

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

研究区分：革新型研究開発（若手枠）

研究実施期間：2022（令和4）年度～2024（令和6）年度

課題番号：3RF-2204

体系的番号：JPMEERF20223R04

研究課題名：サービス志向型サーキュラーエコノミービジネスの環境負荷削減ポテンシャル評価に関する研究

Project Title : Research on Assessing Environmental Impact Reduction Potential for Service-oriented Circular Economy Businesses

研究代表者：木下 裕介

研究代表機関：東京大学

研究分担機関：早稲田大学

キーワード：サーキュラー・エコノミー、シェアリング、消費者受容性、シナリオ、ライフサイクル分析

注：研究機関等は研究実施期間中のものです。また、各機関の名称は本報告書作成時点のものです。

令和7（2025）年11月



目次

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書.....	1
研究課題情報	3
<基本情報>	3
<研究体制>	3
<研究経費の実績>	4
<研究の全体概要図>	4
1. 研究成果	5
1. 1. 研究背景	5
1. 2. 研究目的	5
1. 3. 研究目標	6
1. 4. 研究内容・研究結果	7
1. 4. 1. 研究内容	7
1. 4. 2. 研究結果及び考察	7
1. 5. 研究成果及び自己評価.....	11
1. 5. 1. 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献.....	11
1. 5. 2. 研究成果に基づく研究目標の達成状況及び自己評価.....	12
1. 6. 研究成果発表状況の概要.....	13
1. 6. 1. 研究成果発表の件数.....	13
1. 6. 2. 主要な研究成果発表.....	13
1. 6. 3. 主要な研究成果普及活動.....	14
1. 7. 國際共同研究等の状況.....	14
1. 8. 研究者略歴	15
2. 研究成果発表の一覧	16
(1) 産業財産権	16
(2) 論文	16
(3) 著書	17
(4) 口頭発表・ポスター発表.....	17
(5) 「國民との科学・技術対話」の実施.....	19
(6) マスメディア等への公表・報道等.....	19
(7) 研究成果による受賞	19
(8) その他の成果発表	19
権利表示・義務記載	20

Abstract

研究課題情報

<基本情報>

研究区分 :	革新型研究開発（若手枠）
研究実施期間 :	2022（令和4）年度～2024（令和6）年度
研究領域 :	資源循環領域
重点課題 :	【重点課題 11】ライフサイクル全体での徹底的な資源循環に関する研究・技術開発
行政ニーズ :	
課題番号 :	3RF-2204
体系的番号 :	JPMEERF20223R04
研究課題名 :	サービス志向型サーキュラーエコノミービジネスの環境負荷削減ポテンシャル評価に関する研究
研究代表者 :	木下 裕介
研究代表機関 :	東京大学
研究分担機関 :	早稲田大学
研究協力機関 :	

注：研究協力機関は公開の了承があった機関名のみ記載されます。

<研究体制>

サブテーマ1 「サービス志向型CEビジネスシナリオ作成手法の開発」

<サブテーマリーダー（STL）、研究分担者、及び研究協力者>

役割	機関名	部署名	役職名	氏名	一時参画期間
リーダー	東京大学	工学系研究科 精密工学専攻	准教授	木下 裕介	

注：研究協力者は公開の了承があった協力者名のみ記載されます。

サブテーマ2 「消費者行動・環境影響評価モデルの開発」

<サブテーマリーダー（STL）、研究分担者、及び研究協力者>

役割	機関名	部署名	役職名	氏名	一時参画期間
リーダー	東京大学	工学系研究科 技術経営戦略 学専攻	特任准教授	木見田康治	
分担者	早稲田大学	カーボンニュートラル社会 研究教育セン	准教授	天沢逸里	

		ター			
--	--	----	--	--	--

注：研究協力者は公開の了承があった協力者名のみ記載されます。

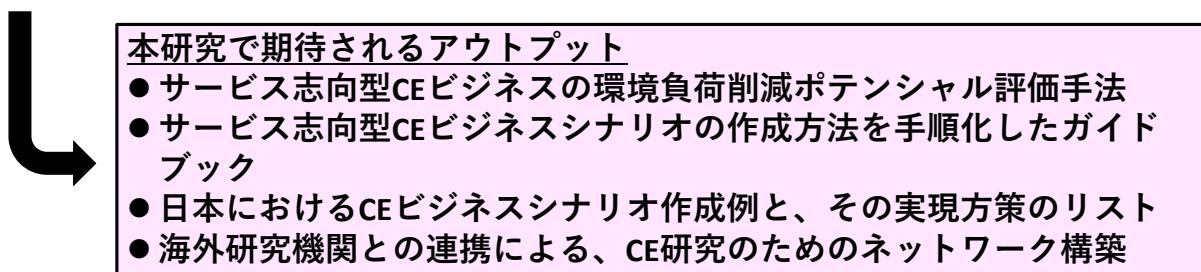
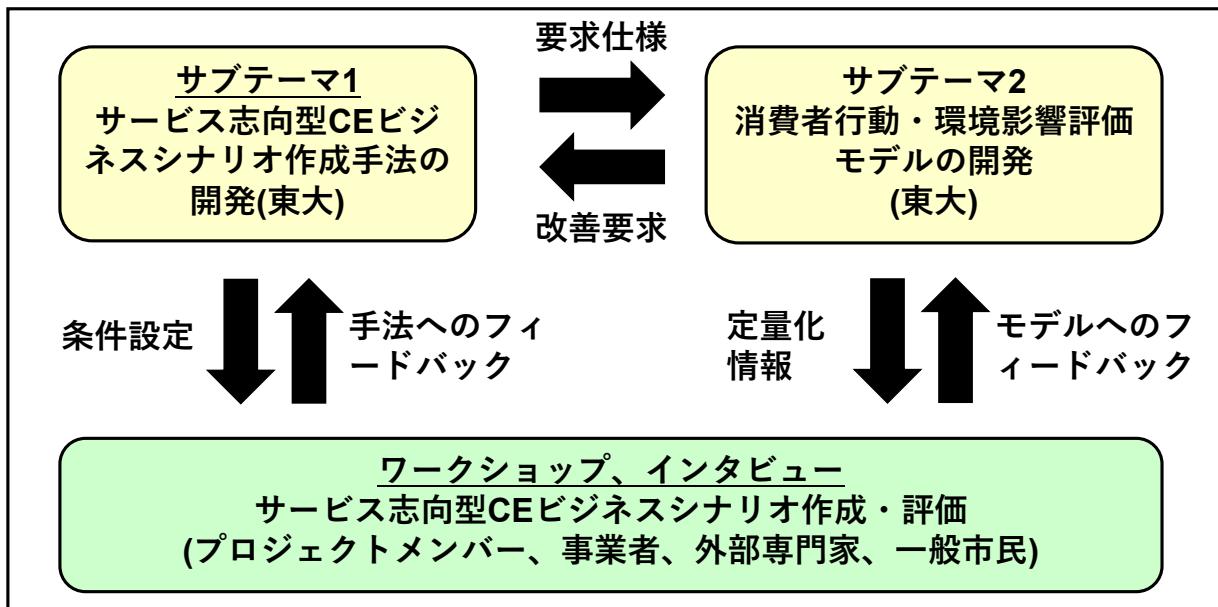
＜研究経費の実績＞

年度	直接経費（円）	間接経費（円）	経費合計（円）	備考（自己充当等）
2022	4,600,000	1,380,000	5,980,000	5,980,000
2023	4,560,000	1,368,000	5,928,000	5,928,000
2024	4,560,000	1,368,000	5,928,000	5,928,000
全期間	13,720,000	4,116,000	17,836,000	17,836,000

注：環境研究総合推進費の規定する研究経費の支援規模を超えた額は自己充当等によるものです。

＜研究の全体概要図＞

サービス志向型サーチュラーエコノミービジネスの環境負荷削減ポテンシャル評価に関する研究(東京大学)



1. 研究成果

1. 1. 研究背景

従来のリニアエコノミーから資源を高い価値のまま循環させることを目指したサーキュラーエコノミー(CE)のコンセプトが世界的に大きな注目を集めている(Ellen MacArthur Foundation 2013)。資源効率の向上を目指す点で、我が国が2000年前後から推進してきた循環型社会と理念的に重なるが、CEは持続可能な社会に向けて社会経済システムの転換や新たなビジネスモデルの構築を志向している点に特徴がある。他方、カーシェアリングや衣服レンタルのように、製品とサービスを適切に組み合わせることでCEの実現に貢献しうるビジネスが様々に見られるようになってきた。このように、従来の製品売り切り型のビジネスではなく製品の機能をサービスとして提供するビジネスを、本研究では「サービス志向型CEビジネス (Service-oriented circular economyビジネス: SoCEビジネス)」と呼ぶ。サービス志向型CEビジネスの特徴は、製品とサービスを適切に組み合わせる点にあり、消費者ニーズを充足しながら投入資源量を従来の製品売り切り型よりも削減する効果が期待できる(Mont 2002)。

既存研究では、SoCEビジネスの環境負荷削減効果を分析した研究が国内外の研究者によって行われてきた。例えば、Amasawa et al. (2018)はシェア洗濯サービスを利用することで従来の製品売り切り型のビジネスモデルに比べて16%の資源消費量削減につながる可能性を指摘した。Bocken et al. (2018)は、同じく洗濯サービスを対象としてpay-per-useのビジネスモデルを導入した場合、洗濯回数が20%削減できるという推計結果を示した。このように、サービス志向型CEビジネスが実社会に導入された場合の環境面の影響を評価するニーズは社会的および学術的に高まってきている。

しかしながら、一般消費者もしくはSoCEビジネス利用者（潜在的な利用者を含む）の受容性および選択行動を環境影響評価に反映させた研究は十分に行われていない。Koide et al. (2023)は、シェアリングやレンタルなどのビジネスでは、消費者の行動次第で環境負荷が従来型の売り切りビジネスよりもむしろ増加するバックファイア効果がしばしば見られる点を指摘している。そこで本研究では、実社会において環境負荷を低減するためのアプローチとして、SoCEビジネスの消費者受容性に着目した研究課題を提案するに至った。なお、申請者らは本研究課題と関連して、JSTベルモント・フォーラム(CRA(国際共同研究活動) Systems of Sustainable Consumption and Production (持続可能な消費と生産のシステム)「持続可能な消費のためのデジタル基盤: 食・モビリティ消費の再構築 (DISCo)」(2023~2025年度)を実施している。DISCoプロジェクトでは、将来的な消費者行動の転換に必要な条件を探索する手法開発、ならびに、バイクシェアリングの例題に着目した国際比較を実施する点に特色がある。他方、本研究課題では現在の消費者受容性を前提としたときにSoCEビジネスが環境負荷低減につながるための方策（政策を含む）を明らかにすることを目的とする。この点で、本研究課題とDISCoプロジェクトは相互補完的な位置づけにある。

参考文献

- Amasawa, E., Suzuki, Y., Moon, D., Nakatani, J., Sugiyama, H., Hirao, M. 2018. Designing interventions for behavioral shifts toward product sharing: The case of laundry activities in Japan. *Sustainability* 10(8), 2687.
- Bocken, N.M.P., Mugge, R., Bom, C.A., Lemstra, H.J. 2018. Pay-per-use business models as a driver for sustainable consumption: Evidence from the case of HOMIE. *Journal of Cleaner Production* 198, 498–510.
- Ellen MacArthur Foundation. 2013. Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>.
- Koide, R., Yamamoto, H., Nansai, K., Murakami, S. 2023. Agent-based model for assessment of multiple circular economy strategies: Quantifying product-service diffusion, circularity, and sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 199, 107216.
- Mont, O.K. 2002. Clarifying the concept of product-service system. *Journal of Cleaner Production*, 10(39), 237–245.

1. 2. 研究目的

本研究では、既存研究のレビューに基づいて、以下2点を重要な課題として抽出した。

- I. サービス志向型CEビジネス (SoCEビジネス) を実社会に導入する場合に、消費者の受容性を考慮しながら環境負荷削減効果を推計するための方法が明確でなく、かつ、必要なデータが十分に整備されていない。

II. SoCEビジネスを環境負荷削減につなげるために有効かつ実現可能な政策・方策を立案するためのプロセスならびにその支援が提供されていない。

上記の課題に対して、本研究ではSoCEビジネスの環境ポテンシャル評価方法を提案することを目的とする。すなわち、サービス志向型CEビジネスの様々なシナリオを作成し、さらに消費者行動・環境影響評価モデルを開発することで消費者受容性と環境負荷削減効果を評価する。また、事業者、専門家、市民を交えたワークショップを用いてサービス志向型CEビジネスの様々なシナリオを描き、それらのwhat-if分析によって環境負荷削減効果を試行錯誤的に評価するサイクルを通して、CEに向けて効果的な政策・方策を検討する。

1. 3. 研究目標

<全体の研究目標>

研究課題名	サービス志向型サーキュラーエコノミービジネスの環境負荷削減ポтенシャル評価に関する研究
全体目標	サービス志向型CEビジネスシナリオを作成・評価するための手法ならびにツールを開発する。バイクシェアリングビジネス、洋服レンタルビジネス等を実践している事業者（PiPPA、airClosetなど）と連携し、インタビューを通してサービス志向型CEビジネスの実態調査を進めるとともに評価のために必要な各種データを収集する。また、開発した手法・ツールを用いてワークショップを行い、様々なサービス志向型CEビジネスシナリオを複数の異なるドメイン（移動、家事など）に対して合計10～15本程度（各ドメインに対して3～5本程度）作成し、さらに消費者受容性と環境性の観点からシナリオを評価することで、CEに向けて必要な政策・施策等を提示する。産業界向けには、CEビジネスシナリオの作成・評価方法を手順化したガイドブックを作成する。さらに、欧州およびアジア地域の海外研究機関との研究連携を通して、CE研究のための研究者ネットワークを構築する。

<サブテーマ1の研究目標>

サブテーマ1名	サービス志向型CEビジネスシナリオ作成手法の開発
サブテーマ1実施機関	東京大学
サブテーマ1目標	シナリオ分析の考え方を用いて、サービス志向型CEビジネスシナリオを文章形式で作成するための手法を開発する。また、代表者がこれまで開発してきたシナリオ設計支援システムを活用することで、CEビジネスシナリオの作成を計算機上で支援するためのツールを開発する。具体的な事例分析として、ワークショップを用いることによってシェアリングビジネス等を行う事業者（PiPPA、airClosetなど）を対象として様々なCEビジネスシナリオを作成し、そこで想定された条件設定をサブテーマ2に提供する。さらに、サブテーマ2で開発する評価モデルとシナリオの接続方法を開発・実装し、サブテーマ2から受け取った定量化結果をシナリオに動的に反映させることで、シナリオのwhat-if分析を支援できるツールを提供する。このツールの上で実現される試行錯誤的なシナリオの作成・評価のサイクルを通して、CEの実現に資する政策・方策案を記述する。

<サブテーマ2の研究目標>

サブテーマ2名	消費者行動・環境影響評価モデルの開発
---------	--------------------

サブテーマ2実施機関	東京大学、早稲田大学
サブテーマ2目標	消費者アンケート調査等を用いて、サービス志向型CEビジネス（例えば、シェアリングサービス）に対する受容性を評価するための消費者行動モデルを開発する。また、様々なCEビジネスにおけるライフサイクル全体の環境影響を評価するために、ライフサイクルシミュレーションおよびライフサイクルアセスメント（LCA）の考え方を基盤とした環境影響評価モデルを開発する。サブテーマ2では、サブテーマ1で開発した手法を用いて作成したCEビジネスシナリオの条件設定に基づいて定量評価を行い、さらにその結果をサブテーマに1に提供する。このような、「CEビジネスシナリオの条件設定→定量評価→結果の出力・反映→CEビジネスシナリオの再評価」という一連のサイクルが回せるこことを確認する。

1. 4. 研究内容・研究結果

1. 4. 1. 課題全体の研究内容

本研究が対象とするSoCEビジネスは、製品とサービスを組み合わせた、いわゆる製品・サービスシステム（PSS）と呼ばれるカテゴリーに属する。本研究では図1に示すように、PSS型のビジネスを対象としながら、消費者受容性を考慮することによって経済性・環境性を両立させたCE型ビジネスに転換するための方策を検討した。そのために、本研究課題は3章に記載のとおり2つのサブテーマから構成した。研究期間内に効率的に手法開発を進めるため、本研究では以下のようなアプローチを採用した。すなわち、(i) サブテーマ1では、バイクシェアリングの例題を実施しながらSoCEビジネスシナリオ作成手法を開発し、(ii) サブテーマ2では、衣服レンタルの例題を実施しながら消費者行動・環境影響評価モデルを開発した。最後に、サブテーマ1、2の手法を統合化した手法の開発と、その有効性検証のために家電サブスクリプションサービスを対象とした例題を実施した。それぞれの研究内容について4.2～4.4節に示す。

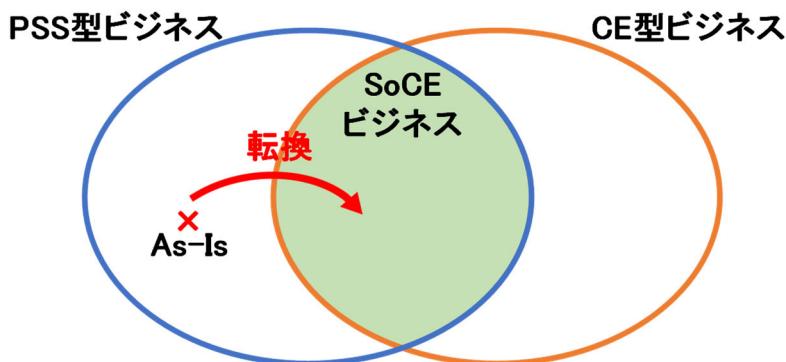


図1 本研究の問題設定：SoCEビジネスへの転換

1. 4. 2. 【サブテーマ1】サービス志向型CEビジネスシナリオ作成手法の開発

本研究では、シナリオ分析の考え方に基づいたサービス志向型CE（Service-oriented CE; SoCE）ビジネスシナリオの作成手法の開発、及びシナリオと消費者行動・環境影響評価モデルとの接続の検討を行った。

シナリオ作成手法については、本研究で収集した計108件のSoCEビジネス事例と既往研究で提案された手法（Tsunetomo et al. 2022）を参考に、シナリオを作成するためのプロセスを開発した（図2参照）。このプロセスでは、SoCEビジネスの様々な代替案を比較検討するために、SoCEビジネス設計者とステークホルダー（事業者、自治体など）が連携して複数のシナリオを作成することを想定する。図2に示したプロセスの詳細は以下のとおりである。

● 現状ビジネスの記述・問題設定

ステークホルダーを交えたワークショップやインタビューを通して、設計者がビジネスのシナリオを記述するための問題設定を行う。既存研究の文献調査と予備的なケーススタディに基づいて、本研究で開発したアーキテクチャ（図3、成果14）を用いて現在のビジネスについて記述し、シナリオを作成する問題を再設定する。ここで、問題の再設定においては、既存研究の文献調査に基づいて本研究で抽出した3つのCEビジネス原則（経済利益を創出すること、ビジネス由来の資源の投入・廃棄・排出量を最小化すること、ビジネスに

関わる全てのステークホルダーのニーズを充足すること)を参照する。

● 転換アイデア発想

現在のビジネスに対して、既存のSoCEビジネス事例ならびにSoCEビジネスパターン(図4参照、合計12類型を定義)を参照することによって、SoCEビジネスを実現するための様々な転換アイデアを強制発想する。このステップでは、設計者のみでブレーンストーミングを実施するのみならず、設計者とステークホルダーがワークショップ形式でブレーンストーミングを実施することも想定される。

● 転換アイデアの詳細化(シナリオの記述)

ステークホルダーを巻き込んだアイデア発想の結果を踏まえ、以下の3つのステップに沿って設計者がシナリオを記述する。本研究では、以下のような明確なシナリオ作成のプロセスを提案することで、SoCEビジネスシナリオ作成手法を形式化した。

ロジックツリーの作成

SoCEビジネスのビジョンと目的、ビジネスオプションを目的・手段関係で接続したロジックツリーを作成する。

スコープの絞り込み

ロジックツリーの作成を通じて発散させたアイデアを収束させるために、スコープの絞り込みを行う。これはステークホルダーと共に定めたシナリオ作成の目的に合わせて行う。

複数のシナリオ記述

絞り込んだロジックツリー内の要素を、それぞれ比較可能なシナリオとして記述する。

● モデルとの接続(シナリオの定量化と評価)

記述したシナリオを主に環境性の観点から定量化するべく、サブテーマ2で開発したシミュレーションモデルとシナリオを以下の手順により接続する。

シミュレーション目的の決定

シミュレーションを行う目的を決定する。これは、ステークホルダーと共に行った問題設定に基づいて、設計者が決定する。

カスタマージャニーマップ、ライフサイクルフロー図、ビューモデルの作成

本研究で開発したSoCEビジネスのアーキテクチャにおいて、設計者がビジネス構成要素を詳細に記述する。具体的には、ユーザーのニーズを特定するためにカスタマージャニーマップ、製品の循環を表すためにライフサイクルフロー図、サービスが果たすべき機能と関わるアクターがどのようなアクティビティをしてサービスが実現されるかを可視化するためのビューモデルを作成する。

モデルの構築とパラメータ抽出

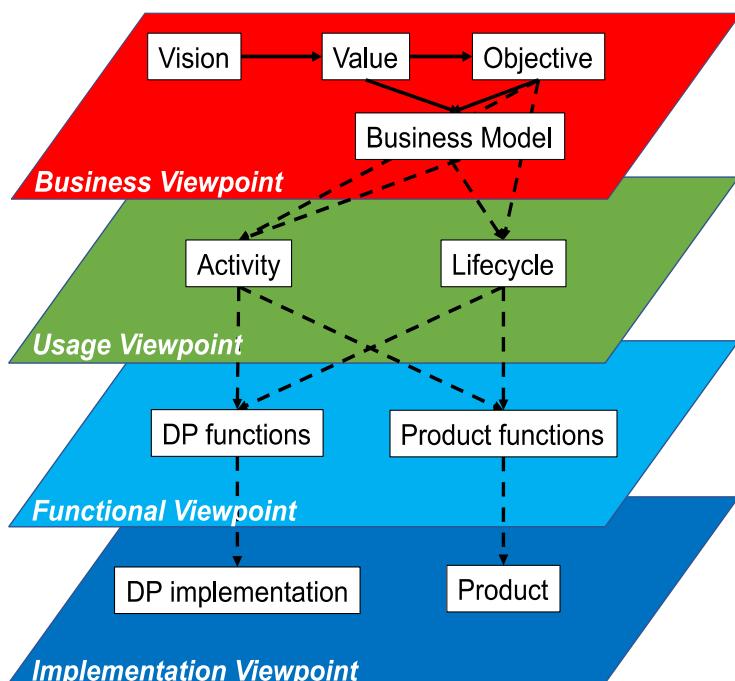
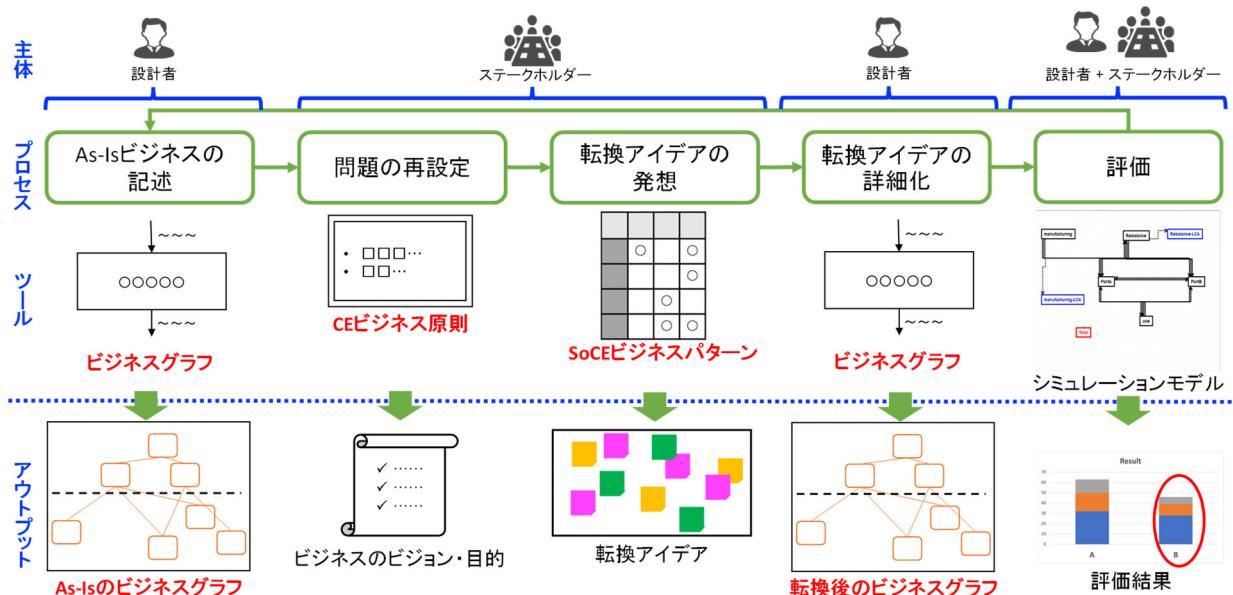
作成したライフサイクルフロー図をもとに設計者がモデルを構築する。さらに、シミュレーションを実行するために必要なパラメータを、設計者がシミュレーション目的及びビューモデルに基づいて抽出する。

シミュレーションの実行および評価

構築したシミュレーションモデルに対して、設計者が抽出したパラメータの値を入力し、シミュレーションを実行する。実行した結果、定量化されたSoCEビジネスシナリオに基づき、評価を行う。

シナリオとモデルとの接続については、既存事例の分析により試作したCEビジネスの構造を表すアーキテクチャを定義し、それらの間における情報の入出力関係を明示化することで接続を図った。具体的には、ビジョンとビジネスオプションを目的・手段関係で結んだロジックツリー、ニーズを抽出するためにユーザーのアクションを記述したカスタマージャニーマップ、製品の循環を図示したライフサイクルフロー図、サービスが果たすべき機能と各アクターのアクティビティを記述したビューモデル(Sakao and Shimomura 2007)を定義した。上記のアーキテクチャを用いて、製品ライフサイクルのモデル化とパラメータ決定のプロセスを提案した。このプロセスに沿って、バイクシェアリングビジネスのシナリオからシミュレーションモデルの実装、及びシミュレーションの実行によるビジネスの定量化を行った。シミュレーションモデルの実装には、製品をオブジェクトとして扱う離散事象シミュレーションであるライフサイクルシミュレーション(LCS)

(Umeda et al. 2000) を用いた。



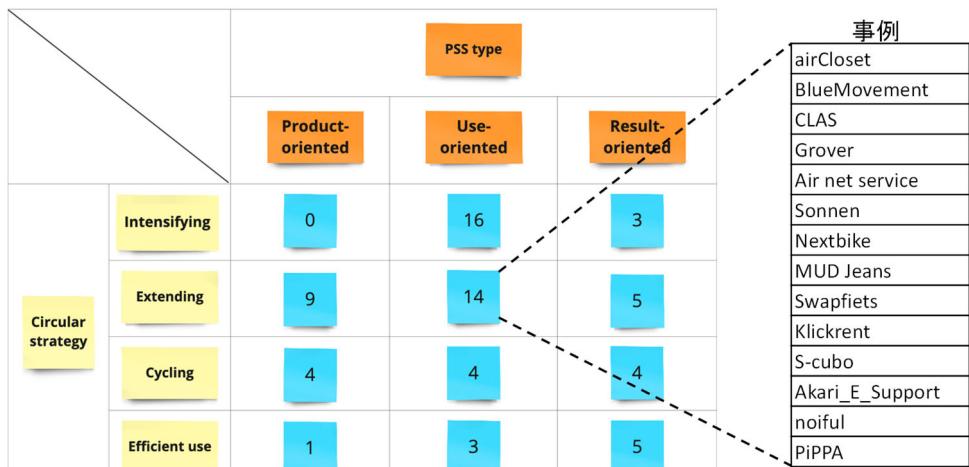


図4 本研究で抽出したSoCEビジネスパターン

図2の一連の手順実行を支援するため、本研究ではSoCEビジネス転換支援システムを実装した（図5参照、使用言語はC#）。SoCEビジネスシナリオの記述・量化のプロセスをグラフ構造により可視化することで、設計者とステークホルダー間の相互理解を促進しながら、シナリオ作成・評価・改訂のサイクルを支援する効果が期待できる。

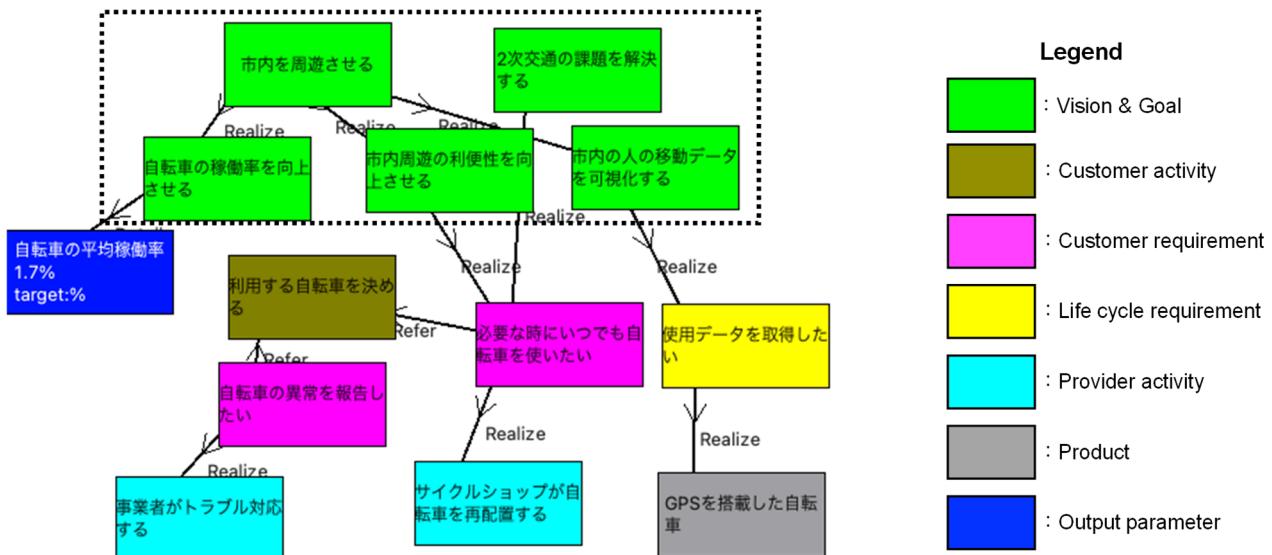


図5 システムを用いて記述した結果の一部

1. 4. 3. 【サブテーマ2】消費者行動・環境影響評価モデルの開発

● 消費者行動モデル

消費者行動モデルの開発に関しては、事業者から提供を受けた実際のバイクシェアの利用データを用いてバイクシェアの利用量を推定するモデルを作成した。具体的には、ある特定の地域にバイクシェアを導入した際の環境負荷の削減効果を算出することを目的として、当該地域におけるバイクシェアの総利用距離を推定するモデルを構築した。モデルは、LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) と呼ばれる機械学習アルゴリズムを用いて構築した。モデルの入力データに関しては先行研究を元に、利用者の属性、当該地域の都市環境と天候に関する情報を用いた。出力は、当該地域における一人あたりの月間の総利用距離とした。利用者の属性と総利用距離に関しては、事業者（PiPPA）から提供された2021年9月から2022年8月までのバイクシェアの利用データを用いた。当該地域の都市環境と天候に関しては公開データを用いた。

次に、家電のサブスクリプションサービスの利用データ（取引データ）を用いて、消費者の多様性を考慮したSoCEビジネスに対する受容性を明らかにするための潜在クラス分析を実施した。潜在クラスモデル（Latent Class Model, LCM）とは、観測された購買行動やアンケート回答などの背後に、明示されていない複数の消費者タイプ（=潜在クラス）が存在すると仮定して、それぞれのタイプに属する確率を推定する統計的手法である。消費者効用の説明変数としては、価格、種類（全自動洗濯機、ドラム式洗濯機、ドラム式洗濯乾燥機、縦型洗濯乾燥機）、洗濯容量、標準使用水量を用いた。

● 環境影響評価モデル

環境影響評価モデルの開発に向けて、airClosetが提供する衣服レンタルサービスを用いた被験者実験を実施した。本実験では1つの被験者群に対して介入を行い、介入前後に計測を行うPre-ExperimentalのOne Group Pre-Test-Post-Testを採用した。これまで衣服レンタルを利用したことのない国内の20代から50代の女性を22名集め、2022年10月から2023年2月にかけて、3ヶ月間衣服レンタルの利用機会を提供した。実験期間中のアンケート、および、実験前後のインタビューからデータを収集した。さらに、一般的な被覆行動データを実験の参照群データとして収集するため、国内の20代から60代の女性600名を対象にWebアンケート調査を実施した。

実験前後に実施したインタビューでは、衣服レンタルや被服行動に対する意識を深掘りし、被験者属性を理解するための質的データを収集した。実験中のアンケートでは、①レンタルした服の被服行動（服の種類と枚数、レンタル日数、着用回数、洗濯回数、用途など）、②レンタルした服の満足度とその理由、③レンタル体験を通した意識の変化について質問した。実験とは別に実施したWebアンケートでは、実験期間中の衣服の購買・被服行動や、衣服レンタルに対する意識に関する設問をした。

本実験では「製品稼働率の向上」による衣服レンタルの環境負荷の削減効果を分析するために、主に、①レンタルした服の被服行動に着目した。製品の稼働率として1日あたりの着用回数を算出し、それを予備研究（成果20）の所有した場合の値と比較することで、環境負荷の削減ポテンシャルを分析した。さらに、被験者を被服行動によってセグメンテーションし、セグメントごとの被服・衣服レンタル利用行動の特徴を掘ることを試みた。その上で、セグメントおよび被験者毎に、衣服レンタル利用による環境影響を評価した。

1. 4. 4. サブテーマ1、2の統合化手法

本研究では、家電サブスクリプションサービスをケーススタディとして用いながら、サブテーマ1、2の手法・モデルを統合化した手法の開発・検証を実施した。統合化手法の概略を図6に示す。図6のとおり、サブテーマ2で開発した消費者行動モデルおよび環境影響表評価モデルを用いて、図2のプロセスにしたがってSoCEビジネスシナリオを作成・評価する。SoCEビジネスシナリオの作成・評価のプロセスを通して、消費者受容性を満足しながらSoCEビジネスを環境性・経済性の両面から改良するための方策を明らかにする。

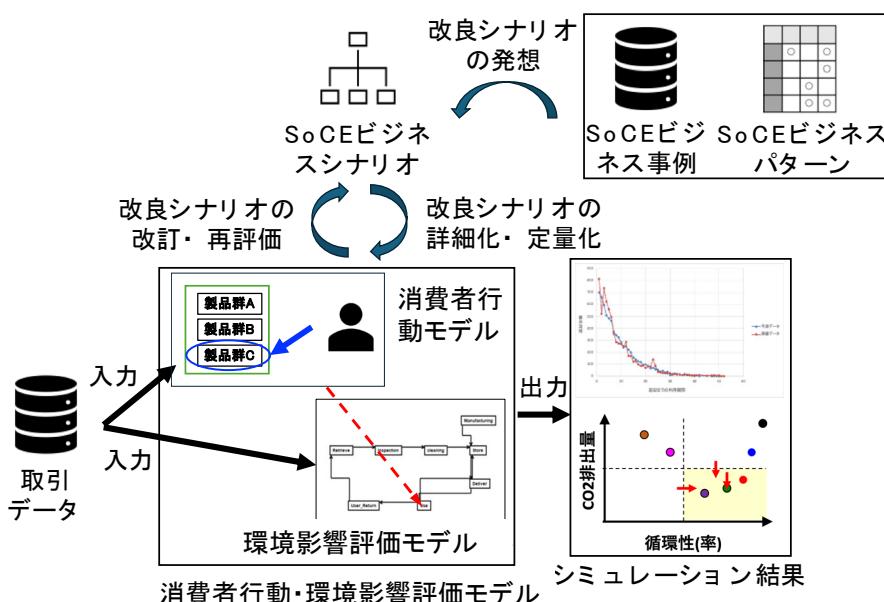


図6 統合化手法の概略図

1. 5. 研究結果及び考察

1. 5. 1. 研究成果の学術的意義と環境政策等への貢献

<得られた研究成果の学術的意義>

本研究は、SoCEビジネスの新規プランニング段階もしくは既存SoCEビジネスの改良段階における支援を対象として、消費者受容性を考慮した環境影響評価手法を開発した点に独創性がある。従来の研究では、様々なCE型ビジネスもしくはSoCEビジネスの類型化ならびに各類型に適用可能な循環戦略の定性的な整理が行わ

れてきた。しかし、従来研究においてはこれらの定性的な整理に基づくCE型ビジネス研究と、ライフサイクルアセスメントやシステムダイナミクスを用いたCE型ビジネスの定量評価に関する研究は異なる研究者コミュニティで開発されており、両者は統合的に扱われてこなかった。

この課題に対して、サブテーマ1ではありうるSoCEビジネスを叙述的なシナリオとして記述し、それらを消費者行動・環境影響評価モデルと接続することで定量的に評価可能とした点に提案手法の新規性がある。本研究では、バイクシェアリング、衣服レンタル、家電サブスクリプションサービスの3つの事例を用いて提案手法の妥当性・有効性を検証したが、提案手法はこれらに限らず幅広い事例に適用可能なものである。提案手法により、SoCEビジネスをシナリオの形式で作成、定量評価、改訂、再評価するためのサイクルを効率的かつ反復的に実行できるようになり、結果として、SoCEビジネス事業者などの実務家や政策立案者が消費者受容性を考慮しながら環境負荷低減に資するSoCEビジネスの条件・方策等を導出できる。提案手法を様々な事例に適用することを通して、SoCEビジネスの実社会におけるさらなる普及が期待できる。

サブテーマ2では、従来のシナリオ想定やアンケートベースではなく、実際の被験者による着用行動データを用いて衣服レンタルの環境影響を定量評価した点に新規性がある。これにより、衣服レンタルの実利用における「製品稼働率（wear/day）」の向上が明確に確認され、従来理論的に示唆されていたレンタルによる環境負荷削減効果の実証的裏付けを与えた。また、嗜好（色・柄、着心地、意外性など）と稼働率の関係を多面的に分析した点に意義がある。特に「意外性（普段着ない服への挑戦）」が所有時よりも着用回数を増やし、環境負荷削減と消費者満足の両立要因であることを実証的に示したことは、持続可能な消費行動研究における重要な発見である。さらに、先行研究（Johnson and Plepys, 2021）の消費者分類を応用し、タイプ別にレンタル利用の環境効果を比較した初の事例である。特に「Influencer」「Avoid」タイプにおいて、スカートやワンピースといった特定カテゴリーで稼働率が向上する傾向を示したことは、衣服レンタルが有効に機能する消費者層と商品カテゴリーの特定に貢献している。環境影響評価に関しては、温室効果ガス（GHG）排出量を「レンタル期間あたり」「着用あたり」という2つの機能単位で比較することで、利用行動の違いが環境影響に与える影響の構造を明らかにした。これにより、「多く借りても着ない」場合に環境便益が失われることを定量的に示し、循環型サービスの利用設計における行動要因の重要性を示した。

＜環境政策等へ既に貢献した研究成果＞

特に記載する事項はない。

＜環境政策等へ貢献することが見込まれる研究成果＞

本研究における提案手法は、従来と比較した環境負荷削減のための政策立案支援や事業者による提供サービスの検討支援に利用することができ、結果として、CEに資するビジネスや関連制度のデザインに貢献できるものである。本研究ではバイクシェアリング、衣服レンタル、家電サブスクリプションサービスといったSoCEビジネスに着目したが、本研究で開発した手法・ツール自体は、消費者を含むCEビジネスに広く展開可能である。また、提案手法・ツールを一般向けにわかりやすく解説したガイドブック（全16ページ）を制作した。このガイドブックを産業界や政策立案者に広く配布することにより、提案手法・ツールの社会普及を図る。以上のとおり、本研究課題の研究成果をもって、社会の環境負荷低減に資するSoCEビジネスを実現・普及させるための環境政策を客観的・定量的な情報に基づいて検討するための枠組みを提供する。なお、本研究の事例分析において収集した各種データおよびワークショットを用いて開発したシナリオコンテンツは、政府・自治体や産業界における今後の政策・方策検討のための基礎資料としてあわせて活用できる。

本研究で得られた「着用あたりGHG排出量」や「稼働率と環境便益の関係」に関する知見は、次のような政策・制度設計に応用可能である。1) サービス型ビジネスの環境性能評価基準（PaaS LCA）への反映：衣服レンタルに代表されるProduct-as-a-Serviceモデルを、単位あたり製品ではなく利用行動あたりで評価する指標体系の確立に寄与する。2) 消費者向け環境ラベリングやインセンティブ設計への応用：「利用回数」「リユース回数」など、行動に基づく評価指標をラベル化・可視化する政策の基礎データとして活用できる。3) サーキュラーエコノミー政策における需要側施策の科学的裏付け：EUや日本のCE政策では供給側（設計・リサイクル）中心の議論が多いが、本研究は需要側の利用行動に基づく排出削減効果を定量化し、需給両面の統合政策の必要性を示した。

1. 5. 2. 研究成果に基づく研究目標の達成状況及び自己評価

＜全体達成状況の自己評価＞ · · · · ·

1. 目標を大きく上回る成果をあげた

<サブテーマ1達成状況の自己評価> ······ 1. 目標を大きく上回る成果をあげた

<サブテーマ2達成状況の自己評価> ······ 1. 目標を大きく上回る成果をあげた

1. 6. 研究成果発表状況の概要

1. 6. 1. 研究成果発表の件数

成果発表の種別	件数
産業財産権	0
査読付き論文	4
査読無し論文	0
著書	2
「国民との科学・技術対話」の実施	4
口頭発表・ポスター発表	18
マスコミ等への公表・報道等	0
成果による受賞	2
その他の成果発表	0

1. 6. 2. 主要な研究成果発表

成果番号	主要な研究成果発表 (「研究成果発表の一覧」から10件まで抜粋)
2	Eri Amasawa, Yusuke Kishita, Ahmad Fariz Mohamed, Benjamin McLellan, Michikazu Kojima, "Envisioning the linkages between consumption and production for sustainability: Outcomes from expert workshops in Malaysia," <i>Circular Economy and Sustainability</i> , Vol. 4, (2024), pp. 733-753
4	Eri Amasawa, Koji Kimita, Tatsuki Yoshida, Masahiko Hirao, "Exploring different product-service combinations for sustainable clothing rental service based on consumer preferences and climate change impacts," <i>Scientific Reports</i> , Vol. 15, (2025), 10555
5	Yusuke Kishita, Kentaro Watanabe, Koji Kimita, "Co-designing sustainable product-service systems," Per Kristensson, Lars Witell, Mohamed Zaki (eds), <i>Handbook of Service Experience</i> , Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, (2025), pp. 217-227
6	Koki Yokoyama, Eri Amasawa, Masahiko Hirao, "Environmental Impact Assessment of Battery Swapping Service for Electric Vehicles," Shinichi Fukushige, Tomomi Nonaka, Hideki Kobayashi, Chiharu Tokoro, Eiji Yamasue

	(eds), EcoDesign for Circular Value Creation: Volume II, Springer, Singapore, (2025), pp. 295–314
7	Clemm, C., Watanabe, T., Kishita, Y. "Linking dynamics in consumer behavior and product life cycles in environmental assessments of shared mobility systems: A literature review," <i>Procedia CIRP</i> , 122, (2024), 689–694
8	Watanabe, T., Clemm, C., Kishita, Y., "Developing an environmental assessment method for sharing business considering consumer behavior: A case study of bike-sharing in Japan," <i>Procedia CIRP</i> , (2025). (in press)
10	Yusuke Kishita, Takumi Kodama, Koji Kimita, Eri Amasawa, "A transformation support method for service-oriented circular economy businesses," Book of Conference Abstracts of EcoBalance 2024, 2-2E-1, Sendai, Japan, Nov 3-7, (2024), p. 44.
13	Koji Kimita, Yudai Tsurusaki, and Eri Amasawa, "Effect of Fashion Rental Services on Achieving Narrow and Slow Consumption in Clothing: Consumer Experiments and Questionnaire Survey in Japan," New Business Models Conference Proceedings 2024. Maastricht University Press, the Netherlands, (2024).
14	Takamitsu Hirota, Yusuke Kishita, Masakuni Tsunezawa, Kohei Sugiyama, Kazuyuki Tasaka, Yasushi Umeda, "Architecture-based scenario design methodology for platform-enabled circular economy business," <i>Procedia CIRP</i> , Vol. 116, (2023), pp. 293-298.
15	Takumi Kodama, Koji Kimita, Eri Amasawa, Yusuke Kishita, "Designing service-oriented circular economy business scenarios: A case of bike sharing business," Proceedings of the 13th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2023), C5-2, Nara, Japan, 29 November-1 December, (2023), pp. 563-570.

注：この欄の成果番号は「研究成果発表の一覧」と共通です。

1. 6. 3. 主要な研究成果普及活動

本研究課題での成果普及活動は、合計で4件行った。それぞれの概要は以下のとおりである。

- 東京大学エクステンション サーキュラーエコノミースクール CEビジネスデザインコース：2022～2024年度にかけて、毎年度、社会人約20名を対象に2時間×8回の講義を実施した。本スクールを通して、本研究課題で開発した手法の産業界における普及を図った。実際に、本スクールの受講をきっかけとして、既存事業のCE型への移行に向けて共同研究につながった事例や、さらなる議論に発展した事例が見られた。
- EcoBalance 2022、EcoDesign 2023、EcoBalance 2024ではそれぞれ本研究課題に関する企画セッションを企画・運営した。これらの企画セッションはいずれもハイブリッド形式で開催し、オンライン参加の場合のみ一般公開・参加無料の条件とした。各セッションでは、本研究課題の成果を発表するとともに、国内外の参加者（対面、オンライン）とSoCEビジネスの課題と今後の展開についてディスカッションを行った。

1. 7. 国際共同研究等の状況

<国際共同研究の概要>

- シナリオ作成手法の開発に関して、バックキャスティングの設計フレームワークをデルフト工科大学・Jaco Quist助教授とスウェーデン王立工科大学(KTH)・Mattias Höjer教授とともに開発している。両名ともにバックキャスティング研究の国際的な第一人者であり、本共同研究を通して世界初のバックキャスティングに関する設計フレームワークを提案する。
- ブラウンシュバイク工科大学・Christoph Herrmann教授およびノルウェー科学技術大学・Casper Boks教授の研究グループとともに、SoCEビジネスの事例として車載用リチウムイオン電池の循環ビジネスに関するプランニング手法を開発している。Herrmann教授のグループではサーキュラー・エコノミーに関する研究を積極的に行われており、本共同研究の成果を通して本研究プロジェクトで開発した手法を世界に広く発信する効果が期待できる。
- JST ベルモント・フォーラムCRA(国際共同研究活動) Systems of Sustainable Consumption and Production (持続可能な消費と生産のシステム)「持続可能な消費のためのデジタル基盤：食・モビリティ消費の再構築 (DISCo)」(JPMJBF2203)において、ノルウェー・オスロ都市大学のDr Torvald Tangeland, Ms Live T. Bøyumと連携し、バイクシェアリングを例題としてバックファイア効果を考慮した環境影響評価手法の開発ならびに日本・ノルウェーの二国間比較について議論している。
- 衣服のサステイナビリティに精通するマンチェスター大学(イギリス), Department of Materials の

Dr. Claudia E. Henningerに、衣服のレンタルサービスにおける消費者意識の分析を協力いただいている。具体的には、被験者実験において収集したデータの分析と解釈に関して、議論を重ねている。

- シェアリングエコノミーの環境影響削減効果について消費者へのインタビューから研究するシドニー工科大学（オーストラリア）のDr. Monique Retamalに、消費者行動モデルの開発や環境影響評価手法について議論している。
- サーキュラーエコノミービジネスモデルにおけるリバウンド効果について研究する、デンマーク工科大学（デンマーク）のDr. Daniela Pigossiに、本研究課題における消費者行動モデルと環境影響評価におけるリバウンド効果の扱い方について議論を重ねている。

<相手機関・国・地域名>

機関名（正式名称）	（本部所在地等の）国・地域名
KTH Royal Institute of Technology	スウェーデン
Delft University of Technology	オランダ
Technische Universität Braunschweig	ドイツ
Norwegian University of Science and Technology	ノルウェー
Manchester University	イギリス
University of Technology Sydney	オーストラリア

注：国・地域名は公的な表記に準じます。

1. 8. 研究者略歴

<研究者（研究代表者及びサブテーマリーダー）略歴>

研究者氏名	略歴（学歴、学位、経歴、現職、研究テーマ等）
木下裕介	研究代表者及びサブテーマ1リーダー 大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了 博士（工学） 大阪大学特任助教、産業技術総合研究所研究員、東京大学講師を経て、 現在、東京大学大学院工学系研究科准教授 専門はシナリオ設計、ライフサイクル工学、設計学、エコデザイン
木見田康治	サブテーマ2リーダー 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科 博士後期課程修了 博士（工学） 東京理科大学工学部第二部・助教、東京都立大学システムデザイン学部・助教を経て、 現在、東京大学大学院工学系研究科特任准教授 専門はサービス工学、設計工学、製品サービスシステム

2. 研究成果発表の一覧

注：この項目の成果番号は通し番号です。

(1) 産業財産権

成果番号	出願年月日	発明者	出願者	名称	出願以降の番号
	特に記載する事項はない。				

(2) 論文

<論文>

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ	査読の有無
1	2024	Yusuke Kishita, Mattias Höjer, Jaco Quist, "Consolidating backcasting: A design framework towards a users' guide," <i>Technological Forecasting and Social Change</i> , Vol. 202, (2024), pp. 123285	1	有
2	2024	Eri Amasawa, Yusuke Kishita, Ahmad Fariz Mohamed, Benjamin McLellan, Michikazu Kojima, "Envisioning the linkages between consumption and production for sustainability: Outcomes from expert workshops in Malaysia," <i>Circular Economy and Sustainability</i> , Vol. 4, (2024), pp. 733-753	1	有
3	2024	Björn Johansson, Mélanie Despeisse, Jon Bokrantz, Greta Braun, Huizhong Cao, Arpita Chari, Qi Fang, Clarissa A González Chávez, Anders Skoogh, Henrik Söderlund, Hao Wang, Kristina Wärmefjord, Lars Nyborg, Jinhua Sun, Roland Örtengren, Kelsea Schumacher, Laura Espinal, Katherine Morris, Jason Nunley, Yusuke Kishita, Yasushi Umeda, Federica Acerbi, Marta Pinzone, Hanna Persson, Sophie Charpentier, Kristina Edström, Daniel Brandell, Maheshwaran Gopalakrishnan, Hossein Rahnama, Lena Abrahamsson, Anna Öhrwall Rönnbäck and Johan Stahre, "Challenges and Opportunities to Advance Manufacturing Research for Sustainable Battery Life Cycles," <i>Frontiers in Manufacturing Technology</i> , section Sustainable Life Cycle Engineering and Manufacturing, Vol. 4, (2024), 1360076	1	有
4	2025	Eri Amasawa, Koji Kimita, Tatsuki Yoshida, Masahiko Hirao, "Exploring different product-service combinations for sustainable clothing rental service based on consumer preferences and climate change impacts," <i>Scientific Reports</i> , Vol. 15, (2025), 10555	2	有

(3) 著書

<著書>

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
5	2025	Yusuke Kishita, Kentaro Watanabe, Koji Kimita, "Co-designing sustainable product-service systems," Per Kristensson, Lars Witell, Mohamed Zaki (eds), <i>Handbook of Service Experience</i> , Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, (2025), pp. 217-227	1
6	2024	Koki Yokoyama, Eri Amasawa, Masahiko Hirao, "Environmental Impact Assessment of Battery Swapping Service for Electric Vehicles," Shinichi Fukushige, Tomomi Nonaka, Hideki Kobayashi, Chiharu Tokoro, Eiji Yamasue (eds), <i>EcoDesign for Circular Value Creation: Volume II</i> , Springer, Singapore, (2025), pp. 295-314	2

(4) 口頭発表・ポスター発表

<口頭発表・ポスター発表>

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ	査読の有無
7	2024	Clemm, C., Watanabe, T., Kishita, Y. "Linking dynamics in consumer behavior and product life cycles in environmental assessments of shared mobility systems: A literature review," <i>Procedia CIRP</i> , 122, (2024), 689-694	1	有
8	2025	Watanabe, T., Clemm, C., Kishita, Y., "Developing an environmental assessment method for sharing business considering consumer behavior: A case study of bike-sharing in Japan," <i>Procedia CIRP</i> , (2025). (in press)	1	有
9	2024	Masakuni Tsunezawa, Kohei Sugiyama, Tatsuki Watanabe, Yusuke Kishita, Yasushi Umeda, "Framework for a circular economy business enabled by digital platforms: A review," <i>Procedia CIRP</i> , Vol. 122, (2024), pp. 783-788.	1	有
10	2024	Yusuke Kishita, Takumi Kodama, Koji Kimita, Eri Amasawa, "A transformation support method for service-oriented circular economy businesses," <i>Book of Conference Abstracts of EcoBalance 2024</i> , 2-2E-1, Sendai, Japan, Nov 3-7, (2024), p. 44.	1	無
11	2024	Tatsuki Watanabe, Christian Clemm, Yusuke Kishita, "Integrating consumer behavior analysis into environmental assessment of sharing business," <i>Book of Conference Abstracts of EcoBalance 2024</i> , 2-1A-1, Sendai, Japan, Nov 3-7, (2024), p. 39.	1	無
12	2024	Yusuke Kishita, Casper Boks, Moritz Proff, Edith Uhlig, Saad Ahmed, Leander Pantelatos, Mark Mennenga, Steffen Blömeke, Christian Scheller, Eri Amasawa, Philipp Grimmel, "Towards sustainable circular EV battery value chains: A review and comparative analysis between Japan, Germany, and Norway," <i>Electronics Goes Green 2024+</i> , Berlin, Germany, 18-20 June, (2024), doi:10.23919/EGG62010.2024.10631196.	1	無
13	2024	Koji Kimita, Yudai Tsurusaki, and Eri Amasawa, "Effect of Fashion Rental Services on Achieving	2	無

		Narrow and Slow Consumption in Clothing: Consumer Experiments and Questionnaire Survey in Japan," New Business Models Conference Proceedings 2024. Maastricht University Press, the Netherlands, (2024).		
14	2023	Takamitsu Hirota, Yusuke Kishita, Masakuni Tsuneyzawa, Kohei Sugiyama, Kazuyuki Tasaka, Yasushi Umeda, "Architecture-based scenario design methodology for platform-enabled circular economy business," Procedia CIRP, Vol. 116, (2023), pp. 293-298.	1	有
15	2023	Takumi Kodama, Koji Kimita, Eri Amasawa, Yusuke Kishita, "Designing service-oriented circular economy business scenarios: A case of bike sharing business," Proceedings of the 13th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2023), C5-2, Nara, Japan, 29 November-1 December, (2023), pp. 563-570.	1	無
16	2023	Masakuni Tsuneyzawa, Takamitsu Hirota, Yusuke Kishita, Kohei Sugiyama, Yasushi Umeda, "Architecture-based scenario design methodology for digital platform-enabled circular economy business: a case study of smart waste management system," Proceedings of the 13th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2023), C4-1, Nara, Japan, 29 November-1 December, (2023), pp. 544-548.	1	無
17	2023	Takumi Kodama, Koji Kimita, Yusuke Kishita, "Design Methodology of Service-oriented Circular Economy Business: A Case Study of Bike-Sharing," New Business Models Conference Proceedings 2023. Maastricht University Press, the Netherlands, (2023).	1	無
18	2022	Yusuke Kishita, Fuwei Tao, Christian Scheller, Steffen Blömeke, Yasushi Umeda, Christoph Herrmann, Thomas Spengler, "Toward building a circular economy of second-life lithium-ion batteries for electric vehicles - A case study of Japan," The 19th International Conference on Precision Engineering 2022 (ICPE 2022), C151, Nara, Japan, 28 November - 2 December, (2022).	1	有
19	2022	Yusuke Kishita, Koji Kimita, Eri Amasawa, "How will service-oriented circular economy businesses contribute to environmental sustainability? – An introduction," Book of Conference Abstracts of EcoBalance 2022, 1-1D-1, Fukuoka, Japan, Oct 31-Nov 2, (2022), p. 15.	1	無
20	2022	Eri Amasawa, Tatsuki Yoshida, Koji Kimita, Masahiko Hirao, "Designing sustainable fashion rentals based on environmental benefit and consumer preference" Book of Conference Abstracts of EcoBalance 2022, 1-1D-1, Fukuoka, Japan, Oct 31-Nov 2, (2022), p. 15.	2	無
21	2023	"Deducing environmental implications of clothing rental from consumer voices and behaviors: a social experiment in Japan" Conference Proceeding of the 5th Product Lifetimes and the Environment Conference (PLATE 2023), May 2023, p. 49-52.	2	有
22	2023	"Role of Fashion Rental Services on Shifting Personal Clothing Consumptions for Sustainability"	2	無

		New Business Models Conference Proceedings 2023. Maastricht University Press.		
23	2023	“Environmental potential of clothing rental service based on consumer voices and behaviors” Conference Proceeding of 13th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2023), December 2023	2	有
24	2024	澤田雄生, 木見田康治, 天沢逸里, 鈴木修, 木下裕介, 「シナリオ分析を用いたサービス志向型サーキュラーエコノミービジネス改良支援手法の提案」, 第20回日本LCA学会研究発表会講演予稿集, 3-F2-01, 広島, 3月5日-7日, (2025), pp. 924-927.	1	無

(5) 「国民との科学・技術対話」の実施

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
25	2022-24	東京大学エクステンション サーキュラーエコノミースクール CEビジネスデザインコース(社会人約20名を対象に2時間×8回の講義を実施)	2
26	2022	EcoBalance 2022 Organized Session “Doing more with less - transitioning to circular economy through business model innovation”	1, 2
27	2023	EcoDesign 2023 Organized Session “Designing circular economy business”	1, 2
28	2024	EcoBalance 2024 Organized Session “Transitioning to circular economy through business model innovation”	1, 2

(6) マスメディア等への公表・報道等

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ

(7) 研究成果による受賞

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ
29	2022	ICPE 2022 Best Paper Award	1
30	2023	サービス学会第11回国内学会 研究奨励賞	2

(8) その他の成果発表

成果番号	発表年度	成果情報	主たるサブテーマ

権利表示・義務記載

特に記載する事項は無い。

この研究成果報告書の文責は、研究課題に代表者又は分担者として参画した研究者にあります。
この研究成果報告書の著作権は、引用部分及び独立行政法人環境再生保全機構（ERCA）のロゴマークを除いて、原則的に著作者に属します。
ERCAは、この文書の複製及び公衆送信について許諾されています。

Abstract**[Project Information]**

Project Title : Research on Assessing Environmental Impact Reduction Potential for Service-oriented Circular Economy Businesses

Project Number : JPMEERF20223R04

Project Period (FY) : 2022-2024

Principal Investigator : Kishita, Yusuke

(PI ORCID) : ORCID 0000-0001-6773-8227

Principal Institution : The University of Tokyo
Tokyo, JAPAN
Tel: +81 3 5841 6478
E-mail: kishita@pe.t.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by : Waseda University

Keywords : Circular economy, sharing, customer acceptance, scenarios, life cycle analysis

[Abstract]

The concept of a Circular Economy (CE), which aims to circulate resources at high value rather than following the traditional linear economy, is gaining significant attention both domestically and internationally. Although it aligns in principle with the "Sound Material-cycle Society" that our country has been promoting since around the year 2000, which aims at improving resource efficiency, CE is characterized by its focus on transforming socioeconomic systems and building new business models for a sustainable society. On the other hand, various businesses that contribute to CE by appropriately combining products and services, such as car sharing and clothing rental, have been emerging. This study refers to businesses that provide the functionality of products as a service, rather than selling products outright, as "Service-Oriented Circular Economy (SoCE) Businesses."

The distinctive feature of SoCE Businesses lies in their appropriate combination of products and services, which is expected to reduce the amount of resources used compared to traditional product-selling businesses, while meeting consumer acceptance and needs. This study aims to propose a method for evaluating the environmental potential of SoCE businesses to realize them in a way that reduces environmental impact while considering consumer acceptance. The proposed method is characterized by its ability to quantitatively evaluate potential SoCE businesses by describing them as narrative scenarios and linking them with consumer behavior and environmental impact assessment models. This study validated the effectiveness of the proposed method using three case studies: bike sharing, clothing rental, and home appliance subscription services. Note that the proposed method is not limited to these examples and is applicable to a wide range of cases.

By using the proposed method, iterative cycles of creating, quantitatively evaluating, revising, and re-evaluating SoCE business scenarios can be efficiently executed. As a result, practitioners such as SoCE business operators and policymakers can derive the conditions and measures for SoCE businesses that contribute to reducing environmental impact while considering consumer acceptance.

This research was performed by the Environment Research and Technology Development Fund (JPMEERF20223R04) of the Environmental Restoration and Conservation Agency provided by Ministry of the Environment of Japan.