

## エンドミル加工による面精度の評価に関する研究

### A Study on Accuracy Evaluation of Surface by End Mill Machining

○戸井田直仁\*, 小林義和\*\*, 白井健二\*\*, 戸澤幸一\*\*\*

○Naohito Toida\*, 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 Corporation

**キーワード**: 表面テクスチャ (Surface texture), 機械精度 (Machining accuracy), 加工 (Milling),  
CAD/CAM, CAT

**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 戸井田直仁,  
TEL: (024) 956-8824, Fax: (024) 956-8863, E-mail: u136114@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の視覚的な付加価値や機能向上を図るため表面テクスチャに関する研究が行われている<sup>1)</sup>. 表面テクスチャの加工方法としてはエッチングによるものが主流であるが, エンドミルを用いて再現性の高い機械加工による表面テクスチャの生成法が注目されている.

しかしながら, この工作機械においては工作機械の熱変形, 高速回転時の主軸・工具のアンバランスおよび切削抵抗による工具の変形などの要因が加工精度に影響する. そのため高精度な表面テクスチャを生成するためには, 加工精度を測定・評価して, これら

の問題を解決する必要がある.

本研究においては, フラットエンドミル工具で加工した表面テクスチャを走査型白色光干渉計により高精度に測定し, 同時に加工の際に主軸から取得した加工負荷を測定し, テクスチャ生成における加工誤差の特徴を解析した.

## 2. 研究の方法

加工方法と形状精度の評価法を Fig.1 に示す. まず, フラットエンドミル工具により, 溝加工する. 加工後, 走査型白色光干渉計により形状精度を測定し, 同時に加工の際に主

軸から取得した加工負荷を測定した。走査型白色光干渉計により測定した形状精度の評価法は、形状の最大値と最小値の差を形状精度の値とする。検証対象としては、加工部全体、加工部の入口と出口である。加工部の入口と出口は、その最大値と最小値との差をうねりとしている。検証実験は、以下の3項目について行った。

- (1) 各種加工条件により加工した形状の形状精度を走査型白色光干渉計により測定する。
- (2) 形状精度と加工負荷の相関を検証する。

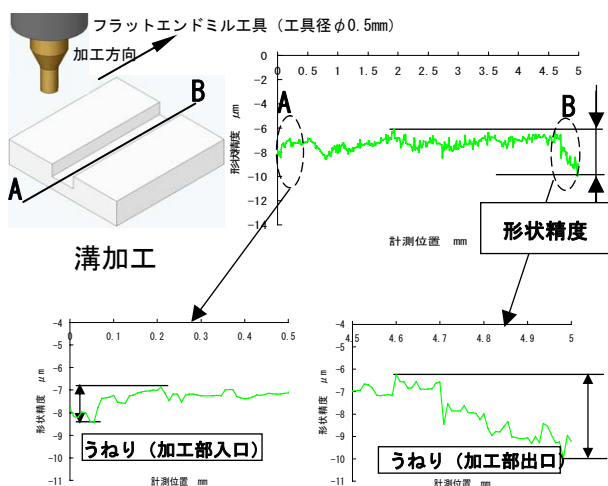


Fig.1 加工方法と形状精度の評価法

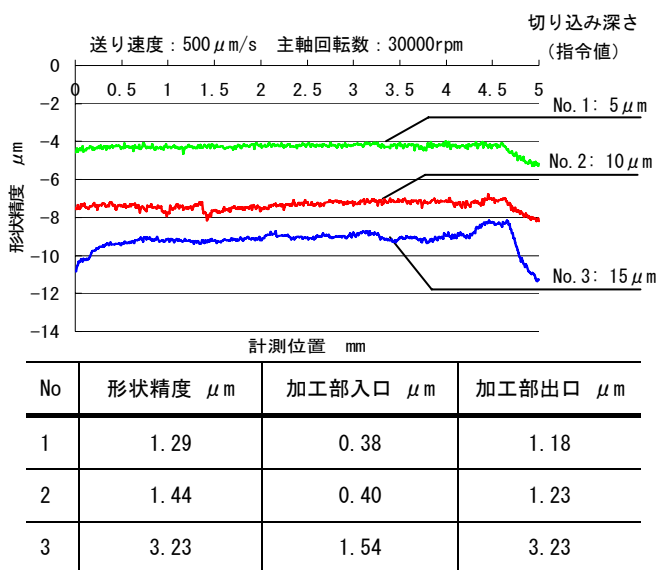


Fig.2 溝加工による形状精度

- (3) 形状精度と加工負荷の変動量による相関を検証する。

### 3. 加工による形状精度の検証

微細加工における形状精度の解析を目的に検証実験を行った。フラットエンドミル径  $\phi 0.5\text{mm}$  により、高精度な仕上げ加工を想定して、切り込み深さを微小な切込みに設定し加工した。送り速度は  $500\mu\text{m/s}$ 、主軸回転数は  $30000\text{rpm}$  である。材料は鋼材(S50C)を対象に各種加工条件において、加工後の形状精度を走査型白色光干渉計により測定し、実際の値をプロットした。

Fig.2 は、溝加工による形状精度を示す。この結果から以下のことがわかった。形状精度は全ての加工条件において変動している。切り込み深さが大きくなるにつれ、形状精度が全体的に大きく変動し、同様に加工部の入口・出口のうねりも大きいことがわかる。加工部の入口・出口においては、形状精度より大きい値を示している。加工条件 No. 3 は、形状精度が大きく変動し、加工部の入口・出口ともに大きなうねり傾向を示した。

### 4. 加工部の入口・出口と加工負荷の相関の検証

形状精度と、加工の際に主軸から取得した加工負荷との相関の検証を行った。形状精度の変化が大きい傾向を示した加工条件 No. 3 について検証する。Fig.3 に検証対象における形状精度と加工負荷を示す。

Fig.3(a)は、加工部入口における形状精度と加工負荷の関係を示す。加工部入口においては、切削量が増加することにより、主軸に対する加工負荷が増大している。また、加工負荷の大きな変動とともに形状の変動が起きている。

Fig.3(b)は、加工部出口における形状精度

と加工負荷の関係を示す。加工部出口では、切削量の減少とともに加工負荷も徐々に小さくなっている。また、形状精度と加工負荷の変動量は加工部入口より大きいことがわかる。形状精度の変動は、加工負荷との相関があることを確認した。

## 5. 形状精度の解析

Fig.2, Fig.3 の測定結果から形状精度に関して、以下の3点のことがわかった。

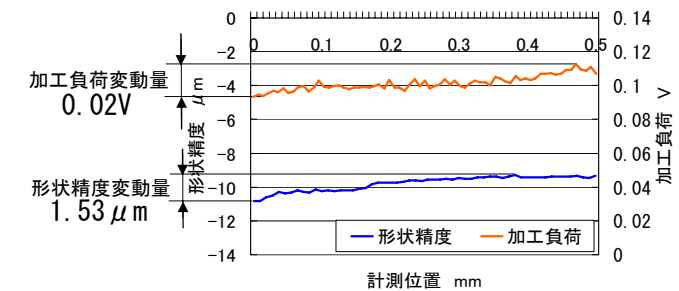
- (1) 加工部の入口・出口は深く切込んでいる。
- (2) 加工負荷の大きな変動により、加工部の入口・出口の形状は深く切り込まれている。
- (3) 形状精度と加工負荷には、相関がある。

加工している最中の工具の変化を Fig.4 に示す。これは形状精度から、加工部入口において、アプローチの際には、試料と工具の関係は垂直であるが、切り込むにつれて工具

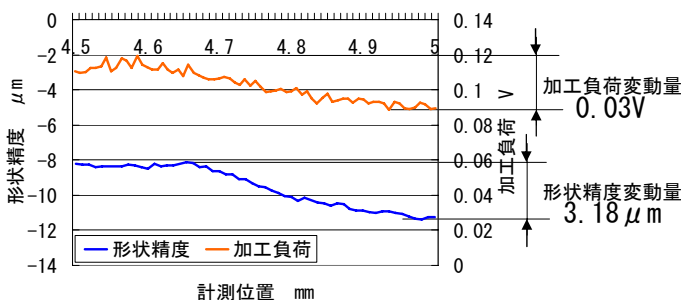
が徐々に撓み始めることを示している。また、切削量が増すにつれ、工具も撓み、加工部出口付近まで撓みながら加工されている。出口においては、切削量が減少するとともに工具が撓まずに加工している。そして、切込み深さが大きいほど、工具が大きく撓み、同時に加工部の入口・出口のうねりも大きくなる。本来であれば、形状精度は入口・出口と形状全体の変動量の差が生じないことが望ましい。したがって、工具が撓んでしまう現状においては、深く削った場合でも高精度加工を行う加工方法を検討する必要がある。

## 6. 形状精度と加工負荷の変動量の相関の検証

形状精度と加工負荷の変動は相関がある。そのため、形状精度と加工負荷の変動量により、加工部の入口・出口の相関があるかを検証した。加工条件 No.3 を例題として加工し、検証対象別に測定値をプロットした。Fig.5(a)は、加工部入口の測定結果である。加工負荷と形状精度の変動量は相関があり、相関係数は0.59である。Fig.5(b)は、加工部出口の測定結果である。加工部出口においても同様の傾向を示し、相関係数は0.65であり、加工部入口より相関が強いことを確認



(a) 溝加工\_加工部入口



(b) 溝加工\_加工部出口

Fig.3 検証対象における形状精度と加工負荷

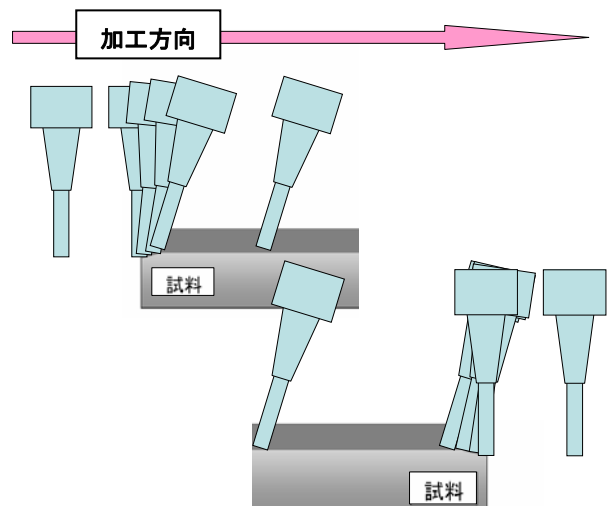
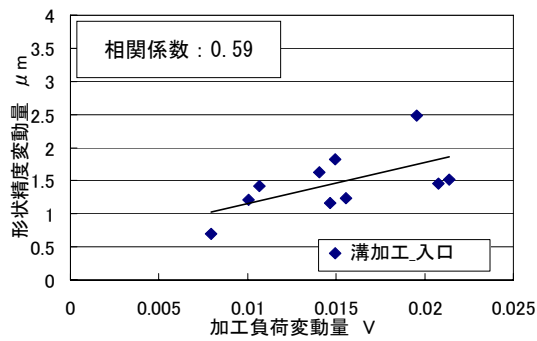
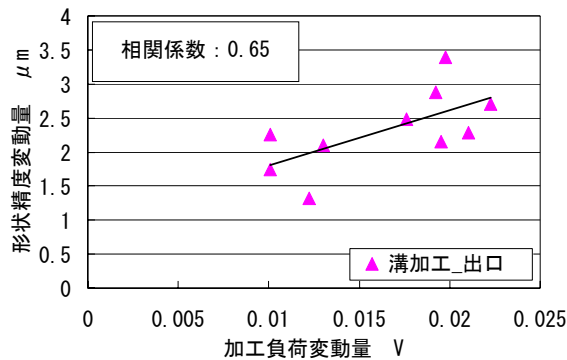


Fig.4 加工している最中の工具の変化



(a) 溝加工\_加工部入口



(b) 溝加工\_加工部出口

Fig.5 形状精度と加工荷の変動量の関係

できた。Fig. 5 より相関係数は 0.5 以上のため、相関がある。また、近似曲線を立てることにより加工条件 No. 3 により加工した際、取得した加工荷を解析することによって、形状精度の変動量を把握できる。

## 7. CAMによる補正

CAM システムより、Fig. 5 の結果をデータベースとして格納し、加工条件の補正の自動化を図る。この加工を行う前段階として、試し加工を行い、加工荷を取得する。取得した加工荷を Fig. 5 の結果を基に解析することにより、形状精度の変動量を把握できる。加工部の入口・出口の切込み深さをその変動量分、補正する。加工条件の補正を行うことにより、加工部の入口・出口は深く切込まずに、形状変動を抑制する加工条件を定めることができる。今後、補正した加工条件により加工した形状精度と、同一の加工条件で補正

せずに加工した形状精度との比較を行うとともに、CAM システムとしての汎用性を検証していく。

## 8. 結言

フラットエンドミル工具により溝加工し、加工後の形状精度と、加工の際に主軸から取得した加工荷を解析した結果、以下の結論を得た。

- (1) 加工部の入口・出口の形状精度は各々の加工荷との相関があることを確認した。
- (2) 形状精度、加工荷の変動量の関係において、相関係数が 0.5 以上により相関があることを確認した。

今後は、本研究の結果を CAM システムへ導入し、加工条件の調整・補正を行い、形状変動を抑制するとともに、CAM システムの汎用性を検証していく。

## 参考文献

- 1) 戸澤幸一，小林義和，白井健二：機械加工による表面テクスチャリングシステムの開発，2004 年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集(2004)，29