

「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」

事業原簿  
(公開版)

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 サーキュラーエコノミー部
-----	---

## 更新履歴

更新日	更新内容
2025 年 10 月 27 日	初版発行

# 目次

1. 事業全体概要 .....	1
1.1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋 .....	1
1.2. 目標及び達成状況 .....	2
1.3. マネジメント .....	4
1.4. その他 .....	6
2. 事業全体説明資料 .....	7
3. 目標及び達成状況の詳細 .....	57
3.1. 研究開発項目①高度選別システム開発 .....	57
3.1.1. ①-1 高度選別システム開発(SR) .....	57
3.1.2. ①-2 LCA .....	128
3.2. 研究開発項目②材料再生プロセス開発 .....	136
3.2.1. ②-1 材料再生プロセス開発 .....	136
3.3. 研究開発項目③石油化学原料化プロセス開発 .....	142
3.3.1. ③-1 石油化学原料化プロセス開発(触媒分解) .....	142
3.3.2. ③-2 石油化学原料化プロセス開発(液相分解) .....	148
3.4. 研究開発項目④高効率エネルギー回収・利用システム開発 .....	155
3.4.1. ④-1 高効率エネルギー回収・利用システム開発 .....	155
添付資料 .....	162
●基本計画 .....	162
●各種委員会開催リスト .....	172
●特許論文等リスト .....	179

# 1. 事業全体概要

プロジェクト名	革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発 (経済産業省予算要求名称：プラスチック有効利用高度化事業)	プロジェクト 番号	P20012
担当推進部/ プロジェクトマ ネージャー (PM g r) または担当 者 及び経済産業省担 当課	環境部 PM 阿部 正道 (2020年7月~2020年9月) 環境部 PM 伊東 賢宏 (2020年10月~2021年12月) サーキュラーエコノミー部 PM 今西 大介 (2021年12月~現在)  経済産業省イノベーション・環境局 GX グループ資源循環経済課		
0. 事業の概要	本事業は、プラスチックのリサイクルにより資源循環を行うものであり、廃棄物としてのプラスチックにおいて、「プラスチックの高度選別」、「プラスチックの材料再生プロセス」、「プラスチックの化学原料化」、「プラスチックからの高効率エネルギー回収」の4つの研究開発を行う事で、プラスチックに関して資源循環ビジョン 2020 での「あらゆる段階で資源の効率的・循環的な利用を図りつつ、付加価値の最大化を図る経済」を実現するものである。		

## 1.1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1.1 本事業の 位置付け・意義	<p>2017年時点で年間899万トンの廃プラスチックのうち、廃プラスチックの再生品への利用は206万トン/年（輸出分を含む）、コークス炉やガス化の原料（ケミカルリサイクル）として36万トン/年リサイクルされており、固形燃料、発電、熱利用の熱エネルギー回収（エネルギーリカバリー）に516万トン/年が利用された。しかしながら、中国の輸入規制やバーゼル条約の改正による輸出国への規制強化などの外部環境の変化や、SDGs、CSR や ESG 投資などによるリサイクルプラスチックの利用ニーズに応じていくためには、廃プラスチックの資源価値を高めることで経済的な資源循環を達成することが必要であり、リサイクル技術をさらに発展させ、資源効率性向上、付加価値を生み出しつつ二酸化炭素排出を削減することが求められた。</p> <p>この状況に対して、経済産業省では、2020年5月に資源循環ビジョン2020を策定した。資源循環ビジョン2020では、「大量生産・大量消費・大量廃棄型の線形経済モデルは、我が国のみならず、世界経済全体として、早晚立ち行かなくなるのは明白であり、株主資本主義の下、短期的利益と物質的な豊かさの拡大を追求する成長モデルからの転換が求められている」と記述された。この記述によれば、線形経済から循環経済への移行は必然であり、このような情勢の変化に対応するためのプラスチックの資源循環の促進は急務である。また、2019年5月制定のプラスチック資源循環戦略では、「分別・選別されるプラスチック資源の品質・性状等に応じて、循環型社会形成推進基本法の原則を踏まえ、材料リサイクル、ケミカルリサイクル、そして熱回収を最適に組み合わせることで、資源有効利用率の最大化を図ります。」と記述されている。この様なことから、本事業では材料リサイクル、ケミカルリサイクル、エネルギー回収（熱回収）のプロセス技術と、各プロセスに廃プラスチックを適切に分配する高度選別技術の開発を行うものである。</p>
1.1.2 アウトカム 達成までの道 筋	<p>プラスチック資源循環のエネルギー使用量を現行の処理技術よりも大幅に削減し、AIを用いたプラスチック高度選別、高度材料再生プロセス技術、高い資源化率を実現する基礎化学品化技術、高効率エネルギー循環システムの開発を行う。</p> <p>これらの研究開発を通じて、プラスチック資源効率、資源価値を飛躍的に高めることで、中小企業の多い静脈産業がサプライチェーンに組み込まれ、「再生プラスチック資源を上手に使う」ことで社会ニーズに質・量の両面で応える。また、環境への取り組みが経済成長に結びつくプラスチック循環経済社会の実現を目指す。</p>
1.1.3 知的財 産・標準化戦略	<p>・オープン戦略：知財として確保することが有利な技術に関しては積極的に特許として出願する</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>・クローズ戦略：ノウハウとして保有することが有利な技術に関しては出願しない</li> <li>・知財創出活動の方針：多数保有するバックグラウンド特許をベースに確実に権利範囲を拡大</li> <li>・知的財産権の帰属及び取扱い方法について文書化して管理</li> <li>・本事業で得られた知財については、関係各機関の知財部門と連携し、特許管理、知財管理を推進</li> </ul>
--

## 1.2. 目標及び達成状況

1.2.1 アウトカム目標及び達成見込み	<p>事業により開発されたプラスチック再資源化システム(高度選別システム、材料再生プロセス、石油化学原料化プロセス、高効率エネルギー回収・利用システム)を事業終了後早期実用化し、普及することにより、2030年までに、これまで国内で再資源化されていなかった廃プラスチックのうち年間約86万トンが本技術開発成果によりマテリアルリサイクルされ、87万トンがケミカルリサイクルされ、108万トンが高効率エネルギー回収・利用されることを通じて廃プラスチックを新たに資源化し、我が国のプラスチック循環に貢献する。また、間接的な効果として、選別作業の人手不足の緩和や焼却処理施設のメンテナンス頻度の半減を目指す。</p>		
	<p>アウトカム目標</p>	<p>達成見込み</p>	<p>課題</p>
	<p>【経済効果】 資源循環とエネルギー回収で1,810億円/年 【CO2削減効果】 資源循環とエネルギー回収で739万トン-CO2/年削減</p>	<p>【高度選別システム開発】 FP型AIソータと高度比重選別装置のベンチ機完成により、技術基盤を構築した。識別用データ拡充やスケールアップに関する検証を、現在実施中のNEDOプロ「高度循環型システム構築に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発」に引き継ぐことで、3年程度で製品化する見通し。</p>	<p>技術成果のユーザとのマッチングを行う事で選別システムの導入数を増やす各種取組み、支援する組織の構築が必要である。これに対し事業者のサイト内に選別システムのデモ設備を設置し技術普及に取り組んでいる</p>
	<p>【材料再生プロセス開発】 開発国内外も含めた企業との共同研究を行い、本技術の実用化を支援している。またNEDO特別講座を開催し、企業だけでなくアカデミアに対しても、当該プロジェクトで培った知見・技術・解析手法を伝え、発展させる活動を行っている。</p>	<p>材料再生プロセスに適した廃プラスチックの量的な確保と、それを用いた再生利用プラスチック製品の選定を行い、企業実施者と共に実製品の製造プロセスの検証が必要である。継続的に廃プラスチックを扱うリサイクル企業と製品製造企業のマッチングを進めて行く</p>	
	<p>【石油化学原料化プロセス開発】 触媒分解：固体夾雑物の除去システムを備えた、溶媒利用触媒分解を行うプロセスフローを構築し、各単位操作の実現可能性を検証した。本事業で得られた課題に対する廃プラスチック分解触媒の開発については、プラスチックリサイクルのニーズをもつ企業と大学での個別共同研究の実施に移行する 液相分解：参画企業内での不良品再生に関する取組みから始め、2030年度までに20万トン/年の処理に関する装置設計に基づく経済性および環境適合性を評価するとともに、バリューチェーンを構築する</p>	<p>触媒分解：触媒活性に対する異種プラスチック混入を可能とするレベルの検証、触媒毒物質の明確化と対策に関する基礎研究を行う必要がある 液相分解：装置設計に資するデータの獲得をさらに進めるとともに、当該技術を内外に周知し潜在的顧客を見出すことでバリューチェーンの構築を進める</p>	

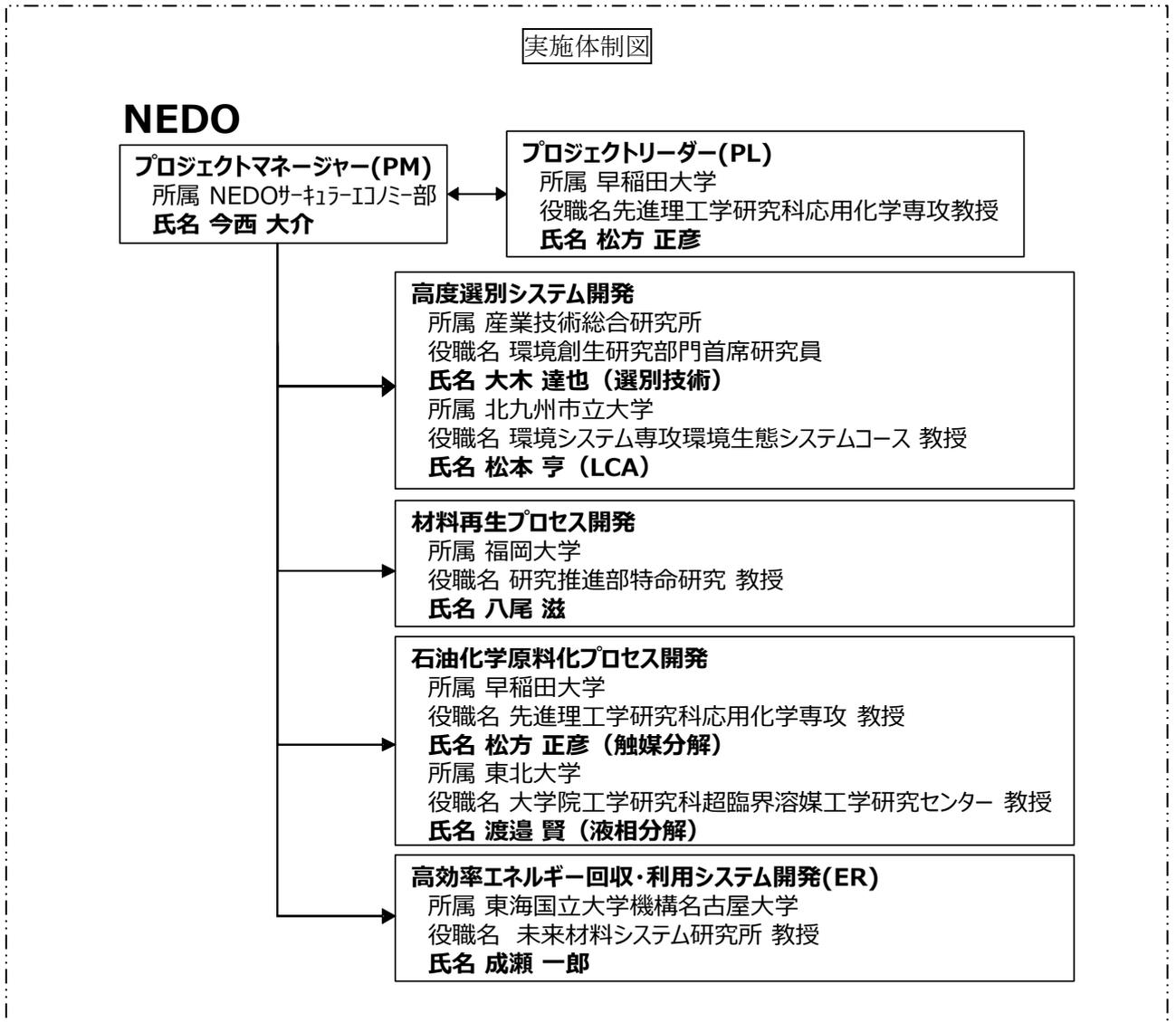
		<p>【高効率エネルギー回収・利用システム開発】</p> <p>高効率伝熱管材料の高耐久化と焼却炉への実装方法の検討により基盤技術を完成した。当該技術を実機へ適用する見通しである。また冷熱製造統合システムの基盤技術を完成した。今後総合的なエネルギー利用システムに本技術の搭載を行える見通しである。</p>	<p>高効率伝熱管材料の検討では、実プラントでの各種評価が別事業で始まり、社会実装に向けて着実に進んでいる。冷熱製造統合システムの検討では吸収型冷凍機の更なる性能向上は必要であるが、企業、自治体からの関心が高く低温排熱を得られる場所の選定は順調に進んでいる</p>
1.2.2 アウト プット目標及び 達成状況	<p>【最終目標】</p> <p>研究開発項目：高度選別システム開発          材料再生プロセス開発～高効率エネルギー回収・利用システム開発までのプロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率95%以上、現状比3倍の速度で自動選別する</p> <p>研究開発項目：材料再生プロセス開発          廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ90%以上の材料強度（靱性）に再生する</p> <p>研究開発項目：石油化学原料化プロセス開発          廃プラスチックを転換率70%以上で石油化学原料に転換する</p> <p>研究開発項目：高効率エネルギー回収・利用システム開発          再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率80%以上を達成する</p>		
	成果(実績)(2025年3月)	達成度 (見込み)	達成の根拠/解決方針
	<p>【高度選別システム開発】</p> <p>選別技術：○          LCA：○</p> <p>【材料再生プロセス開発】</p> <p>○</p> <p>【石油化学原料化プロセス開発】</p> <p>触媒分解：△          液相分解：○</p> <p>【高効率エネルギー回収・利用システム開発】</p> <p>○</p>	総合判定： △	<p>【高度選別システム開発】</p> <p>選別技術：FP型AIソータ開発について、プラント導入に向けて黒色プラの識別精度向上とAI識別用データの拡充が必要である。製品別廃プラの比重選別について、操業規模に応じたスケールアップのため水槽規模に適合したジグ自動制御機能の検証が必要である。いずれも現在実施中のNEDOプロ「高度循環型システム構築に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発」に引き継いで検証中</p> <p>LCA：炭素資源循環度の指標としての今後の展開については、成果を学会等において発表することで、この分野の研究・政策に影響を与えることができると考える</p> <p>【材料再生プロセス開発】</p> <p>普及のためには単軸でのプロセス開発研究、またCAEによる流動解析殿定量的連携が必要</p> <p>【石油化学原料化プロセス開発】</p> <p>触媒分解：基礎研究に立ち戻って触媒毒物質の特定や可能な対策技術を策定して、触媒分解の対象となる廃プラの拡大を図る。スケールアップ時の昇温速度低下が触媒効率低下に影響する課題も表出。急速昇温可能な連続式試験装置で検証</p>

		液相分解：10 万トン/年の装置設計が課題であり、重質油処理装置を参考にすることで解決する 【高効率エネルギー回収・利用システム開発】 施工法と皮膜構成の最適化を知財化し社会実装。冷熱製造・製氷システムのスケールアップによる実証試験の導入先の候補地の多様化と冷熱需要の拡大
--	--	--

### 1.3. マネジメント

#### 1.3.1 実施体制

プロジェクトリーダー	早稲田大学先進理工学研究科応用化学専攻教授 松方正彦
------------	----------------------------



#### 1.3.2 受益者負担の考え方

1.3.2 受益者負担の考え方	委託	受益者負担の考え方プラスチックの資源循環の解決は国の方針に沿った重要課題であり、本事業によるプラスチックの資源循環並びに CO2 排出量の削減は社会的必要性が高い。NEDO ではこれまでに培ってきた各種素材のリサイクル技術の開発で得た知見や成果、ネットワークを活用し中長期的な技術開
-----------------	----	---

	発を行うことが可能。研究開発の難易度が高く、必要な投資規模が大きく、また実用化までのリードタイムが長いことから、民間企業だけではリスクが高い。このような事から NEDO が持つこれまでの知識、実績を活かして委託事業として推進すべきものである					
主な実施事項	2020FY	2021FY	2022FY	2021FY	2024FY	
研究開発項目：高度選別システム開発	委託	委託	委託	委託	委託	
研究開発項目：材料再生プロセス開発	委託	委託	委託	委託	委託	
研究開発項目：石油化学原料化プロセス開発	委託	委託	委託	委託	委託	
研究開発項目：高効率エネルギー回収・利用システム開発	委託	委託	委託	委託	委託	

### 1.3.3 研究開発計画

事業費推移 [単位:百万円]	事業費	2020FY	2021FY	2022FY	2021FY	2024FY	総額
	会計(特別)	592	852	1,000	883	551	3,878
	追加予算		131	235			366
	総NEDO負担額	592	983	1,235	883	551	4,244
情勢変化への対応	政策対応	プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律が令和4年4月1日に施行され基本方針が策定された。本事業では事業開始時から各種製品設計への取組みを包含					
	競合技術対応	事業構想の段階に比べ、従来のプラスチックケミカルリサイクル技術としての熱分解法技術に進化が見られ、代表的な熱分解法の研究開発状況の情報収集を行い、触媒分解技術のポテンシャルや課題の明確化を進めた					
中間評価結果への対応	今後、多岐に亘る技術開発プロジェクトであるため、排出される国内の廃プラスチックの種類や量などの動向も踏まえながら、個別の研究開発項目と事業全体の整合性の向上について、更なる工夫を期待したい	各研究開発項目が対象とする廃プラスチックの種類や量、また開発された技術によりリサイクルが可能と見込まれる量については、事業の中で関係性や整合性が検討されるよう、既にPL等を中心に議論を行っているところ。中間評価以降も技術開発で得た知見を基に、実施者による各処理技術へ投入されるべき廃プラスチックの種類、量の整合性の議論を進める					
	今後、実用化・事業化に向けて、廃プラスチックを効率的に回収する方法や量、種類、品質等の理解を深めること、再生プラスチック材の需要分野や出口産業について戦略的に検討し、付加価値の付け方を意識しながら市場にPRを図ること、及び開発が先行しているテーマについては、実施者による事業化の加速を図ることを期待したい	本事業の研究開発項目(高度選別)の中で様々な廃棄場所からの廃プラスチックの回収を進めている。継続的な情報収集を通じ、実用化・事業化時の回収方法の検討を深める。また、大学等からの再生プラスチック材を複数のユーザ企業へ提供することなどを通じ、ユーザ企業による再生プラスチック材利用の具体例を積み上げるなど、将来の技術利用を意識した取組みを深める					
事前評価	2019/7/4	担当部 環境部					

評価に関する事項	中間評価	2022/10/26	担当部 環境部
	終了時評価	2025/10/28	担当部 サークュラーエコノミー部

#### 1.4. その他

投稿論文等	論文（国際）47 件、論文（国内）8 件、国際学会発表 105 件、国内学会発表 214 件、講演・講座 243 件、新聞・雑誌等への掲載 43 件、著書 22 件		
特 許	出願済 20 件		
その他の外部発表 (プレス発表等)	プレスリリース：「温水を使用した氷スラリー製造の連続化に成功」高効率エネルギー回収・利用システム開発冷熱チーム(2024/5/29) モノづくり日本会議：新産業技術促進検討会シンポジウム第 37 回(2022/3/1)、45 回(2023/8/2)、56 回(2025/5/16)		
基本計画に関する 事項	作成時期	2020 年 2 月 作成	
	変更履歴	2020 年 10 月 PMgr の変更 2021 年 12 月 PMgr の変更 2022 年 3 月 「データマネジメントに係る運用」を追記 2024 年 8 月 NEDO 組織改編による部署名の変更	

資料3-1



# 「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」 (終了時評価)

2020年度～2024年度 5年間

プロジェクト (公開版)

2025年10月28日

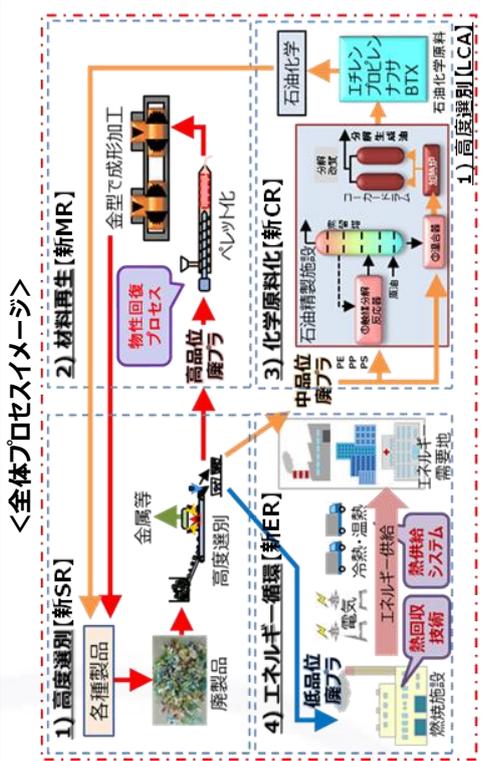
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
サーキュラーエコノミー部

# 革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発



## プロジェクトの概要

近年の中国の廃プラスチック輸入禁止に端を発したアジア諸国の廃プラスチック輸入規制強化の影響が大きな問題となっており、これらへの対応に向けて、G7やG20でも重要な課題として取り上げられている。日本においても「プラスチック資源循環戦略」が策定され、「革新的リサイクル技術の開発」等が重点戦略の一つとして掲げられている。そこで、本事業は、複合センシング・AI等を用いた廃プラスチック高度選別技術、材料再生プロセスの高度化技術、高い資源化率を実現する石油化学原料化技術、高効率エネルギー回収・利用技術の開発を行う。



## 想定する出口イメージ等

アウトプット 目標	研究開発項目①高度選別システム開発： 研究開発項目②～④プロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率を95%以上、現状比3倍の速度で自動選別する。 研究開発項目②材料再生プロセス開発： 廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ90%以上の材料強度(靱性)に再生する。 研究開発項目③石油化学原料化プロセス開発： 廃プラスチックを転換率70%以上で石油化学原料に転換する。 研究開発項目④高効率エネルギー回収・利用システム開発： 再生処理困難なプラスチックからエネルギー回収し、総合エネルギー利用率80%以上を達成する。
アウトカム目標	本技術開発成果により、2030年度時点で、これまで国内で再資源化されなかった廃プラスチックのうち、86万トンを目ざしてリサイクル、87万トンを目ざしてケミカルリサイクル、108万トンを目ざしてエネルギーリサイクルすることによって我が国のプラスチック循環に貢献する。
出口戦略	廃プラスチックの循環利用ができていない大きな理由は、高コスト・手間がかかる・連携不足等に起因する非効率なリサイクル。選別とマテリアル、ケミカル、エネルギーリサイクル技術開発を一体的に実施することで解決する。
グローバル ポジション	国際標準化提案：無、第3者提供データ：無
	P J開始時：DH P J終了時：LD

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

PMgr: サークュラーエコノミ部 今西大介

関連する技術戦略  
リサイクル促進(プラスチック)、分野の技術戦略

## 既存プロジェクトとの関係

エネ・環先端研究(2019年度、2020年度)と連携

## 事業計画

期間：2020～2024年度(5年間)  
総事業費：42億円(実績)需給

## ＜研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模＞

	R02	R03	R04	R05	R06	R07
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
① 高度選別システム開発	↑					
② 材料再生プロセス開発	↑					
③ 石油化学原料化プロセス開発	↑					
④ 高効率エネルギー回収・利用システム開発	↑					
評価時期			中間 評価			終了時 評価
実績額 (億円)	5.9	9.8	12.6	8.8	5.5	42.2

# 報告内容



## ページ構成

<ul style="list-style-type: none"><li>・ 事業の背景・目的・将来像</li><li>・ 政策・施策における位置づけ</li><li>・ 技術戦略上の位置づけ</li><li>・ 外部環境の状況 (技術、市場、制度、政策動向など)</li><li>・ 他事業との関係</li><li>・ アウトカム達成までの道筋</li><li>・ 知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略</li><li>・ 知的財産管理</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>・ 実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠</li><li>・ アウトカム目標の達成見込み</li><li>※費用対効果</li><li>・ 非連続ナシヨプロに該当する根拠</li><li>・ 前身事業との関連性</li><li>・ 本事業における研究開発項目の位置づけ</li><li>・ アウトプット (終了時) 目標の設定及び根拠</li><li>・ アウトプット目標の達成状況</li><li>・ 研究開発成果の副次的成果等</li><li>・ 特許出願</li><li>・ 論文発表等</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>・ NEDOが実施する意義</li><li>・ 実施体制</li><li>・ 個別事業の採択プロセス</li><li>※予算及び受益者負担</li><li>・ 目標達成に必要な要素技術</li><li>・ 研究開発のスケジュール</li><li>・ 進捗管理</li><li>・ 進捗管理：中間評価結果への対応</li><li>・ 進捗管理：動向・情勢変化への対応</li><li>・ 進捗管理：成果普及への取り組み</li><li>・ 進捗管理：開発促進財源投入実績</li></ul>

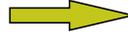
※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略

1. 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋



(1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況

2. 目標及び達成状況



(1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

3. マネジメント

## ＜評価項目 1＞ 意義・アウトカム（社会実装） 達成までの道筋

- ※ 本事業の位置づけ・意義
- （1）アウトカム達成までの道筋
- （2）知的財産・標準化戦略

# 報告内容



## ページ構成

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 外部環境の状況(技術、市場、制度、政調動向など)
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化：オープン・クローズ戦略
- 知的財産管理

※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋



(1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況

2. 目標及び達成状況



(1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

3. マネジメント



## 事業の背景・目的・将来像

### ■社会的背景・事業の目的

プラスチックはその高い機能性から、社会生活の様々な場面で利用が急速に進んだ素材である。しかし、需要増大に伴い、原料調達、製造、加工及び廃棄処理の過程でのエネルギー消費、CO<sub>2</sub>排出の増大が社会課題となっている。

特に近年は、上記課題の解決がSDGsに資するため、リサイクルの徹底・素材転換を求める機運が高まる中、対策を進めていく好機にある。

本事業ではこうした機運を捉え、回収された廃プラスチックの高度なリサイクルを促進する技術開発を通して、プラスチックの資源効率や資源価値を高める基盤構築を行います。



## 政策・施策における位置づけ

### ■ 循環経済ビジョン2020（2020年5月22日）より

（引用）

V.我が国としての対応の方向性

#### 1. 循環性の高いビジネスモデルへの転換

- (1) 国内循環システムの最適化とためのリサイクル先の質的・量的確保  
「プラスチックについては、「プラスチック資源循環戦略」の下、再生利用を拡大していく方針であり、ケミカルリサイクル等の新たなリサイクル手法の検討が開始されている」

### ■ プラスチック資源循環戦略（2019年5月31日）より

（引用）

#### 3. 重点戦略

##### (1) プラスチック資源循環

##### ② 効果的・効率的で持続可能なリサイクル

「分別・選別されるプラスチック資源の品質・性状等に応じて、循環型社会形成推進基本法の原則を踏まえ、材料リサイクル、ケミカルリサイクル、そして熱回収を最適に組み合わせることで、資源有効利用率の最大化を図ります。」

1. 意義・アウトカム（社会実装）までの道筋 ※ 本事業の位置づけ・意義（終了時評価においては評価対象外）



## 技術戦略上の位置づけ

### ■ NEDO TSC Foresight Vol.35 資源循環分野の技術戦略策定に向けて（2019年11月）

国内の資源効率を向上させるには、処理コストを拡大させずに、廃プラスチックのリサイクルがより高効率に実現できる革新的な研究開発を行う必要がある。

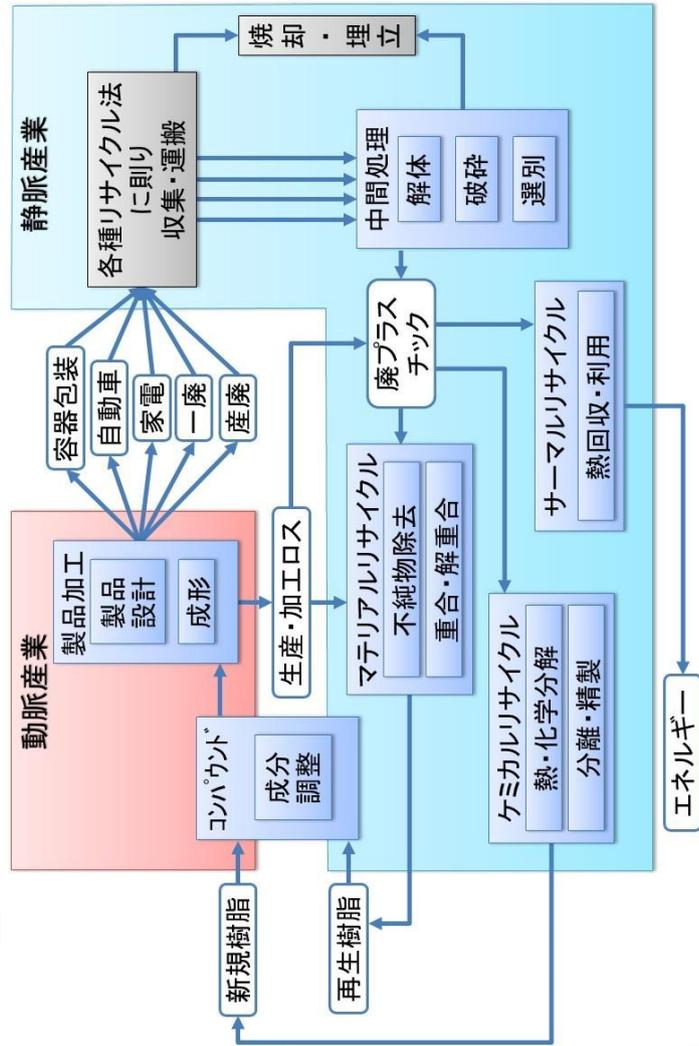


図 廃プラスチックリサイクルシステムと要素技術

出典: NEDO TSC Foresight Vol.35



## 外部環境の状況（技術、市場、制度、政策動向など）

■ プラスチックリサイクルに関わる重要な4つの技術分野に対して先行技術情報を収集  
政策動向に注視しつつ、各技術分野での先行技術での課題を整理し、各研究開発項目での開発内容へ反映を行い事業を推進

### 【政策動向】

- EU  
「EUプラスチック戦略」で2030年までにプラスチック容器包装廃棄物リサイクル率を55%とする
- 米国  
カリフォルニア州では2030年までに「プラスチック汚染防止および包装の生産者責任に関する法案」でプラスチックのリサイクル率40%を規定
- 日本  
「プラスチック資源循環戦略」で2030年までにプラスチック容器包装の6割をリユース・リサイクルする

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

### 【技術動向】

	推進者	国	処理技術	URL
廃プラスチック選別技術	STEINERT社	ドイツ	廃プラ用コンベアソーター	<a href="https://steinertglobal.com/">https://steinertglobal.com/</a>
	BHS社	アメリカ	廃プラ用AIロボットソーター	<a href="https://www.max-ai.com/">https://www.max-ai.com/</a>
	キヤノン	日本	黒色プラ選別	<a href="https://global.canon/ja/news/2023/20230712.html">https://global.canon/ja/news/2023/20230712.html</a>
廃プラスチックマテリアルサイクル技術	EREMA社	オーストリア	廃プラペタライズ装置	<a href="https://www.erima.com/">https://www.erima.com/</a>
	Plastic Machinery社	アメリカ	廃プラペタライズ装置	<a href="https://www.plasticsmg.com/">https://www.plasticsmg.com/</a>
	Aceretech社	中国	廃プラペタライズ装置	<a href="https://www.aceretech.com/">https://www.aceretech.com/</a>
	MAS GmbH 出光興産	ドイツ 日本	押出機とろ過システム 廃FCC触媒利用システム	<a href="https://mas-austria.recycling.biz/">https://mas-austria.recycling.biz/</a> <a href="https://www.idemitsu.com/jp/news/2021/210507_2.html">https://www.idemitsu.com/jp/news/2021/210507_2.html</a>
廃プラスチックケミカルサイクル技術	Pryme	オランダ	熱分解	<a href="https://pryme-cleantech.com/uploads/downloads/Pryme-Investor-Presentation-30-January-2025.pdf">https://pryme-cleantech.com/uploads/downloads/Pryme-Investor-Presentation-30-January-2025.pdf</a>
	東北大	日本	酸塩基処理システム	<a href="https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.1994.070520919">https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.1994.070520919</a>
	LyondellBasell	オランダ	触媒分解	<a href="https://www.lyondellbasell.com/en/our-solutions/circular-low-carbon-solutions/chemical-recycling/moretac/">https://www.lyondellbasell.com/en/our-solutions/circular-low-carbon-solutions/chemical-recycling/moretac/</a>
廃プラスチック高効率エネルギー回収技術	三菱ケミカル	日本	超臨界水プロセス	<a href="https://www.mcgc.com/kaiteki_solution_center/oursolution/17.html">https://www.mcgc.com/kaiteki_solution_center/oursolution/17.html</a>
	三國機械工業 三機工業	日本 日本	伝熱管リーニングシステム 熱輸送システム	<a href="http://www.mikumikikai.jp/products/sales.html">http://www.mikumikikai.jp/products/sales.html</a> <a href="https://www.sanki.co.jp/service/technology/article/detail085.html">https://www.sanki.co.jp/service/technology/article/detail085.html</a>

1. 意義・アウトカム（社会実装）までの道筋 ※ 本事業の位置づけ・意義（終了時評価においては評価対象外）



## 他事業との関係

### ■ プラスチックの資源循環に関する4つの先導研究で得られた成果を基に本事業を構築

実施機関	プロジェクト名	期間	事業タイプ	事業内容
1 ERCA	廃プラスチックからの選択的有用化学品合成を可能にする固体触媒プロセスの開発	2018～2022	基礎研究	実廃プラスチックからの温和な条件下での高選択的有用化学品合成を可能にする新規固体触媒プロセスの構築
2 JST	革新的ハロゲン循環による材料の高資源化プロセスの開発	2017～2018	基礎研究	脱塩素技術として湿式化学分離技術を開発し、プラスチック高度循環利用技術・プロセスを確立
3 科研費	環境インパクト低減に向けたハロゲン制御技術の体系化	2020～2025	基礎研究	プラスチックのリサイクルにおいて、脱ハロゲン技術開発を基軸として、ハロゲンを制御し循環・有効利用する技術を解明
4 内閣府	グリーンイノベーション基金事業／CO2等を用いたプラスチック原料製造技術開発プロジェクト	2021～2030	実証研究	廃プラ、廃ゴムの精密熱分解によるブタジエン、BTXへの化学品変換及び、植物原料からブタジエン、イソプレンを合成する技術の開発
5 NEDO	プラスチックの高度資源循環を実現するマテリアルリサイクルプロセスの研究開発	2019～2020	先導研究	廃プラスチックに対する選別・分離の高精度・高速化技術、ペレタイズ時の高性能化再生プロセス技術、成形加工時の高特性化技術を開発
6 NEDO	プラスチックの化学原料化再生プロセス開発	2019～2020	先導研究	マテリアルリサイクルに適さない廃プラスチックを対象に、基礎化学品に転換できる革新的なケミカルリサイクルプロセスを構築するために必要な要素技術を開発
7 NEDO	高効率エネルギー回収のための熱交換・熱利用技術	2019～2020	先導研究	社会システム全体のエネルギー利用効率の飛躍的な向上を図るために、高温かつ腐食性の燃焼ガスに対応できる高効率・高耐久な熱交換材料の開発と低温排熱から冷熱の製造
8 NEDO	多層プラスチックフィルムの液相ハイブリッドリサイクル技術の開発	2020～2021	先導研究	異種多層フィルムに代表される複数種の素材を複合化したプラスチック成形品に対し、連続的にケミカルおよびマテリアルリサイクルできる液相ハイブリッド技術を開発

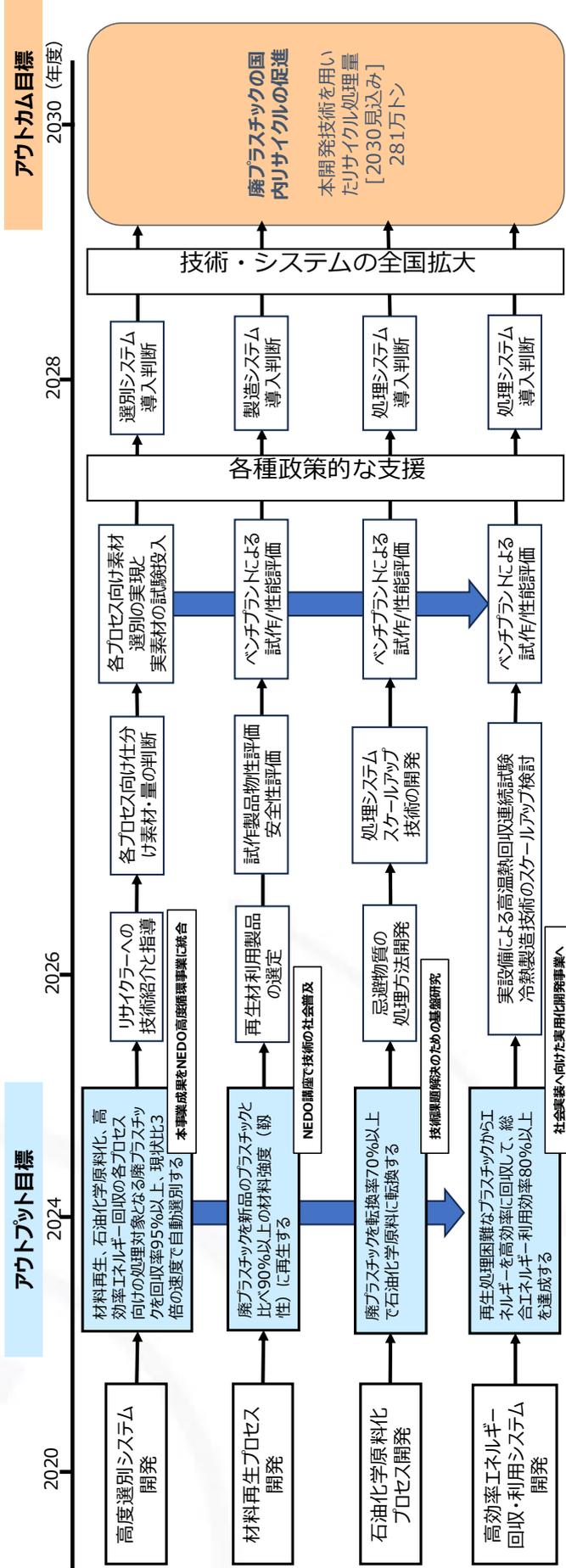
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

1. 意義・アウトカム（社会実装）までの道筋（1）アウトカム達成までの道筋



# アウトカム達成までの道筋

プラスチック資源循環のエネルギー使用量を現行の処理技術よりも大幅に削減し、AIを用いたプラスチック高度選別、高度材料再生プロセス技術、高い資源化率を実現する基礎化学品化技術、高効率エネルギー循環システムの開発を行う。これらの研究開発を通じて、プラスチック資源効率、資源価値を飛躍的に高めることで、中小企業の多い静脈産業がサプライチェーンに組み込まれ、「再生プラスチック資源を上手に使う」ことで社会ニーズに質・量の両面に応える。また、環境への取り組みが経済成長に結びつくプラスチック循環経済社会の実現を目指す。



政策的な支援：プラスチック資源循環促進法(2022/4)、再資源化事業高度化法(2024/5)、資源有効利用促進法改正(2026/4予定)等

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



## アウトカム達成までの道筋（今後の展開）

### ■ 高効率エネルギー回収・利用技術

**決定** 2025年度「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム」に係る実施体制の決定について

2025年5月23日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、2025年度「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム」の公募を実施し、応募いただいた47件の提案について厳正な審査を行い、別紙1のとおり21件（FS調査フェーズ2件、インキュベーション研究開発フェーズ6件、実用化開発フェーズ12件、実証開発フェーズ1件）の実施予定先を決定いたしました。

公募名：脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム

採択案件：熱交換器の革新的効率・耐食性向上技術の実用化開発

事業者：東北発電工業株式会社  
三國機械工業株式会社  
近藤設備設計株式会社

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

### ■ 石油化学原料化プロセス技術

**決定** 2025年度「NEDO先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム及びフロンティア育成事業」に係る実施体制の決定について

2025年5月23日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、2025年1月27日から2025年2月28日にかけて2025年度「NEDO先導研究プログラム／新技術先導研究プログラム」〔エネルギー・環境新技術先導研究プログラム〕〔新産業・革新技術創出に向けた先導研究プログラム〕（エネルギー・新新）及び「NEDO先導研究プログラム／フロンティア育成事業」（フロンティア育成）の公募を実施し、NEDO内部に設置した学識経験者等からなる先導研究プログラム案件検討委員会及びフロンティア育成事業に係る採択審査委員会の厳正な検討を経て、応募件数84件中20件の研究開発テーマの採択、フロンティア育成について、応募件数16件中11件の研究開発テーマの採択を決定いたしました。

公募名：NEDO先導研究プログラム

課題名：プラスチック資源の高度ケミカルリサイクル技術開発

採択案件：製油所装置による多種混合廃プラの大規模処理技術開発

事業者：一般財団法人カーボンニュートラル燃料技術センター  
【共同実施先】国立大学法人東北大学  
公立大学法人大阪大阪公立大学  
ENEOS株式会社



## 知的財産・標準化:オープン・クロス戦略

- オープン戦略：コンソーシアム等の活動を通じてデファクトスタンダード化を図りサイクル市場を拡大
- クローズ戦略：多数保有するバックグラウンド特許をベースに確実に権利範囲を拡大しシェアの確保

研究開発項目	注目する分野	知財創出のキーワード	バックグラウンド特許	知財委員会 (開催回数)				
				2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度
高度選別システム開発	・リサイクル	ソーティング、センシング、比重選別、ジグ、整粒	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧力センサを利用した網下気室型湿式比重選別機用回収制御装置 (特許第5088784号)</li> <li>・小型エアテーブル (特許第5709166号)</li> </ul>	0	2	2	4	2
材料再生プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リサイクルプラスチックの高度再生に関わる技術</li> <li>・プラスチックの高度成形技術</li> </ul>	混練条件、樹脂溜まり、マルチゲート、マルチメッシュ、せん断履歴制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リサイクルポリオレフィンを含む熱可塑性樹脂組成物の再生方法 (特許第633674号)</li> <li>・樹脂組成物成形機および樹脂組成物の成形方法 (特許第6608306号)</li> <li>・熱可塑性樹脂組成物の成形機、および製造方法 (特許第6914541号)</li> </ul>	1	2	11	11	9
石油化学原料化プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・触媒開発</li> <li>・プロセス開発</li> <li>・容器包装開発</li> </ul>	触媒の選択性、溶媒の機能、複合プラスチックの触媒分解、充填材入りプラスチックの触媒分解、モノレフィン化容器包装	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MWW型ゼオライト及びその製造方法、並びにクラッキング触媒 (特開2018-222646)</li> <li>・アルキル基を有さない多環芳香族とアルカンの製造方法 (特開2015-168059)</li> </ul>	0	1	0	3	3
高効率エネルギー回収・利用システム開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・灰付着低減，高温腐食低減技術</li> <li>・過冷却技術</li> </ul>	灰付着低減，表面改質、乾燥吸着剤、氷スラリー流動性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吸収式冷凍機 (特開2018-179425)</li> <li>・吸収式冷凍機用作動媒体及びこれを用いた吸収式冷凍機 (特開2019-045079)</li> </ul>	2	3	2	2	3

## 知的財産管理

- 知的財産権の帰属及び取扱い方法について文書化して管理
- 本事業で得られた知財については、関係各機関の知財部門と連携し、特許管理、知財管理を推進
- 知的財産権の帰属  
産業技術力強化法第17条第1項に規定する4項目及びNEDOが実施する知的財産権の状況調査（バイ・ドール調査）に対する回答を条件として、知的財産権はすべて発明等をなした機関に帰属。
- 知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項  
NEDO知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成。
- データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項  
NEDOデータ方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成。

## ＜評価項目 2＞ 目標及び達成状況

- (1) アウトカム目標及び達成見込み
- (2) アウトプット目標及び達成状況

# 報告内容



ページ構成

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略



2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況



3. マネジメント

(1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

- 実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠
- アウトカム目標の達成見込み
- ※費用対効果
- 非連続ナシヨブに該当する根拠
- 前身事業との関連性
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- アウトプット（終了時）目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 研究開発成果の副次的成果等
- 特許出願
- 論文発表等



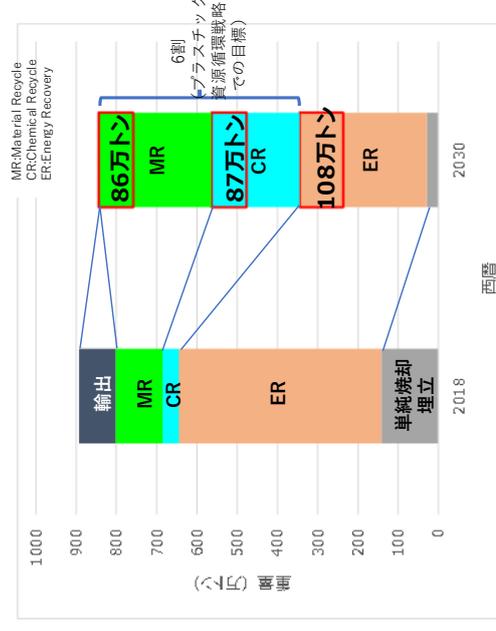
## 実用化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

実用化は、『当該研究開発成果に基づく革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発の基盤技術が確立されること』をいう。

具体的には、本事業で開発された基盤技術が試験設備に組み込まれることとする。

【アウトカム目標】	
マテリアルリサイクル	86万トン
ケミカルリサイクル	87万トン
高効率エネルギー回収・利用	108万トン
合計	281万トン

間接的な効果：人手不足の緩和とメンテナンス頻度の半減



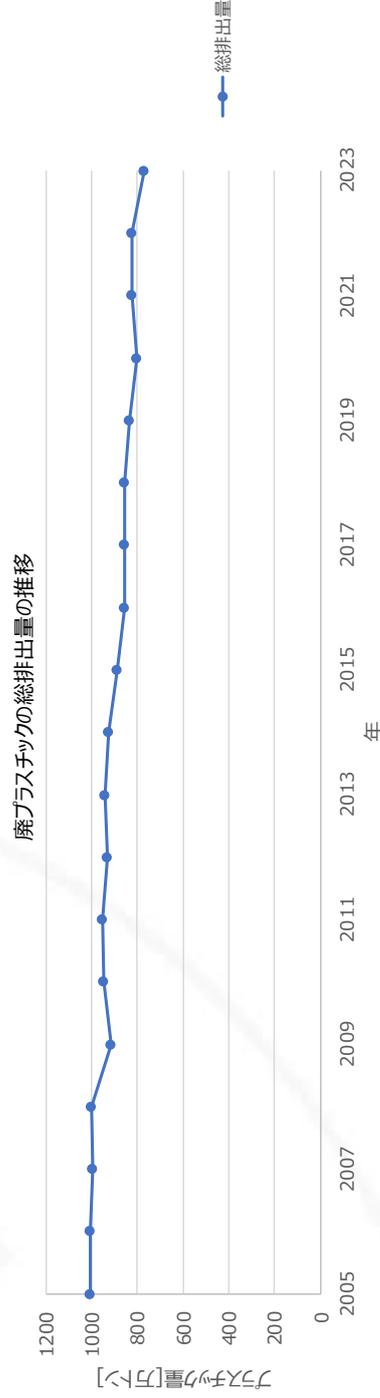
排出される廃プラの量とそれぞれの処理プロセスで扱う量のイメージ



## 実用化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

廃プラスチック資源は毎年800～850万トン程度が排出されている状況、

- 汚れのほとんどない廃プラスチック211万トンのうちPE、PP、PSでの回収予測として86万トン、これをマテリアルリサイクルする
- 汚れが軽いもの 291万トンのうち処理できるものとしての回収率を30%と予測して87万トン、これをケミカルリサイクルする
- 汚れがひどいもの361万トンのうち処理できるものとしての回収率を30%と予測して108万トン、これをエネルギーリカバリーする



プラスチックリサイクルの基礎知識2025 (プラスチック循環利用協会) より



# アウトカム目標の達成見込み

技術要件	達成見込み	課題
高度選別システム 開発	フィールドピックアップ型AIセンサーと高度比重選別装置のベンチ機完成により、技術基盤を構築した。識別用データ拡充やスケールアップに関する検証を、現在実施中のNEDOプロ「高度循環型システム構築」に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発」に引き継ぐことで、3年程度で製品化する見通し	技術成果のユーザーとのマッチングを行う事で選別システムの導入数を増やす各種取組み、支援する組織の構築が必要である。これに対し事業者のサイト内に選別システムのデモ設備を設置し技術普及に取り組んでいる
材料再生 プロセス開発	国内外も含めた企業との共同研究を行い、本技術の実用化を支援している。またNEDO特別講座を開催し、企業だけでなくアカデミアに対しても、当該プロジェクトで培った知見・技術・解析手法を伝え、発展させる活動を行っている	材料再生プロセスに適した廃プラスチックの量的な確保と、それを用いた再生利用プラスチック製品の選定を行い、企業実施者と共に実製品の製造プロセスの検証が必要である。継続的に廃プラスチックを扱うリサイクル企業と製品製造企業のマッチングを進めて行く
石油化学原料化 プロセス 開発	触媒分解：固体夾雑物の除去システムを備えた、溶媒利用触媒分解を行うプロセスフローを構築し、各単位操作の実現可能性を検証した。本事業で得られた課題に対する廃プラスチック分解触媒の開発については、プラスチックサイクルのニーズをもつ企業と大学での個別共同研究の実施に移行する 液相分解：参画企業内での不良品再生に関する取り組みから始め、2030年度までに20万トン/年の処理に関する装置設計に基づく経済性および環境適合性を評価するとともに、バリューチェーンを構築する	触媒分解：触媒活性性に対する異種プラスチック混入を可能とするレベルの検証、触媒毒物質の明確化と対策に関する基礎研究を行う必要がある 液相分解：装置設計に資するデータの獲得をさらに進めるとともに、当該技術を内外に周知し潜在的顧客を見出すことでバリューチェーンの構築を進める
高効率エネルギー 回収・利用システム 開発	高効率伝熱管材料の高耐久化と焼却炉への実装方法の検討により基盤技術を完成した。当該技術を実機へ適用する見通しである。また冷熱製造統合システムの基盤技術を完成した。今後総合的なエネルギー利用システムに本技術の搭載を行える見通しである	高効率伝熱管材料の検討では、実プラントでの各種評価が別事業で始まり、社会実装に向けて着実に進んでいる。冷熱製造統合システムの検討では吸収型冷凍機の更なる性能向上は必要であるが、企業、自治体からの関心が高く低温排熱を得られる場所の選定は順調に進んでいる



## アウトカム目標の達成見込み（達成時の姿）

### 2030年までに各プロセスのスケールアップを推進

#### 【材料再生プロセス開発】アウトカム目標86万トン/年

日本のプラスチックリサイクルー179拠点に現在開発を進めている処理能力3t/hの装置を設置し、一日8時間、月20日、12か月の稼働で、

$$3\text{t/h} \times 8\text{h} \times 20\text{day} \times 12\text{month} \times 179\text{台} \\ = 103\text{万トン/year}$$

26

#### 【石油化学原料化プロセス開発】アウトカム目標87万トン/年

日本各地の拠点到現在開発を進めている処理能力 333 トン/日の装置を設置し、一年間に300日稼働で、  
333t/day × 300day × 9 基  
= 90万トン/year

(内訳：3P 8基計80万トン、複合フィルム 1 基10万トン)

#### 【高効率エネルギー回収・利用システム開発】アウトカム目標108万トン/年

日本の焼却処理施設のうち、まず24拠点到現在開発を進めている処理能力150t/dayの装置を設置し、年間300日の稼働で、  
150t/day × 300day × 24 拠点  
= 108万トン/year



## 費用対効果

### 【アウトカム目標より】

本事業成果により、2030年までにこれまで国内で再資源化されていなかった廃プラスチックのうち右の量进行处理

### 【投資コストと効果】

プロジェクト費用の総額  
42億円  
(2020-2024年度)

### ● 経済効果

1,810億円/年

### ● CO<sub>2</sub>削減効果

739万トン-CO<sub>2</sub>/年削減

マテリアルリサイクル	86万トン/年
ケミカルリサイクル	87万トン/年
高効率エネルギー回収	108万トン/年

経済効果(2030年)  
資源循環とエネルギー利用として 1,810億円/年

	リサイクル量(万トン)	原料単価(円/kg)	2030年時点
マテリアルリサイクル	86	120	1030億円
ケミカルリサイクル	87	62.1	540億円
エネルギー回収	108	22.2	240億円
合計	281		<b>1810億円</b>
	リサイクル量(万トン)	CO <sub>2</sub> 係数	CO <sub>2</sub> 削減量
マテリアルリサイクル	86	2.45	211万トン-CO <sub>2</sub>
ケミカルリサイクル	87	2.8	244万トン-CO <sub>2</sub>
エネルギー回収	108	2.63	284万トン-CO <sub>2</sub>
合計	281		<b>739万トン-CO<sub>2</sub></b>



## 非連続ナショナルプロジェクトに該当する根拠

	理由
①非連続的な価値の創造	これまで、廃プラスチック処理は、コスト/技術の観点から、殆どがエネルギー回収として処理されてきたが、物性（靱性）を維持可能な再生技術による再生プラスチックの価値向上や、基礎化学品的再生技術によるオレフィン、BTX等への再資源化（新たな価値）を図ることで、マテリアルサイクル、ケミカルサイクルを拡大させることが出来ることにも、CO2/エネルギーの削減が可能となる。また、廃プラスチックの選別から各リサイクルシステムまで、一貫した資源循環プロセスを実現することは、他国に先駆けた資源循環社会の実現に貢献するものである。
②技術の不確実性	廃プラスチックの処理には、材質、製品の汚染度など、様々な要因が必要とするために、マテリアルサイクル、ケミカルサイクル、サーマルサイクルを回収プラスチックの品質に応じてバランスよく実施することで、処理量、経済性、環境性（CO2削減効果）を最大化する必要がある。そのためには、本研究開発に於ける「高度選別技術」、「材料再生技術」、「基礎化学品的再生技術」、「高効率エネルギー回収・利用技術」の4つのコア技術開発の連携が必須であり、不確実性が非常に高い。

### 非連続ナショナルプロジェクトの考え方

	内容
非連続的な価値の創造	画期的で飛躍的な変化を伴う価値が創造され、提供されることにより、生活、環境、社会、働き方などを変える
技術の不確実性	難易度が高い技術的課題や、新領域へのチャレンジなどにより、目標とする特性値や技術は従来の延長上にはなく、リスクが特に高い



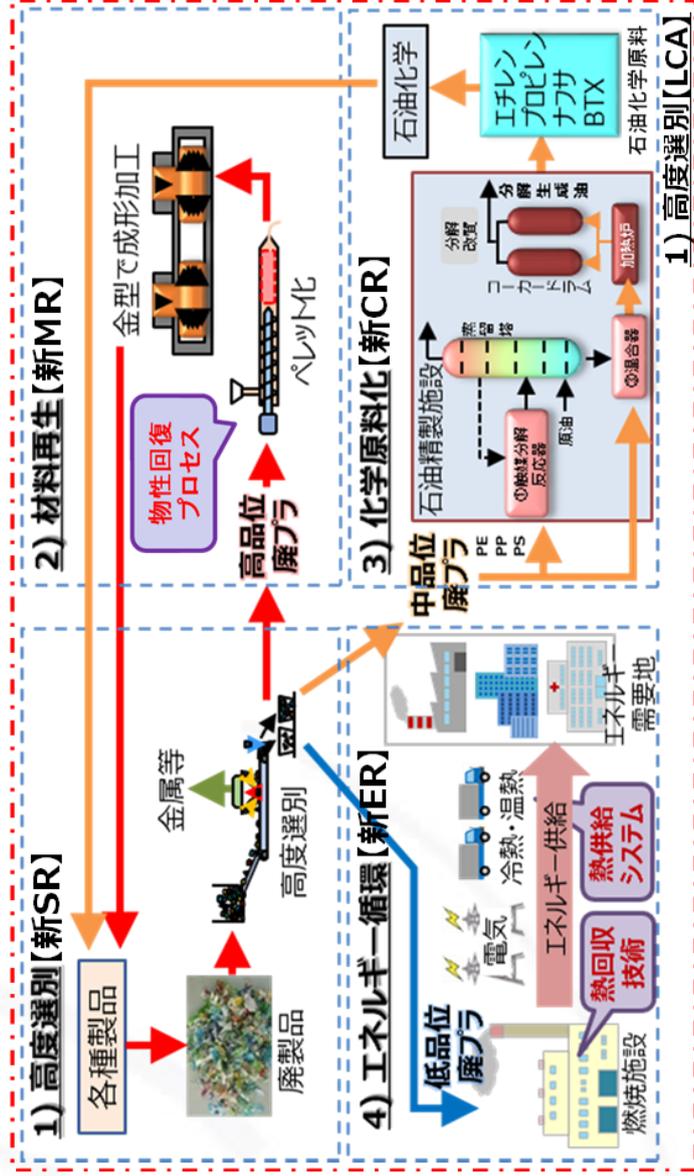
# 前身事業との関連性

事業タイプ	プロジェクト名	取組の成果とその評価	課題
先導研究	プラスチックの高度資源循環を実現するマテリアルサイクルプロセスの研究開発 (2019-2020)	評価：極めて優れている 高度選別技術、高度物性再生技術について、一定の進展が示され、特に、各種のプラスチックについて物性劣化の発現メカニズムの要因について、科学的に裏付けられた技術であることが示されている。また、それらの結果に基づいて開発を進めている獨創性・革新性を有するプロセス技術は大きな波及効果が期待できる。 プラスチックの高度選別技術、物性再生技術、システム研究および標準化の各研究項目において、今後の課題や具体的に必要となる技術開発要素が明確に提示されており、今後の開発スケジュールや実施体制の提案も適切であり、ナショナルプロジェクト化に向けて有効な成果になっている。	PP成分選別容器リサイクルで見出された物性の回復の理論が、他の樹脂材料でも適用可能かの検討
先導研究	プラスチックの化学原料化再生プロセス開発 (2019-2020)	評価：優れている 廃プラスチックと原油蒸留残渣油混合物の共熱分解、その前処理技術の開発を堅実に進め、コーカー投入による処理フローについて可能性を広げたものと考ええる。また、共熱分解による環境負荷削減効果を算定するとともに、ケミカルリサイクル向け廃プラスチックの調達可能性を示したことも高義があると考ええる。 廃プラスチックの原油蒸留残渣油との共熱分解技術や、廃プラスチックからの基礎化学品製造触媒分解プロセス技術の開発の各研究項目において、課題や必要な技術開発要素の提示、今後の開発スケジュールや実施体制の検討もなされており、ナショナルプロジェクト化に向けて有効な成果になっている。	廃プラの適用範囲を明確にした上で、プラスチックの化学原料化の収率を、石油精製のアセットを活用しつつ向上させる方策の検討
先導研究	高効率エネルギー回収のための熱交換・熱利用技術 (2019-2020)	評価：妥当である 灰付着抑制可能な金属系熱交換器候補材料開発、溶融塩に対する耐食性に優れたセラミック系材料開発、灰付着抑制と耐食性を高める溶射技術等、高温ターバイガス用熱交換器開発に資する成果を得ている。灰付着による伝熱効率低下を抑制するために、溶融塩の濡れ性に着目した発想と熱力学的に解決する方法には期待感がある。 一方で、熱駆動型吸収式冷凍機が低効率であるほど廃熱利用量が増加するため、熱回収量と機器・システムの高効率化に関する研究開発を行い、経済性を踏まえた適切なモデル検討を行っていただきたい。	灰付着防止技術での長期性能・信頼性に関した材料評価の検討
先導研究	多層プラスチックフィルム液相ハイブリッドリサイクル技術の開発 (2020-2021)	評価：優れている 多層プラスチックフィルムは、現在有効なリサイクル技術が確立されておらず、本研究開発では、有機溶剤を使用せず水熱処理でハイブリッドリサイクル（加水分解性樹脂はケミカルリサイクル＋非加水分解性樹脂はマテリアルリサイクル）を連続で行う技術と装置を開発した。回収モノマーの回収率が目標までであるが、ハイブリッドリサイクルできる可能性を見出した。連続処理装置については、小型装置を試作しモデルテストにて目標の回収量を達成した。後継プロジェクト革新プラスチック資源循環プロセス技術開発・石油化学原料化プロセス/複合プラスチックからのモノマー回収液相プロセスの開発に採択されており、この先導研究でやりきれなかった課題の達成や、社会実装に向けての様々な実験（異物混入による影響確認、実フィルムでのリサイクルテスト、連続処理装置の改良や大型化、回収されたモノマーやポリマーの品質評価など）により、課題設定し、着実に成果を出されることを期待する。	複数のリサイクルフィルム材料が混合処理される際の反応機構の検討



## 本事業における研究開発項目の位置づけ

本事業は廃プラスチックの選別から各リサイクルシステムまで、一貫した資源循環プロセスを実現することを目的としており、下記図のように1) 高度選別として高度選別システム開発、2) 材料再生として物理再生プロセス開発、3) 化学原料化として石油化学原料化プロセス開発、4) エネルギー循環として高効率エネルギー回収・利用システム開発を、また本事業全体のLCAを検討するために高度選別システム開発のサブテーマとしてLCAを位置付けている。





## アウトプット (終了時) 目標の設定及び根拠

研究開発項目	最終目標 (2024年度)	根拠
高度選別システム開発	材料再生、石油化学原料化、高効率エネルギー回収・利用の各プロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率95%以上、現状比3倍の速度で自動が選別する	95%以上を達成すれば1段の処理で多種類プラスチックを同時に低コストで処理する事が可能になる。対象とする大量のプラスチックを処理するには、選別プロセス全体で従来比の3倍程度以上の選別速度が必要となる見込み
材料再生プロセス開発	廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ90%以上の材料強度 (靱性) に再生する	リサイクルしたプラスチック素材を製品製造に利用するためには、バージンのプラスチック材料が有する靱性の90%以上の材料強度で再生することが必要
石油化学原料化プロセス開発	廃プラスチックを転換率70%以上で石油化学原料に転換する	廃プラスチックの転換率を30%以上に向上することにより、採算性が向上する化学プロセスを構築することが可能になる。さらに転換後の残渣油を石油化学工業の分解促進プロセスにレトロフィットすることでトータル70%以上となる見込み
高効率エネルギー回収・利用システム開発	再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用率80%以上を達成する	現在、単純埋立・焼却されているプラスチック及びマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル困難な廃プラスチック等を対象に、熱エネルギーを80%以上の変換効率で回収・利用可能にすることにより、欧州並みの総合熱利用効率を達成する

## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況



# アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	最終目標 (2024年度)	成果	達成度	達成の根拠	課題と解決方針案
高度選別システム開発	材料再生、石油化学原料化、高効率エネルギー回収・利用の各プロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率95%以上、現状比3倍の速度で自動選別する	SR	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>FP型AIソータ開発について、モデル混合ブラ8m3コンテナ1台分(45L袋100個相当)の5分以内での自動選別を達成した。</li> <li>実廃棄物を用いた製品別廃ブラの比重選別について、新SRが想定するMR・CR・ERの目標品質を回収率95%以上で達成した。</li> </ul>	<p>FP型AIソータ開発について、プラント導入に向けて黒色ブラの識別精度向上とAI識別用データの拡充が必要である。製品別廃ブラの比重選別について、操業規模に応じたスケールアップのため水槽規模に適合したジグ自動制御機能の検証が必要である。いずれも現在実施中のNEDOプロジェクト「高度循環型システム構築に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発」に引き継いで検証中</p>
		LCA	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>本事業にて開発したプロセス評価モデルにより、新技術のライフサイクルCO2排出量を評価し、それが既存の技術よりCO2排出削減効果が大きくなる条件について見出した。さらに、炭素資源循環環境の指標を開発し、新CR技術を既存技術と比較評価した</li> <li>廃ブラローの推計結果をもとにした技術選択モデルと動的ブラ分析モデルにより、2030年、2035年のブラの地域別、部門別、種類別(性状考慮)フロー、新技術導入の可能性及び技術選択の望ましい組み合わせを示した</li> </ul>	<p>プロセス評価モデル、ライフサイクル技術選択モデル、動的ブラ分析モデルを開発し、ベストミックスシナリオの導出とその実現のための空間シナリオを提示した</p>
材料再生プロセス開発	廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ90%以上の材料強度(靱性)に再生する	多種多様な廃ブラだけでなく、バージン品においても物性向上が可能な新規ペレライズプロセスを開発した。さらに、成形品部位間の物性ばらつきがなく、ライフサイクル性にも優れた射出成形プロセスも開発した	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験機での検証を通じ、スケールアップが可能であることも実証</li> <li>マルチ電動制御バルブゲート金型による射出成形法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>普及のためには単軸でのプロセス開発研究が必要</li> <li>CAEによる流動解析定量的連携</li> </ul>

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

## 2. 目標及び達成状況 (2) アウトプット目標及び達成状況



# アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	最終目標 (2024年度)	成果	達成度	達成の根拠	課題と解決方針案
石油化学原料化プロセス開発	廃プラスチックを転換率70%以上で石油化学原料に転換する	連続触媒分解プロセスの概念設計を完了。石灰等が強い触媒毒となることがわかったため、石油化学原料への転換率70%を達成可能な廃プラスチックの種類には制約が生じることがわかった。	△	石灰などの触媒毒含有量が少ない廃プラスチックについては、触媒分解による石油化学成分に加え、残渣成分の重質成分を接流動触媒で分解することで収率70%の可能性を示した	基礎研究に立ち戻って触媒毒物質の特定や可能な対策技術を策定して、触媒分解の対象となる廃プラスチックの拡大を図る。スケールアップ時の昇温速度低下が触媒効率低下に影響する課題も表出。急速昇温可能な連続式試験装置で検証
高効率エネルギー回収・利用システム開発	再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用率80%以上を達成する	モナーおよびポリオレフィンの回収率の目標値（7割以上）を達成する条件を明確化し、TPA純度を99%とする処理方法を提案し、連続処理を実証した	○	連続処理を実証し、装置設計指針を示した	10万トン/年の装置設計が課題であり、重質油処理装置を参考にすることで解決する
		灰付着および化学腐食をそれぞれ低減できたとともに、熱駆動吸収式冷凍機により安定した氷スラリーも製造できた。また、総合熱利用システムによって総合エネルギー利用率が80%を上回ることを明らかにした	○	灰付着および化学腐食量をそれぞれ50%削減、4kW級熱リサイクルパッケージ製氷システムにより5℃の冷熱と氷充填率50%の氷スラリーに製造可能	施工法と皮膜構成の最適化を知財化し社会実装。冷熱製造・製氷システムのスケールアップによる実証試験の導入先の候補地の多様化と冷熱需要の拡大



# アウトプット目標の達成状況 (技術委員会意見)

研究開発項目		事業終了時までに見出された課題
高度選別システム開発	SR	<ul style="list-style-type: none"> <li>市場での流通量の多いポリエチレンやポリプロピレンの選別によりプラスチックのリサイクルは飛躍的に進むと考えられ、今後これらポリマーの選別対応が望まれる</li> <li>新たな評価指標としてCO2排出量と炭素資源循環度を示したことは成果として重要であるが、カーボンニュートラルの観点で継続した指標の検討が望まれる</li> </ul>
	LCA	
材料再生プロセス開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>物理再生はマテリアルリサイクルの手法となることは証明された。一方、何にでも使える手法では無い事も明らかになり、物理再生由来な化学劣化したプラスチック等に対して添加剤等の開発も望まれる</li> <li>企業と共に本技術の適用可能性の高い廃製品に絞リサイクルを行う事等、本成果の実用化の事例が望まれる</li> </ul>
	触媒分解	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼオライト触媒失活に繋がった添加物等の触媒毒が何であるかを明らかにする基礎研究の取組みが必要である</li> <li>触媒再生のための大量の触媒焼成プロセスを表現する手法の検討が必要である</li> <li>石油化学工業プロセスでの接触流動式分解装置 (FCC)を想定した評価はレトロフィットの手法の一つと考えられるが、何等かの既存の統合的なシステムを想定し、その中で触媒利用の有効性を示すことが望まれる</li> <li>今後の知見として、本取り組みの成果と課題を記録に残すことが必要である</li> </ul>
石油化学原料化プロセス開発	液相分解	<ul style="list-style-type: none"> <li>本装置 (高圧反応槽) の実用化に当たり、プロセスや経済性の課題の整理が必要である</li> <li>リサイクルされたポリオレフィンの高付加価値化が重要であり、様々な分子量の混合物から特定の分子量領域のポリオレフィンを製造する技術や片端末に二重結合をもつポリオレフィンを製造する技術への適用が望まれる</li> <li>装置の実用化検討にあたっては、生成物であるテレフタル酸や安息香酸の吸着、蓄積による設備腐食の検討も必要である</li> </ul>
	高効率エネルギー回収・利用システム開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>伝熱管表面へのセラミックス処理による焼却灰の付着防止の効果はあまり大きくなく今後見直しが必要である</li> <li>伝熱管への付着防止技術の開発が検討の中心になっているが、装置の稼働時間を向上させるには焼却設備トータルでの課題の抽出が必要である</li> <li>低温熱利用技術は広範な需要開拓、用途開拓のさらなる検討が望まれる</li> </ul>

## 研究開発成果の副次的成果等

### 【社会的効果】

- プラスチックリサイクル技術に関する社会的な要請は大きく、企業イメージアップ戦略として企業のリサイクル技術の導入が期待できる。
- 従来の廃プラスチックのダウンサイクルからアップサイクルへの合理的な転換を図り、カーボンニュートラル及び脱炭素社会への貢献に繋げていく。

### 【技術的効果】

- 高度選別技術の成果は、従来の廃プラスチックの人手による選別ラインの直接作業者を従来の1/3以下に低減可能。
- 材料再生プロセス技術の成果は、廃プラスチックだけでなく、バージンプラスチックの物性改善にも寄与。
- 石油化学原料化技術の成果は、石油精製設備の高度利用に対する世界的要請の実現にも寄与。開発した触媒は、プラスチックリサイクルのニーズをもつ企業に展開するとともに、プラスチックリサイクル以外の触媒プロセスにも寄与
- 高効率エネルギー利用の成果は、一般廃棄物焼却炉、セメント産業、製鉄業等に広く適用可能。また、焼却炉の設備メンテナンスの頻度を現状の1/2に削減可能
- リサイクルプロセスが確立されることで、より簡便にリサイクルできる製品設計に関する指針も確立する

### 【人材育成】

- プラスチック資源循環の観点で、ライフサイクル全体を見渡せるプラスチック製品設計ができるエンジニア、アカデミア人材の輩出
- 企業において、ノウハウに留まらない成形加工プロセスの専門人材育成への関心度の向上



## 特許出願

研究開発項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	計
高度選別システム 開発	0	2	1	1	2	6
材料再生プロセス 開発	1	3	1	0	0	5
石油化学原料化 プロセス開発	0	1	0	1	5	7
高効率エネルギー 回収・利用 システム開発	0	0	0	0	2	2
合計	1	6	2	2	9	20



## 論文発表等

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	合計
論文 (国際誌)	9	7	10	14	15	55
論文 (国内誌)	3	2	4	4	3	16
国際学会発表	2	25	29	36	28	120
国内学会発表	19	44	50	82	54	249
講演・講座	19	45	75	46	66	251
新聞・雑誌等への掲載	0	11	11	14	13	49
著書	5	15	4	7	5	36

## ＜評価項目3＞マネジメント

- (1) 実施体制
  - ※ 受益者負担の考え方
- (2) 研究開発計画

# 報告内容



ページ構成

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※本事業の位置づけ・意義  
(1)アウトカム達成までの道筋  
(2)知的財産・標準化戦略



2. 目標及び達成状況

(1)アウトカム目標及び達成見込み  
(2)アウトプット目標及び達成状況



3. マネジメント

(1)実施体制  
※受益者負担の考え方  
(2)研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- ※予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み
- 進捗管理：開発促進財源投入実績

## NEDOが実施する意義

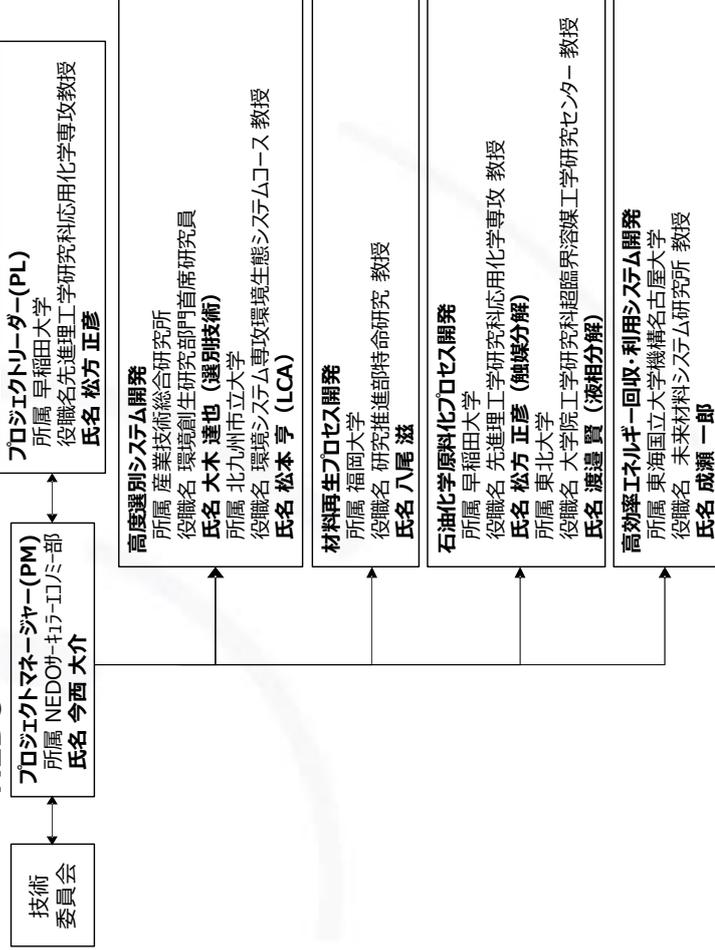
- プラスチックの資源循環の解決は国の方針に沿った重要課題であり、本事業によるプラスチックの資源循環並びにCO<sub>2</sub>排出量の削減は社会的必要性が高い。
- NEDOではこれまでに培ってきた各種素材のリサイクル技術の開発で得た知見や成果、ネットワークを活用し中長期的な技術開発を行うことが可能。
- 研究開発の難易度が高く、必要な投資規模が大きく、また実用化までのリードタイムが長いことから、民間企業だけではリスクが高い。

NEDOが持つこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業



# 実施体制

## NEDO



委託先：産業技術総合研究所、大栄環境、富士車輛  
再委託先：北海道大学、奈良先端科学技術大学院大学、芝浦工業大学、近畿大学、大阪大学

委託先：北九州市立大学  
再委託先：国立環境研究所、東京大学

委託先：福岡大学、産業技術総合研究所、プラスチック工学研究所、いそひ、富山環境整備、花王、TOPPAN、三菱電機、DIC、旭化成、三光合成  
再委託先：東京科学大学、神戸大学、山口大学、滋賀県立大学、九州工業大学、横浜国立大学、ライオン、メダスパッケージ、エスバンス

委託先：早稲田大学、石油エネルギー技術センター、コスモ石油、大日本印刷  
再委託先：鳥取大学

委託先：東北大学、産業技術総合研究所、東ソー、TOPPAN、東西化学、恵和興業  
再委託先：東洋インキ

委託先：東海国立大学機構、産業技術総合研究所、東北発電工業、八戸工業大学、東京電機大学、中央大学、高砂熱学工業  
再委託先：学校法人青山学院

## 個別事業の採択プロセス

### 【公募】

公募予告：2020年2月27日⇒公募：2020年3月30日⇒公募〆切：2020年6月26日

### 【採択】

採択案件：革新的プラスチックの資源循環プロセス技術開発

採択審査委員会：2020年7月8日

採択審査項目：NEDOの標準的採択審査項目

採択条件：無し

### 【採択審査委員】

区分	氏名	所属	役職 (当時)
委員長	橋本 征二	立命館大学理工学部環境都市工学科	教授
委員	大矢 仁史	北九州市立大学理工学部環境システム専攻環境資源システムコース	教授
委員	喜多川 和典	公益財団法人日本生産性本部	エコ・マネジメントセンター長
委員	多賀谷 英幸	国立大学法人山形大学工学研究科	教授
委員	長谷川 裕夫	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター研究開発本部	理事・研究開発本部長
委員	福島 康裕	国立大学法人東北大学工学研究科	教授
委員	福島 容子	シャープ株式会社スマートアプリケーション事業本部要素技術開発部	課長

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



## 個別事業の採択プロセス

### 【公募】

公募予告：2021年6月30日⇒公募：2021年8月20日⇒公募×切：2021年9月30日

### 【採択】

採択案件：石油化学原料化プロセス開発（液相分解）

採択審査委員会：2021年10月21日

採択審査項目：NEDOの標準的採択審査項目

採択条件：無し

### 【採択審査委員】

区分	氏名	所属	役職（当時）
委員長	喜多川 和典	公益財団法人 日本生産性本部	エコ・マネジメントセンター長
委員	多賀谷 英幸	国立大学法人 山形大学 工学研究科	教授
委員	橋本 智佳子	千代田化工建設株式会社フロンティアビジネス本部研究開発センター	シニア・リサーチャー
委員	藤田 照典	三井化学株式会社、中部大学	シニアアドバイザー/特任教授



## 予算及び受益者負担

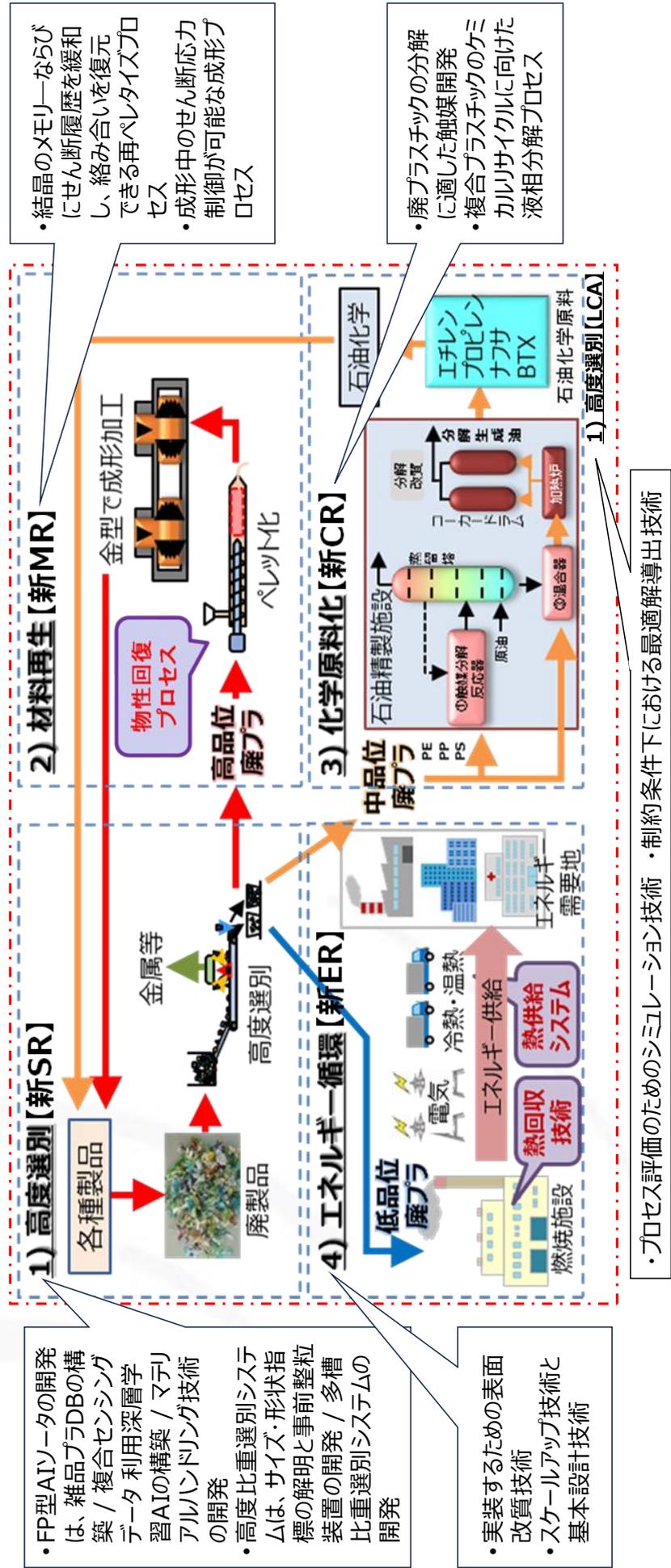
	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	合計
	5.92	9.83	12.35	8.83	5.51	42.44

実績額（単位：億円）

### 受益者負担：委託事業

廃プラスチックの処理には、材質、製品の汚染度など、様々な要因が要するために、マテリアルサイクル、ケミカルサイクル、サーマルリサイクルを回収プラスチックの品質に応じてバランスよく実施することで、処理量、環境性、経済性、CO2削減効果を最大化する必要がある。そのためには、本研究開発に於ける「高度選別技術」、「材料再生技術」、「基礎化学品化再生技術」、「高効率エネルギー回収・利用技術」の4つのコア技術開発の連携が必須であり不確実性が非常に高い。このため委託事業として進めたもの。

# 目標達成に必要な要素技術





# 研究開発のスケジュール

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
① 高度選別システム開発	廃棄物データ解析 前処理機構開発 評価モデル開発			廃棄物データ拡充 統括制御システム開発 評価モデルの完成		
	物理モデル構築 押出機構要素の検討 製品適用検討			物理劣化・再生モデル構築 新ベータシステムの検証 新射出成形プロセスの検証 製品適用実証		
	パイロットプラント概念設計 分解触媒の特性解析 ポリマー容器検査 モノマー回収率向上 回収ポリオレフィンの材料特性把握			実用プラスチックでの検証 高機能分解触媒の試作・評価 ポリCR容器の試作・評価 回収モノマーからのポリマー合成 押出機連続装置の製作・運転		
② 材料再生プロセス開発	高効率・高耐久伝熱管基礎検討 冷熱製造技術基礎検討 熱利用システム評価技術開発			高効率・高耐久伝熱管実証 冷熱製造統合システム構築・検証 熱利用システム評価モデル検証		
	③ 石油化学原料化プロセス開発					
④ 高効率エネルギー回収・利用システム開発						
	評価時期		中間評価			終了時評価

投入廃プラ配分の検討

全国最適導入計画

廃プラスチックの処理は、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルを回収プラスチックの品質に応じてバランスよく実施することが非常に重要で、投入廃プラ配分の検討を通じて、他ターマとの処理区分の境界を検討。また高度選別システム開発企画企業が扱う廃プラの他ターマへの提供を通じて、各種課題の洗い出しを実施

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

## 進捗管理



- NEDOの主催する委員会、実施者が率先して開催する委員会等の開催で定期的に進捗確認管理を実施

会議名	開催頻度	主催者
技術委員会	毎年1回以上開催	NEDOサークュラーエコノミー部
採択審査委員会	新規研究開発テーマ公募時	NEDOサークュラーエコノミー部
研究開発連携会議	毎年2回程度開催	実施者
PL・TL・STL 会議	毎年4回程度開催	実施者
進捗報告会議	1～3か月毎を目途に開催	実施者

# 進捗管理



## 【研究開発マネジメント事例】

- 技術委員会
    - 石油化学原料化テーマで、委員より新プロセスの可能性についての言及があり、NEDOのプロジェクトマネージメント内容として検討
      - ⇒ 石油化学原料化の研究開発項目でプロセスの選択肢の多様化を図るため、革新的なケミカルサイクル技術開発テーマを公募し廃プラスチックの新規分解技術研究テーマ（液相分解）を採択
  - 技術委員会
    - 技術の最新動向調査による比較により、ケミカルサイクル（触媒分解）研究開発の取組に対して方向性の確認を行う必要が出てきた
      - ⇒ ケミカルサイクル（触媒分解）研究開発に対して、技術の専門家を新たに委員委嘱し通常の技術委員会とは別に専門家委員会を開催する事により、実施計画書の見直し、残存課題の精査を行った
- 【以下技術委員会委員意見】
- 2023/12/27開催
- 熱分解技術と比較する場合は、欧米の建設中・運転中プラントとの比較が必要
  - 実廃プラを用いるゼオライト触媒分解を複数回行い、実廃プラ転化率／生成物選択率を示すこと
  - 開発触媒ができていない中で、実施者の実施内容を見直す必要がある
- 2024/4/2開催
- 競合技術、先行研究を十分整理し、触媒を用いるプロセスの新規性のポイントを明確にすること
  - 好ましくない結果こそ、早く正確に伝えること
- 2024/10/17開催
- ブランク実験において多くの熱分解が起こっていること。すなわち、触媒の影響は小さいこと。また、触媒劣化が起こっていること。一方実験条件を適切に管理できていない可能性がある
  - ゼオライト触媒を用いる廃プラ分解の結論を出させなければならぬ

### 【事業終了時の残存課題】（P.26記載内容）

- ゼオライト触媒失活に繋がった添加物等の触媒毒が何であるかを明らかにする基礎研究の取組みが必要である
- 触媒再生のための大量の触媒焼成プロセスを実現する手法の検討が必要である
- 石油化学工業プロセスでの接流流動式分解装置(FCC)を想定した評価はレトロフィットの手法の一つと考えられるが、何等かの既存の統合的なシステムを想定し、その中で触媒利用の有効性を示すことが望まれる
- 今後の知見として、本取り組みの成果と課題を記録に残すことが必要である

## 進捗管理：中間評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応	事業終了時点での結果
1	<p>今後は、多岐に亘る技術開発プロジェクトであるため、排出される国内の廃プラスチックの種類や量などの動向も踏まえながら、個別の研究開発項目と事業全体の整合性の向上について、更なる工夫を期待したい。</p>	<p>各研究開発項目が対象とする廃プラスチックの種類や量、また開発された技術によりリサイクルが可能と見込まれる量については、事業の中で関係性や整合性が検討されるよう、既にPL等を中心に議論を行っているところ。中間評価以降も技術開発で得た知見を基に、実施者による各処理技術へ投入されるべき廃プラスチックの種類、量の整合性の議論を進める。</p>	<p>高度選別システム開発事業者の調査により、大栄環境の雑品プラスチック別処理量と全国の廃プラスチック総排出量に関する実績と将来の見通しを調査した。新MR,新CR,新ERの実運用時の受け入れ案件の明示により採算性評価、事業化検討が可能になった。材料再生プロセス開発により、モノテリアル系ではバージン比90%までの高度物性再生を達成することができた。またバージン品でも物性向上できることを見出した。一方で複合材料では新たな発想による再生プロセスの構築が必要である。高効率エネルギー回収・利用システムでの開発材料により灰付着および化学腐食の両者を低減可能となった。それにより未利用排熱による冷熱製造とそれによる水スラリー製造の実現可能性が向上した。</p>
2	<p>今後、実用化・事業化に向けて、廃プラスチックを効率的に回収する方法や量、種類、品質等の理解を深めること、再生プラスチック材の需要分野や出口産業について戦略的に検討し、付加価値の付け方を意識しながら市場にPRを図ること、及び開発が先行しているテーマについては、実施者による事業化の加速を図ることを期待したい。</p>	<p>本事業の研究開発項目（高度選別）の中で様々な廃棄場所からの廃プラスチックの回収を進めている。継続的な情報収集を通じ、実用化・事業化時の回収方法の検討を深める。また、大学等からの再生プラスチック材を複数のユーザー企業へ提供することなどを通じ、ユーザー企業による再生プラスチック材利用の具体例を積み上げるなど、将来の技術利用を意識した取り組みを深める。</p>	<p>材料再生プロセス開発でのラポレベルの押出機による再生試験では、参画企業で良好な結果を得ることができた。また高性能実証試験機で高度再生を行ったリサイクルプラスチックにおいても参画企業だけでなく外部企業でも実用に供する性能を示すことが実証された。良好な結果を受けて、本格的な事業化検討を継続している。</p>



## 進捗管理：動向・情勢変化への対応

- 近年、従来のプラスチックケミカルリサイクル技術としての熱分解法技術の進化が見られ、再度代表的な熱分解法の研究開発状況の情報収集を行った
  - 従来の熱分解プロセスに比べ分解反応温度の低い事例
  - ナフサ、軽質留分、燃料油が主な生成物ではあるが、ナフサクラッカーとの併用で石化原料への転換の可能性
  - 但し異物（夾雑物含む）処理に関しては課題があるものと想定
- 対応
  - 技術委員会からの指摘もあり、触媒分解プロセススケールアップの検討を見直し、異物処理能力の観点で、リサイクラーから入手した実廃プラを用いた触媒分解プロセスの技術ポテンシャルと残存課題を確認する事とした

分類、項目	熱分解法		本事業 触媒分解法 (触媒、溶媒併用)
	無溶媒系	溶媒添加系	
	New Hope Energy / BASF	OMV / ExxonMobil	
目的生成物	ナフサ、軽質留分	ナフサ、燃料油	石化原料 (C2~C9A≧70%)
副生成物	重質留分、Coke	ワックス、Coke	燃料油留分
反応温度	350~550 / 420℃	300~360℃ / 370~500℃	400℃
反応時間	5hr (特許より) / 不明	循環 (予想≧1hr) / 不明	1hr
溶解・溶解	押出機・溶解タンク / 不明	押出機⇒溶媒混合	溶融・溶解槽 (溶媒混合)
反応器	攪拌槽型 / 不明	不明	攪拌槽型 (圧力容器)
異物除去	不明	不明	ろ材 (樹脂膜他)
生成物分離	分留塔 (4成分)	分留塔 (4成分)	分留塔 (2~3成分)

ケミカルリサイクル (触媒分解) 事業者による調査情報の例



## 進捗管理：成果普及への取り組み (NEDO特別講座)

- プロジェクトの発展・成果普及を図るため、成果の社会実装や関連する先端技術分野等の将来を担う人材の育成、新たなニーズまたは技術シーズの発掘や技術の応用・発展に繋がる人的ネットワークの構築に向けて材料再生技術に関するNEDO特別講座を実施中 (2024年度～2025年度)

### NEDO特別講座実施内容

①人材育成講座の実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. 当プロジェクトにより廃棄プラスチックの高度物性再生を実現した、「物理劣化・物理再生理論」の基礎となる高分子の基礎物性 (レオロジー、溶融時の絡み合い構造 (最長緩和時間)、結晶構造、メモリ効果など)</li> <li>ii. 上記物性を評価する実験手法と解析手法</li> <li>iii. 高分子の分子運動論とシミュレーションを用いた物理劣化・物理再生メカニズム解析法</li> <li>iv. 製造対応技術 (射出成形、押出成形)</li> <li>v. プラスチックのマテリアルロー</li> <li>vi. 学会参加や論文などを通じて得た海外動向などマテリアルサイクルの推進に重要な情報が情報一般</li> </ul>
②人的交流などの展開	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. 専門家による招待講演</li> <li>ii. シンポジウム・ワークショップの開催</li> <li>iii. 講座参加者と主体とした意見交換会の実施</li> <li>iv. 大学 - 企業、企業間の共同研究の推進</li> </ul>
③周辺研究の実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. 福岡大学などの研究施設見学</li> <li>ii. 講座参画企業の試料を用いたサンプル評価や分析・評価手法の検討</li> </ul>

NEDO特別講座
特別講座の目的
講座概要
講座スケジュール
講座受講申込

• 題目：物理劣化・物理再生理論概要説明/実験設備・実習実験

• 講師：八尾 滋 特任教授 (福岡大学)、高取 水一 客員教授 (福岡大学)

• 招待講演講師：府川 伊三郎 氏 (旭リサーチセンター)

• 招聘講師：前田 修一 氏 (高分子学会フェロー)

アーカイブ動画



第1回 2024年10月4日～5日 ナビエンテック  
2024年11月21日 NEDOLABOR

NEDOプロジェクトを継ぐ人財育成、高度物性等の社会的価値  
「物理劣化・物理再生理論概要説明」  
「プラスチックの高度物性再生の  
開発」  
「形成に係る特別講座」

YMR

「物理劣化・物理再生理論概要説明」  
「プラスチックの高度物性再生の  
開発」  
「形成に係る特別講座」

### NEDO特別講座実施実績 (総計約400名が参加)

実施日	実施場所	講座テーマ	参加者数
2024年11月21日	オンライン	講座開催の説明会	85
2024年12月4日、5日	福岡大学	物理劣化・物理再生理論概要説明	118
2024年12月24日	滋賀県立大学	高分子溶融物性・レオロジー基礎	142
2025年1月22日	神戸大学	高分子固体物性・結晶物性基礎	171
2025年2月20日、21日	福岡大学	高分子内部構造ならびに流動解析	135
2025年3月11日、12日	島津製作所	革新的プラスチックマテリアルサイクルシンポジウム	129
2025年4月17日、18日	広島テクノセンター 広島大学デジタルものづくりセンター	射出成形と高度マテリアルサイクル	130
2025年5月22日、23日	福岡大学	押出成形・繊維成形と高度マテリアルサイクル	119
2025年6月26日、27日	福岡大学	計算科学と高度マテリアルサイクル	86

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

HPにおいては、過去講義のアーカイブ公開

# 進捗管理：成果普及への取り組み



### プラスチックマテリアルサイクルの現状と将来課題に関するシンポジウム

参加費 無料

日時 2022年3月9日(木) 13:00 - 17:30

場所 アルカディアホール 4階 風見 東京都千代田区有明4-2-25

主催 理研大学 環境・健康マテリアル研究所

申込み <https://www.greentech.or.jp/>

お問い合わせ 理研大学 環境・健康マテリアル研究所 [pm@greentech.or.jp](mailto:pm@greentech.or.jp)

**\*プログラム\***

基調講演 「マテリアルサイクルの成長の動向と日本の課題」 岸川 伊三郎 株式会社リサーチセンター・シニアリサーチマネージャー

事例紹介 「木本町における資源循環型プラスチックの再生利用プロジェクト紹介」 尾島 公彦 株式会社 尾島本町 副社長 第一産業部部長 近藤 雄代子 九州大学 教授 高野 賢司 いそ株式会社 取締役 副社長 第一産業部部長

「デジタル技術を活用した移動員回収事業」 野向 啓 レコテック株式会社 CEO

「産業廃棄物からの資源回収 - 廃棄物の再資源化の取組み」 今井 康典 株式会社 東山建設環境イノベーション事務局 部長

「リサイクルプラスチックの環境性能向上への取組み」 八尾 道 理研大学 教授

「花王のプラスチック循環型製品 環境対応への取組み」 植原 貴一 花王株式会社 包装技術開発部 部長

「プラスチック資源循環型から変化する プラスチックの環境性能向上への取組み」 久保 重紀 プラスチック環境技術センター 部長

材料再生プロセス開発成果についてシンポジウムを開催し広く技術成果を一般に公開 (2022年3月9日開催)

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

### 高効率エネルギー回収・利用システム開発セミナーのご案内

特別非営利活動法人 産業技術総合開発機構 (NEDO) 主催、2022年度「高効率エネルギー回収・利用システム開発」の成果を報告し、広範囲にわたる技術成果について相互の取組や今後の取組について、関係者の方々に共有し、関係者の方々の取組を促進することを目的として開催いたします。

日時：2022年7月1日(金) 13:00 - 17:30

会場：NEDO 会議室 (東京都千代田区千代田1-1-1)

参加費：無料 (ただし、会場費がかかります)

申し込み：NEDO 事務局 (〒100-0001 東京都千代田区千代田1-1-1) [seminar@nedo.go.jp](mailto:seminar@nedo.go.jp)

お問い合わせ：NEDO 事務局 (TEL: 03-5425-1111)

主催：NEDO 事務局

共催：理研大学、環境・健康マテリアル研究所、資源化学工学部、資源化学工学部、資源化学工学部、資源化学工学部

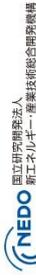
協賛：理研大学、環境・健康マテリアル研究所、資源化学工学部、資源化学工学部、資源化学工学部、資源化学工学部

開催日時：令和4年7月1日(金) 13:00 - 17:30

会場：NEDO 会議室 (〒100-0001 東京都千代田区千代田1-1-1)

高効率エネルギー利用開発成果についてセミナーを開催し広く技術成果を一般に公開 (2022年7月1日開催)

# 進捗管理：成果普及への取り組み



三

## 温水を使用した氷スラリー製造の連続化に成功

— 未利用熱を活用し、高い熱利用効率を実現 —

2024年5月29日  
NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）

NEDOの委託事業である「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」（以下、本事業）で学校法人八戸工業大学は、学校法人東京電機大学、高砂熱学工業株式会社と共同で、温水から氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機と氷スラリー製造機を組み合わせた「熱リサイクルパッケージ（冷熱出力3kW）」（以下、本パッケージ）を開発し、低温温水から氷片と水が混合した流動体である氷スラリーを連続して製造することに成功しました。

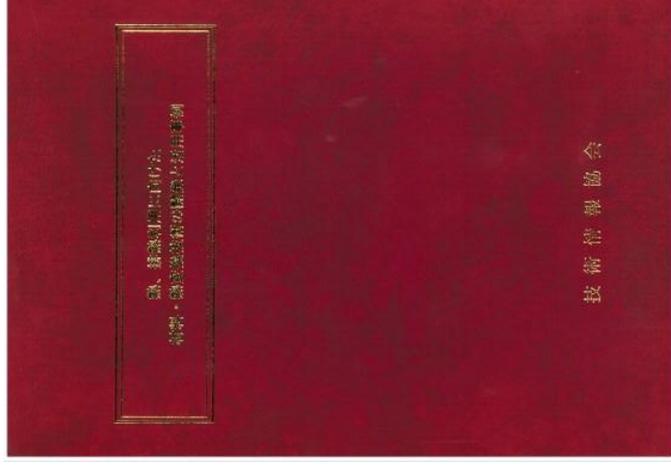
本パッケージは、廃プラスチックなどを燃焼によってエネルギー回収する際に排熱として捨てられている低温の未利用熱エネルギーを氷スラリーに変換するもので、排熱回収として高い熱利用効率を実現するとともに、農産物、水産物などの輸送時冷蔵保冷剤として年間を通じて排熱の利用を可能にします。

本パッケージを使うことで、工場などから排出される低温の未利用熱を、工業、運輸、農林水産といった分野と連携するハブとなり、脱炭素社会実現へ貢献します。



温水から氷をつくれ！ 排熱商業利用の実現に迫る  
パッケージの記者発表会を開催し実験を公開  
(2024年5月29日開催)

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



## 書籍「熱、排熱利用に向けた材料・熱変換技術の開発と活用事例」

第6章 産業排熱活用に向けた工場・生産設備での蓄熱、熱利用技術の応用事例  
第9節 未利用熱を活用できる温水を使用した氷スラリー製造の連続化技術の開発  
(技術情報協会, 2025年5月30日)

## 進捗管理：成果普及への取り組み

### 【モノづくり日本会議】



- 第37回新産業技術促進検討会シンポジウム 2022年3月1日  
NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト 進捗報告会
- 第45回新産業技術促進検討会シンポジウム 2023年8月2日  
NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト 進捗報告会
- 第56回新産業技術促進検討会シンポジウム 2025年5月16日  
NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト 報告会

### 【その他講演】

- Japan Pack 2022 (2022年2月16日)  
プラスチック循環技術の確立に向けたNEDOの取り組みについて
- 化学工学会 化学工学ビジョンシンポジウム「エネルギー・資源循環に貢献する化学工学」(2023年3月15日)  
NEDOにおける資源循環技術開発の取り組み
- IPF Japan 2023 (2023年11月29日)  
革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発プロジェクトの概要
- 富山県グリーン分野研究会第4回技術セミナー(2025年1月16日)  
プラスチック循環技術の確立に向けたNEDOの取り組みについて

# 進捗管理：開発促進財源投入実績

2021年度	百万円	件名・目的	成果
高度選別システム開発	16	廃プラスチック選別装置機構の改良のため 美廃プラの形状・サイズ多様性に対する分析データの大量取得のため	混合プラスチック成層化の制御性向上および高精度化による研究開発の加速 美廃プラに対するテラヘルツ分光データベースの構築による研究開発の加速
材料再生プロセス開発	47	成形装置によるフィルム製膜および実験装置の改良による洗浄機構の導入のため NMR分析による試料の形状多様性に対応するため	容器包装リサイクルプラスチックの再利用における製品化適用範囲の拡大と実験データベースの効率向上による研究開発の加速 プラスチックの内部構造変化と物性変化との相関関係の解明による研究開発の加速
石油化学原化プロセス開発	39	粒子径分布測定装置および分光分析装置による触媒性能評価のため TG-DTAの導入による廃プラスチックの熱分解性能の評価のため FCCライザーベンチプラント評価に向けたプロトタイプ装置の改良のため	廃プラスチック分解触媒開発に向けた評価基盤の整備による研究開発の加速 各種プラスチックの熱分解性能の基盤データベースの構築による研究開発の加速 ベンチプラント評価におけるフィードノズル閉塞条件の抽出による研究開発の加速
高効率エネルギー回収・利用システム開発	29	冷熱需要を踏まえた低温廃熱利用の実証サイト検討のため 低温廃熱の熱輸送媒体（吸着材）に関する連続乾燥装置の多段化改造のため 低温廃熱を利用した冷媒性能の評価装置およびベンチスケールの吸収冷凍機の改良のため FT-IRおよび顕微鏡に導入による冷熱輸送媒体（水スラリー）の流動性評価のため	ごみ焼却設備との魚港（冷熱需要地）の実証サイトの候補地抽出による研究開発の加速 連続乾燥装置のスケールアップによる研究開発の加速 冷媒の物性予測手法の早期確立およびパイロットスケール機の製作の課題抽出による研究開発の効率的な推進と加速 水スラリーの熱流動特性の把握による閉塞条件の解明と高精度評価手法の確立による研究開発の加速



# 進捗管理：開発促進財源投入実績

2022年度	百万円	目的	成果
高度選別システム開発	28	廃プラスチック選別装置機構の改良のため	後段のリサイクル工程（特にケミカルリサイクル）向けに連携的に供給する廃プラスチックの精密選別の実現による研究開発の加速
		廃プラの各種選別工程におけるデータおよび実廃棄物のマテリアルハンドリング動作データの大量取得のため	実廃プラスチックに対する精密選別条件の策定および深層学習AIの基礎データベースの構築による研究開発の加速
材料再生プロセス開発	65	中規模スケールの樹脂溜まり付き押し出し機の機構改良のため	過年度で検証済の改良要素に関するより高度なプラ物性の再生効果の検証による研究開発の加速
		PD研究員の採用および実プラ組成分析外注による物性再生効果の解明のため	多種多様な廃プラスチックに対する物性再生効果の網羅的な検証と効率的なデータ蓄積による研究開発の加速
		樹脂溜まり付き押し出し機に適用可能な異物除去機構改造と検証データ蓄積のため	実廃プラへの適用可能性およびプロセスの経済性検討による新規押し出し機の研究開発の加速
		樹脂溜まり付き押し出し機のスケールアップ検討に向けた樹脂流動解析のため	押し出し機のスケールアップ検討による研究開発の加速
		成形金型のバルブゲート機構の改良要素増設に伴うデータ取得のため	成形時の樹脂物性劣化抑制する最適化条件の抽出による研究開発の加速
石油化学原料化プロセス開発	83	物性再生樹脂を用いた成形後の大型製品に係る物性データの追加取得のため	物性再生効果の製品化適用可能性の見極めによる研究開発の加速
		装置設置に伴う研究員の移動のため	中規模スケールの樹脂溜まり付き押し出し機のセッティング確認
		忌避成分および異物除去成分の特定に伴うプラント設計に関する追加的な検討のため	想定される廃プラスチック種類の対応範囲拡大と円滑なプラント設計に関する研究開発の加速
高効率エネルギー回収・利用システム開発	59	押し出し機の改良要素増設のため	新規押し出し機の小型化検討に向けた研究開発の加速
		高圧反応装置の導入による複合樹脂材料のモマー化反応の追加データ取得のため	多種多様な複合材料プラの対象範囲の拡大による研究開発の加速
		大面積化した表面改質試料に対する組成分析装置の導入のため	表面改質手法の検討に向けた実験データ蓄積に係る研究開発の加速
		改質材料の候補選定における分析試料の前処理装置の導入のため	候補材料の選出と絞り込みに向けた実験データ蓄積に係る研究開発の加速
		実廃棄物焼却サイトに設置する改質材料のその場観察機構等の導入のため	実廃ガスの耐久性の検討に係る研究開発の加速
		粒子温度測定装置の導入による低温廃熱輸送媒体粒子の詳細温度の特定のため	伝熱シミュレーションの最適化および総合熱マネジメントツールによる評価の高精度化に係る研究開発の加速

### 3. 目標及び達成状況の詳細

#### 3.1. 研究開発項目①高度選別システム開発

##### 3.1.1. ①-1 高度選別システム開発 (SR)

###### ・フィールドピックアップ (FP) 型 AI ソータの開発

テーマ名	フィールドピックアップ (FP) 型 AI ソータの開発	達成状況	○
実施者名	国立研究開発法人産業技術総合研究所 大栄環境株式会社 富士車輛株式会社		
達成状況の根拠	前処理、AI 識別、ロボットピックアップの工程を統括制御するベンチスケールの選別システム開発し、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/3 (8m <sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の廃棄物を 5 分以内で処理) を確認した。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>NEDO 基本計画のアウトカム目標である、2030 年までに、これまで国内で再資源化されていなかった廃プラに対し、新 MR : 86 万 t/年、新 CR ; 87 万 t/年及び新 ER : 108 万 t/年の再資源化を実現する上で、必要不可欠な選別技術として、本研究開発では、国内の製造・物流事業者等から排出される廃プラ・混合廃プラ、金属・がれき等の不燃物、紙・木等の可燃物で構成される産業廃棄物である「雑品プラ」を選別対象とし、容積 8m<sup>3</sup>のコンテナ 1 台当たり 5 分以内で処理し、新 MR・CR・ER の目標品質を回収率 70%以上で回収する廃プラ自動選別システムの開発を目的とした。雑品プラに含まれる廃プラの種類は、PP、PE、PS、PVC、PET 等の汎用プラ、ラミネート材等の複合プラ、各種工業用プラがあり、大きさ(長さ)は数 cm ~ 数 m、重量は数 10g~数 kg と広範囲に分布する。形状は板状、棒状、フィルム状、紐状、巻物状と様々であり、色は濃色~黒色の物を含め千差万別である。このような複雑組成の混合廃棄物に対し、直ちに適用可能な自動選別技術は現状皆無であり、人手を介した粗選別(手選別や重機による選別)が行われている。本研究開発ではこれを自動化する「フィールドピックアップ (FP) 型 AI ソータ」を開発するため、以下の 3 つの研究項目を設定して検討した。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>雑品プラデータベースの構築</u> (産廃情報を自動選別に活用するための基盤構築)              どのような廃プラが存在するか、新 MR、新 CR、新 ER への最大分配量はどの程度見込めるかを検討。</li> <li>2) <u>複合 SD 利用深層学習 AI の構築</u> (FP 型 AI ソータを実現するための識別アルゴリズム開発)              多種類プラを荷姿のまま AI で識別するために、材質データ等の最適な検出、加工、解析法を検討。</li> <li>3) <u>マテリアルハンドリング技術の開発</u> (FP 型 AI ソータを実現するための装置・プラント開発)              廃棄物の形状や材質に応じて使い分けるロボットピッキングシステムとその前処理機構を検討。</li> </ol> <p>●アウトプット目標</p> <p>本研究開発では、以下の目標を達成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中間目標 : 8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の新 CR 向け廃棄物(新 CR モード適用コンテナ)に対して、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/2 (7 分 30 秒以内) とするための要素技術を確認する。</li> <li>・最終目標 : 前処理、AI 識別、ロボットピックアップの工程を統括制御するベンチスケールの選別システムを介し、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/3 (8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の廃棄物を 5 分以内で処理) とするための システムを確認する。</li> </ul> <p>●実施体制</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国立研究開発法人産業技術総合研究所             <ol style="list-style-type: none"> <li>2) 複合センシングデータを利用した深層学習 AI の構築(可視~近赤外域のセンシング)</li> <li>3) マテリアルハンドリング技術の開発 (FP 型ソータ試作機の開発)</li> </ol> </li> <li>再委託先             <ul style="list-style-type: none"> <li>・国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学 (2023 年度より国立大学法人大阪大学に継承)                 <ol style="list-style-type: none"> <li>2) 複合センシングデータを利用した深層学習 AI の構築(可視域のセンシング)</li> <li>3) マテリアルハンドリング技術の開発(双腕ロボットによるピッキング)</li> </ol> </li> <li>・学校法人芝浦工業大学</li> </ul> </li> </ul>			

- 2) 複合センシングデータを利用した深層学習 AI の構築(テラヘルツ域のセンシング)
- ・ 学校法人近畿大学 (2022 年度まで)
- 2) 複合センシングデータを利用した深層学習 AI の構築(ラマン分光によるセンシング)

- ・ 大栄環境株式会社

- 1) 雑品プラデータベースの構築

- ・ 富士車輛株式会社

- 3) マテリアルハンドリング技術の開発(前処理機構)

- 成果とその意義

雑品プラ中の廃棄物情報を排出事業者ごとに整理したデータベースを構築した。また、ベルトコンベヤ上の選別エリア全体を視野に入れた「広域センシング」と、ロボットアーム先端部での「局所センシング」の 2 段階で構成する廃プラ識別システムを開発、特に従来技術では識別が難しい黒色プラに対してテラヘルツ域のセンシングを活用した新たな識別手法を開発した。さらに、雑品プラの供給・分散等の前処理を自動化するシステム、並びに雑品プラ DB に記録された最適分配を学習した AI の指示によりロボットピッキングを行う自動選別システム(現状比 1/3 の処理時間)を開発した。

産業廃棄物の雑品プラには、同一の排出事業者から定期的に同じ廃棄物が繰り返し出てくるといった性質があり、排出事業者ごとに荷姿、プラの種類、異物の種類をある程度限定することができる。コンテナ車による入荷状態で「単一種の廃プラ」や「再利用先が同じ廃プラ混合物」も多く、すべて混ぜた後、多段機械選別を行う従来技術では処理コストが増大する。本研究開発では、欧州ソーティングセンター(1 施設で 10~15 台以上のコンベヤソータを使用)のような大規模処理(10~15 万トン/年)を前提としない、国内各地に分散する産廃処理業者の処理施設での活用を想定した、より小規模かつワンパスで雑品プラを用途別に回収可能な自動選別システムを開発した。

- 実用化・事業化への道筋と課題

本研究開発において、前処理装置群とロボットピッキング装置の連携制御機構を開発し 一体的な運用が可能なシステムを構築した。すでに雑品プラ実サンプルを選別対象として開発を進めており、基本性能はそのまま商用機に反映可能である。産業技術総合研究所において、現在実施中の NEDO 委託事業「高度循環型システム構築に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発」に引き継ぎ、今後さらに 3~4 年をかけて広範な雑品プラを対象に AI 識別用データの拡充を進め、新 CR、新 MR、新 ER 実用化時のプラ選別工程導入を実現する。また、大栄環境において、リサイクル先での受け入れ条件について、新 CR 等と連携し、品質・荷姿などの条件を整理し、また、装置への投入対象となる量を雑品プラ DB から推定し、国内の廃棄物処理業者等へのヒアリング結果とあわせて、国内に潜在する対象量を導き出す検討を実施しており、今後の検討を通じて、事業採算性を確保できる見通しになれば、ピッキング機構を増設した年間 2~5 万 t/台の処理能力を有する商用規模のパイロットシステムを開発する予定である。商用機の製造は富士車輛株式会社と産総研が共同で進める。装置費は現行のロボット選別機と同等の 2~2.5 億円を想定しており、ソータ選別に要するコストは、10~15 円/kg(選別費 2~5 円/kg(償却期間 5 年)、出荷前サイズ・形状調整費 8~10 円/kg)と試算している。

## ・高度比重選別システムの開発

テーマ名	高度比重選別システムの開発	達成状況	○
実施者名	国立研究開発法人産業技術総合研究所 大栄環境株式会社		
達成状況の根拠	開発した新基準整粒装置ベンチスケール機、多層ジグベンチスケール機を用いて、実廃棄物の製品別廃プラの比重選別を実施し、新 SR が想定する新 MR・新 CR・新 ER の目標品質を回収率 95%以上で達成した。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>[背景]</p> <p>日本では、2019 年にプラスチック資源循環戦略が提唱され、2035 年までに使用済みプラスチックを 100%リユース・リサイクルすることが目標とされた。廃プラスチックのリサイクル率向上には、リサイクル業者が自主的に選別し、継続的に MR、CR および ER 用途へ廃プラを提供するため、より低コストに高純度な廃プラを回収可能な高度 SR 技術の確立が欠かせない。特に低品質な廃プラを、プラスチック種類や純度に応じて MR、CR および ER へ最適分配するための SR 技術が不可欠である。</p> <p>[目的]</p> <p>本研究開発項目では、廃プラスチックのうち、およそ 5cm 以下の廃製品破砕物の金属回収後の残渣分(以後、「製品別プラ」)を選別対象として、多成分同時に高精度な比重選別を実現する、高度比重選別システムを開発する。比重選別には、低コスト・高精度なジグ選別を採用するが、組成未知の多種混在物である製品別プラを選別するとき、ジグ選別には 2 つの弱点がある。1 つは様々なサイズ・形状が混在する場合に選別の境界条件が比重だけで決まらず高精度な選別ができないこと、もう 1 つは構成比未知の多種混合物を対象としたとき選別状態が視認できないため装置制御ができないことである。この 2 つの課題を克服するために、以下の 2 つの研究項目を設定して検討した。</p> <p>1) サイズ・形状要件の解明と事前整粒装置開発 サイズ・形状の特徴量を統一化した境界条件(ジグにおける新整粒基準)を明確にし、その境界条件で事前整粒が可能な、新基準整粒ユニットのベンチ試験機を試作する。</p> <p>2) 多槽比重選別システムの開発 ジグ水槽内の層状態を認識するセンシング技術、層厚を制御する排出制御技術を開発し、自動制御化した多槽比重選別システムのベンチスケール機を試作する。</p> <p>[プロジェクトアウトカム目標との関係]</p> <p>NEDO 基本計画のアウトカム目標である「2030 年までに、これまで国内で再資源化されていなかった廃プラに対し、新 MR : 86 万 t/年、新 CR ; 87 万 t/年及び新 ER : 108 万 t/年」を実現するためには、新 MR、新 CR および新 ER の要求品質に応じた廃プラを供給するための選別技術が必要不可欠である。</p> <p>●アウトプット目標</p> <p>本研究開発では、以下の目標を達成した。</p> <p>・中間目標 「製品別プラ基準試料」に対し、新 MR・CR・ER で再資源化可能なプラ組成の産物を回収率 95%以上で実現できる、洗浄・湿潤条件や、ジグ選別機の層厚・排出制御機構を開発し、大栄環境の提供する「製品別プラ」実試料に対する適用可否を判断する。また、新 ER 向け乾式選別の適用可能性を検討するとともに、洗浄・湿潤ユニット、多槽ジグ選別ユニットの基本性能を備えたベンチ試験機を試作する。</p> <p>・最終目標 高精度化に向けた改良を加えて、新 MR・CR・ER の目標品質を回収率 95%以上で実現できる一連の多槽比重選別システムのベンチスケール機を完成させる。また、実プラントへの導入を想定して開発システムの性能や新 MR、新 CR および新 ER の分配特性や採算性等を試算・評価する。</p> <p>●実施体制</p> <p>・国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>1) サイズ・形状要件の解明と事前整粒装置開発</p> <p>2) 多槽比重選別システムの開発</p> <p>再委託先</p> <p>・国立大学法人北海道大学</p> <p>2) 多槽比重選別システムの開発</p>			

・大栄環境株式会社

- 1) サイズ・形状要件の解明と事前整粒装置開発
- 2) 多槽比重選別システムの開発

●成果とその意義

従来のジグ選別機は廃プラ選別に不適な弱点が存在する。製品別プラは、様々なサイズ・形状が混在することで高精度な比重選別ができず、また構成比未知の多種混合物であり選別状態を視認できないため適切な装置制御ができない。これらの要因により高品質の廃プラを回収できないことで、プラスチックの再資源化が困難となっていた。本開発項目にて、高精度な比重選別を実現するための整粒基準に必要なパラメータを統合したサイズ・形状指標統一指標を解明し、新基準整粒装置のベンチスケール機を開発した。また、構成比未知試料を自動選別する多槽ジグのベンチスケール機を開発した。これら新基準整粒装置～洗浄・湿潤装置～多槽ジグからのなる一連の多槽比重選別システムを用いて、実廃棄物の製品別廃プラの比重選別を実施し、新 SR が想定する新 MR・新 CR・新 ER の目標品質を回収率 95%以上で達成した。開発装置の製品化、普及によりアウトカムに必要な廃プラ回収物を新 MR, 新 CR, 新 ER に提供可能となることが期待できる。

●実用化・事業化への道筋と課題

本研究開発において、製品別プラを対象とした低コストな自動選別の基盤技術を構築した。装置を実用化(製品化)する上での課題は、スケールアップに関する検証である。構成比既知試料を人の経験則で制御する従来ジグにおいては鉱山等で既に大型装置が利用されておりジグ選別機の機械構造をスケールアップは容易である。しかし、本事業で開発した自動制御機構を操業規模に応じてスケールアップするためには水槽規模に適合したジグ自動制御機能の検証が必要となる。具体的にはジグ水槽内の粒子層の状態を適切にセンシングするためのセンサー配置の検証が必要となる。この課題は現在実施中の NEDO プロ「高度循環型システム構築に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発」に引き継いで検証し、3 年程度で製品化予定である。製品化した商用機は、試験機を製造した日本エリーズマグネチックス(株)、(株)アール・アンド・イーが製造可能である。また、開発した高度比重選別システムは汎用的な比重選別装置であるため、廃プラ以外の選別にも適用可能である。前述の NEDO プロ「高度循環型システム構築に向けた廃電気・電子機器処理プロセス基盤技術開発」において、廃プラ以外の多様なニーズに対する適用可能性検証、装置カスタマイズを実施予定である。

新 MR、新 CR、新 ER に対する廃プラ供給を事業化するためには、各受け入れ先(新 MR、新 CR、新 ER)から、実運用における品質などの受け入れ条件、買取単価(処分費単価)が明示された後、採算性を評価し、事業化の判断をする必要がある。大栄環境では、自社グループの廃プラ処理量の実績、将来の見通しから高度比重選別システムで受け入れ可能な製品別プラ量を試算可能であり、受け入れ条件が明示されれば採算性評価が可能となる。事業の採算性が確保できれば、商用規模のパイロット機を導入する計画である。一方で、廃プラ処理では、開発した高度比重選別システムにより、新 MR、新 CR、新 ER 以外の従来の流通ルートへの供給も可能である。新 MR、新 CR、新 ER の実用化を待たずに選別システムの導入し、新 MR、新 CR、新 ER が実用化された後、各受け入れ先(新 MR、新 CR、新 ER)の受け入れ条件に適合した装置運転条件に変更し新 MR、新 CR、新 ER への供給を開始するなど、選別システム導入後に段階的に供給先を変更する方法も視野に入れている。この段階的なシステム導入は、現状で廃プラの選別が不十分な中間処理業者の産廃処理コスト削減に特に有効と考えられる。

開発した装置の普及については、産総研で実施している SURE(戦略的都市鉱山研究拠点)の活動を通じて普及を推進する。装置の展示・デモ、技術者育成、ニーズの開拓を通じて、対象物を廃プラに限定せず多様なニーズに向けて、メーカーと協力し装置の販売展開を進める計画である。

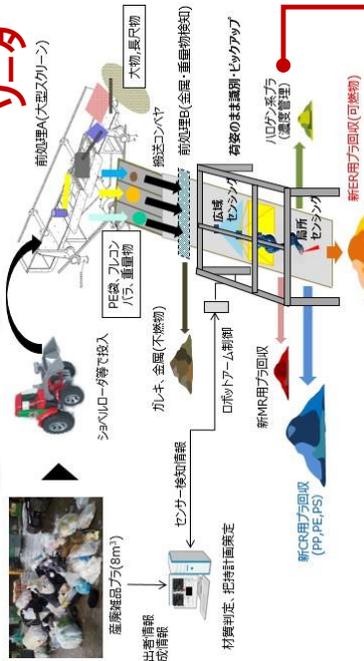
# 高度選別技術の説明 (選別技術)



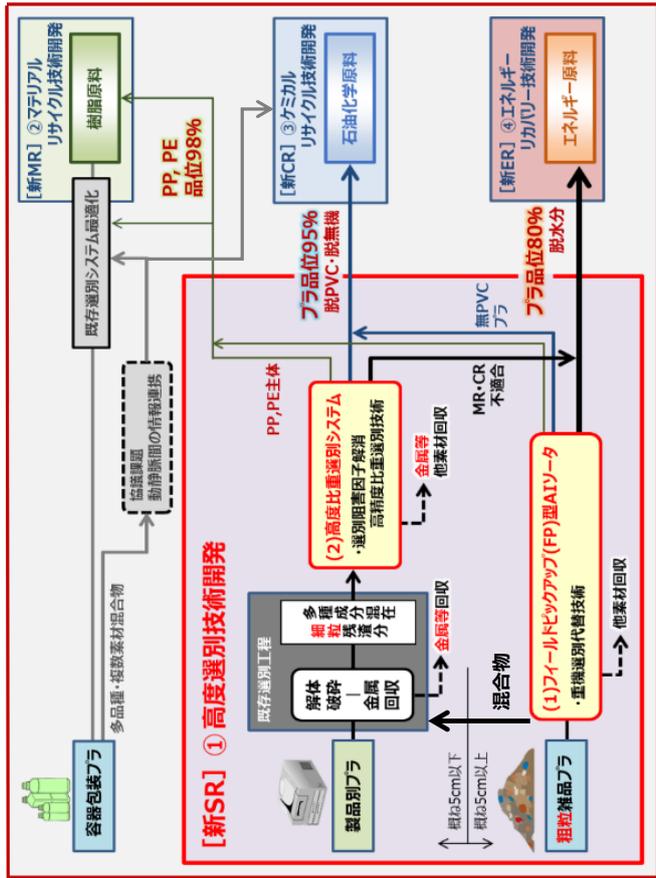
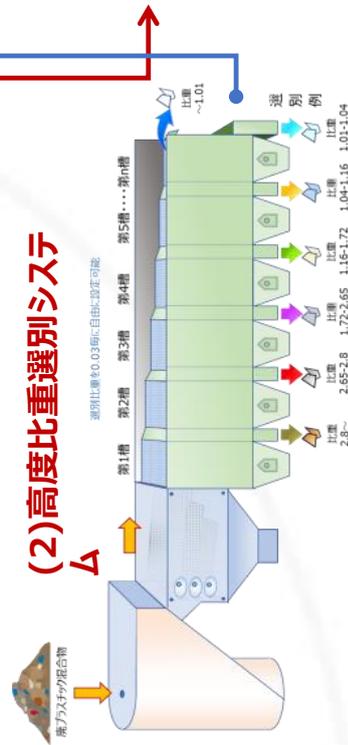
## ■ 高度選別システム開発

- 廃プラ・混合廃プラ、金属・がれき等の不燃物、紙・木等の可燃物で構成される「雑品プラ(粗粒)」、製品から金属回収後の「残渣分(細粒)」から、新CR、新MRあるいは新ERに再利用可能な産物を経済的合理的な選別可能とする。

### (1) フィールドピッキングアップ(FP)型AIソータ



### (2) 高度比重選別システム



#### 新SR目標値

- 新MR用：PP, PE品質 98%以上
- 新CR用：PVCを除くプラの品質 95%以上
- 新ER用：プラ品質 80%以上



## 高度選別技術の目標達成状況 (選別技術)

開発項目	目標 (2025年3月)	成果 (2025年3月)	達成度	達成の根拠/解決方針
①「フィールドピックアップ(FP)型AIソータの開発」	前処理、AI識別、ロボットピックアップの工程を統括制御するベンチスケールの選別システムを介し、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/3(8m <sup>3</sup> コンテナ1台分相当の廃棄物を5分以内で処理)とするためのシステムを確立する。	前処理、AI識別、ロボットピックアップの工程を統括制御するベンチスケールの選別システムを構築し、前処理を含む選別工程の処理時間262秒(4分22秒)を確認。	○	開発した試験設備(前処理、ロボットピックアップ)を用いた実験により実際の処理時間を確認。
②「高度比重選別システムの開発」	高精度化に向けた改良を加えて、新MR・新CR・新ERの目標品質を回収率95%以上で実現できる一連の多槽比重選別システムのベンチスケール機を完成させる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・整粒基準に必要なパラメータを統合したサイズ・形状指標統一指標を解明し、新基準整粒装置のベンチスケール機を試作。</li> <li>・構成比未知試料を自動選別する多槽ジグのベンチスケール機を試作。</li> <li>・製品別廃プラの比重選別について、新MR・新CR・新ERの目標品質を回収率95%以上で達成。</li> </ul>	○	開発した新基準整粒装置ベンチスケール機、多層ジグベンチスケール機を用いて、実廃棄物の製品別廃プラの比重選別を実施し、新SRが想定する新MR・新CR・新ERの目標品質を回収率95%以上で達成した。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達



## 高度選別技術の意義 (選別技術)

テーマ名	高度選別システム開発	達成状況	○(達成)
達成状況の根拠	<p><b>(1)フイールドピックアップ(FP)型AIソータの開発</b> 前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比1/3(8m<sup>3</sup>コンテナ1台分相当の廃棄物を5分以内で処理)を確認。欧州ソーティングセンターのような大規模多段処理を前提としない、国内各地の産廃処理業者での活用を想定した、より小規模かつワンパスで雑品プラを用途別(新MR、新CR、新ER)に回収可能な自動選別システムの技術基盤を確立した。</p> <p><b>(2)高度比重選別システムの開発</b> 開発した新基準整粒装置ベンチスケール機、多槽ジグベンチスケール機を用いて、実廃棄物の製品別廃プラの比重選別を実施し、新SRが想定する新MR・新CR・新ERの目標品質を回収率95%以上で達成した。</p>		

### 【開発の意義】

#### (1)フイールドピックアップ(FP)型AIソータの開発

**現状**：雑品プラ中のマテリアルサイクル、ケミカルサイクルが可能な良質プラの存在割合が不明であり、このような複雑組成の廃プラを荷姿のままワンパスで選別するソータ(AI)は存在しない。現状は人手による粗選別でRPF原料化のみ。

**開発後**：雑品プラ中の廃棄物情報DBを構築し、自動選別における処理フローを構想、明確化。荷姿状の廃プラに対して4種センサ検知情報に基づくプラ種判定アルゴリズム(AI)、及び独自の黒色プラ種判定手法を開発。ロボットピッキング自動選別システムを開発。

#### (2)高度比重選別システムの開発

**現状**：従来のジグは廃プラ選別に不適な弱点が存在する。製品別プラは、様々なサイズ・形状が混在することで高精度な比重選別ができず、また構成比未知の多種混合物であり選別状態を視認できないため適切な装置制御ができない。よって再資源化が困難。

**開発後**：新基準整粒装置ベンチスケール機、多槽ジグベンチスケール機の開発により、製品別プラの自動制御を実現。新MR、新CR、新ERの各受け入れ条件に適合する産物を回収可能に。

**FP型AIソータと高度比重選別装置のベンチ機完成により、低コストな廃プラスチック自動選別の技術基盤を構築**

開発装置の製品化、普及により、アウトカムに必要となる新MR、新CR、新ERそれぞれの要求品質に適合した廃プラを供給可能に

## 高度選別技術での課題（選別技術）

### 【成果】

#### FP型AIソータ開発

- ・ 前処理、AI識別、ロボットピックアップの工程を統括制御するシステムを開発し、ベンチスケール機を構築した。各部の動作の最適化を図ることで、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比1/3を達成した。
- ・ 産廃系「雑品プラスチック」の選別自動化(各リサイクルへの最適分配)に必要な技術基盤を確立した。

#### 高度比重選別システム

- ・ 整粒基準に必要なパラメータを統合したサイズ・形状統一指標を解明し、新基準整粒装置のベンチスケール機を試作した。
- ・ 構成比未知試料を自動選別する多槽ジグのベンチスケール機を試作し、新基準整粒装置とシステム化した。
- ・ 実廃棄物を用いた製品別廃プラの比重選別について、想定する材料再生プロセス、石油化学原料化プロセス、高効率エネルギー回収・循環システムで必要とする廃プラスチックの目標品質を回収率95%以上で達成した。

### 【課題】

#### FP型AIソータ開発

- ・ AI識別の高度化、信頼性向上に向けて、今後さらに学習データの拡充が必要。

#### 高度比重選別システム

- ・ 操業規模に応じたスケールアップのため、水槽規模に適合したジグ自動制御機能の検証が必要。

## ・ 詳細説明 ; フィールドピックアップ(FP)型 AI ソータの開発

本研究では、国内の製造・物流事業者等から排出される廃プラ・混合廃プラ、金属・がれき等の不燃物、紙・木等の可燃物で構成される「雑品プラ」を選別対象とする。プラスチック循環利用促進協会の廃プラスチック分類によれば、雑品プラの構成は「電機電子電線(電機電子(産業))」、「家庭用品衣類玩具(製品プラ(産業))」、「建材」、「輸送」、「農林水産」、「その他」、「生産加工ロス」に相当すると考えられる。また、プラスチック製品 製造業、化学工業などから回収しているプラ容器、フィルム、シートが大量に含まれており、この一部が「容器包装 (産廃)」に分類される可能性がある。雑品プラに含まれる廃プラの種類は、PP、PE、PS、PVC、PET 等の汎用プラ、ラミネート材等の複合プラ、各種工業用プラがあり、大きさ(長さ)は数 cm~数 m、重量は数 10g~数 kg と広範囲に分布する。形状は板状、棒状、フィルム状、紐状、巻物状と様々であり、色は濃色~黒色の物を含め千差万別である。同一種のプラでも軟質~硬質のものがあり、土砂や溶剤等による汚れが酷いプラも含む。このような複雑組成の混合廃棄物の処理に対し、経済合理性を持って直ちに適用可能な自動選別技術は現状皆無であり、人手による粗選別が唯一の選別手段である。

大栄環境(株)のグループ会社である三重中央開発(株)三重リサイクルセンターでは、こうした雑品プラを 1 日約 150t 処理している。半野外の選別ヤードに荷下ろし後、人手(重機)によって、主に①RPF(固形燃料)向け、②焼却向け、③埋め立て向けに選別している。RPF 向けのプラスチックは、ブルーシートやフレコンバッグ、容器、包装資材など人の目で判断できるもの、かつ比較的サイズの大きいものが回収されている。容積 8m<sup>3</sup> のコンテナ車 1 台から荷下ろしされる雑品プラに対し、破袋を含む選別作業(5 名)にかかる時間は約 15 分である。産業廃棄物の雑品プラには、同一の排出事業者から定期的に同じ廃棄物が繰り返し出てくるといった性質があり、排出事業者ごとに荷姿、プラの種類、異物の種類をある程度限定することができる。コンテナ車による入荷状態で「単一種の廃プラ」や「再利用先が同じ廃プラ混合物」も多く、すべて混ぜた後、多段機械選別を行う従来技術(海外メーカ選別プラントを含む)では処理コストが増大する。欧州のソーティングセンター(1 施設で 10~15 台以上の自動選別機を使用)のような大規模処理(10~15 万トン/年)を前提としない国内各地に分散する産廃処理業者の施設では、より小規模でワンパスで雑品プラを用途別に回収可能な自動選別システムが求められる。そこで、FP 型 AI ソータの開発では、以下のコンセプトを掲げて検討を進めた。図 3.1.1-1 に開発イメージを示す)。

- a. 排出者情報、廃棄物情報を最大限に活用する。
- b. 荷下ろし直後の手選別工程を AI で代替、高度化、新 MR、新 CR、新 ER に再利用可能な廃プラを、可能な限り荷姿のままワンパスで回収することで全体工程の短縮を図る。
- c. 新 MR、新 CR、新 ER に再利用可能な廃プラを、各コンテナの組成情報に基づいて、必要最小限の手数で一定量回収する。コスト増大につながる場合、全量回収は行わない。
- d. 回収物純度(要求スペック)を重視、複数ロボットアーム・ハンドの最適な組み合わせを検討する。
- e. コンテナ 1 台当たりの処理時間を現状比 1/2 (7 分半以内/8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台) とするための要素技術(前処理及びロボットピッキング)を確立する。

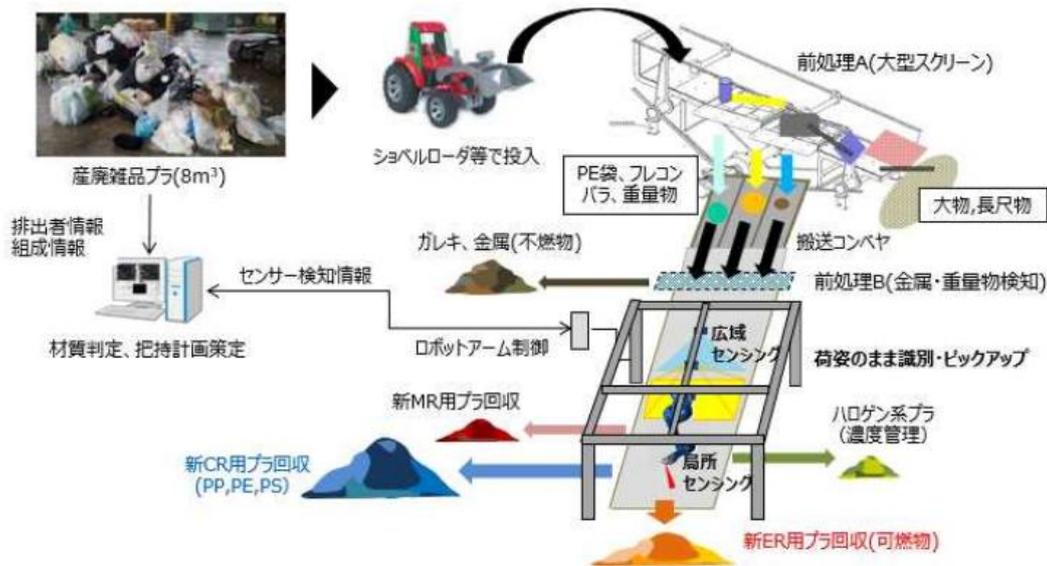


図 3.1.1-1 FP 型 AI ソータの開発イメージ

①-1「フィールドピックアップ(FP)型 AI ソータの開発」では、以下の 3 つの研究項目を設定した。

・ 雑品プラ DB の構築

(産廃情報を自動選別に活用するための基盤構築)

どこに、どのような廃プラが存在するか、新 MR、新 CR、新 ER への最大分配量 (ポテンシャル) はどの程度見込めるか、どのような情報を、どう整理すれば、選別の自動化(省人化)に最も効果的かを検討する。

・ 複合 SD 利用深層学習 AI の構築

(FP 型 AI ソータを実現するための識別アルゴリズム開発)

種類プラ(含む黒色、複合)をワンパスで識別、荷姿(PE 袋、フレコン)のまま内容物の状態(単一プラ、混合プラ、混合可燃、金属含有)を識別。排出者・廃棄物情報、外観データ、材質データを、どのように検出・加工・解析すると、AI の識別精度が最も向上するかを検討する。

・ マテリアルハンドリング技術の開発

(FP 型 AI ソータを実現するための装置・プラント開発)

廃棄物の形状や材質に応じて使い分けるピッキングシステム。コンテナの組成情報に応じてピッキング対象を決定(動作モード選択)、大型プラの回収を優先して処理の高速化を図る。現存しない装置・機構(前処理、ハンド等)を新たに開発する。

本研究開発のスケジュールは以下の通りである。

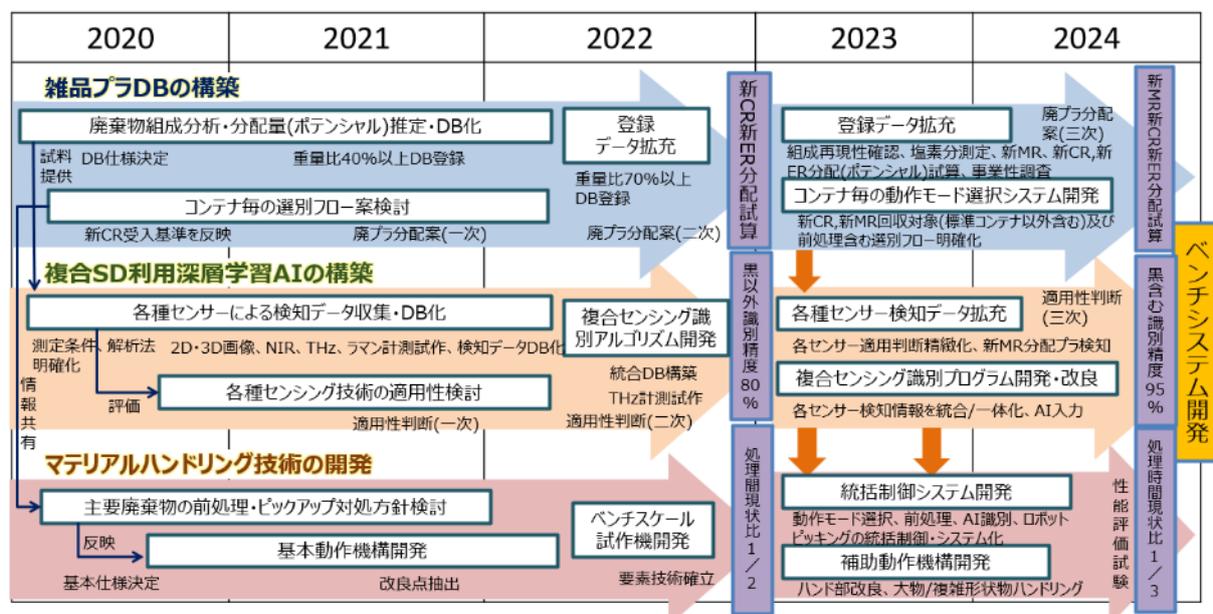


図 3.1.1-2 研究開発スケジュール

本研究開発の目標は以下の通りである。

・中間目標

8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の新 CR 向け廃棄物(新 CR モード適用コンテナ)に対して、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/2(7 分 30 秒以内)とするための要素技術を確立する。

・最終目標

前処理、AI 識別、ロボットピッキングの工程を統括制御するベンチスケールの選別システムを介し、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/3(8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の廃棄物を 5 分以内で処理)とするためのシステムを確立する。

### ①-(1)-1 「雑品プラデータベースの構築」 (実施先：大栄環境株式会社)

本項目では、雑品プラ中の廃棄物情報を、排出事業者(現場)ごとに整理したデータベース(DB)の構築を目的とし、近赤外線分析や蛍光 X 線分析等によって、廃プラ及び異物の詳細情報(種類、外観、重量、ハロゲン濃度、硬さ等)を収集し、6 種類に分類するとともに、後述する前処理やロボットピッキングの困難度とその対処方針を確認して、合わせて DB 登録した。最終的に、この DB 登録情報と搬入車輛のマニフェストに記載の排出事業者(現場)のデータを活用し、荷下ろし段階で作業者が FP 型 AI ソータの動作モードを選択するシステムを開発した。

本項目の目標設定は以下の通りである。

前期 3 年間では、期間中に取引があった全排出現場のうち重量比 70%以上を占める現場の廃棄物情報を「雑品プラ DB」に登録する。また、新 ER 及び新 CR チームと連携し、原料として出荷可能と判断できる廃プラの組成と回収量(ポテンシャル)を明らかにする。後期 2 年間では、新 CR、新 ER に加えて新 MR 向けに出荷可能と判断できる廃プラの組成と回収量を明らかにし、FP 型 AI ソータの動作モード選択システムを開発する。

大栄環境(株)では、自社グループのリサイクルセンターに搬入される雑品プラの材質、荷姿、形状、状態、数量、写真等のデータを排出事業者ごとに収集するための組成調査を行い、マニフェスト(産業廃棄物管理票)などから得られる情報と紐づけた雑品プラデータベースの構築を行った。

前期 3 年間では、グループ会社である三重中央開発(株)三重リサイクルセンター(以下、三重 RC)に搬入される雑品プラ 197 コンテナ分を対象に組成調査を行い、全排出現場の内、重量比 80.1%を占める排出現場の情報を雑品プラ DB に登録した(図 3.1.1-3)。後期 2 年間では、雑品プラ DB の拡充を目的として前期 3 年間の調査結果を元に三重 RC に搬入される雑品プラの内、比較的搬入頻度が高くリサイクル可能なものが多く含まれていた排出現場 34 現場について廃棄物組成のばらつきを把握するための再現性調査やリサイクル工程で障害となりやすい塩素含有物の混入状態を把握するための詳細調査を行った。また、三重 RC 以外のリサイクルセンターでの雑品プラの排出状況を把握するため、大栄環境(株)和泉リサイクルセンターにて 30 コンテナ分の組成調査を行った。

これらの調査で得られた結果および新 CR チーム、新 MR チームへ試験用実廃プラを提供し、試験で得られた結果から各リサイクル向けの要件を抽出した。前処理および FP 型 AI ソータにおける回収対象物を明確化し、標準となるモデルコンテナ(「標準モデルコンテナ」)を選定した。また、コンテナ毎の動作モード選択システムの概念を構築するための情報整理を行った。また、他の産業廃棄物処理事業所 18 社に対して廃プラの受け入れ状況やリサイクルプロセス等についてのヒアリングと排出事業者 8 社に対して廃プラの分別、保管、排出状況等についてのヒアリングを行い、国内の雑品プラ排出状況を整理した。



図 3.1.1-3 雑品プラ組成調査の風景

前期 3 年間の調査で DB 登録を完了した排出現場数は 197 か所となり、期間中に取引があった全排出事業現場に対する重量比率は 80.1%に達した。図 3.1.1-4 に調査した全排出現場(S-1～S-197)の排出形態別の材質を示す。材質の判定にはハンドヘルド式の NIR プラスチックアナライザーを用いた。排出形態の内訳は、プラ単一（単一材質で形成されているプラ）27%、プラ複数（2 つ以上の異なる材質で形成されているプラ）18%、プラ非プラ混合（プラと紙類等や金属類の混合物）46%、プラ以外（木材、金属製品、アルミ蒸着プラ等）9%であった。全排出現場で得られた想定識別区分における重量比率の内訳は、新 CR 向け 5.7%、新 ER 向け 85.5%、不燃物 5.0%であった。新 CR 向けの内訳は、プラ単一内の材質 PP、PE、PS の 5.2%とプラ複数の新 CR 可能物 0.5%であった。

プラ単一排出は全現場の調査重量のうち 27%であり、これらについては素材の色についても記録している。プラスチックアナライザーや刻印により材質が判明した物と不明のものを色別に分類した。プラ単一排出全体で材質が不明のものは 16.8%であった。特に黒色や濃色の素材は近赤外による判定が難しい。また、発泡材などの空隙が多いものは圧縮するなどして密な状態にして測定することにより判明するケースが多く、荷姿の状態のままでは測定できない。これら近赤外で識別が難しいものは一定量含まれるため、排出事業者からの情報提供や新たな識別方法の開発が必要となってくる。素材メーカーなど一部の排出事業者からは明確な材質情報を入手できるかもしれないが、産業全体でみると排出事業者でも材質を把握していないケースの方が多い。そのため、テラヘルツやラマンなど黒色・濃色プラの材質を識別可能な新たな技術開発・普及が必要である。

プラ複数排出は全現場の調査重量のうち 18%であり、新 CR 可能物 0.5%は PP、PE、PS の混合物を意味し、新 CR 不可 17.8%は PP、PE、PS 以外のプラ混合物や PVC の手袋が新 CR 可能物に一部混入したものを意味する。これらについては、排出現場で事前に異物を分別しておけば、新 CR 向けに供給できる可能性がある。

プラ・非プラ混合は全現場の調査重量のうち 46%であり、混合プラ、可燃物、不燃物の混ざった状態を意味し、その 47.6%を混合プラが占めているので、後段処理（既設）において、破袋・選別処理を行うことで、新 CR 向けプラを回収できる可能性がある。

後期 2 年間に於いて、新 MR 向けプラ（材質 PE もしくは PP の単体で排出かつ汚れ（埃・油・溶剤等の付着がないもの）の回収ポテンシャル量を推定した結果、図 3.1.1-4 に示した PE 3.4%のうち約 82%、PP 1.0%のうち約 74%が新 MR 向けプラに該当し、全搬入重量の約 3.6%が新 MR 向けに該当すると考えられた。

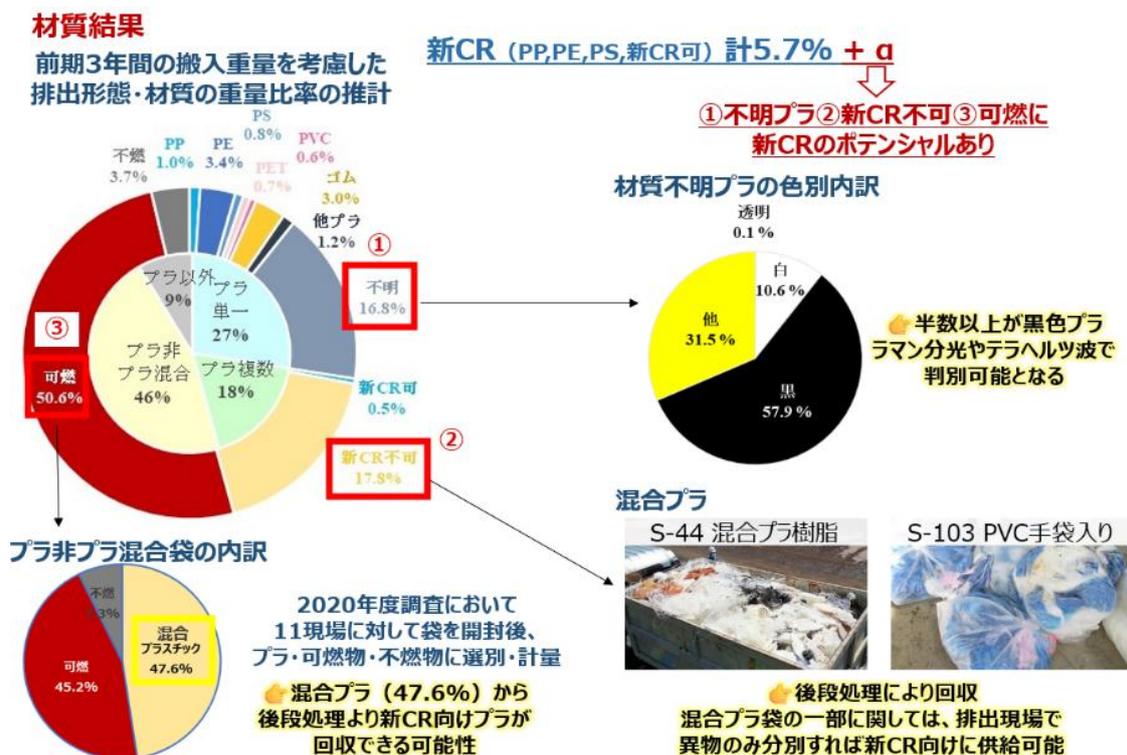


図 3.1.1-4 前期 3 年間に調査した全排出現場(S-1～S-197)の排出形態別の材質

本研究開発を進めるにあたり、FP 型 AI ソータの装置開発において初期の選別対象とする「標準モデルコンテナ」を選定した。その選定フローを図 3.1.1-5 示す。2022 年度末までに雑品プラ DB で登録した 197 コンテナを新 CR 重量比率によって以下のように分類した。まずは新 CR 向けプラの重量比率によって以下のように分類した。

- ①新 CR 重量比率 100% : 5 コンテナ
- ②新 CR 重量比率 10～99% : 74 コンテナ
- ③新 CR 重量比率 1～9% : 58 コンテナ
- ④新 CR 重量比率 0% : 60 コンテナ

この内、「①新 CR 重量比率 100%」と「④新 CR 重量比率 0%」は選別不要であり、これら以外の新 CR 物と新 ER 物等が混在するものが選別対象となる。この選別対象を、新 CR 重量比率 10%を境に 2 分類し、選別することにより多くの新 CR 物を回収することができる「②新 CR 重量比率 10～99%」を初期の検討対象とした。この内、フレコンなどソータに流すことができない特大サイズは荷下ろし時に重機等によって仕分けを行うとして、その他サイズ中小（50～500mm 角）を多

く含む 58 コンテナを新 CR 向け「標準モデルコンテナ」とした。「③新 CR 重量比率 1~9%」は新 CR 物の回収量が少ないため、回収効率等を考慮したピッキングの可否判断が必要である。

- ・ 全調査コンテナの材質結果から、新CR対象の137コンテナを選定
  - ・ 新CR重量比率10~99%かつサイズ中小 (50~500mm角) の58コンテナを「標準モデルコンテナ」とした
- ※新CRの定義(想定): 材質PP,PE,PS

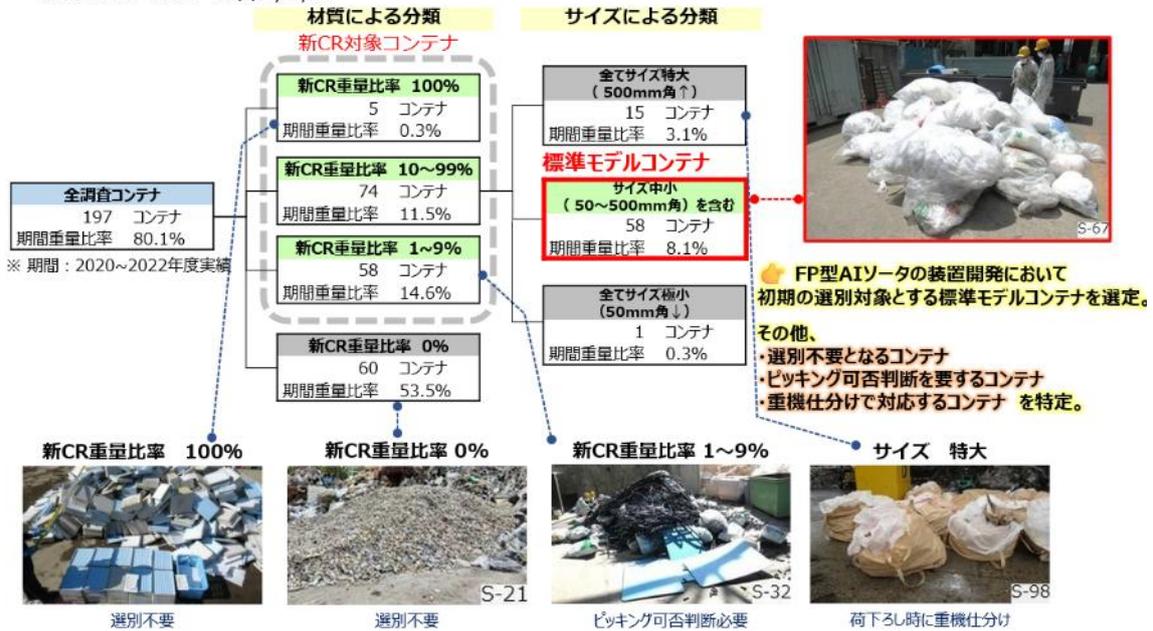


図 3.1.1-5 FP 型 AI ソータの装置開発における標準モデルコンテナの選定

前期 3 年間に調査した結果をもとに、新 ER および新 CR 向けの廃プラ分配案 (一次案) をまとめ、標準モデルコンテナ分を対象に分配ごとの重量および数量を整理した。廃プラ分配条件は、本プロジェクトで開発中の FP 型 AI ソータ (前処理機構、ロボットピッキング機構) の仕様から図 3.1.1-6 分配フローのようになると想定し、以下の分配項目 A~G を設定した。

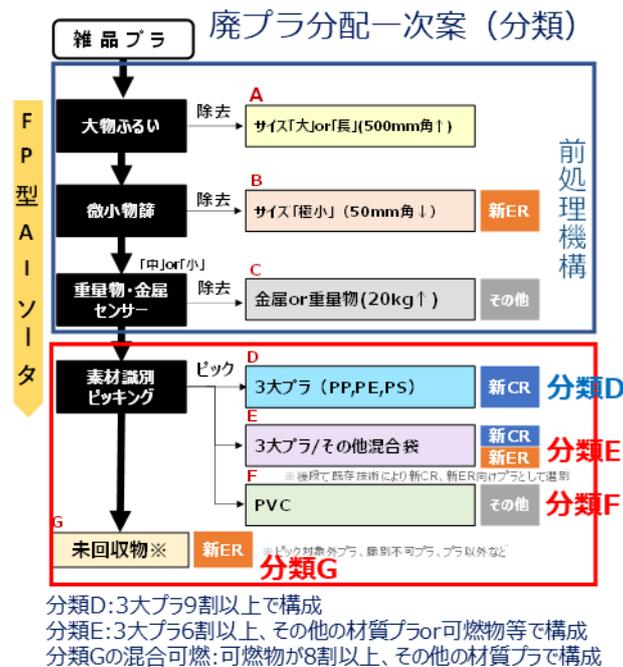


図 3.1.1-6 FP 型 AI ソータ (前処理、ロボットピッキング) における廃プラ分配

分類Eは3大プラとその他異物が混在している物であり、袋の荷姿で排出されている物が多い。袋の表面から明らかに混在していることが分かるものもあれば大部分の3大プラに少量の異物が隠れて表面上では分からないものがある。

そこで、少量の異物混入により分類Eとして仕分けられている物はどうなものなのかを確認するために調査を行った。異物の材質は様々であるが、塩素系の異物が少量含まれている仕分物を対象とした。図 3.1.1-7 結果を示す。袋の中の大半は軟質フィルムが占めているが、ゴム手袋やテープ、ラップ等が少量混入しており、仕分物全体の塩素濃度推定値は7,316ppmであった。

このようなものが誤って分類 D として回収された場合にはリサイクル工程へ影響が出ることが考えられるため、袋の表面だけではなく、袋の中の物まで認識できる技術開発が望まれる。

仕分物全体 (軟質フィルム+異物) 塩素濃度 : 7,316 ppm	
	
	
ゴム手袋(Cl:3,150 ppm)	テープ(Cl:158,000 ppm)
	
ラップ (Cl:191,000 ppm)	

図 3.1.1-7 少量の塩素系異物混入により分類 E として仕分けられている物

組成調査では想定回収区分が「新 CR」と分類されるものは材質が PP,PE,PS のプラスチック（以下、3大プラ）のみを含む仕分物と定義してきた。そのため、3大プラを多く含むが異物も混在する場合には新 ER に分類されることとなるが、仮に新 CR 等のリサイクル先の受け入れ要件が緩和され少量の異物混入が許容された場合にはリサイクル率の向上が期待される。そこでリサイクル先の受け入れ要件変更された場合に伴う回収対象物のポテンシャル量や異物の種類について把握するため、三重 RC に搬入される現場を対象に、3大プラとその他異物が混在する仕分物について詳細な調査を行った。

S-199 の詳細組成調査結果を表 3.1.1-1 に示す。新 ER 物については各仕分物の構成物調査の結果から3大プラ含有率を算出し、その含有率に応じて区分を行って整理した。袋で排出されている新 CR 物（区分②）を詳細に調査したところ、少量の異物が混入していることが分かった。3大プラのみが袋の中に入っているように見えるが、中身を開けると手袋や紙ラベルなどの可燃物が少量含まれている場合があることを確認した。ただし、混入率は1%以下であり塩素濃度も高くないため新 CR 向けの原料として大きな問題になる可能性は小さいことが考えられる。

3大プラ以外の構成物としては、PETや材質不明の硬質プラ、紙ラベルなどが含まれていた。リサイクル先の要件によるが、多少の異物が混在していても受け入れ可能となれば新CR物の回収量が向上することが考えられる。

袋で排出されている新ER物の内、3大プラを70～90%含むもの（区分④）は、本調査のすべての現場で確認された。袋の状態のまま新CRの原料として供給できる可能性は極めて低いが、このような3大プラを多く含む袋を既存の破碎選別施設向けの対象物として回収することができれば新CR物の回収量が向上することが考えられる。

このように袋で排出されている新ER物の中にも、新CR向けに回収可能なものが一定量含まれていることが分かった。リサイクル先の要件の緩和や既存選別技術との組み合わせによってリサイクル率の向上が見込まれる。

表 3.1.1-1 S-199 における詳細組成調査結果

区分	重量比率	構成物組成[%]				塩素濃度
	[%]	3大プラ	PVC	その他可燃	不燃物	[ppm]
①新CR物・バラ	1.1%	-	-	-	-	100
②新CR物・袋	5.8%	99.9%	0.0%	0.1%	0.0%	810
③新ER物・袋 (3大プラ90%以上)	0.0%	-	-	-	-	-
④新ER物・袋 (3大プラ70～90%未満)	4.5%	74.7%	0.0%	8.3%	17.0%	107
⑤新ER物・袋 (3大プラ50～70%未満)	0.0%	-	-	-	-	-
⑥新ER (その他)	88.6%	7.7%	0.0%	91.9%	0.4%	154
⑦不燃物	0.0%	-	-	-	-	-

FP型AIソータは、事前の廃棄物情報を元に選別戦略を立てて効率的に選別回収するというコンセプトで開発されている。これまでに構築した雑品プラDBの中から代表的な現場を選定し、それぞれのコンテナを選別するための戦略案を提示するとともに、各選別工程で回収される物の詳細情報を整理した。

FP型AIソータの想定選別フローは、図3.1.1-6で示した廃プラ分配一次案を用いた。分類A～Cは前処理機構で除去されるものであり、分類D～Gはピッキングエリアに搬送されるものである。以下に各分類の情報を示す。

#### <分類項目一覧>

分類A：サイズが500mm角以上のもの

分類B：サイズが50mm角以下のもの

分類C：金属（アルミ蒸着プラを含む）または重量物（20kg以上）

分類D：3大プラ（PP、PE、PS）で構成されるもの

分類E：3大プラ+その他で構成されるもの

分類F：PVC

分類G：分類A～Fに該当しないもの（残渣）

ピッキングエリア内に混在する廃棄物（分類D～G）の中から新CR向けのプラを回収するためには分類Dのみをピッキングするか、もしくは分類D以外の廃棄物（分類E～G）を除去することが必要となる。どちらの戦略を取ることがより効率的であるかどうか、雑品プラDBの情報を元に決定し、選別フロー案の検討を行った。

S-1の現場情報を表3.1.1-2、分配区分ごとの重量比率および数量の情報を表3.1.1-3に示す。表3.1.1-3より分類Dと分類E～Gの個数を比較すると分類Dの方が少ないためこのコンテナに関しては分類Dをピッキング回収することが効率的であると判断し、FP型AIソータでの想定選別フロー（図3.1.1-8）を作成した。前処理工程を経てピッキングエリアに搬送される70個の廃棄物の中から29個の分類Dを全てピッキングすることができれば、コンテナ全体の内、重量として29%に相当する新CR向けプラの回収が可能となる。

表3.1.1-4にピッキング回収対象物の情報を示す。このコンテナから回収すべきものはバラの状態では排出されている薬品ボトルや、袋で排出されている軟質フィルム等が挙げられる。薬品ボトルの中には液体が残存している場合があるため、後段で必要に応じて洗浄処理が必要となることが考えられる。

表 3.1.1-2 S-1 の現場情報

現場 No.	S-1	新 CR 重量比率	51.5%
カテゴリ	工場系	新 CR 重量	126.4 kg
業種	化学工業	新 ER 重量比率	48.5%
調査重量	245.5 kg	不燃物重量比率	0.0%
車種	3t ダンプ車		

表 3.1.1-3 S-1 の想定選別フローにおける分配区分ごとの重量比率および数量

S-1	分類 A サイズ 大・長	分類 B サイズ極 小	分類 C 金属・ 重量物	分類 D 新 CR 向け	分類 E 新 CR+ その他材 質混合袋	分類 F PVC	分類 G その他プ ラ・可燃
重量比率 (%)	23.8%	0.0%	11.9%	28.8%	0.0%	3.8%	31.8%
数量(個)	6	0	15	29	0	1	40
ピッキング 回数(回)				29	41		

表 3.1.1-4 S-1 の想定選別フローにおけるピッキング対象物の詳細情報

No.	内容物	荷姿	形状	数量 (個)	状態
1	硬質ボトル	バラ	箱型	14	溶液が残存
2	軟質フィルム	透明プラ 袋	球状	9	
3	裁断くず	透明プラ 袋	球状	5	
4	硬質容器	バラ	箱型	1	

S-1



新CR物回収モード

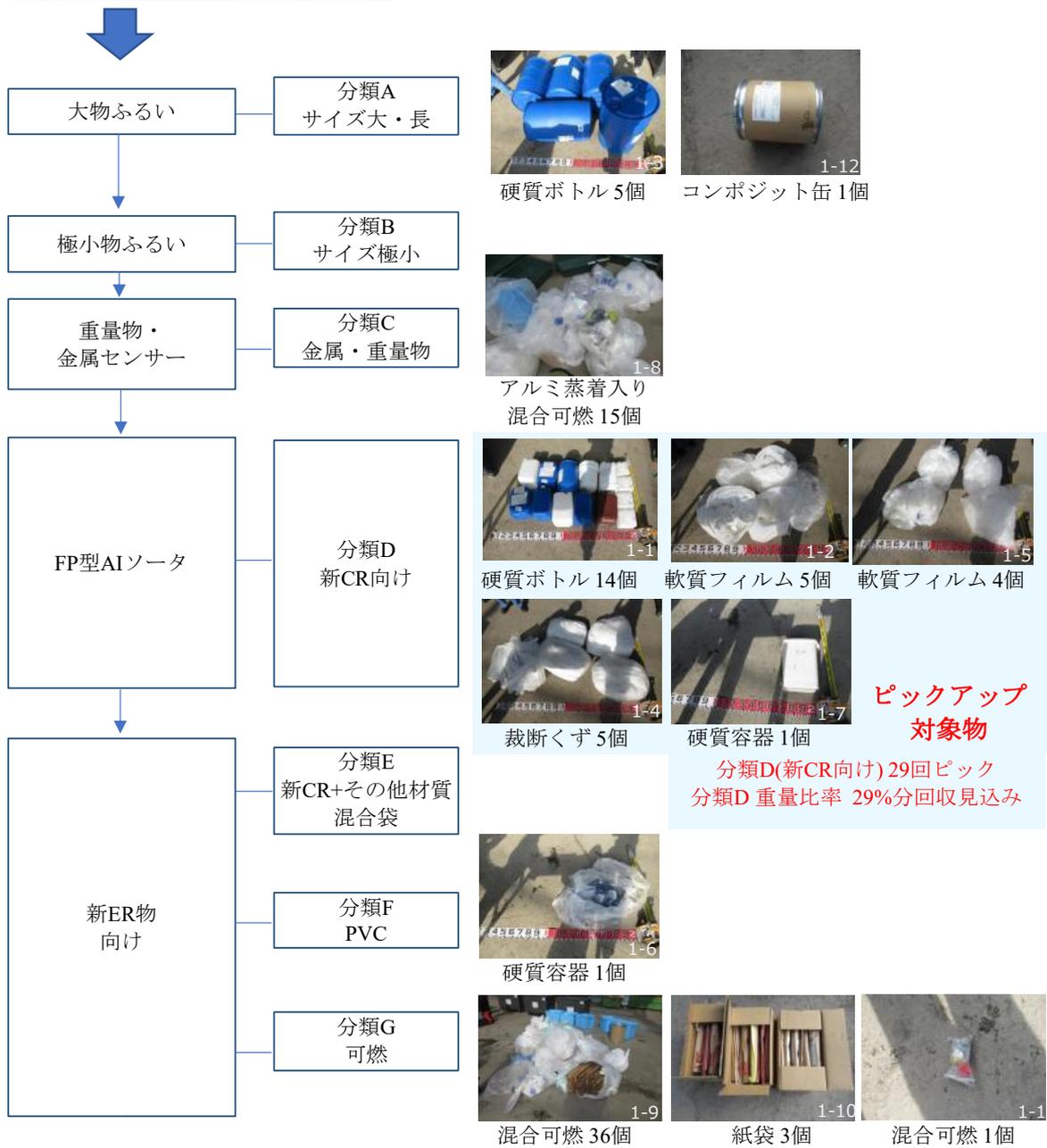


図 3.1.1-8 S-1 における前処理・FP型 AI ソータの回収対象物

産業廃棄物処理業者 18 社のヒアリング結果から、廃プラリサイクル状況、FP 型 AI ソータ開発に向けた、廃プラの処理状況や AI 選別への関心、今後の FP 型 AI ソータ開発に向けた課題について以下に整理した。

各処理業者において、廃プラのリサイクル先は RPF 製造施設やセメント製造施設がほとんどであり、マテリアルリサイクル及びケミカルリサイクル向けの回収は採算面等の要因で困難な状況であることが分かった。また、作業員の高齢化や人件費の高騰化などから、FP 型 AI ソータのような自動選別機のニーズは高まってきていることが分かった。

表 3.1.1-5 産業廃棄物処理業者のヒアリング結果

<p>廃プラのリサイクル状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃プラのリサイクル方法は、マテリアルリサイクルの他、RPF 原料、セメント施設での利用など、地域の状況によって異なっている</li> <li>・ ヒアリング結果から、産廃業者の処理フローは</li> <li>・ ①RPF、セメント、焼却、埋立等の複合処理型</li> <li>・ ②マテリアル、RPF、セメント向けなどの資源抽出型</li> <li>・ ③単純焼却、マテリアルなど特定処理の特化型の概ね 3 分類に分けられる</li> <li>・ 産廃処理業者の事業規模や保有設備によって一定の傾向が見られたものの、詳細を見ると各社の処理フローは異なっていた。</li> <li>・ 焼却施設を有していない事業者は、保有設備で資源化可能可能なプラに限られる</li> </ul>
<p>AI 選別への関心</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 作業員の高齢化や人件費の高騰などによって、AI 自動選別ソータのニーズは高まっている</li> <li>・ 処理量が少ない業者はリサイクルの高度化を検討すること自体が難しい</li> <li>・ 建設廃棄物やペットボトルの選別における AI 自動選別ソータの導入は進展している</li> </ul>
<p>今後のFP型AIソータ開発への課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現在の AI 自動選別ソータでは、金属除去や判別しやすいペットボトルのピッキングなど、適応できる品目が限られており、分別精度も手選別レベルには至っておらず、さらなる技術開発が求められている</li> <li>・ 排出事業者における脱炭素やリサイクル率向上に向けた意識は高まっているが、一方で分別の手間や処理コストの削減が求められている</li> <li>・ 廃プラリサイクルの高度化に向けた国や自治体の政策的な誘導や補助事業の充実が望ましい</li> </ul>

排出事業者8社のヒアリング結果から、廃プラの処理状況やリサイクルの高度化に向けた課題について、以下に整理した。

特に大企業では廃プラのリサイクルに関する目標が設定されているなどリサイクル意識が高まってきているが、一方で処理委託コストアップや自社での分別排出が難しい状況であることが分かった。これは一部の地域に限定した課題ではなく、国内すべての排出事業者で同等の課題があることが分かった。

そのため、排出事業者としては、FP型AIソータのような自動選別装置を処理事業者が導入することにより廃プラのリサイクルが促進されることへの期待が高いことが分かった。

表 3.1.1-6 排出事業者のヒアリング結果

<p>廃プラのリサイクル状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大企業では、サステナビリティレポートなどで廃プラに関するリサイクル目標が設定している</li> <li>・ グループや本社の方針に基づいて、マテリアルリサイクルが可能なものについては、既に各工場でリサイクルが行われている</li> <li>・ 同じ事業者であっても工場が立地する地域によっては、リサイクル業者が存在しない、コストが合わないなどの理由でリサイクルできない場合がある</li> <li>・ 原料や梱包材を取り扱っている部品製造工場や物流倉庫などでは、地域や業種が異なっても、一定量のプラ袋やプラスチックフィルムが同様に排出されると考えられる</li> </ul>
<p>リサイクルの高度化に向けた課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大企業であっても高度リサイクルやそのために必要となる排出事業者の対応などの情報はわずかであり、業者からの情報提供や提案を求めている</li> <li>・ 工場（現場）では、本社から廃棄物処理や資源化に対するコストダウンが求められており、高度リサイクルでもコストアップの場合は導入が困難である</li> <li>・ 製造する商品により、内容物や汚れの影響でリサイクルできない場合があるため、汚れていても対応できるリサイクルシステムが求められている</li> <li>・ 従業員が外国人の場合は文化の違いなどから教育が困難であるため、分別の徹底は難しい</li> <li>・ 廃プラは比重が軽い、様々な素材を取り扱っているなどから、広い置き場を確保することが難しい</li> </ul>

## ①-1-2「複合センシングデータを利用した深層学習 AI の構築」（実施先：産総研、奈良先端大（大阪大）、芝工大、近畿大）

本項目では、人手選別の代替として AI 画像認識を基礎とし、AI 選別エリア全体（約 2×2m）を視野に入れた「広域センシング」と、ロボットアーム先端部での「局所センシング」の 2 段階で構成するシステムを検討した。広域センシングとしては、2D カラー画像、3D 距離画像、近赤外（NIR）及びテラヘルツ帯の透過イメージング像等を検知情報とし、これらを深層学習 AI で解析して廃棄物の種類と位置を検知する識別アルゴリズムを開発した。局所センシングとしては、深層学習 AI の識別アルゴリズムにおいて、一旦「黒色未知物体」と識別した物体に対して、ロボットアームを接近させた状態で分析用光源を照射して材質を検知するシステムを開発した。

本項目の目標設定は以下の通りである。

前期 3 年間では、各センサーの検知情報が「雑品プラ」の識別に対してどのように活用できるのか、適用可能な識別対象の範囲を明らかにする。また、それらの組み合わせにより、濃色～黒色プラを含まない「雑品プラ」から、新 CR 用プラを 80%以上の検出精度で検知可能なアルゴリズムを開発する。後期 2 年間では、各センサーからの検知情報を統合して一体的に扱うことが可能な識別システムを開発する。また、濃色～黒色プラを含む「雑品プラ」から、新 CR 用プラを 95%以上の検出精度で検知可能な AI を開発する。

### <広域センシング>

#### a. 可視～近赤外域のセンシング

産総研では、コンベヤベルト面上方に設置する 2D エリア式スペクトルカメラならびにライン式 NIR ハイパースペクトルカメラを導入し、NIR 波長域での広域センシングの可能性を検討した。雑品プラに含まれるプラのうち、バラ物の単一プラ（非黒色～濃色）については従来から NIR 分析による識別が可能であることが知られているが、ポリエチレン（PE）袋や土のう袋の内容物（単一プラ、混合プラ、混合可燃、金属含有）を外側から直接検知している例は殆ど報告されていないことから、その可能性を検討することを開発当初の目的とした。図 3.1.1-9 に、2D エリア式スペクトルカメラ（測定波長域 400~1000nm）を用いた代表的な 4 種類の標準サンプル板（PP、PE、ABS、PVC）の識別実験の結果を示す。このスペクトルカメラは対象物を動かすことなく画素単位でのスペクトルデータを収集できる。測定対象物に対して左右から 2 台のハロゲンランプを照射した際の反射光スペクトルをグラフに示している。中央のグラフにおいて、標準サンプル板を直接撮影した場合 PP、PE、ABS の 3 種について近赤外域（800nm~1000nm）で特徴的な反射スペクトル変化がみられる。一方、PVC については、全波長域で強度が小さくほぼ一定であることが分かる。右のグラフにおいて、PP、PE、ABS に透明の PE 袋をかぶせて撮影を行った場合にも、直接撮影で見られた特徴的なスペクトル波形を維持していることから、PE 袋を透過した反射光でプラを識別可能であることが分かる。非透明（白色）の PE 袋に変えて撮影を行った際にも同様の結果を得たことから、荷姿（PE 袋）のまま内容物の状態を検知できることが示唆された。

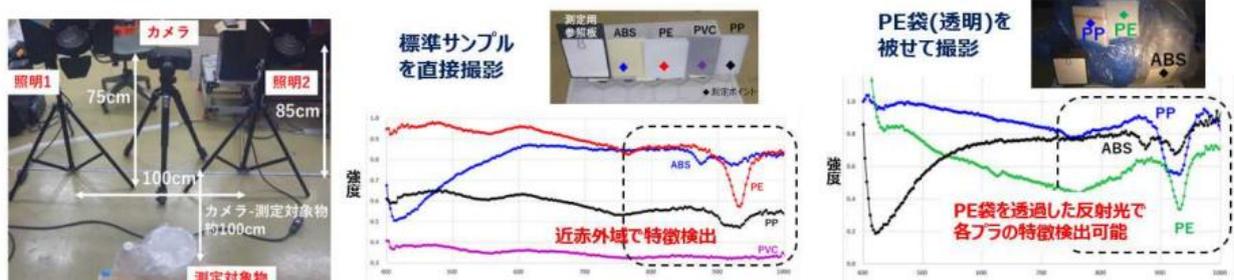


図 3.1.1-9 2D エリア式スペクトルカメラを用いた識別実験

2022年1月には、ライン式 NIR ハイパースペクトルカメラ（測定波長域 900~1700nm）と幅広低床ベルトコンベヤを導入し、大栄環境(株)から提供を受けた実サンプルを含む試料を対象に材質識別実験を開始した。実験装置（FP 型 AI ソータ基本モジュール）には、3D カメラ、2D カラーカメラを搭載しており、同一の対象物に対して 3 種類のセンサーで画像撮影が可能とした（図 3.1.1-10 また、当該装置には、さらにラマン分光計機構とテラヘルツ計測機構を増設して検討を進めた。



図 3.1.1-10 FP 型 AI ソータ基本モジュールで撮影した PP 製ボックス画像

図 3.1.1-11 に、ライン式 NIR ハイパースペクトルカメラを用いて、大栄環境(株)提供の実廃プラ（袋物、バラ物）を撮影したイメージング画像を 2D カラー画像と比較して示す。ここで、5 種類の参照試料（PE、PP、PS、ABS、PVC）に対して画素単位で異なる色味で表現するようにスペクトル波形分類アルゴリズムを学習させた後、実廃プラの測定を行っている。バラ物の撮影では、PVC 製のトレイと蓋が同一素材の参照用試料と同じ青色で表現されており、物体の形状についてもほぼ正確に認識できる。袋物のサンプルは、透明 PE 袋内に、フィルム状の PE が複数の団子状になったものの中に、PVC 製の蓋、可燃物（コピー紙、段ボール、木材）を混入させたものであるが、赤色で表現された PE フィルムの中に異物が混入していることが明瞭に確認できた。ただし、検知可能なのは薄い非黒色の袋の直下に見えている物体に限定されるので、袋内深部に存在する異物を検知するには、後述のテラヘルツ域のセンシングによる必要がある。

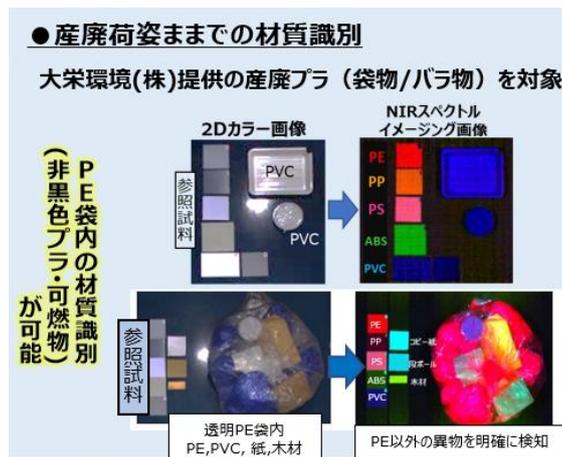


図 3.1.1-11 NIR ハイパースペクトルカメラによる荷姿ままの材質識別

図 3.1.1-12 に大栄環境(株)提供の実廃プラ片 (PE、PP、PS、ABS、PVC) のうち黒色・濃色を除外した 197 サンプルを NIR ハイパースペクトルカメラで識別した結果を示す。ここで正解とするプラ種別は別途 FT-IR (ATR 法) 測定により決定した。図中央のイメージング画像は PE と PVC の例を示しており、これらのサンプルは産業廃棄物である実廃プラの集合であるので、種別が同じプラでも使用している添加剤等は多岐にわたると考えられるが、各サンプルは参照試料に近い暖色系あるいは寒色系の色味で表現されている。このように参照試料に近い色味で表現されたサンプルを正しく識別できたものと判断し、「新 CR 用プラ (PE、PP、PS)」と「それ以外のプラ」の 2 分類の正解率を算出すると、図中右の表に示す通り 88.3%となった (ABS の正解率が低いのは PS と誤判定されるものが存在したため)。このように黒色・濃色を除外した実廃プラに対しては、NIR イメージングのみでも約 90%の正解率が得られた。

以上、前期 3 年間の NIR 波長域の広域センシングでは、荷姿(非黒色のバラ物、非黒色の袋物)のまま内容物の状態(単一プラ、混合プラ、混合可燃)を判定可能なことを示唆する結果を得た。

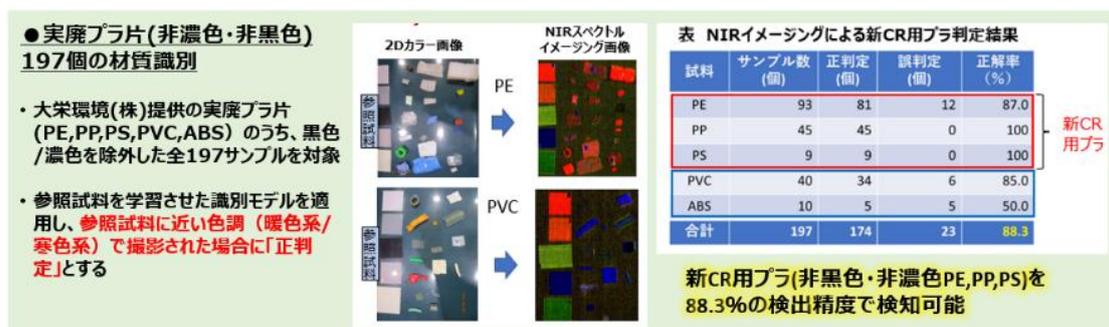


図 3.1.1-12 実廃プラ片 (非濃色・非黒色) の材質識別結果

後期 2 年間では「FP 型 AI ソータ基本モジュール」の近赤外域のハイパースペクトルカメラの撮影制御プログラムを改造し、搬送コンベヤの定尺運転に合わせて 2D 画像及び 3D 画像と同視野の近赤外画像の自動生成を可能とした。また、2D/3D の融合データを用いた AI 解析により、雑品プラ試料の形態分類 3 クラス (袋物、バラ物 (ボトル、トレイ等の硬質プラ)、黒色物) を可能とするとともに、近赤外画像データを用いた AI 解析によりプラ種分類 5 クラス (新 CR 物、新 ER 物、PVC、新 CR 混合物、新 MR 物) の連続判定を可能とした。ここで、新 CR 物は PP、PE、PS の単体あるいはこれらの混合物 (図 3.1.1-6 における分類 D)、新 ER 物は PP、PE、PS 以外のプラ及

び紙等の可燃物の単体あるいはこれらの混合物（図 3.1.1-6 における分類 G）、新 CR 混合物は PP、PE、PS とその他プラ及び紙等の混合物を意味し、破袋後既存の機械選別工程に供給することで、新 CR 物の回収が想定できるものである図 3.1.1-6 における分類 E）。新 MR 物は、新 CR 物のうち単一のプラ種で汚れ等がない特に良質なものである。プラ種の分類ではハイパースペクトルカメラによって画素単位で材質判定を行いカラーで着色した画像（PE：赤、PP：桃、PS：橙、ABS：緑、PVC：青、紙：茶）において検出物体を前述の 5 クラスにグループ化して AI に学習させた。さらに、搬送コンベヤに内蔵した広域撮影可能なテラヘルツ域のラインセンサーにより、透過画像を撮影することで内容物の充填状態を検知可能とし、新 CR 物及び新 MR 物を識別するための補足情報として活用するシステムとした。図 3.1.1-13 にこれらのセンサーで撮影した画像データの例を示す。形態分類とプラ種分類の AI 解析結果から物体の形態・3D 位置とプラ種をマッチングし、プラ種識別とロボットピッキング動作が連動するシステムとしている。前述の「標準モデルコンテナ」の縮分試料（縮分率 1/5、全 25 個、総重量約 45kg）を対象に識別精度を検証した結果、形態分類 3 クラスに対して検出精度 100%、プラ種分類 5 クラスにおいて検出される新 CR 物の純度 100%を確認した。

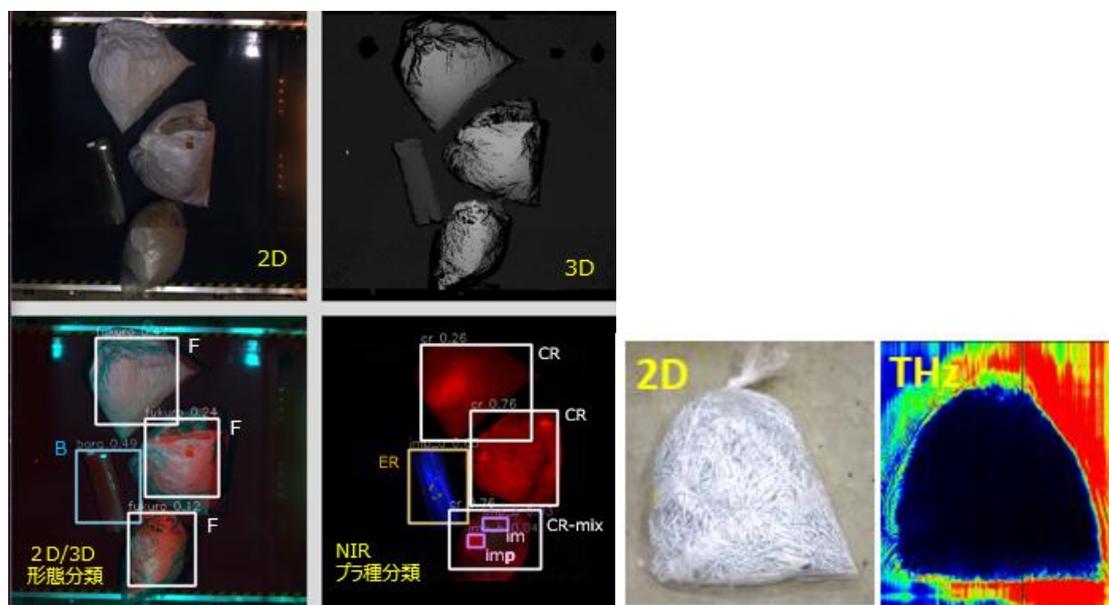


図 3.1.1-13 FP 型 AI ソータによって撮影した各種画像データ

再委託先の奈良先端科学技術大学院大学（2023 年度より大阪大学に継承）では、収集済みデータセットを拡張する手法の検討を行った。変形、汚れ、光源変化といった要因に対して頑健なセマンティックセグメンテーションモデルを構築するための課題として、訓練用データセットの生成が挙げられる。データ拡張に用いる生成モデルとしては、顔画像生成に用いられる既存の生成モデルを参考にしつつ、そのアーキテクチャ、活性化関数、損失関数などの構成要素を再設計し、廃棄物画像の拡張に有効と考えられる要素を整理した。セグメンテーションモデルの精度評価には公開データセットである ZeroWaste を使い、提案手法における有効な構成要素の組み合わせを明らかにした。その結果、本手法を用いることで他の多数の既存手法を上回る性能を有するモデル構築が可能であり、汎用的に適用可能であることを示した（図 3.1.1-14）。また、本手法により拡張されたデータセットで学習したセグメンテーションモデルは、大栄環境(株)における単一物体画像に対しても高精度に物体領域を抽出できることが確認された。さらに、提案手法を用いたデータセットを活用し、実環境を模擬した認識・ピッキング実験を実施した。その結果、データ拡張を行わなかった場合と

比較して、誤認識率を 10%低減し、ピックアップ精度を 6%向上させることに成功した。こうしたデータセットの拡張方法は、最終的に産総研における AI の学習プロセスに活用された。

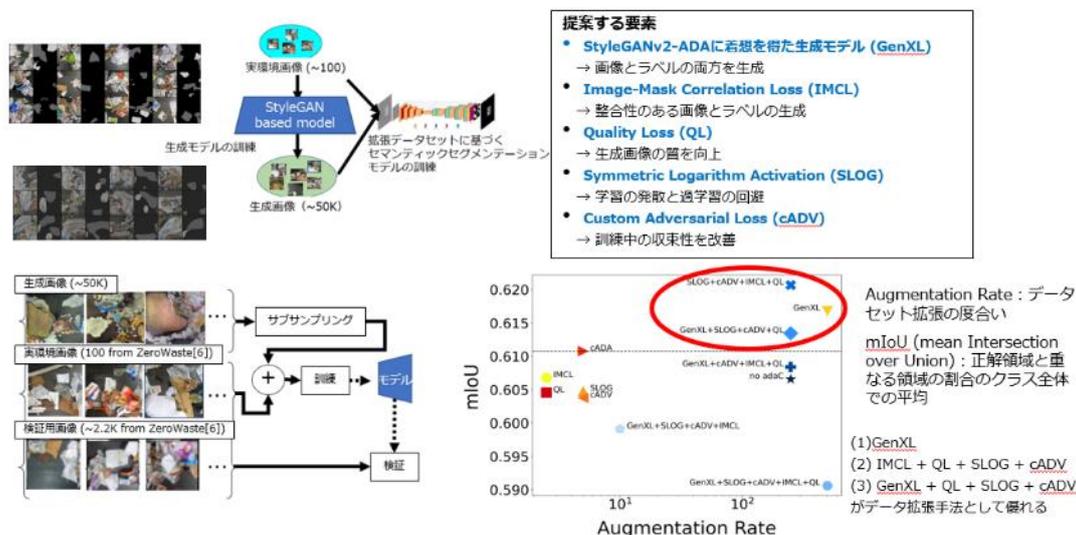


図 3.1.1-14 変形、汚れ、光源変化に堅牢な画像認識を実現するためのデータ拡張手法の検討

## b. テラヘルツ域のセンシング

テラヘルツ帯域におけるプラスチックの誘電率は素材で異なるので、透過率や反射率の差異に基づく、素材選別が可能となる。再委託先の芝浦工業大学では、実際に廃棄され、大栄環境(株)において回収された廃プラに対して、複数の周波数の異なるテラヘルツ波を照射し、反射率ならびに透過率を計測し、その分散データを機械学習を用いて解析することで、プラ種を識別する新規プラ識別技術を開発した(特願 2021-144654)。また、小型テラヘルツ計測に必要な選別機構を含む各コンポーネントを設計・試作し、電磁波計測システムとして構築した。測定安定化に関しては、テラヘルツ波の偏光方向と入射角のパラメータについて、測定が安定化する条件の検討ならびにフレコンバックを対象とする遠隔測定に有効な計測治具(特願 2025-029329)を開発した。さらに自動車、家電、パソコンに由来する廃プラスチックを対象に、テラヘルツ反射・透過データを蓄積し、機械学習解析も活用する素材識別精度の向上を検討した。

図 3.1.1-15、表 3.1.1-7 に、テラヘルツ波によるプラ種識別実験に用いた実験光学系と使用した廃プラサンプルの種類と個数を示す。対象としたのは、大栄環境(株)から提供を受けた実廃プラである PE、PP、PVC、ABS、PS 全 281 個であり、プラ種は近畿大学の FTIR 測定(ATR 法)で確認された結果を「正解」として使用した。テラヘルツ周波数ごとの分散のデータとしては、60 GHz、90 GHz、140 GHz、180 GHz の測定は透過と反射のデータを用いており、300 GHz のみ透過のデータを用いた。機械学習では、教師あり学習としてサポートベクターマシン(SVM)と決定木を使用した。SVM は機械学習で広く使用されている方法で、行列式で表されるデータであれば表計算から画像処理まで分析等に広く使用される手法であるのに対して、決定木はプログラマ的には if 文で条件分岐していき樹形図状に分けていく方法である。パラメータの学習にはプログラミング言語

の一つである python と機械学習ライブラリの scikit-learn を用いた。取得データの一部を学習用データとして使用し、その残りに対して分類テストを行った。

表 3.1.1-8 に 5 種のプラスチックに対する決定木と SVM による分類テストの結果を比較した。使用する周波数が多くなるほど、分類精度が向上し、5 周波数を用いた SVM においてハイパーパラメータとして  $\gamma$  値 10 を用いることにより、最も高い正解率 81% が得られることを確認した。表 3.1.1-9 に黒色プラ (59 個) のテラヘルツ測定で得られた周波数ごとの透過・反射の分散データを対象に機械学習 (決定木) を適用した際のプラ種識別精度を示す。ここで、テラヘルツ波と同じ非接触測定であり、従来からリサイクル現場で一般に用いられている近赤外線分光 (NIR) による結果を参考として併記している。いずれの種類黒色プラでもテラヘルツ測定は近赤外分光よりも精度が高いことが分かる。従来の近赤外分光法では識別正解率 16 % 程度である黒色の廃プラサンプルに対して、本研究で開発したテラヘルツ計測による識別では 79 % まで識別正解率が向上した。このことから現状のリサイクル現場において、近赤外線分光による廃プラ識別を補完することがテラヘルツ測定に期待できる。

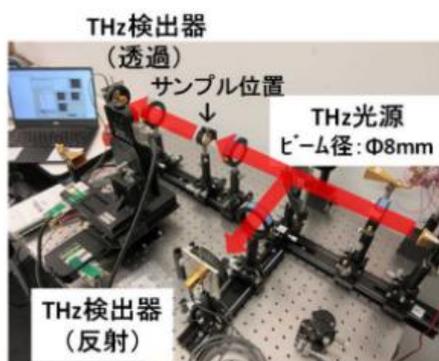


図 3.1.1-15 テラヘルツ波によるプラ種識別実験に用いた実験光学系

表 3.1.1-7 テラヘルツ域の識別実験に使用したサンプル

種類	PP	PVC	ABS	PE	PS
個数 (黒色の個数)	65 (18)	68 (16)	19 (4)	123 (20)	6 (1)

表 3.1.1-8 機械学習により解析した際のプラ種識別精度

機械学習	決定木	SVM	SVM ( $\gamma=10$ )
3周波数のデータを活用 (60GHz, 90GHz, 140GHz)	68%	54%	78%
4周波数のデータを活用 (60GHz, 90GHz, 140GHz, 180GHz)	73%	57%	78%
5周波数のデータを活用 (60GHz, 90GHz, 140GHz, 180GHz, 300GHz)	73%	57%	81%

表 3.1.1-9 黒色プラの識別精度の比較 (NIR と THz)

黒色プラ (サンプル数)	NIR	THz
ABS (4)	0/4	2/4
PVC (16)	5/16	11/16
PE (20)	0/20	17/20
PP (18)	4/18	16/18

図 3.1.1-16 に、PP と PVC、金属フィルムが挟まれているフレコンバックの内部をテラヘルツ波 (90GHz) で透過イメージ測定した結果を示す。図中の左、中の写真にあるように、可視光域ではフレコンバックに挟まれていると内部が見えず、PP と PVC、金属フィルムの存在は分からないが、テラヘルツ波の透過イメージング像ではフレコンバック内部の様子を知ることができる。金属フィルムはテラヘルツ波を透過せず、すべてを反射するのに対して、PP をはじめとするオレフィン系はテラヘルツ波の透過率が大きい。それらに対して PVC や PET は透過率が中程度であり、それらが混在していることが見てとれる。オレフィン系のプラスチックでも高周波の透過率は減少するので、複数の測定周波数による透過率もしくは反射率の分散から材質を特定することが可能である。

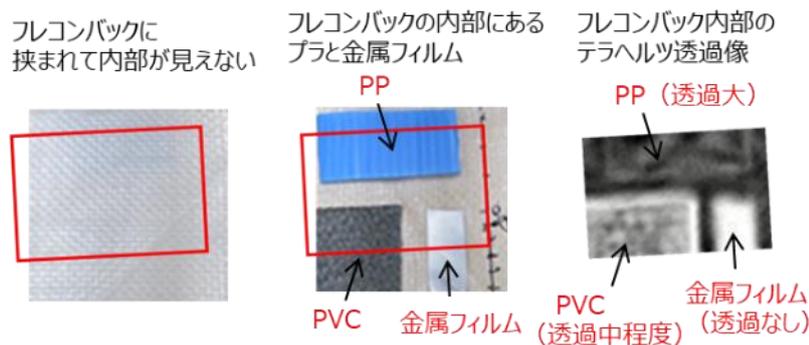


図 3.1.1-16 フレコンバック内の廃プラスチックと金属の透過イメージング像  
(測定周波数：90 GHz)

図 3.1.1-17 に、テラヘルツ波の安定測定条件の検討において使用した実験光学系を示す。サンプルを軸で回転させることで、入射角ごとの透過度を s 偏光と p 偏光それぞれについて計測した。テラヘルツ波の周波数は 65 GHz とし、サンプルは透明プラ 5 種類であり、膜厚は 5 mm 厚のものにした。図 3.1.1-18 に、実験で得られたテラヘルツ波の透過度に対する偏光と入射角の依存性を示す。s 偏光の結果においてはプラの材質ごとの透過率に明確な差が現れることを確認した。入射角度 50° 以上において、透過度の逆転が生ずる材質として PP があるが、入射角を例えば、40~50° の範囲に設定できると、s 偏光の計測による素材識別が有効であることが分かった。p 偏光では s 偏光の場合と比較して、材質ごとの透過率の差が小さいが入射角に対して安定した透過率を示すことが分かる。このことは測定する廃プラスチック表面に凹凸があり、入射角が不安定な形状の場合には P 偏光が素材識別に有効であることを示唆している。凹凸はテラヘルツ波のビーム径に依存する程度であり、特に p 偏光での識別測定においてはビーム系を制御することが重要となる。

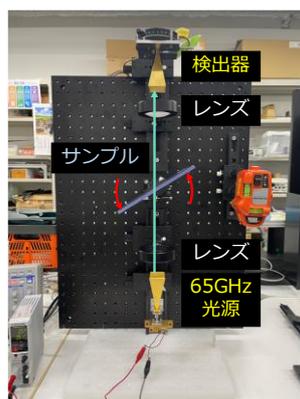


図 3.1.1-17 テラヘルツ波の安定測定条件の検討において使用した実験光学系

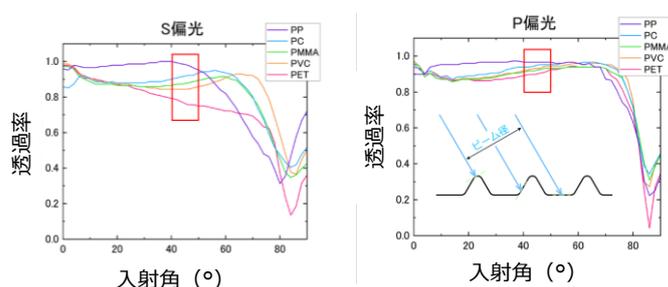


図 3.1.1-18 異なる偏光下におけるプラ種ごとのテラヘルツ波の透過特性

テラヘルツ域における各種素材の透過及び反射に関する基礎特性に関する知見は、産総研における FP 型 AI ソータ開発（テラヘルツラインセンサー導入）に活用された。

### <局所センシング>

廃プラをリサイクルするには素材の種類を正しく判別する必要があるが、特に黒色の廃プラは黒色顔料が光を吸収するため分光法での選別が難しい。ドイツの STEINERT 社は、中赤外域のハイパースペクトルカメラ UniSort BlackEye を販売しているが、価格面などに問題が残る。本研究では、雑品プラに対して手作業を軽減し、大量処理が可能なフィールドピックアップ型 AI ソータのロボットアームにポータブルな小型分光機器を取り付けて局所センシングすることを想定し、黒色の廃プラ試料の近赤外分光測定とラマン分光測定を行い、プラ種判別の可能性を検証した。

前期 3 年間は小型ラマンセンサー（ラマン分光器）を用いた検討を実施した。後期 2 年間では、ラマン分光法を補完する技術として、最新の小型 FT-NIR 分光モジュール（近赤外分光器）を導入し、新たなデータ解析方法を含む識別システムの開発を進めた。

#### a. 小型ラマン分光器による黒色プラ識別

再委託先の近畿大学（2020～2021 年度）では、黒色～濃色プラを識別対象として 3 種類のスペクトルデータのデータベース（DB）化、FP 型 AI ソータに組み込み可能な小型ラマン分光モジュールの性能検証、ラマンスペクトルの解析方法に関する検討を実施した。

大栄環境(株)より提供された黒色～濃色を含む 696 個の実廃プラ片の赤外吸収スペクトル、近赤外吸収スペクトル、ラマンスペクトルを明瞭なスペクトルが得られる測定条件を探索した後、できるだけ測定条件を統一して測定し、他のセンシング方法へのプラスチックの種類「正解」の提供

とサンプル性状等によるセンシングへの影響を網羅的に明らかにすることを意図して Web ブラウザーでアクセス可能な DB を構築した。本 DB では、卓上型 FT-IR 分析装置（島津 IRPrestige-21）を用いて全反射（ATR）法で測定した IR スペクトルと装置内蔵の高分子データベースで検索した物質情報、近赤外吸収スペクトル（浜松ホトニクス製 C15511 にて測定）、ラマンスペクトル（浜松ホトニクス製 C13560 にて測定）を参照可能である。

FP 型 AI ソータに組み込み可能な市販の小型ラマン分光モジュール 2 機種（浜松ホトニクス製 C13560、C15471）の性能を比較し、それぞれの特徴を明らかにした。高出力のモジュール（C15471）は、高出力化に合わせて励起レーザー光の波長を安定化させており、波長精度の高いスペクトルが得られ、簡単なピーク強度の比較による判定でも黒色プラを 5 秒程度で識別可能であることを確認した。ラマンスペクトルは鋭いピークを与えるため識別精度を向上させるためにはバックグラウンドの除去方法が重要になることから、複数の数値処理によるバックグラウンド除去方法を比較検討した結果、パラメータ設定が比較的簡単な Rolling Ball によるバックグラウンド除去を機械学習の一種である SVM との組み合わせることで、FT-IR により確実に PP と判断された黒色プラ片 11 個に対して、単純なピーク強度判定では 2 個しか判定できなかったものが 6 個まで判定ができた。最終的に大栄環境(株)提供の黒色で種類が明確な実廃プラ 60 試料（PP、PE、PS、PET、PVC）のうち、この小型ラマンセンサーを用いて 36 試料が識別可能であることを確認した。

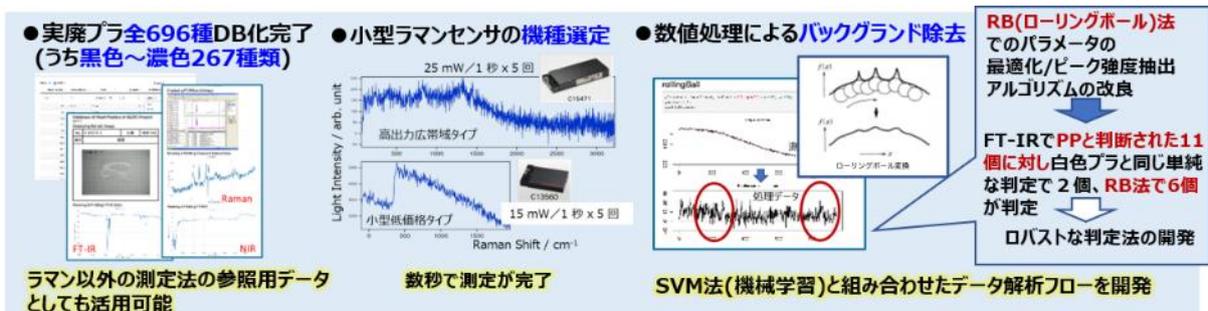


図 3.1.1-19 小型ラマンセンサーを用いた黒色～濃色プラ識別に関する検討

### b. 小型近赤外分光器による黒色プラ種別判定

大栄環境(株)提供の黒色の実廃プラ 60 試料のうち、ラマン測定では 24 試料が測定困難であったことから、後期 2 年間には最新の小型 FT-NIR 分光モジュール（浜松ホトニクス製 C15511）を導入し、スペクトルデータの測定方法及び解析方法の検討を進めた。図 3.1.1-20 に測定に用いた分光測定機器と廃プラ試料の写真を示す。光源はタングステン灯であり、光源と受光部が一体化された部品の底面を試料表面に接することで測定し、光ファイバーで分光器本体に導光する。廃プラ試料の種類は、上述の卓上型 FT-IR 分析装置（島津 IRPrestige-21）の全反射吸収（FTIR-ATR）法で判定した結果を「正解」とした。

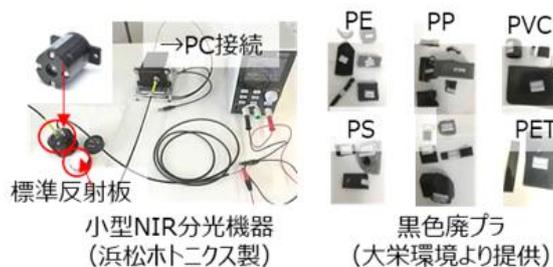


図 3.1.1-20 使用した分光測定機器と測定した黒色廃プラ試料の一部

(赤い矢印はプローブ光の照射部と方向を示す)

図 3.1.1-21 に黒色 PE 試料の測定結果の例を示す。測定スペクトルの解析は、ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリエチレンテレフタレート (PET)、ポリスチレン (PS)、塩化ビニル (PVC) の 5 種類のスペクトルを足し合わせて測定スペクトルを近似する方法を開発した。この線形回帰分析には Python の scikit-learn パッケージを用いた。寄与が最大の成分を、FTIR-ATR 測定での判定結果と比較して正解率を算出した。S/N 比が悪く、ラマン分光測定では判定が難しかった PE 試料が、NIR 測定では 9 割以上の高い寄与率で正しく判定された。

表 3.1.1-10 にラマン分光測定では測定困難な 24 試料に対する近赤外分光測定の結果をまとめて示す。2024 年 2 月時点において、全体の正解率は約 82% (49/60) となり、PVC 以外の 4 種の汎用プラスチックの正解率は概ね良好で、特に PE や PP はポリオレフィン類としてまとめると 9 割以上となる高い正解率が得られた。その後さらに測定方法と基準スペクトルを改良することにより、PVC の正解率が上昇するとともに PP と PE の判定精度が向上し、最終的に 2025 年 2 月時点では、小型近赤外分光器を用いた 5 種判別では黒色プラ全試料に対して 95%以上の正解率となった。

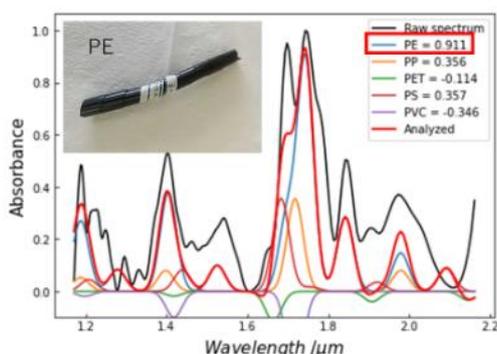


図 3.1.1-21 NIR 拡散反射吸収スペクトル解析の結果の例 (PE が最も高い寄与率と算出)

表 3.1.1-10 ラマン分光で測定な黒色プラ試料 24 試料の FT-NIR による判定結果

方種	FT-NIR 2024年2月		FT-NIR 2025年2月		方種	FT-NIR 2024年2月		FT-NIR 2025年2月	
PP	PP	○	PP	○	PE	PE	○	PE	○
PP	PE	×	PE	×	PE	PE	○	PE	○
PP	PP	○	PP	○	PE	PP	×	PE	○
PP	PVC	×	PP	○	PE	PP	×	PE	○
PP	PE	×	PP	○	PE	PE	○	PE	○
PP	PE	×	PP	○	PE	PP	×	PE	○
PP	PP	○	PP	○					
PP	PP	○	PP	○	方種	FT-NIR 2024年2月		FT-NIR 2025年2月	
PP	PP	○	PP	○	PET	PE	×	PET	○
PP	PP	○	PP	○	PET	PET	○	PET	○
方種	FT-NIR 2024年2月		FT-NIR 2025年2月		方種	FT-NIR 2024年2月		FT-NIR 2025年2月	
PS	PE	×	PS	○	PVC	PVC	○	PVC	○
PS	PS	○	PS	○	PVC	PP	×	PVC	○
PS	PS	○	PS	○	PVC	PP	×	PVC	○

### c. 局所センシング機構の装置化

局所センシングの装置化として、大型の廃プラスチック製品および袋詰めされた雑品プラに対して、大型ロボットハンドの先端に取り付けた小型ラマン分光モジュールによる選別技術を検討した（図 3.1.1-22）。白系の明るい色の廃プラスチック製品については、ロボットアームを遠隔から操作し、非接触で測定を行うことで、十分な強度のラマンスペクトルが得られた。黒色の廃プラスチック製品については、周囲の光の影響でラマンピークはノイズに埋もれてしまい、材質を判定することは困難であった。一方、手作業による評価においては、測定デバイスからのレーザーの焦点を正確に合わせ、積算時間を数分程度まで延長することで、S/N 比を向上させ、黒色プラスチックにおいても例えば PET と PE の区別が可能であった。この焦点合わせの精度については、測定点に近接した距離からの正確な位置合わせ機構の追加や測定時の迷光対策の強化を引き続き検討する予定である。また、後年度に導入して黒色プラ識別に効果が認められた小型近赤外分光器のロボットアームへの搭載についても引き続き検討を進める予定である。

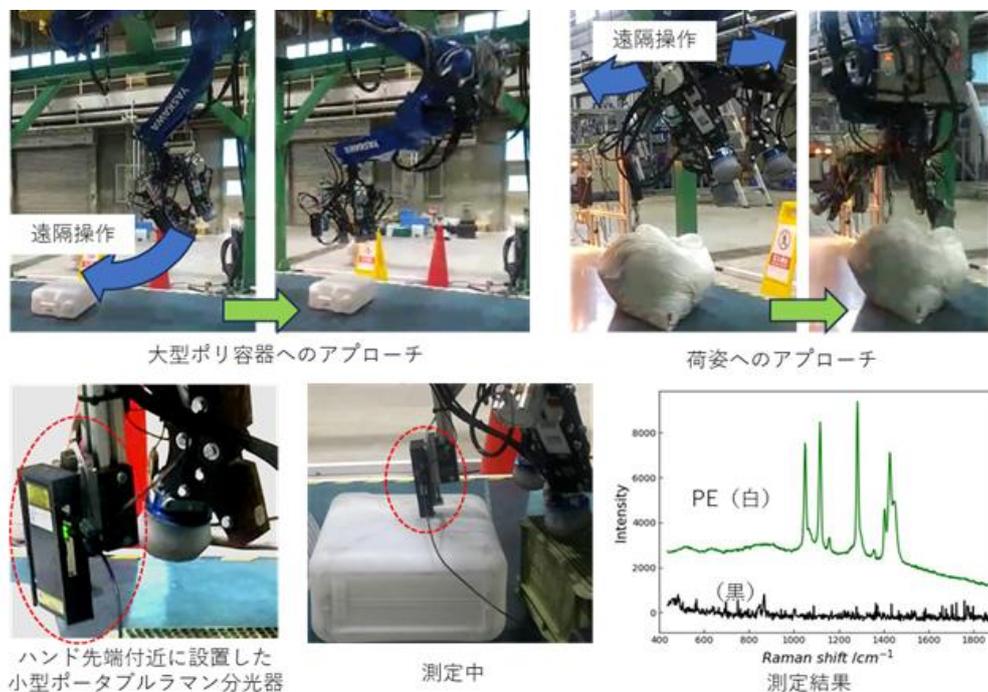


図 3.1.1-22 局所センシング実験の様子と得られたラマンスペクトル

### ①-1-3 「マテリアルハンドリング技術の開発」 (実施先：富士車輛株式会社、産総研、奈良先端大(大阪大))

雑品プラの選別を行うには、種類の判定を容易にするために廃棄物の重なりを除く作業や、ピッキングが困難な重量物を取り除く作業が必要である。本項目では、まずこうした「供給」「分散」および「困難物除去」といった FP 型 AI ソータの選別に不可欠な前処理工程を自動化するための装置・機構を開発した。さらに、AI 選別エリアに吊下式ロボットアームを配置し、雑品プラ DB に記録された各リサイクルへの最適分配を学習した AI 指示により、バラ積みピッキングの要領で回収するシステムを開発した。

本項目の目標設定は以下の通りである。

前期 3 年では、8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の新 CR 向け廃棄物(新 CR モード適用コンテナ)に対して、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/2(7 分 30 秒以内)とするための要素技術を確立する。後期 2 年では、前処理、AI 識別、ロボットピッキングの工程を統括制御するベンチスケールの選別システムを介し、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/3(8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の廃棄物を 5 分以内で処理)とするためのシステムを確立する

#### <前処理機構>

前処理機構の検討では、前処理機構の検討では、雑品プラ DB の構築過程で選定した新 CR 対象の標準モデルコンテナの内容物の状態、並びに、ロボットピッキング困難物の性状を考慮し、「長尺物・板物(1m 以上)、重量物(20kg 以上)および小物金属類」を前処理での回収対象物として定義した。これら材料の選別・除去に対応した装置、処理フローとして、前期 3 年間にオートチェッカー(重量検出器)、材料投入分散供給装置、大物ふるい装置(振動スクリーン)、切り出しコンベヤ(材料排出)、金属検出器(2 系統式)、仕分け装置を開発した。さらに後期 2 年間には FP 型 AI ソータに材料を整列搬送する振分・整列コンベアシステムを開発し、金属検出器(2 系統式)から搬送された材料の中、金属検出有無での次工程動作(金属検出品は除去し、その他材料は分散整列)の動作確認を実施した。

これら要素テストでの動作確認後、2024 年 9 月に上記装置群を FP 型 AI ソータの前処理工程として、産総研つくばセンター西事業所に移設して共同研究を実施した。図 3.1.1-23 にこれらの前処理装置群を示す。材料投入から前処理、AI 識別、ロボットピッキングの工程を統括制御するシステムを構築するとともに、全行程での目標処理時間に向けた搬送時課題およびロボットピッキングとの動作連携プログラムでの課題を解決して、目標処理時間(5 分以内)を達成する目処を立てた。

大物ふるいの開発においては、多種多様な廃プラに対して、長尺物・板物と PE 袋(45L)での選別(ふるいによる落下可否判定)を実施して、当初設計案での課題(PE 袋は、確実に落下させること。長尺物・板物は落下させない)の解決を目指した。その結果、ふるい形状の改造(特願 2022-24349)を実施した結果、長尺物・板物と PE 袋をほぼ 100%の選別性能を確認した。図 3.1.1-24 に本研究で改造したふるい形状と選別性能データ(処理時間と選別率)を示す。改造前(左)と比較して、改造後(右)には、ほぼ 100%の選別率となり処理時間も約 1 秒短縮されることを確認した。

重量物検出機構は、コンベア式重量検出装置の大型仕様(最大 60 g)とし、仕分け装置と組合せたシステムを構築した。小物金属類混入物の選別手段としては、金属探知機のコイルセンサー(磁界)のモーション検知機能を活用したスライダ式金属検出装置の新規開発を行った。金属片(鉄、銅、アルミ、SUS)のサイズ、向き、通過位置、通過高さを様々に変化させて検知の可否を確認する

とともに、大物ふるい装置等周辺装置(金属系材、モーターノイズ等)の影響についても問題ないことを確認した。図 3.1.1-25 にその試験状況および検出性能を示す。金属検知結果については、約 50mm以上の金属片は、PE 袋内の混入位置によらず、ほぼ検知が可能である。また、約 20mm以下の微小金属片についても、混入高さが 100mm以下なら検知可能である。

また、投入材料をロボットピッキングゾーンに分散、整列搬送するとともに、上記金属検出装置にて判別した金属類混入プラ袋等の異物除去の機能を集約した整列搬送（仕分け）装置を新規開発した（特願 2024-205855）。図 3.1.1-26 にその装置外観を示す。1 バッジ分（10～12 個）のプラ袋を連続投入したテスト（内、小ネジ、アルミ蒸着袋および被膜付銅線を混入したプラ袋もランダムに投入）においては、分散整列および金属類除去機能が満足することを実証できた。その結果、ロボットピッキング前工程における材料の重なりが回避されて、その有効性を確認することができた。

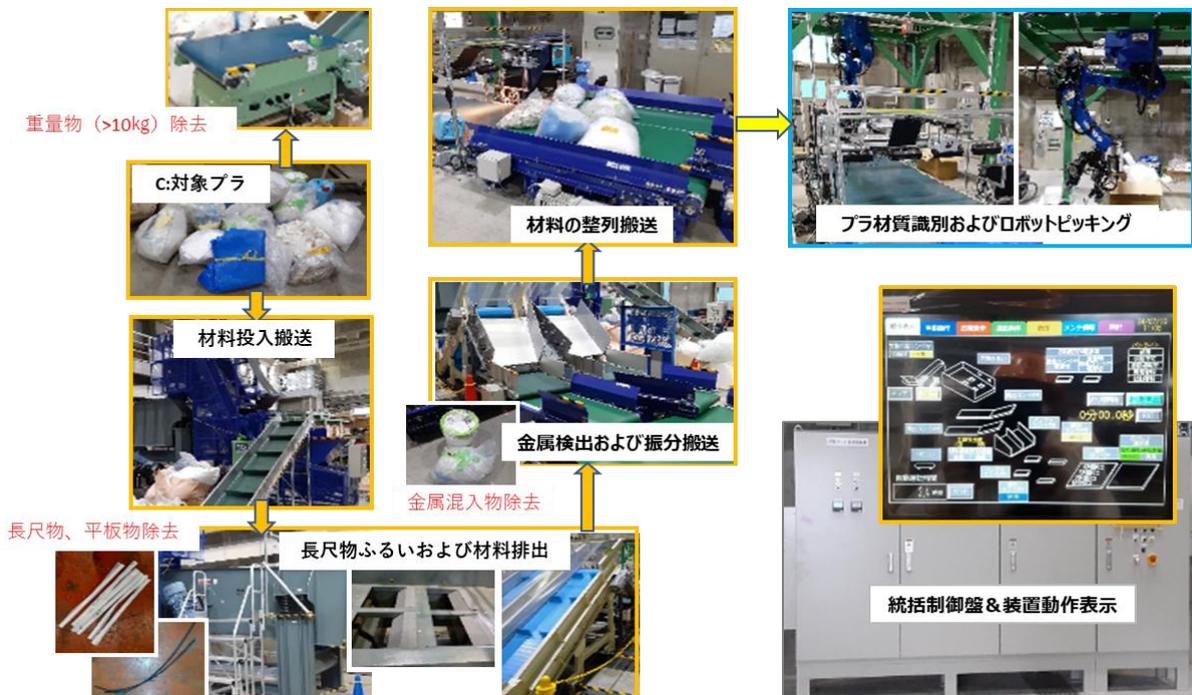


図 3.1.1-23 前処理装置群および処理フロー

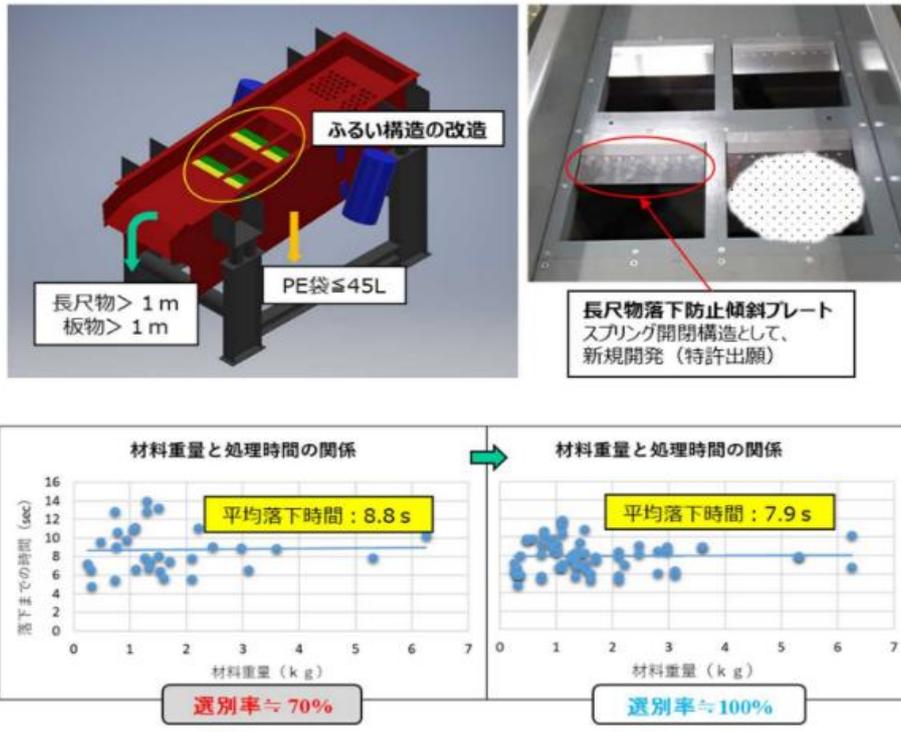


図 3.1.1-24 開発した大物ふるい形状と選別性能

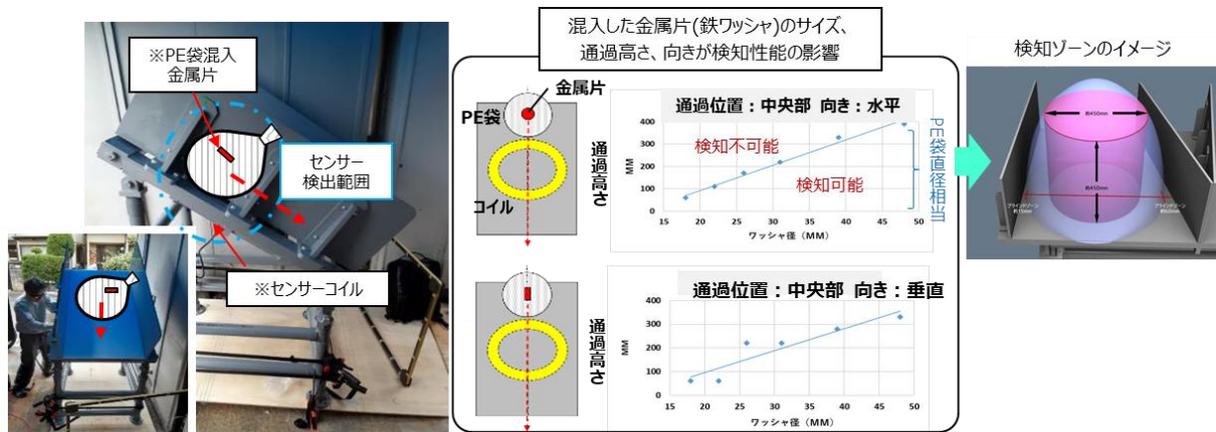


図 3.1.1-25 開発したスライダースタイル金属検出装置外観と検知性能

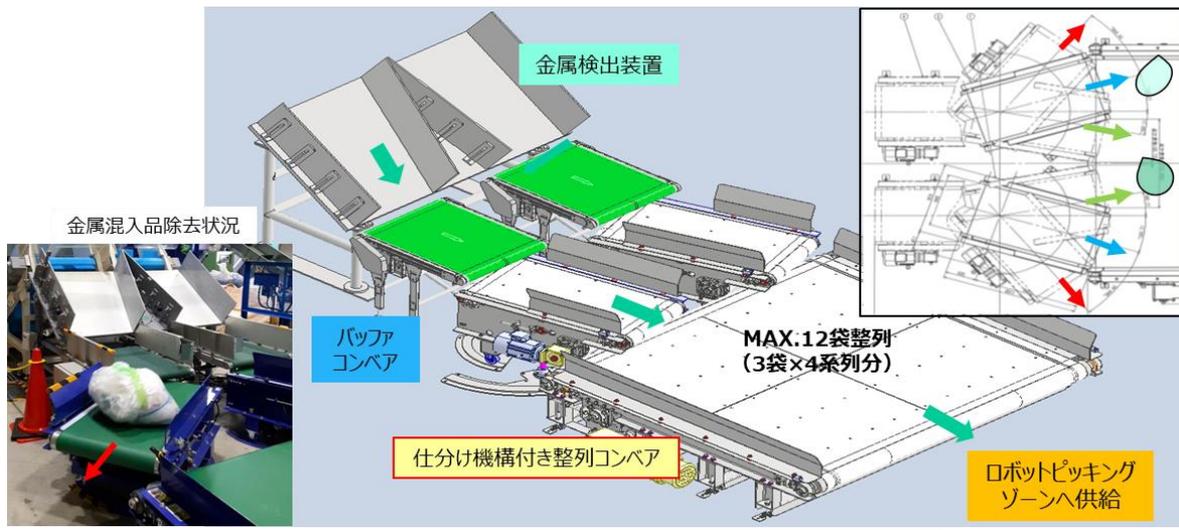


図 3.1.1-26 開発した異物除去機構付材料分散整列（仕分け）装置

### <ロボットピッキング>

一般的な工業部品等のバラ積みピッキングでは対象物の CAD データを用いて把持動作を計画するが、「雑品プラ」にはそのようなデータはなく、多品種対応が最大の技術課題となる。本項目では、把持対象となる廃棄物の 3 次元形状を自動分析し、把持の位置姿勢を自動計算するとともに、真空カップ、多指ハンドを廃棄物の形状や材質に応じて使い分けるピッキングシステムである「FP 型 AI ソータ基本モジュール」を開発した。図 3.1.1-27 に、最終年度におけるロボットピッキング動作の写真を示す。本装置では 3D ステレオカメラ、エリア式 2D カラーカメラ各 2 台を床面から約 3m 上方に取り付けており、これらの撮影データを結合することで、縦 2m×横 2m の広範囲を計測可能としている。またプラ種識別用として前述のライン式 NIR ハイパースペクトルカメラ及びテラヘルツラインセンサーを備えており、物体の形態・3D 位置とプラ種をマッチングし、プラ種識別とロボットピッキング動作が連動するシステムとしている。

ピッキングにおいては、3D 計測によって対象物の存在を認識して把持座標を算出し、ロボットアーム及びハンドを動作させる。ロボットアームの最大可搬重量は 25kg であり、ハンド部を除くと最大 10～11kg 程度の重量物をピッキング可能である。雑品プラ DB の収集データに基づき、ピッキング対象物のサイズは中小（50～500mm 角）、1 個当たりの重量は最大で 9.35 kg と想定しており、本装置の計測範囲と可搬重量はほぼ実用機相当と言ってよい。1 本のロボットアームで三指ハンド（袋物用）、吸着ハンド（バラ物用）を制御プログラムの指示によって毎回切り替え可能としている。ピッキングエリアの中心部上方に吊り下げる形でロボットアームを配置しており、1 本のロボットアームでピッキング可能なエリアを最大化している。また、ピッキング対象物の搬送機構として、幅広低床コンベヤ（全長 5m、ベルト幅 1.8m、高さ 0.15m）を導入し、以下に示すようなコンベヤ・ロボット連動サイクルを構築するとともに、前述の前処理プロセスとの接続動作を可能とした。

開始→コンベヤ定尺移動(移動中に NIR 及び THz 測定)→コンベヤ停止→2D・3D 撮影・認識・識別→連続ピッキング(最大 8 回/1 撮影) →コンベヤ定尺移動へ繰り返し→終了

本項目では最終目標として、コンテナ 1 台当たりの処理時間を現状比 1/3 (5 分) 以下にすることを掲げており、ピッキング 1 回あたりに要する時間を可能な限り短縮する必要がある。PE 袋 (45L) のピッキングを想定し、ピッキング動作のプログラムのコード改良を進め、処理時間を設備導入当初の 1/2 以下まで短縮した。最終的な処理時間は以下の通りである。通常のロボット選別機では、ロボットアーム 2 本の並列処理が標準的な仕様であることから、実用機でのピッキング時間は下記の半分と見積もって検討を進めた。

- ・コンベヤ定尺移動 (約 5m) 3.5 秒/回
- ・3D/2D 画像撮影 7 秒/回
- ・ピッキング 5 秒/個 (並列処理の場合 2.5 秒/個)

本装置の導入後、2022 年度後半には、ハンド部 (吸引型、三指型) の改良を進め「柔らかい袋物」や「角型容器」の安定した把持を可能とするとともに、前述の小型ラマン分光モジュールを搭載するための治具を開発・設置 (図 3.1.1-27 右の写真で黄色の円で囲った部分) した。また、通常のピッキング動作では対応が困難な複数プラの一括処理等を想定したロボットアームの「掃出し動作 (ベルトコンベヤの横方向に対象物を押出す)」を構築するとともに、2 通りの動作モード (新 CR 物回収モード、新 ER 物回収モード) を選択可能とした。

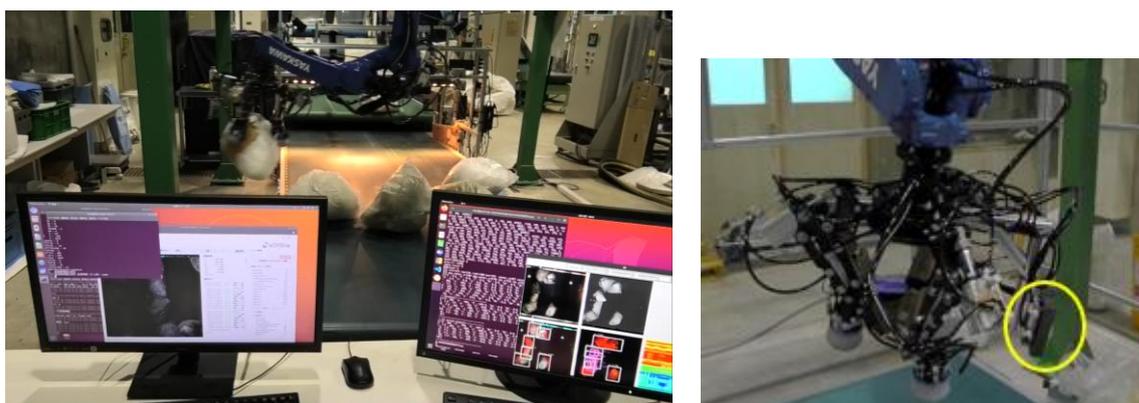


図 3.1.1-27 開発した FP 型 AI ソータ基本モジュール (左: 全景、右: ハンド部)

表 3.1.1-11 に、大栄環境(株)から提供された標準モデルコンテナ縮分試料 (縮分率 1/5) に対するプラ種判定結果の例を示す。ここに、前処理工程を経た図 3.1.1-6 中の分類 D~分類 G で構成されるテストサンプル (バラ物及び袋物、全 25 個、総重量約 45kg) を FP 型 AI ソータ基本モジュールに 3 回繰り返して供給した際の 5 クラスのプラ種判定結果を重量基準で示している。供給試料の分類 D には新 MR 物 12.8 kg と新 CR 物 35.9 kg があり、これらをピッキングして選別するケースを想定している。新 MR 物は 4.3kg が分類 D (MR) に判定される一方、8.5 kg が分類 D (CR) に判定され回収ロスとなるが、他の分類からは分類 D (MR) への混入はなく、新 MR 物の回収純度は 100% である。新 CR 物は 33.6kg が分類 D (CR) として判定される一方、2.4kg が分類 F と分類 G に判定され回収ロスとなるが、分類 E (CR 物)、分類 F (PVC)、分類 G (ER 物) からの分類 D (CR) への混入はなく、新 CR 物の回収純度は 100% である。ここで、表中の「除外」は、分類 D (CR) に判定された袋物を精選用の AI で解析・再判定することで、分類 E (CR 物)、分類 F (PVC)、分類 G (ER 物) から分類 D (CR) に混入した 10.3kg を除外したことを意味している。供給試料の分類 F (PVC) の 4.3kg は袋物の PVC 混合可燃物であるが分類 F として正しく検出された。このように再現率 (回収率) ではなく適合率 (純度) を重視す

ることで、質の高い新MR物と新CR物を選別できることを確認した。今後はAI学習用データをさらに拡充して多様なコンテナへの適用性を向上させる予定である。

表 3.1.1-11 標準モデルコンテナ縮分試料に対するプラ種判定結果の例 (単位:kg)

		プラ種別判定結果						再現率(%)
		分類D(MR)	分類D(CR)	分類E	分類F	分類G	合計(kg)	
供給試料分類	分類D(新MR物)	4.3	8.5	0	0	0	12.8	33.3
	分類D(新CR物)	0	33.6	0	0.9	1.3	35.9	93.8
	分類E(CR混合物)	0	0	21.9	3.5	0	25.3	86.5
	分類F(PVC)	0	0	0	4.3	0	4.3	100
	分類G(新ER物)	0	0	8.3	9.4	30.0	47.7	62.8
合計(kg)		4.25	42.1	30.2	18.1	31.3	136.2	
除外		0	10.3	—	—	—	10.3	—
適合率(%)		100	100	72.5	23.5	95.8	—	—

再委託先である奈良先端科学技術大学院大学(2023年度から大阪大学に継承)では、双腕ロボットによる高度な廃棄物ハンドリングの実現に向けた検証を行った。両腕の手首に搭載された力覚センサーを用いて、滑り落ちを防ぐ最小限の把持力をリアルタイムで調整しながらピッキングを行うシステムを構築した。このアプローチにより、変形物体の内部内容物の押し出しや、プラスチック容器の破損を防ぎつつ安全な把持が可能となった。さらに、双腕を活用することで大型・重量物体の持ち上げや、複雑形状物体が密集した状況下での紐状物体の切断など、より高度な操作も可能であることを確認した(図3.1.1-28)。

本研究では、迅速性優先モードと要細分化モードの2つの認識・把持戦略の研究開発を行った。迅速性優先モードでは、自己教師あり学習による把持可能領域推定モデルの構築に取り組んだ。シミュレーション実験では、近似形状や廃棄物を模擬した対象物体を用いて学習を行い、学習ステップ10000ステップ時点でそれぞれ82.8%、65.4%の成功率を達成した。さらに、認識結果に基づき、搬送中の対象物体に対して押し動作を行うことで、迅速な仕分け作業が可能であることを確認した。

要細分化モードでは、双腕ロボットによる高度な廃棄物ハンドリングの実現に向けた検証を行った。両腕の手首に搭載された力覚センサーを用いて、滑り落ちを防ぐ最小限の把持力をリアルタイムで調整しながらピッキングを行うシステムを構築した。このアプローチにより、変形物体の内部内容物の押し出しや、プラスチック容器の破損を防ぎつつ安全な把持が可能となった。さらに、構築した双腕ロボットシステムを活用することで大型・重量物体の持ち上げや、複雑形状物体が密集した状況下での紐状物体の切断など、より高度な操作も可能であることを確認した。



図 3.1.1-28 双臂ロボットを用いたハンドリング動作の検証実験

双臂ロボットでのハンドリングについては、将来的に、FP 型 AI ソータの前処理工程で対象物の分散や処理困難物の除去、後処理工程で FP 型 AI ソータが取りこぼした対象物の回収（精選）等での補助的な活用を想定している。

#### ①-1-4 最終目標の達成状況

研究開発項目①-1「フィールドピックアップ（FP）型 AI ソータの開発」における目標設定は以下の通りである。

前期 3 年: 8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の新 CR 向け廃棄物(新 CR モード適用コンテナ)に対して、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/2(7 分 30 秒以内)とするための要素技術を確立する。

後期 2 年: 前処理、AI 識別、ピッキングの工程を統括制御するベンチスケールの選別システムを介し、前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比 1/3(8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の廃棄物を 5 分以内で処理)とするためのシステムを確立する。

図 3.1.1-29 及び表 3.1.1-12 にこれらの目標の達成状況を示した。本研究では、前処理を含む選別工程に要する処理時間を計測する際のベンチマーク条件として、前述の「標準モデルコンテナ (8m<sup>3</sup>) 1 台が 45L サイズの PE 袋 100 袋 (新 CR 物、新 ER 物、新 CR 混合物の 3 種類が存在) で構成されており、その中から 54 袋を FP 型 AI ソータで選別する」を想定し、これに要する時間を現状と比較した。

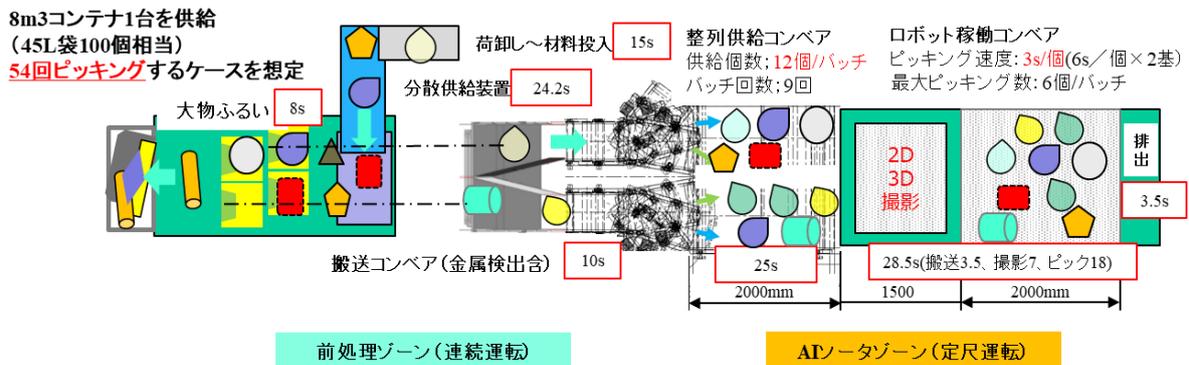


図 3.1.1-29 8m<sup>3</sup> コンテナ 1 台分相当の新 CR 向け廃棄物の処理時間

表 3.1.1-12 前処理を含む選別工程に要する処理時間

	前処理システム	FP型AIソータ	合計
中間成果	82.2秒	262.0秒	342.2秒
		54個すべてをピッキング	7分30秒以内達成
最終成果	74.0秒	184.5秒	262.0秒
		1種をコンベヤ搬送 最大36個をピッキング	5分以内達成

前期 2 年間の開発における各装置の処理時間は以下の通りである。

- ① 前処理 82.2 秒
  - ①-1 荷下ろし～供給装置投入 15 秒
  - ①-2 分散供給装置 24.2 秒
  - ①-3 大物ふるい装置 8 秒
  - ①-4 搬送コンベヤ（重量選別、金属選別） 10 秒
  - ①-5 整列供給コンベヤ（供給個数 12 個/バッチ） 25 秒
- ② ピッキング 256.5 秒 = (3.5+7+18) ×9 バッチ
  - ②-1 コンベヤ搬送（定尺運転） 3.5 秒
  - ②-2 センシング（2D、3D、NIR、THz） 7 秒
  - ②-3 ピッキング（6 回/バッチ） 18 秒 = 3 秒/個（6 秒/個÷2 基）
- ③ 後処理：排出（コンベヤ搬送） 3.5 秒

ここで、荷下ろしから①-5 の整列供給コンベヤに初回バッチ 12 個の袋が整列するまでに 82.2 秒（①-1～①-5 の合計）が経過する。整列後に直ちにロボット稼働コンベヤが起動し、定尺運転により移動するが、ここでの搬送とセンシングに 10.5 秒、1 バッチあたり 6 回の連続ピッキングを行うと 18.0 秒を要する。ピッキング速度は 6.0 秒/回であり、ロボット選別機で通常用いられるアーム 2 基並列方式を想定して 3.0 秒/個とする。搬送、センシングを含む 1 バッチのピッキングには 28.5 秒を要するが、100 個分を処理するため 9 バッチ 繰り返す間に 256.5 秒が経過する。この間、①及び③は並行して動作する。最終的に 9 バッチのピッキングを終了した後、残った袋を排出するのにさらに 3.5 秒を要する。最終的に一連の工程に要する時間は 342.2 秒となる。これにより中間目標である「コンテナ 1 台相当分の処理時間を 7 分 30 秒以内」を達成した。

後期 2 年間では、各装置の動作を最適化することにより処理速度の向上を図った。まず、前処理においてボトルネック工程の処理速度を改善することで、前処理時間を 82.2 秒から 74.0 秒に短縮した。AI ソータ部においては、ロボットハンドの把持機構と識別・制御プログラムの改良により、ピッキング速度を 6.0 秒/回から 5.0 秒/回に短縮した。

前期 3 年間では 54 個すべてをロボットアームでピッキングする想定であったが、後期ではコンベアの搬送機能を利用し、選別産物の 1 つはコンベアで搬送する仕様に変更した。54 個の袋物を新 CR/新 ER/新 CR 混合物(既存選別工程行き)の 3 産物に選別することを考えた場合、量の少ない 2 産物をアームでピッキングすることになるので、ピッキング数は最大でも 36 個に軽減される。これにより 1 バッチあたりのピッキング回数は 4 回、ピッキング時間（2 ハンド）は 10 秒（5.0 ÷ 2 × 4）

となる。従って、9バッチのピッキング時間は184.5秒 $((3.5+7+10) \times 9)$ となる。これに前処理時間74.0秒、残留袋の排出時間3.5秒を加えると、最終的に一連の工程に要する時間は以下の通り262秒となる。

$$74.0 + (3.5 + 7 + 10) \times 9 \text{ (9バッチで各4回ピッキング)} + 3.5 \\ = 74.0 + 184.5 + 3.5 = 262.0 \text{ 秒}$$

これは54個を3産物選別する場合の最大時間であり、例えば、54個中6個だけを新CRあるいは新MR向けにピッキングする場合は以下の通り187秒で完了する。

$$74.0 + (3.5 + 7 + 5.0) \times 3 \text{ (3バッチで各2回ピッキング)} + \\ (3.5 + 7) \times 6 \text{ (6バッチはピッキングなし)} + 3.5 \\ = 74.0 + 46.5 + 63 + 3.5 = 187.0 \text{ 秒}$$

以上により、最終目標である「前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比1/3(8m<sup>3</sup>コンテナ1台分相当の廃棄物を5分以内で処理)とするためのシステムの確立」を達成した。

## ・ 詳細説明 ; 高度比重選別システムの開発

廃製品から各種金属を回収したあとの、廃プラを含む多くの混合物「製品別プラ」を対象とする。組成が複雑で 5cm 以下のこれら細粒物に対し、最も精度よく選別できるのは、湿式比重選別法の 1 種であるジグ選別である。しかし、元々、組成比既知の 2 成分選別機であるため、組成比未知の複雑組成混合物である「製品別プラ」に対して、経済合理性を持って、精度よく多成分に比重選別することができない。これを「製品別プラ」の選別に適用するには、2 つの弱点を克服しなければならない。まず、すべての比重選別に共通する弱点は、選別の境界条件が比重だけで決まらない点である(図 3.1.2-1, 弱点 1)。比重選別は水中あるいは空気中の粒子運動の差で選別する装置であり、その運動は粒子の比重以外にもサイズ・形状の影響を受ける。その影響の受け方が装置の選別機構に依存することは認識されているが、この 3 物性がどのように選別精度に影響するかの理論的説明はほとんどなされていない。そこで本研究では、比重選別の阻害因子となる粒子のサイズと形状のバラツキを解消する方法とそのための装置を開発することを目標とした。もう 1 つの弱点はジグの装置機構として、組成比未知の多種混合物は精度よく選別できない点にある(図 3.1.2-1, 弱点 2)。これについては、重軽産物を排出する新しいジグ装置機構を開発することを目標とした。これら新機構を有する高度比重選別システムの開発により、「製品別プラ」から、新 MR、新 CR および新 ER に提供可能な産物を回収可能にすることが本研究の目的である。また、低品質で従来 ER 向けにしか適用できない「製品別プラ」に対しては、乾式比重選別の適用可能性も検討した。

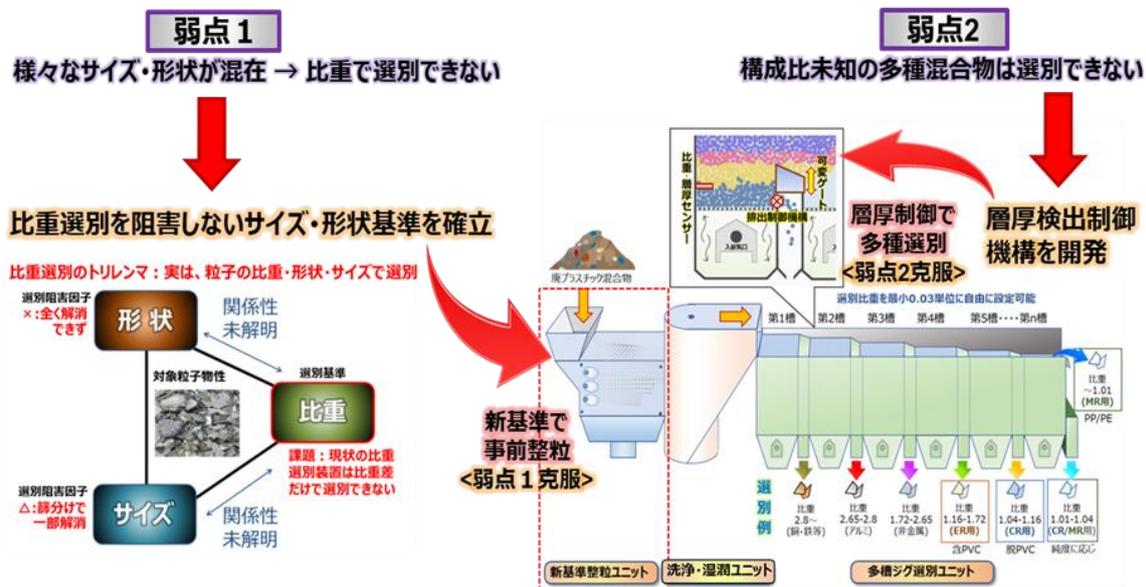


図 3.1.2-1 高精度なジグ選別を実現するための 2 つの弱点の克服

本研究開発の目標は以下の通りである。

### ・ 中間目標

「製品別プラ基準試料」に対し、新 MR・CR・ER で再資源化可能なプラ組成の産物を回収率 95%以上で実現できる、洗浄・湿潤条件や、ジグ選別機の層厚・排出制御機構を開発し、大栄環境の提供する「製品別プラ」実試料に対する適用可否を判断する。また、新 ER 向け乾式選別の適用

可能性を検討するとともに、洗浄・湿潤ユニット、多槽ジグ選別ユニットの基本性能を備えたベンチ試験機を試作する。

・最終目標

高精度化に向けた改良を加えて、新 MR・CR・ER の目標品質を回収率 95%以上で実現できる一連の多槽比重選別システムのベンチスケール機を完成させる。また、実プラントへの導入を想定して開発システムの性能や新 MR、新 CR および新 ER の分配特性や採算性等を試算・評価する。

①-2-1 サイズ・形状指標の解明と事前整粒装置の開発（実施先：産総研、大栄環境）

本研究では、低コストで高精度に大量処理可能なジグ選別機を、「製品別プラ」選別に適用するため、まずは、ジグの比重選別を阻害しないサイズ・形状のパラメータを統一化し(弱点1の克服)、このパラメータを境界条件として事前整粒する装置を開発することを目標とした。

ジグは上下に脈動(種々の波形で上下運動)する水中での、粒子運動の差を利用して比重選別する方法である。比重選別が成立する粒度幅(粒度範囲)は、等速沈降比として示される。これは、比重  $A > B$  の粒子の選別を考えたとき、静止水中を同じ速度で沈降する「粒径小なる比重 A 粒子」と「粒径大なる比重 B 粒子」の粒径比であり、この粒径比以内に事前整粒すれば、比重を基準とした選別が成立するという考えである(図 3.1.2-2 (a))。今もなお、等速沈降比を超える事前整粒基準は存在しないが、実際の比重選別機では全く成立しない。等速沈降比は、定常運動速度(終末沈降速度)で比較しているのに対し、ジグ運動下の粒子は水の加速度を被る非定常運動となる。このように球形粒子におけるサイズ/比重依存性ですら、未だ評価基準として確立されておらず、このことが、ジグをはじめ、比重選別の高精度化を阻む要因となっている。本研究では、ジグの選別阻害要因を解消するための、サイズ・形状の境界条件(新整粒基準)を明確化するとともに(図 3.1.2-2 (b))、その境界条件を基準として選別するための、多段乾式スクリーン(新基準整粒ユニット)のベンチスケール試験機を試作した。

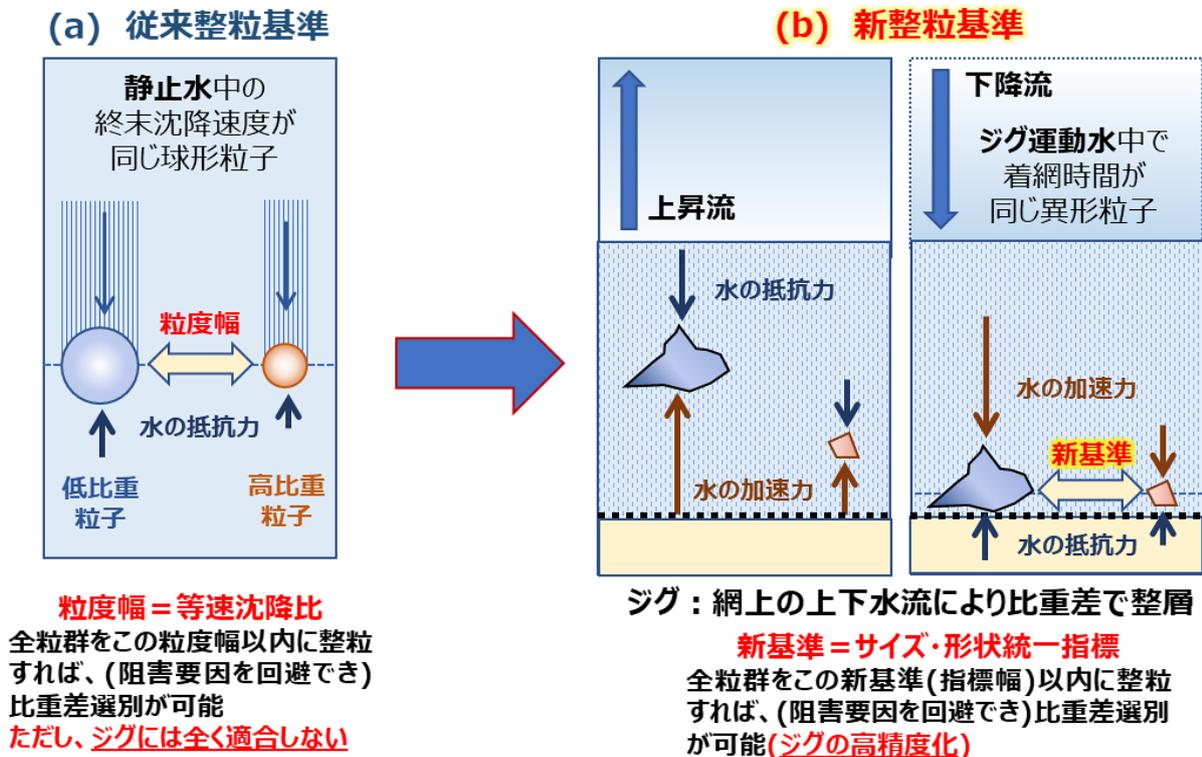


図 3.1.2-2 高精度なジグ選別を実現する新事前整粒基準の確立

①-2-1-1「サイズ・形状指標の選択」（実施先：産総研、大栄環境）

サイズ・形状指標の解明と事前整粒装置の開発について、サイズ・形状指標の解明のため、表 3.1.2-1 に示す材料・比重別に色分けされたプラスチック破砕物試料を用いたジグ成層化可否試験を実施した。プラスチック破砕物試料は、目視での成層化の状態判断、手選別による回収産物分類・重量計測を

表 3.1.2-1 廃プラ模擬素材一覧

比重	色	母材	比重調整剤	板厚(mm)
1.01	緑	PP	BaSO4	1.5, 2, 3, 5, 10
1.04	淡黄	ABS	-	1.5, 2, 3, 5, 10
1.10	茶	ABS	BaSO4	1.5, 2, 3, 5, 10
1.15	紫	ABS	BaSO4	1.5, 2, 3, 5, 10
1.20	透明	PC	-	1.5, 2, 3, 5, 10
1.24	赤	PC	BaSO4	1.5, 2, 3, 5, 10
1.28	黄	PC	BaSO4	1.5, 2, 3, 5, 10
1.38	灰	PVC	-	1.5, 2, 3, 5, 10
1.42	白	POM	-	2, 5, 10

するため、比重ごとに色の異なるプラスチック板材(板厚:1.5mm,2mm,3mm,5mm,10mm)を製作した後、二軸破砕機(氏家製作所製 UG-165-20-240)と一軸破砕機(吉田製作所製 型式 1005)を用いて破砕し、製作した。複数の板厚の材料を使用した理由は、破砕物の形状にバリエーションを持たせるためである。破砕した試料は、JIS 篩で篩分けし、サイズ別に分類した。サイズ(幅)の指標は篩分けサイズを元に、長さの指標と面積の指標を定義した。長さの指標は、篩分け粒子群の代表粒径  $d_{mid}$  を以下のように定義した。

$$\text{代表粒径 } d_{mid} = \sqrt{d_{max} \cdot d_{min}}$$

( $d_{max}$ : 篩分け上限サイズ、 $d_{min}$ : 篩分け下限サイズ)

この代表粒径  $d_{mid}$  は開口面積の中間値となる長さを示す。

$$\text{開口面積比 } \gamma_{range} = \frac{d_{max}^2 - d_{min}^2}{d_{mid}^2}$$

面積の指標は、代表粒径粒子基準の篩いの開口面積幅比  $r_{range}$  を以下のように定義した。この開口面積幅比  $r_{range}$  は、代表粒径の開口面積に対する上限・下限サイズの開口面積差である。

次に、形状指標は球形からどれだけ離れた形状をしているかを数値化するため、廃プラスチック特有の形状特徴量として扁平率  $f$  を  $f=(b-t)/b$  ( $a \geq b \geq t$ ) と定義した。a,b,t は、粒子の縦(a)、横(b)、厚さ(t)の長さである。図 3.1.2-3 に、破砕前のプラスチック板材の板厚および篩分けサイズごとに 20 個を

サンプリングし、ノギスで縦(a)、横(b)、厚さ(t)を測定した扁平率の平均値を示す。扁平率  $f$  は、球体の場合に 0 となり、扁平な形状になるほど 1 に近づく値である。母材の板厚が 10mm の破砕物は、サイズの大小に関わらず扁平度が 0.5 以下と球形に近い値をとる。これに対して母材の板厚が 1.5mm の破砕物は、篩分けサイズが 11.2~16mm の時に 0.91、サイズが小さくなるにつれて扁平率が徐々に大きくなり、4~5.6mm で 0.76 をとる。サイズが小さくなるにつれて扁平率が小さくなる、すなわち形状が球形に近づく現象は、母材の板厚 2mm, 3mm, 5mm の破砕物についても同様である。また、同一篩分けサイズにおいては、当然ながら母材板厚が薄い方が破砕物の扁平率が大きい。

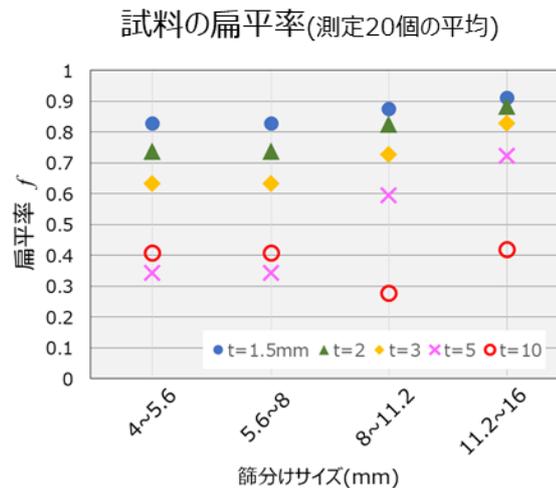
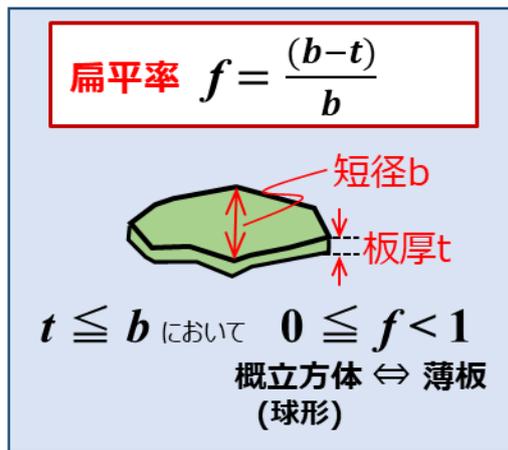


図 3.1.2-3 板厚、篩分けサイズ別の扁平率 (測定 20 個の平均)

このプラスチック破砕物を用いて、サイズ差によるジグ選別精度の変化、形状差によるジグ選別精度の変化の検証を行った。図 3.1.2-4 に母材板厚 10mm 破砕物に対する、篩分けサイズ別のジグ選別結果を示す。青の指標は軽比重プラとして比重 1.01 の PP、重比重プラとして比重 1.04 の ABS 使用している。赤の指標は軽比重プラとして比重 1.24 の PC、重比重プラとして比重 1.38 の PVC 使用している。分離効率は、3 層分離で境界層(40%)を除き、上層(30%)と下層(30%)を回収 (図 3.1.2-5) した場合の値であり、ジギングのサイクル数・波高の最適条件下で試験したものである。

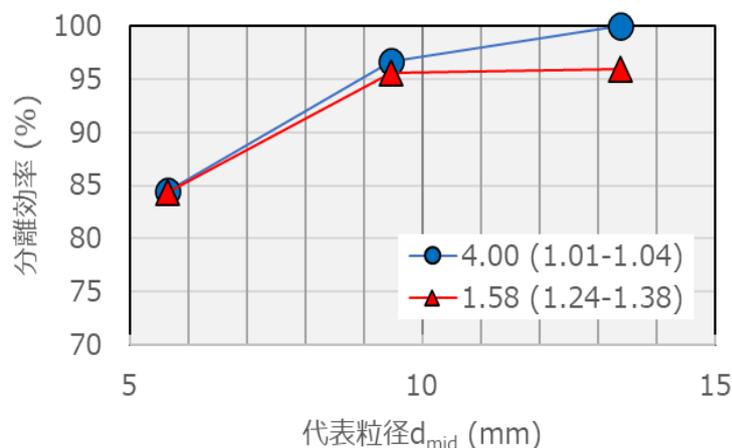


図 3.1.2-4 同一等速沈降比(板厚一定)における粒子サイズ差によるジグ選別精度の変化

等速沈降比:1.58,比重:1.24-1.38



図 3.1.2-5 ジグの成層化例

ジグ選別では、旧来選別難易指標として静水中の球形粒子の落下速度を想定した等速沈降比が用いられているが、

$$\text{等速沈降比 (乱流域の場合)} = \frac{\rho_H - \rho_F}{\rho_L - \rho_F}$$

( $\rho_H$ :重産物の比重、 $\rho_L$ :軽産物の比重、 $\rho_F$ :水の比重)

青指標の選別対象物の組み合わせは等速沈降比 4.00、赤指標の選別対象物の組み合わせは等速沈降比 1.58 である。いずれもサイズが大きくなるにつれて分離効率が上昇しており、サイズと分離効率の相関性が認められる。旧来の水との比重差のみに着目した等速沈降比では、サイズ差による選別精度の変化は説明できない。なお、図 3.1.2-3 より母材板厚 10mm 破碎物の扁平度は、サイズに寄らず一様であることから類似形状ということが出来る。さらに、図 3.1.2-6 に同一比重差、同一篩分けサイズの

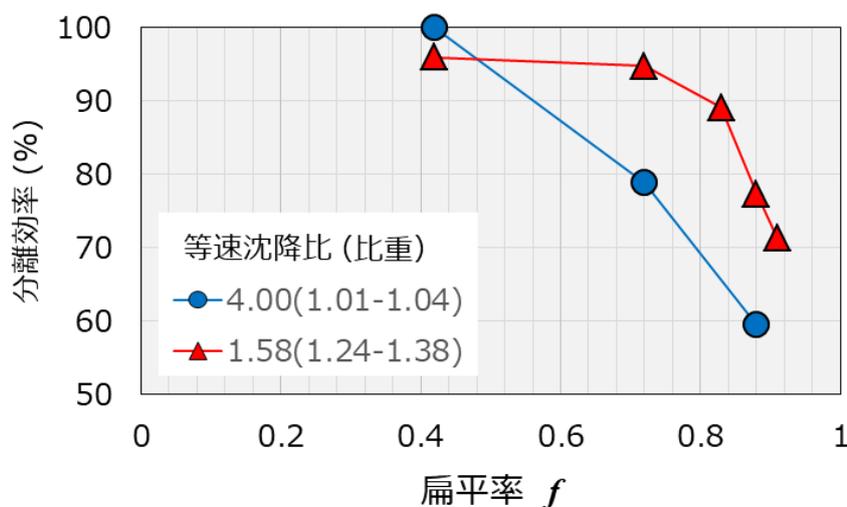


図 3.1.2-6 同一等速沈降比(サイズ一定)における粒子形状差によるジグ選別精度の変化

試料における形状の違いによる選別精度の変化を示す。これも青の指標は軽比重プラとして比重 1.01 の PP、重比重プラとして比重 1.04 の ABS 使用し、赤の指標は軽比重プラとして比重 1.24 の PC、重比重プラとして比重 1.38 の PVC を使用している。それぞれ扁平率が小さくなる（球形に近づく）につれて、選別精度が向上しており、相関性が認められる。このことから、扁平率は選別に影響を及ぼす要因と考えることが可能である。また、この扁平率の違いによる選別精度の変化も旧来指標の等速沈降比では説明が出来ず、等速沈降比は、傾向は示すもののジグの成層化可否基準としては不十分であると言える。

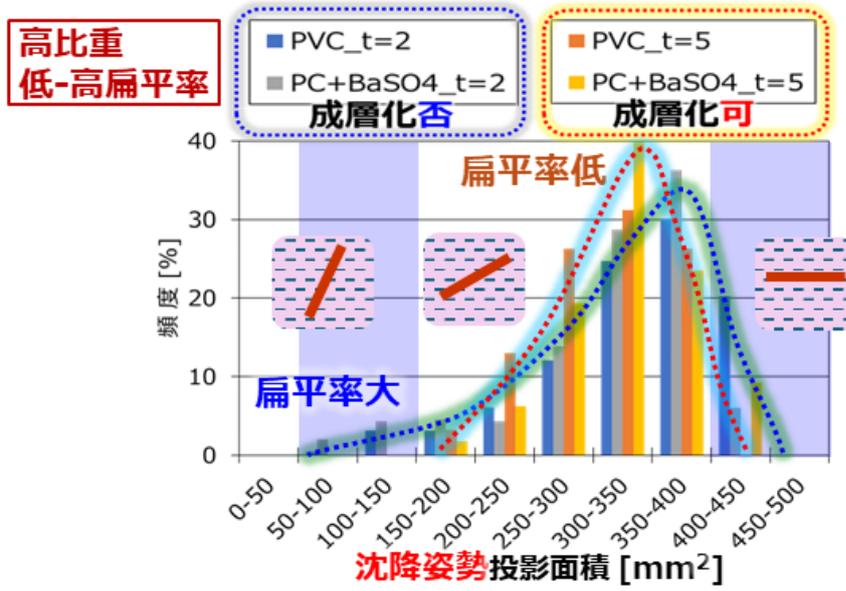
#### ①-2-1-2 「ジグの沈降速度差に影響する粒子投影断面分布」 (実施先：産総研)

事前整粒装置を開発するに当たり、ジグ成層化の可否とプラスチック粒子の各種形状特徴量との関係性を解析した。まず、厚さやふるい分けサイズの異なるプラ破碎粒子を 3D スキャニングして 3D 形状モデル (stl 形式) を作成し、それらに対して全方位からの投影断面積やアスペクト比 (短軸/長軸比) 等の形状特徴量を測定した。プラ粒子の厚さやサイズを変えたジグ成層化試験において、同じ運転条件でも成層化「可」もしくは「否」となった場合にプラ粒子の形状特徴との関連性を解析した結果、「否」の場合には、投影断面積、アスペクト比ともに小さい範囲、即ち大きな扁平率を有する粒子を含んでいることが分かった。

ジグ選別槽内での粒子運動には粒子に働く流体抵抗力が大きく影響するため、水流方向に対する投影断面積が重要であるが、正確に測定するのは困難である。そこで、静水中を自由落下させてプラ粒子の姿勢の時間変化を観測し、投影断面積の頻度分布を測定した。投影断面積は、水槽内の水中に投下されたプラ粒子の撮影を、側方および上方の 2 方向より同期させたハイスピードカメラを用いて行い、二値化などの画像処理を経て測定した。

図 3.1.2-7 (a) に、ふるい分けサイズ  $D$  が 11.2~16 mm、厚さ  $t$  が 2、5 mm の PVC (比重 1.38) および PC+BaSO<sub>4</sub> (比重 1.28) について、図 3.1.2-7 (b) には  $t=2$  mm、 $D=8\sim 11.2$ 、11.2~16 mm の ABS (比重 1.04) および PP+BaSO<sub>4</sub> (比重 1.01) について、0.1 s 間隔で投影断面積を取得した時の頻度分布の例を示す。まず、これらを全方位からの投影断面積分布と比較するとピークが右側にシフトしており、自由沈降時にはより水平な姿勢をとりながら落下することが分かった。図 3.1.2-7 (a) より、投影断面積の頻度分布は粒子の厚さによって傾向が異なり、扁平率の高い 2 mm の場合に広いことが分かる。この場合、抵抗力に大きなばらつきが生じ、結果として沈降速度にもばらつきが生じることから、扁平率が高いと成層化が困難になるといえる。また図 3.1.2-7 (b) より、比重が 1.01 または 1.04 のように水に近いものの場合、ゆっくりとした速度で沈降し、かつ姿勢の変化が少ないために投影断面積の分布が狭くなることが分かった。 $D=8\sim 11.2$  mm の場合に成層化「可」、11.2~16 mm では「否」と違いが生じた原因は、沈降時の投影断面積の違いであり、前者ではプラ種間に投影断面積の差が見られるが、後者ではそれがなかった。以上のように、成層化の可否が変化する原理として、扁平率の違いにより、投影断面積のばらつきから沈降速度にばらつきを生じる場合と、投影断面積の違いから沈降速度に差が生じる場合があることが分かった。いずれの場合も扁平率に起因することから、ジグ成層化条件に資する形状指標として扁平率を用いることに決定した。

(a) 高比重かつ t=2、5 mm



(b) 低比重かつ D=8-11.2、11.2-16 mm

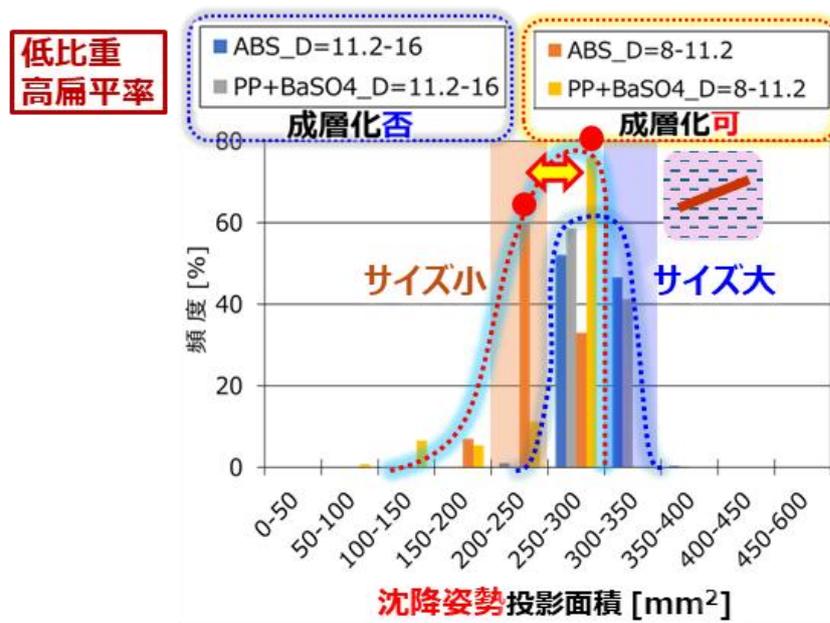


図 3.1.2-7 自由沈降時の投影断面積の頻度分布例

### ①-2-1-3「ジグ整粒条件」(実施先:産総研、大栄環境)

整粒条件の違いによるジグの選別精度の変化から、サイズ/形状指標による成層化可否基準を検討する。はじめに製品別プラの形状特徴分析結果として、大栄環境より受領した廃小家電由来の廃プラ(廃小家電(炊飯器、扇風機、電子レンジなど)をリサイクルプラントで粉砕、選別し金属回収した後のプラスチック残渣。)の写真および板厚分布を図 3.1.2-8 に示す。プラスチック材料は板状製品が多いため、1.5~3.5mm が全体の 82.3%を占めており、製品別プラの高精度選別のためには、板状材を高精度に選別する整粒グループ設計が必要である。

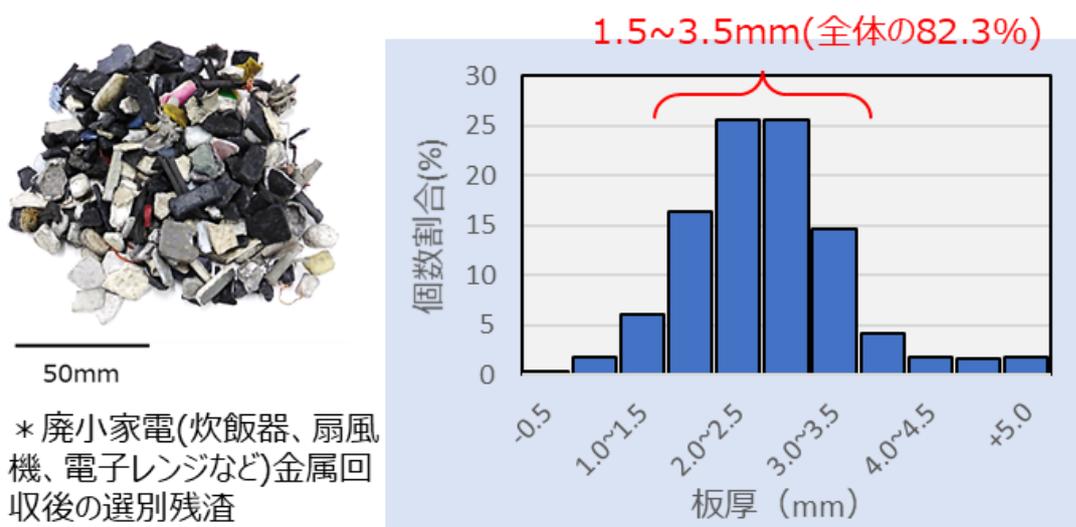


図 3.1.2-8 製品別プラおよび板厚分布の例

この製品別プラを選別することを想定し、プラスチック破砕物試料によるジグ選別試験を実施した。プラスチック破砕物試料を従来の篩分けのみで整粒し、ジグ選別を行った結果を図 3.1.2-9 に示す。なお、試験には軽比重プラとして比重 1.24 の PC、重比重プラとして比重 1.38 の PVC を用いている(等速沈降比 1.58)。左の青枠内はサイズ(幅)指標で代表粒径  $d_{mid}=8.0$ 、開口面積比  $r_{range}=3.8$  の場合のジグ選別の分離効率である。同一サイズ(幅)にも関わらず分離効率が 70%から 94%まで大きな差がある。前述のとおりジグの選別結果(分離効率)には、形状要因として扁平率が大きく影響するが、この選別結果の中で扁平率のバラツキが 0.37~0.79 と幅広く、扁平率の差により分離効率に差が生じたと言える。右青枠内も同様に、代表粒径  $d_{mid}=13.4$ 、開口面積比  $r_{range}=0.73$  の同一サイズ(幅)の選別結果であり、扁平率のバラツキが 0.28~0.91 の範囲で、分離効率が 71%から 96%の差が生じている。この結果は、従来の篩分け事前整粒では、サイズ幅と扁平率により成層化良否が混在し分離効率にバラツキが生じること、つまり、従来の篩分け事前整粒では整粒が不十分であることを示している。

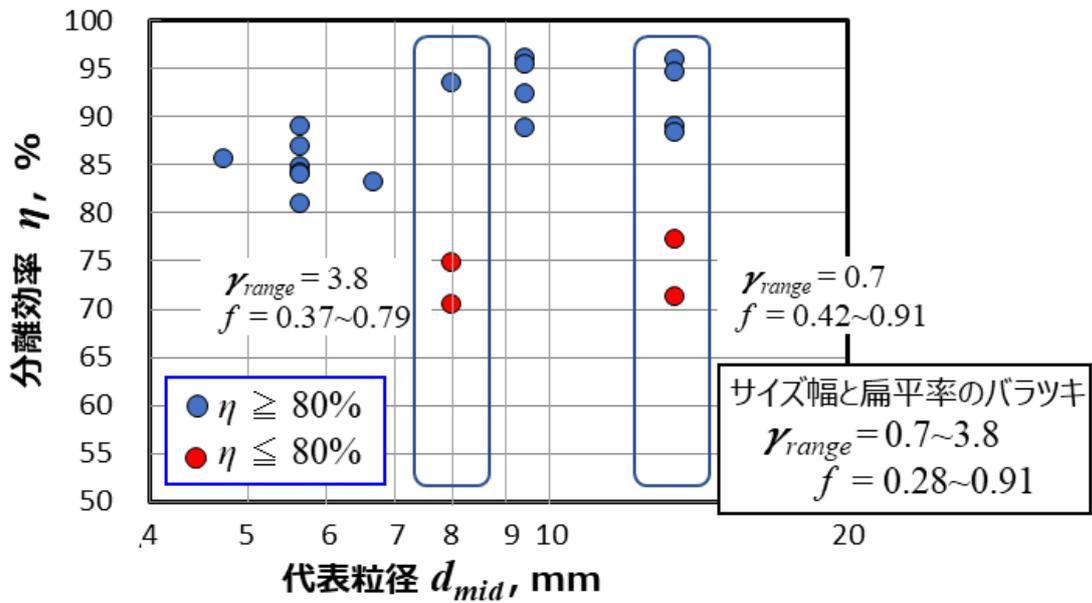


図 3.1.2-9 PC(比重 1.24)と PVC(比重 1.38)の選別結果(従来指標)

比重・形状・サイズの異なるプラスチック破砕物試料によるジグ選別試験を解析し、検討の結果、扁平率  $f$ 、代表粒径  $d_{mid}$ 、開口面積比  $\gamma_{range}$ 、等速沈降比  $R$ 、をパラメタとするジグ選別に適合した粒子のサイズ・形状・比重統一指標  $I_{std}$  をサイズ/形状統一指標を開発した(図 3.1.2-10)。「比重 1.04~1.38, 等速沈降比 1.36~9.5」の範囲で、 $I_{std} \leq 0.37$  とすることで概ね分離効率 90%以上となる粒子条件を予測可能である。

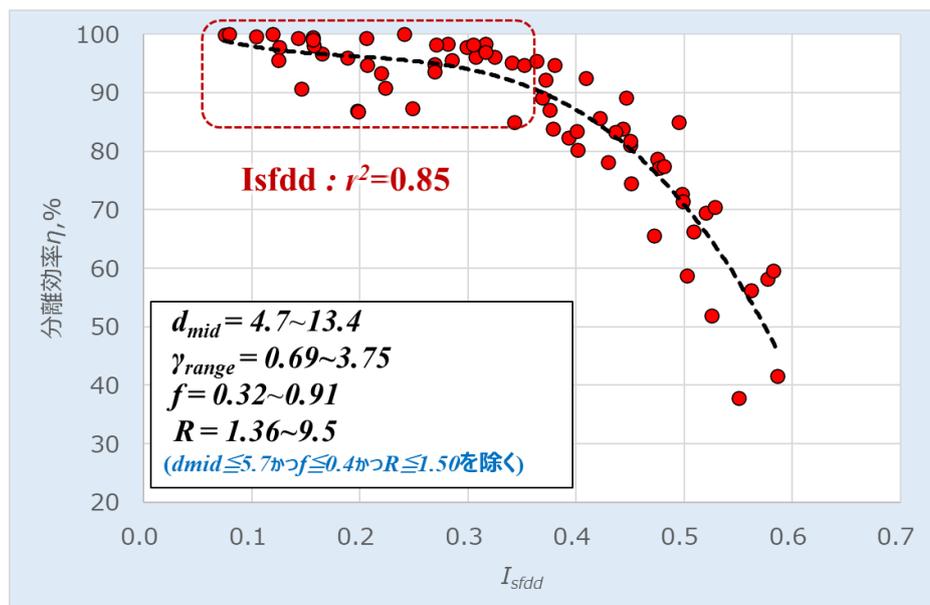


図 3.1.2-10 サイズ/形状統一指標と選別精度の関係

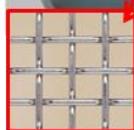
#### ①-2-1-4 「事前整粒装置の開発」 (実施先：産総研)

ここまでに検討したサイズ/形状統一指標を用いてジグで高精度選別を行うためには、選別対象粒子のサイズ制御、形状制御に適した事前整粒装置が必要である。投影断面積基準のサイズ整粒には従来型の振動スクリーンが有効である。図 3.1.2-11(左)は徳寿製作所製の円型振動篩 (型式 TM-70) である。スクリーンの形状は JIS 標準篩に用いられる平織の正方形格子状の網目を用いた。形状(扁平率)制御には粒子の厚さで整粒する必要がある。この厚さでの選別には、スクリーン上で粒子の姿勢を強制的に縦向き(厚さを一辺に持つ断面が底面となる姿勢)にできるグリズリスクリンが適していると考えられる。図 3.1.2-11(右)は日本エリーズマグネチック社製の直進型振動スクリーン (BF 300Wx800L) に一定のクリアランス (隙間) を開けてアングルを並列に設置したグリズリスクリンである。クリアランスを通過する厚さの粒子と、通過しない粒子を分類する装置である。クリアランスは形状の境界条件によって定められ、サイズ制御と併用することで扁平率での形状制御が可能となる。以上のように、サイズ整粒スクリーンと形状整粒スクリーンを複合し、粒子グループ化の設計を実現するコンビネーションスクリーンのベンチ機を開発した。

このコンビネーションスクリーンの性能を検証するため、前述のサイズ・形状・比重統一指標  $I_{std}$  を 0.37 以下にするよう整粒を行い、整粒の実施有無によるジグの選別精度の比較を行った(表 3.1.2-2)。試験に用いた試料は板厚 1.5, 2, 3, 5mm の PC(比重 1.24)破砕物と PVC(比重 1.38)破砕物を混合したプラ試料である。事前整粒前はサイズ・形状・比重統一指標  $I_{std}$  は 0.47 で分離効率は 72.5%であった。一方、事前整粒後はサイズ・形状・比重統一指標  $I_{std}$  は 0.32 で分離効率 90.4%と、分離効率が 17.9%向上した。以上のように、開発したコンビネーションスクリーンによりサイズ・形状・比重統一指標  $I_{std}$  を基準値以下に整粒することで選別精度が向上することが確認できた。

### サイズ整粒部

円型振動篩



JIS標準篩網目  
(平織・正方格子)

既存装置+スクリーン  
を利用

+

### 形状整粒部

多段グリズリスクリン



既存装置をベースに改良：  
クリアランスの異なるグリズリ  
スクリーン 2段構成

図 3.1.2-11 サイズ整粒部概要

表 3.1.2-2 開発装置による整粒効果の検証結果

	事前整粒なし	事前整粒後
板厚(mm)	1.5~5	3~5
篩分けサイズ(mm)	4~16	4~8
整粒指標 $I_{sfd}$	0.47	0.32
分離効率 $\eta$	72.5	90.4

選別対象：

PC(比重1.24)-PVC(比重1.38)破砕物 板厚1.5,2,3,5mm

### ①-2-1-5 「シミュレーションによるグリズリスクリーン構造と詰まりの検証」 (産総研)

事前整粒装置のうち形状整粒を担当するグリズリスクリーンにおいては、しばしば、粒子がクリアランス部分に挟まれて目詰まりが発生する。そこで本項目では、目詰まりを低減するために、スクリーン構造（アングル形状）の最適化を試みた。アプローチ手法として、まずはいくつかの候補となる形状についてシミュレーションを適用し、目詰まりが少なくなる可能性のある形状をピックアップした上で、実際にスクリーンを作製して検証を行った。

まず  $t=2\sim3$  mm、 $D=4\sim8$  mm の PVC 破砕粒子を対象として、振動周波数 30 Hz にて運転中のグリズリスクリーンに数百個フィードし、目詰まりした 19 個の粒子を回収した。これらに対し 3D 形状ファイルを取得した。スクリーン構造は既存の L 字  $90^\circ$  を基準とし、これを含む以下①～⑧の 8 種類の形状を作成し、シミュレーションを実施した。作成したスクリーン構造の例を図 3.1.2-12 に示す。

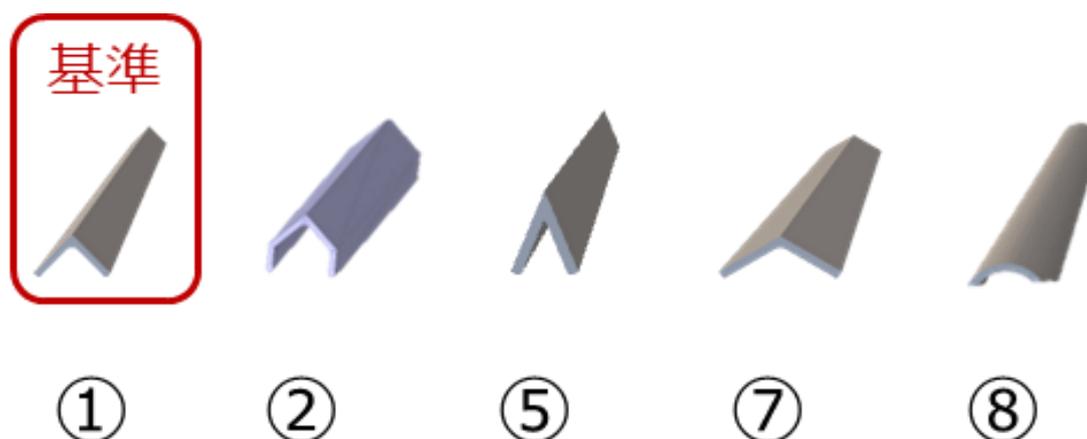


図 3.1.2-12 検討したスクリーン構造の例

アングルが 7 本の場合、クリアランス (4 mm) は 6 ヶ所となる。

- ① L 字 90° 基準高 (高さ 15 mm、7 本)
- ② ガイド付き L 字 90° (高さ 22 mm、7 本)
- ③ L 字 90° 扇型配置 (クリアランス 4 → 5 mm に拡大、7 本)
- ④ L 字 45° 基準高 (高さ 15 mm、13 本)
- ⑤ L 字 45° 山高 (高さ 49 mm、7 本)
- ⑥ L 字 120° 基準高 (高さ 15 mm、7 本)
- ⑦ L 字 120° 山低 (高さ 14 mm、6 本)
- ⑧ 半円 (高さ 18 mm、7 本)

シミュレーションには非球形粒子対応離散要素法ソフトウェア Ansys Rocky (Ansys 社製) を使用した。スクリーンが試験装置の実軌道で振動するよう設定した上で、19 種類のモデル粒子をランダムにフィードし、シミュレーション上で目詰まりする粒子の個数を計測した。

振動周波数 19 Hz で比較した時のシミュレーション結果を図 3.1.2-13(a)に示す。①の 90° 基準高や②のガイド付、⑧の半円の場合は比較的多く目詰まりが起り、⑤の 45° 山高や⑦の 120° 山低の場合に目詰まりが少なくなる可能性が示唆された。基本的には L 字の角度が小さく、クリアランスに向かう粒子の速度が大きい方が詰まりやすいと考えられたが、クリアランスの数も影響を受ける。次に、②のガイド付と⑧の半円を除いた 6 種類のスクリーンを用いた比較を行った。より実際の整粒時に近い粒子の組成を再現するため、目詰まり粒子に加え、それとは別に厚さ 2 mm および 5 mm の PVC 破砕粒子を 3D スキャニングして作成したモデル粒子を、それぞれ等量混合してフィードした (フィード量は目詰まり粒子のみの場合の 3 倍)。その結果、目詰まり粒子のみの場合と傾向が異なり、①の 90° 基準高と⑦の 120° 山低の場合に、目詰まりしにくい構造であることが示唆された (図 3.1.2-13(b))。混合粒子の場合に主に目詰まりするのは厚さ 5 mm の粒子であり、かつ 1 個当たりの重量が大きいため他の粒子を押し流す効果があることから、目詰まり粒子の目詰まり率は低くなった。

シミュレーションにより絞り込んだ、⑦の 120° 山低のスクリーン構造を実際に作製し、 $t=2\sim 5$  mm、 $D=4\sim 8$  mm の PVC 破砕粒子を用いた形状整粒試験を実施した。振動周波数 23 Hz の条件において、①の 90° 基準高の時の目詰まり率 (重量基準) が 2.7%であったのに対し、⑦の 120° 山低の場合は 2.4%となり、当該条件ではわずかであるが改善効果を確認することができ、シミュレーションを用いたスクリーン構造設計の有効性を示した。

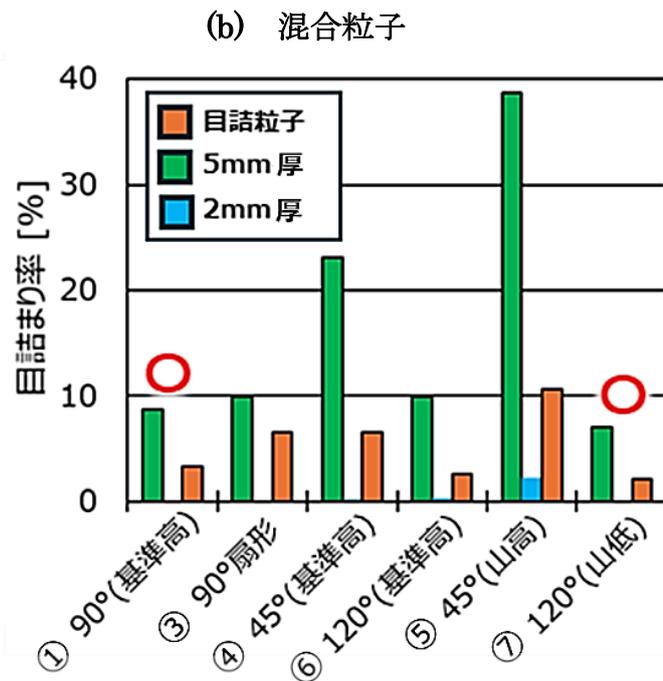
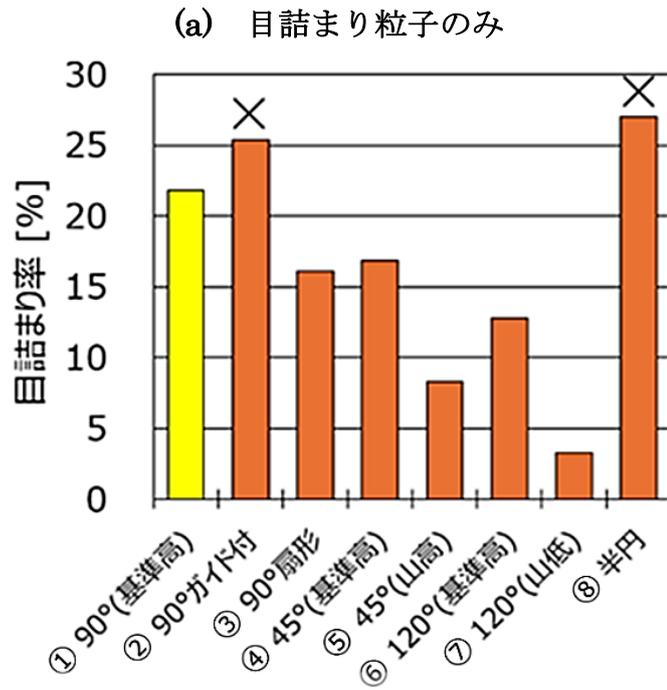
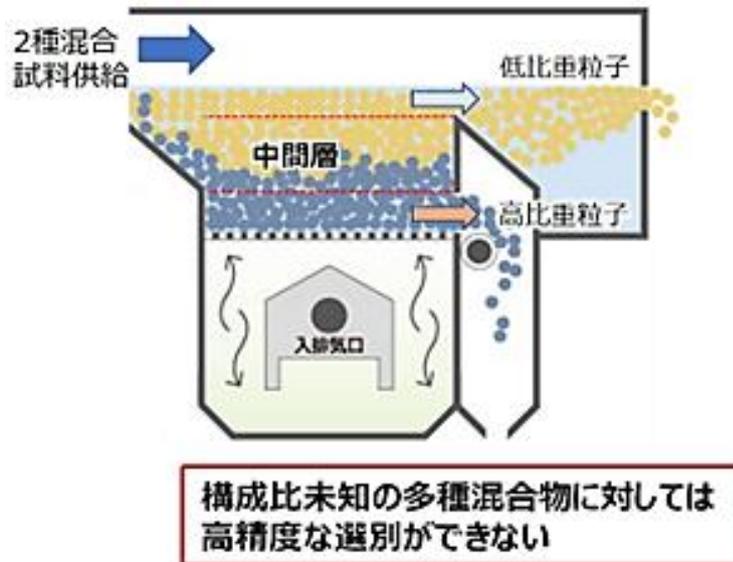


図 3.1.2-13 目詰まり率に及ぼすスクリーン構造の影響 (振動周波数 : 19 Hz)

①-2-2 「多槽比重選別システムの開発」 (実施先：産総研、大栄環境、北海道大学)

ジグの基本原理は1つの選別槽で、高/低比重粒子の2成分に選別することである(図 3.1.2-14(a))。連続供給、連続排出をすると、2成分の境界が平坦にならないため、中間層は常に選別槽内に残し、単一成分化した最上層と最下層を回収する。図 3.1.2-14(b)は、これを2槽式にし、3成分選別機に拡張したものである。

(a) 単槽ジグ



(特)アール・アンド・イーHPより再構成

(b) 2槽式ジグ

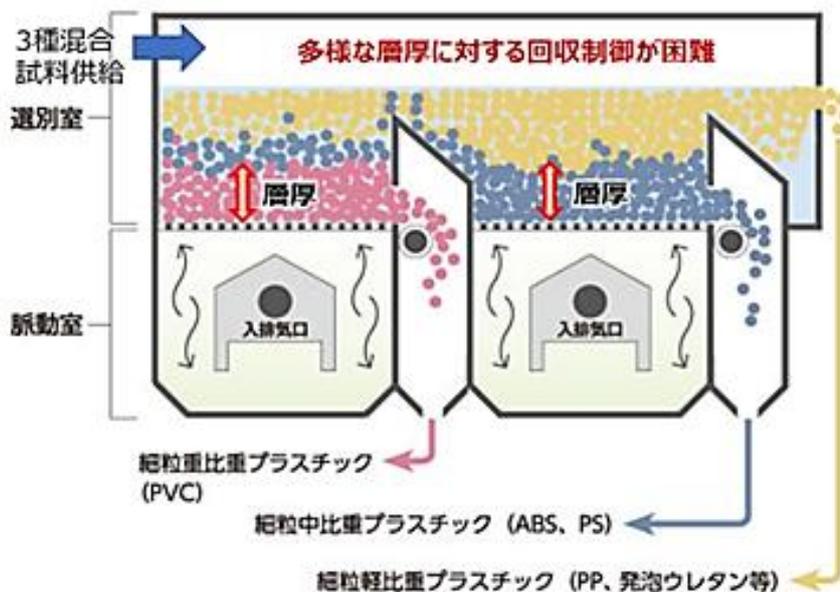


図 3.1.2-14 従来型 RETAC ジグ(北大開発)の原理と課題

ここで、この図のような精度良い選別を実現するには、いくつかの前提条件を満たす必要がある。1つは、比重選別を阻害するサイズや形状を有する粒子が含まれないことである。これまで、どのようなサイズ・形状を有する粒子が、精度よく整層化をするかを予測できなかったが、前項の新基準整粒ユニットが開発されれば阻害要因が排除され、僅かな粒子比重の違いで整層化されることが期待できる。もう1つは、供給する混合試料の構成割合が、想定された「層厚」の形成を満たすことである。特定成分が極端に多かったり、あるいは少なかったりする場合には、2種混在領域が予め想定された中間層を超えてしまい、単一成分のみを回収することができない。また、ジグは、元来、相対的な比重差で選別されるだけであるので、境界比重を検出できなければ、回収産物が何か(どの比重の産物か)を認識することもできない。構成比未知の多種混合物である「製品別プラ」を対象とした場合には、高精度な選別は期待できないため、未だ実用利用に至っていない。このように、従来のジグでは、ラボレベルで既知試料の整層化まではできても、未知試料の整層を適切に制御し、選別産物を回収することは困難であった。

本研究では、「製品別プラ」を対象に、境界比重を検知しつつ、段階的に重比重粒子の排出制御が可能で、多槽ジグ選別システムを開発することを目標とした。開発システム(ポイント)を図 3.1.2-15 に示す。

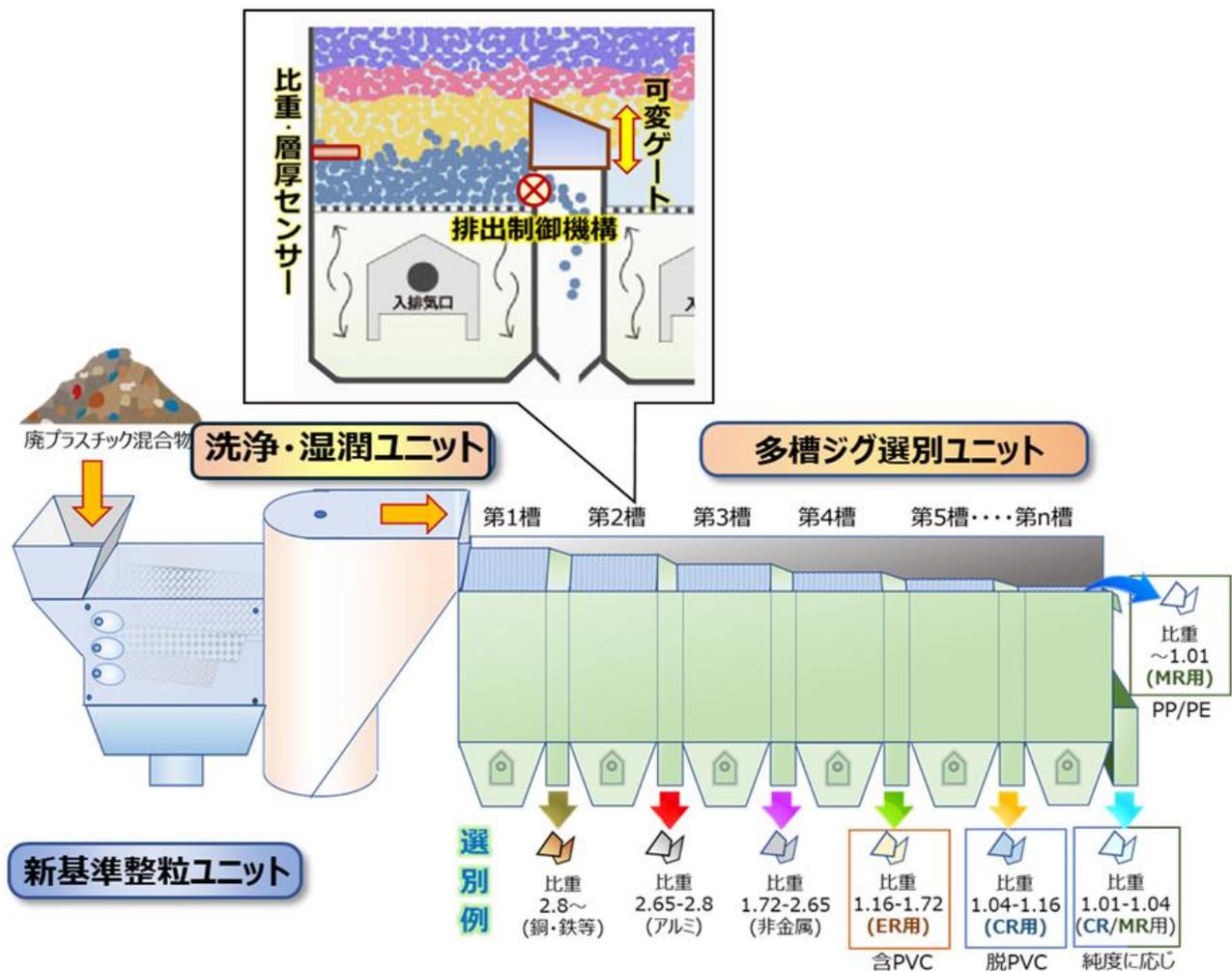


図 3.1.2-15 新規開発の多槽比重(ジグ)選別システムの構成

「製品別プラ」は、まず、前項で開発する「新基準整粒ユニット」へ投入される。このユニットで、比重選別を阻害しないサイズ・形状グループに分けたのち、グループごとに本システム用に最適化された「洗浄・湿潤ユニット」に送られる。ここでは、とともに、水中で粒子が分散(凝集しない)状態を確保するための条件を検討した。その後、湿潤状態の粒子は、「多槽ジグ選別ユニット」の第1槽に供給される。ここでは、整層化により最下層に位置する最大比重粒子群を、あらかじめ設定した境界比重(図の例では比重2.8以上の金属類)で選別し、下方に排出して回収する。ここで、構成比未知の多種混合物に対応するため、各層での選別比重(境界比重)とその層厚(境界比重以下の粒子層の厚み)を検出するセンサー、これに呼応して排出量を制御する機構と、境界比重以下の粒子群を次槽へ溢流させる可変ゲートを新規に開発した。第2槽以降も順次、任意に設定した高比重産物を下方から回収し、最終槽(図3.1.2-15の第n槽)では、最低比重産物を溢流させて回収する。ジグ選別で制御すべき粒子側の要素はサイズ・形状・比重であり、新基準整粒ユニットでサイズ・形状を、多層ジグ選別ユニットのセンサーで境界比重を検出・制御することで、構成比未知の多種混合物に対しても、意図した比重に高精度選別することが可能となる。

一方、物理選別には装置精度の絶対指標がないため、精度目標のベンチマークとして、「製品別プラ基準試料」(サイズ・形状がバラバラな破碎産物混合物)に対し、前述した新MR・CR・ERで再資源化可能なプラ組成の産物を、それぞれ回収率95%以上で選別することを目標とした。また、選別精度は、回収粒子と除去粒子の「比重差」、つまり、両者の比重がどれだけ近接しているか(選別困難度)で示される。これも対象物によって難易が千差万別となるが、廃プラ比重領域における従来ジグでの要求比重差0.1に対し、最小比重差0.03までの精度を実現することを目標とした。以上の技術開発を行い、処理量3t/hまでのスケールアップが想定可能な、図3.1.2-15に示した多槽比重選別システムのベンチスケール機を試作した。一方、廃プラの初期品位に応じ、新ER向けのみを目標とした場合には、相対的に品質条件が低く、表面汚染の配慮も不要となるが、水分の軽減が必要となるため、乾式選別システムの適応も視野に入るため、乾式比重選別機の適用範囲についても検討した。さらに、廃棄物の中間処理業者への導入を想定して、開発した比重システムの採算性を評価した。

#### ①-2-2-1 「多槽比重選別システムの開発」(実施先:産総研、大栄環境、北大)

境界比重を検知しつつ、段階的に重比重粒子の排出制御が可能な、多槽ジグ選別システムを開発するためには、構成比未知の多種混合物に対応し、各層での選別比重(境界比重)とその層厚(境界比重以下の粒子層の厚み)を検出するセンサーと、これに呼応して境界比重以上の粒子の排出量を制御する機構と、境界比重以下の粒子群を次槽へ溢流させる可変ゲートが必要となる。また、センサー情報から粒子層の状態を解析する手法、解析結果に応じてジグの運転条件を制御するアルゴリズムの開発が必要となる。

高/低比重粒子の選別では、(i)高比重粒子/低比重粒子境界面位置が適切に保たれ、(ii)適切な上昇流により粒子層が適度に流動化しており、(iii)高比重粒子/低比重が成層化状態(選別済)であることが必要である。図3.1.2-16は(i)層境界位置判定、(ii)流動化状態判定、(iii)成層状態判定を用いた自律型連続式ジグのアルゴリズムである。まず、各種センサーを用い、これらの判定法を開発した。

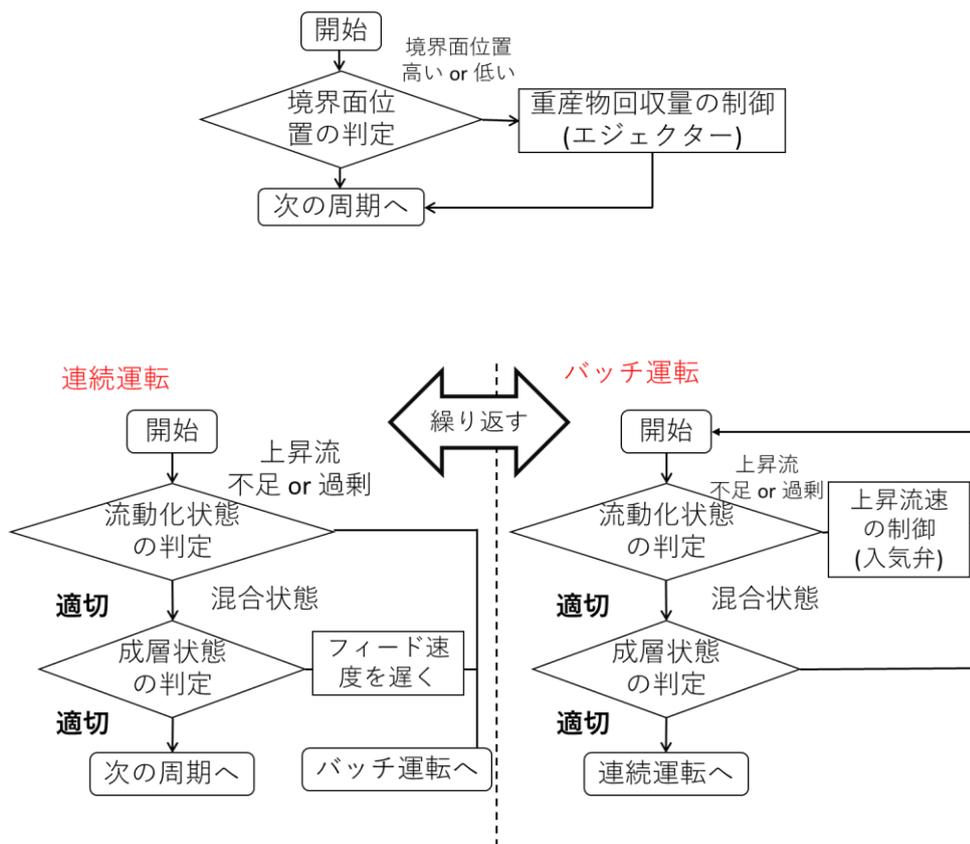


図 3.1.2-16 自律型連続式ジグのアルゴリズム

### 各種センサーを用いた高/低比重粒子層の層境位置の検知手法の開発

ジグの各層での選別比重(境界比重)とその層厚(境界比重以下の粒子層の厚み)を検出するセンサーとして、比重調節可能な磁歪センサー（ノーケン MS800S）および圧力センサー（キーエンス、AP-12S/AP-V80）・水位センサー（キーエンス、IL-300/IL-1000）を設置した（図 3.1.2-17）。まずバッチ方式（連続式ジグのセル(選別室の大きさ：長さ 445 mm、幅 150 mm、高さ 550 mm)の排出口側を閉鎖すると共に、原料供給を停止し、試料の供給・排出を行わない運転状態）で、比重差の小さい試料（購入ペレット ABS（円柱状、比重 1.27 および POM（円盤状、比重 1.42）粒径 2-8mm）および、比重差の大きい試料（購入ペレット PC（円柱状、比重 1.17）および POM（円柱状、比重 1.39）粒径 2-8mm）を用いて、ジグにより脈動中に磁歪センサーが高/低比重粒子層の層境界に位置することを確認し、連続式運転でのセンサー設置位置の最適化をおこなった。図 3.1.2-18 に高/低比重粒子の混合割合を変えて、層境界位置を変化させた時の磁歪センサーによるフロート位置の推定例を示す。水の上下の脈動により粒子層も上下動し、それに応じてセンサー位置も上下動するため、平均位置を破線で表示している。連続処理装置内でも磁歪センサーの位置が高/低比重粒子の混合割合に応じて変化することを確認しており、この情報を用いて、下記に示す重粒子の排出速度を自動制御する機構を開発した。また、層境界の推定方法について、磁歪センサーによるフロート位置検出以外に、上述の圧力センサー・水位センサーから求める圧力損失の経時変化を解析することで重比重粒子層の層厚を推定でき

る解析手法も開発し、特許を出願した（特願 2023-188742 【発明の名称】湿式比重選別機）。本法を用いた場合も、比重が異なる廃プラスチックの選別において廃プラスチックの混合割合が経時的に変動する場合でも、目的回収物の層厚を推定できる。

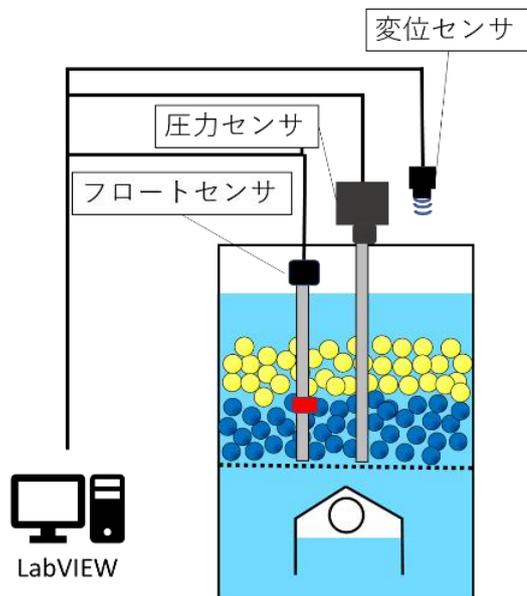


図 3.1.2-17 ジグ試験装置へのセンサー設置概要

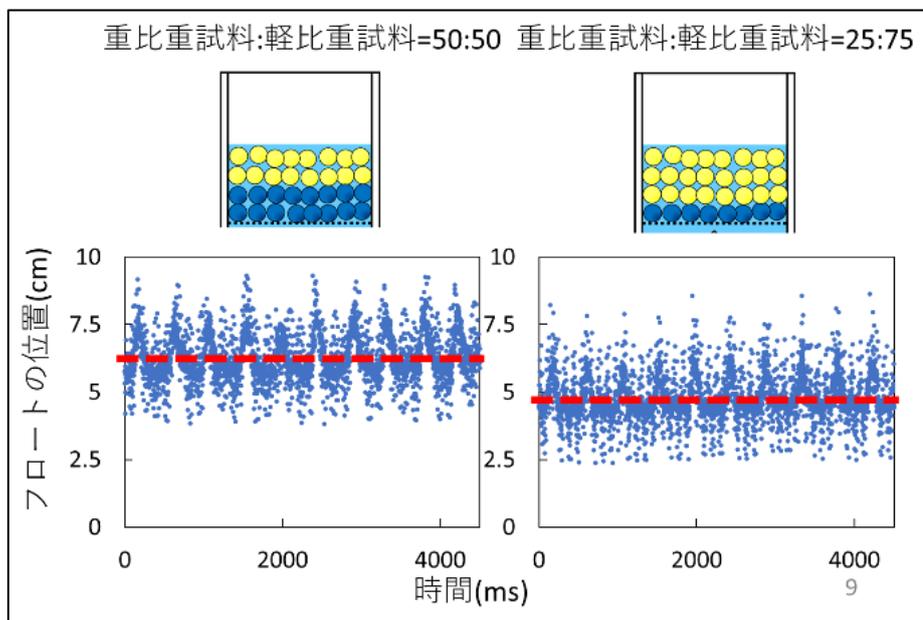


図 3.1.2-18 高/低比重粒子割合を変化させた場合のフロート位置の測定例

### 圧力・水位センサーを用いた流動化判定法の開発

圧力・水位センサー情報から圧力損失  $\Delta P$  を算出し、その時間変化の情報から、選別が適切に行われているかどうかを判定する機構の開発を行った。図 3.1.2-19 は適切な流動化状態を示す概要図であり、上昇流速が遅すぎると粒子層が固定状態、速すぎると攪拌状態となる。圧力センサーを、図 3.1.2-17 のように、水を満たした中空パイプの上端に取り付け、パイプの下端を試料層の底部に設置して、粒子層下端の水圧  $P$  を測定した。水位センサーで決定した水面位置  $h$  から静水圧  $P_w = \rho gh$  ( $\rho$ : 水の密度、 $g$ : 重力加速度) を算出し、 $P$  から差し引いて、次式により流体/粒子の相互作用に伴う圧力損失  $P_p$  を求めた ( $P_p = P - P_w$ )。この圧力損失と水位の時間変化から求めた流速から流体が粒子層を通過する際の抵抗  $R$  を求めた。step1(入気工程)と step3(排気工程)で比較すると、固定状態では示すように、step1(入気工程)と step3(排気工程)で共に粒子が動かないため抵抗がほぼ等しくなるが、流動化状態では step1(入気工程)で粒子層が膨張し、空隙が大きくなるので、step3(排気工程)の抵抗  $R_3$  に対して step1(入気工程)の抵抗  $R_1$  が小さくなる。 $R_1$  と  $R_3$  の抵抗比を適切な流動状態となるように制御することで、適切な流動化状態を保つことができるようになった。また、本法では 1 回の脈動における step1(入気工程)と step3(排気工程)のデータを用いて解析が行えるため、オンラインでの判定が可能となり、迅速な制御が行えるようになった。

### 成層状態判定法の開発

圧力・水位センサー情報から圧力損失  $\Delta P$  を算出し、その時間変化の情報から、成層状態を判定する機構の開発を行った。高比重/低比重粒子が混合状態にある場合、混合粒子が逐次着底していく(図 3.1.2-20(a))ため圧力損失が直線的に減少するのに対し、成層状態ではまず高比重粒子層が着底し、次いで残りの低比重粒子層が着底する(図 3.1.2-20(b))ため、圧力損失の減少は高比重粒子層着底時に勾配が大きくなり低比重粒子層着床時に勾配が小さくなる。これの圧力損失勾配を解析することで、成層化状態の判定が可能となる。さらに選別対象プラの比重が 3 種以上になった場合でもこの手法で成層化除隊を判定可能か検証するために 4 種混合プラの連続試験データの解析を行い、最も比重の高い粒子の着底時間付近でのデータを局所的に解析することで、2 種混合と同様に、混合/成層判定ができることを見出した。

### 制御プログラムの開発

今回開発した(i)層境界位置判定、(ii)流動化状態判定、(iii)成層状態判定を用い、図 3.1.2-16 に示したアルゴリズムによる連続式ジグの自動制御プログラムの開発を行った。具体的には各種センサーのデータ取込みと解析および重/軽産物排出制御、脈動波形制御、フィード速度制御のプログラムを作成し、高比重粒子が極端に少ないケース、上昇流速が極端に低く流動化が起こらないケース、試料を攪拌し混合状態にしたケースから運転を開始し、それぞれ適切な状態に運転条件が最適化されることを確認した。

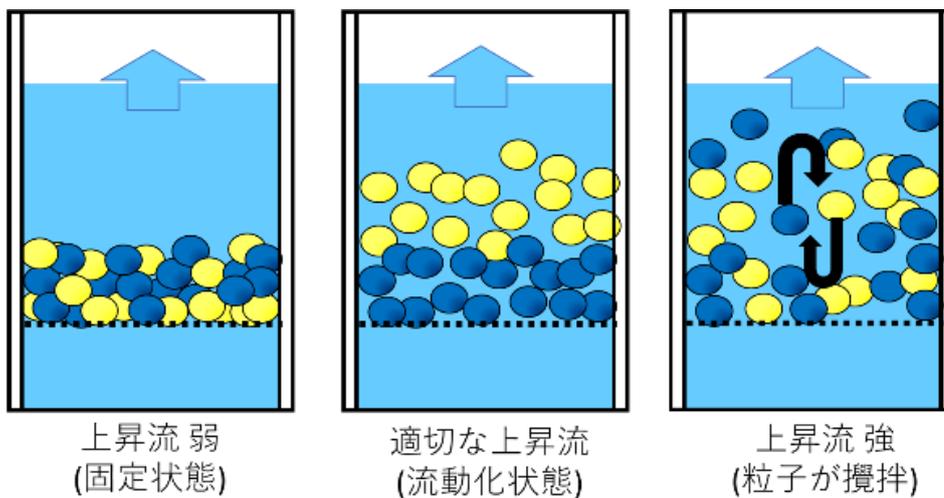


図 3.1.2-19 流動化判定法の開発 (適切な流動化状態の概要図)

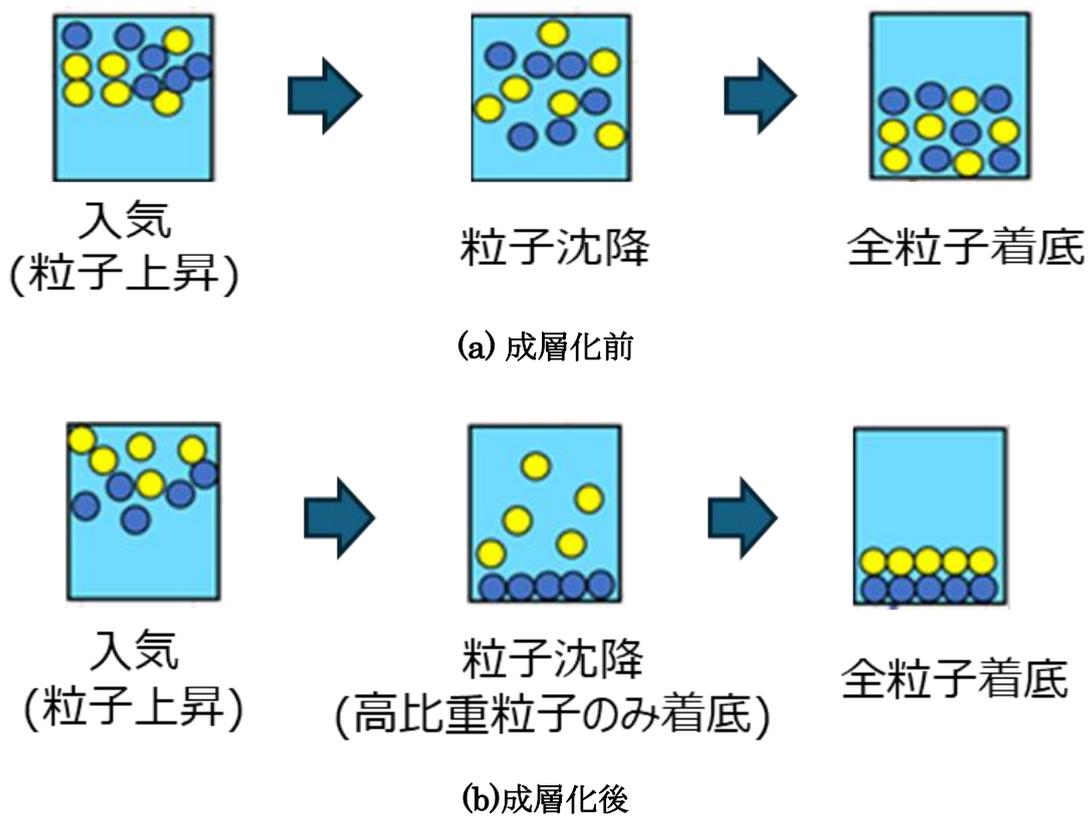


図 3.1.2-20 成層化判定法の開発 (成層化状態の概要図)

さらに、開発した単槽ジグ試験機を用いて、プラスチック模擬試料の連続運転試験を実施した。試料は軽比重プラとして比重 1.01 の PP、重比重プラとして比重 1.04 の ABS であり、2成分の分離を実施した。試料は事前にサイズ・形状で整粒されたことを想定し、板厚 10mm 板材の破砕物を篩分けサイズ:8~16mm で整粒したものを使用した。この試料の整粒条件は扁平率 0.35、サイズ/形状統一指標  $I_{stf}=0.40$  であり、扁平率の低い比較的選別しやすい形状である図 3.1.2-21 に連続試験時のジグ水槽の状態を示す。試料は図右上から振動フィーダで供給される。選別された軽比重プラは、水槽左上の溢流ゲートから水とともに排出される。重比重プラは、水槽左側側面に設置された回転羽根（エジェクタ）によって水槽外に排出される。今回の試験は、手動で層厚、排出量、成層化状態把握を制御している。回収産物ベースで選別結果を評価したところ、軽産物の回収率:98.4%、品位:99.3%、重産物の回収率:99.6%、品位:99.0%、分離効率:98.0 であり、選別対象粒子のサイズ・形状条件を揃えることで、選別目標(最小比重差 0.03 の選別)を達成可能であることを確認した。

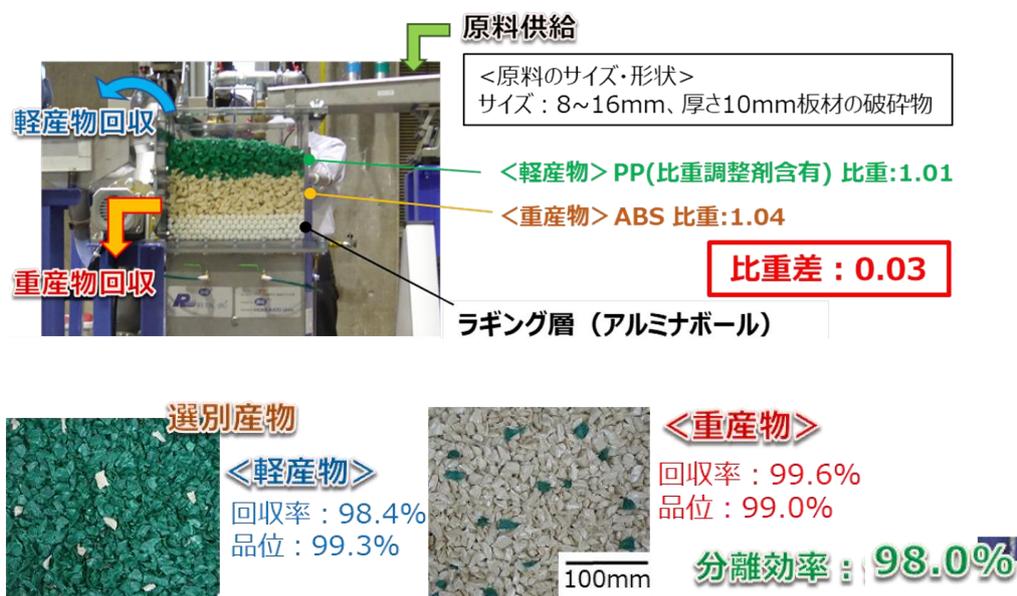


図 3.1.2-21 単槽ジグ連続運転試験

また、本研究では、廃プラスチック試料の多成分分離を課題としているため、単槽ジグ試験機を3台並列し、4成分分離装置に拡張し、プラスチック破砕物模擬試料による選別試験を行った(図 3.1.2-22)。多槽ジグ試験機では第1槽から重い粒子から順に回収する仕様である。1槽目では一番重い粒子を重産物として回収、2~4番目に重い粒子を溢流部より軽産物として第2槽に搬送する。同じように第2槽では、2番目に重い粒子を重産物として回収、3~4番目に重い粒子を軽産物として第3槽に送る。第3槽で3~4番目に重い粒子の選別を行うことで比重差による4成分分離が可能となる。隣接する比重差の粒子に対して前項で開発したサイズ・形状・比重統一指標  $I_{std}$  を整粒基準である 0.37 以下に整粒し、選別を実施したところ、連続運転(多成分分離)でも分離効率 90%以上の選別を実現できることを確認した。また、PS(比重 1.04)を新 CR に、ABS(比重 1.10)、PC(比重 1.20)、PVC(比重 1.38)を新 ER に提供する場合の選別評価では、新 CR 向け産物は回収率 98.7%、品位 99.6%であり目標(回収率 95%以上、品位 95%以上)と選別目標を達成している。また、新 ER 向け産物は回収率 99.9%、品位 99.9%であり目標(回収率 95%以上、品位 80%以上)と選別目標を達成している。

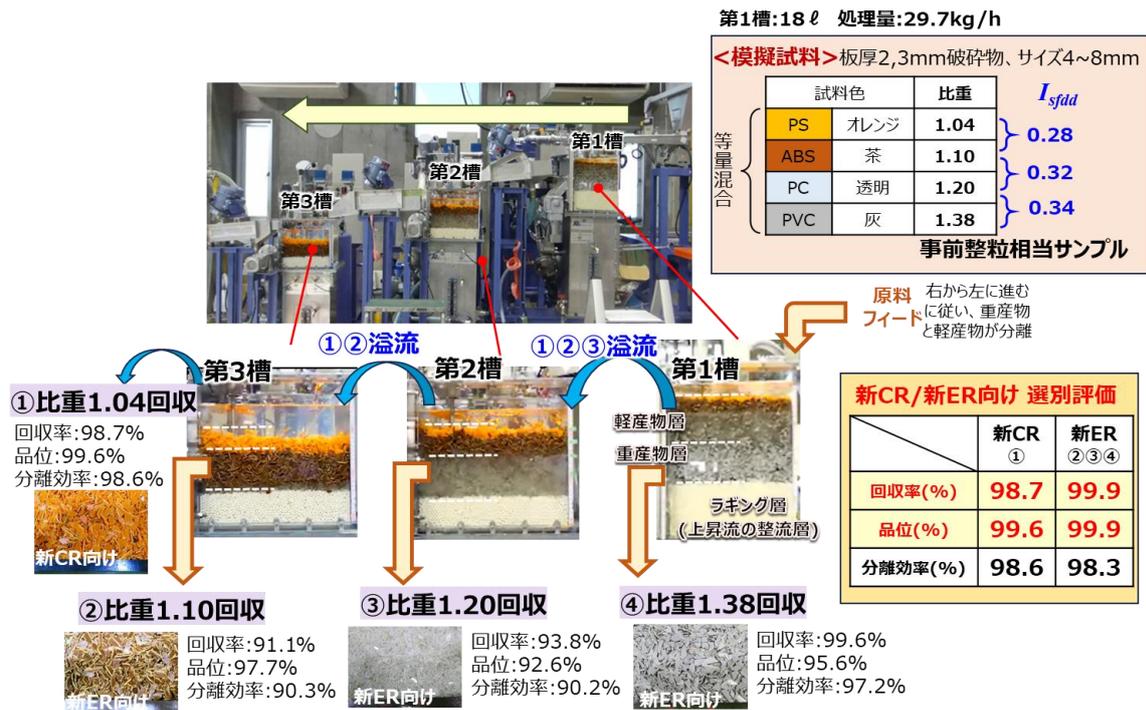


図 3.1.2-22 3連多層ジグによる多成分比重選別性能試験

①-2-2-2 「洗浄・湿潤機構の開発」 (実施先:産総研、大栄環境、北大)

ジグがよく用いられている石炭や岩石の比重選別では、篩分けされたフィード粒子をそのままジグに投入するが、本研究の対象である「製品別プラ」は、リサイクル工場から排出されるため、油やゴミが付着しているとともに、プラスチックは水に濡れにくい(水をはじく)性質があり、そのまま水



図 3.1.2-23 プラ粒子に付着する気泡

槽に投入すると気泡が付着し、気泡により凝集したプラスチックが浮遊してしまう(図 3.1.2-23)。そのため、洗浄・浸漬処理が重要となる。また、廃プラスチックは、保管場所が野外となるケースがあり、保管状態によっては泥や汚れによって粒子同士が固着することがあり得る。選別には異なる材料の粒子が単体分離していることが必須条件であるため、この洗浄処理において、粒子同士が固着している場合には解砕も同時に行う。

本研究では、大栄環境(株)から提供された 2-8mm の小型家電由来の混合プラスチックを用い、湿潤剤の選定、湿潤化手法、処理時間の最適化を行い、浸漬処理装置の試作（図 3.1.2-24）を行った。

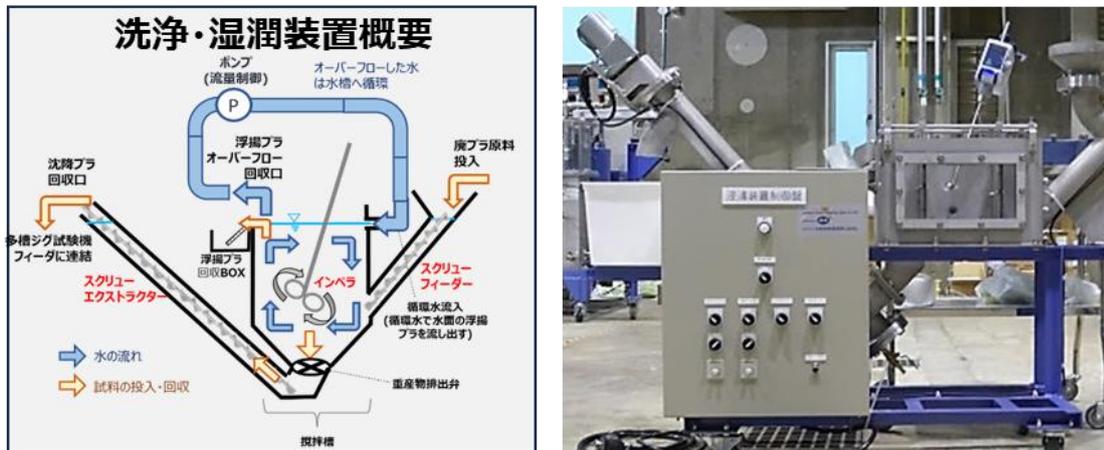


図 3.1.2-24 単槽ジグ連続運転試験

具体的には湿潤剤として AOT（エアロゾル OT）濃度 10ppm 水溶液中で 5 分攪拌することで、粒子に付着している気泡の脱離することを確認した。次に、本装置の性能を比重 1.00 未満プラ選別性能にて評価した。粒子表面の洗浄、湿潤が不十分だと粒子表面に気泡が付着、比重 1.00 以上のプラが浮揚することで選別精度低下するため、比重 1.00 未満プラ選別性能で評価が可能である。大栄環境(株)より提供された ASR 由来の実廃プラを篩分けサイズ 4~8mm に整粒して洗浄湿潤装置で処理した。試験の結果、比重 1.00 未満のプラはすべて浮遊物(軽産物)として回収され、比重 1.00 以上のプラの 98.2%は(沈降物)重産物として回収された。分離効率は 98.2%である。浮遊プラは PP と PE の混合物であるが、新 CR 向けの提供目標(回収率 95%以上、品位 95%以上)をクリアしており、新 CR に提供可能である。なお、新 MR に提供するためには PP あるいは PE 単独で品位が 98%以上である必要がある。PP と PE は比重が近いために、PP と PE の選別は困難であるが、選別原料の入荷元から PP または PE にいずれかであることが限定できれば新 MR(選別目標:回収率 95%以上、品位 98%以上)に提供することも可能である。もしくは、由来が特定され PP と PE のいずれか一方に添加剤が含まれ比重 1.00 以上であるということが分かっている原料については PP と PE の選別できる可能性が高い。

### ①-2-2-3 「乾式選別の検討」 (実施先：産総研、北大)

廃プラの初期状態において、MR、CR で受け入れ可能なプラ種の品位が低い場合には、最初からER 向けの選別を行うケースが想定できる。ER 向けの提供を考えると、水分の軽減が必要となるため、乾式選別システムの適応も視野に入る。また、廃プラに金属なガラス、砂利などの重成分が多く含まれる場合には、湿式選別システムに比べて低コストで選別可能な乾式選別システムを部分適用することを考えられる。よって、乾式比重選別の方法の中で、大量処理が可能なエアテーブル(図 3.1.2-25)を対象とし、廃プラ選別への適用範囲を検証した。表 3.1.2-3 に、エアテーブルとジグでのプラ模擬試料の選別結果比較を示す。試験に用いたプラ模擬試料は楕円柱状のペレット材と板厚 2mm の板材破砕物である。また、試験には、産総研開発のポケットエアテーブルを用い、選別産物をデッキ排出口の左から右に 15 分割で回収し、分離効率が最大のカットポイントを導出した。ジグとの選別結果比較では、比重差が大きく、形状の揃った原料の場合はエアテーブルもジグと同等の精度で選別可能である(条件①)。しかし、形状が不定形で均一でなくなった場合(条件②)、ジグの分離効率が 93.3%であったのに対して、エアテーブルが 69.8%と比重差がほぼ変わらないにも関わらず条件①からの選別精度



図 3.1.2-25 ポケットエアテーブルでの選別 (条件①の例)

表 3.1.2-3 湿式法 (ジグ) と乾式法 (エアテーブル) の廃プラ選別精度比較

条件		①		②		③		④	
対象物	比重差	0.35		0.34		0.25		0.23	
	形状	ペレット		破砕物		ペレット		破砕物	
		楕円柱		板状		楕円柱		板状	
	サイズ(mm)	2~2.8		4~8		2~2.8		4~8	
	材料	軽比重プラ	重比重プラ	軽比重プラ	重比重プラ	軽比重プラ	重比重プラ	軽比重プラ	重比重プラ
ABS		POM	ABS	PVC	ABS+ 比重調整剤	POM	ABS+ 比重調整剤	PVC	
比重	1.05	1.40	1.04	1.38	1.15	1.40	1.15	1.38	
分離効率 (%) ※	乾式法 エアテーブル	96.1		69.8		68.8		44.5	
	湿式法 ジグ	95.3		93.3		94.1		90.1	

※分離効率はエアテーブル、ジグ共に 2 分割で回収した場合の値

の低下が著しかった。また、比重差が小さくなった場合（条件③）についても、ジグの分離効率が94.1%であったのに対して、エアテーブルが68.8%と大きく選別精度が低下した。さらに、比重差が条件③と同等の破砕物を対象とした場合には、ジグが分離効率90.1%を維持しているのに対して、エアテーブルは分離効率44.5%まで低下した。以上から、エアテーブルの適用には、対象物の比重差が大きいこと、形状が均一であることが既知である必要があるため、廃プラの相互選別には不適である。

さらに、金属・砂利等の異物除去の検討を行った。小家電破砕物(プラ・金属)に砂利を加えた模擬試料(比重プラ:0.9-1.6,砂利:1.6-1.7,金属:2.7-8.9)の選別を行った(図3.1.2-26)。プラ/金属+砂利の分離効率は中間産物を除いて、軽産物と重産物の選別として評価したところ93.0%であった。前述のとおりプラ同士の選別には性能不十分であるが、ジグ前処理の異物除去選別としては有効であることが確認できた。

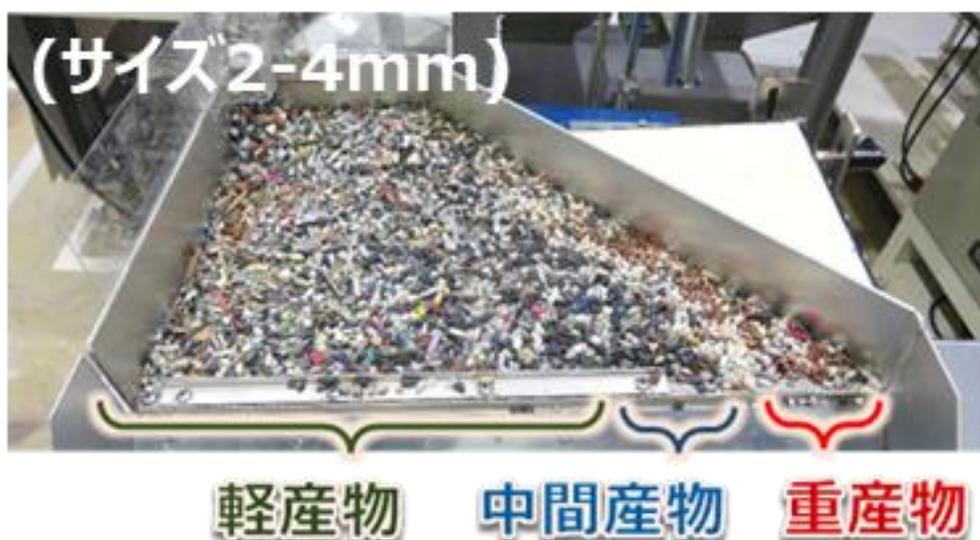
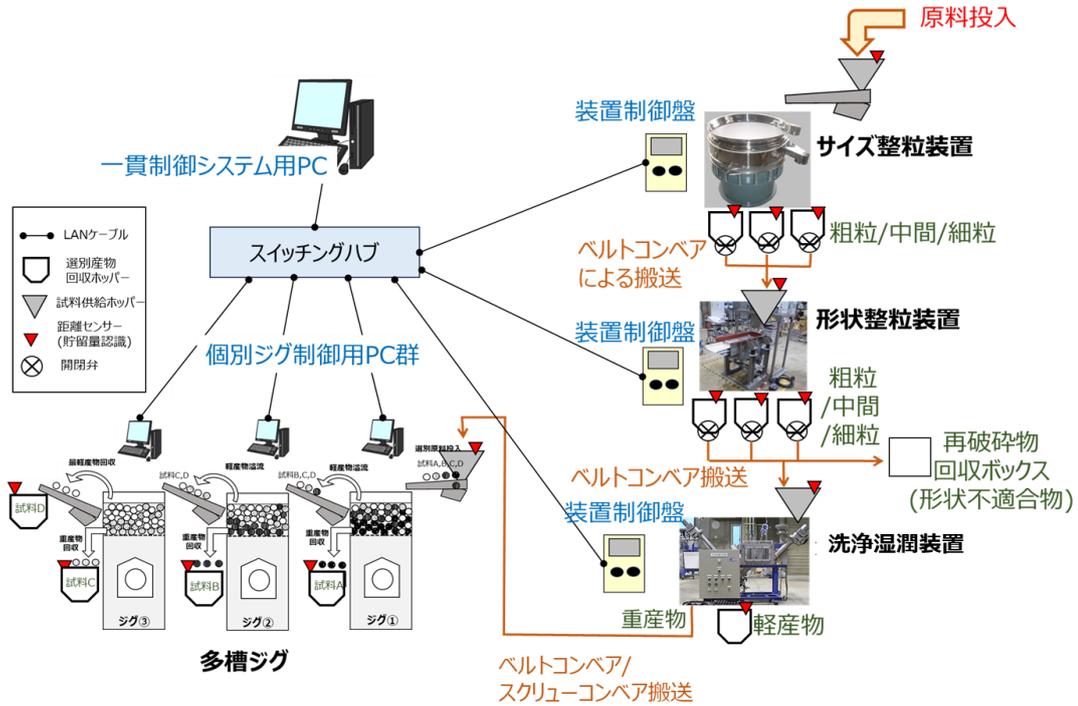


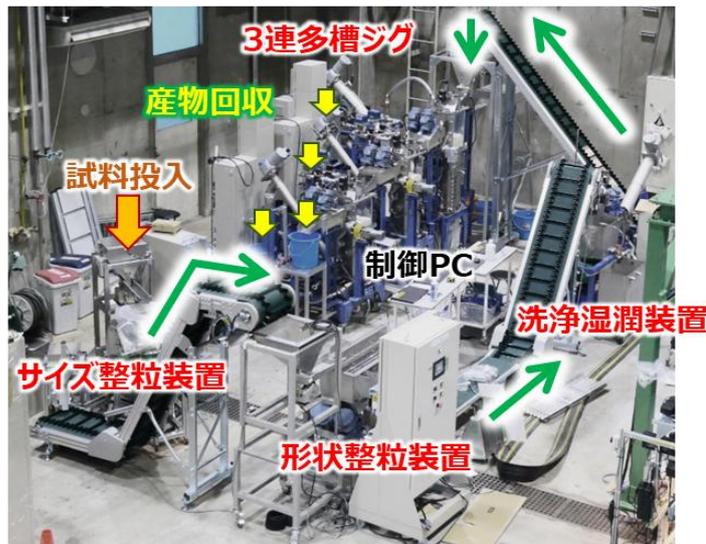
図 3.1.2-26 ポケットエアテーブルでのプラと金属・砂利等の選別例

①-2--2-4 「廃プラ比重選別一貫処理システム自動化」 (実施先：産総研、大栄環境、北大)

サイズ整粒装置、形状整粒装置、洗浄湿潤装置、多槽ジグを連結し、一連の選別工程を自動運転する廃プラ比重選別一貫処理システムを試作した。システムの構成を図 3.1.2-27(a)に、試作した廃プラ比重選別一貫処理システム ベンチスケール機を図 3.1.2-27(b)に示す。システム全体を制御する一貫制御システム用 PC と整粒装置、形状整粒装置、洗浄湿潤装置、多槽ジグの各装置はスイッチングハブを介して接続し情報通信を行う。また、装置間をベルトコンベア、スクリーンコンベアで接続し、事前に登録した工程にしたがって後続選別機への試料を自動搬送する機能を有する。



(a) システム構成



(b) 試作したベンチスケール機

図 3.1.2-27 廃プラ比重選別一貫処理システム

この選別機を使用して、ASR 由来の実廃プラの選別を行った。選別結果は以下のとおりである。

<新 MR 向け産物>PP 品位:98.0%、PP 回収率、98.2%

<新 CR 向け産物>PP/PE/PS 品位:96.4%PP/PE/PS 回収率、98.1%

<新 ER 向け産物>プラ品位:96.1%、プラ回収率、99.5%

ここで回収率 95%以上とは、新 MR/CR/ER 向けのプラを X とした場合、選別前試料の理論上の「X の回収可能量」を予め分析し、これを選別した際、新 MR/CR/ER 向け純度を維持した産物の中に、回収可能量の 95%以上の X が含まれることを意味する。

$$\text{新 MR/CR/ER 産物回収率} = \frac{\text{選別後の新 M/CR/ER 向け回収産物中の X の量}}{\text{選別前の X の回収可能量}} > 95\%$$

### ①-2-2-5 「採算性の評価」 (実施先:産総研、大栄環境)

現状、混合廃プラを産廃業者に引き取り処分している中間処理業者を想定して、システム導入に係る採算性を評価した。図 3.1.2-28 左は高度比重選別システムによる選別特性である。選別の一例としてある ASR 由来の硬質プラの例を示す。ある組成の製品別廃プラ原料を分離効率 95%で選別したと仮定した場合に新 SR で想定する選別産物の割合である。この選別を混同廃プラ 0.58t/年(3t/時)で廃棄処分する中間処理業者が実施した場合シミュレーション例が図 3.1.2-28 右上である。システム導入前は

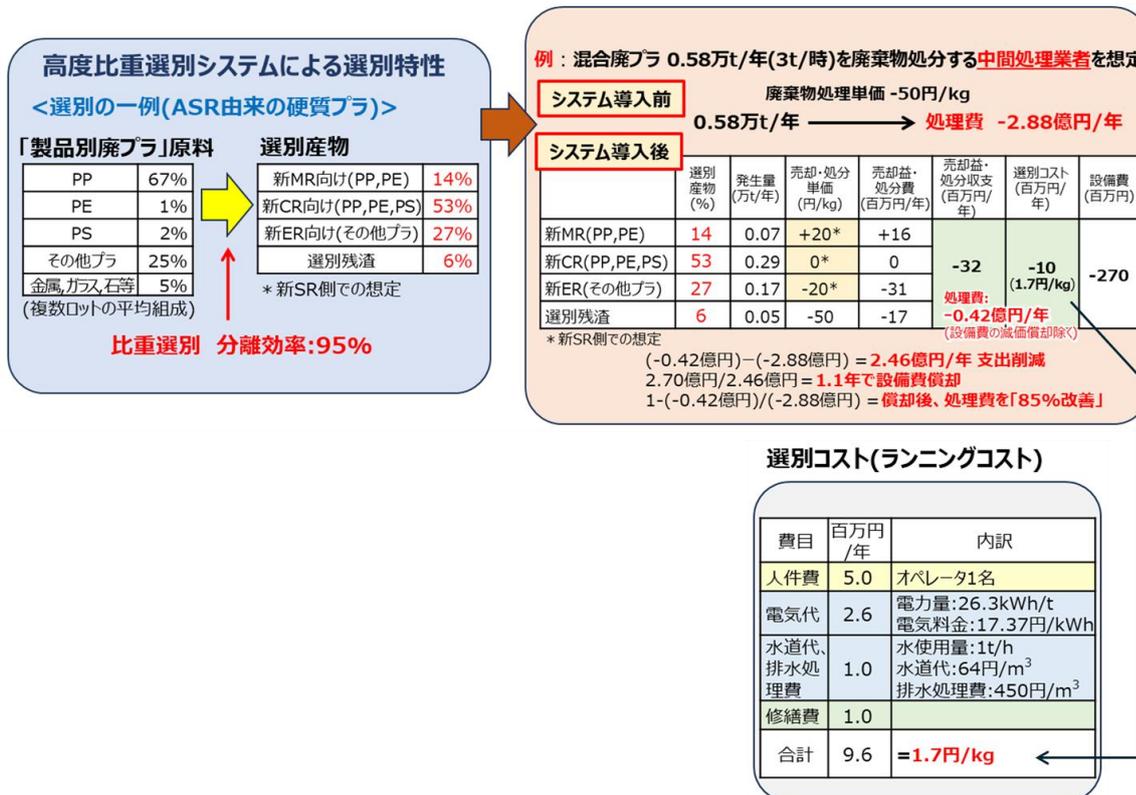


図 3.1.2-28 システム導入の採算性評価

廃棄物処理単価 50 円/kg で 0.58t/年排出しているため、処理費は 2.88 億円/年かかる。新 MR の売却単価を 20 円/kg、CR の売却単価を 0 円/kg、ER の処理費を 20 円/kg、選別残渣は 50 円/kg と仮定し、図 3.1.2-28 左の選別を行った場合、処理費は 32 百万円となる。0.58t/年の選別コストは 10 百万円/年と推定され、設備費を除いた処理コストは 0.42 億円/年となる。システム導入前の処理費は 2.88 億円/年であったことから、2.46 億円/年の支出削減となる。また、設備費に 2.7 億円が必要であるが、支出削減額を踏まえれば 1.1 年で減価償却が可能である。さらに減価償却後は、処理費を 85%改善できる。図 3.1.2-28 右下は選別コスト(ランニングコスト)の内訳である。選別コストに占める割合が最も高い項目は人件費 5 百万円/年であり、次いで電気代 2.6 百万円である。排水処理についてはここでは中間処理業者が排水処理設備を所有しているという想定で見積もったが、実用化の際には排水処理設備を持たない中間処理業者に向けて、ろ過装置によりジグに使用する水を繰り返し使用した上で最終的に不純物を濃縮した排水をタンクで輸送して排水処理業者で処分する方法も視野に入れている。

さらに、前述のケースを基準に、製品別廃プラ原料の組成が変わった場合(原料中の PP,PE,PS 割合少)、処理量が少ない中間処理業者が導入した場合のシミュレーションを行った(表 3.1.2-4)。原料中の PP,PE,PS 割合が少なくなった場合、産物の処分費は 1.14 億円となり、コスト削減率が 60%に低下し、減価償却期間が 1.7 年となる。処理量が 0.10 万 t/年(0.5t/時)の中間処理業者が導入する場合は、産物の処分費は 0.12 億円となり、コスト削減率が 76%となり、減価償却期間が 3.2 年となる。このシミュレーションにより早期に減価償却を行うという点では、原料組成よりも処理量が重要な要素となることが分かる。

表 3.1.2-4 ケース別採算性評価

ケース	製品別廃プラ原料の組成(%)			発生量 (万t/年)	導入前	導入後					
	PP PE PS	その他 プラ	金属 ガラス 石等		処分費 (百万円/ 年)	産物の売却・処分 費(百万 円/年)	選別コスト(百万 円/年)	設備費 (百万円)	減価償 却期間 (年)	減価償 却後の収 支(百万 円/年)	コスト 削減率 (%)
図①- (2)-28	70	25	5	0.58 (3t/時)	-288	-32	-10	-270	1.1	-42	85%
PP,PE, PS 少	30	55	15	0.58 (3t/時)	-288	-104	-10	-270	1.7	-114	60%
処理量 少	70	25	5	0.10 (0.5t/時)	-48	-5	-6	-120	3.2	-12	76%

### ①-2-3 最終目標の達成状況

研究開発項目①-2「高度比重選別システムの開発」における目標設定は以下の通りである。

中間目標(前期 3 年): 「製品別プラ基準試料」に対し、新 MR・CR・ER で再資源化可能なプラ組成の産物を回収率 95%以上で実現できる、洗浄・湿潤条件や、ジグ選別機の層厚・排出制御機構を開発し、大栄環境の提供する「製品別プラ」実試料に対する適用可否を判断する。また、新 ER 向け乾式選別の適用可能性を検討するとともに、洗浄・湿潤ユニット、多槽ジグ選別ユニットの基本性能を備えたベンチ試験機を試作する。

最終目標(後期 2 年): 高精度化に向けた改良を加えて、新 MR・CR・ER の目標品質を回収率 95%以上で実現できる一連の多槽比重選別システムのベンチスケール機を完成させる。また、実プラントへの導入を想定して開発システムの性能や新 MR、新 CR および新 ER の分配特性や採算性等を試算・評価する。

以下に目標の達成状況を示す。

- ・ サイズ、形状、比重からなる選別対象粒子の整粒基準を開発し、その整粒基準を実現し得る事前整粒装置を開発した。
- ・ 粒子表面の汚れを洗浄し、洗浄表面の湿潤性を確保すると同時に比重 1.00 未満のプラを選別する洗浄湿潤装置を開発した。
- ・ センサー情報からジグ選別水槽内の状況を認識し自律制御する多槽ジグを開発した。
- ・ 多槽ジグの単体試験において、比重差 0.03 の模擬プラ試料選別を実施し分離効率 98%を達成した。
- ・ 事前整粒装置、洗浄湿潤装置、多層ジグを連結し、一連の工程を自動運転する廃プラ比重選別一貫処理システムのベンチスケール機を試作した。
- ・ 廃プラ比重選別一貫処理システムによる実試料選別において、新 SR が想定する新 MR・CR・ER の目標品質(新 MR : PP/PE 98%以上、新 CR : PP+PE+PS 95%以上、新 ER : プラ 80%以上)を回収率 95%以上で達成し、開発装置が目標とする選別性能を満たすことを確認した。
- ・ 新 ER 向け乾式選別の適用可能性を検討し、乾式選別はジグより選別精度が劣るもののプラから金属・砂利などの異物を除去することに有効であることを確認した。
- ・ 実プラントへの導入を想定した採算性評価を行い、処理コスト削減が可能であるとの試算を得た。

以上、最終目標である「MR・CR・ER の目標品質を回収率 95%以上で実現できる一連の多槽比重選別システムのベンチスケール機の完成」を達成した。

### 3.1.2. ①-2 LCA

テーマ名	「LCA(ライフサイクルアセスメント)によるプラスチック循環のトータルシステム評価	達成状況	○
実施者名	北九州市立大学、(国立環境研究所)、(東京大学)		
達成状況の根拠	新MR・新CR・新ERに関するプロセス評価モデルを構築し、実験値やベンチ機データに基づく環境負荷削減効果の算出を可能にした。また、行政データを用いた地域別フロー推計と線形計画法による技術選択モデルの構築、さらにMFAとLCAを組み合わせたベストミックスシナリオの導出を行い、中間目標達成の見込みである。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>[背景] 近年の中国の廃プラスチック輸入規制に端を発したアジア諸国の廃プラスチック輸入規制強化の問題などにより、これまで日本から輸出していた廃プラスチックを含むプラスチック資源について、リサイクルなどの適正な処理が急務となっている。また、「プラスチック資源循環戦略」(2019年5月31日策定)が策定され、革新的リサイクル技術の開発が日本政府の重点戦略の一つとして掲げられている。</p> <p>[目的]</p> <p>LCAでは、評価に必要な基礎データを収集し更新すると共に、各リサイクルプロセスの最適化、発生源や処理施設の空間配置を考慮した技術選択モデル、時間軸から見た各手法の普及展開モデルを検討する。</p> <p>[プロジェクトアウトカム目標との関係]</p> <p>各新技術開発チームと密接に連携することで、プラスチック製品の資源効率性、廃プラスチックの資源価値向上の最適化を図りつつ研究開発を推進できることが期待できる。</p> <p>●アウトプット目標</p> <p>[中間目標]</p> <p>廃プラスチック循環の環境効果を評価する基盤を整えることである。新MR・新CR・新ERについて、実験や小規模実証のデータを基にプロセス評価モデルを構築し、投入条件や設計変数と環境負荷を結び付ける。また、行政統計や調査を活用して発生量や処理フローを把握し、輸送や処理に伴うCO<sub>2</sub>排出を考慮した技術選択モデルを構築する。さらに物質フロー分析により全国の発生量推計を精緻化し、現状における最適な技術組合せ(ベストミックス)を導出し、LCAにより評価する。</p> <p>[最終目標]</p> <p>前年度までに整備したモデルを活用し、将来の最適シナリオを提示することである。新MR・新CR・新ERの設計変数を感度分析し、GHG削減を最大化する条件を開発チームに提案する。また、人口動態や施設寿命を反映した地域別技術選択モデルを完成させ、拠点整備や導入方針を示す。さらに、2030年・2035年の発生量や受入可能量を考慮したベストミックスシナリオを導出し、新技術の処理規模や改善目標を明らかにすることで、循環利用率最大化とGHG最小化を実現する戦略を提示する。</p> <p>●実施体制</p> <p>北九州市立大学は全体統括を担い、LCA・MFAの統合や地域モデル開発を行うとともに、新MR技術のプロセス評価とリサイクル技術選択モデルの構築を担当する。国立環境研究所は、全国レベルの廃棄物統計や産業部門別データを活用し、ボトムアップ・トップダウン双方のアプローチによるMFA精緻化を担うとともに、都道府県別・市町村別のフロー分析モデルを開発する。東京大学は、新CRおよび新ER技術の評価モデル開発を主に担い、触媒分解やエネルギー回収に関するインベントリ整備、ならびに全国スケールの廃プラフロー推計とシナリオ分析を行う。</p> <p>●成果とその意義</p> <p>本研究は、プラスチック循環を対象に、個別技術の環境性能だけでなく、社会全体における最適化の観点からリサイクル技術の評価を可能にした点に大きな成果がある。具体的には、(1)LCAに基づく要素技術のプロセス評価モデル、(2)空間構造を考慮したリサイクル技術選択モデル、(3)動的MFAに基づく将来シナリオ分析を統合し、MR、CR、ERといった多様な新技術の評価を可能とする枠組みを提示した。</p> <p>従来の国内外の研究は、容器包装リサイクル法に基づく容器包装プラを中心にLCAを行う事例が多く、産廃プラや製品プラについては評価事例が限られていた。また、海外ではEllen MacArthur Foundation</p>			

の MCI や Product Circularity Indicator といった循環度指標の適用が進んでいるが、炭素資源循環の material-to-material への純粋な寄与を明確に区別した定量化手法は十分に確立されていない。本研究では、日本特有の廃棄物組成や処理インフラに適応する形で評価指標を再設計し、国際的指標を参照しつつも、炭素資源循環と GHG 削減効果を同時に評価できる枠組みを構築した点に独自性がある。

さらに、新技術のデータを用いて評価を行い、技術開発チームへのフィードバックを行うことで、研究開発とシステム評価を往復させるコミュニケーション型の設計支援の枠組みで実施したことは手法として意義があり、国内外の政策立案（循環経済ビジョン、プラスチック資源循環戦略）の評価手法に対する先進的事例になったものと考えられる。

従来の部分最適を主とした技術評価に留まらず、炭素資源循環と全体最適を統合的に評価する基盤を確立した点に、本研究の優位性があり、これは持続可能なプラスチック循環システムの実装に向けた学術面・政策面への貢献は大きいものと考えられる。

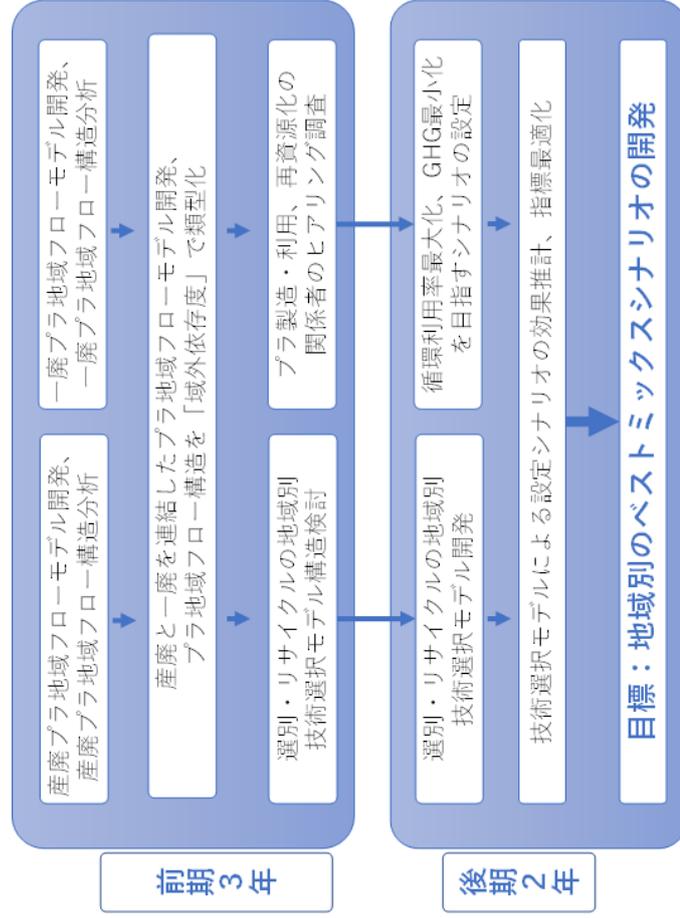
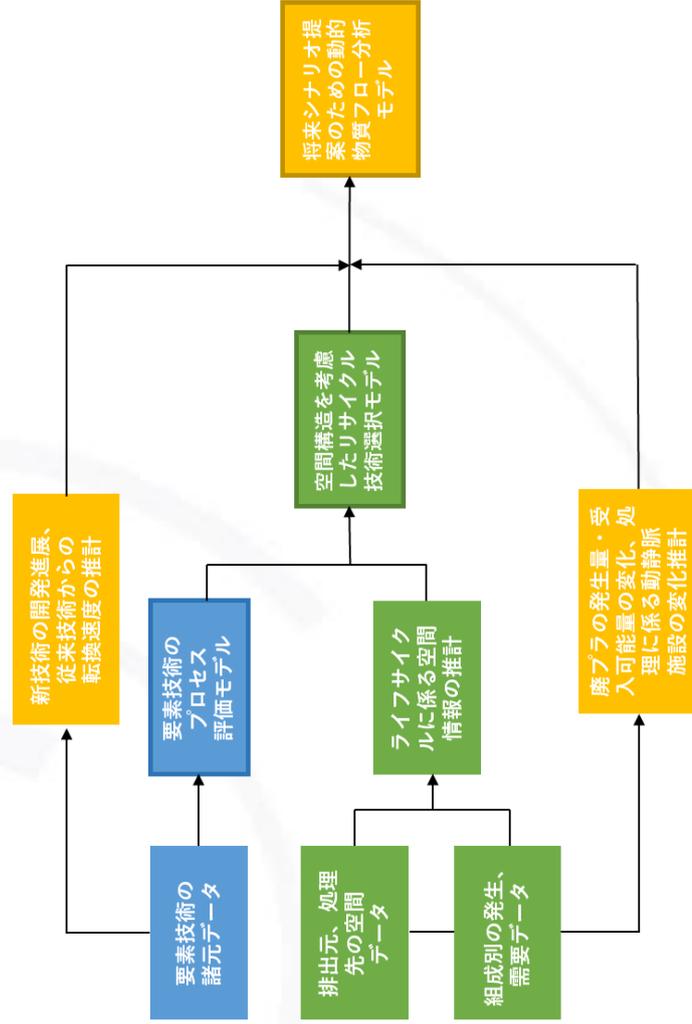
#### ● 実用化・事業化への道筋と課題

本研究で開発したプロセス評価モデル・技術選択モデル・動的 MFA モデルは、個別の新技術開発に活用できるだけでなく、事業スケールでの導入シナリオ設計にも活用できることは大きな特徴である。実用性の具体例として、(1)MR、CR、ER の技術特性を反映した原単位を活用し、これを用いて事業化に向けた戦略を検討することが可能である。また、(2)発生源から処理拠点までの輸送・処理に伴うコストと GHG 排出量を算出し、拠点整備や物流計画に関する検討が可能である。(3)将来の人口動態や社会構造を踏まえ、施設更新時期や受入能力の変化をも考慮した長期的な計画立案の検討が可能である。

一方、実用化・事業化に向けては課題も残されている。まず、技術的には新技術がまだ実証スケールにとどまっており、安定稼働や製品品質のばらつき、触媒寿命など、今後の取り組みの中で得られる情報を用いて、パラメータを更新していくことが必要である。また、廃プラの品質・組成に関しては、排出実態や地域特性を反映した実態調査を行うとともに、将来の社会変化による組成変動を考慮し、定期的な改訂・更新を行っていくことも必要である。

# 高度選別技術の説明 (LCA)

- 想定されるプロセスの検討、排出元と処理先の位置関係の検討、GHG/エネルギー負荷の検討を実施



## 高度選別技術の目標達成状況 (LCA)

開発項目	目標 (2025年3月)	成果 (2025年3月)	達成度 (見込み)	達成の根拠/解決方針
研究開発項目①-3 「LCA(ライフサイクルアセスメント)によるプラスチック循環のトータルシステム評価」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロセス評価モデルの適用によるライフサイクル設計の提案。</li> <li>・社会変化を考慮した2035年におけるベストミックスシナリオの導出と、その実現のための空間シナリオの提示。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本事業にて開発したプロセス評価モデルにより、新技術のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量を評価し、またそれが最小となる条件について見出した。</li> <li>・廃プラフローの推計結果をもとにした技術選択モデルと動的フロー分析モデルにより、2030年、2035年のプラの地域別、部門別、種類別(性状考慮)フローと技術選択の望ましい組み合わせを示した。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・要素技術のプロセス評価モデル、空間情報と各プロセスの評価結果をもとに廃プラスチックの最適配分を推計するためのライフサイクル技術選択モデル、2030年及び2035年までの排出量や新技術の普及を考慮した動的物質フロー分析モデルを開発した。</li> <li>・プロセス評価モデルでは、炭素資源循環度についても定義し、炭素資源の物質的循環性の観点から評価した。これらにより、循環利用率の向上とGHG削減を同時に達成できるシナリオを示すことができた。</li> </ul>

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達 11



# 高度選別技術の意義 (LCA)

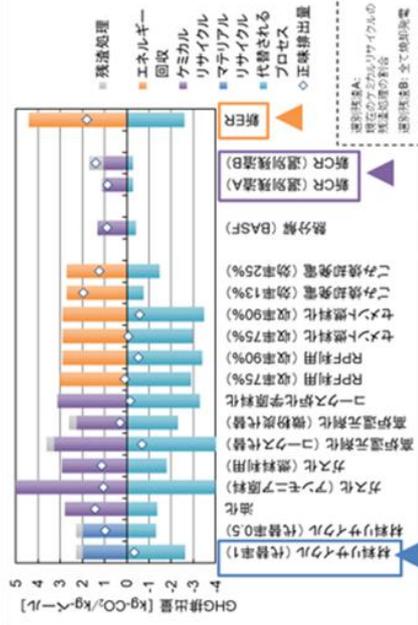
テーマ名	LCA(ライフサイクルアセスメント)によるプラスチック循環のトータルシステム評価	達成状況
達成状況の根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>要素技術のプロセス評価モデル、空間情報と各プロセスの評価結果をもとに廃プラスチックの最適配分を推計するためのリサイクル技術選択モデル、2030年及び2035年までの排出量や新技術の普及を考慮した動的物質フロー分析モデルを開発した。</li> <li>プロセス評価モデルでは、炭素資源循環度についても定義し、炭素資源の物質的循環性の観点から評価した。これらにより、循環利用率の向上とGHG削減を同時に達成できるシナリオを示すことができた。</li> </ul>	○

【開発の意義】

実施項目A 現状	LCAによる要素技術のプロセス評価モデル 様々な技術変数を扱える評価モデルは存在していない。
開発後	プロセス評価モデルを開発したことで、MR、CR、ERの各リサイクル技術に対して、様々な技術変数を変化させて評価することができるようになった。
実施項目B 現状	排出・処理の空間配置を考慮したリサイクル技術選択モデル 全国規模の廃プラスチックのフローの推計はない。廃プラスチックの種類別、地域別のリサイクル技術を選択可能な計算モデルも存在しない。
開発後	全国規模の廃プラスチックの業種別、プラスチック種類別発生源を推計した。フロー推計結果と開発したリサイクル技術選択モデルにより、適したリサイクル技術を選択できるようになった。
実施項目C 現状	将来シナリオ提案のための動的物質フロー分析モデル 将来の新技術と廃プラスチックフローを想定したシナリオを計算できるモデルは存在していない。
開発後	開発した動的物質フロー分析モデルにより、2035年までの排出量や新技術の普及を考慮したベストミックスシナリオの提示を可能とした。

将来の廃プラスチックの発生処理を想定したベストミックスを提示可能に

2035年までの廃プラスチックの種類別排出量やリサイクル技術の普及を考慮したベストミックスシナリオの提示を可能とした。



新技術▲を含む再生技術のプラスチック製容器包装に対するGHG排出量の原単位

## 高度選別技術での課題（LCA）

### 【成果】

- 本事業にて開発したプロセス評価モデルにより、新技術のライフサイクルCO2排出量を評価し、またそれが最小となる条件について見出した
- 廃プラフローの推計結果をもとにした技術選択モデルと動的フロー分析モデルにより、2030年のプラの地域別、部門別、種類別（性状考慮）フローと技術選択の望ましい組み合わせを示した

### 【課題】

- 新たな評価指標として炭素資源循環度を示したことは重要な成果である。一方で、CO2排出量と炭素資源循環度の双方を考慮可能な指標の検討が望まれる

## ・ 研究開発の概要

従来のリサイクル技術と、本研究によって開発される新技術によって達成されるプラスチック循環では、採掘から化学工業に投入される石油消費量、品質によるリサイクル技術への仕向け割合、動脈産業への循環量（再投入量）、最終処分量に違いが出現している。本研究では、新MR、新CR、新ERおよび新SRが社会全体に与える影響を評価した（トータルシステム評価）。プラスチック循環全体を評価対象とすることで、リサイクルの個別技術の部分最適ではなく、社会の全体最適像が検討可能となる。そのために、図1に示すような大きく3つの要素の研究項目からなる評価システムを構築した。すなわち、①LCAによる要素技術のプロセス評価モデル、②排出・処理の空間構造を考慮したリサイクル技術選択モデル、③将来シナリオ提案のための動的物質フロー分析モデルである。

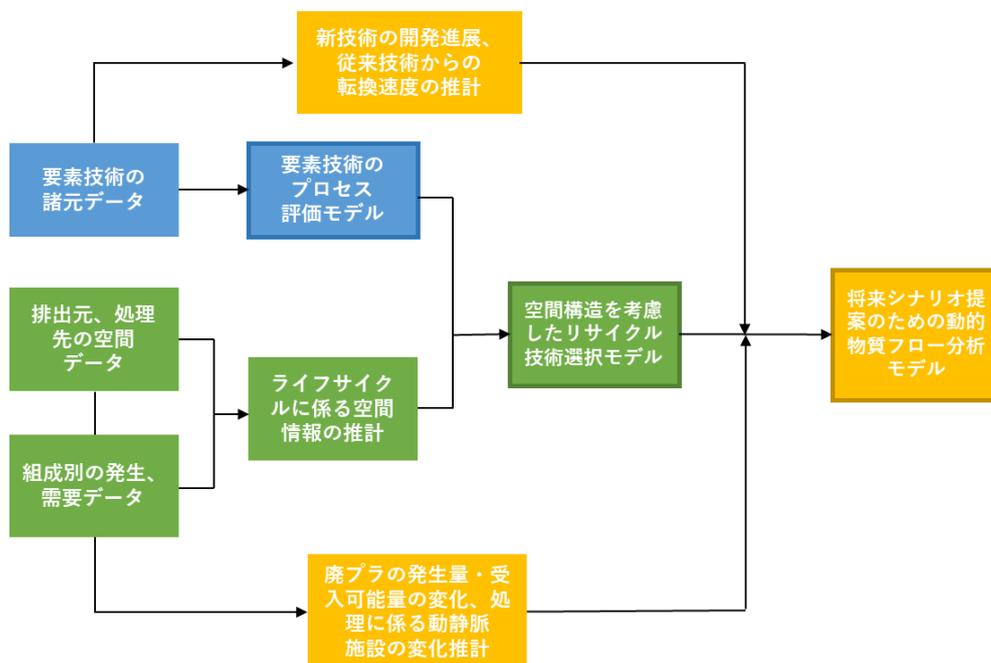


図1 プラスチック循環のトータルシステム評価のための要素間の関係

①LCAによる要素技術のプロセス評価モデルでは、廃プラスチックの選別・リサイクル技術の導入による再生製品・サービスのライフサイクル全体での環境効果をLCAで評価・可視化し、化石資源消費やGHG排出量の削減、炭素資源循環の強化を定量的に明らかにすることを目的とする。具体的には、従来評価事例の少ない製品プラ・産廃プラも含めてデータ整備と手法開発を行い、新MR・新CR・新ERについて開発段階に応じてデータを収集し、理論値やベンチ機データを用いたインベントリ分析と数理的に関連づけるプロセス評価モデルを開発する。2020～2022年度にはプロセス評価モデルを構築し、2023～2024年度にはスケールアップに応じた再評価や感度分析を行い、開発チームにフィードバックすることで、ライフサイクル設計の最適条件を提案することを最終目標とする。

②排出・処理の空間構造を考慮したリサイクル技術選択モデルでは、本研究では、廃プラスチックの排出・処理の空間配置を考慮したリサイクル技術選択モデルを構築し、地域特性に応じた最適な技術や拠点整備の方向性を示す。(1)特定地域を対象とした分析では、一般廃棄物・産業廃棄物の排出実態を行政統計や manifests 等から把握し、必要に応じてアンケート・ヒアリング調査を行い、GIS上で空間データを整備する。これにより、排出源から処理拠点までの流れを明確にし、LCAの成果を組み込んだプロトタイプモデルを開発し、GHG排出量を指標とした技術選択を可能にする。(2)全国レベルでは、市町村・都道府県単位

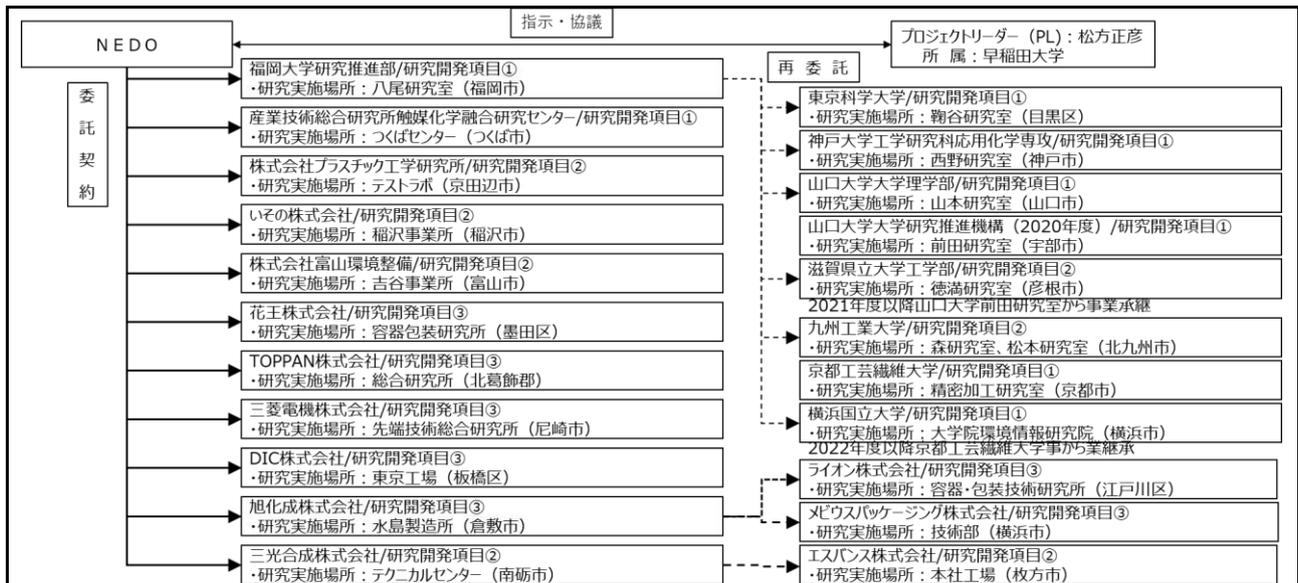
で廃プラフローを把握し、産廃処理事業者や製造業者へのヒアリングを通じて詳細データを整備する。最適化手法を用いて排出源とリサイクル技術をマッチングさせ、循環利用率の最大化と GHG 排出最小化を両立するベストミックスを導出する。最終的には、2035 年を見据えて、各地域における導入技術の種類や規模を明示する空間シナリオを提示することを目指す。

③将来シナリオ提案のための動的物質フロー分析モデルでは、動的 MFA（物質フロー分析）を基盤に、2030 年および 2035 年における廃プラスチックの最適利用シナリオ（ベストミックス）を導出することを目指す。まず、市町村・都道府県レベルの発生データを用いて従来のトップダウン推計を検証・修正し、発生量と樹脂組成の精度を高める。次に、新 MR・新 CR・新 ER の受入可能量や品質条件を明確化し、鉄鋼・石油化学・製紙・セメント産業といった受入側産業の需要や能力も踏まえた制約条件を設定する。その上で、フローとストックを含む全国レベルの廃プラ動態を整理し、技術選択モデルを用いて現状のベストミックスを算出し、LCA により環境負荷削減効果を定量評価する。

### 3.2. 研究開発項目②材料再生プロセス開発

#### 3.2.1. ②-1 材料再生プロセス開発

テーマ名	材料再生プロセス開発	達成状況	○
実施者名	福岡大学（東京科学大学、神戸大学、山口大学、産業技術総合研究所、横浜国立大学、九州工業大学、滋賀県立大学）旭化成（ライオン、メビウスパッケージング）、花王、DIC、TOPPAN、三菱電機、いその、三光合成（エスパンズ株式会社）、富山環境整備、プラスチック工学研究所		
達成状況の根拠	多種多様な廃プラだけでなく、バージン品においても物性向上が可能な樹脂溜まり部などを適用した新規ペレタイズプロセスを開発した。また実証試験機での検証を通じ、スケールアップが可能であることも実証した。さらに、成形品部位間の物性ばらつきがなく、リサイクル性にも優れた、樹脂流動応力を制御した新規なマルチゲート射出成形プロセスも開発した。リサイクルプラスチックの製品への適用に関しても、製品試作などの実証研究を実施し、良好な成果を得た。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>【背景】            マテリアルリサイクルは使用済みのプラスチックを再度溶融成形しなおして製品とするものであり、プロセス自体はバージン品と同等であるため実用化の障壁が低い。また何回も繰り返し使いまわすことで、消費されるエネルギーや排出されるCO<sub>2</sub>量は相乗的に減少するため、LCA(Life Cycle Assessment)的にもメリットの多い手法である。しかしながら現実にマテリアルリサイクルされている廃棄プラスチックの量は過去20年以上20%程度であり、増加する傾向が見られていない。この主な原因は、マテリアルリサイクルされたプラスチックの物性がバージン品と比較すると非常に低下して「硬く脆く」なっているためである。この物性低下は廃棄プラスチックだけでなく工場内の副生物やロス品のように、異物などの混入がないものであっても同様であり、再利用されることなく廃棄されている。また従来このリサイクルプラスチックの物性低下している原因は、使用中の紫外線や成形時の熱などによりラジカルが発生し、それにより高分子鎖が連鎖的に破断する化学劣化とされてきた。ビニル系プラスチックでは、一度破断した高分子鎖は再生することが不可能である。従って、物性低下の原因が化学劣化の場合物性再生は不可能であり、低下し続けることになる。この常識ため、マテリアルリサイクルは低付加価値品しか生産できないという考えが40年近く定着していた。</p> <p>【目的】            この頑強な常識に対し福岡大学では、物性低下の主要因は成形加工時の高いせん断履歴により高分子間の絡み合いが減少し、そのために結晶ラメラ間のタイ分子数が減るという内部構造変異による物理的な現象であること、さらに成形時に高分子結晶のメモリーを解消し、せん断履歴を緩和する時間を設けることで高分子の自己再生能力を引き出し、絡み合い数を増加・復元することで物性再生が可能であることを見出し、これを「物理劣化・物理再生理論」として提唱を行い、2019年の先導研究で実証した。本プロジェクトはこれを踏まえ、産官学によるチームで「物理劣化・物理再生」理論の実証検証を行い、高度なマテリアルリサイクルを実現することで、その使用済プラスチックの処理比率の向上が目的である。</p> <p>【プロジェクトアウトカム目標との関係】 マテリアルリサイクルを促進する新規ペレタイズプロセスや新規射出成形プロセスの構築と、プラスチック製品への適用促進などを達成することで、86万トン/年マテリアルリサイクルならびに211万トン/年のCO<sub>2</sub>削減のプロジェクトアウトカム目標の達成を目指す。</p> <p>●アウトプット目標            実施項目①「物理劣化・再生メカニズムの解明」に関しては、1 実効的なメソ構造制御を実現できる再生プロセスの原理の構築と、2 バージン材比、90%以上の材料強度（靱性）再生手法の確立、実施項目②「高度再生・成形技術開発と実装化研究」に関しては、1 実生産に供することの可能な大型高性能押出機的设计方針を確定と、2 高性能化を維持したまま生産速度を90%以上に引き上げる成形法の確立、実施項目③「製品化の要素開発」に関しては、全参画企業においてリサイクルプラスチックを原料に製品化あるいは製品化の用途をつけることを目標とし、相互に情報・試料を共有化して研究開発を実施する。</p> <p>●実施体制</p>			



研究開発項目①：物理劣化・再生メカニズムの解明、研究開発項目②：高度再生・成形技術開発と実装化研究、研究開発項目③：製品化の要素開発

●成果とその意義

実施項目①に関しては、熔融状態での最長緩和時間が樹脂溜まりでの滞留時間の目安となることを見出し、また結晶構造のメモリー効果の消去には各履歴に応じた熔融温度での混練が必要であることを見出した。さらに計算科学による自発的結晶化シミュレーション手法を世界で初めて開発し、成形プロセスがな部構造にどのように影響するかの可視化に成功した。実施項目②に関しては、高性能実証試験機を用いリサイクルプラスチックの高度再生に成功し、大型押出機設計への道筋を明確化するとともに、大型金型での電動制御マルチゲート射出成形を行い、高度・高速成形法を構築した。実施項目③に関しては、全参画企業においてリサイクルプラスチックを原料としたときの課題を明確にすることができた。

これらの成果は、これまでの常識を覆す物理劣化・物理再生理論が妥当性を持つことを世界で初めて証明したものであり、またそれに立脚した成形プロセスにより使用済プラスチックが十分に再利用できることを実証したものである。従来化学劣化が主要劣化と言われているときに物理劣化を提唱したのは世界初であり、サイエンスからテクノロジーにまで一気呵成に到達し、水平リサイクルや多回リサイクルが可能であることが明示した意義は非常に高い。

●実用化・事業化への道筋と課題

現在高性能化ペレタイズプロセスの認知度は極めて高い。またプラスチック工学研究所では大型高性能押出機の設計指針を確定し、2025年度でリサイクル関連での売上高11億円（全体では46億円）を目標としている。さらにマルチ電動バルブゲート金型を用いた高性能射出成形プロセスに関しては、自動車会社からの引き合いもあり、今後さらに発展すると考えられる。

ただし、高性能化ペレタイズプロセスの本格的な波及に関しては、複合材料などへの適用研究や単軸押出機での本格的な実証研究が不可欠である。

またリサイクルプラスチックを製品に適用するために解決しなくてはならない、例えばリサイクルプロセスに障壁にならないインキや接着剤の仕様などの課題と解決策が導き出され、実際にパウチフィルムから再使用要求を満たすフィルムの製膜方法や、家電廃プラから再製品化可能なペレットの製造プロセスなど、多くの課題を解決することができた。従って、今後マテリアルリサイクル製品の普及や展開の促進には、社会情勢や規制の緩和、あるいは消費者の動向に依存する課題も多いと考えられる。

## 材料再生技術の説明



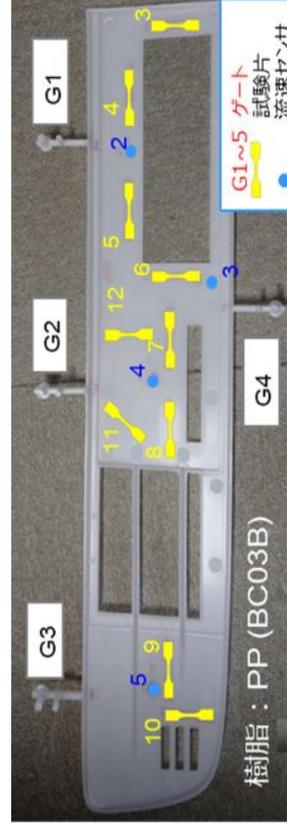
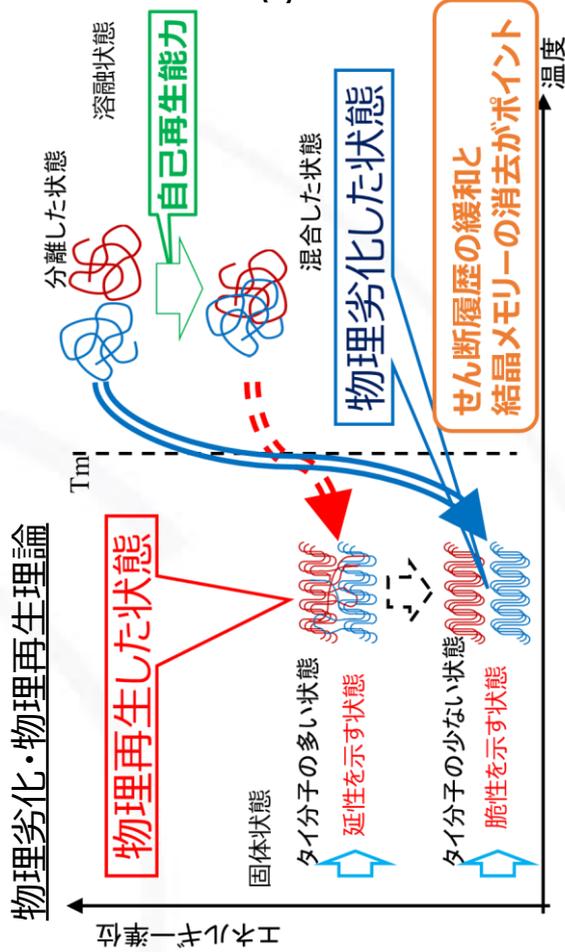
- バージン材比90%以上の材料強度（靱性）再生手法を確立した
  - 射出成形において、物性の均質化と高度マテリアルサイクルを実現する電動マルチゲート成形法を確立した
- 「物理劣化・物理再生理論」の確立とそれに基づく新たな成形手法を種々考案した



300kg/hの能力を持つ高性能押出機



再生・成形した電化製品



バンパーを模した電動マルチゲート金型での成形品外観



## 材料再生技術の目標達成状況

開発項目	目標 (2025年3月)	成果	達成度	達成の根拠／解決方針
① 「物理劣化・再生メカニズムの解明」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実効的なモノ構造制御を実現できる再生プロセスの原理の構築</li> <li>・バージン材比、90%以上の材料強度（靱性）再生手法の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熔融状態での最長緩和時間が、樹脂溜まりでの滞留時間の目安となることを見出した。また一方で、変異した結晶構造のメモリー効果の消去には、各履歴に応じた熔融温度での混練が必要であることも見出した。</li> <li>・上記により、バージン材比、90%以上の材料強度（靱性）再生手法を確立した。</li> <li>・計算科学による自発的結晶化シミュレーション手法を、世界で初めて開発した。この結果、せん断履歴が絡み合い数を減少させ、結果として結晶化速度を増すことを理論的に明らかにした。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PE成分選別ならびにPP成分選別の容器包装リサイクル樹脂を用い、高度物性再生を実現した。</li> <li>・バージン品への応用を試み、バージン品もさらに物性向上が可能であることを実証した。</li> <li>・せん断履歴の影響を理論的に明らかにした。</li> </ul>
② 「高度再生・成形技術開発と実装化研究」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実生産に供することの可能な大型高性能押出機的设计方針を確定</li> <li>・高性能化を維持したまま生産速度を90%以上に引き上げる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能実証試験機を用い、混練条件を詳細に解析することで、大量生産が可能な大型高性能押出機的设计指針を確定した。</li> <li>・大型金型での電動制御マルチゲート射出成形を行い、実用レベルにおいて、高性能化を維持したまま、生産速度を90%以上に引き上げることが成功した。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・300kg/hの生産能力を持つ高性能実証試験機でスケールアップが可能であることを示した。</li> <li>・せん断履歴をコントロールすることで均質かつリサイクル性の良い成形品ができることを実証した。</li> </ul>
③ 「製品化の要素開発」	<ul style="list-style-type: none"> <li>全参画企業においてリサイクルプラスチックを原料に、製品化あるいは製品化の目途をつける</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全参画企業において、リサイクルプラスチックを原料としたときの課題を明確にすることができた。</li> <li>・それら課題の解決指針の確立ができ、製品化の目処を付けることができた。</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各社の持つ課題に対し、解決方針の明確化ができた。</li> </ul>



## 材料再生技術の意義

テーマ名	材料再生プロセス開発	達成状況	○(達成)
達成状況の根拠	<p>① 「物理劣化・再生メカニズムの解明」 バージン材比、90%以上の材料強度（韌性）再生手法を確立した。</p> <p>② 「高度再生・成形技術開発と実装化研究」 300kg/hの能力を持つ高性能実証試験機を試作し、高度物性再生プロセスがスケールアップ可能であることを実証し、また大型金型での電動制御マルチゲート射出成形を行い、実用レベルにおいて、高性能化を維持できることを実証した。</p> <p>③ 「製品化の要素開発」 各社の持つ課題に対し、解決方針の明確化ができた。</p>		

### 【開発の意義】

#### ① 「物理劣化・再生メカニズムの解明」

現 状：再生不可能な化学劣化による物性低下が生じているため、マテリアルサイクルで高度リサイクルは不可能と信じ込まれていた。

開発後：物性低下の主要因は成形履歴によるものであり、成形プロセスを最適化することで物性再生は可能であるという「物理劣化・物理再生理論」が一般に認知され、高度物性再生プロセスに各企業が取り組むようになった。

#### ② 「高度再生・成形技術開発と実装化研究」

現 状：マテリアルサイクルで物性再生のできるプロセスはないと考えられてきた。

開発後：樹脂溜まり部の設置された押出機を用いることで、物性再生が可能であることが認知された。また射出成形においてもせん断履歴をコントロールすることで、製品全体の物性が均一でかつサイクル性の良い製品が成形できることが示され、商品化が進んでいる。

#### ③ 「製品化の要素開発」

現 状：マテリアルサイクルでの再製品化が諦められていた。

開発後：参画企業で高度物性再生が可能であることが実証され、開発方針策定に寄与した

マテリアルサイクルのみならず、プラスチック製品成形全般の高度化と、高度資源循環の基盤を構築した

## 材料再生技術での課題

### 【成果】

- 熔融状態での最長緩和時間が、樹脂溜まりでの滞留時間の目安となることを見出し、バージン材比90%以上の材料強度（靱性）再生手法を確立した
- 計算科学による自発的結晶化シミュレーション手法を、世界で初めて開発した
- 高性能実証試験機を用い、混練条件を詳細に解析することで、大量生産が可能な大型高性能押出機的设计指針を確定した
- 実用レベルにおいて、高性能化を維持したまま、生産速度を90%以上に引き上げること成功した
- 課題の解決指針の確立ができ、製品化の目処を付けることができた

### 【課題】

- 物理再生はマテリアルサイクルの手法となることは証明された。一方、何にでも使える手法では無い事も明らかになり、物理再生出来ない化学劣化したプラスチック等に対して添加剤等の開発も望まれる
- 企業と共に本技術の適用可能性の高い廃製品に絞りクローズドサイクルを行う事等、本成果の実用化の事例が望まれる

### 3.3. 研究開発項目③石油化学原料化プロセス開発

#### 3.3.1. ③-1 石油化学原料化プロセス開発(触媒分解)

テーマ名	石油化学原料化プロセス開発	達成状況	△
実施者名	早稲田大学(PL:松方正彦)、鳥取大学、カーボンニュートラル燃料研究センター、コスモ石油株式会社、大日本印刷株式会社		
達成状況の根拠	石灰などの触媒毒含有量が少ない廃プラの分解については、触媒分解による石油化学成分に加え、残渣成分の重質成分を接触流動触媒で分解することで収率 70%の可能性を示した		

#### ●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

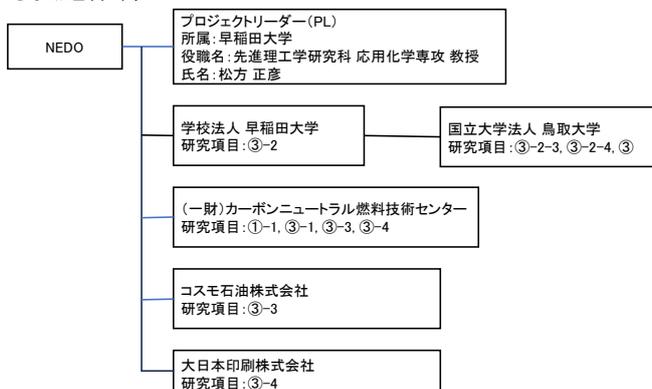
現在、日本における廃プラスチックのケミカルリサイクルは、製鉄所でのコークス炉化学原料化などに限られており、廃プラスチックを化学原料にまで戻す本格的な資源循環には至っていない。かつては熱分解による油化プラントも稼働していたが、その主目的は燃料製造であり、また最終的には経済的な理由で全てのプラントは閉鎖された。またこれまで触媒分解法も数多く検討されたが、固体炭素が触媒上に析出して分解活性が急速に低下するため、実用化には至らなかった。

本研究では既存の製油所設備を活用し、連続的に廃プラスチックを石油化学原料へ高効率で転換できる触媒分解プロセスの開発を目指した。その中核は、階層構造を備えた新規ゼオライト系触媒の開発である。この触媒はナフサ留分の高収率化を可能にし、失活しても再生処理により繰り返し使用できるよう改良を進めた。また触媒とプロセスを同時並行で開発することで、研究期間の短縮化を目指した。さらにケミカルリサイクルに適した容器包装製品を設計し、資源循環を最大化する総合的な取り組みを展開する。

#### ●アウトプット目標

本技術は、石油系溶媒中で混合廃プラスチックを溶解・溶融し、高機能ゼオライト触媒によって接触分解することで、石油化学原料や中間製品を得る点に特徴がある。さらに、生成した重質留分を製油所 FCC/RFCC 装置で二次分解することで、廃プラスチックを転換率 70%以上で石油化学原料に転換する。プロジェクト終了までにパイロットプラントの設計精度に必要なデータを収集し、効率的な社会実装につなげる。またケミカルリサイクル適性の高い新素材容器包装の開発を進めることで、社会実装を実現する。

#### ●実施体制



#### ●成果とその意義

反応器手前でプラスチックを炭化水素溶媒（水素化 LGO）中で溶解し、粘度を低下させてプロセスでの反応や原料のハンドリング性を改善すると共に、反応器後段での固体夾雑物を分離するユニットを含むプロセス全体の概念設計を行い、主要機器類の基本仕様スペックまで提案した。技術推進委員会から、2024年度以降は実際の廃プラの分解への対応に集中すべきとの指示があり、プロセスの概念設計までに止めてパイロットプラントの設計は行わなかった。PVC の脱塩素、PET の分解による昇華性物質の除去工程については、今後適切な運転条件を確認し、設計に反映する必要がある。

ゼオライトベータに触媒の種類を絞り込み、これをアルカリ処理することで階層構造化し開発触媒とした。この触媒を用いて純プラスチック混合物の分解を行い、中間目標を達成した。しかし、実際の廃プラを用いて同様の分解を行ったが、廃プラ中に含まれる夾雑物（石灰など）の影響が強く、目標に到達しな

かった。その後、実験室レベルでさらに高活性な触媒の調製には成功したが、2024年度内に10Lスケールでの性能確認には至らなかった。技術推進委員会からの指示に従い、複数の実際の廃プラスチック（3P混合物および溶融廃プラ）の試験を行った。廃プラスチック中に含まれる異種プラ（PVC、PETなど）などは開発触媒で対応できるが、石灰などの夾雑物が強く触媒活性を阻害することが明らかにされた。今後、廃プラ中に含まれる夾雑物の解析、夾雑物の触媒活性に対する影響の検討、およびその対策が必要である。また今回は触媒への炭素析出量と触媒寿命の評価ができなかったため、連続試験による評価が必要である。また、スケールアップに伴う反応工学的（熱と物質移動）の影響も解明する必要がある。

プラ分解油5vol%/石油系原料混合物を用い、FCC-MAT試験と実機シミュレーションを行った。FCC反応性は、石油系原料のみの場合と大きな違いはなかった。分解試験（10L反応器）による産廃プラ転化率95%のとき、プラ由来の石油化学原料収率は64%となった。産廃プラについては触媒分解-FCCの2段階分解の有効性が確認できた。一方、様々な廃プラ排出状況の評価する必要があり、特に廃プラに含まれる不純物（充填材、添加剤、フィルター等）の触媒活性への影響については、さらなる評価が必要である。

モノオレフィン仕様の包装材を試作し、触媒分解試験を実施した。試作した包材を触媒分解できることを確認し、アルミ蒸着層のプラスチックフィルムは分解を阻害しないことが分かった。開発触媒による包装材候補による分解試験では、反応温度、反応時間の調整幅を評価し、シール強度など包材性能に寄与する物性の一部は現行製品よりも劣るため、さらなる開発研究が必要である。また一部の試料が分解時にスラリー状となったため、その要因について検討が必要である。

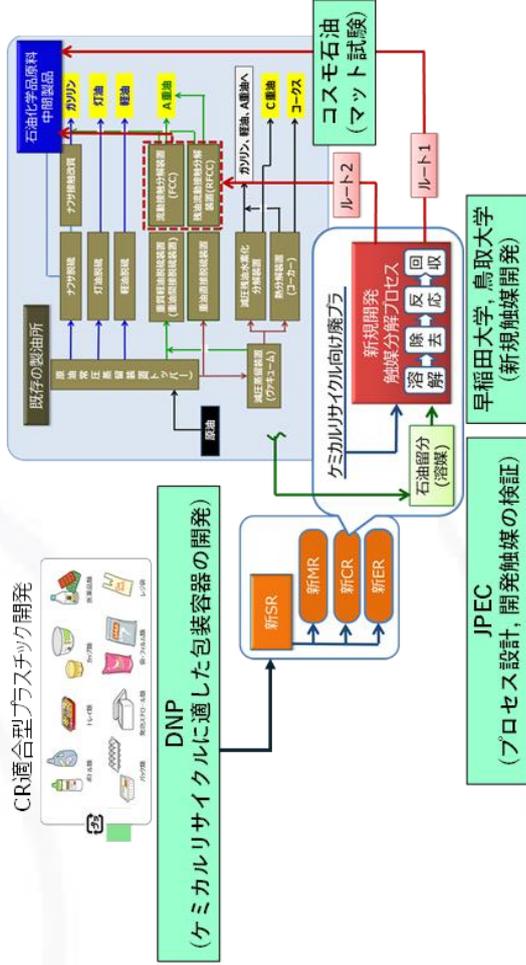
#### ● 実用化・事業化への道筋と課題

- ・ 基礎研究に立ち戻って触媒毒物質の特定や可能な対策技術を策定して、触媒分解の対象となる廃プラの拡大を図る。スケールアップ時の昇温速度低下が触媒効率低下に影響する課題も表出。急速昇温可能な連続式試験装置で検証
- ・ 触媒再生のための大量の触媒焼成プロセスを実現する手法の検討が必要である
- ・ 石油化学工業プロセスでの接触流動式分解装置(FCC)を想定した評価はレトロフィットの手法の一つと考えられるが、何等かの既存の統合的なシステムを想定し、その中で触媒利用の有効性を示すことが望まれる
- ・ 今後の知見として、本取り組みの成果と課題を記録に残すことが必要である



# 石油化学原料化技術の説明（触媒分解）

- 石油化学原料化プロセス開発（触媒分解）
  - PE, PP, PSを主成分とする混合プラスチックから、ナフサ相当石油化学原料収率70%以上で生成する、触媒分解プロセスの開発
  - 上記を可能とするプロセスの要素技術の開発と設計
  - プラスチックの分解と石油化学原料化を促進する高活性触媒の開発
  - 触媒分解 – FCCの2段階分解スキームの有効性の検証
  - 新CR適性の高いプラスチック製容器包装の試作と検証



ゼオライトの階層構造化  
(ミクロ、メソ孔性の両方を付与)  
Hierarchical zeolite



階層構造化

第1ステップ 廃プラの分解（低分子化）  
・ ゼオライトの外表面酸点による分解  
- (CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>)-

第2ステップ 基礎化学品（原料・中間製品等）の生成  
・ ゼオライトのミクロ細孔内酸点での反応



# 石油化学原料化技術の目標達成状況 (触媒分解)

開発項目	目標 (2025年3月)	成果 (2025年3月)	達成度 (見込み)	達成の根拠/解決方針
研究開発項目①：「触媒分解プロセス開発：新規プロセスの開発とパイロットプラントの基本設計」	プロセス主要フローの流量、温度、圧力等の操作条件を算出し、それに沿った主要機器の概略データシートをまとめて基本設計として整理する。	反応器手前でプラスチックを炭化水素溶媒（水素化LGO）中で溶融し粘度を低下させてプロセスでの反応原料のハンドリング性を改善するとともに、反応器後段での固体夾雑物を分離するユニットを含むプロセス全体の概念設計を行い、主要機器類の基本仕様スベックまで提案した。	△	技術推進委員会から、2024年度以降については、廃プラスチックの分解への対応に集中すべきとの指示をいただいたため、プロセスの概念設計までを実施し、パイロットプラントの設計は行わなかった。PVCの脱塩素、PETの分解による昇華性物質の除去工程については、適正な運転条件を確立し、設計に反映させる必要。
研究開発項目②「プラスチック分解触媒開発：多種多様な廃プラスチックに対応する複数触媒の開発」	2023年度に絞り込んだ触媒を行い実廃プラスチックの分解試験を行い、FCCによる処理を含め1次分解と2次分解を併せて、石油化学原料(基礎化学品)の収率70%を達成することを示すため、本開発で開発触媒における石化原料収率(主にメタンを除くC9以下の炭化水素を対象)で60%の性能を達成する。	ゼオライトベータに触媒の種類を絞り込み、これをアルカリ処理することで階層構造化し開発触媒とした。これを用いて、純プラスチックの混合物に対しては、中間目標を達成した。その後、廃プラスチックに対しては、廃プラスチックに含まれる灰雑物(石灰など)の影響が強く、目標に到達しなかった。その後、実験室レベルでさらに高活性な触媒の調整には成功したが、2024年度内に10 Lスケールでの性能確認には至らなかった。	△	技術推進委員会から、2024年度以降、廃プラスチックの分解への対応に集中すべきの指示をいただき、複数の廃プラスチック(3P混合物および溶融プラスチック)の試験を行った。廃プラスチックに含まれる異種物質(PVC、PETなど)などは開発触媒で対応できるが、石灰などの灰雑物は強く触媒活性を阻害することがわかったため、基礎研究に立ち返り、廃プラスチックに含まれる灰雑物の解明と、その触媒活性に対する影響の検討、およびその対策が必要。今回の実験のスケールでは、触媒への炭素析出量と触媒寿命の評価ができず、連続試験による評価が必要。また、スケールアップに伴う反応工学的(高粘度に起因する熱と物質移動の)影響も解明する必要がある。
研究開発項目③：「生成物の回収技術開発：石油精製プラントを活用する最大回収技術の開発」	低分解生成物と石油系原料との混合におけるFCC原料油の性状や生成物の得率、性状などへの影響として、実廃プラスチック等、実溶媒等を用いた結果により過年度までに作成したFCCシミュレーションの補正を完了し、実用を想定した混合処理比率やFCC美機性能値を提示する。	実プロセスではプラスチック3vol%程度と想定された。プラスチック5vol%(石油系原料混合物を用いてFCC-MAT試験と実機シミュレーション)を行った。評価は支障なく実施することができ、FCC反応性も石油系原料のみの場合と大きな違いはなかった。分解試験(10L反応器)における産廃プラスチック転化率95%のとき、プラ田来の石油化学原料収率は64%となった。	○	産廃プラスチックについては触媒分解-FCCの2段階分解スキームは有効であることが確認できた。一方で、様々な廃プラスチックの影響を評価する必要があり、特に廃プラスチック(充填材、添加剤、フィラー等)の触媒活性への影響については、さらなる評価が必要。
研究開発項目④「新CR適合型プラスチック開発：新CRを促進する容器包装類の素材からの開発」	新CR適性の高いプラスチック製容器包装の実用性の確認に向け、試作した容器包装と既存のプラスチック製容器包装と比較し、上記の機能的に遜色ないことを示す。	モノレフィン仕様の包装材候補をつくり、触媒分解試験を実施。試作したモノレフィン仕様の包装材が触媒分解が可能であることは確認でき、アルミ蒸着のプラスチックフィルムは分解を阻害しない結果が得られた。	△	開発触媒による包装材候補による分解試験では、反応温度、反応時間の調整で分解可能。シール強度など、包材性能に寄与する物性の一部は現行製品よりも劣るため、さらなる開発研究が必要。分解性についても一部でスラリー状となった水漬が発生し、その要因について検証が必要。

◎ 大きく上って達成、○達成、△一部未達、×未達 19



## 石油化学原料化技術の意義（触媒分解）

テーマ名	石油化学原料化プロセス開発	達成状況
<b>達成状況の根拠</b>	<p><b>研究開発項目①：「触媒分解プロセス開発」</b> プロセスの概念設計までを実施。PVCの脱塩素、PETの分解による昇華性物質の除去工程については、適正な運転条件を確認し、設計に反映する必要</p> <p><b>研究開発項目②：「プラスチック分解触媒開発」</b> ゼオライト触媒の種類の種類と階層構造化による活性の向上を確認（触媒コンセプトを裏証）、被毒物質に対する理解と対策が必要</p> <p><b>研究開発項目③：「生成物の回収技術開発」</b> 触媒分解 - FCCの2段分解スキームは有効であることを確認</p> <p><b>研究開発項目④：「新CR適合型プラスチック開発」</b> 試作したモノレフィン仕様の包材が触媒分解が可能であることは確認でき、アルミ蒸着のプラスチックフィルムは分解を阻害しない</p>	<p>△</p> <p>△</p> <p>△</p> <p>○</p> <p>△</p>

### 【開発の意義】

#### 研究開発項目①「触媒分解プロセス開発」

現 状 プロジェクト開始時点では、熱分解プロセスでは石油化学留分の収率が低かったが、プロジェクト期間中にはこの課題を克服する熱分解プロセスが進展

開発後 触媒プロセスの優位性の確認が必要

#### 研究開発項目②「プラスチック分解触媒開発」

現 状 高活性触媒のコンセプトは実証

開発後 触媒被毒物質に対する理解と対策が不十分であり、基礎に立ち返って触媒被毒物質の解明と対策を立てる

#### 研究開発項目③「生成物の回収技術開発」

現 状 産廃プラについては触媒分解 - FCCの2段分解スキームは有効

開発後 熱分解含め、FCC利用プロセスが必要とされれば、それに貢献

#### 研究開発項目④「新CR適合型プラスチック開発」

現 状 モノレフィン仕様の放送が触媒分解できることを確認

開発後 包材性能に寄与する物性を現行製品と同等にする研究開発が必要

3 Pを主成分とする廃プラの有効なケミカルリサイクルプロセスとなるとともに、リサイクル容易な包装材の指針作りにも貢献 20

## 石油化学原料化技術での課題（触媒分解）

### 【成果】

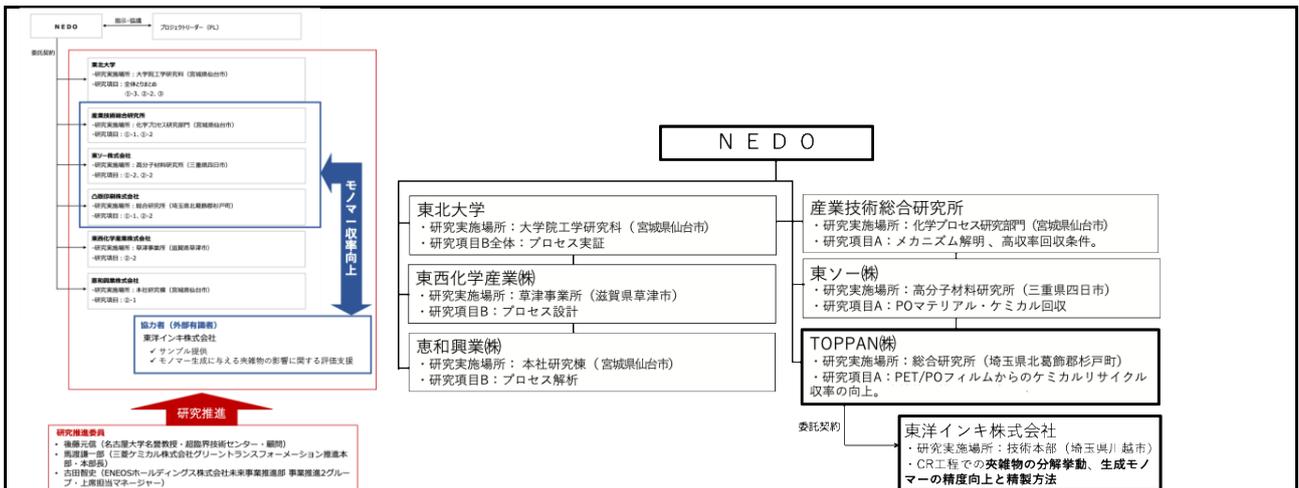
- ベンチマーク触媒による純品ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンの分解のデータを用いたパイロットプラントの予備的な基本設計案をまとめた
- プラスチックの分解においてゼオライト外表面およびマイクロ細孔の入口に近い領域の酸点が有効で、マイクロ細孔の中ではリング構造の大きなゼオライトが有効
- ゼオライトベータにアルカリ処理することで階層構造化した触媒を提案
- 新規開発触媒による実産業廃プラの分解では、含まれる夾雑物（石灰など）による被毒が強く発現
- 触媒分解 - FCCの2段分解スキームは有効であることを確認。廃プラ由来石化収率は最大66.3%
- モノレフィン仕様の包装材候補を製作し、触媒分解が可能であることを確認

### 【課題】

- 基礎研究に立ち戻って、廃プラ中の触媒被毒物質の解明と対策が必要
- 触媒再生のための触媒焼成プロセスはじめ炭素析出対策など、プロセスのコストとLCA評価にかかわるデータが必要
- 装置の実用化検討にあたっては、生成物であるPVCから生成する塩酸やPETから生成するテレフタル酸などの除去設備の検討も必要
- 物質移動・熱伝導を考慮した連続反応器設計とスケールアップ手法が必要
- 開発触媒やモノレフィン化した包装材について十分なデータを獲得できていない
- 今後の知見として、本取り組みを記録として残すことが重要

### 3.3.2. ③-2 石油化学原料化プロセス開発(液相分解)

テーマ名	複合プラスチックからのモノマー回収液相プロセスの開発	達成状況	○
実施者名	国立大学法人東北大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、東ソー株式会社、TOPPAN 株式会社、東洋インキ株式会社（外部有識者）、東西化学産業株式会社、恵和興業株式会社		
達成状況の根拠	<p>PET、PA および夾雑物（接着剤等）が共存する実包装フィルムを対象にモノマーおよびポリオレフィンが回収できた。さらにモノマー純度の制御、ポリオレフィンの回収・分子量制御が確認できた。今後、TPA 純度 99.9%およびポリオレフィンのさらなる高度構造制御を含め、生産物全体での高付加価値化を目指して検討する。</p> <p>夾雑物除去フィルターシステムを稼働し、その連続操作性について確認した。モノマー回収フィルターシステムの運転結果に基づきプロセスを解析し、フィルター内外の物質移動を解析することで装置が設計可能とした。今後、データを充実させ大型装置の設計を可能とするとともに、経済性・環境性の評価を可能とする。</p>		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>【背景】本事業では、第4次循環型社会形成推進基本計画を受けて策定されたプラスチック資源循環戦略に示される「2030年までに容器包装の60%をリユース・リサイクル」等のマイルストーンに対し、ケミカルリサイクル技術からの目標達成への貢献を目指す。本事業の研究開発項目③「石油化学原料化プロセス開発」においては、汚れ等の理由により、マテリアルリサイクルの処理技術が適用困難な廃プラスチックを主な対象に、既存の石油精製・石油化学設備等を活用し、廃プラスチックを石油化学原料に転換する技術開発を実施する。また本項目に取り組むにあたっては、2022年度・中間目標にある「廃プラスチックを転換率50%以上で石油化学原料に転換する。」の達成に向けた研究開発を実施する。</p> <p>【目的】近年、リサイクル処理の容易さを考慮した環境配慮設計の概念を基に、プラスチック製品においてもモノマテリアル化の必要性が検討されている。一方、ガスバリア性や遮光性などの機能を有するプラスチックの有用性から複層フィルムを代表に複合プラスチックが多分野・多用途に利用されており、リサイクル性能との両立の実現が課題となっている。本研究では、リサイクル性向上とプラスチック製品の高性能化の両立が可能となる社会像の実現を目指すためのアプローチとして、液相分解手法を用いた革新的なケミカルリサイクル技術の研究開発を実施する。</p> <p>【内容】本研究では、複合プラスチックからのモノマー回収液相プロセスの技術開発を実施する。具体的には、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリアミド（PA）といった加水分解性プラスチックと、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、ポリスチレン（PS）などの非加水分解性プラスチックを主体とする、包装材やボトルといった複合・複層材料などを対象に、その工程不良品の再生利用に加え、一般廃棄物中に含まれる該当プラスチックから、液相反応を用いて石油化学原料となるモノマー類を高選択・高収率・高純度で回収する連続プロセスを開発するための基礎研究を実施する。</p> <p>●アウトプット目標</p> <p>【中間目標】ラボスケールでの液相分解実験において、加水分解性成分のPET、PA単体および非加水分解成分を加えた混合状態（例えば、PET+PE、PA+PE）を対象に、それらから生成するモノマーが高純度かつ7割の収率で回収する条件を明らかにする。さらに、非加水分解成分となるポリオレフィン単体（PE、PP等）から、7割程度の収率で分子量を制御し、オレフィンを生成できる条件を設定する。</p> <p>小型連続装置による液相分解反応において、実廃プラスチックとして粉碎多層フィルム（例えば、PET+PE）を原料に用いた上で目的とするモノマー（例えば、TPAやEG等）が生成され、プロセスの全体収率として5割以上回収率を達成する。また、ここで得られるデータを用い、極力汎用的な装置設計が可能となるモノマー生成の収率条件と製作と運用に要する全体コストを示した上で、中型連続装置におけるモノマー回収機構に関する装置設計の仕様策定を完了する。</p> <p>【最終目標】中間目標までに明確化した各樹脂単体における7割程度のモノマー生成条件を基に、PET/PEフィルム、PA/PEフィルム、およびそれらの混合物を対象に、加水分解成分からモノマーを高純度かつ、7割程度の収率で生成できる条件を明確にする。また、PET、PAおよび夾雑物（接着剤等）が共存する条件で、PEから7割程度の収率で分子量を制御し、オレフィンを生成できる条件を明確化する。</p> <p>夾雑物除去フィルターシステムに関しては、小型の回分式フィルターシステムを用い、アルミの3割を除去できる夾雑物除去フィルターシステムに資するフィルターを選定する。液相反応を実施する小型押出機装置においては、モノマー回収フィルターシステムを開発・試作・実装し、その効果を確認し試作・改良する。</p> <p>●実施体制</p>			



●成果とその意義

【成果】本研究の主な成果は、複合プラスチックから石油化学原料となるモノマーを高選択率、高収率、かつ高純度で回収する革新的な液相プロセスを開発した点にある。この技術は、従来のリサイクル手法では困難であった多様なプラスチックへの対応を可能にする。具体的には、ポリエチレンテレフタレート（PET）やポリアミド（PA）のような加水分解性プラスチックと、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、ポリスチレン（PS）などの非加水分解性プラスチック（ポリオレフィン）が混在した製品に対し、モノマーおよびポリオレフィンを高い収率（7割以上）で回収する技術として目処をつけた。さらに、PETのモノマーであるテレフタル酸（TPA）を精製し純度99%以上にできることを確認した。さらに、この成果に基づき連続プロセスの開発に取り組み、アルミ除去およびモノマー回収フィルターシステムの連続運転を実証した。

【意義】本研究の意義は、プラスチックのライフサイクル全体に革新をもたらし、サーキュラーエコノミーの実現を大きく前進させる点にある。すなわち、リサイクルが困難であった複合プラスチックを効率的に処理できるプロセス開発の目処を立てることができたことから、プラスチックごみの削減や海洋プラスチック問題の解決に繋がるものと確信する。特に、高純度なモノマーを回収できるため、バージン材と同等の高性能なプラスチック製品を再生することが可能となります。これにより、リサイクル材の品質劣化（ダウンサイクル）という課題を克服し、高性能製品への安定的なリサイクルループを確立する。このプロセスにより、新たなリサイクル市場を創出し、関連産業の活性化に繋がる可能性がある。また、効率的な連続プロセスの開発は、経済的なリサイクルシステムの構築にも貢献できる。このことにより、廃棄されている複合プラスチック（特に多層フィルム包装材）の有効なケミカル・マテリアルリサイクルプロセスとなるとともに、リサイクル容易な複合プラスチック設計の指針作りにも貢献できるものと考えられる。

●実用化・事業化への道筋と課題

【フェーズ1】技術実証と市場開拓期（～2026年）：この段階では、技術の信頼性を確立し、初期市場を形成することに重点を置く。各社が連携してパイロットプラントや小規模な製造設備を立ち上げ、プロセスの最適化と再生モノマーの品質評価を進める。ソーは、0.1万t/年規模のパイロット設備を設置・運用を調査する。TOPPANは、包装材などの自社製品への適用を見据え、0.5万t/年規模の製造設備について具体的な製品へのリサイクルループを構築することを検討する。恵和興業も0.1万t/年規模の設備について検討する。東西化学産業は、技術の普及に向けたライセンス供与に向けた知財戦略を推進し、関心を持つ企業からの試作依頼を受諾することで、多様なニーズに対応できる体制を整える。このフェーズを通じて潜在的な顧客との関係を構築する。

【フェーズ2】事業拡大とサプライチェーン構築期（2026年～2030年）：フェーズ1で得られた知見を基に、生産能力を大幅に拡大した際のサプライチェーンについて検討する。東ソーは、商業生産を見据えた5～10万t/年の大規模製造設備に関して検討を進めながら、ケミカルリサイクル市場の調査を進める。恵和興業は、対象を一般廃棄物から産業廃棄物へと拡大した場合の処理に関して必要な技術を調査する。東西化学産業は、ライセンス供与先企業に対して5～10万t/年規模のプラント設置に向けた装置設計の効率的に実施するよう、調査結果を精査する。このフェーズの目標は、各社の取り組みを通して年間20万トンのケミカルリサイクルに必要なバリューチェーンを提案する。

【フェーズ3】本格的な社会実装期（2030年～）：本技術を基盤とした自律的なサーキュラーエコノミーが社会に実装されている状態を目指す。多様な廃棄プラスチックの安定的な回収から、高純度モノマーの生産、そして高性能プラスチック製品への再利用まで、一貫したサプライチェーンを提案する。20万トンのケミカルリサイクル体制が構築されたことを前提に、容器包装リサイクル法で回収される多層フィルムのリサイクルを可能とした場合のプラスチック資源循環社会への寄与率を算定する。東西化学産業によ

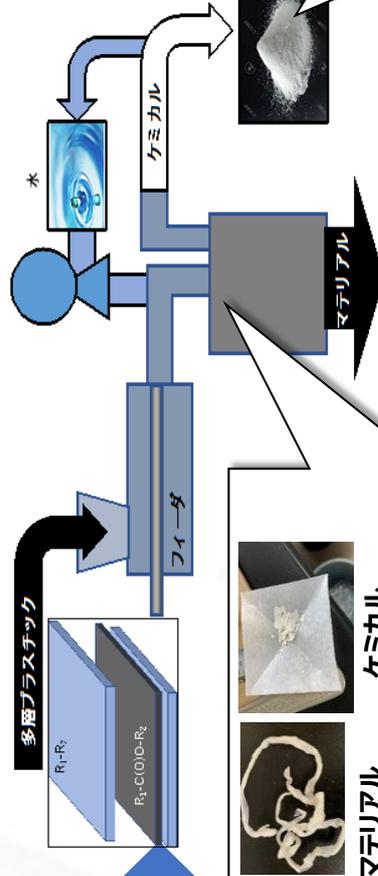
るライセンス供与がさらに進み、国内外で本技術が標準的なリサイクル手法の一つとして広く普及する可能性を追求する。連続装置の設計を通して、当該プロセスの経済性・環境適合性評価を実施し、当該プロセスの導入を推進する。このことにより、研究開発の成果を確実に社会実装へと繋げ、リサイクル性の向上とプラスチック製品の高性能化を両立させるという目標を実現する。

# 石油化学原料化技術の説明 (液相分解)

## 石油化学原料化プロセス開発 (液相分解)

- 加水分解性プラスチック (PET, PAなど) と非加水分解性プラスチック (PE, PP, PSなど) から構成される包装材等をマテリアル (オレフィン類) とケミカル
- (テレフタル酸等) として回収する技術の開発
- 水を利用した低環境負荷プロセスの開発

- 廃プラスチック
- プラスチック素材の混合物



➤ 押出機連続装置の製作・操作・確認



- 技術のポイント：
- ① マテリアルおよびケミカルのリサイクルの両立
  - ② 押出機を用いた連続プロセスの構築

➤ 反応マッピングの作製・モナー回収条件の決定



➤ 回収マテリアル (ポリオレフィン) の分子量・材料特性解析





# 石油化学原料化技術の目標達成状況 (液相分解)

開発項目	目標 (2024年3月)	成果 (2025年3月)	達成度 (見込み)	達成の根拠/解決方針
研究開発項目①：「液相分解によるモノマー回収条件の探索」	PET/PEフィルム、PA/PEフィルム、およびそれらの混合物を対象に、加水分解成分からモノマーを高純度かつ、7割程度の収率で、またPEも7割程度回収する条件を明確にする。	PET、PAおよび夾雑物（接着剤等）が共存する条件で、7割程度の収率でモノマーおよびポリオレフィンを回収し、PEに関して分子量を制御し、オレフィンを生成できる条件を明確化する。	○	PET、PAおよび夾雑物（接着剤等）が共存する実包装フィルムを対象にモノマーおよびポリオレフィンが回収できた。さらにモノマー純度の制御、ポリオレフィンの回収・分子重量制御が確認できた。今後、TPA純度99.9%およびポリオレフィンのさらなる高度構造制御を含め、生産物全体での高付加価値化を目指して検討する
研究開発項目②「連続プロセスの開発」	夾雑物除去フィルターシステムについては、アルミ除去率3割を確認する。小型連続装置による液相分解反応において、モノマー回収フィルターシステムの改善・改良を施し、液相反応の効率向上に取り組み。さらに、安定して液相反応を連続実施できるよう、装置停止時・起動時の運転パターンを精査する。	夾雑物除去フィルターシステムの連続操作性について確認する。小型連続装置による液相分解反応に対し、モノマー回収フィルターシステムの安定した連続運転を達成すると共に、改良点を明確化する。可能な改良を施し、基礎実験により明確化された最適反応条件に基づき小型連続装置を運転し、モノマー生成率全体で7割が超えることを確認するとともに、モノマー回収フィルターシステムにおいて5割の回収率を達成する。	○	夾雑物除去フィルターシステムを稼働し、その連続操作性について確認した。モノマー回収フィルターシステムの運転結果に基づきプロセスを解析し、フィルター内外の物質移動を解析することで装置が設計可能とした。今後、データを充実させ大型装置の設計を可能とするともに、経済性・環境性の評価を可能とする。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

# 石油化学原料化技術の意義（液相分解）

テーマ名	複合プラスチックからのモノマー回収液相プロセスの開発	達成状況
達成状況の根拠	<p><b>研究開発項目①：「液相分解によるモノマー回収条件の探索」</b>：PET/PEフィルムとPA/PEフィルムの混合系においてモノマー生成率7割を達成。実サンプルでもモノマー生成率7割を達成。モノマー精製によりテレフタル酸純度98.5%以上を達成。連続処理装置でオレフィン収率70%を達成。樹脂状の夾雑物の影響をフィルム物性で評価を実施した。</p> <p><b>研究開発項目②「連続プロセスの開発」</b>：連続プロセスを稼働し、その操作性および可能性を実証した。連続プロセスにかかる装置の設計に関する指針を獲得した。</p>	○

## 【開発の意義】

### 研究開発項目①「液相分解によるモノマー回収条件の探索」

**現状** 多層フィルムのような複合フィルムは物理的な剥離ができず、原則ケミカルリサイクル、マテリアルリサイクルが不可能であった。また、包装フィルムにはアルミや顔料といった不純物も多く含まれており、純度の高いモノマーやマテリアルの回収が困難であった。

**開発後** 水の液相の反応を最適化することで、PETやPAはモノマーに分解するとともに、PE、PP、PSなどのポリオレフィンも分子構造を維持しながら回収できる。それぞれの純度を高める手法を開発することで、複合フィルムからリサイクル可能なモノマーおよびマテリアルを回収することができる

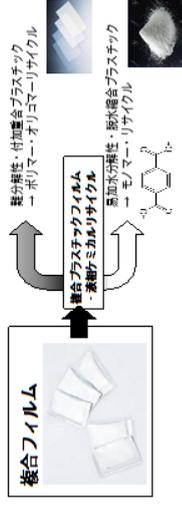
### 研究開発項目②「連続プロセスの開発」

**現状** 水の液相反応による複合プラスチックからのモノマー、マテリアルの同時回収は、効率の悪い回分装置での検討に止まる。液相分解プロセスの連続化は油化プロセスに限られ、モノマー・マテリアル同時回収の連続プロセスは存在しない。

**開発後** 押出機およびフィルター分離プロセス双方を組み合わせたプラスチック連続処理プロセスは、モノマーおよびマテリアルの同時生成・回収を可能とする。リサイクル不可能であった廃棄プラスチックのリサイクル率を高める切り札になる

世界的に需要・生産量が高まっている包装用フィルムの効果的なリサイクルが可能に

廃棄されている複合プラスチック（特に多層フィルム包装材）の有効なケミカル・マテリアルリサイクルプロセスとともに、リサイクル容易な複合プラスチック設計の指針作りにも貢献



## 石油化学原料化技術での課題（液相分解）

### 【成果】

- PET/PEフィルムとPA/PEフィルムの混合系においてモノマー生成率7割を達成
- 実サンプルでもモノマー生成率7割を達成
- モノマー精製によりテレフタル酸純度98.5%以上を達成
- 連続処理装置でオレフィン収率70%を達成
- 樹脂状の夾雑物の影響をフィルム物性で評価を実施した
- 連続プロセスを稼働し、その操作性および可能性を実証した
- 連続プロセスにかかる装置の設計に関する指針を獲得した

### 【課題】

- 本装置（高圧反応槽）の実用化に当たり、プロセスや経済性の課題の整理が必要である
- リサイクルされたポリオレフィンの高付加価値化が重要であり、様々な分子量の混合物から特定の分子量領域のポリオレフィンを製造する技術や片端末に二重結合をもつポリオレフィンを製造する技術への適用が望まれる
- 装置の実用化検討にあたっては、生成物であるテレフタル酸や安息香酸の吸着、蓄積による設備腐食の検討も必要である
- 十分なデータを獲得できていない
- 装置設計指針に基づき、コストおよび環境指標を試算する

### 3.4. 研究開発項目④高効率エネルギー回収・利用システム開発

#### 3.4.1. ④-1 高効率エネルギー回収・利用システム開発

テーマ名	高温ダーティガスに対応可能な高効率・高耐久な伝熱管材料の開発	達成状況	○
実施者名	東海国立大学機構名古屋大学 産業技術総合研究所 東北発電工業	成瀬 一郎 堀田 幹則 長沼 宏	
達成状況の根拠	開発した金属系材料 (Ni-2) およびセラミック材料 (ムライト, 他) の灰付着低減効果および耐食性向上効果について評価し、最終目標である比較対象材料 (SUS310S) に対して灰付着 50%削減および化学腐食量 50%削減の両者を達成した。加えて、肉盛溶接法による金属・セラミック混合コーティングによって2つの廃棄物処理プラントによる実証試験も実施し、灰付着低減効果および耐食性向上効果の両者を評価したところ、実機のプラントにおいても上述の最終目標を達成することができた。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>廃プラスチックを含む産業廃棄物の焼却施設における排ガスは、高温かつ HCl や SOx 等の腐食性ガスおよび比較的融点の低い灰粒子を高濃度に含有している、いわゆる、高温ダーティガスであり、伝熱管表面を化学腐食するとともにその表面に多くの灰が付着してしまう。そこで、耐化学腐食とともに灰が付着し難い材料を開発し、それを伝熱管表面にコーティングすることにより、発電効率と稼働率の両方の向上を図る。</p> <p>●アウトプット目標</p> <p>開発した表面改質材料の灰付着低減効果および耐食性向上効果について、比較対象材料 (SUS310S) に対して灰付着 50%削減および化学腐食量 50%削減の両者を達成すること</p> <p>●実施体制</p> <p>東海国立大学機構名古屋大学 産業技術総合研究所 東北発電工業</p> <p>●成果とその意義</p> <p>最終目標「再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率 80%以上を達成する」を達成した。熱交換器伝熱管材料ならびに表面改質技術の開発においては、伝熱管材料と灰との付着性を従来材 (SUS310S) に比べ 50%以上低減することができ、これにより伝熱管材料への灰付着率も従来材に比べ 50%以上低減できた。また、伝熱管材料の耐食性を従来材に比べ 50%以上向上することができた。伝熱管への灰付着率の減少はエネルギーリカバリ施設における発電効率の向上、また伝熱管の耐食性の増加は施設における稼働率の向上に貢献できることにより、総合エネルギー利用効率は最終目標である 80%以上の結果となった。この数値は EU 諸国における熱電併給を目指すコ・ジェネレーションシステムの総合熱効率を上回るものである。</p> <p>●実用化・事業化への道筋と課題</p> <p>開発した材料の灰付着低減・耐食性向上の各効果に基づき、実機適用時の効率 (発電効率・稼働率) 向上が提案できるとともに、開発した材料ならびにコーティング施工方法と皮膜構成の最適化を知的財産化し、次フェーズである社会実装を目指したプロジェクトに活用する。</p>			

#### ・低温排熱を利用した熱駆動冷凍機システムの開発

・ 低温排熱を利用した熱駆動冷凍機システムの開発

テーマ名	低温排熱を利用した熱駆動冷凍機システムの開発		達成状況	○
実施者名	八戸工業大学                      折田 久幸 東京電機大学                      小林 佳弘 中央大学                              幡野 博之 高砂熱学株式会社                  谷野 正幸			
達成状況の根拠	1 冷凍トン級（4kW 級）の熱リサイクルパッケージ製氷システム（吸収式冷凍機・氷スラリー製造機連結システム）の運転により、65℃という低温排熱でも排熱源として利用することが可能であることがわかった。また、-5℃程度の冷熱を生成することができ、氷充填率を 50%まで高めた氷スラリーも安定的に製造できた。これにより最終目標を達成できた。その他、氷スラリーの流動性についての定量評価、オフライン熱輸送のための吸着剤乾燥機と熱発生装置の開発も行った。			
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係                      産業廃棄物焼却施設は比較的小規模なものが多く、従来、その低温排熱はほとんど有効利用されていない。また、日本においては、物流業界等で冷熱の需要が高く、この産業廃棄物焼却施設における未利用排熱から熱駆動型吸収式冷凍機を用いて冷熱媒体を製造することができれば、物流業界等の冷熱需要に貢献できる。</p> <p>●アウトプット目標                      1 冷凍トン級（4kW 級）の熱リサイクルパッケージ製氷システム（吸収式冷凍機・氷スラリー製造機連結システム）を試作・運転し、低温排熱を排熱源として利用して、-5℃程度の冷熱の生成を目的とする。また、この冷熱を用いて氷充填率を 50%まで高めた氷スラリーも安定的に製造する。その他、氷スラリーの流動性についての定量評価、オフライン熱輸送のための吸着剤乾燥機と熱発生装置の開発も行う。</p> <p>●実施体制                      八戸工業大学                      東京電機大学 委託先 青山学院大学                      中央大学                      高砂熱学株式会社</p> <p>●成果とその意義                      未利用排熱を利用して氷点下冷熱を製造するという発想に新規性・独創性があり、開発中の氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機と氷スラリー製氷機は、電動式に比べて、排熱駆動である点から、ランニングコストの削減や CO<sub>2</sub> 排出量削減において優位性がある。未利用排熱を利用して氷点下冷熱を製造するという発想は新たな技術領域の開拓であり、具体的には、Li-Br/水系の吸収冷凍サイクルにおいて、1-プロパノールの添加によって冷媒である水の凝固点を降下させて、氷点下冷熱を製造する研究は他に見当たらない。3～4kW の氷スラリー製氷機と吸収冷凍機の試作、流動層による吸着材の乾燥試験の実施、総合熱利用システム評価技術のツール作成といった開発成果が獲得でき、未利用排熱の冷熱利用については、物流業界等からも関心を持たれている。当該技術は国内外で利用が困難とされてきた 200℃以下の未利用熱から-5℃の冷熱エネルギーを製造するという世界的にも稀有の技術であるといえる。</p> <p>●実用化・事業化への道筋と課題                      1 冷凍トン級（4kW 級）の熱リサイクルパッケージ製氷システム（吸収式冷凍機・氷スラリー製造機連結システム、連続乾燥機）をスケールアップすることで、実証試験の導入先の候補地の多様化を図り、冷熱需要と排熱需要をさらに拡大させる。</p>				

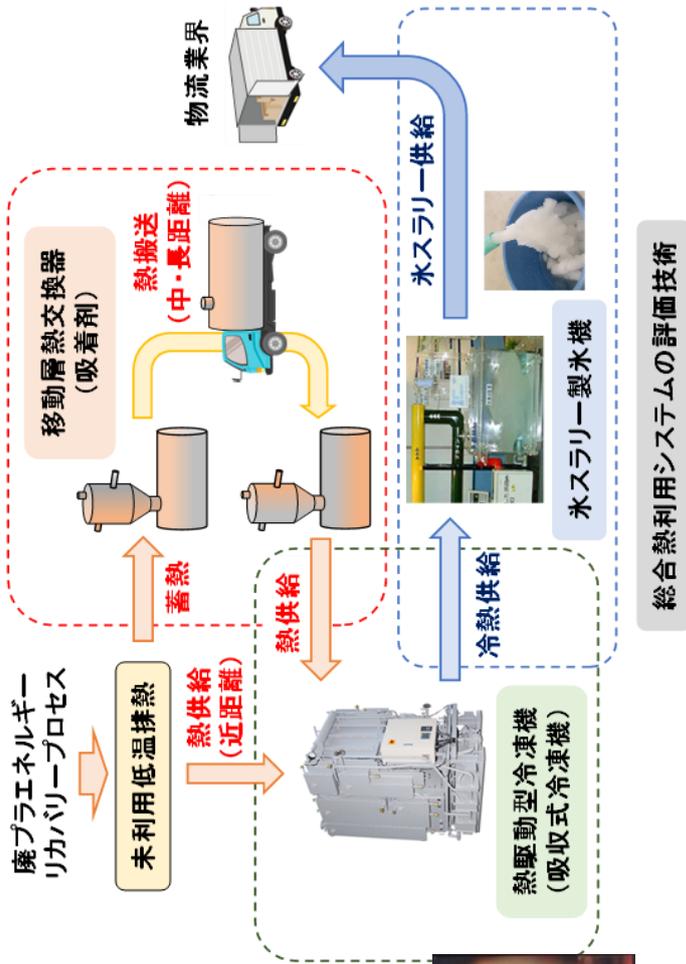
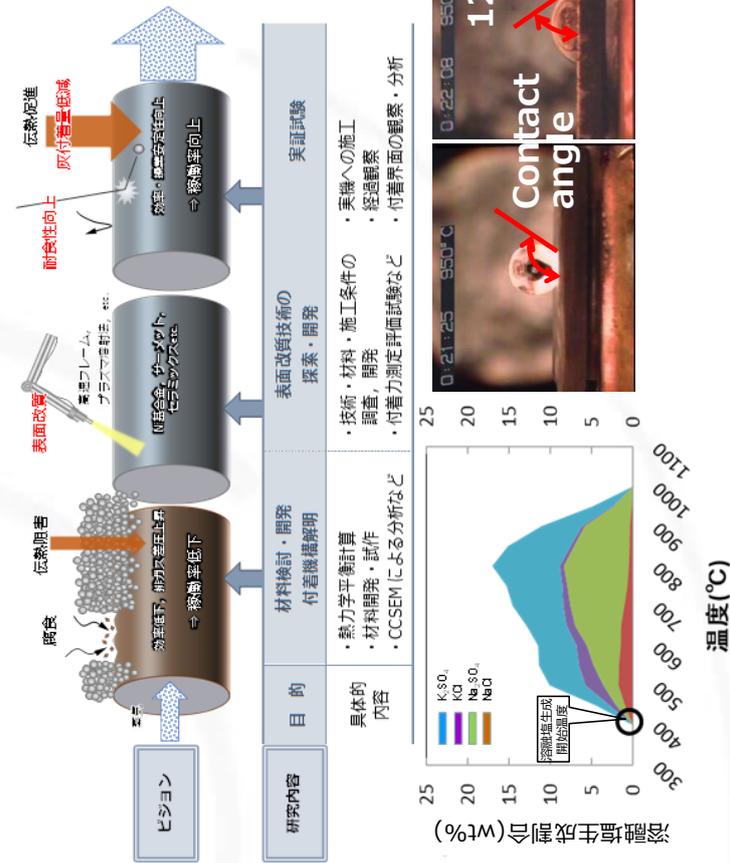
・総合熱利用システムの評価技術開発

テーマ名	総合熱利用システムの評価技術開発	達成状況	○
実施者名	高砂熱学株式会社 谷野 正幸		
達成状況の根拠	総合熱利用システムの評価技術のツールを、中核都市モデル、離島モデルおよび首都圏モデルに関してそれぞれ開発し、未利用排熱の発生場所と冷熱の需要場所のマッチングを行えるようなツールを開発した。合計 13 件の事例研究を実施し、実証場所の候補を明らかにするとともに、当該評価技術ツールによって、排熱需要と冷熱需要とのマッチング、CO <sub>2</sub> 削減効果、イニシャルコスト回収年数等を的確に評価することが可能となった。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 提案する排熱の冷熱利用システムについて経済性のマクロ評価を行い、冷熱用の熱交換媒体と廃棄物処理場の熱利用の調査を行った上で、総合熱利用システムの評価技術のツールを開発する。本開発ツールを用いて、10 件以上の事例研究を実施するとともに、提案システムの実用段階において、総合エネルギー利用効率 80%以上の達成の目途を示す。</p> <p>●アウトプット目標 熱供給側の熱条件（温度、熱量等）と熱需要側のそれとが合致しているか否か等の熱マネジメントが解析できるツールを作成し、このツールを用いて冷熱利用システムの総合評価技術を開発すること。また、その開発ツールを用いて 10 件以上の事例研究を行うこと。</p> <p>●実施体制 高砂熱学株式会社</p> <p>●成果とその意義 提案する排熱の冷熱利用システムについて経済性のマクロ評価を行い、冷熱用の熱交換媒体と廃棄物処理場の熱利用の調査を行った上で、総合熱利用システムの評価技術のツールを開発した。本開発ツールを用いて、13 件の事例研究を実施した。その結果、提案システムの実証場所として、現状では青森県八戸湾岸エリアを選定した。さらに、提案システムの実用段階において、総合エネルギー利用効率 80%以上の達成の目途を示すことができた。</p> <p>●実用化・事業化への道筋と課題 総合熱利用システムの評価技術ツールの完成度を高めることにより、新たな物流業界や漁港（鮮魚輸送も含む）での氷需要・氷点下冷熱需要の掘起こしを行い、結果として排熱需要の拡大と省エネルギーな冷熱製造を社会実装する。</p>			

# 高効率エネルギー回収・再利用技術の説明

## 高効率エネルギー回収・利用システム開発

- 廃プラスチックER処理施設の低発電効率と低稼働率の打破
- 高温・腐食性かつ低融点灰の付着を制御するための伝熱管表面改質技術の開発
- 未利用低温排熱による冷熱変換による異分野（物流業界）への熱供給実現



総合熱利用システムの評価技術

# 高効率エネルギー回収・利用技術の目標達成状況



開発項目	個別テーマ	最終目標 (2024年度末)	成果	達成度	達成の根拠/解決方針
④ 高効率エネルギー回収・利用システム開発	④-1 高温ダimerガスに対する可能な高効率・高耐久な伝熱管材料の開発	比較対象材料であるSUS310Sに対して、灰付着を50%削減ならびに化学腐食量も50%削減の両方を目指し、再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収し総合エネルギー利用率として80%以上を達成する。	開発した金属系材料 (Ni-2) およびセラミック材料 (ムライト, 他) の灰付着低減効果および耐食性向上効果について評価し、最終目標である比較対象材料 (SUS310S) に対して灰付着50%削減および化学腐食量50%削減の両者を達成した。加えて、肉盛溶接法による金属・セラミック混合コーティングによって2つの廃棄物処理プラントによる実証試験も実施し、灰付着低減効果および耐食性向上効果の両者を評価したところ、実機のプラントにおいても上述の最終目標を達成することができた。	○	開発した材料の灰付着低減・耐食性向上の各効果に基づき、実機適用時の効率 (発電効率・稼働率) 向上が提案できた。今後は開発した材料ならびにコーティング施工方法と皮膜構成の最適化を知的財産化し、次フェーズである社会実装を目指す。指したプロジェクトに活用する。
	④-2 低温排熱から冷熱を製造するために必要な熱交換技術の開発	4 kW 製氷システムを構成する吸収式冷凍機と氷スラリー製造機を連結して安定的な氷スラリーを製造する。また、吸着剤蓄熱の連続乾燥を導入することにより、総合エネルギー利用率80%以上を達成する。	1 冷凍トン級 (4kW級) の熱リサイクルパッケージシステム (吸収式冷凍機・氷スラリー製造機連結システム) の運転により、65℃という低温排熱でも排熱源として利用することが可能であることがわかった。また、-5℃程度の冷熱を生成することができ、氷充填率を50%まで高めた氷スラリーも安定的に製造できた。これにより最終目標を達成できた。その他、氷スラリーの流動性についての定量評価、オフライン熱輸送のための吸着剤乾燥機と熱発生装置の開発も行った。	○	1 冷凍トン級 (4kW級) の熱リサイクルパッケージ製氷システム (吸収式冷凍機・氷スラリー製造機連結システム) の運転により、65℃という低温排熱でも排熱源として利用することが可能であることがわかった。また、-5℃程度の冷熱を生成することができ、氷充填率を50%まで高めた氷スラリーも安定的に製造できた。これにより最終目標を達成できた。その他、氷スラリーの流動性についての定量評価、オフライン熱輸送のための吸着剤乾燥機と熱発生装置の開発も行った。
④-3 総合利用システムの評価技術開発	総合利用システムの評価技術のツールの完成度を高め、多くの事例研究を実施する。また、本ツールを活用して、吸収式冷凍機・氷スラリー製造機連結システム、連続乾燥機から構成されるシステムの実証場所を探索することにより、冷熱需要と排熱需要を拡大することにより、総合エネルギー利用率80%以上を達成する。	総合利用システムの評価技術のツールを、中核都市モデル、離島モデルおよび首都圏モデルに関してそれぞれ開発し、未利用排熱の発生場所と冷熱の需要場所のマッチングを行えるようなツールを開発した。合計13件の事例研究を実施し、実証場所の候補を明らかにするとともに、当該評価技術ツールによって、排熱需要と冷熱需要とのマッチング、CO <sub>2</sub> 削減効果、インシャルコスト回収年数等を的確に評価することが可能となった。	○	総合利用システムの評価技術ツールを作成した。今後は完成度を高めることにより、新たな物流業界や漁港 (鮮魚輸送も含む) での氷需要・氷点下冷熱需要の掘起こしを行い、結果として排熱需要の拡大と省エネルギーな冷熱製造を社会実装する。	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、?未達

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

# 高効率エネルギー回収・再利用技術の意義

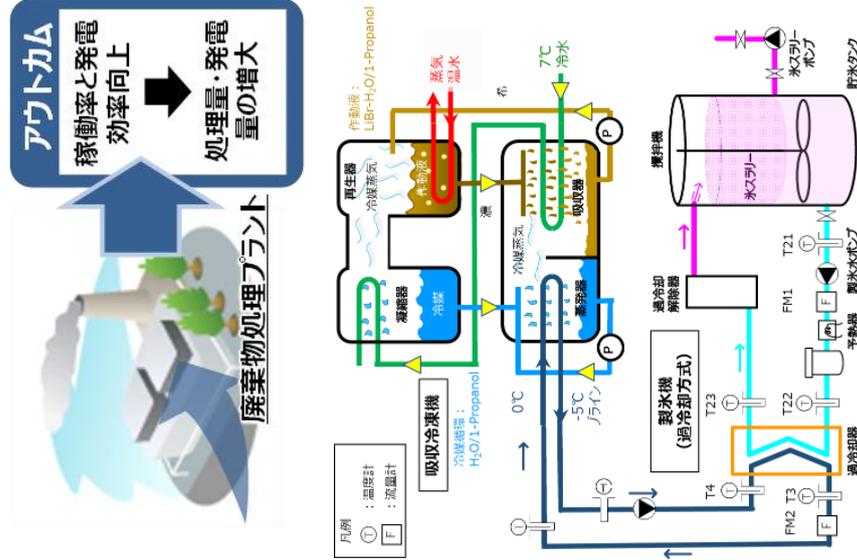


テーマ名	高効率エネルギー回収・再利用システム開発	達成状況	O
達成状況の根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発材料の灰付着低減効果および耐食性向上効果について評価し、比較対象材料に対して灰付着50%削減および化学腐食量50%削減の両者を達成した。加えて、肉盛溶接法により実機のプラントにおいても上述の最終目標を達成することができた。</li> <li>熱駆動の吸収式冷凍機に関しては長時間の安定運転が可能となり、また、氷スラリー製造装置についても安定な氷スラリーの製造が達成できた。オフライン熱輸送のための吸着剤乾燥についても乾燥時間が短縮可能な乾燥装置を開発した。</li> <li>総合熱利用システムの評価技術のツールによって総合エネルギー利用率が80%を上回ることが可能な事例を評価することができた。</li> </ul>	<p>アウトカム</p> <p>稼働率と発電効率向上</p> <p>処理量・発電量の増大</p> <p>廃棄物処理プラント</p>	

【開発の意義】

- ④-1 高温ターバイガスに対応可能な高効率・高耐久な伝熱管材料の開発  
現状： 廃棄プラスチックのエネルギーリカバリ施設では伝熱管への灰付着やそれによる伝熱管の化学腐食によって低発電効率とともに低稼働率
- 開発後： 開発した伝熱管表面改質技術により廃棄プラスチックのエネルギーリカバリ施設のみならず、産業廃棄物焼却炉、一般廃棄物焼却炉、さらにはバイオマス燃焼炉における伝熱管の灰付着および化学腐食抑制に貢献
- ④-2 低温排熱から冷熱を製造するために必要な熱交換技術の開発  
現状： 200℃以下の廃熱はごく一部利用されていたものの社会に有効なエネルギーとしては利用不可  
開発後： これまで未利用であった廃熱から社会的にも価値のある冷熱エネルギーの製造に成功。物流業界への冷熱供給のみならず地域冷房や漁港等への冷熱需要に貢献
- ④-3 総合熱利用システムの評価技術開発  
現状： これまで廃熱をマネジメントするある程度汎用性のあるツールは皆無  
開発後： 熱マネジメントは需要者律速であることからこのようなモデルが構築されることで地域性、季節性、熱需要の規模等を考慮した総合熱利用システムの提案が可能

**高発電効率・高稼働率なエネルギーリカバリ施設の開発と未利用廃熱から熱として価値が高い冷熱を効率よく製造するという2つのプロセスの融合が実現**



## 高効率エネルギー回収・利用技術での課題

### 【成果】

- 開発材料の灰付着低減効果および耐食性向上効果について評価し、比較対象材料に対して灰付着50%削減および化学腐食量50%削減の両者を達成した
- 特殊な表面改質法により実機のプラントにおいても最終目標を達成した
- 熱駆動式吸入式冷凍機に関しては長時間の安定運転が可能となり、また氷スラリー製造装置についても安定な氷スラリーの製造が達成できた
- オフライン熱輸送のための吸着剤乾燥についても乾燥時間が短縮可能な乾燥装置を開発した
- 総合熱利用システムの評価技術のツールによって総合エネルギー利用率が80%を上回ることが可能な事例を評価することができた

### 【課題】

- 伝熱管表面へのセラミックス処理による焼却灰の付着防止の効果はあまり大きくなく、今後見直しが望まれる
- 伝熱管への付着防止技術の開発が検討の中心になっているが、装置の稼働時間を向上させるには焼却設備トータルでの課題の抽出が必要である
- 低温熱利用技術は広範な需要開拓、用途開拓のさらなる検討が望まれる

## ●基本計画

## 「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」基本計画

サーキュラーエコノミー部

## 1. 事業の目的・目標・内容

## (1) 事業の目的

## ①政策的な重要性

近年の中国の廃プラスチック輸入規制に端を発したアジア諸国の廃プラスチック輸入規制強化の影響や陸域から流出したプラスチックごみが原因となる海洋プラスチックごみ問題が大きな問題となっている。これらへの対応に向けて、G7 や G20 でも重要な課題として取り上げられている。日本においても「海洋プラスチックごみ問題対応アクションプラン」(2019年5月31日策定)、「プラスチック資源循環戦略」(2019年5月31日策定)が策定され、革新的リサイクル技術の開発が重点戦略の一つとして掲げられている。また、2019年6月のG20エネルギー・環境関係閣僚会合でも主な議題の一つとして、資源効率性が取り上げられた。本会合では、我が国が主導する形で、新興国・途上国も参加し、各国が自主的な対策を実施し、その取組を継続的に報告・共有する実効性のある新しい枠組みである「G20海洋プラスチックごみ対策実施枠組」に合意し、日本としてもこれらの問題の解決に取り組むこととしている。これまで日本から輸出していた廃プラスチックを含むプラスチック資源のリサイクルなどの適正な処理が急務である。

## ②我が国の状況

我が国は、廃掃法、資源有効利用促進法、容器包装リサイクル法をはじめとする個別リサイクル法などにより廃プラスチックを資源化するため仕組みは一定程度整っている。また、現状、年間約900万トンの廃プラスチックのうち、廃プラスチックの再生品への利用は76万トン/年、コークス炉やガス化の原料(ケミカルリサイクル)として40万トン/年リサイクルされており、固形燃料、発電、熱利用の熱エネルギー回収(エネルギーリカバリー)に524万トン/年が利用されている。しかしながら、中国の輸入規制やバーゼル条約の改正による輸出国への規制強化などの外部環境の変化や、SDGs、CSRやESG投資などによるリサイクルプラスチックの利用ニーズに応じていくためには、廃プラスチックの資源価値を高めることで経済的な資源循環を達成することが必要であり、リサイクル技術をさらに発展させ、資源効率性向上、付加価値を生み出しつつ二酸化炭素排出を削減することが求められている。

## ③世界の取組状況

EUが2018年に発表した「欧州プラスチック戦略」では、バリューチェーン全体でプラスチックがもたらす課題に対処する戦略を提案した。このなかで、2030年までに、1)全てのプラスチック包装をリユース又はリサイクル可能にすること、2)欧州で発生するプラスチック廃棄物の半分以上をリサイクルすること、3)欧州のリサイクル能力を2015年比で4倍にする、というビジョンを掲げており、リサイクルを促進するための取組を進めるとしている。また、アメリカで

は、DOE(アメリカ合衆国エネルギー省)のエネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE: Office of Energy Efficiency and Renewable Energy)が2017年5月にREMADE(Reducing Embodied-energy And Decreasing Emissions)として、リサイクルやリユース全般に関する資金提供プログラムを開始している。この様に、各国で廃プラスチック利用に関する積極的な姿勢を示している。

#### ④本事業のねらい

本事業は、プラスチック製品の資源効率性、廃プラスチックの資源価値を飛躍的に高めるため、複合センシング・AI等を用いた廃プラスチック高度選別技術、材料再生プロセスの高度化技術、高い資源化率を実現する石油化学原料化技術、高効率エネルギー回収・利用技術の開発を行う。

### (2)事業の目標

#### ①アウトプット目標(最終目標、中間目標)

本事業の目標を以下の通り設定する。

##### 中間目標(2022年度):

廃プラスチックの資源価値を高める基盤技術開発の目途をたてる。具体的には、廃プラスチックの高度有効活用に向けて、以下の研究開発項目に掲げる基盤技術開発を一貫して実施し、以下を達成する。

##### ・研究開発項目①高度選別システム開発

研究開発項目②～④のプロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率80%以上、現状比2倍の速度で自動選別する。

##### ・研究開発項目②材料再生プロセス開発

廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ70%以上の材料強度(靱性)に再生する。

##### ・研究開発項目③石油化学原料化プロセス開発

廃プラスチックを転換率50%以上で石油化学原料に転換する。

##### ・研究開発項目④高効率エネルギー回収・利用システム開発

再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率60%以上を達成する。

##### 最終目標(2024年度):

廃プラスチックの資源価値を高める基盤技術を開発する。具体的には、すべての研究開発項目を一貫して開発を実施し、以下を達成する。

##### ・研究開発項目①高度選別システム開発

研究開発項目②～④のプロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率95%以上、現状比3倍の速度で自動選別する。

- ・研究開発項目②材料再生プロセス開発  
廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ 90%以上の材料強度(靱性)に再生する。
- ・研究開発項目③石油化学原料化プロセス開発  
廃プラスチックを転換率 70%以上で石油化学原料に転換する。
- ・研究開発項目④高効率エネルギー回収・利用システム開発  
再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率 80%以上を達成する。

## ②アウトカム目標

事業により開発されたプラスチック再資源化システム(高度選別システム、材料再生プロセス、石油化学原料化プロセス、高効率エネルギー回収・利用システム)を事業終了後早期実用化し、普及することにより、2030年までに、これまで国内で再資源化されていなかった廃プラスチックのうち年間約 86 万トンが本技術開発成果によりマテリアルリサイクルされ、87 万トンがケミカルリサイクルされ、108 万トンが高効率エネルギー回収・利用されることを通じて廃プラスチックを新たに資源化し、我が国のプラスチック循環に貢献する。

また、間接的な効果として、選別作業の人手不足の緩和や焼却処理施設のメンテナンス頻度の半減を目指す。

## ③アウトカム目標達成に向けての取組

本事業にて基盤的技術を確立させた後、実プラントを想定した実証事業を実施する予定。これにより開発したシステムの実用化を促進し、各プラスチックリサイクルプロセス間で連携を図りながら、廃プラスチックの資源価値高度化を推進する。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目に掲げる技術開発を実施するとともに、その効果(LCA等)を検証する。

本事業は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

### 研究開発項目①高度選別システム開発

種々の廃プラスチックから、研究開発項目②から④向けの収率を最大化する高度選別プロセスを開発する。

### 研究開発項目②材料再生プロセス開発

マテリアルリサイクルの利用を飛躍的に高めるために、多様な廃プラスチックに関し、その物性劣化要因を明らかにするとともに、そられに立脚した高度再生原料化・成形技術を開発する。

### 研究開発項目③石油化学原料化プロセス開発

汚れ等の理由により研究開発項目②の処理技術が適用困難な廃プラスチックを主な対象とし、既存の石油精製・石油化学設備等を活用し、廃プラスチックを石油化学原料に転換する技術を開発する。

### 研究開発項目④高効率エネルギー回収・利用システム開発

研究開発項目②及び③の再生処理技術が適用困難な廃プラスチックを主な対象とし、燃焼による総合エネルギー変換効率を最大化するために、発電効率向上及び熱利用を高度化するシステムを開発する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 事業の実施体制

プロジェクトマネージャー(以下「PMgr」という。)にNEDOサーキュラーエコミー部 今西大介を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDOは公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等(以下「団体」という。)のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

#### ① 研究開発の進捗把握・管理

PMgrは、プロジェクトリーダーや研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を必要に応じて組織し、技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

#### ② 技術分野における動向の把握・分析

PMgrは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、必要に応じて本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

### (3) その他

本プロジェクトは非連続ナショナルプロジェクトとして取扱う。

### 3. 研究開発の実施期間

2020年度から2024年度までの5年間とする。

### 4. 事業の評価に関する事項

NEDOは技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を2022年度、終了時評価を2025年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

#### 5. その他重要事項

##### (1) 研究開発成果の取扱い

###### ① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

###### ② 標準化施策等との連携

NEDO及び研究開発実施者は、得られた研究開発成果を活用して、評価手法の提案やデータの提供等の標準化を推進する活動を必要に応じて実施する。

###### ③ 知的財産権の帰属、管理等取扱い

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

###### ④ 知財マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

###### ⑤ データマネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針(委託者指定データを指定しない場合)」を適用する。

##### (2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

PMgrは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

##### (3) 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 号ニ及び第 9 号に基づき実施する。

#### 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2020 年 2 月、制定。

(2) 2020 年 10 月、PMgr の変更。

(3) 2021 年 12 月、PMgr の変更。

(4) 2022 年 3 月、「データマネジメントに係る運用」を追記。

(5) 2024 年 10 月、組織改編(2024 年 7 月)に伴う、部署名の変更、事後評価を終了時評価に変更。

## (別紙 1) 研究開発計画

### 研究開発項目①高度選別システム開発

#### 1. 研究開発の必要性

プラスチックは、他の廃棄物(紙、木材、金属、セメント、ガラス等)と混在して排出されるために、前処理としてプラスチックのみを選別する必要がある。現状、多くのケースで人手に頼る選別作業が行われており、経済的理由や選別精度の点で、自動化されているケースは少ない。そのため、廃プラスチックの資源価値を最大化し、プラスチックの資源循環量を最大化するための高度選別プロセスを開発する。

#### 2. 具体的研究内容

種類、性状が多岐にわたるプラスチック容器包装等の選別を自動化し、後段のリサイクルプロセスにおける原料を適切に供給可能にする選別技術を開発する。具体的には、複合センシングと深層学習により構築した AI で異素材を認識し、用途の違いや汚れの有無等を判断して、高度にプラスチックを選別可能にする外観認識ソータ、金属等の他素材(木、紙、金属、合金等)から目的物を選別可能にする高度比重選別システム等を開発し、廃プラスチックの資源価値を最大化するための選別技術を開発する。

#### 3. 達成目標

中間目標(2022 年度):

研究開発項目②～④のプロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率 80%以上、現状比 2 倍の速度で自動選別する。

最終目標(2024 年度):

研究開発項目②～④のプロセス向けの処理対象となる廃プラスチックを回収率 95%以上、現状比 3 倍の速度で自動選別する。

### 研究開発項目②材料再生プロセス開発

#### 1. 研究開発の必要性

ポリエチレンなどの熱可塑性樹脂は、再加熱を伴う成型加工によって、再利用が容易なプラスチックであるものの、熱履歴に起因する引っ張り強度等の機械的物性の低下により、その多くがカスケード利用(資源価値の低下を伴う利用)に留まる。廃プラスチックの資源価値を最大化するためには再生プラスチックの物性低下の抑制や物性の回復が必要であり、マテリアルリサイクルによる循環量を増大させるための、再生プラスチックの物性回復技術開発が必要である。

#### 2. 具体的研究内容

従来、カスケード利用されていた廃プラスチックを新品のプラスチック材料に近い物性に再生させ、再生製品に加工するために必要なポリマーペレットを製造するための技術開発及び実機へのスケールアップのための設計技術を開発し、新品と同等レベルの材料を製造する技術を開発する。

#### 3. 達成目標

中間目標(2022 年度):

廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ 70%以上の材料強度(靱性)に再生する。

最終目標(2024 年度):

廃プラスチックを新品のプラスチックと比べ 90%以上の材料強度(靱性)に再生する。

### 研究開発項目③石油化学原料化プロセス開発

#### 1.研究開発の必要性

本来、廃プラスチックは、マテリアルリサイクルで処理することを優先すべきであるが、汚染度、経済性、材質の観点から、石油化学原料に戻す方が経済的・環境的観点から優先される場合がある。これまでも、ガス化や油化などの技術が多数開発されてきたが、経済性の観点から、その多くは実用化されていない。そこで、既存の石油精製・石化設備等を活用し、廃プラスチックを石油化学原料に転換する技術の確立が必要である。

#### 2.具体的研究内容

マテリアルリサイクルが困難な廃プラスチック等を石油化学原料に転換するための技術開発を行う。

具体的には、廃プラスチックの分解反応を促進させるために、反応解析、反応制御技術により、石油化学原料の収率を向上する、廃プラスチック石油化学原料<sup>\*</sup>化技術を開発する。

また、各種プラスチックに適した分解技術を開発するとともに、実プラントへ導入するための検討を行うとともに、実装を目指した周辺技術のプロセス開発を行う。

<sup>\*</sup>オレフィン、BTX、低級アルコール等

#### 3.達成目標

中間目標(2022 年度):

廃プラスチックを転換率 50%以上で石油化学原料に転換する。

最終目標(2024 年度):

廃プラスチックを転換率 70%以上で石油化学原料に転換する。

### 研究開発項目④高効率エネルギー回収・利用システム開発

#### 1.研究開発の必要性

汚染度が高い等の理由により再生処理が困難な低品位な廃プラスチックを処理するには、ロバスト性が高く、高効率な燃焼を行い、高い発電効率を実現するとともに、発生する熱を回収・利用する技術開発が必要である。廃棄物発電の高効率化には、燃焼温度の高温化が望まれるが、腐食と熱交換器への灰付着の課題を解決しなければならず、新規材料開発が必須となる。また、回収したエネルギーを最大限利用するためには、熱を回収する技術開発とともに、需要と供給のバランスに対応した、システムの評価・検討が必要である。

#### 2.具体的研究内容

再生処理困難なプラスチックから効率的にエネルギーを回収するために、発電効率向上及び熱利用を高度化するシステムを開発する。具体的には、高効率エネルギー回収に向けて、燃焼温度を向上させるための

耐腐食性・難灰付着性材料の開発及び熱回収器製造技術の開発を行う。また、エネルギー利用効率を向上させるために熱を効率的に回収するとともに、有効利用システムを検討する

### 3.達成目標

中間目標(2022 年度):

再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率 60%以上を達成する。

最終目標(2024 年度):

再生処理困難なプラスチックからエネルギーを高効率に回収して、総合エネルギー利用効率 80%以上を達成する。

(別紙 2) 研究開発スケジュール

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
①高度選別システム開発						
②材料再生プロセス開発						
③石油化学原料化プロセス開発						
④高効率エネルギー回収・利用システム開発						
評価時期			中間 評価			終了時 評価

## ●各種委員会開催リスト

### ・高度選別システム開発

知財委員会		
件名	内容	実施日
第1回	特許出願およびJST 新技術説明会発表「「物質識別装置、物質識別方法」」	2021/8/25
第2回	SURE コンソーシアム第20回技術セミナー発表「廃プラスチック選別システムの開発」	2021/11/22
第3回	PCT 出願「物質識別装置、物質識別方法」	2022/8/25
第4回	産総研福井サイト開設6周年記念講演会発表「物質識別装置、物質識別方法」	2022/10/28
第5回	産業廃棄物の組成情報「2022年度_大栄環境_雑品ブラデータベース調査報告書」の状況開示(早稲田大、一般財団法人 石油エネルギー技術センター (JPEC))	2023/8/25
第6回	特許出願「湿式比重選別機」	2023/9/8
第7回	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024 発表「Style-GAN-Based Dataset Augmentation for Manipulation-Oriented Segmentation of Mixed Industrial Waste Images」	2024/1/23
第8回	<ul style="list-style-type: none"> <li>産総研内における知財（プログラム）登録「FP型 AI ソータ用制御プログラム」</li> <li>資源・素材学会 2024 年度春季大会発表「高度選別システム開発のための黒色プラスチックの局所センシング」</li> </ul>	2024/2/7
第9回	<ul style="list-style-type: none"> <li>2024 International Conference on Resource Sustainability (icRS 2024)発表「Development of an automatic operation process for a continuous jig separator-Appropriate heavy/light particle layer boundary measurement and upwelling velocity measurement-」</li> <li>IEEE/RSJ IROS2024 発表「WasteGAN: Data Augmentation for Robotic Waste Sorting through Generative Adversarial Networks」</li> </ul>	2024/8/8
第9回	特許出願「アパーチャ構造体及びプラスチックの識別方法」	2024/12/19

AI型FPソータ協議会		
件名	内容	実施日
第1回	現場視察（三重中央開発）	2020/9/25
第2回	試験対象サンプル選定	2020/10/26
第3回	進捗報告	2020/11/27
第4回	進捗報告	2021/4/28
第5回	現場視察（三重中央開発）	2021/7/6
第6回	現場視察（三重中央開発）	2021/7/19
第7回	進捗報告	2022/2/22
第8回	進捗報告	2022/3/22
第9回	進捗報告	2023/3/24
第10回	進捗報告	2023/3/27
第11回	進捗報告	2023/9/27
第12回	プラント移設に関する協議	2023/10/5
第13回	進捗報告	2024/2/7

第 14 回	進捗報告	2024/3/27
--------	------	-----------

高度比重選別システム協議会		
件名	内容	実施日
第 1 回	現場視察（三重中央開発）、試験対象サンプル選定	2020/11/26
第 2 回	進捗報告	2020/12/7
第 3 回	進捗報告	2021/2/3
第 4 回	進捗報告	2022/2/18
第 5 回	ジグ自動制御の検討	2022/2/22
第 6 回	ジグ自動制御の検討	2022/4/19
第 7 回	ジグ自動制御の検討	2022/6/15
第 8 回	ジグ自動制御の検討	2022/11/22
第 9 回	進捗報告、ジグ自動制御の検討	2023/2/27
第 10 回	ジグ自動制御の検討	2023/4/27
第 11 回	特許出願の調整	2023/7/31
第 12 回	ジグ自動制御の検討	2023/8/3
第 13 回	特許出願の調整	2023/10/4
第 14 回	進捗報告	2023/11/22
第 15 回	進捗報告、ジグ自動制御の検討	2024/3/8
第 16 回	ジグ自動制御の検討	2024/5/23
第 17 回	ジグ自動制御の検討	2024/6/24
第 18 回	進捗報告	2024/7/19
第 19 回	装置群統合制御の検討	2024/8/22
第 20 回	ジグ自動制御の検討	2024/9/17
第 21 回	ジグ自動制御の検討	2024/10/22
第 22 回	ジグ自動制御、装置群統合制御の検討	2024/12/2
第 23 回	ジグ自動制御、装置群統合制御の検討	2025/1/14
第 24 回	進捗報告、装置群統合制御の検討	2025/3/27

### ・材料再生プロセス開発

MR チームメンバー・有識者によるワークショップ		
件名	内容	実施日
第 1 回	会場：福岡大学 ・キックオフ、3年間計画確認	2020年10月8日、9日
第 2 回	会場：ボルファートとやま ・各事業者からの進捗報告 ・富山環境整備株式会社施設見学	2021年2月24日、25日
第 3 回	会場：キャンパスプラザ京都 ・各事業者からの進捗報告	2021年6月9日、10日
第 4 回	会場：神戸大学 ・各事業者からの進捗報告 ・神戸大学西野研究室見学	2021年10月14日、15日
第 5 回	会場：KKRびわこ マリーナクラブハウス ・各事業者からの進捗報告 ・来年度予算計画 ・23年度研究計画 ・知財運営	2022年2月7日、8日
第 6 回	会場：福岡大学 ・各事業者からの進捗報告	2022年6月1日、2日

	・中間報告に向けての連絡	
第7回	会場：滋賀県立大学交流センター ・各事業者からの進捗報告 ・次期実施計画書、予算についての説明 ・NEDOでの審査状況の説明 ・すそ野を広げるための方策に関する議論 ・滋賀県立大学徳満研究室見学	2022年11月21日、22日
第8回	会場：九州工業大学コラボ教育支援棟 ・各事業者からの進捗報告 ・技術委員会報告 ・次期実施計画書内容、予算についての説明 ・いその九州工場見学、70mmφ実証試験用押出機の見学	2023年4月4日、5日
第9回	会場：TKPガーデンシティ PREMIUM 横浜ランド マークタワー ・各事業者からの進捗報告	2023年8月21日、22日
第10回	会場：三菱電機(株)先端技術総合研究所 ・各事業者からの進捗報告 ・三菱電機ショールーム見学 ・NEDO特別講座説明	2023年12月11日、12日
第11回	会場：高岡市生涯学習センター ・各事業者からの進捗報告 ・最終報告書を含む2024年度スケジュール ・NEDO特別講座説明 ・三光合成株式会社見学	2024年4月24日、25日
第12回	会場：DIC本社 ・各事業者からの進捗報告 ・最終報告書を含む2024年度スケジュール ・NEDO特別講座説明	2024年7月31日、8月1日
第13回	会場：福岡大学 ・各事業者からの進捗報告 ・最終報告書書式、内容に関する説明	2024年11月18日、19日
第14回	会場：福岡大学 ・各事業者からの進捗報告 ・外部発表委員会の運営について ・最終報告書提出スケジュールについて	2025年2月6日

MR チーム推進委員会		
件名	内容	実施日
第1回	会場：霞が関 NEDO 分室 ・キックオフ ・先導研究振り返り	2020年11月10日
第2回	会場：AP 虎ノ門 ・各事業者の進捗報告 ・来年度予算説明	2021年3月24日
第3回	会場：福岡大学 ・各事業者からの進捗報告 ・福岡大学リサイクル棟建設状況見学	2021年7月8日
第4回	会場：東京工業大学 CIC 国際会議室 ・各事業者からの進捗報告 ・富山環境整備高度選別センター説明	2021年11月5日
第5回	会場：福岡大学 ・各事業者からの進捗報告 ・福岡大学リサイクル棟見学	2022年3月15日

第 6 回	会場：産業技術総合研究所 臨海センター本館会議室 ・各事業者からの進捗報告 ・実証試験機の状況説明	2022年7月14日
第 7 回	会場：東京工業大学大岡山西 8 号館会議室 ・各事業者からの進捗報告	2022年12月7日
第 8 回	会場：福岡大学 ・各事業者からの進捗報告 ・体制変化に伴う運用についての説明	2023年6月13日
第 9 回	会場：花王株式会社和歌山研究所 ・各事業者からの進捗報告 ・花王パウチ再生施設見学	2023年9月14日
第 10 回	会場：TOPPAN 営業ビル 3 号館、L・IF・E 1F イベントスペース ・各事業者からの進捗報告 ・TOPPAN ショールーム見学	2024年1月26日
第 11 回	会場：NEDO 会議室 ・各事業者からの進捗報告	2024年5月22日
第 12 回	会場：川崎商工会議所第 6 会議室 ・各事業者からの進捗報告	2024年9月30日
第 13 回	会場：産総研東京本部 ・各事業者からの進捗報告	2025年1月10日
第 14 回	会場：島津製作所 Shimadzu Tokyo Innovation Plaza ・各事業者からの進捗報告	2025年3月12日

#### ・石油化学原料化プロセス開発（触媒分解）

技術委員会		
件名	内容	実施日
第 1 回	プラスチック循環戦略および基本計画に対する位置づけ	2021/6/16
第 2 回	全体会議の準備	2022/09/01
第 3 回	触媒分解プロセス検討の現状認識	2023/03/30
第 4 回	実廃プラ分解試験の結果	2024/02/20
第 5 回	プラスチックの分解に対する触媒の影響	2025/02/26

プラスチック資源循環技術専門委員会		
件名	内容	実施日
第 1 回	全体会議の準備	2021/8/27
第 2 回	プラスチック分解触媒の必要要件の解明	2022/03/10
第 3 回	触媒分解プロセスパイロットプラント概念設計	2022/09/13
第 4 回	触媒分解プロセス検討	2023/02/16
第 5 回	油化学原料等の転換率最大化のための触媒分解プロセス	2023/11/27
第 6 回	実廃プラ分解試験の結果	2024/03/06
第 7 回	容リプラ 分解試験結果	2024/10/31
第 8 回	プラスチックの分解に対する触媒の影響	2025/03/07

・石油化学原料化プロセス開発（液相分解）

NEDO「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」プロジェクト全体会議		
件名	内容	実施日
全体会議	新しく加入した東北大学がから研究内容を発表	2022年4月6日 @早稲田大学
全体会議	進捗を報告。ポリオレフィンの重要性についても目を向けることなどの意見	2024年2月20日 @NEDO
全体会議	進捗を報告。ポリオレフィンの重要性に再度意見が出された	2024年2月26日 @NEDO

複合プラスチックからのモノマー回収液相プロセスの開発 研究進捗会議		
件名	内容	実施日
第1回	各社より研究進捗を確認。研究推進会議での発表内容についても整理・確認	2022年6月10日 @オンライン
第2回	外部有識者として東洋インキが加入し、その依頼研究の内容などを含めた、研究進捗の整理と確認。	2022年10月7日 @東北大学・東京分室
第3回	各社より研究進捗を確認。研究推進会議での発表内容についても整理・確認。PETとPA共存効果について確認するとともに、接着剤の影響についての結果も共有された。連続装置でのPET転化率向上について引き続き検討することを確認	2023年7月24日 @東ソー株式会社 高分子材料研究所
第4回	各社より研究進捗を確認。研究推進会議での発表内容についても整理・確認。東西化学産業の流通式設備なども見学。	2023年12月7日 @東西化学産業株式会社 技術開発センター
第5回	各社より研究進捗を確認。研究推進会議での発表内容についても整理・確認。	2024年7月1日 @東北大学東京分室
第6回	各社より研究進捗を確認。研究推進会議での発表内容についても整理・確認。	2024年12月25日 @東北大学

複合プラスチックからのモノマー回収液相プロセスの開発 研究推進会議		
件名	内容	実施日
第0回	新たに「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」に加わることになり、PL 松方先生、SPL 加茂先生を交えた会合。研究推進委員の選定についても議論	2022年3月29日 @オンライン
第1回	研究推進委員を交えた第1回会合。各社より研究内容を報告し、推進委員よりコメントをいただく。	2022年6月21日 @東北大学・青葉山
第2回	各社より研究内容を報告し、推進委員よりコメントをいただく。モノマー生成や研究意義などに関する議論	2022年12月16日 @東北大学・東京分室
第3回	各社より研究内容を報告し、推進委員よりコメントをいただく。物質収支を取ることで、ポリオレフィンの用途などについても考えることなどの要望がなされた	2024年1月16日 @東北大学東京分室
第4回	各社より研究内容を報告し、推進委員よりコメントをいただく。	2024年7月8日 @東北大学青葉山
第5回	各社より研究内容を報告し、推進委員よりコメントをいただく。	2025年1月31日 @ステーションコンファレンス万世橋

MR チームとの意見交換会		
件名	内容	実施日
意見交換会	福岡大学の MR 研究に関する設備を見学しながら、互いの研究内容を報告し、意見交換を実施	2023年2月9日 @福岡大学

知財運営委員会		
件名	内容	実施日
知財運営委員会	TOPPAN(株)、産業技術総合研究所から特許申請したい技術発明に関する協議	2024年6月12日 @オンライン

## ・高効率エネルギー回収・利用システム開発

エネルギーリカバリ研究推進委員会		
件名	内容	実施日
第1回	各研究開発項目の概要・進捗・計画と推進委員からの講評	2021/03/15
第2回	各研究開発項目の概要・進捗・計画、推進委員からの講評ならびにステージゲート対応	2022/03/22
第3回	各研究開発項目の概要・進捗・計画と推進委員からの講評	2023/03/24
第4回	各研究開発項目の概要・進捗・計画、推進委員からの講評ならびに最終成果対応	2024/03/11
第5回	各研究開発項目の最終成果報告と推進委員からの講評	2025/01/28

エネルギーリカバリ研究進捗会議		
件名	内容	実施日
第1回	各研究機関からの研究概要および研究計画説明 高砂熱学工業イノベーションセンター見学	2020/11/11
第2回	各研究機関からの研究成果説明と今後の計画説明	2021/01/14
第3回	各研究機関からの研究成果説明と推進委員会対応	2021/03/15
第4回	各研究機関からの研究成果説明、今後の計画説明 および技術委員会への対応	2021/05/31
第5回	各研究機関からの研究成果説明と今後の計画説明	2021/09/13
第6回	各研究機関からの研究成果説明と今後の計画説明	2021/12/02
第7回	各研究機関からの研究成果説明と推進委員会対応	2022/03/14
第8回	各研究機関からの研究成果説明と今後の計画説明 八戸工業大学吸収式冷凍機見学	2022/06/30
第9回	各研究機関からの研究成果説明と今後の計画説明 ステージゲート対応	2022/08/26
第10回	各研究機関からの研究計成果説明と今後の計画説明 東北発電工業設備見学	2022/12/08
第11回	各研究機関からの研究成果説明と推進委員会対応	2023/03/16
第12回	各研究機関からの研究計成果説明と今後の計画説明 東京電機大学設備見学	2023/06/29
第13回	各研究機関からの研究成果説明と今後の計画説明 八戸工業大学吸収式冷凍機・スラリー製造連結装置見学	2023/08/29
第14回	各研究機関からの研究成果説明と今後の計画説明	2023/12/22-23

	長崎・産業廃棄物処理施設見学	
第15回	各研究機関からの研究成果説明、推進委員会対応 および技術委員会対応	2024/01/30
第16回	各研究機関からの研究成果説明および最終成果取り纏め対応	2024/05/30
第17回	各研究機関からの研究成果説明および最終成果取り纏め対応 苫小牧廃プラスチック専焼ボイラ見学	2024/11/13

## ●特許論文等リスト

・高度選別システム開発(選別技術)

### 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内・国外・PCT	出願日	状態	名称
1	芝浦工業大学	特願 2021-144654	国内・PCT	2021/9/6	審査中	物質識別装置、物質識別方法
2	富士車輛(株)	特願 2022-024349	国内	2022/2/20	取下	選別装置
3	富士車輛(株)	特願 2023-059658	国内	2023/3/31	公開	搬送装置
4	産業技術総合研究所、北海道大学	特願 2023-188742	国内	2023/11/2	公開	湿式比重選別機
5			国内		出願中	
6			国内		出願中	

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	T. Kiyokawa, H. Katayama, Y. Tatsuta, J. Takamatsu and T. Ogasawara	奈良先端科学技術大学院大学	Robotic Waste Sorter with Agile Manipulation and Quickly Trainable Detector	IEEE ACCESS, 9, 124616-124631	有	2021/9
2	吉本幸太郎、清川拓哉、高松淳、和田隆広、小笠原司、	奈良先端科学技術大学院大学	リサイクルロボットのための熱画像による密集した容器包装廃棄物の分類	日本ロボット学会誌, vol. 40, No. 6, 538-541	有	2022/6
3	清川拓哉, 吉本幸太郎, 高松淳	奈良先端科学技術大学院大学	密集する混合産業廃棄物の自動仕分けロボットの構成法	日本ロボット学会誌, vol. 41, No. 7, 651-654	有	2023/7
4	Takuya Kiyokawa, Jun Takamatsu, * Shigeki Koyanaka	奈良先端科学技術大学院大学、* 産総研	Challenges for Future Robotic Sorters of Mixed Industrial Waste: A Survey	IEEE Transactions on Automation and Science, vol. 21, no. 1, 1023-1040	有	2024/1
5	Takuya Kiyokawa, Naoki Shirakura, Hiroki Katayama, Keita Tomochika, Jun Takamatsu	奈良先端科学技術大学院大学	Efficiently Collecting Training Dataset for 2D Object Detection by Online Visual Feedback	Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 37, no. 2, pp. 270-283	有	2025/4

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	大木達也	産業技術総合研究所	Role of physical sorting technology as a hub function of resource circulation	2020 Energy and Resources Integrated Technology Roundtable Forum	2020/10/22
2	龍田侑弥, 佐久間達也, 清川拓哉, 高松淳, 小笠原司	奈良先端科学技術大学院大学	平板廃棄物把持のためのニードル付きジャミング吸着グリッパの開発	第21回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2020)	2020/12/17
3	吉本幸太郎, 清川拓哉, 高松淳, 小笠原司	奈良先端科学技術大学院大学	リサイクルロボットのための熱画像を用いた容器包装廃棄物の領域抽出と材料分類	第26回ロボティクスシンポジウム	2021/3/16
4	伊藤真由美・澤田直樹・木村祥子・Park Ilhwan・Jeon Sanghee・廣吉直樹	北海道大学	プラスチック選別のための自律的なジグ選別機の開発-圧力センサを用いた粒子成層課程のモニタリング-	2021年度資源・素材学会北海道支部春季講演会	2021/6/12
5	清川拓哉, 片山寛基, 高松淳 (奈良先端大), 古屋仲茂樹 (産総研), 小笠原司 (奈良先端大)	奈良先端科学技術大学院大学、産業技術総合研究所	Robotic Image Dataset Collection System Accomplished by Domain Adaptation for Robotic Waste Sorter	2021 IEEE 17th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)	2021/8/25
6	吉本幸太郎, 清川拓哉, 高松淳, 和田隆広, 小笠原司	奈良先端科学技術大学院大学	リサイクルロボットのための熱画像による密集した容器包装廃棄物の分類	第39回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021)	2021/9/11
7	大木達也	産業技術総合研究所	都市鉱山開発の課題と未来展望	あきたサステイナビリティスクール	2021/10/21
9	河津博文	近畿大学	プラスチックリサイクルでの分光測定を活用—大量光学識別装置開発	日本分析化学会高分分析研究懇談会第406回子例会	2021/11/18
10	Naoki Sawada, Mayumi Ito, Shoko Kimura, Ilhwan Park, Sanghee	北海道大学	A new method to detect product boundary in jig separator using pressure sensor	International Symposium on Earth Science and Technology 2021	2021/11/25

	Jeon, Naoki Hiroyoshi				
1 1	古屋仲茂樹	産業技術総合研究所	廃プラスチック選別システムの開発	SURE コンソーシアム 第 20 回リサイクル 技術セミナー	2021/12/6
1 2	大木達也	産業技術総合研究所	金属材料等のポストコン シューマリサイクル高度化 に向けた分離(選別)技術の 基礎と都市鉱山開発の未来 課題～金属・素材資源循環 のために～	サイエンス&テクノ ロジー 技術セミ ナー	2021/12/16
1 3	河済博文	近畿大学	大規模リサイクルにおける プラスチック分光識別の技 術展開	電子情報通信学会有機 エレクトロニクス 研究会有機エレクト ロニクス研究会	2021/12/27
1 4	大木達也	産業技術総合研究所	高度選別システム開発～廃 プラスチックの新たな利用 に向けた物理選別技術～	モノづくり日本会議 第 37 回新産業技術 促進検討会シンポジ ウム	2022/3/1
1 5	大木達也	産業技術総合研究所	次世代の物理選別技術に向 けた研究開発	資源・素材学会春季 大会	2022/3/7
1 6	大木達也	産業技術総合研究所	資源循環促進に向けた物理 選別技術開発の将来	日本学術会議 第 34 回環境工学連合講演 会	2022/5/31
1 7	伊藤真由 美・紺谷政 仁・澤田直 樹・ Park Ilhwan・ Jeon Sanghee・広 吉直樹	北海道大学	プラスチック選別のための 自律的なジグ選別機の開発 -圧力センサによる軽粒子 と重粒子境界面の推定-	2022 年度資源・素材 学会北海道支部総会 および春季講演会	2022/6/11
1 8	大木達也	産業技術総合研究所	プラスチック資源循環にお ける選別技術の役割と課題	化学工学会 関東支 部ものづくり技術セ ミナー	2022/7/26
1 9	清川拓哉	奈良先端科学技術大学院大学	密集する混合産業廃棄物の 自動仕分けロボットの現状 と課題	SURE コンソーシアム 第 22 回リサイクル 技術セミナー	2022/8/3
2 0	大木達也	産業技術総合研究所	プラスチック資源循環のた めの選別技術開発	高分子学会 高分子 同友会第 143 回研究 開発部会	2022/9/2
2 1	清川拓哉	奈良先端科学技術大学院大学	密集する混合産業廃棄物の 自動仕分けロボットの構成 法	第 40 回 日本ロボッ ト学会学術講演会 (RSJ2022)	2022/9/8
2 2	古屋仲茂樹	産業技術総合研究所	廃プラスチック高度選別シ ステムの開発	産総研福井サイト開 設 6 周年記念講演会	2022/11/18
2 3	清川拓哉	奈良先端科学技術大学院大学	認識 AI を誰でも迅速に賢 くできる！	第 2 回 Challenge 万 博『いのち輝く未来 社会』へ	2022/11/24
2 4	Masashi Yoda, Masahito Kontani, Ilhwan	北海道大学	Observation of motions of particles and the float of magnetostrictive seonsor during jig separation	The 9th Joint Seminar on Geoenvironmental Engineering and	2023/11/2

	Park, Naoki Hiroyoshi, Mayumi Ito			Recycling (GER 2023)	
25	大古善久、 古屋仲茂 樹、大木達 也	産業技術総 合研究所	高度選別システム開発のため の黒色プラスチックの局 所センシング	資源・素材学会 2024 年度春季大会	2024/3/18
26	Alberto Bacchin、* 清川拓哉、 Emanuele Menegatti、 **松原崇 充、*原田研 介	パドヴァ大 学、*大阪 大学、**奈 良先端科学 技術大学院 大学	GAN-Based Data Augmentation for Manipulation-Oriented Segmentation of Mixed Industrial Waste Images	ロボティクス・メカ トロニクス 講演会 2024	2024/5/30

(b) その他 (書籍)

番号	所属	タイトル	書籍名	発表年月
1	近畿大学	ラマン分光によるプラスチック識 別技術と装置開発事例	プラスチックリサイクルー 世界の 規制と対策・要素技術開発の動向 と市場展望	2021/7
2	近畿大学	光学識別法	プラスチックのケミカルリサイク ル技術	2021/9
3	産業技術総 合研究所	AI を用いた廃プラスチックの高 度選別	プラスチックのリサイクルと再生 材の改質技術 (第3章第5節)	2024/2

・高度選別システム開発(LCA)

学会発表・講演

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2020年9月17 日	第31回廃棄物資源循 環学会研究発表会	廃プラスチック類の都道府 県別排出量の変遷と他の産 業廃棄物排出量との関係	稲葉陸太
2	2021年3月3 日	第16回日本LCA学 会研究発表会(口頭)	産業廃棄物系プラスチック の都道府県別・業種別のフ ロー分析	稲葉陸太、東修、中谷隼、 山口直久、根本康男、菊池 康紀、藤山淳史、松本亨
3	2021年3月4 日	第16回日本LCA学 会研究発表会	産業廃棄物系プラスチック の都道府県別・業種別のフ ロー分析	稲葉陸太、東修、中谷隼、山口 直久、根本康男、菊池康紀、藤 山淳史、松本亨
4	2021年10月 25日	第32回廃棄物資源循 環学会研究発表会講演 論文集	産業廃棄物系プラスチック の都道府県間移動や地域内 詳細フローの分析	稲葉陸太、中谷隼、菊池康 紀、藤山淳史、松本亨、東 修、岡本大作、根本康男、 山口直久
5	2021年10月 26日	第32回廃棄物資源循 環学会研究発表会	行政報告データを活用した ボトムアップ型物質フロー 推計モデルの開発：三重県 の産廃プラを対象として	范学周、松本亨、藤山淳史
6	2021年10月 26日	第32回廃棄物資源循 環学会研究発表会	産業廃棄物系プラスチック の都道府県間移動や地域内 詳細フローの分析	稲葉陸太、中谷隼、菊池康紀、 藤山淳史、松本亨、東修、岡 本大作、根本康男、山口直久

7	2022年3月3日	第17回日本LCA学会研究発表会要旨集	行政報告データを活用した廃プラスチックフロー推計手法の検討	范学周、叢日超、松本亨、藤山淳史
8	2022年3月3日	第17回日本LCA学会研究発表会	産業廃棄物系プラスチックの都道府県単位での将来推計及び地域内・地域間のフロー構造の分析	稲葉陸太、東修、岡本大作、中谷隼、根本康男、山口直久、藤山淳史、菊池康紀、松本亨
9	2022年9月8-9日	環境科学会2022年会	Optimizing the Collection System of Industrial Plastic Waste by AI Techniques	Richao CONG, Atsushi FUJIYAMA, Toru MATSUMOTO
10	2022年9月21日	第33回廃棄物資源循環学会研究発表会	一般廃棄物と産業廃棄物の廃プラスチックの統合的地域フロー分析と域外依存度の類型化	稲葉陸太、東修、岡本大作、中谷隼、根本康男、山口直久、藤山淳史、菊池康紀、松本亨
11	2022年9月20-22日	廃棄物資源循環学会第33回研究発表会	脱炭素社会に向けた廃プラスチック発生源とリサイクル拠点の最適マッチング手法の提案	叢日超、藤山淳史、松本亨
12	2022年10月22-23日	土木学会第50回環境システム研究論文発表会講演集	Proposal, application of the optimal matching method between the plastic waste, recycling technologies using bottom-up data	Richao CONG, Atsushi FUJIYAMA, Toru MATSUMOTO
13	2022年10月27日	第52回石油・石油化学討論会	(招待講演)カーボンニュートラルへ向かう社会における製油所の役割に関するライフサイクル思考	菊池康紀
14	2022年10月30日	The 15th Biennial Conference on EcoBalance	Extraregional dependence of municipal/industrial plastic waste treatment based on material flow analysis in the 47 prefectures of Japan	Inaba R., Higashi O., Okamoto D., Nakatani J., Nemoto Y., Yamaguchi N., Fujiyama A., Kikuchi Y., Matsumoto T.
15	2022年10月30日	EcoBalance 2022, 15th Biennial International Conference on EcoBalance	Extraregional dependence of municipal/industrial plastic waste treatment based on material flow analysis in the 47 prefectures of Japan	Rokuta Inaba, Osamu Higashi, Daisaku Okamoto, Jun Nakatani, Yasuo Nemoto, Naohisa Yamaguchi, Atsushi Fujiyama, Yasunori Kikuchi, Toru Matsumoto
16	2022年11月2日	EcoBalance 2022, 15th Biennial International Conference on EcoBalance	Designing the future resource circulation system of plastics in line with changes in the structure of the arterial industries towards decarbonization	Daiki Kata, Jun Nakatani, Tsuyoshi Fujita
17	2022年11月28日	成型加工シンポジア	(招待講演)カーボンニュートラルへ向かう社会における素材選択と戦略	菊池康紀
18	2023年2月8日	石油技術協会HSE委員会	(招待講演)持続可能な社会の実現に貢献するプロセスシステム工学	菊池康紀
19	2023年2月17日	日本接着学会第275回関東支部月例講演会	(招待講演)先制的なライフサイクル思考に基づく今後のプロセス改善	菊池康紀

20	2023年3月	化学工学会第88年会	廃プラスチック循環型ケミカルリサイクルによる製油所プロセスへの影響解析	中村拓真、藤井祥万、兵法彩、兼松祐一郎、菊池康紀
21	2023年3月4日	土木学会令和4年度西部支部研究発表会	産業系廃プラスチックを対象とした再資源化施設選択モデルの構築	鉾岩風人、叢日超、藤山淳史、松本亨
22	2023年3月8-10日	日本LCA学会第18回研究発表会	プラスチックのリサイクルを対象としたライフサイクル評価におけるカーボンニュートラルの考慮	崎田結香、松本亨、藤山淳史
23	2023年3月8-10日	日本LCA学会第18回研究発表会	Lifecycle-based Matching Approach for Industrial Plastic Waste Recycling towards a Zero-plastic-waste Society	叢日超、藤山淳史、松本亨
24	2023年3月14日	the 88th Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers Japan @ Tokyo, Japan	(Invited Speech) Application of PSE into social challenges	Yasunori Kikuchi
25	2023年6月	the 33rd European Symposium on Computer-Aided Process Engineering, Athens	Application of CAPE Tools into Prospective Life Cycle Assessment: A Case Study in Feedstock Recycling of Waste Plastics	Yasunori Kikuchi, Yuki Nomura, Takuma Nakamura, Shoma Fujii, Aya Heiho, Yuichiro Kanematsu
26	2023年6月	the 33rd European Symposium on Computer-Aided Process Engineering, Athens	Inventory data generation for prospective lifecycle design through process modeling of energy recovery from waste plastics	Shoma Fujii, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi
27	2023年8月31日	LAC-SYS 研究所第4回シンポジウム	2050年カーボンニュートラルに向けた資源循環のシナリオ分析	稲葉陸太
28	2023年9月	化学工学会第54回秋季大会, 福岡	プラスチックリサイクル技術のGHG排出量と資源循環度に基づく評価	中村拓真、藤井祥万、兵法彩、Teah Heng Yi、兼松祐一郎、菊池康紀
29	2023年9月11-13日	第34回廃棄物資源循環学会研究発表会	ライフサイクル評価に基づく廃プラスチックリサイクルの最適選択に関する研究	叢日超、藤山淳史、松本亨
30	2023年11月6-8日	ISFR 2023, Sendai, Japan	Environmental benefits from chemical recycling of plastic waste and its contribution to a circular economy: A critical review	Zhang, C., and Nakatani, J
31	2023年11月8日	ISFR 2023	Environmental Benefits from Chemical Recycling of Plastic Waste and its Contribution to a Circular Economy: A Critical Review	Chengyao ZHANG
32	2023年12月18日	2023年環境情報科学研究発表大会	産業廃プラスチックを対象とした再資源化施設選択モデルの開発	鉾岩風人、叢日超、藤山淳史、松本亨
33	2023年12月18日	2023年環境情報科学研究発表大会	カーボンニュートラル対策がプラスチックリサイクルのCO <sub>2</sub> 削減に与える影響	崎田結香、藤山淳史、松本亨

34	2024年3月	化学工学会第89年会, PB270, 堺	炭素源を区別した循環型プラスチックリサイクルの評価	中村拓真, 藤井祥万, 兵法彩, Teah Heng Yi, 兼松祐一郎, 菊池康紀
35	2024年3月6日	第19回日本LCA学会研究発表会要旨集	プラスチックリサイクルのCO <sub>2</sub> 削減効果に対するカーボンニュートラル対策の影響	崎田結香, 藤山淳史, 松本亨
36	2024年3月6日	第19回日本LCA学会研究発表会要旨集	線形計画法を用いた産業系廃プラスチックの再資源化施設選択モデルの開発	銚岩風人, 叢日超, 藤山淳史, 松本亨
37	2024年3月6日	第19回日本LCA学会研究発表会	炭素循環を考慮した廃プラスチック循環型ケミカルリサイクルの評価	中村拓真
38	2024年3月6日	第19回日本LCA学会研究発表会	地域・業種・樹脂種類を考慮した廃プラスチックのフロー分析と対策シナリオ検討	稲葉陸太, 東修, 小川佳代子, 岡本大作, 中谷隼, 根本康男, 山口直久, 山本悠久, 藤山淳史, 松本亨
39	2024年3月6-8日	第19回日本LCA学会研究発表会, 宇都宮	将来の社会変化を踏まえたリサイクルの評価のための負荷回避法における代替効果の検討	平田一馬, 中谷隼
40	2024年3月15-17日	3RINCs 2024, Sydney, Australia	Environmental benefits from plastic waste recycling pathways in Japan	Zhang, C., Nakatani, J., Nakamura, T., Fujii, S., Kanematsu, Y., and Kikuchi, Y
41	2024年3月17日	3RINCs 2024	Environmental Benefits from Plastic Waste Recycling Pathways in Japan	Chengyao ZHANG
42	2024年3月19日	化学工学会 第89年会	炭素源を区別した循環型プラスチックリサイクルの評価	中村拓真
43	2024年6月	the 34th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering, Florence, June	Assessment of Plastic Recycling Technologies Based on Carbon Resource Circularity Considering Feedstock and Energy Use	Takuma Nakamura, Shoma Fujii, Aya Heiho, Heng Yi Teah, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi
44	2024年7月3日	4th Life Cycle Innovation Conference (LCIC 2024)	An LCA-based Spatial Matching Scheme Aids the De-carbonization from Plastic Waste Recycling in Japan	Richao Cong, Atsushi Fujiyama, Toru Matsumoto
45	2024年8月25-27日	2024 Joint ISIE Socio-Economic Metabolism and Asia-Pacific Conference, Beijing, China	Analysis of Japan's plastic waste management and lessons from China towards a circular economy	Zhang, C., Nakatani, J
46	2024年9月	化学工学会第55回秋季大会, U203, 札幌	ライフサイクル思考に基づくバイオマス由来プラスチックの炭素フロー解析	千田康太, ティア ヘンイ, 兼松祐一郎, 菊池康紀
47	2024年9月10日	第35回廃棄物資源循環学会研究発表会	廃棄物管理に起因するプラスチックの環境放出量推定モデルを用いた一般廃棄物管理・資源循環プロセス由来のマイクロプラスチックの樹脂別環境放出量評価	石垣智基, PAYOMTHIP Panida, HAM Geun-Yong, 稲葉陸太, 山田正人, 大迫政浩

48	2024年9月26日	第73回高分子討論会	廃プラスチックの地域別・業種別・樹脂別のフロー推計	稲葉 陸太, 東 修, 小川佳代子, 岡本大作, 中谷 隼, 松本 亨
49	2024年9月26日	第73回高分子討論会	(招待講演)プラスチックリサイクル技術のライフサイクル思考、第73回高分子討論会	菊池康紀
50	2024年11月3-7日	EcoBalance 2024, Sendai, Japan	What kinds of plastic waste recycling contribute to climate benefits and carbon circularity?	Zhang, C., Nakatani, J., Nakamura, T., Fujii, S., Kanematsu, Y., Kikuchi, Y
51	2024年11月	The 16th Biennial International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2024), Sendai	Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi; Flow analysis of biomass-derived and recycled plastics considering carbon source sustainability	Kota Chida, Heng Yi Teah
52	2024年11月5日	The 16th Biennial Conference on EcoBalance	Material flow analysis of waste plastics by region, industry, and resin type in Japan	Rokuta Inaba, Osamu Higashi, Kayoko Ogawa, Daisaku Okamoto, Jun Nakatani, Toru Matsumoto
53	2024年11月8日	公益社団法人日本包装技術協会 WEB セミナー	容器包装、プラスチック、都市ごみの日本型 CE の実現に向けて	稲葉陸太
54	2025年1月21日	ISCC PLUS & SAF Conference—Sustainability Certification in Japan @ Tokyo	(Invited Speech) Life cycle thinking of renewable carbon sources in Japan	Yasunori Kikuchi
55	2025年3月6日	第20回日本LCA学会研究発表会	プラスチックの地域別フロー構造の比較と資源化可能性の検討	稲葉 陸太, 東 修, 小川 佳代子, 岡本 大作, 中谷 隼, 松本 亨
56	2025年3月6日	第20回日本LCA学会研究発表会	線形計画法を用いた産業系廃プラスチックの再資源化施設選択モデルの開発	銚岩風人、叢 日超、藤山淳史、松本 亨
57	2025年3月	化学工学会 第90年会, PC257, 東京	バイオマス由来・リサイクル由来炭素を原料とするプラスチックのフロー解析	千田康太, ティア ヘンイ, 兼松祐一郎, 菊池康紀
58	2025年3月	本LCA学会第20回研究発表会, [2-A2-02], 広島	炭素源の持続可能性を考慮したバイオマス由来プラスチックのフロー解析	千田康太, ティアヘンイ, 兼松祐一郎, 菊池康紀
59	2025年5月11-13日	3RINCs 2025, Jeju, South Korea	Characterizing circularity, climate and energy benefit of plastic recycling options using carbon flow and circular diagrams	Zhang, C., Nakatani, J

## 【論文】

- 1) 古賀 愛, 范 学周, 松本 亨, 藤山 淳史: 行政報告データを活用したボトムアップ型物質フロー推計手法の開発: 三重県の産廃プラを対象として, 土木学会論文集 G (環境), 77 巻 6 号, p. II\_33-II\_42, 2021
- 2) Richao CONG, Atsushi FUJIYAMA, Toru MATSUMOTO, Collection of Industrial Plastic Waste During the COVID-19 Pandemic -A Case Study of the Wholesale and

- Retail Trade Sector in Fukuoka Prefecture, Japan、環境共生、38(1) 46-55 (2022年3月)
- 3) 中谷隼：プラスチック資源循環におけるエネルギー回収の位置付け，*Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan* 29 (418), pp. 169-174 (2022) [解説]
  - 4) 中谷隼：脱炭素社会の実現と協調したプラスチック資源循環に向けたシステムの考察，*地球環境*, 27 (1), pp.11-18 (2022) [解説]
  - 5) 中谷隼：プラスチック資源循環の政策的な動向とライフサイクル思考の役割，*日本包装学会誌*, 32 (1), pp.17-28 (2023) [解説]
  - 6) R Cong, A Fujiyama, T Matsumoto: “Optimal plastic recycling system and technology development could accelerate decarbonization: A case study from Japan” , *Waste Management*, 175, pp.110-120, (2024), <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.12.045>
  - 7) Y. Kikuchi, Y. Nomura, T. Nakamura, S. Fujii, A. Heiho, Y. Kanematsu: “Application of CAPE Tools into Prospective Life Cycle Assessment: A Case Study in Feedstock Recycling of Waste Plastics,” *Computer Aided Chemical Engineering* 52 (2023), 2477-2482, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50394-2>
  - 8) S. Fujii, Y. Kanematsu, Y. Kikuchi: “Inventory data generation for prospective lifecycle design through process modeling of energy recovery from waste plastics,” *Computer Aided Chemical Engineering* 52 (2023), 3037-3042, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50484-4>
  - 9) 平田一馬・中谷隼・林徹・藤田壮：「物質フロー分析に基づく使い捨てプラスチック利用の削減可能量の推計」，*日本 LCA 学会誌* 19 (3)，143-157，<https://doi.org/10.3370/lca.19.143> (2023)
  - 10) Shoma Fujii, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi, Inventory data generation for prospective lifecycle design through process modeling of energy recovery from waste plastics, *Computer Aided Chemical Engineering*, 52, 3035-3040, 2023, <http://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50484-4>
  - 11) Yasunori Kikuchi, Yuki Nomura, Takuma Nakamura, Shoma Fujii, Aya Heiho, Yuichiro Kanematsu, Application of CAPE Tools into Prospective Life Cycle Assessment: A Case Study in Feedstock Recycling of Waste Plastics, *Computer Aided Chemical Engineering*, 52, 2475-2480, 2023, <http://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50394-2>
  - 12) 田畑智佑・中谷隼・林徹・藤田壮：「全国市町村における廃プラスチックの発生量推計と要因分析」，*廃棄物資源循環学会論文誌* 35, pp. 96-106 (2024)
  - 13) Zhang, C., and Nakatani, J.: “Implications of chemical recycling of plastic waste for climate change impacts: A critical review,” *Sustainable Production and Consumption*, 48, pp. 301–323 (2024)
  - 14) Takuma Nakamura, Shoma Fujii, Aya Heiho, Heng Yi Teah, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi, Assessment of Plastic Recycling Technologies Based on Carbon Resource Circularity Considering Feedstock and Energy Use, *Computer Aided Chemical Engineering*, 53, 799-804 (2024) <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-443-28824-1.50134-4>

- 15) Hirata, K., Kata, D., and Nakatani, J.: “How does future decarbonization in industries affect the climate benefits of plastic recycling? A market share-based model for the avoided burden approach of life cycle assessment,” Resources, Conservation and Recycling 219, 108305 (2025)

※ 以下，査読なし

- 1) 中谷隼：「脱炭素社会の実現と協調したプラスチック資源循環に向けたシステムの考察」，地球環境 27(1)，pp. 11-18 (2022)
- 2) 中谷隼：「プラスチック資源循環におけるエネルギー回収の位置付け」，Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan 29(418)，pp. 169-174 (2022)
- 3) 中谷隼：「プラスチック資源循環とカーボンニュートラルの関係についての3つの疑問」，都市清掃 76 (376)，575-580 (2023)
- 4) 中谷隼：「LCAによるプラスチック資源循環の評価方法の基本と課題」，日本 LCA 学会誌 19 (3)，106-116，<https://doi.org/10.3370/lca.19.106> (2023)
- 5) 中谷隼：「プラスチック資源循環の政策的な動向とライフサイクル思考の役割」，日本包装学会誌 32 (1)，pp. 17-28 (2023)
- 6) 中谷隼：「LCAによる資源循環の評価方法」，環境管理 2024年2月号，22-26 (2024)

### (3)受賞実績

- 1) 日本環境共生学会 2023 年度 奨励賞（藤山淳史），資源循環の高度化に資する評価手法の開発に関する研究（総合題目）
- 2) 第 15 回日本 LCA 学会賞 論文賞（平田一馬・中谷隼・林徹・藤田壮：「物質フロー分析に基づく使い捨てプラスチック利用の削減可能量の推計」，日本 LCA 学会誌 19 (3)，143-157 (2023)

### (4) 成果普及の努力（プレス発表等）

- 1) 松本亨、ライフサイクルアセスメントの手法と事例、プラスチックリサイクル（第 3 章第 1 節）、情報機構、pp.268-279（2024年7月）[書籍]

## 材料再生プロセス開発

### 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内・ 外国・ PCT	出願日	状態	名称
1	福岡大学・プラスチック工学研究所	特 願 2022-123383	国内	令和 4 年 8 月 2 日	審査請求前	熱可塑性樹脂組成物の成形品の成形機、および成形品の製造方法
2	福岡大学・プラスチック工学研究所	特 願 2022-142070	国内	令和 4 年 9 月 7 日	審査請求前	熱可塑性樹脂組成物の成形品の成形機、および成形品の製造方法

3	福岡大学	特 願 2022-123383	国内	令和 4 年 8 月 2 日	審査請求前	結晶性高分子の結晶化高次構造モデルの生成方法、結晶性高分子の結晶化高次構造モデル生成システム、結晶性高分子の結晶化高次構造モデル生成プログラム、ならびに結晶性高分子の物性および/または特性を予測する方法
4	福岡大学	特 願 2022-142070	国内	令和 4 年 9 月 7 日	審査請求前	熱可塑性樹脂組成物の成形品の成形機、および成形品を製造する方法

### 【論文】

番号	著者	所属	タイトル	発表誌名	ページ番号	発表年月
1	八尾 滋, パントン パチャ	福岡大学	Research on creation and practical application of high-value-added recycling technology for waste plastic	Impact	6(11), 15	2020/11
2	八尾 滋	福岡大学	高分子の自己再生能力と高度マテリアルリサイクル	高分子	69(11), 575	2020/11
3	八尾 滋, パントン パチャ	福岡大学	プラスチックの自己再生能力を活かした革新的マテリアルリサイクルプロセス	化学工学	85(3), 157	2021/2
4	八尾 滋, パントン パチャ, 大久保光	福岡大学	プラスチックの高付加価値化マテリアルリサイクルを実現する高分子の自己再生メカニズム	日本包装学会誌	30(1), 15-25	2021/2
5	パントン パチャ, 三好雄介, 八尾 滋	福岡大学	Development of Tensile Properties and Crystalline Conformation of Recycled Polypropylene by Re-Extrusion Using a Twin-Screw Extruder with an Additional Molten Resin Reservoir Unit	Appl. Sci. 2021, 11, 1707	11(4), 1707	2021/2
6	大久保光, 八尾 滋	福岡大学	Restoring mechanism of mechanical properties of recycled polyethylene pellet moldings by a repelletizing treatment using a twin-screw extruder.	J Mater Cycles Waste Manag	23, 1152 - 1176	2021/3

7	大久保光、 金保陽 香、木村 哲也、パン トンパチ ヤ、八尾 滋	福岡大 学、京都 工芸繊維 大学	Effects of a Twin-Screw Extruder Equipped with a Molten Resin Reservoir on the Mechanical Properties and Microstructure of Recycled Waste Plastic Polyethylene Pellet Moldings.	Polymers	13(7), 1058	2021/7
8	金保陽 香、パン トンパチ ヤ、大久 保光、八 尾滋	福岡大 学、京都 工芸繊維 大学	"Investigation of Degradation Mechanism from Shear Deformation and the Relationship with Mechanical Properties, Lamellar Size, and Morphology of High-Density Polyethylene	Applied Sciences	11(18), 8436	2021/11
9	Hikaru Okubo, K. Kobayashi, Daisuke Iba, I. Moriwaki, Shigeru Yao, Shinya Sasaki	京都工 芸繊維大 学・福岡 大学	Time-resolved ex situ Raman/FT-IR spectroscopic study of structural changes in polymeric gears during operation: Towards the development of operando spectroscopic systems for polymer gears	Polymer Testing	113(2), 8436	2022/6
10	Takashi Yamamoto	山口大 学	Chiral selecting crystallization of helical polymers: A molecular dynamics simulation for the POM-like bare helix	J. Chem. Phys.	157, 14901	2022/7
11	Takashi Yamamoto, M Althaf Hussain, Shigeru Yao	山口大 学・福岡 大学	Material Property Recovery by Controlling the Melt Memory Effects on Recrystallization and on Crystal Deformation: An Approach by the Molecular Dynamics Simulation for Polyethylene	Polymers	14(15), 3082	2022/7
12	Wataru Takarada, Mohammad A. Barique, Tatsuma Kunimitsu, Takeshi Kikutani	Tokyo Institute of Technolog y	Verification of the Influence of Processing History through Comparing High-Speed Melt Spinning Behavior of Virgin and Recycled Polypropylene	Polymers	14(16), 3238	2022/9
13	Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	Fukuoka Universit y	Revolutionary Plastic Mechanical Recycling Process: Regeneration of Mechanical Properties and Lamellar Structures", , Recycling - Recent Advances, November, (2022).	Recycling Strategy and Challenge s Associate d with Waste Managemen		2022/11

				t Towards Sustainin g the World, IntechOpe n		
14	Maho Toshimitsu , Hikaru Okubo, Shigeru Yao, Yosuke Matsukuma	福岡大 学・横浜 国立大学	Analysing the Relationship between Mechanical Properties and Inner Structure of LLDPE Virgin Film for Optimizing Extrusion Condition	Journal of Chemical Engineeri ng of Japan	56(1), 2172979	2023/1
15	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Syed Farooq Adil, Shigeru Yao	福岡大 学、山口 大学、 King Saud Universit y	Preparation and Characterization of High-Density Polyethylene with Alternating Lamellar Stems Using Molecular Dynamics Simulations	Polymers, 2024, 16(2)	16(2), 304	2024/1
16	須川凌, 徳 満勝久, 竹 下宏樹	滋賀県立 大学	せん断印加 HDPE の力学物性変化と 光劣化挙動に関する研究	成形加工	36(6), 259	2024/6
17	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Syed Farooq Adil, Shigeru Yao	福岡大 学、山口 大学、 King Saud Universit y	Coarse-Grained Simulations on Polyethylene Crystal Network Formation and Microstructure Analysis	Polymers	16(7), 1007	2024/7

## 【外部発表】

### 研究発表・講演

研究発表・講演（口頭発表も含む）					
番号	発表者	所属	タイトル	学会名・イベント名など	発表年月
1	八尾 滋	福岡大学	革新的プラスチックマテ リアルリサイクル技術の 開発 -NEDO 先導研究プロ グラム-	日本化学会関東支部講演 会 持続可能な社会に向け た化学技術	2020/9

2	八尾 滋, パントン パチヤ, 大久保光, 三好雄介	福岡大学	高分子の自己再生能力を活かした新規メカニカルリサイクル技術	第 69 回高分子討論会	2020/9
3	パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	小角 X 線散乱によるせん断処理プラスチックの構造解析	第 14 回九州シンクロトロン光研究センター研究成果報告会	2020/10
4	金保陽香, パントン パチヤ, 大久保光, 中野涼子, 関口博史, 八尾 滋	福岡大学	せん断変形により力学特性が変化した高密度ポリエチレンの内部構造の評価	プラスチック成形加工学会 第 28 回秋季大会	2020/12
5	倉持彰儀, 金保陽香, パントン パチヤ, 大久保光, 中野涼子, 八尾 滋	福岡大学	タイ王国でのリサイクル LLDPE の物理特性評価と力学物性評価	プラスチック成形加工学会 第 28 回秋季大会	2020/12
6	川上裕己	福岡大学	ポリプロピレン射出成形平板における部位による構造検討	高分子学会若手研究会・冬の講演会	2020/12
7	今村修平, パントン パチヤ, 関口博史, 中野涼子, 八尾 滋	福岡大学	ポリプロピレン薄膜物性の成形履歴依存性-動的変形	プラスチック成形加工学会 第 28 回秋季大会	2020/12
8	木村哲也	福岡大学	リサイクルポリエチレンを用いた二軸押し出し機の練りによる力学物性への影響	高分子学会若手研究会・冬の講演会	2020/12
9	木村哲也, 金保陽香, 大久保光, 中野涼子, 関口博史, 八尾 滋	福岡大学	二軸押し出し機のペレタイズ条件によるリサイクルポリエチレンへの物性変化	プラスチック成形加工学会 第 28 回秋季大会	2020/12
10	川上裕己, パントン パチヤ, 中野涼子, 八尾 滋, 峯村咲希, 亀田隆夫	福岡大学、三光合成	射出成形平板の部位別粉砕物を用いた再成形プレス品の力学特性検討	プラスチック成形加工学会 第 28 回秋季大会	2020/12
11	大久保光, 八尾 滋	福岡大学	熔融樹脂溜まりを設けたペレタイザーによるリサイクル樹脂ペレット成形品の高度力学物性回復メカニズム	プラスチック成形加工学会 第 28 回秋季大会	2020/12
12	八尾 滋	福岡大学	練ればわかるープラスチックの自己再生能力を活用した新マテリアルリサイクルプロセスの提案	プラスチック成形加工学会新加工技術専門委員会 第 71 回委員会	2020/12
13	八尾 滋	福岡大学	プラスチックのリサイクルおよびその最新動向	化学工学会関東支部 最近の化学工学講習会 69 「バリューチェーンと単位操作から見たリサイクル	2021/1
14	八尾 滋	福岡大学	廃棄プラスチックの高度マテリアルリサイクル技術	第 14 回 NANO/SPE 合同講演会	2021/2

15	八尾 滋	福岡大学	高度循環型社会構築に貢献するマテリアルリサイクルプロセス	TOKYO PACK2021 未来を拓く TOKYO PACK セミナー	2021/2
16	稲葉真一	花王	トイレタリー商品への再生プラスチック活用検討と採用拡大に向けた要望	プラスチック成形加工学会環境・リサイクル委員会主催講演会	2021/3
17	木村 哲也、稗田 遼、金保 陽香、大久保 光、パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	二軸押出機による再混練条件がリサイクルポリエチレンペレット成形品の力学物性・粘弾特性に与える影響	化学工学会第 86 年会	2021/3
18	大久保光	福岡大学	再混練処理がプラスチックペレット成形品の力学物性・内部構造に及ぼす影響－溶融樹脂溜まりの機能・効果－	プラスチック成形加工学会環境・リサイクル委員会主催講演会	2021/3
19	倉持 彰儀、パントン パチヤ、中野 涼子、八尾 滋	福岡大学	タイ王国のポリエチレンの動的粘弾性と力学特性の評価	レオロジー学会第 48 年会	2021/5
20	井出陽一郎	旭化成	プラスチック資源循環を実現するリサイクル技術開発およびその社会実装	第 70 回高分子学会年次大会	2021/5
21	八尾 滋	福岡大学	循環型経済を実現する廃棄プラスチックの高度マテリアルリサイクル	廃棄物資源循環学会九州支部令和 3 年度支部総会講演会	2021/5
22	山本 隆	山口大学	高分子結晶化における圧力効果と高圧結晶化の分子動力学シミュレーション	高分子学会第 70 回年会	2021/5
23	東 凌太郎、中野 涼子、八尾 滋、大久保 光	福岡大学	2軸押出機によるリペレタイズ処理がリサイクルポリプロピレンペレット射出成形品の力学特性・内部構造に与える影響	プラスチック成形加工学会第 32 回年次大会	2021/6
24	松崎 大誠、中野 涼子、大久保 光、八尾 滋	福岡大学	2軸押出機の再混練条件が廃棄家電由来ポリプロピレンの力学物性・内部構造に及ぼす影響	プラスチック成形加工学会第 32 回年次大会	2021/6
25	八尾 滋	福岡大学	Upgrade mechanical recycle process based on self-resilience ability of polymer	Polymer Engineering & Science International (PESI)	2021/6
26	倉持 彰儀、パントン パチヤ、中野 涼子、八尾 滋	福岡大学	バージンとリサイクルの直鎖状低密度ポリエチレンの力学特性と内部構造による高圧および動的せん断処理の影響	プラスチック成形加工学会第 32 回年次大会	2021/6
27	八尾 滋、中野 涼子、平井 翔、深野 勇氣	福岡大学	側鎖結晶性ブロック共重合体による高分子表面改質機能	プラスチック成形加工学会第 32 回年次大会	2021/6

28	大久保 光、金保陽香、パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	熔融樹脂だまりを設けた2軸押出機によるリサイクルペレット成形品の力学物性とナノ・マイクロ構造の関係	プラスチック成形加工学会第32回年次大会	2021/6
29	八尾 滋	福岡大学	高度マテリアルリサイクルによる資源循環	プラスチック成形加工学会第32回年次大会	2021/6
30	八尾 滋	福岡大学	Self Resilience ability of Waste Plastics	International Conference on "Materials for Humanity (MH 21)	2021/7
31	八尾 滋	福岡大学	高分子のリサイクル特性に及ぼすメソ構造の影響	高分子ナノテクノロジー研究会, 「サーキュラーエコノミーを支える高分子テクノロジー」	2021/7
32	木村 哲也、金保陽香、パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	高密度ポリエチレンに対する熔融剪断による力学物性への影響	第70回高分子討論会	2021/7
33	八尾 滋	福岡大学	マテリアルリサイクル入門～日本における現状、プラスチックの物理劣化メカニズムと自己再生能力、今後の考察～	AndTech セミナー	2021/8
34	八尾 滋	福岡大学	再生プラスチックの品質を高める新コンパウンド製造プロセスの開発	プラスチックスエージ主催<Zoom / オンラインセミナー>『サステナブル社会の実現とこれからのプラスチック』	2021/8
35	パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	"Monitoring of melt shear deformation, recrystallization, and the relationship with mechanical properties of low-density polyethylene	PPS-36	2021/9
36	八尾 滋、三好雄介、パントン パチヤ、平井翔、中野 涼子	福岡大学	Advanced physical regeneration process of waste plastics by using new type extruder	PPS-36	2021/9
37	利光 真歩、大久保 光、八尾 滋	福岡大学	Analysing the relationship between mechanical properties and inner structure of LLDPE virgin film for optimizing extrusion condition	PPS-36	2021/9

38	木村 哲也、金保陽香、パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	Investigation of mechanical properties and inner structure of virgin polyethylene re-extruded by using a special type of twin-screw extruder	PPS-36	2021/9
39	金保陽香, パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	「異なるせん断変形を与えたポリエチレンの力学特性と光分析を用いたラメラ構造変化の評価	化学工学会 第52回秋季大会	2021/9
40	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの資源循環プロセス研究ー常識人間になるなー	附属大濠高等学校模擬講義	2021/9
41	八尾 滋	福岡大学	使用済プラスチックの新規高度再生技術	キャンパスクリエート【第9回オンラインセミナー】産学連携オープンイノベーション ～未利用資源の活用、リサイクル技術による循環型社会の実現～	2021/9
42	木村 哲也、川上裕己、金保陽香、パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	特殊押出条件によるバージンポリエチレン成形品に対する力学物性への影響	化学工学会 第52回秋季大会	2021/9
43	山本 隆	山口大学	結晶化におけるメルトメモリー効果の分子動力学シミュレーション 2. 液体構造とモルフォロジー発現	第69回高分子討論会	2021/9
44	八尾 滋、パントン パチヤ	福岡大学	自己再生能力を適用した使用済みプラスチックの高度再生プロセス	九州地区高分子若手研究会・夏の公演会	2021/9
45	八尾 滋	福岡大学	NEDO プロジェクトの紹介	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2021/10
46	川上 裕己、八尾 滋、峯村 咲輝、亀田 隆夫	福岡大学、三光合成	PP 射出成形平板のゲートからの部位によるリサイクル物性への影響	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2021/10
47	パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	Spectroscopic characterization of low-density polyethylene under simulated mechanical recycling process	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2021/10

48	金保 陽香、パントン パチャ、八尾 滋	福岡大学	せん断変形による高密度ポリエチレンの物性の回復手法の検討	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2021/10
49	稗田 遼	福岡大学	バージンポリプロピレンの押出成形履歴に対する樹脂溜まりの影響	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2021/10
50	木村 哲也、金保陽香、パントン パチャ、八尾 滋	福岡大学	モデルリサイクルプラスチックの力学物性と内部構造に及ぼす剪断緩和の影響	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2021/10
51	倉持 彰儀、八尾 滋	福岡大学	リサイクル樹脂成形品の力学特性並びに内部構造の再生プロセス条件依存性	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2021/10
52	木村 哲也、金保陽香、ムハマドアルタフフセイン、パントン パチャ、八尾 滋	福岡大学	"Effect of new advanced Molten Resin Reservoir on mechanical properties of virgin high-density polyethylene	International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Material (e-ISFR)	2021/11
53	八尾 滋、金保陽香、木村 哲也、川上 裕己、パントン パチャ	福岡大学	Basic concept of "Self Resilience Ability" of polymers and advanced mechanical recycle process	International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Material (e-ISFR)	2021/11
54	ムハマドアルタフフセイン、山本 隆、八尾 滋	福岡大学、山口大学	Computer Simulation Research on Mechanical Properties and Internal Structure of Plastics	International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Material (e-ISFR)	2021/11
55	金保 陽香、パントン パチャ、八尾 滋	福岡大学	Development of high-density polyethylene mechanical recycling technique by reprocessing with dynamic shear treatment	International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Material (e-ISFR)	2021/11
56	川上 裕己、亀田隆夫、パントン パチャ、八尾 滋	福岡大学、三光合成	Investigation on mechanical properties and internal structure of polypropylene block copolymer injection-molded board after grinding and remolding process	International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Material (e-ISFR)	2021/11

57	倉持 彰儀、パントン パチャ	福岡大学	Regeneration of mechanical properties of linear-low density polyethylene by dynamic shear treatment	International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Material (e-ISFR)	2021/11
58	パントン パチャ、金保 陽香、八尾 滋	福岡大学	Simulated mechanical recycling process of post-consumer recycle polyethylene obtained from drinking water bottles in Thailand	International Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Material (e-ISFR)	2021/11
59	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの構造と物性から考えたマテリアルリサイクル	富山県プラスチック工業会 15 回 技術開発・改善事例発表会&講演会	2021/11
60	モハメド バリク、宝田 亘、麻理谷雄士	福岡大学	リサイクルポリプロピレンにおけるペレットサイズ条件が高速 DSC 測定で観測される結晶化挙動に与える影響	成形加工シンポジア' 21	2021/11
61	宮井 拓巳、森直樹、長下 哲也	九州工業大学	射出成形加工における樹脂流動制御の基礎研究 ―射出成形品の内周部および外周部の強度評価―	2021 年度精密工学会中国四国支部・九州支部共催岡山地方講演会	2021/11
62	末永 竜大、森直樹、太田川 直樹	九州工業大学	樹脂流動制御を施した竹粉フィラー混入射出成形品の内部およびスキン層に対する画像解析を用いた樹脂流れの評価	2021 年度精密工学会中国四国支部・九州支部共催岡山地方講演会	2021/11
63	八尾 滋、パントン パチャ、三好雄介、平井 翔、中野 涼子	福岡大学	"Effective mechanical recycle based on physical degradation and physical regeneration	Pacificchem 2021	2021/12
64	パントン パチャ、金保 陽香、今村 修平、倉持彰儀、八尾 滋	福岡大学	"Relationship between lamellar structure and mechanical properties of semi-crystalline thermoplastics reprocessed under shear deformation	Pacificchem 2021	2021/12

65	今村修平, パントン パチャ, 関口 博史, 中野涼子, 八尾 滋	福岡大学	Dependence of dynamic shear deformation with high frequency on mechanical properties and inner structures of polypropylene thin film	Pacificchem 2021	2021/12
66	倉持 彰儀, 金保陽香, パントン パチャ, 八尾 滋	福岡大学	Effect of dynamic shear treatment and remolding condition on mechanical properties and thickness of inner structure of linear low-density polyethylene	Pacificchem 2021	2021/12
67	金保 晴香, パントン パチャ, 八尾 滋	福岡大学	Evaluation of the thickness of intermediate layer in virgin and shear-treated high-density polyethylene by using a small angle X-ray scattering and rheo-Raman spectroscopy	Pacificchem 2021	2021/12
68	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの物理劣化・自己再生メカニズムとその実践	技術情報協会セミナー リサイクル樹脂の改質技術-添加剤の配合/成形プロセスの最適化	2021/12
69	八尾 滋	福岡大学	プラスチックゴミ問題から考える SDGs	福岡大学図書館ライブラリーワークショップ	2021/12
70	木村 哲也	福岡大学	リサイクルポリエチレンを用いた二軸押し出し機の練りによる力学物性への影響	高分子学会若手研究会・冬の講演会	2021/12
71	八尾 滋	福岡大学	CO2削減を実現するプラスチックの高度物性化プロセス	近畿化学協会重合工学レクチャーシリーズ NO.8 「プラスチックと環境: バイオベースポリマーと廃プラスチックリサイクル」	2022/1
72	八尾 滋	福岡大学	リサイクルプラスチックの高付加価値化	3R 活動推進フォーラム 循環・3R リレーセミナー~プラスチック資源循環 (3R +Renewable) の促進を考える~	2022/1
73	八尾 滋	福岡大学	廃プラスチックの物性低下メカニズムと高度再生マテリアルリサイクルプロセス	技術情報協会 マテリアルリサイクルのプロセスとその事例	2022/1

74	八尾 滋	福岡大学	サーキュラーエコノミーを推進する革新的高度物性再生プロセス	高分子学会 関東支部 Future Trend in Polymer Science20 2 1 FTiPS 20 2 1【カーボンニュートラルサーキュラーエコノミーにおけるポリマーサイエンスの役割】	2022/2
75	八尾 滋、大久保 光	福岡大学、横浜国立大学	「顕微分光分析・原子間力顕微鏡によるマテリアルリサイクル高分子の内部構造解析」	公益社団法人日本顕微鏡学会第 46 回関東支部講演会「サステナブル社会と未来に貢献する顕微鏡技術」	2022/3
76	八尾 滋	福岡大学	マテリアルリサイクルのこれから	高分子学会グリーンケミストリー研究会 プラスチックのリサイクルと今後を担う次世代ポリマー	2022/3
77	八尾 滋	福岡大学	リサイクルプラスチックの高度物性再生への取り組み	福岡大学 機能・構造マテリアル研究所 プラスチックマテリアルリサイクルの現状と将来課題に関するシンポジウム	2022/3
78	八尾 滋	福岡大学	新素材, 成形加工, リサイクルのレオロジー	レオロジー学会 レオロジーイブニングセミナー	2022/3
79	八尾 滋	福岡大学	材料再生プロセス開発 ―自己再生能力を活用したプラスチックの高性能化プロセス開発研究―	第 37 回新産業技術促進検討会シンポジウム・NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト進捗報告会	2022/3
80	Takuro Fujii, Yuki Kawakami, Takao Kameda, Shigeru YAO	福岡大学、三光合成	Effect of dimensional changes on polypropylene injection molded products on mechanical properties	PPS-37	2022/4
81	Akiyoshi Kuramochi, Patchiya Phanthong, Shigeru YAO	福岡大学	Effect of shear treatment time on physical deterioration of linear low-density polyethylene	PPS-37	2022/4
82	Shigeru YAO	福岡大学	Novel type extruder for improving mechanical properties of recycle plastics and virgin plastics	PPS-37	2022/4

83	Patchiya Phanthong, Shigeru YAO	福岡大学	Regeneration of mesoscale lamellar structure of mechanical recycled polyethylene by dynamic shear treatment	PPS-37	2022/4
84	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Shigeru YAO	福岡大学、山口大学	Semi-crystalline lamellar stack model preparation and evaluation of its mechanical properties from molecular dynamics simulations	PPS-37	2022/4
85	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Shigeru Yao	福岡大学、山口大学	A molecular dynamics study to investigate the structure-property relationship of polyethylene under shear	第71回高分子年次大会	2022/5
86	Shigeru Yao, Pathciya Phanthong, Haruka Kaneyasu, Tetsuya Kimura, Ryo Hieda, Yuki Kawakami, Shuhei Imamura	福岡大学	High performance of virgin plastic-Extended the Physical Degradation/Physical Regeneration Theory	第71回高分子年次大会	2022/5
87	八尾 滋	福岡大学	プラスチックマテリアルリサイクルについて	日本ポリプロピレンフィルム工業会講演会	2022/5
88	山本隆, フセイン・アルタフ, 八尾滋	山口大学、福岡大学	高分子結晶化とメルトメモリー効果の分子動力学シミュレーション: 液体構造と再結晶化機構および結晶組織の大変形と破壊	第71回高分子年次大会	2022/5
89	Shigeru Yao	福岡大学	Advanced Extruder based on the Physical Degradation & Physical Regeneration Theory	PPC & PETROMAT SYMPOSIUM 2022	2022/6
90	M. A. Barique, Takarada Wataru, Takeshi Kikutani	東京工業大学、福岡大学	Effects of extrusion temperature and processing history on the formation of crystalline structure in high-speed melt-spun polypropylene copolymer fibers	第33回プラスチック成形加工学会年次大会	2022/6

91	八尾 滋	福岡大学	カーボンニュートラル時代のマテリアルリサイクルを想像する	22-1 高分子ナノテクノロジー研究会	2022/6
92	八尾 滋	福岡大学	カーボンニュートラル時代を牽引する高度マテリアルリサイクル	海外向けオンラインセミナー（株式会社キャンパスクリエイト）	2022/6
93	倉持 彰儀, 八尾 滋, Phantong Patchiya	福岡大学	直鎖状低密度ポリエチレンに長時間せん断と最適動的せん断を加えたときの物理劣化と物性回復のメカニズムの評価	プラスチック成形加工学会 第33回年次大会	2022/6
94	八尾滋, 今村修平, 稗田遼, 川上 裕 己, Phantong Patchiya	福岡大学	高分子の力学特性に及ぼすせん断履歴の影響についてーポリプロピレン系ー	プラスチック成形加工学会 第33回年次大会	2022/6
95	八尾滋, 金保陽香, 木村哲也, Phantong Patchiya	福岡大学	高分子の力学特性に及ぼすせん断履歴の影響についてー高密度ポリエチレン系ー	プラスチック成形加工学会 第33回年次大会	2022/6
96	西野 孝	神戸大学	高分子の固体構造	第57回 高分子の基礎と応用講座, 高分子学会関西支部	2022/6
97	Wataru Takarada, Mohammad A. Barique, Tatsuma Kunimitsu, Taka o Kameda, Takeshi Kikutani	東京工業大学、三光合成	Influence of processing history on the melt-spinning behavior and crystalline structure of fibers from recycled Polypropylene copolymers	The 16th Asian Textile Conference 16 (ATC-16)	2022/7
98	西山純平, 松隈洋介, 八尾滋, 中野涼子, 倉持彰儀	福岡大学	バージンポリプロピレンの力学物性のペレタイズ条件依存性	第59回化学関連支部合同九州大会	2022/7
99	八尾 滋	福岡大学	環境配慮設計に資するプラスチック成形加工技術の高度化～再生プラスチックの使用拡大に向けた取り組み～	第3回 ICETT 環境セミナー「産官学連携によるプラスチック資源循環の推進～環境配慮設計に基づくものづくりの推進～」	2022/7
100	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの高度マテリアルリサイクルプロセスの開発	SURE コンソーシアム 第22回リサイクル技術セミナー	2022/8
101	八尾 滋	福岡大学	高品質なプラスチック再生材料製造システムの開発	プラスチックスエージ・オンラインセミナー/サーキュラーエコノミーを目指してプラスチック・リサイクル	2022/8

102	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Shigeru Yao	福岡大学、山口大学	Evaluation of shear, relaxation, and recrystallization effects on the microstructure of high-density polyethylene semicrystalline model by molecular dynamics simulations	第71回高分子討論会	2022/9
103	パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	動的せん断処理によるポリエチレンのメカニカルリサイクルプロセスの開発：線形および長鎖分岐構造の比較検討	第71回高分子討論会	2022/9
104	八尾 滋	福岡大学	廃プラスチックのリサイクル現状と再生複合材料の最新動向	AndTechセミナー各種リサイクル技術を用いた再生樹脂・プラスチックの開発・高機能化・応用展開と課題・将来展望	2022/9
105	倉持 彰儀, パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	熔融樹脂だまりを設けたTダイ成形が直鎖状低密度ポリエチレンフィルムの力学特性と内部構造に及ぼす影響	第71回高分子討論会	2022/9
106	八尾 滋	福岡大学	物理劣化・物理再生理論に基づいたプラスチックの高性能化プロセス	持続性木質資源工業技術研究会第47回研究会	2022/9
107	Wataru Takarada, Kazuma Kunimitsu, Mohammad A. Barique, Takeshi Kikutani	東京工業大学	Effect of processing history on spinning behavior of polypropylene investigated by diameter and velocity measurement of spinning line	49th Textile Research Symposium	2022/10
108	Shigeru Yao, Patchiya Phanthong, Nobuhisa Takayama	福岡大学	Physical Regeneration Process for Mechanical Recycling	AWPP2022	2022/10
109	八尾 滋	福岡大学	廃棄プラスチックの高度マテリアルリサイクル	日本化学会秋季事業 第12回 CSJ 化学フェスタ	2022/10

110	Kotaro Chikita, Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Development of Mechanical Properties of Recycled High-Density Polyethylene by Twin-Screw Extruder with Multi-Mesh Molten Resin Reservoir	ISFR2022	2022/11
111	Ayuri Hirakawa, Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Effect of Steady and Dynamic Shear History on Mechanical Properties and Lamellar Structures of High-density Polyethylene”, ISFR2022, 2022年11月30日	ISFR2022	2022/11
112	Rinlada Channoo, Akiyoshi Kuramochi, Patchiya Phanthong, Parassert Reubroycharoen , Shigeru Yao	福岡大学	Improvement in Mechanical Properties of Recycled High-Density Polyethylene from Waste Drinking Water Bottle by Dynamic Shear Treatment	ISFR2022	2022/11
113	Fuya Nozaki, Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Improvement of Mechanical Properties of Virgin Polypropylene by Twin-Screw Extruder with Pressure Controller and Molten Resin Reservoir	ISFR2022	2022/11
114	Shigeru Yao, Patchiya Phanthong, Nobuhisa Takayama	福岡大学	Novel Mechanical Recycling Extruder Based on the Physical Degradation and Physical Regeneration Theory	ISFR2022	2022/11
115	Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Progress in Plastic Mechanical Recycling Approach: Regeneration of Lamellar Structure and Mechanical Properties by Dynamic Shear	ISFR2022	2022/11

116	Akiyoshi Kuramochi, Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Regeneration of Mechanical Properties and Lamellar Structure of Long-Time Steady Shear Treated Linear Low-Density Polyethylene by Dynamic Shear Treatment	ISFR2022	2022/11
117	西野 孝	神戸大学	バイオベースポリマーの結晶構造と材料展開	ポリマー材料フォーラム, 高分子学会	2022/11
118	八尾 滋	福岡大学	プラスチックリサイクルの現状と課題マテリアルリサイクル・ケミカルリサイクル・RPF	第43回 廃棄物処理施設技術管理者中央研究集会 テーマ「廃棄物処理と脱炭素社会について考える」	2022/11
119	木村 一成	旭化成	リサイクルポリエチレンの力学物性に及ぼす特殊押出技術適用の影響	ポリマー材料フォーラム	2022/11
120	松尾 雄一, 井関 康人, 松崎 大誠, 八尾 滋	三菱電機、福岡大学	使用済み家電リサイクルPPの機械的物性に及ぼす溶融樹脂溜まり付き二軸押出機の影響	プラスチック成形加工学会 第30回秋季大会	2022/11
121	八尾 滋	福岡大学	物理劣化・物理再生理論による高度マテリアルリサイクルプロセス	CMC リサーチウェビナー	2022/11
122	八尾 滋	福岡大学	高分子再資源化を拡大する高度メカニカルリサイクルの創製	ポリマーフロンティア 21 高分子再資源化を拡大する高度メカニカルリサイクルの創製	2022/11
123	八尾 滋	福岡大学	高品質なプラスチック再生材料製造システムの開発	令和4年度 後期 CERI 寄附講座	2022/11
124	Junpei Nishiyama, Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	"Extrusion Condition Dependence of Mechanical Properties of Virgin Polypropylene - Effect of Molten Resin Reservoir Temperature ?"	ISFR2022	2022/12
125	Shigeru Yao, Patchiya Phanthong, Nobuhisa Takayama	福岡大学	Advanced plastic mechanical recycling process using new type of extruder -extended study to virgin plastics-	PPC17	2022/12

126	Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Circular Economy for Plastics: Development of Mechanical Recycling Process by Regeneration of Lamellar Structure and Mechanical Properties”	PPC17	2022/12
127	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Shigeru Yao,	福岡大学、山口大学	Evaluating shear, relaxation, and recrystallization effects on the high-density polyethylene microstructure using molecular dynamics simulation	PPC17	2022/12
128	Akiyoshi Kuramochi, Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Evaluation of thickness of intermediate layer of virgin and shear-treated linear low-density polyethylene and the relationship with mechanical properties	PPC17	2022/12
129	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Shigeru Yao	福岡大学、山口大学	Molecular Dynamics Simulation on Plastic Materials: Polyethylene Semicrystalline Model Preparation, Characterization, and Applications”	ISFR2022	2022/12
130	八尾 滋	福岡大学	廃プラスチックの物性低下メカニズムと再生マテリアルリサイクルプロセス	技術情報協会セミナーリサイクル樹脂の改質、物性向上技術プラスチックの劣化・再生メカニズム	2022/12
131	八尾 滋	福岡大学	カーボンニュートラルで必須となるプラスチックの高度マテリアルリサイクル	日本接着学会カーボンニュートラルセミナー	2023/1
132	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの高度マテリアルリサイクル実は結構根深い課題がある	高度マテリアルリサイクル研究会全体会合	2023/2
133	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの高度再生プロセスの創出ー力学物性と成形履歴・内部構造ー	広島大学デジタルものづくり教育研究センター材料モデルベースリサーチ(材料 MBR)プロジェクト	2023/2

134	八尾 滋	福岡大学	プラスチックリサイクル技術の基礎とプラスチック製品の環境配慮設計への応用	日本テクノセンターセミナー	2023/4
135	Phanthong Patchiya, Yao Shigeru	福岡大学	Effect of molding pressure on lamellar structures and mechanical properties of mechanical recycled low-density polyethylene”	38th International Conference of the Polymer Processing Society	2023/5
136	ムハマド アルタフ フセイン	福岡大学	Investigating Morphology and Mechanical Properties of Semi-crystalline High-Density Polyethylene under Large Amplitude Oscillatory Shear Deformation and Relaxation Effects	CSIR-IICT	2023/5
137	Hussain Mohammed Althaf, Yamamoto Takashi, Yao Shigeru	福岡大学、山口大学	Modeling Large Amplitude Oscillatory Shear Deformation in Semi-crystalline High-Density Polyethylene”	38th International Conference of the Polymer Processing Society	2023/5
138	山本 隆	山口大学	らせん高分子の結晶化とらせん認識の分子動力学シミュレーション	第 72 回高分子学会年次大会	2023/5
139	八尾 滋	福岡大学	廃プラスチックの物性低下メカニズムとマテリアルリサイクルプロセス	技術情報協会セミナー	2023/5
140	八尾 滋	福岡大学	環境配慮設計：成形からリサイクルまで	プラスチック成形加工学会東海支部 2023 年度特別講演会	2023/5
141	八尾 滋	福岡大学	高度マテリアルリサイクル実現から考えるプラスチック資源循環	プラスチック成形加工学会関西支部 2023 年度総会・講演会	2023/5

142	モハマド アルタフ フセイン, 山本 隆, 八尾 滋	福岡大学、山口大学	Form and mechanical behavior of semicrystalline high-density polyethylene (HDPE) under static and large amplitude oscillatory shear deformation: a molecular dynamics (MD) simulation study	プラスチック成形加工学会年次大会	2023/6
143	パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	Molding pressure dependence on physical properties and lamellar structure of mechanical recycled polyethylene reprocessed by dynamic shear treatment	プラスチック成形加工学会年次大会	2023/6
144	Shigeru Yao	福岡大学	Upgrade Mechanical Recycling Process based on the Physical Degradation and Regeneration Theory (Invited)	EUROMSN2023 (Invited)	2023/6
145	須川 凌, 徳満勝久, 竹下 宏樹	滋賀県立大学	せん断印可 HDPE の力学物性変化と光劣化挙動に関する研究	プラスチック成形加工学会年次大会	2023/6
146	八尾 滋, 中山 皓太, パントン パチヤ, 高山 暢久	福岡大学	リサイクル無定形プラスチック材料の力学物性の成形履歴依存性ー ABS の場合ー	プラスチック成形加工学会年次大会	2023/6
147	橋本 さらら, 伊藤 美怜, 荒谷 成美, 倉持 彰儀, 柴田 大地, 山下 莉緒, 立元 友梨佳, 鈴木 慎也, 大村 拓輝, 八尾 滋	福岡大学	福岡大学でのプラスチック回収と樹脂種割合解析	プラスチック成形加工学会年次大会	2023/6
148	Shigeru Yao	福岡大学	Revolutionary Mechanical Recycling Process based on the Physical Degradation and Physical Regeneration theory	IPC2023 (Invited Lecture)	2023/7
149	八尾 滋	福岡大学	リサイクルプラスチックの物理劣化・再生理論から考えた高度な環境配慮設計	NCC 次世代複合材研究会プレゼン会・NCC 見学会	2023/7

150	八尾 滋	福岡大学	包括的視点から考えるバイオマスと資源循環	化学工学会「バイオマス資源からの有用化学物質変換と高機能化材料創出」講演会	2023/7
151	山本 隆	山口大学	高分子の結晶化と分子シミュレーション	電気学会講演会：グリーン社会に向けた有機・バイオ技術と関連シミュレーションに関する調査専門委員会	2023/7
152	パントン パチヤ・八尾 滋	福岡大学	Shear Deformation Mode Dependence of Mechanical Properties of Various LDPEs	第10回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム, 第24回プラスチックリサイクル化学研究会研究討論会 合同研究発表会	2023/8
153	徳満 勝久	滋賀県立大学	せん断印可 HDPE の力学物性と光劣化挙動に関する研究	ポリオレフィン研究会「第17回次世代ポリオレフィン総合研究発表会」	2023/8
154	八尾 滋	福岡大学	プラスチックのリサイクル特性から考える資源循環促進法	第32回日本エネルギー学会大会 (特別講演)	2023/8
155	八尾 滋	福岡大学	材料再生プロセス開発 リサイクルから環境配慮設計へ	新産業技術促進検討会シンポジウム・NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト 進捗報告会	2023/8
156	八尾 滋	福岡大学	高分子物性から構築する高度プラスチック資源循環	グリーンマテリアル展/新機能性材料展/nano tech展/の合同プレイベントウェビナー	2023/8
157	山本 隆	山口大学	らせん高分子の結晶化とらせん認識の分子動力学シミュレーション	高分子討論会	2023/9
158	パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	低密度ポリエチレンフィルムにせん断処理モードが及ぼす影響	高分子討論会	2023/9
159	八尾 滋	福岡大学	変形履歴と内部構造と力学特性との関連性	高分子自由討論会	2023/9
160	八尾 滋	福岡大学	成形プロセスデザインがはたすプラスチック資源循環	エンジニアリング協会	2023/9
161	八尾 滋, パントン パチヤ, 高山 暢久	福岡大学	高分子物性から考える環境配慮設計	高分子討論会	2023/9
162	中山 皓太, 内山 弘規, 野崎 楓哉, 劉本 恭大, 西山 純平, 小淵 秀明, 松隈 洋介, 八尾 滋	福岡大学	CFD による樹脂溜り内のABS の流動解析	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10

163	パントン パチャ	福岡大学	Dynamic shear treatment :Towards the development of plastic mechanical recycling process	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
164	モハマード アル タフ フセイン	福岡大学	Impact of Melt Relaxation on HDPE's Entanglements and Recrystallization Using Molecular Dynamics Simulations	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
165	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの資源循環を実現する高度再生プロセス	日本ゴム協会関西支部 第44回サタデーセミナー	2023/10
166	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの高度資源循環から考える CNF 像	山形大学大学院有機材料システム研究科, 山形大学グリーンマテリアル成形加工研究センター, 東北経済産業局 第31回次世代プラスチック成形技術研究会 共催: ナノセルロースジャパン第6期 ナノセルロース塾, みやぎ CNF プロジェクト ナノセルロース in 東北	2023/10
167	木田 拓充	滋賀県立大学	ポリエチレンの熔融加工時における樹脂溜まり効果	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
168	鞠谷 雄士	東京工業大学	リサイクルPPの高速紡糸挙動解析による成形履歴効果の検証	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
169	西野 孝	神戸大学	リサイクルポリエチレンの力学物性とラマン散乱	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
170	松本 紘宜	福岡大学	リサイクルポリプロピレンの物性回復を目指した射出成形プロセスに関する研究	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
171	森 直樹	九州工業大学	リサイクル樹脂の型内駆動機構による成形品質向上効果の検証	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
172	大久保 光	横浜国立大学	再生プラスチックの力学物性と高次構造	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10
173	野崎 楓哉, 内山 弘規, 中山 皓太, 西山 純平, 劉本 恭大, 小渕 秀	福岡大学	改良型ブレーカープレートを設置した樹脂溜り内のポリプロピレンの流動	プラスチック成形加工学会 環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	2023/10

	明, 松隈 洋 介, 八尾 滋				
174	八尾 滋	福岡大学	物理劣化・物理再生理論 が拡張するプラスチック の資源循環	プラスチック成形加工学 会 環境・リサイクル専門 委員会主催シンポジウム	2023/10
175	山本 隆	山口大学	結晶性高分子の構造形成 と大変形過程の分子動力 学シミュレーション	プラスチック成形加工学 会 環境・リサイクル専門 委員会主催シンポジウム	2023/10
176	Shigeru YAO, Patchiya Phanthong, Mohammed Althaf Hussain, Nobuhisa Takayama, Hideaki Obuchi, Yuki Yamashita	福岡大学	Advanced Plastic Circulation System Constructed from Basic Polymer Physics	ISFR2023	2023/11
177	M. Toshimitsu, S. Yao, Y. Matsukuma,	福岡大学	Analyzing the Relationship between Mechanical Properties and Inner Structure of Compounded Polyethylene Virgin Film with Different Extrusion Condition	ISFR2023	2023/11
178	P. Phanthong, S. Yao	福岡大学	Effect of Novel Extrusion Process on Mechanical Properties of Low-Density Polyethylene in Different Grade	ISFR2023	2023/11
179	Y. Yamashita, N. Takayama, T. Ryumoto, S. Yao	福岡大学	Effects of the Optional Equipment for Twin- Screw Extruder with Molten Resin Reservoir on the Mechanical Properties of Recycled Plastics	ISFR2023	2023/11
180	M. Althaf Hussain, T. Yamamoto, S. Yao	福岡大 学、山口 大学	Enhancing Plastic Recycling Approaches: Insights from Non- Equilibrium Molecular Dynamics Simulations	PPS2023	2023/11

181	S. Yao, Patchiya Phantong, Nobuhisa Takayama	福岡大学	Introduction of Japanese NEDO project and Revolutionary Mechanical Recycle Process	PPS2023	2023/11
182	木田 拓充, 今井一希, 竹下 宏樹, 徳満 勝久, 木村 一成, 江原 賢司	滋賀県立大学、旭化成	Mechanical Properties and Morphology of Polyethylene Films Processed by Extruder with Molten Resin Reservoir	ISFR2023	2023/11
183	Hussain Mohammed Althaf	福岡大学	Modeling and Simulations of Plastics: Model, Preparation, Characterization, and Rheological Applications	Department of Chemistry, King Saud University, Kingdom of Saudi Arabia	2023/11
184	Shigru Yao	福岡大学	Recent Progress on the Revolutionary Mechanical Recycle and Environmentally Friendly Molding based on Physical Degradation / Physical Regeneration Theory	Polymers2023 (Invited Speaker)	2023/11
185	Shigeru Yao	福岡大学	Recent Progress on the Revolutionary Mechanical Recycle and Environmentally Friendly Molding based on Physical Degradation /Physical Regeneration Theory	Polymers 2023 (Invited Lecture)	2023/11
186	Shigeru Yao	福岡大学	Revolutionary Mechanical Recycling Process based on the Physical Degradation and Physical Regeneration theory	One Day Symposium on “Computational Chemistry and Materials Science (Invited Lecture)	2023/11
187	Hussain Mohammed Althaf	福岡大学	Understanding Rheological Studies of Plastics in Mechanical Recycling Process: A Combined MD and NEMD Simulations Study	One Day Symposium on “Computational Chemistry and Materials Science (Invited Lecture)	2023/11

188	M. Althaf Hussain, T. Yamamoto, S. Yao	福岡大学、山口大学	Understanding Rheological Studies of Plastics in Mechanical Recycling Process: A Combined MD and NEMD Simulations Study	ISFR2023	2023/11
189	八尾 滋	福岡大学	プラスチック資源循環を促進する革新的成形プロセス	日本技術士九州本部北九州地区 CPD 11 月度月例研修会	2023/11
190	八尾 滋	福岡大学	ポリマーのリサイクル技術の課題と現状ならびに将来構想	第 17 回技術開発フォーラム ポリマーのケミカル/マテリアルリサイクル技術の最前線	2023/11
191	M. Althaf Hussain, T. Yamamoto, S. Yao	福岡大学、山口大学	Revolutionizing Plastic Recycling: Unveiling Insights through Dynamic Molecular Simulations	2023 年度高分子基礎物性研究会・高分子計算機科学研究会 合同討論会	2023/12
192	八尾 滋	福岡大学	ポリマーのリサイクル技術の課題と現状ならびに将来構想	CEMVC 研究会 No.3 プラスチックマテリアルリサイクル WG2023 年プラスチック再資源化の「今」ー研究と実装の現場よりー	2023/12
193	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの高度リサイクルと新環境配慮設計	アンドテックセミナー	2024/1
194	八尾 滋	福岡大学	プラスチックマテリアルリサイクルの最新技術動向	第 4 回脱炭素化社会実現技術研究会	2024/1
195	八尾 滋	福岡大学	日本におけるプラスチックカーボンニュートラルに対する取り組み	第 13 回日独エネルギー・環境フォーラム	2024/1
196	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの高度マテリアルリサイクルと高度成形プロセス	サイエンス&テクノロジーセミナー プラスチック再資源化の最前線	2024/2
197	八尾 滋	福岡大学	プラスチックリサイクルの最近の動向から	CEMVC 研究会 No.4 プラスチックマテリアルリサイクル WG 2024 年プラスチック再資源化の「論点」ー取り組みの現場よりー	2024/2
198	八尾 滋	福岡大学	ポリマーのリサイクル技術の課題と現状ならびに将来構想	ゴム技術フォーラム 第 4 4 6 回ゴム技術フォーラム月例会	2024/2
199	八尾 滋	福岡大学	高分子物性に基づいたプラスチックの新たな環境配慮設計と資源循環	日本テクノセンターセミナー プラスチックリサイクルの基礎とプラスチック製品の環境配慮設計および実用化技術とそのポイント	2024/2

200	Shigeru Yao	福岡大学	Advanced Mechanical Recycling Process based on the Physical Degradation and Physical Regeneration theory. Introduction of Japan national project.	6th Forum Plastic Recyclates (Invited Lecture)	2024/3
201	八尾 滋	福岡大学	物理劣化・物理再生理論により構築される新たなプラスチック資源循環	日本化学会第 104 春季年会 シンポジウムイノベーション共創プログラム (CIP) : 持続可能社会を創出する高分子科学の研究前線	2024/3
202	SHIGERU YAO	福岡大学	Advanced Mechanical Recycling Process based on the Physical Degradation and Physical Regeneration Theory	紡織産業総合研究所講演会	2024/5
203	SHIGERU YAO	福岡大学	Advanced Mechanical Recycling Process based on the Physical Degradation and Physical Regeneration Theory and Japan Project	長庚大学講演会	2024/5
204	八尾 滋	福岡大学	物理劣化・物理再生理論から考えるプラスチックの成形と水平リサイクル	第 114 回高分子材料セミナー	2024/6
205	鞠谷 雄士	東京科学大学	溶融体の伸長・緩和履歴と配向結晶化	日本レオロジー学会高分子加工技術研究会第 99 回例会招待講演	2024/6
206	山本 隆	山口大学	ポリエチレン融液の伸長と伸長結晶化の分子動力学シミュレーション	日本レオロジー学会 高分子加工技術研究会 第99回例会	2024/6
207	山本 隆	山口大学	らせん高分子 (アイソタクティック・ポリプロピレン iPP) の結晶化におけるキラリティー認識の分子動力学シミュレーション	第 73 回高分子学会	2024/6
208	Mohammed, Althaf Hussai, Takashi Yamamoto, Shigeru Yao	福岡大学	Evaluation of lamellar crystal axis orientation in polyethylene by melting and large static shear deformation using a combination of MD and NEMD	第 73 回高分子年次大会	2024/6

209	パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	Novel Plastic Re-extrusion Process for Regeneration of Mechanical Properties of Low-density Polyethylene	第 73 回高分子年次大会	2024/6
210	八尾 滋, パントン パチヤ, 高山 暢久, 小渕 秀明	福岡大学	非層流のプラスチックリサイクル特性に及ぼす影響	第 73 回高分子年次大会	2024/6
211	八尾 滋, パントン パチヤ, 高山 暢久	福岡大学	特殊ブレーカープレートによる高度再生プロセス	プラスチック成形加工学会第 35 回年次大会	2024/6
212	パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	Development of plastic mechanical recycling technique for low-density polyethylene with different conformations	プラスチック成形加工学会第 35 回年次大会	2024/6
213	フセイン モハメド アルタフ, 山本 隆, 八尾 滋	福岡大学	Evaluation of lamellar crystal axis orientation in polyethylene by melting and large static shear deformation using a combination of MD and NEMD	プラスチック成形加工学会第 35 回年次大会	2024/6
214	西野 孝	神戸大学	接着の広義グローバル化を目指しませんか	日本接着学会 60 周年記念講演会	2024/6
215	藤井 拓郎, 亀田 隆 夫, 八尾 滋, 高山 暢久	三光合成、福岡大学	多点ゲートによる流速制御成形が PP 射出成形品の引張破断伸びに及ぼす影響 Influence of flow rate control molding with multi-point gates on tensile elongation at break of PP injection-molded products	プラスチック成形加工学会 第 35 回 年次大会	2024/6
216	鞠谷 雄士	東京科学大学	繊維の分解・劣化挙動	マテリアルライフ学会特別講演	2024/7
217	西野 孝	神戸大学	古希を迎えた高分子研究発表会(神戸)	第 70 回高分子研究発表会(神戸) 70 周年記念講演会	2024/7
218	西野 孝	神戸大学	熱物性, 表面物性	日本化学会「高分子化学」化学技術基礎講座	2024/8
219	西野 孝	神戸大学	まだまだ高分子の高性能化をめざして	高分子同友会 50 周年記念講演会	2024/8

220	SHIGERU YAO	福岡大学	Advanced recycling process of plastics by new type extruder based on polymer physics	ACS FALL 2024	2024/8
221	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの物性変化メカニズムと高度マテリアルリサイクルとプラスチックのサーキュラーエコノミー	And Tech 高度マテリアルリサイクル	2024/8
222	SHIGERU YAO	福岡大学	Advanced Mechanical Recycle Process Based on Physical Degradation and Physical Regeneration Theory	European Advanced Materials Congress	2024/8
223	西野 孝	神戸大学	変形したら、それでええんや	関西レオロジー研究会	2024/9
224	松尾 雄一, 井関 康人, 八尾 滋	三菱電機、福岡大学	熔融樹脂溜まり付き二軸押出機を用いたリサイクルPPの靱性改善検討	第73回高分子討論会	2024/9
225	山本 隆	山口大学	プラスチックの流動結晶化機構と力学物性の分子動力学シミュレーション	第73回高分子討論会	2024/9
226	八尾 滋, パントン パチヤ, モハマド アルタフ, 高山 暢久, 小渕 秀明	福岡大学	高度なプラスチック資源循環と「物理劣化・物理再生理論	第73回高分子討論会	2024/9
227	Mohammed Althaf Hussain, Takashi Yamamoto, Shigeru Yao	福岡大学	Computational Rheology of Semicrystalline Polyethylene for Evaluating the Microstructure-Mechanical Property Relationships	第72回レオロジー討論会	2024/10
228	P. Phanthong, S. Yao	福岡大学	Enhancement of Mechanical Properties of Post-Consumer Recycled Polyethylene via a Novel Mechanical Recycling Technique	ISFR 2024	2024/10
229	S. Yao, Patchiya Phanthong, Nobuhisa Takayama, Hideaki Obuchi	福岡大学	Effect of non-laminar flow on improving mechanical properties of recycling plastic	ISFR 2024	2024/10

230	SHIGERU YAO	福岡大学	New advanced mechanical recycling based on the "Physical Degradation and Physical Regeneration Theory"	SIP 国際シンポジウム	2024/10
231	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの力学特性理解と「物理劣化・物理再生理論」	高分子学会 高分子基礎物性研究会 プラスチックの循環利用・分解利用	2024/10
232	Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Correlation between mechanical properties and lamellar structures of polyethylene extrusion via a novel mechanical recycling technique	AWPP2024	2024/11
233	F. Nozaki, H. Uchiyama, K. Nakayama, H. Obuchi, N. Takayama, Y. Matsukuma, S. Yao	福岡大学	Improvement of Material Properties of Virgin Polypropylene by Extrusion Experiments Using Breaker Plate	AWPP2024	2024/11
234	K. Nakayama, H. Uchiyama, F., Nozaki, H. Obuchi, N. Takayama, Y., Matsukuma, S. Yao	福岡大学	Improvement of Material Properties of Recycle ABS by Extrusion Experiments Using Molten Resin Reservoir	AWPP2024	2024/11
235	Koto Okamura, Hideaki Obuchi, Nobuhisa Takayama, Patchiya Phanthong, Shigeru Yao	福岡大学	Regeneration of ductility of recycled polyethylene via a novel twin-screw extruder with a multi-filter inside of a molten resin reservoir unit	AWPP2024	2024/11
236	Shigeru Yao, Patchiya Phanthong, Nobuhisa Takayama, Hideaki Obuchi	福岡大学	Advanced Mechanical recycle process with using a special breaker plates	AWPP2024	2024/11
237	八尾 滋	福岡大学	物理劣化・物理再生理論が実現する 革新的プラスチックサーキュラーエコノミー	第 39 回繊維学会西部支部講演会・見学会 「環境と繊維・高分子」	2024/11
238	八尾 滋	福岡大学	サーキュラーエコノミーを促進する新環境配慮設計とは	プラスチック成形加工学会第 32 回秋季大会	2024/11

239	藤井 拓郎, 亀田 隆 夫, 八尾 滋, 高山 暢久	三 光 合 成、 福 岡 大 学	リサイクル PP 射出成形品の引張破断伸び評価と物性 分 布 Influence of flow rate control molding with multi-point gates on tensile elongation at break of PP injection-molded products	プラスチック成形加工学会 第 32 回秋季大会	2024/11
240	パントン パチヤ, 八尾 滋	福岡大学	新規押出プロセスによる再生ポリエチレンの高引張強度化	プラスチック成形加工学会第 32 回秋季大会	2024/12
241	八尾 滋	福岡大学	カーボンニュートラル実現に向けた炭素資源 リサイクル技術開発と社会実装	サイエンス & テクノロジーセミナー 第 55 回 Continuing Education シリーズ講習会	2024/12
242	八尾 滋	福岡大学	君は界面になれるか	24-1 高分子表面研究会 「高分子材料の高機能化に向けた表面・界面制御」	2025/1
243	八尾 滋	福岡大学	Considerations of Physical Degradation and Physical Regeneration Theory to CNF Compounds	Optimization of CNF for PP for Automotive Exteriors at TITK	2025/2
244	八尾 滋	福岡大学	「プラスチックマテリアルリサイクルの高度化と環境配慮設計」	栃木県産業技術センター 第 4 回脱炭素化社会実現技術研究会	2025/2
245	松本 紘宜	九州工業大学	「マテリアルリサイクルにおける射出成形プロセスの基礎的研究」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3
246	木田 拓充	滋賀県立大学	「樹脂溜まりを用いた押出成形ポリエチレンの物性・構造解析」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3
247	宝田 亘	信州大学	「射出成形品リサイクル PP の高速紡糸挙動解析による成形履歴効果の検証」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3
248	西野 孝	神戸大学	基調講演「一軸変形下でのポリエチレンの in situ Raman 散乱」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3
249	大久保 光	横浜国立大学	「原子間力顕微鏡による再生プラスチックの高次構造計測」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3
250	田中 真司	産業技術総合研究所	「固体 NMR 分光法を活用するポリエチレンフィルムの構造解析」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3

251	鞠谷 雄士	東京科学 大学	基調講演「熔融紡糸過程 で見出される中間相構造 制御性」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
252	徳満勝久	滋賀県立 大学	基調講演「せん断印加 HDPE の力学物性変化と光 劣化挙動に関する研究」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
253	パチャ パントン	福岡大学	「新規メカニカルリサイ クル技術によるプラス チックの機械的特性およ び構造の再生」※	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
254	内山 弘規	福岡大学	「樹脂溜り部の流動制御 による樹脂の機械的性質 の向上」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
255	モハマド アルタ フ フセイン	福岡大学	「Investigation of Lamellar Orientation and Mechanical Properties of Semicrystalline Polyethylene under Quiescent and Flow- Induced Crystallization」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
256	山本 隆	山口大学	基調講演「高分子結晶化 の分子動力学シミュレ ーション（特に螺旋高分子 結晶化におけるキラリ ティー認識の分子機構）」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
257	永田 寛知、千手 康弘	DIC (株)	「資源循環性に優れたイン キ・接着剤の開発研究」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
258	加賀 正剛、藤岡 俊貴、久泉 政 也	いそ の (株)	「リサイクルプラスチック の高度再生処理による 特性変化と微細物理構造 変化の評価」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
259	鬼防崇	(株) プ ラスチッ ク工学研 究所	「大型高性能押出機（成 果の実用化・事業化の見 通し）」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
260	藤井 拓郎、亀田 隆夫	三光合成 (株)	「リサイクル性を考慮し た射出成形・金型技術に 関する取り組み」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
261	旭化成、江原賢 司	旭 化 成 (株)	「Film 系リサイクル材の ボトル製品への適用&樹 脂溜まり押出機による Film の高強度化研究」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3
262	澁谷 玲	花 王 (株)	「詰め替えパウチの水平 リサイクル実現に向けた 検討」	NEDO 特別講座シンポジウ ム	2025/3

263	示野 郁乃	TOPPAN (株)	「モノマテリアル包材から作製したリサイクルフィルムの物性評価」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3
264	新原 健一、八尾 滋	(株)富山 環境 整備、福岡 大学	「リサイクルプラスチックの高度物理再生処理の有無を判定可能な簡易的評価手法の提案」	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3
265	松尾 雄一、兒玉 哲一	三菱電機 (株)	家電由来プラスチックの自己循環リサイクルと樹脂溜まり付き押出機を用いた靱性改善検討	NEDO 特別講座シンポジウム	2025/3

### 受賞実績

番号	受賞者	所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	受賞年月
1	Kotaro Chikita	福岡大学	Development of Mechanical Properties of Recycled High-Density Polyethylene by Twin-Screw Extruder with Multi-Mesh Molten Resin Reservoir	ISFR2022	2022/11
2	Rinlada Channoo	チュラロンコン大学	Improvement in Mechanical Properties of Recycled High-Density Polyethylene from Waste Drinking Water Bottle by Dynamic Shear Treatment	ISFR2022	2022/11
3	Patchiya Phanthong	福岡大学	Progress in Plastic Mechanical Recycling Approach: Regeneration of Lamellar Structure and Mechanical Properties by Dynamic Shear	ISFR2022	2022/11
4	Akiyoshi Kuramochi	福岡大学	Regeneration of Mechanical Properties and Lamellar Structure of Long-Time Steady Shear Treated Linear Low-Density Polyethylene by Dynamic Shear Treatment	ISFR2022	2022/11
5	Patchiya Phanthong	福岡大学	Young Researcher Travel Award	38th International Conference of the Polymer Processing Society	2023/5

### 成果の普及

番号	発表者	所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
----	-----	----	------	----------------	------

1	八尾 滋	福岡大学	プラスチックマテリアルリサイクルの高度化と拡大を目指して	福岡県リサイクル総合研究事業化センター 令和2年度研究成果発表会	2020/10
2	八尾 滋	福岡大学	廃プラスチック問題の解決を目指す新しい取り組み	2020 福岡大学エコスクール	2020/10
3	福岡大学	福岡大学	カーボンニュートラル達成に向けた研究を推進「超先端材料・リサイクル研究棟」見学会	福岡大学プレスリリース	2021/11
4	福岡大学	福岡大学	プラスチックを再利用 福大の最新技術とは	KBC ニュース	2021/11
5	福岡大学	福岡大学	福岡大が再生プラの研究拠点、強度高め再利用促す	日本経済新聞	2021/11
6	八尾 滋	福岡大学	プラスチックのマテリアルリサイクルーなぜ重要なのか、どこまで可能なのかー	未来のプラスチック ワークショップ @大木町	2021/3
7	福岡大学	福岡大学	バージンプラスチックの高性能化に成功ープラスチックのリデュース・高度再生に寄与	福岡大学プレスリリース	2021/6
8	福岡大学	福岡大学	プラマテリアルリサイクル 新品原料も高性能化	化学工業日報	2021/6
9	福岡大学	福岡大学	廃プラの高効率資源循環を目指して	環境浄化技術 2021年5・6月号	2021/6
10	金保 陽香、パントン パチヤ、八尾 滋	福岡大学	注目講演 異なるせん断変形を与えたポリエチレンの力学特性と光分析を用いたラメラ構造変化の評価	化学工学会第52回秋季大会	2021/9
11	福岡大学	福岡大学	GSアライアンス、廃プラリサイクル新手法導入	化学工業日報	2022/1
12	八尾 滋	福岡大学	物理再生理論に立脚した廃棄プラスチックリサイクル技術	環境技術会誌	2022/10
13	八尾 滋	福岡大学	容器包装プラスチックの高度マテリアルリサイクルプロセス	環境対応：プラスチック容器包装最前線、情報機構	2022/11
14	八尾 滋	福岡大学	廃棄プラスチックの物性低下メカニズムと高度再生マテリアルリサイクル	容器包装材料の環境対応とリサイクル技術、技術情報協会	2022/12
15	八尾 滋	福岡大学	第一章日本における廃プラスチックの現状と複合材料の最新動向、第4章資源プラスチックの再生に向けた最新技術～品質向上に向けて～第1節 プラスチック劣化の原因とその対策	環境配慮型設計を見据えた再生資源プラスチックの将来展望 ～選別技術および再生資源をとりまく最新動向～	2022/5
16	八尾 滋	福岡大学	バージンペレットの高性能化とそのCNならびにCEへの波及効果	プラスチックエージ	2022/6

17	八尾 滋	福岡大学	高度マテリアルリサイクルプロセスを踏まえた資源循環システム	包装技術	2022/6
18	八尾 滋	福岡大学	廃プラスチックのリサイクル技術マテリアルリサイクルとは	廃プラスチックの現在と未来：持続可能な社会におけるプラスチック資源循環	2023/1
19	八尾 滋	福岡大学	根本から考える（巻頭言）	環境技術会誌	2023/10
20	八尾 滋	福岡大学	プラスチック資源循環の現状とこれから	プラスチックス	2023/12
21	八尾 滋	福岡大学	高度マテリアルリサイクルに向けた新規高性能ペレット成形プロセスの開発	プラスチックの循環利用拡大に向けたリサイクルシステムと要素技術の開発動向	2023/3
22	大久保光、八尾滋	横浜国立大学、福岡大学	次世代マテリアルリサイクルシステムの構築に向けた廃棄プラスチックの高度物性再生技術の創出	月刊ソフトマター	2023/4
23	八尾 滋	福岡大学	リサイクル材・バイオマス複合プラスチックの技術と仕組, 第3章 リサイクル材・バイオマス活用のための要素技術 第1節	廃プラスチックの物性低下の要因と高度物性再生マテリアルリサイクル, S&T 出版	2023/7
24	八尾 滋	福岡大学	廃プラスチックの物性低下の要因と高度物性再生マテリアルリサイクル	リサイクル材・バイオマス複合プラスチックの技術と仕組	2023/7
25	八尾 滋	福岡大学	これまでとこれからのマテリアルリサイクル	月刊ソフトマター	2024/7
26	徳満 勝久	滋賀県立大学	せん断印加したHDPEの力学物性変化と光劣化挙動に関する研究	月刊ソフトマター	2024/7
27	亀田 隆夫	三光合成	PP樹脂射出成形品のリサイクル性向上に必要な成形加工技術の開発	月刊ソフトマター	2024/7
28	八尾 滋	福岡大学	プラスチックのマテリアルリサイクルにおける 技術開発と海外での動向	プラスチックリサイクル ～製品別処理技術と事業化に向け求められる企業対応～ 情報機構	2024/7
29	八尾 滋	福岡大学	自動車業界において再生樹脂を循環させるための課題と今後の展望について	公益財団法人 自動車リサイクル促進センター有識者の寄稿 vo19	2024/9
30	八尾 滋	福岡大学	リサイクルから新環境設計へ	マテリアルライフ学会誌, 37 [1] 1～8	2025/2

## その他事項

番号	発表者	所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
1	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの自己再生能力を活かした高度マテリアルリサイクル手法とプラスチックリサイクルの最新動向今後の展望	サイエンス&テクノロジーセミナー	2020/10
2	八尾 滋	福岡大学	自己再生能力を活かしたマテリアルリサイクル手法と最新動向・展望	R&D 支援センターセミナー	2020/11
3	八尾 滋	福岡大学	4.5 節 プラスチックのリサイクル	バリューチェーンと単位操作から見たリサイクル (最近の化学工学 69)	2020/12
4	福岡大学	福岡大学	基礎から考えるプラスチックマテリアルリサイクルの手法と今後	工業材料 2021 秋号[雑誌・特集:プラスチックリサイクル技術の現在]	2021/10
5	八尾 滋	福岡大学	環境・リサイクル専門委員会主催シンポジウム	プラスチック成形加工学会	2021/10
6	福岡大学	福岡大学	プラスチックのマテリアルリサイクルと顔料	顔料	2021/12
7	八尾 滋	福岡大学	プラスチックの高度マテリアルリサイクルによる循環型経済社会	情報機構セミナー	2021/2
8	八尾 滋、 パントンパ チャ、大久 保 光	福岡大学	第5章 廃プラスチックリサイクルにおける要素技術の開発動向 第4節 「物理劣化・物理再生理論による廃プラの高度マテリアルリサイクル技術」	プラスチックリサイクル-世界の規制と対策・要素技術開発の動向と市場展望	2021/7
9	福岡大学	福岡大学	再生プラスチックの品質を高める新コンパウンド製造プロセスの開発	プラスチックエッジ	2022/1
10	八尾 滋	福岡大学	成形履歴による内部構造変異に伴う物理劣化とその再生について	「接着の技術」誌	2022/2
11	八尾 滋	福岡大学	プラスチックマテリアルリサイクルの現状と将来課題に関するシンポジウム	福岡大学機能構造マテリアル研究所	2022/3

## ・石油化学原料化プロセス開発（触媒分解）

### 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内・国外・PCT	出願日	状態	名 称
1	国立大学法人鳥取大学 片田直伸, 辻悦司, 菅沼学史, 川谷優也	特開 2023-000272 特願 2021-100991	国内	2021/6/17	審査中	ポリオレフィンからの炭化水素混合物の製造方法,

2	一般財団法人石油エネルギー技術センター 高澤隆一	特開 2024-143636	国内	2023/3/30	出願	廃プラスチックに含まれるプラスチック成分と充填剤を分離する方法
3			国内		出願中	
4			国内		準備中	

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Satoshi Suganuma*, Kohsuke Arita, Fumiya Nakano, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada+B3:G5	鳥取大学	Adsorption Kinetics in Removal of Basic Nitrogen-containing Compounds from Practical Heavy Oils by Amorphous Silica-alumina,	Fuel, 266,, 117055 (2020).	有	2020
2	Koshiro Nakamura*, Kazu Okumura, Etsushi Tsuji, Satoshi Suganuma and Naonobu Katada	鳥取大学	Reactivity of Methane and Benzene over Metal/MFI Zeolite Analyzed with Temperature-Programmed Reaction Technique	ChemCatChem., 12, (8), 2333 - 2340 (2020).	有	2020
3	Kazuki Nakajima, Satoshi Suganuma*, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Mechanism of Tetralin Conversion on Zeolites for Production of Benzene Derivatives	React. Chem. Eng., 5, 1272 - 1280 (2020).	有	2020
4	Peidong Hu, Koshiro Nakamura, Hitoshi Matsubara, Kenta Iyoki*, Yutaka Yanaba, Kazu Okumura, Tatsuya Okubo, Naonobu Katada* and Toru Wakihara	鳥取大学	Comparative Study of Direct Methylation of Benzene with Methane on Cobalt-exchanged ZSM-5 and ZSM-11 Zeolites	Appl. Catal., A: Gen., 601, 117661 (2020).	有	2020
5	Hitoshi Matsubara, Kana Yamamoto, Etsushi Tsuji*, Kazu Okumura, Koshiro Nakamura, Satoshi Suganuma and Naonobu Katada	鳥取大学	Position and Lewis Acidic Property of Active Cobalt Species on MFI Zeolite for Catalytic Methylation of Benzene with Methane,	Micropor. Mesopor. Mater., 310, 110649 (2020).	有	2020
6	Fumiya Nakano, Tomohide Goma, Satoshi Suganuma*, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Selective Dealkylation of Alkyl Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Towards Innovative Upgrading Process of Practical Heavy oil,	Catal. Sci. Technol., 11, (1) 239 - 249 (2021).	有	2021
7	Akihiro Otani, Masaya Kuroda, Satoshi Suganuma*, Etsushi	鳥取大学	MFI zeolite-supported Ru nanoparticles for efficient conversion	React. Chem. Eng., 6, (10) 1920 - 1927 (2021).	有	2021

	Tsuji and Naonobu Katada,		of pyroglutamic acid to 2-pyrrolidone,			
8	Naonobu Katada ,Kana Yamamoto, Moeri Fukui, Kai Asanuma, Satoshi Inagaki, Kazuki Nakajima, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji, Ana Palcic, Valentin Valtchev, Petko St. Petkov, Kristina Simeonova, Georgi N. Vayssilov, Yoshihiro Kubota	Tottori University Yokohama National University Ruđer Bošković Institute ENSICAEN, UNICAEN, CNRS University of Sofia	Acidic property of YNU-5 zeolite influenced by its unique Micropore system	Microporous and Mesoporous Materials, 330(1), 11592(2020).	有	2022
9	Reina Kaneda, Satoshi Suganuma*, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Hydrogenation of pyroglutamic acid into pyroglutaminol over Ni/SiO <sub>2</sub> ,	J. Jpn. Petrol. Inst., 65, (5) 192 - 199 (2022).	有	2022
10	Chinami Kaku, Satoshi Suganuma*, Kiyotaka Nakajima, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Selective Hydrogenation of L-proline to L-prolinol over Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -supported Pt-MoO <sub>x</sub> Catalyst,	ChemCatChem, 14, (19) e202200399 (2022).	有	2022
11	M. Sakai, Y. Nomura, M. Matsukata	早稲田大学	Strategy of Development on Zeolite Membrane for Forward Osmosis Operation; Effects of Structural Parameter of Support Layer and Si/Al Ratio of ZSM-5 Layer on Water Flux	Journal of Chemical Engineering of Japan, 53(1), 2251529	有	2023
12	M. Sakai, H. Hori, T. Matsumoto, M. Matsukata	早稲田大学	One-Pot Synthesis Method of MIL-96 Monolith and Its CO <sub>2</sub> Adsorption Performance	ACS Applied Materials and Interfaces, 15(18), 22395–22402	有	2023
13	M. Sakai, Y. Sekine, M. Matsukata	早稲田大学	Transesterification of Methyl Acetate Using a Flow-Type Membrane Reactor with a Zeolite Membrane	Industrial and Engineering Chemistry Research, 62(31), 12191–12198	有	2023
14	Kazu Okumura*, Kai Tanaka, Akimichi Ohtsuki, Hikaru Iiyoshi and Naonobu Katada,	鳥取大学	Direct Methylation of Benzene with Methane over Co/MFI Catalysts Generated by Self-dispersion of Co(OH) <sub>2</sub> ,	Catal. Sci. Technol., 13, 5969-5977 (2023).	有	2023
15	Naonobu Katada*, Nobuki Ozawa*, Etsushi Tsuji, Keigo Kanehara, Akiho Otsuka, Taiga Sakamoto, Kirari Umezawa, Hitoshi Matsubara, Satoshi Suganuma and Momoji Kubo,	鳥取大学	Methylation of Benzene with Methane Induced by Strong Adsorption of Benzene on Co Ion at $\alpha$ -Position in Zeolite with Moderate Al–Al Distance,	Micropor. Mesopor. Mater., 364, 112855 (2024).	有	2024
16	Naonobu Katada*, Hayato Tamura, Takuya	鳥取大学	Correlation between Na-Cs Ion Exchange	Langmuir, 40, (37), 19324-19331 (2024).	有	2024

	Matsuda, Yuya Kawatani, Yu Moriwaki, Manami Matsuo and Ryota Kato,		Property in the Alkaline Form and Acid Strength in the Proton Form of Zeolite,			
17	Koshiro Nakamura, Sho Tanizaki, Kakeru Tsubokawa, Etsushi Tsuji, Satoshi Suganuma and Naonobu Katada	鳥取大学	Ethylation of Benzene with Ethane over MFI Zeolite-supported Pb Catalyst,	Catal. Lett. 155, 17 (2025).	有	2025
18	Tomohiro Fukumasa, Yuya Kawatani, Hiroki Masuda, Ikuto Nakashita, Ryusei Hashiguchi, Masanori Takemoto, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji, Toru Wakihara and Naonobu Katada	鳥取大学	Shape Selective Cracking of Polypropylene on an H-MFI Type Zeolite Catalyst with Recovery of Cyclooctane Solvent,	RSC Sustain., 3, (2) 890 - 903 (2025).	有	2025
19	Sakai Motomu, Matsushita Mahiro, Omata Takumi, Miura Kensei, Miura Eri, Kamo Tohru, Kawatani Yuya, Masuda Hiroki, Suganuma Satoshi, Katada Naonobu, Matsukata Masahiko	早稲田大学	Polypropylene decomposition in petroleum-based solvents over beta	J. Jpn. Petrol. Inst., In press	有	2025

### 【総説】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ 番号	査読	発表年月
1	片田直伸	鳥取大学	ゼオライト上の遷移金属種を触媒とするメタンによるベンゼンのメチル化	えねるみくす, 99, (2) 155 - 160.	無	2020
2	中村浩史 郎, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	MFI ゼオライト担持金属を触媒とするメタンによるベンゼンのメチル化	ゼオライト, 37, (1), 17 - 27.	無	2020
3	松原仁志*, 辻悦司, 片 田直伸	鳥取大学	メタンによるベンゼンの直接メチル化反応に活性な Co 種の特性,	触媒, 62, (6) 351 - 356 (2020).	無	2020
4	Satoshi Suganuma* and Naonobu Katada,	鳥取大学	Innovation of Catalytic Technology for Upgrading of Crude Oil in Petroleum Refinery,	Fuel Process. Technol., 208, 106518 (2020).	無	2020
5	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの最新技術と持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	工業材料, 69(11), 44881	無	2021
6	加茂 徹	早稲田大学	電気電子機器や自動車由来の廃プラスチックのリサイクル	月刊 化学物質, 6(5), 49-56	無	2021
7	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会における容器包装材の使い方	日本食品包装協会誌, 172	無	2021

8	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	化学工学,85(3),143	無	2021
9	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの技術的潮流と将来展望	プラスチックリサイクル, 1-29	無	2021
10	加茂 徹	早稲田大学	使用済み工業製品のガス化反応による資源回収	プラスチックのケミカルリサイクル技術, 139-149	無	2021
11	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックの現状と循環利用への課題	場の科学, 1(1), 28-44	無	2021
12	加茂 徹	早稲田大学	プラスチック容器の現状と課題	食品包装 1, 44-50	無	2022
13	加茂 徹	早稲田大学	SDGs が目指す持続可能な社会におけるプラスチック容器の役割 1 –最新のリサイクル技術–	食品と容器,63(3), 179-185	無	2022
14	加茂 徹	早稲田大学	SDGs が目指す持続可能な社会におけるプラスチック容器の役割 2 –最新のリサイクル技術–	食品と容器,63(5), 316-321	無	2022
15	松方正彦	早稲田大学	ケミカルリサイクル (新 CR) 技術開発の最新動向	技術トレンドレポート「環境配慮型材料」vol.5, 1	無	2023
16	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	クリーンテクノロジー, 33(2), 36-41	無	2023
17	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会におけるプラスチック容器の使い方	包装技術, 61(3), 44-64	無	2023
18	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会における有機資源の使い方	日本空気清浄協会誌, 61(4), 43-46	無	2023
19	片田直伸	鳥取大学	ゼオライト触媒のカーボンニュートラル化への貢献	表面技術, 74, (12) 658 - 665	無	2023
20	Satoshi Suganuma* and Naonobu Katada	鳥取大学	Selective Conversion of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Practical Heavy Oil,	J. Jpn. Petrol. Inst., 66, (4) 95 - 100	無	2023
21	Hyun-Seog Roh*, Jugkyu Choi*, Minkee Choi* and Naonobu Katada	鳥取大学	Preface: The 19th Korea-Japan Symposium on Catalysis (19th KJSC)	Catal. Today, 429, 114469 (2024).	無	2024

22	片田直伸*, 田村隼央,	鳥取大学	中学生が発見したゼオライトのイオン交換能を制御する因子: 鳥取大学ジュニアドクター育成塾「めざせ! 地球を救う環境博士」の成果,	ゼオライト, 41, (1) 29 - 35	無	2024
23	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックの現状と持続可能な社会への対応	環境ビジネス, 夏号, 90-93	無	2024
24	加茂 徹	早稲田大学	炭素繊維強化プラスチックの最新リサイクル技術と課題	化学装置, 66(5), 2-9	無	2024
25	77. 今井祐介, 杉本慶喜, 中里哲也, 重田香織, 楨納好岐, 加茂徹	早稲田大学	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)リサイクル材の評価技術	自動車技術, 78(9), 2-8	無	2024
26	Yoshiyuki Toyooka and Naonobu Katada*	鳥取大学	Petroleomics in Japan: People, History and Development,	J. Jpn. Petrol. Inst., 68, (1) 1 - 9	無	2025

### 【著作】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	加茂 徹	早稲田大学	CFRP のリサイクル技術・再生炭素繊維活用の現状と課題	CFRP のリサイクル技術と最新動向, 3-11	無	2023
2	片田直伸	鳥取大学	メタンによる芳香族メチル化	メタンと二酸化炭素 ~その触媒的 化学変換技術の現状と展望~, 上田 渉監修, シーエム シー・リサーチ, 東京, 244 - 254	無	2023
3	Etsushi Tsuji* and Naonobu Katada,	鳥取大学	Frontiers in Arene Chemistry: Direct Methylation of Benzene with Methane on Metal-Loaded Zeolites	Industrial Arene Chemistry: Markets, Technologies, Sustainable Processes and Case Studies of Aromatic Commodities, Wiley-VCH, Weinheim, 747 - 767	無	2023
4	菅沼学史*, 片田直伸,	鳥取大学	有機合成触媒としてのゼオライト	エヌ・ティー・エ ス, 多孔質体ハン ドブック, 475 - 480	無	2023
5	片田直伸, 辰巳敬, 大久保達也, 窪田好浩, 脇原徹編	鳥取大学	イオン交換	脇原徹編, 講談社, ゼオライトの基礎 と応用, 79 - 83	無	2024

6	片田直伸, 辰巳敬, 大 久保達也, 窪田好浩, 脇原徹編	鳥取大学	酸塩基性質 理論・測定,	脇原徹編, 講談社, ゼオライトの基礎 と応用 119 - 135	無	2024
---	---	------	--------------	--	---	------

### 【外部発表】講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	松方 正彦	早稲田大学	石油精製が実現する新しい大規模プラスチックリサイクル	石油学会中国・四国支部第38回講演会	2020/11/1
2	片田直伸	鳥取大学	ゼオライトの触媒作用: 美しい構造と化学的性質の関係	情報機構セミナー, オンライン	2021/1/26
3	松方 正彦	早稲田大学	ケミカルリサイクルでプラ to プラは実現する? NEDO プログラムディレクター松方教授に聞く!	DNP P&I セミナー TOKYO PACK 2021 DNP オンライン展示会連動セミナー	2021/2/1
4	松方 正彦	早稲田大学	廃プラスチックの石油精製プロセスを活用した石油化学原料化技術開発	廃プラスチックのケミカルリサイクル/サーマルリサイクル動向セミナー	2021/2/1
5	加茂 徹	早稲田大学	情報技術を利用したプラスチックのリサイクル	北九州市環境産業推進会議第11回総会	2021/2/1
6	加茂 徹	早稲田大学	SDGs が目指す世界におけるプラスチックの使い方	株式会社 タクマ	2021/3/1
7	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックのリサイクルの現状と持続可能な社会へ向けての取り組み	情報機構	2021/3/1
8	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会における有機資源の使い方	化学工学会 第86年会	2021/3/1
9	加茂 徹	早稲田大学	プラスチック・ゴミ問題を考える	第4回サステナブル・SDGs の学びと実践	2021/5/1
10	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックの最新リサイクル技術の動向~持続可能な社会におけるプラスチックの使い方~	R & D 支援センター	2021/5/1
11	加茂 徹	早稲田大学	SDGs が目指す持続可能な社会におけるプラスチック容器の役割	日本包装学会	2021/6/1
12	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックの今後の動向	株式会社 茨城シーアイシー研究所	2021/6/1
13	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの最新技術と持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	サイエンス&テクノロジー	2021/6/1
14	加茂 徹	早稲田大学	SDGs が目指す持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	第128回 SCE・Net 技術懇談会	2021/7/1
15	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックのリサイクル技術の基礎とその使い方	CMC リサーチセミナー	2021/7/1
16	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの課題及び技術開発の動向	(公財)岐阜県産業経済振興センター	2021/8/1
17	加茂 徹	早稲田大学	リサイクル技術の動向と、SDGs に向けた対策	技術情報協会	2021/8/1
18	片田直伸	鳥取大学	参照触媒のいま, 未来	2021 参照触媒新制度発足記念オンラインシンポジウム	2021/9/15- 2022/3/31

19	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会におけるプラスチックの役割	国際粉体工業展 大阪 2021	2021/10/1
20	Naonobu Katada	鳥取大学	Brønsted Acid Strength of Zeolite,	1st Japan-China Symposium on Catalysis, KN-8	2021/10/11
21	加茂 徹、松方正彦	早稲田大学	Development of a New Technology to Measure the Amount of Residual Carbon on the Surface of Recovered Carbon Fiber	e-ISFR	2021/11/1
22	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックのケミカルリサイクルの現状と課題	CE 広域マルチバリュー循環研究会	2021/11/1
23	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックリサイクルの現状とCFRPリサイクルの概要	And Tech セミナー	2021/11/1
24	松方正彦	早稲田大学	石油精製を活用したプラスチックのケミカルリサイクルの提案	産総研資源循環利用技術研究ラボワークショップ	2021/11/1
25	松方正彦	早稲田大学	革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発の概要—ケミカルリサイクルを中心に—	石油学会第51回石油・石油化学討論	2021/11/1
26	加茂 徹	早稲田大学	Latest plastic recycling technology & role of plastics in the sustainable society	MATERIALS RESEARCH MEETING 2021	2021/12/1
27	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの最新技術と持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	サイエンス&テクノロジー	2021/12/1
28	片田直伸	鳥取大学	YFI 型ゼオライトに寄せる大細孔固体酸触媒としての期待,	第 30 回規則性多孔体セミナー /GSC セミナー, 鳥取	2021/12/6
29	加茂 徹	早稲田大学	マイクロプラスチックの発生を抑制するためのリサイクル技術	マテリアルライフ学会	2022/1/1
30	松方正彦	早稲田大学	廃プラスチックのケミカルリサイクルとサーマルリサイクルに関する技術開発・事業動向	技術情報センター: 廃プラスチックのケミカルリサイクルとサーマルリサイクルに関する技術開発・事業動向	2022/2/1
31	松方正彦	早稲田大学	プラスチックの新しいケミカルリサイクル技術の提案	「プラスチックのリサイクルと次世代バイオベースポリマー」 21-1 グリーンケミストリー研究会、高分子学会	2022/3/1
32	松方正彦	早稲田大学	石油化学原料化プロセス開発～石油精製プロセスを活用した新しいケミカルリサイクル～	第 37 回新産業技術促進検討会シンポジウム・NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト進捗報告会	2022/3/1
33	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックリサイクルの現状とCFRPリサイクルの概要	And Tech セミナー	2022/4/1
34	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会におけるプラスチックの循環利用	技術情報協会	2022/4/1
35	加茂 徹	早稲田大学	炭素循環に基づく持続可能な社会におけるプラスチックの役割	科学技術者フォーラム (STF) 2022 年 4 月度セミナー	2022/4/1

36	加茂 徹	早稲田大学	炭素循環を原則とした持続可能な社会におけるプラスチックの役割	ファイラー研究会	2022/4/1
37	松方正彦	早稲田大学	NEDO プロジェクト :「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」と ケミカルリサイクル技術の開発状況	JPI(日本計画研究所)	2022/5/1
38	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	R & D 支援センター	2022/5/1
39	松方正彦	早稲田大学	プラスチックの触媒分解生成物の分析方法の検討	石油学会第 64 回年会	2022/5/1
40	片田直伸	鳥取大学	ゼオライトの酸性質とアンモニア吸着によるその解析,	MicrotracMRB 基礎からわかる Web セミナー、ガス吸着法による固体触媒評価の基礎	2022/5/20
41	松方正彦	早稲田大学	ケミカルリサイクルの技術開発と最新動向	野村証券スピーカーシリーズ	2022/6/1
42	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックのリサイクルの現状と課題 技術開発状況	栃木県産業技術センター	2022/6/1
43	加茂 徹	早稲田大学	炭素循環を目指す持続可能な社会におけるプラスチックの役割	日本テクノセンター	2022/6/1
44	加茂 徹	早稲田大学	DX を用いた高度な資源循環への期待と課題	プラスチックの資源循環×デジタル化	2022/6/1
45	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックのリサイクルの現状と課題、技術開発状況	栃木県産業技術センター	2022/6/1
46	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	グリーンマテリアル	2022/7/1
47	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの最新技術と持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	サイエンス&テクノロジー	2022/7/1
48	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会におけるプラスチックのリサイクル	加工技術研究会	2022/7/1
49	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会におけるプラスチックの新しい使い方	日本計画研究所	2022/8/1
50	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会におけるプラスチック包装容器の役割	技術士包装物流会	2022/8/1
51	松方正彦	早稲田大学	プラスチックの熱・触媒分解挙動とプラスチックリサイクル技術	サイエンス&テクノロジー	2022/9/1
52	松方正彦	早稲田大学	資源循環と環境負荷低減の両立を目指した革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発の取り組みの全体像 および ケミカルリサイクル、エネルギー回収に関する最先端技術動向について	高分子学会高分子同友会第 143 回研究開発部会	2022/9/1
53	Naonobu Katada	鳥取大学	YNU-5: Strongly Acidic Large Pore Zeolite	International Conference of Emerging Science 2022 (ICES 2022)	2022/12/12-14
54	Naonobu Katada	鳥取大学	YNU-5 Zeolite with Strong Brønsted Acid Sites Accessible from 12-Ring Pores,	The 4th International Symposium on Porous Materials 2022 (ISPM2022)	2022/10/12-14

55	Tohru Kamo	Waeda University	Latest plastic recycling technology & role of plastics in the sustainable society	JICA	2022/10/1
56	Tohru Kamo	Waeda University	Recycling Technology for Plastics in a Sustainable Society	ISFR 2022	2022/11/1
57	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す社会における資源循環	SEF サロン	2022/11/1
58	松方正彦	早稲田大学	プラスチックの資源循環～マテリアルからエネルギー～	中国地区化学工学懇話会2022年度セミナー	2022/11/1
59	松方正彦	早稲田大学	廃プラスチックの石油精製プロセスを活用した石油化学原料化技術開発	CMC リサーチウェビナー	2022/11/1
60	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックリサイクル技術の最新動向と将来展望	And Tech	2022/11/1
61	加茂 徹	早稲田大学	脱炭素を目指す持続可能な社会におけるプラスチックの循環利用法	化学工学会第56回化学工学の進歩講習会	2022/11/1
62	増田大毅・川谷優也・福政智大・菅沼学史・辻悦司・片田直伸	鳥取大学	ポリオレフィン分解に対するゼオライト触媒のマイクロ細孔による反応物形状選択性	第32回キャラクターゼーション講習会	2022/12/1
63	Naonobu Katada	鳥取大学	YNU-5: Strongly Acidic Large Pore Zeolite,	International Conference of Emerging Science 2022 (ICES 2022), Daejeon, Chungnam National University	2022/12/12-14
64	片田直伸	鳥取大学	アンモニア IRMS-TPD 法による固体の酸量, 酸強度, 酸の種類 の解析,	第32回キャラクターゼーション講習会, 高知, ちよテラホール	2022/12/15
65	Masaiko Matsukata	Waseda University	New Developments in Chemical Recycling of Plastics	CHEMCON2022, Kanpur, India	2022/12/1
66	松方正彦	早稲田大学	日本における廃プラスチックのリサイクルについて	早稲田大学循環型環境技術研究会	2022/12/1
67	松方正彦	早稲田大学	革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」とケミカルリサイクル技術の開発状況	日本計画研究所	2022/12/1
68	松方正彦	早稲田大学	NEDO プラスチック資源化 PJ の概要とケミカルリサイクル技術の進捗	合成樹脂工業協会環境・リサイクル研究部会	2023/1/1
69	片田直伸	鳥取大学	副原料を消費しないプラスチック再資源化: 酸型ゼオライトによる形状選択的ポリオレフィン分解	化学系学協会北海道支部 2024 年冬季研究発表会	2023/1/1
70	片田直伸	鳥取大学	ゼオライト酸点の解析と設計	令和4年度触媒学会東日本支部講演会, オンライン	2023/1/26
71	松方正彦	早稲田大学	革新的プラスチック資源化プロジェクトの進捗とカーボンニュートラル社会への位置づけ	TH 企画セミナー	2023/1/1
72	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンにおけるプラスチックリサイクルとマテリアルリサイクルの技術動向	栃木県産業技術センター 県南技術支援センター	2023/2/1

73	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボン社会におけるプラスチックおよび CFRP の循環利用～最新のリサイクル技術と資源循環の未来～	新社会システム総合研究所	2023/2/1
74	片田直伸	鳥取大学	酸型ゼオライトを触媒とするポリオレフィンの分解	第131回触媒討論会特別シンポジウム	2023/3/17
75	松方正彦	早稲田大学	ものづくり産業のカーボンニュートラル実現への道筋	JPI	2023/3/1
76	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会における炭素繊維の役割	第4回 CFRP における最新技術動向セミナー	2023/3/1
77	松方正彦, 片田直伸, 野崎京子, 塚原保徳, 加茂徹	早稲田大学	循環社会構築に向けた廃プラスチックのケミカルリサイクル	触媒学会第131回触媒討論会特別シンポジウム	2023/3/17
78	松方正彦	早稲田大学	プラスチック再資源化技術開発の現状と展望	ゴムタイムス社セミナー	2023/3/1
79	松方正彦	早稲田大学	化学工学会が取り組むカーボンニュートラルへの挑戦	岡山大学講演会	2023/3/1
80	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボン時代におけるケミカルリサイクルの役割	サーキュラー・エコノミー-広域マルチバリュー循環(CE-MVC)研究会	2023/4/1
81	片田直伸	鳥取大学	ゼオライトの酸性質とアンモニア吸着によるその解析	2023年 触媒評価基礎ウェブセミナー, オンライン	2023/5/24
82	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す社会におけるプラスチックの循環利用法	R&D 支援センター	2023/5/1
83	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボン時代における有機資源の使い方	石炭・炭素資源有効利用研究会第11回研究会	2023/5/1
84	松方正彦, 三浦えり, 加茂 徹, 酒井 求	早稲田大学	炭化水素溶媒中におけるポリエチレンの分解に対するゼオライト Beta の効果	石油学会第65年会	2023/5/1
85	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチック問題の現状とゼロカーボン社会における有機資源の循環利用	技術情報協会	2023/6/1
86	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの最新技術と持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	サイエンス&テクノロジー	2023/7/1
87	松方正彦	早稲田大学	触媒を用いた廃プラスチックのケミカルリサイクルの開発動向	触媒学会有機資源循環触媒研究会第1回有機資源循環触媒セミナー	2023/7/1
88	松方正彦	早稲田大学	石油化学原料化プロセス開発①	第45回新産業技術促進検討会シンポジウム NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト進捗報告会	2023/8/1
89	松方正彦	早稲田大学	膜分離プロセスの基礎と最新動向	R&D 支援センター	2023/8/1

90	加茂 徹	早稲田大学	Recycling of Organic Resource using Information Technology in Japan: Current Status and Challenges	Japan Society of Material Cycles and Waste Management	2023/9/1
91	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す時代の有機材料の使い方	第61回高分子材料自由討論会	2023/9/1
92	松方正彦	早稲田大学	化学にかかわるカーボンニュートラルを目指したコンソーシアム	INCHEM Tokyo	2023/9/1
93	松方正彦	早稲田大学	化学に関わる産業のカーボンニュートラルへの展望と課題	INCHEM Tokyo	2023/9/1
94	加茂 徹	早稲田大学	Latest plastic recycling technology & role of plastics in the sustainable society	JICA	2023/10/1
95	M. Matsukata	早稲田大学	Membrane Reactor for Direct CO <sub>2</sub> Fischer-Tropsch Synthesis: Effect of Operating Conditions	16th International Conference on Catalysis in Membrane Reactors, (ICCMR16)	2023/10/1
96	M. Matsukata	早稲田大学	Membrane Reactors for Carbon Neutrality: From Process Intensification to CO <sub>2</sub> Valorization	Membrane Reactors for Carbon Neutrality: From Process Intensification to CO <sub>2</sub> Valorization," The 9th International Zeolite Membrane Meeting (IZMM 2023)	2023/10/1
97	松方正彦	早稲田大学	NEDO プロジェクト 廃プラスチックの大規模ケミカルリサイクル実現に向けた触媒分解プロセス技術開発	JPI	2023/10/1
98	松方正彦	早稲田大学	「化学と持続可能性とカーボンニュートラル」、君たちの将来と化学の未来～早大で過ごす化学な週末 2023～	日本化学会	2023/10/1
99	松方正彦	早稲田大学	プラスチックの大規模リサイクルとケミカルリサイクル技術の提案	技術情報センターセミナー	2023/10/1
100	松方正彦	早稲田大学	プラスチックの熱・触媒分解挙動とプラスチックリサイクル技術	サイエンス&テクノロジー社セミナー	2023/10/1
101	松方正彦	早稲田大学	廃プラスチックケミカルリサイクルのための触媒分解プロセスの提案	第53回石油・石油化学討論会	2023/10/1
102	松方正彦	早稲田大学	膜分離プロセスの基礎とCO <sub>2</sub> ・水素などの活用に向けた最新動向・将来展望	AndTech 社セミナー	2023/10/1
103	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックおよび繊維強化プラスチック(FRP)の最新リサイクル技術 ～ゼロカーボン時代における有機資源の使い方～	情報機構	2023/11/1
104	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会における有機資源の循環利用	第9回 難燃・共同セミナー	2023/12/1
105	加茂 徹	早稲田大学	繊維強化プラスチック(FRP)のリサイクル技術	秋田県 風力発電設備のブレードリサイクル調査中間報告会	2023/12/1

106	片田直伸	鳥取大学	副原料を消費しないプラスチック再資源化: 酸型ゼオライトによる形状選択的ポリオレフィン分解	化学系学協会北海道支部 2024 年冬季研究発表会	2024/1/23
107	加茂 徹	早稲田大学	サーキュラーエコノミーにおけるプラスチックリサイクルの役割	サーキュラーエコノミーセミナー～国内外動向の最前線	2024/2/1
108	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボン社会におけるプラスチックおよび CFRP の循環利用～最新のリサイクル技術と資源循環の未来～	新社会システム総合研究所	2024/2/1
109	松方正彦	早稲田大学	ものづくり産業のカーボンニュートラル実現への道筋	JPI	2024/3/1
110	松方正彦	早稲田大学	プラスチック再資源化技術開発の現状と展望	ゴムタイムス社セミナー	2024/3/1
111	松方正彦	早稲田大学	化学工学会が取り組むカーボンニュートラルへの挑戦	岡山大学講演会	2024/3/1
112	萩原和彦	コスモ石油	混合プラスチックの触媒分解評価	2024 年度 JPEC フォーラム	1905/7/16
113	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボンを目指す持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	海洋理工学会	2024/6/1
114	加茂 徹	早稲田大学	持続可能な社会におけるプラスチックの循環利用	精密工学会	2024/6/1
115	片田直伸	鳥取大学	ゼオライトの酸性質とアンモニア吸着によるその解析	2024 年 触媒評価基礎ウェブセミナー, オンライン	2024/6/6
116	加茂 徹	早稲田大学	サーキュラーエコノミーを目指す持続可能な社会におけるプラスチックの使い方	サイエンス&テクノロジー	2024/7/1
117	加茂 徹	早稲田大学	プラスチックリサイクルの最新技術動向について	野村証券スピーカーシリーズ	2024/7/1
118	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックの現状と持続可能な社会への対応	環境ビジネス	2024/7/1
119	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックの最新リサイクル技術の動向	R & D 支援センター	2024/8/1
120	加茂 徹	早稲田大学	最新! 廃プラスチックリサイクル技術と循環利用法-サーキュラーエコノミー対応への課題、国内外・業界別の動向、CFRP、欧州 ELV 規制の行方-	日刊工業新聞社	2024/9/1
121	加茂 徹	早稲田大学	ウェルビーイングな社会におけるプラスチックの使い方,	内閣府総合知シンポジウム, プラスチックサーキュラーエコノミーの社会実装にむけて	2024/9/1
122	片田直伸	鳥取大学	ゼオライトの触媒機能	第 18 回触媒道場, 松山, 愛媛大学城北キャンパス, 基礎講座 1	2024/9/2
123	Naonobu Katada	鳥取大学	Rational approaches to a carbon-neutral world and the contributions of researches by the Japan Petroleum Institute members,	The Japan Petroleum Institute Symposium, Tokyo, Ito International Research Center, The University of Tokyo	2024/9/26
124	萩原和彦	コスモ石油	Catalytic Cracking Evaluation of Mixed Plastics	第 17 回日中韓石油技術会議	1905/7/16

125	加茂 徹	早稲田大学	サーキュラーエコノミーにおけるプラスチックの循環利用	第119回海洋技術連絡会講演会	2024/12/1
126	加茂 徹	早稲田大学	廃プラスチックリサイクル技術の最新動向と将来展望	AndTech	2024/12/1
127	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボン時代のプラスチックの循環利用	CMC リサーチ	2025/1/1
128	加茂 徹	早稲田大学	ミライをツクル 包装と循環の技術	包装技術	2025/1/1
129	加茂 徹	早稲田大学	最新！ 廃プラスチックリサイクル技術と循環利用法 -サーキュラーエコノミー対応への課題、国内外・業界別の動向、CFRP、欧州 ELV 規制の行方-	日刊工業新聞社	2025/2/1
130	Naonobu Katada	鳥取大学	Recycling of waste plastics without consumption of other materials: Shape selective cracking of polyolefin on H-MFI zeolite catalyst with recovery of cyclooctane solvent,	The 33rd Saudi-Japan Joint Symposium, Dhahran, KFUPM Dhahran Techno Valley, Innovation Cluster Bldg.	2025/2/10
131	加茂 徹	早稲田大学	ゼロカーボン社会におけるプラスチックの循環利用法とその課題	日本海洋教育学会第2回大会	2025/3/1
132	萩原和彦	コスモ石油	石化収率向上に向けた廃プラ触媒分解油の FCC 処理検討	2025 年度 JPEC フォーラム	1905/7/17
133	片田直伸	鳥取大学	溶媒中での強酸性ゼオライト触媒によるポリオレフィン分解の特徴と形状選択的の反応への発展	石油学会東北支部講演会・有機資源循環触媒研究会セミナー	2025/6/27

## 【外部発表】

### (a) 学会発表 国際会議

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	査読	発表年月
1	Risa Furuta, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Polymerization of tetrahydrofuran over various solid acid catalysts	Pacificchem 2021	無	2021/12/15-20
2	Satoshi Suganuma, Kazuki Nakajima, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Mechanism of tetralin conversion to benzene and its derivatives on zeolites	Pacificchem 2021	無	2021/12/15-20
3	Yuya Kawatani, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji, Naonobu Katada	鳥取大学	Reactant Shape Selectivity Found in Polypropylene Pyrolysis with Alkane Solvent on Zeolite Catalyst	IZC2022 (20th International Zeolite Conference)	無	2022/7/1
4	Hiroki Masuda, Yuya Kawatani, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji, Naonobu Katada	鳥取大学	Study on Reaction Condition Dependences of Zeolite-catalyzed Polyolefin Pyrolysis towards Practical Application	TOCAT9	無	2022/7/1
5	Akiho Otsuka, Keigo Kanehara, Hitoshi	鳥取大学	Enhancement of Toluene Yield in	IZC2022 (20th International	無	2022/7/5

	Matsubara, Taiga Sakamoto, Etsushi Tsuji, Satoshi Suganuma and Naonobu Katada,		Methylation of Benzene with Methane on Co/MFI Zeolite by Mechanism-based Design of Reaction Conditions	Zeolite Conference)		
6	Naonobu Katada, Moeri Fukui, Yu Moriwaki, Manami Matsuo, Harumi Ikuta, Nanako Yuza, Akihiro Otani, Yuya Kawatani, Hiroki Masuda, Satoshi Suganuma and Etsushi Tsuji	鳥取大学	Brønsted Acid Sites in 8- and 12-rings of YFI Type Zeolite	IZC2022 (20th International Zeolite Conference)	無	2022/7/5
7	Yuya Kawatani, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Reactant Shape Selectivity Found in Polypropylene Pyrolysis with Alkane Solvent on Zeolite Catalyst	IZC2022 (20th International Zeolite Conference)	無	2022/7/6
8	Yu Moriwaki, Moeri Fukui, Manami Matsuo, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Methylation of Naphthalene Ring Catalyzed by Dealuminated YNU-5 Type Zeolite	IZC2022 (20th International Zeolite Conference)	無	2022/7/7
9	Yu Moriwaki, Moeri Fukui, Manami Matsuo, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Catalytic Activities of 12-ring Zeolites for Methylation of Naphthalene	TOCAT9	無	2022/7/25
10	Sayaka Sekino, Kazuki Nakajima, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Tetralin Conversion into Benzene and Its Derivatives on Mo- loaded *BEA Zeolite	TOCAT9	無	2022/7/26
11	Taiga Sakamoto, Akiho Otsuka, Hitoshi Matsubara, Masaya Yasuda, Etsushi Tsuji, Satoshi Suganuma and Naonobu Katada,	鳥取大学	Quantification of Products by BID-GC and Enhancement of Selectivity by Pressure Elevation in Direct Methylation of Benzene with Methane on Co/MFI	TOCAT9	無	2022/7/26
12	Akiho Otsuka, Keigo Kanehara, Hitoshi Matsubara, Etsushi Tsuji, Satoshi Suganuma and Naonobu Katada,	鳥取大学	Enhancement of Toluene Yield in Methylation of Benzene with Methane Catalyzed by Co/MFI Zeolite	TOCAT9	無	2022/7/26
13	Yuya Kawatani, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Effect of Pore Size and Solvent Molecular Size on Polyolefin Pyrolysis Catalyzed by Solid Acid,	TOCAT9	無	2022/7/26
14	Hiroki Masuda, Yuya Kawatani, Satoshi Suganuma, Etsushi	鳥取大学	Study on Reaction Condition Dependences of Zeolite-catalyzed	TOCAT9	無	2022/7/26

	Tsuji and Naonobu Katada,		Polyolefin Pyrolysis towards Practical Application			
15	Hiroki Masuda, Yuya Kawatani, Tomohiro Fukumasa, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji, and Naonobu Katada,	鳥取大学	Reactant Shape Selectivity for Polyolefin Pyrolysis Catalyzed by Zeolite	5th Euro-Asia Zeolite Confence	無	2023/2/7
16	Manami Matsuo, Yu Moriwaki, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Catalytic Activity of YFI-type Zeolite for Isomerization and Methylation of Naphthalene Derivatives	5th Euro-Asia Zeolite Confence	無	2023/2/7
17	Tomohiro Fukumasa, Hiroki Masuda, Yuya Kawatani, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji, Naonobu Katada	鳥取大学	Polypropylene Pyrolysis with Recycling of Solvent in Zeolite Micropores	The 19th Korea-Japan Symposium on Catalysis	無	2023/5/1
18	Hiroki Masuda, Yuya Kawatani, Tomohiro Fukumasa, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada	鳥取大学	Reactant Shape Selectivity for Polyolefin Pyrolysis Catalyzed by Zeolite	FEZA2023	無	2023/7/1
19	Manami Matsuo, Yu Moriwaki, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Catalytic Activity of YFI-type Zeolite for Methylation and Isomerization of Naphthalene Derivatives	FEZA2023	無	2023/7/3
20	Naonobu Katada, Nobuki Ozawa, Akiho Otsuka, Taiga Sakamoto, Kirari Umezawa, Shota Omori, Hitoshi Matsubara, Koshiro Nakamura, Keigo Kanehara, Peidong Hu, Kenta Iyoki, Etsushi Tsuji, Satoshi Suganuma, Momoji Kubo and Toru Wakihar,	鳥取大学	Activation Barrier for Benzene Methylation with Methane Lowered by Strong Benzene Adsorption,	FEZA2023	無	2023/7/5
21	M. Matsushita, T. Kamo, M. Sakai, M. Matsukata	Waseda University	Catalytic decomposition of polypropylene in petroleum-based solvents	8th Asia-Oceania Conference on Green and Sustainable Chemistry	無	2023/11/1
22	M. Matsushita, E. Miura, T. Kamo, M. Sakai, M. Matsukata	Waseda University	Polyethylene Decomposition over Zeolite Catalysts in Hydrocarbon Solvents	8th Asia-Oceania Conference on Green and Sustainable Chemistry	無	2023/11/1
23	Tomohiro Fukumasa, Hiroki Masuda, Yuya Kawatani, Satoshi	鳥取大学	Polypropylene Cracking Proceeding in	32nd Annual Saudi-Japan Symposium	無	2023/12/1

	Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada		Micropores of MFI Type Zeolite			
24	Tomohiro Fukumasa, Hiroki Masuda, Yuya Kawatani, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Polypropylene Cracking Proceeding in Micropores of MFI Type Zeolite,	18th ICC (International Catalysis Congress), MON-POST01- 440	無	2024/7/15
25	Ryota Kato, Manami Matsuo, Yu Moriwaki, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Shape selectivity for naphthalene ring methylation generated by chemical vapor deposition of silica on YFI type (YNU-5) zeolite,	18th ICC (International Catalysis Congress), TUE-POST02-2	無	2024/7/16
26	Nobuki Ozawa, Etsushi Tsuji, Keigo Kanehara, Taiga Sakamoto, Hitoshi Matsubara, Naonobu Katada and Momoji Kubo	鳥取大学	Relationship between Al – Al distance and catalytic activity for benzene methylation in Co/MFI zeolite: A periodic DFT study,	ZMPC2024 (International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals)	無	2024/7/24
27	Ryota Kato, Manami Matsuo, Yu Moriwaki, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada	鳥取大学	Shape Selectivity for Naphthalene Ring Methylation Generated by Chemical Vapor Deposition of Silica on YFI Type (YNU-5) Zeolite	ZMPC2024 (International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals)	無	2024/7/24
28	Takuya Matsuda, Etsushi Tsuji and Nanobu Katada,	鳥取大学	Alkali-silver Ion Exchange Property of Zeolite	20th Japan- Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/20
29	Haseeb Shafqat, Yusei Kato, Ayaka Matsunaga, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada	鳥取大学	Hybrid Catalyst Design for Efficient CO <sub>2</sub> -to- Gasoline Conversion Using Na/ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> and ZSM-5	20th Japan- Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/20
30	Yusei Kato, Ayaka Matsunaga, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada	鳥取大学	Influence of Pressure on CO <sub>2</sub> to Hydrocarbon Reaction over Sodium Ferrite- MFI Type Zeolite Mixture	20th Japan- Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/20
31	Ikuto Nakashita, Tomohiro Fukumasa, Ryusei Hashiguchi, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Reactivity of Cyclooctane on MFI Type Zeolite	20th Japan- Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/20
32	Eri Hattori, Ryota Kato, Takuya Matsuda, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Post-synthesis Treatments of YFI Type Zeolite Catalyst for Naphthalene Ring Methylation	20th Japan- Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/20
33	Shinichiro Matsushita, Ryusei Hashiguchi, Tomohiro Fukumasa, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada	鳥取大学	Effect of Porous Property of Zeolite Catalyst on Polyolefin Cracking	20th Japan- Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/21

34	Satoshi Suganuma, Harumi Ikuta, Kiyotaka Nakajima, Etsushi Tsujia and Naonobu Katada,	鳥取大学	Hydrogenation of Pyroglutamic Acid Catalyzed by YFI Zeolite-supported Ruthenium,	20th Japan-Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/22
35	Ryota Kato, Manami Matsuo, Yu Moriwaki, Moeri Fukui, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada,	鳥取大学	Methylation of Naphthalene Ring Catalyzed by YFI Zeolite	20th Japan-Korea Symposium on Catalysis	無	2025/5/22
36	Naonobu Katada, Tomohiro Fukumasa, Yuya Kawatani, Hiroki Masuda, Ikuto Nakashita, Ryusei Hashiguchi, Masanori Takemoto, Satoshi Suganuma, Etsushi Tsuji and Toru Wakihara,	鳥取大学	Solvent Recovery in Catalytic Polyolefin Cracking Using Shape Selectivity of MFI-type Zeolite,	The 21st International Zeolite Conference	無	2025/7/14-18
37	Takuya Matsuda, Etsushi Tsuji and Naonobu Katada	鳥取大学	Alkali-silver ion exchange property of zeolite,	The 21st International Zeolite Conference	無	2025/7/14-18
38	Naonobu Katada, Hayato Tamura, Takuya Matsuda, Yuya Kawatani, Yu Moriwaki, Manami Matsuo and Ryota Kato,	鳥取大学	Cs Ion Selectivity in Alkaline Form and Acid Strength in H-form Generated by Charge Delocalization on AlO <sub>4</sub> Unit in Zeolite,	The 21st International Zeolite Conference	無	2025/7/14-18

### 【外部発表】国内研究発表

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	古田理紗, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	テトラヒドロフランの重合における固体酸触媒の酸性質, 細孔特性の影響	第50回石油・石油化学討論会 熊本大会	2020/11/12
2	稲田凌介, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	モリブデン酸化物モノレイヤーを触媒とするナフタレンからテトラリンへの部分水素化反応	第50回石油・石油化学討論会 熊本大会	2020/11/12
3	胡摩智英, 中野史哉, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	実減圧軽油中のアルキル多環芳香族の脱アルキル化活性に対するアルミナ担持シリカモノレイヤー触媒の担体の影響	第50回石油・石油化学討論会 熊本大会	2020/11/13
4	福井萌麗, 山本花菜, 森脇優, 淺沼開, 稲垣怜史, 窪田好浩, 辻悦司, 菅沼学	鳥取大学	脱アルミニウム YNU-5 ゼオライトの酸性質	第36回ゼオライト研究発表会	2020/11/20

	史, 片田直伸,				
5	坪川翔, 中村浩史郎, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	Pb/MFI ゼオライトを触媒とするベンゼン・トルエンのエタンによるエチル化反応	第 36 回ゼオライト研究発表会	2020/11/20
6	森脇優, 山本花菜, 福井萌麗, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	YFI 型ゼオライト合成へのスケールの影響	石油学会中国・四国支部第 38 回講演会次世代研究者セッション	2020/11/25
7	金原慶吾, 松原仁志, 中村浩史郎, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	Co/MFI ゼオライト触媒の Al 濃度がメタンによるベンゼンメチル化選択率に与える影響	石油学会中国・四国支部第 38 回講演会次世代研究者セッション	2020/11/25
8	川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ポリプロピレンの触媒分解によるナフサに相当する炭化水素の生成	第 10 回 JACI/GSC シンポジウム	2021/5/1
9	大塚明歩, 松原仁志, 金原慶吾, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	Co/MFI ゼオライトを触媒とするメタンによるベンゼンのメチル化におけるトルエン収率の向上	石油学会第 69 回研究発表会	2021/5/25
10	川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ポリプロピレンの触媒分解によるナフサに相当する炭化水素の生成	第 10 回 JACI/GSC シンポジウム	2021/6/23
11	川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ポリプロピレンの触媒分解によるナフサに相当する炭化水素の生成	第 128 回触媒討論会	2021/9/1
12	松原仁志, 金原慶吾, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	メタンによるベンゼンのメチル化反応における触媒活性点の解析	第 128 回触媒討論会	2021/9/15
13	川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ポリプロピレンの触媒分解によるナフサに相当する炭化水素の生成	第 128 回触媒討論会	2021/9/15
14	関野紗矢香, 中島一樹, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	*BEA ゼオライト担持 Mo 触媒によるテトラリン転換反応	第 128 回触媒討論会	2021/9/15
15	片田直伸, 福井萌麗,	鳥取大学	YNU-5 ゼオライトの酸性質の脱 Al による変化	第 128 回触媒討論会	2021/9/17

	森脇優, 菅沼学史, 辻悦司,				
16	松原仁志, 金原慶吾, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	メタンによるベンゼンのメチル化反応に活性な Co 種の生成条件	第 51 回石油・石油化学討論会 函館大会	2021/11/12
17	川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ゼオライト触媒によるポリオレフィンの分解における溶媒の効果	第 51 回石油・石油化学討論会 函館大会	2021/11/12
18	関野紗矢香, 中島一樹, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	二機能性触媒によるテトラリンのベンゼン誘導体への変換	第 51 回石油・石油化学討論会 函館大会	2021/11/12
19	古田理紗, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	*BEA ゼオライトを触媒とするテトラヒドロフランとアルカンジオールの共重合	第 51 回石油・石油化学討論会 函館大会	2021/11/12
20	福井萌麗, 森脇優, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	YNU-5 の酸性質に対する脱アルミニウムとイオン交換の影響	第 51 回石油・石油化学討論会 函館大会	2021/11/12
21	森脇優, 福井萌麗, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	ナフタレンのメチル化に対する 12-ring ゼオライトの触媒作用	第 51 回石油・石油化学討論会 函館大会	2021/11/12
22	萩原和彦, 豊岡義行, 高澤隆一, 林宏, 齊藤真由美, 中村博幸, 秋本淳	石油エネルギー技術センター	廃プラスチック触媒分解プロセス開発に向けた各種プラスチックの粘度特性評価	石油学会第 51 回石油・石油化学討論	2021/11/1
23	稲田凌介, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	デカヒドロナフタレンを水素供与体とする多環芳香族からベンゼン誘導体の合成	第 37 回ゼオライト研究発表会	2021/12/3
24	増田大毅・川谷優也・辻悦司・菅沼学史・片田直伸	鳥取大学	ゼオライト触媒上でのポリオレフィン分解の実用化に必要な反応条件の影響の観察	石油学会第 26 回 JPIJS ポスターセッション	2022/5/1
25	川谷優也・増田大毅・菅沼学史・辻悦司・片田直伸	鳥取大学	ポリオレフィンの触媒分解に対する共存物質の影響	石油学会第 70 回研究発表会	2022/5/1

26	坂本大河, 大塚明歩, 保田昌哉, 松原仁志, 辻悦司, 菅 沼学史, 片 田直伸,	鳥取大学	メタンによるベンゼンメチル化の 反応速度と選択性のメタン高圧 化による向上	第 26 回 JPIJS ポスター セッション	2022/5/30
27	増田大毅, 川谷優也, 辻悦司, 菅 沼学史, 片 田直伸,	鳥取大学	ゼオライト触媒上でのポリオレフィ ン分解の実用化に必要な反応条 件の影響の観察	第 26 回 JPIJS ポスター セッション	2022/5/30
28	生田遥美, 油座菜々 子, 大谷明 央, 菅沼学 史, 辻悦 司, 片田直 伸	鳥取大学	YFI 型ゼオライト担持 Ru 触媒に よるピログルタミン酸の水素化	第 26 回 JPIJS ポスター セッション	2022/5/30
29	松尾茉那 実, 森脇 優, 福井萌 麗, 菅沼学 史, 辻悦 司, 片田直 伸	鳥取大学	2-メチルナフタレンのメチル化反 応に対する脱アルミ YFI 型ゼオラ イトの触媒活性	第 26 回 JPIJS ポスター セッション	2022/5/30
30	大塚明歩, 保田晶哉, 坂本大河, 松原仁志, 辻悦司, 菅 沼学史, 片 田直伸,	鳥取大学	Co/MFI ゼオライトを触媒とするメ タン-ベンゼン反応に対する酸素 の影響	石油学会第 70 回研究 発表会	2022/5/31
31	菅沼学史, 関野紗矢 香, 辻悦 司, 片田直 伸,	鳥取大学	Mo/*BEA ゼオライトを触媒とする 1-メチルナフタレンの部分水素 化・開環	石油学会第 70 回研究 発表会	2022/5/31
32	森脇優, 松尾茉那 実, 福井萌 麗, 辻悦 司, 菅沼学 史, 片田直 伸,	鳥取大学	2-メチルナフタレンのメチル化に 対する YFI 型ゼオライトの触媒性 能と脱 Al による影響	石油学会第 70 回研究 発表会	2022/5/31
33	川谷優也, 増田大毅, 菅沼学史, 辻悦司, 片 田直伸,	鳥取大学	ポリオレフィンの触媒分解に対す る共存物質の影響	石油学会第 70 回研究 発表会	2022/5/31
34	坂本大河, 大塚明歩, 松原仁志, 辻悦司, 菅	鳥取大学	Co/MFI 触媒上でのメタンによる ベンゼンメチル化の反応速度と 選択性に対する気相組成の影響	第 130 回触媒討論会	2022/9/20

	沼学史, 片田直伸				
35	川谷優也, 増田大毅, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ポリオレフィンの触媒分解に対する共存物質の影響	第 130 回触媒討論会	2022/9/22
36	増田大毅・川谷優也・菅沼学史・辻悦司・片田直伸	鳥取大学	ポリオレフィンの触媒分解に対する共存物質の影響	第 52 回石油・石油化学討論会	2022/10/1
37	三浦えり・加茂徹・酒井求・松方正彦	早稲田大学	ゼオライト触媒を用いたノルマルセタン中のポリエチレンの触媒分解	石油学会第 52 回石油・石油化学討論会	2022/10/1
38	増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ポリオレフィンの触媒分解に対する共存物質の影響,	第 52 回石油・石油化学討論会	2022/10/27
39	坂本大河, 大塚明歩, 松原仁志, 辻悦司, 菅沼学史, 片田直伸,	鳥取大学	Co/MFI 触媒上でのメタンによるベンゼンメチル化における気相組成の制御による選択性と反応速度の向上	第 52 回石油・石油化学討論会	2022/10/28
40	辻悦司, 尾澤伸樹, 金原慶吾, 松原仁志, 大塚明歩, 菅沼学史, 久保百司, 片田直伸,	鳥取大学	メタンによるベンゼンメチル化反応に対する Co/MFI ゼオライトの Al 間距離の影響	第 52 回石油・石油化学討論会	2022/10/28
41	片田直伸・川谷優也・増田大毅・菅沼学史・辻悦司	鳥取大学	石油精製との組み合わせを指向するポリオレフィンの触媒分解	第 52 回石油・石油化学討論会、長野	2022/10/28
42	尾澤伸樹, 松原仁志, 坂本大河, 大塚明歩, 辻悦司, 菅沼学史, 久保百司, 片田直伸,	鳥取大学	Co/MFI ゼオライトを触媒とするメタンによるベンゼンメチル化の機構	第 38 回ゼオライト研究発表会	2022/12/1
43	関野紗矢香, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	Mo/Beta ゼオライト触媒による多環芳香族の部分水素化・開環	第 38 回ゼオライト研究発表会	2022/12/1

44	三浦えり・加茂徹・酒井求・松方正彦	早稲田大学	Beta ゼオライトを用いた有機溶剤中のポリエチレンの触媒分解挙動の検討	日本ゼオライト学会第38回ゼオライト研究発表会	2022/12/1
45	松尾茉那実, 森脇優, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ナフタレン誘導体の異性化・メチル化反応に対する YFI 型ゼオライトの触媒作用	第 38 回ゼオライト研究発表会	2022/12/2
46	生田遥美, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ピログルタミン酸の水素化に対するゼオライト担持 Ru 触媒の選択性の支配因子	第 38 回ゼオライト研究発表会	2022/12/2
47	増田大毅, 川谷優也, 福政智大, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ポリオレフィン分解に対するゼオライト触媒のマイクロ細孔による反応物形状選択性	第32回キャラクターゼーション講習会	2022/12/15
48	松下真大, 加茂徹, 酒井求, 松方正彦	早稲田大学	重質軽油中におけるポリプロピレン、ポリスチレン混合物の触媒分解	化学工学会第 89 年会	2023/3/1
49	片田直伸,	鳥取大学	メタンによるベンゼンメチル化触媒技術の創出	CREST「革新的触媒」領域公開成果報告会『メタン利用革新触媒創生への挑戦から生まれたもの』	2023/3/15
50	片田直伸, 尾澤伸樹, 松原仁志, 大塚明歩, 坂本大河, 梅澤季生, 大森翔太, 中村浩史郎, 金原慶吾, 胡培棟, 伊與木健太, 辻悦司, 菅沼学史, 奥村和, 久保百司, 脇原徹,	鳥取大学	Co/MFI ゼオライト上でのメタンによるベンゼンメチル化における活性点と反応機構の特徴	第 131 回触媒討論会	2023/3/16
51	田村隼央, 本多凛々, 川谷優也, 森脇優, 片田直伸,	鳥取大学	ゼオライトの酸強度と Na-Cs イオン交換平衡定数の相関,	日本化学会第 103 春季年会	2023/3/23
52	福政智大, 増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史,	鳥取大学	ゼオライトの塩基処理による特性変化解析を通じたポリプロピレン触媒分解が進行する場所の解明	石油学会第 71 回研究発表会	2023/5/1

	辻悦司, 片田直伸				
53	小林芳郎	石油エネルギー技術センター	プラスチック資源循環プロセス技術開発の概要 触媒分解プロセス概念設計の進捗状況	2023年度 JEPCフォーラム	2023/5/1
54	松下真大・加茂徹・酒井求・松方正彦	早稲田大学	炭化水素溶媒中におけるポリプロピレンの触媒分解	2023年度 JPEC フォーラム	2023/5/1
55	松下真大・加茂徹・酒井求・松方正彦	早稲田大学	石油系溶媒中におけるポリプロピレンの触媒分解	石油学会第65年会	2023/5/1
56	M. Matsushita, T. Kamo, M. Sakai, M. Matsukata	Waseda University	Decomposition of polypropylene in organic solvents using Beta-type zeolite	9th Conference of the Federation of the European Zeolite Associations	2023/6/1
57	男全匠・加茂徹・酒井求・松方正彦	早稲田大学	n-C16 溶媒中におけるポリプロピレン分解反応のための Beta ゼオライト触媒の検討	石油学会第65年会	2023/5/1
58	男全匠、加茂徹、酒井求、松方正彦	早稲田大学	炭化水素溶媒中におけるポリプロピレン分解反応のためのゼオライト触媒の開発	第12回 JACI/GSC シンポジウム	2023/6/1
59	高澤隆一	石油エネルギー技術センター	廃プラの新ケミカルリサイクル技術開発について～製油所機能を活用した完全石化原料プロセス開発～	第10回高分子学会グリーン研究会シンポジウム 第24回プラスチックリサイクル化学研究討論会合同研究発表会	2023/8/1
60	福政智大, 増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	MFI 型ゼオライトのマイクロ細孔内で進行するポリプロピレンの分解	第132回触媒討論会	2023/9/1
61	増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライト $\beta$ 触媒上でのポリオレフィン分解に対する共存物質の影響	第132回触媒討論会	2023/9/1
62	福政智大, 増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	MFI 型ゼオライトのマイクロ細孔内で進行するポリプロピレンの分解	第132回触媒討論会	2023/9/13
63	加藤凌大, 松尾茉那実, 森脇優, 菅沼学史, 辻悦	鳥取大学	シリカの化学蒸着による YFI 型ゼオライトの形状選択性の発現	第132回触媒討論会	2023/9/13

	司, 片田直伸,				
64	坂本大河, 梅澤季生, 大塚明歩, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	Co/MFI ゼオライト上でのメタンによるベンゼンメチル化における反応速度	第 132 回触媒討論会	2023/9/13
65	松尾茉那実, 森脇優, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ナフタレン誘導体の異性化・メチル化反応に対する YFI 型ゼオライトの触媒作用	第 132 回触媒討論会	2023/9/13
66	増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ゼオライト $\beta$ 触媒上でのポリオレフィン分解に対する共存物質の影響	第 132 回触媒討論会	2023/9/14
67	福政智大, 増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	MFI 型ゼオライトのマイクロ細孔内で進行するポリプロピレンの分解	石油学会大阪大会(第 53 回石油・石油化学討論会)	2023/10/1
68	増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライト $\beta$ 触媒上でのポリオレフィン分解に対する共存物質の影響	石油学会大阪大会(第 53 回石油・石油化学討論会)	2023/10/1
69	松下真大, 加茂徹, 酒井求, 松方正彦	早稲田大学	重質炭化水素系溶媒中でのポリプロピレンの触媒分解	第 53 回石油・石油化学討論会	2023/10/1
70	高澤隆一, 秋本淳, 中村博幸, 小林芳郎	石油エネルギー技術センター	廃プラの新ケミカルリサイクル技術開発について～製油所機能を活用した完全石化原料プロセス開発～	第 53 回石油・石油化学討論会	2023/10/1
71	川谷優也, 森脇優, 田村隼央, 片田直伸,	鳥取大学	ゼオライト骨格の酸強度と Na-Cs イオン交換平衡定数の相関	連合年会 2023 (第 36 回日本イオン交換研究発表会・第 42 回溶媒抽出討論会)	2023/10/20
72	増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライト $\beta$ 触媒上でのポリオレフィン分解に対する共存物質の影響	石油学会大阪大会(第 53 回石油・石油化学討論会)	2023/10/27
73	福政智大, 増田大毅, 川谷優也, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	MFI 型ゼオライトのマイクロ細孔内で進行するポリプロピレンの分解	石油学会大阪大会(第 53 回石油・石油化学討論会)	2023/10/27
74	加藤凌大, 松尾茉那	鳥取大学	YFI 型ゼオライトへのシリカの化学蒸着による形状選択性の発現	第 39 回ゼオライト研究発表会	2023/11/30

	実, 森脇優, 菅沼学史, 辻悦司, 片田直伸				
75	川谷優也, 森脇優, 田村隼央, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライトの酸強度と Na-Cs イオン交換特性の相関, 第 39 回ゼオライト研究発表会	第 39 回ゼオライト研究発表会	2023/11/30
76	加藤凌大, 松尾茉那実, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	不要な物質から必要な物質だけを選択的につくる: YFI 型ゼオライトへのシリカの化学蒸着による形状選択性の発現	鳥取地区化学講演会・発表会/ GSC セミナー	2023/12/4
77	松下真大, 加茂徹, 酒井求, 松方正彦	早稲田大学	重質軽油中におけるポリプロピレン、ポリスチレン混合物の触媒分解	化学工学会第 89 年会	2024/3/1
78	鈴木貴	カーボンニュートラル燃料技術センター	触媒分解反応に及ぼす反応因子の検討	2024 年 JPEC フォーラム	2024/5/1
79	高澤隆一	カーボンニュートラル燃料技術センター	プラスチック中の充填材等の除去方法の開発	2024 年 JPEC フォーラム	2024/5/1
80	萩原和彦	コスモ石油	混合プラスチックの触媒分解評価	2024 年 JPEC フォーラム	2024/5/1
81	橋口竜聖, 増田大毅, 福政智大, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	炭化水素共存下での熱処理による含酸素高分子の液化	第 28 回 JPIJS ポスターセッション	2024/5/28
82	松田拓也, 松尾茉那実, 加藤凌大, 谷保志斗, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ゼオライトのアルカリ・銀イオン交換作用	第 28 回 JPIJS ポスターセッション	2024/5/28
83	松尾茉那実, 森脇優, 加藤凌大, 片田直伸, 辻悦司,	鳥取大学	YFI 型ゼオライトの酸性質とナフタレン環メチル化・トランスメチル化に対する触媒機能	石油学会第 72 回研究発表会	2024/5/29
84	今井祐介, 杉本慶喜, 中里哲也, 重田香織, 槇納好岐, 加茂徹	早稲田大学	炭素繊維強化プラスチック (CFRP) リサイクル材の評価技術	自動車技術	2024/9/1
85	中下生翔, 福政智大, 橋口竜聖,	鳥取大学	プラスチックのケミカルリサイクルに向けたゼオライト触媒による溶	第 18 回触媒道場	2024/9/3

	辻悦司, 片田直伸		媒中でのポリプロピレン選択分解に対する異種プラスチックの影響		
86	松下真一郎, 福政智大, 橋口竜聖, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	プラスチックのケミカルリサイクルのためのゼオライトの物理化学特性と実廃プラスチック分解に対する触媒活性の相関解析	第 18 回触媒道場	2024/9/3
87	加藤凌大, 松尾茉那実, 森脇優, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	シリカ被覆 YFI 型ゼオライトを触媒とする 2-メチルナフタレンの形状選択的メチル化	第 134 回触媒討論会	2024/9/18
88	福政智大, 松尾茉那実, 森脇優, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライトのシリカ塩基処理による特性変化解析を通じたポリプロピレン分解反応の進行する場所の解明	第 134 回触媒討論会	2024/9/20
89	片田直伸, 福政智大, 増田大毅, 辻悦司,	鳥取大学	炭化水素溶媒中での酸型ゼオライトを触媒とするポリオレフィンのクラッキングの特徴と溶媒回収を可能にする形状選択性	第 73 回高分子討論会 新潟大会	2024/9/25
90	高澤隆一	カーボンニュートラル燃料技術センター	使用済みプラの新ケミカルリサイクル技術開発について～プラスチック中の充填材等の除去方法の開発～	第 73 回高分子討論会 新潟大会	2024/9/1
91	鈴木貴	カーボンニュートラル燃料技術センター	廃プラの新ケミカルリサイクル技術開発について(第2報)～触媒分解工程における反応条件検討～	石油学会広島大会(第54回石油・石油化学討論会)	2024/11/1
92	高澤隆一	カーボンニュートラル燃料技術センター	廃プラの新ケミカルリサイクル技術開発について(第3報)～触媒分解工程における攪拌混合条件検討～	石油学会広島大会(第54回石油・石油化学討論会)	2024/11/1
93	萩原和彦	コスモ石油	Catalytic Cracking Evaluation of Mixed Plastics	第 17 回日中韓石油技術会議	2024/11/1
94	橋口竜聖, 福政智大, 増田大毅, 辻悦司, 片田直伸,	鳥取大学	ゼオライト Beta を触媒とするポリオレフィン分解および実廃プラスチック化学リサイクルに対する夾雑物の影響	石油学会広島大会(第54回石油・石油化学討論会)	2024/11/28
95	加藤凌大, 松尾茉那実, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	YFI 型ゼオライト触媒へのシリカの化学蒸着による 2-メチルナフタレンメチル化における 2,6-ジメチルナフタレン選択性の向上	石油学会広島大会(第54回石油・石油化学討論会)	2024/11/29
96	松田拓也, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライトのアルカリ・銀イオン交換作用	石油学会広島大会(第54回石油・石油化学討論会)	2024/11/29
97	橋口竜聖, 福政智大, 松下真一郎, 辻悦	鳥取大学	ゼオライト Beta 上でのポリオレフィン分解速度への物性と条件の影響	吸着-ゼオライト合同研究発表会(第40回ゼオライト研究発表会)	2024/12/2

	司, 片田直伸				
98	福政智大, 増田大毅, 竹本晶紀, 辻悦司, 脇原徹, 片田直伸,	鳥取大学	水熱条件下でのシリカアルカリ処理による MFI 型ゼオライトの特性変化	吸着-ゼオライト合同研究発表会 (第 40 回ゼオライト研究発表会)	2024/12/2
99	片田直伸, 加藤凌大, 福政智大, 辻悦司	鳥取大学	ガス吸着からのゼオライトの質の評価法	吸着-ゼオライト合同研究発表会 (第 37 回吸着学会研究発表会)	2024/12/4
100	萩原和彦	コスモ石油	石化収率向上に向けた廃プラ触媒分解油の FCC 処理検討	2025 年度 JPEC フォーラム	2025/5/
101	松下真一郎, 橋口竜聖, 福政智大, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライトの特性の実廃プラスチック触媒分解への影響	第 67 回石油学会研究発表会	2025/5/27
102	福政智大, 松下真一郎, 片田直伸, 辻悦司	鳥取大学	アンモニア赤外/質量分析昇温脱離とシリカ化学蒸着の組み合わせによるゼオライトのマイクロ細孔内と外表面上それぞれの酸点の種類・数・強度の解析法の開発	第 67 回石油学会研究発表会	2025/5/27
103	松田拓也, 辻悦司, 片田直伸	鳥取大学	ゼオライトのアルカリ・銀イオン交換作用	第 67 回石油学会研究発表会	2025/5/27

## ・石油化学原料化プロセス開発（液相分解）

### 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内・国外・PCT	出願日	状態	名称
1			国内		出願中	
2			国内		出願中	

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Qingxin Zheng, Yoshiaki Suga, Yu Su, Hiroya Yamaguchi, Masaru Watanabe	Tohoku University	Simultaneous Material and Chemical Recycling of Waste PET/PE Multi-Layer Films under Hydrothermal Conditions	Angewandte Chemie, Volume63, Issue44, October 24, 2024, e202410888	有	2024年9月
2	Yu Su, Qingxin	Tohoku University	Measurement of solubility of	The Journal of Supercritical	有	2024年12月

	Zheng, Yoshiki Suga, Masaru Watanabe		terephthalic acid in water under hydrothermal conditions	Fluids, Volume 218, April 2025, 106497		
3	佐藤修、日吉 範人、山口有 朋	産業技術 総合研究 所	水だけを用いた PET のケミ カルリサイクル技術	プラスチック (日 本工業出版株式会 社)	有	2023 年 10 月

## 【外部発表】

### (a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	佐藤修	産業技術総 合研究所	高温水を用いたプラスチック 類のケミカルリサイクル技術	テクノブリッジフェア in 東北	2023 年 2 月
2	Qingxin Zheng, Yoshiki Suga, Hiroya Yamaguchi, Masaru Watanabe	Tohoku University	Simultaneous material and chemical recycling of PET/PE multi-layer film using a semi-batch hydrothermal system	19th European Meeting on Supercritical fluids	2023 年 5 月
3	Yu Su, Qingxin Zheng, Masaru Watanabe	Tohoku University	Measurement of Terephthalic Acid (TPA) Solubility under Hydrothermal Condition	令和 5 年度化学系学協 会東北大会および日本 化学会東北支部 80 周 年記念国際会議	2023 年 9 月
4	Yoshiki Suga, Qingxin Zheng, Masaru Watanabe	Tohoku University	Study of hydrothermal degradation behavior of PET/PE mixed film by using a semi-batch system	令和 5 年度化学系学協 会東北大会および日本 化学会東北支部 80 周 年記念国際会議	2023 年 9 月
5	須賀善規、鄭 慶新、渡邊賢	東北大学	半回分装置を用いた PET/ PE フィルムの水熱反応挙動 の解析	化学工学会第 54 回秋 季大会	2023 年 9 月
6	山口有朋、 山崎清行、 日吉範人、 佐藤修	産業技術総 合研究所	異種プラスチックのバイブ リッドリサイクル (ケミカル リサイクルとマテリアルリ サイクル)	第 132 回触媒討論会	2023 年 9 月
7	佐藤修、山 崎清行、日 吉範人、山 口有朋	産業技術総 合研究所	高温水による異種多層プラ スチックの剥離処理	第 132 回触媒討論会	2023 年 9 月
8	山口有朋	産業技術総 合研究所	化学法によるケミカルサイ クル	石油化学部会シンポジ ウム	2023 年 12 月
9	佐藤修、日 吉範人、村 松なつみ、 山崎清行、 山口有朋	産業技術総 合研究所	リサイクルプロセス開発を 目的とした PET/PE 複合フ ィルムの水熱処理	化学工学会第 89 年会	2024 年 3 月
10	A. Yamaguchi, K. Yamazaki, N. Hiyoshi and O. Sato	産業技術総 合研究所	Development of recycling technology for multilayer plastic film	18th International Congress on Catalysis (18 ICC)	2024 年 7 月

11	A. Yamaguchi, K. Yamazaki, N. Hiyoshi and O. Sato	産業技術総 合研究所	Simultaneous chemical and material recycling for multilayer plastic film	10th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation (WasteEng2024)	2024年8月
12	A. Yamaguchi	産業技術総 合研究所	Recent progress of chemical recycling technology in AIST	2024 Taiwan Chemical Industry Forum	2024年9月
13	山口有朋、 山崎清行、 日吉範人、 佐藤 修	産業技術総 合研究所	リサイクルに向けた各種プラ スチックの高温水中での挙動 解明	第134回触媒討論会	2024年9月
14	山口有朋	産業技術総 合研究所	プラスチックのケミカルリサ イクル	金沢工大・産総研先 端複合材料 BIL マル チマテリアル シンポ ジウム	2024年10月
15	山口有朋	産業技術総 合研究所	プラスチックのケミカルリサ イクル技術の開発	資源循環利用技術シン ポジウム	2024年11月
16	山口有朋	産業技術総 合研究所	資源循環・ケミカルリサイク ルに関する産総研の取り組み	産業技術連携推進会議 (産技連) ナノテクノ ロジー・材料部会総会	2025年1月
17	A. Yamaguchi, K. Taniguchi, K. Yamazaki, N. Hiyoshi and O. Sato	産業技術総 合研究所	Depolymerization of polymers into monomers in high-temperature water	1st Catalytic Biorefinery International Conference (CBIC2025)	2025年2月
18	山口有朋	産業技術総 合研究所	プラスチックのケミカルリサ イクル	大分県講演会～化学プ ロセス・醸造～	2025年2月

(b) 受賞

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	Yu Su, Qingxin Zheng, Masaru Watanabe	Tohoku University	Measurement of Terephthalic Acid (TPA) Solubility under Hydrothermal Condition	令和5年度化学系学協会 東北大会および日本化学 会東北支部80周年記念 国際会議	2024年9月

・高効率エネルギー回収・利用システム開発

【特許】

番 号	出願者	出願番号	国内・国外・ PCT	出願日	状態	名 称
1			国内		出願中	
2			国内		出願中	

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Hiroshi Naganuma, Takehito Mori, Sho Watanabe, Akihiro Sawada, Taeko Goto, Yasuaki Ueki, Ryo Yoshiie, Ichiro Naruse	東北発電工業、名古屋大学	Ash deposition mechanisms in Waste-to-Energy plants	Mechanical Engineering Journal (Advances in Research and Development of Power and Energy Systems), pp. 21-00435-21-00435	有	2022/08
2	Andrei Veksha, Yuxin Wang, Jun Wei Foo, Ichiro Naruse, Grzegorz Lisak	Nanyang Technological University, Nagoya University	Defossilization and decarbonization of hydrogen production using plastic waste: Temperature and feedstock effects during thermolysis stage	Journal of Hazardous Materials, 131270	有	2023/06
3	Yuxin Wang, Boon Peng Chang, Andrei Veksha, Aleksandr Kashcheev, Alfred ling Yoong Tok, Vitali Lipik, Ryo Yoshiie, Yasuaki Ueki, Ichiro Naruse, Grzegorz Lisak,	Nagoya University, Nanyang Technological University	Processing plastic waste via pyrolysis-thermolysis into hydrogen and solid carbon additive to ethylene-vinyl acetate foam for cushioning applications	Journal of Hazardous Materials, 132996	有	2024/02
4	Hiroshi NAGANUMA, Takehito MORI, Sho WATANABE, Akihiro SAWADA, Taeko GOTO, Yasuaki UEKI, Ryo YOSIIE, Ichiro NARUSE	Tohoku Electric Power Engineering & Construction, Co., Inc., Nagoya University	Ash deposition and corrosion mechanisms of tubes in Waste-to-Energy plants	Mechanical Engineering Journal, p. 23-00486	有	2024/03
5	長沼宏、森岳人、成瀬一郎	東北発電工業、名古屋大学	固体燃料装置における灰付着・高温腐食の機構と対策	工業加熱, pp. 20-25	有	2024/07
6	Shuai Li, Hongyun Hu, Chan Zou, Lu Dong, Yongda Huang, Huan Liu, Ichiro Naruse, Hong Yao	華中科学技術大学、名古屋大学	Influence mechanism of chlorine on arsenic release and transformation during municipal solid waste incineration	Proceedings of the Combustion Institute, 105586	有	2024/08
7	Hiroyuki Kumano	青山学院大学	Effects of solutes and additives on ice growth prevention in ice slurry production	International Journal of Refrigeration, 389-398	有	2024/10
8	Yuhao Liu, Aijun Li, Guangzhao Guo, Junwei Zhang, Yang Ren, Lu Dong, Lifang Gong, Hongyun Hu, Hong Yao, Ichiro Naruse	華中科学技術大学、名古屋大学	Comparative life cycle assessment of organic industrial solid waste co-disposal in a MSW incineration plant	Energy, 132322	有	2024/10
9	Yuxin Wang; Andrei Veksha; Joel Ong; Yasuaki Ueki; Ryo Yoshiie; Ichiro Naruse; Grzegorz Lisak	Nagoya University, Nanyang Technological University	The role of post-pyrolysis carbon dioxide capture in hydrogen recovery from waste-derived pyrolysis gas	Fuel, 133293	有	2025/02

## 【外部発表】

### (a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	稲田孝明	東京電機大学	氷スラリー攪拌時のオストワルドライプニング抑制	日本電熱学会創立 60 周年記念 第 58 回日本電熱シンポジウム	2021/05
2	Hiroshi Naganuma, Takehito Mori, Sho Watanabe, Akihiro Sawada, Taeko Goto, Yasuaki Ueki, Ryo Yoshiie, Ichiro Naruse	東北発電工業、名古屋大学	Ash deposition mechanisms in waste-to-energy plants	International Conference on Power Engineering (ICOPE-2021)	2021/10
3	長沼 宏	東北発電工業株式会社	固体燃焼における灰付着と高温腐食	第 58 回石炭科学会議	2021/10
4	Kaito Onoda, Yasuaki Ueki, Ryo Yoshie, Ichiro Naruse	名古屋大学	Molten Salt Formation Characteristics of Industrial Waste Ash and Control of Ash Deposition	International Conference on Materials and Systems for Sustainability	2021/11
5	小野田海人、植木保昭、義家亮、成瀬一郎	名古屋大学	産業廃棄物灰からの熔融塩生成特性解明と灰付着制御	日本燃焼学会第 59 回燃焼シンポジウム	2021/11
6	佐伯達哉、植木保昭、義家亮、成瀬一郎	名古屋大学	産業廃棄物灰の熔融特性の解明とその制御	日本燃焼学会第 59 回燃焼シンポジウム	2021/11
7	王 荀、新井 数馬、幡野 博之	中央大学	十字流式移動層を用いた吸着剤蓄熱システム	第 27 回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム	2021/12
8	木村 拓雅、加藤 貴大、幡野 博之	中央大学	吸着剤の流動層乾燥	第 27 回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム	2021/12
9	澤田晃宏、長沼宏、後藤妙子、森岳人、渡邊章、成瀬一郎、義家亮、植木保昭	東北発電工業、名古屋大学	NaCl による高温加速酸化機構の速度論的解析	第 17 回バイオマス科学会議	2022/01
10	堀田幹則	産業技術総合研究所	高効率エネルギー回収・利用システム開発～リサイクル困難な廃プラスチックからの高効率なエネルギー回収と冷熱利用～	第 37 回新産業技術促進検討会シンポジウム「NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト進捗報告会～プラスチック資源循環を実現する技術とは～」	2022/03
11	谷野正幸	高砂熱学	排熱の高効率利用技術／工場排熱を利用する氷蓄熱技術	NPO 法人循環型社会創造ネットワーク主催「高効率エネルギー回収・利用システム開発セミナー」	2022/07
12	成瀬一郎	名古屋大学	高効率排熱回収技術の開発／伝熱管表面改質、回収熱量増大、長寿命化	NPO 法人循環型社会創造ネットワーク主催「高効率エネルギー回収・利用システム開発セミナー」	2022/07
13	佐伯達哉、義家亮、植木保昭、成瀬一郎	名古屋大学	産業廃棄物処理炉内における灰付着制御	第 31 回日本エネルギー学会大会	2022/08
14	栗田洋祐、植木保昭、義家亮、成瀬一郎	名古屋大学	一般廃棄物灰の熔融挙動解明と灰付着制御	第 33 回廃棄物資源循環学会	2022/09
15	磯嶋将	八戸工業大学	氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機用動作流体 LiBr-H <sub>2</sub> O/1-Propanol の蒸発特性	2022 年度日本冷凍空調学会年次大会	2022/09
16	正野孝幸	八戸工業大学	氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機用新作動液の飽和特性	2022 年度日本冷凍空調学会年次大会	2022/09
17	及川慈英、新井一馬、幡野博之	中央大学	低温エネルギー貯蔵・輸送システム用吸着剤連続乾燥に関する研究	第 53 回化学工学会秋季大会	2022/09
18	澤田晃宏、長沼宏、後藤妙子、森岳人、渡邊章、成瀬一郎、	東北発電工業、名古屋大学	塩化物環境下における高温加速酸化機構の速度論的解析	日本エネルギー学会第 59 回石炭科学会議	2022/10

	義家亮、植木保昭				
19	長沼宏、後藤妙子、澤田晃宏、森岳人、渡邊章、成瀬一郎、義家亮、植木保昭	東北発電工業、名古屋大学	廃棄物系バイオマス処理プラントにおける灰付着と高温腐食機構	日本エネルギー学会第 59 回石炭科学会議	2022/10
20	鎌田美志、谷野正幸	高砂熱学	高砂熱学での熱エネルギー技術の紹介	化学工学会・88 年会・シンポジウム「熱エネルギー技術の統合による CO2 削減への挑戦」	2023/03
21	Hiroshi NAGANUMA, Takehito MORI, Sho WATANABE, Akihiro SAWADA, Taeko GOTO, Yasuaki UEKI, Ryo YOSHIIE, and Ichiro NARUSE	Tohoku Electric Power Engineering & Construction, Co., Inc., Nagoya University	Ash deposition and corrosion mechanisms of tubes in Waste-to-Energy plants	International Conference on Power Engineering-2023	2023/05
22	折田久幸	八戸工業大学	氷点下冷熱を生成する吸収冷凍機の研究歴史から学ぶカーボンニュートラルへのアプローチ	第 60 回伝熱シンポジウム	2023/05
23	栗田洋祐、義家亮、植木保昭、成瀬一郎	名古屋大学	一般廃棄物処理炉内における灰付着制御	第 32 回日本エネルギー学会大会	2023/08
24	向本舜、植木保昭、義家亮、成瀬一郎、永津伸治	名古屋大学、豊田ケミカルエンジニアリング	産業廃棄物によるエネルギーリカバリ時の灰付着制御	第 34 回廃棄物資源循環学会研究発表会	2023/09
25	谷野正幸	高砂熱学	廃プラスチックエネルギーの冷熱による高度有効利用	令和 5 年度 空気調和・衛生工学会学術講演会	2023/09
26	小山寿恵	東京電機大学	廃プラスチックエネルギーからの冷熱を用いる氷スラリー製造	2023 年度 日本冷凍空調学会 年次大会	2023/09
27	請川颯一	東京電機大学	氷スラリー製氷機で製造した氷スラリーへの PVA 添加による氷粒子の成長抑制効果	2023 年度 日本冷凍空調学会 年次大会	2023/09
28	鈴木翔太、王ジュエ、村瀬和典、幡野博之	中央大学	低温排熱有効利用のための蓄熱システム用吸着剤連続乾燥に関する研究	第 54 回化学工学会秋季大会	2023/09
29	幡野博之、王ジュエ、及川慈英、鈴木翔太、村瀬和典	中央大学	吸着剤蓄熱システムの熱発生特性に関する研究	第 54 回化学工学会秋季大会	2023/09
30	澤田晃宏、長沼宏、後藤妙子、森岳人、渡邊章、成瀬一郎、義家亮、植木保昭	東北発電工業株式会社、名古屋大学	NaCl 存在下における高温加速酸化機構の速度論的解析	日本エネルギー学会・第 60 回石炭科学会議	2023/10
31	長沼宏、後藤妙子、澤田晃宏、森岳人、渡邊章、成瀬一郎、義家亮、植木保昭	東北発電工業株式会社、名古屋大学	廃棄物燃焼条件における高温腐食機構の速度論的考察	日本エネルギー学会・第 60 回石炭科学会議	2023/10
32	小山寿恵	東京電機大学	氷スラリー中での氷粒凝集状態の評価方法の提案	第 12 回潜熱工学シンポジウム	2023/11
33	Yosuke Awata, Yasuaki Ueki, Ryo Yoshiie, Ichiro Naruse	Nagoya University	Contral of ash adhesion in municipal waste treatment furnaces	ICMaSS2023	2023/12
34	Yuxin Wang, Andrei Veksha, Grzegorz Lisak, Ryo Yoshiie,	Nagoya University, Nanyang	Two-stage thermal process for plastic waste valorization: Effects of further thermolysis of pyrolysis oil on product characteristics	ICMaSS2023	2023/12

	Yasuaki Ueki, Ichiro Naruse	Technological University			
35	大関泰知、鈴木翔太、王ジュエ、及川慈英、幡野博之、村瀬和典	中央大学	低温排熱有効利用に向けた吸着剤蓄熱システムの研究-吸着剤特性と蓄熱性能	流動層に関する学生オンライン発表会 2023	2023/12
36	王ジュエ、及川慈英、大関泰知、鈴木翔太、幡野博之、村瀬和典	中央大学	蓄熱システムにおける吸着剤熱発生特性に関する研究	流動層に関する学生オンライン発表会 2023	2023/12
37	鈴木翔太、王ジュエ、村瀬和典、幡野博之	中央大学	蓄熱システムの吸着剤連続乾燥特性	流動層に関する学生オンライン発表会 2023	2023/12
38	谷野正幸	高砂熱学	廃プラスチックエネルギー有効利用のための総合熱利用システム評価技術の開発 ～第1報 オフライン熱輸送の大都市エリアでの評価事例～	第40回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス/エネルギー資源学会	2024/1
39	増田正夫	高砂熱学	廃プラスチックエネルギー有効利用のための総合熱利用システム評価技術の開発 ～第2報 離島エリアでの評価事例～	第40回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス/エネルギー資源学会	2024/01
40	森岳人、長沼宏、堀田幹則、成瀬一郎	東北発電工業株式会社、産業総合技術研究所、名古屋大学	廃棄プラスチックエネルギーの高度有効利用 第1報:伝熱管の表面改質技術	化学工学会第89年会	2024/03
41	竹内壮志、成瀬一郎、義家亮、植木保昭	名古屋大学	各種熱硬化性樹脂の水蒸気ガス化学動の解明	日本機械学会東海学生会 第55回学生員卒業研究発表講演会	2024/03
42	鎌田美志	高砂熱学	廃棄プラスチックエネルギーの高度有効利用 第2報 排熱の冷熱利用技術	化学工学会第89年会	2024/03
43	Yuta Komiya	青山学院大学	Effect of pipe shape on flow characteristics of ice slurry with dilute agglomeration inhibitor	The 11th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning	2024/04
44	澤田晃宏、長沼宏、後藤妙子、森岳人、山崎拓矢、成瀬一郎、義家亮、植木保昭	東北発電工業株式会社、名古屋大学	塩化物存在下における高温加速酸化機構の解析	材料と環境 2024	2024/06
45	長沼宏、後藤妙子、澤田晃宏、森岳人、山崎拓矢、成瀬一郎、義家亮、植木保昭	東北発電工業株式会社、名古屋大学	廃棄物燃焼条件におけるアルカリ塩化物による加速酸化機構	材料と環境 2024	2024/06
46	向本舜、出町豊子、植木保昭、成瀬一郎、義家亮	名古屋大学、岐阜大学	産業廃棄物によるエネルギーリカバリ時の灰溶融挙動および灰付着制御	第33回日本エネルギー学会大会	2024/08
47	尾上隼翔、出町豊子、植木保昭、成瀬一郎、義家亮	名古屋大学、岐阜大学	産業廃棄物処理炉内における灰付着制御	化学工学会第55回秋季大会	2024/09
48	新居大生、出町豊子、植木保昭、成瀬一郎、義家亮	名古屋大学、岐阜大学	産業廃棄物処理炉内における灰付着機構の解明とその制御	第35回廃棄物資源循環学会研究発表会	2024/09
49	小山寿恵	東京電機大学	廃プラスチックエネルギーの高度有効冷熱利用	2024年度 日本冷凍空調学会 年次大会	2024/09
50	谷野正幸	高砂熱学	廃プラスチックエネルギーの氷スラリーによる冷熱での高度有効利用	令和6年度 空気調和・衛生工学会大会	2024/09

51	谷野正幸	高砂熱学	廃プラスチックエネルギーの高度有効冷熱利用 第1報：熱駆動型氷スラリー製氷機の開発	2024年度日本冷凍空調学会年次大会	2024/09
52	千葉祐聖	八戸工業大学	3kW氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機実験	化学工学会第55回秋季大会	2024/09
53	佐藤恵	八戸工業大学	氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機の冷媒循環挙動の検討	化学工学会第55回秋季大会	2024/09
54	長沼宏, 後藤妙子, 澤田晃宏, 森岳人, 小坂祥枝, 成瀬一郎	東北発電工業株式会社, 名古屋大学	廃棄物処理プラントにおける灰付着・高温腐食の低減技術	日本エネルギー学会・第61回石炭科学会議	2024/10
55	渡辺拓登正	青山学院大学	アイススラリー中における氷粒子の凝集力評価	日本機械学会熱工学コンファレンス2024	2024/10
56	石垣匠	青山学院大学	氷粒子の速度分布に基づくアイススラリーの流動様相の分類	水蒸気性質シンポジウム	2024/10
57	小山寿恵	東京電機大学	氷スラリーに含まれる氷粒子の凝集状態を評価する方法に関する検討	第13回潜熱工学シンポジウム	2024/11
58	鈴木翔太, 村瀬和典, 三苫好治, 幡野博之	中央大学	低温排熱利用のための吸着剤蓄熱システムに関する研究	第30回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム	2024/12
59	幡野博之, 村瀬和典	中央大学	吸着剤蓄熱システムを用いた熱と低露点空気の同時製造	第30回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム	2024/12
60	Yuta Komiya	青山学院大学	Effect of Solute Concentration and Pipe Geometry on Flow Characteristics of Ice Slurry	The 3rd Pacific Rim Thermal Engineering Conference	2024/12
61	増田正夫	高砂熱学	廃プラスチックエネルギー有効利用のための総合熱利用システム評価技術の開発～第3報 地方都市エリア等での評価事例～	エネルギー資源学会/第41回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス	2025/01
62	鎌田美志	高砂熱学	廃プラスチックエネルギーの高度有効利用-排熱による製氷技術の漁港への適用検討-	化学工学会第90年会	2025/03
63	正野孝幸	八戸工業大学	Development of an absorption refrigeration system that produces subzero cold energy.	International Chemical Engineering Symposia 2025	2025/03
64	折田久幸	八戸工業大学	カーボンニュートラル社会を目指す各種エネルギーソースのあるべき姿	JABEE-日工教共催「国際的に通用する技術者教育ワークショップシリーズ」第21回	2025/03

## (b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	名古屋大学	二酸化炭素の排出総量とその価値	中部電力技術開発ニュース	2021/08
2	東北発電工業株式会社	廃プラスチックエネルギーの高度有効利用-I-高温排熱の有効利用	化学装置1月号特集「カーボンニュートラル(低炭素)とエネルギーを考える」	2022/01
3	中央大学	廃プラスチックエネルギーの高度有効利用-II-低温排熱の有効利用	化学装置1月号特集「カーボンニュートラル(低炭素)とエネルギーを考える」	2022/01
4	高砂熱学、名古屋大学、産業技術総合研究所、東北発電工業、中央大学、八戸工業大学、東京電機大学	廃プラスチックエネルギーの高度有効利用	高砂熱学イノベーションセンター報	2023/03
5	高砂熱学、八戸工業大学、東京電機大学	氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機を用いた熱駆動型氷スラリー製氷機の研究開発	日本冷凍空調学会誌	2024/04
6	高砂熱学、名古屋大学、産業技術総合研究所、東北発電工業、中央大学、八戸工業大学、東京電機大学、青山学院大学	廃プラスチックエネルギーの高度有効利用	高砂熱学イノベーションセンター報	2024/05
7	八戸工業大学、東京電機大学、高砂熱学工業	温水から氷をつくれ！ 実験見学会	ネット：NEDO、八工大、日経クロステック、TBS NEWS DIG 新聞：デーリー東北 5/30,p.16, 東奥日報 5/30,p.20, 建設通信新聞 5/30,p.3, 熱産業新聞 6/25,p.2, 日経新聞 7/2,p.17	2024/05

			TV : ATV 青森テレビ 5/29 わっちニュース	
8	八戸工業大学	八戸工業大学のカーボンニュートラル教育	化学工学会東北支部ニュースレター	2024/07
9	八戸工業大学、高砂熱学、東京電機大学、NEDO	温水から氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機と氷スラリー製造機を組み合わせた「熱リサイクルパッケージ」	クリーンエネルギー11月号, 日本工業出版	2024/11
10	高砂熱学、名古屋大学、産業技術総合研究所、東北発電工業、中央大学、八戸工業大学、東京電機大学、青山学院大学	廃プラスチックエネルギーの高度有効利用	高砂熱学イノベーションセンター報	2025/05

### (c) その他

番号	所属(氏名)	タイトル	機関名等	発表年月
1	名古屋大学 (成瀬一郎)	令和3年度地域環境保全功労者	環境省	2021/06
2	名古屋大学 (Kaito Onoda, Yasuaki Ueki, Ryo Yoshie, Ichiro Naruse)	Outstanding Presentation Award	International Conference on Materials and Systems for Sustainability	2021/11
3	名古屋大学 (成瀬一郎)	廃プラスチックエネルギーの高度有効利用	技術情報センター講習会	2023/10
4	中央大学 (幡野博之)	新しい蓄熱システムで温熱から氷点下冷熱まで供給します	国際粉体工業展大阪 2023	2023/10
5	名古屋大学 (成瀬一郎)	熱技術賞	谷川熱技術振興基金	2023/11
6	名古屋大学 (栗田洋祐)	日本エネルギー学会奨励賞 (一般廃棄物処理炉内における灰付着制御)	日本エネルギー学会	2024/02
7	八戸工業大学 (折田久幸)	低温排熱を利用した熱駆動冷凍機システムの開発	公益財団法人八戸地域高度技術振興センター主催八戸工業大学「研究室めぐり」	2024/02
8	八戸工業大学 (折田久幸)	南部地方のカーボンニュートラルに関する研究	青森県新産業創造課主催研究シーズプレゼン会	2024/02
9	東北発電工業株式会社 (長沼宏)	灰付着低減技術	第8回ゼロエミッション火力発電 EXPO	2024/02
10	八戸工業大学 (折田久幸)	カーボンニュートラル (CN) 実現に資する本学の取組	八戸工業大学教育研究後援会	2024/03
11	八戸工業大学、高砂熱学、東京電機大学 (折田久幸、谷野正幸、小山寿恵)	温水から氷をつくれ！ 実験見学会	排熱利用の実現に迫る熱リサイクルパッケージの記者発表会	2024/05
12	八戸工業大学 (折田久幸)	八戸工業大学のカーボンニュートラル教育	化学工学会東北支部ニュースレター	2024/07
13	東北発電工業株式会社 (長沼宏)	NEDO ナショナルプロジェクト『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』	東北電力グループ 統合報告書 2024	2024/09
14	八戸工業大学 (折田久幸)	カーボンニュートラル社会を目指す各種エネルギーソースのあるべき姿	JABEE-日工教共催「国際的に通用する技術者教育ワークショップシリーズ」第21回「サーキュラーエコノミー」を生き抜く技術者が身につけるべきこと” 「ライフサイクル設計の全体像の解説とその教育プログラム」	2025/03