

平成30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十五条第一号ニ

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平成42年（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（平成26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（平成28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（平成26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（平成28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（平成31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（平成33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（平成 26 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（平成 28 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（平成 26 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（平成 28 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（平成 26 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（平成 28 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（平成 31 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（平成 33 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。
- ・モーター実装を想定した評価技術(シミュレーション)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 佐光武文を任命して、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。

4. 1 平成 29 年度実施内容

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

①－2－1 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発

平成28年度で終了。

①－2－2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発

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 [Fe, Co等]) 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した。

(実施体制：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)

①－2－3 FeNi超格子磁石材料の研究開発

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。また、磁粉が磁的に孤立し保磁力が最大化する単磁区構造を実現するために、粉末のナノ構造制御を行い、合成時の焼結を防止することに成功した。加えて、実用化に向けて、量産を想定した磁粉合成プロセスへの改良、ボンド磁石の試作・評価の取り組みを開始し、課題抽出を実施した。

(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、日亜化学工業株式会社)

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

④－1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援

本事業の開発が「磁石材料」に特化されることに対応して、磁石材料を中心とした特許調査・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、米国の特許の調査を行うとともに国内学会、国際会議 (Intermag2017、ICEMS2017) 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。

(実施体制：一般財団法人金属系材料研究開発センター)

④ー２ 共通基盤技術の開発

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。急冷溶融凝固プロセスにおけるプロセス条件と組織・構造の関係を明らかにした。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を開始した。さらに、新しい磁区観察手法の基礎的な検討や磁気特性予測方法の構築を進めた。

(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：名古屋大学、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)

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、及びインバーターに及ぼす影響を分析し、課題を抽出した。また、IPMモーター及び可変磁力モーターにおいては、新規磁石材料を用いたときの解析による性能評価を実施した。さらに、非線形磁気特性を持つ磁石を実装したモーターの解析を行うため、解析技術の調査、及び、非線形磁気特性データのモデル化を行った。

(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)

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)

モーター実装環境下の損失を測定する装置製作のために、モーターの各種損失の分離・評価方法に関する調査を行い、測定方法と装置のレイアウトを検討した。また、鉄損シミュレーションと実測値の比較を行い、特に高速域で乖離が大きくなるという課題を確認し、高速回転時の損失分離・評価を正確に行えるよう測定装置の構想に反映した。

(実施体制：株式会社明電舎)

4. 2 実績推移

	平成 24年度	平成 25年度	平成 26年度	平成 27年度	平成 28年度	平成 29年度
需給勘定 (百万円)	2,000 (METI)	3,000 (METI)	2,982 (NEDO)	2,534 (NEDO)	2,209 (NEDO)	380 (NEDO)
特許出願件数 (件)	1	9	18	20	17	13
論文発表数 (報)	4	73	85	133	110	53

(H29.12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 渡部敬介を任命して、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 平成 30 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 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発

①-2-1 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発

平成 28 年度で終了。

①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発

新規物質である $REFe_{12-x}TM_xN_7$ 相 (RE: 希土類元素 [Nd, Sm 等], TM: 遷移金属 [Fe, Co 等]) の磁石化に向けた取り組みに特に注力する。具体的には、結晶表面の異方性維持及び結晶間の磁気的分断担保を実現する手段として、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。また、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。

①-2-3 FeNi超格子磁石材料の研究開発

FeNi超格子粉末の磁気特性、量産性、成形性の観点から、粉末構造仕様を決定、合成し、ボンド磁石化を進める。磁気特性に関しては、量産を想定したプロセスでナノ構造を制御した磁粉合成の最適化を進め、磁粉保磁力の目標値0.7T (565kA/m)@180°Cが達成可能か確認する。ボンド磁石化に関しては、合成したFeNi超格子粉末を用いて試作評価を実施し、粉末構造が成形性及び磁石性能に及ぼす影響を調べる。

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

④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援

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。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う。国内学会、国際会議(Intermag2018、ICM2018、REPM2018、ICEMS2018)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、磁石市場動向についての情報収集を行う。

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う。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う。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る。

磁石材料の磁気特性、物理特性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う。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う。また、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する。さらに、非線形磁気特性を持つ磁石を実装したモーターの解析を行い、課題抽出を行う。

高温及び応力印加下における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う。また、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う。

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・評価装置を製作する。特に高速回転時の損失増加要因に着目した損失分離・評価を実施する。また、高効率モーターのシミュレーション設計に向け、シミュレーション精度の確認を行う。

5. 2 平成30年度事業規模

	委託事業
需給勘定	519 百万円
※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、事業項目毎に、外部有識者による研究開発の中間評価を平成31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) 複数年度契約の実施期間

平成26年度～平成30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等に対して行い、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) 平成30年2月 制定

(別紙) 事業実施体制の全体図

