

## 内外 BM 技術動向

専務理事  
大森 賢次

COVID-19 の感染防止のため各種会議は中止または Web 上での開催となった。2020Intermag も春に予定されていたが中止となり、投稿論文は査読後に IEEE Trans. Magn. vol.57 (2) 2021 に掲載されることになったとのことである。今回もアブストラクトを参考にして個人的に興味ある論文を紹介する。

### 硬磁性材料

**北京工業大学 (中国) の Wang Xi らは**、Nd-Fe-B ボンド磁石の開発において、エポキシ樹脂 (EP) バインダーの修飾が磁石の特性を改善するための重要な要素であるため、ジアミノジフェニルメタン (DDM) で硬化した EP バインダーで Nd-Fe-B ボンド磁石の磁気特性、圧縮強度、および微細構造を体系的に調査した。EP モノマーに 20 wt% の DDM を添加すると、優れた磁気特性を維持しながら、磁石に最適な耐熱性と高い圧縮強度が得られることがわかった。DDM 硬化剤の分子構造には剛直な基が含まれているため、EP バインダーの耐熱性とモータ的特性を向上させることができる。さらに、破面形態観察により、DDM-EP ボンド磁石の結合メカニズムが明らかになり、ボンド磁石に対する DDM-EP バインダーの有利な性質を確認した。

**北京工業大学 (中国) の Y. Q. Yang らは**、スパークプラズマ焼結 (SPS) によって調製した熱変形 Sm(Co, Fe, Cu, Zr)<sub>z</sub> 磁石の相と組織について調査した。磁石の相構造と磁気特性に及ぼす熱間変形温度と厚さの変形度の影響を研究した結果、900 °C で厚さを 90% 減少したことにより、TbCu<sub>7</sub> 構造の熱変形磁石は明らかな c 軸方向に揃った組織が得られることがわかった。ただし、高温変形温度が高くなると、一部の 1:7H 相は、高温変形プロセスで 2:17R、1:5H、および Zr に富む粒子相に分解してしまうことがわかった。厚さを 85% 減少した熱変形磁石は、6.9 kG の残留磁気を有し、

前駆体の残留磁気よりも高い値を示した。

**北京工業大学 (中国) の P. B. Qiao らは**、Sm(Co<sub>0.71</sub>Fe<sub>0.15</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>0.03</sub>)<sub>7.6</sub> 磁石の機械的特性と磁気的特性に及ぼす Cu のドーピングの影響を体系的に研究した。Cu のドーピング含有量を増やすことにより、磁石の Cu 希薄粒界と曲げ強度の改善ができた。1.0 wt% Cu ドーピングの磁石の最適な磁気特性は、B<sub>r</sub>=9.9 kG、H<sub>cj</sub>=23.0 kOe、および (BH)<sub>max</sub> = 22.2 MGOe となった。Cu 粉末のドーピング含有量により、曲げ強度は最初に 1.0 wt% で 143.0 MPa のピーク値に達し、その後低下した。1.0 wt% の Cu をドープした磁石の曲げ強度は、Cu をドープ無しの磁石に比べて約 51.8% 高くなった。

**Ames Laboratory(USA) の X. B. Liu らは**、水素化 - 不均化 - 脱離 - 再結合 (HDDR) で異方性 Nd-Fe-B 粉末を調製し、処理水素圧が、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 相の c 軸結晶組織の形成に密接に関連していることを見出した。水素不均化段階には、c 軸結晶組織の形成を促進する臨界水素圧 P<sub>crit</sub> が存在する。処理水素圧が P<sub>crit</sub> よりも高い場合、c 軸テクスチャの形成は悪化するため、等方性の Nd-Fe-B 磁性粉末になる。P<sub>crit</sub> の存在は、HDDR プロセス中の熱力学と動力学に起因する。

**大阪大学の久松らは**、さまざまな熱処理温度 (Ta = 1073 ~ 1223 K) の固相反応法で Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 試料を合成し、結晶構造と磁気特性を調査した。Ta=1223 K で合成した x=0.8 試料では Cu<sup>2+</sup> イオンのヤーンテラー効果による正方晶歪み生じ、この歪みによって磁気異方性定数が向上するため、保磁力 H<sub>c</sub> は最大値がある Cu 濃度依存性を示した。Ta を下げると正方晶の歪みが増強され、また、結晶子径が小さく押さえられるため、Ta=1073 K で合成した x=0.8 試料で H<sub>c</sub>=2100 Oe の最大値を得た。大きな保磁力を得るには、合成中の Cu 濃度とアニーリング温度両方の制御が重要である。

**CNRS(France) の Alexandre Pasko らは**、希土類を含まない Mn-Al-C 永久磁石の磁化反転機構について調べた。L1<sub>0</sub> 相材料を溶融紡糸とスパークプラズマ焼結技術の組み合わせで調製し、振動試料型磁力計で磁気

揺らぎと磁化率を測定した。広い温度範囲で、磁気粘度、ゆらぎ場、活性化体積を測定し、これらのデータを保磁力の磁化反転と温度依存性を分析するために使用した。熱的に活性化された逆核形成のメカニズムが中間温度で確認された。また、磁区の核形成に対する磁壁の厚さと結晶子の大きさの役割について説明した。

**CISRI(中国) の Hai Bo Feng らは**、粒界拡散 (GBD) プロセスを使うことで、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B マトリックス粒子と重希土類の間にコアシェルタイプの反応相を形成し、保磁力と熱安定性を改善した。TbH<sub>x</sub> ソースを使用して 940 °C で 10 時間処理した焼結 (Ce-Y-La)-Fe-B 磁石 GBD を試作した。(Ce, Y)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B、(Tb, Ce, Y)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B および (Ce, Tb, Y)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B シェルが GBD 処理したマトリックス粒子である Y リッチコアの周囲に形成したサンドイッチ構造を形成した。

**Moscow Institute of Physics and Technology(Russia) の N. V. Kostyuchenko らは**、4 つの一連の化合物 R<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B とその水素化物 R<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>BH<sub>5.5</sub> および (Nd<sub>0.5</sub>R'<sub>0.5</sub>)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B とそれらの水素化物 Nd<sub>0.5</sub>R'<sub>0.5</sub>)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>BH<sub>5.5</sub> の磁化挙動の比較研究をおこなった。ここで R または R'=Ho、Er、Tm である。5 K で 58 T のパルス磁場と 135 T のメガガウス磁場で磁化を測定した。磁場誘起遷移の第 1 および第 2 臨界磁場、H<sub>c1</sub> および H<sub>c2</sub> が分析的に推定され、結果を実験データに対して検証した。R<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B と (Nd<sub>0.5</sub>R'<sub>0.5</sub>)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B の水素化により、H<sub>c1</sub> と H<sub>c2</sub> の値が大幅に減少し、その結果、副格子間 R-Fe 交換相互作用パラメータ λ が減少することがわかった。

**Ames Laboratory(USA) の X. B. Liu らは**、Ce-Fe-B 磁石は比較的資源は豊富であるものの特性が劣るため Ce を Nd や Pr で部分置換することで改善を試みた。Nd/Pr の量に他に、微細構造におけるそれらの分布プロファイルが重要な役割を果たすことを報告した。第一原理密度汎関数理論 (DFT) によれば、Ce に対する Pr/Nd の置換エネルギーが Ce<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B では負であるのに対し、ラーベス相 CeFe<sub>2</sub> では正であるため、Nd/Pr 置換は 2:14:1 を安定にしたまま CeFe<sub>2</sub> 相の形成を抑制できる。マイクロマグネティックシミュレーション

によれば、Nd/Pr の均質化された分布が減磁曲線の角形性を改善し、Ce リッチなコアと (Nd/Pr リッチ) な 2:14:1 シェル構造となり、保磁力を高める。Ce-Fe-B の磁気特性は、熱力学的特性の微妙な違いに基づいて微細構造内の化学元素の分布プロファイルを操作することで最適化できるので高性能磁石作製のための最適化された化学組成と処理ルートを開発するための効果的な手段である。

**ナポリ大学 (Italy) の Salvatore Perna** は、渦電流損失に対する永久磁石の粒状微細構造の影響を調査した。電気伝導率に対する数値均質化手順を定義した。それによって、幾何学的および材料依存性の主な特徴を捉えることができる均質化された導電率の近似的な単純分析モデルを導き出した。また、渦電流損失の解析計算を行い、定常電動限界と進んだ表皮効果限界における損失に対する 2 つの漸近式を導き出した。

**東北大学の飛世** は、飽和磁化が高く半硬質磁性材料として適していると考えられている準安定  $\alpha$ - $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  がより高い保磁力を有するためには結晶磁気異方性の改善が必要であるため、Fe を他の元素  $M$  ( $M = \text{Al}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Mn}, \text{Ni}$ ) で置換した場合の影響を調べた。 $\alpha$ - $(\text{Fe}_{0.95}\text{M}_{0.05})\text{OOH}$  を還元した後、窒化して  $\alpha$ - $(\text{Fe}_{0.95}\text{M}_{0.05})_{16}\text{N}_2$  ナノ粒子を生成した。出発原料として使用した  $\alpha$ - $(\text{Fe}_{0.95}\text{Al}_{0.05})\text{OOH}$  ナノ粒子は球形であり、粒子サイズは  $\alpha$ - $\text{FeOOH}$  および還元によって得られた  $\alpha$ - $\text{Fe}_{0.95}\text{Al}_{0.05}$  のそれよりも小さく、約 25 nm であった。 $\alpha$ - $(\text{Fe}_{0.95}\text{M}_{0.05})_{16}\text{N}_2$  ナノ粒子は、 $M = \text{Al}$  および  $\text{V}$  でのみ出現したが、 $\alpha$ - $(\text{Fe}_{0.95}\text{M}_{0.05})_{16}\text{N}_2$  が生成される実験条件は元素  $M$  の性質に関係なく、窒化前に  $\alpha$ - $\text{Fe}_{0.95}\text{M}_{0.05}$  ナノ粒子の結晶子直径 ( $D_c$ ) は  $< 50$  nm が必要である。この発見は、 $\alpha$ - $(\text{Fe}, \text{M})_{16}\text{N}_2$  のような材料を開発するために重要である。窒素原子が格子間サイトに導入されることで、歪んだ結晶構造は、前駆体としての  $\alpha$ - $(\text{Fe}, \text{M})$  の結晶子直径の制限によって制御される。Al は還元中の焼結を防ぐのに効果的であり、小さな  $D_c$  値が得られる。 $\alpha$ - $(\text{Fe}_{0.95}\text{Al}_{0.05})_{16}\text{N}_2$  ナノ粒子の最高保磁力は、 $450^\circ\text{C}$  で 4 時間の還元と、それに続く  $160^\circ\text{C}$  で 20 時間の窒化することで 2,200 Oe となった。

**仁川大学 (大韓民国) の Tumentsereg Ochirkhuyag** は、 $\alpha$  秩序型の  $\text{Fe}_{16}\text{N}_{2-x}\text{B}_x$  と  $\text{Fe}_{16}\text{N}_{2-x}\text{C}_x$  合金の固有磁気特性と一軸磁気異方性 ( $K_u$ ) を第一原理計算で検討した。 $\alpha$ - $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  の格子定数、磁気モーメント、および  $K_u$  は実験結果と一致した。B または C ドープ原子の少量の添加は、 $\text{Fe}_{16}\text{N}_{1.75}\text{B}_{0.25}$  および  $\text{Fe}_{16}\text{N}_{1.75}\text{C}_{0.25}$  化合物の両方において、正方晶歪みが大きくなり、 $K_u$  は最大  $0.75 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  まで増強出来る。これは、 $\alpha$ - $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  の  $0.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$  に比べて 20% 以上大きいことがわかる。さらに、B および C の存在により、4e および 8h サイトで隣接する Fe 原子の磁気モーメントを減少させるので、Fe から B および C への電子移動は N に比べて少ないため、磁化が減少することになる。 $K_u$  の増強の根本的なメカニズムを Jahn-Teller 格子歪み、原子分解結晶磁気異方性、および軌道角運動量などに関連して説明した。

**東北大学 (中国) の Xiaoyu Guo** は、 $(\text{Tb}_{0.27}\text{Dy}_{0.73})_{1.04}\text{Fe}_{1.95}$  合金を 4 T の高磁場で方向性凝固し、さまざまな高磁場で熱処理して、合金の磁区構造、磁歪、および磁化の変化を調査した。12 T で処理された合金は、最も高い磁歪を示し、0、6、3、および 9 T で処理した合金は順に小さくなった。12 T で処理した合金は、ドメイン画像で最も高い明暗コントラストを示し、6、0、3、および 9 T で固化した合金の順にコントラストは低下した。磁歪の変化は、主に、高磁場によって誘発されたドメイン画像の明暗コントラストの変化に起因する可能性があり、高磁場を Tb-Dy-Fe 合金の方向性凝固および熱処理プロセスに効果的に適用することで磁歪性能を向上させることができるとしている。

**金沢工業大学の神原** は、脳磁図のような高感度モータを磁気ノイズから保護するためにはミュメタルを使った磁気シールドルーム (MSR) が使われているが、曝される磁気ノイズレベルに応じて異なる磁気特性が必要なため様々な熱処理をして最内層で使うための最適な条件を調査した。外側の層はより高いノイズレベルに曝されるが、内側の層はより低いノイズレベルである。超低周波微小磁場下での透磁率  $\mu$  を測定して磁気特性を評価した。同じロットのミュメタルの 3 つのテストピース (TP) を水素雰囲気中で熱処理し、様々な等温条件と冷却速度を検討した

結果、熱処理材は超低周波の微小磁場で異なる磁気特性を示すことがわかった。

**ハルビン工業大学 (中国) の Feng Chai** は、アモルファス合金コアの新しい損失係数補正モデルを提案して、損失に対する処理とコアサイズの影響を分析した。アモルファス合金材料は、高抵抗率と低損失の特性を持っているが、アモルファス合金コアの損失特性は不安定であり、処理によって大きな影響を受ける可能性がある。このように、アモルファス合金のコア損失の計算誤差が大きくなり、コアの設計と最適化が困難になる。損失係数補正モデルを検証するために、アモルファス合金材料の損失特性をテストおよび分析し、さまざまなコアサイズでのコア損失を比較した。さらに、アモルファス固定子コアの損失を最適化および計算するために、アモルファス合金固定子コアのコア損失の数学モデルを提案した。提案したモデルの正しさは、コア損失のテストで検証した。

**豊田工業大学の Gia Minh Thao Nguyen** は、3 つの別々の測定システムを使用した実験で、重量あたりの鉄損の特性と、フレークと球状粉末の間の相対透磁率を、3.5 MHz の高周波まで正弦波励起で注意深く調査した。使用した粉末試料の組成は、0.001 wt% C、0.012 wt% Si、0.09 wt% Mn、0.0004 wt% P、0.008 wt% S、および 0.06 wt% O を含んでいた。フレーク粒子は、容易軸がプレートレット面に垂直でありという優先配向を有し、水噴霧鉄粉は潤滑剤を用いたボールミルで処理した。異なる専用機器とプローブを備えた 3 つの独立した測定システムを利用する主な目的は、測定結果を徹底的に検証するために使用している関連デバイスの予期しない測定エラーをクロスチェックして克服ためである。実験結果は、高周波でフレーク粉末の重量あたりの鉄損失および相対透磁率が球状粉末よりもはるかに優れた性能を示している。測定結果の物理ベースの説明も表示した。さらに、MATLAB を使用して、粉末の鉄損を測定するための 6 パラメーター Steinmetz 方程式に基づく 2 つの推定関数を開。

**Texas A&M University (USA) の D. Palaniappan** は、半径  $a$  の磁気球の  $(0, 0, c)$ 、 $c > a$  にある  $z$  軸方向の磁気双極子によって生成される磁場を求める基本的な問題

として、スカラー磁気ポテンシャルの解析解と、無次元透磁率  $k = (\mu_e / (\mu_e + \mu_i))$ 、 $0 \leq k \leq 1$  および双極子 - 球分離  $c/a$  に関する相互作用力の正確な式で実際の力を定性的に正確に捉える力の近似式を提案した。磁気力顕微鏡の先端を双極子として、球を磁性材料としてモデル化することにより、サマリウムコバルト (SmCo) およびアルニコ 5 (Alcomax) 磁性材料について計算した結果、SmCo 磁石では  $10^{-13}$  N、Alcomax タイプの磁性材料では  $10^{-12}$  N の力が予測される。先端から球への分離やその他のパラメータも変更することで、より大きな力の推定値も得ることができる。

**Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG (Germany) の Dragan Dinulovic** は、デュアルローター回転電磁エネルギーハーベスティング (EH) 発電機とその電力管理システム (PMS) を開発した。電磁収穫機は、シャフトを押ししたり引いたりすることでモータ的に駆動される。そうすることで、エネルギーを両方向に集めることができる。PMS は、EH システムの AC 電圧をステップアップし、最大電力点追従 (MPPT) の概念を利用して有用な DC 電圧に変換する。PMS と EH システムがテストされ、システム全体の実験結果を示した。EH デバイスは、0.7 V の最大開回路電圧で 100  $\mu$ J の最大出力エネルギーを生成する。PMS は、出力で 350  $\mu$ A を提供しながら 70% の効率を達成した。

**ハルビン工業大学 (中国) の Kuang Yang** は、従来の磁束反転型永久磁石 (FRPM) モータでは各動作瞬間には永久磁石 (PM) の半分が漏れ磁束を生成するため磁石の使用率は低い。FRPM モータでの磁束利用を改善するため、ロータースロットの上部にハルバツ八配列磁石を備えた新しい極 FRPM モータ形状を提案した。ここで、ロータースロットのハルバツ八配列磁石はローターの歯に磁束を通すことで漏れ磁束を減らすことになる。したがって、従来の FRPM モータと比較して、より大きな逆起電力とトルク密度を示す。提案した FRPM モータの構造と動作原理を、従来の 12 スロット / 17 極 FRPM モータの形状で調査した。さらに、逆起電力、電磁トルク、損失、弱め磁束、および過負荷機能を含む提案されたモータの電磁性能が得られ、有限要素法 (FEM) で従来のモータと比較した。

ハルビン工業大学 (中国) の Shukuan Zhang らは、可変磁束メモリモータ (VFMM) は、調整可能な速度のドライブアプリケーションで有望な候補と見なされている。ただし、電流と高トルク密度を調整する許容可能な磁化状態 (MS) を備えた VFMM の調査は、依然として困難な問題である。従来の永久磁石モータに匹敵する高トルク密度の VFMM を紹介した。調査対象の VFMM には、新開発の (Ce, Nd)-Fe-B 磁石を採用した。(Ce, Nd)-Fe-B 磁石の特性を最初に紹介し、次に、(Ce, Nd)-Fe-B 磁石を使用したシンプルで優れた VFMM 形体を、トルク生成能力、MS 調整特性、および全体的な効率の観点から評価し、ベンチマークモータと比較した。

**Huaiyin Institute of Technology (中国) の Lihong Mo** は、1 つの固定子極に 2 つの V 字型磁石片を備えた磁束集中永久磁石 (FCPM) モータは、その優れたトルク密度と永久磁石の使用効率により大きな注目を集めているが、FCPM モータのトルクリップルは通常高い。FCPM モータの多目的最適化設計を目的とした。最適化プロセスは、異なる操作条件での 2 セットの幾何学的変数の異なる最適化目的のために 3 つのステップに分割した。シミュレーションの結果、最適化した FCPM モータの出力トルクが大幅に増加し、トルクリップルが大幅に減少した。最適化した FCPM モータの開回路磁場分布、出力トルク、トルク速度特性、および PM 減磁を、さまざまな PM 形状と PM 温度上昇を考慮して調査し、最適化した FCPM モータは好ましいトルク特性、速度範囲、および減磁能力を持っていることを示した。

**Zhejiang University (中国) の Chentao Tang** は、初期のモータ設計で使用される分析モデルは、サブドメイン (SD)、複合パーミアンス (CP)、および相対パーミアンス (RP) モデルが主なモデルである。永久磁石 (PM) モータの幅広いファミリについて、これら 3 つのモデルの分析と比較を示した。有限要素モデルを比較のための参照として使用した。PM によって生成される磁束リンケージの基本波は、初期設計で分析モデルの精度を評価するため選択した。スロットの数、PM ポールペア、および歯の比率は、テストのため 749 のデザインを生成するための重要なパラメータとして選択し

た。エラーの分布と、さまざまな分析モデルにおける主要なパラメータとエラーとの関係について説明した。SD モデルは最良の結果、CP モデルは最悪の結果となった。高トルク密度モータの解析モデルを選択する方法についても説明した。

**Université de Lille (France) の J. Marault** は、今日、有限要素法は電気モータを研究するための最も正確なアプローチである。ただし、最適化プロセスでの使用は、依然として法外な計算時間を必要とする可能性があるため、多くの場合不適切なままである。分析的アプローチを適応するが、可能な限り正確であることが必要である。かご形誘導機の分析モデルの場合、ローターに誘導される電流は、取得が困難な量を構成する。使用する等価電気回路は適切に適合させる必要があり、その各要素を正確に見積もる必要がある。パー集中定数に基づく等価回路を提案し、それらの識別について詳しく説明した。提案したアプローチは、分散および集中電機子巻線を備えたかご形誘導機の 2 つの例の場合に、シミュレーション結果を従来の FEA によって得られた結果と比較することによって検証した。

**Harbin Institute of Technology (China) の Guangyuan Qiao** は、電気自動車 (EV) 業界における従来の永久磁石同期機 (PMSM) の開発は、不変の永久磁石励起磁場が使われている。可変磁束 PMSM は、磁化状態を動的に操作することにより、広い速度範囲で高効率で動作する能力があるため、EV 推進の優れた候補と見なされている。直並列磁気回路を備えた新しいハイブリッド PM 可変磁束 PMSM を提案した。提案したモータの構造と動作原理を紹介した。提案したモータの電磁性能を分析し、直列接続および並列接続された可変磁束モータと比較し、提案されたモータはこれら 2 種類のモータの利点を組み合わせたものである。提案したモータのインダクタンス特性を凍結透磁率法 (FPM) で分析した結果、インダクタンスの変動則は異なる磁化状態と負荷条件でかなり異なる。提案したモータのトルク容量を分析した。磁束弱め制御を適切に適用することにより、トルクリップルを大幅に低減し、出力トルクを向上させることができた。

**浙江大学 (中国) の Bowen Xu** は、回転子の両端に交互に磁化した方向で永久磁

石 (PM) を固定した新しい軸方向に磁化されたバーニア永久磁石 (AMVPM) モータを提案した。トポロジーは、電磁性能を弱めることなく、構造のモータ的強度を向上させる。詳細な動作原理が説明され、設計パラメータを最適化した。開回路逆起電力 (EMF) は、調和級数式を使用して分析的に計算した。AMVPM モータと通常のバーニア永久磁石 (VPM) モータの比較を、有限要素解析 (FEA) 法で解析した。モータのプロトタイプを製造し電磁性能を実験的に検証した。

**京都大学の Liangliang Wei** は、永久磁石バーニアモータ (PMVM) は、低回転速度でのトルク密度が高いため、ますます注目を集めている。この記事では、ハルバツハ配列永久磁石 (PM) を備えたデュアルステータハイブリッド励起 PMVM を提案した。提案したモータは、ローター内の結果として生じる極ハルバツハ配列 PM で高いトルク密度を達成でき、優れた磁束調整能力と高い力率を備えている。提案したモータの基本原理由れば 2 つのモータの組み合わせと見なすことができる。有限要素解析シミュレーションでパフォーマンスを検証した。さらに、トルク密度、磁束調整能力、および力率に対するさまざまなパラメータの影響を分析することでモータの有効性を示している。

**Changshu Institute of Technology(中国)の Wenye Wu** は、エアギャップ磁束の調整能力を向上させるために、電気自動車 (EV) の潜在的なアプリケーション向けに、透磁率変調特性を備えた新しい内部永久磁石 (IPM) 同期機を提案した。モータ構造の主な特徴は、回転子の極間にブリッジが意図的に確立されていることである。これにより、漏れ磁束のスムーズな磁気経路を生成できる。このように、モータの負荷電流に応じてブリッジの磁気飽和を制御することにより、磁束漏れ状態を調整することができる。この特徴を明らかにするために、モータの性能を理論解析と有限要素法によって調査した。設計したモータを製造し、その性能を実験によって検証した。シミュレーションと実験結果の両方が、負荷条件下での提案したモータのトルクは、複雑な制御戦略なしで透磁率変調によって柔軟に調整できることを証明した。

**漢陽大学校 (大韓民国) の Dong-Min**

**Kim** は、表面実装永久磁石同期モータ (SPMSM) について、モータのサイズに応じた UHSSPMMSM のローター渦電流損失の簡単な推定方法を提案した。表面実装永久磁石同期モータ (SPMSM) は通常、超高速 (UHS) アプリケーション用の保持スリーブを採用している。保持スリーブは通常、導電率が高く、セグメント化できない。したがって、回転子の渦電流損失は大きい。さらに、渦電流損失が大きいほど、ローター温度は高くなるため、設計段階ではローターの渦電流損失を考慮する必要がある。ただし、渦電流損失は一般に 3 次元有限要素解析 (3-D FEA) で計算され、計算時間が長いいため面倒と考えられる。そこで、回転子の機械的に安定した断面構造を固定し、モータのサイズに基づいて回転子の渦電流損失を予測するための式を考案するため、渦電流の基本的な電磁式と凍結透磁率法を利用した。提案した方法は、3-DFEA の結果との比較によって検証した。

**Jiangsu University(中国)の Yong Zhang** は、変調原理に基づいて減磁防止機能を強化する新しい方法を、希土類の少ない永久磁石同期モータ (PMSM) 用に提案した。分析法により、起磁力 (MMF) と磁気パーティアンスによって計算した減磁効果とエアギャップ磁束密度の関係を確立した。基本高調波変調の設計を実装することにより、希土類の少ない PMSM の減磁防止機能を向上させることができた。有限要素法を使用して、初期および最適なモータの電磁性能を分析し、減磁特性やトルク特性などを詳細に比較した。最後に、理論的分析とシミュレーション結果により、提案した方法の有効性を検証した。

**西安交通大学 (中国) の Wei Du** は、鉄ベースの軟磁性複合材料を使用したクローポールコアを準備し、クローポール間に永久磁石を挿入する新しいクローポールモータを提案した。マイクロハイブリッド電気自動車で使用される統合スタータージェネレーターは、通常、クローポールモータである。モータのクローポールコアは、複雑な技術である低炭素鋼によって鍛造されており、磁場中の導体全体の渦電流損失が大きい。これらの問題を解決するために、鉄ベースの軟磁性複合材料の調製プロセスパラメータを研究することにより、軟磁性複合材料の機械的特性と磁気特性は、700MPa のプレス圧力と 500°C のアニーリング温度の下で最高である

ことがわかった。プロトタイプを設計および製造し、その発電および始動性能をテストした。これにより、48V マイクロハイブリッドシステムの性能要件を満たすことができた。

**ハルビン工業大学 (中国) の Qiang Tan** は、高い推力密度 [ 永久磁石 (PM) 体積に対する平均推力の比 ] と低コストの利点を備えた新しい磁束スイッチング永久磁石リニアモータ (FSPMLM) を提案し調査した。12 スロットの新しい FSPMLM のトポロジーを紹介し、最初に基本的な動作原理を分析した。最適な幾何学的パラメータは、階層化された直交最適化手法を使用して選択した。次に、モータの電磁性能を、等価磁気ネットワークモデル (MNM) に基づく分析方法で調査した。また、三相磁束リンクの不均衡を抑制するために、主要コンポーネントに補助歯を設定するスキームを採用した。

**忠南大学校 (大韓民国) の Jong-Hyeon Woo** は、希土類磁石をフェライト磁石に置き換えた高速 PM モータの実現可能性を、電流高調波を考慮して検討することを目的とした。一般に、永久磁石 (PM) モータは、ベクトル制御用のパルス幅変調 (PWM) 電圧源インバータによって駆動される。生成された PWM 信号は、搬送周波数で高周波電圧成分を発生させる。このようなコンポーネントは電磁損失を増加させる可能性があるため、キャリア高調波に対応する相電流を考慮する必要がある。希土類 PM とフェライト PM を備えた高速モータの電磁特性を、電流高調波を考慮して分析した。既存の希土類磁石モデルに基づいて、同じ性能のフェライト磁石モデルを開発し、比較分析し、製造したモデルの実験結果との比較によって検証した。