

画像処理を用いた研磨作業における外観検査の自動化 —ハフ変換を用いたカッターマークの検出—

電気通信大学 ○小野塚健太, 電気通信大学大学院 ◎森重功一

要旨

本研究では、研磨作業における外観検査の自動化を目的として、加工面を撮像した画像に対してハフ変換を用いてカッターマークに対応する円形構造を検出することにより、加工面上のカッターマークの有無を判定する手法を開発した。研磨実験において撮像したカッターマークの状態が異なる加工面の画像に対し、研磨痕の影響を避けるためにソーベルフィルタを併用することで、より精度の高い判定が行えることを確認した。

1. 緒言

研磨加工は、機能的あるいは装飾的な品質を付加するために表面に施す加工である。研磨面における不良や欠陥の発生は品質を左右するため、その検査工程は極めて重要である。しかし、研磨加工は熟練した技術や感覚が必要であるため、完全な自動化は達成されていない。

本研究では、研磨作業の自動化を目的として、産業用ロボットとCAD/CAMシステムを用いた磨き作業と、画像処理技術を応用した研磨面検査の自動化に取り組んできた。先行研究では、機械学習による統計的パターンに基づいたカッターマークの検出などが行われてきた¹⁾。

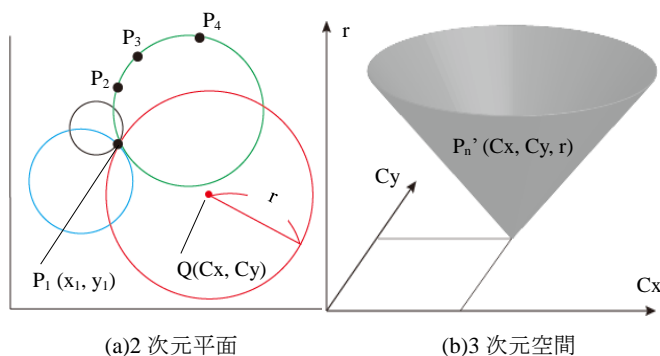
本研究では、カッターマークの検出率上昇を目的とし、カッターマークに対応する円構造の抽出を画像処理の方法であるハフ変換²⁾を用い、さらに研磨痕の抽出を避けるためにソーベルフィルタを併用し、切削面と研磨面の外観検査手法について検討した。

2. ハフ変換によるカッターマークの検出

本研究で用いるハフ変換は、画像中の線、円などの単純な形を検出する画像処理である。円を対象にしたハフ変換では、図1(a)に示すように、直交座標上の点 $P_n(x_n, y_n)$ を通るすべての円は、円の中心点 $Q(C_x, C_y)$ と半径 r で表される。ハフ変換は、 C_x と C_y を変化させながら、式(1)より半径 r を求める。

$$r^2 = (x_n - C_x)^2 + (y_n - C_y)^2 \quad (1)$$

式(1)を用いて、直交座標上の点 $P_n(x_n, y_n)$ を $P_n'(C_x, C_y, r)$ とし、新しい3次元空間で表現すると、図1(b)のように1枚の面に対応する。



(a)2次元平面 (b)3次元空間
Fig.1 ハフ変換における座標変換

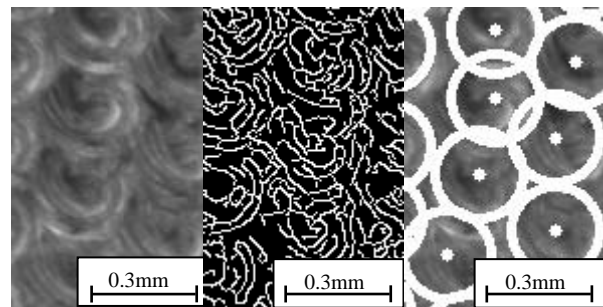
2次元座標上の複数の点から、空間上に複数の曲面が得られる。それらの曲面間に交差する点がある場合、それらの元となる $P_n(x_n, y_n)$ が同一の円上に並んでいることを示す。

円を求めるためのハフ変換では、画像中の全ての点 $P_n(x_n, y_n)$ に対して、この変換を行い、交差した回数が一定数以上の

ものを円と判断する。この交差した回数を投票数と呼ぶ。

ハフ変換に用いる定数は、撮像範囲から1画素の大きさを求め、切削条件におけるピックフィードから検出するカッターマークの半径値、ツールフィード方向の一刃あたりの送りからカッターマーク間の距離の最小値を求め、画素単位に変換して用いた。投票数とエッジ検出の閾値は、予め定めたものを使用した。

図2(a)に示すような切削面の画像から、(b)のようにエッジを検出し、ハフ変換をかけて投票数に達した場合、(c)のようにカッターマークが円として検出される。

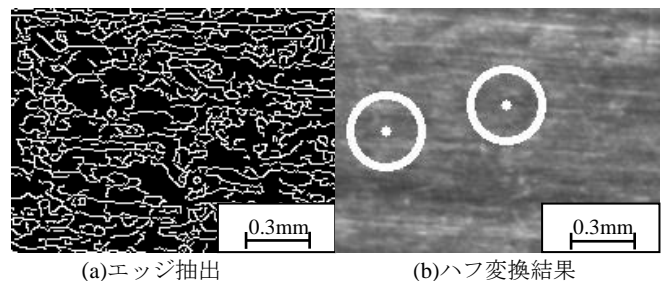


(a)カッターマーク (b)エッジ検出 (c)円検出

Fig.2 カッターマーク検出の流れ

3. ソーベルフィルタによる研磨痕の除去

カッターマークの検出にハフ変換を用いる問題として、図3(a)のように研磨による筋状の研磨痕がエッジとして抽出されることがあげられる。研磨痕が密集している研磨面の場合、カッターマークのない研磨面においても、ハフ変換による円の検出が投票数に達してしまい、図3(b)のように誤ってカッターマークとして検出されてしまうことがある。



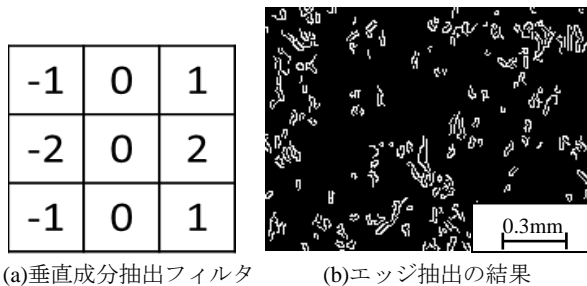
(a)エッジ抽出 (b)ハフ変換結果

Fig.3 研磨面におけるハフ変換の問題

この研磨痕の影響を抑えるためにソーベルフィルタを用いた。ソーベルフィルタは、1方向のエッジの抽出を目的として、注目している画素とその近傍の画素の濃度値に適用し、注目画素に新しい濃度値を返す。

研磨痕がエッジとして抽出されないようにするために、研

磨方向と垂直の成分が抽出される図 4(a)のフィルタを用いてエッジを抽出した結果を図 4(b)に示す. 図 3(a)のソーベルフィルタを用いない場合と比較して, 水平方向のエッジが減少していることが分かる.



(a)垂直成分抽出フィルタ (b)エッジ抽出の結果
Fig.4 ソーベルフィルタのオペレータとエッジ抽出効果

ソーベルフィルタは, 一方向の微分フィルタであるため, 研磨方向と画像の水平方向が一致することが望ましい. そこで, 研磨方向と画像の水平方向を一致させるように画像を回転させてソーベルフィルタをかけた後に, ハフ変換をかけた結果を図 5 に示す. 図 4(b)の画像に対して, より研磨痕が除去されていることが分かる.

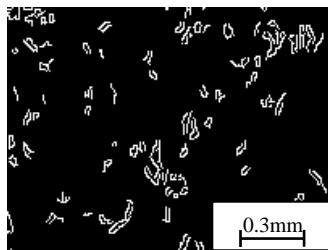
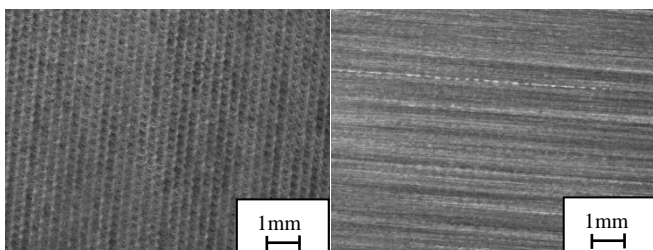


Fig.5 研磨面のエッジ検出における画像回転の効果

4. 検証結果

本研究で開発した手法の有用性を検証するために研磨実験を行った. 材料はプリハードン鋼 HPM1 で, 研磨対象面に, R5 のボールエンドミルを用いて, ピックフィード量 0.3mm の走査線加工を行った. 各種切削条件からハフ変換に用いる円の大きさと円同士の間隔, 撮像した画像内の cutter mark 数の理論値を求めた. 研磨結果として, 図 6(a)に示す切削面の画像と, 目視により cutter mark が無くなったことを確認した研磨面の画像(b)を用いて検証を行った.



(a)切削面 (cutter mark 数: 910) (b)研磨面

Fig.6 検証に用いる画像

切削面の cutter mark 検出結果を図 7 に, 研磨面にハフ変換のみを用いた結果を図 8, 研磨面にソーベルフィルタを用いた結果を図 9 に示す. 図 7 の切削面から cutter mark は 835 個検出され, 図 6(a)に示す理論値の 92% を検出できた.

図 8 はハフ変換のみを適用したため, 研磨面にもかかわらず, 382 個 cutter mark が検出されてしまい, 研磨痕によ

る影響が大きいことが分かる.

図 9(a)の画像はソーベルフィルタを用いたため, cutter mark が 2 個まで減少し, ソーベルフィルタによって研磨痕の影響が除去されていることが分かる. 図 9(b)の画像から, 研磨面に画像の回転してからソーベルフィルタとハフ変換をかけた結果, cutter mark が減少しており, 研磨方向に合わせて画像を回転させることで検出の精度が高まることが分かる.

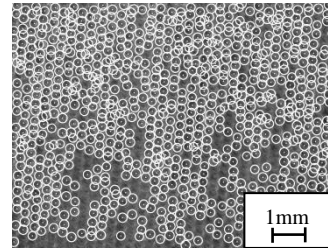


Fig.7 切削面の cutter mark の検出結果 (検出数: 835)

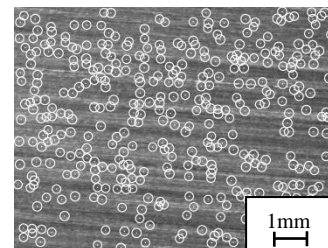
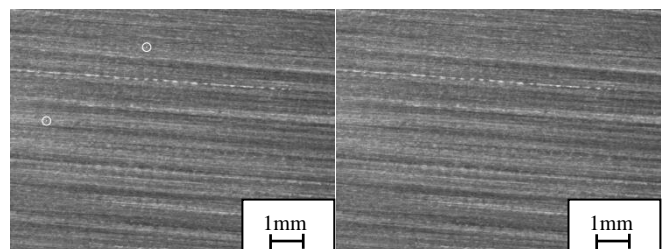


Fig.8 ハフ変換のみによる研磨面の cutter mark の検出結果 (検出数: 382)



(a)回転なし (検出数: 2) (b)回転あり (検出数: 0)

Fig.9 ソーベルフィルタ+ハフ変換による cutter mark の検出結果と画像回転の効果

5. 結論

本研究では, 画像処理を用いた研磨面の外観検査における cutter mark の検出率向上のため, cutter mark の構造を円として検出するハフ変換を用いて, 切削面から 90% 以上の cutter mark を検出することができた. さらに, 画像中の研磨方向に生じる研磨痕を除去するため, ハフ変換を行う前に画像の回転とソーベルフィルタを用いることで研磨痕の影響を減少させ, cutter mark の検出精度を向上させることができた.

参考文献

- 岡本謙, 森重功一, “統計的パターン認証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 79 巻 803 号, 2013
- 原田直人, 平田成, 出村裕英, 浅田智朗, “楕円モデルのハフ変換による数値地形図上のクレータ認識手法の開発” 遊・星・人: 日本惑星科学会誌 第 17 巻 2008