

斜流式人工心臓用ポンプの研究開発

Development of a diagonal flow pump for an artificial heart

04T1082R 松井 寿定

指導教員： 増澤 徹 教授

1. 緒言 従来の人工心臓用ポンプの課題である、軸受部での溶血・血栓形成や、摺動部の寿命といった問題を解決するため磁気浮上技術を応用した磁気浮上人工心臓の開発が進んでいる。本研究では、軸流ポンプよりも低回転で高揚程が得られ、遠心ポンプよりも小型化が可能である斜流式ポンプを用いた磁気浮上人工心臓ポンプの研究開発を目的とした。

2. 方法 本研究で設計する斜流式磁気浮上人工心臓ポンプの構造概略図を Fig.1 に、磁気軸受による径方向位置制御について Fig.2 に示す。本ポンプではポンプ前後に配置した磁気軸受により斜流式インペラを有したロータを磁気支持し、中央に設置されたモータにより回転する。流入から流入する血液は斜流インペラを通り、ディフューザで整流され、流出口から流出する。本磁気軸受は、ポンプ小型化のためディフューザ内に配置する。そのため、血液流路を確保するため6つの突極を有する構造をとった。バイアス磁束用の永久磁石、制御用コイルを設け、ラジアル方向(X,Y)位置制御、傾き(θ_x, θ_y)制御を行う構造とした。

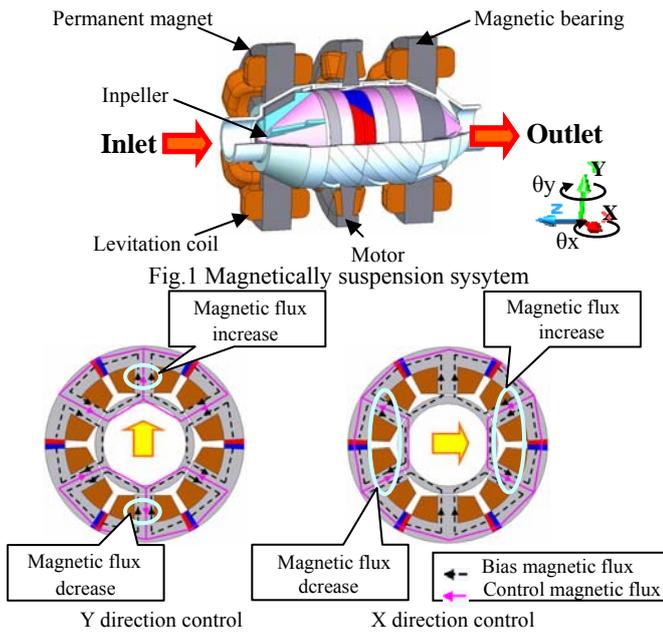


Fig.1 Magnetically suspension system

Fig.2 Magnetic bearing

2.1 斜流ポンプの設計と評価 斜流ポンプを設計するために、汎用数値流体解析ソフト STAR-CD(CDAJ Ltd.)を用いてインペラとディフューザの設計を行った。設計基本モデルとして昨年度設計された斜流式インペラ試験機を用いた。インペラ試験機のインペラ及び、ディフューザ形状を prototype とした。設計目標値として、補助人工心臓に必要なポンプ性能(揚程 100 mmHg(13.3 kPa)、流量 5 L/min($8.33 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$))を設定した。動作回転数は 5000 rpm とした。

prototype 及び、最良形状のインペラとディフューザをラビ

ットプロトタイプを用いて製作した。ポンプ形状の評価のため、それぞれのポンプを閉モック回路に接続し、水実験を行い、ポンプ拍出性能を評価した。

2.2 斜流式人工心臓用磁気浮上系の設計 浮上インペラを磁気支持する磁気軸受、回転させるモータを汎用有限要素解析ソフト ANSYS を用いて磁場解析を行い、設計した。さらに、流路形状を STAR-CD を用いて設計した。

3. 結果と考察 Fig.3 に設計したインペラ形状を示す。Table.1 に 5000 rpm、5 L/min の条件における各インペラ形状の解析の揚程結果を示す。解析において prototype 形状(a)と比較して、最良形状(b)においては、揚程が 66% 上昇した。実験結果の無次元化 HQ 特性を Fig.4 に示す。prototype では水中で最大 4000 rpm 回転可能で、最大揚程 157 mmHg、最大流量 4.0 L/min であった。最良形状では水中で最大 3500 rpm まで回転可能で、最大揚程 130 mmHg、最大流量 4.9 L/min であった。また、ポンプ性能においても向上した。

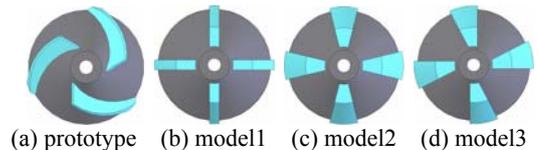


Fig.3 Impeller form

Table.1 Pump head (Analysis)

Impeller form	a	b	c	d
Pump head [mmHg]	185	307	276	250
Pump head [kPa]	24.7	40.9	36.8	33.4

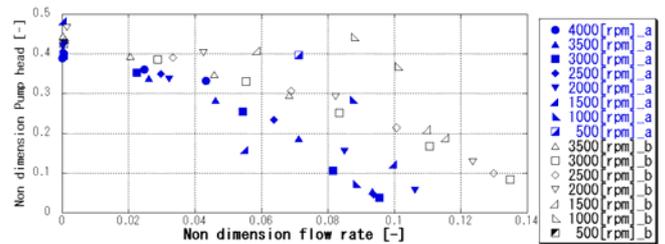


Fig.4 HQ characteristics

磁場解析の結果、設計した磁気軸受はロータが中心に位置し、励磁電流 2 A を流した時、Y 軸方向で 3.1 N、X 軸方向で 5.2 N の磁気引力が発生可能であることを確認した。また、モータは励磁電流の波高値が 2 A の時、最大トルク 18.6 mNm を発生可能であることを確認した。

4. 結言 本研究では斜流ポンプの設計、評価、斜流式人工心臓用磁気浮上系の設計を行った。全長 70 mm、直径 $\Phi 50$ mm と体内埋め込み可能なサイズの斜流ポンプ型人工心臓が設計できた。