

製造業のサービス化による環境負荷の削減効果 —サーキュラーエコノミーの実現に向けて—

木見田 康治, 天沢 逸里, 木下 裕介

近年、サーキュラーエコノミーを実現する手段として、製品の機能をサービスとして提供する製造業のサービス化 (Servitization) が注目を集めている。本稿では、製造業のサービス化とその経済的、環境的な効果について具体的な事例を用いながら解説する。そして、現在、著者らが取り組んでいるサーキュラーエコノミーの実現に向けたサービス志向型ビジネスの設計方法論について説明し、その具体例として衣服レンタルの環境影響評価について解説する。

キーワード：サーキュラーエコノミー、製造業のサービス化、Product-Service Systems、環境影響評価

1. はじめに

近年、シェアリングやサブスクリプション、pay-per-use など、製品を販売するのではなく、その機能をサービスとして提供するビジネスが注目を集めている。このような潮流は製造業のサービス化 (Servitization) と呼ばれ、最初に 1988 年に Vandermerwe and Rada [1] によりその重要性が指摘され 2000 年代からより活発な研究が行われている。特にマネジメント分野では、製造業における新たな競争優位性の獲得手段としてサービス戦略の立案や経営資源、組織能力の獲得などに関する研究が数多く行われている。一方、工学分野では、Product-Service Systems [2] やサービス工学 [3] の名の下に大量生産、大量消費、大量廃棄から脱却し、脱物質的な新たな価値創造の手段としてサービスを設計するための研究が行われてきた。特に近年では、欧州を中心にサーキュラーエコノミーの実現に向けた取り組みが活発化しており、製造業のサービス化はその有効な実現手段の一つとして注目を集めている。

本稿では、製造業のサービス化について概観した後に、その経済的、環境的な効果について解説する。そして、現在、著者らが取り組んでいるサーキュラーエコノミーの実現に向けたサービス志向型ビジネスの設計方法論について紹介し、その具体例として衣服レンタルの環境影響評価について説明する。

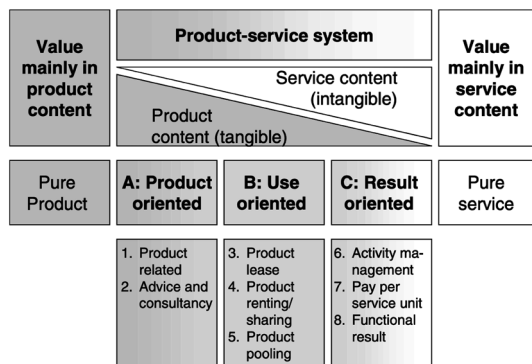


図 1 Product-Service Systems の分類 [2]

2. 製造業のサービス化とは

2.1 Product-Service Systems

製造業のサービス化における具体例として Product-Service Systems (PSS) が挙げられる。PSS とは、製品とサービスを統合的に提供するシステムであり、図 1 に示す「Product oriented」、「Use oriented」、「Result oriented」の三つの分類が提案されている [2]。

Product oriented とは、製品販売を中心とした PSS であり、販売した製品に対してメンテナンスやコンサルタントなどのサービスが付加的に提供される。Use oriented とは、製品売切り型の Product oriented とは異なり、レンタルやシェアなど製品の所有権は提供者が保持し、その利用権や可用性を顧客に対して保証する PSS である。Use oriented の事例としては、定額制で建設用工具を利用するフリートマネジメントなどが挙げられる。Result oriented は、製品を使用した結果を顧客に提供する PSS であり、航空機用エンジンの飛行時間やトラック用タイヤの走行距離など製品の

きみた こうじ, あまさわ えり, きした ゆうすけ
東京大学大学院工学系研究科
〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
kimita@tmi.t.u-tokyo.ac.jp
aamasawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp
kishita@pe.t.u-tokyo.ac.jp

使用時間や使用量に応じて課金するサービスがこれに該当する。

このような製造業のサービス化が注目されている理由は、従来の製品売切り型のビジネスと比較してより高い経済的、環境的な効果が期待されるためである。近年、多くの製品がコモディティ化しており、製品単体の価値のみでは他社との差別化を図ることが難しい状況になっている。さらに、若い世代を中心に消費スタイルが所有から利用へとシフトしており、サブスクリプションやシェアリングなど製品機能を提供するサービスに対するニーズが高まっている。そのため、他社との差別化要因や新たな収益源としてサービスへの期待が高まっている。また、デジタル技術の進化によりさまざまなデータが取得可能になっており、取得したデータは新たな製品の開発や、顧客との長期的な関係構築、ビジネス機会の探索などに活用することが期待されている。サービスは、このようなデータを取得するうえでも重要な役割を担う。

また、近年、サーキュラーエコノミー (Circular Economy: CE) の実現に向けた取り組みが加速しており、欧州では関連する政策が次々に打ち出されている [4, 5]。CE は「回復性を設計によって保持し、製品、部品、素材を常に最高レベルの価値、効用を提供するよう保存することを目指した経済」(文献 [6]、訳 [7]) として定義され、近年の資源価格の高騰や供給の不安定化などを背景に、企業の経営課題の一つとして位置づけられている。また、CE はカーボンニュートラルの実現に向けても大きな役割を担う。カーボンニュートラルを実現するためには、再生可能エネルギーへの転換だけでなく、製品の生産と消費や資源の採掘と加工などにおいて排出される温室効果ガスを削減することが重要である。この後者への対策において中核を担うのが CE である。そして、製造業のサービス化は CE を実現する有効な手段として注目を集めている。

2.2 製造業のサービス化による経済的な効果

製造業のサービス化は、企業に対して経済的なメリットをもたらすことが指摘されている。たとえば、Neely は、OSIRIS データベースに登録されている製造業、約 8,000 社の財務データを分析した結果、サービスを提供している企業は、提供していない企業と比較して、収益と利益がともに高いことを明らかにしている [8]。しかしながら、すべての企業がこのような経済的なメリットを享受できるわけでない。たとえば、Gebauer らは、サービスビジネスに対する投資に対して、期待した収益が得られない場合があることを指摘し、これを

サービス・パラドックスと呼んでいる [9]。そのため、サービス化による経済的な効果を高める要因に関する研究が数多く行われている。

たとえば、サービス化の経済的な効果は、その提供物に強く影響を受ける。Eggert らは、製品に対するサービス (Service Supporting the supplier's Product: SSP) と顧客の活動に対するサービス (Service Supporting the Client's action: SSC) という分類を用いてドイツの機械系企業 513 社を対象とした調査を行っている。その結果、SSC の提供は売上と利益の成長に寄与することを明らかにしている。さらに、SSP の提供は売上と利益に貢献しない一方、SSC の提供を拡大する要因になっていることを示している [10]。

期待した経済的な効果が得られないその他の要因としては、サービス化に必要な組織的なリソースと能力 (ケイパビリティ) の欠如が挙げられる。サービス化に必要なリソースに関しては製品使用に関するデータ、製品開発・製造に必要な資産、製品販売のネットワーク、サービス組織などが挙げられ、ケイパビリティに関しては、データの処理と解釈、リスクマネジメント、サービス設計、販売、提供に関する能力などが挙げられる [11]。そして、これらの経済的な効果に対する影響としては、たとえば、Kohtamäki らは、スウェーデンの企業 131 社を対象とした調査から、デジタル技術を活用することでサービス提供を拡大した際の ROA (総資産利益率) がより高まることを明らかにしている [12]。

また、このようなリソースとケイパビリティを確保するためには、製造業はサービスサプライヤと連携することが必要不可欠である。このサービスサプライヤとの連携も経済的な効果に大きく影響を与える。たとえば、Zhou らは、サービス提供の初期段階では ROA (総資産利益率) や ROI (投資利益率) などの財務指標が悪化する一方、サービスの提供が拡大するにつれてこれらの指標は改善されることを示している [13]。さらに、このようなサービス提供と経済的効果の U 字型の関係性は、メーカーとサービスサプライヤとの関係が強いほど顕著に現れることを示している。これは、サービス提供の初期段階では、メーカーがサービス提供に関する知識を十分に保持していないことからサプライヤの管理コストが増大し財務指標が悪化するが、サービス提供の拡大に伴いこれらの知識を獲得すると同時にサプライヤを通じて顧客の情報を取得し、新たなサービスを開発することが可能になるためである。

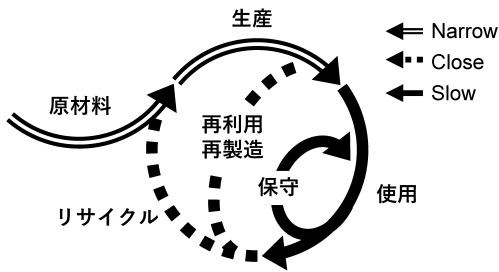


図2 サーキュラーエコノミーの実現方法
(文献 [14] を元に著者が作成)

2.3 製造業のサービス化による環境負荷の削減効果

製造業のサービス化は、経済性だけでなく環境性も同時に高めることが可能であり、CE を実現する手段としても注目を集めている。図2に示すようにCEの実現においては主に、新たに投入する資源を削減する(Narrow)、再利用や再製造、リサイクルを通じて閉ループ化する(Close)、製品や部品をより長く使う(Slow)ことが重要である [14]。

しかしながら、これらの方法と経済性を両立することは従来の製品売切り型のビジネスでは極めて困難である。たとえば、製品の生産台数を減らす Narrow や製品を長く使う Slow は、製品の販売台数すなわち売上への減少を招く可能性がある。また、Close では再利用や再製造を前提とした製品開発が必要となるが、製品売切り型のビジネスでは回収する製品の質や量を管理することが難しく、開発への投資に見合う利益を得ることが困難である。

このような問題を解決し、経済性と環境性を両立させる有効な手段の一つがサービス化である。たとえば、前述の Use-oriented PSS と Result-oriented PSS では、製品の所有権は提供者が保持しているため、Close において回収する製品の質と量を管理することが可能になる。さらに、これらの PSS では、顧客は製品を利用する権利や利用した結果に対して対価を支払うため、提供者は Close により製造コストを削減することで利益率を改善することが可能である。たとえば、トラック用タイヤでは、摩耗したタイヤの表面を新しく張り替えて再生するリトレッドタイヤにより、新たなタイヤの製造に必要な石油資源とコストを削減することが可能である。このリトレッドタイヤを走行距離に応じて課金する Result-oriented PSS として提供することで、走行距離あたりの製造コストを削減し利益率の改善に繋がることが期待される。

また、これらの PSS において製品の可用性を損なうことなく Narrow を実現することは、少ない製品数で

需要を満たす、すなわち利益率を高めることに繋がる。さらに、Slow により製品を長く使用することは、一つの製品からより長く売上を得ることを意味する。たとえば、Electrolux 社は洗濯機を洗濯回数に応じて課金する pay-per-wash サービスを提供している。同社の洗濯機は、低価格な製品と比較して長寿命、省エネルギーなどの特長をもつ。そのため、洗濯回数に応じて課金する pay-per-wash サービスにより1台の洗濯機からより多くの利益を長期にわたり得ることが可能である。さらに、1台の洗濯機を複数の顧客が共同で使用して稼働率を高めることで、より少ない台数で需要を満たし利益率の改善に繋げている。

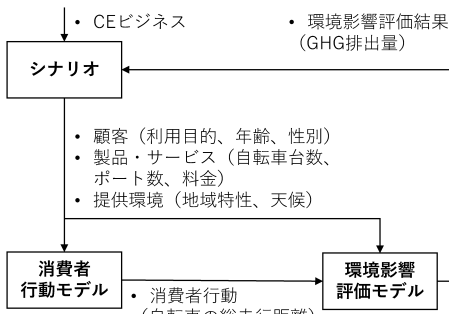
3. サービス化とサーキュラーエコノミー

3.1 サービス志向型 CE ビジネス

前述のとおり、製造業のサービス化は経済性と環境性を同時に高め、CE を実現する手段として注目を集めている。しかしながら、このようなビジネスを実際の社会において実現していくうえでは消費者の受容性と環境負荷の削減効果を適切に評価する必要がある。これに対して著者らは、CE の実現を目的とした PSS をサービス志向型 CE ビジネスと総称し、消費者受容性を考慮しながらさまざまなシナリオのもとで環境負荷を評価することで、サービス志向型 CE ビジネスを効率的かつ効果的に設計する方法論の構築に向けた研究を推進している。現在、具体的な事例としてバイクシェアリングと衣服レンタルに取り組んでいる。

図3にサービス志向型 CE ビジネスの設計方法論の概要を示す。本方法論ではまず現状の CE ビジネスにもとづきシナリオを作成する。具体的には、当該ビジネスをビジョン・目標から、ビジネスモデル、製品・資源循環、提供サービス、情報システム・製品の機能へと段階的に詳細化し、これらの要素を束ねた叙述的なストーリーとしてシナリオを記述する。このシナリオをもとに、複数の改善案を用意することでさまざまなシナリオを作成する。次に、消費者行動モデルを用いて、作成したシナリオにおける消費者行動の推定を行う。たとえば、バイクシェアリングでは、顧客の利用目的や、自転車の台数、ポートの数、提供地域の特性などのシナリオの変数を入力とし、自転車の走行距離を出力する。この消費者行動モデルは、サービスにおいて取得可能な消費者行動ログやアンケート調査結果などを用いて構築する。

最後に、シナリオと推定した消費者行動の情報を用いて環境影響評価を行う。サービス志向型 CE ビジネ



* 括弧内はバイクシェアリングにおける例

図3 サービス志向型 CE ビジネスの設計方法論

スの環境影響評価では、比較対象となるシステムを明確にする必要がある。たとえば、Kjaer らは「PSS Optimization」, 「PSS Comparison」, 「PSS Consequence」の三つの分類を提案している [15]。PSS Optimization とは、前述の PSS の三つの形態 (Product, Use, Result oriented) において、同一の PSS 形態間で比較を行うものである。たとえば、バイクシェアリングにおいて電動アシストありの自転車となしの自転車を比較する場合がこれに該当する。一方、PSS Comparison とは、消費者が自転車を所有する Product oriented と、シェアリングする Use oriented との比較など、異なる PSS 形態間での比較を行うものである。最後に、PSS Consequence とは、バイクシェアリングと公共交通との比較など、コア製品が異なる PSS 間の比較を行うものである。これらの分類を用いて作成したシナリオにおける環境負荷の削減効果を算出し、この結果にもとづき設計解の改善を行う。

3.2 衣服レンタルの環境影響評価

本節では、前述の方法論の中から環境影響評価について衣服レンタルの事例を用いて解説する。なお、本事例と環境影響評価の詳細は文献 [16] を参照されたい。

本研究では、衣服レンタルに対する消費者の受容性とその環境影響評価を行った。消費者の受容性に関しては、消費者の衣服レンタルの利用を促進あるいは阻害する要因として表 1, 2 に示す製品とサービスの特徴に着目した。衣服レンタルの利用を促進する製品の特徴としては、まず、購入費用が高いことが挙げられる。サービス化では、消費者は製品を利用する権利や利用した結果に対して対価を支払うことから、製品購入に要する費用を削減することが可能である。そのため、購入費用が高い衣服ほどレンタルでの利用が促進されると考えられる。また、提供者は製品の所有権は保持し、運用、保守などを請け負うことから、そのコ

表 1 レンタルしたい衣服の特徴 [16]

- ・購入費用が高い
- ・1年で着用できるシーズンが限られている
- ・1年を通して着用する機会が少ない
- ・突然必要になることがある
- ・クリーニングの費用が高い
- ・洗濯の手間がかかる
- ・保管場所がかさばる
- ・衛生面が気にならない

表 2 レンタルサービスに求める特徴 [16]

- ・クリーニング・洗濯不要
- ・新品を着ることが出来る
- ・注文してからすぐに着ることが出来る
- ・手元に長期間置いておくことが出来る
- ・自分に合うサイズの衣服がある
- ・自分の好みのブランドの衣服を着ることが出来る
- ・衣服のバリエーションが豊富
- ・着用回数や期間に応じて料金を支払う
- ・月額定額制
- ・コーディネートしてくれる

ストや負担が大きいほどサービス化により得られる消費者のメリットが大きくなる。衣服レンタルでは、クリーニング代や洗濯の手間の削減、衣類の保管場所の節約がこれに該当する。さらに、このような購入費用や保守コストの削減は、着用するシーズンや機会が限られている衣服に対して特に効果的である。

一方、衣服レンタルの利用を阻害する要因としては、衛生面への懸念が挙げられる。特に繊維製品や、毎日使用するものや肌に密着するものは衛生面への懸念が強い [17]。また、サービス化では製品の所有権は提供者が保持し、一つの製品を複数の消費者で使用することから、製品へのアクセシビリティが損なわれる可能性がある。このリスクは、特に計画的に使用できない、突然必要になる製品においてより大きくなる。

衣服レンタルサービスの特徴に関しては、事業者へのヒアリングをもとに表 2 に示す項目を使用した。

表 1, 2 の項目を用いてアンケート調査を実施した。アンケートは 20 歳以上の男女を対象に 1,049 名の回答を収集した。アンケート調査の結果をもとに、まず、消費者の受容性が高い、すなわちレンタルしてみたい衣服とその製品とサービスの特徴について分析を行っ

表3 レンタルしたい衣服の特徴のクラスタ [16]

製品特徴でのクラスタ	クラスタに含まれる衣服
洗濯の負担は少ないが、衛生面が気になる	スカート、ワンピース/オールインワン、スポーツウェア、マタニティウェア
着る機会が少なく、購入費用が高い	ドレス、スーツ
洗濯の手間がかかり、保管場所を節約できる	ニット/セーター
着る機会が多く、衛生面も気にならない	Tシャツ/カットソー、シャツ/ブラウス
シーズンが限られていて、クリーニング代が高い	ドレスシャツ/ワイシャツ、ジャケット、コート

表4 レンタルサービスに求める特徴のクラスタ [16]

サービス特徴でのクラスタ	クラスタに含まれる衣服
好みのブランドを着られる、コーディネートしてくれる	スカート
月額定額制、注文後すぐに着られる	Tシャツ/カットソー、ドレスシャツ/ワイシャツ
手元に長期間おける	ワンピース/オールインワン、ニット/セーター、シャツ/ブラウス、ジャケット、コート
ベイパーユース、クリーニング・洗濯不要、自分に合うサイズ	スポーツウェア、ドレス、スーツ
クリーニング・洗濯不要と、注文後すぐに着られることは求めない	マタニティウェア

た。具体的には、レンタルしてみたいと回答された衣服について、その製品の特徴とレンタルサービスに求める特徴として選択された割合を用いてクラスターリングを行った。製品特徴のクラスターリング結果を表3に、サービス特徴の結果を表4に示す。製品特徴に関しては計5種のクラスタが特定され、たとえば、一つ目のクラスタは洗濯の負担は少ないが衛生面が気になるという特徴を有し、具体例としてスカート、ワンピースなどが挙げられた。二つ目のクラスタは、着用機会が少なく購入費用が高いという特徴を有し、具体例としてドレス、スーツなどが挙げられた。

サービス特徴に関しては計5種のクラスタが特定され、たとえば、一つ目のクラスタは、好みのブランドを着られる、コーディネートしてくれるという特徴を有し、具体例としてスカートが挙げられた。二つ目のクラスタは、月額定額制で注文後すぐ着られるという

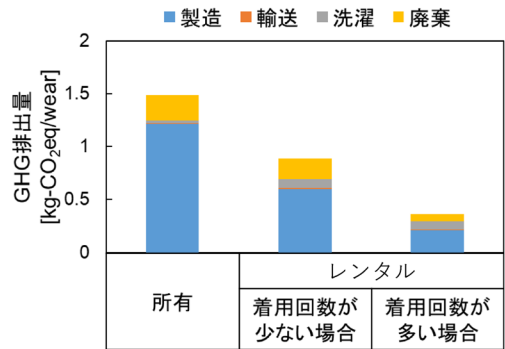


図4 ドレスの購入とレンタルの環境影響評価 [16]

表5 ドレスのシナリオ設定 [16]

	所有	レンタル
繊維	ポリエステル 100%	
輸送手段	トラックでの宅配	
廃棄年数 [年]	9.0	2.0
廃棄までの着用回数 [回]	11.7	多い 68.2 / 少ない 23.4
洗濯頻度 [洗濯/着用]	1	
洗濯方法	家庭での水洗い	業務用水洗い
廃棄手段	焼却	

表6 サービス特徴とシナリオ変数の関係 [16]

サービス特徴	変数
ベイパーユース	レンタル1回における着用回数 ±1回
クリーニング・洗濯不要	洗濯方法 業務用水洗い
注文後すぐ着られる	発送期間 1日
バリエーションが豊富	衣服の在庫量 1.7倍
自分に合うサイズがある	衣服の在庫量 1.7倍

特徴を有し、具体例としてTシャツ、ワイシャツなどが挙げられた。

次に環境影響評価を行った。一例として、図4にドレスを所有した場合とレンタルした場合の評価結果を示す。シナリオ設定の詳細は表5に示すとおりである。また、レンタルに関しては、表6に示すとおりドレスのレンタルサービスに求められる特徴を考慮したシナリオ変数を設定した。たとえば、「バリエーションが豊富」、「自分に合うサイズがある」というサービス特徴に対しては、衣服の在庫量を通常の1.7倍とした。また、

1回のレンタルにおける着用回数に関しては、アンケート調査結果の平均値から±1回の範囲として着用回数が最も多い場合と最も少ない場合での評価を行った。

図4に示すとおり、ドレスに関しては、所有と比較してレンタルの方が1着あたりの着用回数が増加するためGHG排出量は少ない結果となった。

4. まとめ

製造業のサービス化は、経済性と環境性を両立しCEを実現する手段として注目を集めている。しかしながら、実際のビジネスにおいては、期待した経済的、環境的な効果が得られなかった事例も数多く報告されている。経済性、環境性に関しては、その多くが設計段階において決定づけられることから、CEの実現に向けたビジネス設計の方法論に関する研究がより一層求められる。さらに、環境影響評価に関しても、従来の製品を中心とした評価とは大きく異なるため、標準的な評価方法の確立に向けた研究が必要である。

これらの研究を促進するためには、実際のビジネスにおけるデータの活用が必要不可欠である。さらに、設計方法論を構築するためには、設計解を社会に実装し検証することも求められる。そのため、今後はわが国においてもCEの実現に向けた産学連携が活発化することを期待したい。

謝辞 本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20223R04)の支援を受けたものである。

参考文献

[1] S. Vandermerwe and J. Rada, "Servitization of business: Adding value by adding services," *European Management Journal*, **6**, pp. 314–324, 1988.
[2] A. Tukker, "Eight types of product–service system: Eight ways to sustainability? Experiences from Sus-ProNet," *Business Strategy and the Environment*, **13**, pp. 246–260, 2004.
[3] 下村芳樹, 原辰徳, 渡辺健太郎, 坂尾知彦, 新井民夫, 富山哲男, "サービス工学の提案—第1報, サービス工学のためのサービスのモデル化技法—," 日本機械学会論文誌(C編), **71**, pp. 669–676, 2005.

[4] E. U. Commission, "Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe," *COM (2014) 398*, 2014.
[5] European Commission, "Circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe," *Publications Office of the European Union*, 2020.
[6] K. Webster, *The Circular Economy: A Wealth of Flows*, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation, 2015.
[7] 坂尾知彦, 木見田康治, "サーキュラーエコノミー実現に向けた設計研究—product/service systemsとremanufacturingに焦点を当てて—," *設計工学*, **56**, pp. 153–164, 2021.
[8] A. Neely, "Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing," *Operations Management Research*, **1**, pp. 103–118, 2008.
[9] H. Gebauer, E. Fleisch and T. Friedli, "Overcoming the service paradox in manufacturing companies," *European Management Journal*, **23**, pp. 14–26, 2005.
[10] A. Eggert, J. Hogreve, W. Ulaga and E. Muenkhoff, "Revenue and profit implications of industrial service strategies," *Journal of Service Research*, **17**, pp. 23–39, 2014.
[11] W. Ulaga and W. J. Reinartz, "Hybrid offerings: How manufacturing firms combine goods and services successfully," *Journal of Marketing*, **75**, pp. 5–23, 2011.
[12] M. Kohtamäki, V. Parida, P. C. Patel and H. Gebauer, "The relationship between digitalization and servitization: The role of servitization in capturing the financial potential of digitalization," *Technological Forecasting and Social Change*, **151**, 119804, 2020.
[13] D. Zhou, T. Yan, L. Zhao and J. Guo, "Performance implications of servitization: Does a manufacturer's service supply network matter?" *International Journal of Production Economics*, **219**, pp. 31–42, 2020.
[14] J. Konietzko, N. Bocken and E. J. Hultink, "Circular ecosystem innovation: An initial set of principles," *Journal of Cleaner Production*, **253**, 119942, 2020.
[15] L. L. Kjaer, D. C. A. Pigosso and T. C. McAlloone, "Guidelines for evaluating the environmental performance of Product/Service-Systems through life cycle assessment," *Journal of Cleaner Production*, **190**, pp. 666–678, 2018.
[16] 吉田樹, 天沢逸里, 木見田康治, 平尾雅彦, "環境影響評価と消費者分析に基づくサステイナブルな衣服シェアリングサービス設計," 第17回日本LCA学会研究発表会, 2-D3-04, 2021.
[17] E. Gullstrand Edbring, M. Lehner and O. Mont, "Exploring consumer attitudes to alternative models of consumption: motivations and barriers," *Journal of Cleaner Production*, **123**, pp. 5–15, 2016.