

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560320

研究課題名(和文)骨導超音波と視覚情報を利用した最重度難聴児のための発話訓練装置の開発

研究課題名(英文)Development of a speech training system for a profoundly hearing-impaired children using bone-conducted ultrasound

研究代表者

中川 誠司(Nakagawa, Seiji)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・バイオメディカル研究部門・上級主任研究員

研究者番号：70357614

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：最重度難聴者にも利用可能な新型補聴器(骨導超音波補聴器)の開発が進んでいる。一方、難聴のために自己発話の聴取(聴覚フィードバック)が困難になると、明瞭かつ流暢な発話の維持や獲得が困難になる。本課題では、最重度難聴者にもある程度の聴覚フィードバックを与えることができる骨導超音波補聴器を利用し、最重度難聴児のための発話/聴取訓練装置を開発した。また、開発した装置を用いて発話訓練や聴取能評価を実施し、発話運動と聴覚入力の相互メカニズムや発話/聴取訓練装置の改善についての知見の獲得を図った。

研究成果の概要(英文)：We have been developing a novel hearing-aid for the profoundly hearing-impaired using bone-conducted ultrasonic perception (Bone-conducted ultrasonic hearing-aid: BCUHA). In such a profoundly hearing-impaired, auditory feedback, i.e., a functional loop between auditory perception and speech production, often declines. Auditory feedback is an important aid during speech acquisition by toddlers, who use it to control the learning of speech items. In this study, we developed a speech training system using a BCUHA for the profoundly hearing-impaired children.

研究分野：生体医工学

キーワード：発話訓練 重度難聴 骨伝導 超音波 補聴器

### 1. 研究開始当初の背景

難聴が重篤になると、通常の補聴器を使用しても、十分な聴覚を得ることができなくなる。しかしながら、骨導(骨伝導)によって呈示された周波数 20kHz 以上の高周波音(骨導超音波)であれば、聴覚健常者とは異なり、一部の最重度感音性難聴者にも明瞭に知覚される(Lenhardt et al. 1991)。申請者らはこの知覚現象の存在を客観的に証明したうえで、重度難聴者にも使用可能な新型補聴器(骨導超音波補聴器)への応用に取り組んできた(Nakagawa et al. 2006, Nakagawa 2012, 図 1)。骨在、プロトタイプによって最重度難聴者の半数が音声を知覚可能、3割程度が簡単な単語の理解まで可能という画期的成果を挙げており、ごく近い将来の実用化が予定されている。



図 1 申請者らが開発した骨導超音波補聴器(BCUHA-007)。音声や環境音によって約 30 kHz の超音波が振幅変調され、振動子によって片側の乳様突起に呈示される。

一方、ヒトは自分で発した音声を聴取することで発声筋(喉頭、顎口腔領域の筋肉)の緊張度を制御し、発話(発声)運動をコントロールしている。この一連の流れは聴覚フィードバックと呼ばれる意識下で遂行される生体機能であり、正常な発話の維持・獲得にとって不可欠となっている。難聴となって聴覚フィードバックが正常に機能しなくなると、徐々に明瞭性・流暢性の低下やアクセント異常が生じるようになる。そのため、軽度～中等度の難聴に対しては従来の補聴器を装着することで、聴覚フィードバックを回復が図られる。一方、重度難聴になると補聴器を装着しても十分な聴覚フィードバックが得られないため、そのままでは正常な発話を獲得することは難しい。特に、幼児期にこの聴覚フィードバックが障害を受けた場合は、正常な発話の獲得そのものが困難になるため、できるだけ早期の対策が望まれる。

### 2. 研究の目的

本研究では、重度難聴者にも聴覚フィードバックを与えることが可能な骨導超音波補聴器を利用することで、最重度難聴児でも利用可能な発話訓練装置を開発する。幼児にも操作しやすいタブレット端末を用い、補助的な視覚情報を併せて呈示することで、効果的な発話訓練の実現を目指す。本装置では最重度難聴児に対してもある程度の聴覚フィードバックを回復させ

た上で訓練を行う点に最大の特長があり、従来の訓練法に比べて大幅な発話訓練効率の向上が見込まれる。

また、開発した装置による発話訓練に伴う発話の改善度や、音声聴取および発話時の脳活動の変化を観察を図る。最終的には、得られた成果から、発話獲得における聴覚フィードバックや補助的視覚情報の効果を明らかにし、発話訓練装置の改善について有用な知見の獲得を目指す。それまで聴覚フィードバックを経験したことのない重度難聴児に対して発話訓練効果の観察を行うことで、発話運動と聴覚入力相互メカニズムについての新たな知見の獲得できる可能性もある。

### 3. 研究の方法

(1) 発話訓練装置の開発: タッチ操作が可能なタブレット情報端末と骨導超音波補聴器を用いて、難聴幼児のための発話訓練装置を開発した。取り回しの向上のために補聴器とタブレット間は無線接続とし、タブレット上に以下の発話/聴取訓練プログラムを実装した。a. 表示された文字(日本語単音節および単語)に対応する(手本となる)音声を呈示する機能、b. 被訓練者自身の発話を録音して、正常発話と比較できる機能、c. 呈示される音声と同時に補助的視覚情報(被訓練者および正常発話者の発声時の口元の動画)を表示する機能、d. クイズ形式で聴取試験を行う機能。

(2) 乳幼児を対象とした脳磁界計測: 乳幼児を対象とした覚醒状態の乳幼児を対象とした脳機能計測はほとんど前例がない。覚醒した乳幼児には、計測中も動きを止めない、(非侵襲脳機能計測で一般的に用いられる)インサートイヤホンが使用できない、長時間にわたる計測ができない、母子分離が難しいという問題がある。これらの問題点を技術的に解決し、世界初の覚醒乳幼児を対象とした脳磁界計測(Imada et al. 2006)を成功させた Institute for Learning & Brain Sciences, University of Washington に協力を仰ぎ、乳幼児を対象とした脳磁界計測を実施した。また、軟骨伝導を利用した乳幼児でも使用可能なイヤホンを開発し、その実用性を評価した。

(3) 新しい聴取能評価試験の開発: 従来の聴力検査は専ら純音や語音の聴覚閾を調査対象としているが、豊かな音声コミュニケーションのためには、非言語・パラ言語情報が適切に伝達される必要がある。骨導超音波補聴器の内部信号処理方式を変化させ、音声に含まれる感情や性別や年齢といった話者情報の伝達度合いを検証し、重度難聴者の聴取/発話訓練の実施に最適な条件を調べた。

(4) 難聴幼児を対象とした発話/聴取訓練の実施: 上記の成果を活用して、重度難聴幼児に対する発話/聴取訓練を実施した。

#### 4. 研究成果

(1) 発話訓練装置の開発:開発した装置の外観を図2に, 画面例を図3に示す. 乳幼児の使用を促すために, イラストを多用している.



図2 開発した発話訓練装置. 骨導超音波補聴器と無線接続して使用する.



図3 開発した発話訓練装置の画面例. (上):聴取訓練, 発話訓練の両者が可能. (中):イラストに対応した音声が出力される. また, 使用者自身の発話と聞き比べることができる. (下):自身と健常者の発話時の口唇の動きを動画で比較可能.

(2) 乳幼児を対象とした脳磁界計測: 乳児2名(月齢6ヶ月および8ヶ月)および聴力健常な成人1名を対象として, 脳磁界計測を行った. 乳児には被験者に頭部位置推定用コイルが付いたキャップを被せ, ベルトで椅子に体幹を固定した. また, 保護者およびスタッフも磁気シールドルーム内に入室し, 被験者をあやし続けて落ち着かせるように努めた(図4). 刺激音は新しく開発した軟骨伝導イヤホンで呈示し, 反応を加算平均することで誘発脳磁界を計測した. この際, Signal space separation 法によって体動などに由来するアーティファクトの除去および頭部位置変動に係る補償処理を行った.

乳児被験者も, 軟骨伝導イヤホンの装用を嫌がる様子は全く見られなかった. 図5に開発したイヤホンによって, 乳児に対して得られた聴覚誘発反応波形を示す. 成人に対しては明瞭な緩反応が得られた. また, 乳児においては後頭~頭頂部にかけて頸部筋収縮および心拍に由来するアーティファクトが重畳しているが, 側頭部において据え置き型スピーカに対するものと同様の誘発反応波形が観察された.



図4 乳児を対象とした脳磁界計測. 計測中も母親はすぐ近くに座っている. また, 専用スタッフ2名が乳児をあやし続けている.

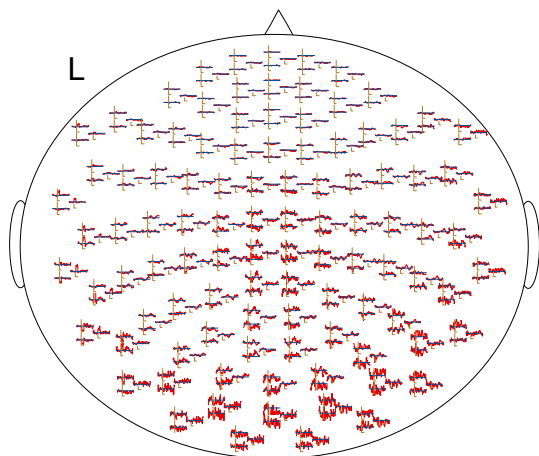


図5 開発した軟骨伝導イヤホンによる8ヶ月乳児の聴覚誘発反応波形 (magnetometer). 側頭部を覆うチャンネルに聴覚誘発反応が観察される.

(3) 新しい聴取能評価試験の開発:『日本語話し言葉コーパス』や『慶應義塾大学研究用感情音声データベース(Keio-ESD)』に含まれる一部の音声を骨導超音波補聴器で呈示し、音声に含まれる感情や、話者の性別、年齢を推定させた。骨導超音波補聴器の変調方式を変化させて正答率を評価した結果、音質の変化に伴うパラ言語情報の伝達性能の変化は、必ずしも言語情報の伝達性能の変化とは同一の傾向を示さないことが明らかになった。

(4) 難聴幼児を対象とした発話/聴取訓練の実施:上記の成果を活用して、重度難聴幼児に対する発話/聴取訓練を実施した。一部の被験者では短期的な発話/聴取能成績の向上が確認されている。今後、被験者数の増加と長期的な訓練効果の観察を図る予定である。

#### 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 21 件)

- ① Otsuka A, Yumoto M, Kuriki S, Hotehama T, Nakagawa S, Frequency characteristics of neuromagnetic auditory steady-state response to sinusoidally amplitude modulated chirp tones, Clin. Neurophysiol., 127, 790-802, 2016, 査読有, DOI: doi:10.1016/j.clinph.2015.05.002
- ② Kagomiya T, Nakagawa S, Development and evaluation of bone-conducted ultrasonic hearing-aid regarding transmission of voice emotion: Comparison of DSB-TC and DSB-SC amplitude modulation method, Proceedings of Western Pacific Acoustics Conference 2015, 495-500, 2015, 査読有, <http://www.wespac2015singapore.com/e proceedings/html/P12000236.xml>
- ③ Soeta Y, Nakagawa S, Prediction of optimal auditory signals using auditory evoked magnetic responses, Building and Environment, 94, 924-929, 2015, 査読有, DOI:10.1016/j.buildenv.2015.06.012
- ④ Ito K, Nakagawa S, Self-demodulation effect on amplitude-modulated bone-conducted ultrasonic hearing, Jpn. J. Appl. Phys., 54, 07HF07:1-6, 2015, 査読有, <http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.54.07HF07>

[学会発表] (計19件)

- ① 中川誠司, 非侵襲計測によるヒトの聴覚・音声知覚・言語機能の解明, 第62回NINJAL (国立国語研究所)コロキウム, 東京都立川市, 2015.10.13
- ② 中川誠司, 保手浜拓也, 伊藤一仁, 籠宮隆之, 中山 仁史, 骨伝導メカニズムの解明に基づく音響機器および福祉機器の開発, 第15回産総研・産技連 LS-BT合同研究発表会, つくば市, 2016.2.2-3

③ Otsuka A, Yumoto M, Kuriki S, Nakagawa S, Auditory steady-state response to chords: Effect of frequency ratio, The 39th Annual Midwinter Research Meeting of the Association for Research in Otolaryngology, San Diego, CA, USA, 2016.2.20-24

④ Nakagawa S, Imada T, Hosoi H, Meltzoff AN, Kuhl PK, Development of an infant-friendly flat-panel earphone for MEG on awake babies using cartilage conduction The 5th Biennial Meeting of the International Society for Advancement of Clinical Magnetoencephalography, Helsinki, Finland, 2005.6.18-22.

⑤ Kagomiya T, Nakagawa S, Development and evaluation of bone-conducted ultrasonic hearing-aid regarding transmission of voice emotion: Comparison of DSB-TC and DSB-SC amplitude modulation method, Western Pacific Acoustics Conference 2015, Singapore, 2015.12.6-9

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

[https://staff.aist.go.jp/s-nakagawa/index\\_j.htm](https://staff.aist.go.jp/s-nakagawa/index_j.htm)

<https://www.facebook.com/Ultrasonic.Hearing.insights/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 誠司 (NAKAGAWA, Seiji)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・バイオメディカル研究部門・上級主任研究員  
研究者番号: 70357614

(2) 研究分担者

籠宮 隆之 (KAGOMIYA, Takayuki)

国立国語研究所・研究情報資料センター・特任助教  
研究者番号: 10528269

(3) 連携研究者

なし

(4) 連携研究者

大塚 明香 (OTSUKA, Asuka)

国立研究開発法人・産業技術総合研究所・協力研究員

今田 俊明 (IMADA, Toshiaki)

Institute for Learning & Brain Sciences, University of Washington, Director of Language Neuroimaging Lab.

クール パトリシア N. (KUHL, Patricia K.)  
Institute for Learning & Brain Sciences,  
University of Washington, Co-Director

メロツォフ アンドリュー N. (MELTZOFF,  
Andrew N.)  
Institute for Learning & Brain Sciences,  
University of Washington, Co-Director

細井 裕司 (HOSOI, Hiroshi)  
奈良県立医科大学・学長