

# 5 軸制御工作機械におけるワーク変形予測補正加工

函館工業高等専門学校 ○渡邊 将人, 山田 誠, 近藤 司

## 要旨

5 軸制御工作機械の回転機能を十分に生かすために、ワークを片持ち状態で加工することがある。その際、工具の切削力によりワークにたわみが生じ、要求形状を精密に加工することができなくなる。そこで本研究では、片持ち状態での加工を想定し、種々条件におけるたわみ量の測定から、それぞれの条件下における変形の予測システムを構築する。また、加工時に発生するワークの変形の予測から、制御量を補正した加工方法の提案およびその検証を行う。

## 1. 緒言

5 軸制御工作機械は 3 軸制御工作機械に X 軸回転の A 軸、Z 軸回転の C 軸を加えてこれまでに困難だった複雑な形状加工を容易にした工作機械である。5 軸制御工作機械を用いた形状加工を行う際に C 軸の可動域を十分に生かすことができるため片持ち状態で加工を行うことがある。しかし、その状態では図 1 に示すようにワークがたわんでしまう。一つとして使用しているワークの剛性が足りていない問題があり、治具を作成することも問題解決案ではあるが、これでは 5 軸制御工作機械の C 軸の可動域を十分に生かすことができない。そこで本研究では切削時に起こるたわみを観測し、ワークのたわみを考慮した形状加工を行うことを目的とし、加工条件によってたわみ量がどのように変化するかを調査する。また、画像処理を用いた変形量の測定システムについての提案を行う。

本論文では加工条件を（送り速度[mm/min], 回転数[ $\text{min}^{-1}$ ]) というように表記し、工具 1 回転当たりの送り量を回転切削距離と呼ぶこととする。

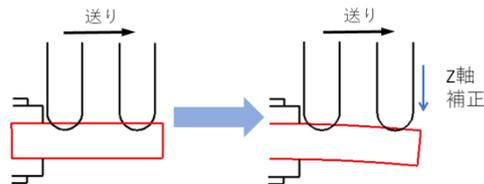


図 1. ワークがたわむ様子と補正方法

## 2. 3 次元形状測定機を用いたたわみ測定

### 2.1 加工・測定環境

調査をするにあたって、形状加工は 5 軸制御工作機械 MU-400VA を用いて加工を行い、3 次元形状測定機 VR-3100 を用いてたわみ量について測定を行った。ワーク、加工条件と使用工具は表 1 にまとめる。

表 1. 加工・測定環境

工作機械	OKUMA MU-400VA
使用工具	超硬ボールエンドミル ( $\phi 1.5[\text{mm}]$ )
測定機器	KEYENCE VR-3100
ワーク	アクリル丸棒 ( $\phi 10[\text{mm}]$ )
切削送り速度	1000, 500 [mm/min]
切削回転数	3000, 6000 [rpm]
切込深さ	0.2, 0.3 [mm]

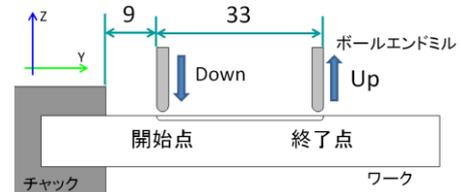


図 2. 加工形状と測定位置

### 2.2 測定のための加工方法

複雑な形状加工が行えることが 5 軸制御工作機械のメリットではあるが、たわみの測定が困難になってしまうことから、今回はたわみが最も発生し測定が容易になるように図 2 のような Y 軸のみが 33mm 移動する彫刻加工を行い、切削開始付近近傍と切削終了付近近傍の切込深さを測定し、2 点の切込深さの変化量をたわみとして測定する。

### 2.3 3 次元形状測定機を用いたたわみ量の測定

加工後、VR-3100 を用いて加工開始点と加工終了点での切込深さを測定し、開始点での切込深さからどれだけ浅くなってしまっているかを測定する。図 3 に各条件において 10 回行った測定値の散布図を示し、表 2 にそれらの測定値の平均をとったたわみ量をまとめる。

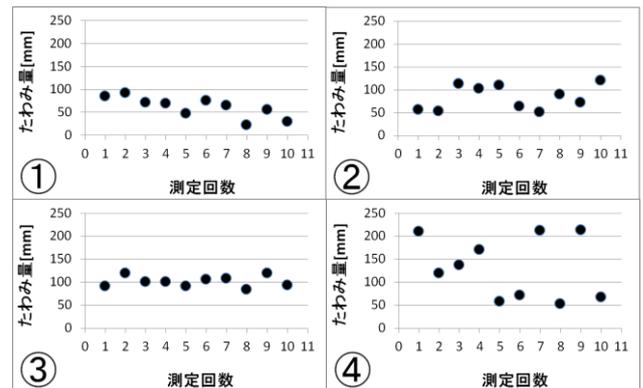


図 3. 各加工条件における測定値の散布図

表 2. 各加工条件における測定結果

	回転切削距離 [ $\mu\text{m}$ ]	たわみ量 [ $\mu\text{m}$ ]
①(6000, 500)	83	61.332
②(3000, 500)	167	83.509
③(6000, 1000)	167	100.878
④(3000, 1000)	333	130.739

## 2.4 結果と考察

いくつかの加工条件で加工を行った結果、回転切削距離 0.167 mm の (6000,1000) のたわみ量と回転切削距離 0.083 mm の (6000,500) のたわみ量を比較すると、回転切削距離が少ないほうがたわみ量は少なくなるといえる。これは回転切削距離が大きいと移動に対して十分な切削が行われておらず、押しつぶすような加工になってしまうためにこのような結果が得られたと考えられる。

## 3. 加工状況の撮影によるたわみ測定の提案

### 3.1 システム提案の経緯

これまでではワークの加工を行った後に 3次元測定器を用いてたわみ量の測定を行っていたが、それにより人為的な測定誤差が発生している恐れがある。より正確な測定を行うために、加工後に測定するのではなく加工中に測定を行い、人為的な測定誤差がなく効率的に測定が行えるため今回のシステムを提案する。

### 3.2 システム概要

図4の方向から撮影した動画を連番 BMP データに変換し1画像ごとに図5のような二値化処理によりモノクロ画像を作成する。今回は各ピクセルにおける輝度が70以下のものを輝度250(白)になるようにし、輝度が70以上のものは輝度0(黒)となるようにした。その後、以下の(1)式、(2)式を用いて重心位置( $G_x$ ,  $G_z$ )を決定する。式中のSは二値化処理によって輝度250になったピクセルの総数を示しており、 $x$ ,  $z$ は各座標値を保有する。

$$G_x = \frac{\sum x}{S} \quad (1)$$

$$G_z = \frac{\sum z}{S} \quad (2)$$

この重心位置  $G_x$  の変化を図6、重心位置  $G_z$  の変化を図7に示す。 $G_x$ ,  $G_z$  は重心の座標値が出力され、その値を用いて校正を行うことで最初の地点を基準とした重心位置の移動量を測定することができる。このように重心位置の移動量を得ることで  $G_x$  では振動から発生する左右の揺れを測定でき、 $G_z$  ではたわみ量を測定することができる。

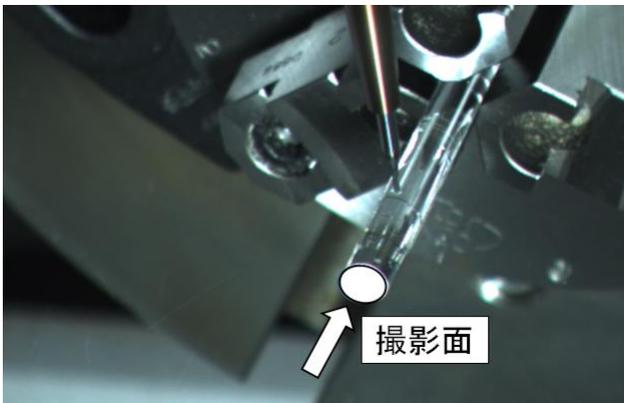


図4. 撮影方向

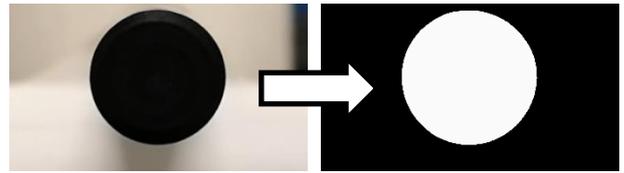


図5. 2値化処理によって生成されるモノクロ画像

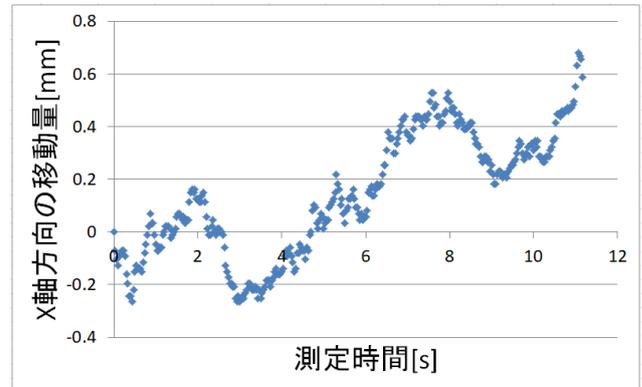


図6. 重心位置 $G_x$ の変化

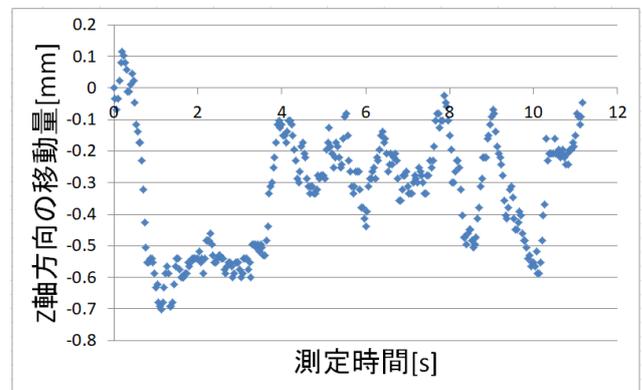


図7. 重心位置 $G_z$ の変化

## 4. 結言

加工時にワークが変形することを前提とした精密な形状加工を実現するために直径 10mmの亚克力棒材を基準にたわみ量の測定を試みた。その結果、片持ちはりの状態で形状加工をする場合、振動やたわみの影響を受けやすいことを確認し、1回転当たりの送り量が多いほどたわみが大きくなることを確認した。

また、加工状況を撮影した動画から画像処理を用いてたわみや振動を測定するシステムを提案した。

今後の展望としては今回提案した加工状況の撮影によるワークの変形を測定するシステムを用いて各加工条件における変形を調査し、そのデータをもとに補正値を決定する。

また、切削応力低下を狙って形状加工時に工具傾斜加工を取り入れて、ワークへの負担を軽減することにより高精度な加工を実現するためのシステムを構築する[1]。

## 参考文献

- [1] 山田誠ら, 5軸 NC 工作機械による主軸傾斜曲面加工法に関する研究(第3報)-ボールエンドミル傾斜加工における工具姿勢評価- 精密工学会誌, 73, 5 (2007) 567