



Title	省磁石構造を有する磁気ギアードモータのトルク向上技術の研究
Author(s)	乙坂, 純香
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/98780">https://doi.org/10.18910/98780</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 乙 坂 純 香 )

## 論文題名

省磁石構造を有する磁気ギアードモータのトルク向上技術の研究

## 論文内容の要旨

近年、ドローン・電気自動車・電動航空機などの分野におけるモータシステムは小型軽量化が課題であり、モータには高出力密度化が求められている。高出力密度化には、モータとギアを軸方向に組み合わせた直列型ギアードモータを使うことが一般的であり、ギアの体格を考慮しても高トルク用に設計したモータ単体よりも小型化が可能である。ギアには、歯車同士の接触により動力を伝達する機械ギアが広く用いられるが、接触部における振動・騒音と定期的なメンテナンスが必要といった課題を有している。そこで、歯車同士の接触ではなく、磁力で動力を伝える磁気ギアが提案されている。モータと磁気ギアを軸方向に接続した直列型磁気ギアードモータも、モータの小型軽量化に貢献できるが、さらなる小型軽量化のため、モータと磁気ギアを同心円状に一体化させた磁気ギアードモータが提案されている。

磁気ギアードモータは、高速ロータ、低速ロータ（出力）、ステータの3部品が同心円状に構成されるため、エアギャップが2層になる。このような磁気ギアードモータを、小型軽量モータとして産業分野へ普及させていくために、2層のエアギャップによる組立性の低さと多量の永久磁石による高コストという問題を解決する必要がある。そこで本研究では、組立性向上と低コスト化を課題として、永久磁石量の低減を図るとともに、永久磁石量を低減したことによって生じるトルク低下を独自の技術を用いて補った。

まず、組立性を向上させる手段の一つとして、高速ロータの永久磁石をコアに埋め込んだ埋込磁石型磁気ギアードモータを提案し、磁極片形状とステータのティース先端形状を工夫することで最大ギアトルクの向上を図った。マクスウェルの応力テンソルを用いて磁束密度の基本波成分がギアトルクを増減させるメカニズムを明らかにし、有限要素解析を用いて妥当性を確認した。そして、試作機による実験を行い、有限要素解析結果の妥当性を確認した。

さらなる組立性向上とコスト低減を図るため、高速ロータの永久磁石をなくした突極型磁気ギアードモータを提案した。突極型磁気ギアードモータでは、直流電流により最大ギアトルクを向上でき、ベクトル制御下での有限要素解析によりトルク特性を明らかにした。通電時に、最大ギアトルク以上のトルクを出力できていることと、両ロータの位相差が40deg付近で脱調する現象を確認でき、低速ロータに直接発生する電流トルクが原因であることを明らかにした。最後に、有限要素解析結果の妥当性を検証するために、試作機を用いた実験を行った。その結果、通電時に、最大ギアトルク以上の脱調トルクが出力される現象と、位相差40deg付近での脱調現象が妥当であることを確認した。

最後に、磁気ギアードモータのトルク向上を目的として、磁気ギアードモータの中でもギア比が高い表面磁石型磁気ギアードモータを取り上げた。この磁気ギアードモータでは、従来の永久磁石型モータとは異なり、磁束変調によりトルクリプルが発生することを明らかにした。また、そのトルクリプルを低減する段スキュー構造とステータ永久磁石の極性反転を提案し、有限要素解析によりその有効性を明らかにした。

以上のようなトルク向上技術は、磁気ギアードモータの組立性向上および低コスト化の課題解決に貢献すると考える。今後は、クリーンルームや食品製造関係、洋上風力発電機などへの実用化に向けて、さらなる高トルク化技術の開発を期待する。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 乙 坂 純 香 )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	准教授	宮坂 史和
	副 査	教授	神原 淳
	副 査	教授	舟木 剛
	副 査	教授	倉敷 哲生
	副 査	教授	森本 茂雄(大阪公立大学大学院 工学研究科 電気電子系専攻)

論文審査の結果の要旨

モータと磁気ギアを軸方向に接続した直列型磁気ギアードモータも、モータの小型軽量化に貢献できるが、さらなる小型軽量化のため、モータと磁気ギアを同心円状に一体化させた磁気ギアードモータが提案されている。

磁気ギアードモータは、高速ロータ、低速ロータ（出力）、ステータの3部品が同心円状に構成されるため、エアギャップが2層になる。このような磁気ギアードモータを、小型軽量モータとして産業分野へ普及させていくために、2層のエアギャップによる組立性の低さと多量の永久磁石による高コストという問題を解決する必要がある。そこで本研究では、組立性向上と低コスト化を課題として、永久磁石量の低減を図るとともに、永久磁石量を低減したことによって生じるトルク低下を独自の技術を用いて補っている。

まず、組立性を向上させる手段の一つとして、高速ロータの永久磁石をコアに埋め込んだ埋込磁石型磁気ギアードモータを提案し、磁極片形状とステータのティース先端形状を工夫することで最大ギアトルクの向上を図っている。マクスウェルの応力テンソルを用いて磁束密度の基本波成分がギアトルクを増減させるメカニズムを明らかにし、有限要素解析を用いて妥当性を確認している。そして、試作機による実験を行い、有限要素解析結果の妥当性を確認している。

さらなる組立性向上とコスト低減を図るため、高速ロータの永久磁石をなくした突極型磁気ギアードモータを提案している。通電時に、最大ギアトルク以上のトルクを出力できていることと、両ロータの位相差が40deg付近で脱調する現象を確認でき、低速ロータに直接発生する電流トルクが原因であることを明らかにしている。最後に、有限要素解析結果の妥当性を検証するために、試作機を用いた実験を行っている。その結果、通電時に、最大ギアトルク以上の脱調トルクが出力される現象と、位相差40deg付近での脱調現象が妥当であることを確認している。

最後に、磁気ギアードモータのトルク向上を目的として、磁気ギアードモータの中でもギア比が高い表面磁石型磁気ギアードモータを取り上げている。この磁気ギアードモータでは、従来の永久磁石型モータとは異なり、磁束変調によりトルクリプルが発生することを明らかにしている。また、そのトルクリプルを低減する段スキュー構造とステータ永久磁石の極性反転を提案し、有限要素解析によりその有効性を明らかにしている。

以上のようなトルク向上技術は、磁気ギアードモータの組立性向上および低コスト化の課題解決に貢献すると考えられる。今後は、クリーンルームや食品製造関係、洋上風力発電機などへの実用化に向けて、さらなる高トルク化技術の開発を期待する。

以上のように、本論文は磁気ギアードモータの実用化のための基礎技術に焦点を当てており、新しい磁気ギアードモータの提案という創造性、組立性を向上させるという観点での構造提案という実用性を理論的に述べている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。