

左心補助用遠心ポンプの圧差，流量の間接計測

濱崎 真充・馬渡 健吉・喜多村 直

九州工業大学大学院情報工学研究科

An Indirect Measurement Technique for Pressure Differential and Flow of a Centrifugal Pump for Left Heart Assist

Masamitsu Hamasaki, Kenkichi Mawatari, Tadashi Kitamura

Kyushu Institute of Technology, Iizuka, Japan.

1. はじめに

遠心ポンプ式人工心臓のような定常流型の人工心臓は、心室もしくは心房から大動脈までの間に心臓と並列につながれ、弱った心臓を補助することを目的として用いられる。一方、長期的に人工心臓ポンプを利用する場合、その制御にはポンプ拍出血流量及びポンプ圧力差のようなポンプ運転状態を常に把握することが必要不可欠となるが、専用のセンサーを用いてこれらを直接計測することは、血液凝固や感染症等の誘発の危険性を孕むばかりか、予測不可能な計器故障などにより計測精度の低下が生じる恐れがある。

この問題を解決するため、現在、生体外から非侵襲的に計測が容易な、モータ駆動電流及び回転数から、ポンプ拍出血流量、圧力差の推定する技術の開発が行われている。しかしながら、遠心ポンプ式人工心臓の電流、回転数、拍出血流量、圧力差の関係は、生体血液の動粘度に依存するという問題点があり、正確なポンプ拍出血流量、圧力差の推定には、生体の血液動粘度を同定することが必要不可欠である。そこで、本研究では人工心臓系の物理モデルを用いて、血液動粘度、ポンプ拍出血流量、圧力差を同定する技術の開発を行い、左心房脱血を行っている患者の血液循環を模擬した循環回路における水流実験において、アルゴリズムの検証を行った。

2. 推定方法

本研究では、推定を行うための人工心臓系の物理モデルとしてポンプモデル(1)、モータモデル(2)、体循環モデル(3)を用いる^[1]。

$$\rho \dot{Q} + \Delta P + c_1 Q + c_2 Q^2 + c_3 Q^3 + c_4 Q^4 = K_2 \omega + K_3 \omega^2 \quad (1)$$

$$J \dot{\omega} + c_5 \omega + c_6 Q \omega + Tr = K_1 i \quad (2)$$

$$\Delta P = -\Delta P / RC + (Q + Q_H) / C \quad (3)$$

$i[A]$:モータ電流 $\omega[rad/s]$:モータ回転数

$Q[ml/sec]$:ポンプ拍出血流量 $\Delta P[mmHg]$:ポンプ圧力差

$Q_H[ml/sec]$:自然心臓拍出血流量

c_i, K_i :血液動粘度に依存するパラメータ

$R[mmHg \cdot sec/ml]$:体循環インピーダンス

$C[ml \cdot sec/mmHg]$:大動脈コンプライアンス

(1) - (3)式を用いて、人工心臓駆動電流 i および回転数 ω データから、血液動粘度の同定を行い、その後、遠心ポンプ式人工心臓の平均拍出血流量、圧力差を(1),(2)式を用いて演算を行う。

3. 実験

本稿では図1に示す左心房脱血を行っている生体の循環系を模擬した循環回路を用いて、推定アルゴリズムの検証を行

う。その際、遠心ポンプを2台使い、一台は心臓を補助する人工心臓ポンプとし、もう一台は拍動的に運転することによって、血液を拍出している自然心臓を模擬することにする。また、血液の粘性を考慮する為、循環回路内の動作流体にはグリセリン水溶液を用い、その動粘度を生体の血液動粘度の範囲を含む $1.0, 4.0, 6.0 \times 10^6 [m^2/sec]$ の3通り変化させて実験を行った。

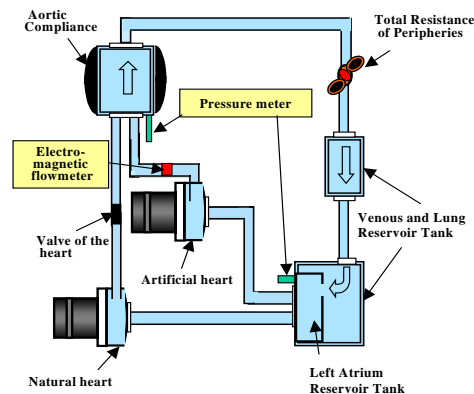
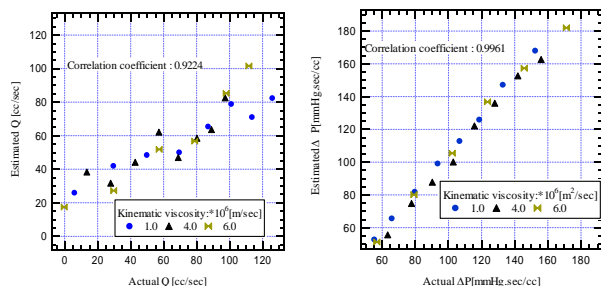


Fig.1 Over view of a Mock Circulation system

4 実験結果と考察

流量、圧力差の推定結果を図2に示す。計測値と推定値の相関係数は流量、圧力差それぞれ 0.9224, 0.9961 となり、比較的高い相関が得られた。しかし、流量に関しては、推定値の勾配が平坦になっていることが確認できる。これは、実機と推定モデルの間の誤差が動粘度推定値に現れ、その結果が流量推定値に反映されているためだと考えられる。



(a) Flow rate (b) Pressure differential

Fig.2 Estimated values

参考文献

1. Kitamura T, Matsushima Y, Tokuyama T, Kono S, Nishimura K, Komeda M, Yanai M, Kijima T, Nojiri C. Physical model based indirect measurements of blood pressure and flow using a centrifugal pump. *Artif Organs*;24:589-93, 2000.