

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	能動制御軸数を削減したベアリングレスモータの新しい構造の提案と受動安定方向の振動低減に関する研究
Title(English)	Novel Structures of Bearingless Motors with Reduced Active Positioning Axes and Vibration Reductions in Passively Stabilized Directions
著者(和文)	杉元紘也
Author(English)	Hiroya Sugimoto
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:乙第4169号, 授与年月日:2018年7月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:千葉 明,七原 俊也,安岡 康一,藤田 英明,萩原 誠
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4169号, Conferred date:2018/7/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	杉元 紘也	
論文審査員	氏 名	職 名	氏 名	職 名
	主査 千葉 明	教授	萩原 誠	准教授
	七原 俊也	教授		
	安岡 康一	教授		
	藤田 英明	教授		

半導体製造装置用の超純水や化学薬液を搬送する遠心ポンプ、補助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、冷却ファンなどの応用にベアリングレスモータが適用されつつある。ベアリングレスモータは、磁気軸受機能とモータ機能が磁氣的に一体化された電磁機械であり、回転軸を非接触で磁気支持すると同時に、トルクを発生させることができる。したがって、無摩擦・無摩耗、潤滑油不要、長寿命・メンテナンスフリー、高効率・省エネルギーという特長がある。

小形で低コストが要求されるファンやブローへの応用には、能動的に制御する軸数を低減し、極力受動的に支持する軸数を増加することが望ましい。このような状況において、1軸能動制御形ベアリングレスモータは、z軸方向のみを能動的に磁気支持する方式であり、現在最も制御軸数の少ないベアリングレスモータである。この1軸能動制御ベアリングレスモータに関して、本論文は新しい構造を提案するとともに、問題となる受動安定方向の振動低減を行う方法を明らかにした。

まず、第1章では、本論文の背景、構成と各章の概要及び位置付けを明らかにした。

第2章ではベアリングレスモータの能動制御軸数削減に関する現状と課題を明らかにし、特に、2軸能動制御、1軸能動制御の現状と課題を明らかにし、本論文の位置づけを明らかにした。

第3章では、トロイダル巻を用いた2軸制御多極コンシクエントポール形ベアリングレスモータの設計及び磁気支持特性を明らかにした。すなわち、まず、本章の研究背景及び研究目的を明らかにし、なぜ、回転子40極、固定子48スロットの構造が多極コンシクエントポール形ベアリングレスモータに適しているのかを有限要素法解析により明らかにした。さらに、ベアリングレスモータの設計、試作を行い、さらに、基礎特性の測定方法を明らかにした。

第4章では2軸制御形ベアリングレスモータのコロケーション問題を考慮した安定性理論の構築方法を明らかにした。まず、コロケーション問題とはどのような問題であるのかを明らかにし、磁気支持制御系のモデル化を行い、安定性を検討した。さらに、試作機を用いて実験により理論構築が正しいことを明らかにした。

第5章ではワイドギャップ・高剛性を持つ1軸制御形シングルドライブベアリングレスモータの提案及び実機の検証を行った。まず、最初にシング

ルドライブベアリングレスモータの基本的な構造として、三相インバータ 1 台だけでトルクと軸方向の支持力を発生する基本的構造を明らかにした。さらに、1 軸能動制御を行う磁気軸受方式などを含めて受動安定方向の剛性を比較し、高剛性化するにはどのような工夫を行えばよいのかを明らかにした。軸方向の磁気支持力を向上する構造を提案し、有限要素法解析により設計をする方法を明らかにした。さらに試作機を試作し、軸方向の磁気支持力を測定する方法を明らかにした。また、半径方向の受動剛性を測定する方法を提案し、タッチダウンからのスタートアップ試験を実証し、また、急加速可能であることを明らかにした。

第 6 章では V 形巻線を持つ 1 軸制御形シングルドライブベアリングレスモータのトルク式の導出とトルク向上の理論検討を行った。すなわち、シングルドライブベアリングレスモータの新しい方式として、V 形をした固定子巻線を持つことにより、軸方向の能動支持力を d 軸電流によって発生し、一方、q 軸電流によってトルクを発生する電磁機械の構成を明らかにした。電磁力発生メカニズムとして、ローレンツ力、マクスウエル力による電磁力の発生を明らかにした。また、トルク発生と電磁力発生とのトレードオフから最適な V 巻線の折曲角度があることを明らかにした。

第 7 章では、反発受動形磁気軸受を備えた 1 軸制御形シングルドライブベアリングレスモータの半径方向の振動低減法を提案した。まず、半径方向の振動発生の原因を分析し回転角度検出誤差による軸方向の振動発生メカニズムを明らかにした。さらに、軸方向と半径方向の干渉による振動発生メカニズムを明らかにし、軸方向変位の干渉を考慮した半径方向のモデル化を実現した。MATLAB/Simulink を用いた半径方向の振動シミュレーションを行うとともに、提案方法による半径方向の振動低減を実機により検証を行い、提案方法が効果的であることを明らかにした。

第 8 章では冷却ファン用 1 軸制御形シングルドライブベアリングレスモータの構造を提案し、実機によりファンに適用可能であることを検証した。

第 9 章では、本論文の結論を明らかにした。

以上に記載のように、本論文は、シングルドライブベアリングレスモータの新しい構造を提案するとともに、受動安定方向の高剛性化を進め、安定性の改善を行ったものであり、工学的に極めて有用であり、博士論文として価値がある。