまず種々の製品寿命について調査を行った。

・製品寿命の調査結果

下図は種々の家電の使用年数と 1 人あたり購買力平価 GDP の関係を示したものである[10]。なお、ここで「使用年数」は「消費者による使用期間」として定義した。

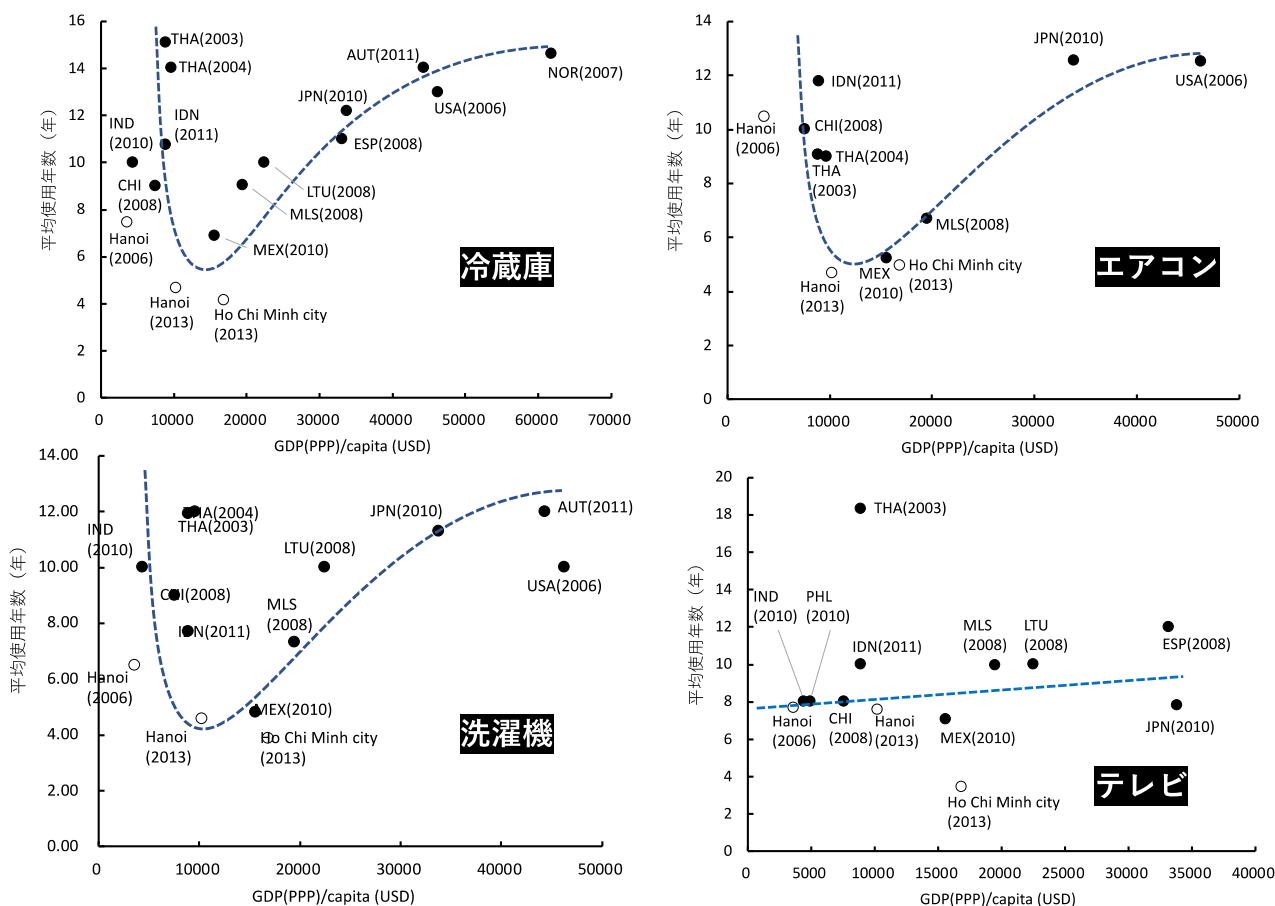


図 4-18: 種々の家電の使用年数と 1 人あたり購買力平価 GDP の関係

興味深いことに、冷蔵庫、エアコン、洗濯機の 3 製品について U 字状の関係が見られた。すなわち、所得が増加するにつれいったん使用年数は低下するが、最低値を示した後は所得が増加するにつれ使用年数が増加する。この関係を U 字仮説と呼ぶこととする。これは、次のようなメカニズムが働いている可能性がある。すなわちその国の経済水準（平均所得）が極端に低い場合、一度保有した製品は可能な限り長く使用したいという意識が働く。ただし、そのような国で購入できる製品の品質はそれほど高くなく、故障の発生頻度も高いと考えられる。故障のたびに新製品を購入できる余力は無く、中古市場も成熟していない可能性が高い。このような状況では修理を行うことで同じ製品を継続して使用するという選択が最も高くなると思われる。経済水準がある程度高くなると、市場の熟成化とともに高機能・高品質な製品が投入され始める。このような状況で故障等が生じた場合、経済的に余裕があればあるほど買い換えを選択する可能性は高い。市場が成熟する過程では、新しく高価な製品ほど高機能であり、買い換えのインセンティブも高くなる。中古市場も同時に発展し、故障していない機器の売却益を新製品購入に充てることも十分可能になる。しかし、経済水準があるレベルに達すると、そこに投入される製品の基本機能（冷やす、洗う等）は十分に高くなる。この場合、故障以外の買い換えで消費者が得られる便益は基本機能以外の付加価値（効率、デザイン、IC 化による高度な機能制御等）であり、故障以外の理由による買い換えのインセンティブは下がり始める。その付加価値すら飽和すると購入のインセンティブはさらに低くなる。同時に、高品質化することで故障しにくくなることは、さらに買い換えのタイミングを遅らせるだろう。このようなメカニズムにより、製品の使用年数はその設計寿命（物理寿命）に漸近していくものと考えられる。

一方、テレビについては別の傾向が見られた。図には示していないが、携帯電話や PC も同様の傾向を示した。暫定的な説明として、テレビについては U 字仮説の特殊な例と考える事ができる可能性がある。テレビは他の家電製品と比べても普及の割合は高い。たとえば途上国であるベトナムですら、2006 年の時点で低所得層から高所得層に至る全ての世帯で保有率が 100%であった[11]。このことは調査し

た範囲の国々で所得がテレビを保有するに十分高いことを示唆している。またテレビの性能・品質は情報を取得するという点でほぼ飽和状態にあると考え、本研究でデータを収集した範囲では、U字曲線の最も高所得側の領域のみを観測した可能性がある。この説明を検証するには、本研究で観測したよりもっと所得水準の低い国々のテレビの使用年数を調査する必要がある。なお、同じベトナムで2006年と2013年におけるテレビ、洗濯機、冷蔵庫、エアコンの使用年数を調査したところ、7年間で製品の使用年数が劇的に減少していることが分かった（図4-19）。

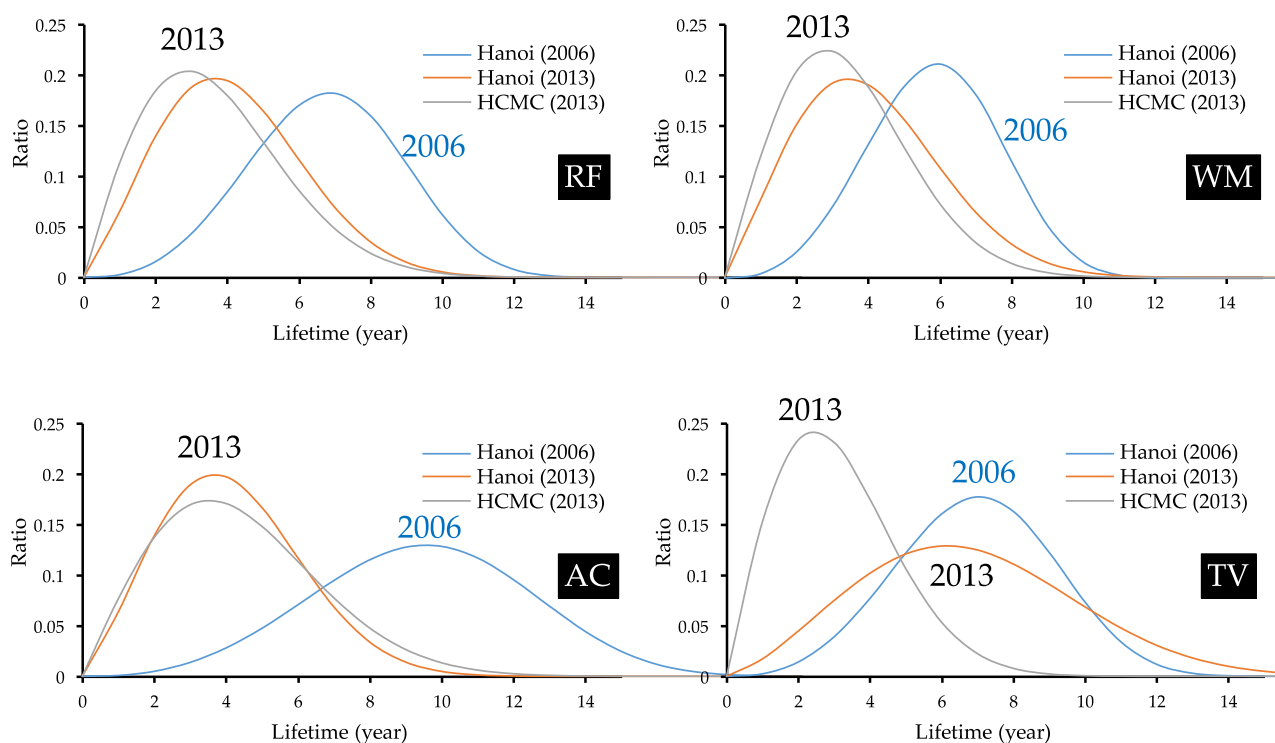


図4-19 ベトナムにおける4家電の使用年数の推移(2006, 2013年)

冷蔵庫では2006年の平均使用年数が7.5年であったが、2013年は4.7年（ハノイ市）と4.2年（ホーチミン市）であった。洗濯機は2006年が6.5年である一方、2013年が4.6年（ハノイ市）と3.9年（ホーチミン市）、エアコンは2006年が10.5年であった一方で、2013年が4.7年（ハノイ市）と5.0年（ホーチミン市）であった。ホーチミン市とハノイ市の使用年数に大きな違いが見られないが、いずれも2006年の結果と比べると大きく減少していることが分かる。ただし、テレビについては他の機器と異なる結果が得られた。ホーチミン市の2013年におけるテレビの使用年数は3.5年であったが、同年のハノイ市における使用年数は7.6年と長く、この値は2006年のハノイ市におけるテレビの使用年数と大きく変わらない。この明確な理由は不明であるが、2013年のアンケートではブラウン管テレビと液晶テレビを分けて質問しておらず、比較的長く使用されがちであったブラウン管テレビの影響を分離できなかった可能性がある。また、図4-18と同様、テレビのみ他の家電製品と比べて消費者の使用に関して別のメカニズムが働いている可能性もある。

・廃棄物発生量の推定とそれに応じた対策（ケーススタディ）

ここではケーススタディとして、ベトナムにおける4家電製品の廃棄台数を推定した結果を図4-20に示す[12]。

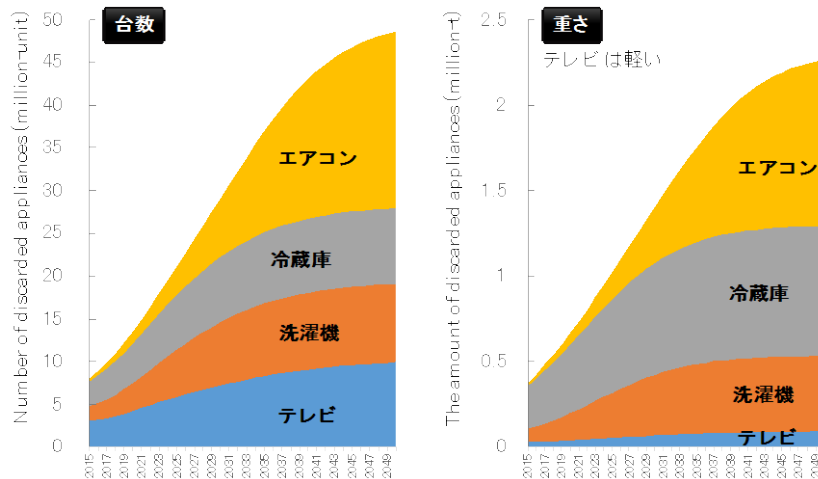


図 4-20 ベトナムにおける 4 家電製品の廃棄台数推定結果

この図から、エアコンの廃棄量が台数という視点でも重量という視点でも加速的に増加していることが分かる。これは、他の 3 家電の保有台数が飽和期に到達しつつある一方、エアコンの保有台数は現在も増加傾向にあるためである。エアコンは発展途上国における 4 家電のうち、最後に導入される場合がほとんどである。かつて、ベトナムにおいてエアコンはほとんど見られなかったが、近年の収入の増加により状況は大きく変化している。エアコンは、ベトナムだけでなくアジア地域の高温多湿な地域において健康と生命に重要な役割を果たしており、他の家電に比べて購買優先度が上がると本研究の予測以上の廃棄台数も否定できない。

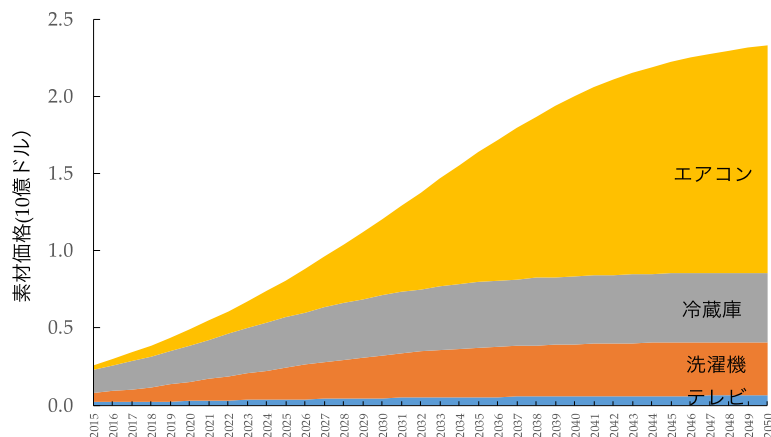


図 4-21: 使用済み製品に含まれる素材の金銭換算値

図 4-21 は使用済み製品に含まれる素材を金銭価値に換算した結果である。換算には素材の単価を用い、それは今後も変化しないと仮定している。図から分かるように、2040 年以降、使用済みエアコンに含まれる素材の価値は、他の 3 家電の合計と同等かそれ以上である。エアコンに含まれる素材の金銭価値のみを抽出した結果を図 4-22 に示す。図からその価値の大部分を銅、アルミニウム、鋼材が占めていることが分かる。すなわちベトナムにおける将来的な家電リサイクルはエアコンを中心とした対策を講じる必要がある。

現実問題として、ベトナムでは未だ高度なリサイクルシステムが開発されていない。ベトナム政府は 3R の概念に基づいた廃棄物管理の問題に取り組んでおり、たとえば 2009 年には、家電からの適切な固形廃棄物の分離と回収をめざし、“The national strategy for integrated management of solid waste up to 2025, with a Vision to 2050 (2149/QD-TTG)”を策定している。それからも 2 年に 1 回のペースでリサイクルに関わる方針を打ち立てている。しかし、実際には廃棄物の収集と処理にかけられている予算が少

なく、フォーマルセクターによる処理能力が追いつかず、結局の所、インフォーマルセクターによるプリミティブなリサイクルか、埋立処理、あるいは違法輸出に依存しているのが現状である。

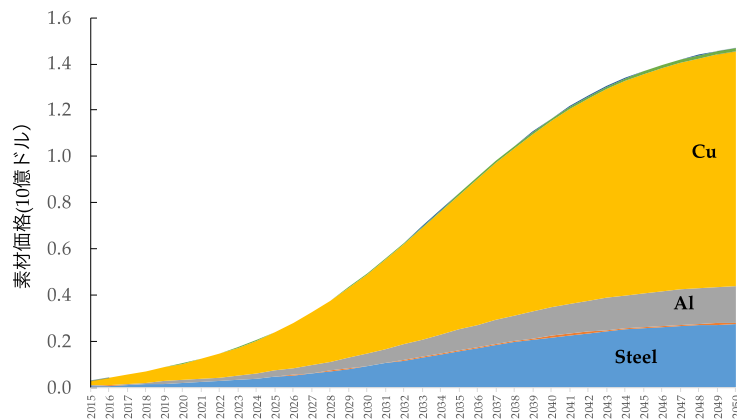


図 4-22: エアコンに含まれる素材の金銭価値のみを抽出した結果

このような問題を解決するためには、政府による適切な支援策が必要不可欠である。日本では、1つの処理施設で年間約50万台を処理できる。これをベトナムに適用した場合、ベトナムでは2040年までに最大で60の処理施設を設置しなくてはならない。そこにかかるコストは10.9億ドル(約1,000億円)と膨大になる。ただし、図4-21から、家電製品に含まれる素材の価値は約2,000億円相当であり、処理施設さえ準備できれば、歩留まりやその他のコストを考えても十分に回収可能なコストである。ベトナム政府の予算は少ないが、先進国の廃棄物・リサイクル系企業は、今後市場の拡大が見込まれるアジアに市場を求めている。廃棄物処理は社会インフラの一種であるため、国や地方自治体の関与が重要となる。したがって、ベトナム政府は国際的に有名な大手企業と共同で大規模な実証プロジェクトを立ち上げ、全体的なリサイクルシステムを開発・採用することで、投資による資金を得ることができる。特に、ベトナム政府の予算が少ないことを考えると、地方政府は外国企業の技術や設備の支援を必要としていると思われる。

もう1つのケーススタディとして、ベトナムにおける自動二輪車の寿命予測と廃棄量の推定を行った。自動二輪車は、寿命だけでなく組成に関する情報がほとんど存在しなかったため、前者については比較的大規模のアンケート(日本、ベトナム)、後者については実機を解体することでデータを得た。アンケートの結果、図4-23に示すように日本とベトナムのそれぞれにおける自動二輪車の総使用年数の平均値(ベトナム20.3年、日本9.2年)と一人目所有車の平均使用年数(ベトナム12.1年、日本4.8年)を見積もることができた。

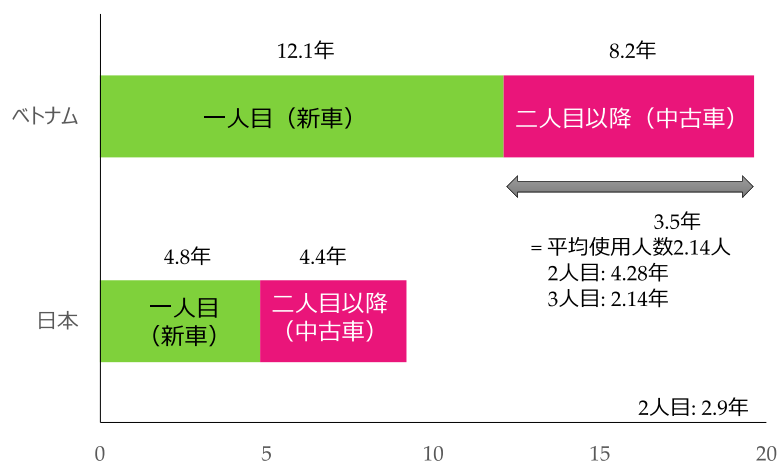


図 4-23: 日本とベトナムにおける自動二輪車の平均総使用年数と一人目所有車の平均使用年数

この結果を基に、ベトナムにおける自動二輪車由来の鉄スクラップおよびアルミニウム(ADC12)の排出量を推定したところ、図 4-24 のような結果が得られた[13]。以下、この排出量に対する適切な管理戦略を議論する。まず、ベトナムの既設の製錬所の設備容量を考慮すると、自動二輪車由来の素材リサイクルは十分に対応できる。一方、インフォーマルセクターが関与する「中間施設での解体プロセス」が不十分であることが分かった。ベトナムにおける適切な自動二輪車中間処理システムのパッケージを導入するため、本研究ではまず日本の自動二輪車の解体における中間処理施設（施設メイン席 1000 m²）の 1 つにヒアリング調査を行った。その結果、1 人当たり年間 2000 台の解体処理が可能である事が分かった。なお、そこでは 24 人の作業員がフルタイムで従事していた。この設備のベトナムにおける展開可能性を調査した。まず、2030 年にベトナムで処理が必要な二輪車の数は 180 万台(=13 万トン)と推定されているため、1 つの処理施設で 24 人の作業員が 1 年間に 48,000 台の二輪車を手作業で解体することを考えると、ベトナムでは 2030 年までに 38 の処理施設が必要となる。次に破碎機やバックホーの必要数について検討した。最大処理能力 3t/h の破碎機を設置すると仮定すると、1 日 8 時間、年間 250 日の稼働で年間 6000 トンの二輪車を破碎することができる。つまり、破碎処理には少なくとも 22 台の破碎機が必要となる。前述のように 2030 年までに 38 の中間処理施設を建設する必要があることを考えると、各中間処理施設に 1 台の破碎機を設置すれば十分であることがわかる。

最後にコスト分析を行った。中間処理施設の建設に関連するコストは破碎機と人件費を考慮し、約 25 億円と推定された。図 4-24 より、2030 年において鉄は約 73,800 トン、アルミニウムは約 34,800 トン、銅は約 2100 トンが回収できる可能性がある。これらを全て回収したとすると、ベトナムにおける二輪車の適正な中間処理による収益は、2030 年には約 9,470 万ドル（約 95 億円）に達すると予想される。すなわち、二輪車の適正処理による収益は、2030 年までに中間処理施設の設置や人件費に必要な 25 億円をはるかに上回ることが分かった。また、これらの額は家電製品の規模と比べると十分に小さいため、家電製品に関わる外資系企業の誘致スキームに組み込むことでさらに効果的に資金調達を実現できる可能性がある。

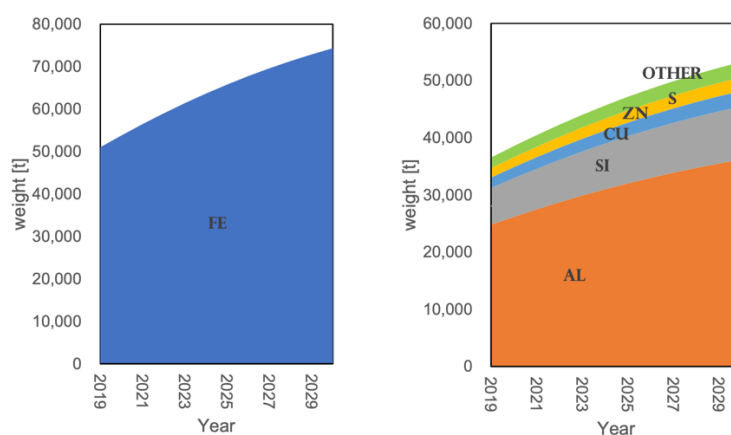


図 4-24: ベトナムにおける使用済み自動二輪車由来の金属発生量

さらに UN Comtrade を分析することで、アジア地域において中古自動二輪車の大部分がカンボジアとミャンマーに流出し、これらの国々が最終到着地となっていることが分かった。そこで本研究では、ベトナムと国境を接するカンボジアにおいて、自動二輪車の最終的な排出量を調査した。UN comtrade による輸入量、またヒアリングと文献調査に基づく国内生産量を推定し、さらに図 4-2-23 で調査した二人目以降のユーザによる残存寿命の消化を考慮することで、最終的な排出台数とそこに含まれる素材量を決定できた。本研究で確認した範囲で、カンボジアに存在する電炉の設備容量は年間 10 kt であるが、図から分かるように 2026 年ごろに自動二輪車由来の鋼材のみでこの値を超過する。ただし、現在、カンボジアのプノンペンからベトナム南部の Bung Tau まで河川を利用して鋼材が輸出されていることは確認している。したがってこのエリアについては自然発生的に鋼材処理の国際連携が確立されている。

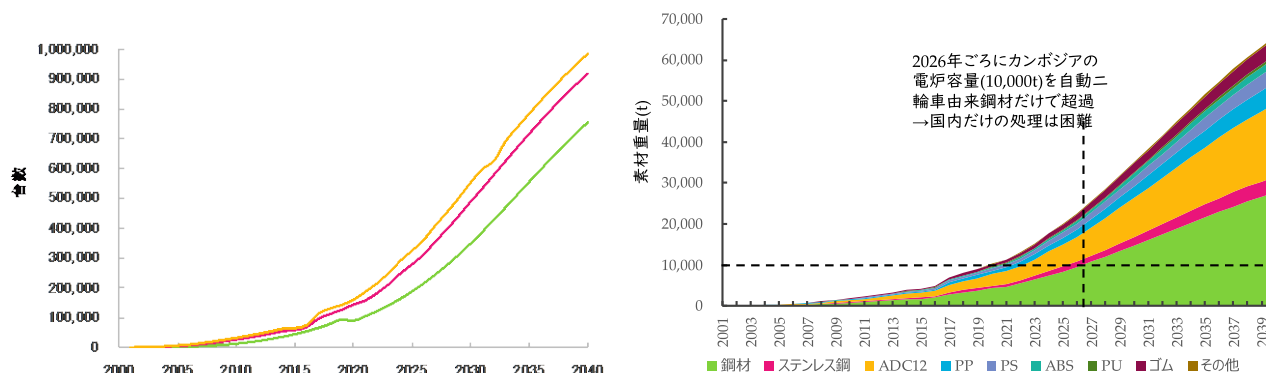


図 4-25: カンボジアにおける使用済み自動二輪車の発生量およびそこに含まれる素材重量

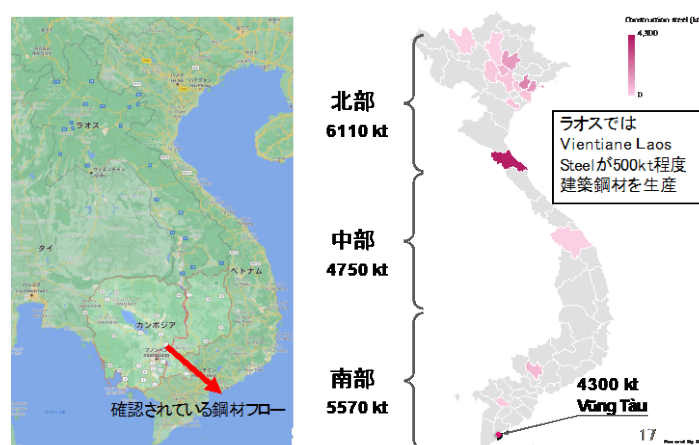


図 4-26: ベトナムにおける建築用鋼材(棒鋼)製造量の分布とカンボジアとの位置関係

図 4-26 はベトナムにおける建築用鋼材(棒鋼)製造量の分布を示した図である。これが全て電炉で生産され、その原料の6割がスクラップとすると Vung Tau の設備容量は少なくとも 3300kt あり、その 1% をカンボジアが利用可能だとしても 33kt が利用となり、すぐに破綻することはない。ただしプノンペンと Vung Tau 間でも 300-400 km の輸送距離があり、また河川を利用した輸送であるため、輸送容量や降雨や雨量不足による流量不安定が影響を及ぼす可能性がある。またカンボジア北部においても当然使用済み自動二輪車は発生するため、それらの処理について大きな課題がある。北部近隣国としてはラオスが 500kt 程度の鋼材を製造しているため、カンボジア政府は国内電炉容量の確保だけでなく、周辺の輸送容量の確保も対策すべきである

・分散型リサイクル拠点の提案 (リサイクルの問題解決)

リサイクル技術自体の高度化も重要な要素である。リサイクル産業(静脈産業)は基本的に分散化しており、その物流費用が相対的に高くなる。日本における小型家電の場合、静脈物流費用が全体の6割を占めるといふ報告もある(<https://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0324-02/mat04.pdf>)。そこで、本研究では本テーマの直接的な目的とはなっていないが、マイクロ波を用いた分散型リサイクルのスキームを開発した。マイクロ波はいわゆる電子レンジにも用いられているような枯れた技術であるが、これを金属の製錬やリサイクルに応用した例は存在しなかった。マイクロ波による加熱は、炉壁などを加熱することなく、対象となる物体のみを選択的に加熱可能であるため、小型化しても効率が落ちにくい。現在の動脈産業における製錬工場が大型化しているのは、大型化によって熱効率を向上させることが原因であるが、マイクロ波加熱を用いることで小型のままでも効率が落ちにくくなる。

また、マイクロ波による加熱で還元をすると、通常電気炉による加熱より高速かつ低温で還元できる場合があることを発見した[14]。特にリチウムイオン電池に用いられている正極材(コバルト酸リチ

ウム)をマイクロ波で処理すると数十秒ほどで金属コバルトが得られるほどの高速性を発現した(特許申請済み)。

ここでは、マイクロ波を用いた分散型リサイクル拠点形成によるエネルギー削減効果を見積もるため、マイクロ波加熱を用いたアルカリマンガン乾電池からの亜鉛とマンガンのリサイクルをケーススタディとして評価した。分散型リサイクルは全ての地域で有効ではない。例えば、都市部では人口密度が高ことから高密度で使用済み電池を処理できる。この場合、従来の集中型リサイクルが利用可能である。一方、非都市部では希薄に電池が排出されるため、マイクロ波による分散型リサイクルが有利になる。そこには人口と輸送距離を関数とした閾値があり、日本の市町村レベルの行政区画毎に分散型リサイクルの導入効果を示したものが図4-27である。日本全体としては約5,000 GJのエネルギー削減効果を達成でき、これは現状の亜鉛回収に必要なエネルギーを10%削減することに相当する。アジア地域における持続可能な生産と消費をより確実なものとするためには、前述のような社会システムと新しいリサイクル技術の両方を有機的に接続することが大事である。

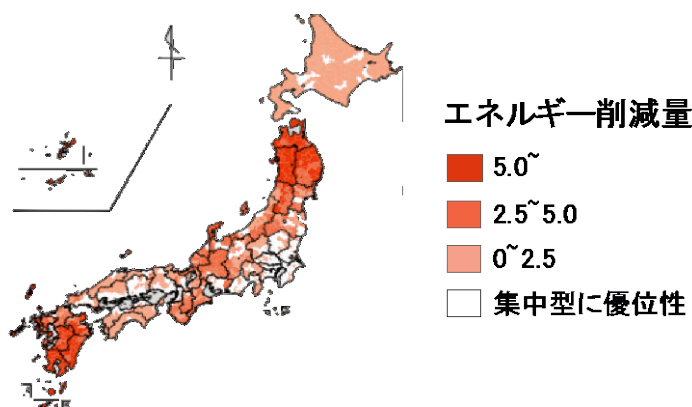


図4-27: アルカリマンガン乾電池のリサイクルにおける分散型リサイクルの導入効果

5. 研究目標の達成状況

本テーマの目標は、資源循環のための最適なロジスティック構築のため、3Rの様々なライフサイクルオプションとその実現に向けた政策・規制緩和等を調査・検討すると共に、資源消費の定量的評価手法を確立し、アジア地域における「責任ある国際資源循環」の姿を提示することであった。

上述のような研究成果を通じ、国境を越えた産業共生、リサイクルシステムの構築、すなわち社会システムの変革が重要であると共に、リサイクルに特化した製錬技術の開発が必要不可欠であることも示した。本テーマの遂行により、炭素や直接重量だけでなく資源制約も満たしつつ、産業共生、外資、新しい技術を導入することで最適化に向けたシナリオの側面を構築できたと言える。

6. 引用文献

- [1] S. Kosai, U. Takata, and E. Yamasue, "Natural resource use of a traction lithium-ion battery production based on land disturbances through mining activities," *J. Clean. Prod.*, vol. 280, p. 124871, Jan. 2021.
- [2] A. Oyaizu, J. Cravioto, E. Yamasue, and I. Daigo, "Data Envelopment Analysis for steel production with the use of Total Material Requirement," *Matériaux & Techniques*, vol. 105, no. 5-6, p. 510, 2017.
- [3] 英嗣山末, 翔貴光斎, and 俊介柏倉, "グリーンイノベーションの資源パラドックス問題," *日本LCA学会誌*, vol. 17, no. 1, pp. 22-28, 2021.
- [4] S. Kosai and E. Yamasue, "Global warming potential and total material requirement in metal production: Identification of changes in environmental impact through metal substitution," *Sci. Total Environ.*, vol. 651, no. Pt 2, pp. 1764-1775, Feb. 2019.
- [5] S. Kosai and E. Yamasue, "Economy-Wide Material Flow Analysis and Its Projection: DMI

- Versus TMR in Japan,” *EcoDesign and Sustainability II* [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-6775-9_11
- [6] 靖梅田, 裕介木下, 道一小島, and 光崇松本, “SCPを指向した次世代ものづくり,” *日本LCA学会誌*, vol. 15, no. 2, pp. 152-160, 2019.
- [7] J. Cravioto, E. Yamasue, D.-Q. Nguyen, and T.-D. Huy, “Benefits of a regional co-processing scheme: The case of steel/iron and cement industries in Vietnam, Laos, and Cambodia,” *J. Clean. Prod.*, vol. 312, p. 127702, Aug. 2021.
- [8] S. Kosai, A. B. Badin, Y. Qiu, K. Matsubae, S. Suh, and E. Yamasue, “Evaluation of resource use in the household lighting sector in Malaysia considering land disturbances through mining activities,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 166, p. 105343, Mar. 2021.
- [9] 国立環境研究所, “製品使用年数データベース LiVES (Lifespan database for Vehicles, Equipment, and Structures).” [Online]. Available: <http://www.nies.go.jp/lifespan/index.html>. [Accessed: 19-Jun-2021]
- [10] 英嗣山末, 翔貴光斎, クラビオットジョルディ, 玲華安永, グエンデュック クワン, and 靖梅田, “持続可能な開発目標に向けた電子機器の使用年数の把握と傾向分析,” *日本LCA学会誌*, vol. 14, no. 1, pp. 77-84, 2018.
- [11] D. Q. Nguyen, E. Yamasue, H. Okumura, and K. N. Ishihara, “Evaluation of Recycling System for Electronic Appliances in Vietnam,” *Development Engineering*, vol. 14, pp. 1-13, 2008.
- [12] S. Kosai, Y. Kishita, and E. Yamasue, “Estimation of the metal flow of WEEE in Vietnam considering lifespan transition,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 154, p. 104621, Mar. 2020.
- [13] D. Kurogi *et al.*, “Estimating the generation of recycled metals from obsolete motorcycles in Vietnam for ELV management,” *J. Mater. Cycles Waste Manage.*, May 2021, doi: 10.1007/s10163-021-01237-0. [Online]. Available: <https://link.springer.com/10.1007/s10163-021-01237-0>
- [14] N. Mizuno, S. Kosai, and E. Yamasue, “Microwave-Based Approach to Recovering Zinc from Electric Arc Furnace Dust Using Silicon Powder as a Non-carbonaceous Reductant,” *JOM*, vol. 73, no. 6, pp. 1828-1835, Jun. 2021.

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) 文 多美, 石川 奈那, 中谷 隼, 平尾 雅彦, 環境科学学誌, 31, 5 (2018) 製品購入の意思決定段階と情報収集の流れに着目した環境情報提供の提案—家電製品の消費者を対象に—
- 2) 文 多美, 中谷 隼, 平尾 雅彦, 環境情報科学論文集, 32 (2018) 中古家電製品の購入に対する消費者受容性—持続可能な消費に向けて
- 3) D. MOON, E. AMASAWA and M. HIRAO: Sustainability, 11, 16 (2019) Laundry Habits in Bangkok: Use Patterns of Products and Services.
- 4) D. MOON, E. AMASAWA and M. HIRAO: Sustainability, 12, 22, 9756 (2020) Consumer motivation and environmental impact of laundry machine-sharing: analysis of surveys in Tokyo and Bangkok
- 5) E. AMASAWA, T. SHIBATA, H. SUGIYAMA, and M. HIRAO: J. Clean. Prod, 242 (2020) Environmental potential of reusing, renting, and sharing consumer products: systematic analysis approach
- 6) N. YOKOKAWA, E. KIKUCHI-UEHARA, E. AMASAWA, H. SUGIYAMA, and M. HIRAO: J. Ind. Ecol, 23, 5 (2019) Environmental analysis of packaging-derived changes in food production and consumer behavior
- 7) F. M. PIONTEK, E. AMASAWA, K. KIMITA: Procedia CIRP (2020) Environmental implication of casual wear rental services: Case of Japan and Germany
- 8) N. YOKOKAWA, Y. MASUDA, E. AMASAWA, H. SUGIYAMA, and M. HIRAO: Packag. Technol. Sci. 33, 11, 445-459 (2020) Systematic packaging design tools integrating functional and environmental consequences on product life cycle: Case studies on laundry detergent and milk
- 9) Makiko Kohno, Masahiko Hirao, Information Flow System for Chemicals in Products (CiP) with Adequate Attention to the Social Dimension: The Japanese Challenge and the Way Forward(2020) EcoDesign and Sustainability II, pp.191-204
- 10) 河野真貴子, 土壌倫理の射程-食と農, リスク, 未来世代 (2019) 日本土壌肥科学雑誌 90(5)pp. 403-408.
- 11) 河野真貴子, ライフサイクル思考に基づく化学物質管理のための法的枠組み構築に向けて -アジア用ガイドン作成のためベストプラクティス抽出 (2018) リスク研究学会誌28(2)pp. 107-122.
- 12) 梅田靖, 木下裕介, 小島道一, 松本光崇: 日本 LCA 学会誌, 15(2), 152-160 (2019) SCP を指向した次世代ものづくり
- 13) 天沢 逸里, 文 多美, 中谷 隼: 日本 LCA 学会誌, 15(2), 161-173 (2019) シェアリングエコノミー: ライフサイクル志向の観点から
- 14) S. Phuphisith, K. Kurisu, K. Hanaki: Journal of Environmental Information Science, 45(5), 9-20 (2017)
“Insight into pro-environmental behaviors and people’ s perceptions in Bangkok, Thailand”
- 15) K. Kurisu, N. Kimura, K. Hanaki: Expression effects of public service advertisements on intentions to act for global warming, Journal of Cleaner Production 218, 1045-1054 (2019); DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.059
- 16) P. SRUN, K. KURISU: Sustainability, 11, 6603(2019) People’ s Tendency Toward Norm-

- Interventions to Tackle Waste Disposal in Public Open Spaces in Phnom Penh, Cambodia.
- 17) S. PHUPHISITH, K. KURISU, K. HANAKI: *Journal of Cleaner Production*, 253, 1198822020 (2020), A Comparison of the Practices and Influential Factors of Pro-Environmental Behaviors in Three Asian Megacities: Bangkok, Tokyo, and Seoul.
 - 18) K. Tsuji, K. Kurisu, J. Nakatani, Y. Moriguchi: Evaluation of environmental impact of car sharing in consideration of uncertainty of influential variables, *International Journal of Automation Technology* 14 (6), 975-983 (2020); DOI: 10.20965/ijat.2020.p0975
 - 19) K. KURISU, R. IKEUCHI, J. NAKATANI, Y. MORIGUCHI: *Journal of Cleaner Production*, 127269 (2021) Consumers' motivations and barriers concerning various sharing services.
 - 20) Naoki Yokokawa, Eri Amasawa, Masahiko Hirao: *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1514-1525 (2021) Design assessment framework for food packaging integrating consumer preferences and environmental impact
 - 21) T. Tamura, Y. Umeda, and Y. Kishita: *Procedia CIRP*, 61, 612-616 (2017) "Supporting Design for Local Oriented Manufacturing in Developing Countries"
 - 22) C. Bao, Y. Kishita, and Y. Umeda: *Procedia CIRP*, 61, 635-640 (2017) "Demand Estimation of Consumer Durables in Southeast Asia in 2030: A Business-As-Usual Scenario"
 - 23) M. Kojima: *Procedia CIRP*, 61, 641-644 (2017) "Remanufacturing and Trade Regulation"
 - 24) T. Tamura, H. Kobayashi, Y. Umeda: *Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design*, Springer, 93-109 (2017) "Proposal of a Design Method for Local-Oriented Manufacturing in Developing Countries First Report: Problem Description and Knowledge Representation"
 - 25) S. ONOZUKA, Y. KISHITA, M. MATSUMOTO, M. KOJIMA and Y. UMEDA: *Procedia CIRP*, 98 (2021) Quantitative assessment method for supporting scenario workshops toward sustainable consumption and production.

【サブテーマ 2】

- 1) Y. SUGITA, S. FUKUSHIGE, H. KOBAYASHI: *Procedia CIRP*, 61, 617-622 (2017) (IF: 2.04), A Visualization System of Design Information for Locally-oriented Sustainable Product.
- 2) H. KOBAYASHI: *Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design*, Springer, 79-92 (2017), Perspectives on Sustainable Product Design Methodology Focused on Local Communities.
- 3) H. KOBAYASHI and S. FUKUSHIGE: *Smart Innovation, Systems and Technologies*, Springer, 68, 119-126 (2017), A Living-sphere Approach for Locally Oriented Sustainable Design.
- 4) H. KOBAYASHI and S. FUKUSHIGE: *Journal of Remanufacturing*, 8-3, 103-113 (2018), A Living-sphere Approach for Locally Oriented Sustainable Design.
- 5) H. KOBAYASHI, Y. SUMIMURA, C. DINH, M. TRAN, H. MURATA, S. FUKUSHIGE: *Smart Innovation, Systems and Technologies*, Springer, 155, 35-47 (2019), Needs-based Workshops for Sustainable Consumption and Production in Vietnam.
- 6) T. KAWAGUCHI, H. MURATA, S. FUKUSHIGE, H. KOBAYASHI: *Procedia CIRP*, 80, 328-333 (2019) (IF: 2.04), Scenario Analysis of Car- and Ride-Sharing Services Based on Life Cycle Simulation.
- 7) 村田秀則, 小林英樹: 生活圏アプローチのための概念モデリング手法, 日本機械学会論文集,

Vol. 86, No. 886 (2020), DOI:10.1299/transjsme.19-00390.

- 8) 川口太郎, 村田秀則, 福重真一, 小林英樹:自動車シェアリングサービスと電気自動車の普及を対象としたライフサイクルシミュレーション手法の提案, 精密工学会誌, 採択済み.
- 9) H. MURATA, S. HORIO, H. KOBAYASHI: *Frontiers in Sustainability*, Development of Online Needs-based Workshop Support System Under Pandemic Situation, accepted.

【サブテーマ 3】

- 1) K. KAMIGAKI, M. MATSUMOTO and Y. FATIMAH: *Procedia CIRP*, 61, 645-650 (2017). Remanufacturing and refurbishing in developed and developing countries in Asia - A case study in photocopiers.
- 2) Y. UMEDA, K. ISHIZUKA, M. MATSUMOTO and Y. KISHITA: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(1), 61-64 (2017). Modeling competitive market of remanufactured products. (IF(2020):3.8)
- 3) M. MATSUMOTO, K. CHINEN and H. ENDO: *Journal of Cleaner Production*, 172, 4494-4505 (2018). Remanufactured auto parts market in Japan: Historical review and factors affecting green purchasing behaviour. (IF(2020):6.4)
- 4) M. MATSUMOTO, K. CHINEN and H. ENDO: *Journal of Cleaner Production*, 205, 1029-1041 (2018). Paving the way for sustainable remanufacturing in Southeast Asia: An analysis of auto parts markets. (IF(2020):6.4)
- 5) Y.Y. CHUN, M. MATSUMOTO, K. TAHARA, K. CHINEN and H. ENDO: *Sustainability*, 11, 5103 (2019) Exploring factors affecting car sharing use intention in the Southeast-Asia region: A case study in Java, Indonesia. (IF(2020):2.6)
- 6) K. CHINEN, Y. SUN, M. MATSUMOTO and Y.Y. CHUN: *Sustainability*, 12, 21 (2020). Towards sustainable society employing emerging mobility services: A case of autonomous buses. (IF(2020):2.6)
- 7) M. MATSUMOTO, K. CHINEN, K.R. JAMALUDIN and B.S.M. YUSOFF: In Kishita et al., eds. *EcoDesign and Sustainability I*, pp.151-161 (2021). Barriers for the remanufacturing business in Southeast Asia: The role of governments in the circular economy. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6779-7_1
- 8) K. CHINEN, H. ENDO, M. MATSUMOTO and Y. HAN: In Kishita et al., eds. *EcoDesign and Sustainability II*, pp.3-16 (2021) The Chinese-brand electric vehicles in the eyes of the US consumers. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6775-9_1
- 9) Y.Y. CHUN, M. MATSUMOTO and K. TAHARA: In Kishita et al., eds. *EcoDesign and Sustainability II*, pp.147-159 (2021) Understanding of individuals' intention toward car sharing usage in the Southeast-Asia region: From university students in Thailand and Indonesia. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6775-9_10
- 10) K. CHINEN and M. MATSUMOTO: *Sustainability*, 13, 7 (2021). Indonesians' perceptions of auto parts remanufactured in China: Implications for global remanufacturing operations. (IF(2020):2.6)

【サブテーマ 4】

- 1) J. Cravioto, R. Yasunaga, and E. Yamasue: *Procedia CIRP*, Vol.61, (2017) pp.657-662 Comparative analysis of average time of use of home appliances, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.248>
- 2) E. Yamasue, J. Cravioto, D. Q. Nguyen, M. Oguchi, I. Daigo: *Procedia CIRP*, Vol.61, pp.152-154 (2017) Lifetime Analysis for Electronic Devices in Vietnam,

- <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.269>
- 3) A. Oyaizu, J. Cravioto, I. Daigo, E. Yamasue: *Matériaux et Techniques*, Vol.105, No.5-6, 510 (2018) (IF:0.45) Data Envelopment Analysis for steel production with the use of Total Material Requirement, <https://doi.org/10.1051/mattech/2018012>
 - 4) 山末英嗣, 安永玲華, クラビオットジョルディ, Tran Duc Huy, Nguyen Duc Quang : 日本LCA学会誌, 第14巻, 第1号, pp.13-20 (2018) 東南アジアにおける家電製品の素材リサイクルによるTMR削減ポテンシャル評価, <https://doi.org/10.3370/lca.14.13>
 - 5) 山末英嗣, 光斎翔貴, クラビオットジョルディ, 安永玲華, グエンデュッククワン, 梅田靖 : 日本LCA学会誌, 第14巻, 第1号, pp.77-83 (2018) 持続可能な開発目標に向けた電子機器の使用年数の把握と傾向分析, <https://doi.org/10.3370/lca.14.77>
 - 6) 山末英嗣, 光斎翔貴, 松八重一代, マクレランベンジャミン, 日本LCA学会誌, 第14巻, 第2号, pp.146-157 (2018) 食料生産における関与物質総量の枠組の提案と評価 ～国産食材のTMR係数～, <https://doi.org/10.3370/lca.14.146>
 - 7) S. Kosai, M. Nakanishi, E. Yamasue, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.65, pp.355-367 (2018) (IF: 4.6) Vehicle Energy Efficiency Evaluation from Well-to Wheel Lifecycle Perspective, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.09.011>
 - 8) S. Kosai, S. Hashimoto, K. Matsubae, B. McLellan, E. Yamasue, *minerals*, Vol. 8, Issue 3, 114 (2018) (IF: 2.4) Comprehensive Analysis of External Dependency in terms of Material Criticality by Employing Total Material Requirement: Sulfuric Acid Production in Japan as a case study, <https://doi.org/10.3390/min8030114>
 - 9) S. Kosai, E. Yamasue, *Science of the Total Environment*, Vol.651, pp.1764-1775 (2019) (IF: 6.6) Global warming potential and total material requirement in metal production: Identification of changes in environmental impact through metal substitution, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.085>
 - 10) S. Kosai, Y. Kishita, E. Yamasue: *Resources, Conservation & Recycling*, Vol.154, 104621 (2020) (IF: 8.1) Estimation of the metal flow of WEEE in Vietnam Considering Lifespan Transition, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104621>
 - 11) S. Kosai, M. Yuasa, E. Yamasue, *energies*, Vol.13, 2094 (2020) (IF: 2.7) Chronological Transition of Relationship between Intracity Lifecycle Transport Energy Efficiency and Population Density, <https://doi.org/10.3390/en13082094>
 - 12) S. Kosai, A. B. Badin, Y. Qiu, K. Matsubae, S. Suh, E. Yamasue: *Resources, Conservation & Recycling*, Vol.166, 105343 (2021) (IF: 8.1) Evaluation of resource use in the household lighting sector in Malaysia considering land disturbances through mining activities, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105343>
 - 13) S. Kosai, U. Takata, E. Yamasue: *Journal of Cleaner Production*, Vol.280, part 2, 124871 (2021) (IF: 7.2) Natural resource use of a traction lithium-ion battery production based on land disturbances through mining activities, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124871>
 - 14) S. Kosai, K. Matsui, K. Matsubae, E. Yamasue, T. Nagasaka: *Resources, Conservation & Recycling*, Vol.166, 105256 (2021) (IF: 8.1) Natural resource use of gasoline, hybrid, electric and fuel cell vehicles considering land disturbances, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105256>
 - 15) D. Kurogi, S. Kosai, G. Murakami, L. T. Phong, N. D. Quang, T. D. Huy, N. Luong, E. Yamasue, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Article in Press (2021) (IF: 2.0) Estimating the generation of recycled metals from obsolete motorcycles in Vietnam

for ELV management, <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01237-0>

- 16) S. Kosai, E. Yamasue: EcoDesign and Sustainability II, Chapter 11 (2021) Economy-Wide Material Flow Analysis and Its Projection: DMI Versus TMR in Japan
- 17) S. Kosai, E. Yamasue: EcoDesign and Sustainability II, Chapter 16 (2021) Towards Intercity Cooperation: Comparison of Spatial Transport Energy Efficiency Between Central and Peripheral Cities in Japan
- 18) J. Cravioto, E. Yamasue, Duc-Quang Nguyen, Tran-Duc Huy, Journal of Cleaner Production, vol.312, 127702 (2021), (IF: 7.2) Benefits of a regional co-processing scheme: the case of steel/iron and cement industries in Vietnam, Laos, and Cambodia, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127702>

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

- 1) 天沢逸里, 文多美, 中谷隼, 日本LCA学会誌, 15(2), 161-173 (2019) シェアリングエコノミー: ライフサイクル思考の観点から
- 2) 平尾 雅彦: エネルギー・資源学会誌, 41(1), 52-53 (2020) 化学工学における SDGs 達成への取り組み -効率性から充足性へ-
- 3) 平尾 雅彦: 日本家政学会誌, (2020) シリーズくらしの最前線、消費者の行動で達成するSDGs12番目の目標 “持続可能な消費と生産パターンの確保”
- 4) 河野眞貴子, 平尾雅彦, 「包括的な土壌保全の課題 -EUのエビデンスに基づく政策からの示唆」 (2019) 中央評論306pp. 34-44.
- 5) 天沢逸里: 日本LCA学会誌, 13(4), 370-377 (2017)
「サステナビリティ学から覗く消費行動とライフスタイル研究」

【サブテーマ2】

なし

【サブテーマ3】

- 1) M. MATSUMOTO, Y. UMEDA, S. TSUCHIYA and L. TANG: Proceedings of Electronics Goes Green 2016+, 2016.
“Development of a demand forecasting model for automotive electric component remanufacturing.” (<http://ieeexplore.ieee.org/document/7829817/>)
- 2) 石田涼、松本光崇、木下裕介、梅田靖: 精密工学会 春季大会学術講演会 講演論文集, 595-596 (2019)
「アジアにおける自動車部品のリマニュファクチャリング品普及のための市場シミュレーション」
- 3) 松本光崇: 化学工学学会誌, 第83巻, 第8号, p. 55 (2019)
「リマニュファクチャリング (remanufacturing) の動向と普及推進に向けた課題」
- 4) 松本光崇、土屋哲男: 設計工学会誌, 第56巻, 第4号, 172-179 (2021)
「リマニュファクチャリングのためのエコデザイン」

【サブテーマ4】

- 1) 山末英嗣: 「環境制約と資源利用のパラドックス」, エネルギー・資源, 第41巻, 3号, (2020), p. 70

- 2) 山末英嗣：「人類による銅の利用と今後の課題」, エネルギー・資源, 第41巻, 4号, (2020), p. 52-56
- 3) 山末英嗣, 光斎翔貴, 柏倉俊介：「グリーンイノベーションの資源パラドックス問題」, 日本LCA学会誌, Vol.17, No. 1, (2021), pp. 22-28

(2) 口頭発表 (学会等)

【サブテーマ1】

- 1) 石川奈那、文多美、中谷隼、杉山弘和、平尾雅彦：第12回日本LCA学会研究発表会、産業技術総合研究所つくばセンター, つくば 2017年3月1~3日
「消費者の環境配慮製品選択を促す情報表示の設計」
- 2) 文多美, 平尾雅彦, 谷川寛樹, 中西仁美, Liana Williams, Sonia Graham, H. Schandl, T. Foran：環境科学会2016年会 横浜 (2016) 「家庭生活における消費行動と家電製品の使用パターン」
- 3) D. Moon, N. Ishikawa, J. Nakatani, M. Hirao：2017 Joint Conference ISIE and ISSST, Chicago, USA, 2017 Analysis of environmental consciousness of consumers on purchasing electronic products using Web-based surveys
- 4) 文 多美、中谷 隼、平尾 雅彦：環境科学会2017年会 (2017) 「家電製品の購入プロセスにおける効果的な環境情報の提供」
- 5) 中谷隼、石川奈那、木村直紀、文多美、栗栖聖、花木啓祐、平尾雅彦：環境科学会2017年会 (2017) 「製品の環境情報提供と消費者意識：情報媒体に着目したケーススタディ」
- 6) 文 多美、天沢 逸里、鈴木 祐里絵、平尾 雅彦、公益社団法人環境科学会 2018年会 (2018) 家電製品のシェアリングに対する消費者受容性：持続可能な消費スタイルへの転換に向けて
- 7) 文 多美、中谷 隼、平尾 雅彦、第32回環境情報科学学術研究論文発表会 (2018) 中古家電製品の購入に対する消費者受容性—持続可能な消費に向けて
- 8) Dami MOON, Yurie SUZUKI, Eri AMASAWA, Jun NAKATANI, Kiyotaka TAHARA, and Masahiko HIRAO, The 13th Biennial International Conference on EcoBalance, Eco Balance 2018 (2018) Consumer perceptions of home appliances: the shift from possession-oriented to function-oriented
- 9) 文 多美、田原 聖隆、天沢 逸里、平尾 雅彦、第14回日本LCA学会研究発表会 (2018) 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
- 10) D. MOON, E. AMASAWA, K. TAHARA, M. HIRAO: The 9th International Conference on Life Cycle Management 2019 (2019) Comparative environmental impact analysis of laundry activities in Japan and Thailand: potential of sharing laundry machines for sustainability
- 11) 文多美、天沢逸里、田原聖隆、平尾雅彦、環境科学会2019年会 (2019) 洗濯機シェアリングの消費者受容性：日本・タイの比較分析を中心に
- 12) 文多美、天沢逸里、田原聖隆、平尾雅彦、第15回日本LCA学会研究発表会 (2019) 日本・タイにおける洗濯行動の比較分析：持続可能な消費に向けたシェアリングサービスのあり方
- 13) D. MOON, E. AMASAWA, K. TAHARA, M. HIRAO: SCORAI 2020 Conference (2020) Consumer acceptance of sharing economy: a study of a coin-operated laundromat in Japan and Thailand
- 14) 文 多美、天沢逸里、平尾雅彦、Virtual conference、環境科学会2020年会 (2020) 消費者の支払額と所要時間を考慮した洗濯機シェアリングの消費者受容性の評価
- 15) 文 多美、天沢逸里、平尾雅彦、Virtual conference、第16回日本LCA学会研究発表会 (2021) 消費者の受容確保に向けた洗濯機シェアリングの利用価値の分析

- 16) D. MOON, E. AMASAWA, K. TAHARA, M. HIRAO, Virtual conference, the 4th International SCORAI conference (2020) Consumer acceptance of sharing economy: a study of a coin-operated laundromat in Japan and Thailand
- 17) D. MOON, E. AMASAWA, M. HIRAO, Virtual conference, The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (2021) Consumer behavior of laundry-machine sharing towards sustainable pathways
- 18) 柴田翼、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（2018）サービサイジング・シェアリングに向けた消費スタイルの類型化とシナリオ分析
- 19) 鈴木祐里絵、天沢逸里、文多美、中谷隼、杉山弘和、平尾雅彦：第13回日本LCA学会研究発表会（2018）消費者行動分析とライフサイクル評価に基づく政策設計：洗濯乾燥行動を例として
- 20) 増田祐太郎、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（2018）容器包装を対象とする機能と環境影響を統合したライフサイクル設計手法
- 21) 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（2018）機能の統合による食品と容器包装のライフサイクル設計
- 22) 天沢逸里, Piontek Felix, 津崎大輔, 木見田康治, 平尾雅彦, 東京, 第15回日本LCA学会研究発表会（2020）日本、ドイツ、タイにおける衣服レンタルサービスの環境影響評価
- 23) 横川直毅, 天沢逸里, 杉山弘和, 平尾雅彦, 東京, 第15回日本LCA学会研究発表会（2020）機能性と環境性に基づく意思決定のための容器包装のライフサイクル設計
- 24) 横川直毅, 天沢逸里, 杉山弘和, 平尾雅彦, 大阪, 化学工学会第85年会（2020）環境性と機能性に基づく容器包装のライフサイクル設計
- 25) 横川直毅, 天沢逸里, 杉山弘和, 平尾雅彦, 東京, 日本包装学会第28回年次大会（2019）食品容器包装の環境配慮設計のための食品ロス削減と機能向上のトレードオフ分析
- 26) E. AMASAWA, D. MOON, M. HIRAO: The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Yokohama, Japan, 25-27 November (2019) Environmental Performance of Sharing Economy: Case of Household Laundry in Tokyo and Bangkok
- 27) T. TASAKI, E. AMASAWA, Y. KISHITA, M. KOHNO, C. TAKAGI, D. MOON, Y. UMEDA, N. KANIE, Y. HOTTA, M. HIRAO: The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Yokohama, Japan, 25-27 November (2019) Development of a Co-design Method of Sustainable Consumption and Production Patterns
- 28) N. YOKOKAWA, E. AMASAWA, H. SUGIYAMA, M. HIRAO: The 18th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, Sapporo, Japan, 23-27 September (2019) Activity model for multi-functional product design for sustainability based on function-based assessment
- 29) N. YOKOKAWA, E. AMASAWA, H. SUGIYAMA, M. HIRAO: The 9th International Conference on Life Cycle Management, Poznan, Poland, 1-4 September (2019) Design methodology of multi-functional products integrating functional and environmental consequences on their life cycle
- 30) E. AMASAWA, D. MOON, M. HIRAO: The 9th International Conference on Life Cycle Management, Poznan, Poland, 1-4 September (2019) Classifying products to gain strategic environmental insights based on the product's life cycle characteristics
- 31) E. AMASAWA, D. MOON, J. NAKATANI, M. HIRAO: The 4th International Conference of the Global Research Forum on Sustainable Consumption and Production, Hong Kong, China, 26-19 June (2019) Environmental potential of sharing economy from life cycle perspective
- 32) 吉田樹, 天沢逸里, 平尾雅彦, オンライン開催, 第16回日本LCA学会研究発表会（2021）サステイナブルな衣服設計に向けた衣服ライフサイクルモデルの構築

- 33) 津崎大輔, 天沢逸里, 平尾雅彦, オンライン開催, 第16回日本LCA学会研究発表会 (2021) 複数の機能単位による衣服レンタルサービスの環境影響評価
- 34) 徐聖子, 天沢逸里, 平尾雅彦, オンライン開催, 第16回日本LCA学会研究発表会 (2021) 使用済み衣服の繊維リサイクル技術の環境影響評価
- 35) 瀬川健太, 天沢逸里, 平尾雅彦, オンライン開催, 第16回日本LCA学会研究発表会 (2021) 環境及び機能への影響を考慮したプラスチック容器包装への材料代替評価手法
- 36) N. YOKOKAWA, E. AMASAWA, M. HIRAO: The 14th Biennial International Conference on Ecobalance, virtual meeting, 4-5 March (2021) Supporting food packaging design integrating consumer preferences and environmental impacts
- 37) Sota Onozuka, Yusuke Kishita, Michikazu Kojima, Mitsutaka Matsumoto, Yasushi Umeda: The 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Jaipur, India, 2021
"Quantitative Assessment Method for Supporting Scenario Workshops toward Sustainable Consumption and Production"
- 38) Sota Onozuka, Yusuke Kishita, Yasushi Umeda: Electronics Goes Green 2020+, Berlin, Germany, 2020
"Development of Product Circulation Model to Evaluate Scenarios of Sustainable Consumption and Production for Southeast Asia"
- 39) 小野塚颯太, 木下裕介, 松本光崇, 小島道一, 梅田靖, エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2020 (2020)
「東南アジアを対象とした持続可能な消費と生産シナリオの定量化手法の提案」
- 40) Yusuke Kishita, Ayumi Isoda, Yasushi Umeda, EcoDesign 2019: The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Yokohama, 2019
"Framework of Participatory Scenario Design for Sustainable Consumption and Production"
- 41) Yusuke Kishita, Shogo Kuroyama, Mitsutaka Matsumoto, Michikazu Kojima and Yasushi Umeda, the 25th CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2018, Copenhagen, Denmark, 2018
"Designing Future Visions of Sustainable Consumption and Production in Southeast Asia"
- 42) Yusuke Kishita, Ahmad Fariz Mohamad, Michikazu Kojima, Eri Amasawa, Benjamin McLellan, Ayumi Isoda, Yasushi Umeda, CARE Innovation 2018, Vienna, Austria, 2018
"Future Scenarios of Sustainable Consumption and Production: Comparative Analysis of Expert Workshops in Japan and Malaysia"
- 43) Chuang Bao, Yusuke Kishita and Yasushi Umeda, the 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2017, Kamakura, 2017
"Demand Estimation of Consumer Durables in Southeast Asia in 2030: A Business-As-Usual Scenario"
- 44) Wu, Y., K. Kurisu, and K. Fukushi, 2021, (Oral, On-demand)
Influential factors on household food waste prevention behaviors in China, Ecobalance 2020, 162 (March 3-5, Online/On-demand)
- 45) Sakuma, N., K. Kurisu, and K. Fukushi, 2021, (Oral, On-demand)
Consumer behavior on sustainable food choice and the effect of detailed information provision, Ecobalance 2020, 152 (March 3-5, Online/On-demand)
- 46) Tsuji, K., K. Kurisu, J. Nakatani, and Y. Moriguchi, 2019, (Oral)
Evaluation of environmental impact of car sharing considering uncertainty of influential variables, Ecodesign 2019 (Nov. 25-27, Yokohama, Japan)
- 47) Srun, P., K. Kurisu, 2019, (Oral)
Evaluation of Influential Factors and Possible Interventions towards Prevention of

- Waste Disposal in Open Spaces in Phnom Penh, Cambodia, ISIE 2019 (July 7-11, Beijing, China)
- 48) Son, A., K. Kurisu, J. Nakatani, S. Phuphisith, and Y. Moriguchi, 2019, (Oral)
Evaluation of sharing services from the perspectives of environmental loads, consumers' perceptions and providers' opinions: A case study of bike sharing and clothes sharing in Bangkok, Thailand, ISIE 2019 (July 7-11, Beijing, China)
- 49) Kurisu, K., R. Ikeuchi, J. Nakatani, B. Sutterlin, M. Siegrist, and Y. Moriguchi, 2018, (Oral)
People's preferences on sharing services in Japan and Switzerland, Ecobalance 2018, 2-1-E-1 (Oct. 9-12, Tokyo, Japan)
- 50) Son, A., K. Kurisu, J. Nakatani, and Y. Moriguchi, 2018, (Oral)
Evaluation of sharing services from the viewpoints of environmental impacts and consumer behaviors: A case study in major cities in China, Ecobalance 2018, 2-1-E-3 (Oct. 9-12, Tokyo, Japan)
- 51) Phuphisith, S., K. Kurisu, and K. Hanaki, 2017, (Oral)
Promoting Pro-Environmental Behaviors: A challenge of use of Life Cycle Thinking-based information, ISIE/ISSST 2017 Joint Conference (June 25-29, Chicago, USA)
- 52) Phuphisith, S., K. Kurisu, and K. Hanaki, 2016, (Oral)
Promoting Pro-Environmental Behaviors: how different they are performed? —A comparison of 3 cities; Bangkok, Tokyo and Seoul, Ecobalance 2016 (Oct. 3-6, Kyoto, Japan)
- 53) 辻克哉, 栗栖聖, 中谷隼, 森口祐一, 2021,
都市構造および自動車依存度と変数の不確実性を考慮したカーシェアリングの環境負荷評価. 第16回日本LCA学会, 2-B1-03 (オンライン開催)
- 54) 岡部紘樹, 栗栖聖, 中谷隼, 森口祐一, 2020,
大学生を対象としたライフサイクル思考教育ゲームの開発. 第15回日本LCA学会, (オンライン開催)
- 55) 吉元達彦, 栗栖聖, 中谷隼, 森口祐一, 2019,
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. 第14回日本LCA学会, 158-159.
- 56) 辻克哉, 栗栖聖, 中谷隼, 森口祐一, 2019,
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. 第14回日本LCA学会, 30-31.
- 57) 栗栖聖, 2018,
日本, アジア, 欧州における消費者の環境行動, [アジア地域における持続可能な消費・生産パターンの転換のための政策提言] 環境科学会2018年会, 183-184.
- 58) 河野真貴子「個人の差異を重視した医薬品の開発・製造にむけて —バリエーションとフレキシビリティを有する法制度の構築—」2020年11月日本薬学会レギュラトリーサイエンス部会
- 59) 河野真貴子, 中谷隼, 平尾雅彦, 「再設計にむけた容器包装プラスチックリサイクルシステムの分析-英国との比較による実施と政策のレビュー」2020年9月環境経済政策学会
- 60) 河野真貴子, 平尾雅彦, 「電化製品プラスチックリサイクルにおけるリスクと資源効率の相克 -Circular Economy 促進政策のデザイン-」2019年11月日本リスク研究学会
- 61) Makiko Kohno, Masahiko Hirao, "Information Flow System for Chemicals in Products (CiP) with Adequate Attention to the Social Dimension: The Japanese Challenge and the Way Forward" 2019年11月EcoDesign 2019
- 62) 河野真貴子「除外規定に着目した患者の医薬品アクセスに係る法制度(日米欧)の分析-持続可能な政策のデザインを目指して-」2019年9月日本薬学会レギュラトリーサイエンス部会

- 63) 河野真貴子, 平尾雅彦, 「持続可能性の文脈における「リスク」-土壌劣化を例として-」
2018年11月日本リスク研究学会
- 64) 河野真貴子, 平尾雅彦, 「包括的な土壌保全の課題 -EUのエビデンスに基づく政策からの示唆-」
2018年8月日本土壌肥料学会
- 65) Makiko Kohno, Masahiko Hirao, "A Comparative Analysis of Legal Frameworks for Chemical Management in the Light of Life Cycle Thinking" 2018年3月The Society for Risk Analysis
- 66) 河野真貴子, 平尾雅彦, 「消費者安全の視点からの化学物質管理法制度再考-ライフサイクル思考に基づく法システム構築に向けての一考察」
2017年10月日本リスク研究学会
- 67) 河野真貴子, 平尾雅彦, 「ライフサイクル思考に基づく法システム構築に向けての一考察 -廃棄物管理と化学物質管理の接点に着目して-」
2017年9月環境科学学会

【サブテーマ2】

- 1) 小林英樹, 杉田裕哉, 福重真一: Designシンポジウム2016, (2016)
「地域指向サステナブルデザインのための生活圏アプローチの提案」
- 2) 杉田裕哉, 福重真一, 小林英樹: 日本機械学会第26回設計工学システム部門講演会, (2016)
「地域指向デザインのための設計情報可視化の研究」
- 3) 宮田理恵子, 福重真一, 小林英樹: 精密工学会春季大会学術講演会, (2017)
「地域指向デザイン評価のための仮想化現実環境の構築」
- 4) 渡邊悠悟, 宮田理恵子, 福重真一, 小林英樹: 日本機械学会第27回設計工学システム部門講演会講演論文集, (2017)
「全方位画像の多数合成による屋内仮想現実環境を用いた地域指向デザイン評価」
- 5) S. ARAI, S. FUKUSHIGE, H. KOBAYASHI: Proceedings of the 10th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tainan, Taiwan, 2017 "Cross-cultural Lifecycle Evaluation for Locally Oriented Design."
- 6) 村田秀則, 川口太郎, 福重真一, 小林英樹: 2018年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2018)
「ライフサイクルシミュレーションによる自動車のシェアリングの環境負荷評価」
- 7) H. KOBAYASHI: Designing SCP from Lifecycle Perspective, The 13th APRSCP, 2017
- 8) 小林英樹: SCPのための地域指向サステナブルデザイン, サステナビリティ経営研究会第3回研究会, (2018).
- 9) Y. SUMIMURA, S. ARAI, D. HUNG, H. KOBAYASHI, H. MURATA, S. FUKUSHIGE: The 13th International Conference on EcoBalance, Tokyo, 2018
"Needs-based workshops in Vietnam and Japan for Sustainable Consumption and Production"
- 10) 荒井翔太, 小林英樹, 村田秀則, 福重真一: 第14回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, (2019)
「持続可能な消費と生産のための充足性評価指標の開発」,
- 11) 渡邊悠悟, 福重真一, 小林英樹: 2019年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2019)
「生活圏アプローチに基づく仮想現実環境を用いた設計評価手法の提案」
- 12) A. KANO, Y. WATANABE, H. MURATA, S. FUKUSHIGE, H. KOBAYASHI: The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Yokohama, 2019
"Needs-Based Design Evaluation Method Using Mixed Prototyping Environment"
- 13) H. MURATA, H. KOBAYASHI: The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Yokohama, 2019
"Proposal of a Connecting Method between Product Structures and Fundamental Human Needs"
- 14) T. KAWAGUCHI, H. MURATA, S. FUKUSHIGE, H. KOBAYASHI: Electronics Goes Green 2020+, Berlin,

Germany, 2020

“A Life Cycle Simulation Method Focusing on Vehicle Electrification and Sharing”

- 15) 北浦佑一, 村田秀則, 福重真一, 小林英樹: 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2020, 2020.
「製品群を考慮した拡張機能-構造分析による地域指向設計支援手法の提案」
- 16) C. ONG, H. MURATA, H. KOBAYASHI: The 14th International Conference on EcoBalance, On-demand video, 2021.
“A Study of Electric Vehicles Specified for Ride-sharing”
- 17) S. HORIO, H. MURATA, H. KOBAYASHI: The 14th International Conference on EcoBalance, On-demand video, 2021
“Development of online needs-based workshop support system”
- 18) 久保山淳平, 村田秀則, 小林英樹: 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会2021, (2021)
「地域情報の構造化に基づく拡張機能-構造分析手法の提案」
- 19) 加地涼太郎, 村田秀則, 小林英樹: 第16回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, (2021)
「持続可能な消費と生産のための充足性評価指標の開発 (第2報)」

【サブテーマ3】

- 1) M. MATSUMOTO and Y. UMEDA: 2018 International Symposium on Green Manufacturing and Applications (ISGMA 2016), Bali, Indonesia, 2016.
“Study on demand forecasting for production planning in automotive parts remanufacturing”
- 2) M. MATSUMOTO, Y. UMEDA, S. TSUCHIYA and L. TANG: Electronics Goes Green 2016+ Conference, Berlin, Germany, 2016.
“Development of a demand forecasting model for automotive electric component remanufacturing.”
- 3) M. MATSUMOTO: S16 Project 1st Workshop on Policy Design Research for SCP, Bangkok, Thailand, 2016
“Sustainable production through product remanufacturing.”
- 4) K. KAMIGAKI, M. MATSUMOTO and Y.A. FATIMAH: The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Kamakura, Japan, 2017
“Remanufacturing and refurbishing in developed and developing countries in Asia - A case study in photocopiers.”
- 5) 神垣幸志, 松本光崇: 精密工学会 ライフサイクルエンジニアリング専門委員会 リマニュファクチャリングWG 第三回会合 (2017)
「アジア新興国の複写機のリファービッシュに関わる現状と課題」
- 6) M. MATSUMOTO, K. KAMIGAKI and Y. UMEDA: 2017 Joint Conference of ISIE and ISSST (the 9th biennial conference of the International Society for Industrial Ecology (ISIE) and the 25th annual conference of the International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST)), Chicago, USA, 2017
“Trends and Challenges in Product Remanufacturing in Emerging Economies - A case study in photocopiers in Asian region.”
- 7) 松本光崇: シンポジウム「広域マルチバリュー循環を目指して — ものづくりアジア発循環経済への挑戦」 (2017)
「広域マルチバリュー循環に向けたリマニュファクチャリングの現状と課題」
- 8) M. MATSUMOTO: (keynote) 2017 World Remanufacturing Summit, Singapore, 2017
“Sustainable production and remanufacturing in Japan and in Asia.”

- 9) M. MATSUMOTO : 2017 World Remanufacturing Summit, Singapore, 2017
“Service models and remanufacturing.”
- 10) 松本光崇、田原聖隆、梅田靖、小林英樹、山末英嗣 : 環境科学会2017年会 (2017)
「アジアにおける持続可能な生産のビジョン構築と課題」
- 11) M. MATSUMOTO, Y. UMEDA, M. KOJIMA, K. MASUI and Y. KISHITA : The 10th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2017), Tainan, Taiwan, 2017
“A study on product refurbishment and remanufacturing in Asian region.”
- 12) M. MATSUMOTO, N.L. SENEVIRATHNE and Y. UMEDA: The 13th International Conference on EcoBalance, Tokyo, 2018
“Developing a model to simulate the markets of remanufactured products.”
- 13) Y.Y. CHUN、田原聖隆、松本光崇 : エコデザイン・プロダクト&サービス2018シンポジウム (2018)
“Understanding of critical factors affecting the adoption of car sharing with case studies from Thailand and Indonesia.”
- 14) 松本光崇、知念賢一郎、遠藤秀紀 : エコデザイン・プロダクト&サービス2018シンポジウム (2018)
「東南アジア新興国におけるリマニュファクチャリング製品の受容性分析」
- 15) 石田涼、松本光崇、木下裕介、梅田靖 : 精密工学会 春季大会学術講演会 (2019)
「アジアにおける自動車部品のリマニュファクチャリング品普及のための市場シミュレーション」
- 16) 松本光崇 : 精密工学会 秋季大会学術講演会 (2019)
「製品の故障統計情報利用の可能性と課題」
- 17) M. MATSUMOTO, K. CHINEN, K. R. JAMALUDIN and B. S. M. YUSOFF, The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2019), 2019
“Barriers for the Remanufacturing Business in Southeast Asia: The Role of Governments in the Circular Economy.”
- 18) Y.Y. CHUN, M. MATSUMOTO and K. TAHARA: The 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2019), 2019
“Understanding of individuals’ intention toward car sharing usage in the Southeast-Asia region: From university students in Thailand and Indonesia.”
- 19) Y.Y. CHUN, M. MATSUMOTO and K. TAHARA, Electronics Goes Green 2020+, 2020
“Understanding Asian consumer acceptance toward a refurbished smartphone.”
- 20) Y.Y. CHUN, M. MATSUMOTO, K. CHINEN and K. TAHARA: The 14th International Conference on EcoBalance, 2021
“Asian’s circular consumption behavior - Market reviews and consumer perception investigation for a refurbished smartphone in Japan, Singapore, and Indonesia.”

【サブテーマ4】

- 1) E. Yamasue, S. Kosai, I. Daigo, K. Nakajima, B. McLellan, K. Matsubae and S. Murakami : Ecobalance 2018, Oct. 9-12, Tokyo, Japan (2018) Revisiting Total Material Requirement Estimation and Evaluation
- 2) E. Yamasue, I. Daigo, J. Cravioto, S. Kosai, Nguyen Duc Quang, Tran Duc Huy, Y. Kishita and Y. Umeda : Ecobalance 2018, Oct. 9-12, Tokyo, Japan (2018) Estimation of Generated E-Wastes In Vietnam Considering Lifetime Transition

- 3) J. Cravioto, Duc-Quang Nguyen, Tran-Duc Huy, E. Yamasue: Ecobalance 2018, Oct. 9-12, Tokyo, Japan (2018) Modelling benefits of co-processing in Vietnamese steel and cement production: a Southeast Asian integration?
- 4) E. Yamasue, S. Kosai, K. Nakajima, K. Matsubae, S. Murakami and B. C McLellan: 12th International Conference on Society & Materials, SAM12, Metz, France 22-23 May 2018 Decoupling Evaluation using Total Material Requirement and Life-Cycle CO2 emission
- 5) E. Yamasue, S. Kosai, K. Nakajima, K. Matsubae, S. Murakami, and B. C McLellan: RFG2018 (Resources for Future Generations), Vancouver, Canada 16-21 June 2018 Criticality Analysis of Rare Earth Elements based on Total Material Requirement
- 6) E. Yamasue, S. Kosai, J. Cravioto: International Forum on Green Technology and Management (IFGTM2018), Hanoi University of Science and Technology, Vietnam 4-5 September 2018, Strategic Resource Management in Vietnam in terms of Total Material Requirement,
- 7) E. Yamasue: Sino-Japan Symposium for Industrial Ecology, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Science, Xiamen, China 30 November-1 December 2018, Material Balance Transition in Japan in terms of Total Material Requirement
- 8) J. Cravioto and E. Yamasue: Sino-Japan Symposium for Industrial Ecology, 30 November - 1 December, 2018, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Science, Xiamen, China Co-processing slag in cement production: Is a regional scheme viable in SE Asia?
- 9) 山末英嗣, クラビオットジョルディ: 日本鉄鋼協会第176回秋期講演大会, 東北大学川内キャンパス, 2018年9月19~21日 DEAによる複数機能の統合化手法
- 10) B. C. McLellan, 山末英嗣: エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京大学生産技術研究所, 2019年1月29~30日 Distribution of Environmental and Social Impacts and Benefits in the Clean Energy Transition
- 11) 山末英嗣, 光斎翔貴, 村上進亮, 橋本征二, マクレランベンジャミン: 第14回日本LCA学会(国内)(2019) 関与物質総量で可視化される資源問題—直接重量・地球温暖化係数との比較を通じて—
- 12) 黒木大暉, 光斎翔貴, Tran Duc Huy, Nguyen Duc Quang, 山末英嗣: 第14回日本LCA学会(国内)(2019) ベトナムにおける自動二輪車の廃棄台数予測
- 13) 松本拓磨, 光斎翔貴, 山末英嗣: 第14回日本LCA学会 (2019) 使用済み船舶解体の外部コスト評価
- 14) 湯浅夢叶, 中西正樹, 光斎翔貴, 山末英嗣: 第14回日本LCA学会 (2019) 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
- 15) 鷹田祐京, 光斎翔貴, 山末英嗣: 第14回日本LCA学会(2019) 自動車用リチウムイオン電池の資源強度低減に向けた評価とリサイクルシナリオ
- 16) 中川奈那美, 光斎翔貴, 山末英嗣: 第14回日本LCA学会(2019) 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
- 17) 廖翰卿, 山末英嗣, 松八重一代: 第14回日本LCA学会(2019) 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
- 18) 山末英嗣: 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会, 東京電機大学東京千住キャンパス(2019) ステンレス鋼の関与物質総量およびその組成との関係性
- 19) J. Cravioto, E. Yamasue: 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会(国内), 東京電機大学東京千住キャンパス(2019) Eco-resource efficiency in material extraction: an index proposal to integrate economic, environmental and material intensity in mining
- 20) E. Yamasue, S. Kosai, B. C McLellan, S. Murakami And S. Hashimoto: 13th Society And Materials, International Conference (SAM13) Pisa, Italy(国外) (2019) Resource Paradox

Problem revealed by Total Material Requirement

- 21) B. C. McLellan, Eiji Yamasue, A. C. Chapman and D. P. Giurco: “Changing local and global impacts of critical minerals supply for the clean energy transition”, The 9th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry (SDIMI2019), May 27-29, 2019, Sydney, Australia
- 22) B. C. McLellan, A. J. Chapman, E. Yamasue, Y. Shigetomi, H. Farzaneh, D. Giurco: 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2019), 25-27 Nov. 2019, Yokohama, Japan (2019) Consequences of consequential transitions
- 23) Kosai Shoki and Yamasue Eiji: “Economy-wide material flow analysis and its projection: DMI vs TMR in Japan”, 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2019), 25-27 Nov. 2019, Yokohama, Japan
- 24) Kosai Shoki and Yamasue Eiji: “Towards intercity cooperation: Comparison of spatial transport energy efficiency between central and peripheral cities in Japan”, 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2019), 25-27 Nov. 2019, Yokohama, Japan
- 25) Lin Hsin-Tien and Yamasue Eiji: “The impact of a modal shift on end-of-life vehicle management for Asian countries”, 11th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2019), 25-27 Nov. 2019, Yokohama, Japan
- 26) 光齋翔貴、宮本渉、山末英嗣、宇根崎博信, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020), 資源の安定供給に向けた海上セキュリティの評価
- 27) 村上原野*、黒木大暉、光齋翔貴、Lai Thai Phong, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020), ベトナムにおける自動二輪車由来の素材排出ポテンシャル量予測
- 28) 小原成勝*、光齋翔貴、山末英嗣, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020) 太陽電池の資源強度評価
- 29) 鷹田祐京、光齋翔貴、山末英嗣, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020) 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
- 30) 大西祐輝、光齋翔貴、山末英嗣, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020) 水素製造の関与物質総量～燃料電池自動車の評価～
- 31) Nik Nurul Hasina Binti Nik Abdul Razak*、光齋翔貴、山末英嗣, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020) Mining Activity Evaluation for Beverages in Terms of TMR Beverages are some of indispensable elements for our daily lives
- 32) 中川奈那美、光齋翔貴、山末英嗣, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020) 電源構成を考慮した電力の関与物質総量
- 33) Arnidah Badin*、光齋翔貴、Yang Qiu、Sangwon Suh、山末英嗣, 第15回日本LCA学会研究発表会, 3/10-12 (2020) Mining Activities of Illuminations in terms of Total Material Requirement
- 34) S. KOSAI, U. TAKATA, E. YAMASUE: EcoBalance2021 (2021) Total material requirement for traction lithium-ion batteries based on life cycle simulation
- 35) G. MURAKAMI, S. KOSAI, S. KASHIWAKURA, E. YAMASUE: EcoBalance2021 (2021) Material flows of two-wheelers in Cambodia imported from Asian countries as used products
- 36) E. YAMASUE, S. KOSAI, S. KASHIWAKURA: EcoBalance2021 (2021) A Resource Paradox Problem of Green Innovations
- 37) 中川奈那美、光齋翔貴、山末英嗣: 日本LCA学会研究発表会 (2021) 採掘活動を考慮した電力の関与物質総量

- 38) 濱砂 圭汰、佐藤 公紀、光斎 翔貴、柏倉 俊介、山末 英嗣：日本LCA学会研究発表会（2021）エアコンの採掘活動から見た資源効率
- 39) 村上 原野、光斎 翔貴、柏倉 俊介、山末 英嗣：日本LCA学会研究発表会（2021）カンボジアにおける輸入中古自動二輪車の廃棄量推計
- 40) 光斎 翔貴、鷹田 祐京、山末 英嗣：日本LCA学会研究発表会（2021）ライフサイクルシミュレーションによる車載用LiBの採掘活動から見た資源効率評価
- 41) 原口 直享、光斎 翔貴、柏倉 俊介、山末 英嗣：日本LCA学会研究発表会（2021）インフラを含む長距離輸送機関の採掘活動から見た資源効率の評価
- 42) 不破 幹仁、光斎 翔貴、柏倉 俊介、山末 英嗣：日本LCA学会研究発表会（2021）再生可能エネルギーの利用における他国への土地改変影響の評価
- 43) 黒木 大暉、光斎 翔貴、山末 英嗣：日本LCA学会研究発表会（2021）マイクロ波炉を用いたアルカリマンガン電池の分散型リサイクルシステムの構築

（3）「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ1】

- 1) 第22回 日本LCA学会・LCA日本フォーラム共催 講演会
「持続可能な消費・生産に向けたライフサイクル思考の役割」
栗栖聖「ライフサイクル思考と環境配慮行動」東京、2016年12月15日
- 2) 地球環境戦略研究機関（IGES）、国連大学サステナビリティ高等研究所主催、S-16協力、持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム ISAP2016 パラレルセッション 5「持続可能な消費と生産：アジアでのSDGs実施に向けたステークホルダー連携への第一歩」パシフィコ横浜、2016年7月13日
- 3) 第22回 日本LCA学会・LCA日本フォーラム・S-16共催 講演会「持続可能な消費・生産に向けたライフサイクル思考の役割」全日通霞が関ビル、東京 2016年12月15日
梅田靖 持続可能な製品設計
- 4) 平尾雅彦 グリーン購入ネットワーク主催、第2回グリーン購入ネットワーク連続セミナーにて一般向けに講演 日本環境協会会議室、2016年11月28日
- 5) 平尾雅彦 環境省・日本環境協会主催、国際シンポジウム「世界のグリーン公共調達と環境ラベルの最新動向」にて基調講演、東京国際展示場、2016年12月8日
- 6) 第22回 日本LCA学会・LCA日本フォーラム・S-16共催 講演会「持続可能な消費・生産に向けたライフサイクル思考の役割」全日通霞が関ビル、東京 2016年12月15日
山末 英嗣 SCPにおける循環生産の役割
- 7) 平尾雅彦：おおさかATC グリーンエコプラザ主催セミナーにて一般向けに講演、大阪、2017年1月31日
- 8) 平尾雅彦：地球環境戦略研究機関（IGES）、国連大学サステナビリティ高等研究所主催、S-16協力、持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム ISAP2017 テーマ別会合7「SDGsへの取組み：資源管理の視点から」、パシフィコ横浜 横浜、2017年7月26日
- 9) 平尾雅彦：一般社団法人埼玉県環境検査研究協会主催、第16回環境問題の現況と将来を展望するセミナーにて市民向けに講演、大宮ソニックシティ市民ホール、2017年9月1日
- 10) 環境科学会2017、S-16企画シンポジウム「アジア地域における持続可能な消費・生産パターン定着のための政策デザインと評価」北九州国際会議場、2017年9月15日
- 11) 平尾雅彦：産業技術総合研究所主催、エネルギー・環境シンポジウムシリーズ安全科学研究部門講演会にて基調講演、産総研臨界副都心センター、2018年1月23日
- 12) 平尾雅彦：ニッセイ財団主催、環境問題研究助成ワークショップ「地域から創る社会イノベーションと持続可能な社会(SDGs)」にて講演、早稲田大学、2018年2月4日

- 13) 平尾雅彦：埼玉グリーン購入ネットワーク主催、講演会「「2030年を見すえた環境を取り巻くビジネスの動向～SDGsから企業価値向上を目指して～」にて市民向けに招待講演、浦和コミュニティセンター、2018年2月21日
- 14) 平尾雅彦：第13回日本LCA学会研究発表会、S-16企画セッション「持続可能な消費と生産パターン定着に向けたライフサイクル思考の役割」早稲田大学、2018年3月7日
- 15) 平尾雅彦：日本家政学会 第4回家政学夏季セミナー公開シンポジウム「サステナブルな生活一つくる責任 つかう責任」2019年8月7日 東京 消費者の行動で達成するSDGs12番目の目標“持続可能な消費と生産パターンの確保”
- 16) 平尾雅彦：グリーン購入ネットワーク SDGs 研修会 2019年9月18日 東京 持続可能な消費と生産のあるべき姿
- 17) 平尾雅彦：全日本文具協会 SDGs 研究委員会 SDGs に関する勉強会 2019年10月8日 東京 公害対策から持続可能性の流れ ～SDGsにおける持続可能な消費と生産
- 18) LCA 日本フォーラム主催セミナー
「サーキュラーエコノミーとシェアリングエコノミー」
栗栖聖「シェアリングサービスの消費者受容性」(2020.09.09, @Zoom Webinar)
- 19) 平尾雅彦：地球環境行動会議 第5回勉強会 2020年2月12日 東京 持続可能な消費と生産で実現する循環経済
- 20) 天沢逸里：一般公開シンポジウム「アフターコロナの持続可能な消費と生産形態に向けて」(主催：S-16、2021年1月15日、Zoom Webinar 参加者180名)にて講演

【サブテーマ2】

- 1) 小林英樹：一般公開シンポジウム「アフターコロナの持続可能な消費と生産形態に向けて」(主催：S-16、2021年1月15日、Zoom Webinar)にて講演

【サブテーマ3】

- 1) 松本 光崇：シンポジウム「広域マルチ・バリュー循環を目指して ―ものづくりアジア発循環経済への挑戦」で講演、成果紹介。
「広域マルチバリュー循環に向けたリマニュファクチャリングの現状と課題」の講演。
(2017年8月18日、聴講者約100名)
- 2) 松本 光崇：SPEED研究会(エコイノベーションとエコビジネスに関する研究会)で講演、成果紹介。
「資源循環推進に向けた製品リマニュファクチャリングの現状と課題」の講演。
(2018年6月1日、聴講者約40名)
- 3) 松本 光崇：一般公開シンポジウム、エコデザイン学会連合/エコデザイン推進機構 第25回講演会で講演。
「循環経済の実現に向けた製品リマニュファクチャリングの動向と課題」の講演。
(2018年6月20日、聴講者約60名)
- 4) 松本 光崇：インドネシア Muhammadiyah University of Magelang における大学記念講演会にて成果紹介。
“Product circulation and sustainability in the era of Industry 4.0”の講演。
(2018年7月11日、聴講者約150名)

【サブテーマ4】

特に記載すべき事項はない。

(4) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(5) 本研究費の研究成果による受賞

石川 奈那、学生優秀ポスター発表賞、「消費者の環境配慮製品選択を促す情報表示の設計」2017年度日本LCA学会

外野 圭太、学生優秀口頭発表賞、「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」2018年度日本LCA学会

徐 聖子、学生優秀ポスター発表賞、「使用済み衣服の繊維リサイクル技術の環境影響評価」2020年度日本LCA学会

渡邊悠悟、ベストプレゼンテーション賞、2019年度精密工学会春季大会学術講演会。

IV. 英文Abstract

Measures to Reduce Green House Gas Emissions and to Promote Resource Circulation by Intensifying Relations between Consumption and Production

Principal Investigator: Masahiko HIRAO

Institution: The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 1113-8656, JAPAN
Tel: +81-3-5841-7387 / Fax: +81-3-5841-7343
E-mail: hirao@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by: Osaka University
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Ritsumeikan University

[Abstract]

Key Words: Sustainable Consumption and Production in Asia, Intensification of Consumption-Production Relations, SCP Scenario, Sharing Service, Locally Oriented Product Design, Remanufacturing, Responsible Global Resource Circulation, Environmentally Conscious Behavior, Life Cycle Thinking

To achieve SCP in Asia where rapid economic growth progressing, various stakeholders' practices are essential. In addition to the efficiency approach where energy and resource efficient products are promoted, we have to design new sufficiency policies by indicating an appropriate structure of CP patterns where collaborative relations between them enhance the social well-being.

In this study, we investigated the roles of producers in manufacturing and resource circulation and those of consumers having life cycle thinking and environmentally conscious behavior. Then, possible measures to intensify the relations between consumption and production were proposed.

We developed scenarios for integrating product design, production, and circulation toward 2050. In the experts' workshops held in Japan and Malaysia, we discussed a future society vision and drew a possible scenario using the back casting method. At the same time, we developed a business-as-usual (BaU) scenario using the forecasting method. These scenarios were quantitatively evaluated and compared using our sustainable society scenario simulator.

To implement these scenarios, a locally oriented product design method was developed employing 'Extended function structure map' and 'Mixed Prototyping method' to satisfy local needs. As a sustainable manufacturing system, a concept of RRRDR (Remanufacture, Refurbishment, Repair, Direct Reuse) was proposed. We investigate problems to promote remanufacturing in Asia and found the establishment of a used-products collection system is essential. In parallel

to product level circulation, resource circulation systems are needed. Since the characteristics of industrial structures vary by country and recycling facilities are distributed in the Asian region, policies to develop transboundary and inter-industrial circulation system was proposed.

The consumption side has a vital role in product and resource circulation. Sharing is a possible measure to reduce resource consumption and enhance product circulation. However, no quantitative environmental evaluation method exists so far. We developed a typology of sharing services from product and service characteristics and evaluated the environmental impacts of different services to identify sharing preferred products and services. We also investigate the role of product information to transform consumers' selection from possession to function use. Though the environmental label has been used for this purpose, appropriate information should be delivered at the effective timing through the consumer's decision process. Life cycle thinking(LCT) helps to transform consumer's behavior as well. Our board-type game is found to be a practical measure for learning LCT.

In conclusion, we developed scenarios and tools for transforming consumption and production patterns to sustainable ones by intensifying CP relations.