

研究開発テーマ名

(1) AIロボット科学者の身体

2022年度までの進捗状況

1. 概要

これまで人間の科学者だけではできなかった理化学実験を実施するため、人間の身体能力を超えた器用さを備え、かつ人間の身体能力を超えて**正確・精密**な実験操作を行うための**AIロボット科学者の身体**を開発します。

具体的には、(1) 自律的に科学探求を行う頭脳を搭載するためのAIロボットプラットフォーム、(2) AIロボットプラットフォームに搭載するためのマイクロロボットツールの研究開発を行います。

2. 2022年度までの成果

ライフサイエンス分野の実験では、顕微鏡下で微細かつ複雑な作業を行う必要がありますが、**熟練の科学者でも失敗**してしまう場合も多くあります。また、既存のロボット技術は、剛体に対する定型タスクは得意としていますが、**動植物のサンプルのような微細かつ柔軟なサンプルに対する非定型タスク**を苦手とします。

このプロジェクトでは、まず、**熟練の科学者の精密さや器用さを超える操作**をロボットの遠隔操作や自動制御によって実現し、その後、その実験を自律化するAIを開発して統合する、というステップで開発を進めています。現在は、AIとの統合を想定したプラットフォームやマイクロロボットツールの試作を進めています。

(1) AIロボットプラットフォーム (原田)

サイエンス探求自律化を研究するためのプラットフォームとして、図1に示すAIロボットプラットフォームを開発しました。このAIロボットプラットフォームは、顕微鏡下に設置された実験対象物の周囲に、機能の異なる4台のロボットアームを配置する構成となっています。ロボットアームの先端には、様々な実験器具を搭載することができ、**必要な実験に応じて、必要なAIロボットが集まって実験**することを目指しています。これまでに、ロボットア

ーム同士の衝突やロボットアームと周囲の環境との衝突を自動で回避するための制御を実装し、小動物モデルに対して、**遠隔で高精度かつ複雑な実験操作**を行うことができることを実証しました。この遠隔操作により、技能獲得AIのための学習データを収集していきます。



図1 AIロボットプラットフォーム
オープンプラットフォームとして開発
(<https://aiscienceplatform.github.io/>)

(2) マイクロロボットツール (新井)

細胞のような微細かつ柔軟な実験対象物に対して、人間の身体能力を超えた**精密な実験操作**を行うため、様々な機能を持つマイクロロボットツールを開発しています。例えば、細胞の電気応答を計測する実験において、直径約1mmの細胞にガラスピペット先端を自動で挿入するマイクロロボットツールを開発しており、力センサ(分解能:0.62 μ N)

を搭載することで刺す時の力を計測しています(図2)。これは、科学者が手先では感じるできないほどの小さな力です。

その他、植物の根(直径約100 μ m)から、位置を把握しながら約10 μ mの大きさの細胞を1個ずつ回収するためのマイクロロボットツール、小動物から組織を採取するためのマイクロロボットツールなども開発中です。身体能力の限界のため、熟練の科学者でもできないような精密な実験タスクを実現しています。

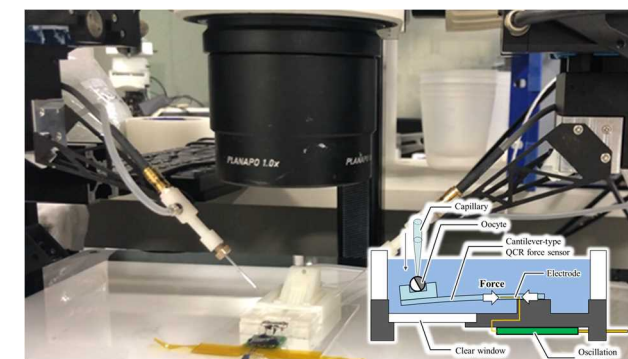


図2 力センサを搭載したマイクロロボットツール

3. 今後の展開

引き続き、AIロボットプラットフォーム及びロボットツールの改良とシステム統合を進めます。また、「研究開発テーマ(2) AIロボット科学者の頭脳」で開発されるAIとの統合を進めることにより、遠隔実験や自動実験から**実験の自律化**への移行を目指していきます。更に「研究開発テーマ(3) AIロボット科学者による理化学実験」において科学者と連携し、人間の科学者だけではできなかった理化学実験による新たな発見を行うことでAIロボット科学者の貢献を示します。

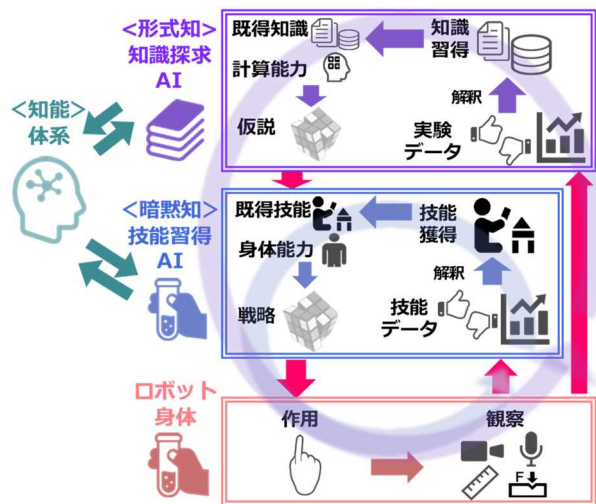
研究開発テーマ名

(2) AI ロボット科学者の頭脳

2022年度までの進捗状況

1. 概要

AI ロボット科学者が自ら考えて自律的にサイエンス探求するには、「AI ロボット科学者の身体が実世界において実験対象物に作用し、その結果の観察に基づいて、AI ロボット科学者が次に与える作用を考える」という**試行錯誤できる頭脳**が必要になります。この試行錯誤ができる頭脳を開発できれば、AI ロボット科学者は実世界との相互作用によって、自ら知能を発達させることができると考えます。プロジェクトでは、試行錯誤できる頭脳の構成要素として、実験データを解釈して新たな仮説を立てる**知識探求 AI**、観察された実験操作の技能データを解釈して、次の実験操作の戦略を立てる**技能習得 AI**、そしてそれらを AI ロボット科学者の知能として**体系化するための数理基盤**を開発します。



2. 2022年度までの成果

科学者が実際に行っている実験を対象として、要素技術の開発を行っています。

知識探求 AI (竹内、森)

実験データを解釈して知識として習得し、自らの計算能力を考慮しながら、実験の仮説を立てる手法を開発します。ここでは、明示的であり伝達可能な知識 (**形式知**) を扱います。

化合物探索を例として、モダリティの異なる既得知識(化合物の構造式、文献、これまでの実験結果) から、**有力な化合物仮説候補を自動で提案する AI** を開発しています。また、実験データの高次の解釈に向けて、まずは実験データを自動で解析する手法を開発しました。顕微鏡画像処理によって微細構造を観察し、科学者の目では定量化できない知識を得ることが可能になっています。

技能習得 AI (谷口、岡田)

観察された実験操作の技能データを解釈して、技能として習得し、自らの身体能力を考慮しながら、次の実験操作の戦略を立てる手法を開発します。ここでは、明示的な表現や伝達が困難な知識 (**暗黙知(カン・コツ)**) を扱います。将来的には、**実験に必要な技能を発揮しやすいように AI ロボット科学者の身体構造を再構成し (Self-Reconfiguration)、AI ロボットならではの操作戦略を立案することを目指します。** これにより、人間の科学者とは違う AI ロボット科学者ならではの**実験操作を実現**します。

要素技術として、ロボットと対象物との相互作用に関する複数の手がかり (画像や音、振動など) を用いて、自らその特徴を見出す (状態空間を形成する) ための手法を開発しており、例として Multimodal NewtonianVAE に基づく

ロボット制御を開発しました (図 1)。また、ロボットの遠隔操作から熟練操作を学び、少数の学習データを用いてタスクを自律化する手法も開発しています。

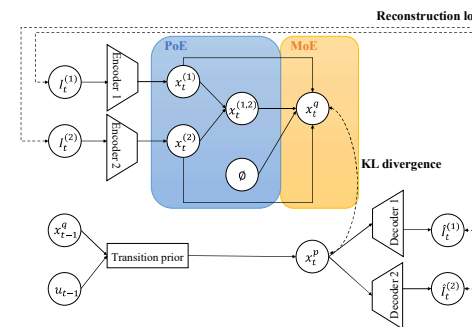


図 1 Multimodal NewtonianVAE

体系化のための数理基盤 (谷村、丸山、松原)

サイエンス探求とは、様々なデータを関連付け、秩序付けて有機的な体系を編み出すことです。 知識探求 AI と技能習得 AI は、仮説や戦略で構成された膨大な潜在空間の中を探索する AI であり、潜在空間の表現に数理基盤を与えることは、**試行錯誤から得た知見を知能として体系化することにつながります。**

これまでに関係性を記述するための圏論と呼ばれる抽象数学を活用して、汎用的な AI で使用されるニューラルネットワークのアーキテクチャを数学的に厳密に表現する手法を研究しました。仮説や戦略で構成された膨大な潜在空間に法則を取り入れる、また、膨大な潜在空間から法則を発見する手法の開発を進めています。

3. 今後の展開

AI ロボット科学者の頭脳を AI ロボット科学者の身体と融合させることで、サイエンス探求を実現していきます。

研究開発テーマ名

(3) AIロボット科学者によるサイエンス探求

2022年度までの進捗状況

1. 概要

2050年にAIロボット科学者を社会実装するためには、研究開発の初期段階から科学者との共同研究を実施し、サイエンス探求を具現化しながら研究を進める必要があります。プロジェクトでは、要素技術の応用によって研究が加速すると期待される3つの課題に取り組みます。

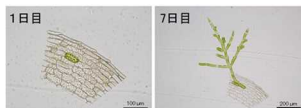
(1) 「バイオスティミュラント」の開発 (魚住, 有澤)

植物を気候変動などの環境変化に強くするため、農業に変わる薬「バイオスティミュラント」を開発します。無数にある候補からAIが有力な候補化合物を見つけ、その候補化合物を評価する実験をロボットによって精密に行い、植物の変化をAIで観察し、その結果を用いて更なる探索を行います。これらの実験は、細胞の電気的特性を解明する手法として広く応用可能です。



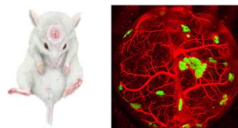
(2) 植物再生力の解明 (佐藤)

植物は驚異的な再生力を持つことが知られています。植物の再生力を解明し、更には再生力を発揮させる培地を発見することで、食料の安定供給に繋げることが期待されます。再生力の解明のため、AIが解析する細胞を狙い、分離中の細胞の位置を正確に把握しながらロボットで1細胞ずつ収集して解析します。これは動植物の細胞の遺伝子発現解析などに広く応用できる手法です。



(3) 未知の疾患の解明 (武部)

近代医療をもってしても致死率の高い未知の疾患がありますが、ミニ臓器とも呼ばれるオルガノイドを使えば、そのような未知の疾患に対する予防・治療方法を研究できます。オルガノイドに起こるわずかな変化をAIで見つけ、変化が起きた場所の細胞のみをロボットで回収して解析します。また、限られたサンプルで確実に実験を行うため、顕微鏡下での複雑な操作をロボットで自律的に行う方法も研究します。



2. 2022年度までの成果

例として、AIが文献や化合物の構造データから有力な候補化合物を見つけ、その候補化合物を作成し、評価するための精密な実験をロボットが行い、微細な構造である気孔の開き具合をAIで観察することで評価する手法を開発しました(図1)。

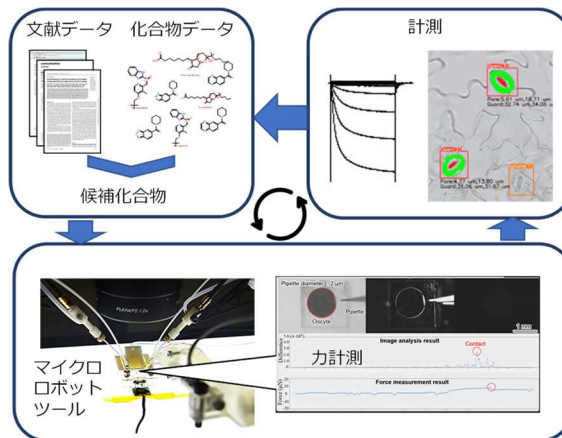


図1 バイオスティミュラント候補の自動探索

また、根の細胞の位置をAIで把握して、細胞分離中の細胞の位置をAIでシミュレーションし、その情報を用いてロボットを制御して細胞を採取する手法を開発しました(図2)。これにより、細胞の位置情報と採取した細胞の解析結果を対応づけることが可能になります。

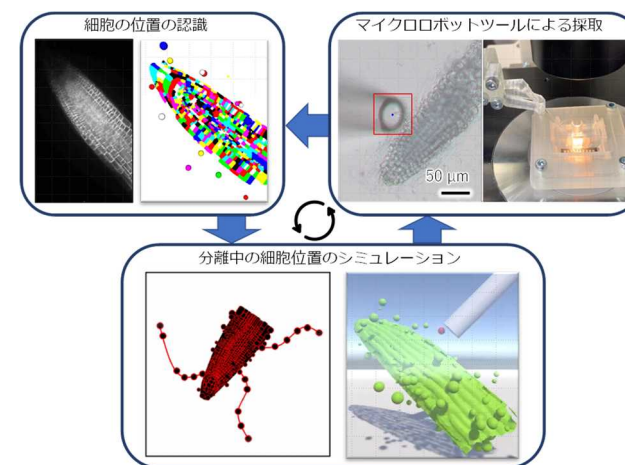


図2 遺伝子発現解析のための1細胞採取

3. 今後の展開

実際のサイエンス探求で扱われる対象物やそのデータを用いてAIロボット要素技術のプロトタイプの実用を開始しました。このように、実際のサイエンス探求の課題を把握したうえで高度なAIロボット技術を研究することが将来の社会実装には不可欠です。

今後も引き続き、AIロボット科学者の身体と頭脳の研究開発の進捗をサイエンス探求への応用例に適用していきます。AIロボットが科学者のみではできなかった実験を行うことによる新たな発見を実証することを目指します。