

## 平成 2 9 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（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

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 28 年度実施内容

##### 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①-1-1 ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発

超伝導 VSM を用いて、焼結磁石の減磁-磁化過程を測定した。その結果、結晶粒径が微細になるにしたがって、180°Cでの減磁-磁化過程において、単磁区粒子的な挙動が強くなることが明らかになった。また、Ga 添加合金を用いて結晶粒微細化検討を実施し、酸素や炭素といった不純物低減と配向度向上させる技術を確立した。これらの検討の結果、180°Cの最大エネルギー積 28 MG0e を達成した。さらに、粉末粒径 1  $\mu\text{m}$  の粉末を用いてモーター用磁石を作製する工程を確立した。本テーマは平成 28 年度で終了。

(実施体制：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)

##### 研究開発項目①-1-2 Dyフリー高Br・高保磁力を有するNdFeB異方性HDDR磁石開発

異方性ボンド磁石の角形比の改善に取り組んだ。特に、粉末粒子1個の減磁曲線を測定することが可能になった。さらに、磁粉コーティング・コンパウンド・成形法の改善で ボンド磁石の角形比が12%改善した。本テーマは平成28年度で終了。

(実施体制：愛知製鋼株式会社、共同実施先：東北大学 九州工業大)

##### 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①-2-1 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発

T&T イノベーションズでは、積層配向化プロセスを検討してシート状態において配向 0.91、バルク体において配向 0.84 の結果を得た。また窒化鉄磁粉合成プロセスにおいて焼結防止剤を低減することで 180°Cにおける磁化 197emu/g (室温 213emu/g) の磁粉を得た。達成した配向値、磁化値の値から算出される残留磁化 Br は 16.7kG であり、ほぼ目標値を達成した。本テーマは平成 28 年度で終了。

・目標値 Br=17kG 以上 (密度 100%換算値)

実績 Br=16.7kG 目標値の 98%達成

窒化鉄粉末の造粒による  $\alpha''$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> 構造の維持率として 90%以上を得た。

・目標値 配向 Br/Bs=0.8 以上

実績 配向 Br/Bs=0.91 目標値を 100%以上達成

磁場印加による乾燥・造粒過程での配向性を検討し Mr/Ms=0.7 を得た。

(実施体制：株式会社T&Tイノベーションズ、共同実施先：広島大学)

## 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])の組成と物性値の関係を調査し、目標とする50MG0e@180℃に到達し得るポテンシャルを有することを明らかにするとともに、磁石化に向けた実験検証を行った。また、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の実現可能なプロセスを検討し、Ndに代表される中希土類元素の使用量低減に繋がる知見を得た。

(実施体制：トヨタ自動車株式会社-共同実施先 京都大学、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)

## 研究開発項目①-2-3 FeNi超格子磁石材料の研究開発

窒化・脱窒素法によるFeNi超格子粉末の合成に取り組み、合成条件を改良することにより、規則度、及び磁気特性を向上させることができた(規則度は0.5から0.7に、異方性磁界は従来法の3倍)。電子顕微鏡、中性子回折により窒化・脱窒素プロセスに伴う構造変化を解析して、規則度に及ぼす要因分析を実施した。

(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)

## 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②-1 高BSナノ結晶軟磁性材料の開発

ガス-水急冷アトマイズ装置と超高压水アトマイズ装置での粉末作製の安定製造条件を検討するとともに最適化を行い、ガス-水急冷アトマイズ装置では量産の基礎評価を行った。また超高压水アトマイズ量産設備の基礎仕様検討を行った。磁心化プロセス・熱処理プロセスの開発に関しては、試作した超急冷粉末を熱間プレス機等で高密度成形を行い、ナノ結晶の安定析出を達成することで圧粉コアの損失(400Hz・1T)は4.7W/Kgまで到達。また積層バルクコアでは熱暴走なくナノ結晶が安定析出する熱処理プロセス検討を行い、飽和磁束密度(Bs)は1.61T、損失は3.8W/Kgとなり最終目標を達成。これらの圧粉コア、積層バルクコアをモーター・磁性材料技術開発センターへ提供し、連携して試作モーターを作製し、特性解析ののち実用評価を行った。本テーマは平成28年度で終了。

(実施体制：NECトーキン、JFEスチール株式会社、共同実施先：JFE精密株式会社)

## 研究開発項目③ 高効率モーターの開発

### 研究開発項目③-1 次世代モーター・磁性特性評価技術開発

磁化・保磁力測定手法の高精度化として運転中の磁石温度を磁石温度測定システムにて測定し減磁分布への反映を行うとともに、磁化・保磁力測定の簡易システムの試作を行った。また、ステータコア損失の分離方法を検討するため、磁気軸受の損失評価装置を導入し、さらに、掘り込み方式Hコイル法によるモーター駆動状態の鉄損測定技術を開発した。また、IPMモーターについては、試作機の評価を通して、各種走行モードでの損失低減に適したモーター構造の設計指針を明確にした。また、可変磁力モーターにおいては、損失低減モーター試作機を製作し、

損失25%削減の可能性評価を行った。本テーマは平成28年度で終了。

(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、豊田工業大学)

#### 研究開発項目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）

新規軟磁性材料のバルク化や組立性の検討を実施するとともに、新規軟磁性材料を適用したモーターを試作し、応力下でのモーター特性を評価した。また、新規軟磁性材料のバルク化や応力印加時の磁気特性変化を評価した。加えて、応力及び高温の複合環境下における既存ネオジム焼結磁石の磁気特性の評価を行い、評価手法の検証を行った。本テーマは平成28年度で終了。

(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)

#### 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

「磁石材料」「軟磁性材料」「高効率モーター」等の、平成25年以降の国内特許に関する精読と重要度分類を引き続き行い、解析軸からの、特許からみた技術傾向分析の追加調査を実施した。「磁石材料」「軟磁性材料」については中国の特許調査を、「高効率モーター」については欧州の特許調査を実施した。国内学会、国際会議などに参加して関連分野発表動向・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)

##### 研究開発項目④－2 共通基盤技術の開発

新規急冷溶解技術の開発や低温高密度焼結技術の展開に向けた取り組みを行った。計算シミュレーションを用い、磁石粒子の磁場配向特性を予測するための基礎的な取り組みを行った。高配向高保磁力磁石の磁気特性を正確に測定する技術開発を進めると共に、新しい磁区観察手法の開発や磁気特性測定方法の開発を進めた。また、前年度に引き続き、窒化鉄の異方性磁界ならびに温度特性を向上させるための基礎検討を行った。

(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、名古屋大学、大阪大学、ファインセラミックスセンター、京都大学、広島大学、東京工業大学、倉敷芸術科学大学、秋田大学、高エネルギー加速器研究機構、物質・材料研究機構)

##### 研究開発項目④－3 新規高性能磁石材料の探索

現在テーマに挙がっていない磁石材料に加えて軟磁性材料も探索し、新規磁性材料の可能性を検討した。本テーマは平成28年度で終了。

(実施体制：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)

#### 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
需給勘定 (百万円)	2000 (METI)	3000 (METI))	3000 (NEDO)	2500 (NEDO)	2211 (NEDO)
特許出願件数 (件)	1	9	1 8	2 0	5
論文発表数 (報)	4	7 3	8 5	1 3 3	9 0

(H28.12 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 29 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

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]) の磁石化に向けた取り組みに特に注力する。具体的には、結晶粒界の改質、及び、結晶粒微細化について実験検証することで保磁力、残留磁化の発現を狙う。また、磁気物性の起源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。

###### 研究開発項目①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発

FeNi 超格子粉末の保磁力の目標値  $0.7T$  ( $565kA/m$ )@ $180^\circ C$  を達成するために、窒化・脱窒素合成した粉末粒子の保磁力に影響を及ぼす要因を明らかにする。そのために合成プロセスの改良による粉末粒子のナノ組織、構造の制御、及び粒子表面の修飾効果の実証を行う。また、合成した粉末のバルク化、磁石化のための課題抽出を行う。

###### 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

本事業の開発が「磁石材料」に特化されることに対応して、調査対象技術分野を「磁石材料」



に限定する。平成28年度以降に公開された国内特許の調査を中心に行うとともに最新の論文や学会動向等を含めて、磁石技術の開発動向を整理する。

#### 研究開発項目④－２ 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る検証を行う。急冷熔融凝固プロセスによる組織・構造への影響を調べる。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開始する。さらに、新しい磁区観察手法の開発や磁気特性測定方法の開発を進める。

モーター実装時に求められる新規磁石材料への目標値を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する。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、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、課題を抽出する。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うため、非線形磁気特性データのモデル化を行う。

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する。また、モーター実使用時を想定した磁石の損失評価を行う。

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の分離・評価に関する調査を行う。

### 5. 2 平成29年度事業規模

需給勘定

280 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、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) 契約等の実施

平成 26 年度～平成 29 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) 平成 29 年 2 月 制定

(2) 平成 29 年 11 月、改訂 (PM の変更に伴う見直し)

(別紙) 事業実施体制の全体図

