

学位論文題名

音声認識補助のための触覚への情報呈示方式
に関する研究

学位論文内容の要旨

近年の急速な高齢化に伴い聴覚に障害を持つ者が激増している。そのため難聴者のための優れた音声認識補助装置を開発することが急務となってきた。我々は過去に一本の指先の皮膚感覚を介して音声情報のスペクトルパターンを振動パターンに変換して伝達する補助装置を開発し実用に供したことがある。この方式は、視覚を束縛しないので読話と併用できるとか、聴覚と触覚の特性に類似性があることから聴覚的なイメージを惹起させ得ることなどの利点があった。しかし、伝達できる情報量の限界、学習に要する時間、長時間使用に伴う疲労、皮膚温の低下に起因する誤認識などの問題が指摘され、それらを改善することが強く要望されていた。

本研究では上記の問題を解決するために基礎に戻って触覚の諸特性を解析し、従来方式に加えて新しい音声呈示方式を提案しより多くの情報を伝達できるようにしたものである。また、学習時間の短縮、疲労の軽減、皮膚温の影響などの問題にも多くの示唆を得たことから実用化および普及化の足がかりを得ている。以下に、本論文の構成に従って本研究で得られた成果を述べる。本論文は全6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景として聴覚代行の社会的必要性を述べ、本研究の目的を示した。

第2章では、聴覚障害の種類や聴覚障害によって生じる知的発達上の問題や社会的不利について述べた。さらに従来の聴覚代行法についてまとめ、本研究と比較することにより本研究の位置付けを明確にした。

第3章では、我々が開発した従来方式を概説し、読話との併用実験を行った。一週間程度の訓練の後に単音節音声(/ku/, /su/, /tsu/, /nu/, /fu/, /yu/, /ru/)の認識を読話だけで行った場合には20%弱の識別率であったものが、触覚を併用することによって60%程度の識別率に増加することを確認した。しかし、/ku/や/tsu/などの短時間で子音部分が終わる単音節音声の場合には識別率の向上はあまり見られなかった。そこで子音の弁別を困難にしている要因は後続母音の子音部をマスクするテンポラルマスクングにあると仮定して、振動触覚のテンポラルマスクング特性を調べた。その結果、始めに与えた信号刺激が後続の遮蔽刺激に影響を受ける範囲が約200msecに及んでいることがわかり、この現象が短時間で終わる子音部の認識を困難にしていることが推論された。テンポラルマスクングの影響を少なくするために、単音節音声を時間を引き延ばして呈示した結果、約3~4倍の引き延ばし率で/ku/などの認識率が約60%から90%に改善されることが確認された。しかし、この引き延ばし呈示は実時間でできないことから、音声スペクトルパターンを振動パターンに変換した後、電光掲示板の

ように指腹上をスウィープさせる呈示方式を提案した。この方式で、/ku/のような単音節音声の場合、子音部と母音部が指腹上で分離して知覚されるようになるため、スウィープ呈示によって識別率が向上する可能性がある。

第4章では、前章の仮定を実証するために、スウィープ呈示による音声認識率を求めた。実験に先立ち、最適なスウィープ呈示速度を推定するために、スウィープ呈示速度と振動触覚の閾値特性および2刺激がやっと分離して知覚される二点閾値特性を求めた。その結果、閾値に関してはスウィープ呈示速度が約10cm/secで最小の3~4 μ mになり、二点閾値に関しては単調増加ではあったが呈示速度が2cm/secから10cm/secまでは約8~9mm程度とほぼ一定の値を示すことがわかった。以上の基礎的知見を踏まえて、単音節音声(/ku/、/su/、/tsu/、/nu/、/fu/、/yu/、/ru/)の識別実験を行った。その結果、一週間程度の訓練の後には、40%程度の識別率であったものが10cm/secのスウィープ速度で60%弱に上昇することを確認した。しかし、振動パターンの動きに加えてスウィープによる動きが重畳するため、呈示パターンが複雑になるとともに、指腹に残像感や疲労感を覚えることも指摘された。さらに、内観報告により皮膚温の違いによって刺激により生じる感じ方が異なることも指摘された。

第5章では、前章の問題点を考慮して振動パターンがスウィープする代わりに点字のような凸点パターンが指腹上を移動するような刺激を作り、残像感や疲労感の観点からどちらの刺激方法が有利であるかを調べた。そのため、4秒の遮蔽刺激の後に短時間の信号刺激を与えテンポラルマスキングの及ぶ範囲を尺度として両者の刺激を比較した。その結果、振動刺激の場合にはテンポラルマスキングが300~400msecにまで及んだが、凸点刺激の場合には約100msecと及ぶ範囲がはるかに小さくなることがわかった。このことは振動刺激で残像感や疲労感が残ることを裏付けており、残像や疲労を減らすためには、凸点パターンをスウィープさせた方が有利であるといえる。次に、指腹の皮膚温を12~42 $^{\circ}$ Cの範囲で変えて閾値を求めたところ、約20 $^{\circ}$ C以下になると閾値が大きく上昇することがわかった。ただし、振動刺激と凸点刺激では閾値の温度依存性には差が無かった。しかし、どちらの刺激であったかという質的な違いを判別させる実験を行ったところ12 $^{\circ}$ Cでは凸点と振動との差異がわからなかったが、約20 $^{\circ}$ Cを越えると質的な違いが明確になり、30 $^{\circ}$ C以上ではほぼ100%の割合で凸点であったか振動であったかを判別することができた。これは、振動刺激を受容するパチニ小体の感度が温度によって大きく変化し、低温になるほど閾値が低下するという事に起因していることが推察された。また、10cm/secのスウィープ速度は指腹上で刺激が25回呈示されることになるので、凸点刺激の場合、40Hz程度までの繰り返し刺激に対して閾値の低いマイスナー小体を受容している可能性がある。これらのことから、温度によって刺激を受け取る受容器が異なり、それが質感の違いとして判別されるようになったと推察できる。このことは、質感の違いを積極的に利用することによりさらに多くの情報を伝達できることを意味している。さらに、その触覚の材質感と子音の音質感とに何らかの関連のあることが予想されたので、いろいろな物体に触れたと考えた場合に想起される子音を報告させたところ、物体表面の材質感から特定の子音が連想されることがわかった。以上から、従来の装置にスウィープ呈示方式を導入するとともに凸点と振動の両方の刺激を同時に利用して、残像感や疲労感を少なくしたり、子音の種類によって触覚の質感が変わるような新しい情報呈示方式が有効であると考えられる。

第6章では、本研究の成果を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 福 部 達
副 査 教 授 河 原 剛 一
副 査 教 授 山 本 克 之
副 査 教 授 永 井 信 夫

学 位 論 文 題 名

音声認識補助のための触覚への情報呈示方式 に関する研究

近年の急速な高齢化に伴い聴覚に障害を持つ者が激増している。そのため難聴者のための優れた音声認識補助装置を開発することが急務となってきた。著者の属する研究室では過去に指先を介して音声情報を伝達する装置を開発した。この方式は、視覚を束縛しないので読話と併用できるなどの利点はあったものの、伝達できる情報量の限界、学習に要する時間、長時間使用に伴う疲労、皮膚温の低下に起因する誤認識などの問題が指摘され、それらを改善することが強く要望されていた。

本研究は従来の装置を改良するために基礎に戻って触覚の諸特性を解析し、新しい音声呈示方式を提案し、より多くの情報を伝達できるようにしたものである。また、従来の装置の問題点に対しても多くの示唆を得たことから実用化および普及化の足がかりを得たとしている。主な結果は以下に要約される。

第1章では、本研究の背景として聴覚代行の社会的必要性を述べ、本研究の目的を示している。

第2章では、従来の聴覚代行法と本研究とを比較することにより本研究の位置付けを明確にしている。

第3章では、著者の属する研究室で開発された従来の方式を概説し、それを用いて読話との併用実験の結果を述べている。一週間程度の訓練の後に単音節音声 (/ku/, /su/, /tsu/, /nu/, /fu/, /yu/, /ru/) の認識率が触覚刺激によって上昇することがわかった。しかし、/ku/などの子音部分の短い場合には識別率の向上はあまり見られなかった。そこで子音の弁別を困難にしている要因は後続母音の子音部をマスクするテンポラルマスクングにあると仮定し、振動触覚のテンポラルマスクング特性を調べている。その結果、マスクングの範囲が/ku/などの子音部に比べて長いことがわかり識別を困難にしていると推論している。テンポラルマスクングの影響を少なくするために、音声を時間を引き延ばして呈示した結果、/ku/などの認識率が改善されることを確認している。しかし、この引き延ばし呈示を実時間で行うことはできない。そのために音声スペクトルパターンを振動パターンに変換した後、電光掲示板のように指腹上をスウィープさせる呈示方式を提案している。

第4章では、前章の提案の有効性を確認するために、スウィープ呈示による音声認識率を求めている。実験に先立ち、最適なスウィープ速度を推定するために、スウィープ速度と振動触覚の閾値特性を求め、スウィープ速度が約10cm/secで閾値は最小の3~4 μ mになることがわかった。このことを踏まえて、単音節音声の識別実験を行った結果、一週間程度の訓練の後には、40%程度の識別率が10cm/secのスウィープ速度で60%弱に上昇することを確認している。しかし、振動パターンの動きに加えてスウィープによる動きが重畳するため、指腹に残像感や疲労感を覚えることと、皮膚温の違いによって刺激により生じる感じ方が異なることを指摘している。

第5章では、前章の問題点を考慮して点字のような凸点パターンが指腹上を移動するような刺激を作り、残像感や疲労感の観点から振動と凸点のどちらの刺激方法が有利であるかを調べている。テンポラルマスクング手法により比較した結果、振動刺激より凸点刺激の方がマスクングの範囲がはるかに小さくなった。このことは振動刺激で残像感などが残ることを裏付けており、残像や疲労を減らすためには、凸点パターンをスウィープさせた方が有利であるとしている。また、どちらの刺激であったかという質的な違いを判別させる実験を行った結果、低温になるほど凸点と振動との判別が困難になった。これは、振動刺激を受容するパチニ小体の閾値の温度依存性によるものと推察している。また、10cm/secのスウィープ速度は指腹上で刺激が25回反復呈示されることになるので、凸点刺激はマイスナー小体を受容している可能性を挙げている。これらのことから、温度によって刺激を受け取る受容器が異なり、それが質感の違いとして判別されるようになったと推察している。このことは、質感の違いを積極的に利用することによりさらに多くの情報を伝達できることを意味している。以上から、従来の装置にスウィープ呈示方式を導入するとともに凸点と振動の両方の刺激を同時に利用して、残像感や疲労感を少なくしたり、子音の種類によって触覚の質感が変わるような新しい情報呈示方式が有効であると述べている。

第6章では、本研究の成果を総括している。

以上のように、本研究は、聴覚障害者の触覚を用いる音声認識補助のための新しい情報呈示方式を提案し、心理物理学の実験に基づいてその有効性を評価したものであり、生体工学とくに福祉工学の分野に寄与するところが大きい。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。