

斜流ポンプを用いた磁気浮上型人工心臓に関する研究

A magnetically suspended artificial heart with diagonal flow pump

03T1089L 八品 順平

指導教員：増澤 徹 教授

1. 緒言 連続流型人工心臓では溶血、血栓の形成や、機械的接触部分の耐久性が問題となっている。連続流型ポンプの中でも斜流ポンプは、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。本研究では、磁気浮上技術により機械的接触部分を完全に撤廃することで溶血、血栓形成を防止し、優れた耐久性を有する斜流ポンプを用いた磁気浮上型人工心臓の開発を目的とした。

2. 方法 本研究で開発する人工心臓用磁気浮上型斜流ポンプの概略図を Fig.1 に示す。軸受は 8 つの制御用コイルと、磁気吸引力の増加を図るために設置した 4 つのバイアス磁束発生用永久磁石で構成され、3 つの渦電流センサをロータの斜面に垂直に設け、アキシャル方向の位置 (Z) 制御および傾き (θ_x , θ_y) 制御を行う。ラジアル方向の位置 (X, Y) は受動安定性で支持する。ケーシング内にはシュラウドがあり、その中にあるインペラで血液を Inlet から Outlet へと送出する。インペラを出た血液はディフューザを通過することにより、圧力回復及び、インペラ軸心方向の流れに整流される。インペラの後部にはモータが設置されており、このモータによりインペラを回転させる。

2.1 斜流ポンプの設計 本斜流ポンプは体内に血液を送出させるためのインペラと、インペラによって与えられた運動エネルギーを圧力に変換し、旋回する流れをインペラ軸心に対して平行に流出させるためのディフューザから構成されている。本ポンプは、斜流ポンプの使用域である比速度 900、回転数 8000 rpm、流量 20 l/min、揚程 100 mmHg、翼数を 3 枚とした。また、設計定数として速度定数 K_u 、入口速度係数 K_{m1} 、流量係数 K_{m2} を定義し、計算式をそれぞれ式(2.1)、(2.2)、(2.3)に示す。比速度と各設計定数を基に、Stepanoff による設計定数線図を用いてインペラを設計した。ディフューザは、入口角はインペラ出口角と等しくし、出口角はインペラ軸心に平行になるように設計した。

$$K_u = u_2 / \sqrt{2gH} \quad (2.1)$$

$$K_{m1} = c_{m1} / \sqrt{2gH} \quad (2.2)$$

$$K_{m2} = c_{m2} / \sqrt{2gH} \quad (2.3)$$

u_2 : 出口の円周速度 c_{m1} , c_{m2} : 入口、出口の絶対流速のメリディアン分速度

2.2 小型モータの設計 インペラを回転させるためのモータはインペラの outlet 側に設置し、インペラの背後にはモータステータと対向するようにロータが取り付けられている。式(2.4)、(2.5)にそれぞれモータが発生するトルク T と磁気吸引力 F の計算式を示す。K は、計算値で実験値を得るために、過去の実験データを考慮した定数である。

$$T = -\frac{KMz\pi}{2\mu_0}(r_2^2 - r_1^2)B_r B_s \sin M\psi \quad (2.4)$$

$$F = \frac{\pi K}{4\mu_0}(r_2^2 - r_1^2)(B_r^2 + B_s^2 + 2B_r B_s \cos M\psi) \quad (2.5)$$

M : 極対数 μ_0 : 真空の透磁率 K : 実験値と計算値の比

r_1 : ステータ内半径 r_2 : ステータ外半径 ψ : 位相差

B_s : ステータの磁束密度 B_r : ロータの磁束密度 z : ギャップ

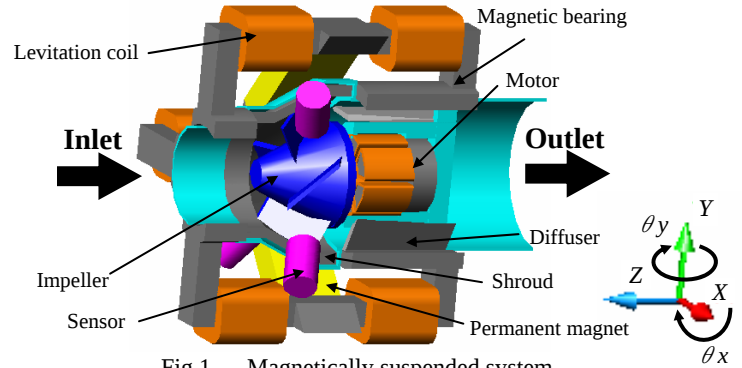


Fig.1 Magnetically suspended system

3. 結果と考察 Fig.2、Fig.3 にそれぞれ製作したロータとステータの形状を示す。ロータの形状は外径 32 mm、厚さ 5 mm とし、ステータの形状は外径 26 mm、内径 16 mm、60° ごとに突極を設け、6 突極とし、コイルは 1 突極あたり 42 巻した。また、トルク測定を行った結果、回転数 5000 rpm において最大トルク 12 mN・m 発生することができた。

インペラの入口角と出口角を、円錐面上の点での接線と翼の成す角とし、その概略図を Fig.4 に示す。入口角は羽根根元部で 32°、先端部で 16° となり、出口角は根元部で 32°、先端部で 15° となるインペラを設計した。

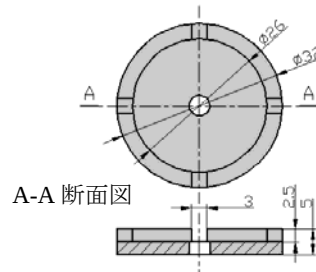


Fig.2 Rotor

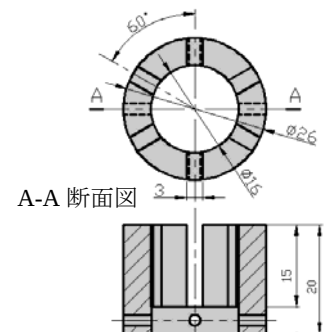


Fig.3 Motor stator

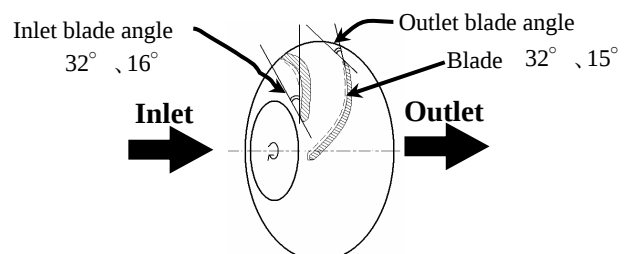


Fig.4 Impeller

4. 結言 本研究では磁気浮上型斜流ポンプに使用する小型のモータを設計、製作し、インペラとディフューザの設計を行った。本モータ、インペラ、ディフューザを使用することで人工心臓に埋め込み可能なサイズの斜流ポンプが実現できる。