



ムーンショット目標 9

2050年までに、こころの安らぎや活力を増大することで、
精神的に豊かで躍動的な社会を実現

実施状況報告書

2022 年度版

多様なこころを脳と身体性機能に基づいて

つなぐ「自在ホンヤク機」の開発

筒井 健一郎

東北大学 大学院生命科学研究科



研究開発プロジェクト概要

さまざまな場面でコミュニケーションを支援する「自在ホンヤク機」を開発し、多様な人々を包摂する社会をもたらします。神経科学・分子生命科学と VR/AR・ロボット工学の分野の研究者が協力して、こころの状態を定量化する技術を研究するとともに、知覚・認知や運動機能への介入法を研究します。これらの成果を融合して開発する「自在ホンヤク機」は、個人、個人間、あるいは、数人から数十人程度の小グループを対象としてコミュニケーション支援を行います。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal9/92_tsutsui.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
筒井 健一郎	東北大学 大学院生命科学研究科	教授
佐々木 拓哉	東北大学 大学院薬学研究科	教授
星野 歩子	東京工業大学 生命理工学院	准教授
稲見 昌彦	東京大学 先端科学技術研究センター	教授
長井 志江	東京大学 ニューロインテリジェンス国際研究機構	特任教授
保前 文高	東京都立大学 人文社会学部	教授
熊谷 晋一郎	東京大学 先端科学技術研究センター	准教授
中村 元昭	昭和大学 発達障害医療研究所	副所長（准教授）
大隅 典子	東北大学 大学院医学系研究科	教授
原 塑	東北大学 大学院文学研究科	准教授
齊藤 寛人	東京大学 先端科学技術研究センター	特任助教
正古 悠一	東京工業大学 生命理工学院	研究員
北城 圭一	自然科学研究機構 生理学研究所	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

(1) 研究開発プロジェクトの概要

本研究開発プロジェクトでは、社会のさまざまな場面で、人々のコミュニケーションを支援する「自在ホンヤク機」のシステムを開発し、多様な人々を包摂する社会の建設を目指す。神経科学・分子生命科学と、VR/AR・ロボット工学の分野を融合し、脳波・自律神経系の計測や、体液のエクソソーム解析から、こころとからだの連関のしくみを解明し、それらを定量化する技術を研究する（こころの状態理解）とともに、VR/ARやロボティクスの技術を駆使した知覚・認知や運動機能への介入法を研究する（こころの状態遷移）。これらの成果を融合して開発する「自在ホンヤク機」は、個人、個人間、あるいは、数人から数十人程度の小グループを対象としてコミュニケーション支援する（社会実装）。発達障害の当事者・家族や、社会参加の現場を対象として開発を進め、GIGA 端末更新時には学校を現場とした実証を目指す。この展開のために必要な ELSI について、多様なステークホルダーと協働し、真に包摂的な社会を目指す。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

研究開発項目 1: 脳・自律神経活動からこころの状態を読み取る技術の開発については、課題 1（筒井）および 2（佐々木）では、それぞれサル、げっ歯類から脳・自律神経活動の記録を行い、扁桃核、側坐核、内側前頭皮質などが、こころの状態を読み取るために注目すべき脳領域であると特定するに至った。課題 3（北城）では、ヒトを対象として脳波・自律神経系計測を行い、こころの状態を読み取るための種々の分析法について検討を行った。

研究開発項目 2: エクソソームからこころの状態を読み取る技術の開発については、課題 1（星野）および 2（正古）において、エクソソームの解析を多角的に行うための体制を整えた。課題 1 においては佐々木と連携しながらストレス時のエクソソームの変化について分析を開始した。課題 2 においては ASD 当事者と定型発達との間でエクソソームの違いについて分析を開始した。

研究開発項目 3: 「自在ホンヤク機」のシステム開発については、課題 1（長井）において、表情や動作などの行動情報からこころの状態を推定する神経回路モデルの開発に取り組み、課題 2, 3（稲見、齊藤）では、拡張された共同作業環境、共同作業支援手法、感覚情報提示を用いた作業支援手法の開発に取り組んだ。課題 4（保前）では、音声の振幅変調パワーが発話者の発話状況を反映する指標になりうることを検証した。

研究開発項目 4: 「自在ホンヤク機」の社会実装（発達障害）については、課題（熊谷）においてユーザー共働型の開発環境「Delphi システム」を整備して運用を開始し、課題 2（中村）において成人期発達障害当事者の生理データ（64ch 頭皮脳波に加えて筋電図、眼電図、心電図、皮膚電気抵抗、呼吸など）と発達心理検査のデータ取得プロトコルを整備するとともに、データの収集を開始した。

研究開発項目 5:「自在ホンヤク機」の社会実装（GIGA 端末）においては、社会実装のあり方について幅広く検討し、発達障害の当事者を初期ユーザーとして、社会実装を目指すという方針を固めた。

研究開発項目 6:「自在ホンヤク機」にかかわる ELSI の検討においては、実際の社会実装のケースを想定しながら ELSI を検討していくという基本方略を定めるとともに、事務局、当該の開発項目の課題推進者、さらには、その他の課題推進者が連携して ELSI に取り組む枠組を構築した。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

PM がリーダーシップを発揮しながら、組織的に研究開発を行っていくための体制を構築することができた。マネジメントの中心となる「事務局」を PM 所属機関に設置するとともに、事務局において PM を補佐する「PM 補佐」を、課題推進者のなかから選定した（大隅、稲見、佐々木）。課題推進者ごとの研究開発課題、あるいは、研究開発項目を超えて、課題推進者間で連携し、情報共有と議論を効果的かつ必要十分に行っていくための枠組みとして、「電気生理学」「エクソソーム」「システム開発（一般）」「システム開発（言語機能）」「社会実装」の各作業部会を設置した。広報・アウトリーチについてはホームページを中心に行っていくこととして、HP 開設に向けて準備を進めた（2023 年 4 月 20 日に公開開始;<https://jizai2050.org/>）。

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:脳・自律神経活動からこころの状態を読み取る技術の開発

研究開発課題1:脳・自律神経活動からこころの状態を読み取るための基本原理の構築

当該年度実施内容:

サルを用いた動物実験をもとに、脳深部に起源のある情動情報や、大脳皮質ネットワークによる情動情報の修飾について研究し、脳波からそれらの神経ダイナミクスを推定しながらこころの状態を読み取るための基本原理を構築することを目的とした。本年度は、2 頭のサルにおいて、脳の深部および表面から神経活動を記録し、こころの状態が活動に反映されている脳領域として、扁桃体、側坐核、内側前頭皮質、および背外側前頭前野を同定した。

課題推進者:筒井健一郎(東北大学)

研究開発課題 2:脳・自律神経活動の統合的解析技術の高度化によるこころの状態の読み取り

当該年度実施内容:

侵襲的な計測や操作が容易なげっ歯動物を用いた動物実験をもとに、ポジティブ感情

中枢(側坐核)、ネガティブ感情中枢(扁桃体)などこころの状態を反映した脳および自律神経の電気生理信号を網羅的に計測する方法を確立した。さらに、サル・ヒトにも共通して適用できる方法論として、こうした脳深部領域の脳波信号と、大脳新皮質(前頭皮質および感覚皮質)や頭皮上の脳波信号から推定できるか、機械学習の解析法を導入して検証した。これまでに、疼痛反応や社会相互作用の行動パターンを多次元の脳波信号から推定できることを見出した。エクソソーム解析では、マウスにおいて社会的敗北ストレスを負荷し、血液サンプルを回収して、エクソソーム分析の適用を開始した。

課題推進者:佐々木拓哉(東北大学)

研究開発課題 3:脳波の記録・解析技術の高度化によるこころの状態の読み取り

当該年度実施内容:

ヒトを対象として脳波・自律神経系計測を行い、これらの生体データから快・不快を軸としたこころの状態の読み取りを行うための基礎手法開発を行った。脳波、自律神経系の計測について、各種の生体信号を対象として、多面的、網羅的に行い、こころの状態の読み取りをリアルタイムに精度高く行うための計測と開発の基礎技術の確立を目指した。また他の課題推進機関である東北大学の動物の脳活動、自律神経系の計測手法や解析手法の開発とデータ解析について連携して議論を深めて、共同研究を行った。また別の課題推進機関である昭和大学と発達障害当事者の脳波、自律神経計測データの解析手法の開発とデータ解析を共同研究で連携して行った。別の課題推進機関である東京大学とは統計的機械学習手法に基づいた統合的なデータ解析手法の開発を目指して、議論を行った。

課題推進者:北城圭一(生理学研究所)

(2) 研究開発項目 2:エクソソームからこころの状態を読み取る技術の開発

研究開発課題 1:エクソソームの多角的解析からこころの状態を読み取る技術の研究開発

当該年度実施内容:

課題推進者の佐々木らが扱うげっ歯動物において特定のこころの状態を誘発したモデル(社会的ストレスモデル)において複数の条件下でのエクソソーム解析を始めた。血漿中エクソソームを単離し、NanoSight 解析によりその数、サイズを計測し、BCA を用いた総タンパク質量を解析、その後プロテオミクス解析を行い、社会的ストレスを負荷したマウスの血中エクソソームの違いについて検討を行った。また、次年度行うエクソソーム含有 miRNA 解析のため、コントロールの血漿エクソソームから miRNA の単離を行いその quality check を進めた。

課題推進者:星野歩子(東京大学)

研究開発課題 2: エクソソームのプロテオミクス解析からこころの状態を読み取る技術の研究開発

当該年度実施内容:

ASD 当事者・定型発達の高血漿中エクソソームを単離し、NanoSight 解析によりその数、サイズを計測し、BCA を用いた総タンパク質量を解析、その後プロテオミクス解析を行った。ASD 当事者・定型発達のエクソソームにおける違いの解析を始めた。

課題推進者: 正古悠一(東京大学)

(3) 研究開発項目 3: 「自在ホンヤク機」のシステム開発

研究開発課題 1: 「自在ホンヤク機」における解釈機の研究開発

当該年度実施内容:

本研究開発課題では、多様なところをつなぐ「自在ホンヤク機」において、ユーザのこころの状態を推定・予測する解釈機を開発する。解釈機の設計指針として脳の一般原理である予測符号化理論に着目し、本理論に基づいて駆動する神経回路モデルを適用することで、ユーザの運動・生理信号からその背後にある意図や感情などのこころの状態を、モデルの潜在変数として推定する機能を実現する。

上記目標を達成するため、当該年度は(1)運動信号からこころの状態を推定する神経回路モデルの開発に取り組んだ。運動信号として発話に着目し、発話に含まれる韻律的特徴量から感情が推定できるかを検証した。また、次年度以降の研究開発に向けて、(2)生理信号の動態解析とこころの状態の予測検証を行った。生理信号として心拍に着目し、日単位の心拍変動からストレス度が推定できるかを検証した。

課題推進者: 長井志江(東京大学)

研究開発課題 2: 「自在ホンヤク機」における表現機の研究開発

当該年度実施内容:

当該年度は特に、VR/AR やロボティクスを用いた「拡張された共同作業環境」と「共同作業支援手法」の開発に着手した。また、ヒトの知覚・行動特性に基づく介入手法の設計と評価を担当する課題推進者(齊藤)と連携し、開発した機能要素がもたらす効果の評価に着手した。

課題推進者: 稲見昌彦(東京大学)

研究開発課題 3: 「自在ホンヤク機」の暗黙的インタラクションの研究開発

当該年度実施内容:

当該年度は、主に視覚的・力触覚的情報提示による行動変容や主観への影響についての基礎検証と、実装したプロトタイプを用いた心理物理学実験を通じて設計した介入手法が参加者の行動や主観に与える効果の評価を行った。また非言語的な表現機能の開発を担当する課題推進者(稲見)と連携し、「感覚情報提示を用いた作業支援手法」の開発に着手した。

課題推進者: 齊藤寛人(東京大学)

研究開発課題 3: 「自在ホンヤク機」の言語的インタラクションの研究開発

当該年度実施内容:

「自在ホンヤク機」に導入する言語機能の検討として、言語的インタラクションを構成する要素を分析し、「自在ホンヤク機」に搭載する言語機能の候補を検討した。乳児に向けて発話された音声(infant directed speech, IDS)は、音声の振幅変調(amplitude modulation, AM)の相対的なパワーが極大となる周波数が成人に向けて発話された音声(adult directed speech, ADS)と比べて低くなることに注目し、音声の AM パワーが発話者の発話状況を反映する指標になりうることを検討した。この検討結果は、音声の AM パワーを操作することが、聞き取りやすさを向上させる候補になることを示唆している。

課題推進者: 保前文高(東京都立大学)

(4) 研究開発項目 4: 「自在ホンヤク機」の社会実装(発達障害)

研究開発課題 1: 当事者視点での「自在ホンヤク機」の性能評価と効果検証

当該年度実施内容:

当該年度は、自在ホンヤク機に実装すべき優先機能を抽出するため、発達障害者による当事者研究会のデータのテーマ分析、ソーシャルマジョリティ研究の再分析を行なった。また、ユーザーと開発者の意見を擦り合わせながらツールを作るために、多様なステークホルダーや研究者と共同して Delphi システムを構築した。

さらに、当事者がもつ経験知を開発者が知ると同時に、開発者がもつ知識や技術シーズを当事者が紹介するために、計 16 本の動画を作成し、Delphi システムのなかにアンケート回答前に視聴するオンデマンド動画として組み込んだ。

課題推進者: 熊谷晋一郎(東京大学)

研究開発課題 2: 生体情報を使った「自在ホンヤク機」の性能評価と効果検証

当該年度実施内容:

初年度である令和4年度において、こころの定量指標の同定において必要となる研究を開始した。また、「自在ホンヤク機」の社会実装のための準備や提案を行った。こころの定量指標を開発する取り組みにおいて、成人期発達障害当事者の生理データ(64ch 頭皮脳波に加えて筋電図、眼電図、心電図、皮膚電気抵抗、呼吸など)と発達心理検査実施中などのビデオ記録を取得した。「自在ホンヤク機」の社会実装において、発達障害臨床現場の視点を機器開発や ELSI の議論に参画した。

課題推進者: 中村元昭(昭和大学)

(5) 研究開発項目 5:「自在ホンヤク機」の社会実装(GIGA 端末)

研究開発課題 1: 初等中等教育の現場での「自在ホンヤク機」の性能評価と効果検証

当該年度実施内容:

初等中等教育の現場での「自在ホンヤク機」機能のニーズや社会実装のあり方について幅広く検討し、初等中等教育の現場においても、プロジェクト関係者に豊富な経験や実績の蓄積のある、発達障害の当事者を初期ユーザーとして、社会実装を目指すという方針を固めた。

課題推進者: 筒井健一郎(東北大学)

(6) 研究開発項目 6:「自在ホンヤク機」にかかわる ELSI の検討

研究開発課題 1:「自在ホンヤク機」の利用と受容に関わる ELSI の検討

当該年度実施内容:

最新の神経科学・分子生命科学と VR/AR・ロボット工学を基盤として、コミュニケーションの様式や価値観などの違いを越え、多様なこころの間の「以心伝心」を実現する「自在ホンヤク機 At-will translator」は、その社会実装の過程において、種々の倫理的法的社会的課題(ELSI)が生じることが予想される。したがって、開発段階より「自在ホンヤク機」の社会に及ぼす影響の分析や、開発・利用における指針の策定などについて検討することが必要である。家庭、教育・医療・福祉・ビジネス・行政などの現場において、「自在ホンヤク機」が広いステークホルダーに受け入れられるように、開発者や当事者の間での意見交換、市民とともにテーブルに付いて行う検討会、研究開発課題の進捗状況等を HP 等により広く知らせる啓発活動等を、社会実装担当の課題推進者と連携しながら展開する。令和4年度は、ELSI についての検討体制を構築することを念頭に、参考となる事例についての調査を行った。

課題推進者: 大隅典子(東北大学)

研究開発課題 2:「自在ホンヤク機」における個人情報の取り扱いおよび使用によるユーザー生活への影響に関わる ELSI の検討

当該年度実施内容:

「自在ホンヤク機」の開発および社会実装における個人情報の取り扱いや、「自在ホンヤク機」がユーザーの精神や社会生活に対して与える影響について、その倫理的・法的・社会的課題(ELSI)について分析・検討するために、当該年度は(1)自在ホンヤク機の開発担当者との意見交換へ参加して、ELSI 上の懸念を聴取し、分析するとともに、(2)プライバシー・個人情報保護に関する議論状況を調査し、自在ホンヤク機の ELSI の明確化を図ることを計画していた。

(1)については、令和 5 年 3 月 20・21 日に東北大学で実施された Jizai2050 春のプロジェクト会議 2023 で、研究開発者と意見交換を行うことができた。

(2)については、プライバシー・個人情報保護を進めるべき根拠を明らかにするために、自己同一性概念の分析を行った。

課題推進者:原塑(東北大学)

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
 - 課題推進者のうち佐々木、大隅、稲見(学外)を PM 補佐に指名して、プロジェクトの運営において PM を支援する体制を整えた。
 - 大学本部の研究担当理事および研究推進課と緊密な連携を確立した。
 - 学内の他のムーンショット PM と、連絡会議等において情報交換を行った。
- 重要事項の連絡・調整の方法(運営会議の設置等)
 - PM 研究室内に「事務局」を設置した。事務局会議を適宜開催した(表 3-1)。
 - PM 業務を補佐する事務補佐員を新規雇用するとともに、運營業務にあたる特任助教の人選を行った。
 - メールやメッセージングアプリを通して、PM と課題推進者等の関係者が常に連絡できる環境を整えた。
 - 電気生理学、エクソソーム、システム開発(一般)、システム開発(言語機能)、社会実装の 5 つの「作業部会」を設置して、研究開発テーマ毎に、情報交換や議論を行う場として、課題推進者間の連携を促進する体制を構築した。
- 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)
 - 課題推進者会議(対面)を、2023 年 3 月 20 日・21 日の 2 日間にわたって

開催し、進捗状況の報告会を開くとともに、ELSIにかかわる検討、課題推進者間の連携について協議した（表 3-1）。進捗状況の報告会には、熊谷 PD に参加頂いた。

- 電気生理学、エクソソーム、システム開発（一般）、システム開発（言語機能）、社会実装の 5 つの作業部会を、四半期に 1 度の頻度を目途に開催し、研究テーマ毎の課題推進者間の連携を図った。
- PM によるサイトビジットを開始した。2022 年 9 月 27 日に北城課題推進者の研究室、2022 年 10 月 6 日および 2023 年 1 月 27 日に大隅課題推進者の副学長室を訪問した。

研究開発プロジェクトの展開

- プロジェクト内の多角的な連携を促進するため、課題推進者間でのデータやデータ分析ツールの共有を奨励・実践した。
- コロラド大学のスコットクッファーマン先生に PM/課題推進者向けのオンライン会議にお招きし（2022 年 10 月 18 日）、障害のある当事者を経験専門家（experts of experiences）として招き、エンジニアとともに支援機器を開発する「コ・デザイン」という手法について、講演いただいた。
- 東京大学の池谷裕二先生を PM/課題推進者向けの勉強会の講師にお招きし（2023 年 1 月 17 日）、ERATO「池谷脳 AI プロジェクト」の運営やその成果に関して、講演いただいた。
- 東北大学の北村喜文先生を PM/課題推進者向けの勉強会の講師にお招きし（2023 年 3 月 21 日）、「サイバー&リアル ICT 学際融合研究センター」の設立につながったインタラクティブコンテンツやヒューマンインタフェースのご研究について、講演いただいた。
- ブリティッシュ・コロンビア大学（カナダ）の谷内江望准教授の研究室に稲見課題推進者を派遣し（2022 年 8 月 11 日）、生命科学分野と情報分野からなる連携プロジェクトの先駆的実例について情報収集をおこなった。そして、本プロジェクトの遂行・展開のための知見を得た。
- プロジェクト会議・課題推進者会議に合わせて、各課題推進者による研究紹介をおこない、若手を中心とする参画研究者等の科学的関心を刺激するとともに、本プロジェクトへの参画のモチベーション向上につなげた。
- 本プロジェクトにおけるデータ駆動型の開発やニーズや成果分析を強化するため、新しい課題推進者を迎えるべく準備を進めている。

(2) 研究成果の展開

- コンピュータグラフィックスの国際的な学会・展示会である SIGGRAPH2022 に稲見課題推進者を派遣し（2022 年 8 月 8 日～10 日）、自在ホンヤク機プロジェ

クトにかかわる情報収集をおこなった。自在ホンヤク機を構成するために必要な各種技術の動向を調査するとともに、北米圏の研究者と本プロジェクトの連携可能性について打ち合わせをおこなった。

- 知財戦略に豊富な経験を有する課題推進者を中心とした戦略グループ（知財運用会議）を組織した（議長：長井（東京大学））。
- ELSI 担当の課題推進者による社会調査を行うとともに、PM 事務局によって情報の集約と分析を行う体制を整えた。
- PM 事務局に情報を集約しながら、課題推進者それぞれの企業との共同を促進した。企業の研究グループとの開発における共同の協議を PM 主導で進めた。発達障害者をターゲットとした社会実装については、業界大手との協力体制が熊谷を中心として構築されている。

(3) 広報、アウトリーチ

- ホームページの立ち上げ準備を行った（2023年4月20日公開開始）
- 日本生理学会にてシンポジウム「神経科学と工学の融合的技術によるこころのセンシングとコミュニケーション支援」をオーガナイズし、本プロジェクトの取り組みを紹介した。（2023年3月16日）
- 一般書『最先端の研究者に聞く 日本一わかりやすい 2050 の未来技術』（中村尚樹著、プレジデント社）において本プロジェクトの取り組み紹介を紹介した（2023年3月刊行）。
- プレスリリース（5件）

(4) データマネジメントに関する取り組み

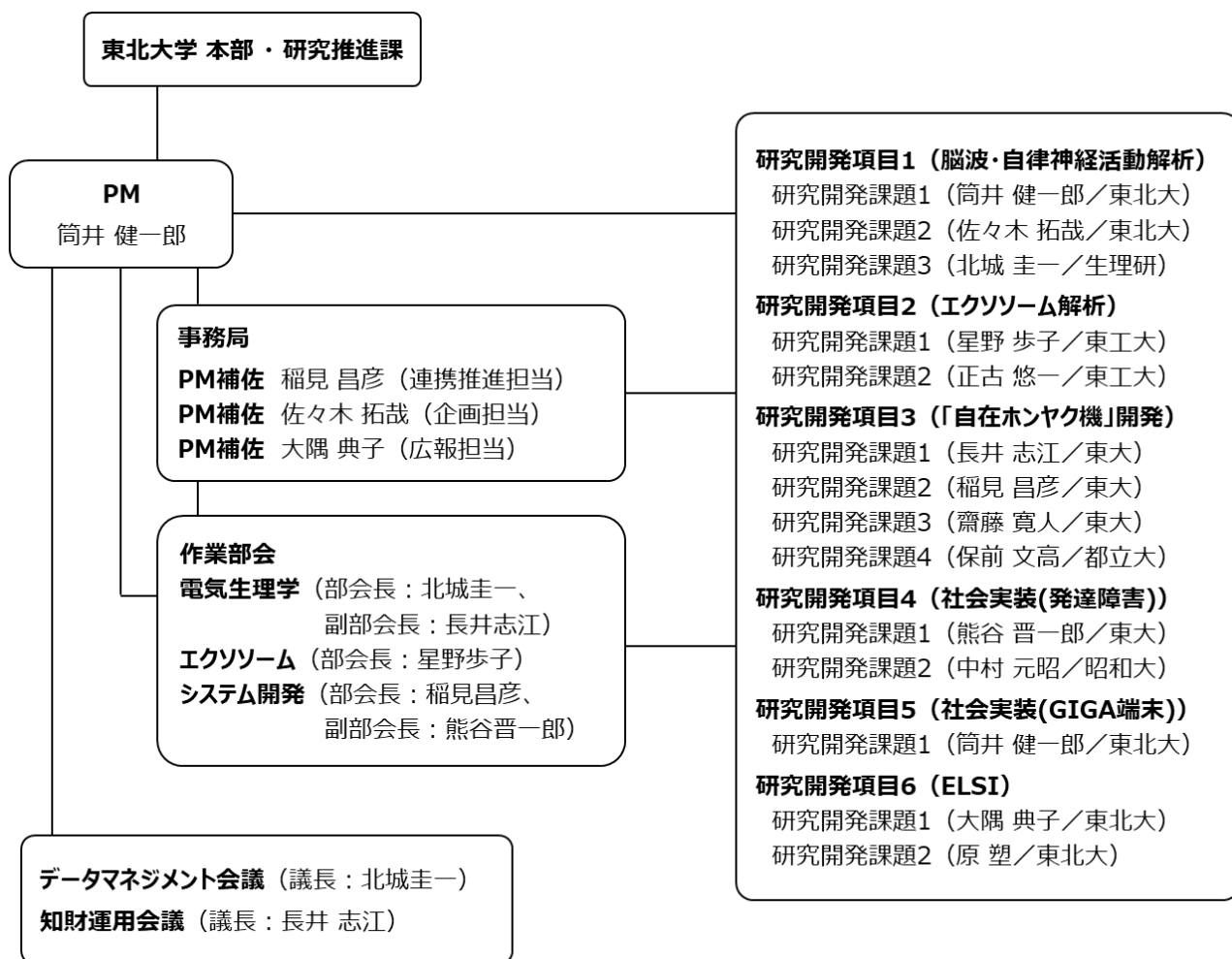
- データマネジメント会議（議長：北城課題推進者）を設置し、ELSI 担当課題推進者やデータ収集・使用の当事者を含めて、本プロジェクトにおけるデータの取り扱いを検討している。（【様式 405-1】データマネジメント）
- 実務面では、ヒトや動物からのデータ収集プロトコルを標準化し、作業部会をまたいだデータの共有を図るべく取り組みを行っている。
- ELSI 面では、データの取り扱いについて本プロジェクトに特有の倫理的課題を明らかにする取り組みをはじめた。

表 3-1. 運営会議等の日時と実施内容

	会議名	備考・主な内容
2022年10月18日	プロジェクト全体会議	<ul style="list-style-type: none"> ● プロジェクト開始に関わる諸連絡
2022年12月12日	事務局会議	<ul style="list-style-type: none"> ● PMから連絡、方針確認 ● 年次評価を受けたフィードバック

2023年3月20日	事務局会議	<ul style="list-style-type: none"> ● PMから連絡、方針確認 ● 作業部会間の連携についての情報共有
2023年3月21日	課題推進者会議	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業部会間の連携についての情報共有 ● 年度の研究開発状況の共有

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

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	34	20	54
口頭発表	1	0	1
ポスター発表	5	3	8
合計	40	23	63

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	5	5
(うち、査読有)	0	5	5

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	2	1	3
書籍	2	0	2
その他	0	0	0
合計	4	1	5

受賞件数		
国内	国際	総数
2	2	4

プレスリリース件数
4

報道件数
9

ワークショップ等、アウトリーチ件数
17