

## 平面加工における表面精度の解析に関する研究

### A Study on Analysis of a Surface Accuracy by Flat Machining

○池田直人\*, 小林義和\*\*, 白井健二\*\*, 戸澤幸一\*\*\*

○Naoto Ikeda\*, Yoshikazu Kobayashi\*\*, Kenji Shirai\*\*, Kouichi Tozawa\*\*\*

\*日本大学大学院, \*\*日本大学, \*\*\*日産自動車(株)

\*Graduate School, Nihon University, \*\*Nihon University, \*\*\*Nissan Motor Co., Ltd.

キーワード: 機能表面 (Functional Surface), 表面精度 (Surface accuracy), エンドミル加工 (End Milling), CAD/CAM

連絡先: 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地  
日本大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 生産システム工学研究室 池田直人,  
TEL: (024)956-8824, Fax: (024)956-8863, E-mail:u146010@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

## 1. 緒言

近年、自動車、デジタル機器などの部品においてエンドミル加工による精度の要求はますます厳しくなっている<sup>1)</sup>。一例として、自動車の駆動部分に用いられる無段変速機 (CVT) の金属ベルトのコマは、表面の加工精度が  $1\mu\text{m}$  以下の高精度な加工が要求されている<sup>2)</sup>。しかしながら、工具から排出される切りくずや切削抵抗、被削材に対する工具の逃げなどにより、加工面の段差や工具の姿勢が影響を受ける。そのため高精度なエンドミル加工においては、加工面を測定・評価して、これらの問題を解決する必要がある。

そこで本研究においては、スクエアエンドミル工具で加工した平面形状を走査型白色

干渉計により測定し、加工面の特徴を解析した。

## 2. システム構成

図 1 にシステムの基本構成を示す。本システムは微細加工機本体と、これを制御するコンピュータによって構成される。本装置は、X、Y、Z の 3 軸から構成されており、主軸の回転数は、主軸制御装置によって制御される<sup>3)</sup>。次に制御用 PC(Personal Computer)における処理の流れを示す。制御用 PC には、切削負荷監視と加工用とのプログラムがある。主軸の負荷電圧は、主軸制御装置から A/D(Analog/Digital)変換器を介して切削負荷監視プログラムにより取得される。これを

切削負荷としている。加工用プログラムは、あらかじめ設定された動作データにもとづいて、各種加工条件を入力し、GP-IB (General Purpose Interface Bus) を介してモータコントローラに制御信号を転送する。

### 3. 実験及び計測・評価方法

#### 3.1 実験条件

図2に、今回対象としている被削材形状を示す。また、表1に基本切削条件を示す。被削材は炭素鋼 S50C である。切削実験は、18mm×18mm の被削材を直線切削している。制御条件として、主軸の回転数は  $30000\text{min}^{-1}$  であり、加工ピッチは  $630\mu\text{m}$  である。使用した工具は直径  $0.9\text{mm}$  のスクエアエンドミルである。刃長は  $1.2\text{mm}$ 、刃数は2枚である。工具材質は超微粒子合金、コーティングは UT COAT を施してある。切削油剤には、難削加工に有効な MSMT420(株式会社ミスミ製)を用いた。

#### 3.2 計測・評価方法

直線切削により平面加工した被削材を評価するため、まず図3に示すように走査型白色干渉計を用いてAからBの範囲までを  $3\text{mm}$  走査する。次に、走査した加工面を評価するため、図4に示す評価方法を用いる。AからBまでにおける加工断面の最大値と最小値の差を5ヶ所測定し、その最大、最小および平均値を採用した。

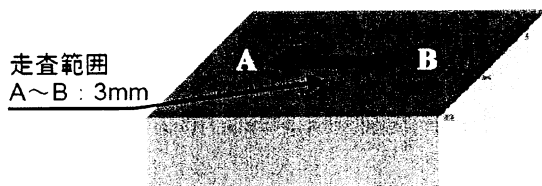


図3 計測範囲

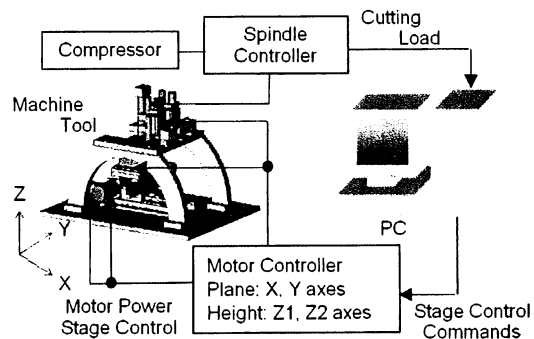


図1 システム構成図

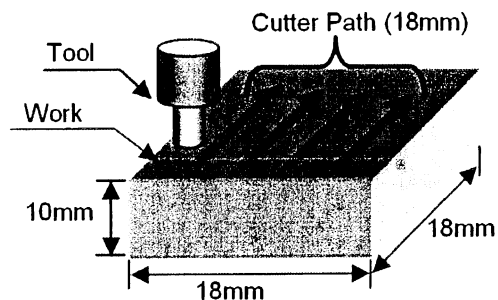


図2 加工方法

表1 基本切削条件

被削材	炭素鋼 (S50C)
主軸回転数	$30000\text{min}^{-1}$
ピックフィード量	$630\mu\text{m}$
工具	スクエアエンドミル
工具径	$\phi 0.9\text{mm}$
刃長	$1.2\text{mm}$
刃数	2
工具材質	超微粒子合金
コーティング	UT COAT
切削油剤	MSMT420

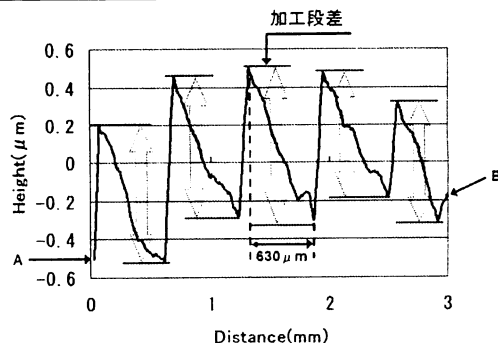


図4 加工段差の評価方法

## 4. 実験結果

### 4.1 送り速度の変化における加工段差の解析

各種切削条件における加工段差の解析を行なうため、まず送り速度を変化させた。制御条件として送り速度を  $1000 \mu\text{m/s}$  から  $10000 \mu\text{m/s}$  まで、 $1000 \mu\text{m/s}$  毎の区切りとし、軸切込量は  $30 \mu\text{m}$  で固定し切削した。

図 5 に各送り速度における加工段差の変化を示す。 $5000 \mu\text{m/s}$  をピークに徐々に加工段差は増大し、 $6000 \mu\text{m/s}$  以降加工段差は減少し、ほぼ横ばいの状態になっている。 $5000 \mu\text{m/s}$  でピーク値が出た理由は、工具の標準切削条件に見合わない切削体積が得られなかったためである。 $6000 \mu\text{m/s}$  以降は標準切削条件に見合う切削体積が得られたため、加工段差は小さくなっている。しかしながら送り速度は  $1000 \mu\text{m/s}$  から  $4000 \mu\text{m/s}$  までは平均的に加工段差は小さいので、この範囲で送り速度を制御することが最適である。

### 4.2 軸切込量の変化における加工段差の解析

送り速度の次に、軸切込量の変化による加工段差の解析を行なった。制御条件として軸切込量は  $10 \mu\text{m}$  から  $50 \mu\text{m}$  まで、 $10 \mu\text{m}$  毎の区切りとし、送り速度は  $10000 \mu\text{m/s}$  で固定し切削した。

図 5 に各軸切込量における加工段差の変化を示す。各軸切込量とも加工段差に大きな変化は見られない。したがって、軸切込量は加工段差の変化に影響を及ぼさないことが分かる。

## 5. 工具姿勢の解析

### 5.1 工具姿勢の算出方法

実験結果で解析したことにより、各種切削条

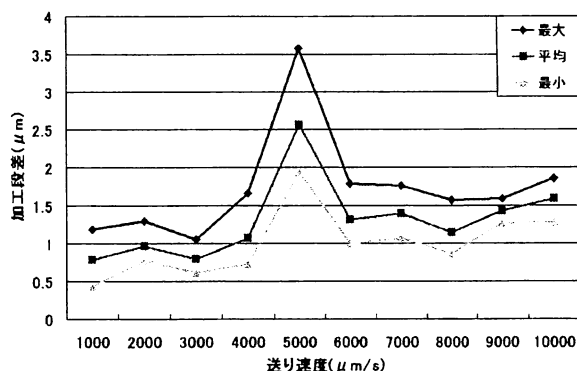


図 5 各送り速度における加工段差の変化

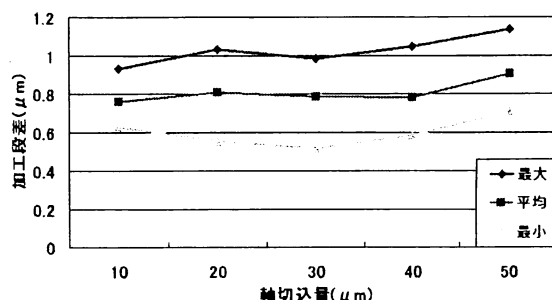


図 6 各軸切込量における加工段差の変化

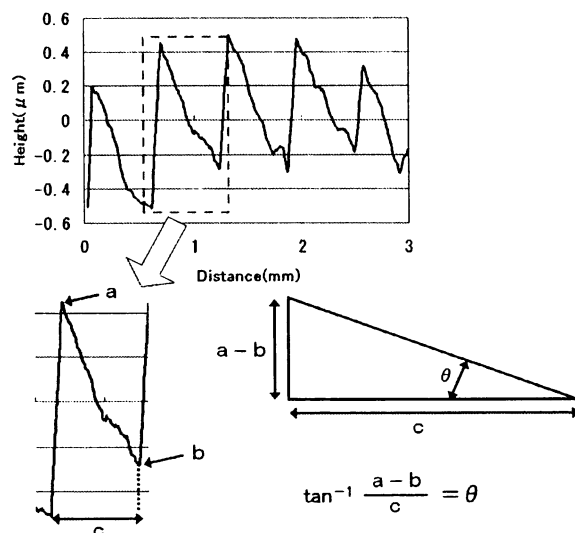


図 7 工具の傾きの算出方法

件においてピッチ方向に加工段差が発生することが分かった。これは、加工時における工具姿勢、すなわち工具の傾きが原因である。そこで、前述の加工段差を利用し、工具の傾きの角度を算出した。補正方法はまず、任意の加工断面の一部を図 7 に示すように取り

出す。次に加工段差  $a-b$  とピッチ方向の送り量  $c$  を導出する。そして図に示すように、 $\theta = \tan^{-1}((a-b)/c)$  を求める<sup>2)</sup>。

## 5.2 各種切削条件における工具の傾き

表2に各送り速度、表3に各軸切込量のそれぞれの工具の傾き変化を示す。加工段差のある一定の数値に基づいて計算を行なっているため、グラフの形状は加工段差と変わらない。しかしながら、図6の算出方法は、工具の傾きを求めているため、単位は「Deg.」となっている。これにより、工具姿勢の補正データとして利用できる。

## 6. 結言

### 6.1 結論

スクエアエンドミル工具により平面加工し、加工段差と工具姿勢を解析し、以下の結論を得た。

- ① 種々の加工条件で切削し、加工段差のパターンを見出すことができた。
- ② 工具の傾きを算出し、段差を補正できるデータを蓄積できた。

### 6.2 今後の課題

- ① 工具の傾き方および撓み方を力学的に解明し、加工段差の推定を行なっていく。また、その推定と実際の加工段差の比較、検討を行なう。
- ② 補正データをもとに、5軸制御工作機械のCAMシステムに適用し、表面精度を向上させる。また、切削加工において加工段差を抑えた表面すなわち鏡面に近い状態を実現させる。

表2 各送り速度における工具の傾き変化

送り速度 ( $\mu\text{m/s}$ )	1000	2000	3000	4000	5000
工具の傾き (Deg.)	0.0721	0.0878	0.0729	0.097	0.2327
送り速度 ( $\mu\text{m/s}$ )	6000	7000	8000	9000	10000
工具の傾き (Deg.)	0.1193	0.1268	0.1045	0.1299	0.1451

表3 各軸切込量における工具の傾き変化

軸切込量 ( $\mu\text{m}$ )	10	20	30	40	50
工具の傾き (Deg.)	0.0691	0.0735	0.0715	0.0711	0.0822

## 参考文献

- 1) 池田直人、小林義和、白井健二、戸澤幸一：エンドミル加工による表面テクスチャの平面度評価に関する研究、2008年度精密工学会秋季学術講演会講演論文集(2008)、155
- 2) 池田直人、小林義和、白井健二、戸澤幸一：スクエアエンドミル工具による平面加工の精度評価に関する研究、型技術者会議2008講演論文集(2008)、146
- 3) Yoshikazu KOBAYASHI、Kenji SHIRAI、Masaaki SATO、Kouichi TOZAWA：Development of Surface Texturing System by Mechanical Machining、19th ASPE Annual Meeting(2004)
- 4) Naoto IKEDA、Yoshikazu KOBAYASHI、Kenji SHIRAI、Kouichi TOZAWA：ANALYSIS OF SURFACE ACCURACY BY END MILLING、23rd ASPE Annual Meeting and 12th ICPE(2008)、594