

平成 27 年度研究開発成果概要書

課 題 名 : 大容量体内・体外無線通信技術及び大規模脳情報処理技術の研究開発と BMI への応用

採 択 番 号 : 18201

副 題 : 大容量無線通信および大規模脳情報解析を用いた体内埋込型
ブレインマシンインターフェース装置の開発と応用

(1) 研究開発の目的

本研究では代表提案者らが情報通信研究機構 (NICT) との連携により蓄積してきた大容量小型省電力体内外無線通信、多ch脳信号増幅回路集積化、3次元高密度皮質脳波電極、大規模脳情報解読制御に関する技術開発をさらに進める。これにより第1世代128chワイヤレス体内埋込型皮質脳波 BMI システムの開発・非臨床試験を行い、臨床研究を実施して、課題終了1年以内の世界初の BMI システム実用化を目指す。並行して10年以内の実用化を想定して、第2世代4000chレベルのワイヤレス体内埋込型皮質脳波 BMI システムを開発し、その安全性・有効性を動物実験で検証する。これにより世界を大きくリードする皮質脳波 BMI の実現に資する。

(2) 研究開発期間

平成 27 年度から平成 31 年度 (5 年間)

(3) 実施機関

代表研究者 (受託者) 国立大学法人大阪大学 (実施責任者 教授 平田雅之)

研究分担者 (再受託者) 日本光電工業株式会社

研究分担者 (再受託者) 合同会社 SPChange

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 500 百万円 (平成 27 年度 100 百万円)

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題 1 : 体内埋込装置のシステム化開発 (日本光電工業株式会社)

課題 2 : ワイヤレス通信・充電モジュールの開発 (合同会社 SPChange)

課題 3 : 脳表電極の開発 (国立大学法人大阪大学)

課題 4 : 集積化アンプの開発 (国立大学法人大阪大学)

課題 5 : 大規模脳情報解析技術の開発 (国立大学法人大阪大学)

課題 6 : 体内埋込装置の非臨床試験 (国立大学法人大阪大学)

課題 7 : 臨床研究の計画・申請・実施 (国立大学法人大阪大学)

(6) これまで得られた成果 (特許出願や論文発表等)

		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	研究論文	6	6
	その他研究発表	23	23
	プレスリリース・報道	6	6
	展示会	1	1
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

課題 1 体内埋込装置のシステム化開発

頭部に埋め込み可能な大きさにするため、課題 4 の 32ch の集積化アンプチップを 4 つ積層実装した 128ch 計測可能なモジュール用基板 (3cm×3cm) を製造した。また、装置本体を交換可能にするための平面多チャンネルコネクタ、および頭部形状にフィットした湾曲形状のチタン製のハーメチックケース (全長 7.5cm、幅 3.5cm、最厚部 1.1cm) を試作し、気密性と生体適合性を両立するためのろう付け、レーザー溶接等の製造方法を検討した。受電コイルはハーメチックケース外にエポキシ樹脂ケース内に収める予定であったが、ケースをより小型化するためにチタン製のハーメチックケースにサファイア窓を設け、その直下に受電コイルを収める構造とした。

課題 2 ワイヤレス通信・充電モジュールの開発

体内埋込装置からの 128ch 脳波データのリアルタイム伝送を可能にするために、236kbyte/sec のデータ伝送能力を持つ無線装置 (ISM バンド)、ならびに無線充電システムを設計・開発した。この無線回路と無線受電回路を一体化したモジュール基板を、課題 1 の 128ch 集積化アンプモジュール基板に合わせて設計して、30 × 35mm の小型化を達成した。また、受電コイルは、厚みを 2mm の薄型とし、磁性メッキ線コイルを使用することで High Q を実現し、給電距離 15mm を達成した。

課題 3 脳表電極の開発

課題 3-1 個々人の脳にフィットする 3 次元電極の実用化開発

シリコンシートの材質として又シルテクノロジー製に変更することで、長期埋植を可能にし、非臨床試験用の皮質脳波電極 (プラチナ、3 × 6 アレイ、電極サイズ ϕ 1.0mm、電極最小ピッチ 2.5mm) を試作した。また、製造プロトコル・製造体制を検討し、MRI 撮像条件、脳表面・脳溝形状抽出、3D CAD での電極シート型設計、3D プリンタによる電極シート型の迅速製造、シート型を用いた電極シート作成を大阪大学、マテリアライズ社、ユニークメディカルで設計・製造する案を進めることとした。

課題 3-2 超高密度フレキシブル脳表電極の開発

ポリウレタンシート上への Ag ナノワイヤーインク印刷法により 10^3 S/cm を超す高い導電性と、100% を超す伸縮性を両立した電極の開発に成功した。Ag ナノワイヤーの大表面積特性を活用して 10Hz 以下の低周波領域でも安定した計測ができた。電極微細化に関しては、孔版印刷手法では 500 μ m 程度に対し、独自開発した「レーザー転写法」では 50 μ m 程度まで微細化できることを確認した。また脳信号増幅用薄膜 TFT アンプの開発を行い、5 μ m 厚のフレキシブル薄膜で増幅利得 60 dB を達成した。

課題 4 集積化アンプの開発

既の開発していた集積化アンプチップの性能評価を実施し、線形性改善、雑音抑制、帯域設定の改良、リセット機能追加など、実用化を目指して精度や信頼性を向上させた第 1 世代システム用 32ch 集積化アンプチップの設計・試作を行った。さらに第 2 世代システム用多機能集積化アンプの要素回路として、刺激機能の仕様設計、アンプ広帯域化による spike 計測機能やチョッパーアンプ技術の検討及び基礎設計を行った。

課題 5 大規模脳情報解析技術の開発

難治性てんかん患者 3 名を対象として 10kHz、128ch、数時間～数週間、非拘束下で皮質脳波を連続的に計測した。二ホンザル 1 匹に又シルテクノロジー製シリコンシート電極を長期留置し、皮質脳波計測を開始した。これらの計測により、取得した大規模脳情報から一定の行動下の脳情報を自動抽出するためのビックデータ処理技法の検討を行い、deep learning の手法を導入することとした。

(27-1)

解読制御手法として、support vector machine による手の動作の classification と、sparse linear regression による手関節の 3 次元位置推定を統合し、さらにロボットアームの知的自律制御を加えてハイブリッド制御とする開発を進めた。また、電通大横井 Gr のロボットアーム改変版と市販のロボットアームを導入し、サル用のロボットアーム制御実験環境を整えた。

課題 6 体内埋込装置の非臨床試験

課題 3-1 で試作した皮質脳波電極のサルへの留置手術中および術後に、留置電極からの皮質脳波が既に開発している試作体内装置を使用して計測可能なことを確認した。3 × 6ch の皮質脳波電極を、運動野側に 2 列、感覚野側に 1 列、中心溝を覆うように留置した。術中・術後の計測から、正中神経電気刺激による明瞭な SEP が観測でき、試作体内装置の有線/無線接続ともに機能上の問題がないことを明らかにした。

課題 7 臨床研究の計画・申請・実施

大阪大学医学部附属病院未来医療センターと連携して、第 1 世代システムを用いたワイヤレス体内埋込装置の臨床研究のワーキンググループを組織し、研究計画の検討を開始した。ワイヤレス装置の安全性を主に評価する臨床研究と、BMI の制御性能の評価指標を探索する臨床研究と、少なくとも二つの臨床研究を並行して行う概案を立案した。