



Title	高速回転機システムにおける磁気軸受の高付加価値化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	孫, 浩
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第14628号
Issue Date	2021-06-30
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/82447
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	SUN_HAO_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 孫 浩

審査担当者 主 査 教 授 小笠原 悟司
副 査 教 授 五十嵐 一
副 査 教 授 近野 敦
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

高速回転機システムにおける磁気軸受の高付加価値化に関する研究
(Study of Enhancing Added Value of Magnetic Bearings in High-Speed Rotation Machine System)

近年、モータ駆動システムの小型化、高出力化、低コスト化への要求がますます高まっている。モータ駆動システムにおいては、モータ体積は出力トルクに大きく依存して決まり、軸出力はトルクと回転数の積であるという特性を有している。そのため、システム全体の小型・高出力化のためには、モータの回転速度を増加させることが非常に有効である。しかし、従来の機械式ベアリングを適用したモータの場合においては、モータの回転速度の上限がベアリングにより制限されており、機械摩擦による発熱や効率の低下、潤滑油などの定期的保守が必要などの問題があった。これを解決するために、電磁力で回転軸を静止浮上させる磁気軸受が注目されている。磁気軸受は、モータ回転軸を機械的に非接触で支持することが可能であるため、従来の機械式ベアリングと比べて、機械摩擦がないため低損失、摩耗がないため長寿命、潤滑油が不要でメンテナンスフリーといった優れた特長を有している。このため、高速回転のモータ駆動システムに採用する磁気軸受の低コスト化、高付加価値化に対する要求が高まっている。

磁気軸受はヘテロポーラ型とホモポーラ型の2種類に分類できる。ヘテロポーラ型磁気軸受は構造が簡単で永久磁石がないため安価である。しかし、回転子鉄心内に交番磁束が生じるため回転子鉄損が多く、その冷却も難しいことが欠点である。一方、ホモポーラ型磁気軸受は回転子鉄損が少ないため冷却が容易であるが、永久磁石が大量に必要で構造も複雑である。また、磁気軸受を採用するモータ駆動システムには、一般的に軸方向を制御するスラスト磁気軸受が1ユニット、径方向の2軸を制御するラジアル磁気軸受が2ユニットを用い、合計5軸を能動的に制御している。これらの磁気軸受ユニットを組み合わせると駆動システム全体の軸長が長くなり、回転軸の危険速度が低下して安定性が低下するという問題点もあった。

本論文では、4つのC形コアを用いた新しいホモポーラ型磁気軸受ならびに円筒型回転子を用いた3軸能動制御型磁気軸受の磁石レス化構造を提案しており、三次元有限要素法(3D-FEM)を用いた解析により提案構造の有用性を明らかにしている。

第3章では、大量の永久磁石が必要で高コストではあるが低鉄損であった従来のホモポーラ型磁気軸受に対して、4つのC形コアを用いた新しいホモポーラ型磁気軸受を提案している。提案したホモポーラ型磁気軸受は、従来構造に対して永久磁石の使用量を大幅に削減して低コストであるだけでなく、従来と同等の軸支持力の発生が可能である。さらに、従来は採用されることの少なかった全閉スロット構造を採用することで、回転子鉄損の更なる低減する点に特長がある。その結果、全閉

スロット形状の採用は、オープンスロット形状と比べて軸支持力の増加と回転子鉄損の低減を両立できることを明らかにしている。さらに試作機を製作し、提案したホモポーラ型磁気軸受の有効性を検証している。

第4章では、円筒型回転子を用いて3軸能動制御型磁気軸受の磁石レス化構造を提案している。ターボ分子ポンプなどの産業用途では、モータ駆動システムは定期的に分解や解体してメンテナンスする必要があるため、モータ内に磁石があると、吸引力が発生して作業性を悪化させているという問題点があった。また、従来の円板状の回転子を用いたスラスト磁気磁気受けを採用したシステムにおいては、回転子の引き抜きが困難という問題点もあった。提案構造は、1ユニットでスラスト方向(1軸)とラジアル方向(2軸)の3軸が能動制御可能で、しかも円筒回転子構造を有するために回転子の引き抜きが容易である。さらに永久磁石による吸引力がないため、提案構造は極めてメンテナンス性の高い構造である。永久磁石の代わりにバイアス電流をスラスト巻線に流した場合(T'-RMB)とラジアル巻線に流した場合(T-R'MB)の二種類について3D-FEMを用いて検討し、T'-RMBの方が軸支持力の発生能力ならびにその線形性が高く、銅損も小さいことを示した。

これを要するに筆者は、高速回転のモータ駆動システムに用いる磁気軸受システムにおいて、高性能化、高機能化、低コスト化、メンテナンス性の向上を達成可能な新しい磁気磁気受の構造を提案し、3D-FEMを用いた解析ならびに実験によりその効果を検証して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。よって筆者は、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。