

(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2018-9849

(P2018-9849A)

(43) 公開日 平成30年1月18日(2018.1.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 B 11/25 (2006.01)	G O 1 B 11/25 H	2 F 0 6 5
G O 1 N 21/88 (2006.01)	G O 1 N 21/88 J	2 G 0 5 1
G O 1 N 21/84 (2006.01)	G O 1 N 21/84 E	5 L 0 9 6
G O 6 T 7/00 (2017.01)	G O 6 T 7/00 3 0 0 H	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2016-137991 (P2016-137991)	(71) 出願人	000006932
(22) 出願日	平成28年7月12日 (2016.7.12)		リコーエレメックス株式会社
		(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
		(72) 発明者	赤澤 圭一
			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 AA04 AA49 AA53 BB15 DD04
			FF01 FF07 FF09 HH06 JJ03
			JJ07 JJ26 QQ04 QQ13 QQ16
			QQ31 QQ33
			最終頁に続く

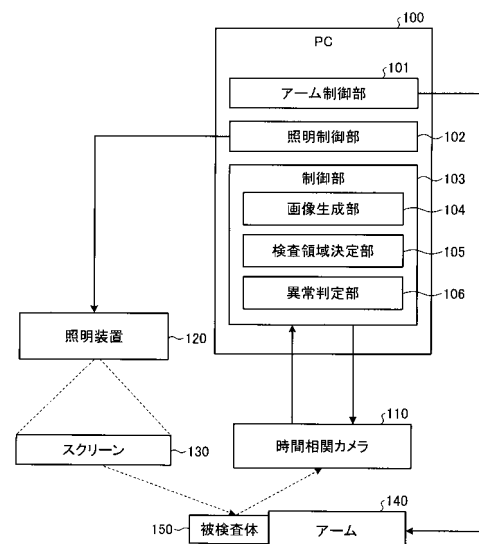
(54) 【発明の名称】 検査システムおよび検査方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】異常が存在すると推定される領域をより精度よく決定可能な検査システムを提供する。

【解決手段】光の強度の周期的な時間変化および空間変化を与える面的な照明部120と、被検査体を撮像した時間相関カメラ110またはそれと等価な動作をする撮像システムから出力される複素時間相関画像を取得する画像取得部104と、複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値と、第1閾値との比較に基づいて、複素時間相関画像から、検査対象となる検査領域の第1候補を抽出し、当該第1候補を第1の大きさ分拡張した拡張第1候補の振幅成分または位相成分の値と、第1閾値とは異なる第2閾値との比較に基づいて、拡張第1候補から、第1候補を含む、検査領域の第2候補を抽出し、当該第2候補に基づいて、検査領域を決定する検査領域決定部105と、検査領域の特徴を用いた多変量解析を実行して被検査体の異常を判定する異常判定部106と、を備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光の強度の周期的な時間変化および空間変化を与える面的な照明部と、

被検査体を撮像した時間相関カメラまたはそれと等価な動作をする撮像システムから出力される複素時間相関画像を取得する画像取得部と、

前記複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値と、第 1 閾値との比較に基づいて、前記複素時間相関画像から、検査対象となる検査領域の第 1 候補を抽出し、当該第 1 候補を第 1 の大きさ分拡張した拡張第 1 候補の振幅成分または位相成分の値と、前記第 1 閾値とは異なる第 2 閾値との比較に基づいて、前記拡張第 1 候補から、前記第 1 候補を含む、前記検査領域の第 2 候補を抽出し、当該第 2 候補に基づいて、前記検査領域を決定する検査領域決定部と、

前記検査領域の特徴を用いた多変量解析を実行して前記被検査体の異常を判定する異常判定部と、

を備える、検査システム。

【請求項 2】

前記検査領域決定部は、前記第 2 候補を第 2 の大きさ分拡張した拡張第 2 候補の振幅成分または位相成分の微分値に基づいて、前記拡張第 2 候補から、前記検査領域を決定する、

請求項 1 に記載の検査システム。

【請求項 3】

前記検査領域決定部は、前記複素時間相関画像として位相画像が用いられる場合、複素数で表される前記複素時間相関画像の値の位相成分のみを微分する位相限定微分を実行して、前記微分値を算出する、

請求項 2 に記載の検査システム。

【請求項 4】

前記検査領域決定部は、前記微分値に基づいて、前記拡張第 2 候補から、前記検査領域の第 3 候補を抽出した後に、当該第 3 候補のノイズを除外して、前記検査領域を決定する、

請求項 2 または 3 に記載の検査システム。

【請求項 5】

光の強度の周期的な時間変化および空間変化を与える面的な照明部と、

被検査体を撮像した時間相関カメラまたはそれと等価な動作をする撮像システムから出力される複素時間相関画像を取得する画像取得部と、

前記複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値と、閾値との比較に基づいて、前記複素時間相関画像から、検査対象となる検査領域の候補を抽出し、当該候補を所定の大きさ分拡張した拡張候補の振幅成分または位相成分の微分値に基づいて、前記検査領域を決定する検査領域決定部と、

前記検査領域の特徴を用いた多変量解析を実行して前記被検査体の異常を判定する異常判定部と、

を備える、検査システム。

【請求項 6】

光の強度の周期的な時間変化および空間変化を与える面的な照明部により照らされた被検査体を撮像した時間相関カメラまたはそれと等価な動作をする撮像システムから出力される複素時間相関画像を取得することと、

前記複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値と、第 1 閾値との比較に基づいて、前記複素時間相関画像から、検査対象となる検査領域の第 1 候補を抽出し、当該第 1 候補を第 1 の大きさ分拡張した拡張第 1 候補の振幅成分または位相成分の値と、前記第 1 閾値とは異なる第 2 閾値との比較に基づいて、前記拡張第 1 候補から、前記第 1 候補を含む、前記検査領域の第 2 候補を抽出し、当該第 2 候補に基づいて、前記検査領域を決定することと、

前記検査領域の特徴を用いた多変量解析を実行して前記被検査体の異常を判定することと、

を備える、検査方法。

【請求項 7】

光の強度の周期的な時間変化および空間変化を与える面的な照明部により照らされた被検査体を撮像した時間相関カメラまたはそれと等価な動作をする撮像システムから出力される複素時間相関画像を取得することと、

前記複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値と、閾値との比較に基づいて、前記複素時間相関画像から、検査対象となる検査領域の候補を抽出し、当該候補を所定の大きさ分拡張した拡張候補の振幅成分または位相成分の微分値に基づいて、前記検査領域を決定することと、

10

前記検査領域の特徴を用いた多変量解析を実行して前記被検査体の異常を判定することと、

を備える、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、検査システムおよび検査方法に関する。

【背景技術】

【0002】

20

従来、周期的に変化する光を被検査体に照射し、当該被検査体の表面からの反射光を撮像することで、光の強度のみならず、光の時間遷移に関する情報をも含んだ時間相関画像を取得する技術が提案されている。このような時間相関画像は、たとえば、被検査体の異常を検出するために用いられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 5 6 6 9 0 7 1 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

時間相関画像を用いた異常検出では、まず、異常が存在すると推定される領域を特定した後、当該領域から特徴を抽出し、抽出した特徴を用いた多変量解析を実行することで、異常判定が行われる場合がある。この場合、異常が存在すると推定される領域をより精度よく決定することが望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態の検査システムは、光の強度の周期的な時間変化および空間変化を与える面的な照明部と、被検査体を撮像した時間相関カメラまたはそれと等価な動作をする撮像システムから出力される複素時間相関画像を取得する画像取得部と、複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値と、第 1 閾値との比較に基づいて、複素時間相関画像から、検査対象となる検査領域の第 1 候補を抽出し、当該第 1 候補を第 1 の大きさ分拡張した拡張第 1 候補の振幅成分または位相成分の値と、第 1 閾値とは異なる第 2 閾値との比較に基づいて、拡張第 1 候補から、第 1 候補を含む、検査領域の第 2 候補を抽出し、当該第 2 候補に基づいて、検査領域を決定する検査領域決定部と、検査領域の特徴を用いた多変量解析を実行して被検査体の異常を判定する異常判定部と、を備える。

40

【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。

50

【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、実施形態において、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。

10

【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、実施形態の検査システムにおける被検査体の検査処理の手順を示したフローチャートである。

【図 12】図 12 は、実施形態の検査システムにおける検査領域の決定処理の詳細を示したフローチャートである。

【図 13】図 13 は、実施形態において、第 1 閾値に基づき抽出される、振幅画像の検査領域の候補の具体例を示した図である。

20

【図 14】図 14 は、図 13 からノイズが除去された状態を示した図である。

【図 15】図 15 は、実施形態において、第 2 閾値に基づき抽出される、振幅画像の検査領域の候補の具体例を示した図である。

【図 16】図 16 は、実施形態において、振幅の微分値に基づき抽出される、振幅画像の検査領域の候補の具体例を示した図である。

【図 17】図 17 は、実施形態における振幅画像の検査領域の具体例を示した図である。

【図 18】図 18 は、実施形態において実行される微分処理に対応するフィルタの配列の具体例を示した図である。

【図 19】図 19 は、第 2 変形例の照明制御部が出力する縞パターンの切り替え例を示した図である。

30

【図 20】図 20 は、第 2 変形例の照明制御部が、異常（欠陥）を含めた表面に縞パターンを照射した例を示した図である。

【図 21】図 21 は、第 2 変形例において、y 方向に縞パターンを変化させた場合における、異常（欠陥）とスクリーン上の縞パターンの関係を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

（実施形態）

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、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、実施形態の検査システムは、P C 1 0 0 と、時間相関カメラ 1 1 0 と、照明装置 1 2 0 と、スクリーン 1 3 0 と、アーム 1 4 0 と、を備えている。

40

【0008】

アーム 1 4 0 は、被検査体 1 5 0 を固定するために用いられ、P C 1 0 0 からの制御に応じて、時間相関カメラ 1 1 0 が撮像可能な被検査体 1 5 0 の表面の位置と向きを変化させる。

【0009】

照明装置 1 2 0 は、被検査体 1 5 0 に光を照射する装置であって、P C 1 0 0 からの縞パターンに従って、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 1 2 0

50

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およ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。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および空間変化が与えられた光を、面的に被検査体 150 に照射する。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、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およ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、実施形態の照明部は、このような組み合わせに制限されるものではない。実施形態では、たとえば、LED を面的に配置したり、大型モニタを配置したりするなどして、照明部を構成してもよい。

【0012】

図 2 は、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。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。

【0013】

光学系 210 は、撮像レンズ等を含み、時間相関カメラ 110 の外部の被写体（被検査体 150 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】

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 150 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。

【0016】

イメージセンサ 220 は、たと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、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 150 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（撮像信号）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。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。

【0018】

実施形態の制御部 240 は、たとえば CPU、ROM、および 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。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

転送部 2 4 1 は、イメージセンサ 2 2 0 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 2 3 0 に、時系列順に蓄積する。

【 0 0 2 0 】

データバッファ 2 3 0 は、イメージセンサ 2 2 0 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。

【 0 0 2 1 】

図 3 は、実施形態の時間相関カメラ 1 1 0 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 3 に示されるように、実施形態のデータバッファ 2 3 0 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 で生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。

10

【 0 0 2 2 】

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。

【 0 0 2 3 】

イメージセンサ 2 2 0 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、実施形態は、解像度、感度、およびコスト等を考慮して、イメージセンサ 2 2 0 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 2 2 0 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。

20

【 0 0 2 4 】

図 2 に戻り、実施形態の読出部 2 4 2 は、データバッファ 2 3 0 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 2 4 4 と、第 2 の乗算器 2 4 6 と、強度画像用重畳部 2 4 3 と、に出力する。

【 0 0 2 5 】

実施形態の時間相関カメラ 1 1 0 は、読出部 2 4 2 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 1 1 0 は、3 種類の画像データを生成する。

30

【 0 0 2 6 】

実施形態の時間相関カメラ 1 1 0 は、3 種類の画像データとして、強度画像データと、2 種類の時間相関画像データと、を生成する。なお、実施形態は、2 種類の時間相関画像データを生成することに制限されるものではなく、強度画像データ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なども考えられる。

【 0 0 2 7 】

実施形態のイメージセンサ 2 2 0 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、撮像に必要な露光時間分の光強度信号が必要になる。そこで、実施形態では、強度画像用重畳部 2 4 3 が、撮像に必要な露光時間分の複数のフレームを重ねて、強度画像データを生成する。なお、強度画像データの各画素値 (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。

40

【 0 0 2 8 】

【 数 1 】

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

50

【 0 0 2 9 】

これにより、従来のカメラの撮像と同様に、被写体（被検査体 1 5 0 を含む）が撮像された強度画像データが生成される。そして、強度画像用重畳部 2 4 3 は、生成した強度画像データを、画像出力部 2 4 8 に出力する。

【 0 0 3 0 】

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、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ねることで、時間相関画像データを生成する。

10

【 0 0 3 1 】

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 2 2 0 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、実施形態の照明装置 1 2 0 は、上述したように、スクリーン 1 3 0 を介して周期的に時間変化およ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ように構成される。

【 0 0 3 2 】

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、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、および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 1 2 0 およびスクリーン 1 3 0 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 1 5 0 の表面（反射面）の各位置で第 1 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 2 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 1 1 0 は、表面で複素変調された光を受光し、第 1 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

30

【 0 0 3 3 】

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。

【 0 0 3 4 】

【 数 2 】

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

$$= \int_{t_0}^{t_n} G(x, y, t) \cdot (\cos(\omega t) - j \cdot \sin(\omega t)) dt$$

40

【 0 0 3 5 】

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

【 0 0 3 6 】

このため、参照信号出力部 2 5 0 は、第 1 の乗算器 2 4 4 と、第 2 の乗算器 2 4 6 と、に対してそれぞれ異なる参照信号を生成し、出力する。実施形態の参照信号出力部 2 5 0 は、複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ の実部に対応する第 1 の参照信号 $\cos \omega t$ を第 1 の乗算器 2 4

50

4 に出力し、複素正弦波 $e^{-j\omega t}$ の虚部に対応する第 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、実施形態の参照信号出力部 250 は、一例として、互いにヒルベルト変換対をなす正弦波およ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。しかしながら、参照信号は、ここで説明する例に制限されるものではなく、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】

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 $e^{-j\omega t}$ の実部 $\cos \omega t$ を乗算する。

【0038】

10

第 1 の相関画像用重畳部 245 は、撮像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】

$$C1(x, y) = \int_{t0}^{tn} (G(x, y, t) \cdot \cos \omega t) dt \quad \cdots (3)$$

【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 $e^{-j\omega t}$ の虚部 $\sin \omega t$ を乗算する。

20

【0041】

第 2 の相関画像用重畳部 247 は、撮像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】

$$C2(x, y) = \int_{t0}^{tn} (G(x, y, t) \cdot \sin \omega t) dt \quad \cdots (4)$$

30

【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、実施形態は、参照信号の種類を制限するものでない。たとえば、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生成するが、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。

【0045】

なお、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、複数系統分生成可能とする。これにより、たとえば複数種類の幅の縞が組み合わせら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、縞の幅毎に生成可能とする。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、複数系統分備えとともに、参照信号出力部 250 は、系統毎に適した角周波数 ω による参照信号を出力可能とする。

40

【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、強度画像データと、を用いて、被検査体の異常を検出する。そのためには、被検査体に対して光を照射する必要がある。

50

【 0 0 4 7 】

実施形態の照明装置 1 2 0 は、高速に移動する縞パターンを照射する。図 4 は、実施形態の照明装置 1 2 0 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。

【 0 0 4 8 】

実施形態では、時間相関カメラ 1 1 0 が強度画像データおよび時間相関画像データを撮像する露光時間で、照明装置 1 2 0 が照射する縞パターンが一周期分移動する。これにより、照明装置 1 2 0 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。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。

10

【 0 0 4 9 】

図 4 に示されるように、実施形態では、照明装置 1 2 0 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。実施形態では、照明装置 1 2 0 がスクリーン 1 3 0 を介して照射されることで、矩形波の明暗の境界領域をぼかすことができる。

【 0 0 5 0 】

実施形態では、照明装置 1 2 0 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。

20

【 0 0 5 1 】

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。

【 0 0 5 2 】

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

【 0 0 5 3 】

式 (5) で示されるように、照明装置 1 2 0 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。

30

【 0 0 5 4 】

そして、イメージセンサ 2 2 0 には、当該照明装置 1 2 0 からの光が被写体（被検査体 1 5 0 を含む）から反射して入力される。

【 0 0 5 5 】

したがって、イメージセンサ 2 2 0 に入力される光強度信号 $G(x, y, t)$ を、照明装置 1 2 0 が照射された際のフレームの各画素の光強度信号 $f(x, y, t)$ とすることができる。そこで、強度画像データ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、位相を kx とする。

40

【 0 0 5 6 】

【 数 5 】

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

…(6)

【 0 0 5 7 】

式 (6) から、強度画像データの各画素には、露光時間 T に、照明装置 1 2 0 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

50

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、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。

【0060】

20

そこで、実施形態のPC100は、時間相関画像データおよび強度画像データに基づいて、画素毎に入る光の位相変化を表した位相画像と、画素毎に入る光の振幅を表した振幅画像と、を生成する。また、PC100は、強度画像データに基づいて、画素毎に入る光の強度を表した強度画像を生成する。そして、PC100は、位相画像と、振幅画像と、強度画像と、の少なくともいずれかに基づいて、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、光の位相変化およ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、実施形態では、時間相関画像データを用いて、法線ベクトルの分布の変化に対応した、光の位相変化およ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、表面形状の異常が存在すると推定される領域を特定することが可能となる。以下、被検査体の異常、法線ベクトル、および光の位相変化又は振幅変化の関係について例を挙げて説明する。

30

【0062】

図5は、第1の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(たとえば、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)とに分けて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

50

意の画素 5 3 1 には、振幅 6 2 1 の光が入射する。

【 0 0 6 4 】

したがって、図 6 に示される状況では、被検査体 5 0 0 の異常 5 0 1 が撮像された領域で、局所的に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において、周囲と比べて暗くなっている領域がある場合に、当該領域で局所的に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。なお、ここでは、突形状の異常 5 0 1 に対応する領域で、振幅画像が局所的に暗くなる場合を例示したが、キズなどの凹み状の異常に対応する領域でも、振幅画像は局所的に暗くなる。

【 0 0 6 5 】

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、第 1 の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 2 2 0 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イメージセンサ 2 2 0 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。

【 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、第 1 の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 を撮像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 を撮像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。

【 0 0 6 7 】

このような場合、汚れ 8 0 1 を撮像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 8 0 1 があることを推定できる。

【 0 0 6 8 】

このように、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、被検査体における、異常が存在すると推定される領域を特定することができる。

【 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。実施形態では、P C 1 0 0 において、被検査体 1 5 0 の撮像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 の撮像が終了する毎に、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 110 が設定された表面を撮像できるように、アーム 140 が被検査体 150 を移動させる。なお、実施形態によるアーム 140 の移動方法は、撮像が終了する毎にアーム 140 を移動させ、撮像が開始する前に停止させるのを繰り返すことに制限されるものではなく、継続的にアーム 140 を駆動させることも含まれ得る。なお、アーム 140 は、搬送部、移動部、位置変更部、姿勢変更部等とも称され得る。

【0071】

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。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。

10

【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】

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 ω は、参照信号の角周波数 ω と同じ値とする。

20

【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、画像生成部 104 と、検査領域決定部 105 と、異常判定部 106 と、を備える。制御部 103 は、時間相関カメラ 110 から入力されるデータに基づいて、振幅画像や位相画像などといった時間相関画像を生成し、当該時間相関画像に基づいて、検査対象となる検査領域を決定し、当該検査領域の特徴を用いた多変量解析を実行して被検査体 150 の異常を判定する。なお、実施形態では、制御部 103 は、振幅成分と位相成分とで分けた極形式の複素数で示される時間相関画像データ（複素時間相関画像データと称す）ではなく、当該複素数を実部と虚部とで分けた 2 種類の時間相関画像データを、時間相関カメラ 110 から受け取るものとする。

30

【0077】

画像生成部 104 は、時間相関カメラ 110 から入力されるデータ（強度画像データや時間相関画像データなどといった画像データ）に基づいて、振幅画像および位相画像を生成する。画像生成部 104 は、画像取得部の一例である。前述したように、振幅画像とは、画素毎に入る光の振幅を表した画像であり、位相画像とは、画素毎に入る光の位相を表した画像である。

40

【0078】

実施形態は、振幅画像の算出手法を制限するものではないが、たとえば、画像生成部 104 は、2 種類の時間相関画像データの画素値 $C1(x, y)$ および $C2(x, y)$ から、下記の式 (8) を用いて、振幅画像の各画素値 $F(x, y)$ を導き出すことが可能である。

【0079】

50

【数 7】

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

【0080】

また、画像生成部 104 は、画素値 $C1(x, y)$ および $C2(x, y)$ から、下記の式 (9) を用いて、位相画像の各画素値 $P(x, y)$ を導き出すことが可能である。

【0081】

【数 8】

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

10

【0082】

なお、画像生成部 104 が時間相関カメラ 110 から入力される強度画像データに基づいて強度画像を生成することも可能であることは言うまでもない。強度画像とは、画素毎に入る光の強度を表した画像である。

【0083】

検査領域決定部 105 は、画像生成部 104 により生成された振幅画像または位相画像に基づいて、光の振幅または位相が（周囲などとの関係で）局所的に変化する領域を含む領域を、検査領域の候補として抽出する。そして、検査領域決定部 105 は、抽出した候補に基づいて、最終的な検査領域を決定する。

20

【0084】

従来では、検査領域が、振幅画像または位相画像の値（複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値）と、1つの閾値との比較に基づいて決定されていた。このため、検査領域として検出する基準を厳しくし過ぎると、異常が存在すると推定される異常領域の全てをカバーしない、分断された複数の小さい領域が、検査領域として検出されることがあった（検査領域の分断）。一方、検査領域として検出する基準を緩くし過ぎると、異常領域のみならず、異常が存在しないと推定される正常領域までもも含んだ領域が、検査領域として検出されることがあった（検査領域の過検出）。

【0085】

30

そこで、実施形態による検査領域決定部 105 は、2種類の異なる閾値を用いた2段階の閾値処理を実行することで、検査領域を決定する。具体的に、検査領域決定部 105 は、まず、比較的厳しい基準に対応する第1閾値を用いた閾値処理を実行することで、検査領域の候補を抽出する。そして、検査領域決定部 105 は、第1閾値を用いて決定された候補を、その周辺領域を含むように拡張し、当該拡張した領域に対して、第1閾値の基準よりも緩い基準に対応する第2閾値を用いた閾値処理を実行することで、検査領域の候補をさらに抽出する。

【0086】

40

さらに、実施形態による検査領域決定部 105 は、複素時間相関画像の振幅成分または位相成分の値の微分値を計算する。そして、検査領域決定部 105 は、微分値と所定の閾値とを比較するなどして、振幅成分または位相成分の値が急峻に変化する部分を特定する。振幅成分または位相成分の値が急峻に変化する部分は、異常領域と正常領域との境界部分に対応する。したがって、検査領域決定部 105 は、異常領域を漏れなく検査領域に含めるために、微分値を用いて特定した境界部分を、検査領域の候補にさらに含める。なお、微分値の求め方の詳細については、後で説明するため、ここでは説明を省略する。

【0087】

検査領域決定部 105 は、上記の処理（2種類の閾値を用いた2段階の閾値処理、および微分値を用いた境界検出処理）によって決定された検査領域の候補に対してノイズの除去などの処理を実行することで、最終的な検査領域を決定する。

【0088】

50

異常判定部 106 は、検査領域決定部 105 により決定された最終的な検査領域が有する特徴を抽出し、当該特徴を用いた多変量解析を実行することで、被検査体 150 の異常を判定する。

【0089】

多変量解析の手法としては、たとえば、MT法（マハラノビスタグチ法）などが挙げられる。MT法とは、多数の情報をマハラノビス距離という1つの尺度に集約し、マハラノビス距離の大小によって、検査対象の品質を判定する方法である。具体的に、MT法では、品質に問題が無い良品サンプルの特徴を表すデータに基づいて予め基準を作成し、作成した基準と、検査対象の特徴を表すデータとに基づいて、検査対象に対応するマハラノビス距離を算出し、算出したマハラノビス距離を所定の閾値と比較等することで、検査対象

10

【0090】

なお、実施形態では、多変量解析の手法として、MT法以外の手法が用いられてもよい。

【0091】

次に、実施形態において実行される処理について説明する。図11は、実施形態の検査システムによる、被検査体の検査処理の手順を示したフローチャートである。以下では、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。

【0092】

図11に示すように、実施形態のPC100は、まず、照明装置 120 に対して、被検査体を検査するための縞パターンを出力する（S1101）。

20

【0093】

照明装置 120 は、PC100から入力された縞パターンを格納する（S1121）。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（S1122）。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ることに制限するものではなく、たとえば検査者が照明装置 120 に対して開始操作を行ったことであってもよい。

【0094】

そして、PC100の制御部 103 は、時間相関カメラ 110 に対して、撮像開始指示を送信する（S1102）。

30

【0095】

次に、時間相関カメラ 110 は、送信されてきた撮像開始指示に従って、被検査体 150 および当該被検査体 150 の周囲を含む領域について撮像を開始する（S1111）。そして、時間相関カメラ 110 の制御部 240 は、強度画像データと、時間相関画像データと、を生成する（S1112）。そして、時間相関カメラ 110 の制御部 240 は、強度画像データと、時間相関画像データと、を、PC100に出力する（S1113）。

【0096】

PC100の制御部 103 は、強度画像データと、時間相関画像データと、を受け取る（S1103）。そして、画像生成部 104 は、受け取った強度画像データおよび時間相関画像データから、振幅画像および位相画像を生成する（S1104）。

40

【0097】

そして、検査領域決定部 105 は、異常判定部 106 による検査（異常判定）の対象となる検査領域の決定処理を実行する（S1105）。以下、このS1105の処理の詳細について説明する。

【0098】

図12は、実施形態の検査システムにおける検査領域の決定処理（図11のS1105の処理）の詳細を示したフローチャートである。実施形態では、振幅画像および位相画像のいずれを用いても検査領域を決定することが可能であるが、以下では、位相画像ではなく振幅画像を用いて検査領域を決定する例について説明する。

50

【 0 0 9 9 】

図 1 2 に示すように、検査領域決定部 1 0 5 は、まず、振幅画像の各画素値に対応する振幅データを取得する (S 1 2 0 1) 。

【 0 1 0 0 】

そして、検査領域決定部 1 0 5 は、ガウシアン差分処理を実行する (S 1 2 0 2) 。ガウシアン差分処理とは、元の振幅画像と、ガウシアンフィルタなどにより平滑化された振幅画像と、の差分を取る処理である。このガウシアン差分処理によれば、たとえば被検査体 1 5 0 がその端部において湾曲している場合でも、当該湾曲した端部に対応する領域と、湾曲していない部分に対応する領域との間における、振幅画像の明るさの差の影響を排除した状態で、次に説明するような閾値処理を実行することができる。

10

【 0 1 0 1 】

検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 2 の処理後の振幅画像に対して、第 1 閾値を用いた閾値処理を実行し、当該振幅画像から、検査領域の候補を抽出する (S 1 2 0 3) 。より具体的に、検査領域決定部 1 0 5 は、振幅画像の各画素値と、第 1 閾値とを比較し、第 1 閾値よりも小さい画素値を有する領域 (つまり、明るさが第 1 閾値で設定される基準よりも暗い領域) を、検査領域の候補として抽出する。

【 0 1 0 2 】

図 1 3 は、実施形態において、第 1 閾値に基づき抽出される、振幅画像の検査領域の候補の具体例を示した図である。図 1 3 の例では、点線 A 1 で囲まれた領域内と、点線 B で囲まれた領域内と、点線 C で囲まれた領域内とに、検査領域の候補 (白抜きの部分参照) が存在する。

20

【 0 1 0 3 】

そして、図 1 2 に戻り、検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 3 で抽出された各候補の面積を算出し、面積が小さい領域を、検査領域の候補から除外する (S 1 2 0 4) 。なお、面積が小さい領域とは、面積が所定ピクセル未満の領域であり、たとえば、面積が 1 ピクセルまたは 2 ピクセル程度しかない領域である。

【 0 1 0 4 】

そして、検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 4 の処理後の候補に対して膨張処理および収縮処理をそれぞれ 1 回ずつ実行する (S 1 2 0 5) 。これにより、数ピクセルしか離れていない複数の領域が 1 つの領域に結合されたり、領域の外形などに表れる細かい凸凹が平滑化されたりする。

30

【 0 1 0 5 】

上記の S 1 2 0 4 および S 1 2 0 5 の処理により、S 1 2 0 3 で抽出された検査領域の候補から、細かいノイズが除去される。

【 0 1 0 6 】

図 1 4 は、図 1 3 から細かいノイズが除去された状態を示した図である。図 1 3 の例では、点線 B で囲まれた領域内と、点線 C で囲まれた領域内とに、検査領域の候補として抽出された、面積が非常に小さい領域 (白抜きの部分参照) が存在している。実施形態では、上記の S 1 2 0 4 (および S 1 2 0 5) の処理により、点線 B で囲まれた領域内と、点線 C で囲まれた領域内とに存在する候補が除外される。これにより、図 1 4 の例では、図 1 3 にも図示された点線 A 1 で囲まれた領域内に存在する検査領域の候補 (白抜きの部分参照) のみが残っている。

40

【 0 1 0 7 】

図 1 2 に戻り、検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 5 の処理後の検査領域の候補を所定の大きさ分拡張し、当該拡張された領域に対して、第 1 閾値とは異なる第 2 閾値を用いた閾値処理を実行し、検査領域の候補をさらに抽出する (S 1 2 0 6) 。より具体的に、検査領域決定部 1 0 5 は、上記の拡張された領域の各画素値と、第 2 閾値とを比較し、第 2 閾値よりも大きい画素値を有する領域を、検査領域の候補として抽出する。なお、第 2 閾値は、第 1 閾値よりも大きく設定される。したがって、第 2 閾値を用いて抽出される領域は、第 1 閾値を用いて抽出される領域よりも、少し明るい領域である。

50

【 0 1 0 8 】

図 1 5 は、実施形態において、第 2 閾値に基づき抽出される、振幅画像の検査領域の候補の具体例を示した図である。図 1 5 に示されるように、第 2 閾値に基づき抽出される候補（点線 A 2 で囲まれた白抜きの領域）は、第 1 閾値に基づき抽出される候補（図 1 4 に示された点線 A 1 で囲まれた白抜きの領域）を含んでいる。

【 0 1 0 9 】

図 1 2 に戻り、検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 6 で抽出された検査領域の候補を所定の大きさ分拡張し、当該拡張された領域における、振幅画像の画素値の微分値（振幅の微分値）を算出する（S 1 2 0 7）。なお、S 1 2 0 7 の処理における領域の拡張量は、S 1 2 0 6 の処理における領域の拡張量よりも小さく設定される。振幅の微分値は、たと

10

【 0 1 1 0 】

図 1 8 は、実施形態において実行される微分処理に対応するフィルタの配列の具体例を示した図である。図 1 8（A）は、処理対象の画素の値と、当該画素に x 方向に隣接する画素の値と、の差分（x 方向の微分）をとるフィルタを示している。また、図 1 8（B）は、処理対象の画素の値と、当該画素に y 方向に隣接する画素の値と、の差分（y 方向の微分）をとるフィルタを示している。

【 0 1 1 1 】

実施形態では、図 1 8（A）に示されたような配列のフィルタに基づいて、x 方向の微分が行われ、図 1 8（B）に示されたような配列のフィルタに基づいて、y 方向の微分が行われる。そして、これら 2 種類のフィルタに基づいて算出された 2 つの値の二乗和の平方根が、微分値として算出される。

20

【 0 1 1 2 】

上記の式（8）に示されるように、振幅画像の値 $F(x, y)$ は、上記の式（9）で示される位相画像の値 $P(x, y)$ と異なり、折り畳みを考慮しなくてもよい、通常の実数であるので、振幅画像の微分は、実数の画素値を有する一般的な画像の微分と同様に計算することが可能である。したがって、実施形態では、図 1 8 に例示したフィルタ以外の、一般的な微分フィルタを用いても、微分値を計算することが可能である。

【 0 1 1 3 】

図 1 2 に戻り、検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 7 で算出された微分値を用いて、検査領域の候補をさらに抽出する（S 1 2 0 8）。具体的に、検査領域決定部 1 0 5 は、微分値と所定の閾値とを比較するなどして、振幅画像において明るさが急峻に変化する部分を特定する。前述したように、明るさが急峻に変化する部分は、異常が存在すると推定される異常領域と、異常が存在しないと推定される正常領域との境界部分に対応する。したがって、検査領域決定部 1 0 5 は、異常領域を漏れなく検査領域に含めるために、微分値を用いて特定した境界部分を、検査領域の候補にさらに含める。

30

【 0 1 1 4 】

図 1 6 は、実施形態において、振幅の微分値に基づき抽出される、振幅画像の検査領域の候補の具体例を示した図である。図 1 6 に示されるように、振幅の微分値に基づき抽出される候補（点線 A 3 で囲まれた白抜きの領域）は、第 2 閾値に基づき抽出される候補（図 1 5 に示された点線 A 2 で囲まれた白抜きの領域）を含んでいる。

40

【 0 1 1 5 】

図 1 2 に戻り、検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 8 で抽出された各候補の面積を算出し、面積が小さい領域を、検査領域の候補から除外する（S 1 2 0 9）。なお、上記の S 1 2 0 4 の説明と同様、面積が小さい領域とは、面積が所定ピクセル未満の領域であり、たとえば、面積が 1 ピクセルまたは 2 ピクセル程度しかない領域である。

【 0 1 1 6 】

そして、検査領域決定部 1 0 5 は、S 1 2 0 9 の処理後の候補に対して、膨張処理および収縮処理をそれぞれ 1 回ずつ実行する（S 1 2 1 0）。これにより、上記の S 1 2 0 5 の説明と同様、数ピクセルしか離れていない複数の領域が 1 つの領域に結合されたり、領

50

域の外形などに表れる細かい凸凹が平滑化されたりする。

【0117】

上記のS1209およびS1210の処理により、S1208で抽出された検査領域の候補から、細かいノイズが除去される。以上の処理により、振幅画像の検査領域が決定される。

【0118】

図17は、実施形態における振幅画像の検査領域の具体例を示した図である。図17に示されるように、検査領域（点線Rで囲まれた白抜きの領域）は、微分値に基づき抽出される候補（図16に示された点線A3で囲まれた白抜きの領域）の途切れた部分を穴埋めしたり、細かい凸凹を平滑化したりしたものとなっている。

10

【0119】

なお、実施形態では、上記のS1206～S1210で説明したように、穴埋めや平滑化などといったノイズ除去が、第2閾値を用いた閾値処理と、微分値を用いた境界検出処理と、が実行された後に行われる。これにより、ノイズ除去がたとえば閾値処理と境界検出処理との間に行われる場合と異なり、閾値処理と境界検出処理との両方によってより拡張された領域に対して、穴埋めや平滑化などが行われる。この結果、検査領域が、1つのまとまった領域として検出され易くなる。

【0120】

図11に戻り、異常判定部106は、検査領域が有する特徴を抽出し、当該特徴を用いた多変量解析を実行することで、被検査体150の異常を判定する（S1106）。そして、異常判定部106は、S1106での異常判定処理の結果（判定結果）を、PC100が備える（図示しない）表示装置に出力する（S1107）。

20

【0121】

上記のS1107における判定結果の出力方法としては、たとえば、強度画像データを表示するとともに、振幅画像データと位相画像データとに基づいて異常が検出された領域に対応する、強度画像データの領域を、検査者が異常を認識できるように装飾表示する方法などが考えられる。なお、実施形態では、判定結果を視覚的に出力することに限らず、判定結果を音声などにより出力してもよい。

【0122】

上記のS1107の処理が終了すると、制御部103は、当該被検査体の検査が終了したか否かを判定する（S1108）。検査が終了していないと判定した場合（S1108：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の表面が、時間相関カメラ110で撮像できるように、アームの移動制御を行う（S1109）。アームの移動制御が終了した後、制御部103が、再び時間相関カメラ110に対して、撮像の開始指示を送信する（S1102）。

30

【0123】

一方、制御部103は、当該被検査体の検査が終了したと判定した場合（S1108：Yes）、終了指示を時間相関カメラ110に対して出力し（S1110）、処理を終了する。

【0124】

そして、時間相関カメラ110は、終了指示を受け付けたか否かを判定する（S1114）。終了指示を受け付けていない場合（S1114：No）、再びS1111から処理を行う。一方、終了指示を受け付けた場合（S1114：Yes）、処理が終了する。

40

【0125】

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。

【0126】

上記の説明では、振幅画像を用いて検査領域を決定する場合を例示した。しかしながら、実施形態では、振幅画像ではなく、位相画像を用いても、検査領域を決定することが可能である。

50

【 0 1 2 7 】

位相画像を用いた検査領域の決定手法は、振幅画像を用いた検査領域の決定手法と基本的に同様である。具体的に、位相画像を用いた検査領域の決定手法においても、大きさの異なる２種類の閾値を段階的に用いた２回の閾値処理と、微分値を用いた境界検出処理と、が実行される。

【 0 1 2 8 】

しかしながら、上記の式（９）で示されるように、位相画像の値 $P(x, y)$ は、 $-\pi \sim \pi$ の範囲に折り畳まれる。したがって、位相画像においては、画素値が $-\pi$ から π に、または π から $-\pi$ に不連続に変化する箇所が、周期的な縞として表れる。周期的に表れる縞の部分は、実際には、位相が定常的に変化する部分であるが、振幅画像で用いたような通常の手法で位相画像の微分値を計算すると、異常領域と正常領域との境界部分のみならず、周期的に表れる縞の部分まで、高い微分値を持つものとして計算されてしまう。

10

【 0 1 2 9 】

そこで、実施形態による検査領域決定部 105 は、複素数で表される複素時間相関画像の値の振幅成分を無視して位相成分のみを微分する位相限定微分（複素時間相関位相微分、複素位相微分）を実行することで、折り畳みの影響を無視した位相の微分値（位相限定微分値、複素位相微分値）を算出する。以下、位相限定微分値の算出方法についてより具体的に説明する。

【 0 1 3 0 】

位相限定微分値は、複素時間相関画像で得られる複素数の位相成分の、互いに直交する二方向（ x 方向および y 方向とする）の微分値の二乗和に基づいて算出される。より具体的に、処理対象の画素の値を $g(x, y)$ とした場合、 $g(x, y)$ および $g(x+1, y)$ の位相成分の差分（ x 方向の位相限定微分）と、 $g(x, y)$ および $g(x, y+1)$ の位相成分の差分（ y 方向の位相限定微分）と、の二乗和の平方根が、位相限定微分値として算出される。

20

【 0 1 3 1 】

詳細には、 x 方向の位相限定微分を $\partial \phi / \partial x$ 、 y 方向の位相限定微分を $\partial \phi / \partial y$ とした場合、位相限定微分値 $|\nabla \phi|$ は、次の式（200）で表すことができる。

【 0 1 3 2 】

【 数 9 】

$$|\nabla \phi| = \sqrt{(\partial \phi / \partial x)^2 + (\partial \phi / \partial y)^2} \quad \dots(200)$$

30

【 0 1 3 3 】

ここで、複素数を、振幅成分と位相成分とに分けた極形式で表した場合、位相成分は、指数部分に表れる。このため、複素数の位相成分の差分である位相限定微分 $\partial \phi / \partial x$ および $\partial \phi / \partial y$ は、複素数の除算に基づいて算出される。

【 0 1 3 4 】

つまり、複素数である $g(x, y)$ の位相成分を $\phi(x, y)$ とした場合、 $g(x, y)$ および $g(x+1, y)$ の位相成分の差分 $\partial \phi / \partial x$ は、下記の式（201）によって得られる。

40

【 0 1 3 5 】

$$\begin{aligned} \partial \phi / \partial x &= \phi(x+1, y) - \phi(x, y) \\ &= \arg [g(x+1, y) / g(x, y)] \quad \dots(201) \end{aligned}$$

【 0 1 3 6 】

同様に、複素数である $g(x, y)$ の位相成分を $\phi(x, y)$ とした場合、 $g(x, y)$ および $g(x, y+1)$ の位相成分の差分 $\partial \phi / \partial y$ は、下記の式（202）によって得られる。

【 0 1 3 7 】

$$\begin{aligned} \partial \phi / \partial y &= \phi(x, y+1) - \phi(x, y) \\ &= \arg [g(x, y+1) / g(x, y)] \quad \dots(202) \end{aligned}$$

50

【 0 1 3 8 】

なお、実施形態の検査システムで実際に用いられるデータは、振幅成分と位相成分とに分かれた極形式の複素数のデータではなく、当該複素数に対応する実部のデータおよび虚部のデータである。

【 0 1 3 9 】

したがって、実施形態では、上記の式 (2 0 1) における $g(x+1, y) / g(x, y)$ という計算の結果が、実部を表す C_r という値と、虚部を表す C_i という値と、の2つの値として出力される。そして、 $\partial \phi / \partial x$ は、これら2つの値に基づき、 $\arctan(C_i / C_r)$ という式によって計算される。同様に、実施形態では、上記の式 (2 0 2) における $g(x, y+1) / g(x, y)$ という計算の結果が、実部を表す C_r' という値と、虚部を表す C_i' という値と、の2つの値として出力される。そして、 $\partial \phi / \partial y$ は、これら2つの値に基づき、 $\arctan(C_i' / C_r')$ という式によって計算される。

10

【 0 1 4 0 】

以上説明したように、実施形態による検査領域決定部 1 0 5 は、複素時間相関画像の振幅成分（または位相成分）の値と、第1閾値との比較に基づいて、複素時間相関画像から、検査対象となる検査領域の第1候補（図 1 3 および図 1 4 参照）を抽出し、当該第1候補を拡張したものの振幅成分（または位相成分）の値と、第2閾値との比較に基づいて、検査領域の第2候補（図 1 5 参照）を抽出し、当該第2候補に基づいて、検査領域（図 1 7 参照）を決定する。これにより、基準の異なる2種類の閾値を用いた2段階の閾値処理に基づき、検査領域の分断や過検出などを発生させることなく、検査領域をより精度よく決定することができる。

20

【 0 1 4 1 】

以下、実施形態の変形例について説明する。

【 0 1 4 2 】

実施形態では、2種類の異なる閾値を用いた2段階の閾値処理を実行した上で、微分値を用いた境界検出処理を実行することで、検査領域を決定する例について説明した。しかしながら、実施形態では、必ずしも境界検出処理を実行しなくてもよい。すなわち、実施形態では、2段階の閾値処理のみを実行することで、検査領域を決定してもよい。

【 0 1 4 3 】

30

また、実施形態では、必ずしも2段階の閾値処理を実行しなくてもよい。すなわち、実施形態では、たとえば、1つの閾値を用いた1回の閾値処理を実行した上で、微分値を用いた境界検出処理を実行することで、検査領域を決定してもよい。

【 0 1 4 4 】

また、実施形態では、時間相関カメラ 1 1 0 を用いて生成された強度画像データと、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 1 1 0 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。たとえば、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。

40

【 0 1 4 5 】

（第1変形例）

実施形態では、周囲との違いに基づいて、異常に関連する特徴を検出する例について説明したが、周囲との違いに基づいて当該特徴を検出することに制限するものではない。たとえば、第1変形例として、参照形状のデータ（参照データ、たとえば、振幅画像データや位相画像データなどといった時間相関画像データ）との差異に基づいて当該特徴を検出する場合も考えられる。この場合、参照データの場合とで、空間位相変調照明（縞パター

50

ン)の位置合わせおよび同期が必要となる。

【0146】

第1変形例では、異常判定部106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振幅画像データおよび位相画像データと、被検査体150の振幅画像データおよび位相画像データと、を比較し、被検査体150の表面と参照表面との間で、光の振幅および光の位相とのうちいずれか一つ以上について所定の基準以上の違いがあるか否かを判定する。

【0147】

第1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。

【0148】

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を撮像し、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、振幅画像データおよび位相画像データを生成し、PC100の図示しない記憶部に振幅画像データおよび位相画像データを記憶させておく。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を撮像し、時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、振幅画像データおよび位相画像データを生成した後、記憶部に記憶されていた、正常な被検査体の振幅画像データおよび位相画像データと比較する。その際に、正常な被検査体の振幅画像データおよび位相画像データと、検査対象の被検査体の振幅画像データおよび位相画像データと、の比較結果を、異常を検出する特徴を示したデータとして出力する。そして、異常を検出する特徴が、当該所定の基準以上の場合に、被検査体150に対して異常があると推測できる。

【0149】

これにより、第1変形例では、正常な被検査体の表面と差異が生じているか否か、換言すれば、被検査体の表面に異常が生じているか否かを判定できる。なお、振幅画像データおよび位相画像データの比較手法は、どのような手法を用いてもよいので、説明を省略する。

【0150】

さらに、第1変形例では、参照表面の違いに基づいて、異常を検出する特徴を示したデータを出力する例について説明したが、参照表面の違いと、第1の実施形態で示した周囲との違いと、を組み合わせ、異常を検出する特徴を算出してもよい。組み合わせる手法は、どのような手法を用いてもよいので、説明を省略する。

【0151】

(第2変形例)

実施形態では、x方向に縞パターンを動かして、被検査体の異常(欠陥)を検出する例について説明した。しかしながら、x方向に垂直なy方向で急峻に法線の分布が変化する異常(欠陥)が被検査体に生じている場合、x方向に縞パターンを動かすよりも、y方向に縞パターンを動かす方が欠陥の検出が容易になる場合がある。そこで、第2変形例として、x方向に移動する縞パターンと、y方向に移動する縞パターンとを、交互に切り替える例について説明する。

【0152】

第2変形例の照明制御部102は、所定の時間間隔毎に、照明装置120に出力する縞パターンを切り替える。これにより、照明装置120は、一つの検査対象面に対して、異なる方向に延びた複数の縞パターンを出力する。

【0153】

図19は、第2変形例の照明制御部102が出力する縞パターンの切り替え例を示した図である。図19の(A)では、照明制御部102は、照明装置120が表示する縞パターンをx方向に遷移させる。その後、(B)に示されるように、照明制御部102は、照明装置120が表示する縞パターンをy方向に遷移させる。

10

20

30

40

50

【 0 1 5 4 】

そして、P C 1 0 0 の制御部 1 0 3 は、図 1 9 の (A) の縞パターン照射から得られた時間相関画像データに基づいて、異常検出を行い、図 1 9 の (B) の縞パターン照射から得られた時間相関画像データに基づいて、異常検出を行う。

【 0 1 5 5 】

図 2 0 は、第 2 変形例の照明制御部 1 0 2 が、異常 (欠陥) 2 0 0 1 を含めた表面に縞パターンを照射した例を示した図である。図 2 0 に示す例では、異常 (欠陥) 2 0 0 1 が、x 方向に延びている。この場合、照明制御部 1 0 2 は、x 方向に交差する y 方向、換言すれば異常 (欠陥) 2 0 0 1 の長手方向に交差する方向に縞パターンが移動するように設定する。当該設定により、検出精度を向上させることができる。

10

【 0 1 5 6 】

図 2 1 は、図 2 0 において y 方向、換言すれば異常 (欠陥) 2 0 0 1 の長手方向に直交する方向に縞パターンを変化させた場合における、異常 (欠陥) 2 0 0 1 とスクリーン 1 3 0 上の縞パターンの関係を示した図である。図 2 1 に示されるように、y 方向に幅が狭く、且つ当該 y 方向に交差する x 方向を長手方向とする異常 (欠陥) 2 0 0 1 が生じている場合、照明装置 1 2 0 から照射された光は、x 方向に交差する y 方向で光の振幅の打ち消しが大きくなる。このため、P C 1 0 0 では、y 方向に移動させた縞パターンに対応する振幅画像データから、当該異常 (欠陥) 2 0 0 1 を検出できる。

【 0 1 5 7 】

第 2 変形例の検査システムにおいて、被検査体に生じる欠陥の長手方向がランダムな場合には、複数方向 (例えば、x 方向、および当該 x 方向に交差する y 方向等) で縞パターンを表示することで、欠陥の形状を問わずに当該欠陥の検出が可能となり、異常 (欠陥) の検出精度を向上させることができる。また、異常の形状に合わせた縞パターンを投影することで、異常の検出精度を向上させることができる。

20

【 0 1 5 8 】

なお、実施形態の P C 1 0 0 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 C D - R O M 、フレキシブルディスク (F D) 、C D - R 、D V D (D i g i t a l V e r s a t i l e D i s k) 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。

【 0 1 5 9 】

また、実施形態の P C 1 0 0 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、実施形態の P C 1 0 0 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。

30

【 0 1 6 0 】

以上、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。

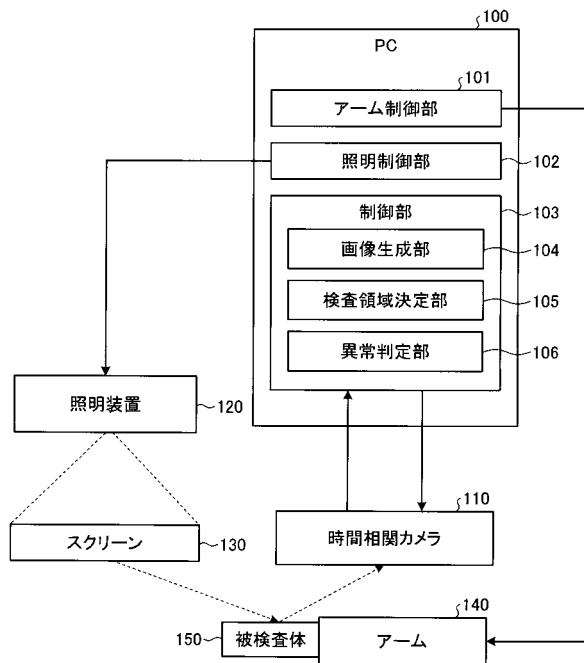
40

【 符号の説明 】

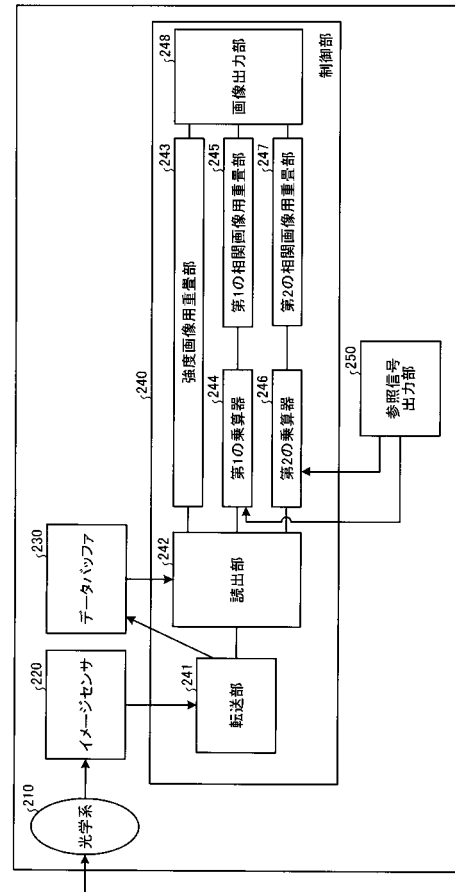
【 0 1 6 1 】

1 0 0 ... P C (検査システム) 、 1 0 4 ... 画像生成部 (画像取得部) 、 1 0 5 ... 検査領域決定部、 1 0 6 ... 異常判定部、 1 1 0 ... 時間相関カメラ、 1 2 0 ... 照明装置 (照明部) 、 1 3 0 ... スクリーン (照明部) 。

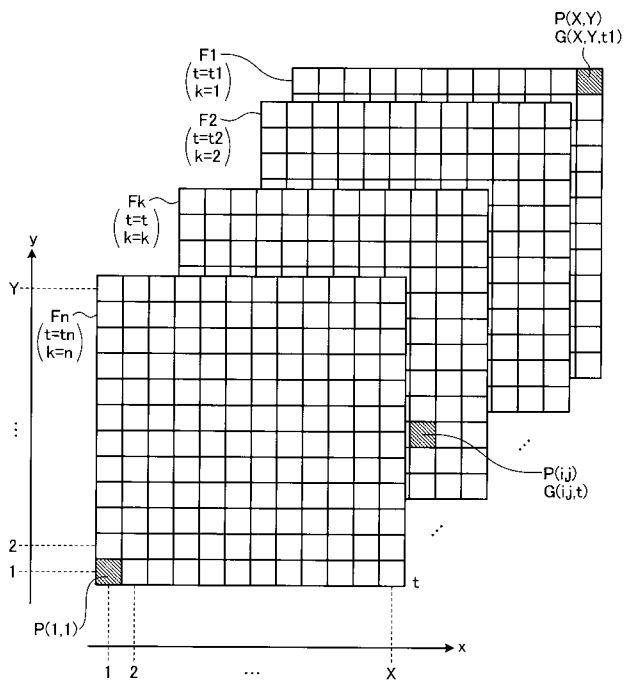
【図 1】



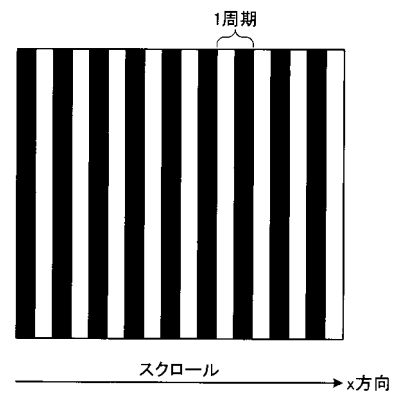
【図 2】



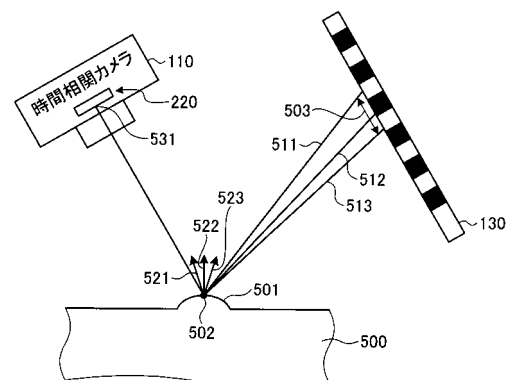
【図 3】



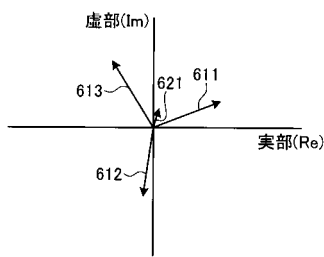
【図 4】



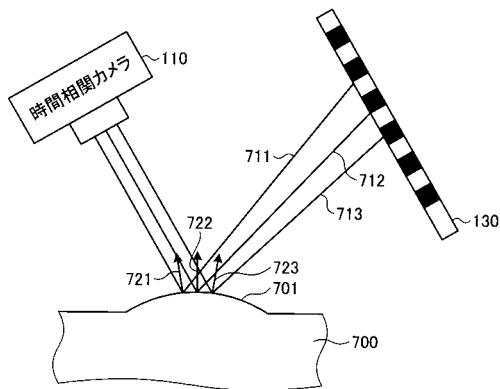
【図 5】



【図 6】



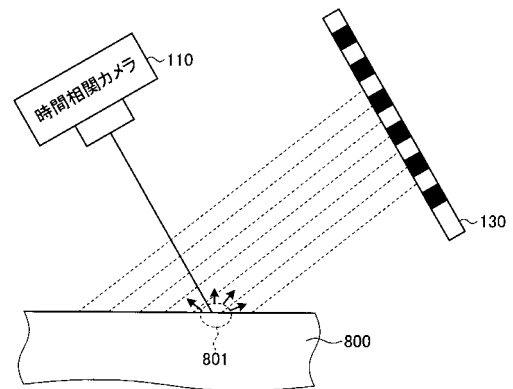
【図 7】



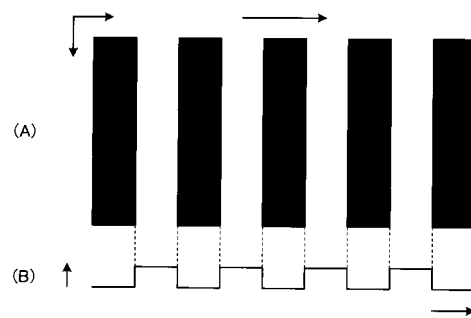
【図 10】



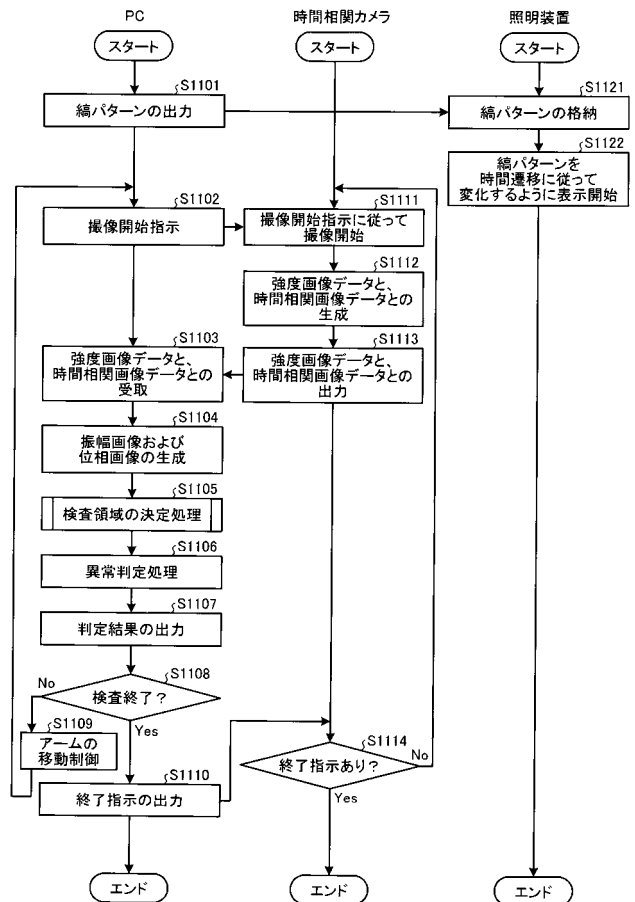
【図 8】



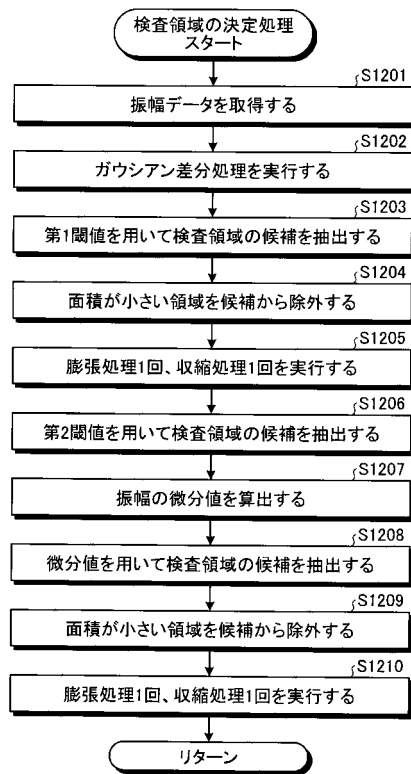
【図 9】



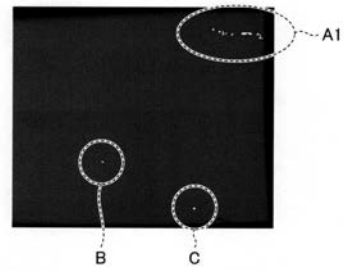
【図 11】



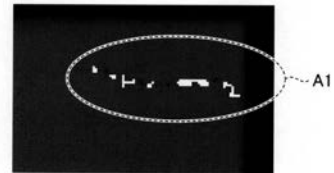
【図 1 2】



【図 1 3】



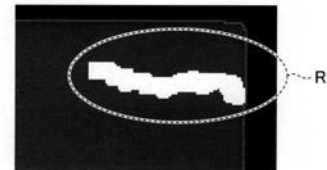
【図 1 4】



【図 1 5】



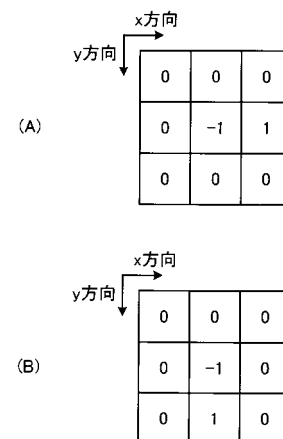
【図 1 7】



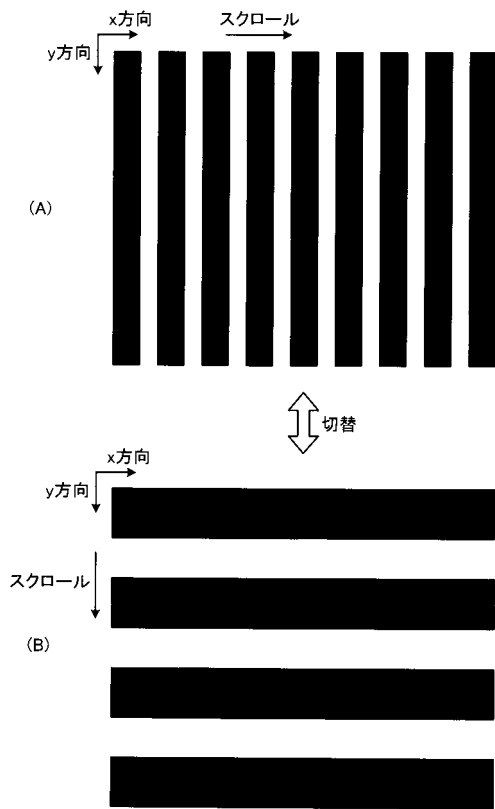
【図 1 6】



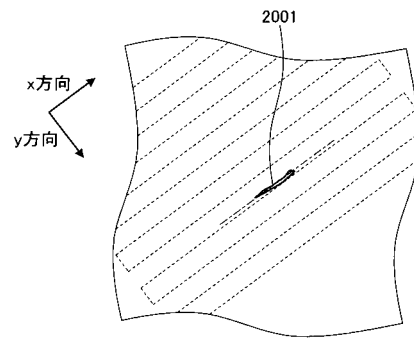
【図 1 8】



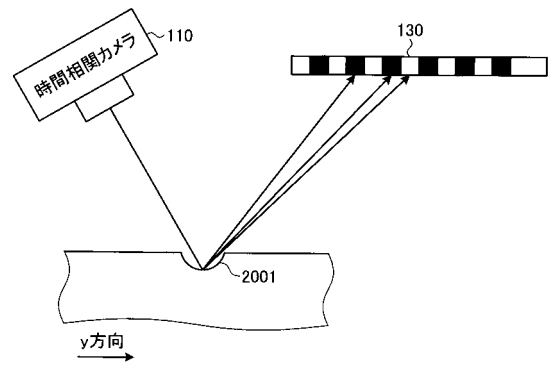
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G051 AB07 AB10 AC02 BA20 BB07 BC01 CA04 CB01 CD01 DA03
EA02 EA05 EA08 EA12 EA14 EA16 EA25 EB01 EC02 EC10
ED01 ED05 ED08
5L096 AA03 AA06 BA03 CA04 EA05 FA08 FA23 FA34 FA67 GA02
GA51 GA55 GA59 JA11