

# 主軸変位センサを用いた切削状態の監視

## Monitoring of Machining Process by Using Spindle Displacement Sensors

○ 正 松原 厚 (京大工) Sarhan Ahmed (京大工) 山路伊和夫 (京大工)  
正 茨木創一 (京大工) 正 新家秀規 (森精機) 正 垣野義昭 (K R I)

Atsushi MATSUBARA, Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo, Kyoto  
Sarhan AHMED, Kyoto University  
Iwao YAMAJI, Kyoto University  
Soichi IBARAKI, Kyoto University  
Hidenori SARAIE, Mori Seiki Corp., Yamato Koriyama, Nara  
Yoshiaki KAKINO, Kakino Research Institute, Muromachi Oike, Nakagyoku, Kyoto

This paper deals with the cutting force monitoring for intelligent end milling operations. A monitoring method, which utilizes sensitive displacement sensors, is discussed. The sensors are installed in X Y directions near the front bearings of the spindle, to detect the small displacements of a spindle caused by cutting forces. Cutting forces are estimated from the displacement signals by the simple signal processing technique. Monitoring tests are carried out under end milling operations on aluminum, steel and cast iron workpieces. The estimated cutting forces are compared with the measured cutting forces by the tool dynamometer to validate the accuracy and reliability. The test results show that the monitoring system is reliable for the adaptive control of machining accuracy for end milling process.

*Key Words*: NC Machine Tools, NC Servo System, Cutting Force, Monitoring System, Displacement Sensor

### 1. 緒 論

エンドミル加工を高速・高精度に行うために適応制御機能を用いる方法について過去多くの研究がなされてきた<sup>1)</sup>. 適応制御の実用化に際して, 最大の課題の一つは安価で信頼性のあるプロセスモニタリング方法の確立である. Altintas らは送り系のモータ電流を用いて切削負荷をモニタリングする手法<sup>2)</sup>を提案し, 著者らもこの方法をドリル加工・タップ加工に応用し, 加工時のスラスト力とトルクのモニタリングと加工力適応制御システムを開発した<sup>3)</sup>. しかし,  $\phi 10$ 程度の小径の工具を使った中粗・仕上げ加工における切削抵抗はガイドのしゅう動抵抗以下であるため, 切削負荷のモニタリングが難しくなる. この問題に対して著者らはスピンドルのフロントベアリング近傍に変位センサを配置し, 切削力に伴う微小な主軸変位を検知して, 切削力をモニタリングする方法について研究を行っている<sup>4)</sup>. 今までの研究では変位センサの信号をローパスフィルタで処理し切削抵抗の推定を行ってきたが, センサ信号にドリフトが生じ, 切削抵抗推定の誤差となる. 今回は, フィルタ処理しない変位センサ信号を用いて, 切削抵抗との関係を調査する.

### 2. 主軸変位センサと実験機

In this research, the cutting force which occurs in the end mill tool edge making use of the principal axis displacement sensor which is installed in the spindle head of machining center, monitoring is done. In chart 1 specification of displacement sensor, installing position of the displacement sensor is shown in figure 1.

変位センサで検出される主軸変位は, 負荷の大きさおよびフロントベアリング中心から切削力の作用点までの距離

と, 切削力に比例する. 工具負荷と主軸変位センサの関係を調査し, 切削抵抗が変位センサ信号でモニタリングできるかを検証する. 検証実験に使用したマシニングセンタ(MC)は, 縦型 MC であり, 最高主軸回転数: 20000rpm, 最高送り速度: 33m/min, 最高送り加速度: 0.67~0.56G, 主軸ツールホルダは BT40 相当である.

Table 1 Specifications of the displacement sensor

Detection principle	Eddy current
Measurement range mm	0~1
Output scale V	0~5
Nominal sensitivity mm/V	0.2
Linearity %of full scale	$\pm 1$
Dynamic range kHz	1.3 (-3dB)

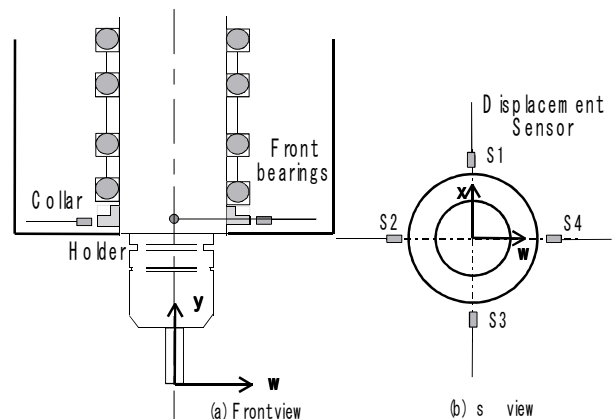


Fig. 1 The position of the displacement sensors displacement

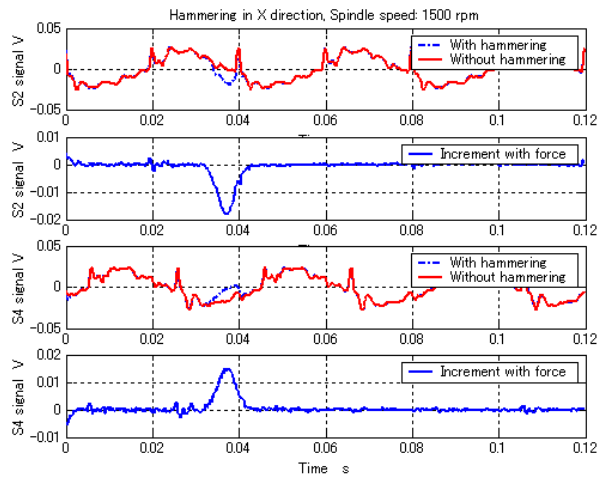


Fig. 2 Displacement signals with and without hammering

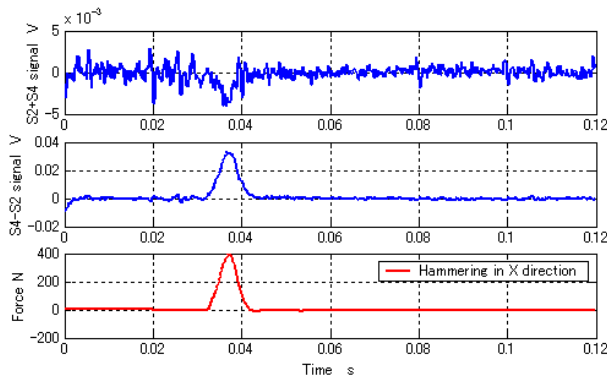


Fig. 3 Comparison of processed displacement signal and hammering force

### 3. Experiment.

#### 3.1 Impulse excitation experiment

インパルスハンマを用いて、ツールホルダ端を加振し、力信号と変位センサ信号を測定する。なお変位センサ信号は実機装着後、厳密なキャリブレーションを行っていないため、電圧値で表示する。図2は主軸を1500rpmで回転したときのX方向センサS2とS4の信号の値である。加振時の信号と非加振時の信号の差分をとると加振力に起因する信号が得られる。図3はS2とS4の和と差をとった信号とインパルスハンマの加振力を示す。S2+S4は0になるべき値であるが、ハンマリング時に若干0からずれる。これはS2とS4のセンサ感度が完全に一致していないためと考えられる。一方S4-S2はインパルス力とほぼ線形であり、変位センサはハンマリングによる主軸の変位を検出できていることがわかる。Y方向センサについても同様の実験を行ったところ同様の結果が得られた。

#### 3.2 Cutting experiment

Doing cutting test next really, it compared the output of the tool dynamometer and the principal axis displacement sensor. The work material to be the carbon steel (S55C), as for the use tool the end mill of diameter 10mm (the tool material: The super it is hard, number of flute: 4) So it is. Cutting form was down cutting, side cutting it did to X direction with dry process. As for cutting condition, principal axis rpm: The sending 0.5mm/tooth per 1500rpm and one blade (, feed rate:

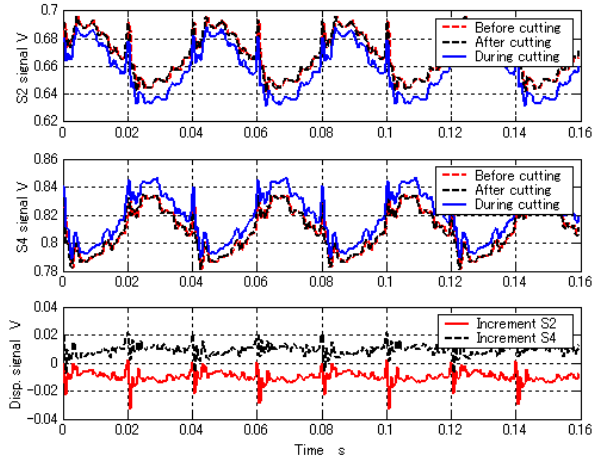


Fig. 4 Displacement signals with and without cutting

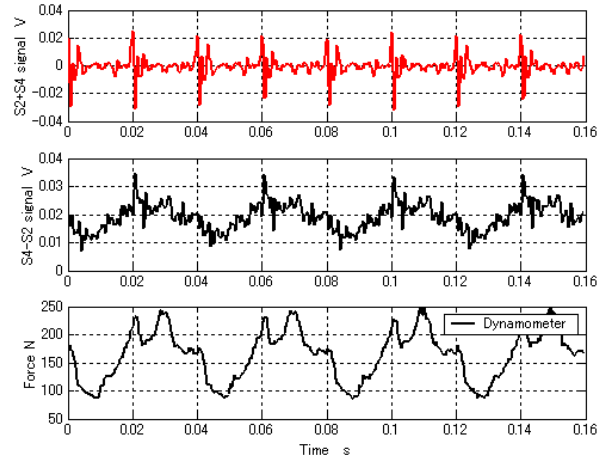


Fig. 5 Comparison of processed displacement signal and cutting force

600mm/min) Axial direction cut: It is 10mm. Furthermore cutting force measurement ranked making use of the tool dynamometer. The measurement result of principal axis displacement and cutting force (X axial direction) it shows in figure 4.

From the figure it is found when cutting that profile of principal axis displacement sensor signal S2 and S4 has shifted. The value which pulled the profile when cutting from profile at the time of non cutting large doing in 0 V, almost becomes the object. In the same way, the fact that the harmony of S2 and S3 and the result and the cutting force which take difference are compared is figure 5. As for S2 + S4 noise on the periodic spike appears, but, this is observed by also the field signal of S2, S4, the influence remains. In addition S4+S2 is seen cutting force and correlation same as the time of impulse excitation experiment.

#### 参考文献

- 1) 例えば 白瀬他, NC プログラムを必要としない機械加工のための仮想加工システムの開発, 機論C編, 66,644(2000-4), 1368-1373.
- 2) Y. Altintas. Prediction of Cutting Forces and Tool Breakage in Milling from Feed Drive Current Measurements, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 114 (1992): 386~392.
- 3) 藤嶋他, 知能化工作機械によるドリル加工に関する研究 (第

1 報), 精密工学会誌, **66**, 11 (2000) 1792~1796.