



Title	コアレス回転子構造を用いたアキシア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)	網田, 錬
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第14579号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/81108
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Ren_Tsunata_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 綱田 錬

審査担当者 主査教授 小笠原 悟司
副査教授 北 裕幸
副査教授 五十嵐 一
副査教授 竹本 真紹 (岡山大学 大学院 自然科学研究科)

学位論文題名

コアレス回転子構造を用いたアキシ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、全電力の約55%を占めている。したがって、モータの効率を向上できれば、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が占める割合が大きく、特に産業用モータの高効率化が重要である。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、近年で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きている。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する。

一般的なモータは、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シャルギャップモータの採用を検討している。アキシ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シャルギャップモータは、ネオジム焼結磁石を一般的に採用している。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、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、アキシアルギャップモータにおいて高速回転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、アキシア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コアレス回転子構造のアキシア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を比較した結果、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%を超える高効率を実現できることを実験によって示した。

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、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くても、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、アキシア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。

これを要するに、本論文は、高効率化によって高い省エネルギー効果が望める産業用モータにおいて、単に高効率化するだけでなく、システム全体の小型化のために扁平な形状を有するといった付加価値の高いモータを実現するために、コアレス回転子構造に加えてネオジムボンド磁石を採用するといった新たなアキシアルギャップモータを提案している。そして、コアレス回転子構造およびネオジムボンド磁石を採用することの有効性を三次元の電磁場解析及び試作機による実験によって明らかにした。更に、提案モータと高性能磁石であるネオジム焼結磁石を用いた一般的なラジアルギャップモータについても比較検討を行い、提案モータは高トルク化に加えて、産業用モータに求められる高速重負荷領域における高効率化に有効であることを解析および実験の双方で示した。加えて、提案モータ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の適切な開発方針に関しても検討している。このように、新たに提案するモータについて、その妥当性を解析および実験的に検証することで、アキシアルギャップモータについての新しい知見を得たものであり、電気工学ならびに電気機器分野に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。