

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11876

研究課題名(和文) 調音運動計測にもとづく調音器官模型製作及び音声発話ロボット製作に関する研究

研究課題名(英文) Research on figure models of speech articulators and a speaking robot development based on speech articulators' motions measurements

研究代表者

平山 亮 (Hirayama, Makoto J.)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：70329374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：音声生成機構解明と発話ロボットへの応用を目的とし、MRI計測データを参考に、モデリングソフトウェアを使用して、音声生成器官である上顎、下顎、舌骨、舌、唇、それらに付着する筋群とその周辺の皮膚、声帯周辺、声道、鼻腔の3DCGモデルを設計制作した。導入した3Dプリンターを利用して、上顎、下顎、舌骨の模型制作を行なった。舌、唇とその周辺、声帯周辺と声道の模型を手作業で型制作し、ウレタンゲル素材等の粘弾性のある材料で、これらの音声器官の模型を制作した。また声道模型を制作し、これを電気式喉頭模型で駆動して発話音声を得た。また、肺、声帯、声道のMRI計測画像を合成して動画表示する手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の音声生成は音声生成器官の筋運動によりなされるが、多数の筋が協調する複雑な調音運動の詳細を解明していくことは、音声科学の課題である。音声生成器官である上顎、下顎、舌骨、舌、唇、それらに付着する筋群とその周辺の皮膚、声帯周辺、声道、鼻腔のCGモデルを設計制作し、音声生成器官の実態模型を制作することで、実態模型により動作の詳細を理解し、また、実体模型を使って音声生成を試みることで、音声言語科学の進展に貢献した。今回の研究成果を利用して、1) 調音器官運動機構の検証、2) 音声科学教育用教材、3) 構音指導、4) 外国語発音教育、5) 発話ロボット部品開発への応用が今後期待できる。

研究成果の概要(英文)：With the aim of elucidating the mechanism of speech production and its application to a speech robot, we designed and created 3DCG models of the speech-producing organs (maxilla, mandible, hyoid bone, tongue, lips, muscles attached to them, and their surrounding skin, vocal cords, vocal tract, and nasal cavity) using modeling software with reference to MRI measurement data. The models of the maxilla, mandible, and hyoid were made using a 3D printer that was installed in the laboratory. Models of the tongue, lips, vocal cords, and vocal tract were made by hand, and models of these speech organs were made using viscoelastic materials such as urethane gel. A model of the vocal tract was also made, which was driven by an electric laryngeal model to produce speech sounds. We also proposed a method to synthesize MRI images of the lungs, vocal cords, and vocal tract and display them in a moving image.

研究分野：音声科学

キーワード：音声生成 調音器官運動模型 調音運動計測 発話ロボット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

音声科学の研究分野においては、音声生成機構の解明は、主要分野のひとつであり、多くの研究がなされてきている。声道模型の作成に関しては、母音の生成メカニズムについての千葉&梶山の研究などに啓発され、声道模型による音声生成の実験、MRI データにもとづく精密な声道モデルの樹脂成型による音声生成の実験などが行われてきている。特に精密な声道モデルによる音声生成では声の個人差が再現できるなど、精密な声道モデルを作成することの優位性が示されている。また調音器官運動を含む発話ロボットの試みもあり、このような研究を通して、音声生成機構の解明が進んでいる。工学的な音声合成の分野においては、人の音声に近い滑らかな合成音の実用化されているが主流は録音した音声波形を滑らかに接続する音声合成が主流であり、人間の音声生成原理に基づく手法は実用化の段階にはない。

2. 研究の目的

本研究は、音声発話時の調音運動実体模型製作とそれをを用いた音声生成実験によって、人間の音声生成機構を解明に貢献し、また、発話ロボット開発のための音声生成部品開発などへの応用の参考に資することである。

作成された模型は音声科学教育の教材や外国語の発音を説明する教材として用いることができ、また、聴覚障害・構音障害の構音指導のツールとして用い、障害者のコミュニケーション補助による社会参加にも貢献できるものともなる。本研究を行うことにより、1) 調音器官運動機構の検証、2) 音声科学教育用教材、3) 構音指導、4) 外国語発音教育、5) 発話ロボット部品開発の分野において貢献する。

3. 研究の方法

過去に行った舌の調音運動模型作成に関する研究を発展させ、舌だけでなく、声道を形作る音声器官全体について、形状及び運動計測データにもとづく模型を作成し、母音及び子音を含む音声生成について理解を深められるようにする。

MRI 計測データを参考に、モデリングソフトウェアを使用して、音声生成器官である上顎、下顎、舌骨、舌、唇、それらに付着する筋群とその周辺の皮膚、声帯周辺、声道、鼻腔の 3DCG モデルを設計制作する。

制作した 3DCG モデルを使い、3D プリンターにより、上顎、下顎、舌骨など声道を構成する骨格の模型制作を行う。舌、唇とその周辺、声道内の組織といった粘弾性のある柔らかい器官については、舌、唇とその周辺、声帯周辺と声道の模型を手作業で型制作し、ウレタンゲル素材等の粘弾性のある材料で、これらの音声器官の模型を制作する。また声道模型を制作し、これを電気式喉頭模型で駆動して発話音声を得る。

4. 研究成果

発話調音運動計測とその解析にもとづき、調音器官の模型製作、それをを用いた音声生成を行なっていくものである。令和 2～5 年度の研究期間のうち、令和 2、3 年度においてはコロナ禍による被験者を使った実験の制限、研究室への入室制限・在宅勤務などの理由により、実験や制作が行えず遅れが生じ、計画変更を余儀なくされたが、令和 4、5 年度はほぼ制限がなくなり、実験や模型制作を進めた。またコンピュータ上での調音器官のモデリングや動作検証を行った。

1) 人体データに基づく音声生成器官全体の 3DCG モデル制作

モデリングソフトウェアを使用し、音声生成に関連する器官である上顎、下顎、舌骨、舌、唇、それらに付着する筋群とその周辺の皮膚、声帯周辺、声道、鼻腔の 3DCG モデルを設計制作した(図 1)。それぞれの形状については MRI 計測により得られたデータを参考に制作した。

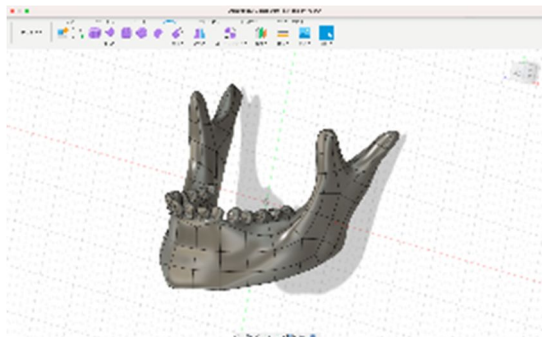


図 1. モデリングソフトウェアによる音声生成器官 3DCG モデル例

2) 音声生成器官模型制作及び動作検証

これらのモデリングに基づき、導入した 3D プリンターを利用し、音声発話に関連する器官である上顎、下顎、舌骨について模型制作を行った(図2)。また、焼成粘土を使い、舌、唇とその周辺、声帯周辺と声道の模型を手作業で制作し、それを元に型を制作して、ウレタンゲル素材、シリコン素材といった粘弾性のある材料を使い、これらの音声器官の模型を制作した(図2)。また声道模型を制作し、これを電気式喉頭模型で駆動して発話音声を得た。日本語母音についてはほぼ音声生成できたが、子音の音声生成にまでは至らず、これらについては今後の課題となる。音声生成器官の 3DCG モデリング及び実体模型制作については国内及び国際学会において成果発表を行なった。

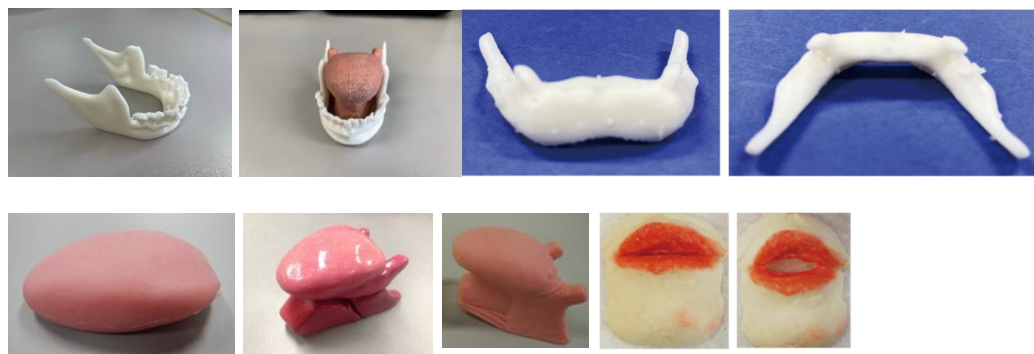


図2. 3D プリンターによる音声生成器官硬質模型(骨)制作例、及び手作業型制作による粘弾性模型例

3) 発声発話時の肺、声帯、声道の MRI 計測画像合動画表示手法の提案

発声発話時の音声器官全体の動作把握及び音声生成メカニズム展示のため、別々に計測した3枚の MRI 同画像を同期して合成する方法を提案した。調音器官模型及び発声発話時の MRI 合成同画像に関しては、国立民族学博物館特別展「しゃべるヒト-ことばの不思議を科学する-」において展示した(図3)。

また、国立民族学博物館特別展「しゃべるヒト-ことばの不思議を科学する-」において、音声生成の身体的メカニズムについて展示した内容について、同名の書籍にまとめ、その中の「ことばの身体的産出」の章を執筆した。



図3. 発声発話時の肺、声帯、声道の MRI 計測画像合等身大動画表示手法

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 0件）

1. 著者名 Makoto J. Hirayama	4. 巻 12592
2. 論文標題 3D modeling and 3D printing of human jaws for speech production research and education	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2670529	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 Makoto J. Hirayama, Ichiro Fujimoto, and Ritsuko Kikusawa	4. 巻 13164
2. 論文標題 A life-size display of MRI (magnetic resonance imaging) movie of the speech organs at a language exhibition	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.3018205	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 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 平山亮
2. 発表標題 3Dプリンタによる博物館展示用模型の製作
3. 学会等名 画像電子学会第50回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Makoto J. Hirayama
2. 発表標題 3D modeling and 3D printing of human jaws for speech production research and education
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平山亮
2. 発表標題 3Dプリンタによる音声生成器官模型の試作
3. 学会等名 画像電子学会 第297回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto J. Hirayama, Akira Asada, and Ritsuko Kikusawa
2. 発表標題 A finger motion tracking system for Japanese sign language demonstrations
3. 学会等名 The 7th IIEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平山亮
2. 発表標題 3Dプリンタによる博物館展示用模型の製作
3. 学会等名 画像電子学会 第50回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Makoto J. Hirayama
2. 発表標題 Making Figure Models of Speech Articulators for Speech Production Research
3. 学会等名 Acoustics 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Makoto J. Hirayama, Ichiro Fujimoto, and Ritsuko Kikusawa
2. 発表標題 Life-size exhibition display for magnetic resonance imaging movie of speech organs
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Makoto J. Hirayama
2. 発表標題 Computer Graphics Modeling of Human Speech Organs
3. 学会等名 8th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 菊澤律子・吉岡乾 (編著)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 文理閣	5. 総ページ数 326
3. 書名 しゃべるヒト -ことばの不思議を科学する-	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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