

# 画像処理による織物表面検査 —画像処理による染めむら検出—

藤原 久永・八田 浩之<sup>1</sup>・章 忠・三輪 昭生

Hisanaga FUJIWARA, Hiroyuki HATTA<sup>1</sup>, Zhong ZHANG and Akio MIWA

キーワード ウェーブレット変換／染めむら／織物表面検査

KEY WORDS Wavelet Transform / Dyeing Unevenness / Textile Surface Inspection

## 要 旨

ウェーブレット変換を用いたマシンビジョンによる織物表面の染めむらの検出方法について述べる。我々が平成14年度までに開発したウェーブレット変換を用いた織物表面の検査方法は、局所的な部分欠陥は良好に検出できるものの、染めむら等の大域的な欠陥が検出できない問題があった。本研究では、あらかじめ校正しておいた照明むらを、ウェーブレット変換を用いて除去することにより、染めむらだけを残し、このことにより染めむら等の大域的な欠陥の検出を可能とする方法を述べる。実験では、染めむら等の大域的な欠陥がほぼ良好に検出できることを示す。

### 1 はじめに

画像処理を利用した製品検査は多くの工業製品で実用化されているが、織物表面の欠陥検査に関しては長らく実用化が難しい問題と扱われてきており<sup>2)3)</sup>、今日でも繊維業界の現場では、目視による検査が行なわれている。織物表面の欠陥検査が自動化されない大きな原因は、織物表面がテクスチャと呼ばれる模様を形成しており、欠陥検査に際しては、これらテクスチャ模様と欠陥とを識別するという複雑な処理が要求されるためである。このために要する計算量は膨大なものとなり、このため織物表面の検査(検反)は長らく自動化が困難な問題として扱われてきた。

画像処理による織物表面検査を実現するため、我々は高速な計算方法が提案されているウェーブレット変換を用いることで検査を行なう方法を追求している。ウェーブレット変換は高速な計算方法が提案されている反面、変換結果が推移不変にならない問題があるため、織物表面検査のようなテクスチャ解析の問題に適用するのは難しい問題があった。これに対して、推移不変な性質を持つウェーブレット変換を実現し、これを用いて、織物テクスチャを除去することによる検査方法を提案し、実験により有効性の確認を行なった<sup>1)</sup>。この検査方法により、局所的な部分欠陥については、実用に供してもほぼ十分と

言える精度の欠陥検出結果が得られるようになった。しかしながら、文献<sup>1)</sup>で提案した欠陥検出方法では、処理の過程で照明むらを除くことにより欠陥検出精度を向上させる処理を加えており、この処理過程で染めむら等によって生じるなだらかな明るさ変化も一緒に除かれてしまうため、織物表面の染めむら等の欠陥判別ができなくなる、という問題がある。本報告では、文献<sup>1)</sup>の検査方法が持つこのような問題を解決する欠陥検査方法について述べる。

### 2 染めむら評価方法

本報告では、染めむら(本報告ではモノクロ画像に変換した際に明度の差が観察されるものを指すこととする)が生じた欠陥領域を抽出することを染めむら評価と呼ぶこととする。本章では今回開発した染めむら評価方法について述べる。今回開発した染めむら評価方法は、文献<sup>1)</sup>で述べた2次元推移不変ウェーブレット変換による織物テクスチャ除去方法を拡張し利用したものである。文献<sup>1)</sup>で述べた方法は、基本部分に均一な照明が得られると想定した方法を使用している。しかしながら、実際には検査対象となる表面を照らす均一な照明を得ることは難しい。そこで、文献<sup>1)</sup>の方法では、ウェーブレット変換を用いてテクスチャを除去する際に、元の画像の低周波成分からなるLLサブバンドのデータに平均化処理を施している。この処理は、ローパスフィルター処理と等価であり、均一な照明によって生じた、

<sup>1)</sup>(株) 英田エンジニアリング

検査表面上のなだらかな明るさ変化を除くことができる。この処理を加えることにより、照明むらが生じている場合でも局所的な微細欠陥が良好に検出できるようになった。しかしながらこの処理により、やはり表面上のなだらかな明るさ変化として現れる染めむらをも同時に除いてしまう副作用が生じる。このために、文献<sup>1)</sup>で述べた検査方法では染めむらなどのなだらかな明るさ変化を呈する欠陥品の検査が行えなくなっている。

織物表面検査の問題とは、欠陥部分によって生じるイレギュラーな情報を、織物テクスチャなどからなるレギュラーな情報と識別することであると考えられる。本報告では、レギュラーな情報が織物テクスチャと照明むらから構成されると仮定する。現実的环境下では、表面を均一に照らす照明を得ることは難しく、照明むらもレギュラーな情報として含めておく必要がある。その上で、元画像からレギュラーな情報を2次元推移不変ウェーブレット変換<sup>1)</sup>により除く。元画像からレギュラーな情報が除去されてしまえば、後の検査処理、すなわちイレギュラーな情報を識別する処理は、ごく一般的な統計的手法で対処することが可能となり、容易に扱うことができる。その際、照明むらは時間的に変化しないと仮定する。

織物テクスチャを除去する処理は文献<sup>1)</sup>で述べたものと同様であるので、本報告では省略する。

### 3 照明むらの除去

本章では、照明むらすなわち表面を照らす不均一な照明によって生じたシェーディングの影響を除去する方法について述べる。ここでは照明むらは時間的に変化することがなく、獲得した画像毎に一定であると仮定する。一般に、どういう照明を用いても照明強度は経時変化するとされているが、照明むらは照明系の幾何学的配置によって決まってくるため、上記の仮定は妥当なものと考えられる。また、照明系の拡散性を高くする工夫をすることにより、できるだけ均一な照明が得られるように調整しているものと仮定する。この場合、照明むらの影響は低周波の空間周波数の明るさ変化として観測されることとなる。

本報告で述べる照明むらの除去方法は、文献<sup>1)</sup>で述べた2次元推移不変ウェーブレット変換を用いる方法により織物テクスチャを除去する過程で、照明むらをも同時に除去してしまうものである。文献<sup>1)</sup>で述べた織物テクスチャを除去する方法は、入力画像を一度2次元推移不変ウェーブレット変換により変換を施し、図1に示すようにRR,IR,II,RIの4つの変換画像を得る。これら4つの変換画像の最終レベルのLLサブバンドを除く各サブバンドの係数値を操作してやり、RR,IR,II,RI画像に対して逆ウェーブレット変換を施し、画像の再構成を行うことで織物テクスチャを除去した画像を得る。

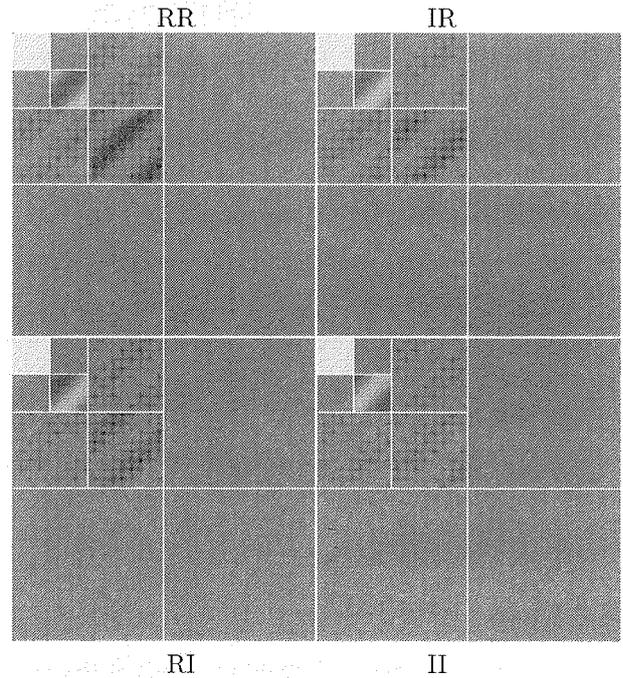


図1 2次元RI-Splineウェーブレットによる変換結果

3-LL	3-HL	2-HL	1-HL
3-LH	3-HH		
2-LH	2-HH		
1-LH		1-HH	

図2 分解結果のチャンネル分割の様子

ところで、2次元推移不変ウェーブレット変換による変換結果(図1に示すRR,IR,II,RIの4つで、これらはそれぞれ図2に示すような3レベルのサブバンドに分割されている)の最終レベルのLLサブバンドは、元の画像を解像度変換したもの、すなわち元の画像の低周波の空間周波数成分のみを含むものとなる<sup>1)</sup>。このため照明むらの影響は、主にLLサブバンドに現れることになる。そこでRR,IR,II,RI係数画像に逆ウェーブレット変換を施す前に、それぞれの係数画像の最終レベルLLサブバンドに対して照明むらの影響を補正する処理を施す。このために、あらかじめ照明むらの校正データを用意しておく。これは、検査時と同じ照明条件で撮影した欠陥を含まない織物表面画像に対し、同じレベルでウェーブレット変換した結果の最終レベルLLサブバンドデータを用いればよい。LLサブバンドは元の画像を

解像度変換したものである。このサブバンドを利用した照明むら除去は効率的に実行することができる。以下、元の画像から織物テクスチャと照明むらの双方を除去したものを「再構成画像 (reconstructed image)」と呼ぶ。再構成画像では、照明むらは除去されているが、検出対象となる染めむらはそのまま残っており、再構成画像に対して次に述べる欠陥検出処理を適用することにより、染めむらが生じた欠陥部分を検出することができる。

具体的に、最終レベル LL サブバンドに対して照明むらの影響を補正する処理は次のようになる。まず、照明むらの校正データに対してあらかじめ検査時と同じレベルでウェーブレット変換を施しておいて、最終レベル LL サブバンドデータを求めておく。照明むら補正処理では、この校正データの LL サブバンドデータが平坦になるような補正を行う。これには、LL サブバンドデータの平均値から各計数値の差分を加算する処理でもよい。しかし、本報告では、各係数値に次のような処理を施すことで補正処理を行った。

$$\hat{d}_{LL} = \frac{\overline{dc_{LL}}}{dc_{LL}} d_{LL} \quad (1)$$

式(1)で  $d_{LL}$  は補正前の LL サブバンドデータの係数値、 $\hat{d}_{LL}$  は補正後の係数値を表す。 $dc_{LL}$  は校正データの LL サブバンドデータの係数値を表し、 $\overline{dc_{LL}}$  はその平均を表す。

#### 4 欠陥検出

一度織物テクスチャと照明むらの双方が除去されてしまえば、後の欠陥検出処理は極めて容易な問題として扱うことが可能である。ここでは文献<sup>1)</sup>と同じく、一般的な統計的処理により欠陥検出を行なう。

まず、欠陥を含まない良好なサンプルについて再構成画像を求め、濃度値変化の標準偏差  $\sigma_r$  を評価しておく。次に、検査対象となるサンプルの再構成画像の濃度値  $b$  が

$$\overline{u}_b - a\sqrt{2\log(n)}\sigma_r \leq b \leq \overline{u}_b + a\sqrt{2\log(n)}\sigma_r \quad (2)$$

の範囲内にあるもの(白)と、範囲外のもの(黒)で2値化を行なう。ここで、式(2)中の  $\overline{u}_b$  は検査対象となるサンプルの再構成画像の濃度値の平均を表す。 $n$  はデータ数(この場合は画像の大きさ)を表し、 $a$  は実験条件に応じて調整可能なパラメータである。

再構成画像の濃度値のヒストグラム分布がガウス分布で近似できる時、 $a = 1.0$  ならば式(2)の範囲外の値を取る画素(黒画素)の期待値は1(pixel)以下となる。従って、式(2)の2値化の結果、黒画素が固まって現れるような部分は欠陥部分であると判断して構わない。ただし、以上は理想的な環境で実験が行われる場合に成り立つことで、実際の環境では実験条件等に応じてパラメータ  $a$  を調整する必要がある。

このように、式(2)による簡単な処理で局所的な部分欠陥と染めむら等の大域的な欠陥の双方の検出が可能となる。こうした簡単な処理により染めむら等の大域的な欠陥の検出が可能となるのは、織物テクスチャが除去されているためである。

#### 5 実験結果

局所的な部分欠陥の検出に関しては、文献<sup>1)</sup>とほとんど違いがないので、本章の実験では、染めむら等の大域的な欠陥に関する検出実験のみを示す。

文献<sup>1)</sup>で使用した画像を実験に用いる。図3(a)は、実際の繊維織物表面上では14.5cm四方の領域に対応する512×512の画像(カラー画像であるが、実験はモノクロ画像に変換した上で行なう)である。ともに、文献<sup>1)</sup>の方法では検出できない染めむらを含むものである。

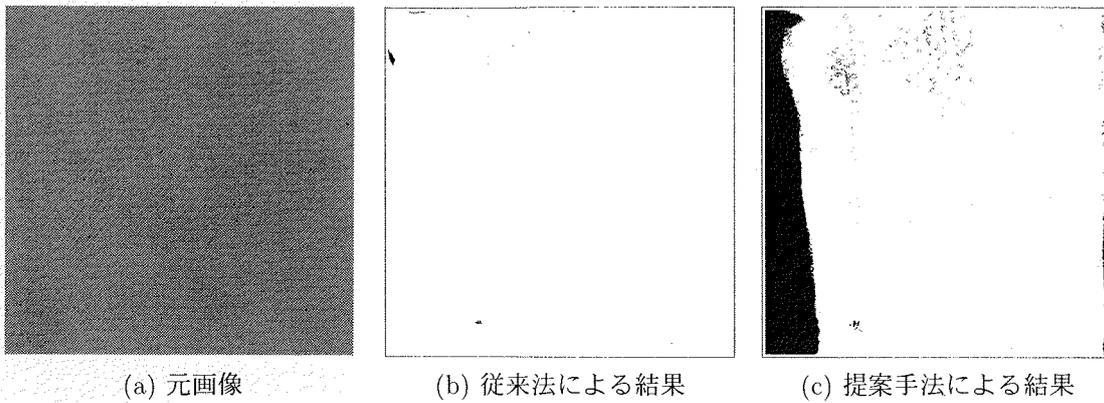
図3(b)(c)は図3(a)の上部の画像(文献<sup>1)</sup>の001サンプル)に対する欠陥検出結果であり、図3(b)が文献<sup>1)</sup>に述べられた方法による検出結果であり、図3(c)が今回提案された方法による検出結果である。文献<sup>1)</sup>の欠陥検出方法では検出できなかった左部の染めむらが、今回提案した方法により良好に検出されていることが分かる。

同じく、図4(b)(c)は図4(a)の画像(文献<sup>1)</sup>の033サンプル)に対する欠陥検出結果であり、図4(b)が文献<sup>1)</sup>に述べられた方法による検出結果であり、図4(c)が今回提案された方法による検出結果である。図4(a)の画像では中央下半分に横方向の筋状の染めむらが2本ある。図4(c)の実験結果では、微妙な染めむらの一部が検出されている。ただし、図4(c)の実験結果では、染めむらの一部は検出されているが、一部は検出されていない。これは、染めむらのコントラストが弱いため、これについては「まとめ」で述べる。

#### 6 まとめ

本報告により、織物表面の染めむら等の大域的な欠陥の検出が可能となった。文献<sup>1)</sup>で実現した、局所的な部分欠陥の検出と併せ、これで繊維産業の現場で必要とされる主な種類の欠陥検出に対応できるものとなった。

ただし、染めむらの検出に関しては、非常にコントラストが弱い、すなわち微妙な染めむらの検出には失敗する例が見られた。これは、今回提案した手法の問題というよりも、カメラ入力系が微妙な染めむらを捉えられていないことの要因が大きい。現在使用しているカメラ(モノクロ)は、明るさ方向の分解能が8ビット(256レベル)であるが、微妙な染めむらの場合はこのうち1~2ビット程度の変化しか観察されない。今後は、微妙な染めむらを捉えることのできるような入力系(撮影方法、およびカメラ自体の選択)について検討していく予定である。

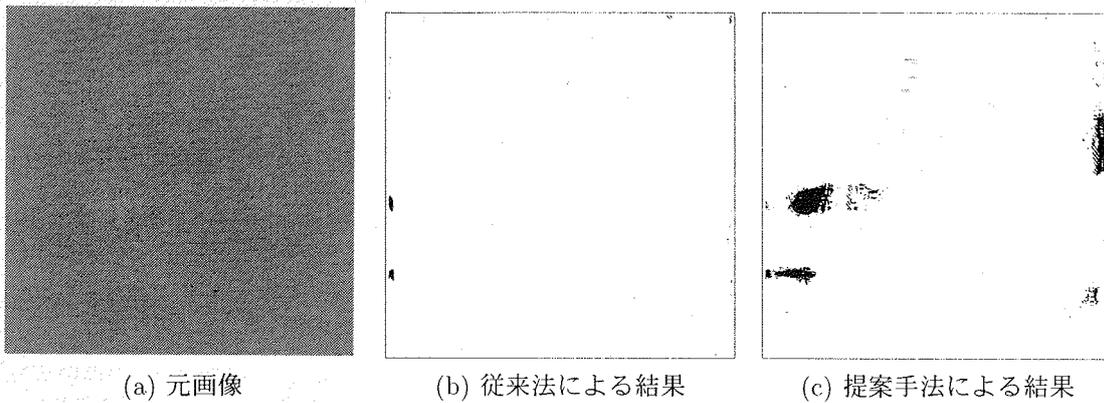


(a) 元画像

(b) 従来法による結果

(c) 提案手法による結果

図 3 実験結果 (I)



(a) 元画像

(b) 従来法による結果

(c) 提案手法による結果

図 4 実験結果 (II)

また、本報告により局所的な部分欠陥と染めむら等の大域的な欠陥の双方が検出可能となったが、現在は欠陥が存在するかどうかの判別に重点を置いており、欠陥が存在すると判定された場合、その欠陥の種類を識別することまでは行っていない。今後は、欠陥が検出された場合にその種類の識別を行うことを実現していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 平成 13 年度補正地域新生コンソーシアム研究開発事業「高速画像処理手法による織物検反システムの開発」報告書、岡山県新技術振興財団、(2003)
- 2) 輿水大和: “画像処理産業応用の概要.” 江尻正員 (監) 画像処理産業応用総覧 (下巻), フジ・テクノシステムズ, 4(1994)
- 3) T.S.Newman and A.K.Jain. *Computer Vision & Image Understanding*, **61**, 2, 231(1995)