

## 小型磁気浮上モータを用いた小児用補助人工心臓の研究開発

\*<sup>1</sup>茨城大学大学院理工学研究科機械システム工学専攻, \*<sup>2</sup>国立循環器病研究センター研究所, \*<sup>3</sup>ニプロ株式会社  
長 真啓\*<sup>1</sup>, 増澤 徹\*<sup>1</sup>, 西中 知博\*<sup>2</sup>, 築谷 朋典\*<sup>2</sup>, 水野 敏秀\*<sup>2</sup>, 梅木 昭秀\*<sup>2</sup>, 巽 英介\*<sup>2</sup>,  
柳園 宜紀\*<sup>3</sup>, 一ノ瀬 高紀\*<sup>3</sup>

Masahiro OSA, Toru MASUZAWA, Tomohiro NISHINAKA, Tomonori TSUKIYA, Tosihide MIZUNO, Akihide UMEKI,  
Eisuke TATSUMI, Yoshinori YANAGISONO, Takanori ICHINOSE

### 1. 目的

小児用補助人工心臓は体外設置型拍動流式血液ポンプであるEXCOR pediatric (株式会社カルディオ)に限られている。QOL向上や在宅治療実現の観点から、成人を対象とした植込み型デバイスよりもさらに小型な連続流式補助人工心臓の開発が望まれる。しかし、機器の小型化、小児の成長に対応可能なポンプ特性の実現、血液ポンプ内で高速回転するインペラを支持する軸受機構の血液適合性の獲得は技術的困難性を有しており、小児用補助人工心臓の研究開発が遅れている。我々は、磁気浮上型の小型な小児用補助人工心臓の研究開発を行っている。本研究では、血液ポンプの抗血栓性・耐久性の向上および機器植込みを目標として、チタン製のポンプケーシング、インペラからなる磁気浮上型血液ポンプを開発し、本試験機のポンプ特性、磁気浮上安定性能を評価した。

### 2. 方法

本研究で開発する人工心臓には、同一構造の2つのモータステータで遠心血液ポンプ用の浮上インペラを挟み込む構造の磁気浮上モータを用いる。浮上インペラの上下面に発生する磁気吸引力を釣り合わせて、インペラ姿勢の3軸(回転軸方向位置、半径方向軸周りの傾き角度)を能動的に磁気支持する。浮上インペラの半径方向位置は、回転用永久磁石により発生する磁気吸引力による復元力で受動的に支持される。ダブルステータ構造を用いることで、小型ながら(モータの外径は22 mm, 全長は35 mm), 発生トルクの増強と浮上インペラの3軸制御とを実現できる。本研究で製作したチタン製の磁気浮上型血液ポンプ試験機の外径は33 mm, 全長は43 mm, 重量は174 gである。ポンプ流入口径はともに6 mmである。インペラがポンプの中心位置で浮上する際の血液間隙の余裕は300  $\mu$ mである。開発した試験機を水循

環閉回路に接続し、室温環境下でポンプを3,700~4,600 rpmの回転数で駆動させ、ポンプの発生揚程と流量、浮上インペラの姿勢、機器への総入力電力の計測を行った。

### 3. 結果

製作した血液ポンプ試験機は、60~100 mmHgのポンプ揚程に対して、流量を0.5~2 l/minの範囲で調節可能であり、小児用人工心臓として十分なポンプ性能を発揮した。すべてのポンプ駆動条件において、浮上インペラの軸方向の振動振幅は30  $\mu$ m以下、径方向軸周りの最大傾き角度は0.4度以下であり、血液クリアランスに対して十分に小さく、全動作点で安定した非接触磁気支持を実現した。送液時の総入力電力は2.2~3.2 Wであった。

### 4. まとめ・独創性

体内植込みを目指して開発した完全チタン製の磁気浮上型血液ポンプを試作し、開発試験機が小児の循環補助としての目標ポンプ特性および安定した磁気浮上性能を持つことを確認した。今後は、機器植込みでの慢性動物試験において、循環補助性能、非接触磁気支持性能、血液適合性の評価を目指す。

本研究では、ダブルステータ型の多軸制御磁気浮上モータを提案し、本モータを植込み型小児用補助人工心臓へ適用可能なサイズまで超小型化することに成功している。開発する完全磁気浮上型の遠心式連続流補助人工心臓では、ポンプ回転数、循環流量によらず非接触ポンプ駆動が可能であり、高耐久性、優れた血液適合性を担保しながら、小児の成長に対応した循環補助の実現が期待できる。

### 謝辞および利益相反の開示

本研究は、日本医療研究開発機構 (AMED) 「医療分野研究成果展開事業 (先端計測分析技術・機器開発プログラム「重症心不全小児の救命を目指した高い耐久性と安全性を有する超小型な磁気浮上型遠心式補助人工心臓の研究開発」)」の支援により行われた。

西中 知博: ニプロ株式会社 (共同研究)

柳園 宜紀, 一ノ瀬 高紀はニプロ株式会社の社員である。

その他の著者には規定されたCOIはない。

### ■ 著者連絡先

茨城大学大学院理工学研究科機械システム工学専攻  
(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)  
E-mail. masahiro.osa.630@vc.ibaraki.ac.jp