502 ステレオ視法による砥石砥粒形状の3次元計測

3D measurement of abrasive grain shape and its distribution in the grinding wheel
by binocular stereopsis

○非 野口 秀崇 (茨城大院) 正 尾 嶋 裕隆 (茨城大工) 正 小 貫 哲平 (茨城大工)
正 清水 淳 (茨城大工) 正 周 立波 (茨城大工)

Hidetaka NOGUCHI, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Hiroataka OJIMA, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Teppei ONUKI, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Jun SHIMIZU, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Libo ZHOU, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Abrasive grain shape and its distribution in the grinding wheel have an influence on the grinding characteristic of the wheel. Therefore, we aim to develop the 3D measurement system for abrasive grain shape and its distribution in the grinding wheel by binocular stereopsis. In this paper, 3D measurement of sample object is carried out to investigate the capability of the proposed measurement method. From the comparison between the 3D shape by proposed method and laser microscope, we confirmed the capability of this proposed method.

Keywords: abrasive grain, 3D measurement, binocular stereopsis, pattern matching,

1. 緒 言

研削砥石作業面の砥粒切れ刃の形状や分布は、形直し・目直し作業や工作物仕上げ面粗さ良否、砥石寿命の判断指数になるほか、研削特性そのものに影響を及ぼす。したがって、高精度な研削加工を実現するためにはそれらを正確に計測することが極めて重要な作業となっている。また、砥粒切れ刃の高さを計測するには、3次元情報も考慮する必要がある。これを実現する手法として、ステレオ視法がある。この方法には、対象物を撮影した、視差を持つ複数の画像があれば、3次元計測が行えることから、写真測量などの分野で測距法として古くから利用されてきた¹⁾。

そこで本研究では、ステレオ視法により砥石砥粒形状の3次元計測が可能なシステムの構築を目的としている。ここでは、考案したシステムにより3次元計測が可能かどうかを、試料に対して計測を試みた結果について報告する。

2. ステレオ視法

ステレオ視法とは、視差を持つ複数の画像からその奥行き方向の座標を得る測定法のことである。Fig. 1 にステレオ視法の概念図を、Fig. 2 に光軸交差法の測定原理を示す。ワールド座標系 Σ_w とピクセル座標系 Σ_p を考える。①の姿勢で1枚目の画像を撮影し、試料を y_w 軸まわりに θ だけ回転させた②の姿勢で2枚目の画像を撮影する。回転により Σ_w 内で x_{wl} の位置にあった点が次の式(1)に従って x_{wr} に移る。

$$x_{wr} = x_{wl} \cos \theta - z_{wl} \sin \theta \quad (1)$$

x_{wl} および x_{wr} が既知であれば、次式によって①の姿勢における高さ z_{wl} を、求めることができる。

$$z_{wl} = \frac{x_{wl}}{\tan \theta} - \frac{x_{wr}}{\sin \theta} = T \left(\frac{x_{pl}}{\tan \theta} - \frac{x_{pr}}{\sin \theta} \right) \quad (2)$$

Fig. 1 Concept of binocular stereopsis

Fig. 2 Measurement principle of binocular stereopsis

ここで T は1ピクセルあたりの長さを表す値で、撮影倍率と画像の画素数で決まる値である。

また、これらをまとめてマトリックスで示すと以下のようになる。

$$\begin{Bmatrix} x_{wl} \\ y_{wl} \\ z_{wl} \end{Bmatrix} = T \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{1}{\tan \theta} & 0 & -\frac{1}{\sin \theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_{pl} \\ y_{pl} \\ x_{pr} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

3.3 次元形状計測

本研究で用いた簡易計測システムの外観図を Fig. 3 に、構成要素仕様を Table 1 に示す。また、本研究の 3 次元形状計測方法のフローチャートを Fig. 4 に示す。

Fig. 3 に示した計測スタンドは、垂直方向を 0° とした時に左右 15° 刻みで最大 $\pm 60^\circ$ 傾けることができ、各角度において撮影することができる。その計測スタンドにクランプで固定されたカメラを、傾き 0° と 15° の 2 画像を撮影し、ステレオペア画像として取得する。続いて、撮影した画像を、これ以降の処理に適した画像にするための前処理を行う。Fig. 4 の左上の画像は原画像で、右上の画像は、ヒストグラム平坦化を行った画像、中央左の画像はエッジ検出のために 2 値化した画像である。また、エッジや砥粒と思われる黒点より抽出した特徴点を中央右の画像に示す。

次に、最も重要な本処理の対応付けを行う。3 次元計測はペア画像における対応する点の視差を用いるが、 x_{pl} と x_{pr} を自動的に対応付けすることが難しい。この問題を解決する手法として、パターンマッチングがある。本研究では、形状ベースパターンマッチングを用いた²⁾。この手法は大きく 2 つのステップに分かれる。第 1 ステップは対応付けのためのテンプレートを作成するものである。ペア画像の片方から対象部分を取り出し、テンプレートとする。第 2 ステップはテンプレートを探索するものである。ここで、対応付けされた部分の画素座標値 x_{pl}, y_{pl} が得られる。その結果、式(1)より視差が求められる。Fig. 4 の場合においては、左下画像のように対象部分より特徴点を抽出し、テンプレートを作成する。そのテンプレートを用い、ペアである右下画像との対応付けを行う。

そして、対応付けにより得られた視差と画素座標値 x_{pl}, y_{pl} を用いて、式(3)より、3 次元座標を計算する。その後、得られた座標値に後処理を加え、最後に MATLAB を利用し、3 次元形状を表示する。

4. 計測結果と考察

本手法により得られた 3 次元形状を、レーザ顕微鏡により計測した結果と比較した。頭頂部を通る山型の形状のラインプロファイルを Fig. 5 に示す。Fig. 5 の上側がレーザ顕微鏡による計測結果、下側が本手法による結果となっている。検証の結果、水平方向に -7.0% 、垂直方向に -18.2% の相対誤差があった。この誤差の原因として、カメラ内部のレンズの性質による画像歪みや明るさ、カメラの位置・姿勢のパラメータなどが影響していると推測しており、これらを正確に求め、キャリブレーションすることで改善されるのではないかと考えている。本手法による計測結果では、レーザ顕微鏡による結果よりも多少小さいものの、全体図では山型の形状を取得できていることがわかる。したがって、本手法による形状計測の可能性が確認できた。

5. 結 言

ステレオ視法により砥石砥粒形状の 3 次元計測が可能なシステムを構築するために、試料に対して 3 次元形状計測を試みた。以下に得られた結果を示す。

- ・ 角度を視差とするステレオ画像を撮影し、3 次元形状を求めるアルゴリズムを構築した。
- ・ テスト計測の結果とレーザ顕微鏡による形状の比較により、本手法による 3 次元形状計測の可能性を確認できた。

Fig. 3 Measurement system

Table 1 Specifications of hardware

Sample object	Sandpaper
Grit size	40 μ m
Camera	Edmund Optics EO-3112
Machine vision lens	MMS(R) R-200
magnification ratio	1.6 $\times$
Camera angle	0° , 15°

Fig. 4 Flowchart of measurement process

Fig. 5 Line profile of the side and the height

参考文献

- 1) 田村秀行：コンピュータ画像処理，オーム社，(2002)，pp.228-229
- 2) LinX: HALCON 活用法，LinX，(2004) pp.128-146.