

# デスクトップ型 NC 工作機械の実効剛性の測定と力制御系への応用

永田研究室 E105027 溝渕 貴徳

## 1. 緒言

現在、様々な製造業において CAD/CAM と NC 工作機械による自動化が進められている。しかし、機械加工後に現れるカスプを除去する仕上げ工程は、未だ熟練者の手仕上げによって行われているのが現状である。本研究では、仕上げ工程の自動化のために試作したデスクトップ型 NC 工作機械の静的な位置と力の関係を測定し、系の実効剛性を求める。実効剛性は力制御系の安定性に大きな影響を及ぼすため、この実効剛性を用いた力制御ゲインの調整法を紹介する。

## 2. 研究内容

図1にはLED レンズ成形用金型などの小さな曲面を有するワークの仕上げ工程に対応するために試作したデスクトップ型 NC 工作機械を示す。1  $\mu\text{m}$  の位置決め分解能を有する単軸ロボットを直交座標系で組み合わせている。制御系については、CL(カッターロケーション)データに基づくフィードフォワード制御則、力フィードバック(FB)制御則および位置フィードバック制御則の3つ操作量の和により、Z 軸先端に装着した工具の位置と磨き力がハイブリッド制御される。まず、NC 工作機械の静的な位置と力の関係を測定し、図2のような系の実効剛性を求めた。実効剛性には非線形特性とヒステリシス特性が見受けられた。実効剛性は力制御ゲインの中で最も重要な目標粘性  $B_d$  を調整するために使用する。目標粘性は力制御系の臨界減衰条件より次式で求められる。

$$B_d = 2\sqrt{M_d K_f K_m} - K_f B_m \quad (1)$$

ただし、 $M_d$  は目標慣性係数、 $K_f$  は力 FB ゲイン、 $K_m$  は測定した実効剛性、 $B_m$  は環境の粘性係数である。今後、非線形特性とヒステリシス特性を有する実効剛性を考慮して目標粘性を調整するために、力と実効剛性の関係をニューラルネットワーク(NN)に学習させた。

## 3. 結言

静的な位置と力の関係の測定によって得られた系の実効剛性には、非線形な特性が見受けられた。これは NC 工作機械を構成する単軸ロボットなどの部品の組付け方法や Z 軸先端に装着する工具によって変化するものと考察できる。今回は NN を応用することで非線形性とヒステリシスを有する「力と実効剛性の関係」を良好に学習することができた。今後は、学習した NN を用いた力制御系の設計を進めていく。



Fig. 1 Proposed desktop NC machine tool

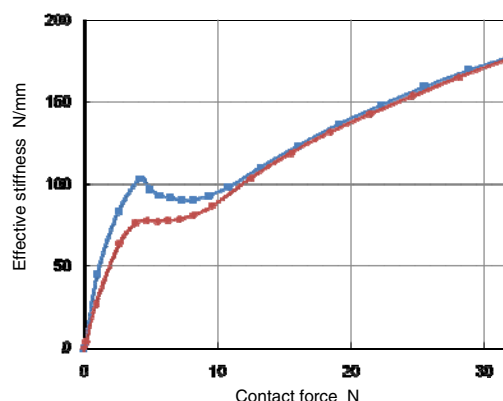


Fig. 2 Measured effective stiffness