T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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 淳一
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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（　工学　）
学生氏名： Student's Name	野口　孝浩		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	千葉　明	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	杉元　紘也	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

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形化が可能であり、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・低騒音、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。表面磁石貼付形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。回転子は回転子表面が磁石で覆われている。また、磁気支持のために回転子の角度検出が必要である。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。コンシクエントポール形の回転子には半径方向外向きに着磁された永久磁石が突極形状の回転子凹部に配置されている。一方、ホモポーラ形の回転子は鉄心のみで構成される。

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する。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する。コンシクエントポール形の磁気支持力は、表面磁石貼付形と同様に回転子永久磁石による磁束とその±2 極差の支持磁束によって発生することを明らかにする。支持電流の観点からは、コンシクエントポール形はホモポーラ形と同類とされてきたが、磁気支持力発生原理に着目すると、コンシクエントポール形は表面磁石貼付形と同類であることを明らかにする。回転子永久磁石による磁束密度の直流成分と支持磁束密度の 2 極成分は、所望の磁気支持力の方向に対して逆方向に発生することを明らかにする。ギャップ磁束密度に着目したコンシクエントポール形ベアリングレスモータの設計例を示し、20 極 24 スロットの提案構造における解析結果および実機検証により、提案する理論の有効性を明らかにする。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 系 電気電子 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	野口 孝浩	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	千葉 明
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	杉元 紘也

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

In this paper, a calculation method and experimental validation are proposed for the radial suspension force of a consequent-pole bearingless motor. A novel proposed principle was extended from that of a surface-mounted permanent magnet bearingless motor and applied to the consequent-pole bearingless motor. The radial suspension forces are calculated mathematically and analytically using the airgap flux density. It was confirmed that the proposed radial force equations are practical to calculate the suspension force based on the airgap flux density. A 2*p* pole consequent-pole bearingless motor and bearingless AC homopolar motor have salient pole rotors that interact with the 2-pole magnetomotive force to generate 2*p*-2 and 2*p*+2 pole components. As a result, the radial suspension force of the consequent-pole bearingless motor is generated by 2*p*-2 and 2*p* pole, and 2*p* and 2*p*+2 pole magnetic flux as well as a surface-mounted permanent magnet bearingless motor, whereas the bearingless AC homopolar motor produces the radial suspension force by DC and 2-pole components. From the viewpoint of suspension current, the consequent-pole bearingless motor has been considered in the same category as the bearingless AC homopolar motor. However, it is found that the consequent-pole bearingless motor is in the same category as the surface-mounted permanent magnet bearingless motor in terms of the principle of magnetic suspension force generation. The test results of levitation and rotation in a 20-pole/24-slot consequent-pole bearingless motor are shown in order to validate the proposed principle.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).