

聴覚代行における触覚の利用方法の研究

和田親宗 伊福部達 井野秀一

北海道大学電子科学研究所 感覚情報研究室
〒060 札幌市北区北12条西6丁目

我々は音声スペクトルを振動パターンに変換しそれを人差し指の腹に呈示することによって聴覚代行を行う装置、タクトイルボコーダの改良研究を行っている。我々は刺激を電光掲示板のように指腹上を流すというスイープ呈示方式を考案しその評価を行ってきた。その際、触覚の疲労や時には指先に不快な感覚が生じることを経験した。この不快感は振動刺激が指腹上を流れることに起因するものと想像されたので、今回、点字のような凸点刺激をスイープさせて呈示することにより問題を軽減できるのではないかと考えた。また、盲人による点字の読解能力を考慮すると、スイープする凸点パターンは振動パターンよりも識別の面でよりよい刺激方法になることも想像された。そこで振動刺激を用いた場合、凸点刺激を用いた場合、両者を組み合わせた場合の3つの場合について、絶対閾値、二点閾値、疲労の状態からそれらを評価した。その結果、絶対閾値、二点閾値についてはほとんど差が見られなかったが、凸点刺激だけの場合には疲労の影響を最も受けにくかった。このことより長期間使用するタクトイルボコーダの刺激方法は凸点刺激が実用的であろうと推察された。

A study on uses of tactile stimulation for hearing substitutes

Chikamune WADA, Tohru IFUKUBE and Shuichi INO

Laboratory of Sensory Information Engineering,
Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University
N12 W6, Kita-ku, Sapporo 060

We have been studying how to stimulate a fingertip in order to improve our tactile vocoder for deaf people. We have proposed a sweeping display method by which vibratory patterns move on the fingertip surface like an electric news tape. However, the subjects complained that the stimuli by using sweeping display method were uncomfortable. It was ascertained that one of the reasons was complexity due to the mixture of the sweeping vibration patterns and the vibration itself. So, non-vibratory patterns like Braille was swept on the fingertip and we evaluated which is better for the tactile vocoder, vibratory swept pattern or non-vibratory swept pattern. From the experimental results of an absolute threshold and a two-point threshold, the difference between two stimulation methods was not found. It was, however, found that degree of tiredness was much less for non-vibratory stimulation than vibratory stimulation. It was concluded that the tactile vocoder which used non-vibratory swept patterns was more practical than vibratory swept patterns for a long use.

1. はじめに

聴覚障害者の補助装置のうち触覚を介して音声情報を呈示する装置のことをタクタイルエイドという。我々は、音声スペクトルを振動パターンに変換しそれを人差し指の腹に電光掲示板のように流して呈示するというスイープ呈示方式を提案し評価を行ってきた¹⁾。その結果、スイープ呈示方式を用いることによって子音の識別率が多少ではあるが向上することがわかった。しかし、被験者の内観報告によって、振動刺激のスイープ呈示は指先に快適でない感覚を生じることおよび指先が麻痺したような状態（疲労）がおりやすいことがわかった。

ところで、触覚を用いて情報を呈示する方法でよく知られているものは視覚障害者用の点字であろう。この点字を使用している指先に疲労がおり刺激がわからなくなるという報告はない。このことからスイープ呈示に点字の様な凸点刺激を用いることによって振動刺激を用いた際に起こった疲労という問題を解決できるのではないかと考えた。そこで今回は振動刺激、振動を用いない刺激をスイープ呈示した場合の違いについて2点閾値や疲労の状態などの観点から調べたので報告する。

2. 実験装置

今回の実験では振動刺激に加えて凸点刺激をも作り出す必要があったためKGS社製の点字セルを改造して刺激呈示装置とした。図1に実験装置のブロックダイアグラムを示す。刺激パターン作成、刺激強度およびスイープ速度などの制御はコンピュータで行った。コンピュータからの信号はD/Aコンバータおよび振幅変調回路を経たのち刺激呈示部に伝わり振動子を駆動する。振動子にはバイモルフ型の piezo素子が使われており一つの piezo素子が一つの振動ピンを駆動する。振動ピンはプラスチック製で直径は1 mm、先端は半球状に加工されている。点字セルには2×4、計8個のピンが配置されている。右手人差し指の腹を図の様に刺激呈示部に当てた。今回は横1列4個のピンを用いて刺激のスイープ呈示を行った。4個のピンが右から左へ連続して駆動することにより、刺激が指先上を右から左へ移動していく。

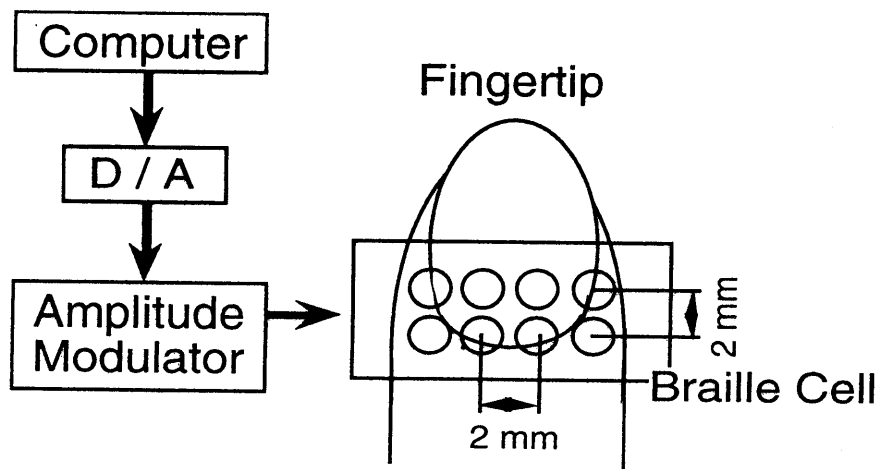


Fig.1 Experimental Setup

呈示した刺激パターンを図2に示す。凸点のような刺激すなわち直流成分が100パーセ

ントのもの（図2下図、100% Braille で示す）、直流成分が50パーセントと振動刺激を組み合わせたもの（50% Braille）、振動刺激だけのもの（0% Braille）の3パターンである。振動周波数は従来のタクタイルボコーダで使用してきた200 Hzである。また、凸点刺激の場合での刺激の立ち上がりの部分での刺激検出を不可能にするために図2に示したような三角波の刺激パターンを採用した。

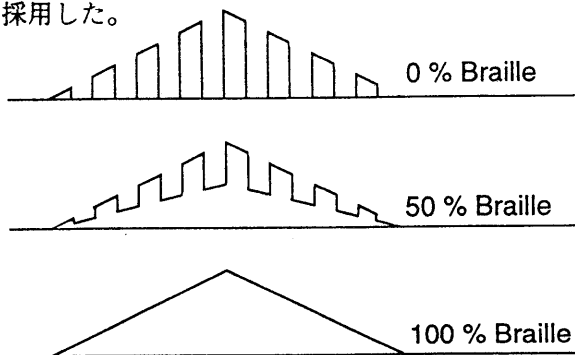


Fig.2 Stimulating patterns

刺激を速くスイープさせると触覚ではその刺激を識別しにくくなる。逆に速度が遅いと触覚ではわかりやすくなるが、単位時間あたりに伝達できる音声情報量は小さくなる。最適なスイープ速度を求めるために6種のスイープ速度を用意した。スイープ速度は刺激を呈示している時間及びピン間隔によって定まる。今回用いたスイープ速度（括弧内は一本のピンによる刺激呈示時間を示す）は4（50）、10（20）、20（10）、40（5）、100（2）、200 cm/sec（1msec）である。

被験者は健聴男性3名、すべて右利きである。振動子によって生ずる音を手がかりにしないよう被験者を疑似聾状態にして被験者調整法により以下のすべての実験を行った。

3. 実験方法および結果

実験は以下の3種。タクタイルボコーダの刺激呈示部として考えた場合、ダイナミックレンジが大きい方が伝達できる刺激量が多くなり、より適していると考えられる。ダイナミックレンジの大きさは絶対閾値によって自ずとわかるので、始めに絶対閾値を求めた。次に空間分解能である二点閾値を求めた。振動刺激で問題となるのは長時間使用による疲労であるので、後述の方法により疲労の定量化を試みた。

3.1.1 絶対閾値の測定

刺激の強度を変化させることによって絶対閾値を求めた。刺激パターンが上述のように3種、スイープ速度が6種、計18種類の条件で実験を行った。各条件において10回閾値を求めその平均をピエゾ素子の振幅に変換した。なお、ピエゾ素子の振幅はレーザ変位計によって測定した。

3.1.2 絶対閾値の測定結果

横軸はスイープ速度（単位は cm/sec）、縦軸は絶対閾値（単位は μ m）である。凡例は○が振動刺激（0% Braille）、■は凸点刺激（100% Braille）、△は振動と凸点の組み合わせによる刺激（50% Braille）を示す。グラフの線種（実線、粗い点線、細かい点線）は3名の被験者のデータであることを表す。全体的にスイープ速度が大きくなるにつれて絶対閾

値も上昇していく。各被験者毎すなわち線種毎にみると、被験者間で値の大小はあるが、どの被験者でも刺激の種類（振動刺激や凸点刺激）による差は見られない。

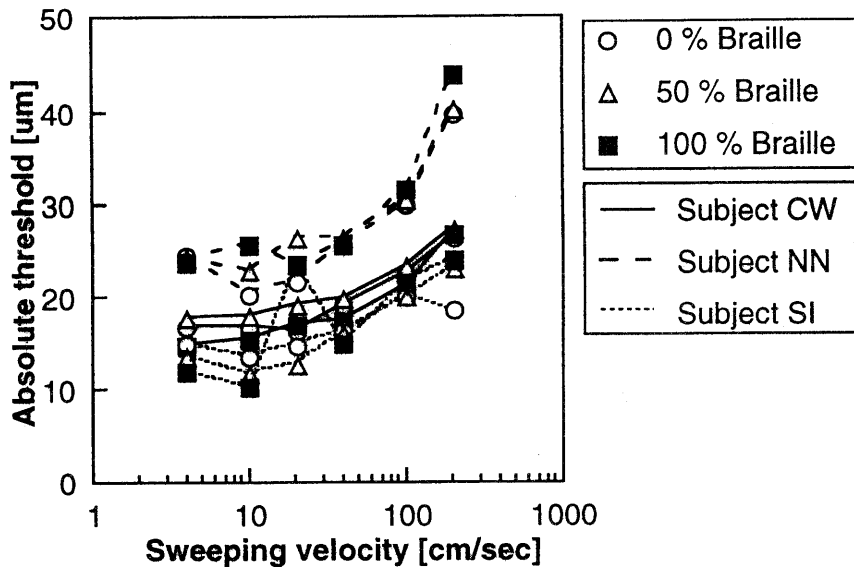


Fig.3 Absolute threshold as a function of sweeping velocity

3.2.1 二点閾値の測定

連続する二つの刺激を二つと識別できる最小の刺激間隔（今回は距離）のことを二点閾値と言う。実験に用いた二つの刺激の強度は 20 dB（Sensation Level: S.L.）。二つの刺激間隔を変化させながら二点閾値を求めた。実験条件などは 3.1.1 と同じく、10 回測定したものの平均を結果として用いた。

3.2.2 二点閾値の測定結果

結果を図 4 に示す。横軸はスウィープ速度（単位は cm/sec）、縦軸は二点閾値（単位は mm）である。凡例は図 3 と同じである。二点閾値も絶対閾値と同じくスウィープ速度が大きくなるにつれて大きくなっていく。被験者間でも差がそれほど見られず、また刺激の種類による差も見られない。

3.3.1 疲労状態の測定

刺激呈示状態は図 5 の様になっている。はじめに 20 dB（S.L.）の刺激を 4 秒間呈示し指先を疲労させる。次に 10、12、14、16、18、20 dB（S.L.）のプロープ刺激を呈示し、4 秒間のマスキング刺激からどの程度時間（図 5 中の ΔT ）を離せばプロープ刺激が識別できるかを調べた。実験条件はスウィープ速度は 20 cm/sec の 1 種、刺激パターンは 3 種、これも各 10 回ずつ値を求めその平均を用いた。

3.3.2 疲労状態の測定結果

3 名分の平均したものを図 6 に示す。横軸はマスキング刺激とプロープ刺激との時間差（ ΔT ）を msec の単位で、縦軸はプロープ刺激の強度を dB(S.L.) で示す。凡例は図 3 と同じで

ある。プローブの強度が 20 dB(S.L.) の場合、刺激の種類によらず時間差にそれほど差は見られない。振動成分を全く含んでいない刺激 (■) の場合、強度が小さくなっても時間差に変化はあまりないが、振動成分を含んでいる刺激 (○と△) の時間差は大きくなること
 がわかる

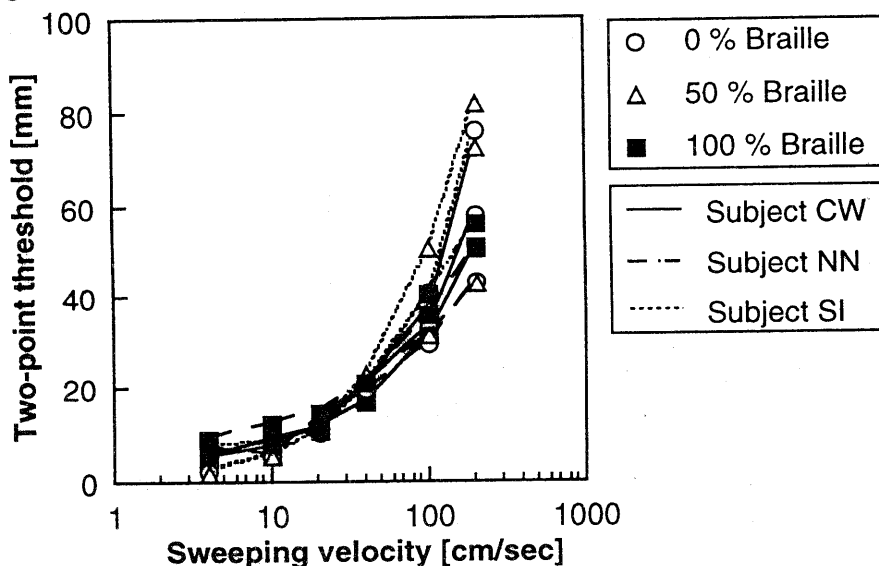


Fig.4 Two-point threshold as a function of sweeping velocity

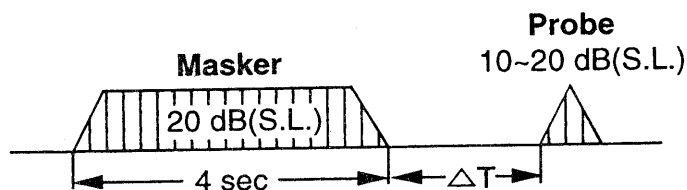


Fig.5 Stimulating pattern for measuring amount of adaptation

4. 考察とまとめ

絶対閾値と二点閾値の結果が刺激の種類に依存しなかった理由としては、一つの刺激の呈示時間が振動成分 (200 Hz) の影響を受けるほど長くはなかったためと考えている。また、以前行った絶対閾値や二点閾値の結果¹⁾と比較すると今回の値の方が大きい。この理由としては以前の刺激呈示装置のピン表面が切断面で加工されていなかったことおよび刺激パターンが三角波ではなくパルス状であったことが挙げられる。

ところで、スイープ呈示方式を提案した背景としては従来の 200 Hz 振動 (触覚受容器の主にパチニ小体を刺激する) に加えて、刺激が指先表面を流れることにより皮膚浅部に高密度に分布している受容器 (マイスナー小体) を活用できるのではないかと考えたからである。マイスナー小体は 40 Hz 付近で最小閾値をとる。今回の実験で考えると 10 cm/sec は刺激呈示時間が 20 msec すなわち 50 Hz でマイスナー小体を刺激しやすい速度である。しかし、今回の結果からはスイープ呈示方式がマイスナー小体を刺激しているかどうかは断定できなかった。

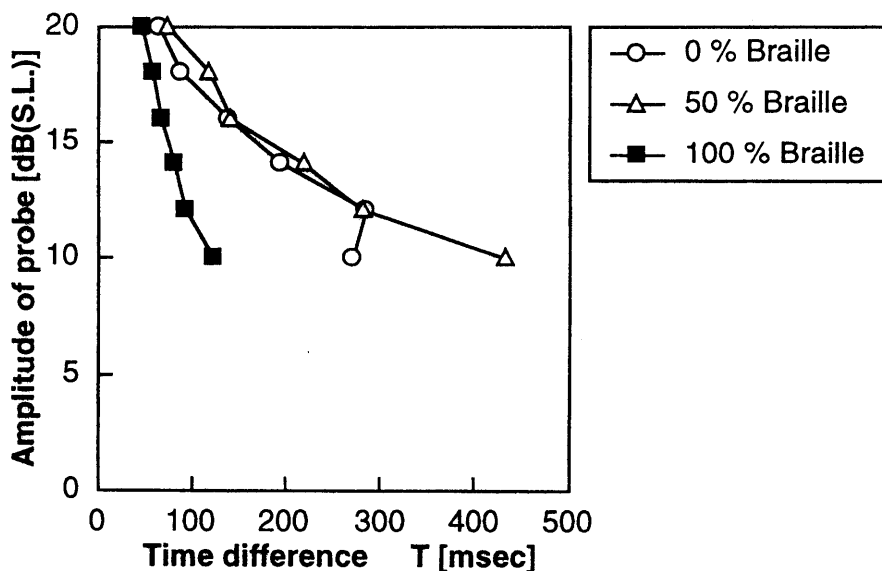


Fig. 6 Amplitude of probe as a function of time difference between probe and masker

次に、疲労の状態の結果において、20 dB(S.L.)で振動と凸点で差がなかったことは二点閾値で両者に差がなかったことと整合する。もし、我々の目指しているタクタイルボコーダが音声の強弱を伝達しないものであれば、すべてのピンを同じ強度例えば20 dB(S.L.)で振動させれば疲労の問題は考える必要がないのかもしれない。しかし、我々の目標としているタクタイルボコーダは音声の周波数成分と強さを伝えるものであるのでピンをいつも同じ強度で駆動するわけにはいかない。このことから考えると時間差の小さい凸点刺激の方がより実用的であると言える。

今回の実験では最適なスイープ速度を求めることはできなかった。また、スイープ呈示方式によってマイスナー小体を活用できているかどうか不明であった。しかし、実用上の観点から疲労のより小さい凸点刺激の方が良いことが推察された。さらに振動刺激と凸点刺激をうまく組み合わせることで質的な情報をも呈示できるものと考えている。

今後は実際の音声の識別実験を通して振動刺激、凸点刺激の利点を明らかにしてより多くの情報を呈示できるタクタイルボコーダの開発につなげていきたい。なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助金(一般研究A 課題番号 06402067 並びに一般研究C 課題番号 07650465)の補助によって行われた。ここに記して感謝する。

<参考文献>

- 1) C.Wada, T.Ifukube, S.Ino, and T.Izumi: "Proposal of a new tactile display method of speech signals as a nonverbal communication for the profoundly hearing impaired," 3rd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp.95-100 (1994)