

元素戦略プロジェクトについて

令和7年 1月29日

文部科学省研究振興局参事官 (ナノテクノロジー・物質・材料担当) 付

- 元素戦略プロジェクトの振り返り
- 今後に向けて

「元素戦略」：始まりは「箱根会議」から

Nature materials 10, 158-161(2011) E. Nakamura



nature.com > journal home > archive > issue > commentary > full text > figure 1

Figure 1: Science and Technology Future Strategies (a Materials Science division) Workshop participated in by leading Japanese materials scientists, held in April 2004 in Hakone (Japan).

From
Managing the scarcity of chemical elements

Eiichi Nakamura & Kentaro Sato
Nature Materials 10, 158–161 (2011) | doi:10.1038/nmat2969

Figure 1: Science and Technology Future Strategies (a Materials Science division) Workshop participated in by leading Japanese materials scientists, held in April 2004 in Hakone (Japan).



JST・CRDS ワークショップ：夢の材料の実現へ
2004年4月17日(土)－18日(日)
村井眞二 JST上席フェロー主宰、玉尾皓平議長

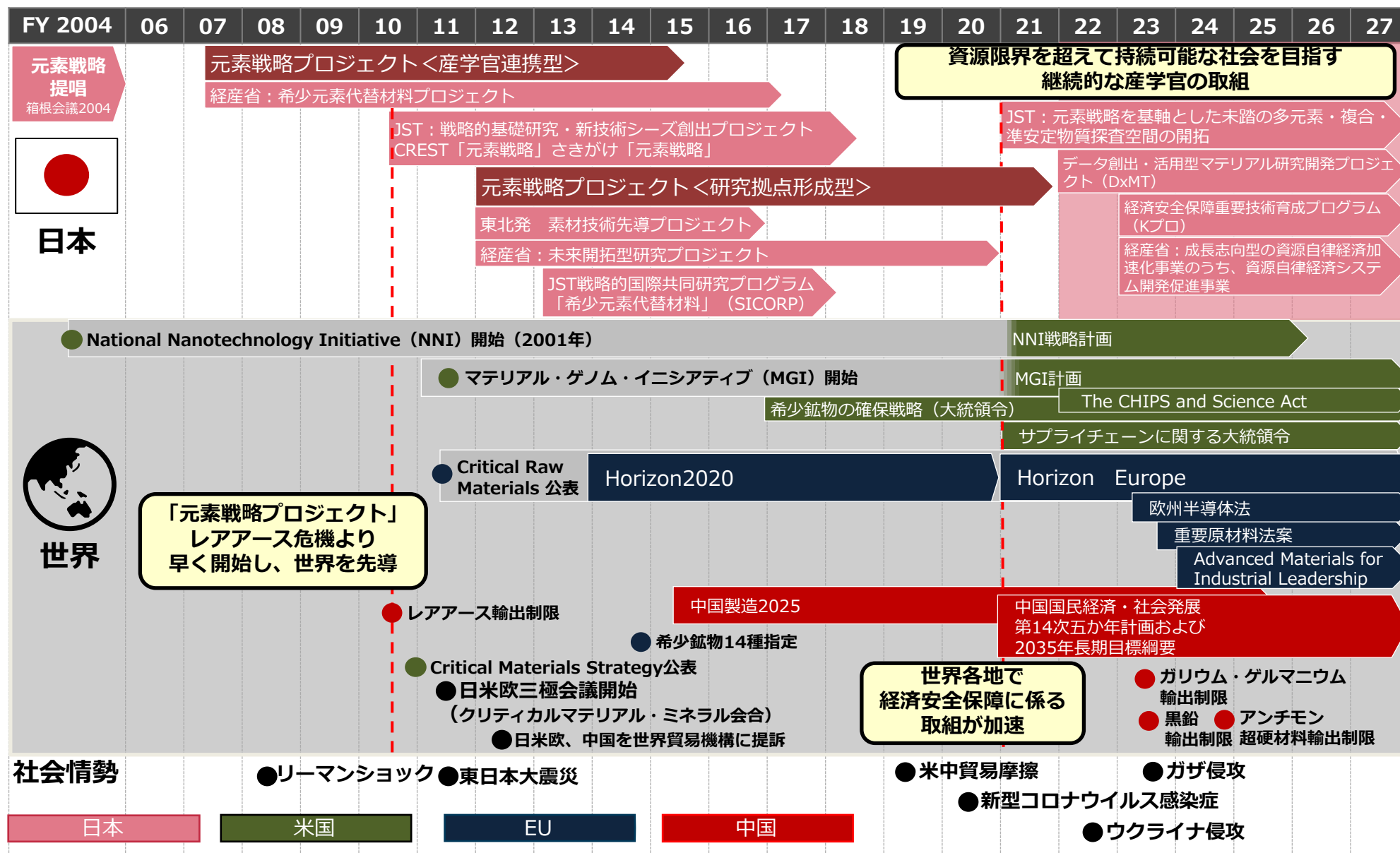
“資源リスクをサイエンスで克服する” 「元素戦略プロジェクト」

産学・府省横断で連携して推進
文科省 元素戦略(産官学連携型)
経産省 希少金属代替材料開発
文科省 元素戦略(拠点形成型)
JST CREST、さきがけ等



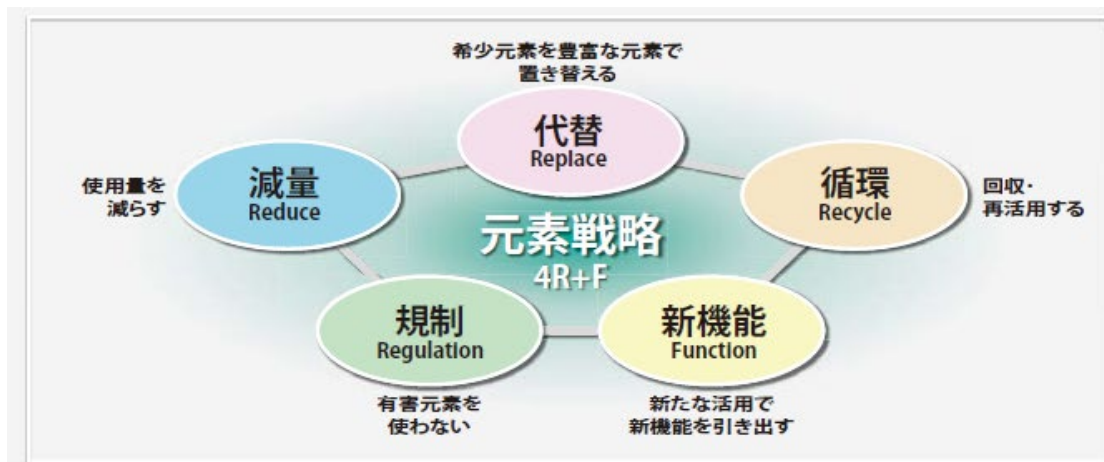
2013年11月末刊行
元素戦略～科学と産業に革命を起こす現代の錬金術
著者：中山智弘(JST) 発行：ダイヤモンド社

元素戦略プロジェクト 関連施策における歩みと内外動向



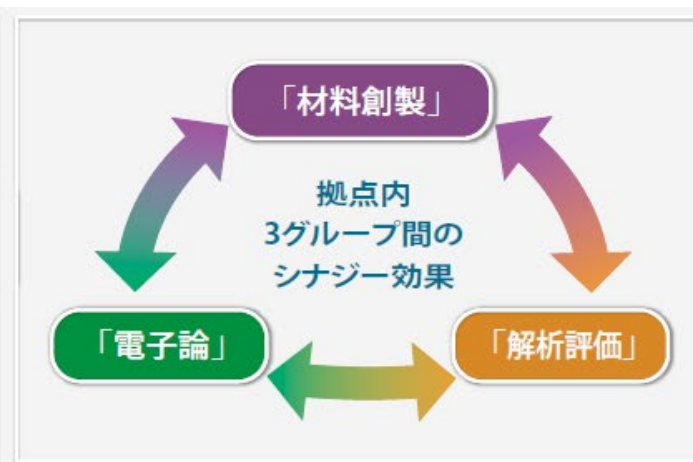
戦略の5本柱

➤ 減量、代替、循環、規制、新機能



拠点内グループの連携

➤ 材料創製、電子論、解析評価



➤ 大規模研究施設のフル活用



出典：2022年元素戦略事後評価検討会資料より

元素戦略プロジェクト：成果事例とその後の進展状況

新たなサイエンスの構築から実用化を見据えた材料の創出に至る多くの成果が創出された

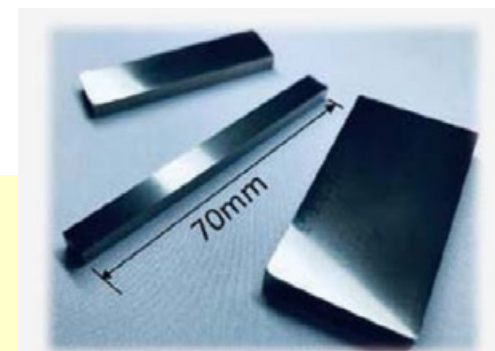
耐熱Nd-Fe-B磁石（Dyを4から8%添加）のDyフリー化に成功

熱間加工磁石を基材として粒界相ナノ組織を制御し機能発現元素を局所配置。その指針に基づいて企業が実用化研究を進めている。

「磁石材料の耐熱性を支配する『保持力メカニズム』のサイエンス構築」

- ・Dyフリー磁石が車載用モーターへ採用。同時に開発されたデジタルツイン技術は産業界でも活用されている。
- ・Dy, Nd以外の元素(Sm, La, Ce等)を使った磁石物質の開拓を進め、現在、産総研や企業で実用化の検証が行われている。

・出典：[重希土類完全フリーネオジム磁石が、Honda新型ハイブリッド車「インサイト」に採用 | プレスリリース | 企業情報 | 大同特殊鋼](#)
[重希土類フリーでネオジム使用量半減の車載モーター用磁石、トヨタが開発: 電気自動車\(1/2 ページ\) - MONOist](#)



NIMSの熱間押し出しNd-Fe-B磁石
MI活用により高性能化達成。Dyフリー基材として用い、粒界拡散処理を用いてナノシェル組織を形成することにより、世界最高レベルの高性能を実現した。

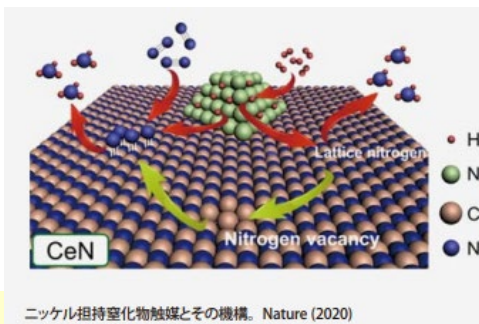
貴金属を使わないアンモニア合成触媒

低圧・低温下でも高濃度のアンモニアを合成できる触媒が求められている。この目的には律速となる窒素分子の活性化に効果的なルテニウムがもっぱら用いられてきた。窒素の活性化をセリウム窒化物の表面に高濃度で生成する窒素欠陥で行い、単字する金属には水素の解離だけを担わせるという発想で、これまで着目されていなかったニッケルの担持でルテニウムに匹敵する活性を実現した。

「エレクトライド触媒技術によるアンモニア合成」

- ・つばめBHBにおける事業化（2017年～）
 - ・小型/中型のアンモニア生産事業を展開中、大型（年間50万トン～）は現在開発中、2030年完成予定
- <参考> アンモニアの国内年間消費量：1.06百万トン（2021年）

出典：三井住友信託銀行

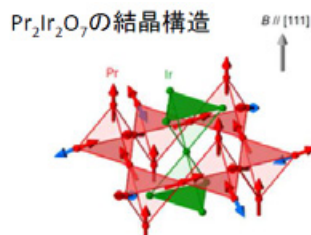


2022年に実施された事後評価では、成果を評価されつつも、元素戦略コンセプト定着に向けた継続的なサポートが今後の課題として指摘。

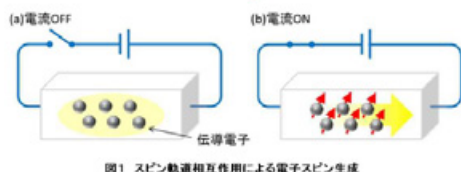
JST さきがけ「元素戦略」の代表的成果（2010-2014年）

研究総括： 細野秀雄 東工大教授

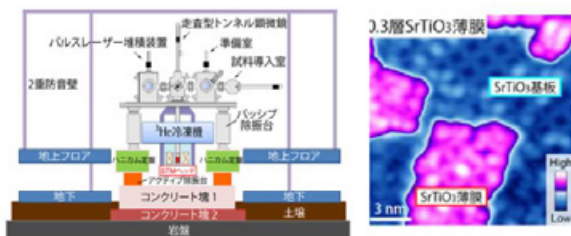
中辻 知 准教授(東大物性研)
「反強磁性隊の巨大異常ホール効果の発見」
～低エネルギー消費メモリ機構の解明に向けて～」



紅林 秀和 研究者(ケンブリッジ大)
「電流で電子スピンを制御する
新しいメカニズムの発見」
～量子位相を利用した磁化制御～」

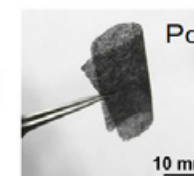


一杉 太郎 准教授(東北大)
「高分解能STM/STS/PLDでの
チタン酸ストロンチウム薄膜の
原子スケールでの観察に成功」

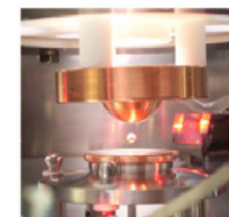


有田 亮太郎 准教授(東大、理研)
「超伝導体の物質設計に道を開く新たな理論計算手法の開発」

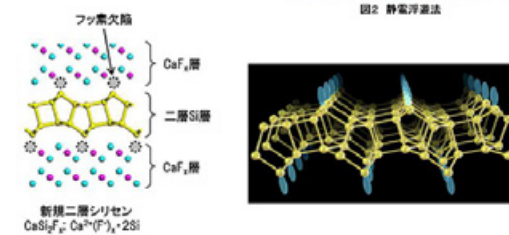
藤田 武志 准教授(東北大)
「三次元網目/ナノポラス構造金属フィルムの
調製と触媒機能の確認」



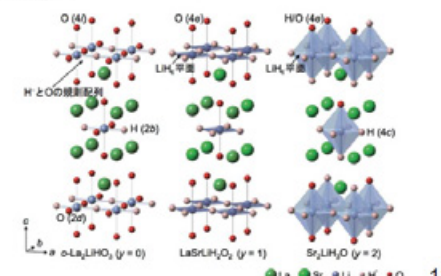
岡田 純平 助教(JAXA)
「ホウ素は融けても金属にならないことを初めて確認」
～宇宙実験技術を活用してホウ素の謎を解明～」



中野 秀之 主席研究員(豊田中研)
「大気中で安定的に取り扱することができる
二層シリセンの合成に成功」
～電子デバイスや二次電池電極材料への
応用に期待～」



小林 玄器 特任准教授(分子研)
「ヒドライドイオン“H⁻”伝導体の発見」
～水素を利用した革新的エネルギーデバイスの
開発の可能性～」



JST CREST「元素戦略」の代表的成果（2010–2017年）

研究総括：玉尾皓平 理化学研究所 研究顧問・グローバル研究クラスタ長

栄長：電気化学応用用途にむけたBDD電極デザインの指針の提示

杉本：レアアースフリーの新規高保磁力マンガン系MnSnCoN系合金の発見

古原：鉄中 i-s 相互作用の精密評価法の開発

島川：薄膜ヘテロ界面の「界面エンジニアリング」の提唱

堀内：DA型有機強誘電体30種類超の発見と4類型への整理

宝野：ネオジム磁石の結晶粒界相の組成・磁性の精密解析法の確立

北川：「元素間融合」法の導入と固溶型金属ナノ粒子の状態密度解析法の確立

長谷川：新酸化物半導体YOなどの発見

永島：貴金属触媒反応の鉄触媒反応への大転換の共通基盤の確立

鉄触媒反応機構解析への放射光XAFS法の確立

高田：微生物由来チューブ状鉄酸化物から人工チューブ状鉄酸化物の生成法の確立

中井：全元素を対象とする相対論的量子化学計算プログラムRAQETの開発

森田：安定ラジカル分子TOTの集積特性、導電性および光学特性の発見

出典：2022年元素戦略事後評価検討会資料より

元素戦略プロジェクト〈産学官連携型〉（平成19年度採択課題の成果）

原子力研究開発機構 西畑pj	脱貴金属を目指すナノ粒子自己形成触媒の新規発掘
Pd, Rh → Cu	酸化銅を触媒物質に用いた自動車向けインテリジェント触媒開発に付き、A社が自社プロジェクトに展開 自動車触媒に関し、遷移金属:Cuを含む系の状態図を理論設計し、触媒を試作してNO還元能力の向上を確認した。またXAFS、RIXS解析により触媒物質へのガス吸着を詳細に解析した。
日立金属(株) 広沢pj	低希土類元素組成高性能異方性ナノコンポジット磁石の開発
Dy → 不使用	Dy不使用高保磁力Nd-Fe-B磁石開発に付き、B社内プロジェクトに移行済み、 <u>経産省新規プロジェクト</u> にも展開 HDDR法を適用することにより、微結晶組織を得ることが出来、Dyを含まない高保磁力磁石を得ることが出来た。この際に結晶方位の制御と、結晶粒界での高保磁力化組織の形成が重要であることを明らかにした。
神奈川科学技術アカデミー 長谷川pj	ITO代替としての二酸化チタン系透明電極材料の開発
In → Ti	Ti-Nb-O系で、青色LED用電極開発に付きC社、太陽電池用電極開発に付きD社が、自社プロジェクトへ移行。 青色LED用電極に付き、GaN上へのTNO積層を確立。接触抵抗の定量評価に取り組を進めている。 太陽電池用電極に付き、酸化スズ系電極とのハイブリッド構造化で光取込率向上。界面電気抵抗の定量評価中。
山梨大学 和田pj	圧電フロンティア開拓のためのバリウム系新規巨大圧電材料の創生
Pb → Bi	Bi系高圧電材料開発に付き、E社の自社プロジェクトに移行。副次的に得られた高誘電材料の展開を検討中。 ドメイン制御する事により圧電特性が大きく向上するという知見に基づき、Biを用いた(Ti,Fe,Mg)-(Ba,Bi)-O系で非鉛系での高圧電材料を得た。また同系でCuやSrを加えることで高誘電特性が発揮することを見出した。
物質・材料研究機構 木戸pj	アルミ陽極酸化膜を用いた次世代不揮発性メモリの開発
Ta, Hf → Al	セミアリウム酸化プロセスを用いた高速スイッチについて、F社を中心とする複数企業と共同研究に移行。 Alの陽極のウェット酸化処理前に電子線前処理を行うことで、メモリー単位となるナノホールを安定的に形成出来るようになった。ReRAM動作の単位ユニットと同回路である高速スイッチ実用化に着手。次段階にメモリを構築。
東京工業大学 水流pj	亜鉛に替わる溶融Al合金系めっきによる表面処理鋼板の開発
Zn → Al	Al-Mg-Si系でのめっき鋼板の実用化について、G社と共同研究を継続。 めっき層と下地鋼板との界面層での化合物組織を解析することで、めっき剥離機構を定量的に評価し、めっきプロセスにおける組織制御についての技術指針を得た。
東北大学 岡田pj	サブナノ格子物質中における水素が誘起する新機能
Be, RE → 大幅削減	高強度高導電率HDDR処理Cu合金につきH社と、世界最高超塑性示すTi合金につきI社と、共同研究継続。 HDDR法を適用した微結晶組織を活用し、希少添加元素を大幅に減らした高強度Cuで高導電率を両立。超塑性については10000%を超える伸びを示すなど世界記録を達成するTi合金の開発に成功。

元素戦略プロジェクト<産学官連携型> (平成20年度採択課題の成果)

東京工業大学 細野プロジェクト「材料ユビキタス元素協同戦略」					
<p>ありふれた元素、物質から 従来にない機能材料を創製</p> <p>光電子、電極、バイオ → Al、Ca、Zr (セメント、耐火物)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄系超伝導体開発の初期段階を担保 (FIRST に移管) ・C12A7 エレクトロライドを用いた蛍光管電極 ・C12A7 エレクトロライドを用いた電解電極 ・C12A7 エレクトロライドを用いた抗酸化化粧品 ・ZrO₂ を用いた固体活性酸素 (O₂→2O 原子状酸素) 生成 				
	<table border="1"> <tr> <td>人材育成</td> <td>国際シンポジウムを頻繁に主催、元素戦略センター設置へ</td> </tr> <tr> <td>今後の展開</td> <td>民間企業プロジェクト、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ</td> </tr> </table>	人材育成	国際シンポジウムを頻繁に主催、元素戦略センター設置へ	今後の展開	民間企業プロジェクト、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ
人材育成	国際シンポジウムを頻繁に主催、元素戦略センター設置へ				
今後の展開	民間企業プロジェクト、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ				
熊本大学 町田プロジェクト「高分散貴金属ミニマム化触媒の物質設計及びプロセッシング」					
<p>ナノ粒子化により、PGM の 使用量抜本削減、Ce 触媒の発明</p> <p>PGM → Rh ナノ粒子、Ce</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・オキソ酸塩担体による Rh ナノ粒子触媒物質の凝集抑制、耐熱性向上、ミニマム化へ ・オキソ酸塩による Rh 担持メカニズムの解明 ・上記触媒のハニカム触媒適用による実機特性評価 ・アークプラズマ法を用いた Al₂O₃ 担持した Ce 触媒の発見 				
	<table border="1"> <tr> <td>人材育成</td> <td>大学院生の育成、地元(熊本、福岡地区)高校生への出張授業、など</td> </tr> <tr> <td>今後の展開</td> <td>NEDO プロジェクト、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ</td> </tr> </table>	人材育成	大学院生の育成、地元(熊本、福岡地区)高校生への出張授業、など	今後の展開	NEDO プロジェクト、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ
人材育成	大学院生の育成、地元(熊本、福岡地区)高校生への出張授業、など				
今後の展開	NEDO プロジェクト、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ				
早稲田大学 黒田プロジェクト「ケイ素酸素系化合物の精密合成による機能設計」					
<p>レアメタルを使用せず、様々な 機能の触媒: CO₂ 吸着、バイオ系</p> <p>PGM → Si、Ti</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・シロキサンオリゴマーから形成された層状ケイ酸塩を用いた CO₂ 吸着分離 ・Ti 含有メソポーラスシリカを用いた酸化触媒の開発、TOF で従来材の数倍 ・コロイド状メソポーラスシリカを用いた溶血材の開発、化粧品への実用化推進 				
	<table border="1"> <tr> <td>人材育成</td> <td>学生中心とした国際シンポジウムの開催、大学院生の育成</td> </tr> <tr> <td>今後の展開</td> <td>経産省未来開拓研究(革新触媒/有機ケイ酸塩開発)へ</td> </tr> </table>	人材育成	学生中心とした国際シンポジウムの開催、大学院生の育成	今後の展開	経産省未来開拓研究(革新触媒/有機ケイ酸塩開発)へ
人材育成	学生中心とした国際シンポジウムの開催、大学院生の育成				
今後の展開	経産省未来開拓研究(革新触媒/有機ケイ酸塩開発)へ				
北海道大学 魚崎プロジェクト「貴金属フリー・ナノハイブリッド触媒の創製」					
<p>PGM を用いない 燃料電池触媒</p> <p>PGM → BN、Fe(II)錯体</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・BN を用いた酸素還元触媒の開発 ・Fe(II)有機錯体による触媒的光水素発生反応の実現 ・計算化学による上記新規物質群の設計 				
	<table border="1"> <tr> <td>人材育成</td> <td>元素戦略教育研究センター設置</td> </tr> <tr> <td>今後の展開</td> <td>さきがけ4名、計算化学は元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ</td> </tr> </table>	人材育成	元素戦略教育研究センター設置	今後の展開	さきがけ4名、計算化学は元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ
人材育成	元素戦略教育研究センター設置				
今後の展開	さきがけ4名、計算化学は元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>へ				
九州大学 成田プロジェクト「貴金属代替分子触媒を用いる革新的エネルギー変換システムの開発」					
<p>PGM を用いない 燃料電池触媒</p> <p>PGM</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・Fe(III)錯体にプロトンメディエータを修飾した、白金をしのぐ酸素生成触媒 ・マンガンプルフィリン二量体の Ti 修飾による水素発生触媒 ・酸-アルカリ処理による TiON 導電体形成による、触媒修飾基板の開発 				
	<table border="1"> <tr> <td>人材育成</td> <td>大学院生教育</td> </tr> </table>	人材育成	大学院生教育		
人材育成	大学院生教育				

元素戦略プロジェクト<産学官連携型> (平成21年度採択課題の成果)



文部科学省

筑波大学 喜多プロジェクト

複合界面制御による白金族元素フリー機能性磁性材料の開発

磁気記録材料

記録媒体 Pt

→ Co、Fe

- ・記録密度が加速度的に向上しているHDD磁気記録媒体に対し、現行のPt合金に替わる物質として、ありふれたFe-Coスピネルを提案
- ・基板との間の結晶格子歪を活用した垂直磁気異方性の向上を、新しい物性理論から設計し、合成に成功。
- ・生産性の高いスパッタ法で、組成制御の難しい雰囲気酸化反応を実現。極めて大きな磁気異方性を検証。
- ・記録媒体として、反磁性結合状態をメスバウアー法などで検証。ビットパターンによるメディア試作を実施。

◆今後の展開 : 民間企業による実用化研究への展開をアプローチ中。スピントロニクス材料としての可能性も民間企業で検討中。

大阪大学 森田プロジェクト

有機分子を活物質に用いた二次電池の高性能化と充放電機構の解明

二次電池

正極材 Co

→ 有機分子

- ・Liイオンを輸送する活物質として、Br3TOTを提案し、機能を実証
- ・有機分子に期待される、大きな電気容量を確認。200mAh/gサイクル特性も比較的良好。
- ・コインセルにて電池駆動を確認。今後、負極、電解質との最適組み合わせについて検討を進める。
- ・ESR法により、活物質がLiイオンをリ着脱する過程のその場観察に成功。有機分子ならではの特徴。

◆今後の展開 : 民間企業との連携で、CRESTに採択。電池反応の基礎解析とシステム最適化に取り組む。

京都大学 宇田プロジェクト

化学ポテンシャル図に立脚した多元系機能性材料の精密制御

燃料電池

固体電解質 YSZ

→ LaPO

(750℃稼働から500℃稼働へ)

- ・燃料電池の市場展開をにらみ、低温型の白金触媒、高温型の特殊構造材を回避する中温型で電解質を開発。
- ・豊富な元素「リン」を活用。リン酸塩への高濃度ドーブでプロトン伝導率が従来比13倍へ。薄膜化と併せて500℃稼働見込み。
- ・プロトン伝導に関して理論計算に基づく予測モデルを構築し、実験検証から材料創製へと導いた。
- ・リン酸塩をベースに、太陽電池向け化合物半導体を理論設計、生産性の高いスパッタ法+雰囲気リン化法を開発。

◆今後の展開 : 民間企業との連携で、中温型安価燃料電池の開発を継続。

九州大学 岡田プロジェクト

エコフレンドリーポストリチウムイオン二次電池の創製

二次電池

正極材 Li、Co

→ Na、Fe

- ・Naイオン電池の低い放電圧について、バナジウム系新規物質を開発する事により、4V超を達成。
- ・可逆電気容量について、有機物であるロジソン酸塩を新規に開発する事により、ほぼ400mAh/gを達成。
- ・Naイオンに対して不活性な炭素系陰極材について、緩い結晶構造のハードカーボンを新規に開発し、最大可逆容量320mAh/gを達成。
- ・電解液について、非水系溶媒にDEMETFSIイオン液体を混合させ、難燃性とNaイオン挿入脱離能を両立。
- ・新規正極、負極、電解液を組み合わせるラミネート電池を試作し、十分な充放電可逆性と、熱安定性を実証。

◆今後の展開 : 民間企業にて実用化研究を継続推進。より大きな規模で、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>に移行。

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>の成果

文部科学省「元素戦略プロジェクト」

<研究拠点形成型>の成果

「学理構築」から「機能材料試作」までを着実に推進し、科学的成果を産業応用・社会実装までつなぐ。

- 5大基幹産業(化学・輸送・電機・機械・金属)競争力強化に直結する4研究拠点体制
- 産学官総力を挙げた取り組み：産業界からの信頼と期待
- 次世代人材育成と長期戦略

研究実施体制



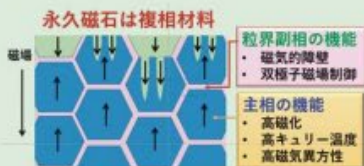
磁性材料研究拠点 (ESICMM：物質・材料研究機構)

希少元素を用いない究極性能磁石材料の開発

- ▶ 中性子線や3次元原子プローブ法による磁石内部、粒界副相の磁気構造解析技術の開発。
- ▶ 耐熱ネオジム磁石Nd₂Fe₁₄B (Dy 4-8%添加)のDyフリー化に成功。企業が実用化。
- ▶ ネオジム磁石を超える1-12型Sm(Fe-Co)₁₂薄膜の発見、バレル化に挑戦中。
- ▶ 多元系熱力学計算データベースMaterials Open Platform (MOP)の構築：産学連携体制強化へ。



代表研究者 広沢 哲



磁石の性能は組織微細化と結晶粒界の磁性制御が基本！



電子材料研究拠点 (TIES：東京工業大学)

「多存元素」で実用に耐える電子材料を開発

- ▶ 「元素戦略研究センター」を構築(2012年)。
- ▶ 【鉄系超伝導体】ヒドライドイオンH⁻の役割解明、超伝導磁石などへの応用。
- ▶ 【半導体】ペロブスカイト発光素子の電子輸送材料ZSO (ZnO-SiO₂系)の開発、高効率・輝度(スマホの500倍)を実現。
- ▶ 初めてのp型透明アモルファス半導体Cu-Sn-Iの発見、n型IGZOに匹敵する高移動度。
- ▶ 【エレクトライド】金属間化合物のエレクトライド、LaNiSiなどの開発、低温アンモニア合成触媒として活用、ベンチャー設立。



代表研究者 細野秀雄



電子の動きを手がかりに機能を引き出す！

拠点 間連携
シナジー 効果



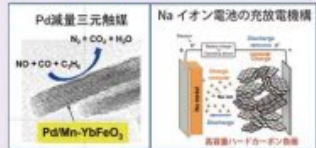
触媒・電池材料研究拠点 (ESICB：京都大学)

貴金属フリー排ガス三元触媒と高機能Na電池システムの創製

- 【触媒】
- ▶ 金属-担体間相互作用・アンカー効果の解明と高性能触媒の設計。
 - ▶ 貴金属(Pd, Rh, Pt)フリーのタンデム型排ガス浄化触媒(Zn, Cr, Cu酸化物)の開発。
 - ▶ 貴金属低減のRh2次元薄膜触媒やPd単原子ナノ粒子(Cu₂Pd)などの開発。
- 【電池】
- ▶ 難燃性・高性能電解液の開発による安全で長寿命なLiイオン電池試作へ。
 - ▶ 高容量ハードカーボン(負極材)の新規合成法開発、Naイオン電池の試作へ。



代表研究者 田中庸裕



触媒も電池も界面制御が決め手、希少元素・貴金属を問わずに高機能を実現！



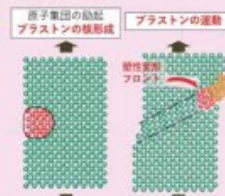
構造材料研究拠点 (ESISM：京都大学)

金属構造材料の強度・延性両立の学理構築と革新的材料の創製

- ▶ 構造材料の塑性変形素過程についての新概念【プラストン=特異応力場における原子の集団励起】を提唱。金属材料の強度(強さ)と延性(ねばさ)を両立させ、疲労破壊を抑制する学理を構築。材料イノベーションへの道を拓く。
- ▶ バルクナノメタル(超微細)化でプラストン誘起延性材料の創製に成功：チタン合金、マグネシウム合金、鉄鋼材料など。
- ▶ 脆性物質の塑性変形機構を解明。自動車用合金化溶融亜鉛めっき(GA)鋼板など、実用材料の開発指針を獲得。
- ▶ 格子振動計算ソフトウェアとデータベースの開発。世界のデファクト標準として広く活用。



代表研究者 田中 功



安心・安全社会のためにより強靱な構造材料が求められている！

元素戦略プロジェクトに関する現在の取組状況

プロジェクトのバトンをつなぐ

元素戦略プロジェクト
 (文部科学省、JSTにおける取組 (国際事業含む))

※ 経済産業省「希少金属代替材料プロジェクト」とも連携

学理創出/目的基礎研究/応用研究/素材試作・産業界へ橋渡し/人材育成/データ蓄積/国際共同

元素資源リスクをサイエンスで克服するための継続的な産学官の取組

目的基礎研究/学理創出

JST

「元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合
 ・準安定物質探査空間の開拓」

「CREST (研究総括 北川宏)」

「さきがけ (研究総括 陰山洋)」

データ蓄積/人材育成

文部科学省

「データ創出・活用型マテリアル
 研究開発プロジェクト」

データ駆動型研究手法の開発により、大量消費、環境問題への
 解決に応える革新的マテリアルの創出を効率化

経済安全保障

内閣府

「経済安全保障重要技術育成プログラム(Kプロ)」

「耐熱超合金の高性能化・省レアメタル化技術」

「重希土フリー磁石の高耐熱・高磁力化技術」

素材試作/産業界へ橋渡し

経済産業省

「高度循環型システム基盤構築」

「レアアースのリサイクル技術開発」

「アルミニウム素材高度資源循環システム構築」

注目すべき元素戦略プロジェクトのコンセプト・スキーム

コンセプト

- ◆ **元素資源リスクをサイエンスで克服し、安心・安全で持続可能な社会を目指す**
 - **世界に先駆けた資源・サプライチェーン戦略**の提唱
 - 国際社会へ貢献しつつ、国益をもたらす戦略
 - 「**元素**」に**焦点**を当てることで、**サイエンスベースで目的を達成**
 - 最先端のサイエンスに、産業に資する材料・資源セキュリティ、省エネ・環境の観点を導入

スキーム

- ◆ **府省横断・連携、研究領域の融合・連携・横断の推進**
 - 多様な研究領域の研究者・産学の関係者が「元素戦略」のコンセプトの下に**目的・課題を共有し、連携**
 - 「分野の融合」、「実験系と計測系の融合」
 - 拠点長クラスから若手まで、**多層の研究者が活躍**
 - サイエンスの裾野拡大、人材育成

今後取り組むべき事項

◆ 技術的フロンティアへの挑戦

- 克服すべき課題は多様化
- 評価・分析技術、データ駆動等、研究手法は高度化

レアメタル等の特定元素の代替のみならず、**多様な元素の可能性を引き出すことで、従来のマテリアルの機能・性能を凌駕する新たな価値を創出**

(元素の配置や空間構造、準安定状態の活用等の最先端学理、プロセスサイエンス、評価・分析技術、データ駆動型研究開発の活用)

◆ 戦略的自律性・優位性・不可欠性の確保

- Own-Collaborate-Accessの観点を踏まえた**戦略的な国際連携**により、重要サプライチェーンの確保や特定重要技術の戦略的獲得、国際的な環境規制の要請など、今般の社会・経済動向を踏まえた課題に対応

◆ 人材ポテンシャルの向上

- **多様・多層な関係者の参入・連携**
- **競争力強化に資する人材プールの拡大**
- **世界で活躍できる次世代の人材の育成**

參考資料

元素戦略プロジェクト関連の取組の現状①

戦略的創造研究推進事業(新技術シーズ創出) CREST、さきがけ



事業内容

- 国が定めた戦略目標の下、組織・分野の枠を越えた時限的な研究体制(ネットワーク型研究所)を構築し、イノベーションの源泉となる基礎研究を戦略的に推進。
- チーム型研究のCREST、若手の登竜門となっている「さきがけ」、卓越したリーダーによるERATO等の競争的研究費を通じて、戦略目標の達成を目指す。
- 多様な知が集う研究領域を設定し、研究者同士の密な交流による異分野融合を促進するとともに、研究総括の柔軟で機動的な領域マネジメントにより成果を最大化

文部科学省
戦略目標の策定・通知

- 【戦略目標の例】
- 自律駆動による研究革新
 - 新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学
 - 持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロントティア開拓
 - 選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～
 - 「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～

科学技術振興機構

研究領域の選定、研究総括の選任

CREST

研究領域

研究総括 アドバイザー

研究チームの公募・選定

〈研究チーム〉

研究代表者 研究者

トップ研究者が率いる複数のチームが研究を推進(チーム型)

- 研究期間：5年半
- 研究費：1.5～5億円程度/チーム(※1)
- 令和7年度新規採択予定：72課題
- 発足年度：平成7年(前身事業)(※2)

さきがけ

研究領域

研究総括 アドバイザー

個人研究者の公募・選定

個人研究者 領域会議

若手研究者が異分野ネットワークを形成し、挑戦的な研究を推進(個人型)

- 研究期間：3年半
- 研究費：3～4千万円程度/人(※1)
- 令和7年度新規採択予定：191課題
- 発足年度：平成3年(前身事業)(※2)

ACT-X

研究領域

研究総括 アドバイザー

個人研究者の公募・選定

個人研究者 領域会議

博士号取得後8年未満の研究者の「個の確立」を支援

- 研究期間：2年半
- 研究費：0.5～1.5千万円程度/人(※1)
- 令和7年度新規採択予定：190課題
- 発足年度：令和元年

ERATO

研究領域(プロジェクト)

研究総括

研究グループ 研究グループ

卓越したリーダーによる独創的な研究の推進・新分野の開拓(総括実施型)

- 研究期間：5年程度
- 研究費：上限12億円程度/1プロジェクト(※1)
- 令和7年度新規採択予定：4課題
- 発足年度：昭和56年(前身事業)(※2)

※1:研究費(直接経費)は、研究期間通しての総額 ※2:平成14年に本事業のプログラムとして再編成

マテリアル関連の戦略目標による研究領域

戦略目標	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓							
資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御							
社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新							
量子情報と量子物性の融合による革新的量子制御技術の創成							
新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術							
社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新							
選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～							

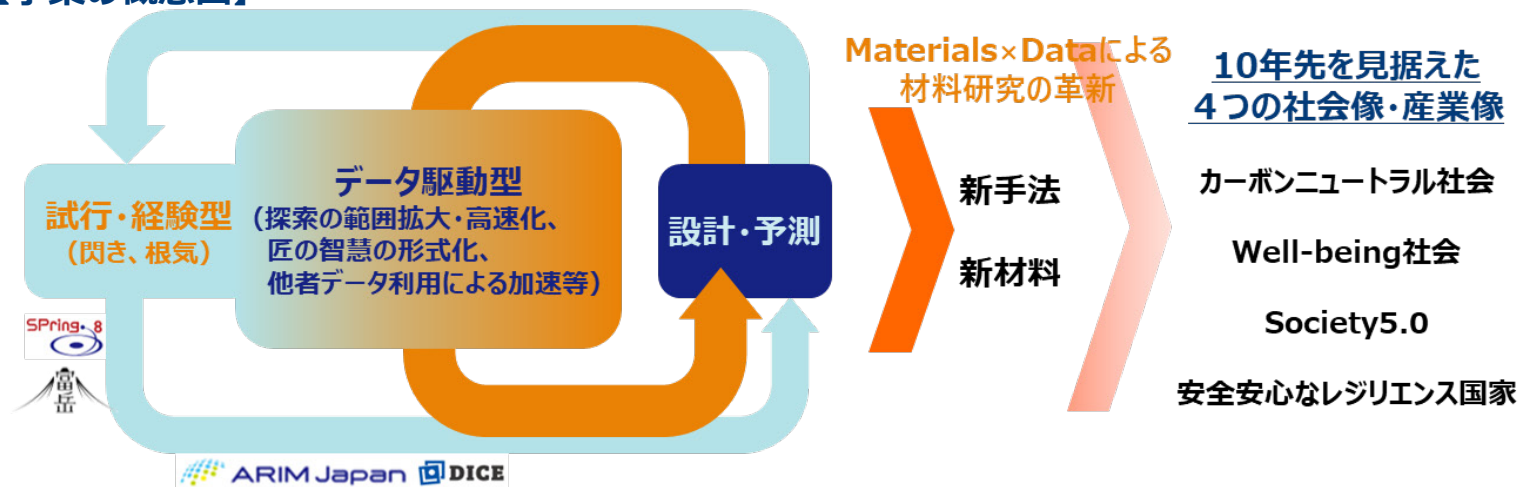
元素戦略プロジェクト関連の取組の現状②

データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト

事業内容

- 10年先を見据えた4つの社会像・産業像に貢献する5つの材料分野において、従来の試行・経験型研究に**データ駆動型研究を取り入れた次世代の研究手法を構築・実践し、革新的機能を有するマテリアルの創出を目指す**。あわせて、構築した手法を**拠点外・事業外へ普及し全国展開**する。
- 全機関が参画する「データ連携部会」を設置し、5つの拠点の横串活動や事業外連係を実施する。

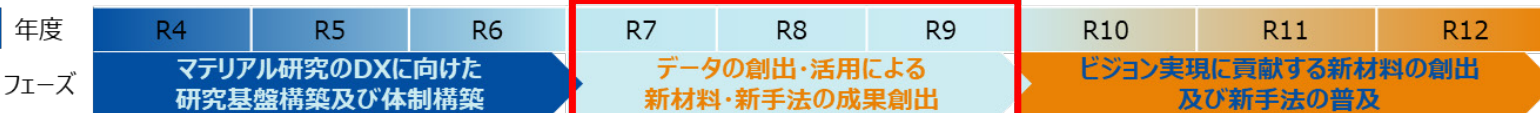
【事業の概念図】



【事業の推進体制図】

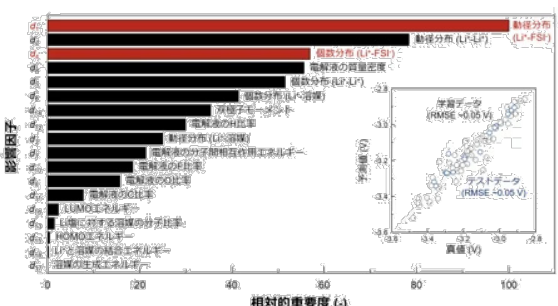


スケジュール



データ駆動型研究による革新的な成果例

リチウム金属の反応活性に関する影響因子特定を踏まえた新材料探索 (東大拠点)

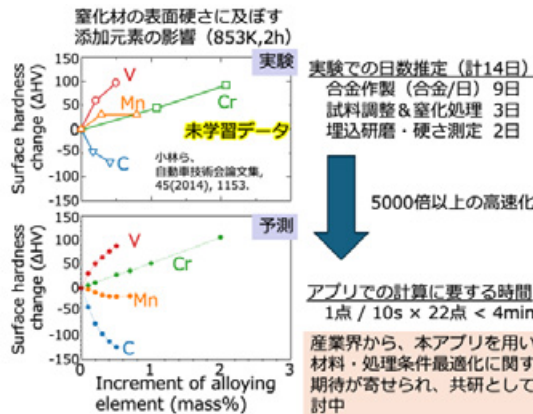


機械学習によるリチウム金属の反応活性に対する影響因子解析

<雑誌> Nature Energy Nature姉妹紙への掲載 (2022年)
 <題名> Electrode potential influences the reversibility of lithium metal anodes

- 複数のリチウム金属の電解液データをAIに学習させることで、反応活性に対する**影響度、影響因子を特定**。影響因子を考慮の上、高価な希少金属であるコバルトを使用しない従来比**1.6倍のエネルギー密度**※の電池の安定作動に初めて成功。 ※単位質量あたりに蓄電可能な電力量

窒化材の硬さ分布予測による材料探索 (東北大拠点)



【材料探索時間 **14日**程度 → **4分**程度】

- 従来14日 (合金作製 9日、試料調整・窒化処理 3日、研磨・硬さ分布 2日) かけて、新たな材料の特性評価を実施。
- 既存データを活用した窒化材の硬さ分布を予測するアプリを開発することで、材料探索時間を短縮化。(5000倍以上の効率化)



【5年間 最大75億円程度】

※ステージゲートを経て追加措置可能

■ 耐熱超合金の高性能化・省レアメタル化に向けた技術開発 及び 革新的な製造技術開発

- 経済安全保障上の重要な材料である「耐熱超合金」に対して
- 原料供給リスクの低減に資する省レアメタル化技術、低コスト化や高性能化による競争力向上に資する加工技術・リサイクル技術を併せ、産学協働で開発

1 レアメタル使用量を低減した耐熱超合金の開発

- 高温高压な極限環境で使用される耐熱超合金に対し、その耐熱性を維持・向上させつつ、レアメタル使用量を低減した耐熱超合金を開発。

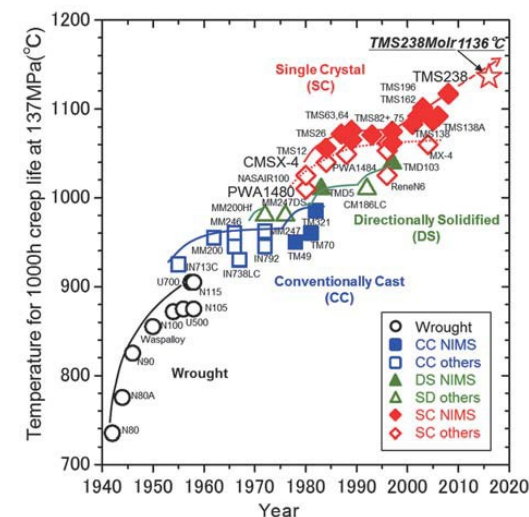
2 複雑形状を可能とする耐熱超合金の加工技術の開発

- 耐熱超合金において、鋳造等の従来の加工技術では不可能な、新しい空力設計や内部冷却構造が可能な複雑形状を実現する加工技術を開発。

3 耐熱超合金の完全リサイクル技術の開発

- 元素ごとに精錬・抽出して再利用する従来の方法ではなく、耐用期間を超えた部材等をそのまま再利用する耐熱超合金の完全リサイクル技術を開発。

【耐熱超合金の開発推移】



出典：日本ガスタービン学会誌Vol.45 No.6
2017.11

➡ 【10年後の達成目標】
省レアメタル化した耐熱超合金を安定的に製品として活用するための基盤技術を構築

重希土フリー磁石の高耐熱・高磁力化技術（経済安全保障重要技術育成プログラム）

（34億円を超えない範囲／5年）

背景

- **永久磁石はモーターの性能を決定づける基幹部材**であり、EV、発電機、航空機、家電、人工衛星、ドローン等幅広い用途に使用され、国民の生活・安全を守る上で必要不可欠。
- これまで、日本は高性能な永久磁石の開発において世界をリードし、磁石利用機器の小型・軽量化、省電力化、高出力化など、性能向上に寄与してきた。他方、中でも最も大きな磁力を誇るネオジム磁石の性能向上は限界にきており、**更なる性能向上には、ネオジム磁石に代わる新たな永久磁石を開発する必要がある。**
- また、**現在の永久磁石は原材料を特定国に依存**しており、安定供給確保の観点からは大きなリスクを抱えている。
- このため、既存の永久磁石に代わる「**重希土フリー磁石／レアースフリー磁石**」を新たに開発し、磁石の高耐熱化・高磁力化と資源リスクの低減を通して、磁石並びに磁石を用いる製品の優位性を維持・拡大することを目的とする。

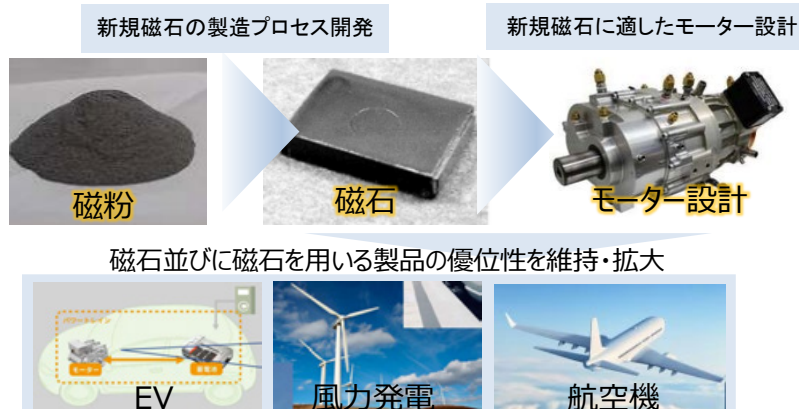
想定される利用ニーズ

- EV、発電機、航空機、家電等のニーズに対応（主に民間）
- ドローン、探査機、人工衛星等のニーズに対応（主に政府）

研究開発の内容

重希土フリー/レアースフリー磁石の新規製造プロセスを開発し、新規磁石特性に適したモーター設計開発を行うことで、その実用化を促進する。

- ① 重希土・ネオジムフリーレアース磁石の製造プロセス開発
- ② 完全レアースフリー磁石の製造プロセス開発



典拠：NEDO事業「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」（事後評価）分科会資料より抜粋

想定スケジュール

	第1期 (2024年~2027年)	第2期 (2027年~2029年)
①重希土・ネオジムフリーレアース磁石	等方性ネオジムボンド磁石を代替する磁石の製造プロセス開発	重希土フリーネオジム焼結磁石を代替する磁石の製造プロセス開発
②完全レアースフリー磁石		中間評価・ステージゲート 事後評価

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

●高度循環型システム基盤構築

デジタル技術を活用しながら廃家電から貴金属、レアメタル、ベースメタル、プラスチック等の資源を余すことなく資源循環する基盤技術の開発を行う。

●レアアースのリサイクル技術などの開発

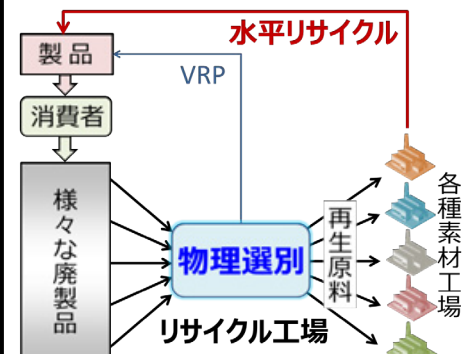
重希土レアアースの特定国依存度を低下させるため、未利用レアアース分離精製技術の確立、重希土フリー磁石の製造プロセス開発、そして磁石特性に適したモーター設計開発などを行う。

●アルミニウム素材高度資源循環システム構築

アルミスクラップを、自動車の車体等にも使用可能な展伸材へとリサイクルするための基盤技術の確立を目指す。

高度循環型システム基盤構築

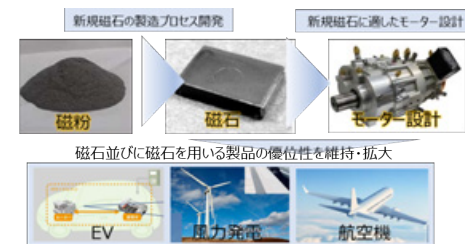
- 自動解体ロボット・選別システム開発
- 遠隔操業最適化・動静脈ネットワーク開発等



選別の自動化・再生原料の高純度化により、高純度再生原料の生産を強化
屋外ヤードから廃製品を自動仕分け・破碎・選別を行う

重希土フリー磁石の高耐熱・高磁力化技術

- 重希土フリーネオジム焼結磁石を代替する磁石の製造プロセス開発
- 完全レアアースフリー磁石の製造プロセス開発

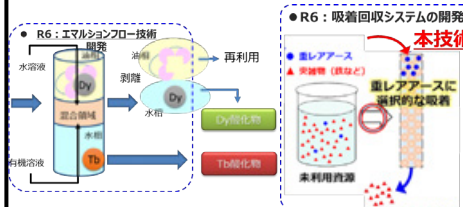


出典：NEDO事業「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」（事後評価）分科会資料より抜粋

磁石並びに磁石を用いる製品の優位性を維持・拡大

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

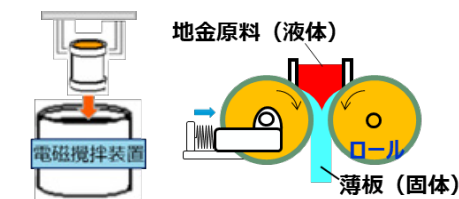
- 新規分離剤・溶液条件に適したエマルションフロー技術の開発
- 選択的吸着剤の開発と吸着システムを開発



革新的な分離精製プロセス開発を実施

アルミニウム素材高度資源循環システム

- アルミスクラップにおける①不純物の低減、②不純物の無害化により新規展伸材を開発する。



アルミニウムの高度な循環利用を実現