

TODAY



着任のご挨拶

経済産業省製造産業局
金属課 金属技術室長

木原 栄治

7月25日に、経済産業省製造産業局金属課金属技術室長を拝命いたしました木原栄治でございます。我が国の国際競争力強化に貢献できるよう、技術という側面から日本の金属産業のサポートに全力を尽くす所存でございます。何卒よろしくお願いたします。

金属技術室に着任して約2か月となりますが、この間、多くの方々にお会いし、生産の現場も3か所訪問させていただきました。業界の現状と課題について、皆様から親切丁寧にご指導賜りましたこと、深く御礼申し上げます。

この2か月間の経験で、ハイテク製品やインフラを支える重要な製品などにおいて、日本の金属素材が世界中で活用されていることを実感しました。また同時に、日本の金属産業は日本のみならず、世界の産業や生活を支える基盤産業であることを改めて認識させていただきました。さらに、第4次産業革命、地球温暖化、人口減少、新興国の追い上げなどにより、我が国の経済社会は大きな転換期を迎えています。これらの大きな社会変化に対しても、金属分野の技術開発が重要な役割を担っていく必要があると感じさせていただきました。

ご案内のとおり、近年、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボットなど新しい技術革新が急速に進展しております。これに伴いサイバー空間とフィジカル空間が高度に融合し、様々なものがつながることで、新しいビジネスモデルが誕生すると予想されています。金属分野でも、膨大なデータがつながり、そのビッグデータを有効活用することで、合金開発のスピードを劇的に短縮できる可能性が指摘されています。これが実現できると、破壊的な技術革新をもたらすとともに、圧倒的な競

争優性をもたらすと考えられます。このため、平成31年度の予算概算要求に、合金開発の効率化のための基盤技術開発関連予算を新規で計上させていただきました。ビッグデータを活用した合金開発の実現に向け、多くの方々と連携して取り組みたいと考えております。

また、温暖化問題への対応に伴い、社会が大きく変わろうとしています。我が国は2030年度の温室効果ガス排出量を26%削減（2013年度比）、2050年までに80%削減するという目標を掲げています。2013年度の排出実績が14億トン（うち産業界は3.6億トン）であることを踏まえると、2050年は3億トン弱しか排出できないこととなります。仮に、再エネ・原子力・CCS付火力で電力を100%非化石化し、オール電化を推進し、CO₂を排出しないゼロエミッション車に置き換えたとしても、農林水産業と2～3の産業しか許容されないような水準を達成する必要があります。日本だけがこのようなチャレンジングな長期目標を掲げている訳ではなく、米国、ドイツ、フランス、カナダなどの主要国も同様な目標を掲げています。このチャレンジングな目標へ貢献し、世界をリードすることを目指し、金属技術室では、水素還元等プロセス技術開発（COURSE50）、フェロコークス技術開発、未利用熱エネルギー革新的活用技術開発、輸送機器の抜本的な軽量化に資する技術開発（マルチマテリアル化）を支援しております。地球規模の課題についても、多くの方々と連携してその解決に取り組むと考えております。

金属分野の技術開発は、我が国の国際競争力強化のみならず、社会問題の解決にも重要な役割を担うと考えております。今後も、多くの方々にお会いし、現場も訪問させていただき、広く深く意見を交換させていただきたいと考えております。課題やボトルネックを見極め、その解決に向けて、皆様と一緒に全力で取り組んで参りたいと考えております。何卒、倍旧のご指導・ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

希土類ならびに将来磁石とその応用に関する国際会議 REPM2018 @北京に参加して

一般財団法人金属系材料研究開発センター 磁性材料研究部長 豊田 俊介
高効率モーター用磁性材料技術研究組合 主席研究員 谷川 茂穂

1. はじめに

高効率モーター用磁性材料技術研究組合の技術調査活動の一環として8月26日～30日に北京大学で開催された、希土類ならびに将来磁石とその応用に関する国際会議 (REPM2018) に参加し、磁石材料の技術動向、磁石市場動向、希土類資源動向を調査したので概要を報告する。

2. 会議の概要

REPM(International Workshop on Rare-Earth and Future Magnets and Their Applications) は2年毎に、アジア、欧州、北米で開催される永久磁石材料に関する国際ワークショップである。オーラル発表 (パラレルセッション) +ポスター発表で合計約250件の講演発表があり、世界25か国から約400名の参加者があった (中国60%、日本15%、ドイツ7%、米国4%、韓国、フランス、ロシア各2%他)。

全般に、中国の希土類磁石材料に対するアクティビティが年々高まっており、研究開発のレベルも格段にアップしているという印象を受けた。計算シミュレーションや先端構造解析の領域では、日本の研究レベルが質量ともに抜きん出ている。欧州・米国では、希土類磁石のリサイクルなどをテーマに、資源リスクと環境負荷を軽減する取り組みが進められている。



左：学会会場と青空 (北京大学中関新園ホテル)
上：オープニングセッション

3. 磁石材料の技術動向

図1に144件のオーラル発表 (招待講演を含む) の国地域別割合を示す。欧米38%、中国33%、日本22%、その他7%と欧米からの講演発表件数の多さが目を引いた。欧米では複数の国や研究機関が連携して研究開発を進めている。ダルムシュタット工科大 (独)、バーミンガム大 (英国)、NCSR (ギリシャ)、グルノー

ブル国立研究所 (仏)、デラウェア大 (米国)、アラバマ大 (米国)、テキサス大 (米国)、アイオワ州立大 (米国) などが中核研究機関となっている。

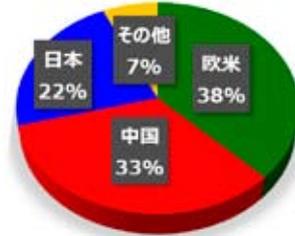


図1. オーラル発表の国地域別割合 (全144件)

表1に各セッションの講演発表件数と最も発表件数の多かった国地域を示す。欧米からは「希土類フリー永久磁石」、「モデル化・計測」、「磁石応用」、「原材料・資源・採鉱製錬・リサイクル」、「マイクロ組織・特性評価」、「その他の新規磁性材料」のセッションでの発表件数が多い。中国からは「希土類-Fe-B磁石プロセスと特性」、「希土類-Co磁石プロセスと特性」、「薄膜磁石」、「ナノコンポジット磁石」、「磁性・ナノ技術」での発表が多く、従来のNd-Fe-B焼結磁石の材料およびプロセス一辺倒から、他の材料系 (特にSm-Co系) や解析などへ広がりつつある。日本からは、「保磁力・物理的性質」、「その他の希土類関連化合物」、「希土類-Fe-N磁石プロセスと特性」での発表多く、国地域ごとに特徴的な取り組みが行なわれている。

表1. 各セッションと発表件数

セッション名	オーラル発表件数*	ポスター発表件数
希土類-Fe-B磁石プロセスと特性	42 ■	48
希土類-Fe-N磁石プロセスと特性	4 ●★	25
希土類-Co磁石プロセスと特性	8 ■	
希土類フリー永久磁石	17 ★	37
ナノコンポジット磁石	5 ■	
薄膜磁石	6 ■	
その他の新規磁性材料	3 ★	
その他の希土類関連化合物	10 ●	
磁石応用	8 ★	
モデル化・計測	12 ★	
保磁力・物理的性質	11 ●	
マイクロ組織・特性評価	6 ★	
磁性・ナノ技術	3 ■	
原材料・資源・採鉱製錬・リサイクル・希土類資源とその高効率利用	7 ★	

*: 各セッションで最も発表件数の多い国地域...★欧米、■中国、●日本

表2に「希土類 -Fe-B 磁石プロセスと特性」セッションにおける、中国の研究機関からの発表 18 件と日本の研究機関からの発表 12 件の技術項目を分類した結果を示す。中国、日本とも多様な視点から研究開発が行われている。

表2.「希土類 -Fe-B 磁石プロセスと特性」セッションの発表技術項目分類*

技術項目	中国	日本
希土類資源の有効活用 (La,Ce 基磁石・Y 置換他)	8 件	1 件
ミクロ解析・分析・構造解析など (金相学的アプローチ)	3 件	3 件
計算科学アプローチ	-	2 件
粒界改質技術	2 件	2 件
粒界拡散技術	3 件	-
省重希土類磁石	1 件	2 件
高抵抗磁石	1 件	-
塑性加工磁石	1 件	3 件
リサイクル磁石	1 件	-
ボンド磁石、他	2 件	2 件

*: 中国、日本からのオーラル発表。項目の重複あり。

欧米での研究開発アプローチは、フェライト焼結磁石と Nd-Fe-B 磁石の中間の特性（ギャップ磁石）を目指す方向で動いており、日本の研究開発は、Nd-Fe-B 磁石の特性を少なくとも高温（150℃程度以上）で超える材料を狙いとしている。

次世代の希土類永久磁石の研究開発は、ThMn₁₂ 型の非窒化物化合物に集約されつつある。この化合物において、実用的な保磁力の付与が工業材料としての鍵であり、このためにはさらなる新しいプロセスアイデアが必要と思われる。

「希土類フリー永久磁石」セッションの内訳は、Mn 系 6 件（Mn-Bi、Mn-Al など）、遷移金属系 6 件（L1₀ Fe-Ni、アルニコ、Fe-Sn など）、酸化物系 2 件等となっている。希土類フリーの新磁石材料においては、結晶磁気異方性を付与するアイデアが実用磁石材料への鍵と考えられる。L1₀ Fe-Ni の講演は、ポーランドの研究機関が第一原理計算により磁気異方性定数を計算したもので、L1₀ Fe-Ni 相はその正方晶歪或いは合金元素等によりその結晶磁気異方性エネルギーをさらに向上させるポテンシャルを有するとしている。

4. 磁石市場動向

電動自動車を中心に、高い飽和磁化と保磁力を有する磁石材料へのニーズが長期的に拡大してゆくという見通しは、講演者によらず一致している。

アイルランド トリニティカレッジ J.M.D.Coey 氏（基調講演「Prospects for Rare Earth Permanent Magnets」A0667）によれば、現在の磁石材料市場は約 200 億 \$ でそのうち Nd-Fe-B が 50% 強を占める。今後さらに、電動モビリティ、電気自転車、ロボティクス、電力革命、

IT 革命、航空宇宙など希土類磁石の応用の幅と量はますます広がっていくであろう、とのことである。

ドイツ ダルムシュタット大 Oliver Gutfleisch 氏（招待講演「Heavy Rare Earth Free, Free Rare Earth and Rare Earth Free Magnets - Vision and Reality」A0715）によれば、電動モビリティは 2010 年から 2016 年に急激に増えているが、モビリティ全体の割合からすると少なく、変化の初期段階と考えられる。20 世紀初頭のモータリゼーションによって、馬車がガソリン車に替わったように、ガソリン車が電動自動車に替わるといふようなラディカルな変化が世界に起こった場合、余剰となる Ce、La の利用が大きな課題。2020 年ベースで考えると 1kg の Nd を利用するごとに、2.5kg の Ce、1.5kg の La が余剰になる。風力発電タービン用の磁石は世界的にどんどん伸びている。地球温暖化の進行に伴い、冷房のためのエアコンが 1980 年から 2100 年にかけて急激に増えてゆくであろう。Gd は磁気冷凍材料として着目されている。ロボット化、自動化も急激に進展する。こうした中、NdFeB 磁石等をベースに元素を置換した磁石 (ex. NdCe-FeCo-B) と、新規磁石 (Novel Magnets) が求められている。エコロジカルなグリーン磁石の観点から、リサイクル磁石の検討も重要、とのことであった。

米国 ペトロアンドアソシエイツ John Petro 氏（招待講演「Creating a Future Where Every Motor is a Permanent Magnet Motor」A0716）によれば、永久磁石モーターには高パワー密度、高効率、汎用性などの利点があるが、今なお産業用、商用、住宅用の分野では年間 6.75 億ユニットもの永久磁石を使わない誘導モーターが用いられている。これは AC 電源、等速用途ではコストが安く、信頼性が高く、スタート時の慣性が小さいことなどが理由である。世界的にモーター効率の重要性が増している今、すべてのモーターを小型で高効率な永久磁石モーターに転換するタイミングである。このためには焼結磁石とフェライト磁石の間の特性を持ち、低コストのギャップ磁石（図2）やこれを用いたモーター設計技術が必要、とのことである。

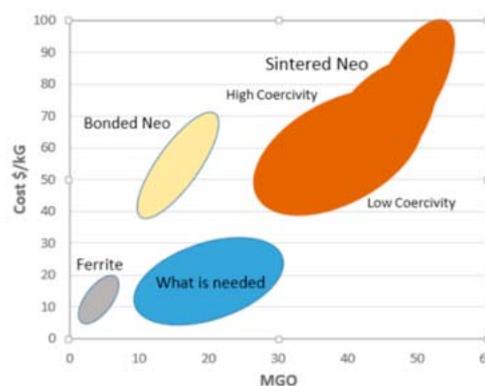


図2. 磁石特性（最大エネルギー積：横軸）とコストの関係 [John Petro 氏 A0716]

5. 希土類資源動向

中国では6大希土類企業集団への採鉱・生産の集約が進められ、2016年～17年にかけて希土類鉱山や工場などで環境査察が行われた。この結果、分離精製装置の全自動化など、環境対応設備の導入が進み、採鉱・製錬工程での公害問題は急速に解消されつつある。一方、中国国内外では、磁石材料の長期的なニーズ拡大トレンドを受けて、賦存量の探査がすすめられている。

General of Association of China Rare Earth Industry & The Chinese Society of Rare Earth 除占恒(Zhanheng Chen)氏の講演(パネルディスカッション招待講演「Situation of China Rare Earth Industry」)とその質疑によれば、世界のレアアース鉱石賦存量は全世界12,000万トンに対し、中国の占める割合は4,400万トン約36%程度とされているが、至近の探鉱の結果、中国における賦存量はさらに増大している。レアアース鉱石需要は年間中国14.8万トン、日本1.2万トン、欧州0.15万トン。中国からは日本等へ輸出するとともに、ビルマより2万トン、マレーシアより1.1万トン、米国より0.2万トン、インドより0.04万トン輸入している。中国国外のレアアース資源の確保も進められている。中国国内では6大希土類企業集団への採鉱・生産の集約が進められ、環境対策や採掘の総量割当など規制が強化されている。トリウムやフッ素処理対策含め、環境保護規制のレベルが上がり、採鉱製錬コストは今後も上昇してゆく。最大規模の北方Baotou Baiyunebo 鉱山は岩床でCeが50%を占める。南方の鉱床は粘土質でDy、Tbの含有量が高い。Dyの実需要は1420トン/年でTbよりもかなり大きく、これをDyの採掘割合から逆算すると南方鉱石であっても4万トンに相当する。中国国内の希土類の用途はNdFeB磁性材が約75%、石油精製触媒が約21%と磁性材用途向けの割合が高い。バリューチェーンにおける付加価値は採鉱が17%、製錬分離が27%、基礎材料が56%と下工程ほど高くなっている。今後は、規格適合鉱物製品をリサイクルする企業についても統合がすすめられる見通し。希土類の国際標準化を目指す取組みは、ISO専門委員会が昨年カナダで開催されるなど、関係各国と共同で作業を進めている。ここでは持続性、地球環境への配慮がポイント、とのことであった。

Lynas in China 江洋(Yang Jiang)氏(パネルディスカッション招待講演「Development of Rare Earth Resources in Australia」)によれば、豪州鉱山のLynas

社は、現在中国国外唯一の総合採鉱製錬会社で、マレーシアに信頼性が高く地球環境にやさしい鉱石処理の化学プロセスプラントを有する。La、Ceは研磨剤として、NdPrは磁石、電気モーター、電池等に供されている。設備投資を増大させ、2018～19年にはNdPrの生産を拡大する。鉱床は露天掘りで不純物スペックは<50ppmと低い。次の鉱区には25年以上の鉱石が賦存しており、Lynas社全体の鉱石賦存量は深さ方向の鉱区の拡張により2018年には2015年比で約70%増えた、とのことである。

6. 環境規制、新エネ車(NEV)の普及状況

独立行政法人日本貿易振興機構(JETRO)、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)他の北京事務所を訪問し、中国における環境規制、新エネ車の普及状況等、概況に関するヒアリングを行った。

2010年台前半、中国では大気、水質、土壌の汚染が人民の大きな不満であったため、2015年以降「青い空を守るための戦いに打ち勝つ」のスローガンの下、関連工場の操業停止も含め、徹底的な環境対策対応が行われた。この結果、北京の空気は見違えるように綺麗になった。

新エネ車購入には国と地方からそれぞれ補助があるが、国からは航続距離250km以上の車に限定され、地方からは同400km以上の車限定と、特に後者の取得のハードルが高い。交通渋滞対策を旨としたナンバープレート規制は、北京ではすでに新エネ車でも新規ナンバープレート取得が約23万人待ち(7～8年相当)と困難な状況になっている。テスラ社は電気自動車を高級車としてブランディングを行い、市中でも目に付くようになってきた。中国では電動バイクはナンバーが不要なため、自転車の代替として急速に増えている。新エネ車化のトレンドは、販売台数割合の規制、外資との合弁における条件緩和等の政策により、今後も着実にすすめられてゆくであろう。

7. まとめ

電動モビリティ、電気自転車、ロボティクス、電力革命、IT革命、航空宇宙等の発展を担う高効率モーター用等磁石磁性材料の、個別の研究で得られた成果を、知的財産、環境、持続性、ビジネスといった視点から、短・中・長期的に方向づけることが、磁性材料のグローバル競争力をより一層高めてゆくことになると考える。

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第384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 2018年10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東洋海事ビル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