

平成 22 年 4 月 20 日現在

研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19560249
 研究課題名 (和文) 連続流人工心臓用小型・高性能セルフベアリングモータの開発
 研究課題名 (英文) Development of a smaller and high-performance self-bearing motor for continuous-flow artificial heart
 研究代表者
 松田 健一 (MATSUDA KENICHI)
 茨城大学・工学部・講師
 研究者番号： 30302326

研究成果の概要 (和文) : 本研究では、浮上回転するロータを支持するための 5 つの自由度をすべて能動的に制御することで、磁気軸受システムとしての高性能を維持したまま小型化が実現可能な 5 軸制御セルフベアリングモータを提案した。理論的な制御力を導出すると共に、磁場解析に基づき、インナーロータ型 5 軸制御セルフベアリングモータの試作 1 号機を製作した。この試作機を用いた実験により、安定した浮上回転が実現可能であることを確認した。さらに、人工心臓に適用可能なアウターロータ型 5 軸制御セルフベアリングモータを試作し現在実験を継続中であるが、小型化と高性能化を兼ね備えたシステムが十分に実現可能であると考えている。

研究成果の概要 (英文) : A novel 5-DOF actively controlled self-bearing motor that combines the functions of a motor, two radial AMBs, and an axial AMB has been proposed and developed to achieve smaller size and higher performance simultaneously. A theoretical control forces were introduced and a prototype 5-DOF self-bearing motor was made using magnetic field analysis by finite element method Then the stable levitation with rotation was confirmed by experiments. In addition, outer rotor type 5-DOF self-bearing motor was analyzed. The prototype model was made and the experiments are still continuing. It is considered that the development of a smaller and high-performance 5-DOF self-bearing motor is highly feasible.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：メカトロニクス、バイオメカトロニクス

1. 研究開始当初の背景

現在臨床応用されている拍動流補助人工心臓は症例の増加と埋込み期間の長期化に

伴い、血栓塞栓症、感染、機械的信頼性や小柄な患者への適応が困難等の問題点が明らかになっている。この問題点を克服するポン

プとして、近年連続流ポンプの埋込み型人工心臓への応用研究の報告がなされてきた。特に回転軸を支持する機械的な軸受を必要としない電磁力を利用した磁気浮上型遠心ポンプは、機械的な信頼性が高く長寿命であり、その開発が切望されている。

最近の磁気浮上方式としては、赤松(京大)とNTN(株)が共同で考案した磁気軸受方式の浮上型遠心ポンプによる補助人工心臓の臨床試験を、テルモ(株)がドイツでスタートし世界初の磁気浮上方式左心補助人工心臓の実用化を実現させている。また、東京医科歯科大と進士(東工大)らのグループは、受動安定性を用いた2軸制御の小型磁気軸受とHalbach型ローレンツモータを利用した小型の人工心臓用遠心ポンプの開発を進めている。

一方海外では、スイスのLevitronixがCentriMagという補助人工心臓を商品化しているが、受動安定性を利用したラジアル方向2軸制御のみのセルフベアリングモータを用いたもので、体外設置型で2週間までに利用が限定されている。またアメリカで開発中のHeartMate IIIも、CentriMagと同様に受動安定性を利用した2軸制御のセルフベアリングモータを用いたシステムである。現在完全埋込型としては、限定的に重症患者に使われるLionHeartがあるが、これは拍動式のタイプである。

磁気軸受やセルフベアリングモータを利用したこれらの方式は、人工心臓用ポンプの小型化の必要性もあり、一部受動安定性を利用したシステムとなっている。したがって、患者が転倒しポンプに大きな加速度が加わった場合など、突然のアクシデントに対する安全性や信頼性という点で問題が残っている。

本研究で提案するセルフベアリングモータは、単一のロータでありながら全自由度を能動的に制御し、かつエネルギー消費を抑えることが可能である。したがって、安全性や信頼性という問題を克服すると同時に、小型化や低エネルギー消費を可能とする唯一ともいえる方式と考える。

2. 研究の目的

人工心臓用アクチュエータとして適用可能な、小型化と高性能化を実現できる、新方式の単一ロータ全軸制御型セルフベアリングモータ(磁気浮上モータ)の開発である。

3. 研究の方法

(1) 5軸制御が実現可能な3タイプのセルフベアリングモータについて、その内部構造と軸方向力および傾き制御トルク発生原理を、有限要素法ソフトウェアANSYSを用いた2次元磁場解析により検討する。

(2) 最も有力な方式について、3次元磁場解析により最適な磁石配置と形状、モータトルクや制御力及び相互作用などについてさらに詳細に検討し、5軸制御セルフベアリングモータの基本設計を行う。

(3) 最適な形状が決定次第、積層鋼板コアの発注を行い、試作1号機の製作に取りかかるとともに、試作機による浮上回転実験により本モータの実現性を検証し、平行して各制御力の相互作用や安定性解析を行い、制御方式について検討を加える。さらに、モータ性能についても評価を行う。

(4) 人工心臓用アクチュエータとして適用するために、より小型化が可能な方式として、インナーロータ方式とアウターロータ方式の巻線構成、永久磁石の配置など最適形状について検討する。

(5) 最適な形状が決定次第、積層鋼板コアの発注を行い、試作2号機の製作に取りかかるとともに、試作機による浮上回転実験により本モータの実現性を検証し、平行して各制御力の相互作用や安定性解析を行い、制御方式について検討を加える。さらに、モータ性能についても評価を行う。

4. 研究成果

(1) 単一ユニットの単一ロータのみで5軸能動制御可能な3タイプのセルフベアリングモータを提案し、それぞれの特徴や制御方法について示した。さらに、軸法力および傾きトルクの一般式についても示した。コンパクトな構造や製作組み立てを考慮すると、側面永久磁石を有するステータと中央突極とロータ両側にオーバーハングの突極を有する構造が有力であることを示した。

(2) 5軸能動制御型セルフベアリングモータの軸方向力や傾きトルク発生原理について示すとともに、軸方向力および傾きトルクの理論的な一般式について示した。

(3) 三次元磁界解析により、インナーロータ方式の5軸制御セルフベアリングモータを試作し、本方式のセルフベアリングモータの安定な浮上回転が実現できることを確認した。

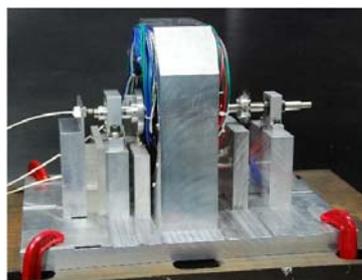


写真1 5軸制御セルフベアリングモータ試作機

(4) 三次元磁界解析により、インナーロータ方式とアウターロータ方式の巻線構成、永久

磁石の配置など最適形状について検討し、全体の体積を抑え軽量化を目指す場合はインナーロータ方式、小型化と高トルクが必要な場合は OUTERロータ方式を用いた方が有利であるという結果が得られた。

(5) OUTERロータ方式を用いると、モータ外径φ50mm、幅29mmで人工心臓ポンプの基本仕様5L/min、100mmHgを達成可能であり、解析結果に基づき、小型化が可能なOUTERロータ方式の試作2号機を製作し、現在研究を継続中である。

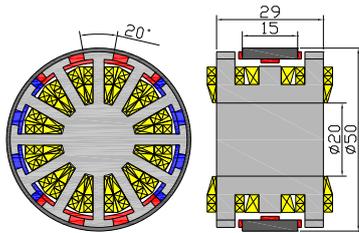


図1 OUTERロータ型5軸制御セルフベアリングモータ

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

①T. Ishikawa, K. Matsuda, R. Kondo, T. Masuzawa, 5-DOF Controlled Self-Bearing Motor, JSME Journal of System Design and Dynamics, 査読あり, Vol. 3, No. 4, 2009, pp. 483-493

②松田健一、石川達也、増澤徹、近藤良、5軸能動制御型セルフベアリングモータの開発、日本AEM学会誌、査読あり、Vol. 16, No2, 2008, pp. 101 -107

[学会発表] (計10件)

①寺山昌幸、松田健一、近藤良、増澤徹、人工心臓応用を目指した5軸制御セルフベアリングモータの小型化に関する研究、日本機械学会茨城講演会、2009、8、25、筑波大学第三エリアA棟

②松田健一、石川達也、増澤徹、近藤良、高性能で小型化が可能な5軸制御セルフベアリングモータの開発、日本機械学会 [No. 09-23] Dynamics and Design Conference、2009、8、8、北海道大学学術交流会館

③松田健一、石川達也、増澤徹、近藤良、5軸制御型セルフベアリングモータの小型化に関する研究、電気学会第21回「電磁力関連のダイナミクス」講演会、2009、5、20、メルパルク長野

④石川達也、松田健一、増澤徹、近藤良、5軸制御型セルフベアリングモータの傾き制御特性、日本AEM学会第17回MAGDAコンファレンス、2008、11、21、日立シビックセンター

⑤T. Ishikawa, K. Matsuda, T. Masuzawa, R. Kondo, 5 DOF Controlled Self-Bearing Motor, The 11th International Symposium on Magnetic Bearings (ISMB11), 2008, 8, 29, Nara Prefectural New Public Hall

⑥松田健一、石川達也、増澤徹、近藤良、5軸制御型セルフベアリングモータの浮上回転特性、日本AEM学会第20回「電磁力関連のダイナミクス」講演会、2008、5、23、別府ビーコンプラザ

⑦松田健一、石川達也、増澤徹、近藤良、5軸能動制御型セルフベアリングモータの開発、日本AEM学会第16回MAGDAコンファレンス、2007、11、22、コープイン京都

⑧石川達也、岡山健志、松田健一、岡田養二、IPM型セルフベアリングモータのセルフセンシング制御のための非線形補償法の提案、日本機械学会茨城講演会、2007、9、28、茨城大学工学部

⑨松田健一、石川達也、増澤徹、近藤良、連続流人工心臓用小型・高性能セルフベアリングモータの開発、日本機械学会D&Dコンファレンス、2007、9、25、広島大学工学部

⑩松田健一、単一ユニットロータのみで5軸能動制御可能なセルフベアリングモータの提案、日本機械学会第19回電磁力関連のダイナミクス講演会、2007、5、17、早稲田大学国際会議場

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：セルフベアリングモータ

発明者：松田 健一

権利者：松田 健一

種類：特許

番号：507192828

出願年月日：平成19年5月15日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://info.ibaraki.ac.jp/scripts/w ebsearch/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 健一 (MATSUDA KENICHI)

茨城大学・工学部・講師

研究者番号：30302326

(2) 研究分担者

近藤 良 (KONDO RYOU)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：90186867