

検反作業の自動化技術に関する研究

先染織物組織柄画像処理検査技術

安藤正好、池口達治

要 旨

先染織物の組織柄を検査するための画像処理手法開発に関する研究を行った。

その結果、テンプレートマッチング法、フル画像相関法、ブロック画像相関法、FFT法の4種類のアルゴリズムを開発し、検査性能等について検討を行い、次のことがわかった。

- ・テンプレートマッチング法は、検査精度は良いが、ノイズに弱く、処理時間を要する。
- ・フル画像相関法は、処理時間が比較的短いですが、試料の傾き補正や位置合わせなどの前処理が必要である。
- ・ブロック画像相関法は、前処理は不要で、処理時間は短く（レピート既知で約1.25秒）、欠陥抽出性能も優れている。しかし、大柄の場合欠陥抽出性能が低下する。
- ・FFT法は欠陥抽出精度等は優れているが、処理時間が長い。

1. はじめに

最近、消費者が商品の品質を厳しい目でチェックするようになっており、「製造物責任」という消費者保護の機運も広がっている。当然のことながら、生産者は不良品・欠陥品を市場に出さないという使命を持っており、製品検査の役割がさらに重要なものとなってきている。

生産現場では、多品種少量・短サイクル生

産に対応し、生産性向上、省力化を目指したFA化の推進が行われているが、製品の検査はいまだ人手に頼っているのが現状で、自動化・省力化が最も遅れている作業である。

織物の検査（検反作業）は、製織、染色仕上、縫製などの織物製造工程で繰り返し行われており、熟練した作業者が20～50 m/分で走行している織物を目視で、数十項目の検査項目（欠点の種類）について検査を行うという非常に大変な作業である。したがって、作業者の負担の軽減及び製品の品質向上・均質化を図る上からもこの作業の自動化・省力化が強く望まれている。

これまで、綿織物や合繊織物など無地織物の穴や汚れ等を自動検査する研究が報告されている。

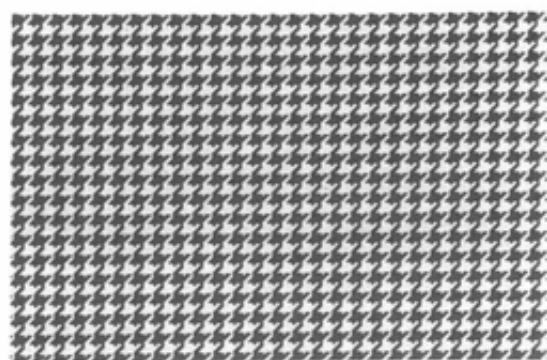
しかし、先染織物のように柄のある織物の場合、柄と欠点の区別を機械で行うことが容易ではなく、自動化に関する報告はない。

本研究では、先染織物を対象に検反作業の自動化に関する技術の確立を目的として検討を行った。

前報¹⁾で、先染織物の代表的な柄であるストライプ・格子柄について柄の規則性に着目し、欠陥を抽出するための画像処理手法の研究を行いました。ストライプ・格子柄は経・緯に柄糸を配列した経・緯の直線柄である。これに対して、本報で取り扱う千鳥・杉綾・

市松柄などの組織柄は、経緯の糸配列と織組織で小さな柄パターンを繰り返している織物

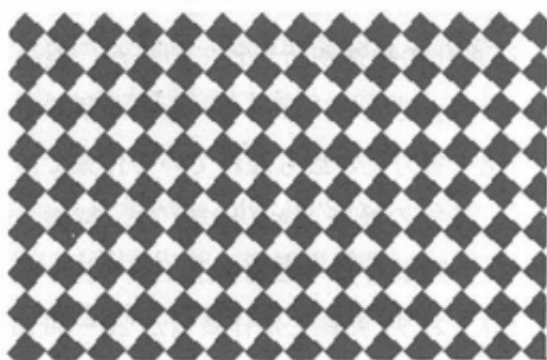
である。このような組織柄の欠点を認識・識別する画像処理手法の検討を行った。



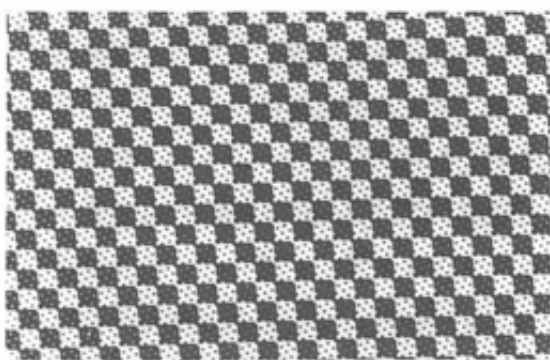
(ア) 千鳥格子



(イ) 杉 綾



(ウ) ダイヤ



(エ) 市 松

図1 シミュレーション

2. 実施内容

本研究は、千鳥・杉綾・市松柄などの経緯の糸配列と織組織で小さなパターンの繰り返し柄を表している先染織物組織柄の欠陥検査手法の開発を行った。

2-1 実験システム

研究に使用したシステムは次のとおりである。

画像処理システム：TOSPIX-II (㈱東芝製)

画像入力装置：モノクロ CCD カメラ FCD 10 (㈱池上通信機製)

プログラム開発言語：FORTRAN

2-2 試 料

研究に使用した試料は、以下に述べる各種シミュレーション柄と組織柄織物である。前者で、柄の抽出手法、抽出精度、欠陥抽出法などの基本アルゴリズムを検討し、後者でこ

れらのアルゴリズムの実証を試みた。

(1) シミュレーション試料

試料として用いたシミュレーション柄は千鳥格子、杉綾、ダイヤ、市松の各組織柄で図1に示した。

(2) 織物試料

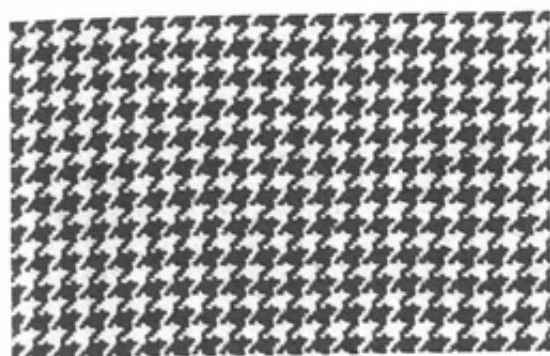
千鳥格子、杉綾、変化組織(ダイヤ柄)の各織物(図2)を用いて実証試験を行った。

2-3 画像処理手順

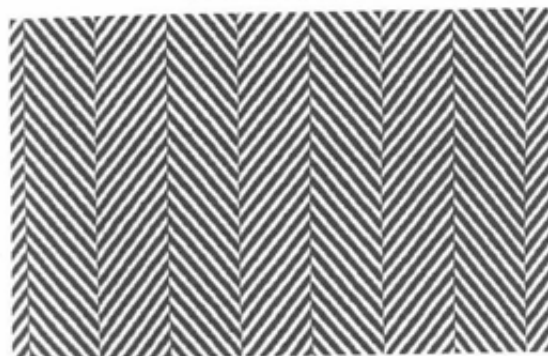
本研究で取り扱う先染織物組織柄は、小さな柄パターンの繰り返しで織物の柄を表しており、このパターン繰り返し特性に着目して、以下に述べる4種類の画像処理手法について検討を行った。

(1) テンプレートマッチング法

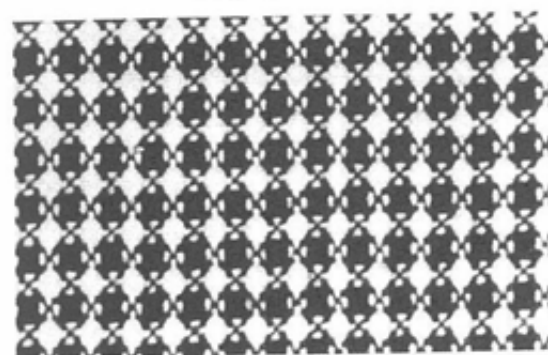
標準画像の中に設定した所定の大きさのパターン(テンプレートウィンドウ)と検査画像に存在するパターン(試験ウィンドウ)の



(ア) 千鳥格子



(イ) 杉 綾



(ウ) 変化組織 (ダイヤ)

図2 織物試料

全てとマッチング度を評価して、欠陥の有無を判断する。

概念図及び処理フローを図3に示した。以下に処理の流れを解説する。

ア) 標準画像を入力し、ノイズを除去するため平滑化処理を行い、照明むらを補正するためシェーディング補正処理を行う。さらに、試料に傾きがあるかどうかのチェックを行う。標準画像は $\pm 0.2^\circ$ 以内の傾きがある場合はアフィン変換で傾きを補正し、それ以上傾きがある場合は試料の傾きを直し再入力する。
イ) 試料の傾斜角度の抽出方法(図4、5)は、画像の中心部に横56画素、縦480画素の矩形

ウィンドウを作成し、標準画像の場合は $\pm 0.4^\circ$ (0.1° 間隔、9段階)、検査画像は $\pm 1.2^\circ$ (0.3° 間隔、9段階)で回転処理(アフィン変換、図5(a))し、処理結果をX軸方向への周辺分布曲線を求める(図5(b))。試料に傾きがない場合、この周辺分布曲線の極大値と極小値の差が最も大きくなり、傾きが大きくなるほどその差が小さくなる。したがって、得られた周辺分布曲線の極大値と極小値の差が最も大きくなる角度の符号を反転した角度が試料の傾き角度であることが分かる。

ウ) 標準画像に所定の大きさのテンプレートウィンドウを作成する。ウィンドウサイズは柄パターンがウィンドウに存在する個数で決める(例えば1、 2×2 、 3×3 個等)。

エ) 検査画像を入力し傾き補正等は前述のとおりである。

オ) 検査画像のX軸方向、Y軸方向の周辺分布曲線から各パターンの中心座標を求め、標準画像に設定したテンプレートウィンドウのサイズと同一サイズの試験ウィンドウを画像全体に作成する。

カ) 検査画像全体を走査して順次テンプレートウィンドウと試験ウィンドウの適合性を算出する。

キ) マッチング程度により欠陥の有無を判断し次の検査画像を入力し同様に繰り返す。

(2) フル画像相関法

標準画像と検査画像をフルサイズで重ね合わせてその差分処理を行い、さらに2値化処理し、残存連結成分の個数、面積等により欠陥の有無を判断する。

概念図及び処理フローを図6に示した。以下に処理の流れを解説する。

ア) 標準・検査画像入力、試料の傾きチェック、その補正は(1)に同じ。

イ) 標準画像と検査画像をフル画像で重ね合

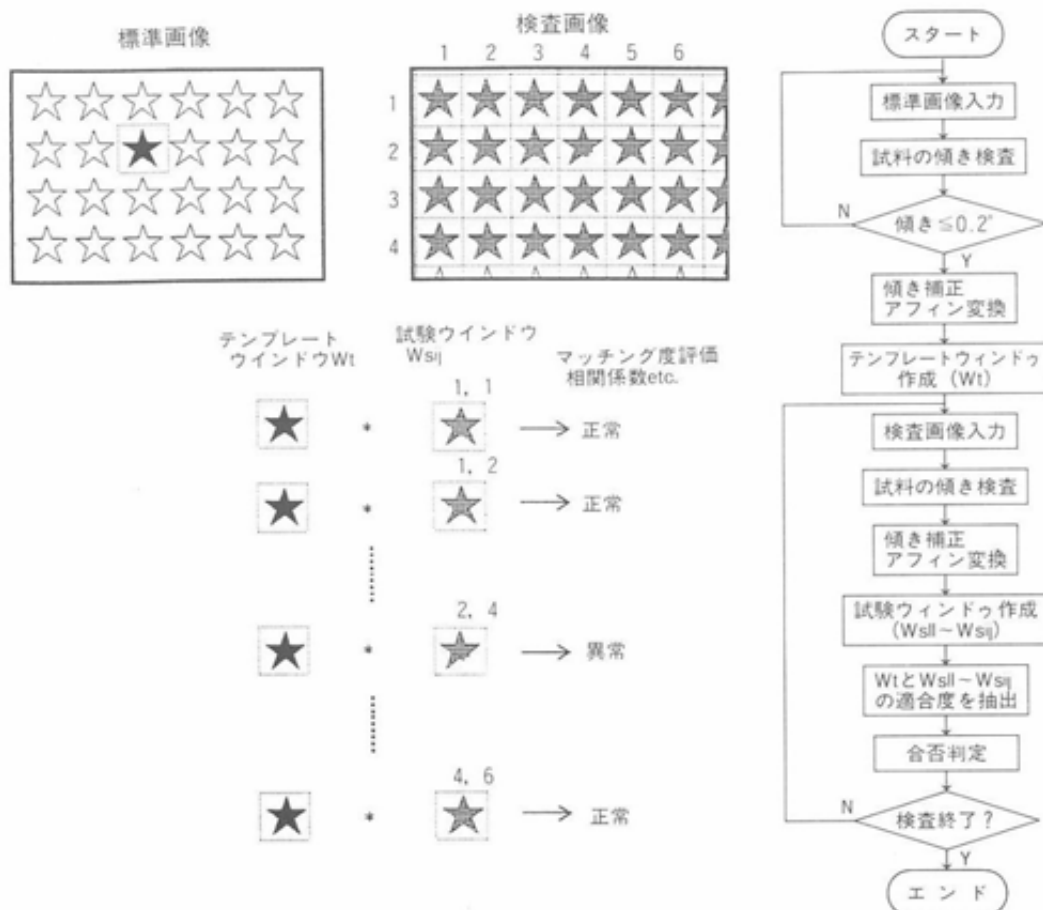


図3 テンプレートマッチング法

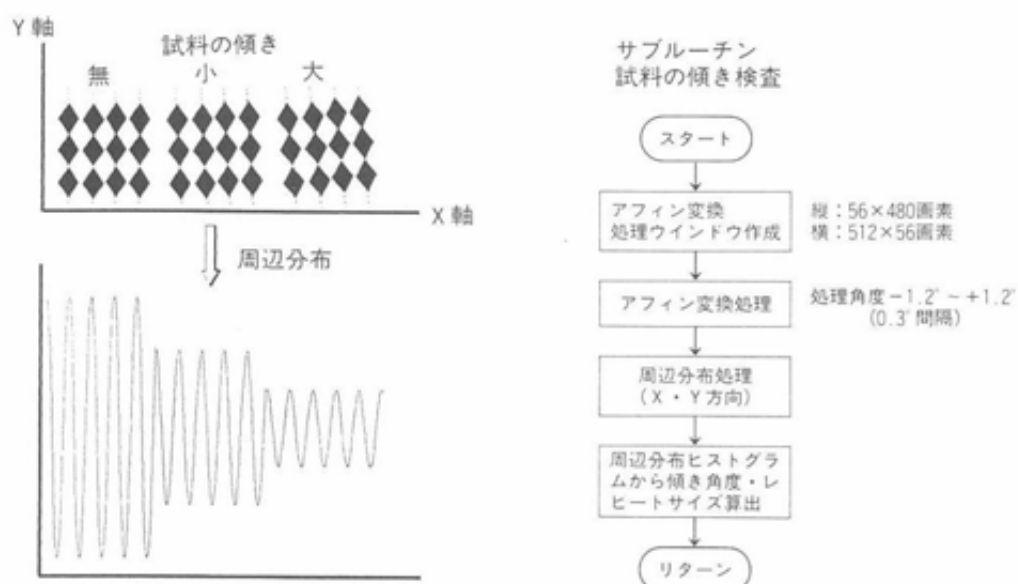
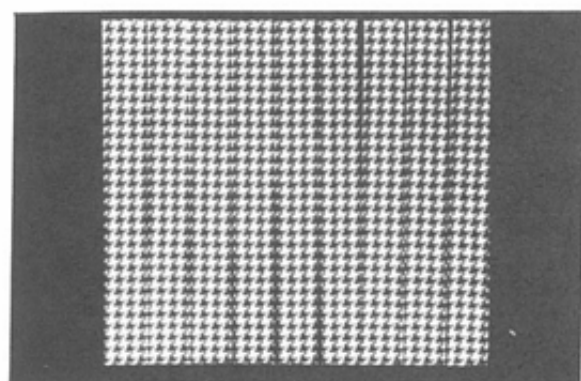
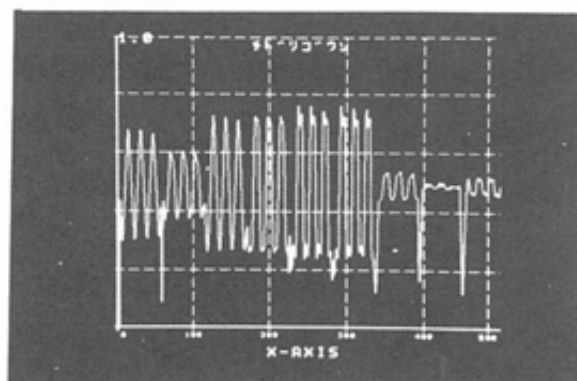


図4 試料の傾斜角度抽出法



(a) アフィン変換 (0.3° 間隔、9 段階)



(b) アフィン変換後の周辺分布 (X 軸方向)

図5 試料の傾斜角度抽出処理画像

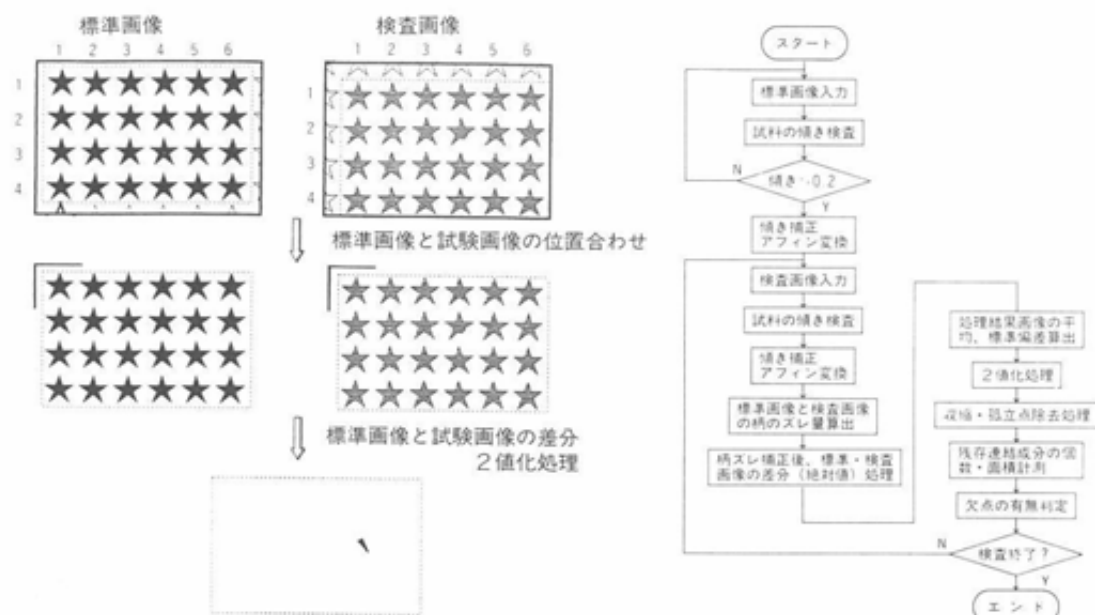


図6 フル画像相関法

わせる際、両者の柄にズレがあってはいけ
ないので事前に柄合わせを行う必要がある。こ
の処理は、標準画像の左上に 16×16 画素のテ
ンプレートウィンドウを作成する。検査画像
にも左上に 32×32 画素の探索ウィンドウを
作成する。テンプレートウィンドウを探索ウ
ィンドウの左上隅から 1 画素ずつずらして、
両ウィンドウの差分累積値を求めマッチング
度が最も高くなる座標を求める。尚、この計
算には可変閾値の残差逐次追跡法 (SSDA
法) を用い両ウィンドウの個々の座標の残差
累積値を計算し、この累積値が最小になる座
標がテンプレートウィンドウと試験ウィンド

ウが一致する座標である。累積計算の計算効
率を高めるため、計算を打ち切る閾値を可変
にし、前に計算した残差累積値に達した時点
でこの座標での計算を打ち切り、ウィンドウ
画素数の最後まで累積が行われればその座標
を新しい閾値とするというアルゴリズムで累
積計算を行った。(図 7)

ウ) 柄ズレを補正し、試験画像と標準画像の
フル画像で差分 (絶対値) 処理 (排他論理和
処理) を行う。

エ) 処理結果画像の平均輝度、分散、標準偏差
などの統計量を求める。

オ) 処理結果画像を 2 値化処理し、融合化 (収

縮) 処理、孤立点除去処理を行う。

カ) 残存連結成分の面積、個数を求め、欠陥の

有無の判定を行う。

キ) イ) ~ カ) を繰り返す。

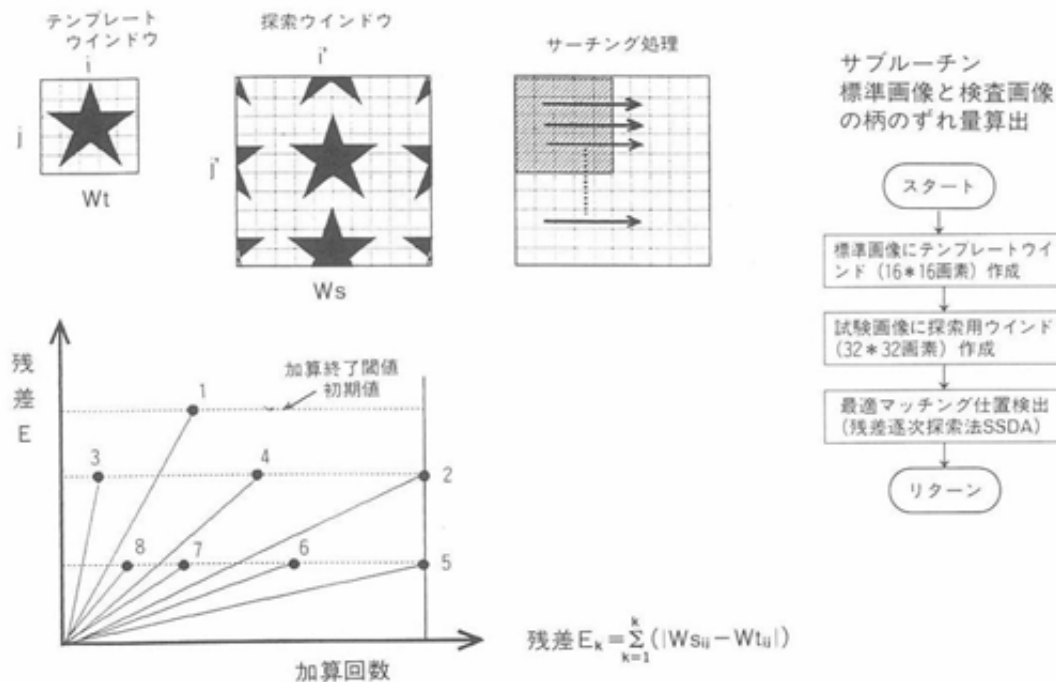


図7 画像の位置合わせ処理

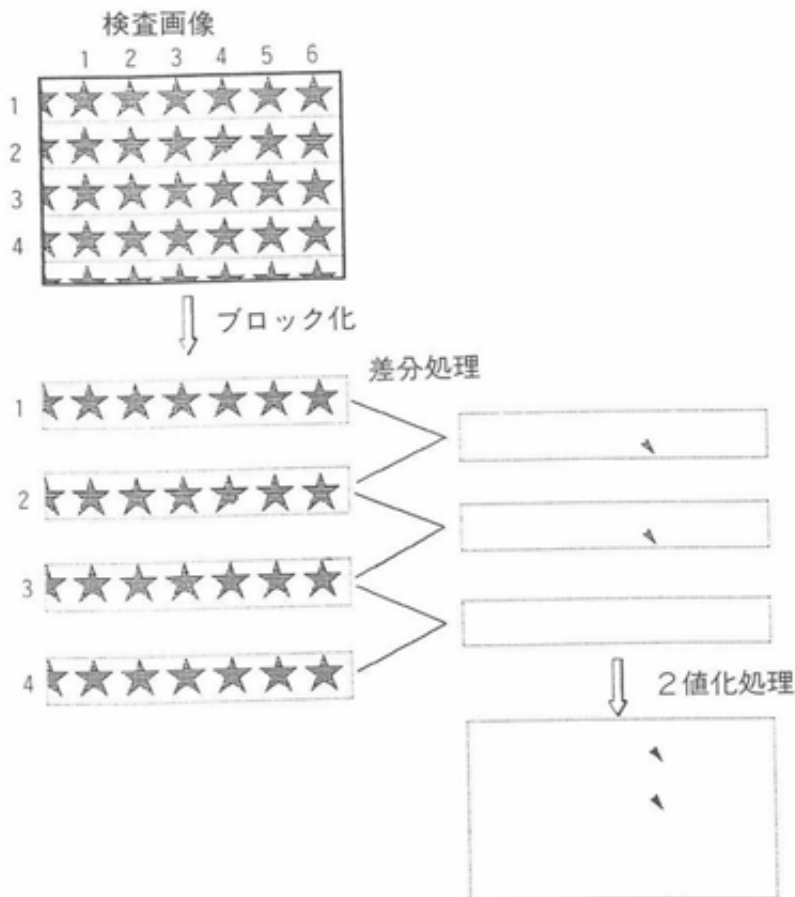


図8 ブロック画像相関法

(3) ブロック画像相関法

検査画像をブロック化し、隣接するブロック間で差分処理画像の平均輝度、標準偏差などから両者のマッチング度を評価したり、処理画像を2値化して、残存成分の個数、面積等により欠陥の有無を判断する。ブロックの大きさは、経1から数レピート、緯全幅の矩形のウィンドウを検査画像に作成した。

処理の概念図及び処理フローを図8に示した。以下に処理の流れを解説する。

ア) 検査画像を入力し、シェーディング補正、平滑化処理を行う。

イ) 経方向の柄1レピートのサイズを求める。これを行う方法として次の2種類の方法が考えられる。① Y軸方向への検査画像の周辺分布を求めそのピーク間隔から柄1レピートのサイズを求める方法。¹⁾ ② 経方向にテンプレートウィンドウ(例: 8×32画素)及び探索ウィンドウ(例: 8×64画素)を作成し、テンプレートウィンドウを1画素ずつずらして残差を計算し、残差値が極小となる座標間の距離から柄1レピートの画素数を求める方法。①は千鳥格子、ダイヤ柄の様な周辺分布で極小、極大が明確に現れる規則性の持つ画像に用いる事ができる。しかし、杉綾、市松格子のような柄は周辺分布では柄1レピートサイズを求めることができない。②は千鳥、市松杉綾などほとんどの先染組織柄の1レピートサイズを求めることができる。

ウ) レピートサイズが求まれば、検査画像をブロック化する。ブロック画像の大きさとして、1レピート分の画素数の長さ、幅は512画素の矩形ウィンドウを検査画像全体に作成し、隣合ったブロック間の差分(絶対値)処理(排他論理和処理)を行う。

エ) 処理結果画像の平均輝度、分散、標準偏差などの統計量を求める。

オ) 処理結果画像を所定の閾値で2値化し、融合化(収縮)処理、孤立点除去処理を行う。
カ) 残存成分の面積、個数を求め、欠陥の有無の判定を行う。

キ) ア)～カ)を繰り返す。

(4) 高速フーリエ変換法

この方法は、画像を高速フーリエ変換(FFT)し、周波数領域で欠点抽出する処理を行い、欠陥の有無を判断する。FFTは、画像を単純な正弦波の和の形に変換する処理で、通常、パワースペクトルの形に表して、周期性などの解析に使われている。

ところで、高速フーリエ変換には、次のような性質がある。

2つのサンプルデータ $g_1(n)$ と $g_2(n)$ の和の信号に対する高速フーリエ変換 F は、次のように個々に高速フーリエ変換を施した結果と一致する。

$$F\{g_1(n)+g_2(n)\}=F\{g_1(n)\}+F\{g_2(n)\}$$

また、高速フーリエ逆変換(IFFT) F^{-1} においても、同様な線形性の性質がある。

$$F^{-1}\{G_1(n)+G_2(n)\}=F^{-1}\{G_1(n)\}+F^{-1}\{G_2(n)\}$$

これらの性質を利用して、織物の欠点部の抽出を行った。FFT後は、画像の振幅と位相は複素数で表現され、その実数部と虚数部のフーリエ係数が得られる。

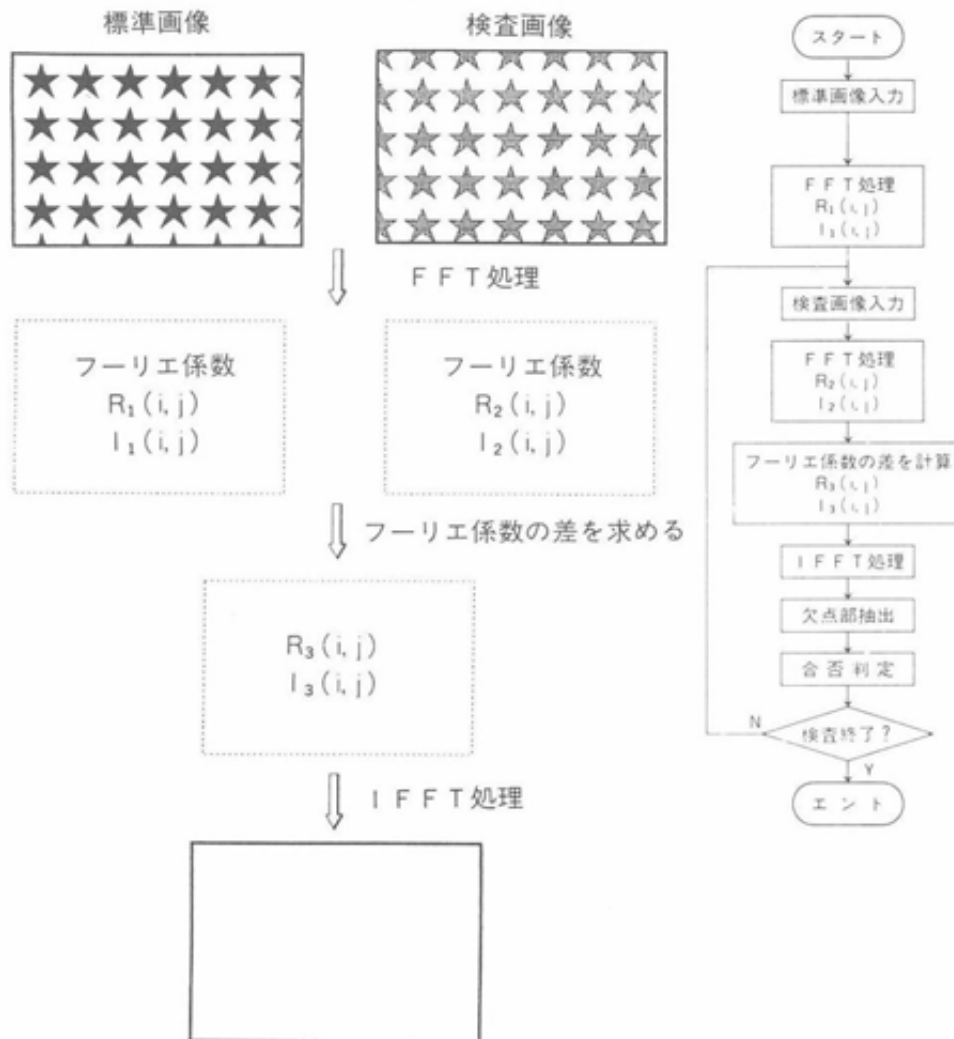
処理の概念図及び処理フローを図9に示した。以下に処理の流れを解説する。

ア) 傷や汚れのない正常な織物の画像を入力する。これを2値化して、標準画像データとする。傾きがある場合は、この処理を行う前に傾き補正を行う。

イ) 標準画像をFFT処理して、フーリエ係数(R_1 、 I_1)を求める。

ウ) 検査織物の画像を入力する。織物の柄の

図9 高速フーリエ変換図



位置は、標準画像と変わっていても良い。この画像も標準画像の時と同様に2値化する。
 エ) 検査画像をFFT処理して、フーリエ係数(R_2 、 I_2)を求める。
 オ) 標準画像のフーリエ係数と、検査画像のフーリエ係数との差(R_3 、 I_3)を求める。このとき、単純に引き算を行うと、原画像を重ね合わせて画素ごとに引き算を行ったことと同じ結果になり、位相のずれが影響してしまう。このため、計算方法は、 $R_2(i, j)$ 、 $I_2(i, j)$ それぞれの符号によって区別する必要がある、次式を適用する。

$$R_3(i, j) = R_2(i, j) - \frac{R_1(i, j) * R_2(i, j)}{|R_2(i, j)|}$$

$$I_3(i, j) = I_2(i, j) - \frac{I_1(i, j) * I_2(i, j)}{|I_2(i, j)|}$$

得られる $R_3(i, j)$ 、 $I_3(i, j)$ は、欠点部だけの画像をFFT処理して得られるフーリエ係数に相当する。

カ) $R_3(i, j)$ 、 $I_3(i, j)$ について、IFFT処理を行う。

キ) 結果を2値化処理し、欠点部だけを抽出した。

ケ) ウ)～キ)を繰り返す。

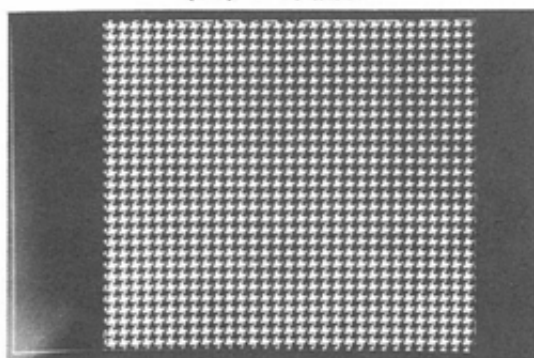
3. 結果及び考察

(1) テンプレートマッチング法

千鳥格子シミュレーション画像を用いて欠陥抽出試験を行った。正常画像及び面欠陥を含む画像を試験した結果を図10に示した。

マッチング処理を行ったウィンドウサイズは、 16×16 画素(小パターン1個)、 32×32 画

(a) 正常試料



(b) 欠点試料

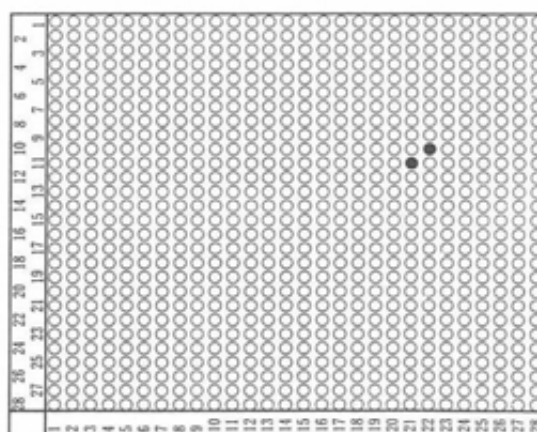
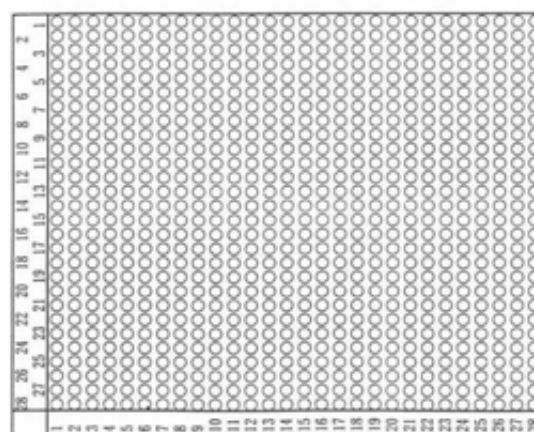
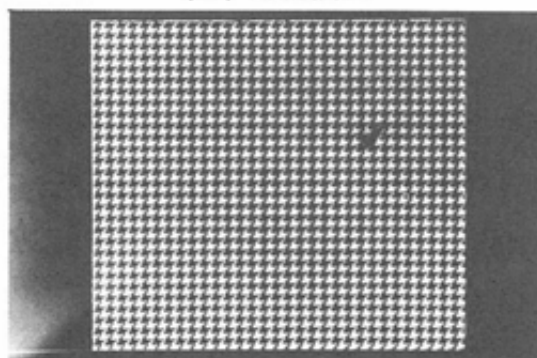


図10 テンプレートマッチング法

○ 相関係数 0.8以上
● 相関係数 0.8未満

素 (小パターン 2×2 個) の大きさに試験した。マッチング程度の評価は、相関係数、相互相関、共分散などがあるが、本研究で用いたのはテンプレートウィンドウと試験ウィンドウの相関係数と共分散である。これらの値は、値が大きいくほど画像間の一致度が高く、値が小さいほど画像間の一致度が低い。ウィンドウサイズが 16×16 画素の場合、正常試料は、ほぼ全域で相関係数が 0.8 以上の値を示した (図 10(a))。欠陥を含む試料は欠点が 2 つの試験ウィンドウに存在し、相関係数が約 0.5 と低く欠点が存在していることが分かる (図 10(b))。しかし、ウィンドウサイズを大きくした場合正常部と欠点部の差が小さくなり欠点部の抽出が不可能になった。

この処理は、個々のパターンを正常パターンと比較して欠陥の有無を判断するためその抽出精度・信頼性は高いが、処理時間を要するという欠点がある。また、テンプレートウ

ィンドウと試験ウィンドウの位置合わせが問題となり、ここで採用した周辺分布法による位置合わせのための座標抽出処理は、試料の斜行、歪みなどが誤差要因となり、マッチング処理の精度低下の要因となることが分かった。

(2) フル画像相関法

ア) 試料の傾斜角度と欠点抽出性能

千鳥格子シミュレーションを用いて、試料の傾斜角度と面欠点の抽出性能について試験を行った。(表 1、図 11) なお、2 値化のための閾値は、差分処理後の画像の平均輝度に標準偏差の 2 倍を加えた値とした。

この図から、欠陥抽出面積は、傾き角度 0° を中心に減少していることが分かる。それは、差分処理ノイズが増加し、欠陥部のみを正確に抽出することが困難になるためである。また、 $\pm 0.2^\circ$ 位の傾きであれば補正なしでも欠点抽出可能であることが分かる。逆に、 $\pm$

0.3°以上の傾きは補正しなければ結果は保証できないといえる。したがって、傾き補正の範囲を-1.2°～+1.2°で0.3°間隔の9水準に設定して処理することとした。この間隔は小さければ小さいほど欠点抽出性能の向上が期待できるが、あまり細かすぎると処理時間を要する欠点がある。

図11 試料の傾斜角度と欠点抽出性能
(フル画像相関法)

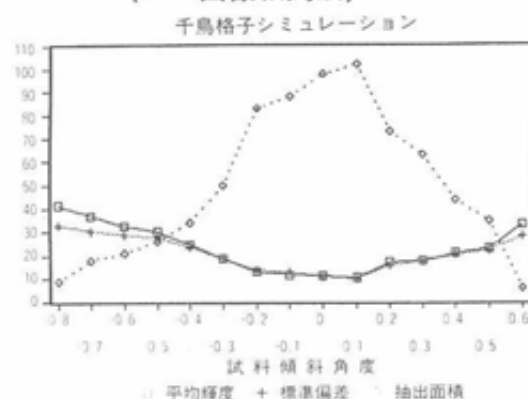


表1 試料の傾斜角度と欠点抽出性能
(フル画像相関法)

傾斜角度 (度)	平均輝度 (AV)	分散 (VR)	標準偏差 (σ)	抽出面積	抽出閾値 (AV+2σ)	抽出成否
-0.8	41.6	1087.8	33.0	9	107.5	×
-0.7	37.1	933.7	30.6	18	98.2	×
-0.6	32.4	823.0	28.7	21	89.8	△
-0.5	30.2	758.4	27.5	26	85.3	△
-0.4	24.7	561.5	23.7	34	72.1	○
-0.3	18.8	355.9	18.9	50	56.5	○
-0.2	13.2	185.5	13.6	83	40.4	◎
-0.1	11.9	166.0	12.9	88	37.7	◎
0	11.3	123.0	11.1	98	33.5	◎
0.1	10.7	104.6	10.2	102	31.2	◎
0.2	17.1	248.8	15.8	73	48.7	◎
0.3	17.9	307.3	17.5	63	53.0	○
0.4	21.2	413.1	20.3	44	61.8	○
0.5	23.2	494.5	22.2	35	67.7	○
0.6	33.3	817.8	28.6	6	90.5	×

イ) 各種欠点の抽出試験について

千鳥格子シミュレーションを用いて面欠点、線状欠点、織段欠点をシミュレートし、フル画像相関法で欠点抽出試験を行った結果を表2に示した。

この試験では、試料の傾斜補正を行い、位置合わせ、排他論理和等の処理を実施した。試料の傾きは各欠点で、0°、1°、1.5°の3段階である(但し織段は0°のみ)。

面欠点の原画像を図12(1a)、標準画像と位置合わせ後、排他論理和処理した結果を図12(1b)に示した。この濃淡画像の平均輝度、分散、標準偏差が表2に示した値である。この画像を2値化したのが図12(1c)で欠点部が抽出できている事が分かる。2値化の閾値決定が課題であり、通常処理画像の平均輝度に標準偏差の2～3倍を加えた値に設定した。ただし、マッチング度の悪い場合平均輝度が上昇するので、上限(30～50)を設定することによりこれに対応した。面欠点は試料が傾いていても、傾き補正・位置合わせが適切に行われているため、差分処理後の輝度、標準偏差も小さい値となり2値化後の抽出面積もほぼ等しい値が得られた。

表2 フル画像相関法による欠点抽出試験
(千鳥格子シミュレーション、1レピート=15画素)

	試料の 傾斜角度	平均輝度	標準偏差	抽出面積 (閾値=50)	抽出成否
正 常	0°	8.23	7.78	0	◎
	1°	13.97	13.31	0	◎
	1.5°	8.87	8.43	0	◎
面欠陥	0°	8.21	6.96	59	◎
	1°	11.29	11.09	68	◎
	1.5°	8.15	8.37	67	◎
線欠陥	0°	16.63	16.37	0	×
	1°	13.22	11.78	5	△
	1.5°	11.66	11.25	5	△
段	0°	32.42	26.53	208	◎

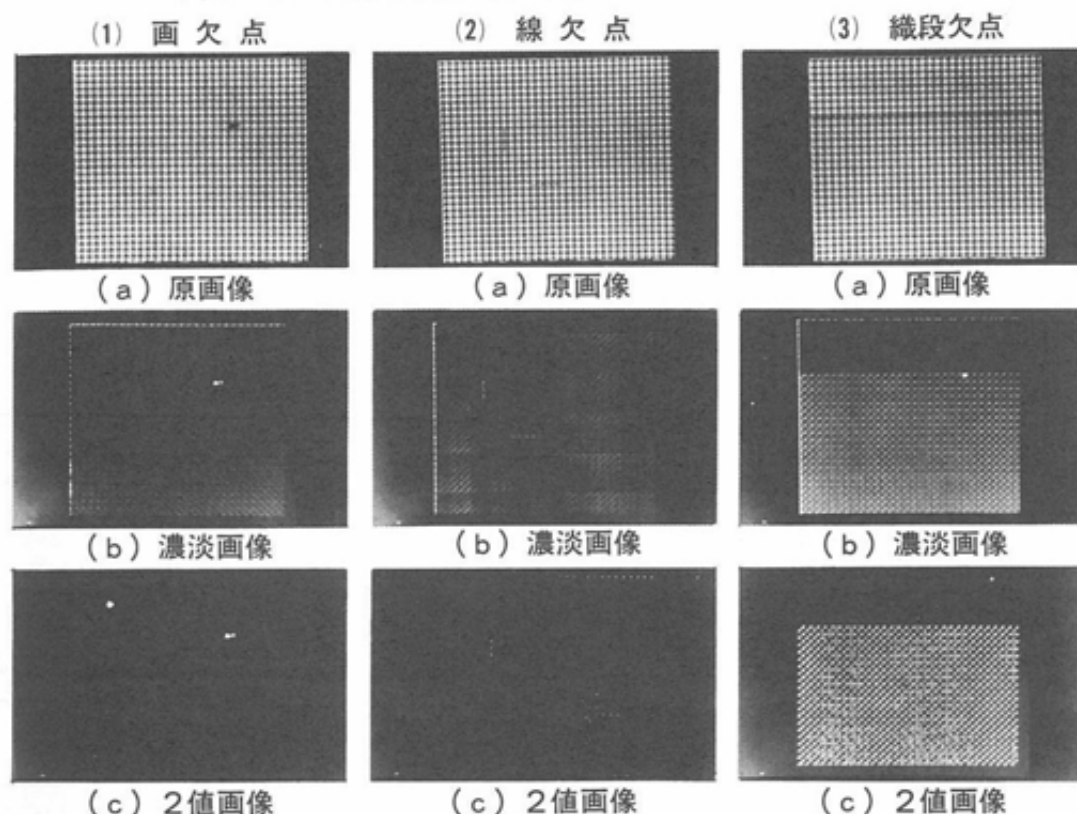
線欠点の原画像を図12(2a)、標準画像と位置合わせ後、排他論理和処理した結果を図12(2b)に、2値化処理後を図12(2c)に示した。線欠点は経方向と緯方向に糸1本程度の太さの欠点を想定してシミュレートしたもので、2値化後の図を見ても欠点部は抽出できているが、ノイズを除去する目的で5画素以下の面積を有する成分は残存成分に加算しないようなアルゴリズムにしているため表のとおり欠点抽出面積は小さな値となり欠点有無判断部で誤判断を下す場合があるという結果

となって現れている。

織段欠点の原画像を図12(3a)、標準画像と位置合わせ後、排他論理処理した結果を図12(3b)、2値化処理結果を図12(3c)に示した。この場合、排他論理処理で残存する欠点が画像の3分の2に及ぶことから、平均

輝度、標準偏差が高くなり、平均に標準偏差の3倍を加えた閾値では100近くになり欠点抽出が不可能となる。このように画像の全域で欠点が抽出される欠点を抽出するために上限の閾値(この場合は50)が有効となる。

図12 フル画像相関法(千鳥格子シミュレーション)



ウ) フル画像相関法が実施できる柄について

この手法を有効に実施できる前提として、試料の傾き角度を知る事ができ、補正できる事。そして、画像の重ね合わせ処理を有効にかつ全体の画像を代表できる、テンプレートウィンドウ及び探索ウィンドウを設定できることである。

千鳥格子以外にこのフル画像相関法が実施できる組織柄は、図1に示した変化組織のダイヤ柄、実施できにくい柄として、同図に示した市松、杉綾などの柄である。

エ) 織物を用いた欠点抽出試験。

千鳥格子織物及びダイヤ柄の変化組織の面欠陥の抽出試験を行った。

図13 千鳥格子織物欠点抽出結果(フル画像相関法)

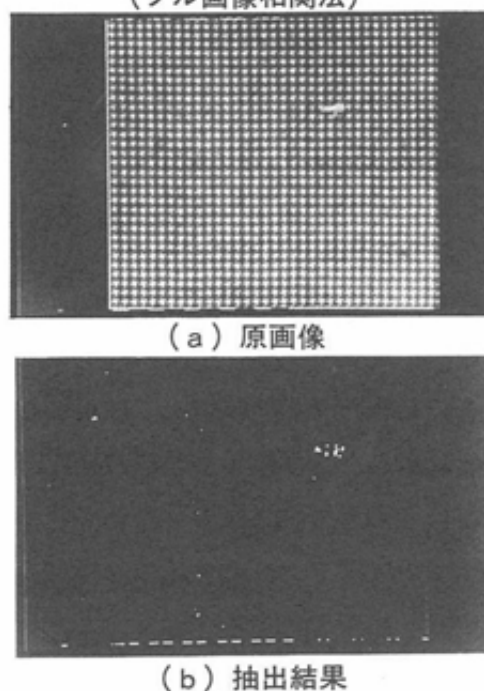
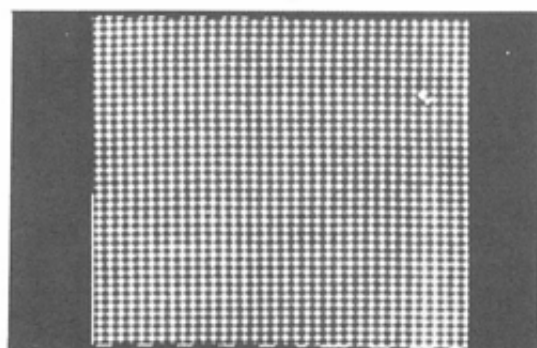


図13(a)に千鳥格子織物の面欠陥原画像、図13(b)に傾き補正、排他論理和、2値化処理して欠点部を抽出した結果を示した。

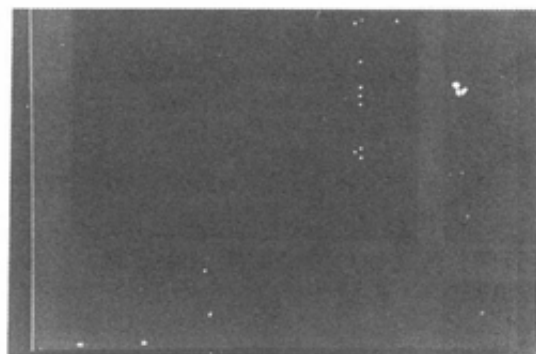
図14(a)に変化組織(ダイヤ柄)織物の面欠陥原画像、図14(b)に傾き補正、排他論理和、2値化処理して欠点部を抽出した結果を示した。

柄織物とシミュレーション柄に基本的な違いは無いが、織物を検査するときに考慮にしなければならないのは、柄の歪みおよびノイズを潜在的に有していることである。

図14 変化組織(ダイヤ柄)織物欠点抽出結果(フル画像相関法)



(a) 原画像



(b) 抽出結果

(3) ブロック画像相関法

ア) ブロックサイズと差分相関について

杉綾シミュレーションを用い、ブロックサイズと重ね合わせ相関について試験した結果を表3に示した。試験した試料の経方向のレピートは5画素で緯方向のレピートサイズは92画素である。ブロックサイズは経が5画素(1レピート)、10画素(2レピート)、15画素(3レピート)、25画素(5レピート)で、緯が

512画素である。また、試料の傾斜と本手法の欠点抽出性能も併せて検討した。なお、傾斜角度は、0、2、4°の場合について行った。

表3 ブロック相関法の欠点抽出性能への試料傾斜角度とブロックサイズの影響

杉綾シミュレーション、1レピート=5画素(経方向)
(ブロックウィンドウの緯方向のサイズは512画素)

試料の傾斜角度	ブロックウィンドウサイズ(画素数)	平均輝度	標準偏差	分散	抽出面積(閾値=20)
0°	5	7.75	4.11	16.96	0
	10	14.3	7.4	54.77	0
	15	18.87	9.66	93.75	0
	25	19.74	10.13	23.13	0
2°	5	7.56	4.81	23.13	0
	10	13.58	8.13	66.04	0
	15	17.13	9.46	89.54	0
	25	15.48	9.00	80.97	0
4°	5	7.48	5.97	35.63	0
	10	12.7	9.44	89.44	0
	15	14.48	9.30	86.50	0
	25	8.88	8.06	64.95	0

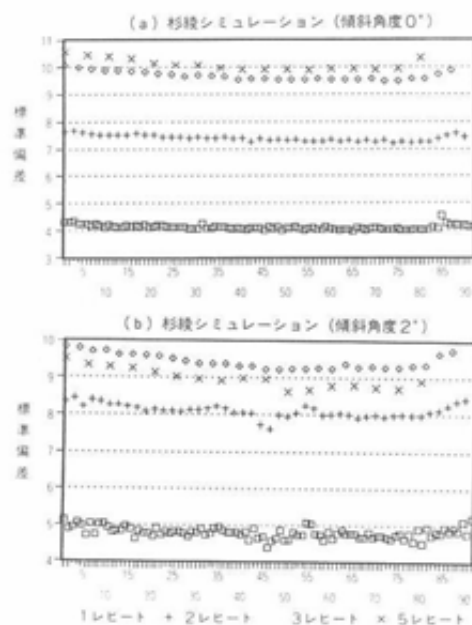


図15 ブロックサイズと差分相関の関係(ブロック画像相関法)

図15(a)は、傾斜角度0°の場合のブロックサイズと各ブロック間差分画像の標準偏差をプロットしたものである。(b)は、傾斜角度2°の場合である。傾斜角度が0°、ブロックサイズ5画素の場合、各ブロック間の差分処理後の標準偏差は4前後と小さい値を示したが、ブロックサイズが大きくなるにつれ標準偏差が大きくなり輝度のばらつきが大き

くなることが分かる。試料に傾きがある場合でも平均輝度、標準偏差はほとんど変わらないことが分かる。

次に、杉綾シミュレーションの面欠点について、ブロック化サイズと差分相関について検討した結果を図16に示した。この図からもわかるがブロックサイズが2レピートまで正常部と欠点部の差が明確に判別できるが、それ以上のブロックサイズではノイズの中に欠点部が埋もれてしまう。

これらのことから、ブロック画像相関法を実施する場合のブロックサイズは、1レピートの画素数でブロック化することが最も欠点

抽出性能がよい。ただし、処理時間を考慮するとレピート数の2~3倍で処理ができれば処理効率は単純に2~3倍になる。

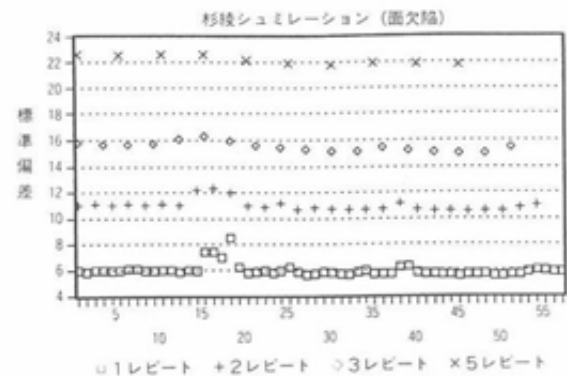
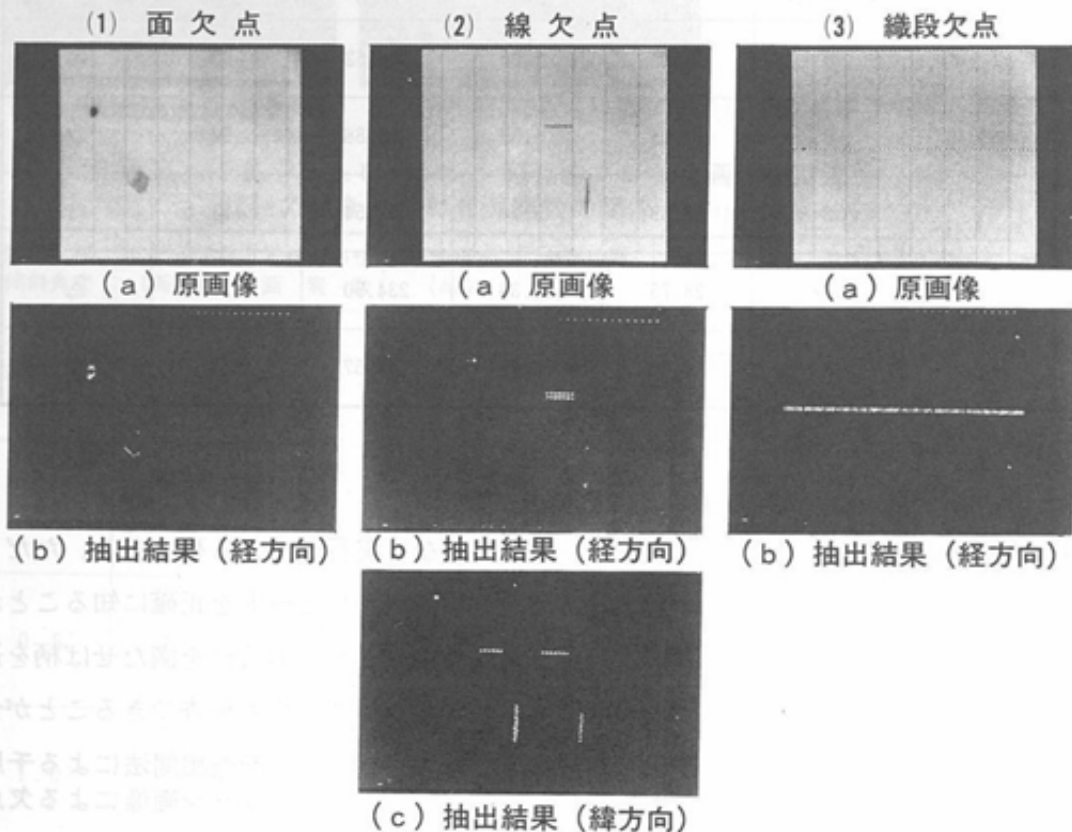


図16 杉綾シミュレーションの面欠点のブロックサイズと差分相関の関係

図17 ブロック画像相関法 (杉綾シミュレーション)



イ) 各種欠陥の抽出試験

杉綾シミュレーションの各種欠点例の抽出試験を行った。その結果を表4及び図17に示した。

杉綾シミュレーションの面欠陥の原画像を図17(1a)に、各ブロックの差分処理実施後2

値化処理して欠点部を抽出した結果が図17(1b)である。欠陥部のみが選択的に抽出できていることがわかる。ブロック画像相関法の特徴である、欠点画像の大きさとブロックサイズの大きさから抽出される欠点形状が異なることが本試験でも確認された。すなわち、

欠点は欠点部を含むブロックの前後で2点現れること、ブロックサイズより大きな欠点は、中ぬきの状態で欠点が抽出されることである。

線欠点の原画像を図17(2a)、経方向にブロック相関処理を行って2値化した結果を図17(2b)、緯方向にブロック相関処理を行い2値化処理した結果を図17(2c)に示した。この画像の場合経方向のレピートは8画素であるが緯方向は136画素と非常に大きなサイズであった。緯方向の線状欠点は問題なく抽出で

きた。しかし、経方向の線状欠点は、ブロックサイズが大きいためノイズ成分が多くなり欠点との差が見分けにくくなり(この試料は標準偏差15、平均輝度23)欠点部は抽出できているが同時にノイズも2値化されてしまっている。

織段欠点の原画を図17(3a)、ブロック差分処理後、2値化処理画像を図17(3b)に示した。このような欠点は非常に精度よく抽出できることが分かる。

表4 ブロック画像相関法による欠陥抽出試験

杉綾シミュレーション (欠点抽出閾値=AV+2σ)

試料	レピート (画素数)	平均輝度 (AV)	標準偏差 (σ)	分散 (VR)	抽出面積	欠点抽出の 成 否
標 準	8	10.89	6.05	36.62	0	◎
面欠陥	8	11.04	5.99	35.88	52	◎
線欠陥 (X-AXIS)	8	10.39	5.70	32.54	101	◎
線欠陥 (Y-AXIS)	138	28.75	15.33	234.90	30	△
段欠陥	8	10.06	6.97	48.57	165	◎

ウ) 杉綾以外の柄シミュレーションの場合

(2)ーウ) で用いた千鳥格子シミュレーションの各種欠陥例(面欠点、線欠点、織段)を本手法で抽出試験した結果を図18及び表5示した。杉綾同様欠点部が性能よく抽出できていることが理解できる。また、千鳥の場合もブロックサイズと試料の傾斜角度で欠点抽出に与える影響を検討したのが表6である。

本手法は、前述したテンプレートマッチング法、フル画像相関法と根本的に違うのは標準画像が不要で、検査画像のみで処理を行う事ができる事さらに、試料に少し位で有れば斜行していても、歪みがあってもほとんど問

題なく実行ができる事である。ただし、経・緯方向のレピートを正確に知ることが要求される。これらの条件を満たせば柄を選択せずどんな柄織物でも検査できることが分かった。

表5 ブロック画像相関法による千鳥格子シミュレーション画像による欠点抽出試験結果

	レピード数	平均輝度	標準偏差	分散	抽出面積 (閾値=20)	欠 点 抽出成否
正 常	16	5.75	4.68	21.93	0	◎
面欠陥	16	6.69	6.14	37.69	224	◎
線欠陥 (X)	15	9.14	7.30	53.29	209	◎
(Y)	15	8.69	7.12	50.65	124	◎
織 段	16	7.20	9.94	98.82	294	◎

図18 ブロック画像相関法（千鳥格子シミュレーション）

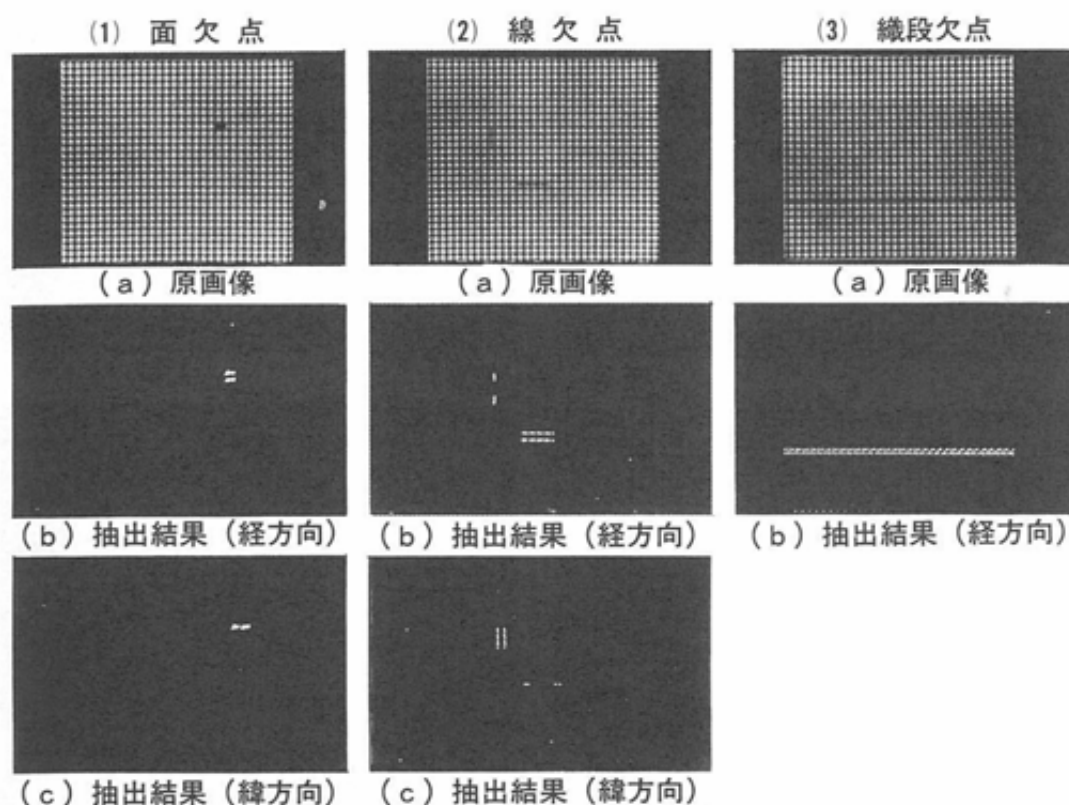


表6 千鳥シミュレーション画像のブロック画像相関法
試料の傾きと合わせ画素数の関係（欠点抽出閾値 = $AV + 2\sigma$ ）

試料 傾斜角度	レピート数 (画素数)	重ね合わせ 画素数	平均輝度 (AV)	標準偏差 (σ)	分散 (VR)	抽出面積	欠点 抽出成否
(標準)	16	32	6.31	5.08	25.82	0	○
		48	12.09	9.68	93.75	0	○
		64	17.64	14.06	197.65	0	○
		80	27.52	21.41	458.25	0	○
0°	16	32	6.69	6.14	37.69	303	○
		48	12.72	10.54	111.04	203	○
		64	18.42	14.86	220.79	136	○
		80	28.50	22.20	492.93	122	○
0.5°	16	32	6.06	6.13	37.58	315	○
		48	11.41	10.62	112.71	200	○
		64	16.53	15.01	225.37	132	○
		80	25.82	22.58	509.85	132	○
1.0°	16	32	6.92	7.02	49.27	287	○
		48	12.91	12.61	159.04	166	○
		64	18.70	17.83	317.90	123	○
		80	29.35	25.81	666.16	123	○
2.0°	16	32	9.28	8.40	70.62	235	○
		48	17.72	15.09	227.95	123	○
		64	25.55	20.60	424.43	122	○
		80	39.22	27.22	741.02	122	○

エ) 織物による試験結果

シミュレーション画像で開発したアルゴリズムを実際の織物を試料として検討を行った。

千鳥格子、杉綾、変化組織（ダイヤ柄）につ

いて面欠陥、線欠陥の処理結果をまとめたのが表7である。欠点の原画像と欠点抽出後の2値化処理画像を図19に示した。

図19 織物欠陥抽出例（ブロック画像相関法）

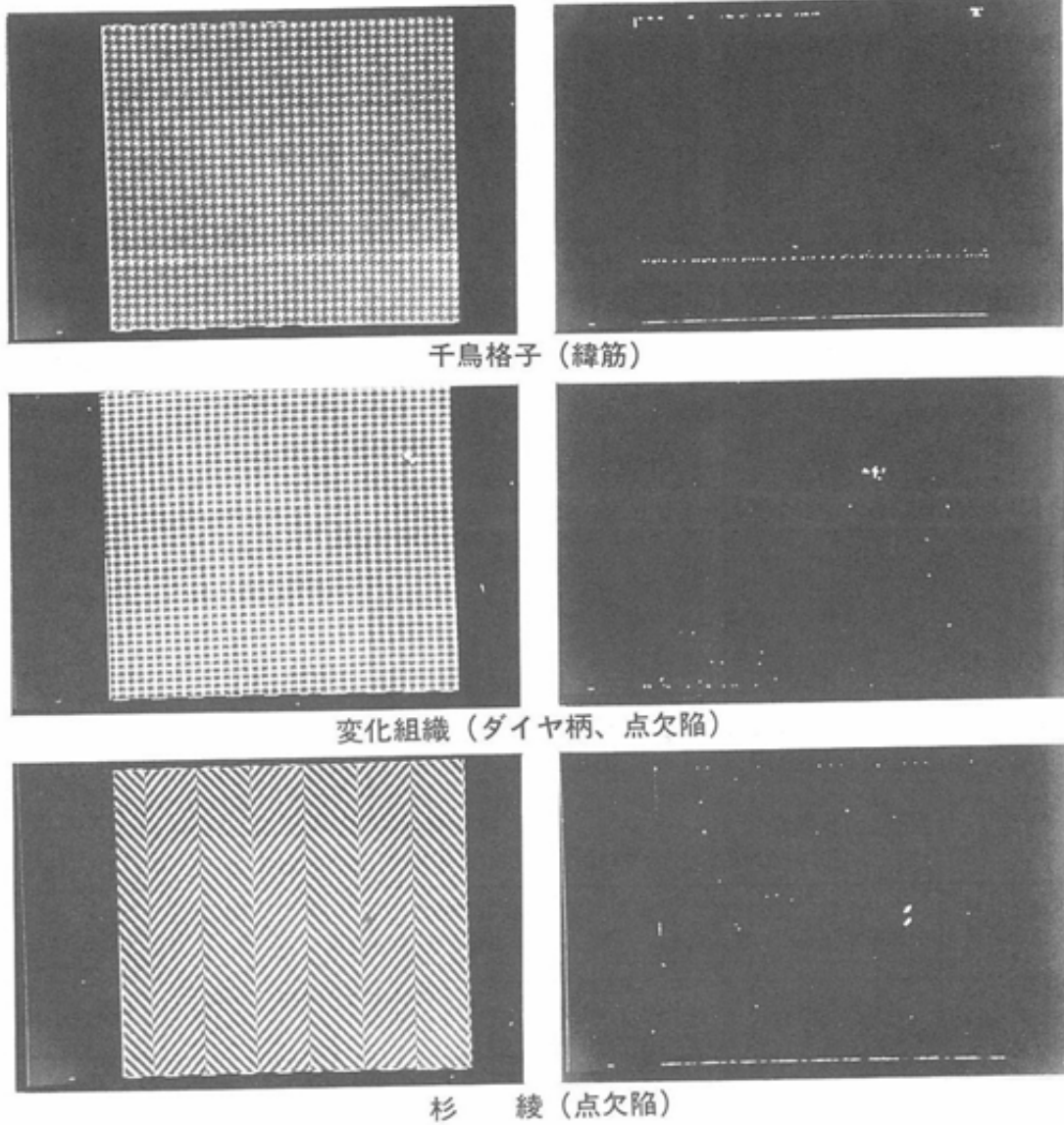


表7 ブロック画像相関法による組織柄織物欠陥抽出試験

			レピート数 (画素数)	平均輝度	標準偏差	分 散	抽出面積 (閾値=30)	抽出成否
千鳥格子	正 常	X AXIS	15	5.51	5.27	27.73	15	△
		Y AXIS	14	6.53	6.11	37.38	0	○
	面欠陥	X AXIS	15	5.50	5.61	31.42	250	○
		Y AXIS	14	6.46	6.20	38.41	95	○
	線欠陥	X AXIS	15	6.19	6.78	46.03	167	○
		Y AXIS	14	6.37	6.00	35.97	0	×
杉 綾	正 常	X AXIS	12	5.76	5.66	32.01	0	○
		Y AXIS	14					
	面欠陥	X AXIS	12	5.41	5.54	30.69	68	○
		Y AXIS	13					
	線欠陥	X AXIS	12	5.59	5.62	31.59	43	○
		Y AXIS	13					
変化組織 (ダイヤ柄)	正 常	X AXIS		7.32	6.52	42.46	0	○
		Y AXIS		6.51	6.07	36.85	0	○
	面欠陥	X AXIS		7.08	6.68	44.67	159	○
		Y AXIS		15.83	12.69	160.78	136	○
	線欠陥	X AXIS		7.01	6.15	37.86	25	△
		Y AXIS		16.01	12.81	163.97	323	○

(4) 高速フーリエ変換法

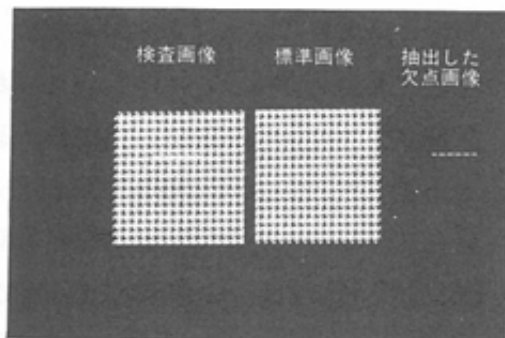
図20は、高速フーリエ変換法を用いて欠点抽出試験を行った結果である。(a)は、千鳥格子織物のシミュレーション画像の線欠点を検査した例である。左から検査画像、標準画像、抽出した欠点画像である。このように、一画素の太さの異物を抽出することが可能である。(b)は杉綾織物のシミュレーション画像を検

査した例である。標準画像と検査画像の柄の位置がずれていても、欠点部だけをクリアに抽出することができる。

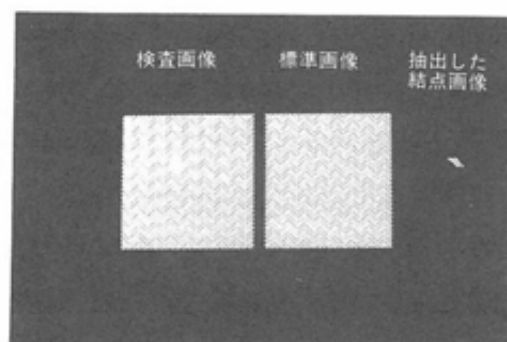
同様に、実際の織物の画像においても、シェーディング補正、傾き補正、2値化処理を行うことにより、欠点部を抽出することが可能であった。

図20 高速フーリエ変換法による欠点抽出結果

(a) 千鳥格子シミュレーション画像



(b) 杉綾シミュレーション画像



(5) 検査時間

各処理手法の処理時間を表8に示した。最も処理時間が短いのはブロック画像相関法で、レピートが既知の場合で約1.25秒と実用レ

ベルの処理速度が得られた。高速フーリエ変換法も処理手法としては優れているが、処理時間が現状では課題として残った。

表8 検査処理時間

検 査 手 法		画 像 処 理 手 法			処理時間 合計(秒)
テンプレートマッチング法	テンプレートウインドウ サイズ(画素) (パターン数)	パターン座標 抽 出	マッチング処理		
	17×17 (784)	18.50	287.00		
	34×34 (196)	18.50	103.25		
	54×54 (49)	18.50	58.50		
フル画像相関法	画像サイズ(画素)	傾き補正	位置合わせ	欠点解析	合計(秒)
	512×480	1.50	4.00～7.00	1.00	6.50～9.50
ブロック画像相関法 レピート未知 レピート既知	画像サイズ(画素)	レピート抽出	差分処理	欠点解析	合計(秒)
	512×480	0.75	0.25	1.00	2.00
	"	—	0.25	1.00	1.25
高速フーリエ変換法	画像サイズ(画素)	フーリエ変換	逆フーリエ変換		合計(秒)
	512×512	147.00	147.00		294.00
	256×256	35.00	35.00		70.00
	128×128	9.00	9.00		18.00

表9 検査手法の特徴

検査手法	標準画像 要・不要	傾き補正 要・不要	位置合わせ 要・不要	柄レピート数 要・不要	抽出精度	耐ノイズ性	処理時間
テンプレートマッチング法	要	要	要	要	○	×	×
フル画像相関法	要	要	要	不要	○	△	○
ブロック画像相関法	不要	不要	不要	要	◎	◎	◎
高速フーリエ変換法	要	要	不要	不要	◎	○	△

4. まとめ

先染織物組織柄検査の画像処理手法を検討し、4種類のアプローチを開発した。

その結果をまとめると次のようになる。
(表9)

- ①テンプレートマッチング法は、個々のパターンを比較するので検査精度は良いが、個々のパターンの位置を正確に抽出する必要がある、ノイズに弱く、処理時間を要する。
- ②フル画像相関法は、処理時間は比較的短いですが、試料の傾き補正や位置合わせが必要である。

- ③ブロック画像相関法は、検査画像のみで実行でき、試料の傾き補正、位置合わせ等は不要で、処理時間は短く(レピート既知で約1.25秒)、欠陥抽出性能も優れている。ただし、試料のレピート数を知る必要があり、1レピートが大柄の場合欠陥抽出性能が低下する。
- ④FFT法は欠陥抽出精度等は優れているが、処理時間が長い。

参考文献

- 1) 安藤ほか テキスタイル&ファッション
VOL 9 NO.10 P 325-345('92)