



ムーンショット目標 3

2050 年までに、AI とロボットの共進化により、自ら学習・行動
し人と共生するロボットを実現

実施状況報告書

2020 年度版

2020 年 12 月～2021 年 3 月

人と AI ロボットの創造的共進化による

サイエンス開拓

原田 香奈子

東京大学 大学院医学系研究科／大学院工学系研究科



研究開発プロジェクト概要

科学者と対等に議論しながら、人では困難な環境（危険な環境、微細な環境、等）におけるサイエンス実験を行う AI ロボットを開発します。科学者と AI ロボットの関わり合い方を自在に変え、共に試行錯誤することで未経験の対象物や環境にも対処します。それにより 2050 年には、サイエンス分野において AI ロボットによる科学原理・解法の発見を実現します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/33_harada.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
谷村省吾	名古屋大学 大学院情報学研究科	教授
谷口忠大	立命館大学 情報理工学部	教授
森健策	名古屋大学 大学院情報学研究科	教授
岡田慧	東京大学 大学院情報理工学系研究科	教授
新井史人	東京大学 大学院工学系研究科	教授
原田香奈子	東京大学 大学院医学系研究科	准教授
魚住信之	東北大学 大学院工学研究科	教授
佐藤良勝	名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所	特任准教授
武部貴則	東京医科歯科大学 統合研究機構	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

当該年度は、2021 年 1～3 月の最大 3 か月間の実施であった。

研究開発項目1:融合 AI理論

概要：最先端の融合 AI 理論を次世代 AI ロボットの研究開発に実装し、また、次世代 AI ロボットの研究開発での知見を理論化する。ここでの融合理論とは、統計的 AI と記号的 AI の融合であり、特に確率的プログラミングをキーワードとして、膨大なデータの中にある構造を発見するための融合 AI 理論を構築する。具体的には、高度サイエンス探求、そのための融合 AI 数理モデル、そして、確率プログラミングを軸とする計算機実装のための融合 AI モデル、及び AI ロボットのための融合 AI モデルについて研究する。

当該年度は、関連技術調査とコンセプト構築を行い、次年度以降の研究開発の準備を行う。

研究開発項目2:次世代 AI ロボット

概要：将来的な汎用性や人との共進化を視野にいれつつ、研究開発項目3:サイエンス探求で挙げられるサイエンス実験を実現する次世代 AI ロボットを開発する。具体的には、難環境 AI ロボットシステム・ツール、そして、その実験結果の観察と解釈の AI、その結果に基づくロボットタスク戦略、そして、その結果を元に実験計画を設計する能動的データ探索 AI について研究する。当該年度は、関連技術調査とコンセプト構築を行い、次年度以降の研究開発の準備を行う。また、基礎実験や概念設計を行い、サイエンス探求 AI ロボット・プラットフォームのプロトタイプ開発に着手する。

研究開発項目3:サイエンス探求

概要：サイエンス AI ロボットの可能性を示すことを目的として、具体的なサイエンス探求の研究を実施する。具体的には、難環境において、これまで人だけでは実現できていない植物・動物実験を実現する。当該年度は、関連技術調査とコンセプト構築を行い、次年度以降の研究開発の準備を行う。また、次世代 AI ロボットによるサイエンス実験を視野にいれて、提供可能な文献や実験データ、データの提供方法を検討する。

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:融合 AI理論

研究開発課題1 :サイエンスする知能の数理理論

当該年度実施内容：

本研究課題は、科学的発見・科学的理論構築・科学的応用に関する人間の諸能力の数理原理を解明し、AI ロボットに応用できる科学的知能の原理と方法を提案することを目標としている。たんにルーチンワークを自動化しようというのではなく、手続きが明示されず科学者たちがいつの間にか身に着けている科学研究の方法を、AI が習う、あるいは自ら発見する、人に教えられていなかった概念や理論を自ら構築する、さらに AI が発見・構築したことを人間にもわかる形で伝えるようになるための基礎原理の研究開発を目標としている。

この目標に即して、人工知能によるサイエンス研究事例の調査を行った。また、

サイエンス AI の基礎理論的ツールとして使えそうな方法論を調査した。とくにシステムの時間変化を記述し、予測し、できれば制御するというのは、ほぼすべてのサイエンス分野に共通するアプローチであることから、時間発展するシステムのための数学である力学系理論が一番参考になると考え、クープマン解析・ダイナミックモード分解など AI に適していると思われる力学系理論の方法を調査・収集した。

課題推進者: 谷村 省吾(名古屋大学)

研究開発課題 2 : 次世代融合 AI ロボティクスとサイエンスの圏論的基礎論
次年度より実施する。

研究開発課題 3 : 記号論理により加速・拡大する確率的プログラミング
次年度以降より実施する。

研究開発課題 4: 潜在構造発見の自律ロボットに向けた融合 AI

当該年度実施内容: 本研究課題では潜在構造発見の自律ロボットに向けた融合 AI の研究開発を行う。自然科学領域における理化学実験を行うロボットを創造するためには、構造を記述し計画する記号的表現と不確実性をモデル化し感覚運動情報を統合する統計的表現を融合した AI 技術が必要である。熟練者からの事前知識とスキルの教示に基づき、仮説や代替案を立案、実行、評価しつつ成長する AI ロボットシステムに必要となる融合 AI の研究開発を行う。確率的生成モデルや深層生成モデルを効率的に開発・推論する確率的プログラミング言語や深層学習ライブラリを発展的に活用し、潜在構造の発見と能動的な探索を理論的に統合し、環境や対象の多様性や不確実性に対して人間が習熟を要するような手順や微妙な操作を含んだ課題に対しても、操作を実現するシステムの実現を目指す。

特に、ロボットの複雑な手順や配置の不確実性を含んだ対象物体のマニピュレーションを主な対象とする。本研究開発課題では(1)潜在構造を発見し活用する融合 AI マニピュレーション技術、(2)潜在構造を活用した能動的探索手法の研究開発に取り組む。また、理化学実験に関わる具体的な対象物に対して本手法を適用する実証実験を行いその有効性を検証する。

その中で本年度においては下記の内容を実施した。(1)潜在構造を発見し活用する融合 AI マニピュレーション技術: 関連技術調査とコンセプト構築を行った。

(2)潜在構造を活用した能動的探索手法の研究開発: これに関しては R3 より開始の予定である。

課題推進者: 谷口 忠大(立命館大学)

(2) 研究開発項目 2: 次世代 AI ロボット

研究開発課題 1: 潜在構造発見の能動的探索 AI
次年度より実施する。

研究開発課題 2: 事前知識に基づく観察・解釈 AI

当該年度実施内容: 本ムーンショット研究開発プロジェクトは、人間にとって困難な環境で行う実験や目に見えないような微細な対象物を扱う実験など、これまで人間だけではできなかったサイエンス実験を AI ロボットが創意工夫しながら、そして科学者と一緒に試行錯誤しながら行うことができるようになる将来を見越して研究開発を実施するものである。科学者と AI ロボットの協働でのサイエンス探求による科学的原理・解法の発見ができるようになる技術を開発するものである。

このような全体計画の中において、本研究開発課題では、事前知識に基づく解釈と理解の側面からサイエンス AI ロボットを支える技術の開発を行う。サイエンス AI ロボットにおける AI として必要とされるのは、

- (1) 事前に何らかの形で獲得された知識情報を基に判断や動作を実現する技術
- (2) 実際の動作の結果から知識を獲得し、それを事前知識として利用できる AI 技術
- (3) 人から与えられる事前知識を取り込むことのできる AI 技術
- (4) ロボット動作によって得られた知識や経験を人へフィードバックする技術の開発

である。特に、オルガノド研究など、マウスを利用する実験において必要とされる様々な処置を行うサイエンス AI ロボットをターゲットとして、これを実現する上で必要とされる AI 基盤技術の実現に取り組む。

当該年度においては、解剖構造といった構造に関する事前知識、ロボット先端に装着されたカメラや顕微鏡などから得られるシーン(情景)に対する事前知識に基づいて、推論や判断を行うシステムを実現すると共に、その推論と判断に基づいたサイエンス AI ロボットの動作から得られる結果を事前知識として再導入できる枠組みの検討を行った。また、観察の結果から新たな知見を見つけ出す仕組みの検討を行った。また、自然言語処理技術に基づいて論文を解析し、それを事前知識としてサイエンス AI ロボットの推論・判断へと生かす技術についても検討を進めた。

課題推進者: 森 健策(名古屋大学)

研究開発課題 3: 融合 AI によるマニピュレーションタスク戦略の獲得と生成

当該年度実施内容: 実世界で実際に活躍するロボットシステムの研究開発では、実際にロボットシステムを用いた実証実験を通じて各手法を評価しつつ研究にフィードバックしていくフィールド研究アプローチが必要不可欠である。そこでサイエンス探求 AI ロボットのデジタルツインとなるマニピュレーションロボットの認識行動の仮想実現可能なシミュレーション環境を構築と、植物動物の簡易な扱いが可能なマニピュレーションロボットシステムを早期に立ち上げ、研究要素の実世界検証を進めるとともに、サイエンス探求 AI ロボットとのシステム接続を追究する。

当該年度はサイエンス探求 AI ロボットのシステムの検証として、ロボット用プログラミング言語 EusLisp を用いたシミュレーション環境におけるシステムの検証と実ロボットを用いたサイエンス探求マニピュレーションタスクの検証を行った。

課題推進者:岡田 慧(東京大学)

研究開発課題 4:サイエンス探求マイクロロボットツール

当該年度実施内容:本研究課題では、自然科学領域における理化学実験を対象として、熟練者からの事前知識とスキルの教示に基づき、仮説や代替案を立案、実行、評価する AI ロボットシステムに必要となるサイエンス探求マイクロロボットツールおよび、これらをタスクに応じて適切かつ円滑に利用するためのシステム技術に関する研究開発を行う。マイクロロボットツールの機能を積極的に活用することで、人が事前に手順や操作を十分設計できない課題に対しても、人と AI ロボットの協働により、創造的価値であるサイエンス探究を支援するシステムの実現を目指す。特に、人や従来のロボットでは操作が困難であった微小な対象物を扱う微細な作業を対象とする。具体例として動植物の細胞や微小组織などを対象とし、以下の4項目を対象とする。

(1)サイエンス探求マイクロロボットツールの共通技術として、機能性マイクロロボットツールをタスクに応じて適切かつ円滑に利用するためのシステム技術に関する研究開発を行う。

(2)バイオスティミュラントの評価系として、Lab-on-Oocytes のシステム構築を行い、卵母細胞の操作、遺伝子導入、ボルテージクランプに必要な、機能性マイクロロボットツールおよび AI ロボットとのインタフェース技術を開発する。

(3)植物の好適培地の評価系として、バイオスティミュラントの効果検証や、植物の好適培地の効果検証を対象として、これに必要な1細胞遺伝子発現アトラスのための評価システムを構築し、植物の根の細胞の位置情報を維持した単一細胞操作技術を開発する。他の PI と協力し、1細胞遺伝子発現アトラスに基づくスクリーニングシステムとして統合する。

(4)動物細胞の評価系において、動物細胞や組織といった柔らかく微小な対象物を操作するためのセンサ内蔵型の機能性マイクロロボットツールおよび AI ロボットとのインタフェース技術を開発する。In toto bio-simulator を実現するため、AI ロボットが自律的に作業を適切かつ円滑に進めるために必要な、センサ内蔵型の機能性マイクロロボットツールおよび AI ロボットとのインタフェース技術を開発する。

その中で本年度においては下記の内容を実施した。

- ・サイエンス探求マイクロロボットツールの共通技術として、関連技術調査、コンセプト構築を行い、次年度以降の研究開発の準備を行った。とりわけ、(1)(2)の目標に準じた、光造形可能な超微細径マイクロピペットのプロトタイプ設計、ならびに、(1)(3)の1細胞アトラス実証実験に必要な細胞吸引システムの試作と評価を行った。

- ・バイオスティミュラントの評価系のためのサイエンス探求マイクロロボットツール

の関連技術調査, コンセプト構築を行い, アフリカツメガエルの卵母細胞に対する電流計測の基礎動作確認実験を行った. さらに, 卵母細胞などの微小な生体標本を, ロボットを用いて高精度に取り扱うための力センサを設計し, 基礎動作の確認を行った.

課題推進者:新井 史人(東京大学)

研究開発課題 5:サイエンス探求 AI ロボットシステム

当該年度実施内容:本研究課題では, サイエンス探求 AI ロボットシステムの研究開発を行う. 自然科学領域における理化学実験では, 人では困難な環境(例えば, 無菌環境やバイオハザード環境, 低酸素環境など, 人の心身への負荷が大きい環境)において, サンプル数や実験時間が限定された状況で, 事前に手順や操作を十分設計できない場合においても, ウェットな柔軟物である対象物に操作を行う必要がある. 将来的な拡張や汎用化を視野に入れたシステムを開発し, 他の研究課題推進者の成果を統合しながら, サイエンス探求を実現することを目指す. 特に, マルチアームロボットシステムにおける人と AI ロボットの協働を対象として, サイエンス探求に必要な機能の研究開発を行う. 本研究課題では, (1)サイエンス探求 AI ロボットシステム・プラットフォームの開発, (2)人と AI ロボット協働の研究を行う. 当該年度は, サイエンス探求 AI ロボット・プラットフォームの構成員となる動物用 AI ロボットのコンセプト設計, 対象とするタスクの模擬タスクの検討, 及び遠隔ロボットによる予備検討を実施した.

課題推進者:原田 香奈子(東京大学)

(3) 研究開発項目 3:サイエンス探求

研究開発課題 1:Lab-on-Oocytes によるバイオスティミュラント開発

当該年度実施内容:AI およびロボットを用いた候補化合物の測定系の設定の確立をすすめるために, 人が行っている作業工程について検討した. ガラスピペットの細胞への穿孔角度, 細胞膜への力と穿孔速度, 二電極ガラスの角度とロボット化への最適化に関して考察した. また, 人が着目するイオン電流測定データ, 人には処理することができない膨大なデータの中から, 人では判別しがたく, 見逃している特性を読み取る可能性と有効性に注目してイオン電流測定とデータ集計を行った. 多数の候補化合物から効果的な有機化合物を最適予測するために, 化合物の官能基の特性, チャンネルへの阻害度合いに関するパラメーターの評価を行った. AI とロボットに特徴的な結果の抽出とデータの検出をすすめる道筋を検討した.

課題推進者:魚住 信之(東北大学)

研究開発課題 2:植物1細胞遺伝子発現アトラスの構築

当該年度実施内容:当該年度では, 人と AI ロボットの協働により創造的価値を生み出す難環境の理化学実験として, 植物の発生と再生力の仕組みを対象としたタスクを探索してきた. そのような理化学実験として, 細胞位置情報とリンクした植物 1 細

胞遺伝子発現アトラスの構築と、1 細胞からの再生技術としての好適培地の開発を目標に研究を着手した。

課題推進者:佐藤 良勝(名古屋大学)

研究開発課題 3:In toto bio-simulator

当該年度実施内容:当該年度では、AI ロボット技術を活用することによって初めて実現される難環境における理化学実験タスクを同定するとともに、自律的に仮説生成、実行、評価を実現するための AI 構築に向けた熟練者による学習データの生成を進めてきた。特に、クリーンかつウェットな環境における微小な対象物(動物細胞・組織・臓器・個体)の微細操作技術の中から、人や従来ロボットでは手技的に難易度が高いものを抽出し、その中から AI ロボットを活用することで非熟練者であっても実施可能となりうる実験系を探索してきた。そのような難環境理化学実験として、細胞の実験動物への移植及びイメージング解析技術を特定し、それらに対する AI ロボットの潜在的タスクの発見と熟練者実験の学習に着手した。

課題推進者:武部 貴則(東京医科歯科大学)

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 支援チームとしては、PM 補佐とアシスタントを配置した。契約にかかる手続きについては、大学のリサーチ・アドミニストレーター推進室及び部局担当の支援を受け、各大学の部局とも連携しながらマネジメントを行った。

重要事項の伝達を迅速に行うため、各大学の課題推進者及び参加者との連絡は Slack を使用している。研究課題推進者全体が参加する全体会議は半年に 1 回、各プロジェクトの会議は 1~3 カ月に 1 回の頻度で開催する予定であり、当該年度は 1 月 12 日に全体会議を実施した。来年度以降の全体会議は、研究課題推進者の研究機関のサイトビジットを兼ねて行うことを検討する。研究課題推進者同士の連携は、Slack を通じて行い、必要に応じて、適宜 Web 会議や対面での会議を行った。

研究開発プロジェクトの展開

研究開発項目2:次世代 AI ロボットの研究開発課題 1:潜在構造発見の能動的探索AI について、課題推進者を決定した。

(2) 研究成果の展開

プロジェクト期間全体における研究成果の展開についての計画を開始した。目標 3 全体に共通する成果の展開については、ROBOMECH やロボット学会、ICRA、IROS などを対象に他 PM と共に企画を行う。

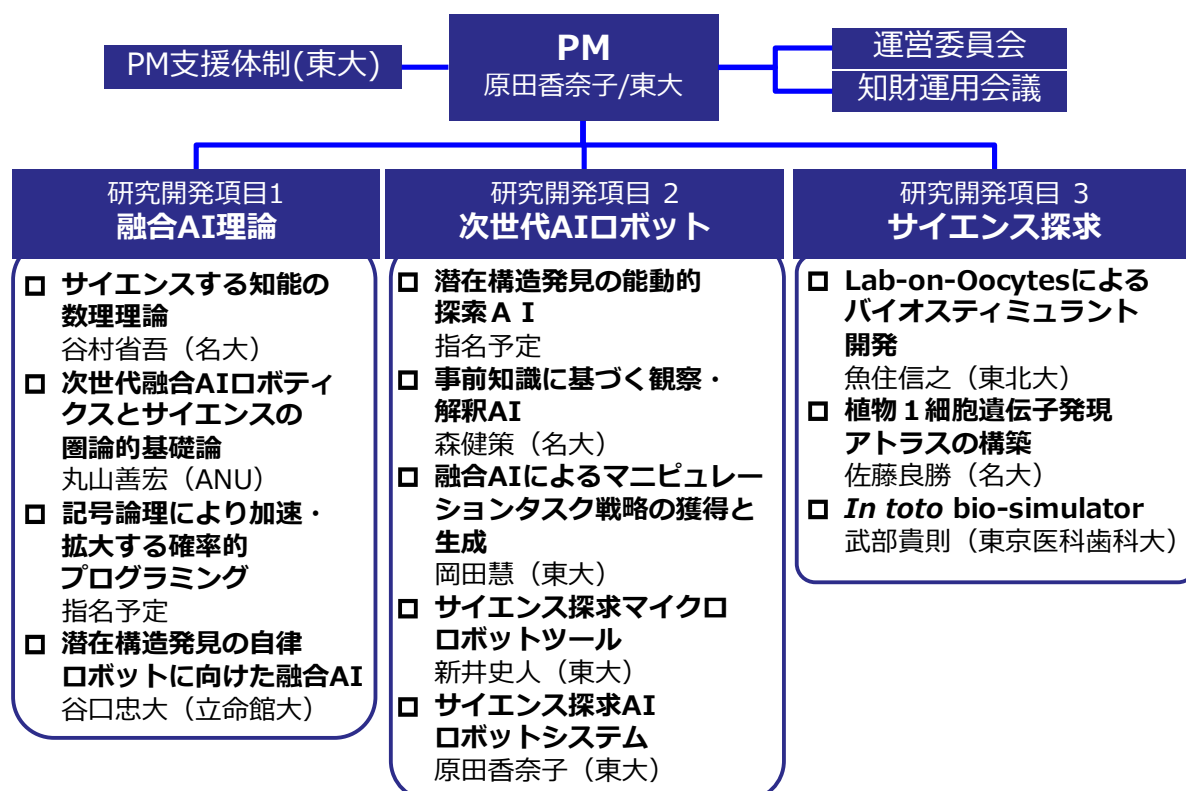
(3) 広報、アウトリーチ

3月28日に開催された「ムーンショット目標1&目標3 キックオフシンポジウム」及び「ムーンショット目標1&目標3 国際シンポジウム」において、構想を紹介した。プロジェクトのホームページの作成を開始した。

(4) データマネジメントに関する取り組み

当該プロジェクトにおいて、収集・公開される見込みのデータ及びそのマネジメントについて調査を開始した。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運用会議及び運営会議は次年度以降より開催する。

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	3	1	4
口頭発表	0	0	0
(うち, 査読有)	(0)	(0)	(0)
ポスター発表	0	0	0
合計	3	1	4

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

その他著作物数(総説, 書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
1	0	1

プレスリリース件数
0

報道件数
0

ワークショップ等, アウトリーチ件数
1