

心臓治療用血液ポンプの研究開発

The blood pump for cardiac therapy

08T1083L 山口 聡史

指導教員:増澤 徹 教授

1. 緒言 近年, 補助人工心臓装着中に心機能が回復する症例が報告され, 補助人工心臓を自己心機能回復までのつなぎとして使用することが注目されている. 更に心臓の拍動に同期して補助流量を変化させることにより, 効果的な治療が実現できることが明らかにされている. 本研究では, 急性心不全患者を対象として, 心機能を回復させる心臓治療用血液ポンプの開発を目的としている. 平成 22 年度に行われた溶血試験において, 本血液ポンプは, 溶血量が多くなってしまった. また, 本血液ポンプは, 心臓の拍動に同期させて補助流量を能動的に変化させるために, インペラの回転数を瞬時に変化可能な優れた動特性が求められる. 本論文では, 溶血の原因の一つとして挙げられる発熱の低減のためにモータステータコアに用いる磁性材料の検討によるモータの効率化を図り, そのうえで溶血試験を行った. また, インペラの回転数の動特性の評価を行った.

2. 方法 **2.1 心臓治療用血液ポンプの概要** Fig.1 に提案する心臓治療用血液ポンプを示す. 本血液ポンプは, 浮上インペラ, 磁気軸受, モータ, ポンプケーシングによって構成する. インペラの上下両面に永久磁石とヨークを設置し, 磁気軸受とモータによってインペラを軸方向に挟み込む構造のアキシアル型磁気浮上モータとした. インペラにかかる磁気軸受とモータの軸方向磁気吸引力を釣り合わせることで軸方向に磁気支持して浮上させる. インペラの回転数を変化させることによって補助流量を増減させ, これを心臓の拍動に合わせて行う.

2.2 モータトルク試験 渦電流損の低減が期待できる圧粉磁心 EU-69, 焼結軟磁性材 EU-53 を用いたモータを製作し, 電磁軟鉄 SUY-1 を用いたプロトタイプのもータとともに, モータトルク測定を行い, 消費電力, 効率について比較評価した. モータはサーボモータ駆動とし, ステータとロータの間隙はポンプ内で浮上回転させるときの間隙である 2.2 mm とした.

2.3 溶血試験 圧粉磁心のモータを用いた本血液ポンプ試作機を使用し, 溶血特性を評価するためウシ血液を用いて溶血試験を行った. JMS 社の Mixflow を比較対象ポンプとして用いた. 各被験ポンプを閉鎖回路に接続し, 血液を 400 mL 充填, 揚程 100 mmHg かつ流量 5 L/min の条件で 4 時間運転した. 試験は 6 回行った. 運転開始後 4 時間の血漿遊離ヘモグロビン増加量を試験結果とし, NIH を計算した.

2.4 回転数の指令に対する応答性評価実験 ポンプを生理食塩水で満たした閉ループ回路に接続し, 1 秒間の周期でインペラの指令回転数を上下させたときの指令回転数に対する回転数の応答性を評価した.

3. 結果及び考察 Table.1 にモータトルク試験における回転数 1800 rpm, 負荷トルク 20 mNm の消費電力, 効率を示す. 圧粉磁心モータは電磁軟鉄モータ, 焼結軟磁性材モータに対して優れた結果となった. 圧粉磁心モータは, 本血液ポンプが揚程 100 mmHg, 流量 5 L/min を達成する回転数 1800 rpm, 負荷トルク 20 mNm では, 電磁軟鉄モータに対し, 消費電力は 10.7 W から 5.5 W に低減し, 効率は 35 % から 69 % へ向上した. Fig.2 に溶血試験の結果を示す. 圧粉磁心を用いることにより効率化したモータを用いた本血液ポンプは NIH が 0.0062~0.0130 g/100L となり, Mixflow に対して -12~+26 % の値となった. Mixflow に劣らない結果を示し, 十分実用可能な低溶血性を有すると考える. Fig.3 に 1 秒間の周期で指令回転数を 1000 rpm と 1500 rpm で上下させ

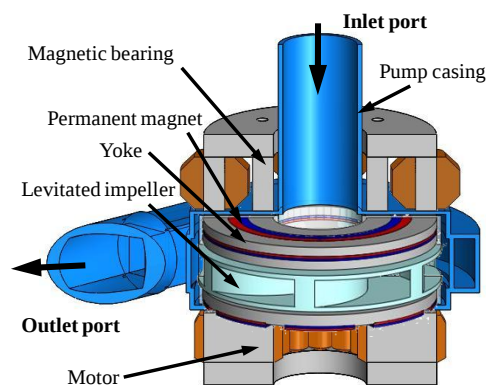


Fig.1 Therapeutic blood pump

Table.1 Results of motor measurement(1800 rpm, 20mNm)

	Power consumption [W]	Efficiency [%]
SUY-1	10.7	35.2
EU-69	5.5	68.8
EU-53	7.7	48.9

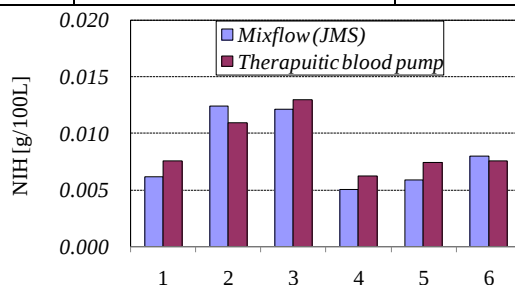


Fig.2 Results of hemolysis tests

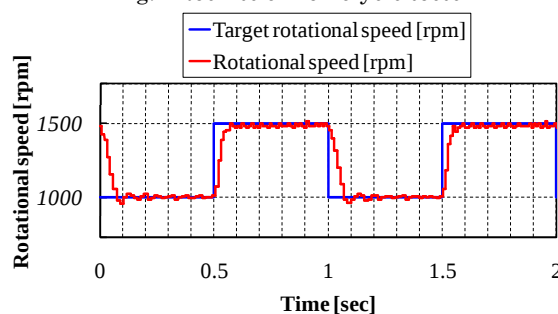


Fig.3 Transient response of rotational speed to the Target rotational speed

たときのロータの回転数を示す. 回転数の上昇時, 下降時ともにおよそ 0.07 sec で指令回転数に到達することを確認し, 優れた回転数の応答性を有することを確認した.

4. 結言 モータステータコアに圧粉磁心を用いることで効率化に成功し, そのモータを用いた本血液ポンプは溶血試験において Mixflow と遜色ない結果を示した. また, インペラの回転数の指令に対する応答性評価実験において優れた回転数の応答性を有することを確認した. 今後, 1 秒間の周期で回転数を変化させ, 流量を増減させるなど, 実際の心臓治療の条件に近づけて溶血試験を行い, 更なる溶血性能の検証を行う.