

「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」

令和2年度補正予算

(事後評価)

(2020年9月～2022年2月 1.5年)

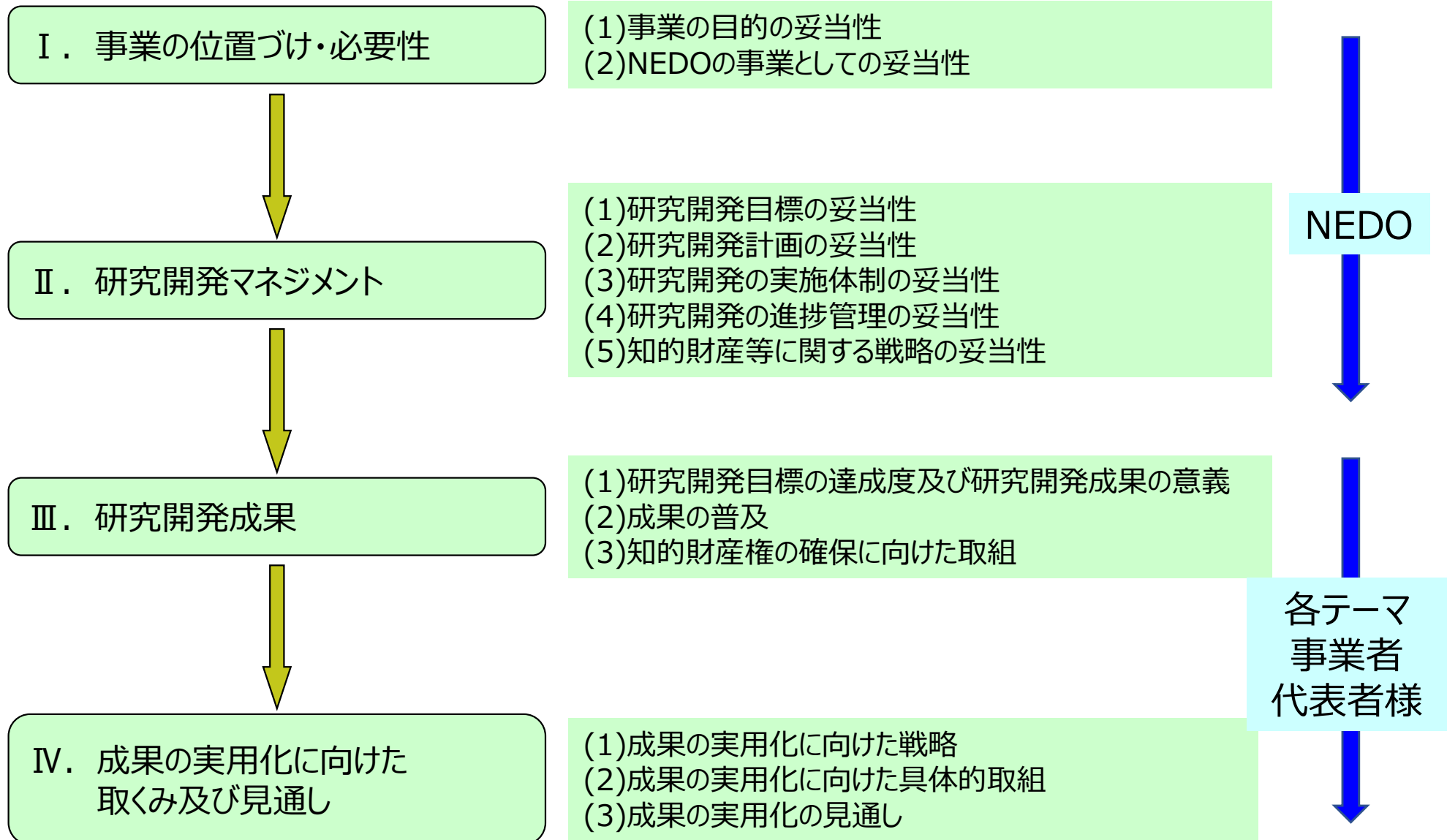
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

材料・ナノテクノロジー部

2022年10月27日

発表内容



I 章 事業の位置づけ・必要性

II 章 研究開発マネジメント

◆補正予算の位置づけ

事業立ち上げ経緯

- 1) 新型コロナウイルス感染症の世界的流行 → ・物資サプライチェーン寸断リスク顕在化
- 2) 自動車 電動化加速 → モータ需要拡大 → ・レアアース需要拡大
- 3) 重希土類：資源量僅少・偏在 → ・レアアース供給リスク
軽希土類：高品位品は供給源限定 → ・価格変動リスク

レアアースの供給途絶による国内産業（EV、家電）への影響は甚大

サプライチェーン強靱化に資する技術開発が急務

令和2年度 補正予算成立（2020年4月30日）

プロジェクト実施期間（1.5年）：2020年9月～2022年2月

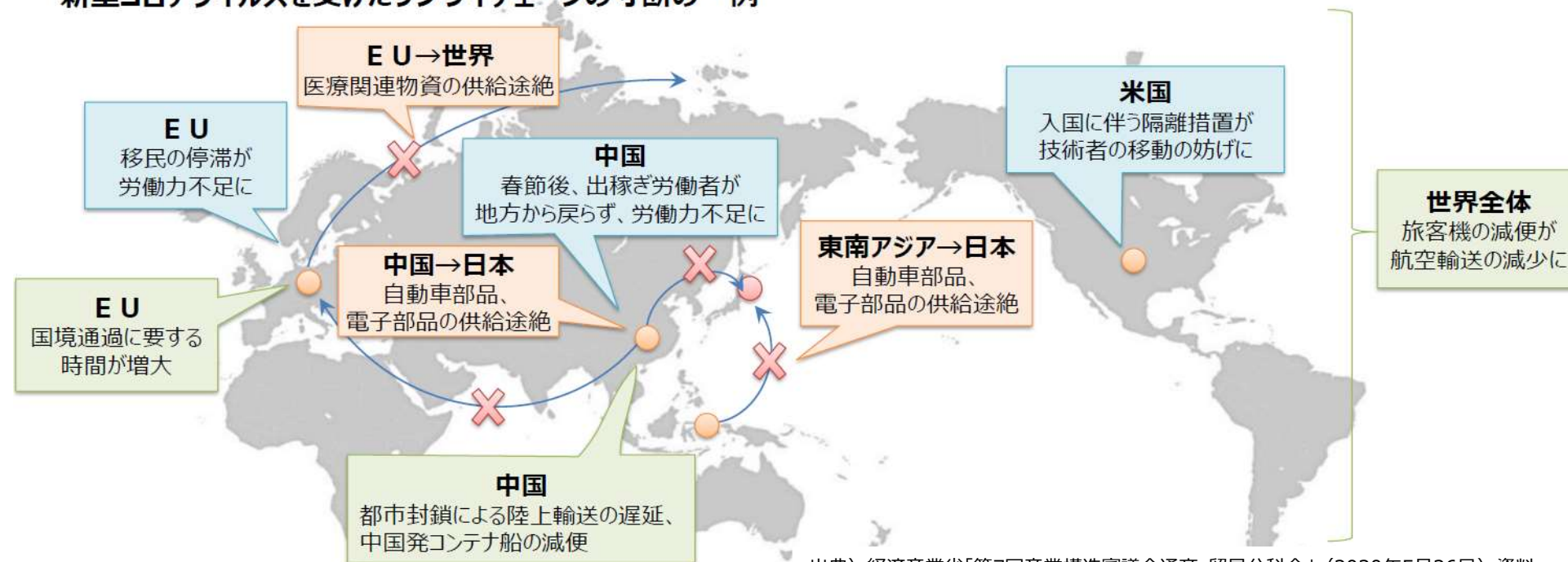
◆事業実施の背景

背景1 新型コロナウイルス感染症の世界的な流行によって、

人々の健康・経済活動に重要な物資のサプライチェーンの寸断リスクが顕在化

1) 新型コロナウイルス感染症の世界的流行 ➡ 物資サプライチェーン寸断リスク顕在化

新型コロナウイルスを受けたサプライチェーンの寸断の一例



出典) 経済産業省「第7回産業構造審議会通商・貿易分科会」(2020年5月26日) 資料

➤ 予期せぬ危機に際して、

部素材の供給途絶リスクを解消するためには
サプライチェーンの強靱化に資する技術開発等が必要である

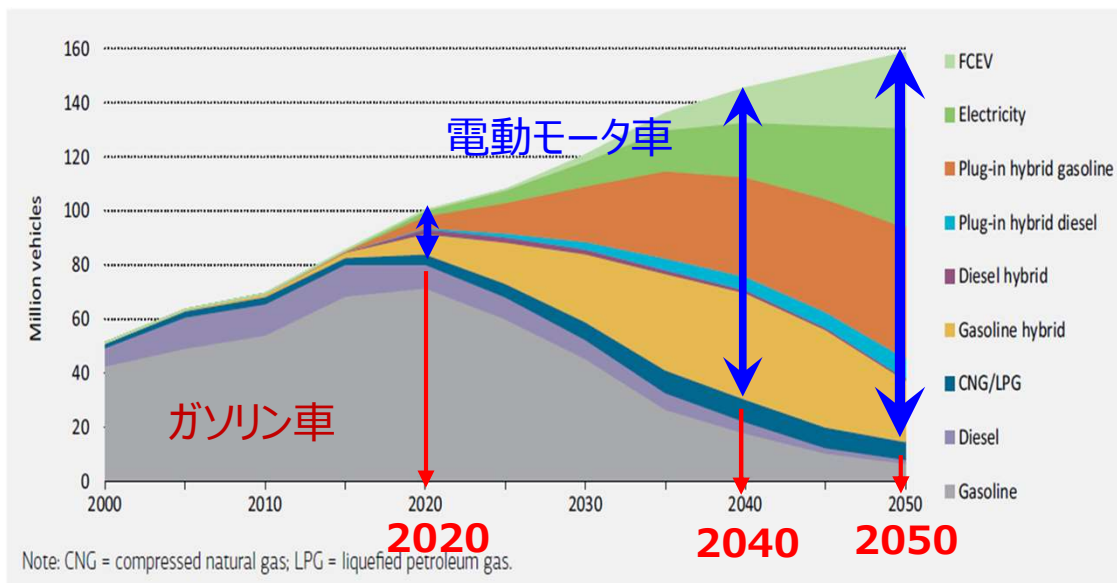
1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

背景2 レアアースは供給源が限られている一方、家電、産業用機器など様々な分野で使用されている高性能磁石の中核素材である

特に、将来の自動車の電動化（HEV、EV、FCV）に伴い、電動モータ用部素材として需要の拡大が予想されているため、サプライチェーンの強靱化が必要な分野である

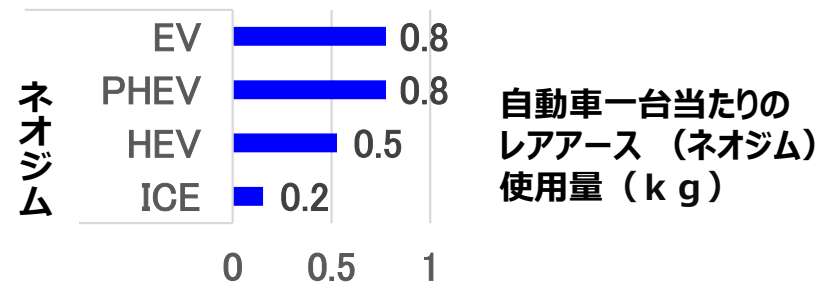
2) 自動車 電動化加速 ➡ モータ需要拡大 ➡ レアアース需要拡大

●世界の自動車保有台数予測（百万台）



典拠 IEA「Energy Technology Perspectives. (2015)」より引用、一部NEDO改変

●電動車の駆動モータ： Nd（ネオジム）等レアアースを使用



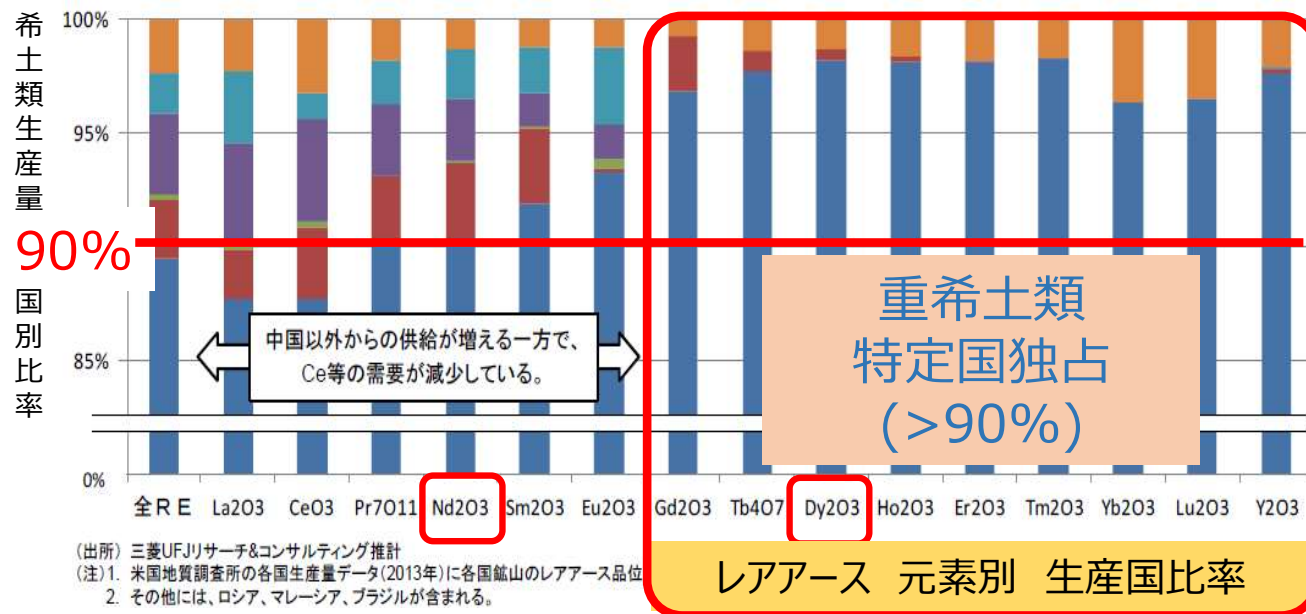
典拠 経産省「2050年カーボンニュートラル社会実現に向けた鉱物資源政策（令和3年2月15日）」より引用、一部NEDO改変

➤ レアアースの需要予測は2040年に2020年比で3.4倍に増加する見通し

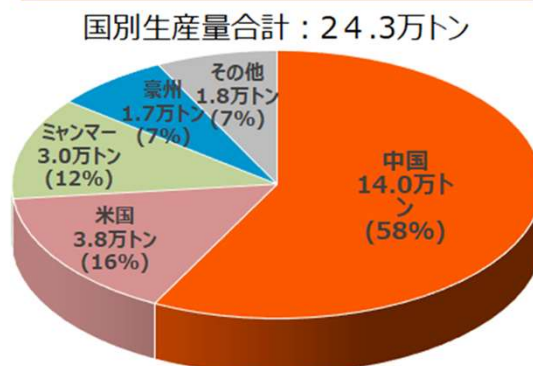
1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

背景3 高効率モーターには、磁性材料としてネオジム磁石が利用されているが、耐熱性付与等の性能向上には、**重希土類**元素であるジスプロシウム（注）の添加が必要。ジスプロシウムは地球上に偏在かつ資源量が非常に少なく、**供給途絶リスクが高い**。**軽希土類**は、複数地域から供給可能であるが**高品位のものは供給源が限定されている**。

3) **重希土類：資源量僅少・偏在**
軽希土類：高品位品は供給源限定 → **レアアース供給リスク**
価格変動リスク



レアアースの国別鉱石生産量 (2020)



・中国単体：58%占有 (14万トン)
・中国資本：世界生産量70%占有 (中国資本ミャンマー分含)

典拠 「MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2021 (USGS)」より資料を引用、一部NEDO改変

- ✓ **重希土類を使用しない高性能磁石の開発や供給途絶懸念のあるレアアース全体の使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料の探索等は最重要課題の一つである。**
- ✓ **軽希土類は、低品位レアアースを高品位化させる改質技術やガソリン自動車用触媒材料等への代替利用技術の開発も、サプライチェーン強靱化に資する最重要課題である。**

◆事業の目的

レアアースの部素材への使用を極力減らす、又は使用しない技術の開発、
レアアースを効率よく使いこなす技術の開発によって
予期せぬ社会事情等で起こる重要物資の突然の供給途絶リスクを削減し、
サプライチェーンの強靱化に繋げる技術を確立する

◆事業の目標

研究開発項目① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発

資源的にリスクの高い重希土類（ジスプロシウム、テルビウム等）を使用しない、
小型超高速回転モーター駆動システム用磁石を開発し、動作実証を行う。
レアアース量低減、レアアースフリーを目指した新しい磁石開発手法を開発する。

研究開発項目② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発

含有量や、不純物が多く、現状ではそのままで利用が難しいレアアース（低品位レアアース）
を利用した多用途、代替化、高付加価値化等を目指した機能性材料開発を行う。

◆政策上の位置付け

典拠：「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」実施方針

- ◆ 2020年、新型コロナウイルス感染拡大により、人々の健康・経済活動に重要な物質のサプライチェーンが途絶、混乱した
- ◆ 重要物質の供給途絶による経済的・社会的影響は甚大であり、供給途絶リスクを回避するため、生産の多元化や使用量削減が喫緊の課題となっており、サプライチェーン強靱化に資する技術開発が求められている
- そのため、**緊急対策の一環として本事業を位置付けることで、サプライチェーン強靱化の取組が加速することを期待する**ものである

“サプライチェーンの強靱化”の必要性は、その後の政策にも反映あり（参考）

- 「**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
補足）部素材代替PJのテーマA3は、発展してNEDOグリーンイノベーション（GI）基金事業へ採用
- 「**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 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
- 「**新国際資源戦略**」（令和2年3月 経済産業省 本文P.11）
（5）産業基盤等の強化

◆国内外の研究開発の動向と比較

元素戦略・希少元素代替技術 研究開発状況

典拠 「JST研究開発俯瞰報告書(2021年3月)」より引用、一部NEDO改変

国・地域	フェーズ	現状	レアアースに対する研究開発状況(～2021年3月)
日本	基礎研究	◎	経産省、文科省、JST、NEDOなどにおける各プロジェクトの推進による研究コミュニティが形成されている
	応用研究・開発	◎	開発成果をもとに新物質・新材料の実用化が進みつつある
米国	基礎研究	○	希少鉱物に関する2つの大統領令が発令 活動活発化
	応用研究・開発	○	各省庁が、希少鉱物安定供給ルート確保、敵対国に対する依存度解消に向け対応策を検討中
欧州	基礎研究	○	Critical Economyの観点で、欧州圏内の希少鉱物の埋蔵量、偏在性把握に関する活動が活発化
	応用研究・開発	○	Horizon2020に続き、HorizonEuropeにおいても産業化めざしプロジェクト推進、「希少鉱物に関する行動計画」発表
中国	基礎研究	○	貴金属代替、削減に関する論文急増
	応用研究・開発	○	「国家レアアース機能材料イノベーションセンター」の設立許可 資源保有国の強みを有し、今後、研究・開発が活発化

日本は、技術的優位性を確保しつつ、更なる開発・実用化の推進加速が望まれる

◆ 国内外のレアアースに対する動向と比較

典拠 「JST研究開発俯瞰報告書(2021年3月)」より引用、一部NEDO改変

	レアアースに関わる海外動向
世界全般	<p>更なる技術革新を目指し、ポストネオジム磁石としての新規高性能磁石が世界中で研究されている</p> <p>近年、資源的にリスクの高い重希土類（ジスプロシウム、テルビウム等）のみを使用しない重希土類フリー磁石に開発が主流となってきた</p>
米国	<p>レアアースを含む重要鉱物のリサイクルを含む国内持続可能な生産・加工能力拡大</p> <p>レアアースのリサイクル率を高めている</p> <p>米国エネルギー省（DOE）がCritical Materials Institute（CMI）を設立し、リサイクルを含めたレアアース製錬に関する研究も行われている</p>
欧州	<p>欧州産業のレアアースへのアクセス確保のためのアクションプラン「レアアースマグネット及びモーター：欧州行動要求（Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action）」を公表(2021年9月30日)</p> <p>中国製ネオジム磁石の採用が自動車メーカーで進んでいる</p>
中国	<p>ネオジム磁石市場において存在感を増し、世界シェアの約8割を占めている</p> <p>研究開発力、品質の高さにおいて日本が世界をリードしているが、中国には研究者数が多く、多数特許出願され、性能面でも日本製品をキャッチアップしている</p>

- ◎ 補正予算により、日本は各国に先駆け、迅速に危機管理対応
- ◎ 高性能磁石の世界市場確保のためにも、技術開発を継続的に行い、世界をリードしていく必要がある

◆他の事業との関係

事業1：NEDOプロジェクト（P14015：2014～2021年度）

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」

- ・ 高効率モーター用磁性材料技術研究組合（MagHEM）に委託
- ・ モーターの省エネルギー化により、我が国産業全体の活性化に寄与

→ 「高温使用可能な重希土類フリー高性能磁石開発」テーマ有り

事業2：NEDOプロジェクト（P17001：2017～2022年度）

「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」

- ・ ネオジム磁石のリサイクルを対象としてプラセオジムとネオジムの相互分離、及び廃磁石からのネオジムとジスプロシウムの同時回収について研究

→ 「レアース製錬に関する研究」

関連事業との差異化（異なる点）

- レアースでも資源的にリスクの高い
“重希土類を使用しないモーターシステムの開発” が目的であること
- 計算科学やAI等の手法を用いた
“レアース削減、レアースフリーに向けた磁石開発システムの構築”、
“低品位レアースを精製し、これを利用した材料開発” を行うこと

◆NEDOが関与する意義

(参考) NEDO「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」実施方針

- ✓ 本事業の対象であるレアアースは、他の原材料での代替が非常に困難で、**技術的難度が非常に高いことから、実現までに長い時間を必要とする可能性が高い**
- ✓ 供給源が限られているレアアースは、高性能磁石やモーター等の中核素材。家庭・産業で広く使用され、将来の自動車電動化に伴い、モーター需要拡大も予想されているため、**供給途絶による国内産業への影響（経済的/社会的不安）は甚大**
- ✓ “サプライチェーン強靱化”に資する緊急対策の一環として本事業を位置付けることで、**レアアースの国内資源不安に関する企業の取組みがより加速することを期待できる**

- **世界を巻き込んだレアアース供給の高いリスクと、技術開発の困難さ、事業活動の現状等を踏まえて、NEDOが関与する必然性が高い**



- **国主導の形で、レアアース省資源化技術開発を支援し、早期に技術確立を目指すべき事業**
- **N E D O が持つこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業**

◆実施の効果 (費用対効果)

	補正予算提案時	現時点推算
本プロジェクトの 総費用	11.8 億円	
CO2排出量削減 (2030年想定)	CO ₂ 排出削減量 890万トン/年* 1	969万トン/年
	電力使用料削減額 3,700億円/年* 2	4,193億円/年
市場創出効果 (2030年想定)	約1,400億円/年* 3	1,421億円/年

*1 : 3種類のモーターの効率化による消費電力の削減量からCO₂削減量を算出

①ハイブリッド自動車/電気自動車用のモーター : **137万トン/年**

②家電 (エアコン、冷蔵庫) 用コンプレッサモーター : **63万トン/年**

③産業機器用モーター : **692万トン/年**

*2 : CO₂排出削減量890万トン/年を算出する際に計算した産業用モーターの消費電力削減量を15円/kWhという換算値を用いて電力使用料削減額に換算した

*3 : 次世代自動車向け高効率モーター市場と産業用モーター向け高効率モーター市場分とが低品位レアアースで代替利用されとした場合、市場創出の合計として算出

◆研究開発項目

研究開発項目① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発

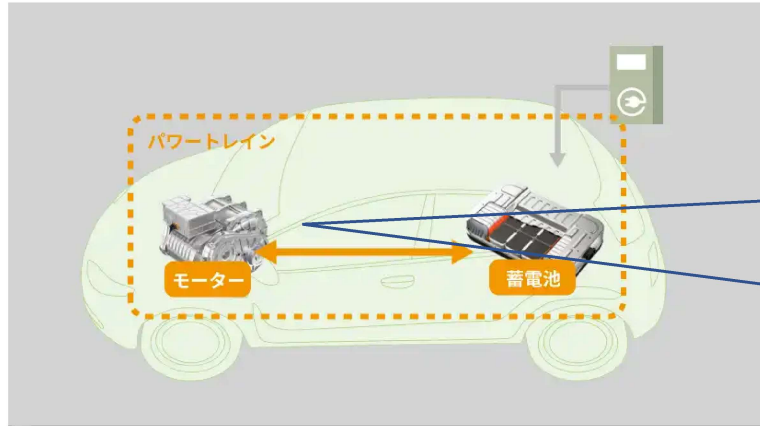
典拠：「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」プロジェクト実施方針

項番	テーマ名	サブタイトル	開発技術／部材	(テーマコード) 実施者
①-1	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	—	重希土類フリーNd磁石搭載電動アクスル	(A3) 愛知製鋼株式会社
		高速回転機器向け高性能複合構造磁石の開発	電動モーターロータ部用Sm系薄型積層磁石層	(B1) 株式会社 IHI
①-2	重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用量を極力減らす 又使用しない高性能磁石材料を探索するための新しい開発手法の開発	①-2-1 データ駆動による高鉄濃度準安定系磁石材料の開発	<ul style="list-style-type: none"> データ駆動型材料開発プラットフォーム (材料探索システム) 機械学習による磁石材料探索を効率的な手法開発 ハイスループット材料作製手法開発 	(A2) <ul style="list-style-type: none"> 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 国立研究開発法人 物質・材料研究機構
		①-2-2 高鉄濃度希土類磁石化合物における相平衡とプロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 脱ネオジム型高鉄濃度希土類化合物新規高性能磁石創製技術 (SmFe系磁石) 急冷薄帯組織解析 非平衡状態図構築 	(A1) <ul style="list-style-type: none"> 国立大学法人 東北大学 株式会社 東芝 公益財団法人 豊田理化学研究所

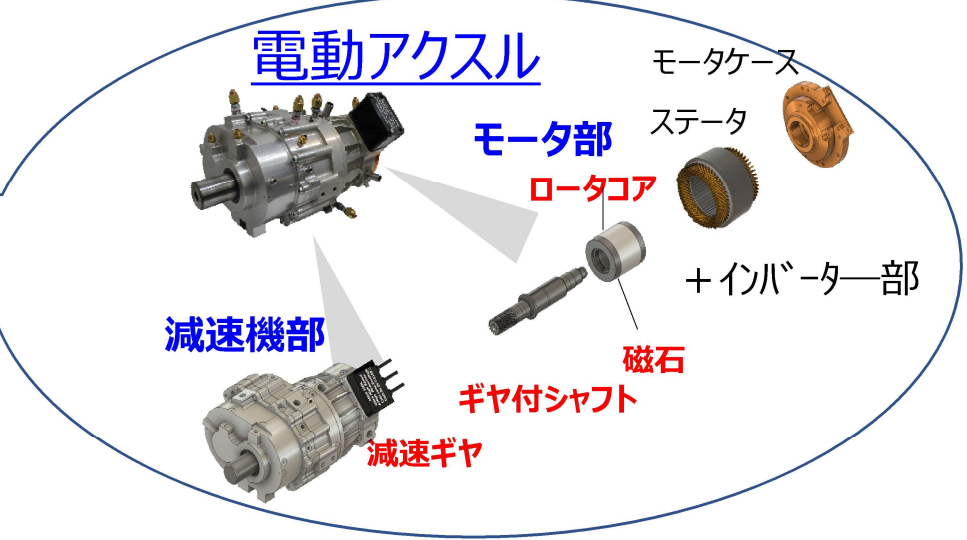
①-1 重希土類フリー小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証

テーマ担当：愛知製鋼株式会社（テーマA3）

自動車電動化：電動アクスル（インバーター＋モーター＋減速機）



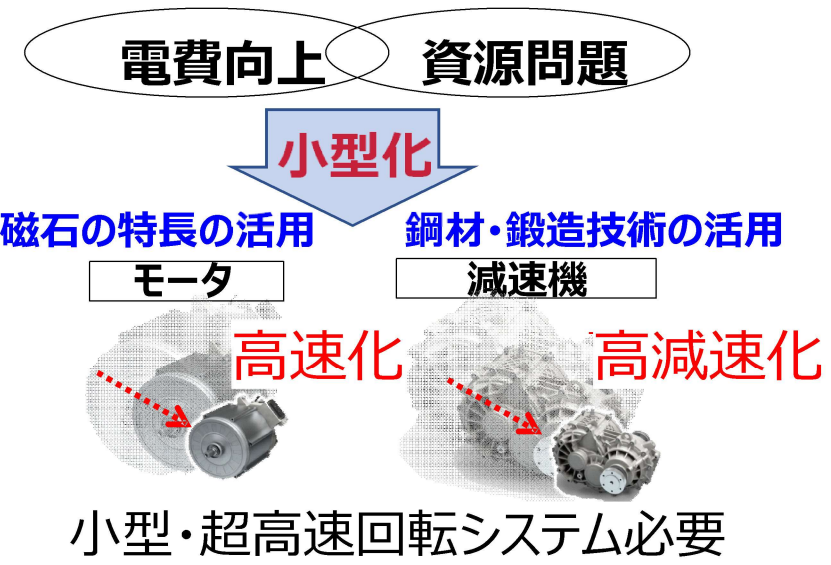
参考 <https://green-innovation.nedo.go.jp>
 (出展 NEDO カーボンニュートラルな未来へ)



希土類資源の部素材の供給途絶リスク

	埋蔵量	生産量
Nd	<p>中国 34%</p> <p>2016年:905万t</p>	<p>中国 90%</p> <p>2016年:50,400t</p>
Dy	<p>中国 29%</p> <p>2016年:47万t</p>	<p>中国 95%</p> <p>2016年:2,064t</p>

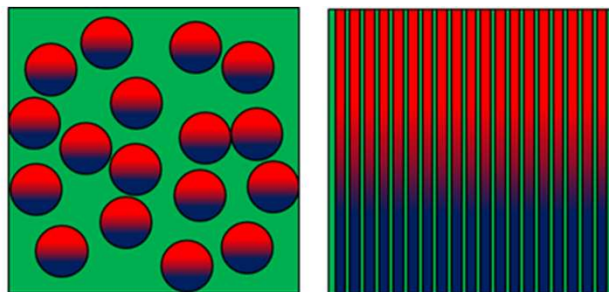
(出典：JPモルガン市場調査部地球環境関連レポートVol2)



①-1 重希土類フリー小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証

テーマ担当：株式会社IHI（テーマB1）

- 供給安定性より、重希土類を使用しない高性能磁石（Sm系磁石）を活用
- 高速回転下渦電流による損失・発熱を抑えるため、**高抵抗性必要**



	ボンド磁石	積層磁石 (イメージ)
磁石	異方性	異方性
磁石体積率	50~70%	80~90%
抵抗	等方性	異方性
高抵抗材体積率	50~30%	10~20%

磁石を異方化することで、磁石の最大能力を引き出す

- 磁石：Sm系磁石紛、ロールを介したニアネットな**薄型磁石層 配向・緻密化**
- 構成：薄型磁石層と絶縁層を積層高磁気特性と高抵抗性をバランスよく持つ**積層構造磁石**
- 圧延プロセス等を利用
Sm系薄型磁石層と絶縁層による積層構造磁石を組込んだロータにより、超高速回転試験を実施、課題を抽出



①-2 重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす又は 使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発

テーマ担当：産総研（尾崎 研究センター長）、物質・材料研（テーマA2）

- ◆ Ndの大量使用時代を見据えて、Ndを使用しない磁石材料の開発
- ◆ レアアース元素量を減らしてかつ、高性能化を目指す
- ◆ 新たな材料探索のためのツールが必要

計算科学・インフォマティクスを活用した材料開発

データ駆動型材
料開発プラッ
トフォーム

ハイスループットで多組成の材料を作製できる手法の開発

粉末合成技術

ネオジム磁石を超える可能性
のある材料を見出す

プロセス開発と材料開発

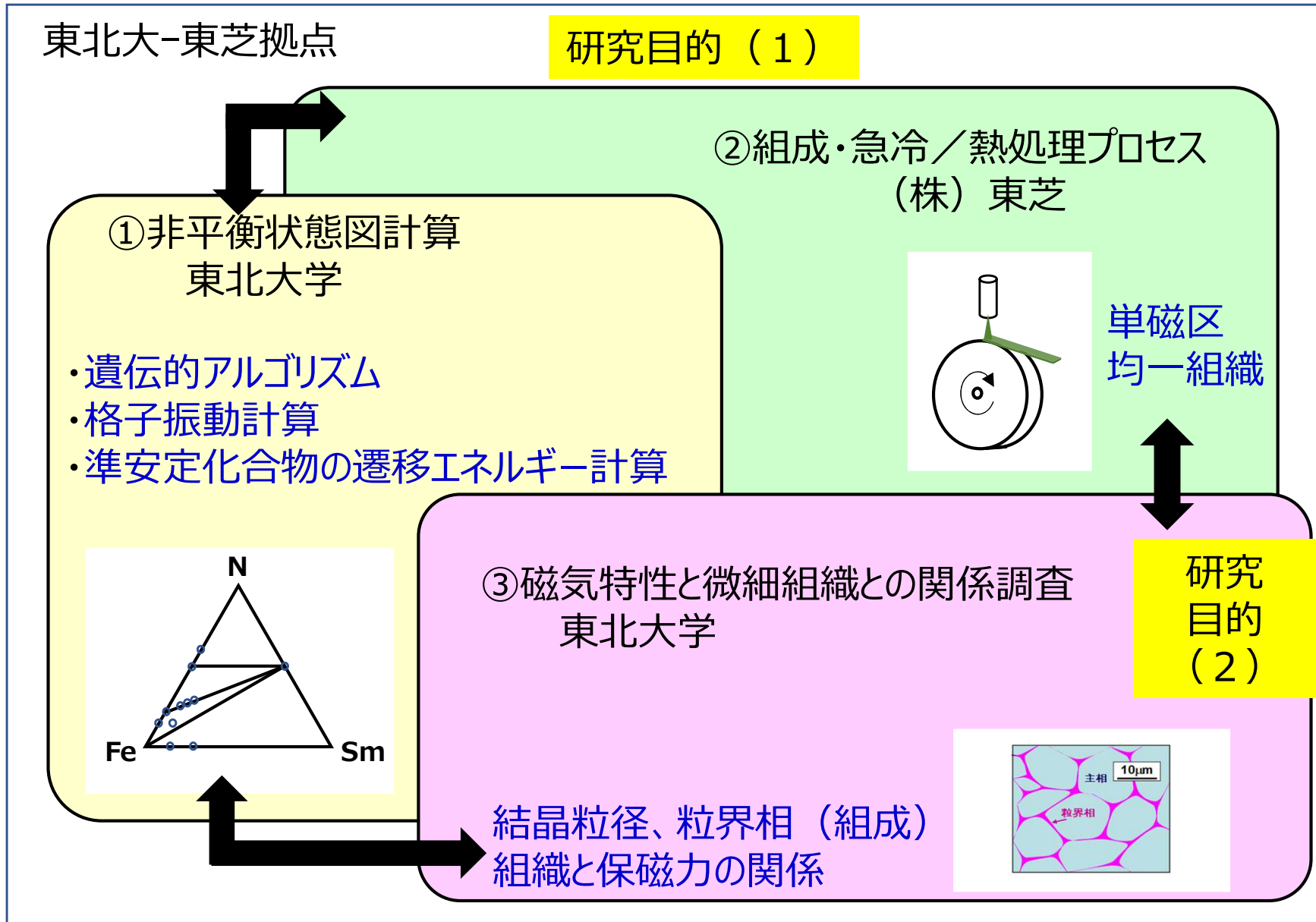
準安定系希土類
磁石材料

材料探索のためのツールを提供する

準安定系希土類磁石材料の高性能化の可能性を確認

①-2 重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす又は
 使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発

テーマ担当：東北大学、株式会社東芝（テーマA1）



産総研
 (磁性粉末冶金研究センター) & 物材機構
 機械学習、高分解能組織観察

研究開発項目② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発

複数地域から供給可能ではあるが、含有量や、不純物が多く、現状ではそのままの利用が難しい低品位レアアースを利用するため、不純物を高効率で除去し、高品位化するための新しい改質技術を確立するとともに、低品位レアアースの高付加価値化等を目指した機能性材料開発実証を行う

項番	テーマ名	概要	開発技術／部材	(テーマコード) 事業者
②-1	低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	低品位のために使用されていないセリウム化合物から不純物を高効率で除去、利用可能なレベルに高品位化する新たな溶媒抽出等技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸系（硝酸フリー）抽出分離技術 ・分離精製装置 ・バッチ法と同分離性能 ・ダウンサイズ 1/2以下 	(C1) ・国立研究開発法人 産業技術総合研究所 ・国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 ・ニッキ株式会社
②-2	低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	酸化セリウムを含有する低品位希土類化合物由来の原料等を用い、構成成分の見直しやナレベルの適材配置等の調製技術	<ul style="list-style-type: none"> ・触媒組成、触媒構造最適化 ・ハニカム触媒 	(C2) ・国立研究開発法人 産業技術総合研究所

②-1 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発

テーマ担当：産総研（成田チーム長）、原子力研、ニッキ株式会社（テーマC1）

○研究開発の目的



酸化セリウムの輸入先：
87%が中国

セリアを含んだ水性スラリーは、化学機械研磨（Chemical Mechanical Polishing: CMP）材として、半導体のウエハー、電子ディスプレイ用ガラス基板、眼鏡レンズ等の研磨に用いられている。

中国以外の製品：
低純度ゆえ更なる精製が必要

忌避元素含有率 <0.01%が必須

**国内精錬を可能にする技術開発により
供給源を多様化することを目的とする。**

②-2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証

テーマ担当：産総研（三木主任研究員）（テーマC2）

○研究開発の目的（低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証）



酸化セリウムの輸入先：
87%が中国

ガソリンエンジン車用の自動車排ガス浄化触媒（三元触媒）において、セリアは助触媒成分として使用されており、触媒活性向上および耐熱性向上等の機能を持つことから、必要不可欠な材料である

中国以外の製品：
低品位のため触媒活性低下が予想される

低品位原料を使用した触媒の技術開発により
供給源を多様化することを目的とする

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①-1 重希土類フリー小型超 高速回転モーター駆動 システム用磁石の開発と 動作実証	1) 磁石特性 残留磁束密度Br : 8.5kG以上 保磁力 : 18kOe以上 絶縁抵抗率 : 10mΩ・cm以上	ネオジム磁石は小型・高効率モーターには重要な磁性材料ではあるが、高温で使用する場合には磁石の性能を維持するため、重希土類元素であるジスプロシウムを添加する必要がある
	2) モーター特性 出力 : 50kW以上 回転数 : 30,000rpm以上	そのため、 ジスプロシウムを使用せずに、乗用車エンジンと同等程度のモーター出力を実現させ、モーターの高速回転による発熱を抑制させるために必要な磁石の特性を目標に設定
①-2 重希土類を使用せず供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発	機械学習を用いた磁石材料探索システムの開発	現在考えられるネオジム磁石を超える可能性のある磁石材料の多くは 準安定な材料 であり、その特性は 結晶構造や材料組成のみならずプロセスに依存する そのため、特性向上のためには様々な因子の寄与を明らかにする必要があるが、 新しい磁石材料 の探索には、膨大な時間を要することから、 効率的な探索を可能とするため、機械学習を用いた磁石材料探索システムの開発及びハイスループット材料作製手法の開発を目標に設定

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発

研究開発項目	研究開発目標	根拠
②-1 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	1) セリウム溶媒抽出における選択性向上：忌避元素残存率0.01%以下 2) 分離プロセスの高効率化：従来型ミキサーセトラー比で装置規模1/2（同等能力運転）	1) に関しては、CMP材として利用可能なCeの純度が99.99%以上であることから、忌避元素残存率0.01%以下とした 2) に関しては、国内精錬を行うために必要な装置規模低減の目安となる値を示した
②-2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	1) 触媒の構成成分の見直しと適材配置を提案：実用触媒同等性能／プロピレン浄化率50%の温度300℃以下 2) 低品位原料の触媒部材の利用割合最適化：低品位原料の利用比（重量比）50%以上	1) に関しては標準的な実用触媒の先行研究例を基準として数値を決めた 2) に関しては、低品位セリウム原料の利用を拡大するための目標となる値とした

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発の内容、スケジュール

(参考) NEDO「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業」実施方針

	事業期間	
	2020年度	2021年度
技術推進委員会・成果報告会（開催月）		▼5月 ▼11・12月 ▼2月
研究開発項目① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発		
1) 重希土類フリー小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証 レアアース量低減、レアアースフリーを目指した新しい磁石開発手法の開発	
2) 重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発	機械学習を用いた磁石材料探索を効率的に進める手法を開発 ハイスループットな材料作製手法を開発 高鉄濃度希土類化合物微結晶創製技術の開発 高鉄濃度希土類化合物急冷薄帯の組織解析	
研究開発項目② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発		
1) 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	低品位のために使用されていないセリウム化合物から不純物を高効率で除去、利用可能なレベルに高品位化するための、新たな溶媒抽出等技術の開発	
2) 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	酸化セリウムを含有する低品位希土類化合物由来の原料等を用い、構成成分の見直しやナノレベルの適材配置等の調製技術開発	

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

1.5年間にて、約11.8億円を活用

(単位：百万円)

研究開発項目	テーマ	事業者名	2020年度	2021年度	小計	合計
①-1	A3	愛知製鋼	100	338	438	543
	B1	IHI	28	77	105	
①-2	A2	産総研 物質・材料研	146	206	352	525
	A1	東北大 東芝	14	159	173	
②-1	C1	産総研 原子力研 ニッキ	25	38	63	63
②-2	C2	産総研	27	20	47	47
合計			339	838	1,178	1,178

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

研究開発テーマ	開発責任者	研究開発項目	事業者	テーマ責任者	NEDO呼称テーマ名	契約形態
① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所研究センター長 尾崎 公洋	①-1 重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	愛知製鋼株式会社	グループ長 度曾 亜紀	A3	委託契約
		①-2 重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発			A2	委託契約
		①-2-1 データ駆動による高鉄濃度準安定系磁石材料の開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所	研究センター長 尾崎 公洋		
			国立研究開発法人物質・材料研究機構	副拠点長 大久保 忠勝		
		①-2-2 高鉄濃度希土類磁石化合物における相平衡とプロセス技術開発	国立大学法人東北大学	教授 杉本 諭	A1	委託契約
			株式会社東芝	技監 桜田 新哉		
			公益財団法人豊田理化学研究所	フェロー 大谷 博司		
	株式会社IHI 主査 米山 夏樹	①-1 重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	株式会社IHI	主査 米山 夏樹	B1	委託契約
② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所研究チーム長 成田 弘一	②-1 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所	研究チーム長 成田 弘一	C1	委託契約
			国立研究開発法人日本原子力研究開発機構			委託契約
			ニッキ株式会社			委託契約
		②-2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	国立研究開発法人産業技術総合研究所	主任研究員 三木 健	C2	委託契約

◆研究開発の運営管理

■進捗管理

四半期毎に開発目標と達成度を各テーマ別代表者様と進捗確認実施

■第1回 技術推進委員会開催：2021年5月21日

研究の進捗、課題について報告を受け、委員よりアドバイスをいただき、事業者様の業務へ反映いただいた

委員長：岡部教授（東京大学）、委員：赤津教授（横浜国立大学）、今中教授（大阪大学）、堺教授（東洋大学）、佐久間教授（東北大学）

C1テーマ（産総研・原子力研・ニッキ）：予算内での追加投入

■第2回 技術推進委員会（研究開発現場調査会）開催：2021年11月・12月

全テーマの研究開発現場を技術推進委員及び経産省関係者と訪問実施

研究の進捗、課題について報告を受け、委員よりアドバイスをいただき、事業者様の業務へ反映いただいた

B1テーマ（IHI社）：プロセス開発課題取組みのため、研究開発期間1ヶ月延長変更

■成果報告会の開催：2022年2月

2022年2月：成果報告会実施。研究成果報告を目指し、進捗を推進、実用化に向けて各委員よりアドバイスをいただいた

◆ 研究開発の運営管理 (変更契約)

B1テーマ (IHI社 : 期間延長) 、C1テーマ (産総研 : プロジェクト予算内で柔軟に対応)

テーマ (事業者)	技術推進委員指摘	対応
B1 (IHI)	粉末圧延による積層構造磁石の限界性能を見極め、仕様到達への技術的理由をきちんと明確にさせていただいて、課題を抽出して頂きたい	粉末圧延型積層構造磁石の特性について、粉末圧延磁石単体としての限界性能をしっかりと見極めるため、3月末まで、1ヶ月延長して実施 <ul style="list-style-type: none"> ・ホットプレスを利用した焼結技術の検討 ・1-5系の焼結しやすい素材の追加検討 ・外部有識者コメントによる対策の立案と実施 ・プロセス開発とモータ評価の切り分け実施 ・モータ評価は従来加工による薄型積層磁石について、プロセス開発については限界性能を得るべく追加の検討・期間を設ける変更を実施
C1 (産総研)	研究を加速してエマルションフローの実用化に対する課題を見つけ出して早めに対策を講じた開発を進めてください	検討する分離条件及びレアアースの数を増やすとともに、エマルションフロー装置の応用性を高める試作を加えるものであり、本技術の汎用性及び実用性向上のための研究を加速させる効果が期待できる 模擬液等を用いた試験を行い生じた問題点に関して、細管束ノズル等を導入し開発試験を行った

◆研究開発の促進 (予算内での追加投入)

C1テーマ (産総研・原子力研・ニッキ) : 研究開発促進のため

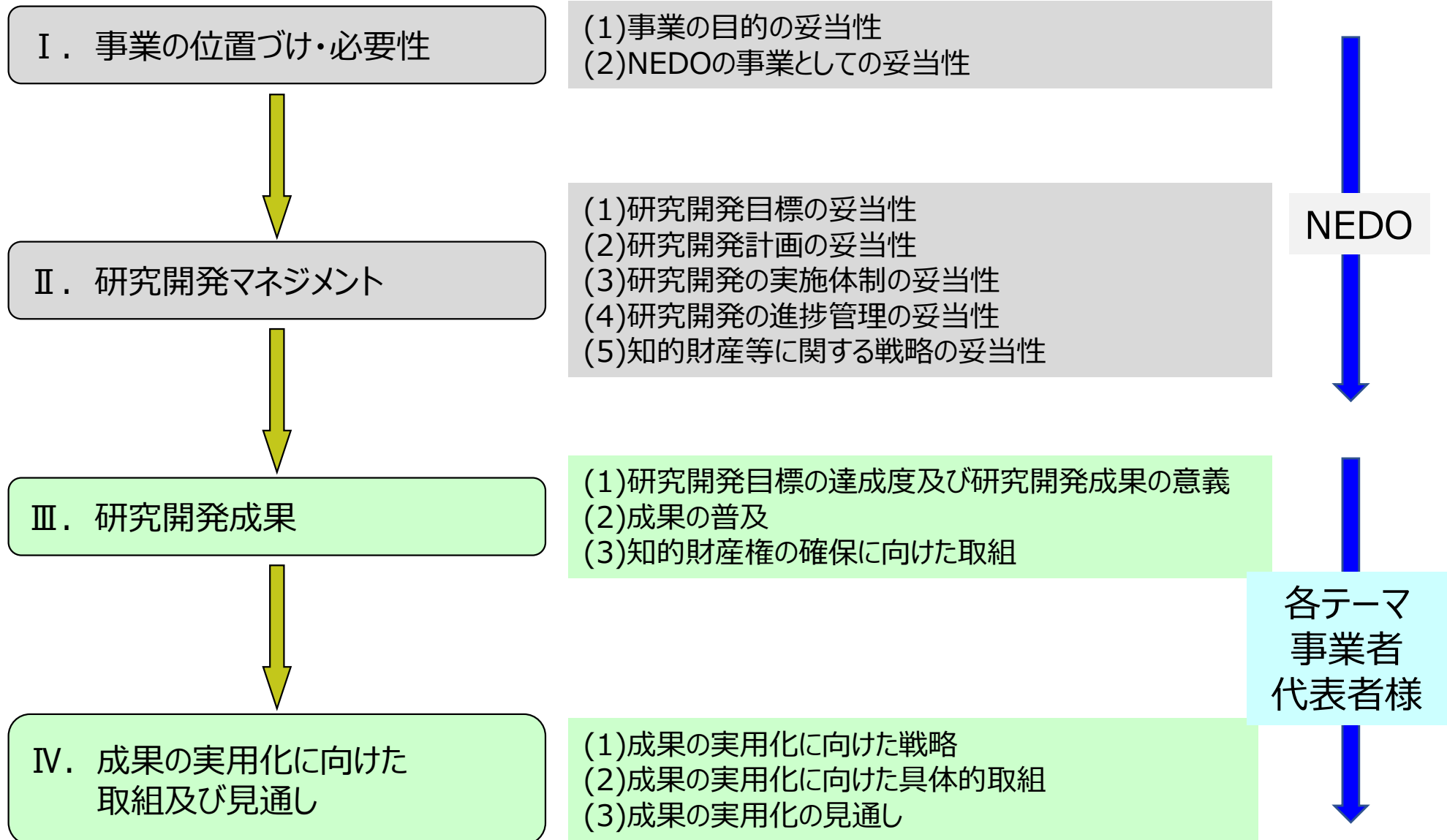
件名	投入年度	金額 (百万円)	目的	成果
エマルションフロー装置付属品等の購入	2021	3.7	細管束ノズル、pHメータ付きエマルションフロー装置等を導入し、Ceの更なる高純度化及び実用性向上を図るため	実工程液による試験において生じていた、目詰まり等の問題を解消することができた
新規トリアミドアミン型抽出剤の購入	2021	1.1	セリウム以外のレアアースにも対応できるように、汎用性を向上させるため	レアアースの抽出率と原子番号との関係を明らかにし、査読付き英語論文誌の受理に至った
油分測定計の購入	2021	1.6	新規トリアミドアミン型抽出剤の実用性を調べるために、抽出操作後の水溶液への抽出剤の漏洩濃度を測定するため	トリアミドアミン型抽出剤の水溶液の漏洩濃度は極めて低く、問題ないことが分かった

◆知的財産権等に関するマネジメント

- (1) 知的財産権の帰属 知的財産権は、全て委託先・再委託先の発明機関に帰属
- (2) N E D Oプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針に関する事項 **N E D O 知財方針**に記載された「知財運営委員会」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成実施
- (3) N E D O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 (N E D Oデータ方針) に関する事項 **N E D Oデータ方針**に記載された「知財運営委員会」を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成実施

	非競争域	競争域	
公開	公知情報等	<ul style="list-style-type: none"> ・材料組成・構造 ・装置・モーター構造 ・材料・プロセス開発 ・システム開発 	積極的に権利化
非公開		<ul style="list-style-type: none"> ・部材製造技術・製造条件 ・装置運転条件 	ノウハウとして秘匿

発表内容



Ⅲ章 研究開発成果

Ⅳ章 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆研究開発（内容）項目毎の目標と達成状況（テーマA3）

研究課題①-1 「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用 磁石の開発と動作実証」 愛知製鋼株式会社

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発	Br:8.5kG以上 保磁力:18kOe以上 体積抵抗率(ρ_v): 10m Ω cm以上	Br : 8.6kG 保磁力 : 15.6kOe ρ_v : 10m Ω cm	○ (保磁力を除き、概ね達成と評価)	保磁力向上に向け ・高保磁力SmFeN微粉末の検討 ・粒度分布最適化を検討
[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	モーター回転数 : 30,000rpm以上 最大出力 : 50kW以上 駆動実証	最高出力50 kW 最高回転数 : 34,000rpm 最大効率93%、最大トルク 1850Nm (減速比 21.8) を達成	○ (超高速回転モーター駆動システムの設計・試作、駆動実証に成功)	・小型・軽量化、省資源化を実現し高出力化、高効率化に向けた取組 ・駆動システムの耐久性評価 ・駆動システムの車両搭載性評価

技術的にBrと保磁力は背反の関係にあり、さらに体積抵抗率の向上や低圧成形でロータとの一体成形を行い磁石粉末の破壊抑制を達成するのは非常に難易度が高い。本事業の開発では保磁力の目標値は未達であるが、体積抵抗率が既存磁石の100倍高い値を達成できたことから、超高速回転による渦電流損による発熱が少ないため熱減磁による磁石の保磁力低下を抑制でき超高速回転モーター駆動システム用磁石としての価値は高い。ただし、保磁力は高い方が信頼性の指標は高くなるため、今後も高保磁力SmFeN微粉末の検討や粒度分布最適化を検討し高いレベルを目指す。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成（事後）、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発 (内容) 項目毎の目標と達成状況 (テーマB1)

研究課題①-1 「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証」 株式会社IHI

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発	Br:8.5kG以上 保磁力:18kOe以上 体積抵抗率(ρ_v): 10m Ω cm以上 \cong 1/71以下	Br : 5.8kG 保磁力 : 12.1kOe ρ_v : \cong 1/58	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ロールを介した薄型磁石の焼結改善に課題。要素技術取得から。 ・目標となる積層体の作製方法および特性取得は完了。 ・今後再設計・試作体制の構築が必要。
[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	モーター回転数 : 30,000rpm以上 最大出力 : 50 kW以上 駆動実証 (85,000rpm、4.2KW モータ定格試験による)	最高回転数 : 91,000rpmのストレッチ目標まで達成。 回転試験を行い、熱静定まで確認できた。	○	—

希土類磁石の今後の高周波環境下・高速回転モータ利用を検討するなかで、技術的に従来型加工薄型磁石化合物と比較してニアネットな薄型磁石層形成方法はそのプロセス上の組織制御において新たな課題と困難があったと言う観点から、非常に難度が高く、目標値には未達であるが、積層磁石として取り扱う高速電動製品として得られた成果や薄型磁石プロセス特に焼結プロセス上の温度、時間、荷重、雰囲気などの想定される課題を抽出しかつその限界性能を得たという理由で、今後の日本の電動化製品の発展につながる成果である。これはモータ特筆すべき成果であり、また今後の高速回転モータに利用される磁石やその作製プロセス、組み込み方法、モータ駆動システムとしての知見として価値が高い。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成 (事後)、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (テーマA1,A2)

研究課題①-2 「重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発」
産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、東北大学、株式会社東芝

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
【1】機械学習を利用したデータ駆動型材料開発	脱重希土類磁石材料開発をモデルケースとしたデータ駆動型の材料開発プラットフォームの要素技術の開発	高鉄濃度Sm-Fe系磁石材料をモデル材料として、データ駆動型材料開発の要素技術を開発した。	○	(課題) モデル材料として開発した材料ならびにDX手法の実用化を目指した取り組み (解決方針) さらなる手法の確立と関連企業への技術移転
【2】一度に多数のデータを取得できるハイスループットな材料作製手法開発	多組成の粉末を1プロセスで合成できるハイスループット装置の開発	熱プラズマ法による多組成粉末の1プロセス合成に成功した。	○	(課題) 本手法による高性能磁石材料の生成 (解決方針) プロセス理論の構築

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成 (事後)、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (テーマC1,C2)

研究課題②-1 「低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発」

研究課題②-2 「低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証」

産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、ニッキ株式会社

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
C1低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	①セリウム溶媒抽出における選択性向上： 忌避元素残存率0.01%以下 ②分離プロセスの高効率化： 従来型ミキサーセトラー比で装置規模1/2（同等能力運転）	エマルションフロー装置を用いた分離プロセスにより、軽レアアース混合溶液から、セリウム純度>99.99%の水溶液を得ることに成功した。また、その際の装置規模は従来型ミキサーセトラーと比較して、1/2以下であった。	○	エマルションフロー装置の多段化、分離条件の最適化等を行う。
C2低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	①触媒の構成成分の見直しと適材配置を提案：実用触媒同等性能／プロピレン浄化率50%の温度300℃以下 ②低品位原料の触媒部材の利用割合最適化：低品位原料の利用比（重量比）50%以上	低品位セリア原料の使用を想定したセリア系触媒と少量のセリアを添加したアルミナ系触媒からなる触媒でプロピレン浄化率50%の温度300℃以下の触媒性能を得た。また、その触媒の低品位セリア原料の使用率は50%であった。	○	触媒性能向上と異種金属複合化による貴金属触媒の耐熱性の最適化を行う。

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

3. 研究開発成果 (1) 全テーマ成果一覧

◆ 成果の普及

※2022年9月5日現在

	2020 年度	2021 年度	計 (件)
論文	0	6	6
研究発表・講演	4	10	14
新聞・雑誌等への掲載	1	12	13
展示会への出展	1	0	1
TV放映	0	1	1
HP掲載	0	2	2

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

	2020 年度	2021 年度	計 (件)
特許出願	0	5	5

補足) 契約期間終了後、実施されたものは2021年度に含み集計

「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 における「実用化」の考え方

本事業における実用化とは、当該研究開発における試作品、技術等の社会的利用が開始されることをいう。

【研究開発項目①】

磁石開発においては、磁石メーカーにより量産プロセス技術の確立、生産／販売が開始されることをもって実用化とする。手法開発においては、実証試験ならびに第3者へのサンプル提供、企業単独での実施をもって実用化とする。モーター開発においては、商業化、量産の開始、他社との協業体制の確立をもって実用化とする。

【研究開発項目②】

化学機械研磨材開発については自社工場における生産体制を確立することをもって実用化とする。触媒開発においては、現行実用触媒と同等性能および耐久性を実現し第3者への生産技術移転が可能となることをもって実用化とする。

「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業／
重希土類を使用しない高性能磁石等の開発」

テーマA (A1、A2、A3)

重希土類を使用しない高性能磁石等の開発

(2020年度～2021年度 1.5年)

成果報告説明用資料 (公開)

愛知製鋼株式会社

国立研究開発法人産業技術総合研究所

国立研究開発法人物質・材料研究機構

国立大学法人東北大学

株式会社東芝

2022年10月27日

◆研究開発の実施体制 (テーマA)

研究開発テーマ	開発責任者	研究開発項目		事業者	テーマ責任者	NEDO呼称 テーマ	契約形態
① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究センター長 尾崎 公洋	①-1	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	愛知製鋼株式会社	グループ長 度曾 亜紀	A3	委託契約
		①-2	重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発				
		①-2-1	データ駆動による高鉄濃度準安定系磁石材料の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究センター長 尾崎 公洋	A2	委託契約
				国立研究開発法人 物質・材料研究機構	副拠点長 大久保 忠勝		委託契約
		①-2-2	高鉄濃度希土類磁石化合物における相平衡とプロセス技術開発	国立大学法人東北大学	教授 杉本 諭	A1	委託契約
				株式会社東芝	技監 桜田 新哉		委託契約
豊田理研	フェロー 大谷 博司			共同実施			
	株式会社IHI 主査 米山 夏樹	①-1	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	株式会社IHI	主査 米山 夏樹	B1	委託契約
② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究チーム長 成田 弘一	②-1	低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究チーム長 成田 弘一	C1	委託契約
				国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構			委託契約
				ニッキ株式会社			委託契約
		②-2	低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	主任研究員 三木 健	C2	委託契約

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (テーマA1,A2)

研究課題①-2 「重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発」
産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、東北大学、株式会社東芝

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
【1】機械学習を利用したデータ駆動型材料開発	脱重希土類磁石材料開発をモデルケースとしたデータ駆動型の材料開発プラットフォームの要素技術の開発	高鉄濃度Sm-Fe系磁石材料をモデル材料として、データ駆動型材料開発の要素技術を開発した。	○	(課題) モデル材料として開発した材料ならびにDX手法の実用化を目指した取り組み(解決方針) さらなる手法の確立と関連企業への技術移転
【2】一度に多数のデータを取得できるハイスループットな材料作製手法開発	多組成の粉末を1プロセスで合成できるハイスループット装置の開発	熱プラズマ法による多組成粉末の1プロセス合成に成功した。	○	(課題) 本手法による高性能磁石材料の生成(解決方針) プロセス理論の構築

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成 (事後)、×未達

テーマ
A1,A2

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 (A1,A2)

研究開発の目的

- ◆ Ndの大量使用時代を見据えて、Ndを使用しない磁石材料の開発
- ◆ レアアース元素量を減らして、かつ高性能化を目指す
- ◆ 新たな材料探索のためのツールが必要

計算科学・インフォマティクスを活用した材料開発

ハイスループットで多組成の材料を作製できる手法の開発

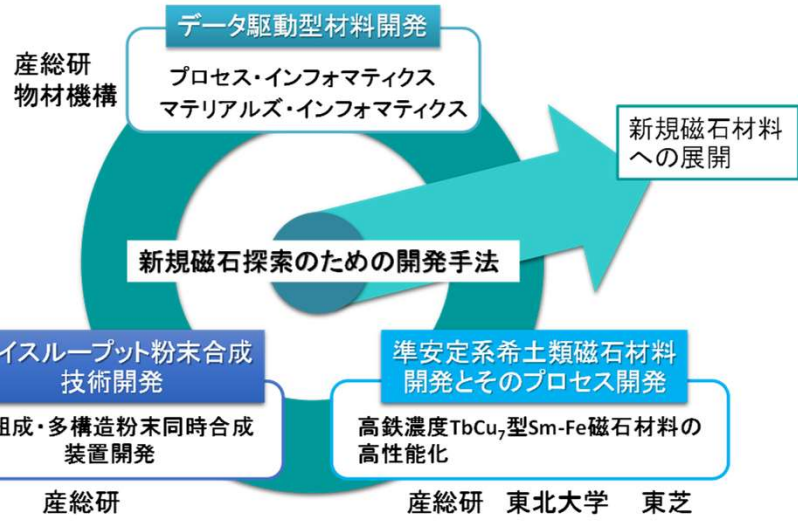
ネオジム磁石を超える可能性のある材料を見出す

データ駆動型
材料開発プラットフォーム

粉末合成技術

プロセス開発
と材料開発

準安定系希土類
磁石材料



材料探索のためのツールを提供する

準安定系希土類磁石材料の高性能化の可能性を確認

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A2

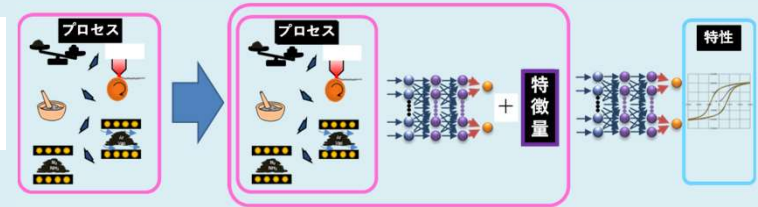
◆各個別テーマの成果と意義 (A2)

～ 研究開発成果まとめ ～

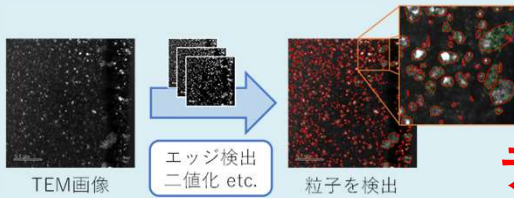
[1] 単ロール法によるプロセスデータを中心としたデータ駆動型材料開発



微細組織画像による特性予測手法の開発

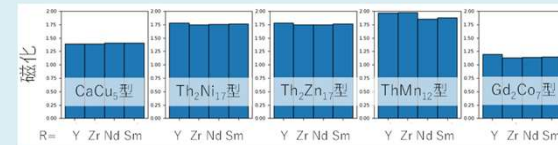


[2] 微細組織解析とそれによる材料画像インフォマティクス技術開発

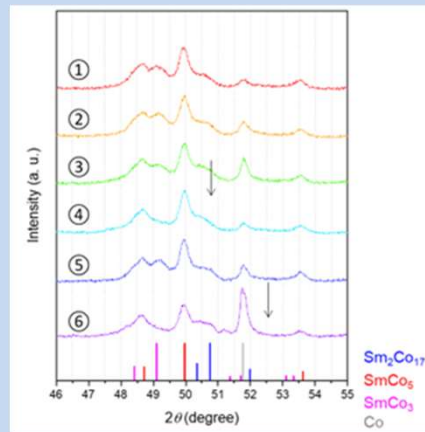
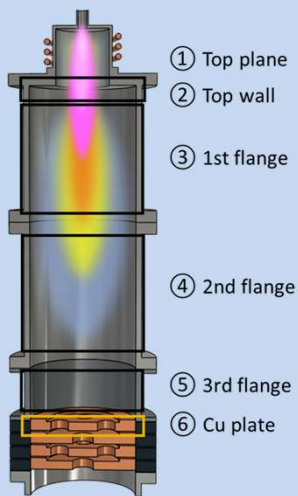


データ駆動型材料開発プラットフォームの開発

[3] 第一原理シミュレーションによる構造安定化と特性予測システムの開発

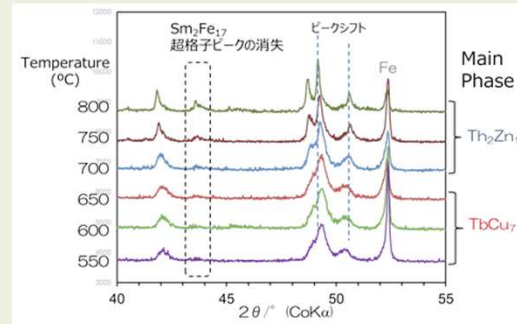


[4] 熱プラズマ法を用いたハイスループット粉末合成システムの開発

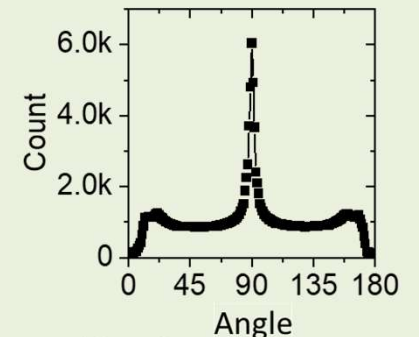


多組成粉末を同時作製可能

[5] 高Fe濃度SmFexN系磁石材料の異方化の可能性探索



湿式法



熱プラズマ法

SmFexN(x=8.8) 単結晶粒子を合成

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

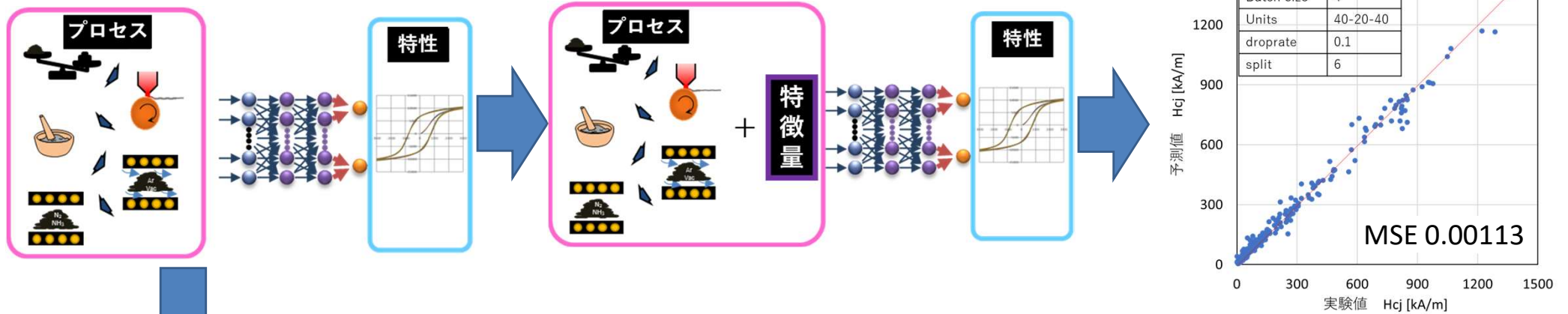
テーマ
A2

[1] 単ロール法によるプロセスデータを中心としたデータ駆動型材料開発

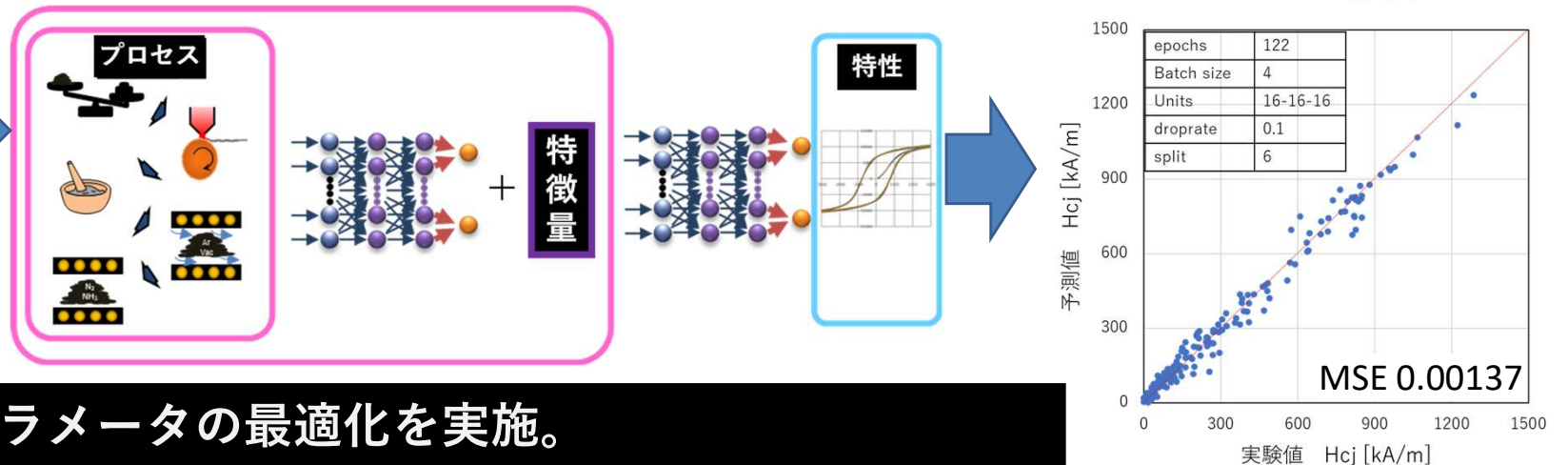
計算負荷を考慮した2種類のモデル作成方法の検討

- ① 全更新型：新たな入力データ→既存モデル白紙・新モデル作成
- ② 階層型：新たな入力データ+既存モデル→新モデル作成 ← 低コスト

①全更新型 (従来手法)



②階層型 (開発手法)



ハイパーパラメータの最適化を実施。
階層型 (追加型) においても高精度なモデルの作成に成功

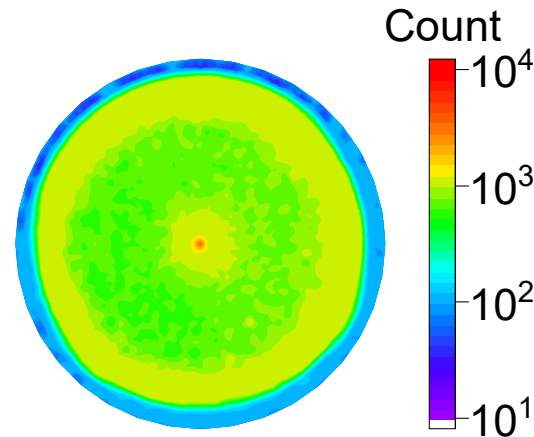
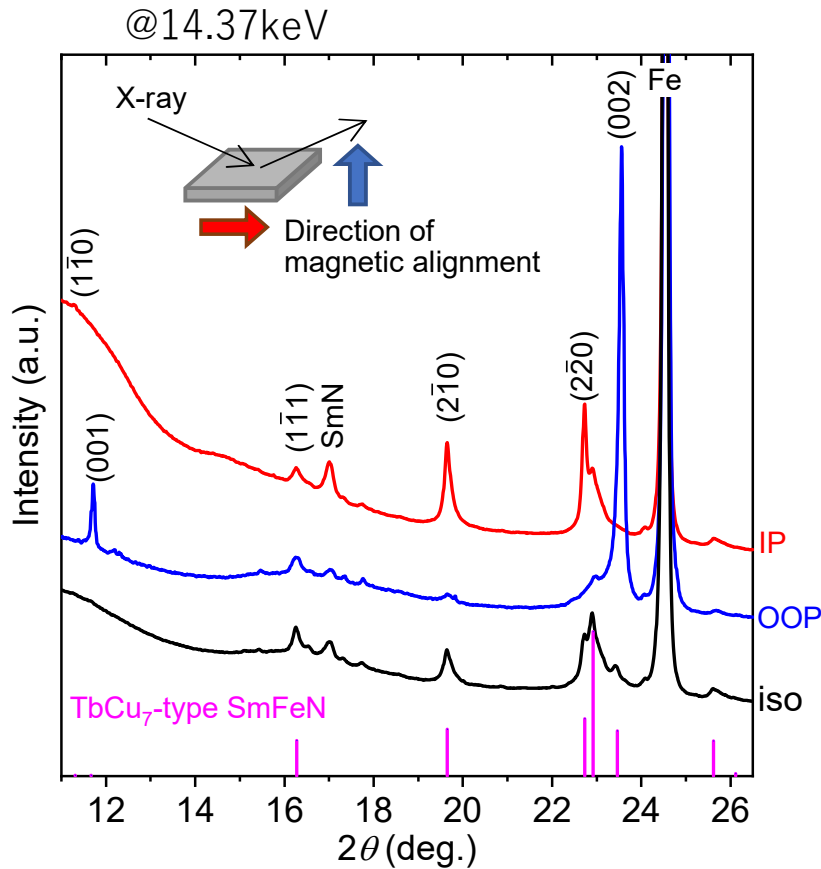
テーマ
A2

[5] 高Fe濃度SmFexN系磁石材料の異方化の可能性探索-2

熱プラズマ法による孤立粒子の合成

TbCu₇型のSm-Fe-Nの配向性定量評価

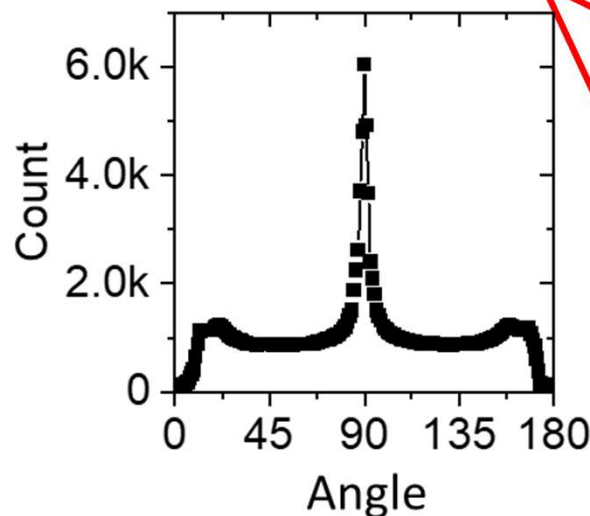
磁場による配向



単粒子の生成により配向が可能となった



P = 90.7%



Alignment degree P (%)

$$P[\%] = \left[\frac{\int_0^{\pi/2} I(\chi) \sin \chi \cos \chi d\chi}{\int_0^{\pi/2} I(\chi) \sin \chi d\chi} \times 100 - 50 \right] \times 2$$

$$I(\chi) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I(\chi, \beta) d\beta$$

P=100で完全配向

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A1

◆各個別テーマの成果と意義 (A1)

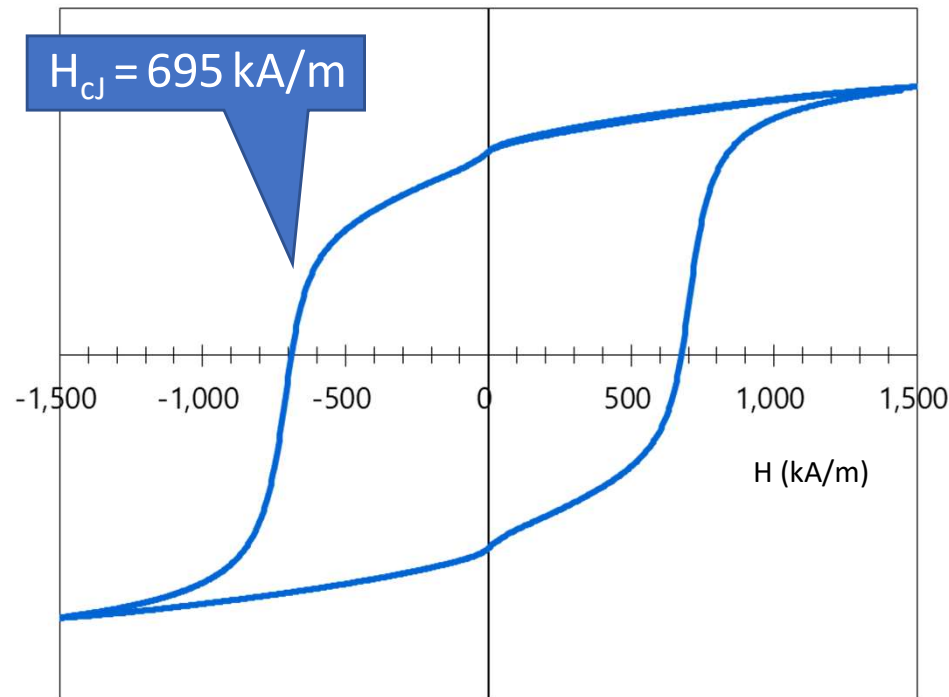
[1] 高鉄濃度希土類化合物微結晶創製技術の開発 (担当: 東芝)

最終目標

TbCu₇型結晶の高鉄濃度 (SmFe_x ($x \geq 9$)) と高い保磁力 ($H_{cJ} \geq 640 \text{ kA/m}$ (8 kOe)) が両立できる添加元素の特定と急冷薄帯の作製条件を確立する

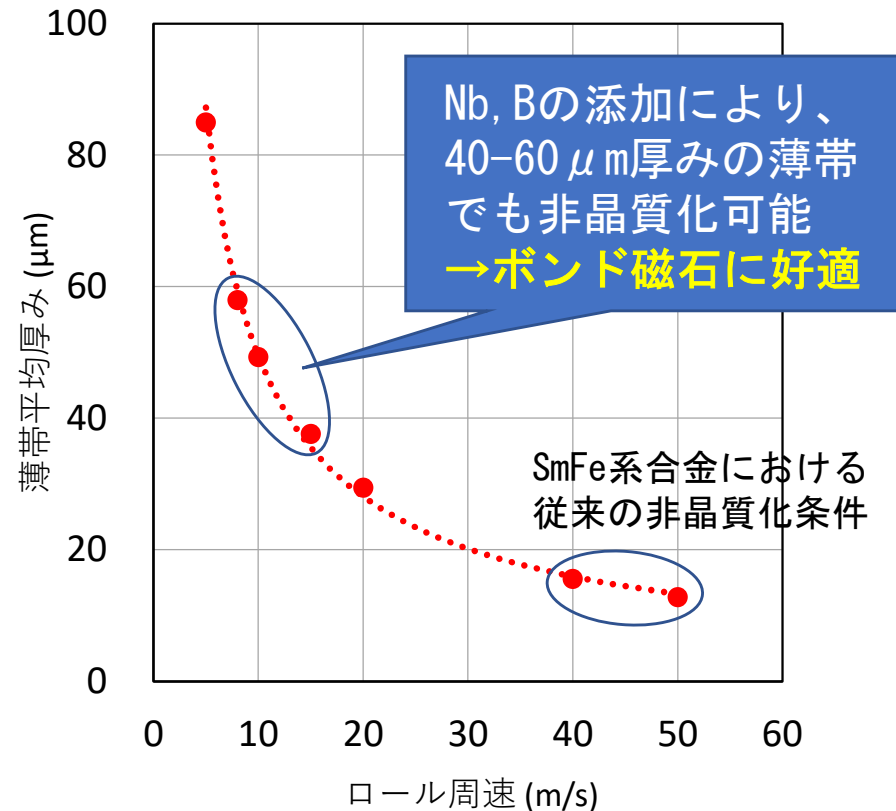
研究成果

(1) 高保磁力化が進展、目標値を達成



液体急冷薄帯 (熱処理後) の磁化曲線

(2) Nb, B添加により薄帯厚みを増大化

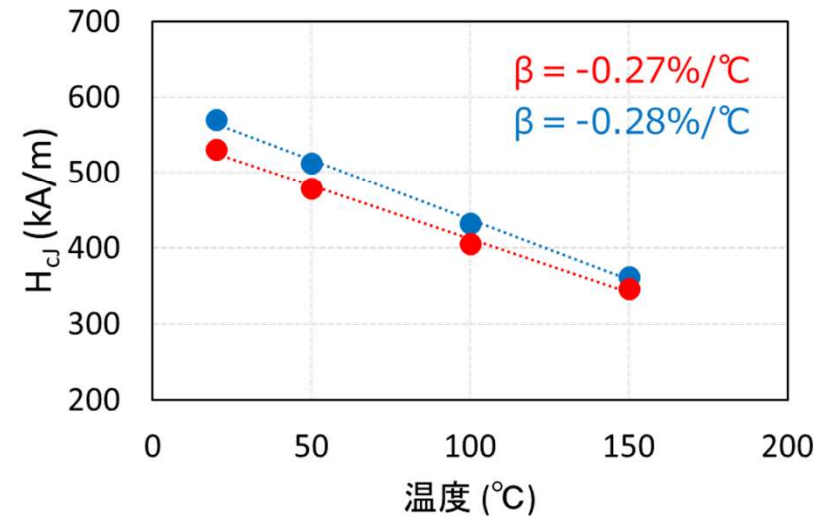
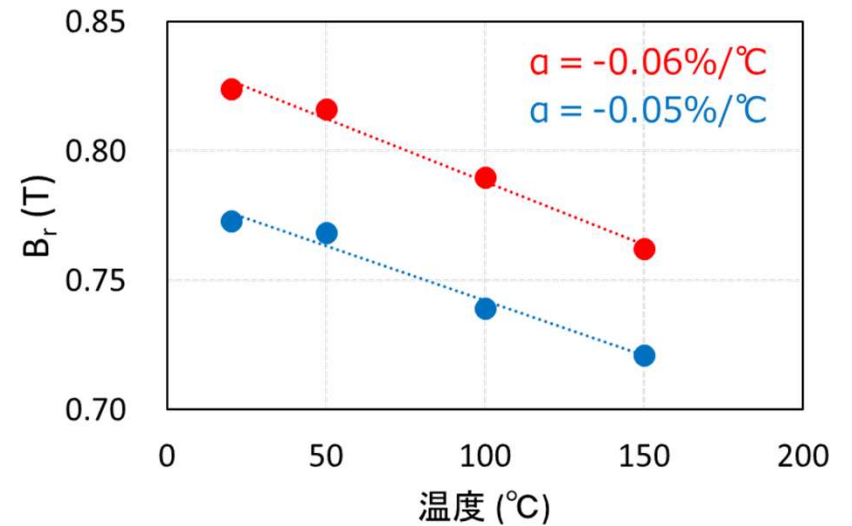
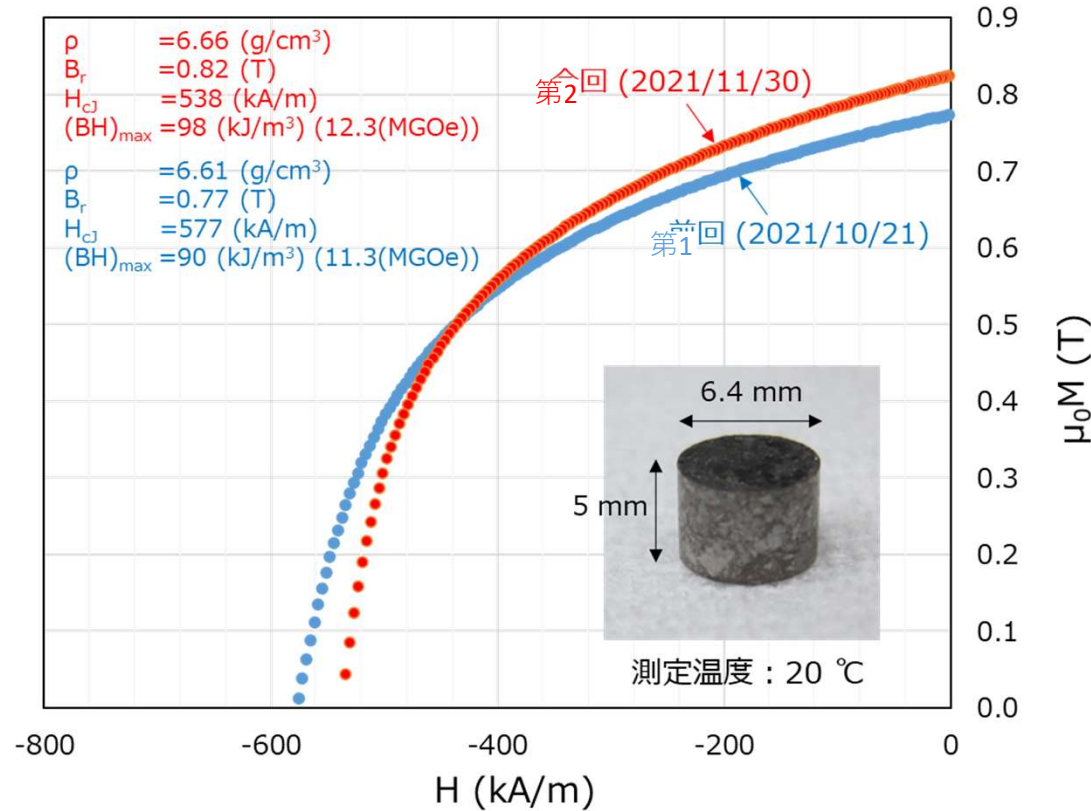


3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A1

(3) 等方性ボンド磁石の試作・評価：

NdFeB系等方性ボンド磁石と同等の $(BH)_{max}$ と大幅に優れる温度特性を確認



	B_r (T)	H_{cj} (kA/m)	$(BH)_{max}$ (kJ/m ³)	α (%/°C)	β (%/°C)
SmFeCoNbB	0.77-0.82	538-577	90-98	-0.05~6	-0.27~8
NdFeB	0.72-0.77 ^[1]	716-836 ^[1]	88-99 ^[1]	-0.10 ^[1]	-0.35 ^[2]

[1] 株式会社ダイドー電子 カタログ「NEOQUENCH-P」 NP-12L

[2] J. Magn. Mater., 303, e371-e374 (2006)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A1

◆各個別テーマの成果と意義

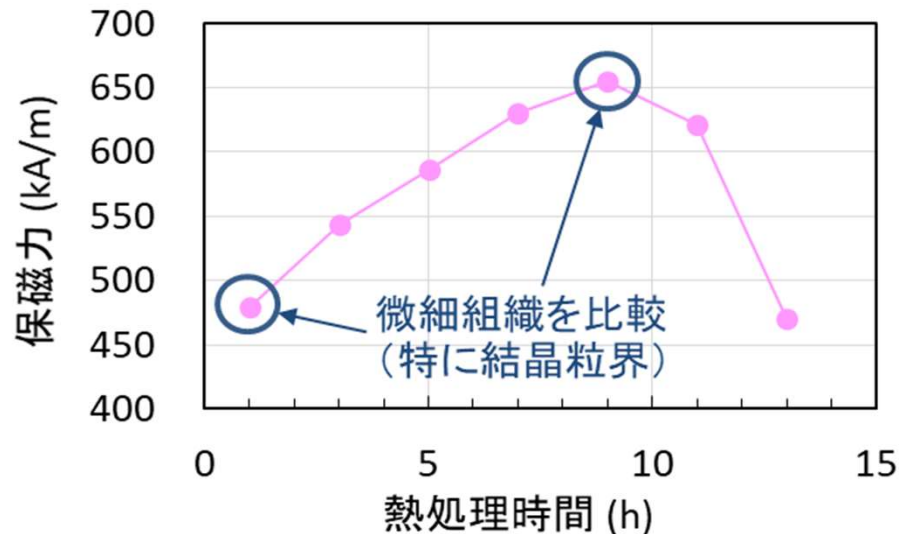
[2] 高鉄濃度希土類化合物急冷薄帯の組織解析 (担当: 東北大・杉本研)

最終目標

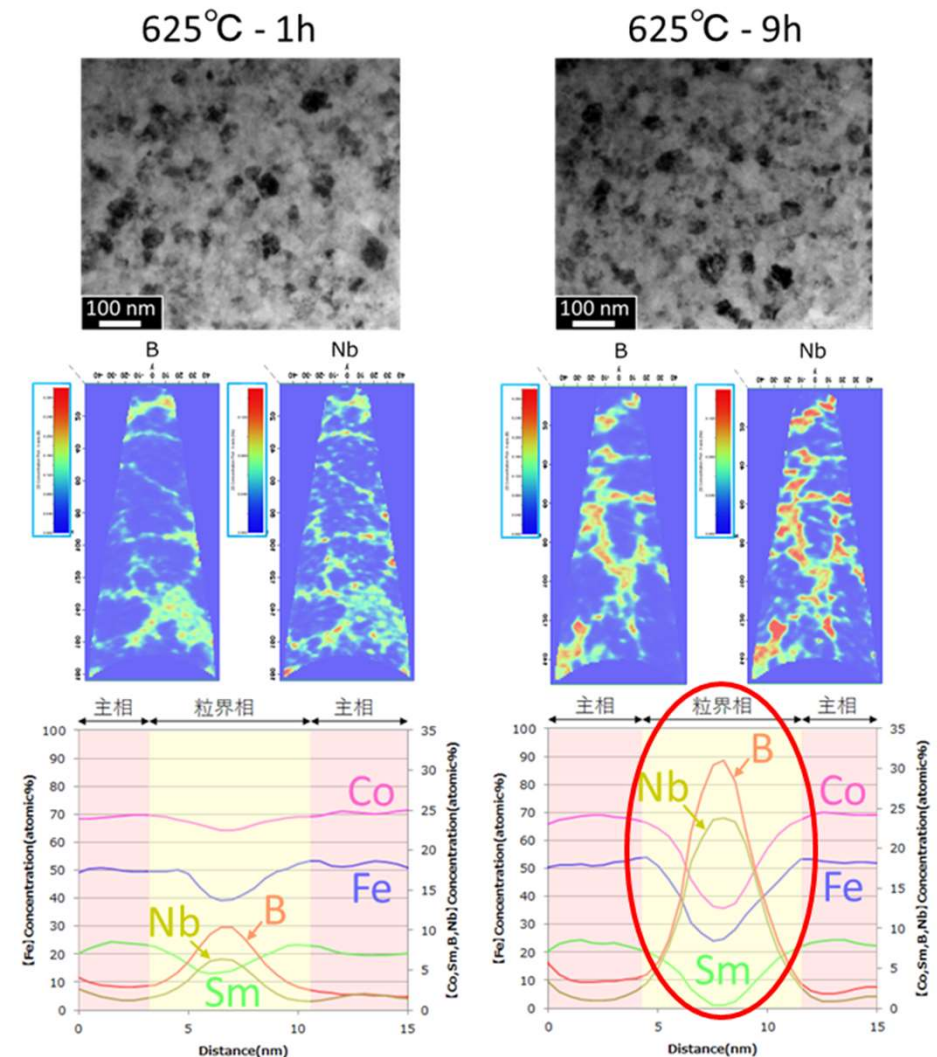
[1] の目標を実現させる微細組織形態を明らかにする

研究成果

(1) 保磁力と微細組織の関係明確化



- 熱処理時間を増大 (1 → 9 時間) することにより、**Nb**、**B**が粒界相に濃化することが判明 (Sm, Fe, Co濃度は低下)。この変化が高保磁力化の要因と推測。



◆研究開発（内容）項目毎の目標と達成状況（A3）

研究課題①-1 「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証」

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発	Br:8.5kG以上 保磁力:18kOe以上 体積抵抗率(ρ_v): 10m Ω cm以上	Br : 8.6kG 保磁力 : 15.6kOe ρ_v : 10m Ω cm	○ (保磁力を除いて、概ね達成と評価)	保磁力向上に向け ・高保磁力SmFeN微粉末の検討 ・粒度分布最適化を検討
[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	モーター回転数 : 30,000rpm以上 最大出力 : 50 k W 以上 駆動実証	最高出力50 k W 最高回転数 : 34,000rpm 最大効率93%、 最大トルク1850Nm (減速比 21.8) を達成	○ (超高速回転モーター駆動システムの設計・試作、駆動実証に成功)	・小型・軽量化、省資源化を実現し高出力化、高効率化に向けた取組 ・駆動システムの耐久性評価 ・駆動システムの車両搭載性評価

技術的にBrと保磁力は背反の関係にあり、さらに体積抵抗率の向上や低圧成形でロータとの一体成形を行い磁石粉末の破壊抑制を達成するのは非常に難易度が高い。本事業の開発では保磁力の目標値は未達であるが、体積抵抗率が既存磁石の100倍高い値を達成できたことから、超高速回転による渦電流損による発熱が少ないため熱減磁による磁石の保磁力低下を抑制でき超高速回転モーター駆動システム用磁石としての価値は高い。ただし、保磁力は高い方が信頼性の指標は高くなるため、今後も高保磁力SmFeN微粉末の検討や粒度分布最適化を検討し高いレベルを目指す。

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

テーマ
A3

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義 (A3)

研究課題 1「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証」



図 実証した超高速回転モーター駆動システム

同出力を出すのに使用する素材量 (相対値)

	主構成材料	一般的電動アクスル	開発品
モータ部	電磁鋼板	100	25
	銅	100	30
	レアース磁石	100	30 (Dyフリー)
減速部	ギヤ・シャフト (<small>フェニックス部除く</small>)	100	100

減速比 1 当たりの使用する素材量 (相対値)

	主構成材料	一般的電動アクスル	開発品
減速部	ギヤ・シャフト (<small>フェニックス部除く</small>)	100	50

図 プロジェクトによる
電磁鋼板、銅、希土類の使用量削減

■ 成果の意義

本事業による技術を基に、NEDOグリーンイノベーション (GI) 基金「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」に採択

部素材のサプライチェーンの強靱化に貢献

◆研究開発内容の具体的な成果 (A3)

重希土類を使用しない小型超高速回転
モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証

[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用 磁石の開発

- ①ボンド磁石に使われる磁石粉末の性能向上
- ②高Br、高保磁力、高体積抵抗率を有するボンド磁石のための高充填
コンパンドの開発・試作
- ③磁石粉末を破壊せずにロータコア内に成形する形状自由度の高い
低圧一体成形技術の向上

[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証

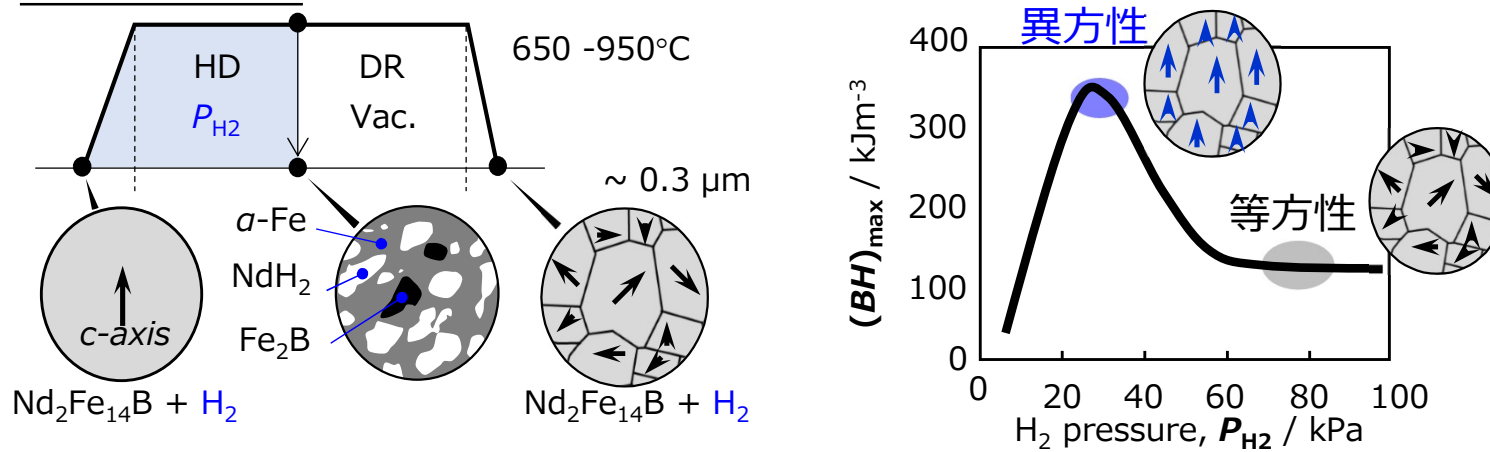
- ④超高速モーターシステムの設計・評価および減速機システムの設計・評価
さらに高強度ギア・シャフト鋼の開発
- ⑤モーターシステムの周辺技術として、駆動モーターを構成するステータ
材料である軟磁性圧粉体の開発、ロータコア材料に使用される薄板
電磁鋼板の部分改質技術の開発

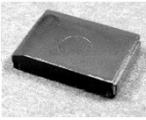
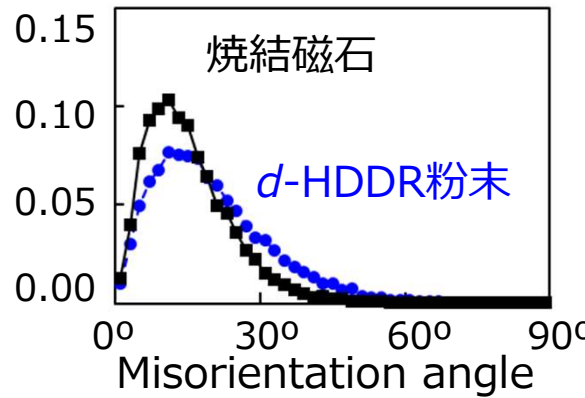

テーマ
A3

[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発

①ボンド磁石に使われる磁石粉末の性能向上

d-HDDR^{1,2)} (dynamic Hydrogenation Disproportionation Desorption Recombination)



	Nd ₂ Fe ₁₄ B相(001)方位分散	異方性	J _r
焼結磁石 	頻度 	>80%	~1.5 T
<i>d</i> -HDDR 		~70%	~1.3 T

d-HDDRの問題点

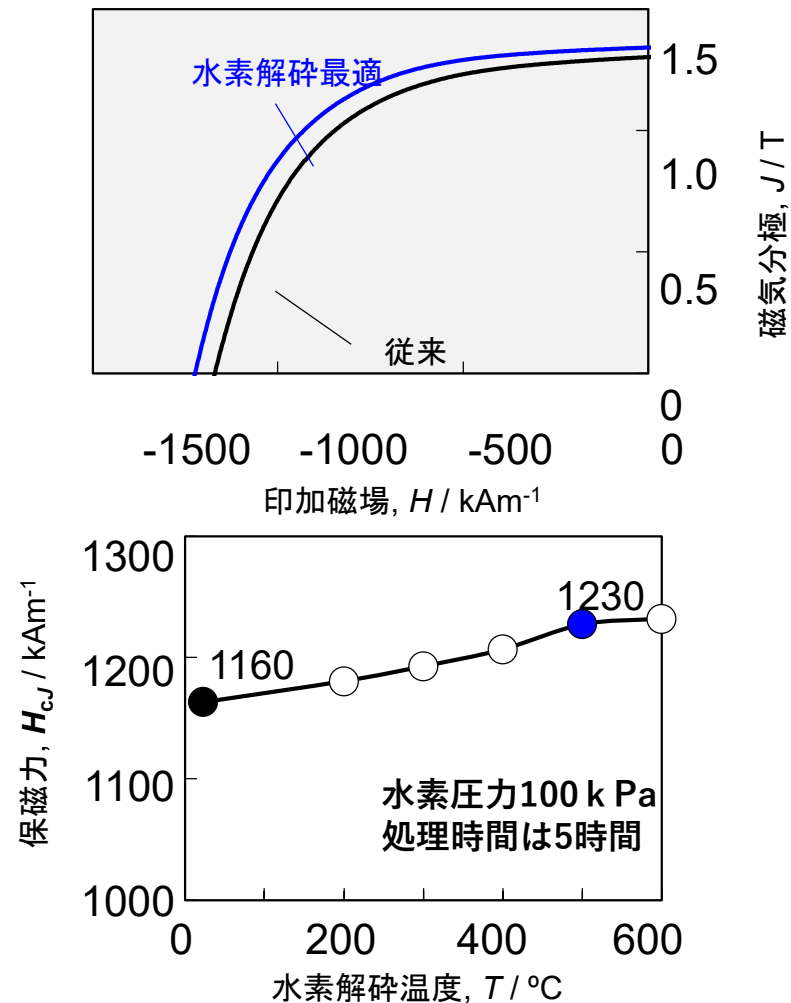
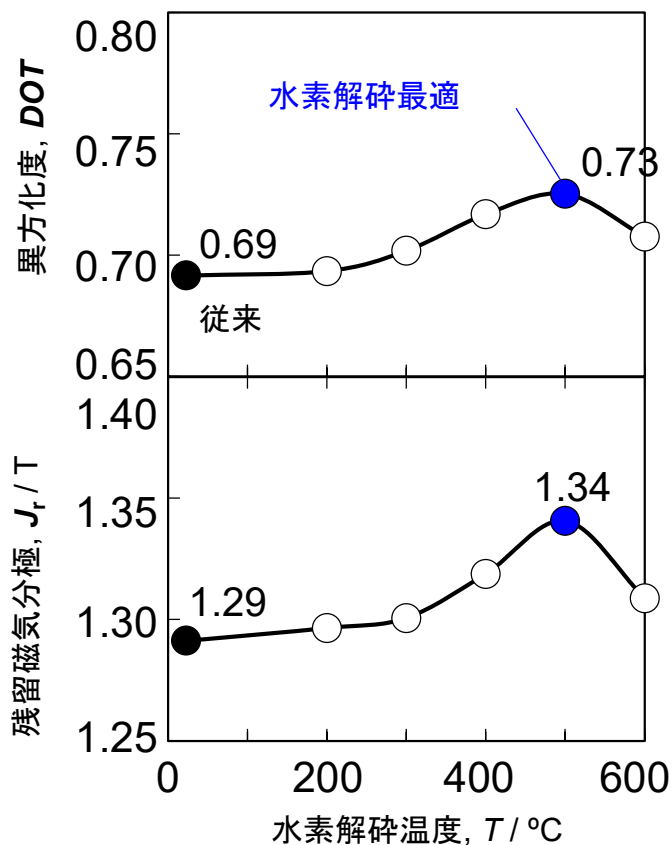
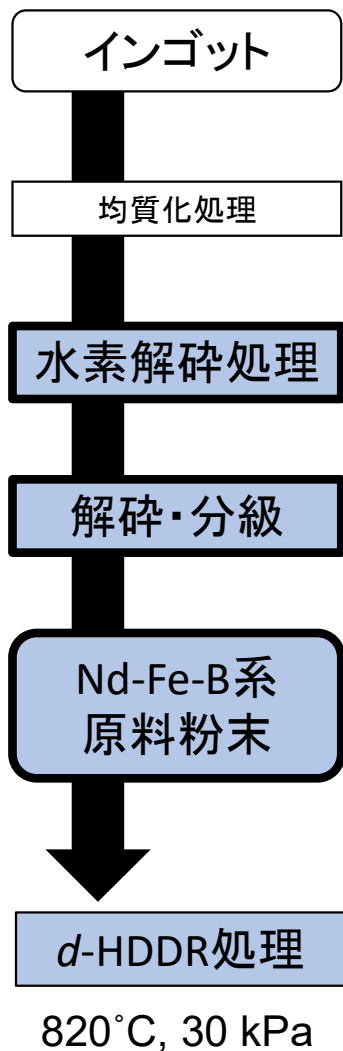
Nd-Fe-B系焼結磁石と比較して
異方性とJ_rが低い

日本金属学会2021年
春期講演大会より

テーマ
A3

①-3.水素解砕処理（調査1） -結果③-

d-HDDR後磁気特性の水素解砕温度依存性



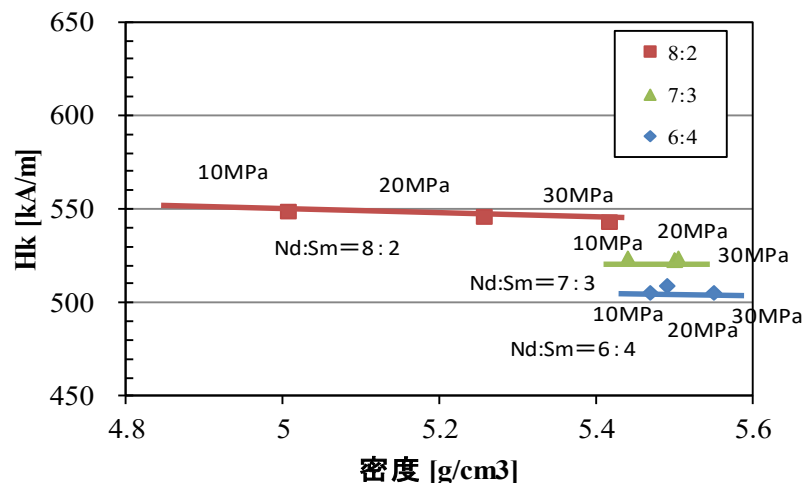
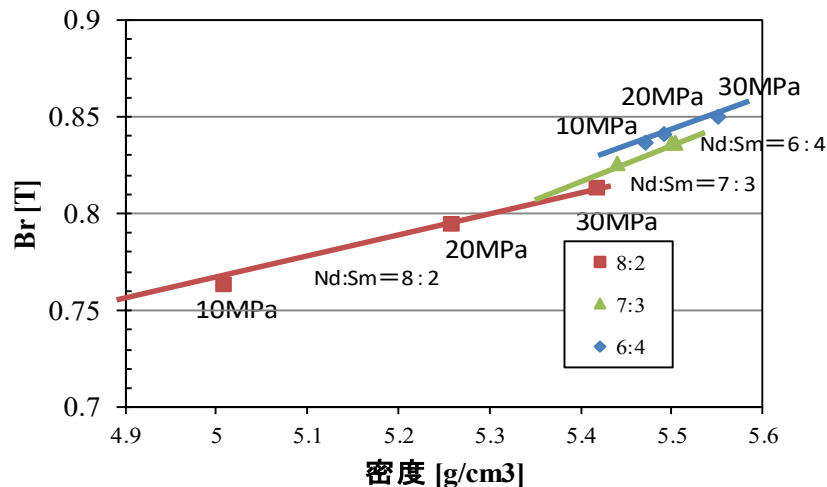
水素解砕処理23 → 500 °C: 高異方性, 高J_r, 高H_{cJ}化

テーマ
A3

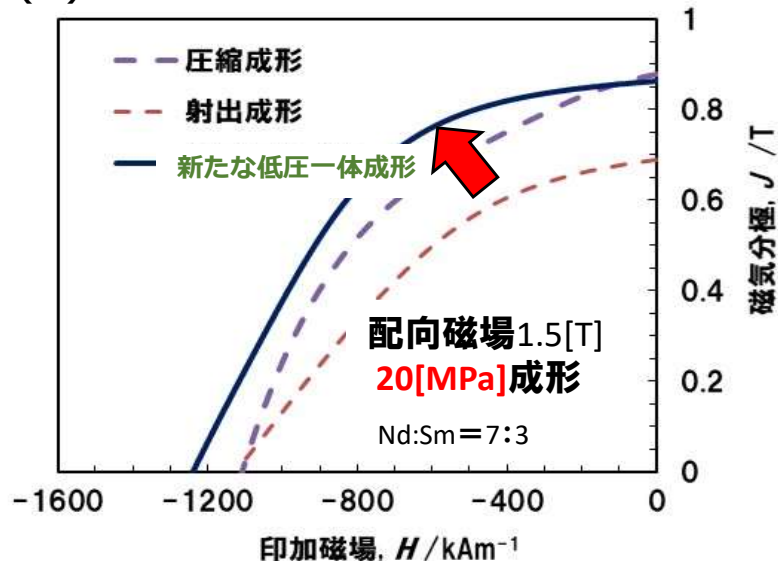
②高Br、高保磁力、高体積抵抗率を有するボンド磁石のための高充填コンパンドの開発・試作

②-1.コンパンドの改良による低圧力化

(1)SmFeN微粉末の混合量の検討



(2)代表的な低圧成形による減磁曲線



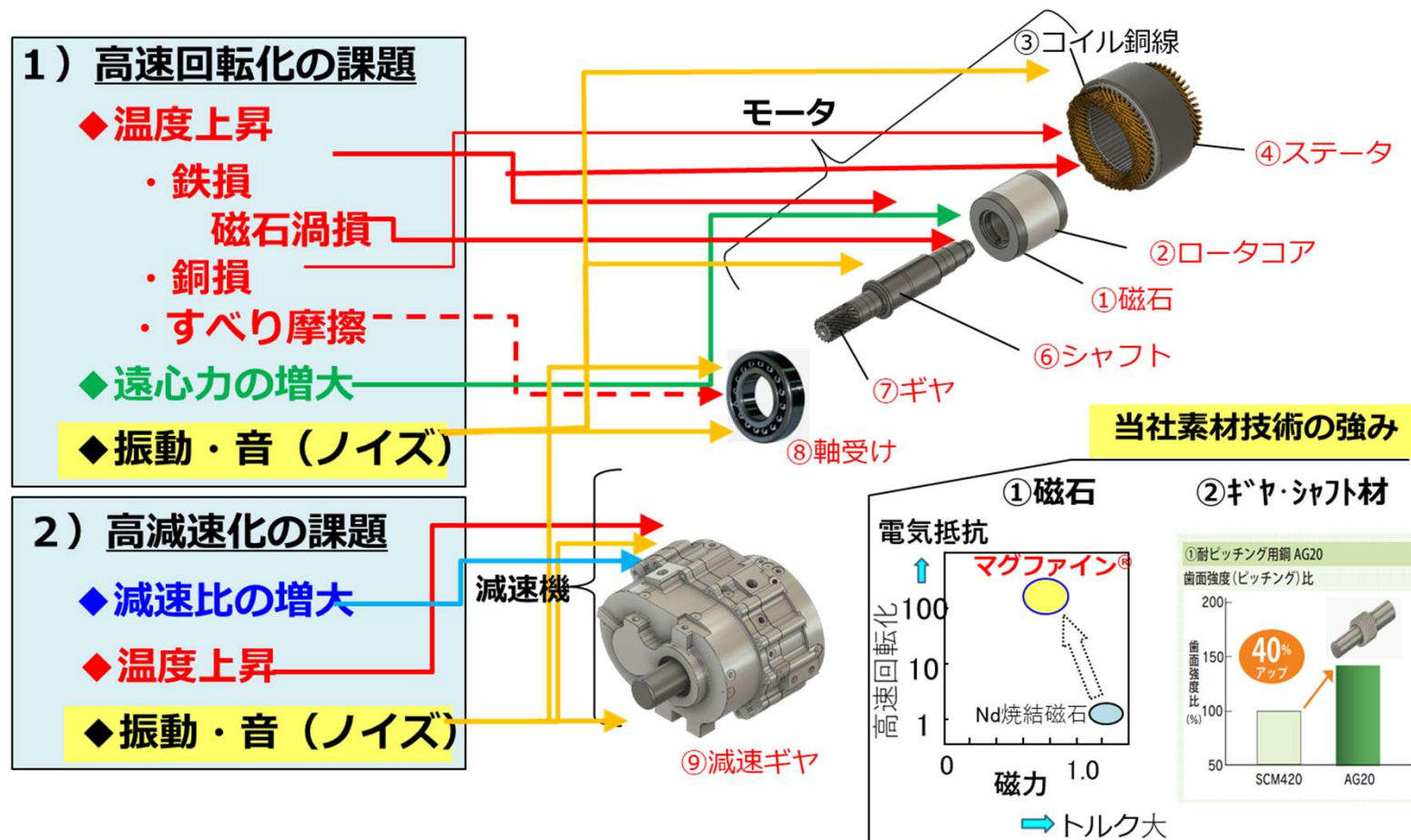
- Br:0.86T (8.6kG) Hk:560kA/m(7.0kOe)
- iHc:1241kA/m(15.6kOe)
- (BH)max:137.6kJ/m³(17.3MGOe)

SmFeN量を調整することで
低い成形圧力で密度を上げることが
可能 Nd:Sm = 7 : 3を選定

テーマ
A3

[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証

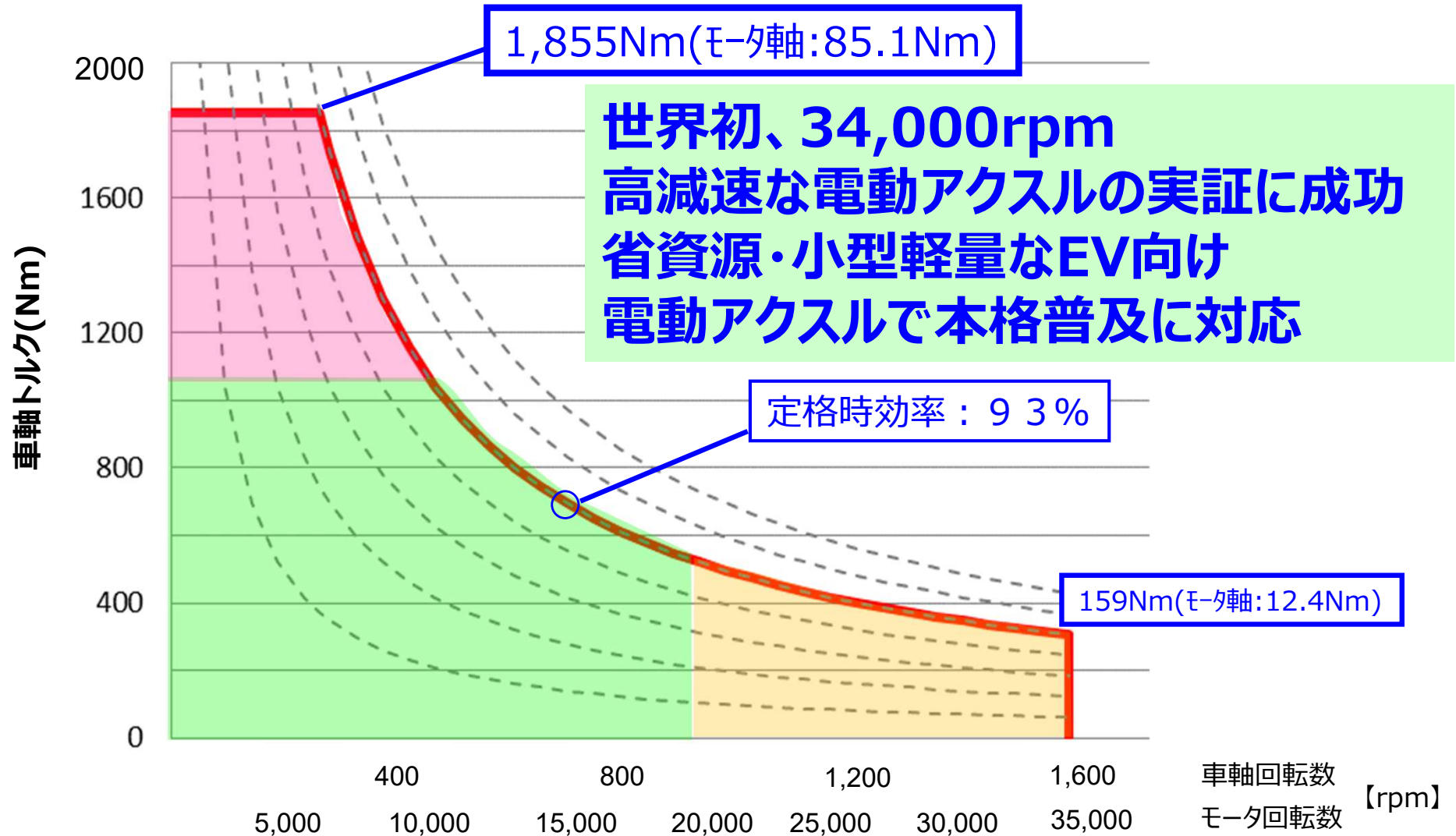
④超高速モーターシステムの設計・評価 および減速機システムの設計・評価 さらに高強度ギア・シャフト鋼の開発



テーマ
A3

④-4. 試作したモーターシステムの評価結果

世界初、34,000rpm×高減速(21.8)で実用車軸トルクを実証



テーマA

◆成果の普及

	2020 年度	2021 年度	計
論文	0	5	5
研究発表・講演	3	9	12
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	1	15	16
展示会への出展	1	0	1

テーマA

◆知的財産権の確保に向けた取組

	2020 年度	2021 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	5	5

テーマ
A2

◆実用化に向けた戦略 (A2)

個々の要素技術で企業への技術移転が可能なテーマについては、早期に展開を行う

データ駆動型材料開発技術

プロセス・インフォマティクス



マテリアルズ・インフォマティクス

- 企業への積極的な展開（個別プログラムを含む）

ハイスループット材料開発技術

- 従来装置を用いた技術は企業へ技術提供を行う
- 新たに開発した装置は新規材料開発用にまずは内部で材料開発に活用、知財化後、企業への技術移転を検討

材料開発技術

準安定系磁石材料開発

- 単粒子・高Fe濃度化の同時達成の可能性を追求し、高性能磁石化の可能性を確認後、企業への技術移転を検討

◆ 実用化に向けた戦略 (A1)

● 課題) 量産化につながる製造技術の確立と応用面での実証

→ SmFe系化合物を用いた等方性ボンド磁石の製造技術開発
とモータ適用性検証

A-1: 高性能化 (磁気特性の向上、省Co化)

A-2: 製造技術開発 (課題抽出、実用技術提示)

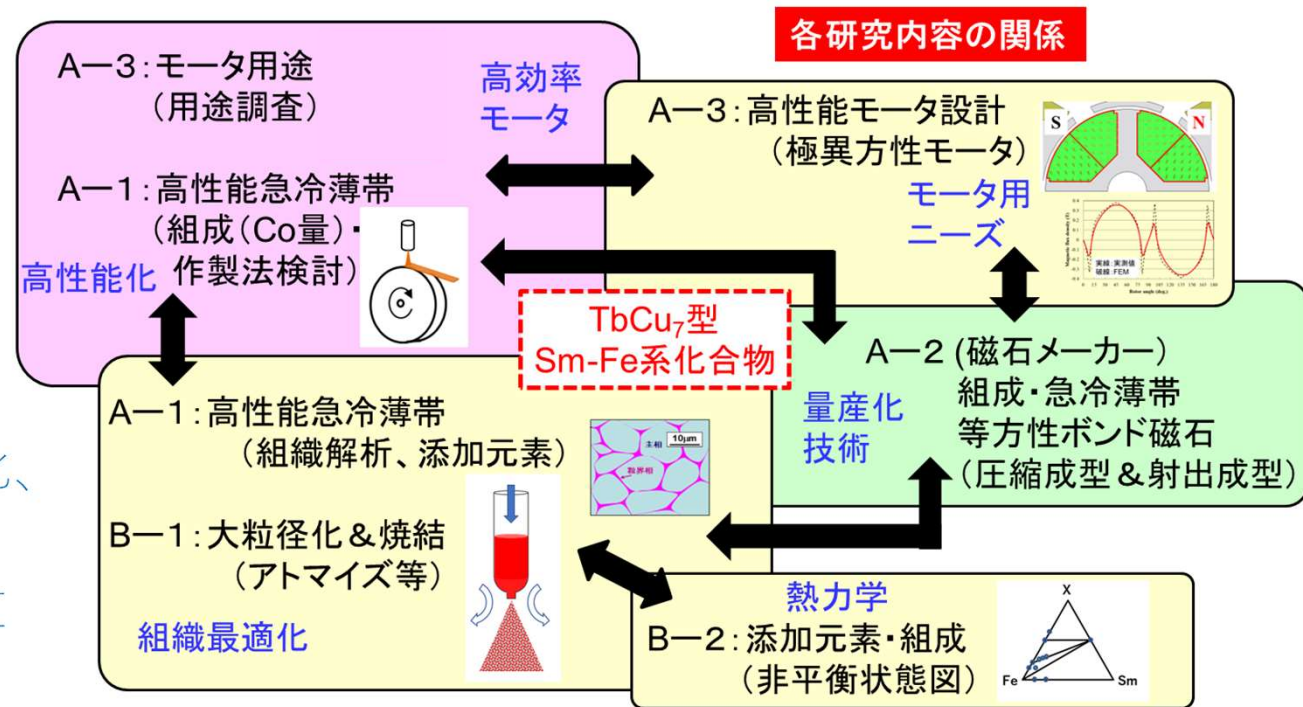
A-3: モータの適用性検証 (小型モータ等)

● 課題) バルク化技術の確立

→ SmFe系化合物における
焼結磁石実現に向けた
原理検証

B-1: バルク化検討
(大粒径高保磁力化、
低温焼結の検討)

B-2: 非平衡状態図計算
(有効添加元素、
粒界偏析制御)



◆実用化に向けた戦略 (A3)

■本事業による成果を実用化に繋げるため、以下のステップで検討を行う。

- ステップ1：超高速回転モーターシステム（電動アクスル）の実証、確認、実用化に向けた課題の抽出
- ステップ2：材料技術、システム技術やモーター・ギヤ及び周辺技術等の各要素技術の材料、プロセス、加工条件等知的財産の権利化、さらにモーター・ギヤ設計のノウハウ化
- ステップ3：成果の一部をニュースリリース等で発表、新コンセプトの車両メーカーの関心を呼びこみ、共同開発へ繋げる
- ステップ4：車両メーカーと共同で、重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システムの耐久性評価、および車載搭載性を検討して、成果の実用化に向けて進める。

◆波及効果

本技術⇒EV用モーターだけでなく、家電等の高効率モーターの提供

希土類元素の変動に強い高効率モーターの提供

電動航空機



電車



ドローン



発電・コジェ
ネシステム

船舶



研究開発テーマ ①

「部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業／重希土類を使用しない高性能磁石等の開発／重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発」

テーマA2

データ駆動による高鉄濃度準安定系磁石材料の開発

(2020年度～2021年度 1.5年)

成果報告説明用資料 (公開)

国立研究開発法人産業技術総合研究所

国立研究開発法人物質・材料研究機構

2022年10月27日

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (テーマA1,A2)

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
【1】機械学習を利用した データ駆動型材料開発	脱重希土類磁石材料 開発をモデルケースとし たデータ 駆動型の材料開発プ ラットフォームの 要素技術の開発	高鉄濃度Sm-Fe系磁 石材料をモデル材料 として、データ駆動型 材料開発の要素技術 を開発した。	○	(課題) モデル材料 として開発した材料 ならびにDX手法の 実用化を目指した 取り組み (解決方針) さらなる 手法の確立と企業へ のアピール
【2】一度に多数のデータを 取得できるハイスループット な材料作製手法開発	多組成の粉末を 1プロセスで合成できる ハイスループット装置の 開発	熱プラズマ法による多 組成粉末の1プロセス 合成に成功した。	○	(課題) 本手法による 高性能磁石材料の 生成 (解決方針) 適切な 計測手法を見出す

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成 (事後)、×未達

テーマ
A2

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

研究開発の目的

- ◆ Ndの大量使用時代を見据えて、Ndを使用しない磁石材料の開発
- ◆ レアアース元素量を減らして、かつ高性能化を目指す
- ◆ 新たな材料探索のためのツールが必要

計算科学・インフォマティクスを活用した材料開発

ハイスループットで多組成の材料を作製できる手法の開発

ネオジム磁石を超える可能性のある材料を見出す

データ駆動型
材料開発
プラットフォーム

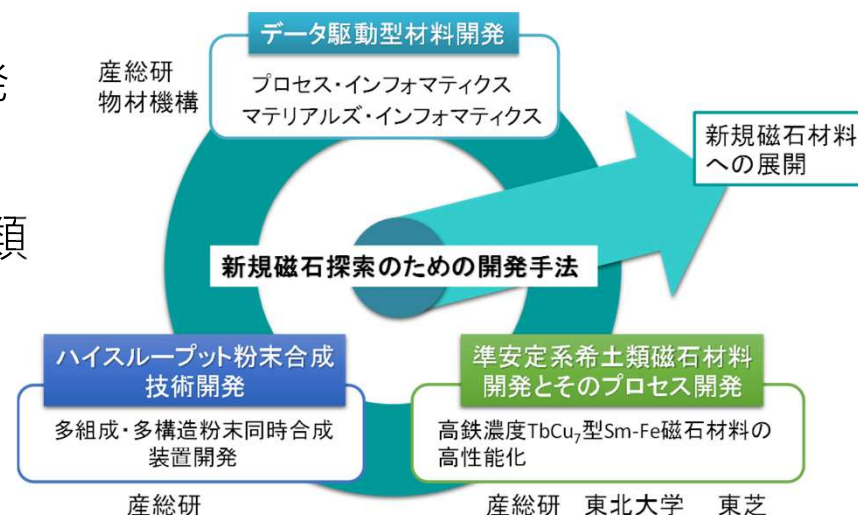
粉末合成技術

プロセス開発
と材料開発

準安定系希土類
磁石材料

材料探索のためのツールを提供する

準安定系希土類磁石材料の高性能化の可能性を確認



◆各個別テーマの成果と意義

本プロジェクトで取り組む開発手法

DX活用手法

プロセス・
インフォマティクス (PI)

マテリアルズ・
インフォマティクス (MI)

マイクロストラクチャーのデータ化

ハイスループット合成手法
(粉末コンビナトリアル)

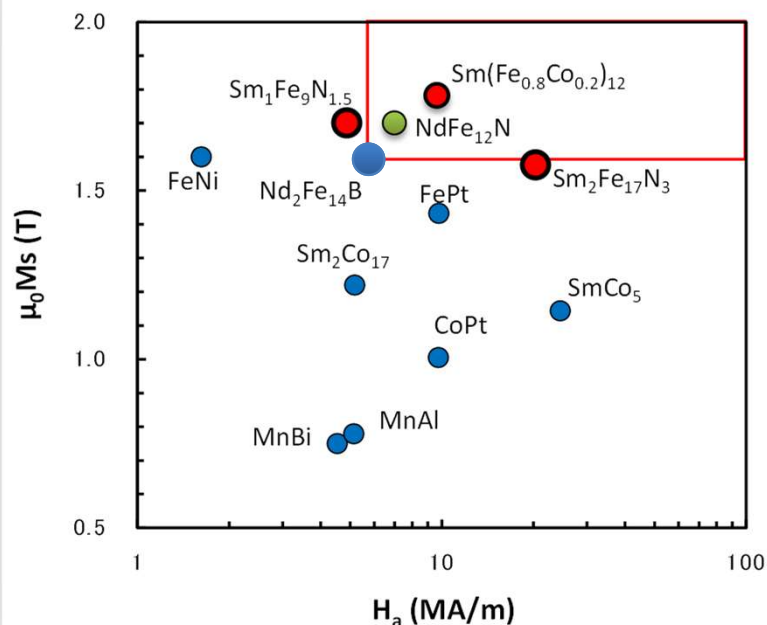
材料開発手法

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A2

磁石開発の概要

磁石の主相となる候補材料の物性値の比較



Sm-Fe系磁石化合物の磁気特性^[1,2]

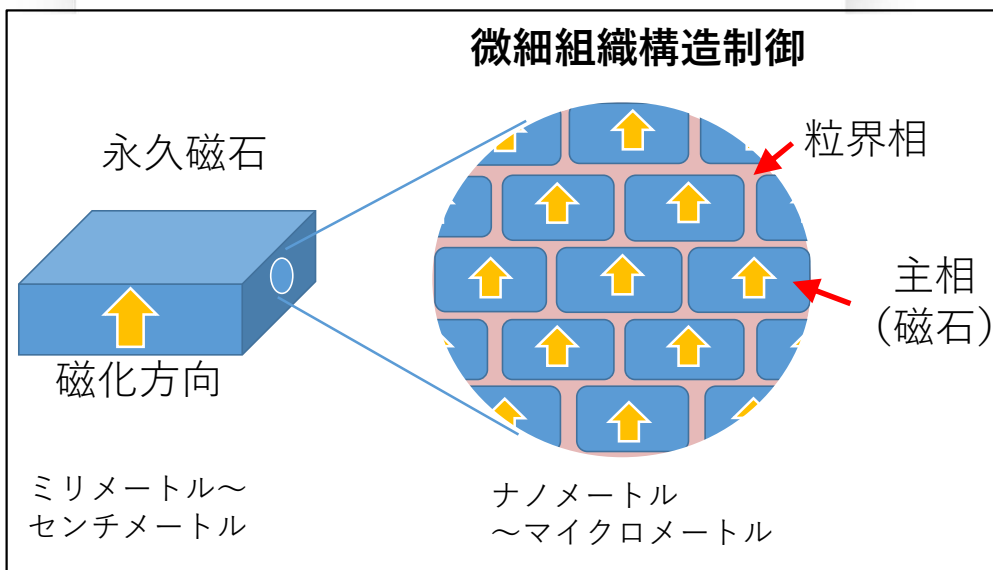
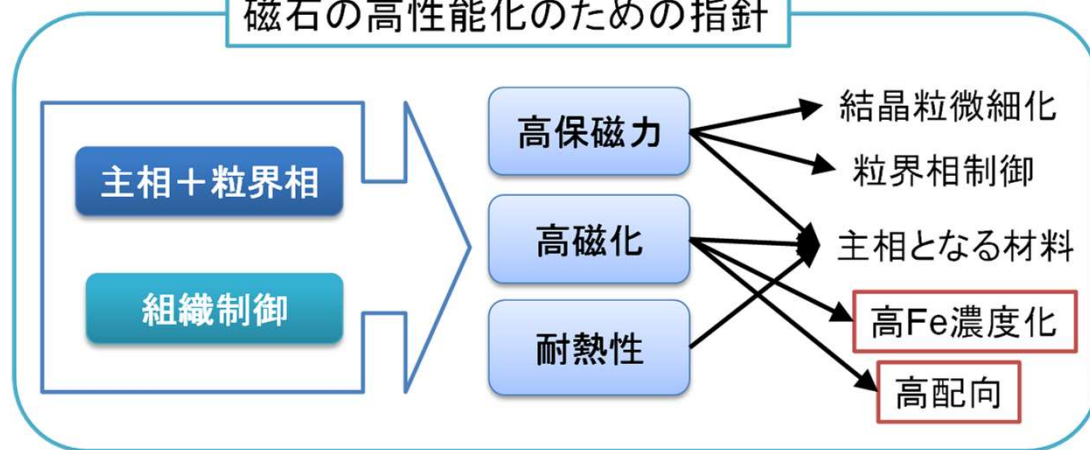
磁性化合物	形態	結晶構造	Js (T)	H _A (MA/m)	T _c (K)
Nd ₂ Fe ₁₄ B	バルク	R ₂ Fe ₁₄ B	1.60	5.3	586
(Sm _{0.75} Zr _{0.25})(Fe _{0.7} Co _{0.3}) ₁₀ N _x ^{[1],[2]}	粉末	TbCu ₇	1.70	6.2	>873
Sm(Fe _{0.8} Co _{0.2}) ₁₂ ^[3]	薄膜	ThMn ₁₂	1.78	9.5	859

[1] S. Sakurada et al., J. Appl. Phys. **79** (1996) 4611

[2] S. Sakurada, Doctoral thesis (2006).

[3] Y. Hirayama et al, Scr. Mater. **138** (2017) 62

磁石の高性能化のための指針



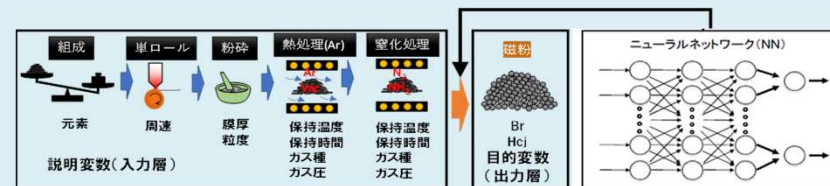
本研究テーマでは、DX活用手法のターゲット材料として、TbCu₇型の準安定Sm-Fe系磁石材料に着目し、異方化の可能性を検討する。

3. 研究開発成果

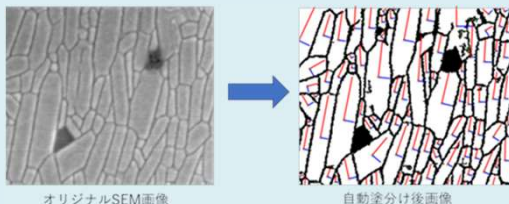
(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A2

[1] 単ロール法によるプロセスデータを中心としたデータ駆動型材料開発



[2] 微細組織解析とそれによる材料画像インフォマティクス技術開発

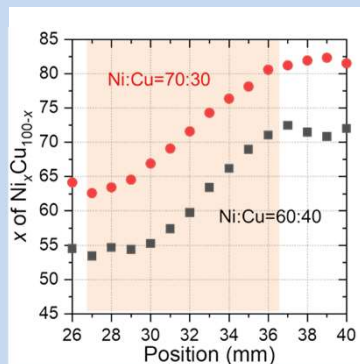
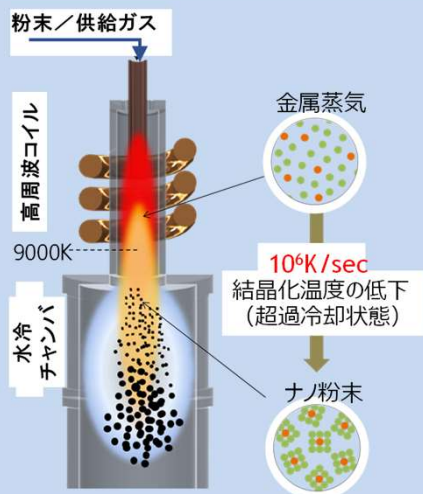


[3] 第一原理シミュレーションによる構造安定化と特性予測システムの開発



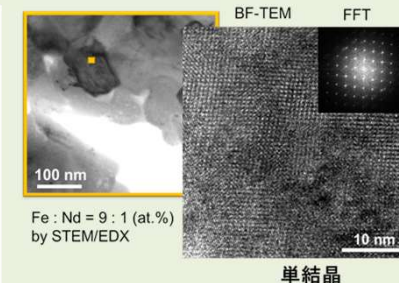
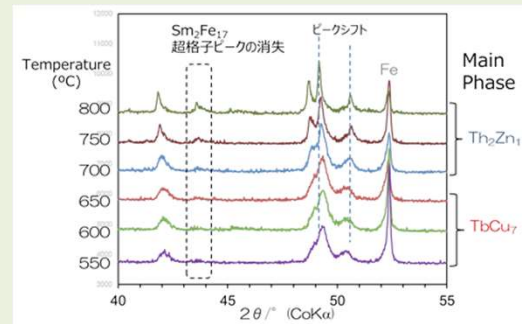
データ駆動型材料開発プラットフォームの開発

[4] 熱プラズマ法を用いたハイスループット粉末合成システムの開発



ハイスループット粒子合成法の開発

[5] 高Fe濃度SmFexN系磁石材料の異方化の可能性探索



湿式法

熱プラズマ法

SmFexN(x>9) 単結晶粒子合成手法の開発

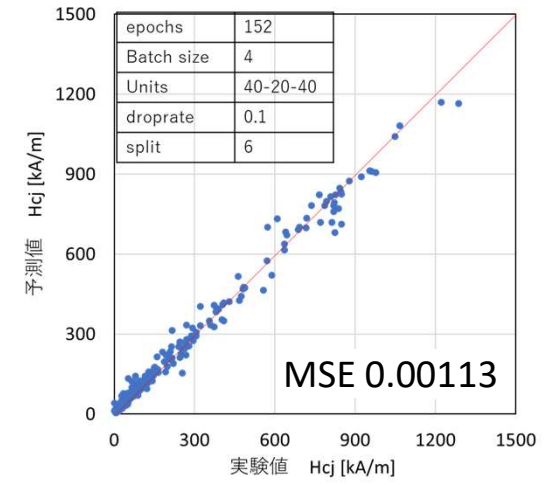
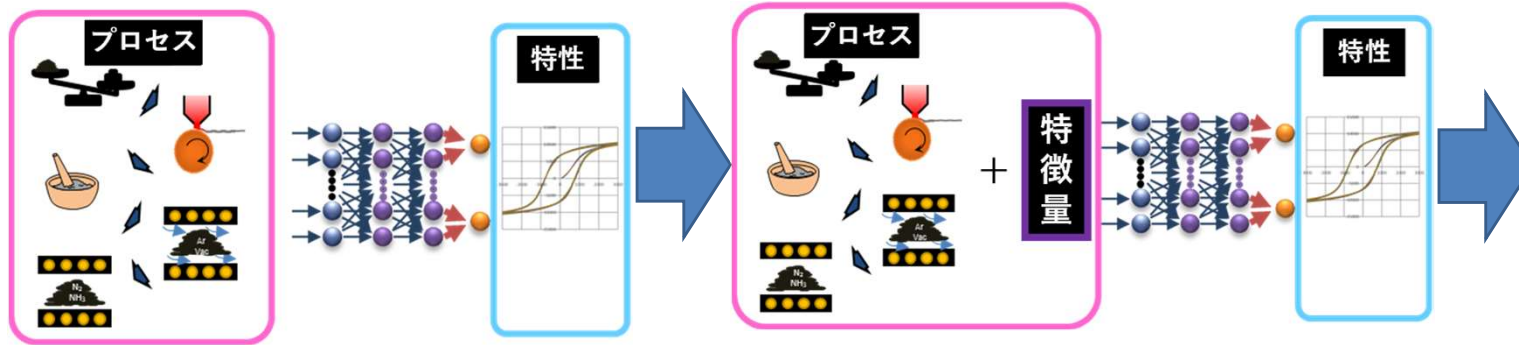
テーマ
A2

[1] 単ロール法によるプロセスデータを中心としたデータ駆動型材料開発

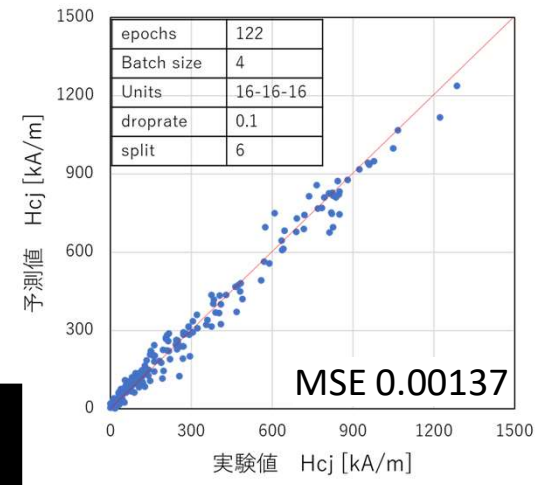
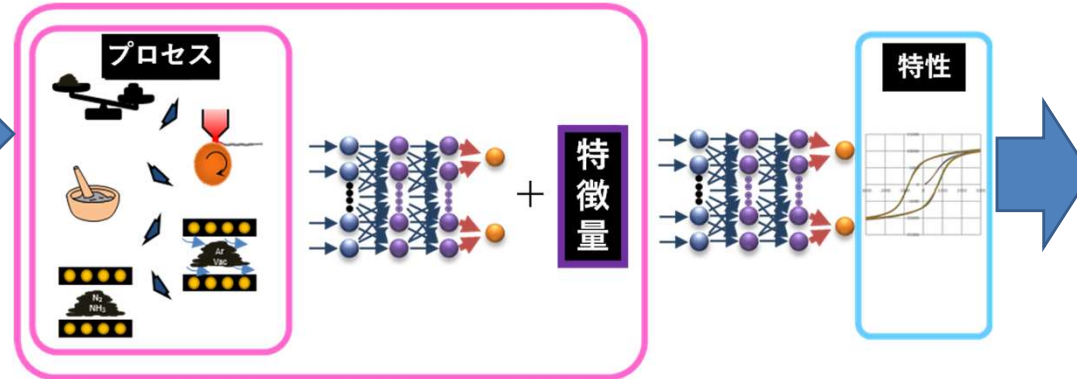
計算負荷を考慮した2種類のモデル作成方法の検討

- ① 全更新型：新たな入力データ→既存モデル白紙・新モデル作成
- ② 階層型：新たな入力データ+既存モデル→新モデル作成 ← 低コスト

①全更新型 (従来手法)



②階層型 (開発手法)

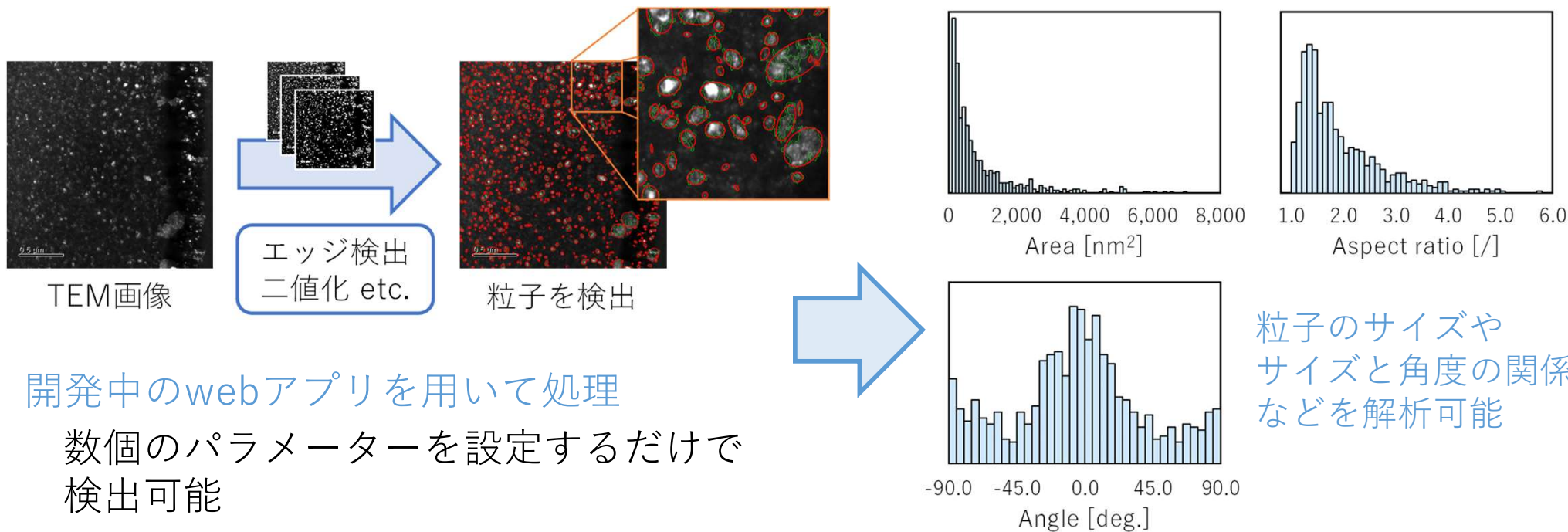


ハイパーパラメータの最適化を実施。
階層型 (追加型) においても高精度なモデルの作成に成功

テーマ
A2

[2] 微細組織解析とそれによる材料画像インフォマティクス技術開発

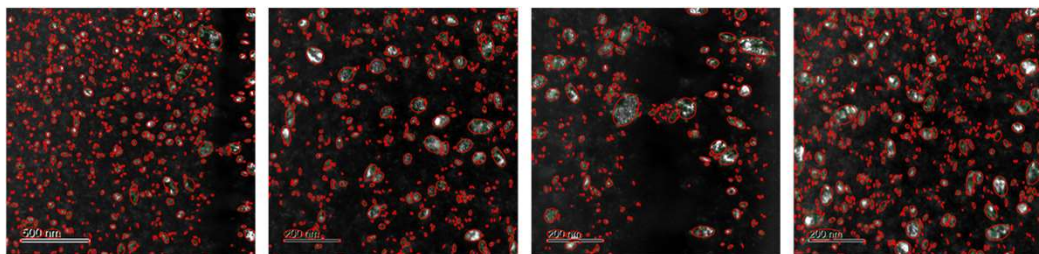
超急冷(SmZr)₁(FeCo)₉系磁石粉末のTEM微細組織画像の自動塗り分けと画像特徴量抽出手法開発



開発中のwebアプリを用いて処理

数個のパラメーターを設定するだけで
検出可能

その他の検出例



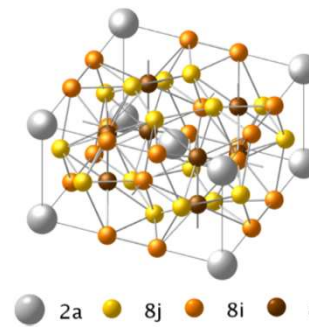
実験結果とTEM画像の情報から、
MLを用いてよりよい磁性材料
の開発

テーマ
A2

[3] 第一原理シミュレーションによる構造安定化と特性予測システムの開発

高キュリー温度組成の探索

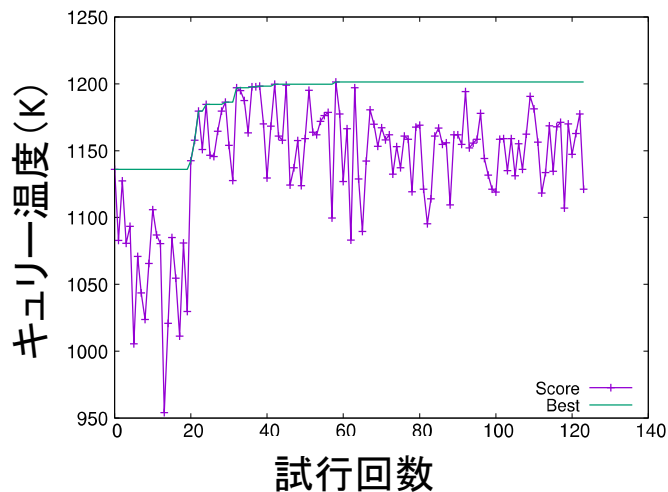
- NdFe₁₂ に対する Cr, Co, Ni, Ge, As のドーピング効果
- ドーパント濃度が 1/6 以下の約 90000 組成に対してベイズ最適化を実行
- Co, As, Ge の co-doping が有効



T. Fukazawa et al.,
Acta Materialia 226
(2022) 117597

ThMn₁₂型の結晶構造とそのWyckoff positions

ベイズ最適化の結果



見つかった系 TOP10

Formula	T_C (K)	$\mu_0 M$ (T)
NdFe ₁₀ Co(8f) _{1.8} As _{0.2}	1201	1.72
NdFe ₁₀ Co(8f) _{1.6} As _{0.4}	1200	1.69
NdFe ₁₀ Co(8f) _{1.8} Ge _{0.2}	1199	1.71
NdFe ₁₀ Co(8f) _{1.4} As _{0.6}	1198	1.65
NdFe ₁₀ Co(8f) _{1.2} As _{0.8}	1198	1.62
NdFe ₁₀ Co(8f) _{2.0}	1198	1.76
NdFe ₁₀ Co(8f) _{1.6} Ge _{0.2} As _{0.2}	1197	1.68
NdFe ₁₀ Co(8f)As	1197	1.59
NdFe ₁₀ Co(8f) _{1.6} Ge _{0.4}	1195	1.68
NdFe ₁₀ Co(8f) _{0.8} Ge _{1.2}	1195	1.56
NdFe ₁₂	881	1.73

Sm系で、ドーパントとしてAsを除いた結果

Composition	T_C (K)
SmFe _{10.0} Co(8f) _{1.6} Ge(8f) _{0.4}	1141
SmFe _{10.0} Co(8f) _{1.4} Ge(8f) _{0.6}	1140
SmFe _{10.0} Co(8f) _{1.8} Ge(8f) _{0.2}	1140
SmFe _{10.0} Co(8f) _{1.2} Ge(8f) _{0.8}	1138
SmFe _{10.0} Co(8f) _{2.0}	1137
SmFe _{10.0} Co(8f) _{1.0} Ge(8f) _{1.0}	1135
SmFe _{10.0} Co(8j) _{0.2} Co(8f) _{1.8}	1129
SmFe _{10.0} Co(8j) _{0.4} Co(8f) _{1.0} Ge(8f) _{0.6}	1127
SmFe _{10.0} Co(8j) _{0.4} Co(8f) _{0.8} Ge(8f) _{0.8}	1125
SmFe _{10.0} Co(8i) _{0.2} Co(8f) _{0.6} Ge(8f) _{1.2}	1124

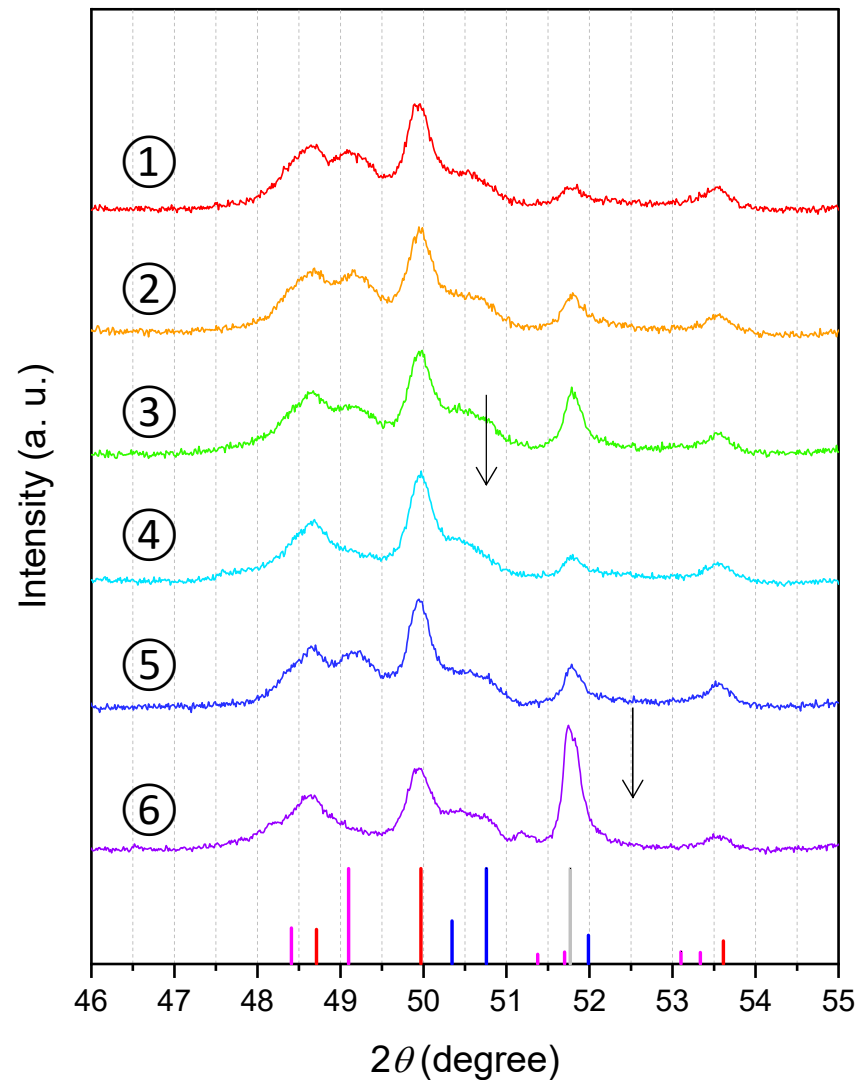
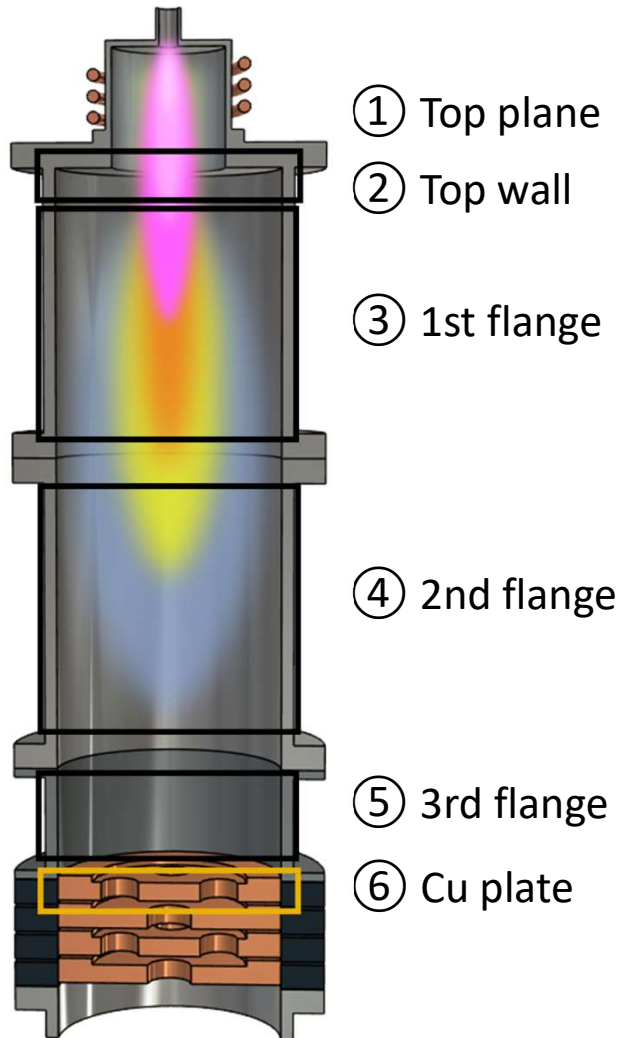
CoとGeの共添加が有効

- 磁化は第一原理計算で算出。キュリー温度は平均場近似で評価したため、過大評価されていることに注意

テーマ
A2

[4] 熱プラズマ法を用いたハイスループット粉末合成システムの開発

Sm-Co系での空間的組成（結晶相）分布評価
～縦方向～



- メインはSmCo₅相
- SmCo₃やSm₂Co₁₇相の含有率が異なる。

Sm₂Co₁₇
SmCo₅
SmCo₃
Co

テーマ
A2

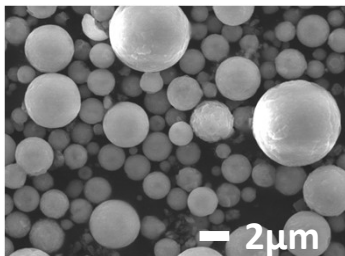
[5] 高Fe濃度SmFexN系磁石材料の異方化の可能性探索-1

低温還元拡散法による鉄リッチTbCu₇型Sm-Fe-N合成

Composition	Saturation (kG)	H _a (kOe)	c/a (before nitriding)
SmFe _{8.5} N _x	14.0	86	0.845
(Sm _{0.75} Zr _{0.25})(Fe _{0.7} Co _{0.3}) 10 N _x	17.0	77	0.87

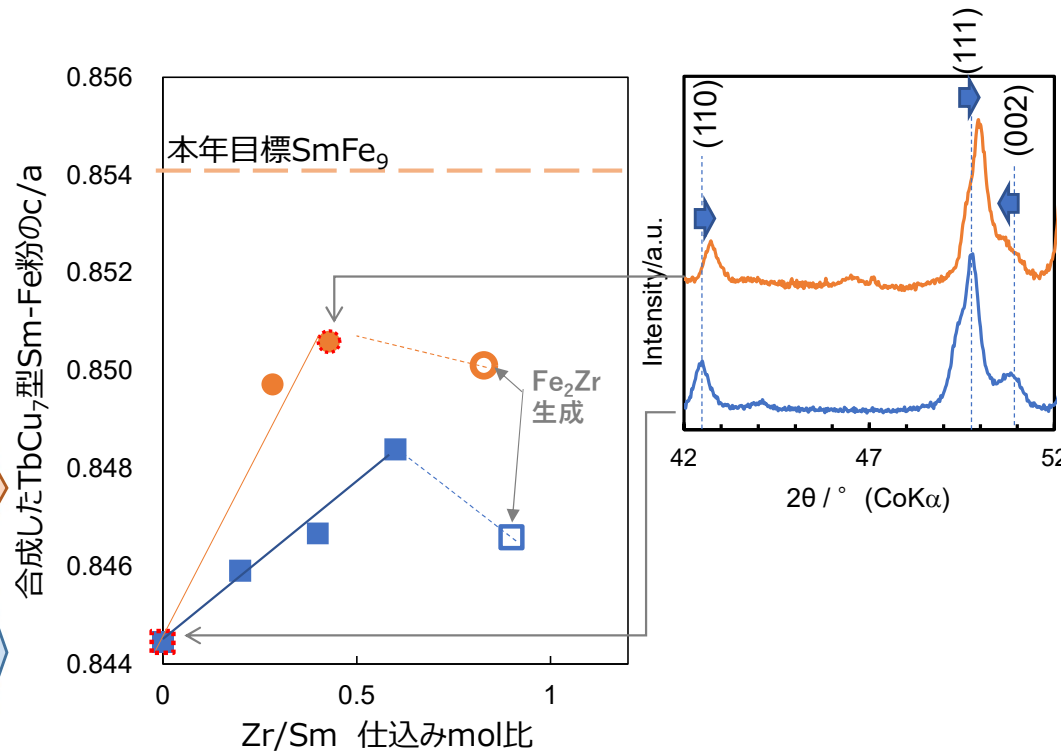
Zr置換による
鉄リッチ化を検討

スプレードライによる
微粉末作製



Sm-Zr-Fe前駆体粉
+Ca粒+LiCl粉

各試薬混合粉
(SmCl₃粉+ZrCl₄粉+Fe粉
LiCl粉+Ca粒)



	a軸長 (Å)	c軸長 (Å)
* Nd _{0.5} Zr _{0.5} Fe ₁₀	4.84	4.23
— 開発後	4.909	4.176
— 開発前	4.936	4.168

* Sakurada et.al (J.Appl. Phys, 79 (1996) 4611)

- 均一な前駆体粉によりZr置換が促進され高鉄濃度化 (a軸長 ↓ c軸長 ↑)
- 低温還元拡散法でもZr置換による高鉄濃度化は可能
- 現状はSmFe_{8.8} ⇒ SmFe₁₀にするにはブレイクスルーが必要

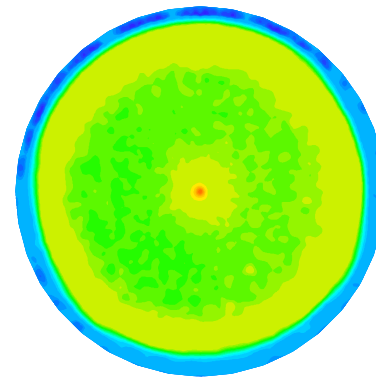
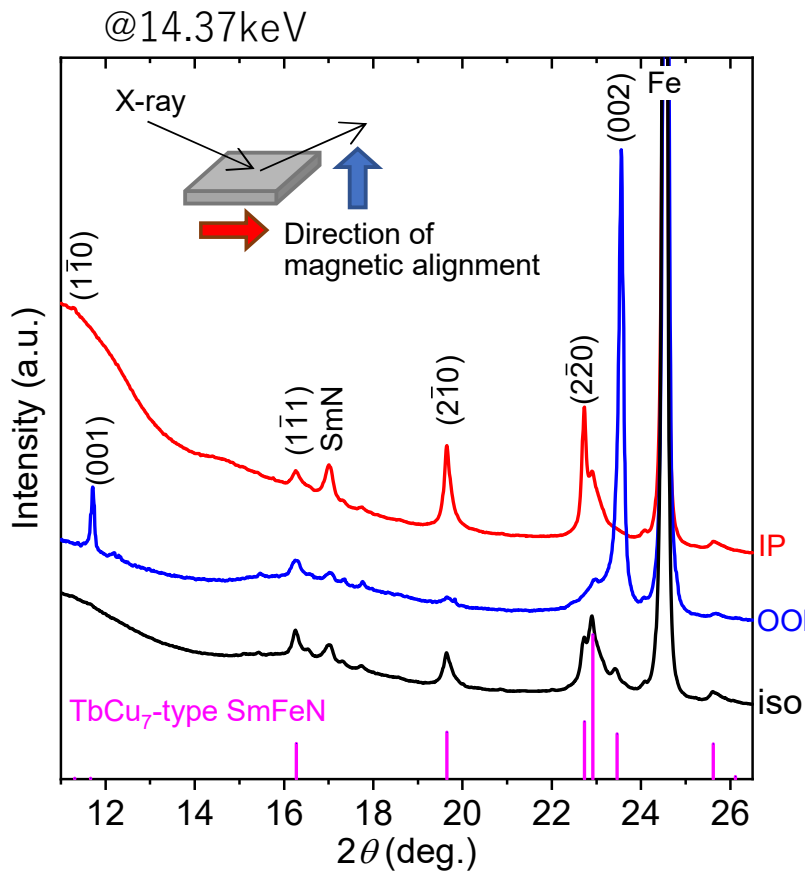
テーマ
A2

[5] 高Fe濃度SmFexN系磁石材料の異方化の可能性探索-2

熱プラズマ法による孤立粒子の合成

TbCu₇型のSm-Fe-Nの配向性定量評価

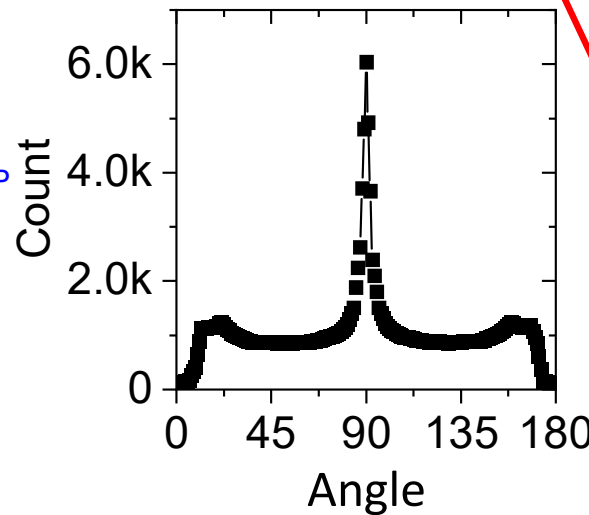
磁場による配向



Count
10⁴
10³
10²
10¹

単粒子の生成により配向が可能となった

P = 90.7%



Alignment degree P (%)

$$P[\%] = \left(\frac{\int_0^{\pi/2} I(\chi) \sin \chi \cos \chi d\chi}{\int_0^{\pi/2} I(\chi) \sin \chi d\chi} \times 100 - 50 \right) \times 2$$

$$I(\chi) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I(\chi, \beta) d\beta$$

$P=100$ で完全配向

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

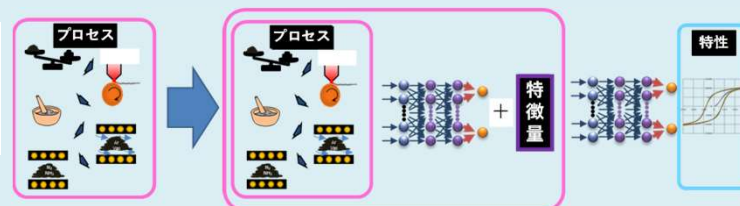
テーマ
A2

研究開発成果まとめ

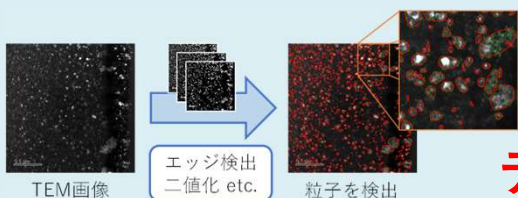
[1] 単ロール法によるプロセスデータを中心としたデータ駆動型材料開発



微細組織画像による特性予測手法の開発

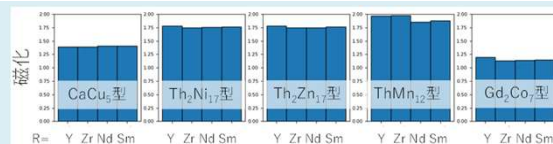


[2] 微細組織解析とそれによる材料画像インフォマティクス技術開発

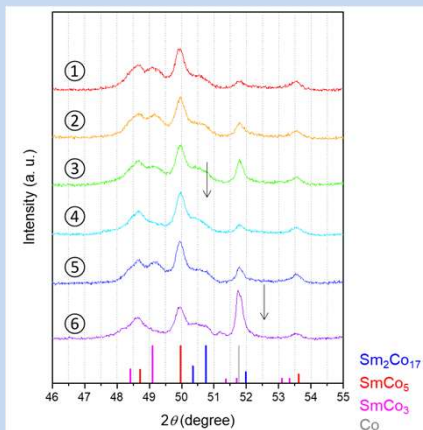
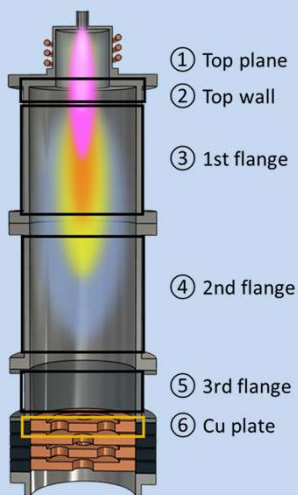


データ駆動型材料開発プラットフォームの開発

[3] 第一原理シミュレーションによる構造安定化と特性予測システムの開発

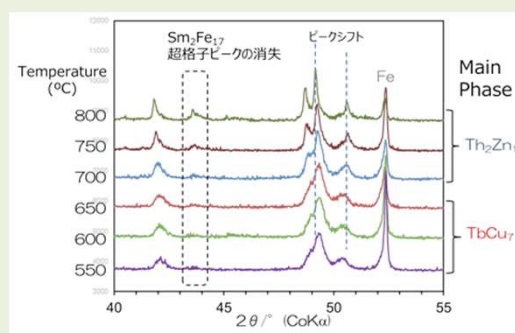


[4] 熱プラズマ法を用いたハイスループット粉末合成システムの開発

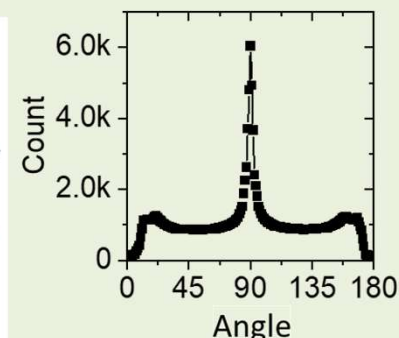


多組成粉末を同時作製可能

[5] 高Fe濃度SmFexN系磁石材料の異方化の可能性探索



湿式法



熱プラズマ法

SmFexN(x=8.8) 単結晶粒子を合成

◆成果の普及

	2020 年度	2021 年度	計
論文	0	3	3
研究発表・講演	0	3	3
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0
展示会への出展	0	0	0

※2022年8月1日現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 「もの」として確認できるものは、特許出願を行う。
- 機械学習におけるアルゴリズムはノウハウとしてとして秘匿する。

	2020 年度	2021 年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	(1) ※	(1) ※

※：2022.9.1 現在準備中

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

当該プロジェクトで開発した技術、プロセス、材料、アルゴリズム、プログラム、開発手法などを民間企業に対して共同研究や技術提供を通して、技術移転を行う事を言う。

テーマ
A2

◆ 実用化に向けた戦略

個々の要素技術で企業への技術移転が可能なテーマについては、早期に展開を行う

データ駆動型材料開発技術

プロセス・インフォマティクス



マテリアルズ・インフォマティクス

- 企業への積極的な展開（個別プログラムを含む）

ハイスループット材料開発技術

- 従来装置を用いた技術は企業へ技術提供を行う
- 新たに開発した装置は新規材料開発用にまずは内部で材料開発に活用、知財化後、企業への技術移転を検討

材料開発技術

準安定系磁石材料開発

- 単粒子・高Fe濃度化の同時達成の可能性を追求し、高性能磁石化の可能性を確認後、企業への技術移転を検討

研究開発テーマ ①

部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業/重希土類を使用しない高性能磁石等の開発/重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証/重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発

テーマA1

高鉄濃度希土類磁石化合物における 相平衡とプロセス技術開発

(2020年度～2021年度 1.5年)

成果報告説明用資料 (公開)

国立大学法人東北大学

大学院工学研究科 : 杉本 諭、松浦 昌志

多元物質科学研究所 : 大谷 博司 (現 豊田理研)、榎木 勝徳

株式会社東芝

研究開発センター : 桜田 新哉

3. 研究開発成果（1）研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A1

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
[1] 高鉄濃度希土類化合物微結晶創製技術の開発 (担当：東芝)	TbCu ₇ 型結晶の高鉄濃度 (SmFe _x (x≥9)) と高い保磁力 (H _{cj} ≥ 640 kA/m(8 kOe)) が両立できる添加元素の特定と急冷薄帯の作製条件を確立する。	<ul style="list-style-type: none"> • x≥9で目標値以上の695 kA/mなる保磁力。 • 等方性ボンド磁石でネオジムボンド磁石の半分のレアアース量。 • 本ボンド磁石はネオジムボンド磁石よりも高い耐熱性。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> • 量産製造技術とモータ製品への適用 => 大手磁石メーカーとの連携と東芝での適用可能性の検討 • 異方性または焼結磁石の可能性検証 => 低温焼結フルデンス化と熱間加工
[2] 高鉄濃度希土類化合物急冷薄帯の組織解析 (担当：東北大学)	TbCu ₇ 型結晶の高鉄濃度 (SmFe _x (x≥9)) と高い保磁力 (H _{cj} ≥ 640 kA/m(8 kOe)) の両立を実現させる微細組織の形態を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> • TbCu₇型化合物相が20~50nm単磁区粒子サイズで出現。 • 結晶粒界にNbやBが濃化し非強磁性相化する。 • 主相の磁氣的孤立化が進み高保磁力化。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> • 焼結磁石の可能性検証 => 組織最適化による低速急冷プロセスの検討
[3] 高鉄濃度希土類化合物の非平衡状態図の構築 (担当：東北大学、豊田理化学研究所)	Sm-Fe系安定、準安定状態図の完成と、40種類以上の添加元素の影響を明らかにし安定化に寄与する添加元素を特定する。	<ul style="list-style-type: none"> • Smサイトに置換可能元素を選択し生成エンタルピーと磁気モーメントを評価。 • 数種の重希土類元素等が安定化に寄与する。 • Sm-Fe-X三元系合金について非平衡状態図を作成。 • SmFe₇相が安定する組成範囲を明らかにした。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> • 焼結磁石の可能性検証 => 状態図計算から抽出された添加元素によるTbCu₇型結晶のさらなる安定化の検討

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A1

◆各個別テーマの成果と意義

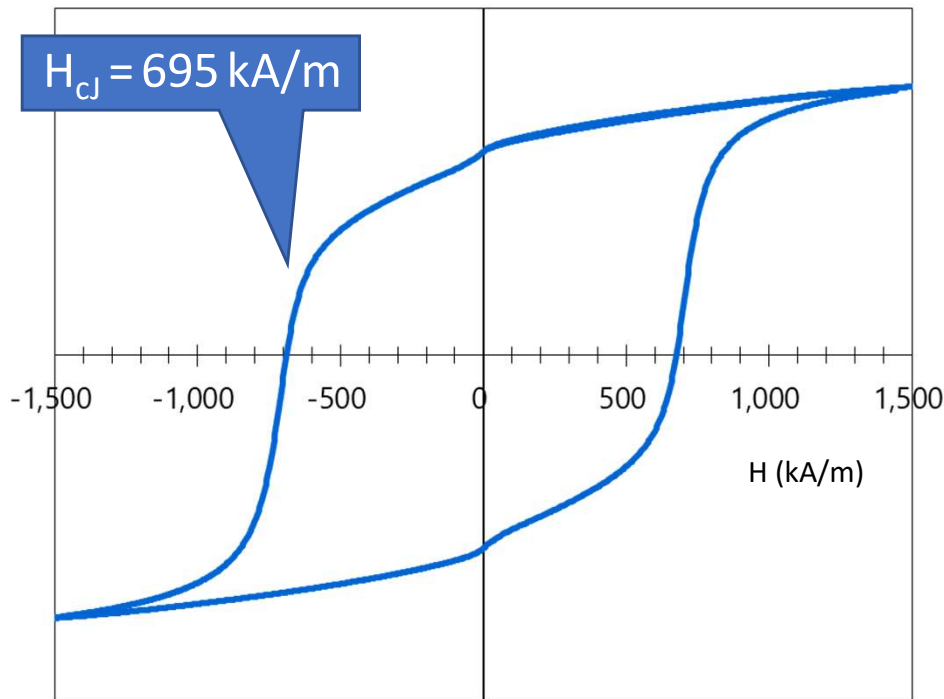
[1] 高鉄濃度希土類化合物微結晶創製技術の開発 (担当: 東芝)

最終目標

TbCu₇型結晶の高鉄濃度 (SmFe_x ($x \geq 9$)) と高い保磁力 ($H_{cJ} \geq 640 \text{ kA/m}$ (8 kOe)) が両立できる添加元素の特定と急冷薄帯の作製条件を確立する

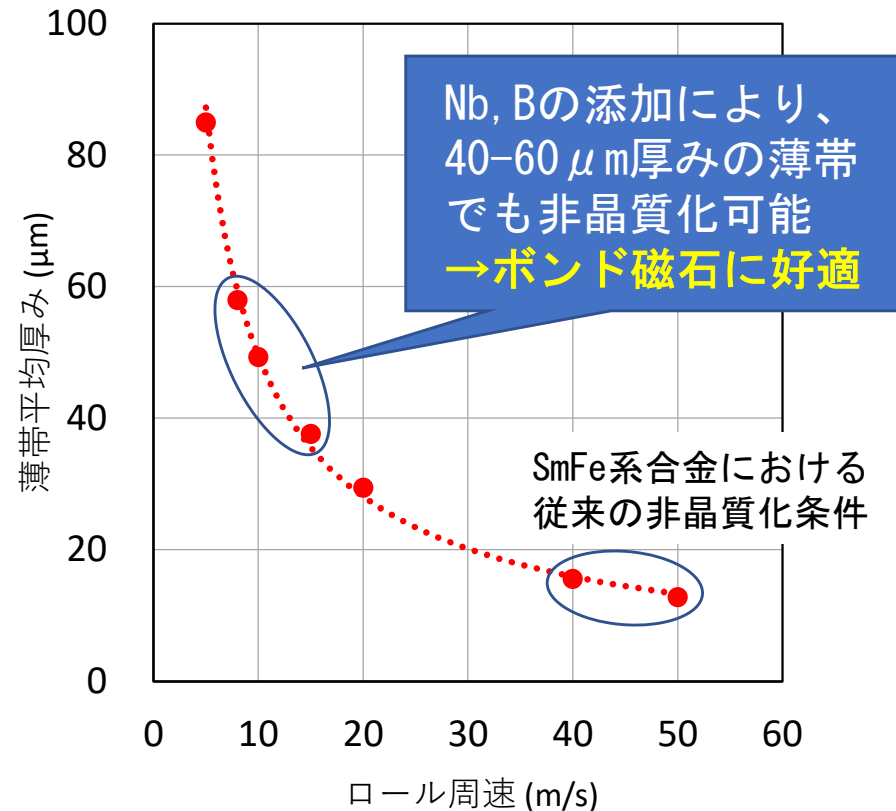
研究成果

(1) 高保磁力化が進展、目標値を達成



液体急冷薄帯 (熱処理後) の磁化曲線

(2) Nb, B添加により薄帯厚みを増大化

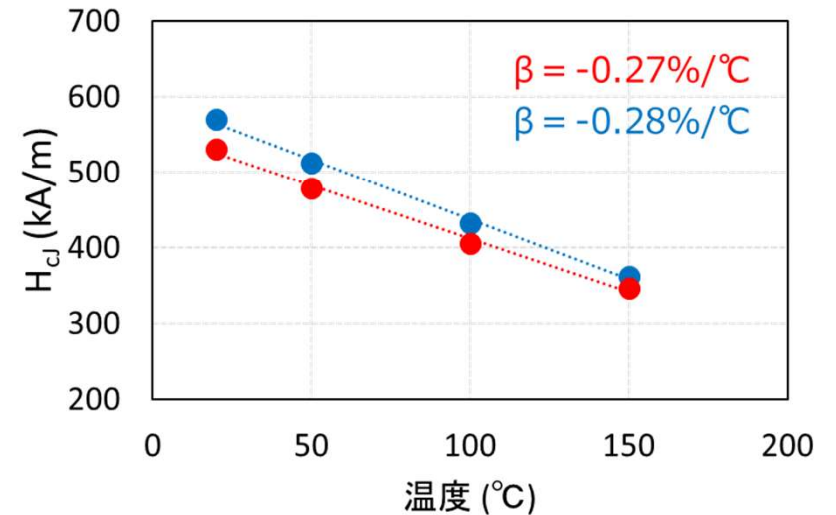
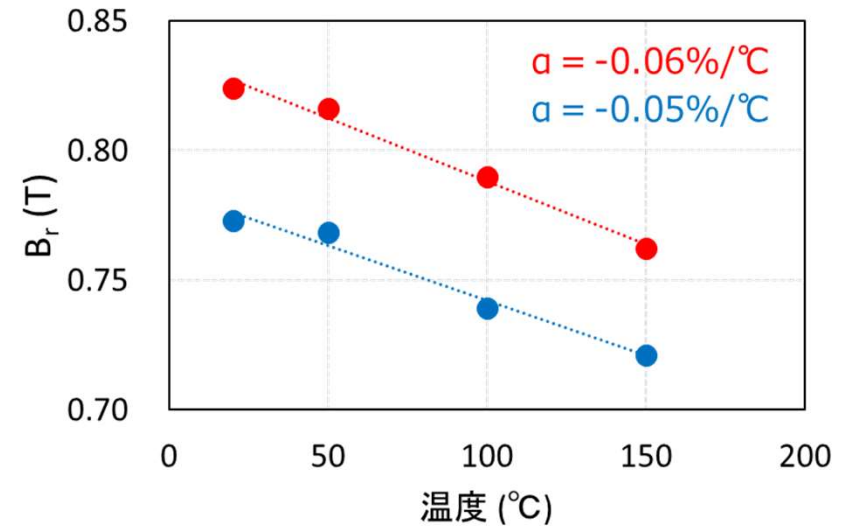
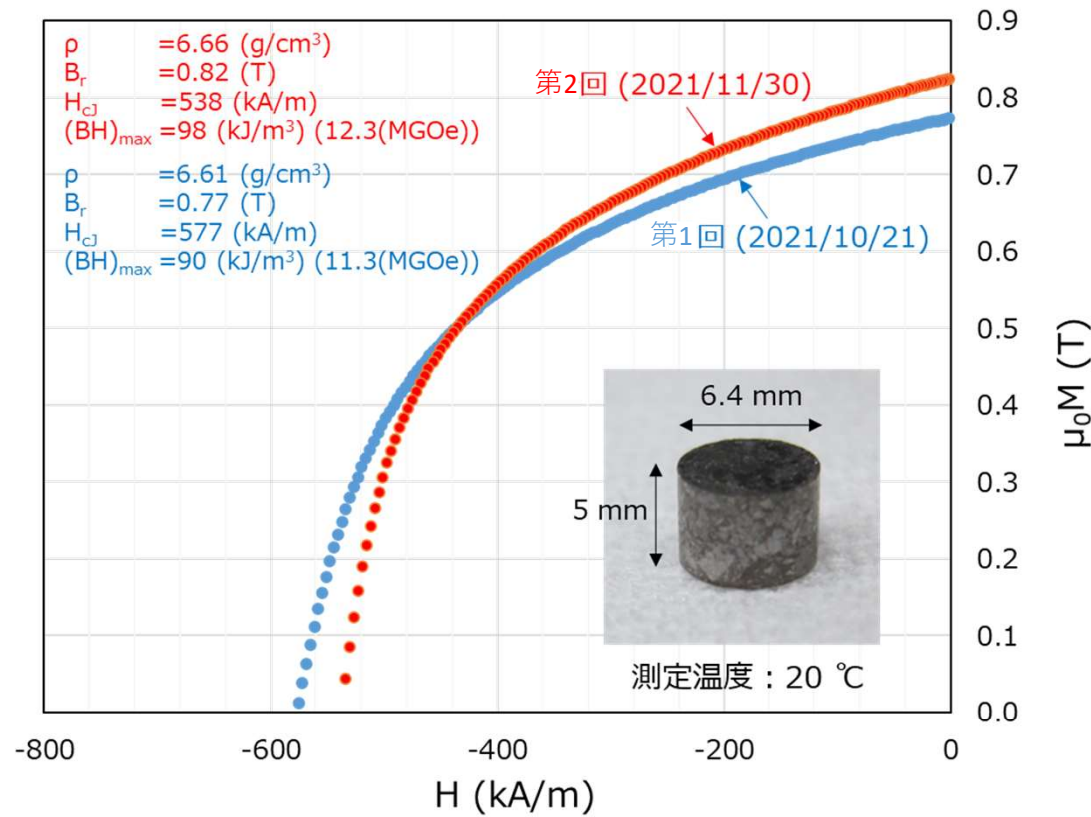


3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A1

(3) 等方性ボンド磁石の試作・評価:

NdFeB系等方性ボンド磁石と同等の $(BH)_{max}$ と大幅に優れる温度特性を確認



	B_r (T)	H_{cJ} (kA/m)	$(BH)_{max}$ (kJ/m ³)	α (%/°C)	β (%/°C)
SmFeCoNbB	0.77-0.82	538-577	90-98	-0.05~6	-0.27~8
NdFeB	0.72-0.77 ^[1]	716-836 ^[1]	88-99 ^[1]	-0.10 ^[1]	-0.35 ^[2]

[1] 株式会社ダイドー電子 カタログ「NEOQUENCH-P」 NP-12L

[2] J. Magn. Magn. Mater., 303, e371-e374 (2006)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A1

◆各個別テーマの成果と意義

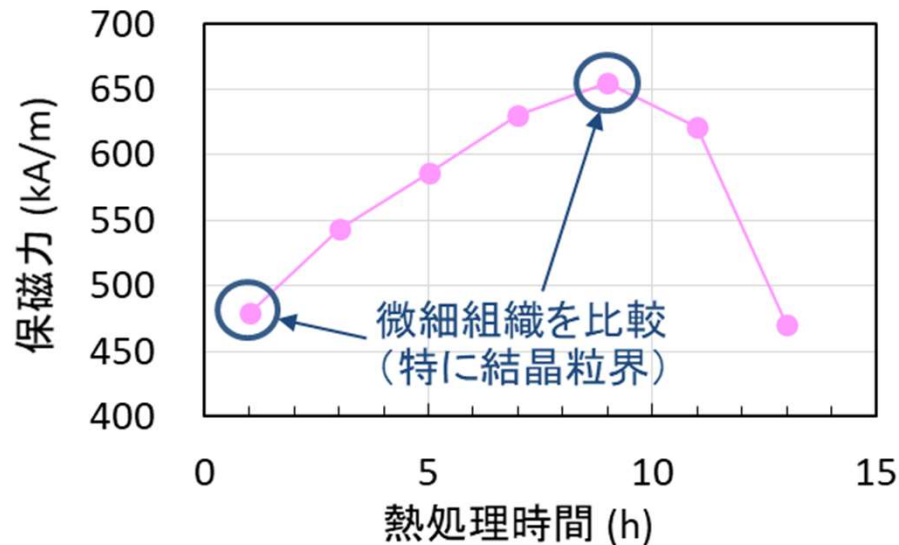
[2] 高鉄濃度希土類化合物急冷薄帯の組織解析 (担当: 東北大・杉本研)

最終目標

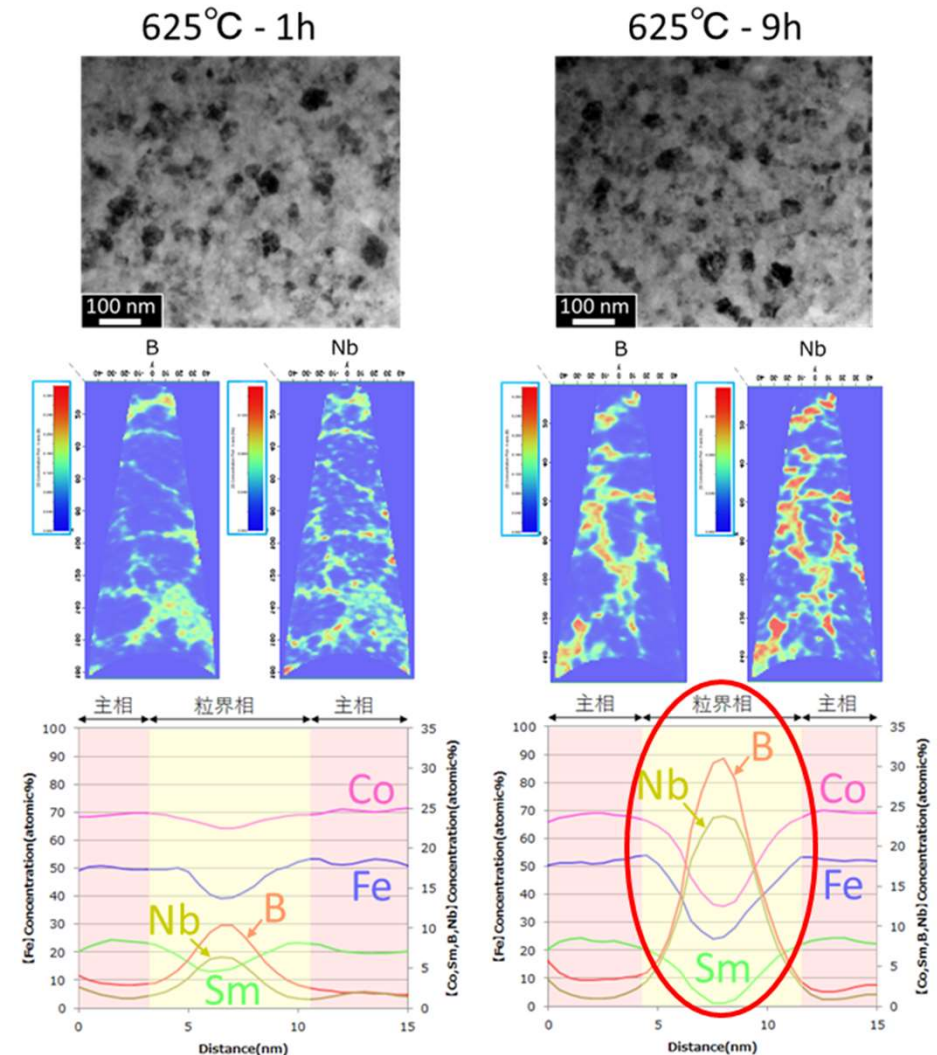
[1] の目標を実現させる微細組織形態を明らかにする

研究成果

(1) 保磁力と微細組織の関係明確化



- 熱処理時間を増大 (1 → 9 時間) することにより、**Nb、B**が粒界相に濃化することが判明 (Sm, Fe, Co濃度は低下)。この変化が高保磁力化の要因と推測。



◆各個別テーマの成果と意義

研究成果のまとめ

- ① 高度な微結晶創製技術と微細組織解析技術の融合により、高鉄濃度TbCu₇型Sm-Fe系化合物磁石における保磁力の目標値（ ≥ 640 kA/m）を達成した。
- ② 等方性ボンド磁石としてネオジウム磁石と同等以上の優れた特性を確認した。
- ③ さらなる高特性化のための添加元素などの指針を状態図計算とともに導出した。

3. 研究開発成果（2）成果の普及

テーマ
A1

◆成果の普及

	2020年度	2021年度	計
論文	0	1	1
研究発表・講演	0	2	2
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	11	11
展示会への出展	0	0	0

(1) 論文

※2022年7月25日現在

- ① N. Kurokawa, M. Matsuura, S. Sakurada, S. Sugimoto: “Enhancement of magnetic properties and microstructural changes in TbCu₇-type Sm-Fe-Co-Nb-B melt-spun ribbons”, J. Magn. Mater., 556, 169414-1~9, (2022). DOI: 10.1016/j.jmmm.2022.169414

(2) 研究発表・講演

- ① 黒川直樹, 松浦昌志, 手束展規, 杉本諭, 桜田新哉: “TbCu₇型Sm-Fe-Co-Nb-B系急冷薄帯の磁気特性と微細組織”, 日本金属学会2022年春期(第170回)講演大会, 2022.3.16
- ② 桜田新哉: “高鉄濃度SmFe系非平衡化合物の生成と磁気特性”, 令和4年電気学会全国大会シンポジウム, 2022.3.23

3. 研究開発成果（2）成果の普及

テーマ
A1

◆成果の普及

(3) 新聞発表等

1) HPへ掲載

- ① 東北大学HP（令和4年3月1日）：「少ないレアアース量でネオジムボンド磁石と同等磁力を持つサマリウム鉄系等方性ボンド磁石を開発」
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2022/03/press20220301-01-rare.html>
- ② 東芝HP（令和4年3月1日）：「少ないレアアース量でネオジムボンド磁石と同等磁力を持つサマリウム鉄系等方性ボンド磁石を開発」
<https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/22/2203-01.html>

2) 新聞各紙へ掲載（デジタル版を含む）

- ① 日本経済新聞, 朝刊16面, 令和4年3月1日 「磁石、レアアース使用半減 東芝、調達リスク抑える」
- ② 日刊工業新聞, 朝刊25面, 令和4年3月1日 「サマリウムでボンド磁石 東北大・東芝 コスト・資源リスク抑制」
- ③ 電波新聞, 朝刊4面, 令和4年3月1日 「レアアース使用量半分で従来以上の磁力 東北大と東芝が新しい磁石開発 余剰資源のサマリウム活用」
- ④ 電気新聞, 朝刊4面, 令和4年3月1日 「車載モーター用磁石 レアアース使用半減 東芝、東北大 耐熱性も向上」
- ⑤ 電波新聞デジタル, 令和4年3月1日 「余剰資源サマリウム活用の新しい磁石 東北大と東芝が開発」
- ⑥ 日本経済新聞（電子版）, 令和4年3月1日 「東芝、レアアース使用量半分の磁石開発 調達リスク軽減」
- ⑦ 日刊工業新聞（電子版）, 令和4年3月1日 「東北大と東芝、サマリウムでボンド磁石 コスト・資源リスク抑制」
- ⑧ 日刊自動車新聞（電子版）, 令和4年3月1日 「東芝と東北大学が共同開発、レアアース半分で同等の磁力」

3) テレビ放送等

- ① テレビ東京WBS「トレンドたまご」放映, 令和4年3月8日 「レアアースが半分で済む“磁石”」

3. 研究開発成果（3）知的財産権の確保に向けた取組

テーマ
A1

◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取組

- 侵害発見可能な磁石組成、微細組織構造について他社侵害抑止力となる、高い知財力を確保する。
- 特に高保磁力化、高角型化を実現するために特徴的な微細組織構造に関する特許出願に注力する。

	2020年度	2021年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	1	1

※2022年7月25日現在

(4) 特許等(知財)

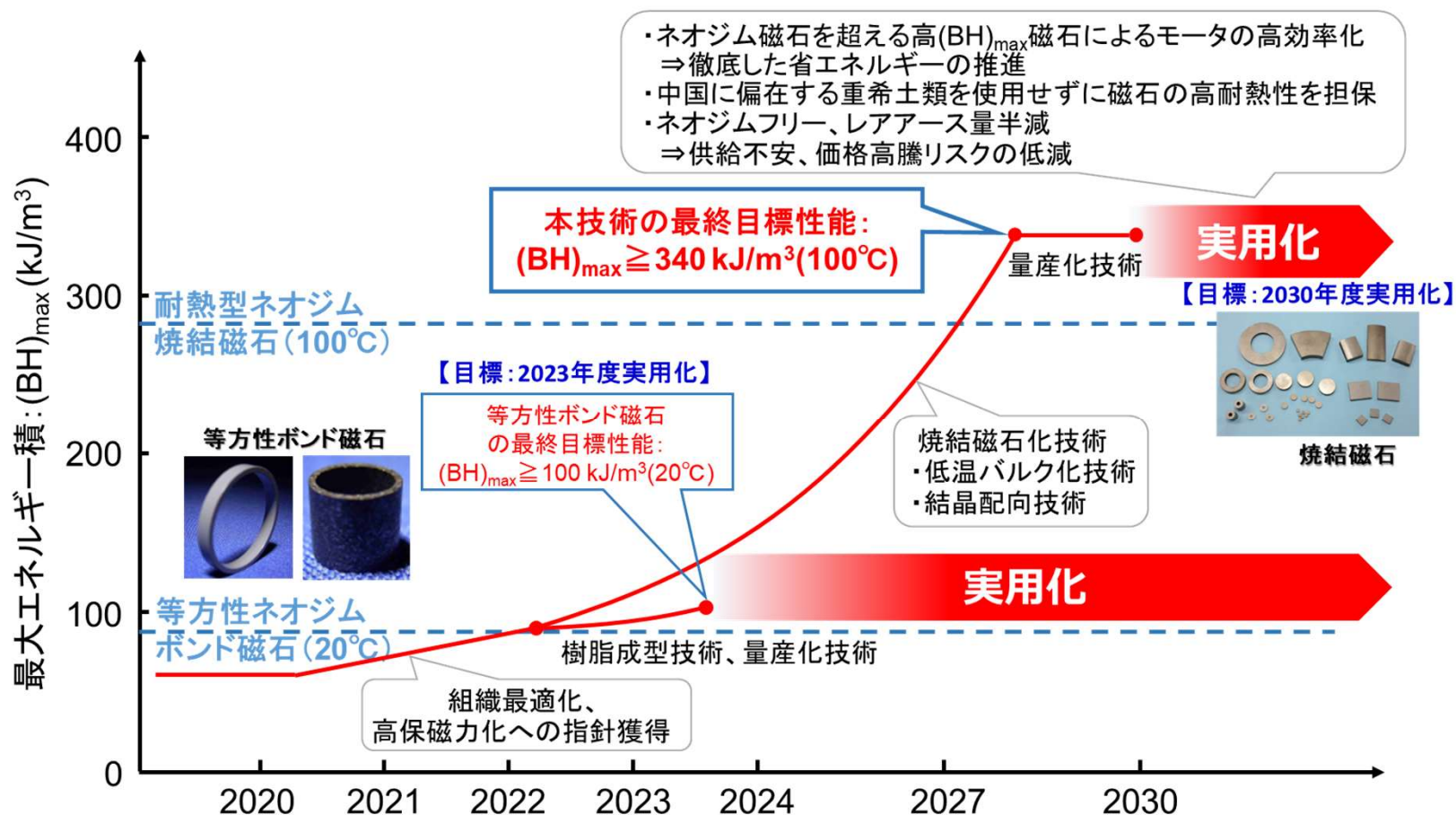
- ① 特願2021-189389, 出願日：2021/11/22, 「磁石材料及び永久磁石」

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し

テーマ
A1

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

- 課題) 量産化につながる製造技術の確立と応用面での実証
 - SmFe系化合物を用いた等方性ボンド磁石の製造技術開発とモータ適用性検証
- 課題) バルク化技術の確立
 - SmFe系化合物における焼結磁石実現に向けた原理検証



テーマ
A1

◆実用化に向けた戦略

● 課題) 量産化につながる製造技術の確立と応用面での実証

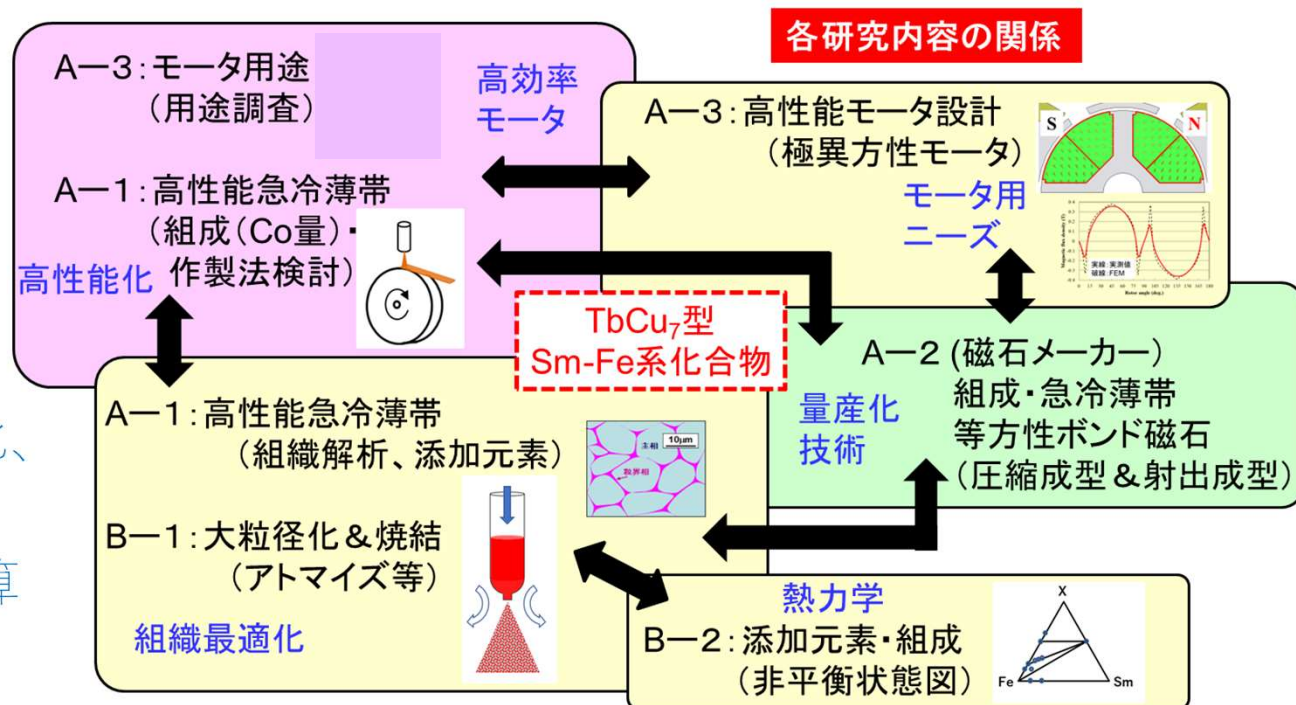
→SmFe系化合物を用いた等方性ボンド磁石の製造技術開発
 とモータ適用性検証

- A-1: 高性能化 (磁気特性の向上、省Co化)
- A-2: 製造技術開発 (課題抽出、実用技術提示)
- A-3: モータの適用性検証 (小型モータ等)

● 課題) バルク化技術の確立

→SmFe系化合物における
 焼結磁石実現に向けた
 原理検証

- B-1: バルク化検討
 (大粒径高保磁力化、
 低温焼結の検討)
- B-2: 非平衡状態図計算
 (有効添加元素、
 粒界偏析制御)



4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し
 (2) 成果の実用化に向けた具体的取組

テーマ
A1

◆実用化に向けた具体的取組

年度	2020,2021FY	2022FY	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY
等方性ボンド磁石 量産化開発		磁石メーカーと連携して量産化を検討				
生産／販売						
モータ適用検討 (設計／試作)		モータ製品への適用可能性 検討(モータ設計)に着手				
異方性ボンド磁石 または焼結磁石開発		本開発の磁石材料をベースに 焼結磁石開発へと進む				

NEDO
部素材PJ
研究期間終了

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し
(3) 成果の実用化の見通し

テーマ
A1

◆成果の実用化の見通し

実用化に対する課題と今後の方針

A. 量産化につながる製造技術の確立と応用面での実証

→等方性ボンド磁石量産に向けた製造技術開発とモータ製品への適用可能性検討

A-1：高性能化（磁気特性の向上、省Co化）

A-2：製造技術開発（課題抽出、実用技術提示）

磁石メーカーとの連携により製造技術開発を推進

A-3：モータの適用性検証（小型モータ等）

東芝グループにおけるモータ開発部門での適用可能性検討を実施

B. バルク化技術の確立

→異方性ボンド磁石または焼結磁石への発展に向けた可能性検証

B-1：バルク化検討（大粒径高保磁力化、低温焼結の可能性の検討）

高鉄濃度 TbCu_7 型化合物の低温焼結によるフルデンス化と結晶配向の可能性の検証

B-2：非平衡状態図計算（有効添加元素、粒界偏析制御）

状態図計算から抽出された添加元素による TbCu_7 型結晶安定化と低速急冷プロセスによる大粒径高保磁力化の可能性の検証

研究開発テーマ ①

部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業/重希土類を使用しない高性能磁石等の開発/重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証/重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発

テーマA3

重希土類を使用しない小型超高速回転
モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証

(2020年度～2021年度 1.5年)

成果報告説明用資料 (公開)

愛知製鋼 株式会社

開発本部 未来創生開発部 グループ長 度曾 亜起

開発本部 未来創生開発部 主査 三嶋 千里

テーマ
A3

◆プロジェクト(研究課題1)としての達成状況と成果の意義

研究課題1「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証」



図 実証した超高速回転モーター駆動システム

同出力を出すのに使用する素材量 (相対値)

	主構成材料	一般的電動アクスル	開発品
モータ部	電磁鋼板	100	25
	銅	100	30
	レアース磁石	100	30 (Dyフリー)
減速部	ギヤ・シャフト <small>(フェニックス部除く)</small>	100	100

減速比1当たりの使用する素材量 (相対値)

	主構成材料	一般的電動アクスル	開発品
減速部	ギヤ・シャフト <small>(フェニックス部除く)</small>	100	50

図 プロジェクトによる
電磁鋼板、銅、希土類の使用量削減

■ 成果の意義

本事業による技術を基に、NEDOグリーンイノベーション (GI) 基金「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」に採択

部素材のサプライチェーンの強靱化に貢献

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A3

◆研究開発（内容）項目毎の目標と達成状況（テーマA3）

研究課題①-1 「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証」 愛知製鋼株式会社

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発	Br:8.5kG以上 保磁力:18kOe以上 体積抵抗率(ρ_v): 10m Ω cm以上	Br : 8.6kG 保磁力 : 15.6kOe ρ_v : 10m Ω cm	○ (保磁力を除いて、概ね達成と評価)	保磁力向上に向け ・高保磁力SmFeN微粉末の検討 ・粒度分布最適化を検討
[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	モーター回転数 : 30,000rpm以上 最大出力 : 50 kW 以上 駆動実証	最高出力50 kW 最高回転数 : 34,000rpm 最大効率93%、 最大トルク1850Nm (減速比 21.8) を達成	○ (超高速回転モーター駆動システムの設計・試作、駆動実証に成功)	・小型・軽量化、省資源化を実現し高出力化、高効率化に向けた取組 ・駆動システムの耐久性評価 ・駆動システムの車両搭載性評価

技術的にBrと保磁力は背反の関係にあり、さらに体積抵抗率の向上や低圧成形でロータとの一体成形を行い磁石粉末の破壊抑制を達成するのは非常に難易度が高い。本事業の開発では保磁力の目標値は未達であるが、体積抵抗率が既存磁石の100倍高い値を達成できたことから、超高速回転による渦電流損による発熱が少ないため熱減磁による磁石の保磁力低下を抑制でき超高速回転モーター駆動システム用磁石としての価値は高い。ただし、保磁力は高い方が信頼性の指標は高くなるため、今後も高保磁力SmFeN微粉末の検討や粒度分布最適化を検討し高いレベルを目指す。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成（事後）、×未達

テーマ
A3

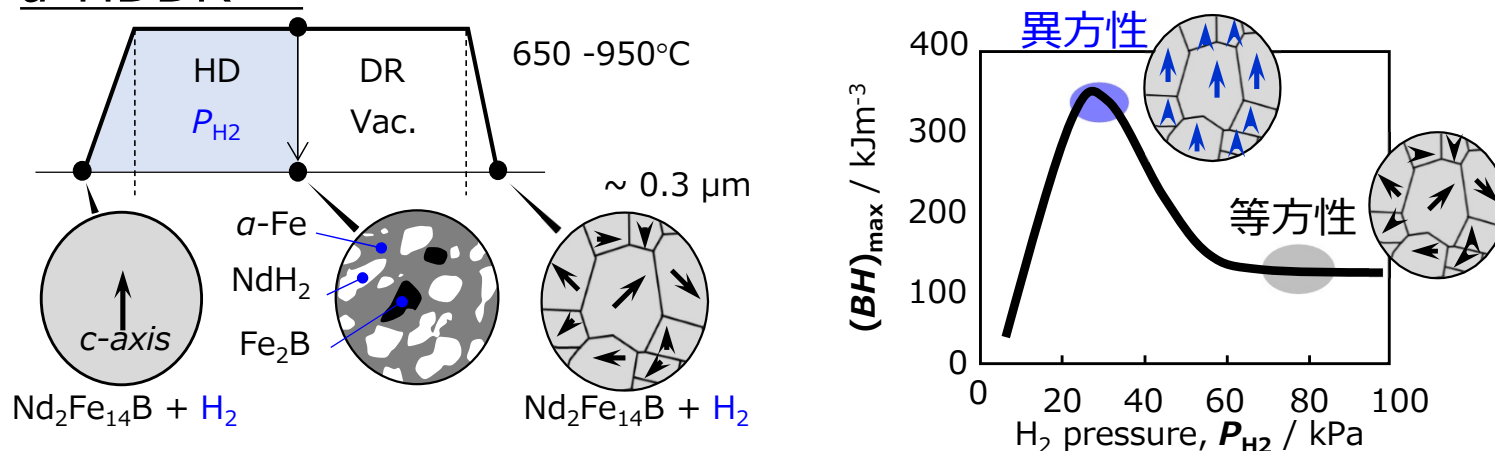
◆研究課題 1 の研究開発内容の具体的な成果

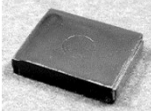
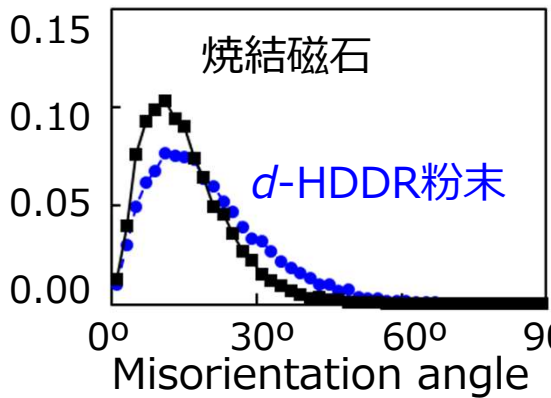

研究課題 1「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証」

[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発

①ボンド磁石に使われる磁石粉末の性能向上

d-HDDR^{1,2)} (dynamic Hydrogenation Disproportionation Desorption Recombination)



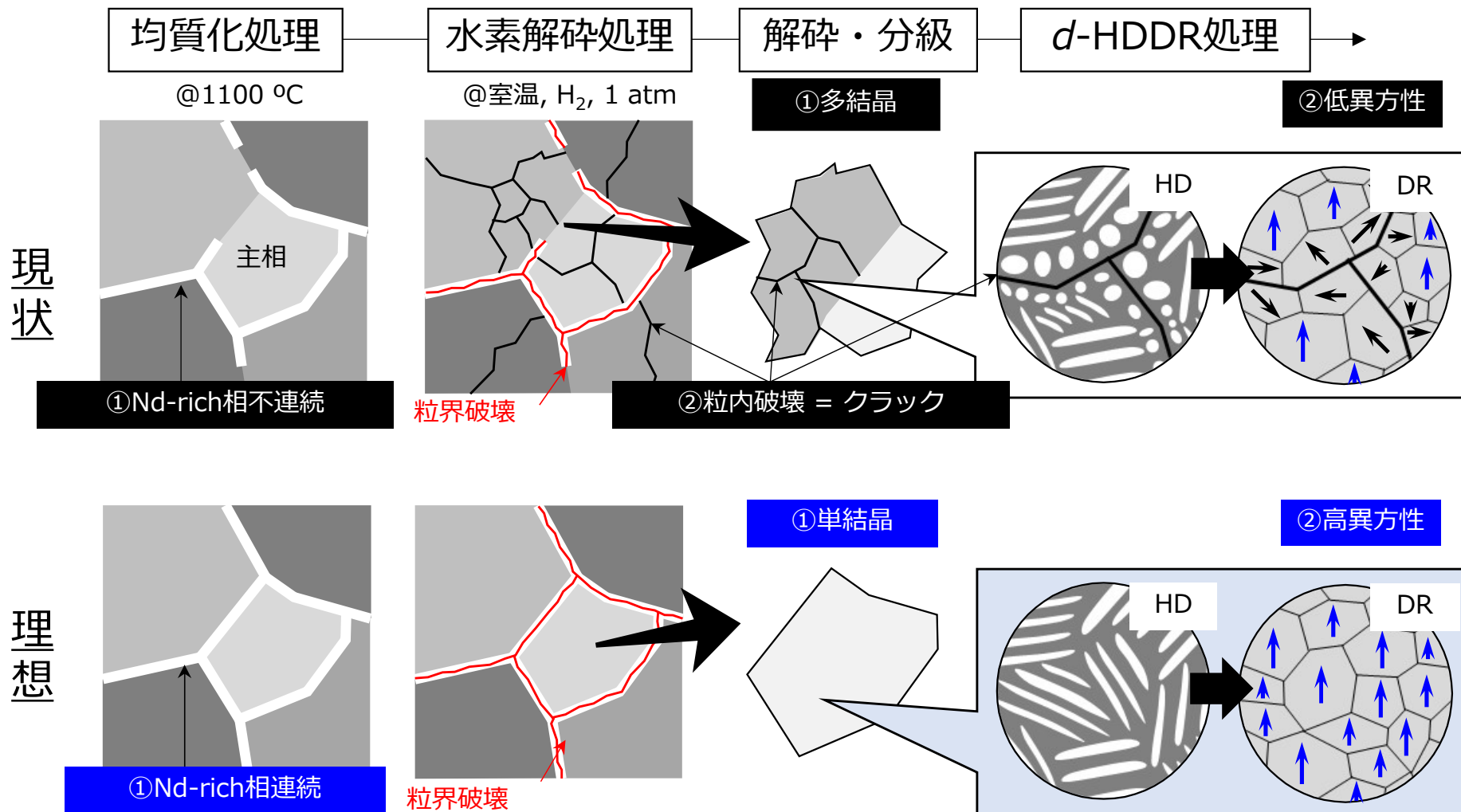
	Nd ₂ Fe ₁₄ B相(001)方位分散	異方性	J _r
焼結磁石 	頻度 	>80%	~1.5 T
<i>d</i> -HDDR 		~70%	~1.3 T

d-HDDRの問題点

Nd-Fe-B系焼結磁石と比較して
異方性と J_rが低い

テーマ
A3

①-1. 低異方性の原因：粉末の多結晶とクラック



多結晶：均質化处理のNd-rich相不連続

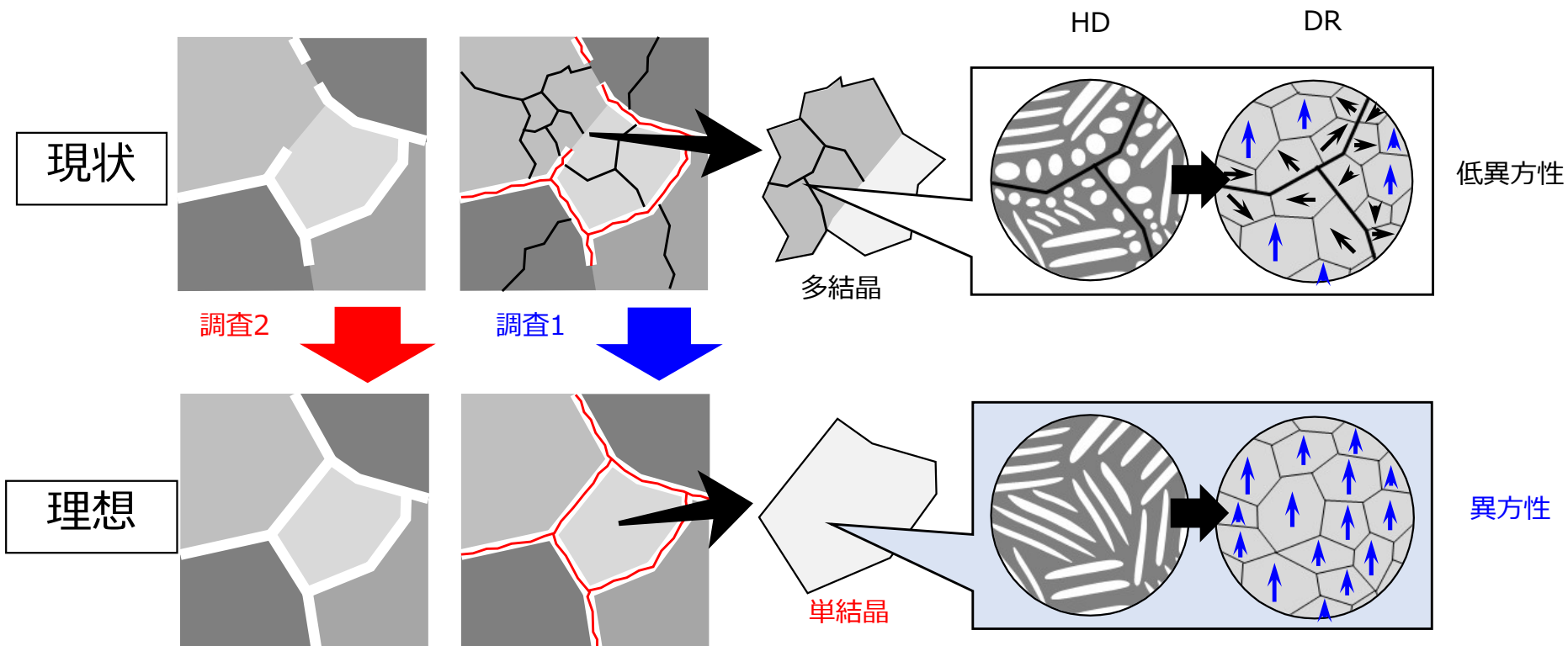
クラック：水素解砕処理での主相体積膨張に伴う粒内破壊

抑制が必要

テーマ
A3

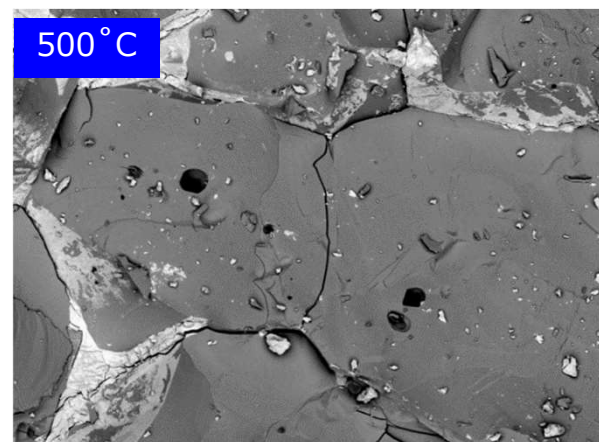
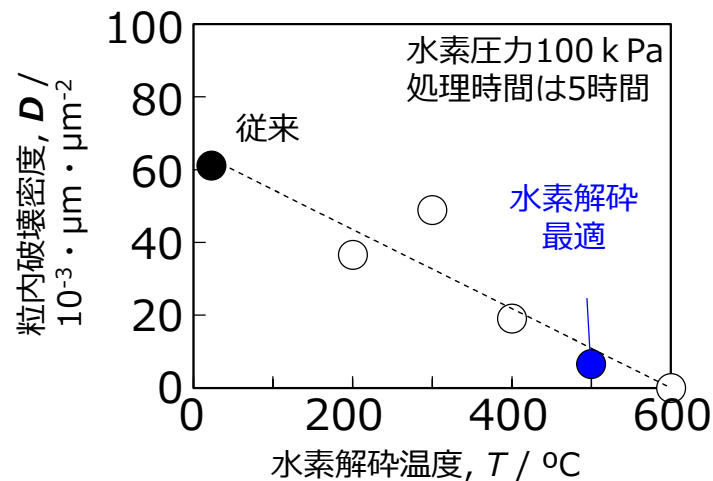
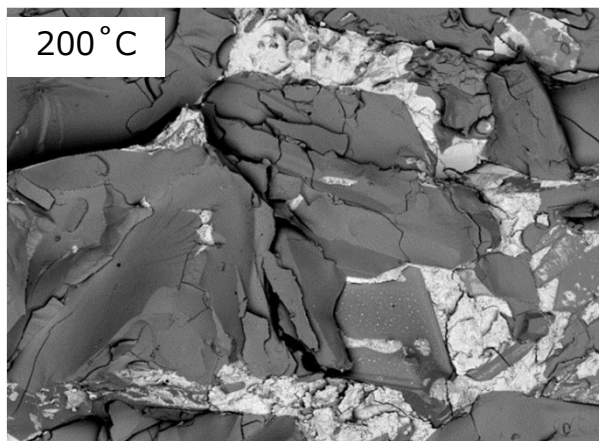
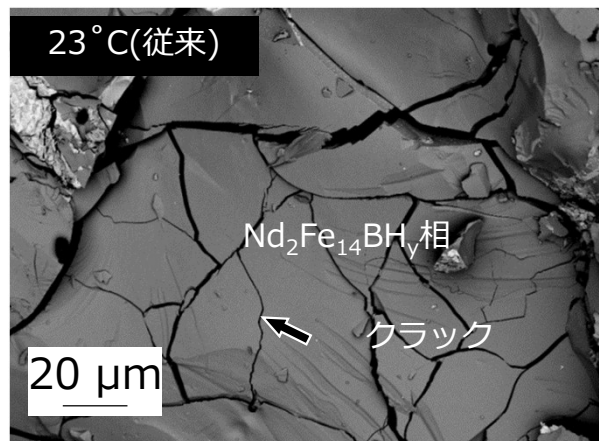
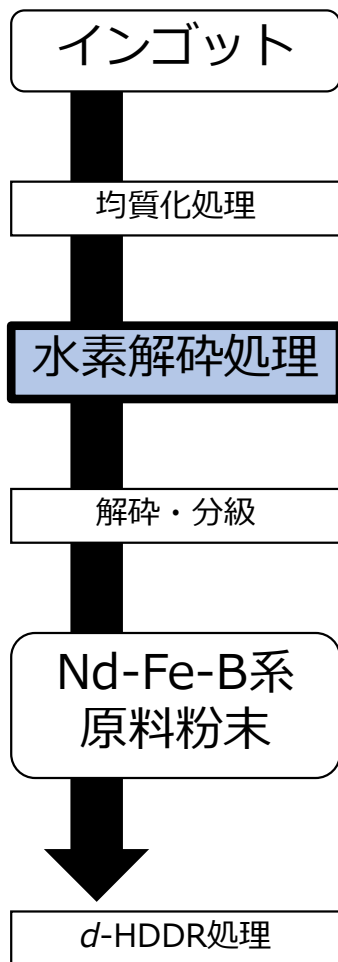
①-2.水素解砕処理の見直し

調査： 1. 水素解砕処理温度と磁気特性との関係



テーマ
A3

①-3.水素解砕処理（調査1） -結果①-
水素解砕後のインゴット組織

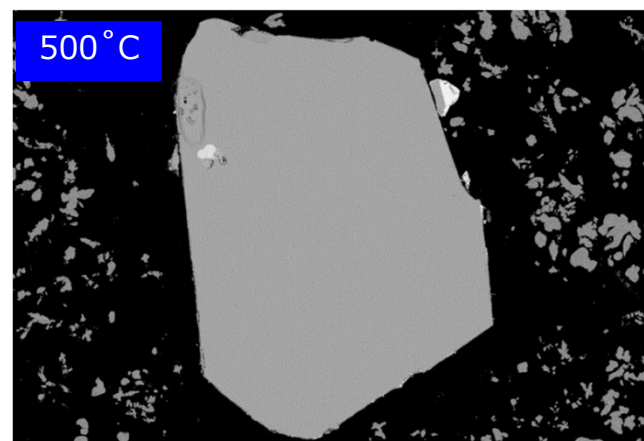
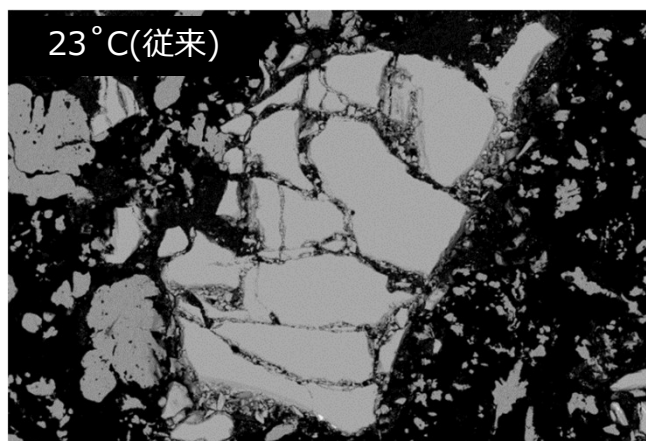
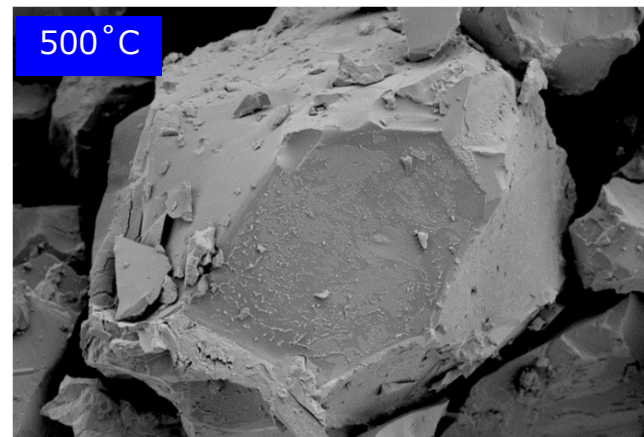
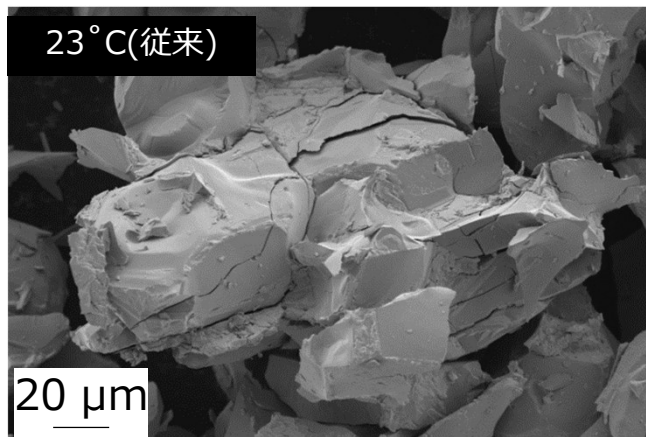
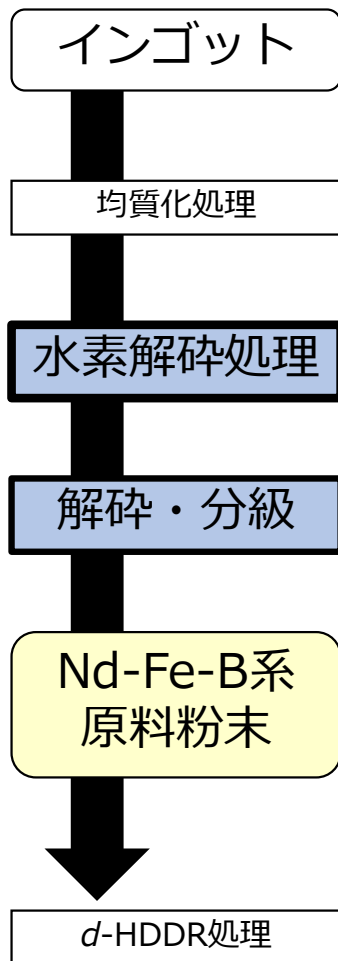


水素解砕処理23 → 500 °C : 粒内破壊が顕著に減少

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

テーマ
A3

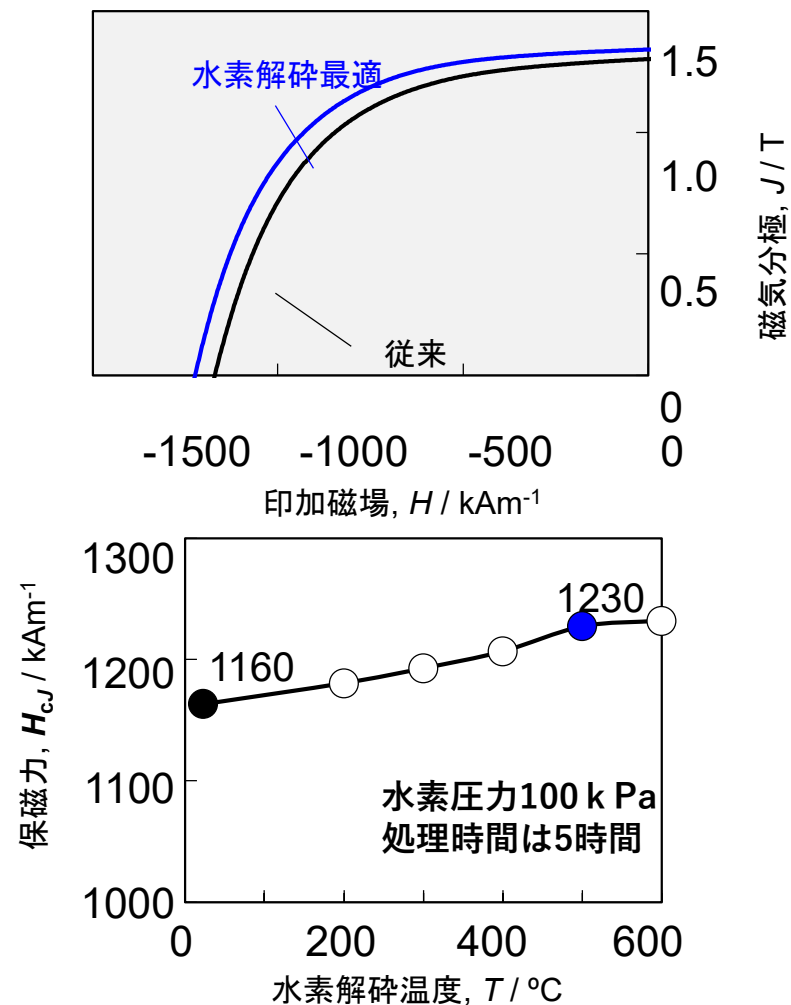
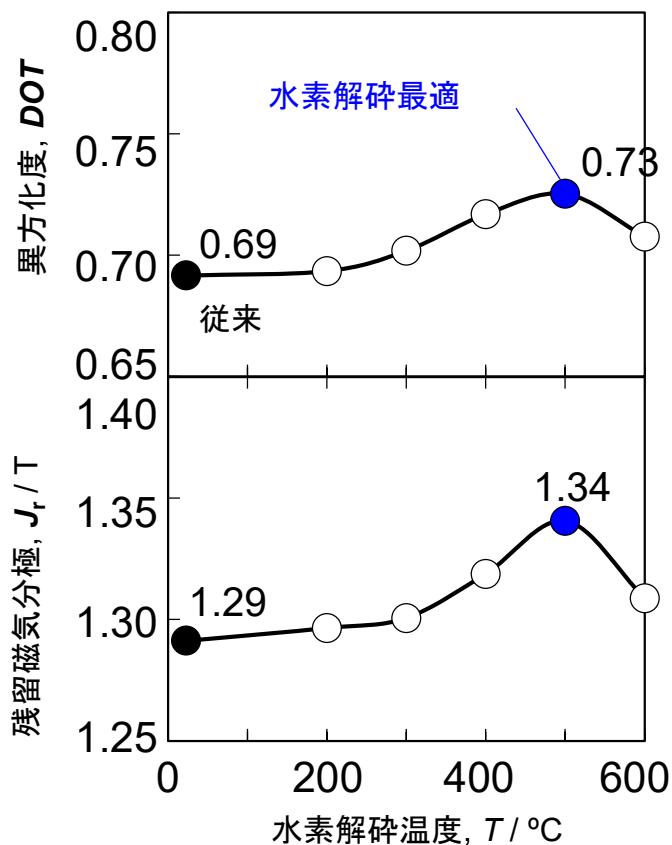
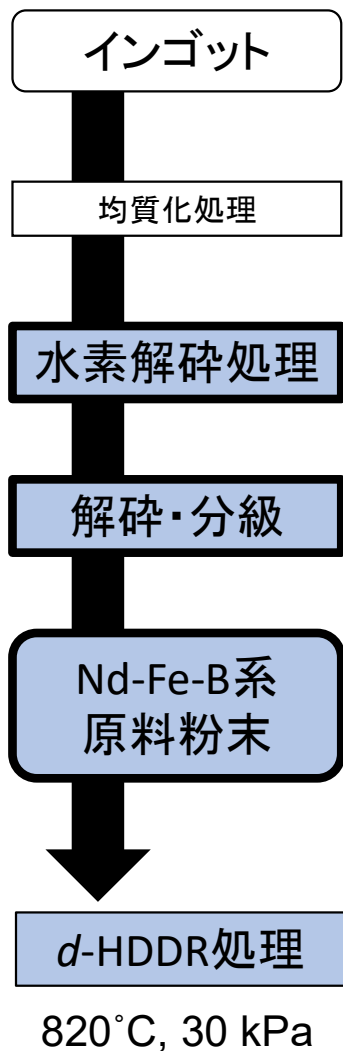
①-3.水素解砕処理（調査1） -結果②- 解砕・分級後の粉末表面・断面の組織



水素解砕処理23 → 500 °C : 粉末が結晶粒形状, クラック減少

テーマ
A3

①-3.水素解砕処理（調査1） -結果③-
d-HDDR後磁気特性の水素解砕温度依存性



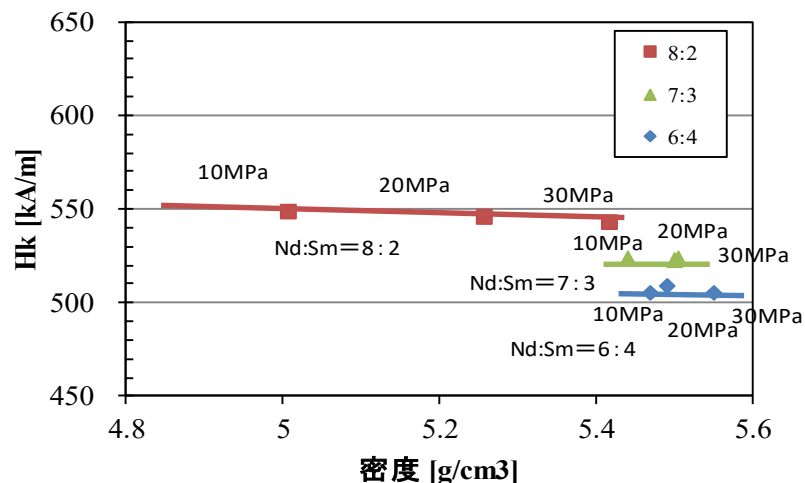
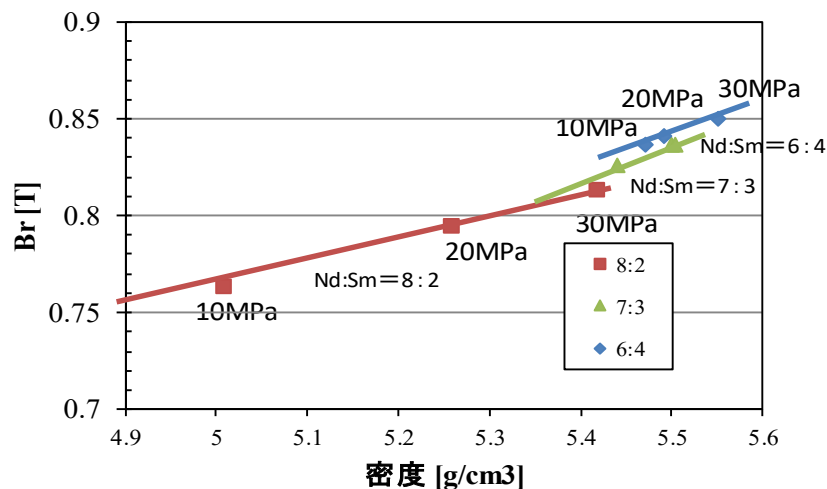
水素解砕処理23 → 500 °C: 高異方性, 高J_r, 高H_{cJ}化

テーマ
A3

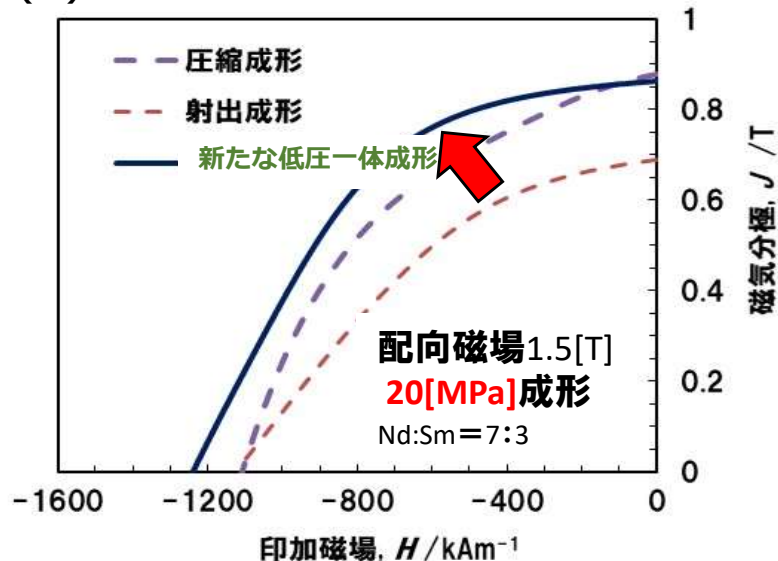
②高Br、高保磁力、高体積抵抗率を有するボンド磁石のための高充填コンパンドの開発・試作

②-1.コンパンドの改良による低圧力化

(1)SmFeN微粉末の混合量の検討



(2)代表的な低圧成形による減磁曲線



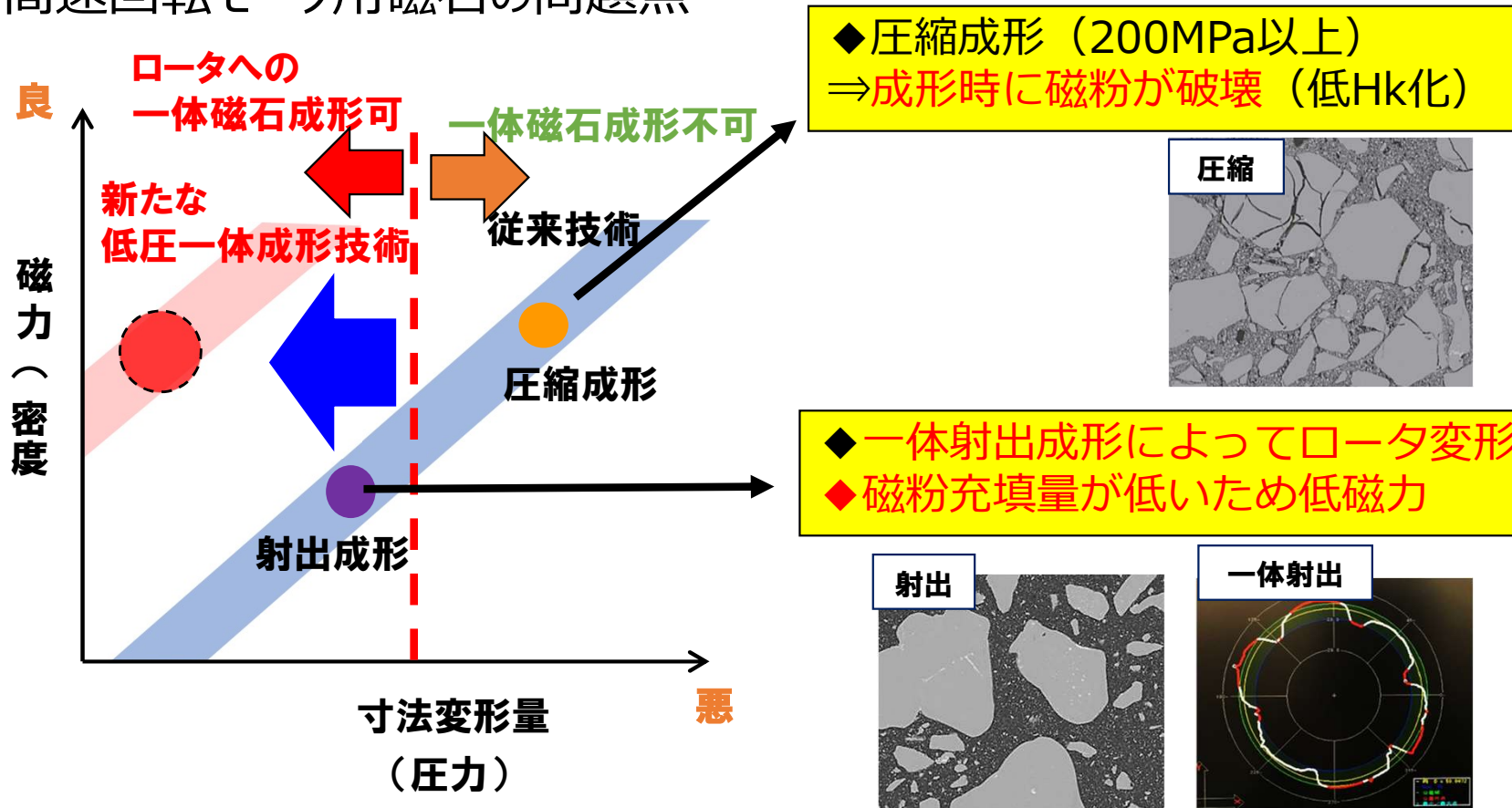
- Br:0.86T (8.6kG)
- Hk:560kA/m(7.0kOe)
- iHc:1241kA/m(15.6kOe)
- (BH)max:137.6kJ/m³(17.3MGOe)

SmFeN量を調整することで
低い成形圧力で密度を上げることが可能
Nd:Sm = 7 : 3を選定

テーマ
A3

③磁石粉末を破壊せずにロータコア内に成形する形状自由度の高い低圧一体成形技術の向上

③—1高速回転モータ用磁石の問題点

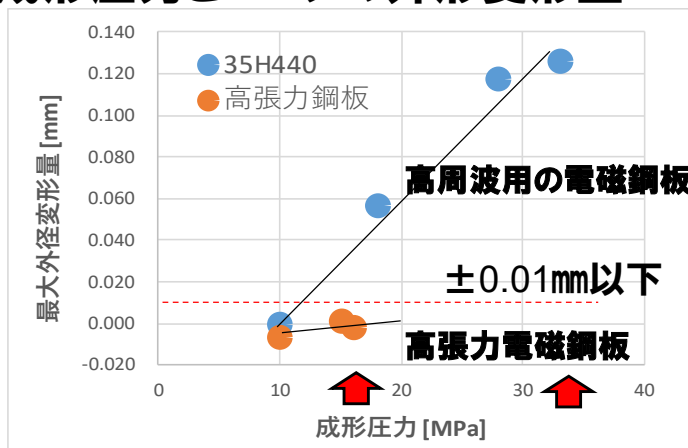


高速モータ用磁石として
高密度 (=高磁力) と 低圧力 (=高寸法精度) を両立する
 低圧一体磁石成形技術の開発が必要

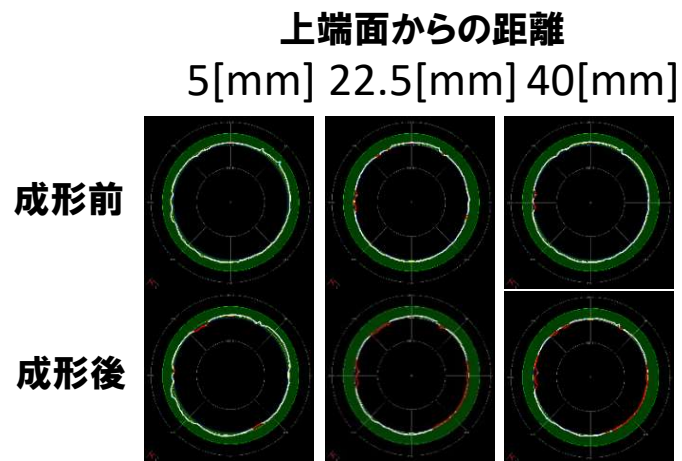
テーマ
A3

③-2. 高速回転用ロータへの一体磁石形技術

① 成形圧力とロータの外形変形量



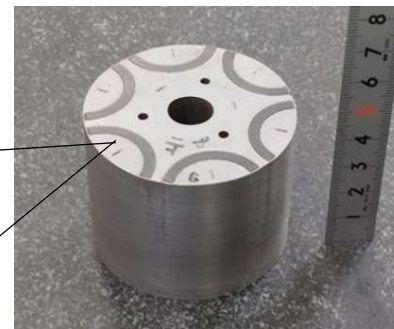
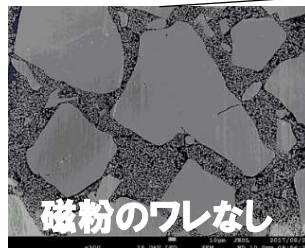
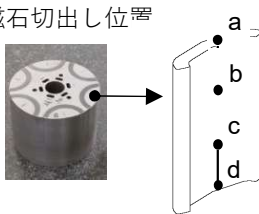
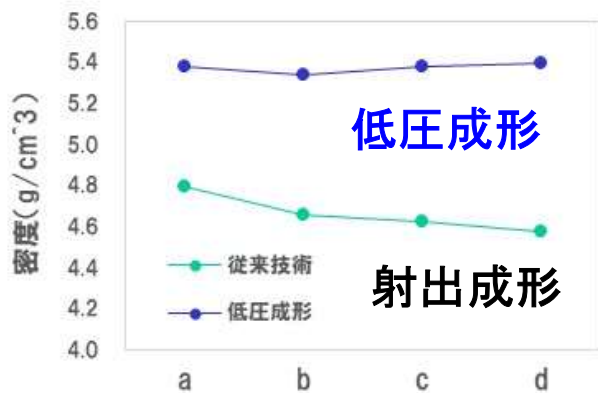
高張力電磁鋼板使用で成形圧力低減(33→15MPa)



上から5mm 外径変形量 0.001mm
上から5mm 真円度変化量 0.005mm

ロータの変形なし

② 一体成形後の各部位の密度

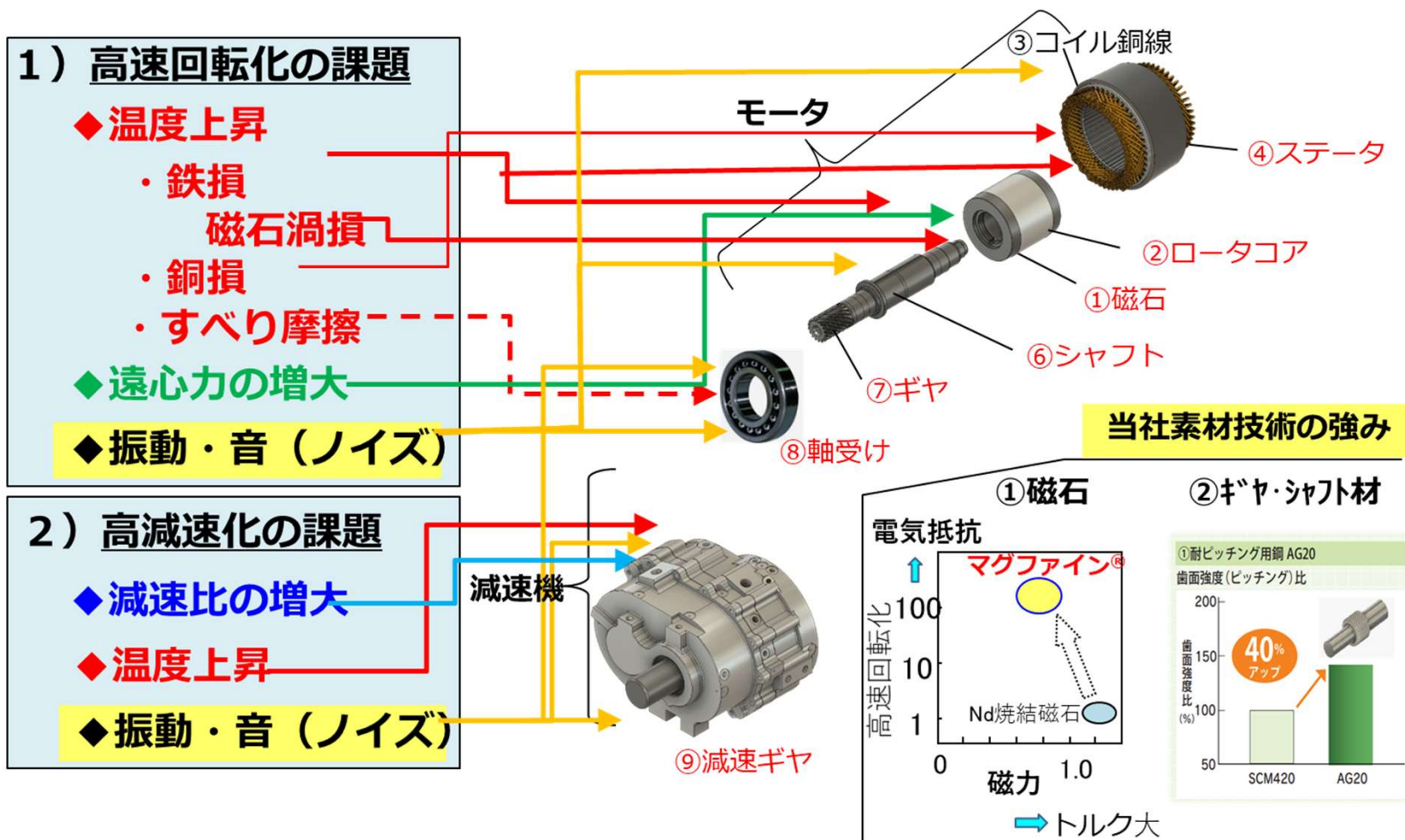


完成した一体成形磁石ロータ

テーマ
A3

[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証

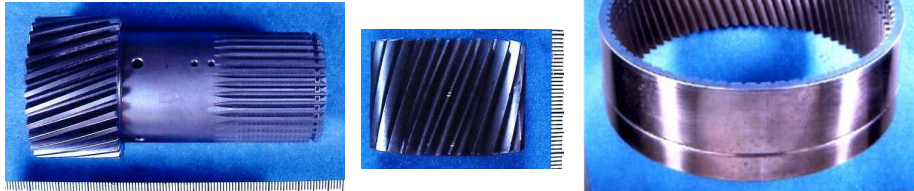
④超高速モーターシステムの設計・評価および減速機システムの設計・評価
さらに高強度ギア・シャフト鋼の開発



テーマ
A3

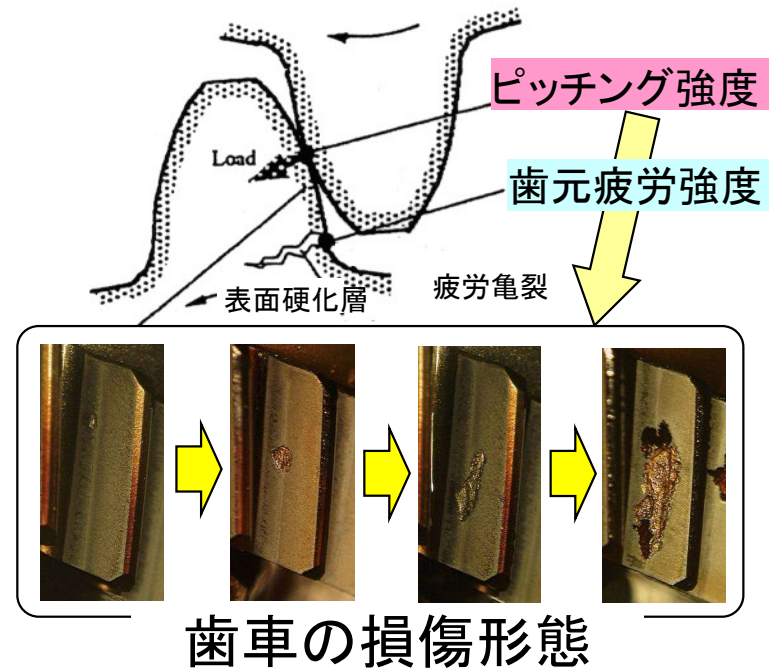
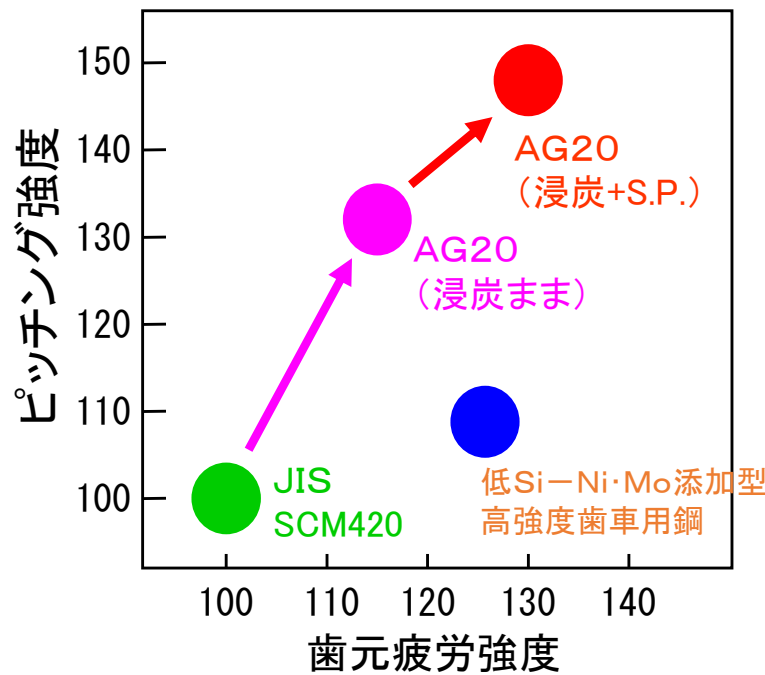
④-1.耐ピッチング高強度歯車用鋼AG20

(適用部品)



プラネタリ・ギヤ類(オートマチックトランスミッション)

- ・歯面強度(ピッチング)が要求される歯車
- ・高速回転にて供試され歯面温度が上昇しやすい歯車

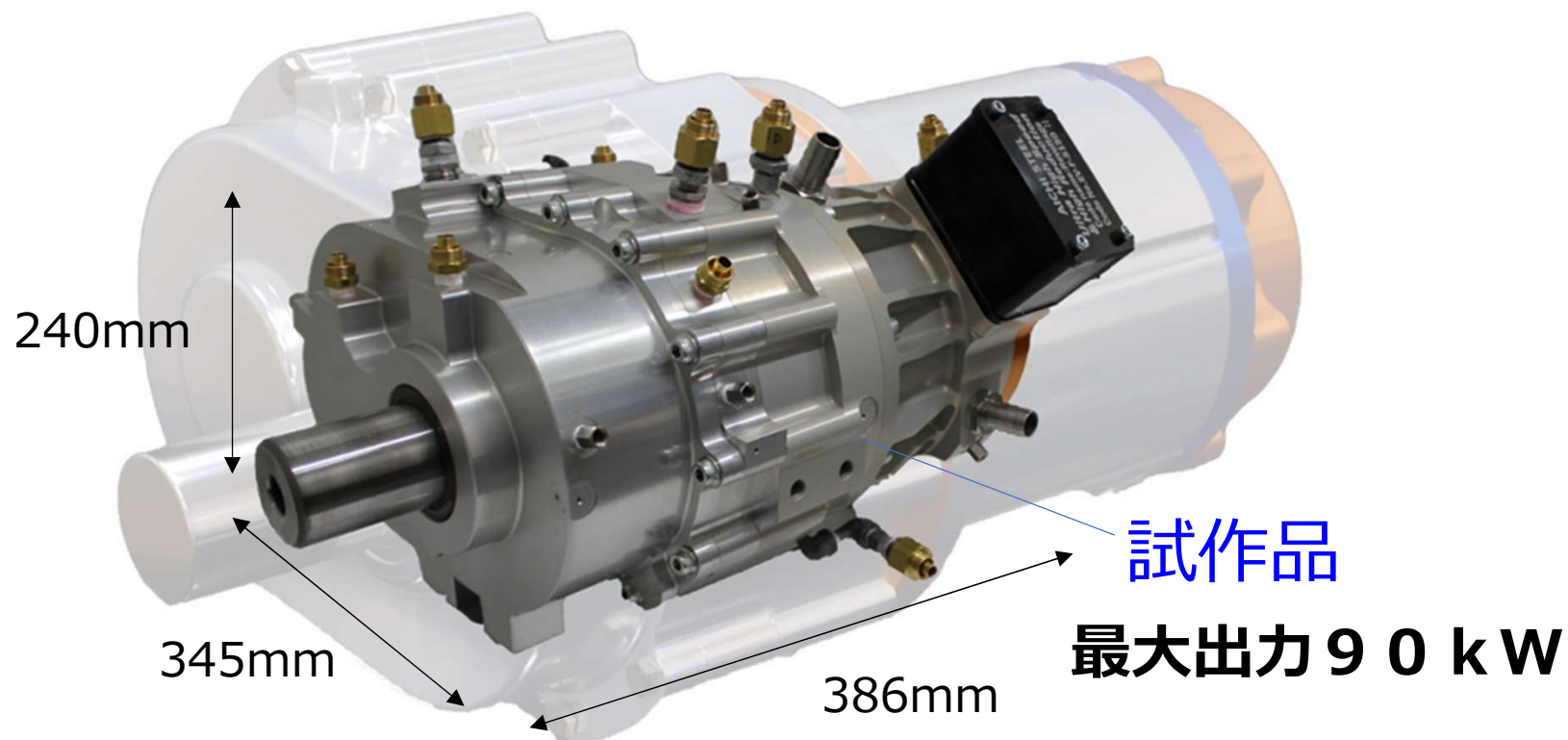


歯面(ピッチング)・歯元強度向上を両立

テーマ
A3

④-2. 開発したモーターシステム設計

一般の同クラス電動アクスルとの比較イメージ

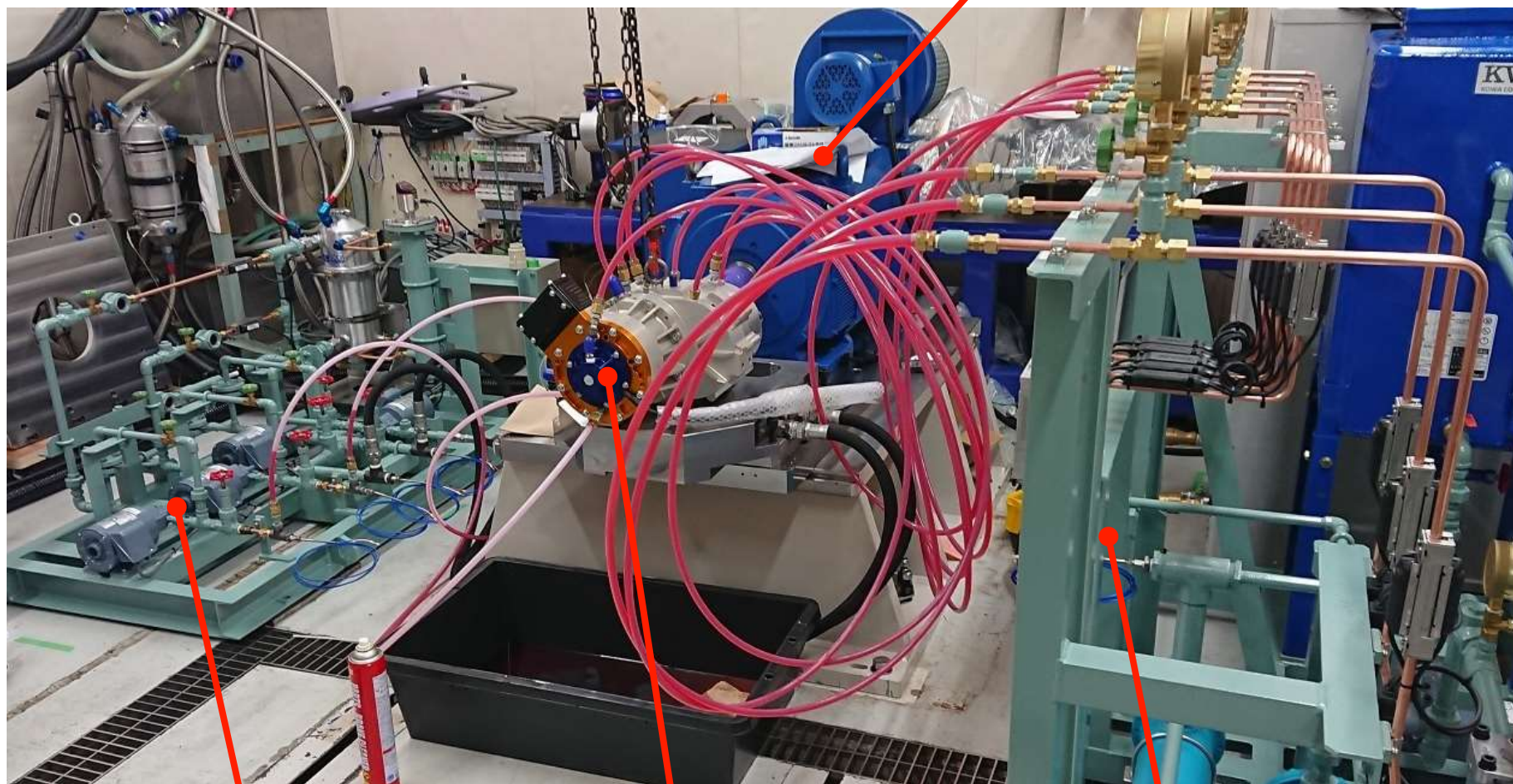


一般電動アクスル比 体積・重量 約▲40%

テーマ
A3

④-3. モーターシステムの実証試験

④モータベンチ(負荷装置)



③冷却・潤滑油旬間ユニット

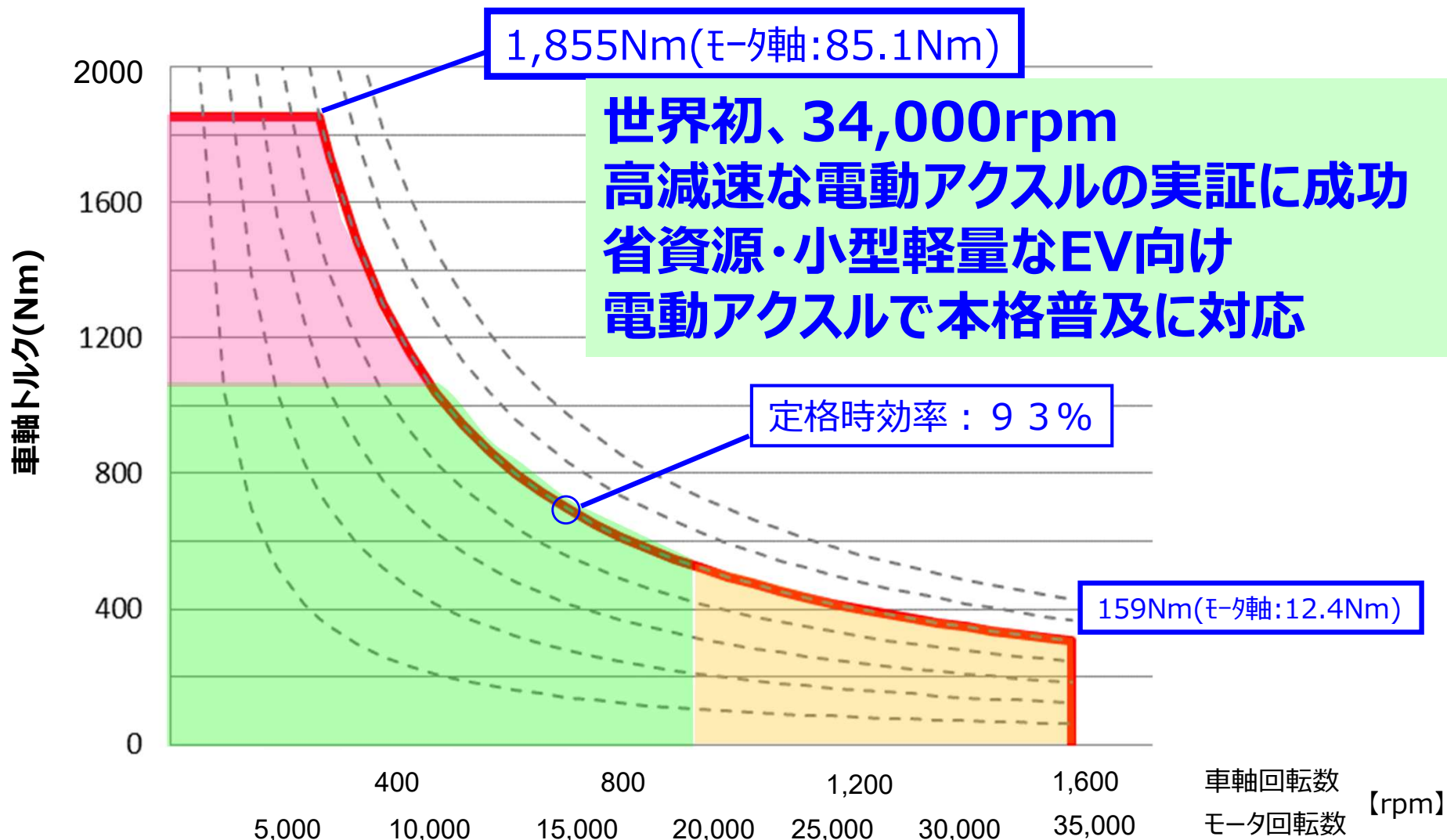
①電動アクスル開発品

②冷却・潤滑油供給ユニット

テーマ
A3

④-4. 試作したモーターシステムの評価結果

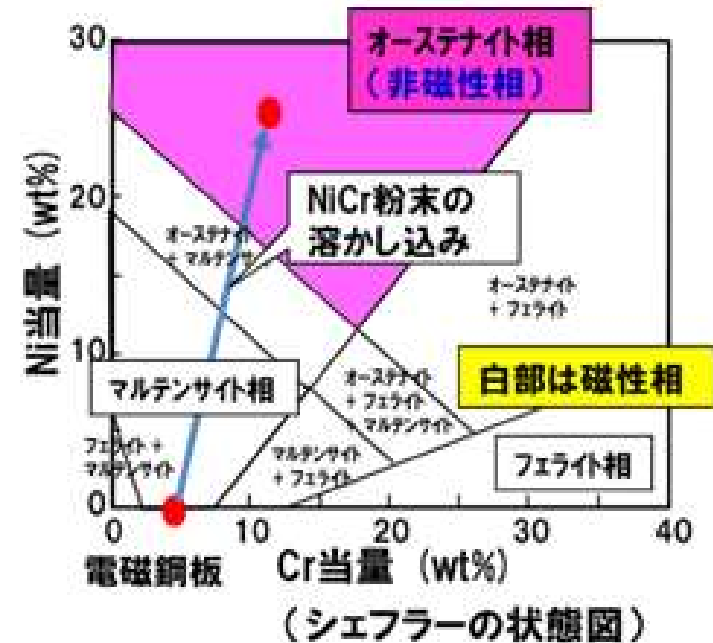
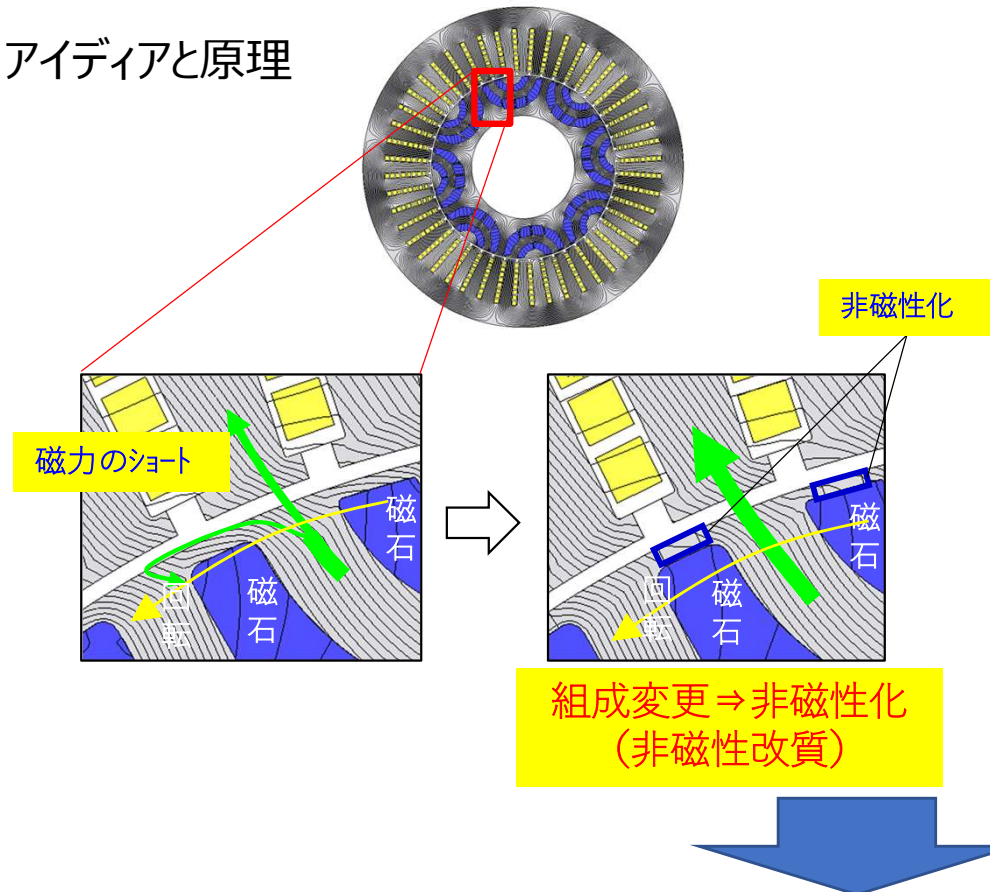
世界初、34,000rpm×高減速(21.8)で実用車軸トルクを実証



テーマ
A3

⑤モーターシステムの周辺技術として、駆動モーターを構成するステータ材料である軟磁性圧粉体の開発、ロータコア材料に使用される薄板電磁鋼板の部分改質技術の開発

■ アイディアと原理



通常の電磁鋼板の使用に比べて、改質した電磁鋼板を使用することで磁力を**36%アップ**することに成功した。

テーマ
A3

◆成果の普及 (テーマA3)

	2020年度	2021年度	2022年度	総計
研究発表・講演	3	2	2	7
論文(査読あり)	0	1		1
特許等	0	4		4
成果普及の努力 (プレス発表等)	2	4		6

※2022年9月 現在

◆ 成果の普及：一般に向けた情報発信

- 2021年1月 展示会
第13回オートモティブ“ワールド”
「超高速モーターシステムの設計・評価および減速機システムの設計・評価」
- 2021年2月 プレス発表
「磁石粉末の性能向上」(東北大学との共同研究)
- 2022年2月 プレス発表
「世界初34,000回転・高減速な電動アクスルの実証に成功」
- 2021年10月 雑誌：自動車技術に掲載
「Dyフリー高性能Nd-Fe-B系異方性ボンド磁石の開発と電動アクスル応用への展開」
- 2022年1月 雑誌：特殊鋼に掲載
「素材開発が切り拓く省資源・小型軽量次世代電動アクスル」
- 2022年2月 雑誌：車載テクノロジーに掲載
「EV向け電動アクスルの開発と小型軽量化」

テーマ
A3

◆知的財産権の確保に向けた取組 (A3)

	非競争域	競争域
公開	—	材料・プロセス開発、 システム開発
非公開	—	加工技術 モーター・ギヤ技術

重要特許の権利化



※2022年3月現在

(テーマA3)	2020年度	2021年度	計
特許出願	0	4	4件

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトの「実用化」の考え方

○当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会利用（顧客への提供等）が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動（売上等）に貢献することを言う。

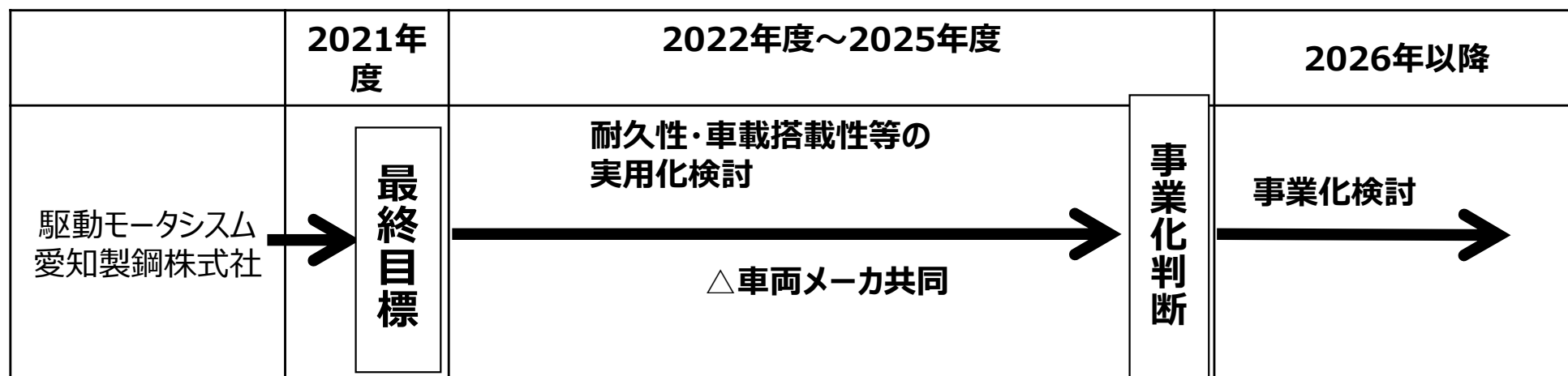
◆ 実用化に向けた戦略

■ 本事業による成果を実用化に繋げるため、以下のステップで検討を行う。

- ステップ1：超高速回転モーターシステム（電動アクスル）の実証、確認、実用化に向けた課題の抽出
- ステップ2：材料技術、システム技術やモーター・ギヤ及び周辺技術等の各要素技術の材料、プロセス、加工条件等知的財産の権利化、さらにモーター・ギヤ設計のノウハウ化
- ステップ3：成果の一部をニュースリリース等で発表、新コンセプトの車両メーカーの関心を呼びこみ、共同開発へ繋げる
- ステップ4：車両メーカーと共同で、重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システムの耐久性評価、および車載搭載性を検討して、成果の実用化・事業化に向けて進める。

テーマ
A3

◆ 実用化に向けた具体的取組



テーマ
A3

◆波及効果

本技術⇒EV用モーターだけでなく、家電等の高効率モーターの提供

希土類の変動に強い高効率モーターの提供

電動航空機



電車



ドローン



発電・コジェネシステム



船舶

MagHEM 第3回中間評価 (2019年8月21日) から

◆ 成果の実用化の見通し

(1) 製品イメージ： Dyフリーの駆動用システム用磁石を用いたモーター部、減速機部、インバータ部が一体となった**電動アクスル**(図)

(2) 市場、ユーザの要求

■ アクスル市場： 13.5兆円(9000万台) @2040年

■ ユーザの要求： 出力密度が小さい、航続距離が短い
重希土類、銅、電磁鋼板の資源問題

■ 市場の反応： 本成果をリリースした結果、高効率な**電動アクスル製品に大きな反響**

(3) 競合他社に対する優位性

■ **希土類、銅、電磁鋼板等の省資源化および磁石、ギヤ等のリサイクル性 ⇒低コスト化**

(4) 実用化に向けた今後の課題と方針

■ 各要素技術やモーターシステムの**耐久性評価、車両搭載性評価**、さらにインバータとの調整

(5) 実用化までのシナリオ

■ 本技術をベースに、**NEDOグリーンイノベーション (GI) 基金助成事業**「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」に採択。今後、上記課題を解決して、社会実装化に向けを進める。

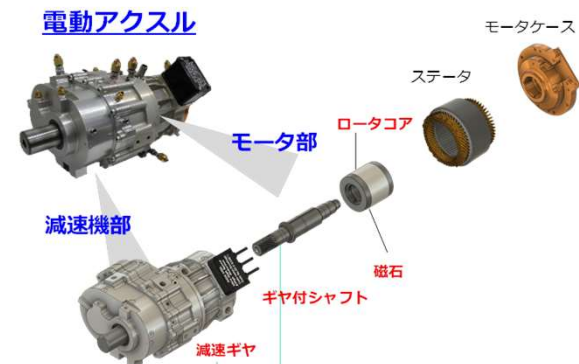


図 超高速回転モーターシステム
電動アクスル

研究開発テーマ ①

部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業/重希土類を使用しない高性能磁石等の開発/重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証/重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発

テーマB1

重希土類を使用しない小型超高速回転
モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証

(2020年度～2021年度 1.5年)

成果報告説明用資料 (公開)

株式会社 IHI

技術開発本部 技術基盤センター 主査 米山 夏樹

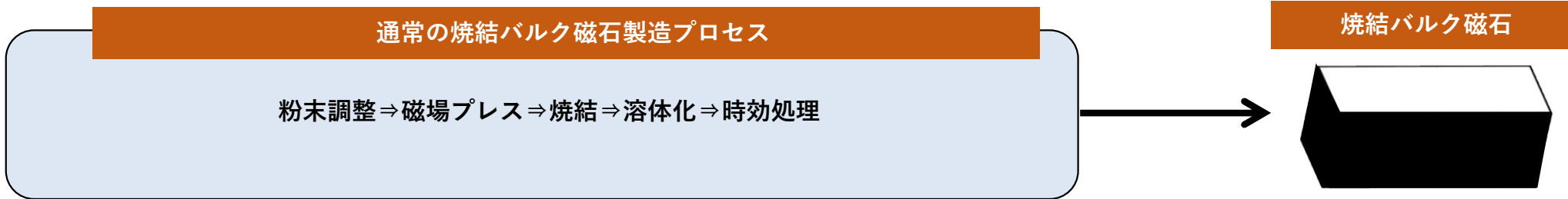
◆ 研究開発の実施体制 (テーマB)

研究開発テーマ	開発責任者	研究開発項目	事業者	テーマ責任者	NEDO呼称 テーマ名	契約形態	
① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究センター長 尾崎 公洋	①-1	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	愛知製鋼株式会社	グループ長 度曾 亜紀	A3	委託契約
		①-2	重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発				
		①-2-1	データ駆動による高鉄濃度準安定系磁石材料の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究センター長 尾崎 公洋	A2	委託契約
				国立研究開発法人 物質・材料研究機構	副拠点長 大久保 忠勝		委託契約
		①-2-2	高鉄濃度希土類磁石化合物における相平衡とプロセス技術開発	国立大学法人東北大学	教授 杉本 諭	A1	委託契約
				株式会社東芝	技監 桜田 新哉		委託契約
豊田理研	フェロー 大谷 博司			共同実施			
	株式会社IHI 主査 米山 夏樹	①-1	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	株式会社IHI	主査 米山 夏樹	B1	委託契約
② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究チーム長 成田 弘一	②-1	低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究チーム長 成田 弘一	C1	委託契約
				国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構			委託契約
				ニッキ株式会社			委託契約
		②-2	低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	主任研究員 三木 健	C2	委託契約

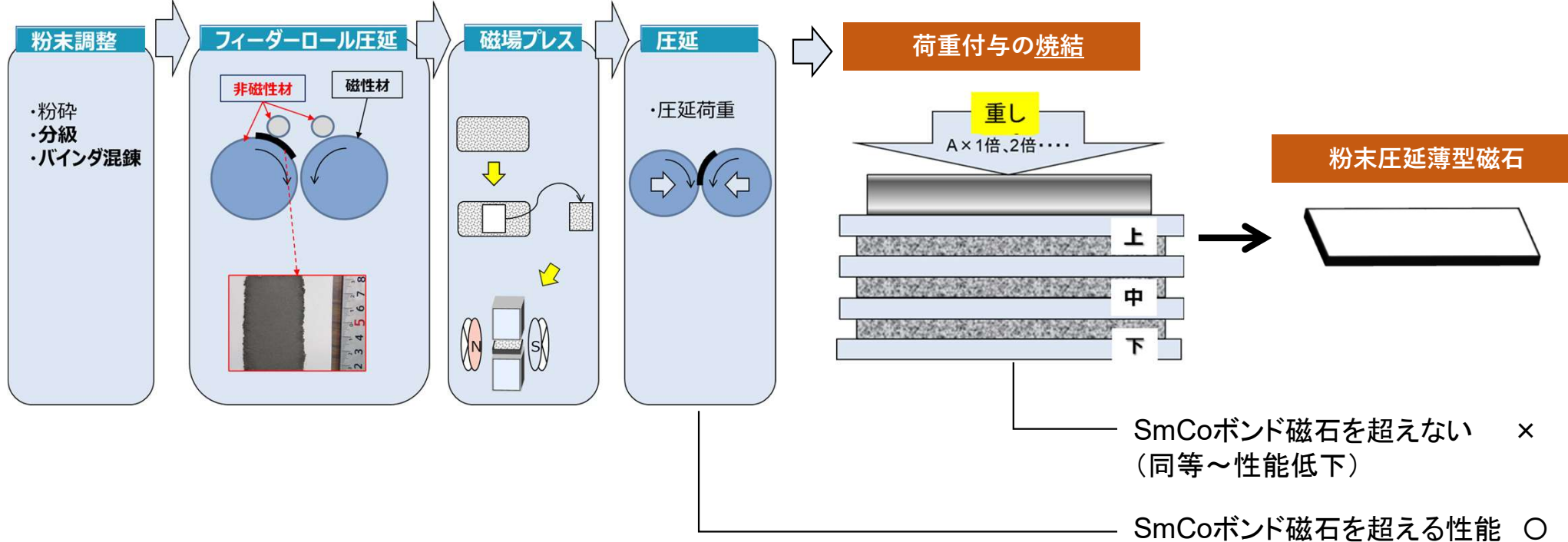
テーマ
B1

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

<従来プロセス>



<本PJでのプロセス>



テーマ
B1

◆研究開発（内容）項目毎の目標と達成状況（テーマB1）

研究課題①-1 「重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証」
株式会社IHI

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
[1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発	Br:8.5kG以上 保磁力:18kOe以上 体積抵抗率(ρ_v): 10m Ω cm以上 $\approx 1/71$ 以下	Br : 5.8kG 保磁力 : 12.1kOe ρ_v : $\approx 1/58$	△	<ul style="list-style-type: none"> ・ロールを介した薄型磁石の焼結改善に課題。要素技術取得から。 ・目標となる積層体の作製方法および特性取得は完了。 ・今後再設計・試作体制の構築が必要。
[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	モーター回転数 : 30,000rpm以上 最大出力 : 50 kW以上 駆動実証 (85,000rpm、4.2KW モータ定格試験による)	最高回転数 : 91,000rpmのストレッチ目標まで達成。回転試験を行い、熱静定まで確認できた。	○	-

希土類磁石の今後の高周波環境下・高速回転モータ利用を検討するなかで、技術的に従来型加工薄型磁石化合物と比較してニアネットな薄型磁石層形成方法はそのプロセス上の組織制御において新たな課題と困難があったという観点から、非常に難度が高く、目標値には未達であるが、積層磁石として取り扱う高速電動製品として得られた成果や薄型磁石プロセス特に焼結プロセス上の温度、時間、荷重、雰囲気などの想定される課題を抽出しかつその限界性能を得たという理由で、今後の日本の電動化製品の発展につながる成果である。これはモータ特筆すべき成果であり、また今後の高速回転モータに利用される磁石やその作製プロセス、組み込み方法、モータ駆動システムとしての知見として価値が高い。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成（事後）、×未達

テーマ
B1

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	達成度	今後の課題と解決方針
○薄型磁石層形成方法	×	限界性能を打破するための、新たな要素技術 探査と開発。
○積層体作成/評価	○	国内協力体制の構築
○高速回転モーターの試作	○	—
○組み込み高速回転モータの動作実証と 成立性評価、課題抽出	◎	ストレッチ目標の回転数を満足したため。 適用機種での本成果による再設計へ。

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

テーマ
B1

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

各開発項目	プロジェクトとしての達成状況と成果の意義
○薄型磁石層形成方法	<p>希土類磁石の今後の高周波環境下・高速回転モータ利用を検討するなかで、技術的に従来型加工薄型磁石化合物と比較してニアネットな薄型磁石層形成方法はそのプロセス上の組織制御において新たな課題と困難があったという観点から、非常に難度が高く、目標値には未達であるが、積層磁石として取り扱う高速電動製品として得られた成果や薄型磁石プロセス特に焼結プロセス上の温度、時間、荷重、雰囲気などの想定される課題を抽出しかつその限界性能を得たという理由で、今後の日本の電動化製品の発展につながる成果である。</p> <p>これはモータ特筆すべき成果であり、また今後の高速回転モータに利用される磁石やその作製プロセス、組み込み方法、モータ駆動システムとしての知見として価値が高い。</p>
○積層体作成/評価	<p>薄型磁石のハンドリング基準や必要な治具の方針を得た。 国内協力メーカーと試作可能な体制を構築する。</p>
○高速回転モータの試作	<p>積層磁石の組み込み方法として、従来手法で試作可能であることが示された。</p>
○組み込み高速回転モータの動作実証と成立性評価、課題抽出	<p>積層磁石について、高速回転モータでの性能や耐久性が実証できた。今後の可能なモータ形態として設計可能となった。</p>

3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

テーマ
B1

◆成果の普及

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	計
論文				TBD		—
研究発表・講演		1	予定			1

3月に報告し、反響を得た。
Nd磁石系への転用可否の質問が多かった。

※2022年7月15日現在

3. 研究開発成果 (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

テーマ
B1

◆知的財産権の確保に向けた取組

特許出願（うち外国出願）	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	計
SmFeN系磁石	取得済1 (1)					1 (1)
SmCo系磁石				TBD		
Nd系磁石						

ボンド磁石を超える特性が得られる装置・プロセスを出願。

数字：国内出願数
(数字)：PCT出願数

※2022年7月15日現在

テーマ
B1

◆ 実用化に向けた戦略

成果

○ 薄型磁石層形成方法

ロールフィーダー粉末層形成: ○
異方化: ○
焼結炉によるち密化: ×

先進的な緻密化手法の
探査・転用・適用

2022~

- 積層体作成/評価
- 高速回転モーターの試作

適用
先
検討

国内協力体制の構築
(2023-26:
各年度トールゲート (TG))

- 組み込み高速回転モーターの動作実証と成立性評価、課題抽出

再設計

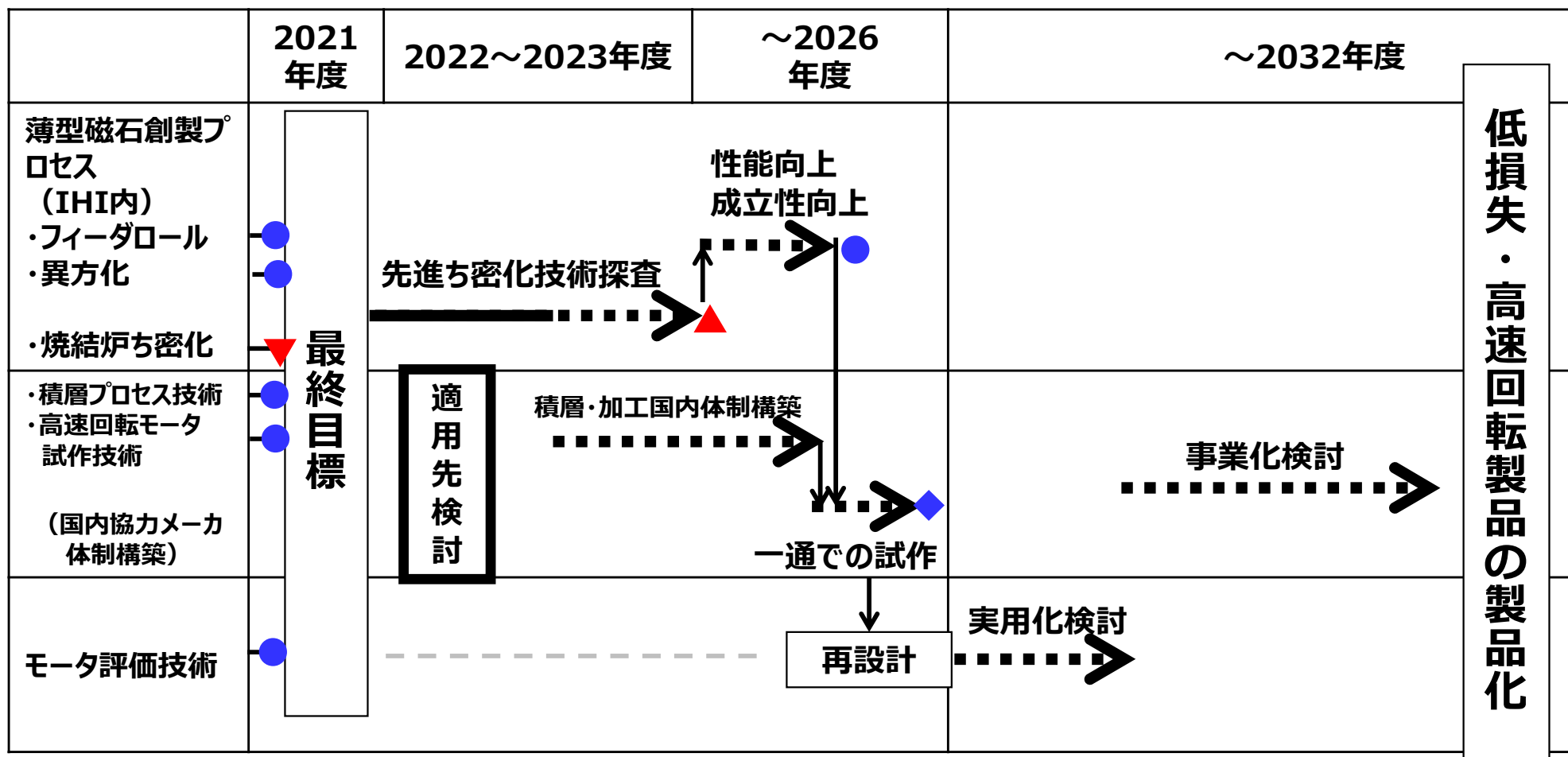
ち密化代替プロセスの構築、
車載補機高速モーター
試作協力体制、および
適用製品への再設計
により2032年頃上市へ。

○ 薄型磁石創製プロセス以外の成果は、社内の各種製品適用・成果転用へ、ピボットすることが可能。
TGでの状況を踏まえて、適した製品へ展開していく。

○ 薄型磁石創製プロセスは、ち密化と性能を満足する焼結炉以外の先進プロセスの探査が必要。
連続ホットプレスなどの社内技術を中心に成立性・コスト低減可能な手法、もしくは適用可能磁石素材を見出していく。

テーマ
B1

◆ 実用化に向けた具体的取組



▼ : 限界性能把握

▲ : 基本原理確認

● : 基本技術確立

◆ : 応用技術確立

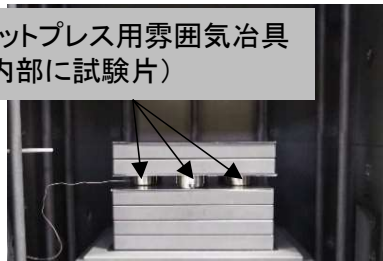
テーマ
B1

◆ 成果の実用化の見通し

＜先進ち密化技術の探査＞ 2022年度～

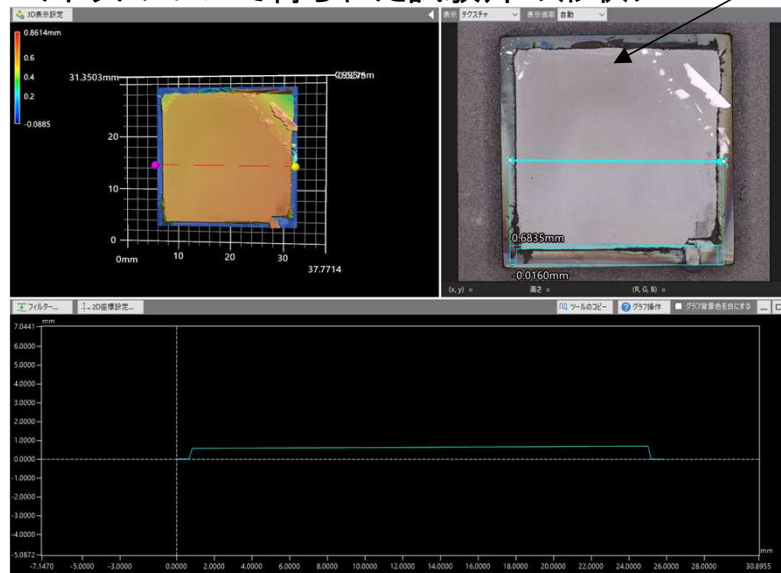
＜ホットプレスでの試作と試験片＞

ホットプレス用雰囲気冶具
(内部に試験片)



試験片

＜ホットプレスで得られた試験片の形状＞



薄型磁石として形状に優れ、
またハンドリング・焼結可能な
ホットプレスの条件を構築。

今後、性能評価および性能達成
に向けた更なる取り組みの継続。

研究開発項目②

テーマC

低品位レアアースを利用した機能性材料の開発

(2020年度～2021年度 1.5年)

成果報告説明用資料 (公開)

C1 低品位レアアースの高品位化に資する 改質技術の開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
ニッキ 株式会社

C2 低品位レアアースの触媒等材料への代替 利用技術の開発実証

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

◆ 研究開発の実施体制 (テーマC)

研究開発テーマ	開発責任者	研究開発項目	事業者	テーマ責任者	NEDO呼称 テーマ名	契約形態	
① 重希土類を使用しない高性能磁石等の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究センター長 尾崎 公洋	①-1	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	愛知製鋼株式会社	グループ長 度曾 亜紀	A3	委託契約
		①-2	重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発				
		①-2-1	データ駆動による高鉄濃度準安定系磁石材料の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究センター長 尾崎 公洋	A2	委託契約
				国立研究開発法人 物質・材料研究機構	副拠点長 大久保 忠勝		委託契約
		①-2-2	高鉄濃度希土類磁石化合物における相平衡とプロセス技術開発	国立大学法人東北大学	教授 杉本 諭	A1	委託契約
				株式会社東芝	技監 桜田 新哉		委託契約
豊田理研	フェロー 大谷 博司			共同実施			
株式会社IHI 主査 米山 夏樹	①-1	重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証	株式会社IHI	主査 米山 夏樹	B1	委託契約	
② 低品位レアアースを利用した機能性材料の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 研究チーム長 成田 弘一	②-1	低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究チーム長 成田 弘一	C1	委託契約
				国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構			委託契約
				ニッキ株式会社			委託契約
		②-2	低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	主任研究員 三木 健	C2	委託契約

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (テーマC1,C2)

研究課題②-1 「低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発」

研究課題②-2 「低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証」

産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、ニッキ株式会社

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
C1低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発	①セリウム溶媒抽出における選択性向上 : 忌避元素残存率0.01%以下 ②分離プロセスの高効率化 : 従来型ミキサーセトラー比で装置規模1/2 (同等能力運転)	エマルションフロー装置を用いた分離プロセスにより、軽レアアース混合溶液から、セリウム純度>99.99%の水溶液を得ることに成功した。また、その際の装置規模は従来型ミキサーセトラーと比較して、1/2以下であった。	○	エマルションフロー装置の多段化、分離条件の最適化等を行う。
C2低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証	①触媒の構成成分の見直しと適材配置を提案 : 実用触媒同等性能 / プロピレン浄化率50%の温度300℃以下 ②低品位原料の触媒部材の利用割合最適化 : 低品位原料の利用比 (重量比) 50%以上	低品位セリア原料の使用を想定したセリア系触媒と少量のセリアを添加したアルミナ系触媒からなる触媒でプロピレン浄化率50%の温度300℃以下の触媒性能を得た。また、その触媒の低品位セリア原料の使用率は50%であった。	○	触媒性能向上と異種金属複合化による貴金属触媒の耐熱性の最適化を行う。

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

テーマ
C1

C1低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発

◆研究背景 1 CMP材と原料調達

○化学機械研磨（Chemical Mechanical Polishing: CMP）材

【セリアを含んだ水性スラリー】

半導体のウエハー、電子ディスプレイ用ガラス基板、
眼鏡レンズ等の研磨に使用

○セリア原料の調達

酸化セリウムの輸入先：
87%が中国中国以外の製品：
低純度ゆえ更なる精製が必要
(忌避元素含有率 <0.01%が必須)

国内での分離精製は困難

現状：中国製原料を使用

サプライチェーンの強靱化のためにも、
供給源の多様化が必要

テーマ
C1

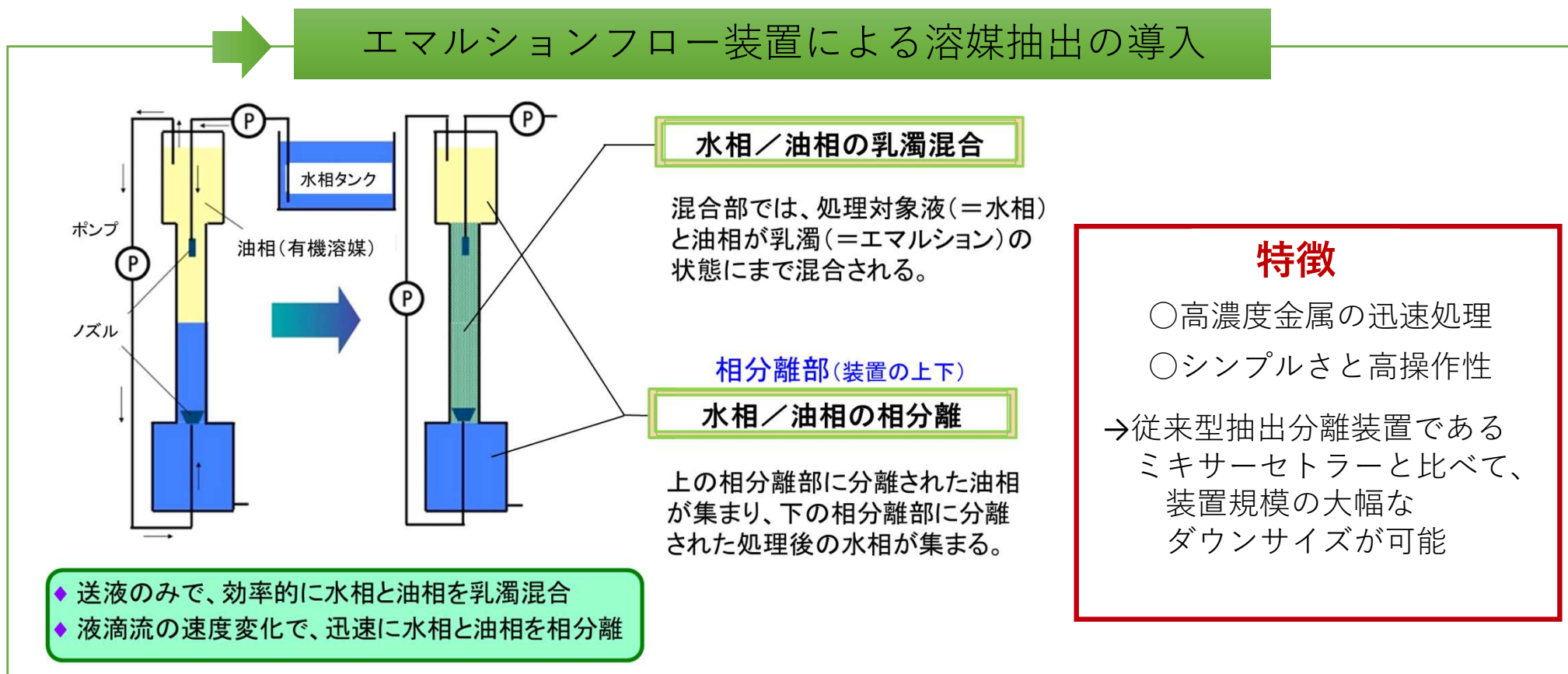
◆解決すべき課題及び本事業での取組

今後国内で分離精製を行うには

- ① 塩酸系（硝酸フリー）での抽出分離
- ② 装置規模（有機溶剤の使用量）の大幅なダウンサイズ

バッチ法と同じ分離性能で、1/2以下にダウンサイズする

エマルションフロー装置による溶媒抽出の導入



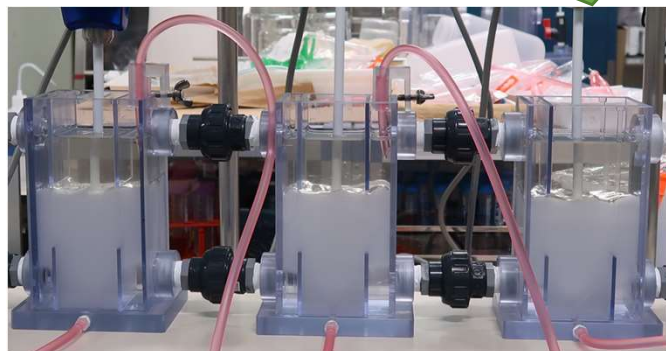
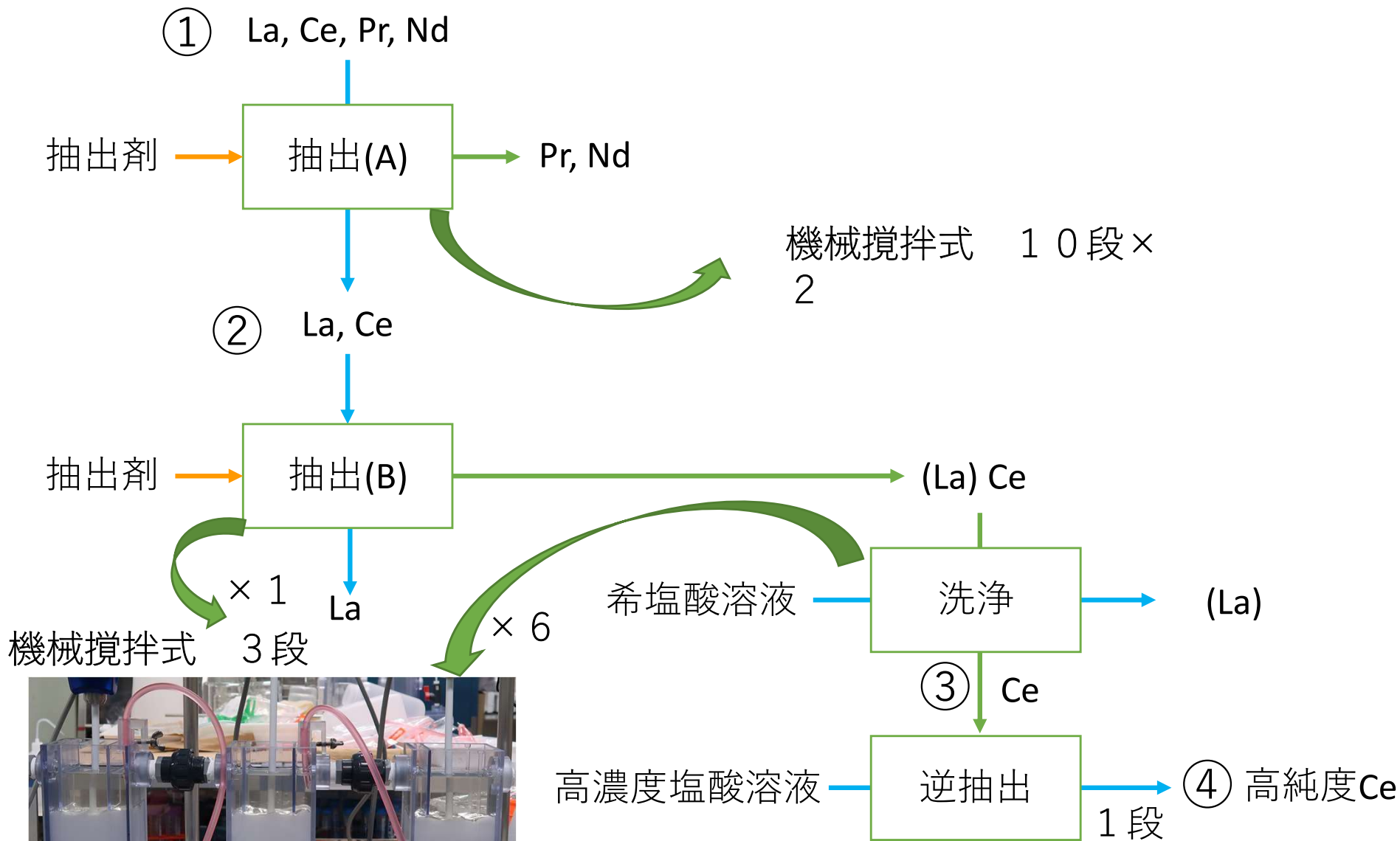
特徴

- 高濃度金属の迅速処理
 - シンプルさと高操作性
- 従来型抽出分離装置であるミキサーセトラーと比べて、装置規模の大幅なダウンサイズが可能

国内精錬のボトルネックである、多量の有機溶剤使用 & 多大な装置設置面積の問題をクリア可能に

テーマ
C1

◆エマルションフロー装置を用いた抽出フロー



テーマ
C1

◆Ce純度及び装置規模

最終精製溶液④

	存在比率 (%)
Ce	>99.99
La	<0.005
Pr	<0.001
Nd	<0.001

 Ce純度: 4 N達成

装置規模

	混合部	静置部	計
従来型ミキサーセトラー	1	3	4
機械攪拌式エマルションフロー	1	0.5~1	1.5~2

※混合部のサイズは同等である
混合部サイズを1とする



装置規模 (従来比) : <1/2達成

テーマ
C1

◆知的財産権等に関する戦略

Cテーマ（産総研・原子力研・ニッキ）

エマルションフローに関する
基本特許

装置構造、使用法

（障害となる特許無し）

より効率的な装置構造
および流路構造

付属品等の改良

→ 積極的に権利化

運転条件等

異なる方式の組合せ

→ ノウハウとして秘匿

表面ポリオール還元法

触媒調製方法

（障害となる特許無し）

耐熱性の改良 →

積極的に権利化

ハニカム部材の
製造条件等 →

ノウハウとして秘匿

テーマ
C2

C2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証

◆研究背景 自動車排ガス浄化触媒と原料調達



ガソリンエンジン車用の自動車排ガス浄化触媒（三元触媒）において、セリアは助触媒成分として使用されており、触媒活性向上および耐熱性向上等の機能を持つことから、必要不可欠な材料である

酸化セリウムの輸入先：
87%が中国

中国以外の製品：
低品位のため触媒活性低下が予想される

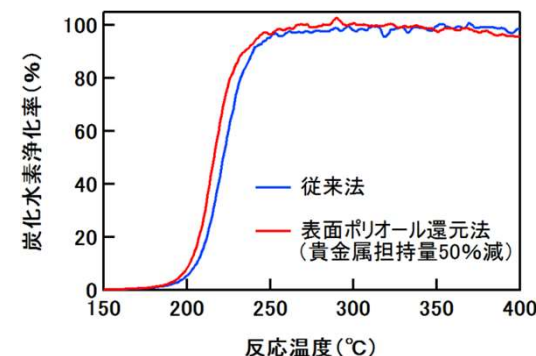
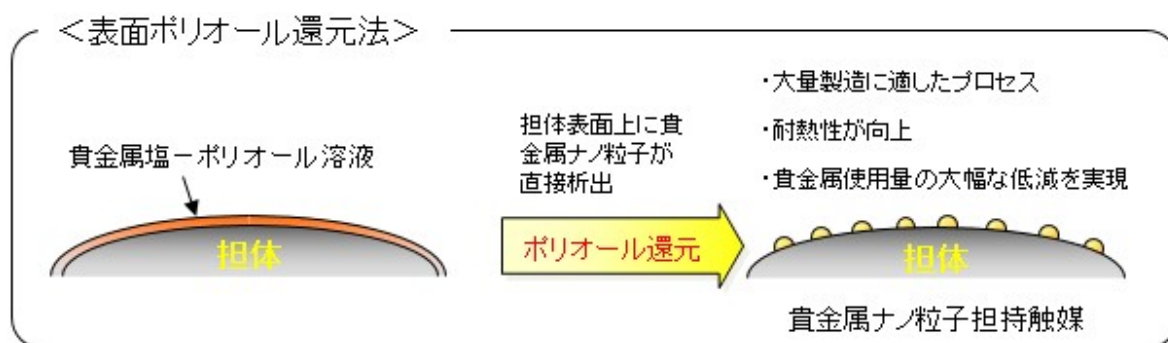
サプライチェーンの強靱化のためにも、
供給源の多様化が必要

現状：中国製原料を使用

テーマ
C2

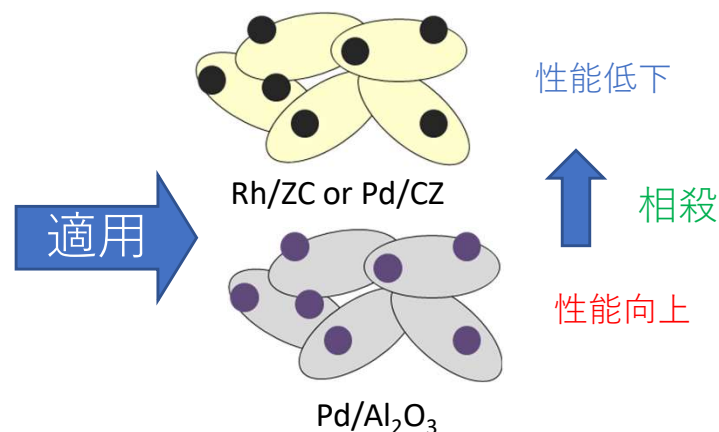
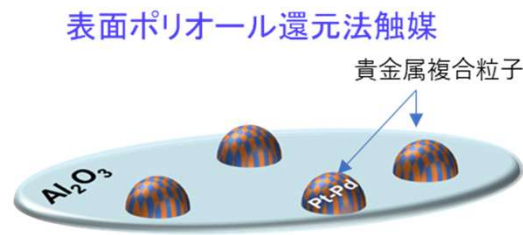
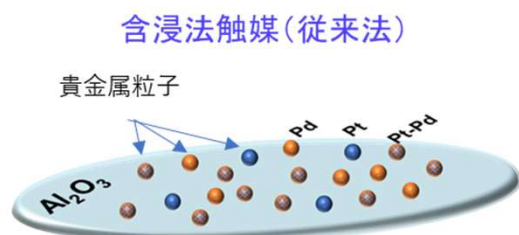
◆ 解決すべき課題及び本事業での取組

低品位原料の利用による触媒性能低下を補うためには
触媒成分および触媒構造の最適化による高性能化が必要



「希少金属代替材料開発プロジェクト」 / 「排ガス浄化向け白金族使用量低減技術開発及び代替材料開発」 / (ディーゼル排ガス浄化触媒の白金族使用量低減化技術の開発) (平成21年度～平成23年度)

含浸法と表面ポリオール還元法により調製した触媒の高温耐久試験後の炭化水素浄化性能の比較 (高温耐久試験条件: 750°C 50時間空気中焼成)



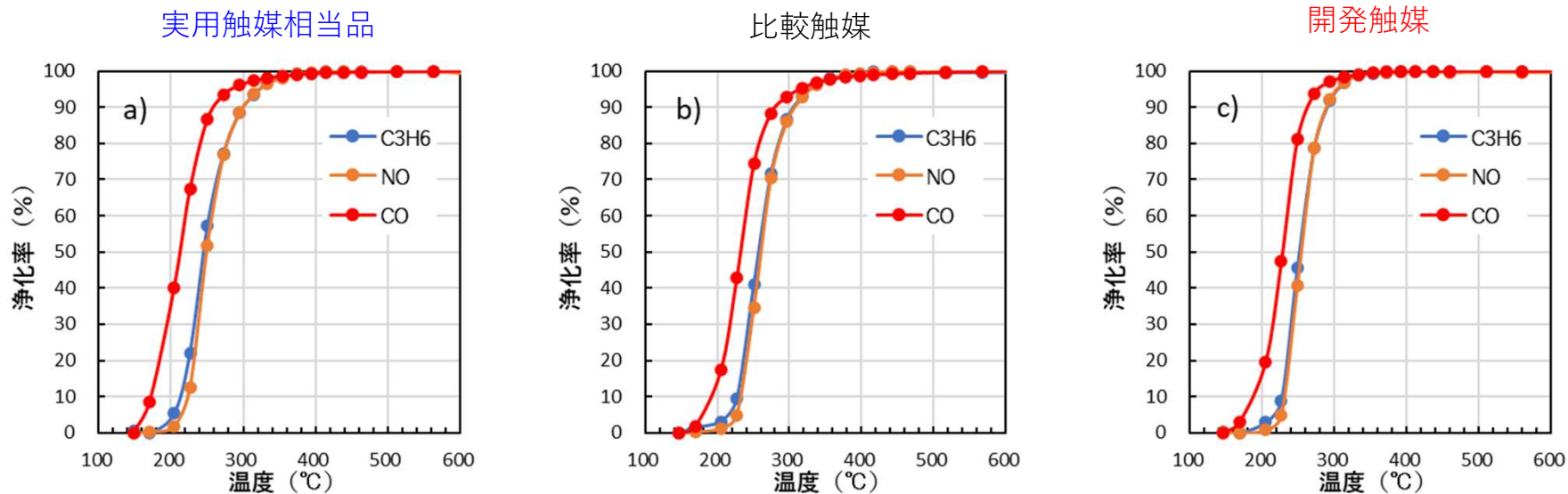
触媒組成や触媒調製方法等を工夫して、触媒性能向上を図る

→ 現行の実用触媒と同等性能を実現する

テーマ
C2

開発触媒の浄化性能

Pd/CZ系 + Pd/Al₂O₃系物理混合触媒のライトオフ特性



触媒種	T ₅₀ (°C)		
	C ₃ H ₆	NO	CO
a) Pd/CZ(Ce:100%)+Pd/Al ₂ O ₃	245.5	249.3	212.4
b) Pd/CZ(Ce:77.5%)+Pd/Al ₂ O ₃	257.7	261.0	232.5
c) Pd/CZ(Ce:77.5%)+Pd/CeO ₂ /Al ₂ O ₃	251.4	254.0	227.9

触媒混合重量比 = (1 : 1)
Pd担持量 = 2wt%
CZ(Ce:100%) : 高品位セリア原料使用担体
CZ(Ce:77.5%) : 低品位セリア原料50%使用担体

低品位セリア原料を使用したCZ担体の触媒性能低下をAl₂O₃担体へのCeO₂添加による触媒性能向上により補えることが確認できた。

この結果により、本研究の目標値を達成できたことを確認した。

◆外部発表

	2020 年度	2021 年度	計
論文	0	1	1
研究発表・講演	1	0	1

※2022年7月25日現在

【論文】

- Seiko Uchino, Hirokazu NARITA, Keisuke Kita, Hideya Suzuki, Tatsuro Matsumura, Hirochika Naganawa, Koichi Sakaguchi, and Keisuke Ohto, Extraction Properties of Trivalent Rare Earth Ions from Nitric Acid Using a Triamide–Amine Extractant, Solvent Extraction and Research Development, Japan (2022年5月受理)

【講演】

- H. Naganawa : New Liquid-liquid Extraction Apparatus, "Emulsion-flow" Extractor, 8th Japan-U.S. Bilateral Meeting on Rare Metals (2020年12月)

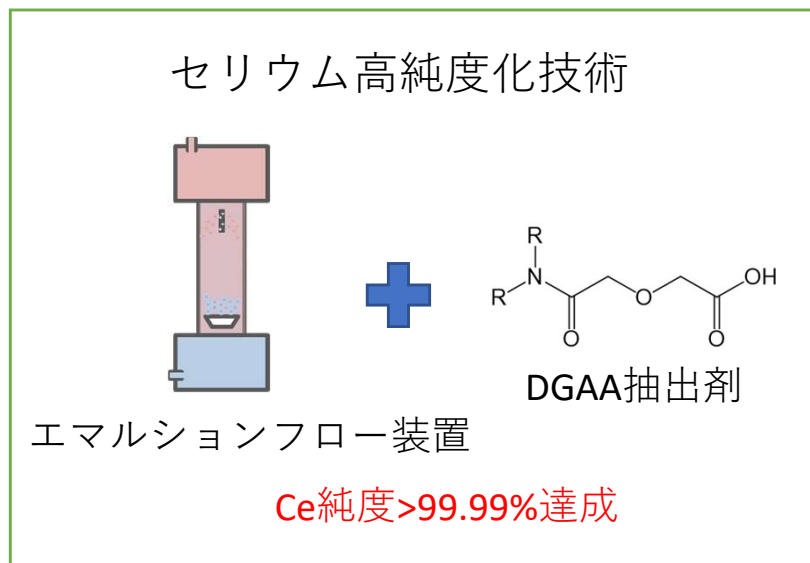
◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

本プロジェクトにおける実用化とは、「当該研究開発に係る成果（装置、システム等の基盤技術）が金属精錬事業者、触媒メーカー、関連装置開発事業者等により利用が開始されること」をいう。

テーマ
C1,C2

◆ 実用化に向けた戦略

C1 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発



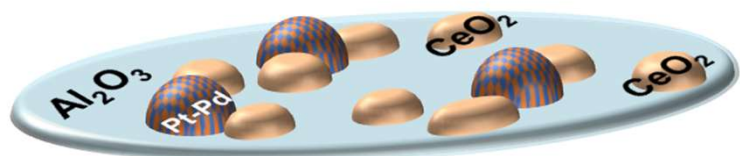
セリウム抽出分離システム

ラボレベルでの高純度化を確認済み。回収率の向上及び実工程液で同様の精度をだすことが課題であり、ラボでの実験結果を基に、ニッキ(株)において検討を進める。

エマルションフロー装置

より実用性の高いレアアース用抽出分離装置へと改良するためにエマルションフローテクノロジーズ社を中心に装置開発を行う。

C2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証



貴金属粒子とセリア界面の最大化
貴金属粒子の複合化(トリメタル化)

耐久性および
耐熱性の向上

触媒性能の
底上げ

サンプル出荷

テーマ
C1,C2

◆実用化に向けた具体的取組

C1 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発

ニッキ(株)における取組	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
エマルションフロー装置改良 (協力：(株)エマルションフ ローテクノロジーズ)	装置改良			ベンチスケール検討終了	事業化検討
分離プロセスの高度化 (協力：産総研)	導入試薬及び分離条件の検討				
パイロット試験					

C2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証

産総研での取組	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
耐熱性の向上	触媒の改良		サンプル出荷の評価終了	事業化検討	
ハニカム部材の耐久性確認	実機評価				
サンプル出荷					

テーマ
C1,C2

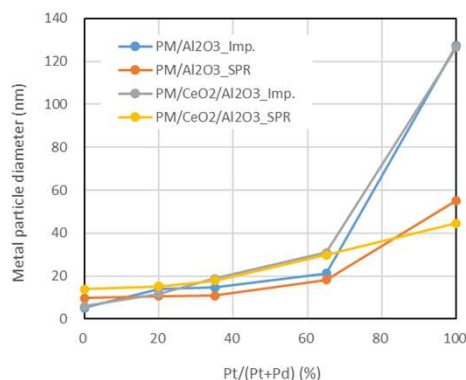
◆ 競合技術に対する優位性

C1 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発

	(代表的な従来技術) ミキサセトラ	(提案技術) エマルションフロー	(従来技術) 遠心抽出器	(従来技術) パルスカラム
処理速度	1 (基準)	10 (迅速な相分離ゆえ)	10 (迅速な相分離ゆえ)	5 (低混合状態ゆえ)
装置規模	1 (基準)	<0.5 (迅速な相分離ゆえ)	<0.5 (迅速な相分離ゆえ)	5 (低い混合能力ゆえ)
操作性、メンテ	中 (標準)	高 (簡便・小型ゆえ)	低 (複雑・繊細ゆえ)	低 (大型ゆえ)
抽出能力	高 (高い混合能力ゆえ)	高 (高い混合能力ゆえ)	高 (高い混合能力ゆえ)	低 (低い混合能力ゆえ)
コスト	中 (標準)	低 (送液のみ、小型・簡便ゆえ)	高 (遠心力&攪拌力要、 複雑・繊細ゆえ)	高 (大型ゆえ)

装置規模及びコストが国内金属精錬のボトルネックであるが、エマルションフロー装置はそれらをクリアするポテンシャルが極めて高い。

C2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証



耐熱試験 (800°C-20h) 後の触媒の貴金属粒子径とPt添加率との関係

表面ポリオール還元法触媒においてPtリッチの触媒の耐熱性が従来法である含浸法触媒に対して耐熱性が高い



PdやRhと比較して安価なPtの使用率が高い触媒も選択肢と期待できる

テーマ
C1,C2

◆実用化に対する課題と今後の方針

課題	今後の方針
<p>C1 低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発</p>	
<p>回収率の向上：本事業においてセリウム純度に関しては実用レベルまで向上させることができたが、実操業を考慮すると、1フローでのセリウム回収率を向上させる必要がある。</p>	<p>本事業で得られた知見を基に、エマシオンフロー装置の多段化、分離条件の最適化等を行う。</p>
<p>実工程液に対する操作性の向上：本事業では、標準溶液によるラボ試験においてセリウム高純度化を達成したが、実工程液でも同程度の高純度化を行うことが必要である。</p>	<p>本事業内で実工程液を使用した際の問題点及び解決のための付属装置等を導入しており、これらを用いて分離条件の最適化等を行う。</p>
<p>C2 低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証</p>	
<p>本事業で触媒の初期性能に関しては、実用触媒と同等程度まで向上することができたが、自動車触媒の実用条件は厳しいため、触媒の耐久性、耐熱性について向上させる必要がある。</p>	<p>本事業で開発された触媒を基に、貴金属とセリア界面量の増大による触媒性能向上と異種金属複合化による貴金属触媒の耐熱性の最適化を行う。</p>