

令和 6 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：若手海外派遣 研究期間：令和 6 年 4 月 ~ 令和 7 年 3 月

研究課題名：CAD-Informed Uncertainty-Aware Sequence and Motion Planning
for Robotic Assembly

ラボ長

所属：大学院基礎工学研究科 システム創成専攻

職位 助教 氏名：清川 拓哉

研究成果：

(概要)

ドイツ航空宇宙センター（German Aerospace Center, DLR）の Institute of Robotics and Mechatronics において、令和 5 年度の滞在から合計して約 9 か月間の滞在研究を実施した。DLR 研究者らとの共同研究では、DLR の最新の多関節ロボットアームシステムの SARA を用いた。SARA によるチェーンソー製品の組立作業の自動計画を可能にした。本成果は、IEEE ICRA2024 の Late Breaking Results セッションでポスター発表と動画展示[1]、国際会議 IEEE CASE2024 の Regular セッションで口頭発表[2]をした。

(本文)

実際には、図 1 左上部に示すチェーンソー製品のような多数の部品が複雑な構造で接触・結合されている機械製品において、製品の設計情報のみから、ロボットにより組立作業させる場合の不確実性を考慮して組立順序とロボットの組立動作の生成を目的とした研究である。これまでに製品の設計情報のみから作業順序とロボット動作を生成可能としたものはなく、新しい試みである。実際に、提案手法では、ロボットのハードウェア、ワークスペース、組立部品の三次元 CAD モデルを入力とし、組立動作の三次元での幾何学的・物理的シミュレーションを行い、設計情報から必要な情報を抽出する。その後、ロボットによる作業を考慮して設計した制約条件の下で複数の望ましい条件を満たすような、部品の組立順序、各順序での各物体の配置姿勢、ロボットハンドによる物体把持、物体操作のためのアーム軌道という、複数の要素を同時に最適化を行う。最適化では、多数目的遺伝的アルゴリズムである NSGA-III に着想を得た新しい多数目的最適化アルゴリズムを使用している。さらに、接触動作を考慮した ConCERRT という軌道計画アルゴリズムを応用して順序とロボットの動作の最適化を施すことで、生成される作業の不確実性を低減させる。

実験では、多数の部品が複雑構造で接触・結合されているようなチェーンソー製品のロボットによる組立作業計画を行い、提案手法を用いることで、作業の不確実性を下げ、100%の成功率で制約を満足する組立作業計画を生成できることが実証されている。図 2 は順序の一例である。



図 1. SARA による組立作業

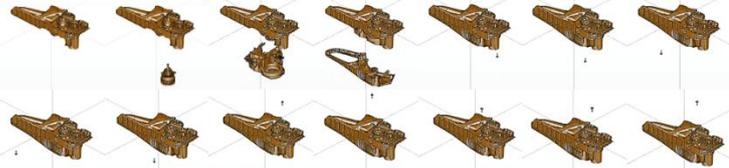


図 2. ロボットの作業を考慮して最適化された組立順序

さらに、途中帰国した際には、DLR から3名の研究者を招いて、基礎工学研究科にて、招待講演を開催し、基礎工学研究科の研究紹介・研究室見学、基礎工学研究科の学生・教員らと交流を行った。図3は講演終了後の写真である。さらに、2回目の滞在研究の終盤では、SARAによる多様な物体の操作を想定した最新の動力学シミュレーション環境を実装し、動力学シミュレータの調査および実装経験を積むことができた。さらに、外部資金獲得のための発展研究の準備や帰国後の継続的な共同研究の推進に関する活発な議論ができた。ラボ長が Publicity Chair (Asia)を務める IEEE/SICE SII2025にて、DLR 研究者らとスペシャルセッションとワークショップの共同開催が採択され、ミュンヘンにて実施した。図4が共同開催後にオーガナイザ・アドバイザーボードメンバ・招待講演者のみで撮影した写真である。50名ほどの参加者があり、招待講演もパネルディスカッションも有意義な議論ができ、成功裏に終えることができた。今後も密に共同研究、研究費獲得、ワークショップ開催、交流などを行えるようなDLRとの盤石な協力関係・研究者ネットワークを構築できた。



図3. 基礎工でDLR研究者の招待講演開催



図4. IEEE/SICE SII2025ワークショップ開催

研究経費（R6年度）の内訳：

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
円	円	1,000,000円	円	円	円

共同研究者等：

(1) 共同研究者（氏名・所属）

- Maximo A. Roa • DLR, Institute of Robotics and Mechatronics
- Korbinian Nottensteiner • DLR, Institute of Robotics and Mechatronics
- Thomas Eiband • DLR, Institute of Robotics and Mechatronics
- Peter Lehner • DLR, Institute of Robotics and Mechatronics
- 原田 研介 • 大阪大学大学院，基礎工学研究科

(2) 研究協力者（氏名・所属）

- Ismael Rodriguez • Agile Robots

発表論文等（令和7年3月31日現在）：

〔学会発表〕

1. Takuya Kiyokawa, Ismael Rodriguez, Korbinian Nottensteiner, Peter Lehner, Thomas Eiband, Maximo A. Roa, and Kensuke Harada, "CAD-Informed Uncertainty-Aware Sequence and Motion Planning for Robotic Assembly," in Proc. IEEE CASE, pp. 418-425, 2024.
2. Takuya Kiyokawa, Ismael Rodriguez, Korbinian Nottensteiner, Peter Lehner, Thomas Eiband, Maximo A. Roa, and Kensuke Harada, "CAD-Informed Uncertainty-Aware Robotic Assembly Sequences," IEEE ICRA, Late Breaking Results, 2024.

〔その他・国際会議でのワークショップの共同開催〕

1. Takuya Kiyokawa, Korbinian Nottensteiner, Ismael Rodriguez, Cristian C. Beltran-Hernandez, Tasuku Makabe (Organizers), Maximo A. Roa, Kensuke Harada, and Alin Albu-Schäffer (Advisory Board Members), "Reconfigurable Manipulation Robots," in IEEE/SICE SII, 2025.

外部資金獲得状況・申請状況：

- ・スズキ財団、海外研修助成（獲得）
- ・日本学術振興会、科学研究費助成事業、若手研究（申請中）
- ・JST、創発的研究支援事業（申請中）

参考となるHP等：

- ・DLR プロジェクト紹介ページ：<https://factory-of-the-future.dlr.de/en/home-english/>
- ・研究代表者HP：<https://takuya-ki.github.io/>
- ・DLR 研究者の招待講演情報：<https://www.roboticmanipulation.org/japanese/seminar/>
- ・共同開催のワークショップHP：<https://sites.google.com/view/rmr-workshop-sii2025/home>