

聴覚拡張ヒアラブルデバイス：  
耳を塞いで聞き返すユーザインタフェースの開発  
Auditory Augmentation Device: A wearable device that enables the wearer  
to instantly play back missed sounds through an intuitive gesture

森脇 哲人<sup>†</sup> 長尾 正太郎<sup>†</sup> 山本 絵里香<sup>†</sup> 浦上 ヤクリン<sup>†</sup> 金岡 利知<sup>†</sup>  
Akito Moriwaki Shotaro Nagao Erika Yamamoto Jacqueline Urakami Toshikazu Kanaoka

## 1. はじめに

インターネット、コンピュータおよびスマートフォンなどの情報技術の発展により、現代社会ではデジタル化が急速に進み、私たちは膨大な情報を手にできるようになった。その一方で、人々は常に多くのことに気を取られ、「早くやらなければ」という思いに駆られている。このような背景により、私たちは一度に複数のことをこなす「マルチタスク」を日常的に行うようになった。スマートフォンのゲームに夢中になって電車を乗り過ごしてしまったり、飛行機の搭乗待ちでパソコン作業をしていると、遅延アナウンスを聞き逃してしまったり、会議中に議事録を取っているうちに大事なことを聞き逃してしまったり、マルチタスクによる失敗例は数多くあるのではないだろうか。人は選択的注意という認知機能により重要と感じた音に注意を向けるため、無意識にそれ以外の音を聞き逃してしまう。この現象は「カクテルパーティー効果」[1]としても知られている。

我々は、現代社会において日常的に発生しているマルチタスク処理の問題を緩和させることを目的に、無意識に聞き逃してしまった音に気付かせ、聞き返すことができる聴覚拡張ヒアラブルデバイスを提案した[2]。聴覚拡張ヒアラブルデバイスは、周囲の音を収集するマイクにより、音を一定時間保持し、聞き逃しが発生した際に、手動あるいは自動で聞き逃してしまった音を再生する。このヒアラブルデバイスにより、空港でパソコン作業をしている際に、飛行機の遅延アナウンスが複数流れても、それに気を取られることなく、自分の乗る飛行機に関するアナウンスはヒアラブルデバイスが気付かせてくれるため、余計な心配をせず作業に集中できる。聴覚拡張ヒアラブルデバイスのコンセプトは、このような日常生活における補助を目的としていることから、周囲の音を聞こえるようにするためにオープンイヤ型イヤホンである骨伝導イヤホンを用いている。筆者らは、既報[2]において、体験デモ及びインタビューにより、本ヒアラブルデバイスのコンセプト検証を行い、日常的なマルチタスク処理における聞き逃し問題に対する共感と、人に代わって認知処理を代替し、聞き逃しを減らすことができるヒアラブルデバイスへの期待が得られた。

Urakami *et al.* [3]は、文章を読解するタスクと音声聴くタスクとの二重タスク環境下において、本ヒアラブルデバイスの自身に関する音声情報を自動検知し聞き返せる機能が、二重タスクにおける認知負荷を低減できる可能性を示した。さらに、山本ら[4]は、本ヒアラブルデバイスの実用性を加味して、ユーザに価値を提供できる日常の利用シーンと機能の決定を目的に、プロトタイプを用いたユーザ体験やイ

ンタビューにより、利用シーンと機能の抽出を試みた。その結果、アナウンスの聞き逃しや呼び掛けの聞き逃しだけでなく、雑音環境や会話中での聞き逃しなど日常の多くの利用シーンが抽出され、有用性が評価された。一方で、機能面においては、ヒアラブルデバイスからの再生音声を聞いているときに、周囲の雑音も聞こえるため、再生音声が聞き取り辛いという課題が明らかとなった。

我々は、このユーザ体験やインタビューによって抽出された課題に対し、周囲の雑音によるヒアラブルデバイスからの再生音声を聞き取り辛さを低減することを狙い、再生音声へ集中するための施策として、聞き逃した音を、耳を塞いで聞き返すハンドジェスチャーユーザインタフェースを提案する。本稿では、提案するハンドジェスチャーユーザインタフェースを実現するプロトタイプ的设计について述べ、ユーザスタディを通してハンドジェスチャーユーザインタフェースによる再生音声を聞き取り効果について報告する。

## 2. 関連研究

人は雑音環境下でも、空間的音情報により選択的注意が働き、特定の音に対して選択的に注意を向けることができる。たとえば、寺岡ら[5]は、雑音環境下で、聴取者の前方に半円状に並べられたスピーカから日本語の単語音声を再生し、その音声が呈示される方向をホワイトノイズで教示する実験を行い、空間的音情報が単語理解度に及ぼす影響を調査した。その結果、音声が呈示される方向に注意を向けた場合は、呈示されない方向に注意が向いていた場合と比較して、単語理解度が 15%程度上昇することを確認した。また、藤村ら[6]は、様々な音声が存在する環境下で、既報[5]のように並べられたスピーカから日本語の単語音声を再生し、音声呈示までのタイミングと音声呈示方向を聴取者に教示する実験を行い、教示された両者に対する注意の効果を、単語理解度を指標として比較分析した。その結果、空間的手がかりである方向情報は単語理解度の向上に寄与することが示唆された。このように、空間的音情報により注意方向の音の聞き取りに効果があることが示されているが、既報[2]で提案した骨伝導イヤホンデバイス使用時は、イヤホンからの音情報と周囲の音情報が類似しており、聞き返す音に対して、選択的注意がうまく働かない。さらに、骨伝導音は気導音（骨ではなく、空気を振動させて伝わる音）と比較して音声明瞭度が低いことが、この問題を加速させている。また、聞きやすさを改善するという点では、為末ら[7]が、雑音環境下での聴覚・視覚による課題作業時に、周囲の雑音をそれとは別の雑音でマスクし、雑音のうるささの心理的印象と作業成績の改善を試みている。その結果、雑音マスクングによる作業成績に変化はあまりなかったものの、うるささの心理的印象を低減させる効果があることを確認している。

<sup>†</sup>京セラ株式会社 Kyocera Corporation

以上のように、聞きやすさを改善することを目的としたいくつかの関連研究はあるが、我々が課題としている周囲の雑音によるオープンイヤ型イヤホンからの再生音声の聞き取り辛さを低減する直接の解決方法は存在しない。そこで、我々は、周囲の雑音の耳への入力を低減する原始的な方法である耳を塞ぐという行為に着目し、その行為に連動して聞き返し再生を行うことで、騒がしい環境において音を遮断するという効果と共に、耳を塞ぐという行為自体が人の注意を耳に集中させる効果を期待し、再生音声と周囲の雑音との混在問題の解決を狙う。

### 3. 聴覚拡張ヒアラブルデバイス

聴覚拡張ヒアラブルデバイスは日常的に発生しているマルチタスク処理の問題を緩和させることを目的に、聞き逃してしまった音に気付かせ、聞き返せる機能を実現する。聴覚拡張ヒアラブルデバイスのプロトタイプを図 1 に示す。プロトタイプは、バイノーラルマイクと骨伝導イヤホンで構成するデバイス部と、リングバッファ、イベント検知、リプレイ制御、音響処理を含む AI (人工知能) システム部により構成される。本ヒアラブルデバイスは日常生活の様々な場面において使うことを想定しているため、周囲の音も聞こえるようにオープンイヤ型のイヤホンである骨伝導イヤホンを採用している。音の入力デバイスには、人の聴覚機能と同様に音の空間情報を収集するため、耳に近い位置においてステレオ録音可能なバイノーラルマイクを搭載している。AI システム部は、音を過去数秒間保持できるリングバッファ、予め登録した言葉がバイノーラルマイクを通して取得した音に含まれることを自動検知するイベント検知、ユーザによる指示、あるいはイベント検知に従ってリングバッファに保持された音をリプレイ制御により再生する機能を持つ。また、音響処理は、リプレイ制御で再生する音声を理解しやすくする雑音抑制、発話抽出、話速変換、ビームフォーミングの機能を持つ。これらの機能を用いて、開発したプロトタイプでは、聞き逃したときに手で聞き返す「リプレイ」、自分の名前や駅の名前など予め登録した言葉を検知して聞き返す「自動検知」、会話中に発された名前や重要事項を残しておく「ボイスメモ」を実現している。なお、本 AI システム部は、プロトタイプではスマートフォン上に実装している。

手で聞き返す「リプレイ」(聞き返し再生)は、スマートフォンの画面上からボタンにより操作する GUI(Graphical User Interface)と、「リプレイして」、「音を戻して」のような音声により操作する VUI(Voice User Interface)を用いて実行できる。

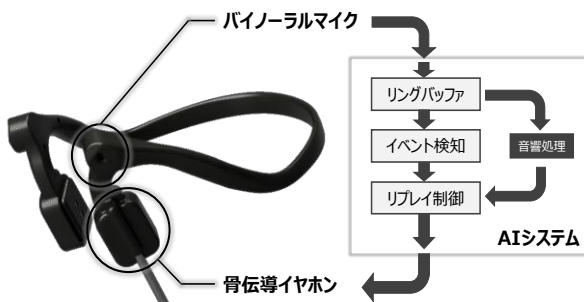


図 1 聴覚拡張ヒアラブルデバイスプロトタイプ

表 1 ジェスチャ検出デバイス構成部品

部品	型番
近接センサ	APDS9960[8]
Bluetooth モジュール	EYSHSNZWZ[9]

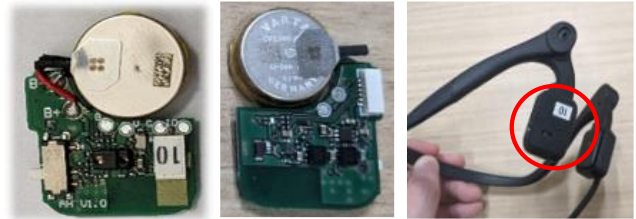


表 裏 装着イメージ

図 2 ハンドジェスチャ検出デバイス

### 4. ハンドジェスチャユーザインタフェース

聴覚拡張ヒアラブルデバイスの手動聞き返しリプレイのユーザインタフェースとして、GUI、VUIに加えて、聞き逃した音を、耳を塞いで聞き返すハンドジェスチャユーザインタフェースを開発した。本章では、開発した検出デバイスの仕様、検出閾値の設計、聴覚拡張ヒアラブルデバイスとの連携方法について述べる。

#### 4.1 ハンドジェスチャ検出デバイス

ハンドジェスチャ検出デバイスを図 2 に示す。ハンドジェスチャ検出デバイスは近接センサ、Bluetooth モジュール、リチウムイオン電池で構成し、Arduino IDE にて、Bluetooth モジュール内マイコンで動作するファームウェアを作成した。近接センサにより取得した近接距離データは、近距離無線通信規格の Bluetooth Low Energy を介して 500 ミリ秒で逐次スマートフォンに送信し、予め設定した閾値により物体の接近を判定し、聞き返し再生のトリガとした。近接センサは赤外フォトダイオードを用いることで物体との距離を測定し、近接距離データを 8 ビット解像度 (0-255, 最大近接 255) で表す。表 1 はハンドジェスチャ検出デバイスを構成する主要部品を示す。本デバイスは近接センサの送受光部を開口したプラスチックパッケージに格納し、ヒアラブルデバイスの右側に両面テープで接着した。

#### 4.2 ハンドジェスチャ閾値設計

耳を塞ぐハンドジェスチャにより聞き返す操作例を図 3 に示す。周囲の雑音を遮断することを目的として、手指の隙間をあけず、右耳とヒアラブルデバイスの骨伝導イヤホン部が覆われるように空間を極力あけないようにし、デバ



図 3 耳を塞ぐハンドジェスチャ操作例

イス右側に装着した近接センサからの距離が 1cm になる数値を聞き返し開始の判定閾値とした。

ハンドジェスチャを検出するための近接センサの判定閾値を決定するため、社員 20 名 (年齢層 20~40 歳, 女性 2 名, 男性 18 名) に閾値決定実験を行った。図 4 は近接センサの近接距離データの測定方法を示す。被験者は近接センサからの距離が 1cm になるように右手を近接センサに近付けて固定する。図 5 (上段) は、距離 1cm における近接距離データのヒストグラムを示す。被験者 20 名の平均値は 100.45 であったため、聞き返し開始の近接距離データの閾値を 100 に設定した。近接距離データが 100 を超えた時に連続で聞き返し再生が実行されないようにするため、一旦、近接距離データが 100 を超えた後 (近接センサから 1cm 以内に近付いた後) は、近接センサから 2cm 以上離れないと聞き返し再生が実行されないように設計した。近接センサからの距離が 2cm となる近接距離データについても、同様の被験者 20 名に対して測定を行った。図 5 (下段) は、距離 2cm における近接距離データのヒストグラムを示す。被験者 20 名の平均値は 37.75 であったため、近接センサから離れたと判定する近接距離データの閾値を 40 に設定した。

### 4.3 ハンドジェスチャによる聞き返し再生

GUI, VUI により聞き返し再生を行う際、再生される音声はバイノーラルマイクで収録した左右 2 チャンネルのステレオ音により再生される。ハンドジェスチャにて聞き返し再生を行う際は、聴覚の選択的注意を誘発させるために、ステレオ音をモノラル音へ変換し、塞いでいる右耳のみから聞き返し音声を再生するようにした。

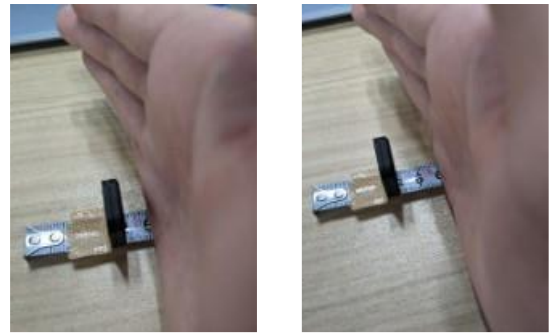
さらに、塞いでいない左耳から聞こえる周囲の雑音の影響を極力低減するため、関連研究で紹介した為末ら[7]の研究を基に、聞き返し音声の再生と共に周囲の雑音をマスキングする目的で、左耳からノイズを再生する機能も追加し、スマートフォンにより設定変更できるようにした。左耳から再生するノイズには、マスキング効果と共にノイズ付加による聴覚及び認知負担を極力与えないために、音のエネルギーと周波数が反比例するピンクノイズを用いた。

## 5. ハンドジェスチャユーザーインタフェースによる再生音声の聞き取り効果検証

上述したハンドジェスチャユーザーインタフェースを追加した聴覚拡張ヒアラブルデバイスのプロトタイプを用いて、聞き返し再生音声の聞き取り効果検証のためユーザスタディを行った。本ユーザスタディでは、聞き返し再生手段としてハンドジェスチャユーザーインタフェースを用いることにより、聞き返す音と周囲の雑音との混在を低減し、聞き返し再生音声聞きやすくなるのかを検証する。

### 5.1 仮説設計

一つ目の仮説として、「雑音環境下の聞き返し再生において、聞き逃した音をそのまま再生する (GUI) 条件に対して、聞き逃した音を、耳を塞いで再生するハンドジェスチャユーザーインタフェース条件の方が、利用者は聞き返す内容に集中することができ、聞き返しにおける音の理解が向上する。」とした。耳を塞ぐ行為により、聞き返し再生音声を聞くことに注意を向け、集中を促すこと、周囲の雑



センサから1cm離れたとき      センサから2cm離れたとき  
図 4 近接センサの近接距離データの測定方法

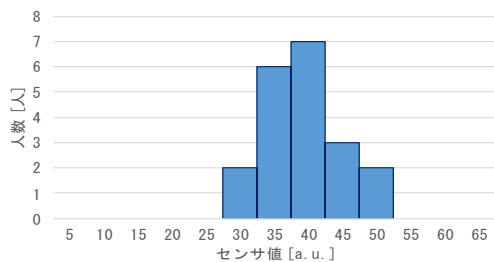
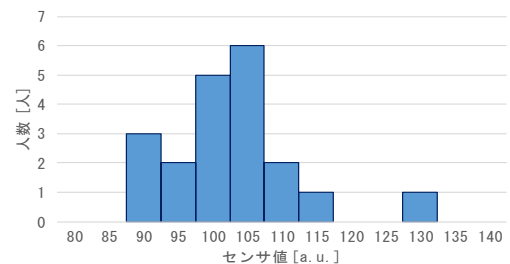


図 5 近接センサと手との距離 1 cm (上段)、2 cm (下段) における近接距離データ値

音を遮断することで、聞き返す音と周囲の雑音を分離し聴取能力の向上につながると考える。

さらに、二つ目の仮説として、「耳を塞いで再生するハンドジェスチャ条件において、聞き返し再生と同時に左耳から周囲の雑音をマスキングするノイズを流す方が、ノイズが無い場合と比較して、利用者は聞き返す内容に集中することができ、聞き返しにおける音の理解が向上する。」とした。ピンクノイズが周囲の雑音をマスキングし、左耳への選択的注意の遷移を抑制し、右耳から流れる聞き返し音声により集中できると考える。

### 5.2 実験デザイン

被験者は雑音環境下において、特定の音声を聞き逃したと想定し、聴覚拡張ヒアラブルデバイスを用いて音声の聞き返しを行う。聞き返し音声の聞き取り度合いについては、アンケートによる定性評価と聞き返した音声を書き取るタスク (以下、書き取りタスク) による定量評価を設定した。このように、書き取りタスクをこなしながら聞き返し音声の評価をするという内容で、2 種類の実験 (ハンドジェスチャ実験、ノイズ実験) を行った。ハンドジェスチャ実験では、聞き逃した音をそのまま再生する (GUI) 条件と、耳を塞いで再生するハンドジェスチャユーザーインタフェース条件において、どちらの条件が、被験者は聞き返す内容

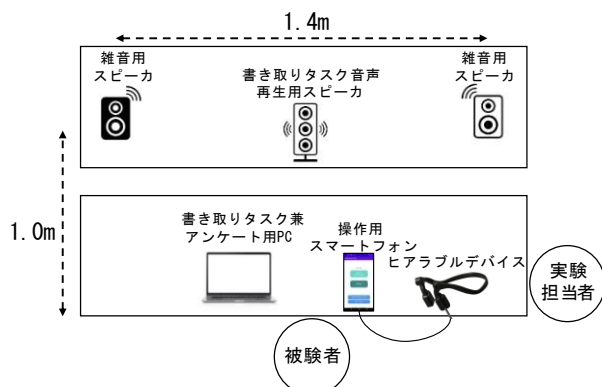


図 6 実験環境

に集中することができ、聞き返しにおける音の理解が向上するのかを比較する。ノイズ実験では、ハンドジェスチャ条件において、聞き返し再生と同時に左耳から周囲の雑音をマスキングするノイズを流す場合と、ノイズがない場合との、どちらの方が被験者は聞き返し内容に集中することができ、聞き返しにおける音の理解が向上するのかを比較する。本実験は被験者内デザインにて、ハンドジェスチャ実験、ノイズ実験の順に実験を行った。

実験環境を図 6 に示す。本実験は、社内会議室で雑音環境を模擬的に再現し行った。周囲の模擬雑音は、ATR 環境音データベース[10]のスーパーマーケットの環境音を、雑音用スピーカよりステレオで再生し、被験者の位置において、雑音の A 特性音圧レベルが 60dB になるように音量を設定した。書き取りタスク用の音声には、Harvard Sentence[11]を日本語に翻訳したものを採用した。Harvard Sentence とは文法的に正確で、意味的にも明確な文章であり、言語処理や音声合成の評価に使用されるテスト文の 1 つとして知られている。例として以下のようなものがある。

- ・丸太が広い川に浮かぶのを見よ
- ・ダンスの後彼らはまっすぐ家に帰った
- ・少年は太陽が昇るときにそこにいた

720 個ある Harvard Sentence のうち無作為に 36 個選び、ハンドジェスチャ実験の練習用に 2 個、本番用に 16 個、ノイズ実験の練習用に 2 個、本番用に 16 個の音声データを作成した。音声データは男性 2 名と女性 1 名の声で収録し、音量を統一するためにノーマライズした。この音声は、書き取りタスク音声再生用スピーカよりモノラルで再生し、被験者の位置において、音声の A 特性音圧レベルが 60dB になるように音量を設定した。

実験後の聞き取り度合いに関するアンケートでは、被験者は音声の聴取性とカクテルパーティー効果の有無の評価を行った。ハンドジェスチャ実験においては、GUI 条件よりハンドジェスチャユーザインタフェース条件の方が、「デバイスから流れてくる内容を聞きとりやすかった」、「デバイスから流れてくる内容は理解できた」、「デバイスから流れてくる内容に集中できた」、「周囲の雑音が気にならなかった」の 4 項目について、1 (全くそう思わなかった) ~ 4 (どちらでもない) ~ 7 (全くそう思った) の 7 段階リッカート尺度を用いて評価した。ノイズ実験においては、左耳からのノイズが無い場合より聞き返し再生と同時に左耳からノイズを流す方が、「デバイスから流れてくる内容を聞きとりやすかった」、「デバイスから流れてくる内容は理解できた」、「デバイスから流れてくる内容

表 2 各データセットの正答率及び標準偏差

	1	2	3	4
正答率	0.90	0.94	0.96	0.90
標準偏差	0.031	0.048	0.033	0.032

に集中できた」、「周囲の雑音が気にならなかった」の 4 項目について、先と同様に評価した。

### 5.3 予備実験

それぞれの条件間 (GUI・ハンドジェスチャ条件、ノイズなし・ノイズあり条件) でタスクの難易度に差が出ないようにするため、書き取りタスクにて使う音声データを無作為に 8 個×4 セットに分割し、社員 5 名 (20 代、女性 1 名、男性 4 名) に、雑音環境下で音声データを書き取る予備実験を行った。予備実験では、文章を穴埋め問題形式にし、実験本番で使う 4 セットそれぞれの正答率を比較した。例えば、正解文章が「丸太が広い川に浮かぶのを見よ」の場合、「( ) が ( ) に ( ) のを ( ) .」の ( ) の部分を埋めて、文章を完成させる。1 セットの正答率は (穴埋め正解数) / (全体の穴埋め数) としている。表 2 は各データセットでの正答率及び標準偏差を示す。この結果より、ハンドジェスチャ実験では、データセット 1 と 4 を用いて GUI・ハンドジェスチャ条件間の聞きとり度合いの比較を、ノイズ実験では、データセット 2 と 3 を用いてノイズなし・ノイズあり条件間の比較を行った。

### 5.4 被験者

本実験では、聴覚拡張ヒアラブルデバイスの研究開発に関わっていない、かつ予備実験に参加していない社員 18 名 (20~65 歳、女性 2 名、男性 16 名) にハンドジェスチャ実験、ノイズ実験を行った。

### 5.5 実験手順

図 7 はハンドジェスチャ実験、ノイズ実験それぞれのフロー図を示す。被験者にハンドジェスチャ実験の内容を説明後、練習として、GUI・ハンドジェスチャの各条件にて、音声の聞き返し、書き取りタスクを 1 回行った。その後、

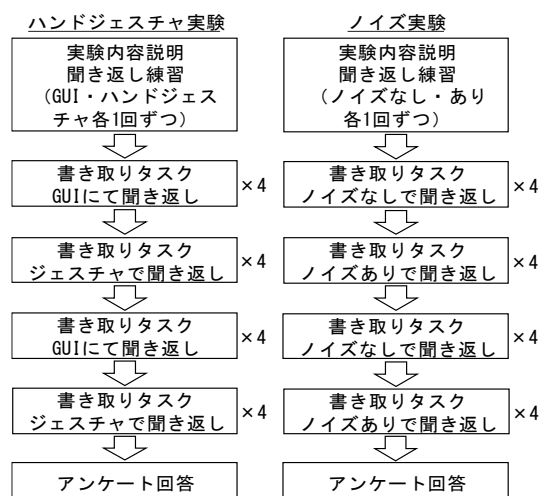


図 7 実験フロー図

本番として、GUI・ハンドジェスチャでの聞き返しを交互に 4 回ずつ計 16 回行った。カウンターバランスを考慮し、被験者の半分は、GUI・ハンドジェスチャでの聞き返しの順序を入れ替えて実施した。16 回の試行終了後に、被験者は聞き取り度合いに関するアンケートに回答した。ノイズ実験も同様の流れで実施した。ハンドジェスチャ実験、ノイズ実験、合わせて所要時間約 30 分であった。

## 5.6 実験結果

18 名の被験者のうち 2 名は実験後に骨伝導イヤホンからの音がほとんど聞こえなかったという趣旨の発言があったため、結果分析は 16 名で行った。書き取りタスクの定量評価は、助詞の正答率は問わず、名詞、動詞、副詞の部分の正答率を比較した。例えば、正解文章が「丸太が広い川に浮かぶのを見よ」に対し、被験者は「船が広い川に浮かぶのを見よ」と解答した場合、「船」、「広い川」、「浮かぶ」、「見よ」の部分の正答率の対象とする。この例の場合は、4 問中 3 問正解とする。

被験者から得られたハンドジェスチャ実験のアンケート結果と書き取りタスクの平均正答率を図 8 に示す。大部分の被験者は、聞き逃した音をそのまま再生する (GUI) 条件よりも、耳を塞いで再生するハンドジェスチャユーザーインタフェース条件の方が「デバイスから流れてくる内容を聞きとりやすかった」、「デバイスから流れてくる内容を理解できた」「デバイスから流れてくる内容に集中できた」、「周囲の雑音が気にならなくなった」という評価をしており、「4: どちらでもない」以下の回答はほとんどなかった。書き取りタスクの正答率では、GUI・ハンドジェスチャ条件間でわずかに差があるだけで、ウィルコクソンの符号順位検定で統計的に有意な結果は得られなかった ( $\alpha = .05$ ,  $z = -1.55$ ,  $p = .130$ )。なお、有意差検定は両者の正答率分布の歪度がそれぞれ -1.7, -1.2, 尖度がそれぞれ 2.6, 1.0 であったため、ノンパラメトリック検定を行った。

また、ノイズ実験のアンケート結果と書き取りタスクの平均正答率を図 9 に示す。4 つの項目において、ノイズがない場合よりも、聞き返し音と同時に左耳からノイズを流す方が、「4: どちらでもない」対して、「良い」と「良くない」の両意見の回答があり、分散が大きくなっている。書き取りタスクの正答率では、ノイズなし・ノイズあり条件間でわずかに差があるだけで、ウィルコクソンの符号順位検定で統計的に有意な結果は得られなかった ( $\alpha = .05$ ,  $z = -1.06$ ,  $p = .303$ )。なお、有意差検定は両者の正答率分布の歪度がそれぞれ -1.4, -1.6, 尖度がそれぞれ 2.1, 2.8 であったため、ノンパラメトリック検定を行った。

## 6. 考察

ハンドジェスチャ実験の結果、大部分の被験者は GUI 条件よりもハンドジェスチャユーザーインタフェース条件の方が「デバイスから流れてくる内容を聞きとりやすかった」、「デバイスから流れてくる内容を理解できた」「デバイスから流れてくる内容に集中できた」、「周囲の雑音が気にならなくなった」という評価をしており、定性評価に関しては、我々が想定した一つ目の仮説を支持する結果となった。書き取りタスクの定量評価については、GUI・ハンドジェスチャ条件間で統計的に有意な結果は得られなかった。これに関して、実験後に、「スピーカの音を記憶していて、

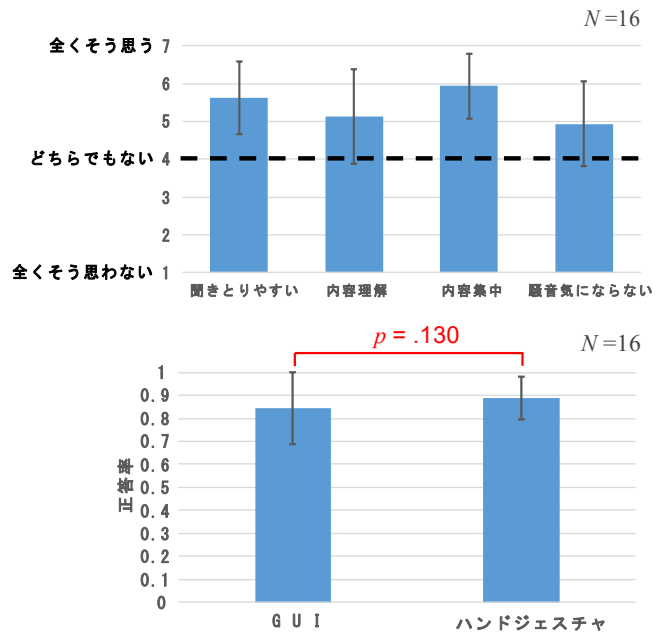


図 8 ハンドジェスチャ実験のアンケート結果 (上段) と書き取りタスクの平均正答率 (下段)

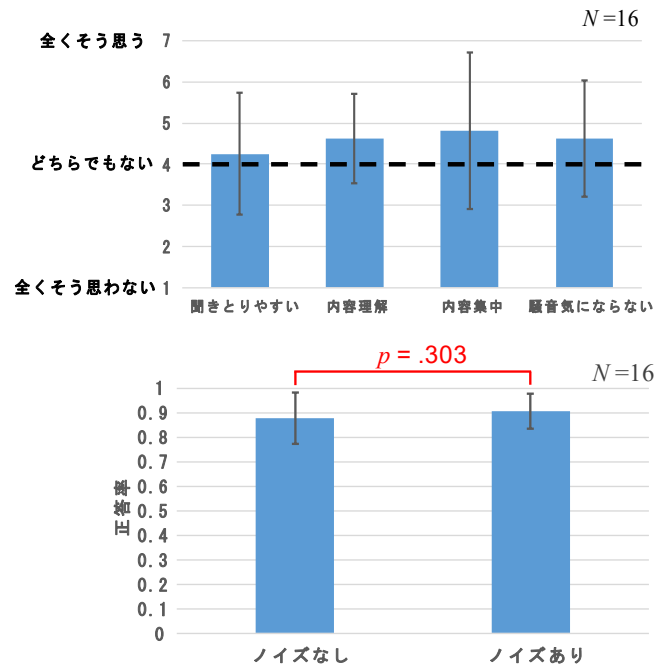


図 9 ノイズ実験のアンケート結果 (上段) と書き取りタスクの平均正答率 (下段)

それを基に書き取りタスクに取り組んでしまったかもしれない」と数名が発言している。今回の実験設計では、直前にスピーカから流れる音を一旦聞いた後、聞き返し操作を行ったために、聞き返し再生にて聞き取れない部分があったとしても、最初に記憶した内容によって補完されて解答できたと思われる。さらに、全体的に正答率が高く、書き取りタスク自体が簡単であったため、差が出なかったと考えられる。一方、GUI 条件での書き取りタスク平均正答率における下位 8 名に対して、GUI・ハンドジェスチャ条件間の書き取りタスクの正答率について、ウィルコクソンの符号順

位検定を行ったところ、ハンドジェスチャ条件の方が、正答率が高い傾向 ( $z = -1.96, p = .0547$ ) が見られた。被験者全体では見られない傾向であるが、正答率が低いグループでは、ハンドジェスチャ条件の方が正答率を高める一定の効果があった。

ノイズ実験では、いずれのアンケート項目においても、被験者の回答は「4: どちらでもない」に対して、大きく分散しており、二つ目の仮説を支持する結果とはならなかった。「デバイスから流れてくる内容に集中できた」項目においては、ノイズがない場合と比較して、左耳からノイズが流れる方が「良い」と約半数の被験者が回答した。これに関して、実験後、「左耳からノイズが流れることにより聞き返しが始まるという合図となり、右耳に集中して聞き返せた」という被験者からのコメントが得られた一方で、「右耳に集中しているときに左耳からノイズが流れ、気をとられた、邪魔になった」と実験後に発言した被験者も一定数いた。このことが、分散が大きくなった要因と思われる。「周囲の雑音が気にならなくなった」項目においては、ノイズが周囲の雑音をマスクすることで、より聞き返し音に集中できると期待していたが、このマスク効果には個人差があった。この要因の一つとして、全被験者に同じ音量のノイズを与えたことにより、人によってノイズ量が「大きい」、「小さい」、「ちょうどいい」が分散してしまったと思われる。書き取りタスクの定量評価については、ノイズなし・ノイズあり条件間で統計的に有意な結果は得られなかった。この要因としては、ハンドジェスチャ実験と同様の実験設計が影響したと思われる。ただし、ノイズ実験においても、ノイズなし条件での書き取りタスク平均正答率における下位 8 名に対して、ノイズなし・ノイズあり条件間の書き取りタスクの正答率について、ウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、ノイズあり条件の方が、正答率が高い傾向 ( $z = -1.82, p = .0703$ ) が見られた。この結果も被験者全体では見られない傾向であり、正答率が低いグループではノイズあり条件の方が正答率を高める一定の効果があった。

## 7. 結論と今後

本研究では、既報[4]での聴覚拡張ヒアラブルデバイスを用いたユーザ体験評価の中で挙げられた「ヒアラブルデバイスからの再生音声を聞いているときに、周囲の雑音も聞こえるため、再生音声が聞き取り辛い」という問題に対し、解決方法として、耳を塞いで聞き返すハンドジェスチャユーザインタフェースを提案し、ユーザスタディを通してハンドジェスチャユーザインタフェースによる再生音生の聞き取り効果について検証した。その結果、ハンドジェスチャ実験の定性評価において、聞き逃した音をそのまま再生する (GUI) 条件よりも、耳を塞いで再生するハンドジェスチャユーザインタフェース条件の方が利用者は聞き返す内容に集中することができ、聞き返しにおける音の理解が向上するという仮説を支持する効果が得られた。さらに、周囲の雑音をマスクするノイズ付加機能に関しては、ノイズ付加によって集中できる人と、そうでない人の両意見に分かれる結果となった。定量評価においてはハンドジェスチャ実験、ノイズ実験ともに、書き取りタスク正答率に差が見られず、有意な結果は得られなかった。しかしながら、全被験者のうち、書き取りタスク正答率が低いグループで

は、それぞれの実験において正答率を高める一定の効果が見られた。

今回提案したハンドジェスチャユーザインタフェースには、ヒアラブルデバイスからの再生音声と周囲の雑音との混在による再生音生の聞き取り辛さを低減する効果が見られた。一方で、さらなる聞き取り辛さ改善を狙った周囲の雑音をマスクするノイズ付加機能には、大きな効果が見られなかった。今後は、今回の実験で得られた結果をもとに、個人特性や環境に合わせたノイズチューニングを行うと共に、実験設計の改良も検討していく。

## 商標について

Bluetooth 及び Bluetooth Low Energy は、米国 Bluetooth SIG, INC.の米国ならびにその他の国における商標または登録商標です。その他、記載の製品ならびにサービス名および会社名などは、それぞれ各社の商標または登録商標です。

## 参考文献

- [1] Cherry, E. C., "Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears", The Journal of the acoustical society of America, Vol.25, No.5, 975-979 (1953).
- [2] 金岡利知, 長尾正太郎, 大角耕介, 山本絵里香, 宝珠山治, "無意識な音を意識化させるヒアラブルデバイスの提案", 情報処理学会インタラクティブ 2022 論文集, 351-355 (2022).
- [3] Jacqueline Urakami, Akito Moriwaki, Shotaro Nagao, Kousuke Osumi, Erika Yamamoto, Toshikazu Kanaoka, "Augmenting Auditory Attention and Memory to Reduce Cognitive Load in Dual Task", Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23), No.45, 1-6 (2023).
- [4] 山本絵里香, 長尾正太郎, 浦上ヤクリン, 金岡利知, "聴覚拡張ヒアラブルデバイス: ユーザ体験 (UX) 価値を高めるアジャイル開発", 情報処理学会インタラクティブ 2023, 1034-1038 (2023).
- [5] 寺岡諒, 坂本修一, 崔正烈, 鈴木陽一, 塩入論, "雑音環境下での音声聴取に空間的注意が及ぼす影響", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.SP-393, 73-77 (2018).
- [6] 藤村達弘, 寺岡諒, 坂本修一, 川瀬哲明, 鈴木陽一, "競合音声存在下における時空間的手がかりが単語理解度に及ぼす影響", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.118, 153-156 (2018).
- [7] 為末隆弘, 佐伯徹郎, 山口静馬, 加藤裕一, "マスキングによる雑音のうるささに関する心理的印象と作業成績の改善効果", システム制御情報学会論文誌, Vol.17, No.7, 270-277 (2004).
- [8] "APDS-9960 Data Sheet", [https://cdn.sparkfun.com/assets/learn\\_tutorials/3/2/1/Avago-APDS-9960-datasheet.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/3/2/1/Avago-APDS-9960-datasheet.pdf), (参照 2023-06-01).
- [9] "EYSHSNZWZ, Data Report", [https://www.yuden.co.jp/wireless\\_module/document/datarreport2/jp/T\\_Y\\_BLE\\_EYSHSNZWZ\\_DataReport\\_V1\\_2\\_20171215J.pdf](https://www.yuden.co.jp/wireless_module/document/datarreport2/jp/T_Y_BLE_EYSHSNZWZ_DataReport_V1_2_20171215J.pdf), (参照 2023-06-01).
- [10] "ATR 環境音データベース", <https://www.atr-p.com/products/esd.html>, (参照 2023-06-01).
- [11] "IEEE Recommended Practice for Speech Quality Measurements", IEEE, No.297-1969, 1-24 (1969).