

盲ろう者の歌唱支援のための触覚フィードバックによる 音声ピッチ制御システムの歌唱の正確性

Singing accuracy of tactile pitch feedback system for deafblind users to assist their singing

○坂尻 正次 三好 茂樹 大西 淳児 小野 東 (筑波技大) 伊福部 達 (東大)

Masatsugu Sakajiri, Shigeki Miyoshi, Junji Onishi, and Tsukasa Ono, Tsukuba University of Technology
Tohru Ifukube, Institute of Gerontology, the University of Tokyo

Abstract: It is difficult for the deafblind or the hearing impaired to control the pitch of their voice because they cannot perceive it. In particular, when singing, it is very difficult for them to control their voice pitch because they need to maintain a stable tone. We have developed a voice pitch control system to assist their singing by means of a tactile display. In a previous study, two deafblind subjects used the proposed system to control their voice pitch with accuracy comparable to that of the hearing children. In the present study, we investigate the proprioceptive pitch control and the effect of the proposed voice pitch control system on normal-hearing people under conditions of added noise.

Key Words: Voice Pitch, Deafblind, Hearing Impaired, Tactile Display, Singing

1. はじめに

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⁽¹⁾⁻⁽³⁾。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、音階を認識する他に、歌唱の際の音程の調節にも重要な情報となる。これまで、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かった⁽⁴⁾。このように、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いなかったため、我々は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た⁽⁵⁾。

本システムを用いて2名の盲ろう被験者による歌唱訓練を実施し、課題曲を設定した上でデータを計測した結果、盲ろう被験者は本システムを用いることにより課題曲「かえるの合唱」において成人健聴者あるいは健聴幼児と同程度の正確さをもって歌唱が可能であることが示された⁽⁶⁾。また、我々は継時的なメロディ変化の「かえるの合唱」と、非継時的なメロディ変化の「チューリップ」とで歌唱の正確性について本システムを用いて比較した結果、双方の歌唱の正確性にほとんど差はなく、非継時的なメロディ変化においても歌唱の正確性が低下しないことが示された⁽⁷⁾。

一方、本システムの利用者は触覚フィードバックを用いるだけでなく、筋感覚等の固有感覚フィードバックも用いており、音声ピッチを制御する上で重要な役割を担っている⁽⁸⁾。歌手は自分自身の歌唱が聞こえなくてもピッチを制御することが可能で、コーラスにおける歌唱では自身の歌唱が他の歌手の歌唱にマスクされてしまうこともある。言い換えると、健聴者はピッチ制御と固有感覚フィードバックとの対応関係が構築されているために、自身の声が聞こえない状況においても喉頭筋群の調節によりある程度の正確性を持ってピッチを調節することができる。しかし、中途障害の盲ろう者・聴覚障害者は聴力損失により、これまで構築していた音声ピッチと固有感覚フィードバックの対応関係が消失してしまうために音声ピッチの調節ができなくなってしまう。本システムを用いた訓練をおこなうこと

により、この失われた音声ピッチと固有感覚との対応関係を再び構築することができ、かつ、本システムを用いることによりリアルタイムで自身の音声ピッチを確認しながら歌唱することが可能となる。

本研究では、固有感覚による音声ピッチ制御と本システムがそれに及ぼす影響を調べるために、健聴被験者にノイズを付加した状態で評価をおこなったので、その結果について報告する。

2. 音声ピッチ制御システム

音声ピッチ制御システムは、PCと触覚ディスプレイ本体(Fig.1)から構成されている。右手の示指(人差し指)第1関節の腹側を触覚ディスプレイ部分に置いて触知するように設計されている。Fig.2に音声ピッチ制御システムの概略図を示す。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から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。

触覚ディスプレイは、Fig.2に示したように22mm×10mmの領域に16行×4列の刺激ピンが配置されている。各ピンの直径は0.6mmである。図中に示したように右手手指の第1及び第2関節腹側部を置いて刺激を受けるように設計されている。触覚ディスプレイの左側2列は目標音階を触覚呈示するために、右側2列は盲ろう者・聴覚障害者自身の音声ピッチ周波数に対応した音階を触覚呈示するためである。目標音階側、盲ろう者側ともに同一行の2列分が同時に振動する。行方向には刺激ピンが16行あるが、これは音声ピッチ周波数に対応している。ピン番号1が最も低いピッチ周波数に、ピン番号16が最も高い周波数に対応している。本システムにおける音階は12平均律である。1つの刺激ピンが半音に対応している。

Fig.3に音声ピッチ制御システムの実行画面を示した。Fig.3下側の「鍵盤」では、目標音階を設定する。Fig.3右側の「触覚Display」の「鍵盤」は目標音階、「自分の声」では、盲ろう者の音声ピッチ周波数が呈示される。塗り潰

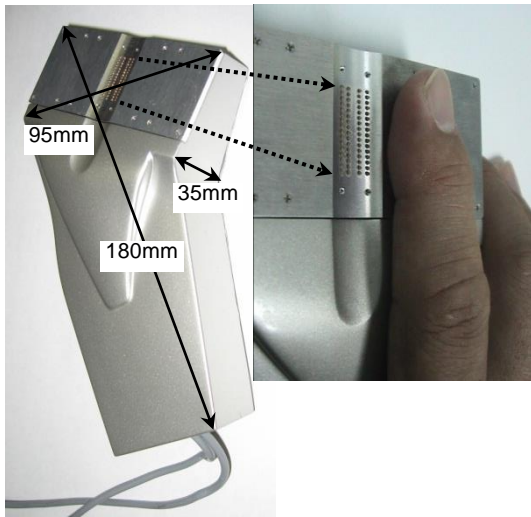


Fig.1. Main unit of a tactile display

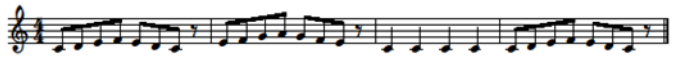


Fig.4 Musical notation for "Frog Round"

標音階を順に呈示して振動位置と音階の対応を確認する。指を触覚ディスプレイから離れた場合は再度振動位置と音階の対応を確認することになる。次に、任意の目標音階を呈示し、その目標音階の振動位置に一致するように自分の音声ピッチ周波数を調整する。目標音階の振動と自分の音声ピッチ周波数の振動位置が同一行になった場合に音程が一致したということになる。

3. 実験方法

3-1 被験者

被験者は、20歳から24歳までの男性2名、女性4名の健聴の大学生で、平均年齢は21.5歳であった。

3-2 実験手順

実験にあたっては、開始前に実験内容を被験者に説明し、各被験者から書面で同意を得た上で実施した。

本実験では Fig.2 で示した音声ピッチ制御システムを用いた。被験者自身の音声をマスクするために、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 (Murbera⁽¹⁰⁾の研究を参考とした)。マイクロフォンは、頭部装着型マイクロフォン (Audio-technica AT810F) 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。「かえるの合唱」が本実験における課題曲として設定された。Fig.4 に「かえるの合唱」の楽譜を示す。

評価実験は2つのセッションに分けておこなわれた。セッション1は触覚フィードバックなしで、セッション2は触覚フィードバックありの条件となる。セッション1では、ノイズにより音声がマスクされているので、固有感覚フィードバックのみで、セッション2では同様に音声がマスクされた状態で本システムによる触覚フィードバックを用いて音声ピッチを制御している。

セッション1では、「かえるの合唱」を5回歌った。セッション2は、セッション1の後に、本システムによる歌唱訓練を30分程度おこない、本システムを用いながら「かえるの合唱」を5回歌った。

4. 結果と考察

Fig.5 から Fig.10 に被験者 A から F までのセッション1 (触覚フィードバックなし) とセッション2 (触覚フィードバックあり) の結果を示した。横軸は Fig.4 で示した「かえるの合唱」の各音符で、縦軸は音程でド(C3)を基準としたセント値である。各音符についての目標音階(target pitch)と被験者の音高(pitch of subject)を表示している。被験者の音高は5試行の平均で、エラーバーは標準偏差である。黒四角のシンボルはセッション1 (触覚フィードバックなし) で、三角のシンボルはセッション2 (触覚フィードバックあり) のデータである。目標音階と被験者の音高の差が少ないほど音程がより正確であると言える。触覚フィードバックなしの場合、被験者 B を除いた被験者は、目標音階と被験者の音高との差が、およそ 300[cent]から 500[cent]であった。しかし、セッション2の触覚フィードバックありの場合は、全ての被験者が触覚フィードバックなしの場合に比べて正確に歌唱していた。ノイズが負荷され、触覚フィー

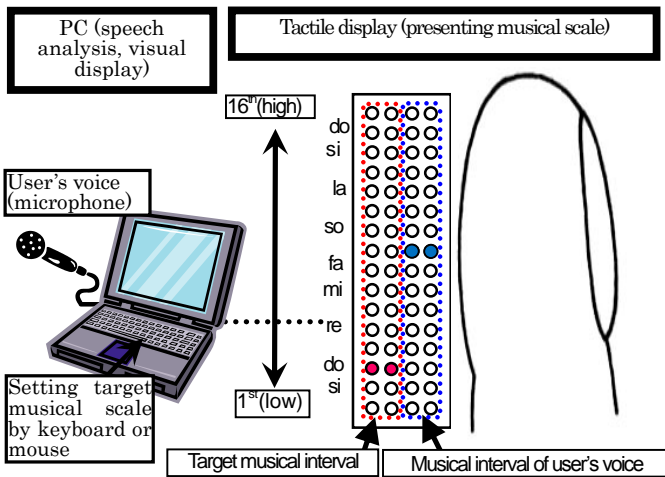


Fig.2. Schematic diagram of a voice pitch control system

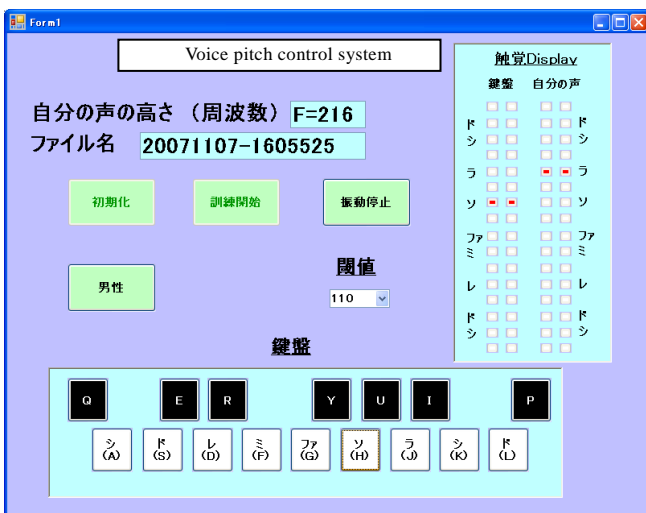


Fig.3. Execution screen of the voice pitch control system

された箇所は振動していることを示していて、触覚ディスプレイにおける振動位置と対応している。

盲ろう者に用いる手順は次のようになる。まず初めに、右手示指第1関節腹側部を触覚ディスプレイ上に置き、目

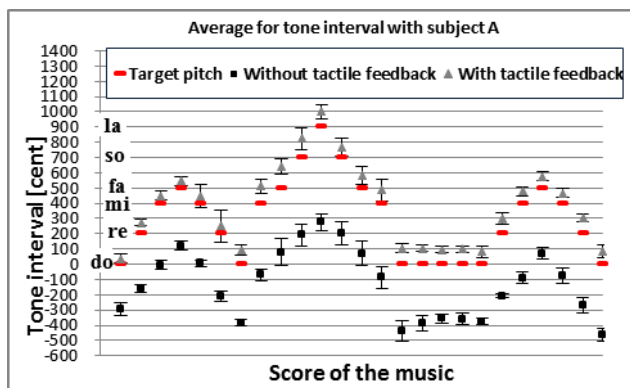


Fig.5 Average for tone interval with subject A

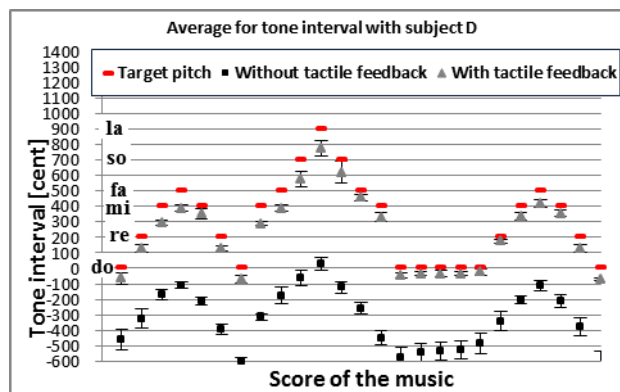


Fig.8 Average for tone interval with subject D

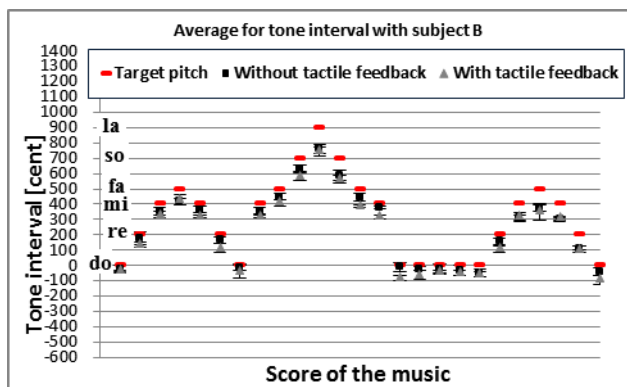


Fig.6 Average for tone interval with subject B

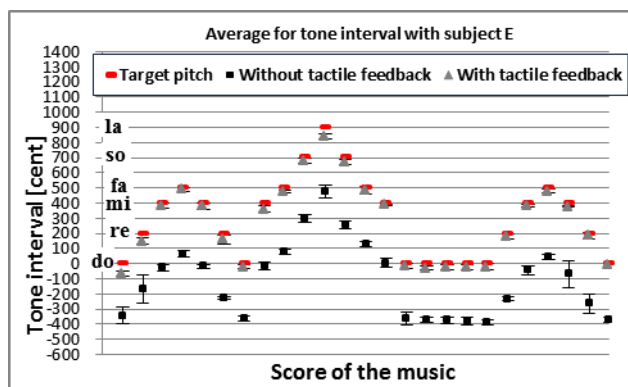


Fig.9 Average for tone interval with subject E

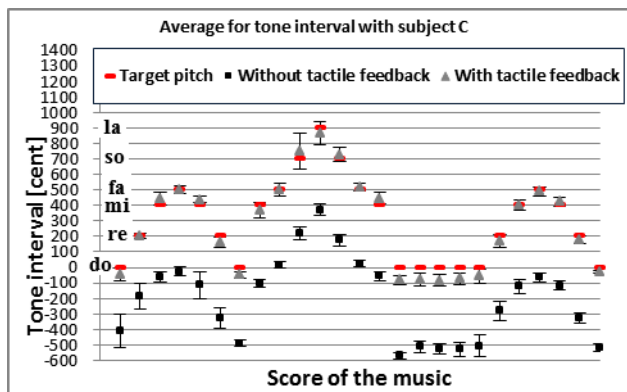


Fig.7 Average for tone interval with subject C

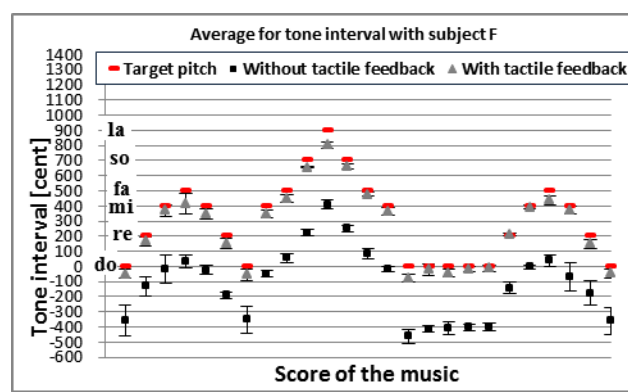


Fig.10 Average for tone interval with subject F

ドバックなしの状態では、被験者は固有感覚フィードバックにより音声ピッチを制御していた。しかし、音声ピッチを制御する上での絶対的基準が定まっていなかったためほとんどの被験者は音声ピッチを正確に制御できなかった。一方、触覚フィードバックありの状態では、本システムにより音声ピッチ制御のための絶対的基準が得られるので、全ての被験者が音声ピッチを制御可能であった。

セッション1,2におけるそれぞれの音符ごとのピッチ差をFig.11に示した。横軸はFig.4で示した「かえるの合唱」の音符で、縦軸は目標音程からの平均のピッチ差を示している。すべての音符について触覚フィードバックなしの場合に比べて触覚フィードバックありの方がピッチ差が減少していた。セッション1の触覚フィードバックなしの場合のピッチ差の全平均は405.6[cent] (SD:42.4)で、セッ

ション2の触覚フィードバックありの場合は57.5[cent] (SD:12.2)であった。一方、我々の先行研究における「かえるの合唱」の盲ろう被験者のピッチ差の全平均は110.9[cent] (SD:79.1)であった⁽⁷⁾。これらの結果の違いは、健聴被験者の固有感覚フィードバックによる音声ピッチ制御が盲ろう被験者のそれに比べてより正確であったために、健聴被験者のピッチ差が小さくなったと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(C)15K01015, (B)26285210, (B)26280070の援助を受けておこなわれた。

参考文献

(1) 伊福部達, "音の福祉工学," コロナ社, 1997.

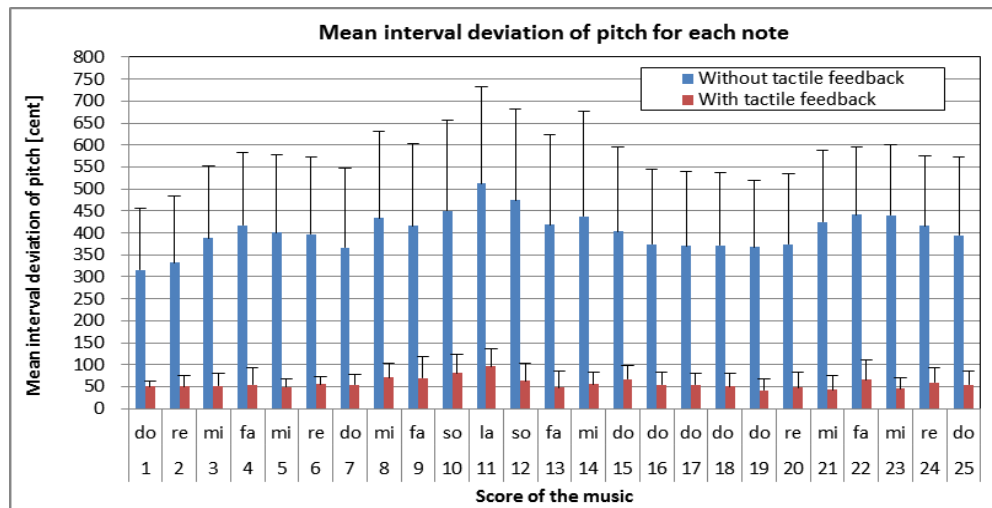


Fig.11 Mean interval deviation of pitch for each note

- (2) Summers I., "Tactile aids for the hearing impaired," Whurr Publishers, 1992.
- (3) Wada C., Shoji H., Ifukube T., "Development and evaluation of tactile display for a tactile vocoder," Technology and Disability; Vol.11, No. 3, pp.151-159, 1999.
- (4) Darrow A., "The effect of vibrotactile stimuli via the SOMATRON on the identification of pitch change by hearing impaired children," Journal of music therapy, Vol. 29, No.2, pp.103-112, 1992.
- (5) 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, Vol.11, No.4, pp.311-319, 2009.
- (6) Sakajiri M., Miyoshi S., Nakamura K., Fukushima S., Ifukube T., "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.
- (7) Sakajiri M., Miyoshi S., Nakamura K., Fukushima S., Ifukube T., " Accuracy of voice pitch control in singing using tactile voice pitch feedback display," 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.4201-4206, 2013.
- (8) Rasphael L., Borden G. and Harris K., "Speech science primer - Physiology, acoustics, and perception of speech 5th edition," Lippincott Williams & Wikins Inc, 2007.
- (9) Temström S. and Soundberg J., "Intonation precision of choir singers," J. Acoustical Society of America, Vol. 84, No. 1, pp.59-69, 1988.
- (10) Murbe D., Pabst F., Hofmann G., Sundberg J. "Significance of auditory and kinesthetic feedback to singer's pitch control," Journal of Voice, Vol.16, No.1, pp.44-51, 2002.