

TODAY

これからも期待されるアルミニウム



日本アルミニウム協会専務理事
能登 靖

昨年12月、日本アルミニウム協会専務理事に就任いたしました。

アルミは、軽くて丈夫で、様々な用途に使われ、社会と産業を支える重要な基幹的材料です。DXやカーボン・ニュートラルが時代の流れですが、これから活躍が大いに期待される材料です。

自動車を軽量化するためアルミの利用も増えてきていますが、電気自動車には大量のバッテリーを搭載しなければならないため、車体をできるだけ軽くする必要があり、さらにアルミが多く使われていくと考えられます。

また、アルミは、重量あたりでは銅の2倍も電気を通すことができます。電子材料、エネルギー輸送、バッテリー電極への需要もますます増えていくことが期待されます。自動車には沢山の電線が使われますが、電線を銅からアルミに代えれば、重量は半分にすることができます。さらに同じ重量で価格は1/3ですから、正に一石二鳥です。

カーボン・ニュートラル時代の材料の観点からも、アルミはとても優等生です。日本ではアルミ缶の98%が再利用され、70%がまたアルミ缶として再生利用されています。アルミ缶は溶かすことにより、夾雑物を分離することができます。さらに溶けた状態でフィルターを通すことにより、不純物を取り除くことができます。こうしたことから、他の素材では難しい水平リサイクルが実現されています。脱プラスチックの面でもアルミは優れた材料なのです。

アルミ協会では、2050年の脱炭素社会実現に向けて、まだまだリサイクルされていないアルミのリサイクル推進、生産工程での炭酸ガス排出量の削減を目指す「アルミニウム VISION2050」

(下図参照)を掲げ、NEDOの資金を利用してアルミ循環に関する国プロにも参加しています。溶解工程における不純物元素低減技術、残存した不純物を無害化する圧延技術について、産官学連携で研究開発を実施しています。

EUでは炭素国境調整メカニズム(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)が検討されています。まだ案の段階ですが、CBAMの対象となる製品(アルミが含まれています)をEU域外から輸入する際に、炭素価格に対応した価格の支払いが義務付けられることになります。

今はまだ、リサイクルアルミの方が新地金アルミに比べて値段が低く評価されていますが、リサイクルアルミの方が圧倒的にカーボン・フットプリントが小さく、これから価値がもっと評価されて来るのではないかと期待されます。

時代はコロナの影響もありますが、急速に変化してきています。ウェブ会議やテレワークが当たり前になり、ネットやデジタルでなんでも生活できるようになってきました。

アルミは古くて新しい素材ですが、最近水素吸蔵合金にアルミが使えるということも分かってきています。新しい時代にあっても、イノベーションを推し進め、アルミがより良くより多く使われ、社会に貢献できればと考えています。



アルミニウムが目指す2050年の世界

国際磁性会議 INTERMAG2021 @ リヨンに参加して

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
一般財団法人金属系材料研究開発センター 磁性・先進技術研究部長 豊田 俊介

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、2021年4月26～30日にフランス リヨンを拠点としてオンラインで開催された国際磁性会議 INTERMAG2021 に磁石材料、軟磁性材料、電動機に関するセッションを中心に参加し技術動向を調査したので概要を報告する。なお、INTERMAG 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 主催の国際会議で、2020年4月に予定されていたカナダ モントリオールでの会議が中止されたため2年ぶりの開催となった。

2. 磁石材料に関する講演

磁石材料に関して2セッション23件のオーラル講演があった。オーラル講演の材料系別の講演内訳は、Nd-Fe-B系8件、Mn系5件、希土類-Co系2件、1/12系希土類-遷移金属化合物2件、L10型2件、フェライト系2件、その他2件であった。地域別では欧州13件、米国6件、アジア4件うち日本1件であった。さらに17件のポスター講演があった。

2.1 希土類磁石に関するセッション

JC-01～04の4講演は、積層造形法によるNd-Fe-B磁石のプロセス開発に関する研究。ボンド磁石の製造プロセスとしての実装が視野に入りつつある。バルク材の高磁気特性に対しては技術的課題が多く、磁気MEMS用途などが有望と思われる。

JC-01 Advancing Additive Manufacturing of Bonded Permanent Magnets via in-Situ Magnetic Field Alignment During 3D Printing. (AMES研、米) 異方性ボンド磁石のin-situ配向固化成形技術。

JC-02 High Coercivity in Bulk Pr-Fe-Cu-B Alloys as a Stable Precursor for Permanent Magnets by Additive Manufacturing. (ダルムシュタット工科大、独) PrFeCuB合金を3Dプリンティングで作成。

JC-03 Unexpected Coercivity Enhancement > 1 T for Nd-Fe-B Permanent Magnets with 20 wt. % Nd Produced by Laser Powder Bed Fusion. (フラウンホーファー研究機構IWU、独) レーザパウダヘッド熔融プロセスによるNdFeB磁石とその特性。

JC-04. Batch Fabrication of 50 μm Thick Anisotropic NdFeB Micro-Magnets. (ネール研究所、仏) 50μm薄膜の異方性Nd-Fe-Bマイクロマグネット磁石の製造法。スパッタ法などの既存の薄膜プロセスの延長では対応出来ないサブミクロンの磁石を効率良く形成するプロセス。磁気特性評価デバイス用。

JC-05 Magnetic Properties and Microstructure of Sm₅Fe₁₇-Based two-Phase Magnets. (ダルムシュタット工科大、ドレスデン・ロッセンドルフ研究所、独; NIMS) 超高保磁力Sm-Fe-Ti磁石の開発、高エネルギーボールミリングによりアモルファス化した粉末を前駆体とし、ポスト熱処理でナノ結晶微細組織を形成し高保磁力を実現。200nmのSm₅Fe₁₇相と100nm以下のTiFe₂相の複相組織。TiFe₂相が保磁力発現の鍵。キュリー温度は約577Kで、500Kでも2Tの高保磁力を維持。

JC-06 Microstructure and Hard Magnetic Properties of Sm_{1-x}Zr_x(Fe,Co)_{11.3-y}Ti_{0.7}By Ingots and Thick Melt-Spun Ribbons. (デラウエア大、米) ZrとBを複合添加した、1/12系Sm-Fe-Co-Ti系メルトスピニング薄帯の磁気特性を評価。1/7相の形成を抑制するために冷却速度を抑え、ZrとBを複合添加した場合に保磁力が改善される。

JC-07 “Artificial Elements” Based on High Entropy Alloys as “Building Blocks” for Novel Magnetic Alloys Suitable for Permanent Magnets: Special Case SmFe₃CoNi. (INN研究所、ギリシャ)

SmFe₃CoNiなどハイエントロピー合金ベースの磁石探索。SmFe₅合金のFeを複数の遷移金属合金に置換すると、生成エネルギーが低下し新しい化合物が得られる。

JC-10 Influence of Reducing Agent to Recovery of Nd₂Fe₁₄B Sludge Waste by Calcium Reduction Diffusion Method. (北京工業大、中国)

希土類資源のリサイクル技術。NdFeB磁石スラッジを還元拡散プロセスで再生する。Caに替えてCaH₂を還元剤とすることで、低温で還元反応が可能となり効率的な再生が可能。

JC-11 Anisotropic Nd-Fe-B Magnets Prepared from Recycled Jet-Milled Powders with Spark-Plasma Sintering Technique. (ヨーゼフ・ステファン研究所、スロベニア) Nd-Fe-B焼結磁石の直接リサイクルプロセス。水素解砕→ジェットミル粉砕→放電プラズマ焼結→熱処理解砕したリサイクル粉に焼結助剤としてNd-Cu粒界相合金を混合する。焼結体の酸素量と保磁力が課題。

2.2 希土類フリー磁石に関するセッション

JD-08 MnAlC Permanent Magnets Obtained Directly From ε-Phase Gas-Atomized and Milled Powder by Hot-Pressing. (IMDEA研究所、スペイン) ガスアトマイズ粉末を出発原料とした等方性Mn-Al-Cバルク磁石。不規則ε相のアトマイズ粉を低温

熱処理で規則化後温間成形でバルク化、或いは放電プラズマ焼結で加圧・加熱成形し規則化と緻密化する。粉末はヘガネス社製。

JD-09 Additive Manufacturing of Rare Earth-Free and Hybrid Permanent Magnets: From Composites Synthesized by Solution Casting to Magnetic Filament and 3D-Printing of Magnets. (IMDEA 研究所、スペイン) ファイバー状のボンド磁石コンパウンドを用いた 3D プリンティングによるレアアースフリーボンド磁石の製造プロセス。実用化可能な水準。

3. 軟磁性材料に関する講演

軟磁性磁性材料に関して 2 セッション 23 件のオーラル講演と 34 件のポスター講演があった。

JA-11 Experimental Investigation and Comparison of Magnetic Properties at High Frequency Between Non-Annealed and Annealed 1 μm -Thick Steels.

(豊田工業大学) 1 μm の純鉄薄膜の高周波磁気特性に及ぼすアニールの影響。インダクタコア用途。5mm 幅 \times 50mm 長さの 1 μm 純鉄薄膜を積層したリングコアを作成し、50kHz \sim 1 MHz で磁気特性を評価。スパッタリングで作った 1 μm の純鉄薄膜と比較評価を行う予定。

JY-13 The Microwave Absorption Properties of Fe₁₆N₂ Nanoparticles. (北京大、中国)

Fe₁₆N₂ ナノ粒子のマイクロ波吸収特性を評価。

JW-17 Synthesis of α ''-(Fe, M)₁₆N₂ Nanoparticles Obtained by Hydrogen Reduction and Subsequent Nitridation Starting From α ''-(Fe, M)OOH (M= Co, Al). (東北大) α ''-(Fe, M)₁₆N₂ ナノ結晶の水素還元-窒化プロセスによる合成。ナノパーティクルの窒化後の配向可否等について議論があった。

4. 電動機に関する講演

電動機に関する講演は約 100 件。中国、韓国、日本などアジアからの講演が比較的多かった。高トルク密度、高効率、高速、高信頼性、低振動・騒音などがキーワード。ターゲット分野は EV 駆動モータ、航空機、風力発電など。様々なアイデアを入れた回転機が提案・検討されている。

4.1 2020 年現在の電動機と駆動システムと今後の展望 (招待講演セッション)

BA-01 Getting rid of Critical raw Materials in Hard Magnets: is it Feasible? F. Mazaleyrat 氏 (パリ高等師範学校、仏) 既存の商用と開発中の磁石をレビュー。NdFeB 焼結磁石、Dy 置換磁石、粒界拡散磁石、Ce 等置換磁石、1/12 系、SmCo 磁石。SrFe₁₂O₁₉ フェライト磁石、Alnico5、Alnico9、半硬磁性材料、Co ナノロッド、Co 炭化物、Co-Zr、Mn 合金、FeNi 磁石など。単位磁化当たりの磁石コストを比較。リサイクル材は性能の低下が課題。

BA-02 Integration of Electrical Machine and Drive. J. J. Paulides 氏 (AE グループ社、蘭)

AE グループは 75 年以上の歴史を誇る電気モータ・アクチュエータの製造販売会社。モータ、インバータ、冷却を 1 パッケージとすることで省スペースのエコデザインとなる。IEC61800-9-2 スタンドアード IE5 (超高効率) \sim IE1 (標準効率) で製品の IE クラスを定めている。110kW のインホイールドライブ用モータを紹介。

BA-03 HTS Machines. S. Mezani 氏 (ロレーヌ大、仏) アキシシャルフラックストポロジーの高温超電導モータを紹介。数 MW の高出力、高トルク、10 \sim 100rpm の低速用途用。海上推進モータ、風力発電機など。5MW-100rpm のプロトタイプを評価。77k に冷却保持。ビスマス系超電導線 DI-BSCCO テープ線材を使用。BA-04 A Review of Electric Aircraft Drivetrain Motor Technology. J. Bird 氏 (ポートランド州立大、米) 飛行機用モータの現況と課題を概説。バッテリーの進歩とモータパワー密度の大幅な向上が鍵。シーメンスは 2000kW ハイパワーモータを開発している。ハイパワー化では熱問題が課題で、解決にはマルチフィジックスデザインが有効。分散モータは重量増が課題。シーメンスの eAir 用の 10MW 高温超電導モータなども候補技術と考えられるが複雑で課題も多い。磁気歯車の利用なども検討されている。

BA-05 Novel Asymmetric Rotor Pole Interior Permanent Magnet Machines with Enhanced Torque Density: An Overview. Z. Zhu 氏 (シェフィールド大、英) トルク密度向上の観点から PM モータをレビュー。トルク密度向上にはリラクタンストルクを使う、磁石を 2 \sim 3 層重ね磁束を集中させる、非対称の IPM トポロジーモータなどが考えられるが、複雑な構造は製造性が問題となる。Tesla Model 3 では V 型の IPM モータ、BMW i3 では二重平板型の IPM モータが採用されている。2010 年型プリウス主機モータ、三菱電機の磁石非対称モータなどをシミュレーションでベンチマーク評価した。

BA-06 Hybrid Excited Synchronous Machines.

S. Hlioui 氏 (フランス国立工芸院)

複合モータに関する講演。高効率領域が異なるメカニカルフラックスを用いたシンクロナスリラクタンストモータと電磁フラックスを用いた誘導モータを 3 次元でハイブリッド化した HESM モータに、さらに磁石を用いて 24 kW の可変磁束モータ FSHEM を設計した。構造が複雑なため製造性が課題。

4.2 EV 用永久磁石モータ

BP-02 Design of Hybrid-Type PM Motor for Electric Vehicle Traction Using Trapezoidal Ferrite-PM to Improve Reluctance Torque. (北大、岡山大)

台形フェライト磁石とリラクタンストルクを用いたハイブリッドモータの設計。自動車主機モータとしての出力、フェライト磁石の減磁等について議論があった。

BP-03. Design, Modelling, and Analysis of a Novel Series-Parallel Connected Hybrid-PM Variable-Flux PMSM. (ハルビン工業大、中国)

可変磁束ハイブリッド磁石モータのシミュレーションによる設計・提案。高速域の高効率領域を拡大。

BP-04 A Design of IPMSM High-Power Electric Vehicles with Wide Field Weakening Control Region. (テソン SNE 社、韓国)

ハイパワー EV 用モータの弱め界磁制御の領域をシミュレーションにより検討。磁石の 2 層 V 字形の配置が有効。ロータの剛性について議論があった。

BP-06 Maximum Torque per Ampere Control for Variable-Flux PMSMs Considering the Influence of Magnetization State Adjustments and Load Condition Variations. (ハルビン工業大、中国)

AlNiCo 磁石と NdFeB 磁石を用いた EV 用可変磁束磁石モータをシミュレーションにより提案。保磁力の小さい磁石を用いオンライン最大トルク制御を行う。

BP-08 Torque Characteristics Investigation of a Flux-Controllable Permanent Magnet Motor Considering Different Flux-Leakage Operation Modes. (江蘇大、中国)

可変磁束磁石モータのトルク特性をシミュレーションと実験で評価。EV のスピードレンジの拡大が狙い。

BP-09 Influence of MMF Space Harmonic on PM Eddy-Current Losses in a Modular Fault-Tolerant in-Wheel Motor Under Open-Circuit Faulty

Operations. (ハルビン工業大、中国)

インホイール PM モータの渦電流損の解析。

BP-12 Design Methodologies for Variable-Flux Machines for Fully Utilizing the Material Properties of the Magnet. (ハルビン工業大、中国)

サーボモータ、トラクションモータ、家電モータへの適用を念頭に、低保磁力磁石を用いた可変磁束磁石モータを設計。可変磁束モータでの弱め界磁制御を検討。高速域での効率向上が課題。

BP-17 Optimized Rotor Shape for Reducing Torque Ripple and Electromagnetic Noise. (南京師範大、中国)

2 層 PM モータのエアギャップなどロータ形状最適化により、トルクリップルと電磁ノイズを低減。

5. まとめ

MagHEM の技術調査活動の一環として INTERMAG 2021 に参加し、温暖化対策としてのモビリティの電動化や、サステナブルで快適な循環社会に向けた、磁性材料 (図 1) と高効率モータの技術開発動向とその応用について、各国における継続的な取り組みと進展状況を確認した。

JRCM が技術調査センター (~2016 年度)、霞が関分室 (2017 年度~) として参画し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プロジェクトは 2021 年度を以って終了となるが、この間蓄積した特許・技術動向に関する知見等を、磁性材料に関する情報センターとして、関連する技術の実装支援等により、引き続き広く利活用してゆきたい。

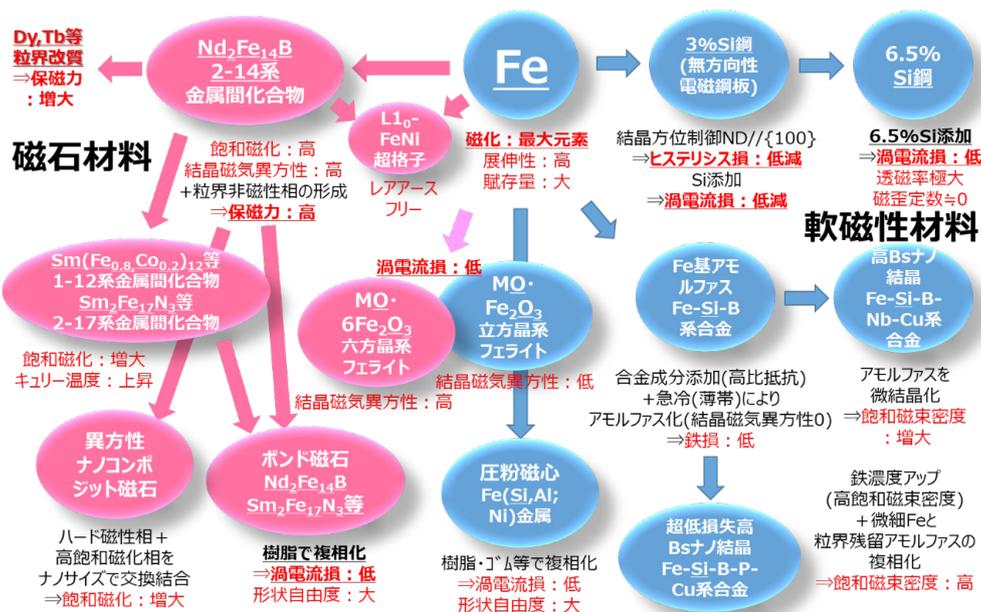


図 1. 高効率モータ用等磁性材料の特長と狙いの例 (候補材料を含む)

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 424 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製・複製・転載することを禁じます。

発行 2022 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

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