

推力・磁力パッシブ浮上機構を用いた新たな人工心臓の提案と最適設計

東京工業大学工学院機械系

鄭 兆民, 土方 亘

Zhaomin ZHENG, Wataru HIJIKATA

1. 目的

心不全患者の血液循環を行う人工心臓は、インペラを動圧軸受や磁気軸受で浮上させることで耐久性を向上させているが、それぞれ狭い流体の隙間やセンサを用いたフィードバック制御が課題である¹⁾。そこで、インペラに血液を送り出す際に反作用として生じる推力と、永久磁石の磁力とを併用する推力・磁力浮上機構を用いた軸流型人工心臓を提案した。この人工心臓は、大ギャップかつフィードバック制御不要でインペラを浮上させられる利点を有する。本研究では、人工心臓用推力・磁力浮上機構を開発し、最適設計を行うことを目的とした。

2. 方法

数値流体力学解析と磁場解析を用いてインペラに働く推力と磁力を計算し、浮上可能な形状を設計した。この形状をもとに実験機を試作し、①軸方向浮上、②軸方向浮上状態での外乱に対する安定性、③軸方向浮上ができる流量および回転数の範囲について実験で確認した。

さらに、より安定した浮上を実現するために、インペラが変位する際の推力の変化、すなわち推力剛性を向上させる最適設計を行った。数値流体力学解析では膨大な時間コストを要するため、形状の異なるインペラ37個、ディフューザ21個で合計58個の部品を3Dプリンタで高速に製作し、実験的に最適な形状を求めた。その際、各パーツの形状(設計変数)は実験計画法に基づいて決定し、実験回数が最小限となるように各パーツの組み合わせを決定した。本実験から、性能向上に重要な変数を明らかにし、応答曲面法を用いて最適な寸法を決定した。

3. 結果

①推力、磁力ともに設計時の解析結果とよく一致し、イ

ンペラを軸方向に変位可能な状態にしても、軸方向は支持されていることを確認した。②外乱力を与えてインペラを浮上中心から変位させた後、外乱力を除荷すると再び浮上中心に復帰することを確認した。③10,000 rpmにおいては、流量を増加させると浮上位置は変化し、流量0~2.5 l/minの範囲であれば浮上可能であることを確認した。回転数を下げると、浮上できる流量範囲は狭くなるものの、下限7,000 rpmまで浮上できることを確認した。

最適設計では合計13個の設計変数から、特にインペラの羽根高さ、長さ、枚数が性能向上に重要であることを明らかにした。これら3変数に対して応答曲面法を用いて、インペラの羽根高さ3 mm、長さ5 mm、枚数6枚の最適解が得られた。その結果、インペラ回転数5,000 rpmにて最大推力剛性は、当初の設計の4.1倍となる0.089 N/mmと予測された。実験で推力剛性は0.0895 N/mmと計測され、予測値とほぼ一致することを確認した。

4. まとめ

推力・磁力パッシブ浮上機構を設計し、実験での軸方向浮上を確認した。また、当初の設計の4.1倍の推力剛性を持つ浮上機構の最適設計を成功した。

5. 独創性

本研究では、推力と磁力を併用したパッシブ浮上かつ500 μ mの大ギャップを実現可能な新たな血液ポンプを開発した。さらに、最適設計では、応答局面法を用いて通常数百回を必要とする実験をわずか37回に減らし、推力剛性は当初設計した形状の4.1倍を達成した。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

文 献

1) Magari R, Hijikata W: Proposition of a passive levitation system utilizing thrust and magnetic force for a ventricular assist device. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing* **16**: 1-12, 2022

■ 著者連絡先

東京工業大学工学院機械系

(〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1 大岡山キャンパス 石川台6号館-303A室)

E-mail. hijikata.w.aa@m.titech.ac.jp