

磁気浮上モータを用いた全置換型人工心臓の研究開発

Total Artificial Heart with a magnetically levitated motor

08T1039R 坂田 佑介

指導教官: 増澤 徹

1. 緒言

近年、片心補助人工心臓の実用化が進み、その適応件数は増加の一途をたどっている。一方、片心補助人工心臓適用後に両心不全となる例が報告されている。そこで本研究では今後必要となるであろう全置換型人工心臓の開発及び性能の評価を行った。

2. 方法

2.1 全置換型磁気浮上人工心臓の概要

Fig. 1 に提案する全置換型磁気浮上人工心臓の概略図を示す。本人工心臓は中央部の磁気浮上モータと上下に設置した二つの遠心ポンプから成る。磁気浮上モータは電磁石コア、浮上用と回転用の二枚のロータディスクから構成される。電磁石コアは上部のモータステータ、下部の磁気軸受が一体となっており、その電磁石コアの両側に浮上用と回転用のロータを配置する。二枚のロータディスクには永久磁石が設置されており、電磁石コアに対し常に吸引力を発生している。その吸引力を釣り合わせることで磁気浮上を行う。上下ポンプのロータはステータ中央を貫く連結シャフトによって接続されているため、同一回転数で駆動する。左右ポンプの流量差を調節するために、浮上インペラの軸方向位置を磁気軸受にて能動的に調節し、インペラ上端とケーシングの間隙を変化させポンプ内二次流れ量を調節する方法を考案した。浮上インペラを左心側に変位させると左心インペラとケーシングの間隙が狭くなり、その間隙中に発生している二次流れが減少するため左心ポンプの拍出流量の増加が生じる。逆に右心ポンプ側は羽根・ケーシングの間隙が広がるため拍出流量は減少する。本機構を用いて単一の磁気浮上モータによる左右流量のバランス制御を行う。

2.2 ポンプ性能評価実験

開発した全置換型人工心臓試験機のインペラの浮上位置を軸方向に変位させた際の左右ポンプ性能を評価した。試験機をリザーバ、歪みゲージ式圧力計、絞り抵抗、電磁流量計により構成される水実験回路に接続した。浮上インペラの軸方向位置を①中心位置、②左心側に 0.3 mm 変位、③右心側に 0.3 mm 変位させた際の圧流量特性を測定した。

2.3 左右拍出性能およびゼロパワー制御

磁気軸受にかかる消費電力を低減させるためゼロパワー制御を実施しポンプ性能評価実験を行った。ゼロパワー制御は軸受に電流がかからない位置にインペラを変位させる制御方法である。実験は回転数 2000 rpm、左右流量 5 L/min においてゼロパワー制御を実施した場合と実施しなかった場合の磁気軸受側の消費電力を測定する。

3. 結果及び考察

Fig. 2 にインペラの浮上位置を左右心側にそれぞれ 0.3 mm 変位させたときの圧流量特性を示す。本試験機が全置換型人工心臓の基本性能である左心側揚程 100 mmHg、右心側揚程 20 mmHg、左右流量 5 L/min を拍出可能であることを確認した。また浮上位置を変位させることによって、左心揚程 100 mmHg において左心流量 5~12 L/min、右心揚程 20 mmHg において右心流量 5~9 L/min まで調節可能であり、考案した機構により同一回転数において左右の流量差を実現可能であることを確認した。

Fig.3 にゼロパワー制御を実施した場合と実施しなかった場合の消費電力を示す。ゼロパワー制御を実施しなかった場合では回転数に伴い消費電力が変化していることを確認した。一方、ゼロパワー制御を実施した場合軸受側の消費電力がどの回転数においてもほぼ 1 W 以内に抑えることができた。

今後、ゼロパワー制御を用いて左右拍出量のバランス制御を自動的に行っていく。さらに、現在と同程度のポンプ性能を有した体内埋め込み可能なポンプ試験機を製作し、動物実験を行うことで本人工心臓の有効性を確認する。

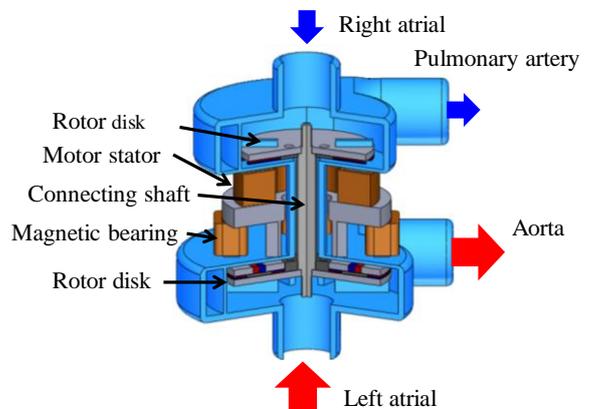


Fig.1 Total Artificial Heart with maglev motor

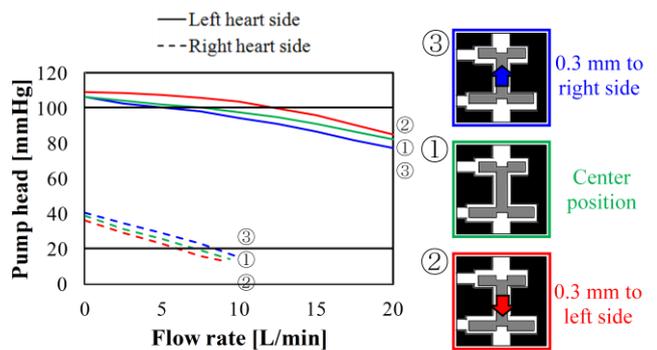


Fig.2 HQ characteristic (The displaced impeller in an axial direction)

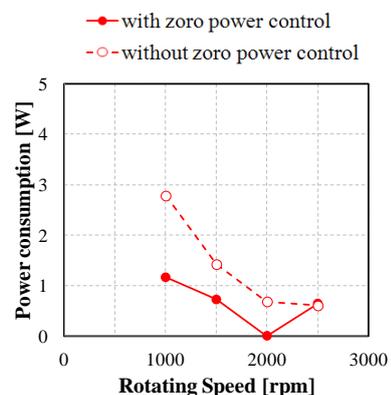


Fig.3 Power consumption for magnetic bearing