

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

2023年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発項目1では、**脳や自律神経活動の測定によって「こころの状態」を読み取る技術**を開発します。これを通して、言語表現に限らない豊かなコミュニケーションの可能性が生まれることが期待されます。

その達成にあたり、**日常的コミュニケーションに使えるセンシング技術の開発が課題となっています**。たとえば、fMRIは高性能ですが時間的・费用的なコストが大きく、心拍や呼吸（自律神経系）からのこころの読み取りは信頼性が高くありません。また、脳波から感情を読み取る技術は実用化されていません。



高コスト・高精度



低コスト・低精度

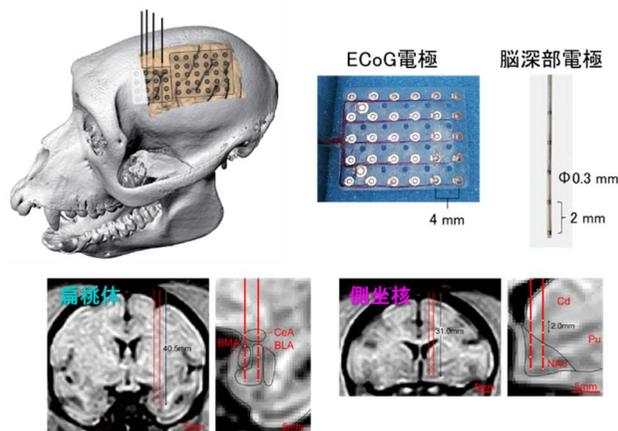
そこで、脳や自律神経活動を**多次元的かつ高精度で測定する**のと並行して、**脳波やその他の生理シグナルからこころを読み取る技術**の開発に取り組んでいます。これにより、日常的場面で高精度のこころの読み取りを目指します。

2. これまでの主な成果

1. サルの深部および表面脳波の同時計測法の確立
2. 迷走神経と脳活動の連動がこころの状態の維持に重

要であることを解明

3. 嫌悪状態を判別する機械学習モデルの構築
4. 自閉症傾向に関連する新たな脳波特性を発見

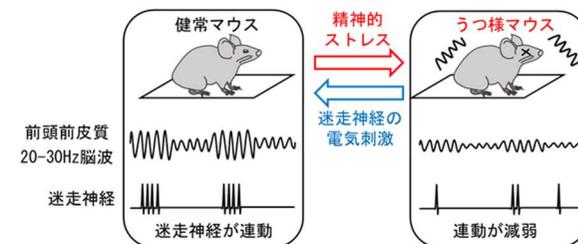


▲ 成果1の研究概要図
画像提供：筒井健一郎教授（東北大学）

成果1では、サルを用いて、脳の深部と表面から脳波を同時測定し、比較するための手法を開発しました。これらを用いて、こころの状態が活動に現れる脳領域を同定するとともに、脳波からこころの状態を読み取るための基本原理の構築を進めています。

成果2では、内臓の情報を脳へ伝える迷走神経が脳活動と連動することで、正常な情動が形成されることを明らかにしました。ストレスや不安状態などのこころの状態を理解するための重要な発見です。

成果3では、計算論的手法を用いて、マウスの脳の深部



▲ 成果3の研究概要図
出典：東北大学のプレスリリース (<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2024/01/press20240110-02-stress.html>)

と表面から計測された脳波からマウスの状態（平常あるいは嫌悪）を判別するための機械学習モデルの構築に成功しました。

成果4では、安静時のヒトから得られた脳波データの解析によって、自閉症傾向に関連する新たな指標となる脳波の周波数特性を発見しました。このように、主に動物実験とヒトを対象とした研究を組み合わせ、こころの状態と脳活動の連関を明らかにする研究開発を進めています。

3. 今後の展開

今後は、動物研究からの知見をもとに、ヒトのこころの状態をリアルタイムで読み取るための研究開発を進めます。また、生理シグナルのひとつであるエクソソームの解析（研究開発項目2）を、脳や自律神経の活動と比較し、こころの状態をより多次元的に読み取ります。

（東北大学・筒井健一郎、佐々木拓哉、
生理学研究所・北城圭一）

研究開発項目

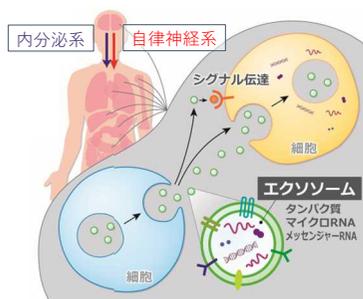
2. エクソソームからこころの状態を読み取る技術の開発

2023年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発項目2では、**体液中の物質を測定することで「こころの状態」を読み取る技術**を開発します。読み取られた情報は、「自在ホンヤク機」のシステムに入力され、コミュニケーション支援の最適化に役立てられます。この開発によって、コミュニケーションの形がさらに豊かで多様なものとなるのが期待されます。

血液などの体液には、**エクソソーム**という小さな小胞が



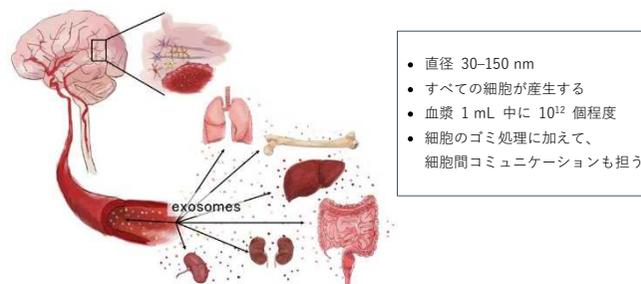
◀ 内分泌系・自律神経系を介した情報伝達により、こころの状態とからだの状態には連関があります。

そのほかに重要な役目を果たしているとして最近注目されているのが、エクソソームという小胞です。

含まれます。エクソソームは、細胞の老廃物を運ぶことに加え、細胞間の情報伝達も担っているとされ、がんなどの疾患のバイオマーカーとして注目されています。

エクソソームは、脳内の細胞にも取り込まれ、脳の状態の維持・変化と何らかの関係があることが指摘されています。しかし、**エクソソームと「こころの状態」の具体的な関係は、ほとんど解明されていません。**

研究開発項目2は、エクソソーム中の物質と脳機能の連関を、生物化学的検査と人工知能によるデータ処理を組み



▲ エクソソームの概要図

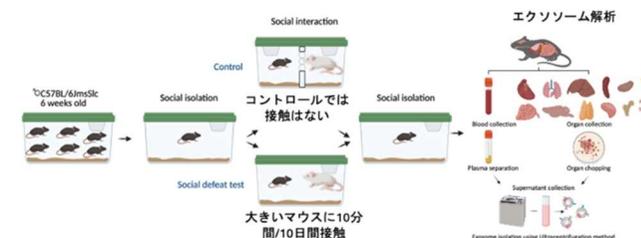
出典：星野研究室ウェブサイト (https://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/research/people/staff-hoshino_ayuko.html) を改変

合わせて解析します。これにより、エクソソームを介した「こころの状態」の測定、すなわち**体液中の物質からこころを読み取る技術**の開発に取り組んでいます。

2. これまでの主な成果

1. 社会的ストレスによってエクソソームが大きく変わる可能性を示唆
2. ASD者と定型発達者のエクソソームの違いを発見
3. エクソソーム含有タンパク質の組成からASD者と定型発達者を判別することに成功

成果1では、マウスを用いて、社会的ストレスを受けることで血中エクソソームがダイナミックに変化することが分かりました。特に、脳からのエクソソームの産出が増えたことから、エクソソームと「こころの状態」との関係を探るための手掛かりとして、大いに期待される成果です。



▲ 成果1の研究概要図（資料提供：星野歩子教授（東京大学））

成果2では、自閉スペクトラム症（ASD）者と定型発達者の血漿エクソソームに含まれる分子（マイクロRNA）を比較しました。その結果、両者で大きく異なる8つの分子が見つかり、バイオマーカーとしての期待が高まります。

成果3では、ASD者と定型発達者のエクソソーム中のタンパク質組成をプロテオミクス解析しました。免疫に関わる補体分子に違いがあることや、解析結果の機械学習によって両者を判別できることが分かりました。

このように、エクソソームと脳機能の連関を明らかにする基礎研究を進めています。

3. 今後の展開

今後は、どのようなエクソソームの組成の違いが「こころの状態」に寄与しているのか、さらに多角的に明らかにしていきます。

また、脳活動や他の生理シグナル（自律神経など）（研究開発項目1）をエクソソーム情報と統合的に解釈し、こころの状態を多角的に読み取る技術の開発を目指します。（東京大学・星野歩子、ナシリ・ケナリ アミアモハメッド）

研究開発項目

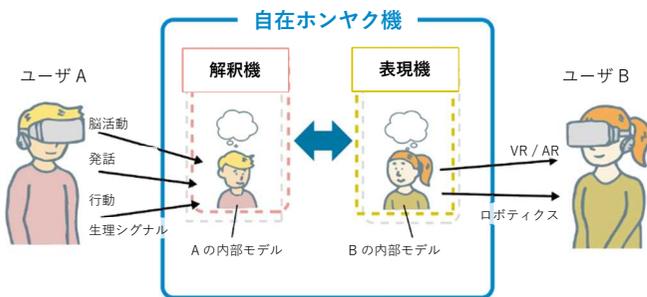
3. 「自在ホンヤク機」のシステム開発

2023年度までの進捗状況

1. 概要

ムーンショット目標9は、人々が自分のこころをマネージメントしたり、円滑にコミュニケーションしたりできる社会の実現を目指しています。「自在ホンヤク機」プロジェクトでは、先端科学技術を用いてコミュニケーションを支援する技術の開発を目指します。

研究開発項目3では、「自在ホンヤク機」の中心機能、特に**我々の日常的コミュニケーションを支援する上で必要な要素機能**を開発します。



▲ 「自在ホンヤク機」の概略 (AがBに話す場合)

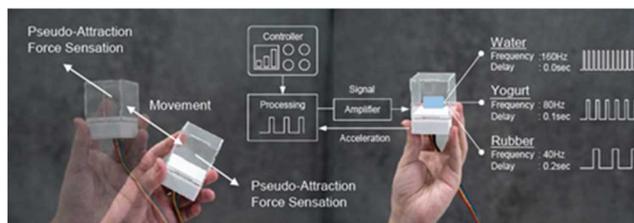
「自在ホンヤク機」は、ユーザの脳活動や生理シグナル等からこころの状態を解釈する「**解釈機**」と、それを相手にわかりやすい形で伝える「**表現機**」からなります。

「自在ホンヤク機」が我々の日常的コミュニケーションを支援するためには、解釈機も表現機も、**個性や文脈における多様性を反映する**必要があります。研究開発項目3はその開発に取り組みます。

2. これまでの主な成果

1. 様々な質感を生み出す触覚提示装置を開発
2. 他者の視覚を共有するシステムを開発
3. 音声からこころの状態を読み取る計算論モデルを開発
4. 不明瞭な音声の理解には話者の顔情報が重要であることを実験的に検証
5. 会話の自然さを評価する手法を考案

成果1では、様々な振動のパラメータを自在に調整することで、指先で感じる物質が揺れ動くような質感を表現する新しいデバイスを開発しました。他者との触覚インタラクションなど、コミュニケーションを支援する要素技術として期待されます。実際に、発達障害当事者を対象としたユーザ体験評価 (研究開発項目4) の準備を進めています。



▲ 質感を調整可能な触覚提示装置 (成果1)

(画像提供: 稲見昌彦教授 (東京大学))

成果2では、ヘッドマウントディスプレイを利用して、他者の視点からものを見る体験を可能にするシステムを開発しました。視界の共有はコミュニケーション支援の機能として有用だと考えられ、他者と同じモノを見たときや心拍のタイミングなど、どのようなときの視界共有がユーザのこころの状態に影響をもたらすかの検証を進めています。



◀ 他者がみている視界を共有する (成果2)

(画像提供: 齊藤寛人助教 (東京大学))

成果3では、音声から情動を推定する計算論モデルを開発し、乳児と養育者の音声データから2者間の情動の変化に調和した動きがあることを示しました。これは、多様なユーザを対象にした解釈機の開発に有用です。

成果4では、聞き取りにくい音声は、話者の顔を見ながらの聞くとより正確に理解できることを実験的に示しました。この成果は、他者の言葉をよりよく理解するためのデバイス開発に有用です。

成果5では、大規模言語モデル (GPT) を用いて、会話の連続性を評価する新しい手法を考案しました。これは、個性や文脈の多様性を反映した解釈機の開発に有用です。

3. 今後の展開

引き続き、「自在ホンヤク機」の構成要素として、個性や文脈を反映できる解釈機・表現機の開発を進めます。

平行して、生体データ (研究開発項目1, 2) を用いた「こころの状態」の定量化技術の開発や、発達障害当事者を主な対象とした性能評価 (研究開発項目4) を順次進めて、「自在ホンヤク機」のプロトタイプ作成を目指します。
(東京大学・長井志江、稲見昌彦、齋藤寛人
東京都立大学・保前文高、東北大学・張山昌論)

研究開発項目

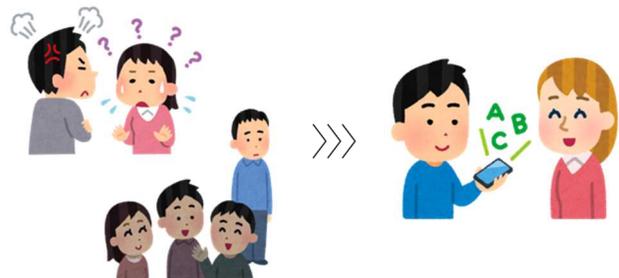
4 / 5. 「自在ホンヤク機」の社会実装（発達障害 / GIGA 端末）

2023年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発項目4と5では、「自在ホンヤク機」の社会実装を目指し、それぞれの利用場面に応じて生じる課題を明らかにします。

研究開発項目4では、自閉症スペクトラム（ASD）など**発達障害がある人々のコミュニケーション支援**の場面で「自在ホンヤク機」を活用します。これによって、障害がある人々の社会的包摂という観点から「自在ホンヤク機」の社会実装を試みます。



▲ 「自在ホンヤク機」はコミュニケーションを支援します。

研究開発項目5では、**小中学校などの教育現場**で「自在ホンヤク機」を活用することを目指します。文部科学省の主導で、全国の小中学校では学習用のタブレット端末が配布され、児童生徒の個性に応じた教育が目指されています。「自在ホンヤク機」の一部機能を搭載し、教育現場における社会実装を試みます。

こうした社会実装のためには、**発達障害当事者、支援者、**

児童生徒、教員などにとって有益な機能を開発することが課題となっています。研究開発項目4と5は、発達障害当事者や教員との緊密な連携を通して、「自在ホンヤク機」の社会実装上の課題を解決します。

2. これまでの主な成果

1. 当事者の声を研究開発者に届けるためのデルファイ調査の実施と中間評価
2. 脳波・行動計測システムを用いた発達障害当事者からの生理・行動データの取得

成果1では、当事者や当事者を取り巻く人々からコミュニケーションの困難と支援機器に搭載する要素・機能のアイデアの意見を収集しました。困りごとは大きく4つに分類され、それらに基づきアイデアを分類しました。相手を知りたいというニーズのみならず「自分の内部状態（心や身体）を知りたい」というニーズも発見され、これらを研究開発チームと共有し議論することで、「自在ホ



就労現場におけるASDの人々と定型発達の人々のあいだのコミュニケーション上の困りごと

1. 人間関係の困難（対人）
 - 1-1. コミュニケーション様式のアクセシビリティ / 1-2. 空想・偏見・勘違い / 1-3. トラumaと転移
2. 感覚過敏の困難（対物）
3. 感情・身体的困難（対自分）
 - 3-1. 感情との付き合い方や体調管理、
 - 3-2. 自己理解、感情の自覚、過度の心配等
4. 業務遂行の困難（対業務）
 - 4-1. 想定外にびくつきやすい / 4-2. 全体像が把握しづらい / 4-3. 間に合わない / 4-4. マルチタスクと自動化の困難

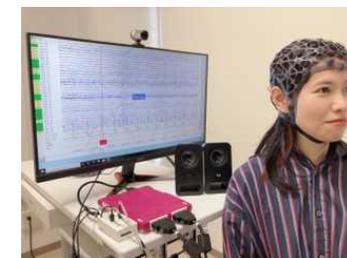
自在ホンヤク機に搭載する要素・機能のアイデア

1. 人間関係の困難（対人）
 - 言葉と感情の機能等を教えるAI / 表情や言葉の解析（聴語・読唇・表情の解析） / 音声や文字化するデバイス / 職場として少人数の理解のための適切な教育やトレーニングを適した職場文化の醸成等
2. 感覚過敏の困難（対物）
 - 聴覚の調整ツール等
3. 感情・身体的困難（対自分）
 - 自律神経ストレスを表示するリストウェア / 体調や心の状態をモニタリングするツール等
4. 業務遂行の困難（対業務）
 - 優先事項や優先順位を示す道具 / 思考の言語化や思考の整理を支援する機器等

▲ デルファイ調査結果の概要（成果1）

ンヤク機」に優先して搭載すべき要素機能が検討されています。

成果2では、これまでに開発した小さな負担で多角的に脳波や行動データを同時記録するシステムを用いて、発達障害当事者から様々な生理・行動データを計測しました。頭皮脳波に加えて、筋電図や心電図、呼吸などの計測、発達心理検査中の行動データのビデオ記録を行っています。これにより、対人コミュニケーション中の利用者の脳波のより多角的な分析が可能になっています。



▲ 生理データ(64ch 脳波と自律神経指標)の計測（成果2）

このように、発達障害当事者や当事者を取り巻く社会との連携が進んでおり、利用者に寄り添った「自在ホンヤク機」の研究と開発を進めています。

3. 今後の展開

引き続き、発達障害当事者との連携・協働を進め、「自在ホンヤク機」に搭載すべき機能の選定および性能評価を、当事者とともに進めていきます。

学校における実装（GIGA 端末）についても、関係機関と連携を深め、モデル校にて試験的に導入することを中長期的に計画しています。

（東京大学・熊谷晋一郎、昭和大学・中村元昭
東北大学・筒井健一郎）

研究開発項目

6. 「自在ホンヤク機」にかかわる ELSI の検討

2023年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発項目6では、「自在ホンヤク機」の開発と社会実装に伴う倫理的・法的・社会的な課題（ELSI）を明らかにします。これにより、「自在ホンヤク機」が広く社会的に利用される環境づくりが期待されます。



プライバシーの問題



新たな差別への懸念

「自在ホンヤク機」は、こころの状態を読み取り、それを私たちのコミュニケーション支援に使います。この点について、**プライバシー保護**や、**新しいコミュニケーションの形**について、不安を抱く人がいるでしょう。

また、「自在ホンヤク機」の研究と開発には、発達障害がある人々（当事者）が参加します。当事者がおかれた状況への配慮、特に、「自在ホンヤク機」が**発達障害当事者への新たな差別を生まない**ようにすることも必要です。

研究開発項目6は、「自在ホンヤク機」の研究・開発・社会実装のあらゆる場面で生じうる ELSI を明らかにするとともに、その解決に取り組んでいます。

2. これまでの主な成果

1. 外部有識者との ELSI 検討会の実施
2. 研究開発担当者との意見交換と懸念点の聴取・分析
3. 自在ホンヤク機のあり方や使用方法の検討と国際的な法規制の現状把握

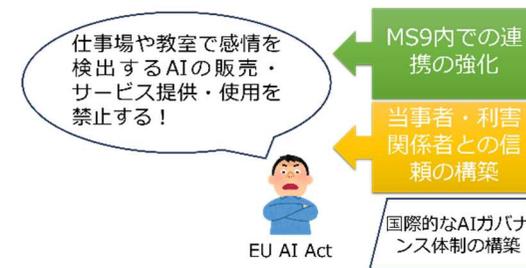
成果1では、2023年3月に仙台にて ELSI 検討会を実施しました。利益相反関連のリスクマネジメントとデータ活用の研究・実務を専門とする明谷早映子先生（東京大学）と生命倫理学を専門とする中澤栄輔先生（東京大学）をお招きして、「自在ホンヤク機」利用に際しての想定事例など、本格的な議論を行いました。本検討会により、自在ホンヤク機を実装するためにさらなる検討が必要であることが分かり、第2回の ELSI 検討会を計画しています。



▲ 第1回 ELSI 検討会の様子（成果1）

出典：<https://jizai2050.org/inside-story/870>

成果2では、令和5年9月と令和6年3月に開催されたプロジェクト全体会議にて、研究開発者との意見交換を行いました。全体会議での研究発表を受けて ELSI 上の懸念点・課題点を分析し、研究開発者と共有しました。また、



▲ 「自在ホンヤク機」に関わる国際法規制の現状と対応（成果3）

その内容を目標9の会議で発表・共有しました。

成果3では、「自在ホンヤク機」の実装において、使用者が購入・使用・利点・リスクを自律的に判断できるような枠組みが重要であることが分かりました。また、国際法規制の現状を見ると、EUによる AI Act に基づく研究への規制に大きな懸念があることが明らかになりました。これらの知見は、文章化し、研究チームでシェアしました。

このように、研究開発の初期から科学者・工学者と協働して ELSI を検討することで、「自在ホンヤク機」が社会的に受け入れられる環境づくりを進めています。

3. 今後の展開

継続して、「自在ホンヤク機」に伴う ELSI の理論的分析および科学者・工学者との合意形成を進めていきます。

また、「自在ホンヤク機」およびコミュニケーション支援技術全般について、ELSI の観点からガイドブックを作成し公表することを計画しています。

（東北大学・大隅典子、原塑）