

論文の内容の要旨

論文題目 精密小形永久磁石モータの高トルク化と
コギングトルク低減に関する研究

氏 名 大 西 和 夫

情報関連機器に使われている小形永久磁石モータは、機器の高機能・高性能化のために小形・高トルク化、コギングトルクの低減など、一層の性能改善が要求されている。しかるに、これらのモータは、ニーズ主導で開発されたこともあって変則的な構造を持つものも多いため、これまで計算法や評価基準の確立あるいは最適構造の追求なども不十分な状態にあった。また、大形モータでは要求出力に対応して必要な寸法を決めるのに対し、小形モータでは機器組み込み用途が多く、限られた寸法のなかで要求特性を出さねばならないので、設計の面でも異なった取り組みが必要である。

これらに鑑み、本研究では、プリンタ関連機器を代表とする情報機器に使用される精密駆動用小形永久磁石モータ、特にブラシレスDCモータとハイブリッド（HB）形ステッピングモータを主対象に取り上げて、これらの技術課題を電磁気的に解明するとともに、実用的な設計指針と性能改善法を見いだすこととした。

まず本研究の背景として、小形モータの生産と適用市場統計の分析を通じて、情報機器分野に使用する永久磁石モータがその主流であることを示し、この市場からの要求とモータ各機種の特質の分析から、この分野の技術課題を明らかにした。筆者の勤務する会社の業務も勘案して、研究の主題を情報機器の代表機種であるプリンタ関連機器の精密駆動モータの高トルク化とコギングトルク低減に絞り、これらに対する先行技術の考察を通じて研究の取り組み方を示した。

第一の課題である高トルク化を考えるために、まず空隙巻線直流モータについて磁束ベースの特性計算から限界トルクの評価指標を誘導し、これを鉄心溝巻線を持つ一般の永久磁石モータに拡張して、各種モータ間の比較を行うとともに、鉄損を考慮した修正係数を追加した非ラップ集中巻線方式の最適設計法を導いた。これによって、限界トルクを最大にするためには最適な空隙径と空隙磁束密度のあること、さらにH B形ステッピングモータでは、巻線極数（固定子巻線の巻かれた鉄心極数）が少ないほど高トルクが得られるこことを示した。

第二の課題であるコギングトルク低減に関して、最初に表面磁石形ブラシレスモータにおけるコギングトルクの発生原理を解明し、鉄心のスリット配置が重要な役割を演じていることを明らかにするとともに、その低減のための基本的な考え方を提案した。スリットによるパーミアンスをベクトルで表記する方法を提案し、有効なスロット／磁極数の組合せおよび補助溝によるコギングトルク低減法を確立した。2次元F E M磁界解析によって上記効果を検証するとともに、12スロット／10極機において鉄心磁極の両端をカット（ベベリング）することが、極めて効果的であることを示した。このベベリング付モータは、製品化され好評を得ることができた。

続いて、いまひとつの重点機種であるH B形ステッピングモータのコギングトルク低減を取り上げ、等価磁気回路のパーミアンスが固定子小歯のパーミアンスの合成で成り立っていることをを利用して、小歯配置とコギングトルク発生の関係を解明し、その低減のための基本的な考え方を提案した。2相H B形ステッピングモータについては、小歯のパーミアンスペクトルを第4次の高調波ベクトル平面においてバランスさせることが有効であり、不等ピッチのバーニア配列では、コギングトルクだけでなく磁束波形歪みを低減できることを示し、2次元F E M磁界解析シミュレーションによってその有効性を検証した。

さらに、以上で得られた知見に基づいて、開発以来まだ年月の浅い3相H B形ステッピングモータの鉄心構造を検討し、大幅な性能改善の可能性を見出した。限界トルクに関しては、3相6巻線極方式が2相、5相機を含めてもっとも有利であり、またコギングトルク低減では、巻線極小歯を第6次調波でバランスさせるのが有効であることを示した。FEM磁界解析ならびに同一外形寸法で作った2、3および5相の試験機の検証によって、最終的に6次バランスバーニア配列の8小歯を持つ6巻線極方式の3相ステッピングモータが最良であることを示した。

以上の成果を総括して、本研究の目標である表面磁石形ブラシレスモータとH B形ステッピングモータにおける限界トルクの評価基準を用いた高トルク化設計ならびに鉄心の歯構造の最適化によるコギングトルク低減を達成することができた。