

平成 21 年 5 月 19 日現在

研究種目：基礎研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18300069

研究課題名 (和文) 舌その他の音声器官の三次元動的有限要素法を用いた音声生成の研究

研究課題名 (英文) Research on Speech Production using three dimensional-dynamic finite element method of the tongue and speech organs

研究代表者

三木 信弘 (MIKI NOBUHIRO)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：30002314

研究成果の概要：

タギング MRI 法による舌の運動観測を行った。舌の高速度の変形および正中方向への圧縮が見られ、従来の外舌筋機構に加えて内舌筋の関与が示唆された。FEM シミュレーションによる舌変形モデルの解析を行い、/i/の調音に於ける MRI 計測結果と FEM による変形の時間推移がほぼ一致することを示した。声道の三次元形状を矩形音響管の縦続接続したモデルにおいて、高次モードの減衰定数の計算法を示した。損失のある分布定数回路モデルによって、声門下の入力インピーダンスモデルを有理多項式モデルによって近似法を示し、このモデルを使って、声道内損失が声帯波形を滑らかにすることを示した。MRI 観測による声道形状のデータから、implicit surface を構成するアルゴリズムを開発した。これを用いて、メッシュレスアルゴリズム MLPG (Meshless Local Petrov Galerkin method) による音響解析を行った。複雑な声道形状に対して、声道伝達関数の近似計算法の方向性を示した。光マイクロホンを用いた MRI 観測中の音声観測法について実験を行い、ノイズが少なく観測できることの有効性を示した。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2006 年度 | 5,600,000 | 1,680,000 | 7,280,000 |
| 2007 年度 | 5,800,000 | 1,740,000 | 7,540,000 |
| 2008 年度 | 3,700,000 | 1,110,000 | 4,810,000 |
| 総計 | 15,100,000 | 4,530,000 | 19,630,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理

キーワード：Tongue model, FEM simulation, Articulation, Vocal tract acoustics, MRI

1. 研究開始当初の背景

音声の生成モデルに関する研究においては、以下の事柄が重要な要素となる。

舌の形状の動的な変化と、形状を決定する舌筋の働きの関係が未知であるため、これらの動的な振る舞いを明らかにする必要がある。また、声道内を伝搬する音波は、舌と

歯列および口蓋の三次元形状によって伝搬モードが決定される。

舌および声道の三次元に特有の形状依存性とその動的特徴は、従来の解析では行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、独自の MRI 計測法を開発することによって、発音運動を観測し、舌筋の三次元的な運動を明らかにする。また、舌筋の動きと舌の三次元的な変形を有限要素法モデルによってシミュレーションを行う。観測で得られたと舌の運動モデルが一致するようにモデル構築を行う。

声道の三次元形状によって決まる音響特性を MRI データと有限要素法モデルによって解析し、三次元特有の現象を明らかにする。

3. 研究の方法

MRI 観測において、1/25 秒毎に格子状のタグを追跡し、舌筋の動きをトレースすることによって、舌の三次元的な変形データを収集する。

舌の変形モデルを、非圧縮性を考慮した粘弾性体舌モデルと有限要素法によって構築する。

三次元声道モデルにおいて、高次モードの音響伝搬損失を考慮したモード分解法によって、声道伝達関数を計算する。

損失のある分布定数回路モデルによって、声門下の入力インピーダンスモデルを有理多項式モデルによって近似する。周波数依存性を持つ声道中損失を有理多項式モデルで近似し、声帯波形への影響を明らかにする。

メッシュレスアルゴリズムを声道形状に適用する方法を開発する。

4. 研究成果

タギング MRI 法によって、母音/i/の発音時には舌前方表面付近での上方移動に加え、同部位でのより早い時刻での運動開始、高速度の変形および正中方向への圧縮が見られ、従来の外舌筋機構に加えて内舌筋の関与が示唆された。

FEM シミュレーションによる舌変形モデルの解析では、平衡状態に達した後の舌の変形は MRI 観測のデータと酷似しており、前上方向への変形が示された。/i/の調音に於ける MRI 計測結果と FEM による変形の時間推移がほぼ一致することを示した。

声道の三次元形状を矩形音響管の縦続接続したモデルにおいて、音響管の壁面インピーダンスを組み込んだ伝搬定数を求め、高次モードの減衰定数の計算法を示した。本計算法により、母音の伝達関数を MRI データの声道形状を用いて計算し、高速に近似計算できることを示した。

損失のある分布定数回路モデルによって、声門下の入力インピーダンスモデルを有理多項式モデルによって近似法を示した。周波数依存性を持つ声道内損失を有理多項式モデルで近似し、声帯波形への影響として損失が声帯波形を滑らかにすることを示した。

MRI 観測による声道形状のデータから、implicit surface を構成するアルゴリズムを開発した。これを用いて、メッシュレスアルゴリズム MLPG (Meshless Local Petrov Galerkin method) による音響解析を行った。複雑な声道形状に対して、声道伝達関数の近似計算法の方向性を示した。

光マイクロホンを用いた MRI 観測中の音声観測法について実験を行い、ノイズが少なく観測できることの有効性を示した。

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 8 件)

① Kiyoshi Honda, Sayoko Takano, and Hironori Takemoto, "Effects of side cavities and tongue stabilization: Possible extensions of the quantal theory," *Journal of Phonetics*, printing. (2009)

② K. Hayashi and N. Miki, "Approximation method for time-domain simulation in the lossy vocal tract and evaluation of frequency dependent losses for glottal source flow," *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 29, pp.130-138, (2008).

③ Hironori Takemoto, Tatsuya Kitamura, Kiyoshi Honda, and Shinobu Masaki. "Deformation of the hypopharyngeal cavities due to F0 changes and its acoustic effects," *Acoustical Science and Technology*, 29, pp.300-303, (2008.7)

④ 鏑木時彦, 正木信夫, 元木邦俊, 松崎博季, 北村達也, "音声生成過程の可視化," *日本音響学会誌*, 64, 7, pp.412-417, (2008.7).

⑤ Y. Nota, T. Kitamura, K. Honda, H. Takemoto, H. Hirata, Y. Shimada, I. Fujimoto, Y. Shakudo, and S. Masaki. "A bone-conduction system for auditory stimulation in MRI," *Acoustical Science and Technology*, 28, pp.33-38, (2007.1)

⑥ N. Miki and K. Hayashi, "Realization of subglottal system using ARMA filter," *Acoustical Science and Technology*, 28, pp.431-433, (2007)

⑦ 北村達也, 正木信夫, 島田育廣, 藤本一郎, 赤土裕子, 本多清志, “光マイクロホンを用いた MRI 撮像時の騒音測定,” 日本音響学会誌, 62, pp.379-382, (2006.5).

⑧ H. Takemoto, K. Honda, S. Masaki, Y. Shimada, and I. Fujimoto, “Measurement of temporal changes in vocal tract area function from 3D cine-MRI data,” J. Acoust. Soc. Am., 119, pp.1037-1049, (2006).

[学会発表] (計 40 件)

○ 国際会議 (計 8 件)

① S. Takano, H. Matsuzaki, and K. Motoki, “FEM simulation of tongue deformation for /i/ with a four-cube model applied to tagged cine-MRI data,” Acoustics’08 Paris, 4pSCb30, [J. Acoust. Soc. Am., 123, 5, Pt. 2, pp. 3738], Paris, (2008. 7).

② Shinobu Masaki, Yukiko Yota, Sayoko Takano, Hironori Takemoto, Tatsuya Kitamura, and Kiyoshi Honda “Integrated magnetic resonance imaging methods for speech science and technology,” Acoustics’ 08(Paris), (2008.6-7).

③ Kiyoshi Honda, Sayoko Takano, Hironori Takemoto, Yasuhiro Shimada, and Shinobu Masaki, “The genioglossus as a triangular muscle: fiber arrangement and its articulatory effects,” The 2nd International Symposium on Biomechanics, Healthcare and Information Science (Kanazawa), (2008. 3).

④ Shinobu Masaki, Yasuhiro Shimada, Ichiro Fujimoto, Hironori Nishimoto, Sayoko Takano, Yukiko Nota, Hironori Takemoto, Tatsuya Kitamura, and Kiyoshi Honda, “Magnetic Resonance Imaging Methods for Speech Research Integrated at ATR BAIC,” The 2nd International Symposium on Biomechanics, Healthcare and Information Science (Kanazawa), (2008. 3).

⑤ S. Takano, H. Matsuzaki, and

K. Motoki, “Investigation of the intrinsic tongue muscles for production of /i/ using tagged cine-MRI and a four-cube FEM model,” International Symposium on Biomechanics, Healthcare and Information Science, Kanazawa, (2008. 3).

⑥ N. Miki and K. Hayashi, “Approximation method of subglottal system using ARMA filter,” Interspeech2007, Wed.P2-2, pp.1370-1373, Antwerp, Belgium, (2007.8).

⑦ S. Takano, H. Matsuzaki, and K. Motoki, “A four-cube FEM model of the extrinsic and intrinsic tongue muscles to simulate the production of vowel /i/,” Interspeech2007, TuC. 02-3, pp.62-65, Antwerp, Belgium, (2007. 8).

⑧ Sayoko Takano and Kiyoshi Honda, “Measurement of tissue deformation in the tongue during a vowel sequence /ei/ using tagged-cine MRI,” International Seminar on Speech Production, (2006).

○ 技術報告等 (計 9 件)

① 永井智也, 三木信弘, “メッシュフリー法による声道の音響解析,” 電子情報通信学会技術研究報告, SP2008-144, pp. 13-18, (2009. 3).

② 田澤宏季, 三木信弘, “オクトリを用いた陰関数表示による 3 次元声道形状の高速表示アルゴリズム,” 電子情報通信学会技術研究報告, SP2008-143, pp. 7-12, (2009. 3).

③ 竹村圭介, 三木信弘, “ノイズ環境における音声のホルマント推定法の評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, SP2008-142, pp. 1-6, (2009. 3).

④ 永井智也, 三木信弘, “音響シミュレーションにおける MLPG 法と有限要素法の精度評価,” 電子情報通信学会技術研究報告, SP2008-22, pp. 353-358 (2008. 6).

⑤ 東俊介, 三木信弘, “適応的スペクトル傾斜補正によるホルマント推定,”

電子情報通信学会技術研究報告,
SP2008-21, pp. 347-352 (2008. 6).

⑥ 田澤宏季, 三木信弘, “声道形状の Implicit Function による高速 3D 表現法,” 電子情報通信学会技術研究報告, SP2008-20, pp. 341-346 (2008. 6).

⑦ 北村達也, 平田宏之, 本多清志, 藤本一郎, 島田育廣, 正木信夫, 西川員史, 福井孝太郎, 高西淳夫, “MRI による歯列計測法: 熱可塑性エラストマー製マウスピースを用いて,” 電子情報通信学会技術研究報告 (医用工学), 107(113), pp. 7-10, (東京・シーメンス本社), 2007.

⑧ 林恭平, 三木信弘, “声道内損失の近似と肺モデルを用いたフィルタ,” 電子情報通信学会技術研究報告, SP2006-44, pp. 13-18, (2006. 8).

⑨ 林恭平, 三木信弘, “周波数依存伝搬定数を含む高精度近似による声道のフィルタモデル,” 電子情報通信学会技術研究報告, SP2006-6, pp. 1-6, (2006. 6).

○その他の論文 (計 3 件)

① 元木邦俊, 松崎博季, “声道壁インピーダンスを考慮した高次モードの伝搬定数について,” 北海学園大学工学部研究報告, 36, pp. 161-174, (2009. 2).

② 松崎博季, 高野佐代子, 元木邦俊, “舌の 4 立方体モデルから得られた簡易声道形状モデルに関する有限要素法による音響シミュレーション,” 北海学園大学工学部研究報告, 35, pp. 151-158, (2008. 2).

③ 元木邦俊, 松崎博季, “音響放射パワーに基づく 3 次元声道モデルの伝達特性評価法,” 北海学園大学工学部研究報告, 35, pp. 131-141, (2008. 2).

○解説 (計 2 件)

① 正木信夫, “道具としての脳計測技術: fMRI・MEG - 実践的脳活動イメージング入門 -,” 計測と制御, 46, pp. 796-802, (2007. 10).

② 北村達也, 正木信夫, “MRI 観測を基礎にした音声生成系研究の進展,” 日本音響学会誌, 62, pp. 385-390, (2006. 5).

○招待講演 (計 4 件)

① 正木信夫, “音声生成過程の可視化技術としての MRI,” 情報通信技術研究交流会 (AC・Net) 172 回講演会, (大阪・大阪新阪急ホテル), (2008. 9).

② 正木信夫, 北村 達也, 竹本 浩典, “MRI が切り拓く音声研究の未来,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 453-345, (甲府・山梨大学), (2007. 9).

③ 正木信夫, “[講演]MRI で音声・聴覚を研究する,” 電子情報通信学会東北支部学術講演会 (岩手県・岩手県立大学), (2006. 12).

④ 正木信夫, “音声・聴覚研究の新技术としての MRI,” 日本音響学会聴覚研究会資料, 36, H-2006-117. (岩手県・岩手県立大学), (2006. 10).

○口頭発表 (計 13 件)

① 正木信夫, “磁気共鳴画像方 (MRI) を用いた音声生成機構観測技術の進展,” 第 53 回日本音声言語医学会総会・学術講演会予稿集 (三原・三原市芸術文化センター), 48, (2008. 10).

② 松崎博季, 高野佐代子, 元木邦俊, “非圧縮性を考慮した粘弾性体舌モデルの有限要素法によるシミュレーション,” 日本音響学会秋季研究発表会, 3-4-15, pp. 315-316, (2008. 9).

③ 元木邦俊, 松崎博季, “3 次元声道モデルにおける高次モードの伝搬損失について,” 日本音響学会秋季研究発表会, 2-P-33, pp. 429-430, (2008. 9).

④ 楠木時彦, 正木信夫, 元木邦俊, 松崎博季, 北村達也, “音声生成機構の可視化,” 日本音響学会秋季研究発表会, 1-2-13, pp. 1497-1500, (2008. 9).

⑤ 松崎博季, 高野佐代子, 元木邦俊, “音声生成系の数値解析と可視化に関する一考察,” 日本音響学会アコースティックイメージング研究会, AI2008-2-1, 日本超音波医学会基礎技術研究会, BT-2008-7, (2008. 8).

⑥ 竹本浩典, モクタリ・パーハム, 北村達也, 井上謙次, 正木信夫, “MRI 動画データの分析に基づく日本語音声音節の合成,” 日本音響学会春季研究発表会, pp. 317-318, (津田沼・千葉工業大学),

(2008. 3).

⑦高野佐代子, 松崎博季, 元木邦俊, “母音連鎖/ei/発声時の多断面タギング MRI による舌の内部変形の計測,” 日本音響学会春季研究発表会, 2-4-10, pp. 333-334, (2008. 3).

⑧松崎博季, セルリエアントアン, バダンピエール, 元木邦俊, “Time-domain FEM simulation of Japanese and French vowel /a/ with nasal coupling,” 日本音響学会春季研究発表会, 2-4-9, pp. 331-332, (2008. 3).

⑨松崎博季, セルリエアントアン, バダンピエール, 元木邦俊, “3D and plane wave acoustic propagation comparison for a Japanese and a French vowel /a/ with nasal coupling,” 日本音響学会秋季研究発表会, 2-4-15, pp. 471-474, (2007. 9).

⑩元木邦俊, 松崎博季, “3次元声道モデルにおける伝達特性の評価方法について,” 日本音響学会秋季研究発表会, 1-P-16, pp. 439-440, (2007. 9).

⑪松崎博季, 高野佐代子, 元木邦俊, “舌の粘弾性モデルの実装とシミュレーションの実験,” 日本音響学会春季研究発表会, 3-8-16, pp. 255-256, (2007. 3).

⑫高野佐代子, 松崎博季, 元木邦俊, ライナー・ウィルヘルム-トリカリコ, “簡易形状モデルを用いた有限要素法による調音運動/ei/の筋活動の検討,” 日本音響学会春季研究発表会, 3-8-15, pp. 253-254, (2007. 3).

⑬竹本浩典, 北村達也, 本多清志, 正木信夫, “音の高さの変化による下咽頭腔の変形とその音響効果,” 日本音響学会春季研究発表会講演, pp. 253-253, (東京・日本大学理工学部), (2006. 3).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

(平成 18 年度～平成 19 年度)
桐谷 滋 (KIRITANI SHIGERU)
神戸海星女子学院大学・現代人間学部・教授
研究者番号：90010032

(平成 20 年度)
三木 信弘 (MIKI NOBUHIRO)
公立はこだて未来大学・システム情報科

学部・教授
研究者番号：30002314

(2) 研究分担者

(平成 18 年度～平成 19 年度)
三木 信弘 (MIKI NOBUHIRO)
公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授
研究者番号：30002314

(平成 18 年度～平成 19 年度)
竹本 浩典 (TAKEMOTO HIRONORI)
(株) 国際電気通信基礎研究所・認知情報科学研究所・研究員
研究者番号：40374102

(平成 20 年度)
桐谷 滋 (KIRITANI SHIGERU)
神戸海星女子学院大学・現代人間学部・教授
研究者番号：90010032

(平成 18 年度～平成 20 年度)
元木 邦俊 (MOTOKI KUNITOSHI)
北海学園大学・工学部・教授
研究者番号：80219980

(平成 18 年度～平成 20 年度)
松崎 博季 (MATSUZAKI HIROKI)
北海道工業大学・創生工学部・講師
研究者番号：60305901

(平成 18 年度～平成 20 年度)
正木 信夫 (MASAKI SHINOBU)
(株) 国際電気通信基礎研究所・認知情報科学研究所・研究員
研究者番号：40181630

(3) 連携研究者

(平成 20 年度)
竹本 浩典 (TAKEMOTO HIRONORI)
(株) 国際電気通信基礎研究所・認知情報科学研究所・研究員
研究者番号：40374102

(平成 18 年度～平成 20 年度)
高野 佐代子 (TAKANO SAYOKO)
(株) 国際電気通信基礎研究所・脳活動イメージングセンタ・研究員