

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 20901  
研究開発課題名 BMI オープンイノベーションのための脳活動マルチモーダル計測データの解析  
とその応用技術の研究開発  
副 題 Ready-to-Use 非侵襲高パフォーマンス BMI のためのキャップ型脳波-脳磁図  
同時計測法と脳モデルと人工知能を用いたデータ生成技術の開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、NICT 自ら研究が進めている低侵襲・非侵襲 BMI を促進するために、新しい非侵襲脳計測技術の確立、皮質脳波と頭皮脳波を繋ぐ脳信号解析アルゴリズムの開発、そして脳情報解読アルゴリズムの高度化を行うことにより、**皮質脳波 BMI の臨床応用の基礎技術となり得る Ready-to-Use の非侵襲高パフォーマンス BMI の実現**を目指す。具体的には、以下の 4 つの研究開発項目を実施することにより、目標を達成する。

【研究開発項目 1-1】キャップ型脳波-脳磁図同時計測法の研究開発

【研究開発項目 1-2】皮質脳活動推定法の研究開発

【研究開発項目 2-1】脳モデルと人工知能を用いたデータ生成技術

【研究開発項目 3-1】BMI オープンイノベーションのためのデータとプログラム公開  
同時計測・脳活動推定法により、計測・解析の両段階において利用可能な脳情報量を増やす。脳モデルと人工知能技術を融合したデータ生成技術により脳情報解読アルゴリズムを高度化する。これらの要素技術を組み合わせることにより、Ready-to-use 非侵襲高パフォーマンス BMI の実現を目指す。さらに、アルゴリズムを実装したソースコード・データを一般公開することにより、BMI オープンイノベーションの先駆けとなる。

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 4 年度 (5 年間)

(3) 受託者

株式会社国際電気通信基礎技術研究所 <代表研究者>

(4) 研究開発予算 (契約額)

平成 30 年度から令和 4 年度までの総額 250 百万円 (令和 4 年度 50 百万円)  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1：皮質脳波推定技術の研究開発

1-1. キャップ型脳波-脳磁図同時計測法の研究開発

1-2. 皮質脳活動推定法の研究開発

研究開発項目 2：神経活動データ生成技術に基づく革新的デコーディング技術の研究開発

2-1. 脳モデルと人工知能を用いたデータ生成技術の研究開発

研究開発項目 3：オープンイノベーション推進のためのオープンデータ化・オープンソース化

3-1. BMI オープンイノベーションのためのデータとプログラム公開

株式会社国際電気通信基礎技術研究所が単独で担当している。

(6) 特許出願、外部発表等

|       |            | 累計 (件) | 当該年度 (件) |
|-------|------------|--------|----------|
| 特許出願  | 国内出願       | 1      | 1        |
|       | 外国出願       | 0      | 0        |
| 外部発表等 | 研究論文       | 12     | 0        |
|       | その他研究発表    | 33     | 9        |
|       | 標準化提案・採択   | 0      | 0        |
|       | プレスリリース・報道 | 0      | 0        |
|       | 展示会        | 0      | 0        |
|       | 受賞・表彰      | 1      | 0        |

(7) 具体的な実施内容と最終成果

**研究開発項目 1-1 キャップ型脳波-脳磁図同時計測法の研究開発**

- ・ OPM を起動させるために残留磁場キャンセリングコイルを開発し、OPM の起動と安定的な制御に成功した。安全性と安定測定・利便性を考慮した素材や構造によって脳磁図測定用の OPM センサ固定キャップを開発した。さらに OPM センサの位置測定方法を開発した。
- ・ EEG+OPM 同時測定キャップと同時測定システムを作製し EEG+OPM 同時計測実験を行った。
- ・ OPM-MEG 実験システムとリアルタイム解析システムをオンライン化したシステムを開発し BMI 実験環境を整備し実証実験を行った。(最終目標達成)

**研究開発項目 1-2 皮質脳活動推定法の研究開発**

- ・ OPM に対応した皮質脳活動推定法を開発しシミュレーションによる評価実験を行い、目標値である 5mm 以下の位置誤差が達成可能であることを確認した。また、実 OPM データから皮質脳活動を推定するための解析パイプラインを構築し、実データを用いてその有効性を確認した。さらに、解析パイプラインをオンライン化した。
- ・ EEG+OPM 同時計測データから皮質脳活動を推定する技術を開発した。EEG+OPM 同時計測実験を行い、開発技術を用いて皮質脳活動が推定できることを確認した。更に、EEG+OPM 同時計測データから推定された皮質脳活動を EEG・OPM 単体から推定された皮質脳活動と比較することで、EEG+OPM 同時計測の有効性を確認した。
- ・ 当初計画にはなかったが、fMRI メタ解析の結果を用いた新しい皮質脳活動推定法を提案し、NeuroImage 誌にて採択された。特に、個人 fMRI 計測の質が低いときには、メタ解析結果の方が精度向上することを示した。(Suzuki and Yamashita, NeuroImage, 2021)
- ・ 当初計画にはなかったが、OPM センサ配置最適化アルゴリズムを開発し、NeuroImage 誌に投稿しリバイズ中である。最小ノルム法の Resolution matrix を基に、関心領域の脳活動が高い精度で推定できるように OPM センサの位置を選択するアルゴリズムを提案した。

**研究開発項目 2-1 脳モデルと人工知能を用いたデータ生成技術の研究開発**

- ・ 解剖学的結合に制約された脳ネットワークダイナミクスモデルを用いた課題時電流データを生成する技術を開発した。ニューラルネットワークデコーダと組み合わせることにより、デコーディング成績が向上することを、3名の視覚課題の MEG データ解析により示した。
- ・ 脳波・脳磁図同時計測、皮質脳活動推定、データ生成の3つの要素技術がデコーディング成績に与える影響の要因分析を行った。計測手法を脳波・脳磁図同時計測データに拡張し、階層ベイズ電流源推定アルゴリズム、脳ダイナミクスモデルを用いたデータ生成技術を採用することにより、精度が 12.3%改善することを確認した。(中間目標達成)
- ・ パイロット実験として実施した1名の左右手運動想像課題時の OPM-MEG データに対して試行平均時間周波数解析、シングルデコーディング解析を実施した。本プロジェクトで開発した皮質脳活動推定およびデータ生成技術を適用することにより、センサ空間の特徴量を用いたデコーディング成績に比べて約 10%の精度向上を確認した。

- ・ 当初計画にはなかったが、ダイナミックモード分解と呼ばれる信号解析手法とグラスマン距離に基づいた脳情報解読法を提案した。皮質脳波データから3種類の手運動を識別する脳情報解読問題において、既存手法を12.5%上回る精度を達成した。(Shiraishi et al. Journal of Neural Engineering, 2020)
- ・ 当初計画にはなかったが、安静時 MEG データの大規模データ解析により自発脳活動の生成メカニズムの一部を解明し、簡単かつ効率的な自発脳活動の生成方法を開発した。(Takeda et al. NeuroImage, 2021)

### 研究開発項目 3-1 BMI オープンイノベーションのためのデータとプログラム公開

- ・ 計画時に目標に掲げた人数及び課題数を上回る、被験者5名・4種類の課題を行っているときの OPM-MEG データ、SQUID-MEG と EEG の同時計測データを以下のリンクにて公開した(<https://vbmeg.atr.jp/nictitaku209/>)。またリンク情報をプロジェクトオフィサーと共有した。
- ・ 当プロジェクトにおいて開発した OPM-MEG データに対応した皮質脳活動推定アルゴリズムを以下のリンクにて公開した (<https://vbmeg.atr.jp/v30/>)。
- ・ 皮質脳活動推定に関する研究会の主催や論文公開、宣伝・広報用動画プラットフォームの構築、オープンソースソフトウェア VBMEG ウェブサイトのコンテンツ充実、ソフトウェア導入が簡易に行えるツールの開発・リリースを行い、オープンソフトウェアの普及活動を行った。オープンソースソフトウェアが外部機関と臨床共同研究に活用され、ハイインパクトジャーナルに掲載される大きな成果を挙げた。これら一連の活動成果は、神経科学分野におけるオープンイノベーションの重要性を示す成果である。

### (8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- ・ 四肢麻痺患者のための代替コミュニケーション技術として研究が開始された BMI で使われる技術は機械学習による脳情報解読・リアルタイム計測・ユーザインタフェースなど多岐に渡り、現在、コミュニケーション・基礎科学・認知学習・発達障害や精神疾患の治療など幅広いアプリケーションの基幹技術となっている。本プロジェクトにおいて研究開発された計測および解析ツール、および開発を通して得られる知見・ノウハウは、BMI 応用だけでなく、臨床応用、基礎研究、ヘルスケア、脳機能障害の治療など幅広い分野に波及しうるものであるため、今後もウェブページ・Youtube チャンネルなどを活用して、積極的に情報発信していく。
- ・ ツールの普及活動として、プログラムのオープンソース化、論文発表、ドキュメント作成、研究会の開催等を行っていく。開発した公開済みツールのチュートリアル記事をウェブ上に載せるなどユーザのツール導入を助けるとともに、必要に応じてユーザミーティングを行うなど教育・普及に力を入れる。また、今回開催した研究会、ユーザミーティングの経験を活かして、コミュニティの構築を進めたい。さらに実験施設の共同利用を促進するなど、新しい計測方法の普及を加速させる。
- ・ 研究開発成果の情報発信は、学会発表・論文発表を行うことによって学術的な信頼性を得る。一般向けには、会社のオープンハウスや学会の展示会などでアピールする。また、研究室のウェブページを通して研究成果について積極的に発信を行う。
- ・ 産業応用を推進するために、大学病院や生産部門を持つ企業など外部機関との連携を積極的に行う。当研究機関は製品開発部門を持たないため、製品化については企業とライセンス契約を結ぶなどして活用していく。