

研究開発項目

1. IoB インターフェース開発 (IoB : Internet of Brains)

2023年度までの進捗状況

1. 概要

この項目では、さまざまなデバイスを活用して脳活動から思考や精神状態を抽出する技術を開発し、アプリとして社会実装することで、ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) 技術の普及を目標としています。具体的には、ヘッドフォンのようなガジェット型脳波センサーや、携帯電話のカメラ映像などを組み合わせて、日常環境で思考や精神状態を短時間抽出できるアルゴリズムを開発しています。これらを用いて、自分では意識できない日々の体調変化を見える化して自己調節を可能にするアプリケーションや、自分の意図が外部表出できない状態や状況にある利用者の意思伝達を支援するアプリケーションを作成することで、BMI 技術を社会に普及させることを目指します。

2. これまでの主な成果

簡易脳波計の開発

「スタイリッシュなデザインで、身につけることができ、誰でも、いつでもどこでも使える。」をコンセプトに開発中のウェアラブル型脳波センサーに関して電極や筐体構造を改良し、ワンタッチで即座に計測可能なユーザビリティと連続使用に耐える耐久性が向上しました。これにより大規模社会実験をトラブル少なく実施することが可能になりました。



アバターのコントロール

脳性麻痺や神経筋難病の4種類の障がい当事者6名と7カ国の留学生18名たちがこの脳波センサーを使って、人気ゲーム「Fortnite」内のアバターをコントロールしてタイムを競い合う「国際 BMI ブレインピック」に参加し、3人で1体のアバターを操作する「1 by M 体験」を楽しみました。TBS イベント「あそび! 学び! フェスタ」(4日間開催)では、この「1 by M 体験」を小学生を中心に体験してもらい、大好評を得ました(のべ約300名に体験を提供)。



最近ではさらに、Fortnite 内の環境を Semantic Segmentation 技術を使って認識する AI や、ユーザーがおこなっている一連の行動の流れや文脈を認識する AI を組み合わせ「コンポジット AI」を構成し、脳波から汲み取った行動意図から人間の合理的かつ複雑な行動パターンを生成する技術の開発を進めました。これにより、さまざまな障害物がある Fortnite 環境内を思い通りにスイスイ動かせる技術や、X (旧 Twitter) の「いいね!」ボタンを思い通りにプッシュする技術のプロトタイプングを行いました。AI を活用した IoB インターフェースは今後、散策、情報検索、対話といった日常生活を支える技術としての応用を進めます。

アバターを通じた脳のモニタリングとトレーニング

脳の制約からくる困りごとは、音楽家・音楽愛好家の間で広く共有されています。日によってパフォーマンスが安定しない、運動記憶が定着しにくい、過剰訓練によって疾患兆候が悪化する…。こうした課題の解決に向け、昨年度に開発を進めた民生マイクによる演奏時音響の分析や民生カメラによる手指姿勢の分析と見える化アプリのミュージック・エクセレンス・プロジェクト・アカデミー (国内) での評価や、ハノーファー音大、ミュンヘン音大 (海外) との共同研究を進めました。また、音楽演奏中の脳波計測を実施し、演奏の質を左右する皮質活動の特徴を複数捉えることができました。今後は脳波フィードバックによる脳状態の自己調節によってパフォーマンスに変化が生じるか検討します。初期的な検討では既に、運動を開始する前の脳状態を自己調節することで動き出しが迅速化するなどの結果が得られていますが、倫理的な側面も含めて丁寧な議論を進めていきます。また、実験トラウマ記憶を対象に、記憶定着の正常化を図る認知行動アプリ要素技術の有効性についても検証を進め、脳波計測や MRI 計測を通じて脳内機構の解明をすすめています。

3. 今後の展開

今年度は、世界トップレベルの学術論文の出版、国際共同研究活動の実施、技術標準化ができました。今後は産学連携活動をアドオンしながら急進的イノベーションを進めて、「誰もが夢を追求できる社会」の実現を目指します。

研究開発項目

2. IoB ミドルウェア開発

2023年度までの進捗状況

1. 概要

身体の不自由な方々が望む通りの支援を受けられる AI 支援型 Trusted BMI-CA*の構築のためには、脳や身体から CA へ情報を伝達する技術の開発が必要です。また、伝達された情報に基づいてユーザーの望む通りの支援を行えるような CA の技術開発も欠かせません。「IoB ミドルウェア開発」はこれらの「脳と CA の間の通信技術」の開発に向けて、機械学習や情報理論などの数理的手法を用いて取り組んでいます。



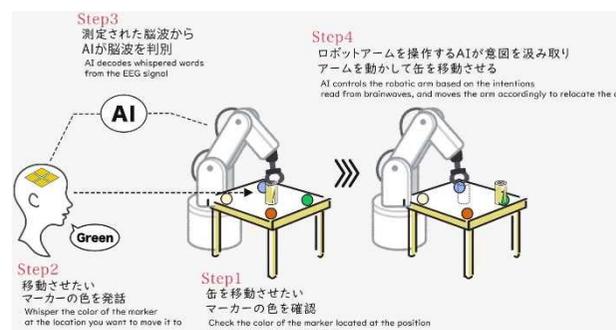
*AI 支援型 BMI-CA : AI の機械学習によって、異種 BMI の組み合わせに応じて、利用者が頭に思い浮かべた言葉や行動を高精度に解読できる Cybernetic Avatar (CA)

「IoB ミドルウェア開発」では、発話意図を読み取って意思疎通を代替する技術から、想起したイメージや身体操作、認知的な負荷や疲労といった言語での伝達が行いにくい情報のコミュニケーションまで、多様な通信ニーズを支援する BMI 技術の開発を目指しています。

2. これまでの主な成果

BMI は多種多様なユーザーによる利用が想定されています。幅広く利用を促進するためには、簡便で安全な方法で

脳活動を計測する必要があります。このような状況から、非侵襲的な脳活動の計測方法である脳波計がよく利用されます。脳波計は利用が簡便で被験者にとっての負担が少なく、実生活での応用が期待されています。しかし現在の技術では、解読できる脳情報が限られているという実用上の問題があります。この問題の解決のために、最先端の AI による BMI の機能拡張に取り組んでいます。



株式会社アラヤの笹井・Arulkumaran グループは、多様なタスク遂行が可能である大規模言語モデルに着目し、限られた脳情報だけで E-mail の返信を行うことができる BMI システムを構築しました。また同グループは、言語入力でロボットアームの操作が可能な AI モデルを活用して、脳活動から解読された言葉でロボットアームを操作し、タスクを遂行することができる BMI の開発も進めています。実際にこの BMI を利用して、遠隔地のロボットアームを操作し、テーブル上の物体を所望の位置に移動させたり、引き出しを開け、調理器具を収納し、引き出しを締める、という多段階の制御にも達成しております。これからは解読可能な脳情報の量を増やすことで、より複雑なロボットア

ーム制御を、ユーザーの細かな制御を介さずに可能な BMI システムの構築を目指しております。

BMI への利用が期待されている脳波計ですが、混入するノイズが多く、現時点での技術では静的な条件で計測することが必須となっております。これに対して東京大学の暦本グループは、脳活動計測に拠らず、カメラを用いて、口唇の動きから発話を解読するシステムを開発しました。このシステムは発声する必要がないので、発声に困難を抱える方や、公共の場所など発声が入りたくない場面においての利活用が期待されています。また BMI 技術が発展した先には、テレパシーのような、脳と脳との情報伝送の実現の可能性も見えてくるかもしれません。これに対して東京大学の大泉グループは最適輸送と呼ばれる方法を用いることで理論的な解決を目指しています。この技術の開発はまだ基礎的な段階ですが、今後は動物実験などを通して実証の可能性の検討が期待されています。

3. 今後の展開

BMI はモノとヒトをつなぐ通信技術として社会実装されることが期待されています。そのためにはこれまでの成果で示したような、ユーザーに負担をかけない計測技術とそれによって得られるデータの最大限の利活用が求められます。今後はこれまでに得られたデータを用いて、より実用性の高い手法を開発していくとともに、データを蓄積することでより安定的に高精度で脳情報を解読する技術の構築を目指していきます。

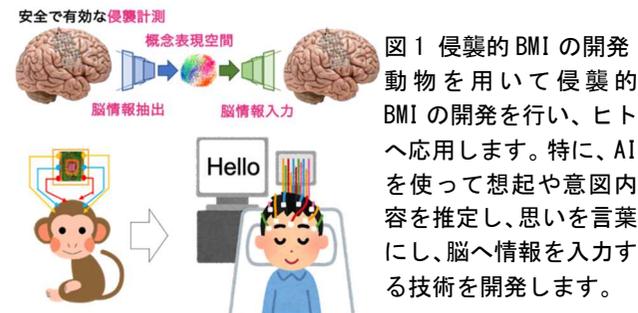
研究開発項目

3. IoB コア技術

2023年度までの進捗状況

1. 概要

高精度な脳信号を安全に長期間安定して計測できることは、すべてのBMI開発のコアとなる技術要素です。特に我が国がめざす高精度のBMIの開発には、侵襲的な計測手法を、安全かつ安定して運用できることが重要となります。IoBコア技術では、ユーザーが希望すれば、安全な外科的手術によって日常生活における能力拡張を実現できるBMI技術を目指し、人や動物を対象にした計測・解読技術の研究開発を行っています(図1)。



これまでに、マーモセットやサルに電極を留置して高精度に長期間安定して神経活動を記録し操作する技術を開発しました。また、動物のコミュニケーションを脳信号から解読することに成功しました。さらに、ヒトが意図した画像を画面に提示したり、意図した言葉を脳信号から解読し、アバターに発声させることにも成功しました。IoBミドルウェア開発グループと共同して、侵襲的脳信号にAI技術を活用した脳解読技術を開発しています。

2. これまでの主な成果

【霊長類の大脳皮質から多様な脳情報の抽出に成功】

東京工業大学の小松三佐子特任准教授らのグループは、音声コミュニケーションを行う霊長類であるマーモセットを対象にして、動物が人のようにオンラインでコミュニケーションを取ることができるシステムの開発に取り組んでいます。これまでに、マーモセットの広域皮質脳波の無線計測システムを立ち上げ、他個体との音声コミュニケーション中の発話・行動・神経活動を計測し、行動カテゴリと発声の種類という異なる情報の読み取りに成功しました。

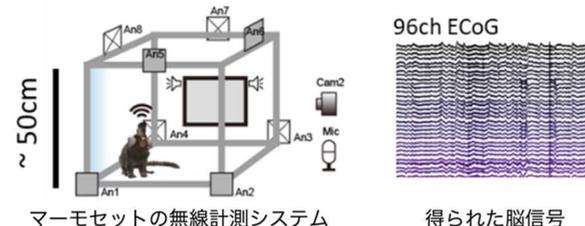


図2 マーモセット広域皮質脳波無線計測と解読 (Komatsu et al., BCI Meeting, 2023 より改変)

【人が意図した画像や言葉を出力するBMIを開発】

大阪大学柳澤琢史教授らのグループにより、患者さんの頭蓋内脳波を用いて、ヒトが画像を想起することで、意図した画像を画面に提示するBMIが開発されました(図3)。今後、IoBミドルウェアグループと共同で、多様な概念を抽出して意思伝達する技術へ応用します。

また、UCSF Edward Chang 教授らのグループにより、患者さんの皮質脳波から、患者さんが意図した文章を推定し、アバターに発声させる研究が進められています。同グループは、病気で発話が難しい患者さんの脳に電極を留置し、皮質脳波を計測しました。患者さんが発声を意図した際の皮質脳波を AI が解読することで、毎分 78 単語の速さで文

章が生成され、これをアバターが発声することに成功しました。(図4)。この成果はBMIによる意思伝達が実用的レベルになったことを示しています。



図4 侵襲 BMI-CA による発声 (Metzger et al., Nature, 2023)

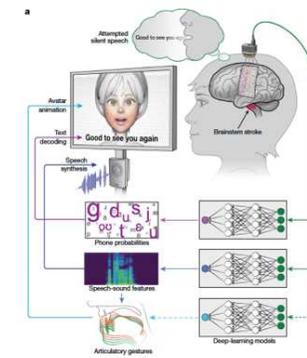


図3 想起内容を出力するBMI (Fukuma et al., Comm. Biol., 2022 より改変)

3. 今後の展開

- ◆ 安定した侵襲脳計測・刺激手法の構築を目指し、マカクサルでの脳-筋肉電極埋め込み技術の長期安定性についての検証を開始し、長期の皮質脳波計測を実行します。
- ◆ 患者さんから計測された皮質脳波から、想起や内的言語に対応した情報を推定し音声や画像を生成する手法を構築します。
- ◆ マーモセット用の XR 空間にマルチモーダルデコーダを接続し、リアルタイムコミュニケーションを実現します。

研究開発項目

4. 共通基盤技術

2023年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発項目では、他の研究開発項目での実施事項を円滑に進め発展させるための基盤づくりを行っています。プロジェクト体制の強化を目指し、海外の研究グループを含め課題推進者の選定と追加を進めています。また、BMI技術に関する適正な理解促進を目標に、ブレインテックガイドブックとエビデンスブックの作成を進めています。BMI-CA 活用における法学的検討においては、神経科学技術のインパクトをもたらす法の理論・実務の変容に関する考察を進めており、当該研究に基づく国際交流や国内に向けた発信も行っています。また、頭皮脳波を活用した非侵襲BMIの日常利用に関する一般理解の促進と、国際対話を通じたレピュテーション向上を目指し、アウトリーチ手法の開発と実践を行っていきます。

2. これまでの主な成果

<共通課題の検討と社会実装に向けた研究開発>

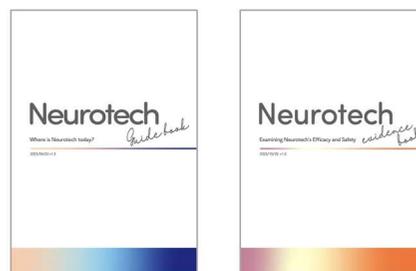
- 国際連携によるプロジェクト強化と侵襲型BMIの研究開発の加速を実現するために、豪州メルボルン大学のGrayden教授とカリフォルニア大学サンフランシスコ校のChang教授との連携を企画しプロジェクトへ参画していただきました。

<Trusted BMIを実現する社会基盤整備>

- 将来的なBMI利用者の社会受容と信頼の醸成に向けて「ブレインテックガイドブック」を作成し、2022年10月に日本語版、2023年3月に英語版を公開しました。
- BMI/ブレインテック製品・サービスが主張する効果効能と安全性に関するシステムティックレビュー※1を8項目完了し、そのうち4項目分の結果を「ブレインテックエビデンスブック」として公開しまし

た。2023年7月に日本語版、2023年11月に英語版を公開しました。

- 国際的なルールメイキングへの貢献を目的としブレインテックガイドブックとエビデンスブックの英語版を公開し、同時に英語記事を配信しました。その内容はUNESCOでのニューロテクノロジーの倫理に関するシンポジウム(2023年7月)にて発表しました。



<BMI-CA活用における法学的検討>

- 研究会「Internet of Brains」-Society(IoB-S)を隔月1回程度の頻度で開催しました。IoB-S研究会開催の概要と成果については、著名法学雑誌である「法学セミナー」に連載記事として公表しました。
- 多数のシンポジウム、学会、刊行物等で、国内外に研究成果を広く公表しました。例えば、韓国ヨンセイ大学におけるシンポジウムの共催と研究報告の実施を通し、積極的な国際発信をしました。

<AI支援型BMI-CA技術の国際アウトリーチ>

- AI支援型BMI-CA技術を用いて、メタバースゲーム「Fortnite」内のアバターを操作しタイムを競う「ブレインピック」を国内在留中の外国人留学生を中心として開催しました。
- 「AI支援型BMI-CAの開発を誰もが行えるプラットフォーム」を、初学者である中高大学生でも扱えるように教材化しました。



3. 今後の展開

- プロジェクト体制の強化のため、海外の研究グループを含め課題推進者の選定を進めます。
- BMIやブレインテック製品・サービスの信頼性を評価する自己認証基準(チェックリスト)を作成し、チェックリストの内容を説明したブレインテックガイドブック vol.2を、日英2言語で公表します。
- IoBなどの新技術の実装場面での倫理・法律・社会的側面の課題を議論し、実装を受容する社会環境を「実践知」の案出により支援を進めます。また、国内外でのシンポジウム・ワークショップの開催や刊行物の発行により成果を発信していきます。
- 海外拠点と連携した国際ブレインピックの開催を進めます。また、作成した教材をブラッシュアップし、中高大学生を対象とした実習教育を引き続き提供します。

※1 公開研究を体系的に収集、評価し、その結果を統合するための科学的方法

研究開発項目

5. 極低侵襲 BMI の研究開発

2023年度までの進捗状況

1. 概要

高度な社会活動を実現してきた人類があらゆる既存の制約や課題から解放されるためには、高度な脳活動の理解、脳活動へのアクセス技術、およびその活用が不可欠です。人類はデジタル技術、量子技術などを理解し、制御することで、優れたサイバー空間を創り出し、実空間とのシームレスにつながりことで、社会の安全安心や利便性を向上させてきました。一方で、脳関連疾患や中枢神経系の疾患患者は増加しており、これまでのデジタル技術、量子技術などでは課題解決の糸口さえ見えていません。これは、高度な脳活動を正確に計測するための計測技術と、脳活動を統計的処理するための計測実績、ブレインビッグデータの構築手段が決定的に不足しているためです。

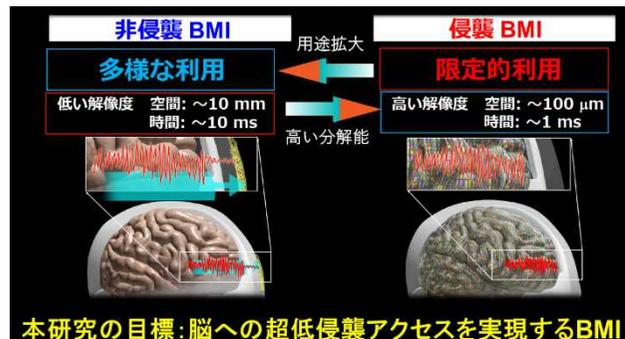


図1. 本研究開発の目標概要

本研究開発では、上記の背景の元に、高い脳情報の計測精度を極低侵襲（開頭手術を必要としない）で実現する「柔軟な極細径 BMI システム」を構築するための研究開発を実施しています。研究背景と従来の課題を図1に示します。

2. これまでの主な成果

本研究開発では、大阪大学産業科学研究所のフレキシブル電子デバイス・システム開発を専門とする研究チームと、大阪大学医学系研究科・大阪大学高等共創研究院の脳外科医、血管治療専門医チームとの連携により研究開発を進めてきました。これまで、下記の二種類のデバイスの実現を目標として開発を進めています。ひとつは、超微細で柔らかい血管内留置デバイスによる「極低侵襲 BMI システム」と、もうひとつは開発する BMI システムを血管内の所望の場所に輸送するための「血管内 BMI 輸送デバイス」の開発です。

本研究開発では、体内の柔らかい血管を傷つけることなく、正確な脳波信号計測を実現するため、図2のような薄膜エレクトロニクス技術を活用した研究開発を実施してきました。具体的には、厚さ 1 µm の超薄膜・超軽量電子デバイスと、伸縮可能な柔軟電極技術、薄膜センサなどを活用し、極低侵襲 BMI システムの実現を目指した研究開発を実施しています。



図2. 超薄膜・軽量電子デバイス (左上)、柔軟電極技術(左下)、薄膜センサ(右)

図3は開発したデバイスが脳内の血管内に配置されている様子を模式的に示しており、外科的開頭手術を必要とせず、血管内治療の技術を活用することによって極低侵襲に脳活動情報へのアクセスを可能とすることを目標として研究を実施しています。現在、開発にあたっている医工連携チームは医療機器研究開発施設においてデバイス検証実験を進めてきています。

加えて、血管内から生体の身体情報に関わる様々な情報

を獲得することを目的として、超薄膜・超軽量電子デバイスの高度化に向けた研究開発も実施しています。

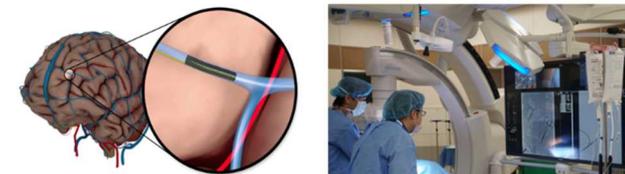


図3. 血管内デバイスの模式図とデバイス検証実験の様子【代表的な論文成果リスト】

- Science 380, 690 (2023) [IF: 63.832]
- Advanced Materials, 36, 2309864 (2024)*表紙類掲載 [IF: 29.4]
- ACS Applied Electronic Materials, Accepted (2024) [IF: 4.7]
- Advanced Materials, Early View (2023) [IF: 29.4]
- Advanced Electronic Materials 2201333 (2023) [IF: 7.633]
- Advanced Science 10, 2204746 (2023) [IF: 17.521]
- Communication Biology 5, 1375 (2022) [IF: 6.548]
- ACS Applied Electronic Materials 4, 6308 (2022) [IF: 4.494]
- Flexible and Printed Electronics 7, 44002 (2022) [IF: 3.768]

* IF : インパクトファクター

3. 今後の展開

現在、本研究開発にあたる医工連携チームは、優れた医療機器研究開発施設において研究開発を実施しています。現在開発している極低侵襲 BMI システムによる脳波計測信号品質の検証、デバイス・システムの検証、長期留置によるシステムの安定性検証などを進める予定です。

また得られた脳波信号を体外に送出する無線送信システムおよび体内に電源を供給する無線給電システムも昨年度方式検討・試作から性能検証・機能性向上に移行します。

これらにより、開頭手術を必要としない極低侵襲で高度な脳活動を長期的に計測できる新型 BMI の実現し、医療やヘルスケアに貢献します。