

機械加工ロボットを対象としたシステムシミュレーションに関する研究

機械金属部 ○新谷正義 高野昌宏 吉田勇太 根田崇史

1. 背景と目的

昨今、溶接や搬送といった従来の用途に加え、産業用ロボットを機械加工へ応用する取り組みが広がっている。産業用ロボットによる機械加工はマシニングセンタなどの工作機械と比較して作業範囲が広く、設備コストも抑えられることから、航空機部品などの大型構造物の加工における有用性が評価されている。一方で、産業用ロボットは工作機械に比べて剛性が低く、加工中に発生する反力による変形や振動といった問題が顕在化しやすい。このため、所望の加工精度や能率を達成するためには、適切なロボットや工具の選定に加え、加工条件の最適化が不可欠である。ところが、これらの設計・調整作業は経験に基づく試行錯誤に依存することが多く、ロボットシステムの開発期間を長引かせる要因となっている。そこで本研究では、機械加工を行うロボットシステムの設計支援および加工条件の最適化を目的として、加工中の変形および振動を予測可能なシミュレータを開発した。

2. 内容

2.1 開発したシミュレータの概要

本研究で開発したシミュレータの概要を図1に示す。本シミュレータは与えられた加工条件に基づいてプロセスモデルから加工反力 F を算出し、それをロボットの構造モデルに入力することでロボット先端部に生じる変位を予測するものである。本研究では、グライнда加工およびエンドミル加工の2種類のプロセスを対象とし、前者では変形予測を、後者ではびびり振動の予測をそれぞれ行った。なお、構造モデルは剛体リンクおよび各関節のバネおよび粘性要素から構成されており、式中の慣性行列 M ならびにヤコビ行列 J は関節角度 q に依存して変化する量である。したがって、本モデルは作業姿勢によって変化するロボットの動特性が考慮されている。また、比切削抵抗 K_t については文献値を引用し、比研削抵抗 K_p ならびに粘性行列 C 、剛性行列 K は実験により同定した値を用いた。

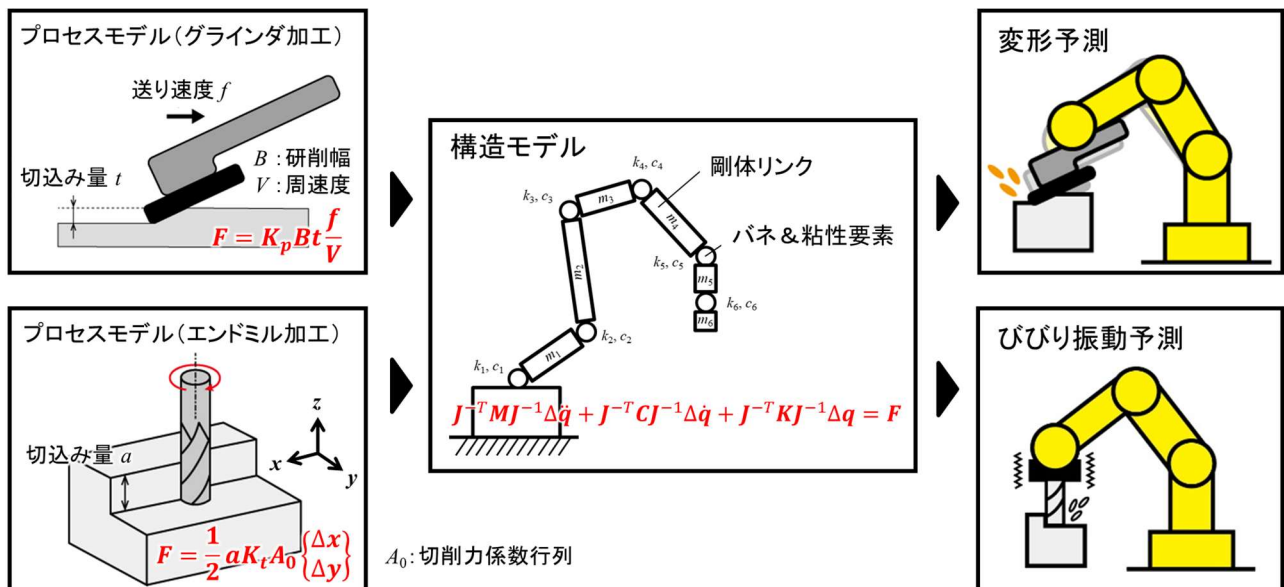


図1 開発したシミュレータの概要

2.2 変形予測の実験検証結果

変形予測の検証を行った際の実験構成ならびに得られたシミュレーションと実験結果の比較を図2、3にそれぞれ示す。ロボットの姿勢変化の影響を評価するため、ロボットア

ームを折りたたんだ状態 ($X=1075\text{mm}$) と伸ばした状態 ($X=1525\text{mm}$) でそれぞれシミュレーションと実験を行った。また、加工条件としてはグラインダの送り速度のみを変化させた。なお、実験におけるロボット先端の変形量 (Z 方向) はレーザートラッカーを用いて測定した。図 3 に示すように、シミュレーションと実験の変形量は概ね一致しており、開発したシミュレータによる変形予測は十分な予測精度を持つことが確認された。

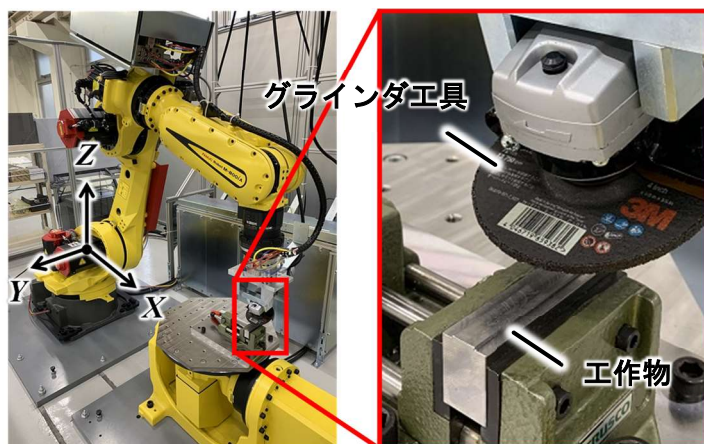


図 2 実験構成の外観

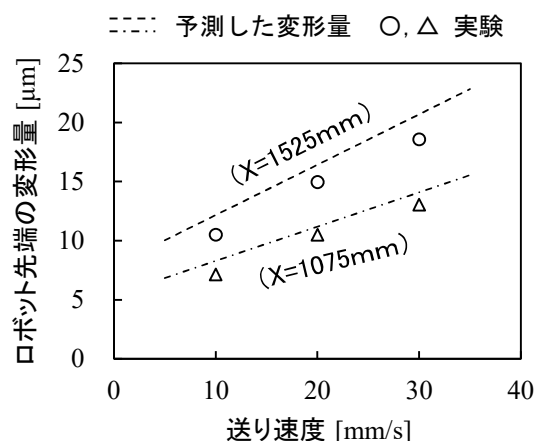


図 3 変形の予測結果と実験結果

2.3 びびり振動予測の実験検証結果

びびり振動予測の検証において得られたシミュレーションと実験結果の比較を図 4 示す。図 4 中には、予測したびびり振動の発生境界（上側がびびり振動が発生する領域）を実線で示すとともに、工具回転数および切込み量を変化させた①～④の加工条件において実際に観察されたびびり振動の有無を併せて示している。なお、シミュレーションと実験におけるロボットの姿勢は、動特性の変化がないよう一定とした。また、①、②の加工条件において形成された加工面の観察写真を図 5 に示す。図 4, 5 からわかるように、予測したびびり振動の発生有無は実験結果とよく一致しており、開発したシミュレータによるびびり振動予測は十分な予測精度を持つことが確認された。

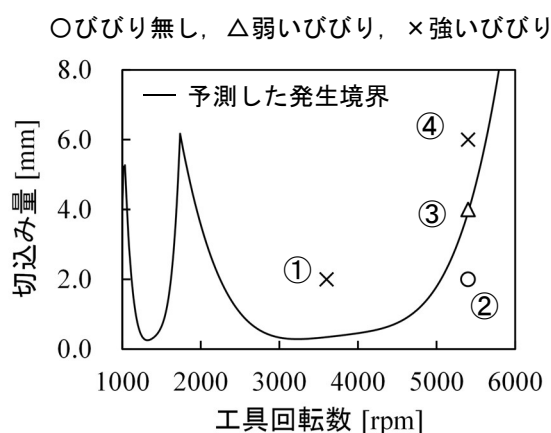


図 4 びびり振動の予測結果と実験結果

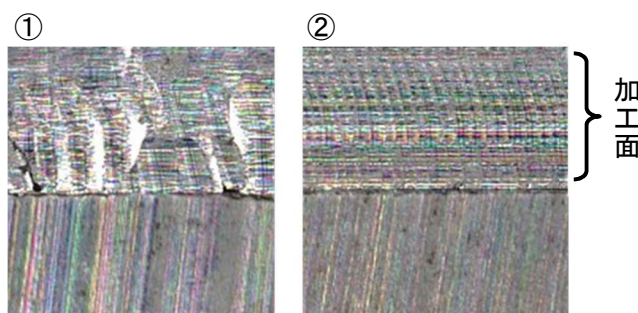


図 5 加工面の観察写真

3. 結果と今後の展望

本研究では、機械加工作業に伴うロボットの変形および振動の予測を行うシミュレータを開発し、実験の範囲内では十分な予測精度が得られていることを示した。今後は建設機械部品や鋳物部品などの実製品を対象とした際に同様の予測精度が得られるか検証を実施するとともに、加工中の環境変動（例えば、工具の摩耗による加工反力の変動）にも自律的に対応するような制御システムの開発を試みる。