

## 血管内超小型軸流血液ポンプ用磁性流体軸シールの高速回転下のシール安定性の検討

\*<sup>1</sup>東海大学大学院生物学研究科, \*<sup>2</sup>弘前大学大学院理工学研究科, \*<sup>3</sup>徳島大学大学院医歯薬学研究部,  
\*<sup>4</sup>旭川医科大学先進医工学研究センター, \*<sup>5</sup>東北大学加齢医学研究所, \*<sup>6</sup>北海道大学名誉教授

岡本 英治\*<sup>1</sup>, 矢野 哲也\*<sup>2</sup>, 関根 一光\*<sup>3</sup>, 井上 雄介\*<sup>4</sup>, 白石 泰之\*<sup>5</sup>, 山家 智之\*<sup>5</sup>, 三田村 好矩\*<sup>6</sup>  
*Eiji OKAMOTO, Tetsuya YANO, Kazumitsu SEKINE, Yusuke INOUE, Yasuyuki SHIRAIISHI, Tomoyuki YAMBE,*  
*Yoshinori MITAMURA*

### 1. 背景・目的・方法

急性重症心不全患者の救命と回復に使用される Impella 5.5<sup>®</sup> (日本アビオメッド) の公称耐久性は1か月であるが、120日を超える長期使用の報告がある一方で、血液のモータへの侵入を防止するパージシステムの耐久性に不安がある。本研究では、パージシステムに代わり磁性流体軸シールを用いた血管内設置式超小型軸流血液ポンプの開発を行っている<sup>1)</sup>。磁性流体軸シールは構造が簡単な非接触シールであるが<sup>2)</sup>、Impella 5.5<sup>®</sup>と同様に回転速度3万rpmで液体に対するシール安定性は3か月間実現したものはない。そこで本研究は高速回転する回転軸に対し、血液を長期間封止するために必要な要素について検討した。

### 2. 結果

遠心力は、回転軸と磁性流体ともに作用する。回転軸に作用する遠心力は回転軸の偏芯運動を起こしてシール破綻となるため、はじめに回転軸を支える機構を備えた。また、遠心力を受けた磁性流体は、パンケーキ状に変形しつつ回転運動するが、この形状が崩れるとシール破断につながる。そこで、実体顕微鏡下に回転速度3万rpmにおける磁性流体部分の形状確認を行うようにした。

さらに、磁性流体—血液の界面不安定化、すなわち磁性流体はフェライトのナノ粒子をベース液(油)に安定的に分散化させたものであるが、回転軸の高速回転下で磁性流体ベース液—血液の界面で乳化を起こし、シール破綻に至ることが分かった。そしてこの磁性流体の乳化は、シール

ド内の血液の流れに大きく影響を受ける。そのため、本研究では、血液の回転速度と磁性流体の回転速度の速度差が小さく、かつ血液側が乱流とならぬようにシールド形状を決定した。

磁性流体軸シールのシール寿命試験の結果、漏れなく完全にシールできた期間は最長36日となった。ポールピースの枚数を2枚から4枚に変更したことで、突然にシール破綻することがなくなり、fail-safeの観点から非常に有益と考えられた。

### 3. まとめ・独創性

本研究の独創性の1つ目は、回転軸に作用する遠心力による軸偏芯を抑制するため、磁性流体軸シールにセラミクス軸受けを内蔵したことにある。2つ目は、磁性流体に作用する遠心力について、設定回転速度に対し変形後の磁性流体形状をパンケーキ状に安定化させることが重要であること、3つ目には、磁性流体と血液の界面不安定化がシール破綻の要因の1つであり、シールド内部の血液の流れの最適化が血液のシールに不可欠なことを明らかにしたことである。そしてこれらを全て総合し、加工精度を向上させることで、長期のシールが困難であった磁性流体軸シールの血液ポンプへの応用が実現できると考えている。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

### 文 献

- 1) Okamoto E, Yano T, Sekine K, et al: Development and initial performance of a miniature axial flow blood pump using magnetic fluid shaft seal. *J Artif Organs* **26**: 12-6, 2023
- 2) Mitamura Y, Sekine K, Okamoto E: Magnetic fluid seals working in liquid environments: factors limiting their life and solution methods. *J Magn Magn Mater* **500**: 166293, 2020

#### ■ 著者連絡先

東海大学大学院生物学研究科  
(〒005-8601 北海道札幌市南区南沢5条1-1-1)  
Email. okamoto29@tokai.ac.jp