

## 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24年 6月 7日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500896

研究課題名（和文） 盲ろう者・聴覚障害者の歌唱支援のための触覚フィードバックによる音声ピッチ制御

研究課題名（英文） Voice pitch control using tactile feedback to assist singing of deaf-blind and hearing impaired persons

研究代表者

坂尻 正次（SAKAJIRI MASATSUGU）

筑波技術大学・保健科学部・准教授

研究者番号：70412963

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、音声ピッチを知覚することができない盲ろう者・聴覚障害者の歌唱を支援するための触覚フィードバックを利用した音声ピッチ制御システムの開発とその評価をおこなうことを目的としている。本システムを用いて2名の盲ろう被験者による評価実験をおこなった結果、成人健聴者あるいは健聴幼児と同程度正確に歌うことが可能であることが示された。また、安定した音程やメロディに合わせた音程制御をおこなうために必要な筋感覚等による固有感覚フィードバックによるピッチ制御が本システムを利用することで正確になることが評価実験の結果により示された。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research is to develop and to evaluate a voice pitch control system using tactile feedback to assist singing of deaf-blind and hearing impaired persons who cannot perceive their voice pitch frequency. The results of experiment show that two deaf-blind subjects in this study can sing a song with as much accuracy as hearing adults and hearing children. The results also show that voice pitch control by proprioceptive feedback (feedback of muscular sensation and so on) is to be accurate using our system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 教育工学

キーワード：歌唱訓練，発話訓練，盲ろう，聴覚障害，触覚ディスプレイ，音声ピッチ

## 1. 研究開始当初の背景

タクトイルエイドは、音声情報を触覚刺激に変換して呈示するデバイスで、聴覚障害者が読唇などと併用して用いている。特に、視覚情報を利用することのできない全盲・全聾の盲ろう者にとっては、触覚デバイスは唯一の手段である。音声ピッチ周波数は、アクセントやイントネーションの変化を認識する際の重要な情報であり、また、音階を認識し

たり、歌唱の際の音程の調節にも重要な情報となる。これまでには、音声ピッチの変化を触覚呈示し、文脈の理解や読唇の補助のために用いたタクトイルエイドの研究や、アクセントやイントネーションの発話訓練のために音声ピッチを呈示する機能をもったタクトイルエイドを用いた研究があるが、音階の呈示や音階に合わせた発声に関する研究はほとんどない。

一方、視覚フィードバックを用いた研究としては、音声ピッチを視覚呈示し、聴覚障害者のアクセントやイントネーションの発話訓練に用いた研究や、健聴者の調子外れ（一般にいう「音痴」のこと）の治療や歌唱の訓練を目的として、音声ピッチの視覚フィードバックを用いている研究もある。なお、視覚を用いることのできない盲ろう者は視覚フィードバックを用いることができない。

人工内耳は、聴覚障害者のための聴覚代行機器として重要であり、人工内耳適用後、顕著に語音認知が改善される例が多くあるが、従来はピッチ周波数や音楽の認知は難しいと言われていた。しかし、近年の信号処理方式や電気刺激方式の進歩にともない、まだ一般的ではないもののピッチ周波数や音楽の認知が改善される例が示されるようになってきている。

聴覚障害者と音楽という観点からみると、楽器の演奏指導、リズム感・音感訓練などの実践の報告がある。聴覚障害者のメロディ知覚に関する研究や楽曲の識別に関する研究もある。聴覚障害者のための触覚刺激を用いた音楽情報の伝達に関してはいくつかの研究があるが、主には触覚刺激によるリズムの伝達が目的である。以上のように、聴覚障害者にメロディを伝達するための機器の研究はされているが、音階の識別が可能な触覚デバイスは開発されていない。

## 2. 研究の目的

前章で述べたように、歌唱における音程制御を目的とした、盲ろう者・聴覚障害者のための触覚フィードバックによるピッチ制御の手段がこれまで提供されてなく、聴覚障害者の音楽認知・歌唱のニーズも少なくないことから、2次元触覚ディスプレイを用いた音声ピッチ制御システムを開発し、それを評価することとした。

## 3. 研究の方法

本研究課題では盲ろう者・聴覚障害者の歌唱を支援するための触覚ディスプレイを用いた音声ピッチ制御システムを開発した。本システムの触覚ディスプレイには piezo 圧電素子による振動子 64 本が 16 行 4 列に配列されている。ユーザーは右手人差し指の第 1 関節を触覚ディスプレイ上に置いて触覚刺激を知覚し、触覚フィードバックにより音声ピッチを調節する。触覚ディスプレイの 1 行は 12 平均律の半音に対応しており、ユーザーの音声ピッチに対応した音階の行で振動刺激が発生する。本システムでは、目標音階を PC で設定し、その目標音階と同じ音階（音声ピッチ周波数）になるように、盲ろう者・聴覚障害者が発声する。PC に接続されたマイクロフォンから入力された音声はサンプリ

ング周波数 10kHz、Hanning 窓長 51.2ms で取り込まれ、その後 FFT ケプストラム分析により、音声ピッチ周波数がリアルタイムで算出される。算出された音声ピッチ周波数に対応する音階が PC 上に表示されるとともに、触覚ディスプレイ上にも対応する音階位置に振動刺激が呈示される。マイクロフォンに音声が入力されてから音階位置に振動刺激が呈示されるまでには、窓長 51.2ms とその他の処理時間を合計して、70[ms]程度の時間を要している。

本システムを用いて主に次の 2 つの評価実験を実施した。

(1) 評価実験は各々の被験者について 4 回ずつ実施した。課題曲は「かえるの歌」を採用した。被験者 A、B ともにほぼメロディを記憶しており、音階の変化が連続的で音域も広くなく歌いやすい曲であるために、初めて取り組む曲に適していると考えられたからである。実験にあたっては、データ計測の前に事前の訓練を 2 時間程度おこなった（休憩を含む）。訓練の内容は、目標音階を低い音階のドからレ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ、ドと目標音階を上げていったり、逆に下げていったりという訓練をおこない。さらに、被験者の要望に応じて、被験者の指定する目標音階を設定するなどした。また、目標音階をド(C3)に固定し、他の音階を発声する訓練もおこなった。さらに、事前に本評価実験の課題である目標音階をド(C3)に固定し「かえるの歌」を歌うことを 5 回程度練習した。「かえるの歌」で実験データを計測することを事前に被験者に伝えていた。その他に、被験者の要望に応じて童謡・唱歌、歌謡曲等の訓練を実施した。実験データ計測の手順は次のようになる。まず、目標音階をド(C3)に固定し、被験者はド(C3)に音声ピッチが合うように数回程度発声をする。被験者がド(C3)に合ったと確認できたところで、「かえるの歌」のメロディを歌う。これを一試行とし、この試行を 5 回繰り返す。なお、テンポについては、他の触覚刺激等で規定することは難しいことが予想されたので、被験者の自由とした。発声時には歌詞ではなく音階名を発音した。両被験者ともに、各評価実験は、1、2 カ月程度の間隔をおいて実施された。

(2) 安定した音程やメロディに合わせた音程制御をおこなうためには筋感覚等による固有感覚フィードバックによる音声ピッチ制御が必要になることが本研究の結果から示唆されたことから、固有感覚フィードバックのみによる音程制御と、固有感覚フィードバックと触覚フィードバック（本システムを利用）を併用した場合の音程制御とを比較する実験をおこなった。

被験者自身の音声をマスクングするために、被験者は密閉型ヘッドフォンを装着し、発声時には100 dBのバンドノイズ(cutoff周波数 50Hz, 2kHz, 12dB/oct)を付加した。マイクロフォンは、頭部装着型マイクロフォンを装着し、口元から約1cmの距離にマイクロフォンを設置した。実験にあたっては、ド(C3)、レ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ、ド(C4)の8音階のカードをランダムに呈示し、その音階(目標音階)と被験者の音声ピッチ周波数が一致するように発声する課題をおこなった。なお、女性の被験者の場合は1オクターブ上とする。1つの音階に対して5試行おこなうので、計40試行を実施する。まず初めに、(a)ヘッドフォンでノイズを付加した状態で、触覚デバイスを用いない状態、すなわち筋感覚等の固有感覚フィードバックのみで発声する課題をおこなった。次に、(b)ヘッドフォンでノイズを付加した状態で、触覚デバイスを用いた状態、すなわち固有感覚フィードバックと触覚フィードバックにより発声する課題をおこなった。(b)の場合は、音階のカードを示す前に目標音程を設定し、目標音程の振動位置を自分の音声ピッチの音階位置が一致するように発声する。なお、(b)の課題を実施する前には1名の被験者につき、20分程度の練習をおこなった。練習の内容は次のようになる。まず初めに、ド(C3)、レ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ、ド(C4)の順に目標音程を変化させ発声する。次に逆に音階が下がる順で発声する。次に音階のカードをランダムに呈示し、目標音程がランダムに変化する場合の練習をおこなった。(b)の測定の際には、休止を挟んで発声を3回おこない、3回目の音声ピッチをデータとして採用した。発声時の音量については、バンドノイズによるマスクングの効果を保持するために、被験者自身が騒音計を目視でモニタしながら音量を55dBから85dBの範囲で発声するようにした。騒音計のマイクは被験者の口元から50cmの距離に設置した。以上の実験を2回繰り返した。

#### 4. 研究成果

(1) 目標音階と被験者の音声ピッチとの差の絶対値をピッチ差とし、音符毎のピッチ差を求めた。ピッチ差が大きいほど目標音階と発声した音階のずれが大きいことになる。被験者Aは第2回目のピッチ差の値が他の回の結果と比べて大きかった。被験者Bは1回目のピッチ差の値が最も大きかったが、2回目の値が最も小さかった。1, 2回目のデータの変動が両被験者ともに大きかったが、両被験者ともに3, 4回と回数を重ねる毎にピッチ差が安定してきている。図1に音階ごとのピッチ差を示した。両被験者ともに同じ傾向を示しており、ミ、ファのピッチ差が大きかった。

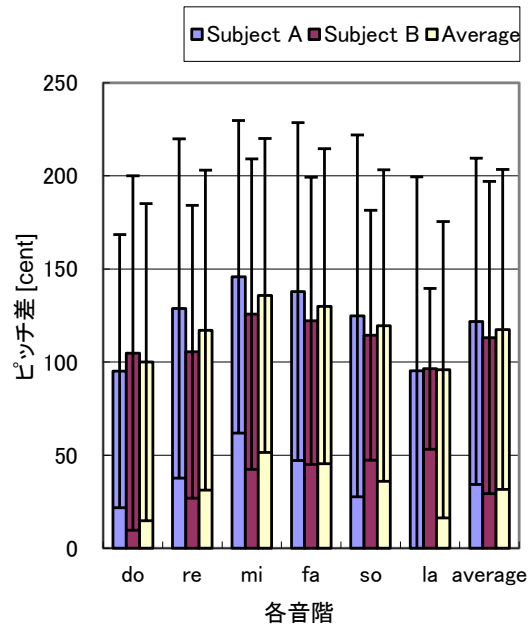


図1 音階ごとのピッチ差

全音階における平均ではピッチ差が117.5[cent] (標準偏差 85.94)となったが、1半音は100centに相当するので、平均して1つの音符当たり1半音程度の音程のずれがあったことになる。これらの結果から、盲ろう者被験者が成人健聴者・健聴幼児と同程度の正確さを持って歌唱が可能であることが示された。

(2) 図2に各目標音階における実験条件ごとのピッチ差を示した。ド(C3)、レ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ、ド(C4)の順に音階が表示されているが、音階ごとに(a)の触覚フィードバックなしの第1回目(First without tactile feedback)、(b)の触覚フィードバックありの第1回目(First with tactile feedback)、触覚フィードバックなしの第2回目(Second without tactile feedback)、触覚フィードバックありの第2回目(Second with tactile feedback)のデータが左から順に並んでいる。触覚フィードバックなし第1回目と他の場合を比べると、全ての目標音階で触覚フィードバックなし第1回目のピッチ差の値が大きくなっている。また、触覚フィードバックなし第1回目のピッチ差は、目標音階の上昇とともに大きくなっているが他の場合はほぼ一定である。

本実験の結果から、次のようなことが言える。触覚フィードバックなし第1回目のような事前のピッチ制御訓練なしで、さらに触覚フィードバックがない条件で音程調節をおこなった場合、目標音階からのずれは大きくなるということが示された。言い換えると、

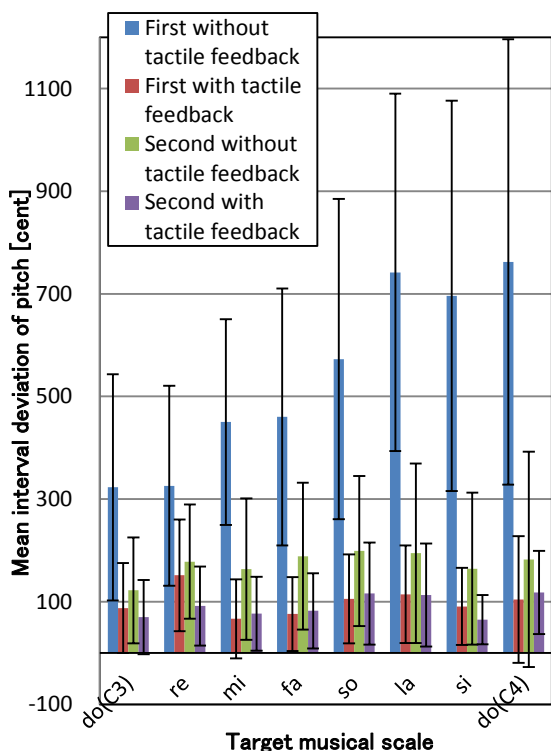


図2 各音階における実験条件ごとのピッチ差

事前のピッチ調節訓練がない状態でおこなうという条件付きではあるが、筋感覚等による固有感覚フィードバックのみの状態では、ピッチ差が、触覚フィードバックがある場合に比べて高いことが示された。この結果から、固有感覚フィードバックのみでは正確なピッチで歌うことができないことがわかった。特に、失聴してから相当程度の期間が経過した聴覚障害者の場合は、聴覚フィードバックがない状態が続くために次第に発声時における固有感覚と音程との対応関係が小さくなり、最終的には固有感覚と音程との対応関係が消失していくと言われているが、一方、触覚フィードバックなし第2回目の場合のように、本システムによる訓練を実施した後に、再度固有感覚フィードバックのみの状態で実験した結果では、触覚フィードバックなし第1回目と比べてピッチ差が減少した。この結果から、本システムの利用により一時的ではあるが固有感覚フィードバックによるピッチ制御の正確性が向上することが確認された。固有感覚フィードバックのみの場合のピッチ差が本システムの訓練効果を測る上での一つの指標となることが考えられる。

## 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 M. Sakajiri, S. Miyoshi, K. Nakamura, S. Fukushima, T. Ifukube: Voice Pitch Control Ability of Hearing Persons With or Without Tactile Feedback Using a Two-Dimensional Tactile Display System; 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1069-1073 (2011) 査読有
- ② M. Sakajiri, S. Miyoshi, K. Nakamura, S. Fukushima, T. Ifukube: Voice Pitch Control Using Tactile Feedback for the Deafblind or the Hearing Impaired persons to assist their singing; 2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1483-1487 (2010) 査読有
- ③ 坂尻正次, 三好茂樹, 中邑賢龍, 福島智, 伊福部達: 触覚フィードバックを用いた音声ピッチ制御方式による盲ろう者の歌唱訓練; ライフサポート誌, Vol. 22, No. 4, pp. 3-10 (2010) 査読有
- ④ 坂尻正次, 三好茂樹, 伊福部達: 盲ろう者・聴覚障害者の歌唱支援のための触覚フィードバックによる音声ピッチ制御; ヒューマンインタフェース学会誌論文誌, Vol. 11, No. 4, pp. 311-319 (2009) 査読有

〔学会発表〕(計1件)

- ① 坂尻正次, 三好茂樹, 中邑賢龍, 福島智, 伊福部達: 2次元触覚ディスプレイによる音声ピッチ制御; 第34回多値論理フォーラム, 2011年9月18日, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

坂尻 正次 (SAKAJIRI MASATSUGU)  
筑波技術大学・保健科学部・准教授  
研究者番号: 70412963