

# 像鮮性に基づく高度研磨面の評価

電気通信大学 ○京島快, 電気通信大学大学院 ◎森重功一

## 要旨

本研究では、高度研磨面の検査における評価項目の一つである鮮映性を、コントラストオートフォーカス法によって数値評価し、検査工程を自動化する手法を提案している。検証の過程で研磨痕の方向性やノイズ処理が考慮された投影パターンと画像処理方法を検討し、それらを組み込んだ同軸照明型の検査装置を製作した。数種の研磨サンプルについて表面粗さと本装置による評価値の間に一定の相関が得られ、本手法の有効性を確認した。

## 1. 序論

研磨加工は、加工面に要求される機能的あるいは装飾的表面品質を付加するものである。研磨面における不良や欠陥の発生は品物の商品価値を直接左右するため、その検査工程は極めて重要である。しかし、研磨面の評価、特に広い面積に対しては、生産現場で利用できる簡便な測定方法がなく、目視による官能検査に頼っているのが現状である。

一方、画像処理による評価は、デジタルカメラと照明を組み合わせた簡易で安価な装置を利用できることや、用途に応じて柔軟に処理を変更できるといった利点があるため、生産現場での使用に適した評価方法である。

本研究では、物体表面に映り込む写像の明瞭さを示す鮮映性を、画像処理により数値評価することによって研磨面性状を評価する手法について検討する。

## 2. 本手法の概要

### 2.1 研磨面の反射特性と投影パターンの考案

本研究で対象とする研磨痕方向が一定の研磨面では、光の反射の様子が研磨痕方向に依存し、図 1(a)の研磨痕に対して垂直な方向では拡散反射のように、図 1(b)の研磨痕に対して平行な方向では正反射ようになる。このような面にパターンを投影すると、図 2(a)に示す点パターンでは、研磨痕に垂直な方向では鮮映性が著しく低下し、評価領域の設定が困難となる。

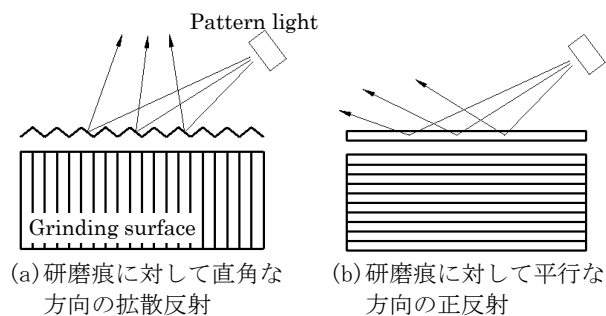


Fig.1 研磨痕方向による反射特性の違い

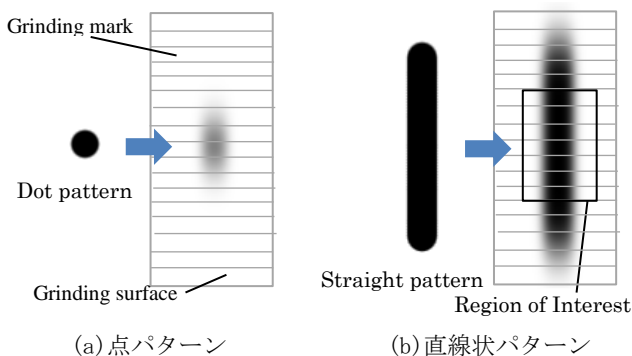


Fig.2 研磨面のパターン反射像

ここで図 2(b)のような研磨痕に垂直な方向に伸びた直線パターンを投影すると、鮮映性の低下する研磨痕に垂直な方向で反射像の重ね合わせが生じるため、直線中央部の鮮映性が向上し評価が容易となる。この領域を検査対象として固定することで、研磨痕に平行な方向の鮮映性も評価できる。また、この直線パターンを平行に並べて配置することで評価範囲を拡張することもできる。

### 2.2 撮像システム

反射像を得るための撮像装置外観を図 3(a)に、内部構造を図 3(b)に示す。投影パターンは、図 4 のような長さ 20mm の直線を 3mm で等間隔に並べた直線群である。このパターンはハーフミラーを介して検査面状に投影され、反射像は上部のカメラで取得される。カメラは USB で計算機と接続され、画像の取り込みや露出補正など必要な操作は全て計算機から行う。

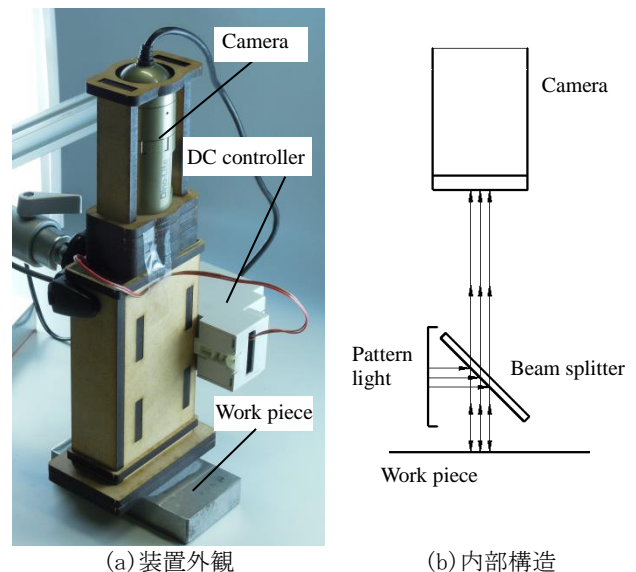


Fig.3 撮像装置概要

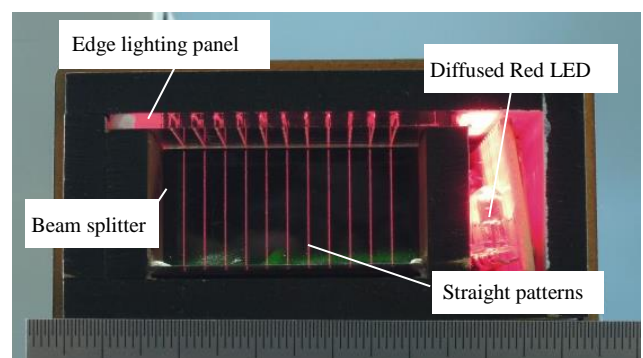


Fig.4 パターン照明

## 2.3 鮮映性の数値化

写像の鮮映度を数値化する手法として、本研究ではコントラスト検出を用いる。コントラスト検出は、カメラのオートフォーカス機能によく用いられる画像処理アルゴリズムである。注目画素まわりのコントラスト $f$ は、各点の輝度値 $k_0$ と8近傍の輝度値 $k_1, k_2 \dots k_8$ を用いて式(1)のように表現される。

$$f = \sum_{m=1}^8 (k_0 - k_m)^2 \quad (1)$$

例えば、あるパターンの一部と想定した $3 \times 3$ 画像の中心画素について、図5(a)では $f = 195,075$ となる。一方、図5(b)では $f = 58,525$ となり、鮮映性の高い画像ほど $f$ が大きくなる。画像の任意領域における $f$ の合算値を $f_{index}$ とすると、その領域内の鮮映性に対応して $f_{index}$ が上昇する傾向が得られる。

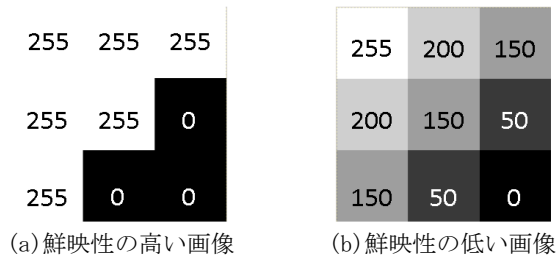


Fig.5 鮮映性の異なる画像の $f$ 比較

## 2.4 撮像ノイズ除去と最適化

暗部でのコントラストを取得するためには、カメラの感度を上げる必要がある。高感度で撮影された画像にはランダムノイズが付加される。また、反射パターン端部では、観測される光量が非常に少ないため、撮像毎に少しずつランダムに形状が変化するゆらぎのようなものが発生する。この2つのランダム要素は、本装置の再現性を低下させる。そのため、鮮映性を損なうことなくランダム要素を除去する方法として、撮影時刻の異なる2つの画像に対し、画像間演算となる乗算合成を行う。

乗算合成は、2枚の入力画像の各座標における輝度値 $A(x,y)$ 、 $B(x,y)$ と出力画像 $G(x,y)$ を用いて式(2)のように表現される。

$$G(x,y) = \frac{A(x,y) \times B(x,y)}{255} \quad (2)$$

入力画像A、Bと乗算合成により出力された画像Gを図6に示す。パターンの鮮映性に大きな影響を与えることなく、パターン間に表れるランダムノイズが除去されている。

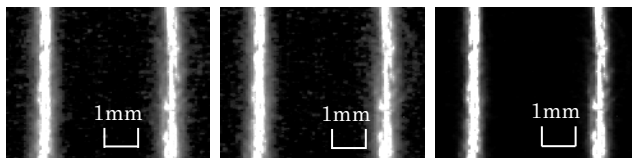


Fig.6 乗算合成によるノイズ除去結果

## 2.5 表面粗さと鮮映性の相関

粒度の異なる軸付ペーパー工具4種、軸付ゴム砥石6種、研磨剤を用いたサイザル、バフ研磨の合計12種の先端工具を用い、それぞれ研磨痕方向が揃った理想的な研磨面を製作した。素材は金型を意識してHPM1を選択した。

それぞれの研磨面に対し、レーザーマイクロスコープを用いて測定した表面粗さおよび $f_{index}$ を計測した結果、図7のように、表面粗さRaの向上に従って鮮映性 $f_{index}$ が上昇するという、一定の相関を得た。

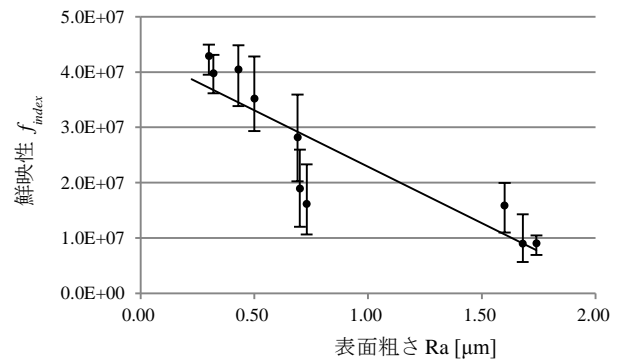


Fig.7 鮮映性と表面粗さの相関

## 3. 検証実験

### 3.1 実験目的と検証方法

加工された研磨面は、その過程によって、肉眼で観察される研磨痕の状況や表面粗さが異なる。このような場合に対する、開発手法によって得られた鮮映性の計測値と表面粗さの相関について検証した。

加工過程の研磨面は、本研究室で開発された産業用ロボットによる自動研磨システムを用いて作成した。使用した先端工具は粒度#600の軸付ペーパー工具で、走査線状の経路により、繰り返し研磨を行い、その研磨回数ごとに得られた研磨面を加工過程のサンプルとした。ワークの素材はHPM1、加工前の表面状態は粒度#240の軸付ペーパー工具による一様な研磨面とした。

### 3.2 測定結果

研磨回数ごとの鮮映性と表面粗さの関係を図8に示す。自動研磨システムによる研磨加工の過程においても、表面粗さの向上にしたがい、鮮映性が上昇する傾向が得られた。

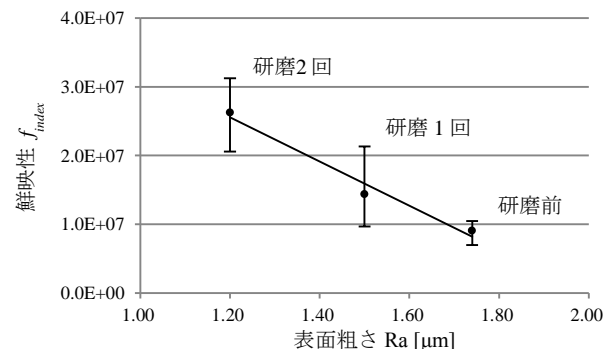


Fig.8 研磨サンプルの鮮映性と表面粗さの相関

## 4. 結論

本研究では、画像処理による鮮映性の数値評価を用いた研磨面の評価手法について検討した。

平面かつ研磨痕方向が一定の研磨面の場合、表面粗さと本手法による鮮映性の評価の間に一定の相関が得られた。さらに検証実験を行い、研磨加工の過程で得られる研磨面に対しても、鮮映性と表面粗さに同様の相関が得られ、研磨面の評価に、鮮映性を用いることの可能性を示した。

### 参考文献

- [1] 樋口 静一, 土屋 将: 画像処理を利用する加飾研磨仕上げ面性状の定量化, 精密工学会誌, 75, 10 (2009) 1233
- [2] 岡本 謙, 森重 功一: 統計的パターン認識に基づいたボールエンドミルによる切削面の外観検査, 日本機械学会論文集 C 編, 79, 803 (2013) 2585
- [3] 研磨布紙加工技術研究会: 実務のための新しい研磨技術, オーム社(1992)