

研究開発テーマ名

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

2022年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発テーマ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・費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

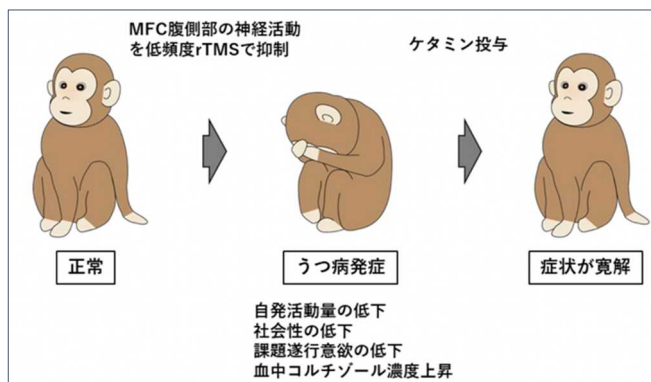
そこで、脳や自律神経活動を**多次元的かつ高精度で測定する**のと並行して、**脳波やその他の生理シグナルからこころを読み取る技術**の開発に取り組んでいます。これにより、日常的場面で高精度のこころの読み取りを目指します。

2. 2022年度までの成果

- 「**霊長類のうつ病**」の病態モデル作出に成功
- 気分の調節にかかわる脳部位を特定

3. ストレス感受性に関与する脳波パターンを解明
4. 深部脳波と表面脳波の同時計測法の確立
5. 脳波と自律神経活動の高精度計測技術を開発

成果1では、磁気刺激を用いてサルの脳活動を操作することで、うつ病の人工的な発症に成功しました。うつ病の脳内メカニズムの解明につながります。

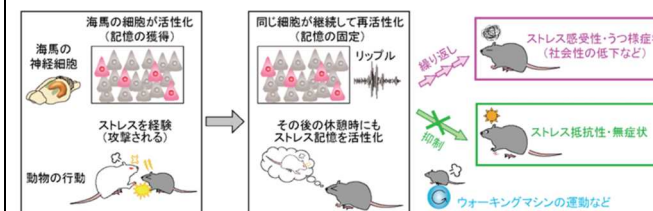


▲ 成果1の研究概要図

出典：東北大学のプレスリリース (<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2022/08/press20220804-02-brain.html>)

成果2では、このモデルに基づいて、気分（快・不快）の調節にかかわっている脳部位を同定しました。

成果3では、ストレスを受けたマウスの脳活動を記録・解析することで、特定の脳波が精神症状（うつ）の発症に深く関与していることを明らかにしました。



▲ 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/2023/04/press20230421-01-stress.html>)

成果4では、マウスやラットを用いて、脳の深部と表面でそれぞれ脳波を計測し、比較するための手法を開発しました。これは、侵襲度が大きな深部脳波を、侵襲度が小さな表面脳波を用いて推定するのに有用な技術です。

成果5では、ヒトを対象に、脳波とさまざまな自律神経活動（呼吸・心拍・眼球運動など）を高精度で同時に測定する手法を開発しました。

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（研究開発テーマ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）

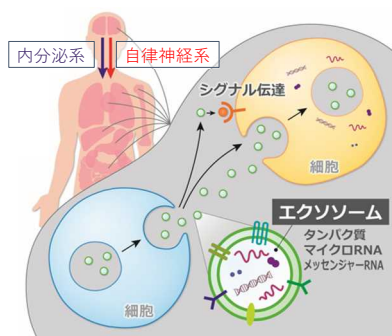
研究開発テーマ名

エクソソームからこころの状態を読み取る技術の開発

2022年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発テーマ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。

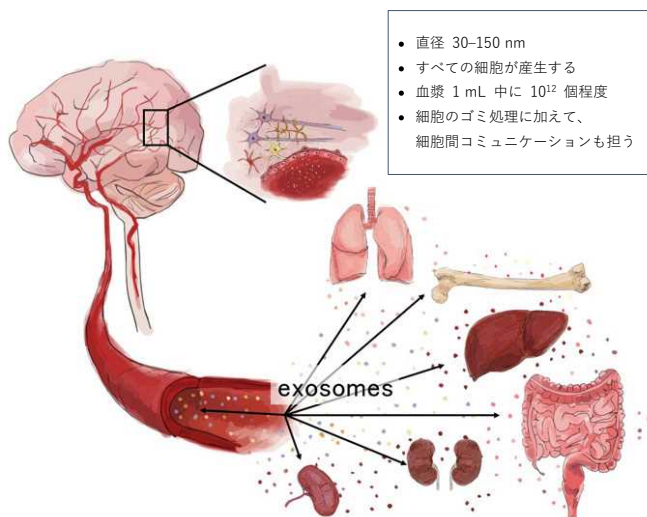


◀ 内分泌系・自律神経系を介した情報伝達により、こころの状態とからだの状態には連関があります。

そのほか重要な役割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。

血液などの体液には、**エクソソーム**という小さな小胞が含まれます。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**



▲ 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

関係は、ほとんど解明されていません。

研究開発テーマ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. 2022年度までの成果

1. ASD者と定型発達者のエクソソームの違いを発見
2. 血中エクソソームのサンプルからASDの療育効果を評価できる可能性を示唆

成果1では、自閉スペクトラム障害（ASD）と診断された人々と定型発達者のそれぞれ数十名について、血中エクソソームの性質を比較しました。その結果、定型発達者に比べて、ASD者のエクソソームは

- 粒が大きい
- 血漿中の数が多い
- タンパク質の含有量が少ない

という特徴をもつことが明らかになりました。

成果2では、エクソソーム中のタンパク質の機能・構造を解析（プロテオミクス解析）し、**ASDの療育効果を評価**できる可能性を示唆しました。

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、「こころの状態」（脳機能）とエクソソームの連関を、さらに多角的に明らかにしていきます。

既に、マウスを用いて、**社会的ストレスを受けた個体のエクソソームの分析**を進めています。この研究を通して、ストレスという負の経験がエクソソームにどのように反映されるかが明らかになります。

また、脳活動や他の生理シグナル（研究開発テーマ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）

研究開発テーマ名

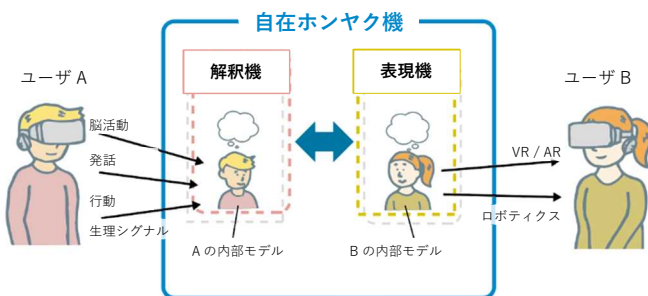
「自在ホンヤク機」のシステム開発

2022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。

研究開発テーマ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)

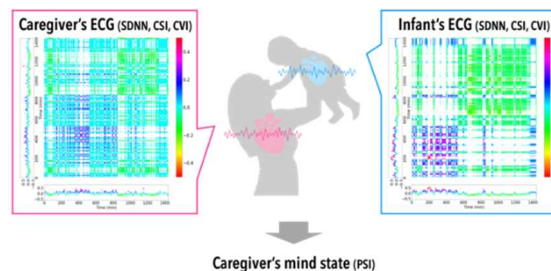
「自在ホンヤク機」は、ユーザの脳活動や生理シグナル等からこころの状態を解釈する「**解釈機**」と、それを相手にわかりやすい形で伝える「**表現機**」からなります。

「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できるためには、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。研究開発テーマ3はその開発に取り組みます。

2. 2022年度までの成果

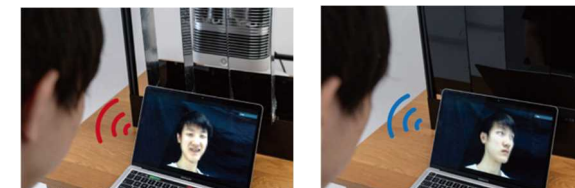
1. 幼児と養育者の生理シグナルから養育者のストレスを予測することに成功
2. 非接触・高応答性の温覚提示ディスプレイを開発
3. 非装着型の行動計測インタフェースを開発
4. 発声状況ごとの声の違いの数量的分析に成功

成果1では、3~4歳児とその養育者(計51組)を対象として、**心電図を用いて養育者の育児ストレスの大きさを予測することに成功**しました。本人(養育者)だけでなくコミュニケーション相手(幼児)の生理シグナルを用いることで、こころの状態の予測精度が高まりました。



▲ 幼児と養育者の心拍から養育者のこころを「解釈」する (**成果1**) (画像提供:長井志江特任教授(東京大学))

成果2では、赤外線による熱量を高速に制御することで、**非接触性と応答性を両立した「温覚提示ディスプレイ」を開発**しました。これは、会話のシチュエーションに合わせた温かさの提示によるコミュニケーションの促進や、会話相手のこころの状態の可視化に有用な技術です。



▲ 画面上の相手と目が合ったタイミングで温かく感じる (**成果2**)
出典: <https://doi.org/10.1145/3532721.3535569>

成果3では、床の上にタイル状に自由に配置可能な力覚センサを使うことで、**ユーザにデバイスを装着せずに位置・姿勢・動きを計測できるインタフェースを開発**しました。これは、カメラ等では取得しにくいヒトの生活行動とその意図を推定するのに有用な技術です。

成果4では、振幅変調(音声信号の強弱の時間的変化)を指標として使って、**発話の条件や内容による声の音質的性質の変化を分析**しました。私たちは、相手や状況に合わせて、声の出し方を意図的に変えることがあります。この成果は、ユーザの意図を反映した音声出力や、相手が理解しやすい音声出力の開発にとって有用です。

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。

これと平行して、生体データ(研究開発テーマ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(研究開発テーマ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)

研究開発テーマ名

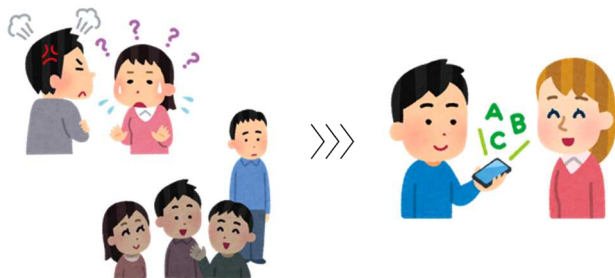
「自在ホンヤク機」の社会実装（発達障害 / GIGA 端末）

2022年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発テーマ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。

研究開発テーマ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。

研究開発テーマ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。

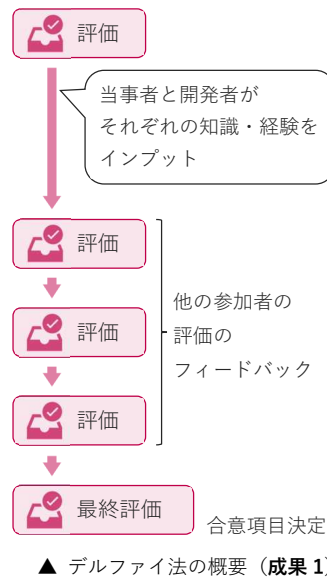
こうした社会実装のためには、**発達障害当事者、支援者、児童生徒、教員などにとって有益な機能を開発することが**課題となっています。研究開発テーマ4と5は、発達障害当事者や教員との緊密な連携を通して、「自在ホンヤク機」の社会実装上の課題を解決します。

2. 2022年度までの成果

1. 当事者の声を研究開発者に届ける方策のデザインと実践
2. 被験者への負担が小さくリアルタイム計測が可能な脳波・行動計測のシステムを構築

成果1では、専門家間の合意形成法「**デルファイ法**」を応用し、発達障害がある人々（当事者）と開発者が「自在ホンヤク機」の開発に共同参画する手法をデザインしました。

これを実践することで、開発者の考えや知識・経験に加えて、**当事者の豊かな観点・経験知を研究開発に反映させるモデルケース**となります。



成果2では、脳波計測の手法を改善して、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開発・導入しました。



▲ 導入した脳波計測器材（成果2）

「自在ホンヤク機」の研究開発では、発達障害当事者など利用者の脳波を、主要なデータとして使います。これまでの計測手法では、電極設置に時間がかかり、当事者にとって高負担でした。

そこで、頭に被るだけの脳波計測器材を導入するとともに、リアルタイム計測や複数人の同時計測を可能にしました。これにより、対人コミュニケーションをしている最中の利用者の脳波のより多角的な分析が期待されます。

このように、発達障害当事者などと密に連携することを通して、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）

研究開発テーマ名

「自在ホンヤク機」にかかわる ELSI の検討

2022年度までの進捗状況

1. 概要

研究開発テーマ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。

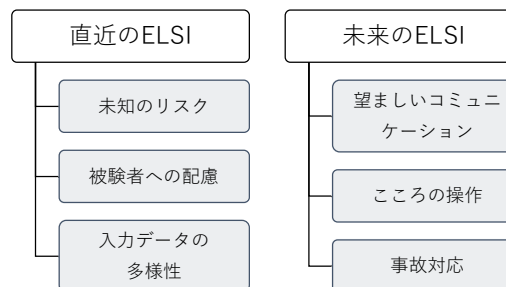
研究開発テーマ6は、「自在ホンヤク機」の研究・開発・社会実装のあらゆる場面で生じうる ELSI を明らかにするとともに、その解決に取り組んでいます。

2. 2022年度までの成果

1. 「自在ホンヤク機」の ELSI のリストを提案
2. データマネジメント会議を設置・運用開始
3. 「こころの操作」にまつわる倫理的課題の分析

成果1では、「自在ホンヤク機」の研究開発が直面せざるを得ない倫理的・法的・社会的課題（ELSI）を様々な観点から検討し、リストアップしました。

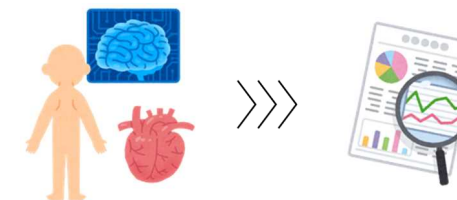
直近で重要な課題と、将来の社会実装にあたって重要な課題は、内容が大きく異なるため、それぞれ分けて整理・提案しています。



▲ 「自在ホンヤク機」の直近・未来の ELSI（抜粋）

成果2では、「自在ホンヤク機」の研究開発で使うデータを管理する部会として**データマネジメント会議を設置し、運用をはじめました。**

実際にデータを扱う科学者・工学者と協働することで、データをめぐる ELSI を、研究開発の初期段階から中心的な考慮事項として組み込むことを試んでいます。



▲ 「自在ホンヤク機」の研究開発には、様々な生体データを使うため、データマネジメントは一層重要となります

成果3では、「自在ホンヤク機」で特に問題となる ELSI として、**人間のこころの操作**に伴う基礎的な倫理的課題を整理し、目標9プログラム内にシェアしました。

「こころの操作」には、明らかに問題のある洗脳だけでなく、日常的な気分転換まで、様々なものが含まれます。**こころを操作してよい条件**を解明し、「自在ホンヤク機」に搭載すべき機能の範囲を定めています。

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

引き続き、「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）