

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：13401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650081

研究課題名(和文)インプラント型補聴器開発のための基礎的検討

研究課題名(英文)A basic consideration of the development of an implanted bone conduction hearing aid

研究代表者

森 幹男(Mori, Mikio)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70313731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：歯科インプラント上の歯冠内に装着するインプラント型骨伝導補聴器を提案してきたが、本研究課題では、この歯科インプラント型骨伝導補聴器開発のための基礎的検討を行った。骨伝導振動子を歯の表面に当てて歯を横方向に加振する場合、付加ポイントを上の歯とするよりも下の歯の方とした方が、高い受聴感度が得られることが分かった。また、耳栓の有無によって骨導音の知覚に差が生じ、高S/N下でも両耳に耳栓を装着した場合の方が良くなる傾向があることを確認した。外部マイクロホンとの間の無線化方法としてはBluetoothを用いる方法、人体通信を用いる方法、磁気誘導を用いる方法などが考えられるが、これらについて検討した。

研究成果の概要(英文)：We proposed an implanted bone conduction hearing aid to be worn in the crown of a dental implant. In this study, we measured the thresholds of bone conduction hearing via the teeth by using a bone conductive actuator. It was found that the thresholds of bone conduction hearing via the lower teeth tend to be louder than those of the upper teeth. In addition, it was found that bone conductive sounds tend to be louder when earplugs are used in both ears, even in a high S/N environment. This work studies wireless control between an implanted bone conduction hearing aid and an external microphone. Wireless control can be divided into three distinct types: Bluetooth, magnetic induction, and intrabody communication.

研究分野：音声

キーワード：補聴器 骨伝導 インプラント

## 1. 研究開始当初の背景

我が国では高齢化が進み、並行して難聴者もまた毎年増加傾向にある。高齢者に多い軽度・中等度難聴も含めると難聴者の数は650万人に達する。しかし、補聴器や人工中耳などの適用で救済されている割合はわずか7%程度に留まっているのが現状である。全国補聴器専門店認定協会補聴器供給システムの在り方研究会発行の「適正な補聴器普及のための供給システムに関する調査研究報告書」によると、補聴器の問題点として、補聴器利用者から「ハウリングが生じやすい」、「受聴感が不自然」、「専門家でないと調整が困難」などの点が指摘されている。

そこで、申請者らは、調整の容易なコピキタス補聴器に関する研究を行ってきた。

一方、骨伝導を用いると重度の伝音性難聴でも音を認識できることから近年、骨伝導補聴器が製品化されている。しかし、顔の上から皮膚を介して骨に振動を伝える方式の骨伝導補聴器の場合、皮膚で振動が減衰するために音が大きく聞こえないという問題点がある。また、骨に直接ネジで固定して直接骨に振動を伝える方式ではBAHA (Bone Anchored Hearing Aid, 埋め込み型骨導補聴器) がスウェーデンで開発され販売されているが、外科手術により頭蓋骨にチタン製の台座を埋め込み、そこに補聴器具を取り付ける必要があり、そのための手術が必要な上、外からも見えてしまうという問題点がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、高齢化社会に向けて、歯科インプラント上の歯冠内に装着する外から見えない「インプラント型補聴器」を提案する。本課題ではその見通しを得るため、装着する歯の場所による受聴感度や周波数特性の違いを被験者による聴取実験によって明らかにすると同時にインプラント型補聴器と外部マイクロホンを無線で結ぶ技術を確立し、試作・評価までを行う。将来的には医学部と協力して、口腔内に装着する「インプラント型補聴器」を開発し、ハウリングや装着時の閉そく感といった利用者ストレスを軽減し、高齢者を中心とした利用者へ貢献することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 骨伝導振動子のインプラント化に関する基礎的研究

受聴感度の高い骨伝導振動子付加ポイントを設定するために歯の4か所で検知限電圧の測定を行った。付加する正弦波の周波数は250・1000・4000Hzの3種類とした。信号提示部位は中切歯と第一大臼歯それぞれ上下の4か所とした。また、歯は左右で対称性があることから左側の歯のみに対して測定を行った。測定は20代の被験者34名に対して3回行った。

また、骨伝導振動子を歯の表面に当てて歯を横方向に加振する場合(横加振)と歯の噛み合わせ面に当てて歯を縦方向に加振する場合(縦加振)とで聴感特性を比較した。

### (2) 体外に携帯する本体と口腔内に装着する補聴器を結ぶ無線技術の研究

体外に携帯する本体と口腔内に装着する補聴器との間の無線化を検討した。3種類の方式の無線化方式(Bluetooth・人体通信・磁気誘導)について比較を行った。

### (3) 気導音と骨導音の時間分解能の比較

骨導音の音質が気導音に比べて劣る原因として、(周波数特性ではなく)時間分解能に着目し、骨導音の時間分解能を主観評価実験で調べた。

### (4) 語音聴力検査による骨導音と気導音の単語了解度の比較

骨導音の気導音に比べ音質が劣ることや、音が大きく聞こえないことなどの問題点を、骨導音受聴時に周囲の気導音が聞こえることによるS/N低下に起因していると考え、耳栓を用いて気導音を遮断した状態での骨導音の単語了解度を語音聴力検査によって気導音と比較した。

## 4. 研究成果

### (1) 骨伝導振動子のインプラント化に関する基礎的研究

皮膚を介して歯を加振した場合、皮膚による減衰量が0.25~8[kHz]の間で約10dB増大することを検知限電圧測定実験によって明らかにした。このとき、骨伝導振動子を歯へ押し当てる力をコンプレッションゲージで一定に保つが、押力による検知限電圧の変化が、皮膚を介した場合では1.4N以下になると非常に大きくなるが、歯を直接加振した場合ではほとんど変化しないことが分かった。

次に、受聴感度の高い骨伝導振動子付加ポイントを設定するために歯の4か所で検知限電圧の測定を行った結果、受聴感度の高い付加ポイントは上の第一大臼歯と下の中切歯である被験者が多いということが分かった。

さらに、骨伝導振動子を歯の表面に当てて歯を横方向に加振する場合(横加振)と歯の噛み合わせ面に当てて歯を縦方向に加振する場合(縦加振)とで聴感特性を比較した

図1に被験者1名に対し、日を変えて3回測定した最小可聴値の平均値を示す。2500~4000 [Hz]で横・縦加振時ともに上顎中切歯よりも下顎中切歯を介し音を聴いた場合に感度が高いことが分かる。また、他4名の被験者も同様に2500~4000 [Hz]で横・縦加振時ともに上顎中切歯よりも下顎中切歯を介し音を聴いた場合に感度が高くなることを確認した。

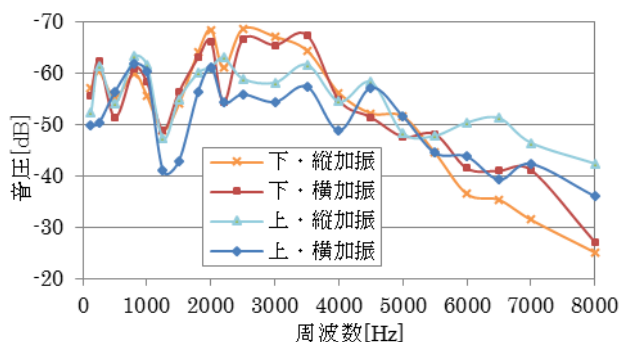


図1 被験者1名の最小可聴値(3回平均)

また、歯に装着したマウスピースに振動子を接着剤で固定して歯を加振することで測定値のばらつきを少なくし、歯を介した骨導音の最小可聴値を測定した。歯に直接振動子を押し当てて測定した場合と比較して、測定値のばらつきを軽減することができた。

### (2) 体外に携帯する本体と口腔内に装着する補聴器を結ぶ無線技術の研究

体外に携帯する本体と口腔内に装着する補聴器との間の無線化を検討した。

まず、腕に取り付けた電極と歯に取り付けた電極との間を人体通信で無線化した。次に、腕に取り付けていた送信電極を乳様突起に取り付けることによって単語理解度が向上し、伝送損失が約 3dB 改善されることが分かった。

さらに、磁気誘導による無線化について検討し、超磁歪式の骨伝導振動子と組み合わせても実用上支障がないことを確認した。

また、予定には無かったが、手が届かないインプラント型補聴器を歯音(歯のかみ合わせ音)と吸着音(舌打ち音)の骨導音を用いてコントロールすることを考え、500 Hz 以下の領域の相違を特徴量として用いた結果、歯音では 100 %、吸着音では 91 %の識別率が得られた。

### (3) 気導音と骨導音の時間分解能の比較

骨導音の音質が気導音に比べて劣る原因として、時間分解能に着目し、骨導音の時間分解能を主観評価実験で調べた。実験では 2 秒間連続する白色雑音の中央に振幅を 20dB 減少させた音量減少区間を設けた信号を試験信号として用い、気導音または骨導音で呈示された試験信号音中のギャップの有無を被験者に判別させる。

実験は静かな部屋(暗騒音レベル 45dB)の中で被験者が気導イヤホンまたは骨導ヘッドホンで試験信号を聞き、ギャップの有無を補助者に回答する形式で行った。補助者は、被験者がギャップの有無を判別できるまで同じ試験信号を被験者に繰り返し呈示するようにした。このとき、試験音呈示の操作は補助者が行った。また、骨導音聴取には骨導ヘッドホンを用いるが、気導音の回り込みを防ぐために、イヤーマフを併用した。その結

果、両耳聴取による時間分解能改善効果が、気導音の場合と比較して骨導音の方が大きいことが明らかとなった。このことから骨導補聴器における両耳聴取の有効性が示唆される結果となった。

### (4) 語音聴力検査による骨導音と気導音の単語理解度の比較

骨導音の気導音に比べ音質が劣ることや、音が大きく聞こえないことなどの問題点を、骨導音受聴時に周囲の気導音が聞こえることによる S/N 低下に起因していると考え、耳栓を用いて気導音を遮断した状態での骨導音の単語理解度を語音聴力検査によって気導音と比較した。被験者は日本語を母国語とする 20~24 歳の男性健聴者 5 名(A~E)とした。まず、被験者にヘッドホンを装着させ 1kHz の正弦波音を呈示する。このとき、被験者自身が音量を調節し、最小可聴値を定め、このときの音圧を 0dB 基準とする。次に、ヘッドホンをそのまま装着した状態で、+20dB の音圧でリストの単語を 1 つずつ呈示し、被験者自身が聞き取った単語を解答用紙にカタカナで筆記する。実験は防音室内(暗騒音は騒音計の測定範囲以下)で、気導ヘッドホン、骨導ヘッドホンそれぞれに対して行う。ただし、骨導ヘッドホンを用いた実験では、気導音の回り込みを防ぐため、骨導振動子の当たる位置を、耳穴手前の頬骨突起ではなく、骨導聴力検査でよく用いられる耳介背後の乳様突起として装着し、両方の耳に耳栓を着用した場合についても計測を行う。

試験用単語音声には、親密度別単語理解度試験用データベース 2007(FW07)を用いた。1 リストは 4 モーラ(4 拍)の単語 20 単語からなる。本試験用単語音声は、リスト間の平均単語理解度の差を小さくするための音圧補正が施されている。今回の実験では、単語のなじみの程度を表す単語親密度が最も低い、親密度 1(低親密度)のデータを使用し、親密度による個人差を抑えた。

被験者 5 名の条件 (気導ヘッドホン)、条件 (骨導ヘッドホン)、条件 (骨導ヘッドホン+耳栓)におけるモーラ正答率(1 リストあたり 20 単語、計 80 モーラに対する正答率)のリスト 20 個分の平均値と標準偏差を図 2 に示す。

■条件 (気導) □条件 (骨導) ▨条件 (骨導, 耳栓着用)

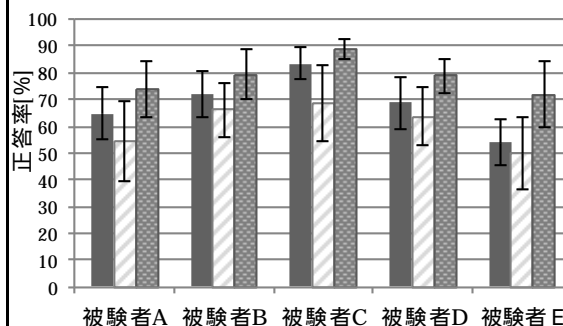


図2 モーラ正答率の平均値と標準偏差

実験結果から、本実験の条件下においては、S/N が十分高い状態でも、耳栓を装着した状態で骨導ヘッドホンを聞いた場合の方が、気導ヘッドホンを聞いた場合よりも単語理解度が高くなる傾向があることが確認できた。しかし、耳栓を装着しない場合はその効果が得られないことも分かった。このことから耳栓の装着は骨導音の単語理解度改善に有効であることが示唆される。

また、気導音と骨導音のサ行に対する誤認傾向を調べた結果、気導音に比べ、骨導音の方が、正答数が高くなることが確認できた。さらに、骨導ヘッドホンを着用し、耳栓装着時と耳栓非装着時それぞれにおける正弦波に対する最小可聴値の測定を行った結果、125～2000[Hz]の帯域で耳栓なしに比べ、耳栓ありの聞こえが良くなっていることが確認できた。日本語母音は第1、第2フォルマントで判別でき、その周波数帯域は200～2500[Hz]である。このことから耳栓装着時の共振特性の変化が、母音の理解度を向上させ、結果的に、単語理解度試験における、耳栓装着時の正答率が向上したと推測される。

そこで、さらに骨伝導振動子を貼り付けたマウスピースを用いて歯を加振し、耳栓装着の効果調べた、その結果、両耳に耳栓を装着した場合のほうが、耳栓を装着しない場合よりも500～1500 [Hz]の間で10～15 [dB]程度最小可聴値が小さくなり、聞こえが良くなることを確認した。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

[1] 浜野弘毅, 森 幹男, “両耳聴取時の骨導音の時間分解能,” 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 134, No.2, pp. 250-251 (2014). DOI: 10.1541/ieejieiss.134.250

〔学会発表〕(計 24 件)

[1] 木村賢二, 定池晃宏, 森 幹男, “歯を介した骨導音の最小可聴値 耳栓の有無による比較,” 平成 26 年度北陸地区学生による研究発表会, 2015 年 3 月 7 日, 富山高専射水キャンパス(射水市)

[2] 藤本琢磨, 森安大智, 森 幹男, “両耳聴取時と片耳聴取時の単語理解度の比較,” 平成 26 年度北陸地区学生による研究発表会, 2015 年 3 月 7 日, 富山高専射水キャンパス(射水市)

[3] 谷口友悟, 穴山優希, 森 幹男, “インプラント型補聴器無線化の一検討,” 日本音響学会電気音響研究会 2014 年 12 月 12 日, 金沢大学サテライト・プラザ(金沢市)

[4] 木村賢二, 定池晃宏, 森 幹男, “歯を介した骨導音の最小可聴値,” 日本音響学会電気音響研究会, 2014 年 12 月 12 日, 金沢大学サテライト・プラザ(金沢市)

[5] 定池晃宏, 森 幹男, “骨伝導振動子を用いた歯の加振方法の検討,” 平成 26 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2014 年 9 月

11 日, 富山高専本郷キャンパス(富山市)  
[6] 森安大智, 森 幹男, “耳栓着用時の骨導音の単語理解度,” 平成 26 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2014 年 9 月 11 日, 富山高専本郷キャンパス(富山市)

[7] 谷口友悟, 森 幹男, “人体通信を用いたインプラント型補聴器無線化と理解度検査,” 平成 25 年度北陸地区学生による研究発表会, 2014 年 3 月 8 日, 金沢工業大学扇が丘キャンパス(野々市)

[8] 森安大智, 森 幹男, “語音聴力検査による骨導音と気導音の単語理解度の比較,” 平成 25 年度北陸地区学生による研究発表会, 2014 年 3 月 8 日, 金沢工業大学扇が丘キャンパス(野々市)

[9] 定池晃宏, 森 幹男, “骨伝導振動子を用いた歯の加振方法の一検討,” 平成 25 年度北陸地区学生による研究発表会, 2014 年 3 月 8 日, 金沢工業大学扇が丘キャンパス(野々市)

[10] 重川直紀, 森 幹男, “骨導音によるユーザインタフェースの検討,” 日本音響学会 2013 年春季研究発表会, 2013 年 3 月 14 日, 東京工科大学八王子キャンパス(八王子市)

[11] 村瀬裕志, 森 幹男, “人体通信を用いたインプラント型補聴器無線化の検討と音質評価,” 平成 24 年度北陸地区学生による研究発表会, 2013 年 3 月 9 日, 福井高専(鯖江市)

[12] 森安大智, 森 幹男, “歯科インプラント型骨伝導補聴器の単語理解度,” 平成 24 年度北陸地区学生による研究発表会, 2013 年 3 月 9 日, 福井高専(鯖江市)

[13] 定池晃宏, 森 幹男, “骨導音によるユーザインタフェースの検討,” 平成 24 年度北陸地区学生による研究発表会, 2013 年 3 月 9 日, 福井高専(鯖江市)

[14] 浜野弘毅, 森 幹男, “気導音と骨導音の時間分解能の比較,” 第 2 回北陸合同音響セミナー, 2013 年 2 月 23 日, 金沢大学サテライト・プラザ(金沢市)

[15] 堂埜洋介, 森 幹男, “Bluetooth 音声通信遅延について,” 第 2 回北陸合同音響セミナー, 2013 年 2 月 23 日, 金沢大学サテライト・プラザ(金沢市)

[16] 重川直紀, 森 幹男, “骨導音による補聴器コントロールの検討,” 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会, 2012 年 9 月 19 日, 信州大学長野キャンパス(長野市)

[17] 浜野弘毅, 荻原慎洋, 森 幹男, “気導音と骨導音の時間分解能の比較,” 平成 24 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2012 年 9 月 1 日, 富山県立大学(射水市)

[18] 大西政寛, 荻原慎洋, 森 幹男, “歯を介した骨導音に関する基礎的検討,” 平成 24 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2012 年 9 月 1 日, 富山県立大学(射水市)

[19] M. Ogihara, K. Hamano, M. Mori, S. Taniguchi and C. Araki, "Effects of Cross-hearing by Bone Conduction on the

Temporal Resolution of Hearing," 2012 年  
7 月 11 日, 石川県立音楽堂 (金沢市)  
[20] M. Mori, Y. Satomi, M. Ogihara, S.  
Taniguchi and C. Araki, "Principle of  
Sound Production in Human Whistling  
Studied Using Physical Models of the Human  
Vocal Tract," ICEE2012, 2012 年 7 月 9 日,  
石川県立音楽堂 (金沢市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森 幹男 (MORI, Mikio)  
福井大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 7 0 3 1 3 7 3 1

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

荻原慎洋 (OGIHARA, Mitsuhiro)  
福井大学・大学院工学研究科・研究員  
研究者番号: 9 0 5 6 5 5 1 6  
(平成 25 年 3 月 31 日まで)