



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HB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FEM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HB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利用して、小歯配置とコギングトルク発生との関係を解明し、その低減のための基本的な考え方を提案した。2相HB形ステッピングモータについては、小歯のパーミアンスベクトルを第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、不等ピッチのパーニア配列では、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FEM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HB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次バランスパーニア配列の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HB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。