

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18500699
 研究課題名（和文） 盲ろう者のコミュニケーション支援のための触覚刺激による韻律情報呈示方式の研究
 研究課題名（英文） A method of presenting prosody information using tactile stimulation to assist communication of deafblind 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：

本研究では、盲ろう者のコミュニケーション支援を目的とし、音声コミュニケーションに重要な役割を果たしている韻律情報を触覚刺激で呈示する方式について研究した。目標となる教示音階とユーザの音声ピッチ周波数に対応する音階を同時に呈示する触覚ディスプレイシステムを開発し、評価を実施した。その結果、呈示された教示音階に対して、ばらつきはありながらも本研究のシステムを用いることで触覚フィードバックによる音声ピッチ制御がある程度可能であることが確認された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,000,000	0	1,000,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	540,000	3,340,000

研究分野：福祉工学、教育工学

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：盲ろう、聴覚障害、触覚ディスプレイ、コミュニケーション支援、発話訓練

1. 研究開始当初の背景

視覚と聴覚の重複障害者の盲ろう者のコミュニケーション方法には、手話、指文字、手のひら書き、タドマ法、そして日本で考案された指点字など障害特性に応じて多様な方法が存在する。しかし、これらの方法には、特別なスキルを持った通訳者が必要であったり、伝達速度が十分でないなどの問題がある。我々は伝達速度が高く高度な内容を伝達することができる指点字に着目し、振動子により指点字のパターンを呈示するシステムを過去に開発した。このシステムにより、指

点字通訳者なしで健常者と盲ろう者が会話できるようになった。一方、途中で盲ろうの障害を受けた場合、一般的に指点字や点字の修得が難しい。さらに、残存する視覚や聴覚を利用することのできない全盲・全聾（全盲ろう）の盲ろう者の場合には、点字の印刷物や電子化された情報へのアクセスを単独でおこなうことができない。このような盲ろう者のために2次元触覚ディスプレイ上に文字（カタカナ・アルファベット、数字）そのものを呈示するシステムを開発し、インターネットやメール等の電子情報にアクセス

可能になった。これらのシステムは盲ろう者にとって有益ではあるが、伝達できるのはテキスト情報のみであり、発話に含まれるアクセント、イントネーション、そしてリズムなどの韻律情報における非言語情報は伝達されない。

2. 研究の目的

本研究では、韻律情報の中でも非言語情報である音声ピッチ周波数に着目し、ユーザが触覚フィードバックを用いて音声ピッチ周波数を制御することができる触覚ディスプレイシステムの開発を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 音声ピッチ制御システム

研究の目的で述べたように触覚フィードバックを用いて音声ピッチ周波数を制御するためのシステムを開発した。

音声ピッチ制御システムは、PC と触覚ディスプレイ本体 (図 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。触覚ディスプレイ本体は、縦・横・高さのそれぞれの最大長が 180mm × 95mm × 35mm で、重量は 180g である。なお、触覚ディスプレイ本体は、PC の USB 端子に接続され、給電も USB 端子のみからである。

本システムでは、教示音階を PC で設定し、その教示された音階と同じ音階 (音声ピッチ周波数) になるように、盲ろう者 (聴覚障害者を含む) 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。

触覚ディスプレイは、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。触覚ディスプレイの左側 2 列は教示音階を触覚呈示する



図 1 触覚ディスプレイ本体

Fig1. Main unit of a tactile display

表1 刺激ピンと音階との対応

Table1. The correspondence of stimulus pin to musical scale

ピン番号	音階	男声		女声	
		音階英語表記	周波数範囲(Hz)	音階英語表記	周波数範囲(Hz)
16	ト#	C#	269.3-285.3 (277.2)	C5#	538.6-570.6 (554.4)
15	ド	C4	254.2-269.3 (261.6)	C5	508.4-538.6 (523.3)
14	シ	B3	239.9-254.2 (246.9)	B4	479.8-508.4 (493.9)
13	ラ#	A3#	226.4-239.9 (233.1)	A4#	452.9-479.8 (466.2)
12	ラ	A3	213.7-226.4 (220.0)	A4	427.5-452.9 (440.0)
11	ソ#	G3#	201.7-213.7 (207.7)	G4#	403.5-427.5 (415.3)
10	ソ	G3	190.4-201.7 (196.0)	G4	380.8-403.5 (392.0)
9	ファ#	F3#	179.7-190.4 (185.0)	F4#	359.5-380.8 (370.0)
8	ファ	F3	169.6-179.7 (174.6)	F4	339.3-359.5 (349.2)
7	ミ	E3	160.1-169.6 (164.8)	E4	320.2-339.3 (329.6)
6	レ#	D3#	151.1-160.1 (155.6)	D4#	302.3-320.2 (311.1)
5	レ	D3	142.7-151.1 (146.8)	D4	285.3-302.3 (293.7)
4	ト#	C3#	134.6-142.7 (138.6)	C4#	269.3-285.3 (277.2)
3	ド	C3	127.1-134.6 (130.8)	C4	254.2-269.3 (261.6)
2	シ	B2	120-127.1 (123.5)	B3	239.9-254.2 (246.9)
1	ラ#	A2#	113.2-120 (116.5)	A3#	226.4-239.9 (233.1)

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にある。教示音階側、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。右示指を触覚ディスプレイ上に置いた際には、指先にいくほど高い周波数が呈示されることになる。触覚ディスプレイは、圧電素子である piezo 素子を用いて 200Hz の振動刺激を発生させている。振動刺激が 200Hz に設定されているのは、振動刺激に対する閾値が 200Hz 近傍で最も低いからである。刺激ピンの振動時の振幅は最大で 0.1mm で刺激強度は、12~16dBS.L. (S.L.:センセーションレベル) である。

表 1 に音階 (周波数範囲) と刺激ピンの対応を示す。ピン番号は触覚ディスプレイの刺激ピンの番号である。音階は 12 平均律を用いている。1つの刺激ピンが 12 平均律の半音に対応している。男性と女性それぞれの声域に対応させて、男声はラ#(A2#)からド



図2 音声ピッチ制御システムの実行画面
Fig2. Execution screen of voice pitch control system

#(C4#)、女声はラ#(A3#)からド#(C5#)と2つのモードを設定している。表にそれぞれの音階の周波数範囲を示した。周波数範囲の下段の括弧内の数字は、該当する音階の周波数の値である。なお、男声モードと女声モードはPCの画面上で切り替えることができる。

図2に音声ピッチ制御システムの実行画面を示した。図2下側の「鍵盤」では、教示音階を設定する。図2右側の「触覚 Display」の「鍵盤」は教示音階、「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。赤い印は振動していることを示していて、触覚ディスプレイと対応している。

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、教示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、任意の教示音階を呈示し、その教示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。教示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合ったということになる。

(2) 評価実験

試作した音声ピッチ制御システムを用いて評価実験をおこなった。

被験者は、盲ろうの障害をもつ60歳代の女性1名(被験者A)と40歳代の男性1名(被験者B)の計2名である。

被験者Aは、全盲(視覚障害1級)・全聾(聴覚障害2級)の中途障害の盲ろう者(中途盲ろう)で、視覚と聴覚を失ってから28年経過している。盲ろうになる前は三味線の演奏家として生計を立てていた。聴覚のフィードバックがないにも関わらず、現在でも自

宅やコンサートなどで定期的に演奏している。このようなことから音階についての知識があり、自身の声の音程について興味を持っている。主なコミュニケーション方法は指点字で、点字も日常的に使用している。聴力を失ってから28年が経過しているが、発話は健聴者と同程度に明瞭である。

被験者Bは、先天性の視覚障害、後天性の聴覚障害の一般にいう盲ベースの盲ろう者である。障害の程度は、全盲(視覚障害1級)・全聾(聴覚障害2級)である。主なコミュニケーション方法は指点字で、点字も日常的に使用している。聴力を失ってから10年程度が経過している。発話は健聴者と同程度に明瞭とは言えないが、発話内容を聞き取るのに問題はない。小学生の頃にピアノを弾いていたことがあるので、音階(12平均律)についての知識がある。

評価実験は各々の被験者について2回ずつ実施した。なお、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。

1回の評価実験では、初めに、設定された教示音階に音声ピッチ周波数を合わせるように発声する訓練をおこない、評価実験の最終段階において本論文で示す実験データを計測した。初めの訓練と実験データの計測を合わせて2時間程度を要した(休憩を含む)。

初めの訓練では、教示音階を低い音階のドからレ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ、ドと教示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、被験者の指定する教示音階を設定するなどした。なお、被験者に対しては、実験データの計測の内容を事前に知らせていない。

実験データの計測にあたっては、教示音階をド(C3)、ファ(F3)、シ(B3)に設定した。2名の被験者ともに表1における男声の声域が適しており、さらに2名の被験者ともに初めの訓練でド(C4)の発声が難しかったので、ある程度安定して発声可能な上限の音階として、シ(B3)を選択した。

実験データ計測の手順は次のようになる。まず、被験者に教示音階を告げる。次に、触覚呈示されて教示音階に合うように発声し

(1回の練習にあたる)、続けて5回、途中で休止を入れて教示音階に合うように発声してもらおう。発声の持続時間は数秒程度と指示し、発声の際の音量は被験者が発声しやすい音量にするように指示した。発声の際の音声ピッチ周波数は、50ms間隔でPCに記録された。以上の手順により、教示音階をド(C3)、ファ(F3)、シ(B3)に設定し、実験データを計測した。

被験者 A、B ともに 1 回目と 2 回目の実験計測は同じ条件で実施した。2 回目の実験は、1 回目の実験の 2 週間程度後に実施した。

4. 研究成果

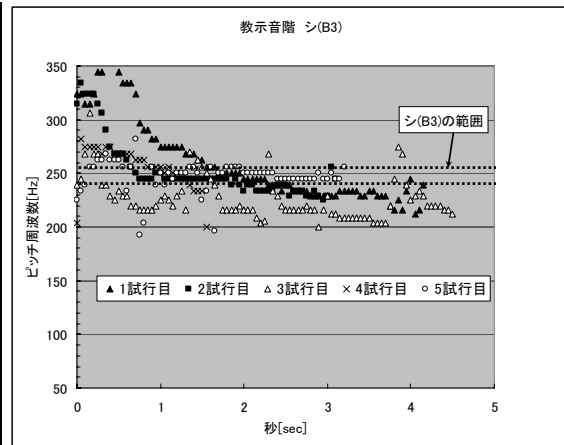
図 3 に被験者 A の第 1 回目の実験データを、図 4 に被験者 B の第 1 回目の実験データを示した。図 3、図 4 ともに(a)が教示音階シ(B3)、(b)が教示音階ファ(F3)、(c)が教示音階ド(C3)のときの計測データである。教示音階に相当する周波数範囲を各グラフ中に示している。発声持続時間が 4.5 秒を越えたデータは掲載していない。

被験者 A、B ともに教示音階がシ(B3)のときに音声ピッチ周波数が不安定になる傾向がみられた。被験者 A、B ともに安定して発声できる最高の音階だったので、発声が難しいように見受けられた。両被験者とも、かなり努力し発声していたので、音声ピッチ周波数が不安定になったと考えられる。なお、被験者 A の地声の音声ピッチ周波数は 170Hz 程度で音階のファ(F3)に相当し、女性としては少し低めの値となる。一方、被験者 B のそれは 120Hz 程度で音階のド(C3)に相当し、一般的な男性の音声ピッチ周波数と同程度の値である。図 3 (a)を見ると、被験者 A は少し高めの音声ピッチ周波数から発声し始め、シ(B3)に合うように徐々に音声ピッチ周波数を下げていく方法をとっている。一方、図 4 (a)を見ると、被験者 B は少し低めの音声ピッチ周波数から徐々に上げていく方法をとっている。それぞれの被験者の地声の音声ピッチ周波数の違いが、発声の際の方法に影響を与えている可能性がある。

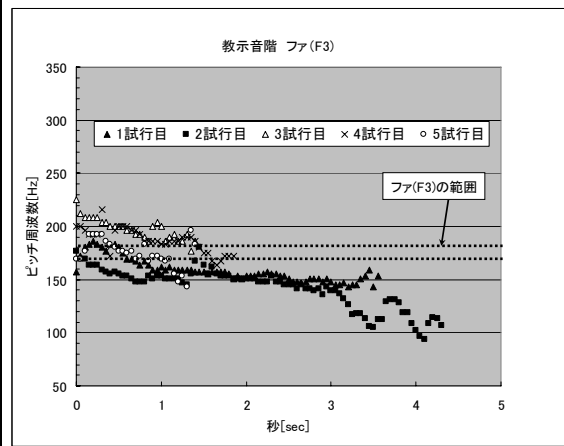
図 3、図 4 ともに発声時間が長くなるに従い、音声ピッチ周波数が不安定になる傾向にあった。被験者 A は失聴してから 28 年、被験者 B は失聴してから 10 年程度経過しているが、失聴してから歌唱の機会がなく、日常生活である時間連続して発声する機会がほとんどなかったため、このように不安定になったと考えられる。本システムを用いた訓練を継続することで、この不安定さが改善される可能性がある。

図 3 と図 4 を比べると、被験者 A のデータに偏差が大きいうように見受けられる (図 6 で平均と標準偏差を示す)。なお、2 回目の実験データであるが、被験者 A、B の計測データが 1 回目と同様の傾向を示したので、紙面の都合上データの掲載を省略する。

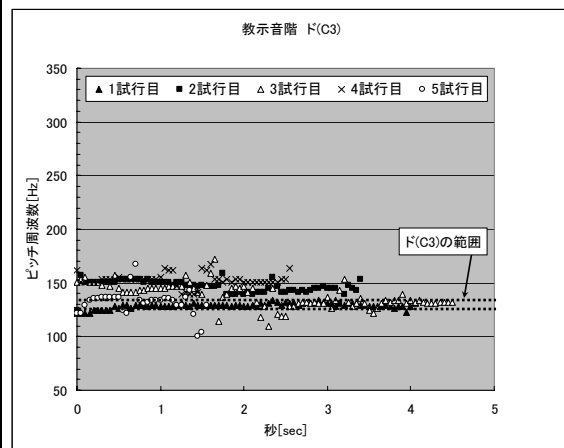
データの平均とばらつきの度合いをみるために、図 5 に各実験の平均データと標準偏差を示した。各試行の発声を開始して 0.5 秒後から 1.5 秒までの 1 秒間のデータをもとに算出した値である。発声開始直後は音声ピッチ周波数が比較的不安定なので 0.5 秒後からのデータを採用した。一方、発声持続時間が



(a)



(b)

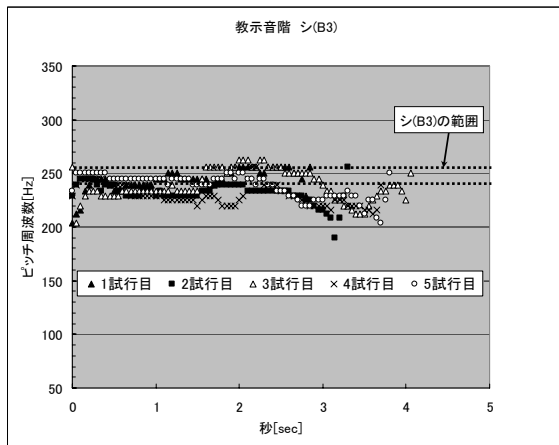


(c)

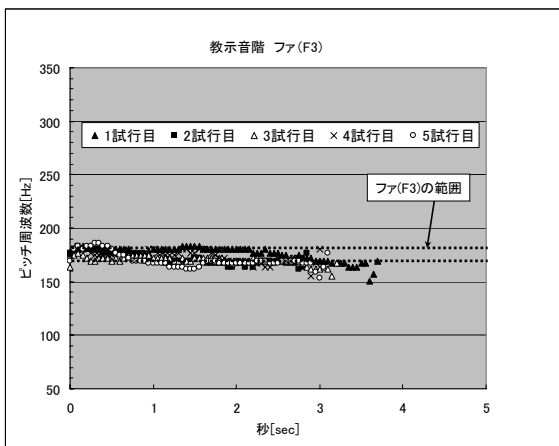
図 3 被験者 A 実験データ (第 1 回目)

Fig3. Experimental data of Subject A (first experiment)

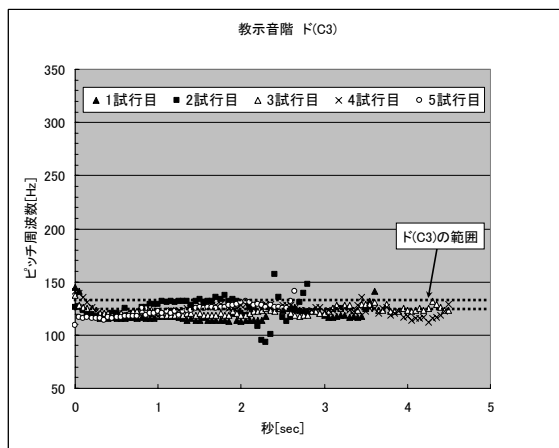
長くなると音声ピッチ周波数が不安定になる傾向があったので、発声後 1.5 秒までのデータを採用することとした。なお、教示音階に相当する周波数範囲を各グラフ中に示している。



(a)



(b)



(c)

図4 被験者B 実験データ (第1回目)

Fig4. Experimental data of Subject B (first experiment)

図5において、被験者Aの1回目と2回目のデータを見ると、1回目の教示音階ド(C3)のときのデータが周波数範囲を越えているのみで、他のデータはほぼ教示音階の周波数範囲になっている。被験者Bの場合は、1回目の教示音階シ(B3)とド(C3)のときに、教示音階の周波数範囲を下回っていた。2回目の

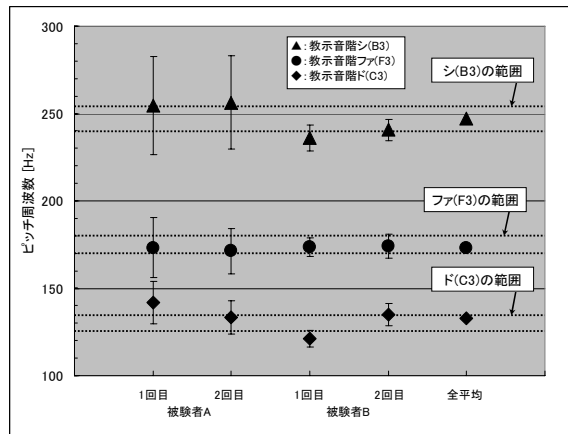


図5 各実験の平均

Fig5. Average of each experiment

ときにはほぼ周波数範囲に入っている。全平均の値は、被験者AとBの値を平均したもので、教示音階の範囲に入っている。本研究におけるシステムは、被験者が自身の音声ピッチ周波数を触知し、その結果に基づき教示音階に合うように音声ピッチ周波数を制御するという方式をとっているため、触知すること、それに応じて音声ピッチを制御するという2つのことを同時におこなっている。正確に触知しても、正確な音声ピッチ周波数で発声できるとは限らない訳であるが、図5の結果、平均値が教示音階の周波数範囲にあることから、データのばらつきは小さくないが、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音声ピッチ制御のためのシステムとして有効に機能していると考えられる。

図5において、被験者AとBのデータを比べると被験者Aのデータのばらつきが大きい。被験者Aは、音声ピッチ周波数を制御する際、少しピッチ周波数を調整した積もりであるが、結果として大きなピッチ周波数の変動をもたらすことがあると述べている。また、ピッチ周波数を安定させることが難しいということも被験者Aが述べている。このように音声ピッチ周波数の制御が難しいという原因としては、被験者が28年間音階に対して自分の音声ピッチ周波数を制御するという機会がなかったため音声ピッチの制御に慣れていないこと、あるいは、触覚フィードバックにより音声ピッチ周波数を制御するということが初めての経験であるので慣れていないことなどが考えられるが、現段階では何が原因かはっきりしたことは分からない。今後継続して本システムによる訓練をおこない追加データを増やしていく必要があると考えられる。

以上の研究成果をまとめると次のようになる。

教示音階と音声ピッチ周波数を触覚呈示する2次元触覚ディスプレイを利用した音声

ピッチ制御システムを開発し、その評価を実施した。計測データを分析した結果、データのばらつきはあったが、発声した音声ピッチ周波数の平均値が教示音階の範囲内であったので、本システムが音声ピッチ制御のためのシステムとして有効に機能していると結論づけられる。

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 5 件)

- ① 坂尻正次, 伊福部達, 三好茂樹: 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; 第 34 回感覚代行シンポジウム講演論文集, pp. 51-54 (2008) 査読無し
- ② 坂尻正次, 伊福部達, 三好茂樹: 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音声ピッチ制御方式; 電子情報通信学会技術研究報告[教育工学], ET2007-82, pp.77-80 (2008) 査読無し
- ③ 坂尻正次, 伊福部達, 三好茂樹: 視聴覚障害者のための触覚刺激を用いた動的データ呈示; 第 22 回リハ工学カンファレンス講演論文集, pp.181-182 (2007) 査読無し
- ④ 坂尻正次, 伊福部達, 三好茂樹: 触覚刺激による音声ピッチ呈示デバイスの開発と評価; 第 21 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 23-24 (2006) 査読無し
- ⑤ Masatsugu Sakajiri, Shigeki Miyoshi and Tohru Ifukube: A Tactile Display to Present Voice Fundamental Frequency on to a Finger-tip for Speech Training of the Deaf-blind; Proceedings of the Seventh Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction, CD-ROM収録 (2006) 査読有り

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