

「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

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆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。

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

背景2 レ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

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、ネオジム磁石の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¹⁾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。

- ✓ 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。

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より

◆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**

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

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

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

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	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 (テーマC1)	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 	(テーマ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 (テーマC2)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・触媒組成、触媒構造最適化 ・ハニカム触媒 	(テーマC2) ・国立研究開発法人 産業技術総合研究所

◆研究開発目標

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

研究開発テーマ	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 テーマA3,B1	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 テーマA1,A2	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

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標

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

研究開発テーマ	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 テーマC1	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 テーマC2	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

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

	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	①-1	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	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

研究開発項目	開発責任者	研究開発テーマ	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	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			
	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

◆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

3. 研究開発成果

テーマ
A1,A2

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (テーマA1,A2)

研究開発テーマ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

研究開発テーマ項目	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

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」

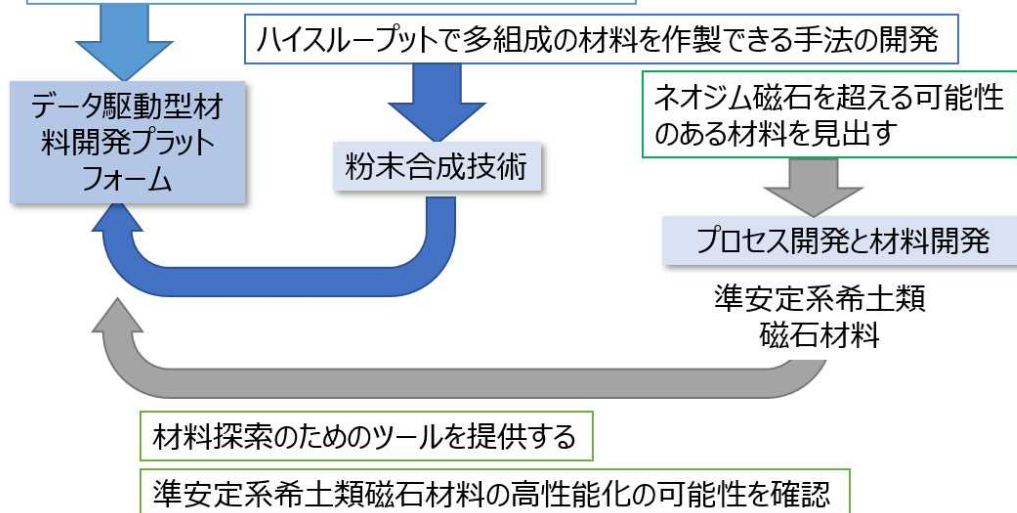
テーマ
A2

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

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



3. 研究開発成果

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

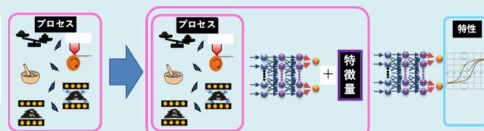
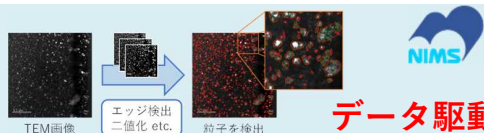
テーマA2：産総研、NIMS

テーマ
A2

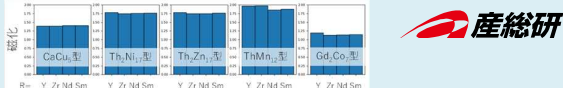
[1] 単ロール法によるプロセスデータを中心としたデータ駆動型材料開発

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

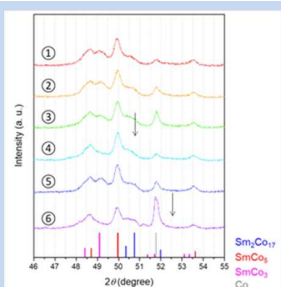
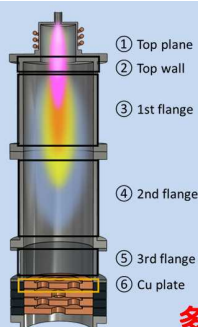


[3] 第一原理シミュレーションによる構造安定化と特性予測システムの開発



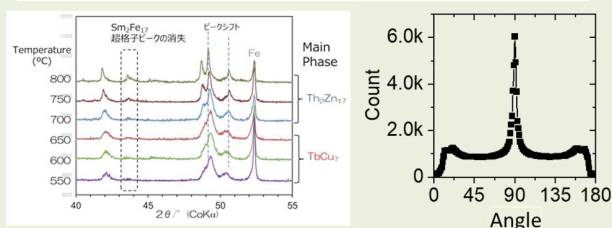
データ駆動型材料開発プラットフォームの開発

[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



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

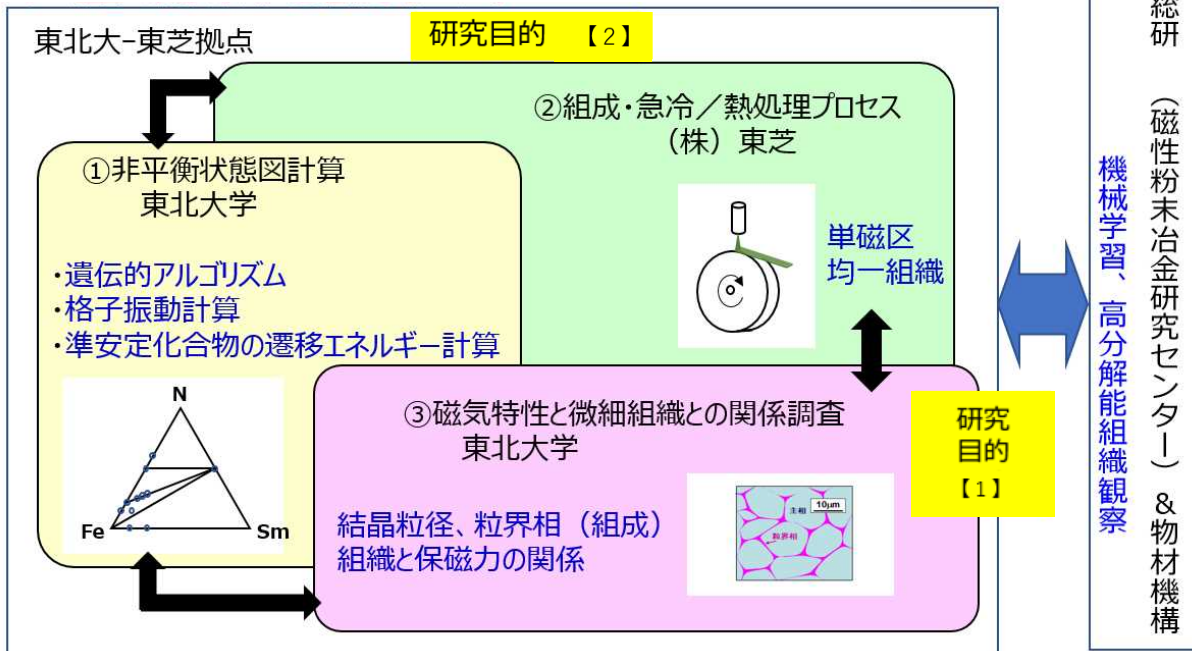
①-2 「重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレアアースの使用を極力減らす、又は使用しない高性能新磁石材料を探索するための新しい磁石開発手法の開発」

テーマ
A1

①-2-2 [1]高鉄濃度希土類化合物微結晶創製技術の開発

①-2-2 [2]高鉄濃度希土類化合物急冷薄帯の組織解析

テーマ担当：東北大学、株式会社 東芝（テーマA1）



3. 研究開発成果

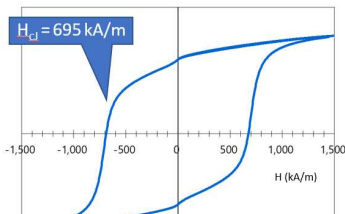
①-2-2 [1]高鉄濃度希土類化合物微結晶創製技術の開発

テーマA1 : 東芝

テーマ
A1

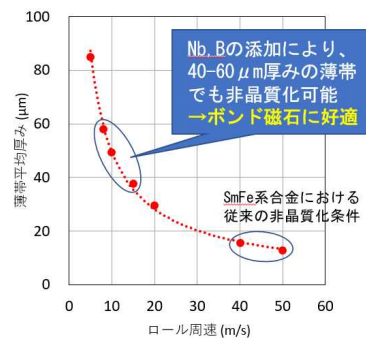
目標：TbCu7型結晶の高鉄濃度(SmFex(x≥9))と高い保磁力(HcJ≥640 kA/m(8 kOe))が両立できる添加元素の特定と急冷薄帯の作製条件を確立する

(1)高保磁力化が進展、目標値を達成



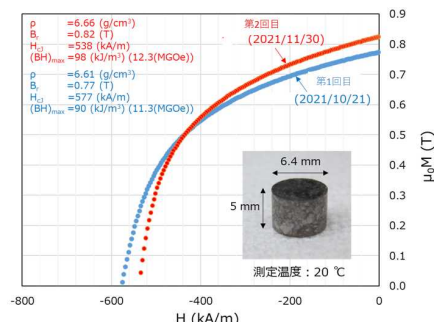
液体急冷薄帯（熱処理後）の磁化曲線

(2)Nb,B添加により薄帯厚みを増大化



(3) 等方性ボンド磁石の試作

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



本研究で試作したSm-Fe-Co-Nb-B系等方性ボンド磁石と市販の等方性Nd-Fe-B系ボンド磁石の磁気特性の比較

	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)

本研究で試作したSm-Fe-Co-Nb-B系等方性ボンド磁石の外観図と減磁曲線

3. 研究開発成果

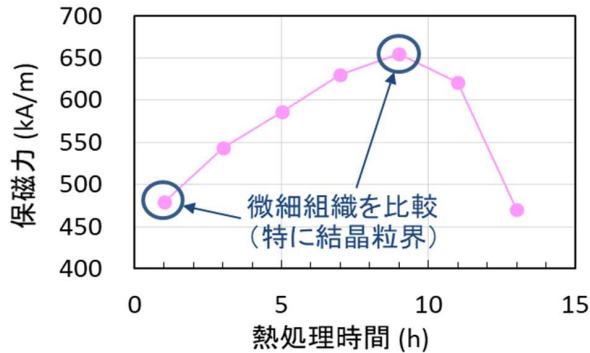
①-2-2 [2] 高鉄濃度希土類化合物急冷薄帯の組織解析

テーマA1 : 東北大

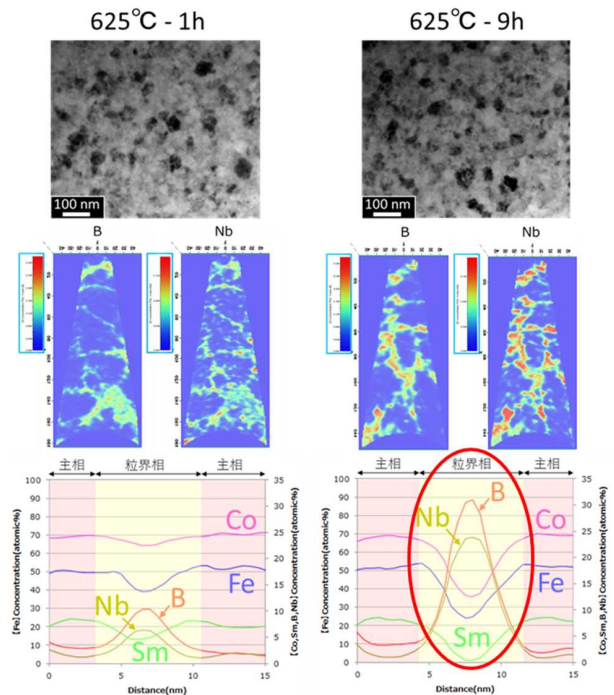
テーマ
A1

目標：①-2-2 [1] の目標を実現させる**微細組織形態を明らかにする**

成果：高保磁力が得られた試料では、数十nmの微結晶から構成されていること、さらに熱処理時間が長時間になるに従って粒界にはNbやBが濃化していること、などが微細組織観察から明らかになった。



- 熱処理時間を増大 (1 → 9 時間) することにより、Nbや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。



4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し

テーマ
A2

◆テーマA2の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

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し

テーマ A1 ◆テーマA 1 の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

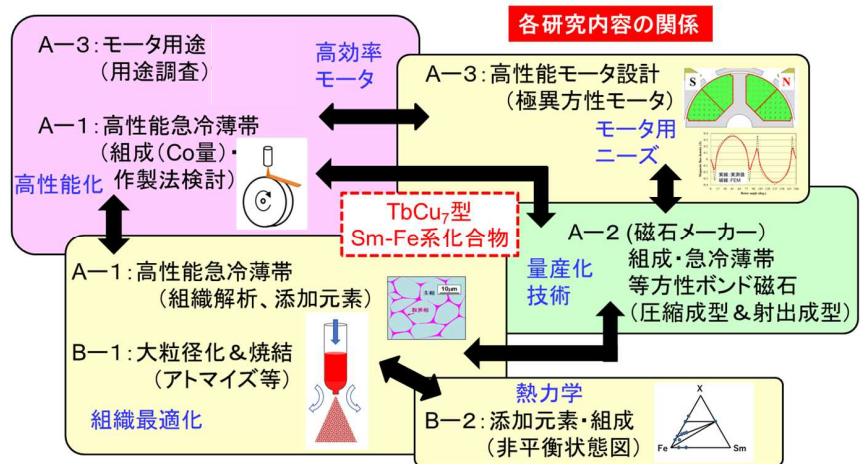
→SmFe系化合物を用いた等方性ボンド磁石の製造技術開発とモータ適用性検証

- 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)



3. 研究開発成果

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）

研究開発テーマ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

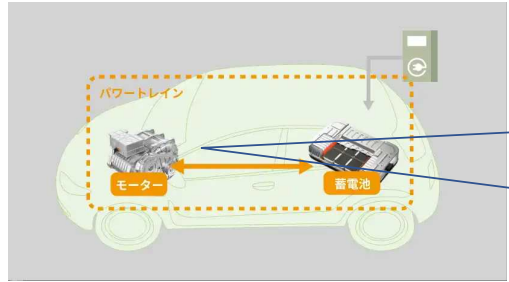
研究開発テーマ項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究開発テーマ①-1 [1]重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発	Br:8.5kG以上 保磁力:18kOe以上 体積抵抗率(ρ_v): 10mΩcm以上	Br : 8.6kG 保磁力 : 15.6kOe ρ_v : 10mΩcm	○ (保磁力を除いて、概ね達成と評価)	保磁力向上に向け ・高保磁力SmFeN微粉末の検討 ・粒度分布最適化を検討
研究開発テーマ①-1 [2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	モーター回転数 : 30,000rpm以上 最大出力 : 50 kW 以上 駆動実証	最高出力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。

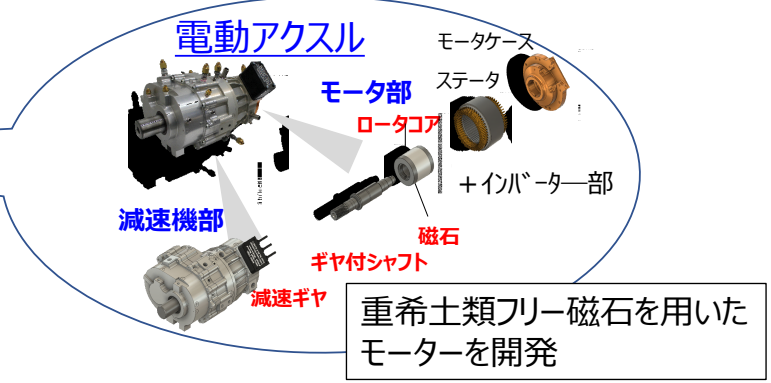
◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成（事後）、×未達

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）



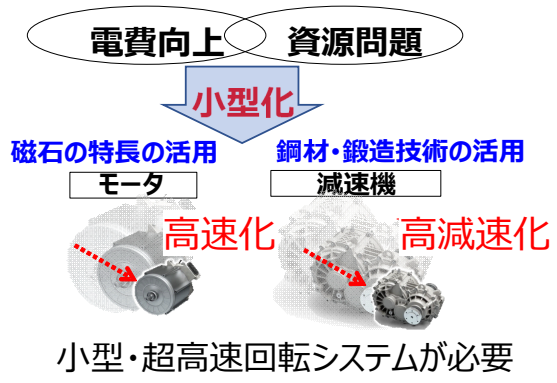
参考 <https://green-innovation.nedo.go.jp>
(出展 NEDO カーボンニュートラルな未来へ)



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>2016年:905万t</p>	<p>2016年:50,400t</p>
Dy	<p>2016年:47万t</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)



3. 研究開発成果

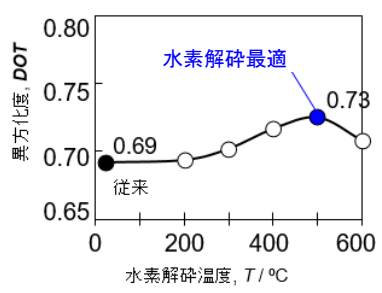
①-1 重希土類を使用しない小型超高速回転モーター駆動システム用磁石の開発と動作実証

テーマ A3

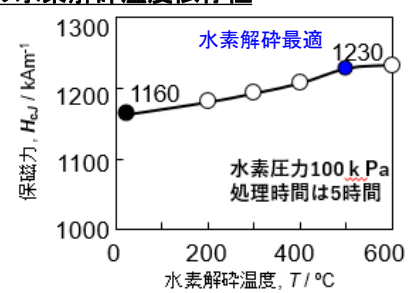
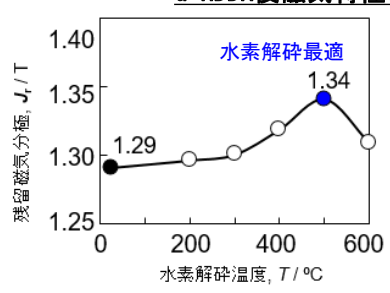
テーマ担当：愛知製鋼株式会社（テーマA3）

[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



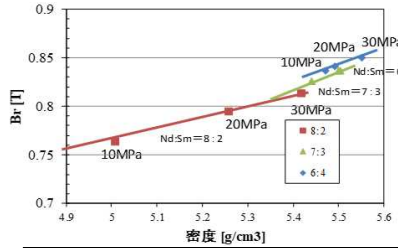
d-HDDR後磁気特性の水素解砕温度依存性



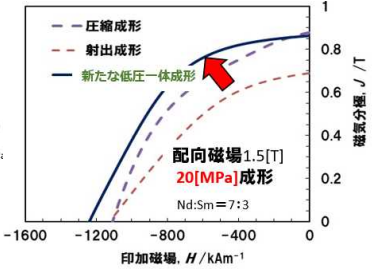
水素解砕処理23 → 500 °C : 高異方性, 高J_r, 高H_{cj}化

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

(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)
20MPa成形
Brは8.6 k Gとなり、
射出成型より高く、
通常の高圧成形と
遜色ない

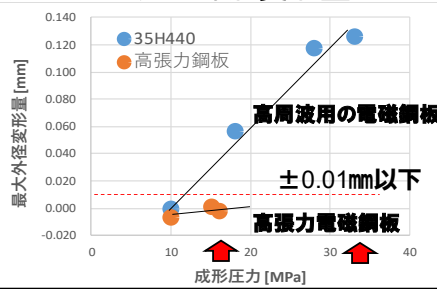
SmFeN量を調整することで低い成形圧力で密度を上げることが可能。
Nd:Sm=7:3を选定

3. 研究開発成果

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

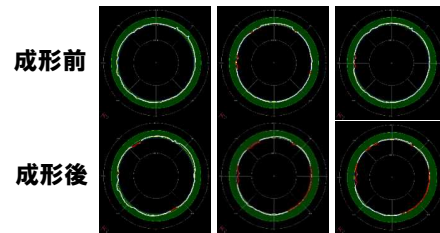
成形圧力とロータの外形変形量



高張力電磁鋼板使用で成形圧力低減(33→15MPa)

上端面からの距離

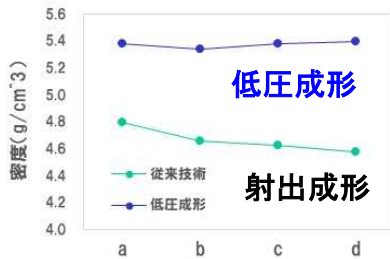
5[mm] 22.5[mm] 40[mm]



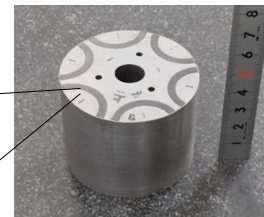
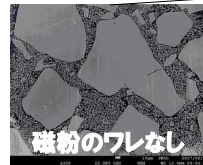
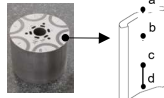
上から5mm 外径変形量 0.001mm
上から5mm 真円度変化量 0.005mm

ロータの変形なし

一体成形後の各部位の密度



磁石切出し位置



完成した一体成形磁石ロータ

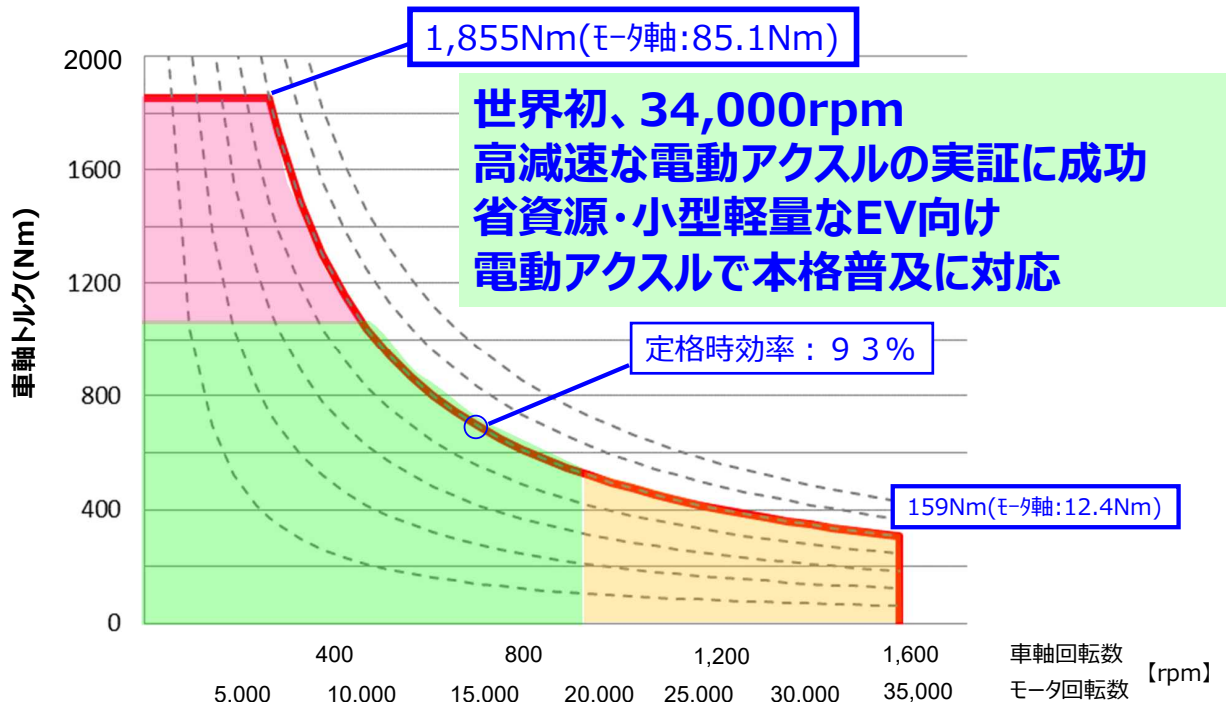
3. 研究開発成果

テーマ
A3

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」

[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証

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

◆実用化に向けた戦略 (テーマ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。



実証した超高速回転モーター駆動システム

体積・重量 約▲40%

最大出力90kW

3. 研究開発成果

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)

研究テーマ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

研究開発テーマ項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究テーマ①-1 [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	Br:8.5kG以上 保磁力:18kOe以上 体積抵抗率(ρv): 10mΩcm以上 ≒1/71以下	Br:5.8kG 保磁力:12.1kOe ρv: ≒1/58	△	・ロールを介した薄型磁石の焼結改善に課題が残る。 要素技術取得・開発する。 ・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。
研究テーマ①-1 [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 (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。	○	加工成型薄型積層磁石では、目標を上回ることを確認した。

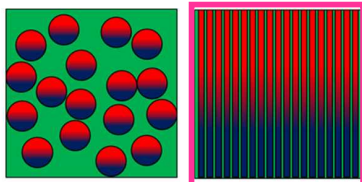
希土類磁石の今後の高周波環境下・高速回転モータ利用を検討するなかで、技術的に従来型加工薄型磁石化合物と比較してニアネットな薄型磁石層形成方法はそのプロセス上の組織制御において新たな課題と困難があったと言う観点から、非常に難度が高く、目標値には未達であるが、積層磁石として取り扱う高速電動製品として得られた成果や薄型磁石プロセス特に焼結プロセス上の温度、時間、荷重、雰囲気などの想定される課題を抽出しかつその限界性能を得たという理由で、今後の日本の電動化製品の発展につながる成果である。これはモータ特筆すべき成果であり、また今後の高速回転モータに利用される磁石やその作製プロセス、組み込み方法、モータ駆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

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

テーマ担当：株式会社IHI（テーマB1）

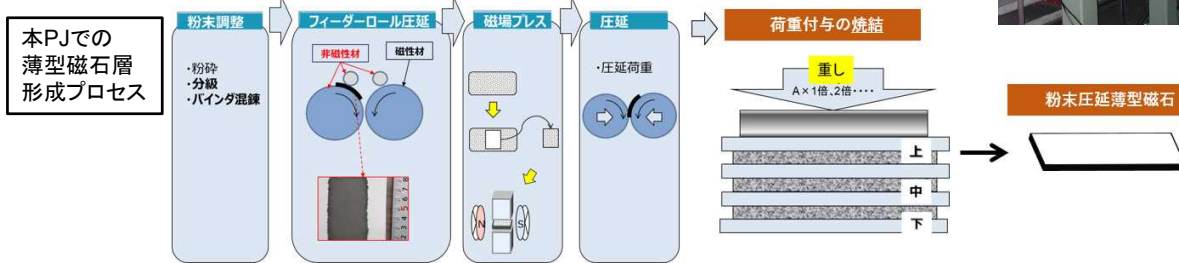
- 供給安定な、重希土類を使用しない高性能磁石（Sm系磁石）を活用
- 高速回転下渦電流による損失・発熱を抑えるため、**高抵抗性が必要**



	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系磁石粉、ロールを介したニアネットな**薄型磁石層の形成。配向・緻密化。**
- 構成：薄型磁石層と絶縁層を積層する。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し、課題を抽出。



4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し

◆ 実用化に向けた戦略 (テーマB1)

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))

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。

- 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

○ 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。



作製した評価試験モーターシステム

3. 研究開発成果

テーマ
C1,C2

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (テーマC1,C2)

研究開発テーマ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」

研究開発テーマ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
研究開発テーマ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C1	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。
研究開発テーマ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C2	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。

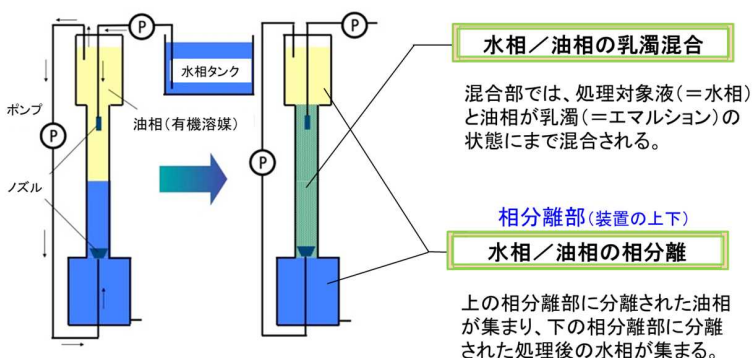
◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成（事後）、×未達

3. 研究開発成果

研究開発テーマ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」 C1

テーマ
C1

エマルションフロー装置による溶媒抽出の導入



- ◆送液のみで、効率的に水相と油相を乳濁混合
- ◆液滴流の速度変化で、迅速に水相と油相を相分離

◆Ce純度及び装置規模

最終精製溶液④

	存在比率 (%)	
Ce	>99.99	Ce純度 4 N達成
La	<0.005	
Pr	<0.001	
Nd	<0.001	

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

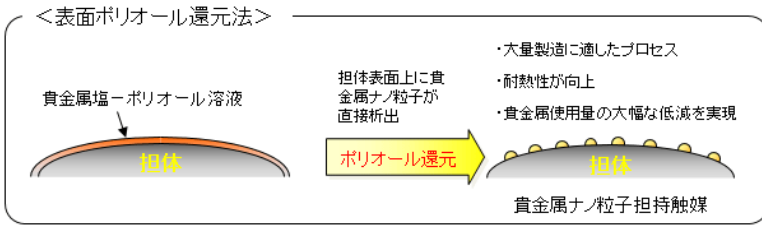
装置規模 (従来比)
<1/2達成

3. 研究開発成果

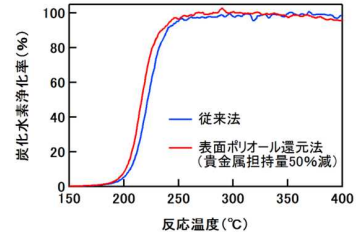
研究開発テーマ②-2 「低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証」 C2

テーマ
C2

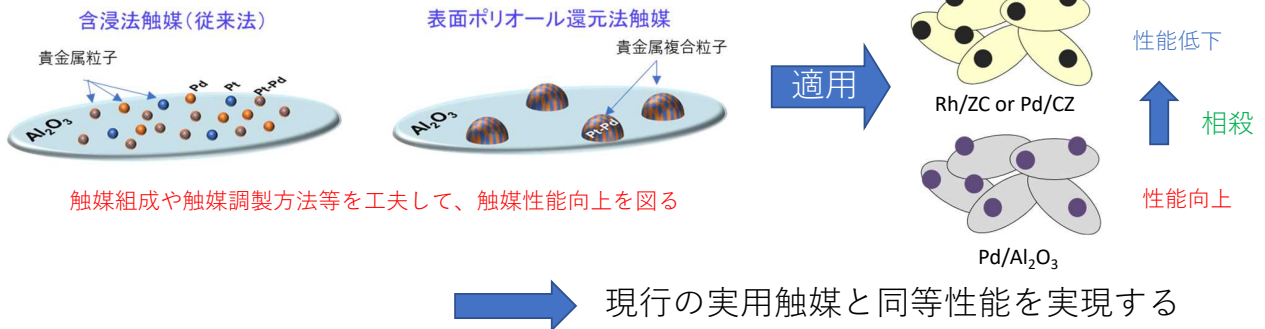
低品位原料の利用による触媒性能低下を補うためには
触媒成分および触媒構造の最適化による高性能化が必要



「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°C50時間空気中焼成)

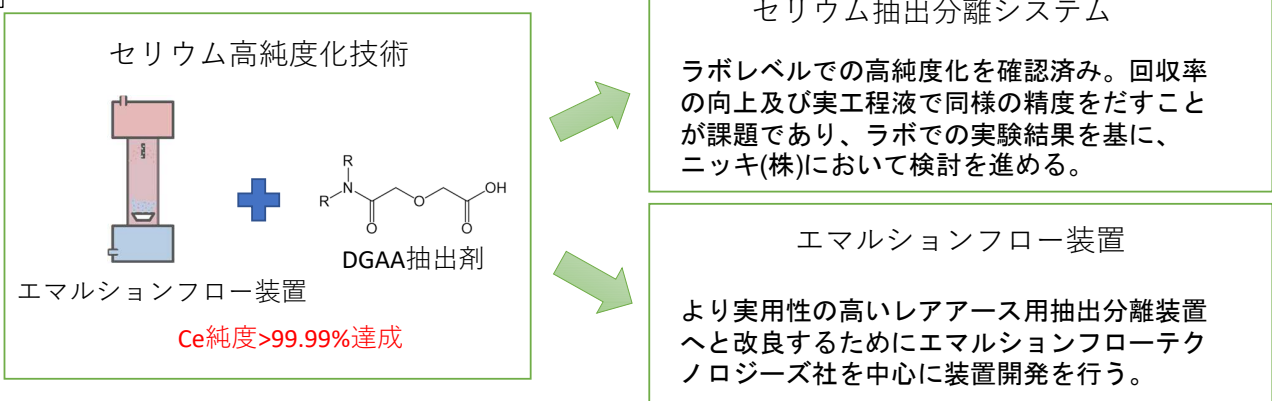


4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し

◆実用化に向けた戦略

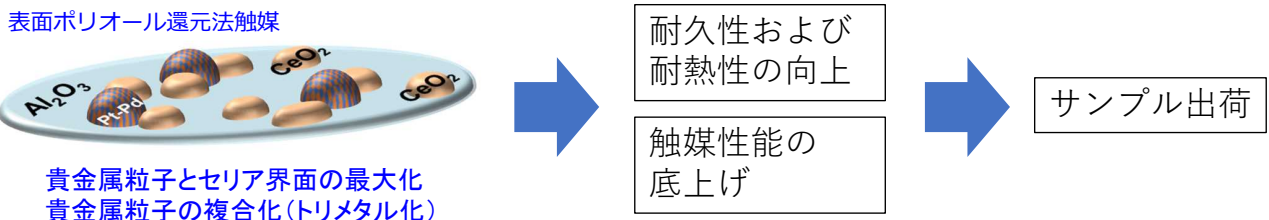
テーマ
C1

低品位レアアースの高品位化に資する改質技術の開発 (C1)



テーマ
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 (C2)



概要

		最終更新日	2022年9月30日
プロジェクト名	部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業		プロジェクト番号 P20019
担当推進部/ PMまたは担当者	材料・ナノテクノロジー部 依田 智 (統括主研) 材料・ナノテクノロジー部 平塚 淳典 (主研) (2020年9月17日～2022年3月31日) 材料・ナノテクノロジー部 原 謙治 (PM) (2020年9月17日～2022年3月31日) 材料・ナノテクノロジー部 大類 和哉 (2020年9月17日～2022年3月31日) 材料・ナノテクノロジー部 吉村 公彦 (2022年1月1日～2022年3月31日)		
0. 事業の概要	<p>【本事業の狙い】</p> <p>本プロジェクトでは、サプライチェーンの強靱化の観点から、レアアースの使用を極力減らす、又は使用しない技術の開発等を行うことを目的としている。</p> <p>小型・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、磁石内の渦電流による自己発熱で高温となることから、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。しかし、ジスプロシウムは地球上に偏在し、かつ資源量が非常に少なく、供給途絶リスクが高いことから、ジスプロシウムの使用を極力減らす、又は使用しない技術を必要としている。</p> <p>また、自動車の電動化の加速などの社会状況の変化を受けて、ネオジムの大量使用時代を見据え、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、機械学習を用いた新しい磁石開発手法を開発するとともに、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を開発し、機械学習との組み合わせによる探索を行う。</p> <p>さらに、複数地域から供給可能であるが、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。</p> <p>【目標】</p> <p>レアアース等の部素材の使用を極力減らす、又は使用しない技術の開発によって、予期せぬ危機に際して重要物資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。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性について	<p>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した。この経験を踏まえ、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。部素材の中でも、レアアースは供給源が限られているが、高性能磁石やモーター等の中核素材であり、家庭や産業用機器・機械向けなど様々な分野で使用されている上、自動車の電動化（HEV、EV、FCV）に伴い、モーター需要の拡大が予想されていることなどから、部素材の中でも特にサプライチェーンの強靱化が必要な分野である。</p> <p>サプライチェーン強靱化の観点から、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。</p> <p>また、軽希土類については、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。そのため、低品位レアアースの高品位化に資する改質技術や低品位レアアースの触媒等材料への代替利用技術も、サプライチェーン強靱化における最重要課題である。</p> <p>本事業は、我が国産業にとって最重要課題の一つである将来の自動車用モーターに必要な部材を省エネ化に貢献する技術を開発するものであり、我が国のエネルギー・資源問題解決および産業競争力強化に貢献する、N E D O(新エネルギー・産業技術総合開発機構)が取り組むべきプロジェクトとして妥当である。</p>		

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>レアース等の部素材の使用を極力減らす、又は使用しない技術の開発によって、予期せぬ危機に際して重要物資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。</p> <p>【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の開発と動作実証および、レアース量低減、レアースフリーを目指した新しい磁石開発手法の開発を行う。</p> <p>【研究開発項目②】 低品位レ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の利用が難しいレアース（低品位レアース）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。</p>
-------	---

主な実施事項	2020 上半期	2020 下半期	2021 上半期	2021 下半期
【研究開発項目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		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①-2】 重希土類を使用せず、供給途絶懸念のあるレ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②-1】 低品位レ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		
【研究開発項目②-2】 低品位レ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		

会計・勘定	2020 年度	2021 年度	総額
一般会計	340	838	1,178
特別会計 (電源・需給の別)	—	—	—
開発成果促進財源	—	—	—
総 NEDO 負担額	340	838	1,178

実施体制	経産省担当原課	製造産業局 金属課		
	プロジェクトリーダー	プロジェクトリーダー設置無し（テーマごとの開発責任者：体制表参照）		
	プロジェクト マネージャー	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 原 謙治		
	委託先	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 愛知製鋼株式会社 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 （共同実施者：公益財団法人豊田理化学研究所） 株式会社東芝 株式会社 I H I 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		
情勢変化対応	特に無し			
契約期間	2020年9月17日より2022年2月28日（IHI社：2022年3月31日）			
中間評価結果への対応	5年未満のプロジェクトのため中間評価無し			
評価に関する事項	事前評価	2020年度 実施		
	中間評価	5年未満のプロジェクトのため中間評価無し		
	事後評価	2022年度 事後評価実施		
3. 研究開発成果について	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の開発と動作実証および、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。 <u>研究開発項目①- 1</u> 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】（テーマA3） 【株式会社 I H I】（テーマB1） 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）を使用しない高性能磁粉ならびに、形状自由度が高く組付け性の良い成形方法を開発する。成形した磁石は、高保磁力 Hc 高残留磁束密度 Br を示し、渦電流損の抑制が可能な高電気抵抗を目指す。 更に、開発した磁石を組み込み、車軸に実走行回転の取出しが可能な、小型軽量の車軸駆動用超高速回転モーターシステムを設計・試作し、稼働試験による実証を行うとともに、実用化にむけた課題を抽出する。なお、実証に必要な周辺技術は併せて開発を行う。			
	【愛知製鋼株式会社】（テーマA3）			
	研究開発項目（内容）	研究開発目標	成果	達成度
[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(残留磁束密度) : 8.5kG 以上 ・保磁力 : 18kOe 以上 ・体積(電気)抵抗率 (pV) : 10mΩ	Br : 8.6kG 保磁力 : 15.6kOe pV : 10mΩcm	○ （保磁力を除いて、概ね達成と評価）	

[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	<ul style="list-style-type: none"> ・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)
-------------------------	--	---	--------------------------------------

【株式会社 IHI】(テーマB1)

研究開発項目 (内容)	研究開発目標	成果	達成度
[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	<ul style="list-style-type: none"> ・Br(残留磁束密度)：8.5kG 以上 ・保磁力：18kOe 以上 ・体積(電気)抵抗率(pv)：10mΩ 	Br：5.8kG 保磁力：12.1kOe pv： ≒1/58	△ (目標となる積層体の作製方法および特性取得は完了。)
[2]超高速回転モーター駆動システムによる実証	<ul style="list-style-type: none"> ○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。	○

研究開発項目 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

研究開発項目 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、国立研究開発法人物質・材料研究機構】(テーマ A2)

研究開発項目 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、株式会社東芝、公益財団法人豊田理化学研究所】(テーマA1)

研究開発項目	目標	成果	達成度
--------	----	----	-----

<p>研究開発項目①-2-1</p> <p>機械学習を利用したデータ駆動型材料開発</p>	<p>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</p>	<p>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。</p>	<p>○</p>
<p>研究開発項目①-2-2</p> <p>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</p>	<p>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</p>	<p>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。</p>	<p>○</p>
<p>研究開発項目② 低品位レアースを利用した機能性材料の開発</p>			
<p><u>研究開発項目②-1</u></p>			
<p>低品位レアースの高品位化に資する改質技術の開発</p>			
<p>【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】（テーマ C1）</p>			
<p>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するため、新たな溶媒抽出等技術の開発を行う。環境に配慮して実施可能な高純度化プロセスにするため、排水基準等が厳しい有害物質の使用量が少なく、かつ有機溶剤使用量の大幅低減が可能な技術とする。</p>			
<p><u>研究開発項目②-2</u></p>			
<p>低品位レアースの触媒等材料への代替利用技術の開発実証</p>			
<p>【国立研究開発法人産業技術総合研究所】（テーマ C2）</p>			
<p>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、自動車排ガス浄化用触媒を調製する。酸化セリウムは触媒の熱安定性や活性向上に必須な助触媒成分である。触媒性能は自動車排ガス成分（CO, HC, NOx等）の浄化温度特性等で評価され、浄化温度が低いほど触媒性能が高く、低品位原料を利用した触媒材料への代替のためには、実用触媒と同等の浄化性能を示す必要がある。実用触媒の構成成分の見直しやナノメートルレベルでの適材配置を検証することで、実用触媒並みの浄化性能を備えた触媒材料の開発を行う。</p>			
<p>研究開発項目</p>	<p>目標</p>	<p>成果</p>	<p>成果</p>
<p>研究開発項目②-1</p> <p>低品位レアースの高品位化に資する改質技術の開発</p>	<p>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</p> <p>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）</p>	<p>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。</p>	<p>○</p>
<p>研究開発項目②-2</p> <p>低品位レアースの触媒等材料への代替利用技</p>	<p>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</p>	<p>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</p>	<p>○</p>

	術の開発実証	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	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。	
	投稿論文	「査読付き」6件		
	特許	「出願済」5件		
	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演：13件 プレス発表等：17件		
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	<p>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</p> <p>研究開発項目①-1</p> <p>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</p> <p>【愛知製鋼株式会社】(テーマA3)</p> <p>(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</p> <p>(2)市場、ユーザの要求</p> <ul style="list-style-type: none"> ■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：本成果をニュースリリースした結果、高効率な電動アクスル製品に大きな反響 <p>(3)競合他社に対する優位性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■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 <p>(4)実用化に向けた今後の課題と方針</p> <ul style="list-style-type: none"> ■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 <p>(5) 実用化・事業化までのシナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ■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、社会実装化に向け事業化を進める <p>【株式会社IHI】(テーマB1)</p> <p>本研究開発から得られた技術成果から、既存の手法である加工磁石においては、モーター性能評価まで本開発で完了しており、モーター試作に必要な手法、具体的には協力関係を通じた国内メーカーでの試作体制を築くことも必要である。既存の手法である加工磁石による試作体制を整備しつつ、限界性能の打破に向けた先進要素技術の探査・技術成立と合わせて、製品に向けた成立性向上に取り組む必要がある。これらの限界性能を打破する先進要素技術や、国内メーカーの協力体制や技術成立性向上の開発をクリアし、製品への適用・事業化に向けた再設計が必要である。再設計・製品化期間は見通しが難しいものの、従来通りで据え置くと5年の期間となる。およそこれらの期間を合計し、10年後の2032年頃の市場を目指し再構築するものとする。</p> <p>研究開発項目①-2</p> <p>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</p> <p>国立研究開発法人産業技術総合研究所】(テーマA2)</p> <p>データ駆動型材料開発技術について、マテリアルズ・インフォマティクスとプロセス・インフォマティクスについては、プログラムを企業に提供できる状況にある。個別企業に対してチューニングを行う事により、提供が可能。ハイスループットプロセス技術は、材料探索手法として企業への技術移転が可能となっている。また、新たに開発した装置は、まずは内部での材料開発手法として取り組み、知財を確保した後に、企業への</p>			

技術移転を図る。準安定系の磁石材料については、高磁化でかつ異方化が可能な材料開発ができればインパクトは大きい、まだ開発途上である。

【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】（テーマA1）

・研究開発成果の産業界における具体的利用の形態、実用化が想定される製品

本研究開発において得られたSmFe系磁石粉末を樹脂と混合して一体成型することで等方性ボンド磁石として実用化することが可能となる。等方性ボンド磁石に関してはすでに磁石メーカーとの議論を開始しており、量産化を目指して製造技術開発を進めている。また、本等方性ボンド磁石はモーターや発電機に組み込まれて使用されることが想定される。本研究開発の等方性ボンド磁石を使用したモーターの有効性を検証するため、まずは小型モーターにてモーター設計最適化の検討に着手している。一方、本研究開発において得られた磁石粉末は等方性ボンド磁石にとどまらず、異方性ボンド磁石または焼結磁石としての実用化も可能性がある。異方性ボンド磁石実現のためには結晶配向が課題であり、焼結磁石化のためにはこれと合わせてバルク一体化も課題となる。

・実用化に向けた課題と今後の方針

SmFe系等方性ボンド磁石の実用化に向けては、製造技術開発とモーター適用性検証が課題となる。本研究開発において実証した高性能SmFe系等方性ボンド磁石の原料となるTbCu₇型化合物急冷薄帯とそれを用いたボンド磁石を量産規模で製造するための基盤技術開発が必要となる。また、前記SmFe系等方性ボンド磁石を適用したモーターの設計検討により、モーターとしてのメリットを明確にして適用性を検証することが重要である。一方、SmFe系焼結磁石実現に向けては、まずはSmFe系TbCu₇型化合物急冷薄帯をベースにした原理検証を実施する。具体的には、状態図計算から抽出された添加元素によるTbCu₇型結晶安定化と低速冷却プロセスによる大粒径高保磁力化の可能性検証及び焼結法によるフルデンス化の可能性検証などが重要となる。

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

研究開発項目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、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】（テーマC1）

本事業では、高純度レアアース塩類の専門メーカーであるニッキ株式会社が研究開発に参画しており、目標値設定や分離回収条件等の決定に関与している。また、エマルションフロー装置関連の特許を有している原子力機構からの本事業への参画者らは、2021年4月に株式会社エマルションフローテクノロジーを設立しており、実用的な分離装置開発を行っている。

上記より本事業の中では実際のCMP材の原料に使用可能なセリウムの純度(99.99%以上)を目標値の一つに設定した。また、従来型分離装置に比べて大幅な装置規模の縮小が可能であるエマルションフロー装置を導入することで、国内精錬を困難にしている原因の一つである設置面積を低減すること（従来比1/2）を目指した。

本事業においてこれらの目標を達成したことより、終了後は、試験研究を3年程度、エマルションフローテクノロジー及び産業技術総合研究所の協力を得ながら実施し、その見通しが立った時点でパイロット試験機を導入、2年程度の試験操業を行い、実用に値する成果が得られた時点で、実操業のための装置を導入する。

高純度セリア（CeO₂）を原料として使用するCMP材は、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が、スマートフォン、タブレットPC、ノートPC等に代表される電子機器の、さらなる小型化・高性能化へ向けた半導体デバイスの微細化・多層化に伴い、半導体製造に必要なCMP材に要求される特性も多様化しており、その必要性は今後増加すると予想される。また、最近の国際状況からも、サプライチェーンの多様化は必須であり、国内精錬を可能にすることで様々な地域のレアアース原料を使用可能にすることが重要になっている。よって、低純度原料からの高純度化は実用性の高い技術開発である。

本事業では、CMP材の原料となるセリウム塩類の販売において国内を代表する企業であるニッキ株式

	<p>会社と、エマルションフロー装置の研究開発を行うほぼ唯一の企業である株式会社エマルションフローテクノロジーが関与していることから、前記の課題の解決を行うことで、早期の実用化が期待できる。</p> <p><u>研究開発項目②-2</u> <u>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</u> <u>【国立研究開発法人産業技術総合研究所】（テーマC2）</u></p> <p>本プロジェクトにおいて開発した低品位セリア原料を利用した三元触媒について、高品位セリア原料を利用した触媒と同等性能を有することを実車を用いた触媒性能試験により実証できた。三元触媒は過酷な条件で長期間（10年以上）使用されるため市場に出荷するためには、高い信頼性と安定性が求められる。したがって、自動車を使用した実機での耐久評価が不可欠であり、2023年度に耐久性に対する課題を克服する。2024年度には、触媒メーカーとの協力体制を構築した上で、触媒材料を少量生産し、試作したハニカム触媒部材を自動車メーカー等にサンプル出荷する。市場での評価を元に販売の継続の可否を判断し、市場での評価が高いようであれば触媒メーカーが主体となって、2025年度下期を目標に触媒材料と触媒部材（ハニカム）の量産化を目指す。</p> <p>自動車産業は日本の主要産業であり、今後自動車の電動化が進んでもハイブリッド車が中心となり、2050年においても内燃機関であるエンジン搭載車の販売台数の多数を占めると予想されている。したがって、自動車排ガス浄化触媒（三元触媒）の需要も減らず、新興国の経済発展にともない自動車販売台数が増加するため、三元触媒の世界的な市場規模は今後も拡大すると考えられる。一方、直近のコロナ禍などで三元触媒に必須な酸化セリウム原料が輸入停止となる等の現実的な供給不安があり、供給停止は自動車産業におけるサプライチェーンに大きく影響する。輸入国の選択肢を増やすことが問題解決の手段の一つであるが、主要輸入国以外ではセリウム原料の純度低いため精製にコストが掛かる等が問題となっている。低品位のセリウム原料を未精製のまま、三元触媒の助触媒であるセリア系材料に適用できれば、サプライチェーン強化できる、低品位セリウム原料使用による性能低下等が予想されるが、触媒調製技術を活用することにより、現行実用触媒と同等性能の三元触媒を開発できる可能性が高く、早期の実用化が期待できる。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2020年6月 実施方針制定（基本計画無し）
	変更履歴	2021年2月：2021年度版実施方針作成