

「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

プロジェクトの詳細説明 (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

資料3-1_プロジェクトの説明【公開】

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋



2. 目標及び達成状況



3. マネジメント

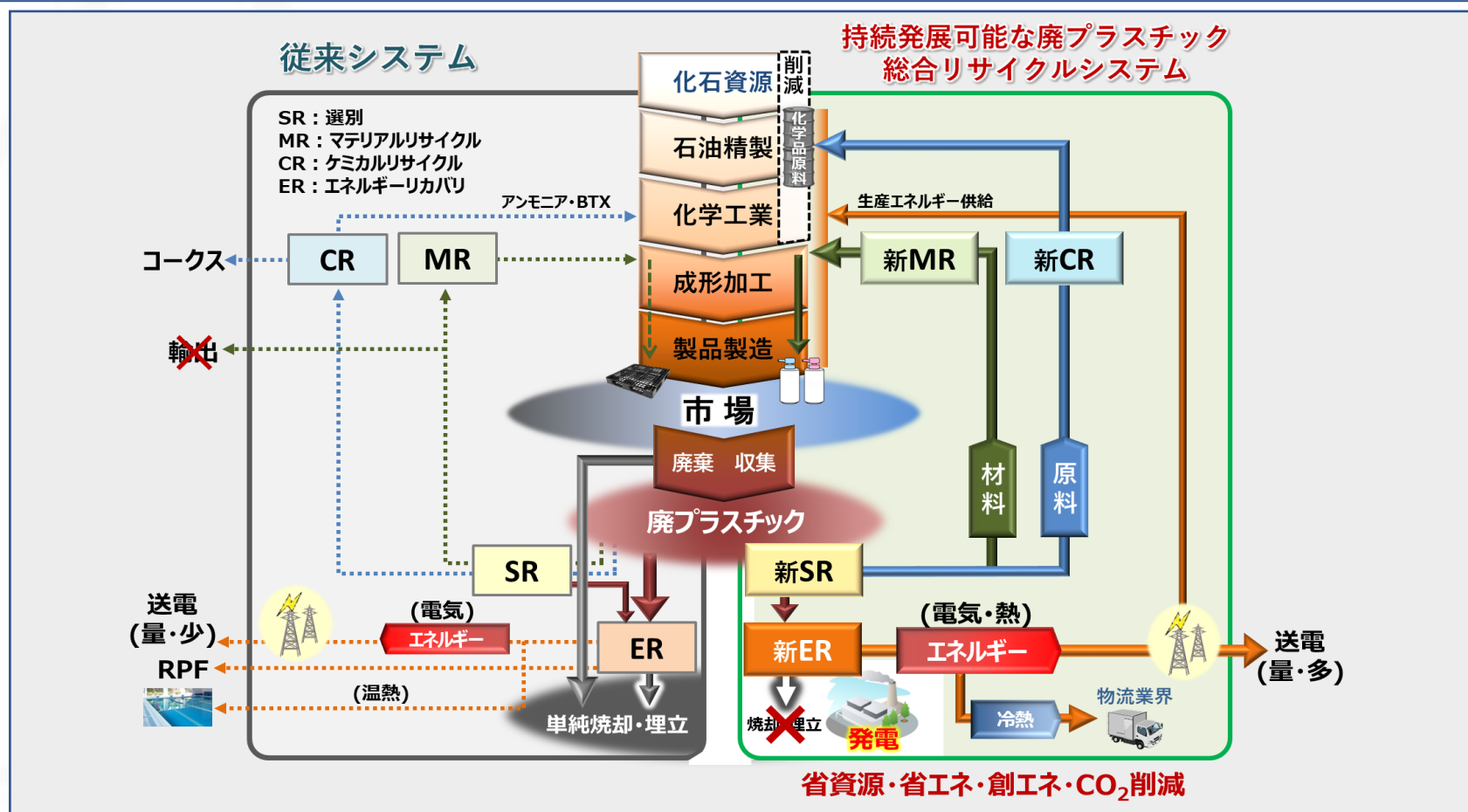
資料3-2_プロジェクトの詳細説明【公開】

2. 目標及び達成状況（詳細）

革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発の構築



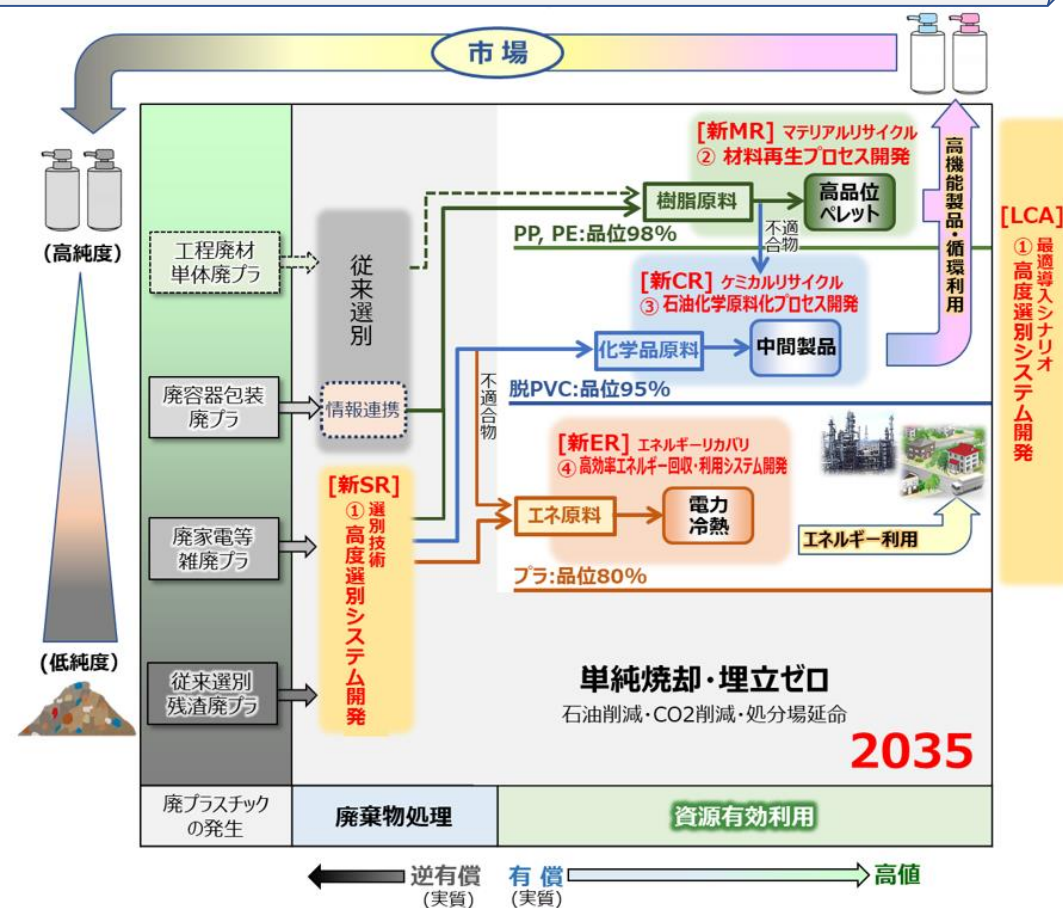
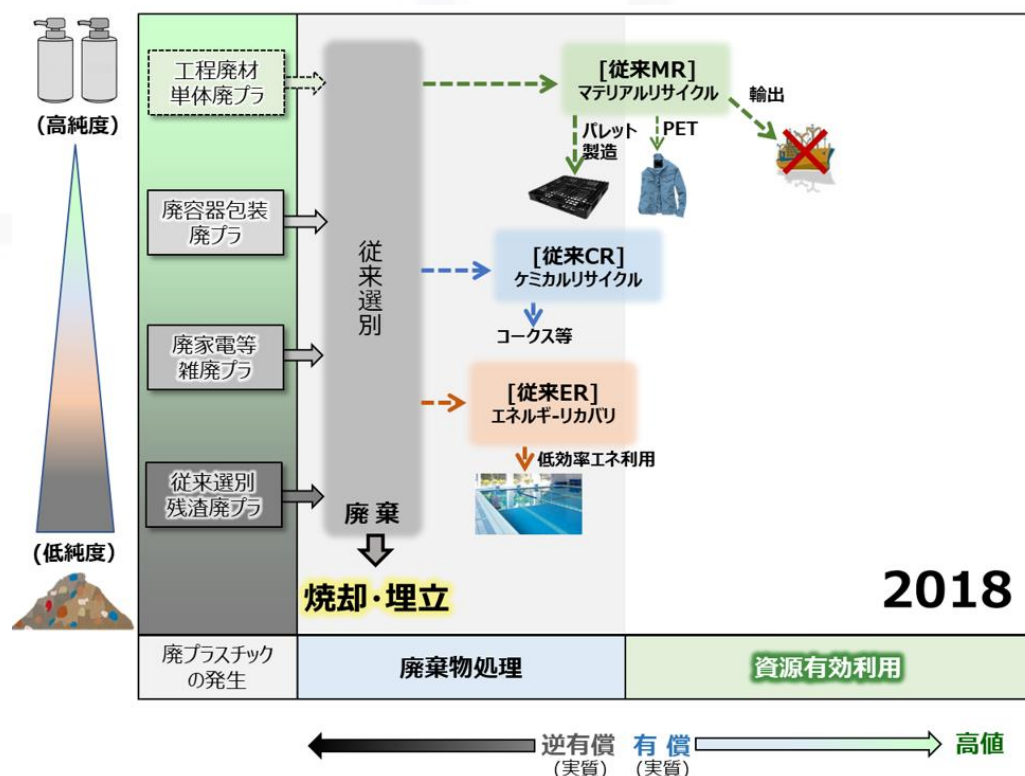
- 従来の低効率なERと単純焼却・埋立による廃プラ処理を脱却し、新SR、新MR、新CR、新ERを統合した総合的な資源循環システムを構築
- 国内で発生する全ての廃プラを対象に、高付加価値化、低環境負荷、経済的自立を目指す



新しい廃プラリサイクルに求められる技術

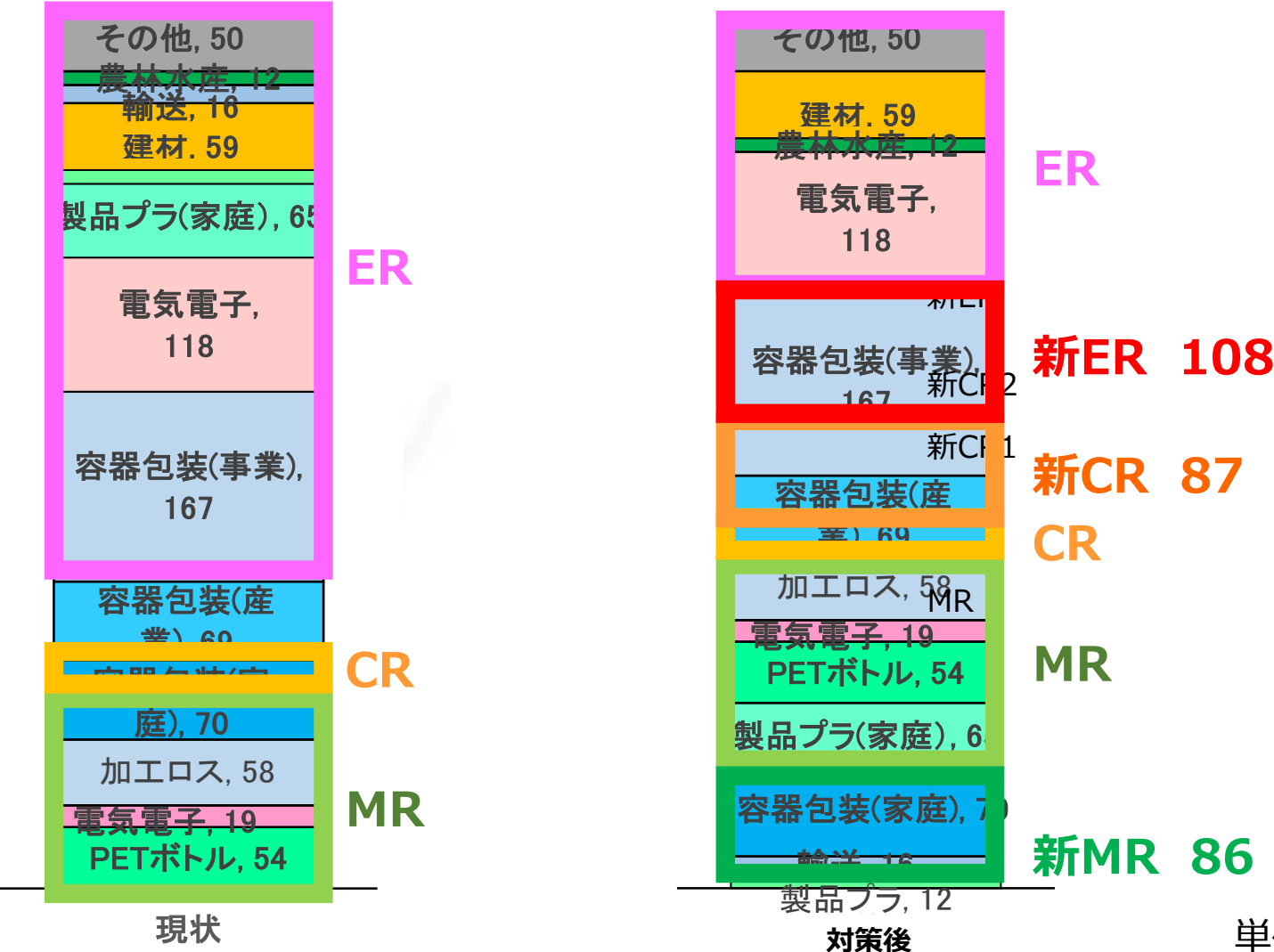
- SR: 低品質な廃プラを、樹脂種や純度に応じてMR、CRおよびERへ最適分配するための技術
- MR: 国内産業の需要に対応できる高品質なプラスチック製品を製造可能な技術
- CR: 既存の石油精製プラントの原料として利用するための新規触媒プロセスの技術
- ER: 発電効率を高め、低温排熱を利用して総合エネルギー回収率と稼働率を向上させる技術

- 新SR: 既存の選別工程に新規装置を導入し、新MR、新CR、新ERに適した廃プラを供給
- 新MR: バージン材に比べて70～90%の靱性を有する高品位な材料を製造
- 新CR: 廃プラから収率70%で化学品原料を製造（石油化学原料化）
- 新ER: 長時間連続運転可能で、排熱を冷熱源として利用し、エネルギー利用効率80%を達成



本プロジェクトの対象となる廃プラスチックの発生源

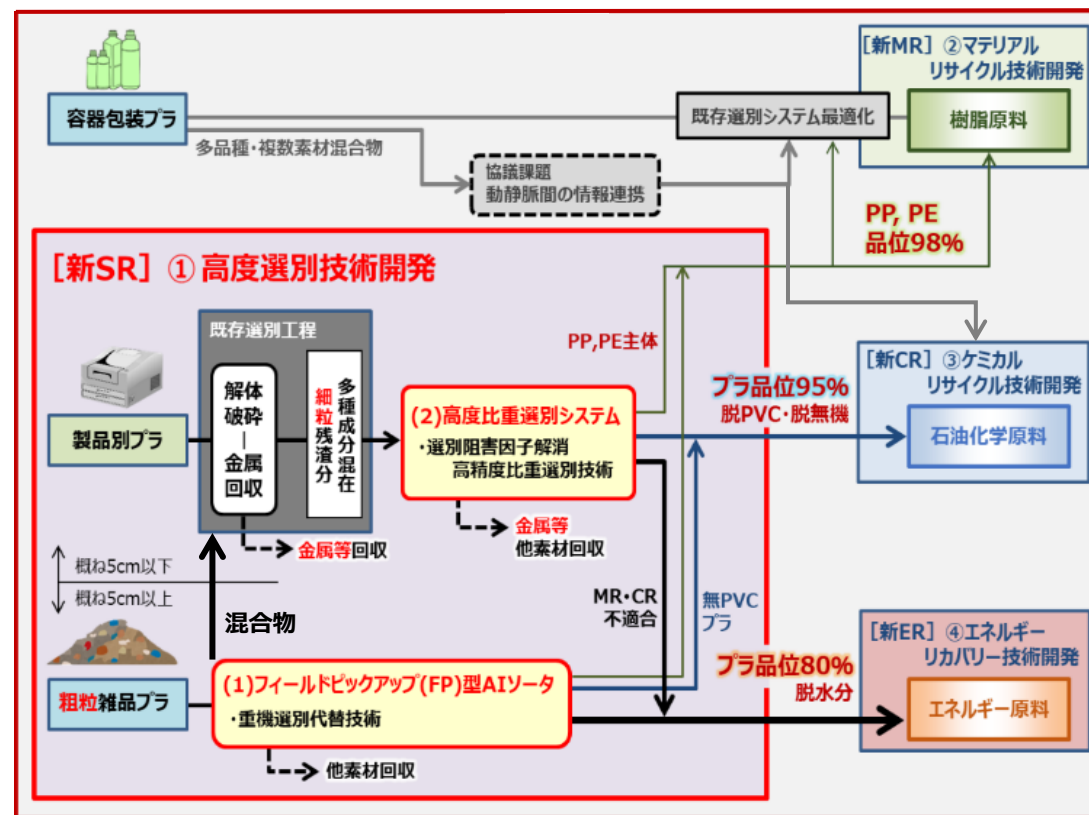
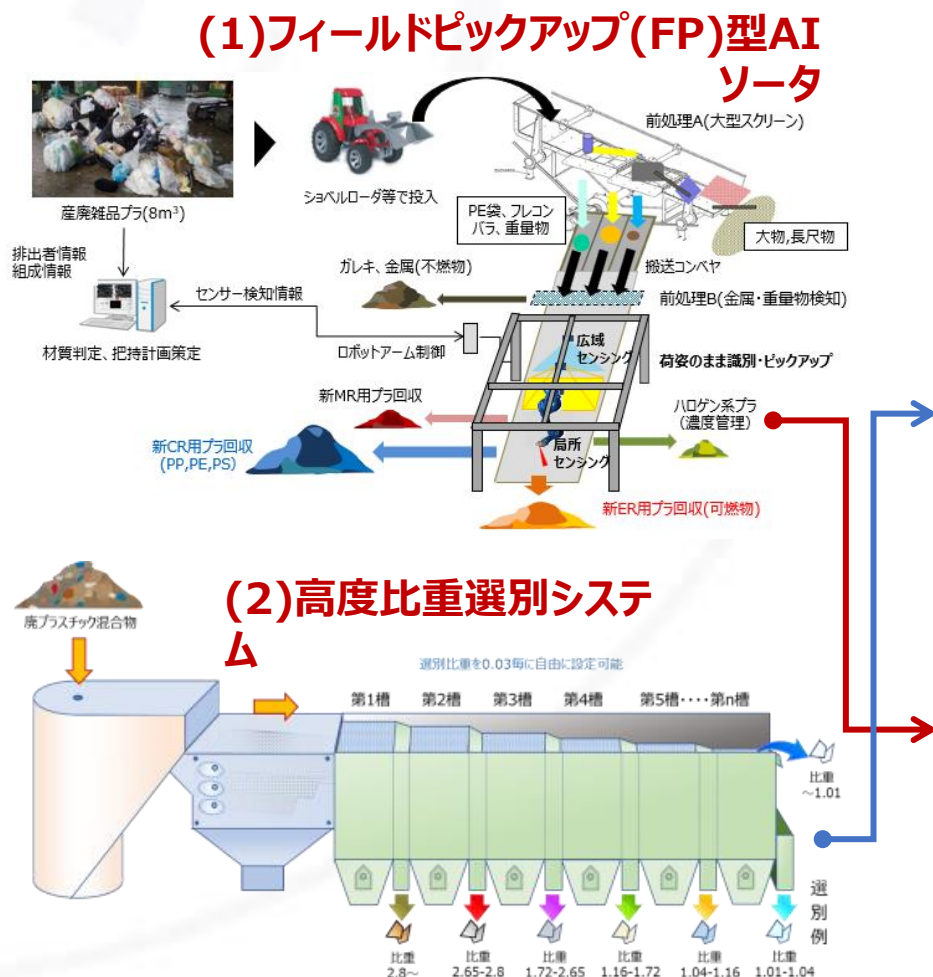
新MRの対象は製品プラや容器包装（家庭）、新CR1の対象は容器包装（産廃、事業）、新CR2の対象は複合材



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性をもって選別可能とする。



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 ³ 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、ロボットピッキング)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"> ・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。 ・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。 ・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。 	○	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	O(達成)
達成状況の根拠	<p>(1)フィールドピックアップ(FP)型AIソータの開発 前処理を含む選別工程に要する処理時間を現状比1/3(8m³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>(2)高度比重選別システムの開発 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)フィ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リサイクル、ケミカルリ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

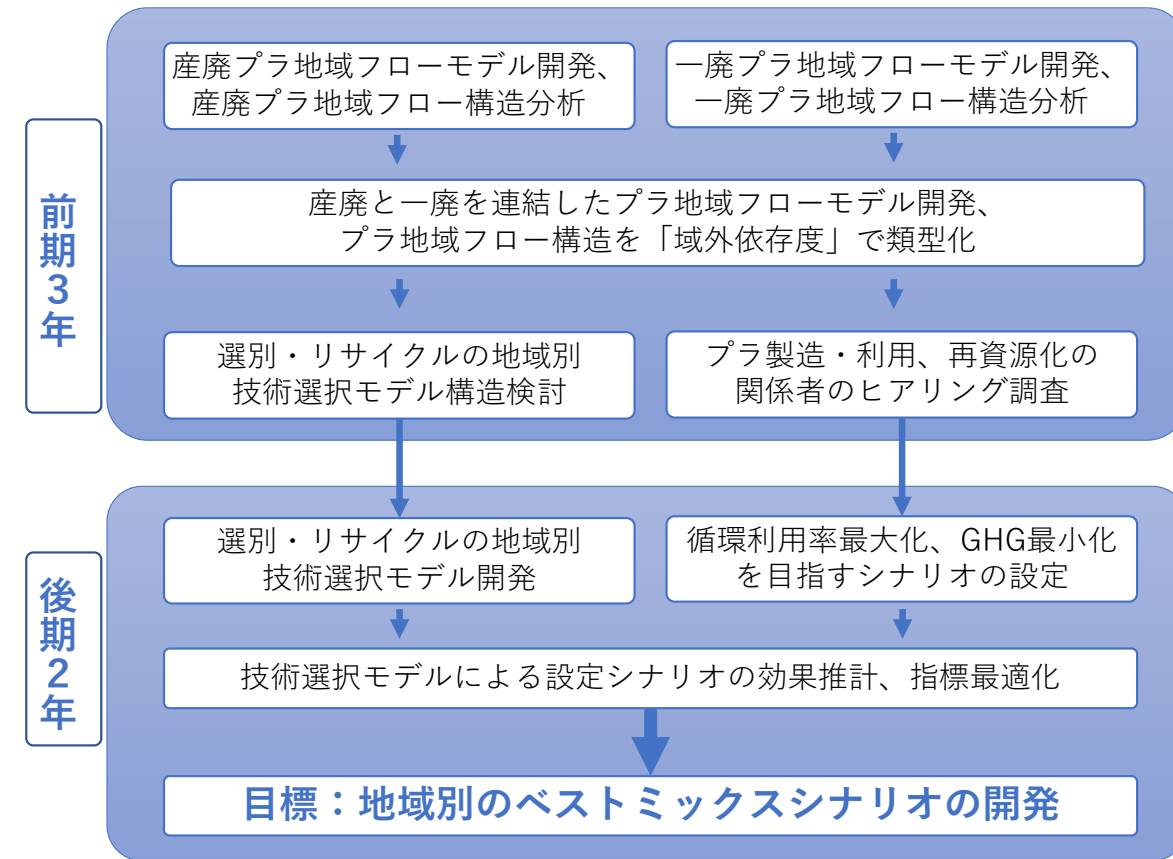
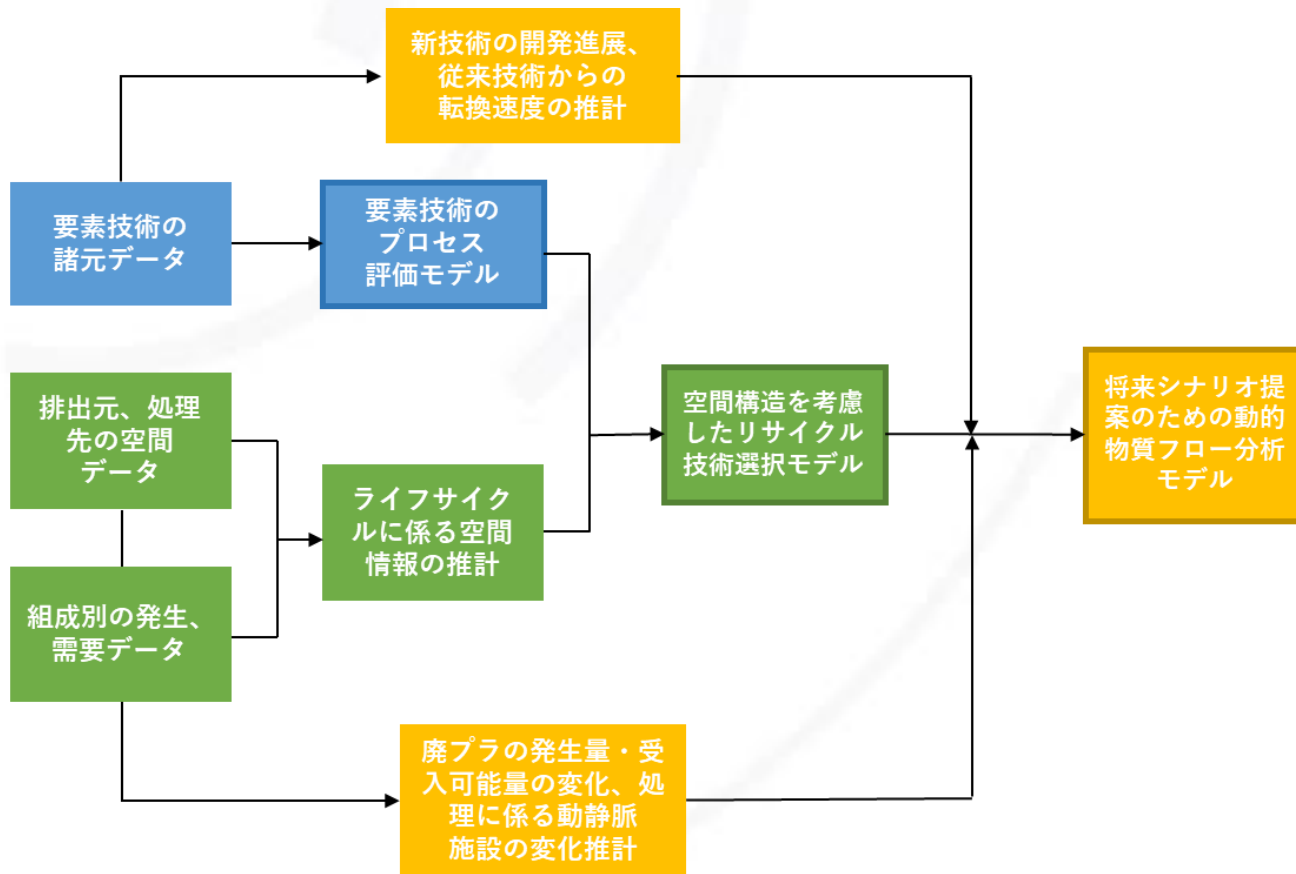
- AI識別の高度化、信頼性向上に向けて、今後さらに学習データの拡充が必要。

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。

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">・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。・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。	<ul style="list-style-type: none">・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、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。	○	<ul style="list-style-type: none">・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。・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。

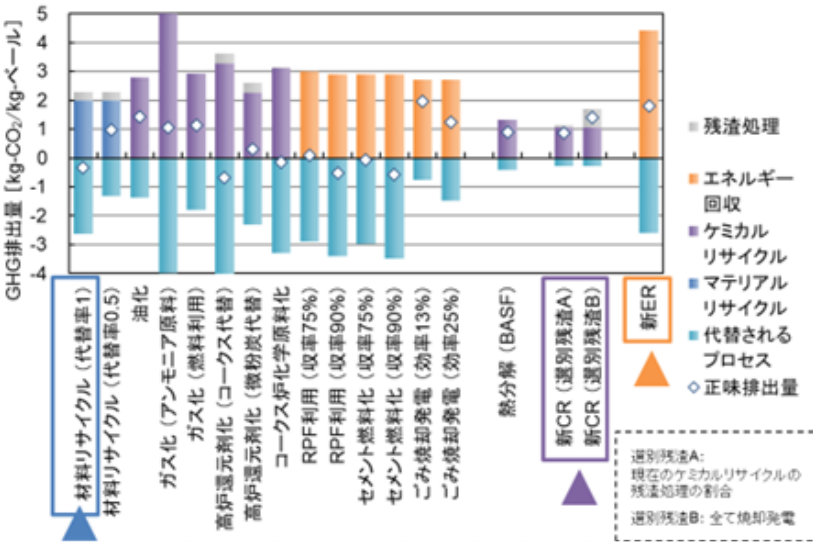


高度選別技術の意義（LCA）

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">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。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。		

【開発の意義】

実施項目A	LCAによる要素技術のプロセス評価モデル
現状	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	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
現状	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	将来シナリオ提案のための動的物質フロー分析モデル
現状	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。



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

将来の廃プラスチックの発生の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。

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

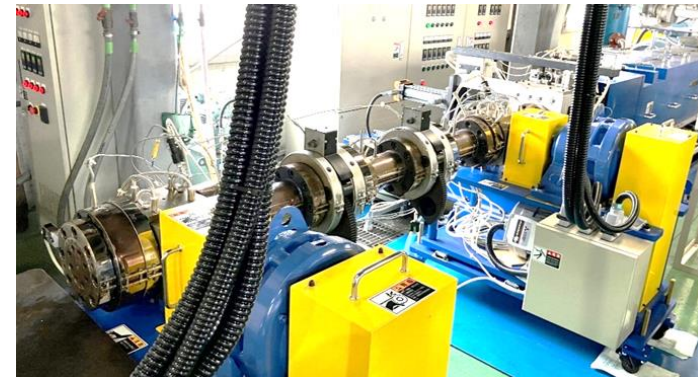
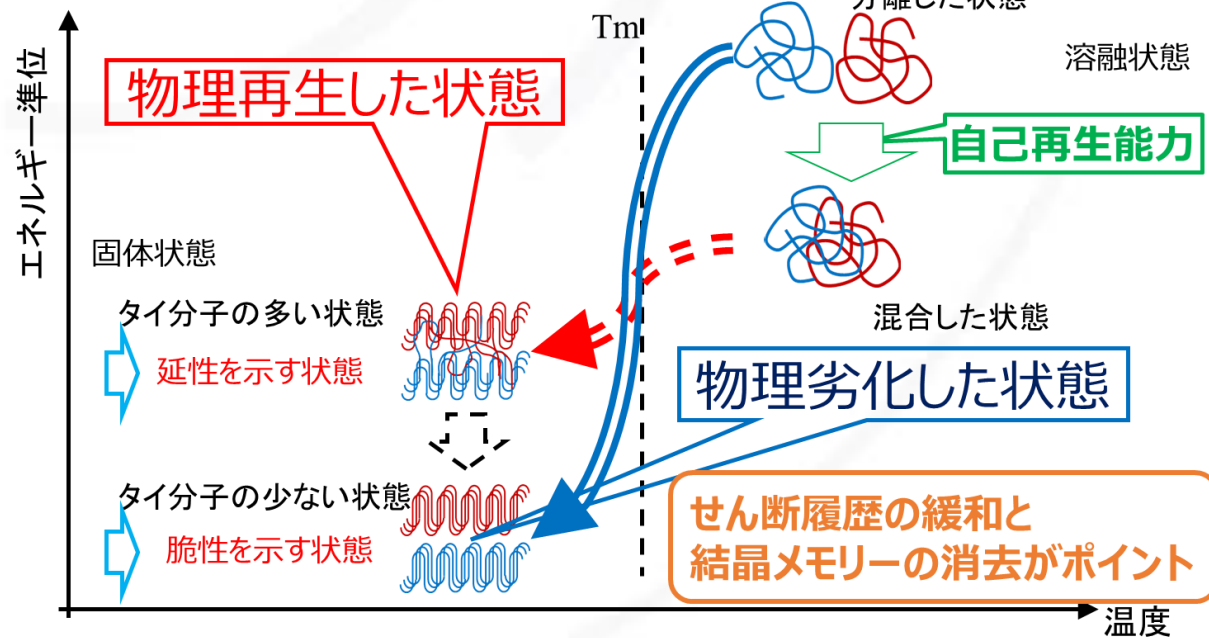
【課題】

- 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

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リ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
- 高度物性再生ならびに成形プロセスの構築
→ 「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

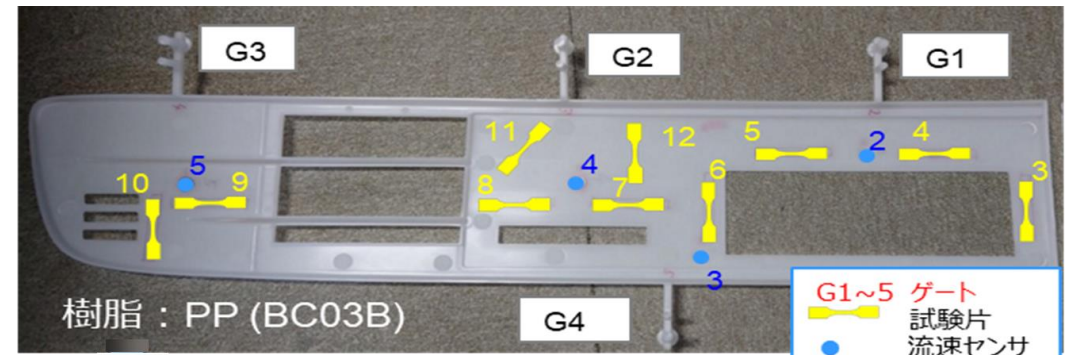
物理劣化・物理再生理論



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"> ・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 ・バージン材比、90%以上の材料強度（靱性）再生手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 ・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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 ・せん断履歴の影響を理論的に明らかにした。
②「高度再生・成形技術開発と実装化研究」	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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に成功した。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。
③「製品化の要素開発」	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・各社の持つ課題に対し、解決方針の明確化ができた。



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（靱性）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、マテリアルリ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：マテリアルリ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リ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：マテリアルリ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

マテリアルリ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の設計指針を確定した
- 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に成功した
- 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

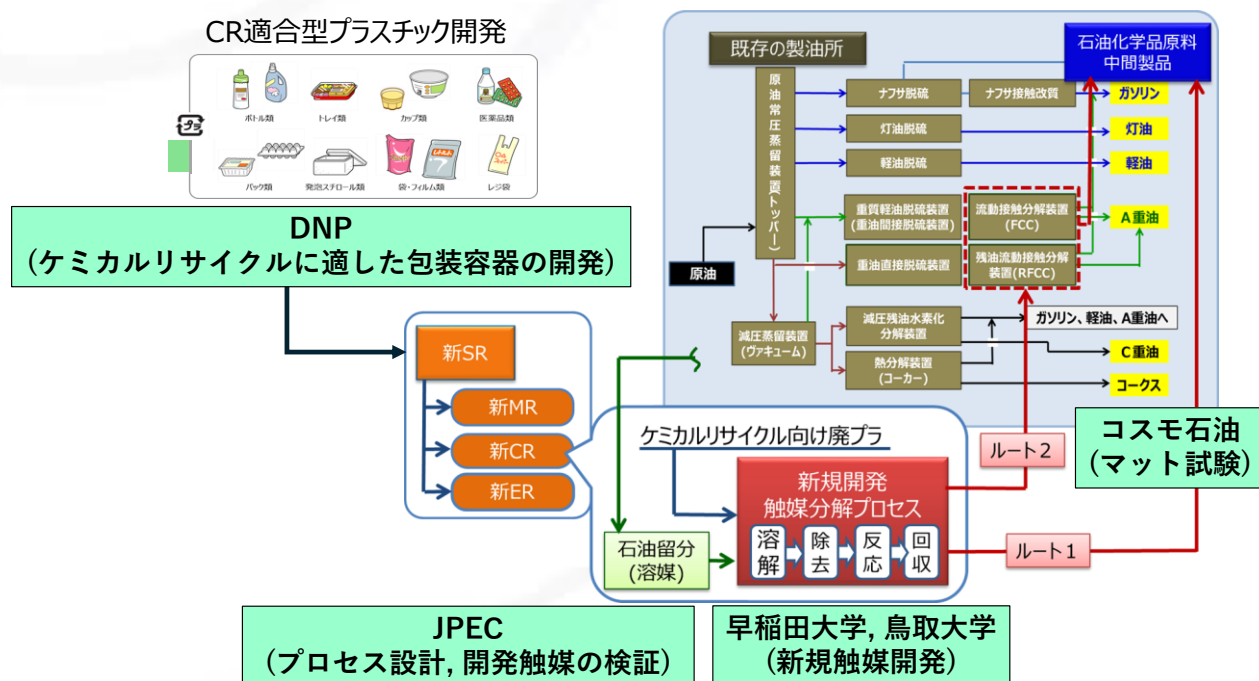
【課題】

- 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

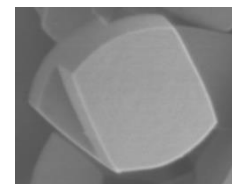
石油化学原料化技術の説明（触媒分解）

■ 石油化学原料化プロセス開発（触媒分解）

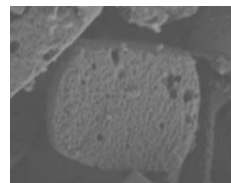
- PE,PP,PSを主成分とする混合プラスチックから、ナフサ相当石油化学原料収率70%以上で生成する、触媒分解プロセスの開発
- 上記を可能とするプロセスの要素技術の開発と設計
- プラスチックの分解と石油化学原料化を促進する高活性触媒の開発
- 触媒分解－FCCの2段分解スキームの有効性の検証
- 新CR適性の高いプラスチック製容器包装の試作と検証



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

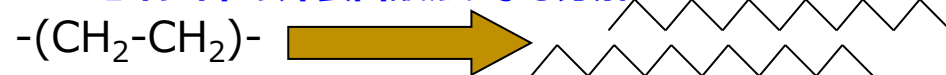


階層構造化



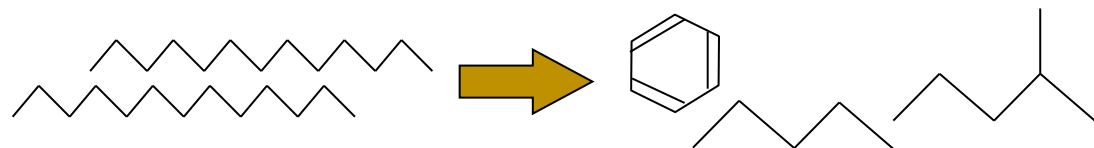
第1ステップ 廃プラの分解（低分子化）

- ゼオライトの外表面酸点による分解



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ペックまで提案した。	△	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認し、設計に反映する必要。
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次分解を併せての、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化収率（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、廃プラに対しては、廃プラ中に含まれる夾雑物（石灰など被毒物質）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、廃プラの分解への対応に集中すべきとの指示をいただき、複数の廃プラスチック（3P混合物および溶離プラ）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、石灰などの夾雑物は強く触媒活性を阻害することがわかったので、基礎研究に立ち返って、廃プラ中に含まれる夾雑物の解明と、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。
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実機性能値を提示する。	実プロセスではプラ分解油3vol%程度と想定された。プラ分解油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段階分解スキームは有効であることは確認できた。一方で、様々な廃プラ性状の影響を評価する必要があり、特に廃プラ不純物(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。	モノオ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。試作したモノオ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準が発生し、その要因について検証が必要。



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	△
達成状況 の根拠	研究開発項目①：「触媒分解プロセス開発」 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		△
	研究開発項目②：「プラスチック分解触媒開発」 ゼオライト触媒の種類の確定と階層構造化による活性の向上を確認（触媒コンセプトを実証）、被毒物質に対する理解と対策が必要		△
	研究開発項目③：「生成物の回収技術開発」 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		○
	研究開発項目④：「新CR適合型プラスチック開発」 試作したモノオ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		△

【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 モノオ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計の指針作りにも貢献

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を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%
- モノオ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】

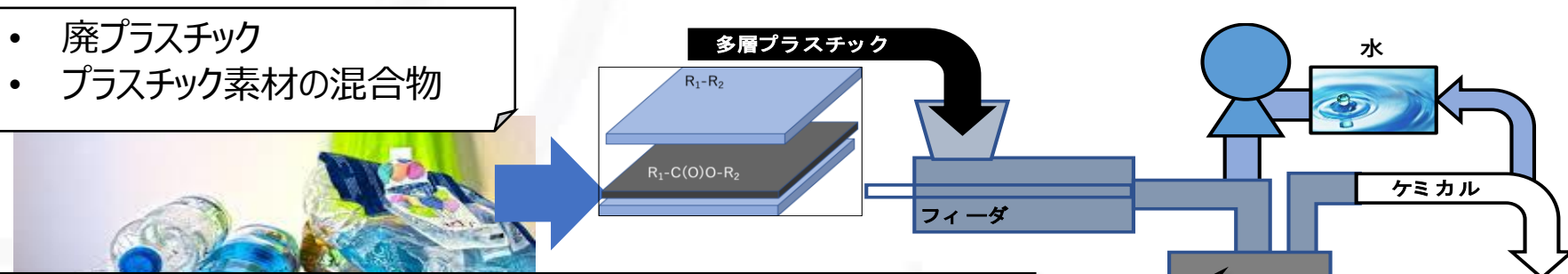
- 基礎研究に立ち戻って、廃プラ中の触媒被毒物質の解明と対策が必要
- 触媒再生のための触媒焼成プロセスはじめ炭素析出対策など、プロセスのコストとLCA評価にかかわるデータが必要
- 装置の実用化検討にあたっては、生成物であるPVCから生成する塩酸やPETから生成するテレフタル酸などの除去設備の検討も必要
- 物質移動・熱伝導を考慮した連続反応器設計とスケールアップ手法が必要
- 開発触媒やモノオレフィン化した包装材について十分なデータを獲得できていない
- 今後の知見として、本取り組みを記録として残すことが重要

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



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

➤ 押出機連続装置の製作・操作・確認

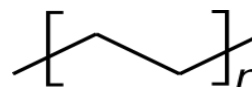


マテリアル

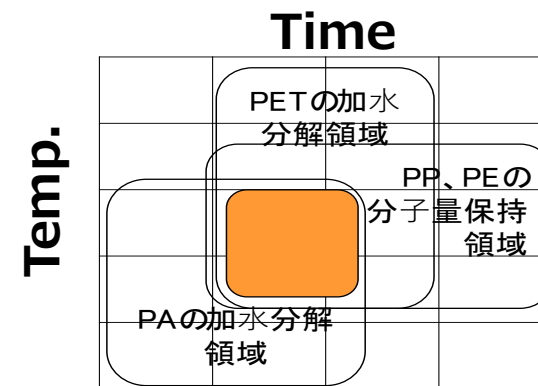


ケミカル

➤ 回収マテリアル（ポリオレフィン）の分子量・材料特性解析



➤ 反応マッピングの作製・モノマー回収条件の決定



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む。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割を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	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。 研究開発項目②「連続プロセスの開発」 ：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。		

【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」

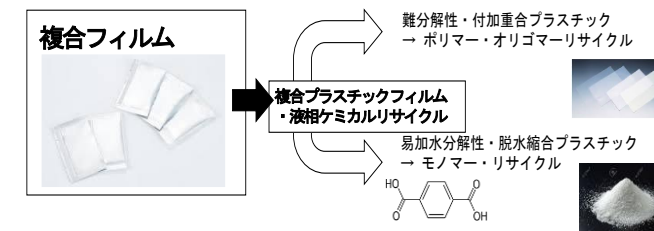
現 状 多層フィルムのような複合フィルムは物理的な剥離ができず、原則ケミカルリサイクル、マテリアルリサイクルが不可能であった。また、包装フィルムにはアルミや顔料といった不純物も多く含まれており、純度の高いモノマーやマテリアルの回収が困難であった。

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

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

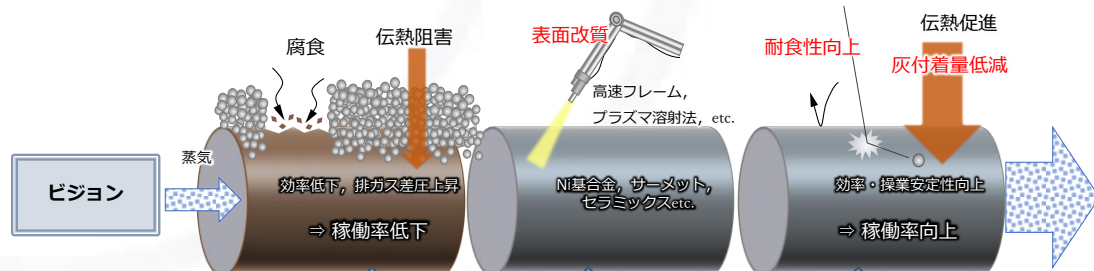
【課題】

- 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

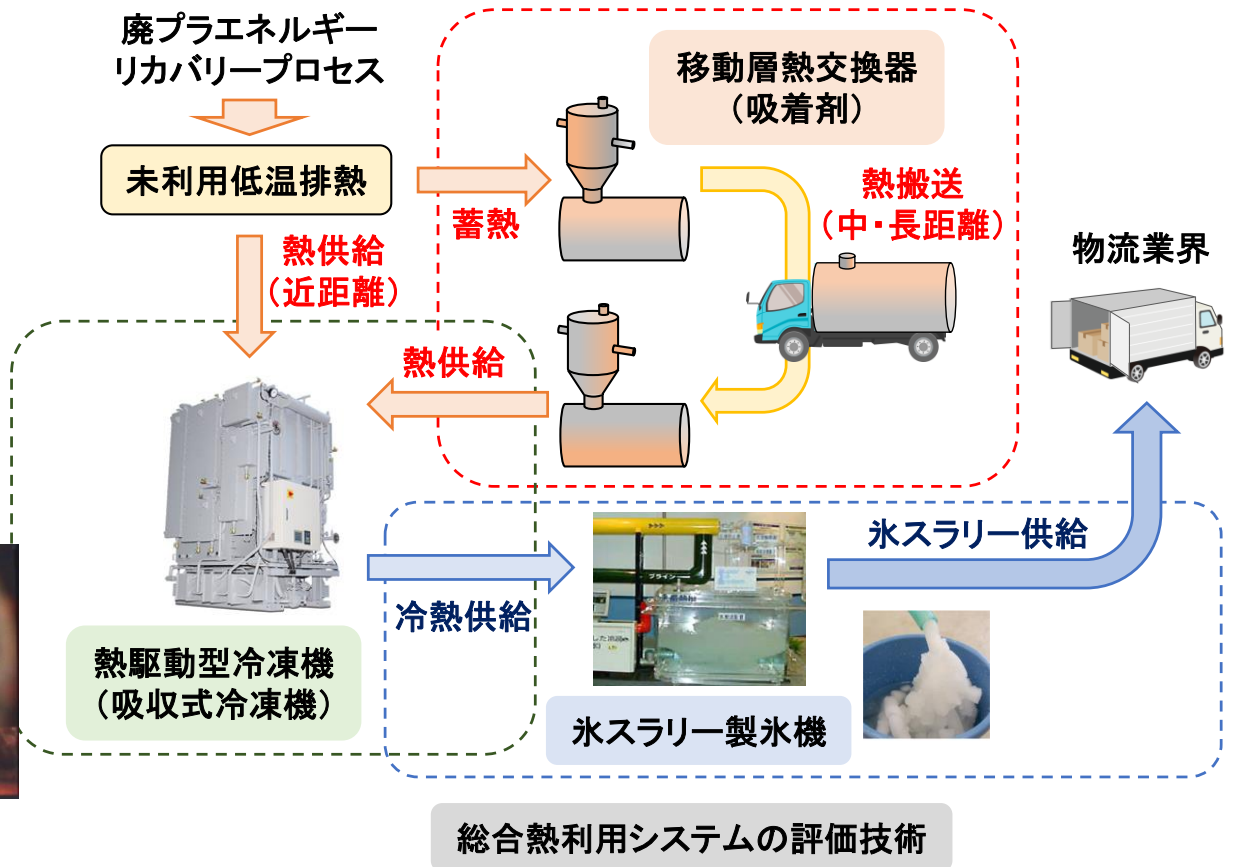
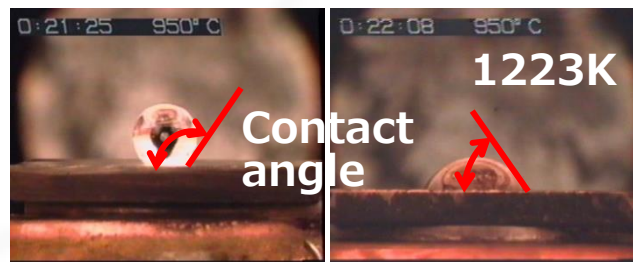
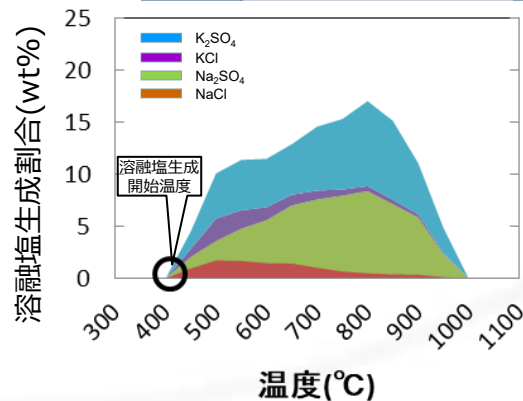
高効率エネルギー回収・利用技術の説明

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



研究内容	目的	材料検討・開発 付着機構解明	表面改質技術の 探索・開発	実証試験
具体的 内容	<ul style="list-style-type: none"> ・熱力学平衡計算 ・材料開発・試作 ・CCSEM による分析など 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術・材料・施工条件の調査、開発 ・付着力測定評価試験など 	<ul style="list-style-type: none"> ・実機への施工 ・経過観察 ・付着界面の観察・分析 	



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	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効率として 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効率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。	○	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）の施策ができた。今後は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。
	④-3 総合熱利用システムの評価技術開発	総合熱利用システムの評価技術のツールの完成度を高めるため、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熱システム、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。このことで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効率80%以上を達成する。	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 ₂ 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。	○	総合熱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・利用技術の意義



テーマ名	高効率エネルギー回収・利用システム開発	達成状況	○
達成状況の根拠	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 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効率が80%を上回ることが可能な事例を評価することができた。 		

【開発の意義】

④-1 高温ダーク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

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はいたものの社会に有効なエネルギーとしては利用不可

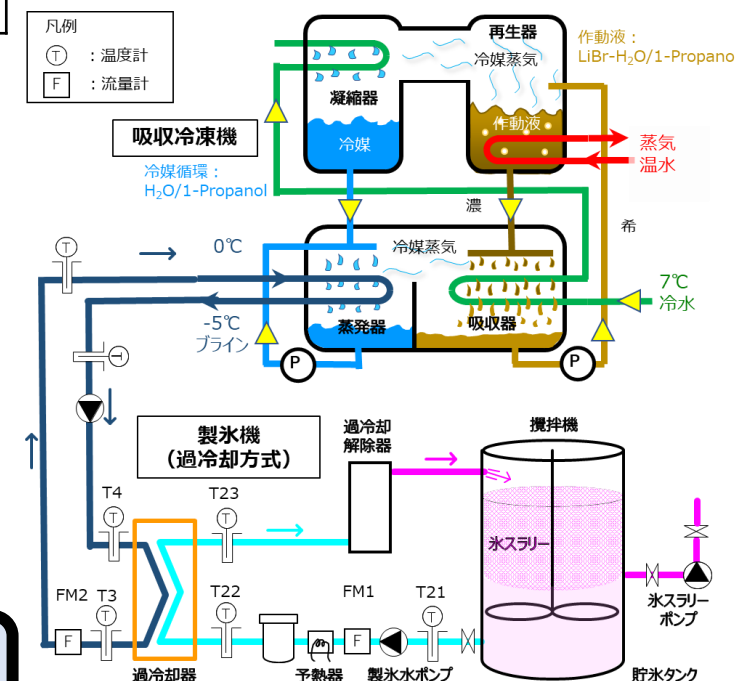
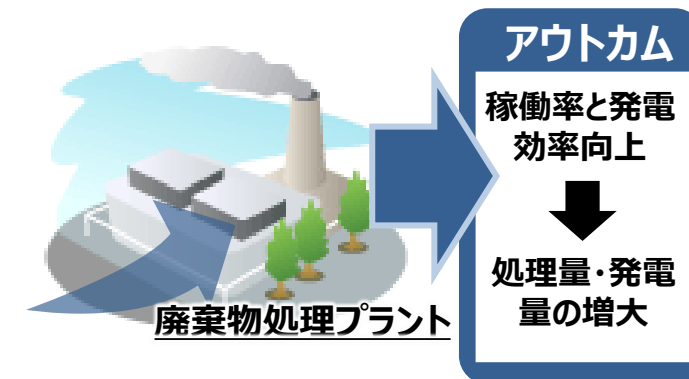
開発後： これまで未利用であった廃熱から社会的にも価値のある冷熱エネルギーの製造に成功。物流業界への冷熱供給のみならず地域冷房や漁港等への冷熱需要に貢献

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
- 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効率が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