

課題番号：S-19

研究科題名：プラスチックの持続可能な資源循環と海洋流出制御  
に向けたシステム構築に関する総合的研究

研究代表者名：吉岡 敏明（東北大学）

体系的番号：○○○○○○○○○○○○○○

研究実施期間：2021年度～2025年度

【研究体制】 テーマリーダー

テーマ1

吉岡 敏明（東北大学大学院環境科学研究科 教授）

テーマ2

大迫 政浩（国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環領域長）

テーマ3

藤原 拓（京都大学 教授）

# 1. 研究背景、研究開発目的及び研究目標

## 研究背景

- プラスチックは、我々の生活に利便性と恩恵をもたらした素材である。一方で、不適正な処理のために年間数百万トンを超えるプラスチックが陸上から海洋へ流出されていると推計されており、地球規模での環境汚染が懸念され、世界全体での問題対応が求められている。
- 日本国内でのプラスチック資源の有効活用については、一定の水準に達しているものの、未利用の廃プラスチックが一定程度あることから、これまで以上に国内資源循環が求められている。
- また、中国に端を発した廃プラスチックの輸入規制が、アジア各国における輸入規制へと拡大し、マテリアルリサイクルとして輸出に依存していた廃プラスチックリサイクルフローの確保が喫緊の課題となっている。
- 国内における廃プラスチックリサイクルフローは既に飽和状態となっており、新しい廃プラスチックの資源循環ルートの確保が望まれる状況である。

## 研究開発目的

- 上記の背景を踏まえ、3R+Renewableを基本原則とした「プラスチック資源循環戦略」の下、プラスチックの資源循環体制を構築するとともに、海洋プラスチックごみによる汚染の防止を実効的に進めるための科学的な情報と政策パッケージを提示することを本研究の目的とする。
- 全体で、総合的なプラスチック資源循環を実施するフレームワークを構築し、必要な共通開発項目および要素技術項目を整備する。
- テーマ1では、プラスチックのバイオ化重点領域の絞り込みに向けた政策的研究を進めるため、主にプラスチックの原料を確保し、経済的に生産するための基盤整備とバイオプラスチック利用促進のためのキーテクノロジーの絞り込みを行う。
- テーマ2では、プラスチック資源循環に係る持続可能な技術や社会シナリオの社会システム学的評価基盤を構築し、環境制約を満たす総合的シナリオを、関連ステークホルダーとの協働で提示する。
- テーマ3では、マイクロプラスチックを含むプラスチックごみの排出インベントリを作成・評価する手法を確立するとともに、プラスチックごみの海洋流出防止に向けて、既存污水处理技術の改善技術及び対策を提案するほか、市民活動としてのプラスチックごみ拾いによるプラスチック排出量の低減効果を評価する。

# 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）

- プラスチックの3Rに加えバイオプラスチックの導入を基軸としたプラスチックの持続可能な資源循環とプラスチックの実効的な海洋流出制御を両立する新たな社会システムと、その裏付けとなるバイオプラスチックの導入促進に向けた技術やプラスチックの海洋流出実態等の科学的情報から構成される新たな政策パッケージを構築する。
- また、タスクフォース「環境・経済が両立するプラスチック政策に向けて」を設け、技術・社会・経済の課題を多面的に議論し、実務に資する政策デザインを検討する。

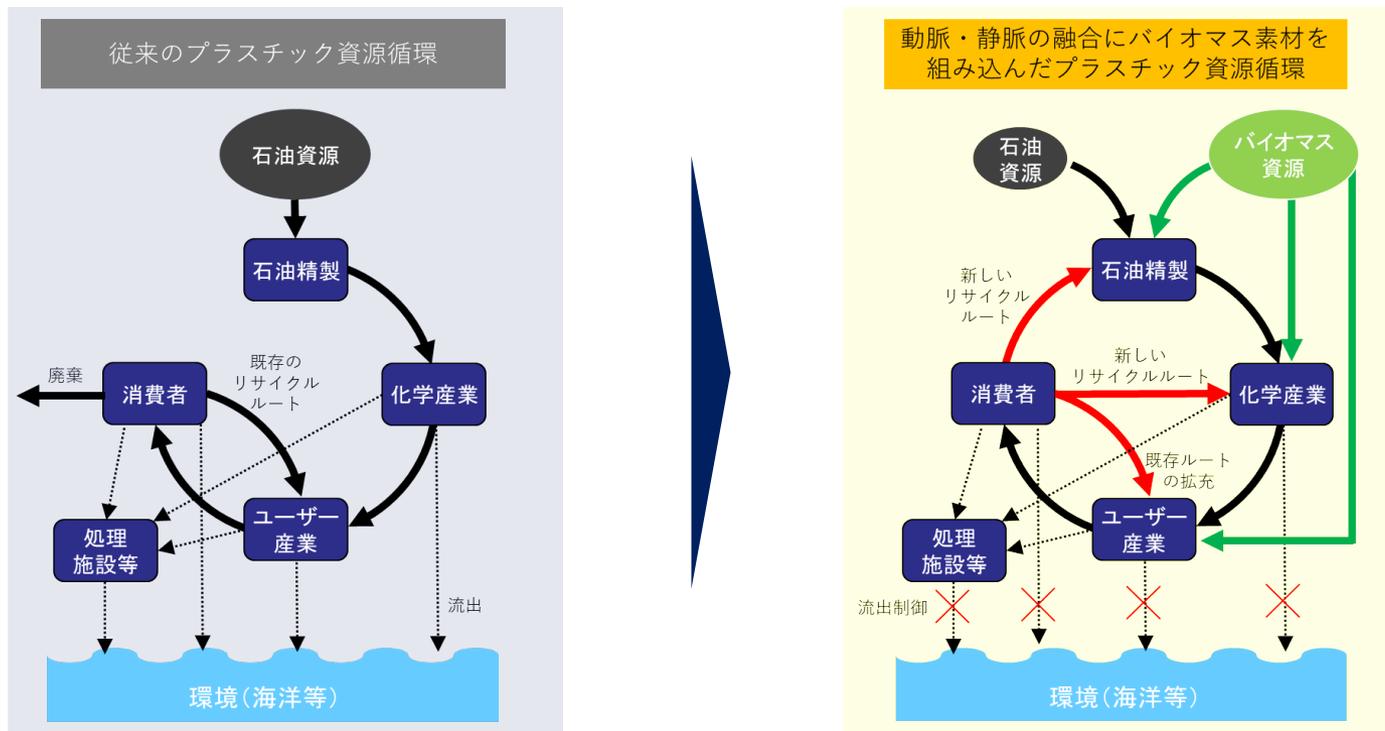


図 本研究の目指すプラスチック資源循環・海洋流出抑制の姿

## 2. 研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価 (テーマ1)

<b>研究テーマ</b>	プラスチック資源循環の展開とバイオ素材導入のための技術開発・政策研究	
<b>研究目標</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマス資源をバイオプラスチック原料とするための資源化・原料化技術とプロセス化技術開発</li> <li>・石油精製や石油化学プロセスに組み込める共熱分解や触媒分解等にかかる技術開発,</li> <li>・石油プラスチックとバイオマスプラスチック・生分解性プラスチックの熱分解による基礎化学製品への転換技術開発、社会実装性の評価</li> <li>・MRとCRの強みの明確化及びCRとして3R+Renewableを押し進めるための技術政策の提案</li> <li>・不純物扱いとなるプラスチックや添加剤のリサイクル事例解析と循環シナリオへの影響の明確化及び動脈産業での廃プラスチック利用ポテンシャルや先端的な化学原料化技術などの技術開発動向の調査を基にした、特定地域における動脈産業と融合したサーカスタンス適応型の循環シナリオの設計</li> </ul>	
<b>研究計画</b>	<b>令和3年度</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各種バイオマスプラの熱分解特性評価、バイオマスプラと石油由来プラの共熱分解特性の評価 他</li> <li>・オリゴ糖生産、サトウキビバガスの前処理条件検討、PVA、多糖類との複合/ブレンド技術の開発 他</li> <li>・産廃プラ組成調査、バイオマス原料と各種プラ生産の現状調査、動脈産業の廃プラ受入動向調査 他</li> </ul>
	<b>令和4年度</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学原料回収率と品位に及ぼす熱分解条件の影響評価、バイオマスプラと石油製品共処理特性評価 他</li> <li>・CNF生産、オリゴ糖生産酵素の選抜、オリゴ糖複合/ブレンド技術の開発 他</li> <li>・エッセンシャルユースのプラ需要特定、バイオマスプラ国外調達可能量推計 他</li> </ul>
	<b>令和5年度</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学原料回収率等向上に向けた熱分解条件探索、反応条件の最適化等による反応メカニズムの解明 他</li> <li>・廃棄紙・パルプ分画、サトウキビバガス分画条件最適化、繊維残渣・多糖複合/ブレンド技術開発 他</li> <li>・バイオマスプラ国内原料調達量と生産能力分析とLCA、廃プラ処理技術選択の最適化問題の構築 他</li> </ul>
	<b>令和6年度</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学原料回収等に向けた触媒探索、ロードマップ改訂を見据えたバイオプラ政策の考え方の提案 他</li> <li>・オリゴ糖発酵酵母の開発、木質バイオマス前処理条件検討、オリゴ糖複合/ブレンド技術の開発 他</li> <li>・需要・排出トレンド推計更新、フィードストックリサイクルに求められる樹脂原料供給量の分析 他</li> </ul>
	<b>令和7年度</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最適化触媒のプロセスイメージ構築、プラスチックリサイクル政策の考え方の提案 他</li> <li>・トータルシステムフロー最適化アルゴリズム構築、木質バイオマス分画条件最適化 他</li> <li>・動脈産業炭素循環フロー推計、プラ資源循環グランドデザイン提示、サーカスタンス適応型循環シナリオ設計</li> </ul>
<b>自己評価</b>	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（テーマ1）

#### 具体的な理由・根拠

- サブテーマ1は、各種バイオマスプラスチックの熱分解特性の評価および化学原料回収率および品位に及ぼす熱分解条件の影響評価を完了した。共熱分解においては、共熱分解条件によって共熱分解効果の有無や大小が変化することを確認。バイオマスを原料としたバイオマスプラスチック原料合成については、本反応に有効な単一金属触媒であるRh/SiO<sub>2</sub>を見出した。3年目以降の目標についても検討開始しており、計画通りと言える。
- サブテーマ2は、令和3～5年度は、コロナ禍ではあったがサブテーマ内の3つの研究トピックそれぞれで計画した研究は予定通り進められているだけでなく、想定していなかった特許性のある結果も出ており、サブテーマ2については、計画以上の進展があると評価した。その成果の一つは、Science Advances誌 (IF14.98) にも掲載され、海外でも高く評価されたことから、想定以上の進捗であった。
- サブテーマ3は、最終的な目標が変わらない前提で、アプローチの変更や着手順の変更、分析の追加をした項目があるものの、前期3年の目標とした循環シナリオを構成する評価基盤の拡張について、いずれの研究項目についても順調な進展があり、全体として、計画通りに進展していると言える。

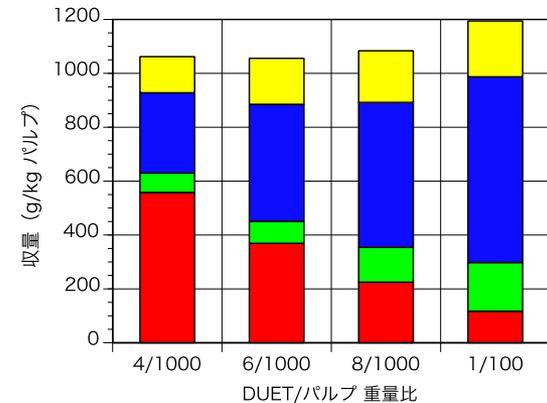


図 酵素糖化条件を変えることで行ったパルプのフラクショネーション  
黄:キシロース、青:グルコース、緑:セロオリゴ糖、赤:残渣

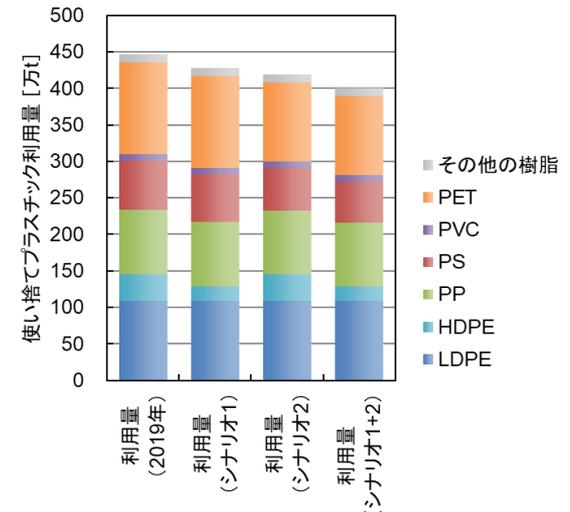


図 シナリオ別使い捨てプラスチック利用量

## 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（テーマ1）

#### 目標達成の見通し

- サブテーマ1は、後期3年間で、種々バイオマスプラの熱分解による化学原料化の適・不適を確認し、熱分解法が適するバイオマスプラは原料回収率や回収物の品位が向上する分解方法を探索し、適さないバイオマスプラは触媒分解により付加価値の高い化学原料に転換可能か探索する。また、化学原料回収に適するバイオマスプラ、石油由来プラ、およびVRの混合条件や共熱分解条件・触媒分解条件を探索する。バイオマスを原料としたバイオマスプラスチック原料合成に関しては、反応メカニズムを解明すると共に、他のバイオマス関連化合物への適用性を検討し、バイオマスからのポリマー原料合成に有効な触媒プロセスのイメージの構築を図る。
- サブテーマ2は、パルプから単糖、オリゴ糖、CNF、残渣を作り分ける酵素反応条件を明らかにした。また、サトウキビバガスに二段の化学前処理を行うことで、均一なゲルの作成に成功し、PVAとの複合材料がプラスチック並みの物性を示した。酵素反応条件の異なる系において、生産コストと生産される素材の価格等についてもバランスを解明し始めており、フラクショネーションする経済性についても、政策提言ができる見込み。
- サブテーマ3は、令和5年度までの研究計画は達成済みか達成の見込みが立っており、一部の研究項目は先行して着手している。最終目標である循環シナリオ設計およびグランドデザイン提示に向けて順調に進展している。

## 2. 研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価 (テーマ2)

研究テーマ	プラスチック資源循環・排出抑制のための社会システム・経済学的研究	
研究目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>3R+Renewable政策と海洋プラ排出抑制対策の効果を評価可能な国レベルの物質フロー解析モデルを構築。政策評価により目標達成に必要な政策導入水準等を提示し、流域レベルの地域分解能をもつ物質フロー解析モデルを構築し、地域共創の事業スキームと管理方策の評価システムを提示する。</li> <li>様々なステークホルダーを巻き込んだフューチャー・デザイン手法等を用いて、持続可能なプラスチック管理を実現する社会システムの将来ビジョンとそこに移行するための各種政策をコ・デザインし提示するとともに、地域・コミュニティにおける実践モデルを開発する。</li> <li>持続可能なプラスチックの管理に関する先進的事業事例等の分析を行い、必要とされる政策を社会科学の方法論に則ったエビデンスに基づいて提案する。</li> </ul>	
研究計画	令和3年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価モデルレビュー・モデル設計・定式化、SPMの実態把握</li> <li>消費者意識・行動の同定（可視化）、行動変容に関する既存理論と調査手法、代表的プラ対策の分析</li> <li>プラ回収費用、レジ袋有料化効果の実証分析、規制的手法と対比した自主的取り組みのレビュー</li> </ul>
	令和4年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価サブモデル作成、原単位データ取得、マネジメント手法レビュー、ロジックモデルフレーミング</li> <li>SDモデルの基本構築、バイオプラの意識分析、プラ組成データの整理（DB化）と分析</li> <li>持続可能なプラスチック管理の実証分析、生産動態統計の個票データに基づく再生プラ利用の解析</li> </ul>
	令和5年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデル高度化*、化学物質フローモデルプロトタイプ、ロジックモデル事例研究</li> <li>教育プログラム開発・評価、SDモデルプレテスト・修正、プラ資源循環に関連指標の統計解析</li> <li>SPM分析結果と消費者行動分析とのギャップ分析、プラ利用と財務指標に係る基礎的分析 他</li> </ul>
	令和6年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデル接続*、対策シナリオ効果分析、マネジメント評価システム実践的検証</li> <li>国際比較を活用した導入実験、シナリオ分析、国外規制の消費者の行動変容の要因分析</li> <li>環境保全と規模の経済性両立への課題分析、政策手段シナリオ提供、プラフロー制御政策提言</li> </ul>
	令和7年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>SPMの統合的なマネジメント評価システム、実用的資料（ガイドライン等）の提供</li> <li>コ・デザイン検証、政策提言に向けた評価・まとめ、目標達成の道筋の検討、行動変容策提示 他</li> <li>エビデンスに基づくプラスチック資源循環戦略の施策パッケージの提案</li> </ul>
自己評価	計画通り進展している	

\*物質フローモデルおよび環境動態モデル

## 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 (テーマ2)

#### 具体的な理由・根拠

- サブテーマ1は、物質フローモデルは、生活系プラでは容器包装プラを対象に構築。産廃系プラは、漁業系は計画通り、農業系プラの進捗がやや遅れる状況。随伴化学物質フローモデルは、プロトタイプ作成と事例データの組み込みを実施。環境動態モデルは統合型流域環境管理モデルに基づく流出量推計が計画以上に進展。ポイ捨て行動モデルは、介入実験を前倒しで実施し、計画以上に進展。マネジメントシステムの評価モデルはロジックモデルの枠組みを予定通り提示している。
- サブテーマ2は、消費者の意識・行動の可視及び教育プログラム開発等は、計画通り進展。行動変容策の提案に向けたアンケート調査及び解析は計画以上に進んでいる。システムダイナミクス構築の一部遅れもあるが、今年度注力する予定。また、コロナ禍で削減が政府文書で報告されている国は8カ国のみのため、国外規制導入の効果の検証は一部遅滞している。廃棄物細組成分析活用とシステム効果検証は、計画通り進展。
- サブテーマ3は、政策研究チームは、エビデンスの積上で想定していた分析がほぼ終了し計画通りである。今後、テーマ1やテーマ2の成果と比較検討し連携を模索していくとともに、得られた成果を着実にpublicationに繋げていく。企業研究チームについても、因果推論的な枠組みでの政策変更(容器包装リサイクル法等)による企業行動の変化に対する定量的評価の分析が概ね完了しており、計画通りに進展している。

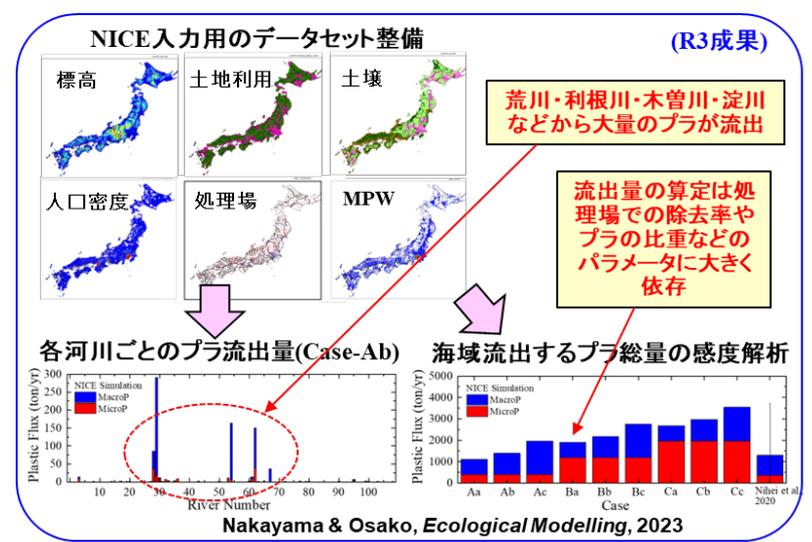


図 モデルによる河川流域からのプラ排出量の算定結果

- 代替品を知っているが、プラ製のこの製品が必要
- 代替品を知らないため、プラ製のこの製品が必要
- 代替品を知っているため、プラ製のこの製品は不要
- この製品そのものが不要

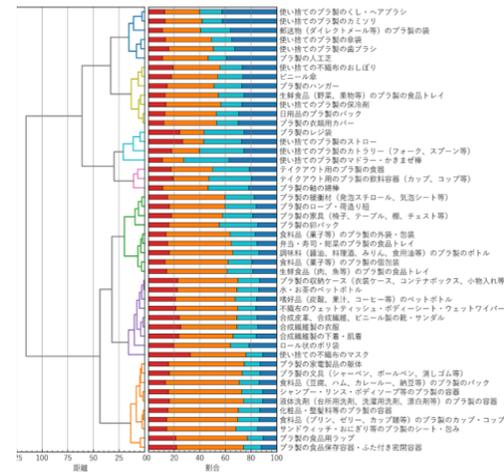


図 50のプラ製品に対する必要性・代替可能性の意識

## 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（テーマ2）

#### 目標達成の見通し

- サブテーマ1は、当初計画目標は達成の見込み。評価モデルの一貫性を確保するために、評価の対象範囲として深彫りする部分を限定し、他のテーマとの連携により成果を共有するなどの工夫が必要。評価モデルの妥当性を確認するための検証データに制約があり、同時並行で実用による適用性を高めていく。今後の実用のなかで精緻化が必要な部分は残るものと思われる。
- サブテーマ2は、当初計画に対して目標は達成できる見込み。しかし、プラ法の施行に伴い、一部で調査設計の見直しが必要。サブテーマ内や、他テーマとの連携も進めており、より効果的な展開を目指す予定である。
- サブテーマ3は、当初計画の目標は達成の見込み。研究期間後半は、前半で得た因果推論に基づくエビデンスをベースに、政策提言を進めていく予定。コロナ禍も落ち着きを見せてきたことから、環境省をはじめとする政策担当者との議論を増加し、環境政策への貢献をより高めることを意識して取りまとめを進めていく。

## 2. 研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価 (テーマ3)

研究テーマ	陸域からの排出インベントリ作成と流出抑制技術開発				
研究目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>海洋流出実態把握のため、1mm以上のマイクロプラを含むプラごみの排出インベントリを作成・評価する手法を確立し、「環境中のマイクロプラスチック調査マニュアル(案)」としてとりまとめる。</li> <li>污水处理施設、廃棄物関連施設等の点源由来、市街地・農地等の面源由来それぞれの排出インベントリから成る「マイクロプラスチックを含むプラスチックごみの排出インベントリ」を開発する。各種の生分解性プラスチックを含む排出インベントリとするよう試みる。</li> <li>全国の河川から海洋へのマイクロプラスチックを含むプラスチックごみの流出量、ならびに陸域由来の海岸プラスチックごみの発生量・流出量の評価を行う。</li> <li>海洋流出を制御し、海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減する社会システム構築に貢献するため、既存污水处理の改善技術及び対策を提示する。</li> </ul>				
研究計画	令和3年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄物処理量、排水量、放流先等の情報収集、MPsの定量方法の確立、劣化試験等の確立 他</li> <li>測定機器、晴天時路面堆積物試料等の分析、農業資材情報収集・マクロ調査着手、分析手法の確立 他</li> <li>①採取位置等と分析方法マニュアル化、②RIADとAI融合、連続観測・降雨時観測実施 他</li> </ul>			
	令和4年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査マニュアル(案)作成、全国污水处理施設・廃棄物処理施設のデータ収集、インベントリ作成 他</li> <li>道路清掃車による路面堆積物試料分析、農業資材の調査、降雨前後・農作業期別フィールド調査着手</li> <li>①計測精度検証②RIAD-AI高度化③河川流域ごとのプラごみ流出量算出 他</li> </ul>			
	令和5年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>雨天時調査課題対処方途検討、MPs除去工程解明、添加剤含有量把握、劣化・破碎の指標評価 他</li> <li>インベントリまとめ、化学物質吸脱着特性評価、降雨時流出を含むフィールド調査試料の分析</li> <li>⑤現地海岸でのプラごみ調査・解析⑥プラごみ排出量マップの高精度化 他</li> </ul>			
	令和6年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>雨天時調査マニュアル改定・污水处理施設調査、MPs分解メカニズム解明、吸着化学物質の挙動評価</li> <li>降雨時試料採取しプラ分析、化学物質吸脱着特性評価、降雨時流出を含むプラスチック分析継続</li> <li>①マニュアル見直し②RIAD-AI検証、計測精度検証⑤モデル解析⑥排出量マップ高精度化 他</li> </ul>			
	令和7年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>点源インベントリ作成、布ろ過等導入コスト・除去効果分析、LCC・LCCO2評価 他</li> <li>降雨時調査の継続、排出インベントリ作成</li> <li>②RIAD-AI検証・マニュアル化③流出量算出精度向上④⑤⑥とりまとめ、排出量マップ完成 他</li> </ul>			
自己評価	計画以上の進展がある				

## 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（テーマ3）

#### 具体的な理由・根拠

- サブテーマ1は、当初計画を大幅に上回る精緻さで「長軸径1~5 mmの粒子状MPsの点源からの排出インベントリ（晴天時）」を作成し、また、FTIR-ATR法による分析が困難な繊維状MPsの排出量を算定したため、計画以上の大きな進展があると評価。水処理施設におけるプラ及び化学物質の動態評価においても、MPsの物質収支を踏まえて個数と重量の関係性を考察することで水処理施設でのMPsの微細化を推察でき、当初計画を上回る進展と評価。汚水処理施設等からの流出制御技術開発は、計画を前倒し実施。
- サブテーマ2は、分析機器を導入し分析手法を統一化した。市街地評価は、計画通り晴天時路面堆積物からMPs抽出と分析を進め、市街地面源試料中プラの定量精度向上に酵素法が有用なことを明らかにした。農地評価は、畑地では晴天時及び降雨後調査を実施しており、計画通り進展しており、水田も被覆性肥料カプセルおよびプラ製品由来MPsの現地実態調査と、マクロプラスチックの潜在的供給源として踏査によるプラ製品の留置調査、およびフローストック分析が計画通り進行している。
- サブテーマ3は、市民のごみ拾いによるプラごみ流出量低減効果の把握において、全一級水系における年間プラごみ回収量を算定でき、水系毎の回収量や清掃活動の延べ参加者数を、流域情報との関係性を検討できており、当初予定を大幅に前倒す成果。河川MPs調査法も、採取位置等の検討状況を踏まえ、計画以上の進展があると判断する。河川マクロプラ輸送量計測法の開発は、マクロプラごみの輸送量計測法の基本アルゴリズムを完成し、解析法へのAIの組込方法の課題解決に向け、新たな計測手法を開発しており、計画以上の進展と評価。

汚水処理施設	放流量 (億個/年)	放流量 (ton/年)	備考
下水道	1113	11.74	
浄化槽	153	0.99	合併浄化槽としての試算
農業集落排水施設等	40	0.26	
コミュニティ・プラント	2	0.01	
都市ごみ焼却施設	0~0.017	0~0.00738	河川海域放流分
管理型埋立処分場	0~0.0314	0~0.00123	河川海域放流分

図 長軸径1~5 mmの粒子状MPsの点源からの排出インベントリ（晴天時）

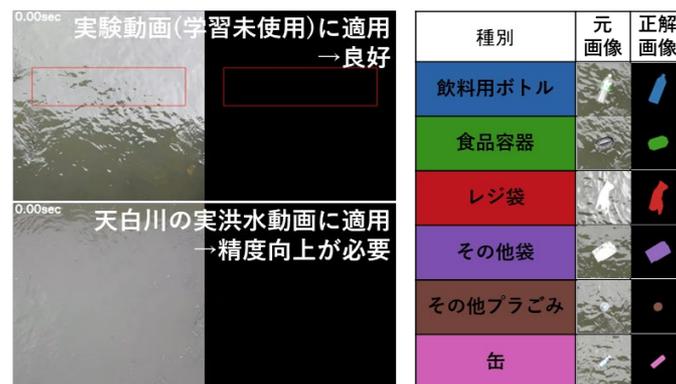


図 MacP漂流実験に基づく深層学習モデルの開発

## 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（テーマ3）

#### 目標達成の見通し

- サブテーマ1は、「環境中のマイクロプラスチック調査マニュアル（案）」の作成は、基本構成、取りまとめ方針は確立しており、目標達成の見込み。「マイクロプラスチックを含むプラスチックごみの排出インベントリ」等も、既に污水处理施設や廃棄物関連施設等の調査現場との連携体制を確立しており、予定通り達成の見込み。前倒し実施するマイクロプラ流出制御技術開発も計画通りの予定。プラスチックの微細化プロセスと化学物質の溶出性・吸着性との関連性評価は、1RF-2102推進費（研究代表：田中厚資）と連携して進める予定。
- サブテーマ2は、市街地評価は今後、データ解析を進めつつ、降雨時調査の準備をする。既に知見蓄積があるSSの負荷と関連付けることで面積当たり年間負荷の原単位が算定できる見込み。農地評価は、畑地は今後3年間継続調査し、データ信頼度を向上させ、予定通り排出インベントリを作成する見通し。水田はこれまでに得た知見を基に現地調査する。プラの潜在的供給源の調査を圃場整備の有無、営農形態の違いを考慮して調査することで、排出インベントリを作成できる見通し。他のテーマについては、概ね計画通りに進捗している。
- サブテーマ3は、計画通り成果を積み上げており、今後は継続実施とともに、「日本全国における高分解能プラごみ総排出量マップの作製」を行う予定であり、その準備は十分できている。

## 2. 研究目標の進捗状況（テーマ3）

### サブテーマ1. 成果概要＜点源調査ガイドライン・排出インベントリの作成＞

#### ■ 研究概要

- 「マイクロプラスチックの排出インベントリ作成に資するための現地調査ガイドライン点源・平水時編(案)」を作成。
- 軸径1～5 mmの粒子状MPsの下水道からの排出インベントリ(晴天時)を作成。
- 廃棄物関連施設の排出原単位を算定するとともに、長軸径1～5 mmの粒子状MPsの点源からの排出インベントリ(晴天時)を作成。

表 ガイドライン目次

目次	概要
1 はじめに	・インベントリ算出の必要性、本ガイドラインの位置づけ
2 対象	・本ガイドラインで対象とする排出源及びマイクロプラスチックの定義
3 試料採取の方法	・採取機材、採取位置、採取量 ・採取方法(事前準備、プランク試験、採水、ろ過、水量測定、保管・運搬、記録)
4 室内分析の方法	・原則、河川ガイドラインに示された方法 ・フェントン反応での酸化処理及び比重分離の留意点(天然有機物が多いため) ・精度の低下要因と対処方法(ブラインド試験結果)
5 報告	・結果としてとりまとめるべき報告と様式
6 インベントリ算出の概要	・算出方法の概要 ・S-19-3(1)で得られた粒子密度と原単位
7 おわりに	・期待される事項(より精緻なインベントリ作成) ・今後の課題(点源雨天時、面源の調査ガイドライン)

表 粒子状MPsの下水流入水、放流水中の年間放流量

系統	砂ろ過	高度処理	年間放流量(億個)	年間放流量(ton)	処理方式
1	○	○	0.6	0.107	標準活性汚泥法
2	○		11.6	0.079	
3		○	45.5	0.553	
4			739.2	7.931	オキシデーションディッチ法
5	○	○	0.07	0.0001	
6		○	1.5	0.007	嫌気無酸素好気法
7	○	○	0.8	0.004	
8		○	156.4	0.830	循環式硝化脱窒法
9	○	○	12.7	0.227	
10	○	○	12.6	0.225	ステップ流入式多段硝化脱窒法
11		○	0.5	0.010	
12		○	5.7	0.601	嫌気好気活性汚泥法

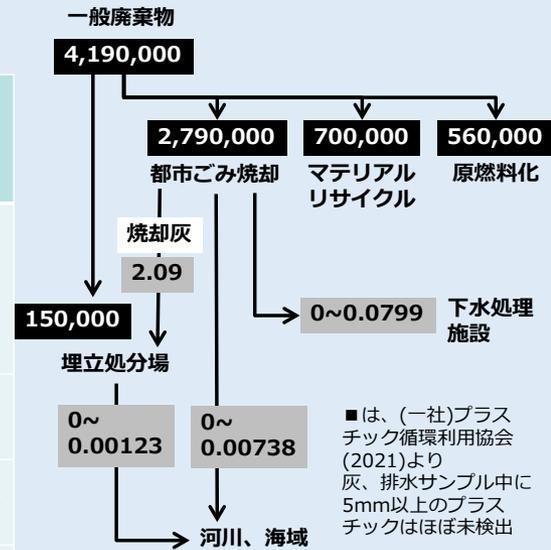


図 一般廃棄物処理関連施設における廃プラスチックおよびMPsのフローおよび排出インベントリ(t/年)

表 長軸径1～5 mmの粒子状MPsの点源からの排出インベントリ(晴天時)

汚水処理施設	放流量(億個/年)	放流量(ton/年)	備考
下水道	1113	11.74	
浄化槽	153	0.99	合併浄化槽としての試算
農業集落排水施設等	40	0.26	
コミュニティ・プラント	2	0.01	
都市ごみ焼却施設	0～0.017	0～0.00738	河川海域放流分
管理型埋立処分場	0～0.0314	0～0.00123	河川海域放流分

## 2. 研究目標の進捗状況（テーマ3）

### サブテーマ2. 成果概要＜点源調査ガイドライン・排出インベントリの作成＞

#### ■ 研究概要

- 市街地面源試料中プラスチックの定量精度向上に酵素法が有用なことを提示
- 畑地流域での河川調査より、降雨時に多くのプラスチックが流出することを把握。
- 水田流域での肥料カプセルの流出は代かき・移植時に多く、単年度に散布された肥料カプセルに対する比率を推計。

#### ■ 市街地面源試料中プラスチック定量精度向上の検討

- 落葉の分解率：フェントン法（FT）と酵素分解法（EZM）がそれぞれ67%，57%と良好。
- 落葉の誤同定率：酵素法で大きく減少（図1左）。
- タイヤゴムの形態変化：フェントン法、酵素法とも粒子数が増加（図1右）。粒子径は減少。

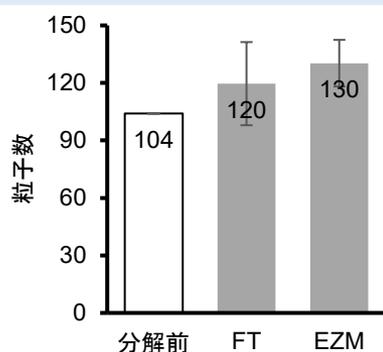
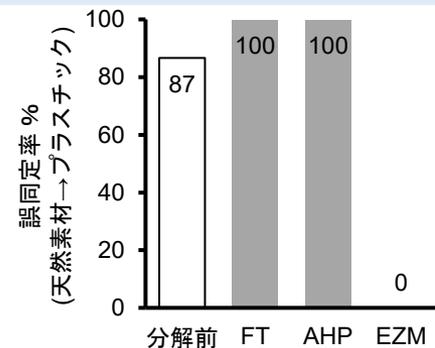


図1 前処理手法の比較（左）イチョウ葉の誤同定率（各n=15）（右）タイヤ粒子数の変化（n=5）

表1 畑地流域の晴天時と降雨時のマイクロプラスチック流出量の比較（浜田川下流2022）

	個数	質量(g)	個/h・m <sup>2</sup>	g/h・m <sup>2</sup>
降雨時平均値	43	177	1.46	3.34
晴天時平均値	5.6	1.73	0.45	0.01
降雨時/晴天時	7.7	102	3.2	334

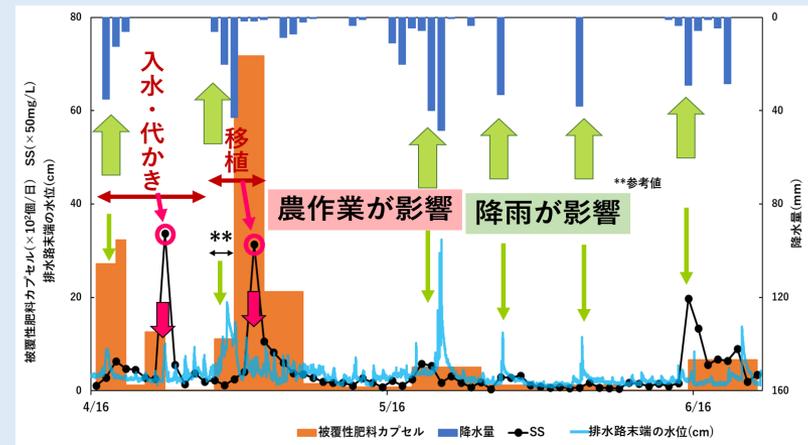


図2 A水田群からの被覆性肥料カプセルの排出（2021年、中干時まで）

#### ■ 水田流域からのマイクロプラスチック流出量

- 肥料カプセルの流出は代かき・移植時に多く、総流出量はhaあたり2～10万個で、単年度に散布された肥料カプセルの1%前後と推計。
- ムギ・ダイズ転作田での流出量は大幅に減少。
- 5mm以下のマイクロプラスチックとしては、肥料カプセルが主要な発生源。

## 2. 研究目標の進捗状況 (テーマ3)

### サブテーマ3. 成果概要 < 河川および海岸からのプラスチックごみ流出量の評価 >

#### ■ 研究概要

- 河川マイクロプラスチック調査法を確立。
- 河川マクロプラスチック輸送量計測法を確立。
- 市民のごみ拾いによるプラごみ流出量低減効果を把握。
- 海岸経由の陸域由来プラごみの発生・流出量を評価。

#### ■ 河川マイクロプラスチック調査法

- 濾水効率が0.85以上を確保できる**濾水時間 (2.6~7.1分)** でMMP濃度の誤差が低い。
- 全国平均MMP濃度  $\approx$  4個/m<sup>3</sup>を想定すると **N=2(濾水量13m<sup>3</sup>に相当)** で誤差  $\pm$  30%以内を満たす。

#### ■ 河川マクロプラスチック(MacP)輸送量計測法

- 深層学習アーキテクチャを導入することにより、河川水表面に浮遊するMacP輸送量の計測手法を確立するとともに、画像解析プログラムを改良し、計算速度、並びに計測性能の向上を図ることに成功。

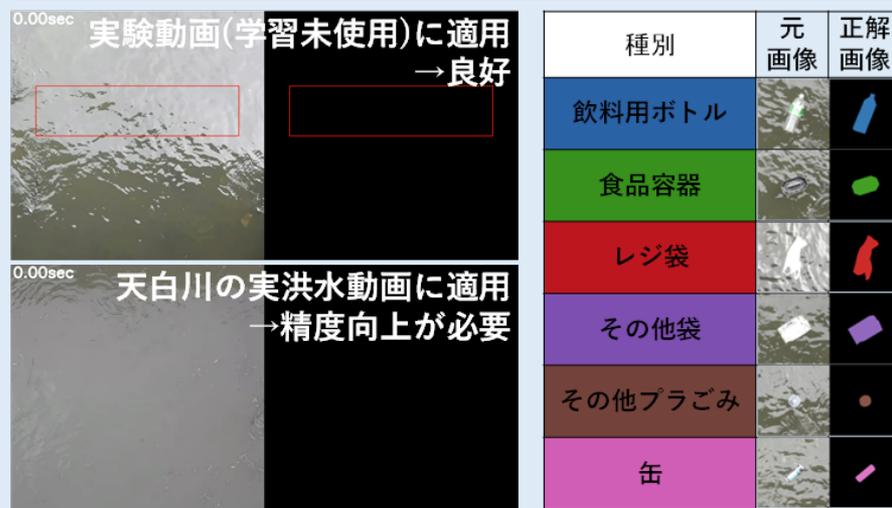
#### ■ 市民のごみ拾いによるプラごみ流出量低減効果

- 全一級水系のプラごみ回収量の年平均は941tであり、日本から海への流出量の1.6~4.4%に相当。

#### ■ 海岸経由の陸域由来プラごみの発生・流出量の評価

- 全国人気海水浴場上位44地点から発生するプラスチックごみ量を推定した結果5.7t/年。全ての海水浴場では13t/年程度発生すると推定。これは、海への流出量の0.7%程度。海岸のプラごみ発生原単位は、陸上の10倍に相当する0.032 g/人/h。

#### MacP漂流実験に基づく深層学習モデルの開発



✓ 年平均 941ton

✓ 日本からの流出量\*の1.6-4.4%回収。

### 3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

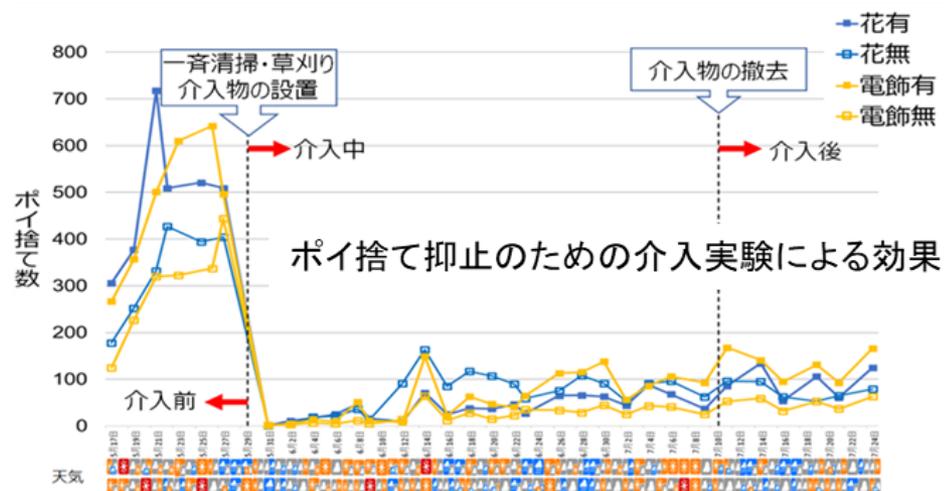
#### 行政等が活用することが見込まれる成果（1/2）

##### 【テーマ1】

- バイオマスプラの熱分解法による化学原料回収、バイオマスプラと石油由来プラの共処理、および石油精製設備を活用したバイオマスプラの化学原料化は、プラスチック資源循環戦略のマイルストーン達成に重要なトピックと認識。PLAやPHBHなど、共処理の必要性は確実に生じることから、バイオマスプラの様々な排出ケースを想定した技術開発が、バイオマスプラの導入量増大と効果的なりサイクルを共存させるための提案につながると見込む。
- 「プラスチック資源循環戦略」のマイルストーン達成可否の目安や達成のために求められる要素を、具体的に提示した。使い捨てプラ累積25%削減には、現状の延長での見込みの削減率は10%であり、さらに66万tの削減が必要であることや、削減可能量の61%が家庭由来の廃プラスチックであり、産業部門の排出量削減策が求められることを示した。バイオマスプラの最大200万t導入に向けては、海外からの原料調達の必要性や、変換率を踏まえPLAへの代替可能性・需給分析の検討が必要であることを示した。

##### 【テーマ2】

- 環境社会行動モデルに基づくポイ捨て抑止のための介入実験結果は、自治体等が実施する効果的な施策のマニュアル化等に活用可能。
- 随伴する化学物質フローモデルの成果は、環境省における家電4品目・小型家電由来プラスチック等のリサイクルの維持・促進と両立する規制臭素系難燃剤の管理の検討に対して知見を提供可能。
- 製品別の消費者意識や大学生の意識・行動に関する知見等は、京都市が新たに立ち上げる予定のプラスチック対策検討ワーキンググループ（仮）の基礎情報として活用される見込み。



### 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（2/2）

##### 【テーマ3】

- 「マイクロプラスチックの排出インベントリ作成に資するための現地調査ガイドライン：点源編」が作成された。環境省による監修を経て、行政等での活用が期待される。
- 長軸径1～5 mmの粒子状MPsの点源からの排出インベントリは、環境省によるMPs対策の施策立案の基本情報として大きく貢献可能。
- 今後開発するMPs抑制技術は、民間企業等と共同した実規模実証を経て、各自治体等でのMPs排出対策としての活用が見込まれる。
- 市街地面源試料中プラスチックの定量精度向上に酵素法が有用なことを提示。市街地面源からの排出量調査に活用可能である。
- 「マイクロプラスチックの排出インベントリ作成に資するための現地調査ガイドライン：面源編」を今後作成し、行政等で活用されることが期待される。長軸径1～5 mmの粒子状MPsの面源からの排出インベントリが今後作成され、MPs対策の施策立案における基本情報として大きく貢献できると見込まれる。
- 環境省の「河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン」改定時の調査法高度化に大きく貢献できる。また、特定の海岸から発生するごみ量を求められるため、海岸管理者の施策の効果の定量化等に応用可能。

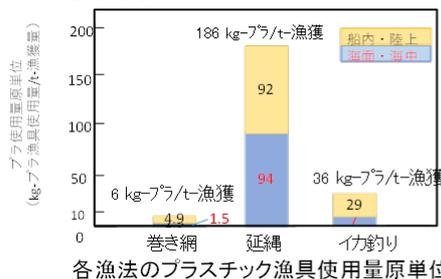
#### 行政等が既に活用した成果

##### 【テーマ2】

環境省水・大気環境局水環境課海洋プラスチック汚染対策室に対して、知見が不足している漁業系プラスチックについて、漁法別のプラスチック使用量原単位や流出量原単位調査に関する情報を提供し、流出インベントリ構築に貢献。今後も環境省との連携を維持していく予定。

##### 【テーマ3】

環境省「令和4年度第3回プラスチックごみの海洋への流出実態把握検討会」における「プラスチックごみ流出インベントリ」で、サブテーマ3の河川ごみ回収量データが使用された。



延縄漁のプラスチック漁具流出原単位  
(数値は平均値、幅は標準偏差)

調査手法	原単位 (kg-プラスチック 漁具流出量/経営体)	漁獲1t当たり (kg-プラスチック 漁具流出量/t-漁獲量)	操業1日当たり (kg-プラスチック漁具 流出量/日-操業日数)	幹線1km当たり (kg-プラスチック漁具 流出量/km-幹線長さ)
操業日誌調査	32(3.3~59)	18(1.9~34)	1.5(0.18~2.8)	0.87(0.076~1.7)
アンケート・購買記録調査	24(9.5~38)	14(5.4~21)	1.2(0.46~1.8)	0.66(0.26~1.0)

## 4. 研究成果の発表状況

### 誌上発表（査読あり）：34件

- Shogo Kumagai, Toshiaki Yoshioka, Chemical Feedstock Recovery from Hard-to-Recycle Plastics through Pyrolysis-Based Approaches and Pyrolysis-Gas Chromatography, Bulletin of the Chemical Society of Japan, 94(10), 2370-2380 (2021), <https://doi.org/10.1246/bcsj.20210219> (IF:4.0)
- Uehara, T., Asari, M., Sakurai, R., Cordier, M., & Kalyanasundaram, M. : Behavioral barrier-based framework for selecting intervention measures toward sustainable plastic use and disposal, Journal of Cleaner Production, 384, 135609, (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135609> (IF: 11.072).
- T. Kataoka, M. Tanaka, A. Mukotaka and Y. Nihei: Experimental uncertainty assessment of meso- and microplastic concentrations in rivers based on net sampling, Sci. Total Environ., 870, 20 (2023) (IF:10.754)

### 口頭発表（学会等）：211件

- M. Kawai, J. Nakatani, K. Kurisu, Y. Moriguchi, 3RINCs 2023, Quantity- and quality-oriented strategies for the material recycling of plastic packaging in Japan focusing on source separation and sorting processes (2023)
- 石橋文也、中山裕文、清野聡子、島岡隆行: 令和4年土木学会西部支部研究発表会, pp.791-792 (2023) 漁船漁業におけるプラスチック製品の投入量・海洋流出量の原単位に関する研究
- S. Lee, K. Yamamoto, T. Tobino and F. Nakajima: 第57回日本水環境学会年会 (2023) Comparison of organic matter decomposition methods for pretreatment of microplastic analysis in road dust containing plant materials.

### 国民との科学・技術対話：81件

- 五十嵐圭日子、第90回紙パルプ研究発表会「脱炭素社会に向けたセルロース系バイオマスフラクショネーション産業の構築」(東京大学) (2023.6.20)
- 浅利美鈴: 「プラスチックの持続可能な関係性とは? ~多様なステイクホルダーとの共創事例~」(容器包装の3Rを進める全国ネットワーク主催 連続学習会 第3回、オンライン、2021)
- 二瓶泰雄、神奈川県環境科学センター\_第2回環境スキルアップ講座@zoom、2022年、身近なプラスチック汚染 ~今、自分たちにできること~

### 知的財産権等：0件

- 特に記載すべき事項はない

## 5. 研究の効率性

### 【テーマ1】

- 目標達成に向けた今後の進め方として、サブテーマ1で実施する、共熱分解に向けた化学原料回収に適するバイオマスプラ、石油由来プラ、およびVRの混合条件や共熱分解条件・触媒分解条件の探索において、特に触媒分解については挑戦的な目標設定であるが、同サブテーマで並行して実施する「バイオマスを原料としたバイオマスプラスチック原料合成」と連携し、化学原料回収に適した触媒の選定・開発を進めることで計画通りに研究を進める工夫を行う。

### 【テーマ2】

- サブテーマ1 環境動態モデル研究は、テーマ3のマイクロプラ排出インベントリーの研究と数回の会合により、モデルと実測データの連携を図っている。
- 持続可能なプラスチック管理の地域協働事業の評価ツール作成は、環境省のローカルブルーオーシャンビジョン事業の採択事業のフォローアップ評価をして、ガイドライン化等を念頭に置いた進め方を工夫している。
- サブテーマ1と2、およびテーマ1のサブテーマ3の間で連携し、削減シナリオと効果分析の分解能について容器包装プラの製品品目やデータ整合性などの点から数回の議論を実施している。
- <国際共同研究>プラスチックごみ問題を研究するDr. Mateo Cordier (Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, France) と、消費者の行動変容に関する共同研究を実施中。成果はJournal of Cleaner Productionにて発表(Uehara et al., 2023)。フランスも含めた国際比較研究を行う共同研究を実施予定
- <国際連携> OECDが発表したGlobal Plastic Outlookの執筆メンバーを招聘した意見交換会を2022年10月11日に実施(オンライン)。環境省を含め、50名程度の専門家を集めて議論。

### 【テーマ3】

- 漂着プラごみの海岸砂浜における微細化現象を想定した劣化・微細化試験は、1RF-2102推進費「海洋プラスチックの劣化・微細化試験法の作成と、含有化学物質による影響を含めた実態の解明（研究代表：田中厚資）」と連携体制をとることで、効率的に推進している。
- 同型の測定機器を導入することにより分析手法を統一化可能となり、テーマ内全体での効率性を確保している。
- 市街地評価においては、前処理手法の検討を先行して行うことで、進め方の面で作業効率向上を図っている。