

シンポジウム | イノベーション共創プログラム (CIP) : 研究開発を変革するラボオートメーション技術の最前線

2025年3月27日(木) 13:00 ~ 15:20 会場 [E]F401(第2学舎 4号館 [4階] F401)

[[E]F401-2pm] 研究開発を変革するラボオートメーション技術の最前線

座長、シンポジウム関係者：一杉 俊平、古賀 遼、神田 元紀、土方 亮二郎、飯野 裕明

近年データ駆動科学が台頭してきています。データ駆動科学というAI関連技術に目が向きがちですが、実際の研究開発の現場においてはそのようなデータの収集がボトルネックとなっているケースが少なくありません。そのようななか、従来法の限界を越え、実験データの収集方法として注目されているのがラボオートメーションです。また単純な高速化にとどまらず、コロナ禍を経た働き方・研究スタイルに変革をもたらす先端技術として期待されています。本セッションでは、従来のAI技術活用を念頭に置いた自動化技術やコンビナトリアル技術に焦点を当て、これらの最新研究成果と活用法について議論します。

本セッションは**午前**、**午後**に実施されます。

聴講後の[アンケート](#)へのご協力をお願いいたします。

日本語 依頼講演

13:00 ~ 13:30

[[E]F401-2pm-01]

コンパクトな自律型実験システム

○小野 寛太¹ (1. 大阪大学)

日本語 依頼講演

13:30 ~ 14:00

[[E]F401-2pm-02]

トランススケールスコープAMATERASと自動化技術が拓く大規模細胞統計解析

○市村 垂生¹、垣塚 太志¹、福島 俊一¹、橋本 均¹、永井 健治^{1,2} (1. 大阪大学、2. 北海道大学)

14:00 ~ 14:10

[2E_F40104-07-3add]

インキュベーションタイム

日本語 依頼講演

14:10 ~ 14:40

[[E]F401-2pm-03]

自動化されたラボにおける測定データ管理

○斉藤 耕太郎¹ (1. 株式会社ランデフト)

日本語 依頼講演

14:40 ~ 15:10

[[E]F401-2pm-04]

生成AI時代の研究効率化：実践事例と今後の展望

○山田 涼太¹ (1. fuku株式会社)

15:10 ~ 15:20

[2E_F40104-07-6add]

インキュベーションタイム

コンパクトな自律型実験システム

(阪大院工¹) ○小野 寛太¹

Compact Autonomous Robotic Experimental System (¹Graduate School of Engineering, Osaka University) ○Kanta Ono¹

In recent years, with the advancement of machine learning and robotics technologies, research on automation and autonomous execution of chemical and physical property experiments has made significant progress. The experimental process in chemistry and physical property studies consists of a recursive self-improvement cycle: sample synthesis and preparation, measurement and characterization, and data analysis. Based on the analysis results, subsequent hypotheses, and experimental conditions are determined for the next iteration. To achieve autonomy in this process, automating all these steps while establishing mechanisms for autonomous decision-making is essential. Currently, laboratory automation has been implemented only in limited methodologies, leaving substantial room for research and development in the autonomous execution of experimental processes. Our research group is developing compact autonomous experimental systems to achieve automation and autonomy in chemistry and physical property experiments. We have successfully implemented sample preparation for synthesis and measurements using human-collaborative robots and AI, enabling precise control of chemical reaction pathways and experimental conditions that would be challenging for human operators.

Furthermore, we have developed a powder X-ray diffraction system that autonomously performs all processes, from sample preparation to measurements and data analysis optimization without human intervention. These compact autonomous systems enhance efficiency through automation and enable previously infeasible experiments, complex condition optimization, and novel discoveries through automated data analysis. This presentation will address current challenges in autonomous chemical and physical property experiments and discuss future perspectives.

近年、機械学習とロボット技術の発展に伴い、化学・物性実験を自動化、自律化することを目指した研究が急速な進展を遂げている。化学・物性実験プロセスは、試料合成・作製、計測、解析という一連のステップで実施され、解析結果に基づいて次なる仮説や実験条件を決定し、再度実験を行う再帰的自己改善プロセスとなっている。このプロセスの自律化には、上記すべてのステップを自動化するとともに、各ステップで必要となる判断を自律的に行う仕組みの構築が不可欠である。現状では、ごく限られた手法においてのみ自動化が実現されており、化学・物性実験プロセスの自律化に至る研究開発の余地は極めて大きい。

われわれの研究グループでは、化学・物性実験の自動化・自律化を目指し、コンパクトな自律駆動型実験システムの研究開発を行なっている。ヒト協働ロボットと AI を活用した試料合成や計測のための試料調製を実現し、人間では到達困難な環境や実験制御を可能にするとともに、化学反応経路の精密制御にも成功した¹⁾。また、試料作

製から最適計測、データ解析まで人の介在なく自律的に行う粉末 X 線回折システムの開発にも成功した²⁾。これらのコンパクトな自律型実験システムの特筆すべき点は、単なる人的作業の代替による効率化にとどまらず、人間では実現不可能な実験を行い、複雑な条件の制御および最適化、さらには自動データ解析から新たな知見を発見を可能にする点にある。本講演では、化学・物性実験の自律化における現状の課題を整理するとともに、将来展望について議論する。

- 1) Force-controlled robotic mechanochemical synthesis. Yusaku Nakajima, Kai Kawasaki, Yasuo Takeichi, Masashi Hamaya, Yoshitaka Ushiku and Kanta Ono, *Digital Discovery* **2024**, 3, 2130.
- 2) Autonomous robotic experimentation system for powder X-ray diffraction, Yuto Yotsumoto, Yusaku Nakajima, Ryusei Takamoto, Yasuo Takeichi and Kanta Ono, *Digital Discovery* **2024**, 3, 2523 (2024).

トランススケールスコープ AMATERAS と自動化技術が拓く大規模細胞統計解析

(阪大先導¹・阪大産研²・阪大薬³・北大電子研⁴) ○市村 垂生¹・垣塚 太志^{1,2}・福島俊一²・橋本均^{1,3}・永井健治^{1,2,4}

Trans-Scale Scope AMATERAS and Automation Technology Pioneering Large-Scale Cellular Statistics (¹*Institute for Open and Transdisciplinary Research Initiatives, Osaka University*, ²*SANKEN, Osaka University*, ³*Graduate School of Pharmaceutical Sciences, Osaka University*, ⁴*Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University*) ○Taro Ichimura,¹ Taishi Kakizuka,^{1,2} Shunichi Fukushima,² Hitoshi Hashimoto,^{1,3} Takeharu Nagai^{1,2,4}

Optical imaging has played a crucial role in life sciences for centuries, especially in fields like cell biology, developmental biology, and neuroscience. To bridge cellular to tissue and organism scales, researchers developed "AMATERAS," a trans-scale optical imaging system. It combines a wide field of view for system-level analysis and high spatial resolution to observe individual cell dynamics, enabling the study of multicellular systems. To address challenges in scalability and reproducibility, the team integrated automated cell culture using robots and big data analysis with AMATERAS, creating a system capable of continuous, efficient experiments. Applications include long-term observation of stem cell differentiation for regenerative medicine.

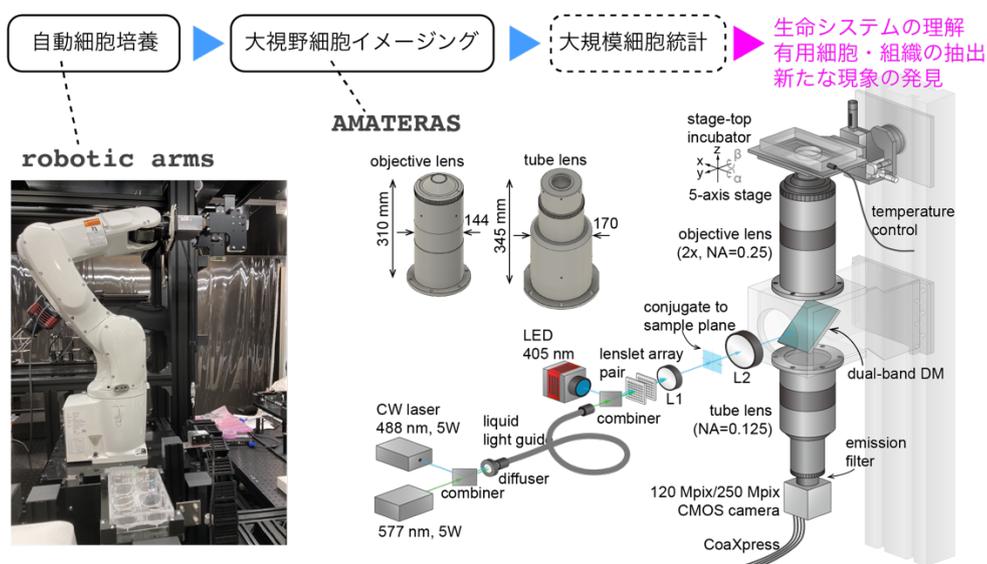
Keywords : *Optical imaging, Trans-scale imaging, Large scale cellular statistics, Lab automation*

光学イメージングは、生命科学において重要な役割を担い続けており、特に細胞生物学、発生生物学、システム生物学、神経科学などで、細胞の形状、分布、動態、機能を観察するための必須ツールである。近年では、分子スケールから組織・個体スケールまで、複数のスケールを統合して生命システムを理解することが重視されている。我々は特に、細胞スケールから組織・個体スケールに焦点を当ててトランススケール光学イメージング技術（トランススケールスコープ）の開発に取り組んできた。多細胞システム全体を見るための大視野（ $\sim\text{cm}$ ）と、個々の細胞動態を見るための空間分解能（ $\sim\mu\text{m}$ ）を兼ね備えた光学イメージング装置 AMATERAS を開発した^{1,2}。多細胞システム観察に応用することにより、1つの視野で 10^5 - 10^6 個の細胞のダイナミクスを捉えることが可能となった。このような細胞集団のビッグデータを詳細に解析することで、システム全体の運命を左右する0.1%以下の稀少細胞の検出を実現した³。マウスの脳やモデル動物の胚発生など、多くの生物系のイメージングに適用し、本手法が多細胞生物学において非常に強力であることを実証している。⁴

一方、多細胞システムの観察・解析から科学的な議論とその先にある発見を導くためには、多数の試料を観察して個体差や多様性、再現性を知る必要がある。同じ条件で複数の試料を観察する必要があるだけでなく、阻害剤や遺伝子変異の加わった試料についても観察して比較することが求められる。1つの試料の観察とその後のビッグデータ解析だけでも一苦勞であるのに、これを人間が複数回繰り返すことはマンパワ

一の限界に陥るだけでなく、実験の安定性・信頼性にも支障を来す危険性がある。

そこで、本研究では自動化した細胞培養とビッグデータ解析を AMATERAS と融合して、試料準備・観察・大規模細胞統計までの一連のシーケンスを高速且つ安定的に反復できる自動実験システムを開発している (図)。自動細胞培養装置としては6軸垂直多関節ロボット2台と試料搬送用のデカルトロボットを中心とした生物学試料調整システムを構築し、様々な試料調整に対応するようにロボットを学習させた。AMATERAS による観察を含めた実験シーケンスを設定可能な統合プログラムを開発し、培地交換、継代、観察装置 (AMATERAS) への送達、インキュベーターへの収納を全自動で実行可能である。現在はテスト運転の段階ではあるが、再生医療応用を想定して、多能性幹細胞を様々な条件で培養しながら、分化過程を長時間観察し続けることに成功している。講演では、自動実験システムの開発思想と、培養装置とイメージング装置の技術的な詳細を紹介するとともに、今後の展開を議論する。



- 1) Exploring rare cellular activity in more than one million cells by a transscale scope. T. Ichimura, T. Kakizuka, K. Horikawa, K. Seiriki, A. Kasai, H. Hashimoto, K. Fujita, T. M. Watanabe, T. Nagai, *Sci. Rep.* **2021**, 11, 16539.
- 2) Volumetric trans-scale imaging of massive quantity of heterogeneous cell populations in centimeter-wide tissue and embryo. T. Ichimura, T. Kakizuka, Y. Taniguchi, S. Ejima, Y. Sato, K. Itano, K. Seiriki, H. Hashimoto, H. Itoga, S. Onami, T. Nagai, *eLife* **2024**, doi:10.7554/elife.93633.1.
- 3) Mesoscale heterogeneity is a critical determinant for spiral pattern formation in developing social amoeba. T. Kakizuka, H. Nakaoka, Y. Hara, Y. Ohta, A. Mukai, A. Ichiraku, Y. Arai, H. Itoga, S. Onami, T. Ichimura, T. Nagai, K. Horikawa, *Sci. Rep.* **2025**, 15, 1422.
- 4) Strength in numbers: Unleashing the potential of trans-scale scope AMATERAS for massive cell quantification. T. Ichimura, T. Kakizuka, Y. Sato, Y. Fujioka, Y. Ohba, K. Horikawa, T. Nagai, *Biophysics and Physicobiology* **21**, **2024**, 21, e211017.

自動化されたラボにおける測定データ管理

(株式会社ランデフト¹) 齊藤 耕太郎¹

Measurement data management in automated laboratory (¹*Randeft Inc*) Kotaro Saito¹

For over 20 years, spreadsheet software has been commonly used to visualize, analyze, and manage all types of scientific data, thanks to PCs coming with pre-installed business software packages. While storage has moved from local hard drives to SSDs and cloud storage as technology improved, many labs still rely on their "measurement_summary.xlsx" files, which researchers create by copying and pasting data across different sheets. Lab automation is becoming increasingly popular in materials science, and it will greatly accelerate measurement data generation. This means we'll need better ways to visualize, analyze, and manage data beyond these traditional Excel files. In this talk, I'll discuss the new ways of thinking needed to handle this sudden shift to lab automation in materials science, where data management has stayed largely unchanged, stuck at the level of individual researchers manually managing their data.

Keywords : Lab Automation; Research Data Management

汎用ビジネスソフトウェアスイートがプリインストールされた PC の普及により、あらゆる種類の科学実験データの可視化・解析・管理に表計算ソフトが広く利用されるようになってから 20 年以上が経った。技術の進歩を反映して表計算ファイルの保存場所はローカル HDD から SSD、クラウドストレージへと変化した一方で、多くの研究現場において地道なコピー&ペーストで各シートに測定結果をかき集めた“測定まとめ.xlsx”はいまだに健在である。材料科学分野で急速に関心が高まっているラボオートメーションは測定データの生成スピードを劇的に向上し、“測定まとめ.xlsx”に代わる可視化・解析・管理の手段を強く要求するだろう、本講演では、個人ごとの手動管理から長らく進化することのなかった材料科学の実験現場におけるデータ管理について、ラボの自動化という突然変異に対応するために必要な考え方を提示する。

生成 AI 時代の研究効率化：実践事例と今後の展望

(fuku 株式会社¹) ○山田 涼太¹

Research Efficiency in the Era of Generative AI: Case Studies and Future Prospects (¹fuku, Inc.)○Ryota Yamada¹

The development of generative AI, particularly Large Language Models (LLMs), is bringing revolutionary changes to operational efficiency across various domains. While traditional deep learning primarily focused on structured data, demonstrating high performance in specific domains such as image recognition and time-series data analysis, LLMs can flexibly process unstructured data in natural language. As a result, their applications have expanded dramatically across all areas of knowledge work, including education, healthcare, and legal services.

The impact of LLMs is also significant in research fields. The AI Agent research published by Sakana AI in August 2024¹), which automates machine learning research from experimental planning to code generation, result analysis, and paper writing, has further raised expectations for the automation of science. Additionally, Vision Language Models (VLMs) and Multi-Modal LLMs (MM-LLMs) are beginning to be used in real-world applications, opening up possibilities for integrated handling of various media, including text, images, and audio. This enables more comprehensive research support, including research data analysis, visualization of experimental results, and understanding figures and tables in academic papers.

Since our company's founding in 2018, we have been working on information extraction from academic papers to improve research efficiency. Initially, we focused on extracting crucial information such as research methods and experimental results from papers using conventional natural language processing techniques. Currently, by utilizing LLMs, we have expanded our scope to handle diverse formats beyond papers, including technical documents and web pages, and extended our analysis capabilities to include images and videos. This technological innovation allows researchers to process vast amounts of academic information more efficiently, enabling them to focus on discovering new insights and determining research directions.

In this presentation, we will discuss specific methods for utilizing AI in research activities while introducing our company's initiatives and related previous research. In particular, we will demonstrate practical examples of research efficiency improvement using LLMs, consider the possibilities and challenges brought by future technological developments, and discuss the future prospects of research DX.

Keywords : AI for Science, AI-driven Science, LLM, Generative AI

生成 AI、特に Large Language Model (LLM) の発展は、様々な領域での業務効率化に革新的な変化をもたらしている。従来の深層学習は主に構造化データを対象としており、画像認識や時系列データの分析など特定のドメインで高い性能を示してきた。一方、LLM は自然言語という非構造化データを柔軟に処理できる特性を持ち、その応用範囲は教育、医療、法務など、あらゆる知的労働の領域に飛躍的に拡大している。

研究分野においても、LLM の影響は顕著である。2024 年 8 月に Sakana AI から発表された機械学習研究を自動化する AI Agent の研究¹⁾は、実験計画の立案からコード生成、結果の解析、さらには論文執筆を実現し、科学の自動化への期待を一層高めている。また、Vision Language Model (VLM) や Multi-Modal LLM (MM-LLM) など実社会で利用され始めており、テキストに加えて画像や音声など、多様なメディアを統合的に扱える可能性が開かれつつある。これにより、研究データの解析や実験結果の可視化、さらには学術論文における図表の理解など、より包括的な研究支援が実現可能となってきた。

弊社は 2018 年の創業以来、研究効率化を目指し論文テキストからの情報抽出に取り組んできた。当初は自然言語処理の従来手法を用いて、論文から研究手法や実験結果などの重要情報を抽出することに注力していた。現在では、LLM を活用することで、論文だけでなく専門文書やウェブページなど多様なフォーマットに対応し、さらにテキストのみならず画像や動画の解析にも範囲を広げている。この技術革新により、研究者は膨大な学術情報をより効率的に処理し、新たな知見の発見や研究の方向性の決定に集中できるようになっている。

本発表では、弊社のこれまでの取り組みや関連する先行研究を紹介しながら、研究活動における AI 活用の具体的方法について述べる。特に、LLM を活用した研究効率化の実践事例を示すとともに、今後の技術発展がもたらす可能性と課題について考察し、研究 DX の将来展望を論じる。

1) The AI Scientist: Towards Fully Automated Open-End Scientific Discovery, C. Lu, C. Lu, R. T. Lange, J. Foerster, J. Clune, D. Ha, *arXiv 2408.06292*.