

## 複数センサを用いた工作機械の加工状態 遠隔監視システムに関する研究

### A study of processing state remote monitoring system of machine tools with two or more sensors

○諸星雅之\*, 小林義和\*\*, 白井健二\*\*, 近藤幹夫\*\*

○Masayuki Morohoshi\*, Yoshikazu Kobayashi\*\*, Kenji Shirai\*\*, Motoo Kondo

\*日本大学大学院, \*\*日本大学

\*Graduate School, Nihon University, \*\*Nihon University

**キーワード** : 加工状態 (state of processing), 複数センサ (two or more sensors),  
加工負荷 (processing load), 遠隔監視 (remote monitoring)

**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 諸星 雅之,

TEL: (024) 956-8824, Fax: (024) 956-8863, E-mail: hossy@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

## 1. 緒言

金型の加工等においては, 正確にその加工状態を監視するために種々の高価な測定機器を搭載しなければならない. 特に, 微細加工の分野においては, 使用工具の磨耗状態によって加工精度に大きな影響を与える.

本研究においては, 工作機械の加工状態や工具破損を遠隔地から監視するため, 切削中の主軸スピンドルにおける負荷電圧を測定している. そして, この負荷電圧により加工

状態や工具破損および工具の磨耗状態を検出する. また, 主軸スピンドルからの負荷電圧のみでは詳細な加工状態の取得や工具の磨耗状態を取得することは困難である. そこで, 低価格で簡易なセンサを使用することにより工作機械の加工状態, 工具磨耗をより正確に取得することができるシステムを開発した.

## 2. システム構成

Fig. 1 にシステムの基本構成を示す. 本シ

システムは、加工を行う工作機械本体と工作機械の各種電圧を測定する測定機により構成される。工作機械の主軸スピンドルから切削中における負荷電圧の変化を読み取ることで加工状態を監視する。さらに、主軸スピンドルや X、Y、Z ステージスピンドルに複数の温度センサや振動センサを取り付け、各センサ情報を一括して監視することにより工作機械の異常を検出する。測定機は測定したデータを監視するための PC と LAN を用いて結合されている。PC 内においては、本研究で開発を行った測定用のソフトウェアを用いて測定し、取得した負荷電圧及び各センサからの情報を表示する。これらの各種データを監視することにより加工状態の把握、工具破損、切削異常及び工作機械の異常等の検出を行う。<sup>1) 2)</sup>

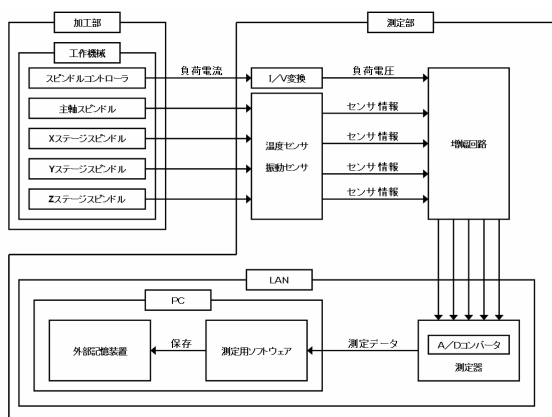


Fig. 1 システム構成

工 具 : ボールエンドミル  
(1.0R)  
材 質 : プラスティック  
送り方向 : 直線加工  
加工領域 :  $5000 \mu\text{m} \times 5000 \mu\text{m}$   
深 さ :  $200 \mu\text{m}$   
送り速度 :  $500 \mu\text{m/s}$   
回 転 数 :  $30000\text{rpm}$

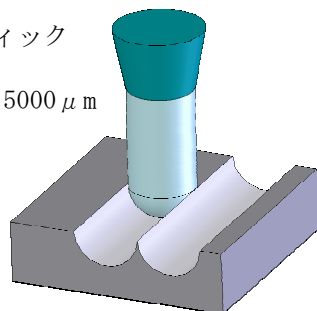


Fig. 2 加工条件

### 3. 負荷電圧の取得

#### 3. 1 切り込み深さの違いによる負荷電圧の取得

加工時の負荷電圧を測定するため加工実験を行った。加工条件として、工具径  $1.0R$  のボールエンドミルを使用し、スピンドル回転数は  $30000\text{rpm}$ 、送り速度を  $500 \mu\text{m/s}$  とした。また、切り込み深さによる負荷電圧の違いを測定するために、切り込み深さを  $100, 200, 300 \mu\text{m}$  に分けた。この加工条件によりプラスチックを切削したときのスピンドルの負荷電圧を測定した。また、切削には、6本の線を描くような直線加工を行った。

加工条件にもとづき測定した負荷電圧を Fig. 3 に示す。電圧が  $0.7 \text{V}$  付近を示している部分が主軸スピンドルのアイドル中にあたる。また、実際に切削を行っているところでは、 $100 \mu\text{m}$  で約  $0.95 \text{V}$ 、 $200 \mu\text{m}$  で約  $1.00 \text{V}$ 、 $300 \mu\text{m}$  で約  $1.05 \text{V}$  となっており、ほぼ比例関係にある。本実験においては、6本の線を描くように加工を行っているため、取得した負荷電圧から加工が6回繰り返されている。このことから、スピンドルの負荷電圧の取得により加工状態の取得が可能である<sup>3)</sup>。

材質 : プラスティック 送り速度 :  $500 \mu\text{m/s}$   
主軸回転数 :  $30000\text{rpm}$

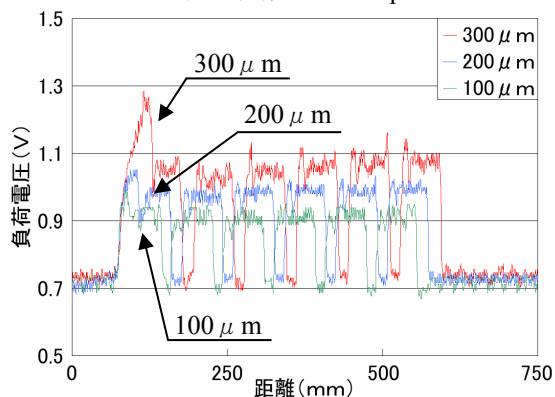


Fig. 3 負荷電圧の比較

### 3. 2 負荷電圧による切削異常の取得

本システムにおいて切削異常を検出するための加工実験を行った。Fig. 4 に加工実験の結果を示す。それぞれの加工条件は、工具径 1.5R のボールエンドミルを使用し、切り込み深さは  $200\mu\text{m}$ 、送り速度は  $500\mu\text{m/s}$ 、主軸回転数を 30000rpm で加工した。材質には、プラスチックを用いて 6 本の線を描くように直線加工したものである。使用工具は、切削異常を検出するため破損のある工具を用いて切削を行い、新しい工具を用いたときの負荷電圧と比較する。

Fig. 4 においては全体的に切削異常の負荷電圧が新しい工具を用いたときの負荷電圧よりも高負荷である。特に高負荷値においては、破損した工具を使用したことにより高負荷となり摩擦熱によってプラスチックが溶けてしまった。この切削異常より、通常より加工負荷が増大し負荷電圧が突出したと考えられる。

## 4. 負荷電圧及び振動センサによる工具磨耗の検出

### 4. 1 加工条件

加工時の負荷電圧、振動センサを測定し、工具の磨耗状態を検出するための加工実験を行った。加工条件として工具径 1.5R のボールエンドミルを使用し、スピンドル回転数は 60000rpm、送り速度は  $500\mu\text{m/s}$  とした。材質はニッケルを使用し、加工領域  $5000\mu\text{m} \times 5000\mu\text{m}$  を  $1000\mu\text{m}$  幅で切削した。また、切り込み深さを  $50\mu\text{m}$  とした。工具のボールエンドミルは、磨耗のない新品工具を使用し繰り返し切削することにより取得した負荷電圧やセンサ情報から工具の磨耗状態を検証した。

### 4. 2 負荷電圧による比較

Fig. 5 に取得した負荷電圧の比較図を示す。ここで示すように、1 回目と 5 回目の加工においては大きな負荷電圧の相違を検出することができなかった。したがって、加工時の負荷電圧のみでは、工具の磨耗状態を検出することは、非常に困難であると考えられる。

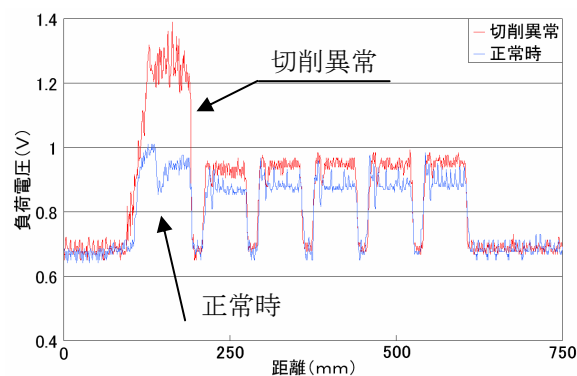


Fig. 4 切削ミスの検出

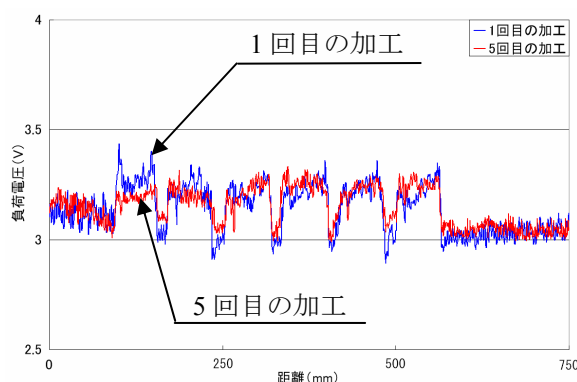


Fig. 5 負荷電圧による比較

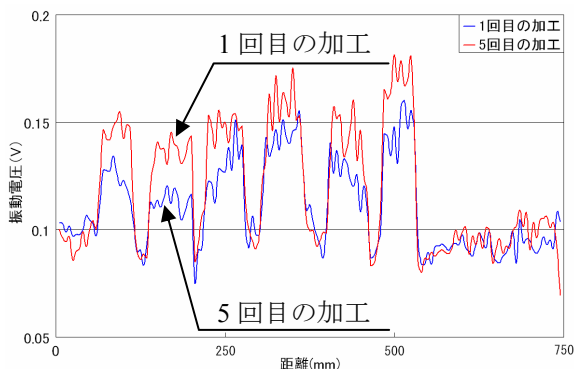


Fig. 6 振動センサによる比較

### 4. 3 振動センサによる比較

Fig. 6 に振動センサによる比較を示す。Fig. 6 に示すように 1 回目の加工時の振動と比較すると 5 回目の加工時における加工の振動が大きいことがわかる。また、実際に切削した試料の切削面は、1 回目の加工よりも切削面が粗くなっていることを確認することができた。これは、繰り返し切削したことにより工具が磨耗したためである。

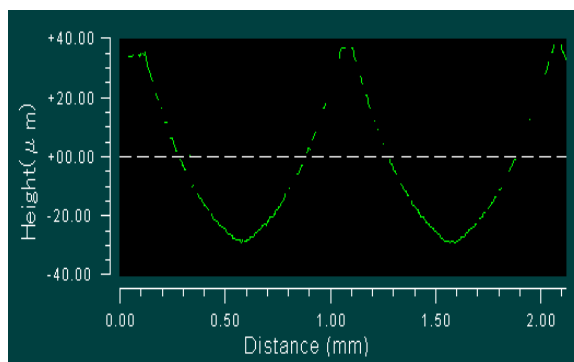
切削面について走査型白色光干渉計を用いて検証した。Fig. 7 (a) 一回目の加工時の検証結果、Fig. 7 (b) に五回目の加工時の検証結果を示す。それぞれのグラフを比較してみると、一回目の加工では、工具の曲線が確認できたが、磨耗が進んでいると考えられる五回目の加工では、ボールエンドミルの曲線を確認することができなかった。

## 5. 結言

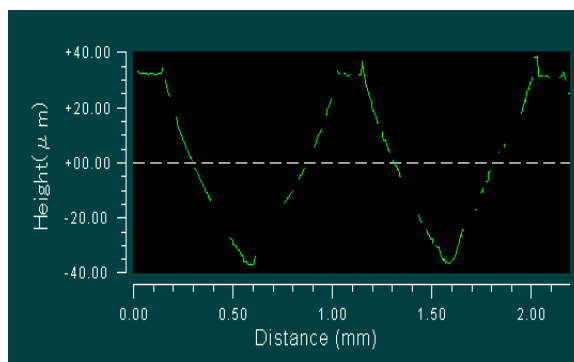
### 5. 1 結論

工作機械の加工状態遠隔監視システムの開発を行い、以下の結論を得た。

- (1) 工作機械における主軸スピンドルの負荷電圧を測定することにより加工状態の監視が可能であることが分かった。
- (2) 切り込み深さの相違により負荷電圧に違いが生じることから、より正確な加工状態の監視や工具破損の影響による切削中の異常を検出することができるようになった。
- (3) 工作機械に振動センサを取り付け、負荷電圧との同時監視ができるようになった。また、負荷電圧のみでは、検出が困難な工具の磨耗状態を検出することができるようになった。



(a) 1 回目の加工時



(b) 5 回目の加工時

Fig. 7 白色光干渉計による検証

### 5. 2 今後の課題

- (1) 加工中の工具温度の切削面に与える影響を考慮した加工精度の向上を行う。
- (2) 取得した加工状態から最適な加工条件を検証し、金型の作成を行う。

### 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, 29/30, (2004)
- 2) 細川 晃, 周 智鵬, 山田 啓司, 上田 隆司: 小径ボールエンドミルによる高速ミーリングに関する研究, 精密工学会誌, vol.17, No.12, 1527/1532, (2004)
- 3) 齋藤 政貴, 小林 義和, 白井 健二: 工作機械の加工状態の取得・解析, 型技術, 19, 8, 42/43, (2004)