



ムーンショット目標 1

2050 年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から
解放された社会を実現

実施状況報告書

2022 年度版

身体的能力と知覚能力の拡張による

身体の制約からの解放



金井 良太

株式会社国際電気通信基礎技術研究所

事業開発室



研究開発プロジェクト概要

人の意図が推定できれば、思い通りに操作できる究極の CA が可能になります。推定には脳活動の内部だけでなく脳表面情報や他人とのインタラクション情報も重要な手がかりになります。これらを AI 技術で統合し、ブレインマシンインタフェース（BMI）機能を持つ CA（BMI-CA）を倫理的課題を考慮して開発します。2050 年には、人の思い通りに操作できる究極の BMI-CA を実現します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/12_kanai.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
牛場 潤一	慶應義塾大学 理工学部	教授
古屋 晋一	株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所	研究員
渡邊 克巳	早稲田大学 大学院基幹理工学研究科	教授
中澤 公孝	東京大学 大学院総合文化研究科	教授
小泉 愛	株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所	アソシエートリサーチャー
笹井 俊太郎	株式会社アラヤ 研究開発部	フェロー
林 隆介	産業技術総合研究所 人間情報インタラクション研究部門	主任研究員
大泉 匡史	東京大学 大学院総合文化研究科	准教授
Arulkumaran Kai	株式会社アラヤ 研究開発部	チームリーダー
暦本 純一	東京大学 大学院情報学環	教授
小池 英樹	東京工業大学 情報理工学院	教授
小松 三佐子	東京工業大学 科学技術創成研究院	特任准教授
西村 幸男	公益財団法人東京都医学総合研究所 脳機能再建プロジェクト	プロジェクトリーダー
柳澤 琢史	大阪大学 高等共創研究院	教授
金井 良太	株式会社アラヤ	CEO
武見 充晃	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	特任講師
駒村 圭吾	慶應義塾大学 法学部	教授
関谷 毅	大阪大学 産業科学研究所	教授
中村 元	大阪大学 大学院医学系研究科	講師

1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

(1) 研究開発プロジェクトの概要

脳波や生体情報に対して AI 技術を適用することで、利用者が頭に思い浮かべた言葉や行動を読み取り、意図に応じた CA 操作を実現する。この Brain Assistant (BA) 技術により、サイバー空間で買い物・情報検索などの生活自立行動を可能とする。さらに、外科的手術を要する侵襲型 BMI 及び極低侵襲 BMI を活用することで、身体または精神に障害を抱える利用者においても、コミュニケーションの速度や CA 操作技術において、脳や身体の制約を超えた能力拡張を実現する。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

研究開発項目1:IoB インターフェース開発:意図推定技術により、サイバーフィジカル空間における対話、購買、散策、情報検索といった日常行動の支援に必要な十分な非侵襲 BMI の開発を実施してきた。当該年度においては、中目黒の IoB リサーチスタジオを最大限活用し大規模な EEG-BMI データセットの収集が実現できた。これを用いて、頭皮脳波の個人差に合わせて対応するアルゴリズム、及び、脳状態推定が不確かな場合に判断を AI 側に判断を委ねる技術を開発し、開発中のヘッドフォン型脳波計 PLUG と連携させ、AI 支援型 BMI-CA のプロトタイプ開発が進んだ。本成果は公開イベントにて一般利用者に体験していただき実証実験を進めている。

研究開発項目2:IoB ミドルウェア開発:2025 年にむけて、想像した行動や言語といった「概念」を可視化・可聴化するシステムの実装に取り組んできた。研究開発項目3との連携により、マーモセットにおける行動意図の予測技術が開発できたことで、仮想空間上のアバターでマーモセットの行動を再現することに成功している。脳と脳の間での情報転送を実現するために、脳ごとに固有の情報表現を相互に翻訳可能とする技術開発にも成功しており特許出願済みである。

研究開発項目3:IoB コア技術:AI 技術との融合による侵襲型 BMI の性能向上に向けて、頭蓋内脳波による意図・想起内容の推定と意思伝達技術の開発を、実験動物(マーモセット、マカクザル)と人間のてんかん患者で並行して進めている。侵襲的脳計測の利点を活かすことで、研究開発項目2との連携により、想起した内容や運動意図の解読において高い性能を実現できており直感的な感覚を直接に伝える Think Communication (TC) 技術の開発が順調に進捗している。

研究開発項目4:共通基盤技術開発:AI 支援型 Trusted-BMI の利用者の安全性・信頼性確保に向けた新規技術探索・同定とブレインテックガイドブック日本語版・英語版の公開を実施した。エビデンス整理に関しても順調に調査が進捗し成果の論文発表も進んでいる。侵襲・非侵襲・非接触技術における課題の抽出や実証シナリオの構築を行い、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といった活動成果が得られている。

研究開発項目5:IoB 極低侵襲技術開発:本項目は、当該年度の後半に発足し、すでにブタを用いた動物実験により、ガイドワイヤを急性実験向けの電極として活用することで血管内脳波の計測が実現できた。体性感覚誘発電位(SEP)と視覚誘発電位(VEP)の取得を達成し、血管内から脳活動電位を計測可能であることを示すことができた。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

研究開発プロジェクトのガバナンス

プロジェクト全体の管理・運営は PMO チームを設置し実施している。プロジェクト内では BA チームと TC チームを構成し、それぞれを課題推進者の牛場と笹井がサブ PM (SPM) として取りまとめを行った。この体制により課題推進者間の連携が促進されプロジェクト目

標へ向けた一貫した取組みが促進できた。当該年度においては新規に研究開発項目5を立ち上げ大阪大学の関谷と中村を課題推進者として迎え入れ「極低侵襲 BMI 開発チーム」を組成した。各チームは、毎月の進捗報告会にて研究開発の状況をプロジェクト全体へ発表を行い、PMがそれにフィードバックする形で、マイルストーンに向けて研究開発の管理を行った。PMと課題推進者との間での 1on1 ミーティングも随時実施することで、新規計画の創出や課題の発見の機会を設けた。

研究成果の展開方法

プロジェクト全体としての研究成果は主に学会や論文を通じて公表を行ってきた。また、PMは各課題推進者から定例の進捗報告会や 1on1 ミーティングにおいて研究開発の進捗の報告を受け、社会実装に向けた成果の特許出願の可能性について検討を行ってきた。プロジェクトにおいて新規技術の開拓を目指し、技術動向調査、市場調査等も実施し、革新的な技術候補が発見された場合には、新規課題推進者の抜擢の検討を行った。研究成果として得られた BMI-CA のプロトタイプをユーザー対象となる一般利用者に体験してもらうため公開イベント(「ブレインピック」)を開催することで、学術的研究に留まらない成果の展開を行った。

広報、アウトリーチ

R4 年度までの研究成果の情報発信の機会として公開シンポジウムを開催し、YouTube チャンネルでの動画配信も実施した。社会との交流を深めるためのプロジェクトも始め、特に BMI ブレインピックと NeuWorld プロジェクトでは、中高生なども含む一般参加者が実体験や創作を通じて本プロジェクトの取組みに触れるコミュニケーションを実現した。ウェブサイト運営と SNS の活用により、研究内容や人材募集、イベント告知を行った。Twitter フォロワーは 1000 人を超え多様な層にリーチする広報活動が実施できた。

データマネジメントに関する取り組み

研究開発項目ごとに実験系の研究においてはデータ収集を実施してきており、データ取得の完了したものについては論文出版と合わせて積極的なデータ公開を実施してきた。特筆すべき成果としては、研究開発項目1において脳情報シーケンサーを使った 100 名超のデータサンプリングを完了し、現在査読中の論文とともに非侵襲 BMI 脳波データとしては最大規模の公開を進めている。プロジェクト内での連携加速を目的としたデータ共有は行っており、特に研究開発項目3で得られた自由行動下のマーモセットの皮質脳波や人間の患者での侵襲 BMI データを研究開発項目2等の数理 AI 研究者と共有し共同研究が進んでいる。

2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目1:IoB インターフェース開発

研究開発課題1-1-1:非侵襲 BMI による精神・身体状態の推定

当該年度実施内容:

(テーマ1)脳情報オミックス解析による精神、身体状態の推定アルゴリズムの開発

本年度は当初計画通り、前年度に開発し実働性の検証が完了した「脳情報シーケンサー」(注:脳波、筋電図、眼球運動などの多様な生体由来信号を時間同期的に収録できるシステム)を利用して、100名超のデータサンプリングを完了させた。このデータは Scientific Data 誌にオープンデータとして公開を予定しており、現在査読中である。取得したデータを基にオミックス解析を実施し、万人に共通して利用可能な、頭皮脳波に含まれる周波数成分である 8-13Hz のアルファ帯における被験者固有の律動周波数である個人アルファ周波数を 26 秒間の安静時脳波から同定できるアルゴリズムを開発した(国内特許出願済)。さらに、脳情報シーケンサーを使った実験により、視線情報と頭皮脳波信号を組み合わせ、さらに VR 空間の 3 人称視点での画面のマルチモーダルデータを実時間的に信号処理して高精度なアバター操作を実現する新規 Brain-machine interface アルゴリズムを完成させた。これにより達成した「無校正(自動校正)、即応、高精度な精神、身体状態の読み出しアルゴリズム」の完成させたドラフトを使って、VR 空間内の自由散歩する様子を日本科学未来館やデロイトトーマツ D-Space などの一般公開スペースに時限設置した。このデモンストレーションを通じて、AI 支援型 BMI-CA(1 台)の制御における主体感と実用精度を実証的に明らかにし、脳と CA の統合の実現に必要な技術要件を、固定時間で確定的な脳波信号判定を行うアルゴリズムと AI による補完的な動作により自己の主体感を維持しつつ快適な動作を実現するアルゴリズムであると特定した。

(テーマ2)脳疾患の予防と有病社会復帰者の脳状態管理を実現する非侵襲 BMI の社会実験

装脱着が簡便な非侵襲 BMI デバイスに精神・身体状態の推定アルゴリズムを組み込み、ユーザーが日常環境のなかで精神・身体状態を把握して、健康管理に役立てたり(Brain Assistant)、サービスロボット、パーソナルモビリティ、VR 空間アバターを操縦したりする(Think Communication)アプリケーションを、一般商用レベルの UI/UX 下で構築した。有病社会復帰者コミュニティおよび一般市民コミュニティと連携して、開発したアプリケーションを配布し、大規模な社会実験を実施した。さらに対外的な社会啓蒙を目的として有病社会復帰者コミュニティと連携した公開実証実験行事(IoB MeetUp! Vol.1)を実施した。

令和 4 年度は、前年度に完成させた脳状態管理アプリ、脳コンディショニングアプリ(ドラフト 1)の可用性を確認して、複数の課題推進者に配布するための量産(10 台前後)を実施した。課題推進者との協議を踏まえて、身体障害者フィールドおよびスポーツフィールド(牛場)、音楽演奏愛好家/演奏家フィールド(古屋)、障害者スポーツフィールド(中澤)、e スポーツを含む若年成人フィールド(渡邊)、精神不安フィールド(小泉)における利用想定シーンを特定し、POC 実験のためのリサーチャー・サクセス・サポートを実施した。研究対象コミュニティについては、課題推進者が保有するタッチポイントを活用して特定し、対象団体との協力覚書を結ぶなどの方略にて、確実な確保に努めた。

課題推進者:牛場潤一(慶應義塾大学)

研究開発課題1-1-2:非侵襲 BMI による精神・身体状態の調節

当該年度実施内容:

(1)多様で高解像度な精神・身体の状態の推定・調節が可能な BMI 技術の開発

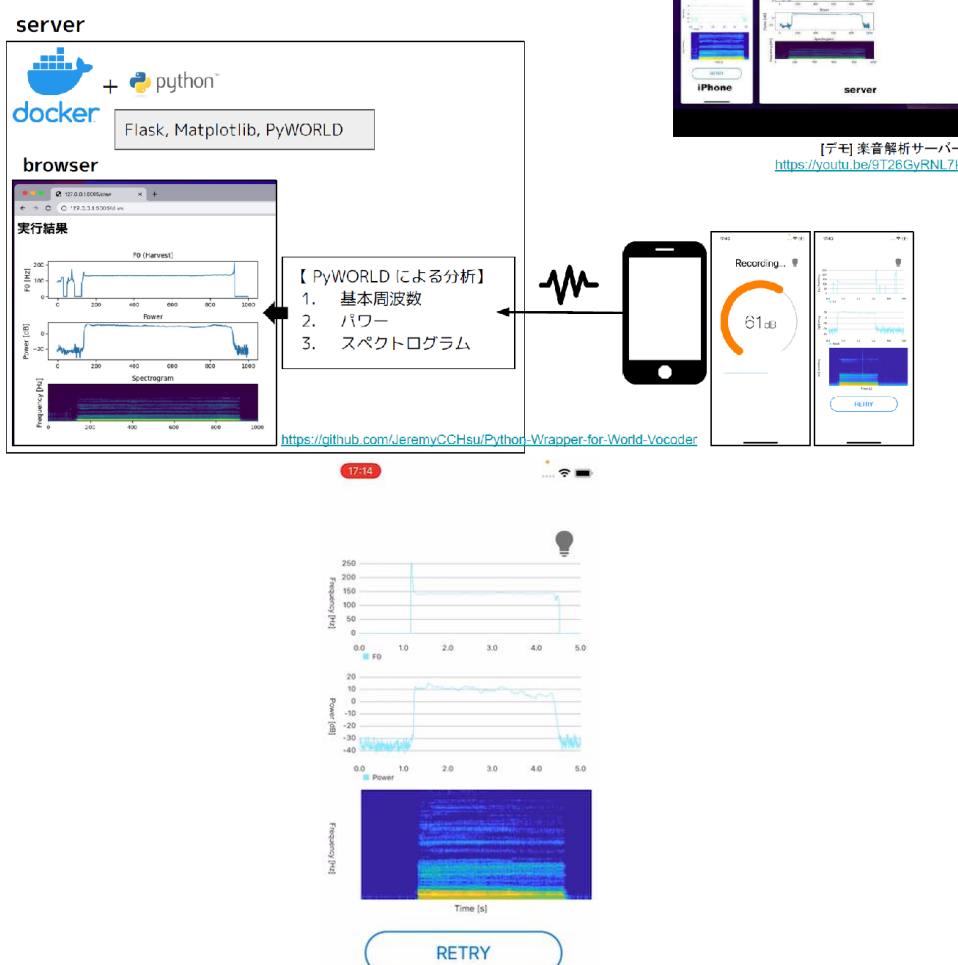
● 非侵襲・非接触の高精度脳情報同期計測システムの前処理・特徴抽出・可視化機能の完成. 音楽家の Ground Truth データの収録を開始

脳波、筋電信号、音響信号、鍵盤位置情報、カメラ画像情報を 2 ミリ秒以下の時間精度で同期計測可能なシステムを構築し、鍵盤運動の特徴量の自動抽出・可視化、身体の姿勢情報の抽出・可視化、打鍵指(運指)の自動推定・可視化、および特徴量の比較・可視化機能を実装した(但し、カメラのみ機器のサンプリング周波数に依存)。さらに当該システムを用いてプロ音楽家の Ground Truth データを収録した。

● 民生デバイスのマイクを用いた計測・評価・可視化システム

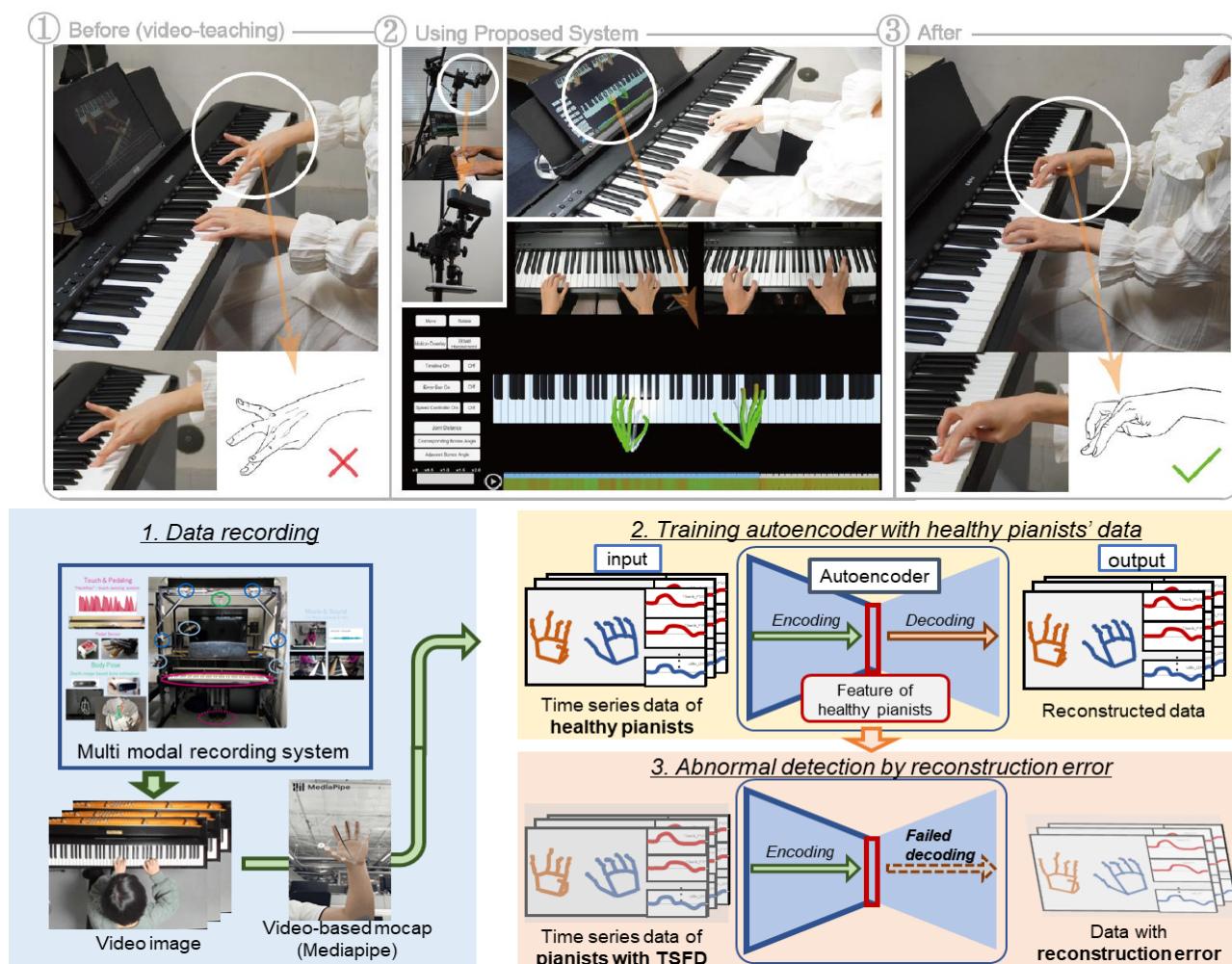
スマートフォンに内蔵されたマイクから収録した音響信号に対して、自動でクリッピング検知・通知を行う他、基本周波数や高次音響特徴量の抽出・可視化・保存を自動で行うアプリを開発し、管楽器奏者の音響信号計測を開始した。さらに、口唇部に局所性ジストニアを罹患した管楽器奏者(アンブシュアジストニア)の音響特徴量の異常を同定した(Lee et al. under review)。

システム構成図



● 民生デバイスのカメラを用いた計測・評価・可視化システム(小池グループと連携)

民生カメラから得られた画像情報に基づき手指 3 次元姿勢を高精度に推定する深層学習モデル(小池グループと共同開発)を用いて、技能に関連する特徴量を可視化するトレーニングシステムを開発し、熟達効果の POC 検証に取り組んだ。その結果、可視化フィードバックトレーニングを行った学習者の技能が有意に向上した(Ruofan et al. 2023 CHI)。カメラ画像から推定した手指姿勢情報とオートエンコーダーを用いた異常検出により、過剰訓練に伴う技能失調(局所性ジストニア)を同定した。これらのシステムのスマートデバイスへの実装に取り組むと共に、ARシステムを用いたトレーニングシステムの開発に取り組んでいる。



(2) 訓練に伴う心身の不調の推定・調節を実現する AI 支援型 BMI-CA の社会実験

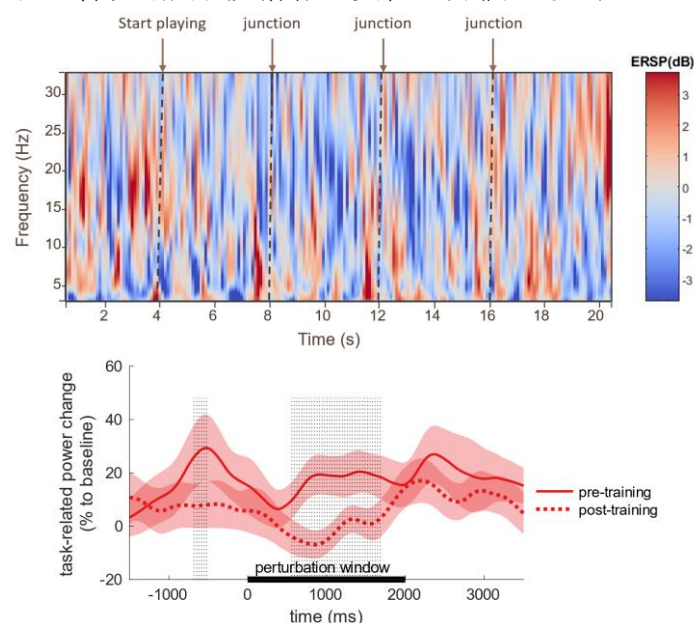
以下の実験研究を通して計 100 名を超えるピアニストのデータ収録と心身の状態や不調に関する生体情報特徴量の同定を行った。

● ピアニストの非侵襲脳情報に基づく脳状態の安定性の推定

ピアニスト 15 名および非音楽訓練経験者 15 名のピアノ演奏中に、聴覚フィードバックに外乱を与え(遅延聴覚フィードバック)、その応答を身体運動計測と脳波計測を用いて評価することで、脳状態の安定性評価を行った。その結果、ピアニストは運動および脳波の両方で、外乱の影響が非音楽家より有意に小さいことに加え、機械学習を用いた解析の結果、脳状態の頑健性に関連する前頭皮質領域の脳波情報を同定した。

● ピアニストの非侵襲脳情報に基づく運動記憶の呼び出し(Memory Retrieval)の頑健性の推定とトレーニングの開発

ピアニスト 30 名に複数のチャンクから成る指運動を記憶させた後、ピアノを用いた想起課題を実施し、その最中に演奏した音とは異なるピッチの音をフィードバックする外乱を与えることで、記憶想起の頑健性を評価する実験を行った。脳波信号解析の結果、連続運動のチャンクの切れ目において、前頭皮質の θ 波律動の増大が認められた。これは、記憶想起の負荷を示すバイオマーカーと考えられる。さらに、チャンク同士を繋ぐトレーニングを事前に行うことにより、この θ 波律動の活動が低減されることが明らかとなった。これはトレーニングによる記憶想起の頑健性の向上を示唆している。現在、心的緊張に伴う当該脳波情報の変化の評価に取り組んでいる。



● 管楽器奏者の非侵襲脳情報に基づくパフォーマンスの調子の推定

管楽器奏者が演奏する際、その準備段階の非侵襲脳情報を脳波で計測すると共に、演奏中の楽器音の音響信号を計測する実験を、29 名のプロ管楽器奏者を対象に実施した。得られた脳波信号からアルファ、ベータ等の各帯域の信号を抽出し、大脳皮質の神経ネットワークの機能的柔軟性を算出する他、音響信号から音色に関する高次音響特徴量を抽出する解析パイプラインを開発した。脳波から得られた大脳皮質柔軟性指標と音響特徴量を用いた回帰分析の結果、聴覚関連脳領域と他の大脳皮質領域とのネットワークの柔軟性が高い音楽家の方が、音色をより正確に維持できることが明らかとなった。分散説明率(線型回帰式のモデルが「観測データの分散」のうちどれくらいの割合を説明するかを表す指標)は 80%を達成。

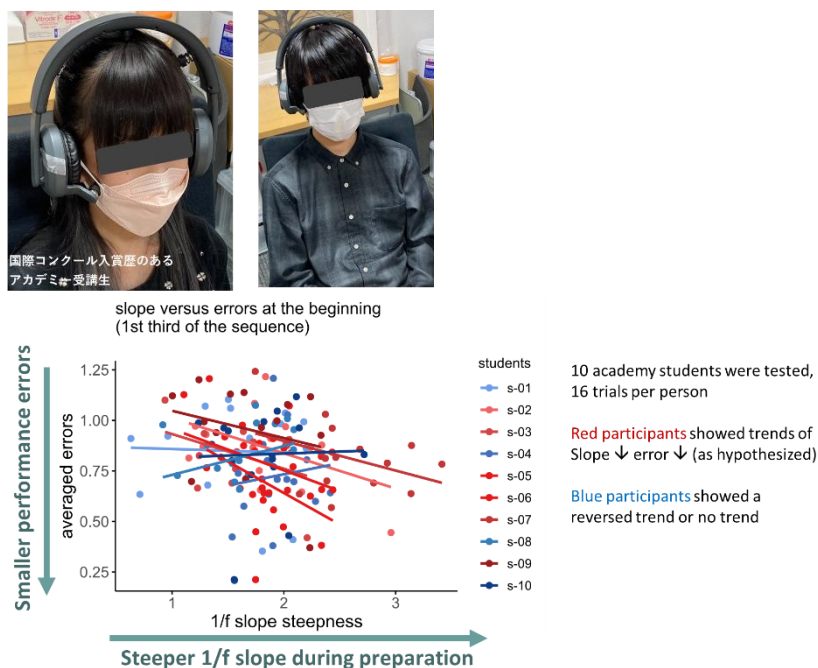
● 自己教師あり学習を用いたピアニストの音色の判別(暦本グループと連携)

ピアニストが異なるタッチで弾き分けた際の音響情報から音色の違いを判別できるかを、15 名のピアニストの音響情報を自己教師あり学習により評価した(Nakamura et al. under review)。その結果、音の明暗の判別精度は 79%と、音響信号から音色の判別が可能であることや、判別に関わる音響イベントの同定が明らかとなった。

● ピアノアカデミーにおける簡易脳波計を用いた調子の推定(牛場グループと連携)

牛場グループが開発した簡易脳波計測システムを用いた社会実験として、ソニー CSL 主催ピアノアカデミーに参加するジュニアピアニストらの脳活動を計測した。日本のトップジュニアピアニストであるアカデミー生徒ら 10 名の演奏直前の安静時脳波を

計測し、その後に規定課題を演奏させて演奏技能を評価することにより、技能に関連する脳波情報の同定に取り組んだ。その結果、アカデミー生の 60%において、動作エラーと脳波特徴量(1/f ゆらぎの周波数ゲイン)の試行間の相関が認められた。当該脳波特徴量は、大脳皮質のノイズの大きさを反映することが先行研究から知られているため、運動精度のコンディションを示すバイオマーカーとなる可能性が示唆された。しかし、残りの 40%の受講生を調べた結果、注意や年齢を統制する必要が示唆されたため、パラダイムの修正および結果の頑健性の検証に取り組んでいる。



● ピアニストの非接触脳情報に基づく蓄積疲労の推定(牛場グループ、武見グループと連携)

長時間のトレーニングに伴う蓄積疲労の予兆を捉えることは、トレーニング効果の最大化に不可欠であるため、4 時間に及ぶ指運動トレーニング中の筋活動や力発揮等の非接触脳情報を計測する実験を、ピアニスト 30 名を対象に実施した。現在、疲労を予測する生理マーカーの同定に取り組んでいる。

課題推進者: 古屋晋一 (Sony CSL)

研究開発課題1-2-1: 非接触表面情報による心身状態の推定

当該年度実施内容:

(1) 表面情報からの心身状態の推定に向けた知的基盤技術

令和 4 年度には、令和 3 年度に行った研究課題遂行時に用いる表面情報計測パラメタ (時間解像度等) の絞り込みに基づき、IoB リサーチスタジオに設置されている「生体信号オミクス解析用脳波計測装置 POD」への非接触情報の組み込みを進めた。POD 内での姿勢や表情及び眼球運動など、映像から得られる非接触情報を想定し、生体信号オミクス解析用 POD に対して、非接触心理状態推定技術のうち視線と身体動揺が有効活用できる可能性を見出し、BMI ストリートビューを模擬した状態における意図しない視線や身体の動きを計測する実験を開始した。加えて、課題の学習や順応によってどのように、非接触情報が変化するのかなどの知見も蓄積するため、新しい認知課題 (特に、将来的な複数 CAs 操作の POC に必要となるマルチタスキングを想定した課題) の探索も開

始した。加えて、令和5年度に想定している POD の別サイトでの複製に向けて、外部施設との折衝を行い、他の研究室との共同という形で継続することができるようになった。これによって、複数 POD をネットで繋いだ研究開発を開始する目処をたてることができた。

これらの牛場グループの POD 拡張に向けた基盤技術の開発に加え、将来的に AI やアバターに対してヒトが搾取する状況の研究、心拍と対人空間や感情推定のバイアスの関係、表情の判断や共感に関するモデルの研究などを取りまとめるとともに、小泉グループと共同で恐怖に対する身体反応の計測研究など、将来的に POD が実働した時に活用できる意識に上らない反射的な身体反応の知見の蓄積も進めた。

(2) 日常生活環境下での心身状態非侵襲推定に向けた社会実験

令和4年度には、前年度においてターゲットとして想定した被験者プールを用いて、現存する心身状態推定デバイスや BMI デバイス（特にヘッドフォン型ワイヤレス脳波計）使用時のユーザーの行動・動作・体験のフィールド調査を開始した。令和4年の晩秋にかけてまでは、まだコロナ禍の影響が残っていたものの、学生を対象とし被験者数N=5の日常生活での継続的試用を開始できた。これらデータの分析を通じて、ヘッドフォン型ワイヤレス脳波計を使い続ける時にユーザー側に起きる変化を記録しつつ、日常生活状況のどのような時に非侵襲非接触型の信号が取りやすいのかも確認していく予定である。N=1ではあるものの、BMI 技術への親和性が高いことが想定される e-Sports 関係者（高頻度ゲームプレイヤー）からのデータの取得も開始できた。

日常生活環境下での BMI 社会実験においては、ELSI の観点と社会的受容性を議論する場として、国際シンポジウム（「人工知能（AI）とヒト：多文化的視点から見た科学とフィクション」@ベルリン日独センター）を5月に開催した。加えて、本グループの構成員のうち研究員1名と博士課程大学院生1名が、武見グループの BMI メタアナリシス分析とガイドブック作成に参加し、成果として発表されている。

課題推進者：渡邊克巳（早稲田大学）

研究開発課題1-2-2: 非接触表面情報からの身体運動を伴う場合の心身状態の推定

当該年度実施内容：

(1) 表面情報からの身体運動を伴う場合の心身状態推定に向けた知的基盤構築（令和4年4月～令和5年3月）

1. 当該年度は令和3年度までに収集した歩行データ処理に誤りが見つかったため、歩行データ処理のためのプログラム修正と再解析に多くの時間を要した。しかし、継続的にデータ収集を本年度も進め、精神疾患（うつ病）において歩行時の腕振り振幅が小さいこと、上体の振動が少ないこと、歩行速度が低いことが確認された。fMRI 解析から、うつ群においては感覚運動野内の結合度が高い人ほど歩行速度が有意に低い、との結果が得られた。現在までに得られた結果をまとめ論文化を進めている。
2. 当該年度は高密度脳波と MRI 脳構造データから脳深部活動を推定する方法の精度を感覚誘発電位（SEP）を用いて検証した。その結果、従来の方法に比べて、高い精度で脳深部の SEP の動態を推定できることを確認した。姿勢・歩行時の高密度脳波記録も同時に進め、とりわけ歩行開始指令の発動領域推定など、脳深部活動推定にほぼ目処がたった。また、情動系を音楽や絵で刺激し、姿勢や歩容、脳波（ヘッドフォ

ン型を含む)の変調が捉えられるのかを検証する実験を進め、総計 20 名超のデータを取得した。姿勢動揺や歩容には一定の影響が生じることを確認した。しかし、心理的、精神的な状態を認識するための知覚拡張を実現するアルゴリズム完成までには至っていない。

(2) 実環境下の心身状態非侵襲推定に向けた社会実験(令和 4 年 4 月～令和 5 年 3 月)

1. ヘッドフォン型脳波計を用いた脳波記録をさまざまな状況下で検証した。歩行中やイメージング課題中など 50 件超のデータを記録した。現時点では静的な状況においては比較的質の高い脳波を記録することができるが、歩行など動的状況下ではアーチファクトの混入が大きく、質の高いデータ記録までには至っていない。牛場グループと連携し、記録データの質改善に向けて取り組んでいる。
2. ヘッドフォン型脳波計の上述した課題が解決されず歩行中の記録が困難なため、実ラウンド中のデータ計測に至らなかったが、それに向けた実験室での基礎実験を複数実施した。ゴルフクラブのグリップ部に把持圧力を検出するセンサを装着し、パッティング時の圧力を検出することに成功した。これと脳波記録を組み合わせ、パッティング時の精神的負荷と脳活動、把持力、姿勢動揺、ボール物理量の同時計測が可能となった。ヘッドフォン型脳波計との比較から、脳活動状態の検出力を検証する予定である。

(3) 障害があるアスリートの運動系脳機能トレーニング(令和 4 年 4 月～令和 5 年 3 月)

1. ヘッドフォン型脳波計の準備が間に合わず、トレーニングデータ取得に至らなかったが、IoB リサーチスタジオでの実験実施に向け、健常者での予備実験、倫理申請などの準備を進めた。牛場グループとの連携の下、具体的なトレーニング内容についてもほぼ固まりつつあり、脳波計の準備ができ次第、トレーニング実験を順次開始する予定である。

課題推進者: 中澤公孝(東京大学)

研究開発課題1-2-3: 非接触表面情報からの気分の推定

当該年度実施内容:

(1) 表面情報からの気分の推定に向けた知的基盤技術

精神状態(特に不安・恐怖・鬱・PTSD 傾向)の予測に繋がる心身環境情報計測のための機材・人員を実装し、安定した実験・データ収集ができる環境を整えた。具体的な環境整備としては、令和3年度に開発を開始したスマートフォンアプリのテストフライト版を完成させ、瞳孔・身体(手腕)動揺・心拍等の指標を用いて映像観察による恐怖条件付け時の不安・恐怖状態推定アルゴリズムのたたき台を構築した。これにより、脳波と環境センサで捉えた生体行動情報から、自分では気づきにくい心理的、精神的な状態を認識するための知覚拡張アルゴリズム(ドラフト1)を完成させた。さらに、外部被験者を対象としたテストフライトアプリを用いた実験開始に向けて、課題推進者の小泉所属先である Sony CSL にて倫理安全審査を経て実施承認を得た。牛場グループ・渡邊グループ・グループ他とディスカッションをしながら開発時の非接触表面情報、特に呼吸の計測パラメータと推定心身状態の目標精度の整合性を定期的に確認し、20名のデータ計測を実施した。テストフライト版アプリを用いて心理的不安状態の推移をリア

ルタイムかつ非侵襲的にモニタリングし、アバターへ投影して本人にフィードバックしたり、他者間コミュニケーションに役立てたりするなど、令和5年度以降の研究発展への布石とした。

(2) 精神障がい高リスク群における心身状態非侵襲推定に向けた社会実験

心身状態を表面情報から推定するアルゴリズムを日常空間で活用することを念頭に、理研での脳イメージング研究の倫理審査・共同研究契約を経て、予備実験を開始した。具体的には、小泉開発の不安・恐怖状態を学習・喚起させる実験素材(動画等)を用いた実験環境を構築し、同時計測を伴う実験の倫理安全審査に繋げた。上記(1)(2)を通じて、金井PJの「身体的・認知・知覚能力の拡張」の精神不安フィールドにおける実現につなげた。

課題推進者:小泉愛(Sony CSL)

(2) 研究開発項目2:IoB ミドルウェア開発

研究開発課題2-1-1 :脳情報の共有と統合のための数理基盤技術の開発

当該年度実施内容:

同じ課題を遂行したり、同じ刺激を提示されていても、それに対する脳活動の空間パターンは被験者に依存する。しかし、この空間パターンに適切な変換を加えることで、被験者間である程度類似した空間パターンを得ることができていることが知られている。この手法はhyperalignmentと呼ばれ、多様なタスクにおいて、解剖学的に相同な領域間において類似の空間パターンを得られることから、被験者間で共通の情報表現を抽出したり、ある被験者の情報表現を別の被験者の表現へ翻訳するために活用できる手法とされている。しかし、(同じ脳の)異なる領域間で、hyperalignmentで翻訳できるような情報表現が存在しているのかどうかは示されていなかった。このことを確認するために、Shared Response Modelと呼ばれるhyperalignmentの1手法を使用し、視覚情報処理を行う領域と聴覚情報処理を行う領域の間に情報表現の共有があるかを検証したところ、実際に共有している部分を抽出し再構成が可能であることを明らかにすることができた。

概念情報を表現する脳領域(Global workspace)の同定

人間の脳は、異なる領域が異なる情報処理を行い、階層構造を持っている。頭に思い浮かべた概念のような抽象的な情報は、脳全体の低次の情報を要約した情報表現を行えるよう領域で処理されると考えられる。そこでShared Response Modelを全ての脳領域ペアについて適用することで、他の領域と情報表現の合わせこみが可能になる領域を探索し、Dorso-lateral prefrontal area(背外側前頭前野)およびposterior parietal area(後頭頂部)からなるFronto-parietal network(前頭-頭頂ネットワーク)が、他の領域との合わせこみが最もうまくいく領域であることを明らかにした。また、視覚情報処理を行う領域群と、聴覚情報処理を行う領域群はそれぞれ、上位の階層にいる領域ほど他の脳領域との情報表現の合わせこみやすいことが分かった。これは、処理する情報が抽象的になるほど、他の領域との合わせこみがうまくいくこと、また、Global workspaceと呼ばれるような多様な領域との間で情報を共有している領域の存在を示唆している。

Global workspace と他の領域との間で共有されている情報の可視化

Global workspaceは脳全体の情報を集約する領域であり、行動やイメージを思い浮かべるための情報処理にも関与すると考えられる。当該年度の成果により、Global workspaceが視覚情報を処理する領域との間で共有している情報を用いることで、Global workspaceの情報だけから、視覚情報の再構成できることを確認した。このこと

は、Global workspace の脳活動計測を行うことで、BMI-CA に必要な情報を取得することが可能になることを支持している。これらの結果について、Neuro2022 において口頭発表を行い、現在論文を執筆している。

The virtual brain を用いた2脳同時シミュレーションシステムの構築

本システムの構築は令和3年度内にすでにプロトタイプ of the システムの構築は完了していた。当該年度はこのシステムを多様な次元数で作動させることができるように刷新し、2脳の相同部位間の接続実験を行った。その結果として、令和3年度内にプロトタイプで得ていた、Dorso-lateral prefrontal area を接続する際に最も2脳の同期が高まるという現象を再現することが可能になった。来年度以降はこの論文執筆を目指すとともに、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの相対数や相互の影響力の強度 (E/I-バランス) など、大脳皮質広域の活動を定める少数パラメータとの関係性を明らかにすることで同期の背後にあるダイナミクスやそれを決めるメカニズムの探索を行う予定である。

マーモセットのメタバース転送

マーモセットの極近未来の身体運動の意図を推定できる AI の構築を目標とし、その構築に成功した。さらに同 AI を使用して、マーモセットのアバターによって、近未来のマーモセットの行動をメタバース上で生成するシステムを構築した。自由行動下の動物を対象とした場合、意図の客観的な判別が困難であったため、タッチパネルや机、水の入った皿などを使い、Neural Network に利用する意図のラベルを付けやすい状況を構築するという工夫を行った。結果として、85%以上という高精度な行動予測をリアルタイムで達成し、仮想空間上で実際の動物の行動を再現することに成功した。これは、世界初の成果であり、BMI-CA の POC となったと考えている。

課題推進者：笹井俊太郎 (株式会社アラヤ)

研究開発課題2-1-2: 脳内情報表現の解釈と数理基盤技術の開発

当該年度実施内容:

本研究開発課題では、ヒトに近い脳を持つマカクサルから、神経活動電位 (Unit Activity, 以下 UA) 信号、fNIRS (機能的近赤外分光法) 信号などの多様な計測モダリティから取得される脳情報を横断的に収集し、概念共通化技術の実験的検証をめざしている。

当該年度は、動物実験による各種神経活動計測実験ならびにそのデータ解析を実施した。UA 記録実験では、剣山型の微小電極アレイ (電極間隔 400um, 1 アレイにつき 128 本) を4つ、視覚物体認識に関わる腹側視覚経路の脳表面 (TEO 野、TE 野後部、TE 野中央部、TE 野前部) に埋め込み (電極総数 512 本)、さまざまな画像を観察する際に生じる神経細胞の活動電位を慢性的に多点同時記録した。本研究推進により、さまざまな概念を含んだ画像セットに反応する、大規模な神経活動データを蓄積することに成功した (R5 年度も継続してデータ蓄積を予定)。

UA 以外に、fNIRS 信号データに注目した解析研究を進めた。fNIRS とは、非侵襲型の脳機能計測法の一つで、脳血流の動態変化を、近赤外光の照射・検出プローブペアにおける光量変化として計測する手法である。fNIRS は、運動アーチファクトに強く、計測装置の低価格化、小型化が可能な利点があることから、研究開発項目 3 で推進する ECoG による低侵襲脳機能計測技術の補助技術としての活用が想定される。当該年度において、fNIRS データ解析に注力した研究開発を実施した。

この他、連携する研究グループから、皮質脳波 (ECoG) データの提供をうけ動物種横断的な脳情報解析をおこなった。研究成果を学会発表し、論文発表準備を進めている。こうした研究は、侵襲的な手法で取得される動物実験データと、非侵襲的な手法で取得される人間実験データの橋渡しにつながると期待される。

心的イメージの可視化モジュールを AI 実装した。そして、脳の視覚情報処理モデルである畳み込みニューラルネットワークを用いて、異なる AI 間で、視覚情報を転送することが可能であることを実証し、開発モジュールを用いて、転送内容を高精度に可視化することに成功した。当該年度中、TC チームとして連携する柳澤グループから提供を受ける脳情報データを活用しつつ、笹井グループや大泉グループと連携しながら、異なる脳と脳の間や、脳と AI の間での情報転送の初期検証を行った。

さらに、視覚とテキストといった異なる感覚モダリティ間での情報転送のパイプラインとして、CLIP(contrastive language-image pretraining)に注目し、CLIPが事前に学習した視覚・テキスト共通の潜在変数表現がCAの感性評価に有用であることを明らかにし、国際論文誌への投稿ならびに国際学会発表投稿を行った。

さらに、deepfake 技術を応用したアバター生成AIインターフェース開発を行い、サルならびにヒトのアバター開発を進めた。本研究開発課題では、顔／頭部アバターの開発に注力している。BMI ユーザーの意図情報として、ユーザーの感情を推定し、推定結果をアバターの表情変化として反映させることができれば、意思伝達の効率化と、コミュニケーションの多彩化が実現し、ユーザーエクスペリエンスが向上すると期待される。

これらの研究成果を通じて、異なる脳や AI、計測／感覚モダリティの間で概念情報を共通化するための数理基礎の実験的検証フェーズが着実に進展した。

課題推進者：林隆介(産業技術総合研究所)

研究開発課題2-1-3:脳状態遷移コストの定量化と最適制御のための数理基盤技術の開発

当該年度実施内容：

(1) 脳状態間の遷移コストを定量化するための数理的な方法論の提案

脳状態間の遷移コスト(制御コスト)を定量化するための数理的な方法論の提案に関しては今年度までの研究成果で以下が達成できた。

1. 確率的な神経系における制御コストの標を世界に先駆けて提案(Kawakita et al., 2022, Network Neuroscience)。
2. 神経系のダイナミクスの確率分布を離散分布でモデル化した場合に制御コストを計算する枠組みの開発(Kawakita et al., 2022, Network Neuroscience)。
3. 神経系のダイナミクスの確率分布をガウス分布でモデル化した場合に制御コストを解析的に計算する枠組みの開発(Kamiya et al., 2023, Journal of Neuroscience)。
4. 最適制御コストの解析解が、系の確率分布の平均を制御するのに必要なコスト、共分散を制御するのに必要なコストに分解できることを示し、従来研究の中で神経系の制御コストとして定量化されてきた決定論的な系での最適制御量と対応がつかうことも示した(Kamiya et al., 2023, Journal of Neuroscience)。

以上により、様々な神経データの中で、脳状態間の遷移コスト(制御コスト)を計算し、最適制御を計算する理論的な枠組みは整ったといえる。

さらに今年度は、以下の2つの点に関して理論的枠組みのさらなる発展に取り組んだ。

1. 高次元の神経システムのダイナミクスを低次元に射影して制御コストを計算する枠組みの構築

実際の神経データは一般には非常に高次元のシステムであるが、高次元のシステムでの制御を考えることは、主に計算量及び統計的推定の観点から非常に難しいため、システムの特徴を適切に切り取る次元を見つけ出し、その次元を用いて考える次元を削減することが必要となってくる。近年、高次元の制御システムの次元削減法で有望な方法の一つとして、Dynamic Mode Decomposition (DMD)と呼ばれる手法が注目され

ている。DMD は流体力学に端を発する次元削減手法で、高次元時系列データから、主要な時空間的振る舞いのモードを取り出し、ダイナミクスの次元を削減するアプローチである。我々は DMD を高次元神経システムの制御問題に応用する理論的枠組の構築に取り組み、DMD を実際の神経データ解析に応用する目処がたった。来年度はこの枠組を、実際の神経データに適用し手法の有効性を検討する予定である。

2. 実際に起こった脳状態の遷移と、最適な制御を仮定したときの遷移を比較し、脳状態遷移の効率を定量化する理論的枠組の構築

実際の脳の状態遷移は、最適から外れているはずだが、問題はどれだけ最適なものに近いのかということで、最適な遷移から遠ければ遠いほど状態遷移の効率が悪く、最適なものに近ければ近いほど効率が良いと言える。このような状態遷移の効率が本研究開発課題が定量化を目指している「精神的疲労」などに関連する可能性があると考えている。

この問題に取り組むために、我々は熱力学的な制御コストとして考えられるエントロピー生成に着目し、実際に起こった遷移において消費した熱力学的コスト(エントロピー生成)に対して、可能な遷移速度の限界を求める枠組を構築した。エントロピー生成と古典的な制御コストとの関係式を導くことにも成功した。この理論的枠組に関しては来年度の研究で論文化することを目指している。

(2) 提案する数理的な方法論の fMRI データを用いた妥当性の検証

提案する数理的な方法論の fMRI データを用いた妥当性の検証に関しては今年度までの研究成果で以下が達成できた。

1. fMRI データの大規模な公開データである Human Connectome Project を使って我々は、脳が安静時(resting state)にある時から、それぞれのタスク状態に移る時の制御コストを計算した。特に、タスクの難易度が客観的にはっきりしている、ワーキングメモリタスクにおいて、タスクの難易度が高い時と低い時で制御コストが違うかを調べた。実際、タスクの難易度が高い 2-back タスクは 0-back タスクよりも遷移コストが有意に高いということが分かり、提案した制御コストが認知負荷と対応しているという妥当性のある結果が示された(Kawakita et al., 2022, Network Neuroscience)。

2. Human Connectome Project の fMRI データを用いて、脳が安静時(resting state)にある時から、様々なタスク状態に移る時の最適制御コストを計算し、それぞれのタスクにおける脳領域の制御への貢献度を定量的に調べた。その結果、異なる7つの認知タスクに共通して、平均の制御には低次の視覚野が、共分散の制御には後帯状皮質(posterior cingulate cortex)が重要な脳領域となっていることが分かった(Kamiya et al., 2023, Journal of Neuroscience)。Posterior cingulate cortex は他の脳領域と構造的にも機能的にもつながった領域であることが知られており、妥当性のある結果が示された。

今年度は fMRI データを用いた検証は行ったが、ECoG などより時間解像度が高い神経活動データにおける検証は十分に行っていない。来年度以降の研究で ECoG データでの検証を行っていく予定である。

課題推進者:大泉匡史(東京大学)

研究開発課題2-2-1:マルチエージェントの協調制御と理論構築

当該年度実施内容:

令和 4 年度の研究の大半は、実世界のロボットを制御してさまざまな作業をさせ、そうしたロボットが BMI 制御に役立つようなアルゴリズムの研究が中心であったが、いくつかのアルゴリズムを比較検討した結果、2022 年末に開発した模倣学習(IL)アルゴリズムである「Perceiver-Actor」が最適であることが判明した。このアルゴリズムをシミュレーションと実際のロボットアームで再実装し、ロボットワークショップに提出するために、い

くつかの改良点を開発した。

IL アルゴリズムのベンチマークに関する令和 3 年度からの作業は、令和 5 年度に更新された論文を提出することを目的として、さらなる開発と多くの実験を継続した。

脳波計とロボットをつなぐソフトウェアの開発にも時間を割いたが、神経科学の専門家がいないため、チームは多くの脳波実験を行い、成功する脳波デコーダを開発することができなかった。令和 5 年度は脳波実験に専念出来る神経科学者を参加させる予定である。

最後に、笹井グループの研究者と共同で、意識と生物・人工知能の関連性についての論文を執筆した。これは雑誌に掲載され、既存の研究を包括的に検討したことが評価され、「survey certification」を授与された。

課題推進者: Kai Arulkumaran (株式会社アラヤ)

研究開発課題2-3-1:脳情報を用いたコミュニケーション技術の開発

当該年度実施内容:

(1) 侵襲・非侵襲・非接触情報からの発話意図を解読するミドルウェア開発

生体信号から得られる多次元時系列情報を、自己教師型学習を中心とする深層学習技術により解析するミドルウェアの精度を向上させた。

話者非依存の lipreading 機構、LipLearner を構築した。CLIP(contrastive language-image pretraining)を応用して、口唇映像サイレントスピーチ認識において、異なる発話者の同一内容発声を positive sample, 他を negative sample とする対照学習(contrastive learning)を施すことで、話者の変異に頑強な認識機構を構築した。さらに、利用者が実行時に新しい発話コマンドを追加できる few shot learning 機能を実現した。これらの機能をスマートフォン上で稼働可能にした結果、実環境でサイレントスピーチを利用可能となった。この研究成果はヒューマンコンピュータインタラクションのトップカンファレンスである ACM CHI 2023 にフルペーパー採録され、Best Paper Award を受賞した(全採録論文の 1%程度)(発表は次年度)。

利用者の発する囁き音声(whisper speech)を深層学習機構により通常音声に復元する機構 WESPER を構築した。この機構では、対応していない通常音声、囁き声音声を事前学習(pretraining)させることで、両者の間での共通の発話要素を自動的に獲得することを特徴としている。発話要素を実際の音声として複合する機構と組み合わせることで、任意声の発話に変換することができる。さらに、この機構を発声障害者(声帯ポリープ、咽頭ジストニア)や聴音障害者の発話に適用し、通常の音声に復元する機構を構築し、被験者評価実験により音声品質が改善できることを確認した。従来技術では発声障害者は電子咽頭(EL)と呼ぶ振動素子を喉に当てるか、食道発声により発話するなどによって発話しているが、いずれも人工的であった。本研究により、より自然な発声を行う可能性が出てきた。本研究成果は、ACM CHI 2023 にフルペーパー採録された(発表は次年度)。

三次元音響を利用した非侵襲 EEG 信号のデコーディング実験を行った。本研究では、音響信号のみを利用した EEG デコーディング機構を構築することで、利用者が実環境で脳情報と3次元音響のペアを学習できる環境の構築を目指している。今年度は三次元音響としては最も基本的な左右到来音の弁別実験を行い、32ch EEG 信号により、聴音時、想起時ともに EEG 信号からの弁別が可能であることを確認した。本研究成果は Augmented Humans 2023 でポスター発表を行い、Best Poster Honorable Mentions を受賞した。

低侵襲脳情報(ECoG)からの発話でコーディング実験を柳澤グループと共同で開始した。上記で説明したサイレントスピーチでの多次元時系列信号を解析する深層学習

機構を応用している。

(2) BMI 技術を利用した技能獲得促進の練習メソッドの開発と検証

技能獲得手法として、昨年度に、人間の発話や運動などの行為から習熟度を抽出する深層学習機構を構築した。人間の熟練者が練習者の機能を包括的に短期間で見抜く能力を参考に、深層学習における注意機構(attention)を利用して、習熟度を自動判定する機構を構築した。今年度は、昨年度に主に実施した語学の発音支援に適用するとともに、音楽表現への適用を古屋グループと連携して行った。従来の音楽練習では、音符通りの演奏か、テンポは正しいか、といった基本的な特徴による判定は可能だったが「演奏が上手いか」「明るい引き方か」といった包括的な技能判定は困難だった。今年度開発した機構により、習熟度の異なるピアノ演奏者の技能判定、同一の楽譜を「明るい」「暗い」などの異なる演奏表現によって演奏する技能の判定を実現し、人間の熟練者の評価との比較実験を行い、人間の判定と高い相関があることを確認した。さらに、この機構を応用した学習支援システムを試作した。本研究成果は ACM UIST 2023 に投稿中である。

本機構は、目標1とも関連し、脳情報から一方的に意図をデコードするだけでなく、人間側も効率的に学習することでデコードが円滑かつ正確に行えるような Human-AI-in-the-loop 型のインタラクションの構築を目指している。

課題推進者: 暦本純一(東京大学)

研究開発課題2-3-2: 脳情報を用いた技能獲得技術の開発

当該年度実施内容:

(1) 脳情報と身体情報を用いた未来予測手法の開発と技能獲得への応用

2022 年度は、従来までのモーションキャプチャに加えて、新たに導入した筋電計測器とインソール型足圧センサを用いて、スキーシミュレータ上で運動するアスリートの 3 次元姿勢、筋電、足圧を計測し、データセットの拡充を行なった。また得られたデータを視覚化するツールを作成した。さらに、これまでに開発した深層学習に基づく未来予測ネットワークをベースとして、足圧データだけから 3 次元姿勢を推定するネットワークのプロトタイプを開発した。予備実験の結果、高い精度で姿勢が予測できることが確認された。今後は学習用データセットをさらに増やし、推定精度の向上を目指すとともに、スキー以外のデータセット、例えば歩行、ランニングなどを入手し、本手法の汎用化を目指す。

(2) 脳情報を用いた時空間歪曲学習手法の最適化

昨年度までに開発した仮想現実感を用いたスキートレーニングシステムにおいて時間歪曲による学習法がある程度の有効性があることが示されたので、令和 4 年度は時間歪曲手法の他の適用例としてジャグリングを対象とし、システムの構築と実験を行なった。具体的には、ユーザーは HMD を被り仮想空間内に入ると、CG で合成された自分の両手が実空間での自分の両手と同じ位置に表示される。ユーザーが自分の手を動かすと仮想空間内の手も同様に動く。仮想空間内では仮想的なジャグリングの玉が表示され、ユーザーはこれを投げたりキャッチしたりできる。ただし、仮想空間内ではボールの落下速度を制御することが可能で、ユーザーの上達度に応じて速度がスローから実速度まで変化する。こうした時間歪曲空間でのジャグリング練習を、複数名の被験者実験を行なったところ、時間歪曲手法の効果が示された。本研究成果は国際学会(査読有)と国内学会(poster)にそれぞれ採択された。

課題推進者: 小池英樹(東京工業大学)

(3) 研究開発項目3:IoB コア技術

研究開発課題3-1-1:意図コミュニケーションのための基盤技術開発

当該年度実施内容:

(1) マーモセットのコミュニケーションのオンライン化実験

令和3年度に構築した ECoG 無線計測システム内で無線 ECoG 電極を入れたマーモセット A,B を離れた2箇所置かれたケージ内で自由行動させ、同時に発話と神経活動の記録を行った。研究開発課題2-1-1にマーモセットの発話・体制運動・神経活動データの提供を行い、連携してマーモセット ECoG を用いた発話デコーダ、行動デコーダを開発した。その結果、連合野と呼ばれるこれまで BMI で着目されてこなかった高次大脳皮質領野の神経活動を使うことでマルチモーダルな情報を取り出すことができる可能性があることがわかった。この結果はこれまでの単一モダリティの情報をを用いる BMI と一線を画す、次世代 BMI 開発の足掛かりになる事が期待される。本成果について国内会議2件でポスター発表を行った。令和5年度に行われる BMI の査読付き国際会議において口頭発表に採択されている。

(2) マーモセット用 AI 支援型 BMI-CA の制作

令和3年度に構築したマーモセット用 XR 空間においてマーモセット2個体を長時間飼育し、XR 空間でのリアルタイムコミュニケーションを実現するための環境構築を行った。本年度は動物2個体を実験環境に馴致し、自然な発声行動が観察されたタイミングで音声の計測を行い、マーモセットの発声に含まれる周波数情報が欠落しないためのマイクの音量調整およびシステムの環境ノイズの低減を行った。スピーカーのパラメータ調整作業を残しているが、令和5年度には XR 環境構築作業を完了しデコーダの接続実験を開始する見込みである。

課題推進者:小松三佐子(東京工業大学)

研究開発課題3-2-1:人工神経接続による身体と心の制約からの解放

当該年度実施内容:

(1) 脳への情報書き込みを可能とする人工神経接続の開発の実施

マカクサルを用いて脳・筋肉への電極埋め込み技術の確立および長期安定性についての検証を開始した。まず、脳-筋肉電極埋め込み技術の確立・長期安定性についての検証を行うために、麻酔下にて、シート状電極を用いた大脳皮質の運動野への電気刺激によって上肢の運動を誘発させた。運動の誘発に要した最小の電流値は約4か月の間、上昇はなく、一定の電気刺激によって運動誘発が観測できた。また、この際に、誘発された筋活動を計測するために、上肢の筋肉群にワイヤ電極を埋め込み、1年半以上において筋活動を記録し、観測した結果、品質の変わらないデータが継続的に得られることを確認した。次に、皮質に埋め込んだ電極からの脳活動記録の安定性について、ニューロンの数、活動特性の観点から調査した。そのために、2頭のサルに対して、大脳皮質に電極を埋め込んだ。まず、大脳皮質におけるニューロンの活動記録のために、剣山電極による単一ニューロン活動記録、およびシート状電極による皮質脳波記録の2つの方法を検討した。2頭のサルの大脳皮質運動野上肢領域に96極(約4mm×4mm)の剣山電極を埋め込んだ。埋め込み直後はニューロン活動が観察されなかったが、約1か月が経過した頃からニューロン活動を観察できるようになり、その後、約3か月間にわたって、日ごとに多少の増減はあったが、各日平均50個以上のニューロンの、上肢の運動に関連する活動を安定的に記録することができた(各個体につき、37-54個、60-114個)。別の2頭のサルの大脳皮質運動・体性感覚野上肢領域表面に30極のシート状電極(約20mm×16mm)を留置し、皮質脳波を

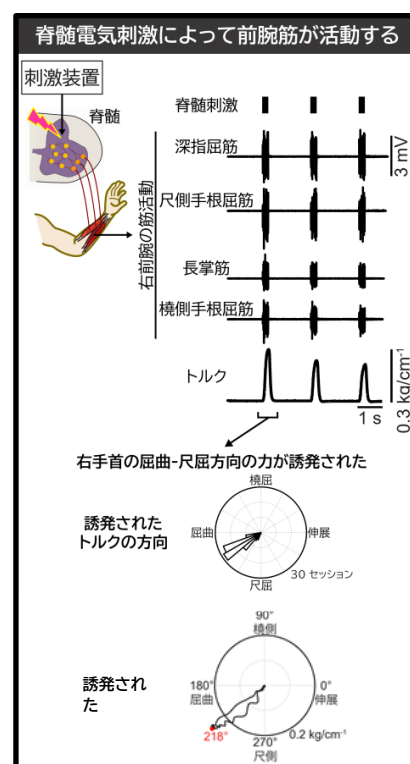
記録した。翌日から、4 か月間を超える期間中、上肢の運動に関連する活動を、デルタ波から高ガンマ帯域までの広い周波数帯域(2~120 ヘルツ)で認めた。これにより、皮質に埋め込んだ電極からの脳活動記録の安定性について、ニューロンの数、活動特性の観点から調査できた。また、脳深部への刺激電極の慢性埋め込みを 2 頭のサルに対し、実施した。2 頭のうち 1 頭は埋め込みから 1 ヶ月ほどで電気刺激が流れなくなり、別の 1 頭では埋め込み直後から電気刺激が流れなかった。刺激電極を再度検討する課題が残った。以上の結果によって、マカクサルの脳および筋肉へ電極を埋め込み、少なくとも数か月間以上、それらの電氣的活動を安定的に記録・操作できることを確認した。

(2) 人工神経接続による運動麻痺に対する身体運動機能再建の実施

脊髄損傷サルに対する損傷尾側に位置する脊髄への電気刺激の安定性を検討するために、脊髄損傷モデル動物を作成した。これらのモデル動物に対して第 6 頸髄～第 2 胸髄硬膜下の右脊髄膨大部の後根神経束上に電気刺激用電極を埋め込んだ。この電極に対して、脊髄損傷後 1 か月間電気刺激を行い、脊髄刺激により誘発された筋活動・トルクを評価した。結果、脊髄電気刺激によって、右前腕の複数筋で筋活動が誘発され、右手首の屈曲-尺屈方向の手首トルクが誘発されることが明らかになった。このトルク出力の安定性を定量的に評価するために、誘発されたトルクを大きさや角度に分けて日ごとの値を比較した。その結果、誘発されたトルクの角度は 1 か月間安定して屈曲-尺屈方向を示し、運動キネマティクスとダイナミクスの観点においても安定的な運動経路を生成した(右図)。また、誘発されたトルクの大きさは刺激強度が同じである場合、脊髄刺激実験開始後数日間にわたって減少したが、その後は安定的に同程度の大きさのトルクを生成した。これらの結果から、脊髄損傷モデル動物への脊髄電気刺激は 1 か月間安定して誘発トルクを生成可能であることが明らかとなった。

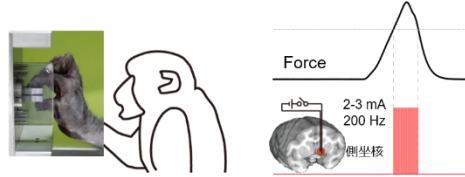
(3) 人工神経接続による人工情動の惹起の実施

本年度は側坐核への人工神経接続による意欲の自己制御実験を 2 頭のサルを用いて開始した。サルには把持課題を学習させ、発揮した把持力が刺激入力トリガーとなる閉回路側坐核電気刺激法を開発した。把持課題を実施中のサルの側坐核へ刺激電極を刺入し、運動することで側坐核を電気刺激する介入を数セッション実施すると、刺激セッションでは課題成功数が大幅に増加した(図中折れ線グラフ赤)。このような側坐核への刺激介入を数セッション繰り返したのち、刺激オフでのセッションを継続実施すると、側坐核への刺激がないにもかかわらず課題成功数は増加したまま推移した。このような増強効果は 2 週間に渡って観察された(図中折れ線グラフ青)。同様の傾向が別個体においても観察できた。これらの結果は、側坐核への電気刺激と刺激トリガーとなる運動が連合され、運動課題へのサルの意欲の向上を引き起こし、運動パフォーマンスの向上へつながったものと考えられる。また、刺激をなくしても、運動意欲が高く維持される神経メカニズムについては不明であるが、数回の側坐核刺激介入は脳システムの改編を引き起こすのに十分に貢献しうる可能性が示唆された。

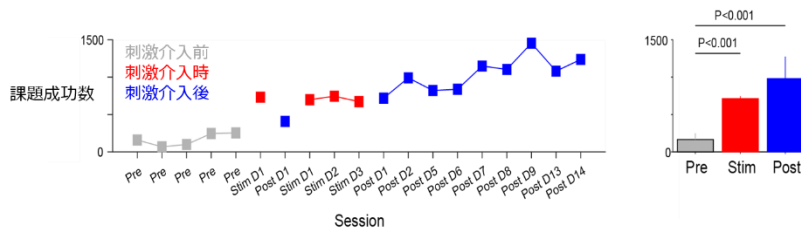


側坐核への人工神経接続による 意欲の自己制御

意欲の自己制御を可能とする脳深部への人工神経接続法の開発



側坐核への人工神経接続により運動意欲とパフォーマンスの向上



刺激を切っても運動意欲とパフォーマンスの高さを維持できる

(4) 2 個体間での神経コミュニケーション技術の開発の実施

ヒト被験者において、個体内で実践していた人工神経接続の技術を拡張し、二個体間で神経情報の伝達を可能にするためのソフトウェア開発および実験環境整備を行った。東京都医学総合研究所と共同研究先の国立長寿医療研究センターにおいて二者間の人工神経接続の実用性を検証するための実験計画を作成し、倫理承認を得た。これにより、二個体間での神経情報伝達を検証するために、同一施設内の離れた 2 つの部屋間でイントラネット環境を介して行う実験が可能となった。二個体間の神経情報伝達のためにソフトウェアを新たに開発し、東京都医学総合研究所内の 2 つの部屋間でイントラネット環境を介して情報伝達が可能であることを健常成人被験者を対象に確認した。健常被験者から記録した上肢の筋活動を利用して、別の部屋にある生体電気刺激装置を駆動させることができるようになった。さらに、2 つの部屋間での生体情報伝達と並行して Web カメラの映像をリアルタイムで送受信できる環境も整えた。

課題推進者：西村幸男（東京都医学総合研究所）

研究開発課題3-2-2: 侵襲 BMI の臨床応用に向けた開発

当該年度実施内容：

(1) 頭蓋内脳波による意図・注意情報の推定と意思伝達技術の実現

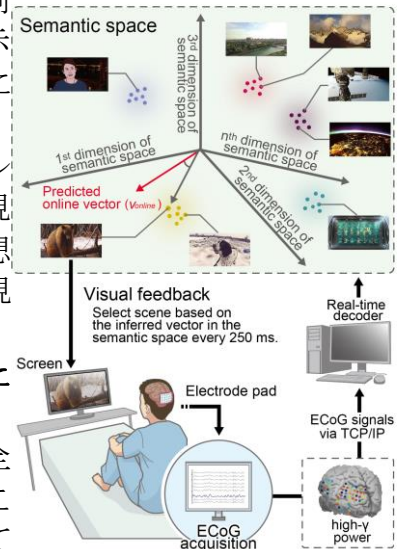
多様な視覚刺激を視聴時の皮質脳波を後頭葉および側頭葉を中心に計測し、皮質脳波から、画像の意味内容を推定し、推定された意味内容に対応した視覚的フィードバックをすることで、被験者が想起することで画像を制御する BMI を開発した。60 分のビデオから 1 秒ごとの静止画を 3600 枚抽出し、それぞれに文章で意味を記述し、その文章から抽出した単語を word2vec で 1000 次元のベクトルに変換し、それを文章中で平均したものを意味ベクトルとした。この意味ベクトルを頭蓋内脳波から推定できることを 17 名の患者で示した。推定されたベクトルに最も近い意味ベクトルを持つ画像を 3600 枚の画像から選択して被験者に提示するクローズドループシステムを作成した。4 名の被験者に対して、クローズドループシステムを適用し、被験者へは、画像を想起することで指示された意味の画像を画面に提示するよう指示した。その結果、指示された意味ベクトルと、クローズドループでの画像制御中に脳波から推定されたベクトルの距離が、他の指示されていない意味ベクトルと比べて有意に近くなることが示された。

つまり、ヒトが画像を想起することで、意味ベクトルを制御し、想起した内容の画像を画面に提示できるとが示された(図1)。この成果は Communications biology にて報告された(Fukuma et al., Comm. Biol. 2022)。

今後、画像だけでなく、言語などのマルチモーダルな情報に対して、ヒトが想起によって制御可能な表現空間を提供する AI モデルを構築することで、多様な想起・思考内容を伝達する Think Communication を実現する。

(2)ヒトへの体内埋め込み型脳波計測装置適用のための医学的検討

今年度は、装置を購入し、装置の長期安定性・安全性を確認するために、サルへの埋め込みを開始することを目指した。サルの感覚運動野をターゲットとして電極をデザインし、埋込装置を購入した。ただ、装置を留置するための赤毛サルが、COVID-19 の影響で入手困難となり、NBRP(National BioResource Project)からニホンザルを入手する方針に変更した。そこで、サルの飼育施設の確保、同施設での動物実験倫理承認の申請と承認、NBRP へ申請・承認を行った。このため、実験の開始が大幅に遅れた。現在、サルの訓練を開始しており、2023 年の9月頃にはデバイスの留置を行える予定である。



(3)皮質電気刺激による情報入力

脳への電気刺激にて、情報を入力する技術の開発を行う。感覚野への電気刺激(硬膜下電極)により、どのような質・量の情報入力が可能であるか検証するため、ヒトで様々な刺激パターンでの脳刺激を行う倫理審査を申請し、承認された。サルを対象として埋め込み型デバイスを用いた脳電気刺激の安全性と有効性について検証を行う。埋め込み装置の留置は未だできていないが、サルの感覚運動野に電極を留置し、電気刺激をおこなった。特に、複数箇所同時刺激を行い、単一箇所での刺激よりも刺激閾値が下がることを明らかにした。これらの情報に基づき、ヒトでの刺激をおこなっていく予定である。

課題推進者: 柳澤琢史(大阪大学)

(4) 研究開発項目4: 共通基盤技術開発

研究開発課題4-1-1: 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

当該年度実施内容:

(1) AI 支援型 Trusted-BMI に利用可能な新規技術探索調査

ステントロード技術を牽引するグループを新研究開発項目として追加し、侵襲グループ、非侵襲グループにはない特性を持った研究グループを追加で率いる事に成功し、よりプロジェクトとしてのポートフォリオの幅が広がった。同技術を推進する海外の研究グループを新たに課題推進者として追加することに成功した。

(2) AI 支援型 Trusted BMI のアプリケーション開発に関する調査

BA アプリ開発に関する先行技術調査及びパテントマップの作成を完了した。

(3)ブレイン・テック ガイドブック・エビデンスブックの作成支援と普及活動

システムティックレビューは 4 項目が完了した。1 項目は未完了であるが、精査すべき論文数が非常に多かったためである。完了に向けて、引き続き作成支援を行う。

また、ブレイン・テック啓蒙に向けたガイドブック ver1.0 の公開、及びそれに合わせた公開ワークショップを開催した。

(4) 非侵襲・非接触計測での意図推定精度の高解像化

作成した「ECOG 信号に基づき fMRI 信号を推定する翻訳 AI モデル」を、EEG-fMRI 同時計測データに適用し、被験者の意図の推定精度を改善できることを示す。Scientific Data 誌にて公開されている EEG-fMRI 同時計測データ(Lioi et al., 2020)を解析し、課題遂行中に観察される被験者の意図推定の精度を改善可能であるか検証した。EEG の γ 帯域の活動を用いたモデル、 α 帯域の ERD を用いたモデル、EEG から fMRI 信号に変換したものをを用いたモデルによる意図推定の精度をそれぞれ検証し、さらに、EEG 由来の信号(γ 帯域活動、 α 帯域活動、解析的に fMRI 信号に変換した活動)を結合させたアンサンブルモデルを作成したところ、この EEG から fMRI 信号に変換するステップを介することで、意図推定の精度が改善できることを示した。

(5) 侵襲・非侵襲・非接触共通の複数 CA 制御の性能評価プラットフォーム構築及び複数 CA 同時操作の認知機能拡張の実現

当該年度の達成目標は、CA 操作の評価基盤のプロトタイプとなるゲームプラットフォームを選出することであった。これに対し、強化学習アルゴリズムの開発・比較のために広く使われているオープンソースライブラリである OpenAI Gym を選出した。特に、OpenAI Gym 上の Lunar Lander というゲームにおいて、プロトタイプとして既存の AI の支援下で人間がゲームをプレイできるシステムを作成し、AI 支援によりスコアが向上することを確認した。

課題推進者: 金井良太(株式会社アラヤ)

研究開発課題4-1-2: Trusted BMI を実現する社会基盤整備

当該年度実施内容:

(1) 現状の啓蒙

BMI 製品・サービスに興味のある一般消費者を対象とした啓蒙書「ブレイン・テックガイドブック」を作成し、日本語版は 2022 年 10 月、英語版は 2023 年 3 月に公開した。その内容は、現状で明らかとなっている BMI とブレイン・テックに関する正しい知識や考え方、およびそのような新規性の高い技術との向き合い方をまとめたものとした。ガイドブックの作成は、令和 3 年度から研究開発項目 4-1-1 にて進められていたので、2022 年 8 月の本課題開始以降に実施したことは、外部評価のコメントに基づく内容修正、BMI の社会実装に向けてのステークホルダーとなる関連学会、関連官庁、関連企業や民間コンソーシアム等に原稿を送付してのパブリックコメントの募集、パブリックコメントに基づく内容の調整、書籍のデザインと編集である。

日本語版ガイドブックの公開に合わせて、2022 年 10 月に産官学民を交えた公開ワークショップ「Trusted Brain Tech/BMI の実現に向けて」を開催した。ワークショップでは、“新たな技術が社会から信頼され、そして普及するためにはどのような取り組みが必要か”という幅広い観点から、ブレイン・テックと BMI が社会から信頼される技術として発展するために解決すべき課題を議論した。当日のワークショップの内容は経営研レポート「信頼できるブレイン・テック / BMI の実現に向けて求められることとは？」にまとめた。また英語版の公開に合わせて、AAAS が運営するサイエンスニュース配信サイト Eurekalert!にて、ガイドブックの作成経緯と内容を紹介する記事を配信し、本活動に対する国際プレゼンスの向上を図った。

(2) エビデンスの整理

最初に、エビデンスブックの外部評価委員 6 名と、SR(システムテックレビュー)の内容を外部評価する委員 2 名を選定した。SR は、Minds 診療ガイドライン作成マニユア

ル 2020 第4章「システムティックレビュー」に準拠して、疑問1項目につきエビデンス評価委員 2-3 名と SR メンバー2-3 名を選出して実施した。SR 作業完了後には AMSTAR2 (Shea et al., BMJ 2017) や PRISMA checklist (Page et al., BMJ 2021) といった、SR の質を評価するツールを用いた自己評価を実施し、さらに 2 名の SR 外部評価委員による作業内容のチェックを受けた。

2022 年度は、ブレイン・テックに関わる 12 項目の疑問のうち 4 項目に対する有効性と安全性の SR を完了し、残りの 8 項目に関しても作業を開始した。完了した SR 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た。エビデンスブックの作成は、本文の作成が完了し、エビデンスブック外部評価委員による1度目の外部評価を完了した。この外部評価のコメントを受けて本文の内容を修正し、令和 5 年度第一四半期中には 2 回目の外部評価を経て、疑問 4 項目分の回答とそれを理解するための補足資料にて構成される、エビデンスブック第一版を公開予定である。

(3) チェックリストの作成

チェックリストの作成は、「ヘルスケアサービスガイドライン等のあり方」を参考に、1 の現状啓蒙と同じ体制、すなわち本プロジェクトの課題推進者を中心に全 5 名で構成される作成委員会と、渉外業務を担う事務局が中心となって進めている。チェックリストの項目は、既存の法律や規制、科学的エビデンス、あるいは関連業界において設定されている自主基準を参考に作成している。本書は単なるチェックリストではなく、開発者や事業者にとって製品・サービスの開発や販売の手引きとなるよう、ブレイン・テック製品の開発・販売時の課題を学べる事例集のようなものも含めることとした。チェックリストと事例集を含む最終的な成果物は、ブレイン・テック ガイドブック vol.2 として公開することを決定した。

課題推進者：武見充晃（慶應義塾大学）

研究開発課題4-2-1: BMI-CA 活用における法学的検討

当該年度実施内容：

(1) IoB-S 研究会の開催と法学セミナー連載

IoB-S 研究会を毎月 1 回程度の頻度で開催し、金井 PM、金井 PJ 内部の課題推進者、南澤 PM、さらに外部の医学・分子生物学の専門家、を招いて、技術開発の最先端をヒアリングすると共に、その ELSI 課題を洗い出すと共に、議論を行った。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た。

(2) ELSI レポートの改訂・追記作業

IoB-S 研究会の研究成果をもとに、昨年度に作成したレポートの改訂と追記作業を行った。今年度は特に、神経倫理の議論動向の調査、技術開発状況の把握、実証実験のシナリオ作成を行った。なお、実証実験のシナリオとして作成した各事例は、次年度以降法学セミナーで実施する事例研究の素材として活用する予定である。

(3) 国内シンポジウムの開催

今年度は、①IoB-S の主催するオープンフォーラムを計 3 回実施し、「権利・自由」、「公法」、「刑事法」の観点から研究成果の公表と国内研究者との意見交換を行った。②JST-CRDS 科学技術未来戦略ワークショップ「ニューロテクノロジーの健全な社会実装に向けた ELSI/RRI 実践」に参加する等、積極的な研究成果の公表を行った。③課題推進者の駒村が東京第二弁護士会・情報公開個人情報委員会研修会合に招かれて神経法学の現状と近未来についての講演を行った（研究参加者の小久保ならびに大島が同席）。

(4) 国内学会における研究報告

研究参加者の福士が、神経倫理にかかる研究成果について、日本生命倫理学会研究倫理部会、分子科学研究所研究会において報告を行った。

(5) 国際学会における研究報告

①IEEE Neuroethics Framework に研究参加者 2 名(福士、小久保)が参加し、国際的な ELSI 研究の場に参加し、国際交流を行った。②テキサス大学オースティン校で開催された”2023 Global Summit on Constitutionalism”に課題推進者の駒村、研究参加者の福士、小久保が参加し、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った。③研究参加者の堤林が台湾で開催された国際学会”NCCU-Keio-Yonsei Inaugural Joint Conference Regional Development in East Asia: Security, Economy, and Technology”参加し、研究報告を行った。

(6) アウトリーチ活動

①KGRI&CIC Tokyo 共催イベントに複数回参加し、企業実務家、研究者、大学関係者の前で IoB-S の活動について報告した(研究参加者の小久保)。②毎日新聞や読売新聞に研究(に関連する)内容について取材を受け、紙面及び Web 版の双方に掲載された(研究参加者の福士、小久保)。

課題推進者: 駒村圭吾(慶應義塾大学)

(5) 研究開発項目 5: IoB 極低侵襲技術開発

研究開発課題 5-1-1: 極低侵襲 BMI の研究開発

当該年度実施内容:

(1) “センサ搭載型細径ワイヤ”の研究開発実施

極低侵襲位置の選定条件から動物実験の計画を策定し、動物実験を実施した。動物実験は多目的寝台と撮像装置が設置された手術室において実施し、開発したデバイスの検証を実施するための環境整備を実施した。動物実験では、細径ワイヤを急性実験向けの電極として活用し、脳波の計測を実施した。脳活動電位の品質を比較するため、信号ノイズ量を評価するなど、令和 5 年以降に計画する実験内容も念頭においた動物実験を実施した。信号品質としてはノイズ量が多いものの、各種誘発電位の取得にも成功し、極低侵襲位置から脳活動電位を計測可能であることを示した。極低侵襲位置用電極を刺激用のデバイスとして活用した誘発電位の取得にも成功し、極低侵襲 BMI として活用できる可能性を示した。

以下には令和 5 年度以降の実験計画にも関わる“センサ搭載型細径ワイヤ”の開発実施内容を示す。簡易的な ECoG デバイスとして、極めて柔軟なシート型電極プローブを構築し、低ノイズに ECoG 計測できることを確認した。柔軟なシート型電極プローブから得られる信号の S/N 比を高めるために、柔軟なシート型増幅器を開発した。

(2) “センサ搭載型細径チューブ”の研究開発実施

項目(1)で記載した動物実験を通じて、電極プローブ搭載型細径ワイヤを極低侵襲位置へ輸送するための細径チューブの利用方法・手順に関して、大枠が決められた。さらなる安全性や機能性向上のため、センサ搭載型細径チューブ実現に向けた取組に着手した。

(3) “柔軟細径 BMI デバイス”の研究開発実施

効率的なデバイス、システム開発で不可欠である疑似的な極低侵襲位置モデルの作製に向けて、今年度は生理食塩水中での薄膜センサの電氣的経時変化を

計測するための環境と、体内にて発生しうるノイズ環境を模擬したシステム評価用の実験環境を構築した。上記（１）でも記載した通り、多チャンネルなシート型電極プローブを開発し、同時に、硬軟グラデーションを利用してシート型電極プローブの伸縮耐久性の向上（応力集中の緩和）を達成した。動物実験時には、極低侵襲位置内から脳波計測可能なインピーダンスを把握しており、シート型電極プローブを柔軟細径 BMI デバイスへ展開する際の一つの指標も得ている。

以下には令和 5 年以降の実験計画にも関わる開発実施内容を示す。

微小信号を扱う低雑音時間軸多重回路

- ・脳波信号を高 SN 比で体内伝送あるいは体外送出するためには、10000 倍の低雑音かつ低消費電流の増幅回路が必要となる。使用部品と回路構成の最適化を図り 10000 倍増幅する回路をシミュレーションにより設計・試作し SN 比 30dB 以上を達成した。

- ・複数の電極で得られた脳波信号を 1 本のワイヤで体内伝送するため、あるいは 1 つのワイヤレス手段で体外送出するために時分割多重方式を選定した。複数の脳波信号を多重化するマルチプレクサ回路を試作し、動作を確認した。

体内伝送に適した高効率変調方式

- ・方式検討において体内伝送における体内の干渉雑音環境を模擬できる疑似体内環境ファントムを製作した。ファントム内に体内での脳波伝送に干渉する可能性のある疑似雑音を混入することができる。今後の体内伝送システムの評価に活用可能である。

- ・体内の干渉雑音を回避して脳波伝送を行う伝送方式を検討し、試作装置の実験により干渉雑音の影響を回避できる見通しを得た。

低電力で動作可能な精密基準電圧

- ・基準電圧情報を並列伝送することなく原信号の振幅絶対値を正確に検出できる伝送方式の開発により基準電圧デバイスの省略が可能となった。振幅絶対値を正確に検出できる理由は、第 1 に低雑音のオペアンプを採用しアナログ信号の増幅における増幅率を正確に設定可能としたこと。第 2 には体外へのワイヤレス送信時に振幅減衰の影響を受けない伝送方式を採用したことである。

- ・体内に埋め込まれる電子回路への電力供給をワイヤレスで行うために、無線給電送受アンテナを開発し、受信アンテナを疑似体液 5cm 深さの距離において必要な電力が得られる結果を得た。受信アンテナの小型化により体内埋込が十分可能である。

課題推進者：関谷毅（大阪大学）

研究開発課題 5-1-2：ヒトへの長期留置を目指した極低侵襲 BMI システムの開発 当該年度実施内容：

(1) 極細径 BMI システムの開発

令和 4 年度は 2 回実験を行った。

第 1 回実験（2022/12/17）では、動物の極低侵襲位置の撮像を行い、解剖により明らかにした。ヒトの極低侵襲位置に用いるデバイスを各種持参し、それらを用いることで動物の極低侵襲位置にアクセス可能であることがわかった。また、動物の極低侵襲位置に誘導したマイクロ細径ワイヤ（ヒト手術用の機器）を用いることで、脳波や誘発電位を検出できることを明らかにした。

第 2 回実験（2023/2/19）では、第 1 回と同様の実験を行うとともに、研究開発課題 5-1-1 の課題推進者の関谷らが開発した極低侵襲電極プロトタイプの送

達および脳波検出を試みた。第2回実験では、使用する動物のMR imagingを事前（2023/2/13）に行い、そのデータをもとに実験を計画するということを行った。しかし、極低侵襲位置の撮像に比べて解像度が低く、MR imagingについてはあくまでも参考程度に行うべきものと思われた。

極低侵襲位置3Dモデルは、極低侵襲位置撮像検査で得られたデータを元に作成することを計画したが、極低侵襲位置のサイズが小さく、非常に脆弱であるため、3Dプリンタによる再現は困難と思われた。そのため、3Dプリンタモデルは、ヒトデータにおいてのみ作成すべきであると結論づけた。

(2) ヒトモデルを用いた極細径BMIシステムの検証

令和4年度は3Dプリンタの選定と極低侵襲位置のシリコンモデル作成を行った。

まず極低侵襲位置モデルデータの作成を行った。実臨床において収集されたヒトの極低侵襲位置画像から、モデルを作成した。

これらデータを用いて複数の3Dプリンタでモデルを試作した。3Dプリンタで用いるインクには多くの種類が存在するが、極低侵襲位置と同程度の柔軟性などを持つインクは限られた。最終的に印刷の最適条件を見出した。

課題推進者：中村元（大阪大学）

3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

○ 代表機関のPM支援体制チーム

代表機関としてプロジェクト全体の管理を円滑に行い、かつプロジェクト全体についてのPMの企画運営を支援するために、金井プロジェクトの全体管理（発案・運営・進捗管理・広報企画等）をPMOチームとして行った。

令和4年度からは、Brain Assistant (BA) チーム、Think Communication (TC) チームの各チームをディレクションするサブPM (SPM)のもと、プロジェクトを推進する新体制（「4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図」の項を参照）を本格的に稼働させるにあたり、その為の体制作りを行った。さらに、BA・TCに共通するプラットフォーム構築を担うチームも発足させ、金井が課題推進者として参加しディレクションした。

PM・SPMチームの体制として、知財・法務、財務・購買、報告書・予算管理の機能を代表機関で対応可能な体制を継続して運用した。さらに、研究成果を一般社会へ発信するコミュニケーションイベントの企画・推進とともに、ELSE 課題への企画と対策を進める体制を強化した。

○ 重要事項の連絡・調整（運営会議の実施等）

前年度と同様に、金井PMと課題推進者および必要に応じて参加するオブザーバーからなる運営会議を設置し、プロジェクト全体の活動に関わる議論および意思決定を行った。具体的には下記のような事案が議論の対象となった。

- プロジェクト運営上重要な連絡事項の共有
- 課題推進者間での研究開発内容の連携と調整
- 新規課題の設定と課題推進適任者の選定
- 成果報告書取りまとめなどのスケジュールの確認

管理運営上の重要事項の連絡等は、代表機関および PMO メンバーより、メール及び Slack により随時行った。これらの連絡体制は、プロジェクト発足時からすでに積極的に運用されており、プロジェクト参加者全体での連携と共同作業を支えるインフラとして機能している。運営会議は課題推進者の追加時など、必要に応じて開催した。

○ 研究開発機関における研究の進捗状況の把握（サイトビジット、課題推進者会議等）

課題推進者の進捗確認を目的とした会議として、**週次での定例ミーティングを設定**した。ここでは、研究開発の進捗、具体的なアウトプットのリスト化、推進にあたって直面している課題の洗い出しを行い、PM の観点から研究の推進を促すフィードバックを随時行った。進捗状況については、マイルストーンに対して各年度の研究計画を策定し、それに照らし合わせて、進捗状況を確認し、解決すべき課題の同定と対策を行った。令和4年度からは、特に BA チーム、TC チーム内の連携を強化し、週次ミーティングも各チームの進捗や課題を共有する様式での運用を開始した。本プロジェクトの本格的な外部発信を実現することで、多くの潜在的な人材にいち早く本プロジェクトの目標と意義を伝える活動を行った。

令和3年度より、**PM と各課題推進者との 1on1** を随時実施してきており、各課題の進捗確認だけでなく、新規の研究開発計画の創出や研究開発における困りごとなどの拾い上げに重要な役割を果たしてきている。今年度も引き続き行っていく。

サイトビジットについては、新型コロナウイルスの状況を鑑みて、課題推進者間で二つの会場とオンラインに別れて密とならないような形式にて開催した。実地での実験デモも行ったが、動画によるデモを多く採用し、密を防ぐ形で実験施設を同日に多く紹介する事が出来た。令和4年度も引き続き、新型コロナウイルスの影響の予測が難しいところがあったが、個別のオンラインミーティングを開くなどによって、課題推進者の円滑な研究開発の開始にむけた状況を確認するとともに、課題遂行計画について議論しフィードバックを与えることができた。

研究開発プロジェクトの展開

上述のように、SPM による BA・TC 各チーム、およびプラットフォームチームの各チーム運営を基盤とした新体制（「4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図」セクションを参照）による運営を本格的に稼働させ、各チームで設定したマイルストーン達成に向けた研究開発を一層強化した。また、プラットフォームチームでは、新規課題設定のもと研究参加者もリクルートしながら、BA・TC チームで共通して用いることができる複数 CA 制御の評価指標の開発等を実施した。

AI-支援型 BMI 技術に関する ELSI 課題の抽出や社会実装シナリオの構築のため、法学専門家を課題推進者としてプロジェクトへ迎え、倫理的・法制度的・社会的課題に対する体制を強化した。

プロジェクトの目標の共有を課題推進者全員に対して徹底し、それを実現する

ためのミッション・ビジョン・バリューに基づいた評価を行なっていくことを明確にメッセージングした。その文脈で、各課題推進者には自分の研究開発の位置づけと、期待される成果について確認し、プロジェクト全体での目標への貢献と整合しない研究、または、研究成果が期待される質と量に達しているかどうか等の評価を伝えた。

(2) 研究成果の展開

全体計画書でも同様の説明を加えたが、以下の内容を含んだ**実施規約を課題推進者、所属機関との間で締結**し、プロジェクトとしての一貫性、機動性、実効性を担保する。また、**知財運用会議の設置**を行った。

知財出願の計画

1. プロジェクト内での統一を図るため、課題推進者全員と共通の実施規約を締結し、学会や論文での公表に先立つ公表申請書の提出とPM承認を必須とした。金井PMは必要に応じて萩田PDから助言を受け、研究開発成果に基づく特許出願を確実かつ戦略的に実施した。
2. 課題推進者の職務発明を所属機関の自己都合で承継しない場合には、発明した課題推進者に充てられた直接経費から知財維持管理費用を執行し、知財権利化を行った。

知財活用の戦略

1. 課題推進者と課題推進者が所属する機関の知財担当者を含めた知財運用会議（議長 金井PM）を設置して、知財の実施許諾権の運用に関する協議をおこない、課題推進者の研究成果活用企業（ベンチャー企業）や第三者企業による知財活用、産業化が実施しやすい条件を整備した。
2. 知財運用会議で、本研究開発プロジェクトの知財内容を一元的に把握し、実用化のための導出先の検討や、複数知財のパッケージングなどの戦略的導出方法を検討した。
3. 通常実施権の許諾あるいは譲渡の実施に先立っては、知財運用会議による合意を経ることを必須とし、本研究開発プロジェクトの成果の適正な実用化を図った。
4. 知財運用会議は、国内外の産業動向に関する情報収集を定期的の実施した。

技術動向調査、市場調査

国内外でのニューロテック、BMI、関連新規技術についての調査を継続して行い、毎月のPD/PM報告会にて最新動向について共有した。

令和4年度は、本プロジェクトのBAチームにおいて先行して開発予定の主要技術に関して、特許文献を対象とした先行技術調査を行った。類似特許出願件数、年次推移、出願人リストを作成した。さらに、主要な出願人に関しては、出願年の推移、出願技術の種類、国内外における出願技術の種類等を含むパテントマップを作成した。

令和4年度からは、本プロジェクトにおいてブレイン・テック利活用ガイドブックの作成を本格的に始動させたことに伴い、一般消費者向けブレイン・テック技術

や市場の調査を実施した。同調査においては、ブレイン・テック市場の概況、製品リスト、各製品の科学的信頼性、倫理的問題を含む課題の整理等を行い、それに基づいてガイドブックの方向性や掲載内容を検討した。

(3) 広報、アウトリーチ

アウトリーチ広報活動については、代表機関の PMO を担当機関とし、サイエンスコミュニケーションの知見に基づきながら、クリエイターやメディアなど外部ステークホルダーの協力とアドバイスをいただきながら、目的に応じて企画運営を行っている。

本年度は、昨年度、プロジェクトの目標と具体的な取組を、一般の人に本プロジェクトの成果を伝え、目標実現の意義と、それによってもたらされる未来像をともに考えながらつくりあげていくために開設したホームページの運用を行い、研究内容の紹介をはじめ、人材募集の告知、研究成果の発表、イベント開催の予定を発信した。また、SNS 戦略も拡大、公式 Twitter での発信を強化することによりフォロワーが 1000 人を超えた。Twitter では紹介しきれない取り組みなどを補うために本年度は YouTube チャンネルを開設、シンポジウムのアーカイブなど高関心層向けのコンテンツからはじめ、BMI ブレインピックなどあまり科学に関心が高くない人でも楽しめるコンテンツも掲載。多様なターゲットにアウトリーチを狙っている。BMI ブレインピックは 2 万回再生達成した。

また、本プロジェクトの取組を関連領域の専門家の皆様に紹介し、多くのフィードバックをいただく機会として、脳科学研究の中・長期的な展望に関する研究者間の情報共有と意見交換の場である「次世代脳」冬のシンポジウム 2022 に参画し、公開シンポジウムを開催した。

発信だけではなく、実際に社会とコミュニケーションする機会を設けるためのプロジェクトも立ち上げた。BMI ブレインピックでは中高生だけではなく、障害がある方にも IoB の研究成果を実際の体験を通して自分事として捉え、未来に向けてどう使っていきたいかを語り合う機会として機能した。さらに、IoB の研究の未来像を市民とともに SF 作品を創作を通してコミュニケーションするプロジェクト『Neu World』も立ち上げた。これらは、来年度にさらに継続して拡大し、研究の社会実装をより多くのステークホルダーとともに実施するための基盤として機能させることを狙っている。

(4) データマネジメントに関する取り組み

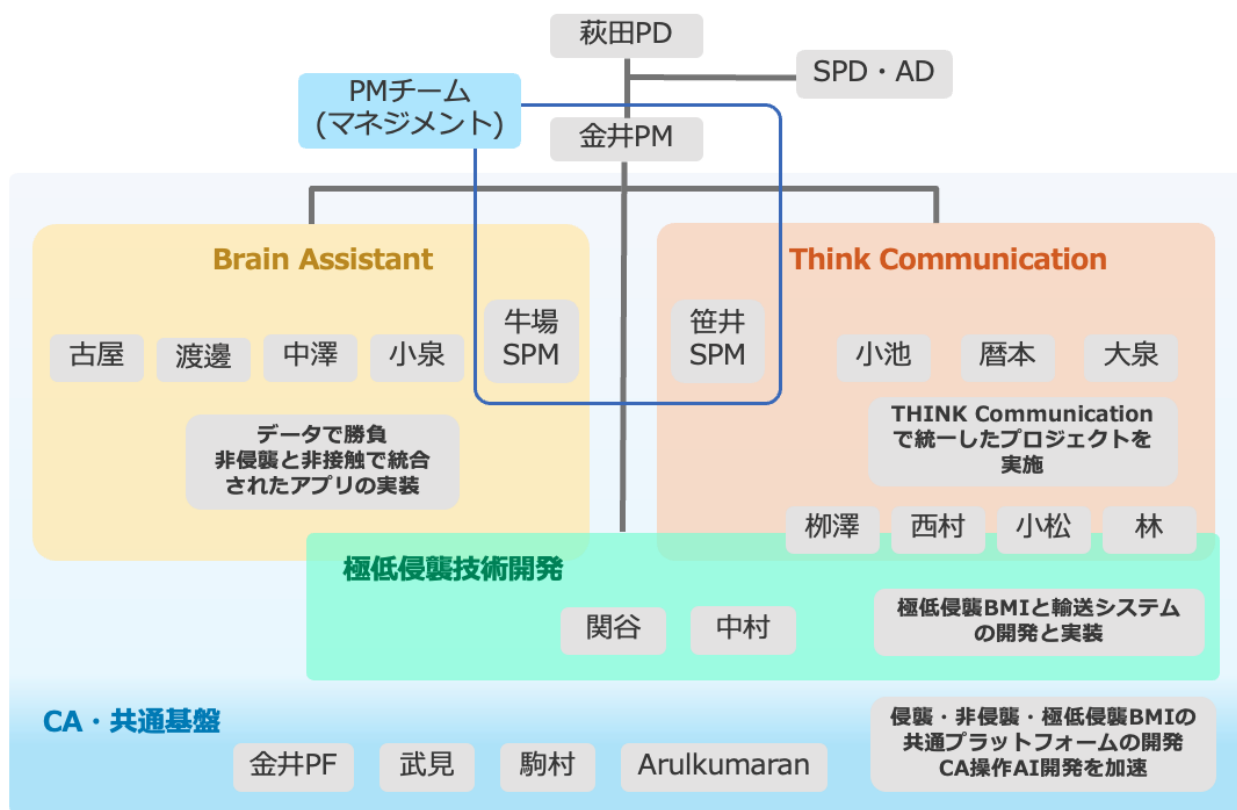
研究開発項目 1 においては、ヒトでの脳波データや多様な生体データの収集を継続し、将来的な本プロジェクト内外でのデータシェアリングに向けたシステムの検討を継続した。ユーザーの精神・身体状態をキャリブレーションが不要でかつ 100 ミリ秒以下の即応性が担保された形で推定するアルゴリズムの構築も行った。課題遂行時や日常生活の場で取得するヒトの行動・生理データの収集も共同で実施した。その他、楽器音の音響信号データ、課題遂行時や日常生活の場で取得するヒトの行動・生理データ、手指の運動情報データの収集を行った。

研究開発項目 2 においては、視覚刺激時のサル神経活動データの収集を行った。

研究開発項目 3 においては、自由行動下のマーマセット皮質脳波・発声行動データ・体制運動データの収集を行った。サルの上肢運動課題中における皮質ニューロンデータおよび筋活動データも収集した。運動課題時のサル皮質脳波およびヒトでの視覚・聴覚刺激時の皮質脳波も収集した。

令和 3 年度の本プロジェクトサイトビジットにおいて、IoB リサーチスタジオを来訪した PD 及び AD より、社会に密着し、かつ世界に通用するデータや開発成果を本プロジェクトから創出してほしい旨のフィードバックがあった。そこで、収集したデータに基づく成果の社会実装に向けて、プロジェクト内外での連携体制構築等について課題推進者間で協議した。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際 (PCT 含む)	国内	国際
未登録件数	4	0	1	0
登録件数	0	0	0	0
合計 (出願件数)	4	0	1	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	37	18	55
口頭発表	21	17	38
ポスター発表	20	38	58
合計	78	73	151

原著論文数 (※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	9	29	38
(うち、査読有)	0	20	20

その他著作物数 (総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	16	0	16
書籍	10	1	11
その他	1	0	1
合計	27	1	28

受賞件数		
国内	国際	総数
8	5	13

プレスリリース件数
3

報道件数
19

ワークショップ等、アウトリーチ件数
28