

## 論文

## 骨伝導技術を利用した耳鼻科診療椅子の開発

石橋 睦美<sup>\*1)</sup> 神田 浩一<sup>\*1)</sup> 小林 丈士<sup>\*2)</sup> 三上 和正<sup>\*2)</sup> 宇田川 好隆<sup>\*3)</sup>

## Development of the medical chair in otolaryngology using bone conduction technique

Mutsumi Ishibashi<sup>\*1)</sup>, Koichi Kanda<sup>\*1)</sup>, Takeshi Kobayashi<sup>\*2)</sup>, Mikami Kazumasa<sup>\*2)</sup>, Yoshitaka Udagawa<sup>\*3)</sup>

In otolaryngological medical examinations, it is hard to have conversations with the patient because they have difficulty in hearing. In order to improve their intelligibility of conversations, a medical chair in otolaryngology using bone conduction techniques has been developed. The medical chair has the headrest cover with built-in piezoelectric bone vibrators which vibrate the back of the head and the mastoid of the patient. As it is not clear how human beings perceive the loudness of bone conducted sound in the vibration position of the back of the head, the loudness matching test between bone conducted sound and air conducted sound was carried out (Experiment I). Then, building the filter based on the result of Experiment I in the system, the word intelligibility was tested with the medical chair having the headrest cover with built-in piezoelectric bone vibrators (Experiment II). As a result, it has been found that the intelligibility is improved by the bone conduction technique.

キーワード：骨導音，ラウドネス，単語理解度

Keywords：bone conducted sound, Loudness, Word intelligibility

## 1. まえがき

耳鼻科診療では、聴覚障害により診察時の会話がしにくいことがあり、患者の個人情報をも他の人にも聞こえるほどの大きな声でやりとりしなければいけないこともしばしば発生する。そこで、音声の聞き取りやすさを目的として、骨伝導技術を利用した耳鼻科診療椅子を開発した。

骨伝導技術は近年、多様な製品に利用されはじめている技術で<sup>(1)</sup>、外耳や鼓膜を通して知覚される気導音ではなく、頭蓋骨等の骨を直接振動させて知覚される骨導音を伝えるものである。鼓膜や中耳の骨等の伝送系の障害による難聴者に対する補聴システムとして用いられるほか、周囲の騒音が大きいところで、気導音を塞ぐことなく特定の音を聞き取る必要がある場合に有効な補聴手段となる。

骨導聴力に関する研究では、前頭部や乳様突起部を加振した場合の聴感特性（ラウドネス特性）について研究が行われている<sup>(2)-(3)</sup>。しかし、今回開発した耳鼻科診療椅子ではヘッドレスト部に埋め込んだ骨伝導スピーカにより後頭部を加振することから、本研究では後頭部におけるラウドネス特性を主観評価実験により検討した（実験Ⅰ）。さらに、実験Ⅰの結果に基づき周波数補正を施した骨伝導スピーカを用いて、実際の音声の聞き取りやすさについて単語理解度に関する主観評価実験を行った（実験Ⅱ）。

## 2. 骨伝導技術を利用した耳鼻科診療椅子の構成

耳鼻科診療椅子のヘッドレスト部に着脱可能なヘッドレストカバーを作製し、その中に骨伝導スピーカを埋め込んだ（図1参照）。骨伝導スピーカの種類として、電磁式、圧電式、超磁歪式などがあるが、今回はヘッドレストカバーに埋め込むため薄型の圧電式骨伝導スピーカ（NECトーン(株)製 KDS-M-01）<sup>(4)</sup>を採用した。圧電式スピーカの仕様を表1に、人工マストイドにより500gの加重をかけて測定したスピーカの振動加速度特性（1V入力）を図2に示す。

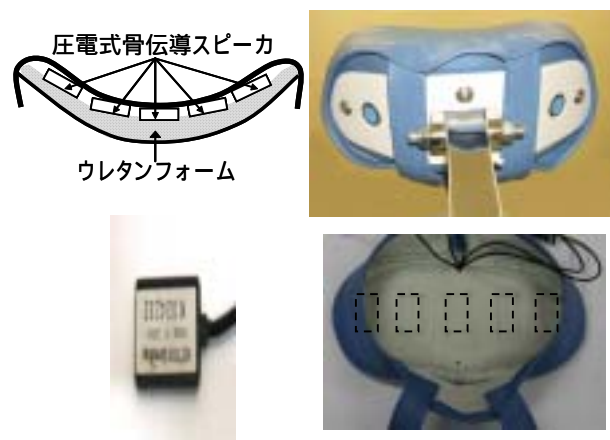


図1. ヘッドレストカバーの概要

左上：カバー断面図，右上：カバー装着時，  
左下：圧電式骨伝導スピーカ，右下：骨伝導スピーカ配置

<sup>\*1)</sup> 光音グループ

<sup>\*2)</sup> エレクトロニクスグループ

<sup>\*3)</sup> 有限会社京浜医科工業所

表 1. 骨伝導スピーカの仕様

寸法	32 × 16 × 2.5 mm
単体重量	3.7 g
電極間静電容量	1.2 μF
最大駆動電圧	30 Vpp (ノイズ信号)
動作環境	-20 ° ~ +80 °

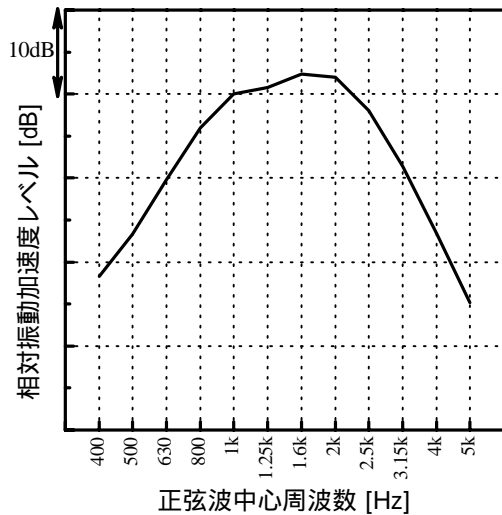


図 2. 骨伝導スピーカの振動加速度特性

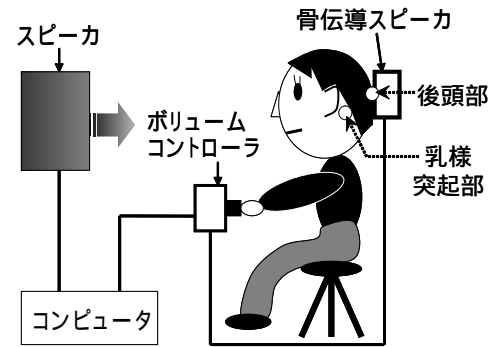


図 3. 自由音場等価ラウドネス計測用実験システム

### 3. 骨導音のラウドネス評価実験 (実験 1)

後頭部および乳様突起部における骨導音の聴覚感度特性を検討するため、スピーカから再生した音(気導音)と骨伝導スピーカから再生した音(骨導音)のラウドネスを比較して、自由音場等価ラウドネスを主観評価実験により計測した。

3.1 実験システム システムの概要を図 3 に示す。スピーカは被験者の前方 1.2m の位置に設置し、骨伝導スピーカはゴムバンドにより被験者の後頭部または乳様突起部に取り付けた。スピーカと骨伝導スピーカから交互に同一周波数の純音(2Hz で AM 変調した信号)を再生した。骨伝導スピーカのレベルはアンプのボリュームコントローラにより調節できるようにした。

3.2 実験方法 被験者は椅子に座り、スピーカからの音と同じ大きさ(ラウドネス)になるように骨伝導スピーカの音の大きさをボリュームコントローラにより調節する。1 回目は、骨伝導スピーカの音がスピーカからの音より十分小さい状態から始め、骨伝導スピーカのレベルを大きくしながら調節し、2 回目は逆に骨伝導スピーカからの音が十分大きい状態から始め、骨伝導スピーカのレベルを小さくしながら調節させた。数回の練習の後、本実験を行った。

3.3 実験条件 スピーカから再生される純音の音圧レベルの最大値を被験者の頭の位置(受聴位置)で 55dB とするよう設定した。被験者は聴力の正常な 20 歳代から 30 歳代の男女 20 名(男 11 名, 女 9 名)である。測定周波数は

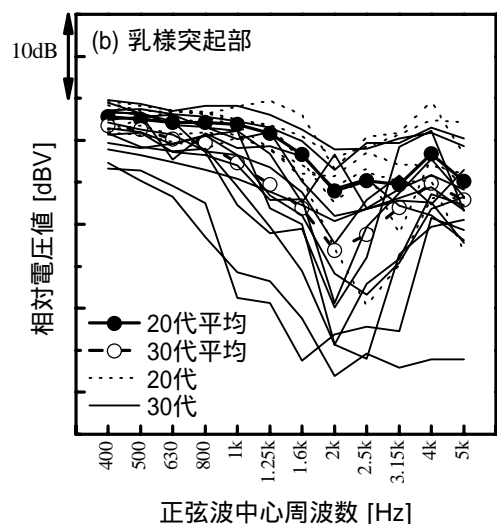
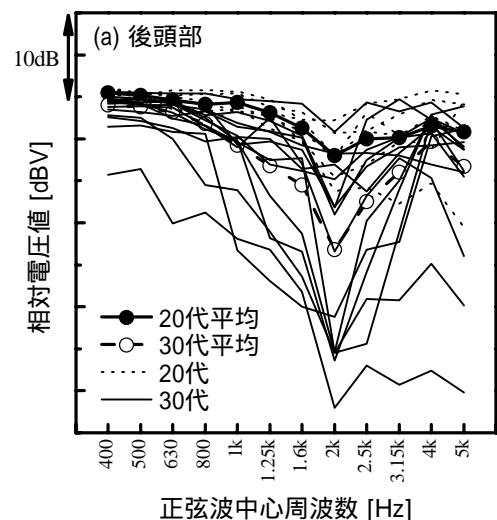


図 4. 自由音場等価ラウドネスの測定

400 Hz から 5 kHz までの 12 周波数とし、後頭部および乳様突起部の各加振位置において測定した。なお、骨導音再生時に反対側の耳のマスクングは行っていない。

3.4 実験結果 後頭部および乳様突起それぞれについて各被験者の測定結果と平均値を図 4 に示す。各被験者の結果のばらつきが大きく、20 歳代と 30 歳代での大きな差異は見られなかった。

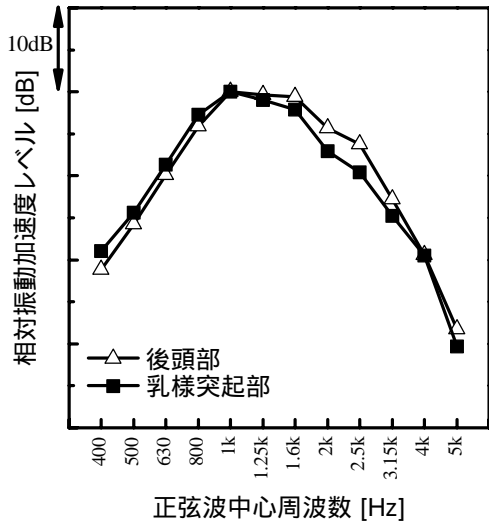


図5. 自由音場等価ラウドネスの測定 (振動加速度レベル換算値)

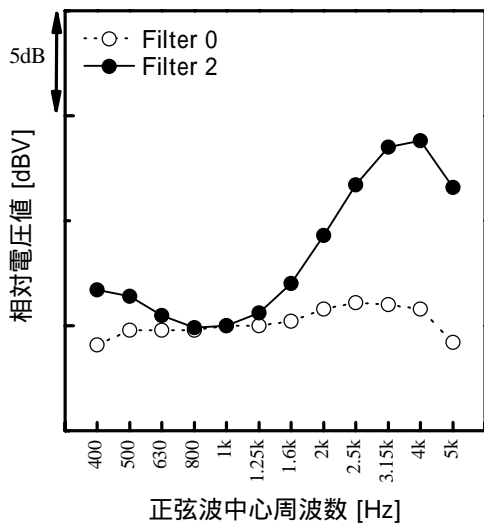


図6. 骨伝導スピーカ補正フィルター

骨伝導スピーカの振動加速度特性を考慮して、被験者全員の平均値をプロットしなおした結果を図5に示す。後頭部および乳様突起部での測定結果に大きな差異は見られなかった。低い周波数については、圧電式スピーカのため、被験者が骨伝導スピーカの音量を十分に上げることができない場合があり、今後再検討の余地があることが示唆された。

#### 4. 単語理解度試験 (実験II)

実験Iの結果をもとに、2 kHz から 4 kHz の電圧値を大きくするフィルターを2種類作製し(図6参照)、実験システムに組み込み、暗騒音下における音声の聞き取りやすさに関する単語理解度試験を行った<sup>(5)</sup>。

4.1 実験システム 実際の利用状態を再現した実験システムを構築した(図7参照)。被験者の正面 1.2m の位置に、話者の代わりとして音声再生用スピーカを設置し、音声を再生した。その音をマイクロフォンで收音し、フィ

被験者がヘッドレスト部に頭を自然に当てると、ヘッドレストカバーに内蔵した骨伝導スピーカから、マイクロフォンで收音した音が骨導音として聞こえる。

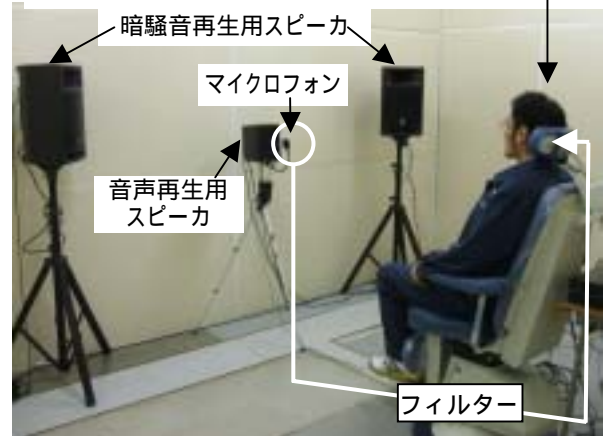


図7. 実験システムの概要および実験風景

ルター補正した骨伝導スピーカから再生した。周囲の騒音を模擬するため、被験者の斜め前方の左右にスピーカを設置し、一般的な環境騒音を模擬した定常雑音(-6dB/oct. band)を受聴位置での騒音レベルが 45 dB となるよう再生した。音声および暗騒音はコンピュータから出力し、DA変換器を通してスピーカから再生した。

4.2 実験方法 骨伝導スピーカ内蔵の耳鼻科診療椅子に座った被験者に、音声再生用スピーカから再生される四音節から成る一単語(例えば「アイアイ」など)を2回聞いた後、聞こえてきた単語を口頭で回答させた。本試験で使用した単語は、親密度別単語理解度試験用音声データベース<sup>(6)</sup>(発売元:NTTアドバンステクノロジー株式会社)に収録されている、比較的親密度の高い単語リスト(親密度5.5~4.0)から抜粋したもので、再生音は男性話者による音声を用いた。

4.3 実験条件 実験条件を表2に示す。条件Iは、音声再生用スピーカからのみ音を再生した場合で、音声の再生レベル(一単語の継続時間における等価騒音レベル)は受聴位置において50dBとした。条件IIから条件IVでは音声再生用スピーカに骨伝導スピーカを付加している。骨伝導スピーカの配置として、条件IIおよび条件IIIでは中央と両端の3個とし、条件IVでは中央から等間隔に左右2個ずつの計4個配置している。

被験者は50歳代から60歳代の男女7名(男6名,女1

表2. 実験条件 (各条件50単語)

	骨伝導スピーカ	骨伝導スピーカフィルター特性	骨伝導スピーカ配置
条件I	なし	-	-
条件II	あり	Filter 0	3個
条件III	あり	Filter 2	3個
条件IV	あり	Filter 0	4個

名)である(一般被験者)。この被験者の中には4kHz以上の聴力の低下や、片側聴力低下を示す被験者も含まれる。

さらに少数ではあるが、参考として日常的に補聴器を使用している難聴者(補聴器使用の女性)2名に、補聴器を装着した状態で実験条件IとIVを行った。実験条件IIおよびIIIは予備実験の結果から省略した。

4.4 実験結果 50単語中、四音節すべてを正答した単語の割合を正答率として、各被験者及び各条件の結果を図8(一般被験者)、図9(補聴器使用者)に示す。

一般被験者の結果をみると(図8参照)、いずれの被験者も音声再生用スピーカのみの場合(条件I)に比べて、骨伝導スピーカを付加した場合に、正答率が増加する結果が得られた。この結果から、骨伝導スピーカによる補聴効果が示された。

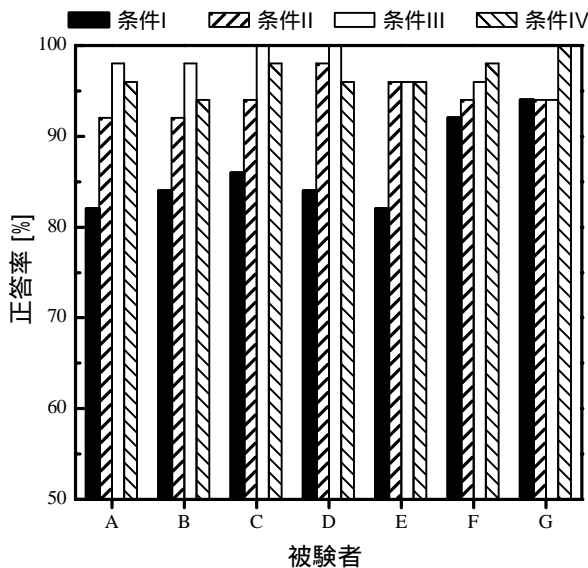


図8. 各条件における単語の正答率(一般被験者)

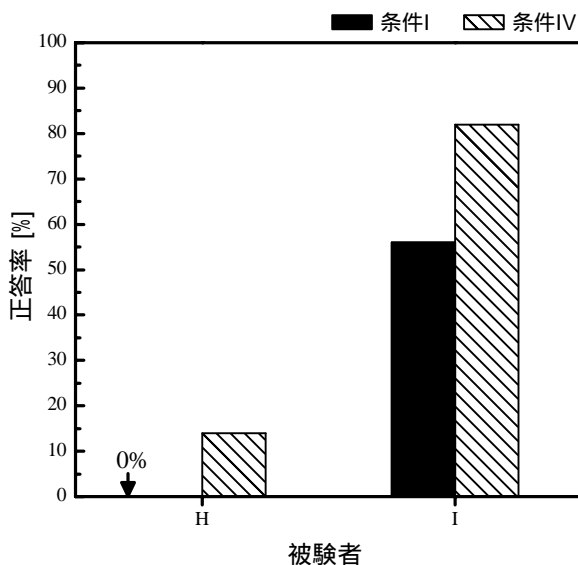


図9. 各条件における単語の正答率(補聴器使用者)

フィルター特性の違いについてみると、被験者AからCの3名は条件II(Filter 0)とIII(Filter 2)でわずかに差がみられ、正答率がFilter 2の場合に増加しているものの、他の4名については差が見られなかった。被験者A,BおよびCの3名は4kHz以上の聴力低下や片側聴力の低下を示す被験者に相当していることから、難聴者に対してフィルター特性の違いが聞き取りやすさに影響したと考えられる。

骨伝導スピーカの配置の違いについて見ると、被験者Gを除いて大きな差異は見られなかった。中央と両端2個の計3個の骨伝導スピーカで十分補聴効果が得られていると考えられる。

補聴器使用者の結果をみると(図9参照)、被験者Hの場合、骨伝導スピーカを付加しても正答率は低く、補聴効果が見られなかった。一方、被験者Iについては、骨伝導スピーカ4個を付加することにより、正答率が増加し、ある程度の補聴効果を示す結果となった。しかし、この場合も正答率は80%程度にとどまり、実用上さらに高い効果が得られるように検討する必要性が示唆された。

## 5. まとめ

耳鼻科診療時に医師の話を聞き取りやすくするための補聴システムとして、骨伝導スピーカ内蔵の耳鼻科診療椅子用ヘッドレストカバーを開発し、その補聴効果について検討した。後頭部および乳様突起部における骨導聴覚をラウドネス評価実験で計測した結果、両加振部位によるラウドネス感度特性に大きな差はなく、2kHzから4kHzの周波数帯域で電圧値を大きくする必要性が示された。これをもとにフィルターを作製し、ヘッドレストカバーに内蔵する骨伝導スピーカの補正をしたうえで、聞き取りやすさの評価実験を行った。その結果、骨伝導スピーカによる補聴効果が見られた。参考として行った補聴器使用の被験者に対しては、十分と言えるまでの補聴効果はみられなかった。

今後、補聴器を使用する必要がある伝音性難聴者に対してデータを蓄積し、有効な補聴効果が得られるように、骨伝導スピーカの配置等について検討していきたい。

(平成19年7月5日受付,平成19年7月12日再受付)

## 文 献

- (1) 永戸美樹:「歯科治療における骨伝導技術の有用性～骨伝導スピーカ内蔵ヘッドレスト(骨伝導枕)～」,日本医用歯科機器学会誌, Vol. 11, No. 2, pp. 40-42 (2005)
- (2) 山田義則, 門脇伸壽, 石渡裕政:「骨導音の聴感特性について」,日本音響学会講演論文集, pp.191-192 (1981)
- (3) 渡邊祐子, 鈴木良樹, 浜田靖夫:「骨伝導による音響信号生成に関する基礎検討」,日本音響学会講演論文集, pp.497-498 (2005)
- (4) 阿部善幸, 田村光男:「圧電式骨伝導スピーカの開発」, NEC TOKIN Technical Review, Vol.31, p.56-63 (2004)
- (5) 高橋明, 伊藤久祥, プリマ・オキ・ディッキ・A, 伊藤憲三:「環境騒音下における骨導聴取が音声明瞭度に及ぼす影響」,日本音響学会講演論文集, pp.529-530 (2005)
- (6) 坂本修一, 鈴木陽一, 天野成昭, 近藤久久:「親密度を統制した単語了解度に単語連想が及ぼす影響」,日本音響学会講演論文集, pp.405-406 (2005)