

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名 「発声力学に基づくタスクプランニング機構の構築」
2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）
研究代表者 誉田 雅彰 （早稲田大学スポーツ科学部 教授）
主たる研究参加者
本多 清志 （ATR 先端情報科学研究部 室長）
高西 淳夫 （早稲田大学理工学部 教授）
三木 信弘 （はこだて未来大学システム情報学部 教授）
元木 邦俊 （北海学園大学工学部 教授）
党 建武 （北陸先端大学院大学 助教授）
坂本 尚志 （旭川医科大学 教授）
前川 喜久雄 （国立国語研究所 領域長）
辰巳 格 （都立老人総合研究所 室長）
鏑木 時彦 （九州芸術工科大学 助教授）
大須賀 公一 （京都大学大学院情報学研究科 助教授）

3. 研究内容及び成果：

本研究は、人間の発声力学系と発声運動制御系に着目して、音声生成過程の生理的、力学的、音響的な機構に関するモデルを解明・構築するとともに、これら発声系のモデルを基に発声運動計画機構に関する数理モデルを構築することにより脳における音声情報生成の仕組みを明らかにし、音声の生成メカニズムに基づく音声情報処理の基礎技術を確立することを目的として進められた。

発声動作は発声器官の運動にとどまらず、口の構え（声道）の形成とそれに伴う声道内の流体音響現象を介して、言語情報として聴覚に受容される音響信号を生成する人間固有の動作である。本研究は、まず運動から音響に至るまでの階層的なタスク構造に着目し、発声系の力学的環境を変化させる発声動作摂動実験に基づいて発声動作の運動タスクの所在、および触覚や聴覚による感覚フィードバックが発声動作に及ぼす影響を実験的に明らかにすることから始めた。そのために、発声中に下顎に力学的外力を加える下顎摂動実験装置、および口蓋の形態を瞬時に変化させる口蓋摂動実験装置を新たに構築し、発声時に摂動外力を与えた時に生じる発声補償動作の解析により、発声動作の運動タスクが個々の発声器官の位置制御ではなく、より上位の声道の局所的な形態の形成、さらには発声される音声の音響的特徴にあることを明らかにした。

次に、これらの実験的結果を踏まえ、より高いレベルの運動タスクから発声動作を生成する運動計画モデルの研究に着手し、隠れマルコフモデル（HMM）によって発声動作の動的な振る舞いを表し、発声動作から音声生成されるまでのプロセスを非線形の動的確率モデルとして定式化した。これにより、これまで困難とされてきた子音を含む連続音声からその発声動作を決定する逆問題に対して大きな前進を果たすことができた。

さらに、発声動作をより発声系の実体に即して捉えるため、発声生理系、力学系、音響

系の3つの側面で発声系の実体モデルの構築、及び実体モデルに基づく発声運動計画モデルの構築に向けて研究を展開した。

シミュレーションモデルに関しては、柔らかい組織で形成される舌・唇の弾性体の機構に着目し、筋収縮によって運動を生成する発声力学系の生理モデルを構築した。このモデルでは、弾性体である舌や唇を多質点のバネ・マスモデルで表し、各ノードに筋肉モデルを配置し、筋の収縮に応じた弾性体の大変形を安定かつ比較的少ない計算時間で生成する方法を見出した。

一方、これらの計算機モデルをさらに発展させ、音声生成の物理音響的な現象を模擬する実体モデル（発話ロボット）の構築を進めた。発話ロボットの指針として、人と同じように肺から送り出される空気によって生じる声帯振動機構、空気流体によって生じる子音の音源生成機構、舌、唇など大きくかつ速い変形を伴う弾性体の制御機構を設定し、連続音声の発声を機械的に実現することを目標として開発を進めた。構築された発話ロボットは19自由度を有し、ピッチ及び有聲・無聲調整機能をもつ声帯、多様な舌や唇の形態を模擬する発声器官によって構成されている。全ての発声器官を模擬したトータルシステムの構築は初めての試みであり、弾性体の機械制御機構に関する基盤技術の確立など、音声科学のみならずロボット工学における新たな方向性を示すことが出来た。

これらの発声系モデルと運動計画モデルを融合させ、話し手の声を真似て発声する聞き真似発声機構の構築を進め、聞き真似のできる自律形発話ロボットを構築した。

以下にサブグループ別の活動を述べる。

(a) 運動計画グループ

感覚フィードバック修正を伴う発声力学摂動実験系を構築し、発声運動タスクの所在を明らかにするとともに、音声タスクから発声器官の動作生成、さらには筋収縮（運動指令）を生成する発声運動計画モデルを構築し、発声力学系に基づく聞き真似発声機構を実現した。

(b) 生理機構グループ

MR I及び磁気センサシステムを用いた発声機構の観測技術を新たに開発するとともに、発声時の発声器官の3次元形態データ、筋の配置データなどを測定し、発声生理モデル、声道音響モデル、発話ロボットを構築する上での基礎データを提供した。

(c) モデリンググループ

人間の発声機構の実体を模擬する精密なモデルを構築することを目指して、発声生理モデル、声道音響モデル、及び発話ロボットの構築を行い、これに成功した。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

本研究は、人の発声機構の力学系をできるだけ実物に忠実にモデル化し、これをもとに発話ロボットを構築し、この上に模倣学習などを実現することを目指したものである。こ

のために、運動計画グループ、生理機構グループ、モデリンググループの3サブグループを設け、互いに協調しながら研究を進め、見るべき成果を収めた。すなわち、生理機構グループは、MRI および磁気センサーを活用して新たな観測技術を開発し、発声時における舌の形状や咽頭の形状を明らかにして、基礎データを提供した。

運動計画グループは、発声力学摂動系を構築し、隠れマルコフモデルなどの確率的な音声生成モデルを構築し、ここから発声計画モデルを構成し、これにより聞き真似を可能にする発声学習機構を実現した。モデリンググループは、この基礎の上に、人の発声系の実態を反映した発話ロボットの構築に成功した。

この研究は、従来の音声合成研究と異なり、人の物理的生理的実態に即して研究を進めるもので、音声科学、脳科学、人工音声技術に大きな影響を与える革新的な成果を得ている。このことは、国内15件、海外9件の学術論文の発表、国内91件海外85件の学会における口頭発表、8件の特許出願などからも明らかである。なお、技術開発およびロボットの試作という研究の性格上、論文の件数はそれほど多くはない。しかし、この研究は新聞紙上、およびテレビなどで多数回にわたって報道されるなど、一般の関心を引いたものである。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

本研究は、人の発声の物理生理機構を解明することにより、これにできるだけ忠実な発話ロボットを構成し、これにより脳の発話制御系の仕組みを明らかにするのみならず、これを技術として実現して優れた発話ロボットを構成するという、これまでにない斬新なアプローチをとった。人の発声機構は複雑であるが、測定からモデル化、ロボット構成にいたる各段階で、多くのブレークスルーを生み出すことで困難を解決し、発話ロボットの構成に成功したことは高く評価できる。これは今後の音声研究に大きなインパクトを与えるとともに、ロボット研究、さらには脳研究に与える影響が大きい。

情報の観点からは、人型の新しいロボットに装着して、柔軟な発声を可能にするのみならず、人の発声を模倣しこれを学習できる能力を実装できる点で、これからのロボット技術につながる。

本研究は、実態に即した機構を取り入れることで、新しいしい境地を切り拓いたが、これを制御している脳の中での発話計画および発声制御機構については、手をつけることができていない。これはこれからの研究課題として残されている。

4-3. その他の特記事項

特になし。