

切削加工における工具摩耗量測定技術の開発

南 晃*

Development of tool wear amount measurement method in cutting

Akira MINAMI

平成13年度～14年度においてCCDカメラで回転するエンドミルを撮影し、画像処理によってその挙動を定量化する技術を開発した。この技術を応用し、平成16年度～17年度においてCCDカメラで撮影したエンドミル切刃の摩耗を定量化する技術を開発した。

工具逃げ面の摩耗を工具摩耗量とし、摩耗部と逃げ面の境界に生じるエッジを直線として検出し、座標原点からの距離と直線の傾斜角度をパラメータとすることで工具摩耗量の定量化が可能となった。

Keyword : 工具摩耗量, 画像処理, エンドミル, tool wear

1. 緒 言

近年、エンドミルを用いた金型の切削加工に対する要求は、長時間連続無人運転、高速加工、難削材加工など切削工具に大きな負担のかかる加工が増加している。

これらの加工を行うには、工具寿命を管理し、工具交換を適正な時期に行うことが必要である。

しかし、工具寿命の測定・管理技術は確立されておらず、作業者の経験等に依存するため、加工能率や加工品質の低下を招いている。

本研究では、CCDカメラで切削工具の切刃部分を撮影し、画像処理によって工具摩耗量を定量化する技術開発に関する研究を行った。

さらに工具摩耗と加工精度、加工表面粗さなどとの関係を明らかにすることで、工具寿命の管理技術を確立し、県内企業の金型加工技術の向上を図ることを目的とする。

2. 測定の対象

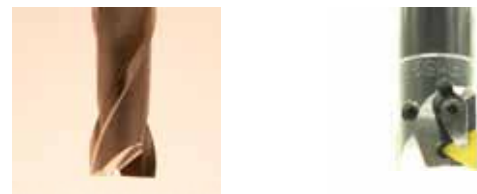
2.1 切削工具

マシニングセンタでは、エンドミルと呼ばれる切削工具がもっとも多く使用される。図1にエンドミルの写真を示す。大別してソリッドとスローアウェイに分けられる。

ソリッドエンドミルは切刃と本体が一体となっており、工具交換時は全体を交換する必要がある。

スローアウェイエンドミルは本体と切刃が別になっており、工具交換時に切刃のみを換えればよい。ため、大幅な時間短縮とコスト低減が可能である。

エンドミルのスローアウェイ化はマシニングセンタにおける長時間運転や加工能率の向上には不可欠であり、本研究ではスローアウェイエンドミルを測定対象とした。



(a) ソリッドエンドミル (b) スローアウェイ

図1 エンドミルの写真

2.2 工具寿命と工具損傷

工具損傷の分類を図2に示す。

エンドミルによる切削加工において、工具損傷は加工精度低下など加工不良の原因となり、顕著な場合は被削材や加工機の損傷も引き起こす。

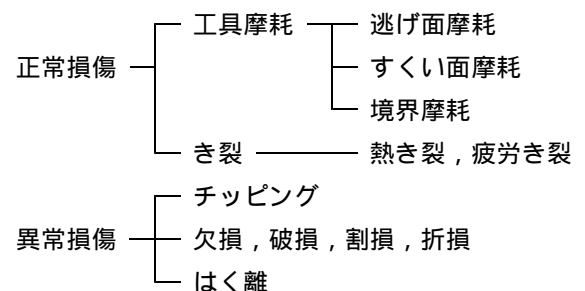


図2 工具損傷の種類¹⁾

工具損傷は被削材や切削工具の材質、加工形態、切削条件などの要因によっていろいろな形態で発生する²⁾。

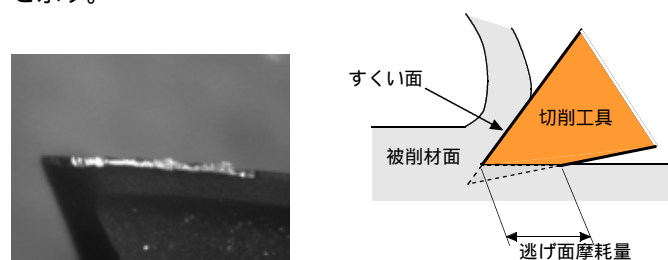
工具損傷の中でも、異常損傷は突発的な損傷であり、その発生は工具の信頼性に大きく依存する。また、その予測は困難で工具寿命管理のパラメータとはなりにくい。

一方、正常損傷は切削時間の経過とともに切削工具が漸進的に損傷していく現象で、これを測定することで工具寿

*機械技術部

命の管理が可能となる。

正常損傷の中でも、逃げ面摩耗の測定は比較的容易であり、一般的に工具寿命管理によく使用される。本研究では逃げ面摩耗量の測定を行うこととした。図3に逃げ面摩耗を示す。



(a) 逃げ面摩耗の写真

(b) 逃げ面と逃げ面摩耗

図3 逃げ面摩耗量

3. 工具摩耗測定装置

3.1 工具摩耗測定の方法

図4に工具摩耗曲線の説明図を示す。切削加工が進行すると切削工具の切刃は被削材との摩擦により摩耗する。一般に、逃げ面の摩耗量は切削の進行とともに漸進し、その量が比較的大きく測定が容易であるので、この逃げ面摩耗量を工具摩耗量とする。

図5に工具摩耗量の測定方法を示す。CCDカメラで逃げ面摩耗部分を正面に見る方向から撮影する。エッジ(a)はすくい面と逃げ面の交わるエッジであり、工具摩耗量ゼロの状態を表す。加工が進行すると摩耗部分が拡大し、エッジ(a)と摩耗部分と逃げ面の境界エッジ(b)との距離は大きくなる。この距離を工具摩耗量として測定する。

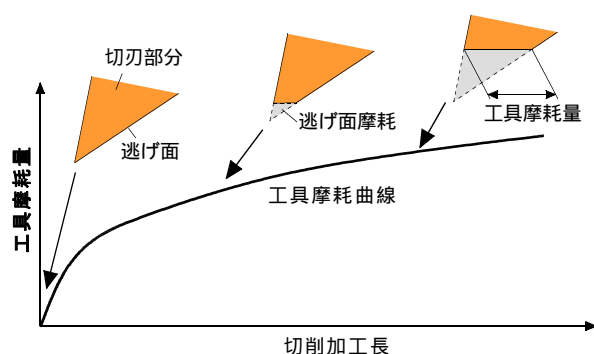


図4 切削加工長と逃げ面摩耗量

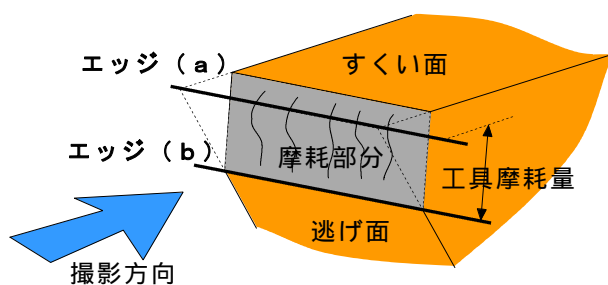


図5 工具摩耗量の定義

3.2 工具摩耗装置の概要

図6に工具摩耗量測定装置の概要を示す。画像処理装置、CCDカメラ、照明、ノートPCで構成される。

CCDカメラでエンドミルを撮影し、その画像に対し画像処理を行い、工具摩耗量を定量化する。定量化された工具摩耗量はノートPCにテキストファイルで保存される。

画像の撮影から画像処理、工具摩耗量の出力・保存という一連の処理は一定の間隔で自動的に行われる。

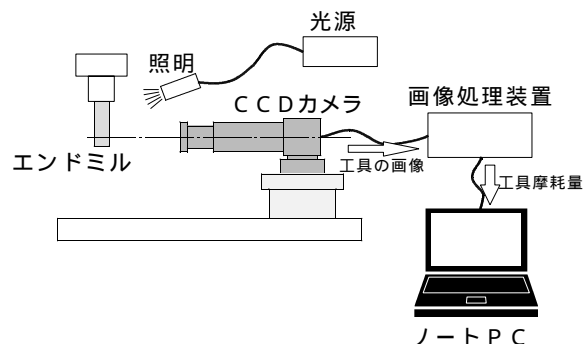


図6 工具摩耗測定装置の概要

3.3 画像処理装置とCCDカメラ

図7に画像処理装置の写真を示す。

画像処理装置は㈱キーエンス社のXV-1000、CCDカメラは同社のCA-CAM20に同社の接写レンズCA-LH50(長さ73mmのスペーサーリング付)を取り付け使用した。表1にXV-1000の主な仕様を示す。



図7 画像処理装置

表1 画像処理装置XV-1000の主な仕様

画素数	水平640pixel × 垂直480pixel
カメラ	接続台数 最大4台
	動作モード 連続, トリガ, シーケンシャルトリガ
	シャッター 1/60 ~ 1/20000 秒
主な処理機能	処理領域 矩形, 円, 多角形, リアルタイム自動生成
	前処理 2値化, フィルタ, 画像演算
	解析 特徴量, エッジ検出, 幾何形状
	画像保存 ディスク, メモリ

3.4 照明

照明にはウシオライティング株式のUF251FS/NTKを使用した。エンドミルに対して順光にて照らし、照明位置は水平方向垂直方向とも角度を任意に変えることが可能である。

3.5 測定範囲と解像度

測定に使用した画像処理装置XV-1000の有効画素数は水平640pixel×垂直480pixelである。この範囲内で精度の高い測定を行うためには1pixel当たりの解像度を細かくする必要がある。解像度の計算式を式(1)に示す。

解像度Rが小さいほど解像度は高くなるが、測定可能範囲は小さくなる。

μ

$$R(\mu\text{m}/\text{pixel}) = L(\mu\text{m}) / P(\text{pixel}) \cdots (1)$$

L: 工具の移動量

P: 画素の変化量

また、CCDカメラのレンズはその性質上、測定可能範囲内の中心部と周辺部では解像度に変化が生じることがある。この現象が顕著に出ると、測定結果に悪影響を及ぼす場合がある。

上記のことを確認するため、エンドミルを移動させ、そのときの画素数の変化量を測定し、工具摩耗測定装置の解像度と測定場所が変化したときの解像度について調べた。

図8に測定の結果を示す。工具の移動量に対して画素の変化はほぼ直線形であり、測定場所による違いは見られなかった。

また、解像度は $3.1\mu\text{m}/\text{pixel}$ であることがわかった。水平方向の画素数は640pixelなので、式(1)より、

$$640\text{pixel} \times 3.1\mu\text{m}/\text{pixel} = 1984\mu\text{m} \quad 2.0\text{mm}$$

約2.0mmの範囲の測定が可能であることがわかった。

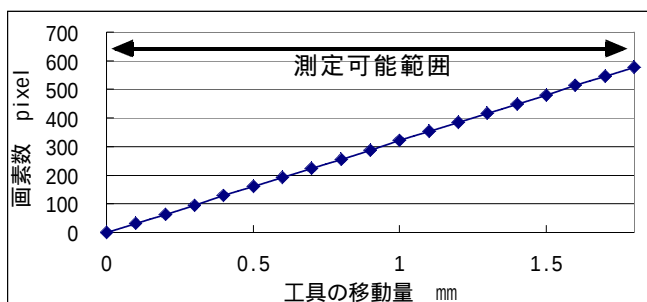


図8 工具の移動量と画素数の変化

3.6 画像処理

CCDカメラで撮影した画像から工具摩耗量を定量化するには、画像処理によって必要な情報を抽出する必要がある。本研究では図5に示すように、すくい面と逃げ面の交わるエッジ(a)と摩耗部分と逃げ面の境界エッジ(b)との距離を工具摩耗量とした。

工具摩耗測定装置を固定し、測定時のエンドミル位置を常に一定にすればエッジ(a)の位置も固定され、測定の必要性はない。したがってエッジ(b)のみの変化を測定することで、工具摩耗量の変化を把握することが可能である。

図9に画像処理の様子を示す。黒い矩形が測定範囲である。XV-1000の画像処理メニューのエッジ抽出機能を用いてエッジ(b)を抽出する。

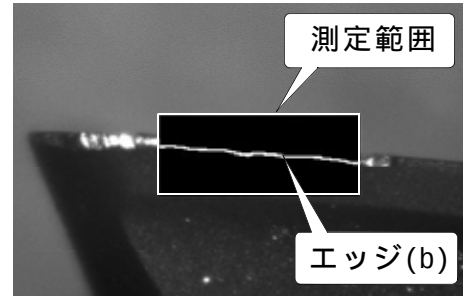


図9 画像処理による工具摩耗定量化

抽出されたエッジ(b)は、直線検出機能により、式(2)または、式(2)'で表される検出直線として定義される。

(2)式および(2)'式の ρ および θ の定義は図10のとおりである。

$$\rho = X \cos \theta + Y \sin \theta \cdots (2)$$

$$Y = -\frac{1}{\tan \theta} X + \frac{\rho}{\sin \theta} \cdots (2)'$$

ρ : 原点から検出直線を結ぶ垂線の長さ

θ : X軸と垂線 ρ の角度

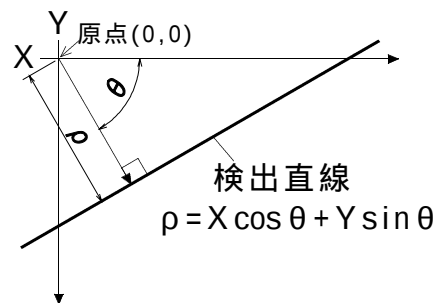


図10 ρ および θ の定義

4. 実験の方法

4.1 オンライン実験とオフライン実験

本研究では、マシニングセンタに搭載し、自動運転で工具摩耗量測定を行う技術の開発を目標としている。

しかし、最初から測定装置をマシニングセンタに搭載して実験等を行うと、その都度マシニングセンタを起動したり、実験に使用する機材の設置や調整、条件設定などの作業に時間が掛かり作業効率が悪い。

そこで、最初にマシニングセンタ外で実験装置を構築し、オフライン実験(以下、オフラインと略す。)にて実験装置の調整や条件設定を行った。オフラインでは測定環境の自

由度が大きく作業も容易なので、幅広い条件設定が可能で、実験時間の短縮を図ることも可能である。

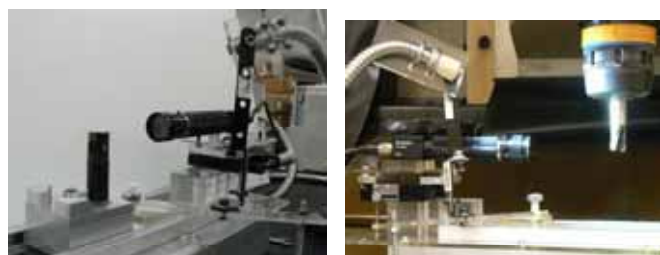
その後、工具摩耗測定装置をマシニングセンタセンタに搭載してオンライン実験（以下、オンラインと略す。）を行った。

オフラインで得られた知見をもとにして、測定条件の再検討を行った。また、実際にマシニングセンタが加工現場で稼働運転したときの状態を再現し、実稼働時の問題点の抽出を行った。

4.2 実験の方法

スローアウェイフラットエンドミルで側面切削加工を行い、一定の切削長ごとに工具摩耗測定装置により逃げ面の工具摩耗量を測定した。

図11に実験の様子を、表2に切削加工の条件を示す。



(a) オフライン実験 (b) オンライン実験

図11 工具摩耗測定実験の様子

表2 切削加工条件

切削方法		側面切削
被削材		S45Cブロック 150mm × 150mm × 50mm
切込み量		軸方向10mm 水平方向0.2mm
切削速度		100m/sec
送り速度		150mm/min
切削油		なし
加工機		(株)三井精機マシニングセンタVS5A
エ ン ド ミ ル	種類	スローアウェイフラットエンドミル APX3000R202SA20SA (三菱マテリアル)
	仕様	直径 20mm 刃数 2枚
	インサート	AOMT123624PEER-M VP20RT (コーテッド超硬)

5. 結果と考察

5.1 オフラインにおける実験の結果

図12にオフラインで撮影した工具切刃の画像の一例を示す。画像処理で工具摩耗量を定量化を可能とするには、良質な画像を撮影する必要がある。オフラインでは、画像の背景色や明るさ、照明の角度など測定条件の自由度が大きい。このため、画像処理に適した画像を得ることができた。



図12 オフラインにおける工具切刃の画像

この画像をもとに、画像処理で式(2)に示す ρ および θ を算出した。図13に切削長と ρ 、図14に切削長と θ の関係を示す。

式(2)で表される検出直線は、図12に示す工具摩耗部のエッジ(b)を画像処理し、算出したものである。 ρ は検出直線と座標原点との距離を示し、 ρ が増加することは工具摩耗量が大きくなることを示す。 θ は検出直線の傾きであり、これが大きく変化することは不安定な状態で検出されることを示す。

切削が進行するに従い ρ は直線的に大きくなり、工具摩耗量が増加していることを示している。

また、切削長が伸びても θ は大きく変化せず、今回検討した測定方法を用いることで、安定した測定が可能であることがわかった。

図15は検出直線の位置を切削長ごとにグラフ化したものである。グラフの直線が工具摩耗部のエッジを示す。傾きはほとんど変化せず、切削が進行するに従い検出直線が移動し、工具摩耗量が増加する様子を表している。

本実験において、切削長0～1500cm間で工具摩耗量約40 μ mであるという結果が得られた。

図13 切削長と ρ の関係

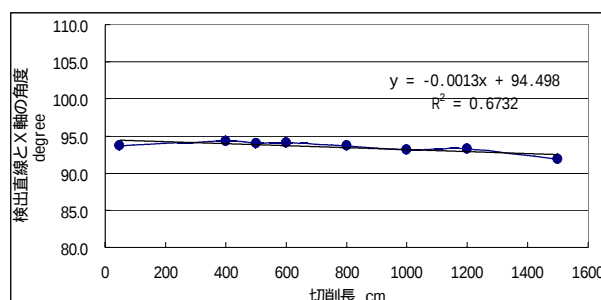
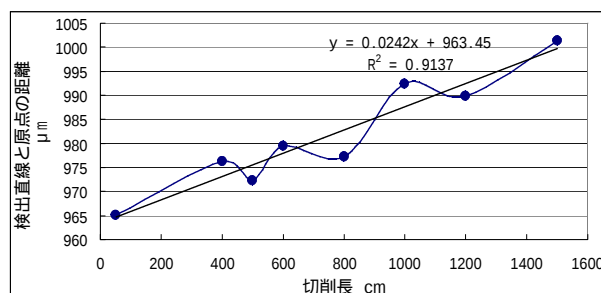


図14 切削長と θ の関係

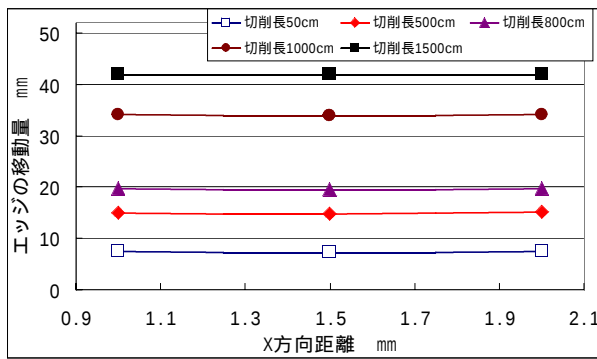


図15 切削長ごとの検出直線の位置

5.2 オンラインにおける実験の結果

図16に工具摩耗測定装置をマシニングセンタのテーブル上に固定して測定した結果を示す。オフラインの結果に比べて測定結果にばらつきがあり、不安定な結果だった。

これは、オフラインでは良好な測定条件下で良好な画像が得られたが、オンラインでは測定条件が悪化したためと考えられる。その要因として、

- ・オフラインでは画像背景が最適な色や明るさ等を選択出来たがオンラインでは限定される。
- ・マシニングセンタ内の照明等が想定していた方向以外からエンドミルを照らし、測定結果に影響を与える。
- ・切削した切り屑や切削油剤等がエンドミルやカメラに付着し、測定結果に影響を与える。

などが挙げられ、これらを解決するために、

- ・画像処理の方法を背景色の影響を受けにくいよう見直し、エンドミルの後ろに白色のシートを立てる。
- ・測定点を1カ所から3カ所に増やし、その平均を取る。
- ・測定の都度、カメラやエンドミルの切り屑や油分をふき取る。

などの見直しを施して実験を行った。その結果を図17に示す。

図16に示す結果に比べて、安定した結果が得られたが、オフラインほど安定した結果は得られなかった。

オンラインでは背景を最適な状態に保つことは難しく加工機の機種、測定装置の取り付け位置等が変わると背景の条件が変化する。これに対応するためには画像処理の手法を再度見直し、背景の条件の変化に対する安定性の高い手法を確立する必要がある。

この安定性の向上させるために測定点を増やして測定を行った。今回はハードウェアの処理能力の関係上3点で測定を行ったが、より多くの点で測定することで良好な結果が得られると考えられる。

切り屑や油分の除去は、今回はその都度手作業でふき取ったが、自動運転・無人運転を行うためにはエアブローなどによる自動化が不可欠である。

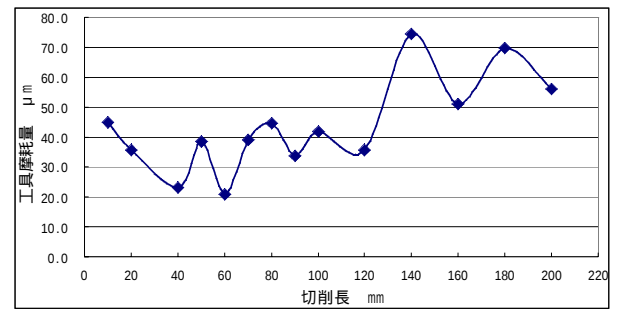


図16 オンラインにおける切削長と工具摩耗量(1)

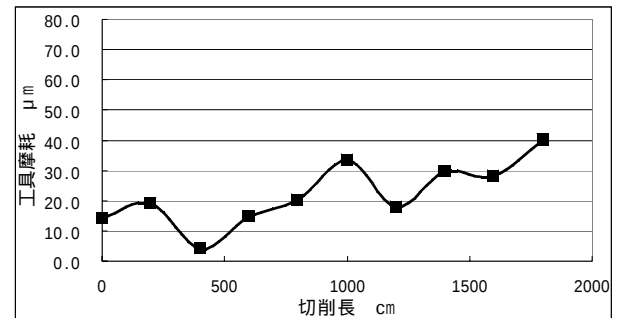


図17 オンラインにおける切削長と工具摩耗量(2)

6. 結 言

CCDカメラと画像処理により工具摩耗量を定量化する手法に関して検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) CCDカメラと画像処理により工具摩耗量の検出は可能である。その検出は摩耗部分と逃げ面の境界エッジを式(2)で表現することで定量化が可能である。
- (2) マシニングセンタテーブルに搭載するオンライン測定では、背景色や切り屑・油分の付着等のオフライン測定とは異なる環境での測定となり、対策が必要である。
- (3) 背景の変化に対しては画像処理処理手法の確立とハードウェアの処理速度向上が必要である。
- (4) 切り屑や油分の付着に対しては、付着しにくい構造の検討や除去の自動化が不可欠である。
- (5) 今後、この技術を実用化するためには測定で得られた工具摩耗量と表面粗さなど加工品質との関係を明らかにする必要がある。

参 考 文 献

- 1) 中村健三ら：フライス加工ハンドブック，切削油技術研究会（1988）
- 2) 狩野勝吉：データで見る切削加工の最先端技術，工業調査会（1992）

