

平成 21年 6月 10日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18390462  
 研究課題名 (和文) 実環境で最重度難聴者用超音波補聴システムを実現するための  
 基礎的・臨床的研究  
 研究課題名 (英文) Basic and clinical study for usage of the ultrasound hearing aid  
 in daily life of the profoundly deaf  
 研究代表者  
 細井 裕司 (HOSOI HIROSHI)  
 奈良県立医科大学・医学部・教授  
 研究者番号：80094613

## 研究成果の概要：

人工内耳などの手術を要さず、音声言語情報を全く音が聞こえない最重度難聴者に伝える超音波補聴システムを実用化するための研究を行った。至適超音波周波数帯域、振動子の位置、新振動子の開発、ダイナミックレンジをはじめ超音波聴覚特性、周波数弁別能、最重度難聴者における効果、変調方式による超音波語音明瞭度の相違、本補聴システムのリハビリテーション法について、本研究によって大きな成果が見られた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2007年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・耳鼻咽喉科学

キーワード：① 最重度難聴 ② 補聴器 ③ 骨導 ④ 超音波 ⑤ 医療・福祉

## 1. 研究開始当初の背景

現在、全く音が知覚できない最重度難聴者に対して人工内耳があるが、手術を要するために、躊躇する難聴者も多い。人間の聴覚では、気導音としては 20 kHz 以上の超音波領域の音は聞こえないが、超音波振動子を用いて骨導で聞こえることは、1948 年に Gavreau

が報告して以来、多くの研究がある。我々は、聴力正常者と最重度難聴者を対象に脳磁図と PET を用いて超音波聴覚の中枢メカニズムを調べた。その結果、音が全く聞こえない最重度難聴者においても超音波刺激が脳の聴覚野を活性化すること、また超音波を carrier として異なる言語音が聴覚野で区別

され得ることを初めて証明した(The Lancet, Vol. 351, No. 9101, 1998)。

また通常音が全く聞こえない最重度難聴者でも超音波を carrier として語音が弁別できることを示した。これらの事実、超音波を利用した最重度難聴者のコミュニケーションを補助するシステムの実現の可能性を示している。このことを受けて、基礎的な研究と並行して、超音波聴覚を最重度難聴者のコミュニケーション補助装置としての実用化を目指して、種々の角度から研究を行ってきた。そして超音波を用いたコミュニケーション補助装置のプロトタイプとなる超音波聴覚検査装置を作成した(特許成立)。本装置を用いて、実用化を視野に入れて超音波聴覚に関する基礎的検討を進めている。すでに基礎的検討、応用研究を終えており、本研究計画で実環境において最重度難聴者のコミュニケーション補助に有効なシステムの完成を目指す段階にある。

## 2. 研究の目的

最重度難聴者(両側 100 dB 以上の聴力レベルで、現在の補聴器では効果が得られない高度の難聴者)が実環境において、音声言語によってコミュニケーションをとれる補聴システムの実用化ならびに本システムを最大限に効率よく使用するためのリハビリテーション法の開発を目的とする。

## 3. 研究の方法

実用補聴器として超音波を聴覚系に効率よく伝えるための研究として、至適周波数帯域の検討、振動子の位置の検討と新型振動子の開発を行った。また、超音波を搬送波として伝えられる音声言語情報の認識度の向上のための基礎的、臨床的検討を行った。工学的手法、聴覚心理的手法、脳磁図による客観的手法を適宜用いた。

## 4. 研究成果

(1) 実用補聴器として超音波を聴覚系に伝えるための研究

### ① 実用補聴器用超音波の周波数帯域の検討

屋外での使用を想定した補聴システムへの応用のためには、現実環境で最も音声言語情報が聴覚系に伝達されやすい周波数を特定する必要がある。各種の超音波領域の周波数を聴取実験により検討した結果、100kHz 以上の超音波領域は不適當で、28kHz から 40kHz 周辺が至適であると考えられた。

### ② 実環境で使用する振動子の位置の検討

正常被験者を対象に最も超音波がよく伝達される部位は乳様突起から胸鎖乳突筋周辺と特定された。

### ③ 実環境で使用する振動子の開発

直径約 1cm、厚さ約 5mm、重量約 5mg の小型振動子を開発した。頭部への固定も容易となった。

(2) 超音波を搬送波として伝えられる音声言語情報の認識度の向上のための研究

### ① 骨導超音波のダイナミックレンジの検討

補聴器によって音声言語情報を伝える場合、ダイナミックレンジは重要な要素である。骨導超音波のラウドネス特性を検討した結果、可聴音より狭いダイナミックレンジを持つことがわかった。

### ② 骨導超音波の N1m の検討

骨導超音波と高周波気導音の比較から骨導超音波の特性を脳磁図によって検討した。その結果両者ともに音圧の減少に伴って N1m 振幅は減少したが、その減少率は骨導超音波の方が有意に大きかった。このことは聴覚情報処理過程における骨導超音波の特徴を示唆してお

り、実環境で使用する場合考慮すべきであると考えられた。

### ③ 骨導超音波の周波数弁別能の検討

骨導超音波補聴システムにおける周波数弁別能の客観的検証を目的として、MMF 計測を行った。その結果、すべての聴覚健常被験者および重度難聴者において骨導超音波刺激に対して左右側頭部で MMF が観察された。聴覚健常者においては、骨導超音波に対する MMF の活動強度は気導音の MMF の 80% に達していた。このことは、骨導超音波補聴システムの周波数弁別能が実用的なレベルに達していること、骨導超音波補聴システムによって重度難聴者であってもある程度の周波数弁別が可能であることを示している。

### ④ 最重度難聴者に対する骨導超音波補聴システムの効果

平均聴力レベルが両側 100dB 以上の最重度感音難聴者 24 名を被験者として、骨導超音波補聴システムによる超音波正弦波の聴取の可否、周波数弁別の可否、簡単な単語の同定の可否を調べた。その結果、42% の被験者で何らかの音を知覚することができた。また、21% が正確に周波数を弁別し、17% が簡単な単語を聞き取ることができた。訓練を積んだ被験者の中には日常会話がほぼ問題なく行える者もいた。

### ⑤ 変調方式間の比較

振幅変調方式による明瞭度の変化を、日本語単音節明瞭度試験によって調べた。また、男声・女声の違いによる明瞭度の変化を検討した。被験者は日本語を母語とする聴覚健常者 7 名（女性 1 名、22-37 歳）である。DSB-TC 方式、DSB-SC (Double sideband- suppressed carrier)

方式、および下側波帯を利用した SSB (Single sideband) 方式の 3 種類を用いた。男声・女声各一名分の日本語単音節 100 個に 3 種類の振幅変調を施した骨導超音波を呈示した。比較のため、音声そのものを気導呈示したものに對する明瞭度も計測した。

その結果、DSB-TC、SSB、DSB-SC の順に高い明瞭度が得られた ( $p < 0.01$ )。また、すべての被験者において、男声より女声に対する正答率が高かった ( $p < 0.05$ )。DSB-TC および SSB 方式では、搬送波である 30 kHz 正弦波に由来する十数 kHz のピッチと復調された音声を知覚される。SSB ではその原理上、DSB-TC に比べて変調度が低下してしまうことが両者の明瞭度の差となっていると思われた。

### ⑥ リハビリテーション手法の検討

PC ベースの超音波補聴器用リハビリプログラムを作成し、評価実験などに活用した。本プログラムは、すべての操作をマウスで行うことができ、重度難聴者自身での操作も十分可能である。本システムが適応となる最重度難聴者に骨導超音波補聴器を試用してもらい、日常生活において聴取される音の聞こえ方の調査、および、その結果をふまえたリハビリテーション手法の開発を行った。

## 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 20 件)

1. Yamashita Akinori, Nishimura Tadashi, Nakagawa Seiji, Sakaguchi Takefumi, Hosoi Hiroshi, Assessment of ability to discriminate frequency of bone-conducted ultrasound by

- mismatch fields, *Neurosci Lett*, 査読有, 438, 260-262, 2008
2. Seiji Nakagawa, Effects of stimulation rise-time on auditory N1m to air-conducted, bone-conducted audible and bone-conducted ultrasonic sounds, *Biomagnetism-Transdisciplinary research and explortation-*, 査読有, 98-100, 2008
  3. 西村忠己, 吉田悠加, 細井裕司, 高齢者の補聴器装用希望者の聞こえに感ずる自己評価と家族評価, *Audiology Japan*, 査読無, 51, 123-129, 2008
  4. 西村忠己, 特集・耳鼻咽喉科医に必要な補聴器の知識 update 補聴器外来を行うための準備－検査・周辺設備・補聴器業者の選択－, *ENTONI*, 査読無, 84, 1-5, 2008
  5. 西村忠己, 細井裕司, 特集・補聴器と人工内耳 補聴器外来の実態と将来のあるべき姿－大学病院の補聴器外来－, *JOHNS*, 査読無, 24(9), 1333-1336, 2008
  6. Seiji Nakagawa, Effects of stimulation side on the auditory evoked magnetic fields: Objective assessments of sound localization in bone-conducted ultrasonic perception, *Trans Jpn Soc Med Biol Eng*, 査読有, 45(1), 129-133, 2007
  7. 西村忠己, 骨導超音波の知覚メカニズムの解明と臨床応用, *奈医報*, 査読無, 20(1), 84-86, 2007
  8. 吉田悠加, 西村忠己, 細井裕司, 補聴器装用が心理・社会的側面に与える影響, *Audiology Japan*, 査読無, 50, 52-60, 2007
  9. 細井裕司, 耳鼻科医にとっての補聴器フ  
 イッティングと最近の進歩, 耳鼻咽喉科展望, 査読無, 50(2), 74-81, 2007
  10. 細井裕司, 補聴器の適合 (人工内耳との併用を含む), 日耳鼻, 査読無, 110, 484-487, 2007
  11. Seiji Nakagawa, Yousuke Okamoto, Yoh-ichi Fujisaka, Development of a bone-conducted ultrasonic hearing aid for the profoundly sensorineural deaf, *Trans Jpn Soc Med Biol Eng*, 査読有, 44(1), 184-189, 2006
  12. 細井裕司, 西村忠己, 小泉敏三, 岡本雅典, 山下哲範, 今月の主題 聴覚難聴とその診断, 臨床検査, 査読無, 47(10), 1124-1128, 2006
  13. 西村忠己, 細井裕司, 1.症候 2) 難聴・耳鳴, 耳鼻咽喉科頭頸部外科, 査読無, 78(9), 643-647, 2006
  14. 細井裕司, 補聴器装用のための聴覚検査, 専門医通信, 査読無, 88, 12-13, 2006
- [学会発表] (計 23 件)
1. 穴川芙美, 斉藤 修, 柳井修一, 西村忠己, 細井裕司, 補聴器装用時のラウドネスと語音明瞭度の関係, 第 3 0 6 回日耳鼻大阪地方連合会, 2008.9.6, 大阪
  2. 赤坂咲恵, 西村忠己, 岡安 唯, 細井裕司, 語音弁別検査における単音節の異聴傾向, 第 3 0 5 回日耳鼻大阪地方連合会, 2008.6.7, 大阪
  3. 山下哲範, 西村忠己, 長谷芳樹, 阪口剛史, 岡安 唯, 小泉敏三, 細井裕司, 骨導超音波と可聴音の語音聴力の比較, 第 1 0 9 回日本耳鼻咽喉科学会総会, 2008.5.15-17, 大阪
  4. Yamashita Akinori, Nishimura Tadashi, Nakagawa Seiji, Koizumi Toshizo, Sakaguchi Takefumi, Hosoi Hiroshi, Comparison between

- Bone-conducted Ultrasound and Audible Sound in Capability to Discriminate Frequency, The 12th JAPAN-KOREA Joint Meeting of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, 2008.4.3-5, Nara
5. Sakaguchi Takefumi, Saito Osamu, Hosoi Hiroshi, Hearing aid using cartilage conduction, Association for Research in Otolaryngology 31st MidWinter Meeting, 2008.2.16-21, Phoenix, Arizona, USA
  6. 西村忠己, 吉田悠加, 細井裕司, 補聴器装用希望者の聞こえについての自己評価と家族評価の差-年齢や聴力が及ぼす影響について-, 第303回日耳鼻大阪地方連合会, 2007.12.8, 大阪
  7. Yamashita Akinori, Nishimura Tadashi, Sakaguchi Takefumi, Koizumi Toshizo, Nakagawa Seiji, Hosoi Hiroshi, Capability to discriminate the frequency of bone-conducted ultrasound assessed by mismatch field, The 9th Japan-Taiwan Conference in Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery, 2007.11.9-10, 仙台市
  8. 小泉敏三, 西村忠己, 山下哲範, 阪口剛史, 細井裕司, 骨導 30kHz 純音と骨導 1kHz 純音のラウドネスの比較, 第52回日本聴覚医学会総会, 2007.10.4-5, 名古屋市
  9. 山下哲範, 西村忠己, 長谷芳樹, 阪口剛史, 岡安 唯, 細井裕司, 骨導超音波の語音聴力の検討, 第52回日本聴覚医学会総会, 2007.10.4-5, 名古屋市
  10. 阪口剛史, 山下哲範, 西村忠己, 細井裕司, FW03 を用いた最重度難聴者の聴取評価, 第52回日本聴覚医学会総会, 2007.10.4-5, 名古屋市
  11. 阪口剛史, 山下哲範, 西村忠己, 細井裕司, 67-S と FW03 による最重度難聴者の聴取評価に関する検討, 日本音響学会 2007 年秋季研究発表会, 2007.9.19-21, 山梨市
  12. 山下哲範, 西村忠己, 阪口剛史, 細井裕司, モルモットを用いた骨導超音波刺激による蝸電図の検討, 第16回日本耳科学会総会, 2006.10.19-21, 青森市
  13. 西村忠己, 山下哲範, 阪口剛史, 細井裕司, 骨導超音波と可聴音の聴取閾値の関係, 第16回日本耳科学会総会, 2006.10.19-21, 青森市
  14. 西村忠己, 山下哲範, 小泉敏三, 中川誠司, 阪口剛史, 細井裕司, 先行音が後続音の N1m の大きさに与える影響-音像が変化した場合-, 第51回日本聴覚医学会総会, 2006.9.28-29, 山形
  15. 山下哲範, 西村忠己, 中川誠司, 小泉敏三, 岡安唯, 阪口剛史, 細井裕司, 骨導超音波と高周波気導音の脳磁図を用いた検討-音圧を変化させた場合-, 第51回日本聴覚医学会総会, 2006.9.28-29, 山形
  16. 吉田悠加, 西村忠己, 山下哲範, 細井裕司, 補聴器装用後の聞こえ, 満足度と心理・社会的影響の関係, 第51回日本聴覚医学会総会, 2006.9.28-29, 山形
  17. 山下哲範, 西村忠己, 小泉敏三, 岡安唯, 中川誠司, 細井裕司, 骨導超音波と高周波気導音の音圧を変化させた時にみられる脳磁界反応の検討, 第298回日耳鼻大阪地方連合会, 2006.9.16, 大阪
  18. 西村忠己, 山下哲範, 吉田悠加, 阪口剛史, 細井裕司, 骨導超音波と気導音の聴取閾値の関係, 第298回日耳鼻大阪地

- 方連合会, 2006.9.16, 大阪
19. 西村忠己, 山下哲範, 小泉敏三, 岡本雅典, 細井裕司, 難聴者のコミュニケーション能力の自己評価と家族評価の比較, 第107回日本耳鼻咽喉科学会, 2006.5.11-13, 東京
  20. Nishimura Tadashi, Sakaguchi Takefumi, Koizumi Toshizo, Hosoi Hiroshi, Right-left difference in high-frequency hearing, The 11th Korea-Japan Joint meeting of otorhinolaryngology-head and neck surgery, 2006.4.6-8, Busan
  21. 吉田悠加, 西村忠己, 吉川佳子, 天白奈里, 細井裕司, 補聴器が心理・社会的側面に与える影響, 第296回日耳鼻大阪地方連合会, 2006.3.11, 大阪
  22. 山下哲範, 西村忠己, 阪口剛史, 細井裕司, モルモットを用いた骨導超音波蝸電図の検討, 第296回日耳鼻大阪地方連合会, 2006.3.11, 大阪
  23. 西村忠己, 吉田悠加, 吉川佳子, 山下哲範, 小泉敏三, 岡本雅典, 細井裕司, 難聴者の聞こえについての自己評価と家族評価の比較, 第296回日耳鼻大阪地方連合会, 2006.3.11, 大阪

[図書] (計2件)

1. 西村忠己, 細井裕司, 金原出版, 小児耳鼻咽喉科診療指針, 2009, pp365-367
2. 細井裕司, 医学書院, 今日の耳鼻咽喉科頭頸部外科治療指針第3版, 2008, pp537-538

[その他] (計4件)

1. 細井裕司, 補聴器の機能と適応について, 日耳鼻補聴器相談医更新のための講習会, 2008.11.30, 浜松市
2. 細井裕司, 補聴器—基礎から最新の知識

まで—, 第8回 KENTOB会, 2008.9.20, 堺市

3. 細井裕司, 補聴効果の評価法, 第34回全国身体障害者福祉医療講習会, 2008.6.7, 宮崎市
4. 細井裕司, 高齢者の抱く耳鼻咽喉科のイメージとコミュニケーション障害への対応, 第107回日本耳鼻咽喉科学会,

6. 研究組織

(1)研究代表者

細井 裕司 (HOSOI HIROSHI)  
奈良県立医科大学・医学部・教授  
研究者番号: 80094613

(2)研究分担者

阪口 剛史 (SAKAGUCHI TAKEFUMI)  
奈良県立医科大学・医学部・助教  
研究者番号: 50347564

今泉 敏 (IMAIZUMI SATOSHI)  
県立広島大学・保健福祉学部・教授  
研究者番号: 80122018

渡辺好章 (WATANABE YOSHIAKI)  
同志社大学・工学部・教授  
研究者番号: 60148377

中川 誠司 (NAKAGAWA SEIJI)  
独立行政法人産業技術総合研究所・人間福祉医工学研究部門・主任研究員  
研究者番号: 70357614