

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24680014

研究課題名(和文) 歯を介した骨導音に着目したコミュニケーションエイド

研究課題名(英文) Communication aid utilizing bone-conducted sound via teeth

研究代表者

及川 靖広 (Oikawa, Yasuhiro)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70333135

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、歯を介した骨伝導に着目し、新たなコミュニケーションエイドを提案した。骨の一部である歯を直接駆動することは特性の点からも、効率の点からも、その性能を向上させる上で非常に有効な手段となりうる。小型で様々な歯型に適合可能なマウスピース型歯骨伝導デバイスを開発し、明瞭性、聞き取りやすさを中心とした受聴特性を明らかにし、新たな音情報伝達経路として十分利用可能であることを示した。また、マウスピース型歯骨伝導デバイスを用いた音声情報取得に関する検討を行い、騒音下でも明瞭な音声の取得が可能であることを示した。さらに、デバイスの無線化等の改良を加え、装着、持ち運びが容易なシステムとした。

研究成果の概要(英文)：In this study, I focused on the bone conduction through the teeth, I have proposed a new communication aid. Driving the teeth which is a part of the bone directly, it can be a very effective means for improving its performance in terms of both characteristics and efficiency. I developed small mouthpiece type tooth bone conduction device, which is adaptable to a variety of tooth type. I also evaluated the listening characteristics focused on articulation. It was shown that it is enough to be used as a new sound signaling pathways. In addition, I proposed the speech information acquisition using the mouthpiece type tooth bone conduction device, and showed that it is possible to obtain the clear sound even in noisy. Furthermore, in addition to improvements of the device in wireless radio, it was easy to mount and carry.

研究分野：音響学、音響工学

キーワード：ヒューマンインタフェース 音響学 福祉 歯 骨導音 補聴 コミュニケーションエイド 明瞭性

### 1. 研究開始当初の背景

骨伝導スピーカや骨伝導ヘッドホンなどが市販され、骨伝導を用いた商品は非常に身近なものとなりつつある。骨伝導は、主に外耳道閉塞などによる伝音性難聴者のための補聴システムとして用いられることはもちろん、外部の騒音などによって音声の聞き取りが困難な状況におけるコミュニケーションエイドとして注目されている[1]。骨伝導によって音を伝達する際、一般的に耳珠や乳様突起にアクチュエータを取り付けることが多い。しかし、それらは凸状な骨部であるため振動子の固定が難しくずれやすい、さらに機器の取り付け方や取り付ける場所によって振動の強さが異なるので聞こえ方に大きな差異が生じる、よく聴こえるポイントを探す際に手間がかかるという欠点もある。

一方、ベートーベンも20代後半に難聴になり、その後は指揮棒を歯で噛み、それをピアノに接触させ音を聞いていたと言われていた[2]。また、歯科治療を受けている際の治療音が骨を伝わって明確に聞こえるなどの経験からも、歯からの骨伝導によって音を十分に知覚することは可能であることは身近に感じることができる。歯は露出している骨であり、皮膚に触れることなく直接加振することが可能で、耳珠や乳様突起に取り付けた場合に比べ、効率良く骨導音を受聴できる可能性がある。また、これまで骨伝導補聴器では困難であった両側装用に関して積極的に勧めることが可能であると考えられる。

このような背景から、研究代表者はこれまで、歯を介した骨伝導に着目した新たなコミュニケーションエイドとして歯骨伝導アクチュエータを提案し、実際に超磁歪素子を用いた歯骨伝導アクチュエータを製作し、アクチュエータの特性と歯を介した骨導音による検知限測定および音像定位測定を行ってきた[3]。その結果、

- ・ 歯骨伝導による音の知覚が可能であること

- ・ 検知限測定では、被験者によって相対電圧値の違いはあるもののその特性は平坦なものとなっており、その傾向は全被験者を通じてほぼ同じであること

- ・ 左右の音響信号にレベル差をつけることで定位させた音像を知覚することが可能であること

などを確認することができた。しかし、歯型や噛み合わせが原因で定位を感じにくいなどの問題点も指摘された。各個人へのフィッティング、そのためのデバイスの小型化・無線化、大きな出力を得るための高効率化が必要であり、さらに詳細な骨導音による受聴特性の把握が必要である。

#### <参考文献>

[1] 渡邊祐子, 浜田晴夫, “骨伝導による音響信号生成に関する基礎検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, 応用音響, vol.105(136), pp.19-24, 2005.

[2] 船坂宗太郎, “聴覚診断と聴覚補償”, pp.64, コロナ社, 東京, 2007.

[3] 村松未輝雄, 黒澤潤子, 及川靖広, 山崎芳男, “歯を介した骨伝導に着目したコミュニケーションエイド”, 日本音響学会講演論文集, pp.1533-1534, 2011.9.

### 2. 研究の目的

本研究では、歯を介した骨伝導に着目し、新たなコミュニケーションエイドを提案する。骨の一部である歯を直接駆動することは特性の点からも、効率の点からも、その性能を向上させる上で非常に有効な手段となりうる。これまでの研究成果を発展させ、より小型で様々な歯型に適合可能な歯骨伝導デバイスの開発と、明瞭性などの受聴特性の把握を行い、新たな音情報伝達経路の確立を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 小型骨伝導デバイスの確立

歯骨伝導デバイスに求められる条件としては、小型化、無線化、高効率化等が必要である。これまでのものは素子の大きさは2cm四方で、有線で信号供給を行ってきたが、本研究においてはその小型化、無線化、さらに高効率化を進める。様々な歯型に適合可能な歯骨伝導デバイス実現のための技術的確立も行なう。

#### (2) 聴覚特性の把握と歯を介した骨伝導現象の解明

製作した歯骨伝導デバイスを用い聴覚特性の把握と歯を介した骨伝導現象の解明を行なう。これまで健聴者を中心にその特性の把握を行ってきたが、幅広い年齢層での調査、聴覚弱者等に対する調査を行う。補聴器を両耳に装着することによる補聴性能向上が知られており、本研究においても両耳効果による音像定位と聞き取りやすさの向上、マスキング現象などの聴覚特性を明らかにする。また、明瞭性の調査を行う。加振する歯の違いにも着目し、デバイス装着の最適位置を明らかにする。

#### (3) 音声情報取得の可能性の検討

作成したデバイスでは受聴のみならず音声の取得も可能であると考えられる。そこで、取得された音声の明瞭性、雑音環境下での音声取得の可能性について検討を加える。

#### (4) コミュニケーションエイドとしての利用の可能性の探求

(1)~(3)それぞれの成果を反映させデバイスの改良、現象の解明を続け、コミュニケーションエイドとしての実用化及び汎用化を目指し、その性能向上と高機能化を図る。すでに公共施設等において導入されているヒアリンググループなどの既存システムでの利用も考慮し、デバイスを完成させる。

#### (5) 総括

(1)~(4)の研究内容をまとめ、本研究に関する知見と統合したシステムを提示する。

#### 4. 研究成果

(1)2012 年度は、これまでの研究成果に基づき骨伝導デバイスの小型化、無線化、高効率化等を実現し、様々な歯型に適合可能な歯骨伝導デバイス実現のための技術を確立した。具体的内容を以下に記す。

##### デバイスの製作

薄型フレキシブル圧電素子を用いた歯骨伝導デバイスを作成し、駆動方法の検討を加えた。圧電素子は素子自体の抵抗成分が非常に少なく、これによりデバイスの小型化、高能率化が実現された。また、補聴器に導入されているテレコイルを用いることによりヒアリングループからの無線受信を実現した。さらに、同じデバイスを用い受聴のみでなく発話の收音も可能であることを確認した。

##### 物理特性の評価

レーザドップラ振動計、高速度カメラなどを用いて製作したデバイスの振動の物理特性を測定、評価した。概ね期待通りの特性が実現されていることを確認した。

##### 様々な歯形へのフィッティングの検討

歯科医師の協力のもと、デバイスをマウスピースに組み込みマウスピース型アクチュエータを製作した。個人にフィッティング可能なデバイスとして仕上げた。

##### 音声情報取得の可能性の検討

歯の振動からの音声情報取得を目指し、検討を加えた。

当初受聴のみを想定し、そのためのデバイスの製作、その物理特性の評価、様々な歯形へのフィッティングの検討を計画していたが、同じデバイスを用い受聴のみでなく発話の收音も可能であることを確認した。当初の計画に加え、音声情報取得の可能性の検討を進めた。このことによりコミュニケーションエイドとしての可能性を拡げることができた。

(2)2013 年度は、歯ごとに加振可能なデバイス実現のための技術、その物理特性測定方法を確立した。これを用いて歯を介した骨伝導現象の解析と加振位置に関する検討、歯骨伝導デバイスを用いた音声情報取得に関する検討を行い、歯骨伝導音に関する特性の解明を目指し以下の研究を行った。

##### 歯ごとに加振可能なデバイスの製作

小型薄型フレキシブル圧電素子を歯科医療用マウスピースにはめ込み、歯型に適合可能で歯ごとに加振可能な歯骨伝導デバイスを製作した。具体的には、中切歯、犬歯、第二大臼歯を加振できるデバイスを製作、評価を加えた。その結果、圧電素子を小型化しても受聴可能であること、同デバイスを用い発話の收音が歯ごとに可能であること、石膏製の歯型に装着した場合の特性を測定することでも歯に装着した時の物理特性を推定可能であること、歯の各周波数における機械インピーダンス測定から低周波帯域に比べ高

周波帯域の方が振動しにくい傾向があることを確認した。

歯を介した骨伝導現象の解析と加振位置製作したデバイスを用いて評価実験を行った。歯ごとの受聴特性、明瞭性の調査を行った。その結果、高周波帯域に比べ低周波帯域で聞こえが良いこと、気導音に比べ骨導音の方が明瞭性がやや低いこと、受聴特性に基づき補正を行うことで明瞭性に向上が見られること、受聴特性、明瞭度測定において三歯による差はほとんどないことが分かった。

歯骨伝導デバイスを用いた音声情報取得製作したデバイスを用いた音声の取得および取得された音声に関して分析を行った。その結果、先述の三歯すべてから明瞭な音声取得が可能であり、また約 90dB の騒音下でも音声取得が可能であること、取得された音声の特徴として口腔内の奥に向かうほど高周波数成分が含まれていることなど確認できた。

以上、歯ごとに加振可能なデバイス実現のための技術、その物理特性測定方法を確立した。さらに、これまで以上により多くの人を対象にした評価実験を行い、歯を介した骨伝導現象の解析、加振位置が受聴特性や明瞭性に及ぼす影響の調査、明瞭性向上に関する検討、歯骨伝導デバイスを用いた音声情報取得に関する調査などを実施、詳細な特徴の把握と歯骨伝導音に関するデータを収集することができた。当初予定していた実施計画をほぼ達成することができ、コミュニケーションエイドとしての発展の可能性をこれまで以上に示すことができた。

それら成果について国内学会、国際会議 ICA2013 で発表を行い、特に ICA2013 で行った発表は多くの人々に注目され報道関係者用の Lay Language Paper 作成の依頼を受けた。

(3)2014 年度は、初年度、第 2 年度の研究成果をもとにしてデバイスの改良と明瞭性、聴き取りやすさの向上等に関して検討を加え、コミュニケーションエイドとしての利用の可能性を探求した。具体的には、マウスピース型歯骨伝導デバイスの無線化等の改良を加え、装着、持ち運びが容易なシステムとした。また、複数の共振周波数を利用したアクチュエータの高能率化を実現した。このように、改良した歯骨伝導デバイスを用いて取得した音声について明瞭性、聴き取りやすさの調査を行った。歯骨伝導デバイスでは中切歯、犬歯、第二大臼歯の位置に圧電型ピックアップを配置した。それを用いて、雑音 (80・90dB の 2 種) 有無別の単音節音声明瞭度の評価実験を、20~24 歳の平均的な聴覚を持つ男女 11 名の被験者を対象にして行った。その結果、従来法の取得音声 (Air-conducted sound) と比較して、妨害雑音を付加しない条件では 10~25 ポイント明瞭度が悪化した。妨害雑音を付加した条件では 3~15 ポイント向上し

た。実環境での有効性を示すことができた。

以上のように最終年度はこれまでの研究成果に基づき、デバイスの改良、現象の解明を引き続き行うと共にコミュニケーションエイドとして実用化及び汎用化を目指して、その性能向上と高機能化を図った。双方向でのコミュニケーションが可能なシステムの構築、会話内容のみならず空間情報等の呈示を目指した処理の導入、空港などの公共空間において導入されているヒアリンググループのような既存システムでの利用の検討などを行い、歯骨伝導でバイスのコミュニケーションエイドとしての発展の可能性を示し、新たな情報伝達経路の確立の可能性を示すことができた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

及川靖広, “快適な音コミュニケーションの実現を目指した音響学,” 早稲田理工 PLUS2015, pp.55-57, 2015.3. 査読なし

Jun Kuroda, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, Shigeo Sato, Motoyoshi Komoda, Yasuharu Onishi, “Design of an ultrasonic piezoelectric transducer having double-linked diaphragms for parametric speakers,” Acoust. Sci. & Tech., Vol.36, No.5, 2015.9. (採録決定). 査読あり

Jun Kuroda, Yasuhiro Onishi, Motoyoshi Komoda, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, “The driving system for piezoelectric speaker with low power consumption,” Acoust. Sci. & Tech., Vol.33, No.6, pp.372-375, 2012.11. 査読あり

村松未輝雄, 及川靖広, 山崎芳男, 黒澤潤子, “歯骨伝導アクチュエータを用いたコミュニケーションエイド,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J95-A, No.7, pp.623-630, Jul.2012. 査読あり

〔学会発表〕(計14件)

黒田 淳, 及川靖広, 大内康裕, 山崎芳男, “受動素子による連結構造圧電振動子の振動制御,” 日本音響学会春季研究発表会, 中央大学(東京), 2015.3.16-18.

久世 大, 鳥飼雄亮, 黒澤潤子, 及川靖広, 山崎芳男, “歯骨導音受聴におけるラウドネス特性と明瞭性,” 日本音響学会秋季研究発表会, 北海学園大学(北海道), 2014.9.3-5.

鳥飼雄亮, 久世 大, 黒澤潤子, 及川靖広, 山崎芳男, “歯骨導音声の明瞭性評価,” 日本音響学会秋季研究発表会, 北海学園大学(北海道), 2014.9.3-5.

Mikio Muramatsu, Junko Kurosawa, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki,

“Communication aid utilizing bone-conducted sound via teeth by means of mouthpiece form actuator,” Proc. ICA2013 (POMA Vol.19), (DOI: 10.1121/1.4800185), モントリオール(カナダ), 2013.6.2-7.

Jun Kuroda, Yasuharu Onishi, Motoyoshi Komoda, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, “Design of resonant frequencies of the piezoelectric actuator with integrated components,” Proc. ICA2013 (POMA Vol.19), (DOI: 10.1121/1.4799923), モントリオール(カナダ), 2013.6.2-7.

鳥飼雄亮, 久世大, 村松未輝雄, 黒澤潤子, 及川靖広, 山崎芳男, “マウスピース型歯骨伝導アクチュエータを用いた音声取得,” 日本音響学会秋季研究発表会, 豊橋科学技術大学(愛知), 2013.9.25-27.

久世大, 鳥飼雄亮, 黒澤潤子, 及川靖広, 山崎芳男, “マウスピース型歯骨伝導アクチュエータを用いた受聴における明瞭性,” 日本音響学会秋季研究発表会, 豊橋科学技術大学(愛知), 2013.9.25-27. 村松未輝雄, 黒澤潤子, 及川靖広, 山崎芳男, “歯骨導音提示時における方向知覚と聴感特性,” 日本音響学会秋季研究発表会, 信州大学(長野), 2012.9.19-21.

黒田 淳, 佐藤重夫, 大西康晴, 金本貴徳, 及川靖広, 山崎芳男, “圧電型トランスデューサの共振振動振幅を向上させる電気回路の検討,” 日本音響学会秋季研究発表会, 信州大学(長野), 2012.9.19-21.

〔その他〕

国際会議 ICA2013 で発表した Mikio Muramatsu, Junko Kurosawa, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, “Communication aid utilizing bone-conducted sound via teeth by means of mouthpiece form actuator,” Proc. ICA2013 (POMA Vol.19), (DOI: 10.1121/1.4800185), モントリオール(カナダ), 2013.6.2-7. は報道関係者用 Lay Language Paper として取り上げられ多くの人々に注目された。

波動コミュニケーション科学研究所共催音バリアフリーシンポジウム 2014「補聴支援機器の普及に向けて」, 早稲田大学(東京), 2014.11.7. を開催し、その中で本研究に関する発表した。

波動コミュニケーション科学研究所主催第4回研究談話会「コミュニケーションエイド研究とその幕開け - 音バリアフリー化の現状と課題とその克服 - 」, 早稲田大学(東京), 2012.7.6. を開催し、その中で本研究に関する発表した。

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

及川 靖広 (OIKAWA, Yasuhiro)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：70333135

### (2)研究協力者

村松 未輝雄 (MURAMATSU, Mikio)  
鳥飼 雄亮 (TORIKAI, Yusuke)  
久世 大 (KUZE, Dai)  
黒澤 潤子 (KUROSAWA, Junko)