

令和 7 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 22801
 研究開発課題名 次世代 BMI システムの応用実現のための基盤技術の研究開発
 副 題 多点高密度神経電極と UWB 大容量高信頼無線を用いた次世代 BMI の研究開発

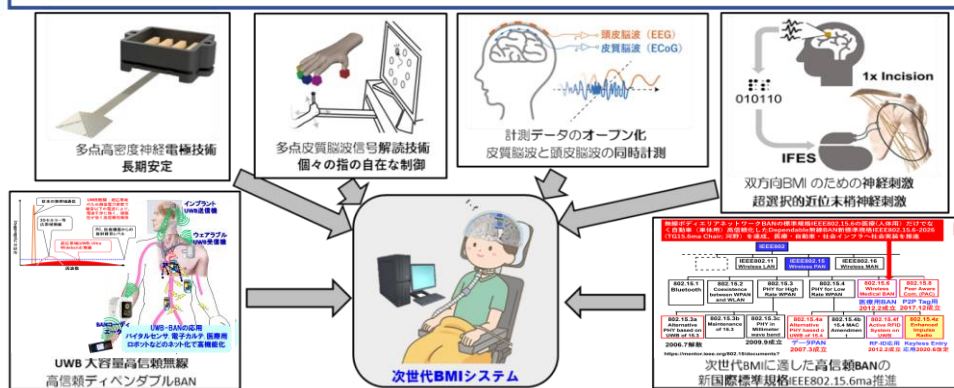
(1) 研究開発の目的

多点高密度神経電極の実用化ならびに、神経刺激による双方向 BMI の実現に向けた基盤技術の研究開発するとともに、UWB 大容量高信頼無線技術の研究開発とその標準化を行う。これにより、皮質脳波 BMI の性能、利便性、安全性、信頼性を大きく向上させる。また、皮質脳波と頭皮脳波の同時計測データのオープン化により、非侵襲 BMI の性能向上に貢献する。

課題228
 採択番号22801

次世代BMIシステムの応用実現のための基盤技術の研究開発
 多点高密度神経電極とUWB大容量高信頼無線を用いた次世代BMIの研究開発

研究概要：世界をリードする日本の脳外科未来医療と先端無線ICTの融合により、次世代BMIシステムで革新的イノベーションを拓く。多点高密度神経電極の実用化・神経刺激による双方向BMIの実現に向けた基盤技術の研究開発するとともに、UWB大容量高信頼無線技術の研究開発とその標準化を行うことにより、皮質脳波BMIの性能、利便性、安全性、信頼性を大きく向上させる。また、皮質脳波と頭皮脳波の同時計測データのオープン化により、非侵襲BMIの性能向上に貢献する。



【研究開発期間】 令和 4 年度から令和 7 年度まで

【受託者】 国立大学法人大阪大学（代表研究者）、一般社団法人YRP国際連携研究所

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 7 年度（4 年間）

(3) 受託者

国立大学法人大阪大学＜代表研究者＞

一般社団法人YRP国際連携研究所

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 4 年度から令和 7 年度までの総額 160 百万円（令和 7 年度 40 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 多点高密度神経電極実用化に向けた基盤技術

1-1. 多点高密度神経電極技術（大阪大学）

1-2. 多点皮質脳波信号解読技術（大阪大学）

1-3. 双方向 BMI の実現のための神経刺激の応用技術（大阪大学）

1-4. 皮質脳波と頭皮脳波の同時計測データのオープン化（大阪大学）

研究開発項目2 UWB 大容量高信頼無線技術の研究開発とその標準化

2-1. UWB 大容量高信頼無線技術 (YRP国際連携研究所)

2-2. BMI 用のUWB 無線通信技術の国際標準化 (YRP国際連携研究所)

(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	5	2
	外国出願	1	0
外部発表等	研究論文	7	1
	その他研究発表	84	35
	標準化提案・採択	570	180
	プレスリリース・報道	21	12
	展示会	2	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目1：多点高密度神経電極実用化に向けた基盤技術

1-1. 多点高密度神経電極技術

多点高密度神経電極が長期安定で高精度に計測できるようにするため、まず、脳表に留置した皮質脳波 (ECoG) 電極をガラス窓越しに経時的に肉眼、実体顕微鏡、OCT で観測可能な評価実験系の開発に成功した。ついで、この実験系により電極は生体硬膜ではなくガラスや人工硬膜等でカバーすることが皮質脳波計測上は有利であることを実証した。また、皮質脳波が電極留置手術後3カ月以上にわたって安定して計測できることを示した。

1-2. 多点皮質脳波信号解読技術

多点皮質脳波信号の解読技術の開発を行い、Transformer に独自の改良を加えた解読器により、サル慢性留置の高密度 ECoG から精密触覚刺激の位置および上肢センターアウト運動のカーソル軌跡を再構成できた。触覚刺激位置の解読では、誤差 2 mm 以内が 82-88% を占める性能を達成した。運動軌跡の解読では軌跡角度の相関 $r=0.64$ を示し、到達方向情報の復元可能性を定量化した。少層 Transformer でも高精度・高汎化を実現したことでリアルタイム処理が可能となり、神経活動を即時的に解読して神経活動によりカーソルを操作して到達課題を実施した。

1-3. 双方向 BMI の実現のための神経刺激の応用技術

植込み型機能的電気刺激による運動機能再建のための原理検証機を開発し、近位末梢神経を超選択的に刺激するために、6チャンネルのカフ型末梢神経刺激電極を開発する。また独自に考案した超選択的近位末梢神経電気刺激法により、四肢の運動機能が再建できることを動物実験にて示すことを目標とした。

その結果、動物実験にて原理検証するための原理検証機の要求仕様を策定、設計、試作して動作検証できた。腕神経叢・馬尾神経に電極を植え込む手術手技を考案し、動物実験で検証できた。馬尾神経運動枝を選別する手技を開発し、動物実験にて検証した。多チャンネル末梢神経刺激電極を開発し、特許を出願、腕神経叢・馬尾神経への電気刺激により、支配筋を選択的に制御でき、四肢運動機能の再建が可能であることを動物実験にて明らかにした。

1-4. 皮質脳波と頭皮脳波の同時計測データのオープン化

非侵襲 BMI の性能向上に資するため、動物実験で ECoG-EEG 同時計測系を確立し、収集したデータを公開することを目的とした。

その結果、ECoG 電極留置後に ECoG-EEG 同時計測を実施し、同時計測系を確立できた。さらにデータ公開に向け、ECoG と EEG の逐次計測及び同時計測を実施し、体性感覚誘発電位、覚醒状態での腕運動課題中、レストイング状態での計測データを収集した。ラベリングした目標時間分のデータを公開に向け PO に提出した。

研究開発項目 2：UWB 大容量高信頼無線技術の研究開発とその標準化

2-1. UWB 大容量高信頼無線技術

多点高密度神経電極から収集される皮質脳波データを体外に高信頼性を確保して無線伝送可能な UWB 無線送受信システムを設計、製作、性能解析、研究開発項目 1 の利用環境に適用するため、頭蓋にインプラントした UWB 送信機から体表に装着する受信機、伝搬および他システム共存の標準モデル化、同モデルに基づく次世代 BMI に最適な物理層・MAC 層の新規技術を以下のように考案し、研究開発項目 2-2 の超高信頼 Dependable 無線 BAN の新国際標準規格へ導入した。

1) UWB 電波伝搬モデル・無線システム共存干渉モデル

(1)UWB 電波伝搬モデル、(2)無線システム共存干渉モデル

2) 物理層 UWB 無線高信頼化の要素技術の研究開発

(1)UWB 無線伝送に適した通信路符号化（誤り制御技術）、(2)干渉回避のための干渉除去技術、(3)5G、B5G 等免許システムと免許不要 UWB システムの統合端末による共存技術

3) MAC 層パケットコンテンション対策の要素技術の研究開発

(1)優先順位（QoS レベル）に応じた Contention Free & Contention Access ハイブリッドプロトコル、(2)通信範囲が重なる UWB 無線 BAN 間のパケット衝突回避プロトコル

2-2. BMI 用の UWB 無線通信技術の国際標準化

研究開発項目 2-1 の BMI 用高信頼 UWB 無線通信システムに必要な伝搬・環境モデル、物理層 UWB 要素技術、MAC 層プロトコルの研究開発を効率的かつ、成果の波及効果を高めるために、研究開発項目 2-1 で研究開発した標準モデル、物理層・MAC 層技術を採用する新な超高信頼 Dependable 無線 BAN 国際標準規格 IEEE802.15.6ma の標準化の代表応用として次世代 BMI を位置づけ、以下のように標準化を主導した。実装性、互換性を確保し、市場性を高めるために医療から非医療（人体、車体他）へ応用を拡げ、量産性、臨床導入に貢献した。

1) 超高信頼 Dependable 無線 BAN 国際標準規格 IEEE802.15.6ma 達成の活動

(1)新標準規格の標準伝搬・共存モデルの体系化と公開、(2)旧標準規格から新標準規格の技術条件の見直し、(3)新標準規格の統一規格構成の主導、(4)新標準規格の成立への過程と臨床導入の最終目標に向けて、(5)新標準規格に採用された標準モデル、標準要素技術、統合技術等の普及(6)UWB 新標準規格の独自性、(7)超高信頼 Dependable BAN 新標準規格 IEEE802.15.6ma の医療、非医療展開

2) 本プロジェクト終了後の新規格の発展

(1)新標準規格 IEEE802.15.6ma と関連ネットワークの標準化の関連、(2)BAN・B5G/6G・AI 統合プラットフォームへの展開

3) 本プロジェクト実施中に行った IEEE802.15.6ma 寄書

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

(1) 計画

実用化に向けて研究開発が継続・発展して成果の展開・普及できるよう、研究項目 1-3 については、本委託研究終了後も実施責任者が参画しているムーンショットプロジェクトにて本研究成果を引き継いで、引き続き研究開発を実施していくとともに、令和 8 年度科研費にて発展版の研究を申請をしている。

UWB 無線による Dependable 無線 BAN の新国際標準規格 IEEE802.15.6ma を次世代 BMI システムに実装し、前臨床・臨床研究から治験に至る展開に必要な予算確保のために、IEEE802 標準化活動に参加した各国の産官学組織および、欧州標準化機構 ETSI SmartBAN との連携による体制を構築する。その際、BMI とその他の体内外バイタルセンサとの BAN による組織型データに対するマルチモーダル機械学習には、欧米中企業の注目度が高く、連携による社会実装を計画している。

(2) 展望

研究項目 1-3 については、今後さらに研究開発が発展して実用化につながる成果ができれば、実施責任者が設立したスタートアップ会社 JiMED に技術移転して、実用化を目指す。

Dependable 無線 BAN 新標準規格 IEEE802.15.6ma は、人体だけでなく車体にも共通な規格であり、高度医療用 BMI に対する薬機法に比較して法規制や、市場の比較的大きく量産化による経済性の高い自動車への導入が先行することが見込まれる。これにより、小型化、経済的実装が進み、自動車用と共通モジュールが BMI に導入できる。その過程では、自動車をロボットと見なした「BMI による自動運転」などの産業横断型のビジネスモデルも大きな研究開発課題となることが想定される。