

聴覚代行のための音声の特徴抽出ならびに触覚への呈示方法の研究 - 材質感呈示触覚ディスプレイに関する基礎研究 -

A study of a speech processing method and transmitting method through the tactile sensation for the auditory substitutes

研究代表者 北海道大学電子科学研究所感覚情報研究分野 助手 和田親宗
Instructor, Laboratory of Sensory Information Engineering,
Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University
Chikamune WADA

Abstract: The final goal of this research is to develop a tactile aid for the severely hearing impaired. The tactile aid is a device which changes the speech sound into a vibratory pattern and presents it to the tactile sense. Two pieces of research are necessary to develop it. One concerns speech signal processing and the other consists of a tactile display which transmits the vibratory pattern to the finger. The latter kind was developed by the author in order to present the feeling of material quality in addition to present vibratory pattern, especially the roughness of a material's surface. The first step in developing such a tactile display was to measure the finger pressure when people touched a rough surface. After that, a tactile display was made on which 32 pins were arranged in a 4x8 matrix. Lastly, the author investigated the kinds of tactile stimuli which could present a feeling of roughness to the subjects by using finger pressure. From the results, subjects could feel roughness when the pin amplitude of the tactile display ranged from 140 μ m to 280 μ m and the tactile display was pushed by the finger at a pressure of 50gf. It was also found that the degree of roughness caused by the tactile display varied from the sensation felt while touching #190 sandpaper to that felt while touching #40 sandpaper.

1. 研究目的

1.1 背景

本研究の最終的な目標は、補聴器すら使用できない高度の聴覚障害者いわゆる聾者へ、読話（口話ともいい、口の形や動きを見て話の内容を推測する方法）の際に役に立つ音声情報を指先の触覚を介して伝達する装置（タクトイルエイド）を開発することである。

日本語には「か」と「が」のように口の形だけでは区別できないものが多い。そのため読話だけでは正確に内容が伝わらない可能性が高い。また、口の動きが見えないスピーカ音声などの際には情報を受け取ることができない。タクトイルエイドが完成すると、上記のような問題が解決されるものと考えている。

1.2 申請時の目的

今までは音声のスペクトルのみを、どのような振動刺激パターンに変換して指先の触覚に呈示すれば、読話の役に立つかをヒトの触覚の特性の面から検討してきた。しかし、音声には個人差や声質を表す情報も含まれている。それを触覚の質的な情報に変換し、呈示することができれば読話がよりわかりやす

くなるのではないかと考えた。そこで、音声のスペクトル以外の情報を抽出する方法を検討し、抽出した情報を触覚の質感に変換する方法を探りたい考えた。

1.3 本報告での目的

申請時の目的では、音声信号処理方法の開発と触覚の質的呈示方式開発の二つを挙げていた。しかし、触覚刺激呈示方式の開発に予想以上に時間がかかった。そのため、本報告での具体的な目的は、触覚の質感を呈示できる触覚刺激方法・刺激呈示装置を開発することである。

2. 研究経過

2.1 背景

触覚の質感は、表面粗さ、温度、粘性・弾性、の三つで作られていると推測している。過去に、表面の粗さの異なるものを触ったと想像した場合、どのような言葉を想起するかをアンケート形式で調べたことがある。その結果、粗い表面に触れたと想像した場合には有声音を、なめらかな表面に触れたと想像した際には無声音を想起しやすいことがわかった。

このことを踏まえて、今回は表面粗さ感を呈示できるような触覚ディスプレイを開発しようと考えた。

2.2 触覚ディスプレイの最適装着条件

物体の表面状態を調べる際、ヒトは物体表面に指先を押しつけてなぞり動作をしている。このとき、指先を強く押しつけたり、速く動かしたりすると、表面状態を知覚しづらくなることは、経験的に想像できるであろう。タクタイルエイドの場合、触覚ディスプレイは指先に装着され、指を動かす代わりに刺激が指先上を動くことになる。そのため、触覚ディスプレイを指先に固定する際の押しつけ力と刺激の移動速度を最適な値にしなければ、刺激を知覚しづらくなることも想像できる。以上のことから、まず、触覚ディスプレイを装着する際の、最適な押しつけ力と刺激の移動速度を求めることにした。

2.2.1 実験方法

触ったときに誰もがざらざらだと感じるサンドペーパーを用いて最もざらざらだと感じる呈示条件（指の押しつけ力、試料の移動速度）を求めた。

粗さの異なるサンドペーパーを用いて、粗さの比較実験とした。この実験の目的はざらざら感知覚に関わる触覚機能を最大限に引き出せるような呈示条件を求めることにある。比較実験により、1つの試料を基準にした粗さ弁別閾が得られる。最も弁別閾の小さいところではその判断材料となる情報が多いと考え、その条件において最もざらざら感を知覚できるだろうと考えた。

図1に実験系を示す。被験者は24~25歳の男性3名。プレート上に2種類のサンドペーパーを高さの同一になるよう接着したもの(図2参照)。1つ目はNo.100(最大粒子径212 μ m)に固定し、2つ目に5種類のサンドペーパーを用意した。それらを各5回

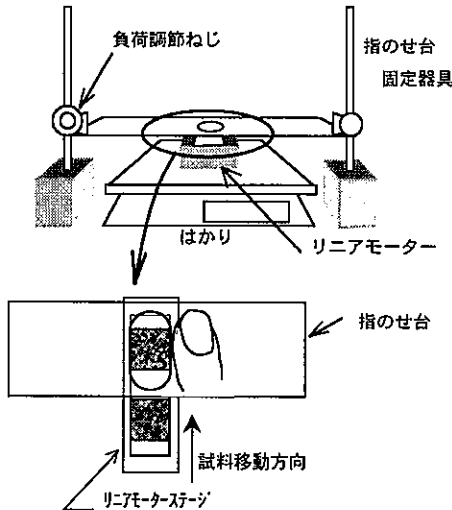


図1 実験系

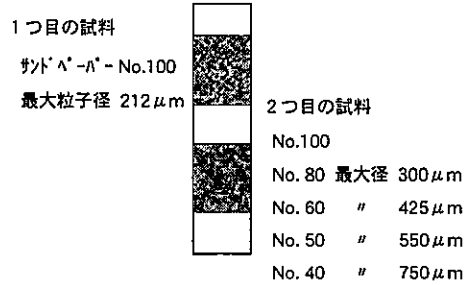


図2 呈示資料

ずつランダムに呈示した。

はかりの上に試料を動かすリニアモーターを設置した。さらにその上に指のせ台を固定し、被験者は右手人差し指を穴のあいた部分にのせた。リニアモーターのステージと指のせ台は決して触れないようにし、指のせ台を調節ねじで上下させ、指先と試料とで一定の押しつけ力となるように調節した。その状態を保ちつつ、試料をリニアモーターのステージにのせて動かした。押しつけ力(10, 20, 30, 40, 50, 60gfの6種類)と試料移動速度(4種類の速度)を変えて、1つめの試料と2つめの試料とでざらざらの度合いが同じか違うかを答えさせる一対比較実験を行った。

2.2.2 実験結果

結果を図3(a), (b)に示す。(a)は横軸に押しつけ力、縦軸に弁別率を(b)は横軸に試料移動速度、縦軸に弁別率をとった。

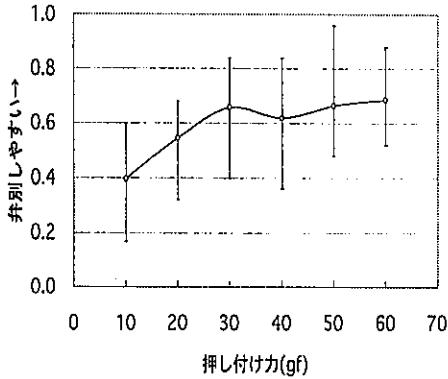
図3(a)から、押しつけ力が30~60gfで弁別率が高くなった。また、刺激移動速度を横軸にとり、さまざまな接触負荷で比較したところ、接触負荷50gf、移動速度40mm/secのところでも最も高い弁別率を得た(図3(b)参照)。このことから、指先を50gfで押しつけ、40mm/secの速さで刺激が移動した場合に、最もよく粗さが知覚されることがわかった。

2.3 触覚ディスプレイによる粗さ感惹起

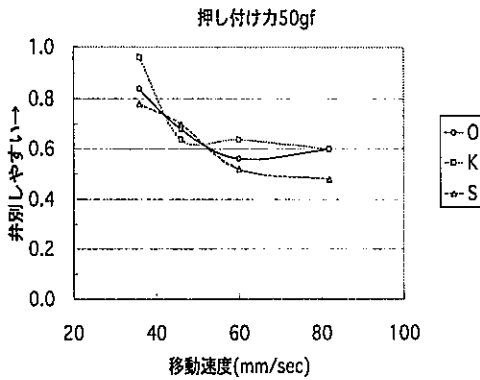
前節で求めた触覚ディスプレイ装着条件下で、どの程度の粗さ感を呈示できるかを調べた。

2.3.1 触覚ディスプレイによる粗さ感惹起の確認

まず、図4のような触覚ディスプレイを試した。直径0.8mmの触覚ピンが3mm間隔で32本並んでいる(図4には一部しか見えない)。各々のピンは32本のピエゾ素子で独立に駆動される。ピンはピエゾ素子によって上下に動かされ、隣り合うピン間で時間差を与えることで、刺激があたかも移動しているような感じを与えた。刺激がこのように仮想的に移動する速さは、先ほど求めた40mm/secである。触覚ディスプレイは図1のリニアモーターの代わりに、はかり上に設置された。さ



(a) 荷役ごとの弁別率



(b) 移動速度ごとの弁別率

図3 粗さ弁別時の最適な押しつけ力と刺激移動速度

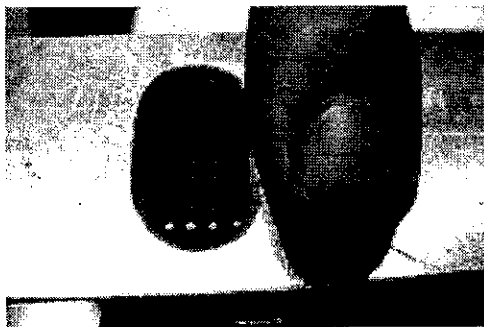


図4 触覚ディスプレイ

らにその上にディスプレイに触れないよう指のせ台を固定し、被験者は右手人差し指を穴のあいた部分にのせた。指のせ台を調節ねじで上下させ、指先で触覚ディスプレイを50gfで押すように調節した。

まず最初に、どのような触覚刺激を被験者は粗いと感じるかを調べた。触覚ピンを様々な周波数と振幅の組み合わせで駆動し、それによって作られる触覚刺激を粗いと感じるかどうかを答えさせた。粗いか粗くないかの基準を与えず、被験者の絶対感覚で判断してもらった。被験者は22~24歳の男性5名、女性1名である。実験の際には、被験者にホワイトノイズを聞かせることで、触覚ディスプレイの駆動音を参考にさせないようにした。

結果を図5に示す。横軸に振幅、縦軸に周波数を取り、濃淡によりざらざら感の惹起確率を表した。

惹起確率60%以上で判断すると、粗さ感を惹起させるためには140~280 μ mの刺激振幅が必要であり、周波数のみを変えても、粗さ感の惹起確率には影響が少ないことがわかった。ただ、100Hzを越えると振幅が大きいときに惹起確率が落ちていることから、粗さ感を惹起させることのできる刺激を周波数のみ、あるいは振幅のみで、議論することはできないこともわかった。

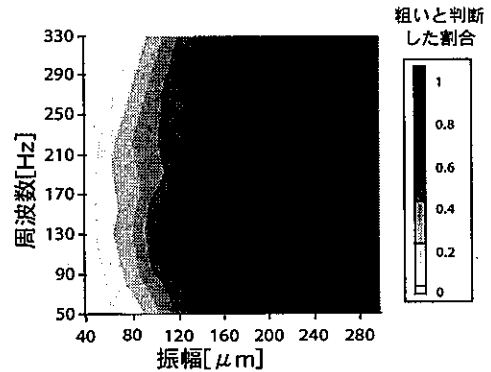


図5 示された触覚刺激と粗さ感惹起確率

2.3.2 惹起された表面粗さ感の確認実験

次に、触覚ディスプレイによって惹起された粗さ感が、どの程度の表面粗さのものに触れた場合に得られる粗さ感、に相当するのかを調べる実験を行った。図5で粗いと判断された刺激周波数と振幅の組み合わせの内、刺激周波数330Hz、振幅140 μ m~280 μ mを用いた。用いた実験装置は2.3.1と同じであり、指の押しつけ力・刺激移動速度も同じである。これらの組み合わせで作られる刺激が呈示された時に惹起される粗さ感と最も近い粗さ感だと判断できるサンドペーパーを選んでもらった。触覚ディスプレイの上に指を置き触覚刺激を呈示された後、同じ指でサンドペーパーに触ってもらった。サンドペ

ーパは 10 種類の粗さのものを順に並べた。

被験者は 22~24 歳の男性 5 名、女性 1 名である。実験の際には、被験者にホワイトノイズを聞かせることで、触覚ディスプレイの駆動音を参考にさせないようにした。なお、サンドペーパーと触覚ディスプレイは被験者から見えないようになっており、触覚情報のみによって粗さ感の比較をおこなってもらった。

結果を図 6 に示す。横軸には呈示された触覚刺激の振幅をとり、縦軸は被験者が答えたサンドペーパーの番号をとっている。

刺激振幅が大きくなるにつれ、惹起される粗さ感も #190 から #40 へと、より粗いざらざら感を惹起させることができた。このことから、今回の触覚ディスプレイで惹起される表面粗さ感を変化させることがわかった。

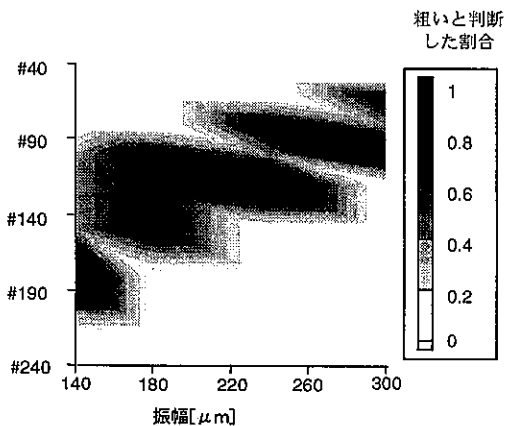


図 6 触覚ディスプレイによって惹起された粗さ感

2.4 まとめ

前半では、ヒトが物体表面の粗さ感を調べる際の、指を物体表面に押しつける押しつけ力と指を動かす速さを調べた。その方法として、触覚ディスプレイの使用を前提にしているので、実際に指を動かすのではなく、指の位置を固定して物体を動かす場合で調べた。その結果、指を 50gf の力で物体表面に押しつけ、物体を 40mm/sec の速さで移動させた場合に、粗さ感をもっともよく知覚できると考えた。

後半では、ピン配列型触覚ディスプレイによって粗さ感を惹起できるかどうかの確認実験と、惹起された粗さ感ほどの程度の粗さのものに触れたときに得られる粗さ感と同等なのかを調べた。触覚ディスプレイを指先に装着する際の条件は、前半の実験で得られた値を用いた。その結果、触覚ディスプレイのピンの振幅が 140~280

μm であれば粗いという感じを惹起させられることがわかった。この場合ピンを駆動させる周波数は粗さ感にそれほど影響を与えなかった。また、惹起された粗さ感、サンドペーパーの #190~#40 に相当することがわかった。なお、ピンの振幅を増やすと、惹起される粗さ感も増加、すなわち粗く感じさせられた。言い換えると、この触覚ディスプレイで、限定されてはいるが、任意の表面粗さ感を惹起させられることがわかった。

3. 研究成果

表面粗さ感を惹起させられる指先装着型の触覚ディスプレイの開発に成功した。加えて、それによって惹起された表面粗さ感を自由に換えられることにも成功した。

4. 今後の課題と発展

最初にも述べたように、聴覚障害者のための音声情報伝達装置の開発には、音声信号処理部分と触覚情報呈示装置の部分の二つの部分を研究する必要がある。今回、本報告では触覚情報呈示装置の開発に成功し、表面粗さ感という従来にはない触覚情報を伝達できる可能性があることを示した。今後は、まず、残っている声質抽出などの音声信号処理の研究を行う。次に声質などの情報と今回得られた表面粗さ感とを組み合わせ、タクトイルエイドの試作を行い、聴覚障害者に評価を行ってもらおう。その後、製品化まで行いたいと思っている。

また、今回得られた結果は、聴覚代行だけではなく、人工現実感技術のための触覚ディスプレイ開発にも活かせると考えている。将来は触覚ディスプレイを使った、より臨場感の高い人工現実感技術開発も行っていきたいと考えている。

5. 発表論文リスト

1. 庄司寿一・和田親宗・伊福部達：重度聴覚障害者の音声受容における触覚の関与について、日本音響学会聴覚研究会、H-99-39、pp.1-6、1999
2. 赤井亮仁・和田親宗・井野秀一・伊福部達：表面粗さ感を惹起させるための触覚ディスプレイに関する基礎的研究、日本バーチャルリアリティ学会第 4 回大会論文集、pp.447-450、1999
3. 和田親宗・赤井亮仁・井野秀一・伊福部達：マトリックス状ピンディスプレイで呈示される触覚刺激と惹起される粗さ感との関係、ロボティクス・メカトロニクス講演会 00、1P1-69-106(CD-ROM)、2000