

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」
中間評価報告書

2025年8月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2025年8月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 斎藤 保 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」
中間評価報告書

2025年8月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
研究評価委員会委員名簿	4
第1章 評価	
1. 評価コメント	1-1
1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	
1. 2 目標及び達成状況	
1. 3 マネジメント	
（参考）分科会委員の評価コメント	1-3
2. 評点結果	1-14
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」の中間評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第 80 回研究評価委員会（2025 年 8 月 8 日）に諮り、確定されたものである。

2025 年 8 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2025年6月18日）

公開セッション

1. 開会
2. プロジェクトの説明

非公開セッション

3. プロジェクトの補足説明
4. 全体を通しての質疑

公開セッション

5. まとめ・講評
6. 閉会

● 第80回研究評価委員会（2025年8月8日）

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」（中間評価）

分科会委員名簿

(2025年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	しばた ひろゆき 柴田 浩幸	東北大学 多元物質科学研究所 教授
分科会長 代理	いとう まゆみ 伊藤 真由美	北海道大学 大学院工学研究院 環境循環システム部門 資源循環工学分野 教授
委員	あさの さとし 浅野 聡	住友金属鉱山株式会社 技術本部 技術企画部 研究主幹
	いまなか のぶひと 今中 信人	大阪大学* 産業科学研究所 招聘教授・名誉教授 室蘭工業大学 希土類材料研究センター 客員教授
	うえだ みきと 上田 幹人	北海道大学 大学院工学研究院 材料科学部門 教授
	ごとう たくや 後藤 琢也	同志社大学 副学長 理工学部 環境システム学科 教授
	たけがはら けいすけ 竹ヶ原 啓介	政策研究大学院大学 教授

敬称略、五十音順

注*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：大阪大学 大学院理学研究科）「NEDO 技術委員・技術委員会等規程（平成 30 年 11 月 15 日改正）」第 35 条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

研究評価委員会委員名簿

(2025年8月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	きの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授
	いなば みのる 稲葉 稔	同志社大学 理工学部 教授
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	すずき じゅん 鈴木 潤	政策研究大学院大学 政策研究科 教授
	はらだ ふみよ 原田 文代	株式会社日本政策投資銀行 常務執行役員
	まつい としひろ 松井 俊浩	東京情報デザイン専門職大学 情報デザイン学部 教授
	まつもと まゆみ 松本 真由美	東京大学教養学部附属教養教育高度化機構 環境エネルギー科学特別部門 客員准教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 産業創発部 主席研究員

敬称略、五十音順

第 1 章 評価

1. 評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

レアアースの供給、特に分離・精製が特定国に依存していることは国益にとって大きなリスクであり、レアアースの分離・精製、電解・還元工程を日本国内で実装し、サプライチェーン上の脆弱性を克服することは、経済安全保障政策へ寄与するものである。本事業は、従来困難とされていたディスプロシウムとテルビウムの相互分離を高効率に行う技術確立し、国内での精製プロセス構築を現実のものにしようとする試みであり、技術的、政策的な意義は大きい。

アウトカム達成までの道筋は、外部環境や社会的影響を考慮して見直され、対象とするレアアースの種類、想定する資源、生産量、スケジュール、目標達成時期など明確化されている。また、早期の社会実装実現のために目標達成が早まったものから先に、段階的に事業化するなどの見直しが行われており、外部環境の急速な変化にスピード感をもってアプローチしていく計画になっていることは評価できる。

知的財産・標準化戦略については、今年度より知財支援として特許の専門家を加え、クローズ戦略を中心に核心部分の権利化を進めることを第一義としつつ、他国の動向など外部環境に応じて、標準化も睨んだオープン化を想定しており、妥当である。

今後に向けては、想定する原料の一部は海外で排出されているため、発生現場である当該国内などで処理した方が輸送等のコスト低減される場合が考えられる。そのようなケースを想定した、オープン・クローズ戦略の検討も慎重に行っておくことが好ましい。また、プロセス技術は、単体の特許よりも技術体系としてプロセス設計、装置、操作条件、連携技術などの囲い込みと差別化が鍵を握る。知財や標準化も「部分ではなく全体」を意識した戦略設計を検討いただきたい。

1. 2 目標及び達成状況

本事業のアウトカム目標は、ディスプロシウム、テルビウム等を対象とした高効率な分離・回収・還元技術確立し、2040年までに国内需要の4割強を再生資源で賄うという将来像を明確に示しており、政策的意義と整合性が高く、評価できる。特に、国際的にレアアース資源の供給が不安定な中、日本国内で回収・精製・再生を一貫実施できる技術体系は、国際競争力の強化と経済安全保障への貢献が見込まれる。また、時々刻々と変化するEUなどの海外の動向を踏まえ、回収品の売り上げ予測が適切に見直されていることも評価できる。

アウトプット目標も適切に見直されており、中間目標は、見込みも含めて達成されており評価できる。次のステップに向けて対策や改善点も行われており、順調に進んでいる。特に新規電解還元法の開発は、プロセスを新たに作るものであり、難しさもあるが目標が達成できる状況にあり、評価できる。レアアースをリサイクルすることで、資源の枯渇に加え、鉱山開発による周辺環境への影響の抑制効果も期待できる。

今後に向けては、最終的なアウトカム目標として、本事業により生み出された処理技術が、規模の経済を享受できるだけの原材料を確保できるかに、その成否は左右される。廃磁石からのリサイクルでは、原料となる廃磁石の回収、電気自動車、風力発電設備など一般廃棄物から出てくるモータ、あるいは廃磁石をどのように回収するのか、開発された精錬技術を生かして国内で生産を継続するために原料が適切に国内から供給されなければならないと考える。排出する側の企業である、自動車メーカー、重工、発電事業者など含めた議論が必要ではないかと思う。本事業と平行して、使用済みネオジム磁石等を安定して集荷・前処理するスキームの検討が望まれる。

また、次のステップとして、パイロットプラントによる実証試験が想定されており、装置の十分なスケールアップ化をするための予算を追加するような対応を考えてほしい。

1. 3 マネジメント

実施体制については、執行機関は適切であり、実施者は開発したプロセスの実用化を強く意識し、能力を発揮していた。指揮命令系統においては、プロジェクト全体の統率、スケジュール管理についても適切であり、企業の方がサブ PL として参画していることも実現性を考えると評価できる。目標以上の成果がでており実施者の技術力の高さがうかがえる。競合技術動向の的確な把握と迅速な対応、インセンティブの導入、知財戦略対応など、技術開発マネジメント体制の有効性は特筆に値する。

受益者負担の考え方については、政策的な重要性、地政学リスクがもたらす不確実性や政策動向による供給途絶が予測されるものの、現状の市場価格は低位安定しており、事業化に向けて総合的に考えると、民間企業では事業化の成否の判断が困難な研究開発であり、原料の入手に関する法的整備も考慮すると、社会実装へのハードルは高く、委託事業の長期継続が必要である。

研究開発項目については、要素技術開発は順調に進んでいると判断される。また、定期的な報告会が開催されているとのことで情報共有が行われ、アウトプット目標達成に必要な要素技術間での連携体制は万全である。海外の競合研究を想定し、その影響を把握したうえで、研究を加速するための予算措置を講じるなど、管理手法も適切である。

今後に向けては、最終的なアウトカム（国産レアアースの製錬・再資源化）との関連性の中で、各技術がどの程度貢献しているか、要素技術連携のさらなる可視化が望まれる。また、ユーザー企業である磁性体メーカーや車載モーターメーカー等、川下の企業との接続強化を期待したい。そして、次世代人材の育成と情報共有体制の整備で、高度なプロセス設計や電解技術の習熟には長期の人材育成が必要と考える。大学、企業、国研による人材育成連携なども検討いただきたい。さらに広報活動については、適切な時期に幅広く行っていただきたいと考える。

(参考) 分科会委員の評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

<肯定的意見>

- 中重レアアースの供給が特定国に依存していることが国益にとって大きなリスクであることが示されている。特に分離・精製が特定国で行われており、日本においてこの技術開発を行うことの重要性および緊急性が指摘されている。政策と指摘されている、レアアースのリサイクル技術等の開発やカーボンニュートラル成長戦略などにも、廃ネオジム磁石や天然由来未利用資源からのディスプレイウムおよびテルビウムを回収するためのコスト競争力を有する技術を開発することは大変重要である。これらの技術開発に対する諸外国の動向も調査されており、日本の立ち位置が明示的に共有されていることは研究者の取り組みをより推進すると思われる。
- 社会実装実現に向けて、各要素技術開発は2028年3月の終了時までには達成できることが期待される。すでに、外部協力機関も参画し、社会実装に向けた取り組みが行われている点は評価できる。
- 他国の動向を適切にキャッチアップし、知財戦略も強化していることは評価できる。
- 事業の目標、上位プログラムや関連政策・施策との位置づけが明確に示されている。本事業は外部環境の変化により、今後よりいっそう重要性を増すことが予想され、目指す将来像に対する本事業の寄与度は大きい。
- アウトカム達成までの道筋は、外部環境や社会的影響を考慮して見直されている。特に、早期の社会実装実現のために目標達成が早まったものから先に、段階的に事業化していく見直しが行われており、外部環境の急速な変化にスピード感をもってアプローチしていく計画になっている。
- 重要鉱物・重要元素の供給リスクの懸念は急速に高まってきていることを受け、オープン・クローズの領域設定が慎重に設定されている。
- 回収対象とする希土の種類、想定する資源、生産量、スケジュール、目標達成時期など明確化されている。関連する過去の希土のプロジェクトとの関連性、位置づけも明確化されている。回収対象希土として選出した Dy, Tb は資源が局在化し、埋蔵量・産出量が少ないことが確認されており、希土磁石向けの需給に多少の変動があったとしても国として回収技術を保有する価値は高いと判断される。
- 外部環境の変化、研究開発による社会的影響は十分配慮されている。原料の確保以外の項目については、必要な取り組みが網羅されている。役割分担、スケジュールも明確である。事業化も意識して進められている。
- オープン・クローズ戦略および分類は適切である。
- 原料として、明確に天然由来未利用資源、従来型資源、廃ネオジム磁石に分け、進めている。国内での一貫した社会実装を目指している。
- 強靱な希土類のサプライチェーンの実装を目指しており、明確である。専門のメーカーが参画している。重希土に焦点を当てている。

- 今年度より知財支援として特許の専門チームを加え、グローバルに海外にも目を向け、リードしていく目標は評価できる。
- レアアース資源の国内での確保を念頭に置いた課題設定は、非常に重要であり、NEDO 事業だから進めることができるテーマであると思われる。これまでに行われてなかった新たなプロセスの開発なども含め企業と国立研究機関と大学がバランスよく参画している研究チームであることも評価できる。海外の状況も調査しながら進めている点も良い。
- 将来像の実現に向けて、タイムスケジュールがある程度しっかりしている点が良い。知財化に向けた取り組みもしっかりされていることも評価される。
- 学会での発表や論文での発表により適切にオープン、クローズ戦略についても対応している。
- 産業副産物や未利用資源を対象としたレアアースの回収技術開発を通じて、国内資源循環の基盤確立を目指すものであり、「新国際資源戦略」や「グリーン成長戦略」と明確に整合している。特に吸着剤による選択的回収技術は、既存の溶媒抽出に比して環境負荷が小さく、分散する低品位資源の有効利用という点で社会的・政策的意義が大きい。国内に眠る未利用資源の有効活用という文脈においても、国家の経済安全保障および地方創生にも貢献しうる高いポテンシャルと評価されます。本事業の意義としては、従来困難とされていた Dy と Tb の相互分離を高効率に行う技術を確認し、国内での精製プロセス構築を現実のものにしようとする野心的な試みであり、技術的・政策的な意義は大きい。特に新規抽出剤と装置の組合せによるコンパクトかつ高速な処理技術は、カーボンニュートラル実現に不可欠な EV モーター用磁石の原材料確保に直結し、「重要鉱物の安定供給」という政策目標への貢献が明確です。本事業の意義としては、国内でレアアース金属を還元精製できる新しい電解法の確立を目指すものであり、従来海外依存であった精錬工程を内製化する意義深い取り組みである。特に従来より大幅に低温での電解還元を可能にする点は、エネルギー効率と安全性の両面で有望であり、2050 年 CN 社会に向けた「脱輸入」×「低炭素化」の象徴的な技術であるといえる。
- 本事業では、未利用資源からの重レアアース回収、高精密分離技術、電解還元プロセスの各技術開発を統合的に位置づけ、レアアース資源の国内循環・自立化に向けた社会実装シナリオを丁寧に描かれている。特に、以下の点で「アウトカム達成までの道筋」は一定の明確性と現実性を備えていると評価できる：安全性・規制対応面では、新規抽出剤や溶媒使用に関して、安全性評価の設計や装置評価法の検討に言及しており、規制当局との対話の余地を確保している。標準化・国際連携では、国際競争力の高い抽出・電解技術の確立を目指し、将来的な ISO 標準化や国内外の展示会での情報発信も見据えた計画がなされている。時間軸の明示性として、事業終了から 4 年後の事業化を見込むスケジュールがあり、段階的な社会実装と市場拡大戦略を意識した構成となっている。本事業終了後の自立性についても、売上 800 億円/年の市場目標や CO₂削減インパクトなど、定量的指標を基に産業化の道筋を示している点は評価できる。
- 本事業においては、重レアアースの資源循環に係る抽出・分離・還元といった一連の要素技術に対し、知的財産権の取得と秘匿の明確な戦略的区分け（クローズ戦略）が図ら

れており、技術流出の抑制と事業競争力の確保に向けた意識が明瞭であると感じられた。特に次の点が評価できる。抽出剤や電解材料設計などの基幹部分は秘匿化し、製造ノウハウ・プロセス条件の非公開化を徹底しており、技術流出リスクを最小化しつつ、事業化への布石を打っている。装置設計や分離性能指標、プロセスフローの一部などは標準化に向けた「オープン領域」として発信を意図しており、今後の社会実装・政策連携・国際協調にも資する設計がされている。知財の共有・帰属に関しても、関係機関間のルールを構築しており、研究終了後の活用や技術移転も見据えた実効性のある枠組みが形になりつつあり、順調に進捗している。

- ・ 重レアアースの分離・精製、電解・還元工程を日本国内で実装し、SC上の脆弱性を克服するという目的は明快であり、経済安全保障政策への寄与も明確である。地政学リスクの顕在化など、外部環境の変化に照らして、本事業は経済、社会両面において高い価値があり、国が実施する意義がある。
- ・ 要素技術⇒量産技術のステップアップの方向性も明快であり、技術開発のマネジメントも必要な取り組みを高いレベルで網羅している。本事業完了後の多様なプレイヤーの巻き込みを含め、自立化に向けた体制が計画に組み込まれている。
- ・ クローズ戦略を中心に核心部分の権利化を進めることを第一義としつつ、競合技術の動向など外部環境に応じて、標準化も睨んだオープン化を想定しており、妥当である。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 廃磁石からのリサイクルでは、原料となる廃磁石の回収について、さらに具体的に検討する必要がある。製造工程から出る物のみではなく、一般廃棄物（例えば、電気自動車、風力発電設備など）から出てくるであろう廃磁石、あるいはモータをどのように回収するのかについては官民による議論を深める必要があると考える。開発された精錬技術を生かして国内で生産を継続するためには、原料が適切に国内から供給されなければならないと考える。排出する側の企業である、自動車メーカー、重工、発電事業者などを含めた議論が必要ではないかと思う。さらには広報活動については、適切な時期に幅広く行う必要があると思う。
- ・ 外国特許の取得も行われているが、さらに推進していただきたい。
- ・ 一部の原料は海外で排出されているため、その発生現場（当該国の国内）付近で処理した方が輸送等のコストが低減される場合が考えられる。そのようなケースを想定した、オープン・クローズ戦略の検討も慎重に行っておくことが好ましい。
- ・ 未利用資源・廃磁石を対象原料とするプロジェクトであるが、目標を達成するために「必要な量」の未利用資源・廃磁石確保する筋道・方策について具体的な見通しが明確に示されていない。（技術開発とは別の検討事項となるが、想定される具体的な資源の種類毎に、供給可能な企業、回収工程、物流・貯蔵、収率、回収可能量、難易度、課題、課題への対応などについて整理し、回収可能量の合計が目標量となるようにまとめ、実現困難な部分があれば協議・調整し、目標時期までに全て解決できるようにする必要がある。場合によっては補完するために別のプロジェクトの設立が必要となる可能性がある。）溶

融塩電解が最終的にフッ化物浴となる場合は、既に顕在化している PFC(フッ化炭素)発生防止対策、規制緩和などが必要となる。

- 新規に開発した抽出剤については（直接当 PJ に影響はないものの）既に海外にて類似の発明がなされているため、早期出願および審査請求が必要である。また、本抽出剤の利用が想定される国に対して外国出願も進める必要がある。（物質特許、合成方法特許、抽出に関するアプリケーションに関する特許の出願が必要）
- 原料の割合も刻々と変化する点にも留意が必要である。
- 問題点ではないが、知的財産・標準化戦略について月 1 回の会合が必要なほどプロジェクトが進むのであろうか？
- スケールアップ化できる項目については、前倒しを行う環境を整備できたら良いと思う。（NEDO との連携が重要）スケールアップの時間が短いテーマもあるので、全てのテーマが同じタイミングでスケールアップでなくても良いと考える。
- 多くの成果が得られているのに対して、特許が年 2 件で適切であるか？戦略的にそのようにしているのであれば問題なしである。
- 技術単体の性能に加え、どの種類の副産物や廃棄物に実装可能かを明示し、政策連携先（自治体・廃棄物処理業者等）との接続性を明確化することで、社会実装への説得力を高めることが期待される。加えて、LCA（ライフサイクル評価）や再利用・処理コストとのトレードオフ分析を積極的に開示することで、政策意思決定者や企業への訴求力を向上させることが可能になることが期待できる。現在の分離係数の成果は評価されますが、連続運転性、溶媒回収率、耐久性といった装置全体の長期運用性の評価を今後のフェーズで可視化する必要があるのではないかと感じられた。また、国際標準化(ISO/IEC)との接続や、分離性能評価法のガイドライン化などを視野に入れた戦略的発信が、将来の外需獲得や海外共同研究の基盤にもなり得ます。一方で、熔融塩や電極材料の安定性、副生成物の環境負荷といった社会実装時の総合評価が今後の課題となると感じられた。
- アウトカム達成に向けた「外部環境への適応力」や「実装プロセスの俯瞰性」の点で、さらに以下の取組を強化することが望まれる：実証スキームの明確化「いつ・どこで・誰と」実証を行い、「どのようにステークホルダーを巻き込むか」のロードマップ（例：地方自治体、製錬企業、部材メーカーとの連携）をより具体的に提示する必要があるのではないかと感じられた。多層的な情報発信戦略、国内外の展示会や論文発表だけでなく、政策決定層・中小企業・自治体・教育機関への階層別アウトリーチ戦略（冊子、動画、地域説明会など）を設計することで、より社会的浸透力が高まることが期待できる。
- プロセス技術は、単体の特許よりも技術体系（プロセス設計、装置、操作条件、連携技術）としての囲い込みと差別化が鍵を握ります。したがって、知財や標準化も「部分ではなく全体」を意識した戦略設計が肝要である。また、標準化や実装のステージにおいては、技術仕様の合意形成と社会的受容性（安全性・環境性）の両立が不可欠であり、その意味で、本プロジェクトが示すクローズ戦略の徹底とオープン戦略の選択性は、今後の産業化にとって有効な方向性といえるのではと感じられた。
- 本事業が実装された場合、ライセンス供与等による経済的な便益に加え、副次的成果と

して認識されている自然資本依存度の低下がもたらす非財務的価値は非常に大きいと考えられる。費用対効果を評価する際、協議の評価は原案通りが妥当として、広義の評価でこうしたインパクトを加味すれば、より多くの予算措置が正当化され得るのではないか。

1. 2 目標及び達成状況

<肯定的意見>

- CO2削減効果や回収品売り上げについての予測は、不確定要素はあるものの現状では適切であると評価できる。個別事業が順調に進捗しており、事業化した場合のコスト見積もりも徐々にできていることから、費用対効果は高いと判断される
- 個別事業の達成状況は、すべて良好であると判断される。研究開発成果の副次的成果や波及効果は、大変高いことが想定される。
- アウトカム目標は適切に見直されており、達成見込みは十分ある。時々刻々と変化するEUなどの海外の動向の分析と、それを踏まえた回収品の売り上げ予測が適切に見直され、設定されている。
- アウトプット目標が根拠と共に適切に見直され、設定されており、中間目標も達成されている。副次的成果や波及効果では、資源の枯渇に加え、鉱山開発による周辺環境への影響がますます懸念されており、その抑制効果が評価できる。特許出願も行われている。
- 技術開発を通じて想定通り希土類の分離・精製・メタル化技術を獲得し、我が国固有の希土類資源確保の手段を構築でき、安定供給に成功した場合、国費投入額を大きく超えるメリットがある。現時点では希土類の分離・精製・メタル化技術の獲得については計画通り目標を達成できると判断される。
- プロジェクトに抜本的な影響を及ぼすような外部環境変化はなかった。
- 技術的な優位性、目標値設定は適切で、説得力があった。
- 鉄イオンなど不純物共存下における希土の選択吸着技術は、他の湿式製錬にも広く応用展開が可能である（副次的・波及的効果）。
- 希土類を専門とするメーカーのもと、パイロットプラント試験を進める点は評価できる。達成見込みも良好である。
- エマルジョンフロー法では目標を達成済みである。コスト削減も実現可能である。
- アウトカム目標の達成見込みに対する根拠が妥当である。市場規模のリサーチが適切であること。
- 中間目標は見込みも含めて達成されている。一部は達成済みのもあるので、評価されて良いと考える。その中で次のステップに向けて対策や改善点も理解されており、順調に進んでいることがわかる。特に新規電解還元法の開発は、プロセスを新たにすることであり、難しさもありながら達成目標がクリアできる状況にあり、評価できる。
- 本事業におけるアウトカム目標は、重レアアース（Dy、Tb等）を対象とした高効率な分離・回収・還元技術を確立し、2040年までに国内需要の4割強を再生資源で賄うという将来像を明確に示しており、政策的意義と整合性が高く、特に以下の点が評価できる。

アウトカム指標が「市場規模（売上 800 億円）」「CO₂削減量（年 740 トン）」「供給シェア（40%以上）」など、計測可能かつ政策整合的な定量指標で構成されており、グリーン成長戦略や資源安全保障に資する内容となっている。国際的にレアアース資源の供給が不安定な中、日本国内で回収・精製・再生を一貫実施できる技術体系は、国際競争力の強化と経済安全保障への貢献が見込まれる。分離係数の達成、電解還元コスト 30%低減など、アウトプットの進捗も段階的に見える化されており、事業化（4年後）までのロードマップに現実性がある。費用対効果の面でも、17.2 億円の国費投入に対し、数百億円規模の市場創出・年間数百トンの CO₂削減・資源の内製化効果など、マクロ経済的影響も一定の正当性があると考えられる。

- 本プロジェクトでは、各研究開発項目においてアウトプット目標（中間目標含む）の技術的達成度が高く、TRL の段階的向上も含めて現実的な顕著な進展が認められる。研究開発項目①（未利用資源からの回収技術）新規吸着剤の設計および選択的回収条件の確立により、希薄溶液からの重レアアース濃縮の選択性と耐久性が確認されており、目標到達への順調な進捗状況である。吸着材の構造や性能に関する知見は、他の金属回収等への副次的応用の可能性を秘めており、波及性が高い点も評価される。研究開発項目②(1) (Dy/Tb 相互分離技術) 抽出剤と装置の統合設計により、分離係数 4（従来比 2 倍）と装置の小型化を同時に実現しており、産業応用に向けた工程効率の向上が図られている点が評価できる。分離性能やエネルギー効率に関する定量データが蓄積されており、技術的優位性が明記されている点が評価できる。研究開発項目②(2) (新規電解還元法) 高温熔融塩を用いた電解法により、30%のコスト削減見込みという経済的指標が提示され、製錬技術としての新規性と国内導入の実効性が示されていた点が評価できる。高温電解の成果は、レアアース金属等への展開余地もあり、波及的技術基盤としても価値がある。論文・知財活動、特許出願（2023 年度 1 件、2024 年度も予定あり）や展示会発表等のオープン・クローズ戦略との整合性が意識されており、知的財産と社会発信の両立が図られている点が評価できる。クローズすべき要素（抽出剤の構造設計、還元条件など）は秘匿化しつつ、プロセス指標や実証装置などをオープン化する設計がバランスよく構成されている。
- 年間数百トンの CO₂削減・資源の内製化効果など、マクロ経済的影響も一定の正当性があると考えられる。
- 要素技術／量産技術の確立という面でアウトカム目標達成は十分に見込める。現状では固めの金額換算で費用対効果を算定しており、妥当である。潜在的なアウトカムはより大きいと予想されることから、今後の事業の進展に合わせて、随時見直すことも有効であろう。
- 鉄など夾雑物が多いなかから低濃度の重レアアースを吸着する技術、分離技術、製錬技術のいずれにおいても、要素技術の開発が確認でき、中間目標は達成している。副次的効果で示唆されているリサイクルによる自然資本への依存度の低下については、現在、国際的に経済価値算定の議論が行われているテーマであり、将来的に本事業のアウトカムを大きく拡大することが期待できる。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 副次的成果・波及効果については、本事業で開発しているプロセスは経済的に競争力があり、かつ環境改善にも貢献できることが期待される。この点から、開発技術を世界的に展開することを期待する。世界的に技術を展開することができれば、費用対効果はさらに良くなるものと期待される。本事業の次のステップとしてパイロットプラントによる実証試験が想定されている。ぜひ、現状でもできるところから次のステップに進むために大型の予算措置を含めた検討を開始すべきではないかと考える。
- ・ 最終的なアウトカム目標として、新規技術の獲得だけでなく、商業的な生産量(売上)も掲げられているため、原料確保の精査を行った結果、一部の原料の入手可能性が低下したなど変化点があれば、生産量の見直しが必要である。目標生産が達成時期における一時的な量で表現されているが、段階的に資源(二次原料含む)の獲得が進む可能性が高く、経時的な生産量の変化という形であらわした方が現実的である(国の資源戦略上もそのような表記が望ましい)。メタル化技術については3方法並行した研究がなされているが、そろそろ最有望候補の絞り込みと、CO₂削減効果の定量的な評価(AI分野で導入されている非C電極の採用含め)、CO₂以外の環境影響評価(PFC、廃棄物発生量、Scope3含む)の提示が必要である。
- ・ 本プロジェクトで開発した未利用資源活用の技術をわが国固有の資源であるレアアース泥の処理・精製に適用できないか。もし陸上の未利用資源だけでは目標の生産量を達成できない場合、レアアース泥由来の希土の加算により目標達成に近づく可能性が高まる。特許については物質、方法、改善について順次出願が必要。溶媒抽出についてはTRLの進展について「見える化」できていたが、未使用資源の希土濃縮(イオン交換)、メタル化については工業化への道筋(エンジニアリングデータや装置仕様など)がやや見えにくかった。特に新規なプロセスはスケールアップが困難であるため、並行してスケールアップ用の設備検討を開始する必要がある。
- ・ 装置のスケールアップまで行われることに対して、国費投入総額に対してアウトカムの金額が大きいのではないかと十分なスケールアップ化をするためには、更に予算を追加するような対応をNEDOと協議して考えてほしい。
- ・ 新規電解還元法では、電力原単位も算出することで、CO₂排出に換算できるので、それぞれの電解プロセスごとに検討してほしい。
- ・ 資源・エネルギー技術の社会実装では、アウトカムとは単なる「成果物」ではなく、制度・市場・社会受容を包含した「システム成果」です。そのため、本プロジェクトのように分離→還元→供給というシームレスなプロセス統合を試みている点は先進的であり、政策連動型の研究としてモデル的価値を有するといえる。アウトカム指標の精度をさらに高め、環境・経済・制度の3軸で成果を社会に還元するために、今後は「見える化」と「共創化」が一層重要になるのではと感じられた。アウトカム指標のリスク耐性を強化、現状の指標は楽観的な需要想定(EV拡大・回収率向上等)に依存しているため、需要変動・国際価格・政策変更に対する感度分析(シナリオ設計)を導入し、達成見込み

のレンジを複数提示することが望ましい。例：EV 市場成長が鈍化した場合、代替市場（風力発電・ドローン等）に技術転用可能か。社会実装加速に向けた定性的アウトカムも併記、地域経済活性化、リサイクルインフラの整備、地方自治体との連携など、定性的なアウトカム（人的資本、制度改革、地域共創）も記載することで、広範な社会的インパクトが可視化できるのではないかと感じられた。

- プロセス技術は「一部が達成されただけでは価値を持たず、統合された連携により社会価値を生む」という特性がある。今回のプロジェクトは、吸着 → 分離 → 還元という流れを分断なく組み上げており、アウトプットが個別ではなく「プロセス価値連鎖」として形成されている点が特に高く評価できる。今後は、個別技術の深化と並行して、プロセス全体の実証／スケールアップ計画（例：パイロットプラントでの一貫処理テスト）を主軸に据えることで、アウトカム指標の実効的な実現に繋がると考えられる。より確実なアウトカム達成と社会実装に向け、以下の点を強化することが望まれる。外部環境の変化を前提とした再評価の機動性、特定国の輸出管理や国際価格の変動など、外的要因により工程の再設計・再優先化が必要になる可能性があり、それを想定した「見直しフレーム（例：年1回のロードマップレビュー）」の導入が望ましい。事業化へ向けたマイルストーンの具体化、各項目で「実証試験」「スケールアップ」「量産プロセス設計」等が次ステージに控えており、事業化準備活動（B/C 試算、パートナー候補の明記、FS 調査）の明示がアウトプットの説得力を高めると思われる。
- アウトカム達成の見込みは十分にある一方、その成否は、本事業により生み出された処理技術が規模の経済を享受できるだけの原材料を確保できるかに左右される。本事業と平行して、使用済みネオジム磁石等を海外に流出させず、安定して集荷・前処理するスキームの検討が望まれる。同時に、本事業のパイロットプラントを前倒しするなど、実証のペースを上げることで、こうしたスキームの担い手に検討を加速させるインセンティブになると期待できる。

1. 3 マネジメント

<肯定的意見>

- NEDO および実施者の関係は、進捗管理の体制、知財の管理の体制から判断して適切に行われていると判断される。
- 原料の入手に関する法的整備も考慮すると、社会実装へのハードルは高い。委託事業として継続することが適切であると判断する。
- 研究開発項目の要素技術開発は順調に進んでいると判断される。
- 執行機関は適正であり、目標以上の成果がでていることから実施者の技術力の高さがうかがえる。指揮系統、責任体制も機能している。事業化を意識し実施者間、試料提供者との連携も密である。個別事業の採択プロセスも適切である。
- 本委託事業は、海外の政策動向の影響を大きく受けた場合、供給不安、供給途絶となることが予測されるものの、現状の市場価格は低位安定しており、民間企業が投資判断をするのが困難な状況にあり、継続することが適切である。

- ・ アウトプット目標達成に必要な要素技術間での連携体制は万全であり、スケジュールも適切に見直されている。
- ・ 執行機関は適切であった(我が国の資源戦略を俯瞰する立ち位置にあり、過去関連性があるプロジェクトを牽引した実績がある組織であるため)。実施者は開発したプロセスの実用化を強く意識し、能力を発揮していた。指揮命令系統においては、プロジェクト全体の統率、スケジュール管理については適切だった。
- ・ 本プロジェクトは資源確保～製品化まで工程が多岐にわたり、個別の技術開発の完成のみでは全体の事業化の成立可否が見通せないため、長期の開発を行い、全系一貫のプロセス実証を行うため、委託事業の長期継続が必要である。
- ・ 目標を達成に必要な要素技術、要素技術間の連携、スケジュールは適切に管理されていた。進捗管理および遅延時の対応も適切であった。
- ・ 希土類を専門とするメーカーから SPL を選び、進めている。
- ・ 新規電解還元法も加え、検討している。
- ・ 執行機関は適切であり、他の機関は考えられない。実施者は十分な技術力を有しており、研究開発に支障が生じることはないだろう。企業の方がサブ PL として参画していることも実現性を考えると良い。研究成果は、特許化するものと、公表するものとうまく使い分けて進められている。
- ・ 委託事業として継続することが適切である
- ・ アウトプット目標に必要な要素技術は計画通り進んでいる。要素技術間での連携については不明であるが、定期的な報告会が開催されているとのことで情報共有が行われていると考えられる。スケジュールについては今のところ見直す必要はないと思うが、早めに要素技術が確立された場合には、次のスケールアップ化に進むものと思われる。
- ・ 本プロジェクトの実施体制およびマネジメントについては、NEDO を中心とした運営が次のような観点から効果的かつ適切に機能していると評価できる。執行機関 (NEDO) の適格性、NEDO は、技術的知見と政策接続の両輪を持つ執行機関として、重レアアース等の戦略物資の国内確保を目的とするプロジェクトの推進において強い実績を有しており、適格性が大いにある。本事業でも、分離・還元・回収という「基盤技術+実装プロセス」の両立が求められる中、NEDO は技術開発から社会実装までを見据えたステージゲート方式の管理体制を敷き、マイルストーンに応じた資金・評価制度を整備している点が評価される。実施者の体制と能力、代表機関は、高度な抽出技術・電解還元技術を保有する産業界、国立研究開発法人および大学で構成されており、それぞれ技術的な核となる開発力と、スケーラブルな事業展開能力を有している。特に、装置設計やプロセス連携において、研究開発機関と装置メーカー、ユーザー企業が三位一体となって実装を見据えた開発体制を構築している点は高く評価される。指揮・責任体制の明確化、PL・SPL 制度が導入されており、役割分担 (例：技術責任・事業化調整・知財管理) が明確化されている。技術推進委員会、進捗報告会、知財運営委員会等の定期的なモニタリング体制が整備されており、技術管理と運営管理のバランスが取れている。採択プロセスと健全性、公募・選定プロセスは NEDO のガイドラインに従って実施されており、

評価基準、点数化、ヒアリングを通じて透明性の高い審査・採択がなされている。研究インテグリティの観点でも、所属機関での利益相反管理、データ保管方針、知財帰属ルールが共有されており、制度面の健全性も確保されている。

- 本プロジェクトにおいては、以下の観点から、受益者負担としての「100%委託事業」形態は妥当かつ適切と評価できる。長期的かつ探索的な研究開発テーマである本事業は、重レアアース（特に Dy/Tb）の未利用資源からの抽出・分離・電解還元という一連の技術チェーンを新たに確立するものであり、TRL（技術成熟度）は現時点で5以下の領域が含まれる。さらに、既存技術の延長では実現困難な分離係数の高度化や、選択的抽出剤の開発、プロセスインフォマティクス導入などが含まれ、事業化の実効性や収益性を予測しにくい探索研究段階にある。政策的・制度的必要性の高い領域である特定国の依存からの脱却や経済安全保障に資するレアアース自立供給体制の確立は、「新国際資源戦略」「グリーン成長戦略」「カーボンニュートラル社会実現」と強く結びついている国家的課題であり、民間単独では進めづらい領域であり、適切であると思われる。
- 外部環境と連動した研究計画の再調整、外部環境の変化（国際的なレアアース需給逼迫、特定国の依存度上昇）を踏まえ、2030年以降の国内レアアース製錬実装を見据えた要素技術の統合が明確に計画に反映されていると感じられた。特に、吸着・分離・電解という一連のプロセスを一体として扱い、要素技術間の連携（前処理と精製、回収と合金化）を年次計画に沿って段階的に強化している点は評価できる。研究管理手法と情報共有体制の整備、WBSに準じた作業構造の中で、TRL（技術成熟度）に応じたマイルストーン管理を導入している点は、実装性を伴う研究開発として適切である。各開発項目において年次の中間評価と技術推進委員会によるフィードバック体制が整備されており、進捗遅延への対応が迅速に行われていることも、事業の健全性を示されている点も大いに評価できる。
- 本事業が持つ政策上の意義、事業化に向けて必要となる複合的な取り組み（資源回収システムの構築等）を考えれば、執行体制は適切である。競合技術動向の的確な把握と迅速な対応、インセンティブの導入、知財戦略対応など、技術開発マネジメント体制の有効性は特筆に値する。
- 政策的な重要性に加え、地政学リスクがもたらす不確実性、事業化に向けて国内での集荷体制整備に関する政策対応との連携が必須であること、等を総合的に考えると、民間企業では事業化の成否の判断が困難な研究開発であり、委託事業とすることは妥当である。
- 研究開発計画は妥当であり、海外の競合研究を想定し、その影響を把握した上で、研究を加速するための予算措置を講じるなど、管理手法も適切である。

<問題点・改善点・今後への提言>

- 2026年度からの量産化技術開発の計画はこれからのため、まだ不明瞭である。予算規模が要素技術開発の時期と同程度では量産化技術開発が迅速に進めることができるのかを危惧する。

- 本 PJ の要求事項ではないが、現時点では未使用資源の濃縮～相互分離～メタル化～顧客での性能確認まで一貫した試験が実施されておらず、より早期に不純物や物性など含めた、全体プロセスの成立性の確認をすることが望ましい(課題が見つかった場合解決、修正期間が必要となるため)。
- 未利用資源および廃磁石を用いた資源循環システム「全体」を立上げ、システムの成立性を確認した結果、要求品質を満足した希土合金を必要量製造することが困難であると認められた場合、ボトルネック工程や工程間の接続部分の課題を明らかにし、解決することが求められる。(本 PJ ではそこまでの開発要求されていないが、最終的に事業化を成功させるために必要)
- 複数の企業が参画するプロジェクトであり、慎重な受益者負担計画が必要である。
- 提案の手法の中の合金固体膜を使った分離法が耐久性を始め実装可能かどうかの早期の見極めが必要である。純度も考慮した電解還元も今後の検討として頂きたい。
- より高次のマネジメント体制構築と成果最大化のために、以下のような改善を検討することが望まれる。1. ユーザー企業の関与の深化、現在、装置ベンダーやプロセス開発側が主体であるが、最終的に資源を活用する磁性体メーカーや車載モーターメーカー等の関与度が相対的に薄く、市場実装との距離が懸念される。「最終製品での材料適応試験」や「プロセスフィードバック会議」などを通じて、川下の企業との接続強化を期待したい。2. 次世代人材の育成と情報共有体制の整備、高度なプロセス設計や電解技術の習熟には長期の人材育成が必要。大学・企業・NEDOによる人材育成連携枠組(例：博士後期課程への参加、OJT 型講習)が成果の持続性確保に寄与する。
- 委託事業としての初期段階の対応は適切である一方、以下のような方策を講じることで、本事業終了後のフェーズにおける「民間の自立的実施」への移行戦略を明確にしておくことが望まれる。産業界の受益構造に応じた負担設計、今後の実用化フェーズでは、川下(自動車メーカー、磁性体メーカー)も含めた費用負担スキームの設計(例えば製品ごとの調達還元モデル)を検討すべき。特に、再生材の国内還流に伴う環境価値(CO₂削減)の可視化により、カーボンオフセットの経済的活用を促す制度設計も併せて議論されたい。
- 要素技術連携のさらなる可視化と統合評価、現状では、各要素技術の進展が個別に報告されているが、最終的なアウトカム(国産重レアアースの製錬・再資源化)との関連性の中で、各技術がどの程度貢献しているかの統合評価(技術経済評価：TEA)が未整備であると感じられた。今後は、回収効率・精製度・電解還元率・エネルギー収支などを結合したプロセス全体のシミュレーション評価を取り入れ、最適化設計への展開が望まれる。プロセス接続試験やスケールアップ視点の強化、特に②(2)の電解還元工程は、材料再資源化の最終段階でありながら、吸着・分離工程との連携試験が限定的であるため、前段階からの不純物混入影響やスループット制御への対処試験が必要であると感じられた。プロセスのスケール拡大(数 kg レベルへの展開)を視野に入れた検証と、装置スケールビリティを反映した WBS の更新も今後求められるのではないかと感じられた。

2. 評点結果

評価項目・評価基準	各委員の評価							評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋								
(1) 本事業の位置づけ・意義	A	A	A	A	A	A	A	3.0
(2) アウトカム達成までの道筋	A	A	B	A	A	A	A	2.9
(3) 知的財産・標準化戦略	A	A	B	A	B	A	A	2.7
2. 目標及び達成状況								
(1) アウトカム目標及び達成見込み	A	A	B	A	B	A	A	2.7
(2) アウトプット目標及び達成状況	A	A	A	A	A	A	A	3.0
3. マネジメント								
(1) 実施体制	A	A	A	A	A	A	A	3.0
(2) 受益者負担の考え方	A	A	A	A	A	A	A	3.0
(3) 研究開発計画	A	A	A	B	A	A	A	2.9

《判定基準》

- A：評価基準に適合し、非常に優れている。
 B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。
 C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。
 D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。

(注) 評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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	5-14
●各種委員会開催リスト	5-16
●特許論文等リスト	5-17

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	<p><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)</p> <p><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)</p> <p>経済産業省 製造産業局 金属課</p>		
0. 事業の概要	<p>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。</p>		
1. 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋	<p>1.1 本事業の位置付け・意義</p> <p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>【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</p> <p>【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」</p>		

	(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	<p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>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。</p>
2.2 アウトプット目標及び達成状況	<p>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」</p> <p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>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」</p> <p>研究開発項目②(1)「高精密相互分離技術の開発」</p> <p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>研究開発項目②(2)「新規電解還元法の開発」</p> <p>【中間目標】</p>

	<p>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。</p> <p>【達成状況】</p> <p>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。</p>					
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)> 株式会社エマルシ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：ディスプレイシウム/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、 $3Ca+2TbF_3 \rightarrow 3CaF_2 + 2Tb$
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で開発した高精度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。

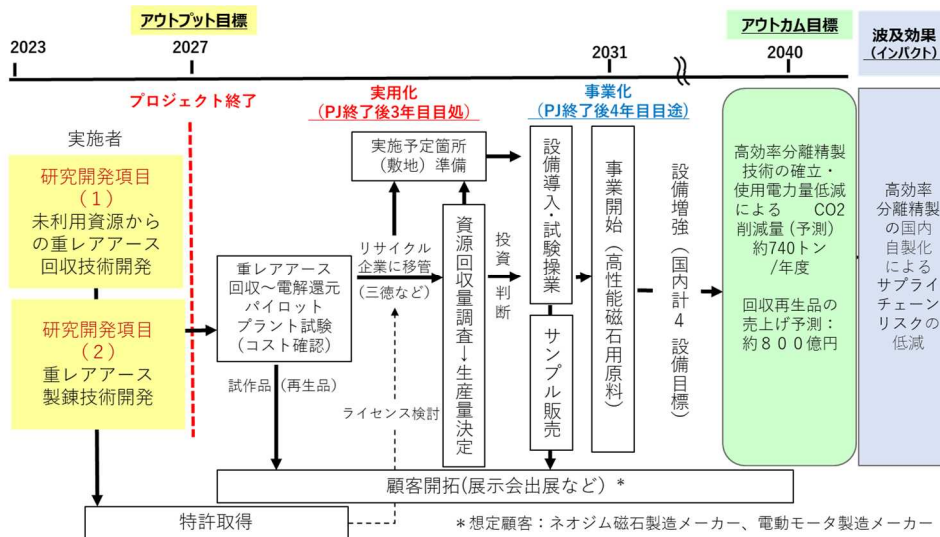


図 1-1 アウトカム達成までの道筋（事業開始当初版）

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）。

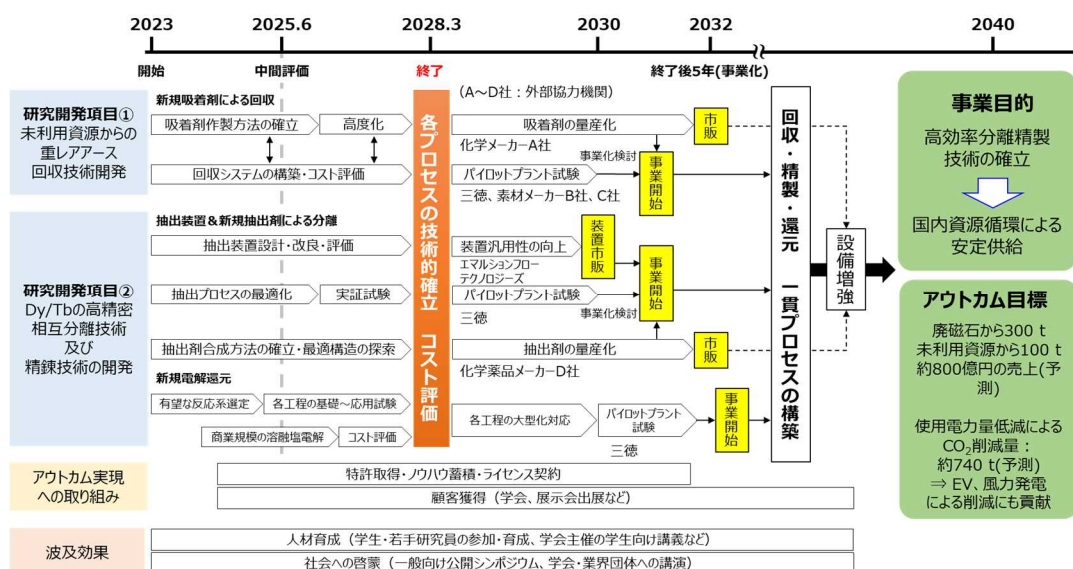


図 1-2 アウトカム達成までの道筋（中間評価時の最新版）

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：ディスポロシウム/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）】

ディスポ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：ディスポロシウム/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。

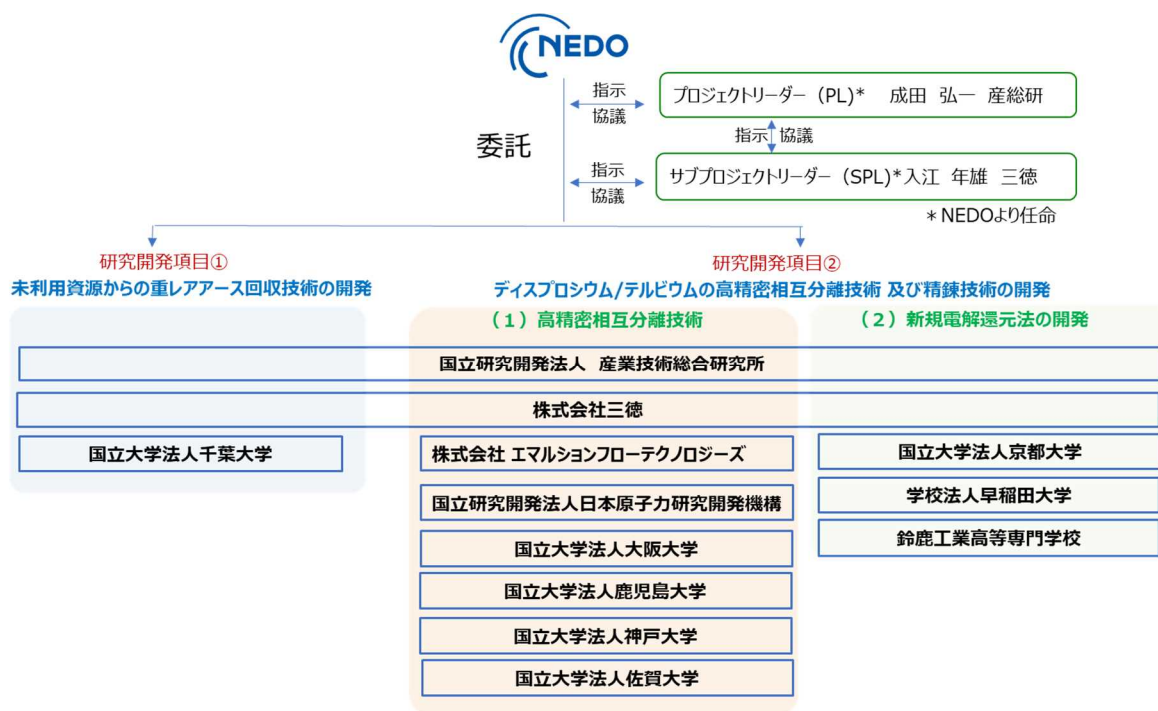


図 3-1 実施体制図

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

ディスプレイ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：ディスプレイシウム/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。ディスプレイ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レイ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：ディスプレイシウム/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標とする。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。

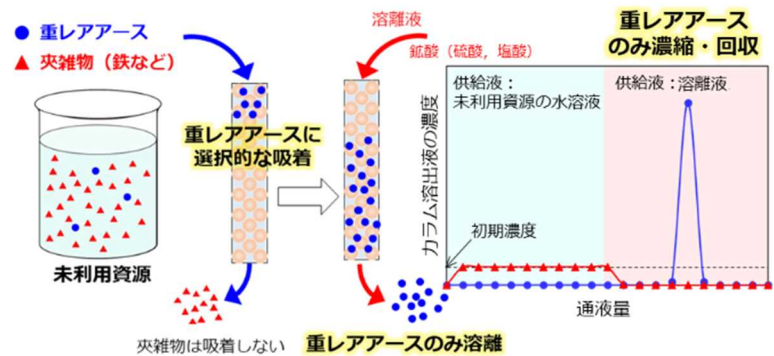
4. 目標及び達成状況の詳細

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。

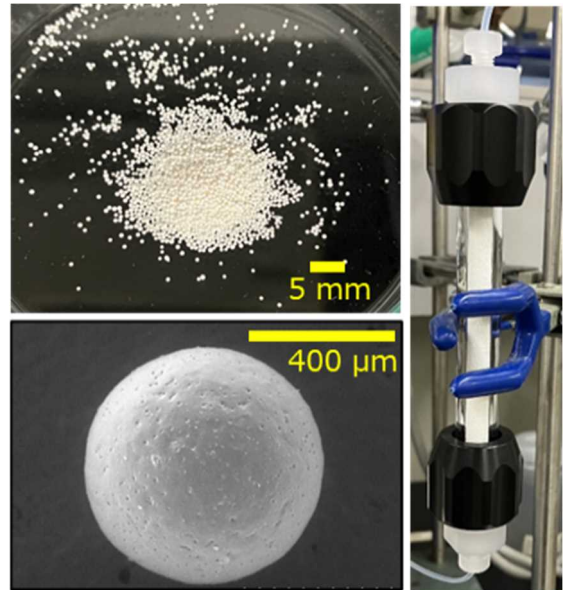
●成果とその意義

●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)。

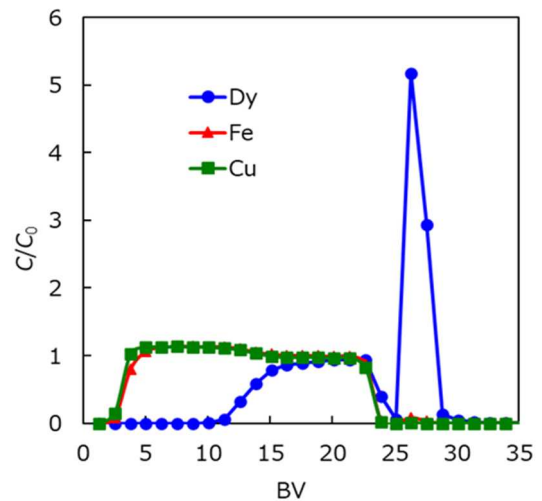


新規吸着剤の実用性評価およびコスト評価

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。

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

●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。

●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)エマルジ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、機械攪拌式エマルジ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 含有のもの的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)エマルジ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。

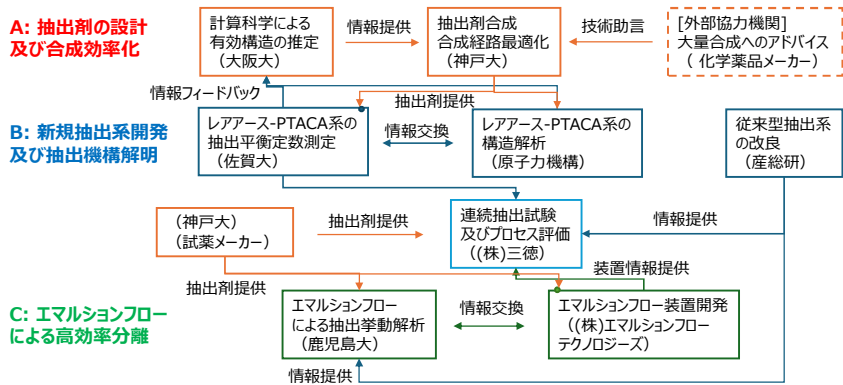


図 1 実施体制図

●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。

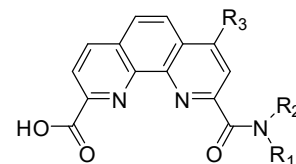


図2 フェナントロリンアミドカルボン酸の構造

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。

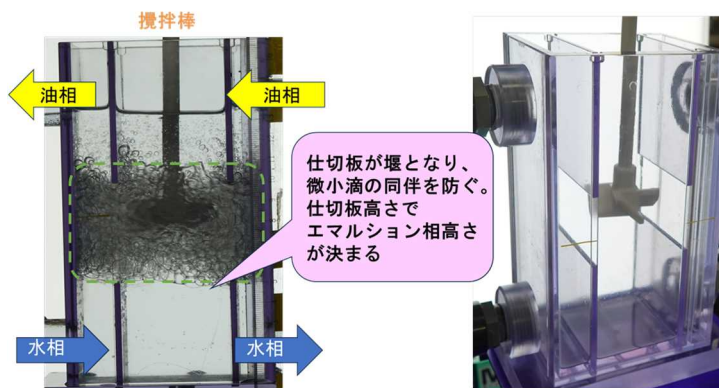


図3 試験に用いた機械式エマルションフロー装置

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* (矩形型)	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

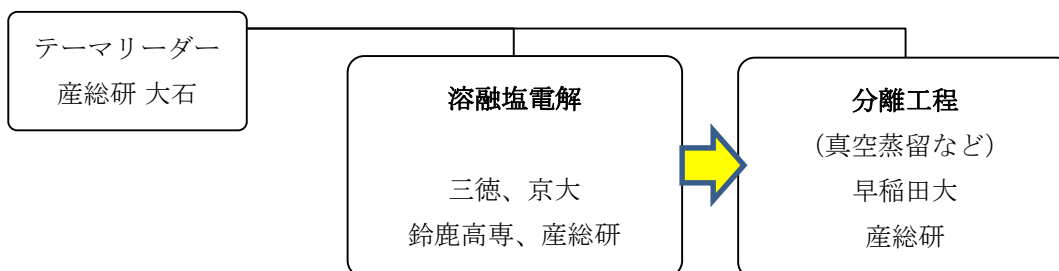
金属テルビウムは、自動車や風力発電用などの高性能磁石製造に不可欠な材料であるが、資源として希少で偏在性も高いことから供給障害リスクが懸念されている。また、テルビウム化合物から金属テルビウムを得るにはカルシウム熱還元法が従来から用いられているが、エネルギー消費や経済コストが大きいことから国内での実施は困難である。したがって、研究開発項目①、②(1)により高純度なテルビウム化合物が得られても、現状では金属テルビウムに転換する手段が無いために国内での資源循環を完結させることはできない。

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

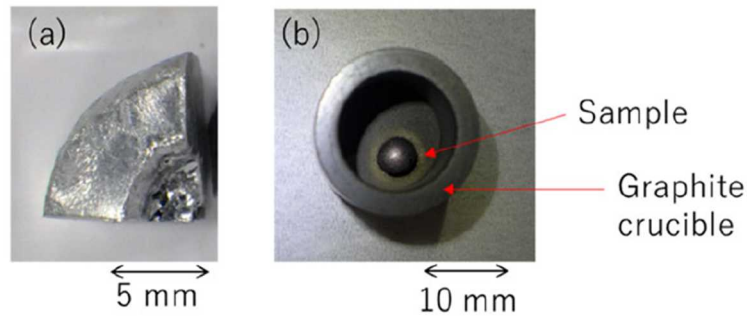


Fig. ②-(2)-2 (a)溶融塩電解により回収されたテルビウム含有合金（切断後）および (b)真空蒸留等により回収された金属テルビウムの外観

*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 割減となる操業条件を確認した。

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こり、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、再び価格高騰が起こり、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属族の分配比の比）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

ディスプレイやテレビ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レイやテレビ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（ディスプレイ、テレビ）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

1. 研究開発の必要性

ディスプレイ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。ディスプレイ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、ディスプレイ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標とする。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				
	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			スケールアップ試験	
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	(1) 高精密相互分離技術の開発		中間評価		事業終了
	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				
	(2) 新規電解還元法の開発			分離精製プロセスの開発と評価	
	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り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）の検討 【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	塩化物熔融塩中における 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	熔融 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	熔融 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	熔融 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	エマルシ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	熔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	熔融塩電解と真空蒸留によるTbの新規製錬法の開発	熔融塩化学討論会	2024/11/28
46	片所優宇美、大石哲雄	産総研	熔融LiCl-KCl中におけるTb-Mg合金の電解形成のその場観察	第56回熔融塩化学討論会	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

2. 分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業を説明する際に使用した資料を示す。

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」 (中間評価)

2023年度～2027年度 5年間

プロジェクトの説明 (公開版)

2025年6月18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

バイオ・材料部 部素材・プロセスユニット 部素材・積層造形チーム

部素材からのレアアース分離精製技術開発事業

プロジェクトの概要

【背景】

電気自動車(EV)などの駆動用モータとして使用されているネオジム磁石には、重レアアースであるディスプロシウム(Dy)やテルビウム(Tb)が原料成分の一部に使用されている。この成分を得るための分離精製工程は、現状、ほぼ海外に依存しており、この供給路が寸断されてしまうと資源リスクが発生し、国内の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、本事業では重レアアース資源の分離精製工程について、高効率、低環境負荷、かつコスト優位性のあるプロセスを開発し、日本国内で社会実装を行い、資源循環を目指す。

【研究開発の内容】(委託)

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

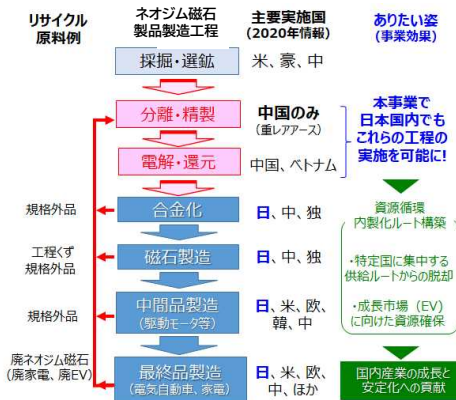
未利用資源から重レアアース群(Dy, Tb)を選択的に回収する新規吸着剤及びこの吸着剤を用いた回収プロセスを開発する。

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

相互分離が難しいDyとTbとを高精度で分離する新規抽出剤の開発、及びこの抽出剤を用いた低環境負荷型の分離精製プロセスを開発する。

・新規電解還元法の開発

更に、後工程のDy, Tbの回収を従来法より低温下低環境負荷で行う新規電解還元法を開発する。



想定する出口イメージ等

アウトプット目標	①新規吸着剤を用いた未利用資源からの重レアアース群の回収方法を開発。 ②Tb/Dy分離係数が、従来剤の2倍を目標とした新規抽出剤の開発、及びこれを用いた分離精製プロセスを開発する。更に後工程についても、省電力(低温下)、低環境負荷となる新規電解還元技術と精錬プロセスの開発を行う。
アウトカム目標	・再生品の売上高(2040年予想)：約800億円 ・CO ₂ 削減量(2040年予想)：約740トン/年
出口戦略 (実用化見込み)	・国内での重レアアース資源の再生/再利用を可能とする社会実装の構築。 ・国際標準化活動予定：有(必要に応じて)、委託者指定データ：無
グローバル ポジション	・PJ開始時：DH ⇒ PJ終了時：LD。 ・現状の分離精製工程の国内事業化は実質0 → 2031年事業化開始。 本事業にて2040年需要量の5割を製造、徐々に海外依存度を低下させていく。

バイオ・材料部
担当:山内 禎啓 主査



関連する技術戦略
マテリアル革新力戦略
(統合イノベーション戦略推進会議決定)

プロジェクト類型:標準的研究開発

既存プロジェクトとの関係

- ・NEDO(2012~2014)
「使用済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」
⇒分離対象は鉄等とレアアース。Dy, Tbの分離は設定外。
- ・NEDO(2020~2021)
「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」
⇒分離対象となるレアアースはCe。Dy, Tbの分離は設定外。

事業計画

期間:2023~2027年度(5年間)
総事業費(NEDO負担分):16.78億円(予定)
2024年度政府予算額:3.0億円(需給)
2025年度政府予算額見込み:4.68億円(需給)
公募期間:2023年3月3日~4月13日(公募延長期間含む)

<研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模>

	2023	2024	2025	2026	2027	2028
研究開発項目① レアアースの選択的濃縮プロセスの開発	新規吸着剤の開発		回収工程の検討/プロセス評価	量産化検討	スケールアップ検討(コスト確認)	
研究開発項目② (1)高精度相互分離技術の開発	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	量産化検討	スケールアップ検討(コスト確認)	
(2)電解還元法 の開発	電解還元工程の検討				スケールアップ	
評価時期			中間評価			終了時 評価
予算(億円)	2.6	3.0	4.68	3.5	3.0	-

報告内容



ページ構成

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋



2. 目標及び達成状況



3. マネジメント

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

- (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

- (1)実施体制
- (2)受益者負担の考え方
- (3)研究開発計画

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

- ・実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠
- ・アウトカム目標の達成見込み
- ・費用対効果
- ・前身事業との関連性
- ・本事業における研究開発項目の位置づけ
- ・アウトプット目標の設定及び根拠
- ・アウトプット目標の達成状況
- ・研究開発成果の副次的成果等
- ・特許出願及び論文発表

- ・NEDOが実施する意義
- ・実施体制
- ・個別事業の採択プロセス
- ・研究データの管理・利活用
- ・予算及び受益者負担
- ・目標達成に必要な要素技術
- ・研究開発のスケジュール
- ・進捗管理
- ・進捗管理：事前/中間評価結果への対応
- ・進捗管理：動向・情勢変化への対応
- ・進捗管理：成果普及への取り組み
- ・進捗管理：開発促進財源投入実績
- ・モチベーションを高める仕組み

<評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

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

報告内容



ページ構成

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

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

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

2. 目標及び達成状況

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

3. マネジメント

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

事業の背景

- 2050年カーボンニュートラル実現のカギとなる電動化において、モータ用永久磁石の需要は増加する見込み
- 高性能磁石に用いるレアアースには地政学的な不確実性と限られたサプライチェーンによる供給リスクが存在
- 将来の需要に対応すべく、わが国でもレアアースのサプライチェーン強靱化を進めることが必要

図. 希土類元素(レアアース)別の生産国比率(2013年)

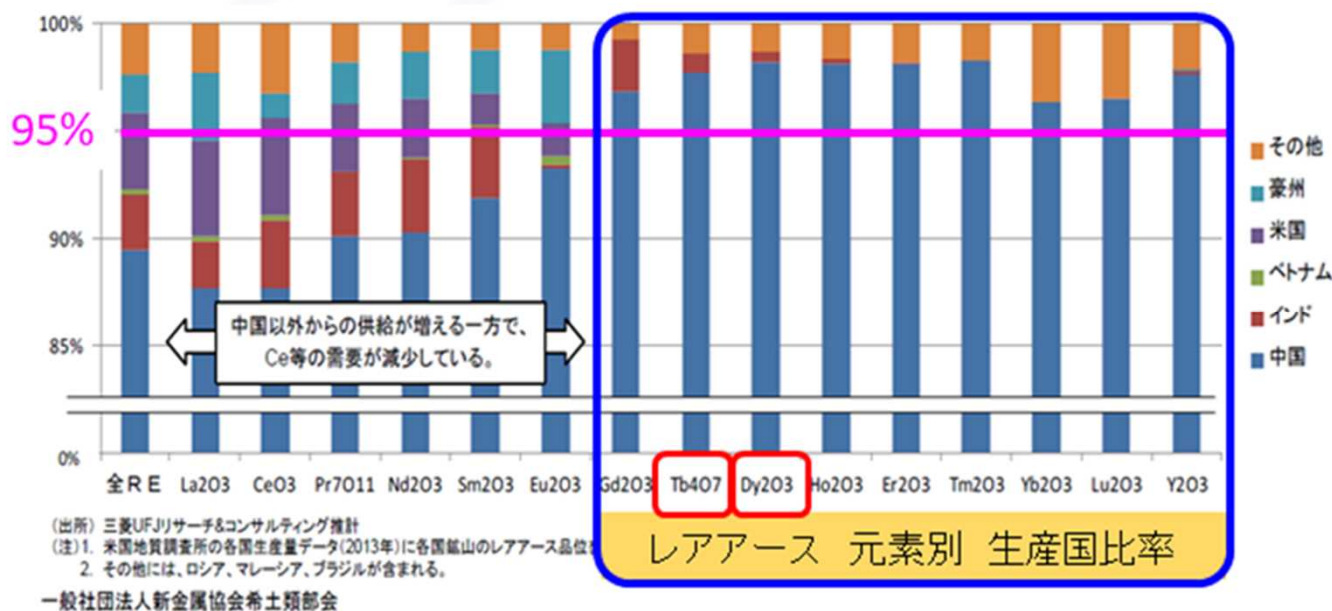
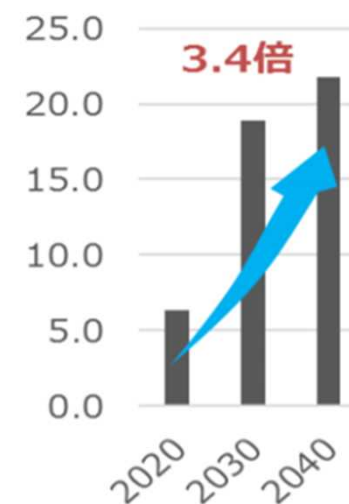


図. 世界のレアアース需要見通し

(出典) Global Critical Minerals Outlook 2021, IEA



事業の目的

中重レアアースの分離・精製および電解/還元工程が特定国に大きく依存していることが磁石サプライチェーン上の大きなリスクである→レアアースのサプライチェーンの脆弱性克服(=強靱化)に資する技術開発を行う。

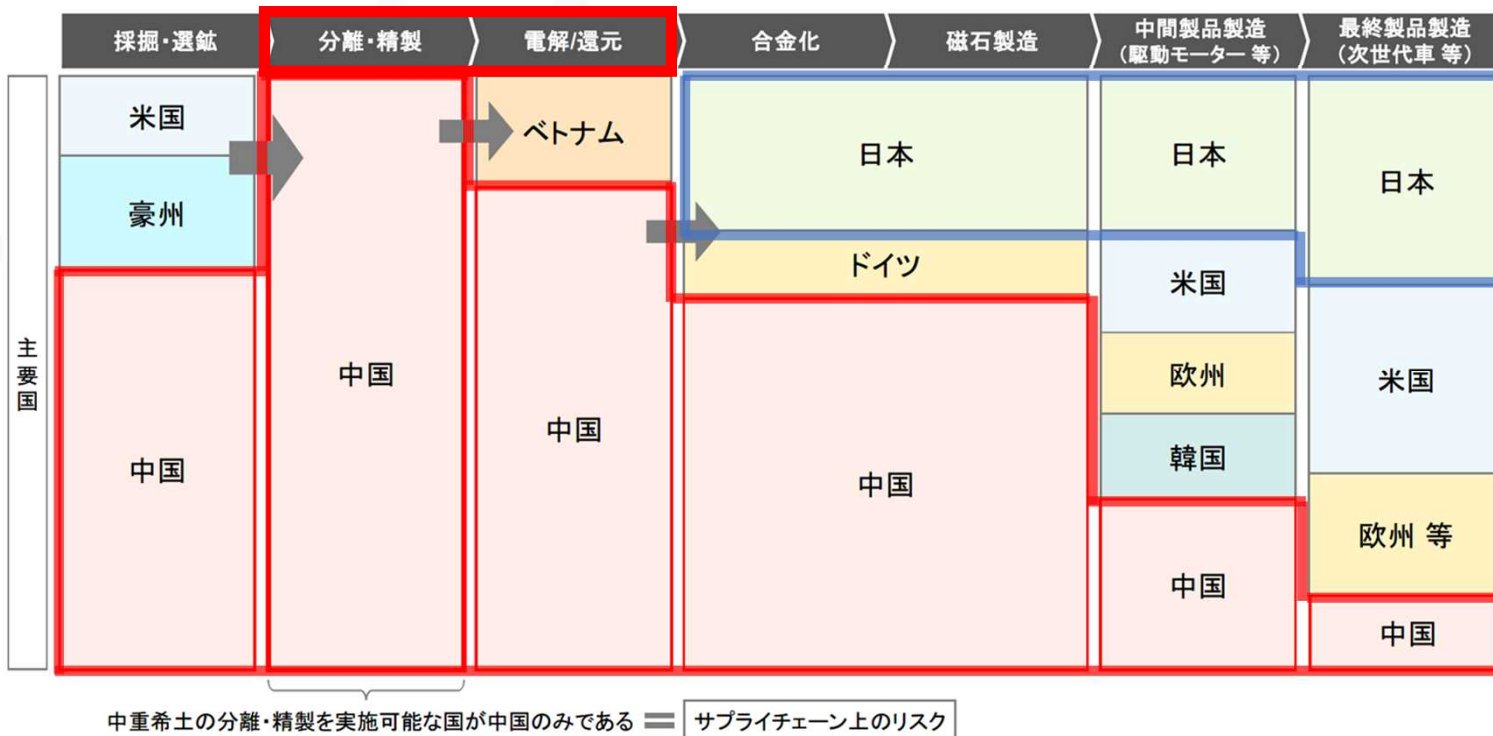


図. 中重希土(重レアアース)のサプライチェーンにおけるリスク

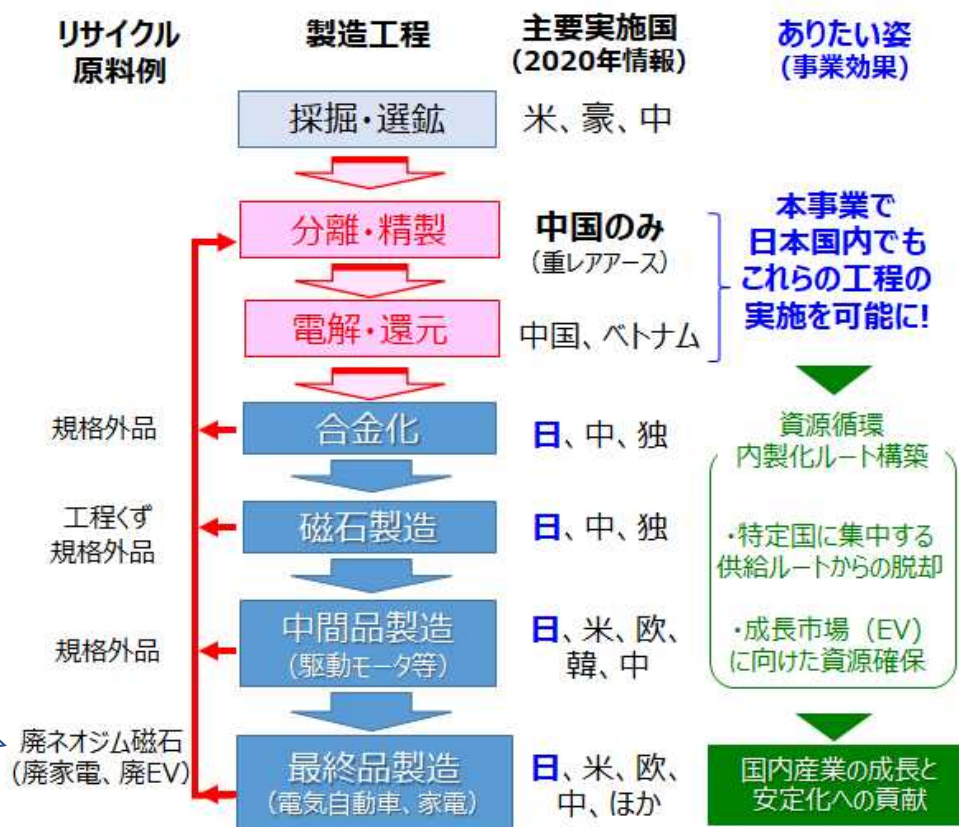
(出典) 北米におけるレアアースのサプライチェーン状況分析業務最終報告書、JOGMEC 2020年2月28日

事業の将来像

- 本事業では、鉱石並びに廃EV、廃家電等に含まれるネオジム磁石廃棄物から、ディスプレイウム、テルビウム等を純度良く相互分離し、さらにコスト競争力を有するような分離・精製、電解/還元技術を開発し、日本国内で事業化することを目標とする。
- 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リスク不安を解消することが、本事業の狙いとなる。



図. 事業の目的および将来像



政策・技術戦略面における本事業の位置づけ

政策面

- 「新国際資源戦略」
令和2年3月 経済産業省 本文11頁)
→(5) 産業基盤等の強化
- 「マテリアル革新力戦略」
統合イノベーション戦略推進会議決定、令和3年4月
→①SC強靱化 ②代替・省資源化・リサイクル等の
技術開発、33頁～
- 「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、110頁

技術戦略面

2017 2020 2025 2027

「リサイクル促進分野の技術戦略」 ver.2.0 平成29年2月

情報活用

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」(経済安全保障推進法、令和4年)

① 重要物資のサプライチェーン強化
海外への依存度が高く、国民生活に不可欠で重要な物質の安定供給を確保を図るため、助成金や利子補給により事業者の取り組みを支援

課題II
レアアースの
高効率分離
精製技術

2020～2021
「部素材の代替・
使用量削減に資する
技術開発・実証事業」
低品位レアアースの高品位化
に資する技術の開発

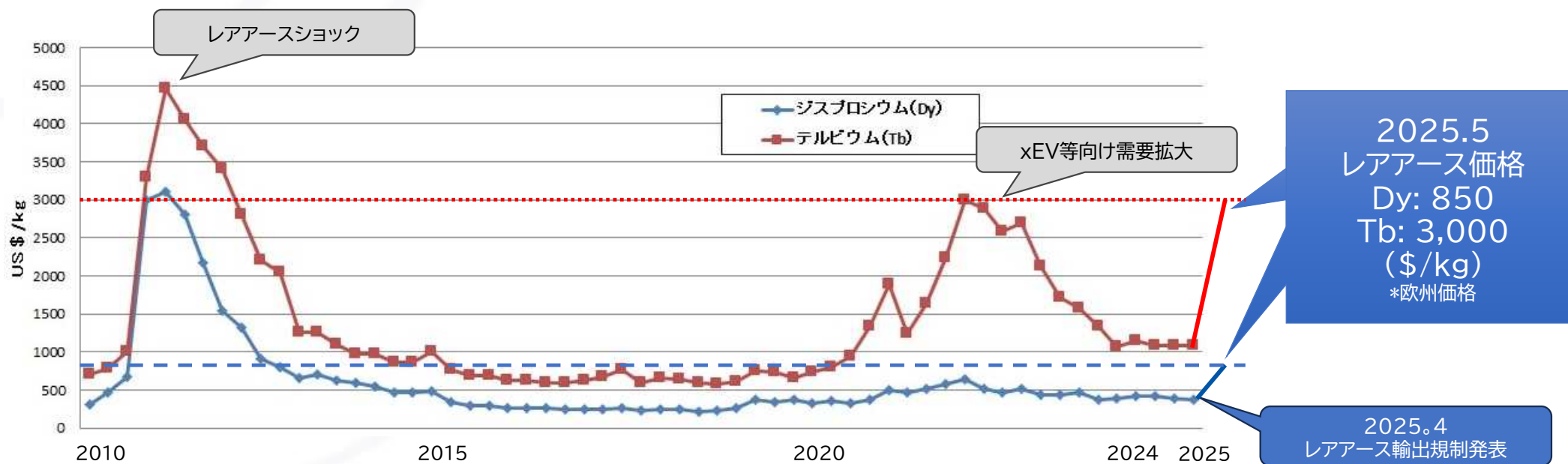
2023～2027
サプライチェーン強靱化に
資する未利用レアアース
分離精製技術開発事業

目指す社会像
強靱なレアアース
サプライチェーンの実装

外部環境の状況（1）

2010年のレアアースショック(対日禁輸措置)、2022-23のEV市場拡大に伴う重希土の需給ひっ迫の際、価格が4～7倍程度まで高騰。2025年4月の中国輸出規制強化を受け、5月価格は約3倍に高騰。

図. レアアースメタル(重希土)の輸入価格推移 (2010.6～2025.3, CIF Japan) (出典) ネオマグ株式会社ホームページ「磁石ナビ」





外部環境の状況（2）

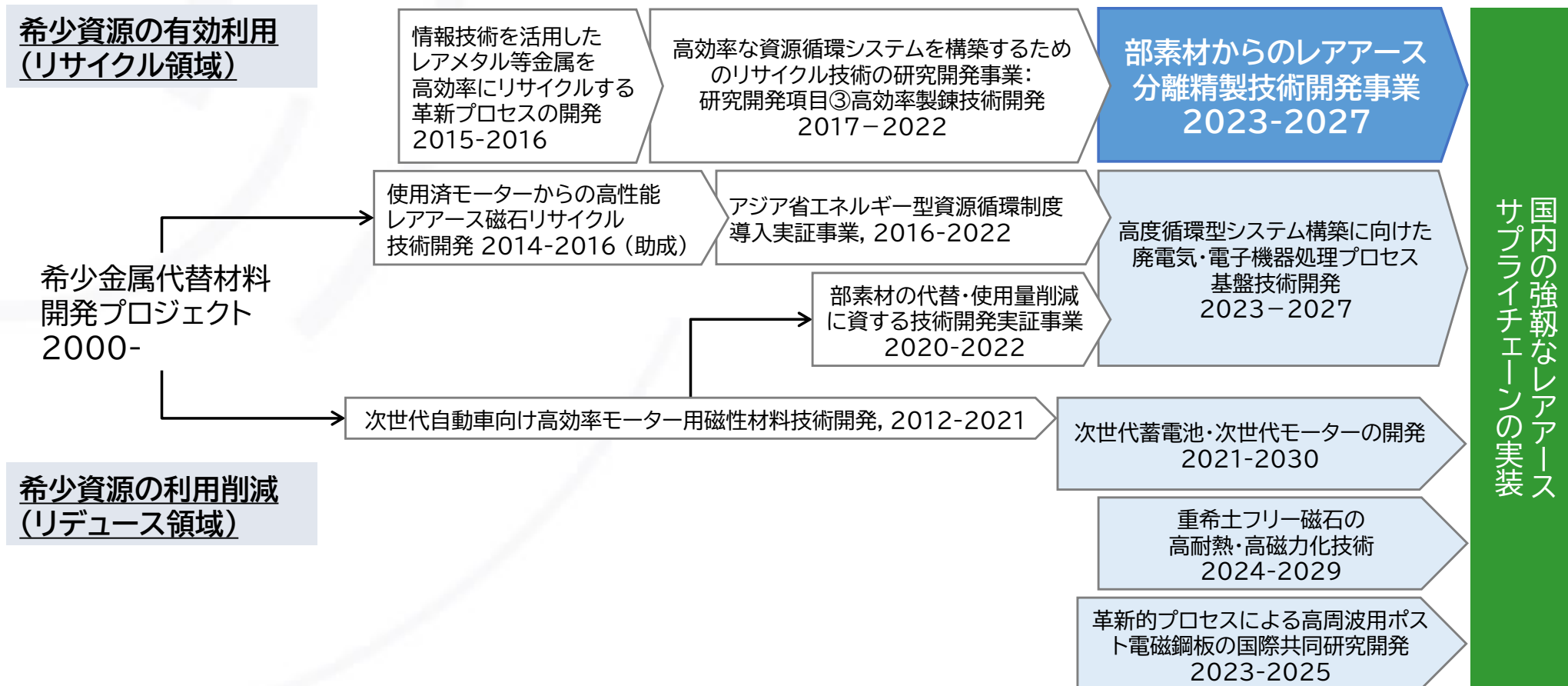
重要原材料の供給確保に向けた取組みが世界各国で加速しており、関連法の整備および基金事業などの支援が強化・拡充されている。

表. 各国の重レアアースに対する方針、動向、支援策

(参考文献) 1) 令和4年度産業経済研究委託事業(我が国磁石産業の持続的発展に向けた調査事業)～最終報告書～, 経済産業省, p7
2) 欧州における重要原材料供給確保の動向, JOGMEC 3) 重要鉱物の国際標準化動向, MUFG

	中国	日本	米国・カナダ	欧州	豪州
方針	国によるレアアース資源の保護と管理を強化(対アメリカを強く意識). 希土類磁石製品の輸出も世界一となり、原材料から最終製品まで幅広く供給	海外資源の確保、リサイクル、代替材料開発、戦略備蓄など多角的に対策	特定国への依存を脅威と捉えサプライチェーンの構築・強化に注力	米国同様サプライチェーン強化による特定国依存の軽減を図る	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す
主要動向	・レアアース管理条例(2024)において、希土類資源の国家所有、資源採掘や役務(技術)を含めた輸出の管理を強化 ・ 中重希土の輸出規制強化 を発表(2025)	・レアアース調達で日米豪印が協力(2021) ・日EU「重要原材料サプライチェーンに関する協力取り決め」締結(2023) ・JOGMEC, 豪・仏レアアース精錬企業へ投資(2024、2025)	・米国防権限法(2019) ・米豪重要鉱物協力協定締結(2019) ・インフレ抑制法(2022) ・加工済み重要鉱物の輸入依存リスク調査の大統領令に署名(2025)	・ 重要原材料法(CRMA) 発行(2024) *Dy, Tbは「戦略原材料」と定義し特に重視 ・ESG基準やカーボンフットプリントを活用したルール型施策(国際標準化 /インセンティブ/貿易制限)の動きが加速	・重要鉱物生産税制優遇措置法(CMTPI)可決(2025) ・重要鉱物の戦略備蓄を設立(2025)
支援策	・国の機関でレアアースに関する技術開発や基礎技術向上に取り組む(国家レアアース機能材料イノベーションセンター創設)	・国内レアアース事業(企業)への投資(JOGMEC法改正) ・他国連携に向けた会合への参加(クリティカルマテリアル・ミネラル会合) ・2000年代から産官学共同プロジェクトを推進	・第三国への資金援助や情報共有など関係強化 ・国内鉱山開発や技術開発を推進(Mt. Pass, MP materials)	・サプライチェーン安定化に資する戦略プロジェクトをEU域内・外から選定し支援(Horizon Euro)	・国および州単位で企業支援および研究開発プロジェクトを立ち上げ(Mt. Weld, Lynas)

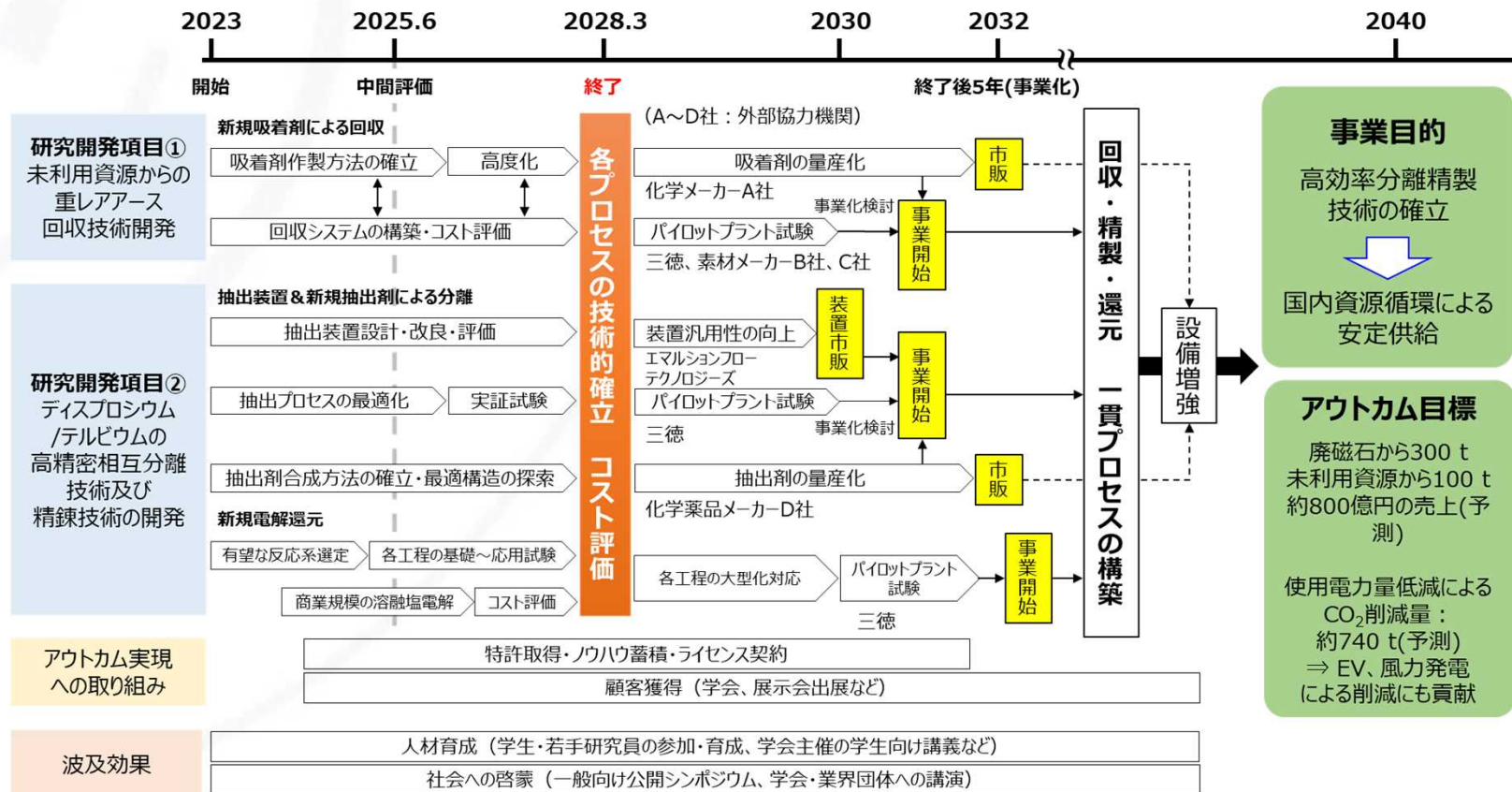
他事業との関係



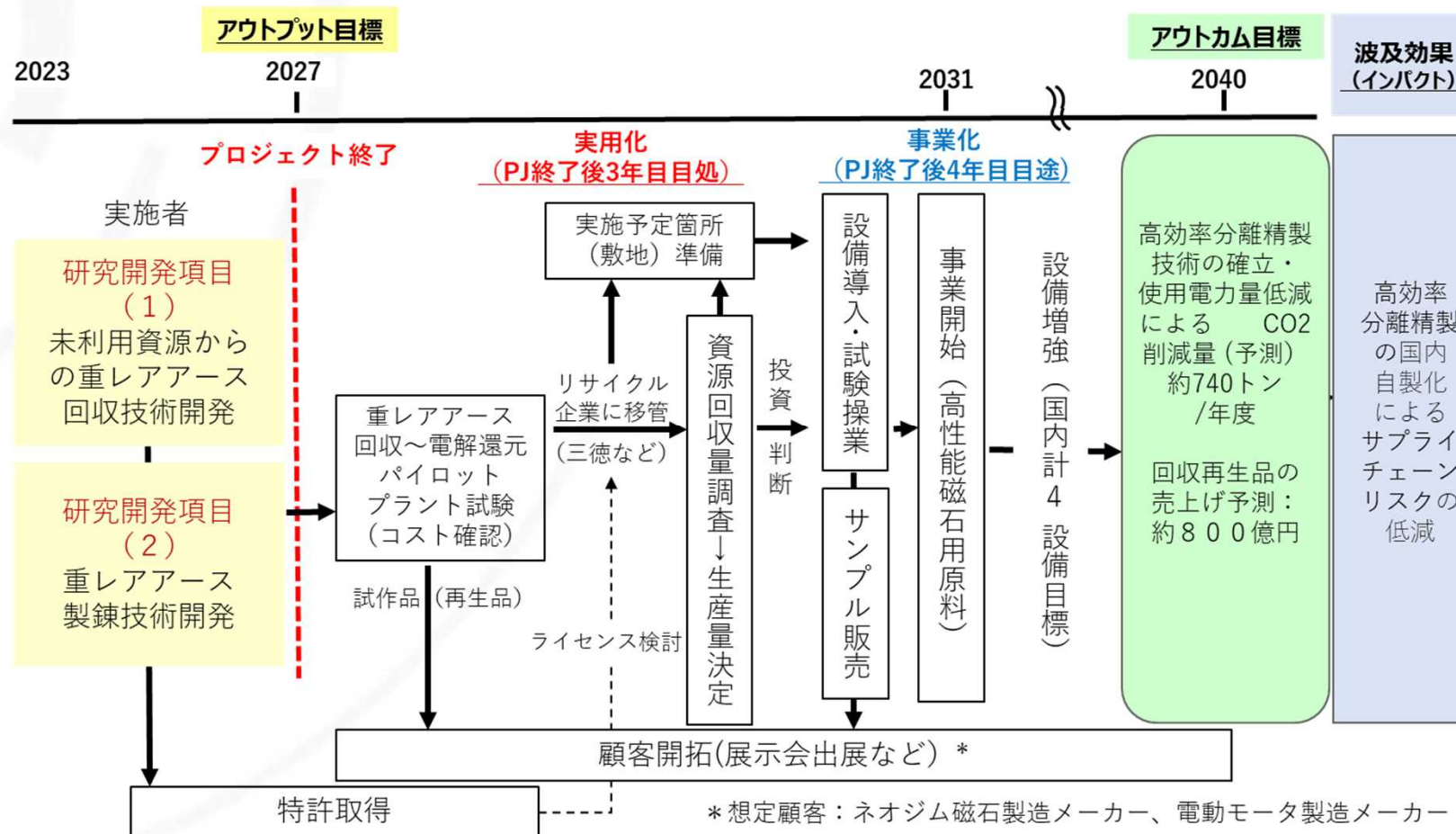
アウトカム達成までの道筋（最新版）

資料3-2で詳細説明

- 事業環境を考慮し早期の社会実装実現のため段階的な事業化方針に変更(過去計画は参考資料へ)。

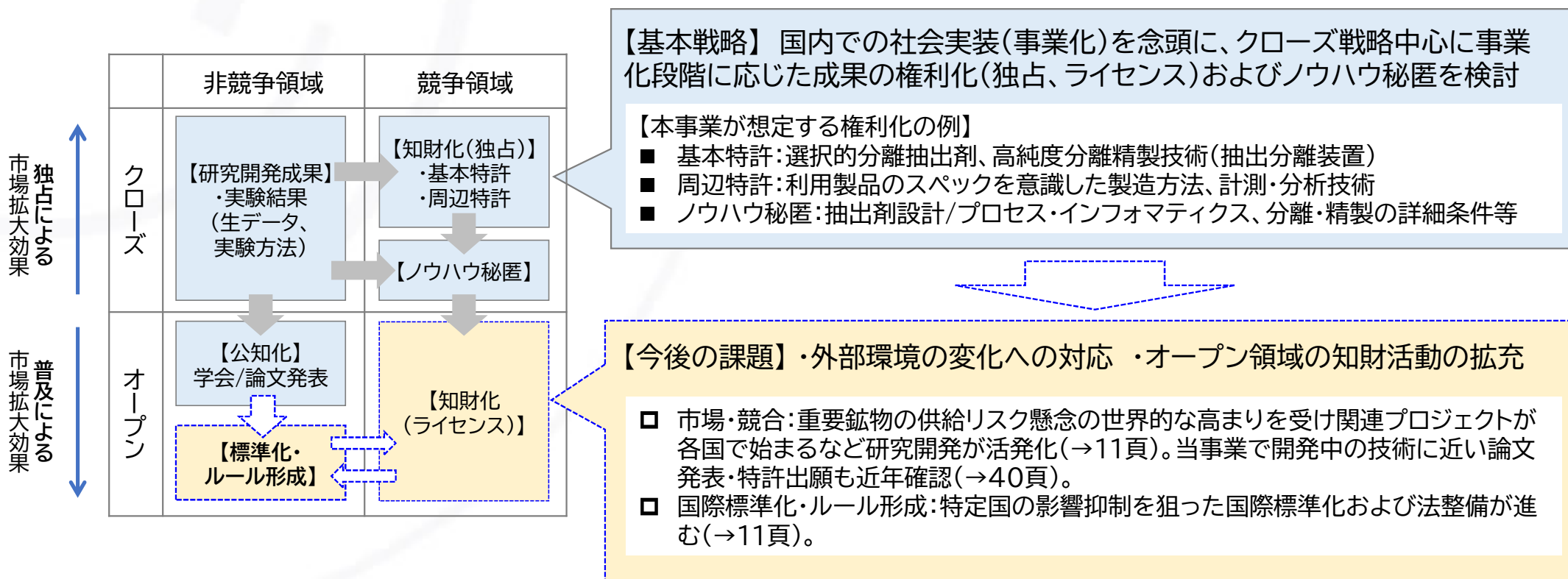


参考：アウトカム達成までの道筋（事業開始当初版）



知財・標準化：オープン・クローズ戦略

- クローズ戦略中心に成果の権利化を進めるとともに、外部環境変化を踏まえオープン領域の知財活動を拡充する。



知的財産管理

(1) 知財マネジメントにかかる運用

→「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

- 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運営委員会」を整備し、「知的財産及び研究開発データの取り扱いに関する合意書」を作成。

(2) データマネジメントにかかる運用

→「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメントに係る基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

- 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運営委員会」を整備し、「知的財産及び研究開発データの取り扱いに関する合意書」を作成。

(3) 標準化施策等との連携

→必要に応じ実施する。

- 技術推進委員に国際標準（ISO/TC298, Rare Earth）の作業部会メンバーを任命し、専門家の見地からのコメントを得るなど、外部環境の変更に迅速に対応する取り組みを進めている。

<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

報告内容



ページ構成

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

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



2. 目標及び達成状況

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

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



3. マネジメント

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

実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

アウトカム目標(2040年予測)		根拠
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	740 トン/年	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る CO ₂ の削減効果。
2. 回収品の売上げ	800 億円/年	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。




事業化 (PJ終了4年目目途)	事業開始 (重レアアース回収品および回収に係る各成果の市販)
------------------------	--------------------------------



実用化 (PJ終了3年目目途)	研究開発項目ごとの実用化実施事項； ① 吸着剤の量産化、パイロットプラント試験 ②(1) 抽出剤の量産化、抽出分離装置の汎用性向上、パイロットプラント試験 ②(2) 新規電解還元各工程の大型化、パイロットプラント試験
------------------------	---

アウトカム目標の達成見込み

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	○	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【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。</p>
2. 回収品の売上げ	800 億円/年	○	<ul style="list-style-type: none"> 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。  <p>【中間評価時における外部環境情報】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【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。</p>

費用対効果

インプット:本事業の総費用 (2023~2027年度予定)		17.2億円
アウトカム目標 (2040予測)	1. CO ₂ 削減効果	740トン/年
	2. 回収品の売り上げ	約800億円/年

前身事業との関連性

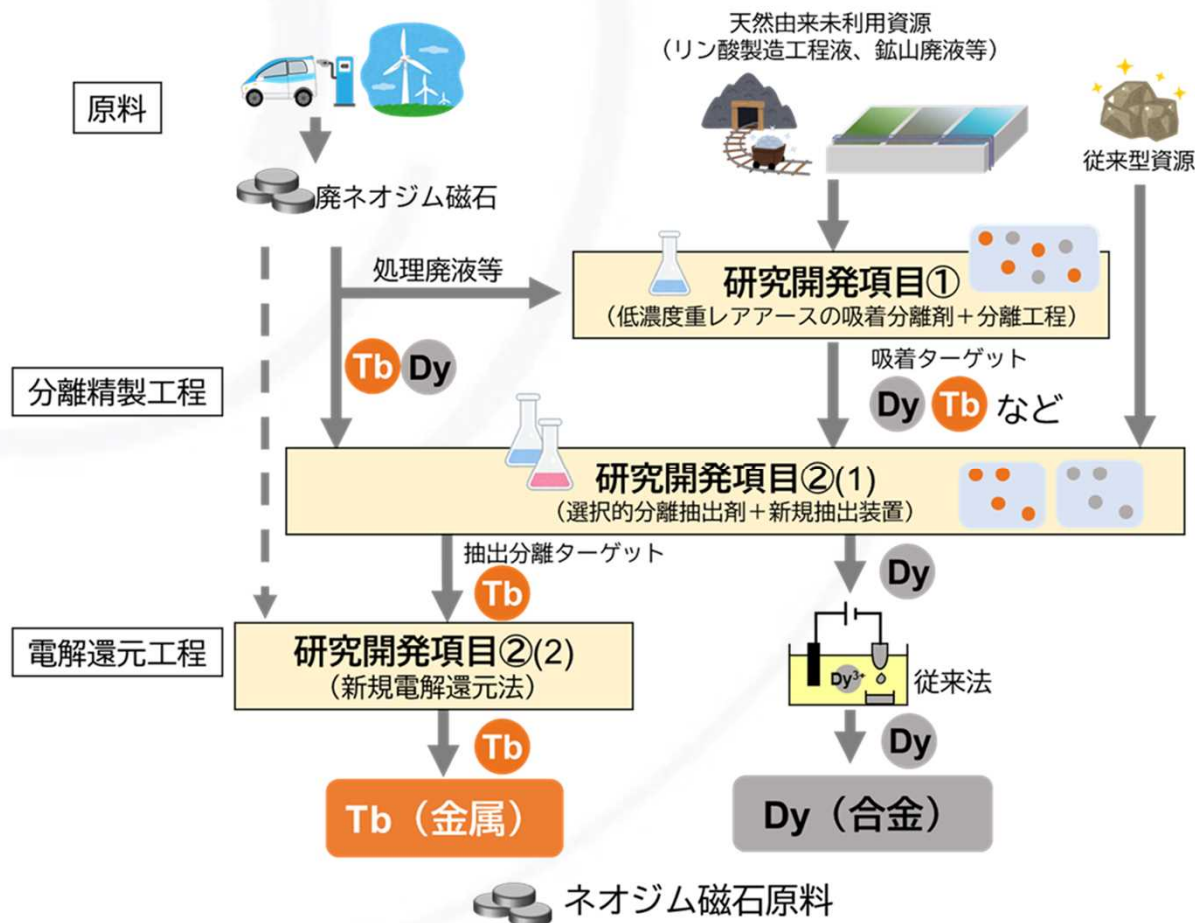
2017～2022

P17001: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
研究開発項目③高効率製錬技術開発

前身事業の終了時評価における提言・コメント*	コメントへの取り組み
<p>【1.1 意義・アウトカム達成までの道筋】 知的財産の特許化が国内に限定されている。今後は国外での特許取得も検討していく必要がある。また、本プロジェクトから今後、派生して得られる知的財産についても、NEDO のサポートが重要だと考える。</p>	<p>知財強化の取り組みを25年度より開始</p>
<p>【1.1 意義・アウトカム達成までの道筋】 レアアースの高効率製錬技術は、アウトカム達成に向けて、より大規模な実証試験を実施し、今回の成果のスケール依存性の確認やコスト削減に向けた取り組みが不可欠になると考える。</p> <p>【1.2 目標および達成状況】 高効率製錬技術開発においては、現行においてはその処理コストは高額になることが予想される。スケールアップした場合のコスト削減の可能性も検討して欲しい。</p> <p>【1.3 マネジメント】 高効率製錬技術開発は挑戦的な開発であり、その開発にはある程度の時間が必要である。スケールアップした実証研究を実施していくことも不可欠であり、そのためには実証試験のステージのために研究開発事業を考える必要がある。</p>	<p>スケールアップおよびコスト評価の観点からアウトカム目標にそれぞれ反映。</p>

(出典)「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」終了時評価報告書 1-4～12、2023年8月、NEDO研究評価委員会

本事業における研究開発項目の位置づけ



研究開発項目①

未利用資源から低コストで重レアアースのみを濃縮するための吸着分離システムの構築。

研究開発項目②(1)

Tb/Dy相互分離の高効率化を可能とする新規分離剤及び分離装置の開発。

研究開発項目②(2)

Tb及びDyの国内精錬を可能にする基盤技術(新規電解還元法)の確立。

図. 本事業の各研究開発項目および位置づけ

アウトプット目標の設定および根拠

資料3-2で詳細説明

個別事業 (研究開発項目)	中間目標	最終目標	根拠
① 未利用資源から の重レアアース 回収技術の開発	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。	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。	回収される資源価値と同等のコストで重レアアースを回収できれば、コスト競争力のあるプロセスとなり、本事業後、速やかに事業化が可能となる。
② ディスプロシウム/ テルビウムの 高精度相互分 離技術及び 精錬技術の開発	②(1)高精度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（ミキサーセトラ）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。	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。	従来法の 2 倍以上の分離係数を持つ分離系へ置き換えることで、パイロット試験開始の目安となる抽出装置のイニシャルコストをおおよそ半減することが可能となる見込み。また国内工場での実施を考慮すると装置規模 1/5 へのダウンサイズが必要である。
	②(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。	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。	現行プロセスで一般的な電解条件（1400℃超）では材質などの面で利用可能な容器や装置類が限られコスト増の要因である。新製法により電解条件の低温化が達成されると、材質等の制約が大幅に緩和され、低コスト化、省エネルギー化が見込まれる。



アウトプット目標の達成状況

資料3-2で詳細説明

個別事業 (研究開発項目)	中間目標 (2026年3月)	成果 (2025年4月)	達成度 (見込み)	達成の根拠/ 解決方針
① 未利用資源からの 重レアアース回収 技術の開発	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。	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、コスト評価を行った。	○ 2026年3月に 達成見込み	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、達成見込みと評価
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	②(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密相互分離技術を確立する。また従来型装置（ミキサーセトラ）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。	・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。 ・新規分離装置については、機械攪拌式エマルジョンフロー装置が従来型ミキサー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。	[新規抽出系開発] ○ 2026年3月に 達成見込み [新規装置開発] ◎ 達成済み	[新規抽出系開発] 分離条件を向上させる条件が確定しつつあることから、達成見込みと評価 [新規装置開発] 中間目標を達成済み
	②(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。	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。	○ 2026年3月に 達成見込み	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

研究開発成果の副次的成果等

【本事業の成果】 回収・精製・還元技術の 高度化

- レアース製錬事業の国内回帰
- 国内未利用資源の利用による供給源多様化
- 我が国磁石産業の事業基盤強化



重レアースを含む磁石はEV等高性能製品向けに高い需要
特にTb系は日本が高い製造技術を保有

【本事業の意義】 サプライチェーンの 強靱化



特許出願及び論文発表

資料3-2で詳細説明

表. 特許、論文、その他外部発表の状況(2024年12月23日時点)

年度	特許出願(件)	論文(報)	フォーラム等(件)
2023	1	0	21
2024	1	3	8

(出典)2025年度実施方針「4.2 実績推移」4頁

<評価項目 3> マネジメント

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

報告内容

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

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



2. 目標及び達成状況

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



3. マネジメント

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

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究データの管理・利活用
- 予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理：事前/中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み
- 進捗管理：開発促進財源投入実績
- モティベーションを高める仕組み

NEDOが実施する意義

- レアアース供給における高いリスクと、分離精製技術開発の困難さ、事業活動の状況などを踏まえて、NEDOが持つこれまでの知識・実績を生かして推進すべき事業である。

- 本事業が開始した2023から2024年度におけるレアアースの資源価格は低位安定しており、民間企業の事業活動に影響するほどではなく、国内資源確保に向けた技術開発にインセンティブが働きづらい状況が継続した。
 - 将来の供給不安、供給途絶といった不確実な予測から採算性が見通せない技術開発に対して、民間企業が投資判断をすることは現状困難。
- 一方、以下の観点から国が主導する形でレアアースのサプライチェーン強靱化に資する技術を支援し、早期確立を目指すことが必要。
 - ①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、
 - ②将来的に需要が拡大し需給の逼迫の恐れがあること
 - ③中国への高い依存度から供給途絶リスクが高いこと

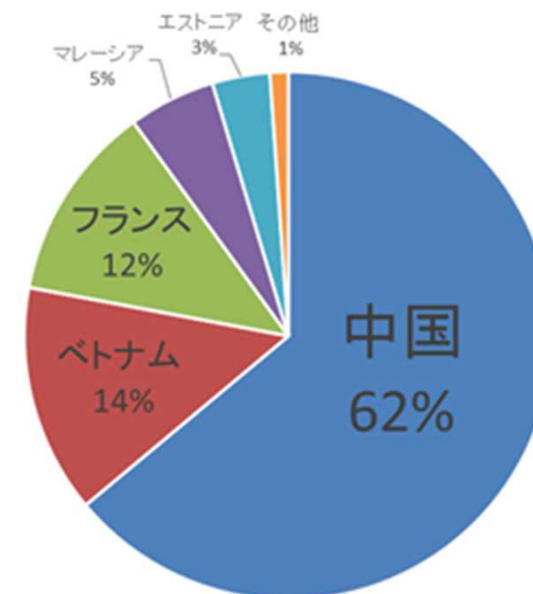


図. 日本のレアアース輸入における海外依存度(2019年)

実施体制

- 研究機関側からPL、事業者側からSPLをそれぞれ任命.役割分担を明確にして事業を実施中。



図. 研究開発体制表
(2025年6月時点)

個別事業の採択プロセス

【公募】

公募予告(2023年2月3日)⇒公募(3月3日)⇒公募×切(4月3日)⇒公募延長⇒公募延長×切(4月13日)

● 公募内容:

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

研究開発項目②:ディスプレイシウム/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)高精密相互分離技術の開発 (2)新規電解還元法の開発

【採択】

採択審査委員会(4月14日)

- 採択審査項目: NEDOの標準的採択審査項目に加え、応募者の評価、研究成果の実用化・事業化計画の評価、ワーク・ライフ・バランス等推進企業に関する認定等の状況を審査項目に加えた。
- 採択条件: 採択審査委員会では、評価点の60点以上を条件に採択が行われた。
- 留意事項: 研究の健全性・公正性の確保に係る取組。公募の際にその他の研究費の応募・受入状況を確認し、不合理な重複及び過度の集中がないか確認した。

予算及び受益者負担

- レアアースサプライチェーンの高いリスク、技術的難易度の高さおよび事業活動の状況(民間企業単独で社会実装の実現が困難)等を踏まえて、NEDOが主体的に関与する必然性があるため、100%委託事業として実施する。

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

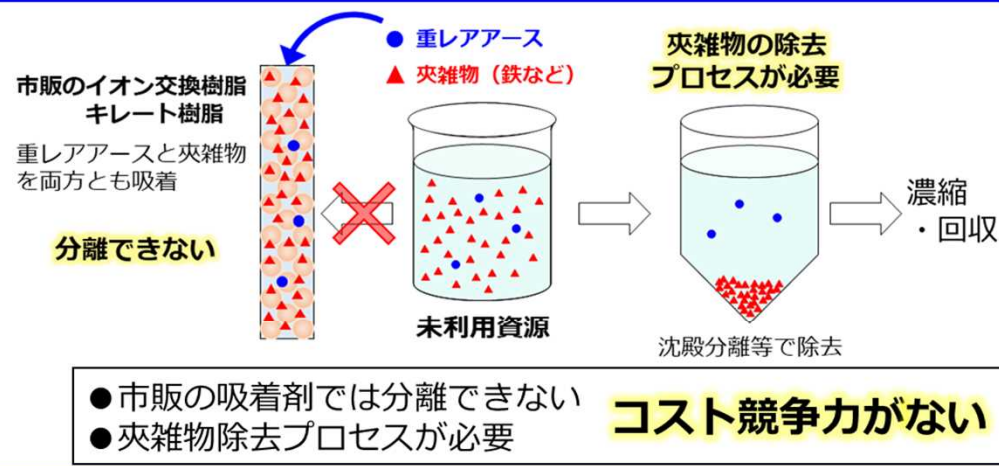
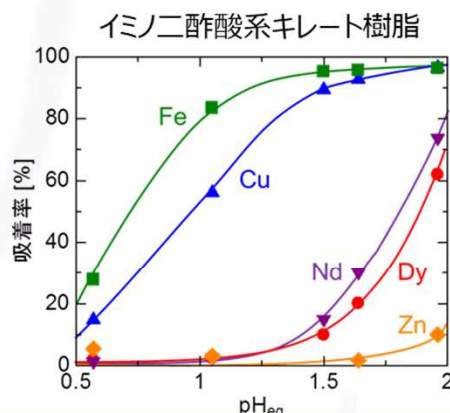
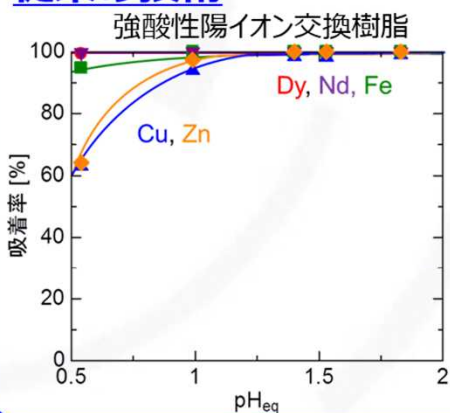
◆2026 -2027年度は予定額

目標達成に必要な要素技術 (1) 研究開発項目①

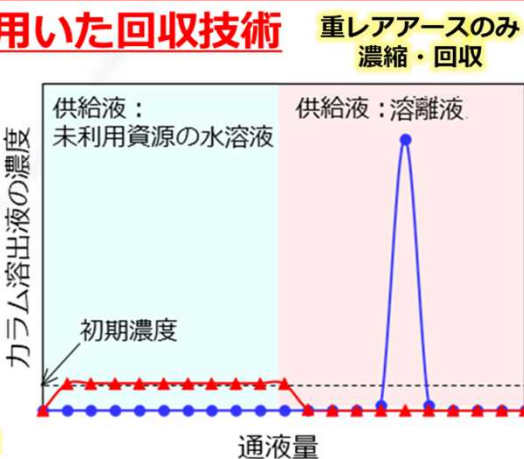
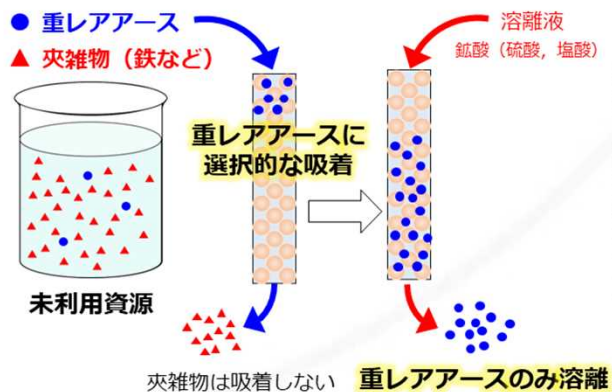
資料3-2で
詳細説明



従来の技術



重レアアースに選択的な吸着剤を用いた回収技術



- 希薄溶液に最適な吸着法 (簡便で、操作性がよい)
- 薬品等の使用量低減
- 新規に工場をつくることなく、導入できる (副産物として生産)

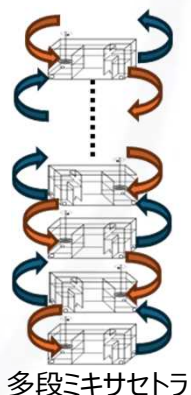
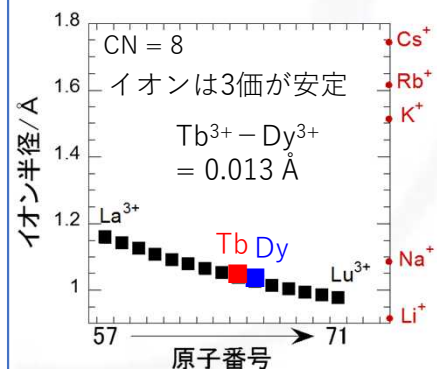
コスト競争力のあるプロセスに

目標
重レアアースに選択的な吸着剤の開発

目標達成に必要な要素技術 (2) 研究開発項目②(1)

レアアースのイオンサイズ

従来型分離精製プロセス



広大な敷地面積
多量の有機溶剤

国内操業が困難

▶ 添加剤としてTb及び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リサイクルにおいても必要である。また、高性能ネオジム磁石として、今後Tb含有のものがより重要となってくると予想されている。それには高純度Tbが必須である。

▶ 重レアアースは特にイオンサイズが類似しており、金属イオンの中でも相互分離が極めて困難である。

▶ 従来型抽出剤による分離係数(2~3)では、多段の分離操作を要し、多量の有機溶剤を使用。

▶ 従来型抽出装置(ミキサセトラ)は特にセトラ部の設置面積が大きい。

▶ よって現行技術では大規模の分離施設等が必要になり、国内における操業は厳しい。

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

$$D_A = \text{有機相A濃度} / \text{水相A濃度}$$

$$D_B = \text{有機相B濃度} / \text{水相B濃度}$$

$$SF = D_A / D_B$$

解決策

- 高分離係数を有する抽出系開発
(有機溶剤使用量 & 装置規模低減可能)
- 高分離効率可能かつコンパクトな
抽出装置開発
(装置規模低減可能)

最終目標

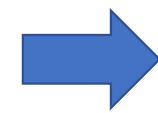
中間目標で見いだされた新規分離技術のスケールアップ検討を行う。また新規分離装置による分離精製プロセスのスケールアップ試験を実施し、装置規模が従来比 1/5 で環境適合性、量産性、コスト適合性を備える分離精製プロセスを確立する。

最終目標の根拠

従来法の2倍以上の分離係数を持つ分離系へ置き換えることで、パイロット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となる見込み。また国内工場での実施を考慮すると装置規模1/5へのダウンサイズが必要である。

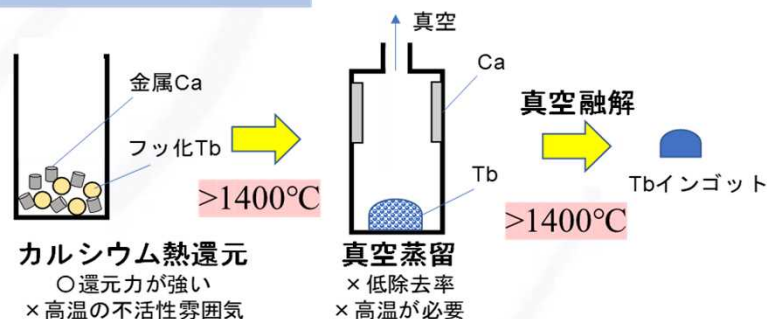
目標達成に必要な要素技術 研究開発項目②(2)

- 重希土類に富む資源は**一部地域**（中国、ベトナムなど）に偏在（産出量ベースでは比較的多样）
- 重希土類関連の技術（特に製造技術）**も一部地域に偏在



テルビウムの還元は国内実施できない
⇒国内資源循環は実現不可

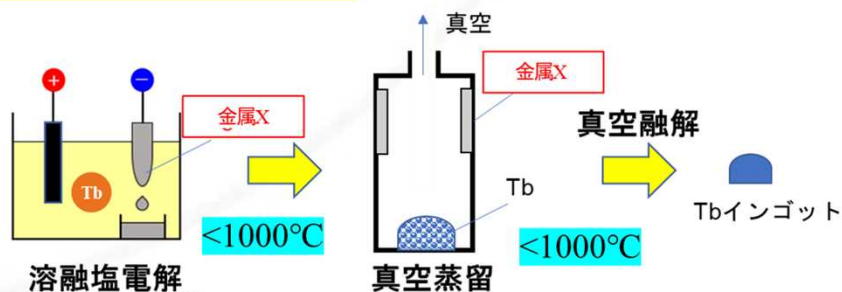
従来法：Ca熱還元法



従来のテルビウム還元方法
「**カルシウム熱還元法**」
高コスト・高エネルギー消費
⇒国内実施不可



新規電解還元-蒸留法



「**新規電解還元法**」
低コスト・少エネルギー消費
⇒国内実施可能に

研究開発のスケジュール

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				
	分離回収技術の開発と評価				
	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			スケールアップ試験	
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	(1) 高精密相互分離技術の開発		中間評価		
	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)	

図. 研究開発スケジュール
(出典)プロジェクト基本計画、別紙2

進捗管理

会議名	主なメンバー	対象・目的	頻度	主催
技術推進委員会	外部有識者 PJ 全実施者 PMgr、PT	技術開発の進捗状況等について外部有識者が確認	年に1回	NEDO
開発協議会	PJ 全実施者 PMgr、PT	PJにおける技術開発の報告共有の場としての会議を定期的に開催し、開催単位ごとに技術開発の進捗に係る重要事項を議論	年に4回 *研究開発項目毎	実施者
知財運営委員会	知財運営委員会 メンバー *事業者にて選出	研究開発の成果についての権利化・秘匿化等の方針決定や実施許諾に関する調整を行う。知財に係る進捗管理を実施	不定期	実施者
NEDO内会議	PMgr、PT	PMgr等のNEDO内関係者で定期的にプロジェクト全体の進捗を確認し、今後の方向性を議論	不定期	NEDO
New 知財支援活動	PMgr、知財PD	「競争的研究費による研究成果の社会実装に向けた知財支援事業(iNat)」から派遣される知財の専門家(知財PD)とともに、研究開発成果の社会実装を知財の視点から見据えた戦略の策定およびマネジメントなどについてNEDOの活動を支援	(週1回~) 2025年度 より開始	NEDO

進捗管理：事前評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
1	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。	廃ネオジム磁石の効率的な回収に向けた政策的対応、技術的対応についても適宜関係各所に相談していき、資源の有効活用を目指していく。また廃磁石以外の未利用資源については、想定される排出企業とコンタクトし、実液での分離精製評価を進めており、回収スキームについても今後検討する。
2	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。	複数の検討事項に対する研究連携に関しては、NEDOも進捗等を確認していく中で、NEDOも含め、各実施者間の十分な意思疎通と相互間協働が図れるように管理し、また適宜、取り組み内容や成果の評価を行っていく。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業はレアアースの中でも磁石の高性能化に必須の重希土に限定しているが、国内の軽金属リサイクルスキームに則した技術展開が重要と認識している。 ・中重希土生産時の副産物等環境問題についても同様で、技術推進委員などからも関連コメントを受けている。現在進行中の国際標準化においても環境負荷を低減した技術が注目されており、将来の重点課題の一つとして検討候補に挙げる必要性を事業者とも協議する。

進捗管理：動向・情勢変化への対応

- 事業者の競合ウォッチング活動でヒットした懸念技術に対し、NEDOと共同で対応し効果的な対策を講じた。
- 当該事業領域に関する講演会、セミナー等への参加およびインターネット等の公開情報を定期的に収集。

競合技術への対応

研究開発項目②(1)
「ディスプレイウム/テルビウム高精度相互分離技術の開発」

【状況】

2024年、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放射性元素の抽出剤に関する論文が発表された(Ind. Eng. Chem. Res. 2024, 63, 10773–10781)。本事業のターゲット元素(Dy、Tb)の相互分離に関する言及はなし。

【対策】

論文情報から特許出願状況を調査し、中国国内の出願を確認。論文と同様に当該事業に直接影響する内容ではないことを確認。しかし競合研究と本事業の差別化および優位性の確保を意識しつつ外部発表の内容およびタイミングの検討が必要と判断。また競合の動向に対応し検討を加速するため、2024年度加速予算で新規抽出剤の開発を促進する機器(液体クロマトグラフィ質量分析装置)を導入。ターゲット物質の構造決定および合成ルート探索の迅速化を図った結果、24年度目標を前倒しで達成した。

進捗管理：成果普及への取り組み

- 国内展示会にて開発成果の一つ(エマルションフローテクノロジーズ社 レアアース分離・抽出技術)を紹介。
- 外部機関からの情報交換の依頼に積極的に対応、本事業の紹介と成果の発信に努めた。

展示会出展

国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構
New Energy and Industrial Technology Development Organization

材料と駆ける、
新時代

日時: 2025年1月29日(水)~1月31日(金)
会場: 東京ビッグサイト 東4ホール
ブース番号: 4A-02

International Nanotechnology Exhibition & Conference
nano tech 2025
国際ナノテクノロジー 総合展・技術会議

ケミカル06

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
Rare Earth Separation and Extraction Technology Utilizing Emulsion Flow Method

有価物回収/リサイクル/カーボンニュートラル
Valuable material recovery / Recycle / Carbon neutral

(株)エマルションフローテクノロジーズ

研究開発の概要

- 背景
エマルションフロー法は、日本原子力研究開発機構(JAEA)で開発された新しい溶媒抽出(液液抽出)の方法です。装置を大幅にダウンサイズできる高い生産能力、排水を油分で汚染しない高い相分離能力、目的成分の濃縮度を自由に設定できる高い濃縮能力などを特徴とする革新的な新技術です。
- 研究開発内容
レアアースの分離精製では、互いに性質が似通ったレアアース間の分離において既存技術では100段以上の段数を要します。エマルションフロー法は、このような極めて多くの段数を要する場合に装置を大幅にダウンサイズできます。同様に装置のコンパクト化が求められる都市鉱山を活用したレアメタルリサイクル市場についても貢献できると考えています。
- 成果
エマルションフロー法はミキサーセラーとの比較で、装置サイズは1/4から1/10、水処理産業も注目する高い油水分離能力、100倍以上の高濃縮も容易といった特徴を確認することができました。溶媒抽出は大企業しか導入できない大型の設備を要し、排水を油分で汚染し環境にやさしくないという今までの「常識」をくつがえします。
- 今後の展望
エマルションフローは、従来のミキサーセラー等よりも格段に高い生産能力だけでなく、今までの溶媒抽出の「常識」をくつがえす非常に高い油水分離能力、濃縮能力を持っています。これらの特徴を活かし、今までは溶媒抽出の対象にはならなかった分野(たとえば、工業排水由来のPFAS、フローケミストリー)での利用も期待できます。

エマルションフロー装置イメージ図

ミキサーセラーとの比較

外部機関との情報交換

【実績】
一般企業(2社)
研究所(1社)

【情報交換内容】
・ネオジム磁石リサイクルスキーム構築における課題について
・レアアースリサイクル動向について
・鉱物資源関連のNEDO事業のヒヤリングおよび問題意識について

進捗管理：開発促進財源投入実績 2023~2025年度

研究開発項目		開発促進財源 投入金額 (百万円)			成果・効果
		2023	2024	2025 (見込み)	
各テーマ共通(消耗品)		11.5	7.7	—	本事業では特殊かつ高価な消耗品類(重レアアース、特殊分析用試薬ならびに特殊実験装置)を使用するため、それら消耗品を遅延なく計画的に調達することで、研究への影響の抑制に貢献している。また当初予定より多くの実験を実施することができ、計画の前倒し達成ならびに適切な合金系の選択や操業条件の改善に早い段階で着手できる。
①未利用資源からの重レアアース回収技術の開発		—	—	(25)	2025年(予定):外部評価委員の指摘を受けて、新規吸着剤の劣化原因等の原因解明のための分析装置および計算ソフトを導入する。それにより吸着剤の設計指針に関する新規知見を得ることができ、耐久性向上に見込むことができる。
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	②(1) 高精密相互分離技術の開発	—	17.8	63	2024年:新規抽出剤合成検討に資する分析装置(NMR)の導入および抽出剤の評価人員のための人件費を増額した。それにより合成ルートの最適化が加速が見込まれる。 2025年(予定):合成した新規抽出剤の構造決定など評価に資する分析装置(LC-MS)を導入する。それにより事業期間内で合成する誘導体の量および種類の増加が見込まれる。
	②(2) 新規電解還元法 の開発	—	39	(14)	2024年:当初計画で使用する予定の真空溶解炉を、より効果的で実用性が高いと見込まれるアーク溶解炉に変更する。それにより電解工程の早期確立に資することが見込まれる。合わせて難易度の高い実験を円滑に実施するための人員も追加。 2025年(予定):工業化を想定した条件(800℃以上)下でのその場観察ならびに1 g以上の真空蒸留試験を可能とする装置を新規に導入する。導入により、実用化に向けた操業条件の導入促進が見込まれる。
合計		11.5	127.5	(102)	

モチベーションを高める仕組み

- 2023年度以降の新規事業を対象とする「交付金インセンティブ制度」*に基づく評価を実施する。
*委託又は補助の仕組みを用いて、必要経費の一定額を支払いつつ中間・終了時等審査において当初設定した目標の達成度等に応じてインセンティブを支払う制度。
- 顕著な成果を出した案件にインセンティブを支払う仕組みを導入し、実施者のモチベーションの増大や研究開発成果の社会実装の加速化を図る。

	金銭的インセンティブ【今回実施】	物的インセンティブ【事業終了時に実施】
インセンティブの内容	契約額を増額(配賦予算の範囲内)	事業終了後、NEDOが一定期間資産を貸与
インセンティブの狙い	当該事業の実施にあたり必要な経費としてNEDOの委託費積算基準で認める範囲の支出(成果の更なる発展のための装置の追加購入、試験追加など)を可能とする。	通常、事業終了後は委託研究資産を原則事業者が買い取るところ、引き続き現役のNEDO事業として位置づけ、資産を貸与し、社会実装に向けた継続的な研究開発を可能とする。

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」 (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18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

バイオ・材料部

報告内容



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

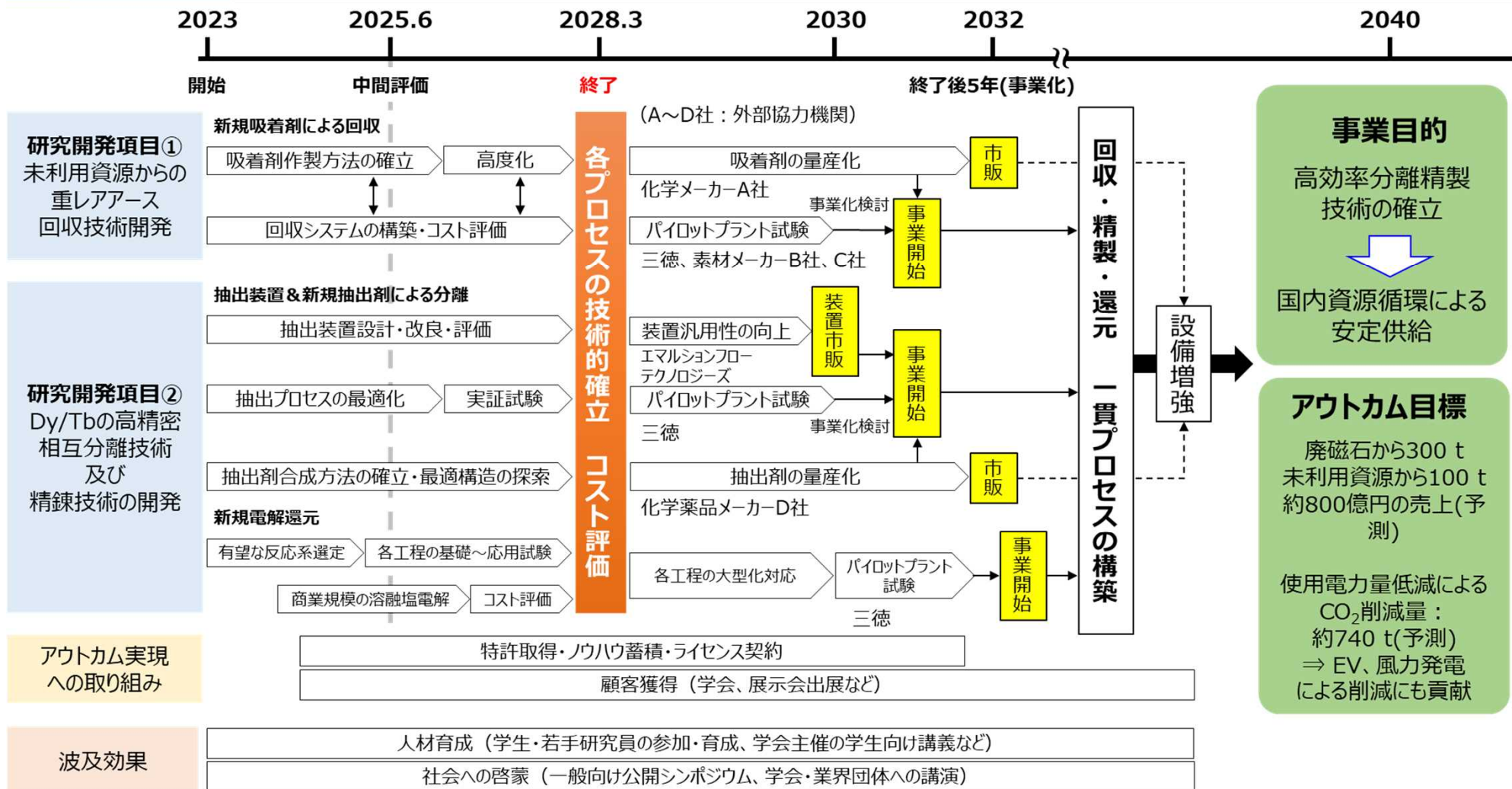
(1)アウトカム目標及び達成見込み
(2)アウトプット目標及び達成状況

ページ構成


- アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組
- アウトカム目標達成の見込み
- 個別事業の位置づけ
- 個別事業ごとのアウトプット目標と根拠
- 個別事業ごとのアウトプット目標達成状況
- 研究開発成果
- 副次的成果・波及効果等
- 特許出願および論文発表状況

3. マネジメント

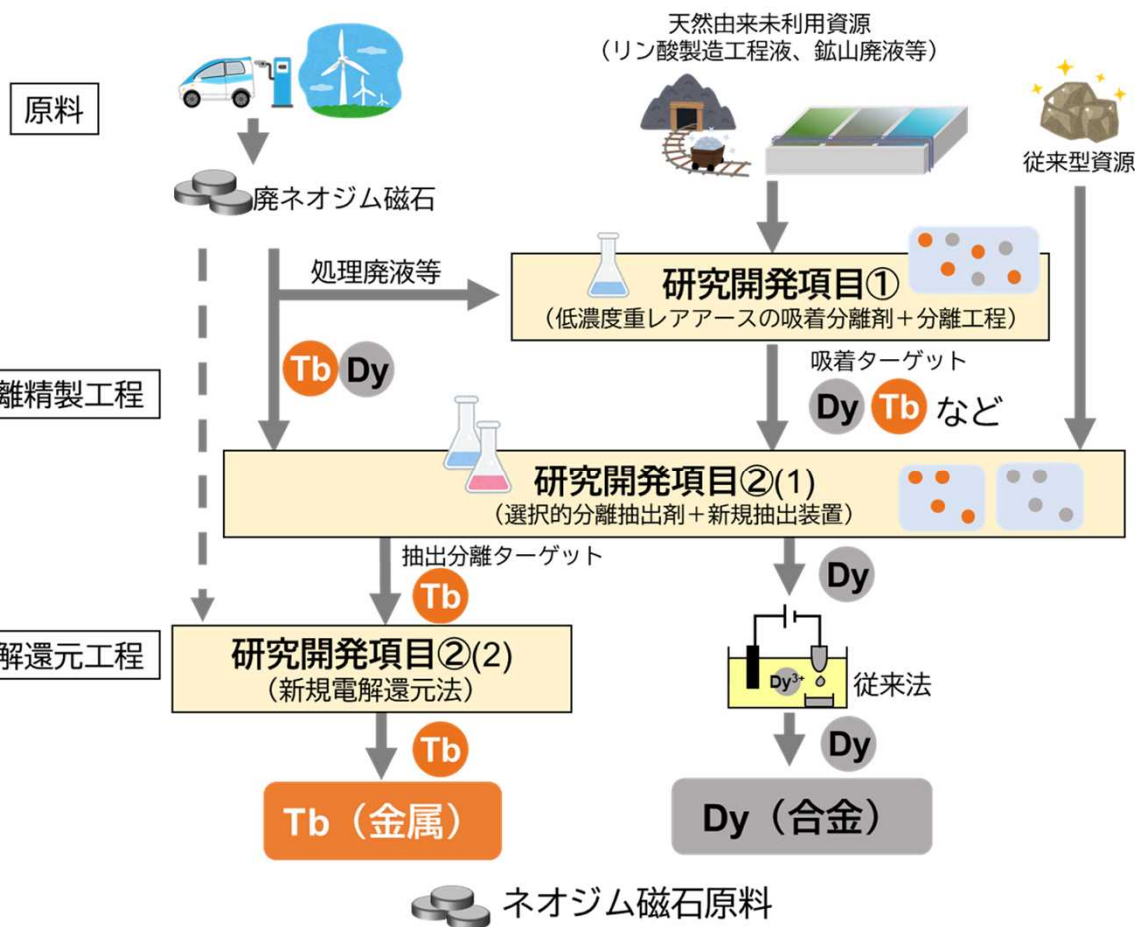
アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組



アウトカム目標の達成見込み

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	○	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【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。</p>
2. 回収品の売上げ	800 億円/年	○	<ul style="list-style-type: none"> 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。  <p>【中間評価時における外部環境情報】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【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。</p>

個別事業（研究開発項目）の位置付け



研究開発項目①

入手は容易であるが忌避元素濃度が高く重レアアース濃度が低いため、重レアアース濃縮が困難である資源から、低コストで重レアアースのみを濃縮するための吸着分離システムの構築を行う。

研究開発項目②(1)

従来法では多量の有機溶剤の使用や広大な分離装置設置面積が必要なため国内操業が困難である、Tb/Dy相互分離の高効率化を新規分離剤及び分離装置開発により進め、国内での分離精製を可能にする分離プロセスを開発する。

研究開発項目②(2)

従来法ではエネルギー多消費で高コストなため国内操業できない、Tbの還元処理（製錬）について新規な電解還元法を開発し、②(1)の技術と合わせて、Tb及びDyの国内精錬を可能にする基盤技術を確立する。

個別事業のアウトプット目標と根拠

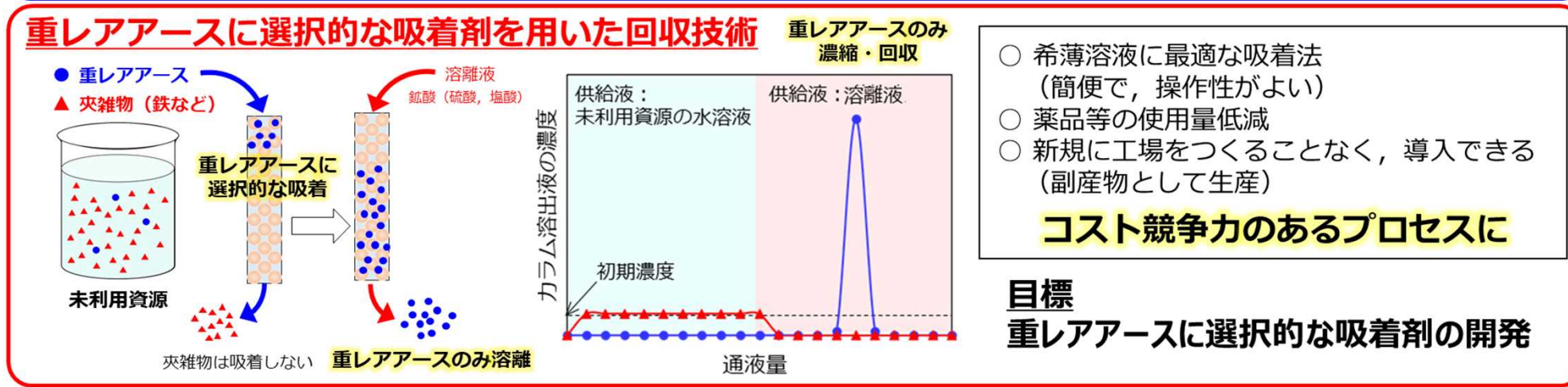
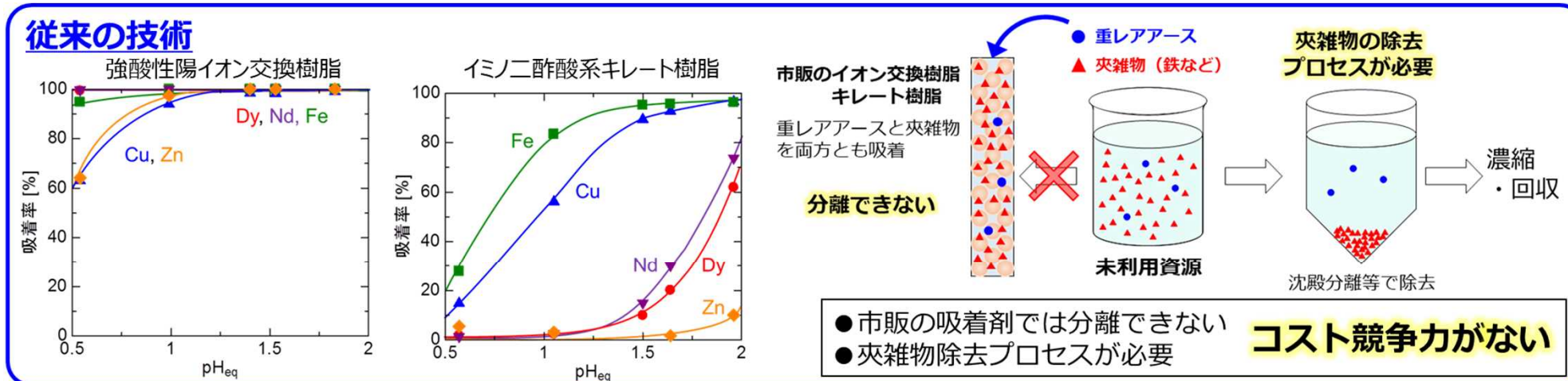
個別事業 (研究開発項目)	中間目標	最終目標	根拠
① 未利用資源から の重レアアース 回収技術の開発	目的物である重レアアース群（ディスプロシウム、テルビウム）と想定される夾雑物（鉄、アルミニウム等）、放射性元素（ウラン、トリウム等）との分離を可能にする技術を開発し、さらに当該技術を用いた重レアアースの選択的濃縮・回収プロセスを開発する。また、目指すべきコスト水準に対するコスト評価も行う。	中間目標で設定した目指すべきコスト水準に基づいた方法で社会実装が可能かを確認するためのスケールアップ試験を実施し、再度コスト評価を行う。	回収される資源価値と同等のコストで重レアアースを回収できれば、コスト競争力のあるプロセスとなり、本事業後、速やかに事業化が可能となる。
② ディスプロシウム/ テルビウムの 高精度相互分 離技術及び 精錬技術の開発	②(1)高精度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（ミキサーセトラ）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。	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。	従来法の 2 倍以上の分離係数を持つ分離系へ置き換えることで、パイロット試験開始の目安となる抽出装置のイニシャルコストをおおよそ半減することが可能となる見込み。また国内工場での実施を考慮すると装置規模1/5へのダウンサイズが必要である。
	②(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。	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。	現行プロセスで一般的な電解条件（1400℃超）では材質などの面で利用可能な容器や装置類が限られコスト増の要因である。新製法により電解条件の低温化が達成されると、材質等の制約が大幅に緩和され、低コスト化、省エネルギー化が見込まれる。

個別事業のアウトプット目標達成状況

個別事業 (研究開発項目)	中間目標 (2026年3月)	成果 (2025年4月)	達成度 (見込み)	達成の根拠/ 解決方針
① 未利用資源からの 重レアアース回収 技術の開発	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。	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、コスト評価を行った。	○ 2026年3月に 達成見込み	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、達成見込みと評価
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	②(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密相互分離技術を確立する。また従来型装置（ミキサーセトラ）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。	・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。 ・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ー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。	[新規抽出系開発] ○ 2026年3月に 達成見込み [新規装置開発] ◎ 達成済み	[新規抽出系開発] 分離条件を向上させる条件が確定しつつあることから、達成見込みと評価 [新規装置開発] 中間目標を達成済み
	②(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。	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。	○ 2026年3月に 達成見込み	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

研究開発成果 ①新規吸着剤の開発

【背景・目標】

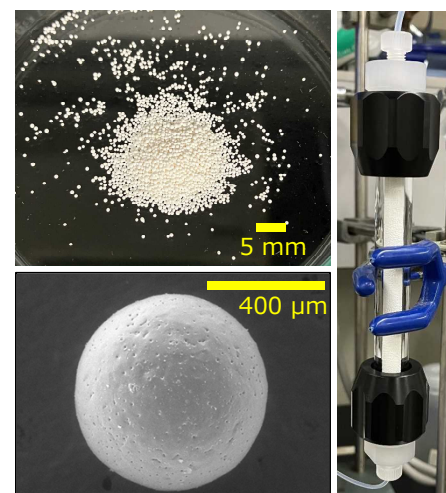


研究開発成果 ①新規吸着剤の開発

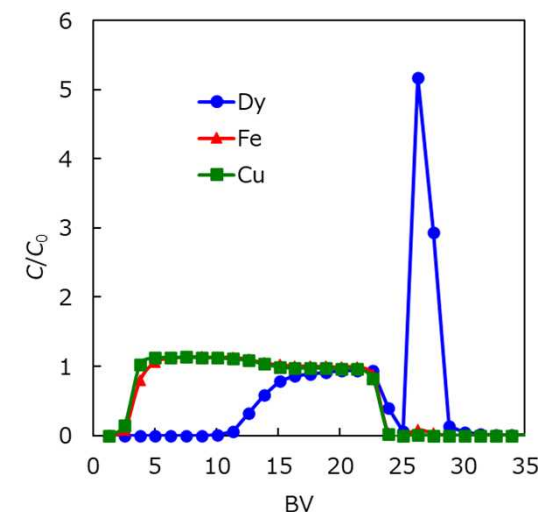
研究開発項目① 未利用資源からの重レアアース回収技術の開発		達成状況	○
達成状況の根拠	新規吸着剤の作製方法を確立し、特許を出願した。新規吸着剤が重レアアースに高い選択性を有していることを確認した。コスト評価で重要な指標となる選択性、吸着量、耐久性、吸着速度についてデータを取得し、コスト評価を実施した。		

【アウトプット】

- 工業的に量産化が容易な合成方法で、耐久性の高い高分子粒子担体を実用的な粒子径・粒子形状等に制御し、作製する方法を確立した。さらに、その担体に吸着反応部位を導入する方法を検討し、**新規吸着剤の作製方法を確立**した。 **特許の出願**
- 従来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。
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可能である。
- 新規吸着剤に対してコスト評価で重要な指標となりえる選択性、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。



作製した新規吸着剤

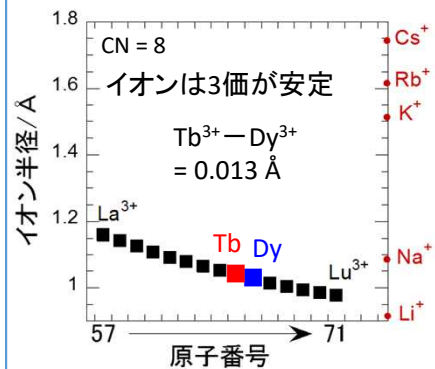


新規吸着剤によるカラム試験結果

研究開発成果 ②(1)抽出系および抽出装置の開発

【背景・目標の根拠】

レアアースのイオンサイズ



分離係数 (Separation Factor, SF)

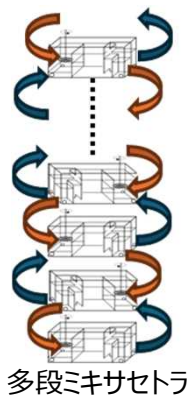
二相間(有機相-水相等)における
元素の二相間の濃度比(分配比D)
の二元素間の比

$$D_A = \text{有機相A濃度/水相A濃度}$$

$$D_B = \text{有機相B濃度/水相B濃度}$$

$$SF = D_A/D_B$$

従来型分離精製プロセス



広大な敷地面積
多量の有機溶剤

国内操業が困難

▶ 添加剤としてTb及び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リサイクルにおいても必要である。また、高性能ネオジム磁石として、今後Tb含有のものがより重要となってくると予想されている。それには高純度Tbが必須である。

▶ 重レアアースは特にイオンサイズが類似しており、金属イオンの中でも相互分離が極めて困難である。

▶ 従来型抽出剤による分離係数(2~3)では、多段の分離操作を要し、多量の有機溶剤を使用。

▶ 従来型抽出装置(ミキサセトラ)は特にセトラ部の設置面積が大きい。

▶ よって現行技術では大規模の分離施設等が必要になり、国内における操業は厳しい。

解決策

- 高分離係数を有する抽出系開発
(有機溶剤使用量 & 装置規模低減可能)
- 高分離効率可能かつコンパクトな抽出装置開発
(装置規模低減可能)

最終目標

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。

最終目標の根拠

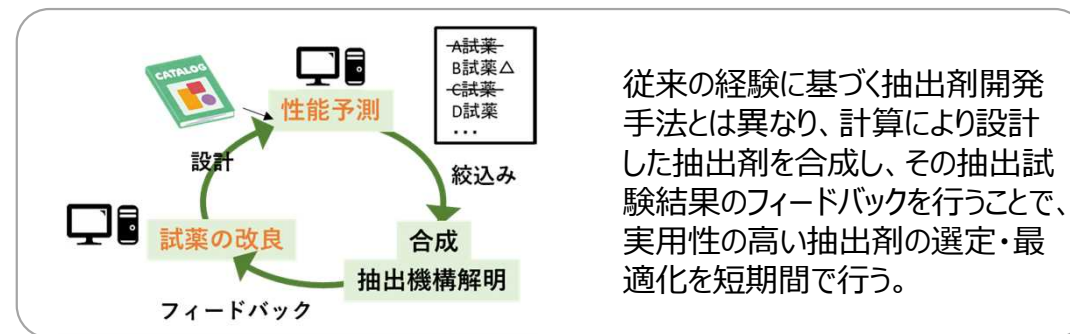
従来法の2倍以上の分離係数を持つ分離系へ置き換えることで、パイロット試験開始の目安となる抽出装置のインシャルコストをおおよそ半減することが可能となる見込み。また国内工場での実施を考慮すると装置規模1/5へのダウンサイズが必要である。

研究開発成果 ②(1)抽出系の開発

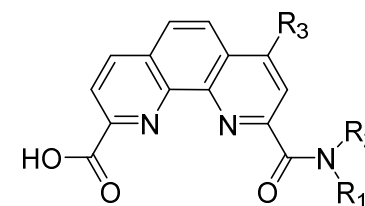
<p>研究開発項目② ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発 研究開発項目②(1) 高精密相互分離技術の開発 A抽出剤の設計及び合成効率化 B新規抽出系開発及び抽出機構解明</p>	<p>達成状況</p>	<p>○</p>
<p>達成状況の根拠</p>	<p>計算から推定された化合物を合成し、抽出条件の最適化を進め、Dy/Tb分離係数約4を達成した。分離条件を向上させる条件が確定しつつあることから達成見込みと評価</p>	

【アウトプット】

- 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。
- タイプA及びタイプB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。
- 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す。



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合成し、その抽出試験結果のフィードバックを行うことで、実用性の高い抽出剤の選定・最適化を短期間で行う。



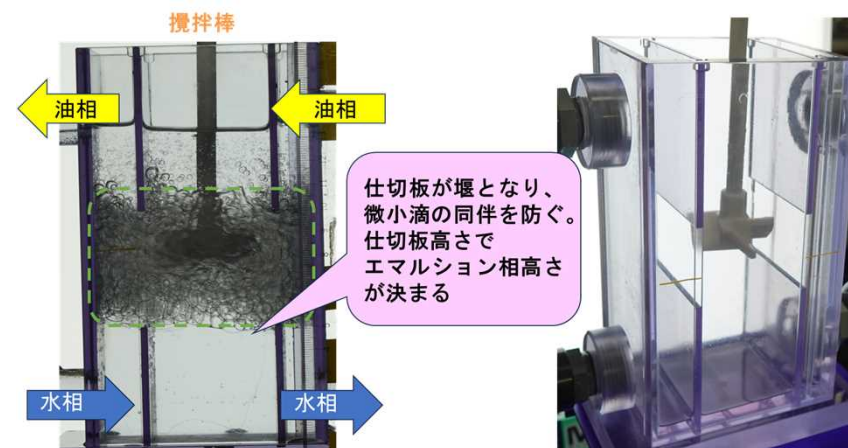
抽出剤基本構造

研究開発成果 ②(1)抽出装置の開発

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 研究開発項目②(1) 高精密相互分離技術の開発 Cエマルションフローによる高効率分離	達成状況	◎
達成状況の根拠	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。	

【アウトプット】

- 工業的な重レアアースの相互分離に適した抽出装置として機械攪拌式エマルションフロー装置の特性を調べた。
- 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塔は、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よそ1/2～1/3になることを示唆している。
- 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が分かった。



試験に用いた機械式エマルションフロー装置

研究開発成果 ②(2)新規電解還元法の開発

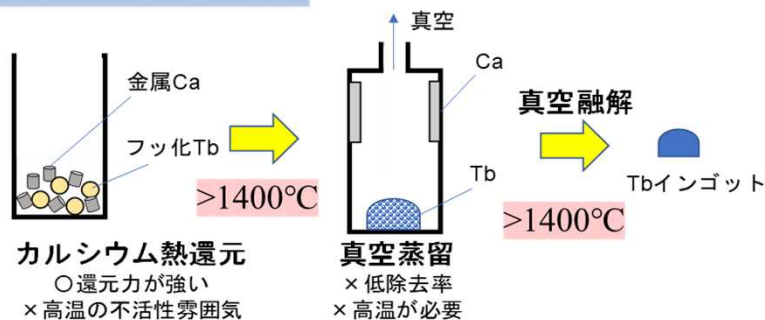
【背景・目標】

- ・重希土類に富む資源は一部地域(中国、ベトナムなど)に偏在(産出量ベースでは比較的多様)
- ・重希土類関連の技術(特に製造技術)も一部地域に偏在



テルビウムの還元は国内実施できない
⇒国内資源循環は実現不可

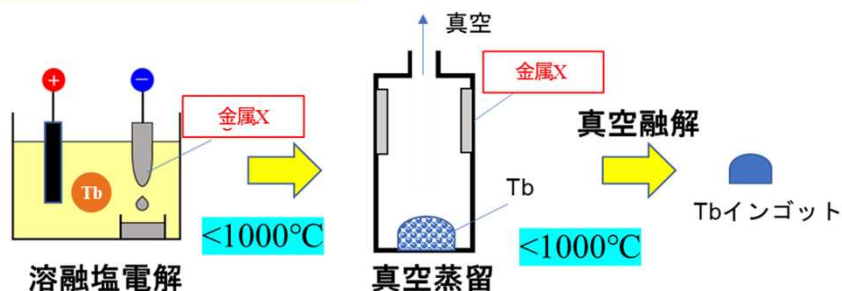
従来法：Ca熱還元法



従来のテルビウム還元方法
「カルシウム熱還元法」
高コスト・高エネルギー消費
⇒国内実施不可



新規電解還元－蒸留法



「新規電解還元法」
低コスト・少エネルギー消費
⇒国内実施可能に

研究開発成果 ②(2)新規電解還元法の開発

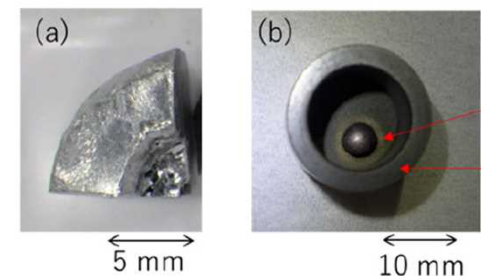
研究開発項目② ディスプロシウム/テルビウムの高精密相互分離技術及び精錬技術の開発 研究開発項目②(2) 新規電解還元法の開発	達成状況	○
達成状況の根拠	従来法の1400℃以上に比較して大幅な低温化、具体的には600℃～910℃での熔融塩電解、700℃程度での分離操作により、金属Tbを回収できる複数の反応系を見出した。また、これらのデータをもとに暫定的なコスト評価を実施した。	

【アウトプット】

- 初年度に熱力学計算や蒸気圧曲線などから有望な合金系を絞り込むことで**研究を効率化**
- 熔融塩電解をはじめとした各工程における基礎測定により、その実用性を評価⇒**大幅な低温化の可能性を確認**
- 一部の系については**商業規模の熔融塩電解を先行して試験**し、実用可能性が高いことを示した
- いくつかの系では本法による金属Tbの回収まで確認⇒**有望な反応系の選定**
- コスト計算を暫定的に実施し、**大幅な低コスト化の可能性**を示すとともに、それを実現するための技術課題を明確化した
- 研究の過程で明らかになった新たな課題についても有効な対策を考案・実証⇒**特許出願**
- 研究成果を論文誌や学会で積極的に発表⇒**学術面でも貢献**



熔融塩電解の様子



(a)回収したTb合金と
(b)金属Tbの外観

*T. Oishiら, JOM, in press
(<https://doi.org/10.1007/s11837-025-07142-3>) より

特許出願および論文発表状況

表. 特許、論文、その他外部発表の状況(2023-2025) ※2025年5月1日現在. カッコ内は見込み.

年度	特許出願			論文		その他外部発表			受賞実績
	国内	外国	PCT	査読付	その他	学会発表 ・講演	プレス発表	展示会出展	
2023	1					27			1
2024	1			4	1	23		2*1,2	3
2025	1(1)		(1)	2		(5)			

*1) Renewable Energy 2025 (2025/1/29-31):レアアース資源循環のための製錬技術開発
 *2) Nanotech 2025 (2025/1/29-31):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

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」(中間評価)分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2025年6月18日(水) 10:00~15:35

場 所 : NEDO川崎本部2301会議室~2303会議室(リモート開催あり)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	柴田 浩幸	東北大学 多元物質科学研究所 教授
分科会長代理	伊藤 真由美	北海道大学 大学院工学研究院 環境循環システム部門 資源循環工学分野 教授
委員	浅野 聡	住友金属鉱山株式会社 技術本部 技術企画部 研究主幹
委員	今中 信人	大阪大学 産業科学研究所 招聘教授・名誉教授 室蘭工業大学 希土類材料研究センター 客員教授
委員	上田 幹人	北海道大学 大学院工学研究院 材料科学部門 教授
委員	後藤 琢也	同志社大学 副学長 理工学部 環境システム学科 教授
委員	竹ヶ原 啓介	政策研究大学院大学 教授

<推進部署>

金子 和生	NEDO バイオ・材料部 部長
日高 博和	NEDO バイオ・材料部 次長
青柳 将	NEDO バイオ・材料部 ユニット長
柳本 勝巳	NEDO バイオ・材料部 チーム長
山内 禎啓	NEDO バイオ・材料部 主査
大野 昭二	NEDO バイオ・材料部 主査
太田 信行	NEDO バイオ・材料部 主任

<実施者>

成田 弘一(PL)	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 ゼロエミッション 国際共同研究センター 総括研究主幹
入江 年雄(SPL)	株式会社三徳 開発部 部長
大石 哲雄	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 ゼロエミッション 国際共同研究センター 資源循環技術研究チーム 研究チーム長
尾形 剛志	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 ゼロエミッション 国際共同研究センター 資源循環技術研究チーム 主任研究員
二井 晋	鹿児島大学 工学部環境科学プロセス工学科 教授
谷口 竜王	千葉大学 大学院工学研究院 教授
長縄 弘親	株式会社エマルシオンフローテクノロジー 役員/取締役 CTO
野平 俊之	京都大学 エネルギー理工学研究所 教授

<オブザーバー>

神沢 吉洋	経済産業省	製造産業局	金属課	課長補佐
中西 徹	経済産業省	製造産業局	金属課	課長補佐
浜尾 尚樹	経済産業省	製造産業局	金属課	調査員
堀 宏行	経済産業省	イノベーション・環境局	研究開発課	課長補佐

<評価事務局>

山本 佳子	NEDO 事業統括部	研究評価課	課長
松田 和幸	NEDO 事業統括部	研究評価課	専門調査員
中島 史夫	NEDO 事業統括部	研究評価課	専門調査員
北原 寛士	NEDO 事業統括部	研究評価課	専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会
2. プロジェクトの説明
 - 2.1 プロジェクトの説明
 - 2.1.1 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋
 - 2.1.2 目標及び達成状況
 - 2.1.3 マネジメント
 - 2.2 プロジェクトの詳細説明
 - 2.3 質疑応答

(非公開セッション)

3. プロジェクトの補足説明
 - 3.1 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」
 - 3.2 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」
 - 3.3 研究開発項目②(2)「新規電解還元法の開発」
4. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

5. まとめ・講評
6. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会

- ・開会宣言 (評価事務局)
- ・出席者の紹介 (評価委員、評価事務局、推進部署)

【柴田分科会長】 今回、分科会長を仰せつかりました東北大学の柴田と申します。専門は高温融体物性になります。バックグラウンドとして鉄鋼製錬を持っておりますので、スラグメタル反応であるとか、酸化物系の融体の物性等の研究を行っております。本日は、どうぞよろしくお願いいたします。

【伊藤分科会長代理】 北大の伊藤です。環境循環システム専攻という名前になりますが、元々は資源の開発と循環の母体の専攻におりました。専門は鉱物処理とリサイクルですが、資源の分離精製をしております。よろしくお願いいたします。

【浅野委員】 住友金属鉱山の浅野と申します。私はずっと研究所におりまして、専門は湿式製錬になります。特にイオン交換及び溶媒抽出を得意としており、社内においてもレアアースの1次資源、あるいは2次資源からの分離回収に関わってきておりました。本日は、どうぞよろしくお願いいたします。

【今中委員】 大阪大学の今中と申します。1年と少し前に大阪大学を定年退職し、名誉教授及び招聘教授をしております。また、室蘭工業大学の希土類材料研究センターの客員教授も仰せつかっております。専門は無機材料化学、工業化学、希土類科学であり、昨年までは日本希土類学会の会長をしておりました。今は名誉会員になります。海外で言いますと、セラミックスを中心に学会等の活動もしており、アメリカンセラミックスソサエティ(アメリカセラミックス学会)のフェローも仰せつかっております。よろしくお願いいたします。

【上田委員】 私は熔融塩やイオン液体を用いた研究をやっております。特に、電解で金属を生産することや、その応用としてリサイクルなどもやっております。本日は、よろしくお願いいたします。

【後藤委員】 同志社大学の後藤です。私は熔融塩を使った資源リサイクル、特に希土類やF元素の抽出等々、分離回収をやっております。本日は、どうぞよろしくお願いいたします。

【竹ヶ原委員】 竹ヶ原と申します。政策研究大学院大学(GRIPS)には去年7月から所属しまして、こちらでEBPM的なことをやっています。もともとは銀行に30年以上おり、NEDOの様々な実証に対し、経済面の分析からお手伝いをしております。本日もその一環で、少し分野は違うものの、お手伝いできればと思いますので、よろしくお願いいたします。

2. プロジェクトの説明

(1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料3-1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

(2) プロジェクトの詳細説明

PLより資料3-2に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【柴田分科会長】 御説明ありがとうございました。

それでは、ただいまの説明に対する御意見、御質問等をお受けします。まずは、評価項目1に沿った内容になります。

今中委員、お願いします。

【今中委員】 御説明ありがとうございました。達成の丸のところで、抽出系の開発でディスプレイウムとテルビウムとの分離係数約4を達成したという報告でした。これは、サイクル特性や再現性は評価されて

いるのでしょうか。

【成田 PL】 御質問ありがとうございます。幾つか4を超えている条件もありますが、まだ非常に少ないデータで出ているところです。これから実用化に向けてのあたり、もう少し再現性をしっかりと取っていきたいと思っておりますが、このあたりの値は妥当なものと考えております。

【今中委員】 繰り返し実験でも大体出ているということでしょうか。

【成田 PL】 まだ細かく何度も繰り返しを行うまでには進んでいないものの、幾つかの条件において、単発の試験ですが、このあたりの値が得られております。そのあたりは、これから後半にかけて行う予定です。

【柴田分科会長】 皆様、再度共有いたします。最初に申し上げたとおり、評価項目 1、2、3 の3段階で質疑応答を行います。また個々の技術については、非公開セッション等での議論になります。今の時間は、評価項目 1 の意義・アウトカム達成までの道筋について、その後 2 の目標及び達成状況、次に 3 のマネジメントに関するところとします。それでは、お願いいたします。

伊藤分科会長代理、お願いします。

【伊藤分科会長代理】 北大の伊藤です。3-1 の資料 11 ページに、外部環境ということで他の国々がどうしているか簡単に説明いただきました。日本の中で、リサイクル原料、あるいは廃液から回収するというのは分かったのですが、ヨーロッパの政策、特にリサイクル原料を何パーセント以上使用しなさいといった話が将来出てくるかと思えます。そういう事との関連づけで、何か日本で今プロジェクトをやっておくとヨーロッパに輸出などをする際に何らかの波及効果がありますか。こうした点について、どれくらい調査されているかを伺います。

【山内主査】 ありがとうございます。御指摘のとおり、欧州では重要原材料法で、リサイクル原料のリサイクル率を具体的に定めようとしている状況です。それにあたって、例えば我が国で、今開発中の技術を使ってリサイクルした物の素性、例えばトレーサビリティなどが厳しくチェックされることとなります。どのような技術でも、仮に環境を破壊するような技術で製品を作ったとしたら、輸出が難しくなるという事態は想定しております。そうした外部環境の状況も注視しつつ、この事業の国内事業化にあたっては検討項目としたいと考えております。

【伊藤分科会長代理】 具体的に今やっている重希土類も対象になりますか。

【山内主査】 入っております。

【伊藤分科会長代理】 それで、こういうリサイクル由来の原料を何パーセント以上使用しなさいというときは、例えばアルミニウムだとグリーンアルミと、そうではないものがあると思えます。アルミのように、価格などを変えるであるとか、トレーサビリティ、などの証明書を出すということで、リサイクルから回収したほうがよいといった、何か付加価値をつけながら回していけるという形を想定されているのでしょうか。

【山内主査】 御指摘のとおりです。現在のバージン材料との差別化において、単純に価格だけの差別化は困難ですから、そういったところも付加価値として、この事業を適用する余地があると考えております。

【伊藤分科会長代理】 そうすると、この分離回収技術を他の国に輸出することにもつながりますか。

【山内主査】 おっしゃるとおりです。

【伊藤分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。それでは、上田委員、お願いします。

【上田委員】 北大の上田です。私も同じところなのですが、海外で日本のようにリサイクルを積極的にやろうとしている国で、どういう技術があるかは調査済みなのでしょうか。

【山内主査】 幾つか調査を進めております。海外で、この事業と非常に近い技術として、例えば、天然鉱石から分離・精製する技術を環境に適合した新しい技術に変えていこうとする研究開発があり、他にも、御存じの方も多いと思いますが、湿式法以外で、例えば乾式法で、直接磁石合金を再生するといった別の技術開発などにも取り組まれております。また、こういったレアアースをリサイクルするという観点ではなく、レアアースそのものの使用量を下げるといった技術も、当然この技術の競合となり得ますので、そういった競合となり得る先行技術については、プロジェクト側で調査を進めており、適宜、本事業の今後の進め方に反映しております。

【上田委員】 ありがとうございます。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。それでは、竹ヶ原委員、お願いします。

【竹ヶ原委員】 どうもありがとうございました。大変分かりやすく、かつ経済安上も非常に意義があるという趣旨はとてもよく伝わってまいりました。今の要素技術の開発を終えられて、これからいよいよ量産に移って行かれるとのことですが、資料にもありましたが、回収される資源価値と同等のコストでということを考えていくと、今まさに開発されている技術は、いわゆる使用済みのネオジム磁石や天然資源など、投入する材料の素性によって随分コストが変わってくると思います。そうなると、今後の回収スキームがどうなるか、どういう素性の材料が持ち込まれるのか、その構成によって、どうしても影響し合うように思います。だからこそNEDOが行う意義はあると思うものの、このあたりは量産に向けて何か並行した議論は行われているのですか。

【山内主査】 ありがとうございます。本事業では、基本的にターゲットとする原料についてはある程度絞り込んだ形で、実際に既に、ここに示すような原料を想定した模擬液や実液を用いた評価を進めております。一方、実際に事業化を行っていく上で、こうした原料の回収等をどうしていくのかという御指摘のところは当然問題になっていきます。まず本事業に参画されている実施者で、既に磁石のリサイクル事業に長年取り組まれて方がおりますので、こちらのリサイクルチェーン、静脈産業を活用しながら、まだ利用されていない、未利用資源に拡大していきたいと考えております。

【竹ヶ原委員】 ありがとうございます。そういう意味では、まず一旦国内での実装ということですから、回収された使用済み磁石からのリサイクルに軸足がある。恐らく技術的な難易度としては、使用済み磁石から未利用資源に広げていく方が比較的難易度は下がってくる。リサイクルで国産技術をしっかり作っておけば、先ほどの議論にあったように、いずれ海外に展開するときなども、技術力で拡張する感じでしょうか。

【山内主査】 おっしゃるとおりです。

【竹ヶ原委員】 よく分かりました。ありがとうございます。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。ほかにもございますか。

では、私から伺います。現在、未利用資源を利用するスキームは、恐らく国内にはない部分だと思うのですが、それは外国に適用することを想定し、そこへの抽出剤の開発を行うという位置づけでしょうか。

【山内主査】 そちらも検討の候補に入っています。未利用資源のところでも十分に御説明できていなかったのですが、こちらのイラストにあるリン酸の製造工程液になります、こちらは国内でリン鉱石を輸入してリン系の肥料やリン酸等を製造している工場から排出される工程液からのリサイクルというものに取り組んでおります。これは、国内で調達可能な未利用資源の1つと考えております。一方で、こちらに鉱山廃液などが国外の未利用資源として挙げられます。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。それでは、後藤委員、お願いします。

【後藤委員】 ありがとうございます。国際標準化に関連したところになります。このプロジェクトは、日本の強みである高効率溶融塩抽出や低温リサイクルプロセスの国際的普及を視野に入れてやっておられ、大変よいと思うのですが、先ほど他の委員からも御指摘があったように、実際に標準化を進めるためには、回収工程の多様性や前処理の統一、不純物や副産物の管理、トレーサビリティの確保といった課題への対応が不可欠です。特定国による技術の独占に対抗する意味でも、国際的な枠組みが重要だと考えます。そのうえで、国際標準化をさらに具体化する際には、どのように進められる予定でしょうか。

【山内主査】 ありがとうございます。この分野の国際標準化に向けた取組、ルール化というところは相当前から進んでおり、我々この事業は、これから参画となると後発になるため、まだ具体的に国際標準化、例えばこの技術を新たなルールとして ISO 等に組み込むことは、理想ではあるものの、現状は標準化に向けた検討を考えるとといったところです。ここには記載しているものの、取組については今後の課題という状況になります。

【後藤委員】 ありがとうございます。結局、それが特許のオープンとかクローズドのところとも関連すると思ひ、全体の大きなビジネスにするための流れになるように考え伺った次第です。ありがとうございました。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 そのほか、項目 1 に関して追加の質問等ございませんか。

それでは、少し私から伺います。今の議論に関して、アウトカム目標における再生品の売上高 800 億円となっています。そこに関連した技術を外国に売るという観点から、追加でプラス何百億円といった目標は設定できないのでしょうか。

【山内主査】 ありがとうございます。今示しているアウトカム目標は、このプロジェクト開始時点で設定されたものになります。御指摘のとおり、この技術を海外に展開し、例えばライセンス収入を得るといったようなアウトカム目標の設定も 1 つ検討候補になると思いますので、本日の御指摘を受けて今後のプロジェクトマネジメントに生かしていきたいと考えます。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。浅野委員、お願いします。

【浅野委員】 今の点に関連して伺います。この 800 億円という金額になってしまっているのですが、相場や為替に伴って相当変わってくるかと思ひます。そのあたりについては、非常に安全サイドに見て設定されていらっしゃるのでしょうか。

【山内主査】 ありがとうございます。ご指摘のとおり、安全サイドと言ひますか、過去のレアアースが非常に高騰した頃の価格ではなく、リーズナブルな価格を設定して目標を設定しております。また、詳細な設定として、どのような計算方法で設定したかについては非公開セッションのほうで御説明したく存じます。

【浅野委員】 ありがとうございます。もう 1 つ関連して、先ほどの未利用資源の件になります。これは事前質問のほうでも出しましたが、量を具体的にどうやって集めるかという定量的なところです。そのあたりの根拠があまり読み取ることができなかつたのですが、そのあたりもまた非公開のところでお説明いただけるのでしょうか。

【山内主査】 質問票への御回答という形で説明したく思ひしておりますが、確かに御指摘のところが、今後の事業終了後においてアウトカムにつなげる上で非常に重要なところと認識しております。

【浅野委員】 そのあたりは相当難しいところだと思ひますので、明確になりましたら、また教えていただければと思ひます。よろしくお願いします。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。それでは、最初の項目についての質疑を一旦終えまして、次の

項目に移りたいと思います。続いて、評価項目 2 の目標及び達成状況に関する御意見、御質問をお受けします。

伊藤分科会長代理、お願いします。

【伊藤分科会長代理】 北大の伊藤です。今は要素技術開発であり、今後スケールアップをして実用化のほうに近い試験をしていくとの話でした。今の達成度は要素技術について丸や二重丸で、大変すばらしいと思うのですが、そこからスケールアップするときには何か達成に障壁があるような開発要素と、そのままスムーズにすぐにいけるものがあるかもしれません。

【山内主査】 成田 PL、回答をお願いしますか。

【成田 PL】 御質問ありがとうございました。やはりスケールアップをすると、いろいろ溶液の流れなども変わっていきます。そのあたりはある程度予測はできるものの、実際にスケールアップしたところで確認するというものは重要だと思っております。また、幾つかのものに関しては、現在使われている実液を用いた試験なども積極的に行う予定です。御存じと思いますが、現場では、予想されない不純物などがありますので、そのあたりをどううまく処理するかは多くのノウハウも必要になっていきます。また、そこが次のステップに行くところでは難しいところと考えます。

【伊藤分科会長代理】 そうしますと、今はモデル試料や溶液を使って要素技術開発を行い、これから大きい装置で実際に出てくるものをそのまま使い、どういう技術開発が必要かを洗い出しながら改良していくという理解でしょうか。

【成田 PL】 既に実液を使った試験も幾つかありますが、多くのものに関しては、後半のところを試みたいと思っております。

【伊藤分科会長代理】 分かりました。

【柴田分科会長】 ありがとうございました。それでは、竹ヶ原委員、お願いします。

【竹ヶ原委員】 ありがとうございます。26 ページで示されている副次的効果になります。先ほども海外の売上げを効果に採用されないのかといった御指摘が分科会長からありました。恐らく自然資本への依存度を低下させる、要するに、鉱山から取るよりもリサイクルをやったほうが、銅やベースメタルでも非常に大きな効果があるといった LCA 的な結果が出ていますから、本事業がうまくいったときの副次的効果は相当大きいと思います。単なるコメントにはなりますが、先々この事業がもたらす効果というのを算出するときにサブの情報として、この部分を少し見せるようにしておくとうまいと考えます。ISSB^{*1}などの話になりますが、最近では企業価値評価で自然資本^{*2}への依存度を低下させることがプラス材料になりつつあります。ですから、この技術を実装することの効果も含め、より本事業の意義が高く見える気がいたしました。以上です。

^{*1}ISSB : ISSB (国際サステナビリティ基準審議会) は、企業の ESG (環境・社会・ガバナンス) 情報を国際的に統一した基準で開示するための組織。

^{*2}自然資本 : ISSB は、自然資本を「企業活動を支える、再生可能・非再生可能な天然資源のストック」と定義。具体的には、森林、土壌、水、大気、生物多様性、生物資源などが含まれ、これらの自然資本は、企業活動に不可欠な資源やサービスを提供し、経済活動を支える基盤。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 それでは、今中委員、お願いします。

【今中委員】 アウトカム目標の達成見込みのところでお伺いします。CO₂削減量が 740 トン/年とありますが、これは、発電に化石燃料を用いて CO₂が発生した場合での削減量になりますか。今、再生エネルギーなどいろいろ出てきているので、どういう計算をされたかのかを伺います。

【山内主査】 ありがとうございます。詳細な計算式は非公開セッションのほうで御説明しますが、御指摘のとおり、ここでの計算式は、自然エネルギー由来ではなく、従来の化石燃料から得られる電力の指標を

基に計算したものとなります。すなわち、今の方法でレアアースを製造した場合の電力量に対して、この事業を適用した場合の電力量の差という形で算出しております。

【今中委員】 大体これぐらいが予想されるということですね。

【山内主査】 そのとおりです。

【今中委員】 これより下がることは十分将来的には考えられるものの、このぐらいのCO₂削減量が見込まれるという理解してよろしいですか。

【山内主査】 御認識のとおりです。

【今中委員】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 私からの質問ですが、費用対効果のところ、17.2億円でパイロットプラントまで造るというのは足りるのでしょうか。

【山内主査】 この事業の17億円という費用については、プロジェクト期間における費用が17億円という位置づけです。このプロジェクト計画の中では、パイロットプラントの立ち上げは入っておりません。この事業終了後2028年3月以降の事業化に向けた取組の中で、それぞれパイロットプラントの立ち上げ、試験等に取り組んでいくという計画になっております。

【柴田分科会長】 分かりました。少し誤解をしておりました。そうしますと、今までの中間のところまでは非常にうまくいっていると思うのですが、この事業が終了した時点で次へつながるところで、例えば化学メーカーA、B、Cとなっています。先ほど外部協力機関として取り組まれているという話が少しありましたけれども、具体的にどの程度関わられていて、ここのオレンジのところを乗り越える障壁はどのぐらいあるのかという感触をお聞かせください。

【山内主査】 詳細な御説明については非公開セッションのほうで行いたく思いますが、成田PL、公開できる範囲で何かコメント等ありましたら、よろしくお願ひいたします。

【成田PL】 まさに御指摘のように非常に障壁が高いと思っておりますが、積極的に外部協力機関が関与していただけるという話を聞いています。詳しい企業名については非公開セッションでお話いたしますが、そのあたりは今後も一緒にやっていただけるのではないかと考えております。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。それでは、後藤委員、お願いします。

【後藤委員】 ありがとうございます。先ほどの議論にも関連しますが、売上目標やCO₂削減量が示されています。一方、これは非公開のところを出てくるのかもしれませんが、開示できる範囲で教えていただけたらと思います。各研究開発項目が売上目標やCO₂削減量にどのように定量的に貢献できるのかという点が即座に分からないような説明だった印象です。この点について、今御説明いただくことは可能でしょうか。

【山内主査】 ありがとうございます。こちらが事業開始当初版のアウトカム達成までの道筋になりますが、後藤委員の御指摘のとおり、各研究開発項目それぞれについては、アウトカム目標がブレークダウンされた設定はしておりません。基本的には、今回この事業で取り組む全ての研究開発項目を達成することで、最終的にアウトカム目標につながるという設定をしております。そのため、最新版のアウトカム達成までの道筋では、各研究開発項目において進捗があるものから適宜早期事業化を図るというアウトカム達成までの道筋になっています。その結果、アウトカム目標と各研究開発項目、個別の項目ごとの位置づけが若干不明瞭になっていることは否めません。そちらの点については、今後の見直し等の課題の1つとして検討したく思います。

【後藤委員】 現状がよく分かりました。ありがとうございました。

【柴田分科会長】 ありがとうございます。また御質問をいただいていない委員の方もいらっしゃいますが、よろしいでしょうか。

それでは、次の項目に移ります。続いて、3のマネジメントに関する御意見、御質問をお受けします。

今中委員、お願いします。

【今中委員】 進捗管理の今年度から新しく入った知財支援活動について伺います。この目的として、これまでも特許は行われていたと思いますが、週 1 回行う会議を加えられた理由、その根拠を教えてください。

【山内主査】 御説明いたします。この事業につきましては、こちらの表に示す通り、これまでも技術推進委員会を行っており、委員の皆様から「国際的にも価値のある技術であるため、国際出願などの取組が必要ではないか」との御指摘を受けてまいりました。そうしたことを踏まえ、本事業は開始当初の目標設定として最終的に国内での事業化を目指すという方針でしたが、そうした国際出願への取組や重要性、また海外からのこの技術に対する興味等の高まりなどを受け、知的財産面での戦略を従来の方針よりも拡張する必要があると考えました。それにより、iNat（アイナット）事業*3 と呼ばれる知財調査、知財戦略立案等を行う専門家を派遣していただく事業になり、既存の知財戦略の強化に加え、成果のさらなる拡大に向けた取組を行いたいと考え、この事業の新たな取組として取り入れております。

*3 iNat 事業：「競争的研究費による研究成果の社会実装に向けた知財支援事業」の略称。独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）の委託を受け一般社団法人発明推進協会（JIPII）が実施する知財支援事業

【今中委員】 充実させるということで理解しました。しっかりと内容をお互いに理解し、現状の重大ポイントを把握しておくことが重要ですので、そこは意思疎通を適切に行い、より充実した形で進めていただければと思います。

【山内主査】 御指摘のとおりです。ありがとうございます。

【柴田分科会長】 浅野委員、お願いします。

【浅野委員】 今の知財支援活動に関連して伺います。2025 年度から開始されたということですが、週 1 回会合を行っているとのことで、現段階においてこの取組によって出願が促進されそうであるとか、有効な特許が出願されそうだといい改善は見えてきているのですか。

【山内主査】 そうした目に見える成果についてはこれからですが、基本的に国内事業化における知財戦略につきましては、事業者の皆様が既にありますので、そちらを優先して取り組むという考えです。一方、この分野は、海外出願戦略で、特許出願数を出して強固な権利網を構築してビジネスを守る、他者参入障壁を構築するという知財戦略が適用しにくい分野でもあります。そうしたところも考慮しつつ、オープン戦略、国際戦略、今後海外への技術の売り込みなどを考える上で、競合技術の調査から着手しております。そうして得られた結果を事業者と共有し、今の事業化戦略や事業化方針以外の別の切り口などにつなげていくことを我々マネジメント側としては望んでいます。

【浅野委員】 できましたら、この場を活用するかどうかは分かりませんが、どういった技術が日本国として進めるべき特許出願方針になり得るか。そうしたところが見える形でまとまっていければよいと思います。また、先ほど具体的な例がありましたが、抽出剤については既に論文で先行している技術があり、直ちに問題にはならないとの御説明でしたが、追加で海外から知見が出された際に日本として対抗できるような形にまとめるなど、そうしたより強化するための戦略も必要と考えます。このあたりについて、また進捗がありましたら教えていただけたらと思います。ありがとうございます。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 上田委員、お願いします。

【上田委員】 37 ページにある研究開発のスケジュールについて伺います。スケジュールを決めることは非常に困難なことだと思います。今、中間評価があり、その後 2026 年度から量産化のための技術開発になりますが、この 2 年間でスケールアップした際に様々な問題が生じると考えます。2 年間で事業化、量産化にうまく追いつかなかった場合には、どうするかといった検討はチームの中でいろいろと行わ

れているのですか。

【山内主査】 ありがとうございます。成田 PL から回答をお願いできますか。

【成田 PL】 御指摘ありがとうございます。確かに非常に短いスケジュールでの量産化の検討については、我々も非常にプレッシャーを感じているところですが、既に予定より進んでいるものに関しては、次々に進めていく方針です。まだ基盤的なところを固める必要があるものに関しては、一応実用化の出口まで行くところを目指しているものの、先ほど市場に出す時間にタイムラグが項目によってあると申し上げたように、出るものからはどんどん出していく。遅いものについても、全てよい技術だと思っておりますので、もし間に合わなくとも何らかの形で、レアアース企業である実施者に協力をしていただけますので、その協力の下に、続けながら何とか量産化までは持っていきたいと考えております。

【上田委員】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 竹ヶ原委員、お願いします。

【竹ヶ原委員】 時間が過ぎていくところ恐縮です。40 ページの海外の競合の論文をいち早く特定され、影響分析をされて、加速予算を使い事業を前倒しにするといった取組について、これは今まであまり拝見したことがないほど機動的に競合に対して動かされており非常に印象的でした。この研究開発でここまで機動的なマネジメントができるようになった仕掛けというのは、先ほどの知財ワーキングが加わったことなど、浅野委員の御質問とも絡みますが、そうした影響なののでしょうか。それとも、こうした動きというのは NEDO の中では日常的に行われているような対応なののでしょうか。

【山内主査】 ありがとうございます。こちらは 2024 年の活動になります。iNat は 2025 年の開始ですが、実際は、こうしたことも踏まえ、知的財産活動の強化が必要と考え、利用しているというのが正しいところだと思います。また、こうした競合技術の動向把握については、プロジェクトにおいて、事業実施者側にて、開発協議会という定期的にテーマの進捗状況などを実施者間で共有するという取組が行われています。これ以外にも日常的に実施者の皆様は、海外の論文などの動向把握を行われており、そうした取組が今回の対策につながったものと理解しております。

【竹ヶ原委員】 従来は、マネジメント体制というのは、組み方や座組といったところの概念図を拝見した評価というものが中心でしたけれども、こうした何かあったときの対応や加速化予算の適用など非常にダイナミックに動いていらっしゃるというのは、高く評価すべき項目ではないかと思いきコメントをした次第です。ありがとうございました。

【山内主査】 ありがとうございます。

【柴田分科会長】 そのほか、よろしいでしょうか。

それでは、時間も過ぎましたので、これにてこのセッションの質疑を終了いたします。どうもありがとうございました。

【山内主査】 ありがとうございました。

【北原専門調査員】 ありがとうございました。以上で議題 2 を終了いたします。

(非公開セッション)

3. プロジェクトの補足説明

省略

4. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

5. まとめ・講評

【竹ヶ原委員】 本日は、どうもありがとうございました。重レアアースの分離精製、電解・還元について国内で実装するというのは、サプライチェーンの脆弱性を克服するという政策趣旨をクリアしています。今回、特に要素技術から量産技術にステップアップしていく過程で、競合技術動向の把握やインセンティブの付与、知財戦略といった技術マネジメントの分野で大きな進歩を確認した次第です。また、いわゆる夾雑物が多い中から、低濃度のレアアースを吸着する技術、分離する技術、精錬する技術が実用段階に入りつつあることがよく理解できました。そうすると、この技術を生かすための再生材をいかに集めるかといった話が重要になってきますので、その仕組みづくりと平行に進めて行っていくだけでいいと思います。逆に言うと、静脈側にそういうメッセージを伝える上でも、この事業がどんどん大きくなっていくのだというメッセージを早期に発信していただくことも重要だと考えます。繰り返しますが、この事業のアウトカムは、数字で見せていただいたもの以上にサーキュラーエコノミーの実現や自然資本への依存度の低減といった非常に大きな外部性があります。そこも含めてトータルの費用対効果を考慮していただければと考えます。

【北原専門調査員】 ありがとうございます。続きまして、後藤委員、お願いいたします。

【後藤委員】 本プロジェクトは、レアアースの中でも特に供給リスクの高いディスプレイ、テルビウムに焦点を当て、国内資源循環の実現に向けた戦略的な技術開発を行っております。本日御紹介いただいたとおり、非常に順調に進んでいると思います。尚且つ、それら全てが先進的で現場性に富んだ研究成果と理解しているところです。そして、今回のプロジェクトは要素技術の高度化だけにとどまらず、プロセス間の連携による価値創出に挑めるような構成になっている印象であり、非常に先進的な取組であるとともに、このような資源リサイクル技術を環境負荷低減と産業基盤強化の両輪で支えられるということで、非常に優れたプロジェクトだと思います。また、現在ピーカースケールから卒業できるものについては、積極的にスケールアップを前倒して進めていくべきではないかと感じました。それには「ヒト・モノ・カネ」など、いろいろ必要と思いますが、ぜひ推進していただければと思います。今回のプログラムを通して、単に技術の達成度だけでなく、日本のレアアース戦略の自立性の確保、そして次のフェーズになれば、実証フィールドとして自治体や企業と接続させながら、製品化・標準化・事業化を考えていける非常によいプロジェクトになっていくと思います。以上です。

【北原専門調査員】 ありがとうございます。続きまして、上田委員、お願いいたします。

【上田委員】 いろいろと御説明いただきありがとうございます。課題の設定といいですか、このプロジェクト自体が非常に重要なものであると認識しております。日本が今置かれている資源不足の状況をこのようなプロジェクトで克服し、現状からよりよくしていくことができるのであれば、すばらしいと思いつつ拝聴した次第です。また、それぞれの課題で目標を達成していることも評価できますが、それぞれの皆様が、その中で技術的な課題もしっかりと把握されている点も、今後の発展につながるのではないのでしょうか。加えて、プロセスを変更するという事は、本当に大変なことでありながら、それを順調に計画どおり進められている点が、私は高く評価されるべきところと感じます。今後もこの開発のスピードを緩めることなく、いろいろな開発に励んでいただきたいと思います。今後は非常に楽しいプロジェクトです。ありがとうございました。

【北原専門調査員】 ありがとうございます。続きまして、今中委員、お願いいたします。

【今中委員】 重希土類、特にディスプレイ、テルビウムは非常に重要なキーマテリアルになっていますので、本プロジェクトの意義はとても大きいと思います。私は材料の専門ですので、今日は材料の観点から単刀直入に質問を行いました。実際に担体が無機材料から高分子に変更され成果が挙げられてい

ることや、機械攪拌式の点でも目標値を超えるデータが出ているということで、今後は再現性をしっかりと取っていただき、スケールアップできるように行っていただければと思います。また、コスト削減も複数パーセントまでいっているとのことで、非常に将来に期待できる内容です。ぜひこれまでの結果を踏まえ、さらに推進していただければと思います。複数の手法を検討されている中でも最も有望なものを選定し、今後は重点的に行う時期になっているかと思いますが、その点を踏まえた上で、ぜひ優れた成果につながることに期待しております。以上です。

【北原専門調査員】 ありがとうございます。続きまして、浅野委員、お願いいたします。

【浅野委員】 私は、どちらかというプロセス屋的な観点を中心にコメントをいたしました。通常このような開発で漏れがちな耐久性や合成方法といった実用化を見据えた技術の詰めが非常に進んでおり、他の開発とは一線を画する大きな成果を得られていたと思います。原料あるいは相場の話ばかりしてしまいましたが、良いプロセスをつくっても、そこがなければ全体サイズにはできないことから、少しこだわらせていただきました。全体としての感想は、先ほど後藤委員もおっしゃっていましたが、TRL目線では、一目見てTRLが大きく進んでいるものとそうではないものがあるように感じます。そのようなレベル合わせの様なものも高所大所からコントロールや管理が必要と思った次第です。今日はどうもありがとうございました。

【北原専門調査員】 ありがとうございます。続きまして、伊藤分科会長代理、お願いいたします。

【伊藤分科会長代理】 北大の伊藤です。皆様の講評のとおりで、要素技術は十分に技術的に確立されており、スケールアップに取りかかるということで、その準備も順調に進んでいて問題ないものと思います。実廃液等の提供も予定されているということで、実際の材料を使用した処理を開始する準備も整っていることが分かりました。最後は、一気通貫試験になると思いますが、例えば様々な発生源があると思いますけれども、それぞれが出てきて、最初の研究開発項目①から②(1)に受け渡して、そこから②(2)にいく。全体を通したときにどこかに問題がないかという点については、まだ一気通貫されていないため、分からないように思います。その点で、何も問題がなければよいですが、何かあると困ったことになると考えますので、少し早めにそのような点に注意をしながら準備や検討を進めていくとよいと思います。以上です。

【北原専門調査員】 ありがとうございます。続きまして、柴田分科会長、お願いいたします。

【柴田分科会長】 本日は、詳細な御説明をいただきまして、ありがとうございました。

まず、評価項目1の意義・アウトカム達成までの道筋についてですが、今の国際的な情勢の中、そして日本の産業がどうやって成り立つのかを考えても、非常に重要なプロジェクトであると捉えます。ディスプレイ、テレビウム等の貴重な材料が国内できちんと供給できるということ、少なくともそういう要素技術をしっかりと確立することは大変重要であるものと改めて認識できました。ぜひその目標に向かってご尽力いただければと思います。

次に、評価項目2の目標及び達成状況についてですが、中間評価の段階としては、それぞれ適切に設定された目標に対して十分な研究が推進されているという認識です。また、海外の状況等についてもしっかりと評価されている点を確認できました。

それから、これは評価項目3のマネジメントの項目について、今までのNEDOプロジェクトと同様にしっかりとした体制で進まれており、産学の連携についても比較的うまくいっています。基礎研究の推進という点で見ても非常によい形で進められているという印象です。

その上で、各委員からのコメントにもありましたように、原料の回収の部分について何らかのまとめが必要だと思います。それぞれの要素技術が確立されても、次を見据えれば、どのように原料を回収してくるのか。それから、日本国内で出ている廃磁石等についても一体どこに行っているのか。現状、実施

者の発表では「工程内のものを対象としては回っている」という話でしたが、先を見据えれば、原料としては様々な廃液、あるいは一般的なところから出てくる磁石等をどのように扱っていくのか。そのようなことを考えると、このプロジェクトの範囲外ではあるものの、何らかの法的な整備を含めた回収技術、あるいは回収業者を含め、そういった方がしっかりと回せるようなものが必要です。そうでないと、せっかく技術開発ができてスケールアップもできて、技術だけが浮いてしまい、社会実装に結びつかないこともあり得ます。その点については、ぜひ国としてどのような見解であるかなど聞きたいところもありますが、ぜひ御検討いただきたいと思います。

その上で、各委員の方のコメントにもありましたように、中間評価の次のステップとして「量産化技術開発」という項目が設定されています、ぜひその部分については、予算的なものも含め、前倒しで、それなりのものを投入すべきではないかと考えます。それは、先ほど委員で打合せを行った際の共通認識です。国としても現状の予算で、どの部分を選ぶのかは重要であり、できるものからやる、最適な技術を選ぶという意味では急ぐ必要があると理解するものの、ぜひ強力な推進をお願いしたいです。そして、前倒しについては、人の問題も出てきますから、どれだけ人とお金を投入できるのかという点も非常に重要な問題になってくるものと思います。

追加になりますが、関連企業の方を含め、今の体制よりもさらに大きな企業を含めたオールジャパンとして取り組めるような何らかの仕組みができるとより推進できるのではないのでしょうか。排出側もたくさんおります。今はリサイクル側の方しかいませんが、そうしたものができると、さらに推進できるものと思います。総じて非常にうまくいっているプロジェクトですので、ぜひ人材育成も含め、大学目線としては、新しく若い方がこういった分野に興味を持てるよう情報発信も含めてお願いできればと思います。以上です。

【北原専門調査員】 委員の皆様、御講評をありがとうございました。ただいまの分科会長の御講評につきまして、推進部署から何かございますか。

では、委員の皆様からの御講評を受けて、本プロジェクト PL である成田様及びバイオ・材料部の金子部長から一言いただきたいと思います。

最初に、成田 PL お願いいたします。

【成田 PL】 本日は、長時間にわたり、このプロジェクトに関して非常に有益かつ今後の指針がよく分かるコメントをいただきました。委員の先生方、誠にありがとうございました。何度も言及されていますが、昨今の重レアアースに関して、これまでは重レアアースと他者に言ってもあまりなじみがなかったと思うのですが、4月以降、非常に重レアアースというものがニュースでも頻繁に取り上げられるようになり、一般的にもその重要性が知られてきていることを実感しております。そのような状況下、先駆けて、このプロジェクトに関わったことは私自身としても非常に幸せだと感じております。何とかこのプロジェクトをあと2年半程度になりますが、成功に導きたいと思います。今後とも御指導・御鞭撻のほど、よろしくお願いいたします。

【北原専門調査員】 成田 PL ありがとうございました。続いて、金子部長お願いいたします。

【金子部長】 バイオ・材料部の金子でございます。本日は長時間にわたり、活発な御議論をいただき誠にありがとうございました。その中でも、技術面で非常に深い議論をいただいたものと思います。また、それだけでなく事業化に向けてどのような形を取るべきか、サプライチェーンなどを含めてどのような形で進めていくべきかといった点について、いろいろと御指導いただきました。この事業の重要性、また、これまでの実績・進捗状況については、先生方から高い評価をいただいたのではないかと感じております。その点では非常に安心したところではあるものの、そこで満足せずに、しっかりと気を引き締めながら、この事業が確実に社会実装につながるよう、これからも我々としてもマネジメントをしていきたいと思っています。そのためには、PL 及び事業者の方々ともよく検討しながら、そして柴田分科会

長から話のあったとおり、様々な課題については国ともよく相談など行いつつ、本事業をしっかりと進めてまいりたいと思います。引き続き御指導いただければと思います。本日はどうもありがとうございました。

【北原専門調査員】 金子部長、ありがとうございました。以上で、議題5を終了といたします。

6. 閉会

配布資料

番号無し	議事次第
資料1	分科会委員名簿
資料2	評価項目・評価基準
資料3-1	プロジェクトの説明資料（公開）
資料3-2	プロジェクトの詳細説明資料（公開）
資料3-3	プロジェクトの説明資料（非公開）
資料4	プロジェクトの補足説明資料（非公開）
資料5-1	事業原簿（公開）
資料5-2	事業原簿（非公開）
番号無し	事前の質問票と回答（非公開）
番号無し	評価コメント及び評点票
番号無し	評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

研究評価委員会

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」（中間評価）分科会

質問・回答票（公開）

資料番号・ ご質問箇所	質問	委員名	回答
全体として	質問というより要望：重希土を選択的に吸着、脱着分離する吸着剤が重要なポイントであるので、如何に差をつけて分離（吸着）することができるのか、重希土のイオンサイズ、イオン-共有性、分極性、また、f軌道が関連していれば、その点も含めメカニズムを簡潔にわかりやすく説明頂きたい。	今中委員	実用化には正確なメカニズムを把握する必要があることは認識しております。当日ご説明いたします。
全体として	質問というより要望：他のグループも成功の鍵はメカニズムの評価にかかっているのでは、分離係数などの数値、方法だけでなく、メカニズムを理解しやすいように説明頂けると有難い。	今中委員	実用化には正確なメカニズムを把握する必要があることは認識しております。当日ご説明いたします。
資料3-2 p13	CO2発生量に関しては、従来法のCa熱還元ではCa製造における電気エネルギーも大きいはずなので、Scope3まで考慮されると優位性をより主張できると思います。	浅野委員	ご指摘の通り、Tbの熔融塩電解に比較して金属Caの熔融塩電解の方が消費エネルギーは大きくなります。その辺りも含めて比較していく予定です。
資料3-1 p20	アウトカムを金額（回収品の売上）で設定すると、想定する価格によって成果が左右されます。今回は、重レアアースの価格について低位安定していた時期の価格を基に固めに試算していますが、アウトカムが過少になり、費用対効果が実力より低くみられる懸念はありませんか。	竹ヶ原委員	金属価格の高騰によりアウトカムが実際より低くなってしまう懸念もございますが、本事業では価格の影響を受けない高い技術の確立を目指しております。

参考資料 2 評価の実施方法

NEDO における技術評価について

1. NEDO における技術評価の位置付けについて

NEDO の研究開発の評価は、プロジェクト/制度の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおける PDCA サイクル (図 1) の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODA ループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価プロジェクト/制度等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

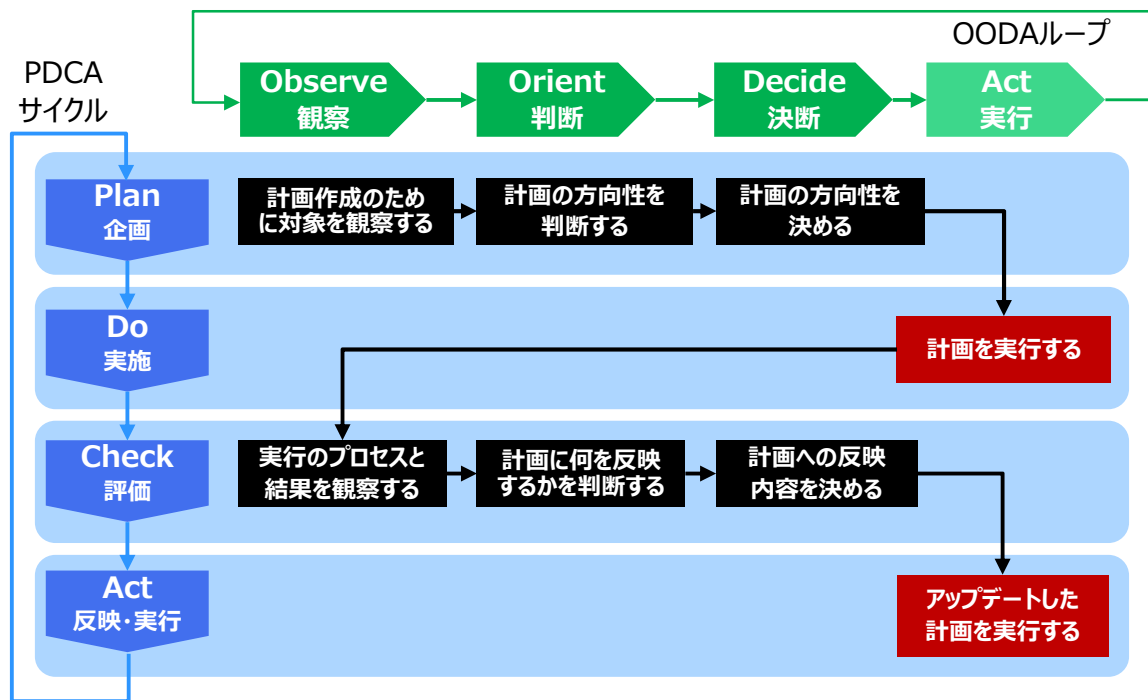


図 1 研究開発マネジメント PDCA サイクルと OODA ループ組み合わせ例

2. 技術評価の目的

NEDO では、次の 3 つの目的のために技術評価を実施しています。

- (1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。
- (2) 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む。
- (3) 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する。

3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の 5 つの共通原則に従って行います。

- (1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り計量的な指標で示すものとする。
- (2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。
- (3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。
- (4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによって行う。
- (5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要な評価作業の重複の排除等に務める。

4. プロジェクト評価/制度評価の実施体制

プロジェクト評価/制度評価については、図2に示す実施体制で評価を実施しています。

- (1) 研究開発プロジェクト/制度の技術評価を統括する研究評価委員会を、NEDO内に設置。
- (2) 評価対象プロジェクト/制度毎に当該技術の外部の専門家、有識者等からなる分科会を研究評価委員会の下に設置。
- (3) 同分科会にて評価対象プロジェクト/制度の技術評価を行い、評価（案）を取りまとめる。
- (4) 研究評価委員会の了承を得て評価が確定され、理事長に報告。

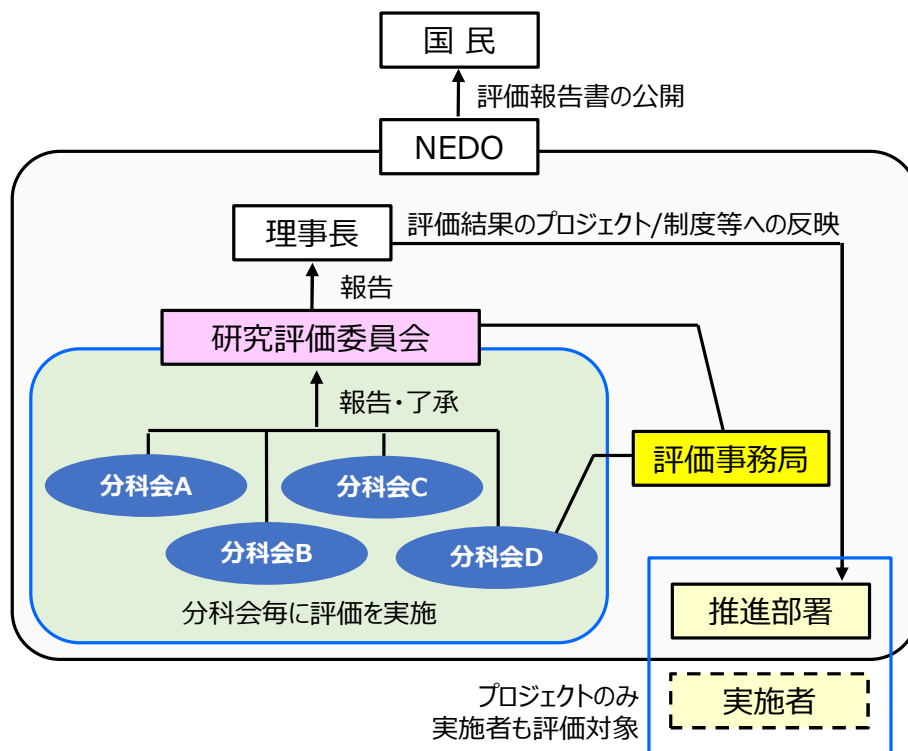


図2 評価の実施体制

5. 評価手順

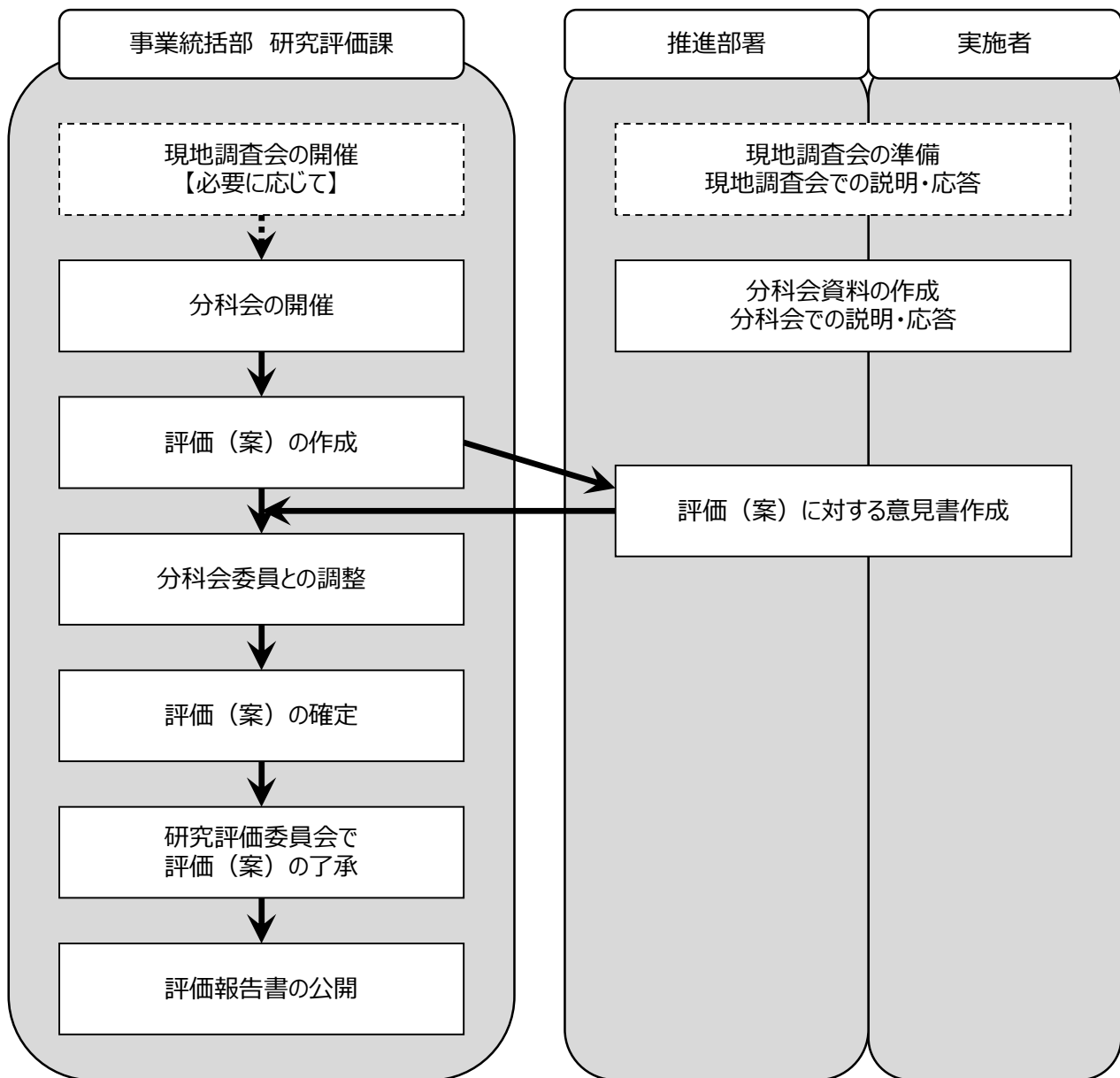


図3 評価作業フロー

研究評価委員会
「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」（中間評価）分科会に係る
評価項目・評価基準

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(1) 本事業の位置づけ・意義

- ・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）や上位のプログラム及び関連する政策・施策における位置づけが明確に示された上で、それらの目的達成にどのように寄与するかが明確に示されているか。
- ・外部環境（内外の技術・市場動向、制度環境、政策動向等）の変化を踏まえてもなお、本事業は真に社会課題の解決に貢献し、経済的価値が高いものであり、国において実施する意義があるか。

(2) アウトカム達成までの道筋

- ・「アウトカム達成までの道筋」※の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮しているか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項

- ・将来像（ビジョン・目標）の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
- ・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
- ・本事業終了後の自立化を見据えていること。
- ・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(3) 知的財産・標準化戦略

- ・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データを含め、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当か。
- ・本事業の参加者間での知的財産の取扱い（知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等）や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであるか。
- ・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点（デジュール、フォーラム、デファクト）で取り組んでいるか。

2. 目標及び達成状況

(1) アウトカム目標及び達成見込み

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に*見直しているか。
- ・アウトカム目標の達成の見込みはあるか（見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当か）。
- ・費用対効果の試算（国費投入総額に対するアウトカム）は妥当か。

※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO₂削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
- ・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
- ・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

(2) アウトプット目標及び達成状況

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に*見直しているか。
- ・中間目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切か。
- ・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあるか。
- ・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われているか。

※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
- ・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
- ・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックとTRL*の併用）により設定されていること。

※TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

3. マネジメント

(1) 実施体制

- ・執行機関（METI/NEDO/AMED 等）は適切か。効果的・効率的な事業執行の観点から、他に適切な機関は存在しないか
- ・実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は有効に機能しているか。
- ・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化・事業化を目指した体制となっているか。
- ・個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切か。
- ・本事業として、研究データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公正性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしているか。

(2) 受益者負担の考え方

- ・委託事業の場合、委託事業として継続することが適切[※]か。補助事業の場合、現状の補助率の設定を続けていくことが適切[※]か。

※ 適切な受益者負担の考え方

- ・委託事業は、「事業化のために長期間の研究開発が必要かつ事業性が予測できない[※]、又は、海外の政策動向の影響を大きく受けるために民間企業では事業化の成否の判断が困難な場合において、民間企業が自主的に実施しない研究開発・実証研究」、「法令の執行又は国の政策の実施のために必要なデータ等を取得、分析及び提供することを目的とした研究開発・実証研究」に限られていること。
- ※「長期間」とは、技術特性等によって異なるものの「研究開発事業の開始から事業化まで10年以上かかるもの」を目安とする。「事業性が予測できない」とは、開発成果の収益性が予測不可能であり、民間企業の経営戦略に明確に記載されていないものとする。
- ・補助事業は、事業化リスク（事業化までの期間等）に応じて、段階的に補助率を低減させていくなど、補助率が適切に設計されているものであること。

(3) 研究開発計画

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえ、アウトプット目標達成に必要な要素技術、要素技術間での連携、スケジュールを適切に見直しているか。
- ・研究開発の進捗を管理する手法は適切か（WBS[※]等）。進捗状況を常に関係者が把握しており、遅れが生じた場合、適切に対応しているか。

※ WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

参考資料 3 評価結果の反映について

「部素材からのレアアース分離精製技術開発事業」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【1】 想定する原料の一部は海外で排出されているため、発生現場である当該国内などで処理した方が輸送等のコスト低減される場合が考えられる。そのようなケースを想定した、オープン・クローズ戦略の検討も慎重に行っておくことが好ましい。</p> <p>【2】 プロセス技術は、単体の特許よりも技術体系としてプロセス設計、装置、操作条件、連携技術などの囲い込みと差別化が鍵を握る。知財や標準化も「部分ではなく全体」を意識した戦略設計を検討いただきたい。</p> <p>【3】 最終的なアウトカム目標として、本事業により生み出された処理技術が、規模の経済を享受できるだけの原材料を確保できるかに、その成否は左右される。廃磁石からのリサイクルでは、原料となる廃磁石の回収、電気自動車、風力発電設備など一般廃棄物から出てくるモータ、あるいは廃磁石をどのように回収するのか、開発された精錬技術を生かして国内で生産を継続するために原料が適切に国内から供給されなければならないと考える。排出する側の企業である、自動車メーカー、重工、発電事業者など含めた議論が必要ではないかと思う。本事業と平行して、使用済みネオジム磁石等を安定して集荷・前処理するスキームの検討が望まれる。</p>	<p>【1】 知財委員会などにおいて、本技術の潜在的ニーズが考えられる海外での出願と、重要ノウハウの秘匿とのバランスを踏まえてオープン・クローズ戦略を整理し、マネジメントに反映する。</p> <p>【2】 ご指摘を踏まえて、プロセスの構成要素同士の相互依存関係を整理し、技術体系としての強みを評価したうえで、知財や標準化を含めて部分最適に陥らない全体戦略構築を検討し、マネジメントに反映する。</p> <p>【3】 回収スキームの検討は本事業の社会実装を見据えるうえで重要な観点である。一方、現行事業の限られた期間とリソースの中で、未利用資源の処理技術開発の遂行を最優先とする必要がある。指摘については、本事業終了後の社会実装フェーズにおける検討課題として整理し、終了時評価にてアウトカム達成に向けた道筋として明示する。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【4】 次のステップとして、パイロットプラントによる実証試験が想定されており、装置の十分なスケールアップ化するための予算を追加するような対応を考えてほしい。</p> <p>【5】 最終的なアウトカム（国産レアアースの製錬・再資源化）との関連性の中で、各技術がどの程度貢献しているか、要素技術連携のさらなる可視化が望まれる。</p> <p>【6】 ユーザー企業である磁性体メーカーや車載モーターメーカー等、川下の企業との接続強化を期待したい。</p> <p>【7】 次世代人材の育成と情報共有体制の整備で、高度なプロセス設計や電解技術の習熟には長期の人材育成が必要と考える。大学、企業、国研による人材育成連携なども検討いただきたい。</p> <p>【8】 広報活動については、適切な時期に幅広く行っていただきたいと考える。</p>	<p>【4】 次年度予算にスケールアップに関する経費を組み込んでおり、最終的な政府予算額に基づき必要な措置を講じる。</p> <p>【5】 各要素技術間の連携関係と最終アウトカムへの位置づけを整理し、終了時評価の際にアウトカムの達成見込みの中で可視化を進める。</p> <p>【6】 本事業の実施者が有する川下企業との商流や、過去の関連NEDO事業で構築した関係性を活用して事業終了後の接続・連携の強化に役立てるなどマネジメントに反映する。</p> <p>【7】 本プロジェクトでは、企業や国研の若手研究員や大学のポスドクを含めた多様な人材の参加を推進しており、研究開発を通じて人材育成の強化を図っている。また企業から大学へ人材を派遣し特殊技術の指導を受ける取組も継続しており、産学が連携した人材育成を推進している。</p> <p>【8】 広報活動については、発表内容と進捗に応じて適切な時期を事業者と調整して決定している。内外の学会および展示会では、ターゲットとする産業分野やユーザー層に応じて、本事業の成果が最も効果的に伝わる場を選定し発表するなど、計画的かつ効果的な広報活動を引き続き進める。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業統括部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 事業統括部 研究評価課

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。
(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554
神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地
ミュージア川崎セントラルタワー
TEL 044-520-5160