

TODAY

大学における構造用金属材料研究を取り巻く情勢



京都大学大学院 工学研究科
教授 辻 伸泰

本ニュースレターの読者の多くは、大学あるいは大学院を卒業・修了されているものと思います。しかしながら、大学にお勤めの方でなければ、卒業後の日本の大学現場、特に工学部を含む理系の研究室の現状にそれほど詳しいわけではないと拝察します。私が1994年に博士の学位を取得し、大阪大学に助手として勤務し始めてから現在に至る20年弱は、大学、特に国立大学にとっては激動の時代でした。そうした時代を大学人として過ごしてきた経験を踏まえ、本稿では、大学の現状と大学における構造用金属材料研究を取り巻く情勢を、できるだけ客観的にお伝えできればと思います。

私は、鉄鋼材料の組織制御に関する研究室で学部・修士・博士の時代を過ごし、その後も鉄鋼・非鉄両材料の組織制御と力学特性に関する研究を一貫して行なっております。学生時代に所属していた京都大学の学科名・専攻名は、学部は金属系学科、大学院は金属加工学専攻・冶金学専攻でした。このように、現在は材料工学専攻やマテリアル工学専攻などと称している大学の学科・専攻の多くは、冶金・金属学をルーツとするものであり、多くの主要大学では、昭和40年代の高度成長期に学科を構成する研究室の数（すなわち学生定員や教員定員）が倍増したという、今では考えられない状況を経ていました。我が国が工業立国を目指す上で、如何に金属を中心とした素材産業とそのテクノロジーが重視されていたかを物語るものだと思います。いわゆる「右肩上がり」の時代です。

我が国における昭和・平成バブル景気は、1986年12月から1991年2月までとされているようですが、ちょうどバブルの終焉した時期から1990年代半ばにかけて、日本の主要国立大学では大学院重

点化が行われました。これは、従来の大学における教育研究組織が学部を基礎とし大学院は学部附属するとされてきたものを、大学院を中心とした組織に変更し、大学院を我が国の学術研究推進上の中核機関とすることで、大学院における研究者の養成を強化することを目的としたものでした。この際、ほぼ全ての学科・専攻ではその名称の変更が検討され、また新しい研究科などの組織も設立されました。これに伴い、教員の配置も変更され、助手の定員を減らし、教授・助教授の定員に振り替えるという措置も行われました。以前は研究室あたりの教授・助教授（現在の准教授）・助手（現在の助教）の定員は1:1:2などが多かったはずですが、現在はほとんどが1:1:1などとなっています。また、大学によっては米国などのように、各教員が完全に独立して研究室を運営する形態を採っているところもあります。なお、これらの措置に当たっては、校費（国から毎年交付される大学運営費）の増額を計ったという側面もあるようです。教育・研究活動の最小単位である研究室における教員構成の非ピラミッド化は、後に述べる大学教員の多忙化や、若手教員育成の阻害（例えば、研究室に助手が1名しかいないので、長期の海外留学などが行われなくなっている）といった負の側面ももたらしていると思います。なお、教授をはじめとする複数の教員から成る研究室制度は、閉鎖的な運営をすれば種々の深刻な問題が生じますが、健全に運営すれば、教員同士が協力・連携して研究・教育成果を伸ばすことができ、個人主義が強い欧米では困難な業績を可能とする、日本の文化風土にあった制度であると個人的には考えています。

さて、大学院重点化に引き続き、国立大学においては法人化が、2004年に実施されました。これにより、各大学はそれぞれ独立した法人格を持つことになり、従来の「校費」は「運営交付金」と名を変えました。各大学は、これまでとは異なり、運営交付金の使途を自ら決めることができ、自由な運営が可能になったとされています。一方、各大学への運営交付金は、毎年1%が削減され、国の財政状況を背景にさらなる大規模な削減も議論ののぼっています。その結果、大学の運営は大変厳しくなり、減額された分を外部から獲得していただくこと（外部資金の

獲得)がどの大学でも強く奨励されています。実際、私の研究室でも、年間に支給される運営交付金の多くは、電気・水道料金、通信費、種々の共通設備・サービスの利用費などでほぼ費やされ、研究を行うためには外部資金を獲得しないと不可能であるというのが正直な現状です。こうした状況は、規模の小さい地方大学ではさらに深刻でしょう。運営費の減少により、本来の定員のある割合を使わずに(空席ポストを作って)、人件費を節約するということが日常的に行われています。また技術職員など、サポート役となる関連常勤職員の数も減る一方です。

自分のやりたいことをやるために、プロポーザルを書いて種々の競争的外部資金を獲得する、ということは、世界中のどの国でも行われていることであり、ある意味当たり前といえます。また、以前の日本の大学には競争が乏しく、悪平等主義がはびこっていたという問題点もあったと思います(現在もある種の悪平等主義は残っています)。上記の制度改革とともに、大学教員が獲得する外部資金の中で大きな意味を占める科学研究費補助金は、その予算額が継続的に増加していますし、その他の競争的研究資金の数量も増えています。実際、冷静に振り返ってみると、私が学生の時代の研究室と、今の研究室とでは、今の方がおそらく取り扱う研究費の総額は大きく増加しているはずですが、昔は学生が学会発表する際に、旅費は全額または一部を学生個人で負担することが珍しくなかったと思いますが、今はそのようなことはほとんどありません。しかし、上で述べた制度改革とそれに伴う雑務の増大、教員数の実質的な減少、外部資金獲得競争の激化などを背景に、大学教員の仕事が、昔とは比べものにならないくらい多忙になっていることも事実だと思います。また、純粋な学問的成果の質ではなく、外部資金の獲得額が教員の評価において幅を効かせている風潮も一部にはあり、それは大学の品位を下げる「はしたない」傾向であるとともに、種々の問題やひずみを生じさせていると感じます。

さて、上記のような変革の時期、多くの旧金属系学科・専攻では、名称の変更だけではない重要な変化が起きました。研究室構成の大きな変化です。昔の「金属」学科の構成と言えば、鉄精錬、非鉄精錬、電気精錬、冶金反応、鑄造冶金、鉄鋼材料学、非鉄材料学、金属組織学、結晶塑性、金属物理学、塑性加工学といった、いずれも金属に関係する研究室により構成されていたと思います。しかし今の「材料」専攻の構成は、ほぼ全ての大学で金属のみによるものではなく、半導体材料、薄膜材料、生体材料、有機材料などの非金属材料に関する研究室が大きな割合を占めています。大学は社会の変革とともにその形を変えていくのが自然ですし、ましてや工学部・工学研究科は、産業界の動静を大きく反映するものです。むしろ、金属という狭い領域に閉じてもっているのではなく、その学問基盤を基に、幅広い材料科学・材料工学に発展していくのは望ましい事であると思います。構造材料分野を例にとっても、鉄鋼材料の研究室と非鉄材料の研究室が別個にあること

は、悪くはありませんがやや時代錯誤だと思います。

しかし一方、現実の材料系専攻では、種々の問題も生じていると感じられます。その最大のものは、学生の教育、特に学部教育にあると思います。人類と金属のつきあいは大変長く、金属学は独自の学問基盤を築いてきました。すなわち、熱力学、状態図、反応速度論、材料組織学、結晶学、転位論、金属物理学といったものが相互に補完し合う学問体系です。これが、金属工学を他の工学や理学と区別し特徴づけているおおもとであり、こうした学問の基礎を学部時代に学習することにより、他の材料や新しい材料への応用が可能になるものと思います。また、冶金学・金属学は、化学、物理学および他の工学に対していわば絶妙の立ち位置にいると考えられますが、その特徴を生かすのもしっかりとした学問基盤があればこそです。しかし、大学の旧金属系学科では、他分野・他材料のスター教授を連れてきたのはよいが、学部教育の全体に対するポリシーを維持せず、各教授に講義内容を任せてしまっている場合がしばしばあると思います。その結果、材料系専攻を卒業・修了していても、例えば「鋼のマルテンサイト」という言葉すら知らない学生というのが、冗談ではなくなっていると思います。こうした状況は、学問的な根っこを持たない学生を輩出することにつながり、教育・人材育成という意味で由々しき問題であると考えています。

各大学の旧金属系専攻が異分野や非金属材料の専門家・スター教授をリクルートしていった背景の一つとして、従来の金属工学では競争的研究資金が獲得しにくい、という意見も大きく影響したものであると思います。実際、「鉄鋼材料の研究では科研費を獲得できない」という声もあります。しかし私は、これらはやや自虐的な思い込み、あるいは言い訳ではないかと疑っています。日本の金属材料工学分野の研究レベルは世界的に見ても非常に高く、十分な競争力を有していると思います。私自身は大学で勤務した過去18年間、主に科研費を主たる資金として、鉄鋼を含む構造用金属材料の研究を継続して行い、国際的にもそれなりのレベルで戦ってきているという自負がありますし、そのような先生方はほかにも数多くおられます。もちろん、着実に研究成果をあげ、成果を論文として(特に国際学術誌に)発表していかなければ、業績がないものと見なされ、外部資金獲得などは困難になるでしょう。しかしそれはどの学問分野でも同じです。金属工学の大学研究者は、大昔の右肩上がりの無競争に護られた時代の意識のまま、異分野との競争という現実と正面から向き合っていないきらいはないでしょうか。

外部資金制度が拡充されてきたとはいえ、そのこと自体が我が国ではあまり経験のないことであり、種々の問題点も内包してきていると思います。例えば、多くの研究プロジェクトは3年から長くても5年を期間とし、また、その間に如何に社会に還元できる成果を得られたかということが、実用化という点のみを尺度に評価されてきたように思います。構造材料は、社会の安全に直結する責任ある材料で

あり、実用化までには安全性・信頼性などをクリアするため、長い年月が必要となります。こうした分野の特性は、上記の短期プロジェクト全盛の時代においては、確かに不利に働きます。このことに関しては、構造材料研究における時間感を、その重要性和ともに粘り強く社会に説明していくしかないと思います。また、実用化や特許数に偏重した近視眼的な研究プロジェクト評価制度は、研究者を短期的に成果の出る分野に過度に向かわせ、基礎研究や分野の多様性など、学問の健全な発展のために必要不可欠な要素を殺してしまい、中長期的には社会全体にとっても不利益をもたらすと考えられます。そうした考えは、最近ようやく認識されるようになりつつあるようにも思います。

表1には、構造用金属材料に関する現在進行中の大型研究プロジェクトを示します。筆者の知る範囲で取りまとめているため、重要なものが抜けているかもしれません。しかし、現在、実は構造用金属材料分野では、大きな研究プロジェクトがいくつも行われています。例えば、科学研究費の新学術領域というカテゴリー（旧・特定領域）では、新カテゴリー発足以降、工学からの提案がほとんど採択されないという状況が続いてきましたが、現在は2件の構造用金属材料関連テーマが採択・実施されています。また、10年間のプロジェクトが近年いくつも立ち上がっており、これまでの短期的なプロジェクト運

営に対する反省が現れ始めていると思われます。いずれにせよ、こうしたプロジェクトの存在は、金属工学分野の底力を示していると考えられます。表に示したプロジェクトは文部科学省関係の「学」のプロジェクトですが、今後経産省をはじめとする他機関との府省連携プロジェクトへの発展も構想されています。一方私自身は、こうした状況を好ましく思いつながら、同時に危機感も有しています。すなわち、現状は大きなチャンスでもありますが、各プロジェクトが十分な成果をあげなければ、「やっぱり金属材料はダメだ」「鉄鋼材料にもはや研究すべき課題などない」といった評価がもたらされ、決定的なバツがつく危険性もあると思われるからです。前述した教育・人材育成上の問題もあり、10年後には金属関連分野やそれを学んだ人材が日本では絶滅しているという事態も、大げさではなくあり得ると思うのです。そうした事態を避け、継続的に高いレベルの構造材料研究と人材育成を大学で行うためには、まずは我々大学人のさらなる努力が不可欠です。しかし同時に、産業界をはじめとする大学以外の関係諸氏にも、大学の置かれた状況を正しく理解し、その上で種々のご支援やご助言をいただきたいと思つます。金属材料研究者が互いに切磋琢磨しながらもオールジャパンで手を携え、研究コミュニティの発展を計る必要のある時代が来ていると思つます。

表1 構造用金属材料に関する現在進行中の大型研究プロジェクト

| 制度名 | 課題名 | 期間 | 代表など | 備考 |
|--|---|------------------|---|--|
| 文部科学省・科学研究費補助金・新学術領域研究 | バルクナノメタル ～常識を覆す新しい 構造材料の科学 | 2010 ～ 2014年度 | 領域代表者：京都 大学・辻 伸泰 | 国内25機関の40研究者が参画。 http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp/index.html |
| 文部科学省・科学研究費補助金・新学術領域研究 | シンクロ型LPSO構造 の材料科学 一次世 代軽量構造材料への 革新的展開 | 2011 ～ 2015年度 | 領域代表者：熊本 大学・河村能人 | 国内24機関の46研究者が参画。 http://mg-lpso.org/index.html |
| 科学技術振興機構 (JST)・研究成果 展開事業 産学 共創基礎基盤研究 プログラム | 革新的構造用金属材料 創製を目指したヘ テロ構造制御に基づ く新指導原理の構築 プログラム | 2010 ～ 2019年度 | プログラムオフィ サー (PO)・東京 工業大学・加藤雅 治 | 現在4技術テーマ採択。2010年度採択の2 技術テーマのうちの一つが、日本鉄鋼協 会・アルミニウム協会・チタン協会の共同 提案により採択された左の「ヘテロ構造」。 現在12研究課題が採択され遂行中。 http://www.jst.go.jp/kyousou/theme/h22theme01.html |
| 科学技術振興機構 (JST)・先端的 低炭素化技術開発 (ALCA) | 第4分科会 耐熱材 料・鉄鋼リサイクル 高性能材料 | 2010 ～ 2019年度 | 運営統括：東京工 業大学・三島良直 | 全7分科のうち左記の第4分科で、7研究課 題が採択され遂行中。 http://www.jst.go.jp/alca/index.html |
| 科学技術振興機構 (JST)・戦略的 創造研究推進事業 (CREST) | 元素戦略を機軸とす る物質・材料の革新 的機能の創出 | 2010年度 ～ | 研究総括：理化学 研究所・玉尾皓平 | 構造材料分野からは2010年度に1件採択。 各課題の研究機関は5年間。 http://www.element.jst.go.jp/index.html |
| 文部科学省・元素 戦略プロジェクト <研究拠点形成型 > | 京都大学 構造材料 元素戦略研究拠点 (ESISM) | 2012 ～ 2021年度 | 拠点代表：京都大 学・田中 功 | 「構造材料」「電子材料」「磁石材料」 「触媒・電池材料」の4材料において各1 拠点採択。構造材料拠点はNIMS、東大、阪 大などをはじめとする主要大学・機関と幅 広く連携。 http://esism.kyoto-u.ac.jp |

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概要

高効率モーター用磁性材料技術研究組合 専務理事 作田 宏一

1. 概要

高効率モーター用磁性材料技術研究組合は、組合員の協同による高効率モーター用磁性材料及びこれを用いたモーター設計に関する試験研究その他組合員の技術水準の向上及び実用化を図るための事業を行うことを目的として、平成24年9月25日に設立された。

具体的には「未来開拓技術実現プロジェクト」の一環として、平成24年度から10年間の予定で開始された「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」を経済産業省からの委託研究として実施する。

組合の概要、研究開発体制、実施計画はそれぞれ図1, 2, 3のとおりである。

2. 背景・研究開発の目的

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、省エネに当たっては、高性能な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最強の磁石であり、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、産出国が偏在するレアアース(ネオジム、ジスプロシウム等)が大量に必要とされ、産出国の原料の生産動向に影響さ

高効率モーター用磁性材料技術研究組合(略称: MagHEM)の概要

理事長: 京藤 倫久 ((株)T&Tイノベーションズ 代表取締役社長)

組合員: (株)T&Tイノベーションズ, 愛知製鋼(株), インターメタリックス(株), NECトーキン(株), (一財)金属系材料研究開発センター, (独)産業技術総合研究所, JFEスチール(株), ダイキン工業(株), (株)デンソー, トヨタ自動車(株), 三菱電機(株)

(9企業, 1独法, 1団体)

事業費: H24年度2,005百万円(賦課金5百万円、外部資金2,000百万円)

[外部資金: 経産省委託費 - 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発]

事業の概要: 高効率モーター用磁性材料及びこれを用いたモーター設計に関する研究開発

○組合設立の目的

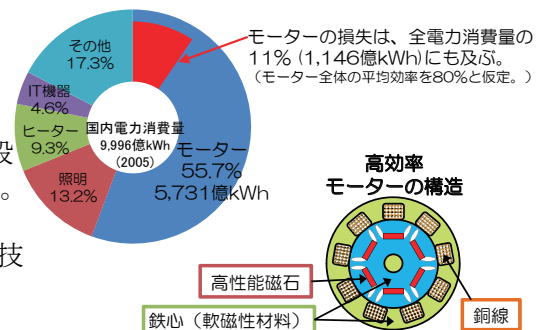
現在のレアアース添加型磁石を上回る性能を持ちながら、レアアースを使用しない革新的な高性能磁石等の開発、および内部エネルギー損失を低減するための高効率軟磁性材料(鉄芯)の技術開発とモーター全体の設計見直しを通じて、モーターの小型効率化を実現する。

○実用化の方向性

- 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。目標: 磁石の強さ1.5倍。
- ②レアアースを使わない新磁石開発。目標: 磁石の強さ2倍。
- ③軟磁性材料開発。目標: 鉄心で失われるエネルギーを80%削減。
- ④高効率モーターの開発。目標: モーターで失われるエネルギーを25%削減。

○事業化の目途の時期

- ①ネオジム磁石の高性能化・③軟磁性材料: 2017年めどに実用化へ。
- ②新磁石開発: 2022年めどに実用化へ。
- ④高効率モーター: 2022年に目標達成モーターを実用化へ。



モーターの損失は、全電力消費量の11% (1,146億kWh)にも及ぶ。(モーター全体の平均効率を80%と仮定。)

高効率モーターの構造

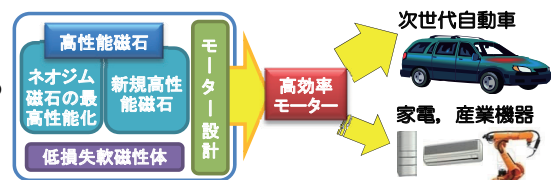
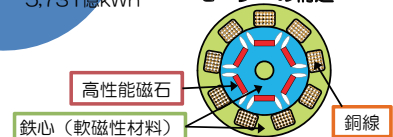
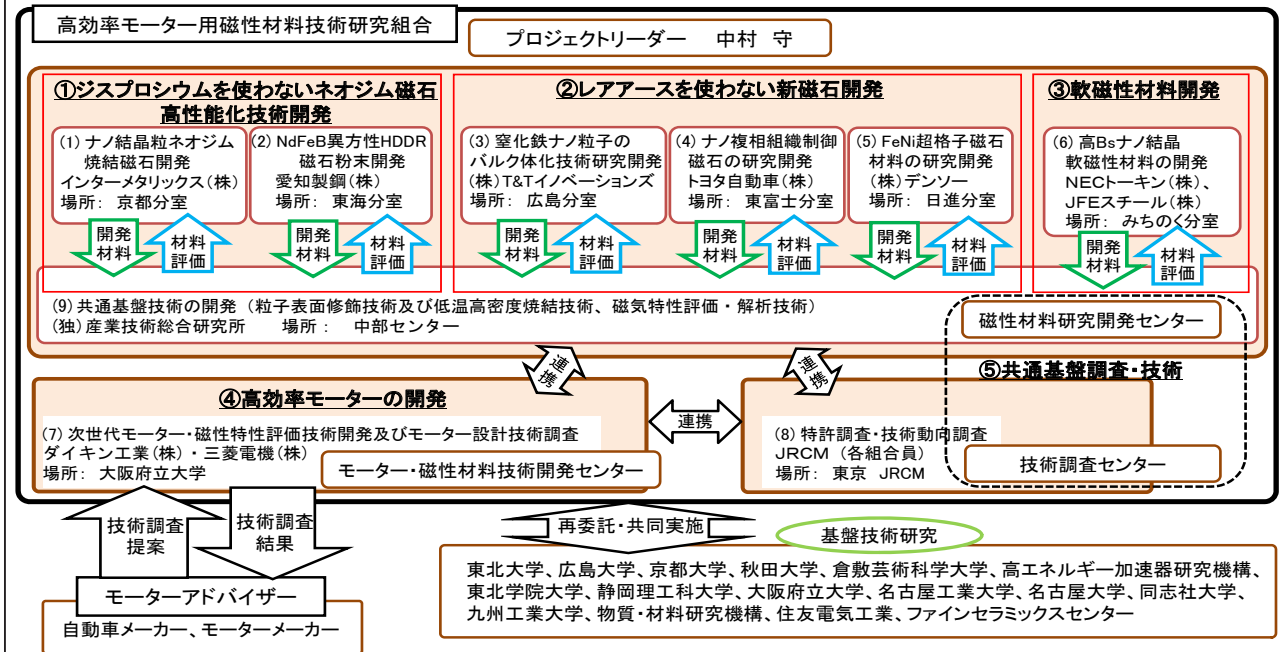


図1 組合の概要

● 研究開発体制



● 役員及び職員

| | | | | | | |
|----|------|-----|---------------------------------|----|--------------|--------|
| 役員 | 理事長 | 非常勤 | 京藤 倫久 (株)T&Tイノベーションズ 代表取締役社長 | 職員 | 研究員 (センター勤務) | 25~30名 |
| | 専務理事 | 常勤 | 作田 宏一 (元)独産業技術総合研究所 | | 研究員 (各社勤務) | 50~55名 |
| | 理事 | 非常勤 | 9名 (組合員の役員等) | | 事務員 (事務局勤務) | 8名 |
| | 監事 | 非常勤 | 1名 (公認会計士) | | 計 | 83~93名 |

図2 研究開発体制

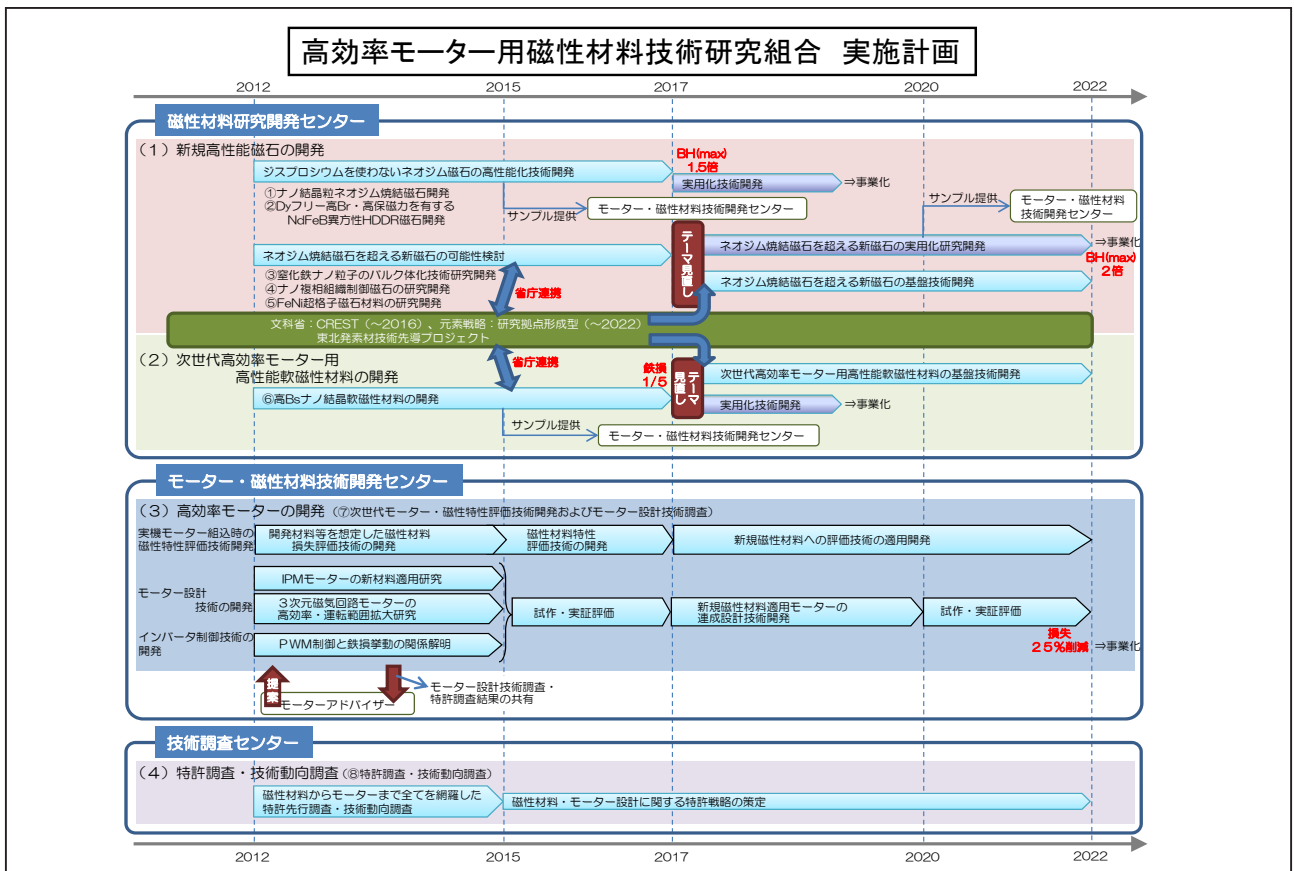


図3 実施計画結果

れる可能性があることから、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。

そのため、レアアースに依存しない革新的な高性能磁石の開発、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・競争力を確保し、我が国産業全体を活性化に寄与することを目指す。

3. 研究開発の内容

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

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）をもつ耐熱ネオジム磁石の開発を行う。

②レアアースを使わない新磁石開発（ネオジム焼結磁石を超える新磁石の開発）

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。

③次世代高効率モーター用高性能軟磁性材料の開発

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。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。

④高効率モーターの開発

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制御技術を開発し、その性能・信頼性評価を確立する。

⑤共通技術基盤の構築

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。そこで、磁性材料からモーターまで全てを網羅した特許調査・技術動向調査を行い、磁性材料・モーター設計に関する特許戦略を策定する。

また、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統括して行うことで、プロジェクト内での高性能磁性材料開発に寄与する研究開発を推進する。

お知らせ

【技術調査センター発足】

JRCMは高効率モーター用磁性材料研究組合設立に伴い組合員として技術調査センターを発足し、活動を開始いたしました。

【人事異動】

○平成24年10月1日付け

松尾 充高

[旧] 新日本製鐵株式会社

[新] 環境・プロセス研究部長

鉄鋼材料研究部 主席研究員

【新人紹介】

①出生地 ②生年月日 ③最終学歴 ④職歴
⑤仕事に対する期待 ⑥趣味、特技、資格等



松尾 充高
(まつおみちたか)

①愛知県名古屋市
②1959年7月生まれ
③京都大学工学部化学
工学科修士卒

④1984年新日本製鐵に入社。製鋼研究開発部にて一貫して製鋼プロセス開発を担当。その間、1990年よ

り2年間アーヘン工科大学（独）留学、1993年より2年間名古屋製鐵所、1999年より4年半研究企画を経験し、2007年より製鋼研究開発部長。

⑤これまで製鋼研究開発に従事してきたが、10月からは鉄鋼材料分野へもスパンを広げ、産業全体の発展のためお役に立てるよう頑張りたい。

⑥1995年学位取得（工学博士）。映画鑑賞、鉄道模型。

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第313号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2012年11月1日

発行人 小紫 正樹

発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海ビル6階

T E L (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp