

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5359377号
(P5359377)

(45) 発行日 平成25年12月4日(2013.12.4)

(24) 登録日 平成25年9月13日(2013.9.13)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 21/88 (2006.01)

F 1

G O 1 N 21/88

J

請求項の数 10 (全 45 頁)

(21) 出願番号 特願2009-48114 (P2009-48114)
 (22) 出願日 平成21年3月2日 (2009.3.2)
 (65) 公開番号 特開2010-203845 (P2010-203845A)
 (43) 公開日 平成22年9月16日 (2010.9.16)
 審査請求日 平成24年1月24日 (2012.1.24)

(73) 特許権者 000002945
 オムロン株式会社
 京都市下京区塙小路通堀川東入南不動堂町
 801番地
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人 100085132
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人 100083703
 弁理士 仲村 義平
 (74) 代理人 100096781
 弁理士 堀井 豊
 (74) 代理人 100098316
 弁理士 野田 久登

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】欠陥検出装置、欠陥検出方法および欠陥検出プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

欠陥を含まない学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出装置であって、

前記検査画像に設定された第1の評価領域を包含し、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、

前記検査画像から抽出される前記画像情報の各々から、前記部分領域の大きさ毎に検査画像ベクトルを生成する手段と、

前記部分領域の大きさ毎の検査画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を算出する手段と、

予め定められた判別関数を参照して、前記部分領域の大きさ毎の前記距離を要素とする第1の応答ベクトルに基づいて、前記第1の評価領域における欠陥の有無を判断する手段とを備える、欠陥検出装置。

【請求項 2】

前記学習画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ前記検査画像から抽出される前記複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出する手段と、

前記学習画像から抽出される前記画像情報の各々から、前記部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成する手段と、

前記部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との

10

20

間の距離を順次算出する手段と、

各々が前記部分領域の大きさ毎の前記距離を要素とする第2の応答ベクトルの集合に基づいて、前記集合内と前記集合外との境界を規定する前記判別関数を決定する手段とをさらに備える、請求項1に記載の欠陥検出装置。

【請求項3】

前記判別関数を決定する手段は、はすれ値検出手法に従って、前記判別関数を決定する、請求項2に記載の欠陥検出装置。

【請求項4】

前記学習画像から、前記複数の部分領域のうち1つの部分領域と同じ大きさの第3の部分領域の画像情報を順次抽出する手段と、

10

順次抽出される前記第3の部分領域の画像情報を学習画像ベクトルを生成する手段と、

前記学習画像ベクトルを含むベクトルの組から固有ベクトルを算出する手段と、

算出される前記固有ベクトルのうち、その固有値が大きいものから順に所定数の固有ベクトルを用いて、前記第3の部分領域の大きさにおける前記固有空間を決定する手段をさらに備える、請求項1～3のいずれか1項に記載の欠陥検出装置。

【請求項5】

欠陥を含まない学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出装置であって、

前記学習画像に順次設定される第1の評価領域を含み、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、

20

前記学習画像から抽出される前記画像情報の各々から、前記部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成する手段と、

前記部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を順次算出する手段と、

各々が前記部分領域の大きさ毎の前記距離を要素とする応答ベクトルの集合に基づいて、前記集合内と前記集合外との境界を規定する判別関数を決定する手段と、

前記検査画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ前記学習画像から抽出される前記複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出し、この抽出される前記画像情報から生成される検査画像ベクトルと、前記判別関数とに基づいて、前記第2の評価領域における欠陥の有無を判断する手段とを備える、欠陥検出装置。

30

【請求項6】

前記判別関数を決定する手段は、はすれ値検出手法に従って、前記判別関数を決定する、請求項5に記載の欠陥検出装置。

【請求項7】

演算装置および記憶装置を含むコンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出方法であって、

前記演算装置が、前記記憶装置に格納された前記検査画像に設定される第1の評価領域を包含し、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出するステップと、

40

前記演算装置が、前記検査画像から抽出する前記画像情報の各々から、前記部分領域の大きさ毎に検査画像ベクトルを生成するステップと、

前記演算装置が、前記部分領域の大きさ毎の検査画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を算出するステップと、

前記演算装置が、予め前記記憶装置に格納された判別関数を参照して、前記部分領域の大きさ毎の前記距離を要素とする第1の応答ベクトルに基づいて、前記第1の評価領域における欠陥の有無を判断するステップとを含む、欠陥検出方法。

【請求項8】

演算装置および記憶装置を含むコンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結

50

果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出方法であって、

前記演算装置が、前記記憶装置に格納された前記学習画像に順次設定される第1の評価領域を含み、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出するステップと、

前記演算装置が、前記学習画像から抽出する前記画像情報の各々から、前記部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成するステップと、

前記演算装置が、前記部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を順次算出するステップと、

前記演算装置が、各々が前記部分領域の大きさ毎の前記距離を要素とする応答ベクトルの集合に基づいて、前記集合内と前記集合外との境界を規定する判別関数を決定するステップと、

前記演算装置が、前記記憶装置に格納された前記検査画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ前記学習画像から抽出される前記複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出し、この抽出される前記画像情報から生成される検査画像ベクトルと、前記判別関数とに基づいて、前記第2の評価領域における欠陥の有無を判断するステップとを含む、欠陥検出方法。

【請求項9】

コンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出プログラムであって、コンピュータを、

前記検査画像に設定された第1の評価領域を包含し、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、

前記検査画像から抽出される前記画像情報の各々から、前記部分領域の大きさ毎に検査画像ベクトルを生成する手段と、

前記部分領域の大きさ毎の検査画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を算出する手段と、

予め定められた判別関数を参照して、前記部分領域の大きさ毎の前記距離を要素とする第1の応答ベクトルに基づいて、前記第1の評価領域における欠陥の有無を判断する手段として機能させる、欠陥検出プログラム。

【請求項10】

コンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出プログラムであって、コンピュータを、

前記学習画像に順次設定される第1の評価領域を含み、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、

前記学習画像から抽出される前記画像情報の各々から、前記部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成する手段と、

前記部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を順次算出する手段と、

各々が前記部分領域の大きさ毎の前記距離を要素とする応答ベクトルの集合に基づいて、前記集合内と前記集合外との境界を規定する判別関数を決定する手段と、

前記検査画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ前記学習画像から抽出される前記複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出し、この抽出される前記画像情報から生成される検査画像ベクトルと、前記判別関数とに基づいて、前記第2の評価領域における欠陥の有無を判断する手段として機能させる、欠陥検出プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は検査画像から欠陥を検出する欠陥検出装置、欠陥検出方法および欠陥検出プログラムに関し、特に学習画像から取得された学習結果に基づいて欠陥を検出する技術に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

従来から、F A (Factory Automation) 分野などにおいては、検査対象物 (対象ワーク) に現れるキズやゴミなどの欠陥を検出する欠陥検査技術が開発されてきた。このような欠陥検査技術の代表的な方法として、検査対象物を撮影して得られる検査画像に対して画像処理を行なうことで欠陥を検出する、いわゆる画像計測を用いた欠陥検査が実用化されている。

【0003】

このような画像計測を用いた欠陥検査の中でも、欠陥に相当するモデルを予め取得しておき、検査画像の各領域をこのモデルと比較することで、欠陥を検出する方法が一般的に採用してきた。

10

【0004】

これに対して、画像の全体で成り立つ性質から画像中の全体と異なる部分を検出する方法が提案されている。たとえば、非特許文献1には、画像のフラクタル性や周期性によって得られる画像の局所領域間における相関性に着目した欠陥検出方法が開示されている。

【0005】

この欠陥検出方法によれば、検査画像からサンプルを複数切り出し、このサンプル毎に画像ベクトルを算出する。そして、これらの画像ベクトル列に対して固有ベクトル列を算出することによって固有空間を生成し、この固有空間とサンプル (画像ベクトル) との距離を用いて欠陥箇所を検出する。このような検出方法は、固有空間欠陥検出器 (E S D D : Eigen Space Defect Detector) と称され、本明細書においても、固有空間と画像ベクトルとの距離に基づく欠陥の検出方法を「 E S D D 」とも総称する。

20

【0006】

このように、 E S D D によれば、予め欠陥に相当するモデルを取得しておく必要がないので、検査対象物に生じ得る欠陥を予めモデル化することが困難な場合であっても、欠陥を検出できるという利点がある。

【先行技術文献】**【非特許文献】****【0007】**

【非特許文献1】天野敏之、「画像の相関性に基づく欠陥検出」、画像の認識・理解シンポジウム (M I R U 2 0 0 5) 、2 0 0 5 年 7 月

30

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0008】**

しかしながら、検査対象物に生じる欠陥が、検査サンプルに比較して極端に大きな場合、あるいは極端に小さな場合には、欠陥の検出精度が低下するおそれがある。そのため、検査対象物に発生する欠陥の大きさにバラツキがある場合などには、特定の大きさの欠陥だけが検出対象として検出される一方、その他の欠陥は検出されないという問題が生じ得る。

【0009】

40

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、検査対象物に発生する欠陥の大きさにかかわらず欠陥の検出精度を維持可能な学習型の欠陥検出装置、欠陥検出方法および欠陥検出プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】**【0010】**

この発明のある局面に従えば、欠陥を含まない学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出装置を提供する。欠陥検出装置は、検査画像に設定された第1の評価領域を包含し、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、検査画像から抽出される画像情報の各々から、部分領域の大きさ毎に検査画像ベクトルを生成する手段と、部分領域の大きさ毎の検査画像ベク

50

トルの各々について、対応の固有空間との間の距離を算出する手段と、予め定められた判別関数を参照して、部分領域の大きさ毎の距離を要素とする第1の応答ベクトルに基づいて、第1の評価領域における欠陥の有無を判断する手段とを備える。

【0011】

この発明によれば、第1の評価領域に対して互いに大きさの異なる複数の部分領域が設定されとともに、各部分領域について、その画像情報から生成される画像ベクトルと対応の固有空間との間の距離を算出する。さらに、各部分領域についての大きさ毎の距離を要素とする第1の応答ベクトルを生成し、予め定められた判別関数を参照して、この第1の応答ベクトルを評価することで、第1の評価領域における欠陥の有無を判断する。このように、第1の評価領域を互いに大きさの異なる複数の部分領域の単位におけるそれぞれの評価結果を総合した上で、欠陥の有無を判断するので、検査画像に発生し得る欠陥の大きさのバラツキによる影響を抑制し、欠陥の検出精度をより高めることができる。10

【0012】

好ましくは、欠陥検出装置は、学習画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ検査画像から抽出される複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出する手段と、学習画像から抽出される画像情報の各々から、部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成する手段と、部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を順次算出する手段と、各々が部分領域の大きさ毎の距離を要素とする第2の応答ベクトルの集合に基づいて、集合内と集合外との境界を規定する判別関数を決定する手段とをさらに備える。20

【0013】

さらに好ましくは、判別関数を決定する手段は、はずれ値検出手法に従って、判別関数を決定する。

【0014】

好ましくは、欠陥検出装置は、学習画像から、複数の部分領域のうち1つの部分領域と同じ大きさの第3の部分領域の画像情報を順次抽出する手段と、順次抽出される第3の部分領域の画像情報から学習画像ベクトルを生成する手段と、学習画像ベクトルを含むベクトルの組から固有ベクトルを算出する手段と、算出される固有ベクトルのうち、その固有値が大きいものから順に所定数の固有ベクトルを用いて、第3の部分領域の大きさにおける固有空間を決定する手段をさらに備える。30

【0015】

この発明の別の局面に従えば、欠陥を含まない学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出装置を提供する。欠陥検出装置は、学習画像に順次設定される第1の評価領域を含み、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、学習画像から抽出される画像情報の各々から、部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成する手段と、部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を順次算出する手段と、各々が部分領域の大きさ毎の距離を要素とする応答ベクトルの集合に基づいて、集合内と集合外との境界を規定する判別関数を決定する手段と、検査画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ学習画像から抽出される複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出し、この抽出される画像情報から生成される検査画像ベクトルと、判別関数とに基づいて、第2の評価領域における欠陥の有無を判断する手段とを備える。40

【0016】

好ましくは、判別関数を決定する手段は、はずれ値検出手法に従って、判別関数を決定する。

【0017】

この発明のさらに別の局面に従えば、演算装置および記憶装置を含むコンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出方法を提供する。欠陥検出方法は、演算装置が、記憶装置に格納された検査画像に設50

定される第1の評価領域を包含し、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出するステップと、検査画像から抽出する画像情報の各々から、部分領域の大きさ毎に検査画像ベクトルを生成するステップと、部分領域の大きさ毎の検査画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を算出するステップと、予め記憶装置に格納された判別関数を参照して、部分領域の大きさ毎の距離を要素とする第1の応答ベクトルに基づいて、第1の評価領域における欠陥の有無を判断するステップとを含む。

【0018】

この発明のさらに別の局面に従えば、演算装置および記憶装置を含むコンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出方法を提供する。欠陥検出装置は、演算装置が、記憶装置に格納された学習画像に順次設定される第1の評価領域を含み、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出するステップと、学習画像から抽出する画像情報の各々から、部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成するステップと、部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を順次算出するステップと、各々が部分領域の大きさ毎の距離を要素とする応答ベクトルの集合に基づいて、集合内と集合外との境界を規定する判別関数を決定するステップと、記憶装置に格納された検査画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ学習画像から抽出される複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出し、この抽出される画像情報から生成される検査画像ベクトルと、判別関数とに基づいて、第2の評価領域における欠陥の有無を判断するステップとを含む。

10

【0019】

この発明のさらに別の局面に従えば、コンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出プログラムを提供する。欠陥検出プログラムは、コンピュータを、検査画像に設定された第1の評価領域を包含し、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、検査画像から抽出される画像情報の各々から、部分領域の大きさ毎に検査画像ベクトルを生成する手段と、部分領域の大きさ毎の検査画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を算出する手段と、予め定められた判別関数を参照して、部分領域の大きさ毎の距離を要素とする第1の応答ベクトルに基づいて、第1の評価領域における欠陥の有無を判断する手段として機能させる。

20

【0020】

この発明のさらに別の局面に従えば、コンピュータを用いて、学習画像から取得された学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する欠陥検出プログラムを提供する。欠陥検出プログラムは、コンピュータを、学習画像に順次設定される第1の評価領域を含み、かつ互いに大きさの異なる複数の部分領域それぞれの画像情報を抽出する手段と、学習画像から抽出される画像情報の各々から、部分領域の大きさ毎に評価領域画像ベクトルを順次生成する手段と、部分領域の大きさ毎の評価領域画像ベクトルの各々について、対応の固有空間との間の距離を順次算出する手段と、各々が部分領域の大きさ毎の距離を要素とする応答ベクトルの集合に基づいて、集合内と集合外との境界を規定する判別関数を決定する手段と、検査画像に順次設定される第2の評価領域を含み、かつ学習画像から抽出される複数の部分領域とそれぞれ同じ大きさを有する複数の部分領域の画像情報をそれぞれ抽出し、この抽出される画像情報から生成される検査画像ベクトルと、判別関数とに基づいて、第2の評価領域における欠陥の有無を判断する手段として機能させる。

30

【発明の効果】

【0021】

この発明によれば、検査対象物に発生する欠陥の大きさにかかわらず欠陥の検出精度を維持できる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置を含む欠陥検出システムの全体構成

40

50

を示す概略図である。

【図2】コンピュータのハードウェア構成を示す概略構成図である。

【図3】学習型E S D D を用いて欠陥検出を行なう場合の処理を説明するための図である。

【図4】検査画像内に発生する欠陥の一例を示す図である。

【図5】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置に設定される部分領域の大きさとその評価を概念的に説明するための図である。

【図6】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置における学習処理および欠陥検出処理を概念的に説明するための図である。

【図7】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置の制御構造を示す機能ブロック図である。 10

【図8】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置における画像ベクトルの生成処理を概念的に説明するための図である。

【図9】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置における部分領域の画像情報を概念的に説明するための図である。

【図10】複数の部分領域の設定方法の一例を示す図である。

【図11】評価領域に対応する部分領域セットの設定方法の一例を示す図である。

【図12】部分領域セットに含まれ得る部分領域の上限ベクトルサイズおよび下限ベクトルサイズを示す図である。

【図13】部分領域セットの一部が学習画像からはみ出る場合の処理を説明するための図である。 20

【図14】固有空間と画像ベクトルとの距離を説明するための図である。

【図15】1次元の固有空間と画像ベクトルとの距離を説明するための図である。

【図16】部分領域が重複して設定される領域の固有空間に対する距離の算出方法を説明するための図である。

【図17】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出システムにおいて対象ワークに発生し得る欠陥を検出するための処理手順を示すフローチャートである。

【図18】この発明の実施の形態1に従う学習処理の処理手順を示すフローチャートである。

【図19】この発明の実施の形態1に従う欠陥検出処理の処理手順を示すフローチャートである。 30

【図20】この発明の実施の形態2に従う欠陥検出装置の制御構造を示す機能ブロック図である。

【図21】周期的なテクスチャを有する対象ワークの一例を示す図である。

【図22】検査画像に表れる周期的な濃淡模様の位置がばらつく場合において、抽出される部分領域の一例を示す図である。

【図23】検査画像I M Gに設定された評価領域に対応する代表的な部分領域B L Kについての固有空間に対する距離を視覚的に示した図の一例である。

【図24】検査画像における基準位置の検索処理を説明するための図である。

【図25】検査画像における基準位置を検索するための検索領域の決定方法を説明するための図である。 40

【図26】濃淡模様の周期について説明するための図である。

【図27】距離算出部において順次算出される距離の一例を示す図である。

【図28】検査画像に対して、抽出された候補点の一例を示す図である。

【図29】部分領域設定部によって検査画像に対して設定される部分領域を説明するための図である。

【図30】設定された部分領域の一部が検査画像からはみ出る場合の処理を説明するための図である。

【図31】対象とする周期的な濃淡模様をもつ検査画像の一例を示す図である。

【図32】図31に示す検査画像に対して、従来の方法および本実施の形態に従う方法を 50

適用した場合の結果を示す図である。

【図33】この発明の実施の形態2に従う欠陥検出システムにおいて対象ワークに発生し得る欠陥を検出するための処理手順を示すフローチャートである。

【図34】この発明の実施の形態2に従う基準位置検索処理の処理手順を示すフローチャートである。

【図35】この発明の実施の形態2の変形例に従う対象ワークを撮像して得られた画像SM Pの一例を示す図である。

【図36】この発明の実施の形態2の変形例に従う欠陥検出システムにおいて周期性を有する対象ワークについての画像ベクトルを生成するための処理手順を示すフローチャートである。 10

【図37】この発明の実施の形態3に従う欠陥検出装置を含む欠陥検出システムを示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

この発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中の同一または相当部分については、同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0024】

〔実施の形態1〕

(全体装置構成)

図1は、この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置を含む欠陥検出システム1の全体構成を示す概略図である。 20

【0025】

図1を参照して、欠陥検出システム1は、代表的に生産ラインなどに組込まれ、欠陥検査の対象となるワーク(以下、対象ワークとも称す)における欠陥の有無および欠陥の発生位置を検出する。欠陥とは、代表的に対象ワークに生じるキズやゴミなどを意味する。

【0026】

本実施の形態に従う欠陥検出システム1においては、対象ワーク2は、ベルトコンベヤなどの搬送機構6によって搬送され、搬送された対象ワーク2は、撮像部8において順次撮影される。撮像部8によって撮影された画像(以下、「検査画像」とも称す)は、本実施の形態に従う欠陥検出装置を実現する代表例であるコンピュータ100へ伝送される。 30

【0027】

撮像部8は、一例として、CCD(Coupled Charged Device)やCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)センサなどの撮像素子およびレンズを備え、対象ワーク2または後述する基準ワーク4を撮影する。なお、撮像部8は、搬送機構6の搬送動作に応じてコンピュータ100が発生する撮影指令などに従って撮影を行なう。

【0028】

この撮像部8で撮影される画像は、典型的には、画素単位で画像情報を有する。代替的に、複数の画素をまとめたブロック単位で画像情報を有するようにしてもよい。このような「画像情報」としては、撮像部8が3バンドのカラーカメラであれば、光の三原色に基づく「赤色」「緑色」「青色」の階調値(R成分値、G成分値、B成分値)で特定される情報が用いられる。代替的に、画像情報として、光の三原色の補色である「シアン」「マゼンダ」「黄色」の階調値(C成分値、M成分値、Y成分値)で特定される情報を用いてもよい。また、撮像部8がより多くのバンド数を有するカラーカメラであれば、そのバンド数に応じた数の階調値で特定される情報が用いられる。 40

【0029】

あるいは、撮像部8がモノクロカメラであれば、濃淡を示す階調値(グレイスケール)で特定される情報を用いてもよい。この階調値を2段階とした場合には、「白」または「黒」の2値化画像を表わすことになる。

【0030】

さらに、上述のような階調値に代えて、「色相(Hue)」「明度(Value)」「彩度(Ch

10

20

30

40

50

roma)」の各パラメータからなる色属性を画像情報」として用いてもよい。

【0031】

特に本実施の形態に従う欠陥検出装置は、欠陥検査の基準にすべき基準ワーク4を予め撮影しておき、この撮影によって得られる画像（以下、「学習画像」とも称す）から学習結果を取得し、この学習結果に基づいて検査画像における欠陥を検出する（以下、本発明に係る欠陥検出装置による欠陥検出を「学習型ESSD」とも称す）。そのため、基準ワーク4としては、対象ワーク2と同一種類の製品を選択する必要がある。なお、基準ワーク4（すなわち、学習画像）は欠陥を含まないことが望ましい。ここで、「欠陥を含まない」とは、所定の判断基準下で欠陥と判断される部分を含まないことを意味する。

【0032】

また、本明細書においては、学習結果の代表例として、互いにベクトルサイズの異なる複数の画像ベクトルと対応の固有空間との距離を要素として有する応答ベクトルを評価するための判別関数を用いる。この判別関数や応答ベクトルについては、後述する。

【0033】

一方、対象ワーク2としては、電子部品やプラスチック部品などの連続的に生産される同一種類の製品が適している。なお、本発明に係る欠陥検出装置が欠陥検出の対象とする対象ワークの大きさや種類などは特に制限されない。さらに、工場の生産ラインで製造されるものに限られず、りんごなどの農作物の傷や映画フィルムにおけるスクラッチ傷などを検出することもできる。

【0034】

欠陥検出システム1は、撮像部8の撮影範囲の付近を照明するための照明部10と、この照明部10を駆動する光源部12とをさらに含む。そして、この光源部12は、コンピュータ100からの照明指令に従って、照明部10から所定の光量の光を照射させる。照明部10から照射される光は、比較的波長スペクトルの広いものが望ましい。

【0035】

また、コンピュータ100は、FD(Flexible Disk)駆動装置111およびCD-ROM(Compact Disk-Read Only Memory)駆動装置113を備えたコンピュータ本体101と、モニタ102と、キーボード103と、マウス104とを含む。そして、コンピュータ100は、予め格納されたプログラムを実行することで、本実施の形態に従う欠陥検出装置を実現する。

【0036】

（ハードウェア構成）

図2は、コンピュータ100のハードウェア構成を示す概略構成図である。

【0037】

図2を参照して、コンピュータ本体101は、図1に示すFD駆動装置111およびCD-ROM駆動装置113に加えて、相互にバスで接続された、演算装置であるCPU(Central Processing Unit)105と、メモリ106と、記憶装置である固定ディスク107と、インターフェイス109とを含む。

【0038】

FD駆動装置111にはFD112が装着され、CD-ROM駆動装置113にはCD-ROM114が装着される。上述したように、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、CPU105がメモリ106などのコンピュータハードウェアを用いて、プログラムを実行することで実現される。一般的に、このようなプログラムは、FD112やCD-ROM114などの記録媒体に格納されて、またはネットワークなどを介して流通する。そして、このようなプログラムは、FD駆動装置111やCD-ROM駆動装置113などにより記録媒体から読み取られて、またはインターフェイス109にて受信されて、固定ディスク107に格納される。さらに、固定ディスク107からメモリ106に読み出されて、CPU105により実行される。

【0039】

モニタ102は、CPU105が出力する情報を表示するための表示部であって、一例

10

20

30

40

50

としてLCD (Liquid Crystal Display) やCRT (Cathode Ray Tube) などから構成される。マウス104は、クリックやスライドなどの動作に応じたユーザからの指令を受付ける。キーボード103は、入力されるキーに応じたユーザからの指令を受付ける。CPU105は、プログラムされた命令を順次実行することで、各種の演算を実施する演算処理部である。メモリ106は、CPU105でのプログラム実行に応じて、各種の情報を記憶する。インターフェイス109は、コンピュータ100と撮像部8(図1)や照明部10(図1)との間の通信を確立するための装置であり、CPU105が出力した情報をたとえば電気信号に変換してこれらの装置へ送出するとともに、これらの装置から電気信号を受信してCPU105が利用できる情報に変換する。特に、撮像部8によって撮影された画像データは、インターフェイス109を介して、メモリ106または固定ディスク107へ格納される。固定ディスク107は、CPU105が実行するプログラムや画像データなどを記憶する不揮発性の記憶装置である。また、コンピュータ100には、必要に応じて、プリンタなどの他の出力装置が接続されてもよい。

【0040】

(学習型ESDDによる欠陥検出処理)

図3は、学習型ESDDを用いて欠陥検出を行なう場合の処理を説明するための図である。図3(a)は、欠陥を含まない学習画像LNGの一例を示し、図3(b)は、欠陥DEFを含む検査画像IMGの一例を示し、図3(c)は、欠陥DEFを含まない部分領域BLK1の一例を示し、図3(d)は、欠陥DEFを含む部分領域BLK2の一例を示す。

【0041】

図3(a)を参照して、まず、学習型ESDDによれば、基準ワーク4を撮影して得られた欠陥を含まない学習画像LNGから所定の大きさの部分領域BLK^LNが順次抽出される。そして、この学習画像LNGの全体として現れる性質(特徴)が予め取得される(学習)。なお、図3(a)では、図面を簡素化するために、互いに重ならないように部分領域BLK^LNを順次抽出する例を示すが、互いに重なるように部分領域BLK^LNを設定してもよい。

【0042】

図3(b)を参照して、続いて、学習型ESDDによれば、対象ワーク2を撮影して得られた検査画像IMGから所定の大きさの部分領域BLK1, BLK2などが抽出される。なお、検査画像IMGから抽出される部分領域BLK1, BLK2は、学習画像LNGから抽出した部分領域BLK^LNの大きさといずれも同じである。

【0043】

図3(c)に示すように、部分領域BLK1が欠陥DEFを含まない場合には、部分領域BLK1は、学習画像LNGの全体として現れる性質とほぼ同様の性質を有することになる。一方、図3(d)に示すように、部分領域BLK2に欠陥DEFが含まれる場合には、部分領域BLK2は、学習画像LNGの全体として現れる性質とは異なる特徴的な性質を有することになる。

【0044】

このように、学習型ESDDによれば、基準ワーク4を撮影して得られる学習画像LNGの全体として現れる性質を予め取得(学習)しておき、この予め取得した学習画像LNGの全体として現れる性質と、検査画像IMGの対応する部分領域BLKに現れる性質とを比較することで、検査画像IMG中の欠陥DEFを検出する。

【0045】

図4は、検査画像IMG内に発生する欠陥DEF1, DEF2の一例を示す図である。

図4を参照して、対象ワークによっては、発生する欠陥の大きさにバラツキが生じ得る。そのため、検査画像IMG中には、部分領域BLKに収まる欠陥DEF1が発生する場合もあれば、1つの部分領域BLKに収まりきらないような欠陥DEF2が発生する場合もある。

【0046】

10

20

30

40

50

一方、発生する欠陥の大きさを予め予測することは困難である場合が多く、予め部分領域 $B L K^{L^N}$ および $B L K$ の大きさを最適化することは難しい。また欠陥の大きさにバラツキが生じる場合などにも、部分領域 $B L K^{L^N}$ および $B L K$ の大きさを最適化することは難しい。

【0047】

そこで、本発明に係る欠陥検出装置は、非特許文献 1 に開示されている E S D D とは異なり、部分領域 $B L K^{L^N}$ および $B L K$ の大きさを固定することなく、互いに大きさの異なる複数の部分領域 $B L K^{L^N}$ および $B L K$ を用いて画像を評価し、欠陥を検出する。なお、以下では、部分領域 $B L K^{L^N}$ および $B L K$ の大きさのことを「ベクトルサイズ」とも称す。

10

【0048】

(学習処理および欠陥検出処理)

図 5 は、この発明の実施の形態 1 に従う欠陥検出装置に設定される部分領域の大きさとその評価を概念的に説明するための図である。

【0049】

図 6 は、この発明の実施の形態 1 に従う欠陥検出装置における学習処理および欠陥検出処理を概念的に説明するための図である。図 6 (a) は学習処理を概念的に示し、図 6 (b) は欠陥検出処理を概念的に示す。

【0050】

図 5 を参照して、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、学習画像 $L N I M G$ または検査画像 $I M G$ (以下、単に「画像」と総称する場合もある) から、大きさの異なる複数の部分領域 $B L K^{E V}(1)$, $B L K^{E V}(2)$, ..., $B L K^{E V}(m)$ または $B L K(1)$, $B L K(2)$, ..., $B L K(m)$ をそれぞれ抽出する。このとき、 $B L K^{E V}(1)$, $B L K^{E V}(2)$, ..., $B L K^{E V}(m)$ または部分領域 $B L K(1)$, $B L K(2)$, ..., $B L K(m)$ のうち、最も小さい(狭い)部分領域がそれぞれの評価領域となる。そして、他の部分領域は、この評価領域に相当する最も小さい領域(図 5においては、部分領域 $B L K^{E V}(1)$ または $B L K(1)$)を包含するように設定される。以下、ある評価領域に対応する部分領域 $B L K^{E V}(1)$, $B L K^{E V}(2)$, ..., $B L K^{E V}(m)$ または $B L K(1)$, $B L K(2)$, ..., $B L K(m)$ を「部分領域セット SET」とも称す。

20

【0051】

そして、抽出された部分領域 $B L K^{E V}(1)$, $B L K^{E V}(2)$, ..., $B L K^{E V}(m)$ の各々の画像情報からそれぞれの画像ベクトルが算出され、さらに各画像ベクトルと対応する固有空間との間の距離 $O u t_1$, $O u t_2$, ..., $O u t_m$ が算出される。このような過程によって、各評価領域に対応する部分領域セット SET についての応答ベクトル $R V = [O u t_1, O u t_2, \dots, O u t_m]$ が算出できる。

30

【0052】

このように、学習画像 $L N I M G$ に設定される部分領域 $B L K^{E V}(1)$, $B L K^{E V}(2)$, ..., $B L K^{E V}(m)$ は、応答ベクトル $R V$ の算出に用いられ、この応答ベクトル $R V$ は、検査画像 $I M G$ に設定される各評価領域を評価するための判別関数の算出に用いられる。一方、後述する部分領域 $B L K^{L^N}$ は、主として、学習画像 $L N I M G$ における固有空間(固有ベクトル)の算出に用いられる。実際は、部分領域 $B L K^{E V}(1)$, $B L K^{E V}(2)$, ..., $B L K^{E V}(m)$ の大きさ(ベクトルサイズ)別に、固有空間(固有ベクトル)を算出する必要があるので、両者は同じ領域となる場合もあるが、理解を容易にするために、符号を異ならせて記載する。

40

【0053】

図 6 (a) を参照して、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、学習処理において、学習画像 $L N I M G$ の各評価領域に対応して算出される応答ベクトル $R V$ を特徴空間に写像する。この特徴空間は、応答ベクトルを構成する各成分に対応する次元をもつ超空間となる。すなわち、この特徴空間は、各ベクトルサイズにおける画像ベクトルと固有空間との距

50

離を基底（座標）とする。

【0054】

そして、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、この特徴空間に写像された応答ベクトルの集合に対して、正常値とはずれ値とを区別する。このような区別は、データマイニング（Data mining）分野のはずれ値検出手法を用いることで実現される。より具体的には、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、正常値とはずれ値とを区別するための判別関数を決定する。すなわち、判別関数は、応答ベクトルの集合内と同集合外との境界を規定する関数である。

【0055】

このような判別関数を決定する手順としては、以下のようになる。まず、学習画像 L N I M G から算出される複数の応答ベクトル R V をクラスタリングする。このクラスタリングされた結果に対して、その距離（distance）や密度分布（density）などに基づいて、1つ以上のクラス（欠陥ではない部分に対応）を定義する。すなわち、各クラスの相違の基準を決定する。このクラスの相違の基準を示す関数が判別関数に相当する。そして、この判別関数に基づいて、何らかの検査画像 I M G から算出された応答ベクトル R V が、定義されたいずれのクラスにも属さない場合には、「リジェクトクラス」として分類され、はずれ値、すなわち欠陥と判断される。10

【0056】

本実施の形態に従う欠陥検出装置では、応答ベクトル R V が「正常値」および「はずれ値」のいずれであるかを判別するだけであるので、1つのクラスのみを定義する、いわゆる「1クラス問題」の手法を用いて決定することができる。このような1クラス問題の代表的な手法として、1 - クラス S V M (One-Class Support Vector Machine) や S V D D (Support Vector Data Description) が知られている。なお、1 - クラス S V M については、たとえば、文献 (Siwei Lyu and Hany Farid, Steganalysis Using Color Wavelet Statistics and One-Class Support Vector Machines, Department of Science, Dartmouth College, Hanover, NH 03755, USA) を参照されたい。20

【0057】

代替的に、このような判別関数の決定手法として、K - N N 法、K - M e a n s 法、M C D (Minimum Covariance Determinant) 法、G M M (Gaussian Mixture Model) 法、G P (Gaussian Process) 法などを用いることもできる。なお、上述した、はずれ値検出手法については、文献 (Sanjay Chawla and Pei Sun, "Clustering and Outlier Detection in High Dimensional Data", School of Information Technologies, University of Sydney NSW, Australia, <http://www.dbs.ifii.uni.de/CODHDD09/> [インターネット]) を参照されたい。30

【0058】

以上のように、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、学習処理において特徴空間上の判別関数（学習結果）を予め決定する。

【0059】

図 6 (b) を参照して、欠陥検出処理において、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、上記の処理と同様に、検査画像 I M G の各評価領域に対応する部分領域セット S E T についての応答ベクトル R V ' を順次算出し、上記の特徴空間に写像する。そして、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、予め決定した判別関数に基づいて、この写像した応答ベクトル R V ' が正常値であるかはずれ値であるかを判断する。すなわち、この写像した応答ベクトル R V ' が学習画像から算出される応答ベクトルの集合内に存在するか否かが判断される。そして、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、応答ベクトルがはずれ値であれば、対応する評価領域において欠陥が存在すると検出する。40

【0060】

以上のように、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、評価領域を包含する大きさの異なる複数の部分領域の各々についての評価結果を総合して、対象となる評価領域における欠陥の有無を判断する。そのため、欠陥の大きさと部分領域の大きさとの相対的なバラツキ50

が存在する場合であっても、このバラツキによる欠陥検出の係る影響を抑制でき、欠陥の検出精度をより高めることができる。

【0061】

(制御構造)

次に、上述のような処理を実現するための制御構造について説明する。

【0062】

図7は、この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置の制御構造を示す機能ブロック図である。

【0063】

図7を参照して、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、その機能として、画像バッファ部202, 222と、抽出部204, 214, 224と、ベクトル生成部206, 216, 226と、固有ベクトル算出部208と、固有空間決定部210と、距離算出部218, 228と、分類部220と、判断部230と、欠陥検出部232と、学習結果格納部240とを含む。
10

【0064】

画像バッファ部202は、メモリ106(図1)の所定の領域に形成され、装置外部から入力される学習画像を一時的に格納する。なお、本実施の形態においては、撮像部8から画像バッファ部202へ学習画像が入力される構成について例示するが、撮像部8以外の装置によって撮影された学習画像が記録媒体やネットワークなどを介して、予め固定ディスク107(図2)に格納されていてもよい。
20

【0065】

抽出部204と、ベクトル生成部206と、固有ベクトル算出部208と、固有空間決定部210とは、各画像ベクトルとの間の距離を算出するための基準となる固有空間を決定する。なお、固有空間は、部分領域セットSETに含まれる部分領域BLKE^Vの大きさ(ベクトルサイズ)別にそれぞれ決定される。すなわち、各部分領域セットSETが互いに異なるベクトルサイズをもつm種類の部分領域BLKE^V(またはBLK)を含む場合には、m個の固有空間が決定される。

【0066】

抽出部204は、部分領域セットSETに含まれる複数の部分領域BLKE^Vのそれについて、画像バッファ部202に一時的に格納される学習画像から、対応するベクトルサイズをもつ部分領域BLKL^Nをそれぞれ抽出し、このそれぞれ抽出した部分領域BLKL^Nに対応する学習画像の画像情報をベクトル生成部206へ出力する。言い換れば、抽出部204は、画像バッファ部202に一時的に格納される学習画像から、ベクトルサイズ別に、学習サンプル(局所領域)を順次切り出す。
30

【0067】

ベクトル生成部206は、抽出部204によって順次抽出される学習画像の部分領域BLKL^Nの画像情報から、各ベクトルサイズjについての学習画像ベクトルx₁^{L N(j)}, x₂^{L N(j)}, ..., x_{R(j)}^{L N(j)}を順次生成する(但し、R(j)は各ベクトルサイズjにおける学習サンプル総数である)。

【0068】

図8は、この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置における画像ベクトルの生成処理を概念的に説明するための図である。
40

【0069】

図9は、この発明の実施の形態1に従う欠陥検出装置における部分領域の画像情報を概念的に説明するための図である。

【0070】

図8を参照して、抽出部204は、画像バッファ部202に格納されている学習画像LNIMGに対して、異なる複数のベクトルサイズ毎に部分領域を順次設定する。図8(a)は、学習画像LNIMGに対して、ベクトルサイズ1の部分領域BLKL^{N(1)}が設定されている状態を示し、同様に、図8(b)および図8(c)は、それぞれ学習画像LN
50

N I M G に対して、ベクトルサイズ 2 の部分領域 $B L K^{L N(2)}$ およびベクトルサイズ m の部分領域 $B L K^{L N(m)}$ が設定されている状態を示す。

【0071】

図 9 を参照して、部分領域 $B L K^{L N}$ が w 画素 $\times h$ 画素の大きさ（ベクトルサイズ）であれば、抽出部 204 は、設定される部分領域 $B L K^{L N(j)}$ の各々について、 $N (= w \times h)$ 個の画像情報 c_i をベクトル生成部 206 へ出力する。そして、ベクトル生成部 206 は、設定される部分領域 $B L K^{L N}$ の各々について、以下のような学習画像ベクトルを生成する。

【0072】

$$\text{学習画像ベクトル } x_i^{L N(j)} = [c_1, c_2, \dots, c_N(j)]^T \quad 10$$

但し、 $N(j) = w \times h$, $1 \leq j \leq m$

なお、各画素が R 成分値、G 成分値、B 成分値からなる場合には、画像情報 c_i はこれらの成分値を含む 3 次元の配列となる。そのため、学習画像ベクトル $x_i^{L N(j)}$ としては、以下のようになる。

【0073】

$$x_i^{L N(j)} = [R_1, G_1, B_1, R_2, G_2, B_2, \dots, R_N(j), G_N(j), B_N(j)]^T$$

ベクトル生成部 206 が生成する各部分領域 $B L K^{L N(j)}$ についての学習画像ベクトル $x_i^{L N(j)}$ は、N 次元ユークリッド空間上の点として定義できる。

【0074】

再度、図 7 を参照して、固有ベクトル算出部 208 は、ベクトル生成部 206 が順次生成する学習画像ベクトル $x_i^{L N(j)}$ の組から、ベクトルサイズ毎に固有ベクトルを算出する。より詳細には、固有ベクトル算出部 208 は、ベクトル生成部 206 で生成される学習画像ベクトル $x_i^{L N(j)}$ の組（集合）として、ベクトルサイズ別に、以下のような集合ベクトル $X^{L N(j)}$ を算出する。

【0075】

$$\text{集合ベクトル } X^{L N(j)} = [x_1^{L N(j)}, x_2^{L N(j)}, \dots, x_R^{L N(j)}]$$

但し、 $R(j)$ は、対応のベクトルサイズ j において、学習画像 L N I M G に設定される部分領域 $B L K^{L N}$ の総数（学習サンプル総数）である

そして、固有ベクトル算出部 208 は、集合ベクトル $X^{L N(j)}$ の分散行列 $Q(j) = X^{L N(j)} \cdot X^{L N(j) T}$ を対角化する固有ベクトル $V(j)$ を算出する。すなわち、固有ベクトル算出部 208 は、以下の式が成立するように、固有ベクトル $V(j)$ および固有値行列 $\Lambda(j)$ を算出する。

【0076】

$$\text{分散行列 } Q(j) = X^{L N(j)} \cdot X^{L N(j) T} = V(j) \cdot \Lambda(j) \cdot V(j)^T$$

$$\text{固有ベクトル } V(j) = [e_1(j), e_2(j), \dots, e_R(j)]$$

ここで、基底ベクトル $e_1(j), e_2(j), \dots, e_R(j)$ は、以下の条件を満たす。

【0077】

【数 1】

$$e_r^{(j)} \cdot e_s^{(j)} = \begin{cases} 0 & r \neq s \\ 1 & r = s \end{cases}$$

【0078】

また、固有値行列 $\Lambda(j)$ は、以下のように固有値 $\lambda_1(j), \lambda_2(j), \dots, \lambda_R(j)$ の対角行列として表される。

【0079】

10

20

30

40

50

【数2】

$$\Delta^{(j)} = \begin{bmatrix} \lambda_1^{(j)} & & 0 \\ & \lambda_2^{(j)} & \\ & & \ddots \\ 0 & & \lambda_R^{(j)} \end{bmatrix}$$

但し、 $\lambda_1^{(j)} \geq \lambda_2^{(j)} \dots \geq \lambda_R^{(j)}$

10

【0080】

なお、上記のような固有ベクトルおよび固有値の演算処理は、K L (Karhunen-Loeve) 展開などの公知のアルゴリズムを用いて実現することができる。

【0081】

ここで、固有ベクトル $V^{(j)}$ を構成する基底ベクトル $e_1^{(j)}, e_2^{(j)}, \dots, e_R^{(j)}$ の各々は、学習画像 L N I M G を対応のベクトルサイズでサンプリングした場合に、学習画像 L N I M G の全体として現れる性質を代表するものであり、その固有値が大きいものほどその代表する度合いが大きくなる。ここで、固有値 $\lambda_1^{(j)}, \lambda_2^{(j)}, \dots, \lambda_R^{(j)}$ であるので、基底ベクトル $e_1^{(j)}, e_2^{(j)}, \dots, e_R^{(j)}$ の順で学習画像 L N I M G の全体として現れる性質を代表する度合いが大きいことを意味する。

20

【0082】

そこで、本実施の形態に従う欠陥検出装置では、このような基底ベクトル $e_1^{(j)}, e_2^{(j)}, \dots, e_R^{(j)}$ における物理的な意味を考慮して、その固有値が大きいものから順に所定数の基底ベクトルを用いて、各ベクトルサイズにおける固有空間を決定する。すなわち、固有空間は、固有ベクトル算出部 208 で生成される基底ベクトル $e_1^{(j)}, e_2^{(j)}, \dots, e_R^{(j)}$ の一部を用いて算出される部分空間である。このように算出される固有空間は、学習画像 L N I M G の全体として現れる性質を、基底ベクトルの次元（次数）に応じた程度で反映したものとなる。ここで、学習画像 L N I M G におけるフラクタル性や周期性が支配的であれば、相対的に小さい次元の基底ベクトルで規定される固有空間であっても、学習画像 L N I M G の大部分の特性をほぼ近似し得る。

30

【0083】

固有空間決定部 210 は、固有ベクトル算出部 208 が算出した固有ベクトル $V^{(j)} = [e_1^{(j)}, e_2^{(j)}, \dots, e_R^{(j)}]$ のうち、その固有値が大きいものから所定数の基底ベクトル $e_1^{(j)}, e_2^{(j)}, \dots, e_{dim(j)}^{(j)}$ ($dim(j) \leq R(j)$) を用いて、各ベクトルサイズにおける固有空間 $E^{(j)}$ を決定する。この固有空間 $E^{(j)}$ は、次元 $dim(j)$ の超平面となる。なお、次元 $dim(j)$ は、学習画像 L N I M G に現れる性質に応じて任意に決定できるが、次元 $dim(j)$ が高くなるほど、後述する投影ベクトルなどに演算量が増大する。そのため、非特許文献 1 に開示されるような累積寄与度などに基づいて、適切な次元を決定することが望ましい。そして、固有空間決定部 210 は、この決定した固有空間 $E^{(j)}$ を距離算出部 218 へ出力するとともに、学習結果格納部 240 へ格納する。

40

【0084】

次に、抽出部 214 と、ベクトル生成部 216 と、距離算出部 218 と、分類部 220 とは、学習画像 L N I M G に設定される各評価領域に対応する部分領域セット S E T についての応答ベクトルを算出するとともに、この応答ベクトルの集合に対して、正常値とずれ値とを区別するための判別関数を決定する。

【0085】

抽出部 214 は、学習画像 L N I M G に評価領域を順次設定するとともに、各評価領域に対応付けて、異なる複数のベクトルサイズをもつ部分領域 B L K^E V (1), B L K^E

50

$V(2), \dots, B L K^{EV}(m)$ を順次抽出する。なお、部分領域 $B L K^{EV}(1), B L K^{EV}(2), \dots, B L K^{EV}(m)$ の大きさは、ベクトル生成部 206 によって生成される固有空間 $E(j)$ (但し、 $1 \leq j \leq m$) のそれぞれに対応する部分領域の大きさと一致する。

【0086】

そして、抽出部 214 は、この順次抽出する部分領域 $B L K^{EV}(1), B L K^{EV}(2), \dots, B L K^{EV}(m)$ (部分領域セット) に対応する学習画像の画像情報を画像バッファ部 202 からそれぞれ読み出し、これらの読み出した画像情報をベクトル生成部 216 へ出力する。上述したように、部分領域 $B L K^{EV}(1), B L K^{EV}(2), \dots, B L K^{EV}(m)$ は、いずれも対応する評価領域を包含するように設定される。 10

【0087】

ここで、部分領域 $B L K^{EV}(1), B L K^{EV}(2), \dots, B L K^{EV}(m)$ は、評価領域 (最小の部分領域 $B L K$ に相当) を包含するものであればどのように設定してもよい。そのため、図 5 に示すように、評価領域 (部分領域 $B L K^{EV}(1)$ に相当) に対して紙面右下方向に順次拡大するように部分領域をそれぞれ設定してもよいし、評価領域を中心として周辺方向に順次拡大するように部分領域を設定してもよい。

【0088】

図 10 は、複数の部分領域 $B L K^{EV}(1), B L K^{EV}(2), \dots, B L K^{EV}(m)$ の設定方法の一例を示す図である。図 10においては、学習画像 $L N I M G$ に設定される評価領域 (部分領域 $B L K^{EV}(1)$ に相当) を中心として、その周辺方向に拡大するように、部分領域 $B L K^{EV}(2) \sim B L K^{EV}(m)$ が設定される場合が示される。 20

【0089】

また、評価領域は、学習画像 $L N I M G$ 中の任意の場所に設定することが可能である。図 11 は、評価領域に対応する部分領域セット $S E T$ の設定方法の一例を示す図である。図 11 (a) に示すように、抽出部 214 (図 7) は、一例として、学習画像 $L N I M G$ に対して、部分領域セット $S E T$ を所定間隔だけずらして順次設定する。このとき、部分領域セット $S E T 1$ と隣接する部分領域セット $S E T 2$ との一部が互いに重複してもよい。さらに、図 11 (b) に示すように、部分領域セット $S E T 1$ と、部分領域セット $S E T 1$ から互いに所定間隔だけ離された部分領域セット $S E T 2$ とを設定してもよい。さらに、部分領域セット $S E T 1$ と部分領域セット $S E T 2$ との間、および部分領域セット $S E T 2$ と部分領域セット $S E T 3$ との間のように、隣接する部分領域セットの間隔が一定でなくともよい。 30

【0090】

なお、抽出部 204 および抽出部 214 (図 7) が設定する部分領域セットに含まれる部分領域の大きさは、ユーザなどからの最小 / 最大ベクトルサイズ設定に従って、決定することができる。すなわち、部分領域セット $S E T$ に含まれる最小の部分領域の大きさを最小ベクトルサイズに設定し、同じく最大の部分領域の大きさを最大ベクトルサイズに設定する。さらに、最小ベクトルサイズから最大ベクトルサイズの間で、必要な数の部分領域が設定される。 40

【0091】

図 12 は、部分領域セットに含まれ得る部分領域の上限ベクトルサイズおよび下限ベクトルサイズを示す図である。図 12 を参照して、部分領域として設定可能なベクトルサイズの下限値としては、学習画像 $L N I M G$ を構成する最小単位である 1 画素となる。一方、部分領域として設定可能なベクトルサイズの上限値としては、学習画像 $L N I M G$ の全体、すなわち学習画像 $L N I M G$ の画像サイズとなる。

【0092】

また、部分領域セットの一部が学習画像 $L N I M G$ からはみ出る場合には、特定の処理を行なうようにしてもよい。

【0093】

10

20

30

40

50

図13は、部分領域セットSETの一部が学習画像LNGからはみ出る場合の処理を説明するための図である。

【0094】

部分領域セットSETの一部が学習画像LNGからはみ出る場合の処理例として、図13(a)に示すように、当該はみ出し部分の画像情報の出力を省略してもよい。図13(a)に示す例では、部分領域BLKE^V(m)の一部の領域がはみ出し部分となるので、この部分についての画像情報は出力されない。このような場合には、後述するベクトル生成部216で生成される対応の画像ベクトルの大きさが小さくなるが、画像ベクトルと対応の固有空間との間の距離に基づいて欠陥の有無が評価されるので、この画像ベクトルの大きさの変動による影響はない。

10

【0095】

代替的に、図13(b)に示すように、学習画像LNGからはみ出る部分について、当該部分に隣接する部分の画像情報に基づいて補間処理を行なってもよい。このような補間処理を行なうことで、その一部が学習画像LNGからはみ出る部分領域を含む部分領域セットであっても、すべての部分領域が学習画像LNG内に収まる部分領域セットと同様の画像ベクトルの組を生成できる。この補間処理は、はみ出した部分を隣接する部分と同様の性質を有するとして扱うものであるため、ESDDに基づく欠陥検出方法においては、この補間処理による検出精度の低下はほとんど無視できる。

【0096】

再度、図7を参照して、ベクトル生成部216は、抽出部214によって順次抽出される部分領域セット(部分領域BLKE^V(1), BLKE^V(2), ..., BLKE^V(m))の画像情報から、評価領域画像ベクトルx_k^E^V(1), x_k^E^V(2), ..., x_k^E^V(m)を順次生成する。なお、kは、学習画像LNGに設定される部分領域セット(評価領域)を示すラベル番号である。

20

【0097】

ベクトル生成部216における評価領域画像ベクトルの生成処理は、上述したベクトル生成部206における学習画像ベクトルの生成処理と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。そして、ベクトル生成部216は、生成した評価領域画像ベクトルを距離算出部218へ出力する。

【0098】

30

距離算出部218は、ベクトル生成部216から出力される評価領域画像ベクトルx_k^E^V(1), x_k^E^V(2), ..., x_k^E^V(m)の各々について、対応するベクトルサイズの固有空間E^(j)との間の距離Out₁(k), Out₂(k), ..., Out_m(k)を順次算出する。

【0099】

ここで、固有空間Eと画像ベクトルxとの距離の算出方法について一般化して説明する。

【0100】

図14は、固有空間Eと画像ベクトルxとの距離Outを説明するための図である。

図14を参照して、固有空間Eと画像ベクトルxとの距離Outは、ユークリッド距離として定義され、このユークリッド距離は、画像ベクトルxの固有空間Eへの投影点x'を用いて、以下のような式で表すことができる。

40

【0101】

$$|Out|^2 = |x - x'|^2 = (x - x')^T (x - x')$$

また、画像ベクトルxの固有空間Eへの投影点x'は、以下のような式で表すことができる。

【0102】

【数3】

$$x' = EE^T x = E \begin{pmatrix} e_1 \cdot x \\ e_2 \cdot x \\ \vdots \\ e_D \cdot x \end{pmatrix}$$

但し、 $E = (e_1, e_2, \dots, e_{\dim})$

【0103】

次に、図15を参照して、固有空間を1次元とした場合について、固有空間 $E^{(1)}$ と画像ベクトル x との間の距離について説明する。

10

【0104】

図15は、1次元の固有空間 $E^{(1)}$ と画像ベクトル x との距離 out を説明するための図である。

【0105】

図15を参照して、原点から投影点 x' までの距離 P について考える。1次元の固有空間 $E^{(1)}$ は、基底ベクトル e_1 で定義されるので、ベクトル集合 P は、画像ベクトル x と基底ベクトル e_1 とを用いて以下のような式で表すことができる。

【0106】

$$P = x \cdot e_1$$

これを、 \dim 次元まで拡張すると、原点から投影点 x' までの距離 P の集合は、以下のようない式で表すことができる。

20

【0107】

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_{\dim})^T$$

したがって、任意の成分における原点から投影点 x' までの距離は、 $P_m = x \cdot e_m$ ($m = 1, \dots, \dim$) となる。

【0108】

図15に示すように固有空間 (1) が1次元であれば、固有空間 (1) (基底ベクトル e_1 平面) 上の投影点 x' は、基底ベクトル e_1 方向に P 倍したものと考えられるので、 $x' = Pe_1$ となる。但し、基底ベクトル e_1 を単位ベクトルとする。

【0109】

30

これを、 \dim 次元まで拡張すると、投影点 x' は以下のようない式で表すことができる。

【0110】

【数4】

$$x' = p_1 e_1 + p_2 e_2 + \dots + p_{\dim} e_{\dim}$$

$$= [e_1, e_2, \dots, e_{\dim}] \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_{\dim} \end{pmatrix}$$

$$= E \begin{pmatrix} e_1 \cdot x \\ e_2 \cdot x \\ \vdots \\ e_D \cdot x \end{pmatrix} = EE^T x$$

40

【0111】

再度、固有空間 E と画像ベクトル x との距離 out について考える。上述したように、

50

【0 1 1 2】

【数5】

$$x' = EE^T x = E \begin{pmatrix} e_1 \cdot x \\ e_2 \cdot x \end{pmatrix}$$

【0 1 1 3】

であるので、

$$\begin{aligned} |Out|^2 &= |x - x'|^2 = (x - x')^T (x - x') \\ &= (x - EP)^T (x - EP) \quad (\text{但し、 } P = E^T x) \\ &= x^T x - x^T EP - P^T E^T x + P^T E^T EP \end{aligned}$$

10

ここで、以下の式が成立するので、

【0 1 1 4】

【数6】

$$e_r \cdot e_s = \begin{cases} 0, & r \neq s \\ 1, & r = s \end{cases} \quad \text{であるので}$$

$$E^T E = \begin{bmatrix} e_1^T e_1 & e_1^T e_2 & \cdots & e_1^T e_{\dim} \\ e_2^T e_1 & e_2^T e_2 & \cdots & e_2^T e_{\dim} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{\dim}^T e_1 & e_{\dim}^T e_2 & \cdots & e_{\dim}^T e_{\dim} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = I$$

20

【0 1 1 5】

$$\begin{aligned} |Out|^2 &= x^T x - P^T P - P^T P + P^T P \\ &= x^T x - P^T P \end{aligned}$$

以上のように、固有空間 E と画像ベクトル x との距離 Out は、画像ベクトル x とベクトル集合 P を用いて、以下のような式で表すことができる。

【0 1 1 6】

30

$$|Out|^2 = x^T x - P^T P$$

ここで、ベクトル集合 P は、画像ベクトル x を投影点 x' へ投影するための投影ベクトルに相当し、 $P^T P$ は、この投影ベクトルの内積値に相当する。

【0 1 1 7】

再度、図7を参照して、距離算出部218は、ベクトル生成部216から出力される評価領域画像ベクトル $x_k^{EV(1)}, x_k^{EV(2)}, \dots, x_k^{EV(m)}$ の各々について、固有空間決定部210から出力される固有空間 $E^{(j)}$ のうち、同一のベクトルサイズをもつ固有空間との間の距離 $Out_j(k), Out_2(k), \dots, Out_m(k)$ を順次算出する。

【0 1 1 8】

40

$$|Out_j(k)|^2 = x_k^{EV(j)T} \cdot x_k^{EV(j)} - P_k^{(j)T} \cdot P_k^{(j)}$$

$$\text{但し、 } P_k^{(j)} = E^{(j)T} \cdot x_k^{EV(j)}$$

そして、距離算出部218は、このように順次算出する距離 $Out_1(k), Out_2(k), \dots, Out_m(k)$ を分類部220へ出力する。

【0 1 1 9】

なお、部分領域が互いに重複して設定される領域の固有空間に対する距離は、重複して設定される各部分領域についての距離の和として算出してもよい。

【0 1 2 0】

図16は、部分領域が重複して設定される領域の固有空間に対する距離の算出方法を説

50

明するための図である。図16(a)は、2つの部分領域BLKaおよびBLKbが重複する場合を示し、図16(b)は、4つの部分領域BLKa, BLKb, BLKc, BLKdが重複する場合を示す。

【0121】

図16(a)を参照して、部分領域BLKaと部分領域BLKbとの重複部分についての固有空間に対する距離は、部分領域BLKaの固有空間に対する距離と、部分領域BLKbの固有空間に対する距離との和、もしくはその平均値として算出することができる。

【0122】

また、図16(b)を参照して、部分領域BLKa, BLKb, BLKc, BLKdの重複部分についての固有空間に対する距離は、部分領域BLKa, BLKb, BLKc, BLKdの固有空間に対するそれぞれの距離の和、もしくはその平均値として算出することができる。

【0123】

再度、図7を参照して、分類部220は、まず、距離算出部218で算出された各評価領域における距離Out₁(k), Out₂(k), …, Out_m(k)を集合して応答ベクトルRV(k) = [Out₁(k), Out₂(k), …, Out_m(k)]を順次生成する。そして、分類部220は、順次生成する応答ベクトルRV(k)をm次元の特徴空間に写像する。さらに、分類部220は、このm次元の特徴空間上において、写像されたk個の応答ベクトルRV(k)の集合に対して、正常値とはずれ値とを区別するための判別関数を決定する(図6(a)参照)。

【0124】

上述したように、本実施の形態に従う分類部220は、はずれ値検出手法(典型的には、1-クラスSVM)の手法を用いて判別関数を決定する。そして、分類部220は、この決定した判別関数を学習結果格納部240へ格納する。

【0125】

以上のように、学習結果格納部240には、学習結果として、分類部220により決定された判別関数が格納される。これにより、学習処理は完了する。

【0126】

次に、画像バッファ部222と、抽出部224と、ベクトル生成部226と、距離算出部228と、判断部230と、欠陥検出部232とは、検査画像における欠陥の検出処理を行なう。

【0127】

画像バッファ部222は、メモリ106(図1)の所定の領域に形成され、装置外部から入力される検査画像を一時的に格納する。なお、本実施の形態においては、撮像部8から画像バッファ部222へ検査画像が入力される構成について例示するが、撮像部8以外の装置によって撮影された検査画像が記録媒体やネットワークなどを介して、予め固定ディスク107(図2)に格納されていてもよい。

【0128】

抽出部224は、画像バッファ部222に一時的に格納される検査画像IMGに評価領域を順次設定するとともに、各評価領域に対応付けて、異なる複数のベクトルサイズをもつ部分領域BLK⁽¹⁾, BLK⁽²⁾, …, BLK^(m)を順次抽出する。なお、部分領域BLK⁽¹⁾, BLK⁽²⁾, …, BLK^(m)の大きさは、抽出部214によって学習画像LNIMGから順次抽出される部分領域BLK⁽¹⁾, BLK⁽²⁾, …, BLK^(m)の大きさと一致する。また、抽出部224が検査画像IMGに設定する評価領域は、抽出部214が学習画像LNIMGに設定する評価領域のいずれかに対応するものとする。

【0129】

また、抽出部224は、検査画像IMGから順次抽出する評価領域の位置(ラベル情報)を判断部230へ出力する。

【0130】

10

20

30

40

50

ベクトル生成部 226 は、抽出部 224 によって順次抽出される部分領域セット（部分領域 $B L K^{(1)}, B L K^{(2)}, \dots, B L K^{(m)}$ ）の画像情報から、検査画像ベクトル $x_k^{(1)}, x_k^{(2)}, \dots, x_k^{(m)}$ を生成する。なお、 k は、検査画像ベクトルに設定された評価領域が、学習画像 $L N I M G$ に設定された部分領域セット（評価領域）のいずれに対応するかを示すラベル番号である。なお、ベクトル生成部 226 における検査画像ベクトルの生成処理は、上述したベクトル生成部 206 における学習画像ベクトルの生成処理と同様であるので、詳細な説明は繰り返さない。そして、ベクトル生成部 226 は、生成した検査画像ベクトルを距離算出部 228 へ出力する。

【0131】

距離算出部 228 は、ベクトル生成部 226 から出力される検査画像ベクトル $x_k^{(1)}, x_k^{(2)}, \dots, x_k^{(m)}$ の各々について、対応するベクトルサイズの固有空間 $E^{(1)}, E^{(2)}, \dots, E^{(m)}$ との間の距離 $Out'_{j_1}(k), Out'_{j_2}(k), \dots, Out'_{j_m}(k)$ を順次算出する。より詳細には、距離算出部 228 は、ベクトル生成部 226 から出力される検査画像ベクトル $x_k^{(j)}$ と、学習結果格納部 240 に格納される対応するベクトルサイズの固有空間 $E^{(D)}$ に基づいて、

$$|Out'_{j_1}(k)|^2 = x_k^{(j)} \cdot x_k^{(j)} - P_k^{(j)} \cdot P_k^{(j)}$$

(但し、 $P_k^{(j)} = E^{(D)} \cdot x_k^{(j)}$)

の関係式に従って、検査画像ベクトル $x_k^{(j)}$ と対応する固有空間 $E^{(D)}$ との間の距離 $Out'_{j_1}(k)$ を算出する。この演算に際して、距離算出部 228 は、学習結果格納部 240 から対応の固有空間 $E^{(D)}$ を読み出す。

【0132】

このように、距離算出部 228 は、学習結果格納部 240 に格納された固有空間 $E^{(D)}$ を用いて、固有空間 $E^{(D)}$ と検査画像ベクトル $x_k^{(j)}$ との距離 $Out'_{j_1}(k)$ を算出するので、学習画像 $L N I M G$ に基づいて固有空間 $E^{(D)}$ が一旦算出された後は、その後に入力される検査画像 $I M G$ の各々に対して固有空間 $E^{(D)}$ を再度算出する必要はない。そのため、従来に比較して処理時間を短縮することができる。また、基準となる固有空間 $E^{(D)}$ が画像中に含まれる欠陥部分の情報を含むことがないので、欠陥検出の精度を高めることができる。

【0133】

判断部 230 は、距離算出部 228 で算出された対象評価領域における距離 $Out'_{j_1}(k), Out'_{j_2}(k), \dots, Out'_{j_m}(k)$ を集合して応答ベクトル $RV'(k) = [Out'_{j_1}(k), Out'_{j_2}(k), \dots, Out'_{j_m}(k)]$ を生成する。そして、判断部 230 は、生成した応答ベクトル $RV'(k)$ を m 次元の特徴空間に写像するとともに、学習結果格納部 240 から予め算出された判別関数を読み出し、この写像した応答ベクトル RV' が正常値およびはずれ値のいずれの領域に存在しているかを判断する（図 6 (b) 参照）。そして、判断部 230 は、応答ベクトル RV' がはずれ値の領域に存在していれば、対象となる評価領域に欠陥が存在すると判断する。一方、判断部 230 は、応答ベクトル RV' が正常値の領域に存在していれば、対象となる評価領域には欠陥が存在しないと判断する。さらに、欠陥が存在していると判断すると、判断部 230 は、欠陥位置を特定するための情報を欠陥検出部 232 へ通知する。

【0134】

欠陥検出部 232 は、判断部 230 からの欠陥位置の特定情報に基づいて、画像バッファ部 222 に格納されている検査画像 $I M G$ を参照し、欠陥の種類や大きさなどの欠陥についての詳細な情報を検出する。具体的には、欠陥検出部 232 は、検査画像 $I M G$ に対してエッジ検出などを実行する。そして、欠陥検出部 232 は、検出した欠陥の詳細情報を欠陥検出結果として出力する。

【0135】

以上のような機能構成によって、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、欠陥を含まない学習画像 $L N I M G$ に基づいて検査画像 $I M G$ における欠陥を検出する。

【0136】

10

20

30

40

50

(処理手順)

図17は、この発明の実施の形態1に従う欠陥検出システム1において対象ワーク2に発生し得る欠陥を検出するための処理手順を示すフローチャートである。

【0137】

図1および図17を参照して、ユーザは、予め欠陥が発生していないことが分かっている基準ワーク4を搬送機構6上の撮像部8の撮影範囲に配置する(ステップS2)。そして、ユーザは、欠陥検出装置に所定の指令を与えて、この基準ワーク4を撮影した学習画像を取得させる(ステップS4)。この際、照明部10は、所定の光量の光を基準ワークに向けて照射する。なお、上述したように、撮像部8以外の装置によって予め撮影された学習画像を欠陥検出装置に与えるようにしてもよい。

10

【0138】

学習画像の取得後、欠陥検出装置は学習処理を実行し(ステップS6)、その学習結果(判別関数や固有空間)を格納する(ステップS8)。なお、学習処理については、後述する。

【0139】

この学習処理および学習結果の格納が終了すると、ユーザは、対象ワーク2が搬送機構6上の撮像部8の撮影範囲に順次搬送されるように、搬送機構6などを操作する(ステップS10)。撮像部8の撮影範囲に対象ワーク2が搬送されると、欠陥検出装置は、撮像部8によって対象ワーク2を撮影することで検査画像を取得する(ステップS12)。なお、欠陥検出装置は、搬送機構6上などに配置される位置センサ(図示しない)などによって、対象ワーク2の到着を検出する。

20

【0140】

検査画像を取得すると、欠陥検出装置は、欠陥検出処理を実行し(ステップS14)、その欠陥検出結果を出力する(ステップS16)。なお、欠陥検出結果は、欠陥検出装置に格納されたり、モニタ102などに出力されたりする。

【0141】

そして、欠陥検出装置は、終了指示が与えられたか否かを判断する(ステップS18)。この終了指示は、ユーザなどによって与えられ、もしくは欠陥検出対象の対象ワーク2が不存在であることの検知などに連動して与えられる。終了指示が与えられていなければ(ステップS18においてNO)、欠陥検出装置は、ステップS12以降の処理を再度実行する。終了指示が与えられていれば(ステップS18においてYES)、処理は終了する。

30

【0142】

図18は、この発明の実施の形態1に従う学習処理の処理手順を示すフローチャートである。また、図19は、この発明の実施の形態1に従う欠陥検出処理の処理手順を示すフローチャートである。なお、図18および図19に示すフローチャートは、CPU105が固定ディスク107などに予め格納されたプログラムをメモリ106に読み出して実行することにより、図7に示すような機能を実現することで実行される。

【0143】

(学習処理の処理手順)

40

図7および図18を参照して、抽出部204として機能するCPU105は、ユーザから、部分領域セットに含まれる部分領域の最小/最大ベクトルサイズおよび部分領域の数の設定を受付ける(ステップS100)。そして、抽出部204として機能するCPU105は、ステップS100におけるユーザからの設定情報に従って、部分領域セットを決定する(ステップS102)。

【0144】

抽出部204として機能するCPU105は、部分領域セットに含まれる1つのベクトルサイズについて、学習画像LNGから部分領域を抽出する(ステップS104)。そして、ベクトル生成部206として機能するCPU105は、抽出された部分領域の画像情報から学習画像ベクトル $x_i^{LN(j)}$ を生成する(ステップS106)。さらに、

50

CPU105は、学習画像LNIMGから抽出すべき部分領域BLK^{LN}が未だ残っているか否かを判断する（ステップS108）。学習画像LNIMGから抽出すべき部分領域BLK^{LN}が残っている場合（ステップS108においてYESの場合）には、CPU105は、ステップS104以下の処理を繰返す。

【0145】

これに対して、学習画像LNIMGから抽出すべき部分領域BLKが残っていない場合（ステップS108においてNOの場合）には、固有ベクトル算出部208として機能するCPU105は、学習画像ベクトルx_i^{LN(j)}からなるベクトルの組から固有ベクトルV^(j)を算出する（ステップS110）。そして、固有空間決定部210として機能するCPU105は、算出した固有ベクトルV^(j)のうち、その固有値が大きいものから順に所定数の固有ベクトルを用いて、当該ベクトルサイズにおける固有空間E^(j)を決定する（ステップS112）。そして、CPU105は、決定した固有空間E^(j)を学習結果格納部240へ格納する（ステップS114）。

10

【0146】

さらに、CPU105は、部分領域セットに含まれるすべてのベクトルサイズの部分領域について固有空間E^(j)の決定が完了したか否かを判断する（ステップS116）。部分領域セットに含まれるすべてのベクトルサイズの部分領域について固有空間E^(j)の算出が完了していない場合（ステップS116においてNOの場合）には、抽出部204として機能するCPU105は、部分領域セットに含まれる残りのベクトルサイズについて、学習画像LNIMGから部分領域を抽出する（ステップS118）。そして、ステップS106以降の処理を再度実行する。

20

【0147】

部分領域セットに含まれるすべてのベクトルサイズの部分領域について抽出を完了している場合（ステップS116においてYESの場合）には、抽出部214として機能するCPU105は、学習画像LNIMGに評価領域を設定（ステップS120）し、その評価領域について、異なる複数のベクトルサイズをもつ部分領域BLK^{EV(1)}, BLK^{EV(2)}, ..., BLK^{EV(m)}を順次抽出する（ステップS122）。そして、ベクトル生成部216として機能するCPU105は、抽出された部分領域BLK^{EV(1)}, BLK^{EV(2)}, ..., BLK^{EV(m)}の画像情報から、評価領域画像ベクトルx_k^{EV(1)}, x_k^{EV(2)}, ..., x_k^{EV(m)}を生成する（ステップS124）。

30

【0148】

続いて、距離算出部218として機能するCPU105は、評価領域画像ベクトルx_k^{EV(1)}, x_k^{EV(2)}, ..., x_k^{EV(m)}の各々について、対応するベクトルサイズの固有空間E⁽¹⁾, E⁽²⁾, ..., E^(m)との間の距離Out₁(k), Out₂(k), ..., Out_m(k)を算出する（ステップS126）。そして、距離算出部218として機能するCPU105は、算出した距離Out₁(k), Out₂(k), ..., Out_m(k)を集合して応答ベクトルRV(k) = [Out₁(k), Out₂(k), ..., Out_m(k)]を生成する（ステップS128）。

【0149】

40

さらに、CPU105は、学習画像LNIMGに評価領域を設定すべき領域が未だ残っているか否かを判断する（ステップS130）。学習画像LNIMGに評価領域を設定すべき領域が残っている場合（ステップS130においてYESの場合）には、CPU105は、ステップS120以下の処理を繰返す。

【0150】

これに対して、学習画像LNIMGに評価領域を設定すべき領域が残っていない場合（ステップS130においてNOの場合）には、分類部220として機能するCPU105は、ステップS126において生成した応答ベクトルRV(k)の集合に対して、正常値とはずれ値とを区別するための判別関数を決定し（ステップS132）、この決定した判別関数を学習結果格納部240へ格納する（ステップS134）。そして、処理はステッ

50

PS 8へ戻る。

【0151】

(欠陥検査処理の処理手順)

図7および図19を参照して、抽出部224として機能するCPU105は、検査画像IMGに評価領域を設定(ステップS200)し、その評価領域について、異なる複数のベクトルサイズをもつ部分領域BLK⁽¹⁾, BLK⁽²⁾, ..., BLK^(m)を順次抽出する(ステップS202)。そして、ベクトル生成部226として機能するCPU105は、抽出された部分領域BLK⁽¹⁾, BLK⁽²⁾, ..., BLK^(m)の画像情報から、検査画像ベクトルx_k⁽¹⁾, x_k⁽²⁾, ..., x_k^(m)を生成する(ステップS204)。

10

【0152】

続いて、距離算出部228として機能するCPU105は、学習結果格納部240から、検査画像ベクトルx_k⁽¹⁾, x_k⁽²⁾, ..., x_k^(m)にそれぞれ対応する固有空間E^(D)を読み出す(ステップS206)。そして、距離算出部228として機能するCPU105は、検査画像ベクトルx_k⁽¹⁾, x_k⁽²⁾, ..., x_k^(m)と、これらの読み出した内積値P_k^(j)T · P_k^(j)に基づいて、対応するベクトルサイズの固有空間E^(j)との距離Out'₁(k), Out'₂(k), ..., Out'_m(k)を算出する(ステップS208)。

【0153】

続いて、判断部230として機能するCPU105は、算出した距離Out'₁(k), Out'₂(k), ..., Out'_m(k)を集合して応答ベクトルRV'(k)=[Out'₁(k), Out'₂(k), ..., Out'_m(k)]を生成する(ステップS210)。そして、判断部230として機能するCPU105は、学習結果格納部240から判別関数を読み出し(ステップS212)、読み出した判別関数に基づいて、算出した応答ベクトルRV'(k)が正常値およびはずれ値のいずれの領域に存在しているかを判断する(ステップS214)。そして、判断部230として機能するCPU105は、対象の評価領域のラベル情報に対応付けて、検査画像IMGにおける欠陥有無の状態をマッピングする(ステップS216)。すなわち、CPU105は、検査画像IMGにおける欠陥の位置を特定する。

20

【0154】

その後、CPU105は、検査画像IMGに評価領域を設定すべき領域が未だ残っているか否かを判断する(ステップS218)。検査画像IMGに評価領域を設定すべき領域が残っている場合(ステップS218においてYESの場合)には、CPU105は、ステップS200以下の処理を繰返す。

30

【0155】

これに対して、検査画像IMGに評価領域を設定すべき領域が残っていない場合(ステップS218においてNOの場合)には、判断部230として機能するCPU105は、検査画像IMGに対して欠陥の位置と特定された箇所に対して、エッジ検出などを実行し、欠陥の種類や大きさなどの欠陥についての詳細な情報を検出する(ステップS220)。そして、処理はステップS16へ戻る。

40

【0156】

(本実施の形態による作用効果)

この発明の実施の形態1によれば、検査画像の評価領域に対して互いに大きさの異なる複数の部分領域が設定されとともに、各部分領域について、その画像情報から生成される画像ベクトルと対応の固有空間との間の距離を算出する。さらに、各部分領域についての大きさ毎の距離を要素とする応答ベクトルを生成し、学習処理によって予め定められた判別関数を参照して、この応答ベクトルを評価することで、評価領域における欠陥の有無を判断する。このように、評価領域を互いに大きさの異なる複数の部分領域の単位におけるそれぞれの評価結果を総合した上で、欠陥の有無を判断するので、検査画像に発生し得る欠陥の大きさのバラツキによる影響を抑制し、欠陥の検出精度をより高めることができる

50

。

【 0 1 5 7 】

また、この発明の実施の形態 1 によれば、予め欠陥を含まない学習画像に基づいて、画像ベクトルとの間の距離を算出するための基準となる固有空間が決定される。そのため、欠陥部分の影響を排除した固有空間を決定することができるので、検査画像に対する欠陥の検出精度をより高めることができる。

【 0 1 5 8 】

また、この発明の実施の形態 1 によれば、欠陥検出処理時における画像ベクトルと固有空間との間の距離は、学習処理時に算出された投影ベクトルの内積値を用いて算出される。そのため、欠陥検出処理における距離算出に伴う演算量を低減できるので、より高速な欠陥検出処理を実現できる。10

【 0 1 5 9 】

[実施の形態 2]

上述の実施の形態 1 に従う欠陥検出処理によれば、検査画像に発生し得る欠陥の大きさのバラツキによる影響を抑制し、欠陥の検出精度をより高めることができるので、しかしながら、検査画像が周期的なテクスチャをもつ場合などには、誤差を生じやすい。

【 0 1 6 0 】

具体的には、検査画像から切り出すサンプルの位置が学習画像と全く同じ位置であっても、その表れている周期的なテクスチャが全く同一であるとは限らない。そのため、切り出した評価領域（部分領域セット S E T ）に表れる周期的な濃淡模様に空間的な位相差が生じ、その結果、欠陥がなくても固有空間に対する距離が増大し得る。そこで、本実施の形態では、周期的な濃淡模様を含む検査画像に対しても、正確に欠陥検出を行なうことができる構成および処理について例示する。20

【 0 1 6 1 】

より具体的には、検査画像 I M G に対する評価領域の配置パターンの開始位置を適切に決定するために、各検査画像 I M G における基準位置を検索する。特に、学習画像 L N I M G および検査画像 I M G が周期的な濃淡模様をもつ場合には、この配置パターンをいずれの位置に配置するかによって、その欠陥の検出精度が大きく影響される。なお、周期的な濃淡模様をもつ画像とは、同一の模様（テクスチャ）が所定周期（周期一定）で連続的に表れるような画像を意味する。典型的には、後述する図 2 1 , 図 2 2 , 図 2 4 に示すような幾何学的模様などを含む画像を意味する。30

【 0 1 6 2 】

ここで、学習画像 L N I M G と検査画像 I M G とに生じる周期的な濃淡模様の位置（空間的な位相）が全く同一であるとは限らず、また生産ラインの搬送状態などによっても、撮像部 8 によって撮影された画像に表れる周期的な濃淡模様にずれが生じる。このような場合には、当該配置パターンのある位置に存在する評価領域に対応するある部分領域 B L K ^l N および B L K について見れば、学習画像 L N I M G および検査画像 I M G からそれぞれ生成された画像ベクトルに表れる特徴量は互いに異なったものとなる。そこで、検査画像 I M G に対する欠陥検出の実行前に、学習画像 L N I M G の所定の検索方向に沿って、所定の大きさをもつ部分領域 B L K ^l を順次設定していき、各位置における部分領域 B L K ^l の画像情報から生成される画像ベクトルの固有空間に対する距離を順次算出する。40 そして、この固有空間に対する距離の検索方向についての変化に基づいて、検査画像 I M G における対応する基準位置を決定する。そして、この決定した基準位置に基づく配置パターンに従って、検査画像 I M G に対して評価領域（すなわち、対応する B L K ^(1) , B L K ^(2) , . . . , B L K ^(m) ）を設定し、欠陥の有無を検出する。

【 0 1 6 3 】

(制御構造)

図 2 0 は、この発明の実施の形態 2 に従う欠陥検出装置の制御構造を示す機能ブロック図である。

【 0 1 6 4 】

50

図20を参照して、本実施の形態に従う欠陥検出装置は、図7に示す実施の形態1に従う欠陥検出装置において、領域設定部244と、ベクトル生成部246と、距離算出部248と、基準位置決定部250と、検索領域受付部256とを加えたものに相当する。その他の部位については、図7を用いて説明したので、詳細な説明は繰返さない。

【0165】

まず、対象ワーク2が周期的なテクスチャを有し、学習画像LNIMGおよび検査画像IMGに周期的な濃淡模様が表れている場合について考える。このような場合には、検査画像IMGに設定する評価領域（すなわち、対応するBLKEV(1), BLKEV(2), ..., BLKEV(m)、または、BLK(1), BLK(2), ..., BLK(m)）の配置パターンを、検査画像IMGに表れる周期的な濃淡模様に応じて適切に設定する必要がある。10

【0166】

以下、このような周期的な濃淡模様が表れている学習画像LNIMGおよび検査画像IMGに対して、本実施の形態に従う欠陥検出方法を適用する場合に、誤差が発生する原因について説明する。

【0167】

図21は、周期的なテクスチャを有する対象ワーク2の一例を示す図である。たとえば、図21(a)に示す対象ワーク2と、図21(b)に示す対象ワーク2とを比較すると、各対象ワーク2における周期的な濃淡模様の相対的な開始位置が異なっていることがわかる。具体的には、当該濃淡模様が全体的に紙面上下方向にずれていることがわかる。このように、同一の製造ラインで製造される対象ワークであっても、その表面に現れるテクスチャが全く同一の位置に現れるとは限らない。20

【0168】

図22は、検査画像IMGに表れる周期的な濃淡模様の位置がばらつく場合において、抽出される部分領域BLKの一例を示す図である。図22(a)は、検査画像IMG全体の一例を示し、図22(b)および図22(c)は、それぞれ抽出される部分領域BLKの一例を示す。

【0169】

図22(a)に示すような、全体的に周期的な濃淡模様を有する検査画像IMGにおいて、周期的な濃淡模様の位置がばらついてしまうと、検査画像IMGにおける対応する座標位置を基準として評価領域を設定したとしても、抽出された部分領域BLK(1), BLK(2), ..., BLK(m)に含まれる特徴は異なったものとなる。たとえば、検査画像IMGの左上の頂点を基準として評価領域を設定したとしても、当該検査画像IMGの周期的な濃淡模様の位置がばらついてしまうと、図22(b)および図22(c)に示すように、その評価領域に対応する同一サイズの部分領域BLKEV(m)とBLK(m)との間の特徴は互いに異なったものとなる。30

【0170】

図23は、検査画像IMGに設定された評価領域に対応する代表的な部分領域BLKについての固有空間に対する距離を視覚的に示した図の一例である。図23(a)は、検査画像IMGにおける基準位置がずれている場合を示し、図23(b)は、検査画像IMGにおける基準位置が学習画像LNIMGの基準位置と対応している場合を示す。なお、図23においては、濃度が高い（黒い）ほど、固有空間に対する距離が小さいことを示し、明るい（白い）ほど、固有空間に対する距離が大きいことを示す。40

【0171】

図23(a)を参照して、検査画像IMGの基準位置がずれている場合には、このずれによって周期的な誤差が発生していることがわかる。これに対して、図23(b)に示すように、検査画像IMGの基準位置が学習画像LNIMGの基準位置と対応している場合には、欠陥DEFを含む部分領域BLKを除いて、各部分領域BLKについての固有空間に対する距離が小さく、かつ均一化していることがわかる。

【0172】

50

そこで、本実施の形態に従う欠陥画像装置は、検査画像IMGに対して、学習画像LNIMGに設定される評価領域に対応する基準位置を検索し、この検索した基準位置を基準にして、欠陥検出の対象とする評価領域を設定する。すなわち、学習画像LNIMGおよび検査画像IMG内での相対的な位置を共通化するのではなく、学習画像LNIMGの基準点における周期的な濃淡模様の部分と対応付けて、検査画像IMG内の基準点を検索するものである。これにより、学習画像LNIMGに表れる周期的な濃淡模様と検査画像IMGに表れる濃淡模様との間にずれがあっても、正確な欠陥検出を実現できる。

【0173】

再度、図20を参照して、このような基準位置の検索処理は、領域設定部244と、ベクトル生成部246と、距離算出部248と、基準位置決定部250と、検索領域受付部256とによって実現される。10

【0174】

図24は、検査画像IMGにおける基準位置の検索処理を説明するための図である。図24(a)は、学習画像LNIMGに設定される評価領域(但し、簡略化のため、最小サイズの部分領域 B_{LK}^E ⁽¹⁾として表現)を示し、図24(b)は、検査画像IMGにおける基準位置を検索するための部分領域 B_{LK}^S を示す。

【0175】

図24(a)を参照して、たとえば、学習画像LNIMGには、所定の基準位置(たとえば、左上頂点)を基準とする所定の配置パターンに従って、評価領域が規則的に複数設定される。この複数設定された評価領域に対応する部分領域 $B_{LK}^{(1)}$, $B_{LK}^{(2)}$, ..., $B_{LK}^{(m)}$ の全部もしくは一部に基づいて、固有空間が算出される。20

【0176】

一方、図24(b)を参照して、検査画像IMGに対して設定される部分領域 B_{LK}^S を所定の検索方向に沿って、順次走査するとともに、各部分領域 B_{LK}^S に対応する画像ベクトル(以下、「検索画像ベクトル」とも称す)と固有空間との間の距離を順次算出する。なお、便宜上、検査画像IMGの紙面横方向をX方向と称し、同じく紙面縦方向をY方向と称す。さらに、この検索方向についての固有空間に対する距離の変化に基づいて、検査画像IMGにおける基準位置が決定される。

【0177】

検査画像IMGにおける基準位置を検索するためには、検索方向に沿った部分領域 B_{LK}^S の長さより短い間隔で部分領域 B_{LK}^S を順次設定する必要があり、検査画像IMGを構成する画素(ピクセル)単位の間隔で部分領域 B_{LK}^S を設定することがより好ましい。このように、部分領域 B_{LK}^S を1画素単位で移動させることによって、より正確に検査画像IMGにおける基準位置を決定することができる。30

【0178】

また、部分領域 B_{LK}^S を検査画像IMGの全体に亘って走査することで、検査画像IMGにおける基準位置を検索することができるが、そのために過剰な処理時間をする場合も考えられる。そこで、予め定められた検索領域SRC内において、部分領域 B_{LK}^S を走査することが好ましい。なお、X方向単独またはY方向単独、ないしX・Y方向同時のいずれの方法で部分領域 B_{LK}^S の走査を行なってよい。40

【0179】

図25は、検査画像IMGにおける基準位置を検索するための検索領域SRCの決定方法を説明するための図である。図25(a)は、濃淡模様の周期が部分領域 B_{LK}^S の大きさより短い場合を示し、図25(b)は、濃淡模様の周期が部分領域 B_{LK}^S の大きさより長い場合を示す。図26は、濃淡模様の周期について説明するための図である。

【0180】

図25(a)を参照して、濃淡模様の周期が部分領域 B_{LK}^S の大きさより短い場合、すなわち1つの部分領域 B_{LK}^S 内に1周期以上の濃淡模様が存在する場合には、検索領域SRCは、最大で部分領域 B_{LK}^S の 2×2 の大きさとすればよい。これは、部分領域 B_{LK}^S を濃淡模様の1周期分の距離に亘って走査することで、基準位置を決定すること50

ができるためである。

【0181】

一方、図25(b)を参照して、濃淡模様の周期が部分領域 $B L K^S$ の大きさより長い場合、すなわち1つの部分領域 $B L K^S$ が1周期分の濃淡模様を含まない場合には、当該濃淡模様の周期に応じて、検索領域 $S R C$ を決定する必要がある。

【0182】

図26を参照して、本明細書において、濃淡模様の周期とは、隣接する同一模様(テクスチャ)の間の距離を意味する。濃淡模様の周期としては、基本的に、X方向およびY方向のそれぞれについて規定することができる。そして、これらのX方向に1周期分以上およびY方向に1周期分以上の長さをもつ検索領域 $S R C$ を設定することが好ましい。

10

【0183】

このような検索領域 $S R C$ は、欠陥を含まない学習画像 $L N I M G$ に基づいて固有空間を算出する際に、ユーザが、学習画像 $L N I M G$ に表れる周期的な濃淡模様を確認した上で、予め決定してもよい。このような場合には、検索領域受付部256(図20)がユーザから検索領域 $S R C$ の大きさを受け、その値を学習結果格納部240へ格納する。あるいは、学習画像 $L N I M G$ に対して、公知のパターン抽出処理などを行なって、このような濃淡模様の周期を算出した上で、検索領域 $S R C$ を算出してもよい。このような場合には、検索領域受付部256(図20)が、ユーザに検索領域 $S R C$ とすべき領域の候補をガイドするようにしてもよい。

【0184】

20

再度、図20を参照して、領域設定部244は、画像バッファ部222に一時的に格納される検査画像 $I M G$ に対して、検査画像 $I M G$ の所定の検索方向に従って、部分領域 $B L K^S$ を順次設定する。領域設定部244は、図24(b)に示すように、学習結果格納部240に格納された検索領域 $S R C$ に従って、部分領域 $B L K^S$ を順次設定する。

【0185】

そして、領域設定部244は、この設定した各部分領域 $B L K^S$ に対応する検査画像 $I M G$ の画像情報をベクトル生成部246へ出力する。言い換えれば、領域設定部244は、画像バッファ部222に一時的に格納される検査画像から所定の大きさの検索サンプル(局所領域)を順次切り出す。

【0186】

30

ベクトル生成部246は、領域設定部244によって順次抽出される検査画像 $I M G$ の部分領域 $B L K^S$ の画像情報から検索画像ベクトル x^{S_i} を順次生成する。なお、ベクトル生成部246における検索画像ベクトル x^{S_i} の生成処理は、ベクトル生成部206および216における学習画像ベクトル x^{L_N} の生成処理、ならびにベクトル生成部226における検査画像ベクトル x_i の生成処理と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

【0187】

距離算出部248は、ベクトル生成部246から出力される検索画像ベクトル x^{S_i} と、学習結果格納部240に予め格納される固有空間 $E^{(D)}$ に基づいて、固有空間 $E^{(D)}$ と検索画像ベクトル x^{S_i} との距離 x^{S_i} を算出する。なお、この固有空間 $E^{(D)}$ と検索画像ベクトル x^{S_i} との距離 x^{S_i} を算出処理は、上述の距離算出部218における、固有空間 $E^{(D)}$ と検査画像ベクトル x_i との距離 x_i を算出処理と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

40

【0188】

基準位置決定部250は、距離算出部248において順次算出される距離 x^{S_i} の検索方向についての変化に基づいて、検査画像 $I M G$ において、学習画像 $L N I M G$ の基準位置に対応する基準位置を決定する。

【0189】

図27は、距離算出部248において順次算出される距離 x^{S_i} の一例を示す図である。図27(a)は、検査画像 $I M G$ をX方向に検索した場合の変化の一例を示し、図2

50

7 (b) は、検査画像 I M G を Y 方向に検索した場合の変化の一例を示す。

【 0 1 9 0 】

図 2 7 (a) および図 2 7 (b) を参照して、基準位置決定部 2 5 0 は、検査画像 I M G に設定される部分領域 B L K^S の位置に応じて変化する距離 x^S_i に対して、極小点となる位置を基準位置の候補位置として抽出する。なお、基準位置の候補位置として抽出する際には、その距離 x^S_i が所定のしきい値 T h 以下であることを条件にすることが好ましい。このしきい値 T h は、距離 x^S_i の全体平均値などに応じて決定することができる。

【 0 1 9 1 】

基準位置を検索する方法としては、検査画像 I M G の X 方向または Y 方向の一方を固定した上で、他方の軸に沿って部分領域 B L K^S を順次設定する方法や、X 方向および Y 方向を独立に変化させて部分領域 B L K^S を順次設定する方法を採用することができる。

【 0 1 9 2 】

図 2 8 は、検査画像 I M G に対して、抽出された候補点の一例を示す図である。

図 2 8 を参照して、上記のような方法によれば、X 方向および Y 方向における候補位置を取得することができるので、これらの候補位置に基づいて、検査画像 I M G に対して複数の候補点が算出できる。ここで、候補点は、X 方向の候補位置と Y 方向の候補位置とによって、一意に決定される座標である。

【 0 1 9 3 】

基準位置決定部 2 5 0 は、複数の候補点のうち、1 つの候補点を検査画像 I M G における基準位置として決定する。代表的に、基準位置決定部 2 5 0 は、学習画像 L N I M G の基準位置に対応する原点からの距離 D i s が最も小さい候補点を基準位置として決定する。すなわち、候補点の座標を (x, y) とすると、原点からの距離 D i s = (x² + y²)^{1/2} が最小となる候補点を基準位置として決定する。

【 0 1 9 4 】

これは、一般的に、対象ワーク 2 に表れる周期的な濃淡模様のいずれは周期単位で現れるため、学習画像 L N I M G に現れる周期的な濃淡模様に対するそれが最小となる位置を選択することで、より適切な基準位置を決定できるからである。

【 0 1 9 5 】

このように基準位置決定部 2 5 0 で決定された基準位置は、抽出部 2 2 4 へ出力され、検査画像 I M G に対する欠陥検出処理が実行される。

【 0 1 9 6 】

図 2 9 は、抽出部 2 2 4 によって検査画像 I M G に対して設定される評価領域（但し、簡略化のため、最小サイズの部分領域 B L K⁽¹⁾ として表現）を説明するための図である。

【 0 1 9 7 】

図 2 9 を参照して、抽出部 2 2 4 は、基準位置決定部 2 5 0 によって決定された基準位置に基づいて、当該基準位置を基準とする配置パターンに従って、検査画像 I M G に対して評価領域を順次設定する。

【 0 1 9 8 】

図 2 4 (a) と図 2 9 とを比較すると、検査画像 I M G の全体枠に対して、評価領域を設定するための配置パターンがはみ出して配置されていることがわかる。しかしながら、検査画像 I M G に現れる濃淡模様に対するこの配置パターンの相対的な位置関係は、学習画像 L N I M G に現れる濃淡模様に対する、評価領域を設定するための配置パターンの相対的な位置関係とほぼ一致していることがわかる。すなわち、たとえば、学習画像 L N I M G の基準位置に隣接する評価領域に囲まれた濃淡模様は、検査画像 I M G の基準位置に隣接する評価領域に囲まれた濃淡模様と同様であることがわかる。このように、学習画像 L N I M G と検査画像 I M G との間ににおいて、対応する一対の評価領域に対応するそれぞれの部分領域に現れる濃淡模様を互いに一致させることで、精度の高い誤差検出を行なうことができる。

10

20

30

40

50

【0199】

(バリエーション1)

上述の説明では、予め定められた検索領域 S R C に対して、部分領域 B L K^S を所定の間隔（好ましくは、1画素単位）で順次設定する構成について説明したが、部分領域 B L K^S を設定する間隔を複数段階に分けてもよい。すなわち、相対的に大きな間隔で基準位置を大まかに検索した後、相対的に小さな間隔で基準位置をより細かく検索してもよい。

【0200】

具体的には、検査画像 I M G に対して、部分領域 B L K^S を相対的に大きな間隔（たとえば、8画素単位）で順次設定して、上記と同様の方法によって候補点を検索する。そして、この候補点の周辺に検索領域を限定した上で、当該検査画像に対して相対的に小さな間隔（たとえば、1画素単位）で部分領域 B L K^S を順次設定して、上記と同様の方法によって候補点をさらに緻密に検索する。10

【0201】

このような方法によれば、部分領域 B L K^S の設定および固有空間に対する距離の算出を効率化できるので、基準位置の検索処理を高速化できる。

【0202】

なお、上記のような方法を採用する場合には、検索領域 S R C を予め設定しなくともよい。

【0203】

(バリエーション2)

20

上述の説明では、検査画像 I M G 内の周期的な濃淡模様に対して、部分領域 B L K^S を順次設定する構成について説明したが、部分領域 B L K^S を検査画像 I M G からはみ出るよう設定してもよい。

【0204】

図 30 は、設定された部分領域 B L K^S の一部が検査画像 I M G からはみ出る場合の処理を説明するための図である。

【0205】

図 30 を参照して、検査画像 I M G からはみ出る部分について、隣接する部分の画像情報に基づいて補間処理を行なってもよい。このような補間処理については、文献（天野敏之・佐藤幸男、「k B P L P 法を用いた高次元非線形投影による画像補間」、電子情報通信学会論文誌 D - I I V o l . J 8 6 - D - I I N o . 4 p p . 5 2 5 - 5 3 4 、2003年4月）などを参照されたい。30

【0206】

このような補間処理を行なうことで、その一部が検査画像 I M G からはみ出る部分領域 B L K^S が存在する場合であっても、基準位置を検索することができる。

【0207】

(比較例)

従来から、検査画像から欠陥を検出する方法として、画像を構成する画素の輝度値で表される空間周波数に基づいて処理を行なう方法が知られている。しかしながら、このような方法では、本発明の対象とする周期的な濃淡模様をもつ検査画像から欠陥を検出することは難しい。40

【0208】

図 31 は、対象とする周期的な濃淡模様をもつ検査画像の一例を示す図である。

図 32 は、図 31 に示す検査画像に対して、従来の方法および本実施の形態に従う方法を適用した場合の結果を示す図である。

【0209】

図 31 を参照して、従来の方法および本実施の形態に従う方法を、紙面横方向および紙面縦方向に沿って周期的な濃淡模様をもつ検査画像に適用する場合を考える。

【0210】

図 32 (a) は、図 31 のサンプル領域における R 成分値、G 成分値、B 成分値を、そ50

の位置に対応付けてプロットしたグラフを示す。このように、各画素の成分からなる空間周波数で評価した場合には、検査画像が周期的な濃淡模様をもっていても、各成分値における差分値や正・負の値には、ばらつきが生じる。そのため、基準にすべき色成分を決定したり、そのしきい値を決定したりすることは非常に困難である。

【0211】

これに対して、図32(b)に示すように、学習画像L N I M Gに基づいて固有空間を予め算出した上、各部分領域における当該固有空間からの距離を用いて評価することによって、変数を1次元化できるとともに、ノイズを除去した上で、欠陥検出を行なうことができる。そのため、本発明に係る方法は、検査画像に表れる周期的な濃淡模様の色成分などに影響されることなく、汎用的に適用することができる。

10

【0212】

(処理手順)

図33は、この発明の実施の形態2に従う欠陥検出システム1において対象ワーク2に発生し得る欠陥を検出するための処理手順を示すフローチャートである。

【0213】

図33に示すフローチャートは、図7に示すフローチャートにおいて、ステップS7およびS13を追加したものに相当する。同一の処理には、図7と同一のステップ番号を付してあり、各ステップの処理については上述したので、詳細な説明は繰返さない。

【0214】

図20および図33を参照して、学習処理(ステップS6)の実行後、欠陥検出装置はユーザから検索領域SRCを受付ける(ステップS7)。ユーザは、撮影された学習画像を確認しながら、キーボード103やマウス104を操作して、検索領域SRCを設定する。

20

【0215】

撮像部8によって対象ワーク2を撮影することで検査画像を取得(ステップS12)した後、欠陥検出装置は、まず基準位置検索処理を実行する(ステップS13)。その上で、欠陥検出装置は、欠陥検出処理を実行する(ステップS14)。そして、欠陥検出装置は、その欠陥検出結果を出力する(ステップS16)。

【0216】

図34は、この発明の実施の形態2に従う基準位置検索処理の処理手順を示すフローチャートである。なお、図34に示すフローチャートは、CPU105が固定ディスク107などに予め格納されたプログラムをメモリ106に読出して実行することにより、図20に示すような機能を実現することで実行される。

30

【0217】

図20および図34を参照して、領域設定部244として機能するCPU105は、学習値格納部212から検索領域SRCを読出す(ステップS300)。そして、領域設定部244として機能するCPU105は、検査画像IMGに対して、所定の検索方向に従って、検索領域SRC内に部分領域BLK^Sを順次設定する(ステップS302)。そして、ベクトル生成部246として機能するCPU105は、各部分領域BLK^Sの画像情報から検索画像ベクトルx^S_iを生成する(ステップS304)。距離算出部248として機能するCPU105は、学習値格納部212から、固有空間E(^D)を読出す(ステップS306)。そして、CPU105は、検索画像ベクトルx^S_iと、読出した固有空間E(^D)に基づいて、固有空間E(^D)から検索画像ベクトルx^S_iまでの距離x^S_iを算出する(ステップS308)。さらに、CPU105は、検索領域SRC内に抽出すべき部分領域BLK^Sが残っているか否かを判断する(ステップS310)。検索領域SRC内に抽出すべき部分領域BLK^Sが残っている場合(ステップS310においてYESの場合)には、CPU105は、ステップS302以下の処理を繰返す。

40

【0218】

検索領域SRC内に抽出すべき部分領域BLK^Sが残っていない場合(ステップS310においてNOの場合)には、基準位置決定部250として機能するCPU105は、距

50

離 x^S_i の検索方向のそれぞれについて極小点となる位置を、候補位置として抽出する（ステップ S 3 1 2）とともに、抽出した極小点のうち、所定のしきい値 T_h を超えるものを除外する（ステップ S 3 1 4）。さらに、C P U 1 0 5 は、それぞれの検索方向における候補位置に基づいて、検査画像 I M G における候補点を算出し（ステップ S 3 1 6）、これらの候補点のうち、学習画像 L N I M G の基準位置に対応する原点からの距離が最も小さい候補点を基準位置として決定する（ステップ S 3 1 8）。

【0219】

（本実施の形態による作用効果）

この発明の実施の形態 2 によれば、検査画像に評価領域を設定するに際して、所定の検索方向に沿って、固有空間に対する距離が極小値をとるような位置を検索する。そして、この検索した位置に基づいて、評価領域を設定するための配置パターンを位置決めする。これにより、学習画像および検査画像において周期的な濃淡模様を含む場合であっても、学習画像および検査画像において、周期的な濃淡模様に対する配置パターンの相対的な開始位置を互いに一致させることができ。よって、周期的な濃淡模様を含む検査画像に対しても、欠陥検出の精度を高めることができる。10

【0220】

[実施の形態 2 の変形例]

上述の実施の形態 2 においては、学習画像 L N I M G および検査画像 I M G が周期的な濃淡模様をもつ場合に、評価領域の配置パターンを適切化する構成について例示した。ところで、実際の生産ラインなどにおいては、生産効率を高めるために、1つの基材から複数の製品を製造するようなプロセス、たとえば、液晶パネルや半導体基板などの製造プロセスが知られている。このようなプロセスでは、各製品は同一のサイズを有しているので、1つの基材上には、切り離し前の製品が周期的に配列されている。このような場合には、1つの製品の大きさに対応する部分領域セットを定めて、画像ベクトルおよび応答ベクトルを算出することが望ましい。そこで、本変形例においては、このようなアプリケーションに適用が容易に構成について、以下説明する。20

【0221】

図 3 5 は、この発明の実施の形態 2 の変形例に従う対象ワークを撮像して得られた画像 S M P の一例を示す図である。図 3 5 には、典型例として、1つの基材上に複数の回路基板が形成されている状態を示す。30

【0222】

本変形例に従う欠陥検出装置は、図 3 5 (a) に示すような対象ワークに対して、画像ベクトルを生成するための部分領域のサイズおよび位置を自動的に決定することが可能である。より具体的には、対象ワークに含まれる1つの回路基板の少なくとも一部を表わすパターン（テンプレートパターン）M D L を予め登録しておき、画像 S M P 上でこの登録されたパターン M D L と一致する複数の位置を特定する。このパターン M D L に基づいて特定された位置の数は、検査対象物に含まれる製品の数と一致し、その位置周期は、検査対象物に含まれる製品の配置周期と一致する。したがって、図 3 5 (b) に示すように、登録されたパターンと一致する位置同士の間隔を計測することで、各製品に対して設定すべき部分領域 B L K のサイズ（X 方向長さ L_x および Y 方向長さ L_y ）を決定することができる。以下、図 3 6 に示すフローチャートを用いて、より詳細な処理手順について説明する。40

【0223】

図 3 6 は、この発明の実施の形態 2 の変形例に従う欠陥検出システムにおいて周期性を有する対象ワークについての画像ベクトルを生成するための処理手順を示すフローチャートである。なお、図 3 6 に示すフローチャートは、C P U 1 0 5 が固定ディスク 1 0 7 などに予め格納されたプログラムをメモリ 1 0 6 に読み出して実行することにより実現される。

【0224】

図 3 6 を参照して、C P U 1 0 5 は、ユーザが指定するテンプレートパターンを受け付ける。50

る（ステップS400）。すなわち、ユーザは、対象ワークに周期的に現れる1つの製品などの一部の画像をモデル画像を示すパターンMDLとして登録する。このパターンMDLは、基準にすべきワークを撮影して得られた画像データから切り出してもよいし、あるいは、カタログなどの画像データを外部入力してもよい。さらに、CPU105は、ユーザが指定する対象ワークに周期的に現れる周期サイズ（X方向およびY方向の値）を受付ける（ステップS402）。すなわち、ユーザは、対象ワークに周期的に現れる1つの製品などのおおよそのサイズを入力する。このサイズは、後述するサーチ処理に要する時間を短縮するためのものである。

【0225】

これらの入力が終了すると、CPU105は、対象ワークを撮像して得られた画像データに対して、先に登録されたパターンMDLと一致する位置を探すための粗検索処理を実行する（ステップS404）。この粗検索処理においては、パターンMDLと対象の領域との間の特徴量、典型的には、相関値が相対的に高い位置を検索する（正規化相関マッチング処理）。この結果、相関値が相対的に高い位置にパターンMDLが位置決めされる。

10

【0226】

続いて、CPU105は、各位置決めされた部分を基準として、検索領域SRCをそれぞれ設定する（ステップS406）。なお、この検索領域SRCは、ステップS402において入力された周期サイズに応じた範囲で設定される。続いて、CPU105は、各検索領域SRCにおいて、パターンMDLと一致する位置をより詳細に探すための微検索処理を実行する（ステップS408）。

20

【0227】

パターンMDLと一致する位置がそれぞれ特定されると、CPU105は、それぞれ特定されたパターンMDLと一致する位置の間の間隔（図35（a）に示すX方向長さLxおよびY方向長さLy）を計測する（ステップS410）。続いて、CPU105は、計測したX方向長さLxおよびY方向長さLyをもつ部分領域BLKを、ステップS408において特定されたパターンMDLと一致する位置に対応付けて、設定する（ステップS412）。さらに、CPU105は、対象ワーク上に設定した部分領域BLKの各々について、画像情報を抽出するとともに、抽出した画像情報に基づいて画像ベクトルを生成する（ステップS414）。この生成された画像ベクトルに基づいて、応答ベクトルなどが算出される。

30

【0228】

上述のような処理手順は、学習画像LNGおよび検査画像IMGのそれぞれについての画像ベクトルおよび応答ベクトルの生成の手順の一部として組入れられる。

【0229】

（本実施の形態の変形例による作用効果）

この発明の実施の形態2の変形例によれば、周期性をもつ構造物に対して、画像ベクトルおよび応答ベクトルをより迅速かつ確実に生成することができる。そのため、1つの基材から複数の製品を製造するようなプロセスにおいても、確実に欠陥検出を行なうことができる。

【0230】

40

[実施の形態3]

上述の図1では、対象ワーク2として電子部品やプラスチック部品などの相対的に小型のものを検査対象とする構成について例示したが、本発明に係る欠陥検出装置は、相対的に大型のものを検査対象とすることもできる。

【0231】

図37は、この発明の実施の形態3に従う欠陥検出装置を含む欠陥検出システム1#を示す概略図である。

【0232】

図37を参照して、欠陥検出システム1#は、一例として液晶パネルなどの相対的に大型の板状の対象ワーク2に対して欠陥を検査対象とする場合の構成を示す。欠陥検出シス

50

テム 1 # は、搬送架台 2 0 と、搬送架台 2 0 上を搬送方向にスライド可能な搬送台 2 2 と、撮像部 1 4 と、撮像部 1 4 を対象ワーク 2 の搬送方向と直交する方向に移動可能な撮像部駆動機構 2 4 を備える。対象ワーク 2 は、搬送台 2 2 の上に配置されて搬送方向に沿って移動する。撮像部 1 4 は、搬送台 2 2 によって移動する対象ワーク 2 を搬送方向に所定間隔毎に撮影するとともに、撮像部駆動機構 2 4 によって移動されることにより、対象ワーク 2 を搬送方向と直交する方向にも所定間隔毎（但し、搬送方向の所定間隔とは異なる）に撮影する。

【 0 2 3 3 】

この撮像部 1 4 で撮影された画像は、インターフェイス 1 6 を介して、欠陥検出装置を実現する制御装置 1 0 0 # へ伝送される。なお、撮像部 1 4 には、照明部が一体的に組込まれていてもよく、この場合には、インターフェイス 1 6 からこの照明部を駆動するための電源などが供給される。

10

【 0 2 3 4 】

制御装置 1 0 0 # は、本体 1 0 1 # と、モニタ 1 0 2 # と、キーボード 1 0 3 # などをさらに含む。本体 1 0 1 # 、モニタ 1 0 2 # 、およびキーボード 1 0 3 # は、それぞれ図 1 に示すコンピュータ 1 0 0 の本体 1 0 1 、モニタ 1 0 2 、およびキーボード 1 0 3 と同様の機能を実現する。

【 0 2 3 5 】

特に、本実施の形態に従う欠陥検出システム 1 # では、撮像部 1 4 の撮影範囲内に対象ワーク 2 のすべてを収めることができないので、対象ワーク 2 の搬送方向の位置および撮像部 1 4 の搬送方向と直交する方向の位置と対応付けた処理によって、欠陥位置を特定する必要がある。

20

【 0 2 3 6 】

また、対象ワーク 2 と同様の大きさの基準ワークを用いる必要はなく、撮像部 1 4 の撮影範囲にその全体が収まるような大きさの基準ワークを用いれば十分である。

【 0 2 3 7 】

その他の構成および処理については、上述の本実施の形態に従う欠陥検出装置と同様であるので、詳細な説明は繰返さない。

【 0 2 3 8 】

【 その他の形態 】

30

本発明に係るプログラムは、コンピュータのオペレーティングシステム（OS）の一部として提供されるプログラムモジュールのうち、必要なモジュールを所定の配列で所定のタイミングで呼出して処理を実行させるものであってもよい。その場合、プログラム自体には上記モジュールが含まれず OS と協働して処理が実行される。このようなモジュールを含まないプログラムも、本発明にかかるプログラムに含まれ得る。

【 0 2 3 9 】

また、本発明にかかるプログラムは他のプログラムの一部に組込まれて提供されるものであってもよい。その場合にも、プログラム自体には上記他のプログラムに含まれるモジュールが含まれず、他のプログラムと協働して処理が実行される。このような他のプログラムに組込まれたプログラムも、本発明にかかるプログラムに含まれ得る。

40

【 0 2 4 0 】

提供されるプログラム製品は、ハードディスクなどのプログラム格納部にインストールされて実行される。なお、プログラム製品は、プログラム自体と、プログラムが記憶された記録媒体とを含む。

【 0 2 4 1 】

さらに、本発明に係るプログラムによって実現される機能の一部または全部を専用のハードウェアによって構成してもよい。

【 0 2 4 2 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明ではなく、特許請求の範囲によって示さ

50

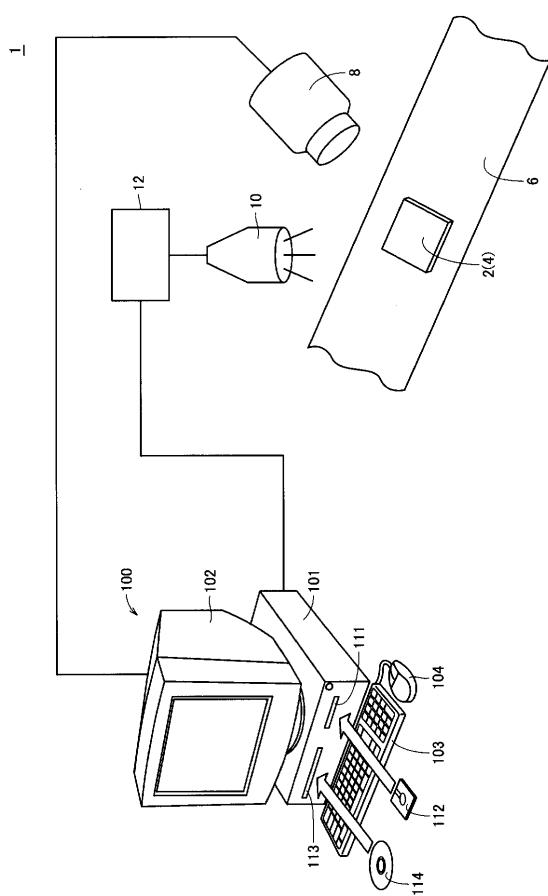
れ、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

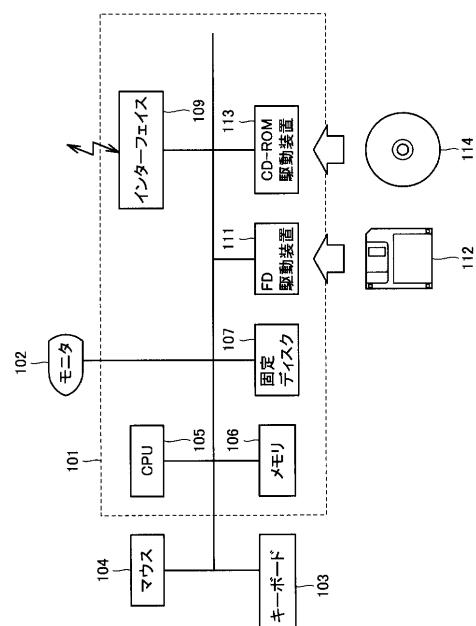
【0243】

1, 1 # 欠陥検出システム、2 対象ワーク、4 基準ワーク、6 搬送機構、8
 撮像部、10 照明部、12 光源部、14 撮像部、16, 109 インターフェイス
 、20 搬送架台、22 搬送台、24 撮像部駆動機構、100 コンピュータ、10
 0 # 制御装置、101 コンピュータ本体、101 # 本体、102, 102 # モニ
 タ、103, 103 # キーボード、104, 104 # マウス、106 メモリ、10
 7 固定ディスク、111 FD 駆動装置、113 CD-ROM 駆動装置、202, 2
 22 画像バッファ部、204, 214, 224 抽出部、206, 216, 226 ベ
 クトル生成部、208 固有ベクトル算出部、210 固有空間決定部、218, 228
 距離算出部、220 分類部、230 判断部、232 欠陥検出部、240 学習結
 果格納部、244 領域設定部、246 ベクトル生成部、248 距離算出部、250
 基準位置決定部、256 検索領域受付部。

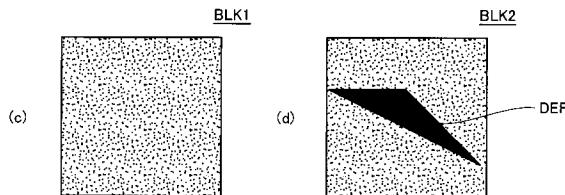
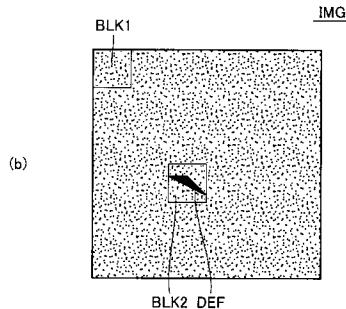
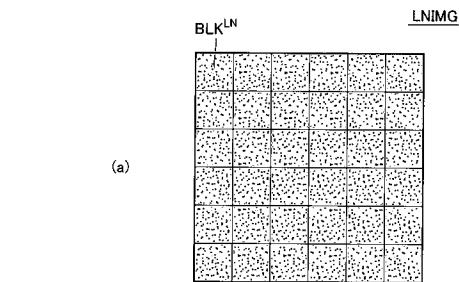
【図1】



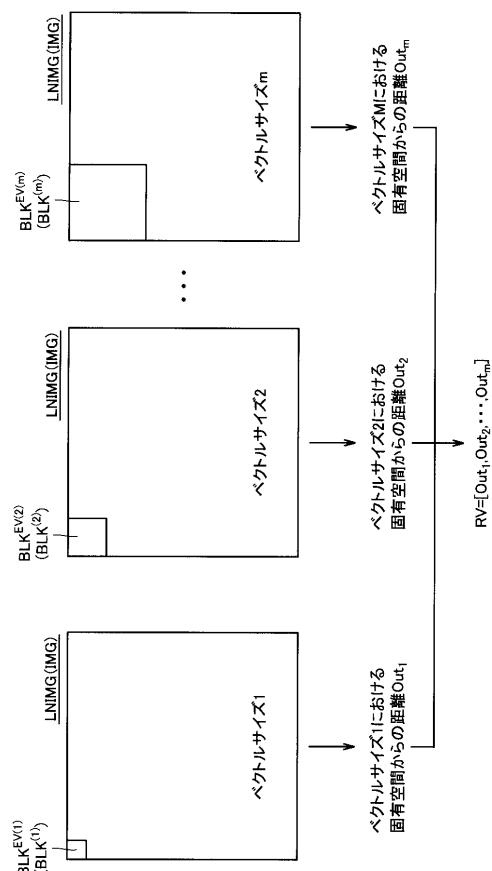
【図2】



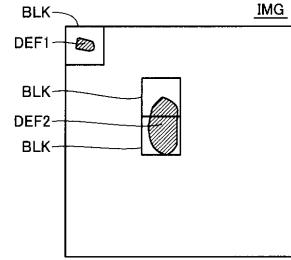
【図3】



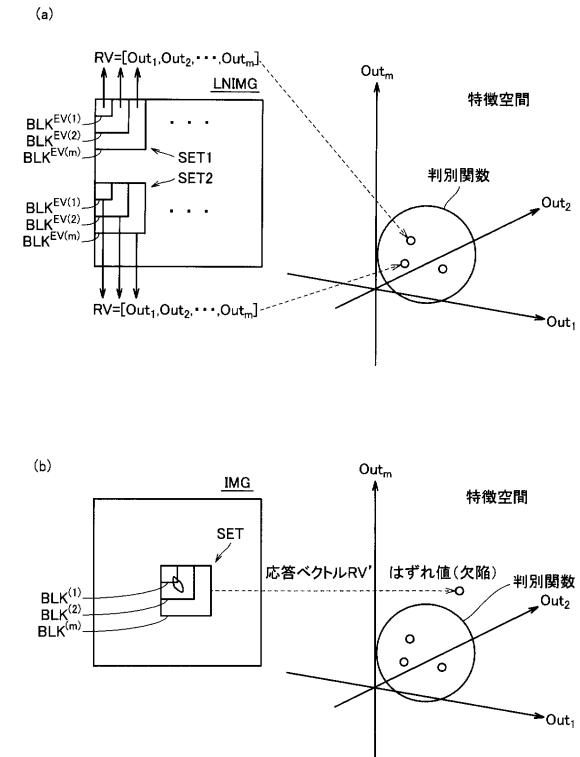
【図5】



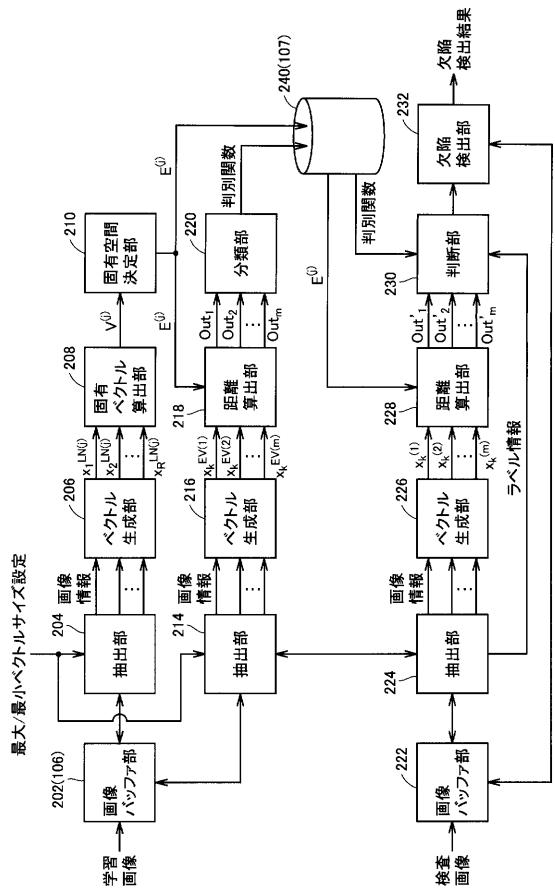
【図4】



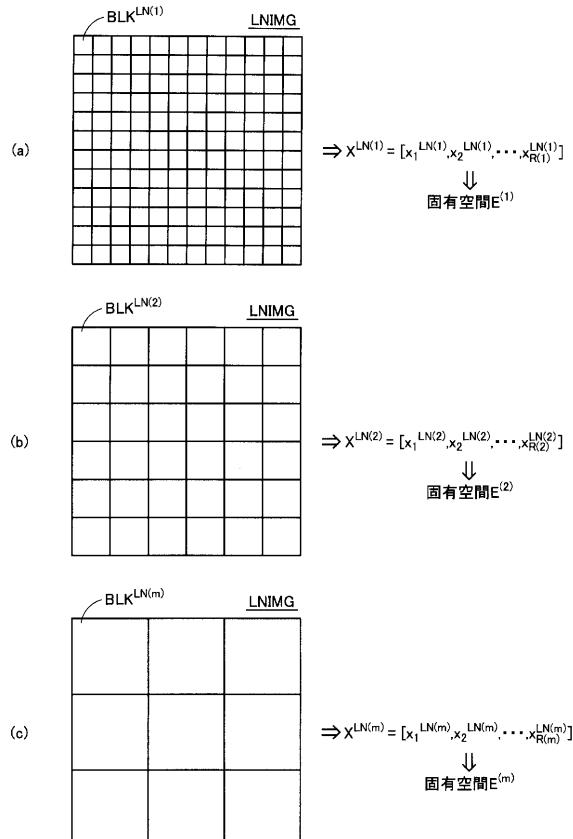
【図6】



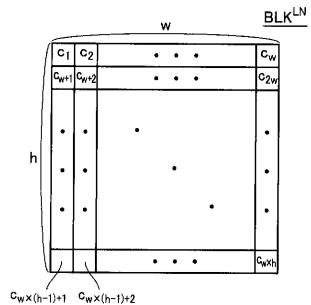
【図7】



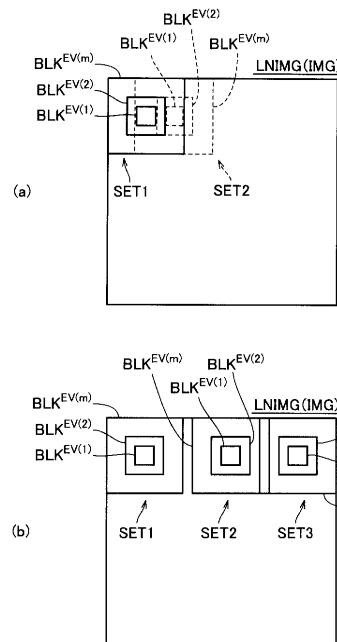
【図8】



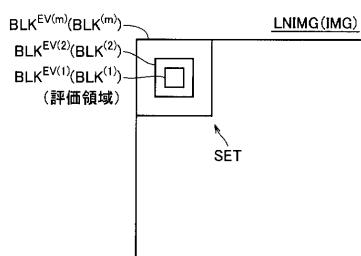
【図9】



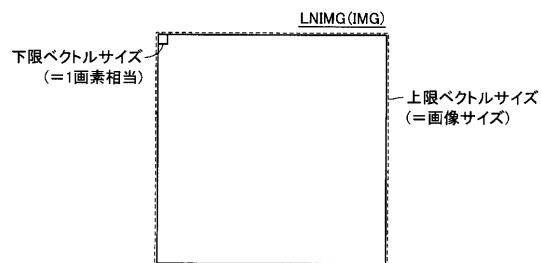
【図11】



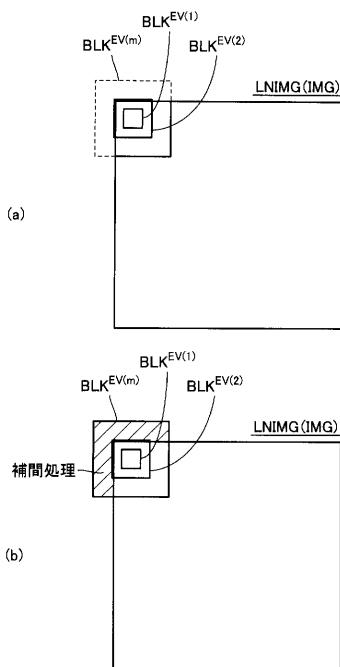
【図10】



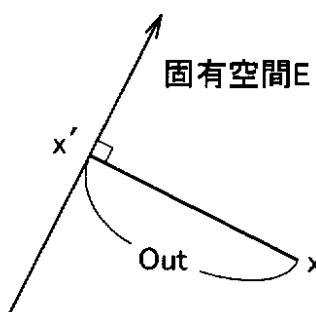
【図12】



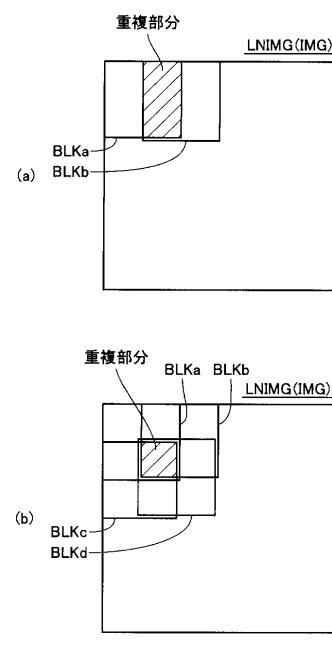
【図13】



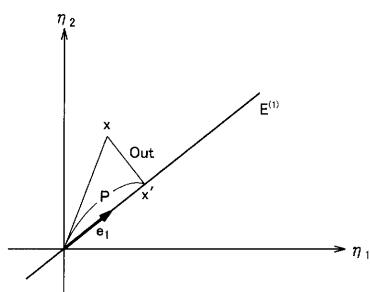
【図14】



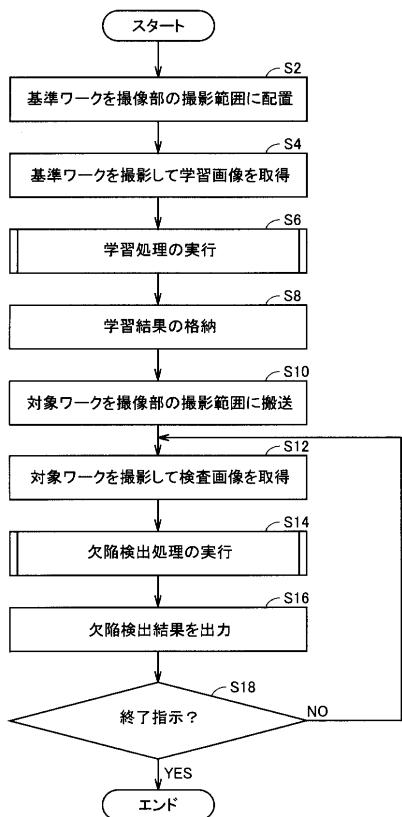
【図16】



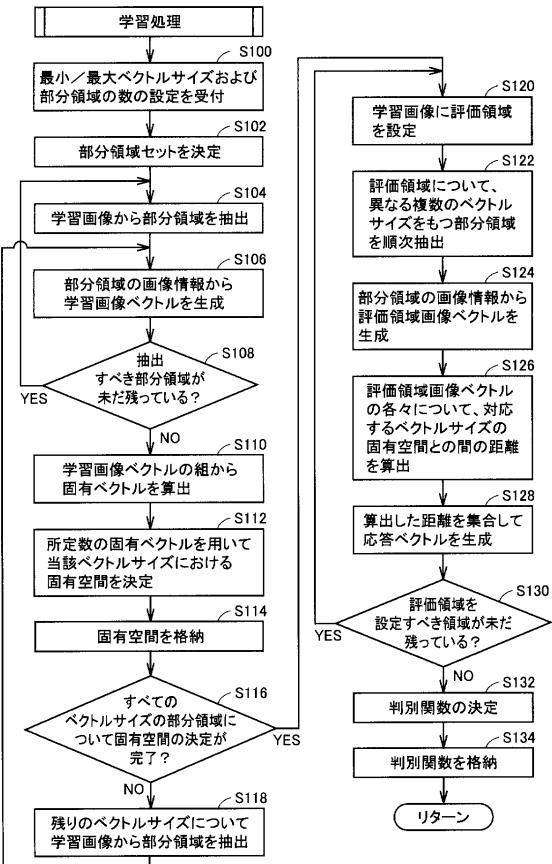
【図15】



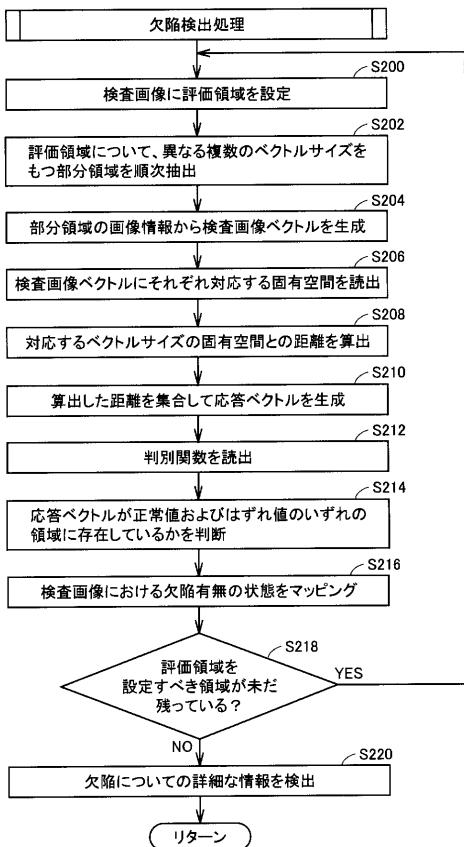
【図17】



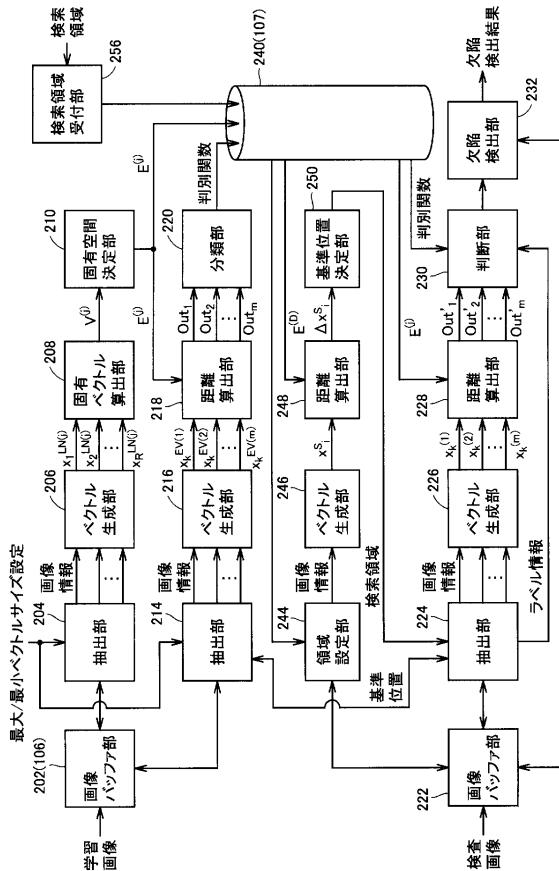
【図18】



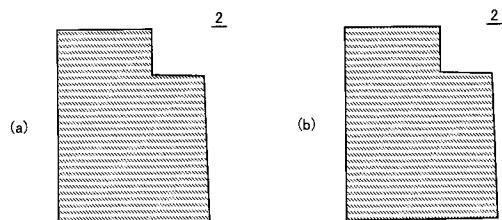
【図19】



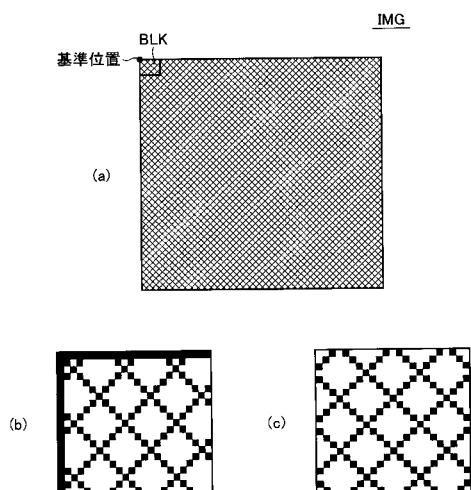
【図20】



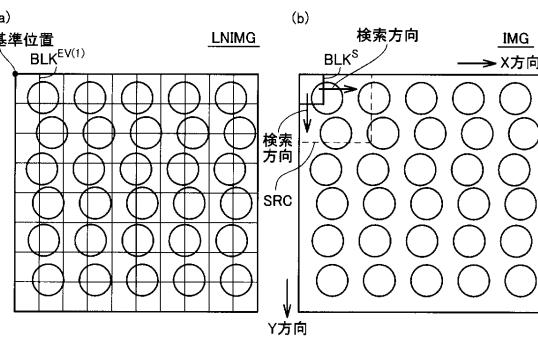
【図21】



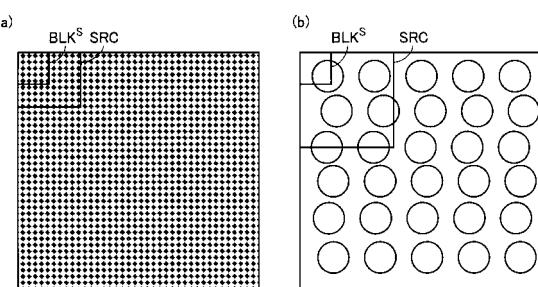
【図22】



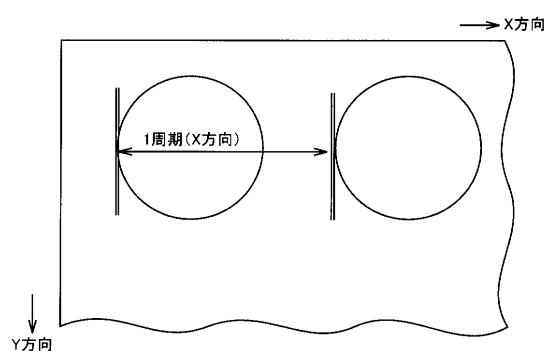
【図24】



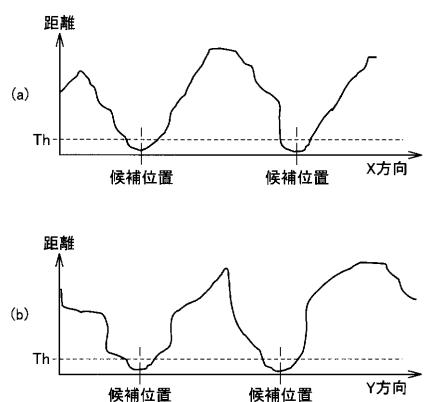
【図25】



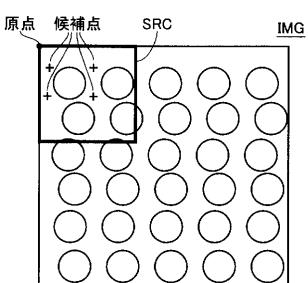
【図26】



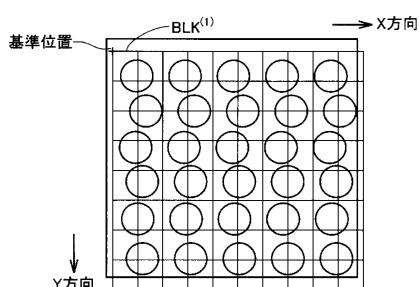
【図27】



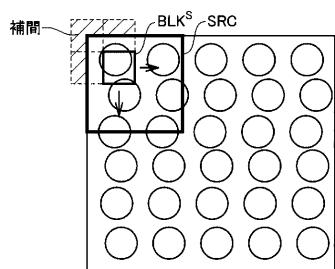
【図28】



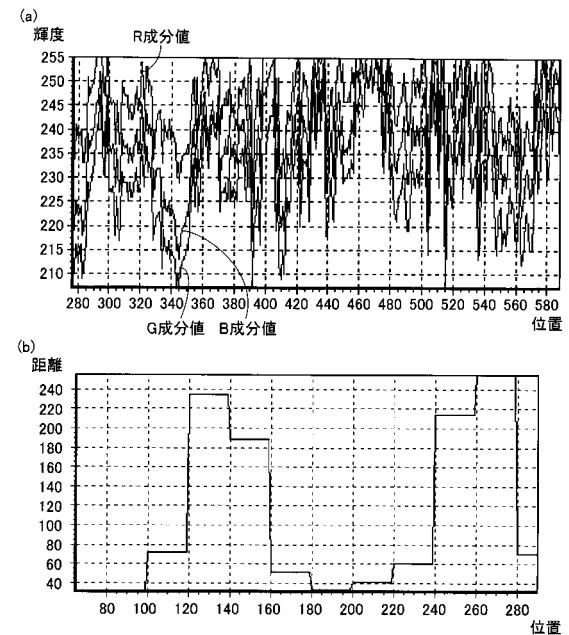
【図29】



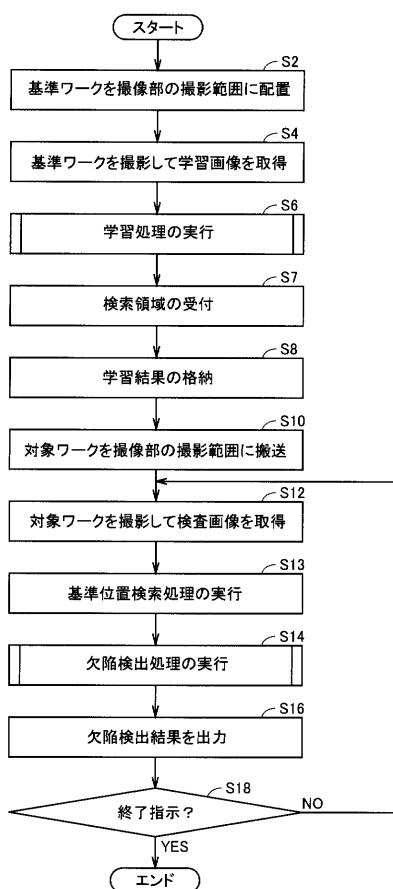
【図30】



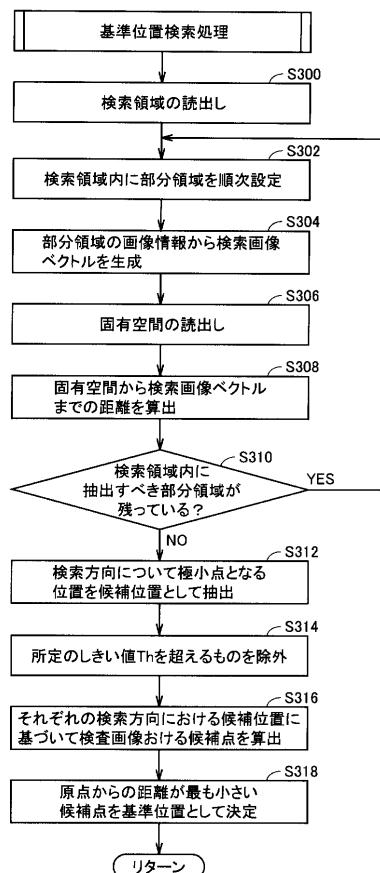
【図32】



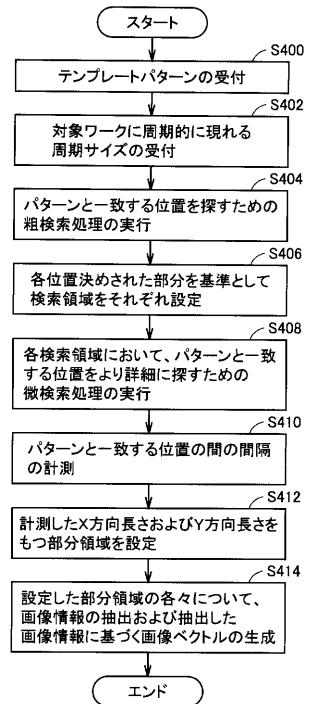
【図33】



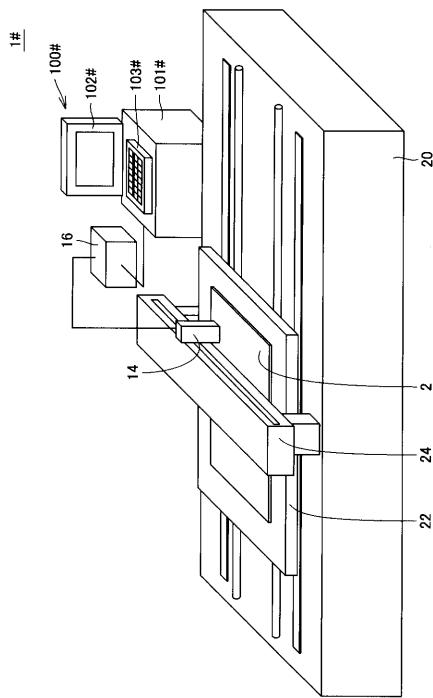
【図34】



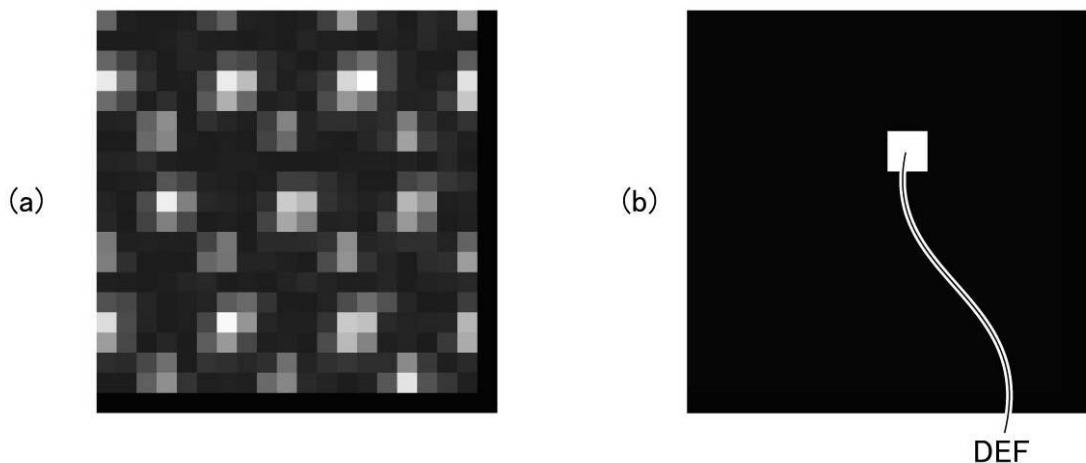
【図36】



【図37】



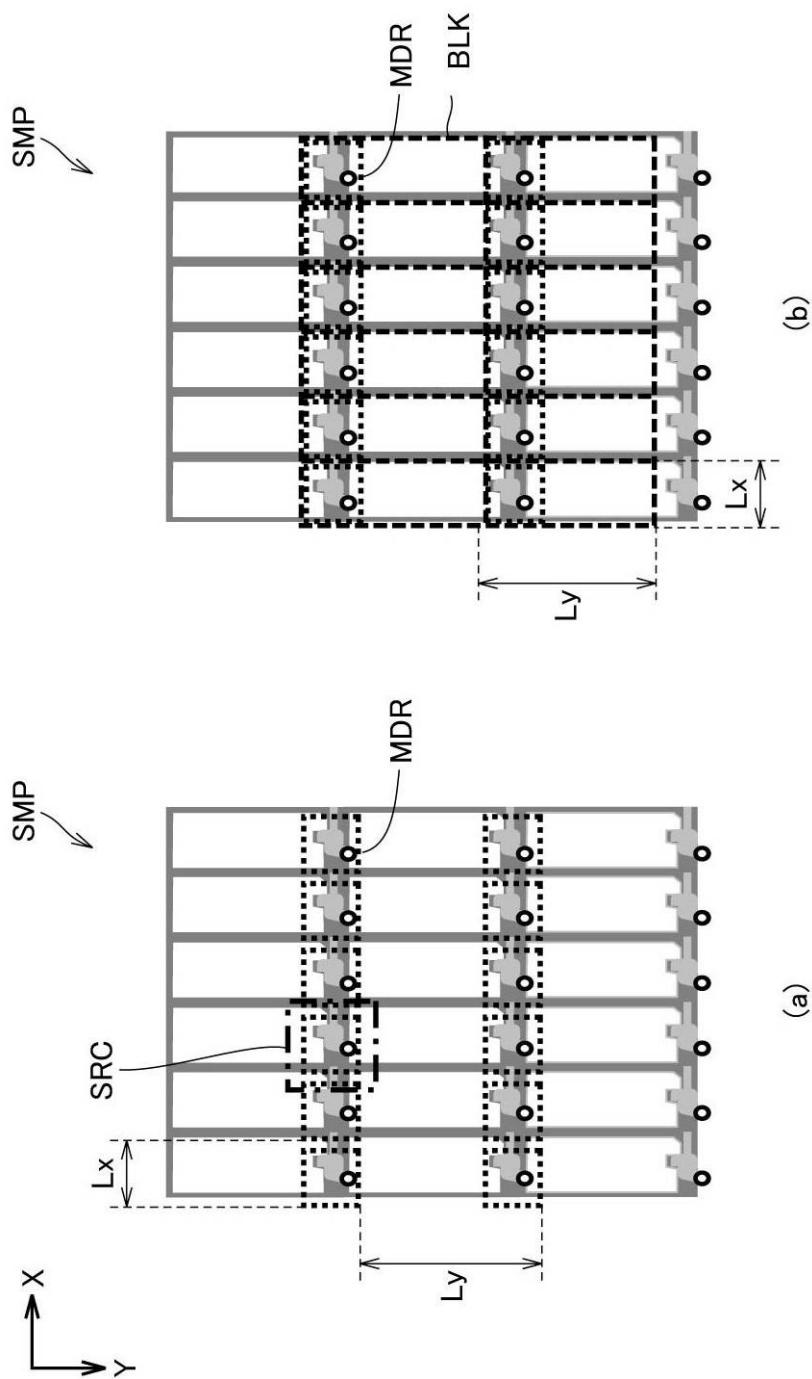
【図23】



【図 3 1】



【図35】



フロントページの続き

(74)代理人 100109162
弁理士 酒井 將行

(74)代理人 100111246
弁理士 荒川 伸夫

(72)発明者 吉田 光志
京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地 オムロン株式会社内
(72)発明者 天野 敏之
奈良県生駒市高山町 8916-5 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学内

審査官 森口 正治

(56)参考文献 特開平10-274626 (JP, A)
特開平05-322533 (JP, A)
特開2000-046749 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/84 - 21/958