

モータ研究の変遷をふりかえって



明治大学理工学部
教授 常勤理事

三木一郎 Ichiro Miki

今から40年ほど前になるが、研究を進めるに当たり、内外における三相誘導モータに関する文献を読んで勉強した。現在ではインターネットを通して様々な文献を容易に入手できるが、当時は文献調査にも手間暇がかかった。当時取り寄せた文献の主な内容は、誘導モータの過渡現象解析、定常特性を正確に求めることが可能な誘導モータの新しい等価回路、磁気飽和を考慮した誘導モータの等価回路などに関するものであった。また、誘導モータの損失を理論的に計算する手法や振動の研究に関するものもあり、さらにリニアモータに関する論文も発表されていた。同じ頃、1970年代から1980年代にかけて、インバータ駆動誘導モータの各種特性について検討された論文が発表されていた。サイリスタによるモータ制御の研究は1960年代中頃に始まっており、電力用半導体素子はGTOサイリスタやトランジスタなどに引き継がれた。日本でもパワーエレクトロニクスの研究が盛んに行われていた。学会では回転機の分野には多くの研究者や技術者が集まり、活発な意見交換が行われていたが、ある時期よりパワーエレクトロニクスの研究開発が非常に盛んになり、多くの研究者、そしてこれから研究の道を進もうとしていた人達がこぞってパワーエレクトロニクスの研究に進んだ。一方、回転機技術に関する委員会が学会に設置されており、精力的に調査などが行われ報告書が提出されていた。しかし、パワーエレクトロニクス関係の研究開発が進展するに伴い、モータもシステムの一部として検討されることが多くなり、モータ制御技術の分野が活発になった。新しい電力用半導体素子が開発されるたびに新しい回路が生まれ、モータ制御性能が改善されるなど、パワーエレクトロニクスに関係する研究開発は活況を呈した。回転機そのものの研究に若い人達が魅力をあまり感じなくなった時期があり、回転機の研究分野が寂しい時期もあった。

1980年代に磁束密度が高く、永久磁石の中では最も強力なネオジム磁石（希土類磁石）が開発され、1990年代に利用が拡大したアナログおよびデジタル制御を使用した表面磁石同期モータ（SPMSM）が注目され始めた。その後、埋込磁石同期モータ（IPMSM）が各所で採用され始めた。こ

これらの永久磁石同期モータ（PMモータ）は、省エネルギー、高効率、小形軽量、速度制御精度の向上などの特長により注目され、省エネルギー化の中で家電製品、ハイブリッド電気自動車（HEV）や電気自動車（EV）の主機および補機、産業用機器などに適用範囲を拡大していった。回転機を研究してきた人、また新しく研究を始めようとしていた人達はPMモータの研究に大きな関心を持ち、再び回転機分野の研究者が増えた。これはPMモータ、特にIPMSMは磁石の大きさ、形状、配置などを含め検討の余地が数多くあったことも理由の一つに挙げられる。三相誘導モータは長い歴史を持ち、技術的な蓄積も多く、現在でも我が国で約1億台もの三相誘導モータが多様な用途に採用されており、採用の妨げとなるような大きな欠陥があるとは考えられないが、PMモータは前述の特長が優れているため産業用としての採用が拡大している。PMモータの特長をいかんなく発揮したのは、HEVやEVにおいてであろう。限られたスペースの中に収まり、自動車用として多くの厳しい制約を克服したモータとして我が国の実用車すべてにIPMSMが採用されている。

このような状況の中で、最近では新しいモータが各所で研究されている。開発者がそれぞれにインパクトのある名称をつけており、よく確認しないとその内容がわからない場合があるが、いずれにしてもこれらのモータが研究開発されるに至ったきっかけは、次のようである。ネオジム磁石（希土類磁石）が開発されたことにより、実用的で優れた特長を有するPMモータが製作され利用が広まった。しかし、ネオジムや減磁を改善するために使われるジスプロシウム（希土類）の産出が偏在していることから一時期価格の大幅な上昇があった。そこで、この問題を解決すべく新しい

モータの開発が進められてきたわけである。新しいモータは、磁石の使用の観点からみると、単に希土類磁石の使用を減らす、安価なフェライト磁石を使用する、希土類磁石とフェライト磁石を併用するなどのPMモータを基本にしたモータ、また、磁石を使用しない、PMモータとは別種のモータに分類できる。これらのモータによって良好な特性を確保するためには、さまざまな工夫や新しい技術の導入が必要になってくる。ハードおよびソフト的な検討がなされ、既に成果が続々と報告されている。我が国の回転機研究において、比較的短期間にこれほど多くの新しいモータについて報告されたことは筆者の記憶にはない。これは世の中が必要としたという状況も当然あるが、以前に比べて生産技術の進歩があり、また設計段階における解析技術、可視化技術が大きく進展し、モータ内部の状況やモータの基本的特性などが容易に得られるようになったことが非常に大きく影響していると考えられる。今後も優れた特性を有する新しいモータの開発が進められると思うが、さらなる高効率化、小形軽量化、高トルク化、振動・騒音の抑制などが求められる。これらは個々の技術はもちろんであるが、それぞれにトレードオフになる関係もあり、材料の開発、巻線を含めたモータ構造の検討、制御法などについて複合的に検討することが必要になるであろう。なお最近、ネオジム磁石に耐熱性を持たせるために用いるジスプロシウムを使用しない高性能磁石開発の報道があった。また、新しく開発された技術を使ってモータから希土類磁石を取り出し、再利用するという手法も発表されている。今後、まだまだモータは進化しそうであり、モートルの明電に大いに期待したい。