

補助人工心臓装着時の状態空間モデルを用いた循環パラメータの同定と弁の開閉動作の推定

*¹ 福島大学大学院共生システム理工学研究科, *² 東北大学産学連携機構, *³ 東北大学加齢医学研究所
下川 柚依*¹, 田中 明*¹, 吉澤 誠*², 白石 泰之*³, 山家 智之*³

Yui SHIMOKAWA, Akira TANAKA, Makoto YOSHIZAWA, Yasuyuki SHIRAISHI, Tomoyuki YAMBE

1. 目的

補助人工心臓の運用において、循環特性をリアルタイムに把握することは重要であるが、生体にセンサをつけることは望ましくない。そこで本研究では、計測量としてポンプの前後負荷とポンプ流量を利用し、循環系を状態空間モデルによって表現し、その状態量から、循環状態、体循環抵抗や大動脈弁開閉動作を推定することを目的とした。

2. 方法

状態空間モデルのパラメータ推定は、非線形関数にも対応可能なアンセンテッドカルマンフィルタ(UKF)で行った。入力にはポンプの前負荷と流量、出力はポンプの後負荷とし、また、弁の抵抗は、双曲線正接関数を用いて弁の差圧(左心室圧と大動脈圧との差圧)で変化するようにした。

まず、提案モデルで入出力関係を同定できるかを検証し、入出力が実測値とほぼ等しくなるとき、同定に用いていない左心室圧、大動脈圧、大動脈流量の実測値とモデル内の状態量とを比較した。また、推定した大動脈流量から弁の開閉の有無を推定した。実験は、さまざまな循環状態を模擬可能なハイブリッド模擬循環系にGyroポンプ(Medtronic社)を接続して実施した。

3. 結果

出力であるポンプ後負荷の推定誤差が小さくなった場合の結果の一例を図1に示す。図1に示す通り、出力の推定誤差が小さい場合には、左心室圧、大動脈圧、大動脈流量をある程度の精度で推定できることを確認した。各指標の正規化二乗平均平方根誤差(nRMSE)は30%以内であっ

た。また、弁の開閉に関しては、弁の開放がない場合のデータも含めて推定を行ったところ、開閉の有無を高い精度で推定できた。したがって、出力の推定誤差が小さい場合、モデル内の状態量から実測値の推定ができる可能性が示された。

4. まとめ

本研究では、補助人工心臓装着時の循環系を状態空間モデルによって表現し、UKFを用いてモデルを同定した。その結果、モデルの入出力が実測値に近い場合にはモデルは生体循環系のデジタルツインとみなすことができ、循環パラメータを推定できる可能性が示された。

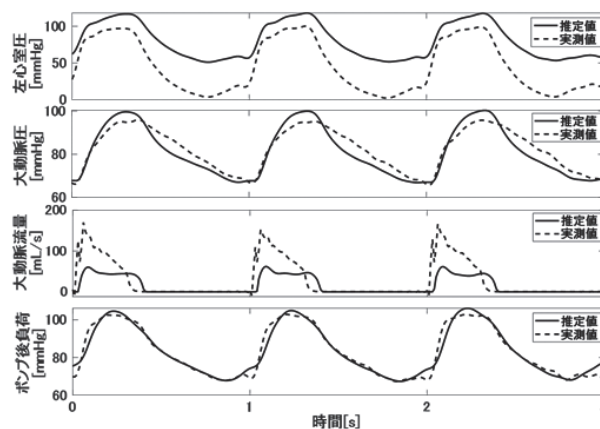


図1 同定結果例(実線:推定値, 点線:実測値)

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

■ 著者連絡先

福島大学大学院共生システム理工学研究科
(〒960-1296 福島県福島市金谷川1)
E-mail. s2270028@ipc.fukushima-u.ac.jp