

## 静脈内留置型人工肺用軸流血液ポンプの開発

### Development of an Axial Blood Pump for an Intravascular Oxygenator

○ 山口敬吾 (電機大) 住倉博仁 (国循) 大沼健一郎 (国循)

大越康晴 (電機大) 荒船龍彦 (電機大) 野口展士 (電機大)

本間章彦 (電機大) 福井康裕 (電機大)

Keigo YAMAGUCHI, Tokyo Denki University  
Hirohito SUMIKURA, National Cerebral and Cardiovascular Center  
Kenichirou OHNUMA, National Cerebral and Cardiovascular Center  
Yasuharu OHGOE, Tokyo Denki University  
Tatsuhiko ARAFUNE, Tokyo Denki University  
Hiroo NOGUCHI, Tokyo Denki University  
Akihiko HOMMA, Tokyo Denki University  
Yasuharu FUKUI, Tokyo Denki University

**Abstract:** IVOX (the intravascular oxygenator) has low gas exchange performance and large channel resistance for blood flow. Therefore, IVOX places a burden on the patient's body. To solve these problems, we are developing the intravascular pump oxygenator (IVPOX) that IVOX attached an axial blood pump. This study investigated the impact of a diffuser shape by computational fluid dynamics. The diffusers were comprised of three blades and were designed by changing the angle of the blades. The top performing diffuser designed generated the highest pressure head of 110 mmHg for flow rates of 1.0 L/min at 30,000 RPM, however it unmet the performance of the aim. The present result suggested that further consideration will be needed to yield any findings about the axial blood pump.

**Key Words:** intravascular oxygenator, axial blood pump, computational fluid dynamics

#### 1. 研究背景

ハウジングや体外循環回路が不要であり、緊急時における使用を想定した静脈内留置型人工肺 (IVOX: Intravascular Oxygenator) に関する研究が行われている。IVOX は急性呼吸不全を対象とし、患者に上下大動脈内に人工肺を挿入することで生命維持を行う装置である<sup>(1)</sup>。呼吸管理法には ECMO などの体外循環方式もあるが、装置が大きく、高度な操作技術や管理体制が必要となる。一方で IVOX は特別な器具や技術を必要としないという点で優れている。また、体外循環回路が存在しないため、感染症や血液損傷のリスクも少ない。しかし、IVOX はガス交換性能の低さや流路抵抗に関する課題がある。そこで我々は小型軸流血液ポンプと人工肺を一体化させることで IVOX の持つ技術的課題解決をする小型軸流ポンプ一体型静脈内留置人工肺 (IVPOX: Intravascular Pump Oxygenator) の開発を行ってきた。

既報にて我々が開発してきた IVPOX として求められる静脈内留置型人工肺の圧力損失が流量 1.0L/min 時、150mmHg であることが確認されているため、目標とするポンプ性能をこの値と同じく、流量 1.0L/min 時に圧揚程 150mmHg 以上と定めた。これまで、血液ポンプのインペラのブレード角度の変化がポンプ特性に与える影響の検討を行った。

そこで、本研究では更なるポンプ性能向上のために、血液ポンプのインペラの先にディフューザを取り付けた際のポンプ特性への影響と、このディフューザのブレード角度を数値流体解析によって検討した。

#### 2. 実験方法

##### 2-1 軸流血液ポンプの検討

IVOX と一体化させるポンプとして大静脈内に留置可能な大きさであることが求められるため、この条件に合致し

ている右心補助用小型カテーテルポンプを流用した。

Fig.1 にカテーテルポンプを示す。本カテーテルポンプは、インペラ、ブラシレス DC モータ、モータハウジング、ポンプケーシングから構成した。本ポンプは、ポンプケーシング内部に設置したインペラをモータによって回転させることで、血液をポンプケーシング側面に設けた流入口から吸引し、先端の流出口から拍出する機構となっている。

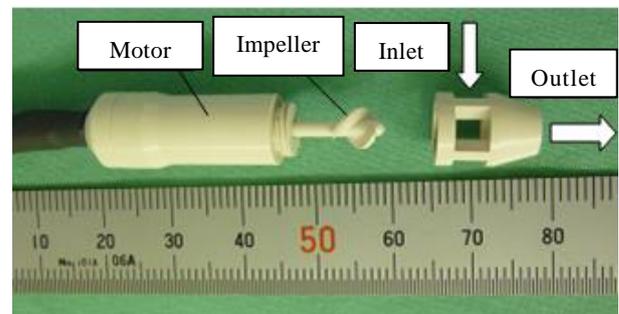


Fig.1 Catheter pump

このポンプの流出口側に新たにディフューザを取り付けたモデルを作成した。このディフューザは 3 枚のブレードから構成されている。ディフューザ形状の設計は等間隔に 4 つに分割した領域をインペラ側からそれぞれ P1~P4 とし、この領域のピッチ幅を変更することで行う。それぞれのブレード角度を変更することで 13 種類のディフューザモデルを作成し、これについて検討を行った。

解析モデルは血液ポンプの性能評価を行った時と同条件とするために、直径 30mm、容量 20mL の円柱型のリザーバ内にポンプを設置した。設計したディフューザと、ポンプモデルを Fig.2 に示す。

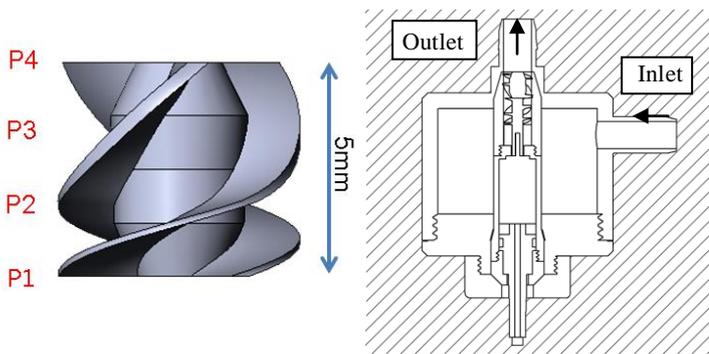


Fig.2 New axial blood pump

2-2.解析方法

モデルの作成は3次元CADソフトウェア SolidWorks (SolidWorks Japan)を用いた。解析モデルは、軸流血液ポンプ本体とポンプを留置するリザーバの2つからなるモデルとした。解析には汎用熱流体解析ソフト STAR-CCM+ (CD-adapco Japan)を用いて内部流れの定常解析を行い、乱流モデルは、 $k-\epsilon$  乱流モデルを使用した。

検討項目として、Inlet側に流量1.0L/minに相当する流速を与え、その場合の圧揚程をディフューザごとに計測した。圧揚程はリザーバのInlet側とOutlet側の差圧より求めた。

4.結果および考察

解析によって13種類のモデルの検討を行った。この中で最も成績の良かったモデルの性能曲線を Fig.3 に示した。横軸は流量、縦軸は圧揚程を表している。このモデルは P1~P4 のピッチ幅をそれぞれ 20mm,5mm,15mm,15mm として設計されたもので、流量1.0L/min時、圧揚程110mmHgが確認された。ディフューザを付けていないポンプと比較するとディフューザを設置したポンプの性能曲線は比較的勾配のある曲線となっており、抵抗の変化に強く、流量を安定して供給できると考えられる。

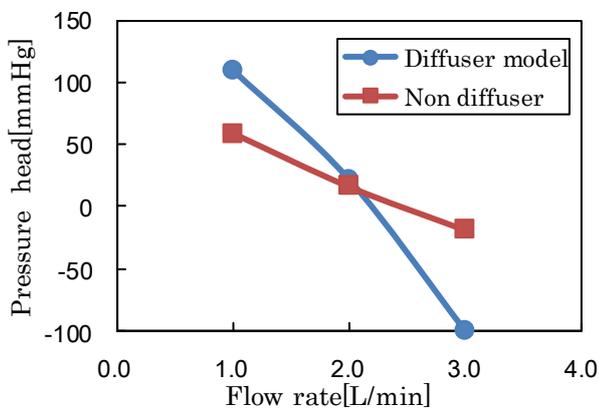


Fig.3 Performance curve

Fig.4 にインペラ及びディフューザ部分に作用する圧力を表したスカラー図を示す。左のモデルは圧揚程71mmHgであったもの、右のモデルは圧揚程110mmHgと最大であったものである。インペラ部分に着目すると、圧揚程が低いモデルはブレード先端に高い圧力がかかっている。一方で圧揚程が高いモデルではブレード先端の圧力が低く抑えられ

ている。また、解析を行ったモデルの中で比較的性能の良いものはいずれも流入側領域である P1,P2 のピッチ幅の設計変数をコントロールモデルより大きくしたものであった。

これは、ディフューザの流入側のピッチ幅の値が小さいため、流体がディフューザに流れ込むことができず、抵抗となり、インペラ部分の圧力が高くなったと考えられる。このことから、ディフューザの流入側のインペラ角度を大きくすることで抵抗を減らし、高い圧揚程を得ることが可能であると示唆された。

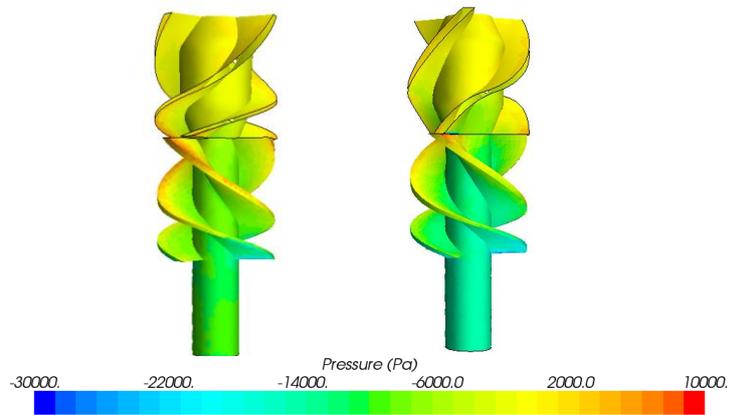


Fig.4 Pressure acting on impellers and diffusers

5.結論

今回、IVPOX 用小型軸流血液ポンプの開発のため、新たにディフューザを設置したポンプモデルを設計し、13種類のディフューザについて検討を行った。

