

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7年度40百万円)

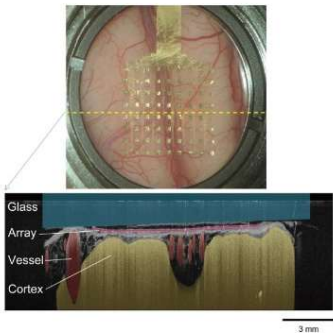
2. 研究開発の目標

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) 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。
- 2) 体性感覚誘発電位のピーク振幅が術後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

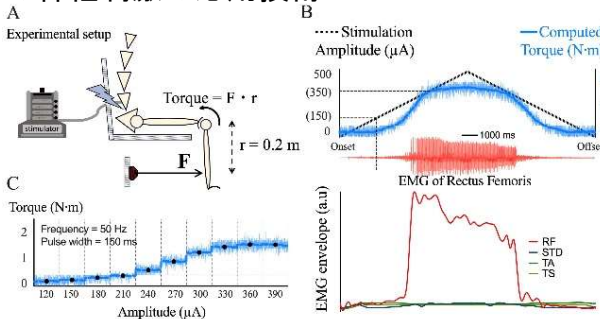
- 1) Transformerに独自の改良を加えた解読器により、計測した多点皮質脳波(体性感覚誘発電位)から指刺激位置を高精度で解読できることを示した。
- 2) 到達運動(センターアウト)課題中の腕(カーソル)軌道をリアルタイムに解読できることを示した。

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た。また、伝送信頼性を損なう干渉を与える周波数共用システムをクラス分けした共存モデルを構築し、両モデルを公開し、システム設計に利用した。
- 2) **物理層要素技術**: 1)で体系化した伝搬モデルを用いて、8クラスの干渉共存モデルと、ECoGとその他のEEG、ECGなどの満たすべきパケットの優先順位の8QoSレベルの組合せ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。
- 3) **MACプロトコル層要素技術**: 通信範囲が重なる共存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パケット衝突(contention)を回避するための制御チャンネルとデータチャンネルなどの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。

1-3 双方向BMIの実現のための神経刺激の応用技術

- 1) 原理検証機を製作し、基本的動作ができることを示した。
- 2) 多チャンネル末梢神経刺激電極を開発し、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

- 1) ECoG電極留置後にECoG-EEG同時計測を実施し、同時計測系を確立した。
- 2) 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、レスティング状態での計測データを収集した。

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・干渉除去、MAC層C2C通信・測距、複数・同一UWBバンドによる制御・データチャネルアクセス制御などを提案し、統一規格に採用された。WG802.15のLetter Ballot4回、IEEE802全体のSA Ballot4回を経て、修正を行い、年度内の標準規格成立が見込まれる。
- 2) **人体以外の車体にも共通な新標準規格IEEE802.15.6ma**成立に併せた人体車体共通デバイス、モジュールの量産化法整備による臨床導入への加速化、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 標準化採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
5 (2)	1 (0)	7 (1)	84 (35)	570 (180)	21 (12)	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 脳表に留置した皮質脳波(EECoG)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するとともに、体性感覚誘発電位のピーク振幅が術後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。

研究開発項目1-2 Transformerに独自の改良を加えた解読器により、計測した多点皮質脳波(体性感覚誘発電位)から指刺激位置を高精度で解読できることを示し、さらに到達運動(センターアウト)課題中の腕(カーソル)軌道をリアルタイムで解読できることも示した。

研究開発項目1-3 腕神経叢・馬尾神経電気刺激による機能再建法に関する包括的特許、多チャンネル神経刺激電極に関する特許、経皮コネクタに関する特許を出願した。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を出版した。腕神経叢や馬尾神経に電極を留置して電気刺激と支配筋の反応を定量的に解析し、選択性を示した研究成果を国内外の学会で発表した。

研究開発項目1-4 データ公開に向け、EECoG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。

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無線ボディア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BMIを位置づけ、2-1の研究成果を新標準規格に提案採用され、Task Group (TG)6maの議長を務め、WG15の4回のLetter Ballot (LB)、IEEE802全体の4回のスポンサー (SA) Ballotで利害調整し更新を重ね、年度内に採択される見込みとなった。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究項目1: 研究開発成果の展開・普及に向け、論文化及び公開データの活用を目指すとともに、開発した神経電極の国内研究機関への供給体制の構築も検討する。本委託研究終了後は、ムーンショットや科研費等の競争的資金を利用してさらに研究を発展させ、腕神経叢・馬尾神経刺激による運動機能再建法をBMIと接続することにより、考えただけで自分自身の体を動かせる、究極の運動機能再建の実現を目指す。

研究項目2: WB無線BANの新国際標準化に欧米日中韓などの産官学の組織が参加し、終盤の投票過程などでは政治的、ビジネス上の競合などにより、想定以上の期間と経費を要した。しかし、独自開発ばかりでなく他機関技術を活用したDependable無線BAN新標準規格は、次世代BMIに適した互換性、実装性が保証され、イーロン・マスクのニューロチップなどにも採用される可能性もある。今後は経験値の高い国際産学官連携により、BMI以外の医療応用や自動車、ロボット、社会インフラなどの広範な領域に普及が進めている。さらに無線通信ばかりでなくインプラントデバイスなどへのマイクロ波無線給電の標準化、および周波数共用する通信と給電の共存、人体防護指針などの法制化にも貢献を進めている。