

血液ポンプ用磁性流体シールのふるまい

北海道大学大学院 ○迫田大輔、矢野哲也、三田村好矩

東北大学加齢医学研究所 関根一光

要旨

磁性流体シールを用いる場合、磁性流体のスプラッシングが無いか調べる必要がある。このため、磁性流体がどのようなふるまいをするのか観測することは、磁性流体シール性能は十分であるか検討するのに重要である。そこで高速カメラを使用して、液中で使用時の磁性流体シールのふるまいを明らかにした。

1. 背景

日本において、心疾患は死因の第2位となっている。心疾患の治療として心臓移植も行われているが、提供心不足は深刻な問題である。そこで、提供に問題の無い人工心臓の開発が望まれている。近年の人工心臓研究は目覚ましい成果が報告されており、4年を超える生存も記録しているデバイスもある。ただし、欧米で広く臨床応用されている人工心臓は拍動型血液ポンプで大型であるため、日本人のような小柄な患者には適していない。そこで小型化に有利な連続流ポンプの開発が行われている。連続流型血液ポンプのインペラ回転の動力伝達が直結方式の場合、生体への使用及び長期信頼性の獲得のため、モーターからインペラまでの間で血液侵入を防ぐシール構造が必要になる[1]。しかし、メカニカルシールの生体への使用に関しての問題点として、シール接触面での磨耗粉及び摩擦熱の発生による血液凝固の問題が挙げられる。そこで、直結方式の人工心臓用血液ポンプのシール構造として、磁性流体シールの応用を提案した[2],[3]。

2. 目的

磁性流体シールの基本構造は図1のようになっている[4]。高速回転すると、遠心力によりギャップからスプラッシングする問題がある。スプラッシングの発生は、シール構造の劣化をもたらす。従って、軸流型血液ポンプの使用域回転数において、スプラッシングが無いか調べる必要がある。また、高速回転の下で磁性流体がどの

ようなふるまいをするのか、つまり磁性流体とシールすべき液体の界面の変化を観測することで、長期使用を目的とする連続流型血液ポンプとして、現状のシール構造でよいかを考察する。

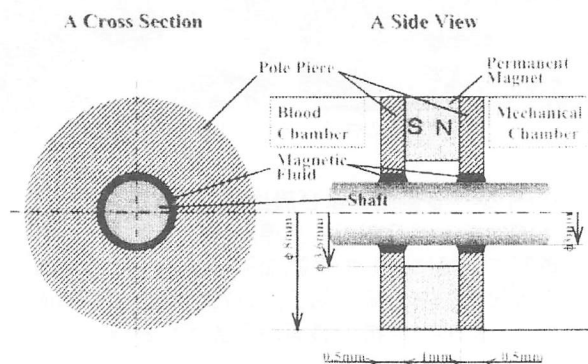


図1 磁性流体シール

3. 実験方法

血液ポンプ (MEDOS DP1) のモータシャフトに磁性流体シールを取り付けた。血液ポンプと血液貯蔵パックをシリコンチューブで繋いだ。媒体は水を使用した。高速回転の下での磁性流体のふるまいを観測するために、フレームモード 4000 frame/sec のデジタル高速カメラ (MEMRECAM fx-6000) を用いた。血液ポンプとモータシャフトの片側より照明をあて、シャフトを挟んで反対側より撮影した。モーター回転速度は 4500 から 500 rpm 間隔で速度を上げ 7000 rpm まで撮影した。磁性流体凹凸面の高さ及び幅を画像測定した。

4. 結果

磁性流体はギャップからはみ出たり、引っ込んだりしている様子が観察できた。図2は、ギャップからはみ出た磁性流体の軸方向幅と半径方向幅を測定した結果である。

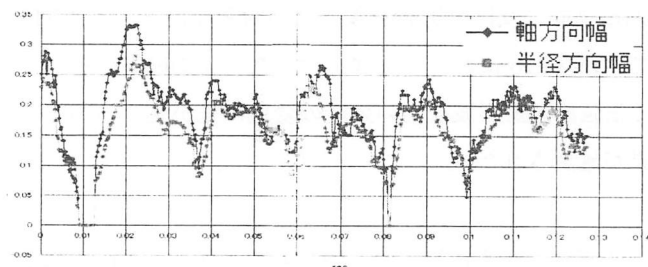


図2 回転中の磁性流体の形状

回転数 6000 rpm；縦軸一目盛り 0.05 mm

横軸一目盛り 0.01 sec(シャフト一回転に要する時間)

図2のデータを離散フーリエ変換(DFT)し、パワースペクトルを求めた。その結果を図3に示す。

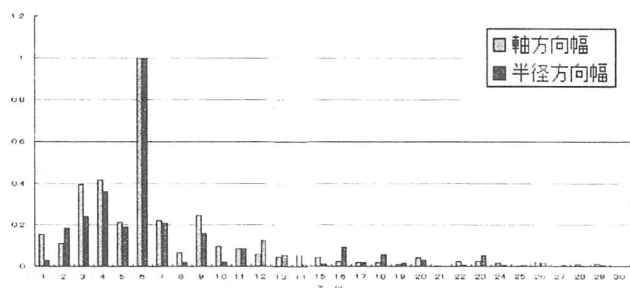


図3 磁性流体形状変化の周波数特性

横軸一目盛り ω (基本周波数)

縦軸は 6ω でのパワースペクトルを1として規格化したパワースペクトル

実験の結果、磁性流体のスプラッシングは見られなかった。他のシャフト回転速で同様の分析を行ったところ、観測したはみ出し幅と周期性に違いが見られなかった。

5. 考察

図3より、周波数 6ω でのスペクトルが最も高いことから、磁性流体のふるまいはシャフト2回転を1周期とする周期性があると思われる。本実験で観測した磁性流体のふるまいには2通りが考えられる。

第一は、磁性流体の形がある定常状態で落ち着いており、シャフトの回転により、軸方向及び半径方向にはみ出した部分が現れたり、シャフトの裏に隠れたりすることで振動してみえたということが考えられる。つまり磁性流体の平均流速が一定ということである。磁性流体の流速分布を線形とみなすと、磁性流体の平均流速はシャフト周速の2分の1となる。シャフト2回転を1周期とする周期性がみられたのはこのためである。

第二は、磁性流体の粘性が局所的部分で変化することで、磁性流体の流速分布に乱れが生じ、流速が下がった部分に滞留した磁性流体を観測したと考えられる。

実験で観測したはみ出し幅は、シャフト回転速度が上がっても変化が見られないということは、シャフトの回転による遠心力に対して、磁性流体を繋ぎ止める磁気力が十分にあるといえる。従って、今回観測した程度の磁性流体の変形に対して、磁性流体シールの耐圧性能の低下は無いと考えられる。しかし、磁性流体とシールすべき液体の界面が不安定ならば、磁性流体と液体の混在が起こる可能性があり、シール性能の低下をもたらすことが考えられる。これは、長期使用を目的とする血液ポンプに対して重要な問題である。界面の安定化及び界面面積が小さくなるようなシール構造とすれば、より長期間シール機能を果たすことができるのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 移植と人工心臓, 2001, 岩波書店
- [2] 北洞貴也, 黒川淳一, 宮副雄貴, 林正悦, 磁性流体軸シールの耐圧特性とポンプへの適用, 日本機械学会論文集(B編), 1994, 60, 3086-3092
- [3] KX Qian, Progress in Impeller Pumps in China. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989, Assisted Circulation 3, 197-214
- [4] Y Mitamura, H Nakamura, E Okamoto, R Yozu, S kawada, DW Kim, Development of the Valvo Pump: An Axial Flow Pump Implanted at the Heart Valve Position. Artif Organs 1999, 23, 566-571