

# 情報技術と実験ロボットによる有用微生物開発プロセスの自動化

九州工業大学 大学院情報工学研究院

前田 和勲

## 1. はじめに

近年、地球温暖化や資源・エネルギー問題の解決に向けて、微生物を利用したものづくり、いわゆる「バイオものづくり」が世界的に注目されている[1, 2]。遺伝子組換え微生物は、医薬品、食品、化学品、バイオ燃料など幅広い製品の製造に利用されており、持続可能な社会を実現するための重要な基盤技術である。しかし、新しい有用菌株や生産プロセスの開発には、多数の実験を繰り返し行う必要があり、多くの時間と労力を要する[3]。

この課題を解決する手段として、近年では実験ロボットを用いて試薬の分注や反応操作を自動化する技術が普及し始めている。製薬企業や大規模な研究機関では、Tecan や Hamilton などの高機能な実験自動化システムが導入され、研究開発の効率化が進められている[4]。しかし、これらの装置は数千万円規模の導入費用を要することも多く、多くの大学研究室や中小企業にとっては導入のハードルが高い。

一方、近年では数百万円程度で導入可能な普及価格帯の実験ロボットも登場し、実験自動化の裾野が広がりつつある。その代表例が、米国 Opentrons 社が開発した自動分注ロボット「OT-2」である(図1)。OT-2は比較的低価格でありながら、多くの分子生物学実験に利用できる性能を備えており、大学やスタートアップ企業を中心に利用が広がっている[4]。

しかし、OT-2を活用するためには、Pythonによるプログラミングや専用ソフトウェアを用いたプロトコル作成が必要であり、プログラミング経験の少ない研究者にとっては依然として大きな障壁となっている。この問題を解決する方法の一つとして、生成AIを活用し、自然言語で記述された実験内容から実験ロボットの動作プログラムを自動生成する方法が考えられる[5]。しかし、生成AIによって、無駄や誤りの少ない動作プログラムを作成できるのか、また、どの程度複雑な実験操作まで対応できるのかといった基本的な点について、十分に検証されていない。

そこで本研究では、実験ロボットの動作プログラム生成タスクにおける生成AIの性能を評価した。対象として自動分注ロボットOT-2を用い、ChatGPT、Opentrons AI、および従来のGUIベースのプログラム作成ツールを比較した。具体的には、生命科学実験で頻繁に行われる段階希釈やPCRサンプル調製を模した実験を対象とし、実行時間、ロボットの動作数、操作手順の分かりやすさ、実行時のエラーやリスクの有無などを、実機を用いて評価した。

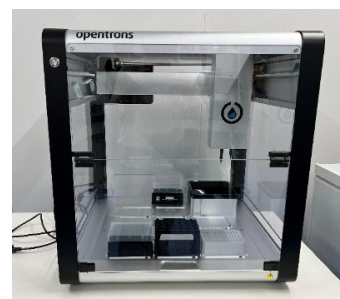


図1 自動分注ロボット OT-2

## 2. 研究内容

本研究では、生成 AI が実験ロボットの動作プログラムをどの程度実用的に作成できるかを評価した。評価対象には、低価格な自動分注ロボットとして近年利用が広がっている OT-2（Opentrons 社）を用いた。また、動作プログラムの作成方法として、汎用生成 AI である ChatGPT、Opentrons 社が提供する Opentrons AI、および従来から利用されている GUI ベースのプログラム作成ツール（Protocol Designer）の三種類を比較した。本研究では、生命科学実験で頻繁に行われる二種類の代表的な実験操作を対象とした。

一つ目の実験は、段階希釈である。段階希釈は、試薬や培地を一定倍率で順次希釈していく操作であり、細胞培養、酵素反応、抗菌活性試験など、多くの生命科学実験で日常的に行われている基本操作である。操作手順は比較的単純であるものの、正確な分注と混合を繰り返す必要があるため、実験ロボットの基本的な性能を評価するのに適した課題である。

ChatGPT、Opentrons AI、Protocol Designer を用いて段階希釈の動作プログラムを作成し、実際に OT-2 で実行した。その結果、ChatGPT および Opentrons AI はいずれも正常に動作するプログラムを生成することができた（図 2）。また、GUI ベースのプログラム作成ツールと比較すると、生成 AI はより少ないロボット動作で同じ実験を実現できることが多く、実行時間の短縮も確認された。この結果から、段階希釈のような比較的単純な分注操作では、生成 AI を用いたプログラム作成が十分に有効であることが示された。

二つ目の実験では、PCR 実験を想定したマスターミックス調製およびサンプル添加を対象とした。この実験では、複数種類の試薬を決められた順序で混合し、その後、複数のサンプルを各ウェルへ分注する必要がある。さらに、サンプル間のコンタミネーションを防ぐためには、適切なタイミングでチップを交換することが不可欠であり、単なる分注操作だけでなく、生命科学実験特有の知識が要求される。

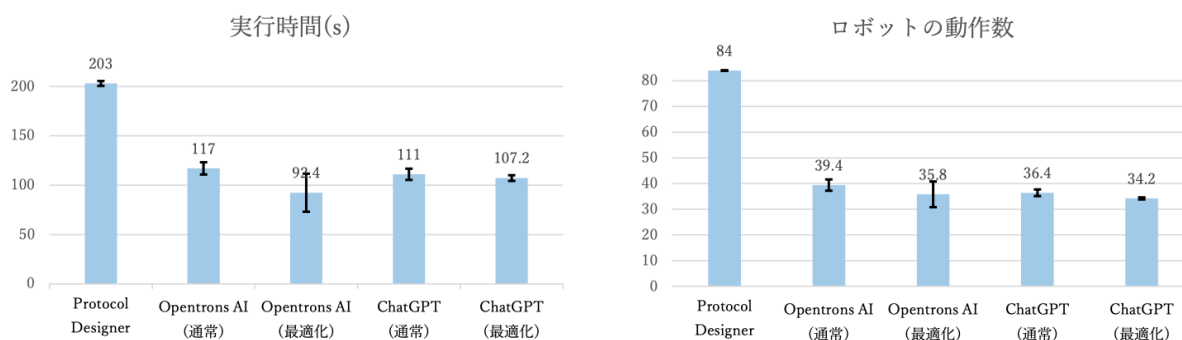


図 2 実験 1（段階希釈）での性能評価結果  
棒グラフの棒は平均値、エラーバーは標準偏差を示す（n=5）。

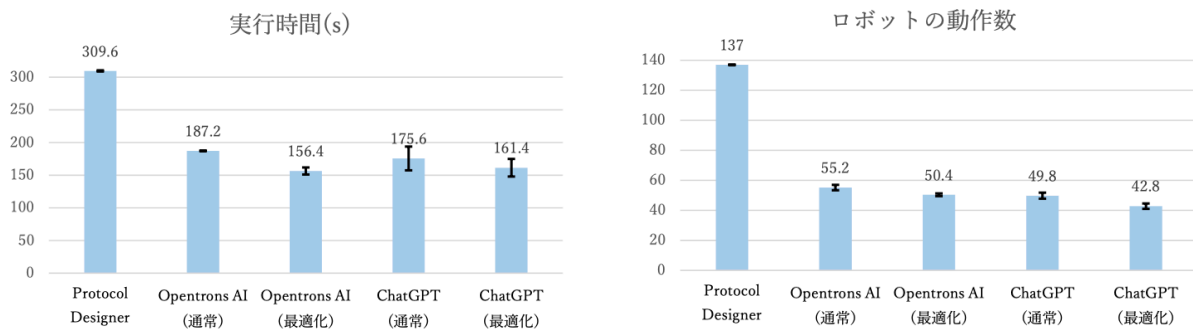


図3 実験2（PCRサンプル調製）での性能評価結果  
棒グラフの棒は平均値、エラーバーは標準偏差を示す（n=5）。

このタスクについても各手法でプログラムを作成し、OT-2で実行・評価した。その結果、GUIベースのプログラム作成ツールと比較すると、生成AIはより少ないロボット動作で同じ実験を実現できることが多く、実行時間の短縮も確認された（図3）。しかし、生成AIでは、一見すると正しく見えるプログラムであっても、チップ交換が適切でない場合や、使用する器具・実行環境との不整合により、そのままでは実行できない場合も確認された。特に、複数のサンプルを扱う実験では、チップ交換の不足がコンタミネーションにつながり得るため、生成されたプログラムを人間が確認することの重要性が明らかとなった。

また、本研究では、生成AIへの指示内容が生成結果に与える影響についても検討した。「ロボットの動作数を最小化せよ」などの追加の指示を与えると、無駄な操作の少ないプログラムが生成される傾向が見られた（図2と図3の「最適化」）。ただし、代償として、チップ交換の不足とコンタミネーションが起きやすいことがわかった。したがって、現時点で生成AIを実験ロボットの制御に利用するためには、AIに任せきりにするのではなく、研究者が実験条件を明確に伝え、生成結果を確認・修正する運用が必要である。

以上の二つの実験から、生成AIは単純な分注操作については高い性能を示し、従来のGUIベースの方法より効率的なプログラムを生成できることが確認された。一方、複数の試薬やサンプルを扱う実験では、生物実験特有の安全性や作業手順まで十分に考慮したプログラムを生成することはまだ難しく、実験内容が複雑になるほど人間による確認が重要となることが明らかになった。

### 3. まとめ

本研究により、生成AIは実験ロボットの利用を大幅に容易にする可能性を持つ一方で、現状の汎用AIをそのまま生命科学実験に適用するには課題が残されていることが明らかとなった。特に、段階希釈のような単純な操作では、生成AIは短時間で効率的なプログラムを作成できた。しかし、PCRサンプル調製のように複数の試薬やサンプルを扱う実験では、器具や実行環境との不整合、不要な動作、チップ交換方針のばらつきなどが見られ、コンタミネーション防止を含む生物実験特有の配慮が不可欠であることが示された。

これらの結果は、現在の生成AIがプログラムコードを生成する能力には優れている一方で、生命科学実験における暗黙知や安全上の配慮までは十分に理解していないことを示して

いる。生命科学分野では、コンタミネーションやサンプルの取り違えが実験結果に致命的な影響を及ぼすため、単にプログラムを生成するだけでなく、生物学実験に特有の知識や安全ルールを理解した AI が求められる。

今後は、生物学実験の知識、実験ロボットの仕様、コンタミネーション防止などの実験上の知識を組み込んだ、実験自動化に特化した専門 AI の開発が重要になると考えられる。このような技術が実現すれば、大学の研究室や中小企業など小規模な実験室でも安心して実験ロボットを活用できる環境が整い、有用微生物の開発やバイオものづくりのさらなる効率化・高速化につながることを期待される。

## 謝辞

本研究は（公益財団法人）天野工業技術研究所、2024 年研究助成を受けて実施されました。

## 参考文献

1. Holland C, Shapira P: **Building the bioeconomy: A targeted assessment approach to identifying biobased technologies, challenges and opportunities.** *Eng Biol* 2024, **8**(1):1-15.
2. Zhang YP, Sun J, Ma Y: **Biomanufacturing: history and perspective.** *J Ind Microbiol Biotechnol* 2017, **44**(4-5):773-784.
3. Chao R, Mishra S, Si T, Zhao H: **Engineering biological systems using automated biofoundries.** *Metab Eng* 2017, **42**:98-108.
4. Thieme A, Renwick S, Marschmann M, Guimaraes PI, Weissenborn S, Clifton J: **Deep integration of low-cost liquid handling robots in an industrial pharmaceutical development environment.** *SLAS Technol* 2024, **29**(5):100180.
5. Inagaki T, Kato A, Takahashi K, Ozaki H, Kanda GN: **LLMs can generate robotic scripts from goal-oriented instructions in biological laboratory automation.** *arXiv preprint arXiv:230410267* 2023.
6. 下石敦貴 (2026). 実験ロボット動作プログラム作成タスクにおける生成 AI の性能評価. 令和 7 年度卒業論文, 九州工業大学.

研究テーマ 情報技術と実験ロボットによる有用微生物開発プロセスの

自動化

所属・研究者名 九州工業大学 大学院情報工学研究院 准教授 前田和勲

[目的] 近年、バイオものづくりへの期待が高まる一方で、有用微生物の開発には膨大な実験と時間を要することが課題となっている。本研究では、生成 AI と実験ロボットを組み合わせることで、有用微生物開発プロセスの自動化・効率化を目指した。

研究概要[内容] 自動分注ロボット OT-2 を対象として、生成 AI による動作プログラム自動生成技術を評価した。生命科学実験で代表的な「段階希釈」と「PCR サンプル調整」を対象に、従来のプログラム作成手法と比較し、実行時間、ロボット動作の効率性、安全性などを実機で検証した。

[成果] 生成 AI が、比較的単純な実験では効率的な動作プログラムを生成できることを確認した。一方、PCR サンプル調整のような複雑な実験では、汎用 AI だけでは十分でないことが明らかとなった。本研究により、実験自動化に特化した専門 AI 開発の重要性を示すとともに、中小企業でも導入可能な低コスト実験自動化技術に向けた基礎的知見を得ることができた。