

2020年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：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. 根拠法

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

3. 背景及び目的・目標

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、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。

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するため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。

本プロジェクトの第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、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した。本プロジェクト後半の第2期では、レアアース問題の沈静化や自動車電動の加速などの社会状況の変化を受けて、重希土類フリーでネオジム磁石を凌駕する高性能新磁石の開発に特化した取り組みとする。

第2期では、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%小型化を実現する磁性材料の開発を目指す。

[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

【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。

- ・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立する。

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

【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。ただし、「180℃において保磁力が0.7T」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℃において50MG0e」を持つ磁石を開発する。

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

【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

【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

【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
－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。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

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 幸田政文主査を任命して、プ

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た。

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 氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

また、2019年度の間中評価での指摘を受け、供給リスクの高い希土類元素の含有率低減に関する補足目標を設定した。

4. 1 2019年度実施内容

研究開発項目①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発

新物質である1-12系磁石の保磁力発現に向けた原理検証、プロセス検討を引き続き実施した。具体的には、従来磁石2-14-1相に比べて、1-12系磁石の基盤となる1-12相の一軸異方性が劣っていることを示唆する結果が得られた。また、2-14-1系磁石の物性値最大化に向けて、新たな元素置換による高温磁化向上の原理的な理解を進め、それによる高温磁化向上効果が、1-12相のみならず現行市販NdFeB磁石の基盤となる2-14-1相にも有効であり、中間目標である保磁力0.7T@180℃を発現・達成した。物性(自発磁化)からの計算予測でMagHEM目標である最大エネルギー積50MJ/kg@180℃の可能性が示唆された。

(実施体制：トヨタ自動車株式会社、共同実施先：静岡理工科大学、高エネルギー加速器研究機構)

研究開発項目①-2-3 FeNi超格子磁石材料の研究開発

FeNi超格子磁粉の保磁力向上を狙い、窒化脱窒素法で合成した磁粉粒子の組織構造の改善に取り組んだ。窒化効率を向上させるために窒化方法の改善に取り組み、様々な原料粉を用いた磁粉合成を可能とした。その結果、窒化には原料粉の粒子間焼結が不可欠であり、磁粉性能向上に必要な磁粉の孤立粒子化と相反することが明らかになった。

(実施体制：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)

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

2018年度に引き続き、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。2016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(EVS32、ICEMS2019、SMM24、ICF2019、2019MMM、Advanced E-Motor Technology2020、TMS2020)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。国際会議の参加と合わせて、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。磁石市場については自動車主機モーター以外の用途についても情報収集を行った。

(実施体制：一般財団法人金属系材料研究開発センター)

研究開発項目④－２ 共通基盤技術の開発

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うとともに、新しい磁区観察手法の高感度化による逆磁区の発生サイトの確認を行った。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。

(実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：東北大学多元物質科学科学研究所、長岡技術科学大学、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、東英工業株式会社)

新規磁石を想定した磁石の減磁分布がモーター性能に与える影響を検討した。また、軟磁性材料の損失・磁気特性データの実測及び解析結果を元に、低損失でモーターを駆動できるインバータPWM(Pulse Width Modulation:パルス幅変調)パターンの見込みを得、実機にて効果の確認を行った。IPM(Interior Permanent Magnet;埋め込み型永久磁石)モーター及び可変磁力モーターにおいては、解析結果及び実機試験結果よりモーター設計改善点の検討を行うとともに、損失低減に望ましい磁性材料特性の方向性を明らかにした。

(実施体制：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)

高温及び応力印加下における三次元の磁気ベクトル測定を行うとともに、減磁メカニズムの推定を行った。また、永久磁石の損失評価の定量化、新材料のモーター適用に向けた磁性材料のデータ取得を実施し、モーター損失解析精度向上のための要素検討を行った。

(実施体制：三菱電機株式会社、共同実施先：同志社大学、九州工業大学)

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、モーターで生じる損失を発生要因ごとに把握することを目的に、モーター損失分離測定装置による損失評価を実施した。高速回転まで機械損を測定し、ステータ鉄損と機械損の分離を実施した。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、モーター設計による高効率化性能を確認した。

(実施体制：株式会社明電舎、共同実施先：北海道大学)

4. 2 実績推移

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
需給勘定 (百万円)	2000 (METI)	3000 (METI)	3000 (NEDO)	2500 (NEDO)	2211 (NEDO)	280 (NEDO)	519 (NEDO)
特許出願件 数 (件)	1	9	18	20	17	16	7
論文発表数 (報)	4	73	85	133	110	77	57
フォーラム 等 (件)	2	1	1	2	2	1	2

	2019年度
需給勘定 (百万円)	400 (NEDO)
特許出願件 数 (件)	7
論文発表数 (報)	58
フォーラム 等 (件)	3

(2019.12末現在)

5. 事業内容

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 横沢伊裕主査を任命して、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。

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 氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。

プロジェクトリーダーのもと、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。また、必要に応じ市場等の現状把握及び将来動向把握を目的とした調査を行う。

5. 1 2020年度事業内容

研究開発項目① 新規高性能磁石の開発

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ついて取り組み、新規高性能磁石の開発を行う。

研究開発項目①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発

これまで目標達成の中心であった1-12系磁石については、上記2019年度の実施結果をもとに希土類と遷移金属間の交換結合の強弱の明確化を行い、物性の観点での見極めを行う。もしも弱かった場合には開発のターゲットの見直しを行い、保磁力が発現しにくい磁性体として1-12系磁石の開発を継続せず、一方で強かった場合にはさらなる物性値の向上を試みる。

加えて、2019年度に上述の新たに目標達成の可能性を見出した2-14-1相の物性値最大化に向けて、新たな元素置換による高温磁化向上の原理的な理解を進めることで、引き続き目標である50MG0e@180℃の実現を目指す。

中間評価で良好な評価が得られた省ネオジム耐熱磁石については、資源リスク環境の変化・予兆に即応可能な成果として、いち早い社会実装に向け、積極的な展示会への出展を行う。それらと並行して、磁石メーカー及びモーターメーカー他との連携の下、適用可能な用途及び、用途に合わせた材料設計指針を得ることで、社会実装へのさらなる開発加速に注力する。

(実施体制：トヨタ自動車株式会社、共同実施先：高エネルギー加速器研究機構、大同特殊鋼株式会社)

研究開発項目①－2－3 FeNi超格子磁石材料の研究開発

FeNi超格子磁粉の性能向上のため、磁粉性能のさらなる向上と成形性改善を目的とした技術開発を引き続き実施する。磁粉性能に関しては保磁力の向上を目指し、原料とプロセスの両面から改善を行い粒子間焼結のない磁粉合成を目指す。具体的には、窒化の促進および磁粉粒子間の界面制御を目的に粒子表面改質を実施する。加えて最終目標である50MG0eの実現に必要な技術課題を抽出し、解決に向けた指針を得る。

(実施体制：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)

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

2019年度に引き続き、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する。2016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う。さらに、高効率モーターに必要なとされる軟磁性材料の、2016年以降に公開された特許調査を行う(第一期以降の差分調査)。国内学会、国際会議(INTERMAG2020、REPM2020、ICEMS2020、IcAUMS-ISAMMA2020)などに参加して関連分野の発表動向・技術動向を調査し、その情報を共有化する。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、高性能磁石市場動向についての情報収集を行う。これら一連の動向調査結果に基づき、関連する学協会の講演会やシンポジウム、関連する機関の技術報告等にて、対外発表・PRを行う。

(実施体制：一般財団法人金属系材料研究開発センター)

研究開発項目④－２ 共通基盤技術の開発

低酸素下で微小粒子を作製できる物理的手法を用いて、Nd-Fe-Bナノ粒子合成および非希土類系磁性材料のナノ粒子合成を行い、従来材との特性比較を行うことで磁気特性向上に向けた因子を明らかにする。さらに、計算法を取り入れた高速・高精度に高保磁力磁石を測定できる技術の確立と国際標準化に向けた取り組みを引き続き行う。また、これまで得られた成果の普及を行う。

(実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：東北大学多元物質科学研究所、長岡技術科学大学、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、東英工業株式会社、)

新規磁石を想定した磁石の減磁分布がモーター性能に与える影響の課題解決案を検討する。また、2019年度に提案した低損失でモーターを駆動できるインバータPWMパターンのさらなる低損失化及び実機検証を行う。IPMモーター及び可変磁力モーター並びに新規磁石を適用したモーターにおいては、試作機の高精度な損失評価を行う。その結果に基づき、設計改善点の検討を継続するとともに性能改善に望ましい磁石特性およびモーター構造を明確にする。

(実施体制：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)

高温及び応力印加下における磁気特性データの取得を、モーターへの適用検討する多くの種類の永久磁石で実施する。また、ネオジム磁石の高温と応力の複合環境下での減磁メカニズムの推定を引き続き行う。さらに、これまで得られた磁性材料データをもとに要素モデルでシミュレーションを実施するとともに、モーター実機試験との比較によりシミュレーション精度を確認する。

(実施体制：三菱電機株式会社、共同実施先：同志社大学、九州工業大学)

モーターの高効率化実現に向けて、モーター損失評価では、損失要因ごとの実測と設計の比較評価を行い、設計精度向上に対する課題を抽出し、解決に向けた指針を得る。

また、高効率モーターおよび高パワー密度モーターの開発は、2019年度までに構築したモーターへの新規高性能材料適用効果の検討と高パワー密度化への検討を実施する。

(実施体制：株式会社明電舎、共同実施先：北海道大学)

5. 2 2020年度事業規模

需給勘定

380百万円(委託)

事業規模については変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

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、成果の技術的意義及び

将来産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を 2022 年度に実施する。

(2) 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、外部有識者の意見を運営管理に反映させる技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度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。

(3) 契約等の実施

2014 年度～2020 年度の複数年度契約を行う。

(4) 知財マネジメントにかかる運用

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

(5) 標準化施策等との連携

NEDO及び研究開発実施者は、プロジェクト中に得られた研究開発成果を標準化活動に役立てることとする。磁性材料の評価手法の提案及び評価データの提供をIEC等に対しておこない、国際標準化に向けて積極的に役割を果たしていく。

7. 実施方針の改定履歴

(1) 2020 年 2 月、制定

(別紙) 事業実施体制の全体図

