

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 30 日現在

機関番号：37702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350685

研究課題名(和文) 頸部筋電位信号により制御を行う発声補助デバイスに関する研究

研究課題名(英文) Research about peech aid device controlled by neck myoelectric signal

研究代表者

大恵 克俊 (Oe, 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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は発声機能に障害を持つ患者の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デバイスの実現を目的としている。本研究における発声補助デバイスとは、人工喉頭、人工喉頭用小型音源、電気制御型スピーキングバルブ、発声時に使用する小型ポンプ、筋電位発生訓練用デバイス等を指す。

本研究期間内においては、制御パラメータの改良による制御性のさらなる向上、人工喉頭の音源性能の向上、スピーキングバルブおよび小型ポンプの形状改良による性能向上、筋電位発生訓練用デバイスの試作を行った。

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 improvement of QOL for vocal handicapped patients. These speech assistance devices mean the artificial larynx, compact sound source for artificial larynx, electrical control-type speaking valve, compact pump unit for vocalization and training device for myoelectric signal generation, etc.

In this research duration, the following items were implemented: the improvement of controllability by new control parameter, the improvement of sound source performance for artificial larynx, the performance improvement of speaking valve and compact pump unit by re-design of their shapes, the trial production of training device for myoelectric signal generation.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：代用発声法 表面筋電位信号 人工喉頭 スピーキングバルブ 圧電発音体 圧電ポンプ

1. 研究開始当初の背景

喉頭癌や喉頭傷害により声帯の声帯原音を発生する機能を喪失した患者は、人間の音声の音源を失うこととなるため発声が不可能となる。また、ALSや筋ジストロフィー等により人工呼吸器による呼吸管理を行う必要が生じた際にも、声帯を呼吸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。

そこでこれらの問題点を克服した人工応答の実現を目指し、研究を行ってきた。本人工喉頭システムの概略を図1に示す。

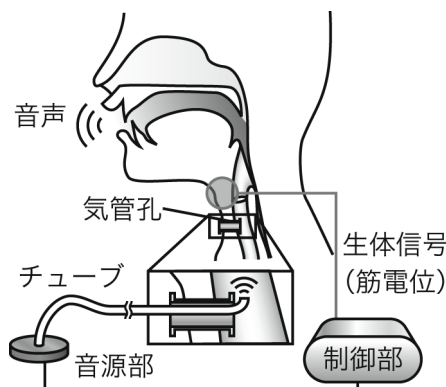


図1 人工喉頭システムの概要図

これまで提案してきた人工喉頭は、以下の3点を特徴とする。

- (1) 音源に圧電発音体を使用：圧電発音体は軽量かつ小型であり、さらに磁力を使用せず、低消費電力・低ノイズ等の特徴を持ち、医療現場での使用に適している。
- (2) 音源部と体内設置部を分離：カニューレ本体やレティナ等の体内設置部に PTFE 等の生体適合性の高い材料を使用し、音源部とチューブで接続させる構造を与えることで、システムとして高い生体適合性を持つこととなる。また音源部で発生した音波を気管内にて放射し、それを原音として発声することでより高音質な音声を得られる。
- (3) 頸部筋電位信号による制御：首の回旋、上下運動に影響されず、発声時および声の高さを調節するときのみ活動する胸骨舌骨筋の筋電位信号を制御信号として用いることで、ピッチ周波数とオンオフの制御を行い、ハンズフリー化を目指す。

この研究過程において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およびピッチ周波数制御に成功した。

この人工喉頭を制御するシステムは「発声時にのみオンになる」制御が可能であり、そ

れを応用した福祉機器として発声補助用小型ポンプと電気制御型スピーキングバルブに着目して研究を行い、以下の結果を得た。

- (1) 発声補助用小型ポンプ：人工呼吸器を用いた呼吸管理時には気管孔より呼吸を行うため発声が不可能となり、呼吸器を外した後の発声に支障を来すことがある。酸素ポンペを用いて発声用の気流を声門部に流し、発声訓練を行う方法があるが、コスト、重量面等の課題を持つ。本制御ユニットにより発声時にのみオンとなる小型ポンプを使用することで、手軽に使用できる。これは流路形状を改良することで性能向上が可能となった。
- (2) 電気制御型スピーキングバルブ：嚥下障害を持つ患者が誤嚥防止に使用するカップ付きスピーチカニューレへ装着するスピーキングバルブは、その構造上発声を伴わない呼吸時にも閉鎖される点や複雑な流路形状に起因する気流抵抗が大きい点などから、息苦しさを感ずることが多いという問題点を持つ。スピーキングバルブを電気制御化し本制御ユニットを用いて発声時にのみ閉鎖させることで、息苦しさが軽減された。またバルブ形状の改良により気流抵抗の低減が確認された。

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5点（小分類含む）である。

- (1) 人工喉頭の最適化
 - ① 音源形状の最適化：音源形状の最適化による発生音の改良を行う。これまでの成果を踏まえ、より低い周波数を発生させる形状および、音圧の向上や発生音の周波数特性の向上を目指す。
 - ② 体内設置部形状の最適化：カニューレおよびレティナ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できる形状を模索し、システムとしての最適化を進める。
- (2) 制御システムの最適化：携帯しやすさとパラメータの微調整のし易さを兼ね備えた形状の実現と、制御パラメータの最適化を進める。制御パラメータはピッチ周波数制御に関して現在の3段階制御で87%の制御成功率から5段階制御での95%以上を目指す。
- (3) スピーキングバルブの改良：主として小型化と気流抵抗の低減を推進する。小型化はカニューレ・レティナに装着可能なサイズを目標とし、気流抵抗は使用時に息苦しさを感ずない程度を目指す。
- (4) 発声用小型ポンプの改良：吐出圧力の増加と小型化を推進する。流路形状とパッケージングの改良により、吐出圧力は健康人の発声時の気管内圧力を、小型化はポケットサイズを目指す。

3. 研究の方法

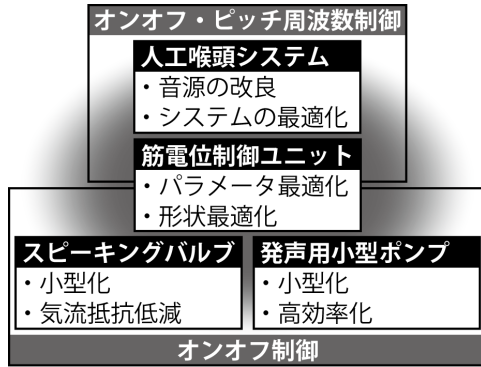


図2 頰部筋電位制御システムを中心とした発声補助用医用福祉デバイス

本研究は図2に示すように筋電位制御ユニットを中心とした医用福祉デバイス「群」に関するものである。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。

- (1) 人工喉頭の最適化
 - ① 音源形状の最適化：有限要素解析を活用し、これまで真空条件下で行っていた解析に加え、空気層を含んだ解析により最適化を行う。この最適化には音源特性の最適化も含む。またスパッタリング法を用いた圧電薄膜を利用して音源の試作に着手する。
 - ② 体内設置部形状の最適化：有限要素解析により、最適な流路形状に関する研究を行う。
- (2) 制御システムの最適化：被験者数を増やし、これまでに得られた新しい制御パラメータについての検証およびさらに適したパラメータの導出を行う。
- (3) スピーキングバルブの改良：バルブ内部への整流板設置が気流抵抗低減に効果的であるため、この整流板の形状および位置の最適化に関して、有限要素解析を用いて実施する。また小型化に関しても検討を行う。
- (4) 発声用小型ポンプの改良：ポンプ配置および流路設計の最適化を有限要素法により進める。特に流路の合流方法や合流部の形状に関して重点的に解析を行う。同時に小型化に関しても検討を行う。

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) 音源形状の最適化

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、さらに空気層を考慮に入れた条件で有限要素解析によりシミュレーションを実施した。その結果、図3に示す音場解析結果が得られ

た。この結果からは発生音の弱さが明らかとなったが、振動板の質量の増加および低剛性化による音圧レベルの増加が予測され、今後の研究方針の目安となる成果が得られた。今後は本手法を応用して、さらなる最適化を進める予定である。本内容は原著論文として発行された。

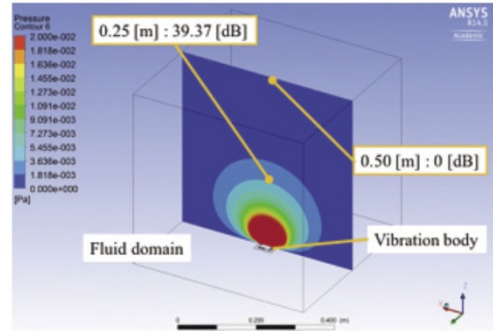


図3 有限要素法による音場解析結果

(2) 制御システムのパラメータ最適化

人工喉頭のピッチ周波数制御を行うために、胸骨舌骨筋の筋電位信号と発声音のピッチ周波数の相関関係を、被験者および試験回数を増やしてより詳細に調査を行った。その結果の一例を図4に示す。

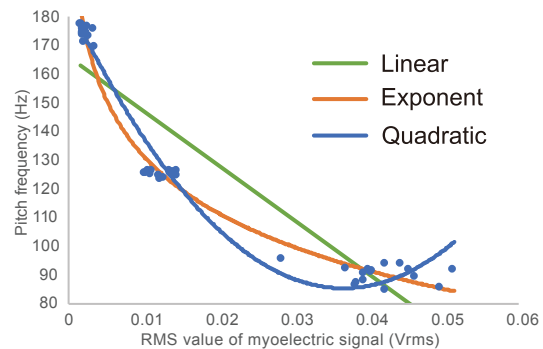


図4 筋電位信号と発声音の関係

この図より筋電位信号とピッチ周波数の間には、従来報告されていた一次関数やこれまでの報告で述べた二次関数（多項式）よりも対数関数の方が適していると考えられた。しかし5名の被験者が合計122回実施した結果から得られた決定係数の平均値では、多項式0.952に対し対数0.955と僅差であった。本パラメータを用いて、2名の被験者で高音、中音、低音の3段階のピッチ周波数制御実験を行った結果を表1に示す。

表1 ピッチ周波数制御実験結果

	エラー率 (%)	
	多項式	対数
被験者 1	28	6
被験者 2	31	11

この結果より、エラー率が多項式の

28%および 31%に対し対数では 6%および 11%と著しく改善した。以上により、本パラメータの優位性が明らかとなった。今後はこのパラメータを基にした制御閥数の最適化を進め、小型化した制御ユニットに実装し、実用化を目指した研究を行う。

(3) スピーキングバルブの形状改良

これまでに既存のスピーキングバルブに対する本バルブの優位性は明確となっており、バルブ内への整流板設置によりその気流抵抗が低減し、広い流路を確保するとその効果が大きいことが確認されていた。図5に整流板の例を示す。

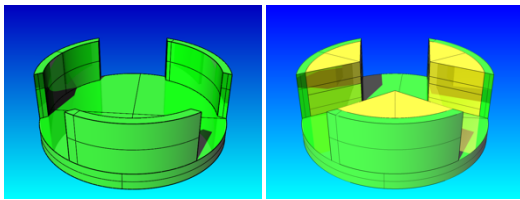


図5 整流板形状の例 (左: 整流板なし, 右: 整流板あり)

これまでは吸気についてのみ有限要素を実施していたが、呼気についても解析を行ったところ、逆に流路が狭い方が気流抵抗が少ないことが明らかとなった。そこでこれまでは左右対称であった整流板形状を変更し、非対称な形状として解析を行った。非対称な整流板の例を図6に示す。

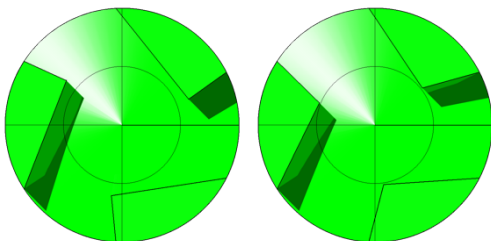


図6 非対称清流板の例 (左: 中心角度 93.2° , 右: 中心角度 108.3°)

このように整流板を非対称とすることで、呼気、吸気ともに $102\sim 108^\circ$ 付近で圧力損失が最小となる傾向が見られた。図

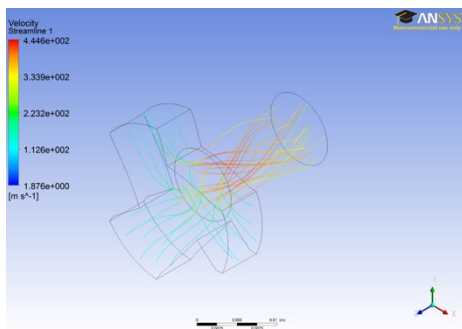


図7 中心角度 108.3° の非対称型整流板, 呼気時におけるバルブ内の流線

7に中心角 108.3° , 呼気時の流線を示す。この図よりバルブ中心部で大きい渦の存在が確認され、これが気流抵抗の低減に対して何らかの影響を与えていると考えられる。今後はさらに細かく条件を変え、より最適な形状を模索する。

(4) 発声補助用小型ポンプの形状改良

これまでの成果で小型ポンプを10基使用することで、必要な性能が得られる見通しが立った。そこでより高い性能を得るために、流路形状の最適化に関する研究を行った。変化させるパラメータとして、合流前後での断面積変化の有無 (図8), 合流箇所の配置 (図9), 合流のさせ方 (図10) を選択, それぞれについて有限要素解析を実施, 出口での流速および流量で評価した。

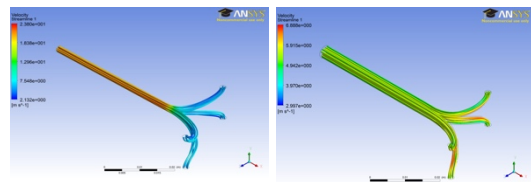


図8 合流前後での断面積変化の有無 (左: 変化なし, 右: 変化あり)

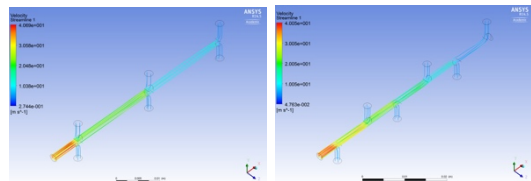


図9 合流箇所の配置 (左: 対面配置, 右: 千鳥配置)

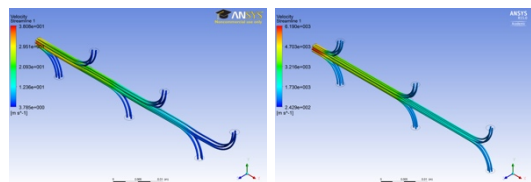


図10 合流のさせ方 (図9と比較, 滑らか (図10) か否か (図9))

有限要素解析の結果から、図10左側の合流方法が最も優れた値を示した。

(5) 筋電位信号発生訓練用デバイスの試作

研究の過程において、筋電位信号と発声周波数の関係を求める実験を行っている被験者が、回数をこなすことでよいデータが得られる傾向が見られた。これは筋活動を数値化することで筋肉の動きに注意を払いながら動作実験を行うことにより、効率よく筋電位信号を出す手段を身につけていくためであると考えられた。そこで将来的な幼・小児用発声補助デバイスの実現のため、幼・小児が飽きることなく効果的に筋電位信号の発声訓練を行

うためのデバイスの開発に着目した。本来、本研究期間では実施する予定はなかったが、成人の実験結果から非常に有効であると考え、研究を実施した。

子供が興味を持つものとして、LEGO社製 Mindstorms に着目し、これを筋電位信号で制御させ、ゲーム性を付与することで子供が飽きることなく訓練することが可能である。デバイスの概要を図1に示す。これまでに作製した制御ユニットを応用し、入力を2系統に増加、効果確認実証のため測定しやすい両腕の浅指屈筋の筋電位を用いて左右旋回する機能を実装した。

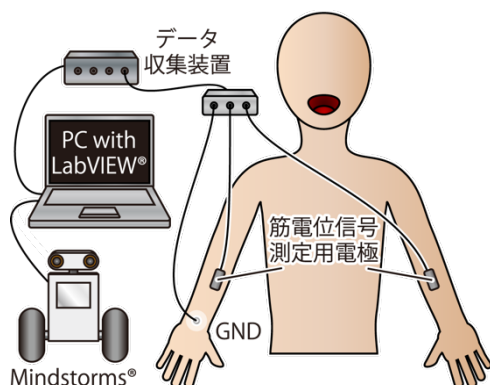


図1-1 Mindstorms を用いた訓練システムの概略図

実際に小児4名に使用させ、コースを周回するタイムアタックを行わせた結果、全員熱中して操作し、終了時には腕に疲労感を感じたとの感想が得られた。これは筋肉を効果的に訓練することができたと考えられ、本デバイスの有効性が確認された。今後はワイヤレス化やさらなるゲーム化の付与を行い、より使いやすいデバイスとする予定である。

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 4件)

- ① Katsutoshi Oe, Kohei Sakurai, Shape optimization of neck myoelectric control-type speaking valve, Proceedings of 2014 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 査読有, 2014 (CD-ROM)
- ② 槌谷和義, 今井尚, 大恵克俊, 上辻靖智, 人工喉頭における PZT 圧電振動体設計および音響特性評価, スマートプロセス学会誌, 査読有, 5, 2016, 53-58
- ③ Katsutoshi Oe, Masaaki Mimaki, Neck myoelectric signal control-type speaking valve with low flow resistance: Proposal of asymmetric type baffle plate, Proceedings of 2016 International

Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 査読有, 2016 (CD-ROM)

- ④ 大恵克俊, 筋電位により制御を行うスピーキングバルブに関する研究, 平成 28 年度第一工業大学研究報告, 査読無, 29, 2017 (印刷中)

[学会発表] (計 22件)

- ① Katsutoshi Oe, Reina Kishimoto, Yuya Hashimoto, Proposal of myoelectric control-type electrolarynx, ARATA Conference 2014, 2014.8.20-22, Camberra (Australia)
- ② 大恵克俊, 植屋友謙, 富田裕亮, 頸部筋電位を用いた幼・小児用嚙下訓練用デバイスの開発, 2014.8.24-27, 広島国際大学 (広島県・呉市)
- ③ 大恵克俊, 気流抵抗の少ない形状を持つ筋電位制御型スピーキングバルブに関する研究, 第 59 回音声言語医学会総会・学術講演会, 2014.10.9-10, アクロス福岡 (福岡県・福岡市)
- ④ Katsutoshi Oe, Kohei Sakurai, Shape optimization of neck myoelectric control-type speaking valve, 2014 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2014.11.9-12, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)
- ⑤ 櫻井康平, 大恵克俊, 筋電位制御型スピーキングバルブの形状最適化, 日本機械学会九州学生会第 46 回学生員卒業研究発表講演会, 2015.3.3, 北九州高等工業専門学校 (福岡県・北九州市)
- ⑥ 宮田憲幸, 大恵克俊, 電気式人工喉頭制御システムのパラメータ最適化, 日本機械学会九州学生会第 46 回学生員卒業研究発表講演会, 2015.3.3, 北九州高等工業専門学校 (福岡県・北九州市)
- ⑦ 宮田章也, 大恵克俊, 発声用小型ポンプユニットの流路形状最適化, 日本機械学会九州学生会第 46 回学生員卒業研究発表講演会, 2015.3.3, 北九州高等工業専門学校 (福岡県・北九州市)
- ⑧ 大恵克俊, 櫻井康平, 筋電位制御型スピーキングバルブの最適化設計, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 2015.5.17-19, みやこめっせ (京都府・京都市)
- ⑨ Katsutoshi Oe, Kohei Sakurai, Shape optimization of electrical control-type speaking valve controlled by neck myoelectric signal, RESNA Annual Conference 2015, 2015.6.10-15, Sheratom Denver Downtown (Denver, USA)
- ⑩ 大恵克俊, 櫻井康平, 楽な呼吸のための頸部筋電位制御型スピーキングバルブの提案, 日本機械学会 2015 年度年次大会,

- 2015.9.13-16, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ⑪ 大惠克俊, 植屋友讓, 濱田知大, *Mindstorms* を用いた筋電位信号で制御する幼・小児用玩具に関する研究, 第 30 回リハ工学カンファレンス, 2015.11.13-15, 沖縄県総合福祉センター (沖縄県・那覇市)
 - ⑫ Tomohiro Hamada, Katsutoshi Oe, Study on device control by myoelectric signal for *Mindstorms*, International Conference on Functional Materials and Applications, 2015.11.27-29, 立命館大学 (滋賀県・草津市)
 - ⑬ Katsutoshi Oe, Kohei Sakurai, Shinya Mimaki, Development of myoelectric control-type speaking valve with low flow resistance, SPIE Micro+Nano Materials, Devices and Applications, 2015.12.6-9, Sydney University (Sydney, Australia)
 - ⑭ 菊永洗希, 大惠克俊, 筋電位信号制御型人工喉頭の最適な制御パラメータの導出に関する研究, 日本機械学会九州学生会第 47 回学生員卒業研究発表講演会, 2016.3.4, 鹿児島高等工業専門学校 (鹿児島県・霧島市)
 - ⑮ 濱田知大, 大惠克俊, *Mindstorms* を用いた筋電位信号による機器制御に関する研究, 日本機械学会九州学生会第 47 回学生員卒業研究発表講演会, 2016.3.4, 鹿児島高等工業専門学校 (鹿児島県・霧島市)
 - ⑯ 三牧真也, 大惠克俊, 筋電位信号制御型スピーキングバルブの流路形状の改良に関する研究, 日本機械学会九州学生会第 47 回学生員卒業研究発表講演会, 2016.3.4, 鹿児島高等工業専門学校 (鹿児島県・霧島市)
 - ⑰ 大惠克俊, 国師翔平, 菊永洗希, 筋電位制御型人工喉頭の制御パラメータに関する研究, 第 31 回リハ工学カンファレンス in こうち, 2016.8.26-28, 高知県立ふくし交流プラザ (高知県・高知市)
 - ⑱ 大惠克俊, 筋電位信号制御型人工喉頭の制御パラメータの改良. 第 61 回音声言語医学会総会・学術講演会. 2016.11.3-4, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
 - ⑲ Katsutoshi Oe, Masaaki Mizoguchi, Neck myoelectric control-type speaking valve with low flow resistance: Proposal of asymmetric type baffle plate, 2016 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2016.11.28-30, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)
 - ⑳ 国師翔平, 大惠克俊, 筋電位信号制御型人工喉頭の制御性向上に関する研究, 日本機械学会九州学生会第 48 回学生員卒業研究発表講演会, 2017.3.3, 琉球大学 (沖縄県・中頭郡)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大惠 克俊 (OE, Katsutoshi)
第一工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 80388123

(3) 連携研究者

新井 史人 (ARAI, Fumihito)
名古屋大学・工学研究科・教授
研究者番号: 90221051

(4) 研究協力者

槌谷 和義 (TSUCHIYA Kazuyoshi)
東海大学・工学部・教授