課題番号：3CN-2202

研究課題名：プラスチック等脱炭素広域循環経済と食品廃棄物地域循環による環境・経済効果の最大化

研究代表者名：藤井実（国立環境研究所）

体系的番号：JPMEERF20223C02

重点課題：主：【重点課題⑩】地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発

副：【重点課題⑦】気候変動の緩和策に係わる研究・技術開発

行政ニーズ：（3-3）地域特性に合わせた廃棄物分別・回収システム構築及びモデル化

研究実施期間：2022年度～2024年度

【研究体制】

サブテーマ1

藤井実(国立環境研究所)
牧誠也(国立環境研究所)
河井紘輔(国立環境研究所)
大西悟(国立環境研究所)

サブテーマ2

溝田健一（日本環境衛生センター）*1
西畑俊太朗（日本環境衛生センター）
渡邊明日美（日本環境衛生センター）*2

*1: 2022年4月～2023年5月 *2: 2022年6月～

サブテーマ3

村上正樹（日本通運）
萬代俊郎（日本積運）
池田桂太朗（グーン）
北井俊樹（グーン）
土井麻記子（エックス都市研究所）
坪内崇（エックス都市研究所）
吉川克彦（エックス都市研究所）

サブテーマ4

谷川寛樹（名古屋大学）
山下奈穂（名古屋大学）*3
橋本征二（立命館大学）

*3: 2022年11月～

1.研究背景、研究開発目的及び研究目標（背景・目的）

【研究背景】カーボンニュートラル（CN）社会への早期の移行が求められている。本研究ではプラスチックや紙などの有機系素材に着目するが、特に異なる素材の混合状態で排出され、リサイクル困難な低品位廃棄物のCN化が大きな課題である。その解決に資する、有機系素材の生産から廃棄に至るライフサイクルにおけるCN化を合理的に達成できる仕組みを提案し、地域の実情に合わせて食品廃棄物の適切な利用・処理方法も考慮した上で、提案する仕組みの環境及び経済面での効果を評価するとともに、社会実装を推進するための取り組みを行う。

【研究開発目的】リサイクル困難な低品位の有機素材廃棄物の高効率な活用と、将来のCCU（二酸化炭素の回収・利用）を通じたカーボンリサイクルの実現に向けて、LCCN（Life Cycle Carbon Neutral, ライフサイクルカーボンニュートラル）*と呼ぶ仕組みの実現に資する検討を行うことを目的とする。化学コンビナートに大型の焼却施設を建設し、広域から低品位廃棄物を集めて焼却させ、プラスチック等の製造プロセスに高効率に蒸気供給を行う仕組みを提案評価すると共に、LCCNを支えるために必要となる自治体側の処理システムの適切な移行、低品位廃棄物の効率的な長距離輸送について検討する。将来の有機系素材の利用状況を想定した上で、LCCNは変化に対してもレジリエントな処理・リサイクルシステムとして提案し、その実現可能性や費用対効果を評価する。特に、プラスチックのCNな資源循環と社会的コスト低減の両立に重点を置く。加えてそのようなシステムの社会実装を推進するため、関連する自治体や企業との協力体制を構築し、リアリティの高いシステムの設計と評価を行う共に、事業化を行う上での課題の整理を行う。

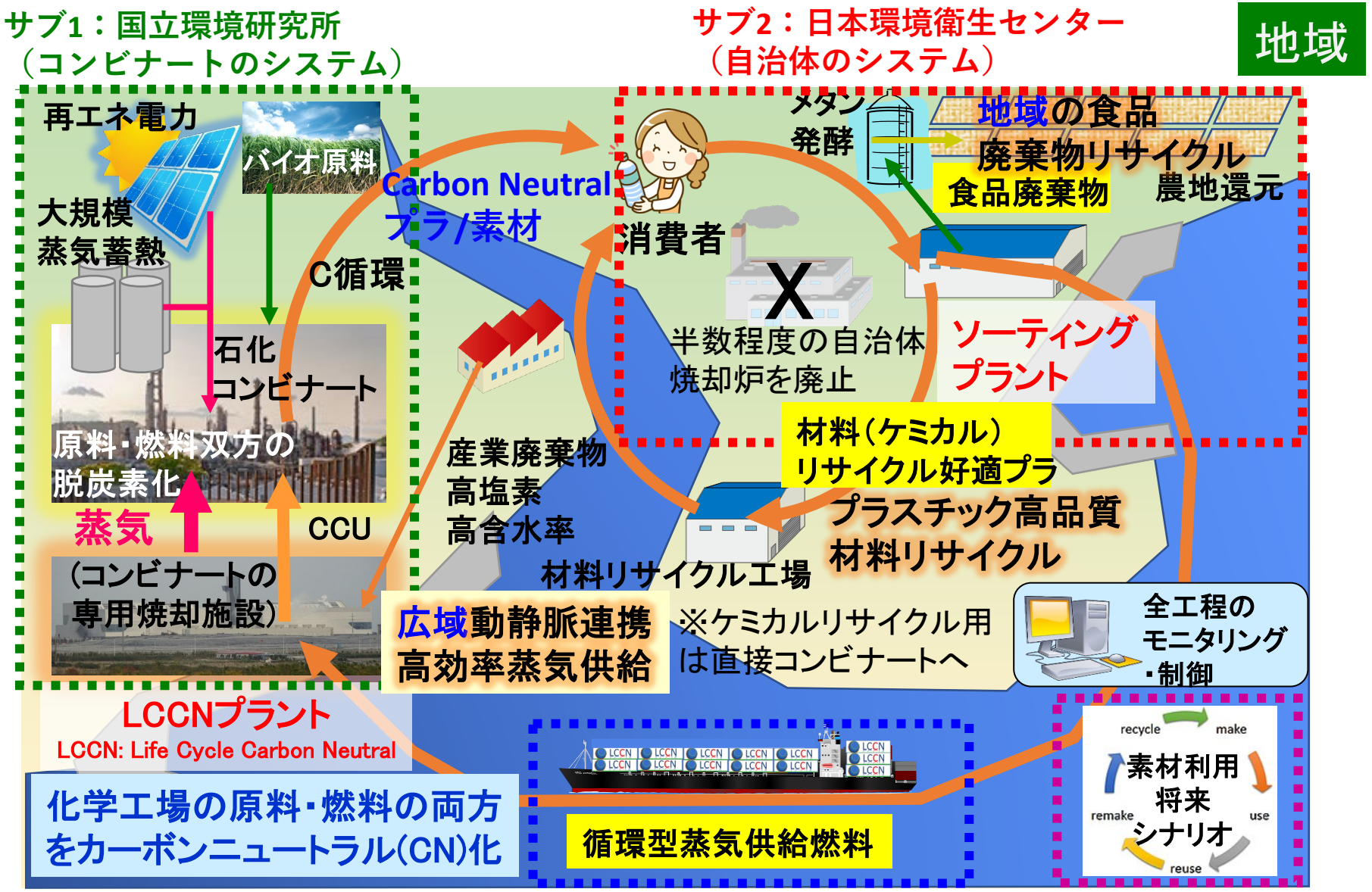
*LCCN（ライフサイクルカーボンニュートラル）：リサイクル困難な素材も含め、生産から廃棄に至るライフサイクル全体で、CNを達成するというコンセプトを社会に普及させるべく、本研究課題を遂行する過程で新たに定義した用語

1.研究背景、研究開発目的及び研究目標

【研究目標（全体目標）】プラスチックを含む有機系廃棄物の処理・リサイクルの仕組みを、カーボンニュートラルに適したものに転換するとともに、化学産業の製造工程の大幅なCO_2排出削減が可能な、セクター横断的なシステムを提示し、その費用対効果及び便益の評価を行って導入の可否を判断する。システムの構成要素となる選別や蒸気供給（サブテーマ1）、輸送の各プロセスのモデル化（サブテーマ3）を行うと共に、大都市や地方都市など、異なる条件の自治体や産廃事業者を対象としたケーススタディを実施する（サブテーマ2）。プロセスモデルとケーススタディに基づいて全国規模でのCO_2排出削減ポテンシャルや費用対便益を推計する（サブテーマ1）。その際、将来の有機系素材（プラスチック、紙、木材）の使用や資源循環に関するシナリオ分析を行って、発生する廃棄物の変化を踏まえたシステム分析となるようにする（サブテーマ4）。

各サブテーマの成果を併せた検討により、個別地域での焼却処理への依存度が大きなこれまでのリサイクル・処理の仕組みから、少子高齢化等に伴う社会の変化にも柔軟に対応し得る、廃棄物と地域の特性に最適化された、有機系資源のカーボンニュートラルの実現と社会コストの低減にも繋がる新たな地域循環共生圏の姿を提示する。加えて、システムの社会実装に向けて、化学メーカー、自治体、処理業者等と協力して、実現に向けて課題を整理した上で、ロードマップを提示する。

1.研究背景、研究開発目的及び研究目標（全体概要図）



2. 研究目標の進捗状況
(1)進捗状況に対する自己評価

サブテーマ1	カーボンニュートラルなプラスチック循環経済を支える技術と評価
目標	カーボンニュートラルなプラスチックの合理的な製造方法として、廃棄物から選別された循環型燃料を、石油化学コンビナートの熱需要に合わせて焼却して利用する循環型蒸気供給プラント(装置構成は廃棄物焼却施設に準じるもの)及び蒸気供給のための付帯設備の仕組みを想定・モデル化し、その費用対効果を示す。また、従来の石油を原料とするプロセスに加えて、バイオマス原料、ケミカルリサイクル原料によるプラスチック製造、循環型蒸気供給プラントの燃焼排ガスからCO2を回収して原料として供給するプラスチック製造の各プロセスについて、文献情報やヒアリング等から、物質、エネルギー収支を推計し、費用対効果を大まかに把握する。 また、各サブテーマの成果を集約して、自治体等での一般廃棄物の発生段階から、分別収集、選別、輸送、利用の段階を、将来の条件変化も踏まえて総合的に評価し、提案する方法でカーボンニュートラルなプラスチックの循環型製造・リサイクル・処理を実施した場合のCO2削減効果及び経済性の概略を評価する。産業廃棄物については、RPF(固形燃料)としての利用も困難な、低品位な廃棄物を積極的に収集、利用してCO2排出削減効果の底上げを図る。自治体、化学産業を合わせた合計としての社会コスト削減と、2030年に約200万t/年、2040年に自治体の半数の提案システムへの移行で約1000万t/年のCO2削減に繋がる計画実現の目途を示す。
令和4年度	焼却する廃棄物の特性(発熱量、塩素濃度)と、石化コンビナートの蒸気需要に合わせて、効率・安定的に蒸気供給を行うシステムを設計し費用や効果を推計し、効率的なシステムを選定する。
令和5年度	再エネ電力を利用した蒸気供給や、文献調査等からケミカルリサイクルやCCUと連携するシステムとした場合のCO_2削減効果等の概略を評価し、導入が効率的なシステムであるか否かの判断を行う。
令和6年度	自治体のシステム変更や広域輸送、将来シナリオ等に関する他のサブテーマの成果を総合して、提案システムの全国でのCO_2削減効果や費用対便益の将来推計を行う。
【自己評価】	**計画通り進展している。**

2. 研究目標の進捗状況

（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し

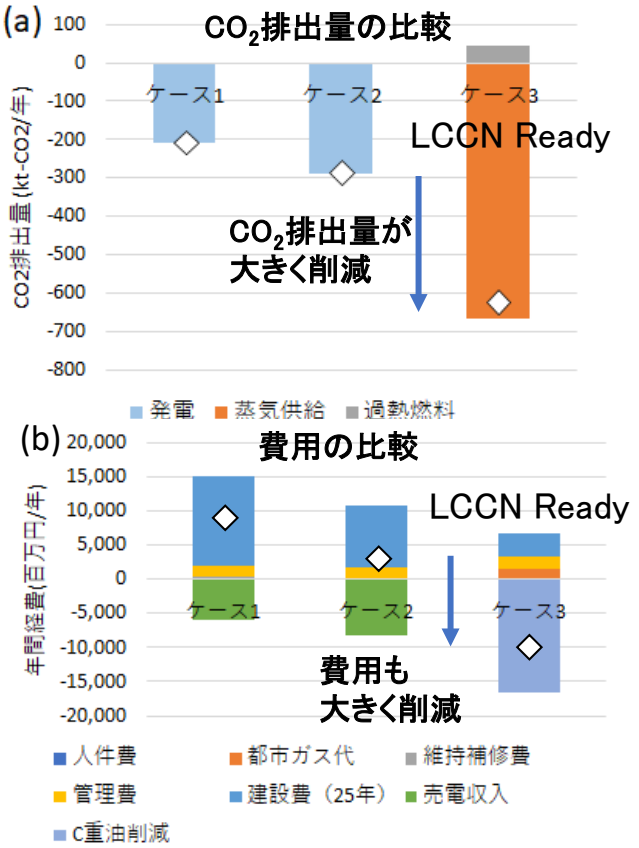
- **具体的な理由・根拠**

化学コンビナートのエネルギー需要に合わせて、リサイクル困難な低品位廃棄物の焼却施設に独立過熱器を増設し、必要な高温・高圧の蒸気を供給する仕組み（LCCN Readyプラント）を設計・評価し、高いCO_2排出削減効果と経済性を確認。また、LCCNの効率性や経済性を予備的に評価し、ポテンシャルの高さを示した。更に、社会実装に向けた取り組みを精力的に実施するなど、計画通り進展している。

△LCCN Ready（コンビナートへの蒸気供給用焼却施設）プラントの概要

▽比較する焼却施設（ケース）の設定

	ケース1 現状(小規模焼却発電)	ケース2 集約(大規模焼却発電)	ケース3 LCCN Ready
年間稼働日数(日)	280	280	330
1日当たり処理量(t/日)	314×15基	1570×3基	4000×1基
ボイラ効率(%)	—	—	90.0
発電効率(%)	19.0	25.7	発電＋蒸気供給



従来の焼却発電(ケース1)やそれを大型化した施設(ケース3)と比べても、LCCN Readyプラント(ケース3)はCO_2排出削減と経済性の両面で大きなメリットが存在することを確認。

2. 研究目標の進捗状況

（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し

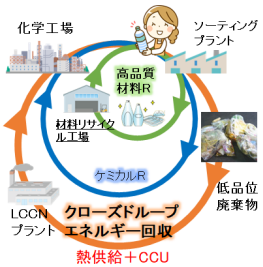
- **目標達成の見通し**

焼却炉におけるカーボンリサイクルの仕組みについては、専門家の協力も得て詳細な評価を行う準備が進んでいる。他のサブテーマも順調に進捗しており、それらの成果も踏まえて、LCCN Ready（焼却・蒸気供給）及びLCCN（焼却・蒸気供給＋CCU）の仕組みについて、全国でのCO2削減効果や費用対便益の将来推計を予定通り行うことができると考えられる。また、15のコンビナートのうち、複数のコンビナートで事業化に向けた活動を行っており、更に水平展開を加速するため、圏域動静脈連携カーボンリサイクル推進会議（仮称）の設立に向けた準備を進めており、社会実装の準備が進むことが期待される。

圏域動静脈連携カーボンリサイクル推進会議（案）

共管：化学工学会◇廃棄物資源循環学会　　NIES 藤井

【推進会議の目的】化学・製紙産業の製造工程と、プラスチック等の有機系素材のうち、リサイクル困難な低品位廃棄物の廃棄・リサイクル段階を含め、総ての工程のカーボンニュートラル化、すなわちライフサイクルカーボンニュートラル（Life Cycle Carbon Neutral: LCCN）の、早期かつ経済的な形での実現を目指す。低品位可燃廃棄物をコンビナートに集積して専用施設（LCCNプラント）で焼却・熱回収し、化学、製紙工程の熱源として高効率利用するとともに、燃焼排ガスから回収したCO_2を用いて化学原料を合成するLCCN循環システムの技術開発、実証、導入及び普及拡大を行うことを最終的な目的とする。そのために下記の項目の活動を実施する。



LCCN循環システム

【活動実施内容】
- LCCN循環システムのポテンシャル評価やシステムの具体化等のための調査活動の実施と情報共有（1期）。
- LCCN循環システムの大型実証研究の実施に向けた連携、準備、国等への働きかけ。
- 圏域での廃棄物の安定需給に向けた供給、受け入れ態勢の構築に向けた連携及び検討。
- パイロット事業の開始（第1期）。
- 事業の拡大、水平展開（第2期以降）。

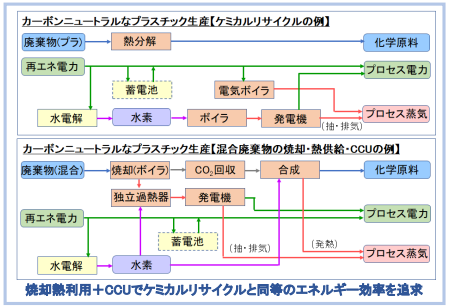
【特色】
- 化学工学会・廃棄物資源循環学会の共管による会議。
- 圏域（複数都道府県を含む地理的範囲を想定）における動・静脈及び産官学連携の会議。
- 当初は東京湾周辺及び瀬戸内海周辺（廃棄物の海上輸送を想定しているため）の2大圏域を対象に組成。

圏域動静脈連携カーボンリサイクル推進会議（案）

低品位廃棄物の高効率処理・利用で経済的にカーボンリサイクルを実現

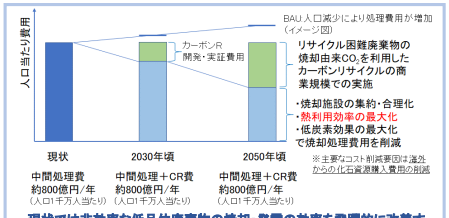
コンビナートで廃棄物焼却熱やCCUの発熱を製造プロセスで安定・高効率に利用することで、ケミカルリサイクルに遜色のないエネルギー効率でカーボンリサイクルを実施。

低品位廃棄物処理の効率化と、熱及び炭素源としての高効率利用によって、カーボンリサイクルを、実質的な追加的コストなしに実施することを追求。



焼却熱利用＋CCUでケミカルリサイクルと同等のエネルギー効率を追求

【会議の運用方法】
- 各参加者が会議への出席等に係る費用を自弁することが基本。参加機関の協力の下、調査研究費用、実証費用、事業化予算等の獲得に向けて活動する。
- 第1期の活動期間は約10年間（以降、第2期以降へと活動期間を随時更新）



現状では非効率な低品位廃棄物の焼却・発電の効率を飛躍的に改善することで、カーボンリサイクルの初期開発費や将来の事業費を確保する

図：LCCNの水平展開を加速するための会議体設立準備（作成したパンフレット・一部抜粋）

サブテーマ2

2. 研究目標の進捗状況
(1) 進捗状況に対する自己評価

サブテーマ2	自治体の廃棄物処理システムの転換方策の検討
目標	各自治体で焼却中心の処理方法を改め、廃棄物の特性及び地域の特性に合わせて廃棄物を分別・回収し、それぞれ適切な循環圏の空間スケールで合理的に利用する方法を提案し、その実現可能性を評価する。従来の容器包装リサイクル及び新法の下で回収される材料・ケミカルリサイクル好適プラスチック、地域でエネルギーや肥料に利用する食品廃棄物、全国で6カ所程度の石化コンビナートに広域から集約・燃焼してプラスチック製造工程等に蒸気供給を行う循環燃料に選別する(瓶、缶、古紙等は従来通りの回収・リサイクルを想定)ソーティングプラントの機能を設定し、それぞれを高効率に利用するシステムの詳細なプロセスの検討・評価を行う。今後の廃棄物発生量や組成の変化、再生可能な電力の供給状況の変化も踏まえて、従来の焼却・発電を中心とするシステムと比較して、費用・効果の変化を評価する。また、提案するシステムの周知を兼ねた自治体へのアンケートやヒアリング調査を通じて、実現に向けた課題を整理し、システム転換のロードマップを示す。
令和４年度	モデル構築の基盤的要素となる食品廃棄物の資源化、有機系ごみの選別の各プロセスについて国内事例、海外事例の情報収集を行うとともに、自治体処理システムの転換イメージの概念整理を行う。
令和５年度	食品廃棄物資源化及び有機系ごみ選別に係る継続調査を行うとともに、異なる特性の地域を想定した分別回収・選別・処理のモデル化とフロー及びコストデータの検討から、自治体の処理システム転換の効率性を判断する。また、自治体処理システム転換可能性に係るアンケート調査を行って、自治体側のシステム転換の意向を確認する。
令和６年度	令和4年度、5年度の成果も踏まえて、分別回収・選別・処理モデルによる脱炭素性及び経済性の評価、全国規模での脱炭素性・経済性のポテンシャルの検討及び自治体処理システムの転換に係るロードマップの作成と課題の整理を行う。
【自己評価】	**計画通り進展している。**

2. 研究目標の進捗状況

(2)自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し

- 具体的な理由・根拠

✓ 可燃ごみの分別による可燃ごみ組成の変化について、市町村において公表されている湿ベース組成結果を整理することにより、容器包装プラ、その他プラ(製品プラ)の資源化有無による可燃物中のプラスチック組成の差を確認することができた。(容器包装、その他プラを資源化している場合、可燃ごみ中のプラスチック組成が約11%、資源化していない場合は約20%。)

表　厨芥類、プラスチック類の湿ベース組成

	1：収集区分が資源ごみ		可燃ごみ湿ベース組成平均(%)							
自治体数	容器包装プラ	その他プラ	厨芥類		容器包装プラ		その他プラ		プラ類（容器包装＋その他プラ）	
			%	n	%	n	%	n	%	n
6	1	1	39.4	6	6.3	4	1.3	4	11.0	6
53	1		36.6	52	9.0	32	2.9	24	12.1	44
14			36.6	13	16.1	9	4.0	8	20.0	13

✓ 食品廃棄物の資源化について、資源化物である堆肥、液肥の特性を整理し、需要ポテンシャルの推計方法を検討した。

✓ 有機系ごみの選別について、国内事例として可燃ごみの機械選別を実施している市町村へヒアリングを実施、Web及び文献情報から海外事例(ラハティ(フィンランド)、ローマ(イタリア))の情報収集を行った。

2. 研究目標の進捗状況

（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し

- ✓ 提案するシステム（LCCN：焼却・蒸気供給+CCU）の評価に向けて、現状の焼却処理を継続的に実施した場合に想定される費用（整備費・運営費）を特定のエリア（コンビナートを含む5県（人口規模:1100万人程度））において試算した（表）。今後、提案するシステムに係る費用試算を行うことにより、現状の焼却処理と提案するシステムの比較評価を行う。

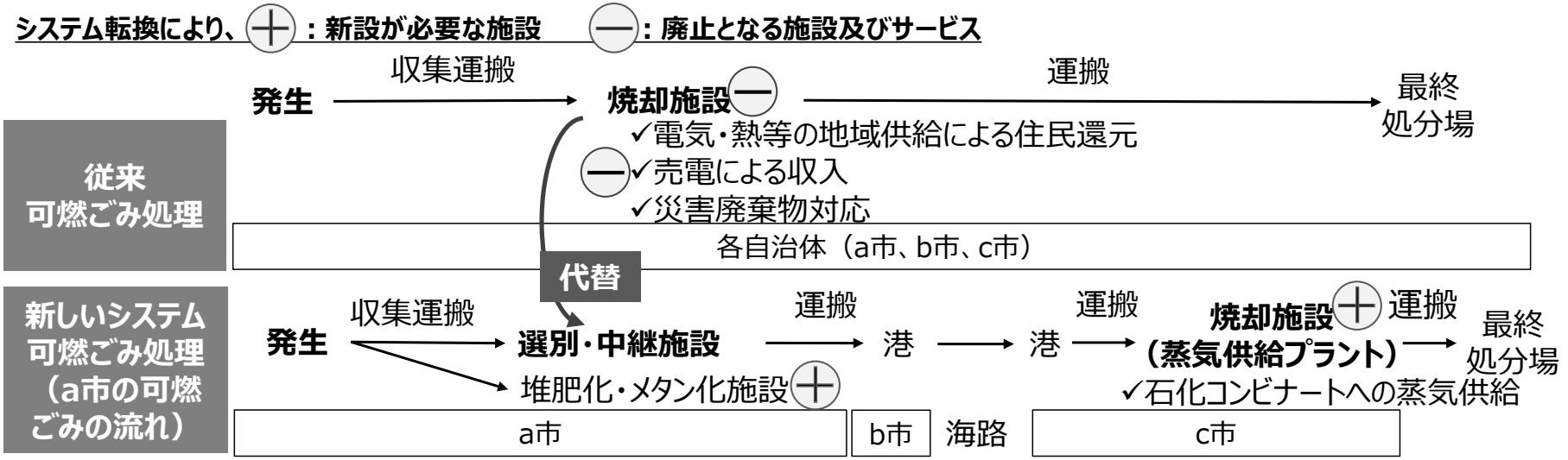
表　2050年までに想定される費用（特定エリアにおける試算）

整備（基幹改良費＋廃止して新設する費用）（億円）	8,106
運営（2024年から2050年までの累積）（億円）	6,449
売電収益（2024年から2050年までの累積）（億円）	1,405
整備＋運営－売電収益（億円）	13,150

- ✓ 提案するシステムの要素の検討を踏まえ、自治体処理システムの転換イメージの概念整理（図）を行うことができた。

2. 研究目標の進捗状況

（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し



市町村をa,b,c市の3分類とする。
a市：積出し港を持たない自治体.肥料の需要ポテンシャルがあれば堆肥化・メタン化施設を新設.
b市：積出し港を持つ自治体. b市の港にヤードを設置.c市に船で輸送.
c市：臨海コンビナートが存在する自治体.b市からの船便の循環型燃料を下す港にヤードを設置.

図　自治体における新しい処理システムの転換イメージ

- **目標達成の見通し**

✓ 今後、有機系ごみ選別に調査、選別・中継施設の機能検討を継続して行い、異なる特性の地域における分別回収・選別・処理のモデル化を行う。エリアを設定し、実際に自治体データを用いたシミュレーションにより、自治体処理システム転換の効率性を整理し、脱炭素性・経済性のポテンシャルの検討を行う。

✓ システムの周知を兼ねた自治体へのヒアリング調査を行い、自治体側のシステム転換の意向や社会実装に向けた道筋を検討する。

2. 研究目標の進捗状況

(1) 進捗状況に対する自己評価

サブテーマ3	石化コンビナート向け循環型燃料の長距離・高効率輸送の検討
目標	各自治体による焼却発電を中心としたエネルギー回収の仕組みから、石化コンビナートに蒸気供給用循環型燃料を集約して、カーボンニュートラルなプラスチック製造のためのエネルギー源として活用する、広域利用の仕組みの実現を可能にする、安全、効率的な輸送方法を提示する。地理的に有利な自治体から優先的に全国の半数程度の自治体が提案する仕組みに参加した場合の、輸送に掛かる費用を概算してその実現可能性を評価する。石化コンビナートは臨海部に立地することから、循環型燃料の効率的輸送の観点と、コンビナートの周辺道路に多数のトラックが集中する事態を避ける観点から、海上輸送を検討対象に含める。日本通運（株）は鉄道や船舶などの輸送手段の検討、（株）グーンは輸送の荷姿の検討、（株）エックス都市研究所は輸送費や輸送に関わるインベントリ調査を主に担う。
令和4年度	輸送会社としての保有知見、及び欧州の実例について現地調査を通じ、廃棄物分別後の集荷梱包技術や、循環型燃料に類似する廃棄物の輸送の原単位及びその広域輸送の実態データを得る。
令和5年度	輸送評価のための情報整備。5～6か所の石化コンビナートで、周辺自治体の広域処理を行った場合のエリア設定を行う。サブテーマ2の初年度の研究である「自治体の廃棄物処理システムの転換方策の検討成果」とも連携し、想定する循環型燃料の輸送規模や範囲の設定の妥当性を高める。
令和6年度	初年度、2年目の成果をもとに、循環型燃料の広域輸送モデルを展開する形で設定（全国の6か所程度のコンビナートを集約先として想定）して輸送費用を試算する。最終成果物のとりまとめを行う。
【自己評価】	**計画通り進展している。**

2. 研究目標の進捗状況
（2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し

（1）国内外の事例を通じた効率的な輸送技術の抽出・把握

①荷姿に関する検討

具体的な理由・根拠

令和4、5年度目標である国内外事例の収集及び、シミュレーションに向けた条件設定について着実に成果を挙げており、「**計画通り進展している**」と自己評価できる。

ドライ

乾燥ありの圧縮梱包

（事例）
発酵乾燥とRDF原料化
三豊市エコマスター社

リサイクル可能

Dry Mixed Recycling（DMR）

＝さまざまな種類のリサイクル可能な材料
・DMRは、欧州で採用されている仕組み。
・1つのビンまたは容器に集めて処理する仕組みで、紙、段ボール、プラスチック、金属、ガラスを回収。材料回収施設(MRF)で選別および処理される。

後日処理 ←→ 即日処理

乾燥無しの圧縮梱包

・貯留保管により輸送可能量を確保
・厨芥類が支障しない圧縮梱包の課題あり
（事例）長期保管：韓国の実証事例
圧縮梱包：グーン社
英国から北欧への輸出

グーン社圧縮梱包

韓国の長期保管

イギリスから北欧への輸出廃棄物

密閉・半密閉式コンテナ／パッカー

・規模が大きく貯保管の必要がない
・密閉／半密閉化により乾燥を省略
（事例）汎用開放コンテナ：スイスRenergia社
オガワエコノス社
密閉コンテナ：　イギリスCORY社、
神戸ポートリサイクル
川崎市大磯町、王禅寺
パッカー車コンパクタ：横浜市保土ヶ谷

スイスRenergia社

横浜市保土ヶ谷

川崎市大磯町

ロンドンCORY社

ウェット

図1　廃棄物性状と荷姿事例のマッピング

②輸送モード

表　輸送モード別の条件特徴

輸送モード		長所	短所	条件
トラック 韓国浦項市でのベール化による圧縮梱包長期保管の実証事業		・輸送、荷姿の柔軟性が高い ・少ロットでの対応が可能 ・初期投資が少ない	・CO2排出量が多い ・長距離輸送にコストがかかる ・長距離輸送における人手不足の懸念（働き方改革による2024年問題）	・臭気、液漏れ対策などの環境対策 ・ドライバー、車両の確保
船舶 英国倫敦市でのテムズ川を利用し密閉コンテナ中継積替		・安価で大量輸送が可能 ・CO2排出量が少ない	・柔軟性が低い ・港間の輸送に限られる ・天候による制約を受ける	・既存インフラの活用 ・臭気、液漏れ対策などの環境対策 ・リサイクルポートに認定されている⇒廃棄物処理法上輸送が限られる。
鉄道 川崎市梶ヶ谷での特殊コンテナ中継積替え		・大量輸送が可能 ・CO2排出量が少ない	・輸送に係る費用が高い（川崎市ヒアリング結果） ・駅間での輸送に限られる	・既存インフラの活用 ・臭気、液漏れ対策などの環境対策 ・鉄道会社との調整

（2）循環型燃料の広域輸送におけるコストシミュレーション

①6エリアの特定と1エリアでの試行的データベース作成

日本の主要な熱需要エリア（コンビナート）を中心に6カ所を特定した。

その上で、中国地方の1カ所を対象として、シミュレーション試行の準備としてデータベースを整備した。既存焼却施設の収集エリアを単位とし、廃棄物量、焼却施設及び最終処分場の正接整備現状及び計画情報、処理施設から港湾までの距離、輸送先（LCCN Readyプラント）までの距離、最寄港湾等の情報を収載した。

②輸送条件の設定とデータマップ化

これらを基に、（1）で得た情報をもとに、各ケース別に荷姿とモード及びルートを設定した。荷姿・モードの条件設定フローを図2に示す。

Google Earthを用いて山口県と福岡、愛媛、広島、島根の近隣4県の一般焼却施設の立地とルートをデータ化した。焼却施設及びルートのマップを図3に示す。

図3　焼却施設及びルートのマップ

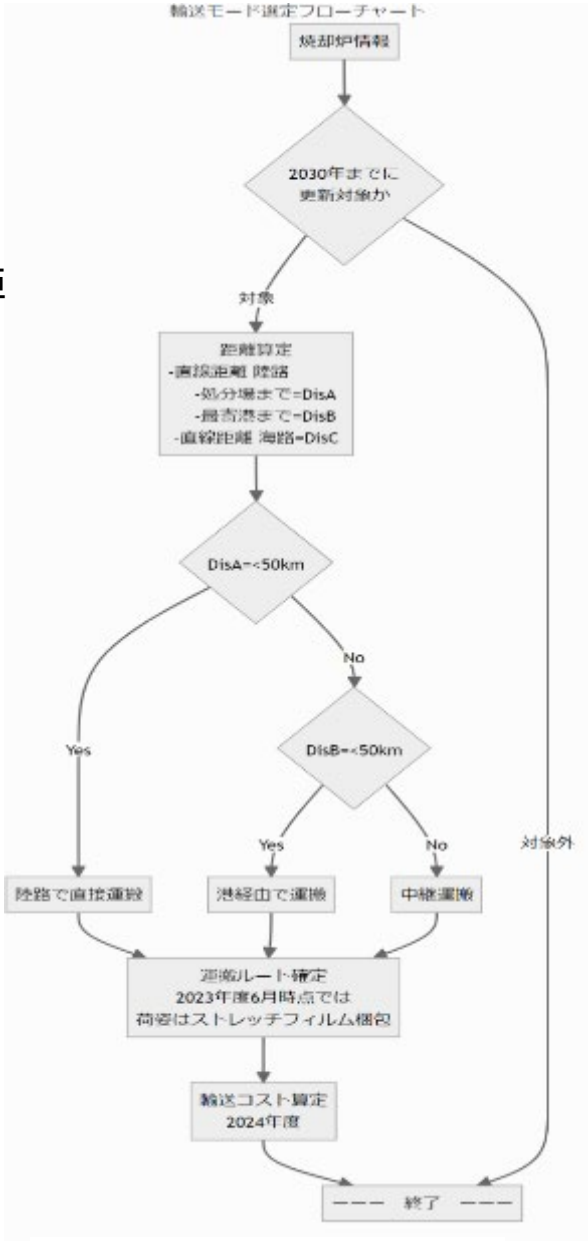


図2　荷姿・モードの条件設定フロー

・目標達成の見通し

✓ これまでの研究成果：
将来、LCCN Readyプラント（コンビナートでの焼却・蒸気供給）を導入するには、広域輸送を行う事になるため、その経済性・環境性をシミュレーションすることを目的としている。

✓ 令和4年度は、国内外の広域輸送技術や焼却施設立地等の情報を収集・整理した。

✓ 令和5年度は、国内を6エリアに区分し、そのうちの一つのエリアについて、条件設定のためのデータベースを作成し、広域輸送における、荷姿、輸送モード、ルートの設定を行った。今後、全エリアでのデータベースを追加する予定である。

✓ また、これまでに規制等の確認のため、国が実施した静脈物流（特に船舶輸送）における実証事業事例を収集・整理した。今後課題抽出及び対策の検討を実施する。

✓ 令和6年度には、令和5年度までに準備した情報を用いて、シミュレーションを実施し、環境性、経済性を評価し、循環型蒸気供給プラントの実装に向けた、広域輸送における課題を整理する。

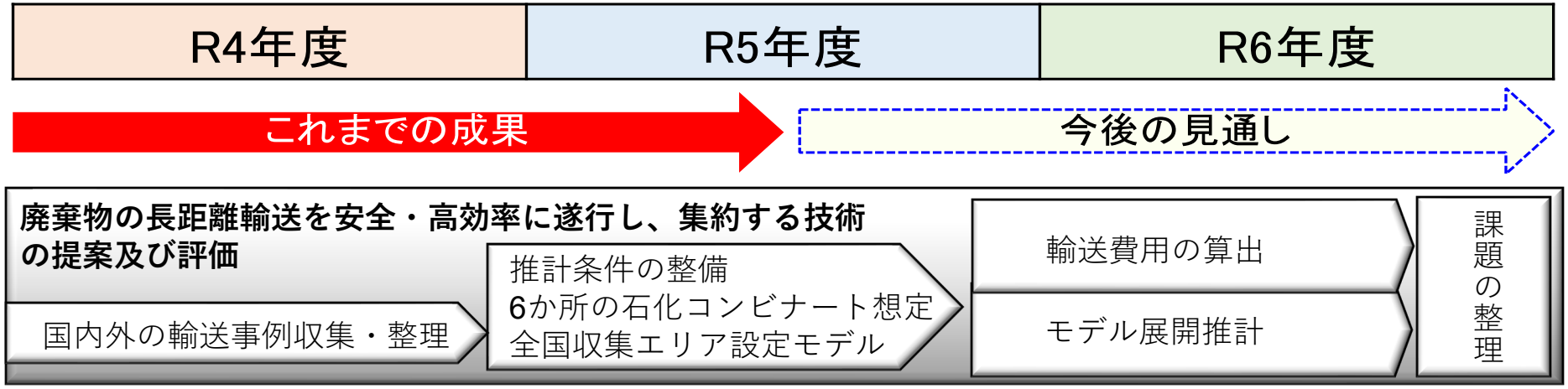


図４　サブテーマ３の研究進捗と計画

2.研究目標の進捗状況
(1)進捗状況に対する自己評価

サブテーマ４	有機系資源の循環経済の将来シナリオに関する検討
目標	提案するプラスチックを含む有機系廃棄物のカーボンニュートラルな製造、リサイクル、処理の仕組みを検討する際の、社会背景についての分析を行う。**将来の有機系素材（プラスチック、紙、木材等）の生産、利用、ストック、排出、循環利用に関わるシナリオを提示する。**また、本課題で提案する、極めて高効率にエネルギー回収・利用する方法を選択肢として持つことが、素材の循環利用に与える影響も考察する。これらの検討を通して、提案するシステムが廃棄物の発生状況等の社会情勢の変化に対してレジリエントなシステムとなり得るかを評価する。
令和４年度	国内外のプラスチックや木質系素材等の利用状況や新たな利用傾向を調査し、提案するシステムの評価の前提となる社会背景の予備的なシナリオを提示する。
令和５年度	プラスチックを含む有機系素材のストック・フロー分析を実施し、有機系素材のカーボンニュートラルの実現にとって重要な段階や条件を分析して、提案するシステムの妥当性の評価や改善に資する情報提供を行う。
令和６年度	将来の有機系素材の生産、利用、ストック、排出、循環利用に関わるシナリオを提示するとともに、提案するシステムが素材利用に与える影響を考察して、カーボンニュートラル実現への貢献量を定量評価する。
【自己評価】	**計画通り進展している。**

2.研究目標の進捗状況
(2)自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し

- **具体的な理由・根拠**

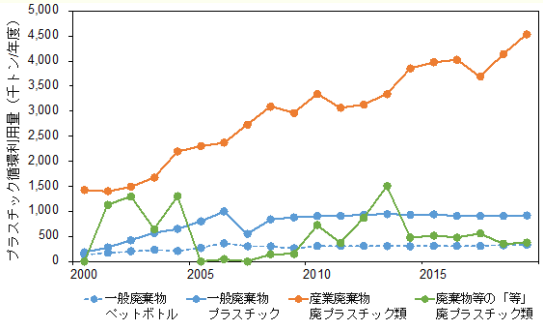
令和4、5年度目標である有機系素材の利用傾向の調査及びストックフロー分析、予備的なシナリオの提示について着実に成果を挙げており、「**計画通り進展している**」と自己評価できる。

(1) 有機系素材の利用傾向の調査と将来シナリオの検討

✓ 各素材の発生量・処理量・循環利用量等のデータ整備

✓ 各素材の定量目標の整理

⇒将来の循環利用に関する対策シナリオの選択肢の設定



例）プラスチックの循環利用量

(2) GHG排出量算定モデルの構築

✓ 廃棄物・資源循環に関するGHG削減効果推計モデルの試作（一般廃棄物）

✓ 既存の定量目標に基づく対策シナリオによる将来のGHG排出量への影響評価

⇒産業廃棄物へのモデル拡張

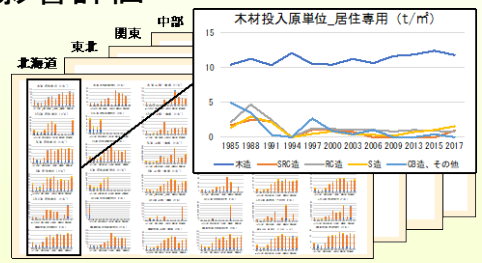
⇒(1)(3)の成果に基づく対策シナリオの整合性の検証、将来のGHG削減効果の推計

(3) 有機系素材のストック・フロー分析

✓ 構造材・内装材・家財等を含む資材投入原単位の精緻化によるストック推計精度の向上

⇒ストック・フロー分析の基盤となるデータベース整備

⇒将来の廃棄・循環利用シナリオへの影響評価

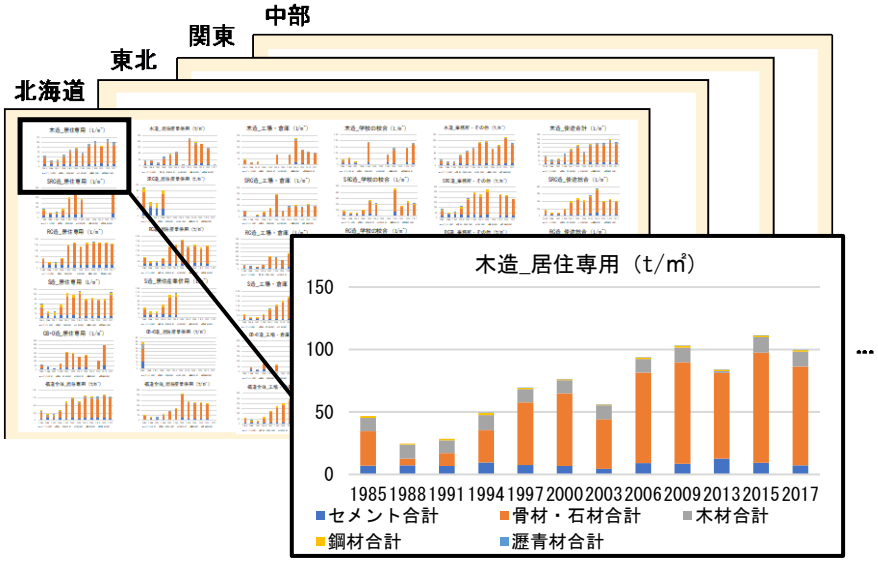


例）構造材の資材投入原単位

■ 都市の有機系資源ストックフロー分析に向けたデータベースの整備（成果の一例）

①構造材

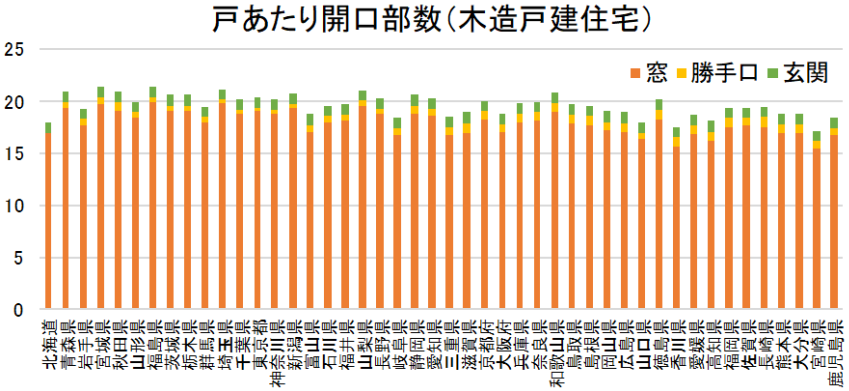
- 地域別・使途別・構造別原単位の整備

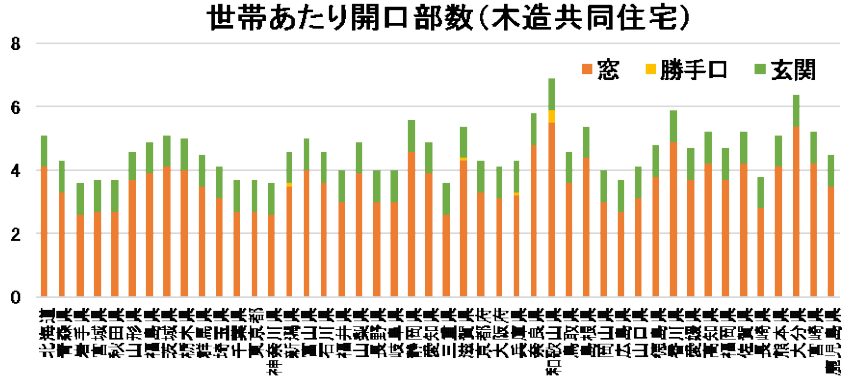


対象とする資材	セメント、骨材・石材、木材、鋼材、瀝青材
対象年	1985、1988、1991、1994、1997、2000、2003、2006、2009、2013、2015、2017
地域（10地域）	北海道、東北、関東、北陸、中部、近畿、中国、四国、九州、沖縄
使途（5種類）	居住専用、居住産業併用、工場・倉庫、学校の校舎、事務所・その他
構造（5種類）	木造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、補強コンクリートブロック造・その他

②内装材

- 床面積/戸/世帯あたりの建具取付率（網戸、浴室出入口、雨戸、窓シャッター、面格子、シェード、ルーバー等）のデータを収集





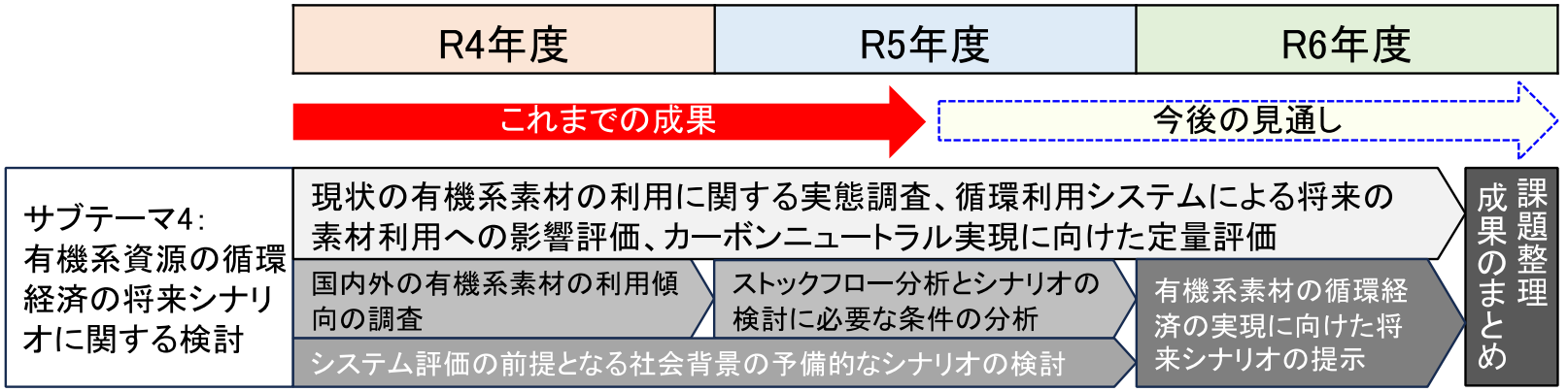
2.研究目標の進捗状況
(2)自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し

- **目標達成の見通し**

✓ これまでの研究成果：

将来の資源循環への影響を分析する際に必要となる、素材の生産から廃棄・循環利用に至るまでのデータ整備、対策シナリオの基盤となる基礎情報の整理を行った。

✓ R5年度目標であるストック・フロー分析の手法自体は確立しており、これまでに構築したデータベースを用いることで、サブテーマ4の目標である有機系素材の循環経済の実現に向けた将来シナリオの提示及び将来の資源循環への影響評価を**計画通り達成することができる**と考えられる。



サブテーマ4の研究進捗・計画

3.研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

【行政等が活用することが見込まれる成果】

- リサイクルが困難な廃プラスチックを含む可燃廃棄物を、コンビナートでプラスチック等の製造プロセスに必要な電熱併給のための熱源として極めて高効率に利用し、将来は廃棄物からのカーボンリサイクルを合理的に行うことのできるシステムを提示するものであり、国や各自治体に有用な選択肢を提示する。
- LCCN（焼却・蒸気供給＋CCU）の仕組みの実現に向けて、複数のコンビナート及びその周辺地域において、素材メーカー、自治体、産廃事業者、焼却炉メーカー等と、事業化に向けた協議を行っており、地域の廃棄物処理政策を実際に転換する可能性がある。
- 環境省による広域処理の推進施策により、全国自治体で焼却施設の集約化が進む一方、自治体間の調整に難航する事例も多い。本研究では、資源化可能ごみの地域利用と燃料用ごみの高効率エネルギー利用を目指した新たな自治体間連携の進め方を検討するものであり、その成果は自治体における今後の新たな視点となることが期待される。
- 低品位廃棄物を広域で高効率輸送する仕組みを構築できれば、人口減少等により地域の廃棄物処理インフラの維持が困難になることが予想される中、災害発生時も含めて、地域の廃棄物処理の選択肢を増やすことが可能になる。
- 有機系素材の利用による将来の資源循環への影響を客観的に示す際に必要となる定量的なデータを提供する。また、廃棄物・資源循環に関わるGHG排出量推計モデルが完成すれば、様々な対策シナリオ下での廃棄物フローと対策効果を推計でき、政策決定の基礎情報とすることができる。

3.研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

【行政等が既に活用した成果】

- 某県庁が県内の自治体を集めて、LCCNの実現に向けた勉強会を開催した（2023年1月に予備的な会合、2023年7月に第1回を開催）。
- 特別区長会調査研究機構令和5年度「特別区におけるCO_2の地産地消に向けて～清掃工場のCO_2分離・活用と23区の役割～」に関する研究会のリーダーを研究代表者の藤井が担当。本研究の成果も踏まえて検討が進められている。
- 環境省の環境審議会・循環型社会部会（研究分担者の橋本が委員）における廃棄物処理施設整備計画や廃棄物処理法に基づく基本方針の検討において、本研究での検討をベースとした意見を提示し、これらの計画・方針の文言として盛り込まれた。具体的には、「必要に応じて2以上の都道府県の区域における広域化・集約化（計画p.6、方針p.39）」「都道府県域を越える広域的な廃棄物処理体制の構築（計画p.15）」「供給可能な蒸気条件に応じ、産業施設における大規模熱利用（計画p.11）」「廃棄物エネルギーの需要を踏まえた立地（計画p.12、方針p.37）」等である。

4.研究成果の発表状況

【誌上発表（査読あり）：　件】

特に記載すべき事項はない
※査読付きの国際学術誌に複数の論文を投稿準備中

【その他誌上発表（査読なし）：　6件】

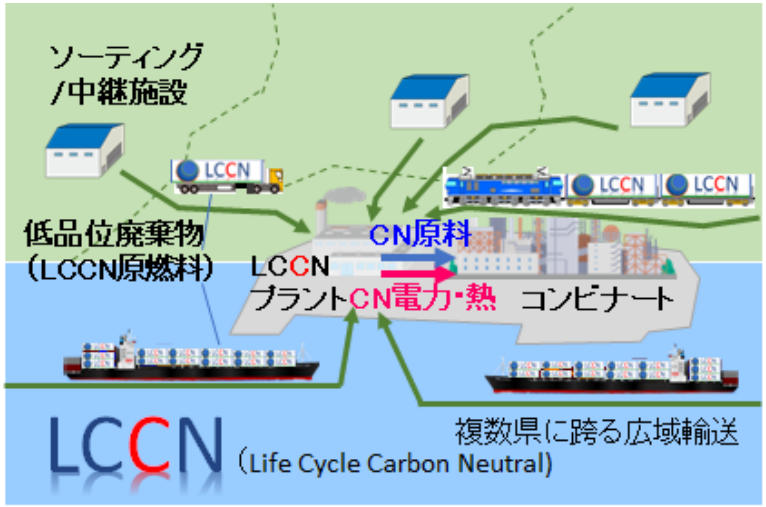
・藤井実：廃棄物処理・リサイクルにおけるカーボンニュートラルの実現に向けた取り組みと課題, 都市清掃, 76(374), 9-16 (2023)
・土井麻記子：“廃棄物管理の最近の動向”廃棄物焼却熱の産業利用と広域輸送の実現に向けて, 都市と廃棄物, 7月号, 42-57 (2023)
・太田裕也、蛭田有希、白川博章、谷川寛樹：日本全国における建築物と土木構造物を対象とした建設活動由来のCO_2排出量推計, 環境システム研究論文発表会講演集, 50, 73-78 (2022)
：

【口頭発表：　20件】

・大西悟、藤井実、牧誠也、Dou Yi：産業団地の熱電エネルギー需要の推計手法の開発と福島県地域でのケーススタディ, 第50回環境システム研究論文発表会講演集（2022）
・M. Fujii, S. Ohnishi, S. Maki, K. Kawai, L. Dong：A study on maximizing energy efficiency of manufacturing and disposal of plastics for the promotion of carbon-neutral plastic circular economy, 11th International Conference on Industrial Ecology, Leiden, 2023
・M. Doi, K. Yoshikawa, T. Tsubouti, M. Murakami, T. Bandai, K. Ikeda, T. Kitai, M. Fijii: ：Analysis of efficient waste transportation methods to enable incineration heat supply to Japan’s chemical industry, ISIE2023 Special Session Submission, Leiden, 2023
・H. TANIKAWA, H. SHIRAKAWA, Y. HIRUTA, N. YAMASHITA, I. DAIGO, I. MARUYAMA, N. HIRAKYAMA, S. IZUKA：Impact Projection of Climate Change Adaptation Measures for Sustainable Urban Built Environment, 11th International Conference on Industrial Ecology, Leiden, the Netherlands, 2023
・東畠直之、橋本征二：建築解体系廃プラスチック発生量の将来推計と処理シナリオの検討, 第18回日本LCA学会研究発表会（2023）
：

【本研究の研究成果による受賞：　1件】

・藤川奈々：滞留年数の延長による将来ストック・フロー及びCO2排出量への影響評価 —道路におけるケーススタディ—, 2022年度環境情報科学 研究発表大会（2022）事務局長賞受賞）

5.研究の効率性

- サブテーマ1～4の全サブテーマにおいて、研究が計画通り進展していると共に、今後も計画に沿った成果が得られることが期待される。
- リサイクル困難な低品位廃棄物（焼却対象廃棄物）を化学コンビナートに集約して焼却・蒸気供給を行うという、動静脈が連携した上で現状からかなり大がかりなシステム変更が求められる提案を行っているが、化学産業、自治体、産廃事業者、焼却炉メーカー、研究・調査機関等の多くの関係者が、当初の想定以上に高い関心を示しており、実際にその実現に向けて取り組みを進め始めたコンビナートも複数存在する。そのため、各コンビナート及び周辺地域（複数県を跨ぐ領域）の実情に合わせた、具体的・詳細な検討を複数かつ広域で行うことが可能となっており、現実に即した研究成果を出す観点と、研究成果を社会に普及させる観点の両面から、効率的に研究を行うことが出来ている。
- 上述のコンビナートの関係者との意見交換等の機会には、必ずしも毎回ではないが、全サブテーマから研究分担者の一部が参加しており、社会実装に何が必要であるかを各サブテーマでも強く意識しながら研究を進めることが出来ている。