

「次世代自動車向け高効率モーター用 磁性材料技術開発」 (事後評価)

(2012年度～2021年度 10年間)

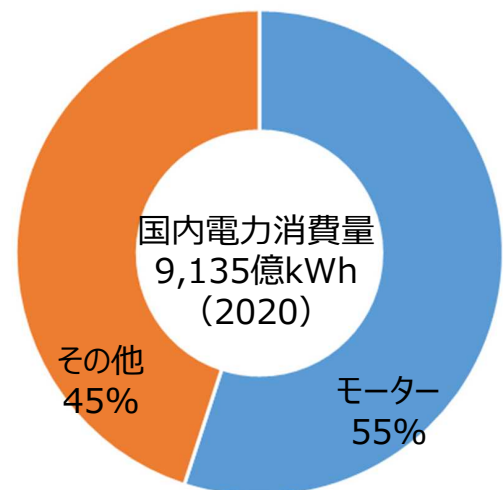
※2012-2013年度は経済産業省直執行

プロジェクトの概要 (公開)

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
2022年11月18日

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景

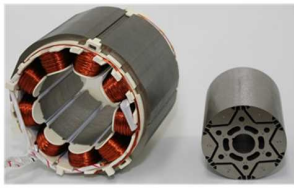


■ 家庭用・業務用・産業用を合わせたモーターによる年間の電力消費量は、国内電力消費量の約55%を占めると推計される。
(一財)「地球環境保護・省エネルギーのために トップランナーモータ」2021年版)

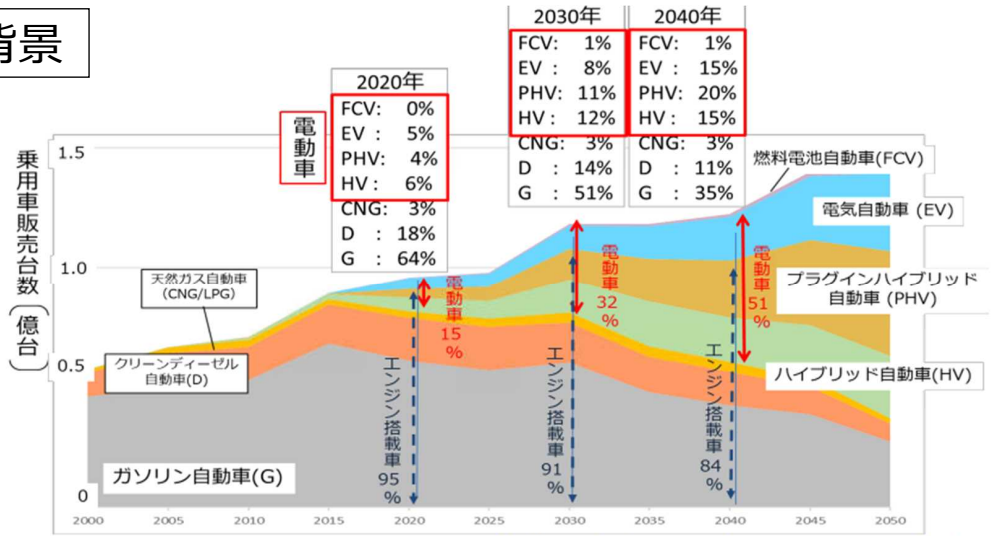
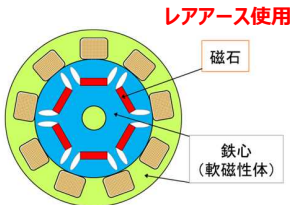
省エネルギーにはモーターの高効率化が有効

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 事業実施の背景



モーターの構造例



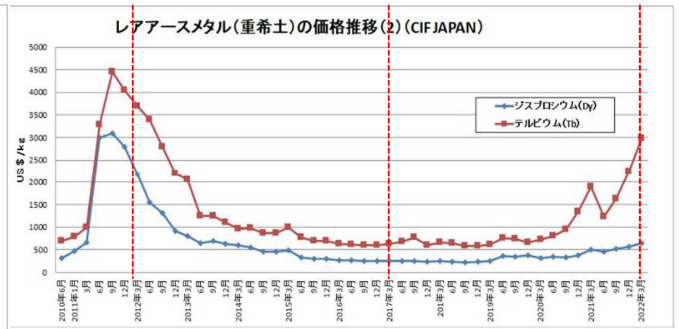
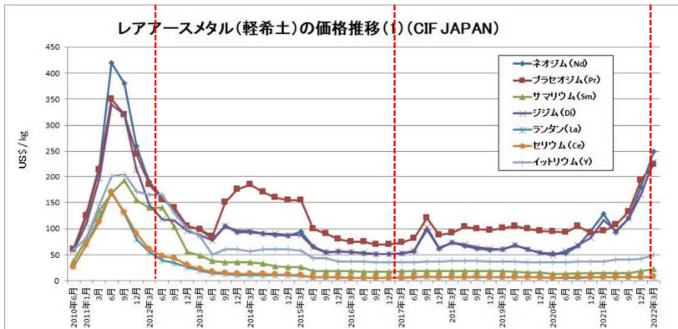
H30年4月 経済産業省 自動車新時代戦略会議 (第1回) 資料より引用。IEAが示した技術普及シナリオ (平均気温上昇の▲2℃達成ケース)。

- EV用などの強力なモーターには、レアースのネオジウム (Nd)を用いた磁石が使われる。また、耐熱特性を高めるためにジスプロシウム (Dy) 等が添加されている。
- 現在1千万台/年であるxEV (燃料電池車, バッテリー電気自動車, プラグインハイブリッド車, ハイブリッド車の総称) は**2050年には1億2千万台/年**になると推計される。
 - xEV一台あたり2kgのNd磁石が使われるとすると、現在の世界生産量の**約4倍がモーターに必要**と言われている。

高性能モーターにはレアース資源の問題

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

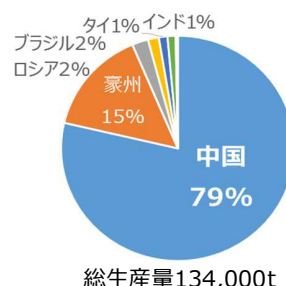
◆ 事業実施の背景



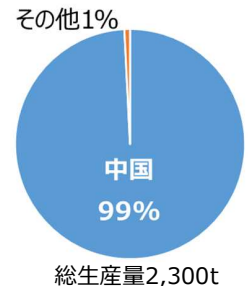
ネオマグ株式会社ホームページより転載許可をいただいて引用 https://www.neomag.jp/mag_navi/statistics/rare_earth_newprice2.html

- レアースの価格は特定国の政策により2011年に高騰。その後沈静化したか、安定時でも**2005年の4~6倍程度の高値**。最近の国際情勢により再度上昇
- 地政学的にも**資源リスクが高い**。
 - 特にディスプロシウム(Dy)。

世界のレアースの生産量 (酸化物換算、2017)



ディスプロシウム (Dy) の生産量 (酸化物換算、2017)



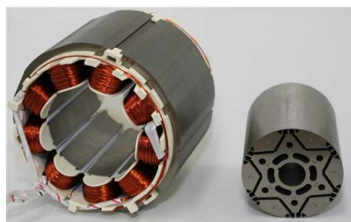
レアース(Dy,Nd)の使用量を削減、あるいは使用しない高性能磁石の開発が必要

JOGMECI「鉱物資源マテリアルフロー2018 8.レアース」を基に作成

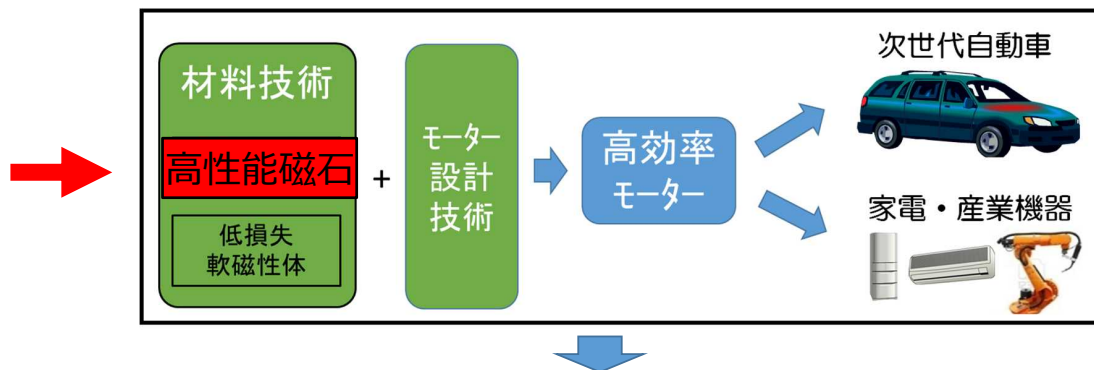
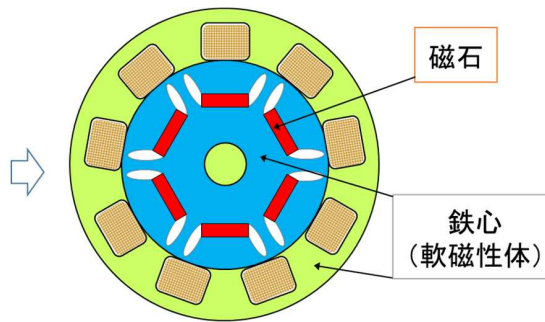
「工業レアメタル2018」を基に作成

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業の目的



モーターの構造例



レアアースの資源リスクに対応しつつ、モーターの省エネルギー化を図り、競争力を確保し、我が国産業全体の活性化に寄与する。

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

■ 未来開拓研究開発制度 (2011年12月)

中長期的観点の研究開発を優れた技術及び知見を有する国内外の企業、大学、公的研究機関等で構築した研究体制で推進することにより、我が国産業の成長に貢献することを目標とした未来開拓研究開発制度に挙げられている「**国主導でリスクの高い中長期的テーマの強化**」、「**省庁の枠を超えた連携**」、「**『ドリームチーム』の構築**」のいずれにも適合している。

■ 第5期科学技術基本計画 (2016年1月22日)

経済・社会的課題への対応として、持続的な成長と地域社会の自律的な発展エネルギーの安定的な確保とエネルギー利用の効率化の中に、「**産業、民生（家庭、業務）及び運輸（車両、船舶、航空機）の各部門において、より一層の省エネルギー技術等の研究開発及び普及を図る。**」と謳われており、「科学技術イノベーション総合戦略2017」において具体化されている。

■ 科学技術イノベーション総合戦略2017 (2017年6月2日)

持続的な成長と地域社会の自律的な発展のために、エネルギー、資源、食料の安定的な確保するための、エネルギーバリューチェーンの最適化を実現するための重きを置くべき課題の一つとして、「**次世代自動車用モーター等に適用される高性能磁石に用いる希少元素を削減若しくは代替する技術を開発する。**」と謳われている。

■ グリーンイノベーション基金事業

2020年10月、我が国は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする目標を掲げた。この目標の実現のために実施されるグリーンイノベーション基金事業において、取り組むべき課題の一つとして、「**次世代蓄電池・次世代モーターの開発**」が掲げられている。

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆他事業との関係 (1)NEDO事業

| NEDO事業 | 研究開発項目 | 個別テーマ | 年次 | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発 | 1. 新規高性能磁石開発 | ナノ結晶Nd焼結磁石 | [Green Bar] 事業化 | | | | | | | | | | |
| | ①-1 Dyを使わないNd磁石 | NdFeB異方性HDDR磁石粉末 窒化鉄(α"-Fe16N2) | [Green Bar] 事業化 | | | | | | | | | | |
| | ①-2 Nd焼結磁石を超えるレアアースフリー新磁石の開発 | ナノコンポジット (1期) 省Nd、超Nd (2期) FeNi | [Green Bar] [Yellow Bar] | | | | | | | | | | |
| | ② 軟磁性材料開発 | 高Bsナノ結晶 | [Green Bar] 事業化 | | | | | | | | | | |
| 部素材の代替・使用量削減に資する技術開発・実証事業 (補正予算) | ③ 高効率モーターの開発 | モーター | [Green Bar] | | | | | | | | | | |
| | | 共通基盤 | [Green Bar] [Yellow Bar] | | | | | | | | | | |
| GI基金事業/次世代蓄電池・次世代モーターの開発 | 3. モーターシステム技術 | モーターの高速高効率化 (Dyフリー磁石使用) | [Red Bar] | | | | | | | | | | |

NEDOの部素材PJ,GI基金 (モーター) により、関連技術開発を推進

・新型コロナの世界的流行によるサプライチェーン分断リスクの顕在化

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆他事業との関係 (2)他省庁事業



1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆NEDOが関与する意義

■ 社会的必要性

- 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。
- 高効率モーターの性能は磁性材料に依存しており、高性能磁性材料の開発が鍵。
- ネオジム磁石を構成する主要成分の一つであるレアアースは、中国に生産を依存する状態にある。また、xEVの普及に伴い、生産量が不足する恐れがある。

■ 技術的難易度、民間企業単独での実施の困難性

- ネオジム磁石を凌駕する新規磁石開発の難易度は非常に高く、開発リスクが大きい。
- 革新的高性能磁石の開発、さらには、新規磁石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までを、一貫して民間企業単独で行うことは困難。



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

1. 事業の位置付け・必要性 (2) NEDOの事業としての妥当性

◆実施の効果 (費用対効果)

| | 中間評価時 | 現時点推算 |
|------------------------------------|----------------------------------|----------|
| 本プロジェクトの総費用 | 144億円 | |
| CO ₂ 排出量削減 (2030年想定) | CO ₂ 排出削減量 890万トン/年*1 | 969万トン/年 |
| | 電力使用料削減額 3,700億円/年*2 | 4193億円/年 |
| 市場創出効果 (2030年想定) | 約1,100億円/年*3 | 1121億円/年 |

*1：3種類のモーターの効率化による消費電力の削減量からCO₂削減量を算出

①ハイブリッド自動車/電気自動車用のモーター：137万トン/年

②家電（エアコン、冷蔵庫）用コンプレッサモーター：63万トン/年

③産業機器用モーター：692万トン/年

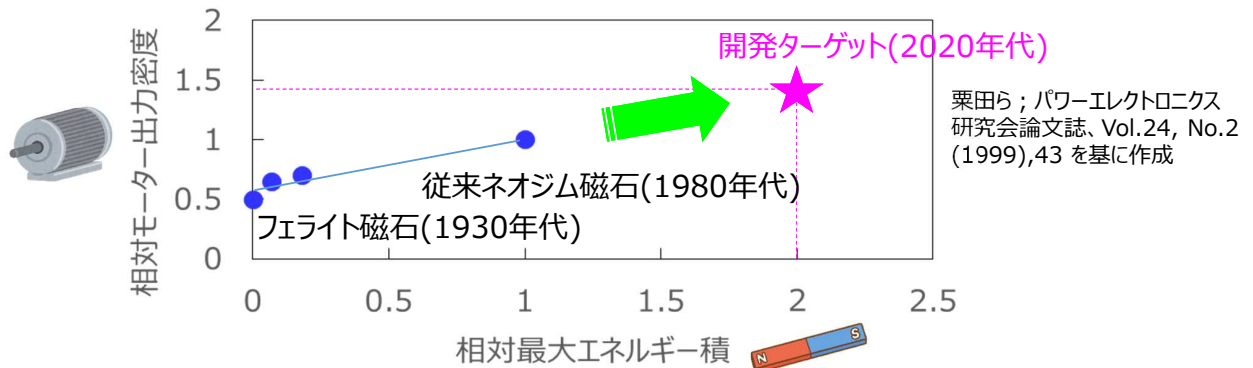
*2：CO₂排出削減量890万トン/年を算出する際に計算した産業用モーターの消費電力削減量を15円/kWhという換算値を用いて電力使用料削減額に換算した

*3：次世代自動車向け高効率モーター市場と産業用モーター向け高効率モーター市場の合計として算出

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

第2期（2017-2021）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（プリウス第三世代モーター）比で**40%エネルギー損失低減と40%小型化(パワー密度向上)**を実現する資源リスクに配慮した磁性材料とモーター設計技術の開発を目指す。



既存材料を使用し、モーターの設計改善のみでモーターの効率向上を図ることは難しい領域に到達しつつある

モーター設計の基盤技術向上と、従来の2倍性能の新磁石開発を目指し、あわせ技で高効率モーター開発目標(40%&40%)の達成を目指す

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

高効率モーター設計技術・新磁石開発の目途付け

| | 第1期 | | | | | 第2期 | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|--------|---|------|------|------|------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 予算額 (百万円) | 1,820 | 2,928 | 2,972 | 2,360 | 2,080 | 379 | 508 | 451 | 504 | 367 |
| ① 新規高性能磁石開発 | ①-1 ジスプロシウムフリーネオジム磁石の開発 ・ナノ結晶粒ネオジム焼結磁石開発 ・NdFeB異方性HDDR磁石粉末開発 | | | | | ①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発 ・窒化鉄ナノ粒子バルク体化技術の研究開発 ・ナノ複相組織制御磁石の研究開発 ・FeNi超格子磁石材料の研究開発 | | | | |
| | ② 軟磁性材料研究開発 ・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 ・磁石減磁評価試験技術の研究開発 ・新磁性材料のモーターへの適用技術の研究開発 ・可変磁力モーターの普遍的設計技術の開発 ・インバーターとモーターのトータルでの低損失化設計技術研究 | | | | |
| ④ 特許・技術動向調査、事業化のための特許戦略策定および共通基盤技術の開発 ・特許調査・技術動向調査 ・共通基盤技術の開発 | | | | | | | | | | |
| ★ 中間評価 | | | | | ★ 中間評価 | | | | | |

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆第2期の研究開発目標と根拠

| | | 最終目標 (2021年度末) | |
|--|--------------------------|--|---|
| アウトプット目標 | | 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。 | |
| 研究開発項目 | | 最終目標 (2021年度末) | 根拠 |
| ① 新規高性能磁石の開発 | ①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発 | 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50MGOe」を持つ磁石の開発。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%以上削減した磁石の開発。開発磁石を実装した試作モーターによる損失低減と小型化の検証。 | <ul style="list-style-type: none"> (BH)max最終目標を目指すことで、モーター損失40%削減に貢献できる。 希土類元素削減の最終目標を目指すことで、資源リスクやカーボンニュートラルへの貢献が期待できる。 |
| 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 | ④-1 特許調査・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の構築 | <ul style="list-style-type: none"> これまで蓄積したデータベースの活用手段を確保するため。 磁石化には、配向制御や組織制御技術が不可欠。 材料特性データに基づいてモーター効率を正確に評価する技術はモーター開発を加速するために必要。 |
| | ④-2 共通基盤技術の開発 | モーター実装を想定した評価技術(シミュレーションおよび実機評価) 磁石製造の配向制御や組織制御技術の開発ならびに磁気特性予測システムの開発、さらに高速・高精度な磁気特性評価技術の開発 | |

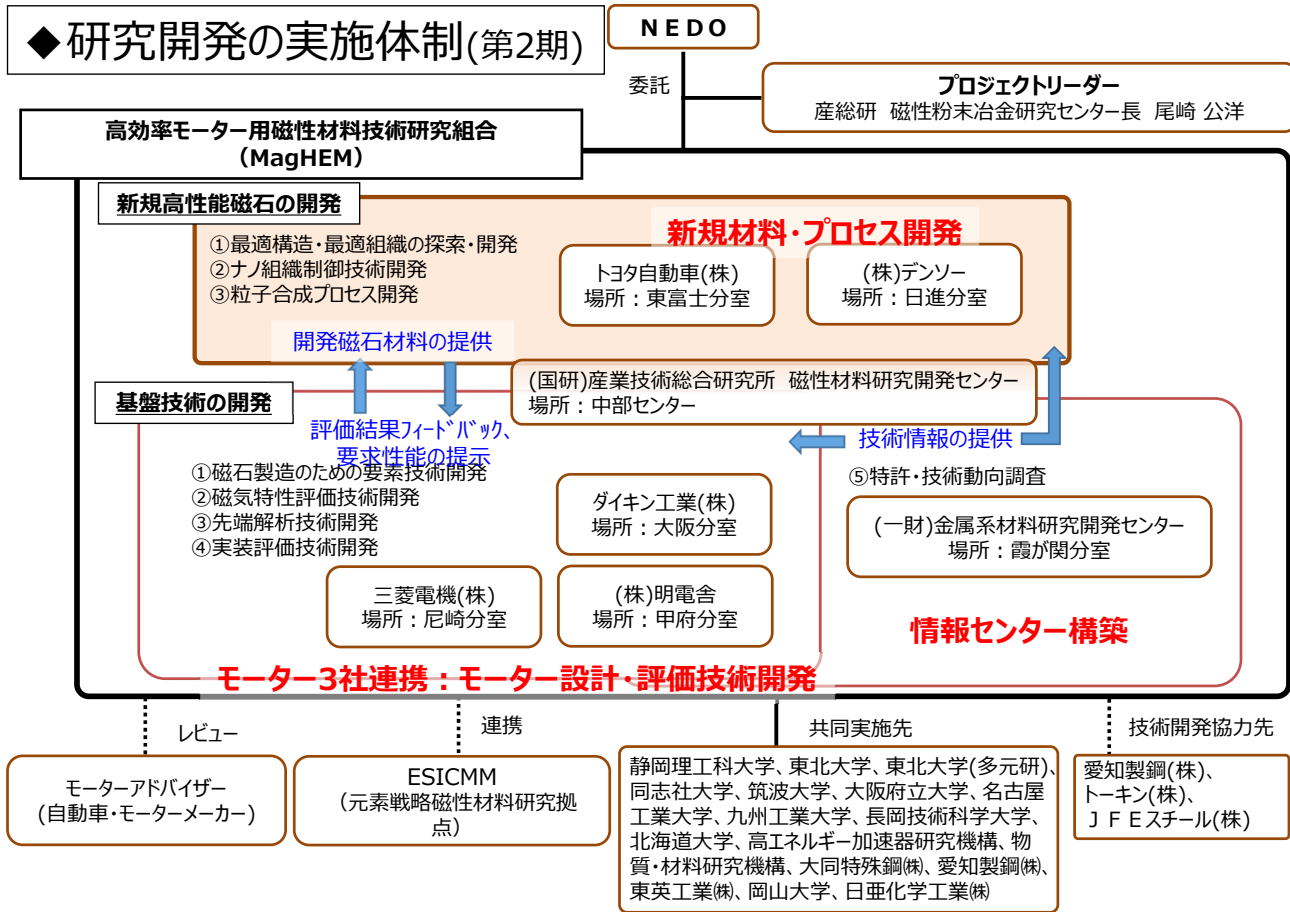
2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

(単位：百万円)

| 研究開発項目 | | 第一期 | | | | | 第二期 | | | | | 合計 |
|--|---------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|--------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | |
| | | ←METI→ | | →NEDO | | | | | | | | |
| ① 新規高性能磁石の開発 | 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 | 386 | 503 | 588 | 398 | 296 | - | - | - | - | - | 2,171 |
| | ①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発 | 636 | 1,092 | 1,176 | 618 | 608 | 212 | 237 | 190 | 181 | 191 | 5,142 |
| ②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発 | | 220 | 415 | 325 | 436 | 217 | - | - | - | - | - | 1,614 |
| ③高効率モーターの開発 | | 212 | 444 | 365 | 313 | 345 | - | - | - | - | - | 1,679 |
| 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 | ④-1 特許調査・技術動向調査・特許戦略策定支援 | 54 | 100 | 107 | 91 | 94 | 12 | 21 | 23 | 19 | 28 | 549 |
| | ④-2 共通基盤技術の開発 | 312 | 374 | 412 | 503 | 521 | 155 | 249 | 238 | 304 | 148 | 3,215 |
| 合計 | | 1,820 | 2,928 | 2,972 | 2,360 | 2,080 | 379 | 508 | 451 | 504 | 367 | 14,370 |

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性



2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

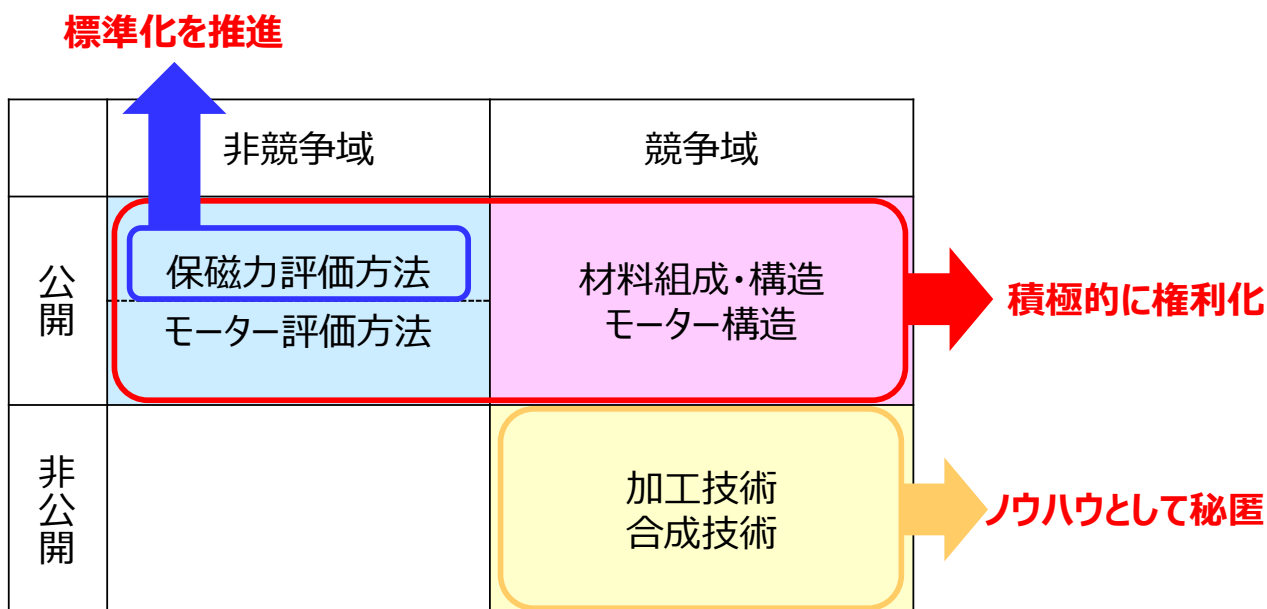
◆ 第三回中間評価結果への対応

| 指摘事項 | 対応 |
|---|--|
| 研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。 | 2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減(CO2排出量として890万t/年)と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時(2021年度)の目標を設定した(基本計画に記載済み)。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 目標達成、及び、効率的な研究開発実施のため、実施者間の連携は、更に密に行う必要がある。特に、実験とシミュレーションとの連携は、強化すべきである。 新磁石開発チームとモーター開発チームの間の更なる有機的連携による、成果の実用化の取組の加速を望む。 | 磁石開発とモーター開発のチーム連携によりプロジェクトで開発した磁石を実装したモーターを試作する。また、 モーター開発3社の連携によるシミュレーションに関し、プロジェクト終盤に向けて具体的な連携を強化した 。試作モーターの評価結果をフィードバックすることでシミュレーション精度の向上を図った。 |
| 特許調査や技術動向調査により権利関係や従来磁石との違いを明確にし、知財戦略を示していただきたい。 | 磁石開発と特許調査の担当分室間が連携し、知財確保戦略を検討している。今後、より一層連携を密にすることにより、既存特許の特徴を詳細に分析し、強力な知財確立を目指した。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 1-12系磁石にて最終目標の最大エネルギー積「180℃において50MGOe」達成は、かなり難しいが、1-12系の持つポテンシャルから、技術課題と解決に向けた指針を明らかにすることが、将来に向けて極めて重要である。 最終目標達成の可能性が高い超ネオジム磁石への注力だけでなく、1-12系磁石についても、ESICMM(元素戦略磁性材料戦略拠点)との連携強化等により、基礎に立ち返った検討の継続が望まれる。 | ESICMMとの連携を深め、1-12系磁石開発の保磁力発現機構を主とした技術課題を明確化し、得られた知見を広く磁石開発に適用することで開発を加速した。一方、「180℃において50MGOe」達成は、かなり難しい」との指摘に対して、高い目標を是としてそのまましたが、有識者の意見を考慮して、技術的な難度および目標の妥当性を再検証できた可能性はある。 |
| モーターシミュレーション技術については早い段階で実用化の可能性の見極めを行い、可能性の高いものについてはその方向での検討の強化が望まれる。 | モーターシミュレーションの実用化に向けて、必要性が高い項目を早期に見極め、重点的に検討した。 |
| 将来基盤技術となり得るようなテーマについては、基礎研究をバックアップする、きめ細やかなマネジメントが必要である。 | 必要に応じて、ESICMMとの連携や先導研究プログラムの活用等によりバックアップした。 |

2. 研究開発マネジメント（5）知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆知的財産権等に関する戦略

リバースエンジニアリングにより再現可能な内容については積極的に特許化し、プロセス、加工条件等特定困難な内容についてはノウハウとして秘匿する



3. 研究開発成果（1）研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況-1

| | | 最終目標 (2021年度末) | 成果 | 達成度 |
|--------------|------------------------|--|--|-----|
| アウトプット目標 | | 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。 | 開発した超Nd磁石(35MGOe@180℃)を使用して、IPMモーター・可変磁力モーター双方とも、エネルギー損失40%低減、40%小型化（パワー密度40%向上）を達成 | ◎ |
| 研究開発項目 | | 最終目標 (2021年度末) | 成果 | 達成度 |
| ① 新規高性能磁石の開発 | ①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発 | 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50MGOe」を持つ磁石の開発。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%以上削減した磁石の開発。開発磁石を実装した試作モーターによる損失低減と小型化の検証。 | <ul style="list-style-type: none"> ・超Nd磁石(ナノ複相組織制御磁石)を開発し、トップレベルの180℃において35MGOeまで到達。開発磁石の実装により試作モーターによる損失低減と小型化を検証した。加えて、複数の希土類-鉄系材料での可能性を確認 ・省Nd磁石(ナノ複相組織制御磁石)を開発し、Nd元素を50%削減しても従来磁石と同等の(BH)maxを達成した。磁石ユーザへの実装評価用の省Nd磁石の試作・提供実施中 ・希土類フリーFeNi超格子磁石を開発 | ○ |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

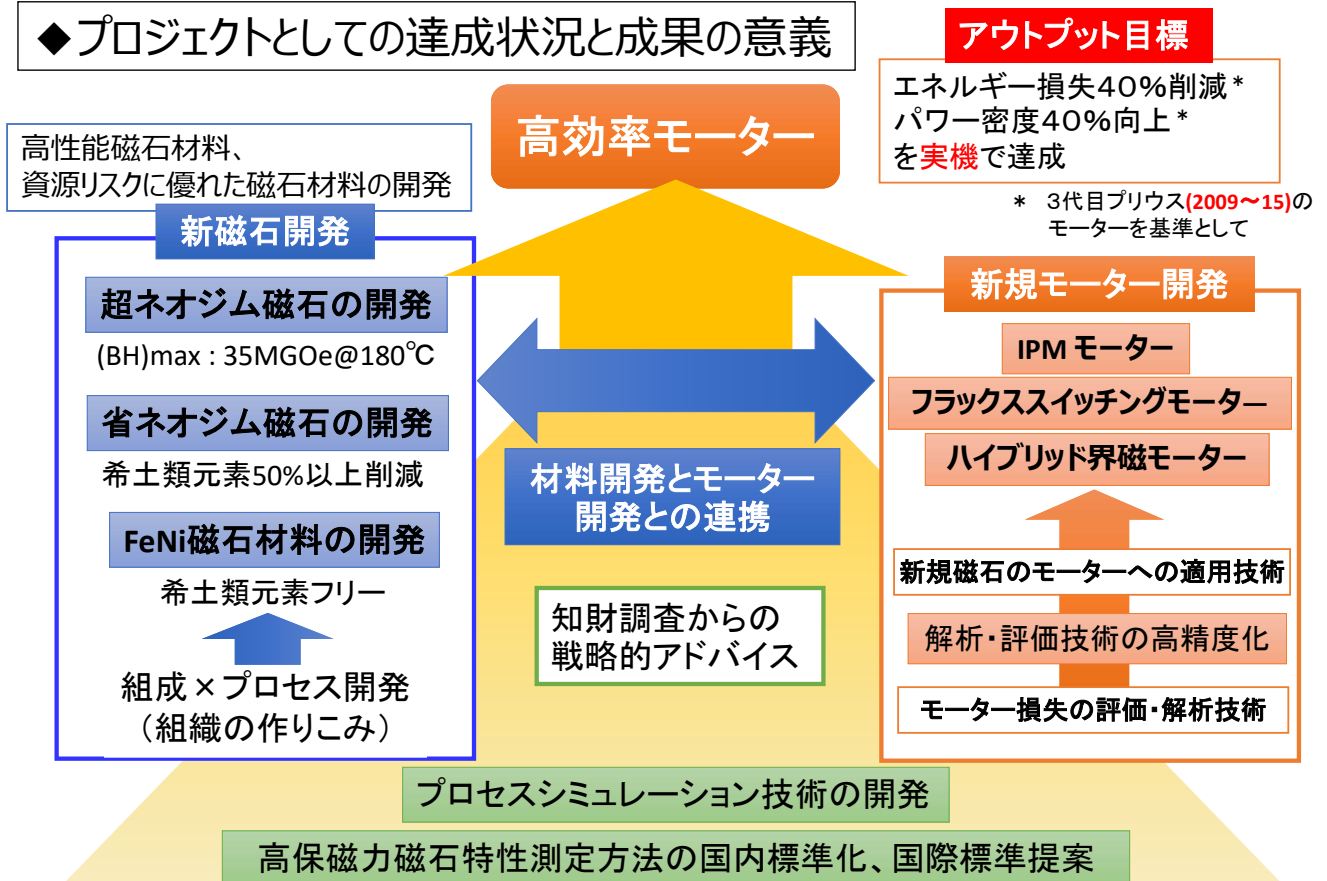
◆研究開発項目毎の目標と達成状況-2

| 研究開発項目 | | 最終目標 (2021年度末) | 成果 | 達成度 |
|--|--------------------------|--|--|-----|
| 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 | ④-1 特許調査・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の構築 | 磁性材料に関する情報センターを構築し運用を開始。 | ○ |
| | ④-2 共通基盤技術の開発 | モーター実装を想定した評価技術(シミュレーション)の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーションのみならず実機における技術を開発 ・新規磁石のモーターへの適用技術 ・モーター搭載時の減磁評価技術 ・モーター損失の分離評価技術 ・温度・応力印加時の材料特性評価技術 ・超ネオジム磁石を搭載したIPMモーター実機にて目標達成 | ◎ |
| | | 磁石製造の配向制御や組織制御技術の開発ならびに磁気特性予測システムの開発、さらに高速・高精度な磁気特性評価技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・計算と実験により配向制御技術を開発、また強加工による組織制御技術を開発 ・機械学習による熱間加工ネオジム磁石の特性予測の基本手法を構築 ・高温超電導VSMと開磁路シミュレーションによる評価技術を開発 | ○ |

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義



概要

| | | 最終更新日 | 2022年10月18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/PM（または担当者） | <p>経済産業省 製造産業局非鉄金属課 北岡康夫 産業戦略官 佐藤昌浩 課長補佐 電子・材料・ナノテクノロジー部</p> <p>飯塚薫 (2014年4月～2015年8月) 坂井数馬 (2014年4月～2016年4月) 江森芳博 (2014年7月～2016年3月) 佐光武文 (2015年9月～2016年4月)</p> <p>材料・ナノテクノロジー部</p> <p>坂井数馬 (2016年4月～2018年3月) 佐光武文 (PM) (2016年4月～2017年8月) 渡部敬介 (PM) (2016年4月～2019年3月) 幸田政文 (PM) (2017年11月～2019年10月) 横沢伊裕 (PM) (2019年11月～2021年12月) 平塚淳典 (2020年4月～2022年2月)</p> | | |
| 0. 事業の概要 | <p>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。</p> | | |
| 1. 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、1982年（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。</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> | | |
| 2. 研究開発マネジメントについて | | | |
| 事業の目標 | <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活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>2016年の第二回中間評価の評価結果を受け、さらに、モーターアドバイザーにヒアリングを実施することで小型化（パワー密度向上）の目標も掲げることとし、プロジェクト目標を「従来モーター（プリウス第三世代モーター）比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度向上）を実現する磁性材料の開発を目指す。」へ変更した。</p> <p>なお、2017年度より、国内外の情勢変化を受け、予算が大幅に減額となったため、2016年度で終了予定であった研究開発項目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、テーマ見直しを図る予定であった②次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発は終了し、また、2015～2016年度に研究開発項目④-（3）として実施した「新規高性能磁石材料の探索」において探索した新規高性能磁石材料に関する新規テーマの募集も取りやめた。また、モーターの実機開発も縮小し、磁性材料の評価・解析技術の開発、開発される磁石・開発された軟磁性材料の特性を生かすモーター設計技術（シミュレーション技術）の開発として④-（2）「基盤技術開発」に盛り込み、材料開発は新規高性能磁石開発に特化した。</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> | | |

| | |
|-------|--|
| 事業の目標 | <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 【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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <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立する。</p> <p>① - (II) 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。</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。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。</p> <p>【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7kOe」を持つ磁石の見通しを得ることを具体的指標とする。</p> <p>【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（パワー密度向上）の検証を行う。</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 【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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・超急冷粉末アトマイズ技術、熱処理 ・薄帯積層技術、ナノ結晶素材バルクコア熱処理技術 <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。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実証する。</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <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> <ul style="list-style-type: none"> ・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 |
|-------|--|

| | |
|-------|--|
| 事業の目標 | <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及び共通基盤技術の開発</p> <p>(1) 特許・技術動向調査戦略策定支援 【中間目標（2014年度末）】 磁石材料、軟磁性、モーター設計に関する先行特許調査・技術動向を行い、各事業者の研究開発項目①～③の磁性材料・モーター設計開発方針策定に反映させる。 【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」 「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。 【中間目標（2019年度末）】 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。 【最終目標（2021年度末）】 磁性材料に関する情報センターを構築する。</p> <p>(2) 共通基盤技術の開発 【中間目標（2014年度末）】 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）】 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。 【中間目標（2019年度末）】 ・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）】 ・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。</p> <p>(3) 新規高性能磁石材料の探索 【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> |
|-------|--|

| | | 第1期 | | | | | 第2期 | | | | |
|---------|---|--|--|---------------|------------|-----------------------|--|------------|---------------|------------|------------|
| | | 2012 fy | 2013 fy | 2014 fy | 2015 fy | 2016 fy | 2017 fy | 2018 fy | 2019 fy | 2020 fy | 2021 fy |
| 事業の計画内容 | 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・高保磁力を有する NdFeB 異方性 HDDR 磁石開発 | | | | | 目標をほぼ達成し、自社にて更なる 特性向上と実用化を検討。 Dy フリーネオジム磁石開発技術の 一部成果を①- (II)で活用。 | | | | |
| | ① - (II) 新規高性能磁石 開発 (*2) ネオジム焼結磁石を 超える新磁石の開発 | 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 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 | | | | | 研究項目①- (II) - (1) テーマ見直しにより中止 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 | | | | |
| | 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 | | | | | 目標を達成し、自社にて事業化を 検討。 | | | | |
| | ③ 高効率モーターの 開発 (*2) | 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) | | | | | テーマ見直しにより、基盤技術に 組み込み、評価、解析、シミュ レーション技術を開発。 | | | | |
| | 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 (*2) | 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 | | | | | 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 ・磁石製造の要素技術開発、 磁気特性評価技術開発、 先端解析技術開発 ・モーター実装環境下での 磁性材料評価・解析技術 ・新規磁石および共通基盤 技術のモーター実装評価 研究項目④- (3) テーマ見直しにより中止 | | | | |
| | 評価時期 | | | ★ 中間 評価 | | ★ 中間 評価 (*1) | | | ★ 中間 評価 | | |
| | | | METI 執行 | | | | | | | | |
| | | | *1. 第2回中間評価でテーマ、体制の絞込および目標の見直し を実施。 *2. 上記①-II, ④については、第2期へ移行し、③について は、最終目標をシミュレーションでの実現へ変更し、共通基盤 技術として④- (2)へ移行した。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、目標等を決定した。 | | | | | | | | |

| | 会計・勘定 | 2012 fy | 2013 fy | 2014 fy | 2015 fy | 2016 fy | 2017 fy | 2018 fy | 2019 fy | 2020 fy | 2021 fy |
|---|--|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額を記載) (単位:百万円) | 一般会計 | | | | | | | | | | |
| | 特別会計 (需給) | 1,820 | 2,928 | 2,972 | 2,360 | 2,080 | 379 | 508 | 451 | 504 | 367 |
| | 開発成果促進財源 | | | | | | | | | | |
| | 総 NEDO 負担額 | 1,820 | 2,928 | 2,972 | 2,360 | 2,080 | 379 | 508 | 451 | 504 | 367 |
| | (委託) | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 | 委託 |
| | 経産省担当原課 | 産業技術環境局 研究開発課産業技術プロジェクト推進室、製造産業局金属課金属技術室、自動車課 | | | | | | | | | |
| 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) | | | | | | | | | | |
| プロジェクトマネージャー | 横沢 伊裕 (材料・ナノテクノロジー部) | | | | | | | | | | |
| 開発体制 | 委託先(*3) (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その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 (略称 MagHEM) 参加：延べ 10 社 (現 5 社), 1 財団, 1 国研</p> <p>① 新規高性能磁石の開発 (2012 年度～2016 年度) (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) 共同実施：東北大学, 物質・材料研究機構 (2015～2016 年度) 研究項目①- (I) - (2) Dy フリー高 Br・高保磁力を有する 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、九州工業大学 (2016 年度)</p> <p>(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 (2012 年度～2016 年度) 株式会社 T&T イノベーションズ 共同実施：広島大学、住友電気工業株式会社 (2012～2014 年度)、東北大学 (2012～2014 年度)、秋田大学 (2012～2014 年度)、京都大学 (2012～2014 年度)、広島大学 (2012～2014 年度)、倉敷芸術科学大学 (2012～2014 年度) 研究項目①- (II) - (2) ナノ複相組織制御磁石の研究開発 (2012 年度～2021 年度) トヨタ自動車株式会社 共同実施：京都大学 (2012～2016 年度)、東北学院大学 (2012～2016 年度)、東北大学 (2012～2016 年度)、物質・材料研究機構 (2012～2018 年度)、静岡理工科大学 (2012～2019 年度)、高エネルギー加速器研究機構 (2012～2021 年度)、大同特殊鋼株式会社 (2020～2021 年度)</p> <p>研究項目①- (II) - (3) FeNi 超格子磁石材料の研究開発 (2012 年度～2021 年度) 株式会社デンソー 共同実施：東北大学, 同志社大学 (2015～2021 年度), 筑波大学 (2015～2021 年度), 高エネルギー加速器研究機構 (2016～2021 年度), 日亜化学工業株式会社 (2017～2018, 2020～2021 年度)</p> | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

| | | |
|-------------|---|--|
| <p>開発体制</p> | <p>委託先(*3) (助成事業の場合「助成先」とするなど適宜変更) (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)</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 (2012年度～2016年度) 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 (2015～2016年度)</p> <p>③ 高効率モーターの開発 (2012年度～2016年度) 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 (2015～2016年度) 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> <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及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 (2012年度～2021年度) (一般財団法人) 金属系材料研究開発センター 共同実施: 大分大学 (2012～2014年度) 研究項目④- (2) 共通基盤技術の開発 (2012～2021年度) (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 (2012～2016, 2018～2021年度), 名古屋大学 (2012～2017年度), ファインセラミックスセンター (2012～2016年度), 大阪大学 (2015～2016年度), 京都大学 (2015～2016年度), 広島大学 (2015～2016年度), 東京工業大 (2015～2016年度), 倉敷芸術科学大学 (2015～2016年度), 秋田大学 (2015～2016年度), 高エネルギー加速器研究機構 (2016～2020年度), 物質・材料研究機構 (2016～2020年度), 静岡理工科大学 (2017～2021年度), 東英工業株式会社 (2017～2021年度), 長岡技術科学大学 (2018～2021年度) ダイキン工業株式会社 (2017～2021年度) 共同実施: 大阪府立大学 (2017～2021年度), 名古屋工業大学 (2017～2021年度), 愛知製鋼株式会社 (2017～2021年度) 三菱電機株式会社 (2017～2021年度) 共同実施: 同志社大学 (2017～2021年度), 九州工業大学 (2017～2021年度) 株式会社明電舎 (2017～2021年度) 共同実施先: 北海道大学 (2018～2019年度), 岡山大学 (2020～2021年度) 研究項目④- (3) 新規高性能磁石材料の探索 (2015年度～2016年度) 先導研究委託先: 産業技術総合研究所、東北大学、長崎大学、岐阜工業高等専門校</p> |
| | | <p>*3. 2019年度から管理法人のMagHEMを委託先代表としてNEDOとの契約を一本化し、マネジメント管理の効率化を実施。</p> |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|------------------|--|------|----|--|---------------------------------------|--|-----------------------------|--|---|------------------|--|------|----|--|------------------------------|---|--|--|--|------------------------------------|---|---|---|-----------------------------|---|------------------|--|------|----|--|---|
| <p>情勢変化への対応</p> | <p>2012～2013年度 本PJは、2012年度に経済産業省直執行として開始された。3年目となる2014年度からNEDOに移管された。</p> <p>2017～2021年度 2016年度に実施した第二回中間評価結果を受け、「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。」から、「従来モーター比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度向上）を実現する磁性材料の開発を目指す。」へ、プロジェクトの目標を変更した。</p> <p>また、予算減額に伴い、終了するテーマに代わる新たな材料開発テーマの募集を取りやめ、新規高性能磁石開発に特化した。モーターの実機開発を縮小し、代わって、磁性材料の評価・解析技術の開発・開発される磁石・開発された軟磁性材料の特性を生かすモーター設計技術（シミュレーション技術）の開発を基盤技術開発に盛り込んだ。</p> <p>モーター設計に関する技術開発が当初の想定以上の進捗を見せたため、新規、高性能磁石を搭載したモーターの試作を通じた解析、検証へ最終目標の追加を実施。結果的に、従来モーター比で40%エネルギー損失低減と40%小型化（パワー密度向上）を実現する高効率モーターの試作機を複数手段で実現した。</p> <p>本プロジェクトの狙いの一つである、資源供給リスクのあるレアアースの使用低減に関して、目標の明確化を図るために、有識者の意見と研究進捗状況を元に最終目標を次のように数値化した。「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。」</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>中間評価結果への対応</p> | <table border="1"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="392 813 919 846">2014年度中間評価結果への対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 846 919 880">指摘事項</td> <td data-bbox="919 846 1441 880">対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 880 919 1010">プロジェクト全体の最終目標「モーター損失25%低減」を達成するためには、磁性材料、モーター設計及び制御システム間の役割分担及び連携が必要である。</td> <td data-bbox="919 880 1441 1010">モーターセンターと磁性材料開発担当者間で連携を密にするマネジメントを行う。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1010 919 1070">モーター設計に関しては新しい材料として望む特性をさらに明確にする必要がある。</td> <td data-bbox="919 1010 1441 1070">モーターの仕様を明確にし、必要な材料特性を提示させる。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1070 919 1167">希土類元素を使わない新磁石の開発はハードルが高い。添加元素などを使った新しい展開も検討が必要と思われる。</td> <td data-bbox="919 1070 1441 1167">添加元素等による特性向上を選択肢の一つとして実施するとともに、希土類フリーに拘らない材料の探索を開始する。</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="392 1167 919 1200">2016年度中間評価結果への対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1200 919 1234">指摘事項</td> <td data-bbox="919 1200 1441 1234">対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1234 919 1330">プロジェクト全体の目標として掲げているモーターの損失削減目標は、見直しが必要である。</td> <td data-bbox="919 1234 1441 1330">第1期目標の25%損失削減より高い40%削減に見直した。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1330 919 1426">材料研究とモーター研究の連携が重要であり、広範に戦略を討議できる場や組織を作る必要があると考えられる。</td> <td data-bbox="919 1330 1441 1426">引き続き合宿等を通じて連携を強化するとともに、開発磁石のモーター実装に向けた検討を開始した。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1426 919 1523">優れた成果が得られているテーマに関しては、重点的に研究をサポートして頂き、基礎的課題の研究にも取り組んで欲しい。</td> <td data-bbox="919 1426 1441 1523">新規高性能磁石に予算を重点配分し、その中で保磁力発現機構などの基礎的課題等に取り組んでいく。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1523 919 1619">ベンチマークを多方面から行いフィードバックをかけることが重要である。</td> <td data-bbox="919 1523 1441 1619">開発項目の技術情報収集、トレンド整理を行い、レアアースフリーから省レアアース（Dy, Nd）に方針を変更した。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1619 919 1715">自動車メーカーの意見や情報を積極的に取り込み、実用化に向け課題やマイルストーンの検討をする必要がある。</td> <td data-bbox="919 1619 1441 1715">モーターアドバイザーからのヒアリング、参画会社との議論により、40%小型化（パワー密度40%向上）を設定した。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1715 919 1812">各企業の垣根を越えた技術交流や情報交換を行って欲しい。</td> <td data-bbox="919 1715 1441 1812">合宿や技術委員会等で、材料とモーターの連携を強化すると共に、第1期で卒業する企業にも情報交換や材料提供で協力いただく。</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="392 1812 919 1845">2019年度中間評価結果への対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1845 919 1879">指摘事項</td> <td data-bbox="919 1845 1441 1879">対応</td> </tr> <tr> <td data-bbox="392 1879 919 2056">研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。</td> <td data-bbox="919 1879 1441 2056">2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減（CO2排出量として890万t/年）と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時（2021年度）の目標を設定した（基本計画に記載済み）。</td> </tr> </table> | | 2014年度中間評価結果への対応 | | 指摘事項 | 対応 | プロジェクト全体の最終目標「モーター損失25%低減」を達成するためには、磁性材料、モーター設計及び制御システム間の役割分担及び連携が必要である。 | モーターセンターと磁性材料開発担当者間で連携を密にするマネジメントを行う。 | モーター設計に関しては新しい材料として望む特性をさらに明確にする必要がある。 | モーターの仕様を明確にし、必要な材料特性を提示させる。 | 希土類元素を使わない新磁石の開発はハードルが高い。添加元素などを使った新しい展開も検討が必要と思われる。 | 添加元素等による特性向上を選択肢の一つとして実施するとともに、希土類フリーに拘らない材料の探索を開始する。 | 2016年度中間評価結果への対応 | | 指摘事項 | 対応 | プロジェクト全体の目標として掲げているモーターの損失削減目標は、見直しが必要である。 | 第1期目標の25%損失削減より高い40%削減に見直した。 | 材料研究とモーター研究の連携が重要であり、広範に戦略を討議できる場や組織を作る必要があると考えられる。 | 引き続き合宿等を通じて連携を強化するとともに、開発磁石のモーター実装に向けた検討を開始した。 | 優れた成果が得られているテーマに関しては、重点的に研究をサポートして頂き、基礎的課題の研究にも取り組んで欲しい。 | 新規高性能磁石に予算を重点配分し、その中で保磁力発現機構などの基礎的課題等に取り組んでいく。 | ベンチマークを多方面から行いフィードバックをかけることが重要である。 | 開発項目の技術情報収集、トレンド整理を行い、レアアースフリーから省レアアース（Dy, Nd）に方針を変更した。 | 自動車メーカーの意見や情報を積極的に取り込み、実用化に向け課題やマイルストーンの検討をする必要がある。 | モーターアドバイザーからのヒアリング、参画会社との議論により、40%小型化（パワー密度40%向上）を設定した。 | 各企業の垣根を越えた技術交流や情報交換を行って欲しい。 | 合宿や技術委員会等で、材料とモーターの連携を強化すると共に、第1期で卒業する企業にも情報交換や材料提供で協力いただく。 | 2019年度中間評価結果への対応 | | 指摘事項 | 対応 | 研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。 | 2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減（CO2排出量として890万t/年）と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時（2021年度）の目標を設定した（基本計画に記載済み）。 |
| 2014年度中間評価結果への対応 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 指摘事項 | 対応 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| プロジェクト全体の最終目標「モーター損失25%低減」を達成するためには、磁性材料、モーター設計及び制御システム間の役割分担及び連携が必要である。 | モーターセンターと磁性材料開発担当者間で連携を密にするマネジメントを行う。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| モーター設計に関しては新しい材料として望む特性をさらに明確にする必要がある。 | モーターの仕様を明確にし、必要な材料特性を提示させる。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 希土類元素を使わない新磁石の開発はハードルが高い。添加元素などを使った新しい展開も検討が必要と思われる。 | 添加元素等による特性向上を選択肢の一つとして実施するとともに、希土類フリーに拘らない材料の探索を開始する。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2016年度中間評価結果への対応 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 指摘事項 | 対応 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| プロジェクト全体の目標として掲げているモーターの損失削減目標は、見直しが必要である。 | 第1期目標の25%損失削減より高い40%削減に見直した。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 材料研究とモーター研究の連携が重要であり、広範に戦略を討議できる場や組織を作る必要があると考えられる。 | 引き続き合宿等を通じて連携を強化するとともに、開発磁石のモーター実装に向けた検討を開始した。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 優れた成果が得られているテーマに関しては、重点的に研究をサポートして頂き、基礎的課題の研究にも取り組んで欲しい。 | 新規高性能磁石に予算を重点配分し、その中で保磁力発現機構などの基礎的課題等に取り組んでいく。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ベンチマークを多方面から行いフィードバックをかけることが重要である。 | 開発項目の技術情報収集、トレンド整理を行い、レアアースフリーから省レアアース（Dy, Nd）に方針を変更した。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 自動車メーカーの意見や情報を積極的に取り込み、実用化に向け課題やマイルストーンの検討をする必要がある。 | モーターアドバイザーからのヒアリング、参画会社との議論により、40%小型化（パワー密度40%向上）を設定した。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 各企業の垣根を越えた技術交流や情報交換を行って欲しい。 | 合宿や技術委員会等で、材料とモーターの連携を強化すると共に、第1期で卒業する企業にも情報交換や材料提供で協力いただく。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2019年度中間評価結果への対応 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 指摘事項 | 対応 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 研究開発目標の数値は明確に設定されているが、その根拠が明確に示されていない。 | 2030年における、モーター由来のエネルギー消費の大幅削減（CO2排出量として890万t/年）と、資源リスクに配慮した持続可能な産業競争力の強化を目指し、本プロジェクト終了時（2021年度）の目標を設定した（基本計画に記載済み）。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|---------------|--|--|
| 中間評価結果への対応 | <p>目標達成及び効率的な研究開発実施のため、実施者間の連携は更に密に行う必要がある。特に、実験とシミュレーションとの連携は、強化すべきである。</p> <p>新磁石開発チームとモーター開発チームの間の更なる有機的連携による、成果の実用化の取組の加速を望む。</p> | <p>磁石開発とモーター開発のチーム連携によりプロジェクトで開発した磁石を実装したモーターを試作する。また、モーター開発3社の連携によるシミュレーションに関し、プロジェクト終盤に向けて具体的な連携を強化した。試作モーターの評価結果をフィードバックすることでシミュレーション精度の向上を図った。</p> |
| | <p>特許調査や技術動向調査により権利関係や従来磁石との違いを明確にし、知財戦略を示していただきたい。</p> | <p>磁石開発と特許調査の担当分室間が連携し、知財確保戦略を検討している。今後、より一層連携を密にすることにより、既存特許の特徴を詳細に分析し、強力な知財確立を目指した。</p> |
| | <p>1-12系磁石にて最終目標の最大エネルギー積「180°Cにおいて50MG0e」達成は、かなり難しいが、1-12系の持つポテンシャルから、技術課題と解決に向けた指針を明らかにすることが、将来に向けて極めて重要である。</p> <p>最終目標達成の可能性が高い超ネオジム磁石への注力だけでなく、1-12系磁石についても、ESICMM（元素戦略磁性材料戦略拠点）との連携強化等により、基礎に立ち返った検討の継続が望まれる。</p> | <p>ESICMMとの連携を深め、1-12系磁石開発の保磁力発現機構を主とした技術課題を明確化し、得られた知見を広く磁石開発に適用することで開発を加速した。</p> <p>一方、“「180°Cにおいて50MG0e」達成は、かなり難しい”との指摘に対して、高い目標を是としてそのままとしたが、有識者の意見を考慮して、技術的な難度および目標の妥当性を再検証できた可能性はある。</p> |
| | <p>モーターシミュレーション技術については早い段階で実用化の可能性の見極めを行い、可能性の高いものについてはその方向での検討の強化が望まれる。</p> | <p>モーターシミュレーションの実用化に向けて、必要性が高い項目を早期に見極め、重点的に検討した。</p> |
| | <p>将来基盤技術となり得るようなテーマについては、基礎研究をバックアップする、きめ細やかなマネジメントが必要である。</p> | <p>必要に応じて、ESICMMとの連携や先導研究プログラムの活用等によりバックアップした。</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 |
| | 中間評価 | 2019年度 中間評価実施 |
| | 事後評価 | 2022年度 事後評価実施予定 |
| 3. 研究開発成果について | <p>2017年度にテーマの見直し、改編を実施したため、成果を第一期（2012～2016年度）、第二期（2017～2019年度）、第二期最終（2020～2021年度）に分けて記載する。</p> <p>【第1期（2012～2016年度）】</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）</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°C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）</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>3. 研究開発成果について</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&Tイノベーションズ）</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>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）</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 （株式会社デンソー）</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（5kOe）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 （NECトーキン株式会社、JFEスチール株式会社）</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 （ダイキン工業株式会社）</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） （三菱電機株式会社）</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>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>【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>3. 研究開発成果について</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>【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」 (先導研究委託先: 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)</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> <p>【第 2 期】(2017~2019 年度)</p> <p>研究開発項目① 新規高性能磁石の開発</p> <p>【開発成果】評価 (△) (2019 年度末達成見込み) 研究開発項目①- 2- 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)</p> <p>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) について、実験結果を元に機械学習を行い物性に対する結晶構造や組成の寄与度を明らかにすることで、磁気物性を最適化し、さらに、プロセスを検討し、磁石化に向けた取り組みを実施した。具体的には、低融点合金を活用した界面制御などにより、焼結磁石相当の結晶粒径を有する粉末で保磁力発現することを確認した。また、軽希土類活用を含むナノ複相組織制御磁石の高特性化に向けたプロセスを検討し、磁石粉末のバルク化などの要素技術を確立するとともに、目的に応じて Nd 含有量を 20~50% 低減できる省 Nd 耐熱磁石の研究に目途を付けた。</p> <p>研究開発項目①- 2- 3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発 (株式会社デンソー)</p> <p>窒化・脱窒素法により合成に成功した FeNi 超格子粉末の磁気特性向上に取り組み、合成条件を改良することで、FeNi 超格子の高純度化に成功し、保磁力の向上を確認した。さらに、FeNi 超格子磁粉の保磁力向上を狙い、磁粉粒子内のナノ構造の改善に取り組んだ。合成条件を変化させることで、従来よりも高い規則性を持った FeNi 超格子磁粉の合成に成功し、保磁力の改善が確認された。量産を想定した磁粉合成プロセスの開発を実施した。低コスト原材料の課題抽出を行なった。粒内の不純物が超格子の磁気特性に悪影響を及ぼすことを明らかにした。</p> <p>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 (一般財団法人金属系材料研究開発センター)</p> <p>【開発成果】評価 (○) 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。平成 28 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、国内の永久磁石モーターの特許調査を行った。国内学会、国際会議などに参加して関連分野の発表動向・技術動向を調査し、その情報を共有化した。さらに、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、磁石市場動向についての情報収集を行った。</p> <p>研究開発項目④- 2 共通基盤技術の開発</p> <p>【開発成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。評価 (△) (2019 年度末達成見込み) ・磁気特性予測システムの構築に目処を付ける。評価 (○) ・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。(◎) <p>(国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>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り検証した。加えて、粒子の破壊挙動の計算シミュレーションと実験による検証を行った。急冷凝固組織ならびに強加工による組織の異方化について検証を行った。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と標準化に向けた取り組みを行った。さらに、磁気特性予測システムの構築を目指した基盤研究を進めた。</p> |
| | <p>S-10</p> |

| | |
|---|---|
| <p>3. 研究開発成果について</p> | <p style="text-align: right;">(ダイキン工業株式会社)</p> <p>モーター実装時に求められる新規磁石材料への目標値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し、対策のための磁石材料の各種物性値の取得を行った。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、開発した分析評価装置を用い、磁石の磁気特性が軟磁性材料の損失、及びインバータに及ぼす影響を分析し、課題を抽出した。磁石材料の磁気特性、物理特性（磁石の熱伝導率、電気抵抗、密度）を大きく変化させたときの減磁解析検討、及び、減磁分布の簡易測定手法の課題解決案検討を行った。また、磁石の磁気特性を変更した際の局所的なモーター損失解析の検証を行い、IPM モーター及び可変磁力モーターにおいては、新規磁石材料の性能を生かすための構造設計検討を実施し、解析において目標達成の目処を得た。さらに、非線形磁気特性減磁曲線を持つ磁石を実装したモーターの解析を行い、課題抽出を行った。</p> <p style="text-align: right;">(三菱電機株式会社)</p> <p>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永久磁石の結晶状態の分析評価を行うとともに、リアルタイムに減磁領域の観察を行い、磁気特性評価と磁区変化を検証した。また、モーター実使用時を想定した永久磁石の渦電流損失の測定と解析を行い、永久磁石の損失評価・解析方法の高精度化と、新材料のモーター適用に向けて、モーター損失解析精度向上のための要素検討を行った。</p> <p style="text-align: right;">(株式会社明電舎)</p> <p>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、モーター損失の分離・評価装置を製作した。本装置の機能および動作検証として、ステータコア焼き嵌め状態の模擬機構の機能検証と高速回転時の機械損測定を実施した。また高効率モーターの検討では、永久磁石式モーターの高効率範囲を拡大するため可変磁束モーターに着目し、概略検討にて構想の有効性を確認した。</p> |
| | <p>【第2期最終】(2020～2021年度)</p> |
| | <p>研究開発項目① 新規高性能磁石の開発 ①-2 ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発 【開発成果】評価 (○)</p> |
| | <p>研究開発項目①-2-2 ナノ複相組織制御磁石の研究開発</p> <p style="text-align: right;">(トヨタ自動車株式会社)</p> <p>シェルにNdを濃化させ、従来磁石よりもNd元素効率を飛躍的に向上させたコアシェル構造化プロセスを新規開発した。そのプロセスで創製された省Nd磁石により、Ndを50%以上削減しつつ、社会実装可能なレベルの磁石の開発に成功した。 1-12系磁石のCo添加の知見をNdFeB磁石にも引継ぎ、Co添加による高温磁化の向上を達成し、180℃の(BH)maxを1.4倍に高める超Nd磁石の開発にも成功した。</p> |
| | <p>研究開発項目①-2-3 FeNi 超格子磁石材料の研究開発</p> <p style="text-align: right;">(株式会社デンソー)</p> <p>窒化・脱窒素法の深化により、目標性能を有する単結晶FeNi超格子粒子の合成に成功した。大量合成を阻害するメカニズムを明らかにし、材料の量産指針を獲得した。FeNi超格子磁石は優れた耐熱性を有することを確認、高温環境下での使用が想定されるモーター用の磁石として優位性を示した。</p> <p>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</p> <p>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</p> <p style="text-align: right;">(一般財団法人金属系材料研究開発センター)</p> |
| <p>【開発成果】評価 (○)</p> <p>本事業の開発が、従来のネオジム磁石を超える革新的な高性能磁石の開発と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低損失化・小型化に必要な技術に特化されることに対応して、第一期に引き続き「磁石材料」「高効率モーター」「軟磁性材料」の3分野について、高性能磁石材料や高効率モーターなどを中心に、焦点を絞った特許・技術動向の調査を実施した。さらに、本プロジェクトのバックグラウンド情報として、バリューチェーンの上流側と下流側に相当する、磁石市場動向、希土類資源動向についての情報収集を行った。収集し分析したこれら特許・技術動向情報は、霞が関分室短信、霞が関分室報告書、技術動向分析会議などを通してプロジェクト参加者及び関係者と共有化を図るとともに、講演発表、JRCM ニュースなどを媒体とした論文発表などを通して公開に努めた。</p> | |

| | | |
|-------------------|--|------------------------------|
| 3. 研究開発成果 について | <p>研究開発項目④-2 共通基盤技術の開発</p> <p>【開発成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・磁石製造の配向制御、組織制御技術を開発する。評価 (○) ・磁気特性予測システムを開発する。評価 (○) ・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。(◎) <p style="text-align: right;">(国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>共通基盤技術開発として粉末の粉碎や不規則形状粒子の充填過程などプロセスシミュレーション技術の開発、XRD 測定とシミュレーション技術を融合させたサブミクロメートルレベルの配向分布測定手法の開発、また、FeNi 微粒子の窒化過程の解明および高磁化磁石材料の開発に取り組んだ。さらに、高保磁力測定技術の開発を行い、高保磁力磁石の国際標準化に向けた取り組みを行った。</p> <p style="text-align: right;">(ダイキン工業株式会社)</p> <p>開発した減磁評価手法により、解析には表れない減磁の現象として、金型接触面の影響を定量化し、保磁力0の層を一定厚み入力することで精度よく減磁率を求めることができるようになった。また、開発した局所的鉄損分析手法にて明らかにした低損失でモーターを駆動できるインバータ制御パターンを、大阪府立大学との共同研究で開発したモーターに適用し効果を定量的に評価した。また、IPM モーターにおいては、東富士分室にて開発した磁石を搭載した試作機において、実測した結果、市街地走行評価点における損失は、損失目標 40%削減を達成した。また、保磁力不足時の不可逆減磁を抑制できる構造を見出した。可変磁力モーターにおいては、目標最大トルク達成と低・中速軽負荷市街地走行評価点での効率向上を評価指標とした、最適 L/D (固定子コア積厚/外径)比採用の磁石内周配置型ハイブリッド界磁モーターの設計試作機において、低・中速軽負荷市街地走行評価点においてモーター損失 45%以上の削減を達成、高速道路走行評価点においても 20%削減を実現した。さらに、非線形磁気特性(減磁曲線)を持つ磁石を実装したモーターにおいて、減磁時のリコイル透磁率を変えて解析を行い、減磁解析結果に差が出ることを明らかにした。</p> <p style="text-align: right;">(三菱電機株式会社)</p> <p>永久磁石材料の X 線回折評価を応力条件下で実施した。その結果、磁石種によって磁石の応力の影響が異なることがわかった。また、応力耐力の高いネオジム磁石を製造するためには、粒界相を厚くすること、および Nd リッチ相の割合を増やすことで効果があると考えられた。応力印加機構を追加した VSM 装置を製作することに成功した。その結果、熱と応力の複合環境下における磁石減磁の測定に初めて成功した。</p> <p>Kerr 効果顕微鏡を用いた磁区構造の観察システムを構築し、熱と応力の複合環境下における磁石磁区構造変化の統計的データの取得に成功した。その結果、減磁メカニズムに関する知見を得た。</p> <p>磁石表面の磁界ベクトルを測定し、保磁力と表面磁束の平均値が直線関係を示すことがわかった。</p> <p>永久磁石の導電率の温度依存性を測定するとともに、磁石のアスペクト比を様々変化させた場合における磁石の交流損失を定量的に評価した。その結果、磁石の交流損失は磁束密度の大きさに比例していることを実験的に確認した。さらに、着磁率の違いにおける磁石の交流損失についても調査し、着磁率の増加とともに磁石の交流損失が増加することを確認した。</p> <p>軟磁性材の薄帯とパルク化品の応力依存性を比較し、パルク化による初期応力が 10~20MPa 印加されていることを実験的に明らかにした。また、モーター状態で応力の印加が直接可能な装置を開発し、モーター特性の応力依存性を定量的に示した。</p> <p style="text-align: right;">(株式会社明電舎)</p> <p>モーター損失の分離測定装置と評価手法を構築し、モーターの損失を機械損、風損、ステータ鉄損に分離し評価を行った。また、可変磁束性能を有するハイブリッド界磁モーターを設計し、開発磁石との組み合わせにより、高効率効果および高パワー密度化効果を確認した。</p> | |
| | 論文 | 99 (72) 件 |
| | 研究発表・講演 | 598 (291) 件 |
| | 受賞実績 | 13 (11) 件 |
| | 成果普及の努力(報道発表・展示会等) | 39 (16) 件 |
| | 特許 | 202 (128) 件 うち国際出願 94 (73) 件 |
| | <p>()前の数値は全事業期間(2012~2021年度)の件数、()内の数値は第2期(2017~2021年度)の件数を示す。また事業期間後(2022年3月1日~6月14日)の件数を加算している。</p> | |

| | | |
|---------------------------------|---|---|
| <p>4. 成果の実用化に向けた取組及び見直しについて</p> | <p>本プロジェクトでは成果の実用化について、「当該研究開発に係る試作品、シミュレーション技術、解析技術などの社会的利用(顧客への提供等)が開始されること」と位置づけている。さらに、「当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献すること」を目指した。</p> <p>磁石材料開発、モーター設計評価技術開発(シミュレーション及び実機)を集中的かつ効率的に行うため同時並行した。高性能磁石特性の目標値をモーターシミュレーションに適用して高効率化への可能性を示し、さらに実機試作を行い、効果を検証した。磁石化の見込まれる関連領域については、実用化を想定した知財調査を基にした戦略的な知財確保(材料特性を生かしたモーター設計)を目指し、材料開発、モーターシミュレーションならびにモーター試作による確認、知財確保を一体的に進める取り組みを行い、早期実用化を推進した。また、開発した磁石は、磁気特性に応じた実用化、モーター搭載を図り、様々な業種へ種々の試作品を提供して社会的利用を推進した。</p> <p>開発した評価技術の標準化委員会を設置して、国内ステークホルダーの意見を取り入れるとともに、国外の標準化委員との意見交換も行き、我が国の産業競争力強化と国際市場活性化に貢献している。国内標準化(JIS)と国際技術報告書(TR)の発行を完了し、国際標準化(IS)発行見込み(2025年)である。</p> <p>希土類元素を取り巻く状況と、次世代自動車の世界的な市場規模の拡大について、各調査機関の予測を基に将来の需要予測を行い、早期実用化を図るべき部分を明らかにしてきている。</p> | |
| <p>5. 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 改訂 (2014年11月に実施した中間評価指摘事項を反映)</p> |
| | <p>変更履歴</p> | <p>2017年2月 改訂 (第2期開始に伴う見直し)</p> |
| | <p>変更履歴</p> | <p>2017年9月 改訂 (PMの変更に伴う見直し)</p> |
| | <p>変更履歴</p> | <p>2021年7月 改訂 (社会情勢、有識者意見、プロジェクト進捗状況などを考慮した見直し)</p> |