

令和 3 年 4 月 23 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18081

研究課題名（和文）高騒音環境で安全かつ正確に音声を伝えるための骨導ヘッドフォンの明瞭化

研究課題名（英文）Improving intelligibility of bone-conducted headphones in noisy environment

研究代表者

村上 泰樹（Murakami, Yasuki）

九州大学・芸術工学研究院・助教

研究者番号：90779646

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：騒音環境下で安全な作業を実現することが可能な骨伝導ヘッドフォンから呈示される骨伝導音の明瞭性の向上を目的として、本研究を行った。実験は、騒音環境下での骨伝導音の主観評価、人間を対象とした非侵襲的な生理実験による客観評価、数値シミュレーションを用いた検討の3つの項目からなる。主観評価と客観評価の結果から、骨伝導音ヘッドフォンから呈示される音は騒音の影響を受けやすいことが示唆された。数値シミュレーションから得られた結果は、これら2つの評価実験を裏付けることが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

安全な作業を実現することは社会にとって重要な課題である。骨伝導ヘッドフォンはその一助となる技術であるが、骨伝導音の伝搬経路や知覚メカニズムが分かっていないため、十分に社会で実用化されていない。本研究では、気導音に対して骨伝導音がマスキングされやすい傾向にあることを心理実験、生理実験、および数値シミュレーションを通じて明らかにした。この研究成果を発展させることで、騒音に頑健で明瞭性の高い骨伝導ヘッドフォンの実現が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to improve the intelligibility of bone conduction sound, which can realize safe work in noisy environments. The experiment consisted of three items: subjective evaluation of the bone conduction sound in a noisy environment, objective evaluation by a non-invasive physiological experiment on a human subject, and a study using a numerical simulation. The results of the subjective and objective evaluations suggest that the sound presented by the bone-conduction sound is easily masked by noise. The results obtained from the numerical simulation supported these two evaluation experiments.

研究分野：音響工学

キーワード：骨伝導 耳音響放射 了解度 聴覚モデル 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

作業に従事する作業員にとって最も大切なことは安全の確保である。安全を確保するために徹底されていることは、アンサーバックである。アンサーバックは作業の指示者が声を出して作業内容を伝え、作業を行った作業員が声を出して作業内容の復唱を行う。この一連の作業を通じて作業内容に誤りがないことを、指示者と作業員の間で確認する。しかし、船舶機関室など高騒音環境では、音声を直接伝えることが困難である。そのため、ハンドサインなど視覚的な方法でアンサーバックを行っている。この方法の欠点は、1) 音声に比べて伝えられる情報量に限りがあること、2) 視線と手を動かす必要がある、これらのことから安全にアンサーバックを行うために、音声を用いる方法が最適であると考えた。

申請者は、騒音環境で耳栓をした状態でも音声を聴取可能な骨伝導音に着目した。我々が、日常で聞いている気導音は、外耳から中耳、蝸牛へと伝播する。一方、これとは異なり、皮膚の振動によって頭蓋骨が振動することで、聴覚末梢系にある蝸牛へ骨伝導音は伝わる。そのため、骨伝導音は耳栓を装着した状態でも聴取することが可能である。このことは、高騒音環境での作業に従事する作業員が耳栓を装着して作業しているという状況に即していると考えた。

このような利点があるにも関わらず、高騒音環境での作業に骨伝導音ヘッドフォンが活用されているという事例がほとんど報告されていないという背景があった。実際に、高騒音環境で作業をする船舶エンジニアに使用してもらい、使用した結果をインタビューしたところ骨導ヘッドフォンから提示される音声聞き取りにくいという声を得られた。

2. 研究の目的

研究開始後の調査で、気導音に比べて骨伝導音の伝播経路が様々であり(Stenfelt, 2015)、気導音で提案されている音声明瞭化手法を骨伝導音に適用することが困難であることが分かった(図1)。本研究では、骨導ヘッドフォンの明瞭化のために、まず骨伝導音の知覚特性と伝播特性について調べた。そのために、実験環境での骨伝導ヘッドフォンを用いた音声の聞き取りやすさの主観的評価、耳音響放射を用いた骨伝導ヘッドフォンの客観的評価、骨伝導の数値シミュレーションについて検討を行った。

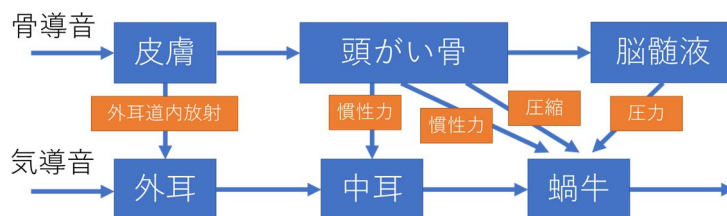


図1 骨伝導音と気導音の伝播経路

3. 研究の方法

以下に示す3つの課題に取り組んだ。

- (1) 様々な実験環境での骨伝導ヘッドフォンを用いた音声の聞き取りやすさの主観的評価
耳栓の有無、騒音の種類、騒音の呈示方法、騒音のレベルなどを系統的に変化させて、骨伝導ヘッドフォンから提示される音声の聞き取りやすさについて音声了解度の観点から主観的な評価を行った。
- (2) 耳音響放射を用いた骨伝導ヘッドフォンの客観的評価
人間の聴覚末梢系の応答を観測可能な耳音響放射を用いて、骨伝導ヘッドフォンから呈示される音刺激に対する聴覚末梢系の応答特性を調べた。これにより、骨伝導ヘッドフォンの客観的な評価を行った。
- (3) 骨伝導の数値シミュレーション
聴覚末梢系にある蝸牛で骨伝導ヘッドフォンが作り出す応答特性について、数値シミュレーションを用いて検討を行った。

4. 研究成果

- (1) 様々な実験環境での骨伝導ヘッドフォンを用いた音声の聞き取りやすさの主観的評価

実験条件を系統的に変化させて音声了解度を調べた。聴取実験の結果、80 dB SPL を超える船用エンジン音を騒音として呈示した環境において、気導音声を聞き取ることはできなかったが、耳栓を装着することで骨伝導音の音声了解度は 100%に近い結果が得られた。このことは、騒音環境で耳栓を装着することは骨伝導音ヘッドフォンの聞き取りに有効であることを示した。

一方で、耳栓を装着していない条件で騒音レベルを 60 dB SPL (オフィスなどの騒音レベル) に設定したときの骨導ヘッドフォンから提示される音声の了解度は 0%に近い結果が得られた。この結果は、骨導ヘッドフォンから提示される音声騒音によってマスキングされやすい傾向を示唆する。研究開始前の船舶エンジニアへの骨導ヘッドフォンに対する使用インタビューで音声が聞き取りにくいという報告がえられたのは、骨伝導音が聴覚マスキングの影響を受けやすいためであると考えられる。

(2) 耳音響放射を用いた骨伝導ヘッドフォンの客観的評価

耳音響放射を用いて人間の聴覚末梢系にある蝸牛の抑圧特性を観測した。この抑圧特性は、サプレッサーと呼ばれる妨害音が存在するときに、プローブと呼ばれる目的音への蝸牛の応答特性が減少する現象である。

まず、蝸牛の入出力特性が非線形になることで抑圧特性が得られることが分かっているため、歪成分耳音響放射 (DPOAE) を用いて骨伝導音に対する蝸牛の入出力特性が非線形になることを確認した。

次に、申請者がこれまでに提案している差分ベクトル解析をもちいて、DPOAE を用いた骨伝導音と気導音の抑圧関係について調べた。その結果、骨伝導音と気導音は等しく他方を抑圧することを示した。

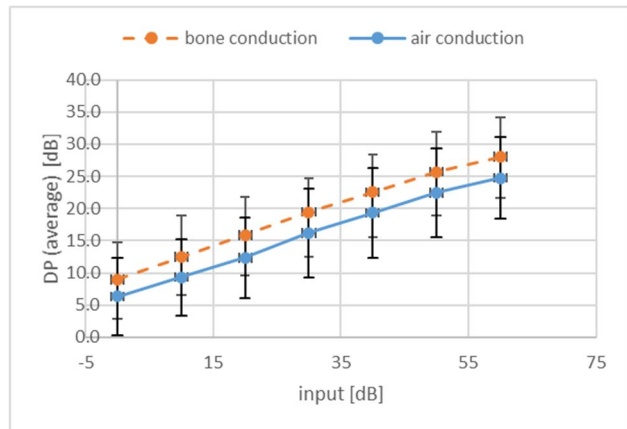


図 2 骨伝導音と気導音の入出力特性

(3) 骨伝導音の数値シミュレーション

研究成果 1 と 2 から得られた結果は、矛盾する結果であった。研究成果 1 では気導音の影響で骨伝導音は聴覚マスキングの影響を受けやすいことが分かった。一方、研究成果 2 では気導音と骨伝導音は等しい関係にあり、聴覚末梢系でそれぞれに抑圧しあうことが分かった。この矛盾を検討するために、蝸牛モデル (図 3) を構築し、骨導音と気導音に対する蝸牛の応答の数値シミュレーションを行った。

数値シミュレーションの結果は、1) どちらの刺激であっても進行波と呼ばれる蝸牛の応答が得られることが分かったが、2) 入出力特性の非線形特性に違いが得られた (図 4) 。

以上の数値シミュレーションの結果より、主観的評価実験から得られた結果と客観的評価実験から得られた結果の差は、蝸牛のわずかな応答特性の違いによるものであることを明らかにした。

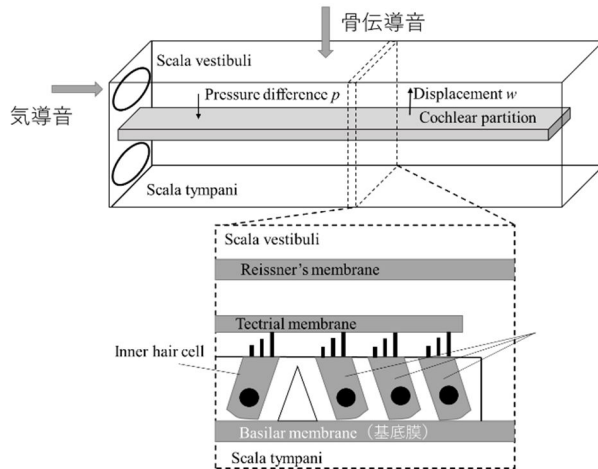


図 3 構築した蝸牛モデルの概略図

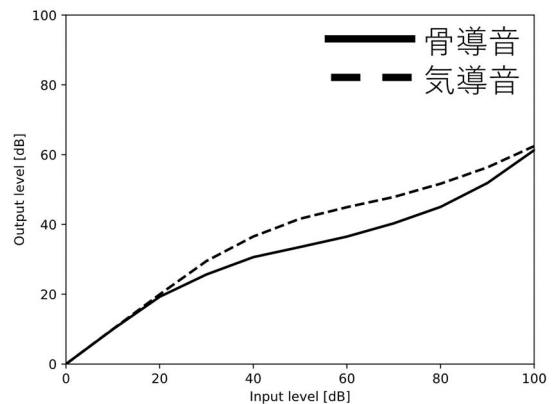


図 4 シミュレーションから得られた骨伝導音と気導音の入出力特性の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Murakami Yasuki	4. 巻 40
2. 論文標題 Efficiency limit of nonuniform grid setting in two-dimensional cochlear model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 336 ~ 343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1250/ast.40.336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Yasuki	4. 巻 144
2. 論文標題 Influence of discretization error on instability of cochlear model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 3593 ~ 3602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/1.5083836	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 -

1. 著者名 Murakami Yasuki	4. 巻 39
2. 論文標題 Simple oscillator model of frequency dependence of cochlear two-tone suppression	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 226 ~ 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1250/ast.39.226	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yasuki Murakami
2. 発表標題 Simulation of cochlear response by bone conducted tone
3. 学会等名 The 23rd International Congress on Acoustics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田寿弥, 村上泰樹
2. 発表標題 歪成分耳音響放射を用いた気導音と骨導音の入出力特性の比較
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部学生卒業研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上泰樹
2. 発表標題 骨導音と気導音に対する蝸牛モデルの入出力特性の比較
3. 学会等名 日本音響学会秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuki Murakami
2. 発表標題 Simulation of cochlear responses by bone-conducted tone
3. 学会等名 International Congress on Acoustics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上泰樹
2. 発表標題 有限差分法に基づく2次元蝸牛メカニクスの状態空間モデルとその高精度化
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤匠海, 村上泰樹
2. 発表標題 DPOAE を用いた蝸牛での抑圧現象の方向性の検証
3. 学会等名 日本音響学会2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takumi Fuji, Yasuki MURakami, Takashi Asakawa
2. 発表標題 Investigating of the Direction of Suppression in Distortion Product Otoacoustic Emissions
3. 学会等名 The Proc. of ARO The 44th Annual MidWinter Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------