

## 慢性閉塞性肺疾患診断のための Long Short-Term Memory を用いた

## 無拘束での Gaensler1 秒率推定手法の提案

Method for Unconstrained Estimating Gaensler's Forced Expiratory Volume  
in One Second Percent  
Using Long Short-Term Memory for Diagnosis of Chronic Obstructive Pulmonary Disease江本 光希<sup>†</sup>浜田 百合<sup>†</sup>栗原 陽介<sup>†</sup>

Koki Emoto

Yuri Hamada

Yosuke Kurihara

## 1. はじめに

慢性閉塞性肺疾患(COPD : Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 以下, COPD)は, 肺の炎症性疾患であり, 世界で, 少なくとも 2 億 1 千万人もの人々が罹患している. また, 年間約 300 万人が死亡していると推定されている[1]. さらに, 国内外で罹患数, 死亡者数が増加傾向にあり, WHO(World Health Organization)の報告によると, 世界死亡原因の第 3 位となっている[2].

従来の COPD 診断は, 肺機能検査の 1 つであるスパイロメトリーによって行われる. スパイロメトリーから得られる指標のうち, 閉塞性障害検出に際しては, Gaensler の 1 秒率(FEV<sub>1.0%</sub>)が用いられることが多い[3]. しかし, スパイロメトリーにおいて, 接触型の測定を行うため, 衛生面の問題[4], また, 測定機器が高価で取り扱いが簡便でない問題[5]などが議論にあがっている.

筆者らはこれまで, 高感度圧力センサを用いて計測した呼吸信号において, 肺・胸郭系-呼気流量モデルを基に呼気流量を推定し, FEV<sub>1.0%</sub>を推定する手法を提案してきた[6]. しかし, 推定した呼気流量の時系列における動特性を考慮していなかった. そこで本研究では, 推定した呼気流量の時間的な変動に着目し Long Short-Term Memory (LSTM) を適用することで FEV<sub>1.0%</sub>を推定する手法を提案する.

## 2. 提案手法

## 2.1 高感度圧力センサによる呼吸信号計測

本研究では, ベッド上で横になった状態で FEV<sub>1.0%</sub>を推定する手法を提案する. 呼吸運動は吸息と呼息の繰り返し動作であり, 吸息時は, 横隔膜をはじめとする呼吸筋を能動的に収縮させ, 籠の様な構造をもつ胸郭を広げることによって胸腔内の容積を増し, 内側を陰圧にして肺を拡張させ, 空気を吸い込む作業が行われる. 呼息時は逆に, 呼吸筋を弛緩させて胸郭をもとの状態に戻し, 肺の自ら縮もうとする力(肺の弾性)によって空気を吐き出す作業が行われる[7]. ベッド上でヒトが横になった状態で呼吸を行うと, この様な一連の呼吸運動によって生じる肺・胸郭系の振動はベッドマットレスを伝搬し, ベッドマットレスの下に設

置したエアマットレスの内圧を変化させる. 提案手法では, その内圧変動を高感度圧力センサで計測することで呼吸信号を計測する. 計測し信号は A/D コンバータによって離散時間信号へと変換する.

## 2.2 肺・胸郭系 - 呼気流量モデル

呼吸にともなう肺・胸郭系の振動と呼気流量の関係について呼吸による横隔膜と肺, 気管支の物理的挙動を考慮した“肺・胸郭系 - 呼気流量モデル”を提案する. 本提案モデルは, (i)横隔膜 - 肺の運動方程式, (ii)肺の断熱変化, (iii)呼気流量にまつわる肺 - 気管支の関係式で構成される.

2.3 呼気流量推定のため状態推定および LSTM による FEV<sub>1.0%</sub>の推定

高感度圧力センサで計測した呼吸信号にたいし, 肺・胸郭系 - 呼気流量モデルを基にしたカルマン smoother を用いることで呼気流量を推定する. カルマン smoother における状態空間表現では, (i)-(iii)における方程式から状態方程式を求め, (i)における横隔膜-肺の振動を高感度圧力センサで計測できるとし観測方程式を求める. 上記で求めた状態空間表現をもとにカルマン smoother を適用することで呼気流量を推定する.

推定した呼気流量にたいし正規化した信号を説明変数, スパイロメトリーにより得られた FEV<sub>1.0%</sub>を目的変数とし, LSTM を適用することで, FEV<sub>1.0%</sub>を推定する.

## 3. 検証実験

## 3.1 実験システム

本研究では, 呼吸信号を計測するためのデバイスとして高感度圧力センサをエアマットレスに内蔵したセンシングデバイスを用いる. 図 1 にセンシングデバイスおよび設置位置を示す. エアマットレス 2 枚のシート間にチューブを通し, その一端を封じ, もう一端を高感度圧力センサを接続する. このデバイスをベッドマットレスの下に敷くことで, ベッドの上に横たわる被験者の呼吸運動に伴う肺・胸郭部の動きを含んだ生体信号を取得する. なお, 実験を通して, デバイスから, より高感度に信号を取得するために, 被験者の胸部付近にセンサを設置した.

また, 本実験では呼気流量のリファレンスを同時計測するためにスパイロメーターとして, オートスパイロ [AS-507] (ミナト医科学株式会社)を使用する.

<sup>†</sup> 青山学院大学 理工学部 経営システム工学科

Department of Industrial and System Engineering, College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

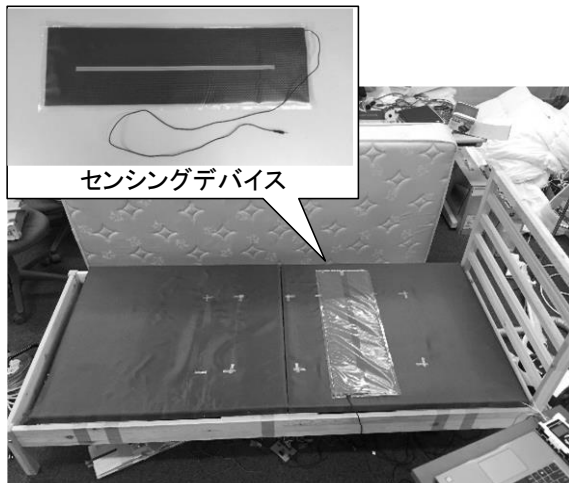


図 1 センシングデバイスと設置状況

### 3.2 実験手順および評価手法

被験者はベッドの上で仰臥位をとり、圧力センサの調整のために 40 秒間安静にする。データの計測を開始後、被験者には努力肺活量の測定を再現するよう指示を出した。

データの計測において、圧力センサのサンプリング周波数は 100Hz に設定した。リファレンス用のスパイロメーターのサンプリング周波数は、仕様上 10Hz でサンプリングされたデータにたいし、圧力センサと同期させるためスプライン補間により 100Hz に再サンプリングした。

被験者は 20 代男女 7 名であり、データ数は計 28 データである。提案手法の評価は、27 データにより学習した LSTM にたいし、1 データをテストデータとして用いた Leave-one-data-out 交差検証により行う。28 データ分の FEV<sub>1.0</sub>% の推定値にたいする Root mean square error (RMSE) を求めることで精度を評価する。

本実験は、青山学院大学倫理審査委員会による倫理審査を受け、承認を得たうえで行われた (承認番号 H21-004)。

### 4. 実験結果

図 2 に、カルマン smoother による呼気流量を正規化した信号の 1 例を図 2 に示す。赤の実線がリファレンスにより計測した呼気流量を正規化した信号、青の実線が提案手法を示す。2 つの信号は類似した呼気流量の時系列信号となっており、努力肺活量の測定再現区間が確認できる。

また、提案手法から推定された 1 秒率とリファレンスから得られる 1 秒率とを比較すると、その RMSE は 12.96% となった。図 3 に推定した FEV<sub>1.0</sub>% とスパイロメトリーによる FEV<sub>1.0</sub>% の散布図を示す。

2 つの値の間には、おおよそ正の相関がみられるが、リファレンスによる 1 秒率が低いデータにおいて、今回提案する手法では、1 秒率が上手く推定できていないことが確認できる。これについて、1 秒率が低いということは、すなわち、呼気流量波形における呼出時の勾配が比較的緩やかであることを指すため、様々なノイズがより大きな影響を及ぼしやすかったことが原因の 1 つであると考えられる。

### 5. おわりに

本研究では、従来の検査方法の改善手法となり得る、無拘束であり、肺機能の日常的なモニタリングに向けての取

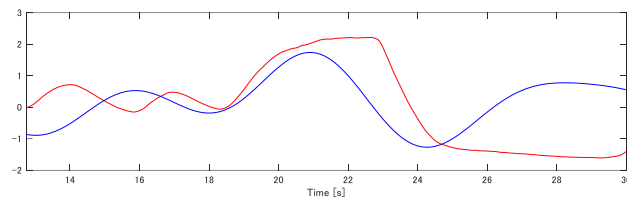


図 2 呼気流量波形の比較

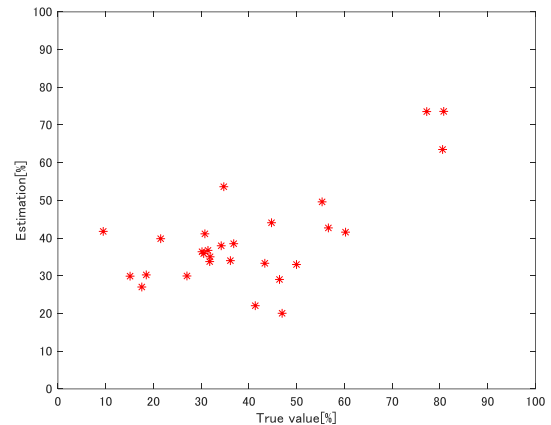


図 3 推定 1 秒率とリファレンスによる 1 秒率の散布図

り扱いがしやすい COPD 診断システムとして、圧力センサを用いることで取得される信号から、呼吸による横隔膜と肺、気管支の物理的挙動を考慮したモデルより、呼気流量を推定し、LSTM を用いて、導出した推定 1 秒率から COPD 診断を行う手法を提案した。

推定波形とリファレンスの波形の比較から、努力肺活量の測定再現区間が提案手法によっても判別可能であることが確認された。今回、推定した呼気流量の時系列的な特徴を把握するため、LSTM を用いたが、今後、COPD 診断において十分な推定精度になるように LSTM におけるパラメータの最適化等を検討する必要がある。

### 参考文献

- [1] Forum of International Respiratory Societies (FIRS), “Respiratory diseases in the world. Realities of today – opportunities for tomorrow”, *African Journal of Respiratory Medicine*, Vol.9, No.1, pp. 4-13 (2014).
- [2] 工藤 翔二, “COPD の疫学と予防: 健康日本 21 (第 2 次) を中心に”, *日本内科学会雑誌*, Vol.104, No.6, pp. 1059-1066 (2015).
- [3] 有田 秀徳(編), “呼吸の事典”, 朝倉書店 (2006).
- [4] 藤田 次郎, 根ヶ山 清, 横井 博信, 末包 裕美, 河西 浩一, 高原 二郎, “肺機能検査装置の細菌汚染についての検討”, *環境感染*, Vol.9, No.3, pp. 24-27 (1994).
- [5] 坂本 寛和, 孫 光鎬, 松井 岳巳, 桐本 哲郎, “ToF カメラを用いた肺機能検査測定システムによる呼吸機能の非接触モニタリング”, *生体医工学*, Vol. Annual57, No. Abstract, S239\_2 (2019).
- [6] 江本 光希, 小濱 美咲, 浜田 百合, 栗原 陽介, “慢性閉塞性肺炎患診断のための無拘束呼気流量推定による Gaensler1 秒率推定手法の提案”, 第 17 回 日本感性工学会春季大会 (2022)
- [7] エレイン N. マリーブ, “人体の構造と機能 第 4 版”, 医学書院 (2015).