

令和 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2023

課題番号：17K01555

研究課題名（和文）構音・発声器官の機能を模擬する発話障害者の音声支援器に関する研究

研究課題名（英文）Speech assisting device for speech disabled person by simulating function of articulator and vocal organ

研究代表者

藪 謙一郎（Yabu, Ken-ichiro）

東京大学・先端科学技術研究センター・特任研究員

研究者番号：50626215

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本課題は「構音器官（舌）の動き」を「指の動き」に代替して、アナログ楽器のようにリアルタイムに無段階的に声を操作する音声生成方式を発展させた研究である。ヒトの発話を「構音」と「発声」の双方の機能を分けて考え、特に、構音障害者に残された「発声」の機能を利用しながら構音機能のみを補うポータブル支援機器を開発した。その過程で、個人音声の再現に必要な要素と、それに必要な入出力インタフェースを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトは肺や声帯、構音器官を巧みに操ることで、意思や要求の程度を調整したりユーモア表現など盛り込んだりすることができ、それらは、個人の尊厳にもかかわる重要な役割を担っている。本課題では、構音器官や発声器官の原理を考慮した方法で音声生成支援を行うことで、本人に残された機能を最大限に活かして発話を支援することを目指し、その過程で音声知覚や発話原理の解明研究に寄与した。従来には無い発話障害支援インタフェースと考慮しており、その社会的な意義は高い。

研究成果の概要（英文）：This research is based on a development of a speech generation system that substitutes "movement of the articulating organ (tongue)" for "movement of the fingers" and manipulates the voice in a real time and stepwise manner like an analog instrument. We have developed a portable assistive device that can complement only the articulation function while using the "vocalization" function remaining for people with articulation disorder. In the process, the required elements for reproduction of personal speech and the required input / output interface were clarified.

研究分野：福祉工学

キーワード：構音障害 音声生成 ホルマント 音韻 声質

1. 研究開始当初の背景

従来の実用レベルで多く使われている従来型の音声出力意志疎通支援装置(VOCA)は、絵の選択や文字入力、録音音声やテキスト音声合成で声を出力する。これらの方式は、伝えたい意味内容を確実に伝えるという面で非常に優れている。その反面、数秒から数十秒の入力時間を要することや、リズムや間、抑揚、多様な声質変化を自由に表現できないという課題があり、円滑なコミュニケーションの障壁となる。そのため、文字入力時間の短縮や抑揚の記号入力手段などの改良研究が国内外ともに主な研究開発対象となっている。近年では発話障害者を対象とした音声変換技術の研究が報告され始めたが、音声認識と音声合成を基本技術とするため、不明瞭音声を認識する試みが難題であり、実用段階には至っていなかった。

代表者らは、図1に示すような操作盤面上を、指やペンでなぞることで、リアルタイムに楽器のように音声を生成できる音声生成器を提案し、開発・改良を行ってきた^[1]。これは、第1ホルマントと第2ホルマント(F1-F2)の座標軸から成り、ヒトが構音する際の舌の位置の關係に類似している。操作盤面上に、指またはペンを置いた瞬間にその位置に応じた音を瞬時に出力し、動く位置に応じて音を無段階的に変化させることで、楽器のように即時性を持たせ、身体の一部のようにしてリズム、間(ま)、抑揚を表現可能とすることを目指したものである。

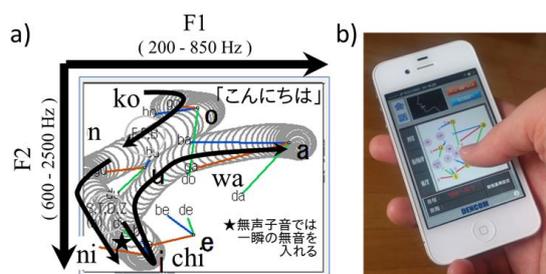


図1 指の位置と動きで操作する音声生成器

先行の研究にて、汎用パソコン上での開発・改良ののち、基礎技術を基にしたスマートフォンアプリも開発されていたが、自然な抑揚制御や起動に要する時間、操作性を改善するには、専用のインターフェースが必要であった。特に、「構音機能」のみに障害があり「発声(原音生成)機能」は正常な場合は、本人の声をできる限り維持して利用することが、上記の解決に重要であり、話者が発声しながら指で操作盤面をなぞると、話者に近い声で話者の抑揚や強弱を保った音声を生成できるようにする専用のポータブル専用機器の開発が求められていた。

2. 研究の目的

本課題では、前述した方式の「構音」と「発声」に相当する双方の機能を改良しながら、ポータブルな専用機器の開発を目標とし、構音・発声機能の双方で、声質再現に必要な手法を検討していく過程で、ヒトの声の再現に必要な要素を、発話原理の観点から明らかにしていくことを目的とした。

3. 研究の方法

「構音機能」については、汎用端末の音声やその他の入出力機能に起因するヒトと音声生成器とのフィードバックのループ時間が1つの課題であることが分かっていた。また、実用上では、待機状態からアプリを起動する時間も問題となる。そこで、可能な限り音声遅延がなく、すぐに起動可能なハードウェアを構築し、入力センサの選定を行いながらヒトの指の動きの速度と発話速度の關係、構音器官の可動範囲と周波数変化の關係等を明らかにしていきながら、構音障害者自身の声を利用した音韻制御アルゴリズムを求めることを目指した。



図2 構音障害を想定した専用機のイメージ

「発声機能」については、特に抑揚の制御方法の改良を目指した。しかし、これまで指の押圧や端末の角度による制御を試みてきたが、一定のコントロールは可能であるものの、自然な抑揚には至っていなかった。その一要因として、ヒトの発声では声帯の緊張だけでなく肺の空気量などの物理的要因が影響し、不可視の複数パラメータを加味する必要があり、モデル化が困難であったため、本課題においては、まず代表者らがこれまでに取り組んできた電気式人工喉頭の技術への応用を鑑み、個人の音声を再現する疑似声帯音の生成の簡易化を目指すこととした。

そのうえで、構音障害のみの話者においては、本人に残存する発声による抑揚をそのまま活かすことができる試作機を開発し、ヒトの声の再現に必要な要素を調べることにした(図2)。

4. 研究成果

(1) 発話音声からの構音成分と発声原音との分離の簡易アルゴリズム

本課題で目指している音声支援器は、音声を直接生成するのではなく、ヒトの発話原理を模擬することで、必要な部分のみを補えるようにするという発想に基づいている。その基本原理は、声帯による原音の生成と、それらの特徴づける構音の機能からなる、音源フィルタ理論に基づく。

そのため、まずヒトの発話音声から構音に関する特徴量と発声に関する原音波形との分離が重要であり、実用可能な支援器では、専門家が介入せずにその処理が可能である必要がある。そこで、第一段階として、専門的な知識を持たない人でも個人の音声を設定でき、声質維持機能を実現できるようにするアルゴリズムを考案し実証した。

この実現には、話者の特徴を再現可能な構音フィルタ（声質補正）と発声原音の組み合わせが必要となる。これを、話者の録音音声から F1-F2 を同定し、それを除去した線形予測フィルタにより、声質補正用のフィルタを生成するとともに、従来型の線形予測フィルタにより疑似声帯音を生成するという手法で実現した。数秒の「あー」というサンプル音ファイルを設定ツールソフトウェアへ与えるだけで、その声に近い、任意の F1-F2 を持つ構音フィルタを簡易的に生成可能となった（図 3）。また、疑似声帯音を連続的に生成するアルゴリズムを実装し、汎用パソコンで動作を実証した^[2]。

この実証の時点においては、音声はリアルタイムの音声入力ではなく、短い録音音声を対象としたものであったが、発話音声から疑似声帯音源を生成できたことから、声帯音が正常で構音だけに異常がある患者が、自身の声をリアルタイムに発声しながら、音声ホルマントをリアルタイムに指の動きに応じて矯正することが現実的となった。

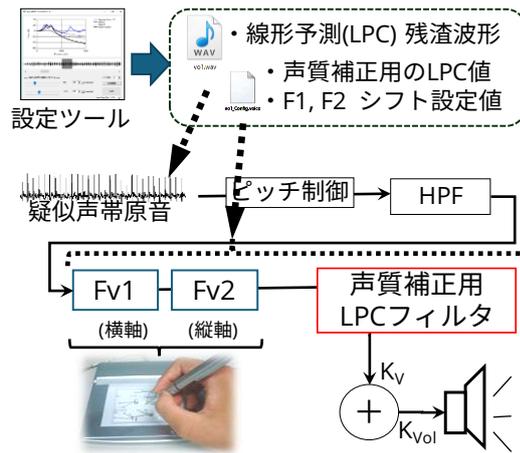


図 3 声質維持アルゴリズムと声質設定ツールの概要

(2) 専用ハードウェアの設計・試作による実証

構音障害音声の支援器として、音声入出力、各種インタフェースの入力機能を備えた、マイコン制御による装置の設計と試作を行った。この装置は、喉元に接触させた喉頭マイクからの音声波形（構音障害音声）に対して、第 1 ホルマント (F1)、第 2 ホルマント (F2) を付加させた音声を出力する。構音障害の話者は、頸部にマイクを装着して声を出しながら、小型ジョイスティックを構音器官に見立てて指で入力を行う。

試作、課題の抽出、改良を繰り返し、後述の声質維持機能などの音質の改善や、入力インタフェースの検討などを行い、最終的に図 4 に示す装置に至った。この専用ハードウェアを用いた試用実験により、話者自身の声を利用し、抑揚等をそのまま維持した、構音のみを矯正する支援機の実現性が示された。

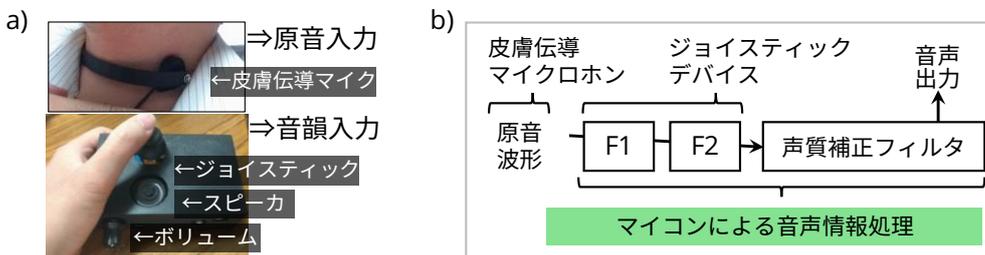


図 4 本課題で設計された構音障害音声支援器の最終試作機の概要

(3) 声質維持アルゴリズムの組み込み

前述の声質補正フィルタを利用した音声生成アルゴリズムでは、短い録音音声を用いた汎用パソコンで処理し固定の原音からペンタブレット等の入力に基づいて音声生成を行うものであったが、この原理を、(2)で述べた構音障害音声支援器に適用するため、さらなる簡易化と、試作機の改良を進め、構音障害者自身の声を活かした簡易声質維持機能を持つ試作器へと発展させた。

具体的な方法としては、あらかじめ話者の声を録音し、発話音声から原音波形を求める機能と声質を付加する機能との二つを併せ持つ線形予測フィルタを構成し、そのパラメータを機器へ設定することにより、簡易声質維持を実現した。前述の通り、構音障害の話者が頸部にマイクを

装着して声を出しながら、小型ジョイスティックを構音器官に見立てて指で入力を行う。このとき、話者があらかじめ発声した1つの録音音声を登録しておくことで、自身の声のある程度維持したまま音韻を補った音声を出力できる。

設計・改良により、汎用パソコンにおいて試されていた実験アルゴリズムと同等の処理を、マイコンによる専用のハードウェアへ組み込むことが可能になり、パソコンよりも遅延のない処理が実現できた。

本装置で使われた線形予測係数のノウハウに基づく成果は、「発声」するための電気式人工喉頭の研究に活かされ、声質改善にもつながっている^[3]。

(4) 構音器官と指の物理的な可動条件を加味した入力インターフェースの設計

先行研究の音声生成器においては、音韻の操作インターフェースとして、ペンタブレットを用いていたが、机上での操作を前提としない、本課題のポータブルな構音障害音声支援の試作機では、片手で上下左右に操作できる小型のジョイスティックを選定した。音韻を制御するにあたり、ジョイスティック操作から F1-F2 平面上へのマッピング処理として、構音器官の可動範囲を考慮し、ジョイスティックの2次元座標入力の可動範囲と、音声として適切なホルマントの可動範囲を対応付ける座標変換が必要となる。このマッピング処理の提案と実装により、ジョイスティックの物理的な可動範囲の端点を母音に対応づけることで、所望の位置の母音へ位置決めしやすくする入力インターフェースを実現した。

また、発話に必要な F1-F2 の動きの速度と、ジョイスティックで入力可能な指の運動速度の差異に着目し、マイコンによる試作機上で、変換後の音声の速度を逐次に補って出力することにより、音声の明瞭化と変換音声の印象の向上を改善する方法を提案し、試作機により実証した^[4]。

以上から、声質維持アルゴリズムの提案、専用ハードウェアの設計・試作、構音器官と入力インターフェースの物理的な条件を考慮した改良を重ねることにより、本人に残された発声機能を最大限に活かした支援手法を示すことができ、その過程で、不自然な音声の発生理由や声質の個人性の知覚、声の印象等に関する知見を得ることができたといえる。

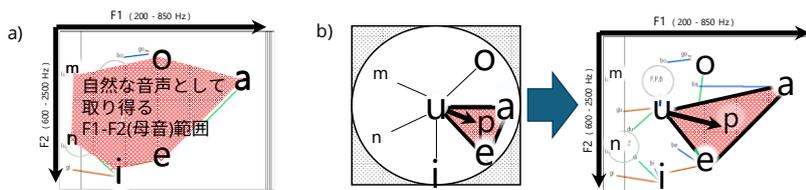


図5 ジョイスティック座標から F1-F2 平面へのマッピング

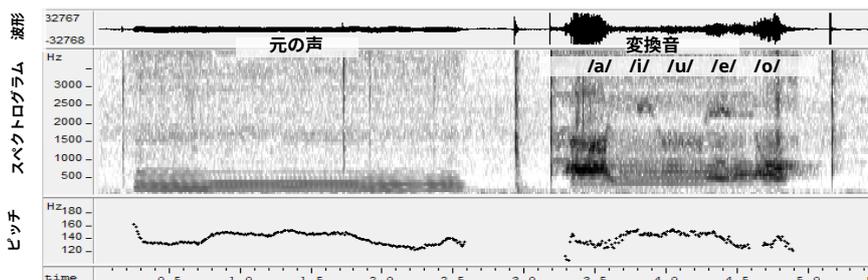


図6 試作機による構音障害音声の変換結果の例

<文献>

- [1] 藪謙一郎, 伊福部達, 青村茂. 構音機能障害の補完を目的とする音声生成器. ヒューマンインターフェースシンポジウム論文集(CD-ROM). 2007.9;2007: ROMBUNNO. 2513.
- [2] 藪謙一郎, 伊福部達, 伊福部達. 構音障害者支援を目的とするリアルタイム原音推定を用いた音声生成器の検討. 日本音響学会研究発表会講演論文集(CD-ROM). 2017.9;2017: 1293-1296.
- [3] 竹内雅樹, 副島裕太郎, Jaesol A, Kunhak L, 高木健, 伊福部達, 藪謙一郎, 高道慎之介, 関野正樹. 線形予測法(LPC)残差波を用いて自然発声に近い音声を得るハンズフリー型電気式人工喉頭の開発. 電気学会論文誌 A. 2022.;142(9): 390-396.
- [4] 藪謙一郎, 田中敏明, 伊福部達. ウェアラブルな構音障害支援デバイスにおける制御インターフェースと音声補完の検討. 日本音響学会研究発表会講演論文集(CD-ROM). 2024.3;2024: 685-686.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takeuchi Masaki, Soejima Yutaro, Ahn Jaesol, Lee Kunhak, Takaki Ken, Ifukube Tohru, Yabu Ken-ichiro, Takamichi Shinnosuke, Sekino Masaki	4. 巻 142(9)
2. 論文標題 Development of a Hands-free Electrolarynx for Obtaining a Human-like Voice using the LPC Residual Wave	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 390 - 396
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.142.390	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takeuchi, Masaki, Jaesol Ahn, Kunhak Lee, Ken Takaki, Tohru Ifukube, Ken-ichiro Yabu, Shinnosuke Takamichi, Rumi UehaとMasaki Sekino	4. 巻 11
2. 論文標題 Hands-Free Wearable Electrolarynx using Linear Predictive Coding Residual Waves and Listening Evaluation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 68-75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14326/abe.11.68	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藪謙一郎	4. 巻 74
2. 論文標題 障害者が必要としている音声技術	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 136-143
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 2件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藪 謙一郎, 田中 敏明, 伊福部 達
2. 発表標題 構音障害支援のためのウェアラブルデバイスにおける簡易声質維持機能とインタフェース
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藪謙一郎, 伊福部達
2. 発表標題 重度障害者の視線入力によるライブ演奏を目指した音楽インタフェースアプリの開発
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藪 謙一郎, 伊福部 達
2. 発表標題 簡易声質維持機能を持つウェアラブルな構音障害支援システムの音声処理装置の検討
3. 学会等名 日本音響学会2021年春季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藪 謙一郎
2. 発表標題 重度身体障害者のオンライン会議ツール活用の工夫からみる音声支援
3. 学会等名 日本音響学会2021年春季研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内雅樹, 安在帥, 松藤圭亮, 李根学, 小笠原佑樹, 高木健, 伊福部達, 藪謙一郎, 高道慎之介, 上羽瑠美, 関野正樹, 小野寺宏
2. 発表標題 LPC 残差波を用いて自然発声に近い音声を得るハンズフリー型電気式人工喉頭の開発
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内雅樹, 安在帥, 松藤圭亮, 李根学, 小笠原佑樹, 高木健, 伊福部達, 藪謙一郎, 高道慎之介, 上羽瑠美, 関野正樹, 小野寺宏
2. 発表標題 LPC 残差波を用いたハンズフリー型電気式人工喉頭の開発及び従来型の電気式人工喉頭との音声比較
3. 学会等名 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藪謙一郎, 伊福部達
2. 発表標題 構音障害を支援するウェアラブルな音声補完システムの簡易声質維持機能の試作
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藪 謙一郎, 伊福部 達
2. 発表標題 構音障害の支援を目的とするウェアラブルな音声補完システムの要素検討と機能試作
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藪 謙一郎, 伊福部 達
2. 発表標題 ユーザの多様性を考慮したウェアラブル人工喉頭の改良と実用機試作
3. 学会等名 日本音響学会2018年春季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藪 謙一郎, 伊福部 達
2. 発表標題 構音障害者支援を目的とするリアルタイム原音推定を用いた音声生成器の検討
3. 学会等名 日本音響学会2017年秋季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊福部 達, 藪 謙一郎
2. 発表標題 聴覚・発話障害者の支援研究 50年前に考えたこと, 今思うこと
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 暦本純一, 藪謙一郎, 伊福部達, 他58名.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 475
3. 書名 オーグメンテッド・ヒューマン Augmented Human AIと人体科学の融合による人機一体、究極のIFが創る未来	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>伊福部研究室 Webページ --発声・構音を支援する-- http://www.human.iog.u-tokyo.ac.jp/projects/speech/ ゆびで話そう 音声生成アプリ _ 株式会社 電制 http://www.dencom.co.jp/yubihana/yubihana.htm</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------