

## TODAY

## 3年半の感謝と官へ期待すること



現 国立大学法人大阪大学大学院工学研究科  
教授  
前 経済産業省製造産業局ファインセラミックス・ナノテクノロジー・材料戦略室  
産業戦略官  
北岡 康夫

## 1. はじめに

平成 22 年 10 月に大阪大学から経済産業省に異動して 3 年半が経った。この間に、レアアースの大幅な価格上昇、東日本大震災、政権交替など国としての重要案件に関わることができた。今回、経済産業省を退職し大阪大学に復帰することを機に、3 年半の活動および感じたことについてまとめる。

## 2. 資源・エネルギー政策

赴任当時、産業界はレアアースの価格高騰で大変な状況にあった。皆さんご存知のとおり、レアアースは高性能磁石 (Dy, Nd) やガラス研磨剤 (Ce) などに使用され、中国への輸入依存度が高く、日本にとって大変重要な元素 (素材) である。そのため、中国からの輸入量が大幅に減少したことにより、関連企業が窮地に追い込まれた。私が所属していた課室も、レアアースを使用している企業へのヒアリング、産業サプライチェーンの把握、補正予算を活用した緊急対策などで多忙な日々を過ごし、右も左も分からない私が国の役割を理解する機会となった。

半年後、東日本大震災が起きた。私が所属していた製造産業局では、被害状況・物資不足・産業活動への影響など、予測できない事態に対応する日々が続いた。特に、被災した材料・素材メーカーからの部材供給の滞りや計画停電による生産制限は、国内だけでなくグローバルな産業サプライチェーンに大きな影響を与え、代替生産や工場移転など様々な対策が打ち出され

た。一方で、日本の材料・素材産業の強さを改めて知る機会となり、その後の技術開発政策や産業政策に大きな影響を与えた。

赴任して一年も経たない間に様々な案件に関わり、安定な資源・エネルギー確保の重要性を実感した。経済産業省 (旧通商産業省) の歴史を読み返してみると、戦後、外貨が不足していた各企業に海外から原料・資源を購入できるように外貨を割り当て、国の経済成長を後押しした。また、エネルギー源であった石炭の安定供給に対して、石炭庁が設置された。経済成長を推進するためには、資源・エネルギーの安定供給は不可欠であったことが理解できる。日本は、第一次オイルショック (1973 年) を契機し、サンシャイン計画のような大型プロジェクトが実行され、太陽光発電などの開発が実施された。今後も、国土が狭く資源の少ない日本が高い産業競争力を維持するため、外交・資源確保・技術開発なども含め、短期的な視野ではなく長期的な視点で資源・エネルギー政策を継続的に実施することが期待される。

## 3. 科学技術政策

2 年目以降、科学技術政策に関わる機会が増加した。国家プロジェクトの変遷を見てみると、高度成長期の大型国家プロジェクト (通称: 大プロ) では、旧通商産業省工業技術院 (今の産業技術総合研究所) が中心となり、欧米の技術情報を入手し国家プロジェクトのテーマ設定を行い、同業種の企業を集め (護送船団方式)、欧米技術に追いつくことが大きなミッションだった。私が学生時代だった 1980 年代、大学を含め公的研究機関は世界中で開催される国際会議や学会誌に報告される最新情報を取りまとめるシンクタンクの機能をもっていた。実際、珍しい海外学会誌や講演予稿集が公的研究機関に多数保管されていた。大学教員や公的研究機関研究員は海外での研究活動経験も豊富で、科学技術のトレンドを知る上で重要な役目を担っていた。1995 年に Windows95 が発売されると、インターネットを通じて世界中から論文情報や国際会議情報も容易にダウンロードできるようになり、情報価値が低下するとともに、技術ノウハウも簡単に世界中に伝搬するようになった。

1995 年代後半、日本の研究開発は「基礎研究タダのり」として欧米から非難を浴び、2000 年頃から大学や公的研究機関の研究シーズを産業化しようとする産学連携の試みが始まった。ちょうど、大学や公的研究機関の法人化が始まり、競争的資金が増大し、ナノテクノロジーブームが始まったのもこの時期であり、日本の強みである材料技術を中心に、ナノテクノロジー・材料戦略が推進された。この 10 年を振り返ってみると、確かに論文や特許の件数は増えた。一方、企業はグローバル競争に巻き込まれ産業競争力を徐々に失い、多くの産業分野で韓国企業や中国企業に脅かされることになった。このような中、研究開発の成果を産業化に結び付け、日本企業の産業競争力や科学技術力を強化することを目的に、次期国家プロジェクトのあり方および今後の日本を支える技術開発テーマについての検討が始まった。平成 23 年度に実施された産業構造審議会の研究開発小委員会では、新たな研究開発制度（＝未来開拓研究制度）に対して、①政府主導でプロジェクト（期間、予算総額、市場導入目標等）や実施者を決定し、②「強者連合」による成果の一元管理の下、事業化を見据えてプロジェクトを実施することが提案された。先に述べたように、レアアース使用量を削減するための技術開発が必要とされていた頃であり、未来開拓研究制度の第 1 号として、「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」プロジェクトを立ち上げた。現在、JRCM に事務・技術調査関連で支援を頂いている技術研究組合（通称 MagHEM）が次世代の磁性材料および自動車用モーターの技術開発を推進しており、早期の実用化が期待される。

大学や公的研究機関の法人化後、産学連携に関わる政策が積極的に推進され、研究シーズが産業化まで結びついた事例は多数見られるが、全てが順調に進んでいるとは言い難い。企業が機密漏えいを懸念しすぎるあまり、企業課題を積極的に大学に伝えられず、大学や公的研究機関が本質的な課題の解決につながる研究開発を推進できていなかったことも要因の一つと考えられる。一方、研究者や技術者の海外流出や知的財産戦略の不備により、海外の追従を受ける例も散見される。新興国の科学技術レベルや産業競争力が向上する中で、新しい産業を創出することは日本にとって直近の課題である。産学連携も第 2 ステージに入っており、オープンすべきこととクローズすべきことを明確化し、産官学がこれまで以上に協力し、新しい産業創出に繋がる研究開発を推進することが期待される。

#### 4. 国への期待

経済産業省の職員は、経済政策、産業政策、TPP などの外交、規制業務など一般に想像できる仕事に加え、大使館勤務を始め、政治家秘書や県庁・県警勤務など、グローバル視点で様々な職種を経験し、国を動かすためのスキルを習得している。国会答弁・政策立案・法

律作成の能力も身につけているわけだから、政治家になる方が多いのも理解できる。2 年毎に職場を変わりながらも、国を背負っているという使命感も持ち、それぞれの課室での課題を分析し最適な政策を実行しており、私自身も職員から多くのことを学んだ。

一方で、民間とのネットワークやコミュニケーションが不足していることも感じた。官民交流や私のように大学と国との人材交流が行われている背景にも、民間とのネットワーク強化があるのだろう。古くは、会社も護送船団方式に象徴されるように、企業成長に国の支援が不可欠であった。しかし、企業もグローバル企業に成長し内部留保も増えてくると、自らの判断で企業活動を推進できるようになり、困った時以外は国を頼りにしなくなった。つまり、正しい情報を得て政策立案に導くためには、職員自らが現場の声を取りに行く機会を増やすことと、集めた情報を分析・編集する専門力を高めることがより重要になってきている。私が、経済産業省で少しお役に立てたのも、企業と大学の経験および専門性を持っていたからだと感じている。

経済産業省の顧客は誰かという、製造産業局でいえば企業である。今後、グローバル競争が激化する中、顧客情報の収集・分析はさらに重要な時代になる。現場視察・企業ヒアリング・人材交流などにより外部とのネットワークを強化するとともに、省内課室間の連携やコミュニケーション力向上により組織力を高めることも必要である。また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）や産業技術総合研究所（AIST）のシンクタンク機能が強化され、経済産業省の産業政策や技術政策に積極的に関与することも期待される。

#### 5. 最後に

在籍中、多くの方々にご支援を頂いた。名刺ケースの中を眺めると、出会った方々の多さに驚く。今までも技術開発を通じ、産官学のネットワークをある程度持っていたが、産業政策や技術政策などに関わる中で、今までとは異なる世界とのネットワークを構築できた。日本企業は、社員の終身雇用を保証し、会社組織力を高めて成長してきた。一方で、企業間や組織間の人材流動が少ないことで、グローバル競争への対応に後れをとった。今や、国力の弱さにも影響していると感じる。日本は、材料素材産業をはじめ、世界に対して優位性を持っている産業分野がたくさんある。しかし、孫子の言葉にあるように「彼を知り己を知れば、百戦して危うからず」であり、グローバル環境を知らなければ日本の強みも発揮されない。一つの分野を極める人材も必要であるが、多方面での経験を有する人材を作り出すことも重要である。

今後は大学人として活動することになるが、産官学のネットワークを活用し、少しでも周囲の方々のお役に立ち喜んでもらえるように、教育・研究・社会貢献の活動に邁進したい。

## 元素戦略磁性材料研究拠点の概要

独立行政法人 物質・材料研究機構

元素戦略磁性材料研究拠点 代表研究者 広沢 哲

最近、ハイブリッド自動車などエネルギー関連分野で応用されるネオジム磁石の需要量が急速に拡大し、今後もその傾向が続くと予想されている。一方では2011年に顕在化した希土類金属価格の不安定性についての懸念が払拭されないまま存在している。ネオジム磁石は鉄(元素記号 Fe)を主成分としネオジム(Nd)を必須の成分元素として重量比で約30パーセント含む材料であり、これらのほかに微量のほう素(B)と、上記の種々の用途ではジスプロシウム(Dy)やテルビウム(Tb)という元素が使われている。FeとNdはそれぞれ3dおよび4f遷移金属元素の中で最も豊富に存在する磁性元素であり、資源の偏在性は少ないが、DyとTbは商業的に採掘される鉱山が中国南部に限られているため、今後も安定供給されるかどうかはかなり不確実である。したがって、DyとTbの使用量をゼロにできる磁石材料を開発することが、重要な課題となっている。

元素戦略磁性材料研究拠点(Elements Strategy Initiative Center for Magnetic Materials: ESICMM)はこれらの問題に材料科学の基盤を整えて解決策を創出することを目的に文部科学省の元素戦略プロジェクト拠点形成型の磁石材料の研究拠点として2012年8月に(独)物質・材料研究機構に設置された。2014年3月時点で8研究機関が参画し18名のプリンシパルインヴェスティゲータ(主査研究者)が、電子論、解析評価、材料創製の3つのグループに何れかに所属し研究を進めている。その顔ぶれと研究内容はwebに掲載されている(<http://www.nims.go.jp/ESICMM/>)。

元素戦略は機能材料に必須元素として使われている元素の機能発現メカニズムを徹底的に解明し、希少元素あるいは有毒元素を使わずに同等機能を発揮する代替材料を開発することを目的とする第3期科学技術基本計画のナノテクノロジー・材料分野の省庁連携型の戦略重点科学技術施策の一つである。永久磁石の開発研究は2007年度から5年間の元素戦略(文科省)および希少元素代替(経産省)の産学連携型プロジェクトがそれぞれ推進され、それらが2011年度に終了した後、文科省の拠点形成型産プロジェクトでESICMMが、経産省の未来開拓技術現実化プロジェクトで高効率モータ用磁性材料技術研究組合(MagHEM)がそれぞれ形成されて、それらが相互に連携しつつ産業界に成果を還元するべく研究開発が進められている。海外においても、産業および国防における機能材料の重要性と、それらの材料の機能発現に必須とされる希少元素の地政的偏在性が生み出す脆弱性への危機感から、類似の概念に基づく政府主導型研究プロジェクトが進められるに至っている(表1)。

永久磁石材料における重要な機能は、磁束密度を提供することであり、そのためには大きな磁化を有することが必要である。さらに、その磁化が外部磁界の変化に対しても安定した値を保持することが必要である。後者の性能を表す指標が保磁力であり、磁石の磁化に逆向きに磁界を印加した場合に磁石がその磁化を維持できなくなり磁化がゼロになる時の磁界の大きさとして定義される。

ネオジム磁石の保磁力は温度の上昇とともに急速に減

少するので、現在の材料では、ハイブリッド自動車の駆動モータや発電機の環境温度である180度前後の高温でも充分大きな保磁力を維持できるように、DyやTbがNdを部分的に置換する形で添加される。Nd, Dy, Tbなどが保磁力発現に必要な理由はネオジム磁石を構成する物質であるNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B型化合物の結晶磁気異方性を高めることであり、そのメカニズムの本質的な部分はすでに理解されている。すなわち、これらの4f遷移金属元素の磁性を担っている4f電子殻の電荷密度が空間的に球対称性から扁平にひずんだ形状をしているために、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B型化合物の結晶構造に支配される4f殻の周囲の価電子の電荷密度との間の静電反発力が4f電子殻の方位に強く依存することが大きな結晶磁気異方性を生み出していると理解される。この作用は4f電子殻にある電子の数により符号と大きさが決まるので、単なる元素置換では問題の解決は期待できない。TbやDyを使わない磁石材料を開発するには、資源的に豊富なNdなど軽希土類元素を用いたNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B型化合物の結晶磁気異方性だけで大きな保磁力を発現できるように材料組織を改善するか、または、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B型以外の物質を新たに探索して、資源的に豊富な元素だけで構成されると同時に高い結晶磁気異方性と高い磁化とを兼ね備えた物質を発見することが必要である。ESICMMはこれらの研究課題を推進するために異分野の多数の研究者が従来の枠を超えた連携研究を開始し、新たなアイデアを創出するためのプラットフォームとして、先端計測プラットフォームと保磁力理論研究

表1 海外の主な永久磁石研究開発プロジェクト

地域	内容
米国	ARPA-E REACT (Rare Earth Alternatives in Critical Technologies) 期間: 2012-2014 参画機関: デラウェア大など7大学、4国/州立研、3企業 目標: 180 °C でフェライト磁石と希土類磁石のギャップを埋める。 対象: Mn-Al, L10-FeNi, Alnico, Fe-N 等 URL: <a href="http://arpa-e.energy.gov/?q=projects/view-programs">http://arpa-e.energy.gov/?q=projects/view-programs</a>
	G8 Research Councils HPPMN (High Performance Permanent Magnets sustainable for Next Generation) 期間: 2012-2015 参画機関: アラバマ大など3大学、2国研、1企業 目標: レアアースフリー永久磁石 対象: Mn-Al, Mn-Bi, Mn-Al-Bi 等 URL: <a href="http://www.jsps.go.jp/j-bottom/data/g8/011.pdf">http://www.jsps.go.jp/j-bottom/data/g8/011.pdf</a>
米国	DOE CMI (Critical Materials Institute) 期間: 2013-2018 参画機関: アイオワ州立大など6大学、エイムス研など6国/州立研、7企業 目標: 省レアアース代替材料、添加物質、微粒子磁石、熱力学プロセッシング技術などの開発(プロジェクト自体は磁石以外にも対象とした戦略的希少元素フリー化) 対象: レアアース磁石、非レアアース磁石 URL: <a href="http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/rd/critical_materials_hub.html">http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/rd/critical_materials_hub.html</a>
	FP7-NMP ROMEO (Replacement and Original Magnet Engineering Options) 期間: 2013-2015 参画機関: ジョーゼフ・ステファン研など2国研、4大学、6企業 目標: DyフリーNd-Fe-B、レアアースフリー磁石 対象: レアアース磁石、非レアアース磁石 URL: <a href="http://cordis.europa.eu/projects/rcn/105901_en.html">http://cordis.europa.eu/projects/rcn/105901_en.html</a>
欧州	

プラットフォームとを構築し、その成果を材料創製に取り込むと同時に、材料プロセス設計に必要な状態図や反応速度などの熱力学的情報基盤の構築を進め、将来的には産業界にも開かれた研究拠点となることを目指している(図1)。

磁石材料の保磁力は、交換長などの磁気的特性長で記述される磁壁などの磁気的構造と、結晶粒界や異相同士の間界などの材料組織の中の特微的構造に由来する磁気物性値の空間的変動とが強く相互作用する結果発現すると言ってよい。ネオジム磁石などでの磁壁の厚みは約4nmと小さく、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bのユニットセル(a=0.88nm, c=1.22nm)のサイズの数倍程度にすぎない。したがって、組織解析も理論解析も原子スケールからナノメートル領域を対象にする必要があるが、それは計測および理論解析の双方にとってかなり挑戦的な課題を投げかける。ESICMMの先端計測プラットフォームと保磁力理論研究プラットフォームはいずれも、原子スケールからナノメートル、マイクロメートルの多階層のサイズ領域の材料組織解析と物理現象の解明を行う多数の専門家を擁しており、マルチアスペクト・マルチフィジックスの異分野研究をつなぐ体制としている。計測・解析分野では、原子からナノメートル、マイクロメートルといくつもの階層にわたる長さスケールの組織解析には最先端の収差補正透過型走査電子顕微鏡(STEM)、三次元アトムプローブ(3DAP)、放射光を用いたX線回折構造解析および磁気円二色性(XMCD)による元素選択的磁性計測、JPARCなどの大強度中性子線源を用いた構造や磁気構造解析、極微小試料を用いた磁化過程計測および解析などの専門チームを擁し、理論分野では、複雑な結晶構造を持つNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bなどの磁石化合物とその周辺物質の電子構造第一原理計算、磁石中に生成する化合物との界面構造および磁気物性の大規模計算、計算結果を受けて原子の磁気モーメントから結晶界面、さらに多結晶集合体である磁石材料の中の磁化反転の時間発展過程のシミュレーションなどの研究者を擁して、多階層の物理現象である保磁力の本質を解明するとともに、大規模シミュレーションを用いて材料組織の影響とあるべき理想の姿を明確化することによって、新磁石創成の指針を獲得しようとしている。ESICMMにはこれらの多数の研究チームが参加していて、相互に緊密な連絡を取りながら研究を進めている。

これまでに、Nd-Fe-B系磁石については現在までに、Nd-Fe-B異方性磁石の結晶粒界にある厚み数ナノメートルの粒子間物質層の磁性が、従来信じられていたような常磁性ではなく、強磁性であることが先端解析プラットフォームの解析で明らかとなり<sup>(1,2)</sup>、焼結磁石よりもさらに微細な結晶粒径を持ったNd-Fe-B系異方性磁石が得られる熱間塑性加工法やHDDRプロセスで作製したNd-Fe-B磁石の保磁力が低融点のNd-CuやNd-Cu-Al合金などを粒界に拡散することにより、粒界組成を制御すれば高保磁力化できることが実証された<sup>(3,4)</sup>ことなど、大きな成果が生み出されている。さらなる高保磁力化を目指して、結晶粒界相の化学組成を決定する熱力学的要因を解明し粒界相の組成を設計かつ制御することを目指して、

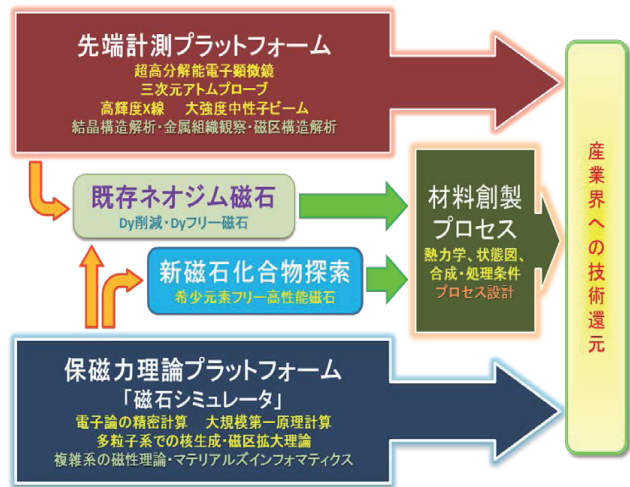


図1 ESICMMにおける研究開発プラットフォームと研究情報の流れ

副相生成に関する高温X線in-situ計測<sup>(5)</sup>や高温での固液平衡<sup>(6)</sup>など、熱力学データに関する基盤研究も進めている。また、異相との界面からの逆磁区核の生成に関する研究も進め、保磁力を支配する要因を明確化したいと考えている。そのため、界面に生成する準安定Nd酸化物の生成機構解析<sup>(7)</sup>、その主相界面構造の大規模計算探索<sup>(8)</sup>などを進めている。

他の材料系についても、最もFe含有量が高いハード磁性希土類化合物である1:12系化合物であるNdFe<sub>11</sub>TiNやSm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub>などの高磁気異方性材料の磁性の起源についての理論解析<sup>(9)</sup>が進行中であり、非希土類磁石化合物の実験的探索研究についても、FeNi系規則合金の研究や、最近発見されたMn<sub>87.5</sub>Sn<sub>10</sub>Co<sub>7.5</sub>窒合金<sup>(10)</sup>における最大1270 kA/mの保磁力発現メカニズムの研究などが進められている。

参考文献

- (1) H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, T. Shima, K. Hono, Acta Mater. 60 (2012) 819-830.
- (2) 保井 晃ら、日本金属学会春期大会講演概要集S7-5(2014)
- (3) H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, S. Nagashima, M. Yano, T. Shoji, A. Kato, T. Schrefl, K. Hono, Acta Mater., 61, 6622 - 6634 (2013).
- (4) 秋屋貴博ら、日本金属学会春期大会講演概要集S7-26(2014)
- (5) 上野若菜ら、日本金属学会春期大会講演概要集S7-14(2014)
- (6) 野口大介ら、日本金属学会春期大会講演概要集S7-13(2014)
- (7) 陳迎ら、日本金属学会春期大会講演概要集, S1-3 (2014)
- (8) 合田義弘ら、日本金属学会春期大会講演概要集, S1-4 (2014)
- (9) T. Harashima et al., BF-02, MMM2013, Nov. 7, 2013, Denver, CO
- (10) K. Isogaki, K. Shinaji, T. Mase, M. Matsuura, N. Tezuka, S. Sugimoto, Mater. Trans. 54 (2013) 1236.

The Japan Research and Development Center for Metals  
**JRCM NEWS / 第330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 2014年4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  
 TEL (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