

TODAY



平成、そして次の時代へ

内閣府 大臣官房審議官
(科学技術・イノベーション担当)

佐藤 文一

あけましておめでとうございます。と申し上げるのも、この原稿が掲載される時には、もう些か時期遅れなのかもしれません。いずれにしても、月日が流れるのは早いもので、激動の「平成」時代も、残すところ、あと数か月になってしまいました。

どなたかがおっしゃっていましたが、平成の始まりはちょうどバブル崩壊の始まりと重なるそうです。小職が当時の通商産業省に入省したのが昭和63年(1988年)ですので、小職は、平成、そして、バブル崩壊後の日本とともに社会の中で生きてきたのかと、少し感慨深いものがあります。

小職自身がバブル崩壊後の日本経済の発展にどれほど貢献できたのか、その点については、率直に言って大変心もとない限りです。むしろ、悩める社会とともに、自分も悩み、もがいてきただけではないか、そんな自己嫌悪にすら苛まれます。

ただ、改めて振り返ってみれば、ちょっとした気付きもあります。入省した頃の頃は、まだまだインターネットも世の中になかった時代、それが、パソコン通信に始まり、光ファイバー、携帯電話、高速インターネット、スマートフォン、Wi-Fiと、情報・通信技術の発展などにより、30年の間で、あっという間に世の中が変わってしまいました。

これに伴い、職場での仕事の内容も大きく変化してきたように思います。入省から10年間は、バブル経済や"Japan as No.1"の余韻も残り、通商貿易問題がメインイシューでした。それが、1997年の京都議定書の頃を契機に、環境エネルギー問題や社会問題に議論の主戦場が移っていき、さらに、2008年のリーマンショック、2011

年の東日本大震災の以降あたりからは、格差や地域といった新たな国際・社会問題と、国内的には新たな経済成長の方向性へと、関心が移っているように思います。

折しも、今後の30年を考えると、すなわち、2050年頃を見据えた時、(その頃に自分が生存しているとはとても思えませんが…)これまで以上のスピードで世界は変わっていくのだと思います。その時に、我々日本という国が、そして日本の産業が、世界の中でどのような位置づけにあるのか、より良い貢献ができていないために、今何をしておかなければならないのか、時代の節目を迎え、改めて考えさせられています。

小職の現在の部署は、内閣府の中の科学技術・イノベーションの担当となります。日本、そして日本の産業が、科学技術やイノベーションの底力を礎に、これからも長く、世界のリーダーの一角を担えるようにしなければならぬと衷心より思います。そのために、国、地方、産業、そして大学等の教育研究機関が一緒になって行うべきことを、小職自身は、一つ一つ丁寧に進めていきたいと思っています。

例えば、将来に向けて必要となる、新しいインフラ基盤とは何か。

一言で言えば、知的基盤を作り出し、活用できる環境を整備することに尽きるのではないかと思います。教育・研究環境の整備、内外に存在する、あるいは今後蓄えられていく情報やデータの蓄積・共有、そしてそれらを実現可能とする様々な制度・ルール、こういったことを地道に進めることが、「ローマは一日にしてならず」の格言のように、新しいローマを作るのだと信じています。

素材産業界のMI(マテリアル・インフォマテックス)は、その中の代表例かと思っています。新しい素材作りと、それを支えるデータ基盤、そういった基本・基盤的な部分、そしてそれをさらに支える人材の育成に、小職の部局も今後も少しでも貢献できればと考えている次第です。

磁性と磁気材料に関する国際会議

2019 Joint MMM-Intermag @ ワシントン DC に参加して

一般財団法人金属系材料研究開発センター
高効率モーター用磁性材料技術研究組合

磁性材料研究部長 豊田 俊介
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 (MagHEM) の技術調査活動の一環として、1月14日～18日に米国ワシントンDCで開催された磁性に関する国際会議 2019 Joint MMM-Intermag に参加し、磁石材料・軟磁性材料・磁石モーターの技術動向を調査したので概要を報告する。

2. 会議の概要

Joint MMM-Intermag Conference は、毎年欧州・アジア・北米持ち回りで開催される米国電気電子学会 IEEE 主催の国際磁性会議 Intermag と、毎年米国で開催される米国物理学会 APS 主催の磁性と磁性材料に関する国際会議 MMM が3年に一度、米国で共同開催されるもの。磁性に関連する研究のほぼ全分野をカバーしており規模としても世界最大。

セッション数はオーラル72、ポスター67、講演数は全1496件で、磁石材料、軟磁性材料、モーターのセッションを中心に聴講した。会議全体の国別講演数は米国406件(27%)、中国246件(16%)、日本204件(14%)、韓国89件(6%)、インド73件(5%)、独62件(4%)、仏60件(4%)、英60件(4件)。地域別ではアジア・オセアニア47%、北米29%、ヨーロッパ22%と、アジアからの講演発表が多い。会議には世界43か国からの参加者がおり、その内訳はアジア38%、北米37%、ヨーロッパ23%であった。



(左) 連邦議会議事堂、(中) ポスターセッション、(右) プレナリーセッション

3. 磁石材料の技術動向

表1に磁石材料に関する50件のオーラル発表の材料分野別の件数を示す。Nd-Fe-B系は、保磁力機構に関する計算アプローチや、放射光や中性子線を利用した高度な解析手法を用いた研究が多く、粒界拡散など磁気特性改善に関する講演は少なかった。Nd-Fe-B系やRE-Co系では、REの一部をCeなどで置換したいわゆるギャップ磁石の論文が多い。ThMn₁₂型化合物は、計算および実験による物性評価に関する論文が多く、

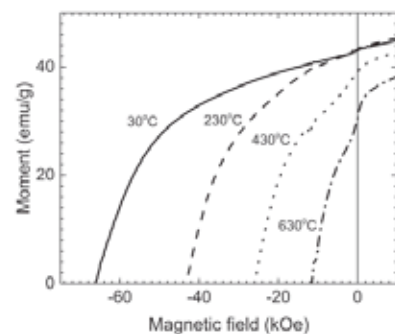
L1₀型は高機能化のプロセス検討などの講演が主体であった。

表1. 磁石材料の材料分野別件数 (オーラル発表)

材料	発表件数	内容
Nd-Fe-B系	10	HDDR、熱間加工、焼結、ナノコンポなど
RE-Co系	7	1/5系、2/17系等
RE-Fe系	5	Sm-Fe-N、Sm-Fe系等
ThMn ₁₂ 型	10	Sm(Fe/Co)Ti系、(Y/Sm)(Fe/Co)Ti系等
L1 ₀ 型	6	Mn-Al系、Fe-Ni
遷移金属系	2	REフリー (Fe基、Co基)
Mn-Bi系	3	Mn-Bi
酸化物系	3	ε-Fe ₂ O ₃ 等
その他	4	リサイクル、MEMS他

3.1 希土類金属間化合物に関する発表 (ThMn₁₂型以外・海外機関)

・CI-01 New Approaches for Fabrication of Highly Coercive Net Shape Magnets. (ローレンスリバモア国立研:米) Ca蒸気により希土類-遷移金属酸化物ナノ粉末を還元して、SmCo₅磁石と酸化Caの混合物を得る、3Dプリンティングプロセス。保磁力80kOeで残留磁束密度0.5T程度の磁石構造物が得られる。磁界中で配向させるなどの手段で残留磁束密度を向上させることが課題。保磁力を落として、残留磁束密度を0.8T近くまで向上させることが出来れば、高温用途で極めて魅力的な実用磁石となる可能性がある。



SmCo サンプルの磁化曲線 (CI-01)

・CI-02 Laser Beam Melting process applied to NdFeB permanent magnets. (CEA-LITEN:仏) レーザビーム溶解によるニアネット形状のNd-Fe-B磁石の製造プ

ロセス。YAG レーザを備えた 3D プリンティング装置を利用。原料粉が MQ 粉（ナノ結晶）の場合、密度約 7000kg/m^3 、 $B_r = 0.7\text{T}$ 、 $H_c = 700\text{kA/m}$ 程度の等方性磁石が得られる。

• CI-06 Spark Plasma Sintering of Jet-Milled NdFeB Powders with Low Rare Earth Contents. (ABB:スイス) 放電プラズマ焼結法による低温焼結プロセス。希土類元素総量が約 30% のジェットミル粉末を原料として $800 \sim 950^\circ\text{C}$ の温度域でポストアニーリングすることで粒界相の分散が改善され保磁力が向上する。低温焼結では焼結過程での配向改善が期待出来ないため、焼結前により高い配向をさせる工夫も必要。

• CI-08 Magnetic properties of Mg-assisted flux grown single crystalline Sm-Co-Mg (AMES 研、アイオワ州立大、オークリッジ国立研:米)。フラックス法による $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$ 型単結晶化合物の合成。Mg をアシスト材として利用し $\text{Sm}_9\text{Mg}_{24}\text{Co}_{67}$ 単結晶の合成に成功。バルク異方性磁石の製造プロセスとして期待されるが磁気特性の改善などが必要。

• CI-09 Tough heterogeneous Sm-Co sintered magnets with improved flexural strength. (AMES 研:米) 機械強度の改善を目的としたバイモダル構造の SmCo 系磁石。ジェットミル粉と低温粉碎した微粉末を混合し使用する、いわゆる 2 合金法の応用技術。

• CI-10 Anisotropic $\text{Ce}(\text{CoFeCu})_5$ as Gap Magnet Material. (AMES 研:米) Ce 系ギャップ磁石の組成最適化に関する研究。Ce-Co-Cu-Fe 系で Cu 量と Fe 量を変えて組成を最適化。Cu 量により異方性定数のピークを取る Fe 量が変わる。

• GI-11 Prediction of Intrinsic Properties of Fe-doped CeCo_5 . (AMES 研:米) Fe をドーピングした CeCo_5 型永久磁石の磁気特性に関する計算からの考察。Fe は飽和磁化を向上させ、Cu は構造を安定化させる。Cu が 3g サイトに優先的に配置されると 10% の置換で異方性磁界は 3.5MJ/m^3 となる。

希土類元素量を低減し、中庸なコストと特性のバランスを狙いとした磁石材料研究は、材料系やプロセスが種々模索されている。磁石製造メーカーが保有するエンジニアリング技術や、技術者の経験に基づく知恵を活用することも有用と感じた。

3.2 ThMn_{12} 型化合物に関する発表

研究対象は ESICMM 元素戦略磁性材料研究プロジェクトの中で見出された $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{12}$ 系をベースとした材料開発や計算科学アプローチが主流となっている。以前検討されていた窒化物系化合物の研究は少ない。

• BI-11 Sm-Fe-V based ThMn_{12} -type Permanent Magnets. (BCM マテリアル:スペイン、デラウエア大:米) メカノケミカルアプローチで、 $\text{Sm}(\text{Fe}/\text{V})_{12}$ 型

化合物の合成にチャレンジ。急冷凝固法による原料合金粉末を高エネルギーボールミルで機械粉碎し $600 \sim 800^\circ\text{C}$ の温度域で高密度化した後、熱間塑性加工した磁石の磁気特性を報告。粉碎後の磁石化プロセスにおけるブレイクスルー技術が求められる。

• BI-12 Structural and magnetic properties of $(\text{Sm},\text{R})(\text{Fe},\text{Co})_{11.4}\text{Ti}_{0.6}$ ($\text{R} = \text{Y}, \text{Zr}$) with ThMn_{12} Structure. (東芝:日本) 構造安定化元素として Zr より少し原子半径の小さい Y を用いた場合の磁気物性値を、Zr 置換と比較し評価。原料はアーク溶解インゴットと急冷凝固した粉末の両方を評価。Zr に対し高い飽和磁化が Y 置換により得られるとの報告。

• BI-13 Microstructures and Magnetic Properties of Grain Boundary Modified $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{11}\text{Ti}$ Bulk Materials. (韓国工業大) $\text{Sm}(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{11}\text{Ti}$ 系磁石の材料開発。急冷凝固粉末を出発原料とし、粒界形成 Sm-Cu 合金をブレンドし、ホットプレスで高密度化。主相の細粒化、粒界改質合金量や分布の最適化が高性能化の鍵と考えられる。

• CI-11 Crystalline and Magnetic Properties of Rare-Earth Doped $(\text{Sm}_{1-x}\text{Re}_x\text{Zr}_y)(\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2})_{11}\text{Ti}$ with ThMn_{12} (韓国工業大) $\text{Sm}(\text{Fe}/\text{Co})_{11}\text{Ti}$ 系磁石材料開発。希土類サイト Sm の一部を Zr と La で置換した化合物の物性と構造を解析。

• CI-12 Inter-Sublattice Exchange Interaction in $\text{Nd}(\text{Fe},\text{Ti})_{12}$ Permanent Magnets. (ヨーク大:英) $\text{Nd}(\text{Fe}/\text{Ti})_{12}$ 化合物の計算科学による物性評価。

• GI-03 Crystal-field analysis of the full magnetization process of the $\text{TmFe}_{11}\text{Ti}$ and $\text{TmFe}_{11}\text{TiH}$ rare-earth intermetallics. (モスクワ工業大:露) 水素導入による結晶場パラメータの変化について考察した、磁気物性に関する研究。

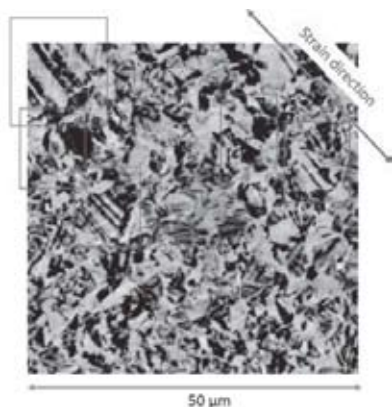
• GI-08 First-order magnetization process and spin reorientation in $\text{Nd}_{1-x}\text{Y}_x\text{Fe}_{11}\text{Ti}$ compounds. (デラウエア大:米) Y をドーピングした 1/12 化合物の低温での磁気構造や磁化過程を、広い成分範囲で計算し解析。

1/12 型の省 RE 磁石研究は、窒化物系よりもバルク磁石化の可能性が高いと考えられている非窒化物系の $\text{Sm}(\text{FeCo})\text{-M}$ ($\text{M}=\text{Ti}, \text{V}$ 等) 系が主流となっている。R サイトを置換する構造安定化元素として、Y の有効性が生成エネルギーの計算で確認されている。残留磁束密度やエネルギー積等の実用性能をさらに向上させるには、Nd-Fe-B 焼結磁石や熱間加工磁石で解析された保磁力発現機構や理論の横展開が有効と考えられる。

3.3 L1_0 型など RE フリー磁石に関する発表

• BI-02 A Study of the Transitional Paths to Ordering in L1_0 Compounds. (ノースイースタン大:米) Fe-Ni 規則化変態を加速する手段として変態温度近傍での応力と磁界の付加効果を検討。Fe-Pd 合金では応力と磁

界を印加することにより、L1₀規則化が促進され、規則化率の高いサンプルが作製出来ることを検証。



アニーリング後の FePd 合金の磁力顕微鏡像 (BI-02)

- EI-01 Phase-tuning control in MnAl gas atomized powder by nanostructuring through flash-milling process. (IMDEA ナノサイエンス：スペイン) ガスアトマイズ粉末をフラッシュボールミルで粉碎し結晶粒を微細化。ナノ結晶による高性能化を試みた。
- EI-02 In-situ observation of the ferromagnetic L1₀ phase formation in the Mn-Al-C rapidly solidified alloy by synchrotron. (CNRS：仏) 高輝度 X 線を用い In-Situ で Mn-Al-C 化合物の相変態を詳細に観察。
- EI-04 The core-shell engineering on energy product of magnetic nanometals. (ニューヨーク州立大 S. Ren 氏：招待講演) 化学プロセスをベースとするコアシェル構造ナノ粒子による、磁性材料の機能改善の可能性と応用分野について講演。Fe-Co、Fe-Pd、Fe-P、MnBi-Co 各ナノ粒子など。高性能ナノコンポジット磁石として、軟磁性コア / 硬磁性シェル構造を提案。
- EI-05 Magnetic Property Enhancement of High-Field-Annealed Rapidly - Quenched MnBi Due to Sn Addition. (ネブラスカ大：米) Sn をドーピングした Mn-Bi 磁石を高磁場中で熱処理し急冷。Sn は飽和磁化を低下させずに異方性磁界を向上させる。
- EI-06 Novel fabrication processing of MnBi powder and magnets with high performance. (AMES 研：米) Mn-Bi 磁石粉末のプロセス技術に関する研究。メルトスピニングで作製した薄片を 290℃で熱処理し、粗粉碎後ボールミルで微粉碎し、成形後、温間プレスで高密度化。
- EI-07 Neutron diffraction study of Fe_{3-x}Co_{3-x}Ti₂ (x=0, 2, 3). (ネブラスカ大：米) Fe-Co-Ti 系ホイスラー合金の中性子線回折による構造解析。結晶構造からレアアースフリー永久磁石としての可能性を持つ化合物のひとつ。

RE フリー磁石の研究は、Fe-Ni 系、Fe 基遷移金属系、Mn 系等が検討されている。このうち Mn 系では、MnBi 系がフェライト焼結磁石と同様保磁力の、温度

係数が正であることから、高耐熱磁石としての可能性が期待されている。将来的には複合組織を有する永久磁石への応用展開が期待できる。

4. 軟磁性材料の技術動向

表 2 に軟磁性材料に関する 27 件のオーラル発表の材料分野別の件数を示す。今回 Soft Magnetic Materials がポスターと合わせると 5 セッションと多く、材料機能改善に関する興味深い講演が多数みられた。Additive Engineering (3D プリンティング) を用いたモータコアの製造プロセスなどの開発も進んでいる。

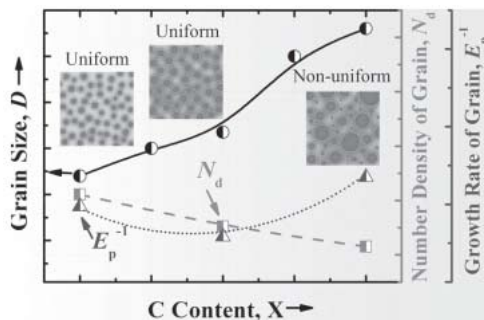
表 2. 軟磁性材料の材料分野別件数 (オーラル発表)

材料	発表件数	内容
Fe 基結晶材	8	Fe-Ni/Cu、Fe-Si、Fe-Cr、Fe-Co 等
Fe 基ナノ結晶	5	Fe-Co-P-B、Fe-N、Fe-B 等
アモルファス	3	Fe-Si-B、Fe-Ni 等
軟磁性複合材料 (圧粉磁心)	2	Fe-Si-P 等
薄膜	3	Fe-Co-Si、Fe-Nb-P-B 等
フェライト	3	Mn-Zn
その他	3	ハイエントロピー合金等

- AF-15 Synthesis of γ' -Fe₄N Powder in Liquid Nitrogen. (カルフォルニア大：米) 液体窒素中での軟磁性窒化鉄粉末の合成。高エネルギーボールミル粉末を液体窒素中で処理することにより bcc 鉄中に N を過飽和に固溶させる。N の過飽和固溶体を 200℃で熱処理し、表面部分に Fe₄N 相を得る。
- EP-05 Production of nanocrystalline soft magnetic powders with high Bs by an improved rapid-cooling water-atomization process. (東北マグネットインスティテュート：日本) 高圧水アトマイズ装置により微細な Fe-Si-B-P-Cu 系軟磁性粉末を開発。高周波インダクターや小型リアクトル、メタルコンポジットなどの受動部品用途への展開が期待される。
- EP-07 Si effects on a thermal stability and a crystallization behavior of P-riched Fe-(Si)-B-P-Cu alloys. (東北マグネットインスティテュート：日本) ナノメットに Si を添加することで、第 2 結晶化温度を高温側へシフトさせ、ナノ結晶化熱処理条件を大幅に改善。厚さ 20μm、100mm 幅のナノ結晶薄帯の製造が可能。コア製造の条件が大幅に緩和されると推察される。
- CG-01 Nanocrystalline soft magnetic materials from binary alloy precursors with high saturation magnetization. (豪 モナシュ大 K.Suzuki 氏：招待講演) 高飽和磁束密度の 2 元系 Fe-B ナノ結晶材料。Fe₈₇-B₁₃ とメルトスピニングプロセスでアモルファス化出来るほぼ限界の Fe 量に設定。作製したアモルファスリボンを超急速加熱と急冷で結晶粒成長を抑制し、1.9T 超

の高飽和磁束密度と 7A/m 弱の低保磁力を実現。量産性は不詳。

- CG-04 Realization of constant permeability up to more than 3 GHz in high Bs powder cores. (東北大：日本) 周波数特性に優れた圧粉コア。ガスアトマイズ Fe-Si-B-P アモルファス粉末表面をシランカップリング材を用いて均一な絶縁被膜を形成する技術を確認。
- CG-06 Virtual Bound State Elements and their Effects on Magnetic and Electrical Properties of Fe-Ni based Metal Amorphous Nanocomposites. (カーネギーメロン大：米) $(\text{Fe}_{70}\text{Ni}_{30})_{79.5}\text{Nb}_4\text{Si}_2\text{B}_{14}\text{V}_1$ メタルナノコンポジット材料 (残留アモルファス相中に Fe-Ni ナノ結晶が分散した構造を持つ材料) を熱処理後のトロイダルコアの損失は $W1/400 = 2.1 \text{ W/kg}$ 、 $W1/1k = 6.0 \text{ W/kg}$ 。
- CG-09 Magnetic characterization of 1- μm -thick CoFeB steels with ultra-low loss in MHz frequency ranges for power electronics application. (豊田工大：日本) 極薄 1 μm の Co-Fe-B シート材料。対向スパッタリング装置でガラス基板上に薄膜を形成。1MHz 帯域で低損失の実現を確認。
- CG-12 Synthesis of novel FeSiBPCCu alloys with high amorphous forming ability and good soft magnetic properties. (南東大：中国) ナノメットの厚肉化の研究。Fe_{83.3}-Si₄-B₈-P_{4-x}-C_x-Cu_{0.7} (x =0-4) 合金を開発。P の一部を C で置換しアモルファス形成能を高めた。C 添加によりリボンを最大 40 μm まで厚肉化が可能で、アニール後の飽和磁束密度も向上。



C 量とミクロ組織の関係 (CG-12)

- DR-06 Characteristic of high frequency Fe-Si-Cr motor component by selective laser melting. (成功大：台湾) Additive Engineering プロセスを応用した Fe-Si-Cr モーターコアの製造。雰囲気酸素量を調整し絶縁層を形成。Fe-Si 積層コアより高周波で低鉄損。

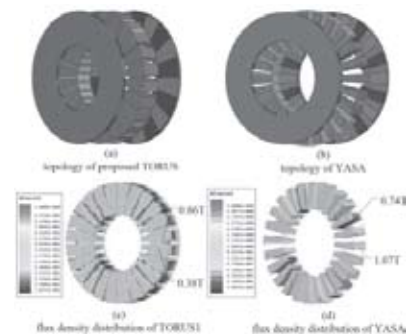
5. 磁石モーターの技術動向

アルニコ磁石や Ce 置換希土類磁石を応用した可変磁石メモリーモーター、ダブルステータ型可変磁束モーター、アキシアルギャップ構造を採用したインホイールモーター、圧粉磁心を採用したモーターや、メ

タル 3D プリンティング技術を部品作製に応用したモーターなどの講演が目をつけた。

用途としては、自動車主機モーターが最も多く、他にも風力発電用、波力発電用、高速鉄道用、蓄電用フライホイール、自動車インホイールモーター、エアコンコンプレッサー、航空機搭載用等、様々な用途を念頭とした設計と実評価の講演が多数あった。

- CH-07 Development of a High Performance Axial Flux PM Machine with SMC Cores for Electric Vehicle Application. (シドニー大：豪) 圧粉磁心コアを用いたアキシアルギャップ構造の永久磁石同期モーターの開発。アウターロータ 2 個とインナーロータ 1 個で構成し、ステータヨークに界磁巻き線を施す。ステータに圧粉磁心を採用。24 極 20P で永久磁石はフェライト磁石と NdFeB 磁石を比較し評価。



圧粉磁心コアを用いたアキシアルギャップ PM モーター (CH-07)

- AO-01 Multi-objective Optimization of the Soft Magnetic Composite Machine with the In-Wheel Applications. (香港科学技術大：中国) 圧粉磁心コアを採用したインホイールモーターの設計と実機性能評価。
- CJ-03 Comparative Analysis of Parallel Hybrid Magnet Memory Machines with Different PM Arrangements. (南東大：中国) 低保磁力磁石と高保磁力磁石の配列を変えた可変磁石メモリーモーターの性能比較。
- AO-09 A Study on Design of Line Start Synchronous Reluctance Motor Using Metal 3D Printing Technology. (漢陽大：韓国) Additive Engineering プロセスで制作したアルミケージを採用した同期リラクタン্সモーター。
- BK-02 New Hybrid Stator Design for High Speed PMSMS Based on Selective Laser Melting of 3D Printing. (成功大：台湾) 3D プリンティング技術を応用したモーター。
- BG-04 A Hybrid Interior Permanent Magnet Variable Flux Memory Machine Using Two-Part Rotor. (浙江大：中国) ロータの軸方向にアルニコ磁石と NdFeB 磁石をハイブリッドさせたモーター。
- BG-05 Analytical prediction of iron losses in a spoke-

type permanent magnet synchronous in-wheel motor for electric vehicles. (北西科学技術大：中国) スポーク型永久磁石同期インホイールモーターの鉄損を解析。
 ・BG-07 High Power-Density Axial Flux Rotational Machines with Metal Amorphous Nanocomposite (MANC) Soft Magnetic Material (SMM) and Rare Earth Free Permanent Magnets. (カーネギーメロン大：米) アモルファスナノコンポジットとフェライト磁石を用いたアキシアルギャップモーター。



電磁鋼板積層ステータ(左)と
3Dプリンティングによる圧粉磁心ステータ(右)(BK-02)

6. 磁石市場動向・希土類資源動向

人口増を背景として経済成長を続ける米国においても、温室効果ガス削減の観点から、化石燃料から電気エネルギーのシフトが進行し、移動手段として電動自動車が増え、風力発電など再生可能エネルギーが増大してゆくと考えられている。

こうした中、米国では現在、高性能磁石原料となる希土類資源の大部分を、国外の供給源に依拠しているため、CMI(Critical Material Institute)などの組織を中心に、①供給源の多様化、②代替材料の開発、③リサイクル・再利用などの取り組みが行われている。

代替材料に関しては、前述の通り、重希土類低減、Nd低減、希土類フリーなどの、様々な磁石材料開発と、回転機的设计・応用技術の研究開発が進められている。リサイクル・再利用技術については、採鉱・製錬と比較しての省エネや環境保護に加えて、供給源の多様化、増大するE-wasteへの対応といった観点から、米国 AMES 研究所 (GI-13: Efficient Reuse Approaches for Recycling Rare Earth Permanent Magnet) やフランス国立科学研究センター CNRS (GI-12: Structural Modifications of Nd-Fe-B Magnets during a Sub- and Supercritical Recycling Process) から希土類磁石のリサイクル技術に関する報告があった。リサイクル技術については、酸を使わない等リサイクル時の環境負荷低減と、経済性の確保が目下の課題である。

米国 CMI 前所長の Alex King 氏 (招待講演「What Will We Make Magnets From?」) によれば、電気自動車の最大の課題は航続距離で、12 車種の電気自動車を例に挙げ、車両価格を抑制して航続距離を如何に確保するかが鍵であることを示した。風力発電機においては、永久磁石発電機を用いない増速機型はギヤに負荷がかかる。このため、メンテナンスフリーが特に求められる洋上発電を中心に、永久磁石発電機を用いたダイレクトドライブ型の風力発電機の普及が拡大している。希土類磁石をリサイクルにより賄うには、社会蓄積がまだまだ足りない、とのことである。

米国内での電気自動車の普及動向は、米国内地域、パリ協定を域内で順守することをコミットした西部・北東部などの米国気候同盟 14 州とそれ以外の地域、によっても異なり、石油価格、人気の高いピックアップトラックの電動化趨勢、などにも左右されると考えられる。リサイクルでは、磁石製造工程で発生する発生屑の再利用は既に行われているため、製品として市場に出回った磁石の効率的な回収・分別が最大の課題と考えられる。

7. まとめ

ポスト Nd-Fe-B 系高性能磁石へのチャレンジは、磁石材料研究開発の最大テーマであり、この分野における研究の深耕が実用永久磁石材料の更なる進化に繋がることは間違いない。一方、温室効果ガス削減の観点から、世界的に、化石燃料から電気エネルギー・再生可能エネルギーへのシフトが進行し、電動自動車や風力発電などが増大し、高効率化が進められている。これらに必要とされる磁石材料の将来需要の予測から、Nd-Fe-B 磁石のリサイクル利用に加えて、フェライト磁石と Nd-Fe-B 磁石の間を埋める性能の磁石 (ギャップ磁石) 開発も大きな課題として挙げられる。ギャップ磁石の開発には、磁石を利用する側の要求と材料開発をマッチングさせることが重要と考えられる。

軟磁性材料においては、性能およびコストパフォーマンスで圧倒的に優位な無方向性電磁鋼板に代わる材料を、商業ベースでモーターへ応用することは容易では無いが、小型・高効率・高速化というモーターのトレンドを考慮すると、圧粉磁心・アモルファス・ナノ結晶材料などは魅力的な材料である。その適用拡大には、材料の本質機能に加えて、材料の加工・ハンドリングなどのエンジニアリング技術の開発がブレークスルーの鍵となる。

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第 388 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 2019年2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