

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	骨導超音波知覚の解明に基づく最重度難聴者用の新型補聴器の開発
研究機関・部局・職名	独立行政法人産業技術総合研究所・健康工学研究部門・上級主任研究員
氏名	中川 誠司

【研究目的】

骨導（骨伝導）で呈示された超音波（**骨導超音波**）であれば、聴覚健常者はもとより、一部の重度感音性難聴者にも知覚される。申請者らのグループは生理データによって、骨導超音波が“音”として重度難聴者にも知覚されること、音声で骨導超音波を振幅変調することで、言語情報の伝達までもが可能であること客観的に証明した。さらに、骨導超音波の知覚特性、神経生理メカニズムの解明に取り組み、それらの知見を生かして重度難聴者のための新型補聴器（**骨導超音波補聴器**）の開発に取り組んで来た。試作した骨導超音波補聴器を用いた聴取試験の結果、重度難聴者の約半数が音声を知覚可能、3割が単語の同定可能という画期的な成果を得ている。しかしながら、骨導超音波補聴器の開発が本格的に始まって未だ数年であり、改善すべきポイントは数多く残されている。特に、実用化に向けて明瞭性や音質、骨導振動子とその装着方法の改善といった基本性能の向上が強く望まれる。また、今後の開発の効率向上や普及に必要なコンセンサスの獲得には、骨導超音波知覚そのものの神経生理メカニズムの向上や骨導超音波呈示にまつわるいくつかの基盤情報・基盤技術の確立が必要である。また、研究成果を効率よく、かつ確実・迅速に社会に還元するためには、研究の過程で得られた骨導超音波や一般的な骨伝導にまつわる要素技術を利用した、様々な派生機器の開発が有効であると考えられる。本研究ではこれらの問題の解決を目指して、以下に示すような具体的課題の解決に取り組む。

- 1) 音声知覚特性の解明に基づく音声信号加工方式の開発
 - 骨導超音波補聴器による音声聴取試験を実施し、音声情報（ピッチ、アクセント型、特殊拍、パラ言語情報など）ごとの伝達特性を調べる。また、それらの音声情報の要因となる音響特徴量の調整や、振幅変調方式の改良によって明瞭性や音質の向上を図る。
 - 両耳装用による明瞭性の上昇の可能性を検討する。
 - 得られた知見を盛り込んだ新型試作器を開発し、実用性能の評価を行う
- 2) 末梢神経生理メカニズムの解明と適応基準の提案
 - 聴覚末梢や脳幹部から生じる反応電位や音響反応を計測することで、有毛細胞や蝸牛神経の振る舞いを直接的に評価する。
 - 大脳聴覚野活動や心理物理特性から、末梢～脳幹のメカニズムを推定する。
 - 得られた末梢メカニズムに関する仮説から、骨導超音波知覚の受容モデルを構築し、実測された神経生理反応、心理反応との比較からその妥当性を検証する。また、検証されたモデルに基づいた適応基準を提案する。

- 3) 補聴器開発に必要な基盤情報・基盤技術の確立
- 骨導スピーカ出力の正確な評価のため、生体頭部やファントムを対象とした計測、さらにはコンピュータ・シミュレーションによって、頭部内伝搬過程と蝸牛に生成される音場を推定する。頭部共振や皮膚の粘弾性の影響等についても調べる。
 - 検出閾やラウドネス特性、一過性閾値変動特性の計測の結果を併せて、骨導超音波暴露の安全性を評価する
- 4) 骨導スピーカとその装着方法の改善
- 連携機関と協力して積層構造と形状の最適化を図ることで、骨導スピーカの振動効率の向上および小型化を図る。装着感やデザインも含めた性能向上を図る
 - 頭部内伝搬過程の推定結果から、骨導超音波の受容器に安定的・効率的にエネルギーを伝搬できるような、振動子装着部位・装着方式を見いだす。適応的に最適呈示状態を保つ機構、複数個の振動子を用いた方法も検討する。
 - 現代のライフスタイルを考慮し、使い勝手の良い形態や装着方法を検討する。
- 5) 骨伝導にまつわる要素技術を利用した派生機器の開発
- 本課題の遂行の過程で獲得された骨伝導に係る要素技術を利用して、特定の用途に特化された重度難聴者用福祉機器や、さらには（可聴周波数の）骨伝導デバイスの開発に取り組む。それぞれの用途にあった最適化を施す。

【総合評価】	
	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】
① 総合所見
<p>本研究課題は、①音声知覚特性の解明に基づく音声信号加工方式・変調方式の開発、②末梢神経生理メカニズムの解明と適応基準の設定、③補聴機器開発に必要な基盤情報・基盤技術の確立、④骨導振動子とその装着方法の改善、⑤骨伝導にまつわる要素技術を利用した派生機器の開発という5項目の達成を目標として4年間に亘る研究を進めている。研究開発のステップは適切に設けられ、所期目標が達成できたと思われる。開発機器の重度難聴者向けの実用性を考えた場合、小型化、性能向上についての更なる伸展が必要であるが、それは今後の研究成果に期待したい。なお、骨導超音波要素技術については、一部応用が展開されており、本研究の成果といえる。</p>

② 目的の達成状況
<p>・所期の目的が</p> <p>(■ 全て達成された □ 一部達成された □ 達成されなかった)</p>

本研究課題は、①音声知覚特性の解明に基づく音声信号加工方式・変調方式の開発、②末梢神経生理メカニズムの解明と適応基準の設定、③補聴機器開発に必要な基盤情報・基盤技術の確立、④骨導振動子とその装着方法の改善、⑤骨伝導にまつわる要素技術を利用した派生機器の開発という5項目の達成を目標として4年間に亘る研究を進めている。進捗については、①②③については必ずしも狙い通りでない部分もあるものの、着実に成果を挙げ、骨導超音波による信号伝達の基盤技術を確立した。④についても一部達成できていない部分はあるが、パネルスピーカ型振動子を開発することができており、⑤については骨伝導を利用した骨導スマートホンや難聴児童用の音声学習ボードを開発し、騒音下での明瞭度・了解度や音声認識率が有意に向上することを確認している。

したがって、所期の目的は達成されたと評価される。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

本研究課題のキーテクノロジーである音声信号変調方式については、最適化にかかわる検討を行い、新たに提案された Transposed 方式によって、従来の DSB-TC 方式に比べて音質の改善と消費エネルギーの軽減を実現した。これらの新方式の提案のベースとなる末梢神経生理メカニズムに関しても、末梢電位、脳波、脳磁界の計測により、骨導超音波知覚時には聴神経以降の聴覚路が活動しているが、内耳においては可聴音とは異なるメカニズムが存在することを示す結果を得ている。これらについては先進性や優位性を高く評価できる。

装着性などデザインや使用性に関する知見も得られている。また聴覚生理に関する研究への波及効果が期待できる。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

これまで、重度難聴者に残された唯一の聴覚回復手段は人工内耳であった。しかし、人工内耳は奇形などの医学的理由から装着できない難聴者がいる上に、装着しても十分な効果を発揮しない例も少なくなかった。この点に関し、骨導超音波を利用した補聴器が実用化されれば難聴者福祉への貢献が極めて大きいと期待される。骨導超音波

知覚は重度感音性難聴者でも知覚できる特異な聴覚知覚である。

経済的な貢献については、実用化による国内メーカーの育成が考えられる。既存の人工内耳については、海外の主要メーカーがシェアを独占している状態であるため、新たな解決方法として本研究課題で提案されている骨導超音波補聴器の実用化により、国内メーカーによる産業化が図れることにつながる期待感がある。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが（行われた ・ 行われなかった）

限られた研究スタッフの体制ではあるが、研究成果が継続して出されている。研究実施は適切に行われていると評価される。これまでに、査読あり論文 34 件、投稿中 33 件などを有するとともに、学会発表 135 件、知的財産権取得済み 4 件、出願中 2 件を有している。この他、日刊工業新聞での報道、一般雑誌の掲載など計 4 件など、研究成果の公表状況は適切と言える。国民との科学・技術対話の累積実施件数が、難聴者への個別対応 5 件を含め 10 件あるなど、取り組みは良好であると言える。