

## 2021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。

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。

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。

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。

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%小型化を実現する資源リスクに配慮した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。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

##### 【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。
- ・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。

## 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 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年度の中間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 2020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

新規高性能磁石の候補として研究を実施してきた1-12系磁石について、物性の観点で見極めを実施した結果、更なる基礎的研究継続を要し、2021年度末のプロジェクト終了までの社会実装は困難であると判断した。これまで得られた結果について、ESICMMにおける1-12系磁石の研究継続の支援のため、ESICMMと情報を共有した。これにより、東富士分室における1-12系の検討は一部を除き終了し、プロジェクト目標の達成を優先し、2-14-1系磁石の物性値最大化に開発を集中させた。

2-14-1系磁石(省ネオジム磁石を含む)については、機械学習手法やベイズ推定を用い、新たな元素置換による高温における高い磁化の発現に成功し、目標である50MG0e@180°Cに向けてさらなる前進がはかれた。並行して、磁石メーカー大同特殊鋼と共同実施を開始し、東富士分室開発磁石の試作技術開発により、モーターへ実装可能な100個レベルの中量磁石の試作技術を確立した。開発磁石の、高効率モーター用磁性材料技術研究組合(MagHEM)内他分室への提供を通じ、試作磁石を実装したモーターの実証評価を開始した。加えて、積極的な展示会への出展の効果により、新たなニーズの把握が進み、適用可能な用途の拡大と、用途に合わせた材料設計指針が得られ、社会実装へのさらなる開発加速がはかれた。

(実施体制：トヨタ自動車株式会社、共同実施先：大同特殊鋼株式会社、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

最終目標である50MG0eを実現するために565kA/m以上の保磁力を有するFeNi超格子磁粉の合成に取り組んだ。様々な原料粒子を用いた検討から、窒化時、粒子内の欠陥を起点に空隙が発生し磁粉性能発現に必要な不可欠な単結晶化を阻害する要因となることが分かった。焼結した窒化物粒子集合体を超音波解砕により孤立単結晶窒化物粒子が一部得られることを明らかにした。抽出した孤立単結晶窒化物粒子の脱窒素により高品質のFeNi超格子粒子が得られた。その保磁力は従来の超格子磁粉の2倍超である340kA/m以上であることが明らかとなった。

(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、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

##### 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、国内並びに中国の永久磁石モーターの特許調査を行った。さらに、2015年以降に公開された国内外の磁石材料と軟磁性材料に関する論文調査結果に基づき技術動向分析を行った。国内学会、国際会議(2020MMM、WMM2020、ICEMS2020、CREPMIMAS2020)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。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った。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

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系ナノ粒子合成および非希土類系磁性材料(Fe-Ni)のナノ粒子合成を行った。Nd-Fe系においては従来材との比較を行い、条件によって安定相もしくは、急冷組織が形成できることを明らかにした。また、Fe-Ni系においては、ナノ粒子が合成できることが確認された。さらに、計算手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行った。また、これまで得られた成果の普及活動を行った。

(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の課題解決案を検討した。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った。IPMモーター及び可変磁力モーターにおいては、試作機の高精度な損失評価を行い、目標値に対する課題と設計改善点の検討を行った。その結果に基づき、性能改善に望ましい磁石特性を明確にした。(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磁気特性データ取得を組合内で開発した永久磁石で実施した。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った。また、モーター実装状態を想定した永久磁石の熱流束測定技術の要素検討を実施し、シミュレーションと比較した。さらに、新材料を用いたモーターの損失解析精度向上のため、高温下での磁気特性を取得した。

(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)

モーターの高効率化実現に向けて、モーター損失分離測定装置による損失評価を実施した。高速回転時の風損、そして、ステータ鉄損に対する電磁鋼板の加工方法影響を実測し、設計・解析値との比較評価を実施した。

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年度に構築したモーターの課題を分析し、新構造を設計した。そして、新構造モーターによる効率改善効果をシミュレーションにて確認した。

(実施体制：株式会社明電舎、共同実施先：岡山大学)

#### 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	2020年度
需給勘定 (百万円)	400 (NEDO)	380 (NEDO)
特許出願件数 (件)	7	2
論文発表数 (報)	58	39
フォーラム 等 (件)	3	1

(2020.12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 2021 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

省ネオジム磁石を含む2-14-1系磁石に対して、DX手法の本格投入で開発手法を強化し、引き続き50MG0e@180°C、並びに希土類元素削減の目標に向けた磁気特性向上の材料技術開発を進める。

並行して、東富士分室開発磁石の試作技術開発を大同特殊鋼との連携により継続推進する。前述の磁気特性向上効果を、磁石サイズ、並びに数量をスケールアップさせた中量磁石の試作においても得られるよう、生産技術開発も推進する。

また、本質的な低コスト化につながる新工法について検討を開始し、社会実装の促進に不可欠な価格競争力の向上もはかる。

試作磁石の提供を充実させ、東富士分室開発磁石の実装を拡大し、モーターほかの実証評価を加速する。それらを通じて、プロジェクト最終年度におけるさらなる社会実装の実現をはかる。

MagHEM内外の連携強化、積極的な展示会への出展、戦略的技術広報を通じて、新たなニーズ、用途拡大、用途に合わせた材料設計指針の獲得を継続し、東富士分室開発磁石のみならず、プロジェクト成果全体の社会実装につとめる。

(実施体制：トヨタ自動車株式会社、共同実施先：大同特殊鋼株式会社、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

最終目標である50MG0eに必要なFeNi超格子磁粉の高保磁力化を達成するために、孤立単結晶窒化物粒子の高収率合成を目指す。具体的には粉碎可能な原料とその適した粉碎法を開発する。磁粉のスケールアップ合成が可能な体制を構築し、量産可能なプロセスによる磁粉試作を行う。高保磁力磁粉の合成技術獲得の後にスケールアップ合成磁粉を用いて磁石を作製し、実用化検



討へ移行する。

(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、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

##### 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

2020年度に引き続き、磁石材料、高効率磁石モーターを中心とした最新の特許調査・技術動向調査を実施する。さらに、高効率モーターに必要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(INTERMAG2021、REPM2020、ICEMS2021、MMM-INTERMAG2022)などに参加して関連分野の発表動向・技術動向を調査するとともに、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。これまで一連の調査結果を報告書として取り纏め、調査コンテンツ等を磁性材料に関する情報センターへ移行するとともに、公開可能な特許・技術動向調査結果を、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刊行物等にて報告する。磁性材料に関する情報センターは、上半期までに各分室、組合内外の要望・意向・意見等をヒアリングの上、既存の組織・機関への紐付け或いは新規枠組みへの組み込みなど枠組みを決定し、下半期までに移行コンテンツの整理、運用の準備、移行を実施する。

(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、FeNiナノ粒子合成を行い、規則化のための適切な条件を見出すとともに、 $L_{10}$ -FeNiの形成メカニズムを明らかにする。さらに、計算手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活動を行う。

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

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についての検討結果に基づき、モーター設計に反映する。また、2020年度に実施検証を行った低損失でモーターを駆動できるインバータ PWM パターンの高効率モーターへの適用の検証を行う。IPM モーター及び可変磁力モーターにおいては、試作機の高精度な損失評価をもとに、プロジェクト終了時点での新規磁石を適用した時のモーター構造の設計・評価を行う。

(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

を推定する。さらに、モーター実駆動状態における熱流束測定技術を確立する。加えて、複合環境下における磁性材料データをもとにシミュレーションを実施し、モーター特性に与える影響を確認する。

(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)

モーターの損失分離評価技術では、測定結果と解析・設計値との比較評価と計算精度向上検討を実施し、損失評価技術のまとめを行う。

高効率モーターおよび高パワー密度モーターの開発は、昨年度設計した新構造モーターを基盤とし、高性能磁性材料を適用した高効率設計と高パワー密度設計を実施する。

(実施体制：株式会社明電舎、共同実施先：岡山大学)

## 5. 2 2021年度事業規模

需給勘定

339 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～2021 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) 2021年2月 制定

(2) 2021年7月 改訂（基本計画の変更に伴う改訂）

(別紙) 事業実施体制の全体図

