

令和2年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 21301  
 研究開発課題名 脳波（事象関連電位） - fMRI 同時計測に関する研究開発  
 副 題 認知課題下の脳波-fMRI 同時計測を用いた事象関連電位による脳情報通信技術の  
 開発

(1) 研究開発の目的

認知、運動課題時の頭皮脳波-fMRI 同時計測データを取得し、さらに、同じ課題時の頭皮脳波-頭蓋内脳波-fMRI 同時計測データを取得する。これらデータを関連づけることによって、頭蓋内で捕えられた事象関連電位に基づいて得られた fMRI 上の脳活動を同定し、頭蓋内の事象関連反応と頭皮脳波上の事象関連電位を関連づけることによって、頭皮上の事象関連電位の脳活動源の特定や脳内メカニズムを明らかにする。

(2) 研究開発期間

令和元年度から令和2年度（2年間）

(3) 実施機関

国立大学法人大阪大学<研究代表者>  
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 40 百万円（令和2年度 20 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 脳波-fMRI 同時計測データの取得

1-1…認知課題の設定（株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)）

1-2…頭皮脳波-fMRI 同時計測データの取得（大阪大学）

1-3…頭皮脳波-頭蓋内脳波-fMRI 同時計測データの取得（大阪大学）

研究開発項目 2 同時計測データのノイズリダクション技術の確立

2-1…fMRI により脳波データに重畳しているノイズを信号処理で低減する技術の確立（大阪大学）

2-2…fMRI と同時に計測した脳波から事象関連電位を抽出（大阪大学）

研究開発項目 3 事象関連電位に関わる脳活動の特徴づけに関する技術の確立

3-1…fMRI と事象関連電位とを関連付け、事象関連電位の活動源や事象関連電位の個人差を特徴づける技術の確立（大阪大学）

研究開発項目 4 公開するデータの生成

4-1…個人情報保護を考慮した加工と公開（大阪大学）

(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	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	0	0
	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	0	0
--	-------	---	---

## (7) 具体的な実施内容と成果

### 研究開発項目 1：脳波-fMRI 同時計測データの取得

#### 1-1. 認知課題の設定

Oddball paradigm による純音の聴覚刺激の提示で Mismatched negativity と言語理解課題で日本語の理解に関連した誘発電位を検出する課題の認知課題を計 2 種類設計し、脳波-fMRI における提示に最適化し、脳波上で検出できることを確認した。

#### 1-2. 頭皮脳波-fMRI 同時計測データの取得

R1 年度は、NICT 脳融合通信センターの MRI/MEG 安全委員会および大阪大学医学部附属病院の倫理委員会より承認され、新型コロナウイルスのパンデミックの影響で遅れたが、R2 年度は、健常者 32 人のデータ取得を完成した。

#### 1-3. 頭皮脳波-頭蓋内脳波-fMRI 同時計測データの取得

R1 年度は、大阪大学医学部附属病院の 3 テスラ MRI における脳波計、接続用機器など設備のセットアップを行い、ヒトを対象としたデータ取得に備え、これら機材を用いて、ファンタムを用いた安全性確認実験を行ない、安全性が確立された。その結果を現在国際誌への投稿を準備中。R2 年度は、頭蓋内電極を留置したてんかん患者 3 人を対象にデータを取得した。

### 研究開発項目 2：同時計測データのノイズリダクション技術の確立

#### 2-1. fMRI により脳波データに重畳しているノイズを信号処理で低減する技術の確立

MRI 撮像中に計測された脳波に重畳するアーチファクトを低減する工夫と信号処理で低減する方法を確立し、国際誌に論文投稿し掲載された。

#### 2-2. fMRI と同時に計測した脳波から事象関連電位を検出する技術の確立

頭皮脳波-頭蓋内脳波-fMRI 同時計測のデータより、事象関連デザインで fMRI を解析し、脳内の賦活部位を同定した。賦活部位での頭蓋内脳波上、同時計測した頭皮脳波上のいずれも加算平均で事象関連電位が認められることを確認した。fMRI と同時に計測した頭皮脳波から単一試行で生じた事象関連電位の検出する方法を機械学習・深層学習の手法を用いて確立中である。

### 研究開発項目 3：事象関連電位に関わる脳活動の特徴づけに関する技術の確立

上記 2-2 で抽出された事象関連電位（単一試行）の時系列と血行動態関数（HRF）との畳み込みから fMRI 信号の予測に取り組んだ。まず、深層学習を用いて頭蓋内の脳波信号から fMRI の信号を比較的良好に推定できることの知見をえた。現在、頭皮脳波の信号から fMRI の信号の推定に取り組む中。

### 研究開発項目 4：公開するデータの生成

頭皮脳波-fMRI 同時測定する際、個人情報（氏名、生年月日など）が脳波および MRI データのヘッダーに含まれないよう匿名化した形でデータを取得した。ウェブで公開できるデータを生成している段階である。今後、上記研究開発項目 2 と 3 の解析結果を論文投稿する予定で、完了次第、データをウェブで公開する予定である。

## (8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

### 1. 計画

本研究開発成果の展開・普及等に向けた計画マイルストーンは、具体的に下記のとおりである。まずは今回の研究期間中に取得したデータを用いて、事象関連電位に関わる脳活動の特徴づけに関する技術の確立を完成し、論文の発表を通じて、成果を外部に発表する予定である。その後、取得したデータを公開する予定である。

上記で述べた頭蓋内脳波と fMRI 及び頭皮脳波との同時計測信号とデコーディングの技術を組み合わせることで創出される新しい信号源推定技術については特許申請を行う予定である。

取得した特許はニューロフィードバックシステムやブレインマシンインターフェースに応用することで社会実装する予定である。

## 2. 展望

本研究開発で得られた成果より頭皮脳波から頭蓋内脳波及び全脳のBOLD活動を対応づける技術が創出されると期待される。MMN 課題における頭皮脳波の神経生理学的特徴の解明と、検出精度の向上に寄与できると期待される。特に頭蓋内脳波と fMRI 及び頭皮脳波との同時計測信号は世界的にも前例が少なく、我々がもつ neural decoding 技術と組み合わせることで、新しい信号源推定技術の創出が期待される。得られた技術は特許申請を行い、将来的に下記の目的のニューロフィードバックシステムに応用することで社会実装する。

- 日本人の外国語学習能力を向上するトレーニング
- 大人や絶対音感のない人の音楽のトレーニング
- 聴覚や視覚障害者の能力を向上するトレーニング

また、代表研究者らは頭蓋内脳波を用いた BMI の開発と臨床応用を進めている。本研究開発で得られた成果を用いて BMI の開発・社会実装に貢献し、成果を外部に発表していく。本研究成果により BMI やニューロフィードバックの臨床応用が現実的になることで、産学連携を進め、技術の社会実装が進むと期待される。

事象関連電位は、頭皮脳波上では信号対雑音比は低く、通常加算平均により初めて同定が可能であるが、BMI やニューロフィードバックに活用されるためには事象関連電位の単一試行での検出が必要である。特に MRI 環境下ではさらに信号対雑音比は低くなり、本研究で得られたノイズを低減する技術を応用した事象関連電位と fMRI の同時計測データを取得し、さらに本研究で得られる機械学習による事象関連電位の単一試行で検出する技術が確立されれば、BMI やニューロフィードバック技術の向上につながる。

これまでに、脳波と fMRI の同時計測データに関しての公開データはいくつかあるが、言語理解に関連する事象関連電位と fMRI の同時計測データは少ない。取得したデータに関しては、公開することにより、脳情報を利用した研究のオープンイノベーションへの貢献が期待できる。

また、開発項目 2 で、脳神経外科でしか得る事が出来ない高精度の頭蓋内脳信号を認知課題データ、頭皮脳波-fMRI とともに計測し、局在同定に精度の低い頭皮脳波信号を用いても高い精度の解析ができるようなシステムを創出する事で、脳通信技術において新たな技術革新を促せる。これは頭皮脳波を用いた脳通信技術の精度向上をもたらす、実環境での非侵襲型脳情報通信技術の実用化に貢献する。これまで脳情報通信技術の実用性は侵襲型に限られ、その応用も脊髄損傷や筋萎縮性側索硬化症など重篤な神経疾患で最重症の患者に限定されていた。非侵襲型脳情報通信技術の実用化は脳活動から人の行動や思考を推定し、患者の自立支援や健常者の能力向上への応用拡大につながり、国民生活や経済社会への波及効果は大きいと考えられる。