

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」  
(中間評価)分科会  
資料5-1

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」

## 事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部
-----	--

# 概要

		最終更新日	2016年6月14日
プログラム（又は施策）名	1. 経済成長, 2. 資源エネルギー・環境政策 ①エネルギー, ②イノベーション		
プロジェクト名	次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発	プロジェクト番号	P14015
担当推進部/担当者	材料・ナノテクノロジー部 佐光武文（2015年9月～現在） 坂井数馬（2014年4月～現在） 渡部敬介（2016年4月～現在）		
0. 事業の概要	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電気エネルギーの損失を少なくする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的とする。		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>次世代自動車や家電、産業機械の心臓部であるモーターに使用されるネオジム高性能磁石は、我が国が競争力を有する技術分野である。しかし、昭和57年（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。</p> <p>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、軽希土類元素まで含めた希土類元素全体の投機的高騰を考慮して国家的な観点から国の積極的な関与が必要である。</p> <p>中長期的な最重要課題の1つであるエネルギー需給戦略においても、省エネの一層の促進に貢献する高効率モーターの省エネルギー化に取り組むことは、まさに国策として重要である。</p> <p>以上、本事業は、我が国産業にとって最重要課題の一つであるモーターの省エネ化に貢献する技術を開発するものであり、我が国のエネルギー・資源問題解決および産業競争力強化に貢献する、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）が取り組むべきプロジェクトとして妥当である。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
	<p>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。</p> <p>それぞれの研究開発項目の具体的な開発目標は以下の通り。</p> <p>① 新規高性能磁石の開発</p> <p>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 【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38MJGOe」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。</p> <p>① - (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 【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50MJGOe」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。</p> <p>② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発 【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。</p> <p>③ 高効率モーターの開発 【中間目標（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。</p>		

- 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  
【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」  
「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。

事業の 計画内容	主な実施事項	2012 fy	2013 fy	2014 fy	2015 fy	2016 fy	第2期 2017～ 2021fy	
	①-（Ⅰ） 新規高性能磁石開発 ジスプロシウムフ リー磁石の開発	研究項目①-（Ⅰ）-（1） ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 研究項目①-（Ⅰ）-（2） Dyフリー高Br・高保持力を有するNdFeB異方性HDDR磁石開発						
	①-（Ⅱ） 新規高性能磁石開発 レアアースフリー 磁石の開発	研究項目①-（Ⅱ）-（1） 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発 研究項目①-（Ⅱ）-（2） ナノ複相組織制御磁石の研究開発 研究項目①-（Ⅱ）-（3） FeNi超格子磁石材料の研究開発						中間評価 に基づき テーマ、体 制、目標を 再設定
	② 軟磁性材料研究開発	研究項目②-（1） 高Bsナノ結晶軟磁性材料の開発						
	③ 高効率モーターの 開発	研究項目③-（1） 次世代モーター・磁性特性評価技術開発 研究項目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）						中間評価 に基づき テーマ、体 制、目標を 再設定
	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	研究項目④-（1） 特許・技術動向調査・特許戦略策定支援 研究項目④-（2） 共通基盤技術の開発 研究項目④-（3） 新規高性能磁石材料の探索						中間評価 に基づき テーマ、体 制、目標を 再設定
	評価時期			★中間評価			★中間評価	
	METI 執行	*1. 中間評価でテーマ、体制の絞込および目標の見直し実施 *2. 上記①-Ⅱ、③および④については、第2期への移行を予定している。移行に際しては、2016年度の中間評価を踏まえて、第2期の体制、目標等を決定する。						

開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	2012 fy	2013 fy	2014 fy	2015 fy	2016 fy	第2期 2017~ 2021fy
	一般会計						
	特別会計(需給)	2,000	3,000	3,000	2,584	2,195	
	開発成果促進財源						
	総予算額	2,000	3,000	2,982	2,534	2,195	
契約種類： ○をつける 委託(○) 助成( ) 共同研究( )	(委託)	○	○	○	○	○	
	(助成) : 助成率△/□						
	(共同研究) : 負担率△/□						
開発体制	経産省担当原課	製造産業局自動車課，非鉄金属課					
	プロジェクトリーダー	尾崎 公洋(国立研究開発法人 産業技術総合研究所 磁性粉末冶金研究センター 研究センター長)					
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	<p>管理法人：高効率モーター用磁性材料技術研究組合(参加9社，1財団，1国研)</p> <p>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  研究項目①-(I)-(1) ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発  インターメタリックス株式会社  共同実施：東北大学，物質・材料研究機構  研究項目①-(I)-(2) Dy フリー高 Br・高保持力を有する NdFeB 異方性 HDDR 磁石開発  愛知製鋼株式会社  共同実施：東北大学  (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  研究項目①-(II)-(1) 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発  株式会社 T&amp;T イノベーションズ  共同実施：広島大学  研究項目①-(II)-(2) ナノ複相組織制御磁石の研究開発  トヨタ自動車株式会社  共同実施：京都大学，東北大学，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  研究項目①-(II)-(3) FeNi 超格子磁石材料の研究開発  株式会社デンソー  共同実施：東北大学，同志社大学，筑波大学</p> <p>② 次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発  研究項目②-(1) 高 BS ナノ結晶軟磁性材料の開発  NEC トーキン株式会社，JFE スチール株式会社  共同実施：JFE 精密株式会社</p> <p>③ 高効率モーターの開発  研究項目③-(1) 次世代モーター・磁性特性評価技術開発  ダイキン工業株式会社  共同実施：大阪府立大学，名古屋工業大学，豊田工業大学  研究項目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)  三菱電機株式会社  共同実施：同志社大学，九州工業大学</p>					

開発体制	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載）	<p>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</p> <p>研究項目④－（１）特許・技術動向調査・特許戦略策定支援 （一般財団法人）金属系材料研究開発センター</p> <p>研究項目④－（２）共通基盤技術の開発 （国立研究開発法人）産業技術総合研究所 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 秋田大学，京都大学，広島大学，倉敷芸術科学大学， 大阪大学，東京工業大</p> <p>研究項目④－（３）新規高性能磁石材料の探索 （国立研究開発法人）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）</p>
評価に関する事項	中間評価	2014年度 中間評価実施
	中間評価	2016年度 中間評価実施
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>①－（Ⅰ）－（１）ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 （インターメタリックス株式会社）</p> <p>【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認する。</p> <p>【開発成果】評価（○） 最終目標を達成するために必要な粉末粒径（0.6μm未満）をHDDR処理とジェットミルにより達成。高配向焼結体の作製に成功した。粒径の微細化により温度特性が向上することを明らかにした。ただし、最大エネルギー積は25MG0e@180℃であり、添加元素や粒界相の最適化によりさらに向上させる必要がある。</p> <p>①－（Ⅰ）－（２）Dyフリー高Br・高保持力を有するNdFeB異方性HDDR磁石開発 （愛知製鋼株式会社）</p> <p>【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認する。</p> <p>【開発成果】評価（○） 最終目標を達成するために必要な保磁力（22k0e）の達成の目途はついた。また、新しく開発したd-HDDR法により、磁化を向上させた粉末の作製に成功し、現在最終目標の最大エネルギー積の80%以上を達成。最終的に88%まで達成する見込み。</p> <p>①－（Ⅱ）－（１）窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発 （株式会社T&amp;Tイノベーションズ）</p> <p>【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、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。</p> <p>【開発成果】評価（△） 粒子の合成，単分散化，固化については，それぞれ事前に掲げた自社の目標を達成しつつある。ただし，中間目標で掲げている高性能磁石となりうる可能性を示すためには，保磁力向上の指針を出すことが必要であったが，困難であるため，粉末の残留磁束密度を1.7T（換算値），ボンド磁石として1.0～1.4Tとなる磁石を開発目標とする。</p>	

<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>①－（Ⅱ）－（２）ナノ複相組織制御磁石の研究開発  <span style="float: right;">（トヨタ自動車株式会社）</span></p> <p>【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、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。</p> <p>【開発成果】評価（○）  計算や薄膜において複相構造を作り込むことにより、現行の焼結磁石を凌駕する最大エネルギー積を持つ磁石を作製できることを明らかにした。RE1Fe12 系化合物を相安定化できる合金組成を見出し、高温特性に優れ、最終目標を達成できるポテンシャルを持つことを明らかにした。</p>
	<p>①－（Ⅱ）－（３）FeNi 超格子磁石材料の研究開発  <span style="float: right;">（株式会社デンソー）</span></p> <p>【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、課題の抽出および基本材料設計の指針を示す。</p> <p>【開発成果】評価（○）  隕石中に存在する FeNi 規則相を調べ、180℃で 400kA/m (5k0e) 以上の保磁力を持つ可能性を示した。様々な化合物還元法を試み、窒化・脱窒素法により、規則度 0.7 以上の成分を含む粉末の合成に成功した。異方性磁界を大幅に向上させることができ（塩化物還元法の 3 倍以上）、最終目標達成の可能性を示すことができた。</p>
	<p>②－（１）高 BS ナノ結晶軟磁性材料の開発  <span style="float: right;">（NEC トーキン株式会社, JFE スチール株式会社）</span></p> <p>【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。</p> <p>【開発成果】評価（○）  急冷薄帯において目標値を達成できる合金組成の範囲を明らかにした。これを基にアトマイズ粉末でナノ結晶ができる合金組成を見出すとともに、粉末を大量に製造するための装置設計を行い、実用化製造技術の見通しをつけた。さらに、この粉末を高密度でバルク化する条件を明らかにし、粉末成形体においても目標値を達成できる見込み。</p>
	<p>③－（１）次世代モーター・磁性特性評価技術開発  <span style="float: right;">（ダイキン工業株式会社）</span></p> <p>【中間目標（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。</p> <p>【開発成果】評価（○）  モーター使用後の磁石の磁気特性変化および分布の測定、モーター損失の高精度分析装置の作製、インバータ高調波を含めた損失測定のためのリアルシミュレーターの構築、各種モーター形式による設計技術、インバータとモーターとを合わせた低損失化設計手法の開発を行い、それぞれで計画していた目標を達成した。これにより、課題の抽出および基本設計指針を出すことが可能となった。さらに、新しい形態のモーターを提案し、損失 25%削減の可能性を示した。</p>
	<p>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）  <span style="float: right;">（三菱電機株式会社）</span></p> <p>【中間目標（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。</p> <p>【開発成果】評価（○）  応力下の軟磁性材料ならびに永久磁石の磁気特性への影響を調べるための計測手法を開発した。定量的な評価ができるため、高効率モーター設計の基本指針を示すことが可能となった。また、開発材料を使用したモーターの試作を行った。</p>

<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>④- (1) 特許・技術動向調査・特許戦略策定支援 (一般財団法人金属系材料研究開発センター)</p> <p>【中間目標 (2016年度末)】 「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。</p> <p>【開発成果】評価 (○) 磁石、軟磁性材料、モーター構造の特許調査並びに技術調査を行い、データベース化するとともに、動向予測を行った。今年度までのデータベース化をほぼ終えることができた。データベースは図書館機能システム化し、閲覧可能とした。</p> <p>④- (2) 共通基盤技術の開発 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>【中間目標 (2016年度末)】 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。</p> <p>【開発成果】評価 (○) 窒化鉄の単分散のための表面処理技術、軟磁性材料の高抵抗化のための表面処理技術を開発した。HDDR 粉末の焼結、窒化鉄ナノ粒子の焼結、軟磁性材料の焼結を行い、それぞれ焼結密度90%以上を達成した。</p> <p>④- (3) 「新規高性能磁石材料の探索」 (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)</p> <p>【中間目標 (2016年度末)】 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。</p> <p>【開発成果】評価 (○) 先導研究によるテーマ探索を実施し、新磁石4テーマ、新軟磁性材料3テーマを発掘。</p>						
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="140 1191 619 1227">投稿論文</td> <td data-bbox="625 1191 1466 1227">「査読付き」58件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="140 1236 619 1285">特許</td> <td data-bbox="625 1236 1466 1285">「出願済」72件、「登録」0件、「実施」0件 (うち外国出願24件) 特記事項:</td> </tr> <tr> <td data-bbox="140 1294 619 1352">その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td data-bbox="625 1294 1466 1352">「口頭発表」206件、「新聞・雑誌」6件、「その他」8件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」58件	特許	「出願済」72件、「登録」0件、「実施」0件 (うち外国出願24件) 特記事項:	その他の外部発表 (プレス発表等)	「口頭発表」206件、「新聞・雑誌」6件、「その他」8件	
投稿論文	「査読付き」58件						
特許	「出願済」72件、「登録」0件、「実施」0件 (うち外国出願24件) 特記事項:						
その他の外部発表 (プレス発表等)	「口頭発表」206件、「新聞・雑誌」6件、「その他」8件						
<p>Ⅳ. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>①- (I) - (1) ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 (インターメタリックス株式会社) 最終目標を達成することによって、飛躍的な性能の向上が見込まれるため、実用化を見据えた製造プロセスを構築することによって事業化が期待できる。量産プロセスでの特性とコストを検討し、実用性を判断することが必要。</p> <p>①- (I) - (2) Dy フリー高 Br・高保持力を有する NdFeB 異方性 HDDR 磁石開発 (愛知製鋼株式会社) 粉末の特性で最終目標を達成できれば、異方性ボンド磁石として実用化を目指し、事業化につなげる。また、粉末そのものでも事業化への展開ができると考えている。</p> <p>①- (II) - (1) 窒化鉄ナノ粒子のバルク体化技術研究開発 (株式会社 T&amp;T イノベーションズ) 現在掲げている目標 (配向、相対密度、磁化) の達成により、まずはボンド磁石への展開を図り、その後、焼結体への展開を図る。</p> <p>①- (II) - (2) ナノ複相組織制御磁石の研究開発 (トヨタ自動車株式会社) 最終目標をクリアできる磁気特性を持つ複相組織のバルク体を作るプロセスを構築し、さらに安定的に作製できるプロセスを提案する。</p>						

<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>①－（Ⅱ）－（３）FeNi 超格子磁石材料の研究開発  <span style="float: right;">（株式会社デンソー）</span>  最終目標をクリアできる磁気特性を持つ粉末合成プロセスを開発し、材料メーカー等と共同研究により、実用化プロセスの開発を行い、事業化を見込む。</p> <p>②－（１）高 BS ナノ結晶軟磁性材料の開発  <span style="float: right;">（NEC トーキン株式会社, JFE スチール株式会社）</span>  粒子の大量・安定供給を行える技術開発と大型磁心成形プロセスにより、プロジェクト期間内で実用化を行い、プロジェクト終了後事業化を行う。</p> <p>③－（１）次世代モーター・磁性特性評価技術開発  <span style="float: right;">（ダイキン工業株式会社）</span>  モーターの損失評価技術の確立を行い、新モーターの設計を行う。プロジェクト期間中に新設計のモーターの有効性を実証し、損失 25%減のモーター開発を行う。実用化に向けた生産性や信頼性の確保に取り組む。</p> <p>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）  <span style="float: right;">（三菱電機株式会社）</span>  既存材料を利用して応力抑制を行ったモーター設計・試作評価を先行して行い、実用化に繋げる。プロジェクトで開発された材料については各分室と連携して並行して評価・設計を進め、早期の実用化を行う。</p> <p>④－（１）特許・技術動向調査・特許戦略策定支援  <span style="float: right;">（一般財団法人金属系材料研究開発センター）</span>  データベース化を進めることで技術動向が明らかになるとともに、分析が可能な情報システムを構築することができる。これにより参画企業の特許戦略策定の手助けが可能となり、実用化に近づけることができる。</p> <p>④－（２）共通基盤技術の開発  <span style="float: right;">（国立研究開発法人産業技術総合研究所）</span>  サブミリからサブミクロンまで各種磁性材料の表面処理技術と高密度焼結技術を開発し、さらにこれらを実用化できる技術に展開することによって、参画企業の実用化に寄与する。</p> <p>④－（３）新規高性能磁石材料の探索  <span style="float: right;">（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）</span>  先導研究によるテーマ探索を実施し、新磁石 4 テーマ、新軟磁性材料 3 テーマを発掘し育成中。</p>	
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>2014年3月 作成</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2014年5月 改訂</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>2015年2月 改定 （2014年11月に実施した中間評価指摘事項を反映）</p>