

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：30110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01561

研究課題名(和文) 直接骨導音を利用した食道音声支援用携帯型拡声器の開発

研究課題名(英文) Development of a portable loudspeaker for Esophageal voice support using direct bone conducted sound

研究代表者

前田 秀彦 (MAEDA, Hidehiko)

北海道医療大学・リハビリテーション科学部・講師

研究者番号：90632604

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は直接骨導音を利用した食道音声支援用携帯型拡声器開発のために、直接骨導音の周波数特性データを蓄積した。歯から直接骨導音を導出する経路では気導音の周波数特性に近似する音声の導出が可能であった。一方、前額部から導出した経皮骨導の経路は、明瞭な音声を導出できなかった。子音によっては、直接骨導音は10KHz程度の周波数成分まで計測可能であった。直接骨導音の周波数特性は口の開口度によって影響を受けることが示唆された。また、気道から流れてくる気流を利用する摩擦音は歯をよく振動させ、スペクトラム上、明瞭に子音成分が観察された。直接骨導音は雑音負荷の影響を受けず、スペクトラム上変化はなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は食道音声使用者のために、直接骨導音を利用した携帯型拡声器の開発を目指した。骨導音を歯から導出しその音響データを蓄積した。本研究で得られた歯から導出された直接骨導音の音響特性は過去の報告を渉猟する限り見当たらず、その学術的意義は非常に高い。また、骨から直接得られる体表振動データは、音声障害、嚥下障害、開口障害などの評価に利用できる可能性があり、また、既存の評価方法を発展させる可能性があると考えている。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted to develop a portable loudspeaker for esophageal voice support using direct bone conducted sounds. The characteristic data were accumulated. In the pathway to derive the bone conduction sound directly from the teeth, it was possible to derive the voice that approximated the frequency characteristics of the air conducted sound. On the other hand, the transcutaneous bone conducted pathway derived from the anterior forehead could not derive a clear sound. Depending on the consonants, the direct bone conducted sound could be measured up to a frequency component of about 10 KHz. It was suggested that the frequency response of the direct bone conducted sound was affected by the mouth aperture. In addition, the frictional sound, which utilizes the airflow from the airway, vibrates the teeth well and is clear on the spectrum. A consonant component was observed. The direct bone conducted sounds were unaffected by noise loading and did not change on the spectrum.

研究分野：聴覚障害学

キーワード：食道音声 骨導音 経皮骨導音 頭蓋振動

## 1. 研究開始当初の背景

### <骨導マイクロホンによる発声支援機器開発の可能性と課題>

騒音環境下において、音声を明瞭に伝達する通信手段として、骨伝導を利用した、骨導マイクロホンが提案されている。現行の骨導マイクロホンから得られる骨導音声は、皮膚を介して骨導音を検出するために、音声の高周波数成分が減衰するという課題がある。そのため、音質が気導音声より劣化する。その音質は悪く音声認識には向かず、工事・消防現場などの特殊環境での利用に制限されている。もし、骨導マイクロホンを発声支援機器に利用できれば、既存の機器における上記課題は大幅に解消されることが期待できる。しかし、食道音声の音量の小ささの問題から、皮膚を介して骨導音を検出可能か？また、音声の高周波数成分の減衰のため、日常会話に使用に可能な音質まで改善が可能か否かなど、困難が予想される。

## 2. 研究の目的

本研究は、1) 歯から直接骨導音を安定的に導出するシステムの開発と導出された直接骨導音の周波数特性についてデータを蓄積する。研究当初、システムのワイヤレス化によって、食道音声使用者からの音声導出を目指したが、歯から安定的に骨導音を導出する方法構築に難渋した。そのため、本研究は、直接骨導音の周波数特性についてデータを蓄積することができたため、1) に関して報告をすることを最終的な目的とした。

## 3. 研究の方法

### 1) 直接骨導音導出のためのシステム

直接骨導音の導出のために、圧電式加速度ピックアップ (RION PV-90B (質量 1.2g、電荷感度 1.8 pC/(m/s<sup>2</sup>))) を前歯に両面テープ (3M 社) で固定した。比較として経皮的骨導音の導出のために、圧電式加速度ピックアップ (RION PV-90B (質量 1.2g、電荷感度 1.8 pC/(m/s<sup>2</sup>))) を両面テープ (3M 社) で前額部正中に固定した。気導音の導出のために、気導コンデンサマイクロフォン (AKG-1000) を被験者の口元から 30cm の位置になるよう設置した。このシステムで 3 系統 (気導 1 系統、骨導 2 系統) から音声を同時に導出することが可能である。圧電式加速度ピックアップは RION 振動計 (UV-15) に接続された。計測された振動はレコーダー (TEAC LX-100) に収録された。気導音は、直接、レコーダに収録された。

### 2) 音声導出のための発話課題

発話課題として、日本聴覚医学会作成の 67S 語表の単音節「あ」「き」「し」「た」「に」「よ」「じ」「う」「く」「す」「ね」「は」「り」「ば」「お」「て」「も」「わ」「と」「が」の 20 音節、有意味単語「あし」「いぬ」「かに」「じゃんけん」「すいか」「とけい」「せみ」「はさみ」「みかん」「ないてる」の 10 語、無意味単語「わへおい」「ふよか」「ねへ」「なひる」「たそれ」「いわぐれ」「ふゆだく」「となじし」「でちゆれど」「あぜじこ」の 10 語、文章「公園に行きました。滑り台とブランコでいっぱい遊びました。家に帰って冷たいジュースを飲みました。」を使用した。発話は、被験者の口元で 70dB 程度の音圧レベルが維持されるよう、騒音計 (RION NL-42) でモニターしながら行った。

### 3) 暗騒音環境下、騒音環境下における直接骨導音導出実験

計測は北海道医療大学リハビリテーション学部聴覚実験室 (防音室) にて行われた。暗騒音レベルは騒音計 (RION NL-42) で 30 dB SPL (A) 以下であった。被験者は 20 名の男女 (平均年齢 20 歳)。騒音は気導マイクロフォンの真横 90 度の位置にスピーカーを設置し、ホワイトノイズを 70 dB SPL の音量で負荷された。

#### 4) 3) から得られた音声の周波数特性の分析と評価

得られた音声の分析には 70 Hz から 10 kHz までのバンドパスフィルタで処理をし、音響分析ソフトウェアの「Praat」を使用した。音声の語音明瞭度評価はスピーカから 70 dB SPL の音量を 1 m の距離から被験者に聴取させて正答率を算出した。

#### 4. 研究成果

##### ・直接骨導音の音響特性

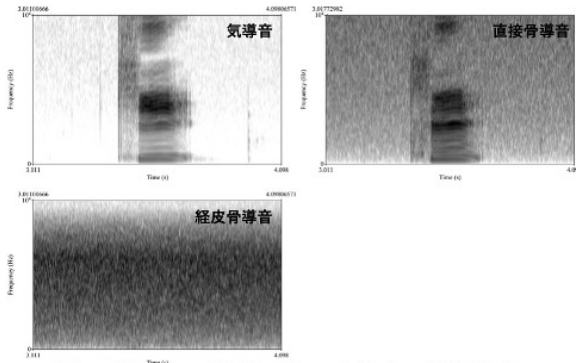


図1 被験者Aの単音節「き」の気導音・直接骨導音・経皮骨導音のスペクトログラム

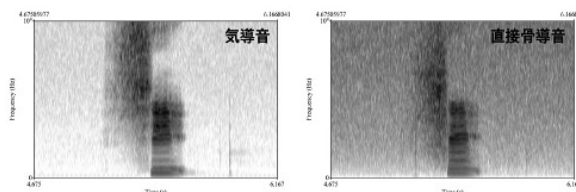


図2 被験者Aの単音節「し」の気導音と直接骨導音のスペクトログラム

被験者 A から導出された、気導音、直接骨導音、非経皮骨導音の単音節「き」のスペクトログラムを図 1 に示す。経皮骨導経路からは、ほとんど周波数成分を導出することができなかった。一方、直接骨導経路からは約 10 kHz 程度までの周波数成分の検出が可能であった (図 2)。また、子音によっては、直接骨導音の方が子音部分の出力パワーが大きいケースも確認された。

##### ・直接骨導音の音響特性 (被験者間の比較) ＜母音と調音方法の違いによる分析＞

**単母音:** 開口度が大きい「あ」の場合、 $f_1$ 、 $f_2$  のフォルマントは強調されて導出できていたが、 $f_3$ 、 $f_4$  のフォルマントについ

ては個人差があり明瞭に導出される者、フォルマントは確認できるがパワーは  $f_1$ 、 $f_2$  に比べ減衰している者が確認された。一方、開口度の小さい「う」については、 $f_1$  から  $f_4$  までパワーが減弱されずに導出される傾向を認めた。

**摩擦音:** 「し」「す」の子音成分/s/は出力パワーの減弱が若干見られたが、10 kHz 近辺まで周波数成分が確認できた。母音部分/i/、/u/に関しては、 $f_1$  から  $f_4$  まで出力パワーの減衰もなく導出されていた。一方、声門摩擦音「は」は子音成分/h/は不明で、母音部分も開口度が大きい/a/のため、 $f_1$ 、 $f_2$  の部分は出力パワーの減衰はない傾向であったが、 $f_3$ 、 $f_4$  については出力パワーの減衰が認められる傾向であった。

**破裂音:** 軟口蓋破裂音「き」「く」の子音部分/k/については明瞭に導出されるケースと、不明瞭で出力パワーが減衰されるなど傾向が分かれた。母音部分/i//u/について、開口度が狭いため  $f_1$  から  $f_4$  まで出力パワーの減衰がそれほど認められなかった。有声音「が」の子音部分/g/については不明瞭のケースが多い傾向であった。一方、有声音の特徴であるボイスバーは観察される傾向であった。母音部分/a/については、 $f_3$  以降のパワーの減衰が認められた。歯茎破裂音「た」「て」「と」の子音部分/t/については、ほぼ明瞭に導出される傾向であったが、母音部分/a/は開口度が狭いため、 $f_1$ 、 $f_2$  は明瞭に確認できたが、 $f_3$  以降はパワーの減衰が認められた。母音部分/e/は  $f_4$  まで明瞭に導出されているもの、 $f_3$  以降のパワーの減衰が認められる者など個人差が認められた。母音部分/o/は  $f_1$  から  $f_4$  まで綺麗に導出される者、 $f_1$  から  $f_3$  まで綺麗に導出される者、 $f_3$  以降は減衰が見られる者と三者三様の結果であった。口唇破裂音「ば」の子音部分/b/は明瞭に導出される傾向であった。

母音部分/a/は、f3以降はパワーの減衰を認める傾向であった。口唇破裂音は口唇で調音する必要があるため、加速度ピックアップによって調音は影響されると予想されたが、子音部分はある程度明瞭に観察されていた。

**鼻音：**「に」「ね」の子音部分/n/について、明瞭に導出される者、出力パワーが減衰される者など、個人差が観測された。有声音の特徴であるボイスパー観測された。母音部分/i/についてはf1からf4まで綺麗に導出されているもの、f4の減衰が認められ者など個人差が認められた。母音部分/e/についてもf4まで出力パワーの減衰が認められなかった者、f3以降の周波数パワーの減衰が認められた者など個人差を認めた。「も」の子音部分/m/については、明瞭に導出される者もいたが、パワーの減衰が認められる傾向が強かった。ピックアップの装着が調音の際に影響していると考えられた。ボイスパーは観察される傾向であった。母音部分/o/については、f4まで明瞭に導出される者、f3以降の出力パワーの減衰が認められる者など個人差が認められた。

**破擦音：**歯茎破擦音「じ」の子音部分/dz/について、比較的綺麗に導出される傾向であった。ボイスパーについては観察される者、観察されない者と個人差があった。母音部分/i/については、f4まで出力パワーの減衰もなく導出される傾向であった。

**接近音：**「よ」の子音部分/y/について、出力パワーの減衰もなく観察される傾向であった。ボイスパーも観察される傾向であった。母音部分/o/について、f4まで明瞭に観察される者もいたが、f3以降の出力パワーの減衰を認める傾向であった。「わ」について、子音部分/w/については、出力パワーの減衰を認めない被験者も確認できたが、多くはパワーの減衰が認められる傾向であった。ボイスパーは観察される傾向であった。母音部分/a/についてはf3以降の周波数成分の減衰を認める傾向であった。

**弾き音：**「り」の子音部分/r/は、比較的綺麗に導出される傾向であった。ボイスパーも観察される傾向であった。母音部分/i/についてはf4まで出力パワーが観察される傾向であったが、f3以降の周波数成分の減衰を認める者も確認された。

#### ・文章のLTAS (Long term averaged spectrogram)

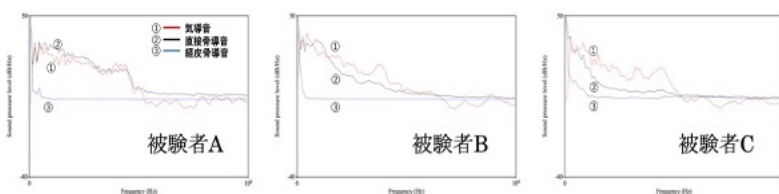


図3 文章のLTAS

文章の約20秒間のLTAS図4に示す。被験者Aのように、気導音と直接骨導音の周波数特性がほぼ同様の被験者が観察された反面、被験者Cのよう

に1000 Hz以降の周波数成分が急激に減衰する被験者も観察され、個人差が認められた。

#### ・直接骨導音の語音明瞭度

直接骨導音の語音明瞭度の平均は単音節約90%、単語（有意味）100%、単語（無意味）約85%であった。一方、比較対象の経皮骨導音の語音明瞭度はどれも全て0%だった。

#### ・雑音負荷時の直接骨導音への影響

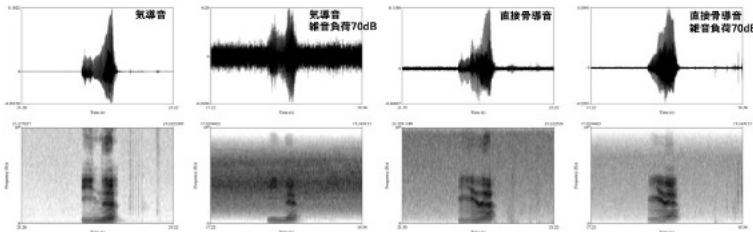


図4 気導・直接骨導経路から導出された、有意味単語「いぬ」の原波形とスペクトログラム

有意味単語「いぬ」の雑音負荷時（70 dB SPL のホワイトノイズ使用）の気導音と直接骨導音の原波形とスペクトログラムを図4に示す。気導経路は雑音の影響を受けるが、直接骨導経路は雑音に

よる影響はほとんどなく音声の語音明瞭度も雑音負荷なしの場合と同様の結果となった。SN比を0dBに近づけた場合、SN比が小さければ、気導音よりも直接骨導音の語音明瞭度が高くなるのは我々の先行研究で明らかになっている。

## まとめ

- 1) 本研究では、歯にピックアップを付着させるため、小型のピックアップを使用した。そのため、振動を検知する感度は非常に小さい。ピックアップの感度が大きければ、経皮骨導の経路でも音声の導出はある程度可能である。しかしながら、本研究における直接骨導の経路では気導音と遜色のない音声の導出が可能であると判明した。
- 2) 歯から皮膚を経由しない直接骨導経路によって、子音によっては10 kHz程度の周波数成分まで計測可能であった。母音では開口度の大きい「あ」は、第1、第2フォルマントまでの周波数成分が明瞭に観察されたが、第3フォルマント以降の出力パワーは減衰される傾向であった。一方、開口度の小さい「い」については、総じて第4フォルマント（約5000 Hz程度）まで減衰なく観察される傾向であった。以上のことから、歯から直接骨導音を導出する場合、口の開口度が導出される骨導音の周波数特性に影響を与えていることが示唆された。このことは、経皮骨導音における先行研究<sup>1)</sup>と同様の傾向を示すと考えられた。また、子音を生成する場合、気道から流れてくる気流を利用する摩擦音などはよく振動させるため、かなり明瞭に観察される傾向を認めた。
- 3) 雑音負荷環境においても、歯から導出された直接骨導音は、ほとんど雑音の影響を受けないことが示唆された。

## 研究の総括

本研究の目的は直接骨導音を利用した食道音声支援用携帯型拡声器の開発であった。しかしながら、直接骨導音を歯から安定的に導出するための方策立案に難渋し、研究計画の遂行が大幅に遅延した。今後は、現在まで収集したデータをもとに、直接骨導音の周波数特性について学会等で報告予定である。また、新型コロナウイルスによる大学構内立入禁止制限に伴い、複数の実験が延期になってしまった。測定システムは現在も稼働中であり、今後もデータの蓄積を進めて行き、適宜、成果を学会等で発信予定である。

### 参考文献

- 1) Sabine Reinfeldt, Per Ostli, Bo Hakansson and Stefan Stenfelt, Hearing one's own voice during phoneme vocalization-Transmission by air and bone conduction, 2010, JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, (128), 2, 751-762.

<研究代表者・連絡先>前田秀彦（研究者番号 90632604）

北海道医療大学リハビリテーション学部言語聴覚療法学科

〒061-0293 北海道石狩郡当別町金沢 1757 (mail:maehide@hoku-iryo-u.ac.jp)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 前田秀彦、西澤典子、武市紀人、本間明宏、前田昌紀、玉重詠子、米本清	4. 巻 57
2. 論文標題 骨固定型ピックアップから導出した直接骨導音の音響特性	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 音声言語医学	6. 最初と最後の頁 294-304
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="http://doi.org/10.5112/jjlp.57.294">http://doi.org/10.5112/jjlp.57.294</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hidehiko Maeda
2. 発表標題 The articulation of direct bone conducted sound in noisy environment
3. 学会等名 The Journal of the Acoustical Society of America (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	木下 憲治 (KINOSHITA Kenji) (50211199)	北海道医療大学・リハビリテーション科学部・教授  (30110)	
研究分担者	小林 健史 (KOBAYASHI Kenji) (60583903)	北海道医療大学・リハビリテーション科学部・講師  (30110)	
研究分担者	米本 清 (YONEMOTO Kiyoshi) (90305277)	岩手県立大学・社会福祉学部・教授  (21201)	