

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00759

研究課題名(和文)ベアリングレスモータにおけるアーンショウの定理の限界の探索

研究課題名(英文) Investigation of the limit of Earnshaw's theorem in bearingless motors.

研究代表者

千葉 明 (CHIBA, Akira)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：30207287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,100,000円

研究成果の概要(和文)：1990年代初頭に、申請者は磁気浮上するモータベアリングレスモータの統一理論を世界に先駆けて発表した。さらに、一軸だけを能動的に制御する新しいベアリングレスモータの基本的な学術概念シングルドライブベアリングレスモータを提案したが、トルクの向上、回転速度の向上などの問題があった。また、アーンショウの定理によると少なくとも1軸は能動制御しなければならない。1軸能動制御の問題を解決し、さらに、その先にある1軸未満の磁気浮上の方式を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、2020年に研究代表者がIEEEのTechnical Field Awardsの一つのNikola Tesla Awardを授賞したことである。IEEEは米国を発祥とする国際的な学会であり、30万人強の会員を擁する世界最大の技術系の学会である。IEEEでは、毎年30件ほどのTechnical Field Awardsを顕彰している。日本人の受賞者は平均毎年二件ほどで、さらに、平均授賞年齢は69才である。2020年に研究代表者はNikola Tesla賞を60才で受賞した。我が国にIEEEのTechnical Field Awardをもたらす学術的成果があった。

研究成果の概要(英文)：At early 1990's one of the applicants has proposed a novel idea of the unified concept of bearingless motors. Later the applicants have proposed the second novel idea of the single drive bearingless motors, however, improvements were necessary such as the torque density, and rotational speeds. According to the Earnshaw's theorem, at least one active positioning is necessary for successful magnetic suspension. In this research, the improvements of single drive bearingless motors have been achieved, in addition, the magnetic suspension systems with less than one active positioning have been proposed.

研究分野：電気機器

キーワード：ベアリングレスモータ 磁気支持 磁気浮上 アーンショウの定理

1. 研究開始当初の背景

1990年代初頭に、申請者はモータに巻線を追加することにより電磁力を発生し、磁気浮上できるベアリングレスモータの統一理論を発表した。この論文はモータ関係では最も著名であるIEEEのIndustry Applications Societyの電動機委員会の当時委員長のRahman教授（カナダ国Memorial大、IEEE Field Award受賞、Royal Society Fellow）との国際共同研究であり、当時ポストドクであった申請者の提案をinnovativeであると評価され、研究のサポートを頂き推進した。同時期にスイス連邦工科大学(ETH)（世界大学ランキング9位）のHugel教授らはベアリングレスモータの最初の試作の段階であった（Reto Schob and Jurg Bichsel, "Vector Control of the Bearingless Motor", Fourth International Symposium on Magnetic Bearings, August 1994, ETH Zurich pp.327-332）。その後、申請者らは統一理論に基づいて各種モータのベアリングレス化を進め、国際一流ジャーナル論文を発表し、また、世界で初めてのベアリングレスモータの書籍を英国グラスゴー大学のMiller教授(IEEE Nikola Tesla Field Award受賞)の薦めがあり執筆した。この書籍が新しい分野を開拓したことを明らかにすることに役に立ち、申請者は47才でIEEE Fellow(名誉会員)に昇格した。その際、著名な米国Wisconsin大のJahns教授(IEEE Nikola Tesla Field Award受賞)、Lequesne博士(IEEE-IAS President, IEEE Nikola Tesla Award受賞)などから高い学術的評価を得て推薦を得ることができた。40才台のFellowは少なく、ベアリングレスモータへの貢献では申請者が初めのIEEE Fellowである。

しかし、2000年頃よりベアリングレスモータの研究が欧米など世界各国に広がりつつある。このような状況下で、共同研究者の朝間淳一と申請者は、一軸だけを能動的に制御する新しいベアリングレスモータの基本的な学術概念「**シングルドライブベアリングレスモータ**」を提案した。回転軸以外の5軸全てを能動的に制御するベアリングレスモータは、4台のインバータと5つのセンサが必要であり、1990年代から取り組んできた。一方、新たに提案したシングルドライブベアリングレスモータは、1軸能動制御型で1台のインバータと1つのセンサだけが必要であり、最も簡単な磁気浮上系である。世界で最も高い剛性を実現し、偏心を抑制して数十Wの試作機を製作して実証することができた。

非接触磁気浮上・磁気支持の学術分野では、永久磁石の反発・吸引力だけを利用して非接触浮上は不可能であると言われており、英国の**アーンショウの定理**が引用されている。このような状況下で、近年、常温であっても、反磁性体を適用することで軽量の物体の非接触磁気浮上が可能であることが明らかにされつつある。しかし、力が微力であり、回転体への応用は難しい状況にある。

そこで、「能動制御軸を1軸以下とする方式、あるいは、全く能動制御を行わない方式は、どのように構成すれば実現可能であるだろうか？」との学術的な問いが生まれた。相対運動によるエレクトロダイナミクスを適用して高速域では1軸能動制御が不要になるベアリングレスモータ、常温での反磁性を駆使して、低速回転域で非接触浮上するベアリングレスモータに取り組み、常温でのアーンショウの定理の限界に挑戦する。実現できれば世界で初めての研究であり、学術的に見て推進すべき重要な研究課題である。

成功すれば、非接触で磁気支持することにより血液の破壊を最小限に抑える人工心臓(医学)、半導体・ディスプレイ製造用ポンプ、次世代無線基地局、次世代自動車の駆動モータへの波及効果がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ベアリングレスモータの受動支持を高性能化することにより、この分野において、世界の研究者に先駆けた学術研究を推進することである。以前、申請者はベアリングレスモータの統一理論を発表し、世界をリードする研究を行っていたが、最近、欧米が追い上げつつある。申請者はベアリングレスモータの非接触受動支持の適用拡大と大型化が今後の学術研究の突破口になると考えている。欧州研究者らの2軸能動制御に比較して、1軸以下を能動的に制御する方式は、新規性が有り、独創的で革新的である。しかし、最低1軸は能動的に支持しないと磁気浮上は困難であると言われており、アーンショウの定理が引用されている。このような状況下で、近年、常温であっても、反磁性体を適用することで軽量の物体の非接触磁気浮上が可能であることが明らかにされつつある。

そこで、本研究では、能動制御軸を1-2軸あるいはそれ未満とする方式、あるいは、全く能動制御を行わない方式を探索し、エレクトロダイナミクス・反磁性などを駆使して、常温でのアーンショウの定理の限界に挑戦する。

3. 研究の方法

- (1) 1軸能動制御シングルドライブベアリングレスモータ、東京工業大学、東京都市大学、富山大学、東京電機大学、静岡大学
- (2) 8字コイルによる0軸能動制御、東京工業大学
- (3) 反磁性体による0軸能動制御、東京工業大学、福島工業高等専門学校、東京電機大学
- (4) その他の0軸能動制御、富山大学
- (5) その他のベアリングレスモータ、静岡大学、東京工業大学

4. 研究成果

1軸のみを能動制御するベアリングレスモータの試作を行った。高速回転化を目指し、回転子の極数をこれまでの8極から4極に変更し、さらには、ワイドエアギャップを採用した。その結果、3万rpmでの安定した浮上・回転の実証実験に成功した。この回転数は1軸能動制御のベアリングレスモータとしては世界で最も高速回転である。この成果は、国際一流ジャーナルIEEE Transactions on Industry Applicationsに掲載された。また、回転シャフトにファンブレードを装着し、負荷試験を行った。従来の機械ベアリングで軸支持するモータと比較し、ベアリングレス化することで以下2点の優位性を実験により示した。(1)低速から回転数を上げていくと、ある速度以上で、ベアリングレスモータの効率が勝ること、(2)ベアリングレス化することで駆動時の騒音レベルが大きく低減されることを実証した。これらのベアリングレスモータの新たな可能性・優位性は、今後のさらなる1軸能動制御ベアリングレスモータの適用拡大に貢献すると考える。

能動制御軸数を0とする方式で、回転速度が速くなると軸方向力が発生し、非接触浮上するエレクトロダイナミックベアリングレスモータを試作した(図1)。半径方向の不安定な力(不平衡吸引力)が発生しないように、コアレスコイルを採用した。しかし、当初の検討では、エレクトロダイナミックによる軸方向剛性は非常に小さかった。回転子をダブルロータに変更し、さらに回転子の磁石配置を工夫することで、軸方向剛性は当初モデルと比較し、大幅に改善された。この改善

したモデルを試作し、固定子を5軸力センサに固定して回転子が発生する軸方向力を実測した。その結果、大方理論と一致する軸方向力が得られたことを確認し、この軸方向剛性は世界でもトップレベルの剛性であった。この成果は、IEEE Transactions on Industry Applicationsに掲載された。さらには、回転軸の両端に反発形磁石を配置し、半径方向および傾き方向の4自由度が受動支持されたシステムを構築した。このシステムにおいて回転数を低速から上げていき、ある速度で非接触支持を実現した。

能動制御軸数を0とする方式で、0rpmでも静浮上可能な完全受動磁気軸受+モータを試作した(図2)。浮上する反磁性体にシャフトを介して下部にモータ用永久磁石が貼り付けられ、コアレスコイルで駆動される。反磁性体を利用した完全受動支持の研究においては、世界で最も速い回転数を実現した。

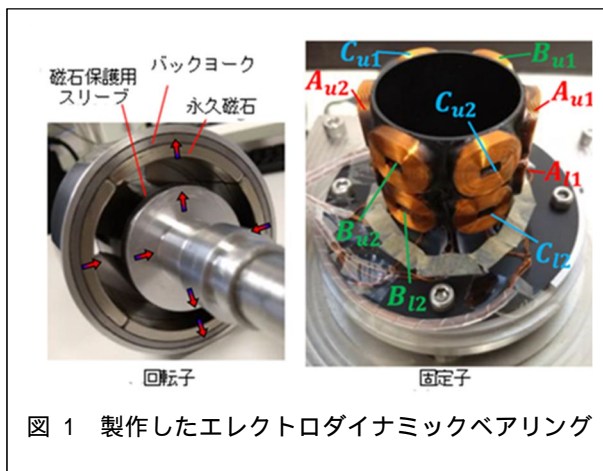


図1 製作したエレクトロダイナミックベアリング

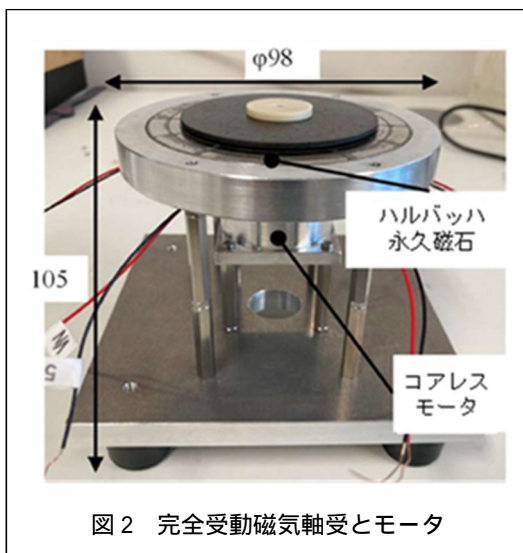


図2 完全受動磁気軸受とモータ

表1 試作機諸元

Stator outer diameter D_{aos} [mm]	200	Number of stator teeth Z_S	12
Stator inner diameter D_{ais} [mm]	179.6	Paire of rotor pole Z_R	10
Rotor outer diameter D_{aro} [mm]	142	Winding pole P_w	4
Stack length L [mm]	7	PM pole P_m	20
Current I [Arms]	1.57	Rated revolution [rpm]	2400
Winding space factor [%]	40	Target torque [N·m]	3
Aie gap g_a [mm]	0.8	Target output [W]	750

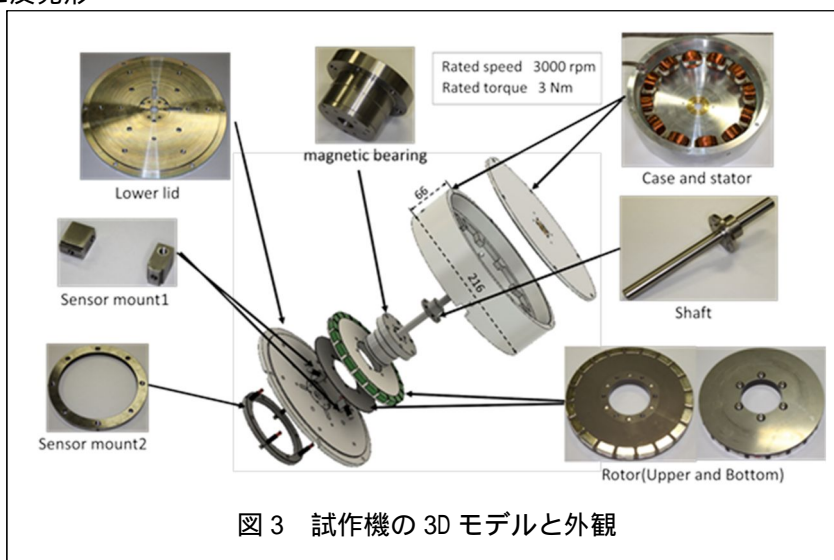


図3 試作機の3Dモデルと外観

反磁性体を利用した完全受動支持の研究においては、世界で最も速い回転数を実現した。

東京都市大学においては、高出力化を目的として永久磁石型バーニアモータの構造を取り入れたシングルドライブベアリングレスモータの試作機を製作しその試験装置を製作した。表 1 に製作した試作機の諸元を示す。図 3 に示す試作機は SPM 形バーニアモータの構造を有し、固定子歯数 $Z_s = 12$ 、回転子極対数 $Z_r = 10$ 、電機子巻線極対数 $P_w = 2$ である。また、固定子外径 200 mm、固定子積厚 7 mm の扁平大径な構造とし、バーニアモータの構造を採用することでトルクの向上を図り、定格トルクは 3.0 Nm となっている。

定格回転数 2400 min^{-1} において 750 W を達成する設計となっている。受動磁気軸受の部分は、受動磁気軸受の回転子と固定子のみでユニット化して、あらかじめ機械構造的に安定な状態としてベアリングレスモータに組み付けができるユニット構造を新たに提案している。従来構造では、モータの組み立て時には受動磁気軸受の永久磁石によって生じる不安定で大きなスラスト方向の排斥力に打ち勝つような大きな力で回転子を固定子に挿入する必要があったが、このユニット構造にすることで、あらかじめネジを利用した治具により安全かつ簡単に組み立てを行うことが可能となっている。ベアリングレスモータ本体への組み付け前にあらかじめ安定な状態のユニットに組み立てられるので、回転子の飛び出し等も生じない安全な構造である。

製作した試作機の試験を行うために試験ベンチを製作した。試験ベンチは主に試作機、トルクメータ、負荷機が鉛直方向に連なった構成となっており、非浮上状態ではあるが負荷試験を実施可能である。また、浮上試験を行う際にはカップリングを外して試作機単体で試験を行う。

試作機の動作確認を行うために両軸端を機械式のベアリングで支持して加速試験を実施した。その結果、定格の回転数である 2400 min^{-1} まで安定して加速・回転することを確認した。今後、負荷試験および浮上試験を実施して性能を評価する予定である。

福島工業高等専門学校では、0 軸能動制御の基礎として、従来の PG 円板試料とは異なる磁性特性を示す PGS® (PG シート)、HOPG (高配向性黒鉛結晶) に注目し、開発を手掛ける「反磁性体とリングハルバツハ配列永久磁石を用いた完全受動型磁気浮上モータ」の「ラジアル磁気軸受機能としての効果」を見い出すため、3 種のグラファイト円板試料 (PG, PGS®, HOPG) のラジアル方向のダンピング特性を明らかにした。

リングハルバツハ配列永久磁石上で無制御に非接触磁気支持されている PG 円板試料に一定の変位をラジアル方向に与え (図 4)、開放した際の減衰振動特性を非接触計測する (図 5)。非回転状態での計測であるが、PG 試料 3 種の磁性材料としての特性を比較するには適当である。PG 円板試料の直径は 54mm で統一しているが、PGS®材は、従来の PG 材に貼り合わせた試料 PG/PGS であるので、PG および HOPG 円板試料の質量は約 5g に対し PG/PGS は 7.3g である。

富山大学においては、図 6 に示すアキシヤルギャップスイッチドリラクタンズモータ型による一軸能動制御ベアリングレスモータの高出力を目指として、解析と実機との誤差を検証するために、試作機の製作および試作機の静特性の測定を行った。スイッチドリラクタンズモータ型の一軸能動制御ベアリングレスモータにおいて、解析時には考慮されていない漏れ磁束により、モータ部にて発生するスラスト方向力、トルク共に 20%解析誤差が発生することが明らかになった (図 7)。一方で、磁気浮上を含めたモータ制御部の検討を行い、スラスト方向力とトルクを同時に制御できる手法を理論計算により確立した。

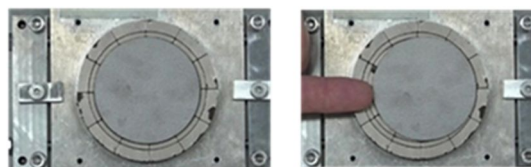


図 4 リング Halbach 配列永久磁石上での PG 円板試料の安定位置と初期変位

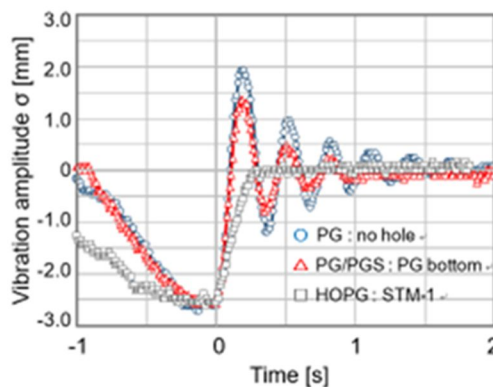


図 5 3 種の PG 円板試料の振動特性

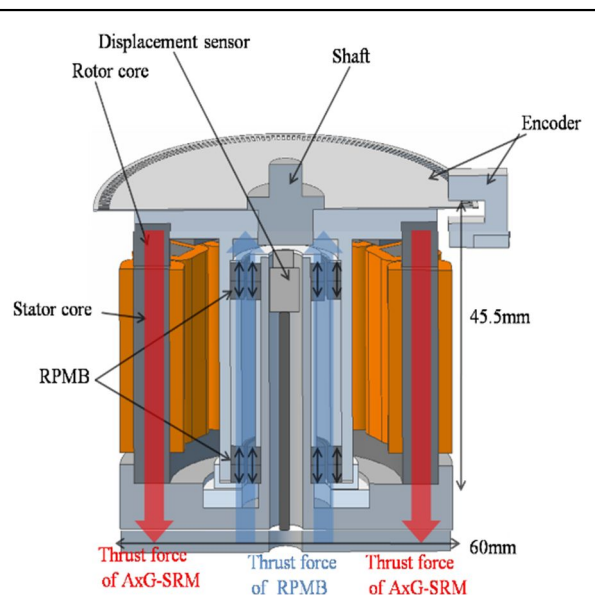


図 6 AxG-SDBelRM の浮上原理

突極形反磁性グラファイト回転子を用いた 5 軸受動安定形ベアリングレスモータの原理検証機を製作した。回転子はハルバツハ配列永久磁石の上面から 1.4 mm 離れた位置にパッシブに浮上しており、アキシヤルフラックス形固定子に三相交流電流を流すことで回転磁界に同期して浮上しながら回転する。

図 8 にグラファイト回転子の加速波形を示す。相電流実効値 4 A の電流の周波数をランプ状に増加させることでグラファイト回転子を同期させて 200 r/min まで浮上回転させることに成功した。210 r/min 付近で半径方向の共振により振動が大きくなり脱調することが実験的に明らかになっているため、危険速度を加速で通過するためのトルク向上を検討し、新しい固定子鉄心および回転子を製作した。

従来の PG 円板試料の振動特性に比べ、PG/PGS 円板試料では振幅が明らかに抑えられている。更に、HOPG に関して振動現象は見られず、約 2.5mm の変位点から原点（安定位置）へ復元するのみである。このように新たな 2 種の試料（PG/PGS, HOPG）に関してラジアル方向への磁気支持効果が明らかになったことから、実機への適応が期待できる。

静岡大学では、制御軸数低減かつ簡素な構造のベアリングレスモータを提案している。具体的には、軸方向 1 軸のみ能動制御するアキシヤルギャップ形シングルドライブベアリングレスモータ、3 コイルかつ三相インバータ 1 台のみを用いて半径方向 2 軸と回転を制御するベアリングレスモータ、さらには、二相統合巻線形 2 軸能動制御形ベアリングレスモータ（図 9）の、これまでに提案されていない、新しい 3 機種に関して、理論計算、電磁界解析、試作および性能評価を行い、磁気浮上回転を確認した。上記、に関しては、国際一流ジャーナル IEEE Transactions on Industry Applications に論文として掲載された。

以上、研究成果は能動制御軸数を低減するベアリングレスモータに関するものであり、能動制御軸を 0 まで低減し、アーンショウの限界を探索した。

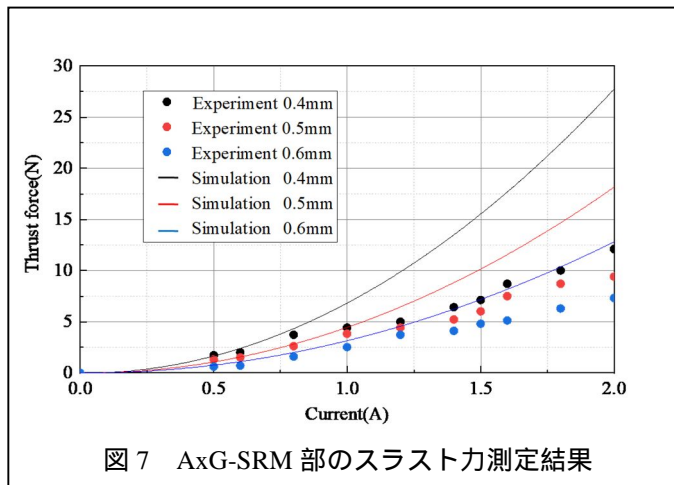


図 7 AxG-SRM 部のスラスト力測定結果

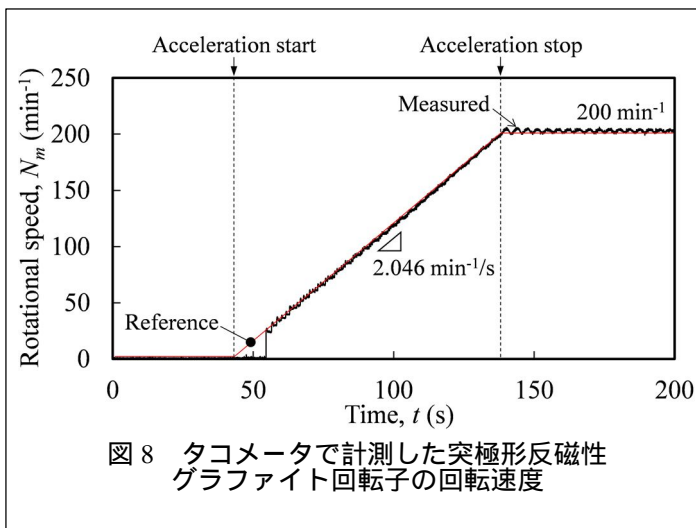


図 8 タコメータで計測した突極形反磁性グラファイト回転子の回転速度

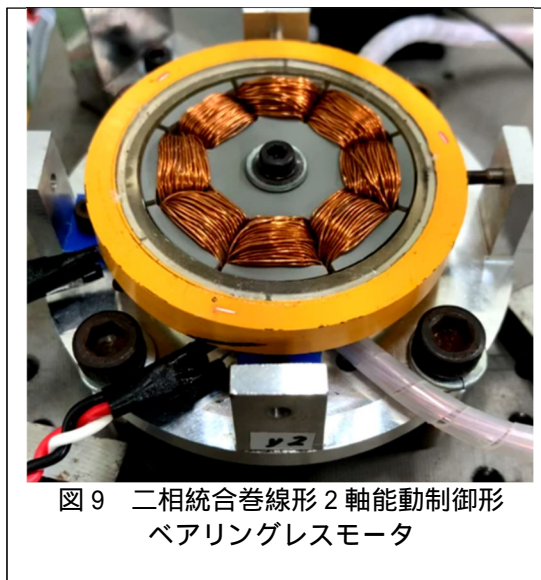


図 9 二相統合巻線形 2 軸能動制御形ベアリングレスモータ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Rubio Guilherme Cavalcante, Fujii Yusuke, Chiba Akira	4. 巻 57
2. 論文標題 A Bearingless Motor With Passive Electrodynamic Suspension in Axial Direction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 6812 ~ 6822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2021.3091415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Srichiangsa Theeraphong, Sugimoto Hiroya, Fujii Yusuke, Chiba Akira	4. 巻 57
2. 論文標題 Design, Development, and Experimental Results of a 30 000-R/Min One-Axis Actively Positioned Single-Drive Bearingless Motor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 6783 ~ 6791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2021.3090736	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 大平真聖, 大路貴久, 飴井賢治	4. 巻 2021
2. 論文標題 交流電磁石によるアルミリング懸垂受動支持のための浮上体形状の提案と解析的	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会産業応用部門大会 (CD-ROM)	6. 最初と最後の頁 Y-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 G. Rubio, Y. Fujii, A. Chiba	4. 巻 -
2. 論文標題 Requirements for Full Passive Suspension on a Bearingless Motor with Electrodynamic Axial Stabilization and Radial Permanent Magnet Bearings	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)	6. 最初と最後の頁 ppp. 3936-3942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Ozawa, Y. Fujii, A. Chiba, H. Sugimoto, H. Suzuki, H. Bleuler.	4. 巻 -
2. 論文標題 Principles and Test Result of Novel Full Passive Magnetic Levitation Motor with Diamagnetic Disk	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE),	6. 最初と最後の頁 pp. 3943-3948
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 G. Rubio, Y. Fujii, A. Chiba.	4. 巻 -
2. 論文標題 Summary of a Bearingless Motor with Passive Electrodynamics Axial Suspension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The 17th International Symposium on Magnetic Bearings (ISMB)	6. 最初と最後の頁 pp. 140-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Asama Junichi, Tai Tek Kee, Chiba Akira	4. 巻 57
2. 論文標題 Development of Axial-Flux Single-Drive Bearingless Motor With One-Axis Active Positioning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 6792 ~ 6800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2021.3096174	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Asama Junichi, Chiba Akira	4. 巻 57
2. 論文標題 Three-Coil Combined Winding Configuration for a 2-DOF Actively Controlled Bearingless Permanent Magnet Motor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industry Applications	6. 最初と最後の頁 6765 ~ 6773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIA.2021.3078665	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Guilherme Cavalcante Rubio and Akira Chiba	4. 巻 1
2. 論文標題 Design and Analysis of a Bearingless Motor With Passive Axial Suspension Through Null-Flux Coils	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Proceeding of IEMDC 978-1-5386-9350-6/19/\$31 ©2019 IEEE	6. 最初と最後の頁 779-785
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Higashi Hiroki, Kiyota Kyohei, Anei Kenji, Ohji Takahisa	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal of an Axial Gap Type Single-drive Bearingless Reluctance Motor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Proceeding of IEMDC 978-1-5386-9350-6/19/\$3100 ©2019 IEEE	6. 最初と最後の頁 833-838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IEMDC.2019.8785340	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 荒井拓実、杉元紘也、鈴木晴彦、千葉明	4. 巻 MAG-19-170/MD-19-108/LD-19-074
2. 論文標題 突極形反磁性体回転子を用いた完全受動形磁気浮上モータの提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会MAG/MD/LD合同研究会資料	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 H. Sugimoto, T. Arai, H. Suzuki and A. Chiba
2. 発表標題 New Configuration of Five-Axis Passively Stabilized Bearingless Machine With a Diamagnetic Pyrolytic Graphite Rotor
3. 学会等名 2020 23rd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Srichiangsa, H. Sugimoto, and A. Chiba
2. 発表標題 Acoustic Noise Reduction by Bearingless Drive at No-Load Test
3. 学会等名 電気学会全国大会pp. 22 - 23
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大澤圭輝, 藤井勇介, 千葉明
2. 発表標題 反磁性体を用いた完全受動型ベアリングレスSPMモータの提案
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会, pp. 15-16
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rubio Guilherme Cavalcante, Yusuke Fujii, Akira Chiba
2. 発表標題 Experimental Validation of Passive Electrodynamic Axial Force on a Bearingless Motor
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会, pp. 17-18
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上達博, 大路貴久, 飴井賢治, 清田恭平
2. 発表標題 交流電磁石によるアルミニウムリング懸垂支持のための一軸能動制御
3. 学会等名 第32回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 319-320
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Guilherme Cavalcante Rubio
2. 発表標題 Design and Analysis of a Bearingless Motor With Passive Axial Suspension Through Null-Flux Coils
3. 学会等名 IEEE IEMDC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒井拓実
2. 発表標題 突極形反磁性体回転子を用いた完全受動形磁気浮上モータの提案
3. 学会等名 電気学会MAG/MD/LD合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井勇介
2. 発表標題 零相電流を用いた磁気浮上モータシステムにおけるダイオード整流回路による浮上直流バイアス電流制御
3. 学会等名 第31回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Higashi ; Kyohei Kiyota ; Kenji Amei ; Takahisa Ohji
2. 発表標題 Proposal of an Axial Gap Type Single-drive Bearingless Reluctance Motor
3. 学会等名 IEEE IEMDC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 晴彦 (Suzuki Haruhiko) (30201578)	福島工業高等専門学校・電気電子システム工学科・教授 (51601)	
研究分担者	大路 貴久 (Tkahisa Ohji) (30334709)	富山大学・学術研究部工学系・教授 (13201)	
研究分担者	杉元 紘也 (Hiroya Sugimoto) (60613552)	東京電機大学・工学部・准教授 (32657)	
研究分担者	朝間 淳一 (Junichi Asama) (70447522)	静岡大学・工学部・准教授 (13801)	
研究分担者	土方 規実雄 (Kimio Hijikata) (70710507)	東京都市大学・理工学部・講師 (32678)	
研究分担者	清田 恭平 (Kyohei Kiyota) (10796519)	富山大学・学術研究部工学系・助教 (13201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
スイス	EPFL emeritus Professor			