(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 10 月 8 日(08.10.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/152306 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 21/88 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/060274

(22) 国際出願日: 2015 年 3 月 31 日(31.03.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2014-074877 2014 年 3 月 31 日(31.03.2014) JP
特願 2014-243561 2014 年 12 月 1 日(01.12.2014) JP

(71) 出願人: 国立大学法人東京大学(THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号 Tokyo (JP). 公立大学法人高知工科大学(KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒7828502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口１８５番地 Kochi (JP).

(72) 発明者: 栗原 徹(KURIHARA, Toru); 〒7828502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口１８５番地 公立大学法人高知工科大学内 Kochi (JP). 安藤 繁(ANDO, Shigeru); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目３番１号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).

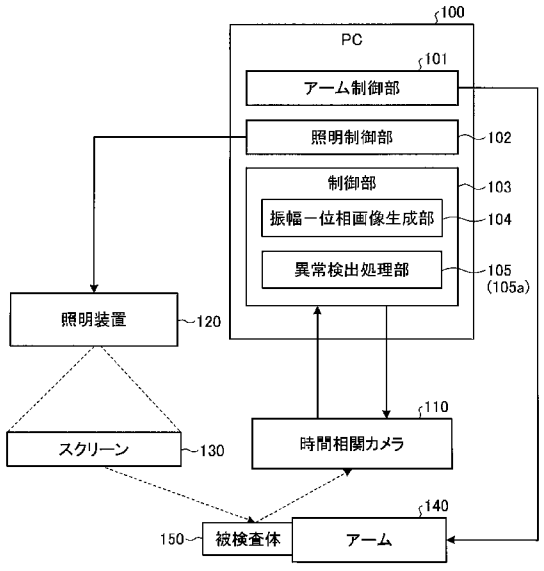
(74) 代理人: 酒井 宏明(SAKAI, Hiroaki); 〒1000013 東京都千代田区霞が関３丁目８番１号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) **Title**: INSPECTION SYSTEM AND INSPECTION METHOD

(54) 発明の名称 : 検査システムおよび検査方法



101 Arm control unit
102 Illumination control unit
103 Control unit
104 Amplitude/phase-image generation unit
105 Aberration-detecting processing unit
110 Time-correlation camera
120 Illumination device
130 Screen
140 Arm
150 Article under inspection

(57) **Abstract**: An inspection system in an embodiment is provided with the following: a planar illumination unit that temporally and spatially varies the intensity of light in a periodic manner; a time-correlation-image generation unit that generates a time-correlation image using a time-correlation camera or an imaging system that operates in a manner equivalent to a time-correlation camera; and an arithmetic processing unit that uses the time-correlation image to compute a characteristic that corresponds to the distribution of normal vectors to a surface under inspection and detects aberrations by detecting differences from surroundings and/or differences from a reference surface.

(57) 要約: 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、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によって時間相関画像を生成する時間相関画像生成部と、時間相関画像より、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、周囲との違いおよび参照表面との違いのうち少なくとも一方によって異常を検出する特徴を算出する、演算処理部と、を備えた。

WO 2015/152306 A1

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 検査システムおよび検査方法

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] 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。

[0003] その際に被検査体に照射する光の強度を周期的に変化させ、撮像された画像データの輝度変化に基づいて、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

[0004] 特許文献1：特開２０１４－２１２５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、従来技術においては光の強度を変化させているが、撮像された画像データには光の強度を変化させた際の時間の遷移に関する情報が含まれていない。このため、撮影された画像データで被検査体の異常を検出する際に、検出精度が低くなる可能性がある。

課題を解決するための手段

[0006] 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、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によって時間相関画像を生成する時間相関画像生成部と、時間相関画像より、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、周囲との違いおよび参照表面との違いのうち少なくとも一方によって異常を検出する特徴を算出する、演算処理部と、を備えた。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図１は、第１の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、第１の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、第１の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、第１の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、第１の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、第１の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、第１の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、第１の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、第１の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、第１の実施形態の異常検出処理部における振幅に基づく異常検出処理の手順を示すフローチャートである。

[図12]図１２は、第１の実施形態の異常検出処理部における、位相に基づく異常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、第１の実施形態の異常検出処理部における振幅および強度に基づく異常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、第１の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。

[図15]図１５は、変形例２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。

[図16]図１６は、変形例２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17]図１７は、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。

[図18]図１８は、変形例３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19]図１９は、第２の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20]図２０は、第２の実施形態の検査システムにおけるイメージセンサと、スクリーンと、被検査体の表面形状と、の対応関係を示した図である。

[図21]図２１は、第２の実施形態の検査システムの検査対象である、二階微分$f_{xx}<0$の場合の被検査体の表面形状の例を示した図である。

[図22]図２２は、第２の実施形態の検査システムの検査対象である、$f_{xx}>0$の場合の被検査体の表面形状の例を示した図である。

[図23]図２３は、縞パターンにおける縞幅を種々に変化させた場合の、ｇ／ｐを示すグラフである。

[図24]図２４は、第２の実施形態の検査システムが用いる、振幅比対応テーブルの例を示した図である。

[図25]図２５は、第３の実施形態の検査システムによる、被検査体の表面形状に合わせた縞パターンを、スクリーンから照射した例を示した図である。

[図26]図２６は、第３の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。

[図27]図２７は、第３の実施形態の照明装置がスクリーンに表示する縞パターンの例を示した図である。

[図28]図２８は、図２７の縞パターンを生成するための被検査体またはスクリーンの表面での初期の位相分布（空間位相分布）を明暗（濃淡）で表した

例を示した図である。

[図29]図２９は、球面状の被検査体上に投影された縞パターンであって、図２５で示したように、時間相関カメラからの視線では移動する平行な縞となる縞パターンの例を示した図である。

[図30]図３０は、第５の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る前の位相画像データの例を示した図である。

[図31]図３１は、図３０における位相の変化の例を示した概略図である。

[図32]図３２は、第５の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33]図３３は、第５の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34]図３４は、ラプラシアンフィルタの他の例を示した図である。

[図35]図３５は、ラプラシアンフィルタの他の例を示した図である。

[図36]図３６は、ラプラシアンフィルタの他の例を示した図である。

発明を実施するための形態

[0008] （第１の実施形態）

本実施形態の検査システムについて説明する。第１の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、ＰＣ１００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。

[0009] アーム１４０は、被検査体１５０を固定するために用いられ、ＰＣ１００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。

[0010] 照明装置１２０は、被検査体１５０に光を照射する装置であって、ＰＣ１００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。

[0011] 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。

[0012] なお、本実施形態は、照明装置１２０とスクリーン１３０とを組み合わせて、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。

[0013] 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。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。

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 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。

[0017] イメージセンサ２２０は、例えば従来の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），……，Ｐ（ｉ，ｊ），……，Ｐ

（Ｘ，Ｙ）とする（なお、本実施形態の画像サイズをＸ×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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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。

[0021] 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。

[0022] 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＝ｔ０，ｔ１，ｔ２，……，ｔｎ）毎の複数の光強度信号Ｇ（１，１，ｔ），……，Ｇ（ｉ，ｊ，ｔ），……，Ｇ（Ｘ，Ｙ，ｔ）の組み合わせで構成された複数のフレームＦｋ（ｋ＝１，２，……，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），……，Ｇ（ｉ，ｊ，ｔ），……，Ｇ（Ｘ，Ｙ，ｔ）で構成される。

[0023] 本実施形態の光強度信号（撮像信号）Ｇ（１，１，ｔ），……，Ｇ（ｉ，

ｊ，ｔ），……，Ｇ（Ｘ，Ｙ，ｔ）には、フレーム画像Ｆｋ（ｋ＝１，２，……，ｎ）を構成する各画素Ｐ（１，１），……，Ｐ（ｉ，ｊ），……，Ｐ（Ｘ，Ｙ）が対応づけられている。

[0024] 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。

[0025] 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），……，Ｇ（ｉ，ｊ，ｔ），……，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。

[0026] 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、時間相間カメラ１１０は、３種類の画像データを作成する。

[0027] 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。

[0028] 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、ｔ０とｔｎの

時間差とする。

[0029] [数1]

$$G(x,y)=\int_{t0}^{tn}G(x,y,t)dt \qquad \cdots (1)$$

[0030] 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を、画像出力部２４８に出力する。

[0031] 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。

[0032] 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こととした。

[0033] 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、時間相関画像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およびスクリーン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ともに、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。

[0034] 複素正弦波$e^{-j\omega t}$は、$e^{-j\omega t}$＝ｃｏｓ（ωｔ）－ｊ・ｓｉｎ（ωｔ）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。

[0035] [数2]

$$C(x,y)=\int_{t0}^{tn} G(x,y,t)\cdot e^{-j\omega t}\,dt = \int_{t0}^{tn} G(x,y,t)\cdot(\cos(\omega t)-j\cdot\sin(\omega t))\,dt \quad \cdots (2)$$

[0036] 本実施形態では、式（２）において、実数部を表す画素値Ｃ１（ｘ，ｙ）と、虚数部を表す画素値Ｃ２（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。

[0037] 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ｃｏｓωｔ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ｓｉｎωｔ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。

[0038] 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ｃｏｓωｔを乗算する。

[0039] 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。

[0040] [数3]

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

[0041] 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ｓｉｎωｔを乗算する。

[0042] 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。

[0043] [数4]

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

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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、例えば複数種類の幅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ωによる参照信号を出力可能とする。

[0047] 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、被写体に対して光を照射する必要がある。

[0048] 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。

[0049] 本実施形態では、時間相関カメラ１１０が強度画像データ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が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。

[0050] 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。

[0051] 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（ωｔ＋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０～２Ａ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。

[0052] 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。

[0053] ｆ（ｘ，ｙ，ｔ）＝Ａ（１＋ｃｏｓ（ωｔ＋ｋｘ））

＝Ａ＋Ａ／２｛ｅ$^{j(\omega t+kx)}$＋ｅ$^{-j(\omega t+kx)}$｝……（５）

[0054] 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。

[0055] 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。

[0056] 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が照射され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。

[0057] [数5]

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

[0058] 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。

[0059] [数6]

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

[0060] 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、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と、画素毎に入る光の位相変化を表した位相画像データと、を生成する。

[0061] さらに、ＰＣ１００は、生成した振幅画像データと位相画像データとに基づいて、被検査体の異常を検出する。

[0062] 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。

[0063] 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（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に入る縞パターンの幅

５０３が広くなる。

[0064] 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。

[0065] したがって、図６に示される状況で、検査体５００の異常５０１が撮像された領域で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５００の位置で異常５０１が生じていると判断できる。

[0066] 本実施形態の検査システムは、図５の異常５０１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１１０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７００に緩やかな勾配７０１が生じた状況とする。このような状況においては、勾配７０１上の法線ベクトル７２１、７２２、７２３も同様に緩やかに変化する。したがって、イメージセンサ２２０に入力する光７１１、７１２、７１３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７０１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１３０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７０１のために、スクリーン１３０から投影された光が平行の状態で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７０１によ

る異常を検出できる。

[0067] 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１１０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８００に汚れ８０１が付着しているため、照明装置１２０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１１０の、汚れ８０１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８０１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こ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。

[0068] このような場合、汚れ８０１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８００の位置に、汚れ等の異常８０１があることを推定できる。

[0069] 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。

[0070] 図１に戻り、ＰＣ１００について説明する。ＰＣ１００は、検出システム全体の制御を行う。ＰＣ１００は、アーム制御部１０１と、照明制御部１０２と、制御部１０３と、を備える。

[0071] アーム制御部１０１は、被検査体１５０の時間相関カメラ１１０による撮像対象となる表面を変更するために、アーム１４０を制御する。本実施形態では、ＰＣ１００において、被検査体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１１０が被検査体１５０の撮影が終了する毎に、アーム制御部１０１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影できるように、アーム１４０が被検査体１５０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１４０を駆動させてもよい。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うる。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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異常を検出する特徴を算出するための処理を行う。なお、本実施形態は、検査を行うために、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）の代わりに、複素数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を、時間相関カメラ１１０から受け取る。

[0078] 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と、時間相関画像データと、に基づいて、振幅画像データと、位相画像データと、を生成する。

[0079] 振幅画像データは、画素毎に入る光の振幅を表した画像データとする。位相画像データは、画素毎に入る光の位相を表した画像データとする。

[0080] 本実施形態は振幅画像データ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、振幅画像データの各画素値Ｆ（ｘ，ｙ）を導き出せる。

[0081] [数7]

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

[0082] そして、本実施形態では、振幅画像データの画素値（振幅）と、強度画像データの画素値と、に基づいて、異常が生じている領域があるか否かを判定できる。例えば、強度画像データの画素値（ＡＴ）を２で除算した値と、振幅画像データの振幅（打ち消し合いが生じない場合にはＡＴ／２となる）と、がある程度一致する領域は異常が生じていないと推測できる。一方、一致していない領域については、振幅の打ち消しが生じていると推測できる。なお、具体的な手法については後述する。

[0083] 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、位相画像データの各画素値Ｐ（ｘ，ｙ）を導き出せる。

[0084]

[数8]

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

[0085] 異常検出処理部１０５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、及び位相画像データにより、検査対称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。本実施形態では、法線ベクトルの分布に対応した特徴として、複素時間相関画像の振幅の分布を用いた例について説明する。なお、複素時間相関画像の振幅の分布とは、複素時間相関画像の各画素の振幅の分布を示したデータであり、振幅画像データに相当する。

[0086] 次に、本実施形態の異常検出処理部１０５における振幅に基づく異常検出処理について説明する。図１１は、本実施形態の異常検出処理部１０５における当該処理の手順を示すフローチャートである。

[0087] まず、異常検出処理部１０５は、振幅画像データ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×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。

[0088] 次に、異常検出処理部１０５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）。

[0089] さらに、異常検出処理部１０５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。

[0090] そして、異常検出処理部１０５は、平均を引いた振幅画素値が－４．５σ（σ：標準偏差）より小さい値の画素を、異常（欠陥）がある領域として検

出する（ステップＳ１１０４）。

[0091] 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、被検査体の異常を検出できる。しかしながら、本実施形態は、複素時間相関画像の振幅の分布から異常を検出することに制限するものではない。検査対称面の法線ベクトルの分布と対応した特徴として、位相の分布の勾配を用いてもよい。そこで、次に位相の分布の勾配を用いた例について説明する。

[0092] 次に、本実施形態の異常検出処理部１０５における位相に基づく異常検出処理について説明する。図１２は、本実施形態の異常検出処理部１０５における当該処理の手順を示すフローチャートである。

[0093] まず、異常検出処理部１０５は、位相画像データ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×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。

[0094] 次に、異常検出処理部１０５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）のある画素として検出する（ステップＳ１２０２）。

[0095] このステップＳ１２０２の検出結果により、異常検出処理部１０５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Ｓ１２０３）。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。

[0096] なお、他の手法によって得られた位相の分布の勾配から、異常を検出することができる。例えば、異常検出処理部１０５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×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）がある画素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を検出すればよい。

[0097] 次に、本実施形態の異常検出処理部１０５における振幅および強度に基づく異常検出処理について説明する。図１３は、本実施形態の異常検出処理部１０５における当該処理の手順を示すフローチャートである。

[0098] まず、異常検出処理部１０５は、時間相関画像データと強度画像データとから、各画素について、次の式（１００）を用いて、振幅（を表す画素値）Ｃ（ｘ，ｙ）（式（７）参照）と強度（を表す画素値）Ｇ（ｘ，ｙ）（式（６）参照）との比Ｒ（ｘ，ｙ）を算出する（ステップＳ１３０１）。

[0099] Ｒ（ｘ，ｙ）＝Ｃ（ｘ，ｙ）／Ｇ（ｘ，ｙ）……（１００）

[0100] 次に、異常検出処理部１０５は、比Ｒ（ｘ，ｙ）と閾値とを比較し、比Ｒ（ｘ，ｙ）の値が対応する閾値以下となる画素を、異常（欠陥）のある画素として検出する（ステップＳ１３０２）。また、異常検出処理部１０５は、比Ｒ（ｘ，ｙ）と閾値とを比較し、比Ｒ（ｘ，ｙ）の値が対応する別の閾値以上となる画素を、ムラ（汚れ等）のある画素として検出する（ステップＳ１３０３）。法線ベクトルの分布の異常により、振幅の打ち消し合い（減殺）が顕著となった場合には、強度に比べて振幅がより大きく下がる。一方、法線ベクトルの分布にはそれほどの異常は無いものの被検査体１５０の表面の汚れ等によって光の吸収が顕著となった場合には、振幅に比べて強度がより大きく下がる。よって、異常検出処理部１０５は、ステップＳ１３０２およびステップＳ１３０３による異常種別の検出が可能となる。

[0101] 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１４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。

[0102] 本実施形態のＰＣ１００が、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（ステップＳ１４０１）。

[0103] 照明装置１２０は、ＰＣ１００から入力された縞パターンを格納する（ス

テップＳ１４２１）。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Ｓ１４２２）。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。

[0104] そして、ＰＣ１００の制御部１０３が、時間相関カメラ１１０に対して、撮影の開始指示を送信する（ステップＳ１４０２）。

[0105] 次に、時間相関カメラ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Ｓ１４１１）。次に、時間相関カメラ１１０の制御部２４０が、強度画像データと、時間相関画像データと、を生成する（ステップＳ１４１２）。そして、時間相関カメラ１１０の制御部２４０が、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（ステップＳ１４１３）。

[0106] 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（ステップＳ１４０３）。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と時間相関画像データとから、振幅画像データと、位相画像データとを生成する（ステップＳ１４０４）。

[0107] そして、異常検出処理部１０５が、振幅画像データと、位相画像データとに基づいて、被検査体の異常検出制御を行う（ステップＳ１４０５）。そして、異常検出処理部１０５は、異常検出結果を、ＰＣ１００が備える（図示しない）表示装置に出力する（ステップＳ１４０６）。

[0108] 異常検出結果の出力例としては、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。

[0109] 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（ステップＳ１４０７）。検査が終了していないと判定した場合（ステップＳ１４

０７：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で撮影できるように、アームの移動制御を行う（ステップＳ１４０８）。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、撮影の開始指示を送信する（ステップＳ１４０２）。

[0110] 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（ステップＳ１４０７：Ｙｅｓ）、終了指示を時間相関カメラ１１０に対して出力し（ステップＳ１４０９）、処理を終了する。

[0111] 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（ステップＳ１４１４）。終了指示を受け付けていない場合（ステップＳ１４１４：Ｎｏ）、再びステップＳ１４１１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Ｓ１４１４：Ｙｅｓ）、処理を終了する。

[0112] 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。

[0113] また、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。

[0114]（変形例１）

本実施形態では、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く、参照形状のデータ（参照データ、例えば、時間相関データや、振幅画像データ、位相画像データ等）との差異に基づいて当該特徴を検出してもよい。この場合、参照データの場合とで、空間位相変調照明（縞パターン）の位置合わせおよび同期が必要となる。

[0115] 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振幅画像データ及び位相画像データと、被検査体１５０の振幅画像データ及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、光の振幅及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。

[0116] 本変形例は、第１の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。

[0117] 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、振幅画像データ及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及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、振幅画像データ及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及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及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及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。

[0118] これにより、本変形例では、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、振幅画像データ及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。

[0119] さらに、本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、を組み合わせて、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。

[0120] （変形例２）

第１の実施形態では、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、変形例では、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。

[0121] 本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。

[0122] 図１５は、本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１５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。

[0123] そして、ＰＣ１００の制御部１０３は、図１５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１５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。

[0124] 図１６は、本変形例の照明制御部１０２が、異常（欠陥）１６０１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１６に示す例では、

異常（欠陥）１６０１が、ｘ方向に延びている。この場合、照明制御部１０２は、ｘ方向に交差するｙ方向、換言すれば異常（欠陥）１６０１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。

[0125] 図１７は、ｙ方向、換言すれば欠陥１６０１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）１７０１とスクリーン１３０上の縞パターンの関係を示した図である。図１７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）１７０１が生じている場合、照明装置１２０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、ＰＣ１００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）を検出できる。

[0126] 本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、及び当該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。

[0127]（変形例３）

また、上述した変形例２は、ｘ方向の異常検出と、ｙ方向の異常検出と、を行う際に、縞パターンを切り替える手法に制限するものでない。そこで、変形例３では、照明制御部１０２が照明装置１２０に出力する縞パターンをｘ方向及びｙ方向同時に動かす例について説明する。

[0128] 図１８は、本変形例の照明制御部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１８に示される例では、照明制御部１０２が縞パターンを、方向１８０１に移動させる。

[0129] 図１８に示される縞パターンは、ｘ方向では１周期１８０２の縞パターンを含み、ｙ方向では一周期１８０３の縞パターンを含んでいる。つまり、図

１８に示される縞パターンは、幅が異なる交差する方向に延びた複数の縞を有している。なお、ｘ方向の縞パターンの幅と、ｙ方向の縞パターンの幅と、を異ならせる必要がある。これにより、ｘ方向に対応する時間相関画像データと、ｙ方向に対応する時間相関画像データと、を生成する際に、対応する参照信号を異ならせることができる。なお、縞パターンによる光の強度の変化の周期（周波数）が変化すればよいので、縞の幅を変化させるのに変えて、縞パターン（縞）の移動速度を変化させてもよい。

[0130] そして、時間相関カメラ１１０が、ｘ方向の縞パターンに対応する参照信号に基づいて、ｘ方向の縞パターンに対応する時間相関画像データを生成し、ｙ方向の縞パターンに対応する参照信号に基づいて、ｙ方向の縞パターンに対応する時間相関画像データを生成する。その後、ＰＣ１００の制御部１０３は、ｘ方向の縞パターンに対応する時間相関画像データに基づいて、異常検出を行った後、ｙ方向の縞パターンに対応する時間相関画像データに基づいて、異常検出を行う。これにより、本変形例では、欠陥の生じた方向を問わずに検出が可能となり、異常（欠陥）の検出精度を向上させることができる。

[0131] （第２の実施形態）

第１の実施形態では、照明装置１２０が、ｘ方向に縞の幅が一種類の縞パターンを表示する例について説明した。しかしながら、上述した実施形態はｘ方向の縞の幅を一種類に制限するものではなく、ｘ方向の縞の幅を複数種類にしてもよい。そこで、本実施形態では、ｘ方向の縞の幅を複数種類とする例について説明する。

[0132] 本実施形態は、被検査体の一つの検査対象面について、ｘ方向に縞の幅を複数種類用いて、換言すれば縞が異なる複数の縞パターンを用いて、被検査体で生じた異常が突形状か否かを判定する例とする。

[0133] 第２の実施形態の検査システムは、第１の実施形態の検査システムと同様の構成を備えているため、説明を省略する。次に、第２の実施形態の照明制御部１０２が出力する縞パターンについて説明する。

[0134] 図１９は、第２の実施形態の照明制御部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１９に示されるように、照明制御部１０２は、幅が異なる同一方向に延びた複数の縞を有する縞パターンを出力するよう制御する。

[0135] 図１９に示される例では、図１９の矩形波（Ａ）と、矩形波（Ｂ）と、を重畳した矩形波（Ｃ）に対応する縞パターン（Ｄ）が照明制御部１０２により出力される。本実施形態では、距離１９０１の間に、矩形波（Ａ）が１周する間に、矩形波（Ｂ）が８周する。

[0136] 本実施形態では、矩形波（Ｂ）で表される縞の数が、矩形波（Ａ）で表される縞の数の、偶数倍になるように設定されている。これは、矩形波には奇数倍の高調波成分が重畳されていることに基づくものであり、偶数倍にすることで高調波成分と干渉するのを抑止できる。

[0137] 複数種類の縞パターンを用いて解析処理を行う場合、複数種類間の縞パターンについて、適宜な縞幅の差があるのが好ましい。例えば、一方の縞の幅に対して、他方の縞の幅が６倍以上であれば好ましい解析結果が得られる。そこで、本実施形態では、例として、一方の縞の幅に対して、他方の縞の幅が８倍になるように設定した。

[0138] なお、本実施形態では、矩形波（Ａ）が１周するのに対して、矩形波（Ｂ）が８周する例について説明したが、このような例に制限するものではなく、矩形波（Ａ）と、矩形波（Ｂ）と、の周波数（周期）が異なっていればよい。

[0139] そして、照明装置１２０が、照明制御部１０２から出力された図１９で示されるような縞パターンを、スクリーン１３０を介して、被検査体１５０に対して照射する。これに伴い、時間相関カメラ１１０は、図１９に示される縞パターンの、被検査体からの反射光を撮影する。本実施形態の時間相関カメラ１１０は、撮影結果として、２系統分の時間相関画像データを生成する。

[0140] 具体的には、時間相関カメラ１１０は、矩形波（Ａ）の縞パターンに対応

する参照信号に基づいて、矩形波（Ａ）の縞パターンに対応する時間相関画像データを生成し、矩形波（Ｂ）の縞パターンに対応する参照信号に基づいて、矩形波（Ｂ）の縞パターンに対応する時間相関画像データを生成する。出力された２種類（２系統）の時間相関画像データと、強度画像データは、ＰＣ１００に出力される。なお、１種類の時間相関画像データ毎に、第１の実施の形態で示したように、実部と虚部との時間相関画像データを含んでいる。

[0141] その後、ＰＣ１００の制御部１０３は、矩形波（Ａ）の縞パターンに対応する時間相関画像データと、矩形波（Ｂ）の縞パターンに対応する時間相関画像データと、に基づいて、被検査体の異常検出を行う。

[0142] 本実施形態のＰＣ１００は、矩形波（Ａ）の縞パターンに対応する時間相関画像データと、矩形波（Ｂ）の縞パターンに対応する時間相関画像データと、を受け取ることで、第１の実施形態で示したような、位相の違いに基づく異常と振幅の違いに基づく異常との他に、被検査体の表面の形状を確認することが容易となる。

[0143] なお、本実施形態では、一つの縞パターンに複数種類の縞幅を重畳した例について説明するが、複数種類の縞幅を用いる手法として、重畳する手法に制限するものではなく、一つの検査対象面について幅が異なる複数の縞パターンを出力できればどのような手法を用いてもよく、例えば、幅が異なる複数の縞パターンを切り替えて表示するように制御してもよい。

[0144] 図２０は、本実施形態の検査システムにおけるイメージセンサ２２０と、スクリーン１３０と、被検査体の表面形状と、の対応関係を示した図である。図２０に示される例では、スクリーン１３０を介して照射される縞パターンがｘ方向に移動し、当該スクリーン１３０から照射された光が被検査体の表面形状２００１で反射して、イメージセンサ２２０に入るものとする。イメージセンサ２２０の画素２０１１の幅ｐとする。図２０で示す例では、被検査体の表面形状２００１のうち、当該座標２００２を中心に－ｐ／２～ｐ／２の領域１９０２で反射した光が、画素２０１１に入るものとする。ｘは

、空間位相変調照明（縞パターン）の移動方向（位相変化方向）、ｘ’は、ｘから距離Ｈ離れたｘと平行な方向である。スクリーン１３０およびイメージセンサ２２０は、このｘ’に沿って位置されているものとする。ｚ方向は、ｘ方向およびｘ’方向との直交方向である。ｎは、法線ベクトル、αは、計測対象位置のｘ方向の勾配（角度）であるとともに、ｚ方向と法線ベクトルとの角度、θ_0は、スクリーン１３０とｚ方向とのなす角度である。

[0145] ここで、ｘ方向の被検査体の表面形状をｆ（ｘ）と定義する。この場合、ｆ（ｘ）をテイラー展開した結果、以下の式（１０）で表すことができる。式（１０）において、被検査体の表面形状の初期位置f_0（オフセット）であり、被検査体の表面形状の曲率をＲ（＝１／f_{xx}）とする。f_{xx}は、ｆ（ｘ）の２階微分である。なお、f_x、f_{xxx}等については、シフト量に応じたスクリーン位置からの反射のみを考えればよいため省略できる。

$$f(x) = f_0 + 1/2\, f_{xx} x^2 \cdots (10)$$

[0146] 次に二階微分f_{xx}について説明する。図２１は、二階微分f_{xx}＜０の場合の被検査体の表面形状の例を示した図である。図２１に示されるように、二階微分f_{xx}＜０の場合、被検査体の表面形状２００１は、突形状となる。この場合、イメージセンサ２２０の各画素の幅より、当該画素に入る光を照射するスクリーン１３０の幅の方が広くなる。

[0147] 図２２は、f_{xx}＞０の場合の被検査体の表面形状の例を示した図である。図２２に示されるように、f_{xx}＞０の場合、被検査体の表面形状２００１は、窪み形状となる。この場合、イメージセンサ２２０の各画素の幅より、当該画素に入る光を照射するスクリーン１３０の幅が狭くなる。つまり、図２１，２２から、二階微分f_{xx}の正負を導出できれば、視認せずとも、被検査体の表面形状を把握できることがわかる。

[0148] 図２０に戻り、被検査体の座標２００２における表面形状の傾きαとした場合に以下の式（１１）の関係が成り立つ。

$$\tan\alpha = f_{xx} x \cdots (11)$$

[0149] 視線の反射角は、以下の式（１２）から算出できる。

[数9]

$$\tan(\theta_0+2\alpha)=\frac{\tan\theta_0+\tan 2\alpha}{1-\tan\theta_0\tan 2\alpha}=\frac{\gamma+\tan 2\alpha}{1-\gamma\tan 2\alpha}$$
$$=\frac{\gamma\left(1-\tan^2\alpha\right)+2\tan\alpha}{\left(1-\tan^2\alpha\right)-2\gamma\tan\alpha}$$
$$=\frac{\gamma\left(1-(f_{xx}x)^2\right)+2f_{xx}x}{\left(1-(f_{xx}x)^2\right)-2\gamma f_{xx}x} \quad \cdots (12)$$
$$\approx\gamma+2f_{xx}x+2\gamma^2f_{xx}x$$
$$=\gamma+2\left(1+\gamma^2\right)+f_{xx}x$$

[0150] なお、γはｔａｎθ$_0$である。ここで、式（１２）の左辺に含まれる（θ$_0$＋２α）は、表面形状２００１上の検査対象位置（図２０ではｘ＝０）に対応したイメージセンサ２２０からの視線に対応した検査対象位置でのｚ方向に対する反射角であり、位相と対応する（比例する）。また、式（１２）の右辺に含まれるｆ$_{xx}$ｘは、式（１１）より、ｔａｎαである。したがって、図２０から明らかであるとも言えるが、この式（１２）は、法線ベクトルｎを特徴づける角度αが、空間位相変調照明（縞パターン）の位相と対応することを示している。

[0151] 被検査体の表面形状の座標ｘに光を照射するスクリーン１３０の座標ｘ’は、以下の式（１３）で導出できる。なお、座標２００２のｘ軸方向の座標ｘ$_0$とする。距離Ｈは、座標２００２から、イメージセンサ２２０及びスクリーン１３０が配置された面までの距離とする。

ｘ’＝ｘ－Ｈｔａｎ（θ$_0$＋２α）…（１３）

[0152] 画素２０１１に入る複素相関画素値ｇは、スクリーン１３０から出力される位相ｅ$^{jkx'}$を画素２０１１の幅ｐで積分することで求められる。つまり、複素相関画素値ｇは、式（１４）から導出できる。なお、縞の波数ｋ＝２π／λとし、λを縞の幅とする。

[数10]

$$g=\int_{-p/2}^{p/2} e^{jkx'}dx=\int_{-p/2}^{p/2} e^{jk\left(-H\left(\gamma+2\left(1+\gamma^{2}\right)f_{xx}x\right)\right)}dx \quad \cdots (14)$$
$$=p\,\mathrm{sinc}\left(\frac{\pi p}{\lambda}\omega\right)e^{-jkH\tan\theta_0}$$

ここで、変数ｗは以下の式（１５）とする。

ｗ＝１－２Ｈ（１＋γ^{2}）ｆ$_{xx}$　…（１５）

[0153] 本実施形態の検査システムにおいては、照明装置１２０が複数種類の縞幅が重畳された縞パターンを照射した場合に、時間相関カメラ１１０が、２種類の縞幅に対応する２種類の時間相関画像データを、実部と虚部とに分けて生成する。そして、ＰＣ１００の振幅－位相画像生成部１０４は、入力された時間相関画像データから、縞幅毎に、振幅画像データと位相画像データとを生成する。

[0154] 図２３は、縞パターンにおける縞幅を種々に変化させた場合の、ｇ／ｐを示すグラフである。図２３の横軸はｗ、縦軸はｇ／ｐである。式（１５）から、ｗ＝１を境に、ｆ$_{xx}$＞０の場合とｆ$_{xx}$＜０の場合とが分かれることになる。ここで、変数ｗの値は、被検査体１５０の表面の法線ベクトルの分布および検査システムの位置関係（図２０）に変化が無ければ、被検査位置に応じた値となる。したがって、図２３から、縞の幅を変えた場合のそれぞれの結果としての複数のｇ／ｐの値を得て、それらの比率と合致する変数ｗを探すことにより、変数ｗの値、ひいてはｆ$_{xx}$の値を推定することが可能となることが、理解できる。

[0155] 具体的には、例えば、式（１４）から導出される次の式（１６）を用いる。

[数11]

$$\alpha=\frac{\mathrm{sinc}\left(\frac{k_2P}{2}W\right)}{\mathrm{sinc}\left(\frac{k_1P}{2}W\right)} \quad \cdots (16)$$

[0156] 変数αは、式（１４）の縞の幅が広い場合の複素相関画素値（振幅値）g_1と、縞の幅が狭い場合の複素相関画素値（振幅値）g_2と、の比g_2/g_1に相当する。なお、波数k_1，k_2については、$k_1<k_2$とする。

[0157] 図２４は、振幅比対応テーブルの例を示した図である。図２４に示される振幅比対応テーブルは、式（１６）を示している。図２４の横軸はｗであり、縦軸はαである。この振幅比対応テーブルは、予め制御部１０３内の（図示しない）記憶部に格納されているものとする。

[0158] ここで、特定の被検査位置（画素）について、縞幅を変えた結果に基づく次の式（１７）で示される値α_0を得る。

[数12]

$$\alpha_0 = \frac{\mathrm{sinc}\left(\frac{k_2 P}{2} W\right)}{\mathrm{sinc}\left(\frac{k_1 P}{2} W\right)} \quad \cdots (17)$$

そして、図２４に示されるように、式（１６）において、$\alpha=\alpha_0$を満たす変数ｗを得ることができる。二つの変数ｗのうち一方を選択できる条件下であれば、選択された変数ｗに基づいて、式（１５）から、f_{xx}を導出できる。これにより、例えば、被検査体１５０で生じた欠陥（異常）が、突形状であるか否かを判定することができる。このように、本実施形態では、複数種類の縞幅による縞パターンを用いることで、被検査体の検査精度を向上させることができる。

[0159] また、図２３から、各ｓｉｎｃ関数で、ｗ＞０の場合、最初のｇ／ｐが０となる変数ｗ（最初の横軸切片となるｗ）よりも変数ｗが大きい範囲であれば、ｇ／ｐの最大値に対する減少、すなわち振幅の打ち消し合いが検出されやすいことがわかる。ｓｉｎｃ関数が０となる条件から、式（１４）で、（π・ｐ・ｗ／λ）＞πとなればよく、次の式（１８）

ｐ・ｗ／λ＞１ … （１８）

を満たすよう、縞幅（すなわち空間位相変調照明の位相変化方向の周期長）

を設定すればよい。また、図２３から、実際には、変数ｗがさらにその半分程度でもｇ／ｐの差異による検出性は確保できると考えられるので、次の式（１９）

ｐ・ｗ／λ＞０．５　…　（１９）

を満たすよう、縞幅（すなわち空間位相変調照明の位相変化方向の周期長）を設定すればよい。

[0160]（第３の実施形態）

第１～第２の実施形態では、明暗が等間隔の縞パターンを、被検査体に照射する例について説明した。しかしながら、上述した実施形態は等間隔の縞パターンを照射することに制限するものではない。そこで、第３の実施形態では、被検査体の形状に合わせて、縞パターンの間隔を変更する例について説明する。

[0161] 検査システムにおいては、検査対象となる被検査体の形状を制限するものではないため、被検査体の表面形状としては様々な形状が考えられる。そして、本実施形態の検査システムのＰＣ１００は、被検査体を撮影する際に、アーム１４０を制御して、被検査体の表面が適切に検査できるように被検査体の位置を設定する。その際に、ＰＣ１００は、被検査体の表面に適した縞パターンを、照明装置１２０に対して、受け渡す。

[0162] 図２５は、被検査体２５０１の表面形状に合わせた縞パターンを、スクリーン１３０から照射した例を示した図である。図２５に示される例では、検査システムが被検査体２５０１の異常を検出するために、時間相関カメラ１１０に入力される縞パターンが等間隔であることが好ましい。このため、図２５に示される例のように、被検査体２５０１を反射した後の縞パターンが等間隔になるように、照明装置１２０がスクリーン１３０に対して縞パターンを照射する。

[0163] ＰＣ１００の記憶部では、被検査体２５０１の撮影対象となる表面毎に、対応する（反射した後に等間隔となる）縞パターンを記憶しておく。当該縞パターンは、被検査体２５０１の検査対象となる表面の傾きに応じて設定さ

れた縞パターンとする。例えば、当該表面で反射した後、時間相関カメラ１１０に入力される際に縞の幅がほぼ均等になるような縞パターンとする。

[0164] そして、ＰＣ１００が、被検査体２５０１の撮影対象となる表面をアーム１４０で変更させる毎に、当該表面の傾きに応じて設定された縞パターンを照明装置１２０に出力する。そして、照明装置１２０が入力された縞パターンの照射を開始する。これにより、被検査体２５０１の表面形状に適した縞パターンの照射を実現できる。

[0165] 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２６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。

[0166] 本実施形態のＰＣ１００が、照明装置１２０に対して、アームの位置に応じた縞パターンを出力する（ステップＳ２６０１）。つまり、本実施形態では、アームの位置に対応づけられた縞パターンが、当該アームに固定された被検査体の撮影対象となる表面形状に適した縞パターンとなる。

[0167] 照明装置１２０は、ＰＣ１００から入力された縞パターンを格納する（ステップＳ２６２１）。そして、照明装置１２０は、検査対象の初期位置に対応する縞パターンを、時間遷移に従って変化するように表示する（ステップＳ２６２２）。

[0168] その後、図１４で示したステップＳ１４０２～Ｓ１４０６、ステップＳ１４１１～Ｓ１４１３と同様の処理で、撮影から被検査体の異常検出結果の出力まで行われる（ステップＳ２６０２～Ｓ２６０６、ステップＳ２６１１～Ｓ２６１３）。

[0169] その後、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（ステップＳ２６０７）。検査が終了していないと判定した場合（ステップＳ２６０７：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で撮影できるように、アームの移動制御を行う（ステップＳ２６０８）。

[0170] ステップＳ２６０８のアームの移動制御が終了した後、制御部１０３が、再び、照明装置１２０に対して、アームの位置に応じた縞パターンを出力する（ステップＳ２６０１）。これにより、撮影対象となる表面が切り替わる毎に、出力する縞パターンを切り替えることができる。

[0171] 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（ステップＳ２６０７：Ｙｅｓ）、終了指示を時間相関カメラ１１０に対して出力し（ステップＳ２６０９）、処理を終了する。

[0172] 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（ステップＳ２６１４）。終了指示を受け付けていない場合（ステップＳ２６１４：Ｎｏ）、再びステップＳ２６１１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Ｓ２６１４：Ｙｅｓ）、処理を終了する。

[0173] 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。

[0174]（第４の実施形態）

上述した実施形態及び変形例では、照明装置１２０が直線状の縞パターンを表示する例について説明した。しかしながら、照明装置１２０が直線状の縞パターンを表示する場合に制限するものではなく、他の態様の縞パターンを表示してもよい。そこで、第４の実施形態では、上述した実施形態と異なる縞パターンを表示する例について説明する。

[0175] 図２７は、本実施形態の照明装置１２０がスクリーン１３０に表示する縞パターンの例を示した図である。図２７に示される縞パターンでは、発生点２７０１，２７０２（沸き出し点）で発生した縞パターンが、収束点２７０３（吸い込み点）に収束していくように表示される。図２７に示されるように、光の強度が所定の間隔で変化していれば、被検査体の異常（欠陥）を検出できる。次に縞パターンの生成手法について説明する。

[0176] 図２８は、図２７の縞パターンを生成するための被検査体１５０またはスクリーン１３０の表面での初期の位相分布ϕ_0（ｘ，ｙ）（空間位相分布）を明暗（濃淡）で表した例を示した図である。白い点（明るい点）の値がπ、

黒い点（暗い点）の値が－πである。図２８では、例えば、点２７０１での値をπ、点２７０２での値をπ／２、点２７０３（底点）での初値を－πとし、それらの点を拘束条件として、各点を頂点または底点とし各点からの距離に応じた例えば釣り鐘型の分布が生じるよう、初期の位相分布ϕ_0（ｘ，ｙ）を設定する。

[0177] 図２８の位相分布ϕ_0（ｘ，ｙ）に基づいて、図２７の縞パターンを生成する。頂点と底点との間の縞の数は、波数ｋによって調整することができる。この例では、波数ｋは、頂点と底点との間の縞の本数である。波数ｋを加味した位相分布φ（ｘ，ｙ）は、φ（ｘ，ｙ）＝ｋ・ϕ_0（ｘ，ｙ）となる。白黒の縞を形成する場合は、φ（ｘ，ｙ）の値によって二値化すればよい。具体的には、例えば、位相φ（ｘ，ｙ）が－πから０までの領域を暗領域、０からπまでの領域を明領域とすればよい。これにより、図２７に示されるような静止した縞パターンが得られる。静止した縞パターンは、Ｒ［$e^{j\phi(x,y)}$］と表せる。ここにＲ［］は、複素数の実部をとる演算である。動く縞パターンは、変調項$e^{j\omega t}$を乗算して、Ｒ[$e^{j\omega t}\cdot e^{j\phi(x,y)}$]と表せる。このように、動く縞パターンは、$e^{j\omega t}\cdot e^{j\phi(x,y)}$に基づいて生成することができる。ここで例示した位相分布φ（ｘ，ｙ）および縞パターンは、一例である。被検査体１５０の形状に応じた初期位相分布を適宜に設定することにより、任意の縞パターンを得ることができる。波数ｋは、検出する欠陥のサイズに応じて適切な値が設定されるものとする。

[0178] 図２８に示す例では、被検査体の表面における任意の点を、光強度が強い点２８０１，２８０２、及び光強度が弱い点２８０３と設定した。しかしながら、位相分布を生成する際に、光強度が強い点と、光強度が弱い点と、被検査体の表面形状に応じて設定することも考えられる。

[0179] 図２９は、球面状の被検査体１５０上に投影された縞パターンであって、図２５で示したように、時間相関カメラ１１０からの視線では移動する平行な縞となる縞パターンの例を示した図である。図２９の例では、左右方向では左側ほど傾斜（勾配）が大きく、上下方向では中央よりも上側および下側

に向かうほど傾斜（勾配）が大きい。本実施形態によれば、被検査体１５０の形状に応じた位相分布φ（ｘ，ｙ）を設定することにより、より適切な検査結果を得やすい縞パターンを得ることができる。ＣＡＤデータに基づいて位相分布φ（ｘ，ｙ）を設定することもできる。なお、被検査体１５０の立体形状を考慮した位相分布φ（ｘ，ｙ）から、当該被検査体１５０の表面における縞パターンを設定し、当該表面における縞パターンを座標変換等することにより、スクリーン１３０等の照明部における縞パターンを算出することができる。

[0180] （第５の実施形態）

上述した第１の実施形態では、複素時間相関画像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１２参照）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、第５の実施形態では、異常検出処理部１０５ａ（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。

[0181] 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、－π～π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、－πからπに、またはπから－π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。

[0182] 図３０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３０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３００１と、本来の検出対象である局所的な異常部分３００２とを含んでいる。

[0183] ここで、図３０に示すように、異常部分３００２における画素値の変化は、エッジ部分３００１における画素値の変化よりも小さい。したがって、図

３０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３００１がノイズとなって、異常部分３００２を検出することが容易でない。

[0184] また、図３１は、図３０における位相の変化の例を示した概略図である。図３１に示すように、局所的な異常部分３００２では、位相が急峻に変化している一方、異常部分３００２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３００２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。

[0185] そこで、第５の実施形態では、異常検出処理部１０５ａ（図１参照）は、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、振幅およ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。

[0186] 一例として、図３２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ついて説明する。この図３２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３２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。

[0187] 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、振幅およ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３２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_ω（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。

[0188] 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_ω（ｉ－１，ｊ－１），g_ω（ｉ－１，ｊ），g_ω（ｉ－１，ｊ＋１），g_ω（ｉ，ｊ－１），g_ω（ｉ，ｊ＋１），g_ω（ｉ＋１，ｊ－１），g_ω（ｉ＋１，ｊ），g_ω（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。

[0189] 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。

[0190] 上記の３つの演算を式で表すと、下記の式（１８）～（２０）のようになる。

[0191] [数13]

$$h(i,j)=g_\omega(i,j)^9 \qquad \cdots (18)$$

[数14]

$$k(i,j)=\prod_{l=-1}^{1}\prod_{m=-1}^{1}g_\omega(i+l,j+m) \qquad \cdots (19)$$

[数15]

$$c(i,j)=\arg\left(\frac{h(i,j)}{k(i,j)}\right) \qquad \cdots (20)$$

[0192] ここで、式（１８）においてg_ω（ｉ，ｊ）を８乗ではなく９乗している理由は、式（１９）における乗算にg_ω（ｉ，ｊ）が含まれているからである。これにより、式（１８）の値を式（１９）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_ω（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（２０）では、式（１８）の値を式（１９）の値で割った後、位相のみ（ａｒｇ）を取り出している。

[0193] 以上の式（１８）～（２０）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を算出することができる。

[0194] 一例として、図３０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を図３３に示す。図３３の位相画像データには、図３０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３２０２のみが現れている。したがって、図３３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３２０２を容易に検出することができる。

[0195] つまり、第５の実施形態の異常検出処理部１０５ａ（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、検査対象の異常部分３２０２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。

[0196] なお、上述した位相限定ラプラシアンを用いた異常検出は、たとえばメタリック塗装が施された表面の異常検出に有効である。メタリック塗装では、鏡面反射する微粒子がランダムにばらまかれているため、照明角度がわずかに変化するだけで、撮像した際の輝度値の分布が大きく変化する。このため、通常の異常検出手法では、たとえばひっかき傷のような位相の勾配が急峻に変化する欠陥部と、微粒子によるランダムな輝度値の変化と、の違いを識別することが容易でない。

[0197] しかしながら、第５の実施形態の検査システムでは、微粒子によるランダムな輝度値の変化を、位相の変化ではなく、振幅の変化として検出する。そ

して、第５の実施形態の異常検出処理部１０５ａは、位相限定ラプラシアンを用いて、位相の変化（位相の勾配の変化）のみに着目して異常を検出するため、微粒子によるランダムな輝度値の変化にかかわらず、位相が急峻に変化する欠陥部を検出することができる。

[0198] なお、上記では、欠陥部として、ひっかき傷のような、位相が急峻に変化する欠陥部を例示したが、位相の変化として検出できる欠陥部であれば、欠陥部がひっかき傷以外のものであってもよい。また、上記では、検査対象として、メタリック塗装された物体を例示したが、表面形状が定まっている物体であれば、検査対象がメタリック塗装された物体以外のものであってもよい。

[0199] さらに、上記では、図３２の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を用いる例について説明した。しかしながら、他の例として、図３４～図３６に示すような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を用いてもよい。

[0200] ここで、図３４は、処理対象の画素と、処理対象の画素の上下および左右に隣接する４個の画素との差分をとるための、いわゆる４近傍ラプラシアンフィルタである。また、図３５および図３６は、図３２および図３４に示した３×３のラプラシアンフィルタとは異なる、５×５のラプラシアンフィルタの例を示している。５×５のラプラシアンフィルタでは、処理対象の画素の周囲に隣接する８個の画素に加えて、それら８個の画素の周囲にさらに隣接する１６個の画素の情報も考慮されるので、たとえば３×３のラプラシアンフィルタに比べて、より精度の高い２階微分処理を実行することができる。

[0201] 上記の図３２、および図３４～図３６のラプラシアンフィルタを含む一般的な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は、下記の式（２１）～（２３）で表される。

[0202]

[数16]

$$a(i,j)=\prod_{k,l\in P} g_{\omega}(i+k,j+l)^{M(k,l)} \quad \cdots (21)$$

[数17]

$$b(i,j)=\prod_{k,l\in N} g_{\omega}(i+k,j+l)^{N(k,l)} \quad \cdots (22)$$

[数18]

$$c(i,j)=\arg\left(\frac{a(i,j)}{b(i,j)}\right) \quad \cdots (23)$$

[0203] 式（２１）は、フィルタ係数が正となる画素の集合Ｐのそれぞれの画素値をフィルタ係数で重み付けしたものを掛け合わせる、すなわちフィルタ係数で重み付けした位相の総和をとるための式である。この式（２１）において、Ｍ（ｋ，ｌ）は、処理対象の画素の位置を（ｉ，ｊ）とした場合における、位置（ｉ＋ｋ，ｊ＋ｌ）の画素に対応するフィルタ係数（正の値）である。

[0204] また、式（２２）は、フィルタ係数が負となる画素の集合Ｎのそれぞれの画素値をフィルタ係数で重み付けしたものを掛け合わせる、すなわちフィルタ係数で重み付けした位相の総和をとるための式である。この式（２２）において、Ｎ（ｋ，ｌ）は、処理対象の画素の位置を（ｉ，ｊ）とした場合における、位置（ｉ＋ｋ，ｊ＋ｌ）の画素に対応するフィルタ係数（負の値）の符号を反転させたものである。

[0205] そして、式（２３）は、式（２１）の値を式（２２）の値で割ることにより、フィルタ係数が正となる画素の集合Ｐのフィルタ係数で重み付けした位相の総和と、フィルタ係数が負となる画素の集合Ｎのフィルタ係数で重み付けした位相の総和との差分をとり、その差分を取り出すための式である。

[0206] 上述した位相限定ラプラシアンは、時間相関カメラ１１０で撮像した時間相関画像以外にも適用可能である。つまり、位相限定ラプラシアンは、振幅

および位相を含む複素数で表現される画素値を有する複素画像の異常を検出するための特徴として、複素画像の位相の分布の勾配の変化に着目する場合に有益である。

[0207] たとえば、Ｒ（赤）、Ｇ（緑）、およびＢ（青）の３色のインクが混ざり合って形成されるカラー画像における色相の違い、すなわち３色のインクの混ざり具合の違いを検出する場合に、位相限定ラプラシアンが有益である。つまり、カラー画像を複素数で表現すると、色相は、位相に対応するので、カラー画像に位相限定ラプラシアンを用いた処理を実行すれば、色相以外の明度および彩度の違いに影響を受けず、色相の違いのみを検出することができる。

[0208] また、位相限定ラプラシアンは、電磁波を用いて地上を撮像するシステムや、光音響画像を撮像するシステムなどにおける検査にも有益である。

[0209] 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。

[0210] 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。

[0211] 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、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

[0212] １００…ＰＣ、１０１…アーム制御部、１０２…照明制御部、１０３…制御部、１０４…振幅－位相画像生成部、１０５，１０５ａ…異常検出処理部、１１０…時間相関カメラ、１２０…照明装置、１３０…スクリーン、１４０…アーム、２１０…光学系、２２０…イメージセンサ、２３０…データバッファ、２４０…制御部、２４１…転送部、２４２…読出部、２４３…強度画像用重畳部、２４４…第１の乗算器、２４５…第１の相関画像用重畳部、２４６…第２の乗算器、２４７…第２の相関画像用重畳部、２４８…画像出力部、２５０…参照信号出力部。

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、

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によって時間相関画像を生成する時間相関画像生成部と、

前記時間相関画像より、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、周囲との違いおよび参照表面との違いのうち少なくとも一方によって異常を検出する特徴を算出する、演算処理部と、

を備えた検査システム。

[請求項2] 前記時間相関画像生成部は、複素時間相関画像を生成し、

前記特徴は、前記複素時間相関画像の位相の分布に対応する、請求項１に記載の検査システム。

[請求項3] 前記特徴は、前記位相の分布の勾配である、請求項２に記載の検査システム。

[請求項4] 前記特徴は、前記複素時間相関画像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得られた前記位相の分布の勾配の変化である、請求項３に記載の検査システム。

[請求項5] 前記特徴は、検査対象面の法線ベクトル分布の勾配に対応する請求項２に記載の検査システム。

[請求項6] 前記時間相関画像生成部は、複素時間相関画像を生成し、

前記特徴は、前記複素時間相関画像の振幅の分布に対応する、請求項１～５のうちいずれか一つに記載の検査システム。

[請求項7] 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によって強度画像が得られ、

前記特徴は、前記振幅と前記強度との比の分布である、請求項６に記載の検査システム。

[請求項8] 振幅および位相を含む複素数で表現される画素値を有する複素画像の異常を検出するための特徴として、前記複素画像に位相限定ラプラ

シアンを用いた処理を施すことによって得られた前記複素画像の位相の分布の勾配の変化を算出する演算処理部、

を備えた検査システム。

[請求項9] 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で照らされた被検査体について、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によって時間相関画像を生成し、

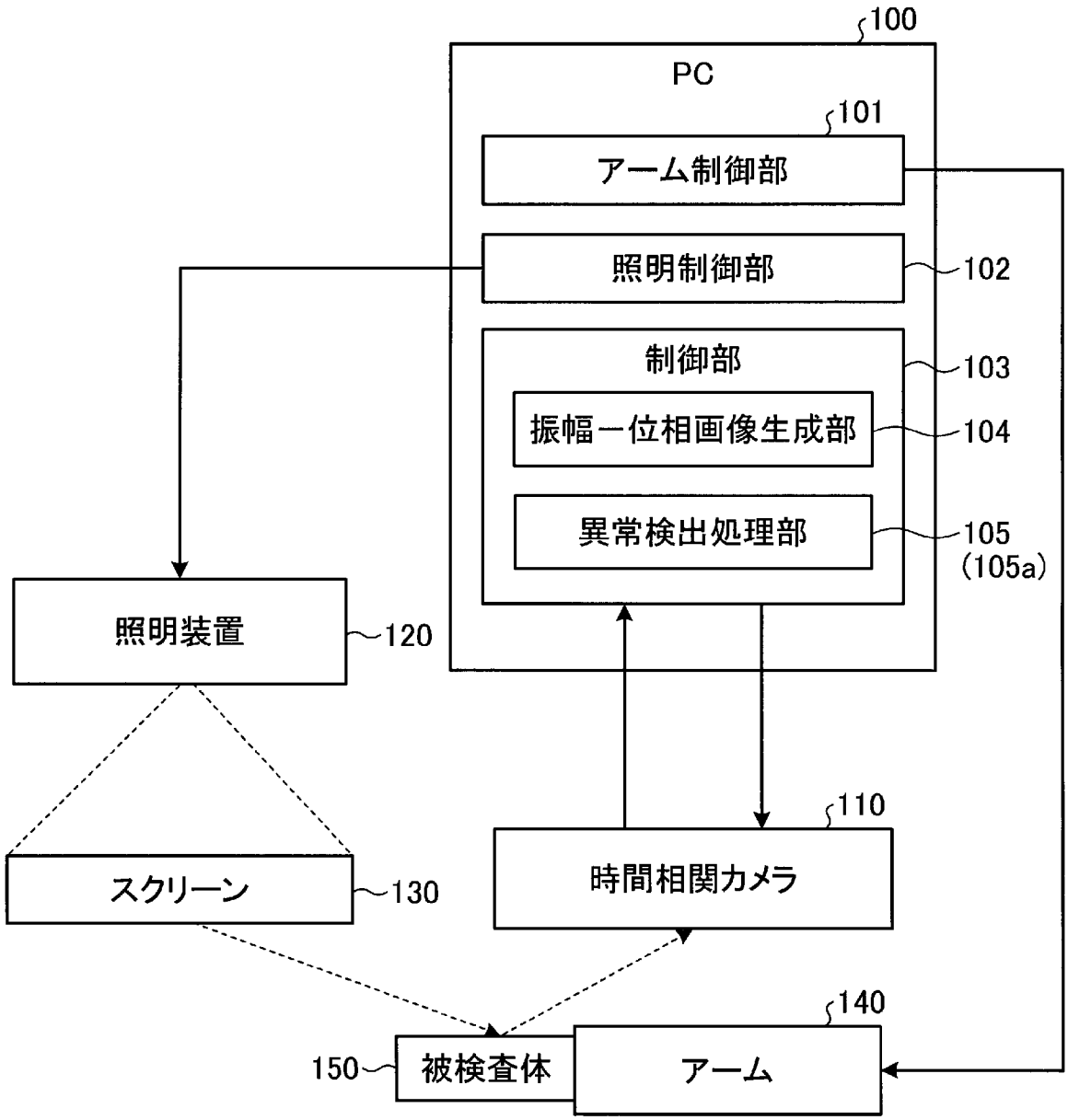
前記時間相関画像より、検査対象面の法線ベクトルの分布と対応した特徴であって、周囲との違いおよび参照表面との違いのうち少なくとも一方によって異常を検出する特徴を算出する、

検査方法。

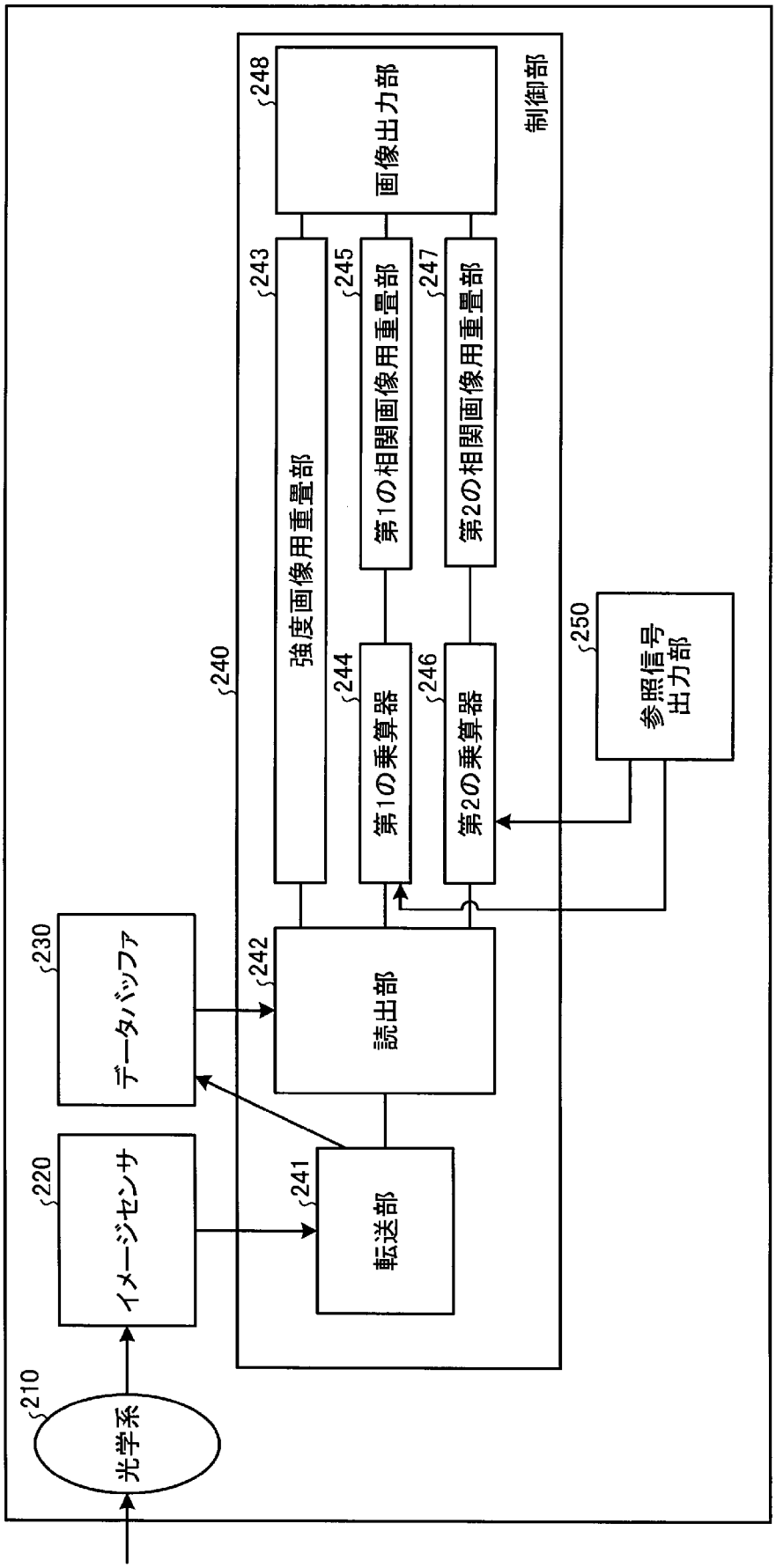
[請求項10] 振幅および位相を含む複素数で表現される画素値を有する複素画像の異常を検出するための特徴として、前記複素画像に位相限定ラプラシアンを用いた処理を施すことによって得られた前記複素画像の位相の分布の勾配の変化を算出する、

検査方法。

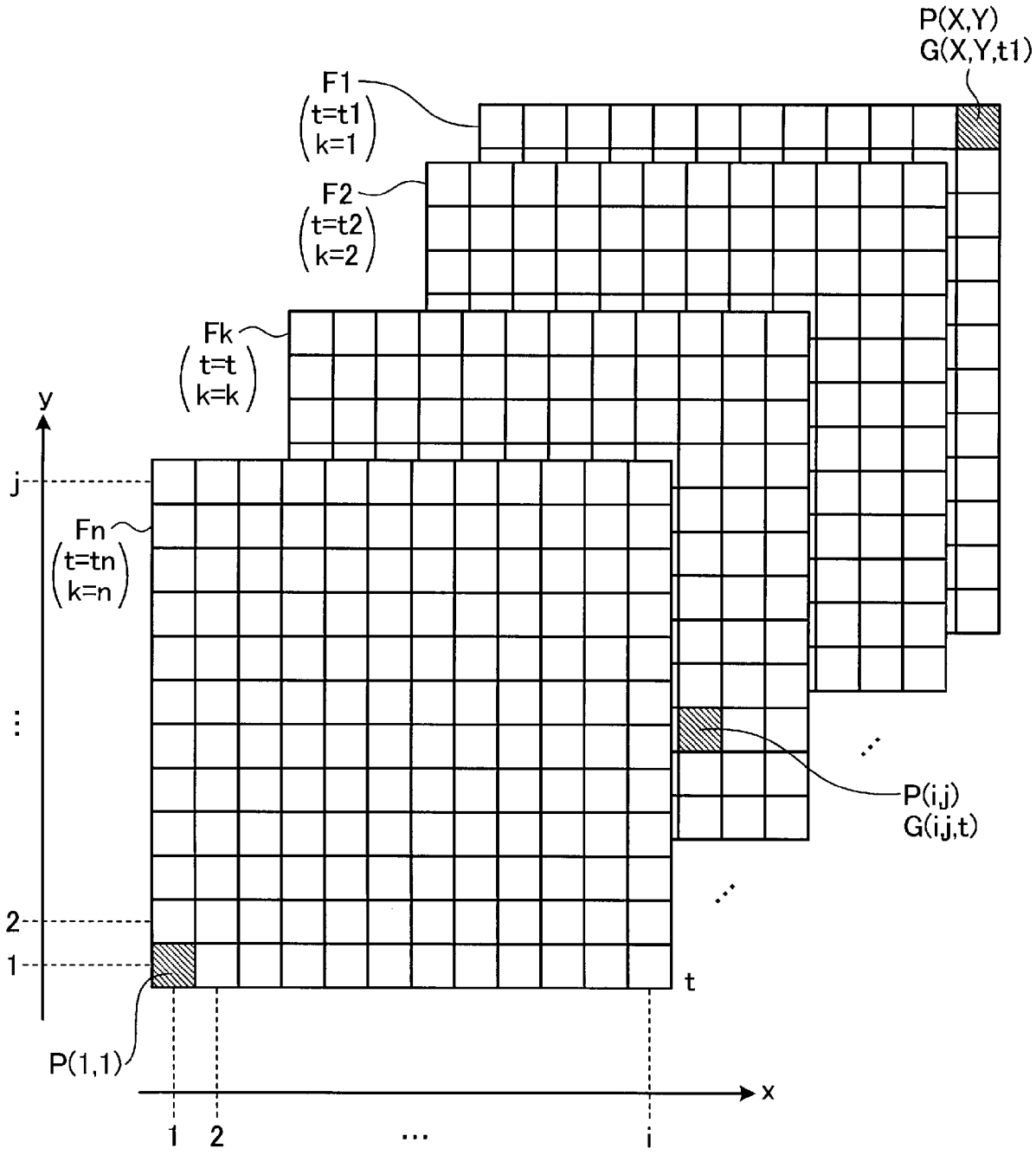
[図1]


100
PC
101
アーム制御部
照明制御部
102
制御部
103
振幅一位相画像生成部
104
異常検出処理部
105
(105a)
照明装置
120
スクリーン
130
110
時間相関カメラ
140
150
被検査体
アーム

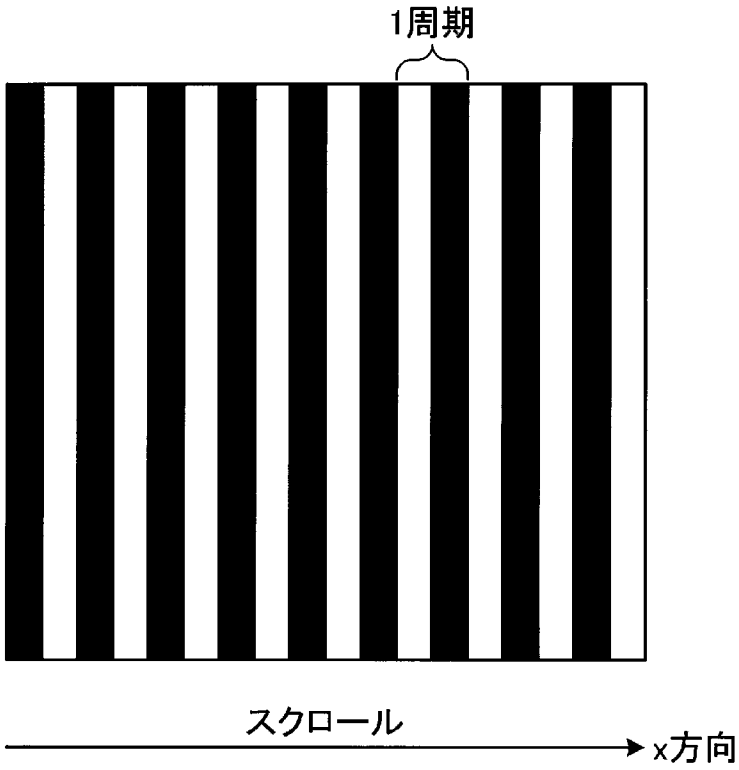
[図2]


光学系
210
イメージセンサ
220
データバッファ
230
240
制御部
転送部
241
読出部
242
強度画像用重畳部
243
第1の乗算器
244
第1の相関画像用重畳部
245
第2の乗算器
246
第2の相関画像用重畳部
247
画像出力部
248
参照信号出力部
250

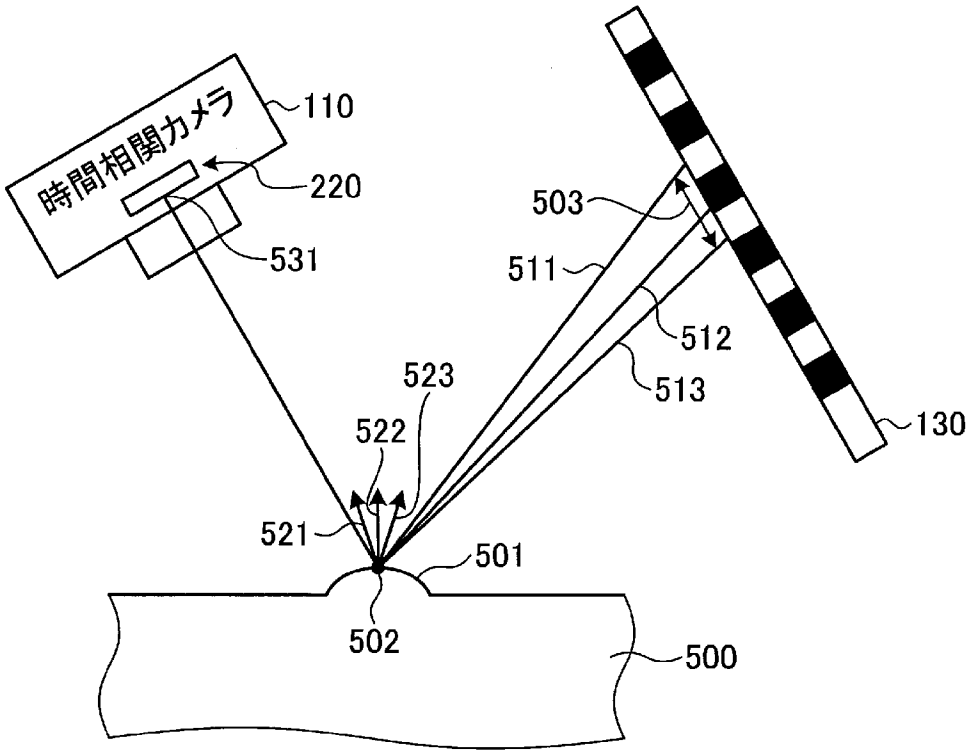
[図3]


P(X,Y)
G(X,Y,t1)
F1
(t=t1
k=1)
F2
(t=t2
k=2)
Fk
(t=t
k=k)
Fn
(t=tn
k=n)
y
j
2
1
P(1,1)
P(i,j)
G(i,j,t)
t
x
1
2
i

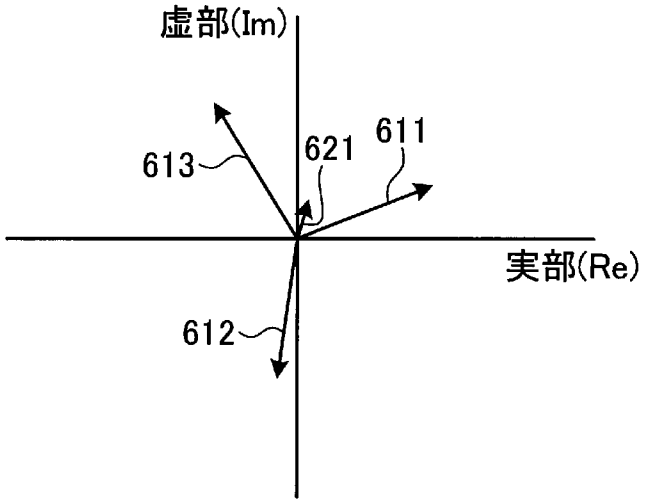
[図4]


1周期
スクロール
x方向

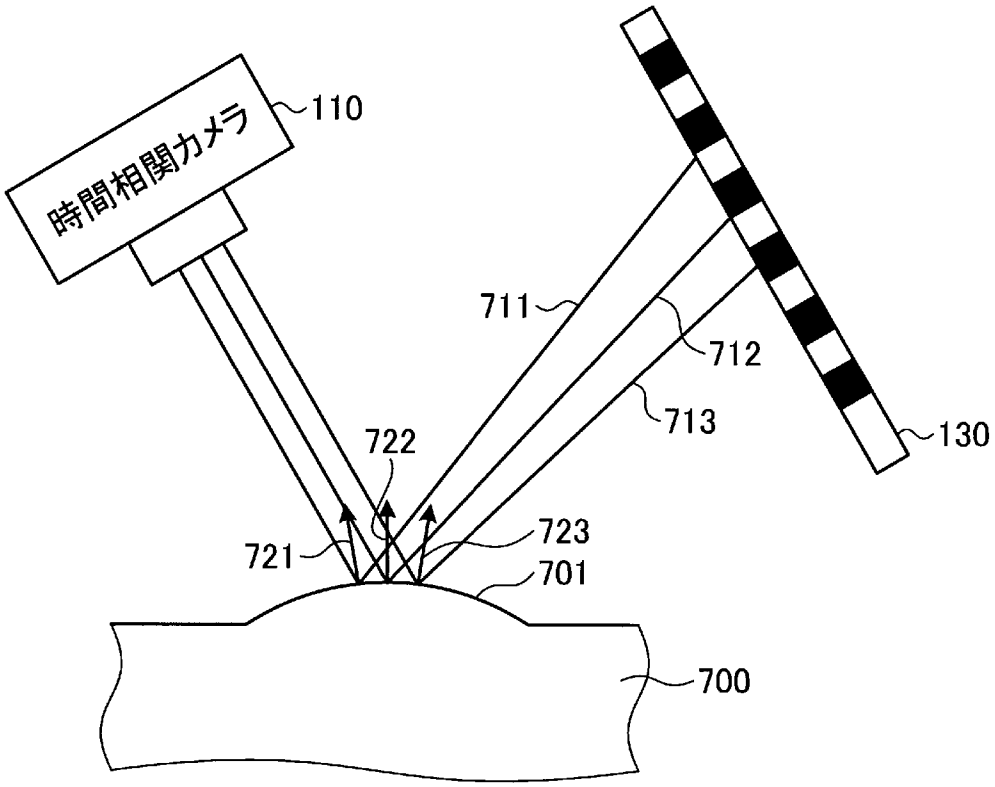
[図5]


時間相関カメラ
110
220
531
503
511
512
513
523
522
521
501
502
500
130

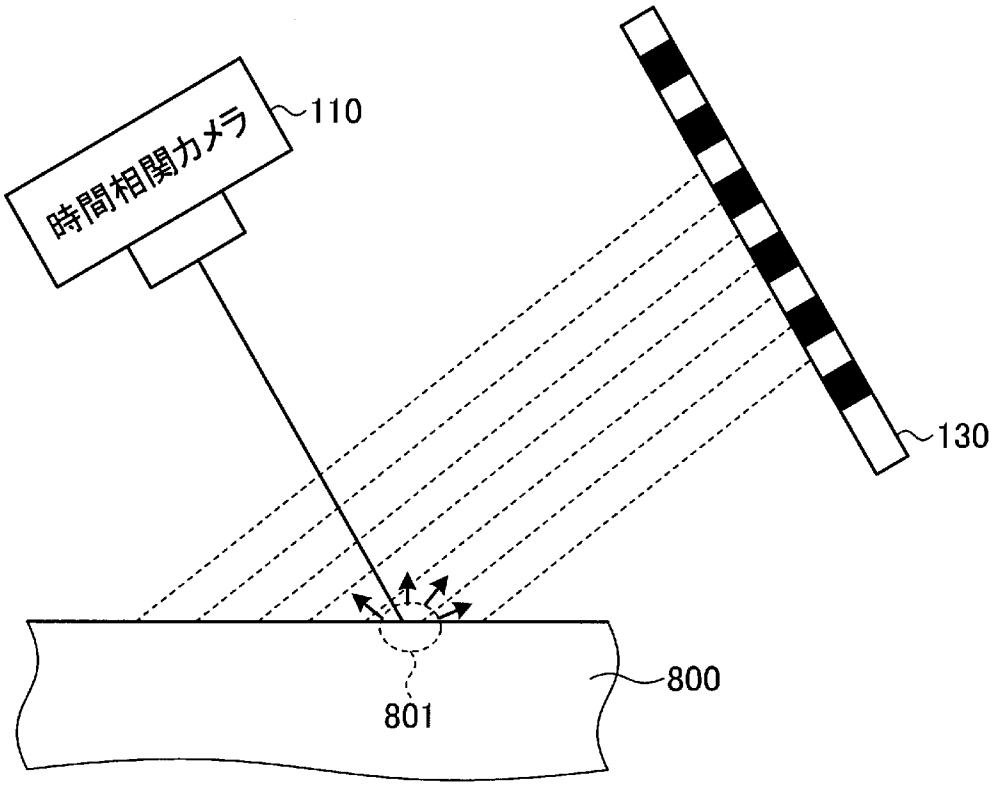
[図6]


虚部(Im)
613
621
611
実部(Re)
612

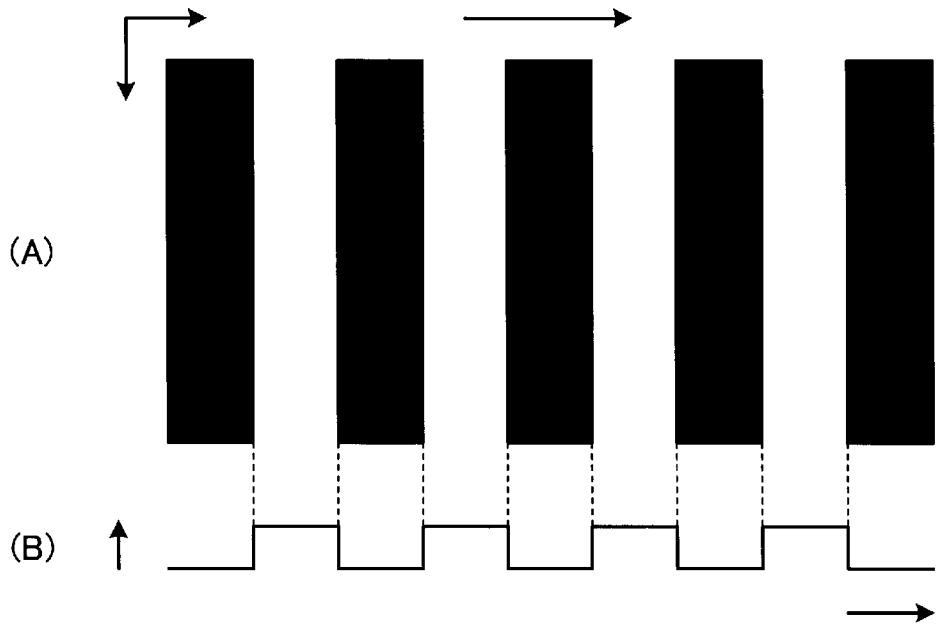
[図7]


時間相関カメラ
110
711
712
713
130
722
721
723
701
700

[図8]



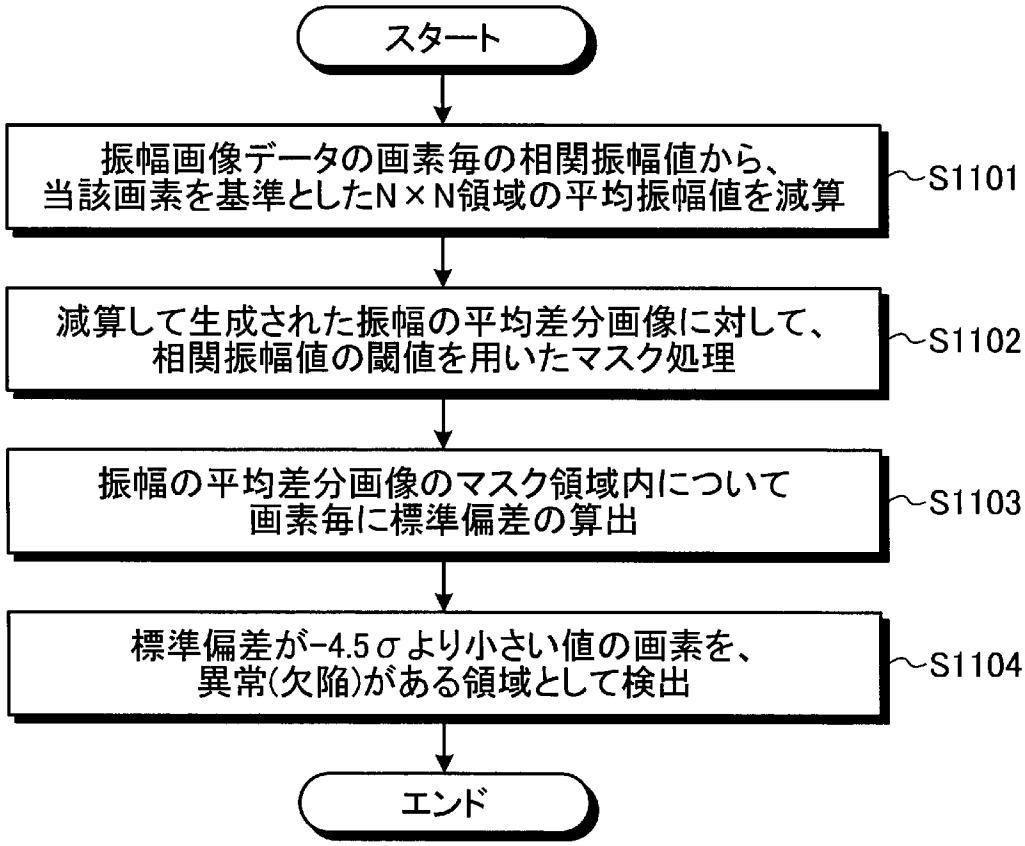
[図9]



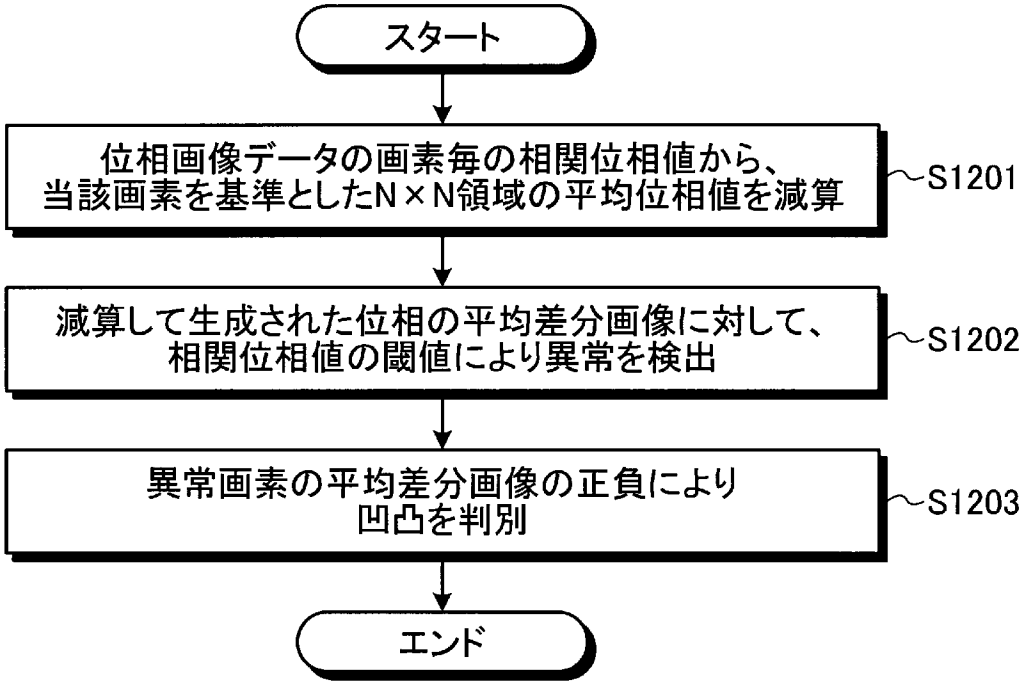
[図10]



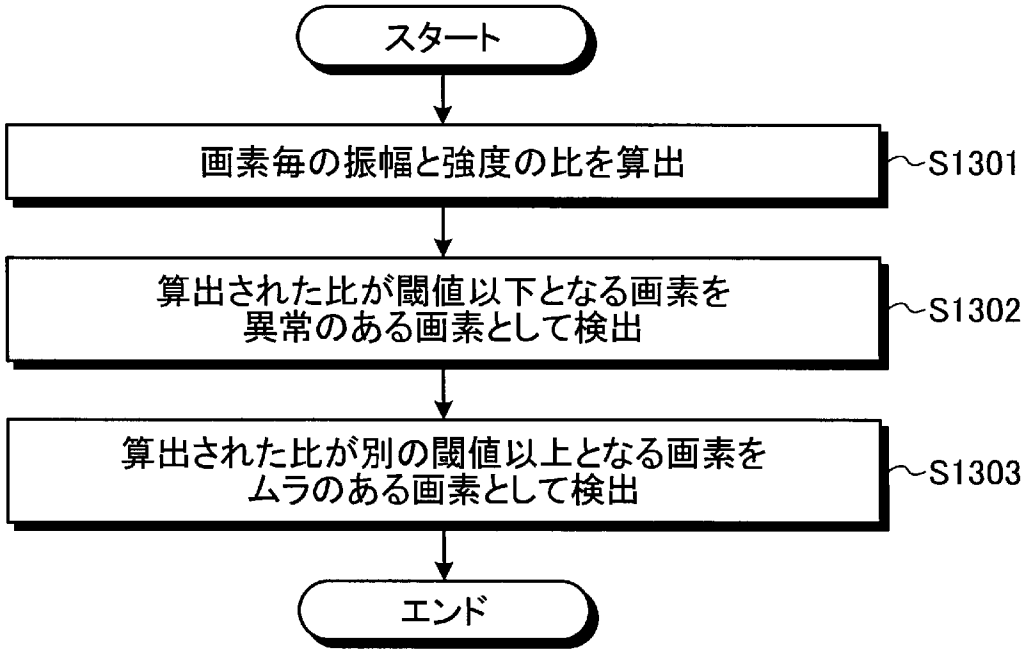
[図11]


スタート
振幅画像データの画素毎の相関振幅値から、
当該画素を基準としたN×N領域の平均振幅値を減算
S1101
減算して生成された振幅の平均差分画像に対して、
相関振幅値の閾値を用いたマスク処理
S1102
振幅の平均差分画像のマスク領域内について
画素毎に標準偏差の算出
S1103
標準偏差が-4.5σより小さい値の画素を、
異常(欠陥)がある領域として検出
S1104
エンド

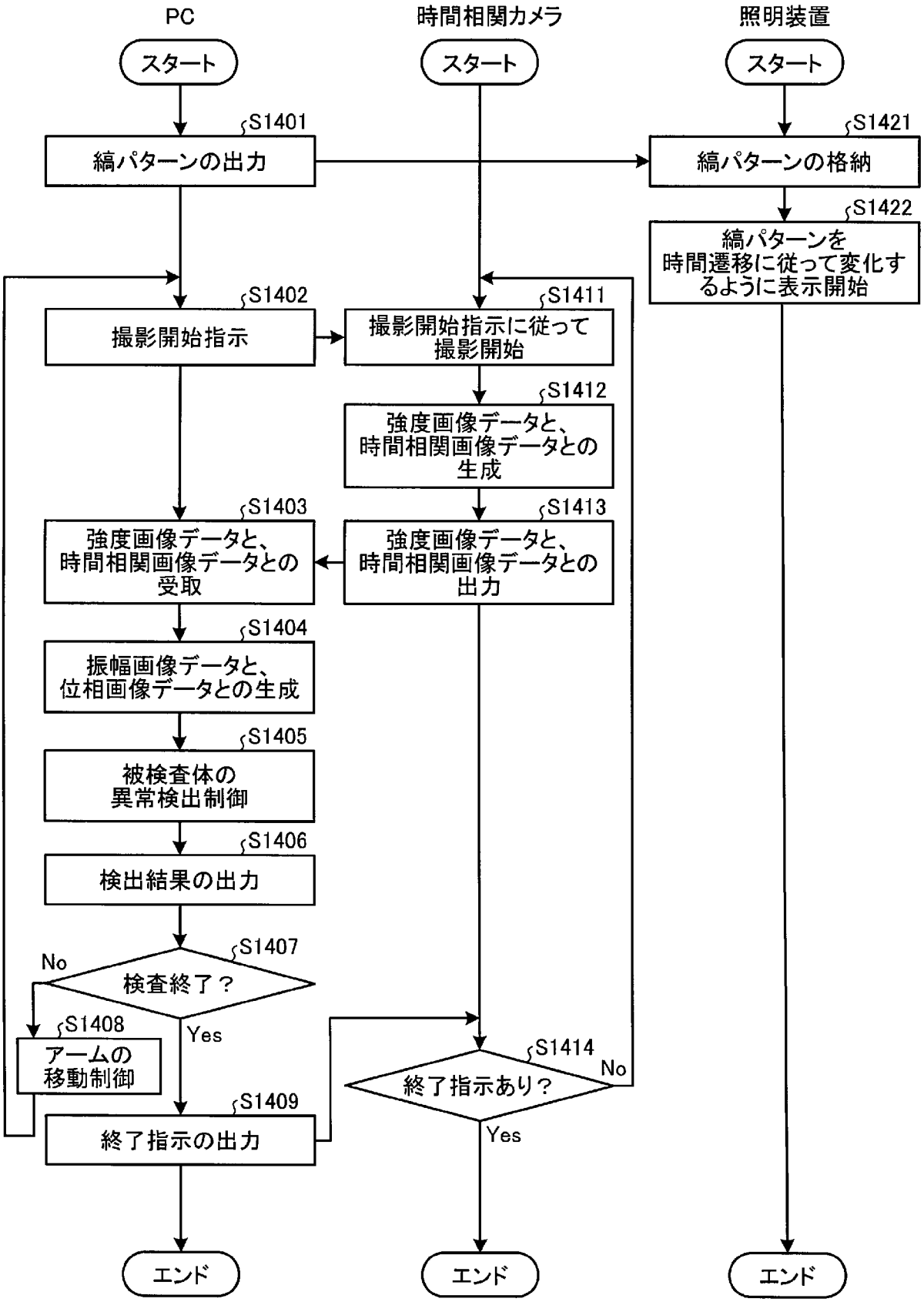
[図12]


スタート
位相画像データの画素毎の相関位相値から、
当該画素を基準としたN×N領域の平均位相値を減算
S1201
減算して生成された位相の平均差分画像に対して、
相関位相値の閾値により異常を検出
S1202
異常画素の平均差分画像の正負により
凹凸を判別
S1203
エンド

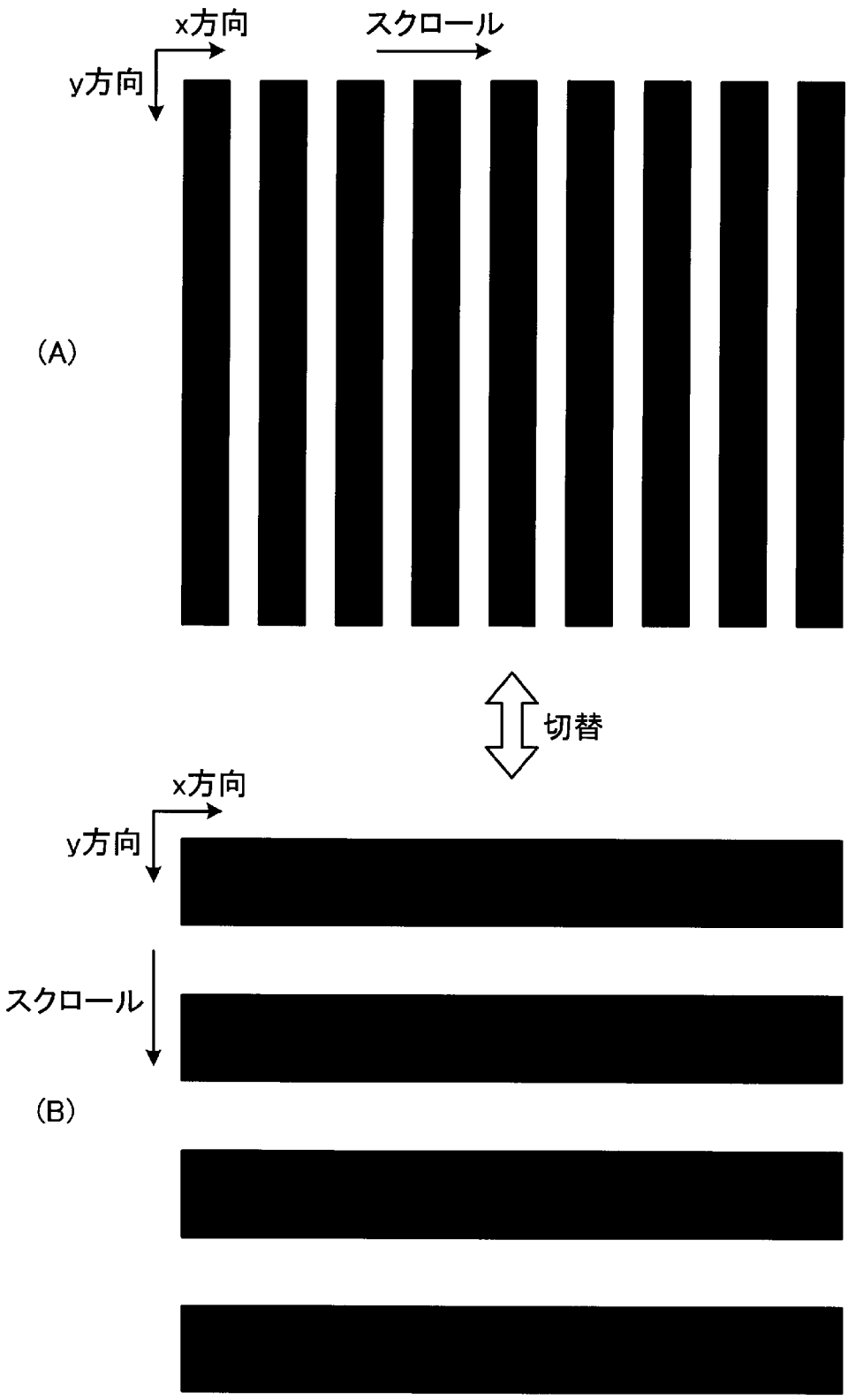
[図13]


スタート
画素毎の振幅と強度の比を算出
S1301
算出された比が閾値以下となる画素を
異常のある画素として検出
S1302
算出された比が別の閾値以上となる画素を
ムラのある画素として検出
S1303
エンド

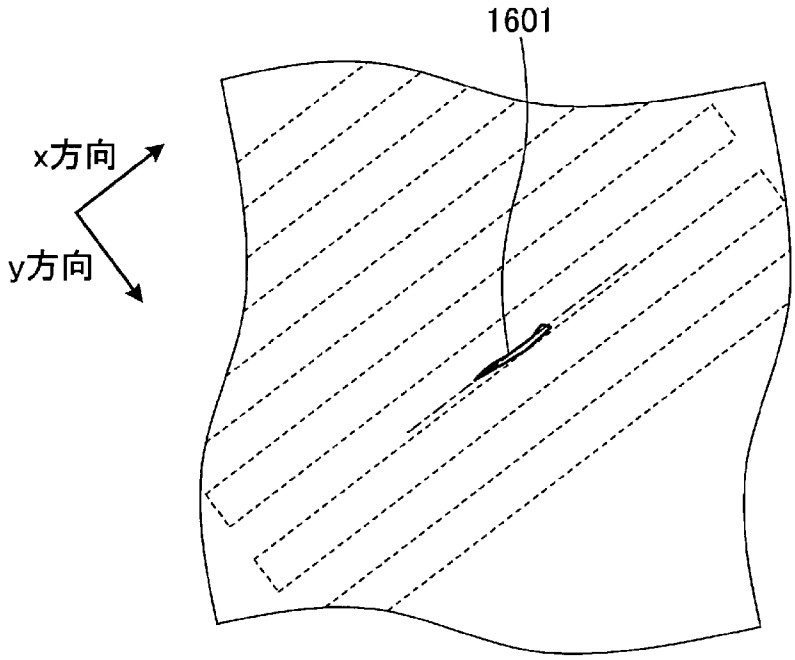
[図14]


PC
時間相関カメラ
照明装置
スタート
スタート
スタート
S1401
縞パターンの出力
S1421
縞パターンの格納
S1422
縞パターンを
時間遷移に従って変化す
るように表示開始
S1402
撮影開始指示
S1411
撮影開始指示に従って
撮影開始
S1412
強度画像データと、
時間相関画像データとの
生成
S1403
強度画像データと、
時間相関画像データとの
受取
S1413
強度画像データと、
時間相関画像データとの
出力
S1404
振幅画像データと、
位相画像データとの生成
S1405
被検査体の
異常検出制御
S1406
検出結果の出力
S1407
No
検査終了？
Yes
S1408
アームの
移動制御
S1409
終了指示の出力
S1414
No
終了指示あり？
Yes
エンド
エンド
エンド

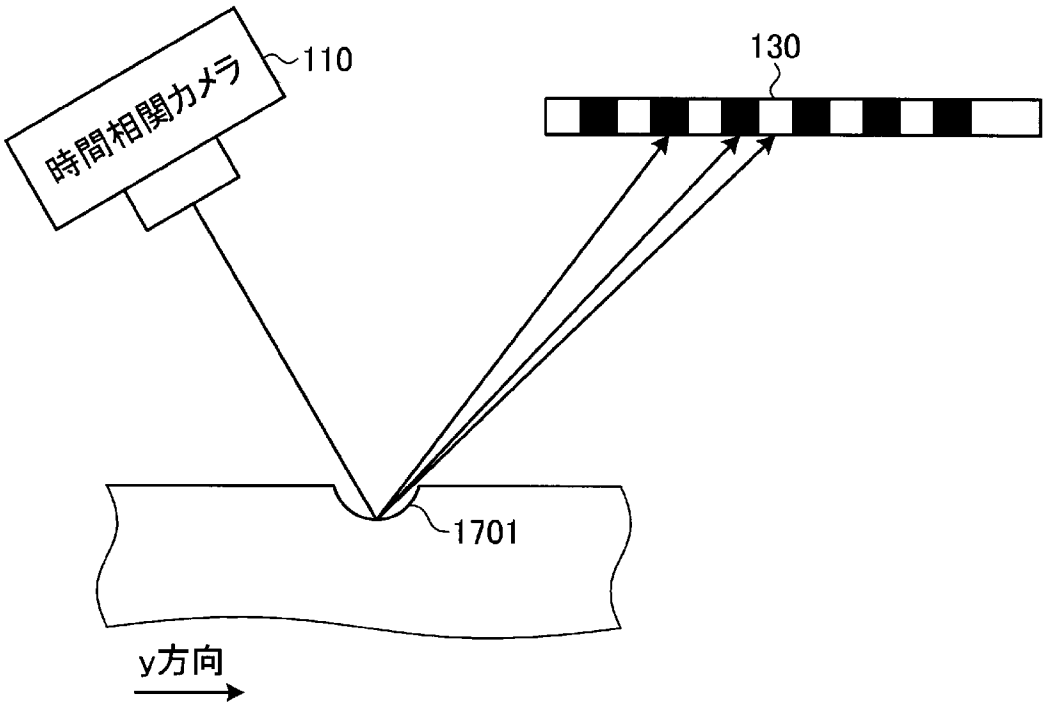
[図15]



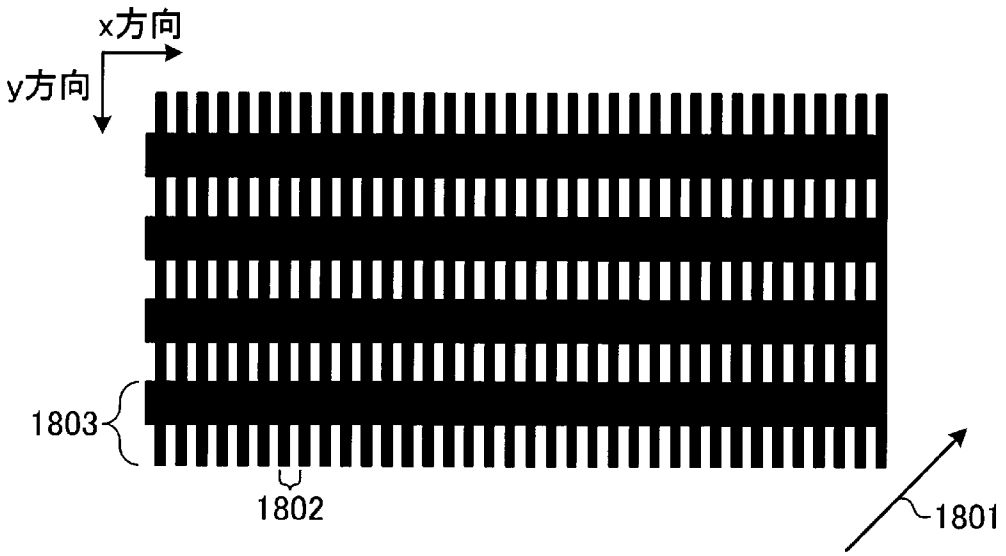
[図16]



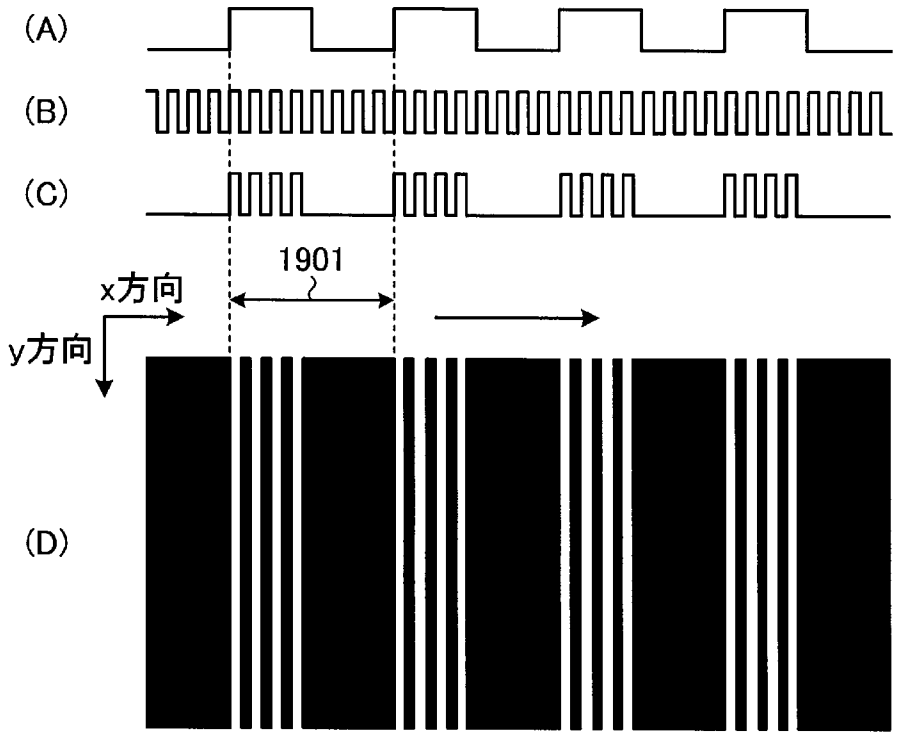
[図17]



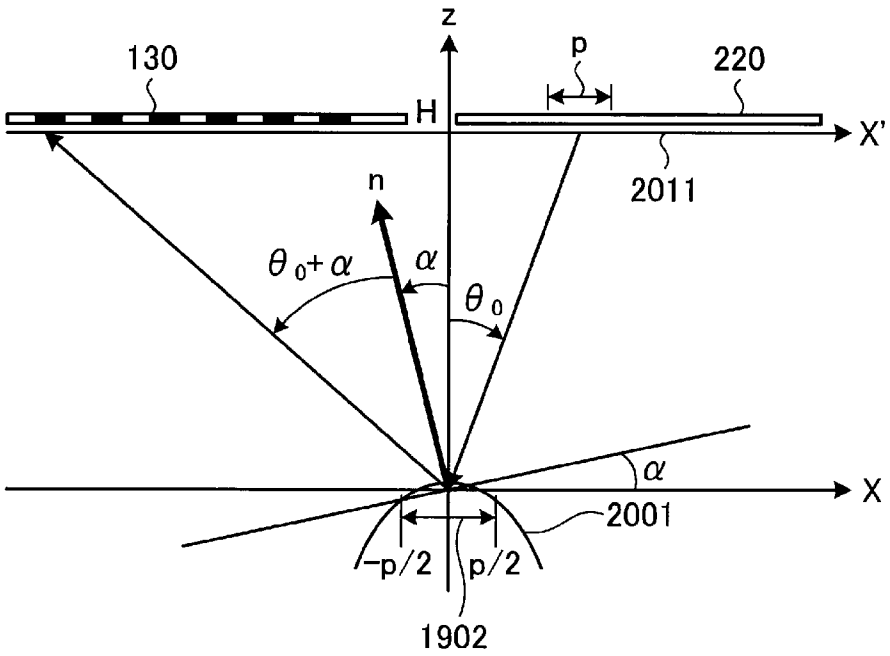
[図18]



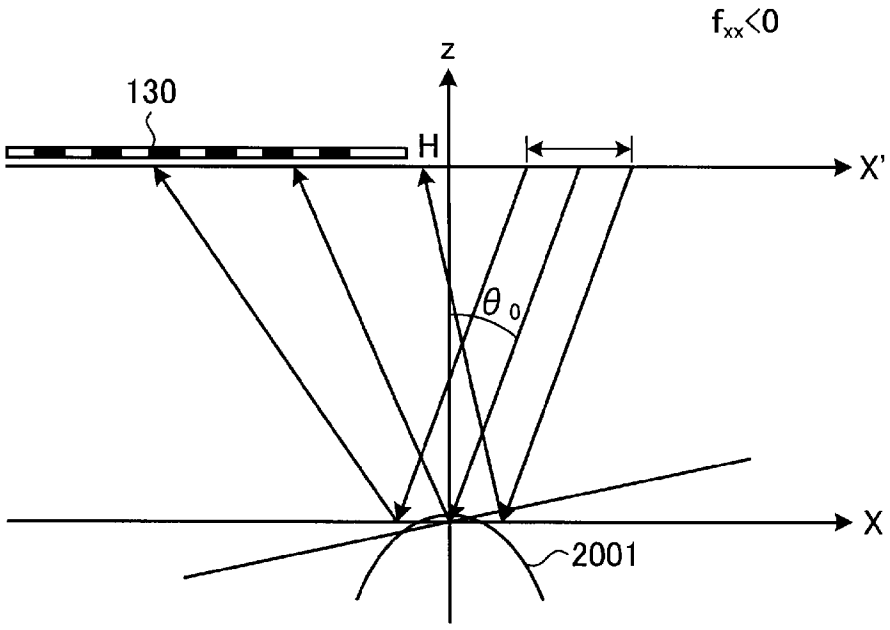
[図19]



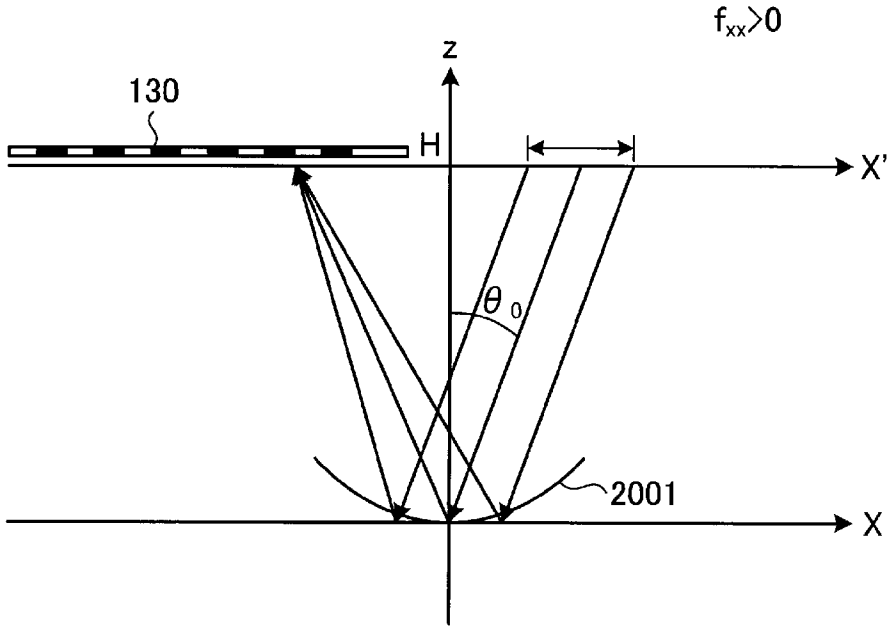
[図20]


z
130
p
220
H
X'
2011
n
θ0+α
α
θ0
α
X
2001
-p/2
p/2
1902

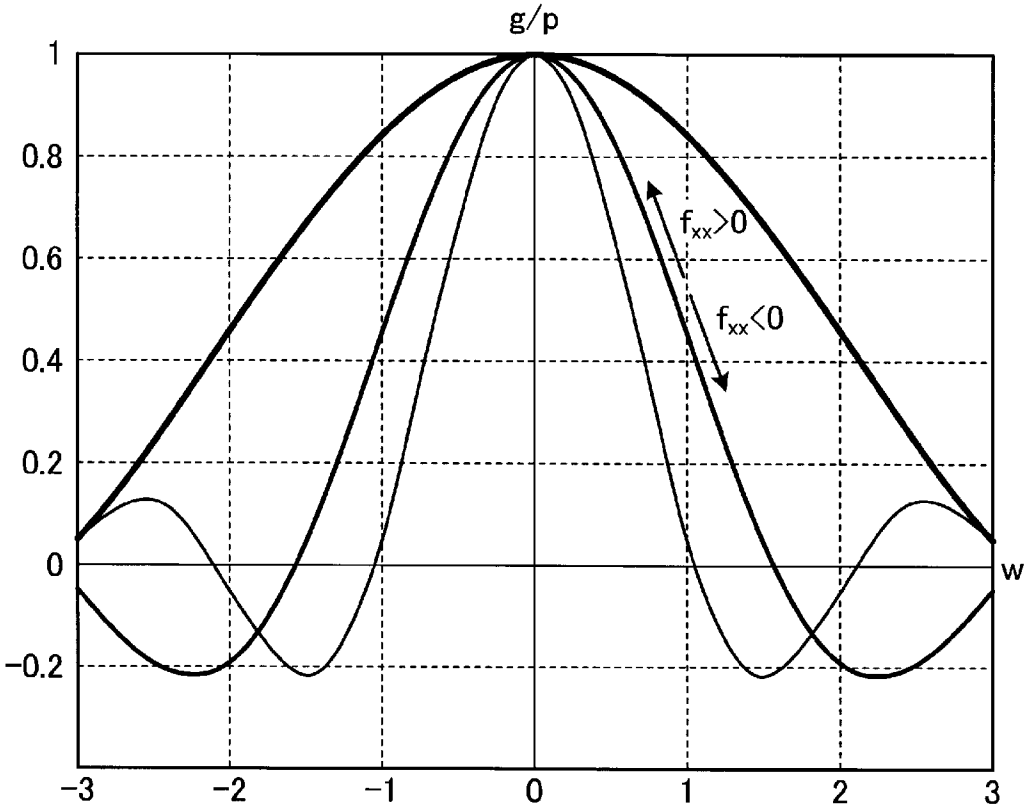
[図21]


fxx<0
z
130
H
X'
θ0
X
2001

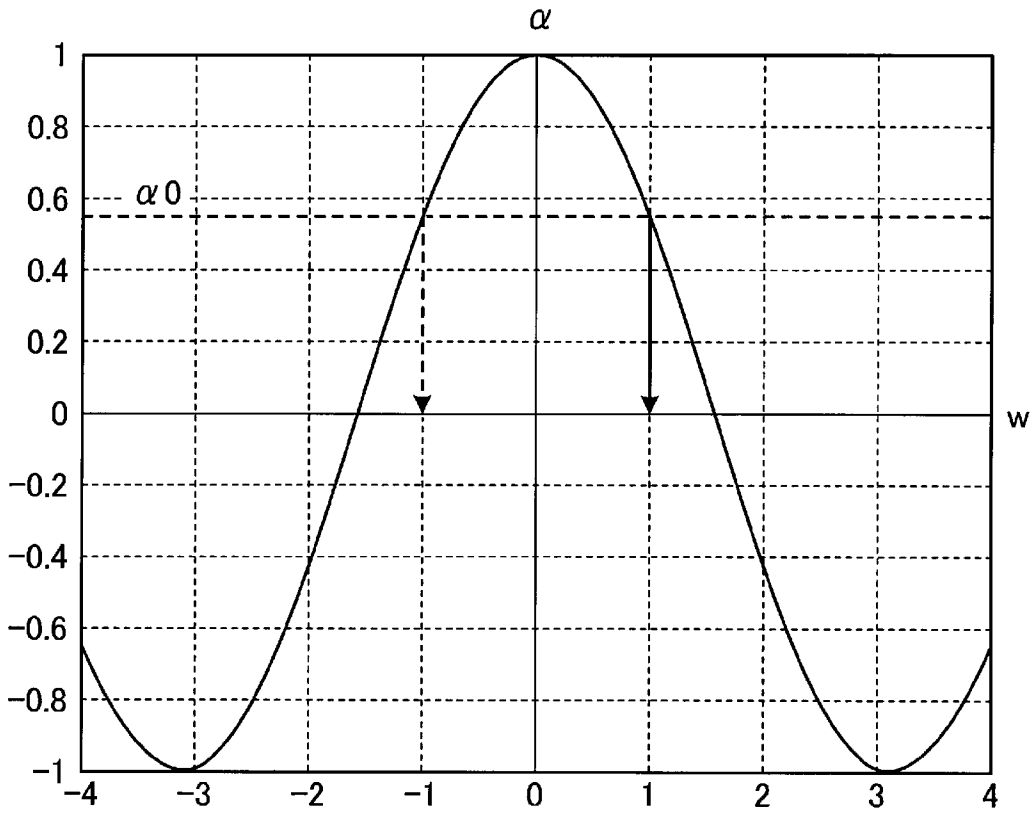
[図22]


$f_{xx}>0$
z
130
H
X'
θ_0
2001
X

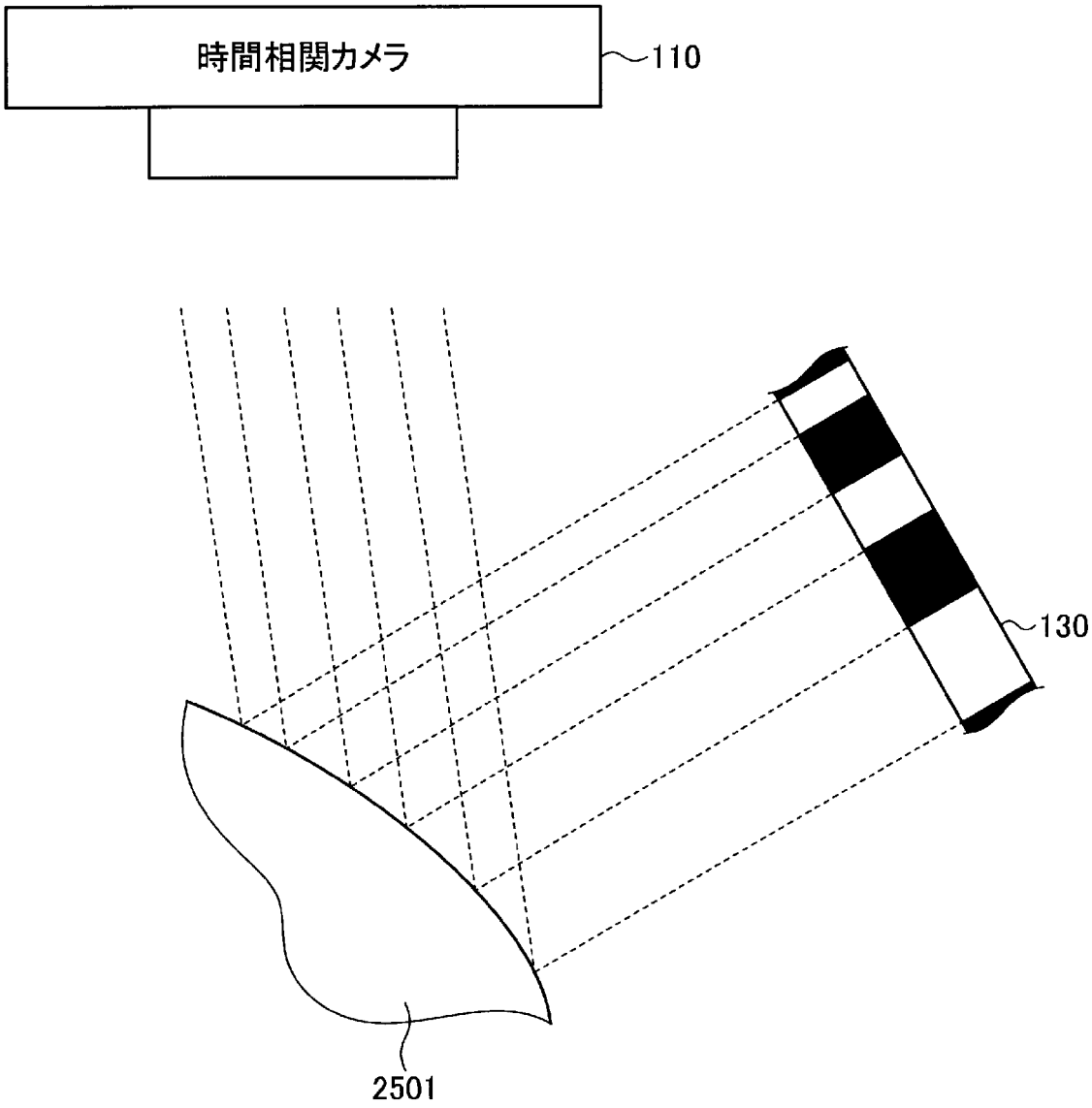
[図23]


g/p
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
$f_{xx}>0$
$f_{xx}<0$
w
-3
-2
-1
0
1
2
3

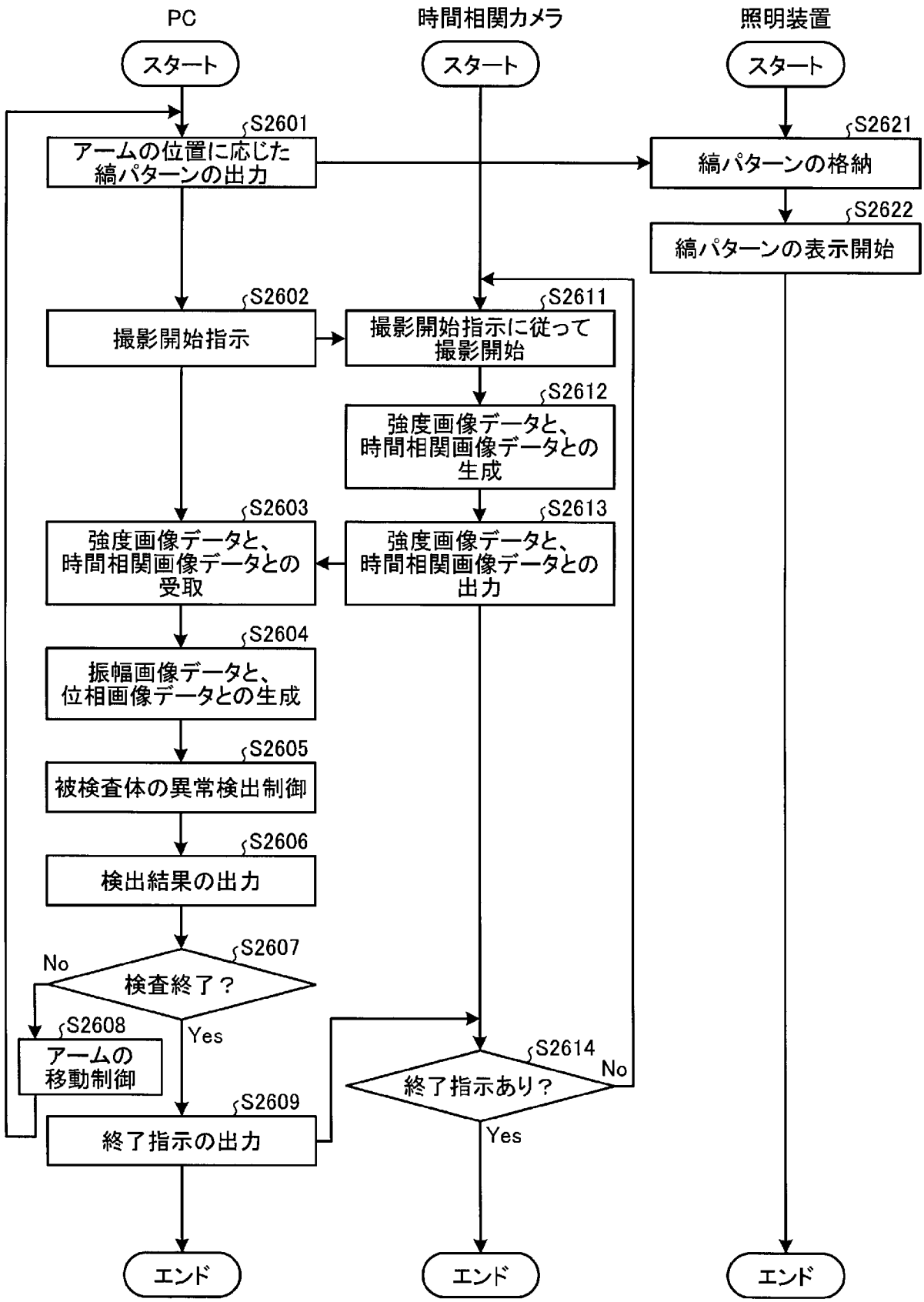
[図24]



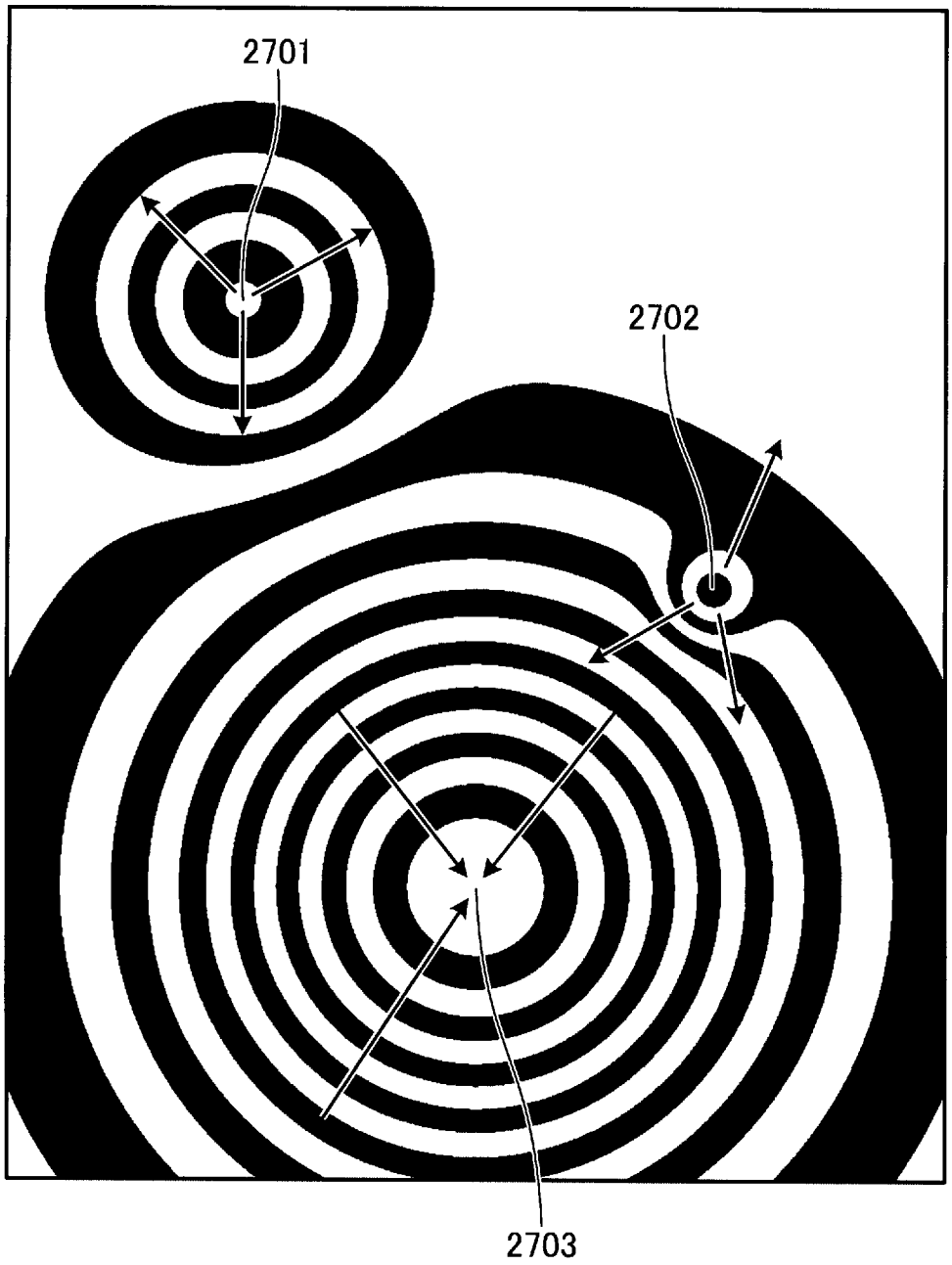
[図25]



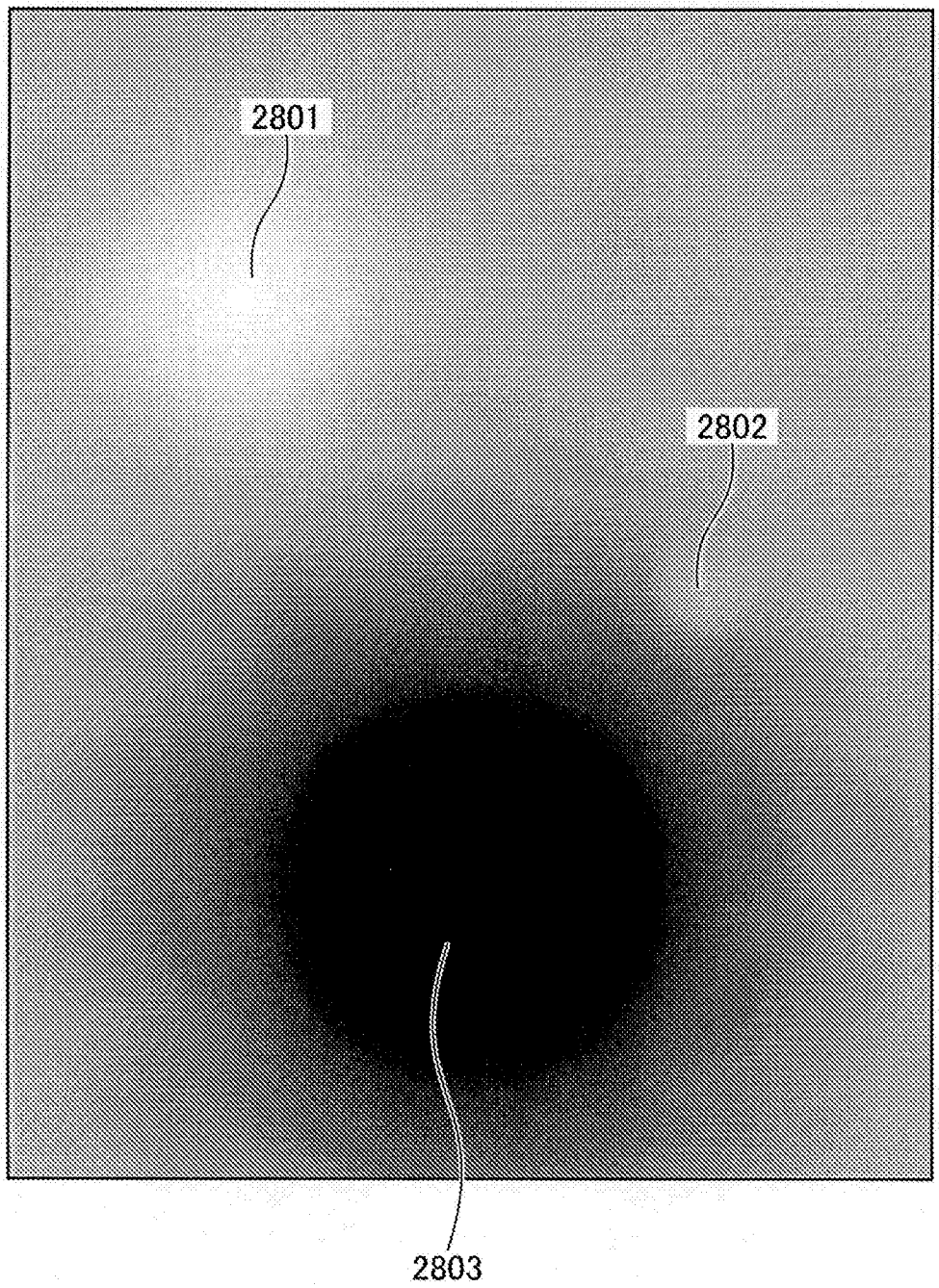
[図26]


PC
時間相関カメラ
照明装置
スタート
スタート
スタート
S2601
アームの位置に応じた縞パターンの出力
S2621
縞パターンの格納
S2622
縞パターンの表示開始
S2602
撮影開始指示
S2611
撮影開始指示に従って撮影開始
S2612
強度画像データと、時間相関画像データとの生成
S2603
強度画像データと、時間相関画像データとの受取
S2613
強度画像データと、時間相関画像データとの出力
S2604
振幅画像データと、位相画像データとの生成
S2605
被検査体の異常検出制御
S2606
検出結果の出力
S2607
No
検査終了？
Yes
S2608
アームの移動制御
S2609
終了指示の出力
S2614
No
終了指示あり？
Yes
エンド
エンド
エンド

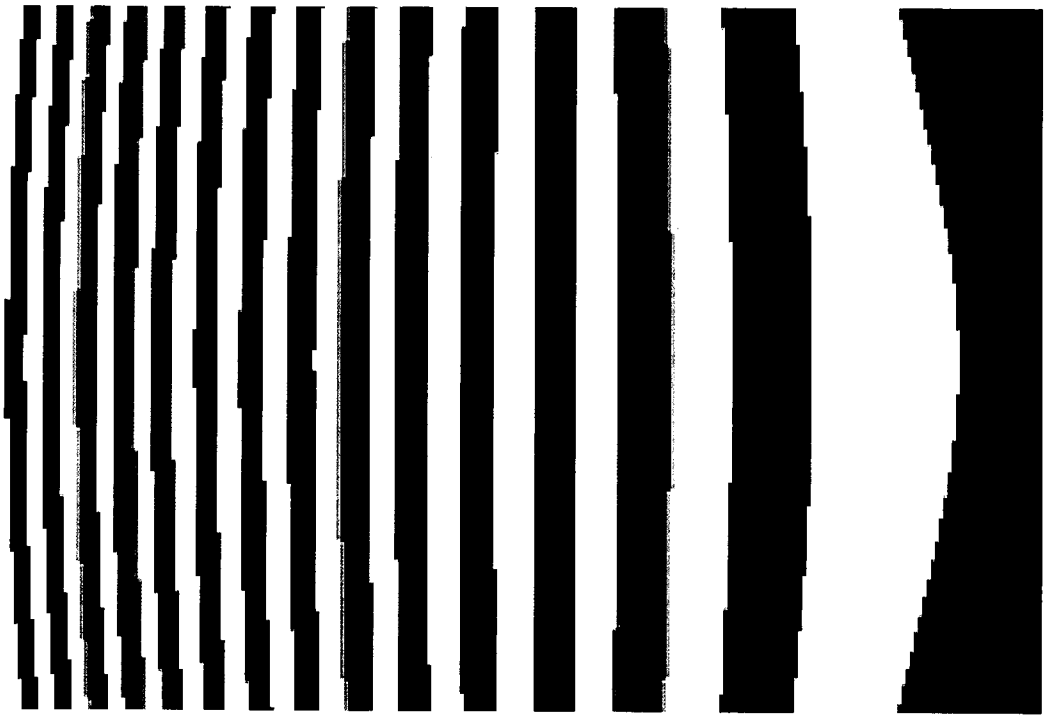
[図27]



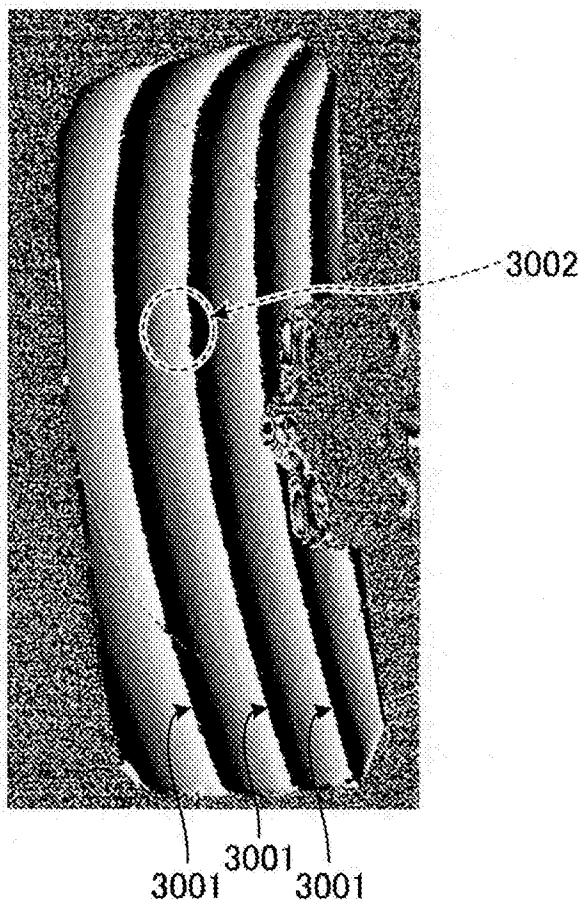
[図28]



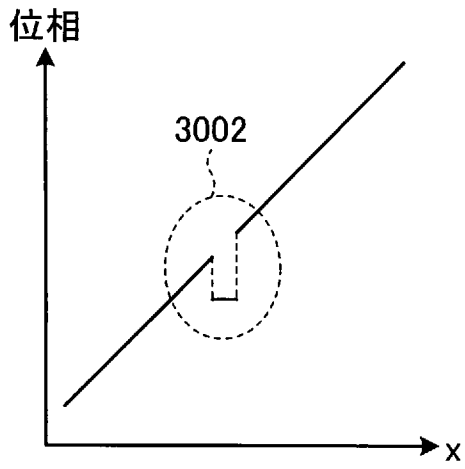
[図29]



[図30]



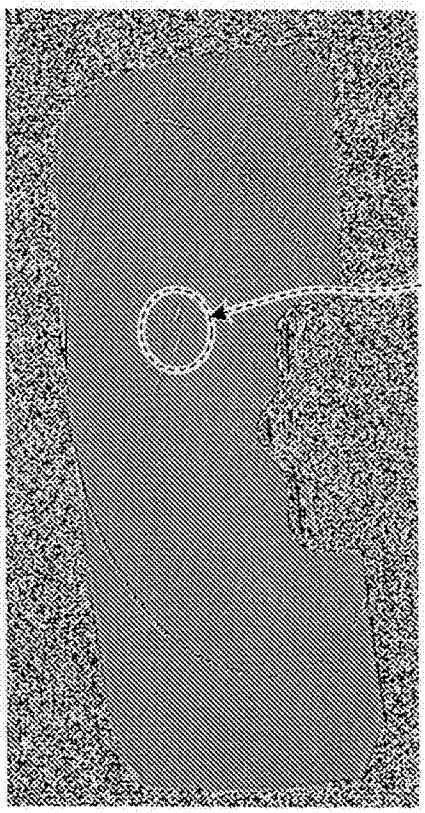
[図31]



[図32]

−1	−1	−1
−1	8	−1
−1	−1	−1

[図33]



[図34]

0	−1	0
−1	4	−1
0	−1	0

[図35]

−1	−3	−4	−3	−1
−3	−10	−15	−10	−3
−4	−15	144	−15	−4
−3	−10	−15	−10	−3
−1	−3	−4	−3	−1

[図36]

−1	−3	−4	−3	−1
−3	0	6	0	−3
−4	6	20	6	−4
−3	0	6	0	−3
−1	−3	−4	−3	−1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/060274

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N21/88(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N21/88

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-239934 A (The University of Tokyo), 28 November 2013 (28.11.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
Y	JP 2014-2125 A (Fujitsu Ltd.), 09 January 2014 (09.01.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2007-305061 A (The University of Tokyo), 22 November 2007 (22.11.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 June 2015 (17.06.15)	30 June 2015 (30.06.15)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/060274

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-127353 A (Dainippon Screen Mfg. Co., Ltd.), 09 May 2000 (09.05.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０６０２７４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N21/88(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N21/88

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2013-239934 A (国立大学法人東京大学) 2013.11.28, 全文全図（ファミリーなし）	1-10
Y	JP 2014-2125 A (富士通株式会社) 2014.01.09, 全文全図（ファミリーなし）	1-10
A	JP 2007-305061 A (国立大学法人東京大学) 2007.11.22, 全文全図（ファミリーなし）	1-10
A	JP 2000-127353 A (大日本スクリーン製造株式会社) 2000.05.09, 全文全図（ファミリーなし）	1-10

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１７．０６．２０１５	３０．０６．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｗ　９４０３
森口　正治
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５０