

## 解説



## Review

# 金属表面検査における画像処理技術動向

新田雅康\*

## An Image Processing Technology Trend in the Metal Surface Inspection

Masayasu Nitta

### Synopsis

*It is difficult for the application of the image processing technology for the processing metal surface inspection to get the satisfaction of the user by various kinds of fluctuation factors in the processing process. We developed an image filter processing to get resemblance degree distribution of every adjacent local domain that was near to algorithm of the human visual inspection. And this image filter was able to emphasize a defect part to the exclusion of various fluctuation factors.*

*As a result, we are able to promote better automation of various processing metal surface inspection.*

### 1. 序 文

金属表面検査への画像処理技術の応用は以前から行われており、目視観察の補助から自動検査装置にいたるまで実用化されている。鍛造・铸造・絞り金属の表面欠陥には、傷・打痕・バリ・凹み・鑄巣・材料欠陥・加工ズレなどがあり、単純かつ均一な表面状態の欠陥の画像検査は比較的容易に行えるが、一般的な金属加工品には加工過程におけるさまざまな外乱要因（油付着・許容表面粗さ・許容加工精度・加工模様・表面処理状態・材料ばらつき・洗浄状態など）が存在するため、容易に画像検査へ移行することができず、目視検査に頼っているのが現状である。

（株）デクシス（以下、当社という）では、金属加工品の自動画像検査化のために、前述の外乱要因を低減させ精度よく欠陥を抽出できるよう、人によるフレキシブルな欠陥検出アルゴリズムの画像処理化、照明光源の波長の違い、3次元形状を有する対象物体全周の均一撮像、の3つの手法によるアプローチを行った。

#### 1. 1 金属表面の直接画像による検査

金属加工品の画像処理による検査では、良品をマスターモデルとしたパターンマッチングによる比較処理手法が

一般的に用いられている。しかしながら先に記述したような外乱要因により、安定した欠陥検出が困難な状況であり、検査の歩留りを低下させる結果になっている。そのために、複数のマスターモデルを登録する必要性が生じ、部位ごとに欠陥の検出感度の設定もしくは製品単位で個々に検査レベルの設定を必要とされ、調整が煩雑になっている。

また、マスターモデルを必要としない手法として、モフォロジーと差分処理を利用した画像処理欠陥検出アルゴリズムも一般的に用いられている。しかしながら、モフォロジーと差分処理は、膨張・収縮処理により欠陥の除去を行い、その欠陥を除去した画像と元の画像との差分処理により欠陥を抽出する手法であるため、欠陥の除去時に同様に消失してしまう模様・加工部なども欠陥として抽出してしまう恐れがある。そのために、検出できる欠陥の大きさに制限があり、欠陥の形状に応じてモフォロジー用のマトリックスを変更する必要があるため、汎用性に乏しいものとなり、実用性に欠ける。

#### 1. 2 金属表面の間接画像による検査

単純に対象物体を直接画像処理で検査する以外にも、浸透探傷法・磁粉探傷法・渦流探傷法・漏洩磁束探傷法・光切断法のようにある程度外乱要因の影響を受けず、欠

陥をより発見しやすくする手段もある。

浸透探傷法は開口している欠陥を対象とし、前処理（浸透液の浸透を妨げる物質の除去）～浸透処理（浸透液を表面および欠陥内部に浸透させる）～洗浄処理（表面に付着している余剰な浸透液の除去）～現像処理（現像剤粉末を表面に塗布し欠陥内部に浸透している浸透液を毛管現象により表面に吸い出す）～観察という処理流れで欠陥を検出する。

磁粉探傷法は磁束を妨げる欠陥（打痕・傷・クラックなど）を対象とし、前処理（欠陥への磁粉付着を妨げるものや磁粉を吸着する異物の除去）～磁化処理～磁粉塗布処理～観察という処理流れで欠陥を検出し、必要に応じて後処理（脱磁、磁粉の除去、防錆）を行う。

渦流探傷法と漏洩磁束探傷法は画像処理を用いない欠陥検出法で、渦流探傷法はコイルにより金属表面に交流磁場を発生させ、その交流磁場による渦電流の変化により欠陥検出を行う。漏洩磁束探傷法は対象物を磁化し、欠陥部分からの磁束の漏洩を直接磁気センサにより検出する。

光切断法は3次元形状での欠陥を対象とし、スリット光源の反射光をエリアセンサカメラで撮像し、カメラ上の線の位置から3次元化を行う。一方向からのスリット光源で3次元形状が判別困難な対象物の場合には、スリット光源を交差するように設置する必要がある。ただし、対象物の表面粗さによるスリット光の途絶、光源と対象物間の距離によるスリットラインの広がり、対象物もしくは光源の移動速度とスキャン間隔の関係により検査精度が変動する。スリットラインの広がりによる精度低下に関しては、平行スリット光源を使用することにより改善は行えるが、平行スリット光源の光量と価格がネックとなっている。

浸透探傷法・磁粉探傷法・光切断法のいずれも検査手法として広く普及しているが、対象物・欠陥による制限、検査のために処理や設備が必要となり、検査に要する時間が長大になっている。

## 2. 方 法

目視検査における欠陥の検出は、人の記憶内のマスターモデルとの照合および、知識データベース内の欠陥特徴の類推より行うことが一般的であるが、未知の検査対象の場合でも明確な欠陥であれば、熟練した検査員でなくても不良とするか、気になるサンプルとして取り除くことが可能である。これは、明確な良品のマスターモデルを持っていなくても、不良部分に何らかの違いを視覚情報から得て、それに基づき欠陥もしくは気になる部分と

して抽出していることに他ならない。つまり、対象物内で不良部分と良部分に分離することが可能であることを示している。また、実際の対象物を検査する場合だけでなく、対象物の一部分を撮像した画像上からも同様に欠陥部分を指し示すことも、人の目視検査では可能である。

そこで当社では、人の目視検査におけるこの部分のアルゴリズム（巨視的かつ微視的な視覚情報に基づく欠陥部分の特定）の画像処理化を試みた。

均一な輝度分布を持つ画像上で、欠陥部分が異なる輝度となる場合には、最も単純な二値化処理で欠陥を抽出することが可能である。

次に、特定方向にのみ模様が存在する画像上で、欠陥部分が模様を逸脱（途切れ、歪み、汚れなど）する場合には、模様に合わせて特定方向の微分処理により欠陥を抽出することが可能である。

つまり画像における欠陥部分の理由付けとしては、周囲・近傍状態の連続性が保たれていない部分であるということが導き出される。そこで、固定マトリックスサイズでの局所領域ごとの動的相互相関処理（局所でマトリックスを作成し、その近傍でマトリックスの合致度を得る）を画素単位で行い、欠陥部分特定の可能性を検討した結果、良好に欠陥部分を検出できたものの、対象画素に対する全方向からの相互相関処理を行うため、結果を得るために膨大な演算時間を要した。

欠陥部分の特定に局所領域ごとの動的局所相互相関が有効だったため、この処理の高速化を目的とし、近傍との不一致度を得るだけの簡略なフィルタ化を実施し、処理結果を濃淡画像（8ビットモノクロ階調）で得られるようにした。この結果、処理の高速化と、不一致度が高い部分を欠陥箇所として二値化画像で指示できるようになった。この段階で、固定の大きさの欠陥に対する自動画像検査化の目的は達成できたが、人の目視検査において重要な要素、全体・局所をシームレスに行える明暗の自動補正、大きさが不定であっても欠陥を検出できるという機能を満たせていないため、さらに以下の改良を加えた。

全体・局所をシームレスに行える明暗の補正に相当するものとして、動的な局所領域自己シェーディング補正フィルタを開発し、撮像した画像内に明部分・暗部分が混在する状態でもほぼ均一な画像を生成できるようにした。

不定サイズの欠陥検出に対応すべく、先の動的局所相互相関処理を、固定サイズからサイズ可変とし、個々のフィルタサイズごとに不一致度画像を作成し、それらの不一致度画像から最大不一致度の画素値で総合画像を作

成することにより、ユーザーは総合不一致度画像上でのしきい値を設定するだけで欠陥部分を抽出できるようにした。

この結果、これらの処理がマスターモデルとの比較ではなく、撮像ごとの画像上でのフィルタ処理であるため、対象物体個々の製品バラつきを吸収でき、加工過程における種々の外乱要因に対してロバストな画像処理による金属表面検査の構築が容易となった。

### 3. 考 察

#### 3. 1 画像処理による外乱除去に対する考察

上述の自己シェーディング補正と動的局所相互相関処理による欠陥抽出例として、一般照明（屋内蛍光灯）下における黒背景のスパナ撮像画像を Fig.1 に示し、その撮像画像に対して自己シェーディング補正と動的局所相互相関処理による欠陥部分強調画像を Fig.2 に示し、さらに Fig.2 を欠陥でない部分のフィルタリング処理結果の最大輝度値に余裕を持たせて設定したしきい値 90 で二値化した画像を Fig.3 に示す。

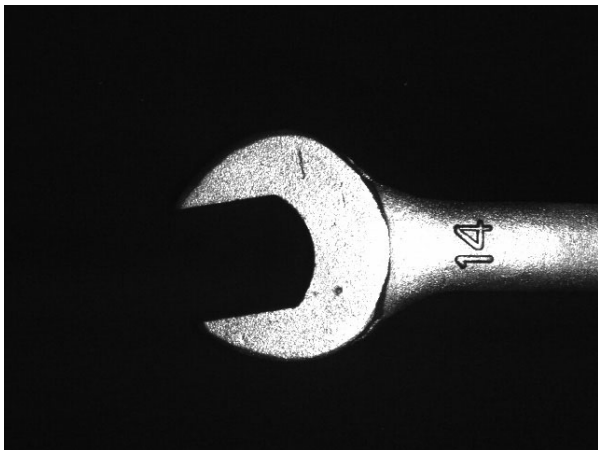


Fig.1. Grabbed image of the spanner.

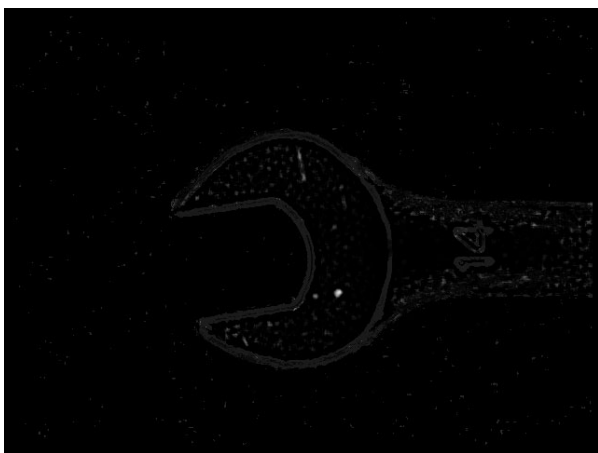


Fig.2. Original filtered image of the spanner.



Fig.3. Binary image of Fig.2. (Thr.=90)

Fig.2 の特徴的な部分ごとの輝度範囲を Table 1 に示す。この表からわかるように、打痕部および線状傷部の階調が特に高く、他に刻印部、梨子地、輪郭線部が比較的高い階調となっている。強調画像で欠陥部位以外の部分も階調が高くなっているのは、刻印部・梨子地部・輪郭線部であり、その近傍での階調分布が不安定になっていることを示している。しかし、欠陥部分を抽出する目的において、Fig.3 に示すように、検出したい欠陥部分が大きな白色画素集合体となるため、大きさによる分別により欠陥部分だけを抽出することが可能である。

参考のため、Fig.1 にモフォロジーと差分処理を利用した画像処理欠陥検出の例を Fig.4 に示し、さらに Fig.4 を

Table 1. The brightness range of characteristic regions of an original filtered image.

Part	Minimum brightness	Maximum brightness
Impact	50	225
Scratch	30	124
Carved Seal	10	112
Rough Surface	8	104
Outline	5	35

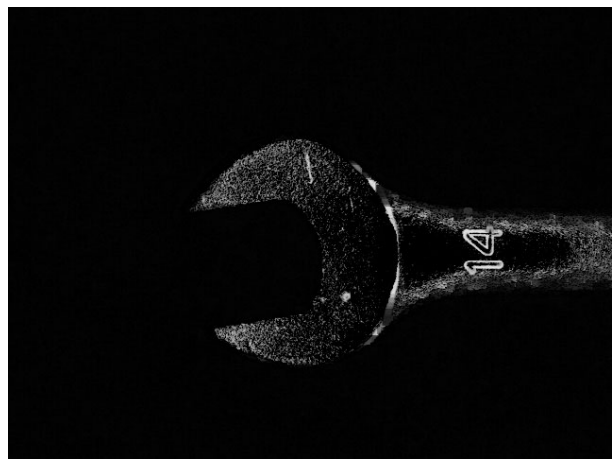


Fig.4. Mathematical morphology image of the spanner.

欠陥部分全体が抽出できるしきい値 165 で二値化した画像を Fig.5 に示す。

Fig.4 は、Fig.1 上で欠陥部分が黒くなっているため、モフォロジー処理により仮のマスター画像を作成（明膨張後に暗膨張を実施し欠陥部分を近傍画素値に置き換え）し、この仮のマスター画像と元の Fig.1 との差の絶対値画像を作成したものである。

Fig.4 の特徴的な部分ごとの輝度範囲を Table 2 に示す。Table 1 と Table 2、Fig.2 と Fig.4 の比較で明らかなように、Fig.4 は輪郭線のみ輝度値が低くなっているが、今回実施したモフォロジーと差分処理では、明膨張時に欠陥と同様の幅を持つ対象物の凹み部分も同時に除去してしまうため、刻印部・梨子地部・加工による段差部も欠陥と同程度の輝度値となっている。Fig.5 から明らかなように、欠陥検出しきい値を 165 とした場合には、検出したい欠陥部分以外を除外することは困難である。

このように、新しく開発したフィルタ処理と従来のモフォロジー処理を比較することにより、新しく開発したフィルタ処理の方が少ない誤検出で、欠陥部分だけを強調することに長けているといえる。

しかし、新しく開発したフィルタ処理でも表面粗さ・加工精度・加工模様・材料ばらつきによる外乱はほぼ除去可能であるが、油付着・表面処理状態・洗浄状態の変動は突発的であり、発生箇所自体も微小部から全体にわたることがあるため、撮像した画像だけでの除去は困難

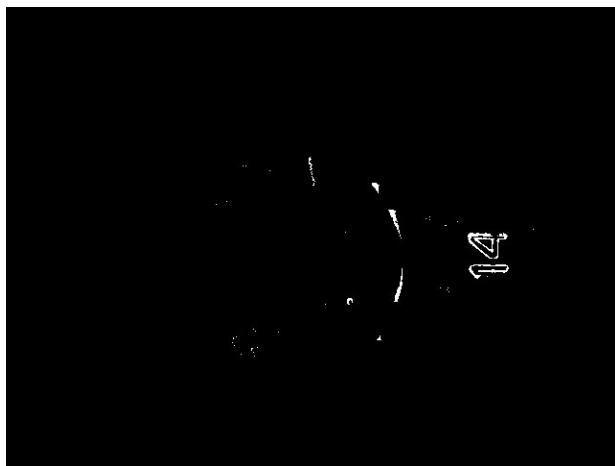


Fig.5. Binary image of Fig.4. (Thr.=165)

Table 2. The brightness range of characteristic regions of a mathematical morphology image.

Part	Minimum brightness	Maximum brightness
Impact	119	201
Scratch	147	218
Carved Seal	136	229
Rough Surface	6	195
Outline	0	8

である。

### 3. 2 照明による外乱除去に対する考察

油付着のモデルとして茶系の油性染料を付着させたスパナを青色 LED 照明下で撮像した画像を Fig.6 に示す。青色 LED 照明は可視光線のうちでも波長が短いため、散乱率が高く表面状態による陰影が細かく発現し、全体的にシャープな画像となっており、油付着モデル部分も黒くなっている。次に同じ油付着モデルのサンプルを赤外線 LED 照明下で赤外線領域に感度のあるエリアセンサカメラで撮像した画像を Fig.7 に示す。Fig.6 と Fig.7 を比較すると、赤外線 LED 照明は波長が長いため、表面状態による陰影が発現しにくく、全体的にぼけた画像となっているが、油付着モデル部分は黒くならず撮像できる。このように、外乱要因が、赤外線を吸収しにくく透過しやすい物体の付着や、表面粗さの場合には、照明とカメラを赤外線に変えることで外乱を除去することが可能になる。

逆に微小粒子付着・切削模様・ストリーク・リップルマークなどの極めて微小な凹凸を強調して撮像する場合には、

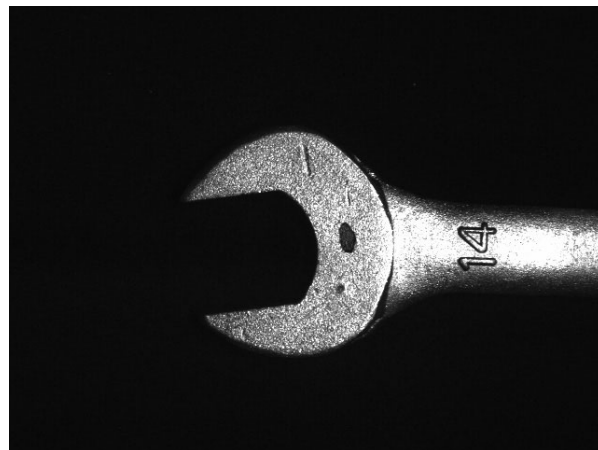


Fig.6. Grabbed image of the spanner with a blue LED.

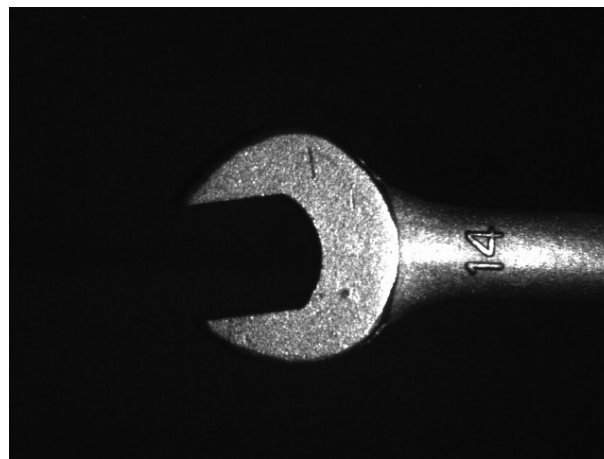


Fig.7. Grabbed image of the spanner with an infrared LED.



可視光線より波長の短い紫外線照明を用い、紫外線領域に感度のあるカメラを使用する方法がある。ただし、紫外線は波長が短く可視光線用レンズでは、屈折率の違いによりセンサ面で結像することができないため、紫外線用のレンズを使用することが必須となる。

### 3. 3 カメラによる外乱除去に対する考察

金属加工品が立体物の場合、先に述べた加工過程による外乱だけでなく、照明の当て方、撮像方向による見え方も欠陥部分の検出に大きく影響してくる。例として、円筒形（楕円筒形も含む）金属加工品の側面をエリアセンサカメラで撮像する場合、対象物中心を基準として±60度の角度がおおよその検査対象視野となり、エリアセンサカメラによる検査対象視野全体を均一な照明条件にすることは困難である。また、対象物中心から外側になるにつれ、曲率に応じて側面が圧縮された撮像となるため、角度位置によって欠陥の大きさにバラツキが発生し、安定した欠陥検出は困難である。近年、これらの影響を除去し、側面全周を均一な条件で撮像するために、ラインセンサカメラを使用した2次元画像の合成画像で撮像することが多くなっている。ラインセンサカメラのデメリットとしては、全周を撮像する場合に、対象物を1周以上回転させる必要があり、個別に回転させるための回転機構が必要となる。ラインセンサカメラのメリットとしては、撮像部分が線状（1列だけ）となっているため、照明条件の調整が1列分の視野のみとなることと、細い視野画像を2次元画像に合成するため対象物の曲率による影響を受けないことがある。検査サイクルタイム要求・欠陥検出能力要求とこれらのデメリット・メリットを総合判断し、必要に応じてラインセンサカメラを採用するユーザーが増加している。

進めている。

また、通常の画像処理に用いられる2次元情報のみの画像では、打痕・クラックなどの重要な判定基準である深さでの判定は不可能であるため、光切断法による3次元情報もあわせて必要となる。

今後は3次元情報と外観情報の両方を同時に撮像できるカメラが一般化・高性能化していき、3次元情報と外観情報の両方を用いた、人が手に取って行う目視検査に近い検査アルゴリズムの開発も進み、さらには表面粗さなどを含んだ3次元CADデータに基づく検査システムの構築がなされていくものと推察される。

## 4. 結 論

今回開発した、マスターモデルを必要としないフィルタ処理による欠陥部分の強調化（自己シェーディング補正と動的局所相互相関処理による欠陥部分強調）は、欠陥と推定される部分の抽出処理として一定の効果が得られたが、金属加工品の図面上で指示されているすべての項目（表面粗さ、加工方法、筋目方向など）に対しては有効ではない。よって、金属加工品表面検査の画像処理化には、さまざまな外乱要因と図面上の指示が介在するため、今回開発したフィルタ処理だけではなく、従来のマスターモデルとのマッチング差分処理や画像上での計測処理などを組み合わせるなど、人による目視検査と同等の検出能力を得るべく、アルゴリズムのさらなる開発を