

切削加工における工具摩耗測定技術の高度化に関する研究

南 晃*

Research on Improvement of Tool Wear Measuring Technique in Cutting Process

Akira MINAMI

本研究では、エンドミルによる切削加工において、CCDカメラで撮影した画像から工具摩耗幅を測定するシステムを構築した。このシステムを使用してエンドミルの工具摩耗幅を測定した結果、切削長と工具摩耗幅に強い相関があり、CCDカメラによる画像から工具摩耗幅を測定できることがわかった。また、全焦点3D表面形状測定装置（以下、3次元測定装置と言う）でエンドミル刃先形状を測定し、摩耗による体積変化を測定した結果、切削長と強い相関があり、切削摩耗による工具刃先の体積変化が工具摩耗測定のパラメータになり得ることがわかった。さらに工具摩耗幅と工具摩耗体積の関係について検討したところ、両者の間には強い相関関係が存在し、工具摩耗幅を測定することで工具摩耗体積を推測できることがわかった。

Keyword： マシニングセンタ、エンドミル、工具摩耗、CCDカメラ、画像処理

1. 緒 言

マシニングセンタによる切削加工において、加工効率や加工精度の向上、現在注目されているIoT技術等の新しい技術を取り入れた生産性の向上を図るためには、加工工程の自動監視技術の開発が不可欠である。

その中でも、マシニングセンタで最も多用されるエンドミル刃先の摩耗（以下、工具摩耗と言う）の適切な測定・管理は、生産現場において大きな課題のひとつであり、その自動化は工程改善に大きく寄与する技術である。

当センターでは、従来からCCDカメラと画像処理を使用した工具摩耗測定における自動化に関する研究に取り組んできた¹⁾。CCDカメラによる工具摩耗幅の測定は、システムが小型で安価であること、マシニングセンタテーブルに設置しオンライン測定システムを容易に構築できることなど多くのメリットがある。

本研究では、従来から行ってきた研究成果をもとに、エンドミル逃げ面における工具摩耗幅測定システムの構築について検討を行った。

エンドミル刃先は複雑な立体形状であり、工具摩耗は3次元的に変化する。そこで、3次元測定装置を使用して、未使用状態のエンドミル刃先と、切削により摩耗した刃先の形状を測定し、その差分を求めることで工具摩耗体積を測定した。

さらに、CCDカメラで測定した工具摩耗幅と工具摩耗体積の関連について検討を行った。

2. 工具摩耗について

図1に工具摩耗の進行のイメージを示す。切削加工において、工具刃先は切削抵抗や発熱などにより大きな負荷がかかり、切削の進行とともに工具摩耗も進行する。工具摩耗が過大になると加工効率の低下や加工精度不良が発生し、さらには工具が破損する恐れが生じる。

このため、工具摩耗の測定・管理を定期的に行う必要があるが、現状では、作業者が工作機械から切削工具を取り外し、工具顕微鏡などを用いて測定を行っており、作業者の違いによる測定値のばらつきや加工停止による加工効率の低下などの問題が生じている。

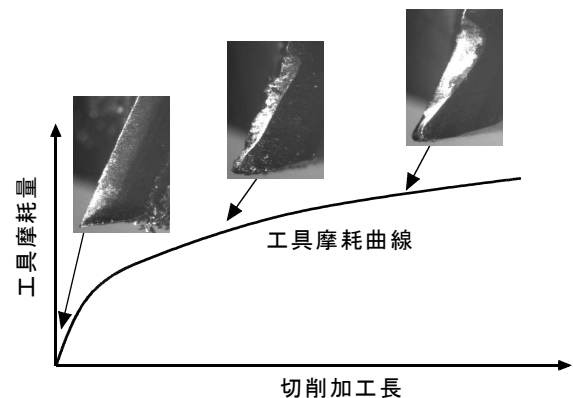


図1 エンドミル刃先の工具摩耗

3. CCDカメラによる工具摩耗幅の測定

3.1 工具摩耗幅測定システムの構築

上記のような問題を解決するためには、工具摩耗測定の自動化による測定精度向上と省力化が不可欠である。本研究ではCCDカメラと画像処理装置を主とした工具摩耗幅の測定システムを構築し、工具摩耗測定自動化の可能性に

* 地域資源部

関して検討を行った。

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を使用した。システムの主な構成を図2, XV-1000の主な仕様を表1に示す。

所定の加工が終わると, あらかじめ設定されている測定位置にエンドミルをNCプログラムにより移動させ, CCDカメラで刃先を撮影し, 画像処理によって工具摩耗幅を測定した。

工具摩耗を自動で測定するには, 常に同じ回転位置, 座標位置で測定する必要がある。エンドミルをホルダーに取り付ける際には同じ位置, 同じ突出し量で取り付け, マシニングセンタのオリエンテーション機能を使用して常に同じ回転位置で測定できるようにした。また, 座標位置はワーク座標機能を使用してNCプログラムにより常に同じ座標位置で測定できるように設定した。

本研究では, システムの自動化は摩耗幅を取得するステップまでにとどめたが, 実際の加工現場導入においては, 工具摩耗のしきい値を設定することによるOK/NGの判定, マシニングセンタのインターフェイスとの双方向送受信による起動や停止の指示, IoT技術と組み合わせによる異常発生時のスマホ等への連絡などさまざまな自動化の展開が可能である。

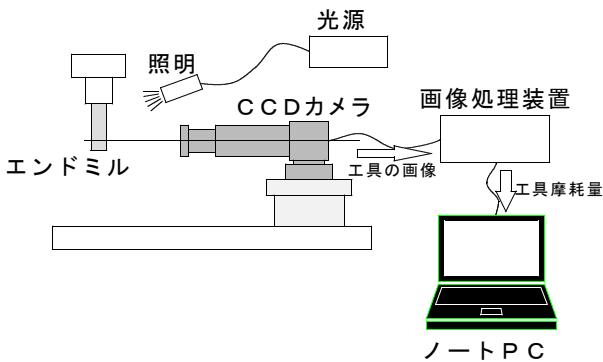


図2 工具摩耗幅測定システムの概要

表1 画像処理装置XV-1000の主な仕様

画素数 (pixel)		水平640×垂直480
カメラ	動作モード	連続, トリガ
	シャッター	1/60~1/20000 秒
主な画像処理機能	処理領域	矩形, 円, 多角形, 直線, 点
	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. 2 工具摩耗幅の定義

図3にエンドミルの写真を示す。エンドミル刃先は複雑な曲面で構成されている。主な面としてすくい面や逃げ面があるが, 逃げ面摩耗は加工溝幅などの加工精度に大きく

影響する。また, 他の面に比べて摩耗幅が大きく表れ, 測定が容易である。このため, 実際の現場において, 工具摩耗の管理には逃げ面摩耗幅の測定が多く用いられている。

図4に工具摩耗幅の概念図を示す。本来であれば, 工具摩耗幅は切削前エッジと摩耗境界の距離のことを言うが, 図5に示すように, 工具摩耗が進行すると切削前のエッジは消滅する。このため, 測定時に見えている切削後エッジと工具摩耗境界の距離で代用しているのが現状である。

本研究では, 切削前エッジの位置をあらかじめシステムに記憶させることで, 従来, 測定が困難であった切削前エッジと摩耗境界間の距離を工具摩耗幅として測定する手法について検討した。



図3 エンドミル刃先

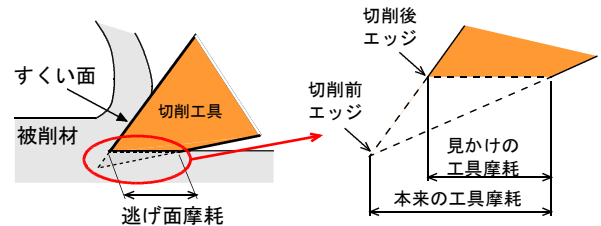


図4 工具摩耗幅

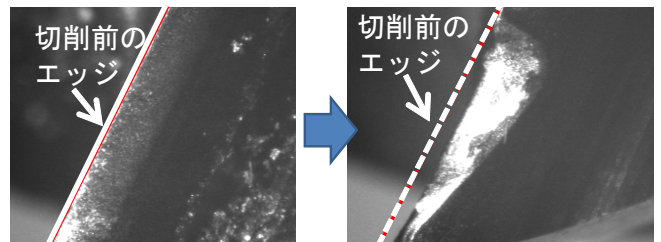


図5 切削前と切削後のエッジ

3. 3 画像処理の手順

エンドミルの刃先画像をCCDカメラで撮影し, その画像から画像処理によって工具摩耗幅を測定した。

図6に画像処理の主なステップを示す。

切削加工前, 刃先の画像を撮影し, あらかじめ切削前エッジの位置を登録し, 切削後, 再度刃先画像を撮影した。

取得した画像上で測定対象となる箇所をエリアで設定した。エリアは任意の位置および形状で設定が可能である。

本研究では, 工具先端から高さ方向に0.3mm間隔で6カ

所のエリアを設定した。前処理としてエリア内の逃げ面で摩耗部分を白、摩耗されていない部分を黒とする2値化処理を行い摩耗境界を抽出した。抽出された摩耗境界位置をエッジ検出機能で検出し、画素データ位置を取得した。得られた画素データ位置と事前に登録されている切削前エッジ間の距離を計算することで工具摩耗幅を測定した。

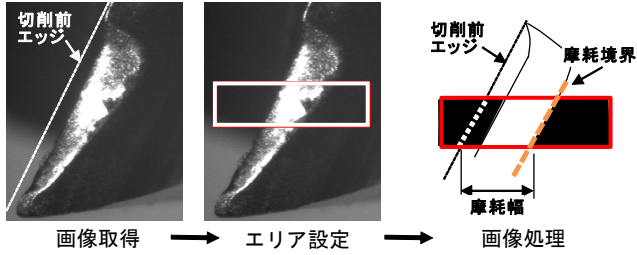


図6 画像処理のステップ

4. 3次元測定装置による工具摩耗体積の測定

4.1 工具摩耗体積測定の概要

CCDカメラと画像処理によるシステムで得られるデータは2次元的な情報であり、本システムでは工具摩耗量を切削前エッジと摩耗境界間の水平方向の距離を逃げ面摩耗幅と定義した。しかし、エンドミル刃先形状は複雑な曲面で構成される3次元形状であり、一次元的な情報である工具摩耗幅との相関は明らかにされていない。

エンドミル刃先を3次元測定装置により測定し、工具刃先形状の変化を立体的に把握し、工具摩耗幅と比較して両者間の関係を明らかにすることで、CCDカメラによる工具摩耗幅測定の有用性について検討した。

今回使用した3次元測定装置(アリコナ社、インフィニートフォーカスG5)の写真を図7に示す。本測定機はZ軸を走査しながらイメージセンサーで連続的に画像を取得し、その画像を合成する「焦点移動法」により立体データを作成している。

4.2 3次元測定装置による摩耗計測方法

3次元測定装置により得られたデータは立体形状であり、さまざまな情報を有しているため、工具摩耗の検討においても様々なアプローチが考えられる。

今回は、図8に示すように、切削前のエンドミル刃先形状をあらかじめ測定しておき、切削後に再測定を行い、切削前と比較して減少した刃先の体積を工具摩耗体積とした。実際に測定した工具刃先の例を図9に示す。

5. 切削加工実験

工具摩耗幅と工具摩耗体積の関係を明らかにするために切削加工実験を行った。

実験条件を表2に示す。切削工具は2刃ハイスエンドミルを使用し、被削材には炭素鋼S55Cを用いた。切削はドラ

イ加工で側面切削を行った。

切削長1m~10mまで1mずつ増加させた加工サンプルをそれぞれ作成した。各サンプルは切削前にあらかじめ工具刃先を測定し、切削加工後、再度測定して切削前後の工具刃先の摩耗幅および摩耗体積を求めて両者を比較した。

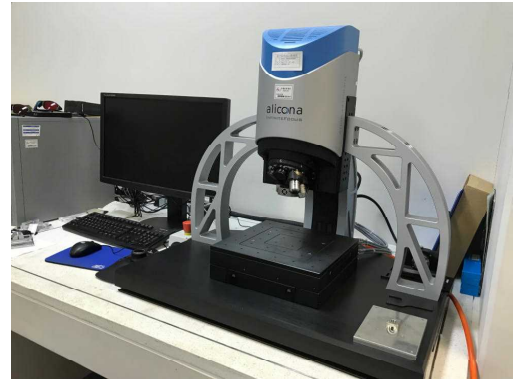


図7 3次元測定装置の外観

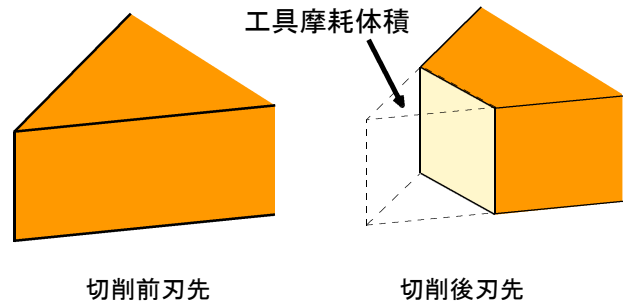


図8 工具摩耗体積の求め方

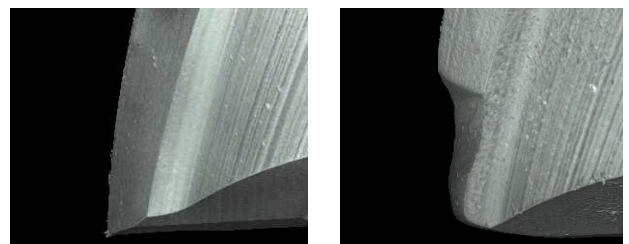


図9 工具刃先測定の例

表2 切削加工条件

加工方法		側面切削, ドライ加工
切削工具	種類	ハイスエンドミル
	形状 工具径	2刃スクエア 10mm
加工条件	主軸回転数	1000rpm
	送り速度	200mm/min
	切り込み 縦横	2mm 0.5mm
被削材		S55C

6. 実験結果

6. 1 CCDカメラによる工具摩耗幅の測定

図10にCCDカメラで撮影した各切削長における工具刃先摩耗の様子を示す。切削長が長くなると、切削前のエッジは消滅し、摩耗領域が拡大するとともに、摩耗領域の左端部のエッジと右端部の摩耗境界の位置が移動していく様子が確認できた。

この画像をもとに、画像処理により工具摩耗幅を測定した結果を図11に示す。測定位置は工具の先端から、高さ方向0.6mm, 1.2mm, 1.8mmである。

その結果、次のことがわかった。

- ・切削長が長くなるとともに、工具摩耗幅は増大した。
- ・測定高さが高いほど工具摩耗幅は大きく測定され、測定位置は高い位置の方が望ましい。
- ・測定高さ0.6mm, 1.2mmにおいて切削長との相関係数は0.8以上と強い相関があることを示した。
- ・測定高さ1.8mmでデータが乱れた部分があった。これは測定時の光源の変化によるものと思われる。

以上のことから、本システムを使用して工具摩耗幅を測定することが可能であることがわかった。一方、光源等の変化によりデータが乱れる部分があり、測定環境の変化に対する強靱性(ロバスト性)向上が課題であることがわかった。

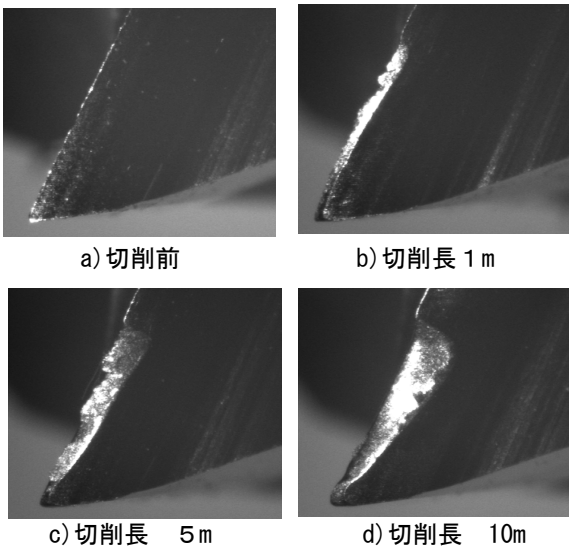


図10 エンドミル刃先摩耗の進行

6. 2 3次元測定装置による測定結果

工具摩耗サンプルの切削前と切削後における工具刃先の体積変化を切削長ごとに表したグラフを図12に示す。その結果、次のことがわかった。

- ・切削長が増大するに従い、工具摩耗体積も増大する。
- ・相関関数を1次関数とした場合の相関係数は約0.89, 2次関数の場合は約0.97となり、工具摩耗体積は切削長の2乗に比例して増加することがわかった。

6. 3 工具摩耗幅と工具摩耗体積の関係について

切削長と工具摩耗幅, 工具摩耗体積の関係について検討したが、次に工具摩耗幅と工具摩耗体積の関係について検討した。縦軸を工具摩耗体積, 横軸を工具摩耗幅としたグラフを図13に示す。この結果、次のことがわかった。

- ・工具摩耗幅と工具摩耗体積の間には強い相関があり、その関係は測定高さが高い方が、よりばらつきの少ない関係が得られた。
- ・その関係は相関関数を2次関数とした場合により強い相関を示した。

工具摩耗体積の測定は、測定機器が高価なこと、エンドミルを取り外すため精度低下の要因となること、工数と時間がかかることなどから実際の現場向きではない。一方、工具摩耗幅の測定は、安価で現場向きのシステムでオンライン測定が可能である。

工具摩耗は3次元的に進行していくはずであるが、従来の管理方法では1次元的な工具摩耗幅で管理していた。

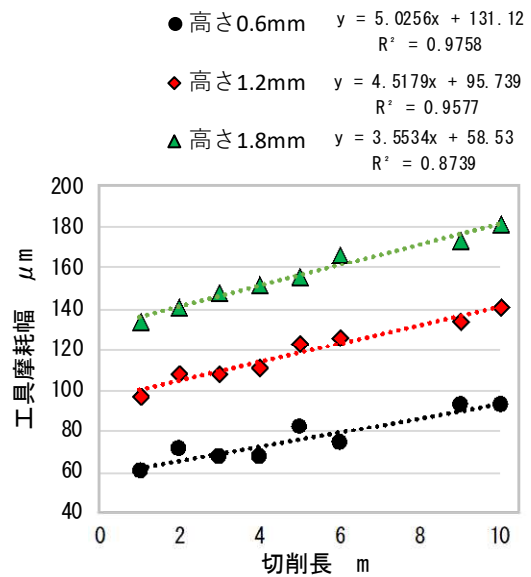


図11 切削長と工具摩耗幅の関係

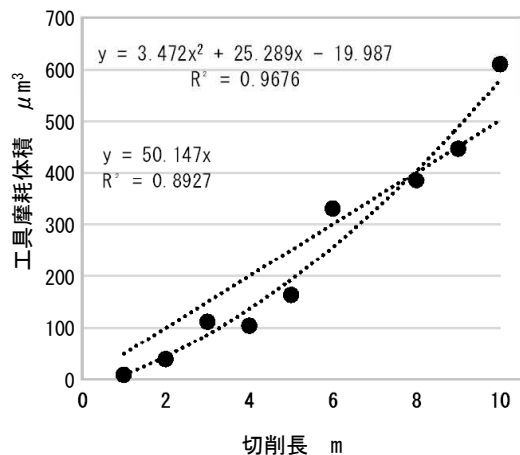


図12 切削長と工具摩耗体積の関係

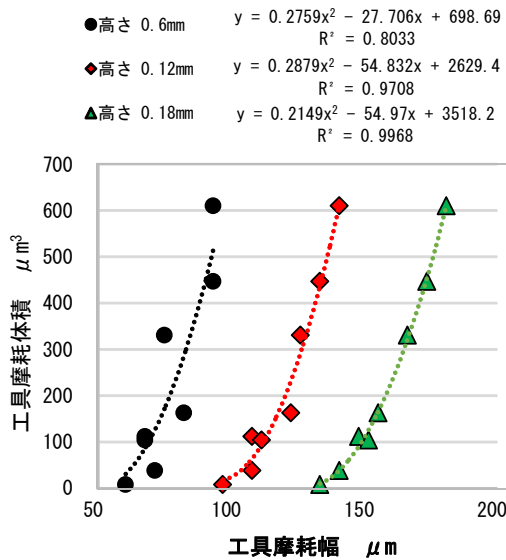


図13 工具摩耗幅と工具摩耗体積の関係

本研究により、工具摩耗体積を測定することで工具摩耗の管理が可能であり、工具摩耗体積はオンライン測定可能な工具摩耗幅から推測できることがわかった。


今後、工具摩耗体積と切削加工の関連について解明していくことにより、工具摩耗体積測定を管理指標とする工具摩耗管理技術の高度化の可能性を示すことができた。

7. 結 言

- (1) CCDカメラと画像処理を使用してエンドミル刃先の逃げ面摩耗幅を測定するシステムを構築した。
- (2) このシステムを使用することにより、高精度で工具摩耗幅を測定できることがわかった。その一方で外乱に対するロバスト性をより高める必要があることがわかった。
- (3) 3次元測定装置でエンドミル刃先を測定し、切削長と工具刃先の体積変化を測定した。その結果、切削長と摩耗体積の間には強い相関があり、摩耗体積が工具摩耗のパラメータとなり得ることがわかった。
- (4) 工具摩耗幅と工具摩耗体積の関係を検討した結果、両者の間には強い2次関数的相関があることがわかった。これにより、CCDカメラで測定した工具摩耗幅から工具摩耗体積を推測できることがわかった。これにより、安価で現場向きなシステムを使用した工具摩耗体積測定による新しい工具摩耗管理技術の高度化の可能性を示すことができた。

参 考 文 献

1) 南 晃：鹿児島県工業技術センター研究報告，28，15-18



本研究は財団法人JKAの「機械工業振興補助事業」により整備した機器を活用して実施しました。

