

2022 年度 委託研究

課題 228

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

研究計画書



## 1. 研究開発課題

『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』

## 2. 目的

国内外でブレインマシンインタフェース (BMI) の技術開発が進んでいる。特に医療分野においては、皮質脳波 (外科的手術により、電極アレイを脳表面に直接設置して計測する脳波) を用いた BMI が、侵襲度は頭皮脳波計測よりも高いが脳刺入型方式よりも低く、情報量は頭皮脳波よりも格段に多く推定精度が良好なために注目され、その応用が国内外で進んでいる。国立研究開発法人情報通信研究機構 (以下、「機構」という。) 他による 128ch (ch: 電極数) の第一世代 BMI システムの試作が成功し、医療応用が進みつつある。さらに大幅な性能向上を狙い、第二世代システムとして 4096ch の BMI システムの要素基盤技術の開発が進められている [1]。一方、米国企業が脳内に柔軟な糸型の電極を多数埋め込む高侵襲タイプの BMI システムを開発中であることを発表するなど、開発競争がより盛んになりつつある。

本委託研究では、前述の第二世代システムについて、機構が有する多点高密度神経電極技術を活用することで格段の高性能化を進め、様々な応用実現への橋渡しを行うことを目的とする。より具体的には、まず多点高密度神経電極の長期安定計測を実現した上で、ロボットハンド等の個々の指の制御が可能なレベルの皮質脳波信号解読技術の開発を行い、さらに、神経刺激技術による双方向 BMI の実証例として人工感覚生成あるいは運動機能再建技術の開発を行う。また、多点神経電極からの大容量神経信号を体外に無線送信するために、Ultra-Wide Band (UWB) を利用したより信頼性の高い無線通信技術の開発と国際標準化を進める。これらの技術は、ALSをはじめとした麻痺患者の QOL の向上に資する医療機器開発の基盤技術としても貢献可能なものであるが、本委託研究が究極的に目指しているものは、当技術によって実現可能となる皮質脳波と頭皮脳波の様々な状況における同時計測データの活用による非侵襲 BMI の高性能化である。つまり本委託研究で収集する同時計測データをオープンデータ化することにより、次世代 ICT として期待される頭皮脳波等による非侵襲 BMI の技術開発を促進し高性能化に資することが最終的な目的であり、これは機構が目指す脳情報に基づいた人間機能の再建・拡張を支援する技術の実現にも寄与するものである。

## 3. 内容

機構の第二世代 BMI システムの要素技術を対象として、下記の研究開発を行う。

### 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) 多点高密度神経電極技術: 機構ではパリレンを用いた多点高密度神経電極を試作しており、すでに LSI との統合によって配線爆発問題を解決した 1000ch 規模の高密度神経電極の試作と評価に成功している。当該技術について生体適合性の向上も含め長期安定計測に向けた改善と評価を行う。
- (2) 多点皮質脳波信号解読技術: 多点高密度神経電極で計測された多点皮質脳波信号の解読技術を開発し、ロボットハンド等の個々の指までの制御を実機あるいはシミュレーション上で実現する。
- (3) 双方向 BMI の実現のための神経刺激の応用技術: 機構では、すでに刺激機能を備えた LSI の

開発に成功しているが、さらに当該技術を発展させて、触覚や位置感覚などの体性感覚生成あるいは機能的電気刺激による運動機能再建のための基盤技術を開発し、双方向 BMI の実現を図る。

- (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 の性能向上のために様々な状況における皮質脳波と頭皮脳波（さらに可能であれば皮質内神経信号）の同時計測データを収集し、オープン化を行う。

なお、本研究開発項目の実施にあたって、評価用の多点高密度神経電極を機構から支給することが可能である。詳細についてはプロジェクトオフィサーに応募前に連絡し、調整すること。

## 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

- (1) UWB 大容量高信頼無線技術：機構で試作済みの BMI 用の UWB 無線通信システム [1] で未解決の消費電力等の問題の解決を図りつつ、(2)で策定する標準仕様にも対応したアーキテクチャ設計を行う。
- (2) BMI 用の UWB 無線通信技術の国際標準化：標準仕様の策定も含め、IEEE802 等における国際標準化を具体的に進めることにより、BMI 用の UWB 無線通信技術の国際展開のための基盤を確立する。

## 4. アウトプット目標

研究開発期間終了時までには達成すべき目標は下記のとおりとする。

### 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) 多点高密度神経電極技術

多点高密度神経電極について、電極と脳（皮質）との密着性や生体適合性など、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こと。

具体的には、評価においては小規模の多点高密度神経電極（電極数 100ch 以上、電極密度 10ch/mm<sup>2</sup> 以上）を使用し、体性感覚誘発電位（SEP）のピーク値等の再現性のある脳活動を指標として経時的評価を行うこととし、SEP ピーク値が明瞭に観察される上位 10ch 以上を対象として、留置後に得られたピーク値の 70%以上の値を3か月以上維持すること。（本細項目では密着性や生体適合性の改善のために様々な条件での実験が必要と考えられることから、小規模の多点高密度神経電極での評価を可としている。）

#### (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、ロボットハンド等の個々の指（3指以上）の自在な制御を実機あるいは Robot Operating System (ROS) 等によるシミュレーション上で実現すること。実験においては大規模の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）を使用すること。

#### (3) 双方向 BMI の実現のための神経刺激の応用技術

神経刺激技術を発展させ、感覚生成あるいは機能的電気刺激による運動機能再建のための基盤技術を開発すること。感覚生成あるいは機能的電気刺激による運動機能再建のいずれのケー

スにおいても、複数チャンネルの刺激電極による刺激波形と刺激効果との関係を明らかにすること。(例 末梢運動神経電気刺激による腕運動生成等)

#### (4) 皮質脳波と頭皮脳波の同時計測データのオープン化

様々な状況(運動課題実施中、知覚認知課題実施中、レスティング、睡眠中等)における皮質脳波と頭皮脳波(さらに可能であれば皮質内神経信号)の逐次計測あるいは同時計測データを大規模に収集し、オープンデータ化すること。具体的には、少なくとも2種類以上(2種類の内の少なくとも1種類は運動課題実施中、あるいは知覚認知課題実施中であることが望ましい)の状況における皮質脳波と頭皮脳波の逐次計測あるいは同時計測のデータを総計10時間以上収集するとともに、体性感覚等の感覚刺激に対する誘発電位データも収集すること。また、用いる頭皮脳波用電極についても従来型の電極に何らかの改良を加えることが望ましい。データ公開は受託者あるいは機構のデータ公開用サーバにて行うこととし、データ形式、公開範囲及びデータ利用許諾条件はプロジェクトオフィサーと協議の上で決定することとする。

## 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

### (1) UWB 大容量高信頼無線技術

消費電力等の問題の解決を目指し、かつ(2)で策定する標準仕様(未策定の場合は標準仕様案)に対応したアーキテクチャの設計(基本機能を実装するための設計)を行うこと。基本的な性能として、通信レートは50Mbps以上とし、共存無線システムとの干渉対策を物理層及びMAC層において施すこととする。(共存無線システムとは通信範囲内に存在し使用周波数帯域が重なる別の無線システムを意味し、①同一利用者の別のBMIシステムや別の利用者のBMIシステム(同一規格)、②同一周波数帯域を全てあるいは部分的に利用する別の規格の無線システム、を想定することとする。)

### (2) BMI用のUWB無線通信技術の国際標準化

IEEE802等における国際標準化を推進し、標準仕様案を策定し、標準化会議の他の参加者との意見の調整を開始すること。最終的には、IEEE802等のアmendメントあるいはリビジョン等として成立させ、標準仕様の実現例のひとつとしてBMI向けのシステムを示すこと。さらにその高信頼性を活かして他分野への応用も図ることにより、より大きな市場に展開可能なものとするのが望ましい。

## 5. アウトカム目標

本委託研究の成果が様々な応用に活用され、最終的に非侵襲BMIの高性能化につながるよう、以下のアウトカム目標を設定する。

2035年：脳科学研究用あるいは薬理的研究用のツールとして製品化される。

頭皮脳波等によるシンプルな外部機器制御システム(非侵襲BMI)が製品化され、様々な場面における社会実装が開始される。

2040年：ALS患者の会話や生活支援用の医療機器として社会実装が実現する。

2050年：医療機器としての実績が積み重ねられ、その適用範囲が脊髄損傷等の患者へと広がる。

皮質脳波と頭皮脳波との対応関係に関する知見が積み重ねられることにより、次世代

ICTとして期待される頭皮脳波等による高度な外部機器制御システム（非侵襲BMI）が製品化され、より多くの場面における社会実装が実現する。

## 6. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数 : 1件

研究開発期間：2022年度（契約締結日）から2025年度

研究開発予算：各年度、総額40百万円（税込）を上限とする。

（提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。）

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

## 7. 提案に当たっての留意点

- 具体的目標に関しては、年次目標も含め、定量的に提案書に記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。
- 研究開発項目1にあるオープンデータ化以外にも、本委託研究の遂行過程で得られる科学的なデータがあれば、広くオープンにするのが望ましい。（開発した高密度皮質脳波電極を国内外のユーザに供給し、皮質脳波に関する知見等のフィードバックを集積し議論を深めることなども含む。）公開できると想定する科学的なデータの有無と、有る場合には公開計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法）を提案書に記載すること。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、到達目標の項目に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、体制、方策等を記載すること。その際、持続的に自走するための計画等についても記載すること。
- 実施体制については、本研究開発の目的に則した実施体制を構築することとし、それぞれの役割を明記すること。
- 本委託研究に人を対象とした実験は含まないこと。
- 本委託研究の実施に当たって、生命倫理に対する取組を必要とする研究開発等、法令・倫理指針等に基づく手続きが必要な研究開発が含まれている場合、講じる措置等を提案書に記載すること。遵守すべき関係法令・指針等に違反して本委託研究を実施した場合には委託契約を解除する場合があるので留意すること。

## 8. 運営管理

- 機構と受託者の連携を図るため、代表提案者は、プロジェクトオフィサーの指示に基づき定期的に連絡調整会議を開催すること。
- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的を開催すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、プロジェクトオフィサーが研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

## 9. 評価

- 機構は、2023 年度に中間評価を実施する。本評価結果により、当該年度で本委託研究を終了する場合がある。
- 機構は、2025 年度に終了評価を実施する。また、機構は、本委託研究終了後に成果展開等状況調査を行い、追跡評価を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

## 10. 成果の社会実装等に向けた取組

- 実用化、事業化、社会実装に向けた出口戦略を明確とすること（委託研究後の事業化等の内容を明確にする）。
- 上記の出口戦略を実現するため、本委託研究で得られた成果のオープン化（例えば、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内特別セッション主催、展示、標準化、オープンソース化等）を行う等、成果の社会実装等に向けて必要な取組を行うこと。

## 11. プロジェクトオフィサー

所属：未来 ICT 研究所 脳情報通信融合研究センター

氏名：鈴木隆文

E-mail：t.suzuki@nict.go.jp

## 参考

- [1] 「ブレインマシンインタフェース基盤技術の研究開発」情報通信研究機構研究報告 vol.64 no.1 (2018)