

TODAY

ようこそ世界一の業界へ！ 3つのNo.1



一般社団法人 日本鉄鋼協会
業務執行理事・専務理事
小澤 純夫

本年6月1日に、日本鉄鋼協会専務理事に就任することになりました小澤純夫です。1915年に設立され100年以上にわたり我が国及び世界の鉄鋼技術の発展、さらには人材育成について貢献してきた鉄鋼協会に勤務することに身が引き締まる思いです。

本協会では、欧文誌「ISI International」におけるインパクトファクター（文献引用影響率）の継続的な伸びが示す通り、質の高い議論や論文投稿が展開されていると伺っており、鉄鋼分野の技術情報源としての役割の維持、発展が重要と認識しています。

また、次世代の鉄鋼研究者・技術者の育成が、本協会が果たすべきもう一つの重要な使命と理解しています。JRCM ニュースに寄稿させて頂くこの機会を利用して、学生の方々及び若手の鉄鋼研究者・技術者に私が伝えたいと考えるところを以下申し上げます。

まず申し上げたいことは、「日本の強みは部素材」であるということです。日本政府が毎年公表している「ものづくり白書」の2019年版でも、「部素材を中心とした製品群が我が国の強み」、「厳しい国際競争の中、完成品のシェアを大きく低下させた品目においても、それを構成する部素材では高いシェアを維持」と記載されています。

そのような中で、鉄鋼業は3つの点で世界一の業界だと考えます。

一点目のNo.1は、「量」です。鉄は地球の総質量の34.6%を占めており、鉄の星「地球」と言って過言ではありません。また、2020年の世界粗鋼生産量は約19億トンで金属生産量としては断トツであり、また、2000年の世界粗鋼生産量約8億トンから20年で2倍以上となっている成長産業です。

二点目のNo.1は「歴史」です。鉄器時代の開始は、今からおおよそ3200年前といわれますが、一点目のNo.1から分かるように、現在も鉄器時代が続いています。日本でも、「ハイテク日本の始まり」は、たたら製鉄です。卑弥呼の時代の外貨獲得は奴隷輸出でしたが、平安時代は刀剣になりました。刀は日本が世界最高レベルの技術水準に達した最初の工業製品ですが、それを支えたのが玉鋼です。私が社会人になった頃は、米国の粗鋼生産量がピーク時の半分となり米国では鉄鋼業は無くなるのではないかと言われていましたし、日本でも通商産業大臣の諮問機関である産業構造審議会でも衰退産業と位置付けられ、鉄鋼業が無くなるのではないかとの意見もありました。しかしながら、財務省が発表している日本からの「対世界主要輸出品の推移（年ベース）」では、「鉄鋼」は、2000年の7位から、2011年から2014年は自動車に次いで2位、2015年は3位、2016年から2019年は4位となっており、また1位を長年維持している自動車に使用され間接輸出されているとともに、自動車等の外貨獲得製品の競争力も平安時代の刀剣同様に日本の鉄鋼が源泉となっていることから、しぶとい産業であることが分かります。

三点目のNo.1は「技術」です。日本の鉄鋼製品は、ライン・スタッフの一体開発、製鋼工程など各鉄鋼製造工程における要素技術により、高性能、高信頼性・再現性、商品開発力などの点で世界最高水準の技術力を維持し続けています。また、転炉鋼、電炉鋼とも世界一のエネルギー効率で、世界一地球に優しい鉄づくりを行っています。

鉄鋼業は、GAFAのように、一人の天才出現により一夜で勢力図が変わるような派手さはありませんが、クラシック音楽のように、歴史のフィルターを通して生き残ってきており、流行に左右されず万人にとって価値があり続け、オーケストラのように多種の専門家のチームワークでつくり出す産業です。学生の方々及び若手の鉄鋼研究者・技術者が「日輪刀」を作るための玉鋼作りにチームワークで挑戦されることを期待しております。

電動機とシステムに関する国際会議 ICEMS2020 @ 浜松と 電動自動車駆動システムに関するシンポジウム Advanced E-Drive System for BEV/HEVs2021 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・先進技術研究部長 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 MagHEM の技術調査活動の一環として、2020年11月24日~27日に浜松を拠点としてオンラインで開催された電動機（電気機器）とシステムに関する国際会議 ICEMS2020 (International Conference on Electrical Machines and Systems) と、2021年3月24、25日にオンラインで開催された電動自動車駆動システムに関するシンポジウム Advanced E-Drive System for BEV/HEVs2021 に参加し、電動自動車用高効率モーターを中心に、技術・市場動向を調査したので概要を報告する。

2. 電動機とシステムに関する国際会議 ICEMS2020 の概要

ICEMS は 1987 年以来、日本の電気学会産業応用部門 (IEEJ-IAS)、中国電気学会 (CES)、韓国の大韓電気学会 (KIEE)、国際電気学会産業応用部門 (IEEE-IAS) の共催で、2003 年以降はアジア（・オセアニア）地域で毎年開催されており、今回で第 23 回目となる。99 のセッションで 415 件の論文発表がオンラインで行われた。回転機（モータ・ジェネレータ）およびドライブに関連する講演が全体の約 70% を占め、残り約 30% がパワーエレクトロニクス関連、新エネルギー関連、電力関連の講演であった。回転機およびドライブ関連の講演を国別にみると、日本 111 件、中国 107 件、独 17 件、英 13 件、その他欧州 17 件、その他アジア 14 件であった。モータのタイプ別の分類では、永久磁石モータおよびドライブに分類された講演が最も多く 40%。次いでリラクタン্সモータが 10%、インダクションモータが 6%、特殊モータおよびその他が 8% であった。永久磁石モータでは可変磁束モータに加え、パーニアモータやリラクタン্সモータの論文が増加傾向にある。

2.1 可変磁束モータに関する講演

LS4B-4 A Novel Variable Flux Permanent Magnet Synchronous Motor with Separately Excited Field Winding Yuki Hidaka 氏ら（三菱電機） 組み立て容易な巻き線ユニットを組み込んだ可変磁束モータを考案し性能を評価。スリット間にブリッジを設けた分割ステータコア構造が特徴。

LS3B-2 Design and Experimental Studies on HEFSM Employing Two Types of Permanent Magnets per Pole as Traction Motor for Automobile Applications Takeshi Okada 氏ら（名工大） ハイブリッド励磁フラックススイッチングモータ。ステータに組み込む磁石を減磁耐力の異なる磁石（高 B、高 Hc）で構成し、モータ性能を改善。

LS8A-2 Magnetization Strategy for a FeCrCo-Based Variable Flux Machine（カルノー機構、仏） リング形状磁石をロータに用いた高速の変磁束モータ。Fe-Cr-Co 磁石の高機械強度を活用し、リング形状で高磁束密度が得られる設計とした。出力 2kW、最大回転数は 60,000rpm。

LS8A-3 Consideration of Driving Area Expansion for Flux Switching Motor with Variable Flux Magnet Ryosuke Minegishi 氏ら（芝浦工大） アウターロータ型フラックススイッチングモータ。低保磁力の変磁束磁石の磁束変化で磁束を制御し、モータ稼働領域を拡大。高保磁力磁石と高 Br 磁石を組み合わせたハイブリッド構造とし、減磁界の大きな部分に高保磁力磁石を配置することで減磁を抑制。

LS7A-1 Performance Comparison between Adjustable Field IPM Motor Based on Permeability Modulation Technique and Conventional IPM Motor Kiyohiro Iwama 氏ら（静岡大） 磁気飽和を利用して磁石による磁束の流れを制御することで、可変磁束機能を持たせた IPM モータ。特殊な可変磁束機構の付加が不要。運転領域の拡大、高速域での銅損の低減、トルクリップルの低減などに期待。

2.2 リラクタン্সモータに関する講演

LS2D-1 Experimental Evaluation of Characteristic of Switched Reluctance Motor Made by Blanking Amorphous Alloy Foil Takahiro Kumagai 氏ら（長岡技科大、他） Fe 基アモルファス薄帯（25 μ m）および打ち抜き加工した電磁鋼板（200 μ m）の積層コアを使用した出力 70W のリラクタン্সモータを試作し性能を比較。アモルファス積層コアを使用した SRM は鉄損が約 60% 減少し、モータ効率が約 6% 向上。

LS2D-2 Development and Testing of Soft Magnetic Rotor for a Switched Reluctance Motor Built Through Additive Manufacturing Technology（ノッティンガム大、英） 3D プリンティングプロセスで造形したロータコアを適用したリラクタン্সモータ。ロータは突極型 8 極構造、ステータは積層電磁鋼板。ロータの原料粉末は Fe 粉と高 Si-Fe 粉を混合し、Fe-5% Si 組成で平均粒径を 36 μ m に調整。200°C の基板上に出力 200W スポット径 35 μ m のレーザをスキャンして積層造形。バルク造形体の電気抵抗は約 100 μ Ω cm。モータ損失の評価・低減が今後の課題。

LS1D-2 Preliminary Performance Evaluation of a SR-HSRM（電子科技大、中国） ハイブリッド励磁方式を採用したセグメントロータ型の同期リラクタン্সモータ

タ。ステータ内に磁石を配置した永久磁石アシスト方式で、励磁極間に補助極を設けたことが特徴。既存のセグメント方式 (SR-SRM) に比べ、トルク密度が向上し効率改善が期待出来る。

LS1D-1 Effect of Motor Structure on Loss and Modal Frequency of High-Speed Switched Reluctance Motor with Amorphous Alloy Core (ハルビン工業大、中国) アモルファスコアを使用した高速同期リラクタン্সモータを設計。コアロスと風損の観点から構造を最適化。バックヨーク部が積層構造、ティース部が巻構造。実機でのコア製作方法が課題。

DG4L-6 Parameter Identification for Acoustic Noise Analysis of SRM Made of 6.5% Si Steel and Amorphous Iron - Comparison of Noise Analysis and Experiment Haruki Sobue 氏ら (東京工大、JFE スチール) 無方向性電磁鋼板 (20JNEH1200)、6.5% Si 電磁鋼板 (10JNEX900) および Fe アモルファス (2605SA1) の3種類の軟磁性材料をコアに使用した同期リラクタン্সモータの音響ノイズを比較評価。実質ゼロ磁歪材である 6.5% Si 電磁鋼板によるモータは、アモルファス材を適用したモータに比べ音響ノイズが小さい。

2.3 磁性材料の有効活用に関する講演

LS4B-3 Consideration of Asymmetrical Magnetic Pole IPMSM Using Bonded Rare-Earth Magnet Yukihiro Yoshida 氏ら (秋田大) Sm-Fe-N 系射出成型ボンド磁石の形状自由度を活用し、埋め込み磁石の磁極構造を左右非対称とすることでマグネットトルクのピーク角度を制御。Nd-Fe-B 焼結磁石を埋め込んだ IPM と同等のトルクが得られるモータ構造を考案。非対称形状に起因するトルクリップルやコギングトルクの低減が今後の課題。

LS5H-2 Magnetic Characterization of 4 μ m-thick Steel Made by Continuous Rolling Process for Power Electronic Applications in High Frequency Nguyen Gia Minh Thao 氏ら (豊田工業大) 厚さ 4 μ m の純鉄薄帯を精密連続圧延プロセスで製造する技術を開発。この薄帯をリング形状の巻磁心に加工し、リングコアの基本的な磁気性能を商用周波数から最大 1 MHz の高周波域で B-H 曲線、比透磁率、鉄損等の磁気特性を評価。インダクターや変圧器などパワエレ機器用高周波軟磁性コア材料としての活用が期待できる。今後、1 μ m 厚の純鉄薄帯や 3.8 μ m 厚のアモルファス薄帯の軟磁気性能評価を予定。

LS1G-3 Research on Stator Core with Crushed Pieces of Nanocrystalline Soft Magnetic Alloy Tuyoshi Nonaka 氏ら (安川電機) モータの小型高エネルギー密度化を狙いとしたナノ結晶軟磁性材料 NANOMET の適用検討例。トロイダルコアに NANOMET を適用した試作モータの特性を評価。ラミネートされた NANOMET は 0.35mm 厚の電磁鋼板に対して大幅に鉄損が低減され、6.5% Si 電磁鋼板に比べ高い飽和磁束密度を有することを確認。課題はモータ製造のコスト。なお NANOMET のコストダウンの観点から、2 ロール法によるクラッシュプロセスも検討したが、飽和磁束密度

や鉄損の観点から期待した特性は今回得られなかった。
LS1G-4 Evaluation of Insulating Magnetic Materials Composed of Epoxy Resin and Pure Iron Powder for Motor and Reactor Core Applications Katsuya Hirata 氏ら (明治大) 誘導モータの鉄損低減を狙いとして、純鉄系磁粉 + エポキシ絶縁皮膜の圧粉磁心の最適化を検討。磁粉体積分率と抵抗率、比透磁率、損失、飽和磁化との関係を $10^4 \sim 10^6$ Hz で評価。

2.4 電動自動車向けモータに関する講演

LS3B-3 Design of Axial-Flux Integrated Starter Generator Drive System for Hybrid Electric Vehicles (華中科技大、中国) アキシアルフラックス PM モータを組み込んだ機電一体型のスタータジェネレータ。マグネットワイヤーの短縮と冷却スペースの削減で小型化を実現。ドライブのアルゴリズムを適正化し効率を改善。
LS3B-1 A New Methodology to Design Electric Motors for Automotive Applications Including Magnetic, Thermal, Structural and Vibration Constraints (アルテアエンジニアリング、仏) 複数のソフトウェアを組み合わせた、EV 用モータの多目的最適設計手法を考案。磁気、熱、振動、効率など、様々な性能因子を効率良く最適化可能。モータの基本構造が定まっている場合の最適化設計に有効なツールと考えられる。

3. 電動自動車駆動システムに関するシンポジウム

Advanced E-Drive System for BEV/HEVs2021 の概要

International Conference Advanced E-Motor Technology は米国ニューヨークに本拠地を置く IQPC (国際生産性本部) が主催する電動自動車用モータ技術に特化した国際会議で、2013 年から毎年ドイツで開催されてきた。今回 Advanced E-Drive System for BEV/HEVs2021 と題してオンラインのシンポジウム形式で行われた。以下に招待講演の概要を報告する。
電動化運転へのロードマップ：電動車の構成要素と技術のためのより良い市場需要の理解 (Roadmap for future electrified drives : Better understand market demand for key e-drive components and technologies) Claudio Vittori 氏 (IHC マークイット、英) 自動車の電動化は引続き進展し、2030 年には世界で製造される約 1 億台の約 60% が電動車となる (マイルドハイブリッド車を含む)。給電によるエネルギー供給能力の割合も 2020 年から 2030 年にかけて増大し、欧州：19→83%、中国 11→78%、日本・韓国 24→62%、北米 9→40% となる。電動化に伴い、駆動モータ、パワエレ機器、バッテリー、給電機器がさらに必要とされてゆく。駆動モータは、電気自動車、燃料電池車、フルハイブリッド車など高圧システムでは磁石モータ IPM が主流であり続け (図 1)、マイルドハイブリッド車などでは主にクローポール同期モータと SPM が使われる。前者の冷却は油冷、冷媒冷却が主体で、後者の冷却は空冷が主体。高圧システムのスイッチングインバータは IGBT、MOSFET を中心に増大し、SiC、GaN 半導体の電動車への本格的な適用は 2020 年代の後半以降と予想している。バッテリーは、急速充電とエネルギー密度の向上が図られる。

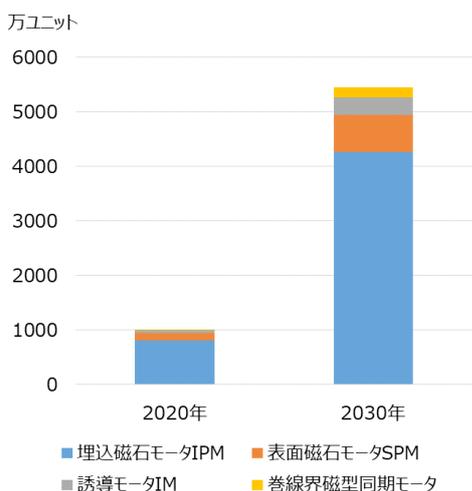


図1. BEV、HEV(MHEVを除く)、FCEVの駆動モータータイプ別数量(予測)

磁石同期モーターと誘導モーター、電気自動車への選択と制御 (Permanent magnet synchronous or induction machine, selection and control for electric vehicles) Peter van Duijsen 氏 (ハーグ大、蘭) 効率マップでHEVの効率を磁石同期モーターIPMと誘導モーターIMで算定比較するとIPMの方が4%高くなる。電動車の100km走行に必要な電力は例えば、日産リーフ15kWh、テスラX27kWh、アウディEtron28kWh、ジャガーI-Pace30kWh、eBike0.8kWhなど。実効率はドライブサイクルに依存。IPMは磁石とエンコーダに初期コストがかかり、IMは効率から運転コストがかかる。センサレスコントロール、太陽電池給電はどうか？

アキシアルギャップモーターのハイブリッド車への適用：小型乗用車の効率向上への試み (Renault experience in axial flux eMachines for hybrid applications – efficiency improvement in WLTP area) Sid Ali Randi 氏 (ルノーグループ) コンセプトカーEOLAB ZE HYBRIDなどへの適用を念頭に、YASAコンセプトのダブルサイドのアキシアルギャップモーターの適用を試みた。インナーローター型、12スロットの2個のステータ、10極の1個のローター、集中巻き、回転数は最大7,000rpm。磁石は8mm厚のN42SH(3% Dy)、軟磁性材料は0.35mm厚の電磁鋼板。アルミシャーシ、グリコール50%の水冷冷媒利用。トルクとパワー能力は良好で、WLTP基準に対しては良好な効率を示すが、他形式の駆動モーターと比較した効率は課題。製造コストはトポロジー解析で最適化すればIPMと変わらないと考えている。14,000rpmなどBEVでも設計可能だが高速回転時の機械強度が必要。最高温度を抑制するための冷却も重要。

Eモーターとノイズ振動挙動：統合と効率 (E-motor & NVH behavior : Integration and efficiency)

Ercan Altinsoy 氏 (ドレスデン工科大、独) 音源は、風切り音30%、ロードノイズ40%、電動車固有音25%、その他10%など。電動車固有音は、モーター+ギア音15%、スイッチングノイズ・コンプレッサー音などの補助機器の音10%など。磁石モーター、誘導モーター、リラクタンスモーター音のデモンストレーションがそれぞれあり、エンジン音に比べると小さいが、側で測ると大きい。基本はドライバーポジションで評価する。アウディQ5ハイブリッド、メルセデスS400、Volkswagen Touareg、Tesla X90D、BMW I3、Hyundai IONIQ、Toyota Prous 2004、Renaut Zoe、Nissan Leafなどは磁石モーターが使われており、Tesla Model Sでは誘導モーターが使われている。今回さらに、インホイールモーターについてもNVHの観点から分析した。Eモーターにおいても外部由来と構造由来ノイズの重ね合わせで考える必要があり、安全の観点からは歩行者認知のための危険予知音も考える必要がある。

EV中型車、商用車における電動機関の効率とロバスト性の向上 (Efficiency and robustness of electric powertrains : Focus on heavy duty EV's ; Closing panel – developing electric axle for hybrid/electric commercial vehicles) Mihai Dorobantu 氏 (Eaton社、米) Eaton社は総合産業機器メーカーでeモビリティを含む自動車、電気製品、電気システム&サービス、航空宇宙、油圧機器などの製品を手掛けている。自動車分野では、乗用車用部品、商用車用部品、電動車用駆動システムなどを提供している。電動自動車の効率は、①駆動装置・モーター、トランスミッション、②構成部品・インバータ、ギア、③システム構造の3要素で決まり、95~98%の効率を適価で達成する必要がある。重量トラックでは、最高速度は90~100km/hと小型車に比べて低いものの、始動や坂道で大トルクが必要であり、マルチスピードに対応するギアによる効率向上と、ギアの疲労強度が課題。燃料電池車も含め、商用車にはライフタイムコストと信頼性が要求される。電動車長距離トラックの場合、1日あたり約2MWhrのエネルギーが必要で、充電時間、充電コストも課題となる。

4. まとめ

ICEMS2020では、可変磁束モーターや新規磁性材料の適用などによる、モーターの小型化・高効率化・アプリケーションの拡大への研究開発段階での創意工夫を、Advanced E-Drive System for BEV/HEVs2021では、アキシアルギャップモーターを含め、新規駆動モーターをモビリティへ実装する際の課題と今後の展望を、それぞれ概観することができた。企業と大学・研究機関、材料技術者とモーター技術者が、顕在化していない社会のニーズをも共有し、息の長い新たな価値を生む技術の創造が期待される。

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第416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 2021年6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