

報告：「寺子屋 BM 塾」 2013 年後期講座

寺子屋 BM 塾 塾長代理
明治大学 徳永 雅亮

第 14 期 BM 初心者講座：

「磁石・磁性材料によるモータの高性能化技術」

第 14 期は「磁石・磁性材料によるモータの高性能化技術」と題して、主として永久磁石モータの高性能化が永久磁石および軟磁性材料との絡みでどのように進展してきたかを 3 名の先生方に講演頂いた。

第 1 講

2013 年 9 月 27 日 (金) @東陽テクニカ

講義：「高効率モータ技術の進歩」



講師：森本雅之（東海大学）

概要：磁石・磁性材料を含むハードウェアに注目して、モータ高性能化技術の進歩の状況を説明する。将来動向を踏まえてモータ用磁石・磁性材料への期待を述べる。

受講生総数：42 名 (含：聴講生)

記事：まず、モータがどの程度の進化を遂げているかを、3.7 kW、4 極、5HP の誘導モータを例に示された。日立産機、習志野工場に展示されているように、明治時代に国産化されたモータは約 100 年で体積が 1/6 以下になっている。このように、モータは「進化」を続けている。

モータの「進化」を支えているのはモータを制御するパワーエレクトロニクスであり、パワーエレクトロニクスを制御するコンピュータである。モータはモータ本体の構造と同時に、パワーエレクトロニクスおよびコンピュータの進歩によって進化してきたと言える。モータとパワーエレクトロニクスの関連を考察する場合は、モータだ

けではなく、電源や駆動されている機械も考え、システムとして総合的に考えていくことが必要である。

進化したモータではほぼネオジム磁石が使用されている。モータの進化の効果は 3 種類に分けることができる。

第 1 は省エネであり、インバータ駆動されるエアコンが最も有名である。第 2 は小型化で、鉄道車両駆動用モータである。歴史的にはトランスタップ切替やサイリスタ位相制御を用いた直流モータから、インバータ制御された誘導機に変化してきている。新幹線用モータでは開業当時と比較すると、出力が 1.5 倍、重量は半分以下になり、モータの重量あたりの出力は 2.5 倍になっている。エレベータ用モータでは薄型化によって機械室レスエレベータが実現されている。第 3 は高機能化であり、DD モータ適用による斜めドラムが採用された洗濯機がある。電動射出成形機等の産業機械では油圧が電動化された例もある。

モータの進化に関する内容と同時に、ブラシ付きモータおよびブラシレス・モータの内容を大解剖して説明頂いた。それぞれのモータの構造と駆動原理が非常に良く理解できた。

モータの駆動は一般にフレミングの左手の法則（電線に流れる電流と磁界の相互作用）で説明されるが、実際は鉄心に働くマックスウェル応力であるとのことである。電磁力を導体に働く電磁力と鉄心に働く電磁力に分解すると、鉄心の比透磁率を高々 50 としても、98 % の電磁力は鉄心に働く電磁力であることが分かるとのことである。

モータ用材料であるブラシの入手困難やモータ試作がやり難くなった日本のモータ関連業界の現状説明や NEDO のネオジム磁石フリー HEV 用モータ開発はうまく行かなかった等モータ周辺のお話が大変参考になった講義であった。モータの多様性にも今更ながら、驚いた。

第 2 講

2013 年 10 月 25 日 (金) @東陽テクニカ

講義：「Dy フリー NdFeB 系異方性ボンド磁石の研究開発とモータへの応用」

講師：本蔵義信（愛知製鋼(株)）

概要：HDDR 法による異方性ボンド磁石“マグファイン”のモータ応用の最新技術を紹介する。省 Dy 技術である Nd-Cu-Al 粒界拡散にも言及する。

受講生総数：44 名 (含：聴講生)



記事：愛知製鋼は従来から HDDR 法によるボンド磁石粉のビジネスを継続しているが、資源問題が顕在化した現在では耐熱性の高い Dy フリー NdFeB 系異方性ボンド磁石を開発し、幅広いモータへの応用を提案している。愛知製鋼の HDDR 粉量産の基礎は熱バランス炉の開発にある。HDDR 反応に伴う発熱と吸熱をダミー粉によって熱バランスの維持を可能とした所にポイントがある。

Dy フリー化は HDDR 粉に対する NdCuAl の粒界拡散によって達成された。保磁力と 2 粒子粒界相の幅の関係が示され、2 粒子粒界相の幅が 2 nm から 5 nm に増加することによって、保磁力が 8 kOe から 18 kOe に増加している。

ボンド磁石の成形技術の開発ではマイクロカプセル化が大きい。表面クラックの多い HDDR 粉に NdCuAl を拡散させることによってクラックを埋めることが可能となった。さらに、金属石鹸、レジン皮膜（樹脂コーティング）、固体潤滑剤、樹脂バインダー、表面活性剤および潤滑剤を用いて、マイクロカプセル化が完了する。圧縮成形ボンド磁石作製では温間成形 (@150 °C)、永久磁石式金型（2 層磁気回路で脱磁可能）に特徴がある。射出成形ボンド磁石作製ではペレット作製（混練温度：200 ~ 300 °C）、後着磁不要（150 °C 耐熱の磁石は 150 °C で成形機から取り出す）に特徴がある。耐酸化性および耐食性はマイクロカプセル化の効果があり、従来製品よりも向上している。

Dy フリーボンド磁石のモータ応用では小型 DC モータにおいて 70 % の軽量化を実現している。具体的には 40 W、465 g フェライトモータ（2 極）をマグファインモータ（4 極）で 140 g にまで軽量化している。フェライトモータより安価で、効率が 10 % 向上している。NdFeB 焼結磁石を用いたコンプレッサー用 IPM モータに対してはマグファインを用いた多層配置や多極化によ

る同機能のモータの設計提案がなされている。

モータ応用における HDDR ボンド磁石を適用する際のポイントはモータ出力が回転数とトルクの積に比例するので、出力を高速回転によって獲得し、その際ボンド磁石の高電気抵抗によって渦電流損失を低減するというシナリオである。このシナリオは 2013 年磁気学会講演大会のシンポジウムで議論された。今後の開発方針は NEDO の研究開発プロジェクト MagHEM (高効率モータ用磁性材料技術研究組合) において推進されているように、HDDR 磁粉の異方性を現状の 80% から 90% 以上とし、異方性の乱れを改善することにある。

講師である本蔵氏の HDDR ボンド磁石の開発とモータ応用を通じて工業界へ貢献して行こうという意欲に感服した BM 塾となった。

第3講

2013 年 11 月 15 日 (金) @ 杉戸ラウンジ ユット

講義: 「アモルファス、圧粉磁心の大型モータへの応用」



講師: 榎本裕治 (株) 日立製作所

概要: 電磁鋼板に替わる新しいモータ用軟磁性材料であるアモルファスおよび圧粉磁心を用いた大型モータ開発の経緯を中心に紹介する。

受講生総数: 33 名 (含: 聴講生)

記事: 圧粉磁心、アモルファスという新しいモータ用軟磁性材料を用いて、大型モ-

ータの開発例を勉強した。古くは汎用モータを用いて各種アプリケーションに適用した時代があったが、厳密にはアプリケーション毎に異なるモータへの要求仕様が存在し、用途指向モータが工業的に使用されている。汎用モータでは効果的な省エネやシステム機能の高度化が難しい。

最初に圧粉磁心とアモルファスの軟磁性材料としての特性の比較を行った。電磁鋼板と比較して圧粉磁心は磁束密度 B_{50} 、透磁率が低いが、電気抵抗が大きく、3次元成形が可能である。アモルファスは磁束密度 B_{50} は低いが、透磁率が高い。電磁鋼板、圧粉磁心およびアモルファスを軟磁性材料としてネオジウム磁石を用いた 400 W の SPM サーボモータの磁界解析による特性予測を実施し、実験との比較を行った。磁界解析と実験結果は良い対応を示し、磁界解析によってモータ性能を予測可能であることがわかった。また、圧粉磁心は低グレードの電磁鋼板と同等性能が、アモルファスはモータの高効率化が期待できることが判明した。

圧粉磁心を用いた 3次元設計による新構造モータ (ラジアル配向 SPM、750 kW サーボモータ) を検討した。日立製作所によってクローテースモータとして意匠登録されたモータで、ステータが単純形状コイルと 3次元構造鉄心で構成されている。歯状の上下 2 対の鉄心がコイルを挟む構造である。新構造の設計では 3次元構造のためパラメータが多く、従来の 2次元設計の経験を生かすことが難しいために直行表解析 (ロバスト設計における感度解析) を利用している。さらに、金型の 3次元応力解析を行い、L18 直行表に基づく金型応力も把握した上で、金型の高強度化も実現した。750 W モータ試作の結果は体格、効率等の目標仕様を満足した。大容量化の要素技術としてコアの 30° 分割および組立時の真円度確保を確立し、誘起起電力、トルク、コ-

ギングトルクを評価し、大容量化の目処をつけた。

100 Φ x 45 t ステータコアを用い、90% 以上の高効率を有する 200 W アキシアルギャップ型モータでは、アモルファス巻鉄心とフェライトが用いられている。更なる特性改善のために、アモルファス巻鉄心を鉄損低減のためにバウムクーヘンを切断した形状を有する切断型鉄心に変更した。大容量化に対して、基本モジュールを 2 段積み構造にした 3.7 kW クラスのモータが開発された。産業用の 11 kW クラスモータは NEDO の助成を受け、3次元磁界解析技術、3次元熱解析技術の開発により、試作検証された。効率は IEC-4E クラスの効率 (93% 以上) を達成している。

ロバスト設計における直行表解析を用いたモータ設計を実行して、設計を追込む方法論も紹介して頂き、設計現場の熱意を感じる事が出来た。また、一般論で言われる「アキシアルギャップモータには軸受けが弱い欠点がある」が必ずしも正しくないことも印象に残った。

次回 2014 年前期講座予定

第 15 期は 2013 年 13 期「磁石・磁性材料の解析技術を理解しよう」で積み残した部分を再度取り上げる予定である。

現状では具体的な講師の先生は決定できていないが、第 1 講では実演中心に「軟磁性材料の測定方法」を、第 2 講では「永久磁石等磁性材料の組成分析」の手法を、第 3 講では実例による「磁界解析」を勉強する予定である。

なお、開催予定日は

第 1 講: 5 月 23 日 (金) @ 東陽テクニカ

第 2 講: 6 月 20 日 (金) @ 東陽テクニカ

第 3 講: 7 月 18 日 (金) @ 東陽テクニカ

であり、受講希望者は日程確保をお願いしたい。



授業風景

