

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」

事業原簿【公開】

担当部

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
材料・ナノテクノロジー部

# —目次—

概 要	S-1
プロジェクト用語集	T-1
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. 事業の背景・目的・位置づけ	I-1
1.1 背景	I-1
1.1.1 モーターの省エネの必要性	I-1
1.1.2 今後の磁石の市場予測	I-2
1.1.3 レアアース（希土類）の資源リスク	I-3
1.2 材料及びモーター開発の現状	I-4
1.2.1 磁石材料の現状	I-4
1.2.2 軟磁性材料の現状	I-6
1.2.3 高効率モーター開発の現状	I-7
1.3 今後のモーター及び磁石開発の方向性	I-8
1.4 目的と位置づけ	I-9
1.4.1 事業の目的	I-9
1.4.2 政策的位置付け	I-10
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-12
2.1 NEDO が関与することの意義	I-12
2.2 実施の効果（費用対効果）	I-12
II. 研究開発マネジメントについて	II-1
1. 事業の目標	II-1
1.1 研究開発項目①新規高性能磁石の開発	II-3
1.2 研究開発項目②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発	II-4
1.3 研究開発項目③高効率モーターの開発	II-4
1.4 研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発	II-5
2. 事業の計画内容	II-6
2.1 研究開発の内容	II-6
2.1.1 全体計画	II-6
2.1.2 第一期（2012年度～2016年度）における各研究開発項目の研究計画内容	II-6
2.1.2.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発	II-6
2.1.2.2 研究開発項目② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発	II-8
2.1.2.3 研究開発項目③ 高効率モーターの開発	II-8
2.1.2.4 研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発	II-9
2.1.3 第二期（2017年度～2018年度）における各研究開発項目の研究計画内容	II-10
2.1.3.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発	II-10
2.1.3.2 研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発	II-10
2.1.4 第二期（2019年度～2021年度）基本計画における各研究開発項目の変更点	II-12
2.1.4.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発	II-12
2.1.4.2 研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発	II-12
2.1.5 研究開発費	II-13
2.2. 研究開発の実施体制	II-14
2.3 研究開発の運営管理	II-17
2.3.1 技術推進委員会	II-17
2.3.2. テーマ間連携強化と実用化の推進	II-18
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	II-20
2.4.1 知的財産権等に関する戦略	II-20
2.4.2 知的財産管理	II-20
3 情勢変化への対応	II-21
4 中間評価結果への対応	II-21
5 評価に関する事項	II-23

Ⅲ. 研究開発成果について .....	Ⅲ-1
1. 事業全体の成果 .....	Ⅲ-1
2. 研究開発項目毎の成果 .....	Ⅲ-1
2.1 第一期（2012～2016 年度） .....	Ⅲ-1
2.1.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発 .....	Ⅲ-1
2.1.2 研究開発項目② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発 .....	Ⅲ-2
2.1.3 研究開発項目③ 高効率モーターの開発 .....	Ⅲ-3
2.1.4 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発 .....	Ⅲ-3
2.2 第二期（2017～2019 年度） .....	Ⅲ-4
2.2.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発 .....	Ⅲ-4
2.2.2 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術 .....	Ⅲ-5
2.3 第二期最終成果（2020～2021 年度） .....	Ⅲ-6
2.3.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発 .....	Ⅲ-6
2.3.2 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術 .....	Ⅲ-7
Ⅳ. 成果の実用化に向けての取組及び見通しについて .....	Ⅳ-1
1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて .....	Ⅳ-1

**【添付資料】**

■プロジェクト基本計画

NEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」基本計画

2014年3月制定、2014年5月改訂、2015年2月改訂、2017年2月改訂、2017年9月改訂

■プロジェクト開始時関連資料（事前評価結果、パブリックコメント募集の結果）

- ・経済産業省「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」事前評価報告書 2011年7月
- ・「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」実施計画（案）に対する意見募集の結果について  
2012年5月12日
- ・NEDOポスト2014年度新規/拡充研究開発プロジェクト（案）概要 2014年2月
- ・NEDO事前評価書 2014年2月19日
- ・「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について 2014年3月12日

■特許論文等リスト（第2期 2017～2021年度）

- (1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）
- (2) 論文等
- (3) 特許等
- (4) 受賞実績
- (5) 成果普及の努力（プレス発表等）

# 概要

		最終更新日	2022年10月18日
プログラム（又は施策）名	1. 経済成長, 2. 資源エネルギー・環境政策 ①エネルギー, ②イノベーション		
プロジェクト名	次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発	プロジェクト番号	P14015
担当推進部/PM（または担当者）	<p>経済産業省 製造産業局非鉄金属課 北岡康夫 産業戦略官 佐藤昌浩 課長補佐 電子・材料・ナノテクノロジー部</p> <p>飯塚薫 (2014年4月～2015年8月) 坂井数馬 (2014年4月～2016年4月) 江森芳博 (2014年7月～2016年3月) 佐光武文 (2015年9月～2016年4月)</p> <p>材料・ナノテクノロジー部</p> <p>坂井数馬 (2016年4月～2018年3月) 佐光武文 (PM) (2016年4月～2017年8月) 渡部敬介 (PM) (2016年4月～2019年3月) 幸田政文 (PM) (2017年11月～2019年10月) 横沢伊裕 (PM) (2019年11月～2021年12月) 平塚淳典 (2020年4月～2022年2月)</p>		
0. 事業の概要	<p>本プロジェクトは、レアアースに依存しない革新的高性能磁石の開発、さらにはモーターを駆動するための電気エネルギーの損失を少なくする軟磁性材料の開発を行うと共に、新規磁石、新規軟磁性材料の性能を最大限に活かして更なる高効率を達成できるモーター設計の開発を行うことで次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの省エネ化を図り、競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与することを目的とする。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターに使用されるネオジム高性能磁石は、我が国が競争力を有する技術分野である。しかし、1982年（昭和57年）に発明されたネオジム磁石の基本特許等は排他的独占権が切れつつあり、革新的な新規高性能磁石の開発が最重要課題となっている。</p> <p>また、高性能磁石の原材料には、特定国がほぼ独占しているレアアース（ネオジム、ジスプロシウム等）が大量に必要であり、特定国の原料の生産動向に影響される可能性が大きいことから、軽希土類元素まで含めた希土類元素全体の投機的高騰を考慮して国家的な観点から国の積極的な関与が必要である。</p> <p>中長期的な最重要課題の1つであるエネルギー需給戦略においても、省エネの一層の促進に貢献する高効率モーターの省エネルギー化に取り組むことは、まさに国策として重要である。</p> <p>以上、本事業は、我が国産業にとって最重要課題の一つであるモーターの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、NEDO（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>レアアースに依存しない革新的高性能磁石の開発、エネルギーの損失が少ない高性能軟磁性材料の開発、さらにはこれらの新規磁石や新規軟磁性材料の性能を最大限に活かして更なる高効率を達成できるモーターの開発を行い、エネルギー損失を従来モーター比25%削減する高効率モーターの実現を目指す。</p> <p>2016年の第二回中間評価の評価結果を受け、さらに、モーターアドバイザーにヒアリングを実施することで小型化（パワー密度向上）の目標も掲げることとし、プロジェクト目標を「従来モーター（プリウス第三世代モーター）比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度向上）を実現する磁性材料の開発を目指す。」へ変更した。</p> <p>なお、2017年度より、国内外の情勢変化を受け、予算が大幅に減額となったため、2016年度で終了予定であった研究開発項目①-（1）ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発、テーマ見直しを図る予定であった②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発は終了し、また、2015～2016年度に研究開発項目④-（3）として実施した「新規高性能磁石材料の探索」において探索した新規高性能磁石材料に関する新規テーマの募集も取りやめた。また、モーターの実機開発も縮小し、磁性材料の評価・解析技術の開発、開発される磁石・開発された軟磁性材料の特性を生かすモーター設計技術（シミュレーション技術）の開発として④-（2）「基盤技術開発」に盛り込み、材料開発は新規高性能磁石開発に特化した。</p> <p>それぞれの研究開発項目の具体的な開発目標は以下の通り。</p>		

事業の目標	<p>① 新規高性能磁石の開発</p> <p>① - (I) ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発  【中間目標（2014年度末）】  現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の1.25倍の最大エネルギー積「180℃において32MG0e」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確立する。また、以下の各項目について要素技術を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高配向性微結晶からなる原料合金製造技術</li> <li>・高異方性ナノ結晶粒を有する磁石粉末製造技術</li> <li>・最適粒界形成技術</li> <li>・結晶粒の肥大化を抑制できる焼結固化技術</li> </ul> <p>【最終目標（2016年度末）】  現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の1.5倍の最大エネルギー積「180℃において38MG0e」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確立する。</p> <p>① - (II) ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発  【中間目標（2014年度末）】  現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群を探索し、その可能性を示す。</p> <p>【中間目標（2016年度末）】  現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群の探索・可能性検討結果より、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。ただし、磁石使用温度に関しては、「③高効率モーターの開発」の解析・評価結果を反映させる。</p> <p>【中間目標（2019年度末）】  現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ磁石を実現するために関連する要素技術を開発する。ただし、「180℃において保磁力が7kOe」を持つ磁石の見通しを得ることを具体的指標とする。</p> <p>【最終目標（2021年度末）】  現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ磁石を開発する。また、従来磁石の性能を維持しつつ希土類元素（産出量が多く資源リスクの少ない、ランタンおよびセリウムを除く）を50%以上削減した磁石を開発する。開発した磁石材料を試作モーターに実装し損失低減と小型化（パワー密度向上）の検証を行う。</p> <p>② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発  【中間目標（2014年度末）】  磁気特性が「Bs1.6T以上」「400Hz・1Tにおける損失3W/kg台」を両立する「Fe基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確立する見通しを得る。また、モーターとしての省エネ効果を検証する。また、以下の各項目について要素技術を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超急冷粉末アトマイズ技術、熱処理</li> <li>・薄帯積層技術、ナノ結晶素材バルクコア熱処理技術</li> </ul> <p>【最終目標（2016年度末）】  磁気特性が「Bs1.6T以上」「400Hz・1Tにおける損失3W/kg台」を両立する「Fe基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確立する。また、モーター・磁性材料技術開発センターと連携してモーターを試作することにより省エネ化実証する。</p> <p>③ 高効率モーターの開発  【中間目標（2014年度末）】  エネルギー損失を従来モーター比25%削減する高効率モーター設計に関する課題の抽出及び基本設計指針を示す。また以下の各項目について要素技術を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高低温減磁試験評価技術</li> <li>・超高精度モーター損失分析評価技術</li> </ul> <p>【中間目標（2016年度末）】  高効率モーターの試作・評価を行い従来モーター比でエネルギー損失を25%削減する高効率モーター実現の見通しを得る。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元磁石減磁評価試験技術</li> <li>・インバータとモーターのトータルでの低損失化設計手法技術</li> </ul>
-------	--

事業の目標	<p>④ 特許・技術動向調査，事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発</p> <p>(1) 特許・技術動向調査戦略策定支援  【中間目標（2014年度末）】  磁石材料、軟磁性、モーター設計に関する先行特許調査・技術動向を行い、各事業者の研究開発項目①～③の磁性材料・モーター設計開発方針策定に反映させる。  【中間目標（2016年度末）】  「①（Ⅰ）ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発  （Ⅱ）ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発」  「②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発」  「③高効率モーターの開発」  の成果を事業化するための各事業者の特許戦略策定を支援する。  【中間目標（2019年度末）】  磁性材料に関する情報センター構築に向けたコンテンツの整備を完了する。  【最終目標（2021年度末）】  磁性材料に関する情報センターを構築する。</p> <p>(2) 共通基盤技術の開発  【中間目標（2014年度末）】  本研究のそれぞれのテーマにて開発する新規磁性粒子・粉末について材料の焼結性を高めるための、材料毎に応じた表面処理技術を開発する。  【中間目標（2016年度末）】  各テーマの材料開発に寄与できる基盤的な技術開発や、磁性材料のバルク化、また分析・評価・解析及び保磁力機構の解明などを行う。さらに標準化も視野にいれた特性評価を行う。  【中間目標（2019年度末）】  ・磁石製造の配向制御、組織制御の技術開発に目処を付ける。  ・磁気特性予測システムの構築に目処を付ける。  ・高保磁力に対応した磁気特性評価技術を開発する。  ・高負荷環境下での磁性材料評価・解析技術を開発する。  【最終目標（2021年度末）】  ・磁石製造の配向制御、組織制御技術を開発する。  ・磁気特性予測システムを開発する。  ・高速・高精度な磁気特性評価技術を開発する。  ・モーターの解析及び試作等を通じて、モーター実装を想定した評価技術（シミュレーション）を開発し、モーター及び新規磁石の有効性を明らかにする。</p> <p>(3) 新規高性能磁石材料の探索  【中間目標（2016年度末）】  現在のテーマに挙がっていない新規高性能磁石材料の探索・可能性の検討を行い、基本材料設計の指針を示す。</p>
-------	--

		第1期					第2期				
		2012 fy	2013 fy	2014 fy	2015 fy	2016 fy	2017 fy	2018 fy	2019 fy	2020 fy	2021 fy
事業の計画内容	① - (I) <b>新規高性能磁石 開発</b> ジスプロシウム フリー磁石の開発	研究項目①- (I) - (1) ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 研究項目①- (I) - (2) Dy フリー高 Br・高保磁力を有する NdFeB 異方性 HDDR 磁石開発					目標をほぼ達成し、自社にて更なる 特性向上と実用化を検討。 Dy フリーネオジム磁石開発技術の 一部成果を①- (II)で活用。				
	① - (II) <b>新規高性能磁石 開発 (*2)</b> ネオジム焼結磁石を 超える新磁石の開発	研究項目①- (II) - (1) 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術 研究開発 研究項目①- (II) - (2) ナノ複相組織制御磁石の研究開発 研究項目①- (II) - (3) FeNi 超格子磁石材料の研究開発					研究項目①- (II) - (1) テーマ見直しにより中止 研究項目①- (II) - (2) ナノ複相組織制御磁石の研究開発 研究項目①- (II) - (3) FeNi 超格子磁石材料の研究開発				
	② <b>軟磁性材料 研究開発</b>	研究項目②- (1) 高 Bs ナノ結晶軟磁性材料の開発					目標を達成し、自社にて事業化を 検討。				
	③ <b>高効率モーターの 開発 (*2)</b>	研究項目③- (1) 次世代モーター・磁性特性評価 技術開発 研究項目③- (2) 次世代モーター・磁性特性評価 技術開発 (応力を考慮したモーター設計・ 評価技術の研究開発)					テーマ見直しにより、基盤技術に 組み込み、評価、解析、シミュ レーション技術を開発。				
	④ <b>特許・技術動向調 査、事業化のため の特許戦略策定支 援及び共通基盤技 術の開発 (*2)</b>	研究項目④- (1) 特許・技術動向調査・特許戦略 策定支援 研究項目④- (2) 共通基盤技術の開発 研究項目④- (3) 新規高性能磁石材料の探索					研究項目④- (1) 特許・技術動向調査・特許戦略 策定支援 研究項目④- (2) 共通基盤技術の開発 ・磁石製造の要素技術開発、 磁気特性評価技術開発、 先端解析技術開発 ・モーター実装環境下での 磁性材料評価・解析技術 ・新規磁石および共通基盤 技術のモーター実装評価 研究項目④- (3) テーマ見直しにより中止				
	評価時期			★ 中間 評価		★ 中間 評価 (*1)			★ 中間 評価		
		METI 執行  *1. 第2回中間評価でテーマ、体制の絞込および目標の見直し を実施。 *2. 上記①- II, ④については、第2期へ移行し、③について は、最終目標をシミュレーションでの実現へ変更し、共通基盤 技術として④- (2)へ移行した。移行に際しては、2016年度 の中間評価を踏まえて、第2期の体制、目標等を決定した。									

	会計・勘定	2012 fy	2013 fy	2014 fy	2015 fy	2016 fy	2017 fy	2018 fy	2019 fy	2020 fy	2021 fy
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額を記載) (単位:百万円)	一般会計										
	特別会計 (需給)	1,820	2,928	2,972	2,360	2,080	379	508	451	504	367
	開発成果促進財源										
	総 NEDO 負担額	1,820	2,928	2,972	2,360	2,080	379	508	451	504	367
	(委託)	委託	委託	委託	委託	委託	委託	委託	委託	委託	委託
	経産省担当原課	産業技術環境局 研究開発課産業技術プロジェクト推進室、製造産業局金属課金属技術室、自動車課									
プロジェクトリーダー	尾崎 公洋 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 磁性粉末冶金研究センター 研究センター長)										
プロジェクトマネージャー	横沢 伊裕 (材料・ナノテクノロジー部)										
開発体制	委託先(*3) (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)	<p>管理法人：高効率モーター用磁性材料技術研究組合 (略称 MagHEM) 参加：延べ 10 社 (現 5 社), 1 財団, 1 国研</p> <p>① 新規高性能磁石の開発 (2012 年度～2016 年度) (I) ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発 研究項目①- (I) - (1) ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 インターメタリックス (株) 共同実施：東北大学, 物質・材料研究機構 (2015～2016 年度) 研究項目①- (I) - (2) Dy フリー高 Br・高保磁力を有する NdFeB 異方性 HDDR 磁石開発 愛知製鋼株式会社 共同実施：東北大学、九州工業大学 (2016 年度) (II) ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発 研究項目①- (II) - (1) 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発 (2012 年度～2016 年度) 株式会社 T&amp;T イノベーションズ 共同実施：広島大学、住友電気工業株式会社 (2012～2014 年度)、東北大学 (2012～2014 年度)、秋田大学 (2012～2014 年度)、京都大学 (2012～2014 年度)、広島大学 (2012～2014 年度)、倉敷芸術科学大学 (2012～2014 年度) 研究項目①- (II) - (2) ナノ複相組織制御磁石の研究開発 (2012 年度～2021 年度) トヨタ自動車株式会社 共同実施：京都大学 (2012～2016 年度)、東北学院大学 (2012～2016 年度)、東北大学 (2012～2016 年度)、物質・材料研究機構 (2012～2018 年度)、静岡理工科大学 (2012～2019 年度)、高エネルギー加速器研究機構 (2012～2021 年度)、大同特殊鋼株式会社 (2020～2021 年度) 研究項目①- (II) - (3) FeNi 超格子磁石材料の研究開発 (2012 年度～2021 年度) 株式会社デンソー 共同実施：東北大学, 同志社大学 (2015～2021 年度), 筑波大学 (2015～2021 年度), 高エネルギー加速器研究機構 (2016～2021 年度), 日亜化学工業株式会社 (2017～2018, 2020～2021 年度)</p>									

開発体制	<p>委託先(*3)  (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更)  (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)</p>	<p>② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発  (2012年度～2016年度)  研究項目②- (1) 高BSナノ結晶軟磁性材料の開発  NEC トーキン株式会社, JFE スチール株式会社  共同実施: JFE 精密株式会社 (2015～2016年度)</p> <p>③ 高効率モーターの開発 (2012年度～2016年度)  研究項目③- (1) 次世代モーター・磁性特性評価技術開発  ダイキン工業株式会社  共同実施: 大阪府立大学, 名古屋工業大学, 豊田工業大学 (2015～2016年度)  研究項目③- (2) 次世代モーター・磁性特性評価技術開発 (応力を考慮したモーター設計・評価技術の研究開発)  三菱電機株式会社  共同実施: 同志社大学, 九州工業大学</p> <p>④ 特許・技術動向調査, 事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発  研究項目④- (1) 特許・技術動向調査・特許戦略策定支援 (2012年度～2021年度)  (一般財団法人) 金属系材料研究開発センター  共同実施: 大分大学 (2012～2014年度)  研究項目④- (2) 共通基盤技術の開発 (2012～2021年度)  (国立研究開発法人) 産業技術総合研究所  共同実施: 東北大学 (2012～2016, 2018～2021年度), 名古屋大学 (2012～2017年度), ファインセラミックスセンター (2012～2016年度), 大阪大学 (2015～2016年度), 京都大学 (2015～2016年度), 広島大学 (2015～2016年度), 東京工業大 (2015～2016年度), 倉敷芸術科学大学 (2015～2016年度), 秋田大学 (2015～2016年度), 高エネルギー加速器研究機構 (2016～2020年度), 物質・材料研究機構 (2016～2020年度), 静岡理工科大学 (2017～2021年度), 東英工業株式会社 (2017～2021年度), 長岡技術科学大学 (2018～2021年度)  ダイキン工業株式会社 (2017～2021年度)  共同実施: 大阪府立大学 (2017～2021年度), 名古屋工業大学 (2017～2021年度), 愛知製鋼株式会社 (2017～2021年度)  三菱電機株式会社 (2017～2021年度)  共同実施: 同志社大学 (2017～2021年度), 九州工業大学 (2017～2021年度)  株式会社明電舎 (2017～2021年度)  共同実施先: 北海道大学 (2018～2019年度), 岡山大学 (2020～2021年度)  研究項目④- (3) 新規高性能磁石材料の探索 (2015年度～2016年度)  先導研究委託先: 産業技術総合研究所、東北大学、長崎大学、岐阜工業高等専門校</p>
	<p>*3. 2019年度から管理法人のMagHEMを委託先代表としてNEDOとの契約を一本化し、マネジメント管理の効率化を実施。</p>	

<p>情勢変化への対応</p>	<p>2012～2013年度 本PJは、2012年度に経済産業省直執行として開始された。3年目となる2014年度からNEDOに移管された。</p> <p>2017～2021年度 2016年度に実施した第二回中間評価結果を受け、「エネルギー損失を従来モーター比25%削減する高効率モーターの実現を目指す。」から、「従来モーター比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度向上）を実現する磁性材料の開発を目指す。」へ、プロジェクトの目標を変更した。</p> <p>また、予算減額に伴い、終了するテーマに代わる新たな材料開発テーマの募集を取りやめ、新規高性能磁石開発に特化した。モーターの実機開発を縮小し、代わって、磁性材料の評価・解析技術の開発・開発される磁石・開発された軟磁性材料の特性を生かすモーター設計技術（シミュレーション技術）の開発を基盤技術開発に盛り込んだ。</p> <p>モーター設計に関する技術開発が当初の想定以上の進捗を見せたため、新規、高性能磁石を搭載したモーターの試作を通じた解析、検証へ最終目標の追加を実施。結果的に、従来モーター比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度向上）を実現する高効率モーターの試作機を複数手段で実現した。</p> <p>本プロジェクトの狙いの一つである、資源供給リスクのあるレアアースの使用低減に関して、目標の明確化を図るために、有識者の意見と研究進捗状況を元に最終目標を次のように数値化した。「従来磁石の性能を維持しつつ希土類元素（産出量が多く資源リスクの少ない、ランタンおよびセリウムを除く）を50%以上削減した磁石を開発する。」</p>																																	
<p>中間評価結果への対応</p>	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="392 808 919 846">2014年度中間評価結果への対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 846 919 884"> <p>指摘事項</p> </td> <td data-bbox="919 846 1439 884"> <p>対応</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 884 919 1010"> <p>プロジェクト全体の最終目標「モーター損失25%低減」を達成するためには、磁性材料、モーター設計及び制御システム間の役割分担及び連携が必要である。</p> </td> <td data-bbox="919 884 1439 1010"> <p>モーターセンターと磁性材料開発担当者間で連携を密にするマネジメントを行う。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1010 919 1070"> <p>モーター設計に関しては新しい材料として望む特性をさらに明確にする必要がある。</p> </td> <td data-bbox="919 1010 1439 1070"> <p>モーターの仕様を明確にし、必要な材料特性を提示させる。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1070 919 1167"> <p>希土類元素を使わない新磁石の開発はハードルが高い。添加元素などを使った新しい展開も検討が必要と思われる。</p> </td> <td data-bbox="919 1070 1439 1167"> <p>添加元素等による特性向上を選択肢の一つとして実施するとともに、希土類フリーに拘らない材料の探索を開始する。</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="392 1167 919 1205">2016年度中間評価結果への対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1205 919 1243"> <p>指摘事項</p> </td> <td data-bbox="919 1205 1439 1243"> <p>対応</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1243 919 1323"> <p>プロジェクト全体の目標として掲げているモーターの損失削減目標は、見直しが必要である。</p> </td> <td data-bbox="919 1243 1439 1323"> <p>第1期目標の25%損失削減より高い40%削減に見直した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1323 919 1420"> <p>材料研究とモーター研究の連携が重要であり、広範に戦略を討議できる場や組織を作る必要があると考えられる。</p> </td> <td data-bbox="919 1323 1439 1420"> <p>引き続き合宿等を通じて連携を強化するとともに、開発磁石のモーター実装に向けた検討を開始した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1420 919 1516"> <p>優れた成果が得られているテーマに関しては、重点的に研究をサポートして頂き、基礎的課題の研究にも取り組んで欲しい。</p> </td> <td data-bbox="919 1420 1439 1516"> <p>新規高性能磁石に予算を重点配分し、その中で保磁力発現機構などの基礎的課題等に取り組んでいく。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1516 919 1597"> <p>ベンチマークを多方面から行いフィードバックをかけることが重要である。</p> </td> <td data-bbox="919 1516 1439 1597"> <p>開発項目の技術情報収集、トレンド整理を行い、レアアースフリーから省レアアース（Dy, Nd）に方針を変更した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1597 919 1693"> <p>自動車メーカーの意見や情報を積極的に取り込み、実用化に向け課題やマイルストーンの検討をする必要がある。</p> </td> <td data-bbox="919 1597 1439 1693"> <p>モーターアドバイザーからのヒアリング、参画会社との議論により、40%小型化（パワー密度40%向上）を設定した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1693 919 1792"> <p>各企業の垣根を越えた技術交流や情報交換を行って欲しい。</p> </td> <td data-bbox="919 1693 1439 1792"> <p>合宿や技術委員会等で、材料とモーターの連携を強化すると共に、第1期で卒業する企業にも情報交換や材料提供で協力いただく。</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="392 1792 919 1830">2019年度中間評価結果への対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1830 919 1868"> <p>指摘事項</p> </td> <td data-bbox="919 1830 1439 1868"> <p>対応</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1868 919 2056"> <p>研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。</p> </td> <td data-bbox="919 1868 1439 2056"> <p>2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減（CO2排出量として890万t/年）と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時（2021年度）の目標を設定した（基本計画に記載済み）。</p> </td> </tr> </table>		2014年度中間評価結果への対応		<p>指摘事項</p>	<p>対応</p>	<p>プロジェクト全体の最終目標「モーター損失25%低減」を達成するためには、磁性材料、モーター設計及び制御システム間の役割分担及び連携が必要である。</p>	<p>モーターセンターと磁性材料開発担当者間で連携を密にするマネジメントを行う。</p>	<p>モーター設計に関しては新しい材料として望む特性をさらに明確にする必要がある。</p>	<p>モーターの仕様を明確にし、必要な材料特性を提示させる。</p>	<p>希土類元素を使わない新磁石の開発はハードルが高い。添加元素などを使った新しい展開も検討が必要と思われる。</p>	<p>添加元素等による特性向上を選択肢の一つとして実施するとともに、希土類フリーに拘らない材料の探索を開始する。</p>	2016年度中間評価結果への対応		<p>指摘事項</p>	<p>対応</p>	<p>プロジェクト全体の目標として掲げているモーターの損失削減目標は、見直しが必要である。</p>	<p>第1期目標の25%損失削減より高い40%削減に見直した。</p>	<p>材料研究とモーター研究の連携が重要であり、広範に戦略を討議できる場や組織を作る必要があると考えられる。</p>	<p>引き続き合宿等を通じて連携を強化するとともに、開発磁石のモーター実装に向けた検討を開始した。</p>	<p>優れた成果が得られているテーマに関しては、重点的に研究をサポートして頂き、基礎的課題の研究にも取り組んで欲しい。</p>	<p>新規高性能磁石に予算を重点配分し、その中で保磁力発現機構などの基礎的課題等に取り組んでいく。</p>	<p>ベンチマークを多方面から行いフィードバックをかけることが重要である。</p>	<p>開発項目の技術情報収集、トレンド整理を行い、レアアースフリーから省レアアース（Dy, Nd）に方針を変更した。</p>	<p>自動車メーカーの意見や情報を積極的に取り込み、実用化に向け課題やマイルストーンの検討をする必要がある。</p>	<p>モーターアドバイザーからのヒアリング、参画会社との議論により、40%小型化（パワー密度40%向上）を設定した。</p>	<p>各企業の垣根を越えた技術交流や情報交換を行って欲しい。</p>	<p>合宿や技術委員会等で、材料とモーターの連携を強化すると共に、第1期で卒業する企業にも情報交換や材料提供で協力いただく。</p>	2019年度中間評価結果への対応		<p>指摘事項</p>	<p>対応</p>	<p>研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。</p>	<p>2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減（CO2排出量として890万t/年）と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時（2021年度）の目標を設定した（基本計画に記載済み）。</p>
2014年度中間評価結果への対応																																		
<p>指摘事項</p>	<p>対応</p>																																	
<p>プロジェクト全体の最終目標「モーター損失25%低減」を達成するためには、磁性材料、モーター設計及び制御システム間の役割分担及び連携が必要である。</p>	<p>モーターセンターと磁性材料開発担当者間で連携を密にするマネジメントを行う。</p>																																	
<p>モーター設計に関しては新しい材料として望む特性をさらに明確にする必要がある。</p>	<p>モーターの仕様を明確にし、必要な材料特性を提示させる。</p>																																	
<p>希土類元素を使わない新磁石の開発はハードルが高い。添加元素などを使った新しい展開も検討が必要と思われる。</p>	<p>添加元素等による特性向上を選択肢の一つとして実施するとともに、希土類フリーに拘らない材料の探索を開始する。</p>																																	
2016年度中間評価結果への対応																																		
<p>指摘事項</p>	<p>対応</p>																																	
<p>プロジェクト全体の目標として掲げているモーターの損失削減目標は、見直しが必要である。</p>	<p>第1期目標の25%損失削減より高い40%削減に見直した。</p>																																	
<p>材料研究とモーター研究の連携が重要であり、広範に戦略を討議できる場や組織を作る必要があると考えられる。</p>	<p>引き続き合宿等を通じて連携を強化するとともに、開発磁石のモーター実装に向けた検討を開始した。</p>																																	
<p>優れた成果が得られているテーマに関しては、重点的に研究をサポートして頂き、基礎的課題の研究にも取り組んで欲しい。</p>	<p>新規高性能磁石に予算を重点配分し、その中で保磁力発現機構などの基礎的課題等に取り組んでいく。</p>																																	
<p>ベンチマークを多方面から行いフィードバックをかけることが重要である。</p>	<p>開発項目の技術情報収集、トレンド整理を行い、レアアースフリーから省レアアース（Dy, Nd）に方針を変更した。</p>																																	
<p>自動車メーカーの意見や情報を積極的に取り込み、実用化に向け課題やマイルストーンの検討をする必要がある。</p>	<p>モーターアドバイザーからのヒアリング、参画会社との議論により、40%小型化（パワー密度40%向上）を設定した。</p>																																	
<p>各企業の垣根を越えた技術交流や情報交換を行って欲しい。</p>	<p>合宿や技術委員会等で、材料とモーターの連携を強化すると共に、第1期で卒業する企業にも情報交換や材料提供で協力いただく。</p>																																	
2019年度中間評価結果への対応																																		
<p>指摘事項</p>	<p>対応</p>																																	
<p>研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。</p>	<p>2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減（CO2排出量として890万t/年）と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時（2021年度）の目標を設定した（基本計画に記載済み）。</p>																																	

中間評価結果への対応	<p>目標達成及び効率的な研究開発実施のため、実施者間の連携は更に密に行う必要がある。特に、実験とシミュレーションとの連携は、強化すべきである。</p> <p>新磁石開発チームとモーター開発チームの間の更なる有機的連携による、成果の実用化の取組の加速を望む。</p>	<p>磁石開発とモーター開発のチーム連携によりプロジェクトで開発した磁石を実装したモーターを試作する。また、モーター開発3社の連携によるシミュレーションに関し、プロジェクト終盤に向けて具体的な連携を強化した。試作モーターの評価結果をフィードバックすることでシミュレーション精度の向上を図った。</p>
	<p>特許調査や技術動向調査により権利関係や従来磁石との違いを明確にし、知財戦略を示していただきたい。</p>	<p>磁石開発と特許調査の担当分室間が連携し、知財確保戦略を検討している。今後、より一層連携を密にすることにより、既存特許の特徴を詳細に分析し、強力な知財確立を目指した。</p>
	<p>1-12系磁石にて最終目標の最大エネルギー積「180°Cにおいて50MG0e」達成は、かなり難しいが、1-12系の持つポテンシャルから、技術課題と解決に向けた指針を明らかにすることが、将来に向けて極めて重要である。</p> <p>最終目標達成の可能性が高い超ネオジム磁石への注力だけでなく、1-12系磁石についても、ESICMM（元素戦略磁性材料戦略拠点）との連携強化等により、基礎に立ち返った検討の継続が望まれる。</p>	<p>ESICMMとの連携を深め、1-12系磁石開発の保磁力発現機構を主とした技術課題を明確化し、得られた知見を広く磁石開発に適用することで開発を加速した。</p> <p>一方、“「180°Cにおいて50MG0e」達成は、かなり難しい”との指摘に対して、高い目標を是としてそのままとしたが、有識者の意見を考慮して、技術的な難度および目標の妥当性を再検証できた可能性はある。</p>
	<p>モーターシミュレーション技術については早い段階で実用化の可能性の見極めを行い、可能性の高いものについてはその方向での検討の強化が望まれる。</p>	<p>モーターシミュレーションの実用化に向けて、必要性が高い項目を早期に見極め、重点的に検討した。</p>
	<p>将来基盤技術となり得るようなテーマについては、基礎研究をバックアップする、きめ細やかなマネジメントが必要である。</p>	<p>必要に応じて、ESICMMとの連携や先導研究プログラムの活用等によりバックアップした。</p>
評価に関する事項	中間評価	2014年度 中間評価実施
	中間評価	2016年度 中間評価実施
	中間評価	2019年度 中間評価実施
	事後評価	2022年度 事後評価実施予定
3. 研究開発成果について	<p>2017年度にテーマの見直し、改編を実施したため、成果を第一期（2012～2016年度）、第二期（2017～2019年度）、第二期最終（2020～2021年度）に分けて記載する。</p> <p>【第一期（2012～2016年度）】</p> <p>①－（I）－（1）ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 （インターメタリックス株式会社）</p> <p>【開発成果】評価（○） 最終目標を達成するために必要な粉末粒径（0.6μm未満）をHDDR処理とジェットミルにより達成。高配向焼結体の作製に成功した。粒径の微細化により温度特性が向上することを明らかにした。ただし、最大エネルギー積は25MG0e@180°Cであり、添加元素や粒界相の最適化によりさらに向上させることが必要。</p> <p>①－（I）－（2）Dyフリー高Br・高保持力を有するNdFeB異方性HDDR磁石開発 （愛知製鋼株式会社）</p> <p>【開発成果】評価（○） 最終目標を達成するために必要な保磁力（22k0e）の達成の目途はついた。また、新しく開発したd-HDDR法により、磁化を向上させた粉末の作製に成功し、現在最終目標の最大エネルギー積の80%以上を達成。最終的に88%まで達成する見込み。</p>	

<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>①－（Ⅱ）－（１）窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発 （株式会社T&amp;Tイノベーションズ）</p> <p>【開発成果】評価（○） 粒子の合成、単分散化、固化については、それぞれ事前に掲げた自社の目標を達成しつつある。ただし、中間目標で掲げている高性能磁石となりうる可能性を示すためには、保磁力向上の指針を出すことが必要であったが、困難であるため、粉末の残留磁束密度を1.7T（換算値）、ボンド磁石として1.0～1.4Tとなる磁石を開発目標とする。</p>
	<p>①－（Ⅱ）－（２）ナノ複相組織制御磁石の研究開発 （トヨタ自動車株式会社）</p> <p>【開発成果】評価（○） 計算や薄膜において複相構造を作り込むことにより、現行の焼結磁石を凌駕する最大エネルギー積を持つ磁石を作製できることを明らかにした。RE<sub>1</sub>Fe<sub>12</sub>系化合物を相安定化できる合金組成を見出し、高温特性に優れ、最終目標を達成できるポテンシャルを持つことを明らかにした。</p>
	<p>①－（Ⅱ）－（３）FeNi 超格子磁石材料の研究開発 （株式会社デンソー）</p> <p>【開発成果】評価（○） 隕石中に存在するFeNi規則相を調べ、180℃で400kA/m（5kOe）以上の保磁力を持つ可能性を示した。様々な化合物還元法を試み、窒化・脱窒素法により、規則度0.7以上の成分を含む粉末の合成に成功した。異方性磁界を大幅に向上させることができ（塩化物還元法の3倍以上）、最終目標達成の可能性を示すことができた。</p>
	<p>②－（１）高BSナノ結晶軟磁性材料の開発 （NECトーキン株式会社、JFEスチール株式会社）</p> <p>【開発成果】評価（○） 急冷薄帯において目標値を達成できる合金組成の範囲を明らかにした。これを基にアトマイズ粉末でナノ結晶ができる合金組成を見出すとともに、粉末を大量に製造するための装置設計を行い、実用化製造技術の見通しをつけた。さらに、この粉末を高密度でバルク化する条件を明らかにし、粉末成形体においても目標値を達成できる見込み。</p>
	<p>③－（１）次世代モーター・磁性特性評価技術開発 （ダイキン工業株式会社）</p> <p>【開発成果】評価（○） モーター使用後の磁石の磁気特性変化および分布の測定、モーター損失の高精度分析装置の作製、インバータ高調波を含めた損失測定のためのリアルシミュレーターの構築、各種モーター形式による設計技術、インバータとモーターとを合わせた低損失化設計手法の開発を行い、それぞれで計画していた目標を達成した。これにより、課題の抽出および基本設計指針を出すことが可能となった。さらに、新しい形態のモーターを提案し、損失25%削減の可能性を示した。</p>

③－（２）次世代モーター・磁性特性評価技術開発（応力を考慮したモーター設計・評価技術の研究開発）  
（三菱電機株式会社）

【開発成果】評価（○）  
応力下の軟磁性材料ならびに永久磁石の磁気特性への影響を調べるための計測手法を開発した。定量的な評価ができるため、高効率モーター設計の基本指針を示すことが可能となった。また、開発材料を使用したモーターの試作を行った。

④－（１）特許・技術動向調査・特許戦略策定支援  
（一般財団法人金属系材料研究開発センター）

【開発成果】評価（○）  
磁石、軟磁性材料、モーター構造の特許調査並びに技術調査を行い、データベース化するとともに、動向予測を行った。今年度までのデータベース化をほぼ終えることができた。データベースは図書館機能システム化し、閲覧可能とした。

<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>④- (2) 共通基盤技術の開発 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>【開発成果】評価 (○) 窒化鉄の単分散のための表面処理技術、軟磁性材料の高抵抗化のための表面処理技術を開発した。HDDR 粉末の焼結、窒化鉄ナノ粒子の焼結、軟磁性材料の焼結を行い、それぞれ焼結密度90%以上を達成した。</p> <p>④- (3) 「新規高性能磁石材料の探索」 (先導研究委託先：産業技術総合研究所、東北大学、長崎大学、岐阜工業高等専門学校)</p> <p>【開発成果】評価 (○) 先導研究によるテーマ探索を実施し、新磁石4テーマ、新軟磁性材料3テーマを発掘。</p> <p>【第2期】(2017~2019年度)</p> <p>研究開発項目① 新規高性能磁石の開発</p> <p>【開発成果】評価 (△) (2019年度末達成見込み) 研究開発項目①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発 (トヨタ自動車株式会社)</p> <p>新規物質である <math>REFe_{12-x}TM_xN_y</math> 相 (RE:希土類元素 [Nd, Sm 等], TM:遷移金属) について、実験結果を元に機械学習を行い物性に対する結晶構造や組成の寄与度を明らかにすることで、磁気物性を最適化し、さらに、プロセスを検討し、磁石化に向けた取り組みを実施した。具体的には、低融点合金を活用した界面制御などにより、焼結磁石相当の結晶粒径を有する粉末で保磁力発現することを確認した。また、軽希土類活用を含むナノ複相組織制御磁石の高特性化に向けたプロセスを検討し、磁石粉末のバルク化などの要素技術を確立するとともに、目的に応じて Nd 含有量を 20~50% 低減できる省 Nd 耐熱磁石の研究に目途を付けた。</p> <p>研究開発項目①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発 (株式会社デンソー)</p>
	<p>窒化・脱窒素法により合成に成功した FeNi 超格子粉末の磁気特性向上に取り組み、合成条件を改良することで、FeNi 超格子の高純度化に成功し、保磁力の向上を確認した。さらに、FeNi 超格子磁粉の保磁力向上を狙い、磁粉粒子内のナノ構造の改善に取り組んだ。合成条件を変化させることで、従来よりも高い規則性を持った FeNi 超格子磁粉の合成に成功し、保磁力の改善が確認された。量産を想定した磁粉合成プロセスの開発を実施した。低コスト原材料の課題抽出を行なった。粒内の不純物が超格子の磁気特性に悪影響を及ぼすことを明らかにした。</p> <p>研究開発項目④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援 (一般財団法人金属系材料研究開発センター)</p> <p>【開発成果】評価 (○) 磁石材料を中心とした最新の特許調査・技術動向調査を実施した。平成28年以降に公開された国内、中国、米国、欧州の磁石材料の特許、国内の永久磁石モーターの特許調査を行った。国内学会、国際会議などに参加して関連分野の発表動向・技術動向を調査し、その情報を共有化した。さらに、本プロジェクトのバックグラウンド情報として、希土類原料供給動向、磁石市場動向についての情報収集を行った。</p> <p>研究開発項目④-2 共通基盤技術の開発</p> <p>【開発成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・磁石製造の配向制御、組織制御の技術開発に目処を付ける。評価 (△) (2019年度末達成見込み)</li> <li>・磁気特性予測システムの構築に目処を付ける。評価 (○)</li> <li>・高保磁力に対応した磁気特性評価技術を開発する。(○)</li> <li>・高負荷環境下での磁性材料評価・解析技術を開発する。(◎)</li> </ul> <p>(国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>粒子の磁場配向挙動を計算シミュレーションによる予測と実験により検証した。加えて、粒子の破壊挙動の計算シミュレーションと実験による検証を行った。急冷凝固組織ならびに強加工による組織の異方化について検証を行った。また、高速・高精度に高保磁力磁石を測定できる手法の開発と標準化に向けた取り組みを行った。さらに、磁気特性予測システムの構築を目指した基盤研究を進めた。</p>

<p>3. 研究開発成果について</p>	<p style="text-align: right;">(ダイキン工業株式会社)</p> <p>モーター実装時に求められる新規磁石材料への目標値提示のための検討として、平成28年度までに確立した減磁評価技術を適用した時の課題を抽出し、対策のための磁石材料の各種物性値の取得を行った。また、新規磁石材料を適用したときのモーター損失を把握するため、開発した分析評価装置を用い、磁石の磁気特性が軟磁性材料の損失、及びインバータに及ぼす影響を分析し、課題を抽出した。磁石材料の磁気特性、物理特性（磁石の熱伝導率、電気抵抗、密度）を大きく変化させたときの減磁解析検討、及び、減磁分布の簡易測定手法の課題解決案検討を行った。また、磁石の磁気特性を変更した際の局所的なモーター損失解析の検証を行い、IPM モーター及び可変磁力モーターにおいては、新規磁石材料の性能を生かすための構造設計検討を実施し、解析において目標達成の目処を得た。さらに、非線形磁気特性減磁曲線を持つ磁石を実装したモーターの解析を行い、課題抽出を行った。</p> <p style="text-align: right;">(三菱電機株式会社)</p> <p>開発した磁気特性測定技術を用いて、応力及び高温の複合環境下における永久磁石の結晶状態の分析評価を行うとともに、リアルタイムに減磁領域の観察を行い、磁気特性評価と磁区変化を検証した。また、モーター実使用時を想定した永久磁石の渦電流損失の測定と解析を行い、永久磁石の損失評価・解析方法の高精度化と、新材料のモーター適用に向けて、モーター損失解析精度向上のための要素検討を行った。</p> <p style="text-align: right;">(株式会社明電舎)</p> <p>新規磁石材料の実装によるモーターの高効率化を実現するため、モーター損失の分離・評価装置を製作した。本装置の機能および動作検証として、ステータコア焼き込み状態の模擬機構の機能検証と高速回転時の機械損測定を実施した。また高効率モーターの検討では、永久磁石式モーターの高効率範囲を拡大するため可変磁束モーターに着目し、概略検討にて構想の有効性を確認した。</p>
	<p>【第2期最終】(2020～2021年度)</p>
	<p>研究開発項目① 新規高性能磁石の開発 ①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発 【開発成果】評価 (○)</p>
	<p>研究開発項目①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発</p> <p style="text-align: right;">(トヨタ自動車株式会社)</p> <p>シェルにNdを濃化させ、従来磁石よりもNd元素効率を飛躍的に向上させたコアシェル構造化プロセスを新規開発した。そのプロセスで創製された省Nd磁石により、Ndを50%以上削減しつつ、社会実装可能なレベルの磁石の開発に成功した。 1-12系磁石のCo添加の知見をNdFeB磁石にも引継ぎ、Co添加による高温磁化の向上を達成し、180℃の(BH)maxを1.4倍に高める超Nd磁石の開発にも成功した。</p>
	<p>研究開発項目①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発</p> <p style="text-align: right;">(株式会社デンソー)</p> <p>窒化・脱窒素法の深化により、目標性能を有する単結晶FeNi超格子粒子の合成に成功した。大量合成を阻害するメカニズムを明らかにし、材料の量産指針を獲得した。FeNi超格子磁石は優れた耐熱性を有することを確認、高温環境下での使用が想定されるモーター用の磁石として優位性を示した。</p> <p>研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発 研究開発項目④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援  <p style="text-align: right;">(一般財団法人金属系材料研究開発センター)</p> <p>【開発成果】評価 (○)</p> <p>本事業の開発が、従来のネオジム磁石を超える革新的な高性能磁石の開発と次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの低損失化・小型化に必要な技術に特化されることに対応して、第一期に引き続き「磁石材料」「高効率モーター」「軟磁性材料」の3分野について、高性能磁石材料や高効率モーターなどを中心に、焦点を絞った特許・技術動向の調査を実施した。さらに、本プロジェクトのバックグラウンド情報として、バリューチェーンの上流側と下流側に相当する、磁石市場動向、希土類資源動向についての情報収集を行った。収集し分析したこれら特許・技術動向情報は、霞が関分室短信、霞が関分室報告書、技術動向分析会議などを通してプロジェクト参加者及び関係者と共有化を図るとともに、講演発表、JRCM ニュースなどを媒体とした論文発表などを通して公開に努めた。</p> </p>

<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>研究開発項目④-2 共通基盤技術の開発</p> <p>【開発成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・磁石製造の配向制御、組織制御技術を開発する。評価（○）</li> <li>・磁気特性予測システムを開発する。評価（○）</li> <li>・高速・高精度な磁気特性評価技術を開発する。（○）</li> <li>・モーターの解析及び試作等を通じて、モーター実装を想定した評価技術（シミュレーション）を開発し、モーター及び新規磁石の有効性を明らかにする。（◎）</li> </ul> <p style="text-align: right;">（国立研究開発法人産業技術総合研究所）</p> <p>共通基盤技術開発として粉末の粉碎や不規則形状粒子の充填過程などプロセスシミュレーション技術の開発、XRD 測定とシミュレーション技術を融合させたサブミクロメートルレベルの配向分布測定手法の開発、また、FeNi 微粒子の窒化過程の解明および高磁化磁石材料の開発に取り組んだ。さらに、高保磁力測定技術の開発を行い、高保磁力磁石の国際標準化に向けた取り組みを行った。</p> <p style="text-align: right;">（ダイキン工業株式会社）</p> <p>開発した減磁評価手法により、解析には表れない減磁の現象として、金型接触面の影響を定量化し、保磁力0の層を一定厚み入力することで精度よく減磁率を求めることができるようになった。また、開発した局所的鉄損分析手法にて明らかにした低損失でモーターを駆動できるインバータ制御パターンを、大阪府立大学との共同研究で開発したモーターに適用し効果を定量的に評価した。また、IPM モーターにおいては、東富士分室にて開発した磁石を搭載した試作機において、実測した結果、市街地走行評価点における損失は、損失目標 40%削減を達成した。また、保磁力不足時の不可逆減磁を抑制できる構造を見出した。可変磁力モーターにおいては、目標最大トルク達成と低・中速軽負荷市街地走行評価点での効率向上を評価指標とした、最適 L/D（固定子コア積厚/外径）比採用の磁石内周配置型ハイブリッド界磁モーターの設計試作機において、低・中速軽負荷市街地走行評価点においてモーター損失 45%以上の削減を達成、高速道路走行評価点においても 20%削減を実現した。さらに、非線形磁気特性（減磁曲線）を持つ磁石を実装したモーターにおいて、減磁時のリコイル透磁率を変えて解析を行い、減磁解析結果に差が出ることを明らかにした。</p> <p style="text-align: right;">（三菱電機株式会社）</p> <p>永久磁石材料の X 線回折評価を応力条件下で実施した。その結果、磁石種によって磁石の応力の影響が異なることがわかった。また、応力耐力の高いネオジム磁石を製造するためには、粒界相を厚くすること、および Nd リッチ相の割合を増やすことで効果があると考えられた。応力印加機構を追加した VSM 装置を製作することに成功した。その結果、熱と応力の複合環境下における磁石減磁の測定に初めて成功した。</p> <p>Kerr 効果顕微鏡を用いた磁区構造の観察システムを構築し、熱と応力の複合環境下における磁石磁区構造変化の統計的データの取得に成功した。その結果、減磁メカニズムに関する知見を得た。</p> <p>磁石表面の磁界ベクトルを測定し、保磁力と表面磁束の平均値が直線関係を示すことがわかった。</p> <p>永久磁石の導電率の温度依存性を測定するとともに、磁石のアスペクト比を様々変化させた場合における磁石の交流損失を定量的に評価した。その結果、磁石の交流損失は磁束密度の大きさに比例していることを実験的に確認した。さらに、着磁率の違いにおける磁石の交流損失についても調査し、着磁率の増加とともに磁石の交流損失が増加することを確認した。</p> <p>軟磁性材の薄帯とパルク化品の応力依存性を比較し、パルク化による初期応力が 10~20MPa 印加されていることを実験的に明らかにした。また、モーター状態で応力の印加が直接可能な装置を開発し、モーター特性の応力依存性を定量的に示した。</p> <p style="text-align: right;">（株式会社明電舎）</p> <p>モーター損失の分離測定装置と評価手法を構築し、モーターの損失を機械損、風損、ステータ鉄損に分離し評価を行った。また、可変磁束性能を有するハイブリッド界磁モーターを設計し、開発磁石との組み合わせにより、高効率効果および高パワー密度化効果を確認した。</p>		
	<table border="1"> <tr> <td>論文</td> <td>99 (72) 件</td> </tr> </table>	論文	99 (72) 件
	論文	99 (72) 件	
	<table border="1"> <tr> <td>研究発表・講演</td> <td>598 (291) 件</td> </tr> </table>	研究発表・講演	598 (291) 件
	研究発表・講演	598 (291) 件	
	<table border="1"> <tr> <td>受賞実績</td> <td>13 (11) 件</td> </tr> </table>	受賞実績	13 (11) 件
	受賞実績	13 (11) 件	
	<table border="1"> <tr> <td>成果普及の努力（報道発表・展示会等）</td> <td>39 (16) 件</td> </tr> </table>	成果普及の努力（報道発表・展示会等）	39 (16) 件
	成果普及の努力（報道発表・展示会等）	39 (16) 件	
	<table border="1"> <tr> <td>特許</td> <td>202 (128) 件 うち国際出願 94 (73) 件</td> </tr> </table>	特許	202 (128) 件 うち国際出願 94 (73) 件
特許	202 (128) 件 うち国際出願 94 (73) 件		
<p>( ) 前の数値は全事業期間 (2012~2021 年度) の件数、( ) 内の数値は第 2 期 (2017~2021 年度) の件数を示す。また事業期間後 (2022 年 3 月 1 日~6 月 14 日) の件数を加算している。</p>			

<p>4. 成果の実用化に向けた取組及び見直しについて</p>	<p>本プロジェクトでは成果の実用化について、「当該研究開発に係る試作品、シミュレーション技術、解析技術などの社会的利用(顧客への提供等)が開始されること」と位置づけている。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(売り上げ等)に貢献すること」を目指した。</p> <p>磁石材料開発、モーター設計評価技術開発(シミュレーション及び実機)を集中的かつ効率的に行うため同時並行した。高性能磁石特性の目標値をモーターシミュレーションに適用して高効率化への可能性を示し、さらに実機試作を行い、効果を検証した。磁石化の見込まれる関連領域については、実用化を想定した知財調査を基にした戦略的な知財確保(材料特性を生かしたモーター設計)を目指し、材料開発、モーターシミュレーションならびにモーター試作による確認、知財確保を一体的に進める取り組みを行い、早期実用化を推進した。また、開発した磁石は、磁気特性に応じた実用化、モーター搭載を図り、様々な業種へ種々の試作品を提供して社会的利用を推進した。</p> <p>開発した評価技術の標準化委員会を設置して、国内ステークホルダーの意見を取り入れるとともに、国外の標準化委員との意見交換も行き、我が国の産業競争力強化と国際市場活性化に貢献している。国内標準化(JIS)と国際技術報告書(TR)の発行を完了し、国際標準化(IS)発行見込み(2025年)である。</p> <p>希土類元素を取り巻く状況と、次世代自動車の世界的な市場規模の拡大について、各調査機関の予測を基に将来の需要予測を行い、早期実用化を図るべき部分を明らかにしてきている。</p>	
<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>2014年3月 作成</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2014年5月 改訂</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2015年2月 改訂 (2014年11月に実施した中間評価指摘事項を反映)</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2017年2月 改訂 (第2期開始に伴う見直し)</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2017年9月 改訂 (PMの変更に伴う見直し)</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2021年7月 改訂 (社会情勢、有識者意見、プロジェクト進捗状況などを考慮した見直し)</p>

## プロジェクト用語集

用語	説明
IPM モーター	埋込磁石構造型同期モーター (Interior Permanent Magnet Motor) でロータ鉄心に永久磁石を埋め込んだ永久磁石形の同期モーター。
J-H 曲線	磁性体に様々な外部磁場を与えて得られる、外部磁場と磁性体の磁化量の関係を示す曲線。磁石の場合には通常、菱形のヒステリシスループを描く。
PWM 制御	パルス幅変調方式 (PWM : Pulse Width Modulation) で直流電源のスイッチの ON している時間と OFF している時間との割合 (デューティー比) で、モーターを制御する方式。
VSM	試料振動型磁力計 (Vibrating Sample Magnetometer)。
インバータ	直流電力から交流電力へ電氣的に変換する電源回路。モーターの可変速運転が可能となる。
コンバータ	交流電力から直流電力へ電氣的に変換する装置。
サーチコイル	交流磁界を測定する空心状のコイルを用いた測定用コイル。コイルに鎖交する磁界により発生する誘起電圧から磁束を測定する。
トルク検出器	モーターと負荷との間に入れて、モーターが発生しているトルクを直接測定する装置。
パルス	短時間に急峻な変化をする信号の総称。脈動。
マグネットトルク	ステータ巻線を通れる電流によって作られる回転磁界とロータの永久磁石とが引き付け合う力。
リラクタンストルク	ステータ巻線を通れる電流によって作られる回転磁界とロータの表面鉄心とが引き付け合う力。
異方性磁石 (粉末)	磁石には、磁化容易軸という磁化されやすい結晶方向があり、その結晶方向を揃えることにより一方向のみに高い磁石特性を付与した磁石 (粉末)。
可変磁力モーター	モーターのトルクを発生させるための磁界、たとえば、永久磁石の磁界を可変することができるモーター。
界磁コイル	モーターのトルクを発生させるための磁界を発生させるコイル。
拡散処理	NdCuAl 微粉末を d-HDDR 処理後の NdFeB 磁粉に混合して熱処理する方法。この結果 NdCuAl の粒界拡散が起こり、Nd リッチ粒界相が形成され保磁力が向上する。
最大エネルギー積 (BH) max	単位体積当たりの磁気エネルギー。
残留磁化	磁石に磁場をかけて磁化させたのち、磁場を除いても磁石内部に残る磁場。J-H 曲線における外部磁場ゼロの時の磁化量をとる。
磁化	磁化は物質に磁界を加えたとき、物質の表面に磁極が生じ、一時的に磁石のようになること。
磁化反転	磁場や電流によって永久磁石の N 極 S 極が逆になる現象。
焼結	粉末を融点よりも低い温度で加熱すると固まって緻密なバルクにする材料加工法。磁石分野では、高保磁力を発現できる微細な結晶粒からなる磁石を作製するための主要プロセス。
超格子	複数の種類の結晶格子の重ね合わせにより、その周期構造が基本単位格子より長くなった結晶格子のこと。X 線回折 (XRD) や電子線回折 (ED) 等にて確認することができる。
通電焼結	粉末に直接電流を流すことにより加熱する焼結方法。通常の焼結法に比べて低熱負荷で焼結することができる。
鉄損	モーターの鉄心に発生する損失。ヒステリシス損失と渦電流損失がある。
転極	磁石内部で N 極と S 極が反転する現象。
配向度	各結晶粒子が磁氣的に同じ向きに向いている度合のこと。配向度が高いと最大エネルギー積も高い。

保磁力	保磁力は磁化された方向と反対方向の磁場に対する抵抗力。保磁力が高いと耐熱性も高い。
飽和磁化	外部磁場の強さを増しても、それ以上磁化が増大しない状態に達した時の磁化の強さ。J-H 曲線における磁化量の飽和最大値をとる。

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1. 事業の背景・目的・位置づけ

### 1.1 背景

#### 1.1.1 モーターの省エネの必要性

東日本大震災後の原子力発電所の停止以降，国内の電力需給環境においては，発電コストの上昇と発電総量の減少が課題となっている。また，世界的な視野では地球温暖化を抑制するための CO<sub>2</sub> 排出量削減という大きな課題もある。

図 1 に示すように，現在の国内電力の約 55%はモーターで消費されており，その利用分野も自動車，家電，産業分野など幅広い。モーターの高効率化により消費電力の削減が実現すれば，我が国の電力需給の改善及び CO<sub>2</sub> 排出量の削減に大きく寄与する。さらに，高効率モーターの開発により，HEV や EV 等の次世代自動車の燃費改善や，家電や産業機器の消費電力削減による性能向上が図られ，日本の産業競争力の更なる強化，ならびに経済の活性化が促進される。

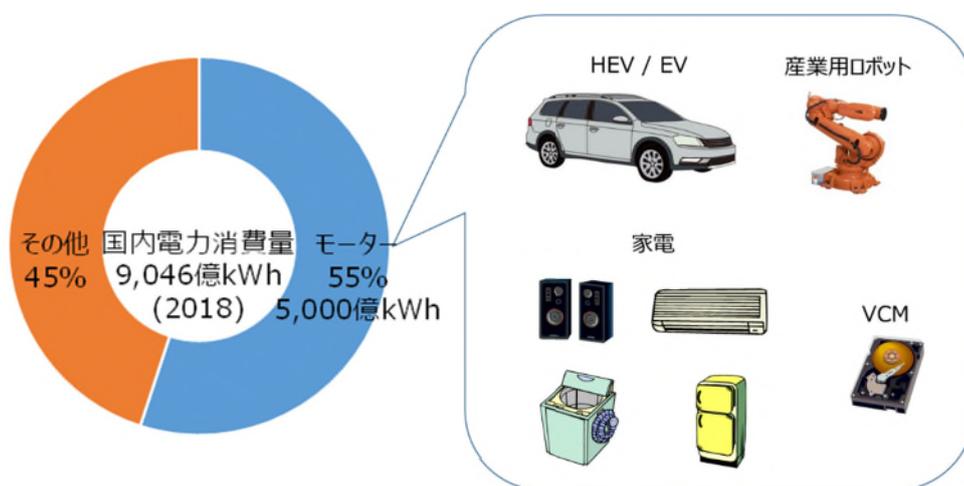


図 1 国内電力消費量の内訳とモーターの利用分野

図 2 に示すように，モーターの主要構成材料は，磁石と軟磁性体であり，それら材料の性能はモーターの高効率化に重要な因子である。

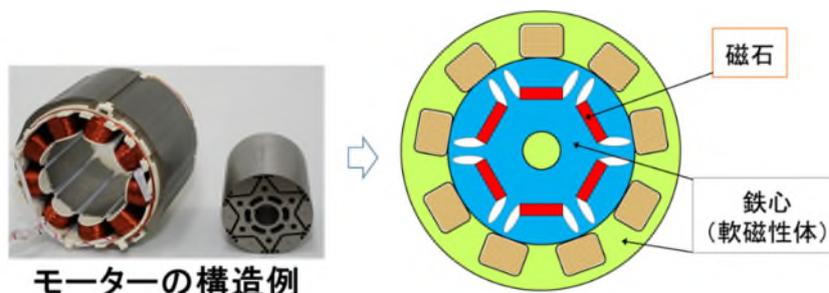


図 2 モーター構造の模式図

本プロジェクトでは，材料技術とモーター設計技術を組み合わせて高効率なモーターを開発し，次世代自動車や家電・産業機器に適用し省エネを達成することを狙いとしている。

### 1.1.2 今後の磁石の市場予測

ネオジム磁石はその性能の高さから、磁石の新しい市場を生み出し、ハードディスクのボイスコイルモーター（VCM）に始まり、特に永久磁石埋め込み型モーター（IPM モーター）の開発以降、ハイブリッド自動車（HEV）等の次世代自動車、エアコン用インバータモーターといった家電には欠かせない素材となった。

図3にネオジム磁石、希土類磁石の世界需要予測例を示す。ネオジム磁石、希土類磁石の需要は、2030年（平成42年）には現在の2倍強或いはそれ以上に増え、特に風力発電、自動車、家電用途に大きな伸びが予測されている。

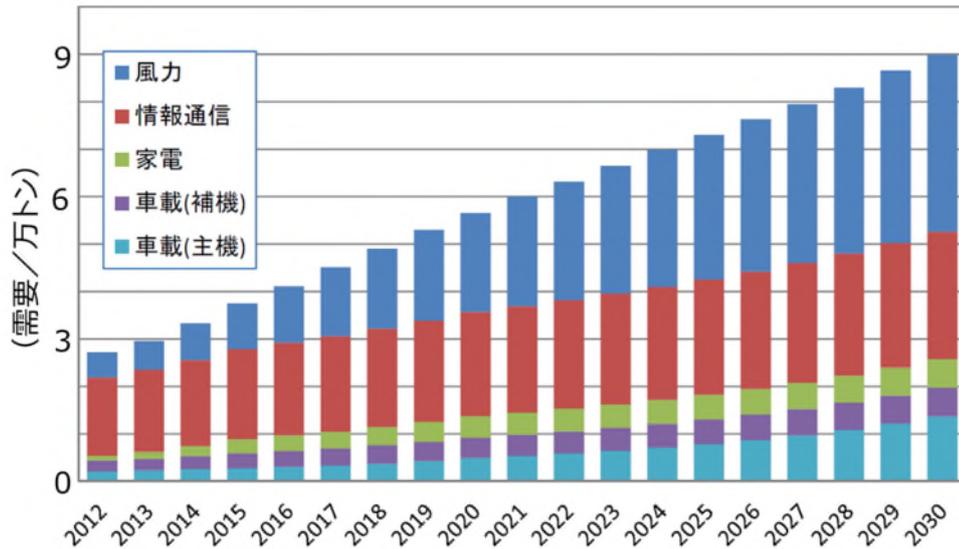


図3 ネオジム磁石の世界需要予測

出典：各種の市場レポート、公開された統計資料より三菱化学テクノリサーチ（MCTR）が推定した

#### ① 風力発電

風力発電に関しては、ネオジム磁石が発電機1台あたり900kg程度或いはそれ以上と大量に使用されるが、世界の風力発電新規導入量の半分近くを占める中国市場のシェアは、中国メーカーが9割を押さえており、世界市場においても、欧米メーカーと中国メーカーがシェアを競い合っている。

#### ② 次世代自動車

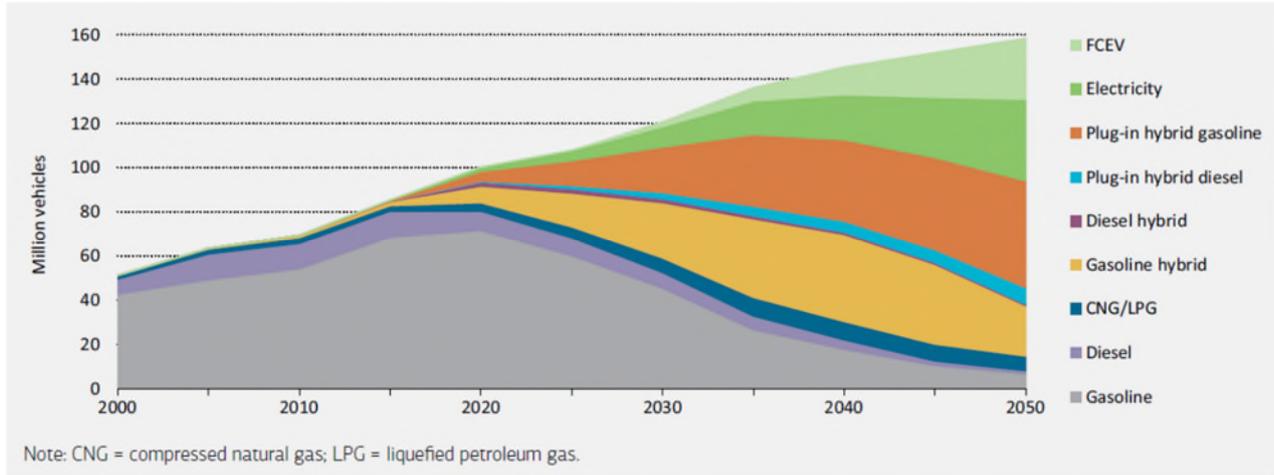
表1に示した次世代自動車であるHEV、PHVやEV、FCVに搭載される駆動用モーターには大量のネオジム磁石が使用されている。

表1 次世代自動車の種類

HEV(ハイブリッド車)	内燃機関エンジンと電気モーターの動力を組み合わせで走行する車
PHV(プラグインハイブリッド車)	搭載されているバッテリーに外部コンセントから差し込みプラグを用いて直接充電できるハイブリッド車
EV(電気自動車)	動力源が電気エネルギーで、電気モーターだけで走行する車
FCV(燃料電池車)	水素を燃料とし排出ガスは水蒸気だけという車
クリーンディーゼル車	2010年排出ガス規制(ポスト新長期規制)に適應する、PMやNOxの排出量が少ないディーゼル車

出典：経済産業省公表の「次世代自動車戦略2010について」を元に作成

図4に示すように、現在1千万台/年であるxEV（燃料電池車、バッテリー電気自動車、プラグインハイブリッド車、ハイブリッド車の総称）も2030年には6,200万台、2050年には1億5千万台/年になると推計される。xEV一台あたりに2kgのネオジム磁石が使われるとすると、現在の磁石の世界生産量の約5倍がモーターに必要と言われている。



出典：IEA (2015) Energy Technology Perspectives. All rights reserved.

図4 次世代自動車の世界需要の推移予測

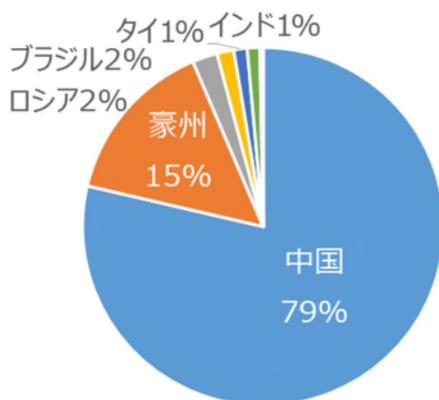
③ 家電

家電向けモーター市場として、主要な白物家電（ルームエアコン、電気冷蔵庫、電気洗濯機、電気掃除機）の、ここ数年の市場成長率は1~2%程度であるが、家電用途では、モーターの小型化（パワー密度向上）のニーズがあるので、磁石材料にも高性能化の要求が高い。

1.1.3 レアアース（希土類）の資源リスク

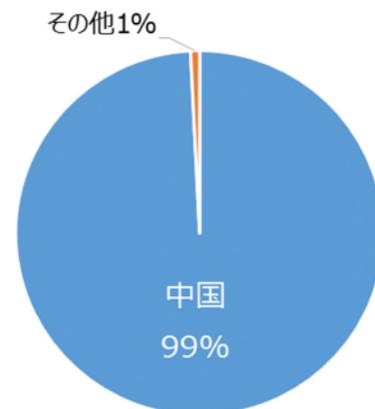
ネオジム焼結磁石をはじめとする高性能磁石の原材料には、レアアース（ネオジム、ジスプロシウム等）が大量に必要であるが、資源の偏在性が高く、特定国がほぼ独占している。

図5で示すように、現状ではレアアースの世界生産量の約8割は特定国に集中していることがわかる。



総生産量：134,000t(酸化物換算、2017)  
出典：JOGMEC「鉱物資源マテリアルフロー 2018 8.レアアース」より作成

図5 国別の世界生産量（レアアース）



総生産量：2,300t(酸化物換算、2017)  
出典：工業レアメタル 2018 を基に作成

図6 世界供給量の推移（ジスプロシウム）

さらに、次世代自動車向けネオジム磁石に必要な不可欠なジスプロシウムは、ほぼ100%が一国に集中していることがわかる（図6）。

従って、現状では特定国の動きによってネオジム磁石に必要なレアアースの需給環境が変化し、日本の磁石産業が深刻な影響を受けるリスクが大きいことが明らかである。

そのリスクの顕在化例として、ネオジムおよびジスプロシウムの輸入価格の推移を図7に示す。

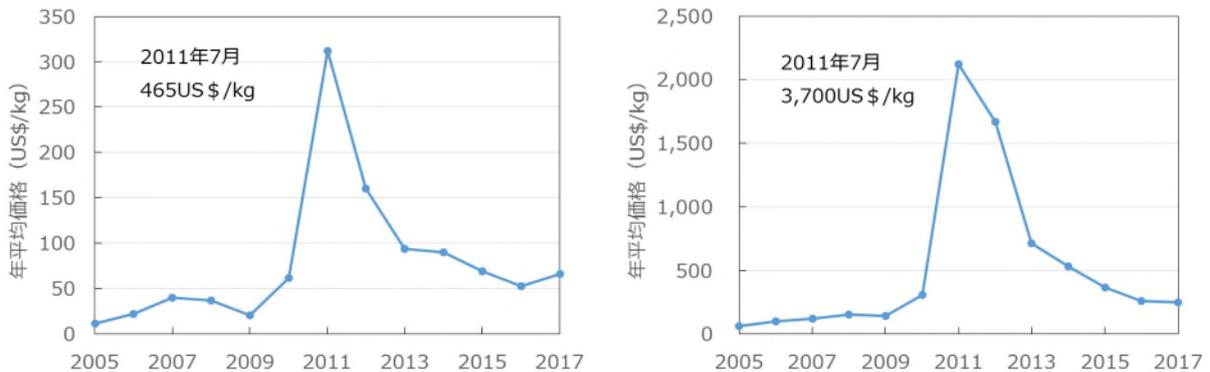


図7 ネオジム(左), ジスプロシウム(右)の価格動向 (年平均輸入価格 CIF 日本)

出典: 「工業レアメタル 2011, 2013, 2016, 2018」を基に作成

2005年ではネオジムが11US\$/kg、ジスプロシウムが61US\$/kgであったものが特定国の政策により、2011年（平成23年）7月にはネオジムが465US\$/kg、ジスプロシウムが3,700US\$/kgと、それぞれ40倍、60倍の高値となった。

その後の各国の対応や、技術開発により価格は下がったものの、現状でも2005年の4~6倍程度の高値となっている。

これらのことより、日本にとってレアアースは需給、コストにおいて大きなリスクを抱える資源であることがわかる。

## 1.2 材料及びモーター開発の現状

### 1.2.1 磁石材料の現状

#### (1) 磁石の特性推移

図8に100年間にわたる磁石の特性推移をまとめる。図に示された磁石のほとんどは、日本で発明されたものであり、高性能磁石の開発は我が国が世界をリードしてきた。特に、1980年代前半に発明されたネオジム(Nd-Fe-B)磁石は、資源的に豊富なネオジム(Nd)と微量のホウ素(B)を含む鉄(Fe)基の合金であり、史上最強の永久磁石である。発明当時に先行していたサマリウムコバルト(Sm-Co)系磁石よりも安価でより高性能なために、発明後すぐに工業化され高性能磁石市場を席卷した。ネオジム磁石以降、磁化や保磁力などの性能面、原料コストや製造工程なども含めた量産面で、実用的見地から有望な高特性永久磁石は現在に至るまで見いだされていないのが実情である。

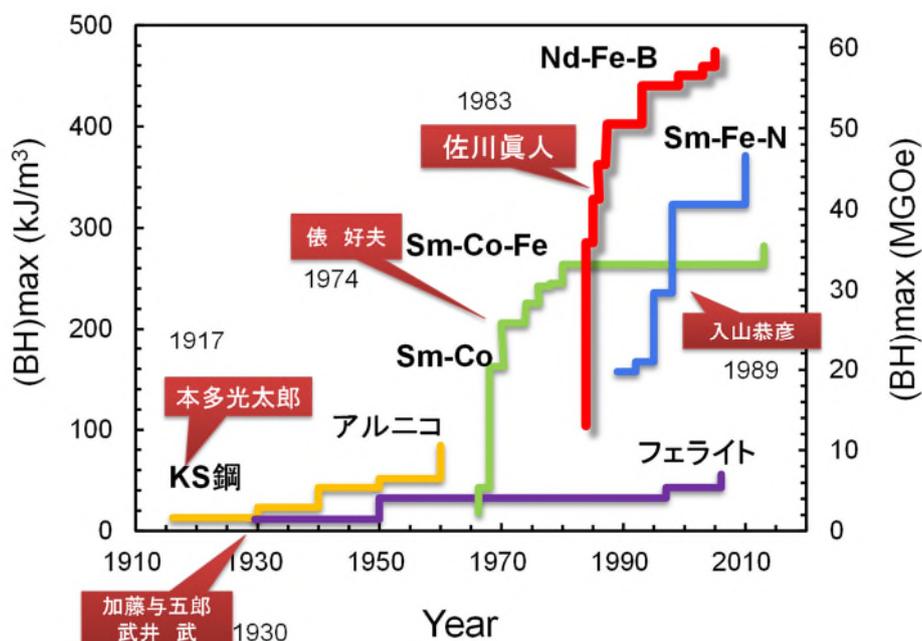


図8 磁石の特性推移

出典：特許、文献を基に産総研が作成

## (2) 世界の磁石材料の競合状況

このように発明以来最高性能を誇っているネオジム焼結磁石も、その性能は理論から推定される値にかなり近づいており、従来の延長線上にある技術開発の限界も見え始めている。

表2に世界の高性能磁性材料（軟磁性材料含む）の競合状況をまとめる。研究開発については、ネオジム磁石の開発は、日本がいまだに世界をリードしているものの、中国が近年レベルを上げつつある。また、レアアース（希土類）フリー磁石の開発は、日米欧で盛んに行われている。産業競争力については、中国の存在感が増しており、すでにコスト競争力並びに生産量では日本を上回り、コストが重要視される分野では日本を凌駕する状況にある。

日本が引き続き磁石材料の分野で世界をリードし、産業競争力を維持するために、ネオジム磁石を超える新磁石を開発することが望まれている。

表2 高性能磁性材料（磁石材料&軟磁性材料）の各国の競合状況

		現在の競合状況			
		日本	中国	米国	欧州
磁石材料&軟磁性材料	研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本では 180°Cで最大エネルギー積が 25MGOe のネオジム磁石が開発されており、優位に立っている。</li> <li>・また、2016 年、大同特殊鋼と NIMS は Dy を含まない熱間圧延リング磁石で現状の Dy 添加磁石の 200°Cでの性能を上回る磁石を開発した。</li> <li>・希土類フリー磁石も盛んに開発されている</li> <li>・高飽和磁束密度で、かつ、低ロスの軟磁性材料として、牧野教授（東北大学）が超高鉄濃度ナノ結晶軟磁性合金を開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世界一多くの研究者を有し、論文数も他国を圧倒している。</li> <li>・研究水準も以前は低かったが、近年レベルを上げてきている。</li> <li>・ナノ結晶軟磁性材料の研究開発も行われており、米欧に比べて軟磁性材料の研究開発に積極的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DOE のエネルギー革新の拠点として CMI がネオジム磁石の性能向上、Dy フリー化および Fe-Ni-Mn-Al 系等の希土類フリー磁石の開発を実施している。</li> <li>・また、ARPA E REACT において Fe-Ni-Mn-Al 系等の希土類フリー磁石、セリウムを使用した新規磁石の開発も実施している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遷移金属を利用したレアアースフリー磁石、軽希土類のみからなる希土類磁石の開発等を行っている。</li> </ul>
	技術力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・焼結技術の優位性による磁石性能や、品質安定性、および粒界拡散法等の高性能化技術でややリードしているが、中国においても粒界拡散技術の導入が進んでおり技術力の差は急速に縮小しつつある。</li> <li>・電磁鋼板がモーター用軟磁性材料の主流で、日本製鉄と JFE スチールの 2 社が世界を主導</li> <li>・アモルファスナノ軟磁性材料が製品化されている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・焼結技術は年々進歩しており、品質安定性においても、自動車メーカーに採用され始めている。</li> <li>・また、粒界拡散法の導入も進めており着実に技術力を付けてきている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NEOMagnequench 社はネオジム磁石原料の大手メーカーであり、磁石メーカーへ磁石粉を供給している。</li> </ul>	-----
	コスト競争力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Nd, Dy はほぼ中国一國に頼っており、これらの価格高騰によりコストアップとなる。自動車用モーター等のハイエンド向け磁石以外の市場を奪われる状況が発生している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同一性能であれば日本製に比較して相当程度低価格で供給できる。</li> <li>・大量に磁石を使用する風力発電用途等においては、確実にシェアを上げている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Nd を産出する鉱山を有しており原料供給に関しては日本より有利か？</li> </ul>	-----
	生産量(能力)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内での Nd-Fe-B 磁石の生産量は 2017 年度で約 13,000 トン程度である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中国国内での Nd-Fe-B 磁石の生産量は 2017 年度で日本の約 5 倍と日本を大きく引き離している。また、生産能力も大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・焼結磁石を生産する企業は無い。</li> </ul>	-----

### 1.2.2 軟磁性材料の現状

次世代自動車には、駆動用モーターの鉄心などに軟磁性材料である電磁鋼板が使用されている。これらの軟磁性材料は、使用中に磁束が通ると損失（鉄損）が生じ、熱が発生する。鉄損はモーターの効率低下を伴うだけでなく、放熱部品や冷却装置追加による車両重量やコスト増加（＝航続距離およびコスト競争力の低下）の問題を発生するため、低損失な軟磁性材料の実用化が急務となっている。

軟磁性材料の各国の競合状況は、現在、電磁鋼板がモーター用軟磁性材料の主流であり、電力用変圧器や HEV 等のリアクトルにおいても我が国の日本製鉄と JFE スチールの 2 社が世界を主導している。最新の研究開発では、日本の東北大学が超高鉄濃度ナノ結晶軟磁性合金を開発しており、世界のトップレベルにあり、現在、実用化に向けた技術開発が進展中である。中国でもナノ結晶軟磁性材料の研究開発が活発に行われている（表 2 参照）。

### 1.2.3 高効率モーター開発の現状

表3に日米欧中における自動車用駆動モーターに関する研究開発状況と産業競争力に関する状況をまとめた。

表3 自動車用駆動モーターに関する各国状況

		現在の競合状況			
		日本	中国	米国	欧州
自動車用駆動モーター	研究開発	広範な動作領域での高効率化を目指し、モーターの回転数に応じて磁力(界磁)を制御する可変磁力方式モーターの研究が盛ん。また、REフリーのスイッチトリラクタンスモーター、リアクタンストルクモーター、アモルファス金属を採用したアキシシャルギャップモーターの開発も行われている。	中国では燃費規制、ZEV規制等により電動化が強力に推進されている。駆動用モーターはEVバス等の公共交通機関向けなども目標になると思われる。風力発電機における欧州からの技術導入のように、日欧米からの技術導入も選択肢の一つになると思われる。	DOEの支援のもとで、レアアースフリーのEV向け駆動モーターの研究開発が行われている。テスラ社等により実用化が進展している。	「Motor Brain」プロジェクトの中でREフリーのモーターをインバータ等と一体化の研究開発を行っている。
	技術力	小型・軽量で効率に優れる永久磁石式同期モーターの実用化で海外勢に先行している。周辺技術のインバータ制御、二次電池、ハイブリッド技術でも海外勢に先行している。	駆動用モーター市場は各社から各様の電動車の普及拡大計画が発表されている。3~5%の燃費改善にもつながるEPS(電動パワーステアリング)は先行する日欧に加えて中国でも普及が進むと予想されている。EPS向けモーター用の永久磁石市場に中国メーカーが強いので、今後は川下産業のEPSモーターへの参入も考えられる。	海外OEM含めテスラ社、GM当実用化され、将来の拡大計画も発表されている。	ZF社等は、トランスミッション一体モーターを開発。搭載モーターは磁石式、及び誘導モーターの双方。
	産業競争力	Dyは中国一國に頼っており、価格高騰によるコストアップが問題視されている。国内車メーカーはDy削減磁石搭載モーターの採用に積極的に取り組んでいる。	自国において産出する安価なレアアース(Dy,Nd等)を用いて、日本製に比較して相当程度に低価格なモーター製造のポテンシャルを持つ。	日本同様、レアアースの資源リスクあり。	技術優位性のあるトランスミッションと一体化したモーターで争うと思われる。
	生産量(能力)	2013年世界の次世代自動車向け駆動用モーター市場(約318万台)の90%はトップ5社で占めているが、いずれも日本企業であった。			

産業競争力において、日本は小型・軽量で効率に優れる永久磁石式同期モーター(IPMモーター)の実用化で海外勢に先行している。2013年には世界の自動車駆動用モーター市場(約318万台)の90%は日系トップ5社で占めていたが、中国での電動化の推進により中国メーカーも急速に追いついてきている。研究開発においては、日本では、広範な動作領域での高効率化を目指し、可変磁力方式モーターの研究が盛んに行われている。また、REフリー磁石やアモルファス軟磁性材料を用いた各種モーターの開発も行われている。インバータ化技術やシミュレーションによるモーター設計技術の研

究開発も他国をリードしている。米国では、2014年にGE Global Researchは米国政府DOEのARPA-Eプロジェクト支援で3タイプのモーター（省レアアース磁石モーター、脱レアアース（フェライト）磁石モーター、磁石を使用しないモーター）を試作・評価するところまで来ている。

### 1.3 今後のモーター及び磁石開発の方向性

本プロジェクトでは、磁石の高性能化への要求が厳しい次世代自動車向けをターゲットにした開発を設定した。次世代自動車向けに使用できる磁石が開発できると、家電用途や風力発電で高性能を要求される用途へも展開を図ることも可能である。

次世代自動車向けのネオジム磁石が抱える大きな課題として、耐熱性の向上が挙げられる。ネオジム、鉄、ボロンからなるネオジム磁石単体では使用温度の上昇により、保磁力低下によって最大エネルギー積が低下する。特に150℃以上の高温環境下では急激な性能低下により単体では使用できない程の劣化を生じる。

この温度上昇による劣化を改善するため、日本の大手磁石メーカーはジスプロシウム等の重希土類元素をネオジム磁石中に効率的に注入する粒界拡散法という画期的な技術開発に成功した（図9）。自動車の駆動モーターには、一般的にジスプロシウムを使用したネオジム磁石が使用されている。

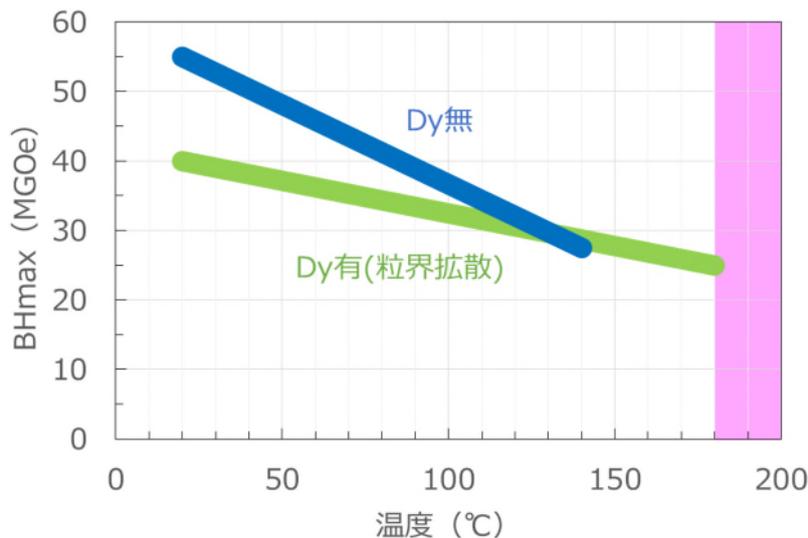


図9 ジスプロシウム添加による耐熱性の向上

しかしながら、ジスプロシウムについては、1.1.3 レアアース（希土類）でも述べたように、地政的に資源リスクが大きく、各社がジスプロシウムを削減した、あるいは使用しない磁石の開発にしのぎを削っている。大同特殊鋼株式会社では、熱間加工法により、一般的な焼結磁石の10分の1程度の微細な結晶粒組織とした重希土類フリーネオジム磁石を開発し、さらに、本田技研工業株式会社が駆動モーター開発を進めることで、重希土類元素を使用しない、ハイブリッド車用駆動モーターに適用可能な高耐熱性、高磁力を実現したネオジム磁石を実用化し、フリードに搭載している（2016年07月12日ニュースリリース）。今後予想されるxEVの急激な増加によるNd需要量の増大や駆動用モーターの小型化、高出力化の要求を鑑みた場合、DyのみならずNdをも削減した上で、耐熱性を向上させるような難易度の高い磁石開発が求められる。

## 1.4 目的と位置づけ

### 1.4.1 事業の目的

ネオジム磁石は日本で発明・実用化された史上最強の永久磁石であり、その性能の高さと優れた生産性により、各種モーター等を始めとする広範囲な用途に使用されている。また、エネルギー需給問題への対処という観点から、ネオジム磁石を使用した高効率モーターの重要性は高く、今後も世界的な需要が拡大していくと思われる。一方、ネオジム磁石には、特定国のみが産出するジスプロシウムやネオジム等の原材料が必要であり、資源リスクが極めて高いという課題がある。また、これまで日本は技術・生産の両面で世界をリードしてきたが、近年外国勢が着実に技術力を向上させ、また、コスト競争力と生産量では既に日本を凌駕しているため、日本の産業競争力が失われつつある。

これらの現状を踏まえ、本プロジェクトでは、高性能磁石と低損失な軟磁性体の材料技術とモーター設計技術を組み合わせて高効率なモーターを開発し、次世代自動車や家電・産業機器に適用し省エネを達成することを狙いとしている（図10）。本事業により広範囲に、他国には簡単に真似のできない技術を開発する事で、日本の産業競争力の更なる強化とともに経済の活性化を促進する事を目的としている。

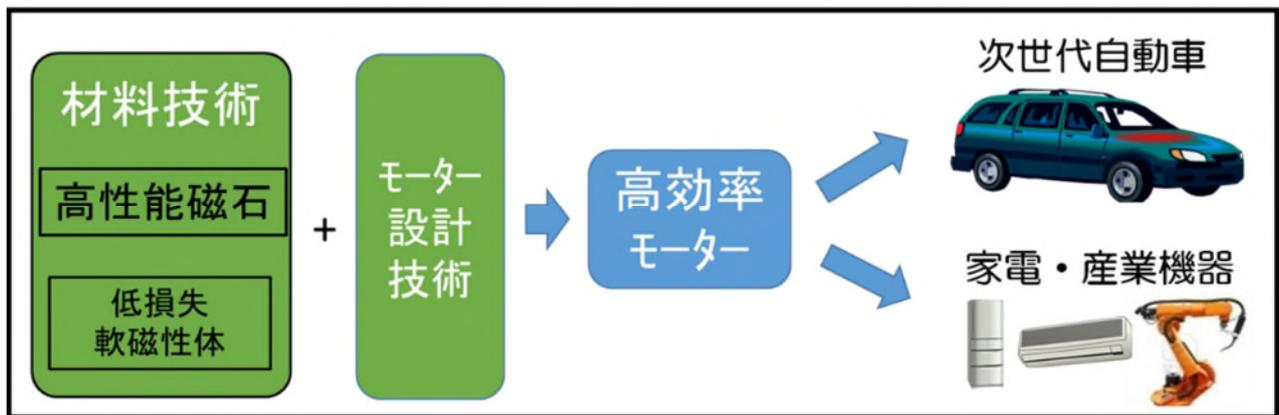


図10 本プロジェクトの目的

2014年にネオジム磁石の基本特許が切れ、周辺特許による優位性確保にも限界が見え、さらに、中国の安価なネオジム磁石が更に大量に製造・販売されることが想定されることから、今のままでは日本のメーカーの産業競争力に影響することが予想される。また、ネオジム磁石にはジスプロシウムを始めとするレアアースの資源リスクがある。ジスプロフリーのネオジム磁石、さらにはレアアースを使わない新磁石材料を開発することが、日本の産業競争力の強化にとって極めて重要である。

一方で、低炭素社会を実現するために、HEVやEVのようにモーターを使用する自動車の生産量がさらに増加することが予想されており、これらの自動車に使用しCO<sub>2</sub>削減に寄与するモーターの開発等本プロジェクトの成果が期待されている。

なお、ネオジム磁石の開発状況をまとめると、研究レベルでは日本がリードしており、NEDO等による技術開発プロジェクトで省ジスプロシウム焼結磁石の作製にも成功している。

図11にNEDOプロジェクト（2007～2011年）での研究成果をまとめる。粒径の微細化により、ジスプロシウムの添加なしで耐熱性150℃まで達成させることができた。従来、6%程度添加が必要で

あった材料のジスプロシウムフリー化が達成できた。しかし、次世代自動車向けに要求される 180℃以上の耐熱性については、更なるブレークスルーが必要である。

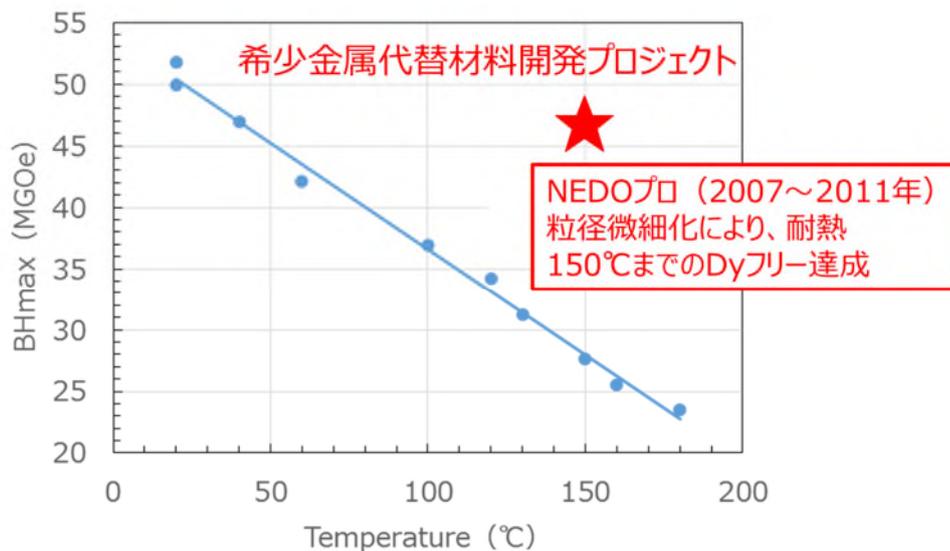


図 11 NEDOプロジェクト (2007~2011 年) での研究成果

※●のプロットは、不可逆減磁しない保磁力を 10kOe として日立金属カタログより導出

#### 1.4.2 政策的位置付け

我が国企業の研究開発投資は、近年縮小・低迷が続く、研究開発の「質」も短期的な利益に傾注しており、中長期的な研究開発は失われつつある。このまま、将来の成長の種となる研究開発が停滞すれば、我が国産業競争力の弱体化が懸念される。

世界で勝ち抜く製造業を復活し、戦略産業の育成・社会的課題の解決をするための技術開発を推進するために、基礎研究から実用化まで一貫通貫で推進する必要がある。このため、経済産業省では産業再興の基盤となる革新的な研究開発への集中投資を行い、研究開発の実施に当たっては、府省の枠を超えた連携と産学官の叡智を結集する「未来開拓研究」の枠組を活用し、効果的な推進体制を構築した。現在、「未来開拓研究」には、「革新的触媒」、「革新的バイオプロセス」、「光エレクトロニクス」、そして本プロジェクトである「高効率モーター」が選ばれて取り組んでいる (図 12)。

本プロジェクト「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」では、飛躍的な性能向上によるエネルギー・資源問題の解決を目指して、産業の川上から川下までが連携し、日本の産業競争力の強化を目指して取り組んでいる。



図12 未来開拓研究プロジェクト

また、科学技術基本法（平成7年法律第130号）第9条第1項の規定に基づき定められた平成28年度から5か年の第5期科学技術基本計画（2016年1月22日閣議決定）において、第3章 経済・社会的課題への対応、（1）持続的な成長と地域社会の自律的な発展、① エネルギー、資源、食料の安定的な確保、i）エネルギーの安定的な確保とエネルギー利用の効率化の中に、我が国のエネルギー源は化石燃料が中心であり、その大半を輸入に頼っていること、エネルギーの効率的な利用を図る必要があること、産業、民生（家庭、業務）及び運輸（車両、船舶、航空機）の各部門において、より一層の省エネルギー技術等の研究開発及び普及を図ることが謳われている。

さらに具体化された科学技術イノベーション総合戦略2017」においては、第3章 経済・社会的課題への対応、（1）持続的な成長と地域社会の自律的な発展、① エネルギー、資源、食料の安定的な確保、i）エネルギーバリューチェーンの最適化中に〔B〕重きを置くべき課題のうちのエネルギー共通技術における課題の一つとして、「次世代自動車用モーター等に適用される高性能磁石に用いる希少元素を削減若しくは代替する技術を開発する。」と記載されていることから、政策とも合致している。

## 2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDOが関与することの意義

前章で説明したように、資源セキュリティに係る国家的課題に対する開発であること、革新的高性能磁石の開発、さらには、その性能を最大限に生かした高効率モーター設計は難易度が高く開発リスクが非常に高いこと等の観点からNEDOが関与することの意義は大きい。

### 2.2 実施の効果（費用対効果）

（1）CO<sub>2</sub>排出量削減（CO<sub>2</sub>排出削減量 890 万トン／年，電力使用料削減額 3,700 億円／年）

次世代自動車用高性能モーターは、エアコンなどの家電製品、ならびに産業用ロボットなどの産業機器に波及拡大するため、国内電力消費量の約半分を占めるモーター全体の効率を上げることができる。モーター鉄損の低減およびジスプロシウムフリー磁石を用いた高効率モーターへのシフトを考慮した場合、2030年に年間約890万トンのCO<sub>2</sub>排出量削減が見込まれる。

上記年間CO<sub>2</sub>削減量を890万トンの約78%を占める産業機器用モーター（692万トン）に限っても、低損失化により、年間240億kWhの電力使用料削減に寄与し、金額ベースでは年間約3,700億円の削減になる。（0.28kg-CO<sub>2</sub>/kWh，15円/kWhとして算出）

（2）市場創出効果（①+② 合計1,100億円／年）

① 次世代自動車向け高効率モーター市場（高効率モーター搭載車90万台／年，金額換算500億円／年）

② 産業向け高効率モーター市場（600億円／年）

① ②の結果を両方合わせると、約1,100億円／年の高効率モーター市場創出が見込まれる。

（3）2022年の推算

（1）、（2）は2016年のテーマ見直しの際に検討された数値である。2022年の事業終了にとともに、効果を再計算した結果を表4に示す。事業終了時の状況を踏まえても、効果の規模として同等以上を期待できることが確認できた。費用対効果の見込みにおいて、本プロジェクトを狙い通りにマネジメントできたと考えることができる。

表4 費用対効果のまとめ

本プロジェクトの総費用	145 億円（予定）	144 億円（実績）
CO <sub>2</sub> 排出量削減	CO <sub>2</sub> 排出削減量 890 万トン／年	CO <sub>2</sub> 排出削減量 969 万トン／年
	電力使用料削減額 3,700 億円／年	電力使用料削減額 4,193 億円／年
市場創出効果	約 1,100 億円／年	約 1,121 億円／年

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

本研究開発では、大きく①新規高性能磁石の開発、②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発、③高効率モーターの開発、④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援および共通基盤技術の開発、を研究開発項目に掲げ、それぞれにテーマを設定し、目標値を定めている。図13にプロジェクト開始当初の目標を示す。

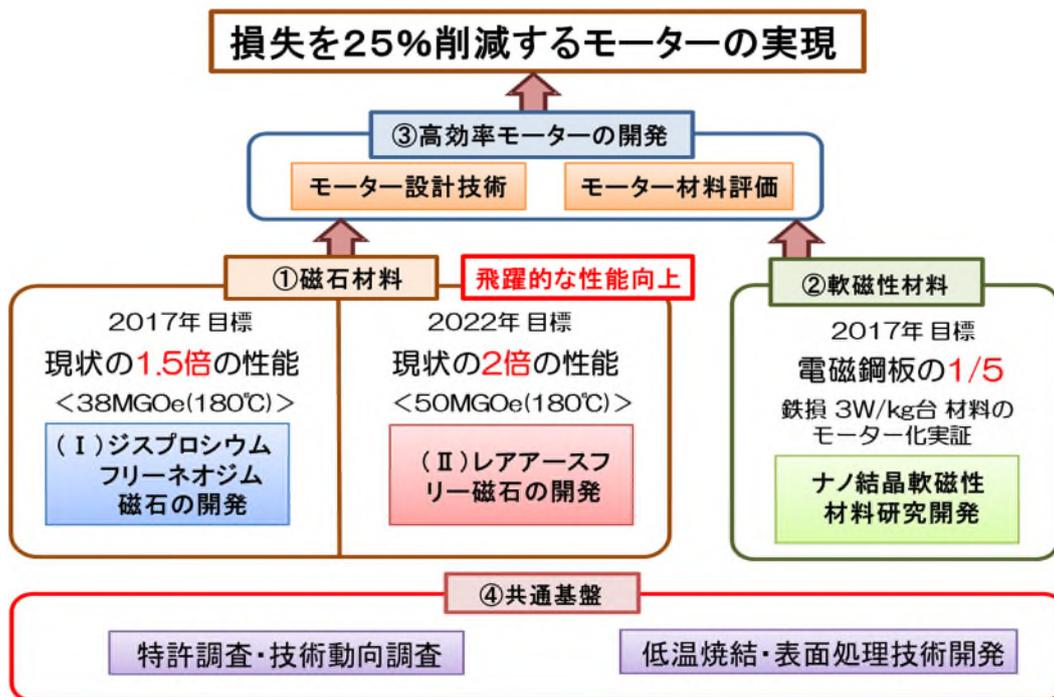


図13 本プロジェクトの目標（第一期）

2016年の第二回中間評価の評価結果を受け、「エネルギー損失を従来モーター（プリウス第三世代モーター）比25%削減する高効率モーターの実現を目指す。」から、損失の低減率を40%へ拡大した。さらに、自動車メーカー、モーターメーカーから選任しているモーターアドバイザーにヒアリングを実施することで小型化の目標も掲げることとし、参画会社と議論して数値目標として40%小型化（パワー密度40%向上）を自主的に追加した。これは、既存のネオジム磁石の最大エネルギー積(BH)maxを1とし、従来モーター出力密度を1とした場合に、プロジェクト目標である(BH)maxを2倍とすることにより実現可能な出力密度（小型化）である（図14）。両者を合わせ、プロジェクト目標を「従来モーター（プリウス第三世代モーター）比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度40%向上）を実現する磁性材料の開発を目指す。」へ変更した（図15）。

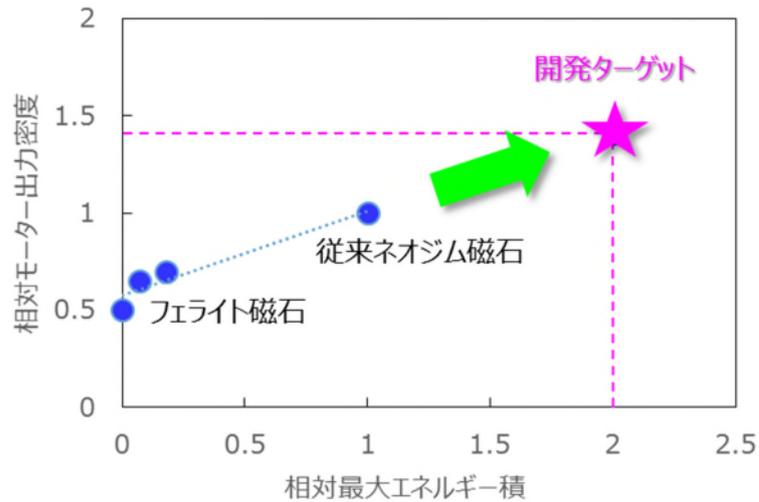


図 1 4 最大エネルギー積とモーター出力密度の関係

出典：パワーエレクトロニクス研究会論文誌、Vol. 24, No. 2(1999), 43. を基に作成

なお、2017 年度より、国内外の情勢変化を受け、予算が大幅に減額となった。そのため、2016 年度で終了予定であった研究開発項目①－（１）ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発、テーマ見直しを図る予定であった② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発は終了し、また、2015～2016 年度に研究開発項目④－（３）として実施した「新規高性能磁石材料の探索」において探索した新規高性能磁石材料に関する新規テーマの募集も取りやめた。また、モーターの実機開発も縮小し、代わって、磁性材料の評価・解析技術の開発、開発される磁石・開発された軟磁性材料の特性を生かすモーター設計技術（シミュレーション技術）の開発を④－（２）「基盤技術開発」に盛り込み、材料開発は新規高性能磁石開発に特化した。

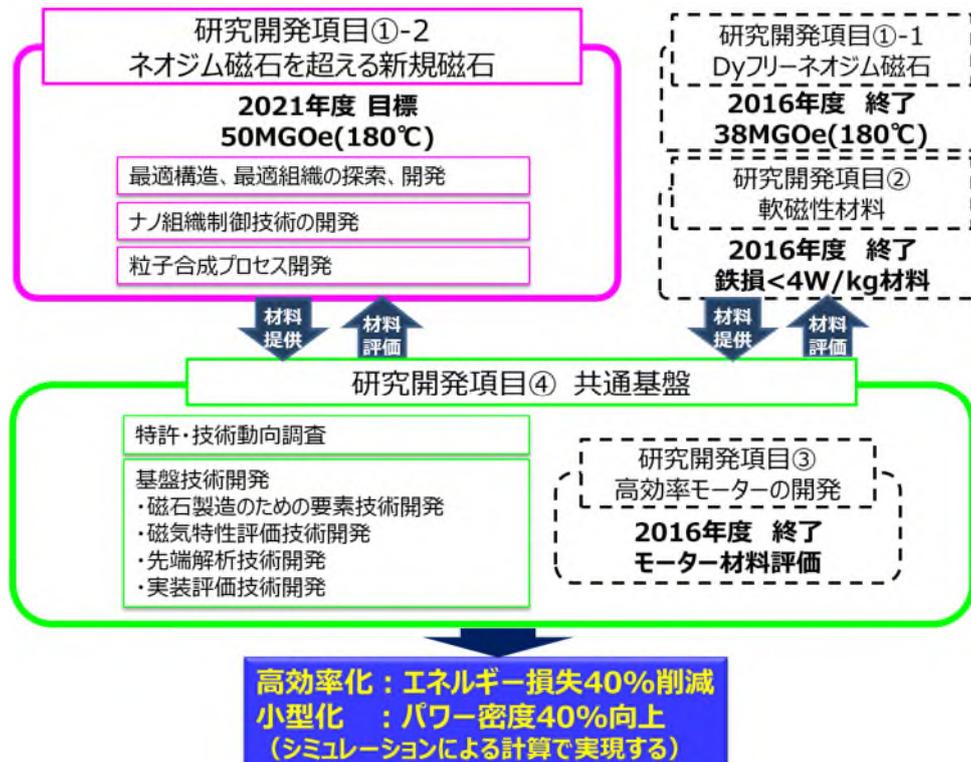


図 1 5 本プロジェクトの目標（第二期）

### 1.1 研究開発項目①新規高性能磁石の開発

本プロジェクトでは、次世代自動車向けに要求される耐熱温度 180°Cの条件下にて使用できる磁石を、まずジスプロシウムフリーで、従来の 1.5 倍の磁気特性を示すものを開発し、さらに 2 倍の特性を示すものを開発することを目指す（図 1 6）。

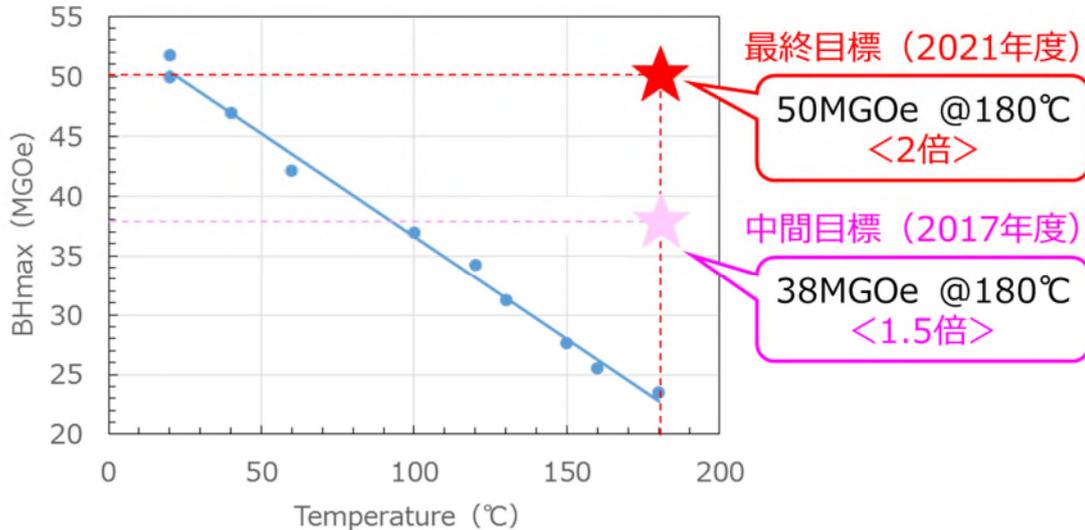


図 1 6 新規高性能磁石の開発

※●のプロットは、不可逆減磁しない保磁力を 10kOe として日立金属カタログより導出

#### (I) ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

##### 【中間目標 (2014 年度末)】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 1.25 倍の最大エネルギー積「180°Cにおいて 32MGOe」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確認する。また、以下の各項目について要素技術を確認する。

- ・高配向性微結晶からなる原料合金製造技術
- ・高異方性ナノ結晶粒を有する磁石粉末製造技術
- ・最適粒界形成技術
- ・結晶粒の肥大化を抑制できる焼結固化技術

##### 【最終目標 (2016 年度末)】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 1.5 倍の最大エネルギー積「180°Cにおいて 38MGOe」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確認する。

#### (II) ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

本プロジェクトの第二期では、予算が大幅に減額され、2 テーマを終了させた。一方で第一期においては、レアアース(希土類)フリー磁石のみを対象としていたが、第一回中間評価の評価結果を受け、また国内外の情勢変化もあり、省レアアース(Dy, Nd)磁石にも対象を広げて1テーマを追加した。

##### 【中間目標 (2014 年度末)】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 2 倍の最大エネルギー積「180°Cにおいて 50MGOe」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群を探索し、その可能性を示す。

#### 【中間目標（2016年度末）】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180°Cにおいて50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群の探索・可能性検討結果より、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。ただし、磁石使用温度に関しては、「③高効率モーターの開発」の解析・評価結果を反映させる。

#### 【中間目標（2019年度末）】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180°Cにおいて50MG0e」を持つ磁石を実現するために関連する要素技術を開発する。ただし、「180°Cにおいて保磁力が7k0e」を持つ磁石の見通しを得ることを具体的指標とする。

#### 【最終目標（2021年度末）】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180°Cにおいて50MG0e」を持つ磁石を開発する。また、従来磁石の性能を維持しつつ希土類元素（産出量が多く資源リスクの少ない、ランタンおよびセリウムを除く）を50%以上削減した磁石を開発する。開発した磁石材料を試作モーターに実装し損失低減と小型化（パワー密度向上）の検証を行う。

### 1.2 研究開発項目②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

本プロジェクトでは、ナノ結晶軟磁性合金をもとに、低損失で高磁化（高Bs）の特性を有する材料を量産できるプロセス技術と複雑形状への成形技術（粉末成形や鑄造成形技術）を開発することを目指して取り組んでいる。

#### 【中間目標（2014年度末）】

磁気特性が「Bs1.6T以上」「400Hz・1Tにおける損失3W/kg台」を両立する「Fe基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確認する見通しを得る。また、モーターとしての省エネ化を検証する。また、以下の各項目について要素技術を確認する。

- ・超急冷粉末アトマイズ技術，粉末熱処理技術
- ・薄帯積層技術，ナノ結晶素材バルクコア熱処理技術

#### 【最終目標（2016年度末）】

磁気特性が「Bs1.6T以上」「400Hz・1Tにおける損失3W/kg台」を両立する「Fe基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確認する。また、モーターを試作することにより省エネ化を実証する。

### 1.3 研究開発項目③高効率モーターの開発

本プロジェクトにおいては、図20に示すように、モーター用磁石と軟磁性材料の機能改善、モーター設計技術の開発、インバータ制御技術の開発を行うことによって損失を25%削減するモーターを実現することを目指している。

#### 【中間目標（2014年度末）】

エネルギー損失を従来モーター比25%削減する高効率モーター設計に関する課題の抽出および基本設計指針を示す。また以下の各項目について要素技術を確認する。

- ・高低温減磁試験評価技術
- ・超高精度モーター損失分析評価技術

#### 【中間目標（2016年度末）】

高効率モーターの試作・評価を行い従来モーター比でエネルギー損失を 25%削減する高効率モーター実現の見通しを得る。また以下の各項目について要素技術を確立する。

- ・ 3次元磁石減磁評価試験技術
- ・ インバータとモーターのトータルでの低損失化設計手法技術

#### 1.4 研究開発項目④特許・技術動向調査，事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発 【中間目標（2014年度末）】

##### （1）「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

磁石材料，軟磁性材料，モーター設計に関する先行特許調査・技術動向調査を行い，各事業者の

①～③の磁性材料・モーター設計の開発方針の策定に反映させる。

##### （2）「共通基盤技術の開発」

本研究のそれぞれのテーマにて開発する新規磁性粒子・粉末について材料の焼結性を高めるための，材料毎に応じた表面処理技術を開発する。

#### 【中間目標（2016年度末）】

##### （1）特許・技術動向調査・特許戦略策定支援

「①（Ⅰ）ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

（Ⅱ）ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発」

「②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発」

「③高効率モーターの開発」

の成果を事業化するための各事業者の特許戦略策定を支援する。

##### （2）共通基盤技術の開発

各テーマの材料開発に寄与できる基盤的な技術開発や，磁性材料のバルク化，また分析・評価・解析及び保磁力機構の解明などを行う。さらに標準化も視野にいれた特性評価を行う。

##### （3）新規高性能磁石材料の探索

現在のテーマに挙がっていない新規高性能磁石材料の探索・可能性の検討を行い，基本材料設計の指針を示す。

#### 【中間目標（2019年度末）】

##### （1）特許・技術動向調査・特許戦略策定支援

磁性材料に関する情報センター構築に向けたコンテンツの整備を完了する。

##### （2）共通基盤技術の開発

- ・ 磁石製造の配向制御、組織制御の技術開発に目処を付ける。
- ・ 磁気特性予測システムの構築に目処を付ける。
- ・ 高保磁力に対応した磁気特性評価技術を開発する。
- ・ 高負荷環境下での磁性材料評価・解析技術を開発する。

#### 【最終目標（2021年度末）】

##### （1）特許・技術動向調査・特許戦略策定支援

磁性材料に関する情報センターを構築する。

##### （2）共通基盤技術の開発

- ・ 磁石製造の配向制御、組織制御技術を開発する。

- ・磁気特性予測システムを開発する。
- ・高速・高精度な磁気特性評価技術を開発する。
- ・モーターの解析及び試作等を通じて、モーター実装を想定した評価技術(シミュレーション)を開発し、モーター及び新規磁石の有効性を明らかにする。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### 2.1.1 全体計画

プロジェクト開始当初、新磁石の開発については、5年間で取り組むジスプロシウムフリーのネオジム磁石開発と10年間で取り組むレアアース(希土類)フリー磁石のテーマを設定していた。軟磁性材料の開発は5年間で取り組み、第2期では新規テーマを組み入れることを計画していた。また、高効率モーターの開発、並びに特許・技術動向調査、共通基盤技術開発は10年間で取り組み、10年間取り組むテーマについては、5年目の第1期終了時点で、テーマ継続の要否、新規テーマの組み込みの要否を判断し見直しを実施するよう設定していた。

第一回、第二回中間評価結果 2017年度よりの予算の大幅な減額を受け、改編した本プロジェクトの全体計画を図17に示す。

		第1期					第2期				
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
		← METI執行 →			→ NEDO移管						
① 新規高性能磁石開発	①-1 ジスプロシウムフリーネオジム磁石の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発</li> <li>・NdFeB異方性HDDR磁石粉末開発</li> </ul>					性能1.5倍 目標をほぼ達成し、自社にて更なる特性向上と実用化検討を行い、2021年に事業化(車への搭載等)を目指している。				
	①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・窒化鉄ナノ粒子バルク体化技術の研究開発</li> <li>・ナノ複相組織制御磁石の研究開発</li> <li>・FeNi超格子磁石材料の研究開発</li> </ul>					性能2倍 見直し テーマ <ul style="list-style-type: none"> <li>・最適構造・最適組織の探索</li> <li>・ナノ組織制御技術開発</li> <li>・粒子合成プロセス開発</li> </ul>				
② 軟磁性材料研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高Bsナノ結晶軟磁性材料の開発</li> </ul>					鉄損1/5 見直し テーマ 目標を達成し、自社にて事業化開発を継続するとともにNEDO戦略的省エネ革新技术助成事業にて車載用リアクトルの分野でまず事業化を図っている。					
③ 高効率モーターの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁石減磁評価試験技術の研究開発</li> <li>・新磁性材料のモーターへの適用技術の研究開発</li> <li>・可変磁力モーターの普遍的設計技術の開発</li> <li>・インバーターとモーターのトータルでの低損失化設計技術研究</li> </ul>					見直し テーマ 超高精度モータ損失分析装置を世界で初めて開発し、新形式のモーターも提案した。また、第一期で開発した材料を用いたモーターを試作した。 第2期は、評価技術のみ基盤技術に組み込み。					
④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定および共通基盤技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特許調査・技術動向調査</li> <li>・共通基盤技術の開発</li> </ul>					見直し テーマ <ul style="list-style-type: none"> <li>・特許・技術動向調査・特許戦略策定支援</li> <li>・磁石製造の要素技術開発、磁気特性評価技術開発、先端解析技術開発</li> <li>・モーター実装環境下での磁性材料評価・解析技術</li> <li>・新規磁石および共通基盤技術のモーター実装評価</li> </ul>					
		★ 中間評価					★ 中間評価				

図17 プロジェクトの全体計画

#### 2.1.2 第一期(2012年度～2016年度)における各研究開発項目の研究計画内容

##### 2.1.2.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

###### (I) ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

###### (1) 「ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発」

**(担当：インターメタリックス株式会社－共同実施先：東北大学、物質・材料研究機構<2015～2016年度>)**

ネオジム磁石は、Dy を添加すると耐熱性が向上する一方で、最大エネルギー積が低下する。したがって、高い耐熱性を保持したまま Dy の添加量を減らすことができれば、磁石の性能は大幅に向上する。これまでに、粉末をミクロンサイズまで微細化することで、Dy 添加量を減らして高い耐熱性を保持できることが明らかにされている。そこで、原料粉末をさらにナノサイズまで微細にする技術の開発及び新たな粉末の組織制御技術を開発し、高性能ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石の製造に関する基盤技術を開発する。

## **(2) 「Dy フリー高 Br・高保磁力を有する NdFeB 異方性 HDDR 磁石開発」**

**(担当：愛知製鋼株式会社－共同実施先：東北大学、九州工業大<2016年度>)**

Nd-Fe-B 相に水素を吸収させると、Nd 水素化物、Fe<sub>2</sub>B 相、Fe 相に分離し、次に水素を脱離させると Nd-Fe-B 相が再結晶化し、約 300nm のナノ結晶となることが知られている。この技術は HDDR (Hydrogenation(水素化) Disproportionation(不均化) Desorption(脱水素化) Recombination(再結合)) 技術と呼ばれているが、現時点では HDDR を行うとナノ結晶粒の配向性が約 80% (C 軸から約 20° の傾き) となり、完全に揃うことが無く、異方性高性能磁石粉末を製造することが出来ない。そこで、ナノ結晶粒の配向性を 100% 近くまで向上させる技術を開発する。また、最適な粒界相 (幅数 nm) を形成させる技術 (粒界拡散法等) を開発し、さらに、その粉末の特性を落とすことなく高密度固化する技術を開発することで高 Br・高保磁力を有する NdFeB 磁石を実現する。

## **(Ⅱ) ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発**

### **(1) 「窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発」**

**(担当：株式会社 T&T イノベーションズ－共同実施先：広島大学、住友電気工業株式会社<2012～2014年度>、東北大学<2012～2014年度>、秋田大学<2012～2014年度>、京都大学<2012～2014年度>、広島大学<2012～2014年度>、倉敷芸術科学大学<2012～2014年度>)**

現存磁性材料で最高の飽和磁化を有し、Nd 系永久磁石代替材料として期待される窒化鉄ナノ磁性粒子の単相分離・生成が見出された。ただナノサイズの磁性粒子をバルク体として加工する技術は世界に存在せず、今後の技術課題克服が必須となる。即ち、現在得られる窒化鉄ナノ磁性粒子を用いて、ナノ磁性粉末の分散及び非磁性層被覆、高密度化、磁氣的な高い配向性・異方性の発現のための技術研究開発を行う。

### **(2) 「ナノ複相組織制御磁石の研究開発」**

**(担当：トヨタ自動車株式会社－共同実施先：京都大学、東北学院大学、東北大学、静岡理工科大学、高エネルギー加速器研究機構、物質・材料研究機構)**

ナノ複相組織制御磁石として代表的な異方性ナノコンポジット磁石は、高保磁力を有する硬磁性相と高残留磁化を有する軟磁性相を数 nm レベルにて複合化し、配向させることにより、室温にて最大エネルギー積 88MJ/m<sup>3</sup> を有する磁石が実現可能と予測されている。実際に薄膜磁石による実験から、その可能性は見出されているが、nm オーダーでの複合組織制御は非常に技術難易度が高く、現行の焼結磁石を超える性能を有するナノコンポジット磁石は実験室レベルにおいても実現されていない。そこ

で高保磁力磁石と高残留磁化材料をナノレベルでコンポジット化し、配向させる技術を開発し、異方性ナノコンポジット磁石の可能性を検討する。更に、最適な軟磁性材料及び磁石材料を探索する。これらを通じ確立した組織制御技術を用い、ナノコンポジットのみならず広範なナノ複相組織制御技術及び、それを用いた磁石材料の創製を試みる。

### (3) 「FeNi 超格子磁石材料の研究開発」

(担当：株式会社デンソー共同実施先：東北大学，同志社大学<2015～2016 年度>，筑波大学<2015～2016 年度，高エネルギー加速器研究機構<2016 年度>)

L1<sub>0</sub> 型 FeNi 規則合金（以下 FeNi 超格子）は鉄隕石の粒界に存在し、通常の不規則 FeNi 合金の 1,000 倍程度の保磁力を有することが知られている。従来、FeNi 超格子は薄膜形成や巨大歪を導入する等の方法より作製されているが、バルク材を工業的に大量に作製する技術は見出されていない。そこで、FeNi 超格子粉末の新規な合成プロセスを開発して、目標値を満たす成形磁石、及びモーターへの適用を実現させる。

## 2.1.2.2 研究開発項目② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

### 「高 Bs ナノ結晶軟磁性材料の開発」

(担当：NEC トーキン株式会社，JFE スチール株式会社共同実施先：JFE 精密株式会社<2015～2016 年度>)

近年、高 Fe 組成のアモルファス薄帯を最適条件にて熱処理し、アモルファス相の中に 10nm 程度の鉄の結晶を大量に析出させることにより、従来の軟磁性材料の限界線（高飽和磁化<Bs>と低鉄損の相反関係）を超える“高 Bs Fe 基ナノ結晶磁性材料”が見出された。本材料は、これまでに無い高効率で小型なモーターの創出を可能とする画期的な材料である。

しかし、この優れた特性を実現するためには、高 Fe 組成の金属を薄帯化あるいは粉化する際に超急冷することでアモルファス化し、さらに急加熱することでナノ結晶化する必要がある（本開発に先立って、東北大学及び NEC トーキン株式会社において高 Bs 薄帯の製造技術「超急冷薄帯製造技術」を開発）。本研究では、もう一つの材料形態である「超急冷却粉末の製造技術（粉化技術）」及び、これを用いた「バルクコア製造技術」を開発する。さらに、2 種の超急冷却材料（薄帯及び粉末）で作製したバルクコアを対象に「Fe 基ナノ結晶磁性材料の熱処理プロセス開発」を行い、目標の磁気特性達成を目指す。

本テーマでは上記軟磁性材料の開発を進めると共に粉末に関わる分析・評価・解析などを「磁性材料研究開発センター」にて行う。とりわけ、モーター高出力化に関わる「粉末バルクコアの高密度成形技術」及び「結晶構造制御技術」、さらに、磁気損失低減に有効な「粉末粒子表面への修飾（絶縁処理）技術」について磁性材料研究開発センターと共同で開発する。

## 2.1.2.3 研究開発項目③ 高効率モーターの開発

### 「次世代モーター・磁性特性評価技術開発」

(モーター・磁性材料技術開発センター：担当：ダイキン工業株式会社共同実施先：大阪府立大学、名古屋工業大学、豊田工業大学<2015～2016 年度>)

担当：三菱電機株式会社共同実施先：同志社大学、九州工業大学)

ネオジム磁石を使用した永久磁石使用モーター（IPM モーター等）は、従来のモーターと比較すると大幅に高効率化されてきている。その為、現行のモーター試験装置では精度の高い損失分析が不可能となってきている。さらに、モーターに組み込まれた磁石の3次元減磁特性試験装置や応力を考慮した材料の物性評価等、これまで存在していなかった評価手法の確立が必要不可欠となっている。そこで、これら評価試験装置等の開発と評価技術の構築を行う。さらに、これら評価技術を活用しながら、自動車主機用モーター（汎用モーターへの展開も考慮）において、既存・新規磁性材料を用いて、産業競争力がある小型、低損失モーターを開発するための構造設計技術、及びそのモーターを低損失にて駆動できるインバータ制御技術を調査し、その性能・信頼性評価手法を確立し、高効率モーターの研究開発に繋げる。これらの開発はモーター・磁性材料技術開発センターで実施すると共に、モーターアドバイザーとして自動車メーカーや電機メーカーを招き、モーターや磁性材料に対する意見交換を行い、より良い材料開発につなげる。さらに、磁性材料研究開発センターと連携をとり、モーター組込磁性材料の特性評価について最適な評価方法を開発する。

#### 2.1.2.4 研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

##### （Ⅰ）「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

（技術調査センター：担当：一般財団法人金属系材料研究開発センター―再委託 大分大学<2012～2014年度>）

ネオジム磁石に関する米国基本特許が2014年7月に切れるにあたり、周辺特許に関するライセンス構造が変化するのではという予測がある。そのようなことから磁性材料からモーターである最終製品までを巻き込んだ特許戦略の議論が必要となっている。そこで、磁性材料開発・モーター設計に関する技術革新の状況、技術競争力の状況と今後の展望についての検討の一助となる特許調査・技術動向調査を行う。

##### （Ⅱ）「共通基盤技術の開発」

（磁性材料研究開発センター：担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所・中部センター―共同実施先：東北大学、名古屋大学、ファイナセラミックスセンター、大阪大学<2015～2016年度>、京都大学<2015～2016年度>、広島大学<2015～2016年度>、東京工業大<2015～2016年度>、倉敷芸術科学大学<2015～2016年度>、秋田大学<2015～2016年度>、高エネルギー加速器研究機構<2016年度>、物質・材料研究機構<2016年度>）

各テーマはそれぞれの企業に分室を置いて開発を進め、各テーマで共通する基盤的な技術開発や材料開発、分析・評価・解析などを磁性材料研究開発センターにて行う。磁性材料研究開発センターでは、難焼結粉末の高密度焼結を行い高性能磁性材料開発に寄与し、また、焼結性を高めるとともに、保磁力を高めることができるような、結晶構造制御技術、粉末合成技術、粉末への表面修飾技術を開発する。さらに、磁性材料の各種特性計測、分析、評価を行い、統一的な評価基準を明らかにする。また、保磁力機構の解明などそれぞれの磁性材料について基礎的な検討も加える。

（Ⅲ）「新規高性能磁石材料の探索」（2015年度～2016年度）（先導研究委託先：産業技術総合研

研究所、東北大学、長崎大学、岐阜工業高等専門学校)

現在のテーマに挙がっていない新規高性能磁石材料の探索・可能性の検討を行い、基本材料の指針を示す。プロジェクト内における先導研究として実施する。

### 2.1.3 第二期(2017年度～2018年度)における各研究開発項目の研究計画内容

2017年度より、テーマの改編、見直しを行った。第二期における各研究開発項目の研究開発内容を以下に示す。

#### 2.1.3.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

##### (Ⅱ) ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

##### (2) 「ナノ複相組織制御磁石の研究開発」

(担当：トヨタ自動車株式会社—共同実施先：静岡理科大学、高エネルギー加速器研究機構、物質・材料研究機構<2017～2018年度>)

第一期までの調査した結果を基に、50MG0e@180°Cを達成しうる磁石の開発に具体的に取り組む。

新規物質として、粒界相との複相化により、NdFe<sub>(12-x)</sub>Ti<sub>x</sub>N<sub>y</sub> 磁石の材料開発に本格的に着手する。新規物質である REFe<sub>(12-x)</sub>Ti<sub>x</sub>N<sub>y</sub> 相(RE: (RE: 希土類元素 [Nd, Sm 等], TM: 遷移金属) 磁石相の組成と物性値の関係を調査し、磁石相としてのポテンシャルを明らかにする。続いて、結晶粒界の改質、及び、微細化について実験検証し、低融点合金を活用した界面制御に取り組み、保磁力、残留磁化の発現を狙う。

さらに、ナノ複相組織制御磁石の中で、セリウム (Ce) , ランタン (La) といった資源リスクの低い軽希土類を活用した高性能磁石の検討を開始する。軽希土類活用を含むナノ複相組織制御磁石高特性化のため実現可能なプロセスを検討する。

加えて、一般にネオジム磁石と呼称される Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 系磁石の物性値最大化の手法の確立を目指す。

また、磁気物性の起源解明、保磁力発現機構解明など研究開発の基盤となる原理検証についても引き続き実施する。

##### (3) 「FeNi 超格子磁石材料の研究開発

(担当：株式会社デンソー—共同実施先：東北大学、同志社大学、筑波大学、高エネルギー加速器研究機構、日亜化学工業株式会社<2017～2018年度>)

L1<sub>0</sub> 型 FeNi 規則合金 (以下 FeNi 超格子) は鉄隕石の粒界に存在し、通常の不規則 FeNi 合金の 1,000 倍程度の保磁力を有することが知られている。従来、FeNi 超格子は薄膜形成や巨大歪を導入する等の方法より作製されているが、バルク材にするために必要な磁粉を工業的に大量に作製する技術は見出されていない。そこで、FeNi 超格子粉末の新規な合成プロセスを開発して、目標値を満たす成形磁石、及びモーターへの適用を実現させる。

### 2.1.3.2 研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

#### (Ⅰ) 「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

(担当：一般財団法人金属系材料研究開発センター)

ネオジム磁石に関する米国基本特許が 2014 年 7 月に切れるにあたり、周辺特許に関するライセンス構造が変化するのではという予測がある。そのようなことから磁性材料からモーターである

最終製品までを巻き込んだ特許戦略の議論が必要となっている。そこで、磁性材料開発・モーター設計に関する技術革新の状況、技術競争力の状況と今後の展望についての検討の一助となる特許調査・技術動向調査を行う。

## (II) 「共通基盤技術の開発」

(担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所・中部センター共同実施先：東北大学、名古屋大学<2017年度>、高エネルギー加速器研究機構、物質・材料研究機構、静岡理工科大学、東英工業株式会社、長岡技術科学大学<2018~2019年度>

ダイキン工業株式会社共同実施先：大阪府立大学、名古屋工業大学、愛知製鋼株式会社

三菱電機株式会社共同実施先：同志社大学、九州工業大学

株式会社明電舎共同実施先：北海道大学)

磁石製造に関わる要素技術の構築を行う。具体的には、粒子の破壊挙動、粒子の磁場配向挙動等の磁性粉末合成、磁石合成時の挙動について、シミュレーション技術を構築し、予測結果を実験によって検証することによってシミュレーションの高精度化を図る。また、磁石製造時の急冷溶融凝固プロセスにおけるプロセス条件と組織・構造を明らかにする。

また、高速・高精度に高保磁力磁石を測定できる手法の開発を実施し、国際標準化を図る。

さらに、磁気特性予測システムを構築する。

「研究開発項目③ 高効率モーターの開発」において実施した、低損失モーターを開発するための構造設計技術、及びそのモーターを低損失にて駆動できるインバータ制御技術の調査、その性能・信頼性評価手法およびモーター組込磁性材料の特性評価方法について引き続き検討を実施し、さらにモーターの各種損失の分離・評価に関する調査を行い、モーター設計における高精度のシミュレーション技術の構築を本研究開発項目内にて実施する。

モーターに実装した磁石材料の減磁に関する評価・解析技術を確立する。また、これまでに開発した磁気特性測定技術を用いて、応力及び高温の複合環境下におけるプロジェクト内の開発磁石及び既存磁石について、磁気特性評価と磁区変化を検証し、結晶状態の分析評価を行うとともに、減磁メカニズムを解明する。さらに、モーター実使用時を想定した高温及び応力印加下における永久磁石の損失評価・解析方法の高精度化を図り、磁石の損失を定量化し、新材料のモーター適用に向けた磁性材料のデータを収集する。

新規磁石材料を適用したときのモーター損失を把握するため、磁石の磁気特性や減磁分布の他材料、モーターの損失に与える影響についての分析を行う。低損失モーター駆動し得るインバータ制御技術を確立する。

新規磁石材料の実装によるモーター高効率化を実現するため、モーターの構造や運転条件に起因した損失増加要因を含むモーターの各種損失を分離・評価し、シミュレーションヘフィードバックするとともに、新規磁石材料への目標値を提示する。

新規磁石材料を用いたときの解析による性能評価を実施し、IPM モーター及び新機軸のモーターにおける新規磁石材料の性能を生かした構造設計を実施する。

モーターアドバイザーとして自動車メーカーや電機メーカーを招き、モーターや磁性材料に対する意見交換を行い、より良い材料開発につなげる活動を、第一期に引き続き実施する。

#### 2.1.4 第二期（2019年度～2021年度）基本計画における各研究開発項目の変更点

2017年度のテーマ改編で定めた基本計画を維持して研究開発が遂行されてきた。2021年の最終年度において2つの計画修正が行われた。

1つ目の修正点は、研究開発項目①-(Ⅱ)の磁石性能最終目標「現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ磁石を開発する。」に対して、「従来磁石の性能を維持しつつ希土類元素（産出量が多く資源リスクの少ない、ランタンおよびセリウムを除く）を50%以上削減した磁石を開発する。開発した磁石材料を試作モーターに実装し損失低減と小型化の検証を行う。」（1.1節記載）に目標追加したものである。これは、資源リスク対応がプロジェクト目標に含まれていたことに付随し、有識者の意見と、世情を踏まえて、開発成果の技術的意義の明確化と成果普及の促進を意図して修正した。

また2つ目の修正点は、研究開発項目④のモーター設計評価シミュレーションについて、シミュレーションによる技術開発に留まらず、実機による効果検証を加速すべく、最終目標「モーター実装を想定した評価技術（シミュレーション）を開発する」を、「モーターの解析及び試作等を通じて、モーター実装を想定した評価技術（シミュレーション）を開発し、モーター及び新規磁石の有効性を明らかにする」（1.4節記載）に目標追加したものである。

以下のような共同研究先の変更が行われた。該当する共同研究先には、その実施期間を記載する。

##### 2.1.4.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

(Ⅱ) ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

(2) 「ナノ複相組織制御磁石の研究開発」

(担当：トヨタ自動車株式会社－共同実施先：静岡理科大学<2017～2019年度>、高エネルギー加速器研究機構、大同特殊鋼株式会社<2020～2021年度>)

(3) 「FeNi 超格子磁石材料の研究開発」

(担当：株式会社デンソー－共同実施先：東北大学、同志社大学、筑波大学、高エネルギー加速器研究機構、日亜化学工業株式会社<2017～2018、2020～2021年度>)

##### 2.1.4.2 研究開発項目④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

(1) 「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

(担当：一般財団法人金属系材料研究開発センター)

(2) 「共通基盤技術の開発」

(担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所・中部センター－共同実施先：東北大学、高エネルギー加速器研究機構<2016～2020年度>、物質・材料研究機構<2016～2020年度>、静岡理科大学、東英工業株式会社、長岡技術科学大学<2018～2021年度>

ダイキン工業株式会社－共同実施先：大阪府立大学、名古屋工業大学、愛知製鋼株式会社

三菱電機株式会社－共同実施先：同志社大学、九州工業大学

株式会社明電舎－共同実施先：北海道大学<2018～2019年度>、岡山大学<2020～2021年度>)

## 2.1.5 研究開発費

本プロジェクトにおける費用の実績を図18に示す。

研究開発項目		第一期					第二期					合計
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
		←METI→		→NEDO								
① 新規高性能磁石の開発	①-1 ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発	386	503	588	398	296	-	-	-	-	-	2,171
	①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発	636	1,092	1,176	618	608	212	237	190	181	191	5,142
②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発		220	415	325	436	217	-	-	-	-	-	1,614
③高効率モーターの開発		212	444	365	313	345	-	-	-	-	-	1,679
④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発	④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援	54	100	107	91	94	12	21	23	19	28	549
	④-2 共通基盤技術の開発	312	374	412	503	521	155	249	238	304	148	3,215
合計		1,820	2,928	2,972	2,360	2,080	379	508	451	504	367	14,370

(単位：百万円)

図18 プロジェクトの費用

## 2.2. 研究開発の実施体制

NEDOへ移管当初の研究開発の実施体制を図19に示す。本研究開発の実施にあたっては、民間企業9社、国立研究開発法人1社、一般財団法人1社で構成される「高性能モーター用磁性材料技術研究組合（MagHEM）」を設立し、その中に、材料を開発する磁性材料研究開発センター、モーター設計ならびに磁気特性評価・モーター特性評価を行うモーター・磁性材料技術開発センターの2つの研究センターを構成して、新規磁性材料からモーターまで一体となって開発に取り組む。これと共に、技術調査センターを設け、磁性材料ならびにモーターの知財調査・技術動向調査を行い、これらを総合して本研究開発を進めることとする。研究開発の責任者（プロジェクトリーダー）を置き、プロジェクト全体の研究開発を俯瞰し、各センター長がそれぞれのテーマを責任もって進める体制としている。また、研究開発をスムーズに進めるために、技術研究組合に専務理事を置き、技術研究組合の事務的な運営を行う。

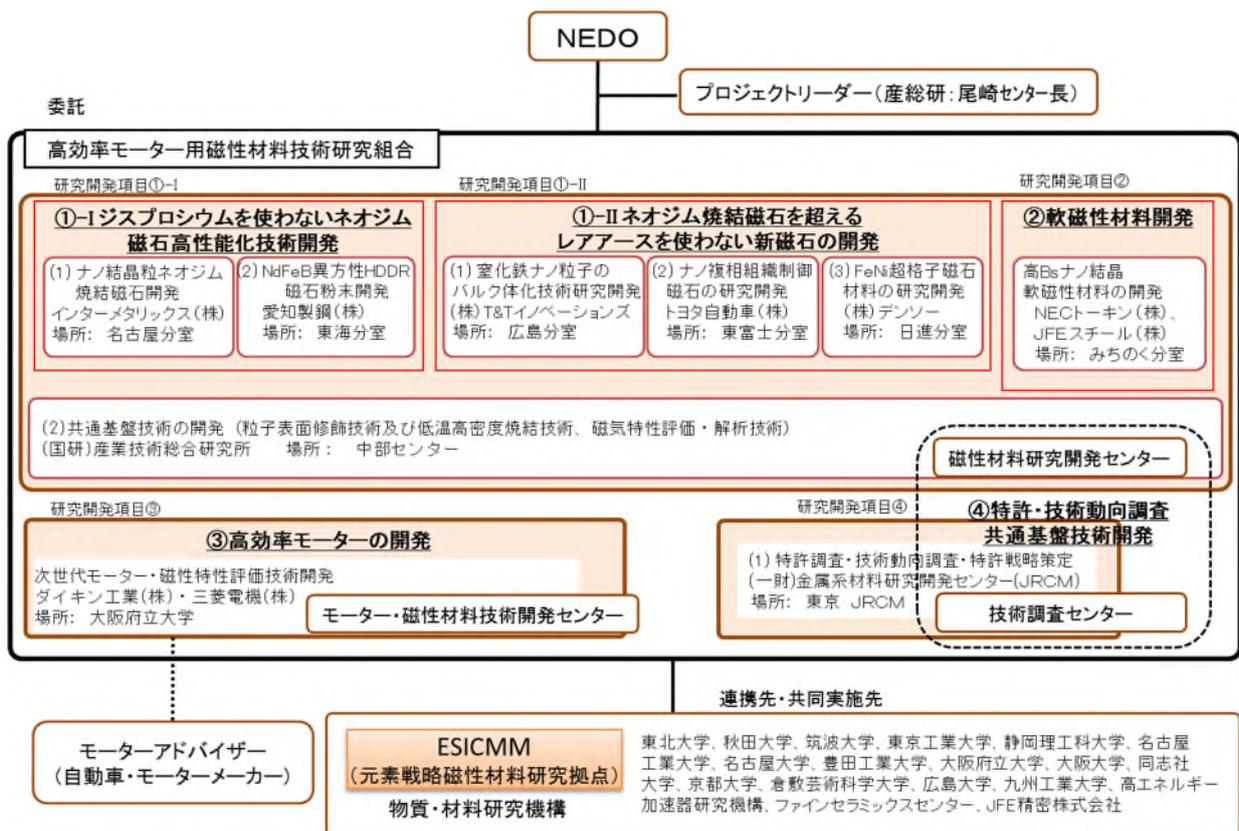


図19 研究開発の実施体制（第一期）

2017年度の予算の大幅な減額によりテーマの改編を行ったことに伴い、研究開発体制も図19から図20のように変更している。5社のテーマが終了する一方、新たにモーターメーカー1社が参入し、民間企業5社、国立研究開発法人1社、一般財団法人1社の体制で進めている。新規高性能磁石の開発を民間企業2社が実施し、新規磁石、第一期で開発された軟磁性材料の特性を生かしたモーター設計を実施するための評価・解析技術、シミュレーション設計技術開発を民間企業3社が、また磁石製造の要素技術開発を産総研が実施し、磁石開発、モーター設計技術開発間を繋ぎ、特許・技術動向調査によってバックアップを図る体制へ変更した。なお、予算の減額に伴い維持が難しくなったことか

ら、モーター・磁性材料技術開発センターを、磁性材料技術開発センターとして産業技術総合研究所を中心に再編した。これに合わせ、以下のセンターを分室へと名称変更した。

- ・「モーター・磁性材料技術開発センター」 → 「大阪分室」、「尼崎分室」
- ・「技術調査センター」 → 「霞が関分室」

また、有識者としての自動車メーカー、モーターメーカーからのモーターアドバイザーの選任、文部科学省元素戦略磁性材料研究拠点（ESICMM）との連携に変更はなく、さらに、第一期で開発を終了したメーカーとも関係を保ち、プロジェクトに関する意見聴取、第一期において開発した材料の提供を受けられる体制としている。

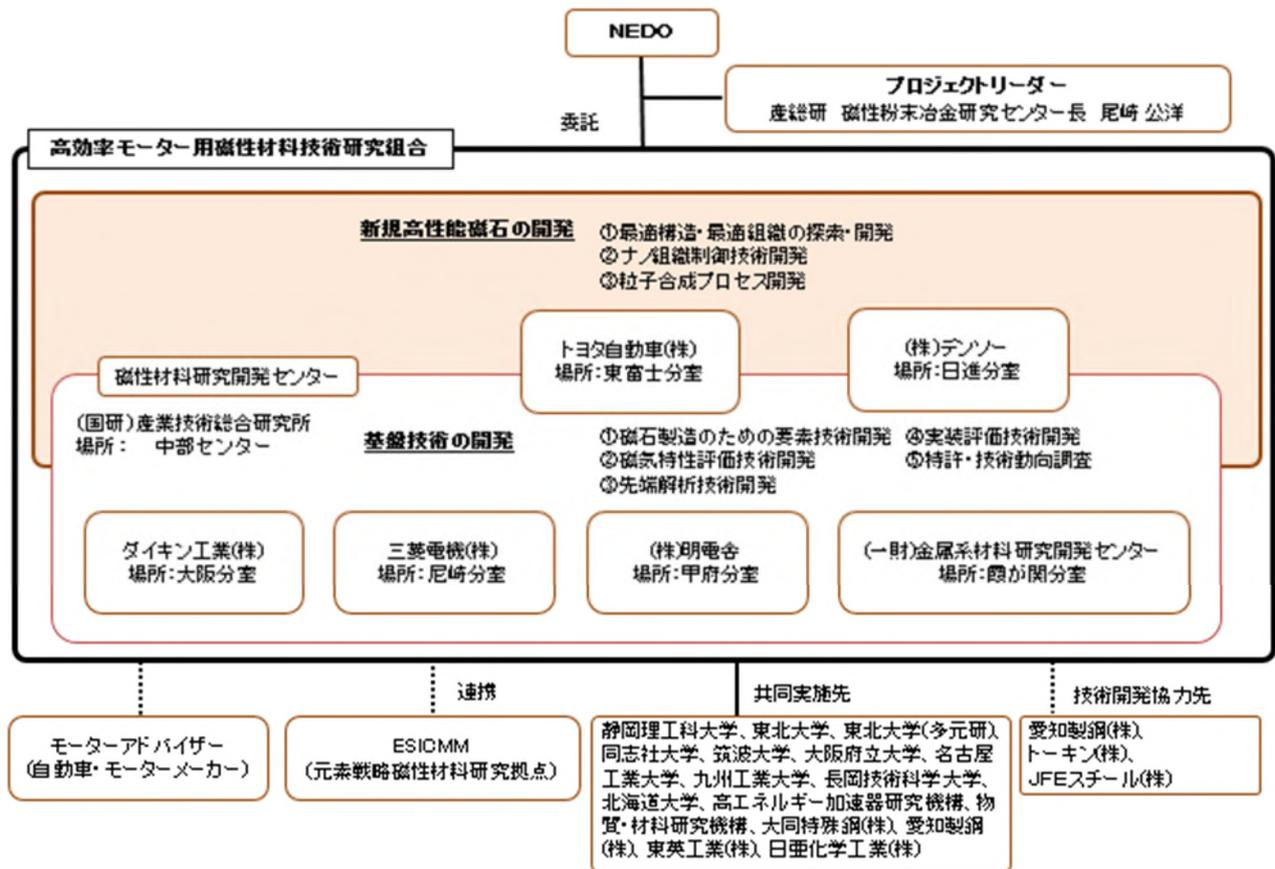


図20 研究開発の実施体制（第二期）

また、本プロジェクトは「未来開拓研究」として、文部科学省の「元素戦略磁性材料拠点（ESICMM）」と連携して、オールジャパンで産官学ドリームチームを形成し、基礎研究から実用化まで一体的に推進できる体制で推進する。図21に、両省連携の推進体制をまとめる。



図 2 1 文部科学省元素戦略磁性材料拠点との連携

## 2.3 研究開発の運営管理

研究開発の進捗状況について、NEDO はプロジェクトリーダー（PL）、MagHEM 専務理事とテーマ毎に1回/四半期に定期的なヒアリングを行い、現状の確認と今後の進め方について議論すると共に、運営上の問題点などについても意見を集約してきた。また、1回/年以上の頻度で、各分室を訪問し、研究現場の状況を確認している。随時、経済産業省とも連絡を取り、相互の情報交換を行い、研究開発の運営管理を行ってきている。また、NEDO は、PL、専務理事などと密な情報交換を行うと共に、各テーマに対して現状の把握と実用化に向けた取り組みについて確認を行っている。

### 2.3.1 技術推進委員会

難易度の高い課題に取り組んでいることから、1回/年以上の頻度で外部有識者の意見を聞く機会として、技術推進委員会を実施し、その結果を翌年の実施計画へ反映している。開催実績を表5に示す。

表5 技術推進委員会開催実績

開催日	開催場所	内容	参加法人
2015/11/26	NEDO	進捗報告及び次年度計画について	経済産業省、NEDO (委託先) MagHEM
2016/11/17	NEDO	基本計画変更について	NEDO (委託先) MagHEM
2017/5/10	NEDO	明電舎のプロジェクト参加について	経済産業省、NEDO (委託先) MagHEM 明電舎
2018/1/24	NEDO	進捗報告及び次年度計画について	経済産業省、NEDO (委託先) MagHEM
2019/1/23	JRCM	進捗報告及び次年度計画について	経済産業省、NEDO (委託先) MagHEM
2020/1/24	NEDO	進捗報告及び次年度計画について	経済産業省、NEDO (委託先) MagHEM
2021/1/29	NEDO、オンライン	進捗報告及び次年度計画について	経済産業省、NEDO (委託先) MagHEM

なお、本プロジェクトにおける技術推進委員会の委員（外部有識者）リストを表6示す。

表6 技術推進委員会委員リスト

	氏名	所属	役職	専門分野	備考
1	大森 賢次	日本ボンド磁性材料協会	専務理事	磁石	2015～2020 年度
2	徳永 雅亮	日本ボンド磁性材料協会 元日立金属	理事	磁石	2015～2020 年度
3	山内 清隆	日本ボンド磁性材料協会 元日立金属	理事	軟磁性	2017～2020 年度
4	堺 和人	東洋大学 理工学部電気電子情報工学科	教授	モーター	2016～2020 年度
5	岡崎 靖雄	岐阜大学 工学部 機能材料工学科	名誉教授	軟磁性	2016、2017 年度
6	松井 信行	中部大学	理事長付 特任教授	モーター	2015 年度
7	松浦 裕	大阪府立大学 産学協同高度人材育成センター 元日立金属	統括コーディネーター	磁石	2015 年度
8	山崎 克巳	千葉工業大学 工学部電気工学科	教授	モーター	2015 年度

### 2.3.2. テーマ間連携強化と実用化の推進

テーマ間の連携と実用化を推進するためにプロジェクト全体での合宿を行った。それを契機に個別情報交換が進み、モーター試作に向けた材料提供が始まっている。また、センターと各分室の技術交流会により、特許及び最新情報の共有化を図り、深掘りを図った。

これらの対応により、目標達成に向けたテーマ間の連携強化と実用化推進を図った。

#### <分室・センター間技術課題検討会（合宿）>

目的：プロジェクトとしての一体感の高揚と連携強化

内容：1泊2日・合宿形式での討論

外部協力者、モーターアドバイザー、ESICMMからも招請

日時：2015年7月9～10日	場所：トヨタ自動車(株)研修所	参加者：40名
2016年10月4～5日	ダイキン工業(株)セミナーハウス	42名
2017年11月21～22日	三菱電機(株)研修施設	41名
2018年11月28～29日	(株)デンソー研修施設	33名
2019年11月14～15日	KKR ホテル熱海	29名

結果：テーマ間連携が進み、分室間での材料提供が促進された。

分室間の個別情報交換が加速した。

外部協力者、モーターアドバイザー、ESICMMから意見を頂くことができた。

そのほか、霞が関分室主導であるが最新の技術動向を共有化するため、技術交流会、技術動向分析会議を実施している。

<霞が関分室（旧技術調査センター）主導の技術交流会>

（１）霞が関分室（旧技術調査センター）/大阪分室・尼崎分室（旧モーター開発センター）・磁性材料技術開発センター 交流会

日時：2015年10月9日（金）12:30～17:10 場所：大阪分室（旧モーター開発センター） 参加総数：26名

（２）霞が関分室（旧技術調査センター）/日進分室 技術交流会

日時：2015年12月22日（火）13:00～16:30 場所：日進分室 参加総数：19名

（３）霞が関分室（旧技術調査センター）/みちのく分室 技術交流会

日時：2016年4月12日（火）9:30～10:30 場所：JRCM 参加総数：19名

（４）霞が関分室（旧技術調査センター）/東富士分室 技術交流会

日時：2016年8月2日（火）13:30～15:45 場所：トヨタ自動車東富士研究所 参加総数：8名

（５）霞が関分室/甲府分室 技術交流会

日時：2018年1月18日（木）13:00～16:30 場所：明電舎 参加総数：8名

（６）霞が関分室/日進分室 技術交流会

日時：2018年7月11日（水）15:00～17:00 場所：デンソー先端技術研究所 参加総数：8名

<霞が関分室主催の技術動向分析会議>

（１）第1回技術動向分析会議

日時：2017年7月13日（木）13:00～16:00 場所：JRCM 参加総数：23名

（２）第2回技術動向分析会議（分室センター間技術課題検討会等と併催）

日時：2017年11月21日（火）16:30～18:00、11月22日（水）9:30～11:30 場所：伊東市三菱電機研修施設 参加総数：40名

（３）第3回技術動向分析会議

日時：2018年7月25日（水）13:00～17:15 場所：JRCM 参加総数：24名

（４）第4回技術動向分析会議

日時：2018年12月20日（木）13:30～17:00 場所：JRCM 参加総数：19名

（５）第5回技術動向分析会議

日時：2019年12月13日（金）13:30～17:15 場所：Forum S+内幸町 参加総数：20名

（６）第6回技術動向分析会議

日時：2020年12月23日（水）13:30～17:00 場所：JRCM、web 参加総数：41名

（７）第7回技術動向分析会議

日時：2021年12月15日（水）13:10～17:25 場所：JRCM、web 参加総数：42名

## 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

### 2.4.1 知的財産権等に関する戦略

材料開発、モーターシミュレーション技術により得られた成果は、リバースエンジニアリングにより再現可能な内容については積極的に特許化し、プロセス、加工条件等特定困難な内容についてはノウハウとして秘匿する方針において、知的財産化を進めている。具体的には、磁石の材料組成・構造やモーターの構造については積極的に特許出願を行い、材料の合成技術やモーター作製時の加工技術については秘匿している。また磁性材料に関する評価・解析技術の開発も行っているが、評価・解析技術については、広く普及させ、社会実装することに意義があることから、権利を取得した上で国際標準化を図ることも視野に入れている。本プロジェクトにおいては、高保磁力を有する磁石の高速かつ高精度な特性の評価方法について、2025年の発行を目指して国際標準化を図っている最中である（IEC / TC68 / WG5：超電導磁石を用いるVSMによる開磁路の磁気特性測定方法）。先行する形で、2021年にIEC/TR 63304（超電導磁石を用いた開磁気回路における永久磁石（硬磁性）材料の磁気特性の測定方法）を発行し、また2022年にJIS C 2500（超電導磁石を用いる開磁路法による永久磁石の磁気特性測定方法）を発行した。

### 2.4.2 知的財産管理

本プロジェクトにおける委託先である高効率モーター用磁性材料技術研究組合（MagHEM）において、『次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発』における知的財産権及びサンプルの取扱いに関する規程」を制定している。「未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産等の取扱いに関する基本的考え方」、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に則り、すべて委託先に帰属が原則であり、本規定においても、知的財産権は組合員へ帰属することが定められている。

出願に際しては、発明等の内容を詳記した書面、および発明者、当該発明等に係る寄与度や持分比率等に関する意見書を、出願前に技術本部長（PL）及び組合専務理事が審査することが規定されている。共同出願等において、当事者以外から異議があった場合、技術本部長（委員長を兼ねる）、審査される発明等に関係するプロジェクト参加者の代表者各1名、専務理事、その他委員長が指名した者による発明審査委員会が設置され、当該出願の可否や発明者、寄与度、持分比、権利の帰属等について審議・認定を行うことが規定されている。

### 3 情勢変化への対応

本プロジェクトにおける情勢変化への対応を表8に示す。

表8 情勢変化への対応

情勢	対応
(2014年度より) 経済産業省による直執行から NEDOへ移管。	NEDOによるマネジメントへ移行。
(2017年度より) 第二回中間評価結果を反映。	中間評価時の指摘を受け、「エネルギー損失を従来モーター比25%削減する高効率モーターの実現を目指す。」から、「従来モーター（プリウス第三世代モーター）比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度40%向上）を実現する磁性材料の開発を目指す。」へ、プロジェクトの目標を変更した。
(2017年度より) 国内外の情勢変化を受け、予算が大幅に減額となった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・予算減額に伴い、5年の研究期間で設定していたジスプロシウムフリーのネオジム磁石に関する2つのテーマ、また軟磁性材料に代わる新規テーマの募集を取りやめ、材料開発は新規高性能磁石開発の継続に特化した。</li> <li>・モーターの実機開発を縮小し、代わって、磁性材料の評価・解析技術の開発・開発される磁石・開発された軟磁性材料の特性を生かすモーター設計技術（シミュレーション技術）の開発を基盤技術開発に盛り込んだ。</li> </ul>
(2021年度より) 国内外の情勢及び研究開発進捗状況を考慮して基本計画を変更。	資源リスク、カーボンニュートラルなど、新たな社会課題にも対応できるように、目標を柔軟に変更し、「従来磁石の性能を維持しつつ希土類元素（産出量が多く資源リスクの少ない、ランタンおよびセリウムを除く）を50%以上削減した磁石を開発する」、そして社会実装に向けた実証を念頭に、「開発した磁石材料を試作モーターに実装し損失低減と小型化（パワー密度向上）の検証を行う」こととした。

本プロジェクトは、2012年に経済産業省の未来開拓研究プロジェクトの一つとして、経済産業省の下で開始された。プロジェクト3年目となる2014年よりNEDOに移管された。2017年度には、2. 研究開発マネジメントについて、1. 事業の目標で述べたように、テーマの見直し及び体制の再構築を行った。

### 4 中間評価結果への対応

また、2014年度の第一回中間評価での指摘事項を受け表9-1に示す対応を実施した。

表9-1 第一回中間評価（2014年）の指摘事項と対応

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
プロジェクト全体の最終目標「モーター損失25%低減」を達成するためには、磁性材料、モーター設計及び制御システム間の役割分担及び連携のシナリオの検討を進めるとともに、プロジェクト後期では個別テーマ間の連携を密にするマネジメントが必要である。	モーターセンターと磁性材料開発担当者間で連携を密にするマネジメントを行う。
モーター設計に関しては新しい材料として望む特性をさらに明確にする必要がある。	モーターの仕様を明確にし、必要な材料特性を提示させる。

希土類元素を使わない新磁石の開発はハードルが高い。添加元素などを使った新しい展開も検討が必要と思われる。	添加元素等による特性向上を選択肢の一つとして実施するとともに、希土類フリーに拘らない材料の探索を開始する。
--	---

さらに、2016年度の第二回中間評価での指摘事項を受け表9-2に示す対応を実施した。

表9-2 第二回中間評価（2016年）の指摘事項と対応

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
プロジェクト全体の目標として掲げているモーターの損失削減目標は、見直しが必要である。	現状の最新モーター損失削減達成状況及び、第1期でシミュレーションにより算出された達成見込み値から、従来の25%削減より高い40%削減に目標を見直した。
材料研究とモーター研究の連携が重要であり、広範に戦略を討議できる場や組織を作る必要があると考えられる。	引き続き合宿等を通じて連携を強化するとともに、開発磁石のモーター実装に向けた検討を開始した。
優れた成果が得られているテーマに関しては、重点的に研究をサポートして頂き、その他にも保磁力発現機構などの基礎的課題やモーター鉄心の磁性劣化の研究にも取り組んで欲しい。	第1期で取り組んだ新規高性能磁石で成果が出てきたテーマを継続し、予算を重点配分する。その中で保磁力発現機構などの基礎的課題等に取り組む。
外国出願特許として、戦略的な特許を多数出願すべきである。	特許としてオープンにする部分とクローズにする部分を明確にする等で、各社の特許戦略をフォローしつつ外国出願を促す。
世界的な競合他社・他研究機関とのベンチマークを多方面から行いフィードバックをかけることが重要である。	特許動向調査の中で、開発項目の技術情報収集、トレンド整理を行い、レアアースフリーから省レアアース（Dy, Nd）に方針を変更した。引き続き開発にフィードバックする。
自動車メーカーの意見や情報を積極的に取り込み、実用化に向け材料加工も含めた課題やマイルストーンの検討をする必要がある。	モーターアドバイザーをヒアリングし小型化の目標も掲げることとし、参画会社と議論して数値目標として40%小型化（パワー密度40%向上）を設定した。
各企業の垣根を越えた技術交流や情報交換を行って欲しい。	MagHEM内の合宿や技術委員会等、様々な活動で、材料とモーターの連携を強化すると共に、第1期で卒業する企業にも材料提供を継続してもらおう。
材料の製造面まで含めた実用化への道筋を考慮し、テーマに応じたきめ細やかなマネジメントを行って欲しい。	実用化を見据えて開発を進めるよう指導すると共に、終了したテーマに対して助成事業を検討する。

2019年度の第三回中間評価で受けた指摘事項について、実施した対応を表9-3に示す。

表9-3 第三回中間評価（2019年）の指摘事項と対応

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。	2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減（CO2排出量として890万t/年）と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時（2021年度）の目標を設定した（基本計画に記載済み）。

<ul style="list-style-type: none"> <li>・目標達成、及び、効率的な研究開発実施のため、実施者間の連携は、更に密に行う必要がある。特に、実験とシミュレーションとの連携は、強化すべきである。</li> <li>・新磁石開発チームとモーター開発チームの間の更なる有機的連携による、成果の実用化の取組の加速を望む。</li> </ul>	<p>磁石開発とモーター開発のチーム連携によりプロジェクトで開発した磁石を実装したモーターを試作する。また、モーター開発3社の連携によるシミュレーションに関し、プロジェクト終盤に向けて具体的な連携を強化した。試作モーターの評価結果をフィードバックすることでシミュレーション精度の向上を図った。</p>
<p>特許調査や技術動向調査により権利関係や従来磁石との違いを明確にし、知財戦略を示していただきたい。</p>	<p>磁石開発と特許調査の担当分室間が連携し、知財確保戦略を検討している。今後、より一層連携を密にすることにより、既存特許の特徴を詳細に分析し、強力な知財確立を目指した。</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・1-12系磁石にて最終目標の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」達成は、かなり難しいが、1-12系の持つポテンシャルから、技術課題と解決に向けた指針を明らかにすることが、将来に向けて極めて重要である。</li> <li>・最終目標達成の可能性が高い超ネオジム磁石への注力だけでなく、1-12系磁石についても、ESICMM（元素戦略磁性材料戦略拠点）との連携強化等により、基礎に立ち返った検討の継続が望まれる。</li> </ul>	<p>ESICMMとの連携を深め、1-12系磁石開発の保磁力発現機構を主とした技術課題を明確化し、得られた知見を広く磁石開発に適用することで開発を加速した。</p> <p>一方、“「180℃において50MG0e」達成は、かなり難しい”との指摘に対して、高い目標を是としてそのままとしたが、有識者の意見を考慮して、技術的な難度および目標の妥当性を再検証できた可能性はある。</p>
<p>モーターシミュレーション技術については早い段階で実用化の可能性の見極めを行い、可能性の高いものについてはその方向での検討の強化が望まれる。</p>	<p>モーターシミュレーションの実用化に向けて、必要性が高い項目を早期に見極め、重点的に検討した。</p>
<p>将来基盤技術となり得るようなテーマについては、基礎研究をバックアップする、きめ細やかなマネジメントが必要である。</p>	<p>必要に応じて、ESICMMとの連携や先導研究プログラムの活用等によりバックアップした。</p>

## 5 評価に関する事項

本プロジェクトについて、これまでに三回の研究評価委員会による中間評価（外部評価、2014年度、2016年度、2019年度）を実施している。中間評価における評価項目、評価基準は以下のとおりである。

### <評価項目・評価基準>

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

- (1) 事業の目的と妥当性
- (2) NEDOの事業としての妥当性

#### 2. 研究開発マネジメントについて

- (1) 研究開発目標の妥当性
- (2) 研究開発計画の妥当性
- (3) 研究開発の実施体制の妥当性
- (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

#### 3. 研究開発成果について

- (1) 研究開発項目の達成度及び研究開発成果の意義
- (2) 成果の普及
- (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

#### 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

- (1) 成果の実用化に向けた戦略
- (2) 成果の実用化に向けた具体的取組
- (3) 成果の実用化の見通し

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

第一回中間評価（2014年度）における分科会委員を表10-1、第二回中間評価（2016年度）における分科会委員を表10-2、第三回中間評価（2019年度）における分科会委員を表10-3に示す。

表10-1 第一回中間評価（2014年度）における分科会委員

役割	氏名	所属、役職
分科会長	松井 信行	中部大学 理事長付特任教授
分科会長代理	大森 賢次	日本ボンド磁性材料協会事務局 専務理事 兼 事務局長
委員	加藤 宏朗	山形大学 大学院理工学研究科 数物学分野 教授
委員	徳永 雅亮	明治大学 理工学部 兼任講師
委員	丸山 正明	元日経 BP プロデューサー 技術ジャーナリスト
委員	山元 洋	明治大学 名誉教授

表10-2 第二回中間評価（2016年度）における分科会委員

役割	氏名	所属、役職
分科会長	加藤 宏朗	山形大学大学院理工学研究科 教授
分科会長代理	大森 賢次	日本ボンド磁性材料協会 専務理事
委員	岡崎 靖雄	岐阜大学 名誉教授
委員	掛下 知行	大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 教授
委員	堺 和人	東洋大学理工学部電気電子情報工学科 教授
委員	佐久間 昭正	東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻 教授
委員	千葉 明	東京工業大学大学院理工学研究科電気電子専攻 教授

表10-3 第三回中間評価（2019年度）における分科会委員

役割	氏名	所属、役職
分科会長	加藤 宏朗	山形大学大学院理工学研究科 教授
分科会長代理	佐久間 昭正	東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻 教授
委員	赤城 文子	工学院大学先進工学部応用物理学科 教授
委員	石川 赴夫	群馬大学大学院理工学府電子情報部門 教授
委員	桜田 新哉	株式会社東芝研究開発本部研究開発センター 技監
委員	廣田 晃一	信越化学工業株式会社磁性材料研究所第二部開発室 室長

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

本プロジェクトで、現在までに生み出された知的財産権、論文投稿、学会等での発表等の実績を表11にまとめる。

表11 知的財産権、成果の公表実績

	2012- 2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	総計
特許出願 (うち外国出願)	57(16)	22(5)	34(15)	43(32)	22(18)	13(4)	11(4)	202(94)
論文*	49	10	12	3	5	12	8	99
研究発表・講演	207	91	77	76	59	35	53	598
受賞実績	3	0	2	1	3	1	3	13
新聞・雑誌等への掲載	10	2	2	5	1	4	3	27
展示会への出展	3	0	3	3	2	0	1	12

\*査読付き

#### 2. 研究開発項目毎の成果

2017 年度にテーマの見直し、改編を実施したため、成果を第一期（2012～2016 年度）、第二期（2017～2019 年度）、そして第二期最終成果（2020～2021 年度）に分けて記載する。

##### 2.1 第一期（2012～2016 年度）

##### 2.1.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

###### （I）ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

###### （1）ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発（インターメタリックス株式会社）

【最終目標】現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 1.5 倍の最大エネルギー積「180℃において 38MG0e」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確立する。

【開発成果】評価（○）

最終目標を達成するために必要な粉末粒径（0.6 μm 未満）を HDDR 処理とジェットミルにより達成。高配向焼結体の作製に成功した。粒径の微細化により温度特性が向上することを明らかにした。ただし、最大エネルギー積は 25MG0e@180℃であり、添加元素や粒界相の最適化によりさらに向上させることが必要。

###### （2）Dy フリー高 Br・高保持力を有する NdFeB 異方性 HDDR 磁石開発（愛知製鋼株式会社）

【最終目標】現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 1.5 倍の最大エネルギー積「180℃において 38MG0e」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確立する。

#### 【開発成果】評価（○）

最終目標を達成するために必要な保磁力(22kOe)の達成の目途はついた。また、新しく開発した d-HDDR 法により、磁化を向上させた粉末の作製に成功し、現在最終目標の最大エネルギー積の 80%以上を達成。最終的に 88%まで達成する見込み。

### （Ⅱ）ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発

#### （１）窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発（株式会社 T&T イノベーションズ）

【中間目標】現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 2 倍の最大エネルギー積 180°Cにおいて 50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群の探索・可能性検討結果より、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。

#### 【開発成果】評価（○）

粒子の合成、単分散化、固化については、それぞれ事前に掲げた自社の目標を達成しつつある。ただし、中間目標で掲げている高性能磁石となりうる可能性を示すためには、保磁力向上の指針を出すことが必要であったが、困難であるため、粉末の残留磁束密度を 1.7T（換算値）、ポンド磁石として 1.0～1.4T となる磁石を開発目標とする。

#### （２）ナノ複相組織制御磁石の研究開発（トヨタ自動車株式会社）

【中間目標】現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 2 倍の最大エネルギー積 180°Cにおいて 50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群の探索・可能性検討結果より、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。

#### 【開発成果】評価（○）

計算や薄膜において複相構造を作り込むことにより、現行の焼結磁石を凌駕する最大エネルギー積を持つ磁石を作製できることを明らかにした。RE<sub>1</sub>Fe<sub>12</sub>系化合物を相安定化できる合金組成を見出し、高温特性に優れ、最終目標を達成できるポテンシャルを持つことを明らかにした。

#### （３）FeNi 超格子磁石材料の研究開発（株式会社デンソー）

【中間目標】現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 2 倍の最大エネルギー積 180°Cにおいて 50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群の探索・可能性検討結果より、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。

#### 【開発成果】評価（○）

隕石中に存在する FeNi 規則相を調べ、180°Cで 400kA/m (5kOe) 以上の保磁力を持つ可能性を示した。様々な化合物還元法を試み、窒化・脱窒素法により、規則度 0.7 以上の成分を含む粉末の合成に成功した。異方性磁界を大幅に向上させることができ（塩化物還元法の 3 倍以上）、最終目標達成の可能性を示すことができた。

### 2.1.2 研究開発項目② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

#### 「高 Bs ナノ結晶軟磁性材料の開発」（NEC トーキン株式会社、JFE スチール株式会社）

【最終目標（2016 年度末）】磁気特性が「Bs1.6T 以上」「400Hz・1T における損失 3W/kg 台」を両立する「Fe 基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確立する。

#### 【開発成果】評価（○）

急冷薄帯において目標値を達成できる合金組成の範囲を明らかにした。これを基にアトマイズ粉末で

ナノ結晶ができる合金組成を見出すとともに、粉末を大量に製造するための装置設計を行い、実用化製造技術の見通しをつけた。さらに、この粉末を高密度でバルク化する条件を明らかにし、粉末成形体においても目標値を達成できる見込み。

### 2.1.3 研究開発項目③ 高効率モーターの開発

#### (1) 次世代モーター・磁性特性評価技術開発（ダイキン工業株式会社）

【中間目標（2016年度末）】高効率モーターの試作・評価を行い従来モーター比でエネルギー損失を25%削減する高効率モーター実現の見通しを得る。

【開発成果】評価（○）

モーター使用後の磁石の磁気特性変化および分布の測定、モーター損失の高精度分析装置の作製、インバータ高調波を含めた損失測定のためのリアルシミュレーターの構築、各種モーター形式による設計技術、インバータとモーターとを合わせた低損失化設計手法の開発を行い、それぞれで計画していた目標を達成した。これにより、課題の抽出および基本設計指針を出すことが可能となった。さらに、新しい形態のモーターを提案し、損失25%削減の可能性を示した。

#### (2) 次世代モーター・磁性特性評価技術開発（応力を考慮したモーター設計・評価技術の研究開発） （三菱電機株式会社）

【中間目標（2016年度末）】高効率モーターの試作・評価を行い従来モーター比でエネルギー損失を25%削減する高効率モーター実現の見通しを得る。

【開発成果】評価（○）

応力下の軟磁性材料ならびに永久磁石の磁気特性への影響を調べるための計測手法を開発した。定量的な評価ができるため、高効率モーター設計の基本指針を示すことが可能となった。また、開発材料を使用したモーターの試作を行った。

### 2.1.4 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

#### (1) 特許・技術動向調査・特許戦略策定支援（一般財団法人金属系材料研究開発センター）

【中間目標（2016年度末）】

「①（Ⅰ）ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

（Ⅱ）ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発」

「②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発」および「③高効率モーターの開発」

の成果を事業化するための各事業者の特許戦略策定を支援する。

【開発成果】評価（○）

磁石、軟磁性材料、モーター構造の特許調査並びに技術調査を行い、データベース化するとともに、動向予測を行った。今年度までのデータベース化をほぼ終えることができた。データベースは図書館機能システム化し、閲覧可能とした。

#### (2) 共通基盤技術の開発（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

【中間目標（2016年度末）】

・各テーマの材料開発に寄与できる基盤的な技術開発や、磁性材料のバルク化、また分析・評価・解析及び保磁力機構の解明などを行う。さらに標準化も視野にいたれた特性評

評を行う。

【開発成果】評価（○）

窒化鉄の単分散のための表面処理技術，軟磁性材料の高抵抗化のための表面処理技術を開発した。HDDR 粉末の焼結，窒化鉄ナノ粒子の焼結，軟磁性材料の焼結を行い，それぞれ焼結密度 90%以上を達成した。

（3）「新規高性能磁石材料の探索」

【中間目標（2016 年度末）】

・現在のテーマに挙がっていない新規高性能磁石材料の探索・可能性の検討を行い，基本材料設計の指針を示す。

【開発成果】評価（○）

第 2 期に取り組む新規テーマの候補として，磁石ならびに軟磁性材料の先導研究を公募し，2016 年度は，表 1 2 に示す 7 件の研究シーズの育成に取り組んでいる。

表 1 2 第 2 期に向けた新規材料候補の先導研究（2015～2016 年度）

	実施者	テーマ	分類
磁石材料 4 件	長崎大学・九州大学・九州工業大学	ナノマニピレーションによる高温対応SmCo/ $\alpha$ -Fe系ナノコンポジット磁石の創製に関する検討	ナノコンポジット系
	産総研・村田製作所	Fe系合金への元素添加とC,N比による磁気特性の調査1	Sm-Fe-N系
	産総研	Fe系合金への元素添加とC,N比による磁気特性の調査2	ナノコンポジット系
	東北大学・住友金属鉱山	重希土類フリー希土類磁石粉末の高耐熱化に関する検討	Sm-Fe-N系
軟磁性材料 3 件	岐阜高専・岐阜大学	磁化容易軸を面配向させた鉄系扁平粉末の鉄損に関する検討	プロセス開発
	長崎大学	磁気歪を有効活用した低損失磁性材料の創製に関する検討	歪制御
	東北大学・大陽日酸	高飽和磁化Fe-Co-C-N系軟磁性粉の創製に関する検討	Fe-Co系

2.2 第二期（2017～2019 年度）

2.2.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

【中間目標】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の 2 倍の最大エネルギー積「180℃において 50MG0e」を持つ磁石を実現するために関連する要素技術を開発する。ただし、「180℃において保磁力が 7k0e」を持つ磁石の見通しを得ることを具体的指標とする。

【開発成果】評価（△）（2019 年度末達成見込み）

### 研究開発項目①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発（トヨタ自動車株式会社）

新規物質である  $REFe_{12-x}TM_xN_y$  相 (RE: 希土類元素 [Nd, Sm 等], TM: 遷移金属) について、実験結果を元に機械学習を行い物性に対する結晶構造や組成の寄与度を明らかにすることで、磁気物性を最適化し、さらに、プロセスを検討し、磁石化に向けた取り組みを実施した。具体的には、低融点合金を活用した界面制御などにより、焼結磁石相当の結晶粒径を有する粉末で保磁力発現することを確認した。また、軽希土類活用を含むナノ複相組織制御磁石の高特性化に向けたプロセスを検討し、磁石粉末のバルク化などの要素技術を確認するとともに、目的に応じて Nd 含有量を 20~50% 低減できる省 Nd 耐熱磁石の研究に目途を付けた。

### 研究開発項目①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発（株式会社デンソー）

窒化・脱窒素法により合成に成功した FeNi 超格子粉末の磁気特性向上に取り組み、合成条件を改良することで、FeNi 超格子の高純度化に成功し、保磁力の向上を確認した。さらに、FeNi 超格子磁粉の保磁力向上を狙い、磁粉粒子内のナノ構造の改善に取り組んだ。合成条件を変化させることで、従来よりも高い規則性を持った FeNi 超格子磁粉の合成に成功し、保磁力の改善が確認された。量産を想定した磁粉合成プロセスの開発を実施した。低コスト原材料の課題抽出を行なった。粒内の不純物が超格子の磁気特性に悪影響を及ぼすことを明らかにした。

## 2.2.2 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

### 研究開発項目④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援（一般財団法人金属系材料研究開発センター）

【中間目標】 磁性材料に関する情報センター構築に向けたコンテンツの整備を完了する。

【開発成果】 評価（○）

磁石材料を中心とした最新の特許調査・技術動向調査を実施した。平成 28 年以降に公開された国内、中国、米国、欧州の磁石材料の特許、国内の永久磁石モーターの特許調査を行った。国内学会、国際会議などに参加して関連分野の発表動向・技術動向を調査し、その情報を共有化した。さらに、本プロジェクトのバックグラウンド情報として、希土類原料供給動向、磁石市場動向についての情報収集を行った。

### 研究開発項目④-2 共通基盤技術の開発

【中間目標】

- ・ 磁石製造の配向制御、組織制御の技術開発に目処を付ける。
- ・ 磁気特性予測システムの構築に目処を付ける。
- ・ 高保磁力に対応した磁気特性評価技術を開発する。
- ・ 高負荷環境下での磁性材料評価・解析技術を開発する。

【開発成果】

- ・ 磁石製造の配向制御、組織制御の技術開発に目処を付ける。評価（△）（2019 年度末達成見込み）

- ・磁気特性予測システムの構築に目処を付ける。評価（○）
- ・高保磁力に対応した磁気特性評価技術を開発する。（○）
- ・高負荷環境下での磁性材料評価・解析技術を開発する。（◎）

（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

粒子の磁場配向挙動を計算シミュレーションによる予測と実験により検証した。加えて、粒子の破壊挙動の計算シミュレーションと実験による検証を行った。急凝固組織ならびに強加工による組織の異方化について検証を行った。また、高速・高精度に高保磁力磁石を測定できる手法の開発と標準化に向けた取り組みを行った。さらに、磁気特性予測システムの構築を目指した基盤研究を進めた。

（ダイキン工業株式会社）

モーター実装時に求められる新規磁石材料への目標値提示のための検討として、平成 28 年度までに確立した減磁評価技術を適用した時の課題を抽出し、対策のための磁石材料の各種物性値の取得を行った。また、新規磁石材料を適用したときのモーター損失を把握するため、開発した分析評価装置を用い、磁石の磁気特性が軟磁性材料の損失、及びインバータに及ぼす影響を分析し、課題を抽出した。磁石材料の磁気特性、物理特性（磁石の熱伝導率、電気抵抗、密度）を大きく変化させたときの減磁解析検討、及び、減磁分布の簡易測定手法の課題解決案検討を行った。また、磁石の磁気特性を変更した際の局所的なモーター損失解析の検証を行い、IPM モーター及び可変磁力モーターにおいては、新規磁石材料の性能を生かすための構造設計検討を実施し、解析において目標達成の目処を得た。さらに、非線形磁気特性減磁曲線を持つ磁石を実装したモーターの解析を行い、課題抽出を行った。

（三菱電機株式会社）

開発した磁気特性測定技術を用いて、応力及び高温の複合環境下における永久磁石の結晶状態の分析評価を行うとともに、リアルタイムに減磁領域の観察を行い、磁気特性評価と磁区変化を検証した。また、モーター実使用時を想定した永久磁石の渦電流損失の測定と解析を行い、永久磁石の損失評価・解析方法の高精度化と、新材料のモーター適用に向けて、モーター損失解析精度向上のための要素検討を行った。

（株式会社明電舎）

新規磁石材料の実装によるモーターの高効率化を実現するため、モーター損失の分離・評価装置を製作した。本装置の機能および動作検証として、ステータコア焼き嵌め状態の模擬機構の機能検証と高速回転時の機械損測定を実施した。また高効率モーターの検討では、永久磁石式モーターの高効率範囲を拡大するため可変磁束モーターに着目し、概略検討にて構想の有効性を確認した。

## 2.3 第二期最終成果（2020～2021 年度）

### 2.3.1 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

#### ①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

【開発成果】評価（○）

#### 研究開発項目①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発（トヨタ自動車株式会社）

シェルに Nd を濃化させ、従来磁石よりも Nd 元素効率を飛躍的に向上させたコアシェル構造化プロセスを新規開発した。そのプロセスで創製された省 Nd 磁石により、Nd を 50%以上削減しつつ、社会実装可能なレベルの磁石の開発に成功した。

1-12 系磁石の Co 添加の知見を NdFeB 磁石にも引継ぎ、Co 添加による高温磁化の向上を達成し、180°Cの(BH)max を 1.4 倍に高める超 Nd 磁石の開発にも成功した。

### 研究開発項目①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発（株式会社デンソー）

窒化・脱窒素法の深化により、目標性能を有する単結晶 FeNi 超格子粒子の合成に成功した。大量合成を阻害するメカニズムを明らかにし、材料の量産指針を獲得した。FeNi 超格子磁石は優れた耐熱性を有することを確認、高温環境下での使用が想定されるモーター用の磁石として優位性を示した。

## 2.3.2 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

### 研究開発項目④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援（一般財団法人金属系材料研究開発センター）

【開発成果】評価（○）

本事業の開発が、従来のネオジム磁石を超える革新的な高性能磁石の開発と次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの低損失化・小型化に必要な技術に特化されることに対応して、第一期に引き続き「磁石材料」「高効率モーター」「軟磁性材料」の3分野について、高性能磁石材料や高効率モーターなどを中心に、焦点を絞った特許・技術動向の調査を実施した。さらに、本プロジェクトのバックグラウンド情報として、バリューチェーンの上流側と下流側に相当する、磁石市場動向、希土類資源動向についての情報収集を行った。収集し分析したこれら特許・技術動向情報は、霞が関分室短信、霞が関分室報告書、技術動向分析会議などを通してプロジェクト参加者及び関係者と共有を図るとともに、講演発表、JRCM ニュースなどを媒体とした論文発表などを通して公開に努めた。

### 研究開発項目④-2 共通基盤技術の開発

【開発成果】

- ・磁石製造の配向制御、組織制御技術を開発する。評価（○）
- ・磁気特性予測システムを開発する。評価（○）
- ・高速・高精度な磁気特性評価技術を開発する。（○）
- ・モーターの解析及び試作等を通じて、モーター実装を想定した評価技術（シミュレーション）を開発し、モーター及び新規磁石の有効性を明らかにする。（◎）

（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

共通基盤技術開発として粉末の粉碎や不規則形状粒子の充填過程などプロセスシミュレーション技術の開発、XRD 測定とシミュレーション技術を融合させたサブミリメートルレベルの配向分布測定手法の開発、また、FeNi 微粒子の窒化過程の解明および高磁化磁石材料の開発に取り組んだ。さらに、高保磁力測定技術の開発を行い、高保磁力磁石の国際標準化に向けた取り組みを行った。

（ダイキン工業株式会社）

開発した減磁評価手法により、解析には表れない減磁の現象として、金型接触面の影響を定量化し、保磁力 0 の層を一定厚み入力することで精度よく減磁率を求めることができるようになった。また、開発した局所的鉄損分析手法にて明らかにした低損失でモーターを駆動できるインバータ制御パターンを、大阪府立大学との共同研究で開発したモーターに適用し効果を定量的に評価した。また、IPM

モーターにおいては、東富士分室にて開発した磁石を搭載した試作機において、実測した結果、市街地走行評価点における損失は、損失目標 40%削減を達成した。また、保磁力不足時の不可逆減磁を抑制できる構造を見出した。可変磁力モーターにおいては、目標最大トルク達成と低・中速軽負荷市街地走行評価点での効率向上を評価指標とした、最適 L/D（固定子コア積厚/外径）比採用の磁石内周配置型ハイブリッド界磁モーターの設計試作機において、低・中速軽負荷市街地走行評価点においてモーター損失 45%以上の削減を達成、高速道路走行評価点においても 20%削減を実現した。さらに、非線形磁気特性（減磁曲線）を持つ磁石を実装したモーターにおいて、減磁時のリコイル透磁率を変えて解析を行い、減磁解析結果に差が出ることを明らかにした。

#### （三菱電機株式会社）

永久磁石材料の X 線回折評価を応力条件下で実施した。その結果、磁石種によって磁石の応力の影響が異なることがわかった。また、応力耐力の高いネオジム磁石を製造するためには、粒界相を厚くすること、および Nd リッチ相の割合を増やすことで効果があると考えられた。

応力印加機構を追加した VSM 装置を製作することに成功した。その結果、熱と応力の複合環境下における磁石減磁の測定に初めて成功した。

Kerr 効果顕微鏡を用いた磁区構造の観察システムを構築し、熱と応力の複合環境下における磁石磁区構造変化の統計的データの取得に成功した。その結果、減磁メカニズムに関する知見を得た。

磁石表面の磁界ベクトルを測定し、保磁力と表面磁束の平均値が直線関係を示すことがわかった。永久磁石の導電率の温度依存性を測定するとともに、磁石のアスペクト比を様々変化させた場合における磁石の交流損失を定量的に評価した。その結果、磁石の交流損失は磁束密度の大きさに比例していることを実験的に確認した。さらに、着磁率の違いにおける磁石の交流損失についても調査し、着磁率の増加とともに磁石の交流損失が増加することを確認した。

軟磁性材の薄帯とバルク化品の応力依存性を比較し、バルク化による初期応力が 10~20MPa 印加されていることを実験的に明らかにした。また、モーター状態で応力の印加が直接可能な装置を開発し、モーター特性の応力依存性を定量的に示した。

#### （株式会社明電舎）

モーター損失の分離測定装置と評価手法を構築し、モーターの損失を機械損，風損，ステータ鉄損に分離し評価を行った。また、可変磁束性能を有するハイブリッド界磁モーターを設計し、開発磁石との組み合わせにより、高効率効果および高パワー密度化効果を確認した。

#### IV. 成果の実用化に向けての取組及び見通しについて

本事業における「実用化」の考え方は以下の通りである。

当該研究開発に係る試作品、シミュレーション技術、解析技術などの社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

##### 1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

磁石材料開発とモーターシミュレーション技術開発が同時に進行している中で、見込まれる高性能磁石特性をいち早くモーターシミュレーションに適用し、高効率化への可能性を示してきた。早期に磁石化ができた材料については、実用化を想定した知財調査を基にした戦略的な知財確保(材料特性を生かしたモーター設計)を行い、材料開発、モーターシミュレーションならびにモーター試作による確認、知財確保を一体的に進める取り組みを始めており、早期実用化の目途を立てた。

また、開発した磁石の磁気特性に応じて、モーター化が可能な分野から実績を積むことも検討した。国際標準化を目指すテーマについては、着実に進めることができるように、委員会を設置し、国内のステークホルダーの意見を取り入れるとともに、国外の標準化委員との意見交換も行った。

希土類元素を取り巻く状況を常に把握し、次世代自動車の世界的な取り組みに対する、市場規模の拡大について、各調査機関の予測を基に将来の需要予測を行い、早期に実用化を図る必要を明らかにしてきた。



## 「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」基本計画

材料・ナノテクノロジー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ①政策的な重要性

現在、電力の過半はモーターが消費している。また、家電や産業機械向けに加えて、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おり、中長期的なエネルギー需給戦略において、モーターの省エネは最重要課題の一つである。特に高効率モーターの性能は磁性材料に依存しており、省エネを推進するためには、高性能磁性材料の開発が鍵となる。

磁性材料のネオジム磁石は日本で発明された磁石であり、我が国は磁石技術で世界をリードしてきた。特に自動車駆動用モーターに使用される高性能磁石は、日本企業のみが生産している。しかし、昭和57年に発明されたネオジム磁石の基本特許等は排他的独占権が切れつつあり、革新的な新規高性能磁石の開発が最重要課題となっている。

持続性社会を目指したSDGsの動きが世界的に広がる中で、元素の資源においても持続性を持たせる必要があり、これを目指した研究を世界に先駆けて行う必要がある。

## ②我が国の状況

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。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、今後駆動用モーターを搭載した次世代自動車の生産台数が増加すると2030年には資源の絶対量が足りなくなる恐れがある。

そこで、我が国ではジスプロシウムの添加量を削減した、あるいは、使用しないネオジム磁石の開発を進めてきた。さらに、レアアースを使用しないネオジム磁石を凌駕する磁石の開発を進めてきた。

## ③世界の取組状況

中国は、低いジスプロシウムの調達コストを活かし低価格のネオジム磁石を市場に供給しており、2015年の世界シェアの80%近くを占め存在感を増している。研究開発力、品質の高さにおいて日本は世界をリードしているが、中国には研究者の数が多く特許も多数出願されるようになり、性能面でも日本製品をキャッチアップしつつある。現状、次世代自動車の駆動用モーターには、性能と品質の高さから日本製のネオジム磁石が100%使用されているが、韓国や欧州の自動車メーカーでは中国製ネオジム磁石の採用が進み始めている。また、欧米、特に米国ではレアアースのリサイクル率を高め、リサイクルで全体の資源有効活用を高めるといったような、トータルシステム指向の発想による問題解決を図っている。

そのような中、更なる技術革新を目指して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。未だ有力な磁石は開発できていないが、その開発動向を調べると、レアアース（希土類）を使用しない（レアアースフリー）磁石から、最近では、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の主流が変わってきている。

世界的に自動車の電動化が急速に進んでおり、このまま駆動用モーターの需要が増加すると、重希土類元素のみならずネオジム資源もリスク化する可能性が示唆されてきている。

## ④本事業の狙い

本プロジェクトは、レアアースに依存しない革新的高性能磁石の開発、さらにはモーターを駆動するためのエネルギーの損失を少なくする高性能軟磁性材料の開発を行うと共に、新規磁石、

新規軟磁性材料の性能を最大限に生かして更なる高効率を達成できるモーター設計の開発を行うことで次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの省エネ化を図り、競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与することを目指す。

本プロジェクト後半の第2期では、世界最強のネオジム磁石を凌駕する高性能磁石の開発に特化する。

## (2) 研究開発の目標

### ①アウトプット目標

第1期では、レアアースに依存しない革新的高性能磁石の開発、エネルギーの損失が少ない高性能軟磁性材料の開発、さらにはこれらの新規磁石や新規軟磁性材料の性能を最大限に生かして更なる高効率を達成できるモーターの開発を行い、エネルギー損失を従来モーター比 25%削減する高効率モーターの実現を目指す。

第2期では、新規高性能磁石開発に特化して取り組むこととし、第1期での軟磁性材料やモーター評価技術開発の成果と合わせて、従来モーター比で 40%エネルギー損失低減と 40%小型化を実現する資源リスクに配慮した磁性材料の開発を目指す。

それぞれの研究開発項目の具体的な開発目標は、別紙の研究開発計画の通りとする。

### ②アウトカム目標

次世代自動車用高性能モーターは、エアコンなどの家電製品、ならびに産業用ロボットなどの産業機器に波及拡大するため、国内電力消費量の約半分を占めるモーター全体の効率を上げることができる。モーター鉄損の低減及び新規高性能磁石を用いた高効率モーターへのシフトを考慮し、2030年に年間890万トンのCO<sub>2</sub>排出量削減が見込まれる。また、上記年間CO<sub>2</sub>削減量を890万トンの約78%を占める産業用モーターに限っても、低損失化により、年間240億kWhの電力使用料削減に寄与し、金額ベースでは年間3700億円の削減になる。(15円/kWhとして算出)

高効率モーター市場に関しては次世代自動車の2030年における販売台数を288万台とし、その30%に高効率モーターが搭載されたとした場合530億円/年の市場が創出される。また、産業用モーターの2030年の国内出荷額を約2000億円とし、その30%に高効率モーターが搭載されたとした場合600億円/年の市場が創出される。両方合わせると、約1100億円/年の高効率モーター市場創出が見込まれる。

### ③アウトカム目標達成に向けての取組

研究開発と並行して実用化に向けて、本プロジェクトで開発した成果を広く社会に普及させるためにワークショップ等を通じた成果発信を積極的に行う。我が国の産業競争力向上のための国際標準獲得に向けた技術開発も行う。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために以下の研究開発項目について、開発を行う。

それぞれの研究開発項目の具体的な開発内容は、別紙の研究開発計画の通りとする。

### [委託事業]

#### 研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

研究開発項目①-1 ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

研究開発項目①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

#### 研究開発項目② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

#### 研究開発項目③ 高効率モーターの開発

#### 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び 共通基盤技術の開発

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術に対して、産官学の複数事業者が互いのノウハウなどを持ち寄り、協調して実施する事業であり、委託事業として実施

する。また、開発成果の社会への浸透を図るため、成果の一部は、開発段階に合わせて順次実用化する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャーに NEDO 材料・ナノテクノロジー部 横沢伊裕を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクト「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」において実施されるものであり、経済産業省が 2012 年度に企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開始したものである。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）が本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえて研究開発を実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として産業技術総合研究所 磁性粉末冶金研究センター長の尾崎公洋を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、運営推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、定期的に事業の進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、技術動向調査をした上でロードマップ、プロジェクト戦略を策定しプロジェクトマネジメントに活用する。

#### ①研究開発の進捗把握・管理

NEDO は、主としてプロジェクトリーダーをとおして研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術推進委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

#### ②技術分野における動向の把握・分析

NEDO は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

## 3. 研究開発の実施期間

2014 年度から 2021 年度までの 8 年間とする。ただし、研究開発期間を 2014 年度から 2016 年度までの 3 年間の第 1 期、2017 年度から 2021 年度までの 5 年間の第 2 期と区分して実施する。社会情勢等の変化を踏まえ、第 2 期の研究開発項目及び目標は、第 1 期の最終年度（2016 年度）に策定することとする。

なお、本プロジェクトは、2012 年度～2013 年度については経済産業省で実施したが、2014 年度から NEDO が実施する。

## 4. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。

第1期については中間評価を2014年度、及び2016年度に実施する。研究開発の進捗状況等を鑑み、評価後実施体制を委託と助成の複合型とすることも検討する。

第2期は2019年度中間評価を実施し、2022年度に事後評価を実施する。なお、中間評価段階においても、内外の研究開発動向、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化を踏まえ、本事業の必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等について見直しを行うこととする。特に、研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるものは、予算の加速や研究開発の前倒し終了、助成事業への移行など弾力的に行うこととする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に導入・普及するように努めるものとする。また、NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及・導入を促進する。

#### ②標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため、標準案の提案等を必要に応じて実施する。

#### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産等の取扱いに関する基本的考え方」に基づき、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に則り、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、プロジェクト実施者に、知的財産管理規定、再委託契約書、共同研究契約書等を制定させる。

#### ④知的マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制、新規テーマの追加等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ニに基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2014年3月、制定

(2) 2014年5月、改訂

(3) 2015年2月、改訂（2014年に実施した中間評価結果を反映）

(4) 2017年2月、改訂（第2期開始に伴う見直し）

(5) 2017年9月、改訂（PMの変更に伴う見直し）

(6) 2021年7月、改訂（2020年技術推進委員会を受けて資源配慮を明記）

(別紙1) 研究開発計画

研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

研究開発項目①-1 ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

1. 研究開発の必要性

次世代自動車の駆動用モーターに使用されているネオジム磁石は、耐熱性を付与するためにジスプロシウムを添加している。ジスプロシウムを添加すると耐熱性が良くなる一方、磁石の強さは低下する。したがって、ジスプロシウムを使わずに耐熱性を付与出来れば、磁石の強さを大幅に向上させることができる。

2. 研究開発の具体的内容

ジスプロシウムを使わず耐熱性を付与し、1.5倍の強さ(最大エネルギー積)を持つ耐熱ネオジム磁石の開発を行う。

3. 達成目標

【中間目標 (2014年度末)】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の1.25倍の最大エネルギー積「180℃において32MG0e」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確認する。また、以下の各項目について要素技術を確認する。

- ・高配向性微結晶からなる原料合金製造技術
- ・高異方性ナノ結晶粒を有する磁石粉末製造技術
- ・最適粒界形成技術
- ・結晶粒の肥大化を抑制できる焼結固化技術

【最終目標 (2016年度末)】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の1.5倍の最大エネルギー積「180℃において38MG0e」を持つジスプロシウムを使わないネオジム磁石の製造技術を確認する。

## 研究開発項目①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

### 1. 研究開発の必要性

第1期では、「供給リスクのあるレアアースを使用しない強力な磁石を開発することは、我が国として戦略的に取り組むべき課題である」という必要性から本研究開発項目に取り組んできた。

第2期では、自動車電動化のキー材料である磁石の革新は我が国の産業競争力強化に重要であるため、新磁石の研究開発に取り組む。ただし、今後の実用化の際の資源リスク、コスト等を考慮し、レアアースのうち重希土類は使用しないこととする。

### 2. 研究開発の具体的内容

第1期では、「ネオジム焼結磁石では達成できない特性である、耐熱性を有し2倍の強さ（最大エネルギー積）をもつ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石の探索・開発を行う。

第2期では、重希土類フリー磁石で最適構造・最適組織の探索及び開発、ナノ組織制御技術開発、粒子合成プロセス開発に取組み、ネオジム焼結磁石の2倍の強さを持つ高性能新磁石を開発する。また、従来磁石の性能を維持し資源リスクが高まる可能性のある希土類元素を削減した磁石の開発を行い、それらを試作モーターに実装し損失低減と小型化の検証を行う。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標（2014年度末）】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群を探索し、その可能性を示す。

#### 【中間目標（2016年度末）】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石となりうる磁石群の探索・可能性検討結果より、課題の抽出及び基本材料設計の指針を示す。ただし、磁石使用温度に関しては、「③高効率モーターの開発」の解析・評価結果を反映させる。

#### 【中間目標（2019年度末）】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ磁石を実現するために関連する要素技術を開発する。

#### 【最終目標（2021年度末）】

現在の耐熱性ジスプロシウム含有ネオジム焼結磁石の2倍の最大エネルギー積「180℃において50MG0e」を持つ磁石を開発する。また、従来磁石の性能を維持しつつ希土類元素（産出量が多く資源リスクの少ない、ランタンおよびセリウムを除く）を50%以上削減した磁石を開発する。開発した磁石材料を試作モーターに実装し損失低減と小型化の検証を行う。

## 研究開発項目② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

### 1. 研究開発の必要性

次世代自動車には、駆動用モーターの鉄心などに軟磁性材料が使用されている。これらの軟磁性材料は、使用中に磁束が通ると損失（鉄損）が生じ、熱が発生する。鉄損はモーターの効率低下を伴うだけでなく、放熱部品や冷却装置追加による車両重量やコスト増加（＝航続距離及びコスト競争力の低下）の問題を発生するため、低損失な軟磁性材料の実用化が急務となっている。

### 2. 研究開発の具体的内容

現在のモーター鉄損を80%削減できる新軟磁性材料の実用化製造技術を開発する。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標（2014年度末）】

磁気特性が「Bs1.6T以上」「400Hz・1Tにおける損失3W/kg台」を両立する「Fe基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確立する見通しを得る。また、モーターとしての省エネ効果を検証する。また、以下の各項目について要素技術を確立する。

- ・超急冷粉末アトマイズ技術、粉末熱処理技術
- ・薄帯積層技術、ナノ結晶素材バルクコア熱処理技術

#### 【最終目標（2016年度末）】

磁気特性が「Bs1.6T以上」「400Hz・1Tにおける損失3W/kg台」を両立する「Fe基ナノ結晶軟磁性材料」の実用化製造技術を確立する。また、モーター・磁性材料技術開発センターと連携してモーターを試作することにより省エネ化を実証する。

## 研究開発項目③ 高効率モーターの開発

### 1. 研究開発の必要性

既存・新規磁性材料を用いて、産業競争力がある小型・高効率モーターを開発することは、我が国のエネルギー政策にとって大きな効果がある。

### 2. 研究開発の具体的内容

実機モーター組込時の磁性特性評価技術、モーター構造設計技術及びそのモーターを低損失にて駆動できるインバーター制御技術を開発し、その性能・信頼性評価を確立する。

なお、社会情勢、政策動向の変化から本研究開発項目は第1期をもって終了するものとする。ただし、モーターへ実装した磁性材料の評価技術については、研究開発項目④で取り組むこととする。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標（2014年度末）】

エネルギー損失を従来モーター比25%削減する高効率モーター設計に関する課題の抽出及び基本設計指針を示す。また以下の各項目について要素技術を確立する。

- ・ 高低温減磁試験評価技術
- ・ 超高精度モーター損失分析評価技術

#### 【最終目標（2016年度末）】

高効率モーターの試作・評価を行い従来モーター比でエネルギー損失を25%削減する高効率モーター実現の見通しを得る。また以下の各項目について要素技術を確立する。

- ・ 3次元磁石減磁評価試験技術
- ・ インバーターとモーターのトータルでの低損失化設計手法技術

## 研究開発項目④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

### 1. 研究開発の必要性

ネオジム磁石に関する米国の基本特許が 2014 年に切れるにあたり、我が国の優位性が低下する恐れが指摘されている。この様に、特許戦略は事業化には必須であり、磁性材料から最終製品であるモーターまでを巻き込んだ特許戦略議論が重要となっている。また、磁石開発を支援するための先端解析や評価技術が開発力強化のために重要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

磁性材料・モーター設計に関する各事業者の特許戦略策定を支援するため、磁性材料からモーターまで全てを網羅した特許調査・技術動向調査を行う。また、共通基盤技術として、各テーマで共通する基盤的な技術開発や材料開発、分析・評価・解析・保磁力機構の解明などを行う。更に現在のテーマに挙がっていない新規高性能磁石材料の探索を行う。

### 3. 達成目標

#### 【中間目標（2014 年度末）】

##### （1）「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

磁石材料、軟磁性材料、モーター設計に関する先行特許調査・技術動向調査を行い、各事業者の研究開発項目①～③の磁性材料・モーター設計の開発方針の策定に反映させる。

##### （2）「共通基盤技術の開発」

本研究のそれぞれのテーマにて開発する新規磁性粒子・粉末について材料の焼結性を高めるための、材料毎に応じた表面処理技術を開発する。

#### 【中間目標（2016 年度末）】

##### （1）「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

「研究開発項目①-1 ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発」、「研究開発項目①-2 ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発」、「研究開発項目② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発」、「研究開発項目③ 高効率モーターの開発」の成果を事業化するための各事業者の特許戦略策定を支援する。

##### （2）「共通基盤技術の開発」

各テーマの材料開発に寄与できる基盤的な技術開発や、磁性材料のバルク化、また分析・評価・解析及び保磁力機構の解明などを行う。さらに標準化も視野にいたした特性評価を行う。

##### （3）「新規高性能磁石材料の探索」

現在のテーマに挙がっていない新規高性能磁石材料の探索・可能性の検討を行い、基本材料設計の指針を示す。

#### 【中間目標（2019 年度末）】

##### （1）「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

磁性材料に関する情報センター構築に向けたコンテンツの整備を完了する。

##### （2）「共通基盤技術の開発」

- ・磁石製造の配向制御、組織制御の技術開発に目処を付ける。
- ・磁気特性予測システムの構築に目処を付ける。
- ・高保磁力に対応した磁気特性評価技術を開発する。
- ・高負荷環境下での磁性材料評価・解析技術を開発する。

【最終目標（2021年度末）】

(1) 「特許・技術動向調査・特許戦略策定支援」

磁性材料に関する情報センターを構築する。

(2) 「共通基盤技術の開発」

- ・磁石製造の配向制御、組織制御技術を開発する。
- ・磁気特性予測システムを開発する。
- ・高速・高精度な磁気特性評価技術を開発する。
- ・モーターの解析及び試作等を通じて、モーター実装を想定した評価技術(シミュレーション)を開発し、モーター及び新規磁石の有効性を明らかにする。

(別紙2) 研究開発スケジュール

	H24 2012	H25 2013	H26 2014	H27 2015	H28 2016	H29 2017	H30 2018	H31 2019	H32 2020	H33 2021	H34 2022
<b>研究開発項目①</b>	1 Dyを使わないネオジム焼結磁石の高性能化										
	2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石										
<b>研究開発項目②</b>	次世代高効率モーター用 高性能軟磁性材料の開発										
	高効率モーターの開発										
<b>研究開発項目④</b>	特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び、 共通基盤技術の開発										
	<b>METI直執行</b>	★ 中間評価		★ 中間評価		★ 中間評価			★ 中間評価		



# 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発 事前評価報告書

平成23年7月  
産業構造審議会産業技術分科会  
評価小委員会

## はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成20年10月31日、内閣総理大臣決定)等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」(平成21年3月31日改正)を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

今回の評価は、次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発の事前評価であり、評価に際しては、当該研究開発事業の新たな創設に当たっての妥当性について、省外の有識者から意見を収集した。

今般、当該研究開発事業に係る検討結果が事前評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会(小委員長:平澤 冷 東京大学名誉教授)に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成23年7月

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会  
委員名簿

委員長	平澤 冷	東京大学 名誉教授
	池村 淑道	長浜バイオ大学バイオサイエンス研究科研究科長 バイオサイエンス学部学部長 コンピュータバイオサイエンス学科 教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環 教授 東京大学生産技術研究所 教授
	太田 健一郎	横浜国立大学 特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター 教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
	中小路 久美代	株式会社SRA先端技術研究所 所長
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科 教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部 主席研究員

(委員敬称略、五十音順)

事務局:経済産業省産業技術環境局技術評価室

次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発の評価に当たり  
意見をいただいた外部有識者

大森 賢次	日本ボンド磁性材料協会 専務理事 事務局長
岡田 益男	八戸高専・校長（東北大学名誉教授）
丸山 正明	技術ジャーナリスト（元日経 BP プロデューサー）

（敬称略、五十音順）

事務局：経済産業省製造産業局非鉄金属課

次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発の評価に係る省内関係者

【事前評価時】

製造産業局 非鉄金属課長 星野 岳穂(事業担当課長)

製造産業局 自動車課 電池・次世代技術室長  
兼 ITS推進室長 井上 悟志(事業担当室長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 秦 茂則

次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発事前評価  
審議経過

○新規研究開発事業の創設の妥当性に対する意見の収集(平成23年5月)

○産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会(平成23年7月1日)

・事前評価報告書(案)について

## 目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿

次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発事前評価に当たり意見をいただいた外部有識者

次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発の評価に係る省内関係者

次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発事前評価 審議経過

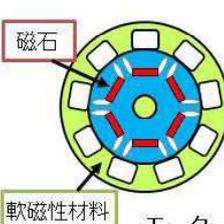
	ページ
第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要	
1. 技術に関する施策の概要 .....	1
2. 新規研究開発事業の創設における妥当性等について .....	2
3. 新規研究開発事業を位置付けた技術施策体系図等 .....	4
第2章 評価コメント .....	5
第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針 .....	10
参考資料 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発の概要(PR資料)	

# 第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

## 1. 技術に関する施策の概要

我が国が競争力を持つ磁石およびモーター関連部素材産業を維持・強化するためには、飛躍的な性能向上、省エネルギー化が期待できる研究開発を推進することが必要不可欠である。

このような中で、平成23年3月に策定した「省エネルギー技術戦略2011」にあるように、我が国の主力産業の一つであり、国際的な技術開発競争が最も激しい分野の一つでもある自動車産業の競争力強化と省エネルギー化への貢献を目的に、電気自動車やプラグインハイブリッド自動車の性能向上を視野に入れたモーターのさらなる高効率化、かつ、また資源の安定供給確保に資するレアメタルを使用しないモーターの技術開発に取り組む。

事業の内容	事業イメージ
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center; background-color: #fce4ec;">事業の概要・目的</p> <p>○低炭素社会の実現に向けて次世代自動車の普及が推進されていますが、さらなる省エネルギーの加速には、一段と効率の高いモーターが必要です。省エネルギーには、Dyを添加したNd-Fe-B系磁石を搭載した高性能モーターが不可欠ですが、重希土類元素(Dy)の枯渇により将来にわたる安定供給が不安視されており、新規の磁石材料が期待されています。最近、飽和磁化の高いFe-N系磁性粉末が国内で開発され、高性能磁石への展開と実用化が期待されています。</p> <p>○次世代自動車用の高効率モーターを構成する材料・部材開発を目的とし、Fe-N系磁性粉末をさらに高保磁力化するための材料開発、また、従来磁石の特性を飛躍的に向上させるナノコンポジット磁石材料開発、DyフリーNd-Fe-B磁石材料開発、プロセス開発により、従来磁石より高性能な新規磁石を開発するとともに、新規磁石に対応した低損失の軟磁性材料を開発します。</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #fce4ec;">条件（対象者、対象行為、補助率等）</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; gap: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">国</div> <div style="font-size: 24px;">→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">NEDO</div> <div style="font-size: 24px;">→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">大学・研究機関・民間企業等</div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;"> <span style="margin-right: 10px;">交付金</span> <span style="margin-right: 10px;">委託</span> <span>補助</span> </p> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center; background-color: #fce4ec;">事業イメージ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○<b>高性能新規磁石粉末の開発</b> 結晶磁気異方性が高く高保磁力を持つFe-(M)-N磁石粉末を開発する。また、従来に比べ高い最大エネルギー積を持つナノコンポジット磁石粉末、DyフリーNd-Fe-B磁石粉末を開発する。従来磁石とは全く異なる組成および製造プロセスのため、飛躍的な性能向上が期待でき、省エネルギーおよび市場への波及効果が大きい。</li> <li>○<b>新規磁石粉末製造技術の開発</b> 高性能新規磁石粉末を効率的に製造する技術を確立。</li> <li>○<b>高密度焼結技術の開発</b> 低温で高密度かつ高効率に粉末を焼結する技術を確立。バルク体の密度を向上することで磁石特性の向上を実現。</li> <li>○<b>低損失軟磁性材料の開発</b> モーターを駆動するための電気に対してエネルギーロスを少なくして磁場に変換できる材料開発と製造技術の確立。</li> <li>○<b>新規磁石・軟磁性材料によるモーター設計と評価</b> 新規磁石・軟磁性材料の性能を最大限に生かしたモーターの設計および評価。</li> </ul> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 20px;">  <p>磁石</p> <p>軟磁性材料</p> <p>モーター</p> </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p style="font-size: 24px;">→</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>次世代自動車</p>  </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-top: 10px;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p style="font-size: 24px;">→</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>家電、産業機器</p>  </div> </div> </div>

## 2. 新規研究開発事業の創設における妥当性等について

### ①事業の目的及び実施によるアウトプット、アウトカムについて

我が国が競争力を持つ磁石およびモーター関連部素材を維持・強化するために、次世代電気自動車に用いられるモーターを小型、高効率化できる高性能磁石および高効率軟磁性材料の技術開発を行うことによって、資源の安定供給と我が国の二酸化炭素排出削減と省エネルギー化を図るとともに、自動車をはじめとし、省エネ高効率モーターの利用がエアコン、冷蔵庫、洗濯機などの家電製品、ならびに産業用ロボットなどの産業機器に波及・拡大することによって、我が国の産業競争力強化を図る。

### ②事業の必要性について

低炭素社会の実現に向けて次世代自動車(HEV, EV)の普及が推進されているが、さらなる省エネルギー化の加速には、一段と効率の高いモーターが必要となっている。現在は、Dy を添加した Nd-Fe-B 系磁石を搭載した高性能モーターが使用されているが、重希土類元素(Dy)の枯渇により将来にわたる安定調達に不安視されており、新規の磁石材料開発が必要となっている。

そのような中、最近、飽和磁化の高い Fe-N 系磁性材料や、硬磁性材料と軟磁性材料からなるナノコンポジット材料が注目されており、高性能磁石への展開と実用化が期待されている。

そこで、現在のハイブリッド自動車や電気自動車用モーターに用いられている Dy 添加 Nd-Fe-B 磁石を上回るポテンシャルを持つ Fe-(M)-N 系磁性材料、ナノコンポジット等新規磁石材料の開発や、高保磁力化技術、粉末合成技術、粉末焼結技術を開発し、高温領域にて用いられる自動車用モーターに使用できる新規磁石を開発する。

また、新規磁石の特性に対応して、モーターを駆動するための電気的なエネルギーロスを少なく磁場に変換する軟磁性材料の開発を行う。

さらに、開発する新規磁石、新規軟磁性材料の性能を最大限に生かしたモーター設計(磁石を使用しないモーターの新規設計も含む)および評価を行うことにより、さらなる小型、高効率化を図ったモーター用磁性材料の実用化に取り組む。

加えて、高性能モーターは、エアコン、冷蔵庫、洗濯機などの家電製品、ならびに産業用ロボットなどの産業機器に波及し拡大するため、経済効果は非常に高いものとなる。

### ③次年度に予算要求する緊急性について

Dy を含むレアアースは、世界の供給の97%を中国に依存しているが、中国政府はレアアースの輸出規制を行っており、2010年にレアアース輸出枠を約40%減と大幅に削減。本年の第一期輸出枠も前年同時期比で約40%削減した。さらに、2010年の輸出枠大幅削減以降、レアアースの価格が高騰するなど、レアアースの調達環境が急激に悪化している。そうした、調達環境の悪化は、世界の産業に影響を及ぼす懸念がある。また、中国国内の需要も風力発電等により爆発的な増加が予想され、2015-2020 年の間で枯渇するとの予測もあり、我が国としては、Dy を使用しない新規磁石材料の開発が緊急の課題となっている。

### ④国が実施する必要性について

磁石開発の歴史は、新規材料の出現による非連続性であり、現在高性能磁石として主流である Nd-Fe-B 系磁石の性能は、理論値に近付きつつあり、民間企業が行っている連続型の研究では大きな材料革新を伴う特性向上が見込めないのが現状である。そのため、非連続型研究である新規高性能磁石の開発に国が特に積極的に関与し、支援することが必要で

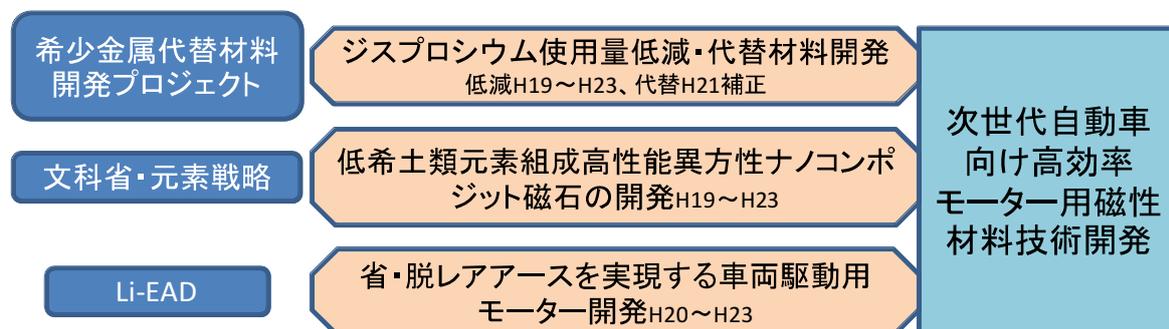
ある。また、自動車各社の社長クラス等を委員とした次世代自動車戦略研究会では、産学官連携によるDyフリー磁石の研究開発の必要性を強く訴えている。

また、国内の全電力消費量の51%(5,020億 kWh)がモーターによるエネルギー消費であり、現在主流の三相誘導モーターが永久磁石モーターに置き換わりトータル効率5%向上すると250億 kWhの電力削減に加え、全電力消費量のモーター鉄損2.4%(235億 kWh)を新規軟磁性材料により8割削減すると180億 kWhの電力削減となり、合わせて430億 kWh原発6基分に相当の電力消費量削減となり、エネルギー政策上も重要。

#### ⑤省内又は他省庁の事業との重複について

磁石技術開発に関しては、現在、経済産業省において「希少金属代替材料開発プロジェクト」内にて「希土類磁石向けジスプロシウム使用量低減技術開発」(H19～H23)および「Nd-Fe-B系磁石を代替する新規永久磁石の研究」(H21補正)、文部科学省の「元素戦略プロジェクト」内にて「低希土類組成の高性能異方性ナノコンポジット磁石の可能性の追求、次世代磁石材料の探索」(H19～H23)が行われているが、両省の当該2つの事業については情報交換連携が図られており、本事業はこれらの成果を基に連携し新規高性能磁石の開発を行うものである。

また、経済産業省において「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発(Li-EAD)」内の要素技術として「省・脱レアアースを実現する車両駆動用モーター開発」(H20～H23)が行われているが、当該事業では、既存の磁石、軟磁性材料を用いた新規モーター技術開発を行うもので、本事業ではLi-EADプロジェクトの成果を活用しつつ、本事業で開発される新規磁石・軟磁性材料の性能を最大限に生かしたモーター設計(磁石を使用しないモーターの新規設計も含む)および評価を一体的に行い、事業化を見据えた効率的な開発を行うものである。





## 第2章 評価コメント

### 事業の目的・政策的位置付け(新規研究開発事業の創設)の妥当性等に対するコメント

日本はこれまでハイブリッド型自動車や電気自動車などの次世代自動車について先駆的動きをしてきたが、中国政府による資源戦略の影響をまともに受けて永久磁石用原材料としてのレアアースの入手が困難になったため、新しい技術開発が重要となった。

次世代自動車は、日本の自動車産業の今後の行方を大きく左右する戦略商品である。その次世代自動車の重要な課題は限られた電気を如何に有効に利用してモーターを作動させるかである。その次世代自動車の設計や性能を大きく左右する高性能モーターを下支えする高性能磁石は、日本の材料・部品産業の生命線になりつつある。この高性能磁石の実用化で先手を打つためには、国の強力な支援が不可欠になる。この高性能磁石の実用化を先行させるためには、新型コンポジット磁石などの新しい研究開発プロジェクトを含めて戦略的に始める必要がある。材料・部品に強い日本の製造業を維持するためにも、その重要性が高まっている。

なお、経産省と文科省が一体となって、進めるべきテーマの整理をすることが必要である。それぞれの役割を尊重し合って、成果は見えにくいが斬新なテーマの選択をする必要がある。どうしても目先の成果を追う傾向があり、管理者が理解しやすいテーマ、すなわち比較的风险が少ないテーマを選ぶ傾向になってしまうが、リスクを覚悟しないで新材料の開発を進めることは不可能である。

(以下に有識者のコメントを列記して下さい)

●事業の目的及び実施によるアウトプット、アウトカムについて(研究開発の定量的目標、社会的課題への解決や国際競争力強化への対応等)

○肯定的意見

我が国で世界に先駆けてハイブリッド自動車を開発できたのは、永久磁石および軟磁性材料等のモーター関連部素材等の我が国の高い技術力があってこそである。中国のレアアース問題はこの日本が優位にたっている技術力を脅かすものである。本事業の省エネ高効率モーターの開発は、未来自動車だけに留まらず、エアコン、冷蔵庫、洗濯機などの家電製品、ならびに産業用ロボットなどの産業機器に波及・拡大するもので、モーターの需要の拡大と共に、その資源の安定供給をも達成するものであり、評価される。

ハイブリッド型自動車や電気自動車などのこれから比率を増やすと予想される次世代自動車に不可欠な高性能モーター向けに、Nd-Fe-B 磁石が十分に供給されることが必要条件になる。この場合に、Nd-Fe-B 磁石を高温環境で使えるために必要な Dy 添加量を大幅低減あるいは無添加にする必要性が、今後の資源確保の動向から予想される。次世代自動車の市場形成の前に、Dy 添加量を大幅低減した Nd-Fe-B 磁石を実用化し、その新型 Nd-Fe-B 磁石の品質保証をし、高性能モーターの品質保証を速やかに確立することが不可欠となる。

同時に、その新型 Nd-Fe-B 磁石の将来版として、Fe-N 磁石などの基盤技術を並行して確立する研究開発が不可欠となる。

こうした緊急課題になった高性能磁石の研究開発・事業化を国が積極的に支援することは、日

本が国際市場で果たすべき材料・部品のサプライチェーンの役割を果たす必要条件を満たすために重要である。

日本企業が新型 Nd-Fe-B 磁石の将来版で事業を展開するためには、いくつかの研究開発プロジェクトを同時並行で進めて、実用化する確率を高める戦略が必要になる。

Nd-Fe-B 合金の飽和磁化は16kG であり、異方性磁界は67kOe である。HEV または PEV に使用するためには30kOe 程度の保磁力が必要であり、Nd の一部を Dy で置換した焼結磁石が現在使用されている。

Nd を Dy で置換することで異方性磁界を高め、高保磁力化が可能となるが、飽和磁化の減少を伴うという問題がある。また、Nd は比較的広く存在するのに対して、Dy は極めて偏在しているため中国からの輸入に頼らざるを得ないという大きなリスクがある。

H19 から H23 の Dy 使用量低減のプロジェクトで、Dy なしで20kOe の保磁力が得られるようになったことは大きな成果であると評価する。

したがってこれらの成果をさらに発展させるため、Dy を使用しないで30kOe 程度の大きさの保磁力を得るための開発は今後も継続して進めるべきものとする。

飽和磁化が高い Fe-N 系磁性材料の開発では、強磁性窒化鉄の単相を粉末として分離・生成する手法が初めて確立できたことは高く評価したい。また、異方性磁界を大きくするための組成開発を進めて欲しい。

ナノコンポジット磁石は Nd-Fe-B と高い飽和磁化を有する軟磁性材料 Fe または Fe<sub>3</sub>B との複合による高エネルギー積を目指したものであり、現在のところ等方性でのみ実現している。異方化が可能になれば磁化は Nd-Fe-B を超える大変優れた材料になるためぜひ実現して欲しい材料である。

鉄粉の表面を絶縁処理した上で高密度化する技術は今後のコア材料として重要である。現在は高密度化した際に生じるひずみを十分回復させるために高温で熱処理を行う。この結果、保磁力が小さくなり、ヒステリシス損は小さくなるが、絶縁被膜が破壊されることで渦電流損の増大が起こってしまう。優れた絶縁処理被膜を開発することで鉄損を低減する技術開発が今後のモーター開発において極めて重要である。

## ○問題点・改善すべき点

Dy なしで30kOe の保磁力を有する Nd-Fe-B 磁石を実現するためには 0.1 μm 程度の大きさの結晶粒径を焼結後に実現する必要がある。焼結前の圧粉体として 0.1 μm 以下の粒子を磁場配向させることが困難である上、液相焼結後に 0.1 μm 程度に結晶粒径を抑えることはかなり難しい技術である。1 μm 程度の大きさで30kOe 程度の保磁力を得るための粒界改質などが可能かどうかポイントである。

窒化鉄の強磁性相が分離回収できたことは驚きであるが、従来言われている異方性磁界は10kOe 程度であるため、自動車用の磁石として30kOe 程度が必要であるという要求にはすぐに対応できないことを理解して進めるべきである。

ナノコンポジット磁石で異方化する研究はこれまでも色々なされてきたがなかなか実現できていない。薄膜などで実現することはもしかしたら可能かもしれないが、それは自動車用磁石としてはかなりかけ離れた材料であることを認識すべきである。

鉄粉を用いたコア材の開発は当初のリン酸被膜から始まり酸化マグネシウム被膜など色々研究がなされかなり改良が進んだように思えるが、もうひとつブレークスルーが必要と思われる。

●事業の必要性について(出口を見据え成果を社会へ普及させる戦略(研究開発にとどまらず、実証や性能評価・標準化等を含む実用化に向けた取組み等))

○肯定的意見

高効率モーター用の新規永久磁石材料、新規軟磁性材料、それらを利用した小型、高効率化をモーター設計までも含まれており、実用化に向けたシナリオが立案されており、妥当であると判断される。

材料開発は、その高性能磁石向け材料の製造技術の確立から、高性能モーターの品質保証技術、その高性能モーターを組み込んだ次世代自動車の設計技術と品質保証などの一連の要素技術をすべて確立しないと、当該の高性能モーターを供給する態勢は築けない。このためには、当該の高性能モーターを供給するために必要な一連の性能評価技術などを加速する、国による実用化支援の必要性が高まっている。

次世代自動車の用途以外にも、高性能風力発電機などの今後必要性が高まる可能性が高い用途向けにも、当該の高性能モーターに必要な一連の性能評価技術などを加速する必要性が高まっている。

低二酸化炭素化社会を実現するためにはHEV、PEVまたはEVが次世代自動車として不可欠である。そのための大きな開発課題は高容量二次電池と高効率モーターの開発である。

高効率モーター実現のためには、磁気回路を組んだ際の磁束が重要であるため、より大きな磁束密度と大きな保磁力を有する永久磁石の開発が大変重要である。

Nd-Fe-B焼結磁石が生まれ、実際にHEV用に使われ始めた際には、高保磁力化に不可欠であったDyの入手についてはあまり大きな問題にならなかった。Dy生産現場の環境問題、中国国内メーカーの生産量増加および永久磁石需要の大きな伸びなどが考慮され、中国政府の輸出抑制策が露わになり障害となっている。

Ndについては比較的広く世界に分布していることが分かっており対応は比較的楽観視できるが、Dyについては悲観的である。したがって、Dyをできるだけ使わない高性能磁石の開発は日本国にとって極めて重要な課題である。

希土類元素そのものを使わずに高性能磁石を得ることができればさらに望ましいことであり、また、ナノコンジット磁石を異方化することで、現在のNd-Fe-B焼結磁石に比べてより高エネルギー積の材料が得られるならば自動車用途として高効率化とともに軽量化が可能になり魅力的である。

軟磁性鉄粉を用いたコア材料は3次元設計が可能となるためモーター設計において自由度が増し、高効率化するため魅力的である。

○問題点・改善すべき点

開発以前から問題視すべきではないかもしれないが、実用化した場合の部材の価格が課題になる可能性がある。特に新規軟磁性材料を応用したモーター。

●次年度に予算要求する緊急性について

○肯定的意見

中国のレアアース規制で希土類金属の入手が困難となり、入手できても価格が高騰している。また、高効率モーターはこの被災での電気不足を補うものでもある。

電気自動車市場の立ち上がりは日欧米・中国などで緊急課題になり、高性能磁石、それを用いた高性能モーターの供給が急がれている。その緊急課題向けに高性能磁石を開発する確率を高める研究開発プロジェクトの国による支援が重要性を高めている。

中国政府による資源管理の影響で Nd, Dy の価格高騰が進んでおり、自動車産業に与える影響は甚大である。早急に特に Dy を減らした磁石の実用化を進める必要がある。

○問題点・改善すべき点

特になし

●国が実施する必要性について(非連続的研究、民間とのデマケの整理等)

○肯定的意見

新規高性能磁石開発は挑戦的な課題でもあり、民間だけの研究費では、達成は不可能に近い。国が積極的に関与し、奨励すべき課題である。

Dy の供給不足が目の前に迫っている現在、それに対応した新型 Nd-Fe-B 磁石の実用化を確実にするためには、国の支援が不可欠になっている。

材料一般に言えることであるが、新磁石材料も非連続的に開発された。その開発には日本人が主に関わっており、また、その生まれた材料の性能向上では、日本人の研究者のコツコツと取り組む努力が成果を上げてきた。

新しい材料開発は一般にこれまでの知識、経験の外にある。日本における新しい磁石の発見は民間企業内部で行われたことがこれまで多くあったが、そのための素地として研究開発に対する精神的な余裕があったものと推測する。残念ながら最近の民間企業はその余裕を持たせる環境ではなくなっている。成果主義、管理社会が自由な発想を押し殺してしまっている。したがって国が民間の活力も利用しながら進めなければならなくなっている。

○問題点・改善すべき点

新材料の開発にこれまでの知識、経験がそのまま役に立つようであれば開発のスケジュールが立てられるのだが、一般にそのようなレベルの材料は真に新材料といえるものではない。皆に十分説明可能なレベルで開発を進めるようであればまず新しいものは生まれにくい。管理が難しいのが問題であるが、やはりダメ元で新しい研究をさせていくことが重要であると考えられる。

データを積み重ねることによって新材料開発の基礎はできるが、新材料の発見はそれだけでは得られないものである。

ただ、国も早急に成果を求める動きになっており実際は難しいと思われる。

何か良い方法はないか？

●省内又は他省庁の事業との重複について

○肯定的意見

経済産業省や文科省においての関連研究はお互いの情報交換がなされており、よく整理されており、問題ない。

レアメタルの供給不足が迫っている現在、いろいろなタイプの高性能磁石を実現することは資源問題の安全保障として、現時点では多少の重複は避けられないと判断できる。次世代自動車向けが一番の緊急課題だが、今後のエネルギー問題を解決する要素技術を整えるためにも、戦略的なレアメタル供給対策は必要性が高い研究開発テーマになっている。

特に文科省との間で重複することが考えられるが、省間で十分意見交換しながら進めるべきである。

○問題点・改善すべき点

文科省も成果を求め、すぐに製品になるようなものを対象にする動きがあり、目に見えない動きに対して手を付けない傾向がある。

成果に対する考え方などを両省で少し整理する必要がある。

### 第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針

本研究開発事業に対する評価小委員会のコメント及びコメントに対する推進課の対象方針は、以下のとおり。

#### 【次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発】

##### コメント①

研究開発を進める上では、開発する材料のスペックだけでなくコストも含めた多面的な評価を行い、分散型開発体制から始め、競争しながら段階的な絞り込みを行って、より大きな資金を有望な案件に投入できる仕組みを作るなど、目的に合わせてプログラム設計や工夫をして進めてほしい。

##### 対処方針①

個々の磁性材料開発を分散型開発体制にて競争させながら、H28 年度終了時に材料スペックと共にコストを含めた多面的な評価を行うことにより、有望材料を絞り込み、より大きな資金を集中的に投入する予定である。また、H28 年度終了時に実用化が出来る磁性材料に関しては、助成事業にて事業化を加速する等、目的に合わせたプログラム設計を行う予定である。

# 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発

(ナノテク・部材分野)

製造産業局 自動車課

03-3501-1690

製造産業局 非鉄金属課

03-3501-1794

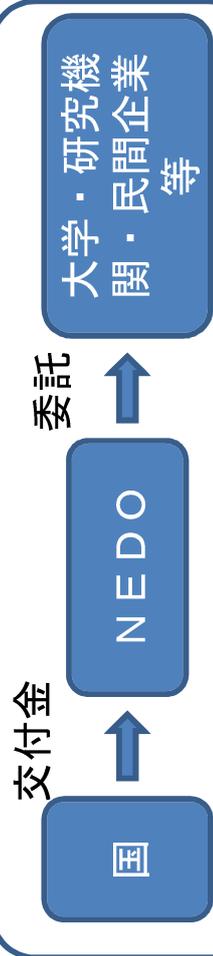
## 事業の内容

### 事業の概要・目的

○低炭素社会の実現に向けて次世代自動車の普及が推進されていますが、さらなる省エネルギーの加速には、一段と効率の高いモーターが必要です。省エネルギーには、Dyを添加したNd-Fe-B系磁石を搭載した高性能モーターが不可欠ですが、重希土類元素(Dy)の枯渇により将来にわたる安定供給が不安視されており、新規の磁石材料が期待されています。最近、飽和磁化の高いFe-N系磁性粉末が国内で開発され、高性能磁石への展開と実用化が期待されています。

○次世代自動車用の高効率モーターを構成する材料・部材開発を目的とし、Fe-N系磁性粉末をさらに高保磁力化するための材料開発、また、従来磁石の特性を飛躍的に向上させるナノコンポジット磁石材料開発、DyフリーNd-Fe-B磁石材料開発、プロセス開発により、従来磁石より高性能な新規磁石を開発するとともに、新規磁石に対応した低損失の軟磁性材料を開発します。

### 条件 (対象者、対象行為、補助率等)



## 事業イメージ

### ○高性能新規磁石粉末の開発

結晶磁気異方性が高く高保磁力を持つFe-(M)-N磁石粉末を開発する。また、従来に比べ高い最大エネルギー積を持つナノコンポジット磁石粉末、DyフリーNd-Fe-B磁石粉末を開発する。従来磁石とは全く異なる組成および製造プロセスのため、飛躍的な性能向上が期待でき、省エネルギーおよび市場への波及効果が大きい。

### ○新規磁石粉末製造技術の開発

高性能新規磁石粉末を効率的に製造する技術を開発。

### ○高密度焼結技術の開発

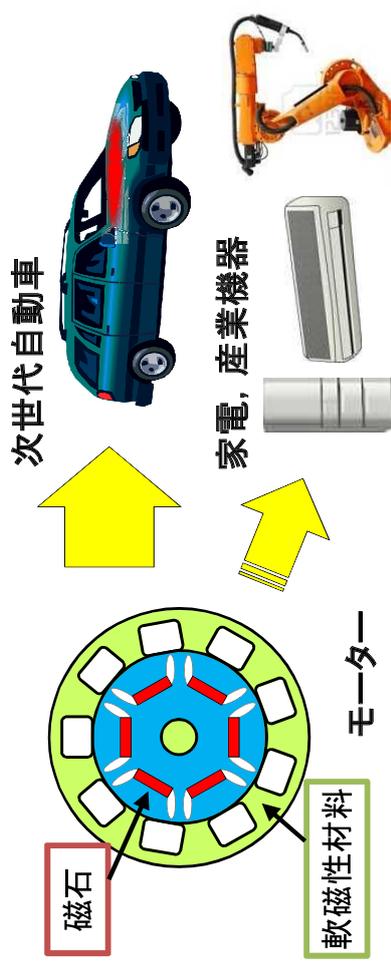
低温で高密度かつ高効率に粉末を焼結する技術を開発。バルク体の密度を向上することで磁石特性の向上を実現。

### ○低損失軟磁性材料の開発

モーターを駆動するための電気に対してエネルギーロスを少なくして磁場に変換できる材料開発と製造技術の確立。

### ○新規磁石・軟磁性材料によるモーター設計と評価

新規磁石・軟磁性材料の性能を最大限に生かしたモーターの設計および評価。



「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」実施計画（案）  
に対する意見募集の結果について

平成24年5月21日  
製造産業局非鉄金属課

平成24年5月2日付けで「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」実施計画（案）に対する意見の募集を行いました。その結果、本件に関して、2件の御意見が寄せられました。

お寄せいただいた御意見及び当該御意見に対する考え方を別紙のとおり取りまとめましたので、公表いたします。

御協力いただき、誠にありがとうございました。

**1. 意見募集期間等**

- (1) 意見募集期間：平成24年5月2日（水）～平成24年5月11日（金）
- (2) 実施方法：電子政府の総合窓口(e-Gov)及び経済産業省ホームページ
- (3) 意見提出方法：郵送、FAX、電子メール、e-Gov ホームページ

**2. 意見募集の対象**

別紙参照

**3. 本件に関するお問い合わせ先**

経済産業省 製造産業局 非鉄金属課  
電話：(03) 3501-1794

ご意見	ご意見に対する考え方
<p>我が国の産業競争力強化のためには、我が国の競争力があまり強くないと思われる大型車、高級車、スポーツカー等の車種の強化が必要だと思えます。したがって、小型・高効率のモーターだけでなく、上記の車種向けの大出力のモーターも開発すべきだと思えます。大出力モーターの開発により、電動化があまり進んでいないと思われる上記の車種の電動自動車市場を我が国がリードすることを期待します。</p>	<p>ご意見ありがとうございます。 大型車、高級車、スポーツカー等の車種に用いられていくと考えられる大出力モーターに関しても小型・高効率化は重要な課題であり、そのようなことから、小型・高効率を実現できるモーター設計は非常に重要な課題であると考えております。</p>
<p>自動車用モータに必要な基本仕様は、体格を小さくするため磁束密度レベルを上げた設計、高効率化のため磁束密度レベルをキープして低損失化をはかる、モータ鉄心中に残存する残留応力の除去並びにコントロール、鉄心内のベクトル磁気特性のコントロール、高性能永久磁石の完全着磁技術の確立と着磁器の開発、後着磁技術の確立が必要である。そのためにはベクトル磁気特性活用技術並びに永久磁石のヒステリシス特性の正確な把握（容易方向と困難方向）が必要である。</p>	<p>ご意見ありがとうございます。 公募等の参考にさせていただきます。</p>

# プロジェクト名 : 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発

## 研究開発の背景・目的

### 背景

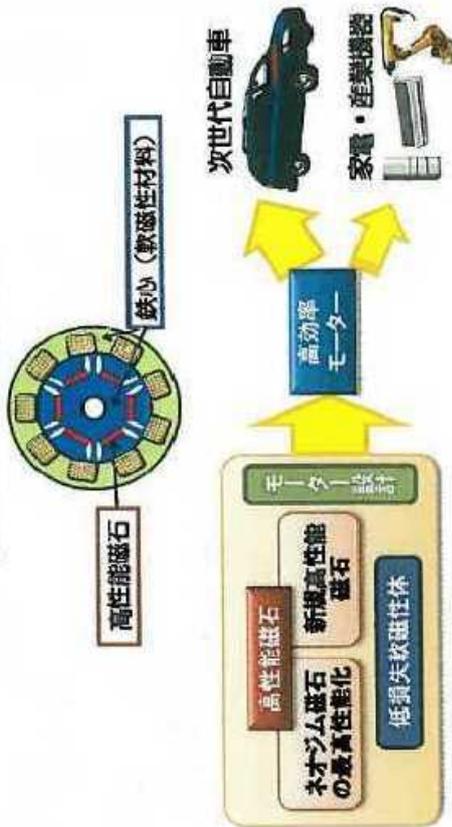
ネオジム磁石は小型・高効率モーターには重要な技術であるが、高温で使用する場合には重希土類元素であるジスプロシウムを添加する必要がある。重希土類元素は資源リソースが非常に高く、リソースを回避するためには、このような元素を使用しない磁石材料の開発が急がれている。

### 目的

次世代自動車用の高効率モーターを開発することを指し、資源リソースの高いレアースを使用しない高性能磁石や低損失軟磁性材料の開発を中心としたモーター材料評価技術や設計技術開発を含めた総合的な技術開発を目的とする。

## 成果適用のイメージ

高効率モーターの構造(例)



## プロジェクトの規模

### ○事業費と研究開発期間

- ・事業費総額 200億円(予定)
- ・NEDO 予算総額 150億円(予定)
- ・研究開発期間 平成26～33年度(8年間)
- 第1期 平成26～28年度(3年間)
- 第2期 平成29～33年度(5年間)

## 研究開発の内容

### ①新規高性能磁石の開発

(I)ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発<ポイント>

- ・HEV等の高温使用時でも、現状の性能を超える、ジスプロシウムフリー磁石を開発する。

(II)ネオジム焼結磁石を超えるレアースを使わない新磁石の開発<ポイント>

- ・現在のネオジム磁石を超える性能を有し、レアースを使用しない磁石を開発する。

### ②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

<ポイント>

- ・モーターを駆動するための電気に対して、損失が大幅に少ない、磁場に変換できる材料を開発する。

### ③高効率モーターの開発

<ポイント>

- ・新規磁石・軟磁性材料の性能を最大限に生かしたモーターの設計および評価を行う。

### ④特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定および共通基盤技術の開発

<ポイント>

- ・特許・技術動向を調査・解析し、実用化のための特許戦略を策定する。
- ・低温で高密度かつ高効率に磁石粉末を焼結する技術を開発し、磁石性能の向上を実現する。

## 事前評価書

		作成日	平成26年2月19日
1. プロジェクト名	次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発		
2. 推進部署名	電子・材料・ナノテクノロジー部		
3. プロジェクト概要（予定）			
(1) 概要			
1) 背景			
<p>現在、電力の過半はモーターが消費している。また、家電や産業機械向けに加えて、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おり、中長期的なエネルギー需給戦略において、モーターの省エネは最重要課題の一つである。特に高効率モーターの性能は磁性材料に依存しており、省エネを推進するためには、高性能磁性材料の開発が鍵となる。</p> <p>磁性材料のネオジム磁石は日本で発明された磁石であり、我が国は磁石技術で世界をリードしてきた。特に自動車駆動用モーターに使用される高性能磁石は、日本企業のみが生産している。しかし、1982年に発明されたネオジム磁石の基本特許等は排他的独占権が切れつつあり、革新的な新規高性能磁石の開発が最重要課題となっている。</p> <p>また、高性能磁石の原材料には、特定国がほぼ独占しているレアアース（ネオジム、ジスプロシウム等）が大量に必要であり、特定国の原料の生産動向に影響される可能性が大きいことから、レアアースの安定確保に取り組むとともに、レアアースに依存しない体制の構築が急務となっている。</p>			
2) 目的			
<p>このような背景から本プロジェクトは、レアアースに依存しない革新的高性能磁石の開発、さらにはモーターを駆動するための電気エネルギーの損失を少なくする軟磁性材料の開発を行うと共に、新規磁石、新規軟磁性材料の性能を最大限に生かして更なる高効率を達成できるモーター設計の開発を行うことで</p> <p>次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの省エネ化を図り、競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与することを目的とする。</p>			
3) 実施内容			
研究開発項目 ①新規高性能磁石の開発			
(I) ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発			
・ジスプロシウムを使わず現状の1.5倍の最大エネルギー積を有するネオジム磁石の開発を行う。			

- (Ⅱ) ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発
- ・ネオジム焼結磁石では達成できない特性である、耐熱性を有し2倍の最大エネルギー積をもつ「安定供給が不安視されているレアアース元素」を使わない高性能新磁石の探索・開発を行う。

研究開発項目 ②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

- ・現在のモーター鉄損を80%削減できる新軟磁性材料の実用化製造技術を開発する。

研究開発項目 ③高効率モーターの開発

- ・新規磁性材料を用いてトータル25%の損失低減を図る。

研究開発項目 ④特許調査・技術動向調査および事業化のための特許戦略策定および共通基盤技術の開発

- ・磁性材料からモーターまで全てを網羅した特許調査・技術動向調査を行う。また、基盤的な技術開発や材料開発、分析・評価・解析保磁力機構の解明などを必要に応じて行う。

(2)規模 事業総額 150億円(予定)  
平成26年度予算(需給)30億円 (委託)

(3)期間 平成26年度～平成33年度

#### 4. 評価内容

##### (1) プロジェクトの位置付け・必要性について

###### 1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターに使用されるネオジム高性能磁石は、日本企業のみが生産しており、我が国が競争力を有する技術分野である。しかし、1982年に発明されたネオジム磁石の基本特許等は排他的独占権が切れつつあり、革新的な新規高性能磁石の開発が最重要課題となっている。

また、高性能磁石の原材料には、特定国がほぼ独占しているレアアース(ネオジム、ジスプロシウム等)が大量に必要であり、特定国の原料の生産動向に影響される可能性が大きいことから、軽希土類元素まで含めた希土類元素全体の投機的な高騰を考慮して国家的な観点から国の積極的な関与が必要である。

中長期的な最重要課題の1つであるエネルギー需給戦略においても、省エネの一層の促進に貢献する高効率モーターの省エネルギー化に取り組むことは、まさに国策として重要である。

以上、本事業は、我が国産業にとって最重要課題の一つであるモーターの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、NEDOが取り組むべきプロジェクトとして妥当である。

## 2) 目的の妥当性

レアアースに依存しない革新的高性能磁石の開発、さらにはモーターを駆動するための電気エネルギーの損失を少なくする軟磁性材料の開発を行うと共に、新規磁石、新規軟磁性材料の性能を最大限に生かして更なる高効率を達成できるモーター設計の開発を行うことで次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターの省エネ化を図り競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与することを狙ったプロジェクトとなり妥当である。

## (1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

レアメタル供給リスク低減とCO<sub>2</sub>排出量削減という国際的な課題に対し、大きな貢献が期待できるとともに、グローバル化が進む中で引き続き国内産業を成長させていく取組みであり、社会的、経済的にも重要である。

また、川上から川下までの連携、素材の壁を越えた事業推進など、民間企業単独では実施が困難であることからNEDOが主導して実施する意義は大きい。

## (2) プロジェクトの運営マネジメントについて

### 1) 成果目標の妥当性

本事業は以下の研究開発を実施する。

研究開発項目 ①新規高性能磁石の開発

(I) ジスプロシウムを使わないネオジム磁石の高性能化技術開発

(II) ネオジム焼結磁石を超えるレアアースを使わない新磁石の開発

研究開発項目 ②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

研究開発項目 ③高効率モーターの開発

研究開発項目 ④特許調査・技術動向調査および事業化のための特許戦略策定および共通基盤技術の開発

これらを通じて、レアアースを使用しない高性能磁石の開発、低損失の高効率モーターの開発を目標としており、成果目標としては妥当である。

## 2) 実施計画の想定と妥当性

研究開発項目であるネオジム焼結磁石を越えるレアアースを使わない新磁石の開発および高効率モーターの開発は、課題も多く、研究開発期間には長期間を要すると考えられる。中間評価段階においても、内外の研究開発動向、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化等を踏まえ、本事業の必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等について見直しを行うこととする。特に、研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるものは、予算の加速や研究開発の前倒し終了などを弾力的に行うこととする。

尚、当該予算（30億円）に関しては、必要な設備導入時期から妥当な規模と考えられる。

開発については、毎年主体企業の事業部を含めた個別の委員会等で目標の達成度や今後の方向性等の議論を行い、目標仕様の変更等を随時行う体制とし、予算も適宜見直す。

## 3) 評価実施の想定と妥当性

NEDOは、技術評価実施規定に基づき、技術的および政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。

第1期については中間評価を平成26年度、および平成28年度に実施する。研究開発の進捗状況等を鑑み、評価後実施体制を委託と助成の複合型とすることも検討する。また、平成28年度の中間評価の結果を踏まえ、第2期の研究開発項目および目標を設定し、新たに実施者を公募する。

第2期は平成31年度中間評価を実施し、平成34年度に事後評価を実施する。なお、中間評価段階においても、内外の研究開発動向、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化を踏まえ、本事業の必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等について見直しを行うこととする。特に、研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるものは、予算の加速や研究開発の前倒し終了など弾力的に行うこととする。

## 4) 実施体制の想定と妥当性

本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクト「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」において実施されるものであり、経済産業省が平成24年度に企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開

始したものである。

NEDO が本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえて研究開発を実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

#### 5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

研究開発を主体的に進めたい企業がサプライチェーンを巻き込み、その企業での取組を支援する体制とすることでの確にニーズを踏まえた開発体制とすることを想定している。

#### 6) 知財戦略の想定と妥当性

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産等の取扱いに関する基本的考え方」に基づき、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に則り、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発および事業化を効果的に推進するために、プロジェクト実施者に、知的財産管理規定、再委託契約書、共同研究契約書等を制定させる。

#### 7) 標準化戦略の想定と妥当性

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため、標準案の提案等を必要に応じて実施する。

### (2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

自動車メーカーなどユーザーのニーズに基づき、プロジェクトの目標を設定しており、それに対する評価や評価結果の対応などマイルストーンも明確である。また、世界をリードする企業、大学、国研が一体となった研究開発体制を敷くとともに、これまで成しえなかった企業間を超えた連携体制で川上～川下企業のシナジー連携効果まで期待出来る。また、成果の実用化・事業化想定も明確である。

### (3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

#### 1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

次世代自動車用高効率モーターを目指してプロジェクトを実施する。  
また波及効果として家電や産業機械用途への応用も期待できる。

## 2) 成果の波及効果

### (3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

我が国の鉄鋼材料大手、モーターメーカー、磁性材料メーカー、自動車大手企業と、多くの大学等アカデミアのプロジェクト参画により一気通貫のフォーメーションの構築、本プロジェクトの革新的技術開発である磁性材料開発についても強い知財戦略を持つ。レアアースフリー磁石の開発や低損失な高効率モーターの実現は社会の強い要求であり、シーズ、ニーズの両面から実用化・事業化の見通しは良い。

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月12日  
NEDO  
電子・材料・ナノテクノロジー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間  
平成26年2月27日～平成26年3月12日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞  
計0件

以上

■特許論文等リスト（第2期 2017～2021年度）

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

① 新規高性能磁石の開発

①-2-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

担当：トヨタ自動車株式会社

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2017年 4月24日	INTERMAG Dublin 2017	A combinatorial approach to the study of Sm-Fe-Ti based 1:12 hard magnetic films	伊東正朗(トヨタ自動車) Prof. Dominique Givord(CNRS)
2	2017年 4月24日	INTERMAG Dublin 2017	Improvement of intrinsic properties in Ce-La-Fe-B magnets	伊東正朗(トヨタ自動車) Prof. Dominique Givord(CNRS)
3	2017年 4月24日	INTERMAG Dublin 2017	Simulations of Interface energies of Nd(liquid, solid) to NdFeB with Fe and Nd termination layer	矢野正雄(トヨタ自動車) Prof. G. Hrkac(Exeter) 他
4	2017年 4月24日	IEEE International Magnetism Conference, INTERMAG Europe 2017	放射光・中性子を用いたナノ複相組織磁石の電子・磁気状態解析	斉藤耕太郎(高エネ研) 矢野正雄(トヨタ自動車)他
5	2017年 5月10日	ナノ学会第15回大会	粒子合成法によるナノ複相組織磁石の研究開発	松本憲志(京大) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
6	2017年 5月29日	Journal of Alloys and Compounds	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	小林久理眞(静岡理工) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
7	2017年 6月8日	モノづくり日本会議 第12回新産業技術促進検討会	ナノ複相組織制御磁石の研究開発	加藤晃・庄司哲也(トヨタ自動車)
8	2017年 7月5日	大同シンポジウム Aining at The Rare Earth Iron Age	Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	杉本諭(東北大学)
9	2017年 8月	東北大学金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研	久野智子(静岡理工)他

		平成28年度年次報告	究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	
10	2017年 9月5日	日本金属学会 2017年秋期(第161回)講演大会	Coercivity enhance of hot-deformed Ce-Fe “ B magnets by grain boundary diffuaion of Nd-Cu	Xin Tang(NIMS) 加藤晃(トヨタ自動車)他
11	2017年 9月6日	日本金属学会 2017年秋期(第161回)講演大会	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	久野智子(静岡理工) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
12	2017年 9月19日	第41回 日本磁気学会学術講演会	新規Sm - Fe - N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	小林久理眞(静岡理工) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
13	2017年 9月19日	第41回 日本磁気学会学術講演会	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	久野智子(静岡理工) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
14	2017年 9月19日	第41回 日本磁気学会学術講演会	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	白岩知己(東北大学) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
15	2017年 9月19日	第41回 日本磁気学会学術講演会	中性子小角散乱によるサイズ分解FORC測定	小野寛太(高エネ研) 庄司哲也(トヨタ自動車)他
16	2017年10月18日	5th Japan-U.S. Bilateral Meeting on Rare Metals	Magnetic materials research for vehicle motor application	加藤晃・庄司哲也(トヨタ自動車)
17	2017年10月20日	journal of Alloys and Compounds	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	松浦昌志(東北大学) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
18	2017年10月25日	Acta Materialia	coercivity enhancement of hot-deformed Ce-Fe “ B magnet by grain boundary' infiltration	Xin Tang(NIMS) 加藤晃(トヨタ自動車)他

			of Nd-Cu eutectic alloy	
19	2017年11月6日	62ND ANNUAL CONFERENCE ON MAGNETISM AND MAGNETIC	Spin wave dispersion in RE <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B (RE=Y, Nd, Nd-Dy)	小野寛太(高エネ研) 庄司哲也(トヨタ自動車)他
20	2017年11月6日	62 <sup>nd</sup> Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials	Phase Stability and optimization of RFe <sub>12</sub> (R=Nd, Sm) via symmetry breaking of crystal structure	矢野正雄・庄司哲也(トヨタ自動車) Prof. G. Hrkac (Exeter) Prof. T. Schrefl (Danube)
21	2017年11月6日	62 <sup>nd</sup> Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials	Barkhausen noise in domain wall propagation across Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B grain-boundary interface	矢野正雄・庄司哲也(トヨタ自動車) Prof. G. Hrkac (Exeter) Dr. S. C. Westmoreland (York)
22	2017年11月20日	茨城県中性子利用促進研究会 2017年度磁石材料分科会	計測高度化による磁性材料内部情報の抽出	矢野正雄(トヨタ自動車)
23	2018年1月8日	第31回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム	磁石研究への量子ビーム利用における計測・解析の現状と課題	矢野正雄(トヨタ自動車)
24	2018年1月31日	Scripta Materialia	Multiscale model approaches to the design of advanced permanent magnets	矢野正雄・庄司哲也(トヨタ自動車) Dr. S. C. Westmoreland (York) Prof. T. Schrefl (Danube)
25	2018年3月1日	高輝度光科学研究センター(産業新分野支援課題・一般課題(産業分野)実施報告書)	希土類-遷移金属化合物型磁石の構成相と高温状態解明のためのハイスループットXRD測定	矢野正雄、伊東正朗、横田和哉(トヨタ自動車) 河口彰吾(高輝度光科学研究センター)
26	2018年3月15日	日本中性子科学学会誌 波紋5月号	中性子小角散乱による永久磁石研究	矢野正雄(トヨタ自動車)
27	2018年3月16日	Journal of Magnetism and Magnetic Materials	Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	松浦昌志(東北大学) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他

28	2018年 3月19日	日本金属学会 2018年春期(第162回)講演大会	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	漆畑貴美子(静岡理工) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
29	2018年 3月19日	日本金属学会 2018年春期(第162回)講演大会	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	久野智子(静岡理工) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
30	2018年 3月19日	日本金属学会 2018年春期(第162回)講演大会	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	平口誠也(静岡理工)
31	2018年 3月21日	日本金属学会 2018年春期(第162回)講演大会	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	西島祐樹(東北大学)他
32	2018年 4月 19日	TECHNO-FRONTIER 技術シンポジウム 第26回 磁気応用技術シンポジウム	ポストネオジウム磁石の可能性と課題 1. 磁石材料の簡潔な歴史、 2. 基礎的観点からの可能性と課題、 3. 現実の磁石材料における課題と解決法の考察	小林久理眞(静岡理工)
33	2018年 6月 7日	The 5th International Conference of Asian Union of Magnetism Societies	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	杉本諭(東北大学) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
34	2018年 7月19日	International Conference on Magnetism 2018	Three-dimensional magnetic domain structure and microstructure in nanocrystalline permanent magnet using machine learning and small-angle neutron scattering	矢野正雄(トヨタ自動車)
35	2018年 8月 9日	Acta Materialia	Magnetic Microstructure	庄司哲也・横田和哉(トヨタ自動車)

			Machine Learning Analysis	Lukas Exl (Vienna) Johann Fischbacher 他 (Danube) Gino Hrkac (Exeter)
36	2018年8月26日	The 25th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnets and Advanced Magnetic Materials and Their Applications	Preferential atom occupancy in $R_2(Fe_{1-x}Co_x)_{14}B$ ( $R = Nd, Y$ and $Ce$ )	伊東正朗 (トヨタ自動車) Gabriel Gomez (CNRS)
37	2018年8月26日 ～8月30日	Rare-Earth and Future Permanent Magnets and their Applications (REPM2018)	Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	杉本諭 (東北大学) 佐久間紀次 (トヨタ自動車) 他
38	2018年8月28日	REPM 2018	Comparison of coercivity and squareness in hot deformed and sintered magnets produced from a Nd-Fe-B-Cu-Ga alloy	Xiandong XU 他 (NIMS)
39	2018年8月28日	REPM 2018	Micromagnetic Simulations on Coercivity and Its Thermal Stability of HRE-GBDP Hotdeformed Nd-Fe-B PM	Jiangnan Li 他 (NIMS)
40	2018年9月4日 ～9月5日	電気学会基礎・材料・共通部門 (A部門) 大会 シンポジウム	「 $ThMn_{12}$ 型新規磁石材料の基礎的研究の現状と、磁石化の可能性」1. 組成、磁気特性、安定性の概要 2. 磁石化の可能性、とくに粉体の磁気特性	小林久理真 他 (静岡理工)
41	2018年9月11日	第42回 日本磁気学会学術講演会	「RE <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B 及び REFe <sub>11</sub> Ti 希土類磁石に対する非弾性中性子散乱を用いた研究」	羽合孝文 (高エネ研) 矢野正雄 (トヨタ自動車)
42	2018年9月19日	日本金属学会 2018年秋期 (163回) 講演大会	中性子小角散乱によるナノ複相組織磁石の三次元構造定量化	矢野正雄・庄司哲也 (トヨタ自動車) 小野 寛太 (高エネ研)

43	2018年9月19日	日本金属学会 2018年秋期(163回) 講演大会	省Nd耐熱磁石の磁石組織と 磁気特性	伊東正朗・庄司哲 也・佐久間紀次・ 一期崎大輔・加藤 晃(トヨタ自動車)
44	2018年9月19日	日本金属学会 2018年秋期(163回) 講演大会	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット 磁石の研究(高磁化超微細 交換スプリング磁石の研究)」及 び「ナノ複相組織磁石の保磁力 機構解析」	久野智子 他(静岡 理工) 杉本諭(東北大学)
45	2018年9月19日	日本金属学会 2018年秋期(163回) 講演大会	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット 磁石の研究(高磁化超微細 交換スプリング磁石の研究)」及 び「ナノ複相組織磁石の保磁力 機構解析」	小林久理眞 他(静 岡理工) 佐久間紀次・横田 和哉・木下昭人・ 庄司哲也(トヨタ自動 車)
46	2018年10月15日	NIMS-week abstract book	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm- Fe系磁石ハル化手法の研究 開発)	松浦昌志・西島祐 樹・手束展規・杉 本諭(東北大) 佐久間紀次・庄司 哲也(トヨタ自動車)
47	2018年10月16日	一般社団法人 粉体 粉末冶金協会	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm- Fe系磁石ハル化手法の研究 開発)	松浦昌志・手束展 規・杉本諭(東北 大) 佐久間紀次・庄司 哲也(トヨタ自動車)
48	2018年12月6日	MagHEM・ESICMM 磁性 材料合同シンポジウ ム(成果報告講演)	「ナノ複相組織制御磁石」 の研究開発	岸本秀史(トヨタ自動 車)
49	2018年12月6日	MagHEM・ESICMM 磁性 材料合同シンポジウ ム(ポスター発表)	「ナノ複相組織制御磁石」 の研究開発	岸本秀史(トヨタ自動 車)
50	2018年12月11日	一般財団法人 電気 学会マグネティックス研究 会	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm- Fe系磁石ハル化手法の研究 開発)	松浦昌志・手束展 規・杉本諭・西島 祐樹(東北大)
51	2018年12月17日	マグネティックス研究会(永 久磁石と応用)	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット 磁石の研究(高磁化超微細 交換スプリング磁石の研究)」及 び「ナノ複相組織磁石の保磁力 機構解析」	山本宜秀・久野智 子・鈴木俊治・小 林久理眞(静岡理 工)

52	2018年12月17日	マグネティクス研究会(永久磁石と応用)	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	平口誠也・鈴木俊治古澤大輝・小林久理眞(静岡理工)
53	2019年1月14日	2019 Joint MMM-INTERMAG	Inelastic neutron scattering study for rare earth magnets $R_2Fe_{14}B$ and $MFe_{11}Ti$ ( $R = Y, Nd$ )	羽合孝文(高エネ研) 矢野正雄(トヨタ自動車)
54	2019年1月21日	Intermag 2019	Investigation of Coercivity mechanism of NdFeB based magnet within combination of First Order Reversal Curve diagram and Small Angle Neutron Scattering	庄司哲也・矢野正雄(トヨタ自動車) 齊藤耕太郎(PSI) 小野寛太(高エネ研)
55	2019年2月16日 ～17日	The 2 <sup>nd</sup> Symposium for World Leading Research Centers-Materials Science and Spintronics	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm-Fe系磁石ハル化手法の研究開発)	松浦昌志・西島祐樹・手束展規・杉本諭(東北大) 佐久間紀次・庄司哲也(トヨタ自動車)
56	2019年3月1日	日本放射光学会 学会誌 放射光3月号	量子線を使った永久磁石保磁力機構解明	矢野正雄(トヨタ自動車)
57	2019年3月12日	2018年度量子ビームサイエンスフェスタ	スピン波測定による希土類磁石の微視的パラメータの研究	羽合孝文・小野寛太・斎藤開・横尾哲也・伊藤晋一(高エネ研) 矢野正雄・庄司哲也(トヨタ自動車)
58	2019年4月12日	Material transactions	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	久野智子 他(静岡理工) 杉本諭(東北大学)
59	2019年4月17日	磁気応用技術シンポジウム	「ナノ複相組織制御磁石」の研究開発	庄司哲也(トヨタ自動車)
60	2019年5月14日 ～17日	Colloque Louis Néel	Preferential occupancy of Co atoms in $R_2(Fe, Co)_{14}B$ intermetallic compounds ( $R=Nd, Y, Ce$ )	伊東正朗(トヨタ自動車) Gabriel Gomez 他(CNRS)

61	2019年5月 22日	人とくるまのテクノロジー展2019横浜 (展示)	「ナノ複相組織制御磁石」の研究開発	加藤晃(トヨタ自動車)
62	2019年6月 1日	Applied Physics Letters	浸透処理Nd-Fe-Bの微細構造に与える影響の中性子小角散乱による解明 (Effect of grain-boundary diffusion processes on the geometry of the grain microstructure of Nd-FeB magnets)	矢野正雄(トヨタ自動車) Ivan Titov 他 (Univ. Luxembourg)
63	2019年6月4日～6日	粉体粉末冶金協会 2019年度春季大会 講演特集「磁性材料・磁気デバイスにおける微細構造制御と機能発現」	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理真 他(静岡理工) 佐久間紀次・庄司哲也・加藤晃(トヨタ自動車)
64	2019年6月 24日	The Future of Materials Engineering - Dramatic Innovation to the next 100 years -	「Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石ハル化手法の研究開発)」	松浦昌志・西島佑樹・手束展規・杉本諭(東北大学)
65	2019年6月 27日	ICMAT2019-10 <sup>th</sup> International Conference on Materials for Advanced Technologies	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理真・平口誠也(静岡理工)
66	2019年6月 28日	ICMAT2019-10 <sup>th</sup> International Conference on Materials for Advanced Technologies	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	久野智子 漆畑貴美子・小林久理真(静岡理工) 杉本諭(東北大学)
67	2019年 7月 17日	人とくるまのテクノロジー展2019名古屋 (展示)	「ナノ複相組織制御磁石」の研究開発	加藤晃(トヨタ自動車)
68	2019年 9月 11日～13日	日本金属学会 2019年秋期講演大会	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	山本宜秀・久野智子・鈴木俊治・小林久理真(静岡理工)

69	2019年9月25日 ～27日	MSJ 第43回学術講演 会シンポジウム	省Nd耐熱磁石の開発と今後 の研究への期待	庄司哲也(トヨタ自動 車)
70	2019年9月25日 ～27日	日本磁気学会 第43 回学術講演会	「Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石バルク化手法の 研究開発)」	松南諒・松浦昌志 ・手束展規・杉本 諭(東北大学)
71	2019年9月30日	IEEE Transactions on Magnetism	The Effect of Interstitial Nitrogen addition on the Structural Properties of Super Cells of NdFe <sub>12-x</sub> Tix (窒素添加 によるNdFe <sub>12-x</sub> Tixの結晶 構造への影響調査)	矢野正雄・庄司哲 也・加藤晃(トヨタ自 動車) C. Skelland (Univ. Exeter), T. Ostler (Sheffie ld Hallam. Univ) S. Westmoreland, R. Evans, R. Chant rell (York. univ), M. Winklhofer (Uni v. Duisburg) , G. Zimanyi (U. C. Da vis), T. Schrefl (Danube), G. Hrkac (Univ. Exeter)
72	2019年9月30日	Acta Materialia	Investigation into the effects of Titan ium substitution on the structural propert ies of NdFe <sub>12</sub> , SmFe <sub>12</sub> , SmCo <sub>12</sub> (NdFe <sub>12</sub> , SmFe <sub>12</sub> , SmCo <sub>12</sub> へのTi置換による結晶構造 への影響調査)	矢野正雄・庄司哲 也・加藤晃(トヨタ自 動車) C. Skelland (Univ. Exeter) T. Ostler (Sheffi eld Hallam. Univ) S. Westmoreland ・R. Evans・ R. Chantrell (York .univ) M. Winklhofer (Uni v. Duisburg) G. Zimanyi (U. C. Da vis) T. Schrefl (Danube )G. Hrkac, (Univ. E xeter)
73	2019年9月30日	Physical Review B	Preferential Co and Fe at om occupancy in R <sub>2</sub> (Fe <sub>1</sub>	矢野正雄・庄司哲 也・加藤晃・伊東

			-xCo <sub>x</sub> ) <sub>14B</sub> intermetallic compounds (R = Nd, Y and Ce) (R <sub>2</sub> (Fe <sub>1-x</sub> Co <sub>x</sub> ) <sub>14B</sub> 化合物 (R = Nd, Y and Ce) におけるCoとFeの優先置換サイトの調査)	正朗(トヨタ自動車) Gabriel Gomez ・ C. Colin ・ Nora Dempsey ・ Dominique Givord (CNRS) Emanuelle Suard( Laue Langevin)
74	2019年10月18日	Journal of Magnetism and Magnetic Materials	「新規 Sm-Fe-N系ナノ構造磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	久野智子・鈴木俊治・漆畑貴美子・小林久理眞(静岡理工) 杉本諭(東北大学)
75	2019年10月28日	Monash大学 磁石研究ワークショップ	Development of "Nd-reduced heat-resistant magnet"	加藤晃(トヨタ自動車)
76	2019年12月11日	第7回レアメタル二極会合	Development of "Nd-reduced heat-resistant magnet"- 20-50% reduction of neodymium	加藤晃・庄司哲也(トヨタ自動車)
77	2019年12月11日	BM協会シンポジウム	「Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石ハル化手法の研究開発)」	杉本諭(東北大学)
78	2019年12月19日	マグネティックス研究会資料	「Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石ハル化手法の研究開発)」	松浦昌志・松南諒・西島祐樹・手束展規・杉本諭(東北大学)
79	2019年12月24日	電気学会マグネティックス研究会『永久磁石と応用』	「新規 Sm-Fe-N系ナノ構造磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理眞(発表) ・久野智子・漆畑貴美子・鈴木俊治 ・山本宜秀(静岡理工)
80	2019年12月24日	電気学会マグネティックス研究会『永久磁石と応用』	「新規 Sm-Fe-N系ナノ構造磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	山本宜秀(発表)・久野智子・漆畑貴美子・小林久理眞(静岡理工)
81	2020年1月31日	Journal of Applied	Atomistic simulations of	S. Westmoreland,

		Physics	$\alpha$ -Fe/Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B magnetic core/shell nanocomposites with enhanced energy ( $\alpha$ -Fe/Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> Bコアシェル磁石の高温状態原子スピ ンモデル計算)	C. Skelland, R. Evans, R. Chantrell (York. univ), G. Hrkac (Univ. Exeter), T. Schrefl (Danube. univ), 矢野正雄・庄司哲也・加藤晃・伊東正朗(トヨタ自動車)
82	2020年2月3-4日	第4回元素戦略シンポジウム—産学連携研究新展開—	「Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石ハル化手法の研究開発)」	松浦昌志・松南諒・西島祐樹・手束展規・杉本諭(東北大学)
83	2020年2月1日	Journal of the Magnetism Society of Japan	Development of Sm-Fe-N bulk magnets showing high maximum energy products	R. Matsunami, M. Matsuura, N. Tezuka, and S. Sugimoto(東北大学)
84	2020年2月5日	Materials transactions	「新規 Sm-Fe-N系ナノ構造磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	久野智子・山本宜秀・漆畑貴美子・小林久理眞(静岡理工) 杉本諭(東北大学)
85	2020年3月18日	日本金属学会春期(166回)講演大会	「新規 Sm-Fe-N系ナノ構造磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理眞(発表)・久野智子・山本宜秀・遠藤紘平(静岡理工)
86	2020年3月18日	日本金属学会春期(166回)講演大会	「新規 Sm-Fe-N系ナノ構造磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	久野智子(発表)・山本宜秀・小林久理眞(静岡理工)
87	2020年7月24日	an industrial conference on Dynamics of Magnetic Exchange Springs Exeter University UK	Development of Nd reduced high coercivity magnet and expectation for future research	庄司哲也(トヨタ自動車)
88	2020年8月23-27日	The 26th International Workshop on Rare-Earth and Future Permanent Magnets	「Microstructure and magnetic properties of Zn-bonded Sm-Fe-N magnets with high (BH)max」	Masashi Matsuura, Ryo Matsunami, Nobuki Tezuka, Satoshi Sugimoto

		ts and their Applications (REPM2020)		(東北大学)
89	2020年12月4日	2020 BMシンポジウム	「省ネオジウム耐熱磁石の開発」と研究への期待	木下昭人・庄司哲也・加藤晃・佐久間紀次（トヨタ自動車）
90	2020年12月14日	第44回日本磁気学会学術講演会	Recent advancement of permanent magnet materials developments for vehicle electrification and expectation for future research	庄司哲也（トヨタ自動車）
91	2020年12月22日	電気学会マグネティクス研究会 ～永久磁石と応用～	「新規 Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理真・久野智子（静岡理科大学）
92	2021年3月16-19日	日本金属学会春期大会	XRD データの次元縮約表現による省Nd 磁石のCore/Shell 構造の可視化	庄司哲也（トヨタ自動車）
93	2021年6月7日～10日	Rare Earth and Future Permanent Magnets 2021	A High Throughput Study of compositionally graded NdLaCeFeB Films	矢野正雄・庄司哲也・佐久間紀次・木下昭人・加藤晃（トヨタ自動車）  Nora Dempsey・Yuan Hong・Fumiya Higashi・Gabriel Ricardo Gomez Esquivel・Thibaut Devillers・Stéphane Grenier (CNRS)
94	2021年6月29日	第41回 モーター技術シンポジウム(web配信)	高効率モーター用新規ネオジウム磁石	木下昭人（トヨタ自動車）
95	2021年11月22日	データ創出・活用型磁性材料研究拠点ワークショップ	産業界・NEDO事業等との連携	加藤晃（トヨタ自動車）
96	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合同成果報告会(講演、ポスター)	省Nd/超Nd磁石 高効率モーター用新規ネオジウム磁石	木下昭人（トヨタ自動車）
97	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合	省Nd/超Nd磁石 高効率	加藤晃（トヨタ自

		同成果報告会(展示)	モーター用新規ネオジム磁石	動車)
--	--	------------	---------------	-----

① - 2 - 3 FeNi超格子磁石材料の研究開発

担当：株式会社デンソー

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
98	2013年6月7日	第48回化合物新磁性材料専門研究会	L1 <sub>0</sub> -FeNi 微粒子合成の現状と課題	林靖(デンソー)、他
99	2013年9月5日	第37回日本磁気学会学術講演会	還元法によるL1 <sub>0</sub> 型FeNi合金粉末の合成における前駆体の影響	林靖(デンソー)、他
100	2014年9月5日	第38回日本磁気学会学術講演会	溶融塩電析法によるFeNi合金粉の合成(電極金属の影響)	林靖(デンソー)、他
101	2016年9月8日	第40回日本磁気学会学術講演会	A Theoretical Approach to Synthesize L1 <sub>0</sub> type FeNi Alloy Powder	Y. Hayashi (DENSO) et al.
102	2016年9月8日	第40回日本磁気学会学術講演会	A New Route to Synthesize L1 <sub>0</sub> -type FeNi Alloy Powder	S. Goto (DENSO) et al.
103	2016年11月25日	第48回溶融塩化学討論会	FeNiNの脱窒素によるL1 <sub>0</sub> -FeNiの合成	渡部英治(デンソー)他
104	2016年11月25日	第48回溶融塩化学討論会	溶融中におけるFeNiN層状化合物の形成	坂中佳秀(同志社大学)他
105	2016年12月2日	日本磁気学会 ナノマグネティックス専門研究会	トポタクティック反応による高規則度L1 <sub>0</sub> -FeNi粉末の創製	後藤翔(デンソー)他
106	2017年1月7日	第30回日本放射光学会	L1 <sub>0</sub> 型FeNi規則合金の合成反応過程評価	小野泰輔(デンソー)他
107	2017年2月20日	環境調和セラミック材料研究会	(Fe, Ni) <sub>2</sub> N微粒子の作製と磁気特性	柳原英人(筑波大学)他
108	2017年3月16日	日本金属学会2017年春期講演大会	トポタクティック反応による高規則度L1 <sub>0</sub> -FeNi粉末の創製	後藤翔(デンソー)他
109	2017年6月8日	モノづくり日本会議	FeNi超格子磁石材料の研究開発	金村高司(デンソー)
110	2017年10月18日	5 <sup>th</sup> Japan-U.S. Bilateral Meeting on Rare Metals	Development of FeNi superstructure magnets	Hidehiko Hiramatsu (DENSO)
111	2017年11月20日	中性子利用促進研究会 2017年度磁石材料	L1 <sub>0</sub> 型FeNi, FeNiN系規則合金の構造と特性	後藤翔(デンソー)

		料分科会		
112	2018年3月1日	第6回先進的放射光メスバウアー分光研究会	(FeNi) <sub>2</sub> Nのメスバウアー効果と磁性	後藤翔(デンソー)他
113	2018年3月19日	日本金属学会2018年春期講演大会	FeNi超格子の合成反応過程における局所構造評価	小野泰輔(デンソー)他
114	2018年3月22日	第65回応用物理学会春季学術講演会	アンモニアを用いた後窒化法により作製したFeNi窒化物薄膜の物性評価	細井雄大(筑波大学)他
115	2018年3月23日	第6回あいちシンクロトロン光センター事業成果発表会	FeNi超格子の合成反応過程評価	小野泰輔(デンソー)他
116	2018年5月29日	日本顕微鏡学会第74回学術講演会	収差補正STEMによるL10型FeNi規則合金の原子レベル構造解析	渡辺弘紀(デンソー)他
117	2018年7月16日	International conference of magnetism 2018	Synthesis of single-phase L10-FeNi magnet powder by nitrogen insertion and topotactic extraction	藏裕彰(デンソー)柳原英人(筑波大)高梨弘毅(東北大学)他
118	2018年11月15日	第50回溶融塩化学討論会	溶融LiCl-KCl-CsCl中におけるFeNiの窒化	中門克弥(同志社大学)、渡部英治(デンソー)他
119	2018年12月6日	MagHEM・ESICMM磁性材料合同シンポジウム	FeNi超格子磁石材料の研究開発(成果報告講演)	藏裕彰(デンソー)
120	2018年12月6日	MagHEM・ESICMM磁性材料合同シンポジウム	FeNi超格子磁石材料の研究開発(ポスター発表)	藏裕彰(デンソー)
121	2018年12月7日	日本ボンド磁性材料協会2018BMシンポジウム	FeNi超格子磁石の開発	後藤翔(デンソー)
122	2019年1月14日	6th U.S. - Japan Bilateral Meeting on Rare Metals	Synthesis of L10-FeNi magnet powder by nitrogen insertion and topotactic extraction	渡部英治(デンソー)柳原英人(筑波大)高梨弘毅(東北大学)他
123	2019年1月17日	2019 Joint MMM-Intermag Conference	Thermal stability of L10-FeNi powder synthesized by the NITE method	渡部英治(デンソー)高梨弘毅(東北大学)柳原英人(筑波大)他
124	2019年7月25日	第7回MaSC技術交流会 日本学術振興会 第147委員会 第145回	FeNi超格子磁石材料の研究開発	藏裕彰(デンソー)

		研究会（共同開催）		
125	2020年3月15日	応用物理学会春季学術講演大会	Fabrication of L10-FeNi films with high degree of order by denitriding FeNiN films	伊藤啓太、高梨弘毅(東北大学)他
126	2020年3月18日	日本金属学会 2020年春期(第166回)講演大会	N脱窒素法による高規則度L10-FeNi薄膜の作製	伊藤啓太, 林田誠弘(東北大学)他
127	2020年9月11日	第81回応用物理学会秋季学術講演会	L10 FeNi films with a large degree of order and uniaxial magnetic anisotropy fabricated by denitriding epitaxial FeNiN films	伊藤啓太(東北大学), 柳原英人(筑波大学), 西尾隆宏(デンソー)他
128	2020年9月17日	日本金属学会2020年秋期講演大会	脱窒素法による高規則度・高磁気異方性L10-FeNi薄膜の作製	伊藤啓太(東北大学), 柳原英人(筑波大学), 西尾隆宏(デンソー)他
129	2020年11月4日	The 65 <sup>th</sup> Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials	High Degree of Order and Uniaxial Magnetic Anisotropy Energy of L10-FeNi Films Fabricated by Denitriding Epitaxial FeNiN Films	伊藤啓太(東北大学), 柳原英人(筑波大学), 西尾隆宏(デンソー)他
130	2020年11月17日	The 4th Symposium for the Core Research Cluster for Materials Science	Epitaxial L10-FeNi Films with a High Degree of Order and Uniaxial Magnetic Anisotropy Fabricated by a Denitriding Method	伊藤啓太(東北大学), 柳原英人(筑波大学), 西尾隆宏(デンソー)他
131	2020年12月14日	第44回日本磁気学会学術講演会	Enhancement of magnetic anisotropy of L10-FeNi nanoparticles and the related compounds for realization of rare-earth free magnet	後藤翔(デンソー), 末益崇(筑波大学), 伊藤啓太(東北大学) 他
132	2020年12月17日	8 <sup>th</sup> Japan-U.S. Bilateral Meeting on Rare Metals	Synthesis of L10-FeNi magnet powder for realization of rare-earth free magnet	藏裕彰(デンソー)他
133	2021年2月17日	日本金属学会 第2回 次世代高性能磁性材料研究会	FeNi 超格子磁石材料開発～窒化脱窒素反応過程の分析を中心として～	西尾隆宏(デンソー)

134	2021年8月20日	東北大学 電気通信研究所 工学研究会 第203回スピニクス研究会	FeNi超格子磁石材料の研究開発	林禎彰 (デンソー)
135	2021年9月2日	第45回日本磁気学会学術講演会	脱窒素法によるバリエーションの無い(110)配向L10-FeNi薄膜の作製	市村匠(東北大学), 西尾隆宏(デンソー), 柳原英人(筑波大学) 他
136	2021年9月16日	日本金属学会2021年秋期講演大会	脱窒素法によるバリエーションフリーL10-FeNi(110)薄膜の作製と磁気特性の評価	伊藤啓太(東北大), 西尾 隆宏(デンソー), 柳原英人(筑波大学)他
137	2021年11月9日	デンソー 先端技術研究所 30周年記念講演会	研究紹介 — 窒化脱窒素法によるFeNi超格子磁石の合成	藏裕彰 (デンソー)
138	2021年11月18日	デンソー 先端技術研究所 記者向け説明会	先端技術研究所 30年の歩みと今	伊藤みほ(デンソー)
139	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合同成果報告会	完全レアアースフリーFeNi超格子磁石の開発 (講演)	藏裕彰 (デンソー)
140	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合同成果報告会	完全レアアースフリーFeNi超格子磁石の開発 (ポスター)	林禎彰 (デンソー)
141	2022年3月9日	INDO-JAPAN Workshop on interface phenomena for spintronics(IJW-IPS-2022)	Fabricating L10-ordered FeNi films by denitriding FeNiN films	伊藤啓太(東北大), 西尾 隆宏(デンソー), 柳原英人(筑波大学)他
142	2022年7月(予定)	The 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022)	Structures and magnetic properties of variant-free (110)-oriented L10-FeNi films fabricated by a denitriding method	伊藤啓太(東北大), 西尾 隆宏(デンソー), 柳原英人(筑波大学)他
143	2022年10月(予定)	11 <sup>th</sup> International Conference on Fine Particles Magnetism(ICFPM2022)	Magnetism of L10-FeNi films with island structures fabricated by nitrogen insertion and topotactic extraction technique	西尾隆宏(デンソー), 伊藤啓太(東北大), 柳原英人(筑波大学)他

④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援

担当：一般財団法人金属系材料研究開発センター(JRCM)

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
144	2017年6月8日	モノづくり日本会議	共通基盤調査・技術(特許調査・技術動向調査)	豊田俊介(JRCM) 谷川茂穂(MagHEM)
145	2018年8月9日	電気学会マグネティックス研究会	高効率モータの技術動向とモータコア材料としてのアモルファス材料の課題	谷川茂穂(MagHEM)
146	2018年12月6日	MagHEM・ESICMM 磁性材料合同シンポジウム	特許・技術動向調査ー共通基盤調査・技術ー	豊田俊介(JRCM) 谷川茂穂(MagHEM)
147	2019年8月21日	2019年電気学会産業応用部門大会シンポジウム	高効率モーター用磁性材料の技術動向	豊田俊介(JRCM)
148	2019年12月6日	日本ボンド磁性材料協会2019BMシンポジウム	高効率モーター用永久磁石の技術動向	谷川茂穂(MagHEM)
149	2020年2月25日	電気学会産業応用部門 家電・民生技術委員会産業応用フォーラム	モータ電磁材料のグローバル最新動向	豊田俊介(JRCM)
150	2020年11月21日	モータ用磁性材料の動向	第35回パワーエレクトロニクス学会 専門講習会	豊田俊介(JRCM)
151	2021年6月29日	高効率モーター用磁性材料の技術動向	第41回モータ技術シンポジウム	豊田俊介(JRCM)
152	2021年12月1日	高効率モーター用磁性材料の技術動向	MagHEM・ESICMM合同成果報告会	豊田俊介(JRCM) 谷川茂穂(MagHEM)
153	2022年3月11日	Decarbonization Market Analysis Based on Technical Trend Survey of Magnetic Materials and High-Efficiency Motors	第9回日米レアメタル2極会合	豊田俊介(JRCM)

#### ④-2 共通基盤技術の開発

担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
154	2017/5/29	第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	高感度磁区観察をめざしたAuギャップ光学フィルタの作製	長谷川拓己、溝尻瑞枝、櫻井淳平、秦誠一(名古屋大学)

				高木健太、 尾崎公洋(AIST)
155	2017/6/1	粉体粉末冶金協会平成29年度春季大会(第119回講演大会)	微焦点X線源を使用した焼結磁石内部の配向度空間分布の評価	曾田力央(AIST)
156	2017/6/1	日本磁気学会 第213回研究会	高効率モーター用磁性材料技術研究組合の成果報告	尾崎公洋(AIST)
157	2017/6/8	モノづくり日本会議 第12回新産業技術促進検討会	新規高性能磁石開発への取り組み	尾崎公洋(AIST)
158	2017/7/7	2017年JFCC研究成果発表会	ネオジム磁石の高温磁区・磁壁構造観察	川原浩一(JFCC)
159	2017/8/25	第78回応用物理学会 秋季学術講演会	Auギャップ光学フィルタを用いた磁区観察の高感度化	溝尻瑞枝(長岡技科大)
160	2017/9/6	日本金属学会 2017年秋期(第161回)講演大会	永久磁石の実測内部磁場と計算機シミュレーション磁場の比較検討	小林久理眞(静岡理工科大学)
161	2018/2/28	技術情報協会 『磁性材料の開発事例と各種応用技術』	高効率モーター用磁性材料技術研究組合の材料開発への取り組み	尾崎公洋(AIST)
162	2018/4/20	第26回磁気応用技術シンポジウム	高効率モーター用磁性材料技術研究組合の取り組み	尾崎公洋(AIST)
163	2018/5/28	第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	プラズモンフィルタを用いた磁気光学Kerr効果による高感度磁区観察	溝尻瑞枝(長岡技科大)
164	2018/8/31	29th 2018 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science	Application of plasmon filters for highly sensitive observation of magnetic domains by magneto-optical Kerr effect	溝尻瑞枝(長岡技科大)
165	2018/9/19-21	日本金属学会2018年秋季大会	粒子法シミュレーションに基づくパルス磁場配向成形法の開発	曾田力央(AIST)
166	2019/1/2	SPIE Photonics West 2019	High-contrast imaging of magnetic domains by magneto-optical Kerr effect using plasmon filters	溝尻瑞枝(長岡技科大)
167	2018/9/3	7th International GIGAKU Conference in Nagaoka	Imaging of magnetic domains by magneto-optical Kerr effect using Au plasmon	溝尻瑞枝(長岡技科大)

			filters	
168	2018/11/27-28	粉体工学会2018年秋 期研究発表会	離散要素法による磁場中圧 密成形過程の数値解析	曾田力央(AIST)
169	2018/12/6	MagHEM・ESICMM 磁 性材料合同シンポジ ウム	数値シミュレーションを用 いた磁場中成形プロセスの 新しい解析法	曾田力央(AIST)
170	2018/12/6	MagHEM・ESICMM 磁 性材料合同シンポジ ウム	次世代自動車向け高効率モ ーター用磁性材料技術開発 プロジェクトの概要説明	尾崎公洋(AIST)
171	2019/8/26~30	JEMS2019	Particle-based simulation and experimental validat ion of magnetic-aligned c ompaction process	曾田力央、 高木健太、 尾崎公洋(AIST)
172	2019/11/19	第36回「センサ・マ イクロマシンと応用 システム」シンポジ ウム	疑似Auナノ粒子プラズモン 光学フィルタを用いた高感 度磁区観察	富樫琢実、溝尻瑞 枝(長岡技科大) 長谷川拓己(名古 屋大学) 高木健太、尾崎公 洋(AIST)
173	2019/8/26~30	JEMS2019	Acceleration of Resonance State Calcul ation using LLG Equation	三俣千春、 小野寛太
174	2019/9/3~4	粉体工学会第54回 技術討論会	ジェットミルにおける粉砕 メカニズム解明のための単 粒子破壊現象の観察	曾田力央、 尾崎公洋(AIST)
175	2019/10/15~16	粉体工学会2019年度 秋期研究発表会	ジェットミルの粉砕メカニ ズム解明のための数値解析	鈴木佳弥、久志本 築、石原真吾、加 納純也(東北大) 曾田力央、尾崎公 洋(AIST)
176	2019/10/24~25	IMT MINES ALBI-TOHOKU UNIV JOINT SYMPOSI UM	ジェットミルの粉砕メカニ ズム解明のための数値解析	鈴木佳弥、久志本 築、石原真吾、加 納純也(東北大) 曾田力央、尾崎公 洋(AIST)
177	2019/11/8	STI-GIGAKU 2019	Edge detection of images of magnetic domains obtained by a magnet-optical Kerr effect	小池廉太郎、溝尻 瑞枝(長岡技科大) 高木健太、尾崎公 洋(AIST)

			microscopy with Au plasm on filters	
178	2020/3/17~19	日本金属学会2020年 春季大会	XRDと数値解析を用いた結晶 方位分布推算方法の開発	曾田力央、 尾崎公洋(AIST)
179	2020/3/17~19	日本金属学会2020年 春季大会	超高速メルトスパン法にお ける Fe-7.7at%Sm 合金のア モルファス化に及ぼす各種 条件	田村卓也、李明軍 (AIST)
180	2020/8/6	日本鑄造工学会 東 海支部 第92回鑄 造先端プロセス研究 部会	データ駆動型プロセス開発 による 難アモルファス化組成 Fe- 7.7at%Sm 合金におけるアモ ルファス化	田村卓也(AIST)
181	2020/10/26	第37回「センサ・マ イクロマシンと応用 システム」シンポジ ウム	Au ナノ粒子プラズモン光学 フィルタを用いた磁化過程 の動磁区観察	小池廉太郎、溝尻 瑞枝(長岡技科大) 高木健太、尾崎公 洋(AIST)
182	2020/11/17	粉体工学会2020年度 秋期研究発表会	粉砕および圧粉成形プロセ スの数値シミュレーション に関する研究	曾田力央(AIST)
183	2020/11/17~18	粉体工学会2020年度 秋期研究発表会	ジェットミル内粉料粒子の 運動と粉砕場の解析	鈴木佳弥、久志本 築、石原真吾、加 納純也(東北大) 曾田力央、尾崎公 洋(AIST)
184	2020/12/10	nanotech2021 特別 シンポジウム「計測 インフォマティクス ~データ駆動型科学 による計測技術の刷 新」	計測実験の最適化と計測デ ータ解析の自動化	小野寛太(KEK)
185	2021/6/7~10	REPM2021	Introduction of development of magnetic materials for high- efficiency motors in Japa n' s national project (MagHEM project)	尾崎公洋(AIST)
186	2021/12/1	MagHEM・ESICMM合同 成果報告会	MagHEM が取り組んできた内 容とその成果概要	尾崎公洋(AIST)
187	2021/12/1	MagHEM・ESICMM合同 成果報告会	基盤技術開発ープロセス シミュレーションと材料解	尾崎公洋(AIST)

			析	
188	2021/12/6	The 12th Conference on Critical Materials and Minerals - Technical & Experts Meeting -	Introduction of development of magnetic materials for high-efficiency motors in Japan's national project (MagHEM project)	尾崎公洋 (AIST)
189	2022/1/27	ナノテク2022 メインシアターセミナー	材料資源制約への挑戦 - ネオジム磁石を超える永久磁石と高効率・高性能モーターを一体的に開発 -	尾崎公洋 (AIST)
190	2022/2/3	第5回元素戦略シンポジウム	戦略的取組みによる、自動車モーター用磁石開発	尾崎公洋 (AIST)
191	2022/3/23	電気学会全国大会	次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発プロジェクトの成果	尾崎公洋 (AIST)

担当：ダイキン工業株式会社

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
192	2017年4月26日	IEEE International Magnetics Conference INTERMAG Europe 2017	3-D Magnetic Field Analysis Taking Account of Magnetic Hysteresis Property of Electrical Motor under Inverter Excitation	小田原峻也、藤崎敬介（豊田工大）、中川倫博、北野伸起（ダイキン工業）、他
193	2017年5月1日	電気学会論文誌D（産業応用部門誌），Vol.137, No.5, pp.437-444 (2017)	強磁力磁石を用いた自動車駆動用 IPMSM の特性に及ぼす磁石配置と鉄心材料の影響	清水悠生、森本茂雄、真田雅之、井上征則（大阪府大）
194	2017年5月19日	電気学会 用途指向形次世代モータの技術動向調査専門委員会	大阪分室（旧モーター・磁性材料技術開発センター）の実験室を紹介	浅野能成、三箇義仁、荒木辰太郎、中川倫博（ダイキン）
195	2017年5月21日	Proc. Of the IEEE Int'l Electrical Machines and Drives Conference 2017	Windage Loss Reduction for Hybrid Excitation Flux Switching Motors Based on Structure Design	岡田康弘、小坂卓、松井信行（名工大）
196	2017年5月26日	自動車技術会 2017 年春季大会	モータ用磁石材料の評価技術（3次元減磁評価技術）	荒木辰太郎、三箇義仁、浅野能成、

				山際昭雄（ダイキン）
197	2017年5月26日	自動車技術会 2017年春季大会	インバータ励磁時のモータ用電磁鋼板の鉄損評価技術	中川倫博、北野伸起、小林直人、浅野能成（ダイキン）、他
198	2017年5月26日	自動車技術会 2017年春季大会	磁気軸受を用いた高効率モータ損失分析評価技術	三箇義仁、近藤俊成、浅野能成、山際昭雄（ダイキン）
199	2017年5月26日	日本ボンド磁性材料協会第91回技術例会	モータ用永久磁石の3次元減磁分布測定手法の開発	浅野能成（ダイキン）
200	2017年6月7日	IEEE International Future Energy Electronics Conference 2017 ECCE Asia	Sampling Frequency Influence on Magnetic Characteristic Evaluation under High Frequency GaN Inverter Excitation	Wilmar Martinez、小田原峻也、藤崎敬介（豊田工大）
201	2017年6月8日	モノづくり日本会議第12回新産業技術促進検討会	次世代モーター・磁性材料特性評価技術開発 成果概要	山際昭雄、浅野能成（ダイキン）
202	2017年7月28日	電気学会 モータドライブ／回転機／自動車合同研究会	高占積率巻線を採用した固定子磁石中央配置型 HEFSM の設計検討	磯部啓介、小坂卓、松井信行（名工大）
203	2017年7月28日	電気学会 モータドライブ／回転機／自動車合同研究会	固定子中央磁石配置型 HEFSM の振動低減設計検討	厚田大輝、小坂卓、松井信行（名工大）
204	2017年8月9日	電気学会 回転機／リニアドライブ／家電・民生合同研究会	モータ鉄損測定の新手法の提案	中川倫博、三箇義仁、北野伸起、小林直人（ダイキン）、他
205	2017年8月29日	2017年電気学会産業応用部門大会	鋼板材料の鉄損特性の違いが2層構造 IPMSM と▽構造 IPMSM の性能に及ぼす影響	鹿志村美緒、真田雅之、森本茂雄、井上 征則（大阪府大）
206	2017年8月30日	2017年電気学会産業応用部門大会	PWM インバータによるキャリア高調波を考慮した自動車駆動用2層 IPMSM の運転特性	清水悠生、真田雅之、森本茂雄、井上 征則（大阪府大）
207	2017年9月8日	The 11th Internati	3-D	小田原峻也、藤崎

		onal Symposium on Linear Drives for Industry Applications	Magnetic Field Analysis Taking Account of Anisotropic Magnetic Hysteresis Property of Electrical Steel Sheet	敬介（豊田工大）、中川倫博、北野伸起（ダイキン工業）、他
208	2017年9月13日	The 19th Conference on Power Electronics and Applications (EPE '17 ECCE Europe)	Efficiency Improvement and Downsizing of Double-layered IPMSMs Containing a Strong Magnet for Automotive Applications	清水悠生、森本茂雄、真田雅之、井上征則（大阪府大）
209	2017年9月13日	The 19th Conference on Power Electronics and Applications (EPE '17 ECCE Europe)	Influence of Iron Loss Properties of Magnetic Steel Sheets and Rotor Structure on Efficiency of IPMSMs	鹿志村美緒、森本茂雄、真田雅之、井上征則（大阪府大）
210	2017年9月30日	ダイキン工業 TIC 情報発信誌「Challenge」Vol. 2, 2017	モータ鉄損新測定法がインバータを変える	中川倫博（ダイキン）
211	2017年10月18日	5th Japan-U.S. Bilateral Meeting on Rare Metals	Development of Three-dimensional Measurement Technique for Demagnetization Distribution in Permanent Magnets of Motors	荒木辰太郎、浅野能成（ダイキン）
212	2017年11月1日	IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 6, No. 6, pp. 401-408 (2017)	Influence of Permanent Magnet Properties and Arrangement on Performance of IPMSMs for Automotive Applications	清水悠生、森本茂雄、真田雅之、井上征則（大阪府大）
213	2017年11月11日	パワーエレクトロニクス学会第 220 回定例研究会	自動車駆用 IPMSM の運転特性に及ぼす PWM インバータのキャリア高調波の影響	清水悠生、真田雅之、森本茂雄、井上征則（大阪府大）
214	2017年11月25日	電気関係学会関西連合大会	積厚の短縮と高速回転化による出力密度向上が自動車駆動用 IPMSM の損失に及ぼす影響	井本涼太、真田雅之、森本茂雄、井上征則（大阪府大）

215	2017年11月25日	電気関係学会関西連 合大会	自動車駆動用 IPMSM の高効 率化検討	清水悠生、真田雅 之、森本茂雄、井 上 征則 (大阪府 大)
216	2017年12月6日	JMAG ユーザー会 2017	モータ用永久磁石の3次元 減磁分布測定手法の開発	荒木辰太郎 (ダイ キン)
217	2017年12月6日	産業応用フォーラム 「モータ道場」	大阪分室の実験室を紹介	浅野能成、三箇義 仁、中川倫博 (ダ イキン)
218	2017年12月19日	日経テクノロジー Online <a href="http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/mag/15/398081/120800120/">http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/mag/15/398081/120800120/</a>	クルマから始まるモーター 革新、磁束や極数を可変に	小坂卓 (名工大)
219	2018年3月14日	2018年電気学会全 国大会	自動車駆動用 IPMSM の出力 密度向上と高効率化に適し たロータ構造に関する検討	井本涼太、真田雅 之、森本茂雄、井 上 征則 (大阪府 大)
220	2018年4月19日	第38回モータ技術 シンポジウム	IPMSM の高性能化技術と自 動設計技術	真田雅之 (大阪府 立大大学)
221	2018年5月16日	大阪府立大学 Web マ ガジン ( <a href="http://michitake.osakafu-u.ac.jp/">http://michitake.osakafu-u.ac.jp/</a> )	モータに関する府大の最新 研究について	井上征則 (大阪府 立大大学)
222	2018年5月20日	IPEC 2018 ECCE ASIA (International Power Electronics Conference)	Study on Rotor Structure Suitable for Improving Po wer Density and Efficiency in IPMSM for Automotive Application	井本涼太、真田雅 之、森本茂雄、井 上征則 (大阪府立 大学)
223	2018年8月28日	2018年電気学会産 業応用部門大会	直流偏磁を考慮した HEFSM のヒステリシス損失解析	関戸基生、松盛裕 明、小坂卓、松井 信行 (名古屋工業 大学)
224	2018年8月28日	2018年電気学会産 業応用部門大会	出力密度・効率向上のため に低鉄損材料と強磁力磁石 を適用した自動車駆動用2 層 IPMSM の運転特性	井本涼太、真田雅 之、森本茂雄、井 上征則 (大阪府立 大学)
225	2018年9月23日	ECCE2018	Hybrid Excitation Flux Sw itching Motor with Permanent Magnet Placed at	Takeshi Okada, Hiroaki Matsumori, Takashi Kosaka,

			Middle of Field Coil Slots Employing High Filling Factor Windings	Nobuyuki Matsui (名古屋工業大学)
226	2018年10月2日	EVS31 & EVTeC2018	Hybrid Excitation Flux Switching Motor with High Filling Factor Windings	Takashi Kosaka, Keisuke Isobe, Nobuyuki Matsui (名古屋工業大学)
227	2018年10月5日	磁石開発の方向性に関する報告会	磁石開発の方向性に関する検討結果	浅野能成(ダイキン工業)
228	2018年10月29日	自動車技術会モータ技術部門委員会	MagHEM 大阪分室の取組紹介・実験設備紹介	浅野能成(ダイキン工業)
229	2018年12月1日	電気関係学会関西連合大会	小型高速化した HEV 用 2 層 IPMSM におけるロータの機械的強度向上に関する検討	井本涼太、真田雅之、森本茂雄、井上征則(大阪府立大学)
230	2018年12月15日	パワーエレクトロニクス学会第 226 回定例研究会	磁石寸法を 1 種類のみとした小型・高速化 HEV 用 2 層 IPMSM の損失特性	井本涼太、真田雅之、森本茂雄、井上征則(大阪府立大学)
231	2018年12月6日	MagHEM/ESICMM 磁性材料合同シンポジウム	大阪分室の取組成果をパネルで紹介	浅野能成(ダイキン工業)
232	2018年12月6日	MagHEM/ESICMM 磁性材料合同シンポジウム	「モーター基盤」について	山際昭雄(ダイキン工業), 松本紀久(三菱電機), 松橋大器(明電舎)
233	2018年12月7日	第四期モータ道場第 4 回	MagHEM 大阪分室の取組紹介・実験設備紹介	浅野能成, 三箇義仁, 荒木辰太郎, 中川倫博(ダイキン工業)
234	2018年12月14日	半導体電力変換技術委員会	モーター損失分析評価装置及び H コイル法を用いたモーター鉄損測定手法の研究開発	中川倫博(ダイキン工業)
235	2019年4月18日	第 39 回モータ技術シンポジウム	自動車駆動用 IPMSM の出力密度向上と高効率化	真田雅之(大阪府立大学)
236	2019年7月30日	電気学会モータドライブ/回転機/自動車合同研究会	2 種類の磁石で磁極を構成した自動車駆動用 HEFSM の高効率設計	大塚啓太, 松盛裕明, 小坂 卓, 松井信行 (名古屋工業大学)
237	2019年8月6日	2019 年電気学会産	高占積率巻線を採用した自	岡田孟士, 大塚啓

		業応用部門大会	動車駆動用 HEFSM の渦電流損失解析	太, 松盛裕明, 小坂卓, 松井信行 (名古屋工業大学)
238	2019年9月25日	第 43 回日本磁気学会学術講演会	Development of fundamental technologies for motors in Technology Research Association of Magnetic Materials for High-Efficiency Motors (MagHEM).	浅野能成, 三箇義仁, 荒木辰太郎, 中川倫博, 山際昭雄 (ダイキン工業) 森本茂雄, 真田雅之, 井上征則 (大阪府立大学)
239	2019年12月5日	JMAG ユーザ会 2019	高効率モーター用磁性材料技術研究組合 (MagHEM) におけるモータ解析・設計の取り組み	浅野能成 (ダイキン工業)
240	2019年12月24日	マグネティックス研究会	自動車駆動用ハイブリッド界磁フラックススイッチングモータ	小坂卓 (名古屋工業大学)
241	2020年3月6日 (大会中止により 予稿集公表日)	2020 年電気学会全国大会	H コイル法によるインバータ駆動時のモータ局所鉄損の測定	浅野能成, 中川倫博, 北野伸起, 小林直人, 山際昭雄 (ダイキン工業)
242	2020年3月6日 (大会中止により 予稿集公表日)	2020 年電気学会全国大会	強磁力磁石・低鉄損材料を用いた小型高速化 IPMSM の実機による損失評価	西尾湧貴, 真田雅之, 森本茂雄, 井上征則 (大阪府立大学)
243	2020年5月14日	電気学会モータドライブ/回転機/自動車合同研究会	インバータ励磁時のモータ鉄損評価技術	浅野能成・中川倫博・三箇義仁・山際昭雄 (ダイキン工業)
244	2020年12月15日	第44回日本磁気学会学術講演会	Development of motor design technologies using high performance magnets	Y. Asano, Y. Sanga, S. Araki, M. Nakagawa, A. Yamagiwa (ダイキン工業), S. Morimoto, M. Sanada, Y. Inoue (大阪府立大学)
245	2020年11月15日	令和 2 年電気関係学会関西連合大会	出力密度向上と高効率化を図った HEV 駆動用 IPMSM	西尾勇貴・真田雅之・森本茂雄

			の実機による損失評価	・井上征則(大阪府立大学)
246	2020年11月15日	令和2年電気関係学会関西連合大会	自動車駆動用小型高速化IPMSMにおける永久磁石特性がモータ特性に及ぼす影響	柏原ひとみ・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)
247	2020年11月25日	ICEMS2020 Web Remote Conference	Loss Evaluation Based on Experiment on Compact and High-Speed IPMSM Using Strong Magnet and Low-Iron-Loss Material	西尾勇貴・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)
248	2021年3月9日	令和3年電気学会全国大会	小型高速化IPMSMの減磁改善設計によるモータ特性への影響	柏原ひとみ・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)
249	2020年5月15日	電気学会モータドライブ/回転機/自動車研究会	2種類の磁石で磁極を構成した自動車駆動用HEFSMの運転特性評価	大塚啓太・岡田孟士・松盛裕明・小坂卓・松井信行(名古屋工業大学)
250	2020年10月12日	2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)	Basic Study on Efficiency Improvement of Hybrid Excitation Flux Switching Motor using Variably Magnetizable Permanent Magnets for Automotive Traction Drives	Keita Otsuka, Takeshi Okada, Tomoya Mifune, Hiroaki Matsumori, Takashi Kosaka and Nobuyuki Matsui(名古屋工業大学)
251	2020年11月21日	第35回パワーエレクトロニクス学会主催専門講習会	新しいモータドライブの技術動向	小坂卓(名古屋工業大学)
252	2020年11月25日	The 23rd International Conference on Electrical Machines and Systems(ICEMS2020)	Design and Experimental Studies on HEFSM Employing Two Types of Permanent Magnet per Poles as Traction Motor for Automobile Applications	Takeshi Okada, Keita Otsuka, Hiroaki Matsumori, Takashi Kosaka and Nobuyuki Matsui(名古屋工業大学)

253	2020年11月25日	JMAGユーザー会2020	可変磁力磁石を採用したHEFSMにおける着磁解析	小坂卓, 岡田孟士(名古屋工業大学)
254	2021年6月29日	第41回モータ技術シンポジウム	新規ネオジム磁石を用いたモータ設計・鉄損評価	浅野能成(ダイキン工業)
255	2021年5月17日	2021 International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC)	Magnetization State Control of Variably Magnetizable Permanent Magnets Employed in HEFSM at Starting Up	岡田孟士・斎藤充・小坂卓・松盛裕明・松井信行(名古屋工業大学)
256	2021年5月26日	公益社団法人自動車技術会2021春季大会学術講演会予稿集	可変磁力磁石を用いたHEFSMの運転特性評価	小坂卓・岡田孟士・松盛裕明・松井信行(名古屋工業大学)
257	2021年10月10日	2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)	Optimum Design Study on HEFSM Using Variably Magnetizable PM with Low L/D Ratio and Novel PM Arrangement for EV/HV Tractor Applications	岡田孟士・斎藤充・小坂卓・松盛裕明・松井信行(名古屋工業大学)
258	2021年11月15日	電気学会回転機研究会	可変磁力磁石を採用したハイブリッド界磁フラックススイッチングモータ	小坂卓(名古屋工業大学)
259	2021年11月15日	電気学会回転機研究会	磁石配置と形状比最適化による可変磁力磁石採用HEFSMの高トルク密度・高効率化設計	斎藤充・岡田孟士・小坂卓・松盛裕明・松井信行(名古屋工業大学)
260	2021年8月26日	2021年電気学会産業応用部門大会	新規磁性材料を用いた自動車駆動用小型高速化IPMSMの解析と実機による特性評価	柏原ひとみ・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)
261	2021年11月3日	The 24th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2021) (基調講演)	R&D on Hybrid Excitation Motors for Electrified Vehicle Traction Drive under MagHEM Project	小坂卓(名古屋工業大学)
262	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合同成果報告会	モータ実装時の磁性材料の評価技術	浅野能成(ダイキン工業)

263	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合同成果報告会	新規磁石材料に適した高効率モーター開発	山際昭雄(ダイキン工業)
264	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合同成果報告会	評価技術・モータ開発	三箇義仁(ダイキン工業)
265	2021年12月1日	JMAGユーザー会2021	新規磁石配置と最適形状比を有する可変磁力磁石採用HEFSMの最適化設計と実機検証	斎藤充・岡田孟士・小坂卓(名古屋工業大学)
266	2021年12月5日	令和3年電気関係学会関西連合大会	自動車駆動用小型高速化IPMSMにおける磁石保磁力不足時の減磁改善に適する磁石厚さの検討	柏原ひとみ・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)
267	2021年12月5日	令和3年電気関係学会関西連合大会	自動車駆動用IPMSMにおけるロータ構造の変更による最大トルク時の不可逆減磁の改善	中田篤志・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)
268	2022年1月27日	電気学会半導体電力変換/モータドライブ合同研究会	低保磁力磁石を想定した自動車駆動用IPMSMにおける不可逆減磁を改善するロータ構造	柏原ひとみ・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)
269	2022年3月23日	令和4年電気学会全国大会	2層IPMSMにおける不可逆減磁の改善を目的としたロータ構造の検討	中田篤志・真田雅之・森本茂雄・井上征則(大阪府立大学)

担当：三菱電機株式会社

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
270	2017年5月26日	自動車技術会 2017年度春季大会	Nd-F-B系焼結磁石における応力印時の磁気特性変化	松本紀久(三菱電機)他
271	2017年5月26日	自動車技術会 2017年度春季大会	引張・圧縮応力下における軟磁性薄帯及びその積層バルクの鉄損特性	水田貴裕(三菱電機)他
272	2017年6月8日	モノづくり日本会議	応力を考慮したモーター設計・評価技術の研究開発	相澤淳一(三菱電機)他
273	2017年7月	電気学会論文誌A	Nd-F-B系焼結磁石の圧縮応力による磁区構造変化	竹澤昌晃(九工大)他
274	2017年11月16日	電機学会 回転機研究会	ステータコアへの焼嵌め応力を想定した可変応力印加機構の検討	北尾純士(三菱電機)他
275	2017年12月21日	電気学会 マグネティックス研	永久磁石材料の加圧加熱下での磁区観察システムの開	福島啓子(九工大)他

		研究会	発	
276	2018年1月	Electrical Engineering in Japan	Change in Magnetic Domain Structure of Nd - Fe - B Sintered Magnets by Compressive Stress	竹澤昌晃(九工大) 他
277	2018年3月14日	電気学会 全国大会	ネオジム焼結磁石の導電率の異方性が交流磁気損失に与える影響に関する基礎的検討	習田祐作(同志社大学) 他
278	2018年4月24日	Intermag2018	Development of Variable Stress Applying System for Shrink Fitting of Stator Core in IPM Motor	Junji Kitao, Junichi Aizawa, Masatsugu Nakano, Masaki Yamada, and Akihiro Daikoku (Mitsubishi Electric Co.)
279	2018年4月24日	Intermag2018	Magnetic Property of Amorphous Magnetic Thin Ribbon and its Laminated Bulk under the Tensile and Compressive stress	Takahiro Mizuta, Yoshihiro Tani(Mitsubishi Electric Co.), Koji Fujiwara(Doshisha University)
280	2018年5月10日	IEEE Trans. on Magnetics	Magnetic Property of Amorphous Magnetic Thin Ribbon and its Laminated Bulk under the Tensile and Compressive stress	Takahiro Mizuta, Yoshihiro Tani(Mitsubishi Electric Co.), Koji Fujiwara(Doshisha University)
281	2018年7月18日	ICM2018	Changes in the Magnetic Domain Structure of Nd-Fe-B Sintered Magnets by Applying Compressive Stress and Heat	Masaaki Takezawa, Keiko Fukushima, Yuji Morimoto (Kyushu Institute of Technology), Norihisa Matsumoto (Mitsub

				ishi Electric Corporation)
282	2018年9月25日	15th Int. Workshop on 1 & 2 Dimensional Magnetic Measurement and Testing, 2DM-Grenoble	Investigation on Conductivity and AC Magnetic Loss of Nd-Fe-B Sintered Magnet	Yusaku Shutta, Yuya Ako, Yasuhito Takahashi, Koji Fujiwara(Doshisha University), Junji Kitao, and Masaki Yamada(Mitsubishi Electric Co.)
283	2018年12月6日	MagHEM・ESICMM磁性材料合同シンポジウム	モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発(2)	尼崎分室(三菱電機)
284	2018年12月17日	電気学会 マグネティックス研究会	Ne-Fe-B系焼結磁石の加圧・加熱下での磁区構造変化	竹澤昌晃、福島啓子、森本祐治(九工大)、松本紀久(三菱電機)
285	2019年3月14日	電気学会 全国大会	軟磁性材料の応力印加時の磁気計測手法	水田貴裕、谷良浩、北尾純士(三菱電機)
286	2021年9月1日	第45回日本磁気学会 学術講演会	Nd-Fe-B系焼結磁石の加熱・加圧負荷による減磁と磁区構造変化	田村紘大、江口徳彦、森本祐治、竹澤昌晃(九工大)、松本紀久(三菱電機)
287	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM磁性材料合同成果報告会	モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発(2)(ポスター)	松本紀久(三菱電機)
288	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM磁性材料合同成果報告会	モーター実装環境下の磁性材料評価・解析技術の開発(2)(展示)	松本紀久(三菱電機)

担当：株式会社明電舎

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
289	2018年12月6日	MagHEM・ESICMM磁性材料合同シンポジウム	モーター損失分離測定と鉄損の低減	松橋大器, 内山翔(明電舎)
290	2019年11月11日	MEIDENテクノフォー	モーター損失の分離測定技術	内山翔(明電舎)

	11月13日	ラム		
291	2021年12月1日	MagHEM・ESICMM合同成果報告会	高効率モーターの開発	内山翔（明電舎）

(2) 論文等

① 新規高性能磁石の開発

①-2-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

担当：トヨタ自動車株式会社

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
1	2017年5月29日	Journal of Alloys and Compounds	新規Sm-Fe-N系ナノコンポジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析	小林久理眞(静岡理工) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
2	2017年10月20日	Journal of Alloys and Compounds	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	松浦昌志(東北大学) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
3	2017年10月25日	Acta Materialia	coercivity enhancement of hot-deformed Ce-Fe “B magnetite by grain boundary’ infiltration of Nd-Cu eutectic alloy	Xin Tang(NIMS) 加藤晃(トヨタ自動車)他
4	2018年 1月31日	Scripta Materialia	Multiscale model approaches to the design of advanced permanent magnets	矢野正雄・庄司哲也(トヨタ自動車) Dr. S. C. Westmoreland (York) Prof. T. Schrefl (Danube)
5	2018年 3月16日	Journal of Magnetism and Magnetic Materials	Sm-Fe系磁石の研究開発(Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)	松浦昌志(東北大学) 佐久間紀次(トヨタ自動車)他
6	2019年8月9日	Acta Materialia	Magnetic Microstructure Machine Learning Analysis	庄司哲也・横田和哉(トヨタ自動車) Lukas Ekl(Vienna) Johann Fischbacher他 (Danube)Gino Hrkač(Exeter)
7	2019年6月 1日	Applied	浸透処理Nd-Fe-Bの微細構造	矢野正雄(トヨタ自動車)

		Physics Letters	に与える影響の中性子小角散乱による解明 (Effect of grain-boundary diffusion process on the geometry of the grain microstructure of Nd-FeB magnets)	車) Ivan Titov 他 (Univ. Luxembourg)
8	2020年5月8日	Journal of Magnetism and Magnetic Materials、61, 657	「新規 Sm-Fe-N系ナノホジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理眞・漆畑貴美子・久野智子・鈴木俊治(静岡理工) 佐久間紀次・庄司哲也・加藤晃(トヨタ自動車)
9	2020年5月15日	Journal of Magnetism and Magnetic Materials、510, 1669-43	「Sm-Fe系磁石の研究開発 (Sm-Fe系磁石バルク化手法の研究開発)」	M. Matsuura, K. Yamamoto, N. Tezuka, S. Sugimoto (東北大学)
10	2020年6月8日	東北大学金属材料研究所強磁場超電導材料研究センター 2019年度共同研究報告書	「新規 Sm-Fe-N系ナノホジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理眞・久野智子(静岡理工科大学) 高橋弘紀(東北大学金属材料研究所)
11	2020年10月29日	Journal of Magnetism and Magnetic Materials、60, 1697	「新規 Sm-Fe-N系ナノホジット磁石の研究(高磁化超微細交換スプリング磁石の研究)」及び「ナノ複相組織磁石の保磁力機構解析」	小林久理眞・久野智子・山本宜秀(静岡理工科大学)
12	2021年1月初旬	Journal of Applied Physics (American Institute of Physics)、in press	First principles and atomistic calculation of the magnetic anisotropy of $Y_2Fe_{14}B$	Ramon Cuadrado・Richard F.L. Evans・Roy W. Chantrell (Univ of York) Gino Hrkac (Univ. Exeter) Thomas Schrefl (St. Polten) 庄司哲也・矢野正雄・加藤晃・伊東正朗(トヨタ自

				動車)
13	2021年1月初旬	日本金属学会報、57 ページ	Material DX を用いた省Nd 磁石の開発	庄司哲也・矢野正 雄・佐久間紀次・ 木下昭人・山口剛 生・加藤晃 (トヨ タ自動車)
14	2021年4月-5月	Science and Techno logy of Advanced M aterials (STAM), 22 、729-747	「Recent Progress in the Development of High-Perfo rmance Bonded Magnets usi ng Rare Earth-Fe Compound s」	Takashi Horikawa Masao Yamazaki Masashi Matsuura Satoshi Sugimoto (Tohoku Universi ty)
15	2021年5月 (オンライン公開)	SPring-8利用研究成 果集、2021年9巻6号 395-399	Mossbauer 分光によ る Sm-Fe 化合物の電子状態 分析 Magnetic and Electric Structures i n Sm based ThMn <sub>12</sub> Phase Observed by Synchronous Mössbauer Spectroscopy	矢野正雄, 佐久間 紀次 (トヨタ自 動車) 小林康浩, 増田亮, 瀬戸誠 (京都大学 ) 依田芳卓 ((財)高 輝度光科学研究セ ンター) 鈴木俊治, 久野智 子, 漆畑貴美子, 小 林久理真 (静岡理 工科大学)
16	2021年10月1日	Communications in Nonlinear Science and Numerical Simu lation、投稿中	Full-Spin-Wave-Scaled Fin ite Element Stochastic Mi cromagnetism: Mesh-Indepe ndent FUSSS LLG Simulatio ns of Ferromagnetic Reson ance and Reversal	H. Oezel, A. Kovacs , J. Fischbacher, M. Gusenbauer, R. Beigelbeck, T. S chrefl (Danube.un iv) L. Qu, G. T. Ziman yib (Univ. Califo rnia) D. Praetorius (Vie nna.univ) R. Chantrell (univ York, ) M. Winklhofer (Oss ietzky.univ) 矢野 正雄 庄司

				哲也 加藤 晃 (トヨタ自動車)
17	2021年11月	Science and Technology of Advanced Materials、投稿中	Powder neutron diffraction experiments on Sm permanent magnets supported by ab-initio calculations	羽合孝文・松本宗久・小野寛太 (高エネルギー加速器研究機構) 矢矢野正雄・庄司哲也・佐久間紀次 (トヨタ自動車) James R. Hester (Australian Nuclear Science and Technology Organisation)

①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発

担当：株式会社デンソー

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
18	2017年10月16日	Scientific Reports, 7, 13216(2017)	Synthesis of single-phase L10-FeNi magnet powder by nitrogen insertion and topotactic extraction	Sho Goto (DENSO) et al.
19	2017年12月5日	Journal of electrochemical society, vol. 164, E525-E528(2018)	New Route of the Formation of Ordered FeNi by Electrochemical Nitriding and De-Nitriding Processes	Y. Sakanaka (Doshisha) et al.
20	2018年3月30日	「磁性材料・部品の最新開発事例と応用技術」((株)技術情報協会)	完全非希土類磁石を目指したL10-FeNi規則合金の研究・開発 永久磁石応用に向けたバルク材料開発	藏裕彰 (デンソー) 他
21	2018年7月1日	自動車技術会 会誌「自動車技術」Vol. 72 No. 7 2018	完全レアアースフリーのFeNi超格子磁石の開発 —10億年をタイムトリップし、隕石由来の磁石材料を合成—	藏 裕彰 (デンソー)
22	2018年7月15日	工業材料 Vol. 66 No. 8 2018	希土類フリー新規高耐熱磁石の開発	後藤 翔 (デンソー)
23	2018年11月8日	文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 微細構造解析プラットフォーム	FeNi窒化物の水素還元過程の超高压TEM観察	渡辺弘紀 (デンソー)

		フォーム 利用報告書データベース		
24	2019年2月15日	次世代永久磁石の開発最前線 (エヌ・ディー・エス刊)	完全レアアースフリーFeNi磁石の開発	柳原英人(筑波大学)、後藤翔(デンソー)
25	2019年3月10日	MATERIAL STAGE 2019年3月号	FeNi 超格子磁石磁石材料の開発とその可能性	藏 裕彰(デンソー) 他
26	2019年10月9日	ACS Applied Nano Materials 2019, 2, 11, 6909-6917	Positive Weiss Temperature in Layered Antiferromagnetic FeNiN for High-Performance Permanent Magnets	Sho Goto(DENSO) etc.
27	2019年10月17日	文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 微細構造解析プラットフォーム 利用報告書データベース	FeNi窒化物の水素還元過程の観察	渡辺弘紀(デンソー)
28	2020年5月1日	Journal of the Magnetism Society of Japan vol.44, 75-78	Synthesis of $L1_2$ -FeNi nanoparticles by nitrogen insertion and topotactic extraction method	Sho Goto(DENSO) etc.
29	2020年5月15日	Applied Physics Letters vol.116, 242404	Epitaxial $L1_0$ -FeNi films with high degree of order and large uniaxial magnetic anisotropy fabricated by denitriding FeNiN films	伊藤啓太(東北大学), 柳原英人(筑波大学), 西尾隆宏、後藤翔(デンソー)他
30	2021年9月1日	文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 微細構造解析プラットフォーム 利用報告書データベース	希土類フリー超格子磁石材料の微細組織・構造の評価	後藤翔(デンソー)
31	2021年9月1日	文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 微細構造解析プラットフォーム 利用報告書データベース	FeNiXナノ粒子の微細組織分析	渡部英治(デンソー)
32	2021年9月14日	APL Materials vol.9, 091108	Fabrication of $L1_0$ -FeNi films with island structure	西尾 隆宏(デンソー), 伊藤啓太(東

			es by nitrogen insertion and topotactic extraction for improved coercivity	北大), 柳原英人 (筑波大学)他
33	2021年10月10日	SPring-8利用課題実施報告書	島状FeNi超格子合金配向薄膜の構造評価	西尾 隆宏(デンソー), 伊藤啓太(東北大)他
34	2022年2月28日	SPring-8一般課題(産業分野)実施報告書(2021A1675)	島状FeNi超格子合金配向薄膜の構造評価	西尾 隆宏(デンソー), 伊藤啓太(東北大), 小金澤智之(高エネ研)他
35	2022年4月1日	日本磁気学会 会報「まぐね」Vol. 17, No. 2	永久磁石応用を目指したトポタクティック脱窒素法によるL1 <sub>0</sub> 型FeNi規則合金の創製	伊藤啓太(東北大), 藏裕彰(デンソー)他
36	2022年9月1日(予定)	文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 微細構造解析プラットフォーム 利用報告書データベース	遷移金属薄膜の観察	西尾 隆宏(デンソー)

④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定支援及び共通基盤技術の開発

④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援

担当：一般財団法人金属系材料研究開発センター(JRCM)

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
37	2018年6月1日	JRCMニュース 2018.6 No. 380号	Intermag2018国際会議に参加して	谷川茂穂(MagHEM)
38	2018年8月1日	JRCMニュース 2018.8 No. 382号	WMM2018国際会議に参加して	谷川茂穂(MagHEM)
39	2018年10月1日	JRCMニュース 2018.10 No. 384号	希土類ならびに将来磁石とその応用に関する国際会議(REPM2018@北京)に参加して	豊田俊介(JRCM) 谷川茂穂(MagHEM)
40	2019年2月1日	JRCMニュース 2019.2 No. 388号	磁性と磁気材料に関する国際会議 2019Joint MMM-Intermag @ ワシントン DCに参加して	豊田俊介(JRCM) 谷川茂穂(MagHEM)
41	2019年7月1日	JRCMニュース 2019.7 No. 393号	EVS32 国際シンポジウムに参加して	谷川茂穂(MagHEM)
42	2019年10月1日	JRCMニュース 2019.10 No. 396号	電動機とシステムに関する国際会議 ICEMS2019@ハル	豊田俊介(JRCM) 谷川茂穂(MagHEM)

			ピンに参加して	
43	2019年11月1日	JRCMニュース 2019.11 No. 397号	軟磁性材料に関する国際会議 SMM2019@ポズナンに参加して	谷川茂穂 (MagHEM)
44	2019年11月1日	特殊鋼2019年11月号	高効率モーター用磁性材料	谷川茂穂 (MagHEM)
45	2020年2月3日	JRCMニュース 2020.2 No. 400号	米国での磁性と磁性材料に関する国際会議 MMM2019 とフェライトに関する国際会議 ICF2019 に参加して	谷川茂穂 (MagHEM)
46	2020年3月31日	電気学会MMA調査専門委員会技術報告書	高効率モーター用永久磁石の技術動向、磁気研究への期待	豊田俊介 (JRCM)
47	2020年4月1日	JRCMニュース2020.4 No. 402号 pp. 2-6	電動自動車用モーターに関する国際会議 Advanced E-Motor Technology 2020@ベルリンに参加して	豊田俊介 (JRCM)
48	2020年5月1日	JRCMニュース2020.5 No. 403号 pp. 2-6	材料・金属・鉱物に関する国際会議TMS2020@サンディエゴに参加して	谷川茂穂 (MagHEM)
49	2020年8月1日	JRCMニュース2020.8 No. 406号 pp. 2-4	高効率モーターの技術動向	豊田俊介 (JRCM) 谷川茂穂 (MagHEM)
50	2021年3月1日	JRCMニュース2021.3 No. 413号 pp. 2-6	軟磁性材料に関する国際会議WMM2020と磁性と磁性材料に関する国際会議MMM2020に参加して	谷川茂穂 (MagHEM) 豊田俊介 (JRCM)
51	2021年6月1日	JRCMニュース2021.6 No. 416号 pp. 2-4	電動機とシステムに関する国際会議ICEMS2020@浜松と電動自動車駆動システムに関するシンポジウムAdvanced E-Drive System for BEV/HEVs2021に参加して	豊田俊介 (JRCM) 谷川茂穂 (MagHEM)
52	2021年9月1日	JRCMニュース2021.9 No. 419号 pp. 2-6	希土類ならびに将来磁石とその応用に関する国際会議R EPM2021@ボルチモアに参加して	谷川茂穂 (MagHEM) 豊田俊介 (JRCM)
53	2022年2月1日	JRCMニュース2022.2 No. 424号 pp. 2-4	国際磁性会議INTERMAG2021@リヨンに参加して	谷川茂穂 (MagHEM) 豊田俊介 (JRCM)

④-2 共通基盤技術の開発

担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
54	2017/9/5	JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS	Consolidation of Sm <sub>2</sub> Fe <sub>17</sub> N <sub>3</sub> magnets with Sm-based eutectic alloy binder	高木 健太(AIST)
55	2017/12/18	JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	Coercivity recovery effect of Sm-Fe-Cu-Al alloy on Sm <sub>2</sub> Fe <sub>17</sub> N <sub>3</sub> magnet	高木 健太(AIST)
56	2018/5/30	Journal of Magnetism and Magnetic Materials	Severe plastic deformation of Nd-Fe-B nanocomposite magnets at room temperature	細川 明秀、高木 健太、尾崎 公洋 (AIST)
57	2019/2/17	JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS	Evaluation of compositional homogeneity of Fe-Co alloy nanoparticles prepared by thermal plasma synthesis	平山 悠介、高木 健太(AIST)
58	2019/5/20	IEEE Transaction on Magnetism	Determination of the inner magnetic field of Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B sintered magnets	K. Kobayashi, K. Urushibata, N. Matsumoto, H. Yamamoto(静岡理工大) Y. Uehara, A. Furuya, J. Fujisaki(富士通)
59	2019/7/19	IEEE Transaction on Magnetism	Demagnetization Correction Method by Using Inverse Analysis Considering Demagnetizing Field Distribution	小林 久理真、林 裕希、尾崎 公洋 (AIST)
60	2019/10/25	JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS	Influencing factors on the amorphous phase formation in Fe-7.7 at% Sm alloys solidified by high-speed melt spinning	田村卓也、李明軍 (AIST)
61	2020/8/21	金属	難アモルファス化組成 Fe-7.7at%Sm 合金における超高速単ロール法によるアモルフ	田村卓也、李明軍 (AIST)

			アス化	
62	2021/3/25	JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS	Anisotropic Nd-Fe ultrafine particles with stable and metastable phases prepared by induction thermal plasma	平山悠介、細川明秀、高木健太 (AIST)
63	2020/11/13	Powder Technology	Single-particle crush test for ultrafine particles and direct numerical simulation of fracture process	曾田力央、尾崎公洋、石原真吾、久志本築、加納純也 (AIST)
64	2021/6	Processes 9 (7) 1098	Development of Simpler Coarse-Grain Model for Analyzing Behavior of Particles in Fluid Flow	Kizuku Kushimoto, Kaya Suzuki (Tohoku University), Shingo Ishihara, Rikio Soda, Kimihiro Ozaki, Junya Kano (AIST)
65	2022/2	Scientific report	Massive transformation in FeNi nanopowders with nanotwin-assisted nitridation	Wang Jian, 平山悠介, Zheng Liu, 鈴木一行、山口渡、Park Kwangjae, 高木健太、尾崎公洋 (AIST)
66	2022/2	Applied Physics Letters	Improvements in the sensitivity of magnetic domain observations using an Au nanosphere plasmonic filter in a Kerr microscope	溝尻瑞枝ほか(長岡技術科学大学ほか)

担当：ダイキン工業株式会社

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
67	2017年5月	電気学会論文誌D, 137巻5号, 437-444	強磁力磁石を用いた自動車駆動用IPMSMの特性に及ぼす磁石配置と鉄心材料の影響	清水悠生・森本茂雄・真田雅之・井上征則(大阪府立大学)
68	2019年9月	CES TRANSACTIONS ON ELECTRICAL MACHINES AND SYSTEMS, Vol. 3	Hybrid Excitation Flux Switching Motor with Permanent Magnet Placed at Middle	岡田孟士・松盛裕明・小坂卓・松井信行(名古屋工業)

		, No. 3, 248-258	of Field Coil Slots and High Filling Factor Windings	大学)
69	2021年4月2日	World Electric Vehicle Journal (WEVJ)	Comparative Study on Hybrid Excitation Flux Switching Motors without and with Variably Magnetizable Permanent Magnets for Electrified Vehicle Propulsion	岡田孟士・小坂卓・松盛裕明・松井信行(名古屋工業大学)

担当：株式会社明電舎

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
70	2020年1月27日	明電時報366号「2019年の技術成果」, 4	モータ高効率化に向けた損失分離測定技術	内山翔(明電舎)
71	2020年4月27日	明電時報367号「EV&電動力応用特集」, 20-23	モータ実装環境下の損失分離評価	内山翔(明電舎)
72	2021年6月25日	Meiden Review182号 2021/No.2「EV&電動力応用特集」, 16-19	Loss Separation Evaluation under Motor Installed Conditions	内山翔(明電舎)

### (3) 特許等

#### ① 新規高性能磁石の開発

#### ①-2-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

担当：トヨタ自動車株式会社

番号	出願日	受付番号	出願に係る特許等の表題	出願人
1	2017年 4月19日	特願2017-083094	希土類磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
2	2017年 4月20日	特願2017-087337	希土類磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
3	2017年 6月21日	特願2017-121398	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
4	2017年 6月30日	特願2017-129658	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
5	2017年 6月30日	特願2017-129671	希土類磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
6	2017年 8月22日	特願2017-159763	磁性化合物及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
7	2017年 8月22日	特願2017-159767	磁性化合物及びその製造方法並びに磁性紛体	トヨタ自動車株式会社

8	2017年 8月 22日	特願2017-159761	磁性化合物及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
9	2017年12月 5日	201714043676 (IN)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
10	2017年12月 5日	15/832, 173 (US)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
11	2017年12月 7日	17205969. 3 (EP)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
12	2017年12月 7日	2017142763 (RU)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
13	2017年12月 13日	201711323866. 6 (CN)	希土類磁石	トヨタ自動車株式会社
14	2017年12月 13日	201711326507. 6 (CN)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
15	2017年12月 14日	10-2017-0171898 (KR)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
16	2017年12月 15日	102017130191. 7 (DE)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
17	2017年12月 15日	1701007515 (TH)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
18	2017年12月 19日	15/846, 343 (US)	希土類磁石	トヨタ自動車株式会社
19	2017年12月 19日	201711370965. X (CN)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
20	2017年12月 19日	15/846, 317 (US)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
21	2017年12月 19日	P00201709233 (ID)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
22	2017年12月 26日	BR1020170281680 (BR)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
23	2017年12月 28日	特願2017-254475	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
24	2018年1月 30日	特願2018-013804	希土類磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
25	2018年1月 30日	特願 2018-014161	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
26	2018年4月 13日	15/953, 183 (US)	希土類磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
27	2018年4月 17日	201810341604. 0 (CN)	希土類磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
28	2018年6月 20日	16/013, 101 (US)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株

				株式会社
29	2018年6月21日	201810640042.X(CN)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
30	2018年6月22日	10-2018-0071874(KR)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
31	2018年6月26日	18179914.9(EP)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
32	2018年6月27日	201814023978(IN)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
33	2018年6月27日	2018123354(RU)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
34	2018年6月28日	P00201804652(ID)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
35	2018年6月29日	1801003957(TH)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
36	2018年6月29日	BR1020180134639(BR)	S m F e N磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
37	2018年6月29日	201810722298.5(CN)	磁性化合物及びその製造方法並びに磁性粉体	トヨタ自動車株式会社
38	2018年7月24日	特願 2018-138380	モータの制御方法	トヨタ自動車株式会社
39	2018年7月25日	特願 2018-139290	ナノコンポジット磁石の製造方法	トヨタ自動車株式会社
40	2018年8月8日	201810896652.6(CN)	磁性化合物及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
41	2018年8月10日	特願 2018-151433	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
42	2018年8月20日	102018120211.3(DE)	磁性化合物及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
43	2018年8月20日	102018120212.1(DE)	磁性化合物及びその製造方法並びに磁性粉体	トヨタ自動車株式会社
44	2018年10月12日	201811186197.7(CN)	希土類磁石とその製造方法	トヨタ自動車株式会社
45	2018年11月27日	特願 2018-221584	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
46	2018年11月29日	特願 2018-223667	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
47	2018年12月12日	10-2018-0160146(KR)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
48	2018年12月15日	201814047517(IN)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社

49	2018年12月24日	18215888.1 (EP)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
50	2018年12月26日	2018146475 (RU)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
51	2018年12月26日	1801008055.0 (TH)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
52	2018年12月27日	P00201811069 (ID)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
53	2018年12月27日	BR1020180772066 (BR)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
54	2018年12月28日	201811619581.1 (CN)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
55	2018年12月28日	特願 2018-248178	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
56	2019年7月2日	16/460,100 (US)	モータの制御方法	トヨタ自動車株式会社
57	2019年7月17日	201910644402.8 (CN)	モータの制御方法	トヨタ自動車株式会社
58	2019年8月6日	16/532651 (US) (分割出願)	希土類磁石とその製造方法	トヨタ自動車株式会社
59	2019年11月18日	201911126134.7 (CN)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
60	2019年12月19日	201911313542.3 (CN)	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
61	2020年8月13日	特願2020-136812x	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
62	2020年10月22日	特願2020-177487	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
63	2021年9月3日	21194761.9	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
64	2021年9月3日	17/465961	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社
65	2021年10月22日	202111234597.2	希土類磁石及びその製造方法	トヨタ自動車株式会社

①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発

担当：株式会社デンソー

番号	出願日	受付番号	出願に係る特許等の表題	出願人
66	2014年10月20日	特願2014-213965	磁性ナノ粒子の熱処理法	株式会社デンソー
67	2015年9月11日	特願2015-179277	FeNi合金粉末の製造方法	株式会社デンソー

68	2015年10月14日	特願2015-203067	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー
69	2016年8月12日	特願2016-159001	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー
70	2016年9月26日	特願2016-186484	FeNi規則合金の製造方法	株式会社デンソー 同志社大学
71	2017年4月13日	特願2017-080025	FeNi規則合金、FeNi規則合金磁石およびFeNi規則合金の製造方法	株式会社デンソー
72	2017年5月12日	特願2017-095788	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
73	2017年5月16日	特願2017-097348	磁粉及び磁石	株式会社デンソー
74	2017年5月17日	特願2017-098205	L10-FeNi磁粉及びボンド磁石	株式会社デンソー
75	2017年5月17日	特願2017-098304	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
76	2018年2月2日	特願2018-17373	FeNi規則合金粉末およびそれを含む磁性材料	株式会社デンソー
77	2018年4月3日	特願2018-71511	磁粉及び磁石	株式会社デンソー
78	2018年4月12日	特願2018-77090	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
79	2018年4月12日	112016004716.9(DE)	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー
80	2018年4月12日	201680059653.4(CN)	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー
81	2018年4月12日	JP2018/015436(PCT)	FeNi規則合金、FeNi規則合金磁石およびFeNi規則合金の製造方法	株式会社デンソー
82	2018年5月10日	JP2018/018203(PCT)	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
83	2018年5月11日	JP2018/018357(PCT)	L10-FeNi磁粉及びボンド磁石	株式会社デンソー
84	2018年5月13日	JP2018/018359(PCT)	磁粉及び磁石	株式会社デンソー
85	2018年5月17日	JP2018/019169	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
86	2019年2月22日	特願2019-30741	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー

87	2019年2月22日	特願2019-30740	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー
88	2019年5月15日	特願2019-92252	FeNi規則合金粉末およびそれを含む磁性材料	株式会社デンソー
89	2019年5月17日	特願2019-93941	多結晶FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む材料	株式会社デンソー
90	2019年9月18日	16/574514 (US)	FeNi規則合金、FeNi規則合金磁石およびFeNi規則合金の製造方法	株式会社デンソー
91	2019年10月11日	112018002014. 2 (DE)	FeNi規則合金、FeNi規則合金磁石およびFeNi規則合金の製造方法	株式会社デンソー
92	2019年10月11日	201880024767. 4 (CN)	FeNi規則合金、FeNi規則合金磁石およびFeNi規則合金の製造方法	株式会社デンソー
93	2019年11月8日	16/678344 (US)	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
94	2019年11月8日	16/677755 (US)	磁粉及び磁石	株式会社デンソー
95	2019年11月4日	16/672865 (US)	L10-FeNi磁粉及びボンド磁石	株式会社デンソー
96	2019年11月15日	112018002550. 0 (DE)	L10-FeNi磁粉及びボンド磁石	株式会社デンソー
97	2019年11月14日	201880031865. 0 (CN)	L10-FeNi磁粉及びボンド磁石	株式会社デンソー
98	2019年11月5日	16/674132 (US)	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
99	2019年11月14日	112018002560. 8 (DE)	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
100	2019年11月14日	201880031877. 3 (CN)	FeNi規則合金を含む磁性材料およびその製造方法	株式会社デンソー
101	2020年2月20日	JP2020/006853 (PCT)	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー
102	2020年2月20日	JP2020/006852 (PCT)	FeNi規則合金、FeNi規則合金の製造方法、および、FeNi規則合金を含む磁性材料	株式会社デンソー
103	2020年6月29日	US16/914685	FeNi ORDERED ALLOY AND METHOD FOR MANUFACTURING FeNi ORDERED ALLOY	株式会社デンソー

104	2020年11月13日	US17/097085	FeNi ORDERED ALLOY AND METHOD FOR MANUFACTURING FeNi ORDERED ALLOY	株式会社デンソー
105	2021年2月16日	特願2021-022231	FeNi 規則合金構造体およびその製造方法	株式会社デンソー
106	2021年8月16日	特願2021-132407	正方晶系薄膜構造体	株式会社デンソー、東北大学、筑波大学
107	2021年8月16日	特願2021-132412	正方晶系薄膜構造体	株式会社デンソー、東北大学
108	2021年9月27日	特願2021-156936	L10型のFeNi 規則合金およびその製造方法	株式会社デンソー、日亜化学工業(株)
109	2022年2月15日	JP2022/005919(PCT)	FeNi 規則合金構造体およびその製造方法	株式会社デンソー

④-2 共通基盤技術の開発

担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所

番号	出願日	受付番号	出願に係る特許等の表題	出願人
110	2019/8/30	特願 2019-158868	配向度分布解析装置、配向度分布計算および計算プログラム	産総研
111	2020/8/11	PCT/JP2020/030586	配向度分布解析装置、配向度分布計算および計算プログラム	産総研

担当：ダイキン工業株式会社

番号	出願日	受付番号	出願に係る特許等の表題	出願人
112	2017年4月21日	特願2017-084804	回転電気機械	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
113	2017年12月20日	特願2017-244311	回転電気機械	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
114	2017年12月20日	PCT/JP2017/045828	回転電気機械	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
115	2018年4月12日	PCT/JP2018/015419	回転電気機械	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
116	2018年7月19日	特願2018-135779	回転電気機械	ダイキン工業株式会社、大阪府立大学
117	2018年11月15日	特願2018-214262	回転電気機械	ダイキン工業株式会社、大阪府立大学
118	2020年3月31日	特願2020-063456	回転電気機械	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学

119	2020年9月25日	特願2020-160786	回転機	ダイキン工業株式会社
120	2020年10月9日	特願2020-171180	回転電気機械装置	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
121	2021年3月29日	特願2021-055053	ロータ製造方法、ロータ、モータ、圧縮機、空気調和機、車両	ダイキン工業株式会社
122	2021年3月30日	特願2021-056385 PCT/JP2021/013674	回転電気機械、圧縮機、冷凍装置、車両	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
123	2021年3月30日	特願2021-056443	回転電気機械装置、圧縮機、冷凍装置、車両	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
124	2021年3月30日	特願2021-056438	回転電気機械装置、圧縮機、冷凍装置、車両	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
125	2022年3月28日	特願2022-051765	回転電気機械、圧縮機、冷凍装置、及び車両	ダイキン工業株式会社
126	2022年3月30日	特願2022-056642	回転電気機械、圧縮機、冷凍装置、及び車両	ダイキン工業株式会社、名古屋工業大学
127	2022年4月(予定)	出願手続き中	回転電気機械、圧縮機、冷凍装置、及び車両	ダイキン工業株式会社

担当：三菱電機株式会社

番号	出願日	受付番号	出願に係る特許等の表題	出願人
128	2021年02月24日	特許第7023420号, JP2021/006889	振動試料型磁力計	三菱電機株式会社

#### (4) 受賞実績

・2020年11月17日

粉体工学会研究奨励賞 曾田力央 (AIST)

「粉碎および圧粉成形プロセスの数値シミュレーションに関する研究」

・2019年4月

大阪府立大学 電気学会 2018年電気関係学会関西連合大会 奨励賞「小型高速化したHEV用2層IPMSMにおけるロータの機械的強度向上に関する検討」

・2019年8月

大阪府立大学 電気学会 2018年電気学会産業応用部門大会 優秀論文発表賞「出力密度・効率向上のために低鉄損材料と強磁力磁石を適用した自動車駆動用2層IPMSMの運転特性」

・2020年3月31日

名古屋工業大学 電気学会 令和元年度研究会 産業応用部門 優秀論文発表賞「2種類の磁石で磁極を構成した自動車駆動用HEFSMの高効率設計」(電気学会モータドライブ/回転機/自動車合同研究会)

・2020年11月

大阪府立大学 電気学会 ICEMS2020 Excellent Paper Award「Loss Evaluation Based on Experiment on Compact and High-Speed IPMSM Using Strong Magnet and Low-Iron-Loss Material」

・2021年4月

大阪府立大学 電気学会 令和2年電気関係学会関西連合大会 優秀論文発表賞「出力密度向上と高効率化を図ったHEV駆動用IPMSMの実機による損失評価」

・2021年6月

名古屋工業大学 Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE), 2021 International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), Best Paper Award (First Place), “Magnetization State Control of Variably Magnetizable Permanent Magnets Employed in HEFSM at Starting Up”

・2022年4月(受賞内定)

大阪府立大学 電気学会 令和3年電気関係学会関西連合大会 優秀論文発表賞「自動車駆動用小型高速化IPMSMにおける磁石保磁力不足時の減磁改善に適する磁石厚さの検討」

・2018年1月23日

福島 啓子(九州工業大学)、電気学会マグネティックス技術委員会研究会 奨励賞

・2018年2月5日

北尾 純士(三菱電機)、電気学会 回転機技術委員会研究会 優秀論文発表賞A

・2022年5月13日

第49回環境賞優良賞 高効率モーター用磁性材料技術研究組合

「モーターの電力消費を削減する省ネオジム高性能磁石」

(5) 成果普及の努力（プレス発表等）

- 2018年2月20日 プレス発表  
「世界初、ジスプロシウム不使用の省ネオジム耐熱磁石を開発」  
(NEDO/MagHEM)  
「トヨタ自動車、ネオジム(Nd)使用量を大幅に削減したモーター用の新型磁石  
「省ネオジム耐熱磁石」を開発」  
(トヨタ自動車)
- 2020年12月18日 記事掲載  
日刊工業新聞 超Nd磁石、省Nd磁石 nano tech2021会場での取材内容
- 2017年10月18日  
プレス発表  
「FeNi超格子磁石材料の高純度合成に世界で初めて成功」  
(NEDO/MagHEM/デンソー/東北大学/筑波大学)
- 2017年11月20日 取材  
尾崎公洋(AIST) 「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」に関して、  
PJの目的、最終目標と現在の到達点、最新の成果などを中心に紹介する。  
日経テクノロジーオンライン/エレクトロニクス
- 2020年12月  
大阪分室(大阪府立大学) 大阪府立大学学長・記者懇談会—The Final—、「エネルギーの有効利用と電動化に貢献する高効率・高性能モーターの研究」、森本茂雄
- 2021年11月29日 日刊工業新聞  
MagHEM「パワー密度5割増に」
- 2021年12月26日 日刊工業新聞  
「MagHEM・ESICMM合同成果報告会」  
新規磁石材料に適した高効率モーター開発／モーター実装時の磁性材料の評価技術
- 2021年2月25日 記者発表  
「モーターの実使用時を想定した熱および圧力負荷環境下における磁石の磁気特性評価に世界で初めて成功」  
日本経済新聞、日刊工業新聞社、電気新聞、中部経済新聞、電波新聞 に掲載
- 2021年12月11日～2022年1月30日  
愛媛県総合科学博物館企画展「磁石工場をのぞいてみよう」に東富士分室開発磁石を搭載したモーター及びパネル展示(2021年12月11日～2022年1月30日)、磁石を用いた工作教室への協力(2021年12月11日)
- 2022年6月14日(予定) MagHEM(高効率モーター用磁性材料技術研究組合)  
モーター成果報告会 の開催(Web)

• nano tech 展示会出展

磁石材料、試作モーターの展示など（NEDO/高効率モーター用磁性材料技術研究組合）

-2018年2月14～16日 nano tech 2018

-2019年1月30～2月1日 nano tech 2019

-2020年1月29～31日 nano tech 2020

-2021年12月9～11日 nano tech 2021

-2022年1月26～28日 nano tech 2022

• 2022年8月2日 取材協力、記事掲載

尾崎公洋（AIST）「特集 半導体・EV・エネルギー」において、経済安全保障やレアアース不使用に関係したPJ成果でFeNi磁石の開発状況を紹介。（NEDO/日進分室協力）

週刊エコノミスト／毎日新聞