

個別化サイレントスピーチ BCI の実現を目指した Web アプリケーション開発 Development of EEG Web applications for personalized Silent Speech Brain-Computer Interface

上野 碧天[†] 山崎 敏正[†] 藤井 聡[†]
Aoto Ueno Toshimasa Yamazaki Satoshi Fujii

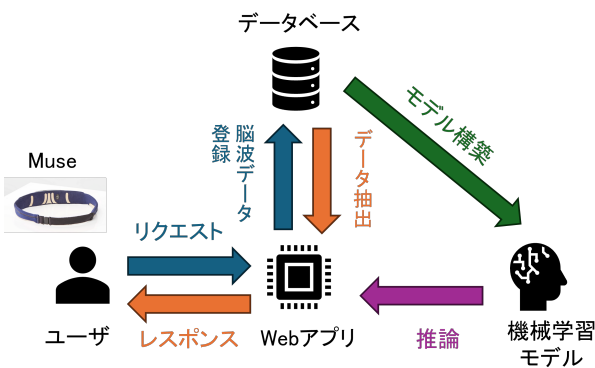
1. はじめに

近年、発声が困難な人々の新たな意思伝達手段として、脳波信号から言語を復元するサイレントスピーチ BCI が注目されている。既往研究では皮質脳波を用いた高精度な計測と言語へのデコードが報告されている [1] [2] が、侵襲性や医療機関依存といった制約があった。

本研究では、市販の簡易型非侵襲脳波計「Muse S Headband」(以下、Muse) を用いて、内言(声に出さない発話)単語に対応する頭皮脳波(EEG)データを収集・管理・分類可能な Web アプリケーションを開発した。本システムは、個人が時間や場所を問わずデータ収集を行えるよう設計されており、脳波とテキストの同期データベースの大規模構築を視野に入れている。その設計・実装手法を報告し、将来的な実応用に向けた課題や技術的展望についても考察する。

2. 提案システムの概要

本研究で開発したシステムの全体構成を図 1 に示す。



本システムは、ユーザーの内言単語に対応する EEG データの計測、計測データの管理・閲覧、分類モデルの構築、および分類(推論)タスクの実行を行う 5 つの処理系から構成されており、ユーザーはブラウザ上でこれらの機能を利用することが可能である。

2.1 脳波計測デバイス (Muse)

Muse (図 2) [3] は、前額部 (AF7, AF8) および左右耳朶 (TP9, TP10) に配置された 4 つのドライ電極を備え、256Hz のサンプリング周波数で EEG を測定可能な脳波計である。本システムでは、Web Bluetooth API を介してフロントエンド (Next.js) と接続する構成とした。



図 2 Muse

2.2 EEG データの計測

先行研究 [4] を踏まえ、本研究では内言単語と注視点を交互に提示するインターフェース (図 3) を用いた。ユーザーは内言単語の表示中に内言を行うことで、対応する EEG データを取得できるように設計している。

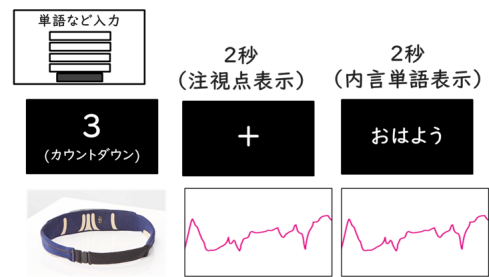


図 3 EEG データ収集の模式図

計測後のデータは、図 4 に示すように波形として可視化され、ユーザー(被験者)が内容を確認した上で保存操作を行う。

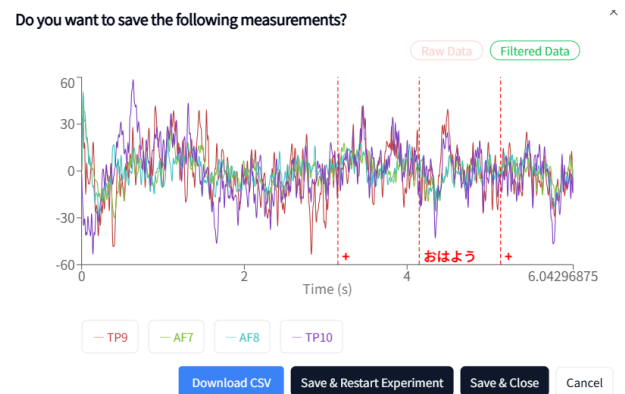


図 4 計測結果の表示画面 (スクリーンショット)

2.3 計測データの管理・閲覧

2.2 で計測された EEG データは、MongoDB 上に保存される。

従来の CSV ファイルによる EEG データ管理では、データ本体とメタ情報が分離管理されるため、データの検索・再利用・共有において非効率が生じやすいという

[†] 九州工業大学大学院 情報工学研究院
Faculty of Computer Science and Systems Engineering,
Kyushu Institute of Technology

課題があった。

そこで、本研究では、EEG 信号と計測時の付加情報を統合し、MongoDB で永続的に保存することにより、記録の一貫性と再利用性を高め、扱いやすいデータ管理環境を実現している。

2.4 推論モデルの構築

本システムでは、収集した EEG データを用いて、ユーザ自身が分類モデルを構築できる機能を提供している。分類器の構築には、脳波解析ライブラリ「Braindecode」[5] を用い、を用い、「ShallowFBCSPNet」と呼ばれる軽量の CNN ベースのモデルを採用した。モデル構築時には、Web アプリケーション上から任意の計測データセットを選択し、分類タスクに必要なデータを構成する機能も実装している。選択されたデータをもとに、モデルの学習はバックエンド (FastAPI) 側で非同期に実行し、学習済みモデルは MongoDB に保存される。本設計により、個人単位で柔軟に分類器の作成・更新が可能な環境を実現している。

2.5 EEG データの分類 (推論)

分類テストは、Muse を用いてその場でリアルタイムに収集された EEG データに対して行われる。分類テストにおいても、図 3 で示した EEG データ収集様式を踏襲しており、内言指示と注視点を交互に提示するユーザーインターフェースの表示を共通化 (図 5) している。これにより、訓練時と同様の視覚刺激・時間条件下で EEG 信号が取得され、分類精度に影響を与える外的要因を抑制するとともに、一貫した操作体験をユーザに提供する。

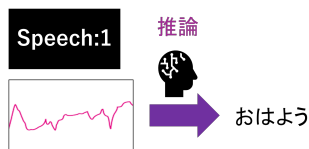


図5 EEGデータ分類の模式図

取得された EEG データは、FastAPI の推論用エンドポイントに送信され、あらかじめ学習された分類モデルにより、ユーザの内言単語に対する推論が即時に実施され、推論結果がその信頼度と共に、Web インタフェース上に表示される (図 6)。

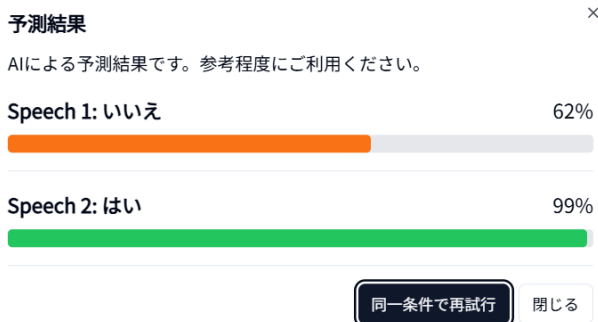


図6 推論結果の表示画面 (スクリーンショット)

3. 提案システムの実践評価

本節では、提案した Web ベースの EEG データ収集・管理・分類システムを実際に運用し、その有効性や実用性について評価した結果を報告する。

3.1 EEG データ計測

本システムは、EEG データの計測効率を重視した設計により、計測・記録プロセスの高速化と簡略化を実現した。具体的には、5 単語 × 50 反復 (計 250 試行) のデータ取得を約 20 分で完了し、機器の装着や接続確認などを含めても、全体の作業時間は 30 分以内に収まった。これは従来の EEG 計測 (デバイス・システム) において数時間を要することもあった点と比較し、著しい効率向上を示している。

3.2 EEG データの分類精度

被験者 1 名を対象とした分類テストでは、「はい」、「いいえ」の 2 クラスを対象に合計 30 回の内言単語分類タスクを実施した。分類のための EEG データ収集から推論処理までの全工程は、すべて Web アプリケーション上で完結しており、ユーザは GUI 操作のみで分類精度を確認できる。

その結果、全体の分類精度は 83.33% であり、少数データながらも一定の分類性能が得られることが確認された。ただし、この精度はモデル作成直後の評価結果であり、時間経過や再計測時には分類性能が安定しないケースも観測されている。今後は、信号の揺らぎや個人内変動に対するロバスト性を高めることが、実応用に向けた重要な課題となる。

4. おわりに

本研究では、EEG データの計測・管理・学習・分類を Web アプリケーション上で一貫して実行可能な処理系を構築した。現在、SMA (脊髄性筋萎縮症) 患者 1 名に対し、試験的な遠隔運用も実施している。実用化に向け、複数語彙・多被験者環境への対応や分類精度の向上等を今後の課題として位置付けている。

謝辞

本研究にご協力いただいた SMA の患者様並びにそのご家族様をはじめ、本研究に携わっていただいた全ての皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Metzger, S. L. et al. Nature 620, 1037–1046 (2023).
- [2] Willett, F. R. et al. Nature 620, 1031–1036 (2023).
- [3] “Muse S | Muse EEG-Powered Meditation & Sleep Headband”. Muse. <https://choosemuse.com/products/muse-s-gen-2>, (参照 2025-05-23)
- [4] 山崎敏正, 赤迫健太, 森田寛伸, 徳永由布子, 上村旺生, 柳橋圭, 柏田倫孝, “Decoding single-trial EEGs during silent Japanese words by the Transformer-like model”, 言語処理学会第 29 回年次大会発表論文集 (2023 年 3 月).
- [5] Robin Tibor Schirrmeister et al., Deep learning with convolutional neural networks for EEG decoding and visualization. *Human Brain Mapping*, 38(11):5391–5420, August 2017. doi:10.1002/hbm.23730.