

「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」(中間評価)

2023年度～2027年度 5年間

プロジェクトの詳細説明 (公開版)

2025年6月27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

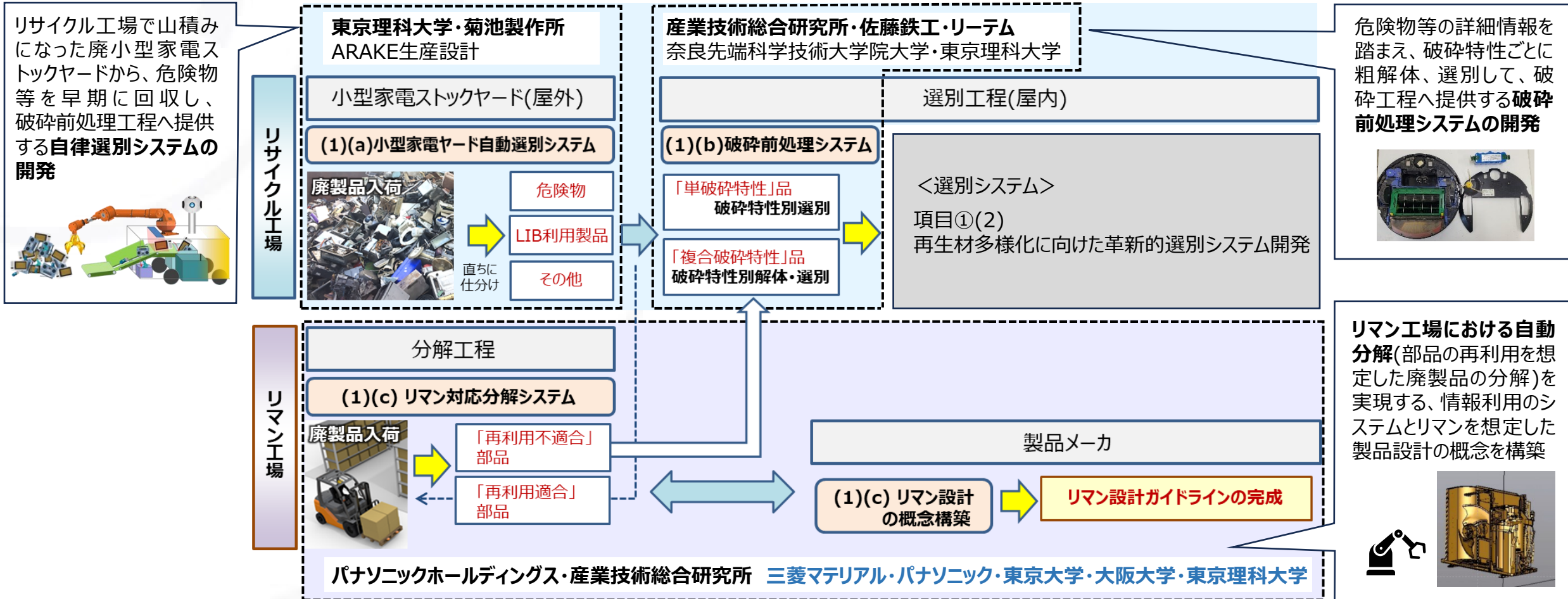
資料3-2_プロジェクトの詳細説明【公開】

2. 目標及び達成状況（詳細）

研究開発項目①(1)の概要

製品解体・分解システム開発

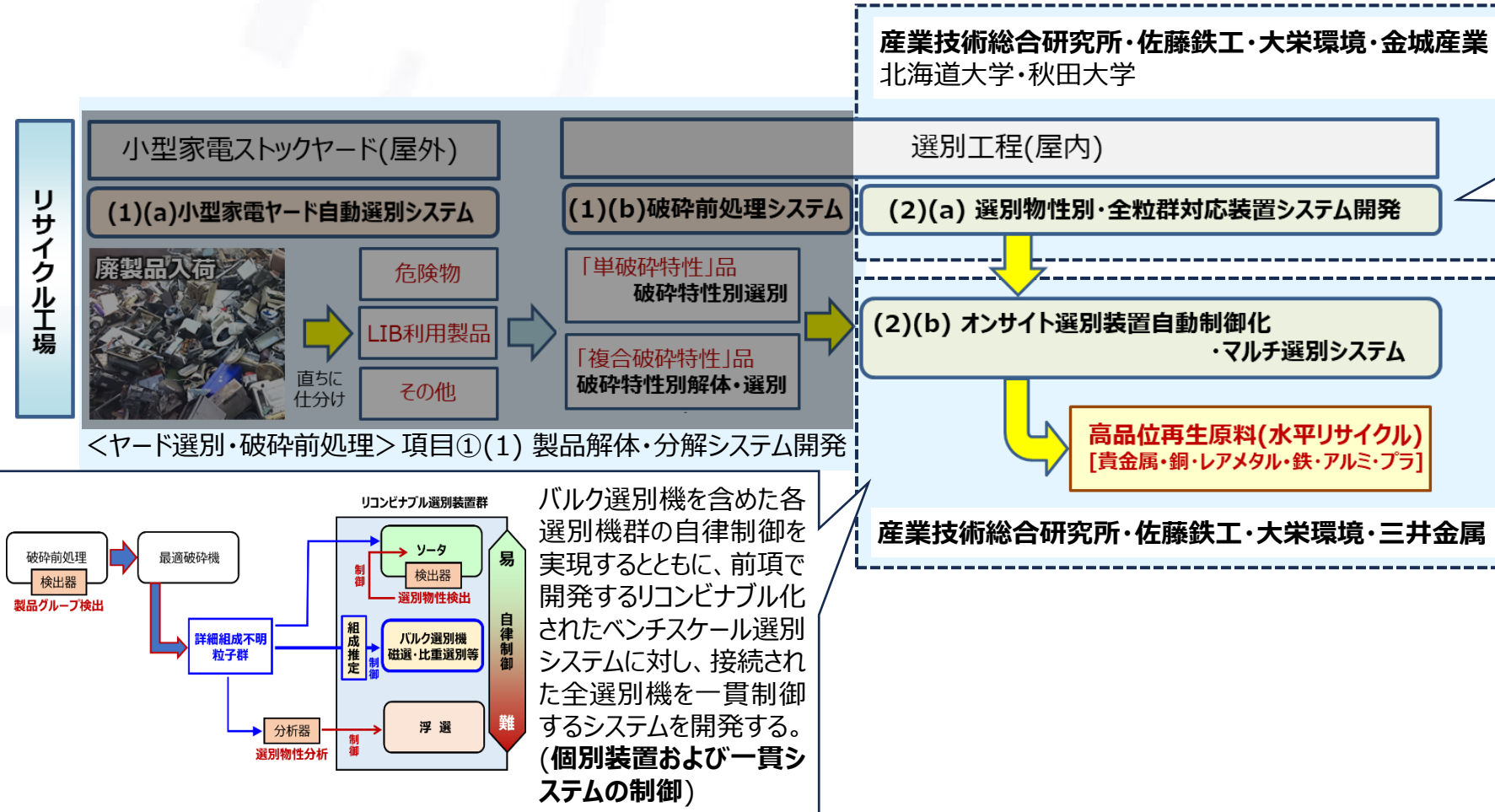
廃小型家電の入荷から選別工場で破碎を行う前の処理と、リマニュファクチャリング(リマン)導入に向けた分解技術等の装置及び装置制御技術の開発を実施する。



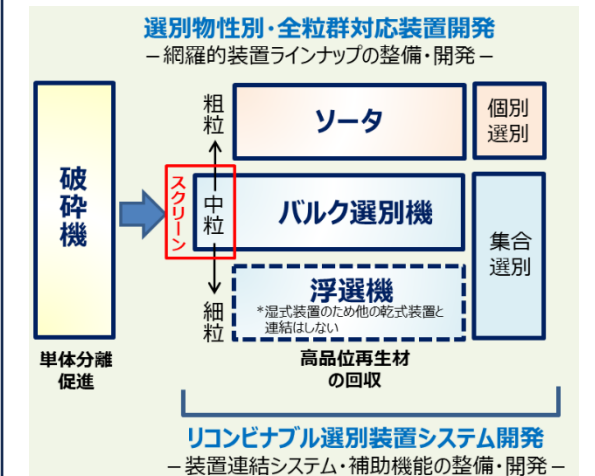
研究開発項目①(2)の概要

再生材多様化に向けた革新的 選別システム開発

廃小型家電に対する**選別工場内の破碎・選別工程を自律制御化**し、高品位再生原料を素材工場に出荷するまでの個別装置や総合選別システムの開発を実施する。



多様な小型家電から多様な素材(貴金属・銅、レアメタル・アルミ、鉄、プラスチック)の水平リサイクルが可能な「対象サイズ × 選別物性」マトリックスをカバーする、**選別装置群の開発・整備**を実施し、さらに、各装置の組み換えを容易にするため、装置間接続を容易にする**リコンビナブル機能**を開発する。(ハードウェアの網羅的ラインナップ)

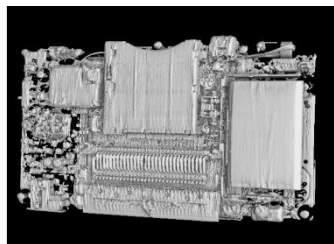


研究開発項目②(1)の概要

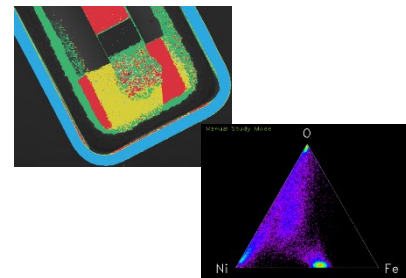
データベース構築支援に向けた 高度分析・計測システム開発

廃小型家電の製品構造を速やかに分析し、製品データを取得することによって、解体、破壊の指針を提供するとともに、製品自体の資源循環性を評価する指針を確立する。

項目①(1)(b)で開発する「破碎前処理システム」に提供可能な、**3次元の製品構造解析**により製品破碎特性が推定可能な分析技術を開発。また、製品構造や提供情報と水平リサイクルが可能となる各種素材等の関係性を踏まえ、製品の資源循環に対する優位性を「資源循環性指標」として提示する方法を構築する。



粗粒破碎物の単体分離状態を分析するため、粒子の3次元構造に基づく粒子内の組成分布を推定する技術を開発。また、廃製品由来の細粒子に対応した、**SEM-EDXベースの単体分離分析技術**を開発する。



産業技術総合研究所・大栄環境・
パナソニックホールディングス・東京大学

(1)(a) 製品選別情報自動分析システム



製品構造解析

破碎特性評価

取得情報

製品資源循環指標

項目①(1)(b)
破碎前処理システム

産業技術総合研究所

(1)(b) 粒子選別情報自動分析システム



粒子構造解析

粗粒破碎物
微粒破碎物

単体分離評価

取得情報

項目①(2)(a)
選別物性別・全粒群対応装置開発

リサイクル工場

研究開発項目②(2)の概要

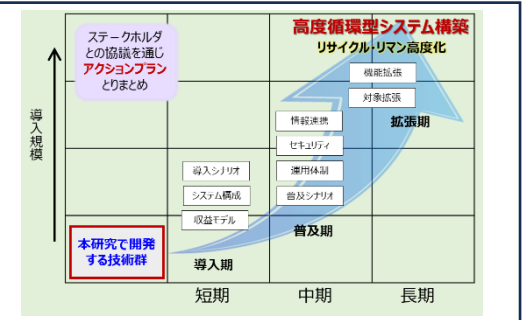
再生材流通高度化に向けた 基盤技術開発

廃小型家電の連続試験が可能なモデルプラントを整備し、情報連携機能を検証・強化するとともに、リマン工場における情報活用と動静脈情報連携基盤について検討する。また、本研究で開発する高度循環型システム技術に関わる、社会実装シナリオを取りまとめ、提示する。

過年度に開発したCEDESTシステムを本事業のモデルプラントとして整備し、連続操業や情報利用における課題を抽出して本研究の各検討項目に還元するとともに、一部の解決手段の検討を実施。



リマンに必要な情報連携基盤のプロトタイプ開発を行い、稼働させることで、プロセスの高度化に有用な情報の定義とその効果の確認を実施。また、高度循環型システム構築に向け、段階的導入を想定した社会実装シナリオを策定、本研究で開発する技術群の社会導入を想定し、アクションプランとしてとりまとめる。



産業技術総合研究所・大栄環境・佐藤鉄工・サトー
東京理科大学

(2)(a)リサイクル工場における情報の活用



連続試験モデルプラントの整備

連続試験データ獲得

取得情報

動静脈情報
伝達検証

メンテナンス
システム検証

項目①(2)(b)
オンサイト選別装置自律
制御化・マルチ選別システム

パナソニックホールディング・産業技術総合研究所
野村総合研究所

(2)(b)リマン工場における情報活用と
動静脈情報連携基盤の開発

リマン対応分解システム
の情報連携基盤

確立情報

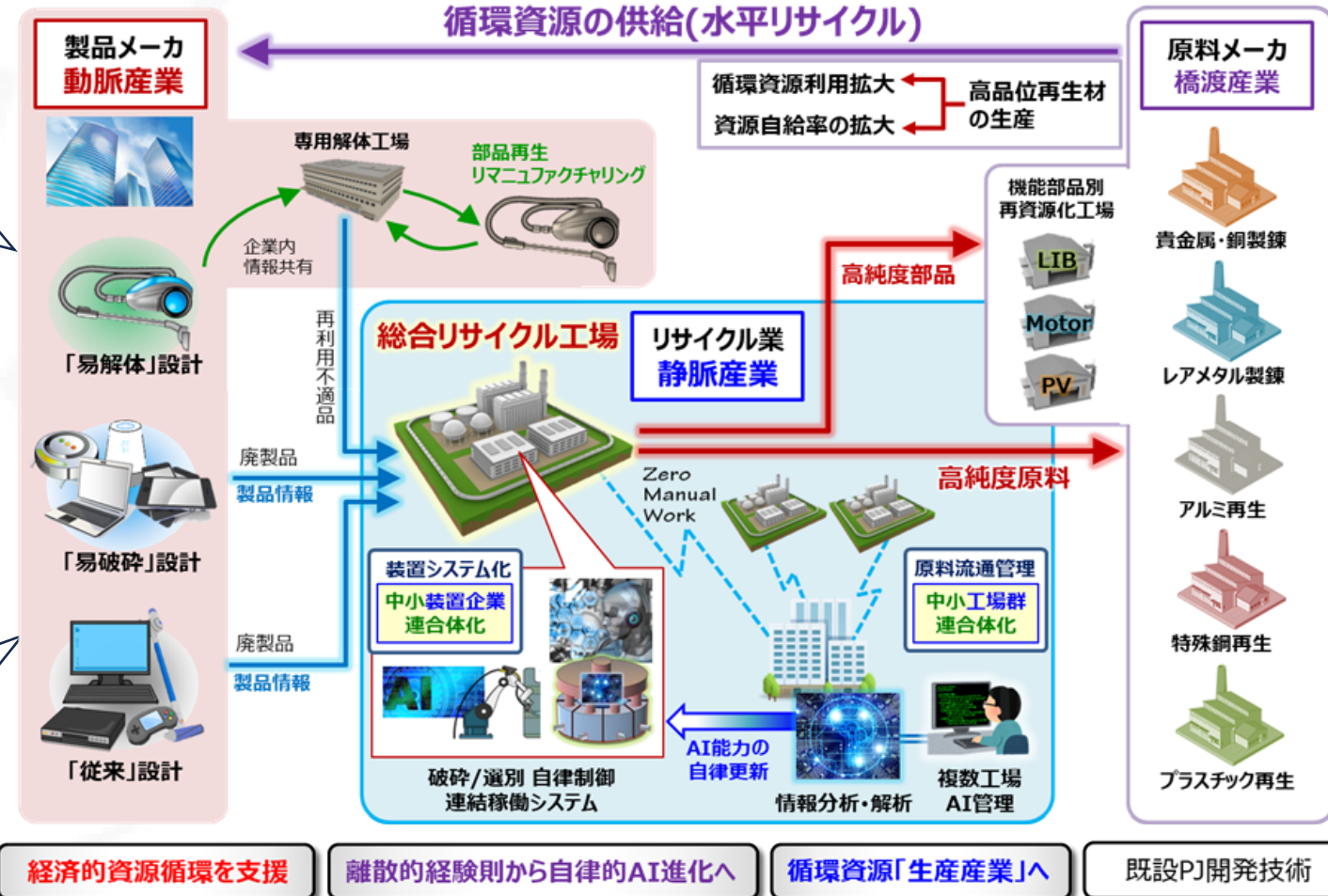
項目①(1)(c)
リマン対応分解システム・リマン設計

社会実装シナリオの策定

研究開発項目①②の概要

社会実装後の未来イメージ

近未来の高度循環型システム構築のイメージ



リサイクル工場、リマン工場の自律制御化・省人化を進め、低コストに廃製品の残存価値を最大利用

リサイクル工場間の連携、選別装置のシステム化を進め、国内静脈産業・関連装置メーカーの強靱化を図る。

高度化したリサイクル・リマン技術を元にした社会実装シナリオを策定し、我が国における資源循環の速やかな導入を実現する。

素材産業における再生材受け入れ拡大の既設プロジェクトや企業活動を最大限活用し、廃製品から水平リサイクルまでの一貫プロセスとして社会導入を目指す。

研究開発項目①(1)の成果（アウトプット目標達成度）と意義

テーマ名	製品解体・分解システム開発	達成状況	○(達成見込み)
達成状況の根拠	(a) 小型家電ヤード自律選別システム：ピックアップ機能は、試作により機能を確認済み。識別・分類機能、移動・運搬機構は、動作確認は終え、基本試験を完了。ケーブルカット機構は、不具合の対応策も考案済み。装置開発は、基本的な方法論は確立し実装済みである。 (b) 破碎前処理システム：廃製品のグルーピング、前処理の追加で精度向上が見込め、中間目標の解体成功率を達成する見込み。ロボット解体試験機は、既に自動試験機の設計に着手済みで、更なる情報追加で解体正答率70%以上を達成見込み。 (c) リマン対応分解システム・リマン設計：分解CPS、自律分解システムは構築済みであり、基本的な構造については、既に正答率70%以上を達成。課題であるスナッフフィット部についても、アルゴリズム構築まで出来ており、システム化を進めることで達成見込み。		

【開発の意義】

(a) 小型家電ヤード自律選別システム

現 状：廃小型家電入荷時、山積みされたヤード内で危険物や高品位品の仕分けに膨大な人手を要している。
開発後：世界に類のない自走式の廃製品仕分けシステムによるヤード省人化で、受け入れ可能量が増大。

(b) 破碎前処理システム

現 状：入荷物は直接、破碎機に投入され、単体分離不十分のまま選別されるため高純度化が困難となる。
開発後：世界に類のない「破碎前処理」により、LIB火災の回避と単体分離容易な状態での破碎が可能に。

(c) リマン対応分解システム・リマン設計

現 状：リマンが進んでいる複写機等でも手作業が多用され、低コスト化と他製品展開が困難となっている。
開発後：世界に類のない「リマンシステム」により、多様な製品に対するリマン分解の自動化を実現。



世界に類のない新種装置の開発により、リサイクル・リマンの低コスト化・高度化を実現

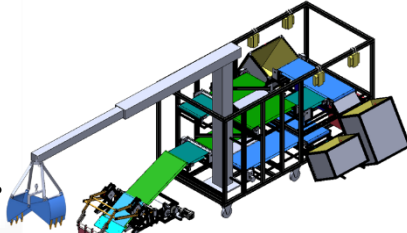
多種多様な廃小型家電の選別前処理とリマン分解の無人化実現により、資源循環の技術的社会実装基盤を確立

研究開発成果 項目①(1)：製品解体・分解システム開発

(a) 小型家電ヤード自律選別システム

(i) ピックアップ機能

掻き込み部、アーム部・先端部を試作。地面上の対象物を全てコンベア上に移動可能にできる見込みを得た。

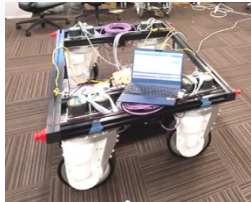


(ii) 識別・分類機能

画像認識を含む識別機能を試作。対象物の識別が70%以上できる見込みを得た。

(iii) 移動・運搬機能

6輪全方向移動台車を試作。(i)～(iii)を統合し、3次元マップに基づき自在かつ確実に移動・運搬・排出ができることを確認予定。



(iv) 電源ケーブルカット機能

性能試験ユニットを試作。本体と絡まりのない状態なら100%カットできる見込みを得た。

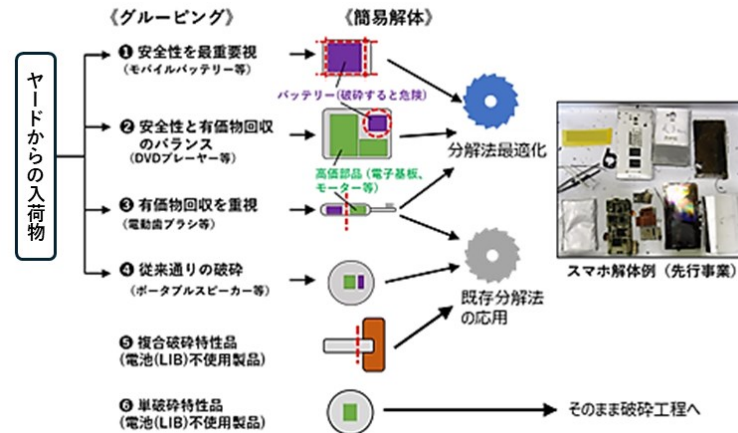


(v) 画像処理装置

回収グループごとの対象製品を3種類選定し、その識別正解率70%、移動から識別・仕分けまでを、全体的に見た場合に、1個当たり5分以内を実現予定。

(b) 破砕前処理システム

透過X線及びAIを用いてグルーピングを行い、破砕前粗解体選別システム開発用ソフトウェアとして、可視光及びAIによるソーティングプログラム及びGAN等を用いた教師データ生成プログラムの機能拡張を実施。また、弱点形成の機械機構を装置化した破砕前解体システムを試作するとともに、対象品目・弱点形成プログラムの対象品目を拡張。振動機又は衝撃破砕機による弱点形成後の解体方法を開発。廃製品3品種以上に対し、解体手法の正答率70%以上で自律的に行うことが可能な装置システムを開発し、解体手法毎に策定した生産性(処理速度、正確さ・精度等)のベンチマークと同等以上の性能を達成する見込み。



(c) リマン対応分解システム ・リマン設計の概念構築

各要素技術を開発・連携したリマン対応分解システムを試作。分解手順生成する簡易CADの検証し、これをもとに分解手順生成および強化学習を活用したパスプランニングにより、ロボット動作の生成を行う。「分解DB」と「自律分解ロボット」を組み合わせた連携検証を実施し、分解すべき廃製品3品種に対して分解手法の正答率70%を達成する見込み。

リマン設計の概念構築はガイドラインを試作し、リマン設計を施したモックを作成し、分解検証を実施する。実製品の設計変更の結果を反映した設計要件を提示し、設計したモックに対して分解検証、他製品のリマン対応設計も検討。またリマン設計を施したモックでの検証を少なくとも1品種で完了する見込み。



サイバー上での自律分解検証



試作した自律分解システム

研究開発成果 項目①(1)：製品解体・分解システム開発

中分類	小分類 (要素技術)	中間目標 (2026年3月)	成果(実績)	達成(見込み)	達成の根拠/解決方針
(1)製品解体・分解システム開発	(a) 小型家電ヤード自律選別システム	開発するピックアップ機能、識別・分類機能、移動・運搬機能を統合するとともに、地面にある対象物を全てコンベア上に移動、対象物の識別70%以上、3次元マップに基づく移動・運搬・排出、本体から独立した電源ケーブルの100%カット、移動から識別・仕分けまでを1個当たり5分以内を達成する。	ピックアップ機能は、グラブで掴む機構と小物すくい上げる機構を試作。識別・分類機能は、分類を実現し、既にLIB製品はほぼ分類可能。移動・運搬機構では、6輪の全方向移動、カメラとLidarによる自己位置推定と目標値の認識、排出機構を実装し、動作確認した。ケーブルカット機構では、切断不具合等の問題点把握と改良点を明確にした。装置開発では、画像解析による家電識別の認識率向上と処理速度に重点を置いて検討。家電11品種12個に対して75%の識別率であり、識別のみを10秒以下で実現している。	○ 2026年3月に達成見込み	ピックアップ機能は、試作により機能を確認しており、今後、問題が生じるリスクは小さい。識別・分類機能、移動・運搬機構は、動作確認は終え、基本試験は完了している。ケーブルカット機構では、試作機で不具合を確認、既に対応策も考案済み。装置開発では、サンプルを増やすことと識別制度を上げることを進めていくが、基本的な方法論は確立し実装済みである。
	(b) 破砕前処理システム	廃製品3品種以上に対し、解体手法の正答率70%以上で自律的な破砕前粗解体選別システムを開発。解体手法毎に策定した生産性ベンチマークと同等以上の性能を達成する装置システムを試作する。ロボット解体試験機開発では、現場手解体作業の動作解析から現場作業員の経験則を抽出し、上記正答率を更に向上するための指針を得る。	3品種以上の廃製品に対し、コア技術となるX線画像のAI解析による選別プログラムを開発したところ、正答率70%以上で品目識別できることを確認。廃製品の解体実験を行ない、開発装置システムの基盤となる実験装置を試作した。ロボット解体試験機では、工場作業員の動作をマルチセンサ・マルチカメラで追跡できる柔軟で可搬性の高い計測システムの構築に至った。	○ 2026年3月に達成見込み	今後、廃製品をグルーピングにより、選別精度は現状より高くなることが予想される。また、今後、前処理の追加で精度上がり、中間目標の解体成功率を達成する見込み。ロボット解体試験機では、既に、映像やセンサーから距離と必要動作の判断及び実行する自動試験機の設計に着手済み。今後、位置情報に力情報を追加する手法も導入するため、現場作業員の経験則をより効率的に取得し、解体正答率70%以上を達成できる見込み。
	(c) リマン対応分解システム・リマン設計	簡易CAD、分解手順生成・識別方法などの要素技術を確立した上で、「分解DB」と「自律分解ロボット」を組み合わせた連携検証を実施し、廃製品3品種に対して分解手法の正答率70%を達成。リマン設計ガイドラインを策定した上で、リマン設計を施したモックでの検証を少なくとも1品種で完了。	CAD情報の簡易化・秘匿化による分解DB構築、分解手順・動作の自動生成および、配線などの難認識部品の認識等の要素技術を確立。それらを統合し物理Simが可能となる分解CPS環境の構築完了。分解DBから自律的に分解動作を実行する自律分解システムを製作。「分解DB」と「自律分解ロボット」を組み合わせた連携検証を実施し、分解すべき廃製品1品種に対して分解検証完了。約300項目からなるリマン設計ガイドラインの策定完了。小型家電1製品に対してガイドラインに沿ったリマン設計完了。	○ 2026年3月に達成見込み	分解CPS、自律分解システムは構築済みであり、基本的な構造については、既に正答率70%以上を達成している。課題であるスナップフィット部についても、アルゴリズム構築まで出来ており、システム化を進めることで、達成見込みである。

研究開発項目①(2)の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

テーマ名	再生材多様化に向けた革新的選別システム開発	達成状況	○(達成見込み)
達成状況の根拠	(a)選別物性別・全粒群対応装置システム開発：破砕機はMAP作成のための基礎データを整備。MSSは装置試作が予定通り進捗。バルク選別機群は自律制御を阻害する形状を特定可能な状況に。エアテーブル・ネルソン・浮選も予定通り試作可能に。リコンビナブル選別装置システム開発：1t/日級のリコンビナブル選別システムは予定通りに試作完了し、基本的な装置間の試料搬送を検証済み。 (b) オンサイト選別装置自律制御化・マルチ選別システム：個別選別装置の自律制御化は、サイズ・形状統一指標の開発可能な状態に。拡張版AEISSも試作済みで、中間目標の達成は可能。マルチ選別システム開発は、1t/日級のマルチ選別システム(リコンビナブル選別システム)は予定通りに試作完了。基本的な搬送制御もお検証済み。		

【開発の意義】

(a)選別物性別・全粒群対応装置システム開発

現 状：個別対象物に対し個別の選別機試験により試行錯誤で制御。選別機の機能最大化要件が不明で、対象物の多様性や変動にも対応できず、不足分を手解体・手選別で補うため、低コスト化や量産が困難に。

開発後：最適な単体分離・ソータ選別を確立。バルク選別機の阻害因子(サイズ・形状)の影響解消で多様な対象物の選別機能最大化を実現。装置を自在に組み合わせる機能開発で、手作業なしで多様性や変動に対応。

(b) オンサイト選別装置自律制御化・マルチ選別システム

現 状：手解体・手選別でも細部まで対応できなため高純度再生原料とならず、水平リサイクルは銅・貴金属に限定。

開発後：バルク選別装置の阻害因子であるサイズ・形状のバラつきを数値化し制御。選別装置群の最適組み合わせ、各装置の運転を最適化する数値計算の実現により、無人で多様な素材の高純度再生原料が生産可能に。

選別物性別・全粒群対応システム

整粒機構	従来選別機	自律制御
------	-------	------



多様な製品・素材に対応した選別装置・選別システムの自動・自律制御を実現

旧来の貴金属・銅に加え、レアメタル、アルミ、鉄、プラスチックなども、無人の選別システムで、水平リサイクル可能な高純度再生原料として生産可能に。

研究開発成果 項目①(2)再生材多様化に向けた革新的選別システム開発

(a) 選別物性別・全粒群対応装置システム開発

選別物性別・全粒群対応装置開発

■ 破砕機 (単体分離特性MAP)

試料、破砕機のグループの組み合わせによる単体分離特性のベンチマーク試験を実施し、単体分離特性に対する破砕機評価MAPを作成。対象廃棄物の5割以上を検証済み。

■ ソータ:マルチセンシングソータ(MSS)の開発

複数センサに自在に組み合わせ総合判断をするソータを試作。鉄スクラップ選別を例に1t/日の処理に対応可能なMSS基本システム及び分散供給機構を開発。

■ バルク性質利用選別機の開発・整備

比重・磁性・導電性等を利用した各種バルク選別において、計算に基づく自律制御を阻害する形状の影響をキャンセルさせる形状整粒スクリーンを試作。既存選別機群の選別限界と下限粒径を検証。加えて、機構的に自律制御が困難な、エアテーブル・ネルソン・浮選について、半自律的な制御を可能にする機構を開発する。

リコンビナブル選別装置システム開発 [装置システムの連結・統合]

小型家電破砕粒子の選別装置間の相互搬送を行うとともに、選別装置の組み換えが容易な、ベルトコンベア型マルチ搬送システム(リコンビナブル選別システム)を開発。前記の主要選別装置群を含む、1t/日級の「ベンチスケール選別システム」を試作。



マ
ベ
ル
ル
基
チ
ト
本
搬
送
シ
ス
テ
ム
の
試
作
。

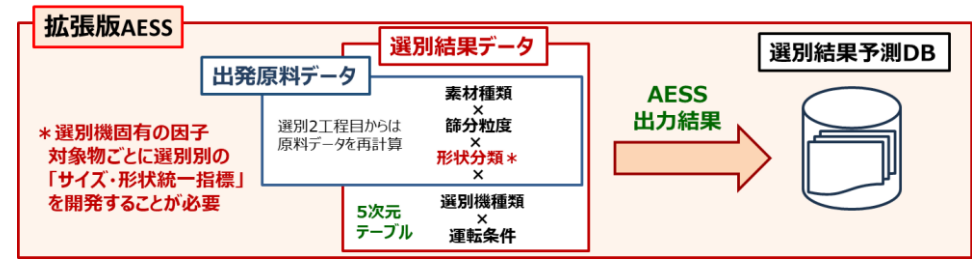
センシングユニット		選別対象の破砕物				
名称	名称	全粒 群選別	加粒物	鉄屑鉄 合金選別	非黒色 有粒物	黒色 有粒物
2D	2次元カラー画像	●	●	●		
3D	3次元画像	●	●	●		
IND	誘導電磁力	●	●			
XRT	X線透過率	●	●			
LIBS	レーザー誘起プラズマ発光分光			●	●	●
NIR	近赤外線吸収分光	●				
THz	テラヘルツ波透過率/反射率	●			●	●
IES	帯電電					●
Raman/FT-NIR	ラマン分光/フーリエ変換型近赤分光	●				●
データ融合・AI解析		●	●	●	●	●

●:対象物別に使用が想定されるMSSユニット

(b) オンサイト選別装置自律制御化・マルチ選別システム

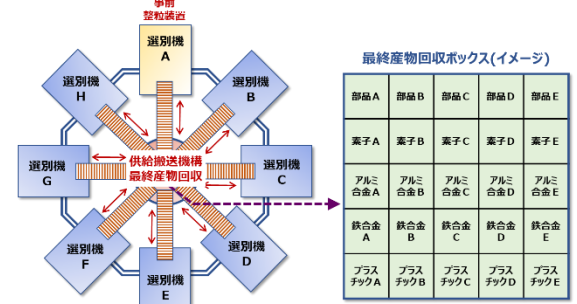
個別選別装置の自律制御化

形状が統一されている電子素子については、ソータはもとより、バルク性質質量選別機についても、個別装置の制御及び選別システムを計算で最適化するソフトウェア「AESS」を過去に開発済みである。①(2)(a)で開発する「形状整粒スクリーン」を経ることで、多様な破砕物に対しても形状範囲が認識可能となる。個別選別装置の自律制御機構を確立するため、選別機種・回収素材種ごとに、新たに形状パラメータを組み込んだ拡張版AESSを試作する。



マルチ選別システム開発 [選別装置群一貫制御システム]

個別装置の自律制御情報を元に、選別装置間の供給搬送システムを最適化する選別装置群一貫制御システムを試作し、1t/日級ベンチスケール選別システムに組み込む。また、解体・破砕工程を含めた廃製品の情報管理システムを試作するとともに、選別目標となる選別産物の要求組成を算定する。



リコンビナブル選別システムの概念図

研究開発成果 項目①(2)再生材多様化に向けた革新的選別システム開発

中分類	小分類 (要素技術)	中間目標 (2026年3月)	成果(実績)	達成 (見込み)	達成の根拠/解決方針
(2)再生材多様化に向けた革新的選別システム開発	(a)選別物性別・全粒群対応装置システム開発	破碎機:対象物・破碎機グループに対する単体分離特性試験を実施し「単体分離最適化MAP」のための基礎データを整備。ソータ:鉄スクラップの鋼材種、外観形状をDB化。鉄スクラップ選別を例に1t/日選別システムに対応可能なMSS基本システム及び分散供給装置を試作。バルク性質利用選別機の開発・整備:各種バルク選別において、自律制御を阻害する形状の影響をキャンセルさせる整粒スクリーンを試作。機構的に自律制御が困難なエアテーブル・ネルソン・浮選について、半自律的制御を可能にする機構を開発。リコンビナブル選別装置システム:選別装置間の相互搬送と選別装置の組み換えが容易なベルトコンベア型マルチ搬送システム(リコンビナブル選別システム)を開発。主要選別装置群を含む1t/日級の「ベンチスケール選別システム」を試作。	破碎機:対象物構造、破碎機をグループ化、単体分離特性評価方針を決定し、廃棄物全体のうち5割以上に相当するサンプルを対象として、試料、破碎機のグループの組み合わせによる単体分離特性のベンチマーク試験を行った。ソータ:マルチセンシングソータ:対象製品/鋼材種の組成調査、スクラップの外観情報DB化した。また、MSS基本システム、MSS供給分散機構を試作した。バルク性質利用選別機の開発・整備:各種バルク選別の選別データを取得。気流選別機について(2)(b)で開発したサイズ・形状統一指標により自律制御を阻害する形状を特定し、形状の影響をキャンセルさせるスクリーンを試作。エアテーブル・ネルソン・浮選についても、実験とシミュレーションにより半自律制御に必要な要素技術を開発し、半自律制御を実現し得る装置を試作した。リコンビナブル選別装置システム開発:リコンビナブル選別機構の機械的接続方法、情報接続仕様を決定し、複数装置間の試料相互搬送が可能な1t/日級のリコンビナブル選別システムを試作した。	○ 2026年3月に達成見込み	破碎機:取得した分析情報に基づきMAP作成のための基礎データの整備が可能。ソータ:中間目標を達成に向けた装置試作が予定通り進捗。バルク性質利用選別機の開発・整備:気流選別と同様の手順で他装置についても自律制御を阻害する形状を特定、整粒スクリーンを開発することが可能。エアテーブル・ネルソン・浮選についても装置の試作は予定通りに進捗。リコンビナブル選別装置システム開発:1t/日級のリコンビナブル選別システムは予定通りに試作完了し、基本的な装置間の試料搬送は検証済み。
	(b) オンサイト選別装置自律制御化・マルチ選別システム	個別選別装置の自律制御化:各選別機に影響するサイズ・形状統一指標を明らかにし、個別装置の自律制御確立のため、形状パラメータを組み込んだ拡張版AEISSを試作。マルチ選別システム開発:前記で開発する拡張版AEISSの計算結果に基づき、リコンビナブル化された装置群を、選別工程制御、装置間の搬送制御を含めて一貫制御するシステムを開発を試作。1t/日級ベンチスケール選別システムに組み込む。また、解体・破碎工程を含めた廃製品の情報管理システムを試作しに、選別目標の産物組成を算定する。	個別選別装置の自律制御化:各選別機毎にサイズ・形状統一指標を検証中。まずは気流選別のサイズ・形状統一指標を開発した。形状パラメータを組み込んだ拡張版AEISSの試作を完了し性能検証中。マルチ選別システム開発:選別工程制御、コンベア上の搬送産物位置認識機能を持つ選別装置群一貫制御システムを、1t/日級ベンチスケール選別システムに組み込みテスト中。また、廃製品の情報管理システムを試作。選別産物の要求組成について、貴金属の最低含有率や製錬忌避物質の受入上限の調査するとともに、乾式製錬技術では回収できない金属種の回収技術を検討した。	○ 2026年3月に達成見込み	個別選別装置の自律制御化:サイズ・形状統一指標について、気流選別と同様の手順にて他装置も開発可能な見込み。拡張版AEISSも試作済みで、中間目標の達成は可能。マルチ選別システム開発:1t/日級のマルチ選別システム(リコンビナブル選別システム)は予定通りに試作完了。基本的な搬送制御は検証済みで、2026年3月までに選別工程制御、処理速度の検証を実施予定。

研究開発項目②(1)の成果（アウトプット目標達成度）と意義

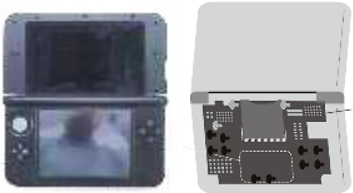
テーマ名	データベース構築支援に向けた高度分析・計測システム開発	達成状況	○(達成見込み)
達成状況の根拠	(a) 製品選別情報自動分析システム：X線CTによる製品3次元ボクセルデータは合計70以上を達成できる見込み。ルールベース及び深層学習による内部構造データ取得は、数分/ケース程度の処理速度となり、人手の解体・測定時間の1/10以下を達成見込み。ポテンシャル指標の原案構築は予定通り完了し、マテバラ分析をもとに3品目の簡易評価を進め、妥当性を確認予定。 (b) 粒子選別情報自動分析システム：粗粒破碎物：モデル①は粒子画像から2次元的な単体分離状態を推定し、3次元の単体分離状態への変換精度を向上。モデル②は、実廃棄物粒子に近い構造を検証し、改造を図ることで目標を達成する見込み。細粒破碎物：合金の人工物分析境界を判定。人工物形状特徴は(a)の成果を共有。この特徴情報と連携し、人工物の2D→3D変換モデルを確立できる予定。		

【開発の意義】

(a) 製品選別情報自動分析システム

現 状：研究開発項目①では、現状の廃小型家電の構造分析データに基づいて破碎前処理のグループ化・最適化を行うが、汎用的な分析手法が確立されておらず、新製品対応など事業終了後の継続的なデータ取得が困難。

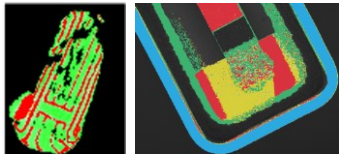
開発後：未知製品について汎用かつ迅速な構造データを取得できるようになり、継続的な情報の拡充が可能となる。



(b) 粒子選別情報自動分析システム

現 状：研究開発項目①では、廃小型家電の破碎データに基づいて破碎産物をグループ化、適正な単体分離の実現を目指す。細粒鋳物の単体分離分析法しか存在せず、人工物の正確な評価に多大な時間を要している。

開発後：人工物に対して粗粒・細粒に対応した単体分離分析法を確立し、リサイクルに適した単体分離・素材の迅速な評価を実現。



廃製品構造や破碎産物の各素材の単体分離を判定・データ化する分析装置群を開発

メーカ等から製品情報の提供がなくとも、適切な解体・破碎を行う条件を継続的に取得可能に。粗粒を含めた人工物破碎物の単体分離を精度良く分析することで、選別制御にフィードバック可能に。

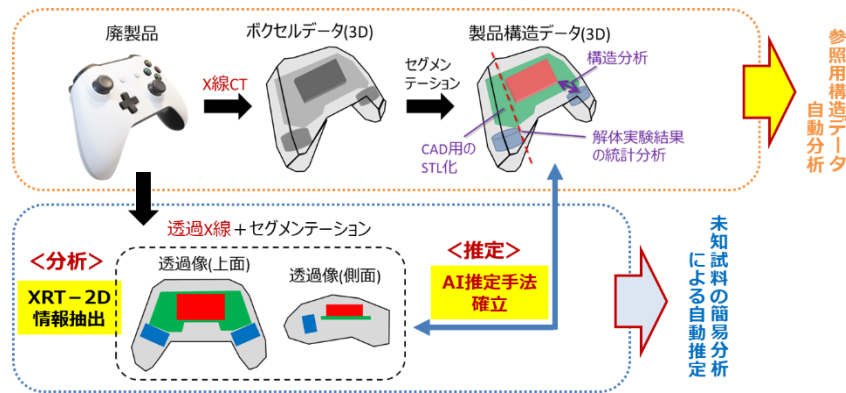
研究開発成果 項目②(1) データベース構築支援に向けた高度分析・計測システム開発



(a) 製品選別情報自動分析システム

製品破碎特性分析技術開発

廃製品の破碎特性を分析するには、現状、手作業で行うしかないが、これを短時間に自動で分析するシステム。まずは、X線CTデータから、製品の3次元ボクセルデータの取得(70以上)し、製品3品種以上を例にデータセットの完成例を示す。従来の人手による解体・測定に対して、1/10以下の時間でデータ取得が可能となる分析手法を提示する。



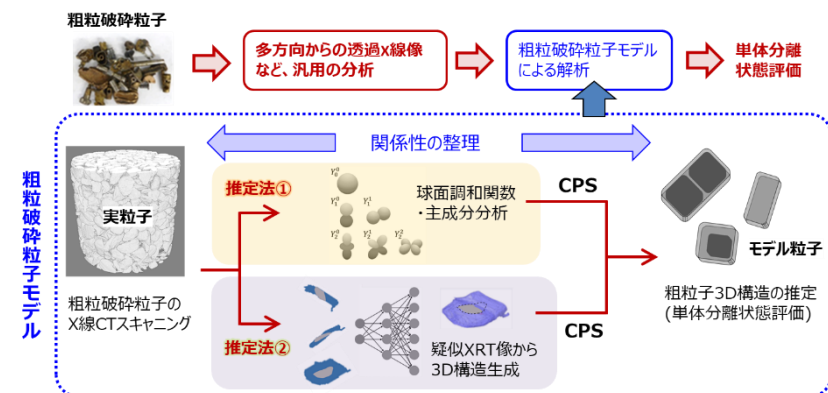
動静脈連携を考慮した資源循環性に資する指標の提示

項目①の開発で、製品情報に基づく資源回収価値が推定できれば、このシステムの利用を前提に、動脈側が販売する製品の構造に基づいて、静脈側でどれだけ資源価値が回収可能かが推定できる。この指標化の手法を開発し、指標の原案を構築。調査結果も踏まえて動脈側の製品の資源循環配慮性と静脈側の工場の高度さの指標についてまとめ、資源循環性に資する指標の案に対して3品目以上で簡易評価を行ったうえで、指標を一旦完成させる。

(b) 粒子選別情報自動分析システム

粗粒破碎物の選別特性分析技術開発

現在は存在しない粗粒を対象とした単体分離分析装置を、人工物粒子の形状特徴に合わせて開発する。2つの破碎粒子モデルを検討し、X線CTデータと比較しつつ、合理的な3D粒子情報生成アルゴリズムを開発する。X線CTスキャンをそのまま分析手法として用いた場合に比べ、1/10以下の時間でデータ取得が可能となる分析装置システムの手法を示す。



細粒破碎物の選別特性分析技術開発

粒子の3D解析は、粗粒破碎物の選別特性分析技術と共有した上、過去に鉱物向けに開発済みであるSEM-EDXベース単体分離分析装置「CAMP」を人工物に対応した分析装置として開発する。CAMP独自の組成クラスタリング技術用い、合金の検出精度を検証する。人工物の単体分離状態の分析を可能にする解析アルゴリズムを開発、人工物の3D変換モデルの速度と精度を検証し、SEM-EDXベースの単体分離分析システムを試作する。

研究開発成果 項目②(1) データベース構築支援に向けた高度分析・計測システム開発



中分類	小分類 (要素技術)	中間目標 (2026年3月)	成果(実績)	達成(見込み)	達成の根拠/解決方針
(1) データベース構築支援に向けた高度分析・計測システム開発	(a) 製品選別情報自動分析システム	3次元の製品構造解析により製品破砕特性が推定可能な分析技術を開発において、X線CTによる製品の3次元ボクセルデータの取得(70以上)を実施し、製品内部構造データをまとめる。製品3品種以上を例にデータセットの完成例を示す。従来の人手による解体・測定に対して、1/10以下の時間でデータ取得が可能となる分析手法を提示する。 資源循環性指標は、各文献調査を踏まえ、動脈(資源循環配慮)と静脈(工場の高さ)を示す項目を設定し、指標原案を策定。3品目以上で簡易評価を行い指標を完成。	X線CTによる製品の3次元ボクセルデータを40以上取得済み。製品3品種以上を対象として、ルールベース及び深層学習による内部構造データ取得方法を開発中。既存指標調査を踏まえ、動脈・静脈の資源循環配慮項目を設定し、「動脈の設計改善」、「静脈の新リサイクル技術」の導入・普及前に効果を検証するためのポテンシャル評価としての指標原案を策定完了。簡易評価に向けた具体製品のマテバラ分析(3商品)を完了。	○ 2026年3月に達成見込み	2025年度にX線CTによる製品の3次元ボクセルデータを30以上取得する予定であり、中間目標である合計70以上を達成する見込み。 開発中のルールベース及び深層学習による内部構造データ取得方法では、数分/ケース程度の処理速度となる予定であり、人手による解体・測定時間の1/10以下の時間で処理を達成する見込み。 これまでの議論で、本評価指標をポテンシャル指標と位置付けることができ、原案の構築が予定通り完了。今後は、マテバラ分析をもとに、簡易評価を3品目進めることで、妥当性を確認することができ、目標を達成できる見込みである。
	(b) 粒子選別情報自動分析システム	粗粒破砕物：粗粒破砕粒子モデル①及び②を開発し、これらに基づき、X線CTスキャンをそのまま分析手法として用いた場合に比べ、1/10以下の時間でデータ取得が可能となる分析装置システムの手法を示す。 細粒破砕物：鋳物向けに開発済みのSEM-EDXベース単体分離分析装置「CAMP」を人工物に対応した分析装置として開発する。素材種の判定と、人工物の形状特性評価を行い、人工物の2D→3D変換モデルを確立し、SEM-EDXベースの単体分離分析システムを試作する。	粗粒破砕物：粗粒破砕粒子モデル①の具体化プロセスとして、粒子の画像から2次元的な単体分離状態を推定し、3次元の単体分離状態に変換する手法の方法論を開発した。また粗粒破砕粒子モデル②の推定法として、透過X線データ等の2次元情報から3次元構造を推定する手法の開発を行い、比較的単純な構造の場合に高精度の推定が可能であることを確認した。 細粒破砕物：素材元素組成情報を整理し、素材分類アルゴリズムを作成した。旧来のMLA(BSE像認識)ではドメイン境界を認識できない合金複合材をCAMP合金MAPで識別可能であることを確認した。また、鉄合金標準試料をCAMP分析し合金識別可能性を検証し、少なくとも隣接組成合金がなければ、系別の合金識別は可能であることを確認した。	○ 2026年3月に達成見込み	粗粒破砕物：粗粒破砕粒子モデル①開発について、2025年度に粒子データ数を増大することで、粒子の画像から2次元的な単体分離状態を推定し、3次元の単体分離状態に変換するプロセスの精度を高める。粗粒破砕粒子モデル②開発について、2025年度中により実廃棄物粒子に近い構造について検証を実施し改造を図る。上記により、中間目標を達成する見込み。 細粒破砕物：(a-1) <製品破砕特性分析技術開発>にて人工物形状特長を検討中。この特徴情報と連携し人工物の2D→3D変換モデルを確立する予定である。

研究開発項目②(2)の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

テーマ名	再生材流通高度化に向けた基盤技術開発	達成状況	○(達成見込み)
達成状況の根拠	(a) リサイクル工場における情報の活用：モデルプラントの整備は予定通り。トラブル発生箇所と解消方法を破碎・選別装置開発とメンテナンスロボ開発に共有。タグ利用技術では貼付機を試作し、テスト・改造を実施して目標の達成の見通し。工場間情報連携では、コスト算出要素と計算手法は整理済。工場間情報連携評価ソフトも試作完了し、ソフトによる評価の妥当性を検証できる予定。 (b) リマン工場における情報活用と動静脈情報連携基盤の開発：リマン対応自律分解システムの開発、情報連携基盤システムのPoCに向けたプロトタイプの開発を完了し、それらの統合検証を実施予定。資源循環シナリオは、評価の枠組み、評価対象の事業シナリオの検討まで進捗。ステークホルダ(7社以上)からの意見収集・議論により、さらなる精緻化・内容の充実化を図るフェーズであり、予定通り達成できる見込み。		

【開発の意義】

(a)リサイクル工場における情報の活用

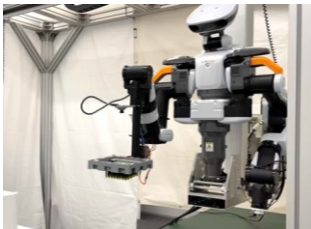
現 状：研究開発項目①で開発する、自律運転可能な選別システムは確立されておらず、情報活用による同システムの活用範囲の拡張は、システム導入後に旧来の経験に基づいて改めて考えることを余儀なくされる。

開発後：メンテナンスロボ、タグ利用システム、工場間連携をモデルプラントで検証することで、システム導入後の速やかな機能選択・拡張が可能となる。

(b)リマン工場における情報活用と動静脈情報連携基盤の開発

現 状：研究開発項目①で開発するリマン対応分解システムの普及には、動脈-静脈間でのデータ連携など、現状の情報共有では対応できない状況が予想される。また、本事業開発装置の社会実装には、シナリオの作成が重要となる。

開発後：リマン工場向けの製品データ活用法と情報連携基盤・普及シナリオ構築より、速やかな社会実装を実施する。



開発するリサイクル・リマン工場向け装置に対する情報利用技術により機能拡張と普及促進を目指す

本事業の新規開発装置を前提とした各種の情報活用による技術・システムの提案によって、開発装置の運用方法を同時に検討することで、社会実装の確度を向上。

研究開発成果 項目②(2) 再生材流通高度化に向けた基盤技術開発

中分類	小分類 (要素技術)	中間目標 (2026年3月)	成果(実績)	達成(見込み)	達成の根拠/解決方針
(2) 再生材流通高度化に向けた基盤技術開発	(a) リサイクル工場における情報の活用	静脈プロセス情報の活用に向けたモデルプラントの整備：先行事業で開発した無人選別システム(CEDESTシステム)を連続運転が可能な状態に整備し、連続操業の課題を抽出、遠隔操作メンテナンスロボによるトラブル解消を検証。モデルプラントを利用した情報連携の検証：様々な形状を有する小物家電に貼付可能なRFIDタグ自動貼付システムとRFIDタグ自動貼付システムの動作に必要な小型家電の機種情報管理システムを試作し、成功率70%を達成する。マルチ選別システム導入工場が非対応工場と連携しバーチャル大工場化する効果を検証する。工場間情報連携評価システムの要件定義を行い、工場間情報連携評価ソフトを試作して動作の検証を行う。	静脈プロセス情報の活用に向けたモデルプラントの整備：CEDESTシステムをDINS関西に移設、不足機器を追加し連続運転可能なシステムに整備を完了し、連続運転試験を試行中。機械的機能付与により解消可能なトラブルについて、選別機ホッパーの閉塞解消機構を改良。また、天井走行吊り下げ型メンテナンスロボを試作し、シミュレーションでの遠隔操作の試行中。モデルプラントを利用した情報連携の検証：RFIDタグの貼り付け・読み取り可能な位置を導出する画像認識システム、RFIDタグの自動貼付システム、自動貼付システムで貼付可能な万能型RFIDタグ、小型家電の機種情報管理システム用DBを試作。工場間情報連携による選別工程の高機能化では、コスト算出要素を具体化。工場間情報連携による売却益増大またはコスト削減を評価する際の入出力項目を整理。	○ 2026年3月に達成見込み	静脈プロセス情報の活用に向けたモデルプラントの整備：モデルプラントの整備は予定通りに進捗。軽微・高頻度なトラブルの抽出について、トラブル発生箇所と解消方法の詳細を装置開発とメンテナンスロボ開発で共有し、ロボット機能に反映。モデルプラントを利用した情報連携の検証：タグを利用した動静脈間情報伝達と制御情報への変換では、試作機開発は予定通り進捗し、試作機のテスト、改造を実施し、目標の達成の見通し。工場間情報連携による選別工程の高機能化では、コスト算出要素と計算手法は整理済。プログラミングの実施で、工場間情報連携評価ソフトは試作完了予定。コスト算出要素の情報収集を進めており、実態に即したソフトによる評価の妥当性を検証予定。
	(b) リマン工場における情報活用と動静脈情報連携基盤の開発	情報連携基盤システムの要件定義し、プロセス高度化に有用な情報を提示。ステークホルダにヒアリング(7社以上)実施し、実現性/受容性を加味。プロトタイプを開発し、リマン有効性を検証。資源循環シナリオについては、廃小型家電の回収実態と再生材需要を調査し、代表素材を2つ以上設定。評価手法の枠組みを構築し、ステークホルダ(7社以上)から意見収集し、評価手法の基本設計を完成。	情報連携基盤システムに関して、ステークホルダ(7社)へのヒアリング実施し、高品位な資源循環に関する期待値とともに、設計情報の機密性担保の必要性を確認。またプロセス高度化に有用な情報群を定義完了。以上を踏まえ、セキュリティを担保できるシステム要件を定義し、リマン有効性検証のためのプロトタイプの製作完了。連携検証に向けた事前検証として各ステークホルダがセキュアに分解DBにアクセスできることを確認完了。 廃小型家電の3側面(供給、回収、需要)から対象2素材として、アルミニウムとプラスチックを選定した上で、資源循環シナリオの評価手法の枠組みを構築。また事業・環境評価に向けて3商品の事業シナリオ検討完了。	○ 2026年3月に達成見込み	リマン対応自律分解システムの開発も完了しており、情報連携基盤システムのPoCに向けたプロトタイプ開発も完了している。25年度は、それらの統合検証を実施するが、リスクは小さい。資源循環シナリオは、評価の枠組み、評価対象の事業シナリオの検討まで進捗している。25年度は、ステークホルダ(7社以上)からの意見収集・議論により、さらなる精緻化・内容の充実化を図るフェーズであり、予定通り達成できる見込みである。