



# 3D プリンターを活用した安価な材料合成ロボットの開発

～材料合成プロセスの自動化～

## ポイント

- ・電気回路・組み込み・部品の印刷・制御ソフト開発まで完全自作した化学ロボットを開発。
- ・設計図、3D プリンター図面、ソフト、組み込み、電気回路図等をすべて公開。
- ・開発した材料ロボットによる無機材料の合成に成功。

## 概要

北海道大学大学院理学研究院・総合イノベーション創発機構化学反応創成研究拠点（WPI-ICReDD）の高橋啓介教授、高橋ローレン助教、クワハラ・ミカエル学術研究員、前田 理教授らの研究グループは、3D プリンター<sup>\*1</sup>を活用して完全自作可能な材料合成ロボット「FLUID」を開発しました（図1、図2）。

これまで、研究グループは触媒インフォマティクス<sup>\*2</sup>を活用し、人工知能による材料開発を実現してきました。しかし、触媒の合成や評価は依然として人が担っており、化学実験の完全自動化には至っていませんでした。一方、海外では化学合成ロボットの販売が始まっていますが、高額かつ汎用性の低さが導入の大きな障壁となっていました。そこで研究グループは、安価で誰もが手に入れられる汎用部品のみで構築できる材料合成ロボットの開発に取り組みました。大部分の部品を3D プリンターで印刷し、ネジやモーターなど、特別な部品を使わずに組み立てられる設計を実現しました。汎用部品のみで構成する場合、精密な動作制御が技術的な課題でしたが、独自の機構設計と独自の制御ソフトウェアを開発することで、低コストながら高精度な操作を可能にしました。そのため、従来の高価なロボットと同等の機能を持ちながら、手軽に導入できる革新的な材料合成ロボットを開発することができました。今回開発したロボットを正確に制御する独自のソフトウェアは、直感的なインターフェースを備えており、専門知識がなくても簡単に操作できる点も特徴です。より多くの研究者や技術者がロボットを活用し、新しい材料の開発に貢献できることが期待されます。

本ロボットの最大の特徴は、その完全オープンソース<sup>\*3</sup>化です。設計図や電気回路図、組み込みシステム<sup>\*4</sup>、組み立て方法、3D プリンターデザインファイル、ロボット制御ソフトウェアのソースコード<sup>\*5</sup>、使用した部品のリストなどをすべて公開しました。産業界や研究機関のみならず、誰でも自由に利用・改良できる環境を整えました。さらに、開発したロボット「FLUID」を用いて、実際に材料合成を実施しました。その結果、材料ロボットによる共沈法<sup>\*6</sup>を実施し、ニッケルとコバルトの酸化物を人の手を使わずに合成することに成功しました。本研究では、ロボットを正確に制御する独自のソフトウェアを開発し、溶液の供給速度や混合プロセスを綿密に調整できるようにしました。これにより、従来の高価な装置でも難しかった流体制御を実現し、均一な粒子サイズや組成を持つ酸化物の合成が可能となりました。この精密な流体制御技術は、より複雑な材料合成や化学反応開発にも応用できると期待されます。

本研究成果は、日本時間 2025 年 4 月 9 日（水）に、米国化学会（ACS Applied Engineering Materials）誌にてオンライン公開される予定です。また、ロボットの設計データや制御ソフトウェアは、GitHub（<https://github.com/Materials-Informatics-Group>）で GPL3.0 ライセンス<sup>\*7</sup>のもと、どなたでも無償でアクセス可能です。この成果は、低コストで自由度の高い材料合成ロボットの実現可能性を示すものであり、今後の材料開発の自動化の発展に大きく貢献すると期待されます。

## 【背景】

近年、触媒インフォマティクスの発展により、人工知能を活用した材料開発が進展してきました。しかし、触媒の合成や評価は依然として人の手に依存しており、化学実験の完全自動化は達成されていませんでした。海外では商業用の化学合成ロボットが登場していますが、いずれも高額であり、特定の用途に特化しているため、汎用性が低く、多くの研究機関や企業にとって導入の障壁となっていました。そこで研究グループは、低コストで誰もが利用可能な自作型材料合成ロボットの開発に着手しました。

## 【研究手法】

研究グループは、安価かつ汎用的な部品のみを用いて、完全自作可能な材料合成ロボット「FLUID」を設計しました。主要部品は 3D プリンターを用いて製作し、ネジ、モーター、シリンジなどの一般的な部品のみを組み合わせることで、特殊なパーツを不要にしました。さらに、ロボットの制御には独自開発のソフトウェアを導入し、簡単なインターフェースで直感的な操作が可能なシステムを構築しました。加えて、オープンソースの理念のもと、設計図、電気回路図、組み立て方法、3D プリンターデザインファイル、制御ソフトウェアのソースコードを完全公開しました。

## 【研究成果】

開発したロボット「FLUID」は、安価で汎用的な部品を用いて構成され、さらに完全オープンソースとして設計されました。本研究では、このロボットを用いて共沈法によるニッケル・コバルト酸化物の自動合成を実施し、人の手を一切介さずに安定した合成を達成しました。FLUID を用いた合成の再現性は高く、実験データのばらつきを最小限に抑えることができました。これにより、低コストかつオープンな自動合成ロボットでも、実際の材料合成プロセスを問題なく実施できることを実証しました。さらに、FLUID は汎用性が高いため、異なる材料系にも適用可能であり、将来的には幅広い化学プロセスに活用できる可能性を示しました（図 3）。

## 【今後への期待】

本研究の成果により、高価な商業用の化学合成ロボットと同等の性能を、低コストかつ汎用性の高いシステムで実現しました。これにより、研究機関や企業の化学実験の自動化を加速させることが期待されます。

特に、材料開発分野では、実験の効率向上やデータの一貫性確保が求められており、本技術の活用により、より迅速かつ正確な研究が可能となります。また、オープンソースとしての公開により、世界中の研究者やエンジニアが自由に改良を加えることができ、新たなイノベーションの創出が期待されます。

## 【謝辞】

本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 さきがけ（JPMJPR24T5）、同 戦略的創造研究推進事業 ERATO（前田化学反応創成知能プロジェクト）（JPMJER1903）、文部科学省世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）の支援のもとで行われました。

## 論文情報

論文名 Development of an Open-Source 3D-Printed Material Synthesis Robot FLUID: Hardware and Software Blueprints for Accessible Automation in Materials Science (3D プリンターによる材料合成ロボット「FLUID」の開発)

著者名 クワハラ・ミカエル<sup>1</sup>、蓮川由樹<sup>1</sup>、エスコバー・フェルナンド<sup>1</sup>、前田 理<sup>1, 2</sup>、高橋ローレン<sup>1</sup>、高橋啓介<sup>1, 2</sup> (<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学研究院、<sup>2</sup> 北海道大学総合イノベーション創発機構化学反応創成研究拠点)

雑誌名 ACS Applied Engineering Materials (米国化学学会が発行する化学ジャーナル)

D O I 10.1021/acsaenm.5c00084

公表日 日本時間 2025 年 4 月 9 日 (水) (米国東部標準時 (夏時間) 2025 年 4 月 8 日 (火)) (オンライン公開)

## お問い合わせ先

### 【研究に関すること】

北海道大学大学院理学研究院 教授 高橋啓介 (たかはしけいすけ)

T E L 011-706-4661 メール keisuke.takahashi[at]sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://takahashigroup.github.io/>

北海道大学大学院理学研究院 助教 高橋ローレン (たかはしローレン)

T E L 011-706-4663 メール lauren.takahashi[at]sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://takahashigroup.github.io/>

### 【JST 事業に関すること】

科学技術振興機構戦略研究推進部 ICT グループ 櫻間宣行 (さくらまのりゆき)

T E L 03-3512-3526 メール presto[at]jst.go.jp

## 配信元

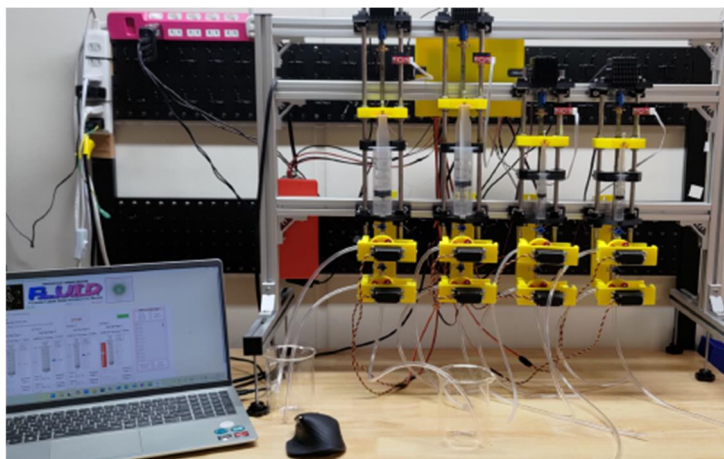
北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press[at]general.hokudai.ac.jp

科学技術振興機構総務部広報課 (〒102-8666 千代田区四番町 5 番地 3)

T E L 03-5214-8404 F A X 03-5214-8432 メール jstkoho[at]jst.go.jp

## 【参考図】



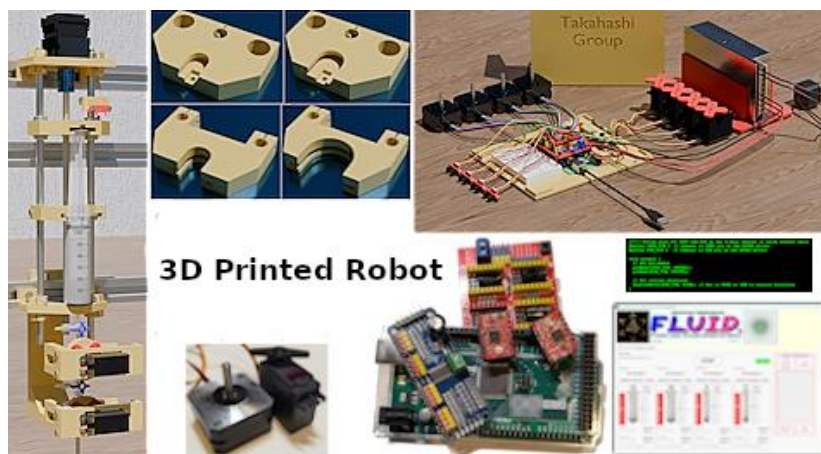


図 2. 設計した 3D プリントモデル、電気回路、装置の設計図、制御ソフトの概略

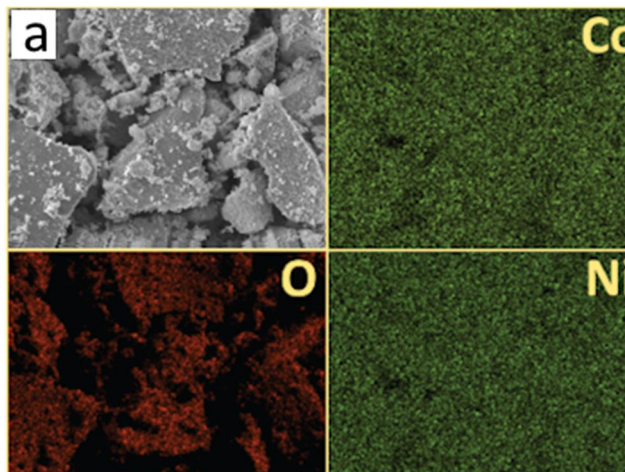


図 3. 合成した材料の電子顕微鏡画像

#### 【用語解説】

- \* 1 3D プリンター … デジタル設計データを基に樹脂や金属を積層し、立体構造を成形する装置。
- \* 2 触媒インフォマティクス … 触媒の構造や性能をデータ科学や機械学習を用いて解析し、新規触媒の開発を効率化する研究分野。
- \* 3 オープンソース … ソースコードや設計情報を公開し、自由な利用や改良を許可する開発手法。
- \* 4 組み込みシステム … 特定の機能を持つ機器に組み込まれた制御用コンピューターシステム。
- \* 5 ソースコード … ソフトウェアの動作を決定するプログラムの記述内容。
- \* 6 共沈法 … 溶液中の金属イオンを化学的に共沈させ、均一な組成の固体材料を得る合成手法。
- \* 7 GPL3.0 ライセンス … ソフトウェアの自由な利用、改変、再配布を許可するオープンソースライセンスの一つ。

## 【WPI-ICReDD について】

ICReDD (Institute for Chemical Reaction Design and Discovery、アイクレッド) は、文部科学省国際研究拠点形成促進事業費補助金「世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)」に採択され、2018 年 10 月に本学に設置されました。WPI の目的は、高度に国際化された研究環境と世界トップレベルの研究水準の研究を行う「目に見える研究拠点」の形成であり、ICReDD は国内にある 18 の研究拠点の一つです。

ICReDD では、拠点長の下、計算科学、情報科学、実験科学の三つの学問分野を融合させることにより、人類が未来を生き抜く上で必要不可欠な「化学反応」を合理的に設計し制御を行います。さらに化学反応の合理的かつ効率的な開発を可能とする学問、「化学反応創成学」という新たな学問分野を確立し、新しい化学反応や材料の創出を目指しています。

