



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

2021年度版

2021年4月～2022年3月

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	准教授
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	リサーチャー
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 リサーチ室	チームリーダー
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 リサーチ室	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	理化学研究所 脳神経科学研究センター	研究員
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
駒村圭吾	慶應義塾大学 法学部	教授

1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

本研究開発プロジェクトの2025年のマイルストーンは以下の通りである。

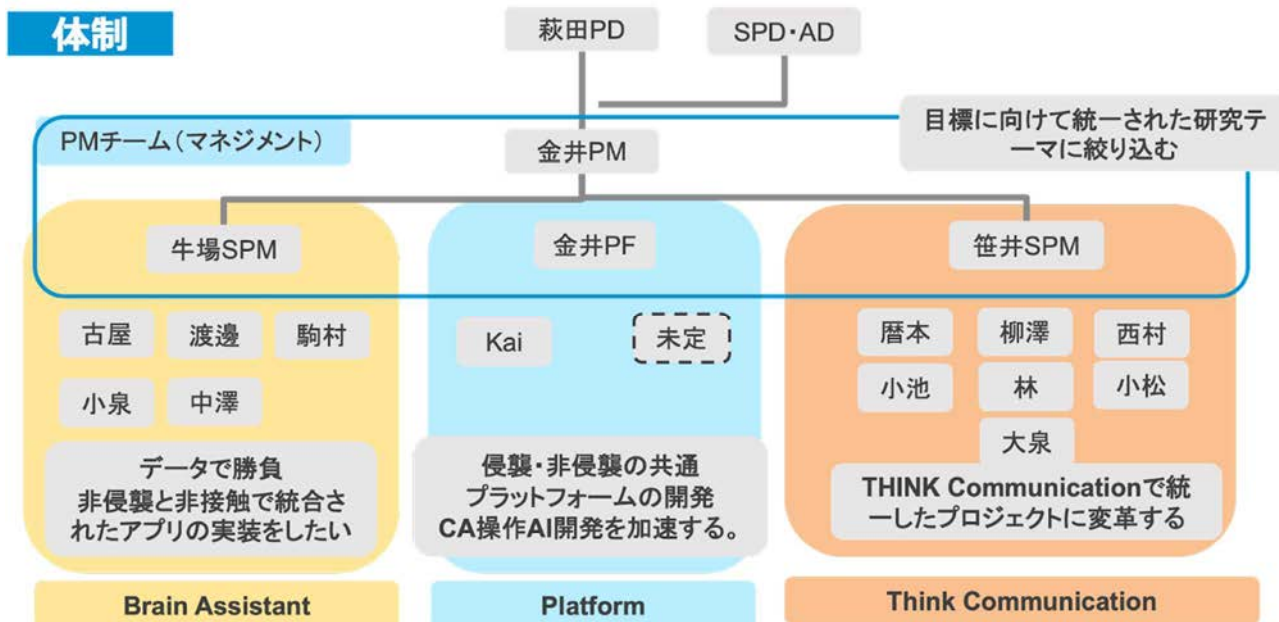
【2025年までのマイルストーン】

[頭で思い浮かべた言葉や行動を他人に伝える技術変革]

誰もが頭に思い浮かべた言葉や行動を高精度に解読するAI支援型BMI-CAを連携協調して、人ひとりの作業能力や音声コミュニケーションの速度を超えた、身体的・認知・知覚能力の拡張が実現できる。特に、障害を抱える人が、外科的手術を望めば、AI支援型BMI-CAの一部の機能において、人ひとり以上の能力拡張が可能になり、新たな生活様式を実現できる。

上記の2025年マイルストーンに向けて、令和3年度は「AI支援型 TrustedBMI-CA」と呼ぶ、脳信号を活用するCAの機能のAI技術による向上に取り組んでいる。

プロジェクト全体の体制として、課題推進者の間での協同体制を強化するために令和3年度の途中(2022年1月)より、Brain Assistant (BA) 開発に取り組むBAチームとThink Communication (TC) 開発に取り組むTCチームを組成し、それぞれにサブPM (SPM) を設置し、BA・TC開発における課題推進者のマイルストーンの設定を精査する体制を構築した。SPMとしては、BAチームに牛場(慶應義塾大学)、TCチームに笹井(株式会社アラヤ)を選任し、チーム内での密な議論の機会を設け、共同研究体制を強化した。



BAチームの目標は、日常生活において脳情報を読み取るアプリケーション Brain Assistant (BA) を開発することである。この目標を達成するため、令和3年度には大量のデータを記録できる脳情報センサーや脳状態管理アプリ、脳コンディショニングアプリ、ワイヤレス脳波計の開発を計画していた。結果として以降の個別の研究開発項目ごとの実施概要に記すように、脳波や環

境センサによるデータ収集の基盤構築・数理的基盤開発において概ね計画通りの成果を得ることができた。また、実質的な共同研究活動が実施できる場の整備として 200 平米規模の賃貸物件(セレス中目黒)を選定し、ムーンショット金井プロジェクト“Internet of Brains”リサーチスタジオを課題 1-1-1 の下で開設した。内部には、実証実験スペース、AI 支援型の非侵襲・非接触 BMI-CA 開発環境、脳影響調査スペースを設置した。開設時に課題推進者全員の見学を義務付けて、理解促進と利活用提案を指示した。

TC チームの目標は、脳信号を利用して脳と脳との間で直接的なコミュニケーションを行う技術を開発することである。この目標を達成するため、障害者においても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する BMI 技術の開発を進めている。令和 3 年度は実験動物を用いた研究と数理的な研究を並行して進めることを目標としていた。具体的には、実験動物を用いた研究ではマーモセットやサル脳の脳に電極を刺入して発話や神経活動の記録と操作を行うことを目標とし、数理的な研究では TC に必要な異なる脳間での情報変換の技術を開発することを目標としていた。結果として以降の個別の研究開発項目ごとの実施概要に記すように、いずれも概ね計画通りの進捗を得ることができ、特に数理研究においては要となる技術の特許出願の準備まで到達することができた(研究開発課題2-1-3の成果参照)。

研究開発項目 4「共通基盤技術」チームでは、BA や TC を実現するための新規技術を発掘するという目標を立てており、有望な技術として極低侵襲 BMI 技術をリストアップした。同技術を本プロジェクトにおける新規技術開発として推進していくために関谷毅教授(大阪大学)および中村元講師(大阪大学)のプロジェクト参画のための手配を進め、令和 4 年度の途中から課題推進者として参画いただく目処がついた。BMI 利活用のためのガイドラインを制作するという目標を立て、こちらについても着実な進捗がみられた。さらに、ELSE 課題に関する体制の強化という目標に対し、法学専門家である駒村圭吾教授(慶應義塾大学)を課題推進者としてプロジェクトへ迎えることで倫理的・法制度的・社会的課題に対する体制を強化した。

これらの成果により、2023 年のマイルストーン達成に向けて大量の脳情報を安定的に記録する環境が整った。また、頭に思い浮かべた言葉や行動を安定して解読する人工知能技術の開発の基盤となる技術の開発に成功した。今後はこれらの成果を活用した大規模データの収集と人工知能技術の改良に取り組み、それらをサイバー空間で活用することで対話、購買、散策、情報検索などの生活自立行動の実現を目指す。

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することを目標に掲げ、これらを達成した。また、研究成果を一般社会へ発信するためにホームページの開設と YouTube 動画の作成を目標に掲げ、これらを達成した。加えて公式ツイッターを設置・活用することで、より幅広い層をターゲットとした効果的な広報活動に努めた。

研究開発項目ごとの実施概要を以下に示す。

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)

- 脳情報シーケンサーに関して、129 極高密度脳波計、1,200Hz サンプリング高速眼球情報計測装置、8 極ワイヤレス筋電センサ、ウェブカメラ、マウス、キーボード、カメラ式体動センサ、カメラ式指運動計測センサを全て時間同期させて統合環境でデータ収集・保存・再生できる機構の開発を完了し、共同研究拠点(通称 ムーンショット金井プロジェクト “Internet of Brains”リサーチスタジオ)の地下一階に実装完了した。
- 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)に関しては、Android OS が稼働するスマートフォン内に実装を完了し、ワイヤレス脳波計から Bluetooth 通信で受領した脳波データを即時加工し、グラフィック動作に反映させて脳状態が確認できたり、運動関連脳状態のコンディショニングをしたりすることが可能であることを確認した。具体的には、非侵襲 BMI アプリケーションを実装するために必要な「エビデンスレベルの高い脳指標」を基準として、脳状態管理アプリ、脳コンディショニングアプリのサービス仕様を確定した。
- ワイヤレス脳波計に関しては、運動関連脳波が高効率に取得できるユーザビリティを備えた形状および機構の設計を完了させ、実動試作品を構築した。一連の過程で、回路基盤、消耗品電極、配線部材、外装品等の調達先を選定し、実動試作品を複数台複製するためのサプライチェーンの構築を完了した。
以上の研究機器を利用した大規模社会実験の共同研究先として、本プロジェクトの課題推進者 3 名との合意締結に至り、また本プロジェクト外の 1 つの医学系大学、1 つのヘルスケア事業者との共同研究に関する合意締結を完了した。以上により、のべ年間 2,000 人規模の社会実験が可能なコミュニティの確保を達成した。令和 4 年度からの実験開始に備えて、専従の研究員雇用を内定した。

(研究開発課題1-1-2)

- 身体・精神状態の日内・日間変動の説明要因の同定のため、楽器演奏中の脳波を定量計測可能なシステムを開発し、脳波を用いた調子の良し悪しを推定するためのトレーニングデータセット収録実験を実施した。演奏直前、演奏中、演奏後等の時区間に応じて脳波を評価、比較する手法(令和 3 年度版)の構築を完了した。また、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)と連携し、打鍵運動中の運指や筋電図などの表面情報から脳疲労を推定するための定量計測・定量評価法(令和 3 年度版)の構築を完了し、音楽演奏熟達者と未経験者で脳疲労の出現に差異があることを成功裏に検出した。
- 民生カメラから手指 3 次元姿勢を推定する深層学習モデルの開発を研究開発課題 2-3-2(小池グループ)と連携して取り組んだ。また、スマホマイクを用いて音響信号を計測し、調子や技能、疾患に関する特徴量を自動で解析し、可視化するアプリの製作を完了した。これにより、社会実験に使用する実験系(令和 3 年度版)の構築を完了した。

(研究開発課題1-2-1)

- 研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)・研究開発課題 1-2-3(小泉グループ)・研究開発課題 1-2-2(中澤グループ) と協働し、令和2年度に開始した、表面情報を計測するための接触・非接触デバイスの調査と、過去に取得済みの生体情報データを用いた心身状態を推測の予備的な調査を考慮して、研究計画全体の推進のために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)に基づいたシステムの構築とデータの同期化を完了した。このことに加え、運動情報のデューディングや将来的な BMI 実験に向けた刺激の探索などを進めた。
- 「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」に向けて、令和2年度に開始した参加者コミュニティの探索を継続し、日常生活場面(あるいは日常生活模擬場面)で、社会実装実験の対象となり、開発技術の直近のモニタユーザーとなる被験者プール・参加者コミュニティの確保を他グループと協力しあって進めた。

(研究開発課題1-2-2)

- 姿勢・歩行を検知するために主にマーカレスモーションキャプチャー技術を用いた計測を実施した。さらに歩容のみ計測可能な市販デバイスなど、既存の製品も複数使用し、モーションキャプチャーにより得られたデータとの比較検証を進めた。
- 姿勢や歩容から精神状態を推定するアルゴリズム構築に向けた基礎実験を進め、全170例のデータを収集した。さらに姿勢・歩行の特徴と脳の機能・構造的特徴、精神状態との関連を精神疾患患者、健常者を対象として分析し、姿勢や歩行から精神状態を推定するアルゴリズム開発のための基礎データ収集を進めた。
- ユーザーの心理的抵抗の少ない既存のデバイスやスマートフォンアプリを主として用いながら、複数のモニタユーザーグループでの日常データの収集を研究開発課題 1-2-1(渡邊グループ)、研究開発課題 1-2-3(小泉グループ)と連携して実施する予定であった。研究期間全体の前半においては、スポーツやリハビリの現場で計測可能な表面情報の絞り込みとマルチモーダル表面情報計測において最適な組み合わせを、k 研究開発課題 1-2-1(渡邊グループ)、研究開発課題 1-2-3(小泉グループ)とともに確定し、その可用性を確認した。これにより、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系の構築を完了した。後半では、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)で行われるベストプラクティス抽出を補完する形で、心身状態推定デバイス使用の多様性分析を、スポーツやリハビリの現場で行う予定であったが、研究計画の一部見直しと変更があったため、令和4年度からの研究に変更となった。
- 実施状況として、コロナ禍で制限が多かったものの、医療・行政・福祉と連携してコミュニティを構築し、股関節症患者の会では、28名を対象として試行的に2週間の日常行動、心理データ収集を実施した。また年度を跨いだものの、研究協力関係が得られたドラッグストアの店員14名を対象とし、工作中的の心拍数(ウェアラブルシャツ装着)、歩容

(スマートシューズ着用)、尿中ストレスマーカー、心理・行動日誌の記録を3週間連続実施した。また、歩行困難な障害者(脳性麻痺 2 名、ジストニア 1 名)を対象とし、日常データ収集の準備を進め、第一段階としてウェアラブルウォッチと日誌の記録を進めた。さらに、会話ロボットを利用し、日常の気分、表情、音声を同時連続取得・解析する実験形を構築し、予備実験を進め、令和 4 年度上半期での本実験開始に向けた準備をほぼ整えた。

(研究開発課題1-2-3)

- ト라우マ経験前後、および開発介入前後の不安・恐怖傾向を予測する実験実施のための機材・人員を実装し、安定して実験・データ収集をする環境を整えた。研究開発課題1-2-1(渡邊グループ)・研究開発課題1-2-2(中澤グループ)と連携しながら、VR 環境内でのリアリティーのあるトラウマ経験前後における被験者の非接触表面情報である全身運動の時空間パターンから不安・恐怖傾向をデコードし、推定心身状態の精度が従来の接触指標(発汗など)よりも高いことを確認することができた。二つの実験を通し、約100名のデータ収集を実施しN数を増やす目標も達成した。
- 携帯アプリを通してトラウマ経験時やトラウマ想起時の恐怖・不安状態を被験者の非接触状態や身体情報から推定するアルゴリズムを構築することを目指し、安定的な日常行動におけるデータ収集のための準備を整えた。具体的には、携帯アプリを通して模擬的なトラウマ経験をしたり想起するプラットフォームの初期版を構築し、非侵襲推定のための複数指標計測の準備を整えた。

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)

- 研究開発課題 3-1-1(小松グループ)と共同で、自由行動化のマーモセットの ECoG データから、発声の意図(鳴き声の種類)を解読する Neural Net の構築に成功した。この結果をまとめた発表要旨が、2022年の日本神経科学大会での発表に採択された。
- IIT の提唱者とともに構築してきた「意識の座の境界線」を同定する手法に修正が必要なことがわかったため、修正を進めつつ、並行して令和4年度の目標について先取りして研究を行った。その結果、令和 4 年度の予定であった複数脳的全脳同時シミュレーションシステム構築に成功し、さらに、令和5年度の目標であったシミュレーション上での複数脳の結合実験も進めることができた。

(研究開発課題 2-1-2)

- ECoG(皮質脳波)信号計測のデータ解析に加え、剣山型電極から記録される神経活動電位 (Unit Activity, 以下 UA) 信号ならびに fNIRS(機能的近赤外分光法)信号の計測を実施し、マルチモーダルな脳機能活動信号を、疾患を持つ患者様ならびに実験動物から横断的に記録、解析するための研究環境構築を完了した。また、BMI の性能向上を目的として、脳の視覚情報処理アルゴリズムにより近い AI 技術開発を進め、その研究成果発表が、国際学会で採択された。

(研究開発課題 2-1-3)

- 離散状態の確率システムにおいて、最適制御コストを Schrödinger bridge problem として求める方法を提案した。また、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、タスクの難易度が高いタスクに移る際の遷移コストは有意に高くなる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可能性が示唆された。これらの結果をまとめた研究論文が Network Neuroscience 誌に受理された。

(研究開発課題 2-2-1)

- オフライン RL と関連性の高い模倣学習の研究を中心に行った。多くのアルゴリズムが発表されているが、それらを公平に比較したことがなかったので、ベンチマークを行うためのライブラリを開発し、公開した。また、目標ベースの RL の改良を行い、その結果、新しいアルゴリズムを開発することに成功し、環太平洋人工知能会議にて発表を行った。

(研究開発課題 2-3-1)

- コンシューマー向けの簡易 EEG 装置(FocusCalm)で 250Hz 1ch Bluetooth 無線接続で EEG を計測する API および計測ソフトウェア(Python)を構築した。
- 皮膚添付加速度センサ、マスク添付加速度センサ、口唇映像、口腔内電極等の非接

触身体情報による発話意図を自己教師型深層学習で解析する手法を進展させた (Augmented Humans 2021 において2件の論文発表、ACM CHI2021 でポスター発表、2022 年5月 ACM CHI2022 で2件発表予定)。

- 技能獲得手法として、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手法を開発中であり、end-to-end の深層学習音声認識機構(wav2vec2, huBERT)の出力層に習熟度弁別層を付与することで構築した。
- 得られたデータより対象技能として語学発話の習熟度について検証を行い、発音の適切度を弁別する機構を構築した (ACM SIGCHI Workshop 2021、ACM UIST 2021 ポスター発表)。

(研究開発課題 2-3-2)

- 筋電計測器を購入し、両足の前脛骨筋および腓腹筋の活動と、光学式モーションキャプチャー装置で計測した姿勢データと組み合わせたデータの計測が可能となった。同時に、既開発の深層学習に基づく未来予測手法に筋電データを統合するためのネットワーク設計を行なった。
- すでに実装済みの仮想現実感を利用したスキートレーニングシステムに対して、一律時間の遅くなる constant 条件(0.6 倍と 0.8 倍)、ガイドとなる熟練者の滑走曲線からの距離が閾値を超えると動的に時間を遅くする条件、理想的な回転の中心からの距離が閾値を超えると動的に時間を遅くする条件を実装した。時間歪曲のない条件(ベースライン)との比較実験を行なったところ、constant 0.8 の条件が最も成績が高いことがわかり、研究結果が国際学会(査読有)と国内学会(査読有)にそれぞれ採択された。

研究開発項目 3 : IoB コア技術

(研究開発課題 3-1-1)

- 霊長類(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た。それらのデータから他個体の鳴き声に返事をするかどうかの意思決定機構に関わる皮質領野を明らかにし、国際会議 1 件、国内会議 1 件の成果発表を行った。
- 既存の実験施設に防音室を 2 室設置し、視覚、聴覚情報を自由に操作するための視聴覚機器の設置を行った。本システムは自動給餌・給水機能も備えており、マーモセットの行動に応じて外部から行動強化のための報酬を提示することが可能となった。

(研究開発課題 3-2-1)

- サルの皮質活動 182ch 記録、深部脳活動 24ch、筋活動 16ch を同時記録できるシステムを組み込みそれが動作することを確認した。また、脳へ情報を書き込むためのことを目的とした、同時に 5 か所を独立して電気刺激できるハードウェアが完成した。
- ドーパミン神経から脊髄へとつながる多シナプス性神経結合があり、ドーパミン神経を刺激すると筋活動を誘発できることを見出した。この経路は意欲の状態が力へ返還される神経回路ではないかと推察された。この成果は J Physiology に掲載された (Suzuki et al., J. Physiol. 2022)。

(研究開発課題 3-2-2)

- 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 BCI の開発に成功し、その成果を Communications Biology にて報告した (Fukuma et al., Comm. Biol. 2022)。
- 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。また、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。複数箇所同時刺激を行ったところ、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。

研究開発項目4: 共通基盤技術開発

(研究開発課題 4-1-1)

- 脳への高精細な情報入力のための新規技術発掘に向け、BMI 技術に関する論文や、新しい情報入力技術を探索した。その中で有力視された技術として、令和4年度より新たな研究開発項目として極低侵襲 BMI の研究開発を実施することを決定し、当該分野において革新的な技術・デバイスの開発の経験を有する、大阪大学の関谷毅教授および中村元講師を新規の課題推進者候補とした。
- 本プロジェクトの共通実験スペースに関して、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)主導にて、物件の契約、内装、実験機器搬入・設置等を行い、プロジェクト内及びプログラム内で公開した。今後は、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)にて一般被験者の受入に向けた準備を進める予定である。
- プロジェクト推進に関する組織構築を完了した。また、一般消費者等の関心事より12個のクエスチョンを設定し、うち2個のシステマティックレビューを実施して外部評価を受けた。さらに、一般向けの「ブレイン・テック利活用ガイドブック」を作成し、関連学会のメンバー・省庁の査読を受けた。なお、査読者の指摘に基づく検討によって、広く啓蒙的な指南書としての意味合いを持つよう、本冊子名を「ガイドブック」と変更することとした。
- 技術的側面及び法理論的側面のヒアリングに関する主任をチーム内で分担し、各研究開発課題の内容調査、論点整理、ヒアリングを完了した。

(研究開発課題 4-2-1)

- 研究協力者の募集を完了し、研究会“Internet of Brains”-Society (IoB-S)を設置した。IoB-S の研究会を計9回にわたり開催した。また、大阪に出張を行い大阪大学 ELSI センター及び関西大学においても研究会を実施した。
- 各研究開発課題の内容調査、論点整理、ヒアリングに基づいて、「IoB-S 研究会実装実験系 アニュアルレポート (2021 年度版)」を作成し、また、海外における議論動向の整理や、国内文献のシステマティックレビューも行った。
慶應三田会会報誌の『三田評論』にて座談会を開催し「特集:脳科学研究の最前線「人類の可能性を開拓する総合知の未来」への寄稿のほか、著名法学雑誌「法学セミナー」に「脳神経科学の挑戦を法学はいかにうけとめるべきか」というタイトルで二年間の連載が決定した。さらに、「Internet of Brains, Neurodata と法学的課題」という標題で東京法哲学研究会にて報告を行った。

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、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「脳情報シーケンサー」の構築を完了した。具体的には、129 極多点脳波計測装置、120 Hz 高速眼球運動計測装置、8 極ワイヤレス生体センサ、3 極生体神経筋電気刺激装置、USB カメラ、USB マイク、マウスが別個のエッジマシンでデータ収録しつつ、室内イントラネット環境に収録データをパケット発出し、Open ViBE (Renard et al. 2010) および Lab Streaming Layer (LSL) (Kothe et al. 2019) 基盤上で時間同期される機構を考案し、脳情報オミックスデータの収集解析基盤をソフトウェアシステムとして実装した。LSL 未対応装置については独自にミドルウェアを開発した。運用に際しては、エッジマシン個別にデータ収録の開始と停止のコマンドを送出する必要があり、これを独自開発の RPA (Robotic Process Automation) プログラムにより整備した。この工夫により、実験者は、複数の装置についてメーカー差、機種差を意識することなく、オペレータ画面のワンクリック操作で時間同期収録ができるようになった。

電気生理検査上、許容できる上限値も実験的に求めた。具体的には、生体神経筋電気刺激装置を駆動させて被験者に一側正中神経刺激を与え、その後を生じる頭皮脳波の感覚誘発電位 (Sensory Evoked Potential, SEP) を用いて行なった。装置間のジッターと時間遅延の2つの観点で評価を行い、事後に計算機上で更にこれら2要因を疑似的に付加する等して SEP の波形と頭表空間分布の崩れ方を評価した。以上のことから、今回開発した脳情報オミックスデータの収集解析基盤は、伝統的な電気生理学検査を行う上で実用十分な精度を有していることが確認され、運用性確認を成功裏に完了させることができた。

以上の開発内容は現在査読付き国際学術論文誌へ投稿し、査読中である。採録されたタイミングで本システムの一部を、ソフトウェア開発プラットフォーム GitHub を通じて公開し、科学者コミュニティに技術還元する予定である。

次年度以降は、今回構築を完了した「脳情報シーケンサー」を活用して脳情報オミックスデータを収集、解析し、ユーザーの精神と身体状態をキャリブレーションが不要で即応性と確実性が担保された形で推定するアルゴリズムの開発を推進する。

(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

令和3年度における研究開発の成果物である、非侵襲 BMI アプリケーションを実装するために必要な「エビデンスレベルの高い脳指標」を基準として、脳状態管理アプリ、脳コンディショニングアプリのサービス仕様を確定した。具体的には、使用する非侵襲 BMI ハードウェア、スマートフォン等の情報端末の選定、取得された脳波から脳指標を得るための計算式、表示画面に関する仕様を記載した製品標準書を整備し、実装の

一部は専門業者への単純請負(開発要素含まず)にて実施した。特に非侵襲 BMI ハードウェアに関しては、「機器性能が JIS 規格(脳波計)を陽に満たしていること」「脳波測定部位が体性感覚運動野をターゲットにしていること」「継続的な日常利用に耐えるユーザビリティを有していること」等を仕様に挙げて市販既存品を広く分析したが、該当品がなかったことから、これを満たすカスタム品を開発した。

サプライチェーンの構築に関しては、民生機器としての非侵襲 BMI ハードウェアを製造あるいは販売している複数のメーカーと協議して供給網を確定した。実装したアプリの供給に関しては、開発環境から端末に直接テストアプリを供給することとしつつ、並行して既存のアプリストアを介してダウンロードする様式の採用を進めた。また、実証実験パートナーとして、有病社会復帰者コミュニティや医学系・体育系大学との協議を実施し、社会実証実験のための体制整備と生命倫理審査の準備を完了した。

この開発推進の一環として、2022 年 3 月 18 日より日本科学未来館にて開催されている特別展「きみとロボット ニンゲンッテ、ナンダ？」にて、開発したデバイスを出展し、普及展開を促進させる。次年度には、会場内で一般来場者向けの実機体験デモンストレーションを予定している。

次年度以降は、今回構築を完了した「社会実証実験環境」を活用して、装脱着が簡便な非侵襲 BMI デバイスと精神・身体状態の推定アルゴリズムを組み合わせ、ユーザーが日常環境のなかで精神・身体状態を把握して、健康管理に役立てる「Brain Assistant」アプリケーションの有用性検証を推進する。

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：

令和三年度は、民生カメラから手指 3 次元姿勢を推定する深層学習モデルの開発を小池グループと連携し取り組んだ。また、スマホマイクを用いて得られた音響信号に基づき、調子や技能、疾患に関する特徴量を自動で抽出、可視化するアプリを開発した他、楽器演奏中の脳波を計測可能なシステムを開発し、脳波を用いた調子の良し悪しを推定するためのトレーニングデータセット収録実験を実施した。さらに、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)と連携し、非接触脳情報から疲労を推定するモデル開発のための実験を実施した。

課題推進者：古屋晋一 (Sony CSL)

研究開発課題 1-2-1：非接触表面情報からの心身状態の推定

当該年度実施内容：

本研究開発課題の全体計画では、「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 PM）」プロジェクトの中で、「非接触表面情報による心身状態の推定」の開発課題が掲げる「表面情報からの心身状態の推定に向けた知的基盤技術」と「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」の2つのテーマに沿った計画を、他グループと連携しながら進めることになっている。

令和3年度では、「表面情報からの心身状態の推定に向けた知的基盤技術」に向けて、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)・研究開発課題 1-2-3(小泉グループ)・研究開発課題 1-2-2(中澤グループ)と協働し、令和2年度に開始した、表面情報を計測するための接触・非接触デバイスの調査と、過去に取得済みの生体情報データを用いた心身状態を推測の予備的な調査を考慮して、研究計画全体の推進のために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）に基づいたシステムの構築とデータの同期化に加え、運動情報のデコーディングや将来的な BMI 実験に向けた刺激の探索などを進めた。また、「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」に向けて、令和2年度に開始した参加者コミュニティの探索を継続し、日常生活場面（あるいは日常生活模擬場面）で、社会実装実験の対象となり、開発技術の直近のモニタユーザーとなる被験者プール・参加者コミュニティの確保を他グループと協力しあって進めた。

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の推定に向けた知的基盤技術

本テーマでは、身体表面から非接触センシング技術で精神状態を推定・予測する技術を確立する。既存の接触技術による生理指標を併用しながら、非接触技術による新しい計測技術の精度を速やかに上げることを目指す。

令和3年度は、本研究グループ共通目標である「既存の接触センシング技術を参照しながら新規の非接触センシング技術の精度を確立する」ために姿勢・歩行の解析にターゲットを絞っている。統制された実験室環境からノイズの多い実生活環境へと段階的に計測環境を拡張し、「BMIのある日常」実現へ向けた着実な技術更新を進める。令和3年度は、姿勢・歩行を検知するために主にマーカレスモーションキャプチャー技術を用いた。さらに歩容のみ計測可能な市販デバイスなど、既存の製品も複数使用し、モーションキャプチャーにより得られたデータとの比較検証を進めた。

姿勢や歩容から精神状態を推定するアルゴリズム構築に向けた基礎実験を進め、170例のデータを収集した。さらに姿勢・歩行の特徴と脳の機能・構造的特徴、精神状態との関連を精神疾患患者、健常者を対象として分析し、姿勢や歩行から精神状態を推定するアルゴリズム開発のための基礎データ収集を進めている。

②スポーツ・リハビリの現場における心身状態非侵襲推定に向けた社会実験

本テーマでは、「表面情報からの精神状態の推定に向けた知的基盤技術」を活用し、ユーザーの表面情報を日常環境のなかで恒常的に計測して精神状態を推定・予測できるシステム基盤を開発する。

令和3年度は、ユーザーの心理的抵抗の少ない既存のデバイスやスマートフォンアプリを主として用いながら、複数のモニタユーザーグループでの日常データの収集を研究開発課題 1-2-1(渡邊グループ)、研究開発課題 1-2-3(小泉グループ)と連携して実施する予定であった。研究期間全体の前半においては、スポーツやリハビリの現場で計測可能な表面情報の絞り込みとマルチモーダル表面情報計測において最適な組み合わせを、研究開発課題 1-2-1(渡邊グループ)、研究開発課題 1-2-3(小泉グループ)とともに確定し、その可用性を確認した。後半では、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)で行われるベストプラクティス抽出を補完する形で、心身状態推定デバイス使用の多様性分析を、スポーツやリハビリの現場で行う予定であったが、研究計画の一部見直しと変更があったため、令和4年度からの研究に変更となった。

実施状況として、コロナ禍で制限が多かったものの、股関節症患者の会では、28名を対象として試行的に2週間の日常行動、心理データ収集を実施した。また年度を跨いだものの、研究協力関係が得られたドラッグストアの店員14名を対象とし、工作中的心拍数(ウェアラブルシャツ装着)、歩容(スマートシューズ着用)、尿中ストレスマーカー、心理・行動日誌の記録を3週間連続実施した。また、歩行困難な障害者(脳性麻痺2名、ジストニア1名)を対象とし、日常データ収集の準備を進め、第一段階としてウエ

アラブルウォッチと日誌の記録を進めた。さらに、会話ロボットを利用し、日常の気分、表情、音声を同時連続取得・解析する実験形を構築し、予備実験を進め、令和4年度上半期での本実験開始に向けた準備をほぼ整えた。

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

当該年度は、トラウマ経験前後、および開発介入前後の不安・恐怖傾向を予測する実験実施のための機材・人員を実装し、安定して実験・データ収集をする環境を整えた。渡邊G・中澤Gと連携しながら、VR環境内でのリアリティーのあるトラウマ経験前後における被験者の非接触表面情報である全身運動の時空間パターンから不安・恐怖傾向をデコードし、推定心身状態の精度が従来の接触指標(発汗など)よりも高いことを確認することができた。二つの実験を通し、約100名のデータ収集を実施しN数を増やす目標も達成した。

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

当該年度は、携帯アプリを通してトラウマ経験時やトラウマ想起時の恐怖・不安状態を被験者の非接触状態や身体情報から推定するアルゴリズムを構築することを目指し、安定的な日常行動におけるデータ収集のための準備を整えた。具体的には、携帯アプリを通して模擬的なトラウマ経験をしたり想起するプラットフォームの初期版を構築し、非侵襲推定のための複数指標計測の準備を整えた。

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:

①意図を推定する AI の構築

今年度の1つ目の目標は、システムの間での情報表現形式間のマッピングを見つける技術の開発を行うため、深層学習技術を用いて、動物実験を行っている研究チーム(小松グループ)と共同で意図を推定する AI を構築することが目標であった。具体的には、神経活動からその動物の四肢の動きを解釈し、それに基づいて動物の行動を仮想現実(以下 VR)上で、リアルタイムで再構築する技術の開発を進めた。小松グループから提供いただいた自由行動化のマーモセットの ECoG データ(左半球をまんべんなく覆うように配置された96チャンネル電極から得られたもの)から、発声の意図(鳴き声の種類)と、運動の意図(四肢の座標)の解釈技術の構築を進めた。

②fMRI データを用いた、視覚領域と聴覚領域間での潜在空間の合わせこみが可能かどうかの検証

今年度の2つ目の目標は、ある個人脳内、意図のような抽象的な概念の表現がどこでなされているかの解明に着手することであった。詳細は未公開だが、Fronto-parietal network と呼ばれる脳領域のデータから、その他の領域がコードしている情報を抽出するのに利用できる可能性が示唆された。本研究の結果は2022年に開催される日本神経科学大会で口頭発表を行う予定である(採択済み)。

③2つの脳の全脳同時シミュレーション

今年度の3つ目の目標は、申請者が意識の統合情報理論(IIT)に基づき構築した、情報的なシステムの境界線を実データから同定する手法を、安静時および課題遂行時以外の状態で取得された fMRI データで適用した場合に境界線がどのように変化するか、さらに、fMRI 以外の測定手法(ECoG, EEG, voltage dye sensitive imaging data)で得られたデータへも適用可能かどうかを検証し、構築した手法がどのくらい実用に足るものであるかを検証することであった。本課題の推進者は IIT の提唱者とともに理論の構築を続けているが、本年度に入ってから、システムの境界線を定義する手法を新たに少し修正する必要が判明し、現在それに取り組んでいる。

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:

①概念情報の数理表現技術開発と実験的検証

本研究課題では、視覚情報処理に着目し、マカクサルを対象とした動物実験に基づき、TC 技術実現にむけた AI 技術開発と実験的検証を計画している。実験的検証の手続きとしては、研究開発項目3で推進する ECoG(皮質脳波)信号計測のデータ解析に加え、剣山型電極から記録される神経活動電位(Unit Activity, 以下 UA) 信号ならびに fNIRS(機能的近赤外分光法)信号の計測を自身のグループで実施し、マルチモーダルな脳機能活動信号を、疾患を持つ患者様ならびに実験動物から横断的に記録、解析するための研究環境構築を行った。

研究実施にあたり、動物実験補助員を本プロジェクト専属で確保するとともに、専属のポスドク研究員2名をリクルートし、チームメイクを完了した。

産総研内でヒト ECoG データ解析を行うために、倫理審査会に研究計画書を提出し、承認を得て、大阪大学・柳澤グループから、視覚応答に関するデータ提供を受けた。また、理研・小松グループによるマーモセットの ECoG データ提供に向けたデータフォーマット決定を実施した。

UA 信号記録を行うために、新規神経計測システムの導入と、記録チャンネルの拡張(最大同時 512ch 記録)を行い、実験の計測プログラムの刷新ならびに解析プログラムの更新を完了した。剣山型の微小電極アレイ(電極間隔 400um, 1 アレイにつき 96 本)を、マカクサル脳表面に埋め込む手術を実施し、さまざまな画像、動画を観察する際に生じる UA 信号の多点同時記録を開始した。

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、実験動物の頭蓋骨直上から低侵襲計測を想定した fNIRS 計測を実施するとともに、そのデータ解析を行い、国際誌に論文発表した。

これらの実験的検証研究と並行して、BMI の性能向上を目的として、脳の視覚情報処理アルゴリズムにより近い AI 技術開発を進めた。Convolutional Neural Network (CNN)を基本アーキテクチャとした脳の視覚野の工学的実装をすすめ、BMI に必要な視覚情報の復号化のためのハードウェア実装に関する開発を行い、その研究成果発表が、国際学会で採択された(2022年3月現在未発表)。さらに脳の情報処理に近い CNN のアーキテクチャを動画処理に拡張した研究成果を、国際学会で発表した。

また、概念情報の数値表現技術開発をすすめ、基本技術の特許出願を行った。

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値基盤技術の開発

当該年度実施内容:

今年度は脳状態遷移にかかるコストを、脳活動データから定量化する理論的枠組みをさらに発展させた。具体的には、制御理論の枠組みから、ある脳状態から別の脳状態に遷移させるために必要な制御コストを求める方法論である。従来研究で、決定論的な系で制御コストを定量化する理論は既に提案されていたが、この枠組みでは神経系の確率的な振る舞いを捉えることができず、制御コストの推定が不正確になってしまう問題があった。本研究では、情報理論的な指標を導入することで、確率的な系の中でより正確に制御コストを定量化する枠組みを提案した。具体的には、我々は制御コストを制御入力がない時の系の遷移に対する同時確率分布と、制御入力を入れた時の系の遷移に対する同時確率分布との Kullback-Leibler divergence(KLD)の最小値として定義した。これは、始状態と終状態の確率分布が与えられた時に最適制御経路を求める問題であり、Schrödinger bridge problem と等価である。

我々はまず、離散状態の確率システムにおいて、最適制御コストを Schrödinger bridge problem として求める方法を提案した。この方法は Network Neuroscience 誌に論文として発表した(Kawakita et al., 2022, Network Neuroscience)。この論文は査読者から、“This work has the potential to open ground-breaking research paths in quantifying energy to control macroscopic brain states”と高く評された。また、掲載誌上で同じ時期に公表された論文の中で Most Read の論文となり、大きな注目を集めた。

系の確率分布を離散分布でモデル化する方法は、非線形性を取り入れることができる一方で、最適制御コストの計算時間が膨大になる、統計的な推定が困難になるなどの問題があった。これらの問題点を補う別な方法論として、我々は連続状態の線形な確率システムにおいて最適制御コストを解析的に求める方法も提案した。この方法は線形性を活かして解析的に制御量を求めることができるので、高次元の神経データでも計算することが可能である。さらに、我々はこの最適制御量が、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た。興味深いことに、平均を制御するのに必要なコストは、従来の決定論的な系で用いられてきた最適制御量と対応がつくことも示した。従って、我々が今回 KL 距離を用いて定義した制御コストは、従来の決定論的な制御コストのある種の自然な拡張になっていることも示すことができた。この新しい方法論を示した論文は bioRxiv にプレプリントとして公開している (Kamiya et al., 2022, bioRxiv)。

次に、このように定義した制御コストが認知負荷とどのような関係性にあるか、実際の脳活動データを用いて妥当性を検証した。具体的には、fMRI データの大規模な公開データである Human Connectome Project を使って検証を行った。Human Connectome Project においては約 1000 人の被験者が複数の共通のタスクを行っている際の fMRI データが公開されている。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可能性が示唆された(Kawakita et al., 2022, Network Neuroscience)。

また、今年度新しく提案した方法論を用いると、どの脳領域が最適制御に重要な役割を果たすかを定量的に調べることができる。我々は、同じ 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、それぞれの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、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., 2022 bioRxiv)。

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:

R3 の目標はオフライン RL、ゴールベース RL、メタ RL の基礎研究を発展させることである。

この目標に取り組むために、有能な研究者を採用するために時間を費やしたが、最終的には、ロボット工学の経験があり、RL の経験もある若手研究者を採用することができた。

この1年は、オフライン RL と関連性の高い模倣学習の研究を中心に行った。多くのアルゴリズムが発表されているが、それらの公平な比較がこれまでなされていないことから、ベンチマークを行うためのライブラリを開発し、公開した。この成果をロボット学習学会に投稿するとともに、論文をプレプリントとして公開した。さらにより新しい手法を構築し、ベンチマークのための実験を継続している。

また、目標ベースの RL の改良を行い、その結果、新しいアルゴリズムを開発することに成功し、環太平洋人工知能会議にて発表を行った。

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釈するミドルウェア開発

皮膚添付加速度センサ、マスク添付加速度センサ、口唇映像、口腔内電極等の非接触身体情報による発話意図を自己教師型深層学習で解析する手法を進展させた (Augmented Humans 2021 において2件の論文発表、ACM CHI2021 でポスター発表、2022年5月 ACM CHI2022 で2件発表予定)。口唇画像によるサイレントボイスと、視線情報を融合することでより円滑な意思伝達をはかる手法を開発した。対象物を注視している状況をシステムが認識することで、限られた語彙でも意思の伝達が可能になる (ACM ETRA21 にて論文発表)。発話と脳身体活動情報を記録するためのデータ取得環境、プラットフォームの開発、脳身体活動コーパスの開発、データ蓄積を開始し、今年度は上記に関連する情報のデータ蓄積を行った。

サイレントボイスに加えて、囁き声 (whisper voice) の認識及び通常の声への変換の研究を開始した。Whisper 発話はサイレントボイスに準じた秘匿性があり、ウェアラブルでの非接触インタラクションをより広範囲で利用可能にする。通常の声発話と whisper 発話を切り替えることで、通常会話とコンピュータへの音声指令を即時に切り替えたり、音声入力時の音声訂正コマンドを whisper 発話に担当させたりすることができる。さらに、複数のアバターに分身して会話をする場合でも、通常発話と whisper 発話を併用することが考えられるなど、CA 制御のインターフェースとしても供することができる。

これら一連の研究では、センサ形態は様々であるが処理を行うニューラルネットワークの構造は本質的に同一であり、身体から発せられる発話意図を解釈するミドルウェアとして統合することが可能である。発話意図の解釈は、CA の制御などインタラクシ

ン技術として重要であることに加えて、発声能力の補綴機能としての社会展開が可能だと考えている。

非侵襲脳情報に関しては、今期は研究開発課題 2-3-2(小池グループ)と協調して基本的な実験環境を整備した。コンシューマー向けの簡易 EEG 装置(FocusCalm)で 250Hz 1ch Bluetooth 無線接続で EEG を計測する API および計測ソフトウェア (Python)を構築し、自己教師型学習による脳身体活動情報への非表現学習を試みている。

侵襲脳情報からの発話意図に関しては、研究開発課題 3-2-2(柳澤グループ)よりデータを拝受し、自己教師型表現学習による解析を開始したところである。

②BMI 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、自己教師型学習による脳身体情報の表現学習の評価、およびフィードバック手法の探索を行った。具体的には、人間の発話に関する習熟度を抽出する自己教示型深層学習手法を開発中である。熟練者は、練習者の技能レベルを極めて短時間に見抜くことができる。また外国語の発音でもネイティブか外国人か、あるいは方言などを極めて短時間に弁別することができる。これに類似した機構を人工的に再現し、技能獲得促進のために供することを研究の目的としている。今年度は、end-to-end の深層学習音声認識機構(wav2vec2, huBERT)に大量の原波形を与え自己教師型の表現学習を獲得し、出力層に習熟度弁別層を付与することで構成によるシステムを構築した。対象技能として語学発話の習熟度について検証を行い、フィードバック手法として、発音の適切度を反転する重み付け情報を利用して、練習者の発話に応じて習熟度を時間軸上に図示する手法を構築した (ACM SIGCHI Workshop 2021、ACM UIST 2021 ポスター発表)。

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

今年度は、まず筋電計測器の選定を行った。当面对象とする運動がスキーであることと、最低8チャンネルのセンサが必要であること、無線での筋電計測を重視し、最終的に Delsys 社製のセンサを購入した。本センサを両足の前脛骨筋および腓腹筋に装着し計測実験を行なった。現有の光学式モーションキャプチャー装置で計測した姿勢データと組み合わせたデータの計測が可能となった。同時に、既開発の深層学習に基づく未来予測手法に筋電データを統合するためのネットワーク設計を行なった。上記とは別に、Think Communication グループ内でのディスカッションから、本未来予測手法を小松チームが研究中のマーモセットの運動データに適用することを目標とし、小松チームからデータの提供を受けた。

② 脳情報を用いた時空間歪曲学習手法の最適化

仮想現実感を利用したスキートレーニングシステムを既に開発済みであるが、本システムに時間歪曲機能を実現した。具体的には、一律時間の遅くなる constant 条件(0.6倍と0.8倍)、ガイドとなる熟練者の滑走曲線からの距離が閾値を超えると動的に時間を

遅くする条件、理想的な回転の中心からの距離が閾値を超えると動的に時間を遅くする条件を実装し、時間歪曲のない条件(ベースライン)との比較実験を行なった。その結果、constant 0.8 の条件が最も成績が高いことが示された。Constant 0.6 は時間経過が遅すぎ、動的条件は学習者に混乱を与えるためスコアが低かった。本研究結果は国際学会(査読有)と国内学会(査読有)にそれぞれ採択された。

[matsumoto2022] Takashi Matsumoto, Erwin Wu, and Hideki Koike. 2022. Skiing, Fast and Slow: Evaluation of Time Distortion for VR Ski Training. In *Augmented Humans 2022 (AHs 2022)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 142-151.

DOI:<https://doi.org/10.1145/3519391.3519402>

[松本 2021] 松本 高, Erwin Wu, 小池 英樹、時間歪曲機能を用いた VR スキートレーニングの拡張, 日本ソフトウェア科学界第 29 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(wiss2021), オンラインプロシーディングズ、<https://www.wiss.org/WISS2021Proceedings/data/10.pdf>

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

本項目はプロジェクト終了時には複数頭のマーモセットの音声コミュニケーションをオンライン上に移行し Think Communication を実現することを目標としている。

本年度は、霊長類（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た。それらのデータから他個体の鳴き声に返事をするかどうかの意思決定機構に関わる皮質領野を明らかにし、国際会議 1 件、国内会議 1 件の成果発表を行った。

また、当該システムを1セット追加で構築し、ECoG 電極を埋め込んだマーモセット A,B を離れた2箇所には置かれたケージ内で自由行動させ、鳴き交わし実験を開始するに至った。本実験は音声コミュニケーション中の複数の非ヒト霊長類の広域皮質脳波を同時計測した世界初の試みである。

上記の発話・行動および神経活動データをプロジェクト内の他グループへ提供した。

② マーモセット用 AI 支援型 BMI-CA の制作

本項目では、時間と空間を超えるコミュニケーションを行うために、マーモセットが行動する XR 環境を開発することを目標としている。

本年度は既存の実験施設に防音室を 2 室設置し、視覚、聴覚情報を自由に操作するための視聴覚機器の設置を行った。本システムは自動給餌・給水機能も備えており、マーモセットの行動に応じて外部から行動強化のための報酬を提示することも可能である。

現在防音室内のノイズキャンセリングの方法について検討を行っており、R4 年度中には環境設定が終了しシステムを本稼働させる見込みである。

課題推進者:小松三佐子(理化学研究所)

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

本研究開発では、運動・体性感覚・情動を惹起することを目的として、リアルタイムに脳・脊髄に対する刺激ことを実現するためのハードウェア・ソフトウェアを開発した。

サルの大脳皮質活動 182ch 記録、深部脳活動 24ch、筋活動 16ch を同時記録できるシステムを組み込みそれが動作することを確認した。また、脳へ情報を書き込むためのことを目的とした、電気刺激は同時に 5 か所を独立して刺激できるハードウェアが完成した。さらに、多チャンネル生体信号の状態依存で、1ch の電気刺激パターンを生成するプログラムは完成した。これは、複数のヒトの脳活動を一つに集約し、他個体に書き込み可能な技術に応用できる。

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

本研究開発では、中枢神経損傷後に身体運動機能の再建を目的として、サルの大脳皮質運動関連領野、脊髄、筋肉に埋め込んだ刺激電極を通じで電気刺激し、それにより誘発できる運動の特徴を刺激パラメータと誘発運動キネマティクスとダイナミクスの観点から解析した。

サルが随意運動している際に皮質運動関連領野を電気刺激し、それにより誘発される筋活動は、刺激により筋活動を促進させるものと、抑制させる 2 種類が見られた。また、サルの大脳皮質への電気刺激により筋活動を促進させるものと、抑制させる 2 種類が見られた。

③ 人工神経接続による人工情動の惹起

サルの大脳深部ある意欲関連神経核に埋め込んだ刺激電極を通じで電気刺激し、それにより誘発できる行動を調査した。

サルで側坐核に慢性的に刺激電極を埋込み、運動の成果に依存した電気刺激をしたところ、反応時間が短くなり、力が増大した。また、タスクを行う時間が長くなった。一方で、運動開始時間より早く運動度始めてしまうフライングによる失敗も多く見られた。また、ドーパミン神経から脊髄へとつながる多シナプス性神経結合があり、ドーパミン神経を刺激すると筋活動を誘発できることを見出した。この経路は意欲の状態が力へ返還される神経回路ではないかと推察された。この成果は J Physiology (2021) に掲載された。

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 BCI 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)。

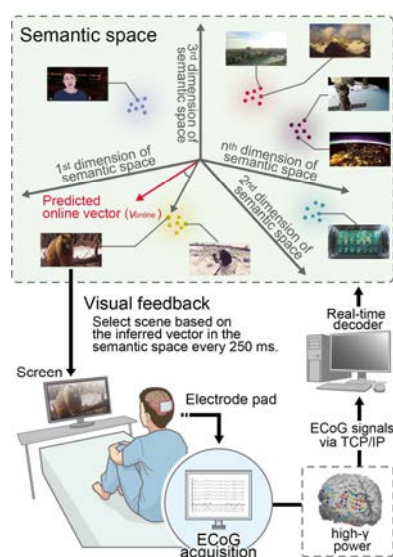


図3 Closed-loop 条件での画像制御の模式図

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

当該目標では、体内への完全埋め込みが可能な脳波計測装置を、重度麻痺患者へ臨床応用するための臨床研究を計画・実行するために、その基礎データとなる埋込装置の有効性を実験動物にて確認する予定だったが、COVID-19の影響でアカゲザルが入手できなかったため来年度以降に持ち越しとなった。

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の検証を開始した(詳細非公開)。

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 脳へ詳細な情報を伝達するための入力インターフェース技術
脳への高精細な情報入力のための新規技術発掘に向けた調査、探索を継続して行った。BMI 技術に関する論文や、新しい情報入力技術の探索を行った。
- ② 研究チーム間で共通の実験基盤として社会実装を推進するメカニズム
本プロジェクトの共通実験スペースに関して、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)主導にて、物件の契約、内装、実験機器搬入・設置等を行い、プロジェクト内及びプログラム内での公開を行った。今後は、研究開発課題 1-1-1(牛場グループ)にて一般被験者の受入に向けた準備を進める予定である。
- ③ Brain Machine Interface (BMI) 利用ガイドライン作成
本プロジェクトの課題推進者を中心に構成されるガイドライン作成委員会(旧統括委員会)、外部有識者によるエビデンス評価委員グループ(旧作成グループ)、神経科学の研究室等に所属する大学院生・研究者らによるシステムティックレビューチーム、事務局、及び診療ガイドライン等作成のエキスパートからなる外部評価委員会のメンバー選定し役割決定を行った。また、BMI 製品に関する市場調査等に基づいて SQ12 個を設定した。うち 2SQ のシステムティックレビューを実施し、1SQ に関して推奨文の草案を作成し外部評価を受けた。さらに、一般向けにブレイン・テック利活用の概要を QA 方式で解説した「ブレイン・テック利活用ガイドブック-ブレイン・テックってなんだろう?-」を作成し、外部有識者及び厚生労働省 医薬・生活衛生局 監視指導・麻薬対策課の担当者による査読評価を受けた。一般公開に向けて、ガイドブックのデザインコンセプトを作成した。

課題推進者:金井良太(株式会社アラヤ)

研究開発課題4-2-1: BMI-CA 活用における法学的検討

当該年度実施内容:

テーマ1) 理論研究: 「身体からの解放」は法理論にいかなる変化をもたらすか

① 研究会の設置、開催

令和3年度は研究の外部人員の募集を完了し、研究会“Internet of Brains”-Society (IoB-S)を設置した。技術のヒアリングについては小久保智淳研究員をチーフとして、法理論的側面については駒村圭吾教授をチーフとしてそれぞれ活動を行った。具体的には、各プロジェクトの研究開発内容の調査及びヒアリング、論点整理を行うためにIoB-Sの研究会を計9回にわたり開催した。また、大阪に出張を行い大阪大学 ELSI センター及び関西大学においても研究会を実施した。

これらの活動において明らかとなった論点や得られた知見については、上述の法学セミナー誌での連載(22年4月号より2年間継続)に反映させるとともに、アニュアル・レポート(下記②参照)にもとりまとめた。具体的に、法理論に関連して明らかになった法的論点をいくつか例示するとすれば以下の3点を指摘できる。A. 神経プロセスにおいては、意識的プロセスと無意識的プロセスが場合により相剋しながら機能しているという計算論的神経科学の知見を前提にした場合、思い通り操作 CA においていかなる神経活動を“意図”として本人に帰着させるのか(べきか)という論点。B. また、Think Communication の目指す先には、人格や個人といった“個”が複数人格あるいは脳-AI の関係性の中に融解する可能性があり、これまでは絶対的であった自己と他者との境界線の融解現象をいかに捉え、評価すべきか、という論点。C. 最後に、ムーンショット目標1は、“身体”からの解放を謳うが、身体所有感や運動所有感にかかる議論からは、精神が身体性に依存していることが示唆され、その意味では、身体からの解放は、“ポスト・ヒューマン”を意味する可能性があるという論点。以上の基底的な論点を今後の分析の原理的視座として据えたいと考えている。

② レポート作成

各研究開発の内容の調査、論点整理、ヒアリングを完了し、「IoB-S 研究会実装実験系 アニュアルレポート(2021年度版)」を作成した。当初の目標を上回り、海外における議論動向の整理や、国内文献のシステムティックレビューも行った。

③ 業績の公開

慶應三田会の会報誌である『三田評論』にて座談会を開催し「特集:脳科学研究の最前線「人類の可能性を開拓する総合知の未来」という題名で駒村圭吾 PF が寄稿した他、著名法学雑誌である「法学セミナー」に「脳神経科学の挑戦を法学はいかにうけとめるべきか」というタイトルで二か年の連載が決定した。さらに、研究参加者の小久保智淳研究員が「Internet of Brains, Neurodata と法学的課題」という標題で東京法哲学研究会にて報告を行った。

テーマ2) 実装実験:「身体の制約からの解放」の実現は実務・社会制度にいかなる変革をもたらすか

① 研究会の設置、開催

令和3年度は研究の外部人員の募集を完了し、研究会“Internet of Brains”-Society (IoB-S)を設置した。大島義則特任准教授を法実務課題のチーフとして活動を行い、上述したように、各プロジェクトの研究開発内容の調査及びヒアリング、論点整理を行うために IoB-S の研究会を計 9 回にわたり開催した。また、大阪に出張を行い大阪大学 ELSI センター及び関西大学においても研究会を実施した際には、規範倫理学者である石田柊氏と意見交換を行ったほか、研究参加者である福士珠美氏によって積極的な広報活動を行った。

これらの活動において明らかとなった論点や得られた知見については、上述の法学セミナー誌での連載(22年4月号より2年間継続)に反映させるとともに、アニュアル・レポート(下記②参照)にもとりまとめた。具体的に、法実務・社会制度変革について関連する論点を例示するとすれば以下の3点を指摘できる。A.ブレイン・テックの分析においては、その枠組設定がむずかしく、既存の ELSI/ELSE ではありがちな、使用目的に照らした分析に馴染まないこと(この点については、②のレポートで暫定的な視座の構築を試みている)。B.また、ELSI/ELSE といっても、それぞれの人文知のマージのさせ方が困難を極め、自然科学と対話すべき ELSI/ELSE 内部での視点をどのように設定するかが容易ならざる作業であること(特に、S(社会受容性)を正面から扱う学問分野は存在せず、この点についての方法論の構築が求められていることが明らかになった。なお、SF 的想像力と社会受容関係については緩やかに正の相関があるのではないかという仮説を立てることができた)。C.最後に、特に BMI-CA について検討する場合、非侵襲型 BMI の実装が進んでおり、既存の ELSI 検討では大きな指標となってきた身体的侵襲性が有効ではない可能性が高いこと(この点については理論チームとも協働した議論をおこなっているが、電磁気刺激の侵襲性をどのようにとらえるべきかという論点についてが、今後の ELSI 議論の一つの核となりうることが判明した)。

② レポート作成

各研究開発の内容の調査、論点整理、ヒアリングを完了し、「IoB-S 研究会実装実験系 アニュアルレポート(2021年度版)」を作成した。特に、大島義則弁護士を筆頭に、松尾剛行弁護士、数藤雅彦弁護士の3名の弁護士をタスクフォースとしてレポートを作成したことで、その内容も実社会の動向や慣行に則するものとなったと評価できる。当初の目標を上回り、ELSI についても、海外における議論動向の整理や、国内文献のシステマティックレビューも行った。

③ 国際会議への参加

International Brain Initiative(ABI)と IEEE の共催する Brain Neuroethics Workshop に駒村圭吾教授と小久保智淳研究員、福士珠美氏が参加し、日本における神経科学をめぐる ELSI について報告したことは、我々の活動の国際プレゼンスを向上させた。

課題推進者:駒村圭吾(慶應義塾大学)

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 (Project Management Office) 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ごと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るが、個別のオンラインミーティングを開くなど、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。

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。

また、AI-支援型BMI技術に関するELSE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に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3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。

さらに、令和3年度より、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実績と経験のある外部有識者の協力とアドバイスをいただきながら、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発足を伝え、目標実現の意義と、それによってもたらされる未来像を伝える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、公式ツイッターも設置・活用することで、幅広い層へリーチするために、より効果的な広報活動に努めた。

また、一般の人、特に若い方に対し、長期的なプロジェクトを通して目指す2050年の未来像や、本プロジェクトから得られる成果が人類の未来に貢献するものであるかを伝えるために、本年度は、脳科学研究をテーマとしているYouTubeチャンネルから本プロジェクトの目的や取組内容について発信した。チャンネル運営者である脳科学研究を専攻している博士課程の学生とのコラボレーションにより、正確な情報をわかりやすく届けることができた。

(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、また、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。

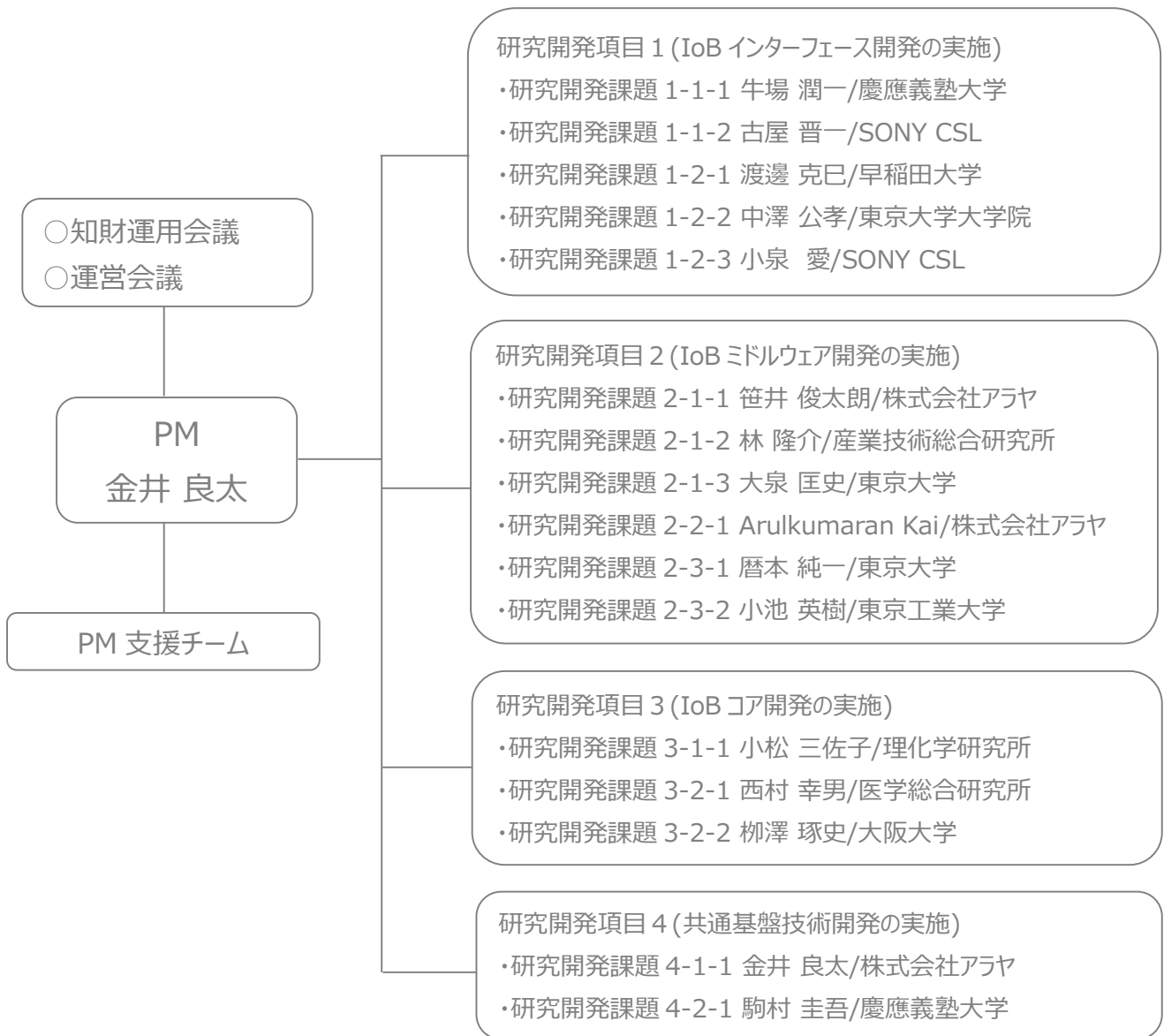
また、課題遂行時や日常生活の場で取得するヒトの行動・生理データの収集も共同で実施した。その他、楽器音の音響信号データ、課題遂行時や日常生活の場で取得するヒトの行動・生理データ、手指の運動情報データの収集を行った。

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、自由行動下のマーモセット皮質脳波・発声行動データ・体制運動データの収集を行った。また、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。さらに、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、中目黒 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



知財運用会議 構成機関と実施内容

知財運用会議（議長 金井 PM）の下、課題推進者の研究成果活用企業(ベンチャー企業)や第三者企業と共に、知財出願の計画や、知財権利化を行う。

運営会議 実施内容

- 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

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	1	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	1	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	37	8	45
口頭発表	12	2	14
ポスター発表	12	2	14
合計	61	12	73

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	1	16	17
(うち、査読有)	1	12	13

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	5	0	5
書籍	2	0	2
その他	2	0	2
合計	9	0	9

受賞件数		
国内	国際	総数
3	0	3

プレスリリース件数
1

報道件数
9

ワークショップ等、アウトリーチ件数
17