

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 6日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300063

研究課題名（和文）実体モデルに基づく病的音声生成機構の構築

研究課題名（英文）Development of mechanical model for generating pathological voice

研究代表者

菅田 雅彰（HONDA MASAOKI）

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：90367095

研究成果の概要（和文）：

本研究は、機械的に構築された発話機構の実体モデルに基づき、病的音声の生成機構を構成的に明らかにすることを目的とする。そのために、病的音声における声帯の形態や運動調節系を模擬する人工声帯モデルを構築し、この実体モデルを用いて病的音声の声帯振動を再現する。次に、モデルの形態や運動調節系を多様に変化させることにより、未知の喉頭疾患に対する声帯振動を生成し、喉頭疾患の程度や部位と声帯振動の挙動と病的音声の音響的性質との関連性を生成的視点から定量的に明らかにする。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we investigate mechanism of pathological voice generation by means of mechanical speech production model. For this purpose, we develop a mechanical vocal cord model mimicking geometrical shape of pathological vocal cords and its laryngeal control structure. By using the model, we reproduce pathological vocal cord vibration for various vocal cord models with different shape and unbalanced laryngeal control. Then, we investigate the relationship between the geometrical and control parameters of the model and the characteristics of the vocal cord vibration and the acoustic consequence.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2012年度	2,900,000	870,000	3,770,000
年度			
年度			
総計	12,000,000	3,600,000	15,600,000

研究分野：

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：音声情報処理，音声生成モデル，発話ロボット，病的音声

1. 研究開始当初の背景

(1) ロボット工学的背景

ロボット工学の医療応用として、これまで歩行補助など人の代替機能や内視鏡手術用具など医療的診療の手段を提供するものなどがこれまで開発されてきた。一方、人の機能を模した人間形ロボットは、人では直接観測

できない現象を再現することで、その現象を詳細に分析することが可能になる。

(2) 病的音声に関する研究背景

病的音声に関する研究としては、高速度内視鏡カメラを用いた声帯振動の直接観測に関する研究、犬の摘出喉頭を用いて声帯振動模擬実験に関する研究、病的声帯振動の計算機

シミュレーションに関する研究などがある。

(a) 病的声帯振動の直接観測

声帯振動の直接観測により、疾患声帯の非対称振動や痙攣性発声障害における不安定な声帯振動などが報告されている。しかし、直接観測では声帯上部からの観測に限定されることや、声帯調整機構の直接観測が難しいなどの問題が残されている。

(b) 摘出喉頭による声帯振動の再現

犬の摘出喉頭を用いる実験では、人の声帯観測に比べて観測上の制約は低減されるが、疾患の状態を犬の声帯上に再現することや、実験時における標本の一貫性を一定に保つことが難しいなどの問題があった。

(c) 声帯振動を計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにより病的声帯振動を再現する研究は、生成面から病的音声の物理的要因を解明する有効な方法ではあり、これまでも比較的簡便な声帯モデルを用いて病的音声の典型的な特徴を再現できることが報告されている。しかし、力学系と空気流体系が複雑に絡み合う声帯音源が生成メカニズムや声帯の疾患状態を詳細にシミュレーションすることには限界があると考えられる。

(d) 声帯実体モデルによる声帯振動の再現

我々は、これまで人の発声・発話器官を模擬した発話ロボットの開発を進めてきた。その中で、人のバイオメカニズム構造を模擬した人工声帯機構を構築し、これまでに健常者対象として様々な声質の発声機能を実現してきた。このような実体モデルの利点は、力学系と空気流体系が絡む複雑な物理現象を直接に模擬することにより、計算機シミュレーションでは再現が困難な現象を再現できる点にある。また、人に類似した声帯のバイオメカニズム機構を実現し、人と同じ喉頭調整機構を用いて多様な声帯振動の挙動を再現できることが確認できたことから、さらに対象を病的音声に拡張し、実体モデルに基づいて病的音声の生成メカニズムを明らかにする基盤が整ったといえる

2. 研究の目的

本研究では、声帯疾患要因を模擬した声帯実体モデルを構築するとともに、声帯実体モデルを用いて病的声帯振動を再現し、疾患声帯の形態的要因および喉頭調整の機能的要因と病的声帯振動および病的音声の音響的性質との関係を定量的に明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 声帯実体モデルの構築

人工肺から送り出される空気流によって自励振動可能なひだ状の声帯実体モデルについて、これまで構築してきた健常者の声帯モデルを元に声帯疾患を再現する病的声帯モデルを構築する。病的声帯モデルでは、声帯ポリープや声帯嚢胞などの声帯の形態の変化を伴う疾患と反回神経麻痺などの声帯調整機能の変化を伴う神経系疾患の両方の疾患を再現する。形態的疾患を模擬する声帯として、左右非対称の大きさを有するモデル、ポリープ等の突起が声帯表面上に存在するモデルを作成する。声帯調節に関わる疾患を模擬する機構としては、声帯張力および声門の開閉度を左右の声帯に対して個別に調整可能な機構を構築する。

(2) 実体モデルによる病的声帯振動の再現

疾患声帯を模擬する声帯実体モデルを用いて声帯振動を生成し、高速ビデオカメラとマイクロホンにより声帯振動と声帯音源を測定する。また、高速ビデオカメラ映像のキモグラフ分析により病的声帯振動の振動特徴を定量的に明らかにするとともに、声帯音源の音響分析により声帯音源の音響的特性を明らかにする。

(3) 病的音声の生成的要因の定量的解明

声帯モデルの形態的要因、および喉頭制御の機能的要因が声帯振動に及ぼす影響を声帯振動および声帯音源の音響的性質に関して明らかにする。声帯の形態的要因としては、左右非対称な形態をもつ声帯を対象とし、左右でサイズが異なる声帯およびポリープ突起を有する声帯を取り上げる。また、喉頭制御要因としては、声帯張力と声門開閉度を取り上げ、左右の声帯に対して均衡および不均衡な喉頭調節がなされた場合の声帯振動に及ぼす影響を明らかにする。また、声帯振動パターンの特徴分析とともに、声帯音源の音響的特徴を明らかにすることにより、声帯疾患に伴う病的音声の生成的要因を定量的に明らかにする。

4. 研究成果

(1) 声帯実体モデルの構築

(a) ヒダ状声帯モデル

声帯モデルは、熱可塑性エラストマー（セプトン）素材を用いて形成された厚さ 1mm 程度のカバー部と空洞のボディからなり、人の声帯の幾何学的形状を模擬したひだ状の声帯モデルを作成した。また、左右対称の形状を有する健常者の声帯モデルを改良し、左右の声帯のサイズが異なる非対称声帯モデル、および片側の声帯表面上にポリープを模擬した突起を有するポリープ声帯モデルを作成した。図 1 に、健常者の左右対称声帯モデルとポリープ声帯モデルを示す。



図1 ヒダ状声帯モデル. 健康者左右対称モデル (左) とポリープ声帯モデル (右)

(b) 声帯調整機構

声帯調整機構として、図2に示すように、左右の声帯張力と声門開閉度を独立に制御できる声帯調整機構を構築した。声帯張力調整機構は、声帯の端に円形のディスクを接着し、円形ディスクを回転して声帯を引き延ばすことにより声帯張力を調整する。また、声門開閉度調整機構は、円形ディスクを回転ロッドに接合することにより実現した。各回転機構はサーボモータを用いて制御できるように設計した。また、声帯振動の駆動源となる空気流生成部は、サーボモータを用いて上下に可動するピストンシリンダを用いて構築し、声帯下圧を調整できるようにした。また、声帯振動実験においては、声帯下部にピストンシリンダを、声帯上部に声道を模擬するアクリル製の音響管を接続し、声帯振動を再現した。

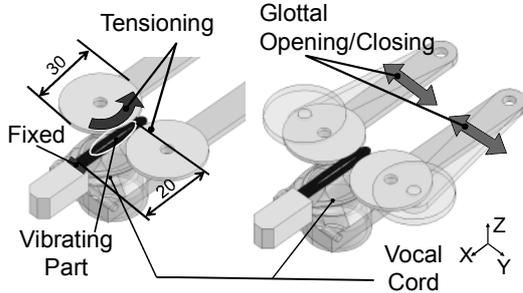


図2 声帯調整機構. 声帯張力調整機構 (左), 声門開閉度調整機構 (右)

(c) 声帯振動測定系および分析方法

声帯実体モデルを用いて生成される声帯振動を測定する測定系を構築した。測定系は、図3に示すように、高速度カメラ(毎秒1000コマ)を用いて声道音響管の上部から声帯振動パターンを測定する映像系と、マイクロホンを用いて声帯音源を測定する音響系によって構成した。声帯振動特徴は、声帯映像のキモグラフ処理によって分析した。また、測定した音波に声道逆フィルタを施すことによって声帯音源波形を求めた。

(2) 実体モデルによる病的声帯振動の再現
 声帯実体モデルを用いて声帯振動実験を行い、病的音声に見られる不規則振動が再現されるかを検証した。図4は、対称声帯モデル

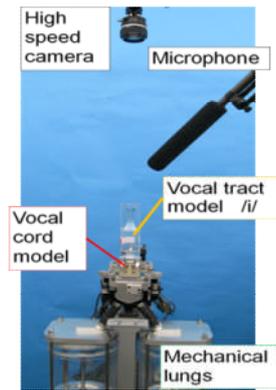


図3 声帯振動の測定系

(健康者モデル) と非対称声帯モデルにおける声帯振動パタンのキモグラフを示す。対称声帯モデルの声帯振動が単純な周期的パターンを示すのに対して、非対称モデルでは病的音声において良く観察される二重周期振動が再現された。また、これらの音源スペクトルは、図5に示すように、非対称声帯モデルでは、対称声帯モデルの音源スペクトルの各高調波成分の間に調波成分が現れており、聴覚的には声の高さが元の半分に低下した音声として知覚される。また、この例では、左右の声帯張力が同一の均衡張力調整の場合であるが、左右の声帯張力が異なる不均衡張力調整にした場合、非対称モデルでは三重周期振動が再現された。このような不規則振動はこれまでの計算機シミュレーションでは再現できない現象であり、声帯実体モデルでは人の病的声帯振動に見られる不規則振動が再現できることが確認された。

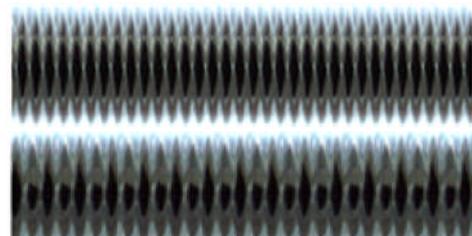


図3 声帯振動のキモグラフ。

対称声帯モデル(上), 非対称声帯モデル(下)

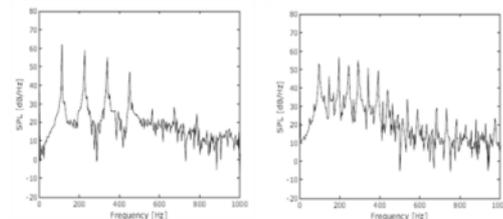


図4 声帯音源スペクトル。

対称声帯モデル(上), 非対称声帯モデル(下)

(3) 病的音声の生成的要因の定量的解明
ポリープのサイズなどの声帯の形態パラメータおよび声帯張力と声門開閉度に関する様々なパラメータ設定に対して声帯振動を生成し、病的音声の生成的要因を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (a) 声帯の非対称性、不均衡な声帯張力調整、声門開閉度の増大のいずれもの多重声帯振動の要因となる。
- (b) 対称声帯モデルにおいても、不均衡声帯張力と声門開閉度の増大に伴って、多重周期振動が生成される。
- (c) 声門開閉度の増大は、不規則な声帯振動を引き起こす上で重要な要素となる。
- (d) 多重周期振動の周期は、左右の声帯の固有振動数の最小公倍数とはならず、左右の声帯振動を同期させる何らかのメカニズムが存在する。
- (e) 声帯ポリープが不規則な声帯振動に及ぼす影響は、ポリープのサイズが直径で7mm以上で顕著となり、それ以下のサイズでは極端な不均衡声帯張力の場合を除いて不規則振動は生じない。
- (f) 声帯の形態的および調整量の変化に対して、声帯振動は規則的な振動から不規則振動に急激に変化する。

以上の検討の結果、病的音声において観測される不規則な声帯振動が声帯の実体モデルにより再現できること、また左右声帯の形態的な非対称性、および左右声帯の不均衡な調整機能が不規則声帯振動に及ぼす影響が明らかになった。実体モデルによって生成される不規則声帯振動は、声帯振動の計算機シミュレーションによって得られる結果に比べてより複雑であるが、人の病的声帯振動と比較するとその不規則性の程度は低いと考えられる。今後は、より物理的実体を反映した声帯振動の計算機シミュレーションの結果と実体モデルによる結果を比較しながら、不規則振動のメカニズムの解明を進めるとともに、人の病的声帯振動をより模擬できる実体モデルの改良を進めていく。

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2件)

- ① 福井孝太郎, 草野世大, 高西淳夫, 菅田雅彰, 発話データに基づく人間形発話ロボットの制御, 音声研究, 14, 2, pp.57-64, 2010.
- ② Fuki, K., Ishikawa, Y., Shintaku, E., Honda, M., and Takanishi A., Production of Various Vocal Cord Vibration Using a Mechanical Model for

an Anthropomorphic Talking Robot, Advanced Robotics, 26, pp.105-120, 2012

[学会発表] (計4件)

- ① Fukui, K., Kusano, T., Mukaeda, Y., Suzuki, Y., Takanishi, A., and Honda, M., Speech Robot Mimicking human Articulatory Motion, Proc. of INTERSPEECH, pp.1021-1024, 2010.
- ② 福井孝太郎, 鈴木悠人, 草野世大, 迎田美和, 菅田雅彰, 高西淳夫, 光距離センサを用いたロボットの舌形状の計測, 第28回日本ロボット学会学術講演会, 1A2-7, 2010.
- ③ 福井孝太郎, 草野世大, 鈴木悠人, 迎田美和, 高西淳夫, 菅田雅彰, 発話運動データを用いた人間形発話ロボットの制御, 日本音響学会秋季研究発表会, pp.277-280, 2010
- ④ Honda, M., Fukui, K., Ogane, R., and Takanishi, A., Pathological Voice Production by Mechanical Vocal Cord Model, Proc. of the 9th International Seminar on Speech Production, pp.49-56, 2011.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

誉田 雅彰 (HONDA MASA AKI)
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授
研究者番号：90367095

(2) 研究分担者

高西 淳夫 (TAKANISHI ATSUO)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：50179462

田山 二郎 (TAYAMA NIRO)
国立国際医療研究センター病院・耳鼻咽喉
科・頭頸部外科科長
研究者番号：50221403

(3) 連携研究者