

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：37702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500648

研究課題名(和文) 頸部筋電位信号により制御を行う発声時に使用する医用福祉用デバイスに関する研究

研究課題名(英文) Development of medical-welfare devices for vocal handicapped patients controlled by neck myoelectric signal

研究代表者

大恵 克俊(Ooe, Katsutoshi)

第一工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80388123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は発声機能に障害をもつ患者のQOL向上を目的とした、頸部筋電位信号により制御を行う発声補助装置の実現を目的とする。発声補助装置とは人工喉頭や発声時に使用する小型ポンプ、電気制御型スピーチバルブ等を指す。

本研究期間内においては、制御ユニットの小型化、制御パラメータの最適化による制御性の向上、人工喉頭の音源性能の向上、小型ポンプおよびスピーチバルブの小型化および最適化設計を行った。

研究成果の概要(英文)：This research aims the development of speech assistance devices controlled by neck myoelectric signal. The target of this study is QOL improvement for vocal handicapped patients. The speech assistance devices mean the artificial larynx, the compact pump unit for vocalization and the electrical control-type speech valve, etc.

In this research duration, the following items were implemented: the miniaturization of control unit, the improvement of controllability, sound-source performance for artificial larynx, the miniaturization and optimization-based design of pump unit and speech valve.

研究分野：医用福祉機器工学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション工学・福祉工学

キーワード：代用発声法 表面筋電位 人工喉頭 スピーチバルブ 胸骨舌骨筋 圧電発音体 圧電ポンプ

1. 研究開始当初の背景

喉頭癌や喉頭障害により声帯の声帯原音発声機能を消失した患者は、人間の音声の音源を失うため、発声が不可能となる。またALSや筋ジストロフィー等で人工呼吸器による呼吸管理を行う必要が生じた際にも、声帯を呼気が通過しなくなるため発声機能を喪失する。そのような患者のため、音源機能を代替する代用発声法が考案され、実用もされている。しかし、いずれの代用発声法も修得性や音声明瞭度等に問題を抱えており、満足しうる代用発声法は未だ実用化されていない。

そこで私はこれらの問題点を克服した人工喉頭の実現を目指し、研究を行ってきた。私が提案する人工喉頭は、以下の3点を特徴とする。

- (1) 音源に軽量小型な圧電発音体を使用
圧電発音体は軽量・小型かつ低消費電力でノイズの発生も少ないため、医療現場には非常に適している。
- (2) 音源部と体内設置部を分離
生体適合性の高い材料で作製した体内設置部（カニューレ・レティナ等）を使用し、音源部とチューブで接続する構造を持つことで、システムとして高い生体適合性を有する。また音源で発生した原音を気管内に導き放射させることで、より高音質な音声を得ることができる。
- (3) 頸部筋電位信号による制御
発声時および声の高さを調節するとき活動する胸骨舌骨筋の筋電位信号を制御信号とすることで、ピッチ周波数とオンオフ制御を行い、ハンズフリーを実現する。

これまでの成果で、音源形状の最適化による発生音の改良と、胸骨舌骨筋の筋電位信号による人工喉頭のオンオフ制御が確実に行え、ピッチ周波数制御実現の可能性が示されている。

またこの人工喉頭の制御を行うシステムとして、PCを用いないコンパクトなものを実現した。この制御ユニットはオンオフ制御が可能であり、「発声時にのみオンになる」福祉機器への応用が期待される。そこでこれらの福祉機器として、発声用小型ポンプとスピーチバルブに着目し、その試作を行った。その結果、以下の項目が確認された。

- (1) 発声用小型ポンプ
圧電素子を用いた小型ポンプを8基備えたポンプユニットを作製、必要十分な流量を得ることができた。
- (2) スピーチバルブ
頸部筋電位信号を用いて開閉制御可能なスピーチバルブを作製し評価した結果、既存品と比べて楽な呼吸を実現できた。

2. 研究の目的

本研究課題の申請時における目的は、以下の6点（小分類含む）である。

- (1) 人工喉頭の音源形状およびシステムとしての最適化
 - ① ピッチ周波数制御の最適化：ピッチ周波数制御のパラメータを最適化することで、よりよい制御性の実現と音声諒解度の向上を目指す。
 - ② 音源形状の最適化：これまでの成果から、圧電発音体の形状を変えることで、発生音の調節が可能となることが示唆されている。そこで、音源形状の最適化による発生音の低周波数化および周波数特性の向上、さらに音圧の向上にも取り組む。
 - ③ システムの最適化：体内設置部の形状を音源で発生させた原音をロスなく気管内に導入可能な形状を模索し、人工喉頭システムとしての形状最適化を行う。
- (2) 発声用小型ポンプの小型化・最適化設計
流路形状・ポンプの配置等の最適化を進め、高効率化と小型化を行う。小型化に関しては、ポケットサイズを目標とする。
- (3) 電気制御型スピーチバルブの小型化・高効率化およびシステムとしての最適化
主として小型化を進める。第一段階としてポケットサイズ、第二段階としてカニューレに直接結合可能なサイズを目指す。
- (4) コミュニケーションエイドの制御手法の模索
制御信号の適用に関する考察から開始し、最適な制御信号の判別と、その適用までを行う。

3. 研究の方法

本研究課題は頸部筋電位制御システムを中心とした、発声補助用福祉デバイス「群」の開発を目的としている。これらのデバイス群の概念図を図1に示す。研究の方法はそれぞれのデバイスに関わるものであり、前節研究目的に示した項目に沿って述べる。



図1 発声補助用福祉デバイス「群」

- (1) 人工喉頭の音源形状およびシステムとしての最適化
 - ① ピッチ周波数制御の最適化：多数の被験者による詳細な測定を行い，筋電位信号からピッチ周波数へ変換する際のパラメータの最適化を行う。
 - ② 音源形状の最適化：有限要素法を用いたシミュレーションによる最適化設計を行い，その結果に基づき試作を行う。
 - ③ システムの最適化：制御ユニットの小型化や，使いやすさの観点からの改良を含むシステムとしての最適化を行う。
- (2) 発声用小型ポンプの小型化・最適化設計

小型化・最適化のために圧電ポンプの配置と流路形状の最適化を行う。流路形状はシミュレーションを活用する。
- (3) 電気制御型スピーチバルブの小型化・高効率化およびシステムとしての最適化

気流抵抗の低減を目的としたバルブ形状を，有限要素シミュレーションを用いて解析，最適化を行う。全体の寸法もカニューレに直接接続可能なサイズにまで小型化を進める。
- (4) コミュニケーションエイドの制御手法

コミュニケーションエイド制御に必要な頸部筋電位信号から得られる最適な信号を求める。今研究期間では実施に至らなかった。

4. 研究成果

本研究課題の成果として，以下の5点が得られた。

- (1) 圧電発音体の発生音の低周波数化

これまでに行ってきた圧電発音体の振動板とアクチュエータを分離し，かつ剛性を低下させる手法を進め，さらなる形状最適化による発生音の低周波数化を行った。有限要素法によるシミュレーションを利用し，また空気抵抗等のパラメータを含めた解析を進めた結果，図2に示す形状が得られた。この形状を持つことで共振周波数の低下と，音圧の向上が確認された。しかし，シミュレーション上でも十分な音圧を得ることができず，試作までには至らなかった。今後のさらなる形状最適化が必要であると考えられる。

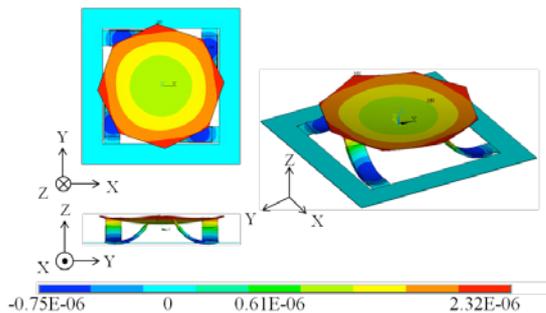


図2 圧電発音体の有限要素シミュレーション結果

- (2) ピッチ周波数制御の最適化

胸骨舌骨筋の筋電位信号から求めたRMS値と発声音のピッチ周波数を図3に示す。

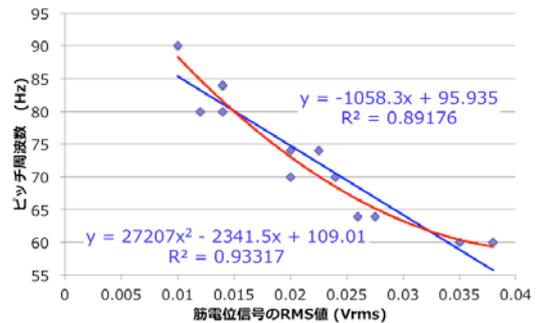


図3 筋電位信号と発声音の関係

この図より筋電位信号をピッチ周波数との間には従来報告されてきた線形の関係よりも，2次関数を用いた関係の方が高い適合度を持つことが明らかとなった。またこの傾向は被験者9名中7名に見られた。このような2次関数による制御パラメータを用いて，高音，中音，低音の三段階のピッチ周波数制御試験を行った結果，線形関数を使用した際のエラー率31%から13%へと改善が見られ，本パラメータの優位性が明らかとなった。

- (3) 制御システムの形状改良

前年度までの成果で125mm×75mm×40mmのサイズにまで小型化した制御システムであるが，実用化後には使用者や湿度，温度等の変化による制御パラメータ（主としてオンオフのしきい値）を設定変更する必要が生じる。この設定変更を容易に行える形状を模索した。同時に携帯性の向上についても考察し，薄型化した形状を提案した。提案した形状のモデルを作製し，アンケートによる使用感の評価を行った。その結果，選ばれた形状を図4に示す。左は006P型電池使用を想定したもの，右は薄型バッテリーの使用を想定したものである。



図4 アンケートにより選ばれた「使いやすい」制御ユニットの形状

(4) 発声用小型ポンプの改良

発声用小型ポンプの使用イメージを図5に示す。発声用小型ポンプユニットは、カニューレに設けた副腔より気管内に空気を送り込み、カニューレを装着したままでの発声を可能とするものであり、これまで8基の小型圧電ポンプを使用してきたが、必要十分な圧力を得ることができなかった。そこで、ポンプを10基に増やすことで圧力の向上を目指し、かつ小型化のためのポンプ配置、および吐出能力向上のための流路形状の改良を、有限要素解析を用いて実施した。

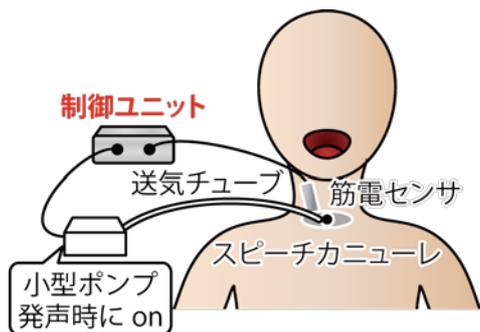


図5 発声用小型ポンプ使用時の概略図

その結果、1) 小型ポンプをユニット両面に互い違いに配置し、2) ポンプからの流路形は出口直前まで一定であり、3) 全ポンプからの流路を一度に集合させるのではなく、一つずつ主となる流路に合流させ、4) 出口付近で管径を「細い→太い→細い」と変化させる手法が、流量・圧力共に優れていることが確認された。この結果を基に作成したモデルを図6に示す。残念ながら本研究期間では、試作までを行うことができなかった。

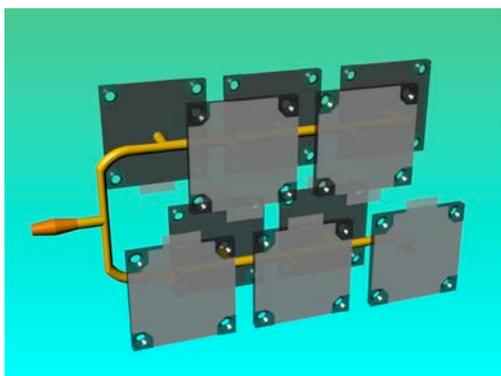


図6 改良型発声用小型ポンプの概略図

(5) スピーチバルブの改良

小型筋電位制御型スピーチバルブ使用時の模式図を図7に示す。スピーチバルブを筋電位信号で制御することで、発声時にのみ閉、呼吸時は全開となるために楽な呼吸を実現可能であることが確認されている。これまでのスピーチバルブは

大型であり携帯性に乏しかったが、実用するためにはカニューレに装着する必要がある。

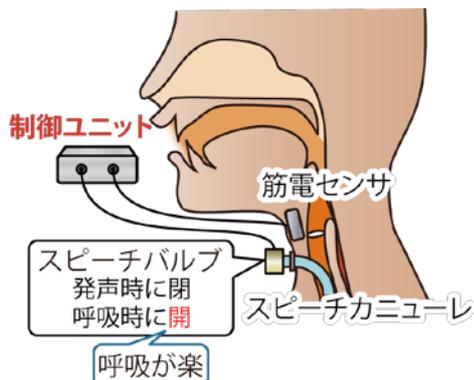


図7 筋電位制御型スピーチバルブ使用時の模式図

そこで図8に示す形状のスピーチバルブを提案した。バルブの外径を30mm、開閉機構を回転式とすることで、従来のスピーチバルブの3倍強の開口面積を確保した。またバルブ内の気流流路に整流板を設置することで流れがスムーズになり、気流抵抗が低減されることが有限要素解析の結果から確認された(図9)。今後は流路形状の最適化を進め、よりよい形状を決定する必要がある。

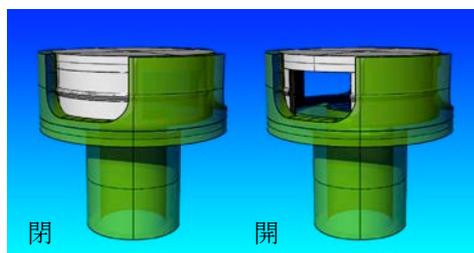


図8 小型スピーチバルブの模式図

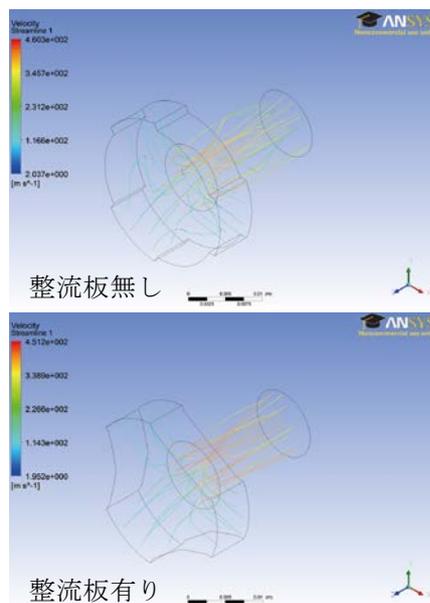


図9 バルブ内の気流の流線

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 大惠克俊, 頸部筋電位信号を用いた発声補助装置制御システムに関する研究, 平成 23 年度第一工業大学研究報告, 査読有, 第 24 号, 35-40
ISSN:2187-0462
<http://karn.lib.kagoshima-u.ac.jp/handle/123456789/14620>

[学会発表] (計 12 件)

- ① 今井尚, 槌谷和義, 大惠克俊, 人工喉頭における圧電振動体の音響評価, 2013 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2014.3.18-20, 東京
- ② 橋元佑矢, 大惠克俊, 人工喉頭用筋電位制御システムの最適化, 日本機械学会九州学生会第 45 回学生員卒業研究発表講演会, 2014.3.4, 福岡
- ③ 山元貴文, 大惠克俊, 筋電位制御型発声用小型ポンプの最適化設計, 日本機械学会九州学生会第 45 回学生員卒業研究発表講演会, 2014.3.4, 福岡
- ④ 山之内克之, 大惠克俊, 小型筋電位制御ユニットの最適化設計, 日本機械学会九州学生会第 45 回学生員卒業研究発表講演会, 2014.3.4, 福岡
- ⑤ Katsutoshi Ooe, A speech assistance compact pump system with piezo micro pump units, ICFPAM 2013, 2013.12.8-13, Auckland
- ⑥ 大惠克俊, 頸部筋電位信号により開閉制御を行う小型スピーキングバルブの提案, 第 58 回音声言語医学会総会・学術講演会, 2013.10.17-18, 高知
- ⑦ 大惠克俊, 頸部筋電位信号を用いた発声補助デバイスの開発, 日本機械学会九州支部鹿児島講演会, 2013.9.27-28, 鹿児島
- ⑧ 今井尚, 槌谷和義, 大惠克俊, 空気を考慮した人工喉頭における圧電振動体の最良条件の探索, 2013 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2013.9.12-14, 吹田
- ⑨ 大惠克俊, 安里翼, 櫻井康平, 低呼吸抵抗を目指した電気制御型スピーキングバルブの提案, 第 28 回リハ工学カンファレンス, 2013.8.22-24, 盛岡
- ⑩ Katsutoshi Ooe, Reina Kishimoto, Masahiro Nakajima, Kosuke Sekiyama, Toshio Fukuda, Controllable artificial larynx using neck myoelectric signal, 2012 International Symposium on Micro- NanoMechatronics and Human Science, 2012.11.4-7, Nagoya
- ⑪ 大惠克俊, 頸部筋電位信号を用いた電気式人工喉頭のオンオフとピッチ周波数制御, 第 57 回日本音声言語医学会総会・学

術講演会, 2012.10.18-19, 大阪

- ⑫ Katsutoshi Ooe, Carlos Tercero, Kosuke Sekiyama, Toshio Fukuda, Speech assistance devices controlled by neck myoelectric signal, 2011 International Symposium on Micro- NanoMechatronics and Human Science, 2011.11.6-9, Nagoya

6. 研究組織

(1)研究代表者

大惠 克俊 (OOE, Katsutoshi)
第一工業大学・工学部機械システム工学
科・准教授

研究者番号 : 80388123