

ローレンツ型磁気浮上補助人工心臓の研究開発

Development of Lorentz force type magnetically levitated artificial heart

07T1078F 三好 理文

指導教官：増澤 徹 教授

1. 緒言

磁気浮上モータを連続流式補助人工心臓に応用することによって、機械的摺動部を撤廃することができる。このことにより、低溶血および低血栓、高耐久を実現し、メンテナンスフリーで長期使用が可能な人工心臓となる。しかし、磁気浮上モータを人工心臓に適用するためには、ポンプケーシングを考慮した一定以上のワイドギャップが必要となる。しかし、ワイドギャップ下で高い磁気浮上性能を得るためには高い磁束密度が必要となる。ローレンツ力を用いた磁気浮上モータでは、ステータが磁気飽和となった場合でも高い磁気浮上性能を得ることができるという特徴がある。また、QOL の観点から補助人工心臓は体内に埋め込みが可能となる程度に小型化されることが求められている。以上のことから、本研究では体内に埋め込み可能な小型のローレンツ型磁気浮上人工心臓の開発を目的としている。昨年度の研究において、人工心臓に応用する小型のローレンツ型磁気浮上モータの設計・製作を行われたが、回転角検出の精度が低く、完全磁気浮上には至らなかった。そこで、本研究では絶対回転角を精度よく検出する機構を検討し、サーボモータ制御系を構築、磁気浮上高速回転時の性能を評価する。

2. 方法

2.1 ローレンツ型磁気浮上補助人工心臓の概要

Fig.1 に、提案する人工心臓の概要を示す。本人工心臓では、人工心臓の小型化のために、アウターロータ型の磁気浮上モータを採用している。このローレンツ型磁気浮上モータは 6 個のコイルを配したステータと、4 極の永久磁石を配したロータにより構成されている。高い磁束密度を得るために、ロータに配した永久磁石は Fig.2 に示すハルバツハ配列とした。ハルバツハ配列は、径方向着磁した永久磁石と周方向着磁した永久磁石により 1 極が構成されている。このことにより、内側に強い正弦波状の磁束が得られ、外側への磁束の漏れが少なく、小型で高い磁束密度を有するロータを製作できる。

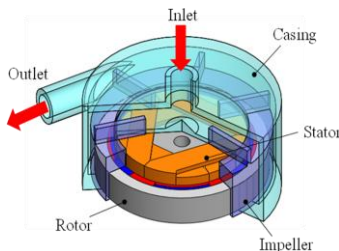


Fig.1 Lorentz type of Magnetically levitated artificial heart

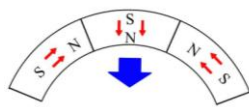


Fig.2 Halbach permanent magnet array

2.2 回転角検出機構

高い精度で回転角を検出するため Fig.3 に示す機構を提案する。2 個のホール素子が 15 deg 間隔で取り付けられたホールセンサを、120 deg ごとに 3 か所取り付け、ロータの漏れ磁束を検出する。Fig.4 は、各ホールセンサのロータの回転角に対する出力の変化を示している。6 個のセンサの出力の組み合わせは 7.5 deg 毎に変化し、すべてのパターンにおいて異なった組み合わせとなる。このことを利用し 7.5 deg 単位での絶対回転角を検出する。

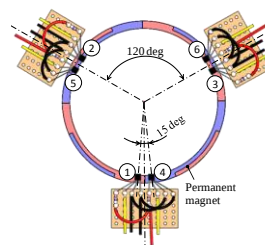


Fig.3 Rotary encoder

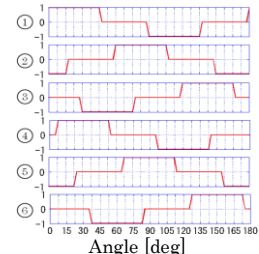


Fig.4 Sensor output

2.3 サーボモータ制御系

Fig.5 に制御系のブロック線図を示す。ホールセンサの出力から、回転数 rpm、回転角 ωt を計算する。浮上制御では、渦電流変位センサの出力である径方向変位 x, y と回転角 ωt をもとに、PID 制御、2 相 3 相変換を行い、浮上制御用の電流値を決定する。また回転制御では、回転数 rpm と指令回転数を比較し、その差をもとに PID 制御し、出力電流の波高値を決定する。

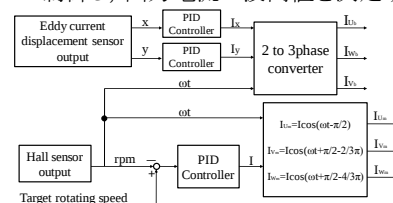


Fig.5 Servo motor controller

2.4 実験

完全磁気浮上かつ高速回転時における磁気浮上性能及び、モータとしての性能評価を行った。モータとしての性能を評価するために、径方向制御を行わず、回転数をサーボ制御により一定とした状態でモータに負荷トルクを掛けていき、その時の消費電力、モータ効率、電流値、電圧を測定した。

3. 結果及び考察

考案した制御系を用いて浮上回転制御した場合、最大 9000 rpm の回転数で完全磁気浮上での浮上回転に成功した。消費電力は、人工心臓として使用する 1000~4000 rpm の範囲において 12 W 程度であった。また、 x, y 方向ともに 0.07~0.15 mm 前後の径方向振幅浮上回転しており、安定した磁気浮上回転を行うことができた。

測定を行ったすべての項目は、回転数及び付加トルクの増加に伴い上昇した。モータ効率は最大で 75 %であった。発生可能な回転トルクは、今回測定したすべての回転数で 60 mNm 以上であり、人工心臓とするために必要な 35.3 mNm に対し十分に大きいことを確認した。

4. 結言

磁気浮上型人工心臓に応用するためのローレンツ型磁気浮上モータのサーボ制御を行い、完全磁気浮上での高速回転時の性能評価を行った。最大 9000 rpm の浮上回転に成功し、消費電力 12 W 前後、径方向振幅 0.12 mm 前後と安定した浮上回転に成功した。モータ効率は最大 75 %と、モータとして高い性能を有していることを確認し、回転トルク 60 mNm 以上と十分に大きな回転トルクを発生可能であることを確認した。以上より、ローレンツ型磁気浮上モータのサーボ制御の構築に成功し、高い浮上回転性能を有していることを確認した。