

資料5

**「高効率な資源循環システムを構築するための
リサイクル技術の研究開発事業」
(終了時評価)
2017年度～2022年度 6年間**

プロジェクトの概要 (公開版)

2023年4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
環境部

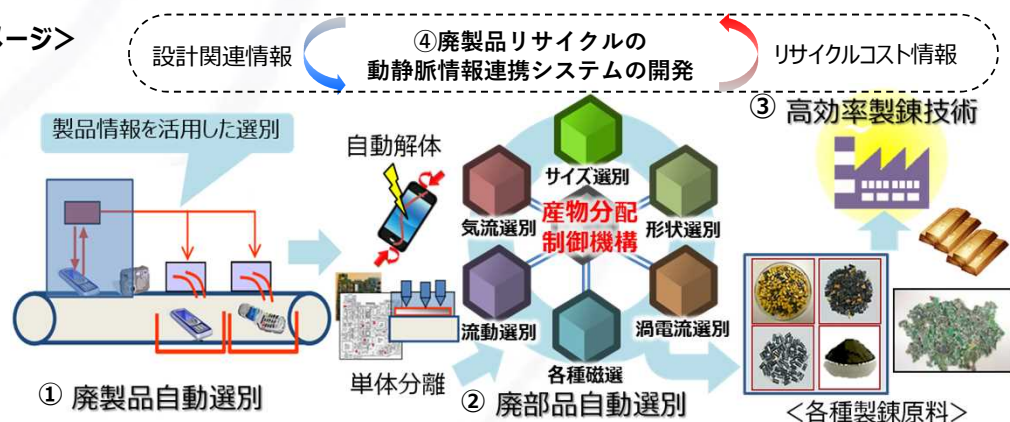
高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業

プロジェクトの概要

資源・エネルギーの安定供給及び省資源・エネルギー化を実現するため、我が国の都市鉱山の有効利用を促進し、金属資源を効率的にリサイクルする革新技術・システムを開発する。

具体的には、使用済み電子機器の個体認識・解体・選別プロセスを無人化する廃製品自動選別システム、廃部品を製錬原料として最適選別する廃部品自動選別システム、従来の金属製錬技術を補完する多品種少量金属種の高効率製錬技術の開発を行う。さらに、情報技術等を有効活用することによって、動静脈産業が一体となった戦略的な資源循環システムを支える技術基盤を構築する。

<全体システムイメージ>



想定する出口イメージ等

アウトプット目標	①廃製品自動選別…従来の人手による解体・選別プロセスの10倍以上の処理速度 ②廃部品自動選別…分離効率80%以上の性能を有し、既存の製錬プロセスで受入れ可能な品質に選別 (①と②を連動させたベンチスケールシステムを完成させる。) ③高効率製錬技術…希薄系原料：相互分離係数5を有する分離試薬を開発 濃縮系原料：コスト1/2以下(従来比)で、希土類元素の純度80%以上での直接回収 ④動静脈情報連携システム…都市鉱山ポテンシャル評価・廃製品リサイクルコスト評価システムの実現
アウトカム目標	2035年度までに、これまで国内で再資源化されていなかった金属資源を資源化し、年間約1000億円相当の新たな市場を創出する。

環境部 今西大介(主任研究員)
 関連する技術戦略:メタルリサイクル分野の技術戦略
 プロジェクト類型:基盤研究開発

既存プロジェクトとの関係

エネ環先導プログラムにて先導研究を実施。先導研究内容を踏まえて、本事業の技術開発内容を決定。
 先導研究:情報技術を活用したレアメタル等金属を高効率にリサイクルする革新プロセスの開発[2015~2016]

事業計画

期間:2017~2022年度(6年間)
 総事業費:28.7億円(委託)
 2022年度政府予算額:4.2億円(需給)

<研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模>

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
①廃製品自動選別技術開発	[Progress bar from 2017 to 2021]						
②廃部品自動選別技術開発	[Progress bar from 2017 to 2021]						
③高効率製錬技術開発	[Progress bar from 2017 to 2021]						
④動静脈情報連携システム					[Progress bar from 2021 to 2022]		
評価時期			中間評価				事後評価
予算(億円)	4.4	4.9	5.2	5.6	4.4	4.2	-

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(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況



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



(※) 評価対象外

2. 目標及び達成状況(詳細)

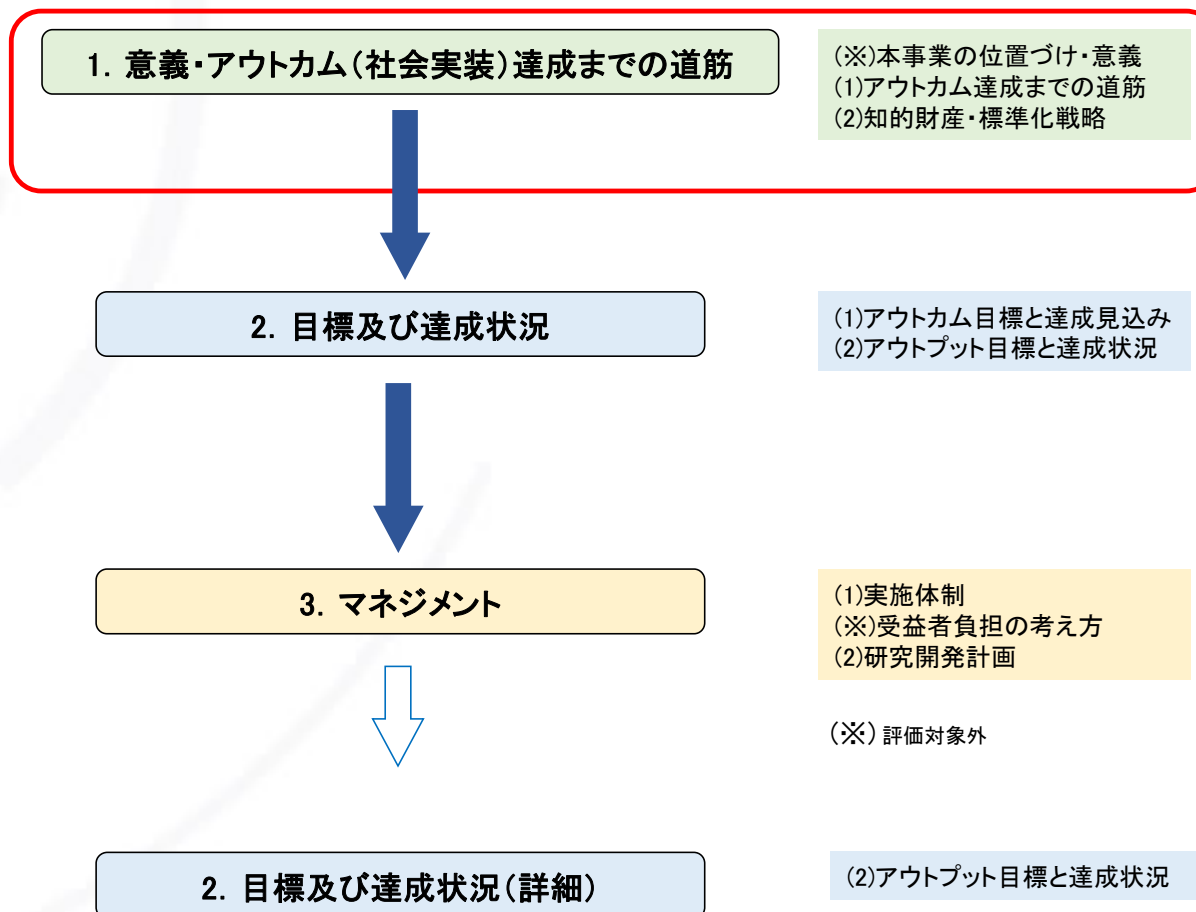
(2)アウトプット目標と達成状況

＜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 * 終了時評価においては対象外

(1) アウトカム達成までの道筋

(2) 知的財産・標準化戦略



事業の背景・目的・将来像

■社会背景・事業の目的

国際的に需要の増大が見込まれる有用金属の安定確保及び省資源・省エネルギー化のため、国内外の地上資源の高度活用システムの構築が課題。

安価で高品質なリサイクル材の安定的な生産・供給の実現を目指し、廃小型家電等を製品レベル・部品レベルで自動選別するプロセス及び高効率な製錬プロセスなどを構築するための研究開発を行う。これにより、世界に先駆けた高効率かつ省エネルギー効果の高い資源循環システムを構築する。

政策・施策における位置づけ

■ 第四次循環型社会形成推進基本計画(2018.6.19 閣議決定) より

(引用)

5. 国の取組

5.3. ライフサイクル全体での徹底的な資源循環

5.3.3. ベースメタルやレアメタル等の金属

「我が国の都市鉱山を有効に活用するため、廃小型家電の選別システムや製錬システム等の革新につながる研究開発や、これらをシステム化する IT 等を有効活用することによって、動静脈産業が一体となった戦略的な資源循環システムの構築を行う。」

■ 循環経済ビジョン2020(2020.5.22 経済産業省) より

(引用)

V. 我が国としての対応の方向性

3. レジリエントな循環システムの早期構築

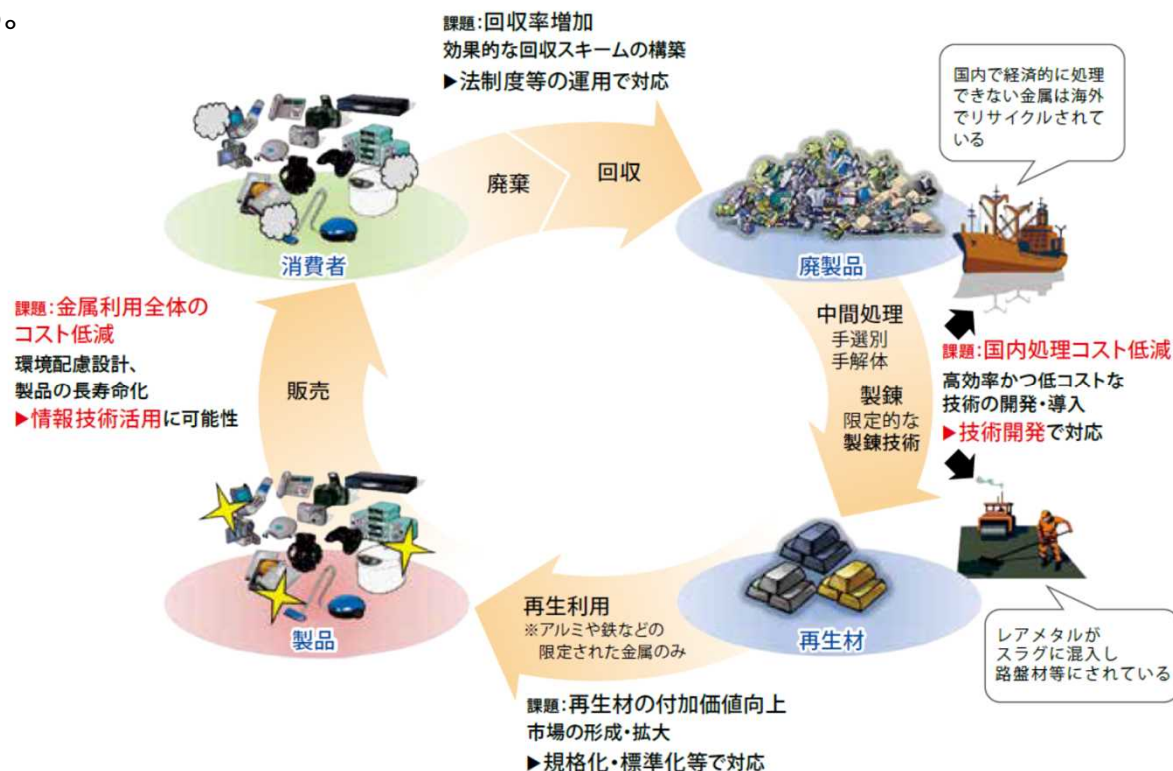
(1) 国内循環システムの最適化とそのためのリサイクル先の質的・量的確保

「静脈産業は依然として労働集約的な側面が残っており、将来的な人口減少を踏まえれば自動化プロセスへの転換は不可欠である。AI 技術の導入により、光学選別、磁力選別、浮沈選別等の基盤技術を更に効果的かつ効率的に開発・利用していくとともに、そのための人材育成を続けていくことが重要である。」

技術戦略上の位置づけ

■ NEDO TSC Foresight Vol.13 メタルリサイクル分野の技術戦略策定に向けて (2016年12月)

リサイクルで金属資源を安定的に供給する手段の一つとして成立させ、回収した金属を高機能製品の原料として使用可能とするリサイクル (質のリサイクル) を目指すべきである。



金属資源のバリューチェーンにおける課題と対応策



国内外の動向と比較

- Appleのみ自社製スマホを自動識別をするが、他は素材が対象か、人手を介する。本事業で開発のシステムは、多メーカー・多品種の廃製品を識別して、解体から電子素子の選別まで一貫して自動処理を果たすもので、他に類がない。
- 高精度相互分離に関し、本事業で得られた高い重希土分離性能を示す系は、他に類がない。
- 廃磁石からの回収プロセスでは、競合するものは混合希土としての回収が主である。本研究のプロセスは希土類の分離回収と大幅な簡略化が可能な点で一線を画すものである。

分類	推進者	国	処理技術	URL
選別	ZenRobotics	フィンランド	建築廃材用ロボットソーター	https://www.terex.com/zenrobotics/
	Apple	米国	iPhone専用自動解体システム Daisy	https://www.apple.com/
	RTT-Steinert GmbH	ドイツ	廃プラスチック選別用ソーター	https://steinertglobal.com/
	TOMRA Sorting GmbH	ノルウェー	金属スクラップ選別用ソーター	https://languagesites.tomra.com/
	ImpulsTec GmbH	ドイツ	電気パルス高純度分離装置	https://impulstec.com/en/home/
	Katholieke Universiteit Leuven	ベルギー	廃製品内のバッテリー検出技術	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920305619?via%3DiHub
	Katholieke Universiteit Leuven	ベルギー	タブレット解体システム	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827122000452
	Fraunhofer IFF	ドイツ	解体・基板素子回収システム ADIR	https://www.iff.fraunhofer.de/en/business-units/robotic-systems/adir.html
	福岡県	日本	電池選別システム	https://www.pref.fukuoka.lg.jp/press-release/220623resouken.html
	南陽	日本	ヒートセパレーター、AIセクター	https://www.nanyo.co.jp/jp/news/pdf/20220616.pdf
製錬	European Commission	欧州	資源リスクの高いクリティカルマテリアルの特定とそのマテリアルフローの整理	https://rmis.jrc.ec.europa.eu/
	Seren AG	英国	イオン液体による溶媒抽出法	https://www.seren-ag.com/rare-earth-separation-recycling/
	Oak Ridge National Laboratory	米国	抽出剤開発	https://www.ornl.gov/
	USA Rare Earth	米国	イオン交換法	https://www.usare.com/post/manage-your-blog-from-your-live-site
	AMES	米国	湿式プロセス開発	https://www.ameslab.gov/news/science-news-recycling-rare-earth-elements-is-hard-science-is-trying-to-make-it-easier
	東芝	日本	熔融塩を用いたプロセス開発	https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2015/05/70_05pdf/a07.pdf
	Iowa State University	米国	熔融金属を用いた乾式プロセス	https://dr.lib.iastate.edu/entities/publication/7a9680d7-1f65-49d9-b755-100a3cb7e542

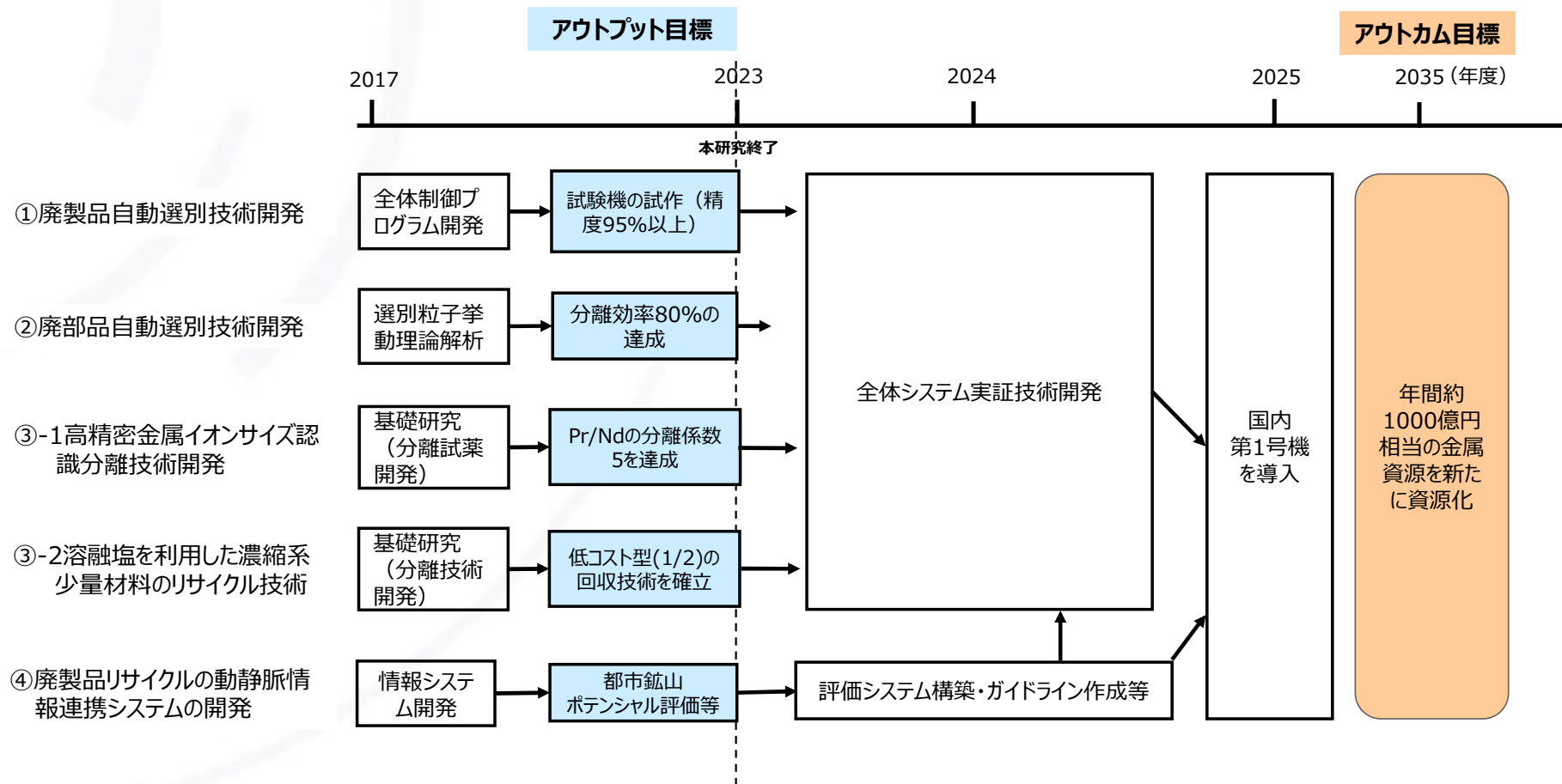


他事業との関係

項目	実施機関	プロジェクト名	期間	事業タイプ	事業内容
1	JST	未来社会創造事業/新たな資源循環サイクルを可能とするものづくりプロセスの革新	2017 ~2024	基礎 応用研究	製品使用から、再(生)利用・長期利用にわたる様々な場面での先端的な「製造・分離・評価」等の要素技術とそれらに基づく設計体系やそれらの技術を用いたシステムの研究開発
2	JOGMEC	金属資源の生産技術に関する基礎研究	2016~	基盤研究	レアメタル等を対象とした、採鉱技術、選鉱・精錬技術、尾鉱・製錬残渣等に 残存する有価金属の回収技術及び使用製品のリサイクル技術をテーマとした 基礎研究
3	NEDO	希少金属代替材料開発プロジェクト	2012 ~2013	補助事業	希少金属の代替技術、使用量低減技術に係る技術開発
4	NEDO	希少金属代替省エネ材料開発プロジェクト	2014 ~2015	補助事業	希少金属の代替技術、使用量低減技術に係る技術開発
5	NEDO	情報技術を活用したレアメタル等金属を高効率にリサイクルする革新プロセスの開発	2015 ~2016	先導研究	動脈産業-静脈産業が連携を深め、天然鉱山と価値競争できる金属資源循環の基盤を構築するため、製品の資源配慮設計指針や、都市鉱山ポテンシャルの推計手法の確立、手作業を一掃する自動自律型都市鉱山や少量多品種製錬を実現するための要素技術の確立を目指す。

項目5のNEDO先導研究を基にして本研究開発をナショナルプロジェクトとして開始

アウトカム達成までの道筋



知的財産・標準化戦略

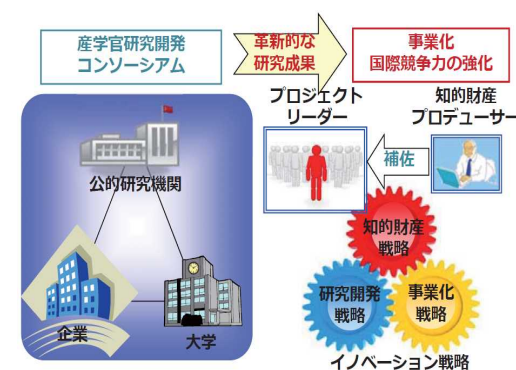
- 知財として確保することが有利な技術に関しては積極的に特許として出願する
- ノウハウとして保有することが有利な技術に関しては出願しない
- バックグラウンド特許を中心として権利化の範囲を広げる

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)					
				2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
①	リサイクル	ソーティング、センシング	小型電気製品の識別方法及び選別装置（特許5988242）	0	0	6	7	5	-
②	リサイクル	バルク選別、自動化	タンタルコンデンサのリサイクル方法（特許第5267992） 粒子選別機（特許第5862763） 磁選機（特許第5892670）	0	6	4	6	6	-
③-1	・精錬技術 ・リサイクル	湿式製錬、溶媒抽出、イオン交換、沈殿分離	・希土類元素の吸着材及びその回収方法（特許第6103611号） ・希土類イオンの高精度相互分離法（特許第6829805号）	1	7	14	5	2	5
③-2	リサイクル	熔融塩、電解、希土類	希土類金属の回収方法、熔融塩電解装置及びバイポーラー電極型隔膜 特許6823314 希土類金属の回収方法 特許5504515	4	15	8	10	13	17
④	リサイクル	項目①②と同様	項目①②と同様	-	-	-	-	0	7

知的財産管理

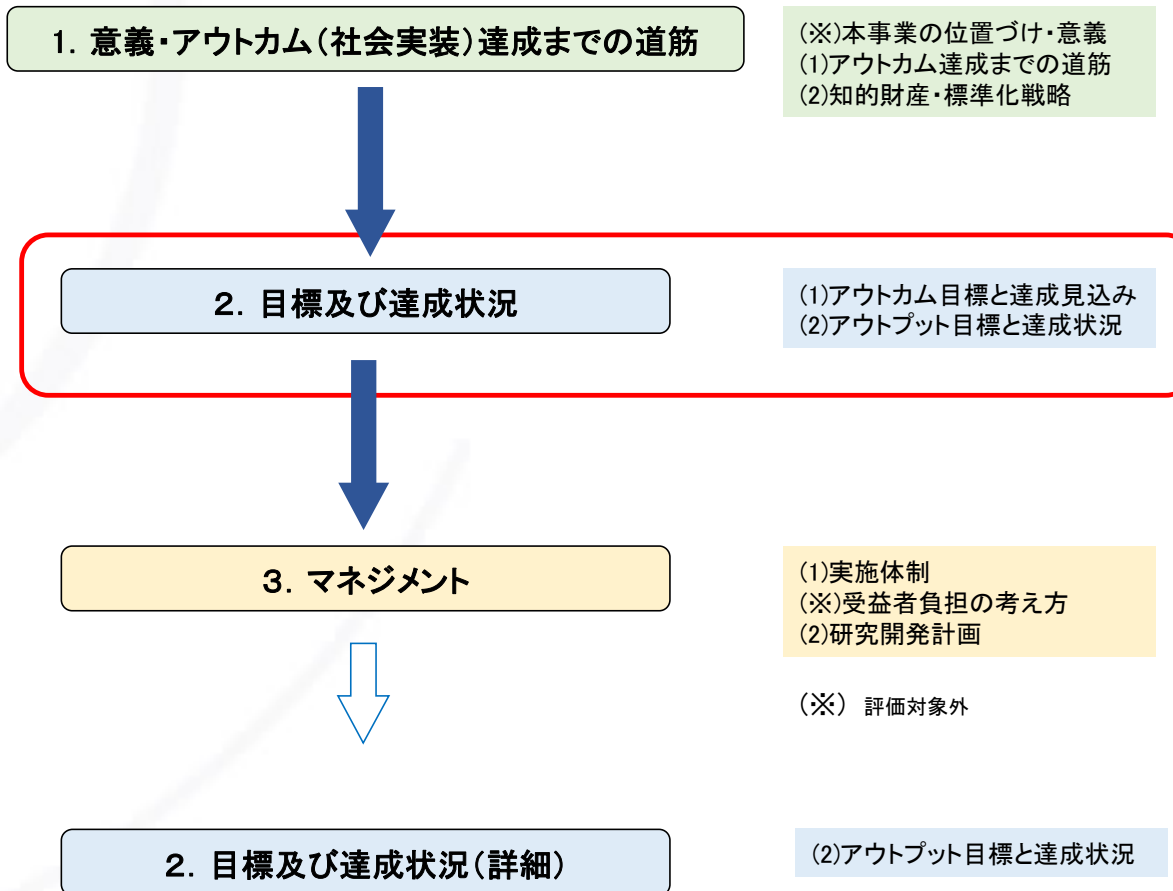
- 知的財産権の帰属及び取扱い方法について文書化して管理
- 本事業で得られた知財については、関係各機関の知財部門と連携し、特許管理、知財管理を推進
 - 知的財産権の帰属
 - 産業技術力強化法第17条第1項に規定する4項目及びNEDOが実施する知的財産権の状況調査（バイ・ドール調査）に対する回答を条件として、知的財産権はすべて発明等をなした機関に帰属。
 - 知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項
 - NEDO知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成。
 - データマネジメントに係る基本方針（NEDO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

本事業は独立行政法人工業所有権情報・研修館(INPIT)の知的財産プロデューサ派遣事業に採択され、2019年4月より、NEDOプロジェクト専属の知財プロデューサが産業技術総合研究所に半常駐している。
 本制度では、NEDOプロジェクトに参画する13機関の知的財産に関する戦略や出願を補佐することを目的としており、既に複数件の特許出願に関して、出願補佐を実施頂いている。



<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



アウトカム目標の設定及び根拠

■ アウトカム目標

2025年度までに、事業により開発された、自動・自律型リサイクルプラント(廃製品・廃部品の自動選別装置)及び少量多品種の金属資源の高効率製錬技術(分離試薬等)の実用化を目指す。これらのリサイクルプラント等の普及により、2035年度までに、これまで国内で再資源化されていなかった年間約1,000億円相当の金属資源を新たに資源化し、我が国の資源安全保障に貢献する。また、環境配慮設計や再生材品質規格の作成等、資源循環の仕組みの社会への普及に貢献する。

■ アウトカムの根拠

「小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会（環境省）」

一般廃棄物由来の金属くずの最終処分量と金額：3.9万トン/年、170億円/年

「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書（環境省）」

一般廃棄物、産業廃棄物等由来の金属くずの最終処分量：85万トン/年

最終処分される金属資源の回収効率を30%と想定

上記条件より

$$85\text{万トン/年} \div 3.9\text{万トン/年} \times 170\text{億円/年} \times 30\% \doteq 1,000\text{億円/年}$$

本事業における「実用化」の考え方

■ 実用化の考え方

『研究開発に係る成果（装置、システム等の基盤技術）がリサイクル事業者、関連装置開発事業者等により利用が開始されること』をいう。

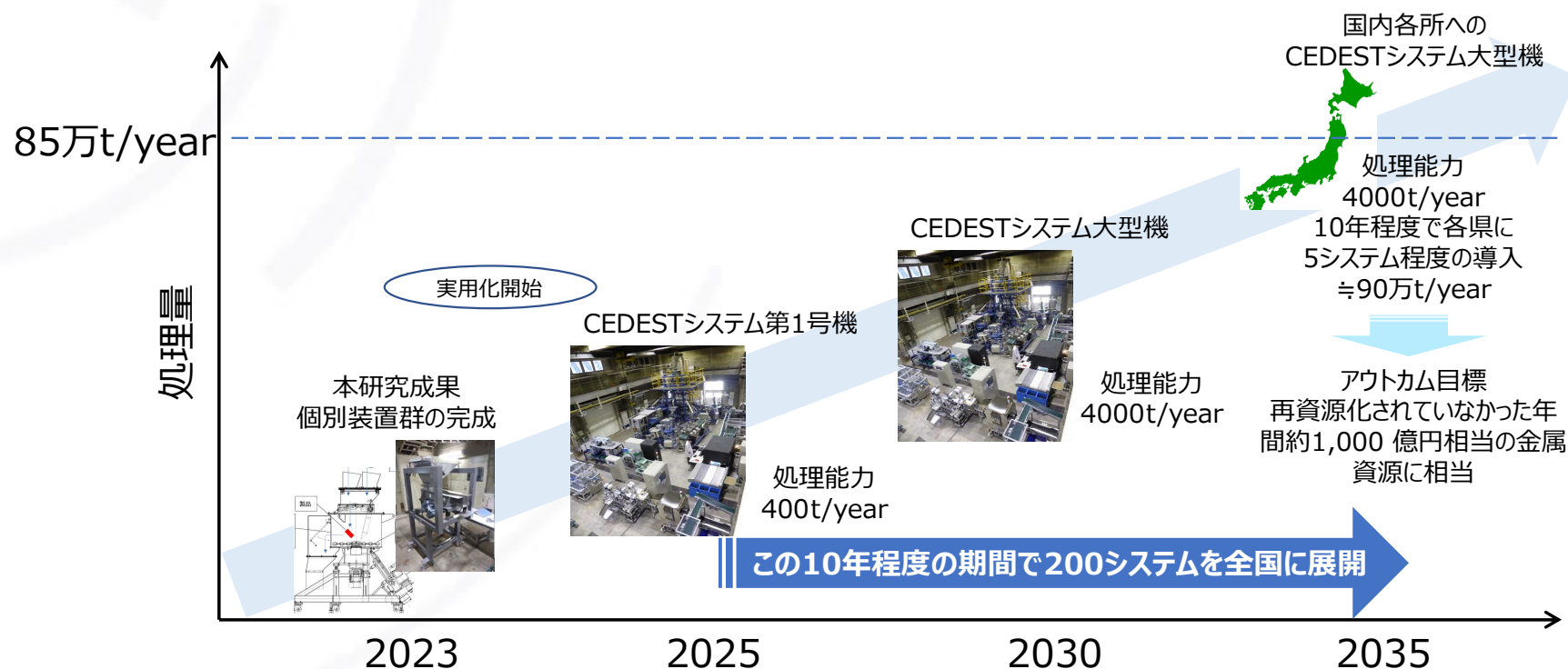
具体的には、本事業で開発された要素技術が試験設備に組み込まれることとする。

■ 実用化の見込み

各研究開発項目は最終目標を達成しており、開発された要素技術で構築された装置群はリサイクル実施者のプラントでの試験運転を開始する予定。

アウトカム目標の達成見込み

- 本研究成果である装置群によるCEDESTシステム国内第1号の処理プラントを発展させ、CEDESTシステム大型化と国内での複数の処理拠点を想定することにより、1,000億円/年の資源化を見込む



波及効果

■直接経済効果600億円/年（国内リサイクラーの設備導入として）

CEDESTシステム大型機 30億円 × 20台/年 = 600億円/年

■電子回路産業の約7,000億円/年（国内）や希土類磁石産業の約600億円/年（国内）等の市場へ原料を安定供給

電子回路産業市場規模：日本電子回路工業会の生産見通し

希土類磁石産業市場規模：希土類磁石の市場（CMCリサーチ）

費用対効果

【投資コストと効果】

プロジェクト費用の総額
28.7億円
(2017-2022年度)



経済効果:再資源化されていなかった金属資源として
1,000億円/年
(2035年)

◆計算根拠

「小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会（環境省）」

一般廃棄物由来の金属くずの最終処分量と金額：3.9万トン/年、170億円/年

「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書（環境省）」

一般廃棄物、産業廃棄物等由来の金属くずの最終処分量：85万トン/年

最終処分される金属資源の回収効率を30%と想定

上記条件より

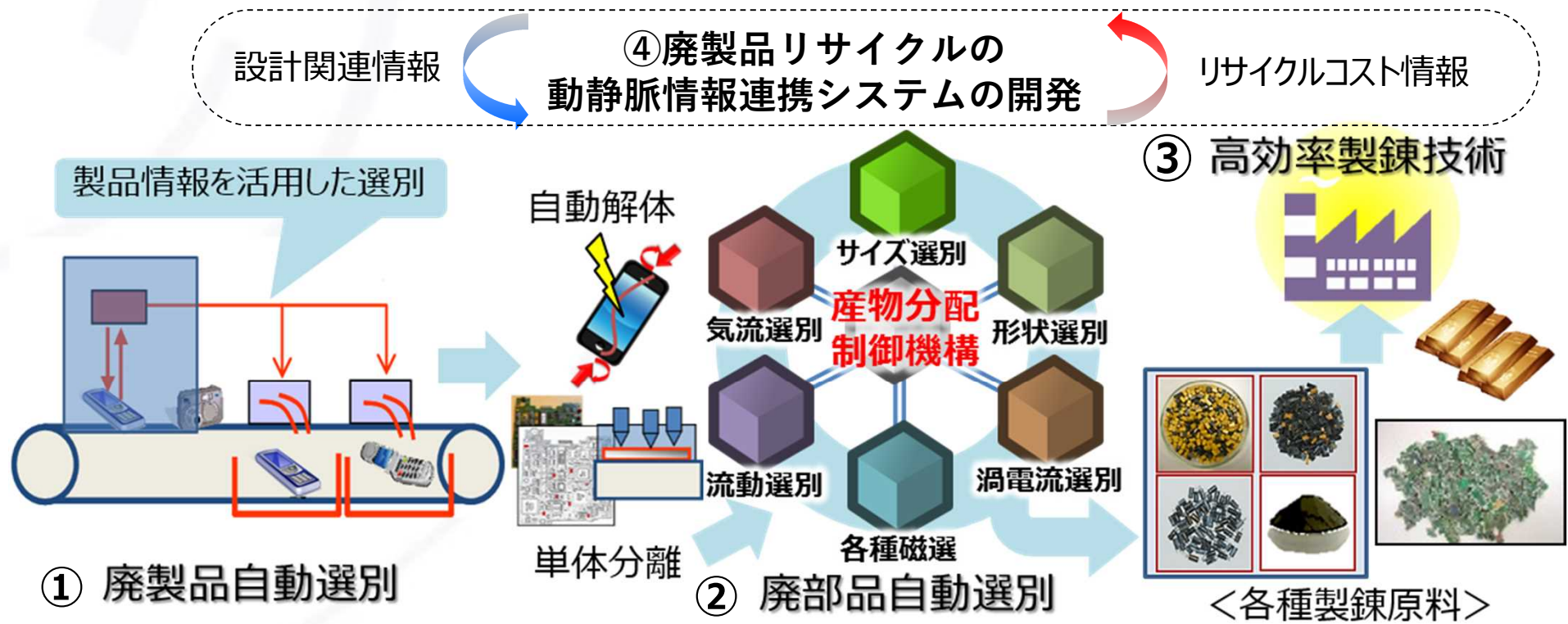
$$85\text{万トン/年} \div 3.9\text{万トン/年} \times 170\text{億円/年} \times 30\% \div 1,000\text{億円/年}$$

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	品位の低い素材へのリサイクル(カスケードリサイクル)中心の現状から脱却し、本来使用されていた素材と同じ品位の素材へのリサイクル(水平リサイクル)中心の新たな循環型社会の実現に貢献する。
②技術の不確実性	世界初となる廃製品及び廃部品選別の自動化(無人化)技術の開発や、0.1 Å以下のイオンサイズ差を認識できる分離試薬の開発等、困難かつ革新的な技術開発を含むため、不確実性が高い。

アウトプット（研究開発成果）のイメージ

<全体システムイメージ>



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	根拠
① 廃製品自動選別技術開発	廃製品（破壊・変形を伴うものを含む）を、処理速度0.5秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、従来の人手による解体・選別プロセスの10倍以上の処理速度を実現するベンチスケールシステムを完成させる。	現状の人手による廃製品の仕分け及び解体には、それぞれ約5秒/製品・個、約5分/製品・個を要していることがリサイクル事業者へのヒアリングでわかっている。人手の10倍以上の処理速度として、0.5秒/製品・個以内の個体認識・資源価値判定及び選別、30秒/製品・個以内の解体・モジュール選別を実現するベンチスケールシステムの完成を最終目標として設定した。
② 廃部品自動選別技術開発	廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、廃部品を分離効率80%以上で選別する性能を有し、各種選別産物の製錬原料化を実現するベンチスケールシステムを完成させる。研究開発項目①及び②を連動させて一貫制御するベンチスケールシステムを完成させる。	従来技術では電子素子選別の分離効率は50%を超えることが困難である。本研究開発項目では多種の電子素子の回収に対し、各電子素子の選別物性シミュレーションにより、既存選別機を最適制御する高性能な選別機開発を目指すものである。これにより、従来より高い回収素子の分離効率80%を実現するベンチスケールシステムの完成を最終目標として設定した。
③ 高効率製錬技術開発	イオン半径が近接する希土類元素を対象に、相互分離係数5を有する分離試薬を開発する。また、2種以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度80%以上で各々同時に連続的に直接回収する技術を実現するとともに、プロセス適用時のコストを1/2以下(従来比)にする見通しを立てる。	鑄型分離については、最終目標として設定した分離係数5を達成すると、分離施設の設置面積が約10分の1になり、実操業を妨げる消防法など各種法令をクリアすることができる。また、溶融塩分離については、単一工程での回収のため、純度の面では従来法より低くなることは避けられない。一方、実際の使用にあたっては目的元素以外の希土類の多少の混入は大きな問題にならない。そのため、使用上問題無いと思われる下限値として80%を最終目標として設定した。
④ 廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発	戦略的鉱物資源20種のマテリアルフロー、製品群30種の製品フローを考慮した都市鉱山ポテンシャル評価・廃製品リサイクルコスト評価システムの構築と、それをういたリサイクル対象鉱種・製品を選定する。	「小型電気電子機器リサイクル制度の在り方(2012年1月)」に記載される代表的な14鉱種と、「資源確保戦略(2012年6月)」で資源確保の観点で重要視されている30鉱種の範囲も考慮し、20鉱種を選定することを最終目標として設定した。また、「小型電気電子機器リサイクル制度の在り方(2012年1月)」に記載されている有用金属金額データから、金属金額ベースで90%程度を回収するために30種を選定することを最終目標として設定した。

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	最終目標	成果 (2023年3月)	計画との差異	今後の課題と解決方針
① 廃製品自動選別技術開発	廃製品（破壊・変形を伴うものを含む）を、処理速度 0.5 秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、従来の人手による解体・選別プロセスの 10 倍以上の処理速度を実現するベンチスケールシステムを完成させる。	<ul style="list-style-type: none"> 廃製品選別～自動解体～モジュール選別のベンチスケールシステムを完成 廃製品選別における品目認識～個体認識(資源価値判定)までの処理速度0.48秒以内/製品・個を達成 自動解体～モジュール選別の処理速度26秒以内/台（人手の10倍の処理速度）を達成（従来の人手による解体・選別の処理速度5分/製品・個と試算） 	○ 2022年3月 最終目標 達成	各要素技術について目標とした性能を達成したが、個別装置の処理速度にはばらつきがあることから、ボトルネックとなる部分の高速化や処理ラインの複線化等を検討し、プラントイメージを明確化する。
② 廃部品自動選別技術開発	廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、廃部品を分離効率 80%以上で選別する性能を有し、各種選別産物の製錬原料化を実現するベンチスケールシステムを完成させる。	<ul style="list-style-type: none"> ベンチスケールの部品剥離装置を開発 4種選別機のシミュレータを開発 金属24種のマテリアルフロー分析 静脈プロセスのシミュレーションモデルの構築 7種選別機で構成する自動選別システムのベンチスケール機を開発 分離効率80%以上で廃部品の自動選別を達成 7種選別機で構成する自動選別システムの電子素子選別シミュレータを開発 	○ 2022年3月 最終目標 達成	実操業で自動運転（無人運転）を行うためには、長時間トラブルなくをシステムを稼働させることが必要である。長時間運転、大量処理運転を行った場合の課題を実証試験により抽出し、改善を行う。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	最終目標	成果 (2023年3月)	計画との差異	今後の課題と解決方針
③-1高効率製錬技術開発 (鑄型分離技術)	イオン半径が近接する希土類元素を対象に、相互分離係数 5 を有する分離試薬を開発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・プラセオジム(原子番号59)とネオジム(原子番号60)間で分離係数5以上が得られる分離試薬を開発 ・重希土類相互分離について、高い分離係数を示す抽出剤構造を特定 	○ 2023年3月 最終目標 達成	本プロジェクトにおいて従来型抽出剤を上回る分離係数を有する新規重希土類抽出剤を得た。この抽出剤の商業利用のためには、工業用溶剤への溶解性や疎水性向上といった操作性の改善、低コストで安全な合成法の確立、さらなる分離係数の向上（現状の2倍程度）を行う必要がある。
③-2高効率製錬技術開発 (濃縮金属部品製錬技術)	2種類以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度80%以上で各々同時に連続的に直接回収する技術を実現するとともに、プロセス適用時のコストを1/2以下(従来比)にする見通しを立てる。	<ul style="list-style-type: none"> ・2種類以上の希土類元素を純度80%以上で同時に分離・回収する技術を確立 ・連続化の課題であった磁石の連続供給、溶解を試作機にて実現 ・プロセス適用時のコストを従来比1/2以下にする見通しを立てた 	○ 2023年3月 最終目標 達成	分離性能として、純度80%以上という最終目標を達成した。ただ、実用化の検討過程において、現行の販売ルートに乗せるには更なる高純度化が必要と判明した。本PJの研究をもとに、正確な電位制御や隔膜保持方法の改善により解決する予定。
④廃製品リサイクルの動静脈 情報連携システムの開発	戦略的鉱物資源 20 種のマテリアルフロー、製品群 30 種の製品フローを考慮した都市鉱山ポテンシャル評価・廃製品リサイクルコスト評価システムの構築と、それを利用したリサイクル対象鉱種・製品を選定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・小電製品30種の製品フロー分析 ・金属・製品別の都市鉱山ポテンシャル評価とリサイクル対象の提示 ・リサイクルの環境負荷低減効果の算定 ・廃製品リサイクルコスト評価システム構築 ・1,000台規模の廃小家電を用いた模擬連続運転試験を完了 ・動脈企業提供情報のレベル(ケース1,2)に応じて装置稼働性を検証し、選別処理フローを構築 ・実証試験に向けた装置各部の改造及び機能最適化検証を完了し、実証試験プランを構築 	○ 2023年3月 最終目標 達成	リサイクル対象鉱種・製品を選定において、情報連携強化による分析の精緻化と社会変化への即応性の向上を行う。 また、自動・自律型リサイクルプラントについては、実連続運転試験による実証試験を通じて、プラントシステム全体の処理性能の確認、経済性の評価、安全性の確認を行う。

研究開発成果の意義（副次的成果）

研究開発項目	意義	副次的成果
① 廃製品自動選別技術開発	DBを駆使した対象製品の効率的な解体・選別と最大価値の取得を目的とする多品種小ロット的なリサイクル方式の先駆的な研究成果であり、静脈側の将来的なニーズに合致している。各種試作装置の開発と実験検証を通じて、実用化に向けてさらに効率化が求められる箇所や低コスト化が可能な箇所等を把握するとともに、開発プロセスの安全性を担保する上で有効な知見を獲得した。	X線撮影による「弱点形成制御システム」の成果に対して、近年社会問題になっているLIBによる火災事故を防止する観点から多種多様な廃製品の内部に残留するLIBの確認手段に利用できないかとの問い合わせが、外部のリサイクル事業者から寄せられ、プロジェクト内でも一部検討した。「SUREコンソーシアム」のリサイクル技術セミナー及びSUREアカデミーにて講演を実施、企業技術者等への成果普及、啓発に努めた。プロジェクト参画機関の若手・中堅技術者、研究者のオンザジョブトレーニングとして人材育成にも貢献した。
② 廃部品自動選別技術開発	マルチ供給搬送システムの開発により、選別機を円形に囲んだ「選別サークル」とし、選別装置間を自在に試料搬送可能なシステムの開発は世界初のアイデア。また、対象物の情報に基づいて、選別工程を自動選択し、かつ、各装置を最適条件で運転するシステムは世界に類がない。また、マテリアルフロー分析の対象鉱種と解像度を、電気電子製品由来の都市鉱山ポテンシャルを評価可能なレベルまで発展させた。	「SUREコンソーシアム」にて年3回のリサイクル技術セミナーを実施。動脈産業事業者、静脈産業事業者、研究者、学生などにリサイクル技術を普及。また、物理選別技術の将来の日本の指導者育成を目的とした「SUREアカデミー」を開講。2018年11月 開講記念公開講座として、NEDOプロの開発概念をベースとした未来志向の技術展開を講義。

研究開発成果の意義（副次的成果）

研究開発項目	意義	副次的成果
③-1高効率製錬技術開発（鋳型分離技術）	重希土類元素であるテルビウム／ジスプロシウム分離は、高性能磁石の需要増加が予測される中で喫緊の課題である。本事業で開発された重希土類分離用抽出剤は、従来型抽出剤を上回るテルビウム／ジスプロシウムの分離係数が得られている。	本プロセスにより希土類の国内リサイクルが可能となれば、電気自動車や風力発電等の普及に多大なる波及効果を持つ。また、卒業論文8件、修士論文7件のテーマとしても実施され、当該分野の人材育成にも貢献した。
③-2高効率製錬技術開発（濃縮金属部品製錬技術）	現在の希土類磁石は多段かつ高コストなプロセスでリサイクルされているため、市中に出回った磁石は廃棄または海外流出している。これに対し、単一工程での高効率リサイクルという世界に類を見ないプロセスを開発し、コストを1/2以下にする目途を立てた。これは、従来技術に対する大きなアドバンテージであり、国内リサイクル実現の可能性を示したものである。	
④廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発	都市鉱山ポテンシャルと資源リスクを考慮したリサイクル優先鉱種の選定が、マテリアルフロー分析の対象範囲の拡大やエビデンスベースの資源リスク評価手法開発により初めて実現した。廃製品リサイクルコスト評価モデルは、効率的なリサイクルプロセス設計に貢献すると期待できる。LCAは資源安全保障とサステナビリティを両立した資源循環を担保するのに不可欠である。また、RFIDタグを活用したスマートフォンの自動選別、自動解体システムを世界に先駆けて開発した。 さらに、製品変動が著しい小型デジタル家電において、製品変動が選別システムに及ぼす影響を評価することは、将来にわたって選別精度を維持し、システムを長期間使用するためには不可欠である。	上記、項目①②と同様。

特許出願及び論文発表

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0 (0)	0 (0)	5 (0)	7 (0)	6 (0)	1 (0)	19 (0)
論文	2	3	6	9	13	10	43
研究発表・講演	20	31	21	19	22	28	141
受賞実績	1	0	0	0	1	1	3
新聞・雑誌等への掲 載	2	20	0	4	0	5	31
展示会への出展	0	0	0	0	0	0	0

※2023年3月14日現在

<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 * 終了時評価においては対象外

(2) 研究開発計画

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)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

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

(※) 評価対象外

2. 目標及び達成状況(詳細)

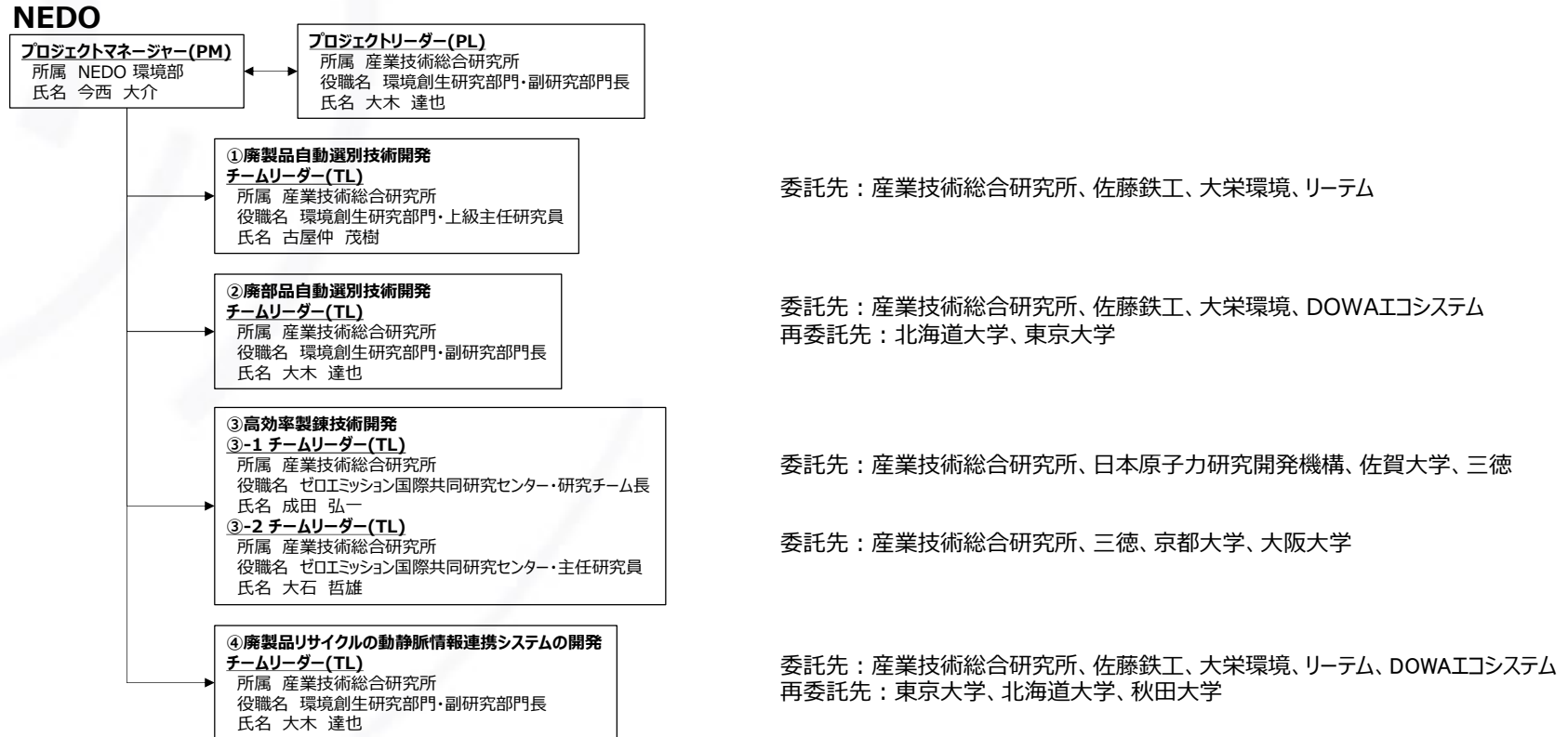
(2)アウトプット目標と達成状況

NEDOが実施する意義

- 資源価値の高い小型家電等廃製品のリサイクルに関わる問題の解決は国の方針に沿った重要課題であり、本事業による各種金属資源の循環並びに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。

NEDOが持つ知識、実績を活かして推進すべき事業

実施体制



【研究開発マネジメント事例】

中間評価での「動静脈産業の連携」のご意見を参考に、研究開発項目④の取組みを追加

個別事業の採択プロセス

【公募】研究開発項目①～③

公募予告（2017年2月1日）⇒公募（2017年3月10日）⇒公募〆切（2017年4月10日）

【採択】

採択審査委員会（2017年5月11日）

採択審査項目：NEDOの標準的採択審査項目

採択条件：本事業は動脈産業との連携が重要であり、早い段階で動脈産業側とのコミュニケーションを図りつつ、2020年度から開始される研究開発項目④「廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発」を視野に入れながら技術開発を進めること。

【採択審査委員】

区分	氏名	所属	役職
委員長	大和田 秀二	早稲田大学 理工学術院	教授
委員	井関 康人	三菱電機株式会社	リサイクル 推進統括部長
委員	加藤 秀和	一般財団法人国際資源開発研修センター-国際資源大学校	研修企画部長
委員	木通 秀樹	株式会社日本総合研究所 創発戦略センター	シニアスペシャリスト
委員	竹ヶ原 啓介	株式会社日本政策投資銀行	産業調査部長

個別事業の採択プロセス

【公募】研究開発項目④

公募予告（2021年7月2日）⇒公募（2021年8月11日）⇒公募〆切（2021年9月21日）

【採択】

採択審査委員会（2021年10月13日）

採択審査項目：NEDOの標準的採択審査項目

採択条件：なし

【採択審査委員】

区分	氏名	所属	役職
委員長	中村 崇	国立大学法人東北大学 福岡県リサイクル総合研究事業化センター	名誉教授 センター長
委員	鶴飼 隆広	株式会社三菱総合研究所サステナビリティ本部	主席研究員
委員	太田 洋文	三井金属鉱業株式会社金属事業本部 技術部	部長補佐
委員	筒井 一就	株式会社グリーンサイクルシステムズ製造管理部	部長

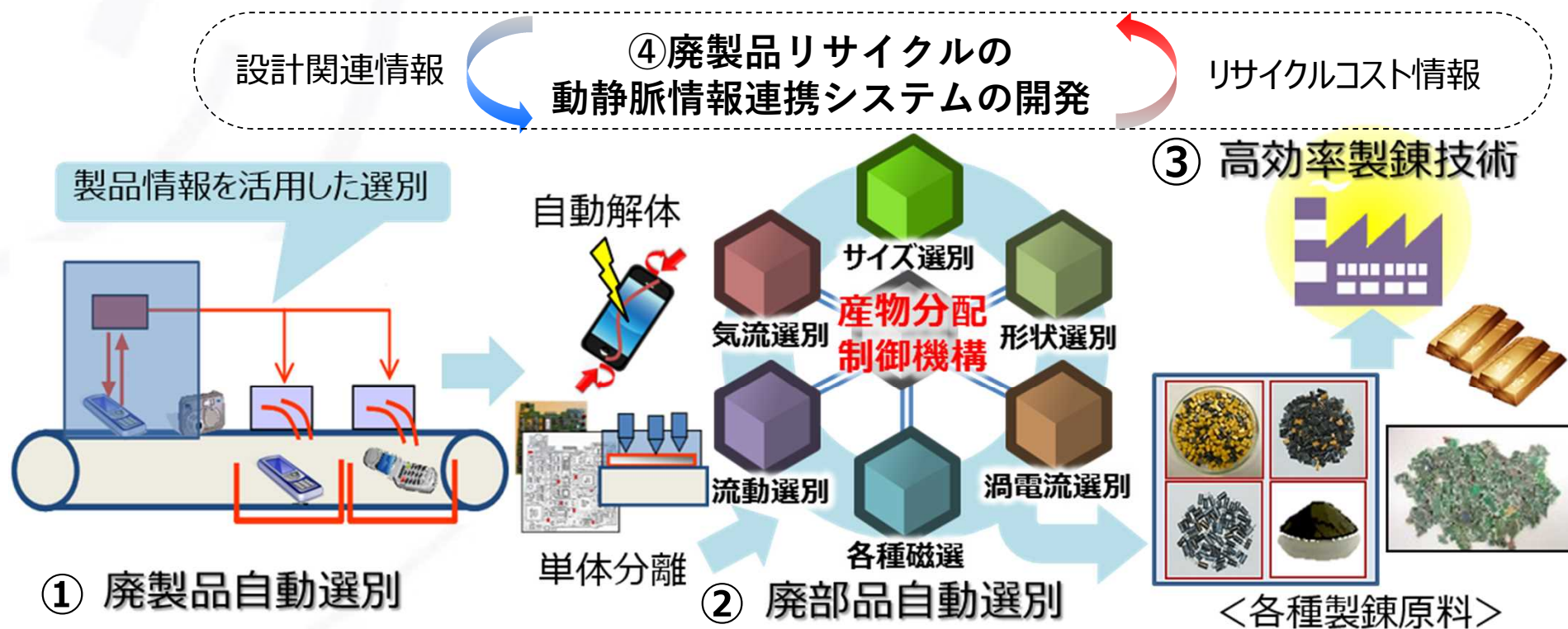
予算及び受益者負担

研究開発項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	合計
①廃製品自動選別技術開発	1.5	1.8	1.8	2.0	1.1	-	8.2
②廃部品自動選別技術開発	1.6	1.6	2.2	1.8	1.1	-	8.3
③高効率製錬技術開発	1.3	1.5	1.2	1.8	2.0	2.0	9.8
④廃製品リサイクルの動静脈 情報連携システムの開発	-	-	-	-	0.2	2.2	2.4
合計	4.4	4.9	5.2	5.6	4.4	4.2	28.7

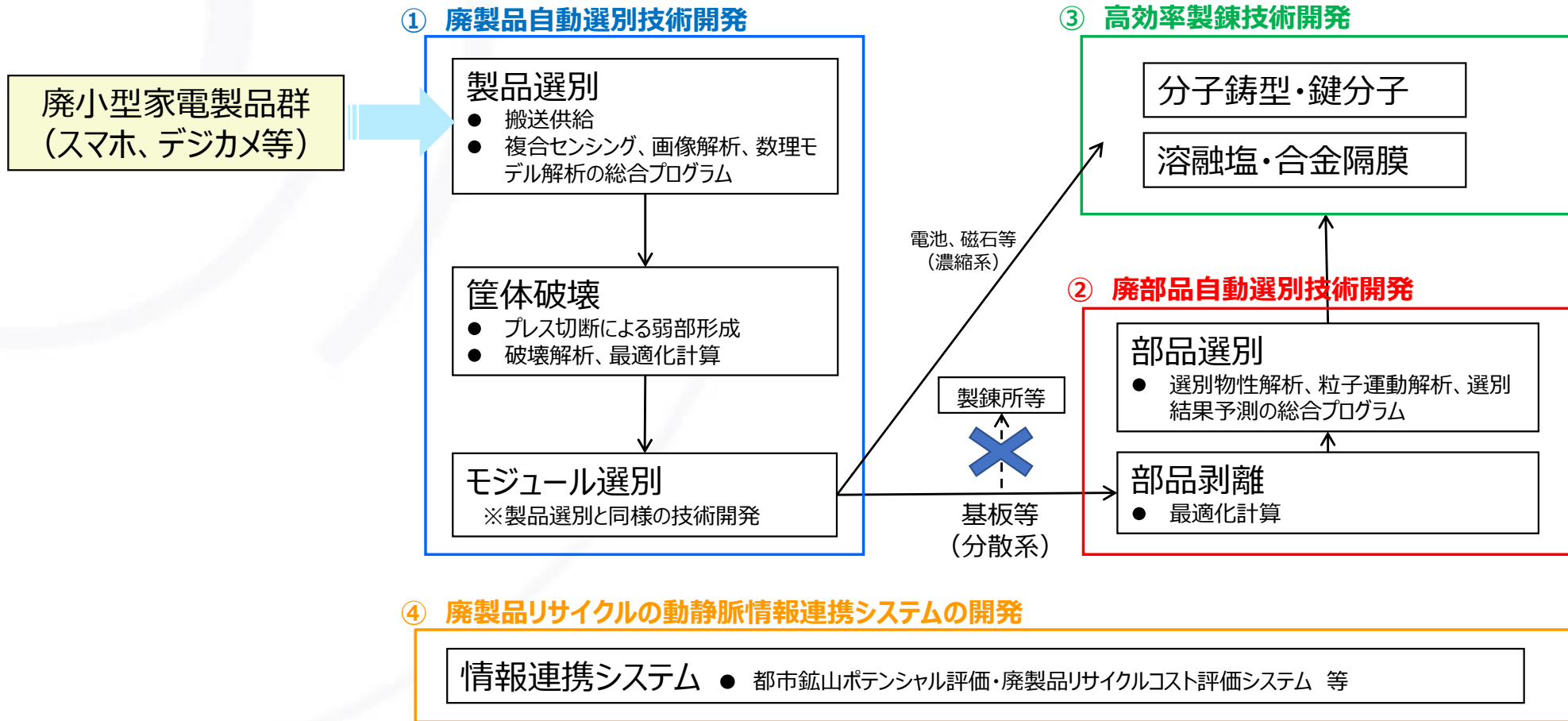
※全研究開発項目は、委託事業（単位：億円）

アウトプット（研究開発成果）のイメージ

<全体システムイメージ>



目標達成に必要な要素技術



研究開発のスケジュール

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
研究開発項目①	製品ソータ研究開発 自動解体装置研究開発 モジュールソータ研究開発		ベンチスケール試作機開発	試作機改良、DB拡充 条件最適化、DB拡充 条件最適化、DB拡充		統合試作機開発	
研究開発項目②	部品剥離装置研究開発 選別装置自動制御技術研究開発 TF選別システム研究開発		ベンチスケール試作機開発	試作機改良 条件最適化 試作機改良			
研究開発項目④				動静脈連携の検討 ・委託調査		リサイクル対象選定 統合試作機の最適化	
研究開発項目③-1	鋳型分離メカニズム解析 新規配位子合成手法検討 従来型分離法での基本検討		新規配位子合成手法確立	分離工程の要素技術最適化 合成手法の最適化 新規分離材の合成、コスト試算		最終目標	
研究開発項目③-2	合金隔膜の長寿命化研究開発 分離性向上検討		ラボ機試作分離条件最適化	ラボ機改良、条件最適化検討、連続操業実施 他元素への適用検討 複数元素の同時制御技術開発			
評価時期			中間評価				終了時評価

【研究開発マネジメント事例】

中間評価での「動静脈産業の連携」のご意見から、情報連携に関する委託調査を行い研究開発項目④の公募へ繋げた

進捗管理

会議名	主要出席者	目的	頻度	主催
技術推進委員会	外部有識者、事業者、NEDO	本事業の進捗状況、方針の確認等を第三者である外部有識者からアドバイス、指導を得る。	年1回程度	NEDO
PL、PM会議	PL、テームリーダー、PM、NEDO	本事業のPL、PMを中心に、事業の進捗状況、予算の執行状況、研究開発の一部加速、削減などについて協議する。	年2回程度	NEDO
研究開発協議会	事業者、NEDO	全研究開発項目の主たる担当者を集め、事業の進捗状況を共有し、課題点などを協議する。	年2回程度	PL
知財委員会	事業者	本事業で発生する成果として、論文発表や特許等の知的財産権の取り扱いについて協議する。	適時	事業者
テーマ別開発協議会	事業者、NEDO	各研究開発テーマごとの研究担当が進捗状況を確認するとともに、技術的な課題点を協議する。	年2回程度	事業者
SURE CEDEST集中研 運用協議会	事業者	産総研に設置した集中研（CEDEST）における運用（研究機関の出入り制限等）について協議する。	適時	事業者

進捗管理：中間評価結果への対応

指摘	対応
実用化に向けて、回収・処理できる対象品の規模や回収素材全体の価値の定量的な把握が必要である。	研究開発項目①、②の研究開発成果である装置群を統合しシステム化し、新たに採択した研究開発項目④でそのシステムを活用して回収対象となる製品、鉱種等の素材の価値の把握を実施。
成果をどのように社会で使えるものにするのか、動静脈産業の連携はもちろん、将来のビジネスモデルや使用例、我が国資源政策への貢献の仕方などを鮮明にすることが望まれる。	委託調査にて動静脈の連携に資する技術開発の方向性を得て、それに基づき研究開発項目④を実施した。研究開発成果である装置群の統合によりCEDESTシステムを構築する事により、このシステムを用いて社会実装の姿、使用例が検討出来るような成果につなげた。

進捗管理：動向・情勢変化への対応

- 本事業実施期間中に小型家電のリサイクルに関して政策動向等の大きな変化はなかったが、2018年に重希土類の需要増予測に関する報告があり対応を行った。

- ✓ テルビウム、ジスプロシウムの需要動向
次世代自動車（HV、PHV、EV等）、エアコン、ハードディスク等のモータ製品に用いられるネオジム磁石には重希土類であるテルビウム、ジスプロシウムが含まれ、今後両重希土類の需要増が見込まれる。

- ✓ 技術推進委員会での意見(2018年3月6日)
③-1の研究開発で軽希土類プラセオジム、ネオジムでの高い分離係数が見込まれることから、今後の重希土類テルビウム、ジスプロシウム需要増を鑑みて、テルビウム、ジスプロシウムでの分離技術検討の重要性が指摘された。

- ✓ 対応
技術推進委員会の意見を基に、③-1の研究開発目標であるイオン半径が近接する希土類元素の対象として、重希土類であるテルビウム、ジスプロシウムを加え2018年度から検討を開始。

ネオジム(Nd)、ジスプロシウム(Dy)：需給動向

- 需要面では、ネオジム磁石は主に次世代自動車(HV、PHV、EV等)、エアコン、ハードディスク等の製品に使われており、これらの製品の需要増により、ネオジム・ジスプロシウムの需要も堅調に推移すると見込まれる。
- 供給面では、依然として世界における生産量及び我が国の輸入相手国において中国が大きなシェアを占めており、供給リスクは存在。一方、今後、豪州、米国等のレアアース鉱山が本格的な生産を開始しつつあり、市場動向を注視しているところ。

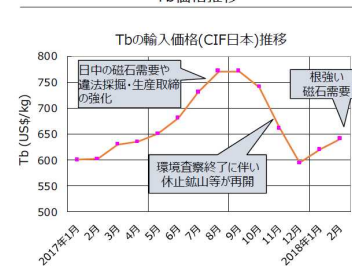
出典：レアメタル・レアアース（リサイクル優先5鉱種）の現状（平成26年5月経済産業省）
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/haikibutsu_recycle/pdf/026_04_00.pdf

車載モーター用磁石原料のリスクシナリオ③

- 磁石の磁化・保磁力要求水準の高まりによるTb、Dy需要増

リスク要因	対応策
<ul style="list-style-type: none"> ● バッテリーEVについては高速回転による発熱のため、保磁力（耐熱性）を高める必要あり → DyはHVと変わらず必要 ● Dyを添加することで保磁力は向上するが、磁化（磁力の強さ）が低減。磁化の低減を抑制しながら保磁力を高める目的でTbの使用が増加 ● 合金にTb添加するケースと、磁石メーカーにおいて粒界拡散に用いるケースあり 	<ul style="list-style-type: none"> ● 磁石メーカー、自動車メーカーにおけるTb、Dy使用削減の取組推進 ● Dy、Tbのリサイクルの実施

Tb価格推移



出所) アルム出版社「レアメタルニュース」

Tb、Dyの使用削減事例

取組主体	取組内容
大同特殊鋼㈱ 本田技研工業㈱	● ハイブリッド車用駆動モーターに適用可能な高耐熱性と高保磁力を兼ね備えた、重希土類完全フリー熱間加工ネオジム磁石を世界で初めて実用化し、新型「FREED」に採用
獨逸芝	● Dyを一切使用しないモーター用の高鉄濃度サマリウム・コバルト磁石を開発。モーターの実使用温度域（100℃以上）において、従来品の耐熱型ネオジム磁石と同等以上の磁力を持つ
韓国立製作所	● モーターの鉄心に鉄基アモルファス金属を採用することで、Nd、Dyを含んだ磁石を用いない、11kW高効率永久磁石同期モーターを開発
TDK㈱	● ネオジム磁石の製造において、Dyの使用を最小限に抑えるHAL（High Aniso. field Layer）工法を導入。さらに、生産工程全体を見直すことで、保磁力を向上させたDyフリー・ネオジム磁石の開発に成功
昭和電工㈱	● Dyを添加せずに添加品と同等性を維持するDyフリー化の研究開発に取組んでおり、4%添加品と同等性のDyフリー磁石合金を開発

出所) 各社プレスリリース等に基づき作成

出典：平成29年度鉱物資源開発の推進のための探査等事業（経済産業省）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000278.pdf

進捗管理：開発促進財源投入実績

年度	増額 (百万円)	研究開発 項目	目的	成果
2017	56	①	製品供給過程での機能向上に資する3D形状を見出すため、供給機形状最適化計算ソフトウェアの購入	実用的な製品搬送・供給機開発の確度向上による研究加速
		②	基板上の部品剥離状態を自動分析するため、部品剥離状態分析装置の購入	部品剥離過程の操業条件の最適化システム構築による研究加速
		③-1	鋳型分離技術開発過程における希土類元素の精確な定量のため、高精密金属濃度測定装置の購入	微量成分の精確な定量による研究加速
2018	82	①	外観が類似した製品の選別精度を向上させるため、誘導起電力発生状態評価解析装置の購入	開発装置の廃製品適用可能性の検証による研究加速
		①	製品選別過程での対象製品を拡大させるため、労務費・消耗品費を増額	
		③-1	鋳型分離過程での極微量沈殿物の詳細観察のため、Spring8にX線顕微鏡システムを導入	重希土元素の分離可能性の検証による研究加速
2019	30	②	処理対象の家電のプラスチックの種類判別のため、ハンディプラスチック判別装置の購入	回収産物の金属純度の精度向上による研究加速
		②	選別装置内での電子素子の挙動解析のため、混相流シミュレーションソフトウェアのライセンス購入	選別機の最適化検討の効率化による研究加速
		③-2	合金隔膜の強度への影響因子を把握するため、マイクロオーダーでの元素分布分析装置の購入	合金隔膜の長寿命化や分離性能向上の検討効率化による研究加速
		③-2	長時間の電解で生じる難溶解成分を容易に定量するため、マイクロ波分解装置の購入	実用化での課題抽出や対策立案の効率化による研究加速
2020	35	①	筐体解体における弱点形成制御システムに対する深層学習の識別機能の追加	弱点形成制御システムの性能向上による、自動解体技術の研究加速
		②	電子素子の3次元形状データを取得するため、3Dスキャナ型三次元測定機の購入 振動篩上での粒子振動モデル構築に要するデータを自動的に取得するため、形状特徴自動解析プログラムの導入	シミュレーションの予測精度向上及び選別装置の最適設計の時間短縮を通じた、電子素子の選別最適化研究の効率化による研究加速
2021	21	③-1	溶媒抽出時の共存アニオン分析のため、陰イオン濃度分析装置の購入	重希土相互分離に関する条件の最適化による研究加速
		③-2	合金隔膜の断面の組織観察のため、組織観察装置（SEM）の購入	溶融塩電解技術の他元素への展開による研究加速
2022	38	④	製品解体過程における解体成功率向上のため、製品内部の構造判定装置として透過X線装置の購入	低コスト型の解体装置の開発による研究加速
			選別装置内での金属回収性能の向上のため、高機能化した比重選別機の製作	選別装置内の物質挙動解析の精度向上による研究加速
			選別装置内での電子素子の挙動解析精度の向上のため、計算ソフトウェアの改造	選別装置内の物質挙動解析の精度向上による研究加速
			部品選別装置の機能拡張のため、複数の構成要素の改造	実用化での課題解決による研究加速

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(概要)

(1)アウトカム目標と達成見込み
(2)アウトプット目標と達成状況

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

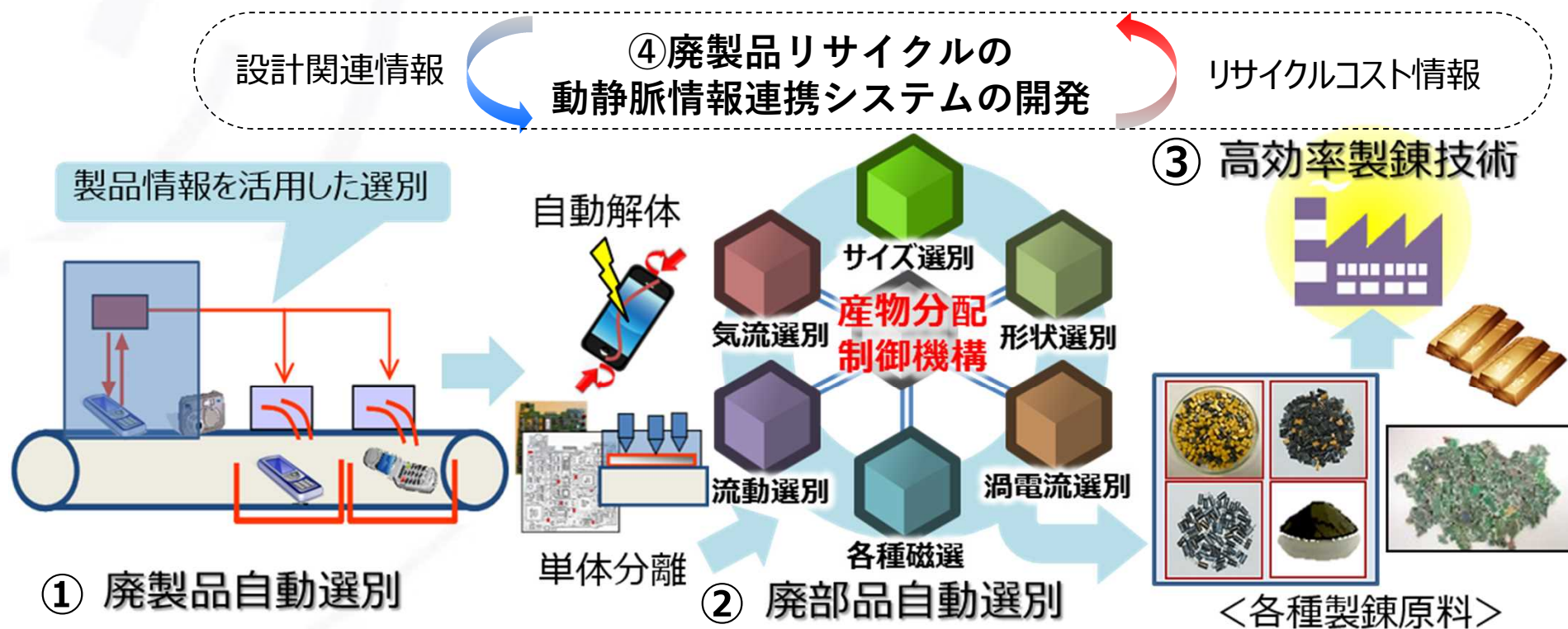
(※) 評価対象外

2. 目標及び達成状況(詳細)

(2)アウトプット目標と達成状況

アウトプット（研究開発成果）のイメージ

<全体システムイメージ>



研究開発成果 研究開発項目① 廃製品自動選別

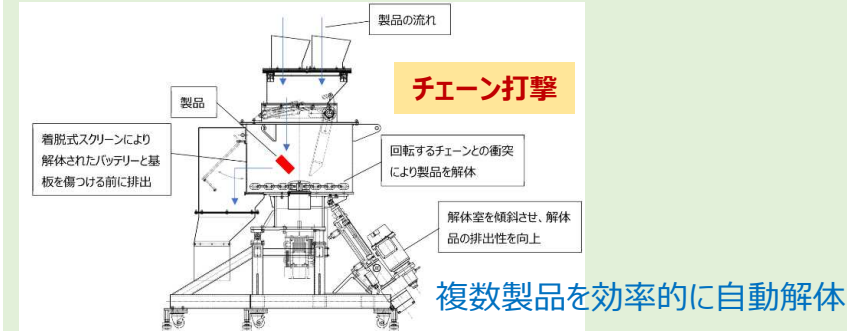
◆ 製品ソータ(試験モジュール) 資源価値や解体性の違いに基づいて自動選別



スマートフォン、小型タブレット端末 (LIB・基板が筐体に強固に固定されている)

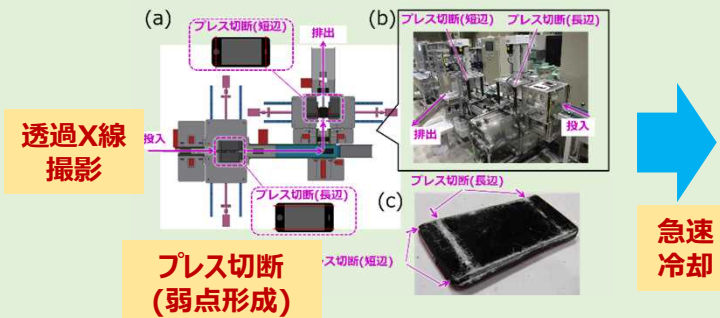
廃製品の自動選別、自動解体に必要な要素技術を完成

◆ CFS改良型自動解体機

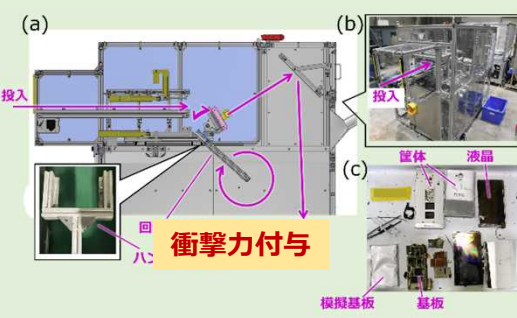


携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラ、携帯ゲーム機 (LIB・基板が筐体に強固に固定されていない)

◆ 筐体破壊試験装置



◆ 筐体解体衝撃力付与装置



プリント基板・LIBを傷つけることなく安全に自動解体

◆ モジュールソータ(基本システム)



後段の部品選別へ

研究開発成果 研究開発項目①廃製品自動選別

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
①-1 製品ソータ の研究開 発	①-1-(A) 複合センシングによる自動認識システム開発	自動認識アルゴリズム開発、システム統合技術開発	目標：廃製品3品目に対して処理速度0.5秒/製品・個以内、品目認識正解率95%以上（破壊・変形のある製品を含む）、個体認識成功率90%以上（破壊・変形のない製品） 達成状況：○ 計画通り達成（当初計画では対象3品目(スマホ、携帯電話、デジカメ)であったが、期間中にビデオカメラ、携帯ゲーム機、小型タブレットを加えた6品目に拡大）
	①-1-(B) 製品データベース管理技術開発	装置稼働DB、資源価値評価DB、部品実装プリント基板の資源価値判定技術	目標：廃製品3品目について各100機種以上を資源価値DBに登録 達成状況：○ 計画通り達成（最終的に6品目計648機種をDB登録）
	①-1-(C) 供給・搬送システムの開発	単品排出機構、自動整列機構	目標：3D画像認識による整列状態判定とロボット動作制御によるリジェクト品の循環ラインを構築 達成状況：○ 計画通り達成（6品目に対応した供給・搬送システムを開発）
①-2 自動解体装置の研究開発	製品構造DBの構築		目標：廃製品3品目について各100機種以上をDB登録 達成状況：○ 計画通り達成（最終的にビデオカメラ、小型タブレットを加えた5品目計513機種をDB登録）
	筐体解体技術の開発		目標：廃製品の構造上の弱点に変形を集中させる選択的破壊作用に基づく筐体解体技術を開発 達成状況：○ 計画通り達成（小型タブレット用筐体解体システム、弱点形成制御システムを開発）
①-3 モジュールソータの研究開発		モジュールDBの構築、並列処理システム開発	目標：①電池、②プリント基板、③未解体物、④金属材、⑤その他の5クラスの自動認識精度90%以上 達成状況：○ 計画通り達成

【研究成果】

- ・廃製品選別～自動解体からモジュール選別に至る一連の処理プロセスを構成する試作装置群とその制御ソフトウェアを開発
- ・廃製品分類の基礎となるDB群を整備
- ・損傷LIBの発火特性に関する知見を得た

【意義】

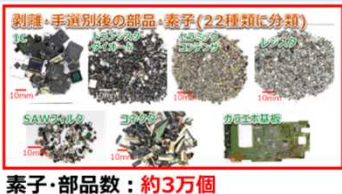
DBを駆使した対象製品の効率的な解体・選別と最大価値の取得を目的とする多品種小ロット的なリサイクルの方式の先駆的な研究成果であり、静脈側の将来的なニーズに合致している。

研究開発成果 研究開発項目②廃部品自動選別

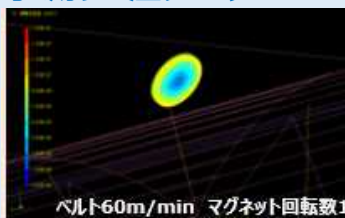
前段の
製品選別



電子素子データベース



各種選別機の粒子運動予測シミュレータ

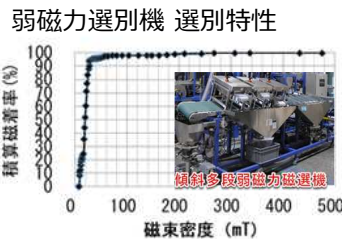


自動制御化

◆ トランスフォーマブル選別システム



選別特性評価試験



回収対象の選定

マテプロ・リスク評価

部品名	回収率 (%)	リスク評価
部品A	95	低
部品B	80	中
部品C	70	高
部品D	60	中
部品E	50	低
部品F	40	中
部品G	30	高
部品H	20	中
部品I	10	低
部品J	5	高

電子素子選別シミュレータ
35恒河沙通りから最適化

装置間情報連携システム

製品データベース リンクシステム, 製造データ リンクシステム, 装置間情報連携システム

① 製品選別 ~ ② 部品選別を一貫した自動選別システム(ベンチスケール機)

CEDESTシステム

研究開発成果 研究開発項目②廃部品自動選別

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
②-1 部品剥離装置の開発	基板構造DB の構築	目標：廃製品4品目の基板構造DBの構築 達成状況：○ 計画通り達成	
	部品剥離技術の構築	目標：廃製品4品目を対象とした部品剥離装置開発 達成状況：○ 計画通り達成	
②-2 選別装置自動制御技術の開発	電子素子基礎情報の選別物性への変換	目標：電子素子・部品について、基礎物性データから選別特性情報に変換するシステムを構築 達成状況：○ 計画通り達成	
	装置内粒子運動予測システムの開発	目標：4種選別機（ドラム磁選機、渦電流選別機、振動スクリーン、湿式比重選別機）の運動予測シミュレータを開発 達成状況：○ 計画通り達成	
	回収産物の最適化条件	目標：回収産物目標の設定、リサイクル対象鉱種・製品の選定に資するマテリアルフロー分析、環境影響評価、廃製品リサイクルコスト評価 達成状況：○ 計画通り達成	
②-3 トランスフォーマブル選別システムと一貫制御技術の開発	トランスフォーマブル選別システムの開発	目標：製品ソータ、製品解体装置、部品剥離装置とトランスフォーマブル選別システムを統合した廃製品～廃部品自動選別技術の一貫統合システムのベンチスケールシステムの開発 達成状況：○ 計画通り達成	

【研究成果】

- ・部品剥離～廃部品自動選別に至るベンチスケール装置群とその制御システムを得た
- ・上記システムの基礎となるDB群を整備
- ・上記システムの最適条件を計算するシミュレータを整備
- ・2 2種の金属資源の国内フロー分析を実施

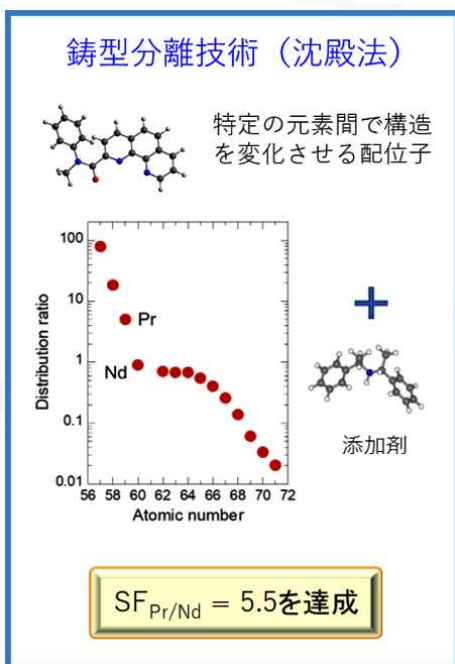
【意義】

- ・対象物の情報に基づいて、選別工程を自動選択し、かつ、各装置を最適条件で運転するシステムを構築。世界に例が無いシステムである。
- ・マテリアルフロー分析を拡充し、電気電子製品由来の都市鉱山ポテンシャルを評価可能とした。

研究開発成果

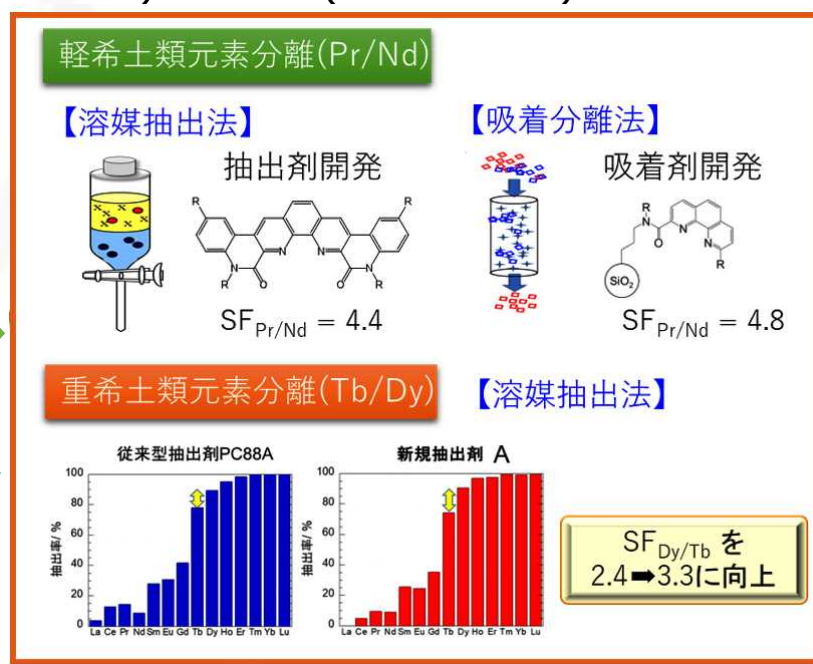
研究開発項目③ - 1 高効率製錬技術開発 (鑄型分離技術)

目標値 : プラセオジム(原子番号59)とネオジム(原子番号60)間の**分離係数 5** 及び重希土類への適用可能性の検証



応用
研究

→
分離
コンセプト



【検討内容】

- 1. 分離メカニズム解明及び分離係数 5 の達成**
 - ・プラセオジムとネオジムの分離係数 5 を達成する分離条件の特定
 - ・鑄型分離メカニズムの解明
 - ・配位子合成及び最適合成ルートの探索
- 2. 従来法への展開及びプロセス評価**
 - ・溶媒抽出法、吸着分離法への展開 (鑄型分離配位子構造を抽出剤、吸着剤へ適用)
 - ・**重希土類元素の相互分離**
 - ・プロセス評価と実用化への課題抽出

- 【研究成果】
- Pr/Nd間に構造変化境界を有するフェントロリンアミドにアミンを添加することで、Pr/Ndの分離係数5.5を達成
 - 軽希土類元素に対する鑄型分離に用いる配位子の設計法を確立
 - 鑄型分離配位子構造を有する分離剤が溶媒抽出法及び吸着分離法へ適用可能なことを実証
 - 重希土類Tb/Dyに対し高分離係数を有する抽出剤を合成
 - 新規抽出剤によるプロセス評価を実施し実用化への課題を抽出

研究開発成果

研究開発項目③－1 高効率製錬技術開発（鑄型分離技術）

分類（要素技術）	目標と達成状況（当初計画との差異）
鑄型分離メカニズムの解明及び分離試薬設計法の構築	<p>プラセオジムとネオジムの分離係数 5 以上をもたらす有機配位子と分離手法を見出し、その相互分離メカニズムを明らかにするとともに、配位子設計の鍵となる分離試薬の配位構造を特定した。</p> <p>達成状況：○ 計画通り達成</p>
鑄型分離技術の従来型分離法への展開及びプロセス評価	<p>鑄型分離技術に用いられた有機配位子を改良し、従来型分離法である溶媒抽出法及び吸着分離法へ適用することで、プラセオジム／ネオジム分離に対し高い分離係数を得るとともに、重希土類の相互分離においても有効な抽出剤を見出した。また、重希土類分離の実用化へ向けたプロセス評価を行う。</p> <p>達成状況：○ 計画通り達成</p>

【研究成果】

- Pr/Nd間へのアミド及びアミンの添加により、Pr/Ndの分離係数5.5を達成
- 軽希土類元素に対する鑄型分離に用いる配位子の設計法を確立
- 溶媒抽出法及び吸着分離法における新規分離剤の適用可能性を実証
- 重希土類Tb/Dyに対し高分離係数を有する抽出剤を合成
- 新規抽出剤によるプロセス評価を実施し実用化への課題を抽出

【意義】

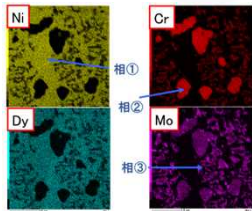
重希土類元素であるテルビウム/ジスプロシウム分離は、高性能磁石の需要増加が予測される中で喫緊の課題である。本事業で開発された重希土類分離抽出剤は、従来型抽出剤を上回るテルビウム/ジスプロシウムの分離係数が得られている。

研究開発成果

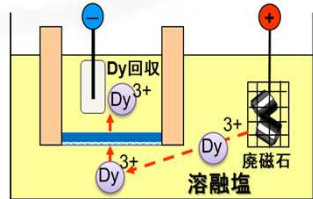
研究開発項目③-2 高効率製錬技術開発 (溶融塩利用)

目標値 : ネオジムおよびジスプロシウムを**80%以上で分離**するとともに、**コスト1/2以下にするための技術課題を明確化**する

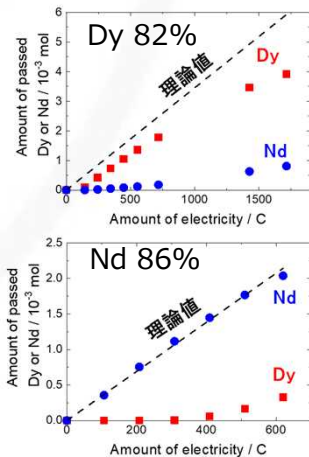
隔膜の耐久性向上



析出硬化による強度向上



分離性の向上 同時分離・連続化



試験炉の操業とコスト計算



試験炉の作製と操業



コスト1/2以下にする
技術課題明確化

【検討内容】

1. 隔膜の耐久性向上

- ・従来のNi-RE合金よりも耐久性の高い隔膜の作製および液膜利用の検討

2. 分離性の向上と同時分離・連続化

- ・分離手法の確立と改善、分離性の定量評価
- ・複数隔膜の制御と電解の連続化

3. 試験炉の導入と操業、コスト計算

- ・試験炉の設計～試作、操業試験
- ・コスト計算と、コスト1/2以下を実現するための技術課題明確化

【研究成果】

- 従来のNi-RE合金と比較して、6～20倍のせん断強度を達成。液膜利用の基礎技術も開発
- 分離手法を確立し、**Dyを82%、Ndを86%の選択性で分離**することに成功
- 複数隔膜の同時制御、電解の連続化もラボレベルで達成
- ラボレベルの100倍規模の**試験炉を作製し、分離性を評価**
- コスト計算を実施し、**従来法に比較してコスト1/2以下となる条件を確認**するとともに、**技術課題を明確化**

研究開発成果

研究開発項目③－2 高効率製錬技術開発（熔融塩利用）

分類（要素技術）	目標と達成状況（当初計画との差異）
合金隔膜の長寿命化、液膜の利用	具体的数値目標は設定しなかったが、元のNi-RE合金に比較して6～20倍の剪断強度を達成した。さらに、破損リスクの極めて少ない液膜利用の検討も行った。 達成状況：○ 計画通り達成
分離性の向上	80%以上での回収を目標に設定し、Dyは82%、Ndは86%と、当初計画を上回る値を達成した。 達成状況：○ 計画通り達成
複数の合金隔膜制御および連続電解に向けた技術開発	複数の合金隔膜を用いた同時制御技術の確立、連続電解の実証を目標に掲げ、それぞれラボレベルで達成した。 達成状況：○ 計画通り達成
試験炉導入・操業データ蓄積・コスト計算	ラボレベルより2桁ほど大きい試験炉を導入し、操業データを蓄積することを目標として掲げ、塩化物系、フッ化物系熔融塩にてそれぞれ達成した。また、これをもとにコスト1/2以下にするための技術課題を明確化した。 達成状況：○ 計画通り達成
機構解明と他元素への展開	具体的目標は掲げなかったものの、合金化時や合金隔膜内のRE移動機構に関する重要な基礎知見を得て論文発表するとともに、他元素の製錬に関する特許出願を行った。 達成状況：○ 計画通り達成

【研究成果】

- 従来のNi-RE合金と比較して、6～20倍のせん断強度を達成。液膜利用の基礎技術も開発
- 分離手法を確立し、Dyを82%、Ndを86%の選択性で分離することに成功
- 複数隔膜の同時制御、電解の連続化もラボレベルで達成
- ラボレベルの100倍規模の試験炉を作製し、分離性を評価
- 従来法に比較してコスト1/2以下となる条件を確認、技術課題を明確化

【意義】

現在の希土類磁石は多段かつ高コストなプロセスでリサイクルされているため、市中に出回った磁石は廃棄または海外流出している。これに対し、単一工程での高効率リサイクルという世界に類を見ないプロセスを開発し、コストを1/2以下にする目途を立てた。これは、従来技術に対する大きなアドバンテージであり、国内リサイクル実現の可能性を示したものである。

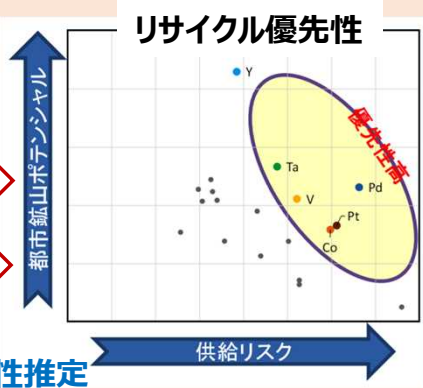
研究開発成果 研究開発項目④ 動静脈連携システムの開発



動脈産業

- 金属/製品フロー分析
- 都市鉱山ポテンシャル
- 天然資源供給リスク

製品製造に利用できる
高品位再生金属の供給可能性推定



将来の対象拡張
金属種・製品種

高純度再生材
の社会要求に対応

動静脈連携

選別高度化に資する
動脈提供を期待する製品情報

⇒ Passive RFID貼付試験

対象	データ種	優先度		
本体情報	メーカー	S		
	製造年	S		
	品目	S		
	型式	S		
	重量	S		
寸法	寸法	S		
	寸法	S		
LIB情報	筐体内部IRの正確な検出位置(マホ限定)	S		
	LIB No.	項目	内容	解体コード桁数
	LIB ①	機種情報	解体調査で利用したサンプル番号を使用 『製品名』『メーカー』『設置』『発売年』が把握可能	4桁
	LIB ②	外寸	解体調査で得られた外寸「縦」「横」「高さ」を使用	11桁
	LIB ③	筐体切込寸法	筐体切込寸法調査で得られた4辺寸法を使用	12桁
基板情報	基板	冷却必要有無	冷却工程有無⇒電池接着物固定か否かで判断	1桁
	基板	解体面識別	解体を行う面が「液晶面」「液晶反対面」かで判断	1桁

例 サンプル番号S002α5
S0021121053216409708006705411

動脈情報 (カタログ情報)
サンプル番号-型式換算表を別途作成

静脈情報 (解体情報)
全29桁

液晶面にRFIDタグを貼付

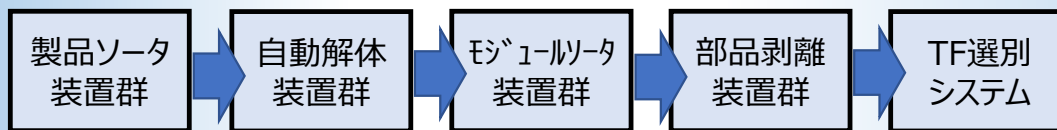
筐体切込位置の例
(研究開発項目④の取組データから抽出)

→ 選別工程での読取試験

搬送ベルト下にRFID
リーダライタを内蔵

RFIDデータ検知機能付
搬送コンベヤ

CEDESTシステム 廃小家電・無人選別システム



データベースと各装置の検出情報に基づいた基本運転

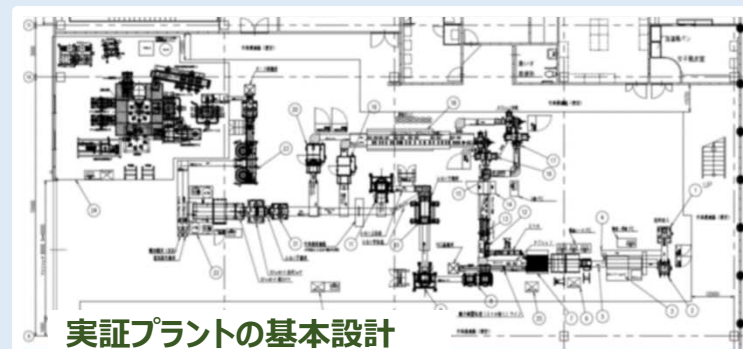
動脈提供情報レベルに応じた
稼働性(選別精度)検証

- 品目情報のみ/品目+型式情報
- RFIDの有効性検証
- 部品変動による影響検証

実証導入に向けて

最適化・実証計画構築

- 模擬連続運転による機能の検証
- 対象製品品目拡張(小型タブレット)
- TF選別システム同時並列処理検証
- 細粒子補助選別システムの開発
- 実証プラントの設計・試験計画
- コスト評価システム(導入支援ソフト)



研究開発成果 研究開発項目④動静脈連携システムの開発

研究開発項目④-1高効率な資源循環システム構築に向けたリサイクル技術導入評価

中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
④-1-1. 戦略的鉱物資源20種のマテリアルフロー及び製品群30種の製品フローの構築	(A) 鉱物資源(金属)20種のフロー(都市鉱山ポテンシャル推計)	目標：戦略的鉱物資源 24 種のマテリアルフロー構築し、都市鉱山ポテンシャルを評価 達成状況：○ 計画通り達成
	(B) 製品群30種のフロー	目標：製品群 30 種の製品フローを構築 達成状況：○ 計画通り達成
④-1-2. LCA 評価と廃製品リサイクルコスト評価システムの構築	(A) LCA 評価	目標：CEDESTシステムの環境負荷低減効果を評価 達成状況：○ 計画通り達成
	(B) 廃製品リサイクルコスト評価システムの構築	目標：廃製品リサイクルコスト評価システムの構築 達成状況：○ 計画通り達成
④-1-3. 将来のリサイクル対象鉱種・製品の選定	-	目標：戦略的鉱物資源に含まれる金属20種の都市鉱山ポテンシャルの将来推計を実施し、現在および将来の戦略メタルを提示 達成状況：○ 計画通り達成

【研究成果】

- ・廃製品の都市鉱山ポテンシャルを算定
- ・リサイクル対象の検討手法を構築。LCAを用いて環境負荷低減効果を算定。廃製品のリサイクルコスト評価システムを構築

【意義】

- ・都市鉱山ポテンシャルと資源リスクを考慮したリサイクル優先鉱種の選定を実現。LCAは資源安全保障とサステナビリティを両立した資源循環に不可欠。

研究開発成果 研究開発項目④動静脈連携システムの開発

研究開発項目④-2. 動静脈情報連携によるCEDEST システム(無人選別システム)導入の検証

中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
④-2-1. 動脈提供情報に基づくCEDEST システム機能の検証	(A) 模擬連続運転によるCEDEST システム機能の検証	目標：1,000台規模の廃小家電を用いた模擬連続運転試験 達成状況：○ 計画通り達成
	(B) 動脈提供情報レベルに応じたCEDEST システムの稼働性検証 (製品ソータ～自動解体)	目標：動脈企業提供情報のレベル(ケース1,2)に応じて装置稼働性を検証、選別処理フローの構築 達成状況：○ 計画通り達成
	(B) 動脈提供情報レベルに応じたCEDEST システムの稼働性検証 (TF 選別システム)	目標：電子素子の情報置き換えによるトランスフォーマブル選別システムへの影響検証 達成状況：○ 計画通り達成
	(C) 製品の情報提供機能搭載の有効性検証 (Passive型RFID 利用の有効性検証)	目標：スマホ、タブレット200機種に対する有効性検証 達成状況：○ 計画通り達成
	(C) 製品の情報提供機能搭載の有効性検証 (Passive型RFID の製品搭載方法と回収性の検討)	目標：Passive型RFID搭載製品のプロトタイプを試作し、情報読み取り後のRFIDタグ回収試験を実施 達成状況：○ 計画通り達成
④-2-2. 動脈提供情報に基づく実証試験・製品化に向けたCEDEST システムの最適化	(A)装置各部の改造と製品データ収集 製品ソータ、自動解体(筐体切断・衝撃力付与型)、自動解体(改良CFS型 ～モジュールソータ	目標：装置各部の改造、製品データ収集 達成状況：○ 計画通り達成
	(A) 装置各部の改造と製品データ収集 (部品剥離～TF選別システム)	目標：解体・部品隔離の小型タブレット対応、トランスフォーマブル選別システムの同時並行処理検証、比重選別機の改良 達成状況：○ 計画通り達成
	(B) CEDEST システムの実証試験プランを構築	目標：実証試験に向けた機能最適化検証の完了、実証プラン構築 達成状況：○ 計画通り達成

【研究成果】

- ・廃製品情報を搭載したRFIDタグ利用による廃製品選別システムを確立
- ・廃製品の自動・自律型リサイクルプラントの実証設備プランを構築

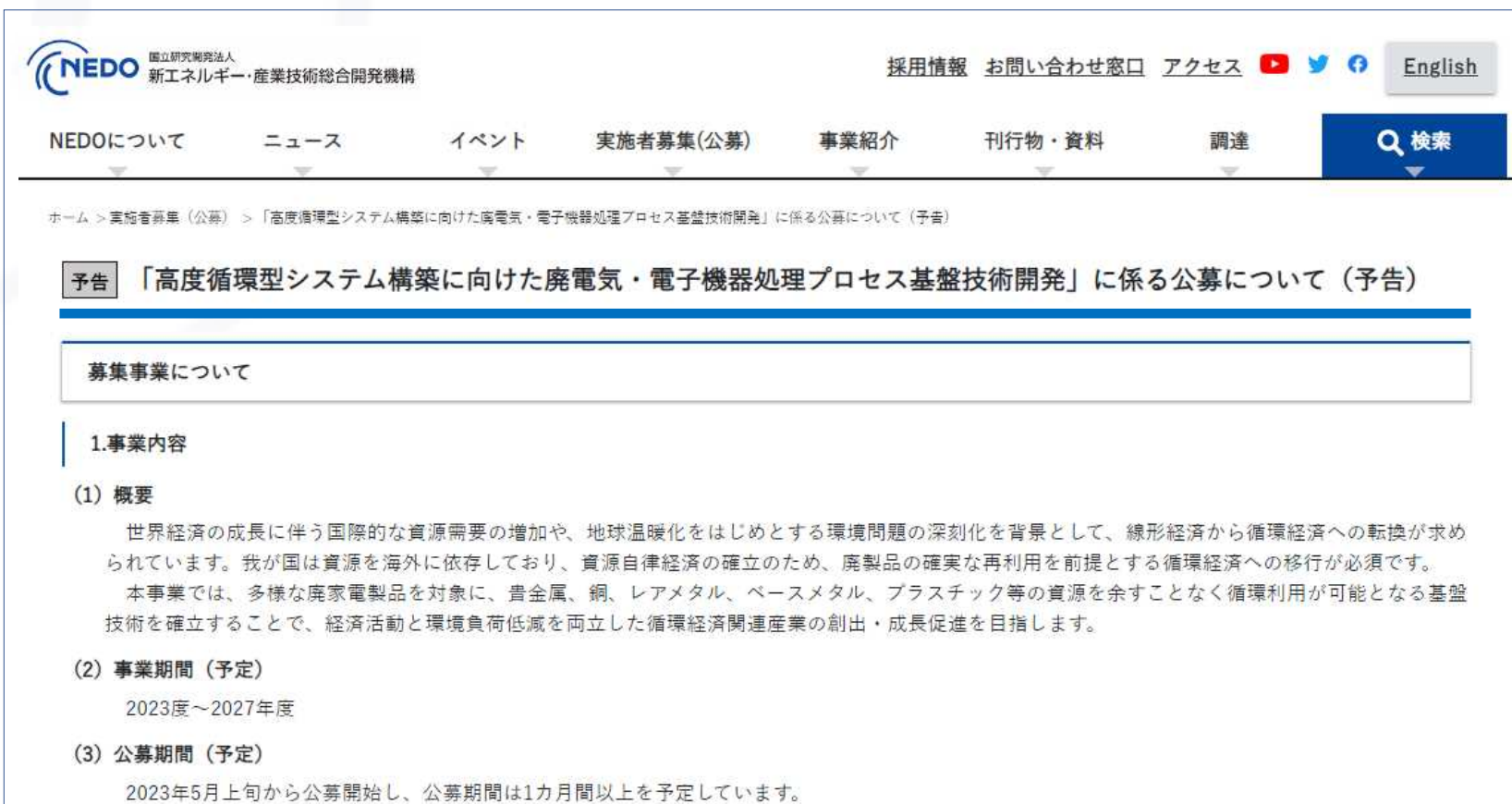
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

【意義】

- ・RFIDタグ利用タグを活用した自動選別・自動解体システムを世界に先駆けて開発。製品変動が著しい業界において、将来にわたって使用可能なシステムを構築

今後の廃電気・電子機器リサイクルに関わる事業

■ 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



The screenshot shows the NEDO website header with navigation links: NEDOについて, ニュース, イベント, 実施者募集(公募), 事業紹介, 刊行物・資料, 調達, and a search bar. The main content area displays the breadcrumb path: ホーム > 実施者募集 (公募) > 「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」に係る公募について (予告). Below this is a blue header for the announcement: 予告 「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」に係る公募について (予告). A sub-header reads 募集事業について. The main content is under the heading 1.事業内容, with sub-heading (1) 概要. The text describes the need for circular economy technology to address resource scarcity and environmental issues, and states that the project aims to develop base technology for WEEE processing to create and promote growth in the circular economy-related industry. Sub-heading (2) 事業期間 (予定) indicates the period from FY2023 to FY2027. Sub-heading (3) 公募期間 (予定) indicates the start of the application period in May 2023 for a duration of one month or more.