

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700473

研究課題名(和文) 次世代偏心駆動型軸流式血液ポンプの先駆的開発

研究課題名(英文) Lead development of next generation axial flow blood pump

研究代表者

鈴木 康方 (SUZUKI YASUMASA)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号：20424749

研究成果の概要(和文)：本研究では、小型かつ高生体適合性を有する血液ポンプを目指し、独自の偏心駆動型軸流式血液ポンプの開発を行った。羽根車直径 10mm, 2L/min で 80mmHg を達成しながら、羽根車回転速度 5%の低速化が達成された。また、数値解析によるポンプ内部流れと偏心駆動効果の要因の解明を行い、羽根表面の圧力分布では、偏心駆動時にケーシングに近い片側の羽根端部において圧力が高く、これによるポンプ内部流れの上昇された圧力が下流でも高く維持されることがわかった。

研究成果の概要(英文)：First, we investigated that the performance of axial flow pump can be improved by forced whirling motion (FWM). Although it is clear that FWM with the rotational ratio of 1 is the most effective for the pump performance improvement, its reason is not clarified yet. The internal flow of the pump was calculated with and without FWM for unsteady conditions to clarify the effects of FWM on pump performances. The CFD results revealed the differences in flow patterns between with and without FWM, and the estimation of distribution of shear speed around the impeller and on surface of it. The CFD results show that local downstream flows near the impeller are changed by the movement of the impeller with FWM. It was clarified that the pump flows and its behaviors contributed to the improvement in the performances of an axial flow pump using the FWM effect.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：流体力学

科研費の分科・細目：人間医工学，医用生体工学・生体材料学

キーワード：血液ポンプ，軸流ポンプ，補助循環，血球破壊，水力性能，非定常解析

1. 研究開始当初の背景

軸流式血液ポンプは小型化が容易であるために開発が盛んになっているが、低圧力ゆえに遠心式の数千 rpm に比べて著しく高い数万 rpm の回転数が必要となる。これにより

最も懸念されるのが羽根車周りの血流に作用するせん断応力の増大による血中成分へのダメージである。申請者らは近い将来需要の増大が見込まれる小児用の超小型非接触磁気浮上型軸流式血液ポンプの開発に着手

しており、より一層の小型化（羽根車直径 10mm 程度、デバイス直径 15mm 程度【従来は 50mm 程度】）を実現するために、流入状態により羽根車の偏心回転が生じた場合にこれに作用する流体復元力を考慮した最適磁場設計の検討を行っている。その過程で、羽根車の偏心のみならず、強制ふれまわり運動を与えた場合にポンプ性能が大きく上昇することが明らかになった。そこで、この作用を利用して羽根車に適切なふれまわり運動を与えれば、ポンプ性能を維持しつつ羽根車単体の回転数を低速化することで、ポンプの溶血特性が大きく改善可能であると考えた。また、定常流式遠心血液ポンプにおける昨今の拍動流条件の考慮の必要性の高まりに先駆けて申請者らはこれに適した新規翼形状の開発を進めており、拍動流条件でのポンプ性能の維持にはこの知見を基にした羽根車設計プランの改良が必要であると考えた。この知見と構想は上述の懸念を有する軸流式ポンプには画期的であり、これを応用した血液ポンプの開発も世界中に例がないため、他国に先駆けて一国も早い技術開発が必要である。また、本技術は本質的には他の遠心式血液ポンプにも適用可能であり、高性能化と高生体適合性が限界となりつつある本分野の技術にブレークスルーを促すことが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、偏心駆動(図 1)による水力性能向上効果を利用し、ポンプ性能を維持したまま羽根車回転数を下げることで、せん断速度の低下による低溶血性の実現と、偏心運動で血液の停滞をなくすことによる抗血栓性の実現を目指す。

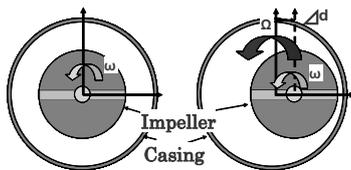


図 1 偏心駆動システム

3. 研究の方法

(1) 2軸モータ制御と偏心スリーブによる偏心駆動ポンプの水力性能の評価

羽根車単体の回転速度とふれまわり運動の回転速度を独立に設定可能な性能試験装置を製作する。本試験装置は2個の直流モータにより羽根車および偏心カラーの2軸独立駆動が行われ、それぞれのモータ回転数をモニタしながらモータ入力電源の調整により定速制御を行う。羽根車およびポンプケーシングを除く模擬循環回路は東京医科歯科大学 (TMDU) の高谷節雄教授の協力を得て

TMDUにて試験評価実績のある装置一式を利用して実験を行う。

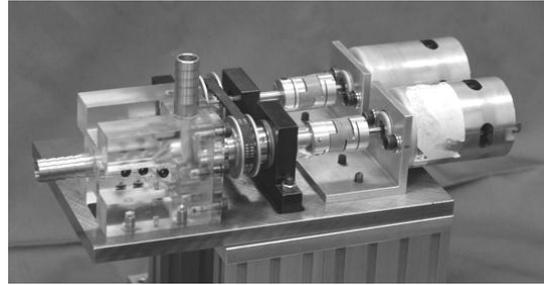


図 2 性能試験装置

(2) ポンプ内部流れの非定常解析

非定常解析による偏心駆動ポンプの内部流れ解析を実施して実験での内部流れ状態を再現できるようにする。実験結果と数値解析結果をもとに偏心駆動による性能向上にポンプ内部流れのどのような構造が寄与しているのかを解明する。また、ポンプ内部流れのせん断応力分布の予測と効果的な偏心駆動方法を検討する。

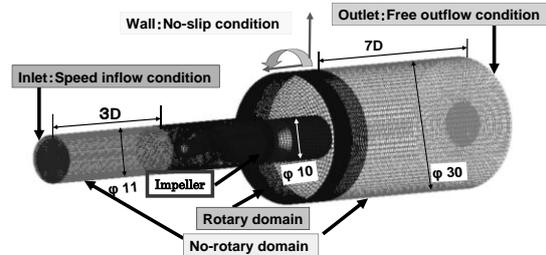


図 3 解析モデル

4. 研究成果

(1) 水力性能維持での羽根車主軸回転数の低速化

水力性能について小児への適用も考慮した目標性能である、羽根車外直径 10mm、2L/min で 80mmHg を達成しながら、可能な限りの羽根車回転数の低速化を目指した、これについては、静圧計測の高精度化と軸受構造の改良、水漏れ防止対策により計測結果の再現性と高速回転実験での問題をクリアした。拡大管付ケーシングゆえの羽根車のケーシングに対する軸方向位置による水力性能への影響を調べ、設計流量で最大 25% 静圧上昇が異なることがわかった。また、羽根車回転数と偏心駆動回転数をそれぞれ変化させながら水力性能を調べ、羽根車回転数が低過ぎる場合には偏心駆動は効果的でない可能性があることがわかり、羽根車回転数の低速化は 6%にとどまった。偏心駆動の実施によりポンプの性能曲線の傾向が大きく変化することはない旨の結果を得た。

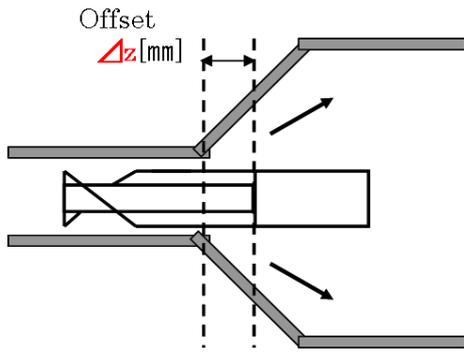


図4 羽根車軸方向位置

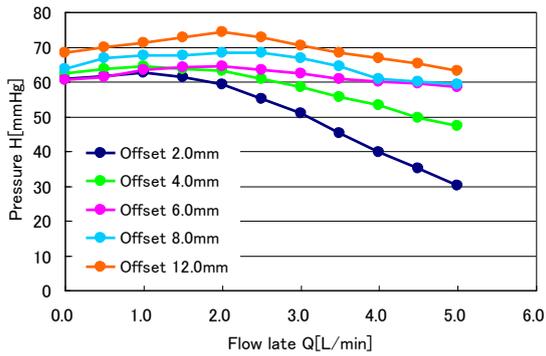


図5 羽根車軸方向位置の性能への影響

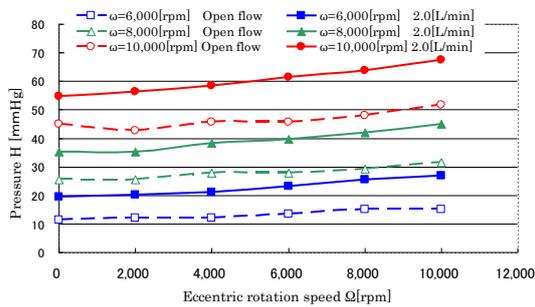


図6 偏心駆動回転数の性能への影響

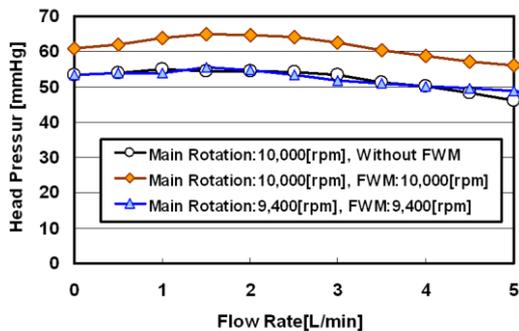


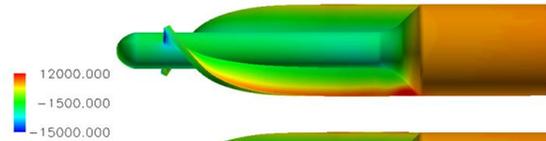
図7 羽根車主軸回転数の低速化

(2) ポンプ内部の非定常流れの数値解析

① 偏心駆動による性能向上要因の解明

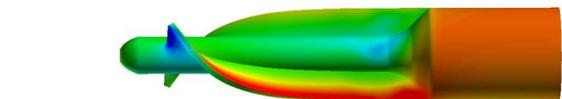
図8, 9に羽根車表面の圧力分布, 図10, 11に拡大管部のZ断面の圧力分布を示す. 偏

心駆動では羽根車の表裏で圧力分布の違いが見られた. これにより, 偏心駆動でクリアランスが狭まった翼圧力面で流体に与える力, 範囲が共に増加していることがわかった. また, 拡大管により昇圧効果が得られている. 拡大管部分の圧力の増加率と傾向に違いが見られる. 偏心駆動では拡大管による昇圧効果と共に, 遠心力の増加が性能向上に影響している.



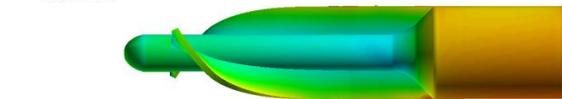
■: 12,000[Pa] ■: -2,500[Pa] ■: -15,000[rpm]

図8 羽根車圧力分布 (偏心駆動なし)



■: 12000.000
■: -15000.000
■: -15000.000

(a)



(b)

■: 12,000[Pa] ■: -2,500[Pa] ■: -15,000[rpm]

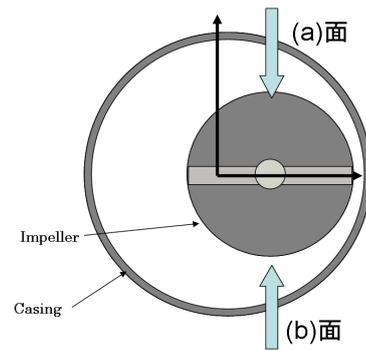


図9 羽根車圧力分布 (偏心駆動あり)

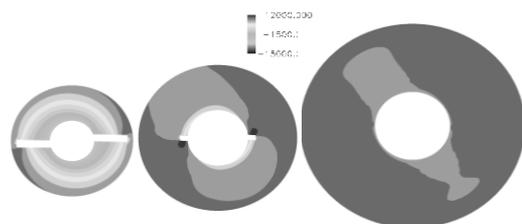


図10 軸方向圧力分布 (偏心駆動なし)

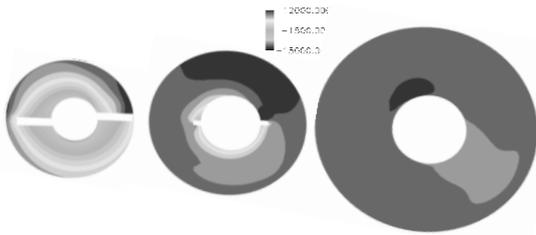


図 1.1 軸方向圧力分布（偏心駆動あり）

②せん断速度分布と Streamline による溶血性能への影響の予測

溶血量は赤血球に作用するせん断応力とその応力場に曝される時間によることが実験によりわかっており、また、産業技術総合研究所の指標としてせん断速度が10000[s-1]以上だと溶血の危険性が高いことが実験的にわかっている。本研究では偏心なし 9400[rpm]のせん断速度(図 9)と流線で考察を行う。図 1.2を見ると、羽根車表面のせん断速度分布から偏心駆動の溶血性能に影響を与えるのは、クリアランスが狭まっている翼端に生じる危険域に近い高いせん断速度であることがわかる。また図 1.3の流出する流線から、羽根車先端と軸部分に逆流と旋回が見られ、せん断速度は低いがせん断応力に曝される時間が長くなることで溶血の危険性が高まると判断できる。しかし、高いせん断速度が見られる翼端に流れの旋回、停滞が見られないため、高いせん断応力に曝される時間が短いことを定性的に判断できる。

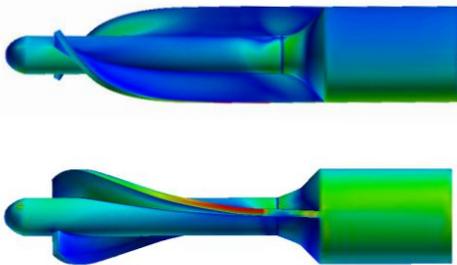


図 1.2 せん断速度分布（偏心駆動あり）

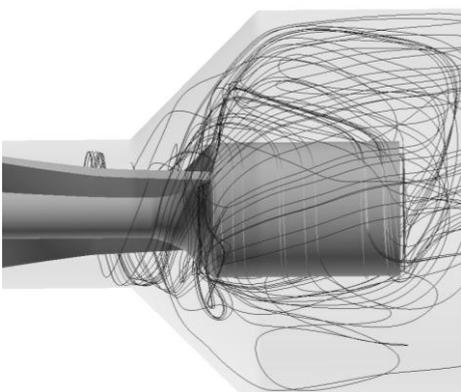


図 1.3 Streamline 分布（偏心駆動あり）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 2 件）

① Yasumasa Suzuki, Experimental Study of an Axial Flow Pump by Using Forced Whirling Motion Effect, 17th Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, 2009年10月2日, Singapore

② Yasumasa Suzuki, Performance Improvement of an Axial Flow Pump using Forced Whirling Motion Effect, 18th Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, 2010年10月15日, Berlin, Germany

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 康方 (SUZUKI YASUMASA)

日本大学・理工学部・講師

研究者番号：20424749

(2) 研究代表者

(3) 連携研究者