

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-49974
(P2017-49974A)

(43) 公開日 平成29年3月9日(2017.3.9)

(51) Int.Cl.
G06T 7/00

F 1
GO6T 7/00 350B
GO6T 7/00 300H

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 14 O.L. (全 25 頁)

| | |
|--------------|------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2016-64128 (P2016-64128) |
| (22) 出願日 | 平成28年3月28日 (2016. 3. 28) |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2015-174899 (P2015-174899) |
| (32) 優先日 | 平成27年9月4日 (2015. 9. 4) |
| (33) 優先権主張国 | 日本国 (JP) |

(71) 出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100090273
弁理士 國分 孝悦

(72) 発明者 奥田 洋志
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内

F ターム (参考) 5L096 BA03 CA04 CA17 FA23 FA26
FA32 FA33 GA30 JA11 JA28
KA04

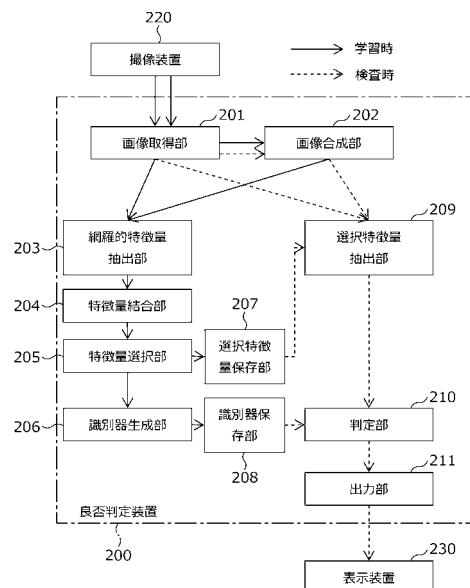
(54) 【発明の名称】識別器生成装置、良否判定方法、およびプログラム

(57) 【要約】

【課題】 検査対象物の外観の良否を高精度に且つ短時間で判定する。

【解決手段】 外観の良否が既知の対象物に対して少なくとも 2 つ以上の異なる撮像条件で撮像した画像に基づく少なくとも 2 つの画像の夫々から、複数の特徴量を抽出する。そして、抽出した各画像の特徴量を跨る特徴量から、対象物の良否を判定するための特徴量を選択し、選択した特徴量に基づいて、対象物の良否を判定する識別器を生成する。そして、検査用画像から抽出した特徴量と識別器とにに基づいて、対象物の外観の良否を判定する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

外観の良否が既知の対象物に対して、少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも 2 つの画像のそれぞれから、当該画像の特徴量を抽出する学習用抽出手段と、

前記学習用抽出手段により前記少なくとも 2 つの画像から抽出された特徴量を跨る特徴量から、対象物の良否を判定するための特徴量を選択する選択手段と、

前記選択手段により選択された前記特徴量に基づいて、対象物の良否を判定する識別器を生成する生成手段と、を有することを特徴とする識別器生成装置。

【請求項 2】

前記外観の良否が既知の対象物に対して少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された複数の画像を合成する合成手段を更に有し、

前記外観の良否が既知の対象物に対して少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも 2 つの画像は、前記合成手段により合成された画像と、前記外観の良否が既知の対象物に対して少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像のうち、前記合成手段により合成の対象となっていない画像と、のうち少なくともいずれか一方を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の識別器生成装置。

【請求項 3】

前記合成手段は、外観の良否が既知の対象物に対して少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像のそれぞれの画素値、当該画像の統計量、複数の当該画像の間の統計量を用いて演算することにより、当該画像を合成することを特徴とする請求項 2 に記載の識別器生成装置。

10

【請求項 4】

前記学習用抽出手段は、前記外観の良否が既知の対象物に対して、少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも 2 つの画像のそれぞれについて、異なる周波数の複数の画像を生成し、当該生成した周波数の複数の画像のそれぞれから特徴量を抽出することを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載の識別器生成装置。

20

【請求項 5】

前記学習用抽出手段は、ウェイブレット変換、または、フーリエ変換を用いて、前記異なる周波数の複数の画像を生成することを特徴とする請求項 4 に記載の識別器生成装置。

30

【請求項 6】

前記学習用抽出手段は、前記異なる周波数の複数の画像に対して、統計演算、畳み込み演算、微分演算、および 2 値化処理の少なくとも 1 つを行うことにより前記特徴量を抽出することを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の識別器生成装置。

【請求項 7】

前記選択手段は、前記学習用抽出手段により抽出された前記特徴量を跨る特徴量のそれぞれ、または、前記学習用抽出手段により抽出された前記特徴量を跨る複数の特徴量の組み合わせに対する評価値を算出し、算出した評価値に基づいて、前記学習用抽出手段により抽出された前記特徴量を跨る特徴量のそれぞれ、または、前記学習用抽出手段により抽出された前記特徴量を跨る複数の特徴量の組み合わせのそれぞれに対して順位づけを行い、当該順位に従って、前記対象物の良否を判定するための特徴量を選択することを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか 1 項に記載の識別器生成装置。

40

【請求項 8】

前記選択手段は、前記外観の良否が既知の複数の前記対象物に対して、前記対象物の良否を判定するための特徴量の数をパラメータとして含むスコアを算出し、前記特徴量の数毎に、前記外観の良否が既知の複数の前記対象物を前記スコアの順に並べ、並べた前記対象物の並び順を当該対象物の外観の良否に基づいて評価し、評価した結果に基づいて、前記対象物の良否を判定するための特徴量として選択する数を導出し、前記順位が高いものから当該導出した数だけ、前記学習用抽出手段により抽出された前記特徴量を跨る特徴量、または、前記学習用抽出手段により抽出された前記特徴量を跨る複数の特徴量の組み合

50

わせを選択することを特徴とする請求項 7 に記載の識別器生成装置。

【請求項 9】

前記少なくとも 2 つの異なる撮像条件は、少なくとも 2 つの異なる照明条件で撮像することと、少なくとも 2 つの異なる撮像方向から撮像することと、前記対象物の少なくとも 2 つの異なる領域を撮像することと、のうち少なくとも何れか 1 つを含むことを特徴とする請求項 1 ~ 8 の何れか 1 項に記載の識別器生成装置。

【請求項 10】

前記照明条件は、前記対象物に対する照明の光量と、前記対象物への照明の照射方向と、前記撮像を行う撮像素子の露光時間と、のうち少なくとも何れか 1 つを含むことを特徴とする請求項 9 に記載の識別器生成装置。

10

【請求項 11】

外観の良否が未知の対象物に対して、請求項 1 に記載の前記撮像条件と同じ撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも 2 つの画像のそれから、複数の特徴量を抽出する検査用抽出手段と、

前記検査用抽出手段により抽出された特徴量と、請求項 1 ~ 10 の何れか 1 項に記載の識別器生成装置で生成された前記識別器とに基づいて、前記対象物の外観の良否を判定する判定手段と、を有することを特徴とする検査装置。

【請求項 12】

前記外観の良否が未知の対象物に対して少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された複数の画像を、請求項 2 または 3 に記載の識別器生成装置に記載の前記合成手段による合成と同じ方法で合成する合成手段を更に有し、

前記外観の良否が未知の対象物に対して少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも 2 つの画像は、前記合成手段により合成された画像と、前記外観の良否が未知の対象物に対して少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像のうち、前記合成手段により合成の対象となっていない画像と、を含むことを特徴とする請求項 11 に記載の検査装置。

20

【請求項 13】

外観の良否が既知の対象物に対して、少なくとも 2 つの異なる撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも 2 つの画像のそれから、複数の特徴量を抽出する学習用抽出工程と、

30

前記学習用抽出工程により前記少なくとも 2 つの画像から抽出された特徴量を跨る特徴量から、対象物の良否を判定するための特徴量を選択する選択工程と、

前記選択工程により選択された前記特徴量に基づいて、対象物の良否を判定する識別器を生成する生成工程と、

外観の良否が未知の対象物に対して、前記撮像条件と同じ撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも 2 つの画像のそれから、複数の特徴量を抽出する検査用抽出工程と、

前記検査用抽出工程により抽出された特徴量と、前記生成工程により生成された前記識別器とに基づいて、前記対象物の外観の良否を判定する判定工程と、を有することを特徴とする良否判定方法。

40

【請求項 14】

請求項 1 ~ 10 の何れか 1 項に記載の識別器生成装置の各手段としてコンピュータを機能させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、識別器生成装置、良否判定方法、およびプログラムに関し、特に、撮像された物体の画像に基づいて、当該物体の良否を判定するために用いて好適なものである。

【背景技術】

【0002】

50

一般に工場等で製造された製品については、良品か不良品かの外観検査が実施される。不良品に含まれる欠陥の出現の仕方（強度、大きさ、および位置等）が予め分かっている場合、検査対象物を撮像した画像に対する画像処理の結果に基づいて当該検査対象物の欠陥を検出する方法が提案されている。しかし、実際の欠陥の出現の仕方は不定な場合が多く、欠陥の強度、大きさ、および位置等は多様である。従って、現状は、目視による外観検査が多く行われており、外観検査の自動化はほとんど実用化されていない。

【0003】

不定な欠陥に対する検査を自動化する方法の一つに、多数の特徴量を用いた検査方法がある。具体的には、学習用に用意した複数の良品と不良品のサンプルを撮影し、それらの画像から、画素値の平均、分散、および最大値や、コントラストといった多数の特徴量を抽出し、多次元の特徴量空間に対して良品と不良品を分類する識別器を作成する。そして、実際の検査対象物に対して、この識別器を用いて良品か不良品かを判定する。

10

【0004】

ここで、学習用のサンプル数に対して特徴量が多くなると、学習時に識別器がサンプルの良品と不良品に対してオーバーフィッティングして、検査対象物に対する汎化誤差が増大する問題が発生する。また、特徴量が多いと冗長な特徴量が含まれる場合があるため、学習に要する処理時間が増大する問題が発生する。そこで、多数の特徴量の中から適切な特徴量を選択することにより、汎化誤差を低減させ、演算処理を高速化させる手法を用いることが望まれる。特許文献1では、参照画像から複数の特徴量を抽出し、抽出した複数の特徴量から検査画像の判別に用いる特徴量を選択し、選択した特徴量に基づいて検査画像から検査対象物の良否を判別する技術が開示されている。

20

さらに高感度に欠陥を検査して分類する方法として、複数の撮像条件にて検査対象物を撮像して検査する手法がある。特許文献2では、複数の撮像条件で画像を取得し、各撮像条件で欠陥候補を含む部分画像を抽出し、当該部分画像における欠陥候補の特徴量を求め、座標が同じで撮像条件が異なる欠陥候補の特徴量に基づいて欠陥候補から欠陥を抽出する技術が開示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

30

【特許文献1】特開2005-309878号公報

【特許文献2】特開2014-149177号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

一般に、撮像条件（例えば照明方法）と欠陥の種類には相関があり、撮像条件ごとに可視化される欠陥は異なる。従って、高精度に欠陥の良否を判定するうえでは、複数の撮像条件で撮像して欠陥をより明瞭に可視化して検査した方がよい。しかし、特許文献1では、複数の撮像条件での撮像を実施していない。このため、高精度な欠陥の良否判定は困難となる。また、特許文献2では、複数の撮像条件で撮像しているが、前述したような良否の分離に有効な特徴量の選択を実施していない。さらに特許文献1と特許文献2を単純に組み合わせた場合、複数の撮像条件で撮像して検査するため、撮像条件の数分だけ検査を実施しなくてはならない。このため、検査時間が増加する。また、撮像条件ごとに可視化される欠陥は異なるため、学習に用いる画像を撮像条件ごとに選択しなければならない。加えて、欠陥の可視化具合によって、学習に用いる画像の選択が困難な場合、特徴量の選択時に冗長な特徴量を選択してしまう。従って、検査時間の増加だけではなく、良否の分離性能の劣化を引き起こす可能性がある。

40

【0007】

本発明は、以上の課題に鑑みてなされたものであり、検査対象物の外観の良否を高精度に且つ短時間で判定することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【0008】

本発明の識別器生成装置は、外観の良否が既知の対象物に対して、少なくとも2つの異なる撮像条件で撮像された画像に基づく少なくとも2つの画像のそれぞれから、複数の特徴量を抽出する学習用抽出手段と、前記学習用抽出手段により前記少なくとも2つの画像から抽出された特徴量を跨る特徴量から、対象物の良否を判定するための特徴量を選択する選択手段と、前記選択手段により選択された前記特徴量に基づいて、対象物の良否を判定する識別器を生成する生成手段と、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、検査対象物の外観の良否を高精度に且つ短時間で判定することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】良否判定装置が実装されるハードウェア構成を示す図である。

20

【図2】良否判定装置の機能構成を示す図である。

【図3A】学習時の良否判定装置の処理を説明するフローチャートである。

【図3B】検査時の良否判定装置の処理を説明するフローチャートである。

【図4】撮像装置と対象物との関係の第一の例を示す図である。

【図5】照明条件の一例を示す図である。

【図6】各照明条件における欠陥部分の画像を示す図である。

【図7】学習用画像の形態を示す図である。

【図8】ピラミッド階層画像の作成方法を説明する図である。

【図9】ウェイブレット変換を説明するための画素番号を示す図である。

【図10】キズ欠陥を強調する特徴量の算出方法を説明する図である。

【図11】ムラ欠陥を強調する特徴量の算出方法を説明する図である。

【図12】特徴量の一覧を示す図である。

【図13】結合後の特徴量の一覧を示す図である。

【図14】特徴量の結合を実施する場合としない場合の作業の流れを示す図である。

【図15】撮像装置と対象物との関係の第二の例を示す図である。

30

【図16】図15に示す撮像装置と対象物との関係を立体的に示す図である。

【図17】撮像装置と対象物との関係の第三の例を示す図である。

【図18】撮像装置と対象物との関係の第四の例を示す図である。

【図19】撮像装置と対象物との関係の第五の例を示す図である。

【図20】撮像装置と対象物との関係の第六の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、図面を参照しながら、複数の実施形態を説明する。以下の各実施形態では、少なくとも2つの異なる撮像条件で撮像された対象物の画像データを用いて学習および検査を行う。撮像条件には、例えば、撮像装置に関する条件、撮像時の撮像装置の周囲の環境に関する条件、および対象物に関する条件の少なくとも何れか1つが含まれる。第一の実施形態では、その第一の例として、少なくとも2つの異なる照明条件で対象物を撮像することを撮像条件として採用する。第二の実施形態では、その第二の例として、少なくとも2つの異なる撮像部で対象物を撮像することを撮像条件として採用する。第三の実施形態では、その第三の例として、対象物の領域であって、少なくとも2つの異なる領域を同一の画像で撮像することを撮像条件として採用する。第四の実施形態では、その第四の例として、同一の対象物の少なくとも2つの異なる部位を撮像することを撮像条件として採用する。

40

【0012】

(第一の実施形態)

まず、第一の実施形態について説明する。

50

本実施形態では、まず、良否判定装置のハードウェア構成と機能構成の一例について説明し、次に学習と検査の各フローチャート（ステップ）について説明し、最後に本実施形態の効果について説明する。

【0013】

（ハードウェア構成および機能構成）

図1に、本実施形態における良否判定装置が実装されるハードウェア構成の一例を示す。図1において、CPU110は、バス100を介して接続される各デバイスを統括的に制御する。CPU110は、読み出し専用メモリ（ROM）120に記憶された処理ステップやプログラムを読み出して実行する。オペレーティングシステム（OS）をはじめ、本実施形態に係る各処理プログラム、デバイスドライバ等はROM120に記憶されており、ランダムアクセスメモリ（RAM）130に一時的に記憶され、CPU110によって適宜実行される。また、入力I/F140は、撮像装置等の外部の装置から、良否判定装置で処理可能な形式で入力信号を入力する。また、出力I/F150は、表示装置等の外部の装置が処理可能な形式で出力信号を出力する。

10

【0014】

図2に、本実施形態における良否判定装置の機能構成の一例を示す。図2において、本実施形態の良否判定装置200は、画像取得部201、画像合成部202、網羅的特徴量抽出部203、特徴量結合部204、特徴量選択部205、識別器生成部206、選択特徴量保存部207、および識別器保存部208を有する。さらに良否判定装置200は、選択特徴量抽出部209、判定部210、および出力部211を有する。また、良否判定装置200は、撮像装置220および表示装置230に接続される。良否判定装置200は、良品か不良品かが既知の検査対象物に対して機械学習を行うことにより識別器を作成し、作成した識別器を用いて良品か不良品かが未知の検査対象物の外観の良否の判定を下す装置である。図2において、学習時の動作順序を実線の矢印で、検査時の動作順序を点線の矢印で示す。

20

【0015】

画像取得部201は、撮像装置220から画像を取得する。本実施形態において撮像装置220は、一つの対象物に対して少なくとも2つ以上の照明条件で撮像することを前提とする。この点の詳細は後述する。学習時において撮像装置220で撮像される対象物には、予めユーザにより良品または不良品のラベルが与えられている。一方、検査時においては一般に撮像装置220で撮像される物体の良否は未知である。本実施形態では、良否判定装置200が、撮像装置220に接続され、撮像された対象物の画像を撮像装置220から取得する場合を例に挙げて説明する。しかしながら、必ずしもこのようにする必要はない。例えば、予め撮像された対象物の画像を記憶媒体に記憶しておき、撮像された対象物の画像を当該記憶媒体から読み出すことによって取得しても構わない。

30

【0016】

画像合成部202は、画像取得部201から、相互に異なる少なくとも2つの照明条件で撮像された対象物の画像を受領したうえで合成し、合成画像を作成する。ここで、学習時に撮像された画像または合成された画像を学習用画像と称し、検査時に撮像された画像または合成された画像を検査用画像と称する。画像合成部202の詳細は後述する。

40

【0017】

網羅的特徴量抽出部203は、学習用抽出処理を行う。具体的に網羅的特徴量抽出部203は、画像取得部201で取得された学習用画像と、画像合成部202で合成された学習用画像と、のうち、少なくとも2つ以上の画像の各々に対して、画像の統計量を始めとする特徴量を網羅的に抽出する。網羅的特徴量抽出部203の詳細は後述する。このとき、画像取得部201で取得された学習用画像と、画像合成部202で合成された学習用画像のうち、画像取得部201で取得された学習用画像のみを特徴量の抽出の対象とすることができます。これとは逆に、画像取得部201で取得された学習用画像と、画像合成部202で合成された学習用画像のうち、画像合成部202で合成された学習用画像のみを、特徴量の抽出の対象とすることができます。また、画像取得部201で取得された学習用画

50

像と、画像合成部 202 で合成された学習用画像との双方を特徴量の抽出の対象とすることができる。

特徴量結合部 204 は、網羅的特徴量抽出部 203 で抽出された各画像の特徴量を一つに結合する。特徴量結合部 204 の詳細は後述する。

【0018】

特徴量選択部 205 は、特徴量結合部 204 で結合された特徴量から、良品と不良品を分離するのに有効な特徴量を選択する。特徴量選択部 205 で選択された特徴量の種類は、選択特徴量保存部 207 に保存される。特徴量選択部 205 の詳細は後述する。

識別器生成部 206 は、特徴量選択部 205 で選択された特徴量を用いて、良品と不良品とを識別する識別器を作成する。識別器生成部 206 で生成された識別器は、識別器保存部 208 に保存される。識別器生成部 206 の詳細は後述する。

10

【0019】

選択特徴量抽出部 209 は、検査用抽出処理を行う。具体的に選択特徴量抽出部 209 は、画像取得部 201 で取得された検査用画像、または画像合成部 202 で合成された検査用画像から、選択特徴量保存部 207 に保存されている種類の特徴量、すなわち、特徴量選択部 205 で選択された特徴量を抽出する。選択特徴量抽出部 209 の詳細は後述する。

判定部 210 は、選択特徴量抽出部 209 で抽出された特徴量と、識別器保存部 208 に保存されている識別器とに基づいて、対象物の外観の良否を判定する。

【0020】

出力部 211 は、不図示のインターフェースを介して、外部の表示装置 230 が表示可能な形式で、対象物の外観の良否の判定結果を表示装置 230 に送出する。尚、出力部 211 は、対象物の外観の良否の判定に用いた検査画像等を、対象物の外観の良否の判定結果に合わせて表示装置 230 に送出してもよい。

20

【0021】

表示装置 230 は、出力部 211 によって出力された、対象物の外観の良否の判定結果を表示する。対象物の外観の良否の判定結果の表示は、例えば、良、不良のテキスト表示により実現することができる。ただし、対象物の外観の良否の判定結果の表示形態は、テキスト表示に限定されない。例えば、良、不良を色で区別して表示しても良い。また、このような表示に加えてまたは代えて音を使って良、不良を出力しても良い。表示装置 230 は、例えば、液晶ディスプレイや CRT ディスプレイが用いられる。表示装置 230 の表示は、図 1 の CPU110 によって表示制御される。

30

【0022】

(フローチャート)

図 3A、図 3B に本実施形態におけるフローチャートを示す。具体的に図 3A は、学習時の良否判定装置 200 の処理の一例を説明するフローチャートである。図 3B は、検査時の良否判定装置 200 の処理の一例を説明するフローチャートである。以下、図 3A、図 3B のフローチャートに従って、良否判定装置 200 の処理の一例を説明する。図 3A、図 3B に示すように、本実施形態における良否判定装置 200 処理には大きく二つのステップ、すなわち学習ステップ S1 と、検査ステップ S2 がある。以下、各ステップを詳細に説明する。

40

【0023】

まず、図 3A の学習ステップ S1 について説明する。

(ステップ S101)

ステップ S101 において、画像取得部 201 は、学習で用いる複数の照明条件の画像を撮像装置 220 から取得する。図 4 に、本実施形態における撮像装置 220 (図内の点線内部) と対象物 450 の断面図 (図 4 (b)) と、撮像装置 220 の上面図 (図 4 (a)) の一例を示す。図 4 (b) は、図 4 (a) の I - I' 断面図である。

【0024】

図 4 (b) に示すように、撮像装置 220 は、カメラ 440 を備える。カメラ 440 の

50

光軸は、対象物450の板面に対して垂直な方向である。さらに撮像装置220は、緯度方向の位置（高さ位置）が異なる照明410a～410h、420a～420h、430a～430hを経度方向（周方向）8方位に備える。前述した通り本実施形態において撮像装置220は、一つの対象物450に対して少なくとも2つ以上の照明条件で撮像することを前提とする。例えば、使用する照明410a～410h、420a～420h、430a～430h（照射方向）と、照明410a～410h、420a～420h、430a～430hの光量と、カメラ440の撮像素子の露光時間の少なくとも1つを変更する。このようにすることで複数の照明条件での撮像を実施する。照明条件の例は後述する。また、カメラ440は産業用カメラ等を用い、モノクロ／カラーのどちらの画像を撮像してもよい。ステップS101では、学習で用いる画像を取得するため、良品であるか不良品であるかが予め既知である製品（対象物450）の外観部分を撮影し、その画像を取得する。その対象物450が良品であるか不良品であるかは、予めユーザによって良否判定装置200に与えられているものとする。尚、対象物450は、同一の材質で形成されているものとする。

10

【0025】

(ステップS102)

ステップS102において、画像取得部201は、良否判定装置200に予め設定された全ての照明条件による画像の取得を完了したか否かを判定する。この判定の結果、全ての照明条件による画像を取得していない場合には、ステップS101に戻り撮像を繰り返す。図5に、本実施形態における照明条件の一例を示す。本実施形態では、図5に示すように、使用する照明410a～410h、420a～420h、430a～430hを変更することで照明条件を変更する場合を例に挙げて示す。図5では、図4（a）に示した撮像装置220の上面図を簡略化して示しており、使用する照明は黒色に塗りつぶすことで表現するものとする。本実施形態においては、照明条件は7種類としてある。

20

【0026】

複数の照明条件を準備して撮像するのは、照明条件によってキズや打痕のような欠陥が強調されたり、塗装ムラのような欠陥が強調されたりするためである。例えば、照明条件1～4による画像はキズ欠陥が強調され、照明条件5～7による画像はムラ欠陥が強調される。図6に本実施形態における各照明条件における欠陥部分の画像の一例を示す。照明条件1～4による画像においては、点灯している2つの照明を結ぶ方向とは垂直な方向のキズ欠陥が強調されやすい。これはキズ欠陥に垂直な方向で且つ緯度が低い方向からの照明によって、キズ欠陥の部分の反射率が大きく変化するからである。図6においては、照明条件3による画像が最もキズ欠陥が可視化されている。一方、照明条件5～7による画像においては、ムラ欠陥が強調されやすい。これは照明条件5～7が経度方向に均一な照明であるため、照明ムラが発生しづらい分、ムラ欠陥が強調されるためである。図6においては、照明条件7による画像が最もムラ欠陥が可視化されている。照明条件5～7のうちどの照明条件が最もムラ欠陥を強調するかは、ムラの発生要因や種類等に依存する。全7つの照明条件の撮像が完了すれば、次のステップS103へ進む。本実施形態では、使用する照明410a～410h、420a～420h、430a～430hを変更することで照明条件を変更した。しかしながら、照明条件は、使用する照明410a～410h、420a～420h、430a～430hに限定されない。前述したように、例えば、照明410a～410h、420a～420h、430a～430hの光量やカメラ440の露光時間を変更することで照明条件を変更してもよい。

30

【0027】

(ステップS103)

ステップS103において、画像取得部201は、学習に必要な対象物数の画像の取得を完了したか否かを判定する。この判定の結果、学習に必要な対象物数の画像を取得できていない場合にはステップS101に戻り撮像を繰り返す。本実施形態では、1つの照明条件で、学習用画像として良品画像を150枚、不良品画像を50枚程度取得する。従って、ステップS103が完了するときに、良品については150×7枚、不良品について

40

50

は 50×7 枚の学習用画像を取得することになる。これらの枚数の画像の取得が完了すれば、次のステップ S 104 へ進む。以下のステップ S 104 ~ S 107 の処理は、200 個の対象物のそれについて 1 つずつ行われる。

【0028】

(ステップ S 104)

ステップ S 104において、画像合成部 202 は、同一の対象物に対する照明条件 1 ~ 7 の 7 枚の画像のうち、照明条件 1 ~ 4 による画像を合成する。このように本実施形態では、画像合成部 202 は、照明条件 1 ~ 4 による画像を合成して学習用画像として出力し、照明条件 5 ~ 7 による画像は合成せずにそのまま学習用画像として出力する。前述したように、照明条件 1 ~ 4 は照明の使用方向に関して方位角に依存性がある為、強調されるキズ欠陥の方向はそれぞれの照明条件で異なる。従って、照明条件 1 ~ 4 による画像の相互に対応する位置の画素値の和をとった合成画像を生成することで、様々な角度のキズ欠陥が強調された画像を生成できる。ここでは簡単のために、照明条件 1 ~ 4 による画像の和をとることにより合成画像を作成する方法を例に挙げて説明した。しかしながら、必ずしもこのようにする必要はない。例えば、四則演算を始めとする画像処理を施すこと、より欠陥を強調することが可能な合成画像を生成してもよい。例えば、照明条件 1 ~ 4 による画像の画素値に加えてまたは替えて、照明条件 1 ~ 4 による画像の統計量と、照明条件 1 ~ 4 による画像のうち複数の画像間の統計量とを用いた演算を行うことにより合成画像を生成することができる。

10

【0029】

図 7 に、本実施形態における学習用画像の形態の一例を示す。図 7 において、学習用画像 1 は、照明条件 1 ~ 4 による画像を合成したものであることを示し、学習用画像 2 ~ 4 は、照明条件 5 ~ 7 の画像そのものであることを示す。このように本実施形態では、同一の対象物について学習用画像は合計で 4 種類作成される。

20

【0030】

(ステップ S 105)

ステップ S 105において、網羅的特徴量抽出部 203 は、ある対象物の学習用画像に対して網羅的に特徴量を抽出する。網羅的特徴量抽出部 203 は、ある対象物の学習用画像から、周波数的に異なるピラミッド階層画像を作成した後、各ピラミッド階層画像に対して統計演算やフィルタリング処理等を施して特徴量を抽出する。

30

【0031】

まず、ピラミッド階層画像の作成方法の一例について詳細に説明する。本実施形態ではウェイブレット変換(周波数変換)を用いてピラミッド階層画像を作成する。図 8 に、本実施形態におけるピラミッド階層画像の作成方法の一例を示す。まず、網羅的特徴量抽出部 203 は、ステップ S 104 で得た学習用画像を原画像 801 とし、原画像 801 から、低周波画像 802、縦周波画像 803、横周波画像 804、および対角周波画像 805 の 4 種類の画像を作成する。4 種類の画像は全て原画像 801 の 1/4 倍に縮小されている。図 9 に、ウェイブレット変換を説明するための画素番号を示す。ここで、図 9 に示すように、左上の画素を a、右上の画素を b、左下の画素を c、右下の画素を d とする。この場合、低周波画像 802、縦周波画像 803、横周波画像 804、対角周波画像 805 はそれぞれ、原画像 801 に対して以下の(1)式、(2)式、(3)式、(4)式の画素値の変換を行うことにより作成される。

40

$$(a + b + c + d) / 4 \quad \dots \quad (1)$$

$$(a + b - c - d) / 4 \quad \dots \quad (2)$$

$$(a - b + c - d) / 4 \quad \dots \quad (3)$$

$$(a - b - c + d) / 4 \quad \dots \quad (4)$$

【0032】

さらに、網羅的特徴量抽出部 203 は、以上のようにして作成した、縦周波画像 803、横周波画像 804、および対角周波画像 805 の 3 種類の画像から、以下の 4 種類の画像を作成する。すなわち、網羅的特徴量抽出部 203 は、縦周波画像の絶対値画像 806

50

、横周波画像の絶対値画像 807、対角周波画像の絶対値画像 808、および縦・横・対角周波画像の二乗和画像 809 の 4 種類の画像を作成する。縦周波画像の絶対値画像 806、横周波画像の絶対値画像 807、対角周波画像の絶対値画像 808 は、それぞれ、縦周波画像 803、横周波画像 804、対角周波画像 805 の各画像の絶対値をとることで作成される。また、網羅的特徴量抽出部 203 は、縦周波画像 803、横周波画像 804、および対角周波画像 805 の二乗和を計算することで作成される。すなわち、網羅的特徴量抽出部 203 は、縦周波画像 803、横周波画像 804、および対角周波画像 805 の各位置（画素）の値の二乗を求める。そして、網羅的特徴量抽出部 203 は、縦周波画像 803、横周波画像 804、および対角周波画像 805 の相互に対応する位置における当該二乗した値を加算することで、縦・横・対角周波画像の二乗和画像 809 を作成する。

10

【0033】

図 8において、原画像 801 から得られる低周波画像 802～縦・横・対角周波画像の二乗和画像 809 の 8 種類の画像を 1 階層目の画像群と称する。

次に、網羅的特徴量抽出部 203 は、1 階層目の画像群を作成したのと同じ画像変換を、低周波画像 802 に対して行い、2 階層目の画像群として前述した 8 種類の画像を作成する。さらに網羅的特徴量抽出部 203 は、2 階層目の低周波画像に対しても同様の処理を行って 3 階層目の画像群として前述した 8 種類の画像を作成する。以上の 8 種類の画像（各階層の画像群）の作成を、各階層の低周波画像に対して、低周波画像のサイズが一定値以下になるまで繰り返す。繰り返しを実施している部分を図 8 内の破線部 810 に示す。この作業を繰り返すことで、各階層に対してそれぞれ 8 種類の画像が作成される。例えば、この作業を 10 階層まで繰り返した場合、1 枚の画像に対して 81 種類（原画像 1 枚 + 10 階層 × 8 種類）の画像が作成される。以上がピラミッド階層画像の作成についての説明である。本実施形態ではウェイブレット変換を用いてピラミッド階層画像（原画像に対し異なる周波数の画像）を作成する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、ピラミッド階層画像（原画像に対し異なる周波数の画像）を作成する方法は、ウェイブレット変換を用いる方法に限定されない。例えば、原画像に対してフーリエ変換を行うことにより、ピラミッド階層画像（原画像に対し異なる周波数の画像）を作成してもよい。

20

【0034】

次に、各ピラミッド階層画像に対して、統計演算やフィルタリング処理等を施して特徴量を抽出する方法の一例について詳細に説明する。

30

まず、統計演算について説明する。網羅的特徴量抽出部 203 は、各ピラミッド階層画像の平均・分散・尖度・歪度・最大値・最小値を算出して、これらを特徴量とする。ここに挙げたもの以外の統計量を特徴量としてもよい。

【0035】

次に、フィルタリング処理等を施して抽出する特徴量について説明する。ここでは、キズ欠陥とムラ欠陥を強調する 2 つのフィルタリング処理を行って算出した結果を特徴量とする。以下順に説明する。

第一にキズ欠陥を強調する特徴量について説明する。キズ欠陥は、対象物が生産時に何かしら突起のあるものに引っ掻かれてできてしまう場合が多く、一方向に長い線状の欠陥となりやすい。図 10 に本実施形態におけるキズ欠陥を強調する特徴量の算出方法の一例の模式図を示す。図 10 において、実線の矩形枠 1001 は、ピラミッド階層画像の一つである。網羅的特徴量抽出部 203 は、この矩形枠（ピラミッド階層画像）1001 に対して、矩形領域 1002（図 10 の破線の矩形枠）と、一方向に連続した長い線状の矩形領域 1003（図 10 の一点鎖線の矩形枠）とを用いて畳み込み演算を行う。この畳み込み演算により、キズ欠陥を強調する特徴量が抽出される。

40

【0036】

本実施形態では、網羅的特徴量抽出部 203 は、矩形枠（ピラミッド階層画像）1001 全体をスキャンする（図 10 の矢印を参照）。そして、網羅的特徴量抽出部 203 は、線状の矩形領域 1003 を除いた矩形領域 1002 内の各画素の平均値と線状の矩形領域

50

1003の各画素の平均値との比を算出する。そして、その最大値および最小値を特徴量とする。矩形領域1003は線状であるため、キズ欠陥がより強調される特徴量を抽出することが可能となる。また図10では、矩形枠(ピラミッド階層画像)1001と線状の矩形領域1003とが平行である場合を例に挙げて示す。しかしながら、線状の欠陥は360度様々な方向に発生する可能性がある。このため、網羅的特徴量抽出部203は、例えば15度ごと24方向に、矩形枠(ピラミッド階層画像)1001を回転させ、それぞれの特徴量を算出する。またフィルタサイズを複数準備する。

【0037】

第二にムラ欠陥を強調する特徴量について説明する。ムラ欠陥は、塗装での塗りムラや樹脂成型の過程等によって発生し、面積的に大きなものになりやすい。図11に本実施形態におけるムラ欠陥を強調する特徴量の算出方法の一例の模式図を示す。矩形領域1101(図11の実線の矩形枠)は、ピラミッド階層画像の一つである。網羅的特徴量抽出部203は、矩形領域(ピラミッド階層画像)1101に対して、矩形領域1102(図11の破線の矩形枠)と矩形領域1103(図11の一点鎖線の矩形枠)とを用いて畳み込み演算を行う。この畳み込み演算により、ムラ欠陥を強調する特徴量が抽出される。ここで、矩形領域1103(図11の一点鎖線の矩形枠)は、矩形領域1102の内部のムラ状の欠陥を含む領域である。

10

【0038】

本実施形態では、網羅的特徴量抽出部203は、矩形領域1103を除いた矩形領域1102内の各画素の平均値と、矩形領域1103の各画素の平均値との比を矩形領域1101全体に対してスキャンして算出する(図11の矢印を参照)。そして、網羅的特徴量抽出部203は、その最大値および最小値を特徴量とする。矩形領域1103はムラ欠陥を含むような領域であるため、ムラ欠陥がより強調される特徴量を算出することが可能となる。また、キズ欠陥の特徴量と同様に、フィルタサイズを複数準備する。

20

【0039】

ここでは特徴量では、平均値の比を算出する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、特徴量は平均値の比に限定されない。例えば、分散や標準偏差の比を特徴量として用いてもよいし、比ではなく差を特徴量として用いてもよい。また、本実施形態ではスキャンした後に、最大値および最小値を算出する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、必ずしも最大値および最小値を算出する必要はない。スキャンの結果から、平均や分散等他の統計量を算出してもよい。

30

【0040】

また、本実施形態では、ピラミッド階層画像を作成する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、必ずしもピラミッド階層画像を作成する必要はない。例えば、原画像からのみ特徴量を抽出するだけでもよい。また、特徴量の種類は、本実施形態において列挙したものに限定されない。例えば、ピラミッド階層画像や原画像に対し、統計演算、畳み込み演算、2値化処理、および微分演算の少なくとも何れか1つを行うことにより特徴量を算出することができる。

30

【0041】

網羅的特徴量抽出部203は、以上のようにして導出した特徴量に、それぞれ番号を付けて、当該特徴量と共にメモリに一時的に保存しておく。図12に、本実施形態における特徴量の一覧の一例を示す。特徴量の種類が膨大になるため、図12においては、表内の大部分を省略してある。また、後述する説明のために、学習用画像1枚に対して、階層Xのピラミッド階層画像Yのムラ欠陥用特徴量でフィルタサイズがZの特徴量まで抽出するものとして、合計の特徴量番号をNとしている。以上のように網羅的特徴量抽出部203は、学習用画像からN=4000程度の特徴量を網羅的に抽出する。

40

【0042】

(ステップS106)

ステップS106において、網羅的特徴量抽出部203は、ステップS105における特徴量の抽出がステップS104で作成した4種類の学習用画像1~4において完了した

50

か否かを判定するか否かを判定する。この判定の結果、特徴量の抽出が4種類の学習用画像1～4において完了していない場合には、ステップS105に戻り、特徴量の抽出を繰り返す。そして、全4種類の学習用画像1～4の網羅的な特徴量の抽出が完了すると、次のステップS107へ進む。

【0043】

(ステップS107)

ステップS107において、特徴量結合部204は、ステップS105、S106の処理で抽出した全4種類の学習用画像1～4の網羅的な特徴量を結合する。図13に、結合後の特徴量の一覧の一例を示す。ここで、特徴量番号は1から4Nまでとなる。本実施形態においては、ステップS107における特徴量の結合において、特徴量1～4Nの全ての特徴量を結合する場合を例に挙げて説明する。しかしながら、必ずしも特徴量1～4Nの全ての特徴量を結合する必要はない。例えば、明らかに不要な特徴量が最初から既知である場合、当該特徴量を結合する必要はない。

10

【0044】

(ステップS108)

ステップS108において、特徴量結合部204は、学習に必要な対象物数分の特徴量の結合を完了したか否かを判定する。この判定の結果、学習に必要な対象物数分の特徴量の結合を完了していない場合には、ステップS104に戻り、学習に必要な対象物数分の特徴量の結合を完了するまで、ステップS104～S108の処理を繰り返す。ステップS103で述べたように、良品においては150個分、不良品においては50個分の特徴量の結合を実施する。学習に必要な対象物数分の特徴量の結合を完了すると、次のステップS109へ進む。

20

【0045】

(ステップS109)

ステップS109において、特徴量選択部205は、ステップS108までで結合した特徴量のうち、良品と不良品とを分離するのに有効な特徴量を選択、すなわち検査時に用いる特徴量の種類を決定する。具体的には、良品と不良品とを分離するのに有効な特徴量の種類のランキングを作成し、ランキングの上位から何番目までの特徴量を使用するか(すなわち使用する特徴量の数)を決定することで、特徴量の選択を行う。

30

まず、ランキングの作成方法の一例について説明する。学習に用いた対象物の番号をj($j = 1, 2, \dots, 200$ 。ただし、1～150までが良品、151～200を不良品とする)、特徴量を結合した後のi番目($i = 1, 2, \dots, 4N$)の特徴量を x_i 、 x_j とする。特徴量選択部205は、各特徴量の種類に対して、良品150個分における平均 x_{ave_i} と標準偏差 σ_{ave_i} を算出し、特徴量 x_i 、 x_j が発生する確率密度関数 $f(x_i, x_j)$ を正規化分布と仮定して作成する。このとき確率密度関数 $f(x_i, x_j)$ は、以下の(5)式で与えられる。

【0046】

【数1】

$$f(x_{i,j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ave_i}^2}} \exp\left(-\frac{(x_{i,j} - x_{ave_i})^2}{2\sigma_{ave_i}^2}\right) \quad \dots \quad (5)$$

40

【0047】

次に、特徴量選択部205は、学習に用いた全ての不良品の確率密度関数 $f(x_i, x_j)$ の積を算出し、これをランキング作成のための評価値 $g(i)$ とする。ここで、評価値 $g(i)$ は、以下の(6)式で与えられる。

【0048】

【数2】

$$g(i) = \prod_{j=151}^{200} f(x_{i,j}) \quad \dots \quad (6)$$

【0049】

評価値 $g(i)$ は、値が小さいものほど良品と不良品とを分離するのに有効な特徴量である。このため、特徴量選択部205は、評価値 $g(i)$ をソートし、評価値 $g(i)$ の値が小さいものから順番に特徴量の種類のランキングを作成し、順位づけを行う。

ランキングの作成方法として、特徴量そのものに替えて特徴量の組み合わせを評価してもよい。特徴量の組み合わせを評価する場合には、組み合わせる特徴量の次元数分の確率密度関数を作成して評価する。例えば i 番目と k 番目の2次元の特徴量の組み合わせであれば、(5)式、(6)式を2次元化させ、確率密度関数 $f(x_{i,j}, x_{k,j})$ 、評価値 $g(i, k)$ を、それぞれ以下の(7)式、(8)式とする。

【0050】

【数3】

$$f(x_{i,j}, x_{k,j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ave_i}^2}} \exp\left(-\frac{(x_{i,j} - x_{ave_i})^2}{2\sigma_{ave_i}^2}\right) \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ave_k}^2}} \exp\left(-\frac{(x_{k,j} - x_{ave_k})^2}{2\sigma_{ave_k}^2}\right) \quad \dots \quad (7)$$

$$g(i, k) = \prod_{j=151}^{200} f(x_{i,j}, x_{k,j}) \quad \dots \quad (8)$$

【0051】

1つの特徴量 k (k 番目の特徴量) を固定してソートし、評価値 $g(i, k)$ の値が小さいものから順番に点数づけを行う。例えば、ある特徴量 k において、評価値 $g(i, k)$ の値が最も小さくなる i 番目の特徴量に10点、評価値 $g(i', k)$ の値が次に小さくなる i' 番目の特徴量に9点、と、上位10個の特徴量について点数づけを行う。この点数づけを全ての特徴量 k について行うことで、結合した特徴量の種類に対して、特徴量の組み合わせを考慮したランキングが作成される。

【0052】

次に、特徴量選択部205は、ランキングの上位から何番目までの特徴量の種類を使用するか(すなわち使用する特徴量の数)を決定する。まず、特徴量選択部205は、学習に用いた全ての対象物に対して、使用する特徴量の数をパラメータとして、スコアを算出する。具体的には、使用する特徴量の数を p 、ランキング順にソートされた特徴量の種類を m とし、 j 番目の対象物のスコア $h(p, j)$ を以下の(9)式で表すものとする。

【0053】

【数4】

$$h(p, j) = \sqrt{\sum_{m=1}^p \left(\frac{x_{m,j} - x_{ave_m}}{\sigma_{ave_m}} \right)^2} \quad \dots \quad (9)$$

【0054】

特徴量選択部205は、このスコア $h(p, j)$ をもとに、学習に用いた全ての対象物をスコア順に並べることを、使用する特徴量の数毎に行う。学習に用いた対象物は良品および不良品の何れであるかが既知である。スコア順に対象物に並べると、良品および不良品もこのスコア順に並べられる。このようなデータが、使用する特徴量の数 p の候補の数分だけ得られる。特徴量選択部205は、使用する特徴量の数 p の候補の数分のデータのそれについての分離度(良品と不良品をどの程度正確に分離できるかを示す値)を評価値とし、最も高い評価値が得られるデータから、使用する特徴量の数 p を決定する。デ

10

20

30

40

50

ータの分離度として、ROC (Receiver Operating Characteristic curve) 曲線のAUC (Area Under the Curve) を用いることができる。また、学習データの不良品の見逃しをゼロとしたときの良品の通過率 (対象物の総数に対する良品の数の比) をデータの分離度として用いてもよい。特徴量選択部 205 は、これらの方針を用いることで、結合した特徴量の種類 4N (N = 4000 ならば 16000 個の特徴量の種類) の中から、使用する特徴量の種類を 50 個 ~ 100 個程度選択する。ここでは使用する特徴量の数も含めて決定したが、使用する特徴量の数は固定値でも良い。選択した特徴量の種類は、選択特徴量保存部 207 に保存される。

【0055】

(ステップ S110)

10

ステップ S110 において、識別器生成部 206 は、識別器を作成する。具体的に識別器生成部 206 は、(9) 式を用いて算出されるスコアに対して、検査時に良品か不良品かを判定する閾値を決定する。ここで、不良品の見逃しを一部許す場合や、不良品の見逃しを許さない場合等、良品と不良品を分離するスコアに対する閾値は、生産ラインの状況に応じてユーザにより決定される。そして、識別器保存部 208 は、生成した識別器を保存する。以上が学習時のステップ S1 である。

【0056】

次に、図 3B の検査ステップ S2 について説明する。

(ステップ S201)

20

ステップ S201 において、画像取得部 201 は、検査で用いる複数の照明条件の画像を撮像装置 220 から取得する。検査時は学習時とは異なり、対象物が良品または不良品であるかは、未知である。

【0057】

(ステップ S202)

ステップ S202 において、画像取得部 201 は、良否判定装置 200 に予め設定された全ての照明条件による画像の取得を完了したか否かを判定する。この判定の結果、全ての照明条件による画像を取得していない場合には、ステップ S201 に戻り撮像を繰り返す。本実施形態では、7 種類の照明条件による画像の取得が完了すれば、次のステップ S203 へ進む。

【0058】

30

(ステップ S203)

ステップ S203 において、画像合成部 202 は、対象物の画像 7 枚を用いて、画像を合成する。本実施形態では、学習用と同様に、画像合成部 202 は、照明条件 1 ~ 4 による画像を合成して出力し、照明条件 5 ~ 7 による画像については合成せずそのまま出力する。従って、検査用画像は合計で 4 種類作成される。

【0059】

(ステップ S204)

ステップ S204 において、選択特徴量抽出部 209 は、選択特徴量保存部 207 から、特徴量選択部 205 で選択された特徴量の種類を受け取り、その特徴量の種類に基づいて、検査用画像から、特徴量の値を算出する。各特徴量の値の算出方法は、ステップ S105 に記載した方法と同様である。

40

【0060】

(ステップ S205)

ステップ S205 において、選択特徴量抽出部 209 は、ステップ S204 における特徴量の抽出が、ステップ S203 で作成された 4 種類の検査用画像において完了したか否かを判定する。この判定の結果、4 種類の検査用画像の特徴量の抽出が完了していない場合には、ステップ S204 に戻り、特徴量の抽出を繰り返す。そして、全 4 種類の検査用画像の特徴量の抽出が完了すると、次のステップ S206 へ進む。

【0061】

本実施形態では、ステップ S202 ~ 205 に関しては、学習時と同様に全 7 種類の照

50

明条件で撮像を行い、そのうちの照明条件 1 ~ 4 で撮像された画像の合成を行って検査用画像を 4 種類作成する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、必ずしもこのようにする必要はない。例えば、特徴量選択部 205 で選択された特徴量によって、必要なない照明条件や検査用画像があれば、それらを省いてもよい。

【0062】

(ステップ S206)

ステップ S206において、判定部 210 は、ステップ 205 までで算出された特徴量の値を(9)式に挿入することで、検査対象物のスコアを算出する。そして、判定部 210 は、検査対象物のスコアと、識別器保存部 208 に保存されている閾値とを比較し、その比較の結果に基づいて検査対象物が良品か不良品かを判定する。この際、出力部 211 を通して、表示装置 230 へ、その判定の結果を示す情報を出力する。

10

【0063】

(ステップ S207)

ステップ S207において、判定部 210 は、検査対象物の検査を全て完了したか否かを判定する。この判定の結果、検査対象物の検査を全て完了していない場合には、ステップ S201 に戻り、他の検査対象物について、撮像から繰り返す。

以上が各ステップの詳細な説明である。

20

【0064】

(本実施形態の効果の説明)

次に、本実施形態の効果について詳細に説明する。説明のため、ステップ S107 における特徴量の結合なしに学習・検査した場合と比較して述べる。

30

図 14 に本実施形態におけるステップ S107 において特徴量の結合を実施する場合(図 14 (b))としない場合(図 14 (a))の作業の流れの一例を示す。図 14 (a) に示すように、特徴量の結合を実施しない場合、4 種類の学習用画像 1 ~ 4 のそれぞれに対して、不良品の画像の選択をする必要がある(図内の画像の選択 1 ~ 4)。例えば、学習用画像 1 は、図 7 で示した通り、照明条件 1 ~ 4 の画像を合成したものであり、照明条件 1 ~ 4 はキズ欠陥が可視化されやすく、逆にいえば、学習用画像 1 ではムラ欠陥は可視化されづらい傾向にある。欠陥が可視化されていない画像は、たとえ対象物のラベルは不良品であっても不良品の画像としては扱えないため、このような画像は不良品の画像からは除く必要がある。

30

【0065】

また、前述した不良品の画像の選択は困難である場合が多い。例えば、対象物内の同一欠陥に対して、学習用画像 1 ではその欠陥が強く可視化されていて、学習用画像 2 では良品の画像における画素値のバラツキ程度にしかその欠陥が可視化されていない場合を考える。このとき、学習用画像 1 は、不良品の画像として学習に用いればよいが、学習用画像 2 を不良品画像として学習に用いると、良品と不良品とを分離するのに有効な特徴量を選択する際に、冗長な特徴量を選択しやすくなる。その結果として、識別器の性能の劣化を引き起こす可能性がある。

【0066】

さらに、ステップ S109 での特徴量の選択は、4 種類の学習用画像 1 ~ 4 のそれぞれに対して実施することとなり、特徴量の選択の結果も 4 つ作成されることとなる。従って、検査を 4 回繰り返す必要がある。一般には 4 回の検査結果を総合して評価し、全ての検査において良品であるとの判定が下されたものを良品とする総合評価を実施する。

40

【0067】

一方で、特徴量の結合を実施する場合は、以上の問題を解決する。特徴量を結合してから特徴量を選択するため、学習用画像 1 ~ 4 のどこかに欠陥が可視化されていればよく、特徴量の結合をしない場合のような不良品の画像の選択は不要となる。さらに、キズ欠陥を強調するような特徴量は学習用画像 1 から選択され、ムラ欠陥を強調するような特徴量は学習用画像 2 ~ 4 の中から選択されやすくなる。従って、欠陥が強く可視化されている画像があれば、良品の画像における画素値のバラツキ程度にしか欠陥が可視化されていな

50

い画像があったとしても、その画像から特徴量を選択する必要もなくなり、結果として冗長な特徴量を選択しなくなる。よって、高精度な分離性能を達成することが可能となる。さらに、特徴量を結合することで特徴量の選択結果は1つだけであるため、検査も1回で済む。

【0068】

以上のように本実施形態では、外観の良否が既知の対象物に対して少なくとも2つ以上の異なる照明条件で撮像した画像に基づく少なくとも2つの画像の夫々から、複数の特徴量を抽出する。そして、抽出した各画像の特徴量を跨る特徴量から、対象物の良否を判定するための特徴量を選択し、選択した特徴量に基づいて、対象物の良否を判定する識別器を生成する。そして、検査用画像から抽出した特徴量と識別器とにに基づいて、対象物の外観の良否を判定する。従って、複数の照明条件で対象物の画像を撮像した場合に、照明条件ごとに学習に用いる画像の選択が不要となり、複数の照明条件に対して検査を一度で行うことができる。さらに、冗長な特徴量の選択がないため高性能に検査対象物の良否を判定することができる。よって、検査対象物の外観の良否を高精度に且つ短時間で判定することができる。

10

【0069】

尚、本実施形態では、学習と検査とを同一の装置（良否判定装置200）で行う場合を例に挙げて説明した。しかしながら、必ずしも学習と検査とを同一の装置で行う必要はない。例えば、識別器の生成（学習）を行う識別器生成装置と、検査を行う検査装置を構成し、学習と検査を別々の装置で実現してもよい。この場合、例えば、画像取得部201～識別器保存部208の機能が識別器生成装置に含まれ、画像取得部201、画像合成部202、選択特徴量抽出部209～出力部211の機能が検査装置に含まれる。このとき、識別器生成装置と検査装置とが直接通信することにより、検査装置が、識別器や特徴量の情報を取得することができる。また、このようにせずに、例えば、識別器生成装置が識別器や特徴量の情報を可搬型の記憶媒体に記憶し、検査装置が当該記憶媒体からこれらの情報を読み出すことで、識別器や特徴量の情報を取得してもよい。

20

【0070】

（第二の実施形態）

次に第二の実施形態を説明する。第一の実施形態では、少なくとも2つの異なる照明条件で撮像された画像データを用いて学習および検査を行う場合を例に挙げて説明した。これに対し、本実施形態では、少なくとも2つの異なる撮像部で撮像された画像データを用いて学習および検査を行う場合について説明する。このように本実施形態と第一の実施形態では、使用する学習データが異なることによる構成および処理が主として異なる。したがって、本実施形態の説明において、第一の実施形態と同一の部分については、図1～図14に付した符号と同一の符号を付す等して詳細な説明を省略する。

30

【0071】

図15に、本実施形態における撮像装置1500（図内の点線内部）と対象物450の断面図（図15（b））と、撮像装置1500の上面図（図15（a））の一例を示す。図15（b）は、図15（a）のI-I'断面図である。

40

【0072】

図15に示すように、本実施形態の撮像装置1500は、第一の実施形態の撮像装置20と類似しているが、カメラ440に加え、カメラ440とは異なる別のカメラ460（図内の太線）を有している点が異なる。カメラ440の光軸は、対象物450の板面に対して垂直な方向である。一方、カメラ460の光軸は、対象物450の板面の方向および当該板面に対して垂直な方向のそれぞれに対して傾斜した方向である。また、本実施形態の撮像装置1500は、照明を備えていない。第一の実施形態では、少なくとも2つの異なる照明条件で撮像された画像データを用いて得られる特徴量を結合する例を示した。これに対し、本実施形態では、少なくとも2つの異なる撮像部（カメラ440、460）で撮像された画像データを用いて得られる特徴量を結合する。尚、図15においては、カメラを2つとしているが、カメラの数は複数であれば、3以上であってもよい。

50

【0073】

図16に、図15に示すカメラ440、460と対象物450を立体的に見た（俯瞰した）様子を示す。相互に異なる撮像方向からカメラ440とカメラ460の2つで対象物450の同一領域を撮像し、画像データを取得する。このように異なる複数のカメラを用いる利点は、対象物450に対する結像方向が複数の方向の画像データを得ることによって、可視化が困難な欠陥に対してもいずれかのカメラで撮像される可能性が高くなることである。これは複数の照明条件について説明した考え方と類似しており、図6で示した照明条件によって可視化されやすい欠陥があるように、対象物450に対する撮像部の撮像方向（光軸）によっても可視化されやすい欠陥がある。

【0074】

学習時および検査時の良否判定装置の処理（フロー）は、第一の実施形態と同様である。ただし、第一の実施形態では、ステップS102において、1つの対象物450を複数の照明条件で照明した場合の画像を取得する。これに対し、本実施形態においては、1つの対象物450を複数の撮像部で異なる撮像方向から撮像した場合の画像を取得する。具体的には、カメラ440で取得した対象物450の画像と、カメラ460で取得した対象物450の画像である。

10

【0075】

また、ステップS105において、カメラ440、460で取得した2つの画像に対して、それぞれ網羅的に特徴量が抽出され、それらの特徴量は、ステップS107において結合される。その後ステップS109において特徴量の選択が実施される。尚、カメラの撮像方向（光軸）に応じて、ステップS104の画像の合成を行ってもよい。検査時の良否判定装置の処理（フロー）についても同様であり、詳細な説明は省略する。この結果、第一の実施形態と同様に、撮像部ごとに取得した画像に対して学習に用いる画像の選択が不要となり、複数の撮像部で撮像された画像に対して検査を一度で行うことができる。

20

尚、本実施形態においても、第一の実施形態で説明した種々の変形例を採用することができる。例えば、第一の実施形態と同様に、一つの対象物450に対して少なくとも2つ以上の照明条件で少なくとも2つの異なる撮像部で撮像してもよい。具体的には、第一の実施形態の図4と同様に、照明410a～410h、420a～420h、430a～430hを用意し、それぞれの照明の照射方向、光量を変更することにより複数の照明条件で複数の撮像部での撮像ができる。そして、それぞれの照明条件で上記少なくとも2つの異なる撮像部で撮像すればよい。撮像部ごとに学習に用いる画像の選択が不要となるのに加え、照明条件ごとに学習に用いる画像の選択が不要となり、複数の撮像部および複数の照明条件に対して検査を一度で行うことができる。

30

【0076】

(第三の実施形態)

次に、第三の実施形態を説明する。第一の実施形態では、少なくとも2つの異なる照明条件で撮像された画像データを用いて学習および検査を行う場合を例に挙げて説明した。これに対し、本実施形態では、同一画像内の少なくとも2つの異なる領域の画像データを用いて学習および検査を行う場合について説明する。このように本実施形態と第一の実施形態では、使用する学習データが異なることによる構成および処理が主として異なる。したがって、本実施形態の説明において、第一の実施形態と同一の部分については、図1～図14に付した符号と同一の符号を付す等して詳細な説明を省略する。

40

【0077】

図17に、カメラ440と対象物1700を立体的に見た（俯瞰した）様子の一例と（図17（a））、対象物1700を撮像した画像の一例（図17（b））を示す。また、第一の実施形態の対象物450は、同一の材質であるが、図17に示す対象物1700は、2つの材質を有する。図17において、領域1700aの材質を材質Aとし、領域1700bの材質を材質Bとする。

50

【0078】

第一の実施形態では、少なくとも2つの異なる照明条件で撮像された画像データを用いて得られる特徴量を結合する例を示した。これに対し、本実施形態では、カメラ440で撮像された同一画像内の異なる領域の画像データを用いて得られる特徴量を結合する。図17(b)に示す例では、材質Aに対応する領域1700aと、材質Bに対応する1700bの2つの領域が検査領域になる。尚、図17においては、検査領域を2つとしているが、検査領域の数は複数であれば、3以上であってもよい。

【0079】

学習時および検査時の良否判定装置の処理(フロー)は、第一の実施形態と同様である。ただし、本実施形態では、ステップS102において、1つの対象物1700の2つの領域1700a、1700bの画像を取得する。また、ステップS105において、2つの領域1700a、1700bの画像に対して、それぞれ網羅的に特徴量が抽出され、それらの特徴量は、ステップS107において結合とされる。尚、領域に応じて、ステップS104の画像の合成を行ってもよい。検査時の良否判定装置の処理(フロー)についても同様であり、詳細な説明は省略する。本実施形態の利点は、従来、領域1700a、1700bで学習結果が独立に存在したため、学習と検査の回数がそれぞれ2回必要であるのに対し、本実施形態によれば学習と検査とともに1回で済むという点である。

尚、本実施形態においても、第一の実施形態で説明した種々の変形例を採用することができる。

【0080】

(第四の実施形態)

次に、第四の実施形態を説明する。第一の実施形態では、少なくとも2つの異なる照明条件で撮像された画像データを用いて学習および検査を行う場合を例に挙げて説明した。これに対し、本実施形態では、同一の対象物の少なくとも2つの異なる部位の画像データを用いて学習および検査を行う場合について説明する。このように本実施形態と第一の実施形態では、使用する学習データが異なることによる構成および処理が主として異なる。したがって、本実施形態の説明において、第一の実施形態と同一の部分については、図1~図14に付した符号と同一の符号を付す等して詳細な説明を省略する。

【0081】

図18に、カメラ440、461と対象物450を立体的に見た(俯瞰した)様子の一例と(図18(a))、対象物450を撮像した画像の一例(図18(b))を示す。本実施形態の撮像装置は、第一の実施形態の撮像装置220と類似しているが、カメラ440に加え、カメラ440とは別のカメラを有している点が異なる。カメラ440、461の光軸は、何れも対象物450の板面に対して垂直な方向である。カメラ440、461は、対象物450の異なる領域を撮像する。後述する説明のため、図18では、対象物450の左側にあえて欠陥を図示している。尚、図18においては、カメラを2つとしているが、カメラの数は複数であれば、3以上であってもよい。また、図18に示す対象物450は、同一の材質で形成されているものとする。

【0082】

本実施形態では、ステップS105において、同一の対象物450の異なる部位の画像データに対して、それぞれ網羅的に特徴量が抽出され、ステップS107において、それらの特徴量が結合される。具体的には、図18(a)内の左側にあるカメラ440が対象物450の左側の領域450aを撮像し、右側にあるカメラ461が対象物450の右側の領域450bを撮像する。その後、特徴量の結合として、対象物450の左側の領域450aで網羅的に抽出した特徴量と、右側の領域450bで網羅的に抽出した特徴量とを結合する。尚、領域に応じて、ステップS104の画像の合成を行ってもよい。検査時の良否判定装置の処理(フロー)についても同様であり、詳細な説明は省略する。

【0083】

本実施形態の利点は、第三の実施形態で示したように学習と検査の回数が減るということに加え、学習のための良品と不良品のラベルづけが容易になるという点である。以下、

10

20

30

40

50

この利点について詳細に説明する。

図18(b)に示すように、例えば左側のカメラ440で撮像された領域450aの画像には欠陥があり、右側のカメラ461で撮像された領域450bの画像には欠陥がないとする。また、図18(b)に示す例では、領域450aと領域450bの一部がオーバーラップしているが、オーバーラップしていなくてもよい。

【0084】

さて、第一の実施形態で詳細に記載したように、良品と不良品を学習する。もし、特徴量の結合という考え方がない場合、領域450aと領域450bをそれぞれで学習する必要がある。図18(b)に示した対象物450には欠陥が含まれるため、明らかに不良品であるが、領域450aの学習で用いる際は不良品、領域450bの学習で用いる際は良品の扱いとなる。よって、対象物450そのものがもつ良品・不良品のラベルと、学習時のラベルとが異なる場合が発生する。

これに対し、本実施形態のように領域450aと領域450bの特徴量を結合することで、領域450a、450bごとに良品と不良品のラベルを変更し直す必要がなくなる。これは学習時のユーザビリティを著しく向上させる。

【0085】

次に、本実施形態の変形例を示す。図19に、カメラ440と対象物450を立体的に見た(俯瞰した)様子の変形例を示す。また、第一の実施形態では、対象物450は動かない状態としたが、本実施形態の変形例では、対象物450が駆動式のステージ1900に搭載される。本実施形態の変形例では、図19の左側で示すように、まずカメラ440で対象物450の右側の領域を撮像する。そして、駆動式のステージ1900を用いて対象物450を移動させ、図19の右側で示すように、対象物450の左側の領域をカメラ440で撮像する。その後、特徴量の結合として、対象物450の右側の領域で網羅的に抽出した特徴量と、左側で網羅的に抽出した特徴量とを結合する。図19に示す例では、ステージ1900が駆動することで同一の対象物450の異なる部位を1つのカメラ440で撮像する。しかしながら、カメラ440と対象物450の少なくとも何れか一方が動くことにより、カメラ440が対象物450の異なる部位を撮像するようにしてれば、必ずしもこのようにする必要はない。例えば、対象物450を固定し、カメラ440を駆動してもよい。

【0086】

(その他の実施形態)

【0087】

尚、前述した実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されなければならないものである。すなわち、本発明はその技術思想、又はその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

【0088】

例えば、以上の説明では、説明の簡易化のため、第一から第四の実施形態を独立なものとしたが、これらの少なくとも2つの実施形態が組み合わされていてもよい。その具体例を図20に示す。図20は、第三の実施形態と同様に、異なる材質をもつ対象物1700を2つのカメラ440、460で撮像する例を示す。カメラ440、460の配置は、図16に示した配置(第二の実施形態)と同じである。このように図20は、第二の実施形態と第三の実施形態との組み合わせであり、この場合は4つの領域の特徴量を結合する。具体的には、カメラ440で撮像した対象物1700の右側の領域および左側の領域で抽出した2つの特徴量と、カメラ460で撮像した対象物1700の右側の領域および左側の領域で抽出した2つの特徴量とを結合する。また、これにさらに、第一の実施形態で説明した照明条件(すなわち、使用照明や照明光量、露光時間)を変更し、網羅的に特徴量を抽出する画像データの数を増やしてもよい。また、この例では、4つの領域での特徴量を全て結合したが、このうち3つだけを結合するなど、分離精度やユーザの検査必要精度などに応じて、結合する特徴量を変更してもよい。

10

20

30

40

50

【0089】

また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、まず、以上の実施形態の機能を実現するソフトウェア（コンピュータプログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給する。そして、そのシステム或いは装置のコンピュータ（又はCPUやMPU等）が当該コンピュータプログラムを読み出して実行する。

【0090】

尚、前述した実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその技術思想、又はその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

【0091】

(その他の実施例)

本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、まず、以上の実施形態の機能を実現するソフトウェア（コンピュータプログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給する。そして、そのシステム或いは装置のコンピュータ（又はCPUやMPU等）が当該コンピュータプログラムを読み出して実行する。

【符号の説明】

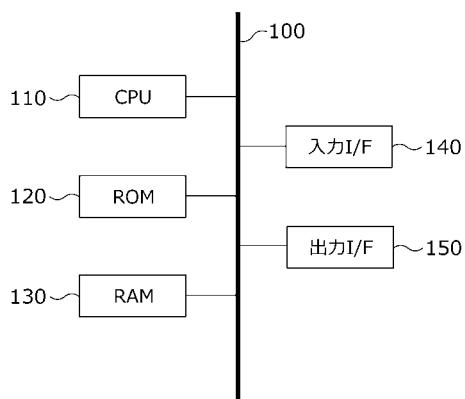
【0092】

200：良否判定装置、220：撮像装置：230：表示装置

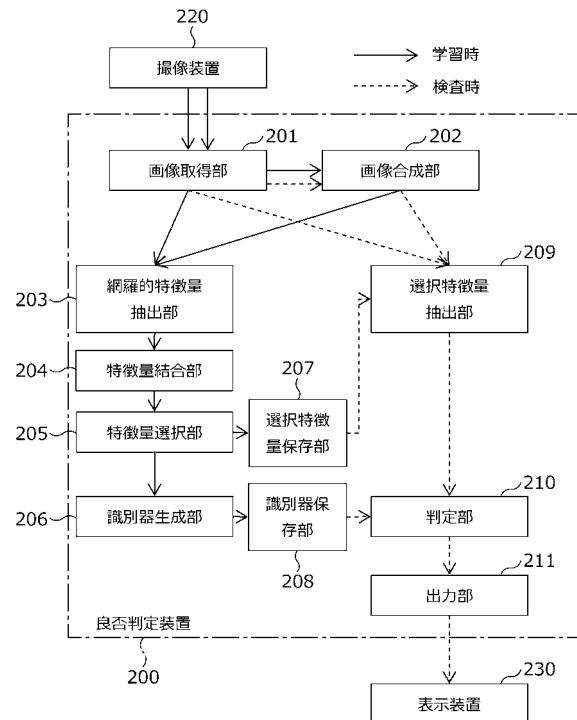
10

20

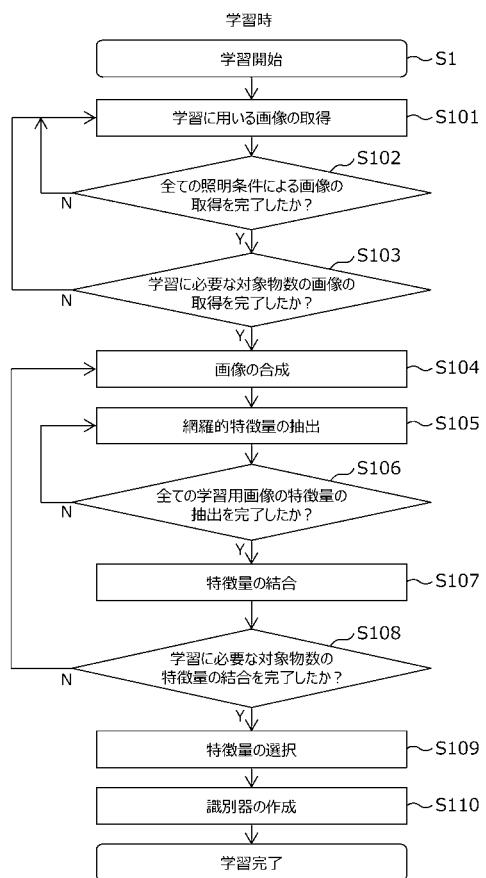
【図1】



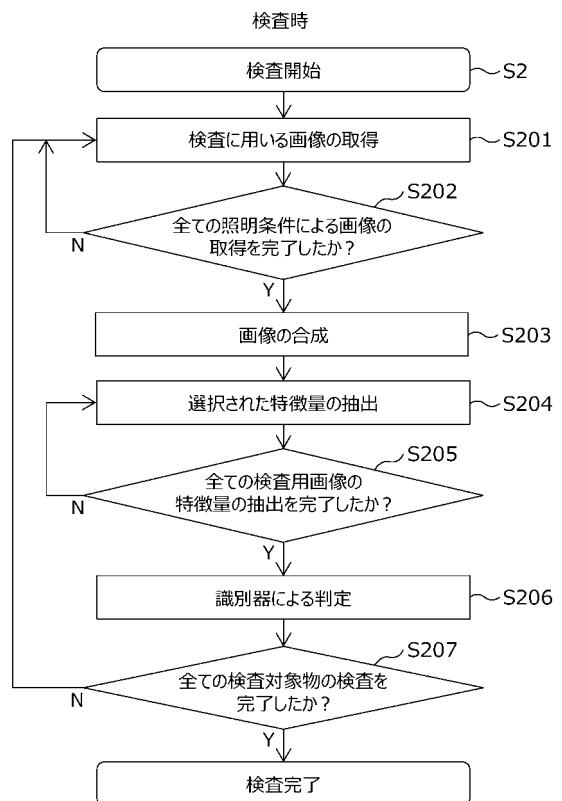
【図2】



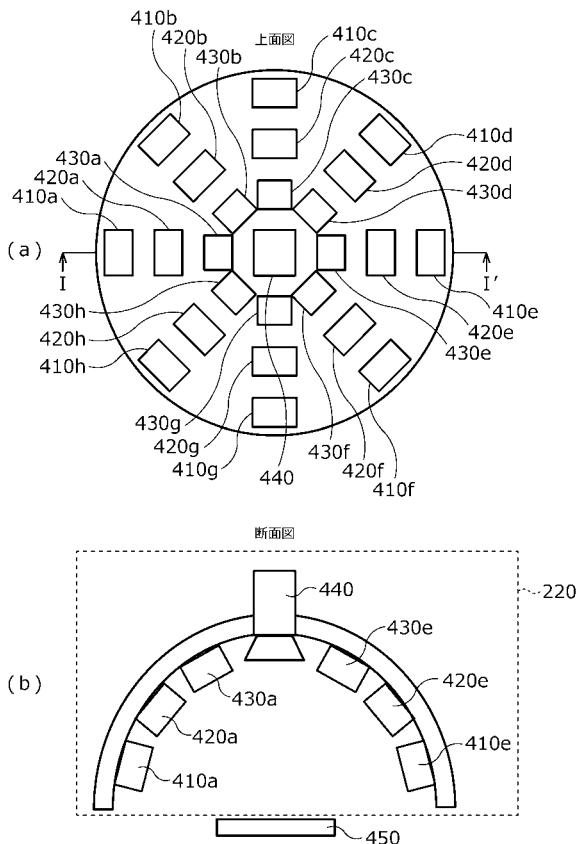
【図3A】



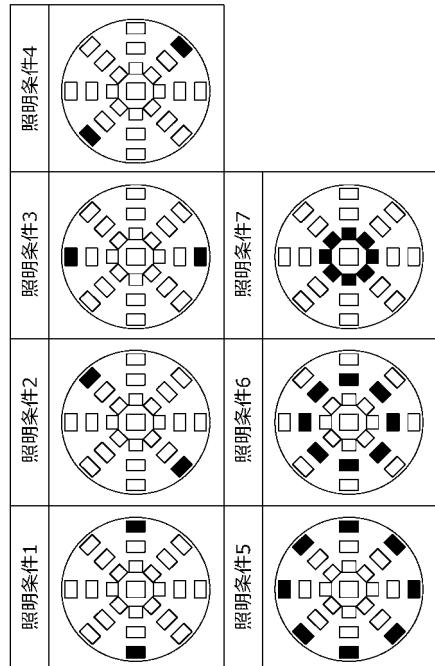
【図3B】



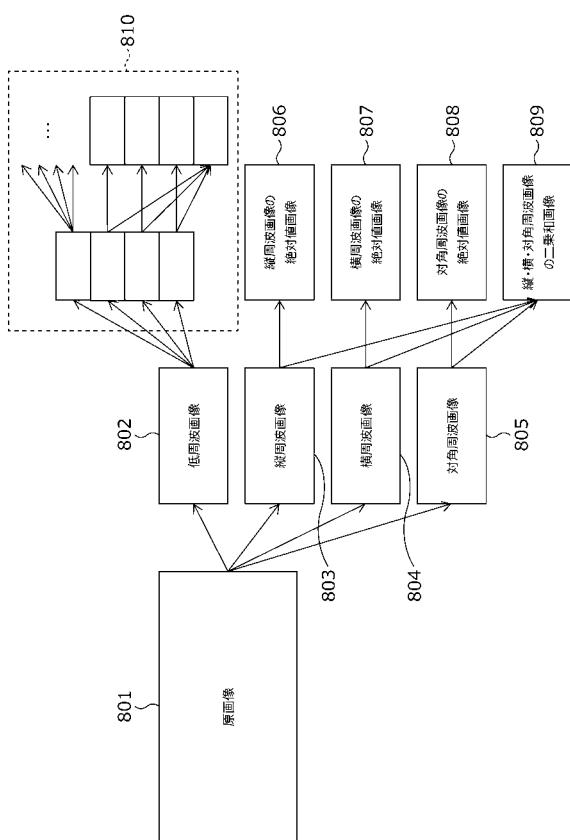
【図4】



【図5】



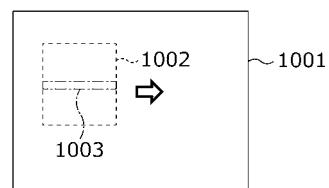
【図 8】



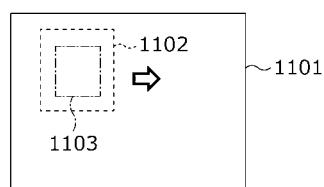
【図 9】



【図 10】



【図 11】



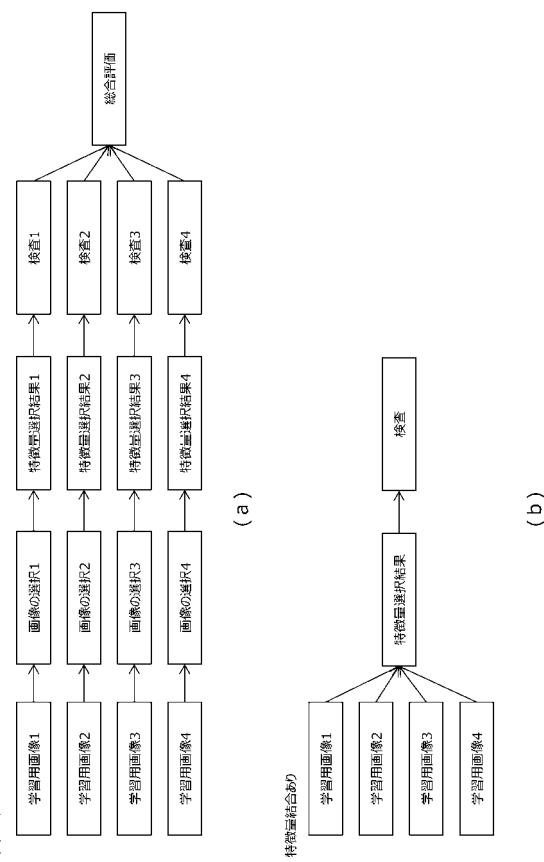
【図 12】

| ビラシド階層画像 | 特微量の種類 | 特微量番号 | 特微量 |
|-----------|--------------|-------|-------|
| 原画像 | 統計計量 | 0 | 154.4 |
| | 分散 | 1 | 2.44 |
| | キズ欠陥 | ... | ... |
| | フィルタサイズ1/角度1 | ... | ... |
| フィルタリング処理 | フィルタサイズ1/角度2 | ... | ... |
| | ... | ... | ... |
| | フィルタサイズ1 | ... | ... |
| | フィルタサイズ2 | ... | ... |
| 階層1 | マラスキ | ... | ... |
| | 低周波画像 | ... | ... |
| | 純周波画像 | ... | ... |
| | ... | ... | ... |
| 階層2 | ... | ... | ... |
| | ... | ... | ... |
| | ... | ... | ... |
| | ... | ... | ... |
| 階層X | Y画像 | ... | ... |
| | フィルタリング処理 | ... | ... |
| | マラスキ | ... | ... |
| | フィルタサイズ | N | ... |

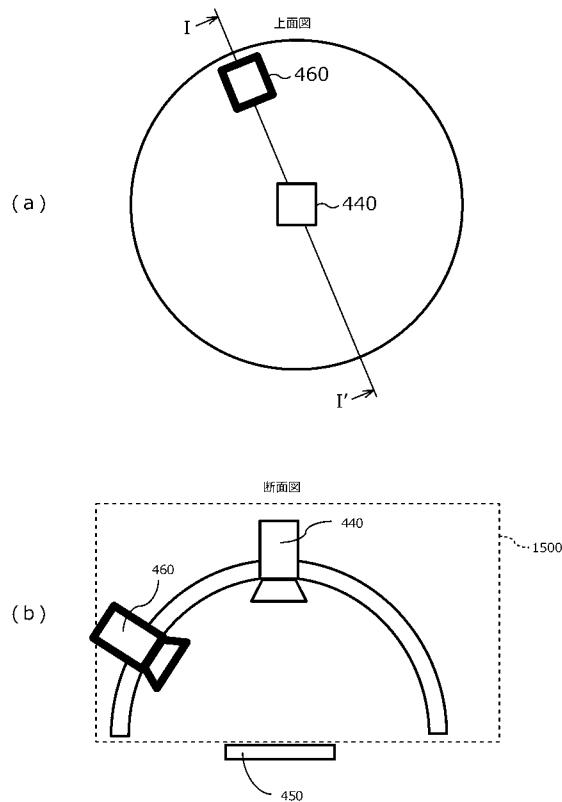
【図 13】

| 特徴量番号 | 三次元位置 | 特徴量の種類 | 特徴量番号 | 特徴量 |
|-------|-------|-----------|-------------|--------|
| 1 | 原画像 | 結果1# | 平均 | 1.94.4 |
| 2 | | | 方差 | 2.44 |
| ... | | | | ... |
| ... | | | | ... |
| ... | | フィルタリング処理 | フィルタリングの強度1 | ... |
| ... | | | フィルタリングの強度2 | ... |
| ... | | キス欠陥 | ... | ... |
| ... | | フィルタサイズ1 | ... | ... |
| ... | | フィルタサイズ2 | ... | ... |
| ... | | マスク値 | ... | ... |
| ... | | | | ... |
| ... | | | | ... |
| ... | 輪廓X | Y画像 | フィルタリング処理 | 1.ラベル値 |
| ... | | | | 2.ラベル値 |
| ... | | 結果1# | 平均 | コロナガズ2 |
| ... | | | 方差 | N |
| ... | | | ... | ... |
| ... | | | ... | ... |
| ... | | | ... | ... |
| ... | 原画像 | Y画像 | フィルタリング処理 | 1.ラベル値 |
| ... | | | | 2.ラベル値 |
| ... | | 結果1# | 平均 | コロナガズ2 |
| ... | | | 方差 | 2N+1 |
| ... | | | ... | ... |
| ... | | | ... | ... |
| ... | | | ... | ... |
| ... | 原画像 | Y画像 | フィルタリング処理 | 1.ラベル値 |
| ... | | | | 2.ラベル値 |
| ... | | 結果1# | 平均 | コロナガズ2 |
| ... | | | 方差 | 3N+1 |
| ... | | | ... | ... |
| ... | | | ... | ... |
| ... | | | ... | ... |
| ... | 原画像 | Y画像 | フィルタリング処理 | 1.ラベル値 |
| ... | | | | 2.ラベル値 |
| ... | | 結果1# | 平均 | コロナガズ2 |
| ... | | | 方差 | 4N |
| ... | | | ... | ... |

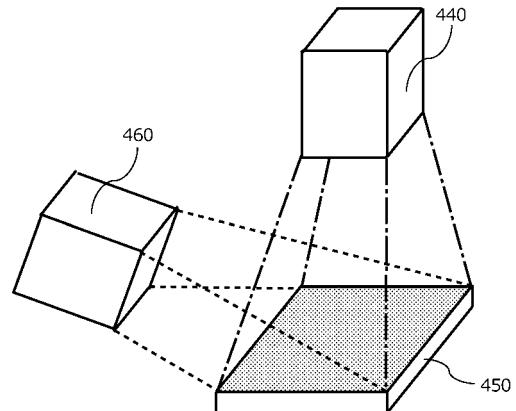
【図 14】



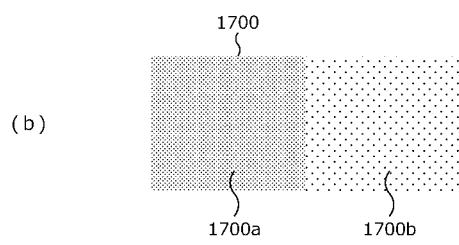
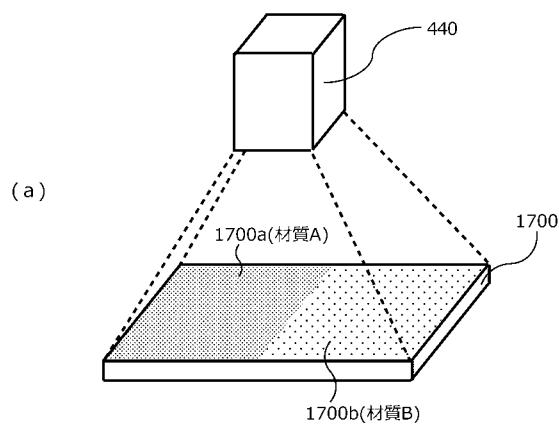
【図 15】



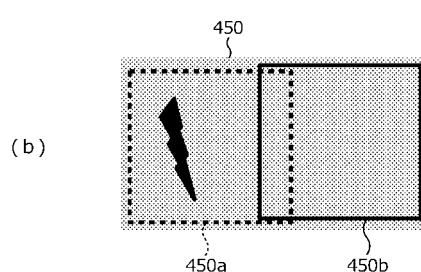
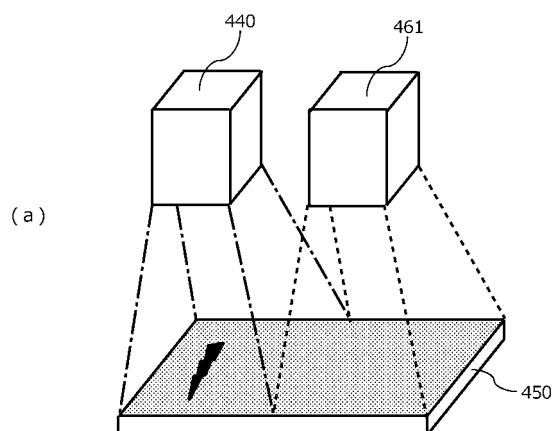
【図 16】



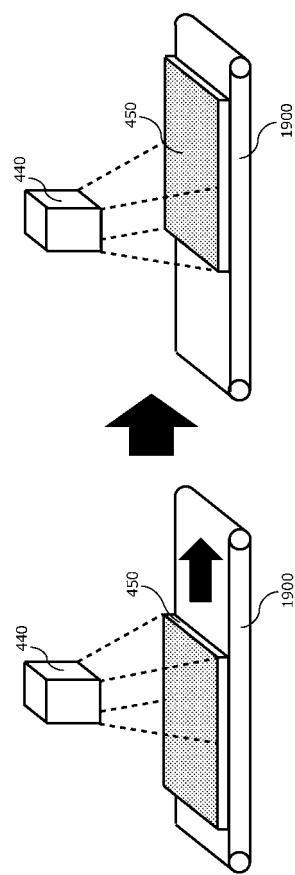
【図 17】



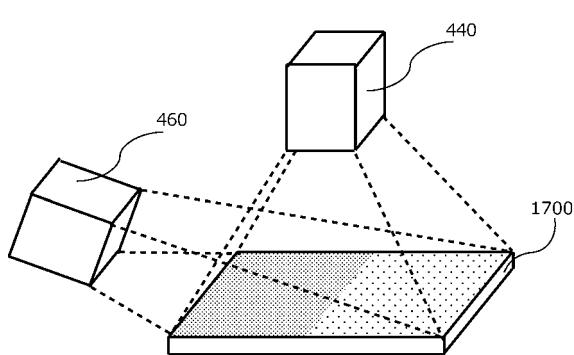
【図 18】



【図 19】



【図 20】



【図6】

| | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 照明条件1による画像 | 照明条件2による画像 | 照明条件3による画像 | 照明条件4による画像 |
| | | | |
| 照明条件5による画像 | 照明条件6による画像 | 照明条件7による画像 | |

【図7】

