

## 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5年度までの総額80百万円(令和5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を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。

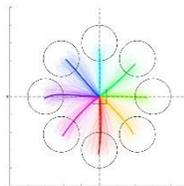
## 3. 研究開発の成果

## 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、ケーシングをNICTと連携して完成させた。1頭のサルに対しての評価電極埋込を完了し、データの取得と初期評価を開始した。
- 2)精緻な脳活動生成のための多元刺激デバイスの設計を完了させた。
- 3)電極の長期耐久性評価のために必要な組織学的検討の準備を完了させた。

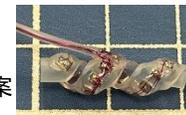
## 1-2 多点皮質脳波信号解読技術

- 1)本課題に適した大規模多点高密度神経電極(電極数 1000ch以上、電極密度 10ch/mm<sup>2</sup>以上)の電極設計を行った。
- 2)多点皮質脳波信号解読のための動物(サル)の課題訓練環境の構築を完了させ、視覚運動課題の訓練を行い、引き続き課題中信号計測のための準備を整えた。



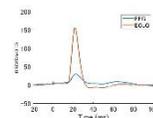
## 1-3 双方向BMIの実現のための神経刺激の応用技術

- 1)原理検証機の開発:仕様策定、設計、試作、初期評価。特許出願。
- 2)刺激電極の開発:カフ型とヘリカル型を設計・試作。関連特許出願。
- 3)電極植込み手技の開発:馬尾神経への電極留置の手術手技を考案し、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抽出し、電気刺激にて確認する方法を開発。



## 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)麻酔下のサルで体性感覚誘発電位(SEP)のECoG-EEG同時計測を達成し、信号品質をさらに高めるための改良脳波電極の設計を行った。
- 2)行動中のサルにおけるECoG-EEG同時計測の確立のために、1頭のサルに上肢到達運動の課題を習得させた。



## 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を体外に無線電波で伝送する際の人体侵襲性を電波法人体防護指針の基準内に抑え、UWB無線通信方式を採用しユースケースに応じた電波伝搬モデルと、共存する同一、他システムとの相互干渉モデルをクラス分けにより体系化した。
- 2)物理層・MACプロトコル層要素技術:基本システムに採用するUWB同期捕捉、変復調、符号化復号などの物理層方式を、1)で求めた伝搬モデルを用いてLink Budgetに基づき基本設計し、システム性能評価した。研究開発課題2-2の標準化に物理層・MAC層方式に提案し、他の提案方式との比較、組合せを検討し、次世代BMIに有効な方式を考案した。また、1)の共存干渉モデルにより、共存システム間のパケット衝突(コンテンション)を回避、低減するContention Free/Access Hybridプロトコルのbeacon検出、ID認識のCCA、共存制御とデータ伝送チャネル設定などのMAC層プロトコルの基本設計を行った。

## 2-2 BMI用のUWB無線通信技術の国際標準化

- 1)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の成果をDependable BAN国際標準規格に提案し、伝搬・干渉モデルを標準伝搬モデルに基づく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提案し、統一規格案に採用された。マルチBAN環境(Class1)でも高信頼性確保するプロトコルの成文化を完了し、1年後の標準規格成立を目指す。
- 2)次年度以降の新標準規格IEEE802.15.6maの推進計画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
2 (2)	0 (0)	3 (2)	27 (26)	197 (177)	6 (6)	2 (2)	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** - 検証用電極やケーシングをNICTと連携の下開発、1頭のサルに対しての評価電極手術を完了し、データの取得と初期評価を開始した。多元刺激デバイスの設計と組織学的検討の準備を完了させた。

**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、初期成果の学会発表を行った。

**研究開発項目1-3** - 研究開発項目1-3双方向BMIの実現のための神経刺激の応用技術の初期の成果として、腋下および腰背部よりアプローチして、単一の植込み装置により、片側上肢全体もしくは両下肢全体を制御できることを骨子とした特許を出願。また、電極を体外の計測装置と接続するための経皮コネクタを考案し、特許出願。

**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同時計測を達成し、研究成果発信に向けた準備を進めている。

**研究開発項目2** - 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、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考案方式などを考案、性能解析を行った。その成果を、研究開発項目2-2 BMI用のUWB無線通信技術の国際標準化の初期の成果として、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、2023年3月12-17日米国アトランタで開催されたDependable BAN国際標準規格IEEE802.15Task Group(TG)6ma会合にて、伝搬・干渉の基本モデルを標準規格の実用的な標準伝搬モデルとして報告し、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考案方式を標準規格方式として提案した。

#### 5. 今後の研究開発計画

**研究開発項目1-1** - 3か月以上の長期安定計測が可能な多点高密度神経電極の開発と動物での実証を目指し、電極やケーシングの改良試作を行い、動物への植込み手術を行い、データ取得を継続する。また、多元刺激デバイスの性能評価実験を開始し、組織学的評価によって得られたデータの解析を開始する。

**研究開発項目1-2** - 多点皮質脳波信号解読技術の開発に関して、NICTとの連携の下で大規模電極の設計試作を引き続き行うとともに、R5年度までに開発を行った運動課題マニピュラタムと評価環境を用いて到達運動課題中の脳活動計測とそのデータ解析を開始する。

**研究開発項目1-3** - 植込みFES原理検証機と神経叢刺激電極を統合してシステムを試作し、考案した手術アプローチを用いて動物実験にて有効性を評価する。

**研究開発項目1-4** - R5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試みる。この過程で収集する逐次および同時計測データを、入力となる刺激に関する適切なラベリングを付与し、検索性を備えた形にフォーマットする。向後のデータ公開(オープンデータ化)にむけて、データ形式、公開範囲及びデータ利用許諾条件に関するプロジェクトオフィサーとの協議を開始する。

**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を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。