

補助事業番号 2024M-470

補助事業名 2024年度 仮想関節を考慮した静剛性モデルに基づくロボット加工の軌跡制御  
補助事業

補助事業者名 明治大学 田島真吾

## 1 研究の概要

本研究は、切削加工時に生じる産業用ロボットの変形を考慮した軌跡制御による高精度なロボット加工の実現を目的とし、駆動関節に加えて仮想関節を導入した新しい静剛性モデルの構築を行うものである。切削条件から推定される切削力により生じる加工ロボットの変形量を高精度に予測し、それを補償するように指令軌跡を制御することで、ロボット切削加工の精度向上を図る。剛体リンクモデルに基づき、従来の実駆動回転軸まわりの剛性に加えて、その軸に直交する方向の剛性を仮想軸として定義し、変位量の予測精度を向上させることを目指す。

## 2 研究の目的と背景

多品種少量生産が望まれる製造現場において、多軸制御工作機械から産業用ロボットへの置き換えが進んでいる。特に、航空機分野における大型で複雑形状を有する加工物に対しては、作業領域が広く、導入コストが低い垂直多関節の産業用ロボットによる機械加工が求められている。しかしながら、産業用ロボットは剛性が低いため、切削加工において切削力により工具位置が変位し、加工精度が低下するという課題がある。このため、低い機体剛性を補う目的で比較的大形のロボットを用いざるを得ず、切削加工へロボットを導入する際の問題となっている。

これまでに研究代表者の研究グループでは、静剛性モデルに基づいてロボットの変形量を予測する研究を行い、その予測に基づく軌跡制御によりロボット加工の精度向上を確認してきた。一方で、従来の駆動関節のみを考慮したモデルでは、十分な予測精度が得られないことも確認している。そこで本研究では、ロボットの駆動関節軸方向以外の変形も考慮するために仮想関節を導入し、新たな静剛性モデルを構築することで、より高精度な変位量予測を実現し、ロボット切削加工の高精度化を目指す。

## 3 研究内容

### (1) 仮想関節を考慮した静剛性モデルに関する研究

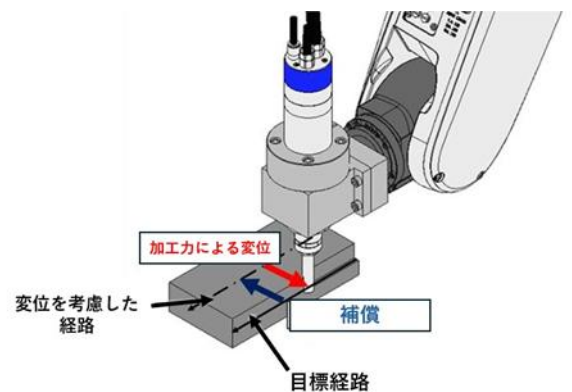
<https://sites.google.com/view/tajima-lab/home>

本研究では、産業用ロボットによる高精度な機械加工を実現するため、加工中に生じる切削力によるロボットの変形を高精度に予測し補正するための静剛性モデルと軌跡制御法に関して研究を実施した。

ロボットの機体剛性を正確にモデル化するため、6個の実駆動関節に加えて9個の仮想関節という概念を導入し、計15軸の剛体リンクモデルにより、静剛性モデルを構築した。構築した静剛性

モデルに基づき、切削力と工具変位量の関係を定式化し、加工中のロボット姿勢や外力に応じた変形予測法を確立した。この結果、予測した変位量に基づいて指令軌跡を補正することで、高精度ロボット加工を可能とする軌跡制御法を構築した。

構築した軌跡制御法の有用性を検証するため、実機による検証実験を実施した。ロボット手先に力を与えた際の変位量を測定し、静剛性モデルによる予測値と比較した結果、仮想関節を考慮した提案モデルの方が従来モデルよりも高い予測精度となることが確認できた。



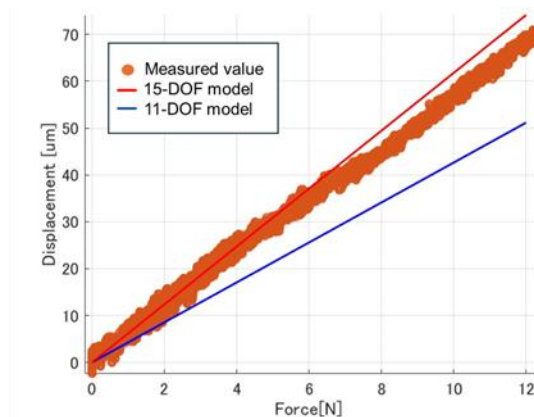
切削力による工具変位量を考慮した軌跡補正法



実駆動関節と仮想関節



変位量測定実験の様子



検証実験による提案法の有用性の確認

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で構築した静剛性モデルおよび軌跡制御法により、産業用ロボットによる切削加工の精度が向上し、従来法では困難であった高精度かつ複雑形状の部品加工が可能となる。これにより、同時5軸制御工作機械の代替として産業用ロボットを活用できるようになり、導入コストの低減や設備の柔軟性向上が期待できる。特に、大型かつ多品種少量生産が求められる航空機分野において、ロボット加工技術の普及が進むことで、生産性の向上と製造現場の高度化に寄与することが見込まれる。また、切削加工以外のロボットにも展開可能であり、幅広い産業用途への応用が期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで研究代表者は、多軸制御工作機械や産業用ロボットを対象とした軌跡生成法や運動制御法の研究に取り組んできた。近年は、産業用ロボットを機械加工用途に活用するための基礎技術として、ロボットの構造的特性が加工精度に与える影響の解明とその軌跡制御の開発に注力している。その中で、ロボットの関節構成や姿勢による機体剛性の変化が、加工精度に大きく影響することに注目し、静剛性モデルに基づく変形予測に関する研究を進めてきた。

今回の研究は、これまでの知見を基に、より高精度な工具変形量予測を実現するために仮想関節の概念を導入し、静剛性モデルの高度化を図るものである。本研究により、加工ロボットの剛性を高精度に捉えた補正制御が可能となり、研究代表者が有する加工軌跡制御の研究と組み合わせられることで、ロボット加工の高精度化に向けた体系的な技術基盤の構築につながると位置づけられる。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

#### 7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 明治大学工学部(メイジダイガク リコウガクブ)

住 所: 〒214-8571

神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1

担 当 者: 専任講師 田島真吾(タジマシンゴ)

担 当 部 署: 機械工学科(キカイコウガクカ)

E - m a i l: tajimas@meiji.ac.jp

U R L: <https://www.meiji.ac.jp/sst/>