

探索加速型「共通基盤」領域 本格研究

AI ロボットが実験する時代到来

研究者を単純作業の繰り返しから開放し、より創造的な研究開発へ

発見
プロセスの
全自動化

「匠の技」を
ロボットへ

研究開発代表者
高橋 恒一
理化学研究所
チームリーダー

CONTENTS

01
未来社会創造事業とは

03
プロジェクト概要

05
研究開発成果の紹介

13
今後の展望



未	来	社	会
創	造	事	業
と	は		

研究開発を実施します。その研究開発において、斬新なアイデアの取り込み、事業化へのジャンプアップ等を柔軟かつ迅速に実施可能とするような研究開発運営を採用します。

未来社会創造事業では、社会・産業ニーズ(潜在的なニーズを含む)を踏まえ、経済・社会的にインパクトのあるターゲット(出口)を明確に見据えた技術的にチャレンジングな目標を設定し、戦略的創造研究推進事業や科学研究費助成事業等の有望な成果の活用を通じて、実用化が可能かどうか見極められる段階(概念実証/POC:Proof of Concept)を目指した

本事業は異なる2つのアプローチ「探索加速型」と「大規模プロジェクト型」で構成されます。

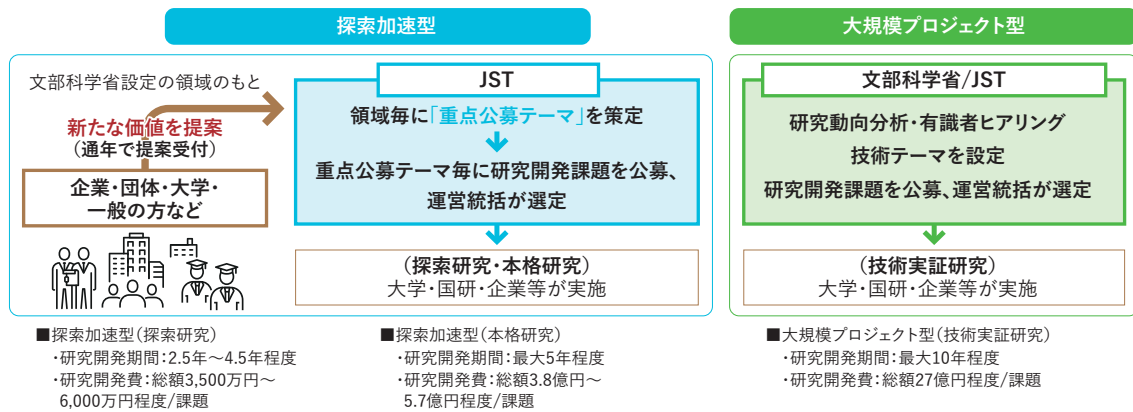
【探索加速型】

比較的小額の課題を多数採択(スモールスタート)する探索研究から、それらの課題を絞り込み、集中投資する本格研究へと段階的に研究開発を進めます。探索研究では、多くの斬新なアイデアを公募して取り入れ、本格研究に向けてアイデアの実現可能性を見極めるための研究開発を行います。探索研究から本格研究への移行時や、本格研究実施期間中において、ステージゲート評価を実施し研究開発課題を絞り込むことで、最適な研究開発課題を編成します。

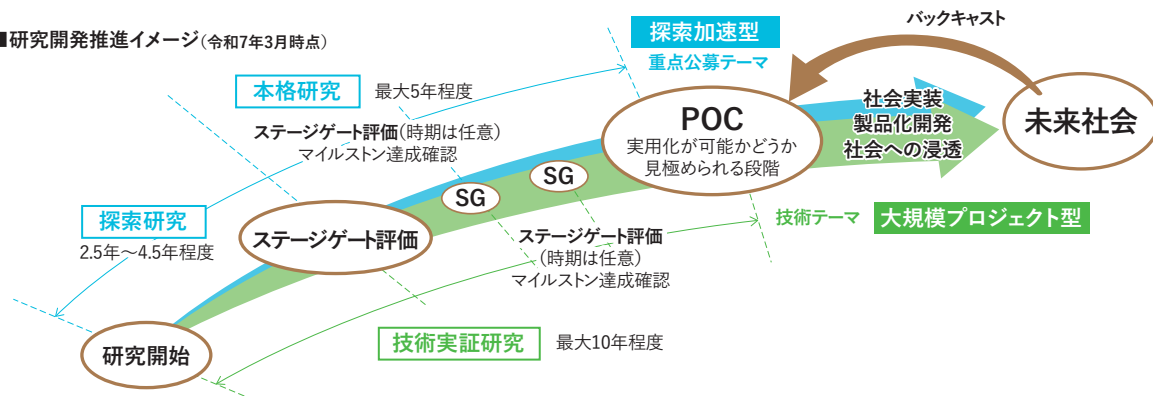
【大規模プロジェクト型】

科学技術イノベーションに関する情報を収集・分析し、現在の技術体系を変え、将来の基盤技術となるよう文部科学省が特定した「技術テーマ」に係る研究開発課題を公募し、集中的に投資します。

■事業概要図(令和7年3月時点)



■研究開発推進イメージ(令和7年3月時点)



「共通基盤」領域

「共通基盤」領域は、新たな学際領域を切り拓き、世界最先端の研究成果をもたらす基盤として我が国の基礎科学力を支え、持続的な科学技術イノベーションの創出に貢

献する、広範で多様な研究開発活動を支える共通基盤技術や先端的な研究機器などを対象とします。

重点公募テーマ

革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現

研究現場は将来の社会に大きなインパクトをもたらす革新的な「知」や飛躍的な製品を創出する源泉です。一方で、研究開発の活力を示す指標の1つである論文生産数は、中国における科学技術イノベーション政策の一層の推進、その他新興国の台頭、日本の少子化など、社会構造の変化などを背景にここ数年伸び悩んでおり、日本の研究力の低下を懸念する声もあがっています。日本の研究力向上に基礎科学力の強化が不可欠であり、研究現場をより活性化する仕掛けとして、社会ニーズに直接応える研究のみならず、研究現場のニーズに応えることによって研究力を高めるための活動についても着実に推進する必要があ

ります。

これを促すべく、本重点公募テーマの下、①ハイリスク・ハイインパクトで先端的な計測分析技術・機器などの開発、②データ解析・処理技術等のアプリケーション開発やシステム化、③研究現場の生産性向上等に資する技術の開発を重視し、日本の研究力・産業競争力強化への貢献を目指します。また、システム・装置化を目指す研究に加え、昨今応用展開が急速に進展している数理解析・数理工学に立脚した数理解析・シミュレーション等の高度化により、時間・空間分解能、スループット等の飛躍的な向上を図ります。

研究者を単純作業の 繰り返しから開放し、 より創造的な研究開発へ

生命科学とロボット工学が融合した「ロボティックバイオロジー」。人工知能(AI) ロボットによる実験の自動化は、研究者の負担を軽減し、実験の精度とスピードを向上させる。創薬や疾病予防など、多岐にわたる分野のゲームチェンジャーとなりそうだ。

高橋 恒一 Koichi TAKAHASHI

Profile

理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー
2018年より未来社会創造事業研究開発代表者

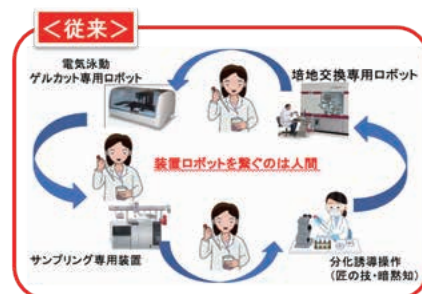


背景

2000年代初頭にデジタルトランスフォーメーション(DX)が提唱され、様々な分野でロボットやAIの活用による改革が進んでいる。研究現場も例外ではない。例えばAIによるたんぱく質の立体構造解析ツールにより短時間、低コストで構造と機能を推定できるようになったり、莫大な物性データや論文の成果をデータベース化し、最適な条件を探索したりする取り組みが進んでいる。

一見、飛躍的に効率化が進んでいるようにも見えるが、例えば生命科学分野では、日々単純作業に時間を費やさざるを得ない研究者は依然多いという。これは、個々の実験装置は自動化できても、人が機器と機器の間を「つなぐ」役割から解放

されていないことを意味しており、実験全体を自動化する際のボトルネックとなっている。加えて、研究室独自のノウハウが詰まった実験プロトコルも多く、大規模で資金の潤沢な研究所でなければ、生命科学実験を自動化するのは困難とされてきた。



実現したい未来社会

様々なロボットや機器が相互に連携して生命科学実験を自動化するロボティックバイオロジーを実現することで、研究者を日々の単純作業から解放し、研究生産性の飛躍的な向上を目指す。加えて、再現性の危機や研究不正の問題も解消されることが期待できる。また、細胞培養実験においては、熟練研究者の技術や暗黙知をデータ化してロボットに移植し、実験全体を自動化することで、高精度かつ低コストでの実験が可能になる。これにより、新たな細胞治療や個別化医療などの開発を加速し、希少疾患の治療法開発にも貢献する。こうしたロボティックバイオロジーの成果を生命科学以外の実験科学分野にも応用

し、新たな科学研究のスタイル「第五の科学」の確立に向けた重要な一歩とする。





研究概要

探索研究では、様々な機器の連携を可能とする実験プロトコル記述言語「LabCode」を開発し、生成された指示に基づいてLabDroid「まほろ」が実際の実験プロトコルを実行できることを示した。また、複数の異なる機器を連携させてスムーズに実験を行うためのスケジューリング技術や、ヒューマノイドロボットとAIによる自律細胞培養システムの開発にも成功した。

本格研究では、神戸市にロボット実験技術の開発実証施設である「ロボティックバイオロジー・プロトotypingラボ」

を建設し、次世代型実験ロボットシステムもここで開発を進めている。細胞培養加工施設も開発し、臨床研究に必要なレベルの清浄度で、高い再現性を維持しつつ高品質な細胞を安定的に製造できることを示した。また、仮想空間上で動作をシミュレーションし、そのままロボットに転送できるデジタルツインを用いて、ロボットの教育時間や操縦技術習得時間を大幅に短縮した。さらに大学の学部生向けの授業カリキュラムを設計・実施し、次世代人材育成にも貢献した。

研究開発体制



研究開発代表者 高橋 恒一	
神戸アイセンター病院 高橋 政代	
産業技術総合研究所 光山 統泰	
東京大学 太田 禎生	
筑波大学 尾崎 遼	
慶應義塾大学 内藤 泰宏	

研究開発の流れとPOC

		探索研究			本格研究				
		1年度	2年度	3年度	1年度	2年度	3年度	4年度	5年度
		2018	2019	2020	SG 2021.1-2021.3	2021.4-2022.3	2022.4-2023.3	SG 2023.4-2024.3	2024.4-2025.3
POC 1	プロトタイピング・ラボの整備(理研)	設計				プロトタイピング ラボの建設	自律ラボの実証実験		
	基盤技術の開発 (理研・産総研・筑波大)	実験プロトコル記述言語(LabCode)の開発、高度化							
		自動スケジューリング技術の開発							
		制御システム(LODS)、デジタルツイン技術の開発							
	人材育成 (慶應大・東大・筑波大)					慶應大「AIロボット駆動科学実験」開講			
				東大「アドバンスド理科」の一部として開講					
POC 2	再生医療分野の ロボット実験の高度化 (アイセンター・理研)	高難易度細胞培養システムの開発							
		AIとロボットを組み合わせた細胞培養手法の開発							
		ロボット用細胞培養加工施設(R-CPF)の開発				臨床応用			
POC 3	ゲノム解析分野の ロボット実験の高度化 (産総研・筑波大)	ゲノム編集の自動化検証				高難易度プロトコルの実装			
		プロテオミクス前処理の自動化検証							

POC1: プロトタイピング・ラボの整備、基盤技術の開発、人材育成

POC2: 再生医療分野のロボット実験の高度化

POC3: ゲノム解析分野のロボット実験の高度化

Introduction of research and development results

研 究
開 発
の 紹 介



高橋 恒一
Koichi TAKAHASHI

理化学研究所
生命機能科学研究センター
チームリーダー

2018年より未来社会創造事業研究開発代表者

Laboratory as a Serviceの実現への道のり

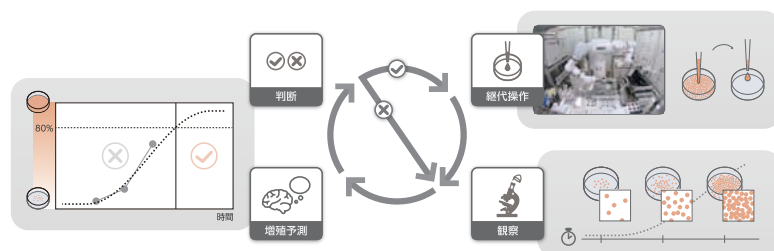
理化学研究所生命機能科学研究センターの高橋恒一チームリーダーは、バイオ実験の自動化・自律化を実現する基盤技術の研究開発に取り組んでいる。究極の形は、遠隔地にいる研究者の実験オーダーに対して、ロボットシステムが自動で実験し、その結果を研究者に返す「Laboratory as a Service(LaaS)」の実現だ。

従来の実験の自動化では、研究者が日常的に繰り返す行う定型作業の自動化による研究者の負担の軽減や、ロボットによる高精度な動作を活用した実験結果の再現性の確保に重点が置かれていた。本プロジェクトでは、ここに異種機器連携とAIを取り入れることで、より効率的な生命科学実験の自動化の実現に挑戦している。その実証ステージとして理化学研究所に建設したのが、「ロボティックバイオロジー・プロトタイプングラボ」である。

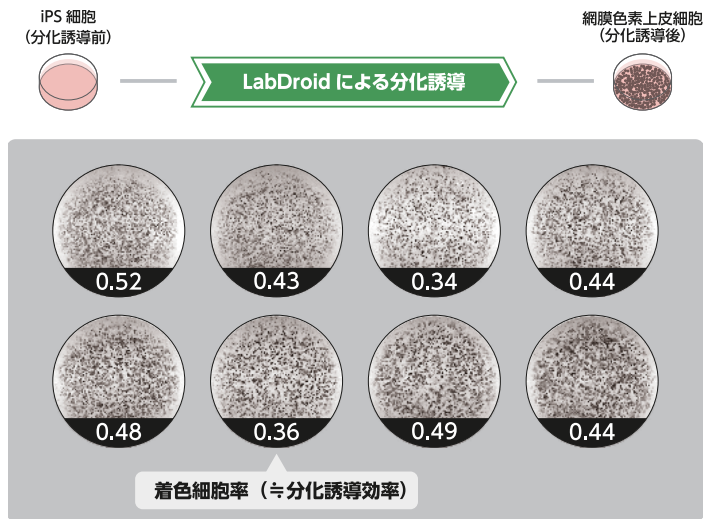
このラボには、LabDroid「まほろ」や自動分注機、各分析機器など、様々な分析を担う異種ロボットが10台規模で集積している。これらの機器は人間が利用することを前提として設計されており、AIによる高度な制御や機器間の連携による応用は、これまで十分に検証されていなかった。本プロジェクトでは、これらの機器をAIにより連携することで実験室全体の自動化・自律化・高度化に挑戦している。例えば、顕微鏡の画像やデータ解析を通じて細胞の形状や動きをリアルタイムで分析し、AIが次の実験条件を組み立ててロボッ



人間の代わりに実験をするヒューマノイドロボットと周辺機器



細胞培養に必要な「観察」「判断」「継代操作」をロボットとAIが自律的に実行する。また、過去の情報を用いた「増殖予測」も行う。



LabDroid「まほろ」が分化誘導したRPE細胞の分化誘導効率(着色状態)

フェースはバイオリジストが操作しやすいように、オブジェクトフロー型のGUIを採用し、パズルのように実験動作を入力できる設計となっている。

この設計の背景では、各研究グループが開発を進める最新鋭のロボット動作制御システム、実験スケジュール最適化システム、自己保守機能システムが連携制御されることが期待されている。これにより、プログラミング経験のないバイオリジストでも、ロボットのアライメントなどを意識することなく、最適な実験動作をロボットに実行させることが可能となる。また、実験プロトコルがLabCodeに書き起こされることで、「暗黙知」とされていた技術者や研究室ごとのノウハウが再現可能になることを目指している。

さらに、次世代型AI駆動科学用実験ロボットのハードウェアアーキテクチャ開発も進められている。このロボットは、LabCodeに統合される高度な実験制御ソフトウェアにネイティブ対応し、ロボットアーム自身がバイオ実験や分析機器の中を移動しながら異種機器類の連携を実現する自動自律実験システムである。現行の市販ロボットよりも広範な使途に柔軟に対応可能なシステムの開発を進めることで、ロボティックバイオロジーの適用現場を広げる狙いである。



機器配置の一例。プロトコルに合わせて任意の機材を自在に配置でき、LabCodeによるスケジュールングで自動実験が可能となる。

トに実行させることに成功している。

実験ロボットを自律的に動作させAIと連携させるソフトウェアは、ロボット制御、画像認識、データ解析、機械学習、実験条件の検討・決定、資材管理、そして人とのインターフェースと多岐にわたる。これらの必要な要素技術や基盤技術の開発に取り組んできた。

特に、ロボットによる自動自律実験を実行させるための人間とのインターフェースは重要である。そこで高橋チームリーダーらは、バイオ実験における実験プロトコルのプログラミングを目指し、ロボットAI実験ラボの自動自律稼働を制御する実験プロトコル記述言語「LabCode」の開発に着手した。インター



次世代型実験ロボットシステム。6軸単腕アームを採用したことにより、省スペースでティーチングコストも低減した。

自動自律稼働を実現するための周辺機能、特に自動自律稼働を制御する高度な実験プロトコル記述言語のLabCodeを中心に、実験スケジュール最適化システムや自己保守機能システムなどソフトウェア基盤技術の開発整備と実証が、このロボティックバイオロジー・プロトタイプングラボの大きな特徴といえる。

デジタルツイン技術の開発と オミックス解析の自動化



光山 統泰
Toutai
MITSUYAMA

産業技術総合研究所
人工知能研究センター
研究チーム長
2018年より未来社会創造
事業共同研究者

生命科学におけるオミックス解析は、遺伝子やたんぱく質といった細胞内分子を解析する基本的な技術であり、大規模化と高品質化が求められている。しかし、技術の進展に伴い、手作業による操作の負担や誤差のリスクが増大しているのが現状である。この問題に対する有効な解決策として、ロボットを活用したオミックス解析の自動化が注目されている。

ロボットの導入は、従来の溶接や塗装といった工業用途から生命科学分野へと応用が広がっている。しかし、バイオ実験においては、これまでの用途と比較して極めて複雑な動作が求められるため、技術的なハードルが依然として高い。産業技術総合研究所人工知能研究センターの光山統泰研究チーム長は、これらの課題を克服するために、デジタルツイン技術を活用した自動化システムの開発を進めた。

デジタルツインとは、現実世界から収集したデータを基に仮想空間上に同一の環境を再現する技術である。この技術を用いることで、ロボット操作の効率化と簡便化を図った。従来、ロボットの動作設定には専門的なティーチング技術が必要だった。しかし、デジタルツインを利用すれば、仮想空間上で動作をシミュレーションし、そのままロボットに

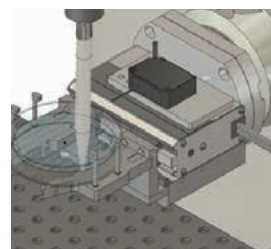
転送することが可能である。この手法により、熟練技術者の負担を軽減し、短時間で高精度な動作設計が実現した。

例えば、細胞培養における細胞回収作業では、従来のティーチング方式に代わりデジタルツイン上で動作を設定する手法を採用した。この手法では、2本のロボットアームによる複雑な動作も容易に最適化できる。また、仮想空間上で事前に動作確認を行うことで、実空間で起こりうる問題点を事前に発見し修正することも可能となった。これにより、設計と動作確認の効率が大幅に向上した。

光山研究チーム長は、3Dスキャナーを用いてロボットの実機を精密に計測し、得られたデータを基にデジタルデータを補正した。この手法により、デジタルツインと実機の位置合わせ精度を0.1ミリメートル程度まで向上させた。また、実験システム全体を仮想空間上に再現し、VR環境でロボット操作を体験する教育システムの開発も進めている。このシステムは、バイオリジストにとってロボット操作を直感的に習得するためのツールとして活用が期待される。

また、がん研究などに応用される、ゲノムの3次元構造を調べる技術(Hi-C法)の自動化も進めている。従来、この手法は手作業で約3日を要し、熟練技術者でなければ安定した結果を得ることが困難だった。本プロジェクトでは、Hi-C法の工程を自動化することで、大規模な実験の実施が可能となった。ただし、現時点では全ての試行で完全に再現性が得られるわけではなく、さらなる改良が必要である。

本プロジェクトは、オミックス解析の効率化とロボット技術の普及に貢献するものである。今後は、さらに多くの分野への応用を見据えた技術基盤の確立を目指す。



バーチャル実験でのピペット操作



実際の実験室



バーチャル空間上の実験室

複数ロボットによる実験計画を自動で最適化



尾崎 遼
Haruka
OZAKI

筑波大学
医学医療系
准教授

2020年より未来社会創造
事業共同研究者

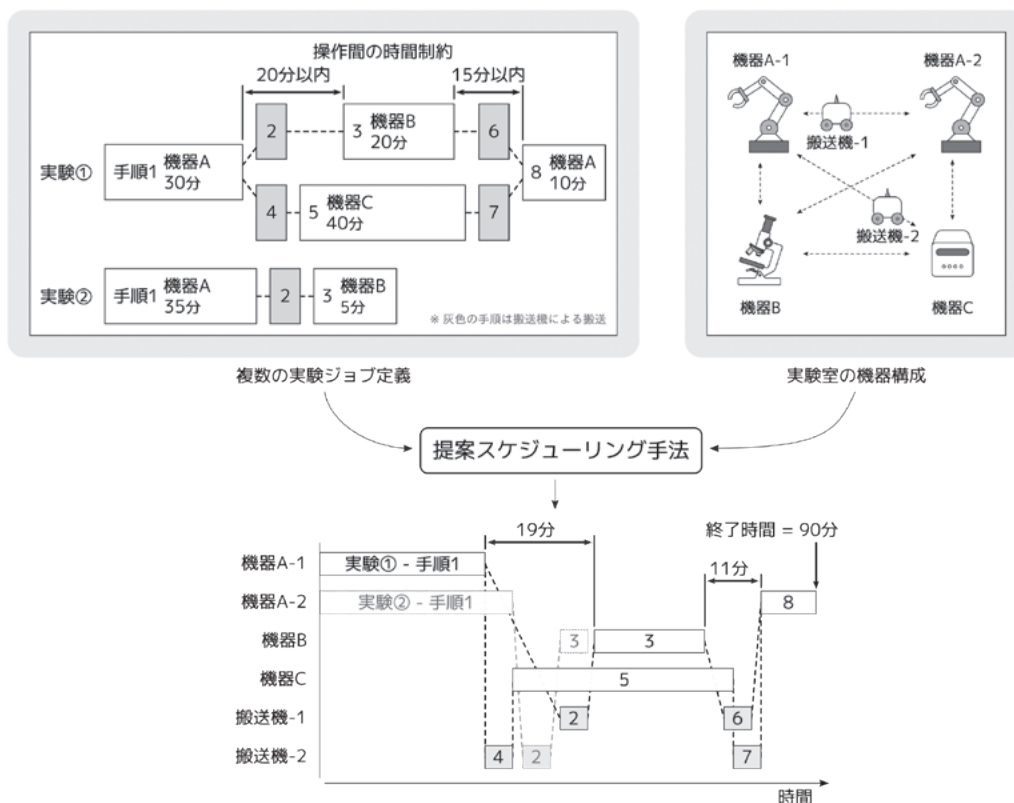
筑波大学医学医療系の尾崎遼准教授は、バイオインフォマティクスを専門として、生命科学データを解析するアルゴリズム開発を行ってきた。今回のプロジェクトへの参加を通じて、次世代シーケンシング(NGS)解析の専門知識を活かしながら、その専門領域を実験自動化の分野へと拡張した。

生命科学実験の現場に足を踏み入ると、データ解析だけでなく、実験工程の管理という新たな課題に直面した。慣れ親しんだサイバー空間では、ミスをしても容易にやり直せるが、実際の実験では一度のミスが致命的な影響を及ぼす可能性があり、人的ミスも発生しやすい。また、サイバー

空間では、コンピュータによる自動化が可能な作業が多いのに対し、実験では試薬の調合や機器操作など人的な存在が不可欠な作業が多い。「この両者のギャップを埋めることが、研究の初期段階での大きな課題でした」と尾崎准教授は振り返る。

特に細胞などの生体試料は時間とともに変化するため、実験工程間の待ち時間の管理が非常に重要となる。この問題を解決するため尾崎准教授は、実験のスケジューリングを自動化するアルゴリズムを開発した。実験を効率的に実行するために、どの実験をいつ行い、どのロボットにどのタスクを割り当てるかを自動的に決定するシステムを構築した。バイオインフォマティクスの知識と生命科学実験の特性を組み合わせることで、実験の自動化をさらに高度に実現した。

スケジューリング機能を実装したことで、様々なシミュレーションが可能になった。例えば、ロボットを1台追加した場合の全体の作業効率向上や、複数のロボットへのタスク配分に関する最適化などを、事前にシミュレーションできるようになり、実験計画の最適化を図るとともに、大規模な自動実験を引き寄せる環境を構築しつつある。



実験スケジューリング手法のイメージ

細胞製造をAIロボットに任せて臨床での活用成功



高橋 政代
Masayo
TAKAHASHI

神戸市立神戸アイセンター病院
研究センター
顧問

2018年より未来社会創造
事業に参画、2020年より
共同研究者

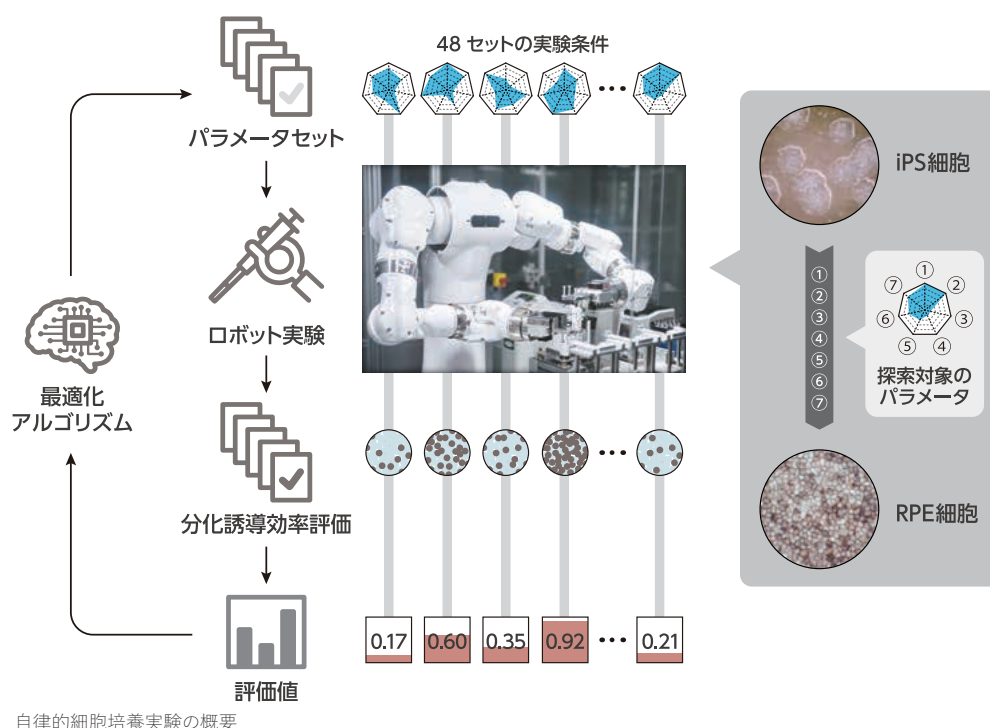
神戸市立神戸アイセンター病院研究センターの高橋政代顧問は、iPS細胞から作製した網膜細胞を用いた細胞治療により、様々な網膜の病気に対する治療法の開発に取り組み、世界的に注目を集めている。また、研究機能と臨床機能を併せ持つ神戸アイセンター病院の設立に大きく貢献し、基礎研究から臨床研究、さらには先進医療まで一貫して実施できる体制を構築した。この体制により、研究成果を迅速に臨床へとつなげられることが大きな強みとなっている。

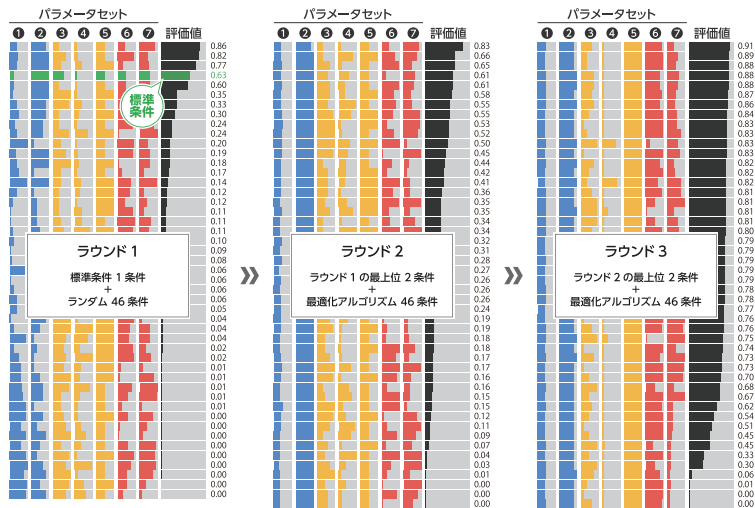
iPS細胞を用いた網膜再生医療は、網膜色素上皮細胞(RPE細胞)を含む様々な病気の治療に応用できる可能性を秘めており、この分野の臨床応用を加速させる重要な鍵となっている。

2014年には、高橋政代顧問らによって、iPS細胞を用いた加齢黄斑変性の細胞治療が世界で初めて実施された。この治療では、患者自身のiPS細胞から作製したRPE細胞を移植し、術後に腫瘍化もみられず、網膜の層構造を再建維持して10年に渡り手術前の視力を維持することができた。この結果は、iPS細胞を用いた再生医療の安全性と有効性を示唆するものであり、人類にとっての大きな一歩となった。

自家から他家移植へ、そして剤形も改善し良い治療になってきたが、臨床応用を広げるためには、細胞製造の安定化という課題が依然として残されていた。例えば、同じプロトコルで培養しても技術者のスキルによって細胞ができる効率にばらつきが生じることがあった。これを解決するため、高橋恒一チームリーダーらと共同でAIとロボットを活用した自動細胞培養システムを開発した。このシステムにより、人為的なミスは排除し、高い再現性で高品質な細胞を安定的に製造することが可能となった。

さらに、ロボットによる自律的な細胞培養条件の探索も実施した。1サイクルあたり48種類の培養条件を設定して40日間の培養実験を行い、得られたRPE細胞の割合を画像で評価した結果をもとにAIが次の培養条件を考える。これにより、人手で数年かけて検討するプロセスを飛躍的に効率化し、短期間で最適な条件を見つけ出すことが可能となった。

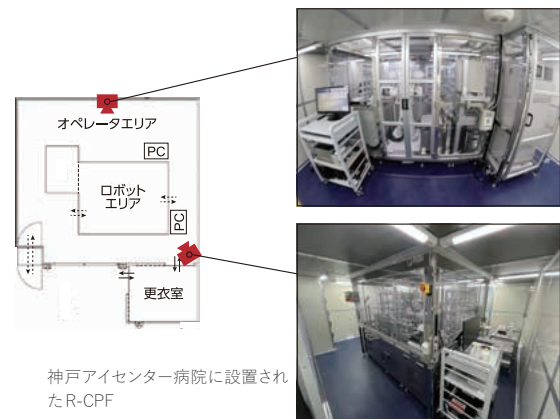




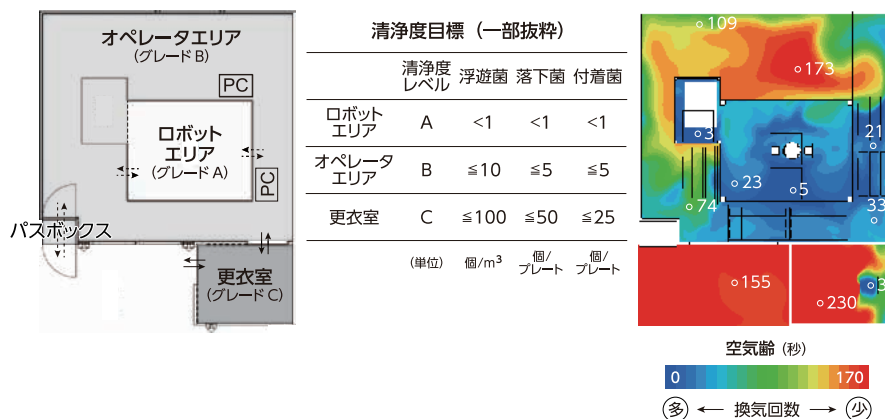
ロボットによる分化誘導操作と評価値

ラウンド1～3におけるパラメータセット(実験条件)と評価値(着色細胞率)。ラウンド1の緑色は標準条件を示す。ラウンド3において最も高い評価値(91%)を獲得した。

また、神戸アイセンター病院が中心となり、ロボットメーカーや空調機メーカーと協力して開発されたロボット用細胞培養加工施設「Robotic Cell Processing Facility (R-CPF)」の導入により、低コストかつ高度な清浄度を保ちながら、臨床応用に耐えうる細胞製造を実証した。この研究開発成果をまとめた論文は、自動化機器の臨床利用を目指す研究者や医療従事者から高い評価を受けている。2022年には臨床研究に必要な各種承認を取得し、この施設で培養された細胞が実際に患者への移植に使用されるに至った。ヒト型ロボットが培養した細胞を患者に移植した事例は世界初であり、高橋政代顧問は、「本プロジェクトに参加できたおかげで網膜再生医療における大きな課題を克服できました」と強調する。



神戸アイセンター病院に設置されたR-CPF



R-CPFのレイアウトと空調シミュレーション

(左)施設の平面図。ロボットエリア、オペレータエリア、更衣室により構成される。実線の矢印は人の動線を示し、点線矢印は細胞・試薬・消耗品などの動線を示す。ロボットは正面が下側になるように設置。施設の清潔度レベルはロボットエリアがグレードA、オペレータエリアがグレードB、更衣室がグレードCに設定された。

(中)清潔度レベルの目標値。日本再生医療学会の「再生医療等安全性確保法における細胞培養加工施設での無菌操作に関する考え方」から抜粋。菌の個数は、培地上でコロニーを形成できた数(Colony Forming Unit: CFU)として測定した。

(右)気流の数値流体力学(CFD)シミュレーション結果。床からの高さ1m地点における空気齢(単位は秒)。無菌操作等区域であるロボットエリアは、ロボット背面を含めて空気齢の値が小さく(ヒートマップの寒色系で表現)、この空間が頻繁に換気されていることを示す。

人材育成 文理融合でロボット操作、プログラミング、AIを学ぶ



内藤 泰宏
Yasuhiro
NAITO

慶應義塾大学
環境情報学部
教授

2020年より未来社会創造
事業共同研究者

慶應義塾大学環境情報学部の内藤泰宏教授は、「生命の進化」という壮大なテーマに挑み、コンピュータシミュレーション技術を用いて研究を行っている。「100万回やり直せるなら、生命はどう進化したか?」という問いに対し、もし地球の生命が何度もやり直せる機会を得た場合、今の私たちとは全く異なる生命が誕生していた可能性を探る試みである。この研究を通じて、生命の多様性を生み出すメカニズムを解き明かすことを目指している。

本プロジェクトで内藤教授は、生命科学実験の効率化を目指した情報システムの高度化に注力しながら、この分野で活躍できる人材の育成に力を入れている。生命科学、工学、情報科学といった異分野の研究者と連携し、分野横断的な新たな研究分野の開拓を目指している。

実際に行った講義が「AIロボット駆動科学実験」だ。講義は1週間連続で行われ、3限から5限までの3コマを使い、合計4時間半の講義と実習を組み合わせたプログラムである。慶應義塾大学の環境情報学部と総合政策学部(SFC)は、文理融合型の学部であり、理工系だけでなく、様々な分野の学生が在籍する。そのため、1～4年生までの幅広い学年の学生が受講しており、機械学習やロボットに興味

を持つ学生、バイオベンチャーを目指す学生、生命科学実験とロボット操作を両立させたい学生など、様々な背景をもつ学生が参加している。

学生の多様性に対応するため、入門レベルのロボットとしてオープンソースのパーソナル自動分注ロボットシステム「OT-2」を導入した。OT-2は、Pythonというプログラミング言語で操作可能であり、SFCの学生が1年生で学ぶ基礎的なPythonの知識と経験を活かすことができる。また、プロジェクトのメンバーが開発した自作の小型のロボットや教材を用いた実習も行う。

実験では、通常1～2日を要するバイオ試薬を用いた実験を、より手軽に行うためカラーインクで代替し、ロボットによる液体の吸い取りや移動といった作業を体験する。また単純作業を避けるために楽しいテーマとして、人気キャラクターを模した図形をロボットに作らせるユニークな課題を与えた。

前半の実習では、OT-2を用いた液体の自動分注を体験するが、初めて自動分注を見る学生たちも多く、ロボットが液体を吸い上げ、別の容器に移す様子を興味深く観察する姿があちこちで見られるという。後半の実習では、色水混合実験を行った。様々な色水を混ぜ合わせ、目標の色を作る課題に挑戦するが、酸性やアルカリ性の液体を混ぜ合わせることで、予想外の色の変化が起こるように実験を設計した。最初は学生が自動分注機のマニュアル操作を見ながら色を調合し、試行錯誤を繰り返した後、ベイズ最適化というアルゴリズムを用いて、ロボットが自動的に最適な色を探索する実験を行った。

わずか数回の入力で、ロボットが数時間にわたって実験を繰り返し、最適な組み合わせを見つける様子に、学生たちは驚いていたという。内藤教授は「ロボット操作を学ぶことで余剰時間が生まれ、その時間を新しいアイデアを練ることに使えるのが人間の強みです。次世代のロボット実験ネイティブ人材を育成したいです」と語る。



慶應義塾大学で実施した「AIロボット駆動科学実験」

人材育成 学部1年生に実践的な研究体験を提供するプログラムを設計



太田 禎生
Sadao
OTA

東京大学
先端科学技術研究
センター
准教授

2020年より未来社会創造
事業共同研究者

東京大学先端科学技術研究センターの太田禎生准教授は、顕微鏡や生体信号といった光と電気の計測やマイクロ流体技術、ゲノミクス、細胞工学、データサイエンス、マテリアル合成など、多岐にわたる専門性を融合させて、未来の細胞や生命計測テクノロジーを創るユニークな研究者だ。

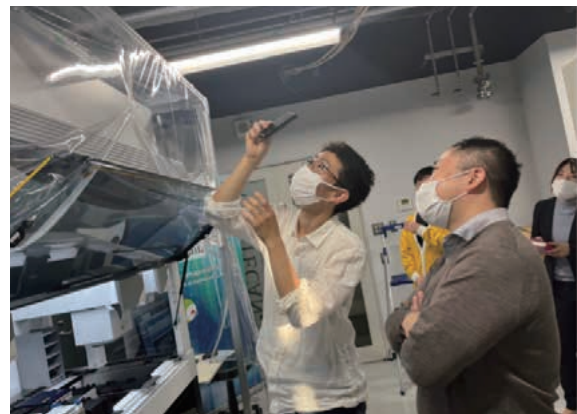
本プロジェクトでは、筑波大学の尾崎准教授や慶應義塾大学の内藤教授と連携し、学部1年生を対象とした教育プログラムを実施してきた。東京大学では教養課程で理系学生が基礎実験を行うが、この取り組みでは高校時代に研究経験がある学生などを中心に、基礎実験の代わりに、早い段階から研究室に入って最先端の研究に触れる機会を提供している。研究室における今回のプログラムでは、自動化実験を体験してもらうことで、大学での研究活動の入口として位置付けた。

具体的には、連携企業として名を連ねるテカンジャパン株式会社の自動分注装置を用いた自動化実験に焦点を当てた。慶應義塾大学での取り組みを応用したプログラムと

して設計されており、学生たちは様々な色の液体を調合、分光光度計を用いた吸光度の測定を身につけるとともに、プログラミングの知識を生かして、目的とする色の液体を自動で調合するクローズドループシステムを構築する。

この経験を通して学生たちは、自動化技術が化学研究の分野でどのように活用されているのかを理解し、将来、自動化を前提とした研究を進めるための基礎を身につけたようだ。太田准教授は「自動化技術は実験効率化の強力なツールですが、学生たちにとってそれはあくまで手段。生命科学そのものへの探究心を深めるきっかけとなったようです」と手応えを語った。

人材育成で重要な点は、学部1年生を対象としていることだ。高校を卒業したばかりの学生が、本格的な実験を行う前に、ロボットを用いた実験を経験することで、最先端のロボット実験に触れる。こうしたAIやロボットを駆使することが当たり前の新しい世代が、生物科学や化学といった専門分野に進み、自動化技術を生かしたより革新的な研究を推進する日もそう遠くないだろう。



東京大学で実施した実習風景

主な論文

- Itoh TD and Horinouchi T et al., Optimal scheduling for laboratory automation of life science experiments with time constraints. SLAS Technology (2021), doi:10.1177/24726303211021790
- Arai et al., SAGAS: Simulated annealing and greedy algorithm scheduler for laboratory automation. SLAS Technology (2023), doi:10.1016/j.slast.2023.03.001
- Inagaki T et al., LLMs can generate robotic scripts from goal-oriented instructions in biological laboratory automation. arXiv (2023), doi:10.48550/arXiv.2304.10267
- Kanda and Tsuzuki et al., Robotic search for optimal cell culture in regenerative medicine. eLife (2022), doi:10.7554/eLife.77007
- Terada M et al., Robotic cell processing facility for clinical research of retinal cell therapy. SLAS Technology (2023), doi:10.1016/j.slast.2023.10.004
- Ochiai K et al., Automating care by self-maintainability for full laboratory automation. arXiv (2025), doi:10.48550/arXiv.2501.05789

主な特許

- 尾崎遼、高橋恒一、伊藤健史、堀之内貴明「実験計画プログラム、実験計画装置及び実験計画方法」特願2021-076718
- 野口大貴、神田元紀、高橋恒一「チューブホルダ及びテストチューブの蓋の保持機構」特願2022-140617

今 後 の 展 望

ロボティックバイオロジーが創造する未来社会

ロボティックバイオロジーは、本プロジェクトで終わりではない。ロボット工学と生物学を融合させた新しい分野のため発展は日進月歩だ。今後、どの業種でどのような企業が関連してくるか、完全に予測することは困難だが、現時点でのトレンドや将来的な可能性から、いくつかのシナリオを想定できる。

今後も理化学研究所では高橋チームリーダーを中心にロボティックバイオロジーの基盤技術の研究開発を続けることが決まっており、その中でも本プロジェクトの成果は重要な役割を持つ。特に本プロジェクトで培ったノウハウやソフトウェア技術は基盤プラットフォームになり得るポテンシャルを持っている。



高橋研究代表者より

AIやロボットの登場により、研究手法だけでなく、価値観、教育、マネジメント、組織など、科学を取り巻く全てが入れ替わる「パラダイムシフト」が起きていると感じます。その中で、本プロジェクトでは国立の研究所と大学が連携してAI駆動型研究やロボットによる自動実験における基礎研究を行い、再生医療分野に適応した事例で成果を出すことができました。技術面はある程度確立できましたので、今後はしかるべきタイミングで産業界に橋渡ししたいと考えています。プラットフォームを作って皆で使っていく、スタートアップ企業を立ち上げるなど、色々な橋渡しの形があると思いますが、多様な企業の参画を期待しています。

高橋プロジェクトの概要はこちら

<https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/core/JPMJMI20G7.html>



今後に期待すること



佐藤 孝明テーママネージャーより

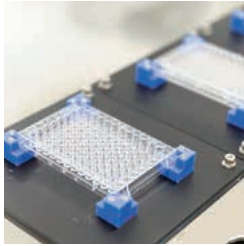
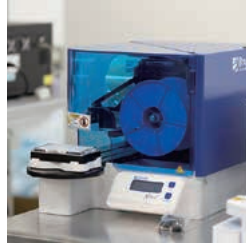
生命科学分野で大きな問題となっている複雑な反応系の再現性の確保や研究従事時間の長時間化の問題に対して、実験科学のプログラミングというアプローチを提案してくださいました。高橋政代先生との共同研究として、iPS細胞分化誘導条件の自律探索とそのブラッシュアップを進め、実際に臨床応用に耐えられる自動培養システムを構築した点が、生命科学分野への非常に大きな貢献でした。ロボティクスは日本が強みをもつ分野ですが、諸外国もフォーカスし始めており、ハード面も含めて世界的競争は更に激しくなります。高橋先生の強みが発揮できるLabCode処理系の更なる発展と、この手法のインテグレーションによる新たな生命科学分野での発見を期待しています。

今後に期待すること



長我部 信行運営統括より

本研究開発課題は共通基盤領域の中で、AIとロボティクスの活用によってバイオロジー分野の「第五の科学」を実現するための新たな研究開発基盤を拓くプロジェクトとして採択されました。2024年現在、AIの進歩は我々の想像を超える速度で進み、世界中でsearch and optimizationを効率化する自動自律実験に巨額の投資が始まっています。まさに当時高橋先生の提案した新たな研究開発手法が実現される転換点にあります。その中で高橋先生らは日本においてAIロボット駆動科学の旗揚げを行い、トップランナーとしてこの分野の発展と次世代人材の育成にご尽力されています。本プロジェクトで培ったノウハウや気づきを基に、今後更なる発展を遂げ、新たな学理の礎となる研究開発基盤LaaSとして確立されることを期待します。





国立研究開発法人科学技術振興機構
未来創造研究開発推進部

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's 五番町

TEL : 03-6272-4004

E-mail : kaikaku_mirai@jst.go.jp

WEB <https://www.jst.go.jp/mirai/jp/>



X https://x.com/JST_mirai

