

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」基本計画

材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

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、昭和57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。

②我が国の状況

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し、かつ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。

③世界の取組状況

中国は、低いジスプロシウムの調達コストを活かし低価格のネオジム磁石を市場に供給しており、2015年の世界シェアの80%近くを占め存在感を増している。研究開発力、品質の高さにおいて日本は世界をリードしているが、中国には研究者の数が多く特許も多数出願されるようになり、性能面でも日本製品をキャッチアップしつつある。現状、次世代自動車の駆動用モーターには、性能と品質の高さから日本製のネオジム磁石が100%使用されているが、韓国や欧州の自動車メーカーでは中国製ネオジム磁石の採用が進み始めている。また、欧米、特に米国ではレアアースのリサイクル率を高め、リサイクルで全体の資源有効活用を高めるといったような、トータルシステム指向の発想による問題解決を図っている。

そのような中、更なる技術革新を目指してポストネオジム磁石としての新規高性能磁石が世界中で研究されている。未だ有力な磁石は開発できていないが、その開発動向を調べると、レアアース（希土類）を使用しない（レアアースフリー）磁石から、最近では、資源的にリスクの高い重希土類（ジスプロシウム、テルビウム等）のみを使用しない重希土類フリー磁石に開発の主流が変わってきている。

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。

④本事業の狙い

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す。

本プロジェクト後半の第2期では、世界最強のネオジム磁石を凌駕する高性能磁石の開発に特化する。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

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、エネルギーの損失が少ない高性能軟磁性材料の開発、さらにはこれらの新規磁石や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の開発を行い、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の実現を目指す。

第2期では、新規高性能磁石開発に特化して取り組むこととし、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。

それぞれの研究開発項目の具体的な開発目標は、別紙の研究開発計画の通りとする。

②アウトカム目標

次世代自動車用高性能モーターは、エアコンなどの家電製品、ならびに産業用ロボットなどの産業機器に波及拡大するため、国内電力消費量の約半分を占めるモーター全体の効率を上げることができる。モーター鉄損の低減及び新規高性能磁石を用いた高効率モーターへのシフトを考慮し、2030年に年間890万トンのCO₂排出量削減が見込まれる。また、上記年間CO₂削減量を890万トンの約78%を占める産業用モーターに限っても、低損失化により、年間240億kWhの電力使用料削減に寄与し、金額ベースでは年間3700億円の削減になる。(15円/kWhとして算出)

高効率モーター市場に関しては次世代自動車の2030年における販売台数を288万台とし、その30%に高効率モーターが搭載されるとした場合530億円/年の市場が創出される。また、産業用モーターの2030年の国内出荷額を約2000億円とし、その30%に高効率モーターが搭載されるとした場合600億円/年の市場が創出される。両方合わせると、約1100億円/年の高効率モーター市場創出が見込まれる。

③アウトカム目標達成に向けての取組

研究開発と並行して実用化に向けて、本プロジェクトで開発した成果を広く社会に普及させるためにワークショップ等を通じた成果発信を積極的に行う。我が国の産業競争力向上のための国際標準獲得に向けた技術開発も行う。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために以下の研究開発項目について、開発を行う。

それぞれの研究開発項目の具体的な開発内容は、別紙の研究開発計画の通りとする。

[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

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

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

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

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術に対して、産官学の複数事業者が互いのノウハウなどを持ち寄り、協調して実施する事業であり、委託事業として実施

する。また、開発成果の社会への浸透を図るため、成果の一部は、開発段階に合わせて順次実用化する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

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。

本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクト「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」において実施されるものであり、経済産業省が 2012 年度に企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開始したものである。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）が本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえて研究開発を実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として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選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

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、運営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、定期的に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。また、技術動向調査をした上でロードマップ、プロジェクト戦略を策定しプロジェクトマネジメントに活用する。

①研究開発の進捗把握・管理

NEDO は、主としてプロジェクトリーダーをとおして研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術推進委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②技術分野における動向の把握・分析

NEDO は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

2014 年度から 2021 年度までの 8 年間とする。ただし、研究開発期間を 2014 年度から 2016 年度までの 3 年間の第 1 期、2017 年度から 2021 年度までの 5 年間の第 2 期と区分して実施する。社会情勢等の変化を踏まえ、第 2 期の研究開発項目及び目標は、第 1 期の最終年度（2016 年度）に策定することとする。

なお、本プロジェクトは、2012 年度～2013 年度については経済産業省で実施したが、2014 年度から NEDO が実施する。

4. 評価に関する事項

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、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。

第1期については中間評価を2014年度、及び2016年度に実施する。研究開発の進捗状況等を鑑み、評価後実施体制を委託と助成の複合型とすることも検討する。

第2期は2019年度中間評価を実施し、2022年度に事後評価を実施する。なお、中間評価段階においても、内外の研究開発動向、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化を踏まえ、本事業の必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等について見直しを行うこととする。特に、研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるものは、予算の加速や研究開発の前倒し終了、助成事業への移行など弾力的に行うこととする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に導入・普及するように努めるものとする。また、NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及・導入を促進する。

②標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため、標準案の提案等を必要に応じて実施する。

③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産等の取扱いに関する基本的考え方」に基づき、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に則り、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、プロジェクト実施者に、知的財産管理規定、再委託契約書、共同研究契約書等を制定させる。

④知的マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制、新規テーマの追加等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、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号ニに基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2014年3月、制定

(2) 2014年5月、改訂

(3) 2015年2月、改訂（2014年に実施した中間評価結果を反映）

(4) 2017年2月、改訂（第2期開始に伴う見直し）

(5) 2017年9月、改訂（PMの変更に伴う見直し）

(6) 2021年7月、改訂（2020年技術推進委員会を受けて資源配慮を明記）

(別紙1) 研究開発計画

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

1. 研究開発の必要性

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できる。

2. 研究開発の具体的内容

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。

3. 達成目標

【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

1. 研究開発の必要性

第1期では、「供給リスクのあるレアアースを使用しない強力な磁石を開発することは、我が国として戦略的に取り組むべき課題である」という必要性から本研究開発項目に取り組んできた。

第2期では、自動車電動化のキー材料である磁石の革新は我が国の産業競争力強化に重要であるため、新磁石の研究開発に取り組む。ただし、今後の実用化の際の資源リスク、コスト等を考慮し、レアアースのうち重希土類は使用しないこととする。

2. 研究開発の具体的内容

第1期では、「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。

第2期では、重希土類フリー磁石で最適構造・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取組み、ネオジム焼結磁石の2倍の強さを持つ高性能新磁石を開発する。また、従来磁石の性能を維持し資源リスクが高まる可能性のある希土類元素を削減した磁石の開発を行い、それら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。

3. 達成目標

【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。

【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

1. 研究開発の必要性

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（＝航続距離及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。

2. 研究開発の具体的内容

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。

3. 達成目標

【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

1. 研究開発の必要性

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ことは、我が国のエネルギー政策にとって大きな効果がある。

2. 研究開発の具体的内容

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及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・信頼性評価を確立する。

なお、社会情勢、政策動向の変化から本研究開発項目は第1期をもって終了するものとする。ただし、モーターへ実装した磁性材料の評価技術については、研究開発項目④で取り組むこととする。

3. 達成目標

【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

1. 研究開発の必要性

ネオジム磁石に関する米国の基本特許が 2014 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。また、磁石開発を支援するための先端解析や評価技術が開発力強化のために重要である。

2. 研究開発の具体的内容

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。

3. 達成目標

【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」、「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した特性評価を行う。

(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。

(別紙2) 研究開発スケジュール

	H24 2012	H25 2013	H26 2014	H27 2015	H28 2016	H29 2017	H30 2018	H31 2019	H32 2020	H33 2021	H34 2022
研究開発項目①	1 Dyを使わないネオジム焼結磁石の高性能化										
	2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石										
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										
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										
	METI直執行	★ 中間評価			★ 中間評価			★ 中間評価			★ 事後評価