

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：12103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12404

研究課題名（和文）聴覚末梢系における機能低下を模擬した聴覚障害シミュレータに関する研究

研究課題名（英文）A study on a hearing impairment simulator simulating functional deterioration in the auditory peripheral system

研究代表者

黒木 速人（KUROKI, Hayato）

筑波技術大学・産業技術学部・教授

研究者番号：00345159

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000 円

研究成果の概要（和文）：聴覚障害の中で多くの比率を占める感音性難聴は、聴覚末梢系である内耳の有毛細胞や内耳から脳中枢系に接続される聴神経の機能低下・機能不全に起因する。本研究は、聴覚末梢系で生じる聴覚障害を模擬するリアルタイムシミュレータを開発することを最終的な目標としている。今回の研究期間中の研究実績として、聴覚障害において聴覚末梢系で生じる機能低下現象に関する論文調査の実施、および、これらの機能低下現象を客観的に測定するための各種計測装置の準備を行った。

研究成果の概要（英文）：Sensorineural hearing loss in the hearing impairments is mostly caused by functional deterioration and malfunction of the auditory peripheral system, which are hair cells in the inner ear and the auditory nerves connected to the brain central system from hair cells of the inner ear. This research aims to develop a real-time simulator simulating auditory disorder that occurs in the auditory peripheral system as the final goal. As a result of the research during this period, we surveyed papers on functional deterioration phenomenon occurring in auditory peripheral disorder in the hearing impairments, and we prepared various measurement devices for objectively measuring these functional deterioration phenomena.

研究分野：福祉工学

キーワード：ヒューマン・インタフェース 聴覚障害 人間情報工学

### 1. 研究開始当初の背景

聴覚障害の多くを占める感音性難聴の原因は、聴覚末梢系における聴覚の機能低下・機能不全に起因すると考えられている。しかしながら、聴覚末梢系でどのような現象が生じているかは、いまだ解明されていない領域が多く存在する。一方、聴覚末梢系で生じている現象が推定でき、その現象を再現することができれば、聴覚障害者個人個人が持つ聴覚障害の「聞こえ」の状態を模擬することが可能と考えられる。

研究開始当初においては、上記の目的を達成するために、研究実施項目を大きく3つに分割して進める計画を立てた。一点目は「聴覚末梢系の機能低下・機能不全に関する各種測定」、二点目は「測定結果より聴覚フィルタの再構成」、三点目は「再構成した聴覚フィルタのリアルタイムシミュレータへの実装」である。

しかしながら、研究開始直後に、各項目の内容を作業レベルまでに落とし込むための事前調査が不足していると判断されたため、急遽、論文調査などの文献調査を中心に作業を行う内容に計画を変更して研究を実施した。

### 2. 研究の目的

聴覚障害の中で多くの比率を占める感音性難聴は、聴覚末梢系である内耳の有毛細胞や内耳から脳中枢系に接続される聴神経の機能低下・機能不全に起因する。聴覚末梢系で生じている機能低下・機能不全を客観的に測定することで、聴覚障害者個人個人が持つ「聞こえ」の状態を表現することができると考える。個人が持つ「聞こえ」の状態は、その個人の聴力図(オーディオグラム)や聴覚フィルタがどのような形状になっているかを推定することで把握することができる。さらに、それらの状態を再構成することができれば、個人が持つ聴覚障害の「聞こえ」の状態を模擬することが可能になると考える。

本研究では、聴覚障害を模擬するリアルタイムシミュレータを開発することを目的とし、同時に、聴覚フィルタの推定やその再構成方法などの関連技術の構築も行う。聴覚障害の「聞こえ」が体感できることにより、聴覚障害に対する社会的啓蒙の一助になることが期待される。

### 3. 研究の方法

研究当初は、本研究の目的を達成するために、研究実施項目を大きく3つに分割した。一点目は「聴覚末梢系の機能低下・機能不全に関する各種測定」、二点目は「測定結果より聴覚フィルタの再構成」、三点目は「再構成した聴覚フィルタのリアルタイムシミュレータへの実装」である。

前述通り、研究開始直後、事前調査が不足していると判断されたため、急遽、論文調査などの文献調査を実施することとした。その

作業に加えて、それら文献調査結果に基づき、「聞こえ」を定量化するための各種測定に必要な測定機材の準備を中心に作業を行うこととした。

### 4. 研究成果

研究の実施に当たり、まずは本分野に関連する論文などの文献調査を行った。それらを実施した結果、感音性難聴の原因は聴覚末梢系の機能低下・機能不全に起因しており、それらの機能低下・機能不全は以下の3つの断片的な現象として捉えることができることが分かった。代表的な報告[Brian C. J. Moore, Cochlear Hearing Loss Second Edition, Wiley, 2007. など]によると、以下の3つの現象とされる。

1. 聴力閾値の上昇
2. 聴覚フィルタの拡幅
3. リクルートメント(聴覚補充現象)

これらの3つの現象に関して、さらに詳細な内容やその測定方法などに関して、文献調査を行った。その結果は、以下のようにまとめることができる。

#### (1)聴力閾値の上昇

聴力閾値の上昇とは、いわゆる聴力損失のことであり、聴力図(オーディオグラム)を得ることを目的とする一般的な聴力測定で測定することができる。しかしながらこの測定方法は、測定音に対して被験者が「聞こえる/聞こえない」を自覚した内容として答える主観的測定法である。オーディオグラムは、その回答が主観的であるにせよ、測定対象となるある周波数の音に対する聴力損失を把握するための一般的に普及した方法である。

一方、耳音響放射測定と呼ばれる検査法は、聴覚末梢系の状態を客観的に測定する方法として知られる。この測定では、測定音を提示するプローブと、その音響放射を測定するプローブマイクを外耳道に挿入し、測定音に対し、聴覚末梢系である蝸牛内の外有毛細胞の音響放射を測定することで、外有毛細胞の活動状況を把握することができる。

そこで本研究では、オーディオグラムに加えて耳音響放射測定も聴力閾値の上昇を把握するための測定法として用いることとした。耳音響放射測定を行う測定装置として耳音響放射測定器(Etymotic Research ER-10B+)を準備した。

#### (2)聴覚フィルタの拡幅

前項で示した通り、オーディオグラムから得られる聴力損失は、入力される音の周波数に対し「聞こえる/聞こえない」を損失の度合として表しており、入力される音の周波数を被験者がその周波数通りに認識しているかどうかは表していない。つまり、聴覚障害者個人個人の「聞こえ」の状態を把握するには、

ある周波数の音を正確にその周波数として分析できているかを知る必要がある。

一般的に、この周波数分析を行うのが内耳（蝸牛）であり、内耳における周波数分析機構は、ある中心周波数に対し同じ周波数と分析される帯域幅を持つ帯域フィルタが、中心周波数ごとに多数並んでいる帯域フィルタバンクとして表される。この各々の帯域フィルタのことを聴覚フィルタと言ひ、個人の「聴こえ」の状態は、その個人が持つ聴覚フィルタを模擬することで表すことができる。また、聴覚フィルタは、入力される音の音圧や外界の音環境に依存して、特性が変化する非線形フィルタである。特に聴覚障害者の場合、健聴者における標準的な特性から大きくばらつくことが知られている。

聴覚障害者が持つ聴覚フィルタの特徴として、各々の聴覚フィルタの帯域幅が拡幅することが知られている。聴覚フィルタの拡幅とは、内耳における周波数の分析が、言わば粗くなる現象である。例えば、ある聴覚フィルタにおいて、同じ帯域幅に含まれる周波数の入力であれば、その聴覚フィルタの中心周波数が入力されたことと認識されることになる。他の帯域の聴覚フィルタに関しても同様であるため、結果として、様々な周波数の入力に対しても、入力された音の周波数として分析されない周波数帯域が多く存在することを示している。

本研究では、聴覚フィルタを推定する方法として、ノッチノイズ法（ノッチ雑音マスキング法）を用いることとした。測定においては、測定対象となるフィルタの中心周波数を持つ測定音に対して、その周波数を含むノッチを持つノイズ（ノッチノイズ）を同時に入力し、測定音がどの音圧ならば検出できるかを測定する。この測定から、マスキングされる帯域幅が算出され、聴覚フィルタが推定されることになる。測定を様々な周波数に対して行うことで、聴覚フィルタのフィルタバンクが推定されることになる。これらの装置として、数値解析ソフトウェア（MATLAB・Simulink）とデータロガー（日置 ハイメモリ コーダ MR8870-90）などを準備した。

### (3)リクルートメント（聴覚補充現象）

リクルートメント（聴覚補充現象）とは、聴覚障害により聴力損失があるにも関わらず、検査音をだんだん強くして被験者に聞かせると、音の大きさの感覚が、ある閾値を超えると正常耳の場合よりも異常に急速に増大して聴こえる現象である。そのために、「聴こえ」の感覚が急に過敏になる。ある閾値を超えると聴覚が過敏になるために、閾値以下の音は聴こえないのに対し、閾値以上の入力では、「うるさ過ぎる」と感じるようになる。

この現象は、オーディオグラムや聴覚フィルタには現れないため、別途測定が必要になる。測定には、SISI 検査(Short Increment Sensitivity Index 検査)など、閾値上検査と呼ばれる専用

の測定器や測定環境が必要となるが、リクルートメントの原因は外有毛細胞の機能不全と言われていることもあるため、「(1)聴力閾値の上昇」で準備した耳音響放射測定器（Etymotic Research ER-10B+）や数値解析ソフトウェア（MATLAB・Simulink）を用いて外有毛細胞の活動状態を検査する手法とした。

### (4)まとめと今後の課題

研究当初は、本研究の目的を達成するために、研究実施項目を「聴覚末梢系の機能低下・機能不全に関する各種測定」、「測定結果より聴覚フィルタの再構成」、「再構成した聴覚フィルタのリアルタイムシミュレータへの実装」の3つの項目に分けて実施する計画を立てたが、研究を開始した直後に、各項目の内容が作業レベルに落とし込まれていなかったために、具体的な作業に取り組みないと判断した。理由としては、事前調査が不足であったので、急遽、論文調査などの文献調査を実施することとした。併せて、それらの調査結果に基づいた各種測定を実施する際に必要となる測定機材の準備を作業の中心とするよう計画を変更した。

結果、一点目である「聴覚末梢系の機能低下・機能不全に関する各種測定」に関しては、これまで述べた通りの調査結果や機材準備などの成果を得ることができた。

二点目の「測定結果より聴覚フィルタの再構成」、および、三点目である「再構成した聴覚フィルタのリアルタイムシミュレータへの実装」に関しては、具体的な成果は得られずに研究期間を終えた。

本研究の研究テーマは、聴覚障害者の「聴こえ」の状態を推定し、その状態を再構築すると言う、非常に挑戦的な内容である。当初の計画の研究成果は、聴覚障害に対する社会的啓蒙の効果が非常に高いことが期待されるため、今回得られた成果をもとに研究を継続していく。

### 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）

〔その他〕

ホームページ等

筑波技術大学・機関リポジトリ

<http://www.a.tsukuba-tech.ac.jp/repo/dspace/>

### 6. 研究組織

#### (1)研究代表者

黒木 速人（KUROKI, Hayato）

筑波技術大学・産業技術学部・教授

研究者番号：00345159

#### (2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

伊福部 達 (IFUKUBE, Tohru)

東京大学・高齢社会総合研究機構・名誉教授

研究者番号：70002102

(4)研究協力者

なし