

研究開発テーマ名

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

## 2022年度までの進捗状況

### 1. 概要

このテーマでは、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、ヘッドホ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. 2022年度までの成果

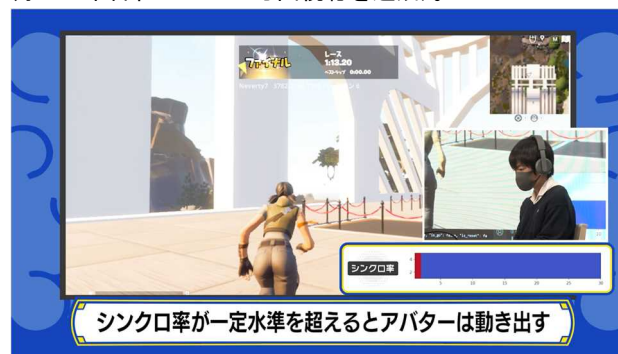
「スタイリッシュなデザインで、身につけることがカッコいい。誰でも、いつでもどこでも使える。」をコンセプトに昨年度開発したウェアラブル型脳波センサーのソフトウェア面の改良を進め、「突発的なノイズ混入への対応」と「脳波反応の個人差への対応」について、波形分類 AI や推論 AI を開発し、システムに搭載しました (国内特許出願完



了、現在 PCT 出願手続中)。

#### アバターのコントロール

脳性麻痺や神経筋難病の当事者と中高生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「BMI ブレインピック」を開催し、大好評を得ました (YouTube で公開後、3 ヶ月で日米合わせて 3.3 万回視聴を達成)。



最近ではさらに、人が無意識のうちにしてしまう「クセ」、たとえば、進みたい方向に体を傾けたり視線を向けたりしている様子をセンサーで読み取って、アバターの BMI コントロール精度を高めることに成功しました。また、アバターの周囲にある障害物を AI に認識させて、フルオートで衝突回避する技術も組み合わせることに成功しました。

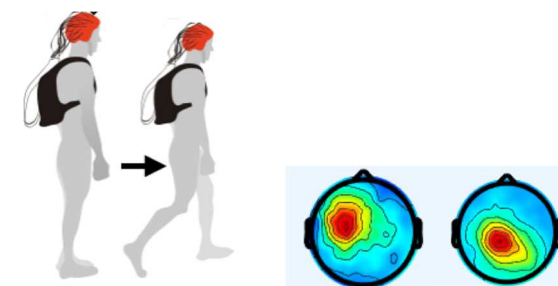
「思い通りにスイスイ動かせる」IoB インターフェースは今後、メタバースだけでなく実環境への応用も考えています。

#### 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

患兆候が亢進する…。こうした課題の解決に向け、民生マイクで収録した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を開発しました。国内ではミュージック・エクセレンス・プロジェクト・アカデミーでの試用を開始し、ハノーファー音大、ミュンヘン音大との共同研究も計画中です。また、トラウマ記憶に悩む当事者を対象に、記憶定着の正常化を図る認知行動アプリも開発し、検証を進めています。

さらに私たちは、精神疾患兆候のある当事者を対象に、機能的磁気共鳴画像、歩容データ、診断データの多次元大規模データベースの整備を進め、歩き方から心身のコンディションを推し量る技術を構築しました。脳波計測が困難な歩行中でも、綺麗に脳活動成分を分析することができるようになってきました。



### 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」の実現と「100歳まで健康不安なく、人生を楽しめる社会」の実現を目指します。

研究開発テーマ名

# IoB ミドルウェア開発

## 2022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)

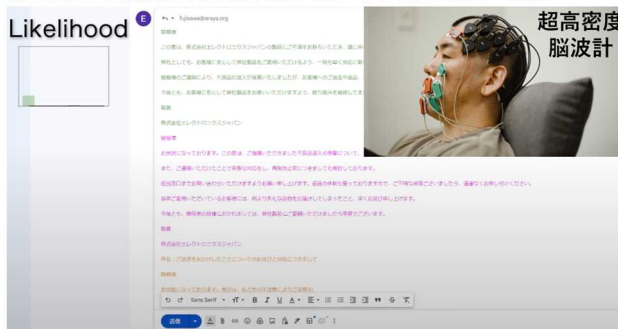
「IoB ミドルウェア開発」では、発話意図を読み取って意思疎通を代替する技術から、想起したイメージや身体操作、認知的な負荷や疲労といった言語での伝達が行いにくい情報のコミュニケーションまで、多様な通信ニーズを支援する BMI 技術の開発を目指しています。

### 2. 2022年度までの成果

### 【ChatGPT 支援型 Brain-Gmail Interface】

生成 AI は、近年目覚ましい発展を遂げております。生成 AI は、与えられた答えから選択するのではなく、自ら答えを生成できる AI であるため、BMI と融合させることでユーザーの機能を拡張することが期待されます。株式会社アラヤの笹井俊太郎 CRO らのグループは、ユーザーとの対話を通して文章を生成できる AI である ChatGPT を援用することで、脳計測によって E-mail の返信を行うことができる BMI システムの構築に成功しました。このシステムは、ユーザーが発話した色を脳活動から解読し、それに基づいて Gmail など、E-mail の web interface を操作できます。さらに、受信したメールの内容や過去の返信履歴から ChatGPT が自動で返信の候補を生成し、その候補の中から所望の返信を選択することによって、半自動的な E-mail の返信を可能にしました。

受信メール・過去の返信に基づき ChatGPT が返信候補を生成  
脳活動から解読した単語(色)に基づき返信を選択・送信



### 【言語入力によるロボットアームの自動制御】

株式会社アラヤの笹井俊太郎 CRO、Kai Arulkumaran チームリーダーにより、脳活動から解読された言語に基づいて、ロボットアームを半自動的に操作してタスクを遂行することができる、AI 支援型 BMI の開発が進められました。これまで言葉で指示された内容に基づき自動的にロボットアームを制御することで、ユーザーによる細かな制御が必要なくなるような AI エージェントの開発を進めてきました。この AI エージェントへユーザーの脳活動から解読された単語をインターネットを介してインプットすることで、遠隔地に存在するロボットアームによってタスクを遂行できることを示す実験に成功しました。

脳活動から解読された言葉で遠隔地のロボットアームを自動制御



### 3. 今後の展開

今後は現在開発中の AI 支援型の BMI システムの精度を高めるとともに、発話や身体に不自由を抱える方々に実際に使用していただくことを通して、実証可能性やユーザーエクスペリエンスの検証を行っていきます。



研究開発テーマ名

# IoB コア技術

## 2022年度までの進捗状況

### 1. 概要

安全に脳活動を計測できることは、すべてのBMI 開発のコアとなる技術要素です。特にIoB がめざす高精度のBMI の開発には、脳に電極を刺入するといった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)。

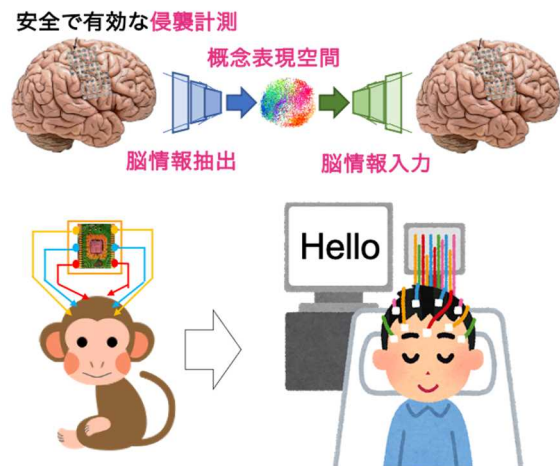


図1 侵襲的 BMI 開発の概要

動物を用いて侵襲的BMIの開発を行い、ヒトへ応用します。特に、AIを使って想起や意図内容を推定し、思いを言

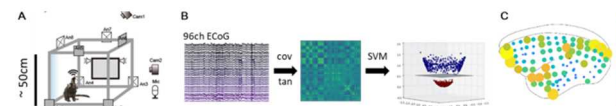
葉にしたり、脳へ情報を入力する技術を開発します。

これまでに、マーモセットやサルに脳に電極を刺入して高精度に神経活動を記録し操作する技術を開発しました。長期間安定した神経活動計測を得ることで、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。また、ヒトが想起した内容を画面にて提示することにも成功しています。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、AI 支援型Trusted BMI-CAを構築しています。

### 2. 2022年度までの成果

#### 【霊長類の大脳皮質からマルチモーダル情報の抽出に成功】

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。これまでに小松グループは、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・神経活動を計測することに成功しました。2022年度はそれらのデータから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、連合野と呼ばれる大脳皮質高次の領域がどちらの情報の読み取りにも共通して寄与していることを発見しました。本研究はこれまで単一モダリティで開発されてきた BMI のマルチモーダルへの拡張の可能性を示しています。これらの成果は BMI の国際学会で報告されました。

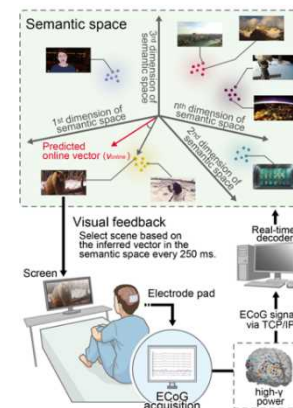


Komatsu, Sato, Yoshida, Tsunada, Sasai., 2023 BCI Meeting, Belgium

図2 マーモセット広域皮質脳波無線計測と解読

#### 【人が思い描いた画像を画面に表示することに成功】

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安定的に計測する技術の構築が進められています。同グループはこの手法を用い、ヒトの大脳皮質の視覚に関連した領域から高精度な頭蓋内脳波を計測し、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できることを示し専門誌にて報告しました。これはヒトの意図を想起や概念として抽出して伝達する新しいBMIとなります。特に、ヒトの想起内容を推定するために、word2vecと呼ばれる手法を使い、単語をベクトルに変換することで、概念をベクトル化して、頭蓋内脳波から推定しました(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伝達する技術を開発します。図3概念空間を介した想起内容の画像化



### 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、そこでのリアルタイムコミュニケーションの実現を目指します。

研究開発テーマ名

# 共通基盤技術

## 2022年度までの進捗状況

### 1. 概要

本研究開発テーマでは、他の研究開発テーマ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。これまでに、Brain Assistant<sup>\*1</sup>やX Communication<sup>\*2</sup>の実現に向けた新規技術に関して、文献ベースの探索・リストアップを行いました。その中でもステントロード技術やナノニューロバイオロジーの分野などでの新規技術の開発を目指し、海外の研究グループを含め課題推進者の選定を進めています。

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・エビデンスブックの作成を実施しています。これまでに一般向けガイドブックの日本語版並びに英語版を完成させ、2023 年度にはエビデンスブックも公開する予定です。さらに、BMI-CA 活用における法学的検討においては、法理論・実務の双方において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なっています。

### 2. 2022年度までの成果

#### <プロジェクト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に向けて、ステントロードを生み出した豪州メルボルン大学の Grayden 教授のプロジェクトへの参画を推進しました。
- 深層学習を用いて脳波 (EcoG) の特徴から脳の計測部位についての予測精度を向上し、Conference on Cognitive Computational Neuroscience にて発表し

ました。

#### <Trusted BMI を実現する社会基盤整備>

- 「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。また、日本語版公開に合わせて公開ワークショップを開催し、英語版公開には国際的なプレゼンスを向上させるため、サイエンスニュース配信サイト Eurekalert! で紹介記事を配信しました。
- BMI 製品の有効性と安全性に関するシステムティックレビュー<sup>\*3</sup>の結果は、1 件が査読付英文学術誌に採択され、1 件がプレプリントサーバーにて公開されました。



#### <BMI-CA 活用における法学的検討>

- 研究会“Internet of Brains”-Society (IoB-S) を月次開催し、技術開発の最先端をヒアリングするとともに、ELSI 課題について議論し、ELSI レポートを作成しました。
- 著名法学雑誌「法学セミナー」での 2 カ年連載のうち、技術者との対話篇の計 12 回を終了しました。
- 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、IoB-S の主催するオープンフォーラムを計 3 回実施するほか、テキサス大学オースティン校で開催された 2023 Global Summit on Constitutionalism にて、Concurrent Session を主催し、

IoB-S の活動内容や研究内容について報告を行いました。



### 3. 今後の展開

- 国際連携を強化する一環として、海外の課題推進者の選定と追加を進めます。
- ブレインテックエビデンスブックの日本語版・英語版を作成し、公開します。
- AI 支援型 Trusted-BMI の利用者の安全性・信頼性確保に向けて、新たな技術の探索・同定を行います。
- AI 支援型 Trusted-BMI 技術の倫理・法律・社会的側面を考慮し、侵襲・非侵襲・非接触技術における課題を抽出し、実証シナリオを構築します。
- 国内・国際連携の強化に向けて、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。

<sup>\*1</sup> Brain Assistant: ユーザーの精神・身体状態を把握して健康管理に役立たせる AI 支援型 BMI-CA のアプリケーション

<sup>\*2</sup> X Communication: 思い浮かべた概念・イメージを解読し、サービスロボット、パーソナルモビリティ、VR 空間内アバターを操縦したりする AI 支援型 BMI-CA のアプリケーション

<sup>\*3</sup> 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



研究開発テーマ名

# 極低侵襲 BMI の研究開発

## 2022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膨大に増加しており、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。

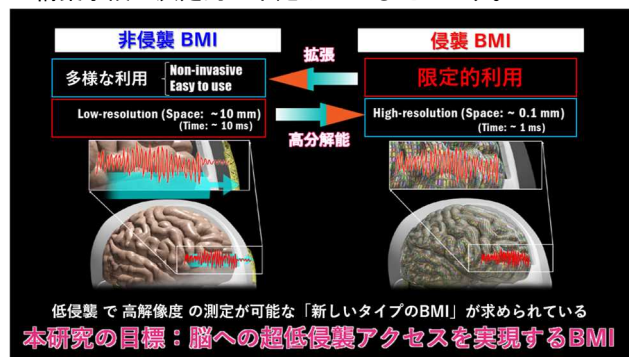


図 1. 本研究開発の目標概要

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。

### 2. 2022年度までの成果

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。

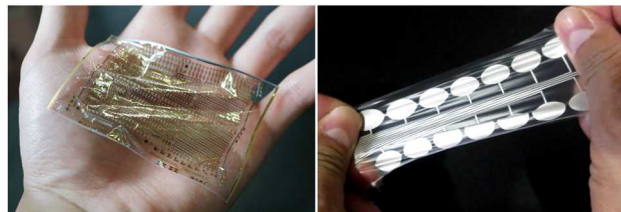


図 2. 超薄膜・軽量電子デバイスと柔軟電極技術

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、上図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きました。

これまでの研究開発成果の具体例としては、生体適合性を有する半導体材料を利用した信号増幅回路の実現 (Advanced Science 2022:IF 17.521)、光技術を利用したフレキシブル電子回路の特性制御技術の開発 (ACS Applied Electronic Materials 2022:IF 4.494)などを原著論文として報告しました。その他の論文成果を以下に記します。

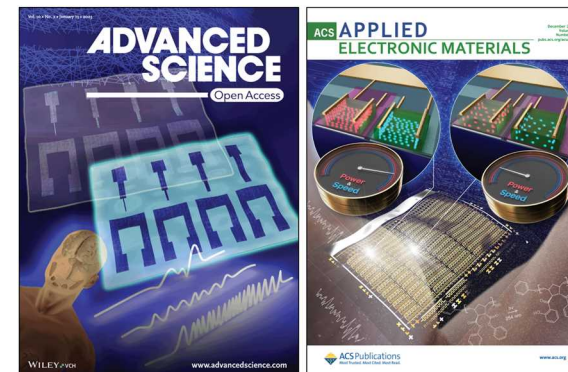


図 3. 論文成果と Cover Picture への採用

- Science 380, 690 (2023) [IF: 63.832]
- Advanced Electronic Materials 2201333 (2023). [IF: 7.633]
- Advanced Science 10, 220474 (2022). [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]

### 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。

また得られた脳波計測信号を体外に送出する無線送信システムおよび体内の計測装置に電源を供給する無線給電システムの開発も並行して進めます。

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。