

チューブ発声法による音声リハビリ支援システム 「スマートチューブ」の開発*

○川村直子（姫獨大），北村達也，濱田賢汰（甲南大）

1 はじめに

音声障害患者が行う音声リハビリのチューブ発声訓練では，発声中の共鳴や顔面皮膚振動感覚が重要なフィードバックになる．しかしながら，実際の発声訓練で言語聴覚士が訓練中の患者の共鳴や顔面皮膚振動の感覚を定量化してバイオフィードバックできる手段はなかった．そこで，我々は先行研究でチューブ発声訓練時の顔面皮膚振動を利用したバイオフィードバックシステムを開発した[1]．本研究では，このシステムをさらに低コスト化・小型化し，チューブ発声訓練中の振動の大きさを LED の光でフィードバックできる音声リハビリ支援システム「スマートチューブ」を開発したので報告する．

2 チューブ発声法

チューブ発声法とは，音声リハビリの発声訓練で用いられる手法（Semi-Occluded Vocal Tract Exercises: SOVTE）の一つであり，音声障害患者の治療から声楽のウォーミングアップまで広く利用できる（Fig. 1）．実際は，細いチューブ（例：ストロー）を口に軽くくわえてストローを吹く要領で楽な発声を 5～10 秒持続し，反復する．その原理は，細いチューブによる声道延長に加えて声道の一端（口唇部）の断面積を小さくすることで，フォルマント同調及び声門上の声道インピーダンスの適合が起こり，声帯に負担をかけないで効率のよい響きのある発声を導くとされている[2][3]．実際に，先行研究において，チューブ発声中の声道形態の変化（軟口蓋の挙上，下咽頭領域の拡大，喉頭位置の低下等），声帯振動の変化（声帯振動振幅の増大，声門閉鎖率の低下等），発声機能の変化（発声時平均呼気流の増大，起声閾値圧の低下等）が確認されており，チューブ発声は音声リハビリに有効な発声訓練法と言える．

チューブ発声訓練では，効率の良い発声が行われた際，口唇周辺部に強い振動感覚を自覚する．この振動感覚は声道の一端（口唇部）の断面積を小さくした時の口腔内音圧の増幅に起因し，チューブ発声訓練の一つの到達目標になるとされている[4]．その振動は，ストローの壁面でも捉えることができると考えられるため，本研究ではストロー壁面の振動をバイオフィードバックに利用することとした．



Fig. 1 Tube phonation exercise.

3 スマートチューブのプロトタイプ

3.1 構成と機能

スマートチューブは，チューブ発声時のストロー壁面の振動の大きさを LED テープの発光によりフィードバックするシステムである．本システムは，Fig. 2 に示すように加速度センサ，アンプ，マイコンボード，LED テープ等により構成されている．加速度センサ，アンプ，LED テープへの給電はマイコンボードから行われる．加速度センサと LED テープはストローに固定されているが，衛生面に配慮してストローを簡単に交換できるようになっている．

ストロー壁面の振動は，加速度センサ（Analog Devices, ADXL335 搭載のモジュール GY-61）により計測する．この加速度センサは 3 軸の加速度を計測することができるが，本研究ではストロー壁面に垂直な方向（センサの Z 軸方向）の加速度のみ利用する．加速度センサの出力をアンプ（秋月電子通商, AE-MICAMP）にて増幅し，マイコンボード（Arduino Uno）に入力する．Arduino の制御

* A supporting system for voice rehabilitation by tube phonation exercise, Smart Tube, by KAWAMURA, Naoko (Himeji Dokkyo Univ.) , KITAMURA, Tatsuya, and HAMADA, Kenta (Konan Univ.) .

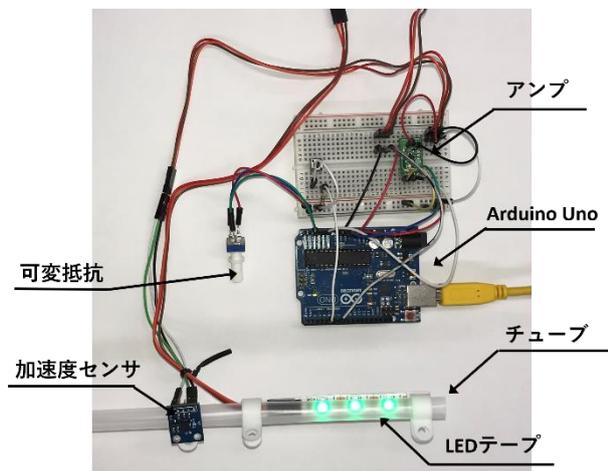


Fig. 2 Prototype of Smart Tube system.

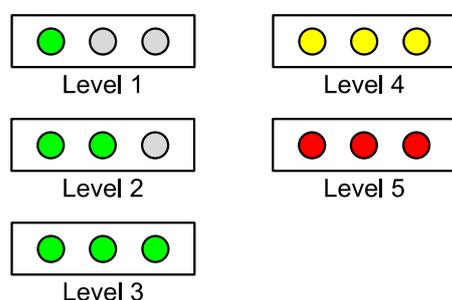


Fig. 3 Lighting patterns of LED strip.

は Arduino IDE 上にて開発したプログラムにて行った。Arduino では、アンプの出力を標準化周波数 1 kHz にて A/D 変換し、手ぶれの影響を除去するため、カットオフ周波数 50 Hz のハイパスフィルタを施した。その後、0.1 s ごとに振幅の平均値を求め、その値に基づいて Fig. 3 に示す 5 パターンで LED テープを点灯させた。本研究ではフルカラーで点灯できる LED 3 個を用い、それをストロー下面に固定した。これは、LED が発光した時にストローがネオンのように発光する視覚効果を狙ったものである。

Fig. 3 に示す 5 パターンは、Level 1 がやや小さい振幅、Level 2, 3 が適正な振幅、Level 4 がやや過度な振幅、Level 5 が過度な振幅に対応する（振幅が小さすぎる場合は全ての LED が消灯する）。なお、利用者による振動の大きさの違いに対応するため、可変抵抗によって閾値を調整できるようにしている。

以上のシステムにより、これまで主観的感覚に頼るしかなかった振動感覚のフィードバックを、ストロー壁面の振動を利用することによって定量的かつ視覚的にフィードバック

することができる。

3.2 PC との連携

スマートチューブは、USB ケーブルもしくは Bluetooth モデム（SparkFun Electronics, BlueSMiRF Silver）を介して有線、無線通信にて加速度のデータを PC に送信することができる。いずれの場合も Windows PC では COM ポート経由でデータを受信する。

このデータをジェネラティブ・アート等のプログラムと連携させ、受信したデータに応じて表示を変化させることが可能である。これによって、リハビリの単調さを低減し、継続への意欲を維持することが期待できる。

4 おわりに

本稿では、チューブ発声法による音声リハビリテーションを支援するシステム「スマートチューブ」のプロタイプについて説明した。スマートチューブを用いれば、客観的なデータに基づくリアルタイムなフィードバックにより、適切な発声への誘導と患者の正確な自主練習が実現できる。

現在、スマートチューブはブレッドボードを用いて実装されているが、今後、一般のユーザに貸し出しできるようにパッケージ化を行う。そして、実際の訓練においてスマートチューブを評価する。さらに、PC やスマートフォン等と連携させ、訓練経過を管理する機能を実現する計画である。

謝辞

本研究は、2019 年度ひょうご科学技術協会、2019 年度カワイサウンド技術・音楽振興財団の支援を受けた。

参考文献

- [1] 川村, 北村, 城本, 音声言語医学, 59, 334-341, 2018.
- [2] Story, Laukkanen, Titze, J. Voice, 14(4), 445-469, 2000.
- [3] Titze, J. Speech Lang. Hear. Res., 49, 448-459, 2006.
- [4] 城本, ST のための音声障害診療マニュアル, インテルナ出版, 2008.