

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	コンシクエントポール形ベアリングレスモータの磁気支持力発生原理の理論検証と新しい構造に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	野口孝浩
Author(English)	Takahiro Noguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12377号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:千葉 明,藤田 英明,萩原 誠,竹内 希,清田 恭平,杉元 紘也,朝間 淳
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12377号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

氏名 野口 孝浩

モータは電気エネルギーと機械エネルギーの変換機能を有しており、産業界における液体ポンプ、コンプレッサ、送風機、タービン、工作機械など、現代にとって不可欠な存在である。一般に、同じ定格出力であれば高速モータは小型化が可能であり、産業界ではコンプレッサ、タービン、ターボ分子ポンプ、フライホイールなどに代表される高速回転機器が注目されている。しかし、回転速度の二乗に比例して発生する遠心力に対する回転子強度の確保や、モータのメンテナンスなどが課題である。モータ部品の一つである機械的ベアリングは、モータシステムにおいて最初に故障する部品とされており、適切なベアリングのメンテナンスや潤滑が不可欠である。適切なメンテナンスを行わなければ機器のダウンタイムに対するコスト、継続的な騒音、振動および摩耗・摩擦損失を誘発してしまう。

従来の機械的ベアリングにおける摩擦・摩耗等の問題点を解決するために、非接触でモータを回転可能なベアリングレスモータが注目されている。ベアリングレスモータは、非接触で回転子を磁気支持するとともにトルクを発生させることができる。したがって、潤滑油不要、無摩耗・無摩擦、メンテナンスフリー、長寿命、低振動、省エネルギーなど、多くの特長がある。ベアリングレスモータはこれまでの間に、遠心ポンプや人工心臓用遠心ポンプ、バイオリアクタ用攪拌機、プロセスチャンバ用回転テーブル、フライホイール、コンプレッサ、冷却ファンへの応用が検討されている。

ベアリングレスモータは支持制御電流の観点から 2 種類に分類することができる。SPM ベアリングレスモータは、磁気支持力発生のために交流の支持電流が必要である。半径方向の磁気支持力を発生させるためには、回転子極数に対して ± 2 極の支持磁束が必要であることが明らかになっている。一方、コンシクエントポール形、ホモポーラ形ベアリングレスモータの支持電流は直流であり、回転子の角度検出が不要であるという特長がある。磁気支持力を発生させるためには回転子極数に依らず 2 極の支持磁束が必要である。角度検出が不要なコンシクエントポール形、ホモポーラ形の場合、所望の方向に、正確に磁気支持力が発生するような構造設計が必要である。しかし実際には、ギャップ中に含まれる磁束密度の高調波成分により、磁気支持力の方向の角度誤差が生じ、最悪の場合、回転子と固定子が接触、すなわちタッチダウンする恐れがある。したがって、設計の段階で磁気支持力の脈動を低減し、角度誤差を小さくする必要がある。これまでに、コンシクエントポール形回転子における巻線配置や回転子形状の工夫

による角度誤差低減の対処方法は提案されているが、磁気支持力に対する詳細な数式や解析結果との比較による理論の検証は示されていない。したがって、コンシクエントポール形における磁気支持力の主成分を特定し、角度誤差の要因分析を行う必要がある。

本論文では、ギャップ磁束密度に基づいた表面磁石貼付形の磁気支持力発生原理を拡張し、コンシクエントポール形に対しても適用可能な新しい磁気支持力の統一理論を提案している。磁気支持力の解析結果とギャップ部における磁束密度から磁気支持力を算出した結果を比較することで、統一理論の有効性を明らかにしている。

まず、ベアリングレスモータに関する研究背景と分類を示し、研究目的と意義を明らかにしている。

次に、コンシクエントポールベアリングレスモータの研究動向と課題を明らかにしている。現状の課題を示し、本論文の目的、研究課題の解決策を明らかにしている。

さらに、ベアリングレスモータの半径方向の磁気支持力発生原理の理論構築を行っている。電磁気学的にベアリングレスモータの磁気支持力発生原理を示し、数式を用いて磁気支持力の理論式を導出している。コンシクエントポールベアリングレスモータの磁気支持力は SPM 形ベアリングレスモータと同様で、回転子極数の ± 2 極成分によって発生することを明らかにしている。

加えて、磁気支持力の発生原理に基づいて、角度誤差を低減可能なコンシクエントポールベアリングレスモータの設計例と実機検証の結果を示している。モータ巻線並列形をコンシクエントポールに適用し、角度誤差を低減可能な新しい巻線配置を示している。20 極 24 スロットが角度誤差を最も低減するスロットコンビネーションであることを明らかにしている。

最後に、本論文のまとめを記載している。