

## 平成28年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

### 1. 件名：

(大項目) 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。

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。

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リスクが非常に高い。我が国ではジスプロシウムの添加量を削減したネオジム磁石の開発がすすめられており、NEDOプロジェクト「希少金属代替材料開発プロジェクト／希土類磁石向けジスプロシウム使用量低減技術開発」（平成19年度～23年度）では結晶粒径の微細化、界面ナノ構造制御技術等によりジスプロシウム使用量原単位40%削減を達成するなど大きな成果が得られた。

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通じて、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している。

本プロジェクトにおいては、以下の研究開発を実施する。

## 【研究開発項目】

### [委託事業]

#### 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. 研究開発の具体的内容

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出来る。そこで、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。

###### 2. 達成目標

###### 【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。

#### ①新規高性能磁石の開発

##### (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

###### 1. 研究開発の具体的内容

永久磁石技術開発の歴史は、新規材料出現による非連続的な技術発展を成し、大胆な分野融合的発想あるいは情熱からもたらされてきた。そこで、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。

###### 2. 達成目標

###### 【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。

② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

1. 研究開発の具体的内容

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。そこで、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。

2. 達成目標

**【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認する見通しを得る。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（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認する。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。

③ 高効率モーターの開発

1. 研究開発の具体的内容

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ため、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およ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・信頼性評価を確認する。

## 2. 達成目標

### 【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（平成 28 年度末）】

エネルギー損失を従来モーター比 3%削減する高効率モーターの実現を目指す。また以下の各項目について要素技術を確認する。

- ・ 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

## 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

### 1. 研究開発の具体的内容

ネオジム磁石に関する米国の基本特許が平成 26 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。そこで、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。

## 2. 達成目標

### 【中間目標（平成 26 年度末）】

#### (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、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（平成 28 年度末）】

#### (1) 「特許調査・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」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。

(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おこなう。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。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

4. 1 平成 24 年度、25 年度、26 年度、27 年度実施内容

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

(1) [ ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 ]

[平成24年度事業内容]

・平成 24 年度は原料合金組織のナノ微細化を達成するための装置検討・プロセス検討を行い仕様を確定した。また、結晶粒サイズの微細化の評価、磁石のマイクロ構造の評価を行った。  
(インターメタリックス株式会社－再委託（共同実施） 東北大学)

[平成25年度事業内容]

・平成 25 年度は原料合金組織の微細化・ナノ粉砕技術の確立と希土類リッチ相の均一分散技術を確立した。原料合金組織の微細化については、新規導入の原料合金作製装置を用いて、直接微細組織合金を作製し、これらの原料を用いて、ジェットミルを用いたナノ粉砕条件を確立した。希土類リッチ相の均一分散技術については超微粒子作製装置で作製した希土類リッチ相超微粒子を主相粉末表面にコーティングする方式、希土類均一塗布装置を用いてより微細な希土類リッチ相を表面に均一生成させる 2 つの手法を並行して実施し最適化を行った。

(インターメタリックス株式会社－再委託（共同実施） 東北大学)

[平成 26 年度事業内容]

・平成 26 年度は結晶粒径微細化によって保磁力の温度特性を改善させることに成功した。焼結磁石の希土類リッチ相の分散を均一にするため、原料粉末の希土類リッチ相の分散を均一化する検討において、原料合金組織の最適化と組織改善手法に関する知見が得られた。焼結磁石に含まれる酸素量・炭素量を低減するための粉砕工程の検討を開始した。

(インターメタリックス株式会社－共同実施先 東北大学)

[平成 27 年度事業内容]

・平成 27 年度は、物質・材料研究機構で HDDR 合金を用いた焼結磁石（HDDR 焼結磁石）の微

細構造観察を行った。その結果、ストリップキャストから作製した焼結磁石と異なる軟磁性組織が観察された。この組織が保磁力低下の一要因であることが示唆されたため、それに対する対策も併せて実施した。保磁力低下の重要因子である酸素含有量低減については、HDDR焼結磁石で酸素量 1200 ppm レベルまで不純物量低減が達成できた。愛知製鋼株式会社との共同研究で、異方性 HDDR 合金を用いた焼結磁石の作製を検討し、これまでの HDDR 焼結磁石の保磁力より高い 15.7 kOe が得られた。(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)

(2) [ Dyフリー高Br・高保磁力を有するNdFeB異方性HDDR磁石開発 ]

[平成24年度事業内容]

- ・高 Br 化の原理・原則を確認するための装置開発を行った。新 d-HDDR 処理技術を確立するため、従来より高い精度で水素圧力の制御が可能な装置を実現した。また、原料の組成・組織の均質化を目的に、低酸素の微粉末化技術を開発した。

(愛知製鋼株式会社－再委託 (共同実施) 東北大学)

[平成25年度事業内容]

- ・平成 24 年度に導入した新 d-HDDR 処理技術をベースに各種の水素圧力制御方法について検討するとともに、原料合金の組成の均一化、d-HDDR 処理前の合金の結晶粒の粗大化により最適化を図った。

(愛知製鋼株式会社－再委託 (共同実施) 東北大学)

[平成26年度事業内容]

- ・24年度、25年度のステップ1 (ベース技術)、ステップ2 (高保磁力技術) の結果をベースに、ステップ3 (高Br化技術) に取組んだ。特に、新d-HDDR処理技術の各パラメータの影響について検討を行い最適化を図った。

(愛知製鋼株式会社－共同実施先 東北大学)

[平成27年度事業内容]

- ・27年度は、ステップ3の高Br化技術の詳細に取組んだ。特に、低温度・低水素圧力下でd-HDDR処理することで、高Brと高保磁力の両立を検討した。さらに、出発原料の組織の最適化にも取組んだ。

(愛知製鋼株式会社－共同実施先 東北大学)

① 新規高性能磁石の開発

(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

(1) [ 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発 ]

[平成24年度事業内容]

・平成24年度は各種分析による窒化鉄ナノ粒子スラリーの分散安定性の精密評価、分散材との結合状態や機械的分散条件の最適化を図った。また、高分散窒化鉄ナノ粒子の表面の被覆層制御を試み、窒化鉄ナノ粒子をコアシェル構造にする新しい合成プロセスを検討した。

(株式会社T&Tイノベーションズ再委託 (共同実施) 住友電気工業株式会社・東北大学・秋田大学・京都大学・広島大学・倉敷芸術科学大学)

[平成25年度事業内容]

・平成25年度は、窒化鉄ナノ粒子バルク材料の高特性・高品位化を念頭に、得られた窒化鉄系材料の構造的知見および磁気特性を「分散」「表面修飾」「バルク化」の各研究開発項目の作製プロセス条件等へ反映させた。

・表面修飾については、平成24年度に選出された非磁性材料系に対して極薄被覆膜厚制御を行った。

(株式会社T&Tイノベーションズ再委託 (共同実施) 住友電気工業株式会社・東北大学・秋田大学・京都大学・広島大学・倉敷芸術科学大学)

[平成26年度事業内容]

・窒化鉄の高保磁力化・高温耐性向上の糸口を探るため、薄膜において鉄サイトの第三元素置換を試みて、その化学的・物理的特性を評価・解析した。

・分散については、目標とする一次粒子均一分散性を獲得できた。ただ、窒化鉄ナノ粒子スラリー濃度が低いため製造速度の改善が今後の課題となった。

・表面修飾では、分散検討結果を反映させた極薄被覆膜厚技術で制御された各種表面修飾を施した試料を作製した。

・低充填ボンド磁石試料を作製し、磁気配向度のほか、磁氣的孤立性について検証した。

・窒化鉄ナノ粒子の模擬試料を用いて多機能バイнда造粒法で高充填ボンド磁石を作製し、その挙動を確認した。

・各種成型方法にて、窒化鉄ナノ粒子のバルク体作製を行い、それぞれの条件による成型に対する各種初期挙動の確認を行った。

・窒化鉄ナノ粒子バルク材料の高特性・高品位化を念頭に、得られた窒化鉄系材料とそのバルク体の構造的知見および磁気特性を「分散」「表面修飾」「バルク化」の各研究開発項目の作製プロセス条件等へ反映させた。

(株式会社T&Tイノベーションズ共同実施先 住友電気工業株式会社・東北大学・秋田大学・京都大学・広島大学・倉敷芸術科学大学)

[平成27年度事業内容]

・T&Tイノベーションズでは、計画に基づいて成型前処理技術および造粒技術の調査・基礎検討を実施した。並行してプラズマ通電焼結装置によるバルク化検討を実施した結果、目標相対密度70%を上回る相対密度72%を確認した。期首計画では成型前処理技術・造粒技術の検討が必須と考えたが、上記結果が得られたことにより、バルク化プロセス技術の条件検

討に特化した。

・広島大学では、予定通り分散処理により凝集を抑制した窒化鉄粉末スラリーの検討を実施して、少量乾燥テストにおいて目標を達成した。

(株式会社T&Tイノベーションズー共同実施先 広島大学)

## (2) [ ナノ複相組織制御磁石の研究開発 ]

### [平成24年度事業内容]

・平成24年度はナノ複相組織制御磁石のモデル材料・組織形成手法の構築を行った。磁性層の

形状と保磁力、磁化の相関の解析を行い、ナノ粒子合成法による高品位なナノ複相組織粒子を創製した。また、形状制御したナノ複相組織粒子を用いて、粒子の規則配向およびバルク化を行った。

(トヨタ自動車株式会社ー再委託 (共同実施) 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)

### [平成25年度事業内容]

・平成25年度は、磁化と保磁力の両立を具現化する組織要件の解明を実施した。平成24年度に

構築したモデル材料創製技術を高速化、高精度化しナノ複相組織の理想状態を物理量に落とし込んだ。実用化を意識した材料系については、原理知見を活用し、等方位ナノ複相組織制御バルク磁石実現に向けた要素技術探索を実施した。

(トヨタ自動車株式会社ー再委託 (共同実施) 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)

### [平成26年度事業内容]

・理想組織形態のモデル化および材料指針構築を行い、ナノ複相組織制御磁石のポテンシャルを明らかにした。これにより、交換結合状態が理想状態の計算で最大エネルギー積50MG0e@180°Cの磁石が成立しうることを明らかにした。等方性ナノ複相組織磁石のバルク化を低温高圧で行うことにより、等方性焼結磁石を上回る残留磁化を有する等方性ナノ複相組織制御バルク磁石 (Br: 0.95T>目標0.9T以上) を実現した。

(トヨタ自動車株式会社ー共同実施先 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)

### [平成27年度事業内容]

・実際のモデル材料の交換結合状態を評価することにより、ナノ複相組織制御磁石の理論的裏づけを行い、磁化と保磁力の両立が可能であることがわかった。また、ナノ複相組織制御磁石の中で、さらに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した。さらに、新規物質として、粒界相との複相化で50MG0e@180°Cを達成しうるNdFe<sub>12-x</sub>Ti<sub>x</sub>N<sub>y</sub>磁石



の材料開発に着手した。

(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)

(3) [ FeNi超格子磁石材料の研究開発 ]

[平成24年度事業内容]

・平成24年度はFeNi超格子粉末の合成条件を確立すると共に、超格子粉末の結晶構造・組織、

および磁気特性との相関を明確にした。超格子の生成過程をその場解析することで、合成プ

ロセスへのフィードバックを加速した。

(株式会社デンソー—再委託 (共同実施) 東北大学)

[平成25年度事業内容]

・平成25年度はFeNi超格子粉末の合成条件を改良し、磁気特性との相関を明確することにより、保磁力および磁束密度の向上を図った。また、FeNi超格子の生成メカニズムを提示するため、残留酸素の影響などの合成プロセスにおける各種要因を明らかにした。

(株式会社デンソー—再委託 (共同実施) 東北大学)

[平成26年度事業内容]

・平成26年度はFeNi超格子粉末の合成手法の課題がFe/Ni組成ずれと規則化であることを明確にして、組成ずれについては目処を得た。電気化学還元法により、反転磁界(保磁力)が400kA/mを超える成分を含む粉末を合成した。また、FeNi合金への第3原子の挿入・脱離による規則化プロセスの可能性を確認した。

(株式会社デンソー—共同実施先 東北大学)

[平成27年度事業内容]

・平成27年度はFeNi超格子粉末の合成方法として、電気化学還元法、及び原子の挿入・脱離法を実施した。電気化学還元法では合成プロセス中に電気化学的な計測が可能な装置を導入し、窒化物合成、脱窒素プロセスの成立性を確認した。原子の挿入・脱離法では挿入原子として窒素を用い、高濃度窒化が可能な装置を導入し、窒化・脱窒素に伴う構造変化を評価してFe/Niの規則化を確認した。

(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)

② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

(1) [ 高BSナノ結晶軟磁性材料の開発 ]

[平成24年度事業内容]

・平成24年度は高形成能組成材料の探索・開発を行うと共に、製造プロセス方法として

急冷アトマイズ法の基礎検証のために粉末の粒径、粒度分布、非晶質性の確認を行い、冷却速度に影響を及ぼす粉化パラメータを検討し、装置仕様を検討した。

(NECトーキン、JFEスチール株式会社)

[平成25年度事業内容]

・平成25年度は高飽和磁束密度／高形成能を両立する組成探索を行った。製造プロセスにおいては、20Kg規模急冷アトマイズ装置を導入し、粉末作製条件の最適化を実施し、高密度圧粉磁心製造条件を確立した。

(NECトーキン、JFEスチール株式会社)

[平成26年度事業内容]

・平成26年度は高飽和磁束密度／高形成能を両立する合金を、ガス-水急冷アトマイズ装置(NT) および超高压水-水急冷アトマイズ装置(JFE)を使用し、非晶質粉末を得た。SPS磁心は $B_s \geq 1.6T$ 確認し、熱間プレス機を導入し、磁心化条件を検討している。肉厚25mmの巻磁心をモーター磁性材料研究開発センターにて電磁鋼板と比較し、損失が1/5以下を確認した。

(NECトーキン、JFEスチール株式会社)

[平成27年度事業内容]

・平成27年度は、ガス-水急冷アトマイズ装置の100kgマスアップと超高压水アトマイズ100kg規模試作に適用可能な最適粉末作製条件の導出を行った。磁心化は熱間プレス機と並行して、SPS(通電加熱)法の小型実験を実施し、非晶質化粉末の高密度成形とナノ結晶化を達成する条件の最適化を行い、熱間圧粉磁心でコアロス=5.4W/kg(目標4W/kg未満)を確認した。積層バルクコアではナノ結晶が安定析出する熱処理プロセスを検討し、さらにナノ結晶析出に関わる現象(熱暴走他)について解析した。

(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)

### 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]

[平成24年度事業内容]

・平成24年度は磁石の3次元磁束密度分布測定のための調査および磁気特性測定を行い、課題を抽出した。また、超高精度モーター損失分析評価装置の開発に向け必要設備の導入を図った。

(ダイキン工業株式会社-再委託(共同実施) 大阪府立大学、名古屋工業大学)

[平成25年度事業内容]

・平成25年度は磁化・保磁力測定装置を導入し、サンプル磁石の磁化・保磁力を測定し、結果の分析を行った。また、超高精度モーター損失分析評価装置の設置を行い、機械損失の低減に対する課題を抽出するとともに、現行IPMモーターの特性評価のために、リアルタ

イムシミュレータの導入と現行磁性材料を用いた限界性能モーター形状の検討を行った。

(ダイキン工業株式会社－再委託 (共同実施) 大阪府立大学、名古屋工業大学)

[平成26年度事業内容]

・平成26年度は、平成25年度導入した装置を用い、高低温減磁試験評価技術および3次元磁石減磁評価試験技術を確立した。また、超高精度モーター損失分析評価装置及び大容量モーター特性評価装置の導入を行い、所定の精度及び運転範囲のモーター特性評価が可能となった。さらに、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した。

(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)

[平成27年度事業内容]

・平成27年度は減磁分布測定の従来手法との対応評価を行い、減磁分布測定手法及び解析手法の高度化の為の課題抽出を行った。また、磁石損失を測定するための計測方法の調査と課題抽出を行い、併せて、供試モーターの冷却装置・シミュレーションソフトの導入を行った。また、IPMモーターについては種々の材料特性を適用したモーター評価により新規磁性材料適用時の性能予測を行った。また、可変磁力モーターの最適な形態を選択し、設計・試作評価を通して課題を抽出し、磁気・電気装荷の最適分配設計法を検証した。さらに、鉄損評価システムに高分解能波形測定機能を追加し、直流磁場重畳下における鉄損評価方法を開発した。

(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)

(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) ]

[平成24年度事業内容]

・平成24年度は応力下での測定可能な軟磁性材料特性評価装置を導入し、新材料に対応した磁気特性測定技術を開発し、外部応力下でのヒステリシス損や渦電流損の影響が小さい周波数域にて1T以下磁束密度領域での励磁条件と計測条件を明らかにした。

(三菱電機株式会社－再委託 (共同実施) 同志社大学、九州工業大学)

[平成25年度事業内容]

・平成25年度は軟磁性材料への応力印加機構とこれを適用した応力下軟磁性材料特性評価プロト装置で計測条件を明らかにした。これを基に応力下軟磁性材料特性評価装置を開発した。また、残留応力による永久磁石材料の磁気特性の変化について現象を調査し、永久磁石材料への応力印加方式の指針を得た。

(三菱電機株式会社－再委託 (共同実施) 同志社大学、九州工業大学)

[平成26年度事業内容]

・平成26年度は新規軟磁性材料に対応した応力下軟磁性材料特性評価装置の性能を既存軟磁性箔帯材料を使用して実証した。また、応力による既存ネオジム焼結磁石の減磁現象について知見を得るとともに、評価手法の指針を得た。

(三菱電機株式会社－共同実施先 同志社大学、九州工業大学)

[平成27年度事業内容]

・平成27年度は既存軟磁性薄帯材料を使用した設計精度検証用モーターを試作し、応力影響下でのモーター特性を評価するための試験設備を導入した。また、薄帯積層型鉄心の磁気特性の測定精度を検証した。加えて、応力およ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評価手法の指針を得た。

(三菱電機株式会社－共同実施先 同志社大学、九州工業大学)

#### 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

##### (1) [特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援]

[平成24年度事業内容]

・平成24年度は、特許調査につき、検索範囲の確定、解析軸の設定を検討し、検索を開始した。技術動向調査については、技術論文の予備調査・分析を行い調査方針・分析検索手法を決定し、得られる効果の推定を行った。

(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)

[平成25年度事業内容]

・平成25年度は、特許調査につき、前年度の調査範囲をさらに10年程度遡る範囲における

国

内検索特許に関し精読と重要度分類をすすめ、解析軸からの、特許からみた技術傾向調査を実施した。技術動向調査については、文献検索と、解析軸からの技術論文からみた技術動向分析の追加調査を実施した。

(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)

[平成26年度事業内容]

・平成26年度は、「磁石材料」「軟磁性材料」「高効率モーター」等の、平成25年度までの分析に加えて平成25年度までの国内検索特許に関し精読と重要度分類を進め、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、3ヶ年の結果を総合し、取り纏めと提言を実施した。技術動向調査については、文献検索と、解析軸からの技術論文からみた技術動向分析の追加調査を実施し、3ヶ年の結果を総合し、取り纏めと提言を実施した。

(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)

[平成27年度事業内容]

・平成27年度は、「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し精読と重要度分類を進め、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。また「磁石材料」「軟磁性材料」については中国の特許調査に着手し、「高効率モーター」については欧州の特許調査に着手した。「磁石材料」「軟磁性材料」「高効率モーター」等の特許調査・技術動向調査を行った。国内学会、国際会議などに参加して関連分野発表動向・技術動向を調査し、その情報共有化を実施した。

(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]

### [平成24年度事業内容]

・平成24年度は新規磁性粒子・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した。

(独立行政法人産業技術総合研究所一再委託(共同実施) 東北大学、名古屋大学、ファインセラミックスセンター)

### [平成25年度事業内容]

・平成25年度は開発途中にある各粒子並らびに表面修飾した粒子の構造や、熱的特性を調べ、粉末性能を維持しながら高密度焼結・固化するための条件を明らかにした。

(独立行政法人産業技術総合研究所一再委託(共同実施) 東北大学、名古屋大学、ファインセラミックスセンター)

### [平成26年度事業内容]

・平成26年度は各分室で開発された磁性粒子を、粒子の磁気特性を維持したまま90%以上の相対密度を持つ成形体にする技術を開発した。また粒子表面を修飾することにより磁気特性の向上を図った。

(独立行政法人産業技術総合研究所一共同実施先 東北大学、名古屋大学、ファインセラミックスセンター)

### [平成27年度事業内容]

・平成27年度は、複合場を利用した急冷溶解技術や低温高密度焼結技術の実用化に向けた取り組みを行った。また、高保磁力磁石の磁気特性を短時間で正確に測定する技術開発を進めた。さらに、微視的な磁区観察手法の開発を進めるとともに計算シミュレーションを用い、保磁力機構の解明に向けた取り組みを行った。また、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。

(国立研究開発法人産業技術総合研究所一共同実施先 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)

### (3) 「新規高性能磁石材料の探索」

[平成27年度事業内容]

・平成27年度は現在テーマに挙がっていない磁石材料について探索し、ネオジム磁石を超える特性を持つ新規磁石の可能性を検討した。

## 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
需給勘定 (百万円)	2000 (経済産業省)	3000 (経済産業省)	3000 (NEDO)	2500 (NEDO)
特許出願件数 (件)	1	9	18	17
論文発表数 (報)	4	73	85	95

(H27.12 末現在)

## 5. 事業内容

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 28 年度事業内容

#### 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

###### (1) [ ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 ]

・平成 28 年度は、平成 27 年度に引き続き、HDDR 焼結磁石の保磁力低下要因の対策として、二合金法や粒界拡散法による組織改善検討を行う。平成 27 年度に引き続いて愛知製鋼株式会社による高保磁力 HDDR 合金による高保磁力化も検討する。また、HDDR 処理を経ずにサブミクロン結晶粒の焼結磁石を作製するプロセスを検討する。さらには、主相比率向上、配向度向上、Co 添加によって高温 Br 特性向上を検討する。

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

・平成 28 年度は、平成 27 年度に引き続き、高 Br 化技術、特に角形比の改善に取り組む。さらに、原料やプロセス技術の開発だけでなく、異方化のメカニズムやさらに実用化に向けコンパウンド・成形技術に取り組む。特に、磁粉の作製条件や組織を最適化するとともに、ボンド磁石の観点からの原料、処理技術、成形・金型技術にも取り組み、製品化への探索を検討する。

① 新規高性能磁石の開発

(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」

(1) [ 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発 ]

・平成28年度は、広島大学では平成27年度の乾燥条件の検討に引き続き、スプレードライ法等による乾燥・造粒による固化プロセスを最適化することで次の目標値達成を狙う。

① 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 90%以上

② 磁場印加による乾燥・造粒過程での配向性を検討

・T&Tイノベーションズでは平成27年度に引き続き、バルク化プロセス技術の検討を実施する。理想の粒子・配向状態でのB-Hカーブをシミュレーションにより見積もり、高配向ボンド磁石を作製して、密度100%換算値より目標Brの可能性を示す。また高配向と高 $\sigma_s$ を両立化した成型体を並行して検討する。

① Br (密度100%換算値) 17kG以上

② 配向 Br/Bs0.8以上

(2) [ ナノ複相組織制御磁石の研究開発 ]

・平成28年度は、新規物質である、REFe<sub>12-x</sub>Tm<sub>x</sub>N<sub>y</sub>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。この磁石相を用いて、50MG0e@180℃を達成する理想組織を明らかにし、実現するための実験検証を行う。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する。

(3) [ FeNi超格子磁石材料の研究開発 ]

・平成28年度は、窒化・脱窒素によるFeNi超格子粉末合成に注力する。合成手法として気相法、及び電気化学法を用い、Fe/Niの規則度、異方性磁界の向上に取り組む。窒化・脱窒素に伴う構造変化や磁気特性を評価して高窒化メカニズム、及び異方性磁界に及ぼす要因を明らかにする。また、合成粉末の成形、磁石化を検討し、磁石特性を評価する。

② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

(1) [ 高BSナノ結晶軟磁性材料の開発 ]

・平成28年度はガス-水急冷アトマイズ装置と超高压水アトマイズ装置で超急冷粉末の安定製造条件を検討し、粉末の球状化、粉末粒径が20 $\mu$ m以下の非晶質粉末(XRDによる解析)化を推進すると同時に量産プロセスの検証を行う。磁心化は、モーター試作用大型バルクコアの高密度成形の検討を行い、圧粉磁心成形に関する量産プロセス(ホットプレス法等)の検証を行う。圧粉磁心においては安定熱処理条件を確立させ、また積層バルクコアでは熱処理プロセス条件のファインチューニングを行い最終目標である飽和磁束密度

(Bs) 1.6T以上、損失(400Hz・1T) 3W/kg台を達成する。

### 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」

・平成28年度は減磁分布測定手法及び解析手法の高度化、及び減磁分布測定手法の簡易化の為に試作をする。また、モーターの磁性体損失のうちステータコア損失の分離方法の検討、及び課題抽出を行う。また、モーター駆動状態におけるヒステリシス曲線データをHコイルおよびサーチコイルで測定し、鉄損測定技術を開発する。また、材料特性を考慮した損失低減に適したIPMモーター構造を設計して試作機を製作し、磁性材料における損失低減に最も重要な改良点を示すとともに、各種走行モードでの損失低減に適したIPMモーター構造の設計指針を明確にする。さらに、新形態の可変磁力モーターの電磁構造を提案し、試作・評価実証を行い、新規磁性材料を採用したときの損失25%削減の可能性評価を行う。

#### (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)」

・平成28年度は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、応力下でモーター特性を評価することを試みる。また、新規軟磁性材料のバルク化時や応力印加時の磁気特性変化を評価する。加えて、応力およ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う。

### 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

#### (1) 「特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援」

・平成28年度は、「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する。また「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する。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、その情報を共有化する。

#### (2) 「共通基盤技術の開発」

・平成28年度は、複合場を利用した急冷溶解技術を使って合金安定相と磁気特性の依存性を明らかにする。高配向焼結磁石作製のための配向プロセスや条件を見出す。また、高保磁力磁石の磁気特性を短時間で正確に測定する技術を開発し、さらに測定精度を高めるための問題点を明らかにする。加えて、微視的な磁区観察手法の問題点を明らかにし、観察装置を開発する。窒化鉄の異方性磁界を向上させるための添加元素を見出し磁気特性依存性を明らかにする。



(3) 「新規高性能磁石材料の探索」

・平成28年度は引き続き現在テーマに挙がっていない磁石材料について探索し、ネオジム磁石を超える特性を持つ新規磁石の可能性を検討するとともに、軟磁性材料についても目標を超えることができる材料の可能性を検討する。

5. 2 平成 28 年度事業規模

需給勘定（平成 27 年度通常予算額） 2,150 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 28 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) 複数年度契約等の実施

原則として、平成 27～28 年度の複数年度契約を行う。

7. 実施方針の改定履歴

(1) 平成 28 年 2 月 制定

