

## ロボットによる自律駆動型実験技術の開発

[研究代表者] 古橋秀夫 (工学部電気学科)

[共同研究者] 西山禎泰 (ロボット研究ミュージアム)

鷲見裕史 (国立研究開発法人産業技術総合研究所中部センター)

山口祐貴 (国立研究開発法人産業技術総合研究所中部センター)

### 研究成果の概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所 中部センター 材料・化学領域 極限機能材料研究部門 固体イオニクス材料グループでは、次世代のエネルギーデバイスや環境・産業分野で使用される固体イオニクス材料の開発に取り組んでいる。具体的には、プロトン伝導セラミック燃料電池 (PCFC)、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) などの研究を行っている。このようなセラミックデバイスの製造プロセスにおける焼結工程では、1000°Cを超える高い温度での熱処理を必要としており、多量のエネルギーを消費している。固体イオニクス材料グループでは、将来のカーボンニュートラルの実現に向けて、室温近傍で焼結が可能な新しいプロセスの研究開発をおこなっている。開発段階にある当該プロセスの実験工程のスピードを上げることが求められている。低温での安定した環境でセラミックの焼結を行うには実験数が必要だが、特殊環境であるグローブボックス内で行う実験は大変で困難な作業である。一方、これまでロボット研究ミュージアム COBOTTA プロジェクトは、人協働ロボットアームを用いて、様々な実験の工程を自動で行うことができる、オリジナルのからくり治具 (からくり治具とは、機構持つ駆動型治具のことを言う造語である) を活用した自律駆動型実験手法の検討を行い、システム構築を行ってきた。第一次としてグローブボックス内で、粉体の秤量、サンプル分取を、ロボットアームによって自動で行うことができる実験環境を開発した。そこで本年度、産総研との共同研究体制のもと、実証実験を通じてシステムの問題点を洗い出すとともに、改善を繰り返し、より確実に動作が出来るシステムとして各治具の構造の再設計を行い、高い精度でサンプルを製造することを目指した。これにより材料開発の効率化が図られ、プロセス開発の加速が期待される。成果物は各展示会で発表を行い、産総研中部センターには、年間 20 件の見学者が来訪した。

### 研究分野：機械工学

**キーワード：**ラボラトリーオートメーション、協働ロボット、COBOTTA、からくり治具、粉体秤量、セラミックス  
グローブボックス、ハイスループット自動実験

#### 1. 研究開始当初の背景

ラボラトリーでは、各種機器が運用されているが、自動化した機器の連動性が構築されている環境は少ない。そこで、各機器を連動させたハイスループット自動実験の運用が求められている。ハイスループット自動実験は従来の実験手段と比較して少ない労力で、多数の合成反応を並行して行うことを可能にする手法である。実験では、グローブボックスなど特殊環境化で行われる実験もあり、グローブボックス内で分厚いゴム製のグローブを活用して秤量などの実験を行うため効率が悪く、一つの機能性セラミックスを作るのに 1 日かかることが問題とされている。そこでグ

ローブボックスの実験工程を人協働ロボットにより実験化し、セラミックス固体の試験体をより多く作りだすシステムが必要である。また、開発スピードの加速としてラボラトリー全体でのラボラトリーオートメーション化も期待されている。

#### 2. 研究の目的

ロボット研究ミュージアム COBOTTA プロジェクトと国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (以下「産総研」という) 極限機能材料研究部門 固体イオニクス材料グループ は、人協働ロボットによるグローブボックス内でハ

イスルーブット自動実験システムの構築を行う。

セラミックス固体を製造するには、一般的に 1000 °C を超える高温での焼結が必要である。産総研は、原料間の化学反応を利用して、100 °C 以下の低温で複合酸化物からなるセラミックス固体を「焼かずに」製造する研究開発を行ってきた。しかし、グローブボックス内で手作業での低温製造にはかなりの時間がかかるため、「焼かずに」製造できる複合酸化物は数種類しか発見できていなかったため、グローブボックス内で粉体秤量をからくり治具と人協働ロボットを活用することにより、短時間で多くの低温製造実験が行うためのシステムの開発を目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究は、ロボット研究ミュージアムの COBOTTA プロジェクトが協力関係にある、デンソー・デンソーウェーブが開発した人協働ロボット COBOTTA の運用に知見があるため、極小空間であるグローボックス内で使用するロボットとして産総研中部センターにある COBOTTA を選定した。COBOTTA を中心に、グローボックス内で各実験作業を行うためにオリジナルのからくり治具を制作し、エヌアイシ・オートテックの協力を得て、グローボックス内で各治具を設置できる台座制作した。グローボックス内は、窒素ガスが充填されている。アルカリ性を持つ粉体の性質上、アルミニウムは腐食現象を起こすため、材料には極力アルミニウムを使用しない設計が必要になる。坩堝は、前期工程での攪拌工程、後期工程の圧力成形工程のために、特殊形状のアルミナ（酸化アルミニウム）を使用して製作を行った。

#### (1) グローボックス内での 作業工程

作業を前工程と後工程に区分する。前期工程から、グローボックス内で機能できるようにシステムを構成し、動作計画（フロー）、からくり治具の製作、COBOTTA のティーチング、実装を行う。

##### ①前工程 「粉体秤量工程」

1 台の人協働ロボット COBOTTA を活用し、粉体秤量を行うシステム。

#### ア. システムの構成

- (ア) 台座 三相構造 ステンレス鋼 550×1080(mm)
- (イ) COBOTTA
- (ウ) ラック（特製の坩堝 10 個・瓶 5 本）

(エ) 秤量治具（からくり治具）

(オ) 電子天秤

(カ) 薬さじ治具（からくり治具）

(キ) ホモジナイザ治具（からくり治具）

(ケ) 電子ピペットアルコール添加治具（からくり治具）

(コ) ノート PC

#### イ. システム動作（フロー）

(ア) ラックに坩堝 10 個、粉体瓶を 5 セット

(イ) COBOTTA にて瓶を粉体秤量治具にセット

(ウ) COBOTTA で蓋を開ける

(オ) COBOTTA で蓋を置く

(カ) COBOTTA で坩堝を取る

(キ) COBOTTA で電子天秤にセット

(ク) COBOTTA で薬さじを活用して粉体秤量を行う

複数回の動作にて粉体秤量を行う

秤量制度は 0.1 グラムの近似値とする。

(ケ) COBOTTA で瓶の蓋を閉め、ラック戻す

(コ) 電子天秤で計測し 0.1 グラムの試験体を坩堝に作る

(サ) COBOTTA で坩堝に電子ピペットからアルコールを入れる

(シ) COBOTTA で坩堝をホモジナイザ治具にセットする

(ス) ホモジナイザにより攪拌

(セ) COBOTTA で坩堝をラック戻します。

(ソ) COBOTTA でホモジナイザの先端を洗浄する

#### ②後期工程 セラミックス燃焼工程

現在、動作計画（フロー）の確定を行い、各機器の選定、設置を行う研究段階である。

#### (2) 前期工程の実装

グローボックス内に設置を行い、稼働ができるようにする。グローボックスは、株式会社 UNICO バキューム型グローボックスを使用する。目視できる面が 1 面に限ることから、設置にはかなりの課題があり、動作計画（フロー）を変更せず装置の設置位置、治具の再製作をおこなった。今後、株式会社 UNICO 大気圧型グローボックスにシステムの移行を行う。

### 4. 研究成果

グローボックス内で粉体秤量を行い、サンプルを製作できるシステムの設計製作をした。図 1 はグローボックス内に各機器が設置されている状態である。システムの構成の

特徴は、オリジナルのツールチェンジャーにてツールの持ち換えを行い、複合タスクを1台のCOBOTTAで行うことにある。極小空間に合わせた空間を最大限に有効活用したレイアウト、からくり治具の開発、制御プログラムを制作したことである。システムの構成図2を参照。からくり治具の使用は、メンテナンス性の向上に繋がり、コストも抑えることが出来る。

今後は、各からくり治具の再設計を行い、より稼働時間が長く、サンプル数を増やせるシステムの構成の構築をおこなう。



図1 グローボックス内にセット



図2 システムの構成



図3 粉体秤量工程

## 5. 本研究に関する発表

- (1) 山口祐貴 産総研中部センター「未来モビリティ材料」共創フェア～マテリアル DX を活用したオープンイノベーション、2023年、ミットランドホール
- (2) 山口祐貴 西山禎泰 研究成果発表 ロボット実験とAIによりセラミックス化学焼結プロセスの条件探索を高速化、2023年、産総研中部センターHP
- (3) 山口祐貴 鷺見裕史 第23回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 (nano tech 2024) 「ロボットアームを駆使したセラミックス自動実験とプロセスインフォマテイクス」、2024年、東京ビックサイト
- (4) 山口祐貴、鷺見裕史、古橋秀夫、西山禎泰、瀬戸蔵 ロボット博2024、2024年、瀬戸市・瀬戸蔵
- (5) 山口祐貴、中山麗、野村勝裕、藤岡正弥、西山禎泰、鷺見裕史、「ロボットツールを活用した自動実験の導入とセラミックス低温プロセスのハイスループット化」日本セラミックス協会秋季シンポジウム、名古屋大学、2024年10月予定
- (6) 山口祐貴、中山麗、西山禎泰、鷺見裕史、Near-room-temperature fabrication for oxides by acid-base chemical densification and high-throughput powder experiment using various robot tools. MS&T2024 ピッツバーグ、アメリカ 2024年10月予定