

小粒径及び低コントラスト異物検出システムの開発

1. 目的

クリーンルームの管理のため、対象表面上の異物の粒径毎個数で定義される表面清浄度が利用される。これまで、粒径 300 μm 以上の異物を対象とした表面清浄度を測定可能な異物検出システムを開発した。一方、ユーザーにはより小粒径の異物を対象としたというニーズがある。そこで、粒径 200 μm 以上の異物を対象とした異物検出システムの開発する。ここで、粒径の定義は、異物の長軸径とする。

また、異物が採取された粘着シートには、異物を保護するために保護フィルムが貼られているが、粘着シートと保護フィルム間に空気が入り、気泡が画像化される。さらに、フラットベッドタイプのスキャナを用いた場合、保護フィルムとスキャナの透明な原稿台により干渉縞が発生する。粘着シートの色に近いコントラストの低い異物まで検出しようと閾値を調整すると、気泡や干渉縞を誤検出する問題がある。そこで、機械学習の技術を利用してこの問題を解決する。

2. 方法

異物検出システムは、異物を採取するための粘着シート、粘着シートを画像化するためのスキャナ、画像から異物を検出し、対象表面上の粒径毎個数を測定するソフトウェアで構成される。粘着シートは NTT-AT クリエイティブ(株)製の DSW-01 を用いた。スキャナは(株)PFU 製の fi-65F, fi-7160, fi-7030 を用いた。画像の中央と周辺では明るさが異なるので、異物検出アルゴリズムには、基本的に局所領域の平均値を利用した可変閾値法を用いて、画素単位で異物かどうかを判定した。

2-1. 小粒径異物の検出方法

可変閾値法を小粒径異物に適用した場合、異物が想定より大きな粒径となって検出される問題があった。この問題は異物の色が周囲に滲むことが原因であり、小粒径異物の場合には誤検出の原因となる。例えば、図 1 左の異物は、マイクロスコープで測定すると粒径 173 μm であるが、可変閾値法で検出すると図 1 中のように粒径 378 μm と検出され、粒径 200 μm 以上の異物と誤検出された。

これは、可変閾値法の適用後に式 1 により閾値を決定し、連結画素に対し再度 2 値化処理を適用することで解決した。図 1 右は式 1 を適用した結果で、粒径 168 μm で実測値と同程度であった。

$$t = (\max - \min) \times \alpha + \min \quad (\text{式 1})$$

ここで、 t は閾値、 \max (\min) は連結画素の最大 (最小) 値、 α はパラメータで 0.5 とした。

2-2. 低コントラスト異物の検出方法

可変閾値法による異物検出は、画素単位で異物かどうかを判定する方法であり、この方法では気泡や干渉縞よりもコントラストの低い異物を検出することは不可能である。本研究では、1 辺が 10 から 200 画素程度までの矩形領域を 2 値化したときの形を利用して異物かそれ以外かを分類した。前処理は高次局所自己相関特徴 (HLAC) を利用し、分類器はサポートベクトルマシン (SVM) を利用した。HLAC は画素値の相関を特徴とするもので、矩形領域の大きさの違いを無関係にできる。また、SVM は非線形分類問題に対応可能で、マージン最大化の原理により高い汎化性能を持つ分類器である。

3. 結果

3-1. 小粒径異物の検出結果

粒径 200 μm 程度の黒と白の髪の毛、黄色の色鉛筆の芯、金属を付着させた粘着シートを作成し、マイクロスコープで測定した粒径と異物検出システムで測定した粒径を比較したところ、黒と白の髪の毛、黄色の色鉛筆の芯については粒径の差が約 40 μm 以内であった。スキャナ解像度が 1 画素あたり 42 μm であるので、結果は十分な精度と考える。一方、金属については金属光沢の影響で白飛びが起これ、粒径が小さく測定される傾向があった。

3-2. 低コントラスト異物の検出結果

判別分析法により 2 値化された訓練画像 1,200 枚、テスト画像 1,200 枚 (うち、1/2 異物、1/4 気泡、1/4 干渉縞) を準備した。訓練画像を用いて HLAC と SVM で分類器を作成し、テスト画像でテストしたところ、Accuracy (正解の割合) は 91.3% であった。図 2 に未検出と誤検出の例を示す。まだ人の検出能力より低いので、今後、訓練画像の追加や分類器のパラメータ調整により検出能力を高めたい。



図 1. 閾値の違いによる小粒径異物の検出結果



図 2. 未検出 (左 2 個) と誤検出 (右 2 個) の例