

エンドミル加工における切削抵抗のモニタリング

京都大学 坂平 昌浩, 茨木 創一, 松原 厚, 垣野 義昭  
森精機製作所 新家 秀規

1. 緒言

現在,ものづくりの現場において高効率・高精度な加工が要求されている.そのために,高速・高加速度マシニングセンタの開発が進んでいる.しかし,このようなマシニングセンタの性能を十分に活用して高効率な加工を行うためには,加工条件の決定や加工工程の監視など非熟練者にとって困難な点が多い.そこで著者らは,加工条件の最適化やリアルタイムでの適応制御を自律的に行うシステムを組み込んだ知能化工作機械の開発を行ってきた<sup>1)</sup>.ここで,リアルタイムでの適応制御を行っていくためには,加工状態の監視が必要となる.その中でも特に切削抵抗のモニタリングは重要な課題である.

切削抵抗のモニタリングの方法として,圧電素子組み込み型などの高精度な工具動力計が広く利用されているが,コスト面などから一般の機械に広く実装することは困難である.より経済的な方法として,主軸のたわみから推定する方法<sup>2)</sup>などが提案されてきたが,実用化には至っていない.これらの付加的なセンサ(外部センサと呼ぶ)を利用する方法に対して,NC工作機械が動作制御用に通常備えている送り系のサーボモータやスピンドルモータの電機子電流(内部センサと呼ぶ)を利用する方法はもっと経済的である.しかし,サーボモータ電機子電流のみを利用した場合,特に送り軸が静止している方向は,摺動抵抗の影響が大きくなるために切削抵抗のみを検出することは困難になり(図1参照),スピンドルモータ電機子電流のみを利用した場合,切削トルク値の推定しかできないという問題点がある.

本研究ではストレートエンドミルでの切削加工を対象として,サーボモータ及びスピンドルモータの電機子電流の情報を組み合わせることにより切削抵抗の全ての分力を推定する方法について研究する.

2. 内部センサを用いた切削抵抗のモニタリングの方法

本研究で用いる切削抵抗のモニタリングの方法を述べる. $x, y$ 各方向のサーボモータ電機子電流値 $I_x, I_y$ からモータ出力を換算し,空運転時のサーボモータ電機子電流値より推定した動摩擦力分および速度 $v_x, v_y$ から推定した慣性力分を引くことにより,各方向での切削抵抗値 $F_x, F_y$ を求める.そこから,式(1)のように運動方向切削抵抗 $F_m$ を推定できる.また,スピンドルモータの電機子電流値の電圧値からスピンドルの出力トルクを求め,工具半径で割ることにより工具接線方向切削抵抗 $F_t$ を推定できる.これら二成分と切削関与角 $\alpha_{en}$ の情報を用いて,式(2)より静止方向切削抵抗 $F_s$ ,工具法線方向切削抵抗 $F_n$ が,式(3)より合成切削抵抗 $F$ が求まる.

$$F_m = \frac{v_x \times F_x + v_y \times F_y}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} F_n \\ F_s \end{pmatrix} = \frac{1}{\sin \alpha_{en}} \begin{pmatrix} 1 & \cos \alpha_{en} \\ \cos \alpha_{en} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_m \\ F_t \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$F = \sqrt{F_m^2 + F_s^2} \quad (3)$$

3. リアルタイムでの切削抵抗モニタリング実験の方法

2章で示した方法により,図1のような直線切削においてリアルタイムでの切削抵抗モニタリング実験を行った. $y$ 方向への直線切削なので,この場合だと $x$ 方向は静止軸方向, $y$ 方向は運動軸方向となる.実験条件は以下のとおりである.工具:(Ti,Al)Nコーティング超硬ストレートエンドミル(直径10mm,刃数4,突き出し量35mm),ワーク材料:炭素鋼S50C,工作機械:高精度立型マシニングセンタ,主軸回転数:2800 min<sup>-1</sup>,工具中心送り速度:1000mm/min,半径方向切込量:1.0mm,軸方向切込量:10mm,切削形態:ダウンカット,クーラント:エアブロー.

2003年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集

4. 実験結果および考察

リアルタイムでの切削抵抗モニタリング実験の結果を図2~図4に示す.ここで,測定値とは圧電素子型工具動力計によって測定された切削抵抗であり,推定値とは各モータ電機子電流から2章に示した方法で推定した切削抵抗である.図2は各モータ電流値から直接的に計算したもので,運動方向切削抵抗,工具接線方向切削抵抗ともに良好に推定できている.図3左は,サーボモータ電機子電流値のみから推定した静止方向切削抵抗で,摺動抵抗の影響により良好に推定できていない.それに対し,図3右のようにスピンドルモータ電機子電流値と切削関与角の情報を組み合わせることで少なくとも低周波成分は良好に推定できるようになった.また,図4の工具法線方向切削抵抗と合成切削抵抗も少なくとも低周波成分は良好に推定できている.

5. 結言

摺動抵抗の影響が支配的になり,安定した推定は行えない問題があった静止軸方向の切削抵抗を,サーボモータ電機子電流値と摩擦力の影響が小さいスピンドルモータ電機子電流値とを組み合わせることで,推定する方法を提案した.ただし,加工制御に応用するためには摺動抵抗の影響をさらに除去し,高周波成分についても推定精度を向上させる必要がある.

参考文献

- 1) Tomonori Sato et al. "Proposal of Extended System Framework of Intelligent Machine Tool," 2002 Japan-USA Symposium on Flexible Automation, vol.1, pg.15-20, 2002.
- 2) 松原 厚,垣野 義昭,小川 高志:知能化エンドミル加工のための切削抵抗モニタリング,日本機械学会第一回FA部門講演会,2001

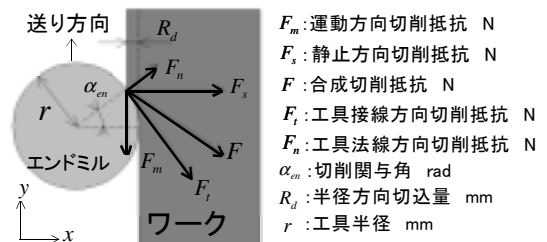


図1 切削抵抗の各成分

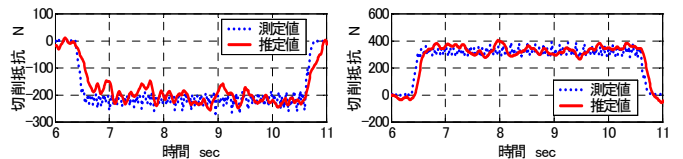


図2 運動方向切削抵抗(左)と工具接線方向切削抵抗(右)

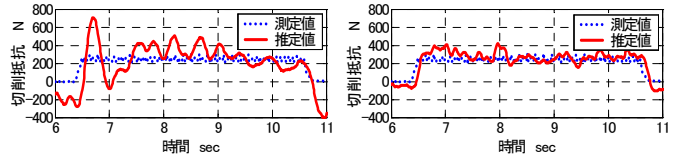


図3 静止方向切削抵抗の比較

(左:サーボモータ電機子電流値のみからの推定値  
右:運動方向成分と工具接線方向成分からの計算値)

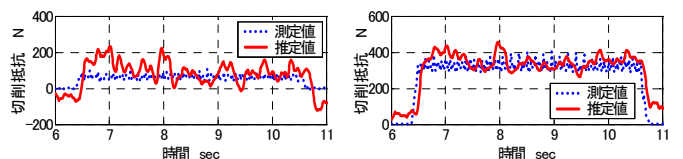


図4 工具法線方向切削抵抗(左)と合成切削抵抗(右)