

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700208

研究課題名(和文) 耳鳴再訓練療法のための骨伝導聴覚刺激システムの開発

研究課題名(英文) Development and construct of bone-conduction auditory stimulation system for Tinnitus Retraining Therapy

研究代表者

為末 隆弘 (Tamesue, Takahiro)

山口大学・大学情報機構・准教授

研究者番号：00390451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：近年、耳鳴に対する脳の順応を獲得しようとする耳鳴再訓練療法(Tinnitus Retraining Therapy)が注目されている。これは、通常は意識しないような音を耳鳴に重畳することで、患者の苦痛を軽減させることを目的としたものであり、現在、治療方法の体系化が進められている。耳鳴再訓練療法のための音響刺激として、白色雑音、ピンク雑音、音声雑音などが用いられているが、その具備すべき条件について、周波数スペクトルや音圧レベルといった物理的音響特性との関連性に踏み込んだ検討はなされていない。このような観点から本研究では、耳鳴再訓練療法のための音響刺激について検討している。

研究成果の概要(英文)：Tinnitus retraining therapy (TRT), which seeks to improve brain plasticity and adaptation to tinnitus, has received a lot of attention in recent years as a treatment based on a neurophysiological model of tinnitus. The goal of TRT is to decrease the discomfort associated with tinnitus by retraining the brain to habituate to tinnitus. Sound therapy in TRT uses broad-band noise such as white noise, pink noise, and speech noise to remove tinnitus from conscious perception. However, the relationships between the effects of the therapy and the acoustical characteristics of the noise, such as the frequency spectrum, sound pressure level, and time-varying properties, have not yet been examined. Thus, this study was designed to investigate the effectiveness of different types of sounds for TRT.

研究分野：音響情報工学

キーワード：マスキング ノイズ 心理評価

1. 研究開始当初の背景

(1) 耳鳴の多くは難聴とともに現れるが、正常な聴力であるにも関わらず慢性的な耳鳴に悩まされている患者が少なくない。人口の 15 [%]程度の人が耳鳴りに悩まされており、さらに加齢とともに増加することは周知のとおりである。耳鳴りの大きさは最小可聴値上の 5~15 [dB]程度であると考えられているが、脳が耳鳴を危険かつ注意しなければならない音であると判断し、耳が聞こえなくなるのではないかといった不安、不眠、さらにはうつ病まで発展することもある。しかしながら、耳鳴りの原因や発症のメカニズムは不明なところが多く、慢性化した耳鳴りを消滅させる治療法は未だ確立されていない。

(2) 近年、耳鳴りの新しい治療方法のひとつとして、生理学的モデルに基づき、耳鳴りに対する脳の順応を獲得しようとする耳鳴り再訓練療法(Tinnitus Retraining Therapy)が注目されている。これは、注意を向けてしまう耳鳴りに通常は意識しないであろう音を重畳することで、耳鳴りを意識するに値しない音に質的に変化させて患者の苦痛を軽減させることを目的としたものであり、治療方法の体系化が進められている。

(3) 国内においても耳鳴り再訓練療法の導入が進んでおり、その施行例などが多く報告されている。耳鳴り再訓練療法で用いられる音として、大きさ、高さ、音色等によっていかなる不快感も引き起こさない音、部分的であっても耳鳴りを遮蔽(マスキング)しない音、容易に慣れて、日常的には認識しないような音であり、できればリラックスできる音が望ましいとされており、いくつかの音源を内蔵したノイズ発生器(Tinnitus Control Instrument)も市販されている。

2. 研究の目的

(1) 耳鳴り再訓練療法のための音響刺激として、白色雑音、ピンク雑音、音声雑音などが用いられているが、その具備すべき条件について、周波数スペクトルや音圧レベルといった物理的音響特性との関連性に踏み込んだ検討がなされていない。このような観点から本研究では、耳鳴り再訓練療法のための音響刺激について検討する。

(2) 耳鳴りを模擬するための音響刺激として純音、三角波、のこぎり波、矩形波といった純音性の音響刺激や 1/3、1/1 オクターブの帯域雑音を採用し、種々の音圧レベル値を有するマスキング音で耳鳴り模擬音をマスクした場合の耳鳴り模擬音に対して気が逸れたかどうか、マスキング音に関して注意をひく音であったか、および、マスキング音を長時間聞いていられると思うかどうかについて健聴者による音響心理実験を基に調査している。

3. 研究の方法

(1) 耳鳴りの検査においては、自覚的表現の検査として、耳鳴りがする部位、種類、高低、

大きさ、持続時間、気になり方、その他の特徴を問診すると同時に、予め容易された擬声語と耳鳴音を比較して評価が行われる。これまでの症例報告等で表現された耳鳴りに関する擬声語と物理的音響特性の関係について考察するための基礎的段階として、健聴者による次のような音響心理実験を実施した。

被験者：聴力正常な 20 歳代の男性 8 名であった。被験者に対して身体的・心理的な苦痛および継続的な被害を与えるものではないが、被験者に実験の内容をできるかぎり説明するとともに、すべての被験者の同意を得た上で実験を行った。

音響刺激：耳鳴りを模擬するための音響刺激として、周波数が 50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000、5000、6300、8000、10000 [Hz]の純音、三角波、のこぎり波、矩形波を用いた。また、中心周波数が 63、125、250、500、1000、2000、4000、8000 [Hz]の 1/1 オクターブ帯域雑音および、中心周波数が 50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000、5000、6300、8000、10000 [Hz]の 1/3 オクターブ帯域雑音を用いた。さらに、オーディオメータ AA-61 に収録されている帯域雑音についても検討した。耳鳴り模擬音の音圧レベルはいずれの場合も 50 [dB(A)]となるようゲインの調整を行った。

測定方法：20 秒間の耳鳴り模擬音を作成し、5 秒間の休止期間をさみながら繰り返しスピーカから提示した。文献や症例報告を調査し、実際に耳鳴り患者が表現した擬声語を収集した(表 1)。これら 167 のすべての擬声語に対して、被験者はどの程度似ているか否かを 5 つにカテゴリ化された尺度(F1: 全く似ていない、F2: それほど似ていない、F3: 多少似ている、F4: だいぶ似ている、F5: 非常に似ている)の中から一つを選んで回答した。

(2) (1)で検討した耳鳴り模擬音に対して、聴覚の臨界帯域幅を考慮したマスキング音を重畳した場合の耳鳴り模擬音とマスキング音の音響刺激に対する主観的心理評価を調査するための音響心理実験を行った。

被験者：聴力正常な 20 歳代の男性 7 名、女性 1 名の計 8 名であった。この場合も、被験者に対して身体的・心理的な苦痛および継続的な被害を与えるものではないが、被験者に実験の内容をできるかぎり説明するとともに、すべての被験者の同意を得た上で実験を行った。

音響刺激：耳鳴りを模擬するための音響刺激として、周波数が 50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000、5000、6300、8000、10000 [Hz]の純音、三角波、のこぎり波、矩形波を用いた。また、中心周波数が 63、125、250、500、1000、2000、4000、8000 [Hz]の 1/1 オクターブ帯域雑音および、

表 1: 擬声語

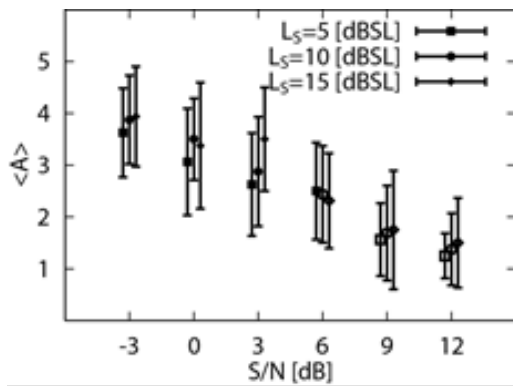
イー	イーイン	ウー
ウン	ウーン	ウィーン
ウォー	ウォーン	ウォンウォン
ヴァーン	オー	カー
カーン	カサカサ	ガー
ガン	ガウガウ	ガジャガジャ
カサカサ	キー	キーン
キーン	キミン	キュー
キューン	キューピン	ギーン
ギューン	ギリギリ	クー
クーン	グー	グーン
グアー	グアグア	グオー
グワアー	コー	コーン
ゴー	ゴウゴウ	ゴトゴト
ゴロ	サー	サー
サラサラ	サワサワ	ザー
ザアー	ザワザワ	シー
シーン	シェリシェリ	ショウ
シャー	シャラシャラ	シュー
シュオ	シュシュ	シュルシュル
シュルル	シュワ	シュワシュワ
ショー	シンシン	ジー
ジーン	ジャー	ジーン
ジャー	ジャリジャリ	ジャワジャワ
ジャンジャン	ジュー	ジョー
ジリジリ	ジロジロ	スー
スースー	ズー	ズーン
ズー	セリセリ	ソー
ゾー	ダー	ダー
チー	チーン	チュー
チンチン	ツー	ツーン
ティー	ドー	ドゥー
ドキドキ	ドクドク	トントン
ナー	ハー	パー
バーン	バババ	パー
ヒー	ヒーウゼウ	ヒクヒク
ヒュー	ヒュルヒュル	ヒョウ
ビー	ビーン	ビーン
ビーン	ビオー	ビビビ
ビュー	ビュービュー	ビー
ビーン	ビィー	ピオー
ピキーン	ピチー	ピブー
ピュー	ピュルピュル	フー
ファー	ファーン	フォー
フォーン	ブー	ブーン
ブアー	ブゥー	ブゥーン
ブー	ブーン	ブゥー
ブクブク	プビー	ホー
ホワーン	ホワンホワン	ポー
ポーン	ポアポア	ポゥー
ポオー	ポォーン	ボンボン
ポー	ポーン	ポゥー
ミー	ミーン	ミンミン
ヤー	ラー	リー
リーンリーン	ルー	ワー
ワーン	ンー	

中心周波数が 50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000、5000、6300、8000、10000 [Hz] の 1/3 オクターブ帯域雑音についても検討した。耳鳴のラウドネスバランス検査に関する報告を参考にして、耳鳴模擬音の音圧レベルを 5、10、15 [dBSL] となるよう設定した。マスキング音として、耳鳴模擬音の臨界帯域幅を考慮した帯域制限雑音を用いた。例えば、耳鳴模擬音として周波数が 63、125、250、500、1000、2000、4000、8000 [Hz] の純音、三角波、のこぎり波および方形波を用いた場合には、周波数帯域幅を [13、113]、[75、175]、[200、300]、[450、550]、[920、1080]、[1850、2150]、[3660、4340]、[7150、8850] [Hz] となるように設定し、中心周波数が 63、125、250、500、1000、2000、4000、8000 [Hz] の 1/3 オクターブ帯域雑音の場合、周波数帯域幅を [6、121]、[61、190]、[166、338]、[388、663]、[816、1211]、[1658、2416]、[3267、4887]、[6396、9997] [Hz] となるようにした。耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比が -3、0、3、6、9、12 [dB] となるようゲイン調整を行った。

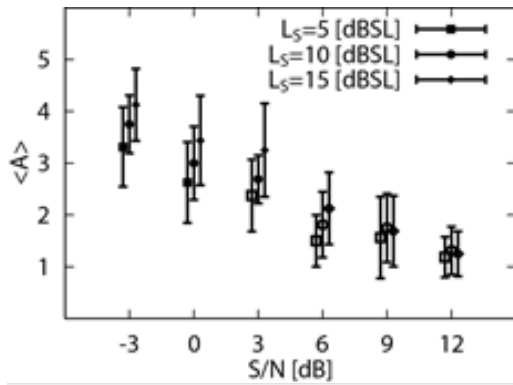
測定方法：耳鳴模擬音とマスキング音をミックスしたものをヘッドホンから提示した。被験者は、音響刺激を 30 [s] にわたって聴取した後、耳鳴模擬音に対して気が逸れたかどうかを 5 つにカテゴリ化された評価尺度 (A1: 全く気が逸れない、A2: それほど気が逸れない、A3: 多少気が逸れる、A4: だいぶ気が逸れる、A5: 非常に気が逸れる) の中から一つを選んで回答した。また、マスキング音に関して注意をひく音であったかどうかを 5 つにカテゴリ化された評価尺度 (B1: 全く注意をひかない、B2: それほど注意をひかない、B3: 多少注意をひく、B4: だいぶ注意をひく、B5: 非常に注意をひく) により調査した。さらに、マスキング音を長時間聞いていられると思うかどうか Yes または No で評価した。上記の測定を左右の耳に対してそれぞれ行った。

4. 研究成果

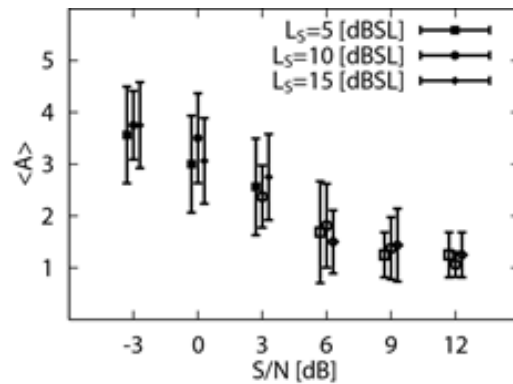
(1) 提示される耳鳴模擬音が擬声語にどの程度似ているかについて、主観的心理評価の平均値 $\langle F \rangle$ が 3 以上となった擬声語を抽出した。抽出された擬声語に対しては、母音 (A、I、U、O) と子音 (B、D、G、Hy、J、K、M、N、P、R、S、Sy、T、Th、W、Z) となった。耳鳴模擬音の周波数の違いのみでなく純音性または雑音性の違いにより、母音・子音が現れる様相が異なった。例えば、純音性の耳鳴模擬音では、低い周波数領域において O、U などの母音や B、G、W などの子音が多く、周波数が高くなると K、P などの子音や I などの母音が多くみられた。耳鳴模擬音の物理的音響特性と擬声語の関連性を捉えるための基礎データを採取することができた。



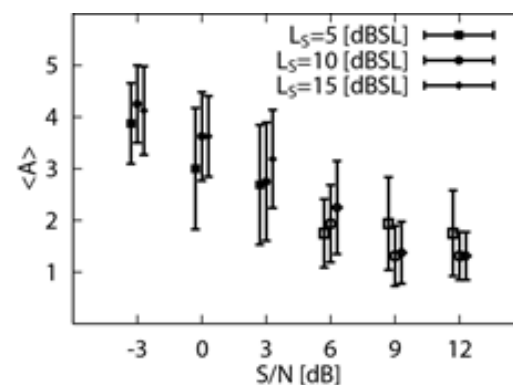
(a) 125 [Hz]



(b) 500 [Hz]



(c) 2000 [Hz]



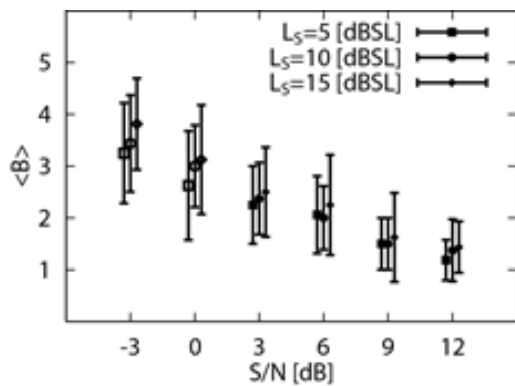
(d) 8000 [Hz]

図 1：耳鳴模擬音から気が逸れたかどうかに関する主観的心理評価の平均値と標準偏差（耳鳴模擬音：純音，周波数：125、500、2000、8000 [Hz]）

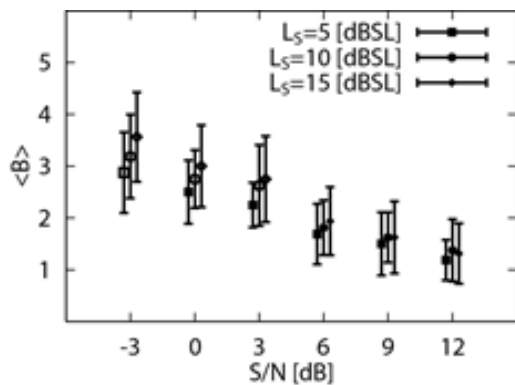
(2) 耳鳴模擬音に対して聴覚の臨界帯域幅を考慮したマスキング音を重畳した場合、耳鳴模擬音から気が逸れたかどうかについて、被験者の主観的心理評価の平均値と標準偏差を耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比ごとに求めた。結果の例として、耳鳴模擬音として純音を採用し、周波数が 125、500、2000、8000 [Hz] の場合を図 1 の(a) ~ (d) に示す。同図には、感覚レベルが 5、10、15 の場合の結果を合わせて示している。また、耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比 (-3、0、3、6、9、12 [dB])、耳鳴模擬音の感覚レベル (5、10、15 [dB]) および耳鳴模擬音の周波数 (63、125、250、500、1000、2000、4000、8000 [Hz]) を要因として 3 要因分散分析を行った。その結果、耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比および耳鳴模擬音の感覚レベルの二つの効果が有意となった ($p < 0.01$)。図 1 において、耳鳴模擬音の周波数がいずれの場合も、耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比が 3 [dB] 以下になると、耳鳴模擬音から気が逸れたかどうかに関する主観的心理評価の平均値は 2.5 以上となっており、聴覚の臨界帯域幅を考慮したマスキング音を重畳することにより、耳鳴模擬音から気が逸れやすくなっていることがわかる。

(3) 聴覚の臨界帯域幅を考慮したマスキング音に関して、注意を引く音であったかどうかについて、被験者の主観的心理評価の平均値と標準偏差を耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比ごとに求めた。結果の例として、耳鳴模擬音として純音を採用し、周波数が 125、500、2000、8000 [Hz] の場合を図 2 の(a) ~ (d) に示す。同図には、感覚レベルが 5、10、15 の場合の結果を合わせて示している。また、(2) と同様に、耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比、耳鳴模擬音の感覚レベルおよび耳鳴模擬音の周波数を要因として 3 要因分散分析を行った。その結果、この場合も、耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比および耳鳴模擬音の感覚レベルの二つの効果が有意となった ($p < 0.01$)。図 2 において、耳鳴模擬音の周波数がいずれの場合も、耳鳴模擬音と聴覚の臨界帯域幅を考慮したマスキング音の SN 比が 3 [dB] 以上になると、マスキング音に関して注意をひく音であったかどうかに関する主観的心理評価の平均値が 2.5 より小さくなっており、聴覚の臨界帯域幅を考慮したマスキング音が気にならなくなっていることがわかる。

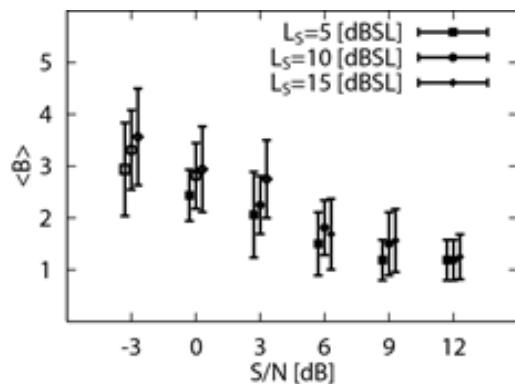
(4) マスキング音を長時間聞いていられると思うかどうかについて、Yes と答えた人の割合を耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比ごとに求めた。結果の例として、耳鳴模擬音として純音を採用し、周波数が 125、500、2000、8000 [Hz] の場合を図 3 の(a) ~ (d) に示す。同図には、感覚レベルが 5、10、15 の場合の結果を合わせて示している。耳鳴模擬音とマスキング音の SN 比が 3 [dB] 以上になると Yes と答えた人の割合が約 90 [%] 以上となった。



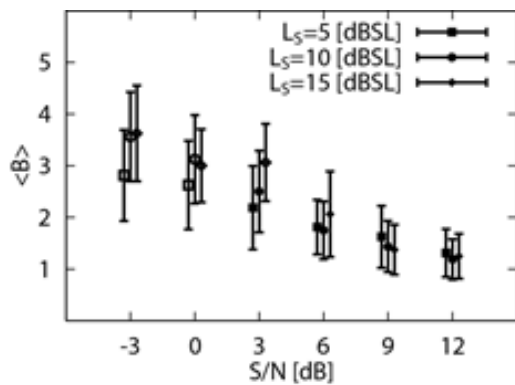
(a) 125 [Hz]



(b) 500 [Hz]

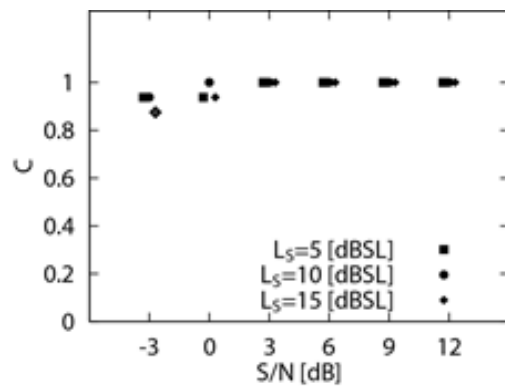


(c) 2000 [Hz]

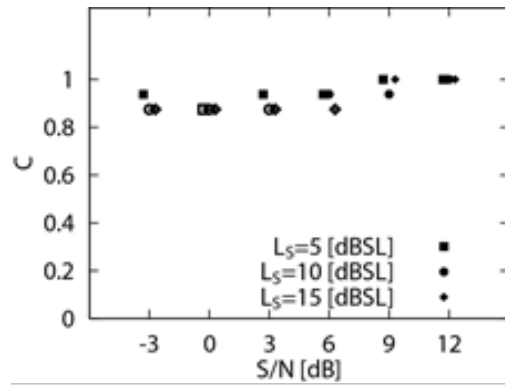


(d) 8000 [Hz]

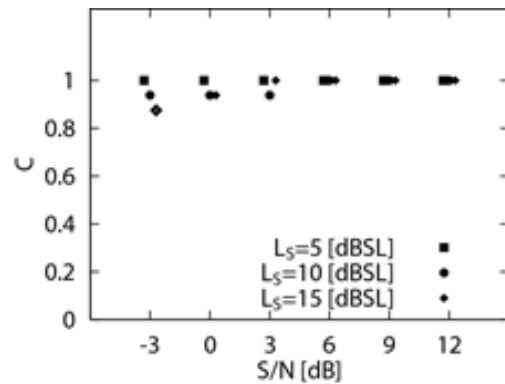
図 2 : マスキング音が気になったかどうかに関する主観的心理評価の平均値と標準偏差 (耳鳴模擬音: 純音, 周波数: 125、500、2000、8000 [Hz])



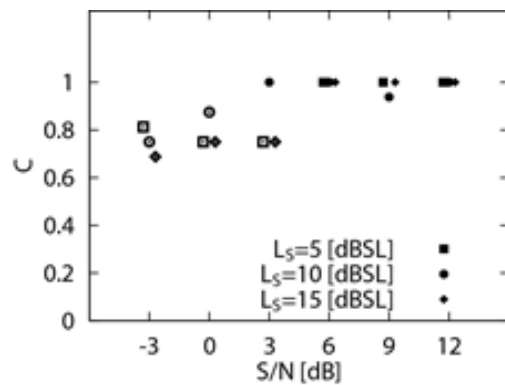
(a) 125 [Hz]



(b) 500 [Hz]



(c) 2000 [Hz]



(d) 8000 [Hz]

図 3 : マスキング音を長時間聞いていられるか回答した人の割合 (耳鳴模擬音: 純音, 周波数: 125、500、2000、8000 [Hz])

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 6 件)

Takahiro Tamesue, Tetsuro Saeki, Sound Masking for Achieving Speech Privacy with Parametric Acoustic Array Speaker, Proc. of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 査読有, 1134-1137, 2014.

Takahiro Tamesue, Tetsuro Saeki, High directivity masking sound system for achieving speech privacy, Proc. of 43rd International Congress on Noise Control Engineering, 査読有, 1-6, 2014.

Takahiro Tamesue, Junichi Honda, A Fundamental Study on Acoustic Stimulus for Tinnitus Retraining Therapy, Proc. of the 11th International Congress on Noise as a Public Health Problem, 査読有, 1-7, 2014.

Takahiro Tamesue, Tetsuro Saeki, Effects of acoustical noise on selective attention to auditory and visual stimuli, performance and annoyance during intellectual task, Proc. of the 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 査読有, 1-8, 2013.

Takahiro Tamesue, Tetsuro Saeki, A consideration on sound masking system for achieving speech privacy using parametric acoustic array speaker, Proceedings of the 21th International Congress on Acoustics, 査読有, 1-8, 2013.

Takahiro Tamesue, Haruka Kamijo, Kazunori Itoh, Quantitative evaluation using EEG for influence of meaningful or meaningless noise on participants during mental tasks, Proceedings of the The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 査読有, 2120-2123, 2012.

[学会発表](計 12 件)

河村達也, 後藤隆宏, 佐伯徹郎, 為末隆弘, 加藤裕一, スピーチプライバシー保護のための音声とマスキング用雑音の到来方向に関する一考察, 日本音響学会 2015 年春季研究発表会, 2015 年 3 月 17 日, 中央大学, 文京区, 東京都

河村達也, 佐伯徹郎, 為末隆弘, 加藤裕一, マスキング用雑音の到来方向がスピーチプライバシーとうるささに及ぼす影響, 第 64 回電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2014 年 10 月 25 日, 福山大学, 福山市, 広島県

本田純一, 為末隆弘, 佐伯徹郎, 加藤裕一, 耳鳴再訓練療法のための音響刺激に関する基礎的考察, 日本音響学会 2014 年秋季研究発表会, 2014 年 9 月 4 日, 北海学園大学, 札幌市, 北海道

後藤隆宏, 佐伯徹郎, 為末隆弘, 加藤裕一, マスキング用雑音の到来方向とスピーチプライバシーに関する心理評価の関連性, 日本音響学会 2014 年秋季研究発表会, 2014 年 9 月 4 日, 北海学園大学, 札幌市, 北海道

後藤隆宏, 佐伯徹郎, 為末隆弘, 加藤裕一, 空間音響条件に基づくスピーチプライバシー保護に関する一考察, 第 58 回システム制御情報学会研究発表会, 2014 年 5 月 23 日, 京都テルサ, 京都市, 京都府

本田純一, 為末隆弘, 佐伯徹郎, 加藤裕一, 精神作業時における有意味・無意味騒音が事象関連電位 P300 に及ぼす影響, 第 22 回計測自動制御学会中国支部学術講演会, 2013 年 11 月 30 日, 山口大学, 宇部市, 山口県

後藤隆宏, 為末隆弘, 佐伯徹郎, 加藤裕一, 超指向性スピーカを用いたスピーチプライバシー保護のためのサウンドマスキングシステムに関する一考察, 平成 25 年度(第 64 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2013 年 10 月 19 日, 岡山大学, 岡山市, 岡山県

本田純一, 為末隆弘, 佐伯徹郎, 加藤裕一, 耳鳴再訓練療法のための音響刺激に関する一考察, 平成 25 年度(第 64 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2013 年 10 月 19 日, 岡山大学, 岡山市, 岡山県

為末隆弘, 佐伯徹郎, 加藤裕一, スピーチプライバシー評価のための尺度構成に関する一考察, 日本音響学会 騒音・振動研究会, 2013 年 1 月 30 日, 広島市立大学, 広島市, 広島県

吉松啓二, 為末隆弘, 佐伯徹郎, 加藤裕一, 超指向性スピーカを用いたスピーチプライバシー保護に関する基礎的研究, 平成 24 年度(第 63 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2012 年 10 月 20 日, 島根大学, 松江市, 島根県

石井彩也香, 為末隆弘, 佐伯徹郎, 加藤裕一, 精神作業時における有意味・無意味騒音が事象関連電位に与える影響, 平成 24 年度(第 63 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2012 年 10 月 20 日, 島根大学, 松江市, 島根県

佐藤慎太郎, 佐伯徹郎, 為末隆弘, 加藤裕一, スピーチプライバシー保護のための評価指標に関する基礎的考察, 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会, 2012 年 9 月 20 日, 信州大学, 長野市, 長野県

6. 研究組織

(1) 研究代表者

為末隆弘 (TAMESUE TAKAHIRO)

山口大学・大学情報機構・准教授

研究者番号: 00390451