

# 工具温度測定による切削加工監視技術の開発

南 晃\*

## Development of Monitoring Technology for Cutting Processes by Cutting Tool Thermometry

Akira MINAMI

切削加工において、工具表面と切屑間に摩擦や被削材が切屑になるときのせん断変形により、工具刃先周辺には多量の切削熱が発生する。本研究において、赤外線カメラで測定した切削加工中の工具刃先周辺の温度が、加工監視パラメータとして使用可能かどうかについて、切削抵抗値と比較しながら検討を行った。

その結果、工具温度を測定することにより加工条件に依存しないで加工状態の推測が可能であり、加工監視パラメータとして有望であることがわかった。

**Keyword** : 工具温度, 切削抵抗, 加工監視, 赤外線カメラ, 切削加工

### 1. 緒 言

金型や機械部品を製作するための加工法には鋳造, 溶接, 鍛造, プレス加工, 切削加工等がある。中でも, 切削加工は代表的な加工法であり, その重要性がますます増加しており, 加工法の高度化, 低コスト化, 短納期化等, さまざまな要求が強くなっている。

これらの要求に対応するため, 長時間自動無人運転, 加工精度確保, 工具摩耗や破損防止等多くの技術的課題を解決しなくてはならない。そのための技術要素のひとつとして, 切削加工状態を監視しトラブルを未然に防止したり, 加工条件の最適化を図る技術の確立があげられる。

切削加工監視のためには, 切削加工の状態を連続して測定する必要がある。代表的なものとして, 切削抵抗を測定する方法があるが, 切削加工のさまざまな現象が切削抵抗というひとつの数字に集約されるため, その変化から逆算して切削加工の諸現象を分析することは困難である。

本研究では, 赤外線カメラで加工中の工具や被削材を測定することで切削加工監視を行う技術に着目し, その可能性について検討を行った。

### 2. 切削加工における工具温度測定

#### 2. 1 切削加工における切削状態の把握

図1に切削加工のメカニズムの概要を示す。切削加工において, 工具刃先が被削材を切削することで, 工具表面と切屑の間に摩擦が生じる。一方, 被削材は切削加工によってせん断変形しながら切屑となる。この摩擦とせん断変形により, 工具刃先周辺には多量の切削熱が発生する。この熱の大半は切屑とともに除去されるが, 残った熱により被

削材や切削工具の温度は上昇する。

切削抵抗と工具温度の変化との関連性を実験的に確認した例は少なく, 未だ解明されていないのが実情である。

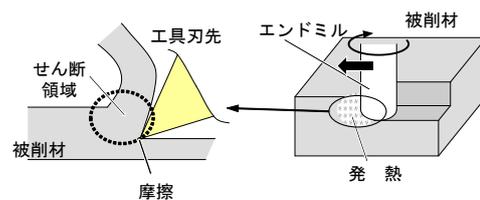


図1 切削加工のメカニズムの概要

#### 2. 2 フライス加工における工具温度測定

旋削における工具刃先の温度測定は, 工具が固定されており比較的容易で多くの研究がなされている。

しかし, エンドミル等を使用したフライス加工では, 切削工具が高速回転し, 断続的切削を行うので, 局所的に高温となる工具刃先の温度測定は極めて困難である。

赤外線カメラによる温度測定は, 非接触測定が可能, 機器が熱的な影響を受けない, 設置の自由度が高い, 熱画像により広範囲で多様な情報を得られる等フライス加工における工具温度測定に対して優れた特長を持つ。

### 3. 実験装置および実験方法

#### 3. 1 実験装置の構成

図2に実験装置の概要, 図3に実験装置の外観を示す。主な構成機器はマシニングセンタ, 切削動力計, 赤外線カメラである。

マシニングセンタで被削材を切削し, 切削動力計で切削抵抗を測定した。被削材は切削動力計に取り付けた状態でテーブルにバイスで固定した。赤外線カメラは常に同じ位置で切削工具を測定するように, マシニングセンタに固定

\*生産技術部

されたフレームに取り付け、切削時の熱画像を撮影・記録し、熱画像から工具刃先の温度を取得した。

3. 2 実験方法

送り速度、切削幅、主軸回転数をそれぞれ変化させて切

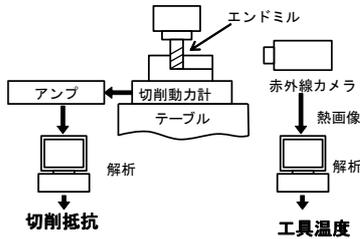


図2 実験装置の概要

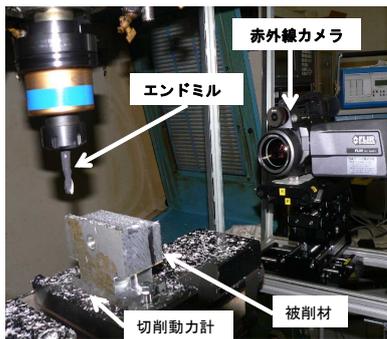


図3 実験装置の外観

削抵抗と工具温度を測定し、これらの関連性を調べ切削工具温度が加工状態を監視するパラメータとなりうるかを検討した。

実験の条件を表1に示す。切削長 100mm の側面切削をダウンカットで行った。切削油剤は使用せず、エアブローによるドライ加工とした。切削深さは 4.0mm とし、送り速度、切削幅、主軸回転数をそれぞれ変化させ、赤外線カメラで工具温度、切削動力計で切削抵抗を測定した。

送り速度と切削幅を変化させた場合は主軸回転数を 1,000rpm、2,500rpm で、主軸回転数を変化させた場合は送り速度を 100mm/min、250mm/min で実験を行った。

また、赤外線カメラの放射率は 0.15 とした<sup>1)</sup>。

表1 実験の条件

切削方法	側面切削, downcut	
切削深さ	4.0mm	
送り速度	100~400mm/min	
切削幅	1.0~4.0mm	
主軸回転数	500~4,000rpm	
切削油剤	なし, (エアブロー)	
被削材	Aluminium Alloy A5052	
切削工具	種類	フラットエンドミル (ノンコート)
	材種	ハイス鋼
	直径	10mm
	刃数	2枚

4. 実験結果および考察

4. 1 切削条件と切削温度、切削抵抗の関係

図4に送り速度、切削幅、主軸回転数と工具温度、切削抵抗の関係を示す。

a) 送り速度と工具温度、切削抵抗の関係

送り速度が大きくなると工具温度と切削抵抗はともにほぼ直線的に大きくなった。また、切削幅が大きくなる

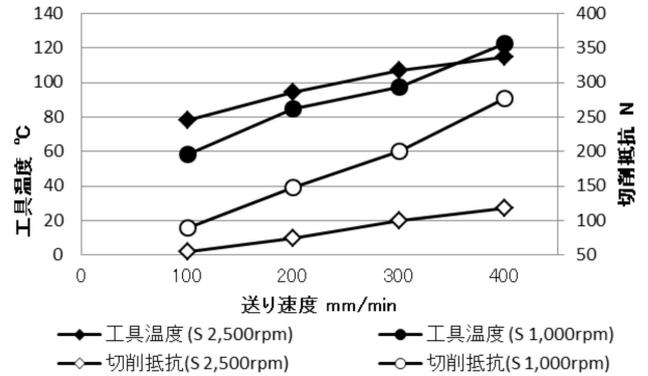
b) 切削幅と工具温度、切削抵抗の関係

送り速度の場合と同様、切削幅が大きくなると工具温度と切削抵抗はともにほぼ直線的に大きくなった。

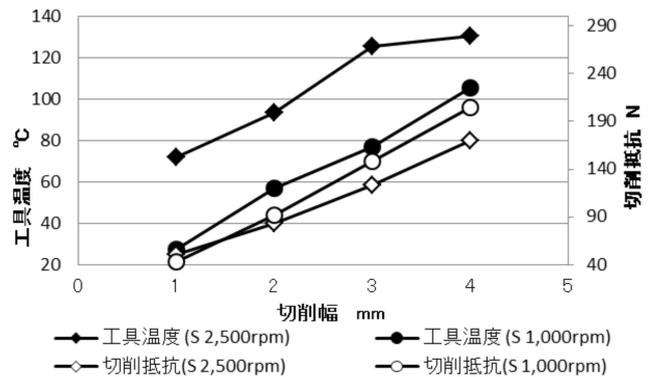
c) 主軸回転数と工具温度、切削抵抗の関係

主軸回転数が大きくなると切削抵抗が小さくなった。これは一般的によく知られている現象である<sup>2)</sup>。

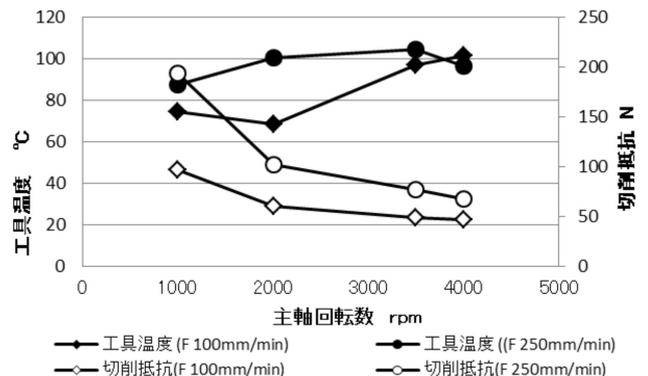
一方、工具温度は大きな変化はなく、顕著な傾向を示さなかった。



a) 送り速度と工具温度、切削抵抗



b) 切削幅と工具温度、切削抵抗



c) 主軸回転数と工具温度、切削抵抗

図4 切削条件と工具温度、切削抵抗の関係

4. 2 工具温度と切削抵抗の関係

図5に送り速度, 切削幅, 主軸回転数を変化させた場合の工具温度と切削抵抗の関係を示す。

a) 送り速度を変化させた場合

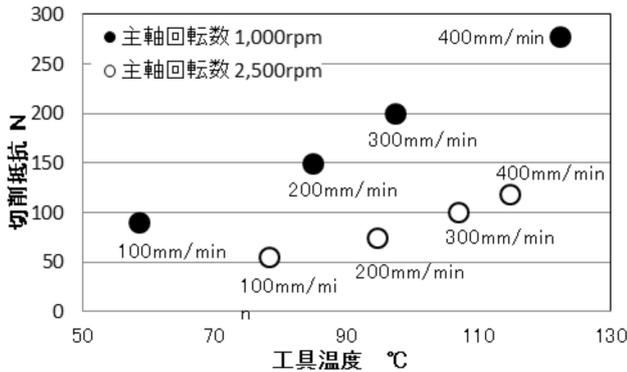
送り速度が大きくなると, 工具温度, 切削抵抗とも大きくなり, 両者には強い相関が認められた。しかし, 主軸回転数を変えると, それぞれの回転数で異なる曲線を示した。

b) 切削幅を変化させた場合

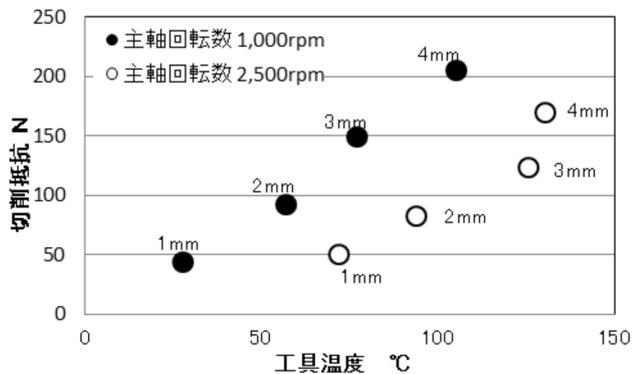
送り速度の場合と同様, 切削幅が大きくなると工具温度, 切削抵抗も大きくなり, 両者には強い相関が認められたが, 主軸回転数を変えると異なる曲線を示した。

c) 主軸回転数を変化させた場合

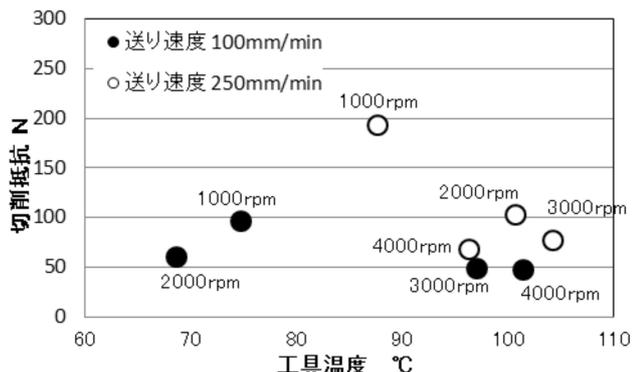
主軸回転数を変化させた場合, 工具温度と切削抵抗の間には明確な関係は認められなかった。また, 送り速度を変えても同様であった。



a) 送り速度を変えた場合



b) 切削幅を変えた場合



c) 主軸回転数を変えた場合

図5 工具温度と切削抵抗の関係

これらのことから, 主軸回転数が一定の場合には, 工具温度と切削抵抗の間には強い相関関係が認められ, 工具温度を測定することで切削抵抗を推測することが可能であり, 加工監視パラメータとして有望であることを示す。

しかし, 主軸回転数を変えると, その関係は異なる曲線にシフトし, 監視パラメータとしては, 主軸回転数ごとに場合分けする必要がある, 適切ではないことを示している。

4. 3 加工監視パラメータとしての工具温度

切削加工時に働く主な力は, 切削工具と切屑間の摩擦力と被削材が切屑となるためのせん断力である。切削工具や被削材の温度はこれらの力により発熱し, 発熱量が大きいほど温度は高くなる。切削時に働く摩擦力とせん断力を F, 切削距離を L, 切削時間を t(sec) とすると, 単位時間あたりの発熱量 q は(1)式で求められる。

$$q = C \times F \times L \div t \dots (1)$$

- F : 切削時に働く力 (N)
- L : 切削距離 (m)
- t : 切削時間 (sec)
- C : 定数 (No Unit)

切削時に働く力は  $L \div t$  は単位時間あたりの切削距離であり, 切削速度 V を表すので, 発熱量 q は(2)式のように表される。

$$q = C \times F \times V \dots (2)$$

- V : 切削速度 (m/sec)

(2)式において F は摩擦力とせん断力の和であり, 切削抵抗を表す。

ここで, 切削抵抗と切削速度の積  $\epsilon$  を考える。 $\epsilon$  と単位時間あたりの発熱量 q の関係は(3)式のように示される。

$$q = C \times \epsilon \dots (3)$$

- $\epsilon$  : 切削仕事率 (N・m/sec)

切削時の発熱による工具温度の変化と  $\epsilon$  の間には強い関連性があることが推測できる。この  $\epsilon$  を「切削仕事率」と呼び, 切削条件ごとに工具温度と切削仕事率の関係について検討を行った。

図6に送り速度を変化させた場合, 切削幅を変化させた場合, 主軸回転数を変化させた場合の工具温度と切削仕事率の関係を示す。

a) 送り速度を変化させた場合

工具温度と切削仕事率の間には強い相関が認められた。また, 主軸回転数が 1,000rpm と 2,500rpm と異なる場合も同一曲線上にあることがわかった。

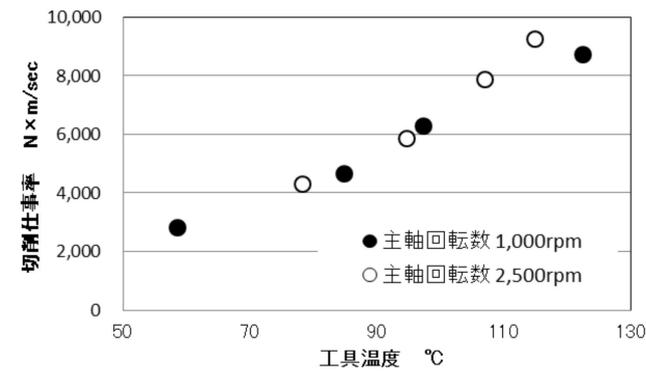
b) 切削幅を変化させた場合

送り速度の場合と同様, 工具温度と切削仕事率の間に強

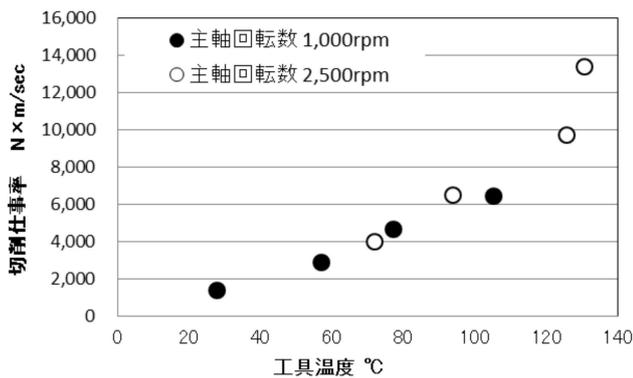
い相関が認められ、主軸回転数が 1,000rpm と 2,500rpm と異なる場合も同一曲線上にあることがわかった。

c) 主軸回転数を変化させた場合

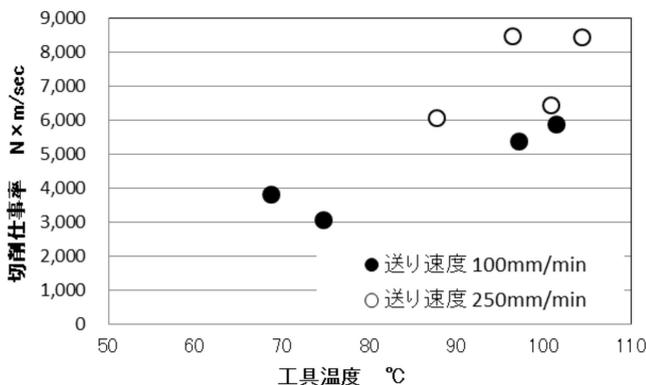
工具温度と切削抵抗の関係では明確な相関は認められなかったが、工具温度と切削仕事率の関係では一定の関係が認められた。また、異なる送り速度でも、同じ曲線上にある傾向が認められた。しかし、送り速度や切削幅の場合に比べてばらつきが大きかった。



a) 送り速度を変化させた場合



b) 切削幅を変化させた場合



c) 主軸回転数を変化させた場合

図6 切削条件ごとの工具温度と切削仕事率の関係

図6の結果を一つのグラフにまとめたものを図7に示す。送り速度、切削幅、主軸回転数を変化させても、工具温度と切削仕事率は同一曲線上にあることがわかった。

工具温度と切削抵抗の関係の場合、主軸回転数が変われば両者の関係は異なる曲線になってしまうのに対し、工具温度と切削仕事率との関係は、どのような加工条件の組み合わせでも、同一曲線上にあるため、工具温度を測定することで切削抵抗を容易に推測できる。このことから、切削状態を把握することが可能で、加工監視のパラメータとして極めて有望であることを示している。

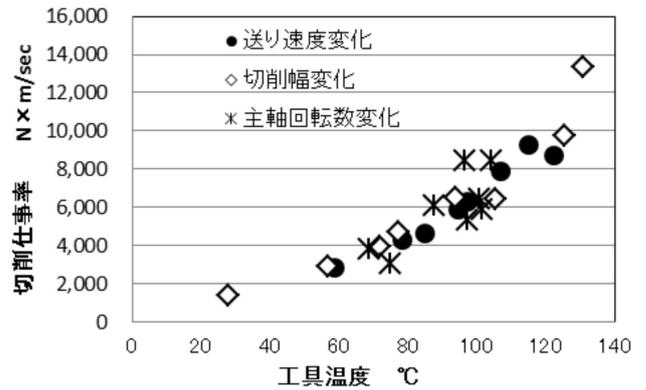


図7 工具温度と切削仕事率の関係

5. 結 言

マシニングセンタにおける切削加工で、赤外線カメラで工具温度、切削動力計で切削抵抗を測定するシステムを構築し、切削加工条件と工具温度、切削抵抗の関係を調べる実験を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 送り速度および切削幅が大きくなると工具温度、切削抵抗ともに大きくなり、両者の間に強い相関関係がある。
- (2) 主軸回転数を変化させても、工具温度と切削抵抗の間には明確な関係は認められなかった。
- (3) 工具温度と切削仕事率の間には強い相関があり、切削条件の変化とは関係なく同一曲線上にある。
- (4) 工具温度は加工監視パラメータとして有望である。

今後の課題としては、主軸回転数を変化させたときのばらつきの原因解明と抑制、被削材種を変えた場合、工具材種を変えた場合、工具摩耗との関連等があげられる。

参 考 文 献

- 1) 南 晃：鹿児島県工業技術センター研究報告, 25, 47-48 (2012)
- 2) 中村健三ら：切削油技術研究会フライス加工ハンドブック, 29