204 バイアス磁束誘導型磁気浮上人工心臓の開発

Magnetically levitated artificial heart with bias magnet flux guided bearing

○加藤 裕介, 増澤 徹¹茨城大学大学院¹茨城大学工学部機械工学科

○Y. KATO, T. MASUZAWA*

Graduate school of Science and Engineering, Ibaraki University

*Department of Mechanical Engineering, Ibaraki University

The life time of a centrifugal pump for artificial heart is mainly determined by the durability of mechanical parts such as bearings and seals. The purpose of this study is to develop a durable centrifugal pump for artificial heart with magnetic suspension technique. Developed magnetically suspended motor consists of a top stator, a rotor, and a bottom stator. The rotor is levitated between the top and the bottom stators. The tilt and axial position of the rotor is controlled with the top stator. The rotation of the rotor is controlled with the bottom stator. In this study, new bias magnet flux guided bearing was invented. The magnetic bearing was designed by using the magnetic field analysis. As a result, developed magnetic bearing produced an attractive force of 36.3 [N] in the axial direction, and that of 3.5 [N] in the radial direction. Developed magnetic bearing displayed sufficient performance for a magnetic bearing of artificial hearts.

Key Words: Magnetic suspension, Centrifugal pump, Artificial heart

1. 緒言

磁気浮上技術を応用し、機械的摺動部品を完全に撤廃することで人工心臓の問題の一つである耐久性の向上が図れる。そこで本研究では、遠心ポンプのインペラを軸方向に磁気支持した磁気浮上人工心臓の開発を行っている。今回はより大きな磁気吸引力を得る為、新たにバイアス磁束誘導型浮上用磁気回路を考案、開発したので報告する。

2. 方法

2.1 磁気浮上モータの概要

本モータでは浮上を浮上用磁気回路、回転を回転用磁気回路というように、浮上、回転ごとに独立した磁気回路を設け、制御を別々に行っている。浮上回転をそれぞれ独立した磁気回路で行うことによって、設計時は磁気回路の設計の簡易化、浮上制御時は制御の単純化などが図れる。

Fig.1 に磁気浮上モータの構成を、Fig.2 に浮上用磁気回路中の磁束の流れを示す。磁束の流れはバイアス磁束を黒破線で、制御磁束を白破線で示した。浮上用磁気回路はロータのアキシャル方向位置、及び傾きを制御している。浮上用磁気回路は上部ステータとロータ上部から構成される。上部ステータは、90 度間隔に配置されたコの字型電磁石をバイアス磁束用永久磁石によって隣同士連結した形状とした。しかし、このままの形状ではバイアス磁束が電磁石コア内で、内側と下方の磁路に分岐してしまい、吸引力が発生できなくなる。そこで、電磁石内に薄型のバイアス磁束誘導用

Fig.1 The magnetically levitated motor

Fig.2 Magnetic flux pass way

永久磁石を組み込んだ。この永久磁石でバイアス磁束が下方のみに流れるよう磁束を誘導した。これによって電磁石と永久磁石の磁束経路を分ける事が可能となり、より大きなバイアス磁束が得られるようになった。この浮上用磁気回路によってロータに働くアキシャル方向の吸引力を増減させることで、ロータのアキシャル方向位置と傾き制御を行う。また、ラジアル方向の振動については、軸方向吸引力の受動安定性によって静的に振動を抑制している。

回転制御を行う回転用磁気回路はロータ下部と下部ステータから構成される。ロータ下面に設置した 8 個の薄型永久磁石と、12 突極 3 相 8 極の電磁石である下部ステータによってブラシレス DC モータを構成、ロータの回転制御を行っている。このように、本モータは 3 軸を能動的に制御し、残りの径方向 2 軸については受動的に振動を抑制することによって磁気浮上を行っている。本モータは高さ 56 [mm]、直径 72 [mm]である。

2.2 バイアス磁束誘導型浮上用磁気回路の解析

浮上用磁気回路を設計するに当たって、有限要素法を用いた 3 次元磁場解析ソフト (ANSYS) による解析結果を設計の指標とした。Fig. 3 に解析モデルを示す。解析の簡略化を図る為、モデルは 1/2 モデルとして解析を行った。今回の解析では「磁気飽和の発生の有無」、「十分な磁気吸引力の発生」などの他に、バイアス磁束誘導用永久磁石がバイアス磁束を十分に誘導できているかどうかの判断をした。

2.3 実機の吸引力試験

設計製作したバイアス磁束誘導型浮上用磁気回路の吸引力を計測、解析結果との比較検討を行った。実機の吸引力は上部ステータを固定し、ロータを荷重変換機に繋いで測定した。ギャップ長を 3 [mm] に固定し、コイルに流す励磁電流を -2.5 [A] $\sim$ 2.5 [A] に変化させたときのロータにかかる軸方向磁気吸引力を測定した。

3. 結果及び考察

3.1 バイアス磁束誘導型浮上用磁気回路の解析結果

Fig. 4 にバイアス磁束誘導用永久磁石の厚みを変えたときの、磁気回路断面での磁束の向きを示す。厚さ 1.0 [mm] ではバイアス磁束を誘導できているのに対し、0.5 [mm] ではバイアス磁束を誘導できず磁束が逆流しているのが確認できた。従って、バイアス磁束を誘導するには 1.0 [mm] 以上の磁石厚みが必要であることがわかった。

3.2 実機の吸引力試験結果

計測値と解析値の比較結果を Fig. 5 に示す。解析では最大 24.6 [N] の吸引力が発生されるとの結果を得たが、試験機では最大で 36.3 [N] と 1.5 倍の吸引力が発生した。

これは解析におけるモデル形状が原因であると考えられる。モデリングの関係上、バイアス磁束用永久磁石を直方体ではなく円弧状にせざるを得なかったため、永久磁石から発生するバイアス磁束が試験機よりも減少してしまった為と考える。

バイアス磁束の増加に伴って、誘導が十分に行われ

Fig.3 The analysis model

Fig.4 Analytical result of Guide magnet
(left: 0.5 [mm], right: 1.0 [mm])

Fig.5 Attractive force in the axial

ず磁束の逆流が起こる恐れがあったが、測定結果がほぼ線形を表していることから良好な磁束誘導が行えていることを確認した。また、径方向の受動安定性を決める径方向吸引力は解析値で 2.4 [N]、測定値で 3.5 [N] であった。

以上、浮上に十分な吸引力が得られたことから磁気浮上可能な浮上用磁気回路を設計できたことが分かった。

4. 結言

バイアス磁束誘導型浮上用磁気回路を用いたアキシャル型磁気浮上人工心臓の開発を行った。3 次元磁場解析よりモータ高さ 56 [mm]、ロータ直径 72 [mm] の磁気浮上モータを製作した。製作した試験機は軸方向に 36.3 [N]、径方向に 3.5 [N] の磁気吸引力を発生できた。磁気浮上するのに十分な磁気吸引力が発生可能であることが判明した。今後空気中での磁気浮上試験、ポンプを製作してのポンプ試験などを行う予定である。