

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-146208
(P2017-146208A)

(43) 公開日 平成29年8月24日(2017.8.24)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
GO 1 N	21/88	(2006.01)	GO 1 N	21/88	J	2 F 0 6 5		
GO 1 B	11/30	(2006.01)	GO 1 B	11/30	A	2 G 0 5 1		
HO 4 N	5/225	(2006.01)	HO 4 N	5/225	C	5 C 1 2 2		
			HO 4 N	5/225	F			

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2016-28321 (P2016-28321)
(22) 出願日 平成28年2月17日 (2016.2.17)

(71) 出願人 000006932
リコーエレメックス株式会社
愛知県岡崎市井田町字三丁目69番地
(74) 代理人 110002147
特許業務法人酒井国際特許事務所
(72) 発明者 井上 靖之
愛知県岡崎市井田町字三丁目69番地 リ
コーエレメックス株式会社内
Fターム(参考) 2F065 AA49 BB01 BB25 DD03 FF01
FF06 FF41 GG07 GG15 GG18
HH06 JJ03 JJ26 LL04 MM22
QQ06 QQ24 QQ25 QQ29 QQ31
QQ42 UU05

最終頁に続く

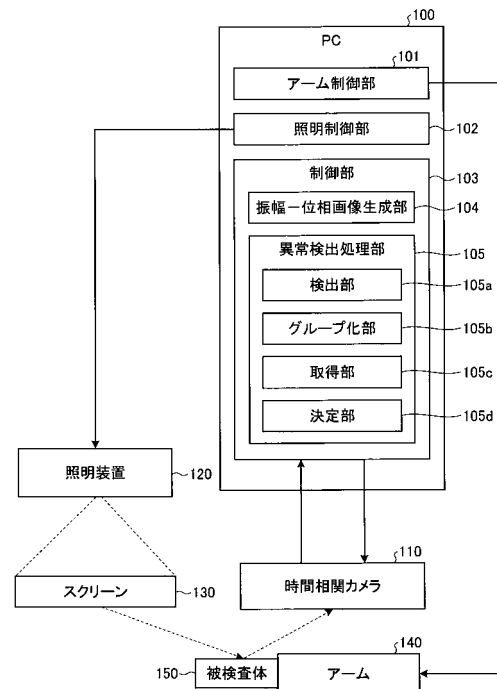
(54) 【発明の名称】 検査装置及び検査方法

(57) 【要約】

【課題】被検査体の異常をより高精度に検出することができる検査装置を得る。

【解決手段】実施形態の検査装置は、被検査体の同一の領域の画像データであって被検査体で反射した光の特徴を示す複数の異なる特徴画像データのそれぞれから、異常領域の候補である異常候補を検出する検出部と、異常候補の位置に基づいて、異常候補をグループに分けるグループ化部と、異常候補の特徴量を取得する取得部と、グループ毎に特徴量を用いる多変量解析を行うことによって、異常領域を決定する決定部と、を備える。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被検査体の同一の領域の画像データであって前記被検査体で反射した光の特徴を示す複数の異なる特徴画像データのそれぞれから、異常領域の候補である異常候補を検出する検出部と、

前記異常候補の位置に基づいて、前記異常候補をグループに分けるグループ化部と、

前記異常候補の特徴量を取得する取得部と、

前記グループ毎に前記特徴量を用いる多変量解析を行うことによって、前記異常領域を決定する決定部と、

を備えた検査装置。

10

【請求項 2】

前記グループ化部は、前記複数の特徴画像データの画素毎の論理和である和画像データに基づいて、前記異常候補を前記グループに分ける、請求項 1 に記載の検査装置。

【請求項 3】

前記グループ化部は、前記和画像データにおいて膨張された前記異常候補に基づいて、前記異常候補を前記グループに分ける、請求項 2 に記載の検査装置。

【請求項 4】

前記取得部は、前記特徴画像データ中での前記異常候補の大きさを示す前記特徴量と、前記特徴画像データ中での前記異常候補内の前記特徴の最小値を示す前記特徴量と、前記特徴画像データ中での前記異常候補内の前記特徴の平均値を示す前記特徴量と、前記特徴画像データ中での前記異常候補内の前記特徴の最大値と当該異常候補内の前記特徴の最小値との差を示す前記特徴量と、前記特徴画像データ中での前記異常候補内の前記特徴の標準偏差を示す前記特徴量と、のうち少なくとも一つを取得する、請求項 1 ~ 3 のうちいずれか一つに記載の検査装置。

20

【請求項 5】

前記取得部は、前記特徴画像データ中での前記異常候補内の前記特徴の最大値と当該異常候補内の前記特徴の最小値との差を示す前記特徴量を取得する場合と、前記特徴画像データ中での前記異常候補内の前記特徴の標準偏差を示す前記特徴量を取得する場合には、前記特徴画像データ中での前記異常候補を膨張させる膨張処理を行う、請求項 4 に記載の検査装置。

30

【請求項 6】

前記取得部は、前記和画像データ中での前記グループ毎の画素数を算出し、

前記決定部は、前記画素数を前記多変量解析に用いる、請求項 2 または 3 に記載の検査装置。

【請求項 7】

前記複数の特徴画像データは、前記光の強度を表した強度画像データと、前記光の振幅を表した振幅画像データと、前記光の位相に関する位相画像データと、のうち少なくとも二つを含む、請求項 1 ~ 6 のうちいずれか一つに記載の検査装置。

【請求項 8】

被検査体の同一の領域の画像データであって前記被検査体で反射した光の特徴を示す複数の異なる特徴画像データのそれぞれから、異常領域の候補である異常候補を検出し、

40

前記異常候補の位置に基づいて、前記異常候補をグループに分け、

前記異常候補の特徴量を取得し、

前記グループ毎に前記特徴量を用いる多変量解析を行うことによって、前記異常領域を決定する、

検査方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明の実施形態は、検査装置及び検査方法に関する。

50

【背景技術】

【0002】

従来、被検査体に光を照射し、当該被検査体の表面からの反射光を画像データとして撮像し、当該画像データの輝度変化等に基づいて、被検査体の異常を検出する技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2015-197345号公報

【特許文献2】特開2013-239934号公報

【特許文献3】特開2012-117908号公報

【特許文献4】特開2012-117907号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

この種の技術では、被検査体の異常をより高精度に検出することができれば有意義である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態の検査装置は、被検査体の同一の領域の画像データであって前記被検査体で反射した光の特徴を示す複数の異なる特徴画像データのそれぞれから、異常領域の候補である異常候補を検出する検出部と、前記異常候補の位置に基づいて、前記異常候補をグループに分けるグループ化部と、前記異常候補の特徴量を取得する取得部と、前記グループ毎に前記特徴量を用いる多変量解析を行うことによって、前記異常領域を決定する決定部と、を備える。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】図1は、実施形態の検査システムの構成例を示した図である。

【図2】図2は、実施形態の時間相関カメラの構成を示したブロック図である。

【図3】図3は、実施形態の時間相関カメラで時系列順に蓄積されたフレームを表した概念図である。

【図4】図4は、実施形態の照明装置が照射する縞パターンの一例を示した図である。

【図5】図5は、実施形態の時間相関カメラによる、被検査体の異常の第1の検出例を示した図である。

【図6】図6は、図5に示される異常が被検査体にある場合に、当該異常に応じて変化する、光の振幅の例を表した図である。

【図7】図7は、実施形態の時間相関カメラによる、被検査体の異常の第2の検出例を示した図である。

【図8】図8は、実施形態の時間相関カメラによる、被検査体の異常の第3の検出例を示した図である。

【図9】図9は、実施形態の照明制御部が照明装置に出力する縞パターンの例を示した図である。

【図10】図10は、実施形態のスクリーンを介した後の縞パターンを表した波の形状の例を示した図である。

【図11】図11は、実施形態の画像データを説明するための説明図である。

【図12】図12は、実施形態の振幅画像データ用の異常候補検出処理の手順を示すフローチャートである。

【図13】図13は、実施形態の位相画像データ用の異常候補検出処理の手順を示すフローチャートである。

【図14】図14は、実施形態において位相限定ラプシアンを用いた処理が実行される

10

20

30

40

50

前の位相画像データの例を示した図である。

【図 1 5】図 1 5 は、図 1 4 における位相の変化の例を示した概略図である。

【図 1 6】図 1 6 は、実施形態の検査システムで用いられる位相限定ラプラシアンに対応するラプラシアンフィルタの例を示した図である。

【図 1 7】図 1 7 は、実施形態において位相限定ラプラシアンを用いた処理が実行された後の位相画像データの例を示した図である。

【図 1 8】図 1 8 は、実施形態の強度画像データにおける特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 1 9】図 1 9 は、実施形態の振幅画像データにおける特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 2 0】図 2 0 は、実施形態の位相画像データにおける異常候補検出処理結果に基づく特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 2 1】図 2 1 は、実施形態の位相ラプラシアン画像データにおける異常候補検出処理結果に基づく特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 2 2】図 2 2 は、実施形態の強度画像データにおける異常候補の他の特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 2 3】図 2 3 は、実施形態の振幅画像データにおける異常候補の他の特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 2 4】図 2 4 は、実施形態の位相画像データにおける異常候補検出処理による異常候補の他の特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 2 5】図 2 5 は、実施形態の位相ラプラシアン画像データにおける異常候補検出処理による異常候補の他の特徴量の取得について説明するための説明図である。

【図 2 6】図 2 6 は、実施形態の和画像データ中でのグループ毎の画素数の取得について説明するための説明図である。

【図 2 7】図 2 7 は、実施形態の異常検出処理部が実行する異常検出処理の手順を示すフローチャートである。

【図 2 8】図 2 8 は、実施形態の検査システムにおける被検査体の検査処理の手順を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0007】

(実施形態)

本実施形態の検査システムについて説明する。実施形態の検査システムは、被検査体を検査するために様々な構成を備えている。図 1 は、本実施形態の検査システムの構成例を示した図である。図 1 に示されるように、本実施形態の検査システムは、PC 100 と、時間相関カメラ 110 と、照明装置 120 と、スクリーン 130 と、アーム 140 と、を備えている。PC 100 は、検査装置の一例である。

【0008】

アーム 140 は、被検査体 150 を固定するために用いられ、PC 100 からの制御に応じて、時間相関カメラ 110 が撮影可能な被検査体 150 の表面の位置と向きを変化させる。

【0009】

照明装置 120 は、被検査体 150 に光を照射する装置であって、PC 100 からの編パターンに従って、照射する光の強度を領域単位で制御できる。さらに、照明装置 120 は、周期的な時間の遷移に従って当該領域単位の光の強度を制御できる。換言すれば、照明装置 120 は、光の強度の周期的な時間変化及び空間変化を与えることができる。なお、具体的な光の強度の制御手法については後述する。

【0010】

スクリーン 130 は、照明装置 120 から出力された光を拡散させた上で、被検査体 150 に対して面的に光を照射する。本実施形態のスクリーン 130 は、照明装置 120 から入力された周期的な時間変化及び空間変化が与えられた光を、面的に被検査体 150 に

10

20

30

40

50

照射する。なお、照明装置 120 とスクリーン 130 との間には、集光用のフレネルレンズ等の光学系部品（図示されず）が設けられてもよい。

【0011】

なお、本実施形態は、照明装置 120 とスクリーン 130 とを組み合わせ、光強度の周期的な時間変化及び空間変化を与える面的な照射部を構成する例について説明するが、このような組み合わせに制限するものではなく、例えば、LED を面的に配置して照明部を構成してもよい。

【0012】

図 2 は、本実施形態の時間相関カメラ 110 の構成を示したブロック図である。図 2 に示されるように、時間相関カメラ 110 は、光学系 210 と、イメージセンサ 220 と、データバッファ 230 と、制御部 240 と、参照信号出力部 250 と、を備えている。

10

【0013】

光学系 210 は、撮影レンズ等を含み、時間相関カメラ 110 の外部の被写体（被検査体を含む）からの光束を透過し、その光束により形成される被写体の光学像を結像させる。

【0014】

イメージセンサ 220 は、光学系 210 を介して入射された光の強弱を光強度信号として画素毎に高速に出力可能なセンサとする。

【0015】

本実施形態の光強度信号は、検査システムの照明装置 120 が被写体（被検査体を含む）に対して光を照射し、当該被写体からの反射光を、イメージセンサ 220 が受け取ったものである。

20

【0016】

イメージセンサ 220 は、例えば従来のもものと比べて高速に読み出し可能なセンサであり、行方向（x 方向）、列方向（y 方向）の 2 種類の方向に画素が配列された 2 次元平面状に構成されたものとする。そして、イメージセンサ 220 の各画素を、画素 $P(1, 1)$ 、 \dots 、 $P(i, j)$ 、 \dots 、 $P(X, Y)$ とする（なお、本実施形態の画像サイズを $X \times Y$ とする。）。なお、イメージセンサ 220 の読み出し速度を制限するものではなく、従来と同様であってもよい。

【0017】

イメージセンサ 220 は、光学系 210 によって透過された、被写体（被検査体を含む）からの光束を受光して光電変換することで、被写体から反射された光の強弱を示した光強度信号（撮影信号）で構成される、2 次元平面状のフレームを生成し、制御部 240 に出力する。本実施形態のイメージセンサ 220 は、読み出し可能な単位時間毎に、当該フレームを出力する。

30

【0018】

本実施形態の制御部 240 は、例えば CPU、ROM、及び RAM 等で構成され、ROM に格納された検査プログラムを実行することで、転送部 241 と、読出部 242 と、強度画像用重畳部 243 と、第 1 の乗算器 244 と、第 1 の相関画像用重畳部 245 と、第 2 の乗算器 246 と、第 2 の相関画像用重畳部 247 と、画像出力部 248 と、を実現する。なお、CPU 等で実現することに制限するものではなく、FPGA、または ASIC で実現してもよい。

40

【0019】

転送部 241 は、イメージセンサ 220 から出力された、光強度信号で構成されたフレームを、データバッファ 230 に、時系列順に蓄積する。

【0020】

データバッファ 230 は、イメージセンサ 220 から出力された、光強度信号で構成されたフレームを、時系列順に蓄積する。

【0021】

図 3 は、本実施形態の時間相関カメラ 110 で時系列順に蓄積されたフレームを表した

50

概念図である。図 3 に示されるように、本実施形態のデータバッファ 230 には、時刻 t ($t = t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$) 毎の複数の光強度信号 $G(1, 1, t), \dots, G(i, j, t), \dots, G(X, Y, t)$ の組み合わせで構成された複数のフレーム F_k ($k = 1, 2, \dots, n$) が、時系列順に蓄積される。なお、時刻 t で作成される一枚のフレームは、光強度信号 $G(1, 1, t), \dots, G(i, j, t), \dots, G(X, Y, t)$ で構成される。

【0022】

本実施形態の光強度信号（撮像信号） $G(1, 1, t), \dots, G(i, j, t), \dots, G(X, Y, t)$ には、フレーム画像 F_k ($k = 1, 2, \dots, n$) を構成する各画素 $P(1, 1), \dots, P(i, j), \dots, P(X, Y)$ が対応づけられている。

10

【0023】

イメージセンサ 220 から出力されるフレームは、光強度信号のみで構成されており、換言すればモノクロの画像データとも考えることができる。なお、本実施形態は、解像度、感度、及びコスト等を考慮して、イメージセンサ 220 がモノクロの画像データを生成する例について説明するが、イメージセンサ 220 としてモノクロ用のイメージセンサに制限するものではなく、カラー用のイメージセンサを用いてもよい。

【0024】

図 2 に戻り、本実施形態の読出部 242 は、データバッファ 230 から、光強度信号 $G(1, 1, t), \dots, G(i, j, t), \dots, G(X, Y, t)$ をフレーム単位で、時系列順に読み出して、第 1 の乗算器 244 と、第 2 の乗算器 246 と、強度画像用重畳部 243 と、に出力する。

20

【0025】

本実施形態の時間相関カメラ 110 は、読出部 242 の出力先毎に画像データを生成する。換言すれば、時間相関カメラ 110 は、3 種類の画像データを作成する。

【0026】

本実施形態の時間相関カメラ 110 は、3 種類の画像データとして、強度画像データ IA_1 (図 11) と、2 種類の時間相関画像データと、を生成する。なお、本実施形態は、3 種類の画像データを生成することに制限するものではなく、強度画像データ IA_1 を生成しない場合や、1 種類又は 3 種類以上の時間相関画像データを生成する場合も考えられる。

30

【0027】

本実施形態のイメージセンサ 220 は、上述したように単位時間毎に、光強度信号で構成されたフレームを出力している。しかしながら、通常の画像データを生成するためには、撮影に必要な露光時間分の光強度信号が必要になる。そこで、本実施形態では、強度画像用重畳部 243 が、撮影に必要な露光時間分の複数のフレームを重畳して、強度画像データ IA_1 を生成する。なお、強度画像データ IA_1 の各画素値（光の強度を表す値） $G(x, y)$ は、以下に示す式 (1) から導き出すことができる。なお、露光時間は、 t_0 と t_n の時間差とする。強度画像データ IA_1 は、時間相関カメラ 110 により撮像されている間（撮像間隔の間）に被検査体から反射した光の光強度信号による輝度値を示した画像データとする。

40

【0028】

【数 1】

$$G(x, y) = \int_{t_0}^{t_n} G(x, y, t) dt \quad \dots (1)$$

【0029】

これにより、従来のカメラの撮影と同様に、被写体（被検査体を含む）が撮影された強度画像データ IA_1 が生成される。そして、強度画像用重畳部 243 は、生成した強度画像データ IA_1 を、画像出力部 248 に出力する。

【0030】

50

時間相関画像データは、時間遷移に応じた光の強弱の変化を示す画像データである。つまり、本実施形態では、時系列順のフレーム毎に、当該フレームに含まれる光強度信号に対して、時間遷移を示した参照信号を乗算し、参照信号と光強度信号との乗算結果である時間相関値で構成された、時間相関値フレームを生成し、複数の時間相関値フレームを重畳することで、時間相関画像データを生成する。

【0031】

ところで、時間相関画像データを用いて、被検査体の異常を検出するためには、イメージセンサ220に入力される光強度信号を、参照信号に同期させて変化させる必要がある。このために、照明装置120が、上述したように、スクリーン130を介して周期的に時間変化及び縞の空間的な移動を与えるような、面的な光の照射を行うこととした。

10

【0032】

本実施形態では、2種類の時間相関画像データを生成する。参照信号は、時間遷移を表した信号であればよいが、本実施形態では、複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ を用いる。なお、角周波数 ω 、時刻 t とする。参照信号を表す複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ が、上述した露光時間（換言すれば強度画像データ I_A 、時間相関画像データを生成するために必要な時間）の一周期と相関をとるように、角周波数 ω が設定されるものとする。換言すれば、照明装置120及びスクリーン130等の照明部によって形成された面的かつ動的な光は、被検査体150の表面（反射面）の各位置で第一の周期（時間周期）での時間的な照射強度の変化を与えると同時に、表面に沿った少なくとも一方向に沿った第二の周期（空間周期）での空間的な照射強度の増減分布を与える。この面的な光は、表面で反射される際に、当該表面のスペック（法線ベクトルの分布等）に応じて複素変調される。時間相関カメラ110は、表面で複素変調された光を受光し、第一の周期の参照信号を用いて直交検波（直交復調）することにより、複素信号としての時間相関画像データを得る。このような複素時間相関画像データに基づく変復調により、表面の法線ベクトルの分布に対応した特徴を検出することができる。

20

【0033】

複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ は、 $e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j \cdot \sin(\omega t)$ と表すこともできる。従って、時間相関画像データの各画素値 $C(x, y)$ は、以下に示す式(2)から導き出すことができる。

30

【0034】

【数2】

$$\begin{aligned} C(x, y) &= \int_{t_0}^{t_n} G(x, y, t) \cdot e^{-j\omega t} dt \\ &= \int_{t_0}^{t_n} G(x, y, t) \cdot (\cos(\omega t) - j \cdot \sin(\omega t)) dt \end{aligned} \quad \dots(2)$$

【0035】

本実施形態では、式(2)において、実数部を表す画素値 $C_1(x, y)$ と、虚数部を表す画素値 $C_2(x, y)$ と、に分けて2種類の時間相関画像データを生成する。

40

【0036】

このため、参照信号出力部250は、第1の乗算器244と、第2の乗算器246と、に対してそれぞれ異なる参照信号を生成し、出力する。本実施形態の参照信号出力部250は、複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ の実数部に対応する第1の参照信号 $\cos(\omega t)$ を第1の乗算器244に出力し、複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ の虚数部に対応する第2の参照信号 $\sin(\omega t)$ を第2の乗算器246に出力する。このように本実施形態の参照信号出力部250は、互いにヒルベルト変換対をなす正弦波及び余弦波の時間関数として表される2種類の参照信号を出力する例について説明するが、参照信号は時間関数のような時間遷移に応じて変化する参照信号であればよい。

【0037】

50

そして、第1の乗算器244は、読出部242から入力されたフレーム単位で、当該フレームの光強度信号毎に、参照信号出力部250から入力された複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ の実数部 $\cos \omega t$ を乗算する。

【0038】

第1の相関画像用重畳部245は、撮影に必要な露光時間分の複数のフレームについて、第1の乗算器244の乗算結果を画素毎に重畳する処理を行う。これにより、第1の時間相関画像データの各画素値 $C1(x, y)$ が、以下の式(3)から導出される。

【0039】

【数3】

$$C1(x, y) = \int_{t_0}^{t_n} (G(x, y, t) \cdot \cos \omega t) dt \quad \dots (3)$$

10

【0040】

そして、第2の乗算器246は、読出部242から入力されたフレームの光強度信号に対して、参照信号出力部250から入力された複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ の虚数部 $\sin \omega t$ を乗算する。

【0041】

第2の相関画像用重畳部247は、撮影に必要な露光時間分の複数のフレームについて、第2の乗算器246の乗算結果を画素毎に重畳する処理を行う。これにより、第2の時間相関画像データの各画素値 $C2(x, y)$ が、以下の式(4)から導出される。

【0042】

【数4】

$$C2(x, y) = -\int_{t_0}^{t_n} (G(x, y, t) \cdot \sin \omega t) dt \quad \dots (4)$$

20

【0043】

上述した処理を行うことで、2種類の時間相関画像データ、換言すれば2自由度を有する時間相関画像データを生成できる。

【0044】

また、本実施形態は、参照信号の種類を制限するものでない。例えば、本実施形態では、複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ の実部と虚部の2種類の時間相関画像データを作成するが、光の振幅と、光の位相と、による2種類の画像データを生成してもよい。

30

【0045】

なお、本実施形態の時間相関カメラ110は、時間相関画像データとして、複数系統分作成可能とする。これにより、例えば複数種類の縞の縞が組み合わされた光が照射された際に、上述した実部と虚部とによる2種類の時間相関画像データを、縞の幅毎に作成可能とする。このために、時間相関カメラ110は、2個の乗算器と2個の相関画像用重畳部とからなる組み合わせを、複数系統分備えるとともに、参照信号出力部250は、系統毎に適した角周波数による参照信号を出力可能とする。

【0046】

そして、画像出力部248が、2種類の時間相関画像データと、強度画像データIA1と、をPC100に出力する。これにより、PC100が、2種類の時間相関画像データと、強度画像データIA1と、を用いて、被検査体150の異常を検出する。そのためには、被写体に対して光を照射する必要がある。

40

【0047】

本実施形態の照明装置120は、高速に移動する縞パターンを照射する。図4は、本実施形態の照明装置120が照射する縞パターンの一例を示した図である。図4に示す例では、縞パターンをx方向にスクロール(移動)させている例とする。白い領域が縞に対応した明領域、黒い領域が縞と縞との間に対応した間隔領域(暗領域)である。

【0048】

50

本実施形態では、時間相関カメラ 110 が強度画像データ I A 1 及び時間相関画像データを撮影する露光時間で、照明装置 120 が照射する縞パターンを一周期分移動させる。これにより、照明装置 120 は、光の強度の縞パターンの空間的な移動により光の強度の周期的な時間変化を与える。本実施形態では、図 4 の縞パターンが一周期分移動する時間を、露光時間と対応させることで、時間相関画像データの各画素には、少なくとも、縞パターン一周期分の光の強度信号に関する情報が埋め込まれる。

【0049】

図 4 に示されるように、本実施形態では、照明装置 120 が矩形波に基づく縞パターンを照射する例について説明するが、矩形波以外を用いてもよい。本実施形態では、照明装置 120 がスクリーン 130 を介して照射することで、矩形波の明暗の境界領域をぼかすことができる。

10

【0050】

本実施形態では、照明装置 120 が照射する縞パターンを $A(1 + \cos(\omega t + kx))$ と表す。すなわち、縞パターンには、複数の縞が反復的に（周期的に）含まれる。なお、被検査体に照射される光の強度は $0 \sim 2A$ の間で調整可能とし、光の位相 kx とする。 k は、縞の波数である。 x は、位相が変化する方向である。

【0051】

そして、フレームの各画素の光強度信号 $f(x, y, t)$ の基本周波数成分は、以下の式 (5) として表すことができる。式 (5) で示されるように、 x 方向で縞の明暗が変化する。

20

【0052】

$$f(x, y, t) = A(1 + \cos(\omega t + kx)) \\ = A + A/2 \{ e^{j(\omega t + kx)} + e^{-j(\omega t + kx)} \} \dots \dots (5)$$

【0053】

式 (5) で示されるように、照明装置 120 が照射する縞パターンの強度信号は、複素数として考えることができる。

【0054】

そして、イメージセンサ 220 には、当該照明装置 120 からの光が被写体（被検査体を含む）から反射して入力される。

【0055】

したがって、イメージセンサ 220 に入力される光強度信号 $G(x, y, t)$ を、照明装置 120 が照射した際のフレームの各画素の光強度信号 $f(x, y, t)$ とできる。そこで、強度画像データ I A 1 を導出するための式 (1) に式 (5) を代入すると、式 (6) を導出できる。なお、位相 kx とする。

30

【0056】

【数 5】

$$G(x, y) = \int_0^T f(x, y, t) dt = \int_0^T \left\{ A + \frac{A}{2} (e^{j(\omega t + kx)} + e^{-j(\omega t + kx)}) \right\} dt = AT \dots (6)$$

40

【0057】

式 (6) から、強度画像データ I A 1 の各画素には、露光時間 T に、照明装置 120 が出力している光の強度の中間値 A を乗じた値が入力されていることが確認できる。さらに、時間相関画像データを導出するための式 (2) に式 (5) を代入すると、式 (7) を導出できる。なお、 $AT/2$ を振幅とし、 kx を位相とする。

【0058】

【数 6】

$$\begin{aligned}
 C(x, y) &= \int_0^T f(x, y, t) e^{-j\omega t} dt \\
 &= \int_0^T \left\{ A + \frac{A}{2} \left(e^{j(\omega t + kx)} + e^{-j(\omega t + kx)} \right) \right\} e^{-j\omega t} dt \quad \dots (7) \\
 &= \frac{AT}{2} e^{jkx}
 \end{aligned}$$

10

【0059】

これにより、式(7)で示された複素数で示された時間相関画像データは、上述した2種類の時間相関画像データと置き換えることができる。つまり、上述した実部と虚部とで構成される時間相関画像データには、被検査体に照射された光強度変化における位相変化と振幅変化とが含まれている。換言すれば、本実施形態のPC100は、2種類の時間相関画像データに基づいて、照明装置120から照射された光の位相変化と、光の振幅変化と、を検出できる。そこで、本実施形態のPC100が、時間相関画像データ及び強度画像データIA1に基づいて、画素毎に入る光の振幅を表した振幅画像データIA2(図11)と、画素毎に入る光の位相変化を表した位相画像データIA3(図11)と、を生成する。

20

【0060】

さらに、PC100は、強度画像データIA1、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び後述の位相ラプラシアン画像データIA4(図11)に基づいて、被検査体の異常を検出する。

【0061】

ところで、被検査体の表面形状に凹凸に基づく異常が生じている場合、被検査体の表面の法線ベクトルの分布には異常に対応した変化が生じている。また、被検査体の表面に光を吸収するような異常が生じている場合、反射した光の強度に変化が生じる。法線ベクトルの分布の変化は、光の位相変化及び振幅変化のうち少なくともいずれか一つとして検出される。そこで、本実施形態では、時間相関画像データ及び強度画像データIA1を用いて、法線ベクトルの分布の変化に対応した、光の位相変化及び振幅変化のうち少なくともいずれか一つを検出する。これにより、表面形状の異常を検出可能となる。次に、被検査体の異常、法線ベクトル、及び光の位相変化又は振幅変化の関係について説明する。

30

【0062】

図5は、本実施形態の時間相関カメラ110による、被検査体の異常の第1の検出例を示した図である。図5に示される例では、被検査体500に突形状の異常501がある状況とする。当該状況においては、異常501の点502の近傍領域においては、法線ベクトル521、522、523が異なる方向を向いていることを確認できる。そして、当該法線ベクトル521、522、523が異なる方向を向いていることで、異常501から反射した光に拡散(例えば、光511、512、513)が生じ、時間相関カメラ110のイメージセンサ220の任意の画素531に入る縞パターン503の幅503が広がる。

40

【0063】

図6は、図5に示される異常501が被検査体500にある場合に、当該異常に応じて変化する、光の振幅の例を表した図である。図6に示される例では、光の振幅を実部(Re)と、虚部(Im)に分けて2次元平面上に表している。図6では、図5の光511、512、513に対応する光の振幅611、612、613として示している。そして、光の振幅611、612、613は互いに打ち消し合い、イメージセンサ220の当該任意の画素531には、振幅621の光が入射する。

【0064】

したがって、図6に示される状況で、被検査体500の異常501が撮像された領域で

50

振幅が小さいことが確認できる。換言すれば、振幅変化を示した振幅画像データ I A 2 で、周囲と比べて暗くなっている領域がある場合に、当該領域で光同士の振幅の打ち消し合いが生じていると推測できるため、当該領域に対応する被検査体 5 0 0 の位置で異常 5 0 1 が生じていると判断できる。

【 0 0 6 5 】

本実施形態の検査システムは、図 5 の異常 5 0 1 のように傾きが急峻に変化しているものに限らず、緩やかに変化する異常も検出できる。図 7 は、本実施形態の時間相関カメラ 1 1 0 による、被検査体の異常の第 2 の検出例を示した図である。図 7 に示される例では、正常な場合は被検査体の表面が平面（換言すれば法線が平行）となるが、被検査体 7 0 0 に緩やかな勾配 7 0 1 が生じた状況とする。このような状況においては、勾配 7 0 1 上の法線ベクトル 7 2 1、7 2 2、7 2 3 も同様に緩やかに変化する。したがって、イメージセンサ 2 2 0 に入力する光 7 1 1、7 1 2、7 1 3 も少しずつずれていく。図 7 に示される例では、緩やかな勾配 7 0 1 のために光の振幅の打ち消し合いは生じないため、図 5、図 6 で表したような光の振幅はほとんど変化しない。しかしながら、本来スクリーン 1 3 0 から投影された光が、そのままイメージセンサに平行に入るはずが、緩やかな勾配 7 0 1 のために、スクリーン 1 3 0 から投影された光が平行の状態ではイメージセンサに入らないために、光に位相変化が生じる。従って、光の位相変化について、周囲等との違いを検出することで、図 7 に示したような緩やかな勾配 7 0 1 による異常を検出できる。

10

【 0 0 6 6 】

また、被検査体の表面形状（換言すれば、被検査体の法線ベクトルの分布）以外にも異常が生じる場合がある。図 8 は、本実施形態の時間相関カメラ 1 1 0 による、被検査体の異常の第 3 の検出例を示した図である。図 8 に示される例では、被検査体 8 0 0 に汚れ 8 0 1 が付着しているため、照明装置 1 2 0 から照射された光が吸収あるいは拡散反射し、時間相関カメラ 1 1 0 の、汚れ 8 0 1 を撮影している任意の画素領域では光がほとんど強度変化しない例を表している。換言すれば、汚れ 8 0 1 を撮影している任意の画素領域では、光強度は位相打ち消しを起し振動成分がキャンセルされ、ほとんど直流的な明るさになる例を示している。

20

【 0 0 6 7 】

このような場合、汚れ 8 0 1 を撮影している画素領域においては、光の振幅がほとんどないため、振幅画像データ I A 2 を表示した際に、周囲と比べて暗くなる領域が生じる。したがって、当該領域に対応する被検査体 8 0 0 の位置に、汚れ等の異常 8 0 1 があることを推定できる。

30

【 0 0 6 8 】

このように、本実施形態では、時間相関画像データに基づいて、光の振幅の変化と、光の位相の変化と、を検出することで、被検査体に異常があることを推定できる。

【 0 0 6 9 】

図 1 に戻り、P C 1 0 0 について説明する。P C 1 0 0 は、検出システム全体の制御を行う。P C 1 0 0 は、アーム制御部 1 0 1 と、照明制御部 1 0 2 と、制御部 1 0 3 と、を備えている。

【 0 0 7 0 】

アーム制御部 1 0 1 は、被検査体 1 5 0 の時間相関カメラ 1 1 0 による撮像対象となる表面を変更するために、アーム 1 4 0 を制御する。本実施形態では、P C 1 0 0 において、被検査体 1 5 0 の撮影対象となる表面を複数設定しておく。そして、時間相関カメラ 1 1 0 が被検査体 1 5 0 の撮影が終了する毎に、アーム制御部 1 0 1 が、当該設定に従って、時間相関カメラ 1 1 0 が設定された表面を撮影できるように、アーム 1 4 0 を制御して被検査体 1 5 0 を移動させる。なお、本実施形態は撮影が終了する毎にアーム 1 4 0 を移動させ、撮影が開始する前に停止させることを繰り返すことに制限するものではなく、継続的にアーム 1 4 0 を駆動させてもよい。なお、アーム 1 4 0 は、搬送部、移動部、位置変更部、姿勢変更部等とも称されうる。

40

【 0 0 7 1 】

50

照明制御部 102 は、被検査体 150 を検査するために照明装置 120 が照射する縞パターンを出力する。本実施形態の照明制御部 102 は、少なくとも 3 枚以上の縞パターンを、照明装置 120 に受け渡し、当該縞パターンを露光時間中に切り替えて表示するように照明装置 120 に指示する。

【0072】

図 9 は、照明制御部 102 が照明装置 120 に出力する縞パターンの例を示した図である。図 9 (B) に示す矩形波に従って、図 9 (A) に示す黒領域と白領域とが設定された縞パターンが出力されるように、照明制御部 102 が制御を行う。

【0073】

本実施形態で照射する縞パターン毎の縞の間隔は、検出対象となる異常（欠陥）の大きさに応じて設定されるものとしてここでは詳しい説明を省略する。

【0074】

また、縞パターンを出力するための矩形波の角周波数は、参照信号の角周波数と同じ値とする。

【0075】

図 9 に示されるように、照明制御部 102 が出力する縞パターンは、矩形波として示すことができるが、スクリーン 130 を介することで、縞パターンの境界領域をぼかす、すなわち、縞パターンにおける明領域（縞の領域）と暗領域（間隔の領域）との境界での光の強度変化を緩やかにする（鈍らせる）ことで、正弦波に近似させることができる。図 10 は、スクリーン 130 を介した後の縞パターンを表した波の形状の例を示した図である。図 10 に示されるように波の形状が、正弦波に近づくことで、計測精度を向上させることができる。また、縞に明度が多段階に変化するグレー領域を追加したり、グラデーションを与えたりしてもよい。また、カラーの縞を含む縞パターンを用いてもよい。

【0076】

図 1 に戻り、制御部 103 は、振幅 - 位相画像生成部 104 と、異常検出処理部 105 と、を備え、時間相関カメラ 110 から入力された強度画像データ IA1 と、時間相関画像データと、により被検査体 150 の検査対象面の異常を検出する処理を行う。なお、本実施形態は、複素数で示した時間相関画像データ（複素時間相関画像データと称す）と、複素時間相関画像データの実部と虚部とで分けた 2 種類の時間相関画像データと、を時間相関カメラ 110 から受け取ることができる。

【0077】

振幅 - 位相画像生成部 104 は、時間相関カメラ 110 から入力された強度画像データ IA1（図 11）と、時間相関画像データと、に基づいて、振幅画像データ IA2（図 11）と、位相画像データ IA3（図 11）と、を生成する。

【0078】

振幅画像データ IA2 は、時間相関カメラ 110 により撮像されている間（撮像間隔の間）に被検査体 150 の検査対象面から反射した光の光強度信号の輝度変化と、時間遷移を示した参照信号とを乗算して算出される、画素毎に入る光の振幅を表した画像データとする。位相画像データ IA3 は、時間相関カメラ 110 により撮像されている間（撮像間隔の間）に被検査体 150 の検査対象面から反射した光の光強度信号の輝度変化と、時間遷移を示した参照信号とを乗算して算出される、光強度信号と参照信号との位相差を表す画像データとする。すなわち、位相画像データ IA3 は、光の位相に関する画像データである。

【0079】

本実施形態は振幅画像データ IA2 の算出手法を制限するものではないが、例えば、振幅 - 位相画像生成部 104 は、2 種類の時間相関画像データの画素値 $C1(x, y)$ 及び $C2(x, y)$ から、式 (8) を用いて、振幅画像データ IA2 の各画素値 $F(x, y)$ を導き出せる。

【0080】

10

20

30

40

【数 7】

$$F(x,y) = \sqrt{C1(x,y)^2 + C2(x,y)^2} \quad \dots (8)$$

【0081】

同様に、振幅 - 位相画像生成部 104 は、画素値 $C1(x,y)$ 及び $C2(x,y)$ から、式 (9) を用いて、位相画像データ IA3 の各画素値 $P(x,y)$ を導き出せる。

【0082】

【数 8】

$$P(x,y) = \arctan\left(\frac{C2(x,y)}{C1(x,y)}\right) \quad \dots (9)$$

10

【0083】

異常検出処理部 105 は、時間関連カメラ 110 から入力された強度画像データ IA1 と、振幅 - 位相画像生成部 104 によって生成された振幅画像データ IA2 及び位相画像データ IA3 と、位相ラプラシアン画像データ IA4 と、に基づいて、被検査体 150 の表面の異常を検出する。詳細には、異常検出処理部 105 は、強度画像データ IA1、振幅画像データ IA2、位相画像データ IA3 及び位相ラプラシアン画像データ IA4 から異常領域の候補である異常候補 Q (図 11) を検出し、当該異常候補 Q の特徴量を用いた多変量解析を行うことにより、異常領域を決定する。別の言い方をすると、本実施形態では、異常検出処理部 105 は、強度画像データ IA1、振幅画像データ IA2、位相画像データ IA3 及び位相ラプラシアン画像データ IA4 のそれぞれから個別に検出される異常を異常候補 Q として扱い、異常候補 Q に基づいて異常を決定する。ここで、強度画像データ IA1、振幅画像データ IA2、位相画像データ IA3 及び位相ラプラシアン画像データ IA4 は、被検査体 150 の同一の領域の画像データであって被検査体 150 で反射した光の特徴を示す互いに異なる画像データである。以後、強度画像データ IA1、振幅画像データ IA2、位相画像データ IA3 及び位相ラプラシアン画像データ IA4 の総称として特徴画像データ IA を用いる場合もある。

20

【0084】

図 1 に示されるように、異常検出処理部 105 は、被検査体 150 の表面の異常を検出するための構成として、検出部 105a、グループ化部 105b と、取得部 105c と、決定部 105d と、を備えている。

30

【0085】

図 11 に示されるように、検出部 105a は、強度画像データ IA1、振幅画像データ IA2、位相画像データ IA3 及び位相ラプラシアン画像データ IA4 のそれぞれから、異常領域の候補である異常候補 Q を検出する。

【0086】

検出部 105a は、強度画像データ IA1 から異常候補 Q を検出する場合、一例として、以下の強度画像データ IA1 用の異常候補検出処理を行う。まず、検出部 105a は、強度画像データ IA1 に、例えばラプラシアンフィルタ処理を含むデータ処理を施す。次に、検出部 105a は、データ処理後の強度画像データ IA1 の各画素の画素値と閾値とを比較し、画素値の大きさが閾値以上の画素を、異常のある領域の候補、すなわち異常候補 Q として検出する。以後、強度画像データ IA1 用の異常候補検出処理が行われた強度画像データ IA1 を、処理後強度画像データ IA1a とも称する。図 11 には、強度画像データ IA1 から二つの異常候補 Q が検出された例 (処理後強度画像データ IA1a) が示されている。

40

【0087】

また、検出部 105a は、振幅画像データ IA2 (図 11) から異常候補 Q を検出する場合、以下の振幅画像データ IA2 用の異常候補検出処理を行う。当該処理では、検出部 105a は、振幅 - 位相画像生成部 104 により生成された振幅画像データ IA2 により

50

、検査対象面の法線ベクトルの分布と対応した特徴であって、周囲との違いによって、被検査体150の異常に関連する特徴を検出することができる。

【0088】

図12は、実施形態の振幅画像データIA2用の異常候補検出処理の手順を示すフローチャートである。まず、検出部105aは、振幅画像データIA2の各画素に格納された、光の振幅値（を表した画素値）から、当該画素を基準（例えば中心）として、 $N \times N$ 領域の平均振幅値を減算し（ステップS1101）、振幅の平均差分画像データを生成する。振幅の平均差分画像データは、振幅の勾配に対応する。なお、整数Nは実施の態様に応じて適切な値が設定されるものとする。

【0089】

次に、検出部105aは、減算により生成された振幅の平均差分画像データに対して、予め定められた振幅の閾値を用いたマスク処理を行う（ステップS1102）。

【0090】

さらに、検出部105aは、平均差分画像データのマスク領域内について画素毎に標準偏差を算出する（ステップS1103）。なお、本実施形態では、標準偏差に基づいた手法について説明するが、標準偏差を用いた場合に制限するものではなく、例えば平均値等を用いてもよい。

【0091】

そして、検出部105aは、平均を引いた振幅画素値が -4.5 （標準偏差）より小さい値の画素を、異常（欠陥）がある領域（画素）の候補である異常候補Qとして検出する（ステップS1104）。以後、振幅画像データIA2用の異常候補検出処理が行われた振幅画像データIA2を、処理後振幅画像データIA2aとも称する。図11には、振幅画像データIA2から一つの異常候補Qが検出された例（処理後振幅画像データIA2a）が示されている。

【0092】

上述した処理手順により、各画素の振幅値（換言すれば、振幅の分布）から、振幅画像データIA2における異常候補Qを検出できる。

【0093】

また、図11に示されるように、検出部105aは、位相画像データIA3から異常候補Qを検出する場合、以下の位相画像データIA3用の異常候補検出処理を行う。以後、位相画像データIA3用の異常候補検出処理が行われた位相画像データIA3を、処理後位相画像データIA3aとも称する。

【0094】

当該処理では、検出部105aは、振幅-位相画像生成部104により生成された位相画像データIA3により、検査対象面の法線ベクトルの分布と対応した特徴であって、周囲との違いによって、被検査体150の異常に関連する特徴を検出することができる。

【0095】

図13は、本実施形態の位相画像データIA3用の異常候補検出処理の手順を示すフローチャートである。まず、検出部105aは、位相画像データIA3の画素毎の光の位相値（を表した画素値）から、当該画素を基準（例えば中心）として、 $N \times N$ 領域の平均位相値を減算し（ステップS1201）、位相の平均差分画像データを生成する。位相の平均差分画像データは、位相の勾配に対応する。

【0096】

次に、検出部105aは、減算により生成された位相の平均差分画像データの大きさ（絶対値）と、閾値とを比較し、平均差分画像データの大きさが閾値以上となる画素を、異常（欠陥）のある領域（画素）の候補である異常候補Qとして検出する（ステップS1202）。図11には、位相画像データIA3用の異常候補検出処理によって、位相画像データIA3から一つの異常候補Qが検出された例（処理後位相画像データIA3a）が示されている。

【0097】

10

20

30

40

50

このステップ S 1 2 0 2 の検出結果により、検出部 1 0 5 a は、平均差分画像データの正負、すなわち、画素の位相値と平均位相値との大小関係によって、凹凸を判別することができる（ステップ S 1 2 0 3）。画素の位相値と平均位相値とのどちらが大きい場合に凸となるかは、各部の設定によって変化するが、大小関係が異なると、凹凸が異なる。

【 0 0 9 8 】

なお、他の手法によって得られた位相の分布の勾配から、異常候補 Q を検出することができる。例えば、検出部 1 0 5 a は、別の手法として、正規化された時間相関画像データの $N \times N$ の領域の平均ベクトルと、正規化された各画素のベクトルとの差の大きさが、閾値よりも大きい場合に、異常（欠陥）がある領域（画素）の候補として検出することができる。また、位相の分布の勾配に限られず、位相の分布に対応する情報に基づいて被検査体の異常候補 Q を検出すればよい。

10

【 0 0 9 9 】

次に、位相ラプラシアン画像データ I A 4 による異常候補の検出について説明する。上述した例では、複素時間相関画像データの位相の分布の勾配に関する特徴を算出する手法の例として、複素時間相関画像データから得られる位相画像データに基づいて位相の平均差分をとる手法（図 1 3 参照）を説明した。しかしながら、位相の平均差分をとる手法以外の他の手法で、位相の分布の勾配に関する特徴を算出してもよい。そこで、ここでは、検出部 1 0 5 a（図 1 参照）が、位相限定ラプラシアンを用いて位相の分布の勾配に関する特徴を算出する例について説明する。

【 0 1 0 0 】

上記の式（9）から分かるように、位相画像データの各画素値は、 $-\pi \sim \pi$ の範囲に折りたたまれる。したがって、位相画像データの各画素値は、 $-\pi$ から π に、または π から $-\pi$ に不連続に変化し得る（位相ジャンプ）。このような位相ジャンプは、検査対象面が、凹凸などの局所的な異常（欠陥）を含まない平坦になっている場合でも、位相画像データ上にエッジとして現れる。

20

【 0 1 0 1 】

図 1 4 は、実施形態の検査システムによって得られる位相画像データの例を示した図である。この図 1 4 の位相画像データは、上記の位相ジャンプの影響で周期的に現れる複数のエッジ部分 3 0 0 1 と、本来の検出対象である局所的な異常部分 3 0 0 2 とを含んでいる。

30

【 0 1 0 2 】

ここで、図 1 4 に示すように、異常部分 3 0 0 2 における画素値の変化は、エッジ部分 3 0 0 1 における画素値の変化よりも小さい。したがって、図 1 4 の位相画像データに対して閾値などを用いた通常の検出処理を行うだけでは、エッジ部分 3 0 0 1 がノイズとなって、異常部分 3 0 0 2 を検出することが容易でない。

【 0 1 0 3 】

また、図 1 5 は、図 1 4 における位相の変化の例を示した概略図である。図 1 5 に示すように、局所的な異常部分 3 0 0 2 では、位相が急峻に変化している一方、異常部分 3 0 0 2 以外の平坦な部分では、位相が滑らかに（線形に）変化している。したがって、平坦部分における定常的な位相の変化を無視することができれば、局所的な異常部分 3 0 0 2 における急峻な位相の変化のみを容易に検出することができ、有益である。

40

【 0 1 0 4 】

そこで、検出部 1 0 5 a（図 1 参照）は、時間相関カメラ 1 1 0 によって得られる時間相関画像データに、位相限定ラプラシアンを用いた処理を施すことにより、上記の位相ジャンプの影響を無視した位相の分布の勾配に関する特徴を算出する。ここで、位相限定ラプラシアンとは、振幅及び位相を含む複素数で表現される時間相関画像データのうち、振幅部分を無視した位相部分にのみ 2 階微分を施すための演算式であり、位相の定常的な変化を無視し、位相の急峻な変化を検出するための演算式である。

【 0 1 0 5 】

一例として、図 1 6 に示したラプラシアンフィルタに対応する位相限定ラプラシアンに

50

ついて説明する。この図16のラプラシアンフィルタは、通常の実数の画素値を有する画像データにおいて、処理対象の画素の画素値と、処理対象の画素の周囲に隣接する8個の画素の画素値との差分をとるための、いわゆる8近傍ラプラシアンフィルタである。より具体的には、図16のラプラシアンフィルタは、通常の実数の画素値を有する画像データにおいて、処理対象の画素の画素値を8倍した値から、処理対象の画素の周囲に隣接する8個の画素の画素値の総和を引いた値を、処理対象の画素の新たな画素値とするためのフィルタである。

【0106】

ところで、上述のように、時間相関カメラ110によって得られる時間相関画像データの各画素値は、振幅及び位相を含む複素指数関数で表現される。ここで、位相は、複素指数関数の指数部分に含まれる。したがって、時間相関画像データの位相部分に図16のラプラシアンフィルタに対応する処理を施したい場合、まず、処理対象の画素の画素値 ($g(i, j)$ とする) の位相を8倍するために、処理対象の画素の画素値を8乗する必要がある。

10

【0107】

そして、処理対象の画素の周囲に隣接する8個の画素の画素値 $g(i-1, j-1)$, $g(i-1, j)$, $g(i-1, j+1)$, $g(i, j-1)$, $g(i, j+1)$, $g(i+1, j-1)$, $g(i+1, j)$, $g(i+1, j+1)$ の位相の総和を求めるために、これら8個の画素の画素値を全て掛け合わせる必要がある。

20

【0108】

そして、処理対象の画素の画素値の位相を8倍にしたものと、処理対象の画素の周囲に隣接する8個の画素の位相の総和と、の差を求めるために、処理対象の画素の画素値を8乗したものを、処理対象の画素の周囲に隣接する8個の画素の画素値を掛け合わせたもので割る必要がある。

【0109】

上記の3つの演算を式で表すと、下記の式(10)~(12)のようになる。

【0110】

【数9】

$$h(i, j) = g_{\omega}(i, j)^9 \quad \dots(10)$$

30

【数10】

$$k(i, j) = \prod_{l=-1}^1 \prod_{m=-1}^1 g_{\omega}(i+l, j+m) \quad \dots(11)$$

【数11】

$$c(i, j) = \arg\left(\frac{h(i, j)}{k(i, j)}\right) \quad \dots(12)$$

40

【0111】

ここで、式(10)において $g(i, j)$ を8乗ではなく9乗している理由は、式(11)における乗算に $g(i, j)$ が含まれているからである。これにより、式(10)の値を式(11)の値で割った値の指数部分が、処理対象の画素の画素値 $g(i, j)$ の位相を8倍にしたものと、処理対象の画素の周囲に隣接する8個の画素の位相の総和と、の差に対応する。なお、式(12)では、式(10)の値を式(11)の値で割った後、位相のみ (\arg) を取り出している。

【0112】

以上の式(10)~(12)で示した位相限定ラプラシアンを用いた処理を、時間相関画像データの全画素について実行することにより、時間相関画像データから、2階微分が施された位相画像データ、すなわち位相ラプラシアン画像データIA4を算出することが

50

できる。位相ラプラシアン画像データ I A 4 は、光の位相に関する画像データとすることができる。

【0113】

一例として、図 1 4 の位相画像データに対応する時間相関画像データに位相限定ラプラシアンを用いた処理を施すことによって算出した位相画像データ（位相ラプラシアン画像データ I A 4）を図 1 7 に示す。図 1 7 の位相画像データには、図 1 4 の位相画像データに見られたような周期的なエッジ部分が無く、局所的な異常部分 3 2 0 1 のみが現れている。したがって、図 1 7 の位相画像データによれば、閾値などを用いた通常の検出処理（位相ラプラシアン画像データ I A 4 用の異常候補検出処理）をするだけで、位相ジャンプの影響を受けることなく、異常部分 3 2 0 1 を容易に検出することができる。そして、本実施形態では、異常部分 3 2 0 1 が異常候補 Q として扱われる。なお、以後、位相ラプラシアン画像データ I A 4 用の異常候補検出処理が行われた位相ラプラシアン画像データ I A 4 を、処理後位相ラプラシアン画像データ I A 4 a（図 1 1）とも称する。

10

【0114】

以上のように、検出部 1 0 5 a（図 1 参照）は、上述した位相限定ラプラシアンを用いた演算を実行することで、時間相関画像データから、2 階微分が施された位相を適切に算出し、検査対象の異常候補 Q を、閾値などを用いた通常の検出処理によって容易に検出するように構成されている。

【0115】

以後、異常候補検出処理が施された特徴画像データ I A（処理後強度画像データ I A 1 a、処理後振幅画像データ I A 2 a、処理後位相画像データ I A 3 a、処理後位相ラプラシアン画像データ I A 4 a）を、処理後特徴画像データ I A a（図 1 1）とも称する。

20

【0116】

図 1 に戻って、グループ化部 1 0 5 b は、異常候補 Q の位置に基づいて、異常候補 Q をグループに分ける。詳細には、図 1 1 に示されるように、グループ化部 1 0 5 b は、まず、処理後特徴画像データ I A a（処理後強度画像データ I A 1 a、処理後振幅画像データ I A 2 a、処理後位相画像データ I A 3 a、処理後位相ラプラシアン画像データ I A 4 a）に二値化処理を施し、当該二値化処理後の複数の処理後特徴画像データ I A a の画素毎の論理和である和画像データ I B を生成する。次に、グループ化部 1 0 5 b は、和画像データ I B に、各異常候補 Q を膨張させる膨張処理を施す。以後、異常候補 Q に膨張処理が施された和画像データ I B を、膨張処理後和画像データ I B a と称する。次に、グループ化部 1 0 5 b は、膨張処理後和画像データ I B a において座標が一致または隣接する異常候補 Q 同士を一つのグループにする。詳細には、グループ化部 1 0 5 b は、和画像データ I B にラベリング処理を施すことにより、膨張処理後和画像データ I B a において座標が一致または隣接する異常候補 Q 同士を一つのグループにする。これにより、膨張処理後和画像データ I B a において座標が一致または隣接する異常候補 Q 同士には、同一の識別番号（識別情報）が付与される。このとき、ある異常候補 Q において、座標が一致または隣接する他の異常候補 Q が無い場合には、当該ある異常候補 Q が一つのグループを構成する。図 1 1 では、識別番号の一例として、「001」、「002」、「003」が示されている。以後、上記の異常候補 Q のグループ化処理が施された膨張処理後和画像データ I B a を、膨張ラベル和画像データ I B b と称する。以上のように、本実施形態では、グループ化部 1 0 5 b は、和画像データ I B（膨張された異常候補 Q）に基づいて、異常候補 Q をグループに分ける。なお、和画像データ I B は、OR 画像データとも称され得る。

30

40

【0117】

図 1 に戻って、取得部 1 0 5 c は、各特徴画像データ I A（強度画像データ I A 1、振幅画像データ I A 2、位相画像データ I A 3、位相ラプラシアン画像データ I A 4）中での異常候補 Q の複数の特徴量を取得する。異常候補 Q の特徴量は、規定の処理を施した特徴画像データ I A から取得してもよい。また、一例として、位相画像データ I A 3 に関する特徴量については、位相限定ラプラシアン処理が施された画像データ（一例として位相ラプラシアン画像データ I A 4）の特徴量が用いられる。これは、位相画像データ I A 3

50

が、～までの数値が周期的に繰り返されている画像データであるためである。ラプラシアンフィルタ処理が施された画像データ（位相ラプラシアン画像データ I A 4）を用いることにより、位相画像データ I A 3 から周期的な成分（数値、部分）を除去（解除）した上での特徴量の取得が可能となる。本実施形態では、取得部 105c は、複数の特徴量として第 1～第 5 の特徴量を取得する。第 1 の特徴量は、特徴画像データ I A 中での異常候補 Q の大きさを示す。第 2 の特徴量は、特徴画像データ I A 中での異常候補 Q 内の特徴（画素値）の最小値を示す。第 3 の特徴量は、特徴画像データ I A 中での異常候補 Q 内の特徴（画素値）の平均値を示す。第 4 の特徴量は、特徴画像データ I A 中での異常候補 Q 内の特徴（画素値）の最大値と当該異常候補 Q 内の特徴（画素値）の最小値との差を示す。第 5 の特徴量は、特徴画像データ I A 中での異常候補 Q 内の特徴（画素値）の標準偏差を示す。なお、本実施形態では、第 1～第 5 の特徴量の全てを取得する例を説明するが、第 1～第 5 の特徴量のうち少なくとも一つを取得するものであってもよい。

【0118】

以下、取得部 105c による各特徴量の取得処理について図 18～25 を参照して説明する。図 18～21 に示されるように、取得部 105c は、各特徴画像データ I A（強度画像データ I A 1、振幅画像データ I A 2、位相ラプラシアン画像データ I A 4）から第 1 から第 3 の特徴量を取得する場合、処理後特徴画像データ I A a（処理後強度画像データ I A 1 a、処理後振幅画像データ I A 2 a、処理後位相ラプラシアン画像データ I A 3 a、処理後位相ラプラシアン画像データ I A 4 a）の各異常候補 Q に、当該異常候補 Q の座標値を含むグループ、すなわち当該異常候補 Q と対応するグループの識別番号を付与する。

【0119】

次に、取得部 105c は、各特徴画像データ I A（強度画像データ I A 1、振幅画像データ I A 2、位相ラプラシアン画像データ I A 4）において、各処理後特徴画像データ I A a 中の異常候補 Q と同じ領域 R を特定する。次に、取得部 105c は、領域 R に基づいて、第 1～第 3 の特徴量を取得する。詳細には、取得部 105c は、領域 R の大きさである画素数（第 1 の特徴量）を算出する。また、取得部 105c は、領域 R から、領域 R 中の画素の画素値の最小値（第 2 の特徴量）を抽出する。また、取得部 105c は、領域 R 中の画素の画素値の平均値（第 3 の特徴量）を算出する。

【0120】

取得部 105c は、取得された第 1～第 3 の特徴量を、対応する異常候補 Q に対応付けることにより、第 1～第 3 の特徴量を、対応するグループに対応付ける。なお、ある処理後特徴画像データ I A a において、あるグループに対応する異常候補が無い場合、当該処理後特徴画像データ I A a に対応する第 1～第 3 の特徴量としては、「0」が当該グループに対応付けられる。

【0121】

また、図 22～25 に示されるように、取得部 105c は、各特徴画像データ I A（強度画像データ I A 1、振幅画像データ I A 2、位相ラプラシアン画像データ I A 4）から第 4 及び第 5 の特徴量を取得する場合、各処理後特徴画像データ I A a（処理後強度画像データ I A 1 a、処理後振幅画像データ I A 2 a、処理後位相ラプラシアン画像データ I A 4 a）に、異常候補 Q を膨張させる膨張処理を施すとともに、第 1～第 3 の特徴量の取得の場合と同様に、処理後特徴画像データ I A a の各異常候補 Q に、当該異常候補 Q の座標値を含むグループ、すなわち当該異常候補 Q と対応するグループの識別番号を付与する。取得部 105c は、膨張処理では、一例として、異常候補 Q を二画素膨張させる。

【0122】

次に、取得部 105c は、各特徴画像データ I A（強度画像データ I A 1、振幅画像データ I A 2、位相ラプラシアン画像データ I A 4）において、膨張処理後の処理後特徴画像データ I A a 中の異常候補 Q と同じ領域 R を特定する。次に、取得部 105c は、領域 R に基づいて、第 4 及び第 5 の特徴量を取得する。詳細には、取得部 105c は、領域 R 中の画素の画素値の最大値と領域 R 中の画素の画素値の最小値との差（第 4 の特徴量）を算出する。また、取得部 105c は、領域 R 中の画素の画素値の標準偏差（第 5 の特

微量)を算出する。

【0123】

取得部105cは、取得された第4及び第5の特徴量を、対応する異常候補Qに対応付けることにより、第4及び第5の特徴量を、対応するグループに対応付ける。なお、第1～第3の特徴量の場合と同様に、ある処理後特徴画像データIAaにおいて、あるグループに対応する異常候補が無い場合、当該処理後特徴画像データIAaに対応する第4及び第5の特徴量としては、「0」が当該グループに対応付けられる。

【0124】

また、取得部105cは、和画像データIB中でのグループ毎の画素数を算出する。この場合、図26に示されるように、取得部105cは、和画像データIBと、膨張ラベル和画像データIBbと、を用いる。取得部105cは、和画像データIBにおいて、膨張ラベル和画像データIBb中のグループに含まれる異常候補Qに対応する、膨張処理前の異常候補Qの画素数を算出する。以後、和画像データIB中でのグループ毎の画素数をグループ画素数とも称する。取得部105cは、算出されたグループ画素数を、対応するグループに関連付ける。

10

【0125】

図1に戻って、決定部105dは、グループ毎に特徴量及びグループ画素数を用いる多変量解析を行うことによって、異常候補Qの中から異常領域を決定する。決定部105dは、グループ毎に、各グループに関連付けられた特徴量及びグループ画素数を用いて多変量解析を行う。本実施形態では、多変量解析の一例として、MT法(マハラノビス・タグチ法)が用いられる。MT法で用いられる基準空間を規定する基準空間データは、図示しない記憶部に予め記憶されている。基準空間データは、良品(正常品)の表面を撮像して得た良品画像データに基づいて生成されたものである。決定部105dは、特徴量及びグループ画素数と基準空間とに基づいて、マハラノビス距離を算出する。そして、決定部105dは、算出したマハラノビス距離に基づいて、異常領域を決定する。詳細には、決定部105dは、算出したマハラノビス距離と閾値とを比較する。決定部105dは、算出したマハラノビス距離が閾値よりも大きい場合、当該グループに含まれる異常候補Qは異常領域であると判定し、当該異常候補Qを異常領域として決定する。一方、決定部105dは、算出したマハラノビス距離が閾値以下の場合、当該グループに含まれる異常候補Qは異常領域ではないと判定し、当該異常候補Qを異常領域としない。なお、多変量解析としては、MT法以外の他の公知のものであってもよい。

20

30

【0126】

次に、異常検出処理部105が実行する異常検出処理の手順について説明する。図27は、本実施形態の異常検出処理部105が実行する異常検出処理の手順を示すフローチャートである。まず、検出部105aが、各特徴画像データIA中の異常候補Qを検出する(ステップS1301)。次に、グループ化部105bが、異常候補Qの膨張処理(ステップS1302)及びラベリング処理(ステップS1303)を行って、異常候補Qのグループ分けを行う。次に、取得部105cが、特徴量を取得する(ステップS1304)。次に、取得部105cが、グループ画素数を算出する(ステップS1305)。次に、決定部105dが、特徴量及びグループ画素数を用いる多変量解析を行って、異常領域を決定する(ステップS1306)。

40

【0127】

次に、本実施形態の検査システムにおける被検査体の検査処理について説明する。図28は、本実施形態の検査システムにおける上述した処理の手順を示すフローチャートである。なお、被検査体150は、すでにアーム140に固定された状態で、検査の初期位置に配置されているものとする。

【0128】

本実施形態のPC100が、照明装置120に対して、被検査体150を検査するための縞パターンを出力する(ステップS1401)。

【0129】

50

照明装置 120 は、PC 100 から入力された縞パターンを格納する（ステップ S 1421）。そして、照明装置 120 は、格納された縞パターンを、時間遷移に従って変化するように表示する（ステップ S 1422）。なお、照明装置 120 が表示を開始する条件は、縞パターンが格納された際に制限するものではなく、例えば検査者が照明装置 120 に対して開始操作を行った際でもよい。

【0130】

そして、PC 100 の制御部 103 が、時間関連カメラ 110 に対して、撮影の開始指示を送信する（ステップ S 1402）。

【0131】

次に、時間関連カメラ 110 が、送信されてきた撮影指示に従って、被検査体 150 を含む領域について撮像を開始する（ステップ S 1411）。次に、時間関連カメラ 110 の制御部 240 が、強度画像データ IA1 と、時間関連画像データと、を生成する（ステップ S 1412）。そして、時間関連カメラ 110 の制御部 240 が、強度画像データ IA1 と、時間関連画像データと、を、PC 100 に出力する（ステップ S 1413）。

【0132】

PC 100 の制御部 103 は、強度画像データ IA1 と、時間関連画像データと、を受け取る（ステップ S 1403）。そして、振幅 - 位相画像生成部 104 は、受け取った強度画像データ IA1 と時間関連画像データとから、振幅画像データ IA2 と、位相画像データ IA3 とを生成する（ステップ S 1404）。また、制御部 103 は、位相ラプラシアン画像データ IA4 を生成する。

【0133】

そして、異常検出処理部 105 が、強度画像データ IA1 と、振幅画像データ IA2 と、位相画像データ IA3 と、位相ラプラシアン画像データ IA4 と、に基づいて、被検査体 150 の異常検出制御を行う（ステップ S 1405）。そして、異常検出処理部 105 は、異常候補 Q から決定した異常領域、すなわち異常検出結果を、PC 100 が備える（図示しない）表示装置に出力する（ステップ S 1406）。

【0134】

異常検出結果の出力例としては、強度画像データ IA1 を表示するとともに、強度画像データ IA1 における異常検出処理部 105 によって検出された異常領域を、検査者が異常として認識できるように装飾表示するなどが考えられる。また、視覚に基づく出力に制限するものではなく、音声等で異常が検出されたことを出力してもよい。

【0135】

制御部 103 は、当該被検査体 150 の検査が終了したか否かを判定する（ステップ S 1407）。検査が終了していないと判定した場合（ステップ S 1407：No）、アーム制御部 101 が、予め定められた設定に従って、次の検査対象となる被検査体 150 の表面を、時間関連カメラ 110 で撮影できるように、アーム 140 の移動制御を行う（ステップ S 1408）。アーム 140 の移動制御が終了した後、制御部 103 が、再び時間関連カメラ 110 に対して、撮影の開始指示を送信する（ステップ S 1402）。

【0136】

一方、制御部 103 は、当該被検査体 150 の検査が終了したと判定した場合（ステップ S 1407：Yes）、終了指示を時間関連カメラ 110 に対して出力し（ステップ S 1409）、処理を終了する。

【0137】

そして、時間関連カメラ 110 は、終了指示を受け付けたか否かを判定する（ステップ S 1414）。終了指示を受け付けていない場合（ステップ S 1414：No）、再びステップ S 1411 から処理を行う。一方、終了指示を受け付けた場合（ステップ S 1414：Yes）、処理を終了する。

【0138】

なお、照明装置 120 の終了処理は、検査者が行ってもよいし、他の構成からの指示に従って終了してもよい。

10

20

30

40

50

【0139】

以上、説明したように、本実施形態では、異常検出処理部105は、被検査体150の同一の領域の画像データであって被検査体150で反射した光の特徴を示す複数の異なる特徴画像データIA（強度画像データIA1、振幅画像データIA2、位相画像データIA3、位相ラプラシアン画像データIA4）のそれぞれから、異常領域の候補である異常候補Qを検出し、異常候補Qの位置に基づいて、異常候補Qをグループに分け、異常候補Qの特徴量を取得し、グループ毎に特徴量を用いる多変量解析を行うことによって、異常領域を決定する。つまり、異常検出処理部105は、異常領域を決定するにあたり、複数の特徴画像データIAを用いるとともに多変量解析を行う。よって、被検査体150の異常をより高精度に検出することができる。

10

【0140】

なお、本実施形態では、時間相関カメラ110を用いて生成された強度画像データIA1と、時間相関画像データと、を生成する例について説明した。しかしながら、強度画像データIA1と、時間相関画像データと、を生成するために時間相関カメラ110を用いることに制限するものではなく、アナログ的な処理で実現可能な時間相関カメラや、それと等価な動作をする撮像システムを用いてもよい。例えば、通常のデジタルスチルカメラが生成した画像データを出力し、情報処理装置が、デジタルスチルカメラが生成した画像データを、フレーム画像データとして用いて参照信号を重畳することで、時間相関画像データを生成してもよいし、イメージセンサ内で光強度信号に参照信号を重畳するようなデジタルカメラを用いて、時間相関画像データを生成してもよい。

20

【0141】

また、本実施形態では、複数の特徴画像データIAは、光の強度を表した強度画像データIA1と、光の振幅を表した振幅画像データIA2と、光の位相に関する位相画像データIA3と、光の位相に関する位相ラプラシアン画像データIA4と、の全てを含む例を説明した。しかしながら、複数の特徴画像データIAは、強度画像データIA1と、振幅画像データIA2と、位相画像データIA3と、位相ラプラシアン画像データIA4と、のうち少なくとも二つを含むものであってもよい。すなわち、強度画像データIA1と、振幅画像データIA2と、位相画像データIA3と、位相ラプラシアン画像データIA4と、のうち少なくとも二つを用いて異常領域を決定するものであってもよい。

30

【0142】

（変形例）

本変形例は、上記実施形態に対して異常候補の検出方法が異なる。本変形例では、異常検出処理部105が、予め図示しない記憶部に記憶された、参照表面から得られた、強度画像データIA1、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び位相ラプラシアン画像データIA4と、被検査体150の、強度画像データIA1、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び位相ラプラシアン画像データIA4と、を比較し、被検査体150の表面と参照表面との間で、所定の基準以上の違いがあるか否かを判定することにより、異常候補を検出する。

40

【0143】

本変形例は、実施形態と同じ構成の検査システムを用い、参照表面として正常な被検査体の表面を用いる例とする。

【0144】

照明装置120がスクリーン130を介して縞パターンを照射している間に、時間相関カメラ110が、正常な被検査体の表面（参照表面）を撮像し、強度画像データIA1及び時間相関画像データを生成する。そして、PC100が、時間相関カメラ110で生成された時間相関画像データを入力し、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び位相ラプラシアン画像データIA4を生成し、PC100の図示しない記憶部に、強度画像データIA1、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び位相ラプラシアン画像データIA4を記憶させておく。そして、時間相関カメラ110が、異常が生じているか否かを判定したい被検査体150（検査対象）を撮像し、強度画像データIA1及び時

50

間相関画像データを生成する。そして、PC100が、時間相関画像データから、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び位相ラプラシアン画像データIA4を生成する。次に、PC100の異常検出処理部105が、記憶部に記憶されていた、正常な被検査体の、強度画像データIA1、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び位相ラプラシアン画像データIA4と、被検査体150の強度画像データIA1、振幅画像データIA2、位相画像データIA3及び位相ラプラシアン画像データIA4と、を比較する。異常検出処理部105は、同じ種類の画像データ同士（強度画像データIA1同士、振幅画像データIA2同士、位相画像データIA3同士、位相ラプラシアン画像データIA4同士）において対応する画素同士の画素値に所定の基準以上の違いがある場合、当該画素を異常領域の候補である異常候補Qとして検出する。

10

【0145】

上述した実施形態のPC100で実行される検査プログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、フレキシブルディスク(FD)、CD-R、DVD(Digital Versatile Disk)等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されて提供される。

【0146】

また、上述した実施形態のPC100で実行される検査プログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成してもよい。また、上述した実施形態のPC100で実行される検査プログラムをインターネット等のネットワーク経由で提供または配布するように構成してもよい。

20

【0147】

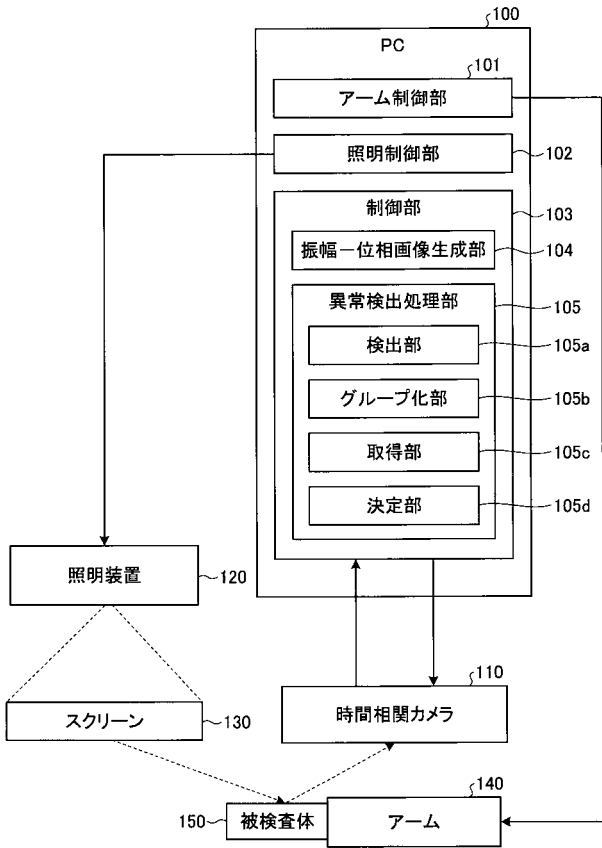
本発明のいくつかの実施形態及び変形例を説明したが、これらの実施形態及び変形例は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態及び変形例は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形例は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【符号の説明】**【0148】**

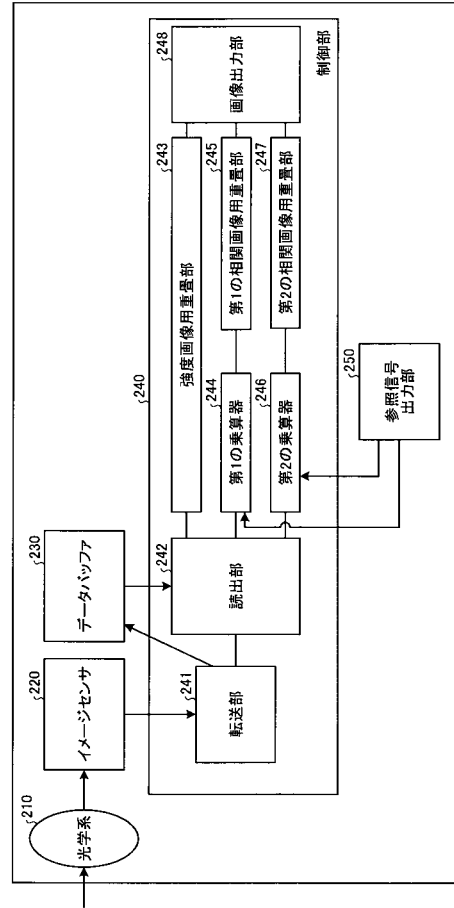
100...PC、105a...検出部、105b...グループ化部、105c...取得部、105d...決定部、150...被検査体、IA...特徴画像データ、IAa...処理後特徴画像データ、IA1...強度画像データ、IA1a...処理後強度画像データ、IA2...振幅画像データ、IA2a...処理後振幅画像データ、IA3...位相画像データ、IA3a...処理後位相画像データ、IA4...位相ラプラシアン画像データ、IA4a...処理後位相ラプラシアン画像データ、IB...和画像データ、IBa...膨張処理後和画像データ、IBb...膨張ラベル和画像データ、Q...異常候補、R...領域。

30

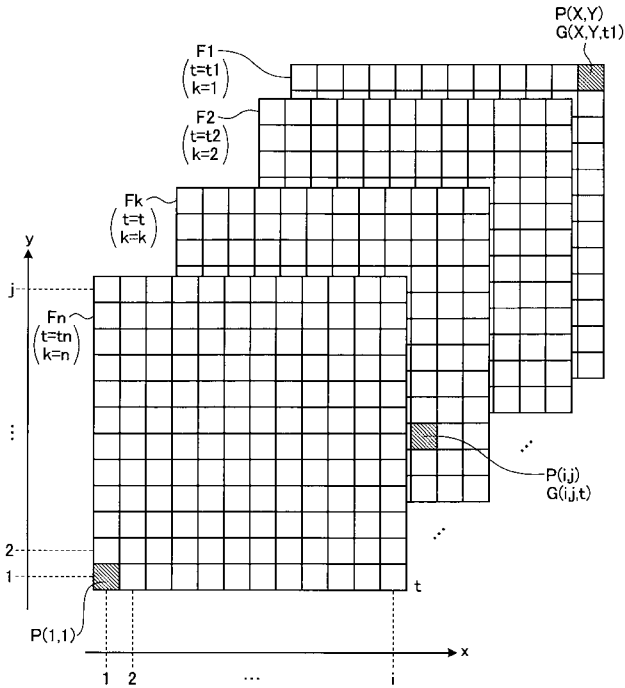
【図1】



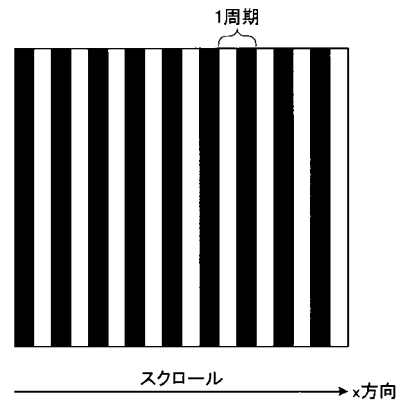
【図2】



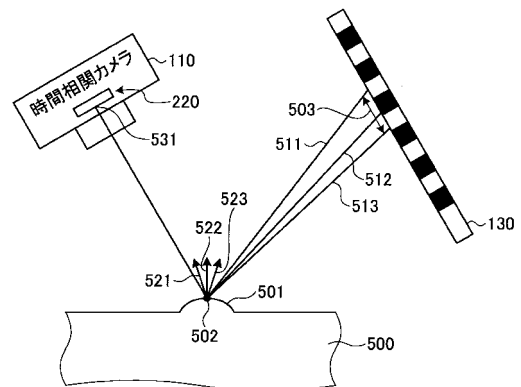
【図3】



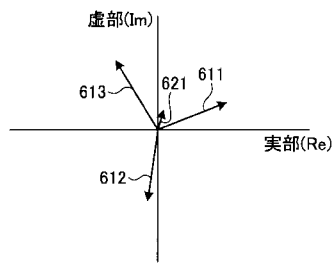
【図4】



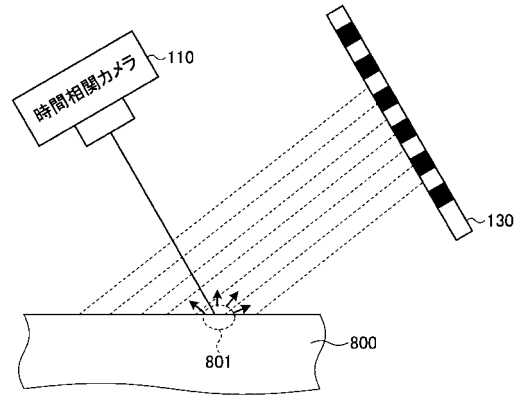
【図5】



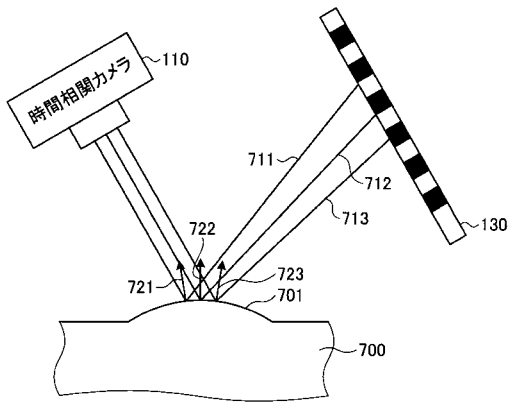
【 図 6 】



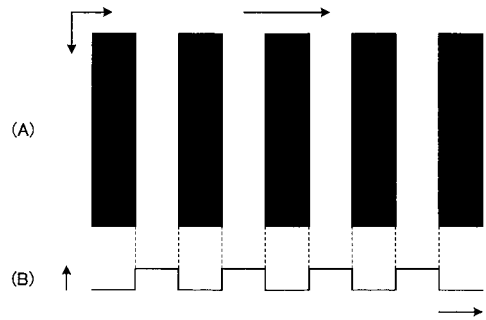
【 図 8 】



【 図 7 】



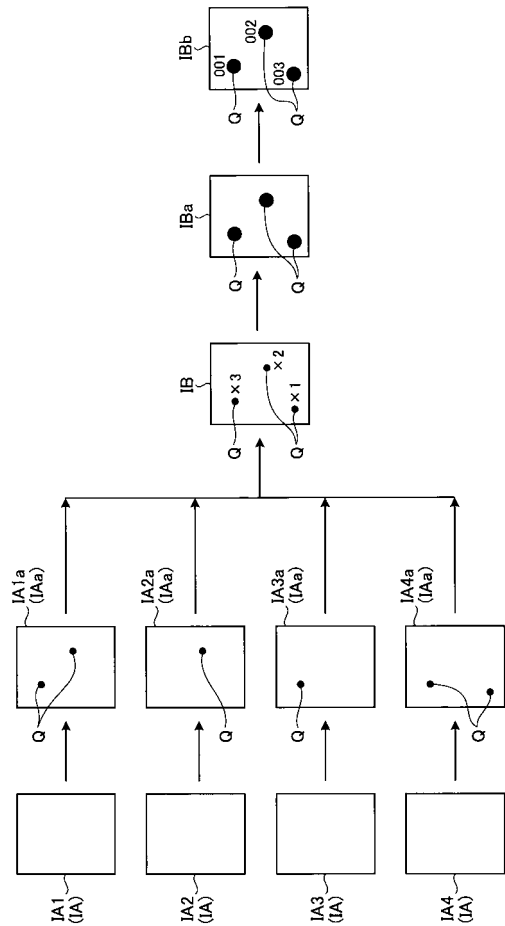
【 図 9 】



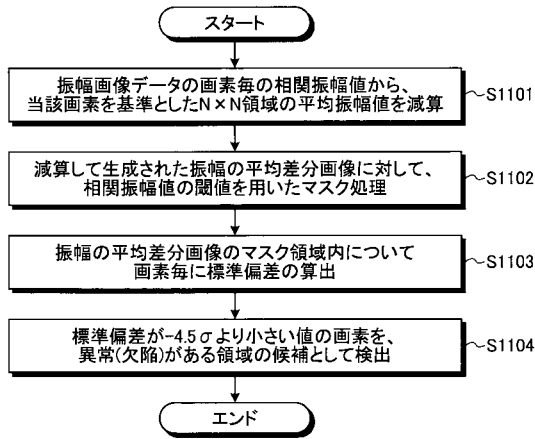
【 図 10 】



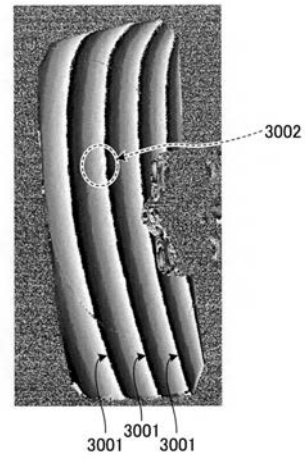
【 図 11 】



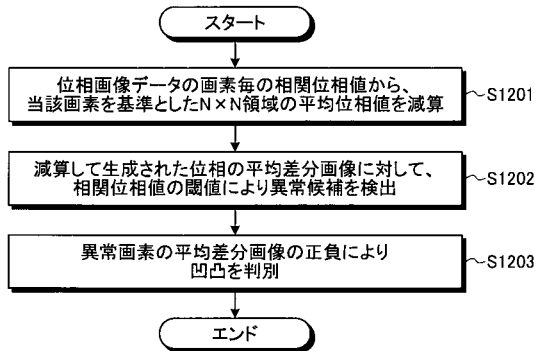
【 図 1 2 】



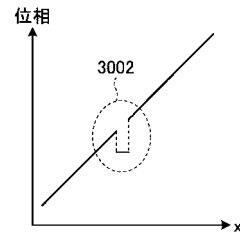
【 図 1 4 】



【 図 1 3 】



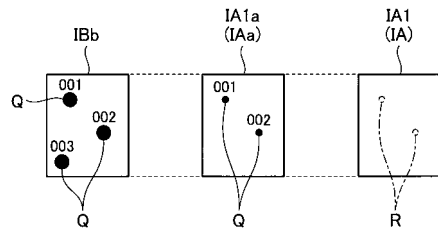
【 図 1 5 】



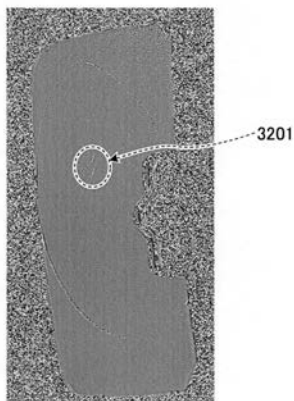
【 図 1 6 】

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

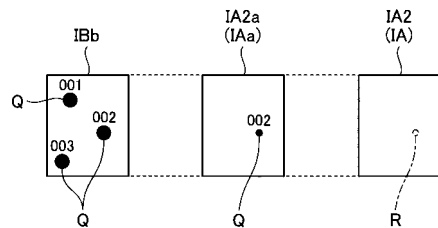
【 図 1 8 】



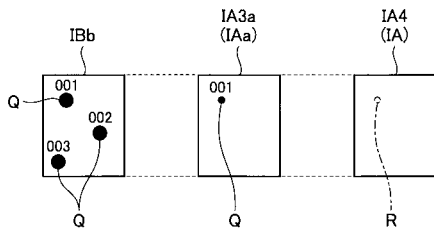
【 図 1 7 】



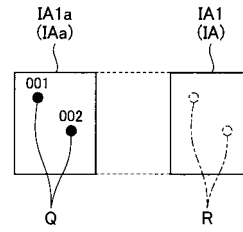
【 図 1 9 】



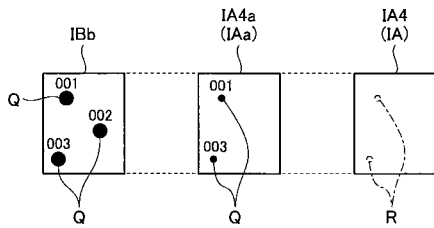
【図20】



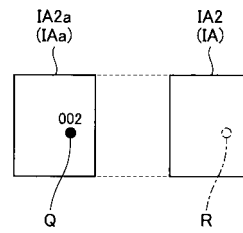
【図22】



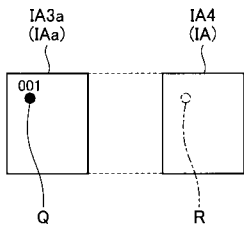
【図21】



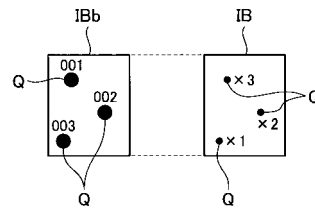
【図23】



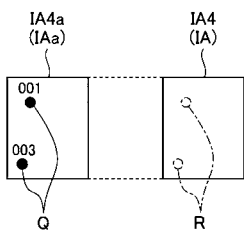
【図24】



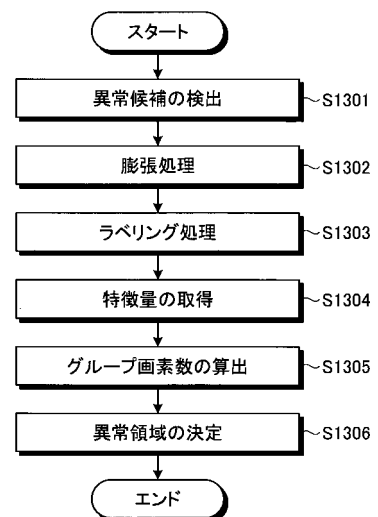
【図26】



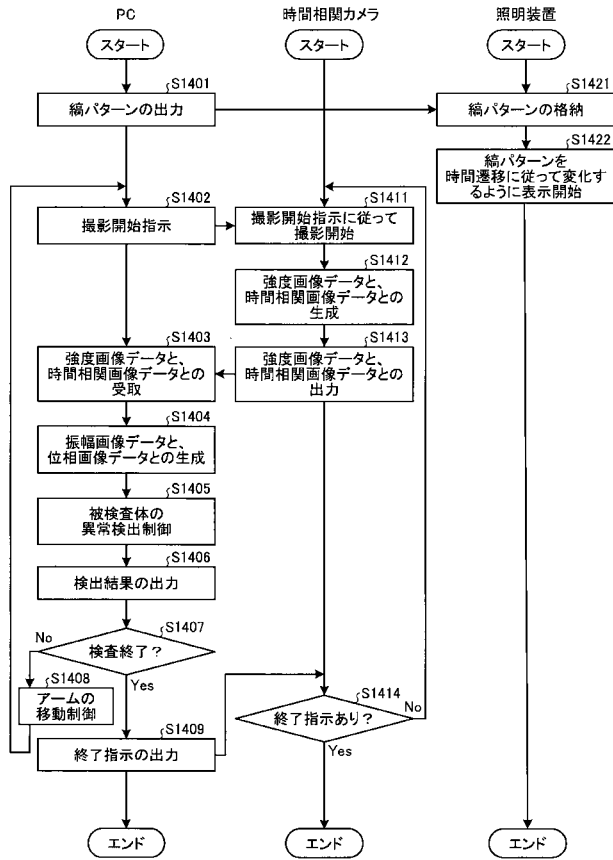
【図25】



【図27】



【 図 2 8 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G051 AB01 AB07 BB01 BB09 BC01 CA03 CA04 CB01 CD01 EA08
EA12 EA14 EB01 EC01 EC03 ED01 ED22
5C122 DA12 EA59 FH11 GE24 GG14 HA82 HA88 HB01