

2. マスク型ワイヤレス呼吸リハビリ・トレーニングシステムの要素技術開発

ものづくり技術支援グループ

(有)パテントワークス

(地独)北海道立総合研究機構工業試験場

北海道科学大学

埼玉県立大学

○松本陽斗, 村田政隆

笠井文雄

中島康博

宮坂智哉, 鴨志田麻実子

木戸聡史

1. はじめに

呼吸機能の改善や運動能力の向上には、呼吸法の改善・トレーニングが有効である。しかしながら、その指標となる呼吸量測定には医療用機器を用いる必要があることから、個人で日常的に呼吸量を測定することは容易ではない。そこで、本件ではこの課題を解決するために各種技術開発を行い、その成果について報告する。

2. 背景

呼吸器系の健康維持は、日常生活を営むにあたり極めて重要である。厚生労働省の調査によれば、呼吸器系の典型的疾患である喘息や COPD（慢性閉塞性肺疾患）の国内患者数は千万人を越えると推計され、肺機能への治療やリハビリの重要性が増している。また、健常高齢者の肺機能に関しては、60 歳代では 20 歳代と比べ最大酸素摂取量や肺活量が約 1/4 程度にまで低下し、日常生活の活動性低下や疾患の死亡率増大等のリスクが見込まれている。

(有)パテントワークスでは、H19 年に鼻吸気一口呼気を強制するバルブ付き呼吸トレーニングマスク（商品名“ReBNA” 図 1）の製品化に成功した。そして、このマスクを用いた長期運動試験により、若年者や高齢者の呼吸パターンの改善を確認しており、最近では肺の換気効率改善によるアスリートのパフォーマンス向上をも図られている。このように、呼吸トレーニングは健康状態改善に大きく貢献できるが、簡易な装着で運動状態を連続測定できる機器はなかった。

本研究では、H27 年度から ReBNA 用流量センサの開発に着手して、図 2 に示すモデル試作や実験を重ね、差圧による呼吸量測定の基本機能の確認と課題を整理した。そして、H29 年度には製品化を見据え、超小型の差圧センサを搭載し、長距離無線モジュールを利用した、マスク型ワイヤレス呼吸リハビリ・トレーニングシステムの要素技術開発を行った。



図 1. ReBNA 外観



図 2. H27 年度 流量センサ外観

3. 研究開発体制

本研究では、パテントワークスが、研究統括として、これまでの研究成果を基盤とした本システムの基本検討・仕様策定等を取りまとめ、北海道立工業技術センターは、主に流量センサ及び校正装置の設計開発を行った。また、道総研・工業試験場は、主に長距離ワイヤレスシステム化を担当した。また評価手法に関する指導・助言役を北海道科学大学と埼玉県立大学が担うことで、図 3 に示す医工の産学官連携体を構築した。

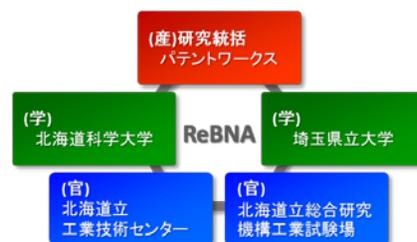


図 3. 産学官連携体 構成図

4. 研究開発内容

4.1. 流路設計 (北海道立工業技術センター)

H27 年度に使用した差圧センサ MP3V5010DP (Freescale Semiconductor 社) は、サイズが約 12×19×10 [mm] と、流路に内包するには大きい点や、アナログ出力のため比較的耐ノイズ性が低い点、双方向の流量測定が行えない点等の課題があり、見直しが必要であった。また、安全性確保の観点から、破損片等がマスク内部に侵入しにくい構造が必須である。そこで、超小型のデジタルセンサを用いた少数部品構成の流量測定方式を検討した。その結果、差圧センサには、±500 [Pa] の差圧範囲を 16 [bit] の分解能で測定可能な、サイズが 5×8×5 [mm] と超小型な微差圧センサ SDP31 (Sensirion 社) を選定した。

流路は、人間の換気量を上限 1,000 [l/min] と設定し、SDP31 に適した形状の設計・解析を行った。その結果例を図 4 に示す。その後、流路とセンサ実装基板を試作し、図 5 に示す校正装置により、流量に対する差圧の解析理論値と実測値を比較した。その結果、図 6 に示すように、実測値を、2 次曲線で近似すると、高い相関 (決定係数 $R^2=0.9835$) が得られることから、補正係数を適切に設定することで、差圧値から呼吸流量を比較的高い精度で測定することが可能だと判断した。

4.2. 長距離ワイヤレスシステム化 (道総研・工業試験場)

ワイヤレス化においては、スポーツ等で利用する場合を想定し、1 台の端末で離れた場所で稼働する複数台の流量センサとの通信実現を目標とした。また、流量センサはバッテリー駆動で、スマートフォン等と接続し、データ収集することを想定しているため、利用時の低消費電力化とデータ収集端末との接続を容易にすることは重要な開発要素だといえる。これらを総合的に判断した結果、Bluetooth Low Energy (以下 BLE) 通信に着目し、本研究開発では、長距離通信が可能な SiliconLab 社製 “BLE121LR” を選定した。

本研究では、BLE121LR-SDP31 間の I2C 通信用のファームウェアと、図 7 に示す Android 上で動作する BLE 通信アプリケーションを試作した。動作確認の結果、呼吸の方向や呼吸量の変化を、センサの差圧変化として Android 上で動作確認し、製品化仕様の基本システムを構築することができた。今後、長距離通信の実用性検証を進めていく予定である。

5. 考察・まとめ

4.1 項で示した通り、本システムで得られた差圧値は 2 次関数と高い相関がある。これは流路内の流量 Q と差圧 ΔP の間に、 $Q^2 \propto \Delta P$ の関係が成立することを想定した流路設計の結果といえる。また、加工精度や表面粗さ等の誤差要因に対しては、解析値と実測値の差に関する検証を進め、適切な補正係数を設定することで、測定精度の向上を図る予定である。今後は、研究開発体制を活かし、被験者試験を実施する等して、測定精度や利便性の更なる向上を図り、製品化の実現を目指す。

謝辞

本件は H27 年度ノーステック財団「研究開発助成事業」および H29 年度「北洋銀行ドリーム基金」を受け実施した。関係者各位に深く感謝申し上げます。

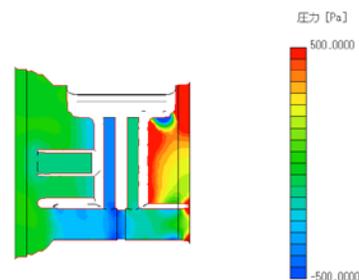


図 4. 圧力分布 解析結果

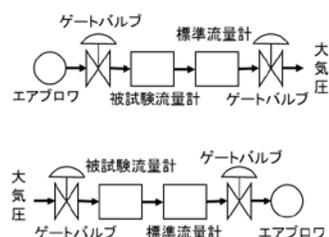


図 5. 実験校正装置 構成図

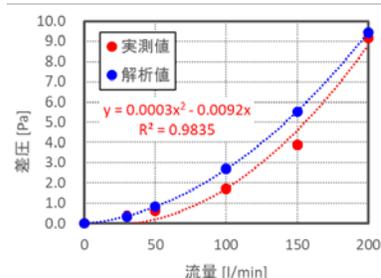


図 6. 解析値-実測値グラフ

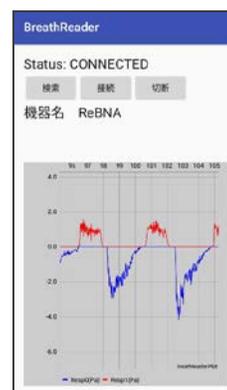


図 7. Android アプリケーション外観