

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

3-1902 循環型社会形成のための指標開発と環境・経済・社会の統合的評価
(JPMEERF20193002)

令和元年度～令和3年度

Indicator Development and Integrated Assessment of Environmental, Economic, and Social Aspects
for Establishing a Sound Material-Cycle Society

〈研究代表機関〉

立命館大学

〈研究分担機関〉

名古屋大学

早稲田大学

みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)

(公財)地球環境戦略研究機関

令和4年5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 物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案と適用 （立命館大学、名古屋大学）	・・・・・・・・・・	18
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 環境・経済・社会の統合的取組に関する指標と評価手法の検討 （早稲田大学、みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)）	・・・・・・・・・・	34
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 欧州の循環経済指標のレビューと各種指標の国際比較可能性の検討 ((公財)地球環境戦略研究機関)	52
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	67
IV. 英文Abstract	73

I. 成果の概要

課題名 3-1902 循環型社会形成のための指標開発と環境・経済・社会の統合的評価
 課題代表者名 橋本 征二（立命館大学理工学部環境都市工学科教授）

重点課題 主：【重点課題9】3Rを推進する技術・社会システムの構築
 副：なし

行政要請研究テーマ（行政ニーズ） (3-5)循環型社会形成に資する環境・経済・社会の統合的取組に関わる新たな評価指標体系及び経済効果等の評価基盤の構築

研究実施期間 令和元年度～令和3年度

研究経費
 76,814千円（合計額）
 （各年度の内訳：令和元年度：24,222千円、令和2年度26,917千円、令和3年度：25,675千円）

研究体制
 （サブテーマ1）物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案と適用（立命館大学）
 （サブテーマ2）環境・経済・社会の統合的取組に関する指標と評価手法の検討（早稲田大学）
 （サブテーマ3）欧州の循環経済指標のレビューと各種指標の国際比較可能性の検討（(公財)地球環境戦略研究機関）

研究協力機関
 研究協力機関はない。

本研究のキーワード：物質フロー・ストック分析、産業連関分析、循環経済、国際比較、データベース

1. はじめに（研究背景等）

2018年6月に策定された第4次循環型社会形成推進基本計画（以下、循環基本計画）においては、その指標体系が大きく改変され、約120の指標を用いてその進捗を計測することとなった。しかしながら、本計画においては引き続き検討が必要な課題も合わせて示されており、その中には、「社会に蓄積されている物質ストックに関する指標の開発」「地域循環共生圏の取組や循環型社会ビジネスの市場規模に関わるデータ整備及びその評価方法の検討」「総合的に取組の国際比較を行うための指標の検討」等が含まれている。また、循環型社会形成に向けた取組の中長期的な方向性として「持続可能な社会づくりとの統合的取組」「多種多様な地域循環共生圏形成による地域活性化」「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」等が示されたが、これらで示されているような環境・経済・社会の統合的な取組や、シェアリング・リマニュファクチャリングのような新たな取り組みも含め、ライフサイクル全体を通じた資源循環の評価指標・評価方法についても検討していく必要がある。

一方、2015年12月に発表された欧州の循環経済政策パッケージを受けて、循環経済を計測するための様々な指標が提案されてきている。欧州の循環経済政策は欧州の成長戦略に位置づけられていることから、ビジネスや雇用に関する指標が散見されるが、上述のように、我が国においてもこうした観点からの新たな指標の開発や既存指標の改善を行っていく必要がある。

2. 研究開発目的

本研究では、第4次循環基本計画の進捗点検や、第5次循環基本計画における指標策定への貢献、及び指標の国際的な発信を最終目的として、上述のような検討課題の中でも、a) 物質ストックの活用を含めたライフサイクル全体での徹底的な資源循環に関する指標、b) 環境・経済・社会の統合的取組に関する指標、c) 指標の国際比較可能性、を対象として以下を行う。

第1に、「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」を的確にモニタリングするため、物質ライフサイクルの6つの断面にもとづく指標群の提案とその適用を行う。これにより、物質フロー・ストックを体系的・網羅的に分析する枠組みとモニタリング方法を提供する。

第2に、「持続可能な社会づくりとの統合的取組」や「多種多様な地域循環共生圏形成による地域活性化」などの環境・経済・社会の統合的取組を評価するため、資源循環や地域循環共生圏形成の環境・経済・社会への影響を評価する手法の開発とその適用を行うとともに、環境・経済の統合的取組を表現する指標である「循環型社会ビジネスの市場規模」を対象として、新たな推計対象範囲と分類を提案する。これにより、環境・経済・社会の統合的取組に関する評価手法、従来よりも改善された環境・経済の統合的取組に関わる指標の計測方法を提供する。

第3に、指標のデータベースの提供や国際比較可能性の向上のため、欧州の循環経済指標をレビューし、各種指標の定義、計算方法、使用データ等をデータベースとして整備するとともに、国際比較可能性の向上に向けた方策を検討する。これにより、指標のデータベースと各国の状況を適切に比較評価するための方法を提供する。

上記の3つの目的に対応する研究を、図0.1に示すとおり本研究のサブテーマとする。なお、サブテーマ間の関係については、上述の「4. 研究開発内容」で触れる。

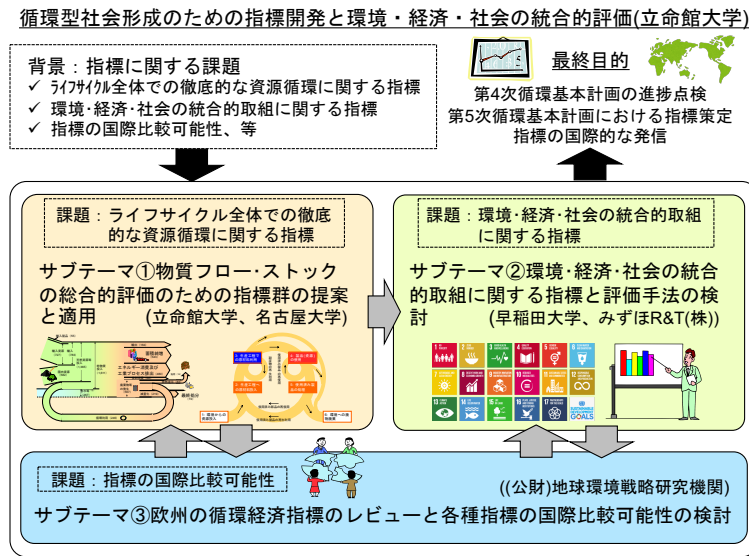


図0.1 研究の構成

3. 研究目標

全体目標	第5次循環型社会形成推進基本計画における指標策定への貢献や国際的な発信を最終目的として、物質のライフサイクルを通じた指標群や環境・経済・社会の統合的取組に関する指標と評価手法の提案を行う。また、資源循環に関わる指標の国際比較可能性を向上させるための対応を提示する。
------	--

サブテーマ1	物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案と適用
サブテーマリーダー /所属機関	橋本征二／立命館大学
目標	物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群を、物質ライフサイクルの6つの断面にもとづいて提案する。また、我が国で使用されている主要な物質4品目程度を対象とした適用例を通じてその有用性を示す。

サブテーマ2	環境・経済・社会の統合的取組に関する指標と評価手法の検討
サブテーマリーダー /所属機関	近藤康之／早稲田大学
目標	資源循環の環境・経済・社会への影響評価手法を提案するとともに、主要な資源循環の取組2例程度を対象とした適用例を通じてその有用性を示す。また、我が国の循環型社会ビジネスの市場規模について、新たな推計対象範囲と分類を提案するとともに、基準年と直近の2カ年分程度の市場規模推計結果を示す。

サブテーマ3	欧州の循環経済指標のレビューと各種指標の国際比較可能性の検討
サブテーマリーダー /所属機関	栗生木千佳／(公財)地球環境戦略研究機関
目標	欧州等で利用・検討されている循環経済指標、及びその定義、計算手法、使用データ等について整理し、データベースを提供する。また、2つ程度の重要な指標について国際比較可能性を向上させるための対応を提示する。

4. 研究開発内容

4.1 物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案と適用（サブテーマ1）

我が国の物質フロー指標は、現在「入口」「入口側循環」「出口側循環」「出口」の4つの断面で捉える形態となっているが、第4次循環基本計画において、循環型社会形成に向けた取組の中長期的な方向性の1つとして示された「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」を推進していくためには、物質ライフサイクルでのより詳細な情報の把握が必要と考えられる。また、「循環」の断面については各種のリサイクル率を用いた状況把握が行われているが、a) リサイクル量に含まれる「副産物」の定義が明確ではなく、回答者により捉え方が異なる状況があるとともに、b) データ取得の観点でも経済産業省による「副産物（産業廃棄物・有価発生物）発生状況等に関する調査」が廃止となり、廃棄物等の「等」の量（有価の副産物量）を計測する手段を模索している状況にある。

このようなことから、本サブテーマでは、図1.1に示す物質ライフサイクルの6つの断面（1.環境からの資源投入、2.生産工程への原材料投入、3.生産工程での原材料利用、4.製品の使用、5.使用済み製品の処理、6.環境への廃物廃棄）にもとづいて、物質フロー・ストックに関わる指標を整理し、指標群として提案した。具体的には、資源循環の形態とその計測上の特徴を整理して、各資源循環の形態を物質ライフサイクルの6つの断面で捉える根拠を提示するとともに、サブテーマ3のレビューも踏まえつつ、物質ライフサイクルの6つの断面にもとづく指標群を提案した。また、表1.1に示す主要な物質について、6つの断面にもとづく主要指標が算定できるように物質フロー・ストック分析を実施し、物量投入産出表のデータベースを構築した。この際、副産物と使用済み製品を区別し、可能な限り1950年頃からの物質フローを分析し、物質ストックを推計した。さらに、推計した物質フロー・ストックに対し、提案する主要な指標を適用して、指標の適用可能性や有用性を検証した。

以上に加え、当初計画にない項目であるが、サブテーマ3におけるリサイクル率の定義の検討を踏まえ、欧州の都市廃棄物リサイクル率の定義に近づけた日本の一般廃棄物リサイクル率を試算した。

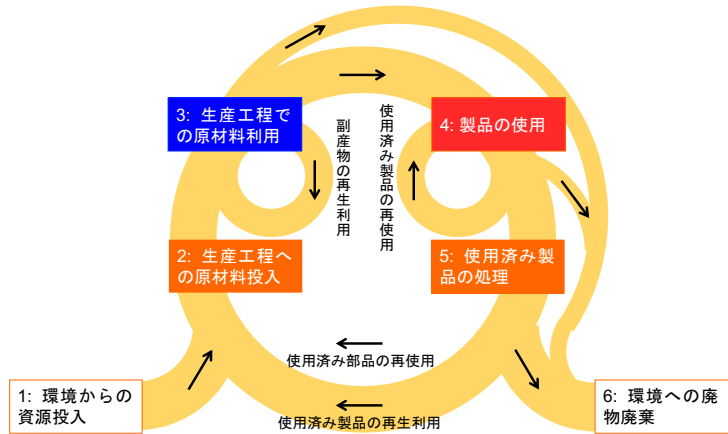


図1.1 物質ライフサイクルの6つの断面(1～6)

表1.1 対象物質

資源類型	対象物質（主要な物質）
化石燃料	● プラスチック用途のうち代表的樹脂
金属鉱物	● 鉄（金属鉱物の80%程度）
非金属鉱物	● 岩石・砂利（非金属鉱物の60%程度）
バイオマス	● 農産物（バイオマスの75%程度） ● 木材（バイオマスの20%程度）

4. 2 環境・経済・社会の統合的取組に関する指標と評価手法の検討（サブテーマ2）

資源循環の促進は、物質フローが変化することにより、環境への影響を低減する効果が期待される。環境への影響に加えて、社会・経済への影響として、リサイクル産業における所得・雇用の創出、一次素材への需要減による輸入依存の低減などのプラスの効果が見込まれる一方、天然資源を採取する関連産業における所得・雇用の減少などのマイナスの影響が生じ得る。したがって、地域循環共生圏の形成等により循環型社会の形成をさらに推進するうえで、資源循環が促進された結果として生じる環境・経済・社会への影響を適切に評価することが求められている。また、環境・経済の統合的取組の指標である「循環型社会ビジネスの市場規模」は、環境省「環境産業の市場規模」より、循環産業に関わると考えられる部分を5分類・95項目抽出したものであるが、2014年度実績（約47兆円程度）は2000年の約1.2倍であり、第4次循環基本計画における2025年目標（2000年度の約2倍）の達成は厳しい状況と見込まれている。このような中、近年、シェアリングやサブスクリプション、ITを活用したリユース、資源循環分野のデジタル・DX活用などの新たなビジネスが登場しており、循環型社会ビジネスとして考慮すべき範囲や推計方法を見直す必要が生じている。

このようなことから、本サブテーマでは、産業連関分析にもとづいて、資源循環や地域循環共生圏形成に向けた取組の環境・経済・社会への影響を評価する手法の開発、環境・経済に関わる資源生産性指標の推計方法の改善を行うとともに、欧州の取組も参考に循環型社会ビジネスの市場規模の推計方法の改善を行った。具体的には、（1）資源循環が促進された結果として生じる資源投入量、二次素材生産量等の変化に関するシナリオの構築を行うとともに、環境・経済・社会への影響の統合的な評価においては、複数の指標の加重平均のような単一指標は採用せず、一定の社会・経済条件の下で、環境面で最も優れたシナリオを「最良」と評価する手法を開発した。指標の選定にはサブテーマ3のレビューを参考とした。さらに、リサイクルの促進は二次素材に対する十分な需要がある場合に限って実現可能であることから、サプライチェーンの川上に位置する産業だけでなく、川下に位置する産業を考慮する手法を開発した。資源生産性指標については、産業分野別の直接資源投入量（Direct Material Input、DMI）および産業分野別の一次資源等価換算した総物質投入量（Raw Material Input、RMI）の推計精度向上に向けた検討を実施した。また、（2）欧州における循環経済の議論や日本における循環型社会形成に関わる政策動向を踏まえ、循環型社会ビジネスの市場規模の推計対象範囲の見直し（追加すべき項目の整理）を行い、市場規模の内訳の分類の検討・提案を行った上で、推計方法の整理と市場規模の試算を行った。なお、欧州における循環経済の議論に関わる文献調査は、サブテーマ3と連携して行った。

4. 3 欧州の循環経済指標のレビューと各種指標の国際比較可能性の検討（サブテーマ3）

資源生産性や各種リサイクル率は、日本や欧州連合（以下、EU）、ドイツ、中国などをはじめとして、

3R・資源効率性・循環経済の政策評価やモニタリングに用いられてきたところである。加えて、近年の資源効率性・循環経済政策の進展により、国家レベルの戦略およびその評価・モニタリングのために新たな指標の設定を各国が進めている。一方、持続可能な開発目標（以下、SDGs）等も受けて、指標の国際比較可能性を向上させることが求められている。

このようなことから、本サブテーマでは、特に国家レベルで資源効率性・循環経済戦略を策定しているEUや欧州主要国（イタリア、イギリス、ドイツ、フランス等）を対象として、各国の資源効率性および循環経済政策関連文書および政策モニタリング関連文書のレビューを行った。なお、研究実施期間中に改定されたものについては最新のものを採用した。これに加え、EUでの循環経済モニタリング指標改定の方針を示したEEA and ISPRAによるBellagio Declaration-Circular Economy Monitoring Principles（2020）の内容や関連の政策文書等も確認した。また、補完的に各国（欧州環境庁、ドイツ、イタリア）の資源効率性・循環経済指標担当者へのインタビューを実施した。これらをもとに、EUや欧州主要国における政策評価ないしはモニタリングに利用されている指標の分類・定義・指標算出のためのデータの詳細などをデータベースとして整備した。また、各国の指標設定状況や国際的な政策動向を踏まえて、政策目的と設定指標との対応等について整理し、指標分類や設定指標の共通性など指標体系の整理、比較分析を行った。この際、サブテーマ1で提示する物質ライフサイクルの6つの断面を使用した。

さらに、SDGsや各国との値の比較、各国の設定状況なども踏まえ、日本の一般廃棄物リサイクル率／欧州の都市廃棄物リサイクル率、日本の入口側循環利用率／欧州の循環物質利用率を対象として、詳細な比較検討を行い、その国際比較における留意点を整理した。なお、前者については、サブテーマ1において、欧州の定義に近づけた日本の一般廃棄物リサイクル率を試算した。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

(1) 「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」を計測するための物質ライフサイクルの6つの断面と指標の提案（サブテーマ1+サブテーマ3）

表1.8に示すように、資源循環の形態はその活動（発生抑制、再使用、再生利用）及び対象物（副産物、使用済み部品、使用済み製品）から大きく3つに分類される。第1が「○副産物の発生抑制・再生利用（含熱回収）」である。副産物については明確に定義することが難しく、採用される副産物の定義によって計測される発生量や再生利用量が変わるという問題がある。これについては、生産工程全体で投入された原材料のうちどれだけが有効に利用されたかを計測することが適切と考えられる。第2が「◎使用済み部品・製品の発生抑制、使用済み製品の再使用」である。後者の「使用済み製品の再使用」については、この量（中古家電、古着等の中古製品の利用量等）を計測すること自体にはあまり意味がなく、製品の長期使用の状況を計測することが適切と考えられる。第3が「●使用済み部品の再使用・再生利用（含熱回収）、使用済み製品の再生利用（含熱回収）」である。使用済み製品＝廃棄され処理工程に投入されたものという意味で定義が明確であり、その発生量や再使用量・再生利用量（含熱回収量）にあいまいさが無い。今後普及が期待されるリマニュファクチャリングについては、再使用された部品量を計測していくことが望ましいと考えられる。また、製品の一部という観点では、リターナブル容器等もその量を計測していくこと適当と考えられる。これらを計測する断面を整理すると、図1.1及び表1.9に示す断面2～5が抽出される。これに、循環型社会づくりの目的（天然資源の消費抑制と環境負荷の低減）を計測する断面1及び6を加えた6つの断面に着目することが有益である。

表1.10は、サブテーマ3のレビューも踏まえつつ、これらの断面ごとに指標の案を示したものである。ここでは、各断面における指標を主要指標、補助指標、個別分野指標（参考指標）で構成した。第4次循環基本計画においては、代表指標、補助指標の分類があるが、補助指標の中に個別分野の雑多な指標が多く含まれていることから、ここではそれを区別している。第4次循環基本計画では約120の指標を用い

てその進捗を計測しているが、指標が多すぎるとの指摘もあり、基本計画における主要なモニタリングは、表1.10に示す補助指標のレベルまででよいと考えられる。主要指標や補助指標の推移を解釈する際に、必要に応じて個別分野指標（参考指標）を参照することが適切である。主要指標は太字で示しているが、現状の廃棄物統計では副産物と使用済み製品を区別することが難しいことから、断面2、3、5についてはその代替的な指標を併せて提示している。また、断面6では、気体・液体も含めた「環境への廃物廃棄量」としているが、資源循環の文脈では「廃棄物の最終処分量」がその代替的な指標になる。後述の（6）で報告するように、欧州では断面2に合致する「使用後リサイクル投入率」といった指標も提案されており、本研究で示すような、使用済み製品の原材料利用を副産物のそれと区別する方向性が見られる。今後、こうした指標に基づき、物質循環の状態を評価していくことが有益である。

表1.8 物質循環の形態の類型

活動 \ 対象物	副産物	使用済み部品	使用済み製品
発生抑制	○	◎	◎
再使用（製品）			◎
再使用（部品）		●	
再生利用（含熱回収）	○	●	●

○副産物の発生抑制・再生利用（含熱回収）／◎使用済み部品・製品の発生抑制、使用済み製品の再使用／●使用済み部品の再使用・再生利用（含熱回収）、使用済み製品の再生利用（含熱回収）

表1.9 物質循環の6つの断面で計測するもの

物質循環の6つの断面	計測するもの
1.環境からの資源投入	環境からの資源投入の状況
2.生産工程への原材料投入	●の状況（投入側）
3.生産工程での原材料利用	○の状況
4.製品の使用	◎の状況
5.使用済み製品の処理	●の状況（排出側）
6.環境への廃物廃棄	環境への廃物廃棄の状況

○◎●は表1.8に同じ。

表1.10 物質ライフサイクルの6つの断面に基づく指標群(案)

	1. 環境からの資源投入	2. 生産工程への原材料投入	3. 生産工程での原材料利用	4. 製品の使用	5. 使用済み製品の処理	6. 環境への廃物廃棄
主要指標 (代替指標)	- 天然資源等投入量	- 使用済み製品の入口側の循環利用率 - (入口側の循環利用率)	- 原材料の有効利用率 - (減量・処分される産業廃棄物量)	- 物質の利用時間	- 使用済み製品の出口側の循環利用率 - (出口側の循環利用率)	- 環境への廃物廃棄量 - (廃棄物の最終処分量)
補助指標	- 一次資源等価換算した天然資源等消費量 - 再生可能資源の投入量			- 物質のストック量 - 利用可能な二次資源のストック量	- 一般廃棄物の循環利用率 - 産業廃棄物の循環利用率	- 一般廃棄物の最終処分量 - 産業廃棄物の最終処分量
個別分野指標 (参考指標)	(例) - 産業分野別の資源生産(一次資源等価換算)	(例) - 古紙利用率		(例) - 主要製品の利用時間	(例) - びんのリユース率 - 特定家庭用機器再商品化率	

注) 主要指標は太字で表示。断面2、3、5、6については代替的な指標を併せて提示。

(2) 物質ライフサイクルの6つの断面を計測するための物質フローデータベースの構築 (サブテーマ1)

日本の物質フローにおける主要な物質（ポリ塩化ビニル、鉄、岩石・砂利、農産物、木材）について、副産物と使用済み製品を区別する物質フロー・ストックデータを作成し、継続的に指標算定が可能となるデータベースを整備した。

整備したデータのうち、木材を例に物量投入産出表のイメージを表1.12に示す。本研究では対象物質ごとに、このような形で時系列のデータベースを作成した。木材の場合、本表は、行に46製品・副産物・廃棄物・資源、列に39経済活動部門からなる。統計情報間での差異、推計値間での差異等があり、行方向、列方向とも必ずしも物質収支は合わないが、できる限りの調整を行っている。

また、同データを用いて木材の物質ライフサイクルの6つの断面に基づく主要指標（案）（表1.10において太字で示す指標）を適用した結果を図1.8～図1.10に示す。図1.8に示す木材の利用量（断面1）は1990年頃から減少傾向にあるが、環境への廃物廃棄量（断面6）は木材のエネルギー利用の増加で2010年以降増加傾向と推計された（二酸化炭素としての大気への排出を含むため）。図1.9に示す副産物の利用（断面3）に大きな変化は見られない一方、使用済み製品の利用（断面2と5）は古紙や建設発生木材のリサイクルの促進により大幅に増加しており、このことも木材の利用量（断面1）の減少に一定貢献しているものと考えられる。図1.10に示すように、経済社会の中での木材の利用時間（断面4）も増加傾向にあるが、これは木造住宅の寿命が長くなってきているためと考えられ、これも木材の利用量（断面1）の減少に一定貢献しているものと考えられる。物質ライフサイクルの6つの断面に着目することで、こうした多面的検討が可能となる。

このほか、表1.10に示す補助指標のうち、「物質のストック量」「利用可能な二次資源のストック量」についても試算結果を示した。ストックについては、第4次循環基本計画において引き続き検討が必要な指標の課題「社会に蓄積されている物質ストックに関する指標の開発」として示されているものであり、これに対応するものとして試算を行った。

表1.12 2000年の木材を例とした物量投入産出表のイメージ

[illegible]

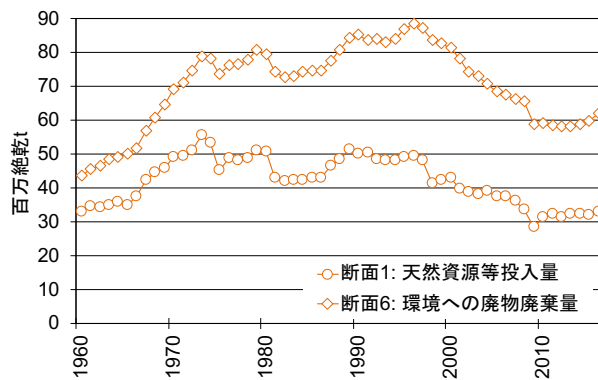


図1.8 木材を対象とした「天然資源等投入量」「環境への廃物廃棄量」の推計結果

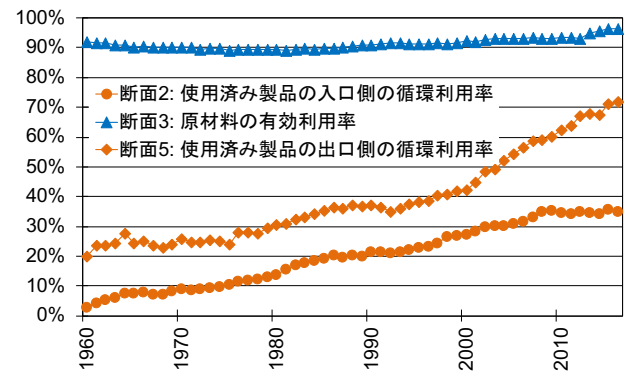


図1.9 木材を対象とした「使用済み製品の入口側の循環利用率」「原材料の有効利用率」「使用済み製品の出口側の循環利用率」の推計結果

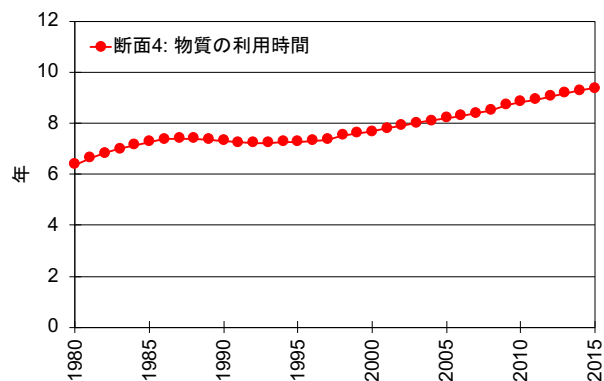


図1.10 木材を対象とした「物質の利用時間」の推計結果

(3) 国内における資源循環促進の環境・経済・社会側面の評価手法（サブテーマ2+サブテーマ3）

国内における資源循環の促進がもたらす影響の環境・経済・社会側面を、サプライチェーンの川上および川下を考慮して評価する手法を開発し、2つの取組事例（廃プラスチックの国内リサイクルと林地残材の地域内有効利用の促進）の影響を評価した。主としてサプライチェーンの川上を考慮する手法は、国産品と輸入品を区別した産業連関分析に基づくものであり、構築したシナリオごとに、環境面の指標（CO₂排出量の削減）、経済面の指標（所得の維持）、社会面の指標（雇用者数の維持、輸入額（資源調達の海外依存度）の低減）を算定することができる。これらの指標はサブテーマ3のレビューを参考に選定した。算定された複数の指標を用いた統合的評価においては、いくつかのライフサイクル持続可能性評価（life-cycle sustainability assessment: LCSA）の研究で採用されたような単一指標への集計は行わず、複数の指標を組み合わせるシナリオを評価した。具体的には、各シナリオを基準シナリオと比較して、雇用の維持、海外依存度の低減、所得の維持という社会経済条件の下で、CO₂排出削減量の最大化を評価基準として、4つの指標を組み合わせる統合的評価を実施した。

図2.2には、廃プラスチックの国内リサイクル促進に係るシナリオにおける各指標の値から、基準シナリオ（単純焼却と埋立）における指標の値をそれぞれ引いた差を、指標ごとに最良の値で割って基準化した結果を示す（上記4つの指標のうちCO₂排出削減量を国内と世界に分割した5指標を示している）。上述の統合的評価の方法により、鉄鋼業（銑鉄部門）におけるリサイクルが、6つのシナリオ（銑鉄、石油製品、化学繊維、プラスチック製品、自家発電の各部門によるリサイクル、およびエネルギー回収を伴う焼却と埋立）の中で最も優れた（上記の社会経済条件の下でCO₂排出削減量を最大化する）シナリオであると評価された。

銑鉄部門によるリサイクルの実現に必要な、同部門のサプライチェーンの川下に位置する産業を考慮する手法として、マルコフ連鎖モデルを産業連関表に適用する手法を開発した。その手法を用いて、銑鉄部門の生産をサプライチェーンの川下で支える最終需要の寄与を算定した結果を表2.5に示す。同定さ

れた項目別部門別最終需要の寄与分のうち「その他」を除いて最も大きいのは、熱間圧延鋼材の輸出（22.5%）である。リサイクルをさらに促進するためには、このように寄与の大きい最終需要（この評価事例では、熱間圧延鋼材の輸出）の動向に注意する必要がある、場合によってはそうした最終需要を増やすことが、必要な変化の候補と考えられる。ただし、その結果として生じ得る環境負荷（CO₂排出量の増加など）も考慮して、資源循環に向けた取組を検討すべきと言える。

以上のように、本研究で開発した手法は、資源循環の促進に伴うプラスとマイナスの影響の評価、資源循環を支える需要を考慮した対策の検討に貢献し得るものである。

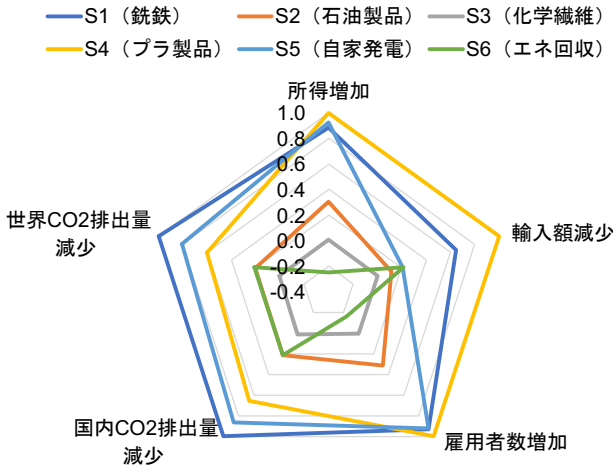


図2.2 廃プラスチック循環利用促進のシナリオ評価結果

表2.5 鉄部門の生産を誘発する最終需要

	消費	投資	輸出	合計
熱間圧延鋼材			22.5%	22.5%
乗用車	2.6%		5.4%	8.1%
鋼船			2.8%	2.8%
冷間仕上鋼材			2.4%	2.4%
鋼管			2.4%	2.4%
非住宅建築（非木造）		5.5%		5.5%
住宅建築（非木造）		3.9%		3.9%
建設補修		2.7%		2.7%
その他の土木建設		2.6%		2.6%
道路関係公共事業		2.2%		2.2%
その他	6.1%	20.1%	18.7%	44.8%
合計	8.7%	37.0%	54.3%	100.0%

環境・経済に関わる資源生産性指標については、産業連関分析の応用により、産業分野別の直接資源投入量（DMI）および産業分野別の一次資源等価換算した総物質投入量（RMI）を改善する手法を開発した。具体的には、開発した手法を将来に渡って適用する際のデータ整備の可能性も考慮して、日本の産業連関表（延長産業連関表も含む）および環境省による「我が国の物質フロー」のために整備されたデータベースを、主たるデータとして用いる手法とした。延長産業連関表の部門分類と貿易統計の商品分類のあいだの対応付けを詳細に検討して、対応の精度を向上した。また、産業連関表に含まれる屑・副産物のフローとその他のフローを区別して扱う手法を開発した。さらに、輸入資源・商品の一次資源等価換算に必要なサプライチェーンの遡及計算については、産業連関分析において広く用いられている国産技術仮定（海外で生産された商品であっても、国内と同じ技術により生産されたとする仮定）をすべての商品に適用するのではなく、一部の商品だけに適用した。すなわち、国産技術仮定のメリット（海

外技術の詳細なデータ収集を省略できる)を維持しつつも、その仮定による推定結果の偏りが大きいと予想される商品については、Eurostatから得られる一次資源等価換算係数を用いて推計手法を改善した。開発した手法を2000年から2017年の産業分野別のDMIおよびRMIの推計に適用し、2017年のRMIは26億トンであり最も大きい部門は機械部門で6.7億トンと推計された。2017年のDMIである13億トンのなかで最も大きい部門はその他の建設部門の2.7億トンであった。また、2000年のRMIは29億トンであり最も大きい部門は公共事業部門で6.1億トン、DMIである19億トンのなかで最も大きい部門は公共事業部門の5.6億トンと推計された。DMI、RMIの合計値を比較すると2000年から2017年にかけてDMIは約3割減少したのに対して、RMIの減少率は約1割に止まると推計された。この間のDMIの減少に対して、間接的な資源消費も含めたRMIは、それほど減少していないことが示唆される。

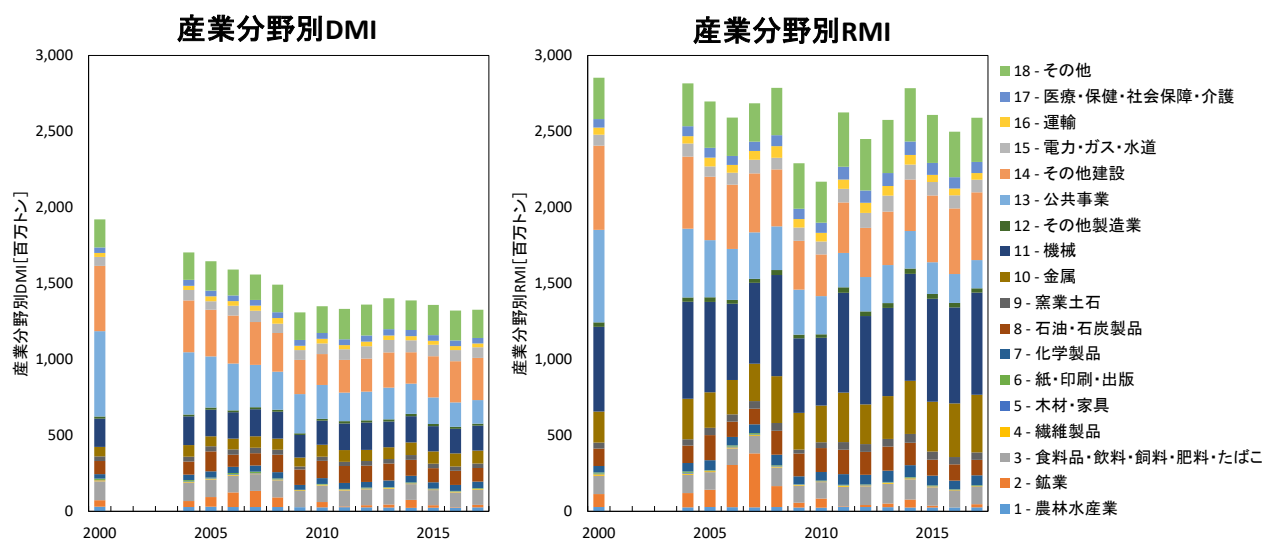


図2.4 産業分野別のDMI・RMIの推計結果

(4) 循環型社会ビジネスの市場規模の推計範囲の拡張 (サブテーマ2+サブテーマ3)

欧州の循環経済 (CE) に関する13文献の調査 (サブテーマ3からのインプットとして、欧州各国 (独、伊、英、仏) のCE戦略・計画も含む) から、日本の循環型社会ビジネスの市場規模推計に追加すべき項目を提示した上で、経済産業省・環境省 (2021) サーキュラー・エコノミーに係るサステナブル・ファイナンス促進のための開示・対話ガイダンスでの取組の類型化などCEの文脈を踏まえて市場規模の内訳を示す2つの分類案 (循環型ビジネスの取組形態にもとづく分類、循環型ビジネスが提供する「価値」にもとづく分類) を提案した (図2.5、図2.6)。

環境保全型農業、持続可能な森林整備・木材製造、バイオプラスチック、シェアリング (従来含まれていたカーシェア以外のフリマアプリや民泊・スペースのシェアにも拡大)、ビッグデータ・ブロックチェーン活用など、新規追加項目の市場規模について収集した文献値等も含めて、日本の循環型社会ビジネスの市場規模の積算をしたところ、基準年の2000年度に42.9兆円、2019年度には66.4兆円と推計され、基準年の2000年度については、現行の方法よりも数兆円上積みされた。また、内訳を見ると、図2.5の分類においては、製品等の長期使用・有効利用に資する「Reuse/ Efficient use」に該当するものの市場規模が大きく、「Recycle」のカテゴリでは第4次循環基本計画の目標値 (2025年度に2000年度の約2倍) に近い市場規模の伸びがあった。また、図2.6の分類においては、「循環型の価値再生モデル」及び「循環型の使用モデル」に該当する項目が大半を占めるとともに、ビッグデータ (予防保全、発注最適化) が寄与して「循環のサポート」の伸びが非常に大きかった。図2.6の「循環型の設計・生産モデル」や「循環のサポート」、図2.5の「Reduce」に相当する部分がデジタル活用・DXによって今後大幅に伸びる可能性があることが示唆される。

今後の大幅な伸びが期待される資源循環分野のデジタル活用・DXについては、対象範囲の特定や、統

計の未整備、データの切り分けが難しいなどの課題がある。一方ではシェアリングや3Dプリンターなどの新しいサービスや技術の市場規模については、民間の調査会社でも市場規模の推計を行っている例がある。日本の循環型社会ビジネスの市場規模推計にあたっては、すべての数字を官公庁の統計で補足することには限界があり、民間の調査会社のデータやマーケットレポートなどを活用することで、官の調査・統計を待たずに市場規模を推計できると考えられる。

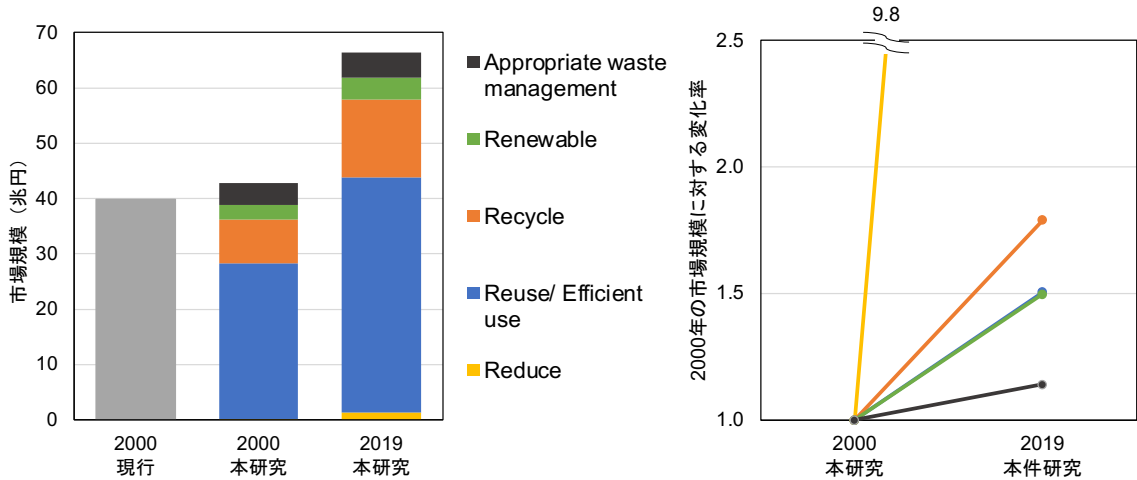


図2.5 市場規模の推計結果（環型ビジネスの取組形態（3R+Renewable）にもとづく分類）

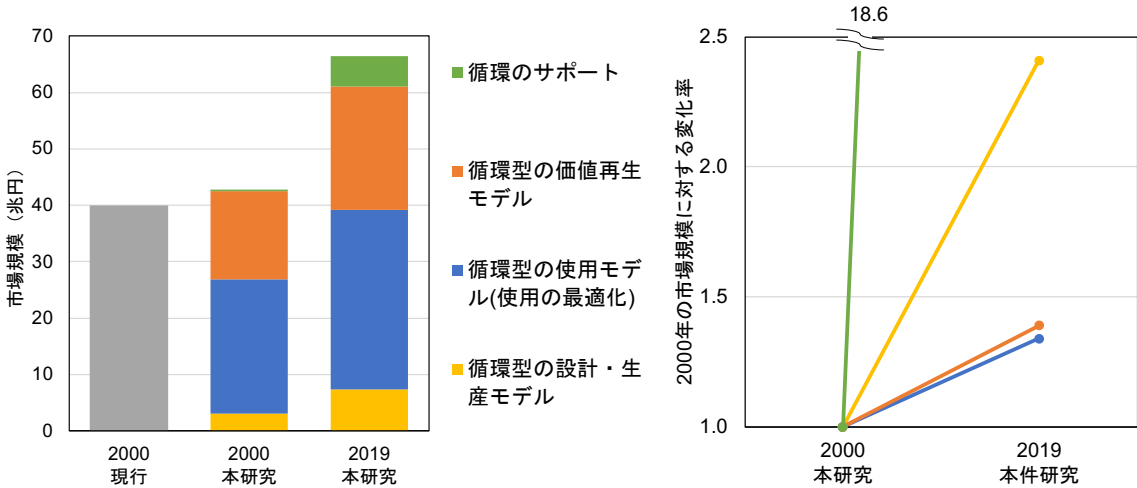


図2.6 市場規模の推計結果（循環型ビジネスが提供する「価値」にもとづく分類）

（5）循環経済関連指標のデータベース（サブテーマ3+サブテーマ1）

欧州連合、ドイツ、イタリア、フランス、イギリスといった資源効率性や循環経済に関する国家レベルの政策および指標を設定する地域・国を対象とし、指標の定義・算出方法等をデータベースとしてまとめ、必要に応じて参照、活用可能な形で整理した。本データベースは、今後第5次循環基本計画における指標の検討や、循環経済指標の国際比較可能性向上の検討、指標の設定を検討する自治体や民間企業にとっての基礎情報として活用可能である。研究代表者に問い合わせをいただければデータを提供するが、今後ウェブサイトでの公表を行う予定である。

整理した情報を基に、政策目的と設定指標との対応、指標分類の観点や設定指標の共通性など指標体系の比較分析を行った。比較分析のため、情報を、環境（廃棄物減少、資源枯渇、資源消費削減、資源効率性・資源循環および環境影響削減、気候変動緩和）、経済（経済成長、競争力、イノベーション、ビジネス機会）、社会（雇用・福祉（Well-being）、社会統合）分野に分けて整理を行った。環境分野は、さらに、サブテーマ1で提示した物質ライフサイクルの6つの断面とその他（主に環境影響）に分けて整

理した。なお、資源効率性を評価する主要な指標として資源生産性があるが、国によって、環境分野と経済分野に設定が分かれるため、独立した項目とした。

表3.5に示すとおり、設定指標の分類は、全体として、おおよそ、供給、生産、消費、リサイクル/廃棄物管理、環境影響（フットプリント、GHG）といったライフサイクル全体の物質フローや環境影響に関する分類（以上、環境分野）に加えて、社会、経済という分類が設定され、その中に各種具体的な指標が設定されている体系の国が多かった。具体的な設定指標は、環境分野では、リサイクル率や資源の投入と排出に関わる物質フロー指標とともに一次資源等価換算消費量（マテリアルフットプリント、RMC）に関連する指標、循環物質利用率など再生材の活用に関する指標、修理や調達等消費・廃棄物発生抑制に関する指標、の設定が多い傾向が見られた。断面2「生産工程への原材料投入」については、資源投入量に対する再生材（2次原材料）の使用に着目した指標、すなわち日本の循環基本計画やサブテーマ1で提案する「使用済み製品の入口側の循環利用率」と類似した指標を設定する動きがみられた。なかでも「使用後リサイクル投入率（EOL-RIR）」は、EU経済への全原材料投入に対するold scrap由来の二次原材料（再生材）の比率を計測するものであり、副産物を含まず使用済み製品に着目した指標となっている。これはサブテーマ1が提案する「使用済み製品の入口側の循環利用率」に対応するものである。また、サブテーマ1の断面3「生産工程での資源利用」に着目した指標は見られなかった。加えて、カーボンフットプリントなど循環経済を通じた気候変動影響緩和の観点を含む環境影響に関する指標を設定する国も確認できた。また、社会経済分野については、競争力・経済成長・雇用等の政策目標に関連し、雇用や循環経済の規模（投資、売上等）等の指標を設定している国があった。

表3.5 指標体系分析要旨

指標分類/観点		サブ1 断面	設定共通度	体系比較分析要旨
資源生産性			対象国の多くが設定	対象国以外でも採用国多い。位置づけ（持続可能な開発/CE/RE）にばらつきがあるが、計算方法（EW-MFA）の共通性は高い。
環境	供給	1,2	対象国の多くが物質フロー指標設定	国内物質消費量、一次資源等価換算（マテリアルフットプリント）指標の採用傾向、計算方法（EW-MFA）の共通性は高い。循環利用率（入口）（再生材関連指標）：国によってアプローチ異なるが、使用済み製品の利用のみに着目するものもある。
	生産・消費	3,4	設定あるが内容にばらつきあり	修理・再使用・調達などに関する指標が多いが、指標定義・内容はばらつきがある。サブテーマ1断面3に着目したものはない。
	リサイクル 廃棄物管理	5,6	対象国の多くが設定	主に、リサイクル率・量、廃棄物発生量など。個別分野では、食品やプラスチック。定義や計算方法の差異に課題。
	環境影響		対象国の一部で設定	フットプリント（特にカーボンフットプリント）、土壌など
社会経済			対象国の一部で設定	循環経済産業の雇用・売上高・投資など

（6）一般廃棄物リサイクル率、入口側循環利用率の国際比較に向けて（サブテーマ3+サブテーマ1）

日本の一般廃棄物リサイクル率／欧州の都市廃棄物リサイクル率、及び日本の入口側の循環利用率／欧州の循環物質利用率を対象とし、指標の国際比較可能性の向上に向けた分析を行った。

EUの都市廃棄物リサイクル率については、2018年に発表された廃棄物改正指令（2018/851）およびそれに続き公表されたガイダンスにおいて、都市廃棄物リサイクル量は、製品、材料、または物質に再投入する工程に入った量、すなわちさらなる処理が行われずに二次原料として販売される段階、再利用の工程に入った段階で測定される（表3.7）。したがって現段階では、制度上、リサイクル量の計測段階について我が国の一般廃棄物リサイクル量の計測段階と大きな差はないと考えられる。一方で、主に、家電4品目、民間回収品、事務所・学校等から廃棄される廃プラスチック（産業廃棄物に相当）など、日本では廃棄物量・リサイクル量として計算に含まれない物量や、エネルギー回収など、分母（都市廃棄物発生量）・分子（リサイクル量）に当たる数値の対象範囲に違いがあると考えられる。

なお、サブテーマ1において、回収主体の違いに着目し、民間回収も含めた日本の一般廃棄物の資源化

量及びリサイクル率を試算したところ、2019年度で30.3%と推計され、政府統計で報告されている19.6%より10ポイント程度高くなった（図1.18、図1.19）。推計された未把握の資源化量は、これを含む資源化総量の45%程度であり、ほとんどは民間による古紙回収であった。

表3.7 EUの都市廃棄物リサイクル率計算方法に係る関連項目概要

都市 廃棄物 定義	発生源	家庭・庭・市場、公園・道路清掃、商業・貿易、中小企業、オフィスビル・施設（学校、病院、公共施設）	
	回収 主体	民間・公共を問わず（自治体代理でない民間事業者や非営利機関の直接回収、通常の廃棄物サービスがない僻地での発生含む）	
	対象物	紙や段ボール、ガラス、金属、プラスチック、有機性廃棄物、木材、繊維、包装、電気電子機器、廃電池・蓄電池、粗大ごみなどの分別収集廃棄物・混合廃棄物；（生産、農業、林業、漁業、浄化槽、下水清掃・下水処理からの廃棄物は含まれない。）	個別事項 ● 有機性廃棄物：好気性処理または嫌気性処理に入る生分解性の都市廃棄物量は、その処理が堆肥・消化物またはリサイクル製品・材料・物質として使用される投入物に関し、リサイクルされた物と同等量の産出・生成がなされる場合、リサイクル量として算出される。 ● その他：廃棄物の燃料・エネルギー利用はリサイクル量から除外、焼却灰からの金属回収、再処理前の準備作業の残差の再活用・リサイクルはリサイクル量として算出、他の加盟国・EU域外へ移送された廃棄物は一定条件を満たしたもののみリサイクル量として算出する。
リサイ クル率	分母	都市廃棄物発生量	
	分子	都市廃棄物のうち、製品、材料、物質に再投入する工程に入った量	

出典 EC(2018), EC(2021)など

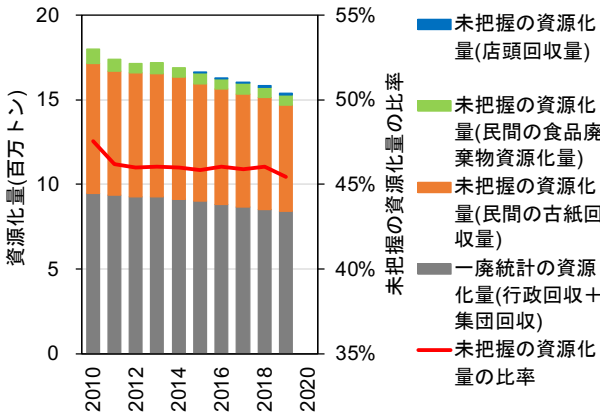


図1.18 一般廃棄物の再資源化量の推計結果

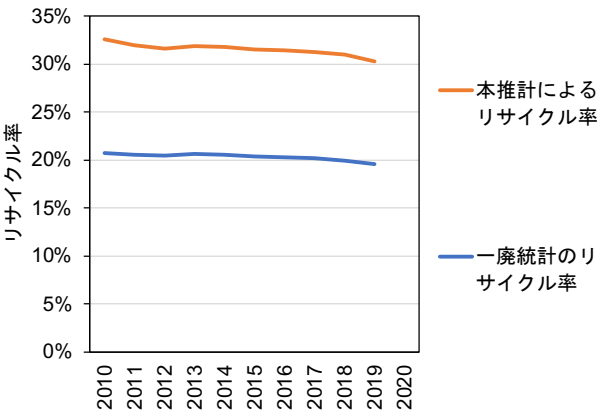


図1.19 統計上のリサイクル率と本推計によるリサイクル率

表3.8 EU循環物質利用率（circular material use (CMU) rate）定義概要

計算方法	分子=U	分母=M
CMU= circular use of materials/ overall material use =U/M	$U = RCV_R - IMPw + EXPw$ RCV_R is the waste recycled in domestic recovery plants and it comprises the recovery operations R2 to R11 – as defined in the Waste Framework Directive 75/442/EEC.	$M = DMC + U$

また、我が国の入口側の循環利用率とEU、フランス、フィンランドなどにおいて設定されている循環物質利用率（circular material use (CMU) rate）を比較したところ、以下のような違いが見られた。定義は各国EUの定義に沿っていると判断されたため、欧州統計局で提示されている表3.8に示す内容を参照した。

まず、日本の分子にあたる循環利用量には、副産物が含まれているが、EUの定義では、廃棄物枠組み指令（2018/851）において、waste（廃棄物）とby products（副産物）は明確に区別され、副産物は含まれ

ないと考えられた。この他、日本の自然還元量は、欧州ではリサイクル量の対象となりうること、日本の循環利用量で一部対象となっているエネルギー回収は欧州では対象とならないこと等の差異が生じうる。また、分母については、DMI（日本）とDMC（EU）、つまり生産か消費かの観点が異なっている。

一般廃棄物リサイクル率、入口側の循環利用率において、いずれも有価の使用済み製品（物質）、副産物を、循環経済や資源効率性の枠組みの中でどのように整理するかという点が国際比較可能性の向上にむけて重要な観点の一つとなる。

5－2．環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

- ・ 環境省が設置する「循環基本計画に関する指標検討ワーキンググループ」において本研究の成果を報告し（2020年10月29日）、ワーキンググループでの指標検討の材料とした。その後の検討においても、随時成果を踏まえたインプットを行い、具体的には以下のような貢献をした。
- ・ 当該ワーキンググループにおいて、一次資源等価換算に係る各指標の推計方法について検討がなされ（2020年10月29日、2021年2月12日、2021年3月8日）、本研究において検討した改善手法が採用された。
- ・ 当該ワーキンググループにおいて、「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」の指標を中心とした有効性の点検について検討がなされ（2021年12月15日、2022年2月25日）、本研究で提示するようなライフサイクルの各段階で指標を整理することとし、当該整理が中央環境審議会循環型社会部会（第40回）の資料1-1（p.12-14）として提出された。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

- ・ 今後、第4次循環基本計画の進捗点検や第5次循環基本計画における指標策定において、以下のような活用が見込まれる。
- ・ サブテーマ1では、基本計画の中長期目標である「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」に関して、物質ストックを含めた物質循環の6つの断面をモニタリングすることで、より体系的・網羅的に現状を把握・分析する枠組みを提示したが、こうした視点を指標体系に導入することが期待される。上記<行政等が既に活用した成果>に記載したように、すでにそうした観点からの指標の整理が試みられている。また、主要物質についてはデータベースを構築したことから、これを更新しつつ個別分野の状況把握を継続することが期待される。
- ・ サブテーマ2では、環境・経済・社会の統合的取組に関する評価手法として、資源循環の促進に伴うプラスとマイナスの影響を事前あるいは事後に評価する手法を提示したが、地域循環共生圏の形成の効果等を客観的に示す際に本手法を活用することが期待される。また、近年の動向も踏まえて循環型社会ビジネスの市場規模の対象範囲の拡張を提案したが、試算結果等も参考にこれを具体的な調査に落とし込み、より適切な形で循環型社会ビジネスの市場規模を把握することが期待される。
- ・ サブテーマ3では、循環経済の指標データベースを構築したことから、第5次循環基本計画における指標策定の参考情報として活用することが期待される。また、G7・G20レベルの議論においても指標開発・設定が資源効率性・循環経済アジェンダにおいて重要対策分野とされており、今後の国際議論のための基礎情報としての活用も期待される。国以外の自治体、企業においても活用可能なように、今後ウェブサイトでの公表を行っていく。また、一般廃棄物のリサイクル率、入口側の循環利用率について定義の違い等を詳細に比較し、回収主体の範囲を欧州と整合させる形で日本のリサイクル率の再推計を行ったが、これらをもとに正当な国際比較が可能となるよう各国との調整や国内でのデータ整備を行っていくことが期待される。

5－3．研究目標の達成状況

「3．研究目標」に対応した達成状況を以下に記す。

サブテーマ1では、資源循環の形態とその計測上の特徴を整理して、各資源循環の形態を物質ライフサイクルの6つの断面で捉える根拠を提示するとともに、サブテーマ3のレビューも踏まえつつ、物質ライフサイクルの6つの断面にもとづく指標群を提案した。また、主要な物質5品目（ポリ塩化ビニル、鉄、岩石・砂利と関連資源、農産物、木材）について、6つの断面にもとづく主要指標が算定できるように物質フロー・ストック分析を実施し、物量投入産出表のデータベースを構築した。さらに、サブテーマ3におけるリサイクル率の定義の検討を踏まえ、欧州の都市廃棄物リサイクル率の定義に近づけた日本の一般廃棄物リサイクル率を推計した。最後の項目は、当初計画にはなかったものであり、追加的な成果として示すことができたことから、「目標を上回る成果をあげた」と考えられる。

サブテーマ2では、資源循環の環境・経済・社会への影響評価手法として、産業連関分析に基づく手法を開発・提案し、これを主要な資源循環の取組のシナリオ2例（廃プラスチックの国内でのリサイクル促進、および林地残材の地域内での有効利用促進）に適用した分析を行い、その有用性を示した。また、循環型社会ビジネスの市場規模の推計に関して、循環経済の議論を踏まえた市場規模推計範囲の拡大（積算項目の追加）を提案し、循環経済の文脈に沿った新たな分類の検討、追加を提案した項目の市場規模のデータ探索や推計方法の整理を実施し、基準年と最新年の2カ年分の市場規模の積算を実施した。以上から、「目標どおりの成果をあげた」と言える。

サブテーマ3では、新たに発表される各国の指標事例を対象に追加しつつ、指標のデータベース作成を行うとともに、指標体系（指標を分類する観点、設定指標）の共通性について比較分析を行った。さらに設定指標を規定する要因の分析を試み、我が国の今後の指標検討に向けた示唆を整理した。これに加え、一般廃棄物／都市廃棄物のリサイクル率、入口側の循環利用率／循環物質利用率を対象としてその詳細な比較分析と国際比較可能性を向上させるための視点の検討を実施したことから、「目標どおりの成果をあげた」と考えられる。なお、サブテーマ3の成果は、随時サブテーマ1及び2に提供し、研究テーマ全体として成果をあげることに貢献した。

全体として、第4次循環基本計画で掲げられている主要な課題、a) 物質ストックの活用を含めたライフサイクル全体での徹底的な資源循環に関する指標、b) 環境・経済・社会の統合的取組に関する指標、c) 指標の国際比較可能性、に対し、一定の成果を提示することができ、第4次循環基本計画の進捗点検にも成果の一部がすでに活用されている。今後第5次循環基本計画における指標策定や指標の国際的な発信へ貢献できると考えられることから、「目標どおりの成果をあげた」と言える。

6．研究成果の発表状況

6－1．査読付き論文

<件数>

11件

<主な査読付き論文>

- 1) 三俣陽太郎、橋本征二：土木学会論文集 G（環境）、Vol.75、No.6、pp.II_7-II_15（2019）
日本におけるポリ塩化ビニルの二次埋蔵量の評価
- 2) Dente, S.M.R., C. Kayo, C. Aoki-Suzuki, D. Tanaka, and S. Hashimoto: Journal of Cleaner Production, Vol.257, 12038875 (2020) (IF: 9.297)
Life cycle environmental impact assessment of biomass materials in Japan
- 3) 谷川寛樹、山本大陸、山下奈穂、白川博章：土木学会論文集G（環境）、Vol.76、No.6（2020）
日本全国の利用度別物質ストックの定量化～住宅におけるケーススタディー

- 4) Tanikawa, H., T. Fishman, S. Hashimoto, I. Daigo, M. Oguchi, A. Miatto, S. Takagi, N. Yamashita, and H. Schandl: Journal of Cleaner Production, Vol.285, 125450 (2021) (IF: 9.297)
A framework of indicators for associating material stocks and flows to service provisioning - Application for Japan 1990–2015
- 5) Aoki-Suzuki, C., S.M.R. Dente, D. Tanaka, C. Kayo, S. Murakami, C. Fujii, K. Tahara, and S. Hashimoto: Journal of Industrial Ecology, Vol.25, No.6, pp.1474-1485 (2021) (IF: 6.946)
Total environmental impacts of Japanese material production
- 6) Vilaysouk, X., S Saypadith, and S. Hashimoto: Journal of Industrial Ecology, Vol.26, No.1, pp.72-87 (2022) (IF: 6.946)
Semi-supervised machine learning classification framework for material intensity parameters of residential buildings

6－2．知的財産権

特に記載すべき事項はない。

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）	0 件
口頭発表（学会等）	64 件
「国民との科学・技術対話」の実施	0 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	10 件

7．国際共同研究等の状況

- 1) プラスチックのマテリアルフローに関する国際比較研究：イタリア・University of BolognaのLuca Ciacci助教及び中国・同済大学のTao Wang准教授とともに、欧州、中国、日本におけるプラスチックのマテリアルフロー・ストック分析とそれに基づく潜在的な二次資源量に関する国際比較研究を実施。

8．研究者略歴

研究代表者

橋本 征二

京都大学大学院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

研究分担者

1) 近藤 康之

早稲田大学政治経済学部卒業、博士（社会経済）、現在、早稲田大学 政治経済学術院 教授

2) 栗生木 千佳

東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、政策研究大学院大学国際開発学修士課程修了、現在、地球環境戦略研究機関 持続可能な消費と生産領域 主任研究員

II. 成果の詳細

II-1 物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案と適用

立命館大学

理工学部環境都市工学科

橋本 征二

名古屋大学

環境学研究科都市環境学専攻

谷川 寛樹

環境学研究科都市環境学専攻

奥岡 桂次郎（平成31年度9月まで）

<研究協力者>

立命館大学

理工学研究科環境都市専攻

松田 敏明

名古屋大学

環境学研究科都市環境学専攻

山下 奈穂（平成31年度10月より）

[要旨]

我が国の物質フロー指標は、現在「入口」「入口側循環」「出口側循環」「出口」の4つの断面で捉える形態となっているが、第4次循環型社会形成推進基本計画において、循環型社会形成に向けた取組の中長期的な方向性の1つとして示された「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」を推進していくためには、物質ライフサイクルでのより詳細な情報の把握が必要と考えられる。本サブテーマでは、物質ライフサイクルの6つの断面（1.環境からの資源投入、2.生産工程への原材料投入、3.生産工程での原材料利用、4.製品の使用、5.使用済み製品の処理、6.環境への廃物廃棄）にもとづいて、物質フロー・ストックに関わる指標を整理し、指標群として提案した。指標群は、主要指標、補助指標、個別分野指標（参考指標）で構成され、現状の廃棄物統計では把握しにくい指標については、その代替的な指標を併せて示した。また、鉄、岩石・砂利、木材等の主要な物質について、6つの断面で指標算定が行えるように物質フロー・ストック分析を実施し、物量投入産出表として取りまとめるとともに、提案した主要な指標を適用して、指標の適用可能性や有用性を検証した。木材の事例では、副産物の利用（断面3）に大きな変化は見られない一方、使用済み製品の利用（断面2と5）は古紙や建設廃棄物のリサイクルの促進により大幅に増加するとともに、経済社会の中での木材の利用時間（断面4）も増加傾向にあることから、これらが木材の利用量（断面1）の減少に一定貢献していること等を示した。

1. 研究開発目的

我が国の物質フロー指標は、現在「入口」「入口側循環」「出口側循環」「出口」の4つの断面で捉える形態となっているが、第4次循環型社会形成推進基本計画（以下、循環基本計画）において、循環型社会形成に向けた取組の中長期的な方向性の1つとして示された「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」を推進していくためには、物質ライフサイクルでのより詳細な情報の把握が必要と考えられる。また、「循環」の断面については各種のリサイクル率を用いた状況把握が行われているが、（a）リサイクル量に含まれる「副産物」の定義が明確ではなく、回答者により捉え方が異なる状況があるとともに、（b）データ取得の観点でも経済産業省による「副産物（産業廃棄物・有価発生物）発生状況等に関する調査」が廃止となり、廃棄物等の「等」の量（有価の副産物量）を計測する手段を模索している状況にある。

このようなことから、本サブテーマでは、図1.1に示す物質ライフサイクルの6つの断面（1.環境からの

資源投入、2.生産工程への原材料投入、3.生産工程での原材料利用、4.製品の使用、5.使用済み製品の処理、6.環境への廃物廃棄）にもとづいて、物質フロー・ストックに関わる指標を整理し、指標群として提案する。また、表1.1に示す主要な物質について、6つの断面で使用算定が行えるように物質フロー・ストック分析を実施し、物量投入産出表として取りまとめるとともに、提案する主要な指標を適用して、指標の適用可能性や有用性を検証する。

以上に加え、当初計画にない項目であるが、サブテーマ3におけるリサイクル率の定義の検討を踏まえ、欧州の都市廃棄物リサイクル率の定義に近づけた日本の一般廃棄物リサイクル率を試算する。

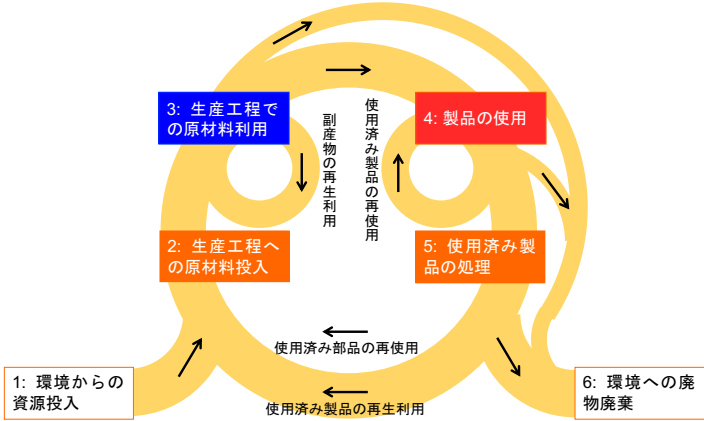


図1.1 物質ライフサイクルの6つの断面 (1～6)

表1.1 対象物質（主要な物質）

資源類型	対象物質（主要な物質）
化石燃料	● プラスチック用途のうち代表的樹脂
金属鉱物	● 鉄（金属鉱物の 80%程度）
非金属鉱物	● 岩石・砂利（非金属鉱物の 60%程度）
バイオマス	● 農産物（バイオマスの 75%程度） ● 木材（バイオマスの 20%程度）

2. 研究目標

物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群を、物質ライフサイクルの6つの断面にもとづいて提案する。また、我が国で使用されている主要な物質4品目程度を対象とした適用例を通じてその有用性を示す。

3. 研究開発内容

3.1 物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案

資源循環の形態とその計測上の特徴を整理し、物質ライフサイクルのどの断面の状況を把握することが有益であるかを理論的に検討した。また、各断面における既存の指標を整理し、物質ライフサイクルの各断面に基づく指標群を提案した。この際、サブテーマ3で行った循環経済指標のレビューも参考にした。また、サブテーマ3では、サブテーマ1で提案する断面に基づき各国の指標を整理し議論した。

3.2 主要物質を対象とした物質フロー・ストックデータの整備と指標の適用

我が国で使用されている主要な物質を対象として、物質フロー・ストックデータの推計を行い、物量投入産出表として整備した。物量投入産出表は表1.2に示すようなものであり、行に製品・副産物・廃棄物・資源部門、列に経済活動部門で構成され、各経済活動における原材料等の投入がプラスの数値で、製品・副産物・廃棄物等の産出がマイナスの数値で記されている。フローは全て消費量、生産量で記述するものとしたが、データの無いものについては入荷量、出荷量を用いた。また、経済活動については、できる限り日本の産業連関表の部門に対応させるようにした。また、整備したデータを用いて、物質ライフサイクルの各断面に基づく主要な指標を適用し、指標の適用可能性や有用性を検証した。

(1) ポリ塩化ビニル

プラスチック樹脂の中でも比較的データが利用可能なポリ塩化ビニルを対象とした。ポリ塩化ビニル

の物質フローを図1.2に示す。また、各プロセスにおける投入産出のデータや推計の概要を表1.3に示す。

表1.2 物量投入産出表の例（単位：重量）

		工程A	工程B	需要	在庫	輸出	輸入
主産物A	投入	1	10				
	産出	-10					
主産物B	投入			6	1	1	
	産出		-7				-1
副産物	投入	4					
	産出		-3		-1		
廃棄物	投入						
	産出			-3	-2		
資源	投入	5					
	産出						

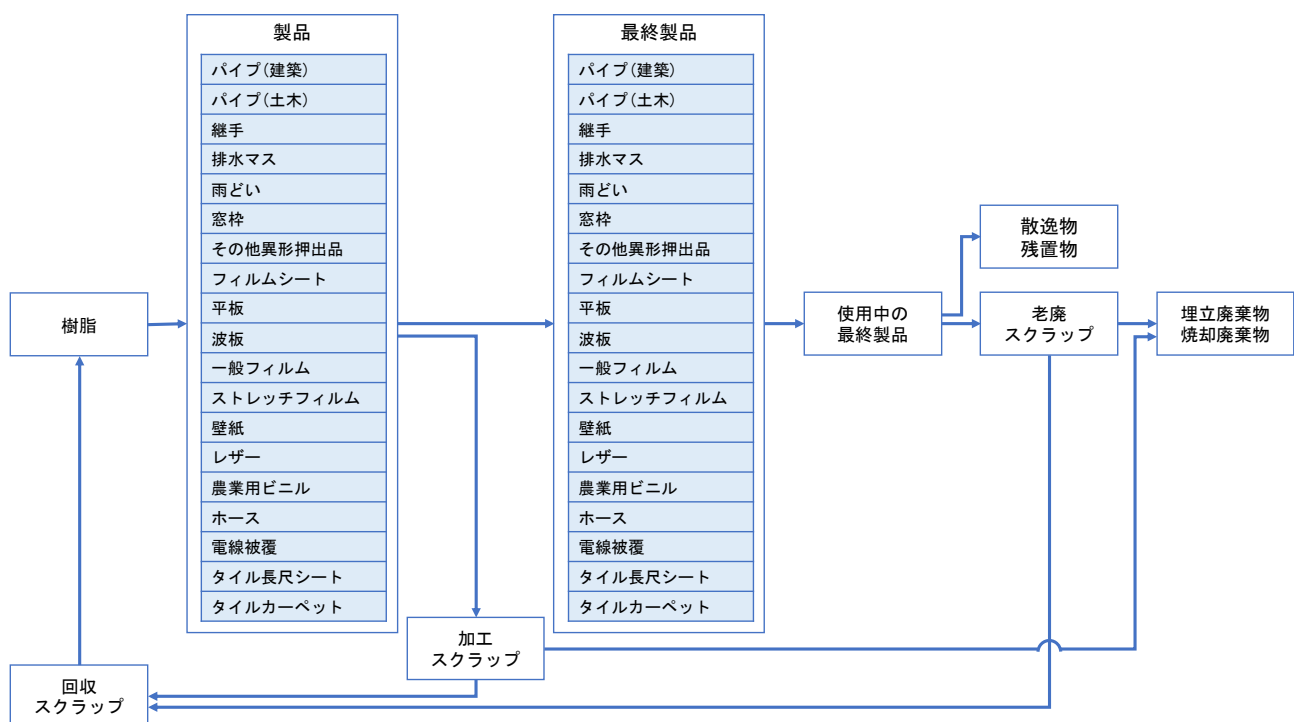


図1.2 ポリ塩化ビニルの物質フロー

表1.3 用いたデータと推計の概要

	投入	産出
樹脂生産	右記生産量と回収スクラップ量から新規樹脂量を推計	塩ビ工業・環境協会の資料、プラスチック製品統計年報（経済産業省）のデータを使用
製品生産	樹脂生産の産出量に貿易量を考慮して推計	塩ビ工業・環境協会の資料、プラスチック製品統計年報（経済産業省）、塩化ビニル管産業の課題と将来展望に関する研究報告書（経済産業省）のデータを使用
最終製品生産	製品生産の産出量に貿易量を考慮して推計	最終製品ごとの加工歩留まりを考慮して推計
使用	製品生産の産出量に同じ	最終製品ごとの寿命を設定して推計
廃棄物管理	上記推計値を使用して推計	各種文献を参考にリサイクル率等を設定し推計

(2) 鉄

鉄の物質フローを図1.3に示す。鉄鋼材が用いられる建築物・土木構造物については、廃棄物として発生しないものも含まれることから、建築物・土木構造物として使用される鉄鋼材を永久構造物とそれ以外に分け²⁾、永久構造物は廃棄物として発生しないものとして廃棄物量の推計をモデル化した。また、各プロセスにおける投入産出のデータや推計の概要を表1.4に示す。

(3) 岩石・砂利と関連資源

岩石・砂利と関連資源の物質フローを図1.4に示す。岩石・砂利とその関連資源が用いられる建築物・土木構造物については、廃棄物として発生しないものも含まれることから、岩石・砂利を永久構造物とそれ以外に分け²⁾、永久構造物は廃棄物として発生しないものとして廃棄物量の推計をモデル化した。推計値と建設副産物実態調査（国土交通省）のデータを比較しつつ、データベースとしては建設副産物実態調査（国土交通省）のデータを採用した。また、各プロセスにおける投入産出のデータや推計の概要を表1.5に示す。

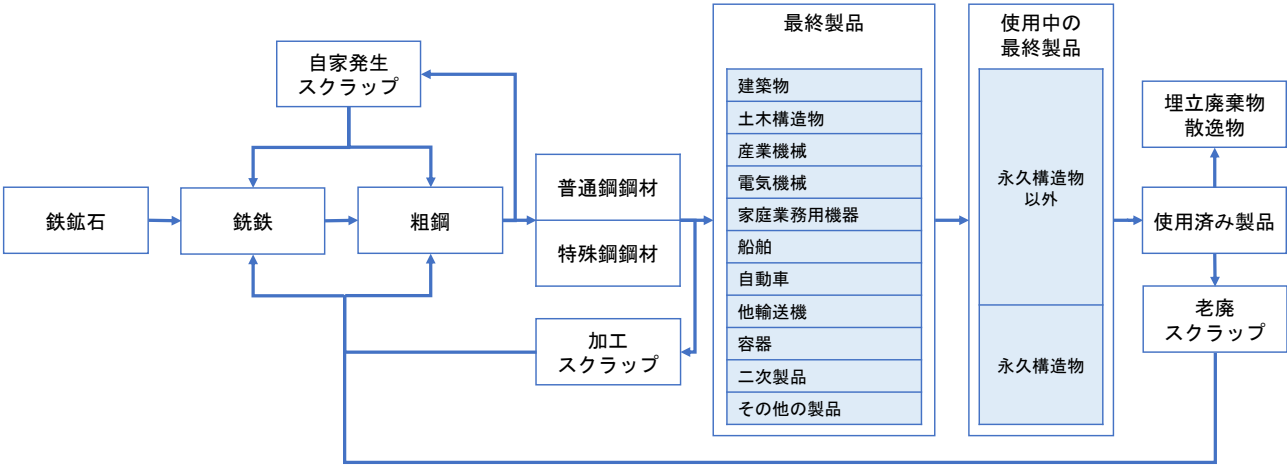


図1.3 鉄の物質フロー

表1.4 用いたデータと推計の概要

	投入	産出
銑鉄・粗鋼生産	鉄鋼統計要覧（日本鉄鋼連盟）、貿易統計（財務省）のデータを使用	生産動態統計鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計編（経済産業省）、鉄鋼スラグ統計年報（鉄鋼スラグ協会）のデータを使用
普通鋼鋼材・特殊鋼鋼材生産	生産動態統計鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計編（経済産業省）のデータを使用	Daigo et al. ¹⁾ の方法により推計
最終製品生産	普通鋼鋼材・特殊鋼鋼材の産出量に同じ（注1）	製品ごとのスクラップ発生率を考慮して推計
使用	最終製品の産出量に同じ（注1）	最終製品ごとの寿命を設定して推計
廃棄物管理	生産動態統計鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計編（経済産業省）、貿易統計（財務省）のデータ等より推計	生産動態統計鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計編（経済産業省）、貿易統計（財務省）のデータ等より推計

注1) Daigo et al.¹⁾の方法により推計した貿易量を別途考慮

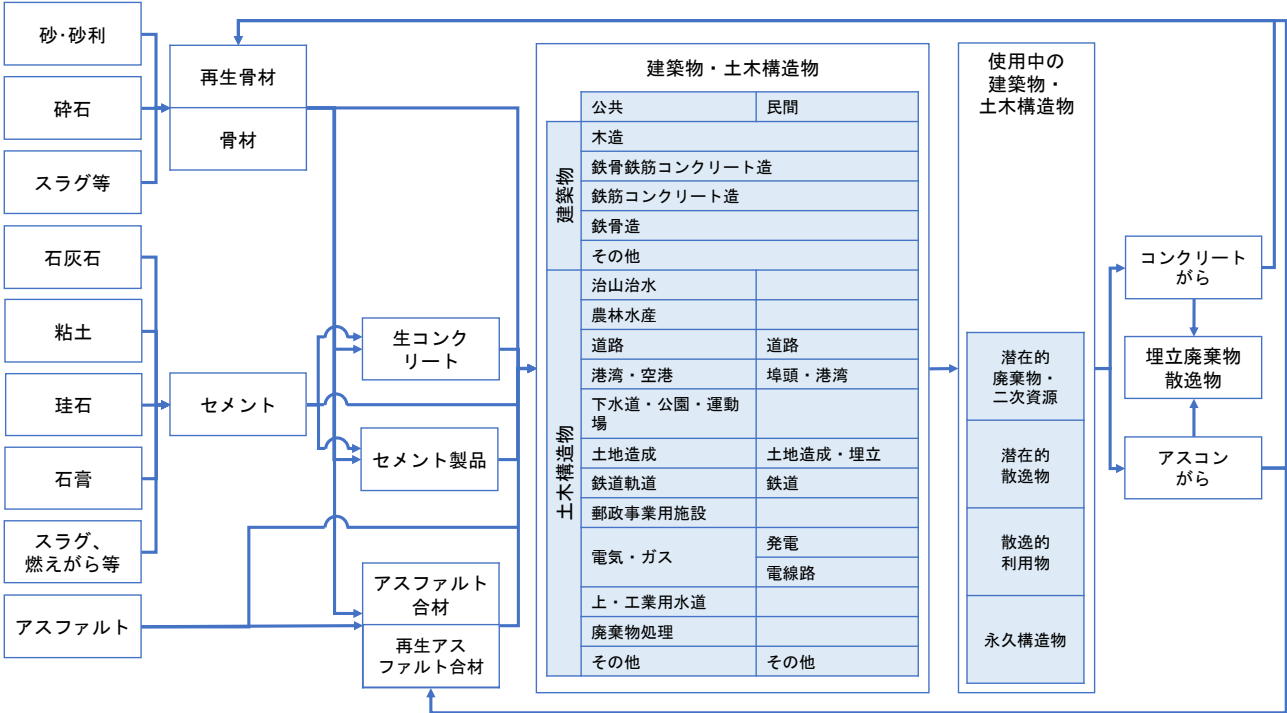


図1.4 岩石・砂利と関連資源の物質フロー

表1.5 用いたデータと推計の概要

	投入	産出
骨材生産	右記に同じと仮定	骨材需給表（経済産業省）のデータを使用
セメント生産	セメントハンドブック（セメント協会）のデータを使用	セメントハンドブック（セメント協会）のデータを使用し、石灰石の脱炭酸による二酸化炭素量を推計（注1）
生コンクリート生産	生コンクリート統計年報（経済産業省）のデータを使用	生コンクリート統計年報（経済産業省）のデータを使用
セメント製品生産	建築物・土木構造物の建設に投入されるセメント製品量を下記で推計し、各セメント製品が含有する建設資材量を推計（注2）	建築物・土木構造物の建設に投入されるセメント製品量を下記で推計し、これに同じと仮定（注2）
アスファルト合材生産	アスファルト合材統計年報（日本アスファルト合材協会）のデータを使用	アスファルト合材統計年報（日本アスファルト合材協会）のデータを使用
建築物・土木構造物建設	建築物については、建設資材・労働力需要実態調査（国土交通省）、建築統計年報（国土交通省）のデータを用いて推計、土木構造物については建設資材・労働力需要実態調査（国土交通省）、公共工事着工統計年度報（建設省）、民間土木工事着工統計年度報（建設省）、建設総合統計年度報（国土交通省）のデータを用いて推計	左記に同じと仮定（注3）
使用	建築物・土木構造物生産の産出量に同じ	建設副産物実態調査（国土交通省）のデータを使用
廃棄物管理	建設副産物実態調査（国土交通省）のデータを使用	建設副産物実態調査（国土交通省）のデータを使用

注1) 石灰石の消費量に44/100 (CO₂/CaCO₃) を乗じて推計
注2) セメント製品製造プロセスでは、廃棄物はほぼ発生しないことから、投入量と産出量は同じと仮定
注3) 建築物・土木構造物建設段階では、対象建設資材の廃棄物はほぼ発生しないことから、投入量と産出量は同じと仮定

(4) 農産物

農産物の物質フローを図1.5に示す。また、各プロセスにおける投入産出のデータや推計の概要を表1.6に示す。農作物は水分を多く含み、各プロセスで追加される水分等があるため、各プロセスの物質収支が合わせにくい。このため、全て乾重量に換算して推計を行った。

(5) 木材

木材の物質フローを図1.6に示す。また、各プロセスにおける投入産出のデータや推計の概要を表1.7に示す。農作物と同様に完重量に換算して推計を行った。

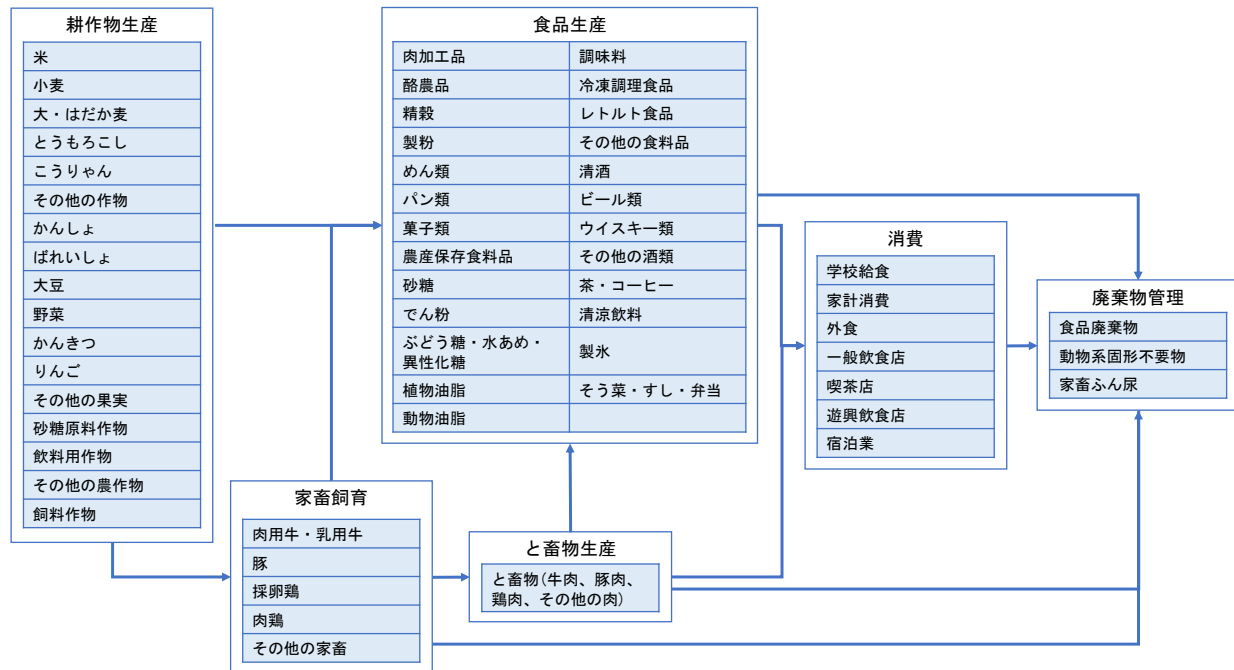


図1.5 農産物の物質フロー

表1.6 用いたデータと推計の概要

	投入	産出
耕作物生産		食料需給表（農林水産省）、FAOstat（FAO）のデータを使用（注1）
家畜飼育	食料需給表（農林水産省）、FAOstat（FAO）、飼料月報（農林水産省）のデータを使用、一部推計	食料需給表（農林水産省）の枝肉生産量と枝肉歩留まりから生体量を推計、鶏卵・生乳は食料需給表（農林水産省）のデータを使用（注1）
と畜物生産	家畜飼育の産出量（肉用牛、豚、肉鶏、その他の家畜）に同じ	食料需給表（農林水産省）、FAOstat（FAO）のデータを使用（注1）
食品生産	産業連関表（総務省）、作物統計（農林水産省）、畜産物流通統計（農林水産省）等を用いて推計（注1）	産業連関表（総務省）、作物統計（農林水産省）、畜産物流通統計（農林水産省）等を用いて推計、流通によるロス食料需給表（農林水産省）、FAOstat（FAO）のデータを使用（注1）
消費	食品生産の産出量に同じ	食品廃棄物は食品ロス統計調査（農林水産省）を用いて推計
廃棄物管理	上記推計値を使用して推計	食品循環資源の再生利用等実態調査（農林水産省）、産業廃棄物排出・処理状況調査（環境省）、一般廃棄物処理実態調査（環境省）等を用いて推計

注1) 含水率を用いて乾重量に換算

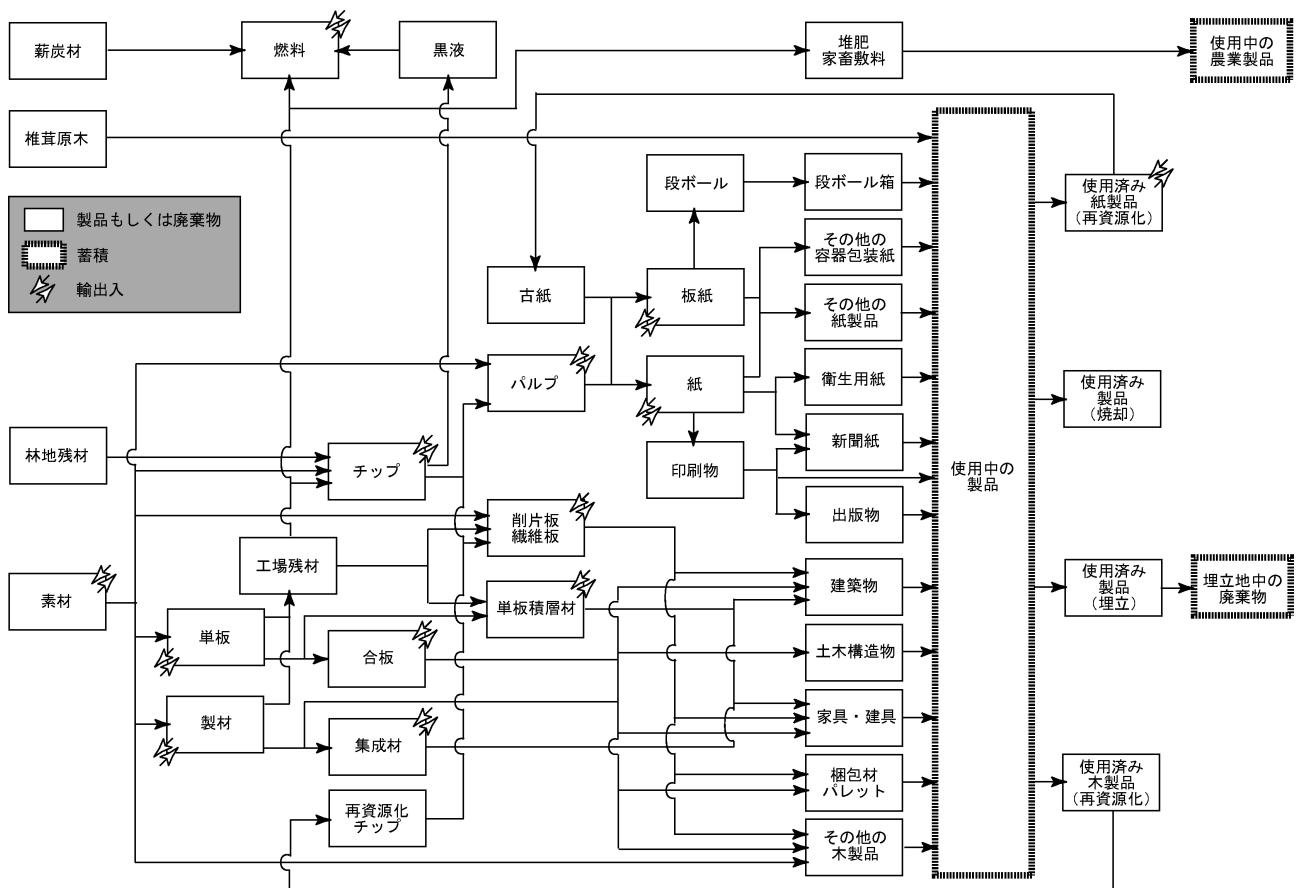


図1.6 木材の物質フロー

表1.7 用いたデータと推計の概要

	投入	産出
製材、集成材生産	林業統計要覧（林野庁）、木材需給報告書（農林水産省）のデータを使用し、一部推計（注1）	林業統計要覧（林野庁）、木材需給報告書（農林水産省）のデータを使用、工場残材量は推計（注1）
単板、合板、単板積層材生産	林業統計要覧（林野庁）、木材需給報告書（農林水産省）、木材需給と木材工業の現況（日本住宅・木材技術センター）のデータを使用し、一部推計（注1）	林業統計要覧（林野庁）、木材需給報告書（農林水産省）、木材需給と木材工業の現況（日本住宅・木材技術センター）のデータを使用、工場残材量は推計（注1）
チップ生産	林業統計要覧（林野庁）、木材需給報告書（農林水産省）のデータを使用し、一部推計（注1）	林業統計要覧（林野庁）、木材需給報告書（農林水産省）のデータを使用し、一部推計（注1）
削片板、繊維板生産	窯業・建材統計年報（経済産業省）のデータを使用し、一部推計（注1）	窯業・建材統計年報（経済産業省）のデータを使用（注1）
パルプ、紙、板紙生産	紙・パルプ統計年報（経済産業省）のデータを使用（注1）	紙・パルプ統計年報（経済産業省）のデータを使用、黒液量、工場残材量は推計（注1）
木最終製品生産	上記木製品の産出量に同じ	原材料の歩留まりを設定して推計
紙最終製品生産	上記紙製品の産出量に同じ	原材料の歩留まりを設定して推計
使用	木最終製品、紙最終製品の産出量に同じ	最終製品の寿命を設定して推計
廃棄物管理	上記推計値を使用して推計	リサイクル率等を設定して推計

注1) 含水率を用いて乾重量に換算

3.3 民間回収も含めた日本の一般廃棄物リサイクル率の試算

サブテーマ3において、日欧での一般廃棄物／都市廃棄物のリサイクル率の違いを検討し、その改善に向けた方向性を提示した。これを受け、サブテーマ1において日本を対象に民間回収（日本の一般廃棄物統計上未把握の資源回収）も含めたりサイクル率の試算を行った。これは、計画段階では示していない内容であるが、サブテーマ3における検討を受けて、物質フロー推計を行うサブテーマ1で実施した。具体的には文献³⁾を参考に、以下の通り推計した。

(1) 小売業者による店頭回収量の推計

各自治体の店頭回収実績データや大手小売業者の日本全国の店頭回収実績データ等を用いて、売り場面積あたりの店頭回収量を推計するとともに、売り場面積を活動量として日本全国の小売業者による店頭回収量（ペットボトル、缶、トレイ）を推計した。

(2) 再資源化業者による古紙回収量

一般廃棄物に相当する古紙は、新聞と折り込み広告の回収量、雑誌の回収量、牛乳パックの回収量、その他の古紙の回収量からなるとして、それぞれ以下のように推計した。これらの合計から自治体が把握する古紙回収量（資源ごみとしての回収量及び集団回収量）を差し引いたものを民間回収量とした。

新聞と折り込み広告の回収量は、全国の新聞古紙の回収量から、建設業、パルプ・紙・紙加工品製造業、新聞業、出版業、製本業、印刷物加工業からの新聞古紙の回収量（産業廃棄物に相当）を差し引くことで推計した。産業廃棄物に相当する新聞古紙の回収量の推計方法は後述する。

雑誌の回収量は、全国の雑誌の販売部数に雑誌1冊当たりの平均重量を乗じて雑誌の重量を推計し、これに古紙全体の回収率を乗じて推計した。なお、新聞と折り込み広告と同様に、産業廃棄物に相当する雑誌の回収量は差し引いた。

牛乳パックの回収量は、業界が調査する使用済紙パックの店頭回収量のデータを利用した。

その他の古紙の回収量は、事業系の古紙回収量を対象として、業種別の従業員数当たり古紙回収原単位（OA紙、段ボール、機密文書、シュレッター紙、その他古紙）に従業員数を乗じて推計した。なお、新聞及び雑誌については、上記との重複があることからここでは含めず、この方法で、上記の産業廃棄物に相当する新聞及び雑誌の回収量を推計した。また、建設業、パルプ・紙・紙加工品製造業、新聞業、出版業、製本業、印刷物加工業は対象業種から除外した（産業廃棄物に相当）。

なお、家庭系についても同様の古紙回収（OA紙、段ボール等）を考慮すべきであるが、これを推計する適当な方法がないことから対象外とした。

(3) 再資源化業者による食品廃棄物回収量

食品産業のうち、食品卸売業、食品小売業、外食産業から排出される食品廃棄物が事業系一般廃棄物に区分される。農林水産省の食品廃棄物等の統計調査における「食品廃棄物等の年間発生量」のうち、「再生利用の実施量」「熱回収の実施量」「再生利用以外」を食品廃棄物再資源化業者による回収量とした。

(4) 民間回収による資源化フローを含めたりサイクル率の推計

以上を合計して民間回収による資源化フローとし、これを含めた場合のリサイクル率を推計した。

4. 結果及び考察

4.1 物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案

(1) 資源循環の形態とその計測上の特徴

表1.8に示すように、資源循環の形態はその活動（発生抑制、再使用、再生利用（含熱回収））及び対象物（副産物、使用済み部品、使用済み製品）から大きく3つに分類される。

第1が「○副産物の発生抑制・再生利用（含熱回収）」である。副産物については、上述のとおり、明確に定義することが難しく、採用される副産物の定義によって計測される発生量や再生利用量が変わるという問題がある。例えば、製材工程で発生する木くずが有価で外部に販売され燃料として利用され

ば副産物の再生利用（含熱回収）と認識される場合が多いと考えられるが、製材工程の乾燥熱源として同工程内で利用されれば副産物の発生抑制と認識される場合が多いと考えられる。利用形態は同じ熱回収であっても認識のされ方が異なれば、発生量や再生利用量（含熱回収量）は異なることになる。これについては、生産工程全体で投入された原材料のうちどれだけが有効に利用されたかを計測することが適切と考えられる。

第2が「◎使用済み部品・製品の発生抑制、使用済み製品の再使用」である。後者の「使用済み製品の再使用」については、この量（中古製品利用量等）を計測すること自体にはあまり意味がないと考えられる。例えば、中古の冷蔵庫が取引される量を計測する等である。同じ10年間冷蔵庫を使用して、同じ所有者が利用する場合と中古販売して異なる所有者が利用する場合に、所有者の転換が多く行われた方（後者）がより循環的であるというわけではない。これについては、製品の長期使用の状況を計測することが適切と考えられる。

第3が「●使用済み部品の再使用・再生利用（含熱回収）、使用済み製品の再生利用（含熱回収）」である。使用済み製品＝廃棄され処理工程に投入されたものという意味で定義が明確であり、その発生量や再使用量・再生利用量（含熱回収量）にあいまいさがない。統計上可能であれば、副産物とは別に発生量や再使用量・再生利用量（含熱回収量）を計測することが適切と考えられる。今後普及が期待されるリマニュファクチャリングについては、再使用された部品量を計測していくことが望ましいと考えられる。また、製品の一部という観点では、リターナブル容器等もその量を計測していくこと適当と考えられる。なお、熱回収については、エネルギーの回収率も考慮することが重要である。

表1.8 物質循環の形態の類型

活動 \ 対象物	副産物	使用済み部品	使用済み製品
発生抑制	○	◎	◎
再使用（製品）			◎
再使用（部品）		●	
再生利用（含熱回収）	○	●	●

○副産物の発生抑制・再生利用（含熱回収）／◎使用済み部品・製品の発生抑制、使用済み製品の再使用／●使用済み部品の再使用・再生利用（含熱回収）、使用済み製品の再生利用（含熱回収）

表1.9 物質循環の6つの断面で計測するもの

物質循環の6つの断面	計測するもの
1.環境からの資源投入	環境からの資源投入の状況
2.生産工程への原材料投入	●の状況（投入側）
3.生産工程での原材料利用	○の状況
4.製品の使用	◎の状況
5.使用済み製品の処理	●の状況（排出側）
6.環境への廃物廃棄	環境への廃物廃棄の状況

○◎●は表1.8に同じ。

(2) 物質ライフサイクルの6つの断面の提案

上述のとおり「○副産物の発生抑制・再生利用（含熱回収）」については、生産工程全体で投入された原材料のうちどれだけが有効に利用されたかを計測することが適切と考えられる。これを捉えるのが図1.1、表1.9における「3.生産工程での原材料利用」の断面である。また、「◎使用済み部品・製品の発生抑制、使用済み製品の再使用」については、製品の長期使用の状況を計測することが適切と考えられ、これを捉えるのが図1.1、表1.9における「4.製品の使用」の断面である。さらに、「●使用済み部品の再使用・再生利用（含熱回収）、使用済み製品の再生利用（含熱回収）」については、使用済み製品のう

ちどれだけを再使用・再生利用（含熱回収）したかという観点と、原材料のうちどれだけを再使用部品・再生利用材（含熱回収）で賄ったかという観点がある。それぞれ対応するのが、図1.1、表1.9における「5.使用済み製品の処理」「2.生産工程への原材料投入」の断面である。また、循環型社会づくりの成果として、資源の投入がどれだけ減り、環境への廃物廃棄がどれだけ減ったかを見ることが重要である。これを捉えるのが、図1.1、表1.9における「1.環境からの資源投入」「6.環境への廃物廃棄」の各断面である。

（3）物質ライフサイクルの6つの断面にもとづく指標群の提案

ここではまず、第4次循環基本計画の中長期的方向性「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」における物質フロー指標（全体）を物質ライフサイクルの6つの断面に分類した（図1.7）。図では各断面の考え方に「該当する」と「一部該当する」ものを区別している。例えば、現行計画における「4資源別の入口側の循環利用率」は断面2に対応するが、副産物を含む循環利用率のため「一部該当する」指標として整理している。また、「出口側の循環利用率」も副産物と使用済み製品の両方を含むため、断面3や5に対応する「一部該当する」指標として整理している。結果、断面2や3に該当する物質フロー指標は現行計画においては存在せず、断面5を捉える指標が多くなっている。いわゆる廃棄物のリサイクル率に相当するものである。この傾向は、サブテーマ3でレビューした欧州の指標にも共通する（表3.4）。

表1.10は、上記（2）に示す考え方（各断面で測定すべきもの）に基づき、物質ライフサイクルの6つの断面における指標を提案したものである。ここでは、各断面における指標を主要指標、補助指標、個別分野指標（参考指標）で構成した。第4次循環基本計画においては、代表指標、補助指標の分類があるが、補助指標の中に個別分野の雑多な指標が多く含まれていることから、ここではそれを区別している。第4次循環基本計画では約120の指標を用いてその進捗を計測しているが、指標が多すぎるとの指摘もあり、基本計画における主要なモニタリングは、表1.10に示す補助指標のレベルまででよいと考えられる。主要指標や補助指標の推移を解釈する際に、必要に応じて個別分野指標（参考指標）を参照することが適切である。主要指標は太字で示しているが、現状の廃棄物統計では副産物と使用済み製品を区別することが難しいことから、断面2、3、5についてはその代替的な指標を併せて提示している。また、断面6では、気体・液体も含めた「環境への廃物廃棄量」としているが、資源循環の文脈では「廃棄物の最終処分量」がその代替的な指標になる。サブテーマ3のレビューによると、欧州では断面2に合致する「使用後リサイクル投入率」といった指標も提案されており（表3.4）、本研究で示すような、使用済み製品の原材料利用を副産物のそれと区別する方向性が見られる。

主要指標の定義を表1.11に示す。このうち、「天然資源等投入量」及び「環境への廃物廃棄量」はそれぞれEconomy-wide MFAの「直接物質投入量（Direct Material Input: DMI）」「国内排出物量（Domestic Processed Output: DPO）」に同じである。

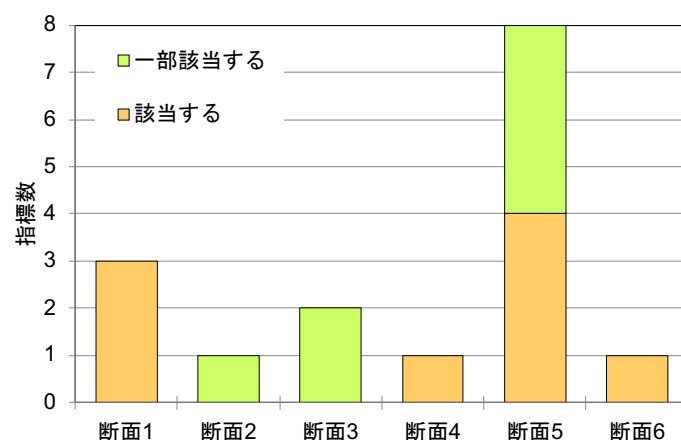


図1.7 第4次循環型社会推進基本計画の中長期的方向性「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」における物質フロー指標（全体）を物質ライフサイクルの6つの断面へ当てはめた結果（重複あり）

表1.10 物質ライフサイクルの6つの断面に基づく指標群（案）

	1. 環境からの 資源投入	2. 生産工程へ の原材料投入	3. 生産工程で の原材料利用	4. 製品の使用	5. 使用済み製 品の処理	6. 環境への廃 物廃棄
主 要 指 標 （代 替 指 標）	- 天然資源等 投入量	- 使用済み製 品の入口側 の循環利用 率 - （入口側の 循環利用率）	- 原材料の有 効利用率 - （減量・処分 される産業 廃棄物量）	- 物質の利用 時間	- 使用済み製 品の出口側 の循環利用 率 - （出口側の 循環利用率）	- 環境への廃 物廃棄量 - （廃棄物の 最終処分量）
補 助 指 標	- 一次資源等 価換算した 天然資源等 消費量 - 再生可能資 源の投入量			- 物質のスト ック量 - 利用可能な 二次資源の ストック量	- 一般廃棄物 の循環利用 率 - 産業廃棄物 の循環利用 率	- 一般廃棄物 の最終処分 量 - 産業廃棄物 の最終処分 量
個 別 分 野 指 標 （参 考 指 標）	(例) - 産業分野別 の資源生産 （一次資源 等価換算）	(例) - 古紙利用率		(例) - 主要製品の 利用時間	(例) - びんのリユ ース率 - 特定家庭用 機器再商品 化率	

注）主要指標は太字で表示。断面2、3、5、6については代替的な指標を併せて提示。

表1.11 主要指標の定義

指標	定義
天然資源等投入量	直接物質投入量（Direct Material Input: DMI）に同じ
使用済み製品の入口側の循環利用率	$\frac{\text{使用済み製品の再生利用量}}{\text{原材料の消費量}}$
原材料の有効利用率	$\frac{\text{原材料の有効利用量}}{\text{原材料の消費量}}$
物質の利用時間	$\frac{\text{製品蓄積量}}{\text{使用済み製品量}}$
使用済み製品の出口側の循環利用率	$\frac{\text{使用済み製品の再資源化量}}{\text{使用済み製品量}}$
環境への廃物廃棄量	国内排出物量（Domestic Processed Output: DPO）に同じ

4.2 主要物質を対象とした物質フロー・ストックデータの整備と指標の適用

ここでは、データベースの例を示すとともに、表1.10、表1.11に示す主要指標の適用例、表1.10に示す補助指標のうち、「物質のストック量」「利用可能な二次資源のストック量」の適用例を示す。なお、ストックについては、第4次循環基本計画において引き続き検討が必要な指標の課題「社会に蓄積されている物質ストックに関する指標の開発」として示されているものであり、これに対応するものとして試算を行った。

（1）データベースの例

整備したデータのうち、木材を例に物量投入産出表のイメージを表1.12に示す。本研究では対象物質ごとに、このような形で時系列のデータベースを作成した。木材の場合、本表は、行に46製品・副産物・廃棄物・資源、列に39経済活動部門からなる。統計情報間での差異、推計値間での差異等があり、行方向、列方向とも必ずしも物質収支は合わないが、できる限りの調整を行っている。物質フロー推計における物質収支の不整合等については、後述の(2)でも触れる。

表1.12 2000年の木材を例とした物量投入産出表のイメージ

[illegible]

(2) 主要指標の適用例

木材について、表1.11に示す主要指標を適用した結果を図1.8～図1.10に示す。図1.8は、1960年～2020年における「断面1：天然資源等投入量」と「断面6：環境への廃物廃棄量」の推計結果である。木材の利用量（断面1）は1990年頃から減少傾向にあるが、環境への廃物廃棄量（断面6）は木材のエネルギー利用の増加で2010年以降増加傾向と推計された（二酸化炭素としての大気への排出を含むため）。また、図1.9は「断面2：使用済み製品の入口側の循環利用率」「断面3：原材料の有効利用率」「断面5：使用済み製品の出口側の循環利用率」の推計結果である。副産物の利用（断面3）に大きな変化は見られない一方、使用済み製品の利用（断面2と5）は古紙や建設発生木材のリサイクルの促進により大幅に増加しており、このことも木材の利用量（断面1）の減少に一定貢献しているものと考えられる。さらに、図1.10は「断面4：物質の利用時間」の推計結果である。経済社会の中での木材の利用時間（断面4）は増加傾向にあるが、これは木造住宅の寿命が長くなってきているためと考えられ、これも木材の利用量（断面1）の減少に一定貢献しているものと考えられる。物質ライフサイクルの6つの断面に着目することで、こうした多面的検討が可能となる。

岩石・砂利と関連資源について、表1.11に示す主要指標を適用した結果を図1.11、図1.12に示す。図1.11は、1960年～2020年における「断面1：天然資源等投入量」と「断面6：環境への廃物廃棄量」の推計結果である。岩石・砂利と関連資源の利用量（断面1）は1990年頃にピークを迎え、近年は4～5億トンで推移している。木材とは異なり、岩石・砂利と関連資源の利用量（断面1）に対する環境への廃物廃棄量（断面6）は非常に小さい。環境への廃物廃棄量（断面6）の多くが、セメント生産時の脱炭酸によるCO₂排出で、近年ではこれが99%を占め、アスコン塊、コン塊の最終処分量は大きく減っている。図1.12は「断面2：使用済み製品の入口側の循環利用率」「断面3：原材料の有効利用率」「断面5：使用済み製品の出口側の循環利用率」の推計結果である。アスコン塊、コン塊の再資源化率（断面5）は1990年から2000年にかけて大きく上昇し、高い比率を維持している。しかしながら、岩石・砂利と関連資源の利用量（断面1）に対する再資源化量の比率（断面2）は上昇しているものの高くなく、近年でも10%程度である。再資源化による天然資源の代替効果はそれほど大きくない。原材料の有効利用率（断面3）については安定

性がなく、また、高くない推計結果となったが、これは骨材、セメントの需要が供給を下回る推計結果となったためである。図1.13に示すように、骨材の場合、その供給量に対し、本研究で推計された各分野の需要量の合計は低くなっている。原材料の有効利用率（断面3）は、原材料の消費量（供給量）のうち有効利用されたものの比率であるが（表1.11）、供給される骨材のうち使用されないもの（供給と需要の差）が相当量発生する推計結果となったことから、この値が低くなったのである。正確な現状の把握のためには、こうした物質収支上の不整合を改善していくことも必要である。

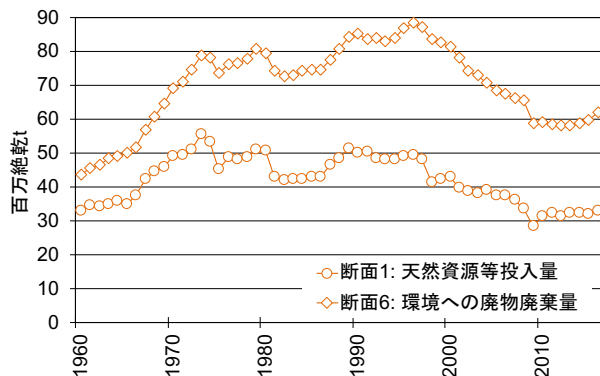


図1.8 木材を対象とした「天然資源等投入量」「環境への廃物廃棄量」の推計結果

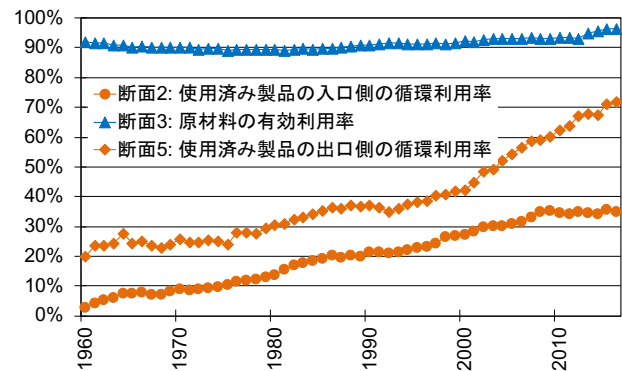


図1.9 木材を対象とした「使用済み製品の入口側の循環利用率」「原材料の有効利用率」「使用済み製品の出口側の循環利用率」の推計結果

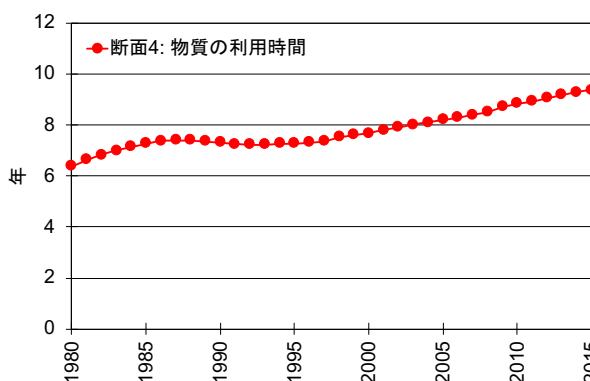


図1.10 木材を対象とした「物質の利用時間」の推計結果

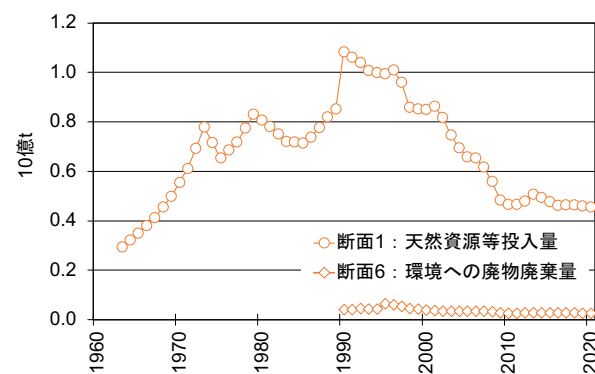


図1.11 岩石・砂利と関連資源を対象とした「天然資源等投入量」「環境への廃物廃棄量」の推計結果

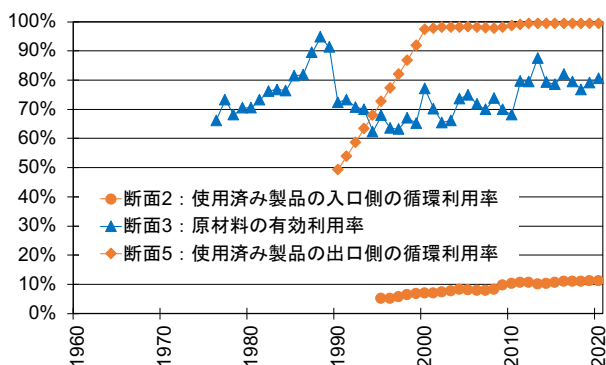


図1.12 岩石・砂利と関連資源を対象とした「使用済み製品の入口側の循環利用率」「原材料の有効利用率」「使用済み製品の出口側の循環利用率」の推計結果

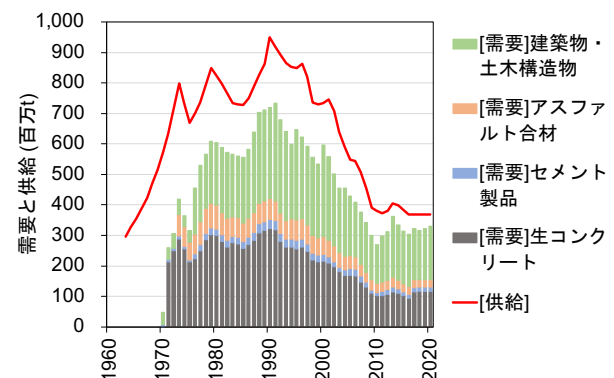


図1.13 骨材の需要と供給

(3) 補助指標としての「物質のストック量」「利用可能な二次資源のストック量」の推計例

ポリ塩化ビニルについて、「物質のストック量」「利用可能な二次資源のストック量」を推計した結果を図1.14、図1.15に示す。図1.14に示すように、最終製品としてのポリ塩化ビニルのストック量は2000年を過ぎたところから徐々に横ばいと推計された。近年の物質ストック量は約20～25百万トンであり、パイプとしてのストック量が多くを占める。建設材としてのストック量は徐々に増加しており近年でも増加が続いている。パイプや電線被覆材と比べ普及が遅かったことに加え、パイプ同様耐用年数が長いと考えられる。また、図1.15に示すように、2016年における利用可能なポリ塩化ビニルのストック量（二次埋蔵量）は約8,700千トンと推計され、これは同年の需要量である927千トンの約9年分に相当する結果となった。最終製品別ではパイプとしての二次埋蔵量が約7百万トンで同需要量の約20倍であった。

鉄について、「物質のストック量」「利用可能な二次資源のストック量」を推計した結果を図1.16、図1.17に示す。図1.16に示すように、鉄のストック量は増加を続けており、2015年に約1,200百万トンと推計された。このうち、約155百万トンが永久構造物のストック量、約1,049百万トンが永久構造物を除く用途のストック量であった。用途別に見ると、建築物が全量の約6割を占める。また、図1.17に示すように、2015年における利用可能な鉄のストック量（二次埋蔵量）は、全て回収可能な場合に約1046百万トン、永久構造物を除くと約912百万トン、1年以内に発生するもので約28百万トンと推計された。これらは、同年の粗鋼生産量に対して、約10倍、約8.7倍、約0.26倍に相当する。利用可能な二次資源のストック量（二次埋蔵量）は全体として非常に大きい、実際に利用可能な量は1年以内にスクラップとして発生する量であり、この量を把握しておくことも重要である。

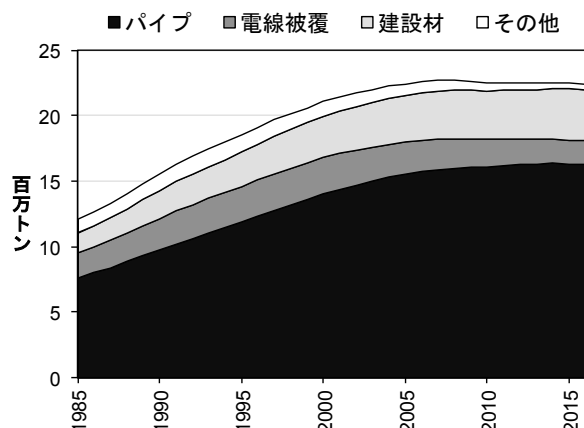


図1.14 ポリ塩化ビニルの最終製品別ストック量

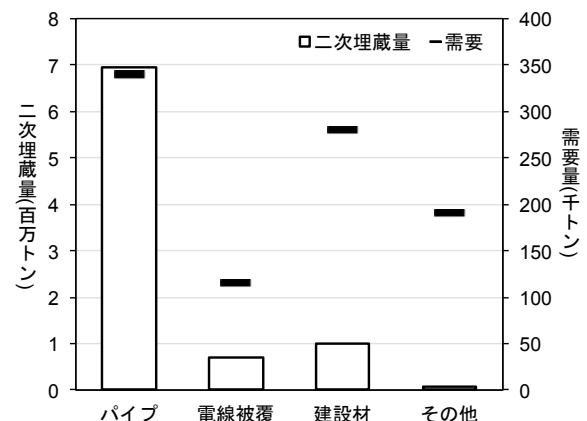


図1.15 2016年における利用可能なポリ塩化ビニルのストック量（二次埋蔵量）の推計結果

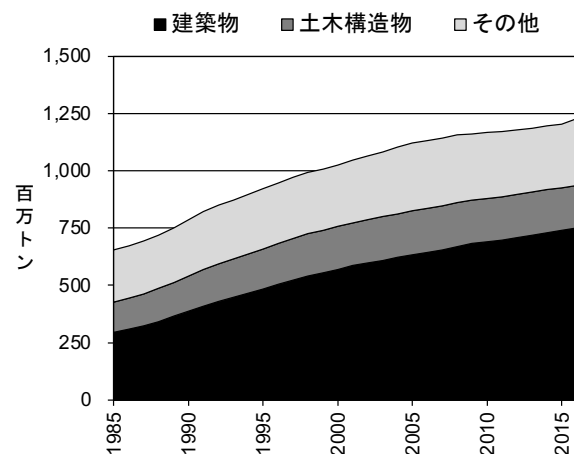


図1.16 鉄の最終製品別ストック量

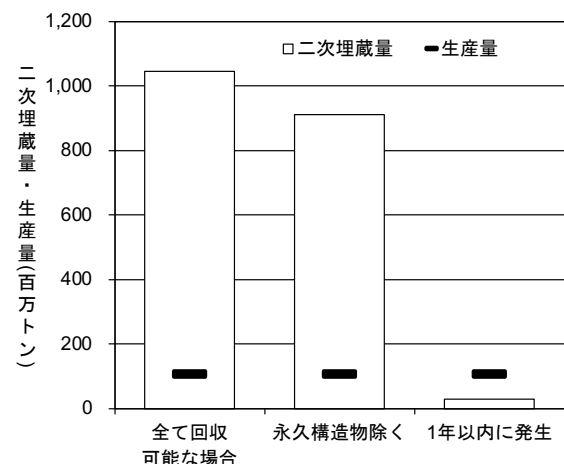


図1.17 2015年における利用可能な鉄のストック量（二次埋蔵量）の推計結果

4.3 民間回収も含めた日本の一般廃棄物リサイクル率の推計

一般廃棄物の統計では未把握の民間回収も含めた資源化量の推計結果を図1.18、これをもとにした一般廃棄物リサイクル率の推計結果を図1.19に示す。また、参考として欧州主要国のリサイクル率を図1.20に示す。

推計された未把握の資源化量は、資源化総量の45%程度となった。未把握の資源化量のほとんどは民間による古紙回収であり、古紙を除く店頭回収量は重量としては大きな比率を占めるに至らなかった。資源化量は全体として減少傾向にあり、未把握の資源化量の比率に大きな変化は観察されなかった。本研究で推計できていない、家庭からの段ボールの回収や店頭での衣料品の回収等も含めるとこの傾向は少し異なる可能性がある。また、サブテーマ3で報告するように、事務所・学校等から廃棄される廃プラスチック（日本では産業廃棄物に相当、欧州では都市廃棄物に相当）も含めると、未把握の資源化量は増加する可能性がある。

推計された未把握の資源化量を含めた一般廃棄物のリサイクル率を推計したところ、一般廃棄物統計のリサイクル率より10ポイント程度高い値となった。2019年度については、政府統計で19.6%、本推計で30.3%である。それでも欧州の主要国のリサイクル率と比較して高いとは言えない状況であるが、サブテーマ3で報告するように、欧州のリサイクル量の計測方法も、今後各国で見直しが進むと考えられ、日本と比較可能になっていく可能性もある。ただし、日本においても厨芥等のリサイクルが進まなければ、欧州のリサイクル率を上回ることは難しいであろう。

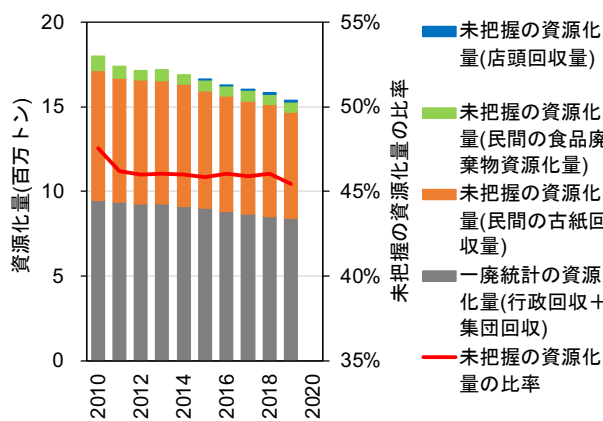


図1.18 一般廃棄物の再資源化量の推計結果

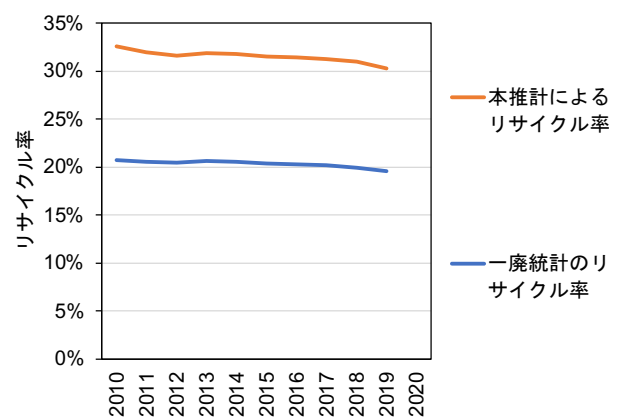


図1.19 統計上のリサイクル率と本推計によるリサイクル率

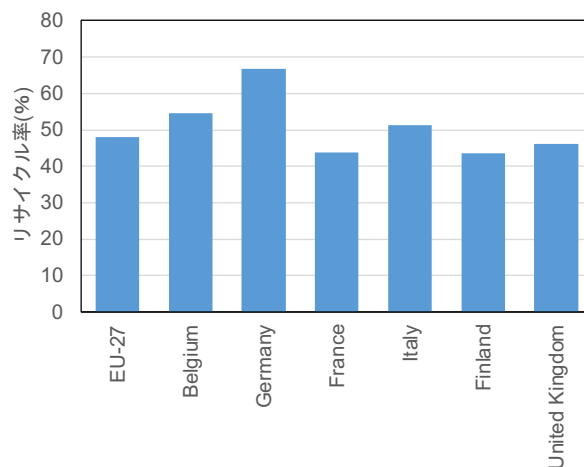


図1.20 欧州主要国のリサイクル率（Eurostat）

5. 研究目標の達成状況

研究目標の1つ目は「物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群を、物質ライフサイクルの6つの断面にもとづいて提案する」ことであり、上述のとおりこの目標は達成した。また、2つ目は「我が国で使用されている主要な物質4品目程度を対象とした適用例を通じてその有用性を示す」ことであるが、これについても上述のとおり5品目の適用例を通じて有用性を示すことができたと考える。さらに、サブテーマ3における研究目標「2つ程度の重要な指標について国際比較可能性を向上させるための対応を提示する」のうち、一般廃棄物／都市廃棄物のリサイクル率を対象として、実証的な検討をサブテーマ1で行った。これは計画には示していなかった内容であり、追加的な成果として示すことができた。以上から、全体としては「目標を上回る成果をあげた」と考えられる。

6. 引用文献

- 1) Daigo, I., K. Iwata, I. Ohkata, and Y. Goto: Macroscopic evidence for the hibernating behavior of materials, *Environmental Science & Technology*, 49(14), pp.8691-8696, 2015
- 2) Hashimoto, S., H. Tanikawa, and Y. Moriguchi: Framework for estimating potential wastes and secondary resources accumulated within an economy - A case study of construction minerals in Japan, *Waste Management*, 29(11), pp.2859-2866, 2009
- 3) 渡辺梓、長野朝子、立尾浩一、橋本征二：未把握の一般廃棄物フローの推計方法と真のリサイクル率、*廃棄物資源循環学会論文誌*、30、pp.62-72、2019

II-2 環境・経済・社会の統合的取組に関する指標と評価手法の検討

早稲田大学

政治経済学術院

近藤 康之

みずほリサーチ&テクノロジーズ(株)

環境エネルギー第1部

高木 重定

環境エネルギー第1部

中西 翔太郎

環境エネルギー第2部

谷口 友莉

[要旨]

第5次循環型社会形成推進基本計画における指標策定への貢献や国際的な発信を研究課題全体の目的として、資源循環や地域循環共生圏形成に向けた取組の環境・経済・社会への影響の統合的な評価、および経済との統合的取組をあらわす指標である「循環型社会ビジネスの市場規模」の改善を実施した。前者については、日本経済とその輸出入を網羅した産業連関表に基づいて、環境（CO₂排出量削減）、経済（所得の維持）、社会（雇用の維持、輸入（資源調達の海外依存度）の低減）の4つの指標を用いた統合的な評価手法を開発した。さらに、資源循環を行う素材産業の生産をサプライチェーンの川下で支える最終需要を同定する手法を開発した。この手法を2つの取組事例（廃プラスチックの国内リサイクル促進、林地残材の地域内での有効利用促進）に適用して、循環計画の策定や進捗点検に活用する可能性を示した。後者の循環型社会ビジネスの市場規模については、欧州の循環経済（CE）に関する文献調査から、日本の循環型社会ビジネスの市場規模推計に追加すべき項目を挙げた上で、CEの文脈を踏まえて市場規模の内訳を示す2つの分類案を検討・提案した。新規追加項目の市場規模について文献値の収集・積算をしたところ、合計で2000年度に42.9兆円、2019年度には66.4兆円と推計され、現行の方法よりも数兆円上積みされた。また、内訳を見るとリサイクルに関連するカテゴリでは第4次循環基本計画の目標値（2025年度に2000年度の約2倍）に近い市場規模の伸びがあったことや、「循環型の設計・生産」や「循環のサポート」、リデュースに相当する部分がデジタル活用・DXによって今後大幅に伸びる可能性があることが示された。

1. 研究開発目的

本研究では、第5次循環型社会形成推進基本計画における指標策定への貢献や国際的な発信を研究課題全体の目的として、「持続可能な社会づくりとの統合的取組」や「多種多様な地域循環共生圏形成による地域活性化」などの環境・経済・社会の統合的取組を評価するため、資源循環や地域循環共生圏形成の環境・経済・社会への影響を評価する手法の開発とその適用を行うとともに、環境・経済の統合的取組を表現する指標である「循環型社会ビジネスの市場規模」を対象として、推計対象範囲と分類の見直しを行い、市場規模を推計する。これにより、環境・経済・社会の統合的取組に関する評価手法、従来よりも改善された経済との統合的取組に関わる指標の計測方法を提供する。

2. 研究目標

資源循環の環境・経済・社会への影響評価手法を提案するとともに、主要な資源循環の取組2例程度を対象とした適用例を通じてその有用性を示す。また、我が国の循環型社会ビジネスの市場規模について、新たな推計対象範囲と分類を提案するとともに、基準年と直近の2カ年分程度の市場規模推計結果を示す。

3. 研究開発内容

(1) 国内における資源循環促進の環境・経済・社会側面の評価手法の開発

a) 産業連関分析による環境・経済・社会影響の統合的評価

資源循環の促進は、物質フローが変化することにより、環境への影響を低減する効果が期待される。環境への影響に加えて、社会・経済への影響として、リサイクル産業における所得・雇用の創出、一次素材に対する需要の減少による輸入依存の低減などのプラスの効果が見込まれる一方、天然資源を採取する関連産業における所得・雇用の減少などのマイナスの影響が生じ得る。したがって、地域循環共生圏の形成等により循環型社会の形成をさらに推進するうえで、資源循環が促進された結果として生じる環境・経済・社会への影響を適切に評価することが求められている。このようなことから、多様な産業において生じる環境・経済・社会への影響を統合的に評価する産業連関分析の方法を開発した。以下にその詳細を示す。

統合的な評価に用いられる産業連関モデルは次のように表される。

国産品の需給バランス	$\mathbf{x} = \mathbf{A}^d \mathbf{x} + \mathbf{y}^d$
生産額	$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{y}^d = \mathbf{L} \mathbf{y}^d$
輸入額	$\mathbf{m} = \mathbf{A}^m \mathbf{x} + \mathbf{y}^m$
所得	$V = \mathbf{v} \mathbf{x} = \sum_{j=1}^n v_j x_j$
雇用者数	$K = \mathbf{k} \mathbf{x} = \sum_{j=1}^n k_j x_j$
国内CO ₂ 排出量	$E^d = \mathbf{d} \mathbf{x} = \sum_{j=1}^n d_j x_j$
世界CO ₂ 排出量	$E^w = \mathbf{d} \mathbf{x} + \bar{\mathbf{e}} \mathbf{m} \quad (\text{ただし、} \bar{\mathbf{e}} = \bar{\mathbf{d}} \mathbf{L} = \bar{\mathbf{d}} (\mathbf{I} - (\bar{\mathbf{A}}^d + \bar{\mathbf{A}}^m))^{-1})$

ここで、 $\mathbf{x} = (x_i)$ は生産額ベクトル、 $\mathbf{y}^d = (y_i^d)$ は国産品に対する最終需要ベクトル、 $\mathbf{y}^m = (y_i^m)$ は輸入品に対する最終需要ベクトル、 $\mathbf{m} = (m_i)$ は輸入額ベクトルであり、各要素は金額単位（百万円）で表される。 $\mathbf{A}^d = (a_{ij}^d)$ は国産品投入係数行列、 $\mathbf{A}^m = (a_{ij}^m)$ は輸入品投入係数行列、 $\mathbf{v} = (v_j)$ は所得係数ベクトルであり、各要素は生産額あたりの投入額または所得額で表される。なお、所得は雇用者所得と営業余剰の和とする。さらに、 $\mathbf{k} = (k_j)$ は雇用係数（生産額あたりの正規雇用者と非正規雇用者からなる雇用者数。単位は人）、 $\mathbf{d} = (d_j)$ はCO₂排出係数（生産額あたりの直接CO₂排出量。単位はトン）である。リサイクルを行う部門の変化を含む。 $\mathbf{I}$ は単位行列である。また、 n は産業部門数を表す。最終需要のベクトル（ $\mathbf{y}^d$, $\mathbf{y}^m$ ）と係数行列・ベクトル（ $\mathbf{A}^d$, $\mathbf{A}^m$, $\mathbf{v}$, $\mathbf{k}$, $\mathbf{d}$ ）は評価対象のシナリオごとに与えられる。ただし、記号の上にバーを付けた係数行列・ベクトル（ $\bar{\mathbf{d}}$, $\bar{\mathbf{A}}^m$ など）は、現状または基準シナリオに対応するものであり、すべてのシナリオに共通の値を用いる。他方、生産額 $\mathbf{x}$ 、輸入額 $\mathbf{m}$ 、所得 V 、雇用者数 K 、CO₂排出量 E^d は、上に記したモデルに基づいて算定される。部門ごとの輸入額に加えて、集計された輸入額 $M = \sum_{i=1}^n m_i$ も算定する。

環境・経済・社会面の統合的な評価においては、サブテーマ3での社会・経済指標のレビューも踏まえ、下表に示した指標を用いる。CO₂排出量 E^d は環境面の指標であり、その値が小さいほど好ましい。所得 V は経済面の指標であり、値が大きいほど好ましい。雇用者数 K と輸入額 M は社会面の指標である。雇用者数 K は、その値が大きいほど好ましい。他方、輸入額 M は資源調達の海外依存度をあらわすと解釈して、これを値が小さいほど好ましい社会面の指標として用いる。

表2.1 統合的評価に用いる指標

分野	指標	望ましい変化の方向
環境	CO ₂ 排出量	減少
経済	所得	増加
社会	雇用者数	増加
	輸入額（資源調達の海外依存度）	減少

海外でのCO₂排出量の算定には、簡便法として国産技術仮定を採用した（海外技術に関するデータの収集が容易でないときに有用な仮定のこと。日本に輸入される商品は、日本国内と同様の技術により生産されると仮定する）。ただし、海外における生産技術をあらわす係数はシナリオごとに変化せず、すべてのシナリオに共通の値（2015年の現状に対応するもの）を用いた。したがって、海外でのCO₂排出量を内数として含む世界CO₂排出量 E^w は、本研究における主要指標ではなく、参考指標と位置付ける。

参考指標である世界CO₂排出量を除く4つの指標を用いて、各シナリオを基準シナリオと比較して、環境・経済・社会側面を統合的に考慮した評価を行う。ただし、いくつかのライフサイクル持続可能性評価（life-cycle sustainability assessment, LCSA）の研究^{1~3)}で採用されたような単一指標は算定しない。多数のシナリオを評価・検討する場合には、単一指標を活用することにより効率的な分析が可能となるが、本研究では比較的少数のシナリオを対象としており、個々の指標の値を活用しながら、すなわち、指標の集計による情報の損失を回避しながら、シナリオを評価・検討することが可能である。したがって、複数の指標の加重平均などによる1つの統合された指標は算定せず、複数の指標を組み合わせるシナリオを評価する。具体的には、各シナリオを基準シナリオと比較して、雇用の維持、海外依存度の低減、所得の維持という制約条件の下で、国内CO₂排出削減量の最大化を評価基準として、4つの指標を組み合わせる統合的評価を実施する。

b) サプライチェーンの川下でリサイクルを支える最終需要の同定

リサイクルの促進は、二次素材に対する十分な需要がある場合に限って実現可能である。したがって、サプライチェーンの川上および川下に位置する産業を考慮して、資源循環のもとらす影響を評価する必要があると考えられる。川下に位置する産業を考慮する方法として、産業連関表に基づくマルコフ連鎖モデル^{4~5)}を応用した。このマルコフ連鎖モデルは、生産額を決定する上記のモデル $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{y}^d$ に基づいて、次のようにあらわされる（すべての部門の生産額 $\mathbf{x}$ のうち、リサイクルを実施する部門 h の生産額 x_h に注目する）。

$$x_h = \mathbf{u}_h \mathbf{x} = \mathbf{u}_h (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{Y}^d \mathbf{s} = \mathbf{u}_h \hat{\mathbf{x}} (\mathbf{I} - \mathbf{B}^d)^{-1} \mathbf{C}^d \mathbf{s} = x_h \mathbf{u}_h \mathbf{G} \mathbf{C}^d \mathbf{s} = x_h \mathbf{g}_h \cdot \mathbf{C}^d \mathbf{s}$$

ここで、 $\mathbf{u}_h$ は h 番目の要素が1、その他すべての要素が0のベクトルである。 $\mathbf{Y}^d$ は消費、投資、輸出などの最終需要項目ごとに区別した最終需要の行列である。 $\mathbf{s}$ は行列 $\mathbf{Y}^d \mathbf{s}$ の各行和 $\mathbf{y}^d = \mathbf{Y}^d \mathbf{s}$ を計算するための、すべての要素が1のベクトルである。 $\hat{\mathbf{x}}$ はベクトル $\mathbf{x}$ の要素を対角要素に並べた対角行列である。マルコフ連鎖モデルで用いられる係数行列 $\mathbf{B}^d$ 、 $\mathbf{C}^d$ は、通常の産業連関モデルで用いられる行列を用いて、 $\mathbf{B}^d = \hat{\mathbf{x}}^{-1} \mathbf{A}^d \hat{\mathbf{x}}$ 、 $\mathbf{C}^d = \hat{\mathbf{x}}^{-1} \mathbf{Y}^d$ とあらわされる。 $\mathbf{g}_h$ はゴッシュ逆行列 $\mathbf{G} = (\mathbf{I} - \mathbf{B}^d)^{-1}$ の h 番目の行ベクトルである。この式 $x_h = x_h \mathbf{g}_h \cdot \mathbf{C}^d \mathbf{s}$ には、次の特徴がある。

- 行ベクトル $\mathbf{g}_h \cdot \mathbf{C}^d$ のすべての要素の合計は1、すなわち、 $\mathbf{g}_h \cdot \mathbf{C}^d \mathbf{s} = 1$ である。
- 行列 $\mathbf{g}_h \cdot \mathbf{C}^d$ の (i, j) 要素は、リサイクルを実施する部門（第 h 部門）の生産額 x_h は最終需要 $\mathbf{Y}^d$ により誘発されるとみなす通常の産業連関モデルにおいて、誘発される生産額 x_h のうち、第 i 部門に対する第 j 項目の最終需要 y_{ij}^d の寄与分はどれくらいの割合であるかをあらわす。あらゆる部門に対するすべての項目の最終需要の寄与分の合計は1（＝100%）である。

この行列 $\mathbf{g}_h \cdot \mathbf{C}^d$ を算定することにより、リサイクルを実施する部門の生産をサプライチェーンの川下で支える最終需要（商品と消費、投資、輸出などの項目）を同定することができる。

c) 評価対象とするシナリオの設定

上で述べた評価手法を用いて、廃プラスチック（以下、廃プラ）のリサイクル促進と林地残材の有効利用促進を対象として、環境・経済・社会影響の統合的評価、およびリサイクル・資源有効利用をサプライチェーンの川下で支える最終需要の同定を行った。各シナリオの設定の概略は次の通りである。

近年注目されている廃プラを対象として、資源循環が促進された結果として生じる素材生産量の変化に関するシナリオを構築した。主に日本の平成27年（2015年）産業連関表および付帯表⁶⁾、貿易統計⁷⁾およびプラスチック循環利用協会（以下、プラ協）報告書^{8~9)}、産業連関表による環境負荷原単位データ

ック(3EID)^{10~11)}などのデータを用いた。2015年における廃プラ（HSコード3915類）の輸出量は約160万トンであり、シナリオとして、輸出されていた廃プラの全量が輸出できなくなり、国内でリサイクルされることとした。輸出できなくなった廃プラを投入（リサイクル）する部門は、産業連関表の付帯表（屑・副産物発生及び投入表（以下、屑副産物表））において廃プラを投入していた5部門「銑鉄」「石油製品」「プラスチック製品」「化学繊維」「自家発電」とした。リサイクルの過程で廃プラが二次素材に転換され、一次素材が二次素材により代替されるため、一次素材の投入量が削減される。簡単化のため、一次素材と二次素材の完全代替を（規模に関係なく一次素材を同じ質量の二次素材で代替できると）仮定して、代替される一次素材投入量を算定した。ただし、完全な代替は現実的ではないため、分析過程で代替の程度について文献^{12~13)}を参考にして改めて確認した。部門ごとのリサイクル方法として、「銑鉄」部門はコークス炉化学原料化、「石油製品」部門は油化、「プラスチック製品」部門および「化学繊維」部門はマテリアルリサイクル、「自家発電」部門は固形燃料（RPF化）を想定した。また、廃プラの投入量を増加すると、それに伴って必要となる「再生資源回収・加工処理」サービスの投入量も増加するはずであるから、「再生資源回収・加工処理」サービスの投入は、廃プラ投入量に比例して増加するものとした。

5つのリサイクルシナリオに加えて、基準シナリオとして、夾雑物（不燃分）を埋立、その他を単純焼却（エネルギー回収を伴わない焼却）により処理するシナリオも設定した。国産品と輸入品を区別した産業連関分析を行うため、一次素材等の投入量を削減する場合は輸入品を優先した。他方、投入量を増加する場合は国産品のみとした。

林地残材の有効利用については、地域循環共生圏に関する検討に資するため、日本全国ではなく、地域の産業連関表を用いた。具体的には、地域としては産業連関表の整備されている都道府県レベルを想定して、福島県の2011年および2015年産業連関表¹⁴⁾を用いた。福島県を1つの地域、その他の46都道府県をもう1つの地域として、海外も含めた3地域を明示した多地域産業連関表を推計して利用した。

基準シナリオとして、2015年産業連関表に対応する「現状」とした。これと比較する林地残材の利用促進シナリオにおいては、福島県内で発生する林地残材20万トンから燃料用木質チップを生産し、木質バイオマス専焼施設に投入し、県内向けに電力または蒸気を販売するものとした。林地残材利用量20万トンは、日本全国における年間の林地残材発生量800万トン¹⁵⁾に、林業生産額の全国に対する福島県のシェア3.06%を乗じて得られる値が24.49万トンであることから、これを丸めた値として設定した。

福島県内で発生した林地残材を原材料とする燃料用木質チップの生産は、福島県における「木材・木製品」部門が行うこととした。同部門は、日本全国の詳細な産業連関表において「木材チップ」部門を含む部門である。「現状」におけるチップ生産部門の投入する原材料は林地残材由来でない素材、製材であり、林地残材の有効利用を促進するシナリオにおいては、これらを林地残材により代替することとした。生産される木材チップの単価は、実際には、林地残材由来でないものとほとんど同じであることから、これらは同額であると仮定した。そのため、原材料投入の削減額と同額だけ輸送投入を増額することにより、有効利用促進シナリオにおけるチップ生産部門の投入係数を設定した¹⁶⁾。

林地残材20万トンに対応した売電可能量と熱供給可能量を、文献^{17~19)}を参考にして設定した。そのうえで、林地残材により供給される電力と蒸気は県内で消費されると仮定して、それに合わせて「電力」「熱供給」部門の県内自給率の値を増加するとともに、蒸気供給の場合は輸入されていた重油の消費量を削減した²⁰⁾。木質バイオマス専焼施設等の建設は評価の対象外とした。

d) 産業連関表を用いた産業分野別、資源別の資源生産性の推計

産業分野別の直接資源投入量（Direct Material Input、DMI）および産業分野別の一次資源等価換算した総物質投入量（Raw Material Input、RMI）の推計精度向上に向けた検討を実施した。以下に直接資源投入量 q_D および総物質投入量 q_R の推計方法について示す。

$$\text{直接資源投入量} \quad q_D = \text{diag}(d(I - (I - M)A)^{-1}) \times ((I - M)y + e)$$

$$\text{総物質投入量} \quad q_R = \text{diag}(\hat{d}(I - (I - \hat{M})A)^{-1}) \times ((I - M)y + e)$$

$$\begin{aligned}
\text{輸入率} & \quad \dot{m}_i = \begin{cases} 0 & (i \in P) \\ m_i & (i \in Q) \end{cases} \\
\text{資源投入強度} & \quad \mathbf{d} = \mathbf{kW}\hat{\mathbf{x}}^{-1} \\
\text{RME資源投入強度} & \quad \hat{\mathbf{d}} = \hat{\mathbf{k}}\mathbf{W}\hat{\mathbf{x}}^{-1} \\
\text{RME資源投入量} & \quad \hat{k}_j = \begin{cases} k_j & (j \in R_D \cup R_M) \\ 0 & (j \in P) \\ \alpha_j k_j & (j \in Q) \end{cases}
\end{aligned}$$

ただし、RME (Raw Material Equivalent) は「一次資源等価換算」を表す。任意のベクトル $\mathbf{v}$ に対して、 $\hat{\mathbf{v}} = \text{diag}(\mathbf{v})$ は $\mathbf{v}$ の要素を対角要素に並べた対角行列 ($\mathbf{v}$ の対角化行列と呼ぶ) を表す。 $\mathbf{I}$ は単位行列 (—)、 $\mathbf{M}$ は産業別輸入率の対角行列 (—)、 $\mathbf{A}$ は投入係数行列 (円/円)、 $\mathbf{y}$ は産業別国内最終需要 (円)、 $\mathbf{e}$ は産業別輸出 (円) を表す。 $\mathbf{d}$ は産業分野別の一次資源等価換算した資源等投入強度 (トン/円)、 $\hat{\mathbf{M}}$ は国産技術仮定をおく産業を区別した産業別輸入率の対角化行列、 m_i と $\dot{m}_i$ はそれぞれ $\mathbf{M}$ と $\hat{\mathbf{M}}$ の第 i 対角要素を表す。 $\mathbf{k}$ は種別別国内資源投入量 (トン) ($k_j, j \in R_D$)、輸入資源投入量 (トン) ($k_j, j \in R_M$)、輸入製品投入量 (トン) ($k_j, j \in N$) を並べたベクトル、 $\mathbf{W}$ は資源等種類別の投入産業を割付する行列 (各行和は1に等しい)、 $\mathbf{x}$ は国内生産額 (円) を表す。 $\hat{k}_j$ は $\hat{\mathbf{k}}$ の第 j 要素を表す。 α_j は資源種 j の一次資源等価換算係数 (トン-RME/トン) を表す。

種別別国内資源投入量 $\mathbf{k}$ は下表に示す各種統計^{21)~31)}よりデータを整備した。

表 2.2 資源等投入量の設定

資源種類	統計
国内資源	資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」 ²¹⁾ 、経済産業省「資源・エネルギー統計」 ²²⁾ 、資源エネルギー庁「採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果」 ²³⁾ 、経済産業省「骨材需給表」 ²⁴⁾ 、農林水産省「作物統計」 ²⁵⁾ 、農林水産省「野菜生産出荷統計」 ²⁶⁾ 、農林水産省「果樹生産出荷統計」 ²⁷⁾ 、農林水産省「漁業・養殖業生産統計」 ²⁸⁾ 、農林水産省「花き生産出荷統計」 ²⁹⁾ 、農林水産省「木材需給報告書」 ³⁰⁾
輸入資源・輸入製品	資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」 ²¹⁾ 、財務省「貿易統計」 ³¹⁾

また、一次資源等価換算した資源投入量 $\hat{\mathbf{k}}$ は下表に示す資源量のうち、国内資源と下表に示す一次資源等価換算した資源投入量よりデータを整備した。

表 2.3 一次資源等価換算した資源投入量の設定

	資源投入量	一次資源等価換算係数
2007年以前	財務省「貿易統計」 ³¹⁾ より (単位は[トン])	Eurostat「欧州RME推計プロジェクト」 ³²⁾ より (単位は[トン-RME/トン])
2008年以降	財務省「貿易統計」 ³¹⁾ より (単位は[円])	Eurostat「Country RME tool」 ³³⁾ より (単位は[トン-RME/円])

国産技術仮定を置かない産業 Q としては、我が国で生産されていない、または、その主たる投入物が生産されていない産業を対象とし、農林漁業、石炭・原油・天然ガス部門、金属鉱物部門、食料品、木材・木製品、石炭製品部門、石油製品部門、鉄鋼部門、非鉄金属部門が該当すると設定した。その他の産業については国産技術仮定をおく産業 P とした。

資源種類別の投入産業への割付 $\mathbf{W}$ について国内資源については各資源を算出する部門を投入部門として設定した。また、輸入資源の算出部門を産業連関表-貿易統計コード対応表 (総務省「産業連関表」³⁴⁾の付表)より把握し、その部門の生産物を投入する部門を投入部門とした。経済産業省「延長産業連関表」³⁵⁾からデータを取得する各年では産業連関表-貿易統計コード対応表が整備されていないため、貿易統計コードの見直しによって、一部、対応関係が不明となるコードが存在した。そうしたコー

ドについては、延長産業連関表の基準年となる総務省「産業連関表」³⁴⁾と貿易統計の対応関係からコードの対応を下図のように推計した。なお、下図に示す方法で複数のIOコードと対応するHSコード数は6%未満だった。また、同じく複数のIOコードと対応する輸入量は3%未満だった。

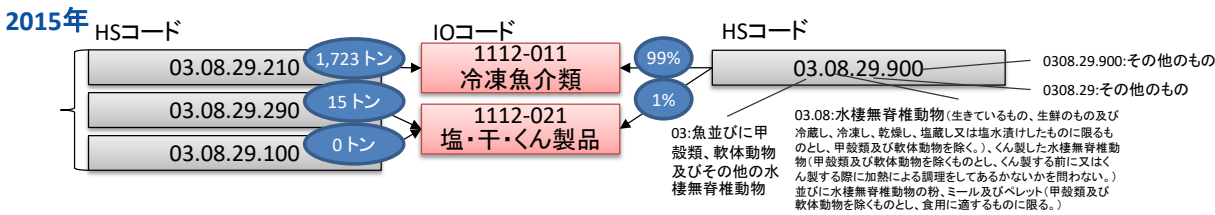


図 2.1 貿易統計コードの産業連関表コードとの対応方法（延長産業連関表を用いる年で産業連関表-貿易統計コード対応表に当該のコードが記載されていない場合の推計方法）

各年の産業別輸入率の対角行列 $\mathbf{M}$ 、投入係数行列 $\mathbf{A}$ 、産業別国内最終需要 $\mathbf{y}$ 、産業別輸出 $\mathbf{e}$ などは総務省「産業連関表」、経済産業省「延長産業連関表」から統計データを取得した。

表 2.4 産業連関表に関するデータ整備

暦年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
データ取得状況	★	推計対象外※1	推計対象外※1	推計対象外※2	○	★	○	○	○	○	○	★	○	○	○	★	○	○
基準年	2000	・	・	・	2000	2005	2000	2000	2005	2005	2005	2011	2011	2011	2011	2015	2015	2015

★：総務省「産業連関表」³⁴⁾、○：経済産業省「延長産業連関表」³⁵⁾
※1：2001年、2002年については1995年基準71部門表が入手できる。本検討では逆行列表の作成を見送った。
※2：2003年については2000年基準73部門表が入手できる。本検討では逆行列表の作成を見送った。

なお、レオンチェフ逆行列表の作成にあたっては、産業連関表の取引基本表で屑・副産物発生を負値として記述することに起因して負の物量が推計されることを回避するために、産業連関表が入手可能な年については、産業連関表の付表のひとつである「屑・副産物発生及び投入表」をもとに屑・副産物フローを特定し、除外した。また、延長産業連関表をもととする年については、直近年の総務省「屑・副産物発生及び投入表」をもとに初期値を算定し、改善されたGRAS法を用いて屑・副産物フローを推計し、これを除外した。

（2）循環型社会ビジネスの市場規模の推計対象範囲の再検討および推計方法の開発

循環型社会ビジネスの市場規模の推計対象範囲の再検討にあたっては、a)追加すべき項目の抽出、b)分類案の検討・提案、c)市場規模推計（文献値の収集・積算）を実施した。

a) 追加すべき項目の抽出

現行の市場規模推計³⁶⁾について、循環経済（CE）の文脈に照らして追加すべき項目を抽出するための文献調査を行った。文献調査にあたっては、まず欧州のCEに関する政策文書や国際機関・NGOによるCEに関する研究文献^{37~43)}をレビューし、市場規模を推計できそうな項目を抽出した。並行して、環境省の「環境産業の市場規模・雇用規模」⁴⁴⁾の最新年データと項目を見直し、現状の推計方法（積算項目）からは抜けていると思われる項目を抽出した。また、サブテーマ3からのインプットとして、欧州各国（独、

伊、英、仏）のCE戦略・計画^{45～50}などからの項目も抽出、既存の項目との見比べを行った上で、対象範囲を拡大できると思われるものについては追加を提案した。さらに、従来は市場規模推計の範囲には含まれていないものの、今後の市場拡大や役割伸張が期待される資源循環分野でのデジタル活用・DXに関する項目の追加も検討した。

最後に、第4次循環計画の重点戦略のうち、特にビジネスに近い部分である「ライフサイクル全体での徹底的な資源循環」に向けて、「事業者に期待される役割」⁵¹⁾から市場推計対象に漏れないかを検証した。

b) 分類の検討・提案

上記a)では、まずは現行の市場規模推計³⁶⁾の分類に沿って日欧の推計対象項目の並び替え・比較をすることで、項目の抜け漏れの確認をしたが、近年のCEの議論も踏まえて市場規模の内訳を示すような2つの分類を別途提案した。

現状の市場規模の内訳は環境省の「環境産業の市場規模」⁴⁴⁾の分類に沿って示されているが、CEのビジネスモデル分類としては国際的な議論も踏まえ、他の案を考える必要が生じている。例えば、再生可能資源の活用（バイオマスプラなど）のRegenerative（回復可能）という視点は「持続可能な農林水産業」にも通じるが、完全に一致するものではないという課題があった。そこで、以下2つの分類を参照しながら、日本型のCEに合う2つの分類を提案した。

- ・ 循環型の取組の類型化：経済産業省・環境省（2021）サーキュラー・エコノミーに係るサステナブル・ファイナンス促進のための開示・対話ガイダンス⁵²⁾で整理されたもの
- ・ 「価値」に応じた循環型ビジネスの4分類：Circle Economy（オランダのNGO）によるもの⁵³⁾で、欧州委員会のCEファイナンス専門委員会⁵⁴⁾や欧州投資銀行⁵⁵⁾も参照しているもの

c) 市場規模推計（文献値の収集、積算）

第4次循環基本計画の目標値の基準年である2000年度と「環境産業の市場規模・雇用規模」の最新データ年である2019年度の2カ年分について、市場規模を積算した。

まず、既存の項目について環境省「環境産業の市場規模・雇用規模」の最新版（2019年度値）⁴⁴⁾へデータを更新するとともに、新規に追加を提案した項目についても「環境産業の市場規模・雇用規模」に数値があるものを積算した。別途推計が必要な項目については推計方法を整理するとともに、既存の文献値や統計値を収集して積算を試みた。

4. 結果及び考察

（1）国内における資源循環促進の環境・経済・社会側面の評価手法の応用

a) 資源循環に係る取組事例の評価（1）：廃プラスチック循環利用促進のシナリオ評価

図2.2に、5つのリサイクルシナリオにおける各指標の値から、基準シナリオにおける指標の値をそれぞれ引いた差を、指標ごとに最良の値で割って基準化した結果を示す。各リサイクルシナリオを基準シナリオと比較したとき、所得の増加、輸入額の減少、雇用者数の増加、CO₂排出量の減少は望ましい変化であるため、それぞれ所得の最大値、輸入額の最小値、雇用者数の最大値、CO₂排出量の最小値が最良の値である。したがって、図示された指標の値が大きいほど、その指標に関して優れていることをあらわす。また、図示された指標が負値のときは、基準シナリオよりも劣ることをあらわす。下図には、参考指標である世界CO₂排出量を示した。また、参考シナリオであるエネルギー回収ありの焼却シナリオに関する結果も示した。

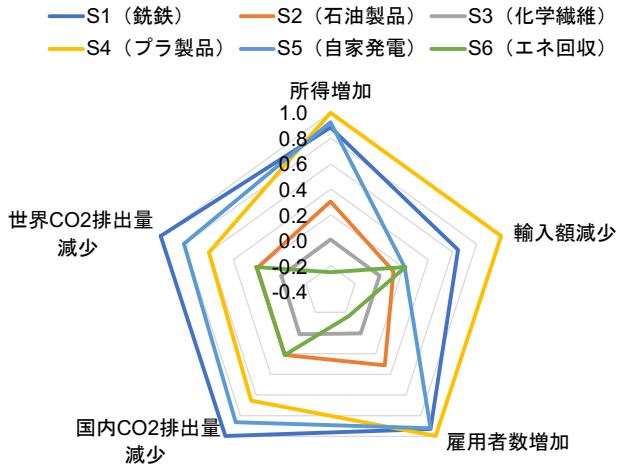


図2.2 廃プラスチック循環利用促進のシナリオ評価結果

鉄鉄部門によるリサイクルシナリオ (S1) は、環境面では非常に優れたパフォーマンスを示している。石油製品部門 (S2) と化学繊維部門 (S3) は、輸出されていた廃プラ160.6万トンの一部 (それぞれ、55.2万トン、3.4万トン) しかリサイクルのために受け入れられないため、その結果をあらわす折れ線は、図の中心付近に描かれている。プラスチック製品部門によるリサイクルシナリオ (S4) は、経済面と社会面では高い評価であるが、環境面の指標の値はS1 (鉄鉄部門) の6割程度である。自家発電部門によるリサイクルシナリオ (S5) は、環境面で優れており、S1 (鉄鉄) とS4 (プラ製品) のあいだの評価である一方、社会面の輸入額減少の指標では非常に低い評価である。

環境・経済・社会側面を統合的に評価するための上述の基準によると、S1 (鉄鉄) が6つリサイクルシナリオの中で最も優れたシナリオであると評価される。各リサイクルシナリオと基準シナリオを比較すると、S6 (エネ回収) を除くすべてのシナリオは、雇用の維持、海外依存度の低減、所得の維持という制約条件を満たす。これらのシナリオの中で、S1 (鉄鉄) が日本国内におけるCO₂排出削減量の最も大きいシナリオである。

鉄鉄部門による廃プラのコークス炉化学原料化によるリサイクルを、サプライチェーンの川下で支える最終需要を同定するため、上述のマルコフ連鎖モデルを適用した結果を表2.5に示す。

表 2.5 鉄鉄部門の生産を誘発する最終需要

	消費	投資	輸出	合計
熱間圧延鋼材			22.5%	22.5%
乗用車	2.6%		5.4%	8.1%
鋼船			2.8%	2.8%
冷間仕上鋼材			2.4%	2.4%
鋼管			2.4%	2.4%
非住宅建築 (非木造)		5.5%		5.5%
住宅建築 (非木造)		3.9%		3.9%
建設補修		2.7%		2.7%
その他の土木建設		2.6%		2.6%
道路関係公共事業		2.2%		2.2%
その他	6.1%	20.1%	18.7%	44.8%
合計	8.7%	37.0%	54.3%	100.0%

同定された項目別部門別最終需要の寄与分のうち「その他」を除いて最も大きいのは、熱間圧延鋼材の輸出 (22.5%) である。すなわち、シナリオで想定した約160万トンを超えて、さらに廃プラを鉄鉄部門においてリサイクルする場合には、同部門の生産量あたり廃プラ投入量を増やすか、または生産量を

増やす必要があり、後者には寄与の大きい熱間圧延鋼材の輸出のような最終需要を増やす必要がある。本研究においては銑鉄部門が生産量を増やすことなく160.6万トンの廃プラを受け入れられると想定したが、廃プラ由来のコークス30万トン弱は、3000万トンを超えるコークス投入量の1%程度である。実際には、石炭に対して廃プラ投入量が1%以下ならばコークスの品質を劣化させないと確認されている¹²⁾。なお、鉄鋼業による受け入れ可能量は約40万トンである¹³⁾との報告もある。したがって、廃プラの大規模なリサイクル促進の可能性を検討する際には、例えば、熱間圧延鋼材の輸出を増やすことによるCO₂排出量の増加と、廃プラのリサイクルによるCO₂排出量の削減とを比較検討する必要がある。

以上のように、本研究で開発した手法は、資源循環の促進に伴うプラスとマイナスの影響の評価、資源循環を支える需要を考慮した対策の検討に貢献し得るものである。

b) 資源循環に係る取組事例の評価（2）：林地残材有効利用促進のシナリオ評価

図2.3に、福島県における林地残材の有効利用促進に関する2つのシナリオの評価結果を示す（参考指標の世界CO₂排出量は省略した）。発電シナリオは、経済面の指標（所得増加）および社会面の指標（輸入減少、雇用増加）について、熱供給シナリオには及ばないものの、基準化された3つの指標はすべて正值であった。すなわち、現状シナリオよりも優れており、上述の評価基準のうち、所得の維持、海外依存度の低減、雇用の維持という3条件を満たす。2つの林地残材有効利用促進のシナリオともにこの3条件を満たすが、CO₂排出量について2つのシナリオを比較すると、発電シナリオの方が優れている。そのため、本研究の提案する評価基準によれば、発電の方が優れた林地残材の有効利用法として評価される。

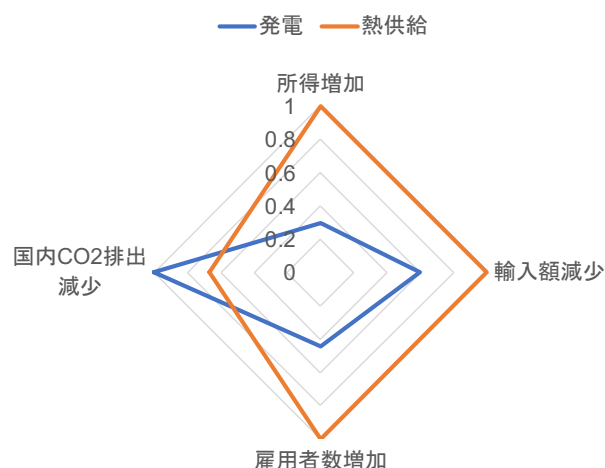


図2.3 林地残材有効利用促進のシナリオ評価結果

ただし、地域別・産業部門別に算定される所得と雇用者数を、図2.3に示したように日本全国について集計するのではなく、2地域（福島県、その他の都道府県）の別に集計すると、異なった結果が得られる。2つのシナリオともに、日本全国の集計値で見ると、雇用が維持されるのに対して、地域別に見ると、福島県では雇用が増加する一方、その他の都道府県では雇用が減少する。所得に関しては、発電シナリオでは福島県、その他の都道府県の2地域ともに、所得が維持される。他方、熱供給シナリオでは、福島県だけで雇用が維持され、その他の都道府県では雇用が減少する。したがって、少数の地域（都道府県）のみで林地残材の有効利用を促進する場合には、当該県において所得や雇用が増加するのに対して、他県において所得や雇用が減少する可能性を考慮する必要がある。このような社会面・経済面での問題を回避しつつ、広く林地残材の有効利用を促進するためには、電力や熱供給に対する需要を各地域で増加する必要がある。

福島県における林地残材の発電への有効利用を、サプライチェーンの川下で支える最終需要を同定するため、2地域間産業連関表に対して、上述のマルコフ連鎖モデルを適用した結果を表2.6に示す。

表 2.6 福島県の電力部門の生産を誘発する最終需要

		福島県		他県		輸出
		消費	投資	消費	投資	
電力	福島県	7.9%	0.0%	18.8%	0.0%	0.0%
公務	福島県	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
その他部門計	福島県	5.7%	1.5%	1.8%	1.0%	1.6%
食料品・たばこ	他県	0.0%	0.0%	2.2%	0.0%	0.1%
鋼材	他県	0.0%	0.0%	0.0%	-0.1%	1.0%
乗用車	他県	0.0%	0.0%	0.8%	0.4%	1.6%
建築	他県	0.0%	0.0%	0.0%	2.6%	0.0%
電力	他県	0.0%	0.0%	1.9%	0.0%	0.0%
商業	他県	0.0%	0.0%	4.7%	0.7%	0.5%
鉄道輸送	他県	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.0%
公務	他県	0.0%	0.0%	2.6%	0.0%	0.0%
教育	他県	0.0%	0.0%	2.5%	0.0%	0.0%
研究	他県	0.0%	0.0%	0.1%	1.3%	0.1%
医療	他県	0.0%	0.0%	3.2%	0.0%	0.0%
飲食サービス	他県	0.0%	0.0%	3.6%	0.0%	0.1%
娯楽サービス	他県	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%	0.0%
その他部門計	他県	0.1%	0.0%	10.8%	6.5%	10.3%

福島県における発電への寄与が大きい最終需要は、福島県の電力部門そのものへの需要であるが、なかでも他県における消費需要が大きい。それ以外にも、県外における県外産サービスに対する消費需要が、間接的に福島県の電力部門の生産を川下で支えている。地域内での資源有効利用の促進施策を検討する場合であっても、地域外との取引を欠くことは出来ないと言えよう。

c) 産業連関表を用いた産業分野別、資源別の資源生産性の推計

産業分野別のDMI、RMIの推計結果を示す（下図）。ただし、DMIの合計値は環境省「我が国の物質フロー」⁵⁶⁾の天然資源等投入量と一致する。2017年のRMIは26億トンであり最も大きい部門は機械部門で6.7億トンと推計された。2017年のDMIである13億トンのなかで最も大きい部門はその他の建設部門の2.7億トンであった。また、2000年のRMIは29億トンであり最も大きい部門は公共事業部門で6.1億トン、DMIである19億トンのなかで最も大きい部門は公共事業部門の5.6億トンと推計された。DMI、RMIの合計値を比較すると2000年から2017年にかけてDMIは約3割減少したのに対して、RMIの減少率は約1割に止まると推計された。この間のDMIの減少に対して、間接的な資源消費も含めたRMIは、それほど減少していないことが示唆される。

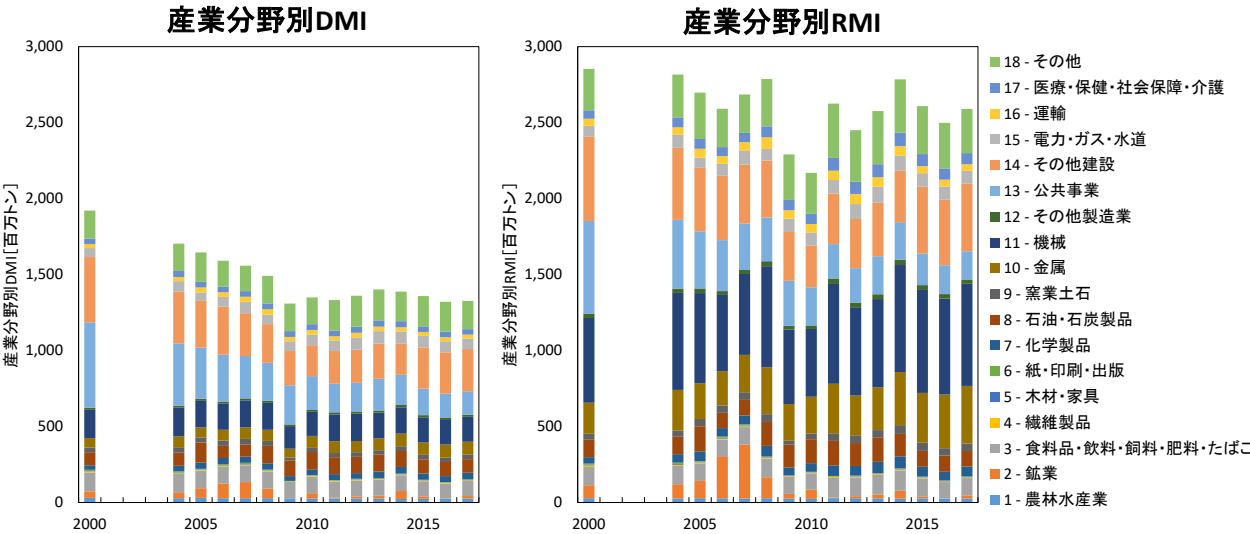


図2.4 産業分野別のDMI・RMIの推計結果

(2) 循環型社会ビジネスの市場規模の推計対象範囲の再検討および推計方法の開発

a) 追加すべき項目の抽出

欧州の循環経済（CE）や資源循環分野でのDX活用などの議論を踏まえ、前述の文献調査より追加すべき項目として、33項目を提案した。環境保全型農業、持続可能な森林整備・木材製造、バイオプラスチック、シェアリング（従来含まれていたカーシェア以外のフリマアプリや民泊・スペースのシェアにも拡大）、ビッグデータ・ブロックチェーン活用などを追加し、循環ビジネスの市場規模の範囲の拡大を提案した。

<追加を提案した33項目>

プラスチック代替素材（紙、新素材）バイオプラ以外、エコマーク認定商品、持続可能な森林整備・木材製造、国産材使用1（建築用・容器）、国産材使用2（家具・装飾品）、環境保全型農業、環境保全型農業資材、バイオプラスチック、リフィル（洗剤、洗浄剤など）、リフィル（食品、飲料など）、フリマアプリ+ネットオークション（モノのシェア）、家具・家電のレンタル（モノのシェア）、衣料品・ファッションのサブスク（モノのシェア）、民泊（スペースのシェア）、会議室・駐車場・イベント会場などのシェア（スペースのシェア）、移動のシェア（サイクルシェア）、PaaS、メンテナンス（リペア以外）、リペア（服・靴・鞆）、掃除、ストリーミングサービス（音楽、映像）、ビッグデータ（予防保全）、ビッグデータ（発注最適化）、製品ライフサイクル管理（PLM）、3Dプリンター、廃棄物のロボット選別、ブロックチェーン・プラットフォーム、需要予測、BIM・CIM、化学物質などマテリアルに関する情報共有プラットフォーム、マテリアルに関する品質などの第3者検証・認証（手数料等）、消費者への情報提供（広告等）、汚泥処理装置

b) 分類の検討・提案

前述の2つの分類について、文献による分類をそのまま使うのではなく、日本型CEとして、現状では技術的・経済的な理由からどうしてもリサイクルやリユースができない一方で、社会全体の衛生・安全確保のため適切に処理する必要がある廃棄物の適正処理についても市場規模推計に加えるとの方針で、表2.7、表2.8のように一部変更を提案した。

表2.7 「循環型の取組の類型化」をもとにした分類＝環型ビジネスの取組形態（3R+Renewable）にもとづく分類

項目	概要
Reduce	資源・廃棄物の発生抑制に資する取組
Reuse/ Efficient use	製品等の長期使用・有効利用に資する取組
Recycle	資源の循環利用・再生利用に資する取組
Renewable	再生可能資源の利用に資する取組
Appropriate waste management	焼却や最終処分など、廃棄物の適正処理に関する項目。有害性のある廃棄物など、安全に処理する必要がある廃棄物の処理が該当*

*元の文献⁵²⁾から変更した部分（カテゴリを新設）

表2.8 「「価値」に応じた循環型ビジネスの4分類」をもとにした分類＝循環型ビジネスが提供する「価値」にもとづく分類

項目	概要
循環型の設計・生産モデル	・ 長寿命化、モジュール化、資源節約型やリユース前提の製品・部品・素材の設計、生産
循環型の使用モデル（使用の最適化）	・ サービス、アドオンの提供による製品の寿命延長や、より効率的な使用
循環型の価値再生モデル	・ 使用済製品、廃棄物や副産物の残存価値を活かす
循環のサポート	・ 価値のネットワークでの管理や連携をサポート。プロセスデザイン、価値管理、トレーシング設備など ・ 有害物質を含む廃棄物等、安全・衛生のための適正処理についても、CEの土台を支えるものとして、「循環のサポート」に含めるものと整理*

*元の文献⁵³⁾から変更した部分（カテゴリに該当する内容を追加）

c) 市場規模推計（文献値の収集・積算）

文献値の収集

追加を提案した項目について、統計値や民間の調査会社の報告などの文献から、積算できる数字を収集した。なお、市場規模の追加項目の推計にあたっては、「環境産業の市場規模」等の推計方法の整理から、市場規模の推計方法としてどのようなものがあるか表2.9のとおり整理した。追加項目のうち、シェアリング・フリマアプリ、PaaS、家具・家電レンタルについて、「1）既存の統計（金額）の積上」を試行した一方で、リフィルについては「2）既存の統計（金額）×比率」で積算を試行した。一方では、データの入手可能性により、現状で推計可能な項目は統計データが整備されているものに限定された。

環境省「環境産業の市場規模」⁴⁴⁾以外を数値出典とする追加項目について、積算する数値を設定できた項目について数値の出典^{57～66)}を表2.10にまとめた。

市場規模の積算結果

現行の市場規模推計をベースに、環境省「環境産業の市場規模」の最新データへの更新及び、追加を提案した項目のうち数値を設定できたものについて、基準年である2000年度と、最新年度である2019年で推計を行った。推計対象項目を追加したことで、現行の方法よりも2カ年とも市場規模は数兆円規模で上積みされ、2000年度は42.9兆円、2019年度には66.4兆円と推計された。それでも、市場規模の拡大は、第4次循環基本計画の目標（2025年度に2000年度の約2倍）の達成には厳しいペースである。

環型ビジネスの取組形態（3R+Renewable）にもとづく分類（図2.5）に沿って市場規模を見ると、製品等の長期使用・有効利用に資する「Reuse/ Efficient use」に該当するものの市場規模が大きい。次いで、資源の循環利用・再生利用に資する「Recycle」に相当する項目が大きい。2000年度から比べると2019年度には資源・廃棄物の発生抑制に資する「Reduce」の取組が増えた。

5つのカテゴリについて、2000年度から2019年度までの変化率を見ると、「Reduce」の項目の伸びが大きい。電子書籍、ストリーミングサービス（音楽、映像）、ビッグデータ（発注最適化）、製品ライフサイクル管理（PLM）などが含まれ、いずれも市場規模推計の対象範囲とすべき数値の切り分け方は精査が必要である。また、特にデジタル活用に関する項目の市場規模は今後大幅に伸びる可能性はあるが、現時点での「Reduce」の金額は他の4つのカテゴリに比べて非常に小さい。一方で、資源の循環利用・再生利用に資する「Recycle」に相当する項目の市場規模は2000年度から2019年度に1.8倍と、2倍近い伸びを示している。これは、新エネ売電ビジネスの他、レアメタルリサイクル、石炭灰リサイクル製品、生ごみ肥料化・飼料化が特に大きな伸びを示したことによるものであった。カテゴリ別に見ると、第4次循環基本計画で定められた目標（2000年度の約2倍）に向けた進捗があることが示された。なお、新エネ売電ビジネスは、既存の循環型社会ビジネス市場規模の推計でも積算に含まれている項目ではあるものの、循環型社会ビジネスの市場規模の範囲外と思われる風力発電や太陽光発電なども含んでおり、一部過大な推計となっている可能性がある点には留意が必要である。

表2.9 市場規模推計の方法案の整理

方法案	例	課題
1) 既存の統計（金額）の積上	「環境産業の市場規模」項目の市場規模積算、官公庁や業界団体等の単発調査の推計結果の積算	- データの取り方について、不明な部分もあり、対象としたい範囲に合致しているかの判断が難しい場合もある - 単発調査の場合はデータの連続性がない
2) 既存の統計（金額）×比率	詰替製品＝出荷額×詰替商品の割合	対象とするものの比率の設定で割り切った仮定が必要になる
3) 既存の物量統計×単価	バイオマスプラの生産量×単価	単価にもブレがある
4) 代表的なサービス・企業の売上の積算	シェアリング各社の売上の積算	- 各カテゴリで代表的なサービスを特定できないこともある - 積算対象とする企業の選定基準、データの公開有無

表 2.10 市場規模推計の追加項目の数値出典

4分類	推計項目	数値出典
循環型の設計・生産モデル	プラスチック代替素材（紙、新素材）バイオプラ以外	—
	エコマーク認定商品	—
	リフィル（洗剤、洗浄剤など）	2）経済産業省 鉱工業動態統計室 販売額×業界統計（日本石鹼洗剤工業会）（2000-2019年値） ⁵⁷⁾
	リフィル（食品、飲料など）	—
循環型の使用モデル（使用の最適化）	フリマアプリ+ネットオークション（モノのシェア）	1）経済産業省 電子商取引実態調査（2016-2020年値） ⁵⁸⁾
	家具・家電のレンタル（モノのシェア）	1）矢野経済研究所 2020年版住まいと生活支援サービスの実態と将来展望（概要版）（2017-2020年値） ⁵⁹⁾
	衣料品・ファッションのサブスク（モノのシェア）	1）矢野経済研究所 サブスクリプションサービスの実態と展望2020（2019-2020年値） ⁶⁰⁾
	民泊（スペースのシェア）	1）内閣府（2018）シェアリング・エコノミー等新分野の経済活動の計測に関する調査研究報告書（2016年値） ⁶¹⁾ 、経済産業省（2020）シェアリングエコノミーに関する実態調査（2018年値） ⁶²⁾
	会議室、駐車場、イベント会場などのシェア（スペースのシェア）	1）一般社団法人シェアリングエコノミー協会「シェアリングエコノミー関連調査2020年度調査結果」 ⁶³⁾ 、経済産業省（2020）シェアリングエコノミーに関する実態調査（2018年値） ⁶²⁾
	移動のシェア（サイクルシェア）	—
	ストリーミングサービス（音楽、映像）	1）経済産業省 電子商取引実態調査（2016-2020年値） ⁵⁸⁾
	メンテナンス（リペア以外）	1）空調保守メンテナンスと仮定、富士経済調査結果（2018年度値） ⁶⁴⁾
	リペア（服・靴・鞆）	—
	掃除	—
循環のサポート	ビッグデータ（予防保全）	1）総務省（2013）「ICT分野の革新が我が国経済社会システムに及ぼすインパクトに係る調査研究報告書」 ⁶⁵⁾ 予防保守による故障対応時間短縮（業務用機械）人件費効率化を2010年時点の工業統計と事例に基づく仮定値から推計
	ビッグデータ（発注最適化）	1）総務省（2013）「ICT分野の革新が我が国経済社会システムに及ぼすインパクトに係る調査研究報告書」 ⁶⁵⁾ アパレルSPA、100円ショップ、食品製造販売での効果を2007年商業統計と事例に基づく仮定値から推計
	製品ライフサイクル管理（PLM）	1）矢野経済研究所 2021PLM市場の実態と展望（2011-2020年値） ⁶⁶⁾

注）環境省「環境産業の市場規模」⁴⁴⁾以外を数値出典とする追加項目について記載。前表の推計手法のうち、主に1）を採用；1）既存の統計（金額）の積上、2）既存の統計（金額）×比率、3）既存の物量統計×単価。なお、数値出典が「—」の項目については、本研究ではデータ制約から積算対象外とした。

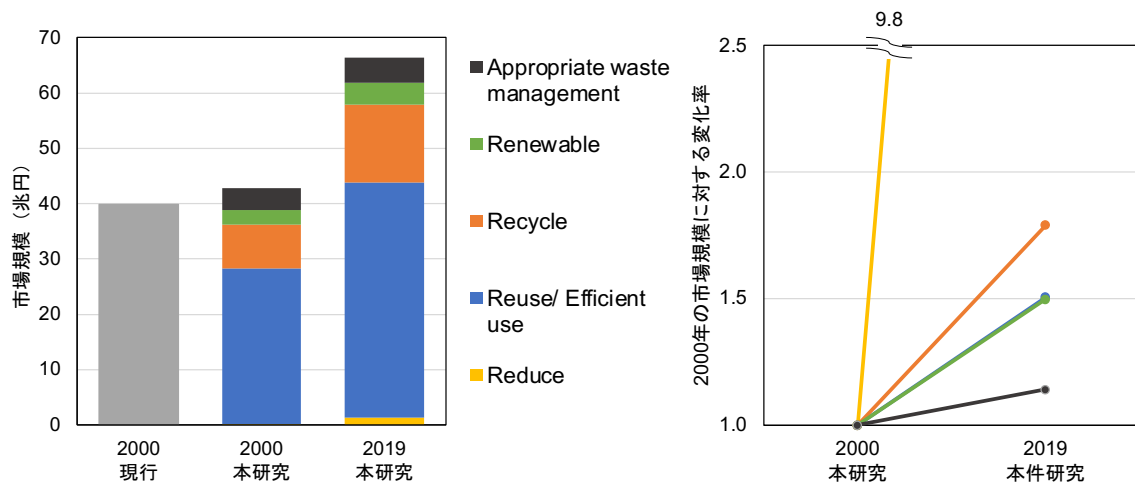


図2.5 市場規模の推計結果（環型ビジネスの取組形態（3R+Renewable）にもとづく分類）

注）Appropriate waste managementには、PCB処理装置、汚泥処理装置、最終処分などの廃棄物の適正処理に関する項目を含む。

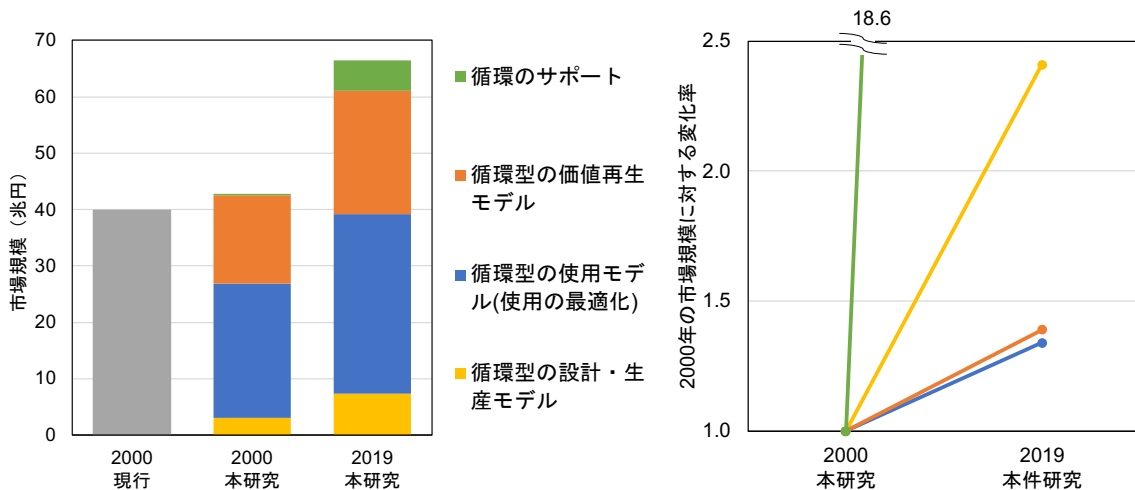


図2.6 市場規模の推計結果（循環型ビジネスが提供する「価値」にもとづく分類）

一方、循環型ビジネスが提供する「価値」にもとづく分類（図2.6）に沿って市場規模を見ると、「循環型の価値再生モデル」及び「循環型の使用モデル」に該当する項目が大半を占めた。なお、現状「循環のサポート」の積算対象としている項目には、最終処分やPCB処理装置、ビッグデータ（予防保全、発注最適化）や製品ライフサイクル管理（PLM）などが含まれるが、後者の資源循環のためのデジタル活用に関する項目の網羅性や、積算した既存データの正確性・妥当性には現時点では限界がある。特に資源循環分野のデジタル活用・DXなど、日本の循環型社会ビジネスの市場規模推計において抜けている項目があること、市場規模推計のためにはデータの整備が必要であることが示唆された。

4つのカテゴリについて、2000年度から2019年度までの変化率を見ると、「循環のサポート」の伸びが非常に大きい。これはビッグデータ（予防保全、発注最適化）が寄与した。ただし、ビッグデータ活用に関しては、2000年度時点でのデータがなく、また適正な対象範囲については精査が必要である。

その他に「循環型的设计・生産モデル」が2.4倍と、2倍超の伸びを示した。特に100年住宅、環境保全型農業が顕著な伸びを示したことが寄与していた。また、「Recycle」に近い「循環型の価値再生モデル」も1.4倍に拡大しており、新エネ売電ビジネスの他、レアメタルリサイクル、石炭灰リサイクル製品、生ごみ肥料化・飼料化が市場規模の拡大に寄与した。

2つの分類を比べてみると、環型ビジネスの取組形態（3R+Renewable）にもとづく分類（図2.5）の「Recycle」に該当する項目が規模拡大に貢献しているが、同分類の「Reuse/Efficient use」及び、循環型ビジネスが提供する「価値」にもとづく分類（図2.6）の「循環型の使用モデル」の市場規模は伸び悩ん

でいる。該当する項目としては建築リフォーム・リペア、自動車整備の市場規模が大きく、他に各種機器・設備のリース・レンタルなどが含まれる。「Reuse/Efficient use」及び「循環型の使用モデル」が市場規模に占める割合は現状でも大きく、CEに向けては製品の使い方やビジネスモデルとして、PaaS（Product as a Service）などの大きな変化がある可能性もある。今後の注視が必要と考えられる。

まとめ

欧州のCEに関する文献調査から、循環型社会ビジネスの市場規模推計に追加すべき項目として33項目を挙げた上で、CEの文脈を踏まえて市場規模の内訳を示す2つの分類案を検討・提案した。新規追加項目の市場規模について文献値の収集・積算をしたところ、日本の循環型社会ビジネスの市場規模は2000年度に42.9兆円、2019年度には66.4兆円の市場規模と推計され、現行の方法よりも数兆円上積みされた。また、内訳を見るとリサイクルに関連するカテゴリでは第4次循環基本計画の目標値(2000年度の約2倍)に近い市場規模の伸びがあったことや、「循環型の設計・生産」や「循環のサポート」、リデュースに相当する部分がデジタル活用などによって今後大幅に伸びる可能性があることが示された。

市場規模の数値の精緻化に向けた課題として、新エネ売電ビジネスなど、既存の項目についても循環型社会ビジネスの範囲を超えて過大推計になっているものがあることから見直しが必要であり、また、市場規模の対象範囲の拡大（積算する項目の追加）を提案したものの、データ取得の限界から市場規模の推計が難しい項目が残った。例えば、特に「長寿命化製品」や「PaaS」、資源循環に向けたデジタル活用・DXなどはデータ制約から現状では市場規模の推計が困難である。

「長寿命化製品」の考え方の近い取組として、国内でも例えば以下の2つがあるが、いずれも「製品の長寿命化」以外の様々な要素を含む他、整備されているデータの限界がある。

- ・ エコマーク認定製品：文房具以外も含めた売上について、エコマーク認定商品数のデータ（エコマーク事務局）はあるが、販売額のデータなし。「長寿命化製品」で対象として狙いたい範囲・意図とのずれもある。
- ・ グリーン調達：自治体の実績（割合や品目数）のデータはあるが、シェアや金額の情報は非公表。

「長寿命化製品」で対象として狙いたい範囲・意図とのずれもある。

モノからコトへ、所有から利用へなどとも称されるPaaS（Product as a Service）についても同様にデータの補足や切り分けが難しいことから市場規模推計は困難であるが、BtoCのサービスについては民間の調査会社でもサービス提供各社へのアンケートなどから市場規模の推計を試みる例がでてきている^{59~60)}。整理した方法案の中では、「4）代表的なサービス・企業の売上の積算」に近い方法であると考えられる。一方で、BtoBのサービスについては、まず代表的なサービスの特定が困難であり、更に売上など市場規模を推計するためのデータを取得することが難しいという課題がある。例えば、サービスに関する売上データが別途整理されていない（モノ売りのデータも含めた数字しかない）、企業内にデータが有ったとしても非公開といった現状がある。

更に今後の大幅な伸びが期待される資源循環分野のデジタル活用・DXについても、対象範囲の特定や、統計の未整備、データの切り分けが難しいなどの課題がある。一方では製品ライフサイクル管理(PLM)や3Dプリンターなどの新しい技術の市場規模については、民間の調査会社でも市場規模の推計を行っている例がある⁶³⁾。

日本の循環型社会ビジネスの市場規模推計にあたっては、すべての数字を官公庁の統計で補足することには限界があり、民間の調査会社のデータやマーケットレポートなどを活用することで、官の調査・統計を待たずに市場規模を推計できると考えられる。

日本政府の成長戦略フォローアップ工程表⁶⁷⁾では、「2030年までに、サーキュラーエコノミー関連ビジネスの市場規模を、現在の約50兆円から80兆円以上にすることを目指す」とのKPI（達成すべき成果目標）が示されており、この目標の達成に向けては、特に「循環のサポート」に該当する資源循環分野でのデジタル活用・DXに拡大の可能性がある。上述のとおり、積算する項目の精査やデータの入手可能性に課題はあるが、シェアリングやPaaS、DX活用などの新しいビジネスに関しては、官民の調査・統計データを柔軟に駆使することでCEの文脈に沿った市場規模の推計や、目標達成に向けた道筋を見出せると考えられる。

CEの議論の発信地である欧州からも、民間のコンサルティングファームなどがCEの経済効果を発信しており⁴⁰⁾、EUがCE行動計画（2015年12月版）の成果報告⁶⁸⁾として経済・投資の規模や雇用創出効果を示しているが、現状として国レベルのCEビジネスの市場規模を定量的・経年的に示している例は著者の把握する範囲では存在しない。循環型社会ビジネスとしてどこまでを対象範囲とするか、例えば、再生可能エネルギーや水資源にまで範囲を広げるのか、廃棄物の適正処理の扱いなど、ISO(TC323)などの国際的なCEの定義についての議論も踏まえて政策的な判断が必要である。日本型CEと、その現状について把握していることを示せば、日本市場・産業に不利のないCEの定義へのインプットにも繋がる。

5. 研究目標の達成状況

資源循環の環境・経済・社会への影響評価手法として、産業連関分析に基づく手法を開発・提案し、これを主要な資源循環の取組のシナリオ2例（廃プラスチックの国内でのリサイクル促進、および林地残材の地域内での有効利用促進）に適用した分析を行い、その有用性を示した。

循環型社会ビジネスの市場規模の推計に関しては、CEの議論を踏まえた市場規模推計範囲の拡大（積算項目の追加）を提案し、CEの文脈に沿った新たな分類の検討、追加を提案した項目の市場規模のデータ探索や推計方法の整理を実施し、基準年と最新年の2カ年分の市場規模の積算を実施した。

以上により、目標どおりの成果をあげた。

6. 引用文献

- 1) Vinyes, E., Oliver-Solà, J., Ugaya, C., Rieradevall, J., & Gasol, C. M.: Application of LCSA to used cooking oil waste management. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(2), 445–455. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0482-z> (2013).
- 2) Dong, Y. H., & Ng, S. T.: A modeling framework to evaluate sustainability of building construction based on LCSA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(4), 555–568. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1044-6> (2016).
- 3) Wulf, C., Zapp, P., Schreiber, A., Marx, J., & Schlör, H.: Lessons Learned from a Life Cycle Sustainability Assessment of Rare Earth Permanent Magnets. *Journal of Industrial Ecology*, 21(6), 1578–1590. <https://doi.org/10.1111/jiec.12575> (2017)
- 4) H Yamada, I Daigo, Y Matsuno, Y Adachi, Y Kondo: Application of Markov chain model to calculate the average number of times of use of a material in society-An allocation methodology for open-loop recycling. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (5), 354-360 (2006)
- 5) F Duchin, SH Levine: Embodied Resource Flows and Product Flows: Combining the Absorbing Markov Chain with the Input-Output Model. *Journal of Industrial Ecology* 14 (4), 586-597 (2010)
- 6) 総務省:平成 27 年(2015 年)産業連関表 (2019)
- 7) 財務省: 貿易統計品別国別表 (2015-2020)
- 8) 日本容器包装リサイクル協会: プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討。(2007) .
- 9) 日本容器包装リサイクル協会: プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討II。(2012) .
- 10) 南斉規介: 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID). 国立研究開発法人国立環境研究所(2019).
- 11) Nansai, K., Fry, J., Malik, A., Takayanagi, W., & Kondo, N.: Carbon footprint of Japanese health care services from 2011 to 2015. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104525.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104525> (2020).

- 12) 関根有, 福田耕一, 加藤健次, 足立芳寛, & 松野泰也: 製鉄所での廃プラスチック利用による CO2 削減ポテンシャル. 日本 LCA 学会誌, 5(4), 486-500. (2009)
- 13) 経済産業省: 2019年度第1回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 鉄鋼ワーキンググループ、資料4 日本鉄鋼連盟 資料(資料4-1 説明資料) (2020)
- 14) 福島県: 福島県産業連関表 (2011、2015)
- 15) 林野庁: 平成29年度森林・林業白書 (2018) 第1部第IV章第3節木材利用の動向 (4)
- 16) 森泉由恵, 本藤 祐樹, 中野 諭: 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用, 日本エネルギー学会誌, 94(12), 1397-1413, (2015)
- 17) NEDO: バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第4版) (2015)
- 18) 日本木質バイオマスエネルギー協会: ホームページ「燃料用木質チップの品質規格」策定の経過
- 19) 環境省: 温室効果ガス総排出量算定方法ガイドラインVer.1.0(2017)
- 20) 資源エネルギー庁: 都道府県別エネルギー消費統計 (2011, 2015)
- 21) 資源エネルギー庁: 総合エネルギー統計 (2002-2019)
- 22) 経済産業省: 資源・エネルギー統計 (2001-2018)
- 23) 資源エネルギー庁: 採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果 (2002-2019)
- 24) 経済産業省: 骨材需給表 (2003-2020)
- 25) 農林水産省: 作物統計 (2001-2018)
- 26) 農林水産省: 野菜生産出荷統計 (2001-2018)
- 27) 農林水産省: 果樹生産出荷統計 (2002-2019)
- 28) 農林水産省: 漁業・養殖業生産統計 (2002-2019)
- 29) 農林水産省: 花き生産出荷統計 (2001-2018)
- 30) 農林水産省: 木材需給報告書 (2001-2018)
- 31) 財務省: 貿易統計 (2001-2018)
- 32) Eurostat: 欧州RME推計プロジェクト (2000-2008)
- 33) Eurostat: Country RME tool (2020)
- 34) 総務省: 平成12年、17年、23年、27年産業連関表 (2004、2009、2015、2020)
- 35) 経済産業省: 延長産業連関表 (2003-2020)
- 36) 環境省: 第三次循環型社会形成推進基本計画の進捗状況の第3回点検結果について (2017) pp.35
- 37) 欧州委員会: Measuring progress towards circular economy in the European Union - Key indicators for a monitoring framework, SWD(2018) 17final (2018)
- 38) フランス環境・エネルギー・海洋省 観測統計部: 10 Key Indicators for Monitoring the Circular Economy 2017 Edition (2017)
- 39) Ellen MacArthur Foundation, SUN and McKinsey Center for Business and Environment: Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe (2015)
- 40) Peter Lacy, Jakob Rutqvist: サーキュラー・エコノミー デジタル時代の成長戦略 (2016)
- 41) OECD: Business Models for the Circular Economy OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FOR POLICY (2019)
- 42) Cambridge Econometrics, Trinomics, and ICF: Impacts of circular economy policies on the labour market (2018)
- 43) WRAP: Economic Growth Potential of More Circular Economies(2015)
- 44) 環境省: 令和2年度環境産業の市場規模・雇用規模等に関する報告書 (2021)
- 45) ドイツ連邦環境省 (BMUV): Germany Progress iii (2020)
- 46) イタリア環境・国土保全省、経済・財務省: Towards a Circular Economy in Italy - Overview and Strategic Framework (2017)
- 47) イタリア環境・国土保全省、経済・財務省: Indicatori per la misurazione dell' economica circolare

(2018)

- 48) フランス環境連帯移行省 (MTES) 50 Measures for a 100% Circular Economy (2018)
- 49) 英国政府: Green Future - Our 25 Year Plan to Improve the Environment (2018)
- 50) 英国政府: Our Waste, Our Resources - A Strategy for England (2018)
- 51) 環境省: 第四次循環型社会形成推進基本計画 (2018) pp.49-50
- 52) 経済産業省、環境省: サーキュラー・エコノミーに係るサステナブル・ファイナンス促進のための開示・対話ガイダンス (2021) pp.17
- 53) 経済産業省、環境省: 第2回 サーキュラー・エコノミー及びプラスチック資源循環ファイナンス研究会, 資料 4-2 循環型の事業活動の類型について(2021), pp12
- 54) 欧州委員会 CE Finance Expert Group: Categorisation System for the Circular Economy: A sector-agnostic approach for activities contributing to the circular economy (2020)
- 55) 欧州投資銀行: Circular Economy Guidance (2020)
- 56) 環境省: 循環型社会白書 (2003-2020)
- 57) 日本石鹼洗剤工業会 (経済産業省鉱工業動態統計室): 2020 年洗剤等の製品販売統計 (2021)
- 58) 経済産業省: 電子商取引実態調査 (2016-2020)
- 59) 矢野経済研究所: 2020 年版住まいと生活支援サービスの実態と将来展望 (概要版) (2020)
- 60) 矢野経済研究所: サブスクリプションサービスの実態と展望 2020(2020)
- 61) 内閣府: シェアリング・エコノミー等新分野の経済活動の計測に関する調査研究報告書 (2018)
- 62) 経済産業省: シェアリングエコノミーに関する実態調査 (2020)
- 63) シェアリングエコノミー協会, 情報通信総合研究所: シェアリングエコノミー関連調査 2020 年度調査結果(2020)
- 64) 富士経済: 2020 年版 空調・熱源システム市場の構造実態と将来展望(2020)
- 65) 総務省: ICT 分野の革新が我が国経済社会システムに及ぼすインパクトに係る調査研究報告書 (2013)
- 66) 矢野経済研究所: 2021PLM 市場の実態と展望(2021)
- 67) 内閣官房: 成長戦略フォローアップ 工程表 (2021) pp.58
- 68) 欧州委員会: Report on the implementation of the Circular Economy Action Plan, COM/2019/190 final (2019)

Ⅱ－３ 欧州の循環経済指標のレビューと各種指標の国際比較可能性の検討

(公財)地球環境戦略研究機関

持続可能な消費と生産領域

栗生木 千佳

〔要旨〕

国際社会全体で資源効率性・循環経済を推進する議論が進む中、我が国の循環型社会形成推進基本計画、欧州連合（EU）の循環経済行動計画のみならず、国家レベルで資源効率性・循環経済戦略を策定する国が、欧州各国をはじめとして増加している。G7やG20、国際連合などの場においても、その進捗を測るための指標やその測定手法（方法論）が重要視されており、政策の進展に対応し、新たな指標の設定も各国において進められている。本サブテーマでは、国家レベルで資源効率性・循環経済戦略を策定しているEUや欧州主要国（イタリア、イギリス、ドイツ、フランス等）を対象として、各国の関連政策文書および政策モニタリング関連文書のレビューを行い、対象国における政策評価ないしはモニタリングに利用されている資源効率性・循環経済政策指標のデータベースを作成した。また、指標の設定状況の整理と指標体系の比較分析を行った結果、全体として、供給、生産、消費、リサイクル／廃棄物管理、環境影響（フットプリント、GHG）、社会経済という分類のもと指標が設定されてきた。具体的な指標としては、環境分野については、リサイクル率や資源の投入と排出に関わる従来型の指標とともに、再生材の活用、消費・廃棄物発生抑制に関連する指標、気候変動に関連する指標を設定する動きが見られた。社会経済分野については、雇用、投資、売上、戦略数といった指標を設定している国があった。データベースは、今後ウェブサイトでの公表を行う予定である。加えて、国際比較可能性の向上に向けて、一般廃棄物のリサイクル率及び入口側の循環利用率に関連する指標を対象として、日欧における計算方法の詳細分析を行ったところ、日本の一般廃棄物／欧州の都市廃棄物のリサイクル量については、計測の段階の違いが課題の1つであったが、2018年廃棄物枠組み指令において定義が明確化されたことにより解消したこと、しかしながら、双方の指標において、計測対象となる一般廃棄物／都市廃棄物の範囲の違い、日本の循環利用量と欧州のリサイクル量の範囲の違いがあり、回収主体や廃棄物「等」、エネルギー回収の扱いが比較可能性の向上において重要な項目となることを示した。

1. 研究開発目的

我が国の循環型社会形成推進基本計画、欧州連合（EU）の循環経済行動計画のみならず、国家レベルの資源効率性・循環経済戦略を策定する国が、欧州各国、最近では、アジア諸国においても増加している。国際社会全体で資源効率性・循環経済を推進する議論が進む中、G7やG20、国際連合などの場においても、その進捗をはかるための指標やその測定手法（方法論）が重要視されている。資源生産性や各種リサイクル率等の指標は、日本や欧州連合（以下、EU）、ドイツ、中国などをはじめとして、3R・資源効率性・循環経済の政策評価やモニタリングに用いられてきたところであるが、近年の資源効率性・循環経済政策の進展に対応し、新たな指標の設定も各国において進められている。持続可能な開発目標（以下、SDGs）の指標開発の動き等も受けて、今後、政策評価に関する協調した取り組みを行ううえでも、国際比較可能性の向上の重要性が増している。このようなことから、指標のデータベースの提供や国際比較可能性の向上のため、欧州の循環経済指標をレビューし、各種指標の定義、計算方法、使用データをデータベースとして整備するとともに、国際比較可能性の向上に向けた方策を検討する。これにより、指標のデータベースと各国の状況を適切に比較評価するための方法を提供する。

2. 研究目標

欧州等で利用・検討されている循環経済指標、及びその定義、計算手法、使用データ等について整理し、データベースを提供する。また、2つ程度の重要な指標について国際比較可能性を向上させるための対応を提示する。

3. 研究開発内容

上記研究開発目的に示した内容を踏まえ、本サブテーマでは、以下の整理・分析を行った。

① 各国の循環経済・資源効率性指標体系の比較分析

国家レベルで資源効率性・循環経済戦略を策定しているEUや欧州主要国（イタリア、イギリス、ドイツ、フランス等）を対象として（表3.1）、各国の資源効率性および循環経済政策関連文書および政策モニタリング関連文書のレビューを行い、対象国における政策評価ないしはモニタリングに利用されている資源効率性・循環経済政策指標の設定状況の整理とその指標体系の比較分析を行った。この際、どのような政策目的の下、どのような指標を設定しているかに着目し、各種指標の詳細（指標内容やデータ）、政策目的と設定指標との対応等について整理するとともに、指標分類や設定指標の共通性など指標体系の比較分析を行った。さらに、対象各国の産業需給構造など、設定指標の規定要因についての検証も試みた。整理にあたっては、サブテーマ1で提案する物質ライフサイクルの6つの断面を活用した。また、この成果は、サブテーマ1の指標案の検討、サブテーマ2の社会・経済分野の評価指標の選定や循環型社会ビジネスの市場規模推計の対象範囲の検討において活用した。

なお、研究実施期間中に改定されたものについては最新のものを採用した。これに加え、EUでの第2次循環経済行動計画で検討されているモニタリング指標改定の方針を示したBellagio Declaration-Circular Economy Monitoring Principles¹⁾の内容や関連の政策文書等も分析した。また、補完的に各国（欧州環境庁、ドイツ、イタリア）の資源効率性・循環経済指標担当者へのインタビューを実施した。

② 国際比較可能性の検討を行う指標の選定と計算方法の比較検討

①で実施した各国の指標設定状況や国際的な政策動向を踏まえ、我が国の一般廃棄物リサイクル率及び入口側の循環利用率に関連する指標を選定し、指標の計算方法（計算対象物、回収主体、用語の定義等や計算手法）の国際比較可能性の検討を行った。また、比較可能性の検討をもとに、回収主体の違いに着目し、サブテーマ1において、民間回収も含めた日本の一般廃棄物のリサイクル率を試算した。

③ 今後の日本の指標設定への示唆

現状の日本の設定指標・各種政策を踏まえ、①②から得られた結果に基づく、今後の日本の指標設定のための示唆をまとめた。

4. 結果及び考察

① 各国の循環経済・資源効率性指標体系の比較分析

各国・地域の全指標について、その定義・計算方法・単位や使用されているデータ等について確認・整理したデータベースのイメージを表3.2に示す。収集・整理した指標は約500にのぼり、今後ウェブサイトでの公表を行う予定である（本報告書作成段階では、研究代表者に問い合わせをいただければデータを提供する）。以下では、対象とした国・地域からみられる主な傾向をまとめる。

表3.1 対象とした国および循環経済/資源効率性政策と指標

対象国（地域）	政策と指標	担当官庁	主な指標	全指標数
EU	Resource Efficient Europe (2011) / Resource Efficiency Scoreboard(2015)	DG Environment (DG Grow) Eurostat	資源生産性、国内物質消費量、GHG排出量、人工的土地の生産性、水資源生産性、エネルギー生産性	32
	Raw Material Initiative (2008) / Raw Material Scoreboard(2021)	DG Grow	EU生産の世界シェア、金属鉱山生産量、国内物質消費量、使用後リサイクル投入量、リサイクル量、2次原材料取引	27
	Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy (2015) /Monitoring Framework for Circular Economy (2018)	DG Environment (DG Grow) Eurostat	原材料自給率、廃棄物量、リサイクル率、使用後リサイクル投入率、循環物質使用率、貿易量、投資、雇用数、特許数	12
ドイツ ^{注1}	The Resource Efficiency Programme (ProgRes) iii (2020)	Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety	総原材料生産性、一人当たり原材料消費量、直接リカバリー効果、直接・間接リカバリー効果指標	4
イタリア	Towards a Circular Economy in Italy (2017) / Indicatori per la misurazione dell'economia circolare (2018)	Ministry of Environment, Land & Sea, Ministry of Economic Development ^{注2}	国内物質消費量、原材料・廃棄物貿易、シェアリングエコノミー、分別収集量、リサイクル量、製品サービス化、価値延長、二次原材料消費、中古品量、エコイノベーションスコアボード、環境配慮型製品認証数	90程度 ^{注3} （マクロレベルのみ）
フランス	50 Measures for a 100% Circular Economy (2018)/Key indicators for monitoring the circular economy 2021 Edition (2021)	Ministry for the Ecological and Inclusive Transition Monitoring and Statistics Directorate (SOeS)	一人当たり国内物質消費量（DMC）、資源生産性、マテリアルフットプリント、産業共生、エコラベル数、カーシェアリング、環境プロジェクト数、修理・維持の家計消費額、埋立量、循環物質使用率、雇用数	12
イギリス ^{注1}	Green Future - Our 25 Year Plan to Improve the Environment (2018) / Our Waste, Our Resources - A Strategy for England (2018)	Department for Environment, Food & Rural Affairs	原材料消費量（マテリアルフットプリント）、カーボンフットプリント、廃棄物量、リサイクル量、埋立量、不法投棄数、ポイ捨て	14
フィンランド	Government Resolution on the Strategic Programme for Circular Economy (2021)	Ministry of the Environment Ministry of Economic Affairs and Employment	国内材料消費量、国内の最終使用材料必要な材料投入量（RMC）、資源収益率（GDP/RMC）、循環物質使用率、循環型経済セクター売上高/企業数、エコ・イノベーション、革新的公共調達、都市ごみ、梱包材、建設廃棄物とリサイクル率、サーキュラー・エコノミー・バロメーター	9
ベルギー（フランダース）	Circular Economy monitor indicators for Flanders (2021)	Public Waste Agency of Flanders (OVAM)	DMI, DMC, RMI, RMC,循環物質使用率、水消費量、雇用、売上、カーボンフットプリント、土壌汚染、2次原材料生産量、各種廃棄物発生量、床面積、窒素・リン使用量、再使用数、市場内製品数、自動車数 など	117

注1：ドイツ・イギリスについては、政策・戦略内で指標が設定されているため、政策・戦略名のみを記載。

注2：イタリアは、指標設定に当たり ENEA（National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development）の技術支援を受けている。

注3：設定指標については、ここで挙げられた指標の中から、今後確定される予定である。なお、マクロレベル以外にもメソレベル、ミクロレベルの指標設定も検討されている。

表3.2 データベースのイメージ

No	原典での分類	指標	定義・単位	出典	具体的な 章・ページ	データ元、根拠	備考
1	生産と消費	原材料のEU域内自給率 EU self-sufficiency for raw material	[%] (1 - (net) Import reliance). Import reliance = (Import - Export) / (Domestic production + Import - Export)	EC (2018)	Table 1	European Commission, List of Critical Raw Materials (2017) ※欧州委員会では3年に一回リ ストを更新しており、2017年には78元素を対象 としていた。	No 1
2	生産と消費	グリーン公共調達率 Green public procurement	[Number, %] ※The indicator under development	EC (2018)	Table 1	EUでは更新作業中の公共調達の新標準様式の中 にグリーン公共調達に関する設問を設け、回答を 必須とする予定。2020年にデータを揃えること を目指す。	No 2
3	生産と消費	一人あたりの都市廃棄物発生量 Generation of municipal waste per capita	[kg per capita]	EC (2018)	Table 1	Eurostat, Municipal waste by waste operations	No 3a
4	生産と消費	GDPあたりの廃棄物発生量(主要な鉱物廃棄物を 除く) Generation of waste excluding major mineral waste per GDP unit	[kg per thousand EUR] All waste generated in a country, excluding major mineral waste, per GDP unit.	EC (2018)	Table 1	・ Eurostat: Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity ・ Annual national accounts, GDP and main components (output, expenditure and income)	No 3b
5	生産と消費	DMCあたりの廃棄物発生量(主要な鉱物廃棄物を 除く) Generation of waste excluding major mineral waste per domestic material consumption unit	[%] All waste generated in a country, excluding major mineral waste, per DMC unit.	EC (2018)	Table 1	・ Eurostat: Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity ・ Economy-Wide Material Flow Accounts	DMC：国内物質消費量(domestic material consumption) No 3c
6	生産と消費	食品廃棄物量 Food waste	[tonne] ※The indicator under development	EC (2018)	Table 1	廃棄物枠組み指令の改正によって加盟国へ新たに 報告義務を課すことを想定。また、廃棄物統計を 活用。欧州議会が廃棄物枠組み指令の改正の中で 提案をしているものの、文書発表時点ではFood wasteの定義はEU規制枠組みの中にはない。	No 4
7	廃棄物管理	都市廃棄物のリサイクル率 Recycling rate of municipal waste	[%] Share of recycled municipal waste in the total municipal waste generation	EC (2018)	Table 1	Eurostat, Municipal waste by waste operations	No 5a
8	廃棄物管理	全廃棄物のリサイクル率(主要な鉱物廃棄物を除 く) Recycling rate of all waste excluding major mineral waste	[%] Share of waste that is recycled divided by all waste treated in a country, excluding major mineral wastes	EC (2018)	Table 1	・ Eurostat: Management of waste excluding major mineral waste, by waste operations ・ Eurostat: Comext database for imports and exports of waste materials from Foreign Trade Statistics.	No 5b

指標体系の比較分析

指標を分類する観点（指標分類）を表3.3に、設定されている指標を、環境（廃棄物減少、資源枯渇、資源消費削減、資源効率性・資源循環および環境影響削減、気候変動緩和）、社会（雇用・福祉（Well-being）、社会統合）、経済（経済成長、競争力、イノベーション、ビジネス機会）分野に分けて整理したものを表3.4に、指標体系の分析結果の要点を表3.5に示す。環境分野は、サブテーマ1で提示した物質ライフサイクルの6つの断面とその他（主に環境影響）に分けてさらに分類している。なお、資源効率性を評価する主要な指標として資源生産性があるが、国によって、環境分野と経済分野に設定が分かれるため、独立した項目としている。

指標分類は、おおおそ、供給、生産、消費、リサイクル、廃棄物、環境影響（フットプリント、GHG）、社会経済という分類に分かれていると考えられ、リサイクル含む廃棄物管理の観点に加えて、ライフサイクルの上流部分や環境影響、社会経済影響が重視・網羅されている状況が見て取れる。これは、各国が、EUを中心に、循環経済を通じて低炭素型・資源効率的な社会、また、それを通じた産業競争力強化を念頭においていることと一致している。

次に、資源生産性、環境分野、および社会・経済、各分野の指標設定傾向を以下に示す。

資源生産性指標については、指標分類（環境・経済）に多少ばらつきがあるが、いずれの国も採用している。また、本研究で対象とした国以外でも、例えば、国家持続可能な開発戦略などにおいて欧州の複数の国で主要評価指標として採用されるなど、資源生産性指標は重視されている指標といえよう。新しい動きとしては、資源生産性指標の分母の値に、国内物質消費量に加え、マテリアルフットプリントなどの一次資源等価換算指標を用いる動きがあることが挙げられる。

環境分野については、政策目的として、資源効率性・循環性（Circularity）向上を掲げ、国内物質消費量、都市廃棄物・プラスチック等に関するリサイクル率などが代表的な指標として設定されている。

サブテーマ1で提示する断面ごとの傾向では、断面「1.環境からの資源投入」について、いずれの対象国も国内物質消費量（Domestic Material Consumption：DMC）等の物質フロー指標が設定されている。資源生産指標と同様、マテリアルフットプリントなどの一次資源等価換算指標を用いる動きがある。マテリアルフットプリントは循環経済と関係の深いSDGs（目標8.4や12.2）の指標としても採用されており、今後重要度が増すことが考えられる。なお、物質フロー指標の測定のための方法論は、EW-MFA（Economy-wide Material Flow Accounts）にもとづく。EW-MFAの手法は、この20年間で、欧州統計局、経済協力開発機構（OECD）、日本のリードによる国際共同研究などを通じて²⁾、国際的にも標準化が進んでいる³⁾。国際資源パネル・国連環境計画からもグローバルマニュアルが作成されており³⁾、計算方法の国際共通性は高い。

断面2「生産工程への原材料投入」については、資源投入量に対する再生材（2次原材料）の使用に着

目した指標、すなわち日本の循環基本計画やサブテーマ1で提案する「使用済み製品の入口側の循環利用率」（表1.10、表1.11）と類似した指標を設定する動きがみられる。その算出には、物質フロー指標（DMC など）を用いるなどの共通性がある一方で、具体的な計算方法には国によって差異がみられる。EUをはじめとして数か国で循環物質利用率（circular material use (CMU) rate）が設定されている。再生材を積極的に採用しようとする欧州全体の傾向を反映していると考えられる。この他、EUでは、使用後リサイクル投入率（EOL-RIR）⁴⁾ が設定され、EU経済への全原材料投入に対するold scrap由来の二次原材料（再生材）の比率⁵⁾を計測している。副産物を含まず使用済み製品に着目した指標となっており、これはサブテーマ1が提案する「使用済み製品の入口側の循環利用率」（表1.10、表1.11）に対応するものである。他の設定指標には、フランスのinclusion rateがあるが、算出対象が特定物質（鉄、ガラス、段ボール、アルミニウム、プラスチック）に限られる。ドイツで設定されているリカバリー効果は、二次原材料の回収が行われない場合、同じ生産パターンと技術を想定して、一次原材料がどの程度必要となるかを測る指標であり、一次資源から二次資源への代替という考え方では一致するが、独自の手法を採用しており、対象物質も30物質に限られている。

断面3「生産工程での原材料利用」の副産物利用や生産工程での発生抑制のみに着目した指標は現状少ない。この点は、サブテーマ1で示されている日本の状況とも合致している（図1.7）。

断面4「製品の使用」については、消費者行動の観点から製品寿命・価値延長（再使用や修理を含む）等の消費および廃棄物発生抑制に関する指標や、カーシェアリング、修理などへの家計消費、シェアリングエコノミー・製品のサービス化、発生抑制などの指標が多数挙げられている。特に修理・再使用・調達に係わる指標の設定がよくみられる一方で、指標の定義の詳細や計算方法の共通性は小さい。ストックに関する指標は、ベルギーの個別分野（住宅やモビリティ）指標で一部設定されているが他の国・地域では見られない。

断面「5.使用済み製品の処理」、断面「6.環境への廃物廃棄」なども、廃棄物発生量、リサイクル率など、従来型の指標が多い。個別項目の指標として、廃プラスチック、食品/有機性廃棄物に関連する指標を設定している国があった。廃棄物の定義も含め、計算方法には差異がみられる。

断面横断的な指標として、環境配慮型製品、エコラベルに関連する指標も存在する。それぞれ最も近いと思われる断面に配置した。

その他、環境分野の指標として、各種環境影響に関連する指標が挙げられている。例えば、カーボンフットプリント等のフットプリント指標や土壌、土地利用関連の指標などである。環境影響については、政策目的として、循環経済を通じた環境影響の削減について言及する国が多くみられた（EU、仏、独、英）。気候変動を特に取り上げて言及する国があり、循環経済を通じた気候変動緩和が重要な課題として位置づけられているといえる。ただし、指標の設定状況にはばらつきがある。なお、大気汚染や水質汚染、土地などその他の環境影響に関する指標はEU Resource Efficiency Scoreboardでは見られるが、その他の国では見られなかった。また、様々な環境影響分野を統合して数値化した全体的な環境影響を表現する指標を設定する動きも見られなかった。

社会経済分野について、社会分野については、政策目的として、雇用・福祉・社会統合などが英以外で掲げられおり、指標分類にも社会影響を挙げている国が多い。ただし、指標設定の主だったものは雇用であった。このため、サブテーマ2においても雇用を社会面の指標として採用することとした。また、一部ベルギーで社会課題を提示する動きがみられた。経済分野では、経済優位性・資源確保・イノベーション・競争力強化に関する政策目的が掲げられているところであるが、指標としては、EUで、循環経済に関する投資・付加価値（GDP比率）や特許数が設定されているほか、ドイツでは、旧指標体系では、資源生産性指標を経済分野指標として扱っていた（最新の指標体系では特にそのような分類がない）。この他、フィンランド・ベルギーで循環経済産業の企業数、売上高・戦略などが挙げられている。このため、サブテーマ2において、欧州の事例を参考に循環型社会ビジネスの市場規模の推計対象の見直しなどを実施した。

表3.3 対象国・地域の指標設定分類／指標設定観点

国地域	資源生産性	環境分野						社会経済分野	
		サブテーマ1で提示する物質ライフサイクルの6つの断面						社会	経済
		1. 環境からの資源投入	2. 生産工程への原材料投入	3. 生産工程での原材料利用	4. 製品の使用	5. 使用済み製品の処理	6. 環境への廃物廃棄		
EU-RE	主要指標	物質			イノベーション研究支援	廃棄物資源化		カーボン、土地、水、生物多様性、食料、大気、水質等	価格正当化
EU-RM		EUにおける原材料供給グローバル視点の原材料		競争力とイノベーション		循環経済とリサイクル		環境側面	社会側面 競争力とイノベーション
EU-CE		生産と消費	2次原材料			廃棄物管理 2次原材料	生産と消費（廃棄物発生）		競争力とイノベーション
EU Bellagio	資源効率性を含む、物質ライフサイクル全体における変化をモニターするための物質・廃棄物フローに関する指標						環境フットプリント指標	政策・プロセス・行動指標	経済・社会的インパクト指標
ドイツ	x	x	x						
イタリア	インプット				製品サービス化、共有/使用/消費、延命/再利用/修理に有用	アウトプット			インプット
フランス	経済ステークホルダーからの供給（採掘/製造と持続可能なサプライチェーン） エコデザイン（製品・プロセス）、産業共生				経済ステークホルダーからの供給（機能経済） 消費者需要と行動責任ある消費 製品長寿命化	廃棄物管理：リサイクル（マテリアル、有機物）		消費者需要と行動	
イギリス	資源生産性					リサイクル	廃棄物発生、埋立、犯罪	GHG排出	
フィンランド	x	x	x		x				x
ベルギー		循環性: インフロー		食料: インプット資料	消費者製品: 再使用、リカバリー	循環性: R戦略	循環性: アウトフロー 消費者製品: 廃棄物 食料: 廃棄物	影響: 物質、環境 消費者製品: フットプリント 住宅: フットプリント 食料: インプットロス モビリティ: フットプリント、ライフサイクル	影響: 社会経済
			循環性: R戦略		住宅: 市場、資源状況、望ましい変化 消費財: 市場 モビリティ: 市場、ライフサイクル			住宅: 望まない影響	

注: X: 指標は存在するが、特にその分類名や観点が示されていないこと。EU-RE: Resource Efficiency Score board, EU-RM: Raw Material Score board, EU-CE: Monitoring Framework for Circular Economy, EU Bellagio: Bellagio Declaration-Circular Economy Monitoring Principles

表3.4 対象国・地域の指標設定状況

国地域	資 源 生 産 性	環境分野						社会経済分野		
		サブテーマ1で提示する物質ライフサイクルの6つの断面						その他	社会	経済
		1. 環境からの 資源投入	2.生産工程への原 材料投入	3.生産工程 での原材料 利用	4.製品の使用	5.使用済み 製品の処理	6.環境への 廃物廃棄			
EU-RE	GDP/DMC	DMC			エコイノベーション	各種リサイ クル量・率	各種廃棄物 量	一人 当 たり GHG排出量、 水生産性 等		環境税 等
EU-RM		EUにおける 鉱 業活動、鉱物資 源探査 国家鉱 物政策枠組、国 民受容、国内生 産、木材供給	世界生産中EU割 合、輸入依存度、地 理的集中とガバナ ンス、輸出規制			循環経済に おける物質 フロー 対材料需要 リサイクル 貢献度	廃棄物・ス クラップ取 引 建設・解体 廃棄物 WEEE管理	GHG排出量 PM・NMVOC 排出量 水使用量 採掘廃棄物	責 任 あ る 調 達 労 働 安 全、雇用	鉱山機械輸 出、付加価 値と雇用、 企業研究開 発投資 特許出願件 数、資金調 達
EU-CE		原材料自給率	循環物質使用率 使用後リサイクル 投入率		グリーン公共調達	各種リサイ クル量・率	各種廃棄物 量		雇用	投資、付加 価値、特許、 貿易量ーリ サイクル原 材料
ドイツ	GDP+ import/RMI	RMC/capita	直接間接リカバリ ー効果							
イタリア	GDP/DMC	DMC、DMI、 PTB、貿易量 (原材料、廃棄 物)、エネルギー バランス 等	2次原材料消費 等		エコイノベーション 製品サービス化 シェアリング経済 製品寿命・価値延 長関連指標、環境 配慮型製品認証 数、中古品量等	リサイクル 量 分 別 収 集 率・量 エネ回収量 廃棄物価格 等	処理量、廃 棄物管理コ スト 等			貿易収支 等
フランス	GDP/DMC	DMC/capita RMC(MF)	循環物質使用率 Inclusion rate	産 業 共 生 の 取組件数	カーシェアリング (年代別使用頻 度) 修理維持の家計消 費 機能経済活動支援 件数	エコラベル 数	埋立量 食品廃棄物		雇用	
イギリス	GDP/RMC	RMC/capita				リサイクル 量	埋立量、生 分解性廃棄 物埋立、不 法投棄場 ポイ捨て	カーボンフッ トプリント (廃棄物/消 費、消費者製 品)		

フィンランド	GDP/RMC	DMC,RMC	循環物質使用率		革新的公共調達、エコイノベーション、サーキュラー・エコノミー・バロメーター					循環型経済セクター売上・企業数、
ベルギー		DMC,DMI	循環物使用率 2次原材料生産	(ストック 関連指標)	再使用、リユースセンター(対象)範囲、製品量、使用強度、製品寿命、利用効率、再使用、ライフスパン、床面積利用効率、リノベーション	産廃/家庭 ごみリサイクル EEE	各種廃棄物発生量、焼却・共同焼却・埋立廃棄物、ポイ捨てと飛散物、地域別排出量	空間の使用 カーボンフットプリント 土壌汚染と浄化 RMC※,RMI※ (※影響として記載)	雇用、ホームレス数、排出物の影響を受ける人数、水不足直面人数	企業による循環型経済戦略の実施 循環型経済における売上高
(参考) SDGs12	MF/GDP DMC/GDP'	MF, MF/capita DMC, DMC/capita			持続可能な公共調達の方針と行動計画の実施度合	国家リサイクル率 リサイクル量 (t)	有害廃棄物発生量、食品ロス指数、食品廃棄物指数	単位GDP化石燃料補助金 開発途上国再生可能エネルギー発電設備容量	教育	サステナビリティレポート発行企業数、観光の持続可能性の経済的・環境的側面、監視会計ツール導入

注：MF：マテリアルフットプリント（RMC：一次資源等価換算物質消費量）、DMC：国内物質消費量、DMI：天然資源等投入量、RMI：一次資源等価天然資源等投入量

注：サーキュラー・エコノミー・バロメーター：企業や消費者を対象に、循環経済への意識や運営モデルについてアンケートやインタビュー形式で調査⁶⁾

注：エコイノベーション指標：エコイノベーションのインプット（資金や人材投資）、エコイノベーションの活動、エコイノベーションのアウトプット（特許/学術文献/メディア投稿）、資源効率成果（材料/エネルギー/水効率/GHG排出強度）、社会経済的成果（雇用/輸出）の5テーマ16指標を通じ、エコイノベーションの側面を捉えるもの⁷⁾

表3.5 指標体系分析要旨

指標分類/観点	サブ1断面	設定共通度	体系比較分析要旨
資源生産性		対象国多くが設定	対象国以外でも採用国多い。位置づけ（持続可能な開発指標、CE指標、RE指標）にばらつきがあるが、計算方法（EW-MFA）の共通性は高い。
供給	1,2	対象国多くが物質フロー指標設定	国内物質消費量、一次資源等価換算（マテリアルフットプリント）指標の採用傾向 計算方法（EW-MFA）の共通性は高い。循環利用率（入口）・循環利用量に関する指標（再生材関連指標）：国によってアプローチ異なるが、使用済み製品の利用のみに着目するものもある。
生産・消費	3,4	設定あるが内容にばらつき	修理・再使用・調達などに関する指標が多いが、指標定義・内容はばらつきがある。サブテーマ1断面3に着目したものはない。
リサイクル・廃棄物管理	5,6	対象国多くが設定	主に、リサイクル率・量、廃棄物発生量など。個別分野では、食品やプラスチック。定義や計算方法の差異に課題。
環境影響		一部設定	フットプリント（特にカーボンフットプリント）、土壌など
社会経済		一部設定	循環経済産業の雇用・売上高・投資など

規定要因の検証

設定指標の背景となる規定要因の検証のため、産業構成、資源需給構造、失業率、人口構成などを評価項目として取り上げた。産業構造や人口構成については世界銀行の値、資源需給（消費）構造については国際資源パネル物質フローデータベースの値を用いた。

既存研究においては、製造業の割合が高くかつ資源輸入傾向が高い国が資源生産性をはじめとした物質フロー指標による政策評価を実施していたという分析があるが⁸⁾、今回の対象国はいずれもそのような傾向を持つ国であり、ほとんどの対象国において資源生産性指標や物質フロー指標が設定されている。具体的には、図3.1の産業別付加価値割合が示すような産業構造、図3.2の物量での貿易収支が示すような資源需給等の項目と、今回の対象国の指標体系とは、際立った関連性は認められなかった。例えば、貿易に関わる指標設定があるのはEUとイタリアのみであり、フランスやフィンランド、イタリアは一次産業割合が多少高い傾向にあるが、生物資源循環に特化した指標が設定されていない。

一方で、ドイツ・イギリスを除く、失業率が相対的に高い国（図3.3）では、社会経済指標が設定されている。また、失業率が高く比較的人口構成も若い特徴を持つフランス・ベルギーで、修理や製品サービス化含む断面4に関する指標や、社会指標としての雇用を設定する傾向は見受けられた。循環産業を通じた二次産業強化、労働集約性の高い三次産業強化が念頭にあり、それが指標体系に反映された可能性は考えられる。また、人口構成などは、製品の所有への考え方・ライフスタイルにかかわる取組の優先順位に影響しうると考えられ、例えば、断面4「製品の使用」に係わる指標選択に影響を与えた可能性がある。

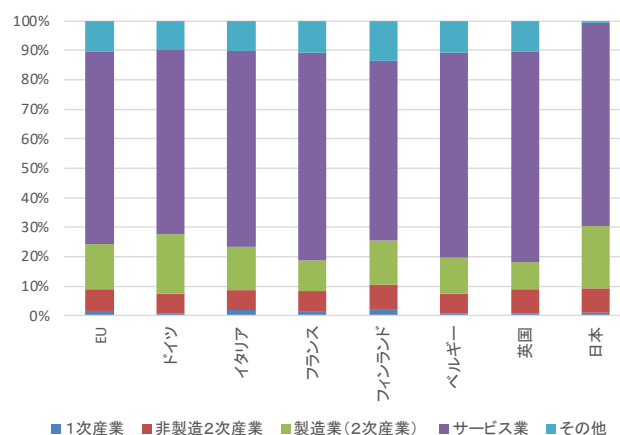


図3.1 総付加価値額に占める産業別割合 (%constant 2015 US\$)

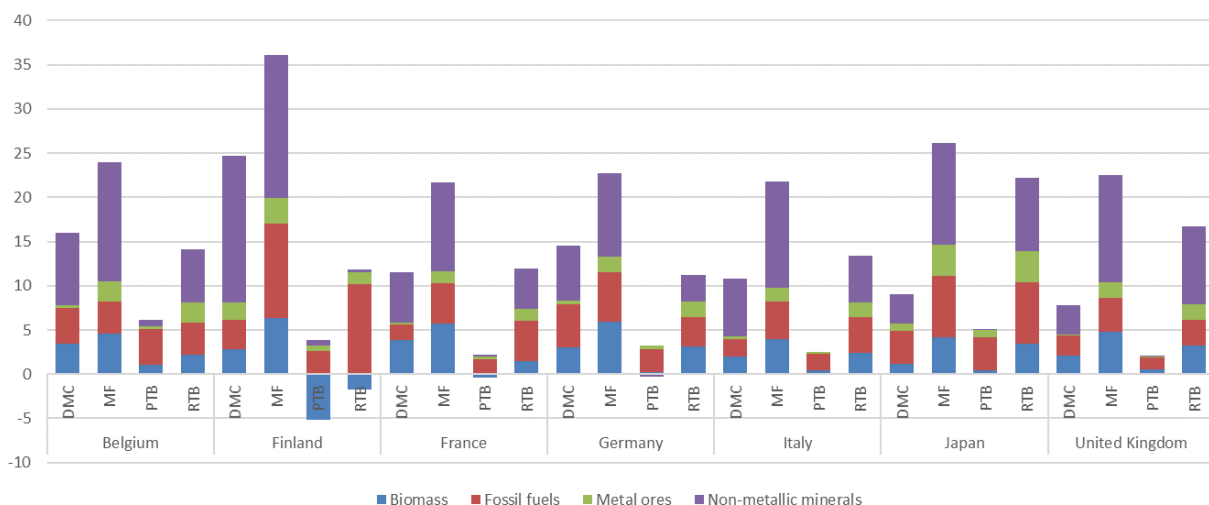


図3.2 資源需給：各種物質フロー（人口一人当たり、ton）

注：DMC：国内物質消費量、MF：マテリアルフットプリント（RMC：一次資源等価換算物質消費量）、PTB：物的貿易収支（輸入－輸出）、RTB：1次資源等価換算物的貿易収支（輸入－輸出）

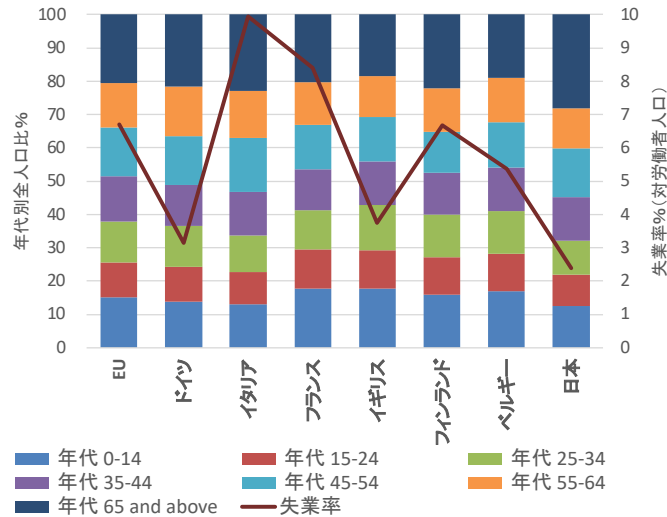


図3.3 人口構成及び失業率

② 国際比較可能性の検討を行う指標の選定と計算方法の比較検討

国際比較可能性の検討を行う指標の選定

国際比較可能性が求められる場としてSDGs指標が第一に想定される。SDGs指標の中で循環経済に関わる指標としては、マテリアルフットプリント、国内物質消費（DMC）、DMCに基づく資源生産性（GDP/DMC）、リサイクル率、リサイクル量が挙げられる。このうち、マテリアルフットプリントはこれを指標として設定している国が少なく、DMCおよびDMCに基づく資源生産性は、方法論が一定国際標準化されていると考えられることから、ここでは、欧州と比較して日本の値が低いとして議論に挙がることが多い都市廃棄物（municipal solid waste）のリサイクル率を取り上げ、我が国の一般廃棄物リサイクル率と比較することとした。

これに加えて、欧州各国において、再生材の利用が政策的にも促進され、循環性の算出方法がISOで議論されるなか、再生資源の使用に関する指標を設定する動きに着目した。中でも、国によって設定にばらつきがあるが（表3.6）、EUが2018年に公表した循環経済モニタリング枠組みで設定されている循環物質利用率を採用する国が複数みられ、EUでは2030年に⁹⁾、フィンランドでは2035年に、物質循環利用率2倍とする目標を掲げている。これらの状況および先述の断面2「生産工程への原材料投入」で示したその他の指標の内容等を踏まえ、採用国が多い循環物質利用率と、循環基本計画で採用されている入口側の循環利用率を比較することとした。

表3.6 対象各国および日本の再生材使用に関連する設定指標

国地域名	指標	指標内容	目標設定
日本	循環利用率入口側	循環利用量/（循環利用量＋天然資源等投入量DMI）	FY2025:18%
EU	循環物質使用率（CMU）	$U/M = U/(DMC + U)$ 、U=域内リカバリー工場でリサイクルされた廃棄物量-リカバリー目的輸入廃棄物量+同目的の輸出廃棄物量	2030年2倍
	使用後リサイクル投入率（EOL-RIR）	生産システムへの原材料投入量のうちold scrap由来のリサイクル量比率	NA
フランス	循環物質使用率	EUと同義	NA
	含有率（Inclusion rate）	仏内での生産製造における二次資源の割合（ただし算出は特定の素材に限定） [%]	NA
ドイツ	直接リカバリー効果（DERec）/DMI	DERecは、二次原材料のリサイクルや回収が行われなかった場合に、同じ生産パターンや技術を想定した際の一次原材料・半製品・完成品の輸入/国内生産量の程度	NA
	直接・間接リカバリー効果（DIERec）/RMI	DIERecは、二次原材料のリサイクルや回収が行われなかった場合に、同じ生産パターンや技術を想定した際の世界的な一次原材料採取量の程度	NA
フィンランド	循環物質使用率（CMU）	明確な記述無し（EUと同義と想定）	2035年2倍

欧州の都市廃棄物リサイクル率／日本の一般廃棄物リサイクル率

欧州各国の都市廃棄物リサイクル率の計算方法に関連する項目を記載するEU政策文書¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾・欧州統計局サイト¹³⁾や各種報告書をレビューし分析を行った。なお、EUにおいても、都市廃棄物およびそのリサイクル率の定義や計算手法の差異については、過去にも様々に指摘されてきた。特に2015年循環経済政策パッケージに示された廃棄物リサイクル率の目標値の設定に向け、都市廃棄物の定義およびリサイクル量の算出についてEU全体で統一した考え方を整理する必要性が議論され¹⁴⁾、欧州委員会内でも検証が進められてきた¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾。これら議論の中で主に課題として挙げられたのは、(1) 算出対象とする都市廃棄物の範囲、(2) リサイクル量の算出を行う段階、(3) 算出対象となる収集主体の範囲である。

(1) について、EUでは都市廃棄物を家庭からの廃棄物および類似の廃棄物として定めていたが、リサイクルの計上方法が下記の4種類認められ、各国で対応が異なることが課題であった¹⁴⁾¹⁶⁾。

- (ア) 家庭からの紙、金属、プラスチック、ガラスの資源ごみ
- (イ) 家庭およびその他類似の排出源からの上記資源ごみ及び特定の資源ごみ
- (ウ) 家庭からのあらゆる資源ごみ[(ア)+その他の資源ごみ]
- (エ) 家庭およびその他類似の排出源からのあらゆる資源ごみ

加えて、エネルギー回収、産業廃棄物、建設廃棄物などを含めて算出を行っている事例や有機性廃棄物・焼却灰リサイクルの取り扱いの差異が確認されている¹⁸⁾¹⁹⁾。

(2) については、リサイクルのために収集された量、選別プロセスに存在している量、最終リサイクル業者に搬送された量、リサイクルプロセスにおいて使用された（再生材として使用された）量など、リサイクル量を算出する際の段階が様々あり、各国によってその段階が異なることが指摘されていた¹⁵⁾¹⁷⁾。

(3) については、自治体および自治体の代理で収集された量以外にも、収集主体の如何に問わず都市廃棄物として計上している国が多くあり、集団回収は反映されるもののスーパー等の事業者による収集量が反映されない日本との違いがみられた¹⁷⁾。

これらの課題を踏まえ、2018年に発表された廃棄物改正指令（2018/851）¹¹⁾およびそれに続き公表されたガイダンス¹²⁾において、都市廃棄物の定義やリサイクル量等の範囲について、表3.7のような指針が示された。なお、リサイクル率は、都市廃棄物発生量に対するリサイクル量の割合として算出されている。また、この指針は、欧州統計局およびOECDでの統計目的に沿うことも考慮されている。

表3.7 EUの都市廃棄物リサイクル率計算方法に係る関連項目概要

都市 廃棄物 定義	発生源	家庭・庭・市場、公園・道路清掃、商業・貿易、中小企業、オフィスビル・施設（学校、病院、公共施設）	
	回収 主体	民間・公共を問わず（自治体代理でない民間事業者や非営利機関の直接回収、通常の廃棄物サービスがない僻地での発生含む）	
	対象物	紙や段ボール、ガラス、金属、プラスチック、有機性廃棄物、木材、繊維、包装、電気電子機器、廃電池・蓄電池、粗大ごみなどの分別収集廃棄物・混合廃棄物； （生産、農業、林業、漁業、浄化槽、下水清掃・下水処理からの廃棄物は含まれない。）	個別事項 ● 有機性廃棄物：好気性処理または嫌気性処理に入る生分解性の都市廃棄物量は、その処理が堆肥・消化物またはリサイクル製品・材料・物質として使用される投入物に関し、リサイクルされた物と同等量の産出・生成がなされる場合、リサイクル量として算出される。 ● その他：廃棄物の燃料・エネルギー利用はリサイクル量から除外、焼却灰からの金属回収、再処理前の準備作業の残差の再活用・リサイクルはリサイクル量として算出、他の加盟国・EU域外へ移送された廃棄物は一定条件を満たしたもののみリサイクル量として算出する。
リサイ クル率	分母	都市廃棄物発生量	
	分子	都市廃棄物のうち、製品、材料、物質に再投入する工程に入った量	

出典 11)12)など

また、都市廃棄物のリサイクル量は、その後の再処理の対象ではない廃棄物を除去し、高品質のリサイクルを確保するために必要なすべてのチェック、選別、およびその他の予備操作を経て、廃棄物を実際に製品、材料、または物質に再投入する工程に入った量として算出される¹²⁾。つまり、さらなる処理が行われずに二次原料として販売される段階、再利用の工程に入った段階で測定されることとされ、(2)で挙げられた課題は制度上解消されたと考えられる。

日本の一般廃棄物リサイクル率は、 $100 \times (\text{直接資源化量} + \text{中間処理後再生利用量} + \text{集団回収量}) / (\text{ごみの総処理量} + \text{集団回収量})$ である²⁰⁾。表3.7にまとめた情報に基づけば、主に、家電4品目、民間回収品（スーパー等）／有償物、エネルギー回収など、分母（都市廃棄物発生量）・分子（リサイクル量）に当たる数値の対象範囲に明確な違いがあると考えられる。また、事務所・学校等から廃棄されるプラスチック容器包装など産業廃棄物として処理される廃プラスチックなどの物量が、日本の分母に入るごみの総処理量とEUの都市廃棄物発生量との差異となつて表れる場合が考えられる。

一般廃棄物処理実態調査の結果（令和2年度）では、家電4品目の家電処理量及び家電再商品化量を考慮したリサイクル率、またごみ燃料化をエネルギー回収とし、リサイクルから除いた場合のリサイクル率も算出されている状況ではあるが、通常の手法による結果との差は1%以内である。つまり、欧州主要国の都市廃棄物リサイクル率（図1.20）との大きな差はみられない²⁰⁾。このことから、回収主体や廃棄物の定義などが差異の主な要因ではないかと推察される。

欧州の循環物質利用率／日本の入口側の循環利用率

我が国の入口側の循環利用率の定義は、循環利用量 / (循環利用量 + 天然資源等投入量 (DMI)) となっている。循環利用率には、廃棄物、有償物など廃棄物「等」（副産物含む）から自然還元量を差し引いた値が循環利用量として適用される¹⁷⁾。

一方、EUの循環物質利用率（circular material use (CMU) rate）の定義は、表3.8のようになっている。

表3.8 EU循環物質利用率（circular material use (CMU) rate）定義概要

計算方法	分子＝U	分母＝M
CMU= circular use of materials/ overall material use =U/M	U = RCV_R - IMPw + EXPw RCV_R is the waste recycled in domestic recovery plants and it comprises the recovery operations R2 to R11 – as defined in the Waste Framework Directive 75/442/EEC.	M= DMC + U

まず、分子であるが、EUの定義では、分子U＝域内リカバリー工場でリサイクル（リカバリー手法のR2～R11）された廃棄物量－リカバリー目的輸入廃棄物量＋同目的の輸出廃棄物量 となっている。EU定義に基づく廃棄物量であるため、有償・逆有償をとわずEU定義の廃棄物が対象となる。一方で、廃棄物枠組み指令²²⁾において、waste（廃棄物）とby products（副産物）は明確に区別されるため、副産物は含まれないと考えられる。次に、日本の循環利用量では差し引かれる自然還元量の扱いに差異が生じうると考えられる。EUの定義では、リカバリー手法のR2～R11まで対象とあるが、R10：Land treatment resulting in benefit to agriculture or ecological improvement（農業・生態系改善便益をもたらす土地処理）が含まれており、EUの定義では、自然還元量は含まれる。また、日本の循環利用量には、木屑チップ燃料、燃料油等熱源として利用が含まれるが²⁰⁾、エネルギー回収はEUでは対象外となっている（リカバリー手法のR1に該当）。

次に、分母であるが、DMC（EU）とDMI（日本）の違いがみられる。EC²³⁾によれば、Mは、経済が使用した一次材料の全体量で、RMCが理想的な指標であるが、実用上の理由からCMU率の分母は、RMCの代理としてのDMCとしたと説明されている。これは、RMCの推定値が欧州の一部の国とEU経済の集合体でしか算出されておらず、かつ、DMCとRMCの経時的な動向がEU経済では類似しており、DMCは代理指標となりうるためとしている。加えて、DMIは、ある国で採掘された原材料を別の国で輸入した場合のバランスをとらないため、DMIを使用すると、EUの集計で二重計上されとの判断により、不採用となった²³⁾。

③ 国際比較可能性の向上を含む日本の指標設定への示唆

指標体系の比較からは、ベルギーおよび指標を選定中であるイタリアを除けば、各国の指標の数は多くなく、我が国の第4次循環基本計画で設定されている指標は、欧州各国で検討されている指標をおおよそ網羅していると考えられる。今後、次期循環基本計画に向けて、重視する指標（ヘッドライン指標）を選定する際には、上述の主な指標の分類で整理した、資源生産性、供給、生産・消費、リサイクル・廃棄物管理、環境影響、社会経済のバランスをふまえて検討しくこともアプローチの一つとなるだろう。具体的な指標については、EUや対象国では、マテリアルフットプリントを採用する動きがあるが、図3.2で示したように一人当たりフットプリントは、今回の対象国の値と比較して、日本がやや大きい。加えて、欧州各国と日本の値の違いに留意が必要と考えられるものがいくつかみられた。例えば、欧州各国と比較して大きい製造業割合（図3.1）、低失業率（図3.3）、高齢社会（図3.3）などである。マテリアルフットプリントの削減に加え、資源輸入依存度ひいては資源安全保障の課題の観点から、国内循環を促進するような指標の検討も必要であろう。これは、国内経済の活性化、国内生産額増加の観点から、社会経済指標の検討にも関連する点であり、循環基本計画や地域循環共生圏などに提示されている地域における資源循環の強化にも矛盾しない。加えて、『「脱炭素」「循環経済」「分散型社会」を掲げる3つの移行による経済社会のリデザイン（再設計）』の方針にも合致する。なお、経済社会のリデザインも踏まえ、国内循環の評価にあたっては、リサイクルのみならず循環経済によって喚起される新しいビジネスなどの指標も重要であり、サブテーマ1の断面4に相当する指標や、サブテーマ2の循環型社会ビジネスの市場規模なども今後重要となるだろう。また、工業製品の循環に加え、生物資源の循環利用・未利用資源の利用の強化や製品サービス化等の一次産業・三次産業も含めた社会全体での国内循環による社会経済効果指標も重要と考えられる。なお、高齢社会を前提とした労働年齢人口の低下が予想されることも踏まえると、労働生産性と資源生産性の同時向上が必要となるが、これに資する指標については今後の検討課題である。また、欧州では、環境影響分野の指標も設定されつつあるが、地域循環共生圏、廃棄物資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実績ゼロに向けた中長期シナリオの策定、各種温暖化関連政策における地域の資源循環強化など循環経済移行による脱炭素も重要な政策観点であり、CO₂（環境影響）と循環経済を関連付けた指標やそれを代替する指標の検討が必要となる。EUの持続可能な製品に関する政策文書⁹⁾では、製品ライフサイクル全体における環境影響についての製品情報を求める動きもあり、ライフサイクル全体を鑑みた指標であることも重要であろう。

さらに、上述の指標体系（分類や設定指標）から各国足並みをそろえ、さらに計算方法を精査していくプロセスが指標の国際比較可能性の向上のための方策となろう。計算方法の国際比較可能性を検討した2指標からは、回収主体、廃棄物「等」や副産物、エネルギー回収の扱いが比較可能性の向上にあたって重要な項目となりうると示唆された。今後国際的に共通の指標設定が必要な場面では、資源消費・環境影響と経済（幸福）の切り離し（デカップリング）など循環経済の基礎となる考え方について、各国で改めて整理・共有し、循環経済に対する共通理解を整理した上で、共通指標の設定や計算方法における対象項目の取り扱いを精査する必要があるであろう。

5. 研究目標の達成状況

研究目標には、欧州等で利用・検討されている循環経済指標、及びその定義、計算手法、使用データ等について整理してデータベースを提供し、また、2つ程度の重要な指標について国際比較可能性を向上させるための対応を提示することを掲げている。計画では、1年目に、各国の資源効率性・循環経済政策および政策モニタリングの関連文書をレビューして指標の整理を行うとともに、2年目に行う各指標の定義・計算方法などの詳細分析をもとに、3年目に国際比較可能性の検討を行うこととしていた。本サブテーマでは、新たに発表される各国の指標事例を対象に追加しつつ、指標のデータベース作成を行うとともに、指標体系（指標を分類する観点、設定指標）の共通性について比較分析を行った。さらに設定指標を規定する要因の分析を試み、我が国の今後の指標検討に向けた示唆を整理した。これに加

え、一般廃棄物／都市廃棄物のリサイクル率、入口側の循環利用率／循環物質利用率を対象としてその詳細な比較分析と国際比較可能性を向上させるための視点の検討を実施したことから、上記で設定した目標どおりの成果をあげたと考えられる。なお、サブテーマ3の成果は、随時サブテーマ1及び2に提供し、研究テーマ全体として成果をあげることに貢献した。

6. 引用文献

- 1) EEA and ISPLA(2020) Bellagio Declaration-Circular Economy Monitoring Principles
- 2) OECD (2008): Measuring material flows and resource productivity Volume II. The accounting framework. Paris
- 3) UNEP (2021) : The use of natural resources in the economy: A Global Manual on Economy Wide Material Flow Accounting. Nairobi, Kenya.
- 4) Eurostat: Contribution of recycled materials to raw materials demand - end-of-life recycling input rates (EOL-RIR) (cei_srm010) ESMS Indicator Profile (ESMS-IP)
https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_srm010_esmsip2.htm (Last accessed: 05/08/22)
- 5) EC (2017) Methodology for establishing the EU list of critical raw materials-Guidelines
- 6) Ministry of the Environment, Finland: Strategic programme to promote a circular economy
<https://ym.fi/en/strategic-programme-to-promote-a-circular-economy> (Last accessed: 05/08/22)
- 7) EC: THE ECO-INNOVATION SCOREBOARD AND THE ECO-INNOVATION INDEX
https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/index_en (Last accessed: 05/08/22)
- 8) Aoki-Suzuki, C., M. Bengtsson, and Y. Hotta (2012) Policy application of economy-wide material flow accounting: International comparison and suggestions for capacity development in industrializing countries, Journal of Industrial Ecology, 16(4), pp.467-480
- 9) EC (2022) COM(2022) 140 final Communication on making sustainable products the norm
- 10) EC (2011) 2011/753/EU: Commission Decision of 18 November 2011 establishing rules and calculation methods for verifying compliance with the targets set in Article 11(2) of Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council
- 11) European Commission (EC) (2018): Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste
- 12) EC(2021): Guidance for the compilation and reporting of data on municipal waste according to Commission Implementing Decisions 2019/1004/EC and 2019/1885/EC, and the Joint Questionnaire of Eurostat and OECD
- 13) Eurostat, Recycling rate of municipal waste (sdg_11_60) ESMS Indicator Profile (ESMS-IP)
https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/sdg_11_60_esmsip2.htm (Last accessed: 05/08/22)
- 14) EC (2014): COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT Accompanying the document Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directives 2008/98/EC on waste, 94/62/EC on packaging and packaging waste, 1999/31/EC on the landfill of waste, 2000/53/EC on end-of-life vehicles, 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators, and 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment /* SWD/2014/0207 final */
- 15) EEA (2013): Managing Municipal Solid Waste - A Review of Achievements in 32 European Countries, EEA report. No 2 2013, February 2013, www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste
- 16) Eunomia Research & Consulting (Eunomia), Copenhagen Resource Institute, and Öko-Institut (2014): Impact Assessment on Options Reviewing Targets in the Waste Framework Directive, Landfill Directive and Packaging and Packaging Waste Directive, February 2014
- 17) Eunomia (2016): Support to the Waste Targets Review, a report for DG Environment of the European

Commission, prepared by: Thomas Vergunst, Timothy Elliott, Laurence Elliott, Mark Corbin, and Hulda Norstein

- 18) Eunomia and European Environmental Bureau (EEB) (2017): Recycling – Who Really Leads the World? (Issue 2), prepared by Rob Gillies, Peter Jones, Joe Papineschi
- 19) Eunomia and Resource Media (2017): Recycling – Who Really Leads the World?, prepared by Joe Papineschi, Peter Jones, Rob Gillies
- 20) 環境省(2022): 一般廃棄物処理事業実態調査の結果（令和2年度）について
- 21) 環境省(2021): 令和2年度廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書
- 22) EC(2008): Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives
- 23) EC(2018): Circular material use rate CALCULATION METHOD 2018 edition

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) 三俣陽太郎、橋本征二：土木学会論文集 G（環境）、Vol.75、No.6、pp.II_7-II_15（2019）
日本におけるポリ塩化ビニルの二次埋蔵量の評価
- 2) Dente, S.M.R., C. Kayo, C. Aoki-Suzuki, D. Tanaka, and S. Hashimoto: Journal of Cleaner Production, Vol.257, 12038875 (2020) (IF: 9.297)
Life cycle environmental impact assessment of biomass materials in Japan
- 3) Wuyts, W., R. Sedlitzky, M. Morita, and H. Tanikawa: Sustainability, Vol.12, No.13（2020）
Understanding and managing vacant house in support of a material stock type society - The case of Kitakyushu, Japan
- 4) 齋藤隆成、平井千津子、芳賀智宏、松井孝典、白川博章、谷川寛樹：土木学会論文集G（環境）、Vol.76、No.6（2020）
衛星夜光情報に基づく深層学習のよる建築物の延床面積推計に関する研究
- 5) 谷川寛樹、山本大陸、山下奈穂、白川博章：土木学会論文集G（環境）、Vol.76、No.6（2020）
日本全国の利用度別物質ストックの定量化～住宅におけるケーススタディー
- 6) Tanikawa, H., T. Fishman, S. Hashimoto, I. Daigo, M. Oguchi, A. Miatto, S. Takagi, N. Yamashita, and H. Schandl: Journal of Cleaner Production, Vol.285, 125450 (2021) (IF: 9.297)
A framework of indicators for associating material stocks and flows to service provisioning - Application for Japan 1990–2015
- 7) Vilaysouk, X., K. Islam, A. Miatto, H. Schandl, S. Murakami, and S. Hashimoto: Resources, Conservation and Recycling, Vol.170, 105608 (2021) (IF: 10.204)
Estimating the total in-use stock of Laos using dynamic material flow analysis and nighttime light
- 8) Aoki-Suzuki, C., S.M.R. Dente, D. Tanaka, C. Kayo, S. Murakami, C. Fujii, K. Tahara, and S. Hashimoto: Journal of Industrial Ecology, Vol.25, No.6, pp.1474-1485 (2021) (IF: 6.946)
Total environmental impacts of Japanese material production
- 9) 山下奈穂、加用千裕、谷川寛樹：環境科学会誌、Vol.34、No.4、pp.184-195（2021）
木造住宅と森林の木材需給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析
- 10) 山下奈穂、郭静、白川博章、谷川寛樹：土木学会論文集 G（環境）、Vol.77、No.6、pp. II_23-II_31（2021）
物質ストックを考慮した資源生産性の要因分解の実証研究—住宅におけるケーススタディー
- 11) Vilaysouk, X., S Saypadith, and S. Hashimoto: Journal of Industrial Ecology, Vol.26, No.1, pp.72-87 (2022) (IF: 6.946)
Semi-supervised machine learning classification framework for material intensity parameters of residential buildings

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ3】

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

【サブテーマ1】

- 1) Dente, S.M.R., M. Ogami, and S. Hashimoto: The 10th Conference of International Society for Industrial Ecology, Beijing, China (2019)
Measuring the value created through the life-cycle of wood resource – The Japanese case
- 2) 平井満規、山下奈穂、谷川寛樹、橋本征二：環境科学会2019年大会（2019）
エネルギー利用を考慮した木質バイオマスの物質フロー分析
- 3) 朝隈友哉、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2019年会（2019）
年代間の同一性判定システムを用いた東京都市圏における物質代謝の推計
- 4) 正木晃平、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2019年会（2019）
区間残存率法を用いた将来の建設副産物発生量の推計
- 5) 山本大睦、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2019年会（2019）
利用区分に応じた物質ストックデータベースの構築
- 6) 山下奈穂、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2019年会（2019）
都市・森林間の最適な輸送経路による木質資源循環圏の時空間分析
- 7) 松尾佑磨、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2019年会（2019）
名古屋市における道路更新に伴う物質ストック・フローの定量化
- 8) 大澤啓裕、正木晃平、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2019年会（2019）
名古屋市中心部における建築物ストックと空き家の詳細分布の把握
- 9) 齋藤隆成、奥岡桂次郎、谷川寛樹：環境科学会2019年会（2019）
衛星画像を用いた建設物及び道路ストック推計に向けた深層学習によるピクセル分類手法の提案
- 10) 森田大登、正木晃平、奥岡桂次郎、谷川寛樹、深堀秀俊：環境科学会2019年会（2019）
北九州市における立地適正化計画が物質ストックに与える影響の定量化
- 11) 吉田英立、朝隈友哉、奥岡桂次郎：環境科学会2019年会（2019）
二次資源量推計に向けたGISによる東京都市圏の建設ストックデータベースの構築
- 12) 正木晃平、奥岡桂次郎、谷川寛樹：第30会廃棄物循環学会研究会（2019）
4d-GISによる最尤法を用いた建築副産物発生量の将来推計
- 13) 山下奈穂、奥岡桂次郎、谷川寛樹：第30会廃棄物循環学会研究会（2019）
廃棄物産業連関表及び森林・都市動態モデルによる木質資源量の評価
- 14) 山下奈穂、奥岡桂次郎、谷川寛樹：第47回環境システム研究発表会（2019）
日本の人工林における地理空間情報を用いた部位別・年齢別木質資源量の推計
- 15) 齋藤隆成、平井千津子、谷川寛樹：2019年度環境情報科学研究発表大会（2019）
深層学習を用いた建築物ストック推計に向けた研究
- 16) 森田大登、正木晃平、深堀秀敏、東修、白川博章、谷川寛樹：2019年度環境情報科学研究発表大会（2019）
地理的・社会的要因を考慮した空き家分布のモデル化に関する研究
- 17) 吉田英立、朝隈友哉、谷川寛樹：2019年度環境情報科学研究発表大会（2019）

GISを用いた東京都市圏における建設ストックの時空間分析

- 18) 原園康作、橋本征二：第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
日本における農業系バイオマスの物質フローの推計～時系列分析
- 19) 平井満規、橋本征二：第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
将来シナリオ別の木材の物質フローの推計と使用効率の評価
- 20) 松田敏明、醍醐市朗、橋本征二：第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
鉄鋼材の物量投入産出表の作成と資源利用効率の評価
- 21) 三俣陽太郎、L. Ciacci、橋本征二：第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
日中欧におけるポリ塩化ビニルの二次埋蔵量及び潜在廃棄物量の評価
- 22) Vilaysouk, X. and S. Hashimoto: 第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
Material stock of residential building in a newly developing country: a case study from Laos
- 23) Zhang, J. and S. Hashimoto: 第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
Assessment of secondary lead reserves and potential lead waste of nations
- 24) Zhang, J., X. Vilaysouk, and S. Hashimoto: The 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management 2020（2020）
Assessment of secondary lead reserves and potential lead waste in Japan
- 25) Zhang, J., X. Vilaysouk, S. Dente, and S. Hashimoto: 環境科学会2020年大会（2020）
Classification of secondary lead resources in China
- 26) 三俣陽太郎、C. Luca、T. Wang、橋本征二：第31回廃棄物資源循環学会研究発表会（2020）
日欧中におけるポリ塩化ビニルの二次資源の類型～二次埋蔵量、潜在廃棄物量
- 27) 松田敏明、醍醐市朗、橋本征二：第48回環境システム研究論文発表会（2020）
日本における鉄鋼材の二次埋蔵量の評価
- 28) 谷川寛樹、山本大陸、山下奈穂、白川博章：第48回環境システム研究発表会（2020）
日本全国の利用度別物質ストックの定量化～住宅におけるケーススタディー
- 29) 齋藤隆成、平井千津子、芳賀智宏、松井孝典、白川博章、谷川寛樹：第48回環境システム研究発表会（2020）
衛星夜光情報に基づく深層学習のよる建築物の延床面積推計に関する研究
- 30) 山田久太、白川博章、谷川寛樹、深堀秀敏：グリーンインフラネットワークジャパン（2020）
木造住宅の地産地消が人工林の炭素ストックに与える影響～福岡県北九州市におけるケーススタディー
- 31) 山下奈穂、加用千裕、谷川寛樹：グリーンインフラネットワークジャパン（2020）
都市と森林における炭素ストックの将来推計～炭素ストック最大化に向けた木造住宅の役割
- 32) 三俣陽太郎、橋本征二：第16回日本LCA学会研究発表会（2021）
日本におけるポリエチレンの二次埋蔵量の評価
- 33) 松田敏明、S.M.R. Dente、醍醐市朗、橋本征二：第16回日本LCA学会研究発表会（2021）
鉄鋼材がライフサイクルで生み出す付加価値の推計
- 34) 津軽雄太郎、橋本征二：第16回日本LCA学会研究発表会（2021）
日本におけるCFRPの物質フロー分析
- 35) Dente, S.M.R. and S. Hashimoto: International Conference on Resource Sustainability 2021（2021）
Material life cycle – solving the downstream allocation issue
- 36) 吉田英立、Guo, J., 白川博章、谷川寛樹：第49回環境システム研究発表会（2021）
GIS データベースの拡充と日本全国の建築物に関する物質ストック・フローの動態分析
- 37) 山田久太、郭静、白川博章、谷川寛樹、深堀秀敏：第49回環境システム研究発表会（2021）
木材輸送時の炭素排出量を考慮した都市と人工林の炭素ストックの将来推計～福岡県北九州市におけるケーススタディー
- 38) 山下奈穂、郭静、白川博章、谷川寛樹：第49回環境システム研究発表会（2021）

物質ストックを考慮した資源生産性の要因分解の実証研究—住宅におけるケーススタディ

- 39) Zhang, R.: International Conference on Materials and Systems for Sustainability (2021)
Evaluation of potential environmental impacts on urban building system during floods
- 40) Liu, Z.: International Conference on Materials and Systems for Sustainability (2021)
An attempt to estimate total floor area for urban material stock calculation using deep learning inspired method
- 41) 吉田英立、白川博章、谷川寛樹：CSIS DAYS 2021全国共同利用研究発表大会（2021）
関東一都六県の浸水想定区域における建設資材ストック・フローの動態分析
- 42) 太田裕也：2021年度環境情報科学研究発表大会（2021）
GISを用いた同一性判定に基づく建築物のLCA環境負荷の評価～関東地方におけるケーススタディ～
- 43) 松田敏明、橋本征二：2021年度環境情報科学研究発表大会（2021）
日本におけるステンレス鋼の二次埋蔵量の評価
- 44) Ge, Y., 橋本征二：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）
一般廃棄物中の食品廃棄物量及び食品ロス量の推計～滋賀県を対象として
- 45) 堀部部翔、橋本征二：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）
太陽光パネルの普及に伴う廃ガラスフローのシナリオ分析
- 46) 松田敏明、橋本征二：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）
日本におけるステンレス鋼の物量投入産出表の作成と資源利用効率の評価
- 47) 千葉優衣、橋本征二：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）
土石系資源の物量投入産出表の作成と資源利用効率の評価
- 48) 高杉晃司、橋本征二：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）
食品廃棄物発生量の規定因～社会基盤とライフスタイルに着目して
- 49) 管哲平、橋本征二：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）
居住に関わる3R行動の資源使用量削減効果の評価
- 50) 橋本征二、松田敏明、谷川寛樹、山下奈穂：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）、公募企画セッション「循環型社会形成のための指標開発と環境・経済・社会の統合的評価」
物質フロー・ストックの総合的評価のための指標群の提案と適用

【サブテーマ2】

- 51) 幸怡媛、近藤康之：第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
中国の廃プラスチック輸入規制の日本経済への影響
- 52) 谷口友莉、高木重定、橋本征二：環境科学会2020年会（2020）
我が国の循環型社会ビジネスの市場規模の推計方法の検討
- 53) 中西翔太郎、高木重定、近藤康之：第16回日本LCA学会研究発表会（2021）
一次資源等価換算した総物質投入量および直接資源投入量の産業分野別時系列変化
- 54) 李勤萱、近藤康之：第16回日本LCA学会研究発表会（2021）
中国の輸入規制による日本国内における廃プラスチックリサイクルの環境・経済影響
- 55) 李佰鑫、近藤康之：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）
日本における廃プラスチックリサイクルの環境・経済・社会影響の統合的評価
- 56) 近藤康之、高木重定、中西翔太郎、谷口友莉：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）、公募企画セッション「循環型社会形成のための指標開発と環境・経済・社会の統合的評価」
環境・経済・社会の統合的取組に関する指標と評価手法の検討
- 57) Li, B., and Y. Kondo: The 6th International Conference on Economic Structures (ICES 2022),
Yokohama, Japan（2022）
Integrated assessment of environmental, economic, and social impacts of waste plastic recycling in Japan
- 58) Han, X., and Y. Kondo: The 6th International Conference on Economic Structures (ICES 2022),

Yokohama, Japan (2022)

Material footprint of sector groups based on input-output analysis

【サブテーマ 3】

- 59) 橋本征二、栗生木千佳、谷口友莉、高木重定：第15回日本LCA学会研究発表会（2020）
循環経済・循環型社会の進捗を計測する指標のレビュー
- 60) 栗生木千佳、劉晨：環境科学会2020年会（2020）
都市廃棄物リサイクル率の国際比較可能性の検証
- 61) 栗生木千佳、橋本征二：2020年度環境情報科学研究発表大会（2020）
欧州事例から見る資源効率性・循環経済政策指標の現状と展望
- 62) 栗生木千佳：環境経済・政策学会 2021 年大会（2021）
循環経済指標の発展にみる資源生産性指標の役割の再考～デカップリングとの関連付け
- 63) 栗生木千佳：第32回廃棄物資源循環学会研究発表会（2021）
デカップリングの達成に向けた再生材関連指標の国際動向に関する一考察
- 64) 栗生木千佳：第17回日本LCA学会研究発表会（2022）、公募企画セッション「循環型社会形成のための指標開発と環境・経済・社会の統合的評価」
欧州の循環経済指標のレビューと各種指標の国際比較可能性の検討

（3）「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ 1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ 2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ 3】

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＞

【サブテーマ 1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ 2】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ 3】

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

- 1) 功績賞、日本LCA学会第11回学会賞、2020年3月
橋本征二：ライフサイクル的思考に基づく物質循環指標の開発
- 2) 論文賞、2022年度環境科学会、2022年2月
山下奈穂、加用千裕、谷川寛樹：木造住宅と森林の木材需給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析（上記、誌上発表9）
- 3) 優秀発表賞（富士電機賞）、環境科学会2019年会、2019年9月
山下奈穂、奥岡桂次郎、谷川寛樹：都市・森林間の最適な輸送経路による木質資源循環圏の時空間分析（上記、口頭発表6）
- 4) 優秀ポスター賞、第47回環境システム研究論文発表会、2019年10月
山下奈穂、奥岡桂次郎、谷川寛樹：日本の人工林における地理空間情報を用いた部位別・年齢別木質資源量の推計（上記、口頭発表14）
- 5) 事務局賞、2019年度環境情報科学研究発表大会、2019年11月

森田大登、正木晃平、深堀秀敏、東修、白川博章、谷川寛樹：地理的・社会的要因を考慮した空き家分布のモデル化に関する研究（上記、口頭発表16）

- 6) 学術委員長賞、2019年度環境情報科学研究発表大会、2019年11月
吉田英立、朝隈友哉、谷川寛樹：GISを用いた東京都市圏における建設ストックの時空間分析（上記、口頭発表17）
- 7) 優秀学生発表賞、第48回環境システム研究発表会、2020年10月
谷川寛樹、山本大陸、山下奈穂、白川博章：日本全国の利用度別物質ストックの定量化～住宅におけるケーススタディ（上記、口頭発表28）
- 8) 優秀学生発表賞、第49回環境システム研究発表会、2021年10月
山下奈穂、郭静、白川博章、谷川寛樹：物質ストックを考慮した資源生産性の要因分解の実証研究―住宅におけるケーススタディ（上記、口頭発表38）
- 9) 学生優秀ポスター発表賞、第17回日本LCA学会研究発表会、2022年3月
李佰鑫、近藤康之：日本における廃プラスチックリサイクルの環境・経済・社会影響の統合的評価（上記、口頭発表55）
- 10) 優秀ポスター賞（理事長賞）、2020年度環境情報科学研究発表大会、2021年1月
栗生木千佳、橋本征二：欧州事例から見る資源効率性・循環経済政策指標の現状と展望（上記、口頭発表61）

IV. 英文Abstract

Indicator Development and Integrated Assessment of Environmental, Economic, and Social Aspects for Establishing a Sound Material-Cycle Society

Principal Investigator: Seiji Hashimoto

Institution: Ritsumeikan University, Kusatsu, JAPAN

Tel: 077-561-4945 / Fax: 077-561-4945

E-mail: shashimo@fc.ritsumei.ac.jp

Cooperated by: Nagoya University, Waseda University, Mizuho Research & Technologies, Ltd., Institute for Global Environmental Strategies

[Abstract]

Key Words: Material Flow and Stock Analysis, Input-Output Analysis, circular economy, international comparison, database

For appropriate monitoring of the medium- to long-term direction in the Fourth Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-cycle Society – "Thorough Circulation of Resources throughout the Lifecycle of Goods and Services," a group of indicators was proposed based on six cross-sections of the material life cycle: resource input from the environment, raw material input to the production process, raw material utilization in the production process, product use, end-of-life product treatment, and waste disposal to the environment. After a material flow database was developed for major materials used in Japan (vinyl chloride, iron, rocks and gravel, agricultural products, wood), the six major indicators were applied to those material flows to demonstrate the usefulness of the proposed indicators. In addition, in response to the medium- to long-term direction of the Fundamental Plan – "Integration of Efforts toward Creating a Sound Material-cycle Society into Those for a Sustainable Society" and "Regional Revitalization through the Formation of Diverse Regional Circulating and Ecological Sphere," an evaluation methodology was developed to evaluate integrated efforts for the environment, economy, and society. The methodology, based on Input-Output Analysis, clearly indicates the flow of waste and byproducts. It was applied to major resource recycling efforts (domestic recycling of waste plastics, promotion of effective utilization of forest residue in the region) to demonstrate the usefulness of the proposed methodology. Furthermore, for an indicator expressing integrated environmental and economic efforts – "market size of business for a Sound Material-cycle Society," the new target business and its classification (based on business approach (3R + Renewable) and based on "value" provided by the business) was proposed. The estimation method and the estimation results for the base year and recent year were demonstrated. Moreover, to provide a database of indicators and improve international comparability, circular economy indicators used and examined for policy evaluation or monitoring in the EU and major European countries were reviewed. A database of indicators was developed, including their definitions, calculation methods, and necessary data. For Japan and Europe, details of differences in the definitions of major indicators (general waste recycling rate and cyclical use rate at inlet) were examined. Then necessary measures to improve compatibility were proposed together with the trial estimation results.