

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」

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 バイオ・材料部
-----	--

更新履歴

更新日	更新内容
2025 年 5 月 20 日	初版発行
2025 年 5 月 28 日	情報修正に伴う改版
2025 年 6 月 11 日	情報修正に伴う改版
2025 年 7 月 4 日	語句修正に伴う改版

目次

概 要.....	4
プロジェクト用語集.....	8
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋.....	1-1
1.1. 事業の位置づけ・意義.....	1-1
1.1.1. 政策的な重要性.....	1-1
1.1.2. 我が国の状況.....	1-1
1.1.3. 世界の取組状況.....	1-2
1.1.4. 本事業の狙い.....	1-4
1.2. アウトカム達成までの道筋.....	1-5
1.2.1. アウトカム目標.....	1-5
1.2.2. アウトカム目標達成に向けての取組.....	1-6
1.3. 知的財産・標準化戦略.....	1-6
1.3.1. 知的財産管理と運用.....	1-6
1.3.2. 標準化施策等との連携.....	1-7
2. 目標及び達成状況.....	2-1
2.1. アウトカム目標及び達成見込み.....	2-1
2.1.1. アウトカム目標.....	2-1
2.1.2. 達成見込み.....	2-1
2.2. アウトプット目標及び達成状況.....	2-1
2.2.1. アウトプット目標.....	2-1
2.2.2. 達成状況.....	2-2
3. マネジメント.....	3-1
3.1. 実施体制.....	3-1
3.2. 受益者負担の考え方.....	3-1
3.3. 研究開発計画.....	3-2
3.3.1. 研究開発の必要性.....	3-2
3.3.2. 研究開発の具体的内容.....	3-2
4. 目標及び達成状況の詳細.....	4-1
5. 添付資料.....	5-1
●プロジェクト基本計画.....	5-1
●関連する施策や技術戦略.....	5-12
●プロジェクト開始時関連資料.....	5-15
●各種委員会開催リスト.....	5-17
●特許論文等リスト.....	5-18

概 要

プロジェクト名	部素材からのレアアース分離精製技術開発事業 サプライチェーン強靱化に資する革新的磁性材料開発	プロジェクト番号	P23006
担当推進部/ プロジェクトマネー ジャーまたは担当者 及び METI 担当課	<プロジェクトマネージャー (PM) > バイオ・材料部 金子 和生 (2025 年 4 月～現在、PM 代行) バイオ・材料部 内山 章二 (2023 年 12 月～2025 年 3 月) 材料・ナノテクノロジー部 吉村 公彦 (2023 年 5 月～2023 年 11 月) <プロジェクト担当者> バイオ・材料部 山内 禎啓 (2024 年 9 月～現在) バイオ・材料部 大野 昭二 (2024 年 10 月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 内山 章二 (2023 年 5 月～2023 年 11 月) 材料・ナノテクノロジー部 原 謙治 (2023 年 5 月～2024 年 6 月) 経済産業省 製造産業局 金属課		
0. 事業の概要	カーボンニュートラル社会の構築に欠かせない EV や風力発電のモーターの主要部素材であるネオジム磁石の供給リスクの低減のためには、そこに含まれる特に希少性の高い Tb 及び Dy に関するサプライチェーンの強靱化が必要となる。そこで、本事業では、鉱石並びに廃電気自動車、廃家電等に含まれるネオジム磁石廃棄物から目的とする Tb や Dy の重レアアースを選択的に回収するまで一連の工程を国内で実施できるようにすることを目的とする。具体的には、①未利用資源から Tb と Dy を含む重レアアースを高効率で吸着分離し回収する技術の開発、②Tb と Dy を高精度で相互分離する溶媒抽出プロセスの開発、及び分離後の Tb と Dy を金属へと還元する技術の開発をそれぞれ実施する。また、これらの技術開発は国研、企業、大学が密に連携しながら、早期実用化に向けた基盤技術を確立するとともに、実用性の評価も行う。		
1. 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋			
1.1 本事業の位置 付け・意義	【事業背景】 「2050 年カーボンニュートラル」の実現には電動化の普及がカギとなるため、電動モーター用磁石の大幅な需要増加が見込まれている。EV などに使用される高性能モーターにはネオジム（軽希土類）のほか、重希土類のレアアース（ディスプロシウム：Dy、テルビウム：Tb）を用いた高性能磁石が使用されているが、これらのレアアースは、現在も依然として地政学的な資源リスクと特定国に集中した製造リスクがある。今後の需要増が見込まれる中、我が国においても磁石用途を中心に国内製造業の成長と安定化を支えるべく「重レアアースの資源循環および資源確保」を進めていく必要がある。 【事業目的】 ネオジム磁石のサプライチェーンにおいて、磁石から最終製品の製造まで我が国は高い競争力を保っているが、その原材料の供給について、特に分離・精製および電解・還元の過程が、海外の特定国一国に集中しているのが現状である。この原材料の供給路が寸断されてしまうと、深刻な資源リスクが発生し、国内産業の安定化や成長に重大な影響を与えることが危惧されている。そこで、現在国外で行っている分離・精製、電解・還元の工程に関して国内事業化ができれば、重要資源の国内での資源循環を図るとともに、国外への資源輸出を防ぎ、資源を確保することが可能となる。 【政策における位置づけ】 本事業は、下記の施策、政府の戦略等に位置づけられる。 ・「グリーン成長戦略」（「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」令和 3 年 6 月 内閣官房ほか）③ 資源の有効利用 ・「マテリアル革新力戦略」（令和 3 年 4 月 統合イノベーション戦略推進会議決定） ① サプライチェーン強靱化 ②代替・省資源化・リサイクル等の技術開発 【技術戦略上の位置づけ】 本事業は、リサイクル促進分野の技術戦略（Ver. 2.0 平成 29 年 2 月）より情報活用し、経済産業省「経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律案」		

	(通称、経済安全保障推進案) ① 重要物資のサプライチェーン強化 で必要とされる技術開発を担う。
1.2 アウトカム達成までの道筋	2027 年のプロジェクト終了後、3 年後目を目処に実用化することを目標とし、さらに翌年の 2031 年には、事業化することを目標とする。事業化に向けては、磁石メーカーであり国内でリサイクルも手掛けている株式会社三徳が主たる役割を担っている。2040 年には、アウトカム目標を達成し、高効率分離精製の国内自製化によるサプライチェーンリスクの低減を期待する。
1.3 知的財産・標準化戦略	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。なお、プロジェクトの初期段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施している。
2. 目標及び達成状況	
2.1 アウトカム目標及び達成見込み	【目標】 2040 年度には、国内需要（2040 年予測）の 4 割強にあたる重レアアース量 400 トン/年を、産業廃棄物から 300 トン/年、未利用資源から 100 トン/年を生産可能な状態にすることで、これらの生産品から約 800 億円分の売上げが期待できる。また本事業で開発された製造設備の稼働により使用電力量が低減することにより約 740 トン/年の CO₂ の削減が見込まれる。 【達成状況】 CO₂削減目標については、新規抽出分離装置（エマルションフロー装置）の導入により設置床面積および電力使用量の削減が、また新規電解還元法の導入により電力使用量の削減が、それぞれ見込まれる。さらに処理量が増大しても従来型よりも極めて高効率のプロセスを組むことが可能である。以上の理由により、現時点においてアウトカム目標の達成が見込まれる。 回収品の売り上げ目標については、事業開始前における磁石業者への市場情報についてのヒヤリング結果に基づき目標を設定した。2040 年度における重レアアースの国内需要ならびに価格予測の大きな変更は無いこと、また EU の重要原材料法にてリサイクル材利用に関する数値目標が設定されたことなどから、2040 年にかけてレアアース回収品の需要増加が予想される。
2.2 アウトプット目標及び達成状況	研究開発項目①「未利用資源からの重レアアース回収技術の開発」 【中間目標】 目的物である重レアアース群（ディスプロシウム、テルビウム）と想定される夾雑物（鉄等）、放射性元素（ウラン、トリウム等）との分離を可能にする技術を開発し、さらに当該技術を用いた重レアアースの選択的濃縮・回収プロセスを開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。 【達成状況】 担体作製法および吸着反応部位導入法を確立し、作製した新規吸着剤が重レアアースに高い選択性を有することを確認した。また、実試料からも重レアアースを選択的に回収可能であることを示した。選択性、吸着量、耐久性、吸着速度についてデータを取得し、コスト評価まで達成した。 研究開発項目②「ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発」 研究開発項目②(1)「高精密相互分離技術の開発」 【中間目標】 ディスプロシウムとテルビウムの分離について、従来法（溶媒抽出法）の分離係数（条件により 2～3）を基準として 2 倍以上の分離係数を持つ高精密相互分離技術を確立する。また従来型装置（ミキサセトラ）と比較して 1/2 以下の装置規模で、かつ同等の分離性能を示すような新規分離装置を開発する。また目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。 【達成状況】 新規分離系については、計算から推定された化合物を合成し、抽出条件の最適化を進め、ディスプロシウム/テルビウム分離係数約 4 を達成した。また新規分離装置については、機械攪拌式エマルションフロー装置が従来型ミキサセトラ装置と比較して 4 倍の処理速度を示すことが分かった。これは装置規模がおおよそ 1/3～1/4 になることを示唆しており、目標値を大きく上回って達成した。 研究開発項目②(2)「新規電解還元法の開発」 【中間目標】

	一般的な熔融塩電解法、金属熱還元法と比較して、200℃以上低い温度下でテルビウムを取得する新製法を開発する。熔融塩電解法の場合、電解をより低温下で実施でき、かつレアアースメタル取得の際に蒸留除去精製が可能となるような熔融塩と液体合金系との有望な組み合わせを複数開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。 【達成状況】 400～1000℃の温度域での熔融塩電解と 1000℃以下での真空蒸留が可能な熔融塩系および液体合金系の有望な組み合わせを複数挙げるとともに、電解試験や各種基礎測定により、その実現可能性を検証した。さらに、これまでに得られた実験値等を暫定的に採用してコスト評価を行い、従来法を国内で実施する場合に比較して 30%のコスト削減を実現するための条件を明確化した。					
3. マネジメント						
3.1 実施体制	プロジェクトマネージャー	バイオ・材料部 金子 和生 (2025 年 4 月～現在、PM 代行) バイオ・材料部 内山 章二 (2023 年 12 月～2025 年 3 月) 材料・ナノテクノロジー部 吉村 公彦 (2023 年 5 月～2023 年 11 月)				
	プロジェクトリーダー	プロジェクトリーダー 国立研究開発法人産業技術総合研究所 成田 弘一 サブプロジェクトリーダー 株式会社三徳 入江 年雄				
	委託先	<研究開発項目①、②(1)、②(2)共通> 国立研究開発法人産業技術総合研究所 株式会社三徳 <研究開発項目①> 国立大学法人千葉大学 <研究開発項目②(1)> 株式会社エマルジョンフローテクノロジーズ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 国立大学法人佐賀大学 国立大学法人神戸大学 国立大学法人鹿児島大学 国立大学法人大阪大学 <研究開発項目②(2)> 国立大学法人京都大学 学校法人早稲田大学 独立行政法人国立高等専門学校機構鈴鹿工業高等専門学校				
3.2 受益者負担の考え方	本事業は、研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発、研究開発項目②：ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発に関して総事業期間 5 年間、総額 17.2 億円として推進する。					
	主な実施事項	2023fy	2024fy	2025fy		
	研究開発項目①	委託	委託	委託		
	研究開発項目②(1)	委託	委託	委託		
	研究開発項目②(2)	委託	委託	委託		
3.3 研究開発計画						
事業費推移 [単位:百万円]	主な実施事項	2023fy	2024fy	2025fy		
	研究開発項目①	新規吸着剤の開発	新規吸着剤の開発	新規吸着剤の開発 回収工程の検討/プロセス評価		
	研究開発項目②(1)	新規抽出剤の検討 抽出装置の検討	新規抽出剤の検討 抽出装置の検討	新規抽出剤の検討 抽出装置の検討		

					分離精製工程の検討/プロセス評価		
		研究開発項目②(2)	電解還元工程の検討	電解還元工程の検討	電解還元工程の検討		
		事業費	2023fy	2024fy	2025fy		総額
		会計（特別）	247	286	400		933
		追加予算	11	127			138
		繰越額	-40	+40 -98	+98		+138 -138
		総 NEDO 負担額	218	355	498		1071
	情勢変化への対応	競合国より、当該事業で開発中の新規抽出剤に酷似した分子構造を持つ抽出剤に関する論文が提出された。これに対抗するために、2024 年度の加速予算で神戸大学に液体クロマトグラフィ質量分析装置を導入し、レアアース抽出用新規化合物の構造決定、微量不純物の解析を迅速に行い、合成する新規抽出剤の量、及び種類の増加を図った。					
	中間評価結果への対応	技術推進委員会の実施（2023 年度および 2024 年度にそれぞれ 1 回、合計 2 回実施）					
	評価に関する事項	事前評価	2022 年度実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部				
		中間評価	2025 年度 中間評価実施				
		終了時評価	2028 年度 終了時評価実施予定				

別添		
投稿論文 2025 年 5 月 1 日時点	「査読付き」6 件、「その他」1 件	
特 許 2025 年 5 月 1 日時点	「出願済」1 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 0 件） 特記事項：無し	
その他の外部発表 （プレス発表等） 2025 年 5 月 1 日時点	学会発表・講演：2023 年度 27 件、2024 年度 23 件 展示会発表：2024 年度 2 件	
基本計画に関する事項	作成時期	2023 年 2 月 作成
	変更履歴	無し

プロジェクト用語集

用語	説明
アパタイト	アパタイトは、リン酸塩鉱物のグループの総称で、リン酸の原料である。火成作用起源のアパタイトは、堆積性のものに比べて重レアアースの含有量が多く、平均して数千 ppm 程度含有する。
赤泥	アルミナ生産中に生成される産業廃棄物である。主成分は鉄酸化物などであるが、レアアース元素の含有量が高い。
エマルションフロー	新型抽出操作および装置名称で、水相と油相が乳濁状態となったエマルション相が生成した状態で、2相を連続的に流通させて安定な操作を行う方法および装置。
カルシウム熱還元法	金属カルシウムをフッ化テルビウムなどに作用させてその還元生成物を得る方法。この場合の反応式は、 $3\text{Ca} + 2\text{TbF}_3 \rightarrow 3\text{CaF}_2 + 2\text{Tb}$
重希土類	レアアースのうち、原子番号が大きいもの (Gd～Lu、Y など) 資源的に希少で価格が高いディスプロシウム (Dy) やテルビウム (Tb) が含まれる。
分離係数 (Separation factor, SF)	二相間 (有機相－水相等) における元素の二相間の濃度比 (分配比 D) の二元素間の比。 金属 A と金属 B が存在する場合、金属 A 及び金属 B の分配比はそれぞれ $D_A = \text{有機相の金属 A 濃度} / \text{水相の金属 A 濃度}$ $D_B = \text{有機相の金属 B 濃度} / \text{水相の金属 B 濃度}$ となる。よってこれら 2 元素の分離係数は以下の式で表すことができる。 $SF = D_A / D_B$
ミキサセトラ	従来型の抽出操作および装置名称で、一つの段がミキサと呼ばれる小型の槽とセトラと呼ばれる槽が組み合わされている。ミキサで攪拌された油水が、セトラに送られ重力下で相分離される。相分離に時間を要するので、セトラ体積はミキサ体積の 4 倍以上となる。
溶融塩電解	主に無機塩の混合物または単体を加熱して溶融状態とし、これを溶媒に用いた電解。アルミニウムや希土類金属の製造に広く用いられている。
レアアース (希土類元素)	原子番号 57～71 のランタノイド元素に、スカンジウム (Sc) とイットリウム (Y) を加えた 17 元素の総称。磁性・発光・触媒などの様々な特性の発現に効果を示す。
レアメタル	現時点で国際的に統一した定義はないが、我が国においては「地球上の存在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難な金属のうち、安定供給の確保が政策的に重要であるもの (経済産業省 鉱業審議会) と定義される。レアアースはレアメタルに含まれる。

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1. 事業の位置づけ・意義

1.1.1. 政策的な重要性

2020年に政府が宣言した「2050年カーボンニュートラル」の実現には、電動化の普及がカギとされている。例えば、エアコンや電気自動車などに使用される電動モーターには、レアアース

（軽レアアースのネオジムや重レアアースのディスプロシウム、テルビウムなど）を用いたネオジム磁石が部材として使用されており、今後も大幅にその需要が増加すると見込まれている。しかしながら、ネオジム磁石に含有するこれらのレアアース、特に、ディスプロシウムやテルビウムについては、それらの鉱石資源が特定国に偏在していることから、その供給リスクは以前から問題視されており、現在もまだ十分に解決できているとは言い難い状況が続いている。

そこで、我が国においても、継続的にこのネオジム磁石の原料となるレアアース資源を確保していく政策が必要である。これまでに行われてきた政策としては、例えば、「新国際資源戦略（経済産業省 令和2年3月）（4）サプライチェーン強化に向けた国際協力の推進」においては、『資源の確保に向けては、下流産業も含めたサプライチェーンがグローバルに広がっており、昨今の国際情勢の変化を受けてレアメタルの安定供給がリスクにさらされている。その上で、鉱山開発や製錬、製品製造等、サプライチェーンの各段階に関係する各国と、JOGMECを通じ、バイやマルチでの国際協力を強化することが必要である。』こと、さらに「（5）産業基盤等の強化」によれば、『レアメタルはベースメタルの副産物として生産されるものも多いことから、その安定供給のためには、産学連携による課題解決に向けた取組を活性化しつつ、ベースメタルの生産を支える産業基盤や技術基盤の強化を図ることが重要である。また、金属鉱物のリサイクルやレアメタル等の使用量削減に向けた技術開発、デジタル技術の活用、海外での資源確保を支える人材の確保も重要である。』ことが記されている。また、「マテリアル革新力強化戦略」（統合イノベーション戦略推進会議決定 令和3年4月）第2章、マテリアルを取り巻く状況」によれば、『資源としてのレアメタル、レアアースは、電池、モーター、半導体、触媒等、先端電子部品や機能性化学品等の高機能化を実現する上で必要不可欠である。一方で、地政学的な資源の偏在と脆弱なサプライチェーンが供給リスクとなっている。』とあり、その具体的取り組みとして「【目標】資源制約の克服（2）具体的取組」に『サプライチェーン強靱化』が挙げられている。また、「グリーン成長戦略」（2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略、令和3年6月 内閣官房ほか）の③ 資源の有効利用（110頁）によれば、『鉱物資源は海外に依存している中で、更なる資源循環の拡大やカーボンニュートラルに資する輸送用機械・インフラ向け金属素材の安定的な供給には、国内で発生するスクラップを活用したリサイクルの高度化や代替・省資源化が必要である。』ことが記されている。

1.1.2. 我が国の状況

これまでのレアアースに関する国内の資源対策に関しては、2009年7月に経済産業省にて「レアメタル確保戦略」を公表後、中国によるレアアース問題を契機に、「レアアース総合対策」

（2010年10月）を策定し、平成22年度（2010年度）補正予算で対策を実施した。この対策では、レアメタル確保戦略にて掲げられた「代替材料・使用量低減技術開発」、「リサイクルの推進」、「鉱山開発・権益確保」、「備蓄」に加え、新たな施策として、「レアアース等利用産業

の高度化」が掲げられた。これは、次世代自動車のモーター用磁石を製造する高度な技術を有する事業者等の海外流出を防ぐため、レアアース等使用量削減のための設備導入に対して補助を行うという目的であった。しかし、2011年、高性能永久磁石の生産に不可欠な重希土類であって、中国南部以外に有望な供給源が望めないディスプロシウムについて、中国政府による輸出枠の削減、生産管理強化に加え、中国国内での内需の高まりを背景とした輸出価格の急騰が起これ、日本の産業界は、必要量の確保がより一層困難な状況に陥った。そこで、この状況を打開すべく、「レアアース・レアメタル使用量削減・利用部品代替支援事業」（2011年度補正）を新たに措置し、レアアース・レアメタルの使用量削減をサプライチェーン全体で推し進めるとともに、使用済み製品からネオジム磁石等を一定量回収し、再度磁石に加工して製品に再利用するという一連の市中リサイクル実現に向けて、技術面、コスト面等についての社会システムの実証を行うための技術開発を進めてきた。さらに、「使用済みモーターからの高性能レアアース磁石リサイクル技術開発（2012-2014年度）」では、レアアース磁石を使用しているモーター類を対象に、使用済み製品からの磁石の回収、廃磁石からのレアアース（素材）分離等に関する技術開発を実施し、高効率で低コストのリサイクルシステムの構築を目指し、継続的な対策と支援を行ってきた。その後、2020年の新型コロナウイルス感染症の世界的拡大により、ネオジム、ディスプロシウム、テルビウムを中心とするレアアースに関して、再び価格高騰が起これ、更なるレアアースの資源確保と有効利用に向け、「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」（2020-2021年度補正事業）を実施した。また現在、内閣府では「経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律」（通称：「経済安全保障推進法」 令和4年5月11日成立）にて、本法律に該当する特定重要物資の選定が進められており、その要件2（外部依存性）として、「外部依存度が高く、特定少数国への依存度が高い（供給先が分散していない）。」や「当該物資を供給可能な事業者が数社に限定されており、国際環境・事業環境等の理由から、供給途絶する可能性が高まっているなど、供給体制が顕著に脆弱な状況にある。」ことが事例として挙げられている。

上述のように、これまで日本ではレアアースの資源供給リスクに向け、多くの政策事業を実施し、様々な技術開発が行われ、またその一部は社会実装もされてきたが、現在もなおレアアースの資源供給リスクは解消されているとは言い難い状況にある。特にレアアースリサイクルの中核となるレアアースの分離精製工程に関しては、その分離精製等にかかるコストの関係上、製造時の端材（工程くず）に関して一部国内で実施されているのみで、スペックアウト品及びスクラップ品から回収された廃ネオジム磁石を海外（ベトナムや中国）に輸出され、そこで加工された再生品を再び輸入しているという現状は大きな課題である。従って、この分離精製工程に関しては、日本国内で実施してもコスト優位性のあるプロセスを早期に構築し、併せて、国内でも資源のリサイクルを推進し、重要資源の国外流出を抑えていく必要がある。

＊補足：レアアースの資源供給リスク解消を目的とする別の取り組みとして、省レアアース・レアアースフリー磁石の開発も進められている（「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」2012-2021など）。一部の用途で採用が進んでいるが、電気自動車の駆動用モーターおよび風力発電機用モーターといった高い性能が要求される用途では、現在も重希土類を含有したネオジム磁石が主に使用されている。

1.1.3. 世界の取組状況

<欧州連合（EU）>

欧州連合（EU）の執行機関である欧州委員会は、『「重要な原材料」（Critical Raw Materials）の供給に関する政策文書』（European Commission, 2020a）に基づき、「欧州原材料同盟（European Raw Materials Alliance, ERMA）」と呼ばれる官民協業の共同体を、2020年9月29日に発足した。欧州委員会は、経済活動に不可欠でありながらも調達の多くを域外の輸入に頼っている原材料のことを「重要な原材料」と定義し、この原材料の中に重希土類、軽希土類（レアアース）も含まれている。レアアースは、欧州委員会が掲げる経済成長戦略の実現に必要な不可欠な鉱物であるが、現状、その9割以上を中国からの輸入に依存している。そこで、経済安全保障上の観点から、欧州委員会は ERMA での取り組みを通じて、EU 域内外で鉱山の自主開発を推進するとともに、再利用（リサイクル）のシステムを構築して、レアアースに代表される「重要な原材料（Critical Raw Materials, CRMs）」の供給網（サプライチェーン）の強靱化を図り、輸入依存度（特に対中依存度）を引き下げようとしている。以上の取り組みは、2024年に「重要原材料法（Critical Raw Material Act, CRMA）」として施行された。この CRMA では、CRMs に関するリサイクルを含めた供給目標をベンチマーク設定し、プロジェクトにおける許認可の迅速化やファイナンス支援、戦略的備蓄の報告、ストレステストの実施など、目標がより具体的に明示されている。

研究開発面では、EU の研究開発プロジェクト「Horizon Euro」にて、サプライチェーンの安定化に資する戦略プロジェクトを EU の域内外から選定し支援している。

<米国>

米国地質調査所（USGS）によると、米国は2019年時点でレアアース化合物及び金属の輸入先として中国に約80%を依存している。Trump 政権下で署名された大統領令 13817 号に基づいて、2018年に内務長官は、レアアースを含めた35の鉱物を重要鉱物（Critical Minerals）として特定、同年には、国防総省が、中国による価格競争相手の排斥を目的とした戦略的な市場寡占化に懸念を示すレポートを発行している。これにより、精密誘導ミサイルや高性能爆弾などの軍事機器向けの永久磁石原料であるレアアースは、国家安全保障上の課題として位置付けられることとなった。

その後、2021年においても米国のレアアース磁石生産のフローは中国に大きく依存しており、自国内での生産フローの構築が検討されている。主要なレアアース生産者であった MP Materials 社は、レアアース磁石生産のために Mountain Pass 内での分離・精製処理場の建設を計画しているほか、テキサス州でのメタル・合金の生産計画を発表している。その他、Energy Fuels 社の White Mesa Mill においては、天然モナズ砂から混合レアアース炭酸塩（mixed REE carbonate）の生産が開始されており、生産フローの多角化が進展しつつある。

2025年度のトランプ新政権の発足後、レアアース等重要鉱物の輸入依存リスクに対する調査が開始されており、ウクライナとレアメタル・レアアース等の鉱物資源に関する協定に署名するなど、供給リスクの低減に向けた取り組みが継続して進められている。

<中国>

中国は1980年代から、レアアースおよびレアアース関連製品に関する輸出規制を行ってきた。初期には、輸出する際に国内流通過程に発生した増値税等の還付など税制上の優遇等を行い、レアアースの輸出を奨励し、有効な外貨獲得の手段と位置付け、その後、1990年代に入り、中国政府はレアアースの産業戦略上の重要性に着目し、レアアースの採掘、輸出に対して、厳格な管理・

規制を行うようになってきた。また、2006 年以降、レアアースおよびレアアース関連製品に対する輸出関税を 10%から徐々に 15～25%へと引き上げてきた。

このような輸出規制のほか、中国は国内のレアアース産業に対して、生産の品質管理、採掘・生産量の管理を中心に産業政策の構築も行っている。例えば、2000 年代から、レアアースの「実地調査、採掘、選鉱」について外資参入を禁止するなど、生産技術および環境対策の産業参入基準を厳格化することで、レアアースの戦略備蓄体制の構築を始めている。

2024 年に「レアアース管理条例」が制定され、希土類資源の国家所有ならびに資源採掘やそれに係る技術等の役務を含めた輸出管理が強化された。さらに 2025 年には米国の関税政策に端を発して同年 4 月に中重希土類の輸出規制強化が発表された。その結果、5 月のディスプロシウムおよびテルビウムの欧州価格は前月比約 3 倍に高騰しており、今後の供給動向は不透明である。

<その他>

米国と並び重レアアースの資源国である豪州では、自国の鉱物産業を発展させ、クリーンエネルギー大国を目指した取り組みが政策および技術開発の両面において官民共同で進められている。

我が国に関連して、2023 年に独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）と双日株式会社が共同で設立した日豪レアアース株式会社（JARE）を通じ、豪レアアース精錬企業ライナス社に出資するなど、レアアースの供給源多様化に向けた取り組みが進められている。

また国際的な動きとして、希少資源分野のルール形成を目的とした国際標準化活動が進行中である（本事業に関連する活動としては、ISO/TC82（Mining）、TC298（Rare Earth）などがあげられる）。

1.1.4. 本事業の狙い

このような国内外の背景の中、レアアースの資源価格は、現状、日本国内の民間企業の事業活動に影響するほどではなく、企業が直ちにリサイクルや分離精製技術の向上に向けた技術開発を行う動機、必要意識が働きづらい状況にあった。その一方、日本政府は、カーボンニュートラル社会の実現にレアアースは不可欠であること、将来的に需要が拡大し需給の逼迫の恐れがあること、中国への高い依存度から供給途絶リスクが高いこと等を踏まえ、先を見越して経済安全保障対策を進めている。そのような中、2025 年 4 月の中国による輸出規制の影響で重レアアースの価格は高騰し供給リスクが再燃するなど、今後の動向は再び不透明な状況にある。

そこで、本事業では、鉱石並びに廃電気自動車、廃家電等に含まれるネオジム磁石廃棄物から目的とするディスプロシウムやテルビウム等の重レアアースを選択的に回収するまで一連の製造工程を日本国内で実施できるように、コスト競争力を有する重レアアースの高効率分離精製技術の開発、および重レアアースの精錬技術の開発を目標とし、この目標を達成することで、特定国の製造技術や資源政策に依存しない「重レアアースの資源循環および資源確保」を国が主導する形で進めていき、日本の素材産業の安定化と将来の供給不安を解消する。

1.2. アウトカム達成までの道筋

1.2.1. アウトカム目標

本事業では、研究開発項目①で開発した重レアアース回収技術と研究開発項目②で開発した高精密相互分離技術および重レアアース精錬技術のスケールアップ試験を実施し、事業開始時に設定した製造コスト範囲内（目指すべきコスト水準内）で量産化ができるかどうかを確認する。次いで、資源回収量と製造コストから、この製造方法で実施する重レアアース生産量と製造設備の規模を特定し、国内で施設を立ち上げていく。

本事業により、2040年度には、国内需要（2040年予測）の4割強にあたる重レアアース量400トン/年を、産業廃棄物から300トン/年、未利用資源から100トン/年を生産可能な状態にすることで、これらの生産品から約800億円分の売上げが期待できる。また本事業で開発された製造設備の稼働により使用電力量が低減することにより約740トン/年のCO₂の削減が見込まれる。

アウトカム達成までの道筋について、本事業を開始した2023年時点の図を1-1に示す。

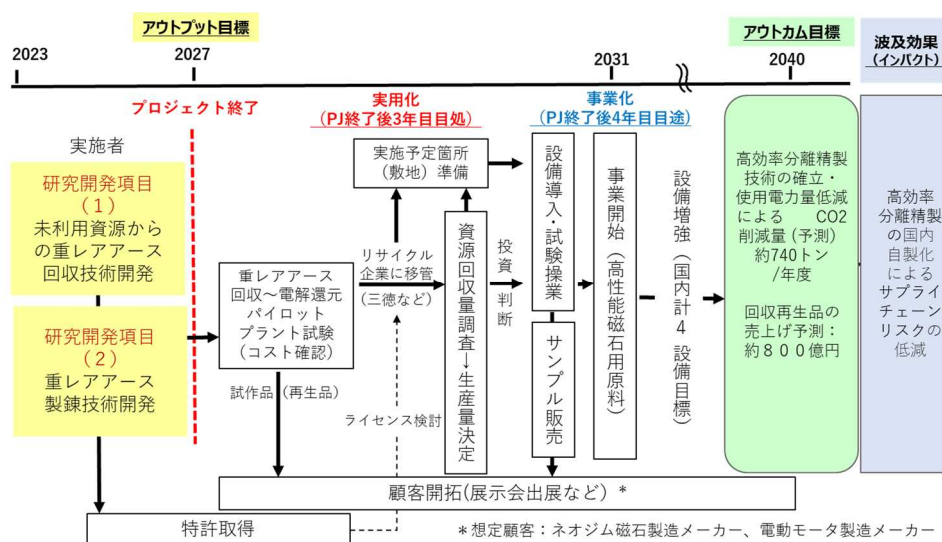


図 1-1 アウトカム達成までの道筋（事業開始当初版）

事業開始時においては、実施する研究開発項目すべての進捗度に合わせて同時に事業化を進める計画であった。しかし中間目標時点でのレアアースを取り巻く外部環境の変化を踏まえ、事業成果の早期実現に向けてアウトカム達成までの道筋を変更することとした（図 1-2）。

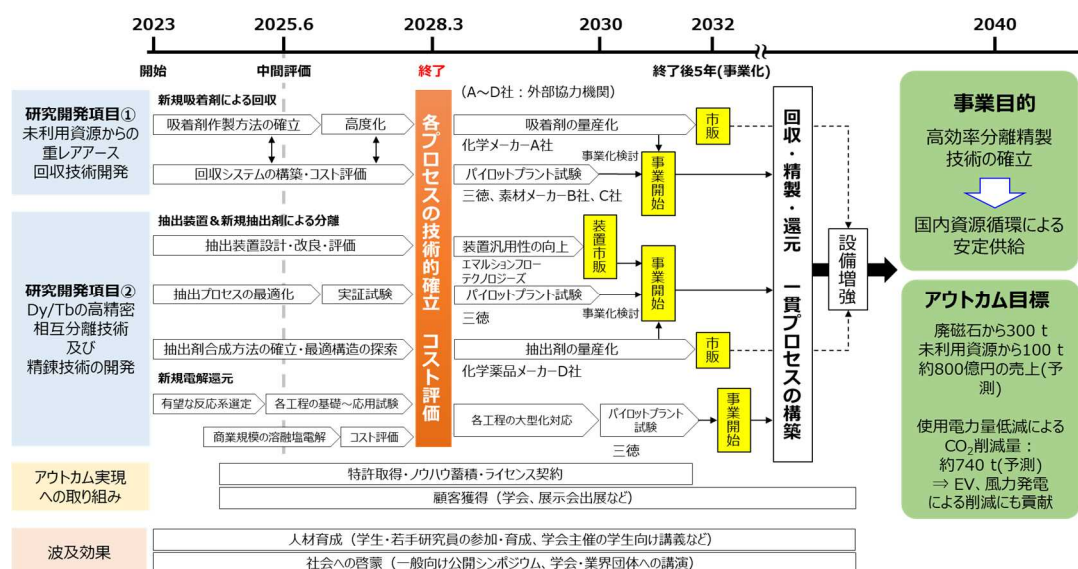


図 1-2 アウトカム達成までの道筋（中間評価時の最新版）

主な変更として、各研究開発項目の進捗度に応じて成果を逐次社会実装させる計画としている。これにより技術の早期社会実装が期待される。

1.2.2. アウトカム目標達成に向けての取組

本事業で確立する技術は、NEDOの成果報告や展示会、セミナー等で積極的に宣伝し、国内のレアアースリサイクル事業者、レアアース販売事業者のみならず、永久磁石製造/回収事業者、永久磁石を用いた電動モーターの製造/回収事業者、次世代自動車の研究開発者やその事業者まで幅広く発信していくことにより、成果の普及、すなわち増設を促進する。

またNEDOは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・検討するとともに、技術推進委員会等において、研究開発の進捗管理や目標の見直しを行う等、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

1.3. 知的財産・標準化戦略

1.3.1. 知的財産管理と運用

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した。プロジェクトの初期段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施した。

知財マネジメントに係る運用は、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用した。プロジェクト参加者は、本方針に従い、プロジェクト参加者間で知的財産及び研究開発データの取扱いについて合意書を作成した。また、知的財産マネジメントを適切に実施するため、知財運営委員会を設置して取り組んだ。

「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）」を適用し、「データマネジメントプラン兼簡略型データマネジメントプラン」を提出してもらうことで、データの提供・利活用の範囲を把握することとした。

1.3.2. 標準化施策等との連携

標準化施策との連携は必要に応じ実施する。なお本事業に関連する国際標準化活動（ISO/TC298, Rare Earth）の作業部会メンバー（エキスパート）に技術推進委員を任命し、専門家の見地からコメントを得るなど、外部環境の変化に迅速に対応する取り組みを進めている。

2. 目標及び達成状況

2.1. アウトカム目標及び達成見込み

2.1.1. アウトカム目標

本事業により、2040 年度には、国内需要（2040 年予測）の 4 割強にあたる重レアアース量 400 トン/年を、産業廃棄物から 300 トン/年、未利用資源から 100 トン/年を生産可能な状態にすることで、これらの生産品から約 800 億円分の売上げが期待できる。また本事業で開発された製造設備の稼働により使用電力量が低減することにより約 740 トン/年の CO₂ の削減が見込まれる。

アウトカム目標の算出根拠を表 2-1 に示す。

アウトカム目標（2040年予測）		達成見込み	達成見込みの根拠 （競合優位性、外部環境動向等）	早期社会実装に向けた課題と対策
1. 高効率分離精製技術の確立・使用電力量低減によるCO ₂ 削減量	740 トン/年	○	・新規抽出分離装置（エマルションフロー装置）の導入により設置床面積および電力使用量の削減が、また新規電解還元法の導入により電力使用量の削減が、それぞれ見込まれる。さらに処理量が増大しても従来型よりも極めて高効率のプロセスを組むことが可能である。	【課題】 直近のレアアース需給動向の悪化（輸出規制等）を受けた事業化の早期実現。
2. 回収品の売上げ	800 億円/年	○	・事業開始前における磁石業者への市場情報についてのヒヤリング結果に基づき目標を設定。  【中間評価時における外部環境情報】 ・現時点で2040年度における重レアアースの国内需要ならびに価格予測に大きな変更なし。 ・EUの重要原材料法にてリサイクル材利用に関する数値目標が設定されるなど、2040年にかけてレアアース回収品の需要は増加すると予想。	【対策】 アウトカム達成までの道筋（ロードマップ）を見直し、研究開発項目それぞれの進捗度に応じて適時事業化を検討する。

表 2-1

2.1.2. 達成見込み

回収品の売り上げ目標については、2040 年度における重レアアースの国内需要ならびに価格予測の大きな変更は無く、EU の重要原材料法にてリサイクル材利用に関する数値目標が設定されたことなどから、2040 年にかけてレアアース回収品の需要増加が予想される。また CO₂ 削減目標については、新規抽出分離装置（エマルションフロー装置）の導入により設置床面積および電力使用量の削減が、また新規電解還元法の導入により電力使用量の削減が、それぞれ見込まれる。さらに処理量が増大しても従来型よりも極めて高効率のプロセスを組むことが可能である。以上の理由により、現時点においてアウトカム目標の達成が見込まれる。

2.2. アウトプット目標及び達成状況

2.2.1. アウトプット目標

研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発

【中間目標（2025 年度）】

目的物である重レアアース群（ディスプロシウム、テルビウム）と想定される夾雑物（鉄、アルミニウム等）、放射性元素（ウラン、トリウム等）との分離を可能にする技術を開発し、さらに当該技術を用いた重レアアースの選択的濃縮・回収プロセスを開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

【最終目標（2027 年度）】

中間目標で設定した目指すべきコスト水準に基づいた方法で社会実装が可能かを確認するためのスケールアップ試験を実施し、再度コスト評価を行う。

研究開発項目②：ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発

研究開発項目②（1）高精密相互分離技術の開発

【中間目標（2025 年度）】

ディスプロシウムとテルビウムの分離について、従来法（溶媒抽出法）の分離係数（条件により 2～3）を基準として 2 倍以上の分離係数を持つ高精密相互分離技術を確立する。また従来型装置（ミキサセトラ）と比較して 1/2 以下の装置規模で、かつ同等の分離性能を示すような新規分離装置を開発する。また目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

【最終目標（2027 年度）】

中間目標で見いだされた新規分離技術のスケールアップ検討を行う。また新規分離装置による分離精製プロセスのスケールアップ試験を実施し、装置規模が従来比 1/5 で環境適合性、量産性、コスト適合性を備える分離精製プロセスを確立する。

研究開発項目②（2）新規電解還元法の開発

【中間目標（2025 年度）】

一般的な熔融塩電解法、金属熱還元法と比較して、200℃以上低い温度下でテルビウムを取得する新製法を開発する。熔融塩電解法の場合、電解をより低温下で実施でき、かつレアアースメタル取得の際に蒸留除去精製が可能となるような熔融塩と液体合金系との有望な組み合わせを複数開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

【最終目標（2027 年度）】

中間目標までに調査した新製法を最適化し、環境適合性、量産性、コスト適合性を備えたプロセスを確立する。

2.2.2. 達成状況

研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発

担体作製法および吸着反応部位導入法を確立し、作製した新規吸着剤が重レアアースに高い選択性を有することを確認した。また、実試料からも重レアアースを選択的に回収可能であることを示した。選択性、吸着量、耐久性、吸着速度についてデータを取得し、コスト評価まで達成した。中間目標の達成見込みについては、重レアアースに選択性を有する新規吸着剤の作製方法を確立し、コスト評価も問題なく進んでいるため、達成する見込みである。

研究開発項目②：ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発

研究開発項目②（1）高精密相互分離技術の開発

新規分離系に関しては計算から推定された化合物を合成し、抽出条件の最適化を進め、Dy/Tb 分離係数約 4 を達成した。抽出分離装置については機械攪拌式エマルションフロー装置が従来型ミキサセトラ装置と比較して 4 倍の処理速度を示すことが分かった。これは装置規模がおおよそ 1/3～

1/4になることを示唆しており、目標値を大きく上回って達成している。中間目標の達成見込みについては、新規抽出系開発において分離条件を向上させる条件が確定しつつあること、ならびに新規装置開発においては2025年3月時点で中間目標をすでに達成済みであることなどから、達成する見込みである。

研究開発項目②（2）新規電解還元法の開発

400～1000℃の温度域での熔融塩電解と1000℃以下での真空蒸留が可能な熔融塩系および液体合金系の有望な組み合わせを複数挙げるとともに、電解試験や各種基礎測定により、その実現可能性を検証した。さらに、これまでに得られた実験値等を暫定的に採用してコスト評価を行い、従来法を国内で実施する場合に比較して30%のコスト削減を実現するための条件を明確化した。中間目標の達成見込みについては、本法に適した有望な組み合わせを複数挙げるとともに、コスト計算も順調に進捗していることから、達成する見込みである。

3. マネジメント

3.1. 実施体制

NEDO よりプロジェクトマネージャーと主担当者を任命し、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、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。さらに本事業では、技術の早期社会実装を目指す観点から事業の技術面と事業化面での実績を考慮して、国立研究開発法人産業技術総合研究所 ゼロエミッション国際共同研究センター 総括研究主幹 成田弘一をプロジェクトリーダー、株式会社三徳 開発部長 入江年雄をサブプロジェクトリーダーとし、研究開発を実施した。実施体制を図 3-1 に示す。

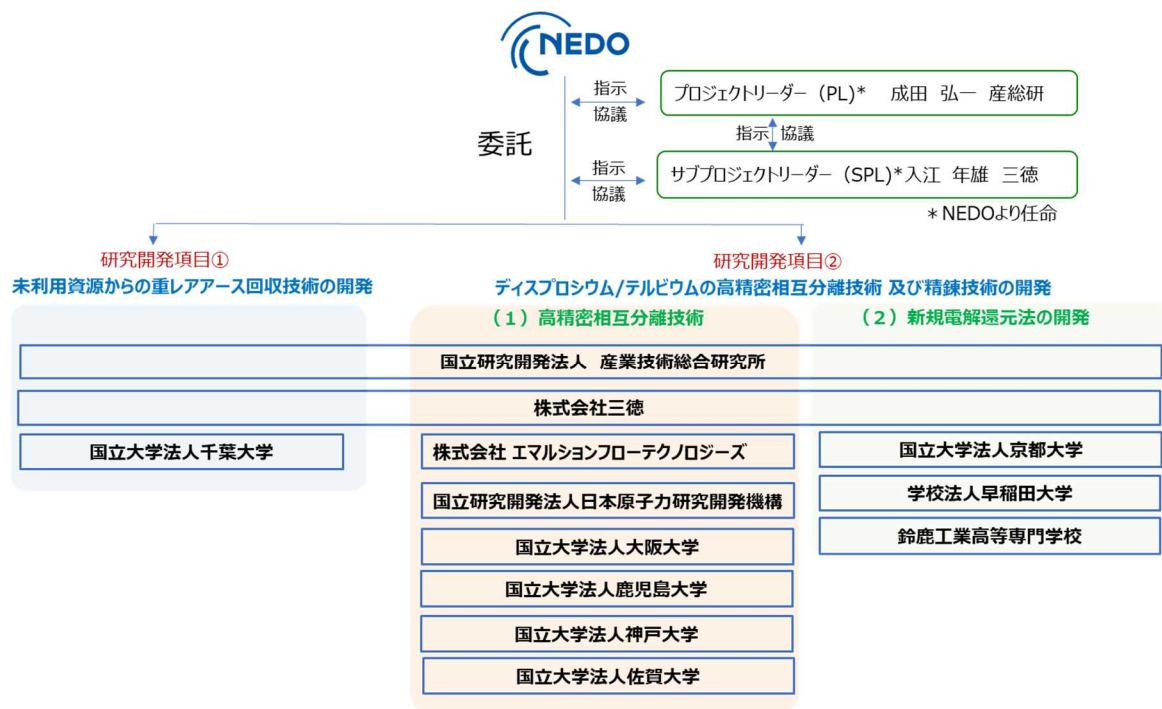


図 3-1 実施体制図

3.2. 受益者負担の考え方

本事業は、研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発、研究開発項目②：ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発に関して総事業期間 5 年間、総額約 17.2 億円（予定）として推進中である。本事業の研究開発費の内訳を、表 3-1 に示す。

本事業の研究開発費 単位:百万円	2023fy 実績	2024fy 実績	2025fy 予想	2026fy 予想	2027fy 予想	合計
会計(特別)	247	286	400	350	300	1623
追加予算	11	127	0			138
繰越額	-40	+40 -98	+98			-
総NEDO負担額	218	355	498	350	300	1721

表 3-1 本事業の研究開発費（NEDO 負担額）

3.3. 研究開発計画

3.3.1. 研究開発の必要性

研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発

ディスプロシウムやテルビウムのような特定国に偏在する重レアアースの資源リスク解消に資する方策として、国内にある資源を有効に使用することが必要である。そのためには、重レアアースを含有しているが利用されていない資源、例えば、ネオジム磁石の製造工場やリサイクル工場から出る廃液、リン酸製造時の工程液など、夾雑物の多い状態から選択的にレアアースを回収する技術が必要となる。特に、電気自動車（xEV）、風力発電、エアコン、洗濯機、ハードディスクドライブ等の電動モーターなどに使用されている重レアアースについては、今後の市場の成長速度を鑑みた場合、資源確保が喫緊の課題である。

研究開発項目②：ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発

重レアアース資源に関するサプライチェーンの強靱化のためには、これまで海外で行われてきたレアアースの分離・精製工程について、日本国内でも事業化できるようなコスト競争力を有する技術を開発することが必須である。ディスプロシウム及びテルビウムは、EV用電動モーターの高性能磁石成分の一部として使用されており、それぞれを純度よく生産することができれば、将来のxEV市場の成長を支える重要技術として大きな貢献が期待される。

3.3.2. 研究開発の具体的内容

研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発

本事業は重レアアース回収技術の日本国内での社会実装化が目標であるため、研究開発項目①では、事業開始前に現行の製造コスト（海外製造コスト）に対して競争力のあるコスト（目指すべきコスト水準）を目標として設定し、適宜、コスト評価を行いながら、次に掲げる開発を実施する。

研究開発項目①では、未利用資源からディスプロシウムやテルビウムなどの重レアアース群を選択的に濃縮し回収するプロセスの開発を行う。具体的には、鉄などの高濃度夾雑物から希薄な重レアアース群を選択的かつ効率的に分離・回収が可能な技術を開発し、回収特性、選択性、耐久性等を評価する。その際、天然資源（鉱物）に含有することが多い放射性元素（ウラン、トリウム等）との分離も考慮する。次に、未利用資源の実工程液を用いた試験により、回収コスト等のプロセス評価を行う。得られた結果を基に、スケールアップ試験を行い、社会実装に向けたプロセス確立および設備構築を目指す。

研究開発項目②：ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発

本事業は日本国内での社会実装が目標であるため、研究開発項目②においても、事業開始前に現行の製造コスト（海外製造コスト）に対して競争力のあるコスト（目指すべきコスト水準）を目標として設定し、これを踏まえて、次に掲げる（１）高精密相互分離技術の開発及び（２）新規電解還元法の実装を実施する。

研究開発項目②（１）高精密相互分離技術の開発

研究開発項目②では、ディスプロシウムとテルビウムとを高精密で相互に分離する技術の開発を行う。両者は原子番号が隣接し、化学的挙動が類似しているため、従来は溶媒抽出法を多段階で繰り返すことで分離されている。そこで両者の分離について分離係数（液—液、固—液など二相間の両金属の分配比の比）を指標とし、従来法（溶媒抽出法）の分離係数（条件により 2～3）を基準として 2 倍以上の分離係数を持つ高精密相互分離技術を確立する。当該分離技術については、実用プロセスに向けた環境適合性、量産性、コスト適合性を備えることを前提とする。さらに、当該技術の耐久性、使用溶媒の削減検討等、実用性向上のための性能評価を行う。

また従来型の分離装置であるミキサセトラの設置規模や溶媒使用量を低減する分離装置を開発する。これまでの NEDO プロジェクトで開発された分離装置（エマルションフロー装置等）の活用も考慮する。これらの開発内容を統合した高精密相互分離技術を開発し、装置規模が従来比 1/5 となる分離精製プロセスを確立する。

研究開発項目②（2）新規電解還元法の開発

分離精製プロセスの後工程となる金属回収工程についても、より低温下での実施を可能にする精錬技術として新規電解還元法を開発する。ここで、新たに開発する方法は、一般的な熔融電解法や金属熱還元法と比較して、200℃以上低い温度下でテルビウムを取得することを目指す。これにより精錬プロセスの省エネルギー化および環境負荷の低減を達成する。

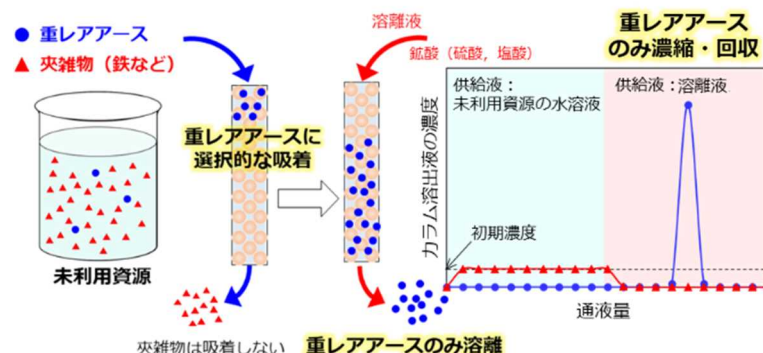
4. 目標及び達成状況の詳細

テーマ名	未利用資源からの重レアアース回収技術の開発	達成状況	○
実施者名	産業技術総合研究所、千葉大学、株式会社三徳		
達成状況の根拠	新規吸着剤の作製方法を確立し、重レアアースに高い選択性を有していることを確認した。コスト評価で重要な指標となる選択性、吸着量、耐久性、吸着速度についてデータを取得し、コスト評価を実施した。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

重レアアース元素の供給源は中国南部のイオン吸着型鉱床にほぼ限定されている。これはイオン吸着型鉱床に濃集している重レアアース元素が容易に浸出でき、かつ、共存するウラン・トリウムといった放射性物質の対策に代表される環境コストが低いため、他の資源と比較してコスト競争力が高いことに由来する。一方で、重レアアース元素の資源量をみると、レアアースという名前が示すほど“レア”な元素ではなく、世界各国で利活用されていない非在来型の資源からのレアアース回収の検討が活発になってきている。しかしながら、これらの未利用資源からのレアアース回収を困難にしている課題の一つに、対象となるレアアースが希薄であるのに対して、夾雑物が高濃度で存在し、それらとの分離および濃縮が必要となる点がある。重レアアースを対象とすると、さらに希薄になるので、その難易度は非常に高くなる。

本事業では重レアアースイオンに対して高い選択性を有する新規吸着剤を開発し、既存の手法では技術的に難しい重レアアースの選択的分離・濃縮プロセスを構築する。本事業で目指す新規吸着剤を用いた重レアアース回収技術を図①-1 に示す。重レアアースに高い選択性を有する新規吸着剤を充填したカラムに、未利用資源の水溶液を通液するだけで、重レアアースのみが吸着し、カラムに濃縮される。この時、鉄などの夾雑物は吸着剤に吸着しないためカラムを素通りし、そのまま排出される。十分にカラムに重レアアースを吸着させた後に、溶離液を通液することで、カラムに濃縮された重レアアースを元の水溶液より濃縮して回収する。このように、未利用資源の水溶液から重レアアースを選択的に吸着分離・濃縮・回収することで、コスト競争力のある未利用資源からの重レアアース回収プロセスを開発する。



図①-1 新規吸着剤を用いた重レアアース回収技術

回収が期待できる未利用資源の一例としては、アパタイト、赤泥、石炭ベースの資源などがあり、重レアアースの資源量としてはアウトカム目標（年間 100 トンの重レアアースを回収）を達成するのに十分な量がある。さらに、これらの未利用資源から重レアアースを回収することにより、従来の鉱山からの採掘に伴う環境負荷の大幅な低減に貢献する。

●アウトプット目標

【中間目標】放射性物質や高濃度の夾雑物から重レアアースを選択的に吸着・分離可能な吸着剤を作製する。新規吸着剤を用いた重レアアース回収プロセスのコスト（吸着剤費用を除く）が、回収される重レアアースの資源価値と同等程度の水準とすることを目標に設定し、作製した新規吸着剤を用いた重レアアース回収プロセスのコスト評価を行い、吸着剤の課題を抽出する。

【最終目標】吸着剤の最適化を行い、スケールアップ試験によるコスト評価を行うことで、コスト競争力のあるプロセスにする見通しを立てる。

●実施体制

新規吸着剤の開発は、重レアアースに対して選択性のある配位子に関する知見を有する産総研と機能性高分子粒子の合成技術を有する千葉大が連携して行っている。また、高分子粒子を製品化する技術を有する外部協力機関の化学メーカーA 社から吸着剤の生産コスト削減や量産化などに関して、技術助言を受けながら、事業を推進している。吸着剤の実用性評価では、模擬試料を用いた吸着分離試験を産総研が中心となって行っている。三徳ではベンチスケールでの吸着試験を行い、吸着剤を用いた重レアアース回収のコスト評価を行っている。また、三徳の自社工場からでる廃棄物等や外部協力機関の素材メーカーB 社、C 社より提供される実試料について検討を行っている。

●成果とその意義

●成果とその意義

重レアアースに選択的吸着能を有する新規吸着剤の開発

本事業では重レアアースに選択的吸着能を有する実用的な新規吸着剤の開発が未利用資源からの重レアアース回収技術の重要な鍵となる。新規に吸着剤を設計するためにはレアアースに選択性を有する吸着反応部位、その吸着反応部位を固定化する担体、吸着反応部位の担体への導入方法が検討課題となる。

工業的に量産化が容易な合成方法で、耐久性の高い多孔質反応性高分子粒子を作製した。さらに、作製方法を検討することにより目標である真球状で、粒子サイズが300～1200 μm の粒子を作製する方法を確立した。この多孔質反応性高分子粒子を新規吸着剤の担体として、重レアアースに高い選択性を有する配位子を担体に固定化する方法について検討を行ない、新規吸着剤を作製した(図①-2)。

新規吸着剤の実用性評価およびコスト評価

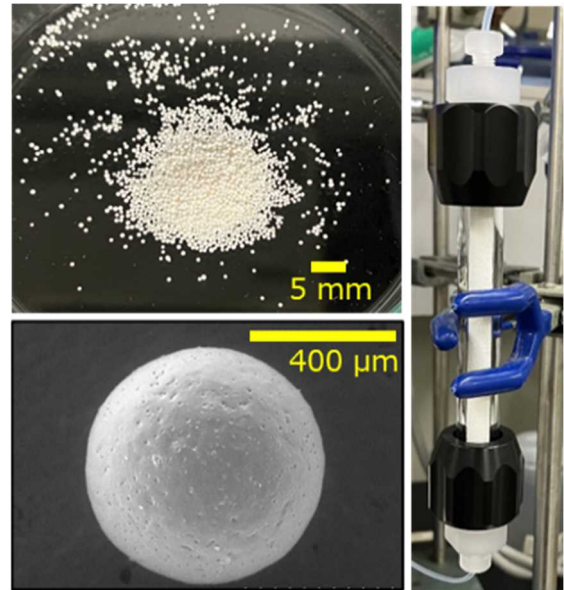
新規吸着剤をカラムに充填して、重レアアースの回収試験を行なった(図①-3)。従来の吸着剤では競合し吸着分離が困難である鉄イオンなどの存在下においても、作製した新規吸着剤は重レアアースに高い選択性を有することを確認した。さらに、実試料からも重レアアースを選択的に回収可能であることを示す結果を得た。このような高い選択性を有する吸着剤は他にはないので、本事業で検討している未利用資源以外にも水平展開が期待できる。

新規吸着剤に対してコスト評価で重要な指標となる重レアアースに対する選択性、吸着量、耐久性、吸着速度についてデータを取得し、コスト評価を実施した。

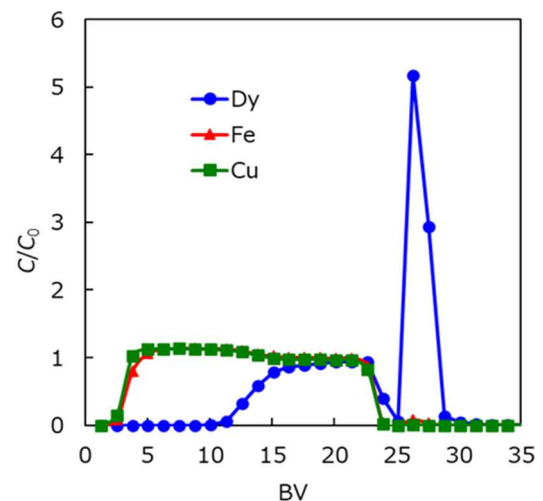
●実用化・事業化への道筋と課題

本事業では、前半3年で重レアアースに選択性を有する新規吸着剤の開発および性能評価などの要素開発研究を行い、後半2年で吸着剤の量産化検討や重レアアース回収プロセスのスケールアップを想定した分離試験などを実施する。本事業終了後、産総研と三徳で密に情報共有しながら、パイロットプラントにおける試験を実施し、2031年度頃に事業化を目指す。また、外部協力機関である素材メーカーB社、C社とも連携し、未利用資源への適用範囲を広げていく。さらに、千葉大と産総研が中心となり、化学メーカーA社などの民間企業に技術移転を行い、2032年度頃を目標に新規吸着剤の上市を目指す。

この先の課題としては、日本の友好国から重レアアースをより広く回収し、日本で利用するために、吸着剤の大量生産技術および低価格化を検討するとともに、回収技術のパッケージ化、ビジネスモデルの構築などが必要となる。



図①-2 作製した新規吸着剤



図①-3 新規吸着剤による重レアアース回収試験

●期間・予算 (単位:百万円)	2023fy	2024fy	2025fy	2026fy	2027fy
	非公開	非公開	非公開	非公開	非公開
●特許出願及び論文発表 *2025年5月1日時点					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
1件	0件	10件	0件	2件	

テーマ名	研究開発項目② ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発 研究開発項目②(1) 高精密相互分離技術の開発	達成状況	○
実施者名	(株)三徳、(株)エマルションフローテクノロジーズ、産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、大阪大学、神戸大学、佐賀大学、鹿児島大学		
達成状況の根拠	新規抽出剤開発では、計算から推定された化合物を合成し、重レアアース錯体の解析結果に基づき抽出条件の最適化を進め、Dy/Tb 分離係数約 4 を達成した。分離条件を向上させる条件が確定しつつあることから 2026 年 3 月達成見込みと評価した。新規抽出装置開発については、機械攪拌式エマルションフロー装置が従来型ミキサセトラ装置と比較して 4 倍の処理速度を示すことが分かった。これは装置規模がおおよそ 1/3～1/4 になることを示唆しており、目標値を大きく上回って達成した。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

添加剤として Tb または Dy を含有したネオジム磁石がそれぞれ存在するため、Tb と Dy の相互分離技術が廃磁石及び天然資源からのレアアース製錬において必須である。特に高性能磁石として Tb 含有のものの重要性が増しており、その製造には高純度の Tb が必要となる。また、Tb 含有磁石の製造は日本が高い技術を有していることから、安定した Tb 供給が日本の磁石産業発展の鍵である。一方、重レアアースは化学的性質が極めて類似しており、Dy/Tb の相互分離は極めて困難である。従来型の抽出剤（PC88A）と抽出装置（ミキサセトラ）による分離プロセスでは大規模な分離施設等が必要となり、国内操業が極めて困難である。現在重レアアースの分離精製に関してはほぼ 100%特定の国にて行われており、サプライチェーンの強靱化の観点からも国内実施可能な精錬技術の確立は喫緊の課題である。以上を踏まえ、国内工場で重レアアースの分離精製が行える低コストかつ装置規模の大幅なダウンサイズが可能なプロセスの構築が本研究開発項目の目的となる。上記の様に磁石製造に必要な Dy 及び Tb 原料を廃製品や天然資源から入手するためには、分離精製工程を経る必要があることから、本研究開発項目の達成がアウトカム達成目標である 400 トンの重レアアース回収に大きく貢献する。

●アウトプット目標

スケールアップ試験開始の目安となる抽出装置のインシャルコストをおおよそ半減することが可能になる Dy/Tb 分離係数>5 の抽出分離系を用い、国内工場での操業が可能になる従来型分離装置（ミキサセトラ）と比較して装置規模 1/5 で同等の分離効率を示す分離精製プロセスを確立する。

●実施体制

実用化への条件等は、レアアース製錬事業者である（株）三徳が設定する。本項目における各事業者の主な役割を以下に記す。PTACA 化合物の合成：神戸大学、計算による有効抽出剤構造の提案：大阪大学、レアアース錯体の構造解析：原子力機構、PTACA-レアアース錯体の抽出分離係数測定：佐賀大学、従来型抽出系の応用研究：産総研、抽出装置のメカニズム解析：鹿児島大学、抽出装置の改良・開発：（株）エマルションフローテクノロジーズ、実用化へ向けた条件設定、実工程液等による連続抽出試験及びプロセス評価：（株）三徳。また、化学薬品メーカーから、抽出剤の大量合成や市販に関して、技術アドバイス等を受ける。

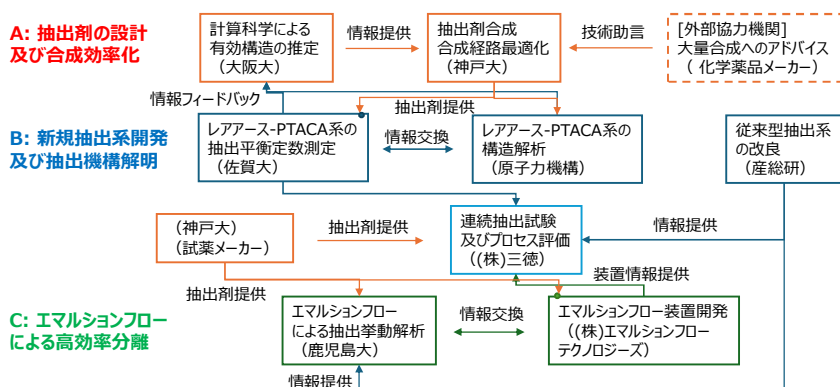


図1 実施体制図

●成果とその意義

従来の経験に基づく抽出剤開発手法とは異なり、計算により設計した抽出剤を最適化したルートで合成し、その抽出剤とレアアースとの構造解析及び抽出試験結果をフィードバックすることで、実用性の高い抽出剤の早期の選定・最適化を目指した。重レアアースの分離が期待できる化合物としてフェナントロリンアミドカルボン酸系誘導体（図2）に着目した。計算科学的手法により高性能の抽出剤構造を推定し、それに基づき新規抽出剤の合成に関して合成ルートの探索及び合成最適化を行い、タイプ A 及びタイプ B

で合計7種の誘導体を合成した。合成した誘導体を用いて錯体化学的アプローチにより構造特性を調べたところタイプ A が高分離性能を示した。また有機溶剤への溶解性についても、タイプ A が優れていることが分かった。これらの抽出剤を用いてレアアースの溶媒抽出試験を行い、Dy/Tb の分離係数を調べたところ、タイプ A がより高い値を示した。現時点でタイプ A の抽出剤の使用により約4の分離係数が得られている。この値は、従来型抽出剤であり現状最高の分離係数を有する PC88A の 2~3 と比較しても高い。上記の結果は、計算・合成・錯体解析・抽出試験のサイクルが、本開発項目における Dy/Tb の分離係数向上のために有用であることを示している。

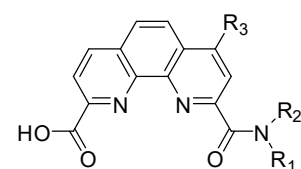


図2 フェナントロリンアミドカルボン酸の構造

新規抽出装置開発では、工業的な重レアアースの相互分離に適したものとして機械攪拌式エマルションフロー装置に着目した。物質移動係数と液滴径分布を測定では、機械攪拌式エマルションフロー塔では油相流速による変化が小さく、低油相流速でも抽出性能が高いこと、またノズル型よりも物質移動容量係数が大きく水相流速に依存することが明らかになった。機械攪拌式エマルションフロー装置により Tb, Dy の抽出を行い、安定に操作できる油相と水相の流速を、報告されているミキサセトラ装置と比較した。表1に示すように、機械攪拌式エマルションフロー装置は4段ミキサセトラの4倍以上の処理量を実現できることが示された。これは装置規模がおおよそ1/3~1/4になることを示唆している。また、機械攪拌式エマルションフロー装置の改良において、送液方法等の工夫により、重レアアース相互分離に必要な多段化に対しても対応可能なことが分かった。



図3 試験に用いた機械式エマルションフロー装置

表1 攪拌型 EF 装置により安定操作可能な油水の流速と国内外の報告による従来型抽出装置の処理能力の比較

	油流速 U_o [m/s]	水流速 U_w [m/s]
機械攪拌式エマルションフロー(バッフル付き)	8.1×10^{-4}	8.1×10^{-4}
4段ミキサセトラ* (矩形状)	1.7×10^{-4}	1.7×10^{-4}

* H. Yamashita, et al., 化学工学論文集, 24, 711-715(1998)

●実用化・事業化への道筋と課題

溶媒抽出法による Dy/Tb 高精度相互分離に関して、事業終了後(株)三徳において実用化試験を開始し、4年程度での事業化を目指す。エマルションフロー抽出分離装置については、(株)エマルションフローテクノロジーがプロセス試験の結果を基にさらなる操作性及び汎用性の向上試験を2年程度行い、上記の実用化試験をサポートするとともに、装置市販を目指す。新規抽出溶媒に関しては、フェナントロリンアミドカルボン酸系抽出剤を中心に、事業終了後は実用化試験を進めるとともに、外部協力機関である化学薬品メーカーの助言を基に量産化に向けた検討を進め、相互分離プロセスの事業化の際に十分な量を確保できるようにする。また、化学薬品メーカーに技術移転を行い、終了後5年目の上市を目指す。抽出溶媒の量産化のためには、原料の確保やそれに関連して製造コストをいかに抑えるかが大きな課題となるため、事業期間中から入手しやすい原料の使用や簡便な合成ルートの構築を進めている。尚、事業化に向けた上記の取組で新たに生じた課題は、本事業の参画機関によって解決を目指す。

●期間・予算 (単位: 百万円)	2023fy	2024fy	2025fy	2026fy	2027fy
	非公開	非公開	非公開	非公開	非公開

●特許出願及び論文発表 *2025年5月1日時点

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0件	2件	12件	0件	3件

テーマ名	研究開発項目② (2) 新規電解還元法の開発	達成状況	○
実施者名	産業技術総合研究所、株式会社三徳、京都大学、鈴鹿高専、早稲田大学		
達成状況の根拠	本法に適した有望な組み合わせを複数挙げるとともに、コスト計算も順調に進捗していることから、達成見込みと評価		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

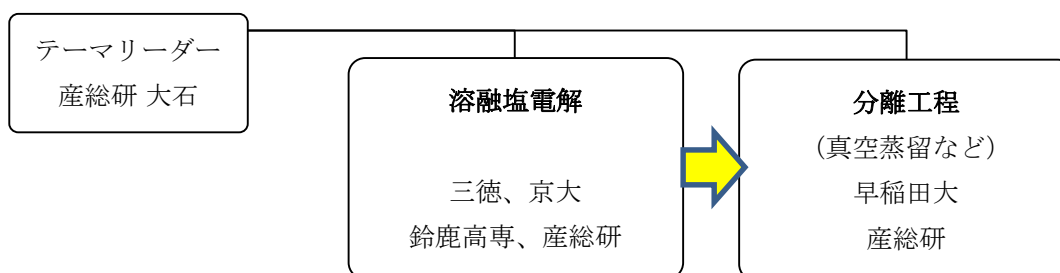
金属テルビウムは、自動車や風力発電用などの高性能磁石製造に不可欠な材料であるが、資源として希少で偏在性も高いことから供給障害リスクが懸念されている。また、テルビウム化合物から金属テルビウムを得るにはカルシウム熱還元法が従来から用いられているが、エネルギー消費や経済コストが大きいことから国内での実施は困難である。したがって、研究開発項目①、②(1)により高純度なテルビウム化合物が得られても、現状では金属テルビウムに転換する手段が無いために国内での資源循環を完結させることはできない。

本研究開発項目では、国内実施が可能な低コスト省エネルギープロセスとして新規電解還元法を提案し、その実現可能性を示すことをプロジェクトの目標に設定した。これが国内実施されれば、アウトカム目標である合計 400 トン/年の希土類回収量に対し、その 1/4 に当たる 100 トン/年の回収に貢献する。

●アウトプット目標

従来の熔融塩電解により磁石材料として利用可能な Tb 金属を得られる温度(1400℃以上) よりも 400℃以上低温、具体的には 400～1000℃の温度域での熔融塩電解と 1000℃以下での真空蒸留が可能な熔融塩系および液体合金系の有望な組み合わせを複数挙げるとともに、電解試験や各種基礎測定により、その実現可能性を検証する。さらに、従来法であるカルシウム熱還元法を国内で実施することを想定したコストに比較して 30%の低コスト化を目標値に設定し、それまでに得られた実験値等を暫定的に採用してコスト評価を行う。

●実施体制



●成果とその意義

熱力学計算や蒸気圧曲線などをもとに、新規電解還元法に適した合金系および熔融塩系を絞り込んだ。これにより、有望な反応系の絞り込みを効率的に行うことができた。

続いて、有望候補に挙げられた合金系および熔融塩系について、各工程での基礎試験を実施した。熔融塩電解 (Fig. ②-(2)-1) については、電位走査法などの電気化学測定を駆使してテルビウム合金の回収に適した条件を導出し、テルビウム含有合金を得た (Fig. ②-(2)-2(a))。また、その場観察装置を導入して電解中の様子の直接観察にも成功した。さらに、幾つかの熔融塩系では商業規模での電解試験を先行して実施し、それぞれ実用化の可能性が高いことを示した。

分離工程に関しても、真空蒸留および融解試験等を実施し、熔融塩電解により回収されたテルビウム含有合金からの金属テルビウム回収が可能であることを実証した (Fig. ②-(2)-2(b))。



Fig. ②-(2)-1 熔融塩電解試験の様子

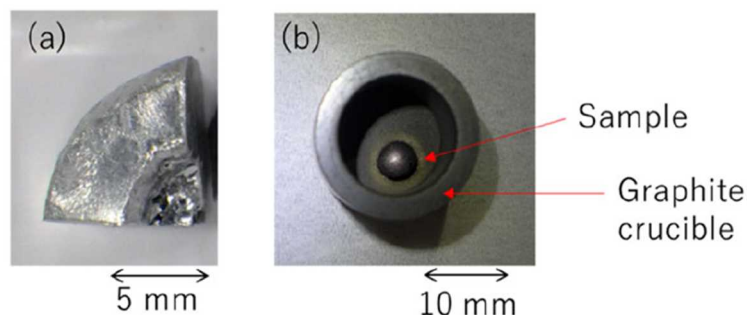


Fig. ②-(2)-2 (a)溶融塩電解により回収されたテルビウム含有合金（切断後）および
(b)真空蒸留等により回収された金属テルビウムの外観

*T. Oishi ら, JOM, 77(4), 2236(2025) (<https://doi.org/10.1007/s11837-025-07142-3>) より

これらの研究成果をもとに、本法に適した合金系や溶融塩系の候補を複数挙げることに成功した。ここで必要とされる温度は 850℃以下（真空融解を除く）であり、従来法の 1400℃以上と比較して大幅な低温化を実現した。さらに、暫定的なコスト評価を実施し、本法によって従来法の 3 割減となる操作条件を確認した。

また、本法の応用展開の一つとして、溶融塩電解と合金隔膜を用いた希土類磁石のリサイクルプロセスと組み合わせた実施が可能かどうかを確認した。合金隔膜を用いた透過試験の結果、Tb と Nd の相互分離が可能であることが確認され、本法が磁石リサイクルにも適用できる可能性が示された。

●実用化・事業化への道筋と課題

本プロジェクト終了時点の 2027 年度末までに要素技術の確立とコスト評価を終える予定である。その先、企業（三徳を想定）での商業化の可能性判断を経て、プロジェクト終了後 3 年程度を掛けて大型化への対応を産総研、京大、鈴鹿高専、早稲田大の支援のもと、企業主体で実施する予定である。

プロジェクト終了後 3 年後にはパイロットプラントの設置および応用展開可能な技術の早期実用化を目指し、その後 2 年程度のパイロット試験を経て商業化を目指す予定である。

この間の課題は、上記の大型化への対応と詳細な事業モデルの構築・評価であるが、技術的なもの以外にも社会的課題が幾つか挙げられる。一つは金属テルビウムの価格変動である。価格高騰であれば、本技術の導入自体には追い風となるが、大きく下落すると現在設定した目標値を達成しても実用化は困難となる。そのため、一定の価格を保証するなどの政策的な支援は不可欠である。また、リサイクルに関しては廃磁石等の収集体制をどのように構築するかという課題がある。最有力なターゲットは自動車用モーターに搭載されている磁石であり、自動車関連企業と早い段階から協働体制を築くことで一定量の確保は期待できるものの、中古車の輸出等に伴う海外流出を止めるのは困難であり、それへの国際的枠組みの確立などが求められる。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023fy	2024fy	2025fy	2026fy	2027fy
	非公開	非公開	非公開	非公開	非公開
●特許出願及び論文発表 *2025 年 5 月 1 日時点					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
2 件	5 件	29 件	0 件	受賞 2 件	

5. 添付資料

●プロジェクト基本計画

P23006

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」

基本計画

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

① 政策的な重要性

2020年に政府が宣言した「2050年カーボンニュートラル」の実現には、電動化の普及がカギとされている。例えば、エアコンや電気自動車などに使用される電動モーターには、レアアース

(軽希土類のネオジムや重希土類のディスプロシウム、テルビウムなど)を用いたネオジム磁石が部材として使用されており、今後も大幅にその需要が増加すると見込まれている。しかしながら、ネオジム磁石に含有するこれらのレアアース、特に、ディスプロシウムやテルビウムについては、それらの鉱石資源が特定国に偏在していることから、その供給リスクは以前から問題視されており、現在もまだ十分に解決できているとは言い難い状況が続いている。

そこで、我が国においても、継続的にこのネオジム磁石の原料となるレアアース資源を確保していく政策が必要である。これまでに行われてきた政策としては、例えば、「新国際資源戦略(経済産業省 令和2年3月) (4) サプライチェーン強化に向けた国際協力の推進」においては、『資源の確保に向けては、下流産業も含めたサプライチェーンがグローバルに広がっており、昨今の国際情勢の変化を受けてレアメタルの安定供給がリスクにさらされている。その上で、鉱山開発や製錬、製品製造等、サプライチェーンの各段階に関係する各国と、JOGMECを通じ、バイやマルチでの国際協力を強化することが必要である。』こと、さらに「(5) 産業基盤等の強化」によれば、『レアメタルはベースメタルの副産物として生産されるものも多いことから、その安定供給のためには、産学連携による課題解決に向けた取組を活性化しつつ、ベースメタルの生産を支える産業基盤や技術基盤の強化を図ることが重要である。また、金属鉱物のリサイクルやレアメタル等の使用量削減に向けた技術開発、デジタル技術の活用、海外での資源確保を支える人材の確保も重要である。』ことが記されている。また、「マテリアル革新力強化戦略」(統合イノベーション戦略推進会議決定 令和3年4月) 第2章. マテリアルを取り巻く状況」によれば、『資源としてのレアメタル、レアアースは、電池、モーター、半導体、触媒等、先端電子部品や機能性化学品等の高機能化を実現する上で必要不可欠である。一方で、地政学的な資源の偏在と脆弱なサプライチェーンが供給リスクとなっている。』とあり、その具体的取り組みとして「【目標】資源制約の克服 (2) 具体的取組」に『サプライチェーン強靱化』が挙げられている。

② 我が国の状況

これまでのレアアースに関する国内の資源対策に関しては、2009年7月に経済産業省にて「レアメタル確保戦略」を公表後、中国によるレアアース問題を契機に、「レアアース総合対策」

(2010 年 10 月) を策定し、平成 22 年度 (2010 年度) 補正予算で対策を実施した。この対策では、レアメタル確保戦略にて掲げられた「代替材料・使用量低減技術開発」、「リサイクルの推進」、「鉱山開発・権益確保」、「備蓄」に加え、新たな施策として、「レアアース等利用産業の高度化」が掲げられた。これは、次世代自動車のモーター用磁石を製造する高度な技術を有する事業者等の海外流出を防ぐため、レアアース等使用量削減のための設備導入に対して補助を行うという目的であった。しかし、2011 年、高性能永久磁石の生産に不可欠な重希土類であって、中国南部以外に有望な供給源が望めないディスプロシウムについて、中国政府による輸出枠の削減、生産管理強化に加え、中国国内での内需の高まりを背景とした輸出価格の急騰が起り、日本の産業界は、必要量の確保がより一層困難な状況に陥った。そこで、この状況を打開すべく、「レアアース・レアメタル使用量削減・利用部品代替支援事業」(2011 年度補正) を新たに措置し、レアアース・レアメタルの使用量削減をサプライチェーン全体で推し進めるとともに、使用済み製品からネオジム磁石等を一定量回収し、再度磁石に加工して製品に再利用するという一連の市中リサイクル実現に向けて、技術面、コスト面等についての社会システムの実証を行うための技術開発を進めてきた。さらに、「使用済みモーターからの高性能レアアース磁石リサイクル技術開発 (2012-2014 年度)」では、レアアース磁石を使用しているモーター類を対象に、使用済み製品からの磁石の回収、廃磁石からのレアアース (素材) 分離等に関する技術開発を実施し、高効率で低コストのリサイクルシステムの構築を目指し、継続的な対策と支援を行ってきた。その後、2020 年の新型コロナウイルス感染症の世界的拡大により、ネオジム、ディスプロシウム、テルビウムを中心とするレアアースに関して、再び価格高騰が起り、更なるレアアースの資源確保と有効利用に向け、「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」(2020-2021 年度補正事業) を実施した。また現在、内閣府では「経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律」(通称:「経済安全保障推進法」令和 4 年 5 月 11 日成立) にて、本法律に該当する特定重要物資の選定が進められており、その要件 2 (外部依存性) として、「外部依存度が高く、特定少数国への依存度が高い (供給先が分散していない) 。」や「当該物資を供給可能な事業者が数社に限定されており、国際環境・事業環境等の理由から、供給途絶する可能性が高まっているなど、供給体制が顕著に脆弱な状況にある。」ことが事例として挙げられている。

上述のように、これまで日本ではレアアースの資源供給リスクに向け、多くの政策事業を実施し、様々な技術開発が行われ、またその一部は社会実装もされてきたが、現在もなおレアアースの資源供給リスクは解消されているとは言い難い状況にある。特に、レアアースの分離精製工程に関しては、作業コストの関係上、製造時の端材 (工程くず)、スペックアウト品及びスクラップ品から回収された廃ネオジム磁石を海外 (ベトナムや中国) へ輸出し、そこで加工された再生品を再び輸入しているという現状は大きな課題である。従って、この分離精製工程に関しては、日本国内で実施してもコスト優位性のあるプロセスを早期に構築し、併せて、国内でも資源のリサイクルを推進し、重要資源の国外流出を抑えていく必要がある。

③ 世界の取組状況

次に、海外主要国のレアアース対策について紹介する。

< 欧州連合 (EU) >

欧州連合（EU）の執行機関である欧州委員会は、『「重要な原材料」（Critical Raw Materials）の供給に関する政策文書』（European Commission, 2020a）に基づき、「欧州原材料同盟（European Raw Materials Alliance, ERMA）」と呼ばれる官民協業の共同体を、2020年9月29日に発足した。欧州委員会は、経済活動に不可欠でありながらも調達の多くを域外の輸入に頼っている原材料のことを「重要な原材料」と定義し、この原材料の中に重希土類、軽希土類（レアアース）も含まれている。レアアースは、欧州委員会が掲げる経済成長戦略の実現に必要な不可欠な鉱物であるが、現状、その9割以上を中国からの輸入に依存している。そこで、経済安全保障上の観点から、欧州委員会は ERMA での取り組みを通じて、EU 域内外で鉱山の自主開発を推進するとともに、再利用（リサイクル）のシステムを構築して、レアアースに代表される「重要な原材料」の供給網（サプライチェーン）の強靱化を図り、輸入依存度（特に対中依存度）を引き下げようとしている。

<米国>

米国地質調査所（USGS）によると、米国は2019年時点でレアアース化合物及び金属の輸入先として中国に約80%を依存している。Trump 政権下で署名された大統領令 13817 号に基づいて、2018年に内務長官は、レアアースを含めた35の鉱物を重要鉱物（Critical Minerals）として特定、同年には、国防総省が、中国による価格競争相手の排斥を目的とした戦略的な市場寡占化に懸念を示すレポートを発行している。これにより、精密誘導ミサイルや高性能爆弾などの軍事機器向けの永久磁石原料であるレアアースは、国家安全保障上の課題として位置付けられることとなった。

その後、2021年においても米国のレアアース磁石生産のフローは中国に大きく依存しており、自国内での生産フローの構築が検討されている。主要なレアアース生産者であった MP Materials 社は、レアアース磁石生産のために Mountain Pass 内での分離・精製処理場の建設を計画しているほか、テキサス州でのメタル・合金の生産計画を発表している。その他、Energy Fuels 社の White Mesa Mill においては、天然モナズ砂から混合レアアース炭酸塩（mixed REE carbonate）の生産が開始されており、生産フローの多角化が進展しつつある。

<中国>

中国は1980年代から、レアアースおよびレアアース関連製品に関する輸出規制を行ってきた。初期には、輸出する際に国内流通過程に発生した増値税等の還付など税制上の優遇等を行い、レアアースの輸出を奨励し、有効な外貨獲得の手段と位置付け、その後、1990年代に入り、中国政府はレアアースの産業戦略上の重要性に着目し、レアアースの採掘、輸出に対して、厳格な管理・規制を行うようになってきた。また、2006年以降、レアアースおよびレアアース関連製品に対する輸出関税を10%から徐々に15~25%へと引き上げてきた。

このような輸出規制のほか、中国は国内のレアアース産業に対して、生産の品質管理、採掘・生産量の管理を中心に産業政策の構築も行っている。例えば、2000年代から、レアアースの「実地調査、採掘、選鉱」について外資参入を禁止するなど、生産技術および環境対策の産業参入基準を厳格化することで、レアアースの戦略備蓄体制の構築を始めている。

④ 本事業の狙い

このような国内外の背景の中、レアアースの資源価格は、現状、日本国内の民間企業の事業活動に影響するほどではなく、企業が直ちにリサイクルや分離精製技術の向上に向けた技術開発を行う動機、必要意識が働きづらい状況にある。その一方、日本政府は、カーボンニュートラル社会の実現にレアアースは不可欠であること、将来的に需要が拡大し需給の逼迫の恐れがあること、中国への高い依存度から供給途絶リスクが高いこと等を踏まえ、先を見越して経済安全保障対策を進めている。

そこで、本事業では、鉱石並びに廃電気自動車、廃家電等に含まれるネオジム磁石廃棄物から目的とするディスプロシウムやテルビウム等の重レアアースを選択的に回収するまで一連の製造工程を日本国内で実施できるように、コスト競争力を有する重レアアースの高効率分離精製技術の開発、および重レアアースの精錬技術の開発を目標とし、この目標を達成することで、特定国の製造技術や資源政策に依存しない「重レアアースの資源循環および資源確保」を国が主導する形で進めていき、日本の素材産業の安定化と将来の供給不安を解消することが狙いである。

(2) 研究開発の目標

本事業は、日本国内での社会実装化が目標であるため、事業開始前に目指すべきコスト水準（現行コスト（海外製造コスト）に対して競争力のあるコスト）を目標として設定し、適宜、コスト評価を行いながら、次の各研究開発項目を進めていく。

① アウトプット目標

研究開発項目①： 未利用資源からの重レアアース回収技術の開発

レアアースを含む天然鉱物に含有することが多いウランやトリウム等の放射性元素、磁石製造時の端材などの屑や不用な金属夾雑物を含む未利用資源から、ディスプロシウムやテルビウムのような重レアアースのみを選択的に回収する手法を開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

研究開発項目②： ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発

従来法であるミキサセトラを用いた溶媒抽出法と比較して、ディスプロシウム/テルビウム分離工程の簡素化及びこれに伴う設置規模（設備面積等）の削減、処理速度の向上を達成するディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術の開発を行う。両者の分離について分離係数（液一液、固一液など二相間の両金族の分配比の比）を指標とし、従来法（溶媒抽出法）の分離係数 2-3 を基準として 2 倍以上の分離係数を持つ高精密相互分離技術、および装置規模が従来比 1/5 となることを目指した分離精製プロセスを確立する。

さらに、この分離精製プロセスの後工程となる精錬工程についても、省電力化のため、従来法と比較して 200℃低い温度でテルビウムの精錬を可能にする技術を開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

② アウトカム目標

本事業では、研究開発項目①で開発した重レアアース回収技術と研究開発項目②で開発した高精密相互分離技術および重レアアース精錬技術のスケールアップ試験を実施し、事業開始時に設定した製造コスト範囲内（目指すべきコスト水準内）で量産化ができるかどうかを確認する。次いで、資源回収量と製造コストから、この製造方法で実施する重レアアース生産量と製造設備の規模を特定し、国内で施設を立ち上げていく。

本事業により、2040 年度には、国内需要（2040 年予測）の 4 割強にあたる重レアアース量 400 トン/年を、産業廃棄物から 300 トン/年、未利用資源から 100 トン/年を生産可能な状態にすることで、これらの生産品から約 800 億円分の売上げが期待できる。また本事業で開発された製造設備の稼働により使用電力量が低減することにより約 740 トン/年の CO₂ の削減が見込まれる。

③ アウトカム目標達成に向けての取組

本事業で確立する技術は、NEDO の成果報告や展示会、セミナー等で積極的に宣伝し、国内のレアアースリサイクル事業者、レアアース販売事業者のみならず、永久磁石製造/回収事業者、永久磁石を用いた電動モーターの製造/回収事業者、次世代自動車の研究開発者やその事業者まで幅広く発信していくことにより、成果の普及、すなわち増設を促進する。

また NEDO は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・検討するとともに、技術推進委員会等において、研究開発の進捗管理や目標の見直しを行う等、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

（3）研究開発の内容

上記目標を達成するために以下のテーマについて、研究開発を行う。

具体的な開発内容は、資料 1－3 別紙 1 の研究開発計画の通りとする。

研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発

研究開発項目②：ディスプレイウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発

本事業は、標準的研究開発として、資源確保、CO₂ 削減の観点から次世代産業への大きな貢献が期待されている。従って、プロジェクト終了後 4 年を目標に実用化/製品導出まで達することを目指す。また、本事業は産学官の複数事業者がこれまでに個別または共同して行ってきた研究で得られた知識と経験を迅速に社会実装に繋げて行くべく、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

（1）研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下「PMgr」という。）を指名する。PMgr は、事業の成果・効果を最大化させるため、実務責任者として担当事業全体の進行を計画・管理し、事業遂行にかかる業務を統括する。

NEDOは、公募によって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。

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はプロジェクトリーダー（以下「PL」という。）を委嘱する。PLは、PMgrの指示の下、プロジェクトに参画する実施者の研究開発を主導する。

本事業は、基盤技術の確立を目的としているため、研究開発実施者はNEDOと協議の上、可能な限り研究拠点を集約して、PL等の指揮の下、組織的に知見・ノウハウを蓄積しながら研究開発等を推進することとする。

（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

NEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と緊密に連携し、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、全体の最終目標の効率的かつ効果的な早期達成のため、（新たな課題の対応も含む）関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、毎年度、実施方針に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を評価し、必要に応じて変更するものとする。早期実用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

NEDO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、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

３．研究開発の実施期間

２０２３年度から２０２７年度の５年間

４．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、中間評価を実施期間の中間年である２０２５年度、事後評価を終了時期の２０２８年度に実施する。

なお、中間評価結果を踏まえ必要に応じて事業の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、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、評価実施を前倒しする等、適宜見直すものとする。

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 知的財産権の帰属、管理等取扱い

委託研究開発の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、すべて委託先に帰属させることとする。

③ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは「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。

④ データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。

(2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

PM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おこなう。

(3) 根拠法

本プロジェクト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十五条第一号ニ及び第九号に基づき実施する。

(4) その他

本事業は、交付金インセンティブ制度を活用することとする。当該事業における具体的運用等は、公募を経て採択された実施者に提示する。

研究開発計画

研究開発項目①：未利用資源からの重レアアース回収技術の開発

1. 研究開発の必要性

ディスプロシウムやテルビウムのような特定国に偏在する重レアアースの資源リスクに資する方策として、国内にある資源を有効に使用することが必要である。そのためには、重レアアースを含有しているが利用されていない資源、例えば、ネオジム磁石の製造工場やリサイクル工場から出る廃液など、夾雑物の多い状態から、選択的にレアアースを回収する技術が必要となる。特に、電気自動車（EV）、エアコン、洗濯機、ハードディスクドライブ等の電動モーターなどに使用されている重レアアースについては、今後の市場の成長速度を鑑みた場合、資源確保が喫緊の課題である。

2. 研究開発の具体的内容

本事業は重レアアース回収技術の日本国内での社会実装化が目標であるため、研究開発項目①では、事業開始前に現行の製造コスト（海外製造コスト）に対して競争力のあるコスト（目指すべきコスト水準）を目標として設定し、適宜、コスト評価を行いながら、次に掲げる開発を実施する。

（重レアアースの選択的濃縮プロセスの開発）

研究開発項目①では、未利用資源からディスプロシウムやテルビウムなどの重レアアース群を選択的に濃縮し回収するプロセスの開発を行う。具体的には、鉄などの高濃度夾雑物から希薄な重レアアース群を選択的かつ効率的に分離・回収が可能な技術を開発し、回収特性、選択性、耐久性等を評価する。その際、天然資源（鉱物）に含有することが多い放射性元素（ウラン、トリウム等）との分離も考慮する。次に、未利用資源の実工程液を用いた試験により、回収コスト等のプロセス評価を行う。得られた結果を基に、スケールアップ試験を行い、社会実装に向けたプロセス確立および設備構築を目指す。

3. 達成目標

（重レアアースの選択的濃縮プロセスの開発）

【中間目標（2025 年度）】

目的物である重レアアース群（ディスプロシウム、テルビウム）と想定される夾雑物（鉄、アルミニウム等）、放射性元素（ウラン、トリウム等）との分離を可能にする技術を開発し、さらに当該技術を用いた重レアアースの選択的濃縮・回収プロセスを開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

【最終目標（2027 年度）】

中間目標で設定した目指すべきコスト水準に基づいた方法で社会実装が可能かを確認するためのスケールアップ試験を実施し、再度コスト評価を行う。

研究開発項目②：ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発

1. 研究開発の必要性

ディスプロシウムやテルビウムのような特定国に偏在する重レアアースの資源リスクに資する方策として、日本国内にある資源から重レアアースを回収するプロセスを国内で構築する必要がある。そのためには、これまで海外で行われてきたレアアースの分離・精製工程について、日本国内でも事業化できるようなコスト競争力を有する技術を開発することが必須である。ディスプロシウム及びテルビウムは、EV用電動モーターの高性能磁石成分の一部として使用されており、それぞれを純度よく生産することができれば、将来のEV市場の成長を支える重要技術として大きな貢献が期待される。

2. 研究開発の具体的内容

本事業は日本国内での社会実装が目標であるため、研究開発項目②においても、事業開始前に現行の製造コスト（海外製造コスト）に対して競争力のあるコスト（目指すべきコスト水準）を目標として設定し、これを踏まえて、次に掲げる（1）高精密相互分離技術の開発及び（2）新規電解還元法の実施する。

（1）高精密相互分離技術の開発

研究開発項目②では、ディスプロシウムとテルビウムとを高精密で相互に分離する技術の開発を行う。両者は原子番号が隣接し、化学的挙動が類似しているため、従来は溶媒抽出法を多段階で繰り返すことで分離されている。そこで両者の分離について分離係数（液—液、固—液など二相間の両金属の分配比の比）を指標とし、従来法（溶媒抽出法）の分離係数（条件により2〜3）を基準として2倍以上の分離係数を持つ高精密相互分離技術を確立する。当該分離技術については、実用プロセスに向けた環境適合性、量産性、コスト適合性を備えることを前提とする。さらに、当該技術の耐久性、使用溶媒の削減検討等、実用性向上のための性能評価を行う。また従来型の分離装置であるミキサセトラの設置規模や溶媒使用量を低減する分離装置を開発する。これまでのNEDOプロジェクトで開発された分離装置（エマルションフロー装置等）の活用も考慮する。これらの開発内容を統合した高精密相互分離技術を開発し、装置規模が従来比1/5となる分離精製プロセスを確立する。

（2）新規電解還元法の開発

分離精製プロセスの後工程となる金属回収工程についても、より低温下での実施を可能にする精錬技術として新規電解還元法を開発する。ここで、新たに開発する方法は、一般的な熔融電解法や金属熱還元法と比較して、200℃以上低い温度下でテルビウムを取得することを目指す。これにより精錬プロセスの省エネルギー化および環境負荷の低減を達成する。

3. 達成目標

【中間目標（2025年度）】

（1）高精密相互分離技術の開発

ディスプロシウムとテルビウムの分離について、従来法（溶媒抽出法）の分離係数（条件により 2～3）を基準として 2 倍以上の分離係数を持つ高精度相互分離技術を確立する。また従来型装置（ミキサセトラ）と比較して 1/2 以下の装置規模で、かつ同等の分離性能を示すような新規分離装置を開発する。また目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

（2）新規電解還元法の開発

一般的な熔融塩電解法、金属熱還元法と比較して、200℃以上低い温度下でテルビウムを取得する新製法を開発する。熔融塩電解法の場合、電解をより低温下で実施でき、かつレアアースメタル取得の際に蒸留除去精製が可能となるような熔融塩と液体合金系との有望な組み合わせを複数開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。

【最終目標（2027 年度）】

（1）高精度相互分離技術の開発

中間目標で見いだされた新規分離技術のスケールアップ検討を行う。また新規分離装置による分離精製プロセスのスケールアップ試験を実施し、装置規模が従来比 1/5 で環境適合性、量産性、コスト適合性を備える分離精製プロセスを確立する。

（2）新規電解還元法の開発

中間目標までに調査した新製法を最適化し、環境適合性、量産性、コスト適合性を備えたプロセスを確立する。

研究開発スケジュール

研究期間	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
研究開発項目	要素技術開発			量産化技術開発	
①未利用資源からの 重レアアース 回収技術の開発	レアアースの選択的濃縮プロセスの開発	中間評価			事業終了
	分離回収技術の開発と評価				
②ディスプロシウム / テルビニウム の高精密相互分離 技術及び精錬技術 の開発	未利用資源の実工程液を用いた 試験によるプロセス評価	中間評価		スケールアップ試験	事業終了
	(1) 高精密相互分離技術の開発				
	高選択的な相互分離法の開発				
	分離装置の開発				
	分離法 + 装置の統合による高 精密分離技術の開発			分離精製プロセスの開発と評価	
	(2) 新規電解還元法の開発				
	新規電解還元法の開発			(環境適合性、量産性、コスト適合性)	

●関連する施策や技術戦略

「グリーン成長戦略」

「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

令和 3 年 6 月 内閣官房ほか 本文 P. 111

③ 資源の有効利用

③ 資源の有効利用

<現状と課題>

鉱物資源は海外に依存している中で、更なる資源循環の拡大やカーボンニュートラルに資する輸送用機械・インフラ向け金属素材の安定的な供給には、国内で発生するスクラップを活用したリサイクルの高度化や代替・省資源化が必要である。

また、構造物の長寿命化を目的に、国土強靱化の目的で河川の氾濫防止のための護岸工事や港湾における津波対策などで鋼材が活用されている。国民の安全安心な生活を確保しつつ環境負荷を低減するため、資源を長く有効に利用するため、強度や靱性等を更に高めた高強度鋼材が必要である。

このほか、環境性能に優れた我が国金属材料の利用拡大、ひいては、金属素材を利用した製品のライフサイクル全体の CO₂ 排出量低減に向けて、ライフサイクル全体での環境負荷評価に関する国際標準化等を通じ、グリーンメタルの普及を促進するような社会のルール形成と評価手法の普及も必要である。

<今後の取組>

資源循環の拡大や長寿命化による製造時の CO₂ 排出の低減を通じて、脱炭素化と資源制約の軽減を両立する。例えば、アルミニウムは軽量材料として、自動車向け等での需要増が見込まれており、2050 年には世界市場が約 5 割程度増加して 1.4 億トン程度まで拡大することが期待される。この市場を獲得するため、アルミスクラップを、自動車の車体等にも使用可能な素材へとアップグレードする技術を開発し、国内に限らず世界的なカーボンニュートラル社会の実現に貢献する。これによりアルミ展伸材の資源循環率を現在の 10%から 2050 年に 50%まで拡大し、軽量化ニーズを背景とするアルミ需要の拡大に対応するとともに、リサイクル材活用を促進することで国内の脱炭素化のみならず世界的な脱炭素化へ貢献する。鉄鋼材料については、自動車用鋼板等の高級材の供給は鉄鉱石から鋼を製造する製造法に限られているが、不純物除去技術を開発することで鉄スクラップを原料とする製法からの供給を実現し、リサイクル材の活用を促進する。また、鉱石や金属スクラップ、海洋中に微量に含まれる希少金属等（レアメタル、レアアース等）を着実に、抽出・回収し、再利用・再資源化するための技術や、希少金属の使用量を削減する技術、より希少性がない原材料への代替技術を開発・高度化することにより、資源制約の克服を目指す。

構造物の長寿命化に向けては、自然災害から国土を守り、被害を軽減するため、強度や靱性等を更に高めた高強度鋼材を開発し、地震等に強いだけでなく、スカイツリーや新国立競技場のようなデザイン性にも優れた建築物を実現する。こうしたデザイン性に優れた建築物は観光資源としての価値があり、インバウンドの増加など、地域の活性化にもつながる。

このほか、我が国金属製品の優れた省エネ・CO₂ 削減効果が適切に評価され、世界のグリーンメタル市場の獲得や、限界削減費用が低い発展途上国における CO₂ 削減への貢献を通じた脱炭素社会

の実現を目指すため、製品ライフサイクル全体で環境負荷評価を行う仕組みに関する国際標準化等の策定や普及に向けた取組も推進する。

「マテリアル革新力戦略」

令和3年4月 統合イノベーション戦略推進会議決定 本文 P.33

① サプライチェーン強靱化

② 代替・省資源化・リサイクル等の技術開発

【目標】資源制約の克服

K P I : 重希土フリー磁石の x E V 車への普及

(2030 年の市販されている x E V 車の 50%に重希土フリー磁石を搭載)

(1) 目標達成に向けた方策

「新国際資源戦略」を踏まえ、我が国の産業に欠かせない資源のうち、特定国からの輸入依存度が高いもの、供給途絶リスクが高いもの、及び将来的に需給がひっ迫する恐れのある金属資源等を特定する。その上で、中長期的視点に立ち、鉱種ごとの特性を踏まえ、上流中流権益の獲得、低品位鉱石の有効利用（分離・精製技術の高度化）、備蓄、リサイクル、代替・省資源化、国産資源開発等、我が国の強みを活かした総合的アプローチでの取組を進め、戦略的なサプライチェーン全体の強靱化を図る。

(2) 具体的取組

① サプライチェーン強靱化

資源の偏在性、カントリーリスク、需要の見通し等の観点から鉱種ごとの特性を踏まえ、リスクを定量的に把握して類型化するとともに、重点を置くべき政策ツール等の対応策を整理し、供給源の多角化など戦略的な資源確保策を推進。 【経産省】

希少金属等がカーボンニュートラルの実現に不可欠であることも踏まえたサプライチェーン強靱化に向けた技術開発・設備導入支援等、社会インフラ環境整備支援（標準化戦略、必要に応じた規制緩和・特区制度の活用を検討） 【文科省】 【経産省】

低品位鉱石や未利用資源の有効活用に向けた技術開発による供給源の多様化 【経産省】

レアアース泥について、水深 2,000m 以深の深海資源調査技術、回収技術の確立・実証を推進
【内閣府】

海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊について、資源量把握や生産技術の確立など、商業化に向けた取組を推進 【経産省】

② 代替・省資源化・リサイクル等の技術開発

主要金属や希少金属の国内での最大限の資源循環に向けたリサイクル技術の開発・実装及び社会インフラ環境の整備 【経産省】 【環境省】

リチウムイオン電池（L I B）に含まれているマテリアルを、最大限有効かつ効率的に活用していくための課題整理を 2021 年度末までを目途に行うとともに、2020 年代後半までにリサイクルの技術開発や環境整備等を行い、L I B リサイクルの社会実装を目指す 【経産省】 【環境省】

●プロジェクト開始時関連資料

2022 年度事前評価結果

2023 年度 NEDO 新規案件の事前評価を実施しました。結果は以下のとおりです。なお、予算案等の審議状況や政府方針の変更により、事前評価実施時点の事業内容から変更となる場合がございます。

2023 年 3 月

案件名 部素材からのレアアース分離精製技術開発事業

推進部署 材料・ナノテクノロジー部

総合コメント

＜肯定的意見＞

- ・持続可能な脱炭素を目指す上で、希土類磁石の供給は必須である。その意味でレアアースのサプライチェーン強靱化は日本の産業を支える意味で欠かすことができない。
- ・サプライチェーンの安定化、強靱化を目指す上で、特に弱体化が著しい希土類金属を天然資源、再生資源どちらでも使える分離・精製ならびに金属化技術を強化することは大変意味がある。
- ・本来希土類元素金属の供給は日本が世界をリードしていた。環境対応と高効率化の両立ができる画期的な技術開発を国が主導することで、再構築を図ることが望まれる。
- ・未利用資源からの重レアアース回収技術の開発と使用済みリサイクル品を始めレアアース含有材料からの重レアアース回収技術を合わせた提案であり、最近富に利用が増加の一途をたどっている EV などのモーター利用を鑑み、取り組むべきプロジェクトを言える。
- ・高付加価値電子機器や高性能モーター、電池等製造して、それらを利用した工業製品を輸出して国力を維持している我が国にとって、レアアースや白金族金属などのレアメタルの供給障害は、死活問題となっている。自動車の電動化やカーボンニュートラルの動きが加速すると、今後、多種多様のレアメタルが多量に必要となる。これまで、中国やロシアは、レアメタルの供給国として重要かつ不可欠な国であった。しかし、昨今のウクライナ危機や米中対立を俯瞰すると、中国やロシアからのレアメタルの供給が突然途絶する可能性もある。こうした意味では、レアメタルの新たなサプライチェーンの確保、レアメタルの使用原単位の削減技術の開発、リサイクル技術の開発などは、我が国の資源セキュリティや国力の維持のために、喫緊かつ重要な課題である。資源セキュリティという観点から、レアメタルのサプライチェーンを見直し、また、高度循環型社会の構築という観点から、レアメタルのリサイクルや省エネ環境技術の開発を進めることは極めて重要である。

＜問題点・改善すべき点＞

- ・今回の分離・精製、電解製錬は重希土元素に特化しており、10 年後を考えると合理的な目標であるが、残念ながら重希土元素を中心とした資源は現在の所中国以外には産していない。それを考えると当面、リサイクル対象となるが、具体的な対象スクラップならびにその回収法について

明確でない。コスト的にはリサイクル市場からの効率的な回収も重要課題となるので、考慮すべきである。

- ・問題点ではないが、吸着剤、抽出剤など新たに開発すべき事項が複数あり、研究における個々の機関の連携が特に重要である。進捗状況の精査を含め、中間段階での評価が大切と考えられる。

- ・提案されている事業は、レアアース（希土類）が中心のようである。レアアースだけでなく、電子材料、半導体、電池等に不可欠なレアメタルについては、強靱かつ安定したサプライチェーンの構築が不可欠である。また、レアアースについては、磁石材料に必要な希土類金属の供給源の確保は重要であるが、同時に、これらのレアアースの採掘や製錬に伴って多量に産出され供給過剰となりうる副産物のレアアース（Y, La, Ce など）の新規用途開発（副産物の需要の創出）も重要である。また、レアメタルの需要は世界的に高まっているため、採掘や製錬に伴って発生する環境破壊を少しでも低減するため、新たなリサイクル技術や環境技術の開発も重点課題として加えるべきかもしれない。

●各種委員会開催リスト

採択審査委員会		
件名	内容	実施日
第 1 回	「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」 採択審査委員会	2023 年 4 月 14 日

技術推進委員会		
件名	内容	実施日
第 1 回	プロジェクトの評価 ・プロジェクト全体に対する中間評価及の審査項目を参考とした、技術推進委員会における評価の観点を作成。 ・研究開発を前進させるための応援コメントを依頼。	2024 年 1 月 17 日
第 2 回	プロジェクトの評価 ・プロジェクト全体に対する中間評価及の審査項目を参考とした、技術推進委員会における議論のポイントを作成。 ・研究開発を前進させるための応援コメントを依頼。	2025 年 1 月 24 日
第 3 回	プロジェクトの評価	2026 年 1 月開催予定

●特許論文等リスト

2025 年 5 月 1 日時点の情報を記載した。

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	産総研、阪大、京大	特願 2023-220335	国内	2023/12/27	公開	希土類金属の回収方法	大石哲雄、片所優宇美、小西宏和、野平俊之、川口健次

【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	片所優宇美、大石哲雄	産総研	In situ X-ray diffraction and crystal orientation analysis for Dy-Ni electrochemical alloying and de-alloying in molten LiCl-KCl-DyCl ₃	Electrochemistry, 92(4), 043016(2024)	有	2024 年 4 月
2	大石哲雄、矢口未季、片所優宇美、小西宏和	産総研、阪大	Permeation tendency of some rare earth elements through a Ni-based alloy diaphragm in a LiCl-KCl eutectic melt	Electrochemistry, 92(4), 043004(2024)	有	2024 年 4 月
3	片所優宇美、大石哲雄	産総研	In-Situ X-ray Diffraction/Fluorescence Analysis of Dy-Cu Electrochemical Alloying and Dealloying in Molten LiCl-KCl-DyCl ₃	ECS Transactions, 2024-02, 3792	有	2024/10/6
4	成田弘一	産総研	湿式プロセスによるレアメタルの分離精製	分離技術、Vol. 55, 51-56	無	2025/1/31
5	Ming Zhang, Miki Makishima, Mikiro Hirayama, Takashi Goshima, Kei Mizuta, Susumu NII	鹿児島大	Application of queueing theory and foam drainage model to enhance understanding of droplet layer in emulsion-flow column extractor	Solvent Extraction Research and Development, Japan, Vol.32, 9-19	有	2025/2/18
6	大石哲雄、矢口未季、野平俊之、川口健次	産総研、京大	Novel Recovery Process for Tb Metal Using Molten Salt Electrolysis and Volatile Separation	JOM, 77(4), 2236(2025)	有	2025 年 4 月予定 (印刷中)
7	Takashi Murata, Tetsuo Oishi,	早大、産総研	Extraction of terbium from terbium-iron alloys using molten magnesium	MATERIALS TRANSACTIONS	有	2025 年 4 月予定

	Katsunori Yamaguchi				(印刷中)
--	---------------------	--	--	--	-------

【外部発表】リスト

(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	Hirokazu Konishi, Tatsuya Takao, Yuichiro Koizumi	阪大	Electrochemical Formation of Nd-Ni Alloys in a Molten Cesium Chloride System	243rd ECS Meeting	2023/5/31
2	馬場俊彰、奥川将行、小西宏和、小泉雄一郎	阪大	塩化物溶融塩中における Tb 合金の電解形成	第 95 回マテリアルズテラリング研究会	2023/8/3
3	櫛部脩那、高尾竜弥、小西宏和、奥川将行、小泉雄一郎	阪大	溶融 CsCl-LiCl 中における Dy-Ni, Nd-Ni 合金の電解形成	第 95 回マテリアルズテラリング研究会	2023/8/3
4	馬場俊彰、小西宏和、小泉雄一郎	阪大	溶融 CsCl-LiCl 中における Tb-Ni 合金の電解形成	日本実験力学会 2023 年度年次講演会	2023/8/29
5	櫛部脩那、小西宏和、小泉雄一郎	阪大	溶融 CsCl-LiCl 中における Dy-Ni 及び Nd-Ni 合金の電解形成	日本実験力学会 2023 年度年次講演会	2023/8/29
6	Hirokazu Narita	産総研	Development of refining technologies for rare earth elements	16th Conference on Critical Materials and Minerals	2023/11/3
7	尾形剛志	産総研	未利用資源からの希土類元素回収技術の開発	環境資源工学会シンポジウム「リサイクル設計と分離精製技術」第 41 回：希土類元素分離精製技術開発の最前線	2023/11/7
8	二井晋	鹿児島大	エマルジョンフロー塔の流動および物質移動特性	環境資源工学会シンポジウム「リサイクル設計と分離精製技術」第 41 回：希土類元素分離精製技術開発の最前線	2023/11/7
9	川口健次, 野平俊之	京大	溶融塩電解と合金隔膜を利用した廃ネオジム磁石からの希土類元素の分離・回収に関する研究	環境資源工学会シンポジウム「リサイクル設計と分離精製技術」第 41 回：希土類元素分離精製技術開発の最前線	2023/11/7

10	大石哲雄、矢口未季、片所優宇美、野平俊之	産総研、京大	Permeation of Rare Earth Elements Through an Alloy Diaphragm	2023 Joint Symposium on Molten salt	2023/11/12
11	片所優宇美、大石哲雄	産総研	In situ EDXRD analysis of electrochemical Dy-Ni alloying in molten LiCl-KCl	2023 Joint Symposium on Molten salt	2023/11/12-16
12	片所優宇美、大石哲雄	産総研	単一工程での希土類磁石リサイクル	産総研 環境創生部門 部門講演会	2023/11/20
13	成田弘一	産総研	レアメタル分離精製に関する研究開発と課題	ケミカルエンジニアリング交流会 秋田	2023/12/1
14	尾形剛志	産総研	Development of adsorbents for recovery of rare earth elements from non-traditional sources	第11回日米希少金属会合（二極会合）	2023/12/12
15	馬場俊彰、小西宏和、奥川将行、小泉雄一郎	阪大	熔融 CsCl-LiCl 中における Tb-Ni 合金の電解形成	日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部鉄鋼プロセス研究会・材料化学研究会 学生発表会	2023/12/12
16	成田弘一	産総研	部素材からのレアアース分離精製技術開発事業	SURE コンソーシアム第16回リサイクル技術セミナー	2023/12/15
17	大石哲雄	産総研	合金隔膜法をもちいたレアアースの新規リサイクルプロセスの開発	2023 年度早稲田大学各務記念材料技術研究所オープンセミナー	2023/12/15
18	大石哲雄	産総研	合金隔膜法によるレアアースの新規リサイクルプロセス	レアアースの回収・リサイクル等の最新動向セミナー	2024/2/21
19	成田弘一、尾形剛志、田中幹也	産総研	Mutual separation of rare earth elements by hydrometallurgical methods	TMS2024	2024/3/6
20	大石哲雄、矢口未季、片所優宇美、野平俊之	産総研、京大	Rare earth recycle process by molten salt electrolysis using alloy diaphragm	TMS2024	2024/3/6
21	小西宏和	阪大	Electrochemical Formation of Tb Alloys in Molten Chloride Systems	TMS2024(国際会議)	2024/3/6
22	馬場俊彰、小西宏和、奥川将行、小泉雄一郎	阪大	熔融 CaCl ₂ 中における Tb-Fe 合金の電解形成	2024 年春期講演大会（日本金属学会）	2024/3/13
23	大石哲雄、矢口未季、片所優宇美	産総研	熔融塩中での合金隔膜透過における種々の希土類元素の挙動	電気化学会第91回大会	2024/3/14
24	成田弘一	産総研	重レアアース資源循環のための製錬技術開発	ゼロエミッション国際共同研究センター 研究成果報告会	2024/3/19
25	片所優宇美、大石哲雄	産総研	単一工程での希土類磁石リサイクル技術開発	ゼロエミッション国際共同研究セン	2024/3/19

				ター 研究成果報告会	
26	片所優宇美、大石哲雄	産総研	熔融 LiCl-KCl 中における Ni-RE (RE=Nd, Dy) 合金化・脱合金化の in-situ 白色 X 線回折測定	資源・素材学会 2024 年度春季大会	2024/3/19
27	川口健次、野平俊之	京大	熔融塩電解と合金隔膜を利用したレアアースの新しい分離技術	第 26 回レアメタル資源再生技術研究会	2024/3/25
28	大石哲雄	産総研	LiB および希土類磁石リサイクルの動向	NIRO ウェビナー	2024/5/21
29	尾形剛志	産総研	未利用資源からの選択的な希土類元素回収技術の開発	日本地球惑星科学連合 2024 年大会	2024/5/27
30	Toshiyuki Nohira, Kenji Kawaguchi	京大	Selective Recovery of Rare Earth Elements from Waste Magnets by Molten Salt Electrochemical Process	245th ECS Meeting	2024/5/27
31	森敦紀、岡野健太郎、杉田翔一	神戸大	部素材からのレアアース分離精製技術開発の事業紹介と神戸大学における研究成果	第 6 回 先端膜工学研究センター成果発表会	2024/7/30
32	成田弘一	産総研	湿式法によるレアメタル分離精製に関する研究開発	新化学技術推進協会 講演会	2024/9/5
33	村田敬、山口勉功	早大	熔融 Mg を用いた Tb-Fe 合金からの Tb の抽出	2024 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会	2024/9/10-12
34	大石哲雄、片所優宇美、矢口未季、野平俊之、川口健次	産総研、京大	熔融塩電解と真空蒸留による Tb 製錬プロセスの開発	資源・素材学会秋季大会	2024/9/12
35	荻野智也、古郷宏明、北村二雄、森貞真太郎、川喜田英孝、大渡啓介	佐賀大	フェナントロリン骨格を有するカルボン酸型抽出試薬によるアルミニウム族金属の抽出分離	化学工学会 第 55 回秋季大会	2024/9/13
36	渡邊航平、秋山吾篤、谷口竜王、尾形剛志、成田弘一	千葉大、産総研	重レアアースに選択的吸着能を有する新規吸着剤の開発	第 73 回高分子討論会	2024/09/26
37	大川原弘将、秋山吾篤、谷口竜王、尾形剛志、成田弘一	千葉大、産総研	重レアアースに選択的吸着能を有するポリマーの合成	第 73 回高分子討論会	2024/9/28
38	大石哲雄、矢口未季、片所優宇美	産総研	Permeation Behavior of La, Ce, Pr, Nd, Gd, Tb, and Dy through a Ni-RE Alloy Diaphragm in Molten LiCl-KCl Systems v	PRiME2024	2024/10/6
39	川口健次、野平俊之	京大	Electrochemical Formation of Liquid Tb-Zn Alloys in Molten LiF-CaF ₂ -TbF ₃	PRiME2024	2024/10/6-11
40	片所優宇美、大石哲雄	産総研	In situ X-ray fluorescence analysis for Dy-Cu electrochemical alloying and de-alloying in molten LiCl-KCl-DyCl ₃	PRiME2024	2024/10/6-11

41	渡邊航平、秋山吾篤、青木大輔、谷口竜王、尾形剛志、成田弘一	千葉大、産総研	希土類元素の選択的リサイクルを目的とした新規吸着剤の開発	第14回CSJ化学フェスタ2024	2024/10/22
42	山内優奈、二井晋	鹿児島大	攪拌型エマルションフロー抽出装置の流動特性	連合年会2024（第37回日本イオン交換研究発表会・第43回溶媒抽出討論会）	2024/10/31
43	渡邊航平、秋山吾篤、青木大輔、谷口竜王、尾形剛志、成田弘一	千葉大、産総研	重レアアースのリサイクルを目的とした新規吸着剤の開発	第33回ポリマー材料フォーラム	2024/11/15
44	尾形剛志	産総研	未利用資源からの希土類元素の回収技術	2024年度産総研エネルギー・環境シンポジウムシリーズ「水環境浄化・計測のための環境バイオ技術の最前線」	2024/11/22
45	大石哲雄、片所優宇美、矢口未季	産総研	溶融塩電解と真空蒸留によるTbの新規製錬法の開発	溶融塩化学討論会	2024/11/28
46	片所優宇美、大石哲雄	産総研	溶融LiCl-KCl中におけるTb-Mg合金の電解形成のその場観察	第56回溶融塩化学討論会	2024/11/29
47	山内優奈、二井晋	鹿児島大	Flow characteristics of stirred type emulsion-flow extractor	第35回化学工学に関する国際シンポジウム (ISChE2024)	2024/11/30
48	荻野智也、森貞真太郎、川喜田英孝、大渡啓介	佐賀大	Separation of aluminum genus metals by carboxylic acid type extraction ligands based on a phenanthroline structure	ISChE 2024 (The 35th International Symposium on Chemical Engineering)	2024/11/30
49	渡邊伊織、村田敬、山口勉功	早大	Biを用いたTb-Fe合金からのTbの液体金属抽出	日本鉄鋼協会2025年第189回春季講演大会	2025/3/8-10
50	渡邊航平、秋山吾篤、青木大輔、谷口竜王、尾形剛志、成田弘一	千葉大、産総研	重レアアースのリサイクルを目的とした耐酸性吸着剤の開発	日本化学会 第105春季年会 (2025)	2025/03/26

(c) その他（同様の形式で表を作成する）

番号	受賞者名	所属	タイトル	受賞名	主催団体	受賞日
----	------	----	------	-----	------	-----

1	馬場俊彰、小西宏和、奥川将行、小泉雄一郎	阪大	溶融 CsCl-LiCl 中における Tb-Ni 合金の電解形成	令和 5 年度 第 2 回合同講演会・学生ポスター発表会 優秀発表賞	日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部鉄鋼プロセス研究会・材料化学研究会	2023/12/12
2	山内優奈	鹿児島大	攪拌型エマルションフロー抽出装置の流動特性	優秀口頭発表賞	日本溶媒抽出学会	2024/10/31
3	渡邊航平	千葉大	重レアアースのリサイクルを目的とした新規吸着剤の開発	優秀発表賞	公益社団法人高分子学会	2024/11/21
4	渡邊伊織	早大	Bi を用いた Tb-Fe 合金からの Tb の液体金属抽出	学生ポスター発表奨励賞	日本鉄鋼協会 2025 年春季	2025/3/9

番号	発表者名	所属	タイトル	展示会名	発表年月
1	成田弘一、大石哲雄、尾形剛志、粕谷亮、鈴木智也、片所優宇美	産総研	レアアース資源循環のための製錬技術開発	Renewable Energy 2025	2025/1/29-31
2	柴田泰行、長縄弘親	(株)エマルションフローテクノロジーズ	エマルションフロー法によるレアアース／レアメタルの分離・抽出技術	nanotech 2025	2025/1/29-31