

## CCDカメラを用いた工具摩耗測定法の検討\*

飯村 崇\*\*、若槻 正明\*\*、堀田 昌宏\*\*  
和合 健\*\*、多田 三郎\*\*\*

高硬度材の切削加工技術は、製造時間を短縮する上で重要である。しかしこの方法は、工具への負担が大きく、工具寿命の問題が指摘されている。そのため、安定した加工を行うには、工具監視が必要である。そこで、CCDカメラを使用し、すくい面摩耗の凹凸を測定する方法について検討を行った。80 $\mu$ mの段差を持つテストピースを作成して確認実験を行い、平均で数 $\mu$ m程度の誤差で測定が可能であることを確認した。

キーワード：CCDカメラ、工具摩耗、すくい面、能動的ステレオ法

## Estimation of Measuring Tool Wear with CCD Camera

IIMURA Takashi, WAKATUKI Masaaki, HOTTA Masahiro,  
WAGO Takeshi and TADA Saburo

Recently, the method of cutting hard metals is researched for shorten work time. In this method, the load on tool is very big, and the problem of tool life is pointed out. So it is necessary to observe tool wear for stable machining. We estimated the method to measure rake wear with CCD Camera, and confirm that the error is only several  $\mu$  m in measuring test piece which has 80  $\mu$  m step.

key words: CCD camera, tool wear, rake face, active stereo method

### 1 結 言

金型材等を焼き入れ後に切削加工する方法は加工時間の短縮に非常に有効であり、近年の工具の発達とともに注目されてきている。しかし、工具メーカー各社が研究を進めているにもかかわらず、工具への負担が大きく工具寿命の面でまだ問題がある。そのため、不良品を出さない安定した加工を行うには、工具をオンマシンで監視する必要がある。この工具監視の一環として、昨年は CCD カメラを使用して逃げ面摩耗の測定を行う方法を検討し、工具摩耗の判定を行うことが可能となった。しかし、工具摩耗の進行は複雑な条件が絡み合うため、1方向からの測定では十分な効果を得ることは難しいことが知られており、すくい面の監視も必要である。現在すくい面の監視は、工具を取り外し、粗さ計などで形状を測定する方法等が考えられるが、工具を取り外すことにより、長い測定時間・変化する加工条件など様々な問題が発生する。そのため、実際の作業環境ではルーペや目視による観察もしくは触覚による凹凸の確認、加工したワーク表面の観察等しか行われてい

ない。

そこで本年度は、切削工具すくい面の凹凸についてコンピュータを用いて自動測定する方法を検討したので、その経緯を報告する。

### 2 測定方法及び測定装置

非接触で工具加工面全体の情報を得るため、測定装置は CCD カメラを使用した。CCD カメラで3次元情報を得るには、ステレオ法と呼ばれる方法がある。ステレオ法では、カメラを2つ用いる受動的ステレオ法が有名だが、画像マッチングなど複雑な問題があるため、今回は片方のカメラを、光を照射する装置に置き換えた能動的ステレオ法を用いた。この方法は、光の照射方法によって、エッジなど特徴的な部分だけでなく、面についても測定が可能であり、応用範囲が広いという利点がある。また、能動的ステレオ法にも光の照射方法によりいくつかの方法が考えられるが、今回の測定対象物である工具摩耗は 2 × 2(mm)程度と小さく、その大きさに合わせてスリット光やパターン光

\* 高硬度難加工金属材料の高精度加工技術の開発（東北ブロック広域共同研究推進事業）

計測評価システム及び加工条件のデータベース構築（第3報）

\*\* 電子機械部 \*\*\* 電子機械部（現在 木工特産部）

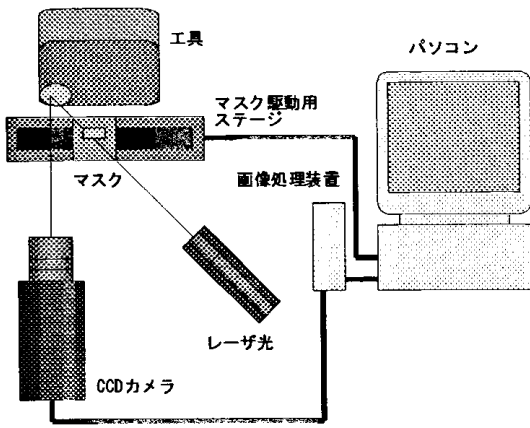


図1 測定装置概要

を加工するのは困難であるため、光の加工が簡単なステップ光を用いることとした。

図1は本装置の概要である。画像取込装置は CCD カメラ (512 × 512 画素)、画像処理ボード及び画像処理用コンピュータから構成される。この CCD カメラとレンズ及び画像取込ボードの組み合わせでは、1画素は 0.013 × 0.013 (mm) の寸法に相当する。また、駆動用に X-Y ステージ (最小送り 1 μ m)、光源には直進性の高いレーザー光 (半導体レーザー) を使用した。このレーザー光源から斜めに照射されたレーザー光が被測定物で反射され、被測定物正面に設置された CCD カメラに入力される。

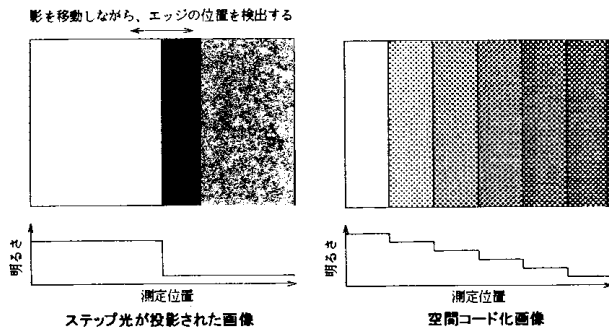


図2 ステップ光及び空間コード化画像

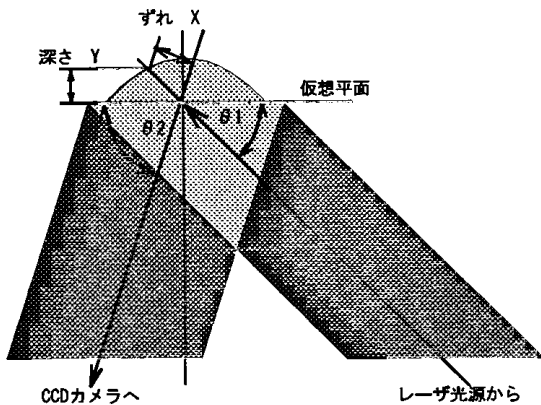


図3 測定原理

○ステップ光投影法

まずレーザースポットの片側を覆い、ステップ状の光パターンを作る。このステップ状の光パターンで対象空間を走査して、光パターンの微小変化毎に画像を入力し、ステップ光のエッジ位置を検出する。(図2) そのようにして得られた空間コード化画像に対し、レーザー光源とカメラと光パターンを結んでできる三角形から深さ方向の距離を計算で導き出す、三角測量の原理に基づいた方法である。

(図3) 式(1)はその計算方法を表している。

$$Y = X \cdot \sin \theta_1 / \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

3 検討及び結果

測定データのばらつきを小さくし、正確な測定を行うため、測定データの処理方法について検討を行った。

平面を測定する場合、空間コード化画像の縞は、図4左のように等間隔でまっすぐなものとなるはずであるが、実際に得られるデータには、図4右のようにノイズ等に起因する微細な凹凸が発生する。そこで、この凹凸(ばらつき)のエッジ位置の分布を調べたときの標準偏差を測定データの偏差として、各処理方法の比較の際に使用した。また、測定データの偏差を減少させる方法として、昨年の結果から入力画像に時間平均化処理と、メジアンフィルタ処理を行うこととした。

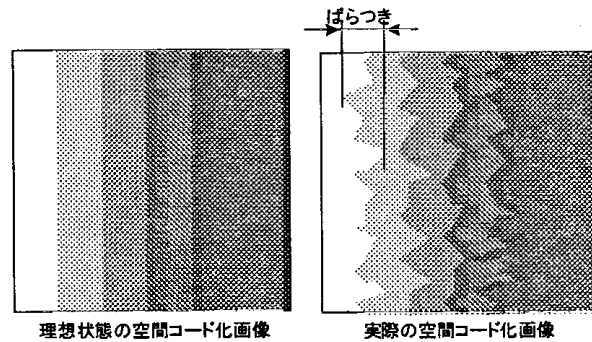


図4 測定データの偏差

3-1 しきい値決定法の影響

しきい値の決定は、工具材種の変化や測定環境の影響をキャンセルするため、測定の度に行うこととした。具体的には、次の3つの方法を検討した。

- 1) レーザを照射した画像及び照射していない画像を取り込み、各画素について明るさの比率を計算し、ダイナミックレンジを拡大して、中間の明るさ 128 をしきい値とする。
- 2) レーザを照射した画像及び照射していない画像を取り込み、各画素についてその中間 (1/2) の値をしきい値とする。しきい値は次の式で与えられる。

$$T = (b1 - b2) / 2 + b2 \quad (1)$$

- しきい値 : T
- レーザーを照射した場合の明るさ : b1
- レーザーを照射していない場合の明るさ : b2

3) レーザを照射した画像及び照射していない画像を取り込み、明るさの分布を求め、レーザを照射した場合の一番暗い値と、レーザを照射しない場合の一番明るい値の中間値を画面全体に対するしきい値とする。

図5はそれぞれの方法で測定偏差を求めた結果である。2)の方法であるレーザ照射有り無しの中間の値を採用した場合の偏差が最も小さいことがわかった。そのため2)の方法を用い、しきい値を決定した。

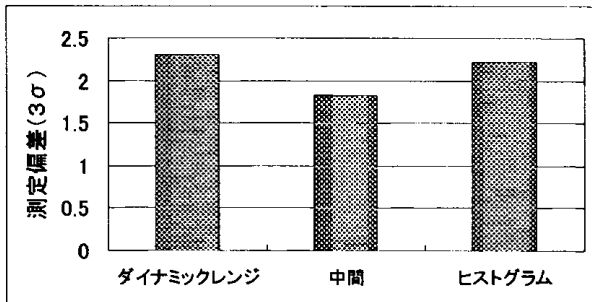


図5 しきい値決定法の影響 (測定工具: TH10)

2)の時点では、しきい値決定時のしきい値変動値  $n$  に  $n = 2$  を採用したが ((2)式参照)、このしきい値変動値  $n$  についても検討を行った。

$$T = (b_1 - b_2) / n + b_2 \quad (2)$$

結果は図6の通りで、 $n = 3$  の時 ((3)式) が最も偏差が小さく、中間よりやや低めの値がよいことがわかった。

$$T = (b_1 - b_2) / 3 + b_2 \quad (3)$$

これは、マスクが移動するに従い、周囲からの乱反射成分が減少することによって画面が次第に暗くなるためと考えられる。

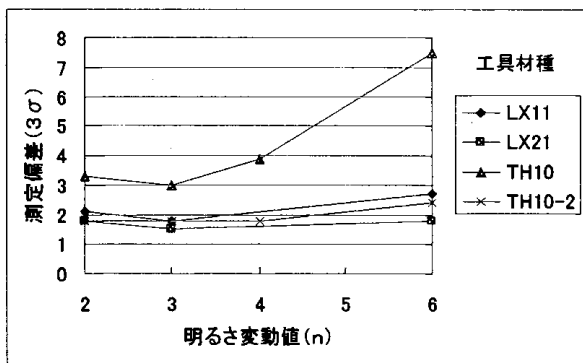


図6 しきい値決定法の影響 2

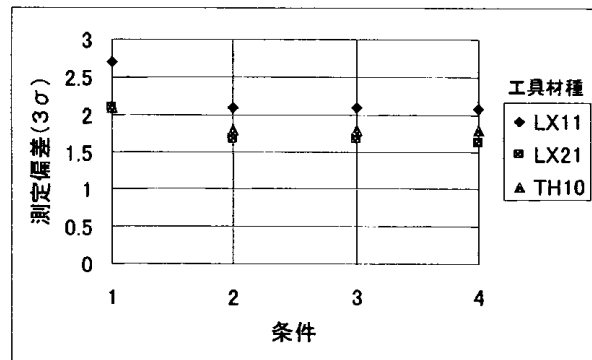
### 3-2 画像取込

工具表面は摩耗だけでなく構成刃先やカーボンの付着などにより状態変化が大きく、反射光が安定しないため測定が困難である。今回の測定法でも乱反射の影響により偏差が大きくなる傾向にあることから、微細な凹凸の情報を捨てて、クレータ全体の凹凸を再現性良くとらえる方向で検討を行った。即ち、画像を取り込む際に、フィルタ処理を行うこととした。使用するフィルタとして

は単純で計算時間が短い、次の2つを検討した。

- 1) メジアンフィルタ
- 2) 空間平均化フィルタ

図7はメジアンフィルタを使用した場合と、空間平均化フィルタを使用した場合の測定偏差について調査した結果である。この図からもわかるように、メジアンフィルタ処理を行い時間平均化処理を行った場合と、空間平均化フィルタ処理を行い、時間平均化処理を行わない場合の測定値には、ほとんど差が見られない。また空間平均化フィルタ処理を行った場合、時間平均化処理の効果があまりないこともわかった。このことから、画像取込の段階では測定偏差を抑え、かつ測定時間を短縮するため、空間平均化フィルタ処理のみを行うこととした。

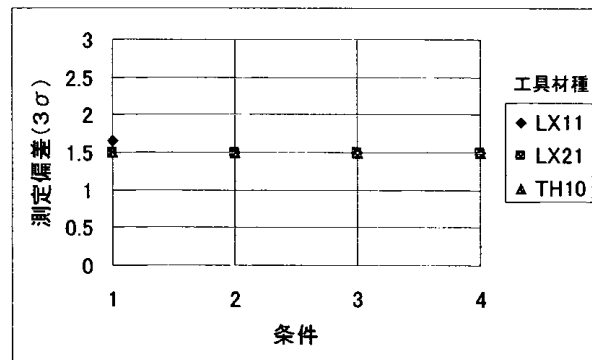


- 条件 1 メジアンフィルタ+時間平均化処理 (2回)  
 2 空間平均化フィルタ  
 3 空間平均化フィルタ+時間平均化処理 (1回)  
 4 空間平均化フィルタ+時間平均化処理 (2回)

図7 データ取り込み時の画像処理の影響

### 3-3 空間コード化画像

取込画像を加工した空間コード化画像についても、ノイズ低減処理の有効性について検討を行った。この時点では既に画像の加工が行われており、必要以上の処理は精度の低下につながることも考えられる。そこで、画像への影響が少ないメジアンフィルタ処理について検討を行った。(図8)



- 条件 1, 2, 3, 4... 図8の測定+空間コード化画像に対するメジアンフィルタ

図8 空間コード化画像に対する画像処理の影響

図7と比較すると、全体的に偏差が低下していることが確認できる。

#### 4 測定結果

3で検討してきた測定方法を用いて測定を行った際の精度の確認を行った。

##### 4-1 段差測定による測定精度の確認

図9は、約80μmの段差を作り測定を行った結果である。今回の測定が画素単位(13μm)であることから、10μm程度の凹凸が発生しているものの、平均するとZygo社製表面形状解析顕微鏡による測定値と非常に良く一致している。(表1)

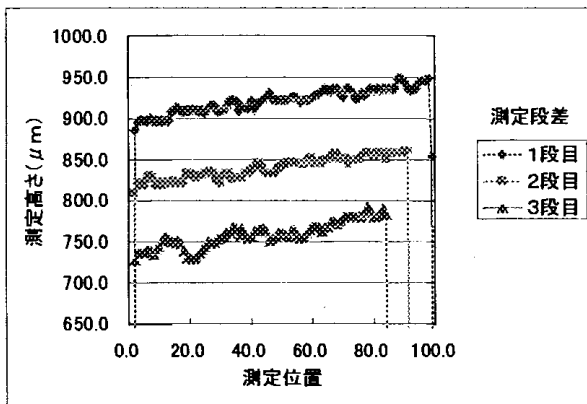


図9 段差測定値

表1 段差測定結果 (μm)

	CCDカメラ	Zygo
1段目-2段目	76.2	78.6
2段目-3段目	80.6	80.5

##### 4-2 工具摩耗部の測定結果

図10は実際に摩耗した工具について測定を行った結果である。詳細を正確に比較する方法がないので、判断が難しいものの、目視でZygo社製表面形状解析顕微鏡の測定結果(図11)と比較した限り、クレータの底から一番高いところまでの高さの値や、凹凸形状の様子などがほぼ同様に測定されている。

#### 5 結 言

以上述べたように、5-1の処理を行うことで、5-2の測定結果を得られることが確認できた。

##### 5-1 ノイズ低減処理

ステップ光投影法を用いる工具摩耗部形状の3次元測定方法では、下記の処理が有効である。

1) しきい値決定: レーザ有り・無し各画像について、メジアンフィルタ処理及び時間平均化処理(2回)を行い、その値を元に各画素について以下の計算を行う。

$$T = (b1 - b2) / 3 + b2$$

2) 画像取り込み: 取込の際、空間平均化フィルタ処理を行う。

3) 空間コード化画像: メジアンフィルタ処理を行う。

##### 5-2 測定結果

今回確立した方法による測定で、次の結果を得た。

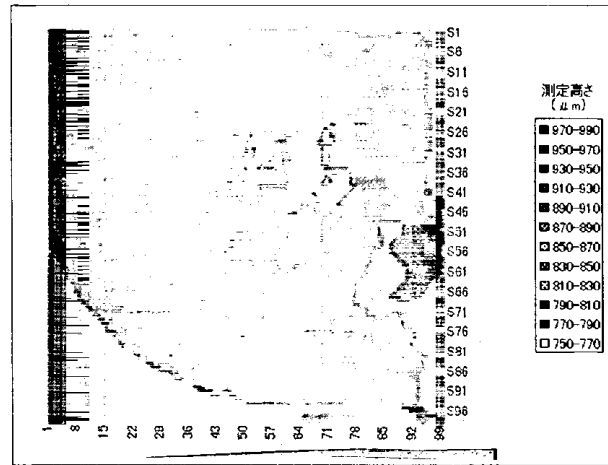


図10 クレータ摩耗の測定結果

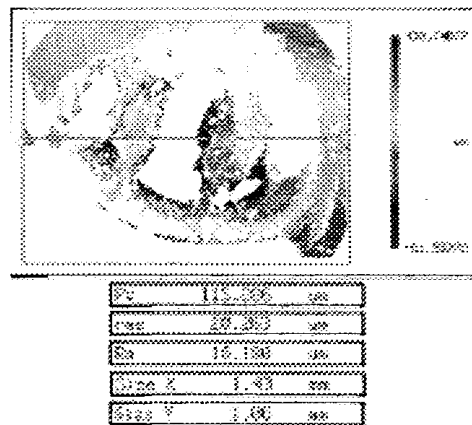


図11 表面解析顕微鏡(Zygo社)による測定結果

- 1) 約80μmの段差を作成し表面形状解析顕微鏡との比較を行ったところ、平均値は良く一致する。
- 2) 実際の工具摩耗部を測定した結果、凹凸の最大深さ等、表面形状解析顕微鏡による測定値と良く一致する。

#### 謝 辞

本研究を実施するにあたり、ご指導・ご助言いただいた岩手大学工学部情報工学科 渡辺孝志教授、木村彰男助手、阿部英志技官に感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, ㈱昭晃堂
- 2) 谷尻豊寿: パソコンによる最新画像処理入門, 技術評論社
- 3) 谷口慶治: 画像処理工学, 共立出版(株)
- 4) 森 俊二, 坂倉梅子: 画像認識の基礎 [I], オーム社
- 5) 長谷川純一ほか: 画像処理の基本技法, 技術評論社