

フーリエ・ウェーブレット変換法を用いた粉粒体の表面検査

土方肇[○](日大理工院) 武居昌宏(日大理工) 李輝(鹿児島大工) 越智光昭 (日大理工)
上田寛(大鵬薬品工業) 斉藤兆古(法政大工) 堀井清之(白百合女子大)

Particle-Powder Surface Inspection with Fourier-Wavelet Transform

Hajime HIJIKATA, Masahiro TAKEI, Hui LI, Mitsuki OCHI,
Hiroshi UEDA, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

Abstract

Difference between two particle surfaces has been clearly obtained with Fourier-wavelet transform method even though the two particles are located in two dimensional different place. The method consists of three steps, the first is to acquire the difference between two particle surface image data in Fourier space. The second is to operate wavelet transform to the difference image data transformed with inverse Fourier. Finally, the decomposed data with each space-frequency level are acquired by inverse wavelet transform and its multiresolution analysis. The high frequency image shows location and size of the difference. This technique contributes to automation of particles classification.

Keywords: Particle surface, Fourier transform, Wavelet transform, Multiresolution analysis

1. 緒言

製薬工業や食品工業では、原料に混入している「紙片」、「ガラス片」、「毛髪」などの異物を除去したり、最終製品である錠剤やカプセル剤などの表面に生じる「かけ」、「傷」、「汚点」の不良品を分別する必要があるため、そのための装置が開発されている¹⁾。このような粉粒体表面検査装置においては、一般的に、輝度法、拡大縮小法、微分法などにより、粉粒体表面の特徴抽出を行う場合が多い。そして、品質向上を目指して、不良箇所的位置と大きさを、フーリエ変換法を併用して特定する試みがある。しかしながら、このようなフーリエ変換法においては、差異部分の画像がぼけるため、経験的なしきい値を用いて二値化し、不良箇所の特定を行っているが、その最適なしきい値は各画像に依存し、自由度が非常に大きい²⁾。筆者の一人である斎藤は、フーリエ変換により得た画像に対して、さらにウェーブレット変換を施すことにより、画像の特徴を抽出化するフーリエ・ウェーブレット変換法³⁾を提案し、より自由度の低い画像の特徴抽出法を模索中であり、LSI ウェハー等の複雑な画像に対しても有効であると考えている。

本研究は、このフーリエ・ウェーブレット変換法を表面検査に応用することを最終目的とし、その第一ステップとして、擬似的に不良箇所を作った粉粒体表面の供試画像をフーリエ・ウェーブレット変換法により解析し、本手法の有効性を調べることを目的としている。

2. フーリエ・ウェーブレット変換法

フーリエ・ウェーブレット変換法は、フーリエ空間における基準画像と供試画像との全体的な相違部分の画像を、さらに、ウェーブレット変換と多重解像度解析を施して、異なる空間周波数解像度で評価する手法である。

そのアルゴリズムは、Fig.1に示した通りであり、まず、二次元の基準画像行列 X_S と供試画像行列 X_T とを、

$$S_F = FX_S \quad (1) \quad S_{FT} = FX_T \quad (2)$$

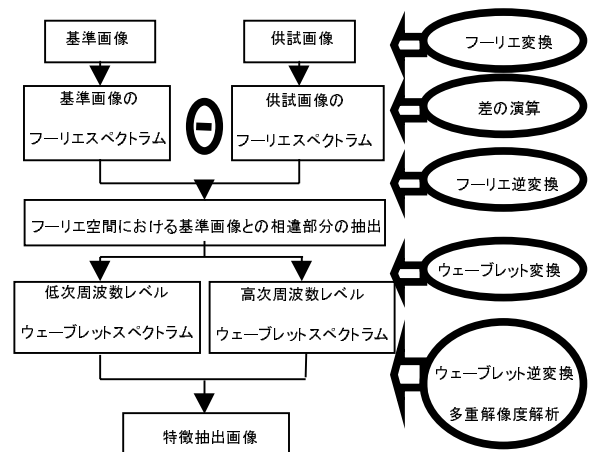


Fig.1 Fourier-wavelet Transform Method

に示すように、各々フーリエ変換する。 F はフーリエ変換行列、 S_F と S_{FT} はフーリエスペクトラムの絶対値である。次に、 S_F と S_{FT} の各要素ごとに差演算と、供試画像のフーリエスペクトラムの同一位置の要素に積演算(式3では*印により示している)を行い、さらにフーリエ逆変換を行い、フーリエ空間の相違部分を現空間の相違部分 D

$$D = F^{-1}[(S_F - S_{FT}) * S_{FT}] \quad (3)$$

に変換する。そして、この相違部分の2次元画像 D に対して、二次元の離散ウェーブレット変換

$$S = W \cdot D \cdot W^T \quad (4)$$

を施す。 S はウェーブレットスペクトラム、 W はアナライジングウェーブレット行列で、 W^T は W の転置行列を示す。このウェーブレット逆変換は(4)式の左右から掛け算した変換行列を単位正方行列とすればよいので

$$D = W^T \cdot S \cdot W \quad (5)$$

で表される。このとき、離散ウェーブレット変換が直交

変換であることを利用して、多重解像度、

$$D = W^T S_0 W + W^T S_1 W + W^T S_2 W + W^T S_3 W \quad (6)$$

に分解できる。この場合、多重解像度を示す右辺の各項は、順に、Level 0 から Level 3 を示し、Level 0 は低周波数成分で、Level が上がるとほど高周波数成分を示す。

本研究においては、アナライジングウェーブレット W としてコフマン(Coifman)30 次関数を用いた。

3. 基準画像と供試画像

実際の薬品工業における粉粒体の不良品を想定して、Fig.2 に示したように、基準画像の他に、「かけ」「傷」「汚点」の供試画像を擬似的に作成した。どの画像も 256 × 256 ピクセルで、粉粒体部分を 1 に背景部分を 0 に二値化してある。各供試画像は基準画像に対して空間位相が異なり、各供試画像と基準画像とのフーリエ空間における相関係数は、Table1 の通りである。

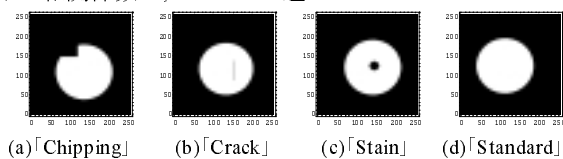


Fig.2 Sample and Standard Images

Table1 Correlation Coefficients between Sample and Standard Images in Fourier Space

供試画像	相関係数
(a)「かけ」	0.9877
(b)「傷」	0.9989
(c)「汚点」	0.9908

4. 解析結果と考察

Fig.3 はフーリエ空間において各供試画像と基準画像との差演算を行い、現空間に逆フーリエ変換した相違画像(1)と、その画像を正規化した後ラウンド(四捨五入)処理して二値化した画像(2)である。この図に示したように、(c)の「汚点」については、ラウンド操作でその差異を比較的正確に抽出できたが、他の供試画像については正確に抽出できていない。(a)(2)の「かけ」の二値化画像では、相違部分が実際よりも大きく表示され、(2)(b)の「傷」の二値化画像では相違部分が実際よりも太く表示されている。もちろん、しきい値を適切に指定することにより、実際の相違部分の形状に近づけることは可能であるが、その最適しきい値は各供試画像に依存するものである。

次に、Fig.3(1)の各供試画像の相違画像に対して、ウェーブレット多重解像度解析を行った。その結果は Fig.4 に示した通りである。この図に示した通り、Level 0 は低い空間周波数成分、つまり、相違部分の全体的な情報を示し、レベルが大きくなるほどより高い空間周波数成分をもつシャープな画像となる。Level 3 は空間周波数がかつとも大きな部分、つまり、相違部分の輪郭を示している。本研究で用いたアナライジングウェーブレット、コフマン 30 次関数は正規直交であるので、Level 0 から Level 3 までを加えたととの Fig.3(1)の画像と同一のものとなる。

そして、各供試画像の Level 0 と Level 3 において、正規化した後ラウンド処理をして二値化し、見やすくするため窓演算を施した。その結果は、Fig.5 に示した通りであり、(2)の Level3 の画像では、相違部分の位置と大きさをほぼ正確に示している。

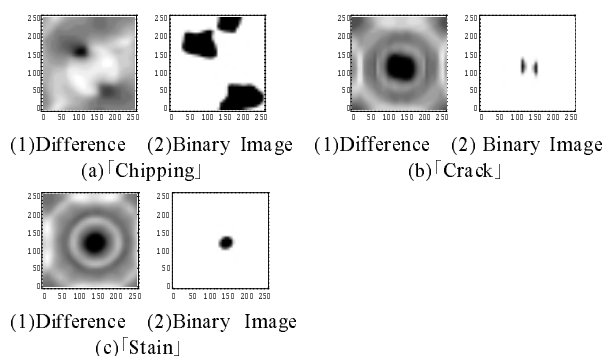


Fig.3 Different Parts between Sample and Standard Images after Fourier Transform

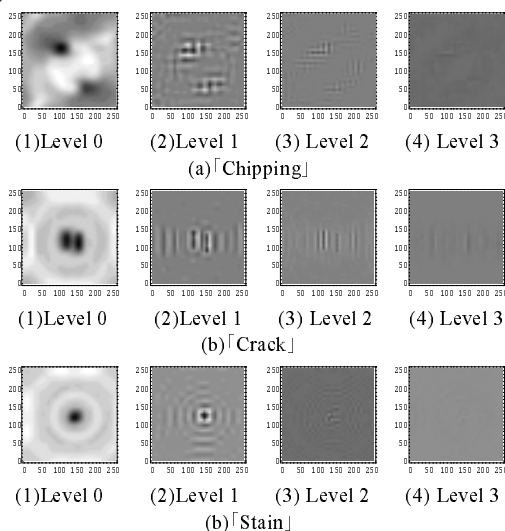


Fig.4 Wavelet Multiresolution Analysis Results

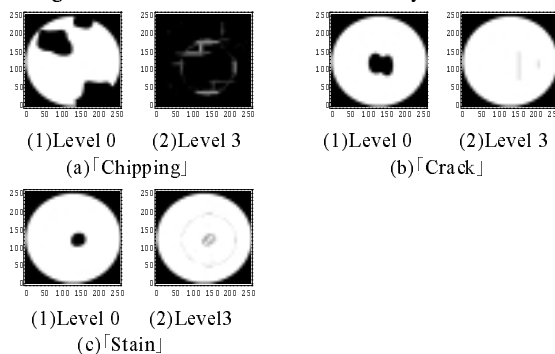


Fig.5 Binary Image of Wavelet Level 0 and 3

5. 結言

不良箇所を擬似的に作成した粉粒体表面の供試画像に対して、フーリエ・ウェーブレット変換を施し、基準画像との差異を抽出した。その結果、空間位相が異なっても、その差異の位置と大きさを正確に抽出できることを示した。今後は実画像での評価、および複雑な画像への応用を考えている。

参考文献

- 梶浦敏弘: 異物検査機開発の現状, 製剤機械技術研究会第7回大会講演要旨集, pp125-136 (1997)
- 大津展之: 判別および最小 2 乗法に基づく自動しきい値選定法, 信学論, Vol63-D, pp349-356 (1980)
- 斉藤兆古: 画像処理入門, 朝倉書店(1998)