

# 画像処理による小径切削工具と被削材間の距離検出法

東 義隆\*

## Detection of Distance between Endmill and Work Based on Image Processing

Yoshitaka AZUMA\*

### ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a convenient and precise method to detect distance between small-diameter endmill and work surface based on image processing. A non-contact method using a CCD camera and a thin reflection mirror was proposed in this study to detect the distance without any skills. The CCD images were subjected to three steps of digital image processing. The first step was an image thresholding. The second step was a Laplacian edge detection and the third step was a pattern recognition of the edges. As a result, an equation was derived for the distance on the image and the actual distance between the endmill and workpiece.

*Keywords* : Precision machining, Small-diameter endmill, Tool position, Mirrored image, Image processing

### 1. はじめに

精密加工や微細加工において、切削工具の刃先位置検出は重要な設定条件の一つである。Pic.1 に示すように、被削材に設置した刃先位置測定器に工具先端部を接触させ、位置決めする方法がよく知られている<sup>(1)(2)</sup>。しかし現状では、工具と被削材間の距離の検出作業に熟練と多くの時間を要している。

本研究では、加工開始直前における工具先端部と被削材間の距離を熟練不要で検出するため、CCD カメラと薄い反射鏡 (SUS304BA) を用い、非接触で測定する方法について検討する。非接触法はコンピュータビジョンにおける画像処理技術に基づいている。この技術は工具摩耗測定<sup>(4)(5)(6)(7)</sup>、工具状態監視<sup>(8)</sup>、マイクロドリル再研磨<sup>(9)</sup>、形状誤差評価<sup>(10)</sup> など、生産加工の分野



Pic.1 Position detecting tool

においてもよく用いられている。しかし、刃先位置検出<sup>(2)</sup>に画像処理を応用した例は、ほとんど見当たらない。本研究ではコンピュータビジョンをもとに、反射鏡を用いた新しい検出法を提案する。

工作機械は CNC フライス盤を使用し、被削材表面に薄い反射鏡を敷く。工具は直径 6mm 以下のフラットエンドミルまたはボールエンドミルとし、ツールホルダーのチャックで保持する。また、CCD カメラを工作機械テーブル上の工具付近に設置し、回転中の工具とその鏡像を同時に撮影して画像を PC に取り込む。その後、これらの画像に 3 段階のデジタル画像処理が施される。第 1 段階は、二値化である。第 2 段階は、ラプシアンフオペレータによるエッジ抽出、第 3 段階がエッジのパターン認識となる。テンプレートマッチングによりエッジが認識された後、工具 (実像) の下端と鏡像の上端の距離がピクセル数として得られることになる。その結果、工具と被削材表面の画像上の距離と実際の距離との関係式が導かれる。

### 2. 切削工具の位置決め

#### 2.1 位置決め法

本研究における小径切削工具と被削材間の距離の検出法の原理を Fig.1 に示す。CCD カメラを角度  $\theta$  ( $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ) で CNC 工作機械のテーブルに設置し、被削材表面に反射鏡 (SUS304BA) を敷く。撮影した CCD

\* 機械工学科 准教授

画像における工具の下端が鏡像の上端に接触するまで、工具を z 軸方向に手動で送り、被削材に近づけていく。ここで、工具と鏡像の先端部が接触した時点を工具位置決め第 1 ステップとする。

工具と鏡像を含む CCD 画像については、工具回転中に PC に取り込んでいく。

画像上の先端部接触における幾何学的関係を Fig.2 に示す。

工具直径  $d$  が既知であることから、工具先端と鏡面間の距離  $\delta$  が式(1)によって理論的に算出される。

$$2\delta = d \cdot \tan\theta \quad \therefore \delta = d/2 \cdot \tan\theta, \quad \dots(1)$$

ここで、

- $\delta$  : 小径切削工具の先端と反射鏡間の距離,
- $d$  : 小径切削工具の直径,
- $\theta$  : CCD カメラの角度

したがって、小径切削工具と被削材間の距離 ( $h$ ) の理論値は反射鏡の厚さ( $t$ )と  $\delta$  の値を式(2)へ代入することで求められる。

$$h = t + \delta, \quad \dots(2)$$

ここで、

- $h$  : 小径切削工具の先端と被削材間の距離
- $t$  : 反射鏡の厚さ

この位置決め方法では CCD 画像において、工具と鏡像が接触するが、実際には先に述べたように、工具先端と鏡面間の距離  $\delta$  が存在する。もし、CCD カメラの角度  $\theta$  が  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  であるならば、画像における見かけの像の接触によって工具が被削材に当たることがない。したがって、小径切削工具を折損することなく、工具先端と被削材間の距離を非接触で検出することが可能となる。

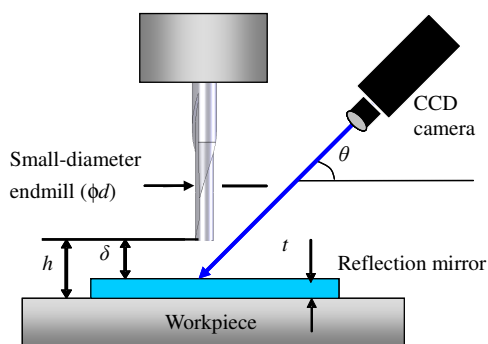


Fig.1 Principle of tool positioning of small-diameter endmill.

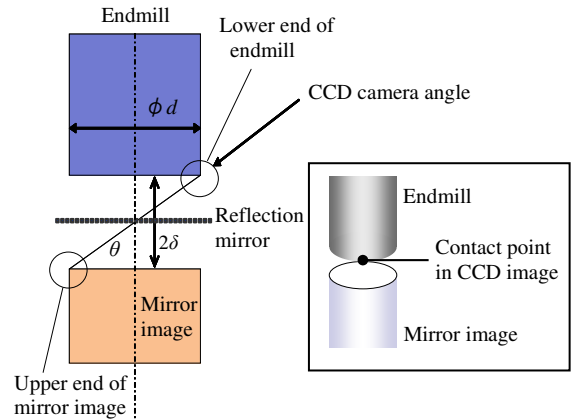


Fig.2 Geometrical illustration of contact point in the CCD image.

## 2.2 位置決め実験

前節で述べた方法に基づき、工具を位置決めした際の距離  $\delta$  を計測する実験を行い、位置決め精度についても確認を行った。

実験装置には工作機械の CNC フライス盤を使用し、主軸回転速度を  $3,100\text{min}^{-1}$  とした。また、デジタル角度計を用いて CCD カメラの角度の調整を行い、工具として  $\Phi 3, \Phi 4, \Phi 6$  の 3 種類のステンレス丸棒 (SUS304) を使用した。それぞれの工具はツールホルダーのチャックで保持した。

位置決めは先に述べたように、工具の下端が鏡像の上端に接触するまで工具を被削材方向に送り、理論的な距離  $\delta$  を算出した。

次に、工具先端と反射鏡間の距離  $\delta$  の精度を確認するため、工具が静止している状態で工具と反射鏡の間に隙間ゲージを入れて実際の距離  $\delta'$  の計測を行った。

計測回数は 3 種類の工具それぞれについて、10 回ずつとした。

その結果、理論値  $\delta$  は実測値  $\delta'$  に対して平均で 10% 程度の誤差が生じた。

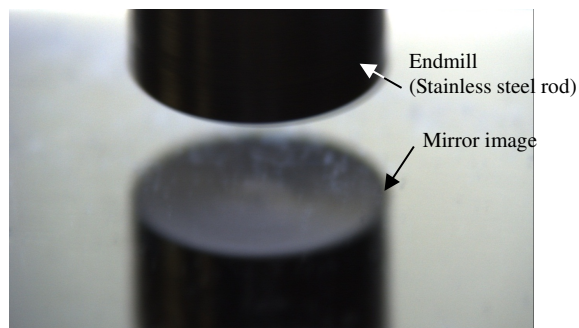
このことは、工具のエッジと鏡像のエッジそれぞれについて、カメラからの撮影距離が異なり焦点が合わないためである。工具下端部にカメラの焦点を合わせると、より遠方にある鏡像上端部がぼやけるため、両者が接触しているかどうかを判断する際に生じる誤差であると考えられる。

## 3. 画像処理による距離 $\delta$ の検出

### 3.1 画像処理の方法

撮影した CCD 画像に対して、デジタル画像処理<sup>(11)(12)</sup>を施した。この処理の目的は小径切削工具の先端部と被削材表面の距離  $\delta$  の精度を向上させるためである。CCD 画像で工具の位置決めを行った後、ぼやけたエッジを鮮明に処理した。使用する画像処理ソフトウェアは、Microsoft Visual C# 2017 を用いて開発した。

Pic.2 に工具とその鏡像の原画像の 1 例を示す。工具にはステンレスの丸棒 (SUS304,  $\Phi 3.0\text{mm}$ ) を使用した。フラットエンドミルを回転させると、その像が丸棒を回転させた場合とほぼ同様になるため、今回は丸棒を使用した。



Pic.2 Endmill and its mirror image.

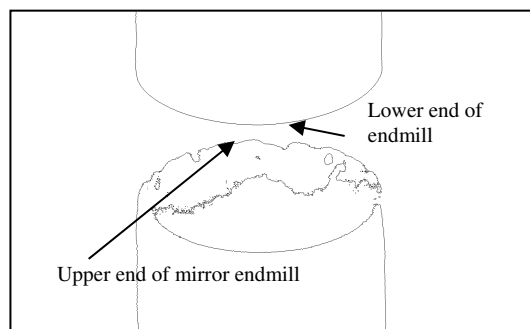


Fig.3 Edges detected by Laplacian operation.

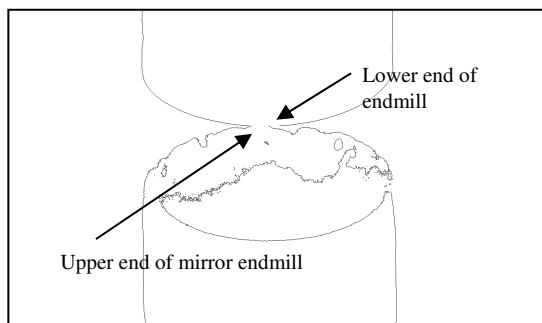


Fig.4 Endmill fine adjusted to mirror endmill.

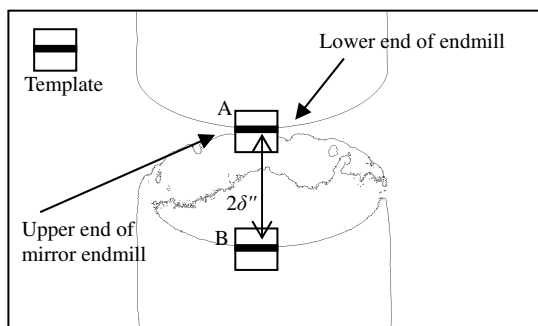


Fig.5 Template matching method.

CCD カメラの角度を  $30^\circ$  に設定し、工具回転中の像を光学 40 倍ズームレンズで撮影して PC に取り込む。

CCD 画像を目視しながら工具を z 軸方向に下げていき、工具の下端と鏡像の上端が接する付近まで近づける。写真において、上側が工具、下側が鏡像である。

画像処理の第 1 段階で、Pic.2 に示す写真が二値化により黒と白の二値画像に変換される。第 2 段階は、Table 1 に示す  $3 \times 3$  のラプラシアンフィルタを用いたエッジ抽出である。

Table 1  $3 \times 3$  Laplacian filter

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

二値画像のエッジを抽出して輪郭を強調するため、 $3 \times 3$  ピクセルごとに、画像全体に対してラプラシアンフィルタ<sup>(11)(12)</sup> を適用した。その結果を Fig.3 に示す。Pic.2 において、ぼやけていたエッジが抽出され、輪郭が実線で表れていることが分かる。しかし、Fig.3 では工具と鏡像の間に隙間が存在している。この隙間を微調節することにより、理論的な距離  $\delta$  と実際の距離  $\delta'$  の差を小さくできると考えられる。

工具を徐々に下方へ送り、上記の二値化とラプラシアンフィルタを適用しなおすことによって、Fig.3 における隙間は減少する。Fig.4 に示すように、工具の下端と鏡像の上端が接触していることが分かる。これにより、理論的な距離  $\delta$  に到達できたと見なされるが、これで結論に至ってはいない。実際の距離  $\delta'$  と画像上の距離  $\delta''$  の関係についてさらに検討を進める。

画像処理の第 3 段階は、画像上の距離  $\delta''$  を得るためのエッジのパターン認識である。画像から水平線部分を抽出するテンプレートマッチング法を Fig.5 に示す。テンプレートには、水平線を含む  $25 \times 25$  ピクセルの画像を用いた。このテンプレート画像に一致する箇所を画像上の左上から逐次探索していった。このとき最初にマッチングした箇所を A とし、次にマッチングした箇所を B とする。その結果、A と B の距離が求まる。この値が CCD 画像における工具と鏡像の距離  $2\delta''$  となる。

### 3.2 画像処理に基づく位置決め実験

実際の距離  $\delta'$  と画像上の距離  $\delta''$  の関係を調べるため、画像処理をもとに工具位置決め実験を行なった。実験条件は 2.2 節と同様である。工具としてのステンレス丸棒の直径は  $\Phi 3$ ,  $\Phi 4$ , および  $\Phi 6$  である。CNC フライス盤の主軸回転速度は  $3,100\text{min}^{-1}$  とし、CCD カメラの設置角度は  $30^\circ$  とした。原画像は工具回転中に光学 40 倍ズームレンズで撮影した。

隙間ゲージによる実測値  $\delta'$  と画像上で処理された工具下端と鏡像の距離  $\delta''$  の関係を Fig.6 に示す。図の結果を最小二乗法で近似すると、以下の式が得られた。

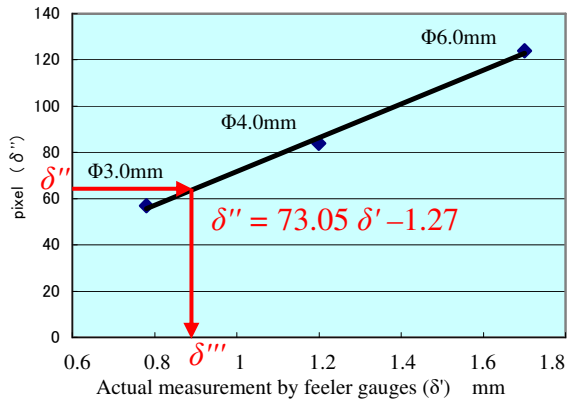


Fig.6 Relationship between  $\delta'$  and  $\delta''$ .

$$\delta'' = 73.05 \delta' - 1.27 \quad \dots(3)$$

$2\delta''$ は Fig.5 に示す第 3 段階の画像処理により得られるため、距離  $\delta'$  の推定値  $\delta'''$  は式(3)によって算出される。すなわち、Fig.6 において、画像上の距離  $\delta''$  が決定すれば、回帰直線により、 $\delta'$  の推定値  $\delta'''$  が得られる。

推定値  $\delta'''$  と実測値  $\delta'$  の平均誤差は約 3%となった。したがって画像処理による距離の検出によって精度が向上する可能性が見出された。

ここで、被削材の上に設置する反射鏡の厚さは  $t = 1.1 \text{ mm}$  である。したがって、小径切削工具先端と被削材間の距離  $h$  は、工具先端と反射鏡の距離の推定値  $\delta'''$  に反射鏡の厚さ  $t$  を加えた値となる。

本研究で用いたエッジ検出やエッジのパターン認識は熟練に依存せず、大変効率の良い方法であるといえる。

#### 4. まとめ

本研究では、小径切削工具と被削材の距離を熟練無しに検出するため、CCD カメラと薄い反射鏡 (SUS304BA) を用いた非接触法について提案した。

はじめに、回転中の工具とその鏡像を含む CCD 画像を PC に取り込み、画像に対して 3 段階のデジタル画像処理を施した。

第 1 段階は二値化で、第 2 段階はラプラシアンフィルタによるエッジ検出、第 3 段階はエッジのパターン認識である。テンプレートマッチング法によりエッジが認識された後、工具の下端と鏡像の上端の距離をピクセル数として得た。

最後に、工具先端と被削材表面間の画像上の距離と実際の距離について関係式を導いた。

画像処理を適応することにより、距離の検出精度を向上させる可能性が見出され、推定値と実測値の平均誤差は 10.0%から 3.0%に改善された。

画像処理技術を用いた小径切削工具と被削材間の距離検出について今後、自動化することが期待される。

#### 参考文献

- (1)BIG DAISHOWA: Position detecting tool, POINT CENTER,CATALOG No.EXm322-1110-1, <http://www.big-daishowa.com/>(2022)
- (2)Suzuki,S., Kamiya,K., Maeda,Y., Ushima,Y. and Nomura,T.: Non-contact Method for Detecting the Tip Position of a Micro-tool Using the Peak of the Contrast of Images, Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 75, 11,(2009),pp.1329-1334(in Japanese).
- (3)Smith,L., Smith,M.: Seeing is believing in the machine vision age, Metal Powder Research, July/ August,(2002), p.20-29.
- (4)Su,J.C., Huang,C.K., Tarng,Y.S.: An automated flank wear measurement of microdrills using machine vision, Journal of Materials Processing Technology, 180,(2006), pp.328-335.
- (5)Kim,J.H., Moon,D.K., Lee,D.W. et al: Tool wear measuring technique on the machine using CCD and exclusive jig, Journal of Materials Processing Technology, 130-131,(2002), pp.668-674.
- (6)Prasad,K.N., Ramamoorthy,B.: Tool wear evaluation by stereo vision and prediction by artificial neural network, Journal of Materials Processing Technology, 112,(2001), pp.43-52.
- (7)Wang,W., Wong,Y.S., and Hong,G.S.: Flank wear measurement by successive image analysis, Computers in Industry, Machine Vision Special Issue, 56, 8-9,(2005), pp.816-830.
- (8)Lanzetta,M.: A new flexible high-resolution vision sensor for tool condition monitoring, Journal of Materials Processing Technology, 119,(2001), pp.73 -82.
- (9)Huang,C.K., Tarng,Y.S., Chiu,C.Y., Huang,A.P.: Investigation of machine vision assisted automatic resharpener process of micro-drills, Journal of Materials Processing Technology, 209,(2009), pp. 5944-5954.
- (10)Halkac,H.S., Mavi,O., Yigit,O.: Evaluation of form error at semi-spherical tools by use of image processing, Measurement, 40, 9-10,(2007), pp.860- 867.
- (11)Gonzalez,R.C., Woods,R.E.: Digital Image Processing (2nd Edition), Prentice Hall,(2002)
- (12)Shen,D.F., Chiu,C.W., Huang,P.J.: Modified Laplacian Filter and Intensity Correction Technique for Image Resolution Enhancement, ICME 2006, (2006), pp.457-460.