

磁性流体を用いた人工心臓の開発

苫小牧高専 ○佐藤俊汰, 湯谷仁絵, 見藤歩, 小藪栄太郎, 蘇武栄治

要 旨

磁性流体と電磁石を用いて構造が簡単で長期耐久性が見込まれる人工心臓の開発を行う。磁性流体アクチュエータは、磁性流体の外側より磁界を加えることにより磁性流体を動かし、血液室の容積を変化させるもので、構造が簡単であり摩擦部品を必要としない特徴がある。コイルの静特性試験と動特性試験によって発生圧力を測定し、人工心臓に必要なとされる血圧100mmHgを出すために必要な巻き数、電流量など改良点を検討した。

1. 緒言

日本の死亡要因として悪性新生物に次いで第2位に心疾患があり¹⁾、重度の心疾患患者に対しての治療方法として心臓移植がある。しかし、ドナー不足や生体同士の拒絶反応があり、心臓移植待機患者は多く存在する。そこでこの問題を解決するのが人工心臓である。しかし、登録日から移植日までの平均待機期間は極めて長く、それに伴い人工心臓の装着期間も長期化している。また、重症の心不全患者に対して永久使用目的の補助人工心臓の使用も行われ²⁾、健康保険の適用対象とされている³⁾。こうした背景から人工心臓に対して長期間で故障の回数が少ないことがより強く求められている。

2. 研究目的

本研究では、ソレノイド電磁石を用いた構造が簡単であり、固体間の摩擦がないため長期耐久性が見込まれる磁性流体を用いた人工心臓の開発を行う。ソレノイドにより磁界を変化させることによって、磁性流体を交互に移動させ、血液ポンプを駆動しようとするものである⁴⁾。

3. 研究方法

外径28mm、内径24mm、長さ250mmのアクリル製のパイプに、直径0.65mmのエナメル線を使用しコイルを作成した。一方に水、一方に磁性流体を入れた袋をパイプの縁に接着し、コイルに電流を流し磁界を変化させ、磁性流体を水の入っている方向に動かし水圧を変化させ測定した。測定した水圧から、コイルにより得られる磁性流体の圧力を求めた。

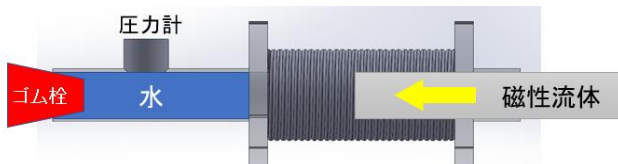


図2 実験モデル概要

3.1 ステップ応答試験

コイルに電流をかけたときのパイプ内に取り付けた圧力センサーで磁性流体が発生する圧力を測定した。なお、本実験は、コイルにかける電流を1.5[A], 2.0[A], 2.5[A]とし、磁性流体の量は30[mL]、コイルの巻き数を1500回とした。

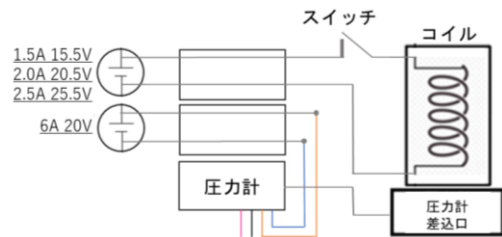


図3 ステップ応答試験概要図

3.2 周波数応答試験

実際の心拍数の拍動を再現した場合どれくらいの圧力が出るかを計測するために、安定化電源の出力を、ファンクションジェネレータの信号を用いてリレーを制御することにより、コイルに印加する電圧の周波数を任意に変更できるようにした。ファンクションジェネレータでは矩形波を信号として出力し、ONとOFFを繰り返すことで、心臓の拍動を再現している。パイプ内に取り付けた圧力センサーで磁性流体が発生する圧力を測定した。電流等の設定はステップ応答試験と同様にした。ファンクションジェネレータの設定は0.166[Hz](10bpm)から1.666[Hz](100bpm)までの範囲を10bpmずつに区切って、矩形波で出力した。

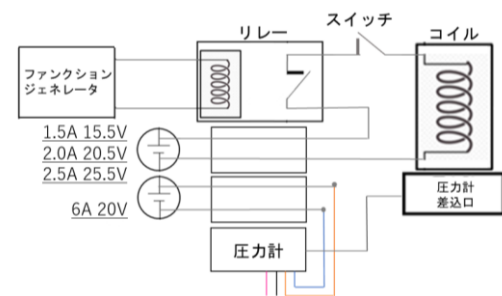


図4 周波数応答試験概要図

4. 結果および考察

ステップ応答試験の結果を図5に示す。縦軸が圧力、横軸は時間である。機器は正常に機能しており、電流の上昇に伴い、圧力も増加し、0.5[A]増加するたびに約0.2[kPa]増加していることが見て分かった。周波数応答試験の結果を図6に示す。縦軸が圧力、横軸が1分当たりの拍出回数である。拍動時における最大値-最小値をコイルが発生した圧力値として示した。健康な成人の安静時の拍動数は60～

100[bpm]であり、中間の80[bpm]の場合1.5[A]で0.23[kPa]、2.0[A]で0.3[kPa]、2.5[A]で0.41[A]と電流を1.25倍ずつ上げると1.3倍、1.37倍と増加した。

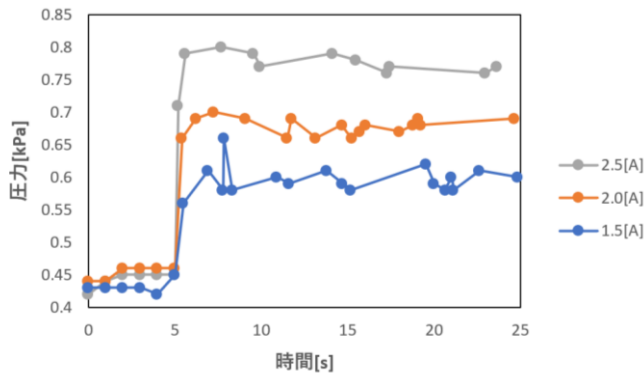


図5 ステップ応答試験結果

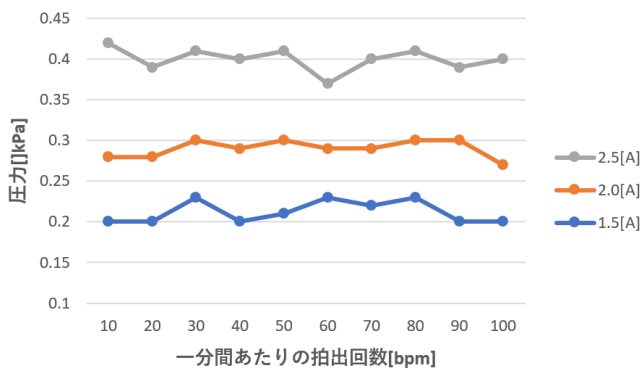


図6 周波数応答試験結果

本研究では先行研究⁵⁾を参考に1500回巻きコイルを作成し実験を行った。人工心臓を駆動させるために必要な駆動圧は人工心臓に求められる駆動圧100[mmHg] (13.3[kPa])以上必要であるため、図6の通り周波数応答試験の様な最大0.42[kPa]では足りないといえる。駆動圧を大きくするためには以下のことが考えられる。

1. コイルの巻き数と電流を強くする。コイルの作る磁界の大きさは単位長さ当たりの巻き数に比例し、電流の強さに比例する。したがって、密に巻き、電流を強くするほど磁界の大きさは強くなる。
2. 磁性流体を増やす。磁性流体が増えることによりコイルによって磁性流体の働く量が増加し、圧力も増加出来ると考える。
3. パイプの内径を小さくする。内径自体を小さくすることで巻き数を少ない銅線で増加することが出来る。
4. コイルの銅線を細くする。コイルの銅線を細くすることでコイルの巻き数を少ない量で銅線が太い時よりさらに多く巻くことが出来る。

最終的には研究目標のように構造が簡単であり、魚の心臓を模した形である図7のようにした。大きいゴムチューブに小さいゴムチューブを重ね、人工筋肉の様なものを作成し、その間に磁性流体を流し込む。チューブに巻き付け

たコイルに電気を流すことによってゴムチューブ中の磁性流体を動かし拍動させるという仕組みを作成研究していく予定である。

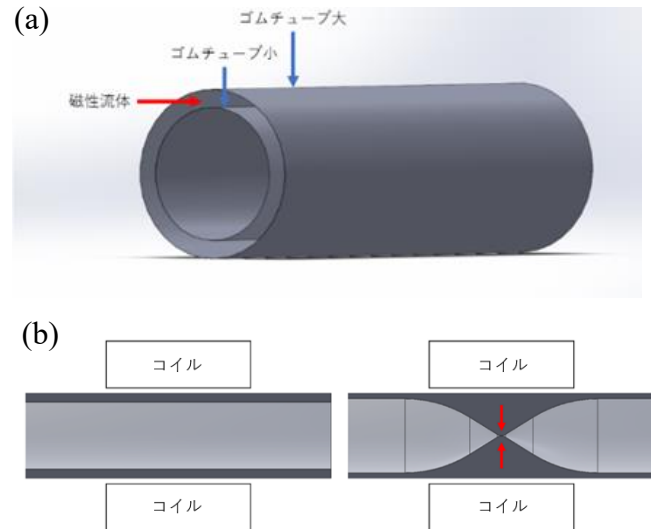


図7 磁性流体人工筋肉の概略

- (a) 外観概略図 円柱内部に血液が通る
(b) 動作概略図 左:電磁石 OFF 時 右:電磁石 ON 時

今回実験した1500回巻きコイルの1.5[A]から2.5[A]の範囲では周波数変動はなかった。しかしながら今後さらに拍出周波数を増加させた場合、図6において1.5[A]、2.0[A]の80[bpm]、100[bpm]で僅かに下がり始めていることから磁場変動に圧力変動が追従出来ず右下がりのグラフになることが考えられる。

5. 結語

本研究では、磁性流体を用いた人工心臓の開発を目的として、それに用いる磁性流体の駆動圧の計測を行ってきた。その結果、目標駆動圧には届いておらず、さらなる改良が必要なことが分かった。今後は考察であげた解決策を踏まえて実験装置を作成予定である。

6. 参考文献

- 1) 令和元年(2019)人口動態計月報年計:③【公表後配布用】[本体的み \(mhlw.go.jp\)](http://mhlw.go.jp)
- 2) 大阪大学 心臓血管外科人工心臓・心移植 | 最先端医療の提供 | 大阪大学 心臓血管外科 (osaka-u.ac.jp)
- 3) 植込み型補助人工心臓 HeartMate3 適応追加承認取得および保険適用のお知らせ [210506.pdf \(nipro.co.jp\)](http://210506.pdf)
- 4) 三田村 好矩, 磁性流体の人工臓器への応用, ja-stage, 1999年 28巻 3号, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsoa1972/28/3/28_3_618/_pdf/-char/ja, (1999)
- 5) 鈴木 弘道, 磁性流体駆動人工心臓の特性改善, 北海道外科雑誌, p100, (2004)