

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 矢野 智昭

本論文は「球面電磁モータの構造に関する研究」と題し、従来の電磁モータの構造と駆動原理を3次元空間に拡張した、新しい構造の球面電磁モータに関する一連の研究内容とその成果を纏めたものである。

本文は以下に示す5章で構成されている。

第1章「緒論」では、研究の背景と目的について述べている。まず、アクチュエータを分類し、超音波振動、磁気吸引力、ローレンツ力などを用いた球面モータの研究の現状について述べている。そして、その多くの球面電磁モータが特定の軸回り以外での軸回りの性能が劣化していることを示した。そして、各軸回りの特性が等しくなる球面電磁モータの実現を研究目的とすることを述べている。

第2章「ロータの姿勢表現と1軸モータの駆動原理、支持機構とセンサ」では、ロータの姿勢表現に基底の取り替え行列を用いることにより、球面電磁モータの駆動力の表現が容易になることを導いている。また、球面モータの構成に必要な支持・案内機構およびセンサシステムの現状について述べている。

第3章「基本的に1軸モータを組み合わせた球面モータ」では、基本的に1軸モータを単純に組み合わせた形の球面モータについての研究を紹介している。まず、1軸のステッピングモータおよび1軸のACサーボモータを入れ子状に組み合わせた球面モータの構造のものを試作している。そして、これらの球面モータはロータの可動範囲に制約があること、3自由度化が難しいことを示している。この形式の球面モータをレーザ追尾距離測定装置のミラー駆動部に組み込み、その性能を評価し、小型化に有効であることを実証した。

第4章「回転磁界の回転面を傾けて駆動する球面モータ」では、回転磁界の回転面を任意に傾けて駆動する球面モータの構造を提案している。まず、1軸誘導モータの駆動原理を3次元空間に拡張し、球面誘導モータの構造と駆動原理を提案している。そして、3つの電機子巻線に流す正弦波電流の振幅と位相差を制御することにより、回転磁界の回転面を任意の方向に傾けることができることを理論的に明らかにしている。これらの考えに基づく球面誘導モータを試作し、その性能を確認している。

次に、1軸同期モータの駆動原理を3次元空間に拡張した球面同期モータの構造と駆動原理を提案し、永久磁石をN極とS極が外側を向くように1組配置したロータには、ロータの回転軸を回転磁界の回転軸に一致させる方向のトルクが働く、すなわち回転磁界の回転面を傾けるとロータの回転面を傾けることができることを理論と実験で示している。この着想に基づく球面同期モータを試作し、ロータが同期速度で回転すること、およびロータの回転軸を傾ける制御が可能なことを実験により明らかにし

ている。

次に、ロータを任意姿勢に静止保持することができる構造として、多面体にもとづく球面モータの構造と制御方法を提案している。多面体にもとづく球面モータは、ロータに内接する多面体の頂点の位置に永久磁石、ステータに内接する多面体の頂点の位置に電機子巻線を配置するものである。こうすることにより、1軸同期モータの制御装置を流用して、多面体の任意の面の軸回りにロータを回転させることができ、電機子巻線に流す正弦波電流の振幅と位相差を制御すれば回転磁界の回転面を傾けてロータの回転面を傾ける制御も行える。多面体にもとづく球面モータのロータに適した多面体とステータに適した多面体の組み合わせを検討し、必要な条件を満たす多面体の組み合わせが11種類存在することを明らかにした。さらに、ロータに内接する多面体の頂点および等分点の位置に永久磁石を、ステータに内接する多面体の頂点および等分点の位置に電機子巻線を配置するようにすると、両方の多面体の組み合わせの選択肢が大幅に増えることを導いている。

これらの理論的検討に基づき、その代表的な例とし、ロータに内接する正六面体の頂点に永久磁石をN極とS極が交互に外向きになるように配置し、ステータに内接する正八面体の頂点および辺の midpoint に電機子巻線を配置した球面モータを試作した。そして、その静トルク特性が球対称になることを実証し、垂直軸回りの任意の位置にロータを静止保持できる可能性を示す実験結果を得ている。

さらに、ロータに内接する切頂八面体の頂点に永久磁石をN極とS極が交互に外向きになるように配置し、ステータに内接する正十二面体の頂点および辺の midpoint に電機子巻線を配置した球面モータのモデルを試作した。先の正六面体と正八面体にもとづく球面モータと比較して出力トルクは小さくなるが、トルク変動が減少して安定した駆動が可能なことを明らかにしている。

第5章「結論」では、論文を総括するとともに、球面モータの開発で、解決すべき今後の技術課題を具体的に述べている。

このように、本研究は、従来の1次元回転の電磁モータの構造と駆動原理を3次元空間に拡張した球面電磁モータを提案し、その構造と制御理論の構築に関して詳細な検討結果と知見を纏めたものである。この中で、球面電磁モータを多面体の組み合わせにもとづく構造にするという斬新な手法によりその特性が回転軸方向に依存しない球面電磁モータの設計手法を提案し、その有効性を実証した成果は特筆すべきものである。本論文の研究成果は、精密工学、メカトロニクス、電気工学等の学問分野の発展に貢献するものであり、将来の工業的利用への期待も大きいと言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。