

眼鏡型デバイスにおける耳びく入力手法

大塚 晟^{1,a)} 高田 峻介¹

概要：耳を動かす動作（耳びく）が可能な人が一定割合で存在するが、現代社会では耳びくは活用されていない。本稿では耳びくをデバイスへの入力として活用できると考え、耳びくの検出手法を示す。耳びくの検出には、耳びく時に眼鏡が頭部後方へ引っ張られるため眼鏡のレンズ側と顔が近くなる。これをもとに眼鏡の上部分に静電容量式タッチセンサと圧力センサを搭載して2つのプロトタイプを作製した。プロトタイプを用いて検証を行い、手法が有効であるか確かめた。耳びくを入力手法として用いた使用例も挙げている。既存の入力手法ではゴリラ腕症候群の問題や外的要因の影響を受けやすいのに対して、耳びく入力はハンズフリー、暗所、騒音環境でも使用可能、外的要因を受けにくいといった特徴を持つ。

1. はじめに

耳を動かす動作（耳びく）が可能な人が一定割合で存在するが、耳びくは活用されていない。進化の過程で耳びくの能力は多くの人にとって退化している。しかし、耳を動かす筋肉は健在であるため、練習によりこの能力を習得することは可能である [1][2]。

そこで、耳びくを眼鏡型ウェアラブルデバイスの入力として用いる手法を提案する。耳びくの検出には、図1のように、耳びく時に眼鏡が頭部後方へ引っ張られるため眼鏡のレンズ側と顔が近くなる。この変化を眼鏡の上部分に搭載したセンサを用いて検出する。センサには静電容量式タッチセンサ（以下、タッチセンサ）および圧力センサを用いた。センサごとに図2に示すプロトタイプを作製し、検証を行ったため、その結果を示す。また、提案手法の応用例を述べる。

2. 関連研究

2.1 眼鏡型デバイスにおける入力手法の問題

眼鏡型デバイスの入力手法として、デバイスに搭載されたボタンやタッチパッドを用いるものが多い [3][4]。しかし、手を頭の位置まで上げる必要があるため、時間経過とともに疲労が蓄積するゴリラ腕症候群 [5] が発生し、長時間の操作には向かない。この問題を解決する方法としてハンドコントローラ [6] を用いる手法があるが、手が塞がるため、他の物を持つことができなくなる。

ゴリラ腕症候群が発生しない入力手法としてハンドジェ

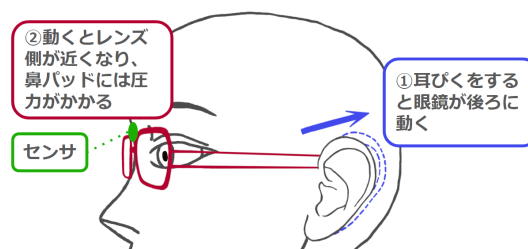
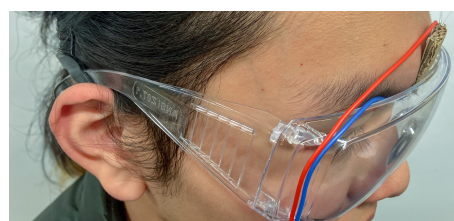
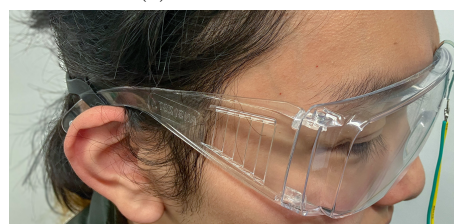


図1: 耳びく検出原理



(a) タッチセンサ式



(b) 圧力センサ式

図2: 作製したプロトタイプの着用

スチャや音声認識が挙げられる [6][7][8]。しかし、これらの手法ではオクルージョンや環境音ノイズの影響が問題となる。

上記の問題を解決する手法として視線 [8][9][10] や頭の動き [11] によるカーソル移動を用いた手法が挙げられる。これらの手法は眼鏡型デバイス内蔵のアイトラッキング機

¹ 神戸市立工業高等専門学校 電子工学科

^{a)} r119310@g.kobe-kosen.ac.jp

能 [8][9] や慣性センサ [11] を用いている。しかし、視線や頭の動きが意図したものか判別することが難しく、特に決定動作で誤動作しやすいという問題がある。

これらの問題に対し、本研究では耳びくを活用した入力を提案する。耳びくは日常的に使用されない動きであり、無意識に動くことがない。そのため、誤動作の少ない意図的な入力として使用することができる。手を用いないためゴリラ腕症候群も発生せず、暗い状況、騒音環境下でも使用可能である。また耳びくは手や視線、頭の動き併用でき、既存の操作と同時に扱える。

2.2 耳びくの認識手法

耳びくを読み取る手法として表面筋電位 [2][12] を用いた方法が挙げられる。表面筋電位は電極の配置が難しい点、湿式の場合は精度向上のために角質除去の前処理が必要な点、乾式の場合は被験者の汗などにより電極がはがれやすく、長時間の測定には不向きである点から実用が難しい。

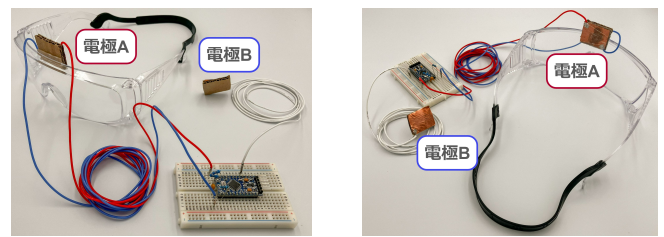
EarSwitch[13] は耳の中をカメラで撮影して鼓膜張筋による鼓膜の動きを取得している。耳びく検出ではないが、同様の方法で耳びくを検出できると考えられる。カメラでの検出は、画像処理を必要とするため消費電力や計算コストを必要とし、プライバシー問題も無視できない。また、耳が塞がるため外部の音が聞こえない問題や、イヤホン、ヘッドホンといった日常的なウェアラブルデバイスと同時に使用できない問題がある。

本研究での耳びく検出では、複雑な前処理を必要とせず、デバイスを装着するだけで検出できる。また、眼鏡型デバイスであるため、着用しやすく、耳を塞がない。今回使用したタッチセンサ、圧力センサはともに軽量かつ小型であり、既存の眼鏡型デバイスに適用しやすく、必要な計算処理も少ない。

3. 手法及び実装

耳びくの検出手法としてタッチセンサおよび圧力センサを用いた方式(タッチセンサ式、圧力センサ式)を提案する。図1に示すように、眼鏡をかけたまま耳びくすると、耳が全体的に後方に動くため、眼鏡がひっぱられ眼鏡のレンズ側と顔の距離が近くなる。タッチセンサ式は、搭載した電極が接触したことを検知し、耳びくを検出する。接触検知には、電極への接触時に人体の静電容量が接続されるため、過渡応答の時定数が比例して増加することで変化する電流の立ち上がり時間を利用する。圧力センサ式は、耳びくをしていない時も軽く額に接触するように取り付け、耳びく時に上昇する圧力を測定することで耳びく検出をする。

提案手法をもとにプロトタイプを作製した。タッチセンサ式のプロトタイプは図3、圧力センサ式のプロトタイプは



(a) 正面図

(b) 背面図

図3: タッチセンサ式プロトタイプ

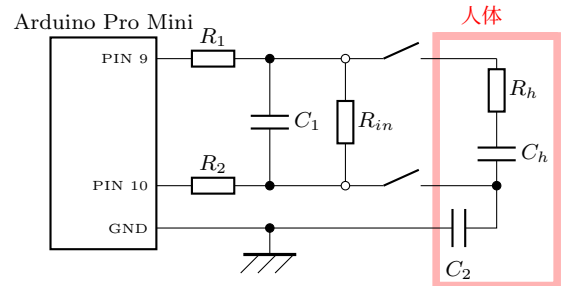


図4: タッチセンサ式の回路

図5に示す。プロトタイプはいずれも市販の安全メガネを用いて作製した。センサの計測とPCへのシリアル通信を用いたセンサ値の送信にはArduino Pro Miniを使用した。タッチセンサおよび圧力センサの取り付け位置は、市販の眼鏡型デバイスのJINS MEME[14]が電極を設置している位置を参考に、額に接触するようを取り付けた。

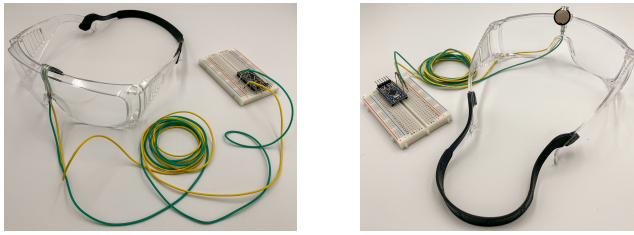
PC側では受信したセンサ値のグラフを描画するプログラムをPythonのPyQtGraphライブラリを用いて作成した。

3.1 タッチセンサ式プロトタイプ

図3にタッチセンサ式プロトタイプを示す。本プロトタイプは電極に銅箔テープを用いた。銅箔テープのみだと形が保たれず曲がったり、折れることで接触面積が一定にならないため、強度のある5mm幅の段ボールの上に貼り付けて、安全メガネに搭載した。また接触面の静電容量を低減するため、ラップフィルムを電極表面に両面テープで貼り付けた。

電極は2種類あり、図3の電極Aはデバイスを装着時に額に接触し、タッチセンサの役割を担う。電極Bは使用者とArduinoの接地電位を一致させ、静電容量のブレを抑えるために皮膚に貼り付ける電極である。実験では手首に貼り付けた。

黒いバンドは眼鏡ストラップで、センサと額との距離調整に用いる。プロトタイプの回路図を図4に示す。回路内の R_1 と R_2 は過電流防止と遅延時間増幅用の抵抗、 C_1 は既定コンデンサ、 R_{in} は電極内部抵抗、 R_h と C_h はそれぞれ人体の抵抗と静電容量、 C_2 は人体とGND間の静電容量を表している。各素子は、 $R_1=1.36M\Omega$ 、 $R_2=1k\Omega$ 、 $C_1=47pF$ のものを使用した。これにより人体接触によって静電容量が



(a) 正面図 (b) 背面図

図 5: 圧力センサ式プロトタイプ

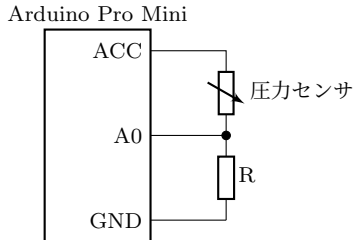


図 6: 圧力センサ方式の回路図

増加し、電流が立ち上がるまでの時間を CapacitiveSensor ライブラリ [15] を用いて計測することで耳びくを検出する。

3.2 圧力センサ式プロトタイプ

圧力センサ式プロトタイプを図 5 に示す。圧力センサは Alpha 社の MF01-N221-A01 を用いた。黒い帯は眼鏡ストラップであり、圧力センサへの圧力の調整のために取り付けられている。プロトタイプの回路を図 6 に示す。圧力センサに圧力がかかることで抵抗値が減少し、分圧回路によって抵抗 R (100kΩ) にかかる電圧が増加する。この電圧の変化を Arduino で計測することで耳びくを検出する。

4. 検証

それぞれのプロトタイプを用いて、タッチセンサ式と圧力センサ式の入力精度および使用感を検証した。デバイスを装着し、以下の 3 種類の動きをそれぞれ 5 回ずつ行った。

- シングル：1 秒間の耳びくの持続
- ダブル：ダブルクリックのように素早く 2 回耳びく
- ロング：3 秒かけて緩やかに耳びく

上記 3 種類の動作を 5 回行うのを 1 セットとした。デバイスの装着誤差の影響を考慮し、1 セットごとに着脱し直しつつ各デバイスを 3 セット、計 6 セットの行った。実験時間は 1 セット当たり 5 分、セットの間には 3 分の休憩時間、1 人当たり 1 時間のほどであった。なお、実験協力者は 3 名 (平均年齢 19.7 歳、耳びく可能、著者含む) である。

5. 結果

各デバイス、各種類ごとに耳びくの 15 回中 12 回を練習とし、残り 3 回の本番データの測定結果をそれぞれ図 7-図 12 に示す。シングルとダブルは立ち上がり時点の時刻を、

ロングは 3 秒のカウントを始めた時刻を 0 としている。

いずれの条件においても耳びく時に値の変化が現れた。以下に各条件で比較した結果を述べる。

5.1 タッチセンサ式と圧力センサ式の比較

タッチセンサ式と圧力センサ式を比べると圧力センサ式のほうが急激な立ち上がりが見られる。これは圧力センサの特性上、ある程度圧力をかけると急激に抵抗が減少するからである。また、圧力センサ式は耳びくをしていない状態ではほぼ 0 に近い値を出しているが、タッチセンサ式は個人差、装着誤差の影響を受けやすく、耳びくをしていない状態が一定でない。このことから、圧力センサ式はキャリブレーションを必要としないが、緩やかな連続的な変化を不得意とすることがわかる。タッチセンサ式はその逆である。

5.2 各入力の結果

シングルでは基本 1 秒程度立ち上がった状態が続いている。図 8(b) の 14 回目の測定で一時立ち下がりが起きているが、耳びくを一時緩めた人為的な問題である。

ダブルでは値が 2 つの山が連続的に形成している。先述した圧力センサの特性上、圧力センサ式のほうが鋭い立ち上りを示した。

ロングの測定はタッチセンサ式 (図 11) は個人差があるものの、連続的な緩やかな立ち上がりをしている。圧力センサ式 (図 12) だと測定を開始してから一定時間経過してから急激に変化し、その後緩やかに上昇している。これは先述した圧力センサの特性に起因する。両方式においてカウントを開始してから、立ち上がり始めるまでに 1 秒ほど遅延が発生している。これは、耳びくの中でもあまり行わない連続的な調整を行ったため、入力としての難易度が高かったためだと考える。

5.3 出力結果の分散

シングルのデータを用いてユーザによる個人差、着脱によるずれの分散について調べた。タッチセンサ、圧力センサそれぞれの通常状態と耳びく状態の値の分布をそれぞれ図 13(a) と図 13(b) に示す。

タッチセンサ式の通常状態の分布を見ると個人差、装着誤差の影響を受け、広く分布していることがわかる。それに対して圧力センサ式の通常状態分布の幅はほぼ 0 に近い。両プロトタイプで耳びくを時の立ち上がる量は一定の量ある。しかし、図 13(a) を見ると、タッチセンサ式では通常時の値が高いと差分の値が減少することがわかる。そのため、個人差、装着誤差が大きく表れることわかる。圧力センサ式はそのような分布は見られない。11 回目 15 回目の耳びく時の値が全協力者において減少しているのは、

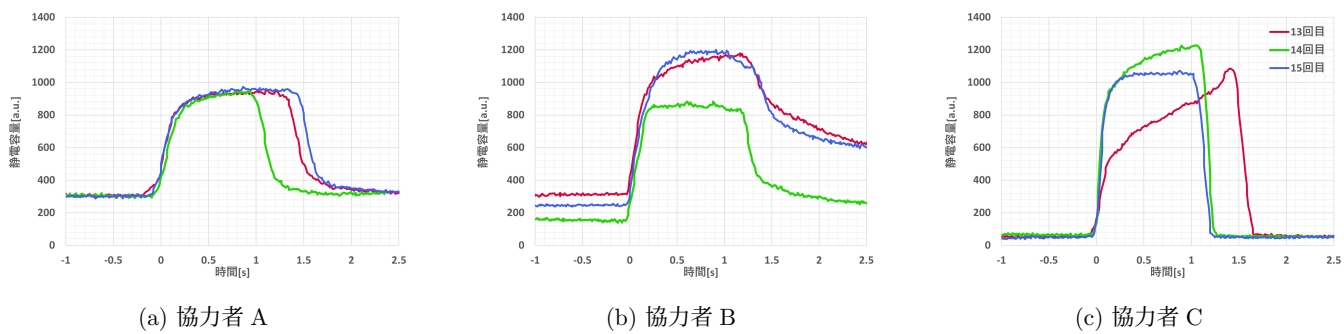


図 7: 実験協力者ごとのシングル時の波形 (タッチセンサ式)

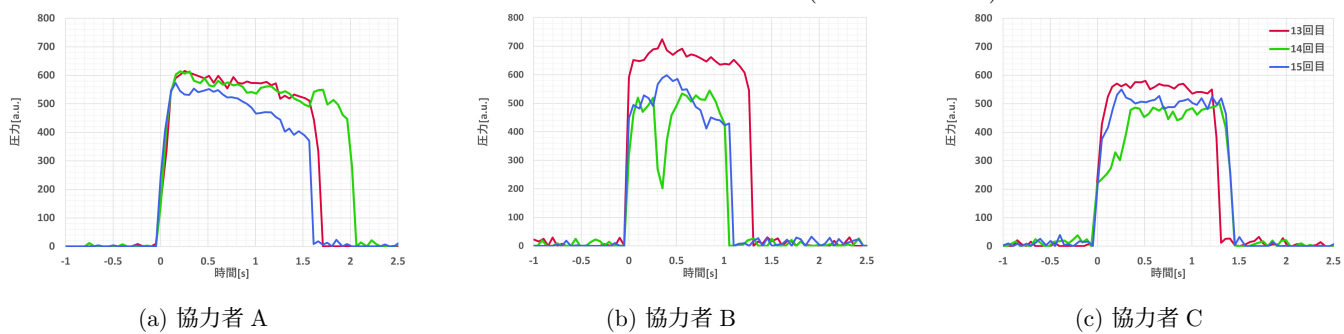


図 8: 実験協力者ごとのシングル時の波形 (圧力センサ式)

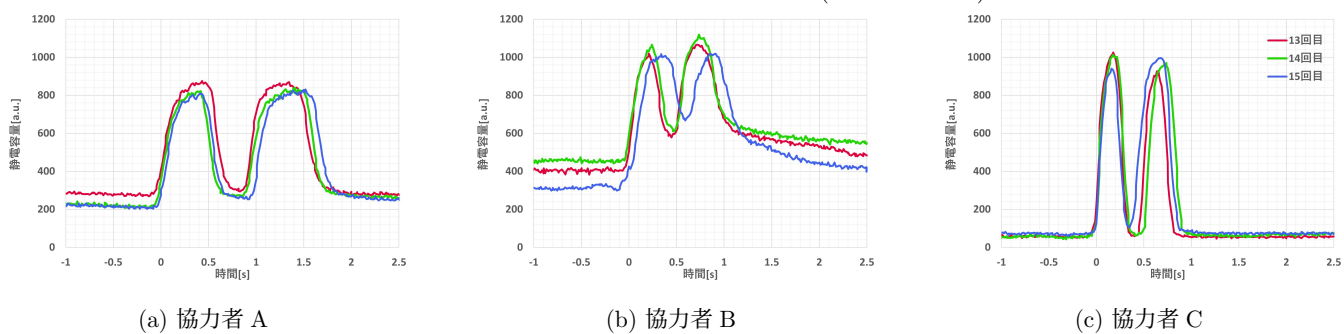


図 9: 実験協力者ごとのダブル時の波形 (タッチセンサ式)

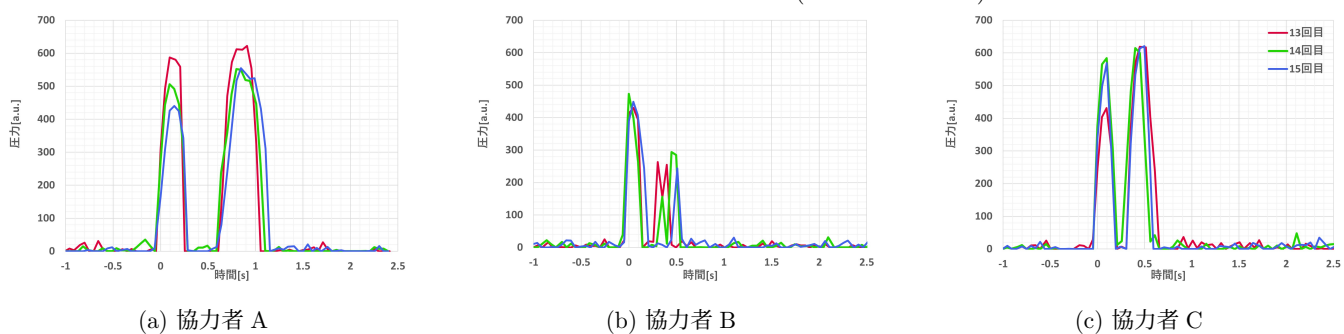


図 10: 実験協力者ごとのダブル時の波形 (圧力センサ式)

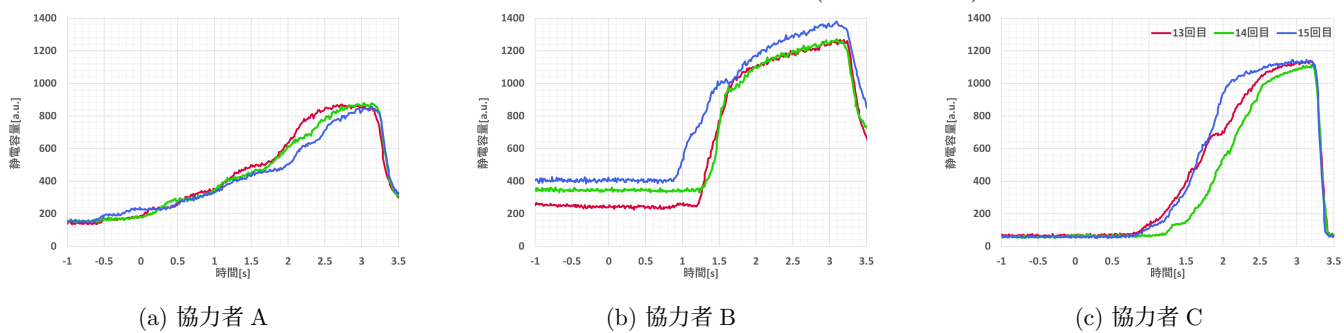


図 11: 実験協力者ごとのロング時の波形 (タッチセンサ式)

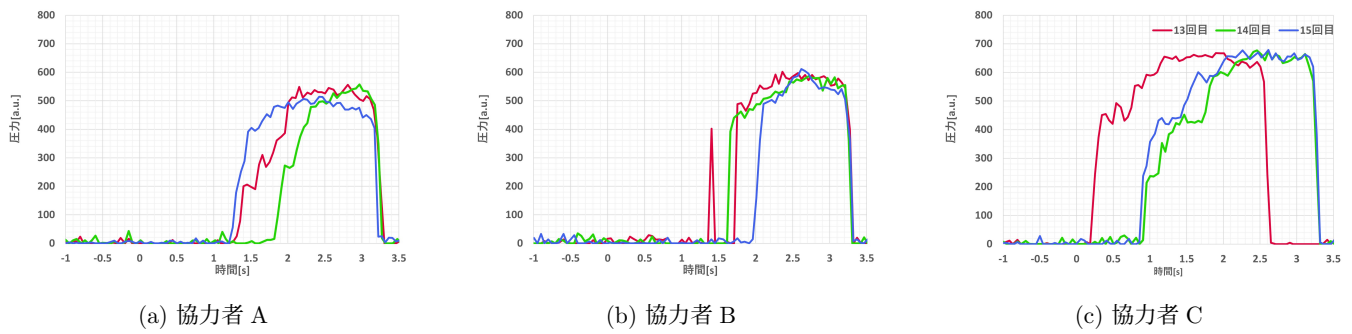


図 12: 実験協力者ごとのロング時の波形 (圧力センサ式)

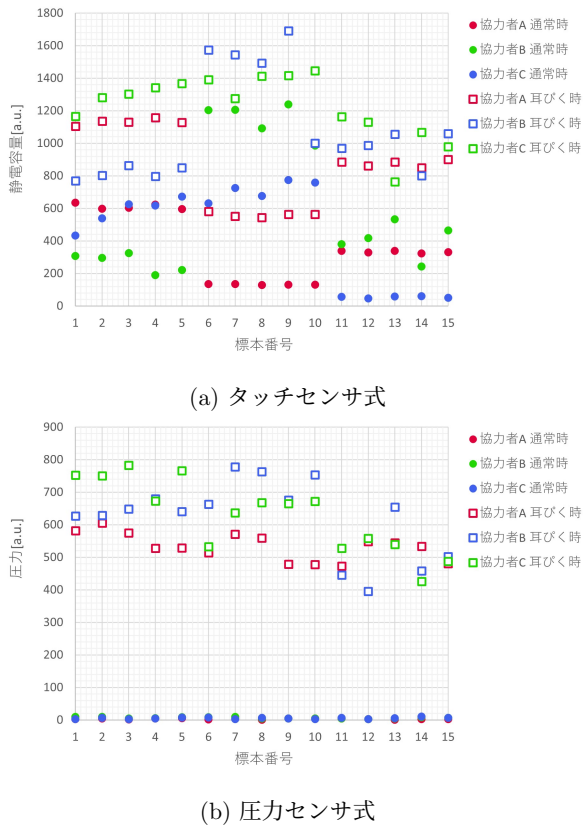


図 13: 各デバイスの出力分散

疲労の影響と思われる。

6. 応用例

アイトラッキングを用いた視線によるカーソル操作において決定操作が問題となっている。例えば、ハンドジェスチャー [8] や、視線の一定時間の固定 [9][10] が決定操作に用いられているが、ゴリラ腕症候群問題やオクルージョン、一定時間の視線の停止によるユーザへのストレスや意図しない視線の固定による誤判定が問題となる。この問題に対し、耳びくを決定操作に用いることでハンズフリーかつ意図した場合のみ瞬時に決定操作が可能となる。また音声操作等に比べて騒音問題の影響も受けにくい。

さらに、VR 上の獣系アバターにおける耳の動きのコントロールや、耳びくおよびモルルス信号を用いた周囲にバ

レにくいパスワード入力などに応用できる。

7. 今後の課題

提案手法の課題を以下に示す。

7.1 耳びく可能な人の割合

耳びくのための体の器官自体はまだ人体に残っているものの、進化の過程で失われつつある能力のため、訓練を必要とし、他の入力手法と比べハードルが高い [1]。耳びくできる人の割合が 10–20%[16]、訓練した上で 40%ほど [17] と言われている。そのため、本稿においても著者を含んだうえで、実験協力者を 3 名しか募ることができなかった。

7.2 疲労

耳びく可能な人であっても日常生活で耳びくをすることはなく、耳びくによる操作は疲労しやすいと考えられる。また、耳の筋肉は物を動かすためにあるわけでないため、あまり力が強くない。そのためデバイスの重さを耳で引っ張る動作は疲労しやすい。

7.3 入力語彙

耳びくは ON/OFF のような単調な入力是可以する。圧力センサ式では特性上難しいが、タッチセンサ式では、センサと額との距離に応じて出力が連続的に変化させることができた。しかし、耳びくの伸縮の時の調節が難しいためこれを活用することは難しい。今後は入力語彙を増やすため、片耳ずつの耳びく操作の利用を検証する。また、機械学習を用いて入力操作の識別ができるか検証する。

7.4 実装の問題点

本稿で実装したプロトタイプの問題点を 2 点述べる。1 つ目は誤認識問題である。本稿で実装した両方式のプロトタイプでは、顔が上を向いた時にはデバイスの重さでセンサが皮膚との接触し、反応してしまった。耳びくと上を向いた時の違いの判別が難しいためジャイロセンサを用いて顔の向きを推定することで誤認識を防ぐなど検討する。

2 つ目はタッチセンサ方式の問題として、時定数を計測

するため静電容量が大きくなると、遅延時間が増える。今後は、静電容量の計測手法を変える必要がある。

他にも装着誤差や耳びくしているうちにデバイスがずれる問題がある。そのため、今後はキャリブレーションの実装やデバイス形状の再設計を試みる。

8. まとめ

本稿にて眼鏡型デバイスにおける耳びく検出手法を示した。検出原理に基づいてタッチセンサ式と圧力センサ式を提案し、プロトタイプを作製した。どちらの手法でも耳びくの検出を行えた。圧力センサ式はキャリブレーションを必要としない一方、緩やかな連続的な変化を不得意としており、タッチセンサ式はその逆の特徴を持っている。シングル、ダブルのような通常状態と耳びくの切り替えを行う動作は容易に行えるが、ロングのように連続的な動きは入力難易度が高いことが分かった。

また、耳びくを用いた入力の使用例を示した。特にアイトラッキングと耳びく操作を併用することで、視線でのカーソル移動、耳びくでの決定動作をすることで頭の動きだけでマウス操作を代替するシステムを考案した。

一方で、現在耳びくできる人が限られるなどの問題が残っている。今後は耳びく可能な実験協力者を増やし、より多くの検証を行う。

参考文献

- [1] 藤田恒太郎. 人体解剖学. 南江堂, 改訂 41 版, 1993.
- [2] Daniel J Strauss, Farah I Corona-Strauss, Andreas Schroer, Philipp Flotho, Ronny Hannemann, and Steven A Hackley. Vestigial auriculomotor activity indicates the direction of auditory attention in humans. *eLife*, Vol. 9, p. e54536, jul 2020.
- [3] HUAWEI. HUAWEI Eyewear. <https://consumer.huawei.com/jp/wearables/huawei-eyewear/> (Accessed: 2023/12/11).
- [4] Meta, Ray-Ban. Ray-Ban Meta smart glasses. <https://www.meta.com/smart-glasses/> (Accessed: 2023/11/08).
- [5] Techopedia. What is Gorilla Arm? <https://www.techopedia.com/definition/31480/gorilla-arm> Accessed: 2023/12/17).
- [6] Meta. Meta Quest 3. <https://www.meta.com/quest/quest-3/> (Accessed: 2023/12/12).
- [7] Microsoft. Microsoft HoloLens. <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/> (Accessed: 2023/11/11).
- [8] Apple. Apple Vision Pro. <https://www.apple.com/apple-vision-pro/> (Accessed: 2023/12/15).
- [9] Pupil Labs. NEON. <https://pupil-labs.com/products/neon> (Accessed: 2023/12/14).
- [10] Ludwig Sidenmark and Hans Gellersen. Eye&head: Synergistic eye and head movement for gaze pointing and selection. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '19*, pp. 1161–1174, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [11] JINS. JINS MEME Controller. <https://jinsmeme.com/controller/> (Accessed: 2023/12/14).
- [12] Noel Segura Meraz, Hiroshi Shikida, and Yasuhisa Hasegawa. Auricularis muscles based control interface for robotic extra thumb. In *2017 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)*, pp. 1–3, 2017.
- [13] EarSwitch Ltd. Earswitch. <https://www.earswitch.co.uk/> (Accessed: 2023/12/08).
- [14] JINS. JINS MEME. <https://jinsmeme.com/> (Accessed: 2023/12/14).
- [15] Paul Bagder, Paul Stoffregen. Arduino CapacitiveSensor Library. <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/capacitivesensor/> (Accessed: 2023/12/17).
- [16] Connecticut Science Center. Useless Super Powers, 2020. <https://ctsciencecenter.org/blog/useless-super-powers/> (Accessed: 2023/12/07).
- [17] The ability to move the ears. *Hereditas*, Vol. 35, No. S1, pp. 620–621, 1949.