HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コアレス回転子構造を用いたアキシャルギャップモータの高効率化に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	綱田, 錬
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14579号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81108
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ren_Tsunata_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　綱田　錬

学 位 論 文 題 名

コアレス回転子構造を用いたアキシャルギャップモータの高効率化に関する研究
（Investigation of Enhancing Efficiency of Axial Gap Motor Employing Coreless Rotor Structure）

我が国において家庭用や産業用に使用されているモータは約 1 億台あると言われており, それらの電力消費量は, 全体の約 55% を占めている。したがって, モータのエネルギー効率を向上させることができれば, 高い省エネルギー効果を見込めるため, 高効率特性を持つモータが強く求められている。また, 上記のモータの電力消費の中でも産業用途のモータが占める割合が大きく, 特に高効率化が重要であることが考えられる。その一方で, システムの小型化も重要であり, モータを組み込むシステムによっては, システムの小型化のために扁平な形状を有するモータが望まれる場合もある。以上のように, これまでの技術の進歩によって近年は単に高効率であるだけではなく, 扁平な形状を有するといった付加価値の高いモータが求められるようになっている。そこで, 本研究では, 産業用途のモータにおいて, 扁平形状かつ高効率を有するモータの実現を目的としている。また, モータ自体の小型化も実現するため, ターゲットとする運転領域は小型化に有効である高速回転領域としている。

一般的に使用されることの多いモータはエアギャップが径方向に存在するラジアルギャップモータと呼ばれる構造である。しかし, ラジアルギャップモータは本研究でターゲットとしている扁平形状においては, その構造上, 高いトルク密度及び効率を実現することが難しい。そこで本研究では, 扁平形状において高いトルクを実現しやすいアキシャルギャップモータの採用を検討している。アキシャルギャップモータは回転軸方向にエアギャップが存在し, 扁平になるほどトルクの発生面を大きくすることが可能であるため, 扁平形状でも高いトルクを実現できる。これまでに我が国を含め世界中の研究・開発機関によって検討されてきた従来のアキシャルギャップモータは一般的にネオジム焼結磁石を採用している。ネオジム焼結磁石は残留磁束密度が高いため, トルク密度を高くすることに有効である一方で, 電気伝導率が高いため, ターゲットの高速回転領域では磁石内で渦電流損が大きくなり, 効率が非常に悪いモータとなっていた。また, 従来構造は回転子の磁気抵抗を小さくするために, 回転子コアとして磁性材を用いていたが, 高速回転領域ではそこで発生する渦電流損も効率低下の一因となっていた。

そこで本研究では, まず第 3 章でコアレス回転子構造を採用することによって, より回転子構造を簡単にしつつ, 回転子コアでの渦電流損の抑制を検討した。コアレス回転子構造を採用することによって, 回転子のコアで発生していた渦電流損を抑制することができ, 回転子で発生していた総損失を 70% 以上低減することに成功した。また, これまでに渦電流として失われていたエネルギーがトルクに寄与することによって, 出力トルクも同時に改善することができた。さらに回転子のバックコアが無くなるため, より回転子を薄くでき, モータを更に扁平な形状にすることができる。また, 磁石もバックコアによって分かれていたが, コアレス回転子構造では 1 極あたり 1 個の磁石となるため, 部品数も少なくなり, 大量生産時のコスト低減にも貢献することができる。

続いて第 4 章では, 電気伝導率の低いネオジムボンド磁石を採用することで, アキシャルギャッ

プモータにおいて高速領域において高効率化することを検討した。従来のネオジム焼結磁石の方が磁石の残留磁束密度が高いため, トルク発生には有利である一方で, ターゲットの高速回転領域では磁石内の渦電流損によって効率が劇的に低下してしまう。それに対してネオジムボンド磁石は渦電流を抑制できるため, 残留磁束密度は低いものの, アキシャルギャップモータの高速重負荷領域における効率を大幅に改善することが可能である。本研究においては, ネオジムボンド磁石を用いた提案モータの有効性を三次元の電磁場解析及び試作機による実験の双方で明らかにしている。

第 5 章においては, 第 4 章で提案したネオジムボンド磁石を用いたアキシャルギャップモータを, 一般的に使用されることの多い, ネオジム焼結磁石を用いたラジアルギャップモータと比較している。磁場解析によるシミュレーションと試作機による実験の双方で両モータが比較された結果, 提案モータはネオジムボンド磁石を用いているにもかかわらず, 約 1.5 倍のトルクを実現できることを明らかにした。また, 提案モータはラジアルギャップモータに比べて高速重負荷領域の広い範囲で 90% を超える効率を実現できることを実験によって明らかにしている。

最後に第 6 章では, 提案モータの今後の更なる高効率化のために, 固定子コアに用いる圧粉磁心 (SMC) の適切な開発方針に関しても検討を実施している。一般的に SMC は鉄損と透磁率がトレードオフの関係がある。そのため例えば SMC の鉄損を小さくしようとすると, 透磁率も低下してしまう。しかし, 本研究における提案モータはコアレス回転子構造を採用しているため, 元々モータ内の回転子の磁気抵抗が非常に大きくなっている。したがって, 固定子コアに使用される SMC の透磁率が多少低くなっても, トルクに与える影響は非常に小さいことを解析によって明らかにした。提案モータのこの性質を利用して, アキシャルギャップモータの効率を更に向上させるための SMC 材料の適切な開発方針を検討している。