

「呼吸情報に基づいたマルチバイタルサイン計測技術の研究開発」

要旨：災害や大規模事故発生時の 1 次トリアージでの使用を目的としたマルチバイタルサイン計測システムの開発に取り組んだ。平成 30 年度戦略的基盤技術高度化支援事業（以下、サポイン事業）における取り組みでは、口元気流からバイタルサインを簡便に計測するマスクデバイスの開発に取り組んだが様々な課題があった。そこで、追加の検証を行い同時に多数の傷病者の状態をモニタリングできるシステムを試作した。また、傷病者の呼吸のパターンに着目し、AI を用いて速やかな対応が必要となる異常呼吸を検出することを目指した。

1. はじめに

日本は地震や水害といった自然災害のリスクが高く、毎年多くの災害が発生している。大規模災害では多くの傷病者が発生し、医療機関に集中する可能性が指摘されている。同時に多数の傷病者が来院した場合、医療機関ではトリアージを行い、緊急度の高い傷病者から対応することで、限りある医療資源を最大限に活用する。

一般的に、医療従事者は生命活動において最も基本となる 4 つのバイタルサイン（呼吸数、心拍数、血圧、体温）をそれぞれ一つずつ計測し、傷病者の状態を把握する。

これらの背景より、当社ではサポイン事業の取り組みとして、口元気流からバイタルサインを簡便に計測できるマスクデバイスの開発に取り組んできた。

サポイン事業で開発したマスクデバイスを図 1 に示す。

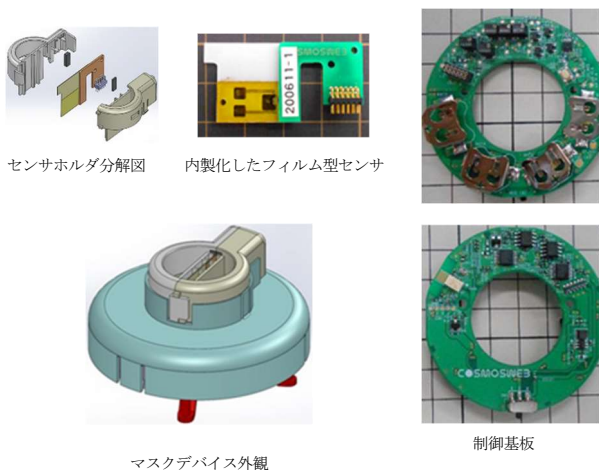


図 1 開発したマスクデバイス

しかし、様々な課題があり次の 4 項目について改善すべく追加検討を行った。

- 1) 多数をモニタリングできること
- 2) 取得したデータを解析し可視化すること
- 3) 適切なユーザインターフェースを提供すること
- 4) 省電力制御、通信制御等システムとして適切な制御を行うこと

2. 大規模災害等におけるトリアージ

トリアージとは災害等において多数の傷病者が同時に発生した場合に、傷病の緊急度や重症度に応じて適切な処置や搬送をおこなうため治療の優先順位を決定することである。日本においては、阪神淡路大震災等を契機として集団災害に対する関心が高まりトリアージの重要性が認識された。

日本国内で使用されるトリアージ手法に START 法 (simple triage and rapid treatment) がある。START 法では、呼吸、循環、意識状態等の簡単な指標で傷病者をグループ分けする。傷病者にはトリアージタグをつけ、軽症、中等症、重症、死亡に識別する。

START 法のフローを図 2 に示す。



図 2 START 法のフロー

トリアージは一度行って終わりではなく、必要

に応じて繰り返し行うことが求められる。

3. 追加検討の目標

追加検討の目標を以下に示す。

- 1) 簡便なトリアージを可能とするシステムを実現し、医療従事者の負担を軽減する
- 2) トリアージを行った後、その傷病者を監視し、状態を把握する

これらを実現するため、多数の傷病者のバイタルサインを簡便に計測しつつ、呼吸パターンの変化から病状の悪化を検出するシステムの実現を目指した。

4. システム概要

今回開発したシステムの概要を図 3 に示す。

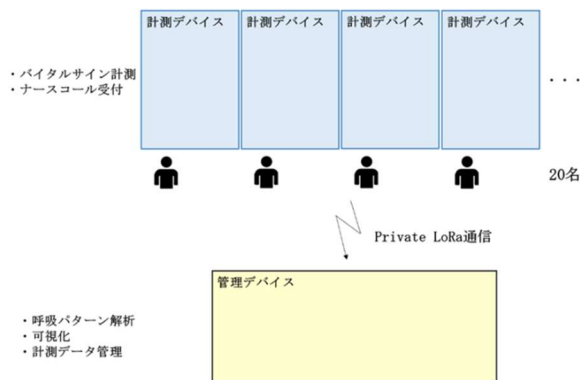


図 3 システム概要

本システムは傷病者が装着する計測デバイスと、計測デバイスからのデータを解析し可視化する管理デバイスからなる。計測デバイスは同時に多数動かすことができる。計測デバイスと管理デバイス間の通信には、省電力性、通信距離に優れ、一対多通信が容易な LoRa を採用した。本システムを用いることで、様々な機器を使用せずに傷病者のバイタルサインを計測することが可能となる。

5. 開発要素

5.1 計測デバイス

計測デバイスは傷病者の口元にマスクを介して装着するフローセンサと計測データを管理デバイスに送信する制御デバイスからなる。フローセンサには当社で開発したフィルム型フローセンサを用いた。制御デバイスはセンサの出力電圧から呼

吸の流量と温度を計算し、LoRa で管理デバイスに送信する。計測デバイスは入手性を考慮し電源に単 4 乾電池を使用した。

計測デバイスの構成を図 4 に外観を図 5 に示す。

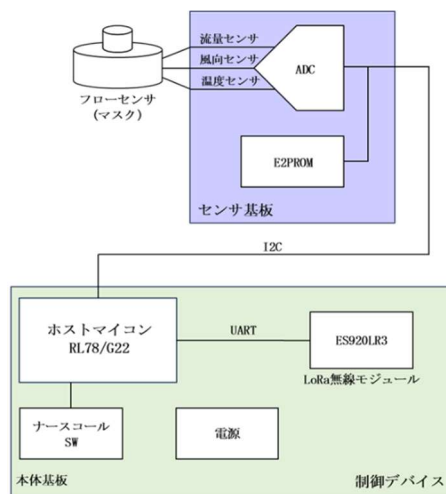


図 4 計測デバイスの構成



図 5 計測デバイスの外観

5.2 管理デバイス

管理デバイスには一般的なノートパソコンを使用し、計測デバイスとの通信には LoRa ゲートウェイ ES920GWX3 を使用した。

管理デバイスの PC アプリは LoRa ゲートウェイから転送されてくる計測データを HTTP リクエストで受信する。受信した計測データは、時系列データベース (Influxdb) に書き込まれる。

計測データを可視化して表示する PC アプリの開発には Python を利用した。PC アプリは呼吸波形を解析する機能も有し、異常な呼吸を検出した時は、アラームを表示するとともに、音声で医療従事者に知らせる。

管理デバイスのシステム構成を図 6 に示す。

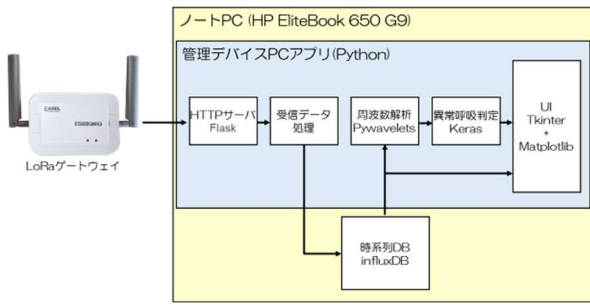


図6 管理デバイスの構成

管理デバイスの画面表示を図7に示す。管理デバイスは最大で20名分の計測データを表示できる。



図7 管理デバイスの画面表示

傷病者1名分の表示例を図8に示す。ここでは、計測されたバイタルサインと呼吸波形が表示される。また、異常呼吸を検出した場合や制御デバイスのナースコールスイッチを押下された場合には、図9に示すように表示して医療従事者に知らせる。

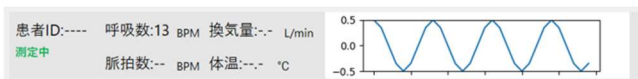


図8 傷病者1名分の表示

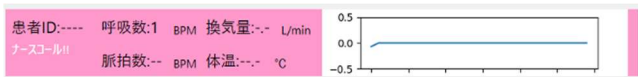


図9 アラーム表示の例

5.3 異常呼吸判定

呼吸には傷病等により現れるパターンがある。本システムで検出することを目指した呼吸パターンとその特徴を表1に示す。今回はこれら4つの異常呼吸を検出することを目指した。

表1 主な異常呼吸

名称	特徴	主な原因
頻呼吸	規則正しく速い呼吸	発熱 低酸素血症
徐呼吸	規則正しく遅い呼吸	頭蓋内圧亢進
チェーンストークス呼吸	呼吸数と深さが増減する	頭蓋内圧亢進 脳溢血
ビオー呼吸	早い呼吸と無呼吸が不規則に繰り返す	髄膜炎 延髄損傷

呼吸判定のフローを図10に示す。

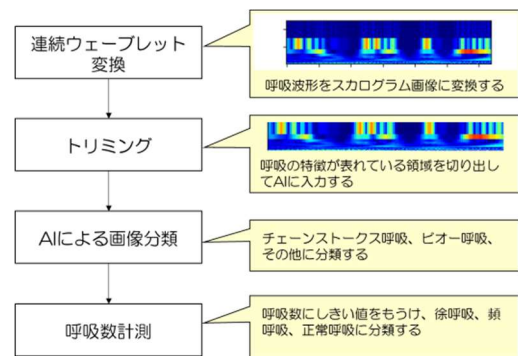


図10 異常呼吸判定のフロー

異常呼吸の検出には過去1分間の呼吸データを使用する。呼吸データはまずウェーブレット変換を行い、周波数と時間の画像(スカログラム)に変換する。ウェーブレット変換とは基準となる波形を伸縮させて対象の周波数成分を分析する手法であり、不規則、非定常な波形の解析を得意としている。スカログラムはトリミングを行い、異常呼吸の特徴がよく表れている領域を切り出す。切り出す領域は、呼吸パターンによって画像が変化しない領域を取り除くように決定した。これをAIで画像分類して、チェーンストークス呼吸とビオー呼吸を検出する。この2つの異常呼吸は、呼吸のリズムが一定でないことが特徴である。頻呼吸、徐呼吸と正常な呼吸は、呼吸数にしきい値を設けて分類する。本システムでは呼吸数10bpm以下を徐呼吸、25bpm以上を頻呼吸と判定するようにした。

5.4 AIモデルの構築と学習

画像判定AIの構築にはKerasを使用した。KerasはTensorFlowをバックエンドして動作する上位レベルのディープラーニングフレームワークである。

Python で書かれており、容易にディープラーニングのプロトタイプを作成することができる。

構築した AI のモデルを図 11 に示す。ここでプーリング層はすべて 2×2 の最大値プーリングである。



図 11 異常呼吸判定 AI モデル図

学習データは、実際に正常な呼吸や異常な呼吸をしてその呼吸を計測して作成した。学習条件を表 2 に示す。

表 2 学習条件

項目	設定値
学習入力データサイズ	40×330×3
分類クラス数	3 クラス
学習データ数	300
学習データ水増し条件	左右平行移動、左右反転
水増し後学習データ数	2160
テストデータ数	学習データの 10%
バッチサイズ	4
エポック数	200※

※EarlyStopping あり

6. システム評価

異常呼吸の可能か評価するため、実際に異常な呼吸を計測してその結果を検証した。

計測したチェンストークス呼吸とビオー呼吸の波形を図 12、図 13 に示す。開発した AI はどちらもチェンストークス呼吸と判定しており、異常呼吸であることを検出できたが、呼吸パターンは正しく分類できなかった。これは、学習データの症例数が少なく、モデルの汎化性能が低くなっていることが原因と考えている。今後、症例数を増や

して学習を行って、モデルの汎化性能を高める必要がある。

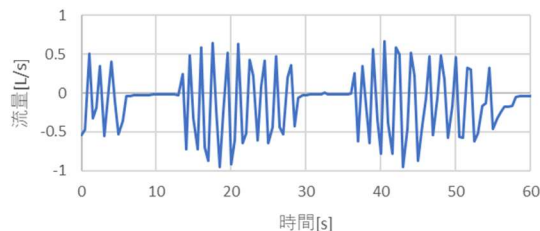


図 12 チェンストークス呼吸の波形

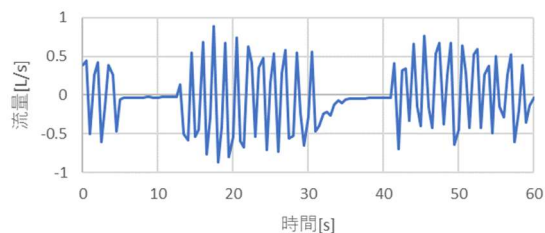


図 13 ビオー呼吸の波形

7. 今後の課題

学習データには、異常な呼吸から正常な呼吸に戻る時のデータが含まれておらず、その時の動作が明確になっていない。

また、マスクを着けていない時と、呼吸がない時の見分けがつかないという問題があり、マスク装着を検知するセンサ追加の検討も必要である。

さらに、フィルムセンサ自体の精度向上や判定確度の向上、システムの安定性の向上等も課題となっている。

8. おわりに

今回の取り組みを通じ、MEMS によるフィルムセンサ製作や AI モデルの構築等の技術的な部分に加え、災害時に必要な装置、システムの検討を通じて医療機器メーカーとしての役割、人命に関わることの難しさや大切さが再確認できた。

まだまだ課題は多いが、今回の経験を活かし今後の開発を進めていきたい。

文献

- (1) 内閣府：平成 18 年度防災白書
- (2) 日本救急医学会：医学用語 解説集
- (3) 青野雅樹：Keras によるディープラーニング、森北出版株式会社 2019 年 10 月 25 日 第 1 版第 1 刷発行