

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆受託者：国立大学法人大阪大学、一般社団法人YRP国際連携研究所
- ◆研究開発期間：令和4年度～令和7年度（4年間）
- ◆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6年度40百万円）

2. 研究開発の目標

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。

3. 研究開発の成果

1-1 多点高密度神経電極技術

- 1) 電極性能の長期評価のための検証用電極の評価・改良を行った。
- 2) 1頭のサルに対し評価電極埋込を行い、データの取得と解析を行った。
- 3) 精緻な脳活動生成のための多元刺激デバイスの試作を行い、データ収集を行った。

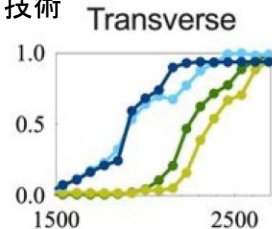


1-2 多点皮質脳波信号解読技術

- 1) 本課題に適した大規模多点高密度神経電極の電極試作を行った。電極インピーダンス低減のための導電性ポリマー(PEDOT)について、電極コンタクト部への実装プロセスを完成させた。
- 2) 深層学習モデルであるTransformerに独自の改良を加えたモデルを使用することにより、脳情報を用いたカーソルの移動軌跡の解読を行った。

1-3 双方向BMIの実現のための神経刺激の応用技術

- 1) 原理検証機の開発：ワイヤレスモジュール実装の検討。
- 2) 刺激電極の開発：カフ型・ヘリカル型電極を改良。
- 3) 電極植込み手技の開発：馬尾神経へ電極を複数留置し動物で実験。
- 4) 運動神経選別手技の開発：馬尾神経で運動神経をのみを電気刺激する方法を開発。電気刺激と筋反応の関係を定量化。



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

- 1) 麻酔下のサルにおける、体性感覚誘発電位(SEP)のECoG-EEG同時(逐次)計測の実施。ECoG・EEGの同時および逐次計測技術向上のための特製脳波電極の試作を完了、実個体で評価データを取得。
- 2) 覚醒・運動中のサルにおけるECoG-EEG同時(逐次)計測技術の確立に向け、1頭のサルの上肢到達運動の課題訓練を完了。

2-1 UWB 大容量高信頼無線技術

- 1) **UWB電波伝搬モデル・無線システム共存干渉モデル**: 頭蓋内の複数電極から計測されるECoGを体外に電波で伝送する際に、電波法人体防護指針を満たすシステム設計、評価のための次世代BMI用電波伝搬標準モデルを体系化して利用できるように公開した。また、伝送信頼性を損なう干渉を与える同一、他システムの共存モデルをクラス分けして、システム設計に利用した。
- 2) **物理層・MACプロトコル層要素技術**: 1)で求めた伝搬モデル、ECoGとそれ以外のEEG、ECGなどの満たすべきQoSレベルの異なるバケット、さらに共存する無線システムのクラスに応じた64通りの最適な通信路符号化、ARQ、Hybrid ARQ、および干渉除去方式などの物理層技術を導出した。また、共存する無線システムの同期捕捉、認識、測距のためのCoordinator-to-Coordinator(C2C)通信・測距法、共存システム間とシステム内のバケット衝突(contention)を回避するための制御チャネルとデータチャネルなどのMAC層技術を考案した。これらを研究開発課題2-2の高信頼UWB無線BANの新標準規格IEEE802.15.6maの統一標準規格案の物理層・MAC層方式に提案し、採用された。

2-2 BMI用のUWB無線通信技術の国際標準化

- 1) 高信頼UWB無線BAN新国際標準規格IEEE802.15.6maの代表応用として、本プロジェクトの次世代BMIシステムを位置づけ、2-1の成果の電波伝搬・共存モデルを標準伝搬モデルとして公開し、これに基づく物理層通信路符号化、MAC層C2C、制御・データチャネルアクセス制御などを提案し、統一規格案に採用された。WG802.15の2回のLetter Ballotにおいて賛成を得て、修正を行い、年度内の標準規格成立を目指す。
- 2) 次年度の新標準規格IEEE802.15.6ma成立とその実用化、発展の基本的道筋を明確にした。



4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
3 (1)	1 (1)	6 (3)	49 (22)	389 (192)	8 (2)	2 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

研究開発項目1-1 -R5年度に引き続き1頭のサルに対しての評価電極手術を完了し、データの取得と評価を開始した。多元刺激デバイスの試作を完了し、データ収集を行った。

研究開発項目1-2 -多点皮質脳波信号解読のための動物(サル)の課題訓練環境を構築とCenter-out joystick reaching課題の訓練を行い、データ収集を行った。

研究開発項目1-3 - 腕神経叢遠位部に電極を留置して電気刺激と上肢筋反応を定量的に解析した論文がアクセプトされた。開発したカフ型電極・ヘリカル型電極を日本生体医工学会にて発表した。馬尾神経に電極を留置して電気刺激と上肢筋の反応を定量的に解析した研究成果を日本定位神経機能外科学会で学会発表した。

研究開発項目1-4 - 麻酔下のサルで体性感覚誘発電位(SEP)のECoG-EEG同時計測法の改良を行い、得られた成果についての研究会報告を行った。

研究開発項目2-1 UWB 大容量高信頼無線技術の成果として、伝搬・干渉の基本モデルの解析、測定結果をとりまとめ公開した。物理層通信路符号化、MAC層C2C、パケットQoSレベルに応じた優先制御などを考案、性能解析し 2-2の国際標準規格に提案採用された。

研究開発項目2-2 次世代BMIを高信頼UWB無線ボディエリアネットワークBANの新国際標準規格IEEE802.15.6maの代表応用として位置づけ、2-1の研究成果を同規格の統一規格案に提案採用され、Task Group (TG)6maで統一規格案を策定し、10月と2025年3月のWG15の2回のLetter Ballot (LB)で多数の賛同を得て、今後、修正案のLBを経て、5月、7月会議で承認を得て、IEEE802全体のSA Ballotに進み、IEEE802の多段階の承認処理などを経て、年度内に標準化が完了する見込みである。

5. 今後の研究開発計画

研究開発項目1-1 - 多点高密度神経電極について、電極と大脳皮質との密着性や生体適合性、慢性炎症、結合組織形成など、計測信号に影響を与える要素についての改善と評価を行い、3か月以上の長期安定計測を実現する。

研究開発項目1-2 - 多点高密度皮質脳波信号の解読技術の開発を行い、ロボットハンド等の個々の指(3指以上)の自在な制御を、Robot Operation System (ROS)を用いたシミュレーション上で実現する。

研究開発項目1-3 - 考案した手術アプローチを用いて神経叢刺激電極を長期埋植し動物実験にて有効性を評価する。

研究開発項目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に関しては、R6年度までに麻酔状態のサルで実現性を実証した皮質脳波と頭皮脳波の逐次および同時計測法の更なる改良を行い、データ取得を継続するとともにオープンデータ化に向けた準備を行う。

研究開発項目2 - UWB無線の電波伝搬モデル、共存モデルをシミュレーションと実測により基本モデルの基本設計を完了する。これに基づき、次世代BMIの要求仕様に適合したUWB無線伝送の基本システム設計を行う。一方、次世代BMIを新標準規格IEEE802.15.6maの先進医療応用(人体用)の代表例として、次世代BMI用に研究開発する要素技術了新標準規格の技術条件を満たす物理層・MAC層要素技術として標準規格会議に提案し、統一標準規格の審議を主導する。