

大型工作機械におけるワーク重量推定と動力学解析による制御パラメータ調整法

○福岡勇児† ◎福井 類†† 唐澤宏之†† 吉田健人†† 大石浩史* 三品俊二* 中嶋 梓*

大型工作機械の開発時に、ワーク重量毎に加減速に関する制御パラメータが手動で調整されている。本研究では往復動作中の指令トルクを用いる手法を改良して大型工作機械に適用し、誤差 ± 0.5 t以内でのワーク重量推定を可能とした。さらにシミュレータと最適化手法を利用したワーク重量毎の制御パラメータの自動調整法を提案し、評価実験を行った。これにより重量が未知のワークに対する制御パラメータの自動調整法を開発した。

Key words: Large machine tool, Workpiece weight estimation, Servo parameter tuning, Simulation, Optimization

1. 研究背景と目的

大型工作機械(図3左)ではワーク重量ごとの制御パラメータはあるものの、実機の加工時には正確な質量がわからない(測らない)ことが多く、制御パラメータが最適化されているとは言い難い。本研究では主たる動作軸であるX軸のみを対象に、大型工作機械向けのワーク重量1 t毎の制御パラメータの自動調整法¹⁾の開発を目指し、ワーク重量推定と、確定されたワーク重量毎の制御パラメータ自動調整の2段階で実現する。

2. ワーク重量推定アルゴリズムの実装

テーブルを往復(図1, 以下規定動作)させた時、加速度一定部の指令トルクの平均 $|I_i|$ とワーク重量 w は線形の関係 f にある²⁾。モータのトルク定数の温度変化の補償を加えて、重量既知のワークによる教師データを利用した線形回帰により重量推定を行う。

$$|I_i| = f(w) \rightarrow \hat{w} = f^{-1}(|I_i|)$$

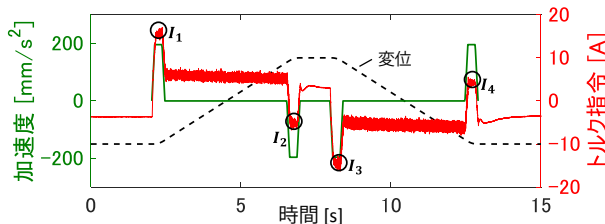


Fig.1 Torque command for realizing constant acceleration.

3. ワーク重量推定実験結果

表1の条件を変えて実機実験を行い、規定動作の初期位置を固定すれば他の条件が変わっても目標精度が満たされることが分かった(図2)。

Table1 Experimental conditions.

項目	マーク	変更した環境条件	ワーク重量
基準条件	○	暖機運転の有無 (重心位置は中央、動作方向は負方向)	0, 4, 10, 14, 20 t
重心位置	×	ワークの重心のY方向の端	4 tのみ
動作方向	*	規定動作直前の動作方向が正方向	10 tのみ

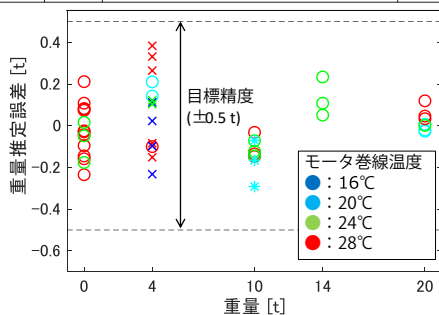


Fig.2 Estimated workpiece weight of all trials.

4. 制御パラメータ調整システムの実装

図3右にシステムの流れを示す。制御パラメータにより決まる指令変位をシミュレータに入力して動力学解析を行う。得られた位置偏差の最大値 φ_1 、加速終了後1秒間の位置偏差の絶対値の積分値 φ_2 、加速にかかった時間 φ_3 の3つの評価指標を正規化し、重み w_i を乗算して和をとった評価値 J を求める評価関数を作成した。この評価関数を目的関数とし、制御パラメータを調整対象とした。制御パラメータを変えつつ繰り返し動力学解析を行うことで最適化を実施した。

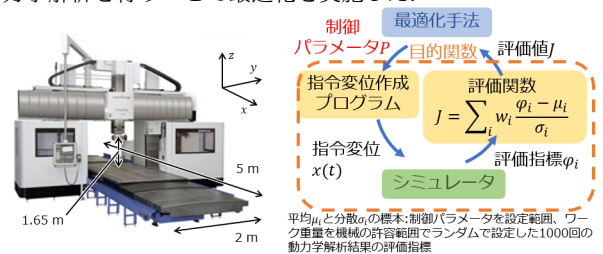


Fig.3 Large machine tool and servo parameter tuning system.

5. 制御パラメータ調整実験結果

4通りの重み(A, B, C, D)の評価関数で4通りのワーク重量(4, 10, 14, 20 t)に対して制御パラメータ調整を行った。試行した16条件の中でシミュレータでは16条件、実機では9条件で現行の制御パラメータ(現)を上回った(図4)。

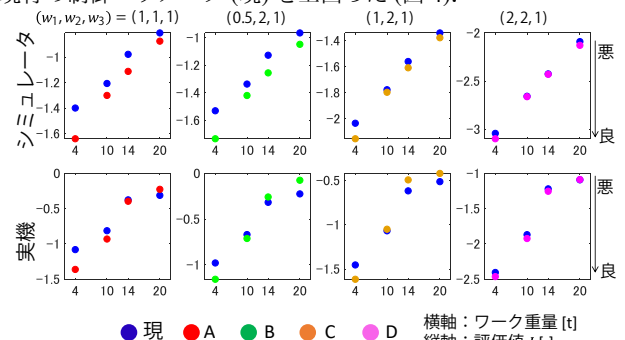


Fig.4 Results of servo parameter evaluation experiments using the simulator and a real machine.

6. 結論

大型工作機械のワーク重量を誤差 ± 0.5 t未満の精度で推定した。また、ワーク重量ごとの制御パラメータの自動調整法を開発した。この2点により重量が未知のワークに対する1 t毎の制御パラメータの自動調整法を開発できた。今後は手動による制御パラメータ調整では評価項目に含まれる、複数軸での運動時のコーナに生じる誤差の考慮が課題である。

参考文献

- Lin, et al. Remote servo tuning system for multi-axis CNC machine tools using a virtual machine tool approach. *Applied Sciences*, Vol. 7, No. 8, p. 776, 2017.
- 張劍ほか. ボールねじ駆動系における質量同定法に関する研究. 精密工学会誌論文集, Vol. 71, No. 3, pp. 399–403, 2005.

† 東京大学 機械工学科 (東京都文京区本郷 7-3-1)

†† 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 (千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

* 三菱重工工作機械(株) (滋賀県栗東市六地藏 130)