

補助事業番号 2019M-182
補助事業名 右心補助人工心臓の実現に向けた新規磁気駆動動圧軸受システムの
開発補助事業
補助事業者名 神戸市立工業高等専門学校 機械工学科 鈴木隆起

1 研究の概要

将来的な右心補助人工心臓を実現すべく、提案する、小型・シンプル・低コストの要件を満たす新規非接触磁気駆動動圧軸受システムに対して、本システムを搭載した右心補助人工心臓試作機において、羽根車の非接触駆動に対する動圧軸受部における軸受隙間幅の検討、磁気駆動部における吸引力や磁石形状に対する検討および、総合的な評価を実施した。また、数値流体解析や磁場解析を実施し、非接触駆動メカニズムについて検討した。

その結果、本システムにおいて羽根車における特異な振動形態を明らかにするとともに、動圧軸受部および磁気駆動に対する羽根車の非接触駆動条件を明らかにした。また、非接触駆動メカニズムに対して、羽根車に作用するロータダイナミック流体力、遠心力、磁力のつりあいから、駆動されている可能性を提案した。

2 研究の目的と背景

補助人工心臓は、重度の心臓移植待機患者から、軽症な心臓疾患患者の心肺機能改善の目的で幅広く使用される血液ポンプである。その中で現在、右心補助人工心臓が確立されていないという問題があり、現在は、左心用補助人工心臓が右心用補助人工心臓の代用として利用されているもののポンプの非設計点運転による、流体力学的不安定現象の発生により、羽根車の安定的な非接触駆が困難となり、血栓形成や血球破壊を生じる可能性が常につきまとっている。

そこで、将来的な右心補助人工心臓確立に向け、提案する小型・シンプル・低コストの要件を満たす新規非接触磁気駆動動圧軸受システムに対して、本システムの確立を目的に動圧軸受隙間幅や磁気駆動部の磁力形状が羽根車の安定的な非接触駆動におよぼす影響について検討した。また、羽根車の特異な運動形態である、ふれまわり運動に着目し、非定常流体力(ロータダイナミック流体力)を磁力と合わせて、数値解析により評価することで、羽根車の非接触駆動メカニズム解明に取り組んだ。

3 研究内容

右心補助人工心臓の実現に向けた新規磁気駆動動圧軸受システムの開発

(<http://www.kobe-kosen.ac.jp/~taka8170/research.html>)

図1に、右心補助人工心臓の試作機と羽根車の概観を示す。羽根車はチタン製で、直径20 mm、羽根高さ20.5 mm、羽根枚数6枚で単純な2次元翼形状である。ケーシングは単純な円形ケーシングとなっている。ポンプ設計点において、回転数3000 rpm、流量5 L/min、揚程20 mmHgであり、右

心補助人工心臓で求められる性能を満たしている。図2に既存の試作機断面図を示す。本システムでは、羽根車の上下2箇所(図中の丸印)に単純な2重管状の動圧軸受部と、羽根車下部と外側の回転部に、円柱状の永久磁石(ネオジム)を円周方向に埋め込むことで、外側の回転部をモーターで回転させることで、羽根車の非接触駆動を実現している。動圧隙間幅は40~100 μm の間で変更可能となる。

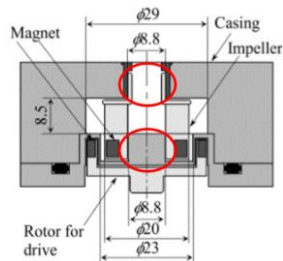
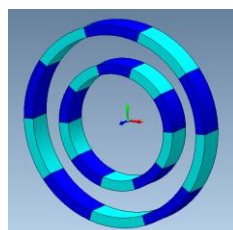
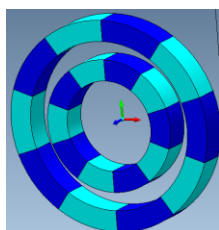
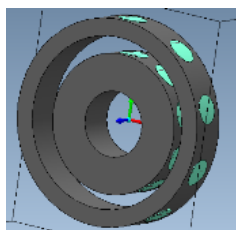


図1 右心補助人工心臓試作機

図2 試作機断面図

図3に本システムで使用する磁石形状を示す。円柱型においては、円柱型状を円周上に配置している。C型①においては、羽根車の運動への磁力の影響を検討するため、吸着力の増加を目的に、C型磁石を配置した形状としている。C型②は、磁石形状の影響を検討すべく、円柱型の吸引力と同程度となるように、C型①を薄くした形状となる。なお、C型②の吸引力は、円柱型磁石の約7倍程度である。



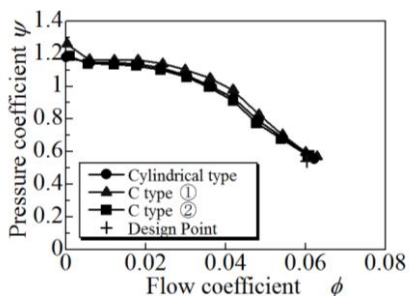
(a) 円柱型磁石

(b) C型①

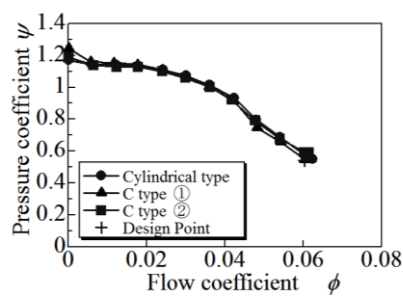
(c) C型②

図4 磁石形状

図5に円柱型磁石の場合の結果の一例として、各磁石形状に対する性能曲線の比較を示す。いずれの条件においても安定的なポンプ運転と、磁石形状による影響はほぼないことがわかってきた。また、設計点(十字印)を満足しており、本試作機においては、右心補助人工心臓の性能を十分満足するものであることが確認できた。



(a) 動圧隙間幅60 μm



(b) 動圧隙間幅80 μm

図4 磁石形状に対する性能曲線の比較

図6に結果の一例として、軸受隙間幅60 μm における羽根車上部軸部の軸変動に対するFFT解析の結果(上段)と移動軌跡(下段)をそれぞれ示す。円柱型においては、隙間幅によらず、自転周波数成分の約0.5倍の25 Hz成分に特徴的なピークを確認することができる。一方、C型においては、25 Hz成分は確認できず、円柱型の場合とは、異なる振動形態となっていると言え、軸起動軌跡から、25 Hz成分は羽根車の公転運動に伴う周波数成分であることが確認できる。一方、C型については、高速度ビデオカメラ等での観測の結果、羽根車が傾いて自転している歳差運動であることが確認できた。本結果によって、羽根車が安定的に駆動できる動圧軸受隙間幅範囲や磁力による影響が明らかになった。

また、各種数値解析により、磁力と遠心力が、公転運動にともなうロータダイナミック流体とつりあうことで非接触駆動されている可能性を得た。

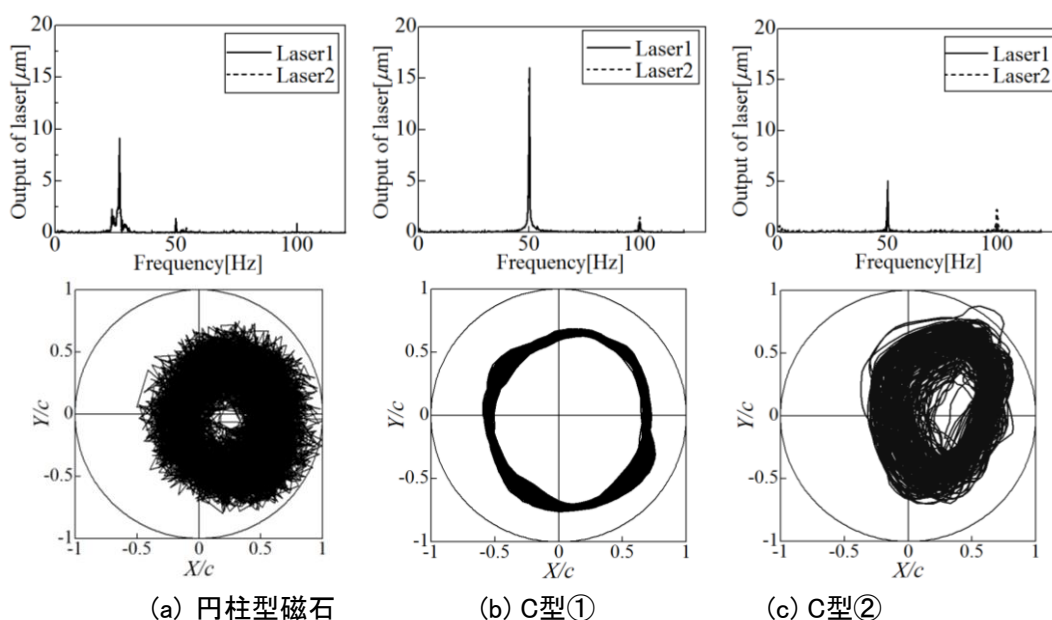


図6 羽根車上部軸部変位から求めた振動周波数および移動軌跡

4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

本研究により、提案する新規軸駆動動圧軸受システムによる羽根車の完全非接触駆動を達成するための条件等を明らかにした。本成果は、将来的に目標とする、右心補助人工心臓開発に向けて大きく前進する成果となる。さらに、本技術は、非接触駆動が必要なあらゆる血液ポンプに応用可能な技術であり、現在専用機器の無い小児患者用血液ポンプ等の新しい補助循環装置のみならず、特殊液の送液などへの展開も可能であると考えられる。

一方で、医療機器に搭載するという観点で、十分な安全性を実証すべく、今後さらに詳細な検討を進め、右補助人工心臓の実現につなげたい。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助人工心臓の分野において、現在、国内外で左心補助人工心臓は実用化されているが、右

心補助人工心臓は未だ確立されていない。本成果は右心補助人工心臓が確立されていないという背景のもと、その実現に直結するものである。一方、本研究における学術的価値は、一般的な動圧軸受理論では説明できない条件下において、特に振動をとめないながら駆動されるという複雑条件のもと、非接触駆動メカニズム解明に取り組んだ点であり、これまで、そのような研究例は報告されていない。本軸受システムのような、磁気駆動と動圧軸受を有する非接触駆動システムにおいて、その設計指針や定量的なメカニズム評価のために有用であると考えられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 竹中蓮太郎, 岡田侑, 厚見元輝, 鈴木隆起, 赤対秀明, 築谷朋典 : 「右心補助人工心臓開発における磁気駆動動圧軸受部の磁力に対する羽根車の運動評価」, 日本機械学会関西支部第90期定時総会講演会メカボケーション学生研究発表セッション, 2P127, 2021.
- (2) 竹中蓮太郎, 岡田侑, 鈴木隆起, 赤対秀明, 堀口祐憲, 築谷朋典 : 「右心補助人工心臓開発における羽根車の動的特性に関する研究—磁気駆動部の影響—」, 日本機械学会2020年度年次大会講演論文集, J05119, pp.1-5, 2020.
- (3) 竹中蓮太郎, 岡田侑, 木村友洋, 鈴木隆起, 赤対秀明, 堀口祐憲, 築谷朋典 : 「右心補助人工心臓の磁気駆動動圧軸受システムの改良と評価」, 日本機械学会 関西支部第95期定時総会講演会, 2020.
- (4) 竹中蓮太郎, 北畑貴博, 鈴木隆起, 赤対秀明, 堀口祐憲, 築谷朋典 : 「右心補助人工心臓開発における磁気駆動動圧軸受システムのダイナミクスの評価」, 日本機械学会2019年度年次大会講演論文集, J05507P, pp.1-5, 2019.

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの
該当なし
- (2) (1)以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 神戸市立工業高等専門学校
(コウベシリツコウギョウコウトウセンモンガッコウ)

住 所: 〒651-2194
兵庫県神戸市西区学園東町8-3

担 当 者: 准教授 鈴木隆起(スズキタカユキ)

担 当 部 署: 機械工学科(キカイコウガクカ)

E - m a i l: taka8170@kobe-kosen.ac.jp

U R L: <http://www.kobe-kosen.ac.jp>