

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2023年6月15日(15.06.2023)

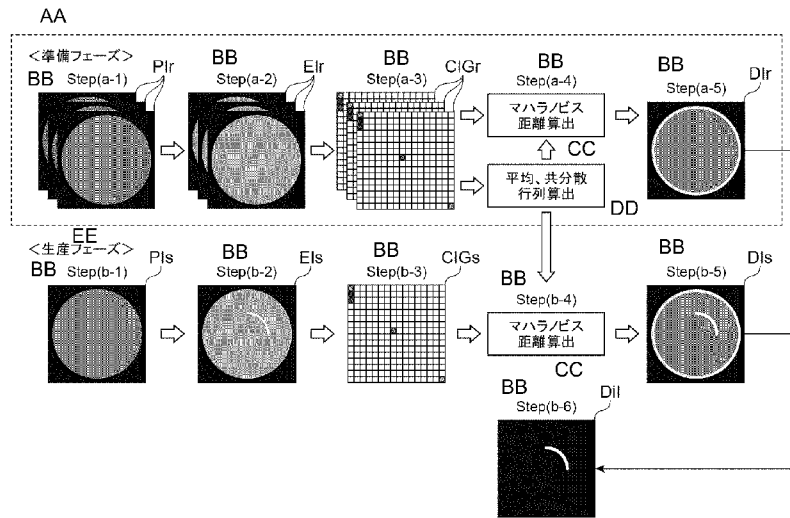


(10) 国際公開番号  
**WO 2023/106157 A1**

- (51) 国際特許分類:  
G01N 21/956 (2006.01) G06T 7/00 (2017.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/043802
- (22) 国際出願日: 2022年11月28日(28.11.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2021-200806 2021年12月10日(10.12.2021) JP
- (71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 徳丸 達弥 (TOKUMARU Tatsuya); 〒8611116 熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロン九州株式会社内 Kumamoto (JP).  
西山 直 (NISHIYAMA Tadashi); 〒8611116 熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロン九州株式会社内 Kumamoto (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: SUBSTRATE INSPECTION METHOD, SUBSTRATE INSPECTION PROGRAM, AND SUBSTRATE INSPECTION DEVICE

(54) 発明の名称: 基板検査方法、基板検査プログラム、及び基板検査装置



AA Preparation phase  
 BB Step  
 CC Mahalanobis distance calculation  
 DD Average, covariance matrix calculation  
 EE Production phase

(57) Abstract: This substrate inspection method includes acquiring a reference input image based on a captured image of a surface of a substrate for reference, acquiring reference intermediate information generated by an intermediate layer of a neural network, constructed in advance so as to output a result of recognition of an inputted image, when the reference input image is inputted to the neural network, generating a reference feature image indicating a feature of the reference input image on the basis of the reference intermediate information, acquiring an inspection input image based on a cap-



WO 2023/106157 A1

CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP,  
KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,  
LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,  
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,  
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

tured image of the surface of a substrate to be inspected, acquiring inspection intermediate information generated by an intermediate layer of the neural network when the inspection input image is inputted to the neural network, generating an inspection feature image indicating a feature of the inspection input image on the basis of the inspection intermediate information, and determining whether an abnormality is present in the surface of the substrate to be inspected on the basis of the result of comparing the reference feature image and the inspection feature image.

(57) 要約 : 基板検査方法は、参照用の基板の表面を撮像した画像に基づく参照入力画像を取得することと、入力された画像の認識結果を出力するように予め構築されたニューラルネットワークに参照入力画像を入力したときに、ニューラルネットワークの中間層で生成される参照中間情報を取得することと、参照中間情報に基づいて、参照入力画像の特徴を示す参照特徴画像を生成することと、検査対象の基板の表面を撮像した画像に基づく検査入力画像を取得することと、ニューラルネットワークに検査入力画像を入力したときに、ニューラルネットワークの中間層で生成される検査中間情報を取得することと、検査中間情報に基づいて、検査入力画像の特徴を示す検査特徴画像を生成することと、参照特徴画像と検査特徴画像とを比較した結果に基づいて、検査対象の基板の表面における異常の有無を判定することと、を含む。

## 明 細 書

発明の名称：

基板検査方法、基板検査プログラム、及び基板検査装置

### 技術分野

[0001] 本開示は、基板検査方法、基板検査プログラム、及び基板検査装置に関する。

### 背景技術

[0002] 特許文献1には、基板を撮像して得た検査対象である撮像画像に基づいて、基板に発生している欠陥を分類する装置が開示されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2019-124591号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示は、基板表面における異常を精度良く検出するのに有用な基板検査方法、基板検査プログラム、及び基板検査装置を提供する。

#### 課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一側面に係る基板検査方法は、参照用の基板の表面を撮像した画像に基づく参照入力画像を取得することと、入力された画像の認識結果を出力するように予め構築されたニューラルネットワークに参照入力画像を入力したときに、ニューラルネットワークの中間層で生成される参照中間情報を取得することと、参照中間情報に基づいて、参照入力画像の特徴を示す参照特徴画像を生成することと、検査対象の基板の表面を撮像した画像に基づく検査入力画像を取得することと、ニューラルネットワークに検査入力画像を入力したときに、ニューラルネットワークの中間層で生成される検査中間情報を取得することと、検査中間情報に基づいて、検査入力画像の特徴を示す

検査特徴画像を生成することと、参照特徴画像と検査特徴画像とを比較した結果に基づいて、検査対象の基板の表面における異常の有無を判定することと、を含む。

## 発明の効果

[0006] 本開示によれば、基板表面における異常を精度良く検出するのに有用な基板検査方法、基板検査プログラム、及び基板検査装置が提供される。

## 図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、第1実施形態に係る基板処理システムを模式的に示す斜視図である。

[図2]図2は、塗布現像装置の一例を模式的に示す側面図である。

[図3]図3は、検査ユニットの一例を示す模式図である。

[図4]図4は、制御装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

[図5]図5は、制御装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図6]図6は、基板検査方法の一例を示す模式図である。

[図7]図7は、準備フェーズでの検査処理の一例を示すフローチャートである。

[図8]図8は、中間層から抽出される抽出画像の一例を模式的に示す図である。

[図9]図9は、マハラノビス距離の算出過程の一例を説明するための図である。

[図10]図10は、マハラノビス距離の一例を概念的に説明するためのグラフである。

[図11]図11は、生産フェーズでの検査処理の一例を示すフローチャートである。

[図12]図12は、第2実施形態に係る基板検査方法の一例を示す模式図である。

[図13]図13は、第2実施形態に係る基板検査方法の一例を示す模式図である。

[図14]図14は、基板検査方法で実行される一連の処理の一例を示すフローチャートである。

[図15]図15は、検査準備処理の一例を示すフローチャートである。

[図16]図16は、ワークに対する検査処理の一例を示すフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面を参照していくつかの実施形態について説明する。説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。一部の図面には、X軸、Y軸、及びZ軸で規定される直交座標系が示されている。以下の説明では、Z軸が上下方向に対応し、X軸及びY軸が水平方向に対応する。

[0009] [第1実施形態]

最初に、図1～図11を参照しながら、第1実施形態に係る基板処理システムについて説明する。図1に示される基板処理システム1は、ワークWに対し、感光性被膜の形成、当該感光性被膜の露光、及び当該感光性被膜の現像を施すシステムである。処理対象のワークWは、例えば基板、あるいは所定の処理が施されることで膜又は回路等が形成された状態の基板である。ワークWに含まれる基板は、一例として、シリコンを含むウェハである。ワークW（基板）は、円形に形成されていてもよい。処理対象のワークWは、ガラス基板、マスク基板、FPD (Flat Panel Display) などであってもよく、これらの基板等に所定の処理が施されて得られる中間体であってもよい。感光性被膜は、例えばレジスト膜である。

[0010] 基板処理システム1は、塗布現像装置2と露光装置3とを備える。露光装置3は、ワークW（基板）上に形成されたレジスト膜（感光性被膜）の露光処理を行う。具体的には、露光装置3は、液浸露光等の方法によりレジスト膜の露光対象部分にエネルギー線を照射する。塗布現像装置2は、露光装置3による露光処理の前に、ワークWの表面にレジスト膜を形成する処理を行い、露光処理後にレジスト膜の現像処理を行う。

## [0011] [基板処理装置]

以下、基板処理装置の一例として、塗布現像装置2の構成を説明する。図1及び図2に示されるように、塗布現像装置2は、キャリアブロック4と、処理ブロック5と、インタフェースブロック6と、制御装置100と、を備える。

[0012] キャリアブロック4は、塗布現像装置2内へのワークWの導入及び塗布現像装置2内からのワークWの導出を行う。例えばキャリアブロック4は、ワークW用の複数のキャリアC（収容部）を支持可能であり、受け渡しアームを含む搬送装置A1を内蔵している。キャリアCは、例えば円形の複数枚のワークWを収容する。搬送装置A1は、キャリアCからワークWを取り出して処理ブロック5に渡し、処理ブロック5からワークWを受け取ってキャリアC内に戻す。処理ブロック5は、複数の処理モジュール11, 12, 13, 14を有する。

[0013] 処理モジュール11は、液処理ユニットU1と、熱処理ユニットU2と、検査ユニットU3と、これらのユニットにワークWを搬送する搬送装置A3とを内蔵している。処理モジュール11は、液処理ユニットU1及び熱処理ユニットU2によりワークWの表面上に下層膜を形成する。処理モジュール11の液処理ユニットU1は、下層膜形成用の処理液をワークW上に塗布する。処理モジュール11の熱処理ユニットU2は、下層膜の形成に伴う各種熱処理を行う。検査ユニットU3は、下層膜の形成前、下層膜の形成後、又は、下層膜形成用の処理液が塗布されて熱処理が行われる前に、ワークWの表面の状態を検査するための処理を行う。

[0014] 処理モジュール12は、液処理ユニットU1と、熱処理ユニットU2と、検査ユニットU3と、これらのユニットにワークWを搬送する搬送装置A3とを内蔵している。処理モジュール12は、液処理ユニットU1及び熱処理ユニットU2により下層膜上にレジスト膜を形成する。処理モジュール12の液処理ユニットU1は、レジスト膜形成用の処理液（レジスト）を下層膜の上に塗布する。処理モジュール12の熱処理ユニットU2は、レジスト膜

の形成に伴う各種熱処理を行う。検査ユニットU3は、レジスト膜の形成前、レジスト膜の形成後、又は、レジストが塗布されて熱処理が行われる前に、ワークWの表面の状態を検査するための処理を行う。

[0015] 処理モジュール13は、液処理ユニットU1と、熱処理ユニットU2と、検査ユニットU3と、これらのユニットにワークWを搬送する搬送装置A3とを内蔵している。処理モジュール13は、液処理ユニットU1及び熱処理ユニットU2によりレジスト膜上に上層膜を形成する。処理モジュール13の液処理ユニットU1は、上層膜形成用の処理液をレジスト膜の上に塗布する。処理モジュール13の熱処理ユニットU2は、上層膜の形成に伴う各種熱処理を行う。検査ユニットU3は、上層膜の形成前、上層膜の形成後、又は上層膜形成用の処理液が塗布されて熱処理が行われる前に、ワークWの表面の状態を検査するための処理を行う。

[0016] 処理モジュール14は、液処理ユニットU1と、熱処理ユニットU2と、検査ユニットU3と、これらのユニットにワークWを搬送する搬送装置A3とを内蔵している。処理モジュール14は、液処理ユニットU1及び熱処理ユニットU2により、露光後のレジスト膜の現像処理を行う。処理モジュール14の液処理ユニットU1は、例えば、露光済みのワークWの表面上に現像液を供給した後、これをリンス液により洗い流すことで、レジスト膜の現像処理を行う。

[0017] 処理モジュール14の熱処理ユニットU2は、現像処理に伴う各種熱処理を行う。熱処理の具体例としては、現像処理前の加熱処理（PEB：Post Exposure Bake）、現像処理後の加熱処理（PB：Post Bake）等が挙げられる。検査ユニットU3は、現像処理及びPEBが行われる前、現像処理及びPBが行われた後、又は、現像液が供給されてPBが行われる前に、ワークWの表面の状態を検査するための処理を行う。

[0018] 処理ブロック5内におけるキャリアブロック4側には棚ユニットU10が設けられている。棚ユニットU10は、上下方向に並ぶ複数のセルに区画されている。棚ユニットU10の近傍には昇降アームを含む搬送装置A7が設

けられている。搬送装置A7は、棚ユニットU10のセル同士の間でワークWを昇降させる。

[0019] 処理ブロック5内におけるインタフェースブロック6側には棚ユニットU11が設けられている。棚ユニットU11は、上下方向に並ぶ複数のセルに区画されている。

[0020] インタフェースブロック6は、露光装置3との間でワークWの受け渡しを行う。例えばインタフェースブロック6は、受け渡しアームを含む搬送装置A8を内蔵しており、露光装置3に接続される。搬送装置A8は、棚ユニットU11に配置されたワークWを露光装置3に渡し、露光装置3からワークWを受け取って棚ユニットU11に戻す。

[0021] 制御装置100は、例えば以下の手順で塗布現像処理（基板処理）を実行するように塗布現像装置2に含まれる各装置を制御する。まず制御装置100は、キャリアC内のワークWを棚ユニットU10に搬送するように搬送装置A1を制御し、このワークWを処理モジュール11用のセルに配置するように搬送装置A7を制御する。

[0022] 次に制御装置100は、棚ユニットU10のワークWを処理モジュール11内の液処理ユニットU1に搬送するように搬送装置A3を制御する。制御装置100は、このワークWの表面上に下層膜形成用の処理液の膜を形成するように液処理ユニットU1を制御する。制御装置100は、下層膜形成用の処理液の膜が形成された状態のワークWを加熱して下層膜を形成するように熱処理ユニットU2を制御する。その後制御装置100は、下層膜が形成されたワークWを棚ユニットU10に戻すように搬送装置A3を制御し、このワークWを処理モジュール12用のセルに配置するように搬送装置A7を制御する。制御装置100は、処理モジュール11内での処理のいずれかのタイミングにおいて、ワークWの表面の検査を行うように検査ユニットU3を制御してもよい。

[0023] 次に制御装置100は、棚ユニットU10のワークWを処理モジュール12内の液処理ユニットU1に搬送するように搬送装置A3を制御する。制御

装置100は、このワークWの表面に対してレジスト膜形成用の処理液の膜を形成するように液処理ユニットU1を制御する。制御装置100は、レジスト膜形成用の処理液の膜が形成された状態のワークWを加熱してレジスト膜を形成するように熱処理ユニットU2を制御する。その後制御装置100は、ワークWを棚ユニットU10に戻すように搬送装置A3を制御し、このワークWを処理モジュール13用のセルに配置するように搬送装置A7を制御する。制御装置100は、処理モジュール12内での処理のいずれかのタイミングにおいて、ワークWの表面の検査を行うように検査ユニットU3を制御してもよい。

[0024] 次に制御装置100は、棚ユニットU10のワークWを処理モジュール13内の液処理ユニットU1に搬送するように搬送装置A3を制御する。また、制御装置100は、このワークWのレジスト膜上に上層膜形成用の処理液の膜を形成するように液処理ユニットU1を制御する。制御装置100は、上層膜形成用の処理液の膜が形成された状態のワークWを加熱して上層膜を形成するように熱処理ユニットU2を制御する。その後制御装置100は、ワークWを棚ユニットU11に搬送するように搬送装置A3を制御する。制御装置100は、処理モジュール13内での処理のいずれかのタイミングにおいて、ワークWの表面の検査を行うように検査ユニットU3を制御してもよい。

[0025] 次に制御装置100は、棚ユニットU11のワークWを露光装置3に送り出すように搬送装置A8を制御する。その後制御装置100は、露光処理が施されたワークWを露光装置3から受け入れて、棚ユニットU11における処理モジュール14用のセルに配置するように搬送装置A8を制御する。

[0026] 次に制御装置100は、棚ユニットU11のワークWを処理モジュール14内の各ユニットに搬送するように搬送装置A3を制御し、このワークWのレジスト膜の現像処理を行うように液処理ユニットU1及び熱処理ユニットU2を制御する。その後制御装置100は、ワークWを棚ユニットU10に戻すように搬送装置A3を制御し、このワークWをキャリアC内に戻すよう

に搬送装置 A 7 及び搬送装置 A 1 を制御する。制御装置 100 は、処理モジュール 14 内での処理のいずれかのタイミングにおいて、ワーク W の表面の検査を行うように検査ユニット U 3 を制御してもよい。以上で 1 枚のワーク W についての塗布現像処理が完了する。制御装置 100 は、後続の複数のワーク W のそれぞれについても、上述と同様に塗布現像処理を実行するように塗布現像装置 2 の各装置を制御する。

[0027] 基板処理装置の具体的な構成は、以上に例示した塗布現像装置 2 の構成に限られない。基板処理装置は、所定の処理が施されるワーク W の表面を検査するユニット、及び、このユニットを制御する制御装置を備えていればどのようなものであってもよい。

[0028] (検査ユニット)

続いて、処理モジュール 11 ~ 14 に含まれる検査ユニット U 3 について説明する。検査ユニット U 3 は、ワーク W の表面（以下、「表面 W a」と表記する。）を撮像して画像データを取得する機能を有する。検査ユニット U 3 は、ワーク W の表面 W a 全体を撮像することで、表面 W a 全体の画像データを取得してもよい。図 3 に示されるように、検査ユニット U 3 は、例えば、筐体 30 と、保持部 31 と、リニア駆動部 32 と、撮像部 33 と、投光・反射部 34 と、を含む。

[0029] 保持部 31 は、表面 W a を上方に向けた状態でワーク W を水平に保持する。リニア駆動部 32 は、例えば電動モータ等の動力源を含み、水平な直線状の経路に沿って保持部 31 を移動させる。撮像部 33 は、例えば CCD カメラ等のカメラ 35 を有する。カメラ 35 は、保持部 31 の移動方向において検査ユニット U 3 内の一方の端部寄りに設けられており、その移動方向の他方の端部に向けられている。投光・反射部 34 は、撮像範囲に投光し、その撮像範囲からの反射光をカメラ 35 に導く。例えば投光・反射部 34 は、ハーフミラー 36 及び光源 37 を有する。ハーフミラー 36 は、保持部 31 よりも高い位置において、リニア駆動部 32 の移動範囲の中間部に設けられており、下方からの光をカメラ 35 に反射する。光源 37 は、ハーフミラー 3

6の上方に設けられており、ハーフミラー36を通して下方に照明光を照射する。

[0030] 検査ユニットU3は、次のように動作してワークWの表面Waの画像データを取得する。まず、リニア駆動部32が保持部31を移動させる。これにより、ワークWがハーフミラー36の下を通過する。この通過過程において、ワークWの表面Waの各部からの反射光がカメラ35に順次送られる。カメラ35は、ワークWの表面Waの各部からの反射光を結像させ、ワークWの表面Wa（表面Wa全体）を撮像した画像データを取得する。ワークWの表面Waを撮像することで得られる撮像画像は、ワークWの表面Waの状態によって変化する。すなわち、ワークWの表面Waを撮像した撮像画像（撮像画像データ）を取得することは、ワークWの表面Waの状態を示す情報を取得することに相当する。

[0031] カメラ35で取得された撮像画像データは、制御装置100に送られる。制御装置100において、表面Waの撮像画像データに基づいてワークWの表面Waにおける状態を検査することができる。例えば、ワークWの表面Waにおける欠陥の有無を検査することができる。本開示では、ピクセルごとの画素値が定められた画像データを単に「画像」という場合がある。

[0032] [制御装置]

制御装置100は、図4に示されるように、機能上の構成（以下、「機能モジュール」という。）として、処理制御部102と、検査制御部110とを有する。処理制御部102及び検査制御部110が実行する処理は、制御装置100が実行する処理に相当する。処理制御部102は、上述の塗布現像処理における液処理及び熱処理をワークWに対して施すように、液処理ユニットU1及び熱処理ユニットU2を制御する。

[0033] 検査制御部110（基板検査装置）は、塗布現像処理を実行する際のいずれかの段階において、検査ユニットU3から得られた画像データに基づいて、ワークWの検査を行う。ワークWの検査には、ワークWの表面Waにおける異常（欠陥）の有無を判定することが含まれる。表面Waにおける欠陥に

は、例えば、傷（スクラッチ）、異物の付着、処理液の塗布ムラ、及び、処理液の未塗布等が挙げられる。

[0034] 検査制御部110は、検査実行前に、参照用のワークW（参照用の基板）から検査で使用する基準データを準備する。検査制御部110は、基準データに基づいて、検査対象のワークW（検査対象の基板）の検査を実行する。参照用のワークW及び検査対象のワークWは、同じ種類のワーク（基板）である。参照用のワークWと検査対象のワークWとは同じ処理条件で塗布現像処理が施され、塗布現像処理における同じタイミングで（例えば、レジストの塗布後、且つ熱処理前において）基準データの準備とワークWの検査とが行われる。

[0035] 検査制御部110は、機能モジュールとして、第1入力画像取得部112と、第1中間情報取得部114と、第1特徴画像生成部116と、参照画像保持部118と、モデル保持部132と、第2入力画像取得部122と、第2中間情報取得部124と、第2特徴画像生成部126と、異常判定部136と、判定結果出力部138と、を有する。検査制御部110が有する各機能モジュールが実行する処理は、検査制御部110（制御装置100）が実行する処理に相当する。

[0036] 第1入力画像取得部112は、参照用のワークWを撮像した画像に基づく参照入力画像を取得する。第1中間情報取得部114は、入力された画像の認識結果を出力するように予め構築されたニューラルネットワーク（以下、「画像認識モデルM」という。）に参照入力画像を入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される参照中間情報を取得する。第1特徴画像生成部116は、参照中間情報に基づいて、参照入力画像の特徴を示す参照特徴画像を生成する。

[0037] 参照画像保持部118は、第1特徴画像生成部116が生成した参照特徴画像を保持（記憶）する。第1特徴画像生成部116によって生成された参照特徴画像が、検査対象のワークWの検査で用いる基準データである。モデル保持部132は、上記画像認識モデルMを保持する。

- [0038] 第2入力画像取得部122は、検査対象のワークWの表面Waを撮像した画像に基づく検査入力画像を取得する。第2中間情報取得部124は、画像認識モデルMに検査入力画像を入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される検査中間情報を取得する。第2特徴画像生成部126は、検査中間情報に基づいて、検査入力画像の特徴を示す検査特徴画像を生成する。
- [0039] 異常判定部136は、参照特徴画像と検査特徴画像とを比較した結果に基づいて、検査対象のワークWの表面Waにおける異常の有無を判定する。判定結果出力部138は、異常判定部136による判定結果を出力する。判定結果出力部138は、異常判定部136によりワークWの表面Waに異常があると判定された場合に、検査対象のワークWが異常であることを示す異常信号を出力してもよい。判定結果出力部138は、異常信号を処理制御部102に出力してもよく、上位コントローラに出力してもよく、オペレータ等に情報を報知するためのモニタ等の出力デバイスに出力してもよい。
- [0040] 制御装置100は、1つ又は複数のコンピュータによって構成される。制御装置100は、例えば、図5に示される回路150を有する。回路150は、一つ又は複数のプロセッサ152と、メモリ154と、ストレージ156と、入出力ポート158とを有する。ストレージ156は、例えばハードディスク等、コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体を有する。記憶媒体は、後述の基板検査方法を制御装置100に実行させるためのプログラム（基板検査プログラム）を記憶している。記憶媒体は、不揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク及び光ディスク等の取り出し可能な媒体であってもよい。
- [0041] メモリ154は、ストレージ156の記憶媒体からロードしたプログラム及びプロセッサ152による演算結果を一時的に記憶する。プロセッサ152は、メモリ154と協働して上記プログラムを実行することで、上述した各機能モジュールを構成する。入出力ポート158は、プロセッサ152からの指令に従って、液処理ユニットU1、熱処理ユニットU2、及び検査ユニットU3等との間で電気信号の入出力を行う。

[0042] 制御装置100のハードウェア構成は、必ずしもプログラムにより各機能モジュールを構成するものに限られない。例えば制御装置100の各機能モジュールは、専用の論理回路又はこれを集積したASIC (Application Specific Integrated Circuit) により構成されていてもよい。制御装置100が複数のコンピュータ(複数の回路)によって構成されている場合、上記の機能モジュールの一部が1つのコンピュータ(回路)によって実現され、上記の機能モジュールの残りの一部が他のコンピュータ(回路)によって実現されてもよい。

[0043] [基板検査方法]

続いて、基板検査方法の一例として、制御装置100(検査制御部110)が実行する一連の処理について説明する。制御装置100は、例えば、図6に示されるように、準備フェーズでの処理と、生産フェーズでの処理とを実行する。準備フェーズにおいて、制御装置100は、参照用のワークWに対して塗布現像処理を施したうえで、生産フェーズでのワークWの検査のための準備を実行する。生産フェーズにおいて、制御装置100は、複数のワークWに対して順に塗布現像処理を施したうえで、塗布現像処理が施される各ワークWの検査を行う。生産フェーズにおいて検査されるワークWが、上述の検査対象のワークWに相当する。

[0044] <準備フェーズ>

図7は、図6に示される準備フェーズでの一連の処理を示すフローチャートである。図7に示される一連の処理は、塗布現像処理のうちの検査実行前の処理が施されたうえで、処理が正常であると判定された参照用のワークWが、検査ユニットU3に搬送された状態で開始する。

[0045] 制御装置100は、最初にステップS a - 1を実行する。ステップS a - 1では、例えば、検査制御部110の第1入力画像取得部112が、参照用のワークWの表面W aを検査ユニットU3により撮像することで、参照用のワークWの表面W aについての撮像画像P l rを取得する。撮像画像P l rは、カラーの画像であってもよい。撮像画像P l rは、表面W aの全体を含

んでいてもよく、撮像画像P | rにおいて横方向のピクセル数と縦方向のピクセル数とが互いに同じであってもよい。

[0046] 次に、制御装置100は、ステップS a - 2を実行する。ステップS a - 2では、例えば、第1入力画像取得部112が、ステップS a - 1で得られた撮像画像P | rに対してコントラストを強調する処理を施すことで強調画像E | rを生成する。コントラストの強調処理が実行されることで、例えば、画像上の明るい部分と暗い部分と差（輝度の差）が強調される。第1入力画像取得部112は、種々の手法により、コントラストの強調処理を実行してもよい。第1入力画像取得部112は、トーンカーブを変形（調節）することで、撮像画像P | rに対するコントラスト強調処理を実行してもよい。第1入力画像取得部112は、撮像画像P | rに既知の空間フィルタを適用することによりコントラスト強調処理を実行してもよい。

[0047] 次に、制御装置100は、ステップS a - 3を実行する。ステップS a - 3では、例えば、第1中間情報取得部114が、ステップS a - 2で得られた強調画像E | r（参照入力画像）を上記画像認識モデルMに入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される参照中間情報を取得する。第1中間情報取得部114は、例えば、画像認識モデルMの中間層において、強調画像E | rと、互いに異なる特徴を抽出する複数のフィルタとに基づいて生成された複数の抽出画像C | r（複数の参照抽出画像）を含む抽出画像群C | G rを、参照中間情報として取得する。

[0048] ここで、ステップS a - 3で用いられる画像認識モデルMについて説明する。画像認識モデルMは、画像を入力したときに、その画像内に含まれる内容をカテゴリに分類した結果（認識結果）を出力するように機械学習により予め構築されたモデルである。画像認識モデルMは、深層学習（ディープラーニング）により構築された多層のニューラルネットワークであってもよい。画像認識モデルMは、CNN（Convolutional Neural Network）であってもよい。

[0049] 画像認識モデルMは、画像内のワークWを、所定の条件に従ってカテゴリ

に分類するように構築されたモデルでなくてもよい。画像認識モデルMは、物体（例えば、動物、果物）の種別を認識するモデルであってもよく、人の顔を認識するモデルであってもよく、文字を認識するモデルであってもよい。CNNは、入力層、複数の畳み込み層、プーリング層、全結合層、及び出力層によって構成されてもよい。

[0050] 画像認識モデルMに含まれる畳み込み層（中間層）では、複数のフィルタが用いられ、その層への入力画像に対して畳み込みが行われる。フィルタは、カーネルとも称され、各ファイルは、特定の形状（特徴）を表す格子状の数値データである。フィルタのサイズは入力画像のサイズよりも小さい。複数のフィルタは、畳み込み層において、互いに異なる形状（特徴）が得られるように設定されている。1つのファイルを用いた入力画像に対する畳み込みの演算では、例えば、入力画像におけるフィルタと同サイズの部分画像（ウィンドウ）とフィルタとの間で、ピクセルごとに積が演算されて、全てのピクセルの積の演算結果の総和を算出する変換処理が行われる。そして、部分画像の位置を所定のピクセル数だけ移動させながら、入力画像の全体において変換処理が繰り返される。

[0051] 変換処理が繰り返されることで、フィルタによって設定された形状が抽出された（形状に反応した）画像が畳み込み結果として得られる。畳み込み結果は、特徴マップ（Feature map）と称される。第1中間情報取得部114によって取得される複数の抽出画像C1rは、複数の畳み込み層のいずれか1つの層において、N個のフィルタを用いて畳み込みが行われることで得られる複数の画像である。Nは、2以上の自然数である。第1中間情報取得部114は、モデル保持部132が保持する画像認識モデルMに、ステップS a-2で得られた強調画像E1rを入力したうえで、画像認識モデルMによる途中の演算結果から複数の抽出画像C1rを取得してもよい。

[0052] 図8には、ワークWの表面Waを撮像した画像を画像認識モデルMに入力して、複数の畳み込み層のいずれか1つの層において、N個のフィルタを用いて畳み込みが行われることで得られる抽出画像群C1Gが、模式的に示さ

れている。抽出画像群C I Gは、複数の抽出画像C Iを含む。画像認識モデルMへの入力画像が、強調画像E I rである場合に得られる複数の抽出画像C Iが、上記複数の抽出画像C I rに対応する。複数の抽出画像C Iは、抽出画像C I 1, C I 2, . . . , C I Nを含む。Nは、例えば、230~270である。以下では、1つの抽出画像C Iの縦のピクセル数が255であり、横のピクセル数が255である場合を例示する。複数の抽出画像C Iは、グレースケールの画像であってもよい。画像認識モデルMは、カラーの画像が入力されたときに、グレースケールに変換したうえで演算を行ってもよい。なお、図8では、抽出画像C I 1, C I 2, C I 3, C I j, C I N以外の抽出画像については、単純な円で簡略化されて示されているが、これらの抽出画像も画素値を有する。

[0053] 図6及び図7に戻り、ステップS a - 3の実行後、制御装置100は、ステップS a - 0を実行する。ステップS a - 0では、例えば、制御装置100が、ステップS a - 1~S a - 3の一連の処理を所定枚数の参照用のワークWに対して実行したか否かを判断する。所定枚数は、例えば、参照用のワークWの個体差を解消できる程度の枚数に設定されている。所定枚数の参照用のワークWについて、一連の処理を実行していないと判断された場合（ステップS a - 0 : NO）には、制御装置100が実行する処理は、ステップS a - 1に戻る。そして、制御装置100は、異なる個体の参照用のワークWについて、ステップS a - 1~S a - 3の一連の処理を実行する。

[0054] ステップS a - 0において、所定枚数の参照用のワークWについて、一連の処理が実行されたと判断された場合（ステップS a - 0 : YES）、制御装置100が実行する処理は、ステップS a - 4に進む。ステップS a - 4では、例えば、第1特徴画像生成部116が、ステップS a - 3で取得された複数の抽出画像C I rに基づいて参照特徴画像D I rを生成するための演算を行う。第1特徴画像生成部116は、複数の抽出画像C I rに含まれるピクセルごとの画素値（輝度値）の配列データについて、複数の抽出画像C I rのデータ分布を基準にマハラノビス距離（参照マハラノビス距離）を算

出する。第1特徴画像生成部116は、複数の参照用のワークWそれぞれについて（参照用のワークWごとに）、マハラノビス距離を算出してもよい。

[0055] ここで、図9及び図10を用いて、マハラノビス距離の算出方法、及び参照特徴画像 $D|r$ の生成方法の一例について説明する。以下では、画像上において縦の座標を「 $i$ 」で表し、横の座標を「 $j$ 」で表す。ピクセル（ $i$ ， $j$ ）は、 $i$ 行目 $j$ 列目に位置するピクセルを示しており、 $i$ 及び $j$ それぞれは、 $1 \sim N$ の自然数である。最初に、1枚目の参照用のワークWから得られる抽出画像 $C|r_1$ ， $C|r_2$ ， $\dots$ ， $C|r_N$ （複数の抽出画像）について、画素値の配列データを作成する。抽出画像 $C|r_1$ に含まれる全ピクセルの画素値は、縦に並ぶ1列の配列データで表すことができる。抽出画像 $C|r_2$ ， $\dots$ ， $C|r_N$ に含まれる画素値についても、それぞれ縦に並ぶ1列の配列データで表すことができる。1枚の参照用のワークWから得られ、縦に並ぶ1列の配列データでのデータ数は、例えば、 $255 \times 255 = 65025$ である。

[0056] 次に、2枚目の参照用のワークWから得られる抽出画像 $C|r_1$ ， $C|r_2$ ， $\dots$ ， $C|r_N$ について、画素値の配列データを作成し、1枚目の参照用のワークWについての配列データの下に並べる。3枚目以降の参照用のワークWについても、同様に画素値の配列データを作成し、既に作成した配列データの下に順に並べる。この場合、参照用のワークWの枚数を $A$ 枚（ $A$ は、2以上の自然数）とすると、縦に並ぶ1列の配列データでのデータ数は、例えば、 $65025 \times A$ である。

[0057] 図9では、複数の参照用のワークWそれぞれから得られる抽出画像 $C|r_1$ における全てのピクセルでの画素値が、変数 $x_1$ として縦に並ぶ配列データで示されている。複数の参照用のワークWそれぞれから得られる抽出画像 $C|r_2$ における全てのピクセルでの画素値が、変数 $x_2$ として縦に並ぶ配列データで示されている。同様に、複数の参照用のワークWそれぞれから得られる抽出画像 $C|r_3 \sim C|r_{N-1}$ における全てのピクセルでの画素値が、それぞれ変数 $x_3 \sim$ 変数 $x_{N-1}$ として縦に並ぶ配列データで示されて

いる。複数の参照用のワークWそれぞれから得られる抽出画像C | r Nにおける全てのピクセルでの画素値が、変数 $x_N$ として縦に並ぶ配列データで示されている。変数 $x_1 \sim x_N$ で示されるN個の配列データが、横方向に順に並んでいる。変数 $x_1 \sim x_N$ で示されるN個の配列データは、N個の変数が含まれるので、N次元のデータである。

[0058] 縦に並ぶ各配列データでは、座標が並ぶ順は同じである。そのため、横方向に並ぶ複数の配列データにおいて、変数 $x_1 \sim x_N$ での同じ座標のピクセル( $i, j$ )における画素値が横方向に並ぶ。例えば、1枚目の参照用のワークWに関して、ピクセル(1, 1)での変数 $x_1$ の画素値、ピクセル(1, 1)での変数 $x_2$ の画素値、及びピクセル(1, 1)での変数 $x_3 \sim$ 変数 $x_N$ それぞれの画素値が、図9での配列データの一行目に並ぶ。ここで、変数 $x_1 \sim x_N$ のうちの任意の変数を「 $x_n$ 」と表記し、 $n$ は、 $1 \sim N$ のいずれか1つの自然数を意味する。変数 $x_n$ のうちの特定の座標のピクセル( $i, j$ )における画素値を「 $x_n[i, j]$ 」と表記する。 $x_1[i, j]$ 、 $x_2[i, j]$ 、 $\dots$ 、及び $x_N[i, j]$ が、この順に横方向に並ぶ配列データである。以上のように、第1特徴画像生成部116は、複数の抽出画像C | rそれぞれに含まれる値(画素値)を縦方向の配列に並べる処理を、複数の参照用のワークWに関して実行する。

[0059] 次に、第1特徴画像生成部116は、マハラノビス距離を算出するために、変数ごとの平均を示す平均配列データと、共分散行列とを算出する。図10には、マハラノビス距離の概念を説明するためのグラフが示されている。ここでは、説明を簡単にするために、1枚の参照用のワークWから得られ、変数 $x_1$ 及び変数 $x_2$ だけの2次元の配列データから演算されるマハラノビス距離の概念を説明する。図10に示されるグラフでは、横軸が変数 $x_1$ であり、縦軸が変数 $x_2$ である。図10のグラフでは、ピクセル(座標)ごとに、変数 $x_1$ 及び変数 $x_2$ の組合せの値( $x_1[i, j]$ ,  $x_2[i, j]$ )がプロットされている。

[0060] [ $m_1, n_1$ ]で示される画素値の組合せの値と、 [ $m_2, n_2$ ]で示さ

れる画素値の組合せの値との間では、変数  $x_1$  の平均値である  $Mean(x_1)$  と変数  $x_2$  の平均値である  $Mean(x_2)$  との組合せの値からの距離が略一致する。 $m_1$ 、 $m_2$ 、 $n_1$ 、及び  $n_2$  は、 $1 \sim N$  のいずれか1つの自然数である。しかしながら、 $[m_2, n_2]$  で示される画素値の組合せの値は、 $[m_1, n_1]$  で示される画素値の組合せの値に比べて、変数  $x_1$  及び変数  $x_2$  の組合せの値の分布からは外れている。マハラノビス距離は、変数  $x_1$  及び変数  $x_2$  のデータ分布からの外れの程度（異常度）を表すことができる。

[0061] 第1特徴画像生成部116は、変数  $x_n$  ごとに（変数  $x_1 \sim x_N$  それぞれについて）、画素値の平均  $\mu_n$  を算出することで、図9に示される平均配列データ（平均）を演算する。平均  $\mu_n$  は、変数  $x_n$  に含まれる縦に並ぶ1列の配列データから演算され、その列での全ての参照用のワークWに関する全ピクセルの画素値の算術平均である。第1特徴画像生成部116は、変数  $x_n$  ごとに（変数  $x_1 \sim x_N$  それぞれについて）、画素値の縦に並ぶ配列データから分散  $\sigma_n$  を算出する。第1特徴画像生成部116は、変数  $x_1 \sim x_N$  のうちの2つの変数の全ての組合せそれぞれについて、相関係数  $S_{rs}$ （共分散）を算出する。相関係数  $S_{rs}$  における  $r$ 、 $s$  それぞれは、 $r \neq s$  を満たし、且つ  $1 \sim N$  の自然数である。分散  $\sigma_n$  と相関係数  $S_{rs}$  とを演算することで、共分散行列が得られる。

[0062] 第1特徴画像生成部116は、平均配列データと共分散行列とを利用して、1枚の参照用のワークWに関する変数  $x_1 \sim x_N$  におけるピクセル ( $i, j$ ) ごとの画素値の横方向に並ぶ配列データについて、マハラノビス距離を算出する。第1特徴画像生成部116は、1枚の参照用のワークWに関する全てのピクセルにおいて、各ピクセルの画素値の配列データからマハラノビス距離を算出する。この場合、全てのピクセルにおいて、1つのピクセルに対して1つのマハラノビス距離が算出される。ここで、ピクセル ( $i, j$ ) におけるマハラノビス距離を「距離  $MD(i, j)$ 」と表記し、全てのピクセルにおける距離  $MD(i, j)$  の集合を「MDデータ」と定義する。

[0063] 第1特徴画像生成部116は、他の（2枚目以降の）参照用のワークWについても、同様に、全てのピクセルにおいて、各ピクセルの画素値の配列データからマハラノビス距離を算出する。これにより、複数の参照用のワークWに関して、複数のMDデータが生成される。本開示では、1枚の参照用のワークWに関して、当該ワークWから得られる複数の抽出画像C1rのデータ分布を基準にマハラノビス距離を算出することには、当該ワークW以外の参照用のワークWから得られるデータも使用して演算される平均及び共分散行列を利用して算出することも含まれる。

[0064] 図6及び図7に戻り、次に、制御装置100は、ステップSa-5を実行する。ステップSa-5では、例えば、第1特徴画像生成部116が、ステップSa-4で得られる複数のMDデータから、参照特徴画像D1rを生成する。第1特徴画像生成部116は、ピクセル(i, j)ごとに、複数のMDデータに含まれる複数の距離MD(i, j)に基づいて、参照特徴画像D1rでの当該ピクセルでの値（画素値）を算出する。第1特徴画像生成部116は、ピクセル(i, j)ごとに、複数の距離MD(i, j)の最大値又は平均値を、参照特徴画像D1rでの画素値として算出してもよい。

[0065] 全てのピクセル(i, j)について、参照特徴画像D1rの画素値を算出した後に、参照画像保持部118が、参照特徴画像D1rを記憶する。以上により、準備フェーズでの一連の処理が終了し、生産フェーズでの検査に用いられる基準データである参照特徴画像D1rが生成される。以上に例示した一連の処理では、少なくとも2枚の参照用のワークWについて得られる複数の強調画像E1rから、1つの参照特徴画像D1rが得られる。なお、2枚以上の参照用のワークWに代えて1枚の参照用のワークWについての強調画像E1rから、1つの参照特徴画像D1rが得られてもよい。全ての参照用のワークWから得られる配列データから平均及び共分散行列を算出することに代えて、参照用のワークWごとに、平均及び共分散行列が算出されて、マハラノビス距離が算出されてもよい。

[0066] 参照特徴画像D1rの生成に利用される2枚の参照用のワークWを、「参

照用のワーク $W r 1$ 」及び「参照用のワーク $W r 2$ 」としたときに、検査制御部110の各機能モジュールは、次の処理を実行する。第1入力画像取得部112は、参照用のワーク $W r 1$ の表面 $W a$ を撮像した画像に基づく強調画像 $E l r 1$ を取得し、参照用のワーク $W r 2$ （参照用の第2基板）の表面 $W a$ を撮像した画像に基づく強調画像 $E l r 2$ （第2参照入力画像）を取得する。第1中間情報取得部114は、強調画像 $E l r 1$ を画像認識モデル $M$ に入力した際の間層で生成される第1中間情報を取得し、強調画像 $E l r 2$ を画像認識モデル $M$ に入力した際の間層で生成される第2中間情報（第2参照中間情報）を取得する。第1特徴画像生成部116は、第1中間情報と第2中間情報とに基づいて、参照特徴画像 $D l r$ を生成する。

[0067] <生産フェーズ>

図11は、図6に示される生産フェーズでの一連の処理を示すフローチャートである。図11に示される一連の処理は、塗布現像処理のうちの検査実行前の処理が施されたうえで、検査結果が未知の検査対象のワーク $W$ が、検査ユニット $U 3$ に搬送された状態で開始する。

[0068] 制御装置100は、最初に、ステップ $S b - 1$ を実行する。ステップ $S b - 1$ は、準備フェーズでのステップ $S a - 1$ の処理と同じ条件で行われる。ステップ $S b - 1$ では、例えば、検査制御部110の第2入力画像取得部122が、検査対象のワーク $W$ の表面 $W a$ を検査ユニット $U 3$ により撮像することで、検査対象のワーク $W$ の表面 $W a$ についての撮像画像 $P l s$ を取得する。

[0069] 次に、制御装置100は、ステップ $S b - 2$ を実行する。ステップ $S b - 2$ は、準備フェーズでのステップ $S a - 2$ の処理と同じ条件で行われる。ステップ $S b - 2$ では、例えば、第2入力画像取得部122が、ステップ $S b - 1$ で得られた撮像画像 $P l s$ に対してコントラストを強調する処理を施すことで強調画像 $E l s$ を生成する。

[0070] 次に、制御装置100は、ステップ $S b - 3$ を実行する。ステップ $S b - 3$ は、準備フェーズでのステップ $S a - 3$ の処理と同じ条件で行われる。ス

ステップS b - 3では、例えば、第2中間情報取得部124が、ステップS b - 2で得られた強調画像E l s（検査入力画像）を上記画像認識モデルMに入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される検査中間画像を取得する。第2中間情報取得部124は、例えば、画像認識モデルMの中間層において、強調画像E l sと、互いに異なる特徴を抽出する上記複数のフィルタとに基づいて生成された複数の抽出画像C l s（複数の検査抽出画像）を含む抽出画像群C l G sを、検査中間情報として取得する。

[0071] 複数の抽出画像C l sの生成で利用される複数のフィルタは、準備フェーズでの複数の抽出画像C l rの生成で利用される複数のフィルタと同じものである。仮に、検査対象のワークWの表面W aにおいて弧状の傷があった場合、図8に示される「抽出画像C l j」のように、画像認識モデルMの中間層において、その弧状の傷にフィルタが反応した抽出画像C l（特徴マップ）が生成され得る。

[0072] 次に、制御装置100は、ステップS b - 4を実行する。ステップS b - 4は、準備フェーズでのステップS a - 4と類似した方法で行われる。ステップS b - 4では、例えば、第2特徴画像生成部126が、ステップS b - 3で取得された複数の抽出画像C l sに基づいて検査特徴画像D l sを生成するための演算を行う。第2特徴画像生成部126は、複数の抽出画像C l sに含まれるピクセル（i, j）ごとの画素値（輝度値）の配列データについて、準備フェーズで得られた、いずれかの抽出画像群C l G rの複数の抽出画像C l rのデータ分布を基準にマハラノビス距離（検査マハラノビス距離）を算出する。

[0073] 第2特徴画像生成部126は、準備フェーズでのステップS a - 4と同様に、N個の抽出画像C l sに対応する変数x 1 ~ x Nそれぞれに含まれる画素値を縦方向の配列に並べる処理を実行する。第2特徴画像生成部126は、ステップS a - 4において複数の抽出画像C l rから得られる上記平均及び上記共分散行列を利用して、N個の抽出画像C l sに含まれるピクセル（i, j）ごとの画素値の横方向に並ぶ配列データについて、マハラノビス距

離を算出する。このように、本開示でのマハラノビス距離の算出には、距離の算出対象となるデータから求まる平均及び共分散行列ではなく、基準データを生成する際に用いた平均及び共分散行列を利用して算出することも含まれる。

[0074] 次に、制御装置100は、ステップS b-5を実行する。ステップS b-5では、例えば、第2特徴画像生成部126が、ステップS b-4でのマハラノビス距離の算出結果に基づいて、検査特徴画像D i sを生成する。第2特徴画像生成部126は、ピクセル(i, j)ごとに、ステップS b-4で算出したマハラノビス距離を当該ピクセルでの画素値に設定してもよい。

[0075] 次に、制御装置100は、ステップS b-6を実行する。ステップS b-6では、例えば、異常判定部136が、ステップS b-5で生成された検査特徴画像D i sと、参照画像保持部118が保持する参照特徴画像D i rとを比較することで、比較画像D i lを生成する。異常判定部136は、ピクセル(i, j)ごとに、検査特徴画像D i sの画素値と参照特徴画像D i rの画素値との差分を算出することで、比較画像D i lの当該ピクセルでの画素値を算出してもよい。

[0076] 次に、制御装置100は、ステップS b-7を実行する。ステップS b-7では、例えば、異常判定部136が、検査特徴画像D i sと参照特徴画像D i rとを比較した結果(ステップS b-6で生成した比較画像D i l)に基づいて、検査対象のワークWの表面W aにおける異常の有無を判定する。異常判定部136は、検査特徴画像D i sにおいて所定値以上の画素値を有するピクセルを抽出する処理を実行する。所定値は、ワークWの表面W aにおいて欠陥が生じた際に、その欠陥部位での画素値が抽出できる程度に設定されている。

[0077] 異常判定部136は、比較画像D i lにおいて、所定値以上の画素値を有する領域(又はピクセル)が検出された場合に、検査対象のワークWの表面W aにおいて異常があると判定してもよい。異常判定部136は、比較画像D i lにおいて、所定値以上の画素値を有する領域(又はピクセル)が検出

されなかった場合に、検査対象のワークWの表面Waにおいて異常がないと判定してもよい。

[0078] 次に、制御装置100は、ステップSb-8を実行する。ステップSb-8では、例えば、判定結果出力部138が、ステップSb-7での判定結果を示す情報を、処理制御部102又は上位コントローラに出力する。異常有りを示す異常信号が処理制御部102又は上位コントローラに出力された場合に、表面Waに異常（欠陥）があると判定されたワークWが、検査ユニットU3での検査以降の処理ラインから除外されてもよい。

[0079] [第1実施形態の効果]

以上に説明した第1実施形態に係る基板検査方法は、参照用のワークWの表面Waを撮像した画像に基づく参照入力画像を取得することと、入力された画像の認識結果を出力するように予め構築されたニューラルネットワーク（画像認識モデルM）に参照入力画像を入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される参照中間情報を取得することと、参照中間情報に基づいて、参照入力画像の特徴を示す参照特徴画像D<sub>l</sub>rを生成することと、を含む。上記基板検査方法は、検査対象のワークWの表面Waを撮像した画像に基づく検査入力画像を取得することと、画像認識モデルMに検査入力画像を入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される検査中間情報を取得することと、検査中間情報に基づいて、検査入力画像の特徴を示す検査特徴画像D<sub>l</sub>sを生成することと、を更に含む。上記基板検査方法は、参照特徴画像D<sub>l</sub>rと検査特徴画像D<sub>l</sub>sとを比較した結果に基づいて、検査対象のワークWの表面Waにおける異常の有無を判定すること、を更に含む。

[0080] 上記画像認識モデルMの中間層では、画像認識モデルMに入力される画像から特定の形状を抽出する処理が実行される。そのため、画像認識モデルMの中間層で生成される情報から生成される参照特徴画像D<sub>l</sub>rは、参照用のワークWの表面Wa全体の特徴を表し得る。また、画像認識モデルMの中間層で生成される情報から生成される検査特徴画像D<sub>l</sub>sは、検査対象のワークWの表面Wa全体の特徴を表し得る。参照特徴画像D<sub>l</sub>rと検査特徴画像

D I sとを比較することで、ワークWそのものが有する特徴同士を打ち消し合ったうえで、異常部位の特徴を検出することができる。従って、上記基板検査方法は、ワークWの表面W aにおける異常を精度良く検出するのに有用である。

[0081] 以上に説明した基板検査方法において、参照中間情報は、画像認識モデルMの中間層において、参照入力画像と、互いに異なる特徴を抽出する複数のフィルタとに基づいて生成された複数の参照抽出画像（複数の抽出画像C I r）であってもよい。参照特徴画像D I rを生成することは、複数の抽出画像C I rに基づいて参照特徴画像D I rを生成することを含んでもよい。検査中間情報は、画像認識モデルMの中間層において、検査入力画像と上記複数のフィルタとに基づいて生成された複数の検査抽出画像（複数の抽出画像C I s）であってもよい。検査特徴画像D I sを生成することは、複数の抽出画像C I sに基づいて検査特徴画像D I sを生成することを含んでもよい。この場合、画像認識モデルMの中間層において複数のフィルタによって、種々の特定の形状が抽出される。種々の特定の形状が抽出されることで、ワークWの表面W aにおいて異常部位が含まれている場合に、その異常部位がフィルタに反応して抽出され得る。従って、ワークWの表面W aにおける高精度な異常検出に有用である。

[0082] 以上に説明した基板検査方法において、参照特徴画像D I rを生成することは、複数の抽出画像C I rに含まれるピクセル（i, j）ごとの画素値の配列データについて、複数の抽出画像C I rのデータ分布を基準に参照マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、参照特徴画像D I rのピクセルごとの画素値を算出することを含んでもよい。検査特徴画像D I sを生成することは、複数の抽出画像C I sに含まれるピクセル（i, j）ごとの画素値の配列データについて、上記参照マハラノビス距離を算出する際に利用した平均と共分散行列とに基づいて検査マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、検査特徴画像D I sのピクセルごとの画素値を算出することを含んでもよい。マハラノビス距離は、データ分布からの乖離度（異常度）を表すこ

とができる。そのため、表面W aに異常部位が存在していると、画像認識モデルMでのフィルタに反応して、特定のピクセルでの画素値が変動する。これにより、特定のピクセルでのマハラノビス距離が大きい値になり得る。上記構成では、特徴画像同士の比較が行われるので、ワークWそのものが有する特徴によってマハラノビス距離が大きくなる領域を打ち消し合ったうえで、異常部位に起因してマハラノビス距離が大きくなる領域を検出することができる。従って、ワークWの表面W aにおける高精度な異常検出に更に有用である。

[0083] 以上に説明した基板処理方法において、参照入力画像は、参照用のワークWの表面W aを撮像した撮像画像P | rに対してコントラストを強調する処理を施すことで生成された強調画像E | rであってもよい。検査入力画像は、検査対象のワークWの表面W aを撮像した撮像画像P | sに対してコントラストを強調する処理を施すことで生成された強調画像E | sであってもよい。この場合、異常部位に対応する箇所が強調されたうえで、その特徴が反映された検査特徴画像D | sを取得できる。仮に、異常部位以外の部分がノイズとして強調されても、特徴画像同士の比較によってノイズを低減することができる。従って、ワークWの表面W aにおける高精度な異常検出に更に有用である。

[0084] 以上に説明した基板処理方法は、参照用の別のワークWの表面W aを撮像した画像に基づく第2参照入力画像を取得することと、画像認識モデルMに第2参照入力画像を入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される第2参照中間情報を取得することと、を含んでもよい。参照特徴画像D | rを生成することは、参照中間情報と第2参照中間情報とに基づいて参照特徴画像D | rを生成することを含んでもよい。この場合、複数の参照用のワークWの表面W aにおける撮像画像から、1つの参照特徴画像D | rが生成される。そのため、1つの参照用のワークWの個体が有する特徴による影響が低減されたうえで、参照特徴画像D | rを生成することができる。従って、ワークWの表面W aにおける高精度な異常検出に更に有用である。

## [0085] [第2実施形態]

続いて、図12～図16を参照して、第2実施形態に係る基板処理システム1について説明する。第2実施形態に係る基板処理システム1では、検査制御部110が実行する一連の処理が、第1実施形態で検査制御部110が実行する一連の処理と相違する。塗布現像装置2は、所定枚数のワークWに対してロット単位で塗布現像処理（基板処理）を実行してもよい。塗布現像装置2は、ロット単位での処理（ロット処理）において、所定枚数のワークWに対して順に塗布現像処理を実行する。ロットの単位を示す所定枚数は、キャリアCに収容できるワークWの枚数に応じて定められてもよい。塗布現像装置2は、ロット単位での塗布現像処理を繰り返し実行する。

[0086] 検査制御部110は、第1実施形態での検査方法と異なり、生産フェーズが実行されている間に、検査に用いる基準データである参照特徴画像を生成する。検査制御部110は、ロット単位での塗布現像処理において1番目に処理が実行されるワークW（第1基板）を用いて参照特徴画像を生成する。この場合、1番目に処理が実行されるワークWが、表面Waにおける異常の有無は未知であるが、参照用のワークWとなる。検査制御部110は、ロット単位での塗布現像処理において2番目以降に処理が実行されるワークW（第2基板）を検査対象のワークWとして、参照特徴画像を用いて検査を実行する。

[0087] 検査制御部110は、第1実施形態での検査方法と異なり、2つの異なる検査手順を実行したうえで、それらの検査手順から得られる結果から、ワークWの表面Waにおける異常の有無を判定する。図12には、1つの検査手順で実行される一連の処理が示されており、図13には、他の検査手順で実行される一連の処理が示されている。いずれの検査手順においても、1枚目のワークWから参照特徴画像が生成される。図14は、検査制御部110がロット単位で実行する一連の処理の一例を示すフローチャートである。

[0088] この一連の処理では、塗布現像処理のうちの検査実行前の処理が施されたうえで、処理対象のワークWが、検査ユニットU3に搬送された状態で、制

制御装置100が、ステップ41を実行する。ステップS41では、例えば、検査制御部110が、検査ユニットU3に搬送された処理対象のワークWが、ロット単位での処理において1枚目のワークWであるか否かを判断する。検査制御部110は、生産フェーズの開始時点から、検査ユニットU3で検査されたワークWの枚数をカウントすることで、ロット単位での1枚目のワークWか否かを判断してもよい。

[0089] ステップS41において、検査ユニットU3に搬送された処理対象のワークWが、1枚目のワークWである場合（ステップS41：YES）、制御装置100が実行する処理は、ステップS50に進む。ステップS50では、例えば、検査制御部110が、2枚目以降の処理対象のワークWの検査を行うための検査準備処理を実行する。図15は、ステップS50の検査準備処理の一例を示すフローチャートである。ステップS50の検査準備処理は、図12に示される1枚目での一連の処理と、図13に示される1枚目での一連の処理とを含む。

[0090] ステップS50の検査準備処理では、制御装置100が、最初にステップSc-1を実行する。ステップSc-1は、第1実施形態に係る基板検査方法でのステップSa-1と同様に実行される。ステップSc-1では、例えば、検査制御部110の第1入力画像取得部112が、1枚目のワークWの表面Waを検査ユニットU3により撮像することで、1枚目のワークWの表面Waについての撮像画像P1rを取得する。

[0091] 次に、制御装置100は、ステップSc-3を実行する。ステップSc-3は、第1実施形態に係る基板検査方法でのステップSa-3と同様に実行される。ステップSc-3では、例えば、第1中間情報取得部114が、ステップSc-1で得られた撮像画像P1r（参照入力画像）を上記画像認識モデルMに入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される参照中間情報を取得する。第1中間情報取得部114は、例えば、画像認識モデルMの中間層において、撮像画像P1rと、互いに異なる特徴を抽出する複数のフィルタとに基づいて生成された複数の抽出画像C1r1（複数の参照抽

出画像)を含む抽出画像群C | G r 1を、参照中間情報として取得する。抽出画像群C | G r 1に含まれる複数の抽出画像C | r 1の個数は、30~60であってもよい。

[0092] 次に、制御装置100は、ステップS c - 4を実行する。ステップS c - 4は、第1実施形態に係る基板検査方法でのステップS a - 4と同様に実行される。ステップS c - 4では、例えば、第1特徴画像生成部116が、複数の抽出画像C | r 1に含まれるピクセル(i, j)ごとの画素値(輝度値)の配列データについて、複数の抽出画像C | r 1のデータ分布を基準にマハラノビス距離(参照マハラノビス距離)を算出する。

[0093] 次に、制御装置100は、ステップS c - 5を実行する。ステップS c - 5は、第1実施形態に係る基板検査方法でのステップS a - 5又はステップS b - 5と同様に実行される。ステップS c - 5では、例えば、第1特徴画像生成部116が、ステップS c - 4でのマハラノビス距離の算出結果に基づいて、参照特徴画像D | r 1を生成する。第1特徴画像生成部116は、ピクセル(i, j)ごとに、ステップS c - 4で算出したマハラノビス距離を、参照特徴画像D | r 1における当該ピクセルでの画素値に設定してもよい。参照画像保持部118は、参照特徴画像D | r 1を記憶する。

[0094] ステップS c - 3, S c - 4, S c - 5を含む一連の処理と並行して、又は、その一連の処理の実行後に、制御装置100は、ステップS e - 2を実行する。ステップS e - 2は、第1実施形態に係る基板検査方法でのステップS a - 2と同様に実行される。ステップS e - 2では、例えば、第1入力画像取得部112が、ステップS c - 1で得られた撮像画像P | r に対してコントラストを強調する処理を施すことで強調画像E | r 2を生成する。

[0095] 次に、制御装置100は、ステップS e - 3を実行する。ステップS e - 3は、上記ステップS c - 3と同様に実行される。ステップS e - 3では、例えば、第1中間情報取得部114が、ステップS e - 2で得られた強調画像E | r 2(参照入力画像)を上記画像認識モデルMに入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される参照中間情報を取得する。第1中間情

報取得部114は、例えば、画像認識モデルMの中間層において、強調画像E1r2と、互いに異なる特徴を抽出する複数のフィルタ（複数の第2フィルタ）とに基づいて生成された複数の抽出画像C1r2（複数の第2参照抽出画像）を含む抽出画像群C1Gr2を、参照中間情報として取得する。抽出画像群C1Gr2に含まれる複数の抽出画像C1r2の個数は、ステップSc-3で得られる抽出画像群C1Gr1に含まれる複数の抽出画像C1r1の個数と異なってもよく、180~220であってもよい。すなわち、ステップSc-3とステップSe-3との間で、抽出画像群を生成するための複数のフィルタの数が異なってもよい。

[0096] 次に、制御装置100は、ステップSe-4を実行する。ステップSe-4は、上記ステップSc-4と同様に実行される。ステップSe-4では、例えば、第1特徴画像生成部116が、複数の抽出画像C1r1に含まれるピクセル(i, j)ごとの画素値（輝度値）の配列データについて、複数の抽出画像C1r1のデータ分布を基準にマハラノビス距離（参照マハラノビス距離）を算出する。

[0097] 次に、制御装置100は、ステップSe-5を実行する。ステップSe-5は、上記ステップSc-5と同様に実行される。ステップSe-5では、例えば、第1特徴画像生成部116が、ステップSe-4でのマハラノビス距離の算出結果に基づいて、参照特徴画像D1r2（第2参照特徴画像）を生成する。第1特徴画像生成部116は、ピクセル(i, j)ごとに、ステップSe-4で算出したマハラノビス距離を、参照特徴画像D1r2における当該ピクセルでの画素値に設定してもよい。参照画像保持部118は、参照特徴画像D1r2を記憶する。

[0098] 以上により、ステップS50の検査準備処理が終了し、2枚目以降のワークWの検査において用いられる基準データである参照特徴画像D1r1及び参照特徴画像D1r2が生成される。

[0099] ステップS50の実行後、図14に示されるように、制御装置100は、ステップS60を実行する。ステップS60では、例えば、異常判定部13

6が、参照特徴画像D l r 1及び参照特徴画像D l r 2の少なくとも一方（例えば、参照特徴画像D l r 2）に基づいて、1枚目のワークWの表面W aにおける異常の有無を判定する。異常判定部136は、参照特徴画像D l r 2において所定値以上の画素値を有するピクセルを抽出する処理を実行し、所定値以上の画素値を有する領域（又はピクセル）が検出された場合に、表面W aに異常（欠陥）が有ると判定してもよい。ステップS60では、感度は低いですが、1枚目のワークWの表面W aの異常を検出できる場合がある。

[0100] 一方、ステップS41において、検査ユニットU3に搬送された処理対象のワークWが、2枚目以降のいずれかのワークWである場合（ステップS41：NO）、制御装置100が実行する処理は、ステップS70に進む。ステップS70では、例えば、検査制御部110が、2枚目以降の処理対象のワークWに対する検査を実行する。図16は、ステップS70の検査処理の一例を示すフローチャートである。ステップS70の検査処理は、図12に示される2枚目以降での一連の処理と、図13に示される2枚目以降での一連の処理とを含む。

[0101] ステップS70の検査処理では、制御装置100が、最初にステップS d - 1を実行する。ステップS d - 1は、上記ステップS c - 1と同じ条件で実行される。ステップS d - 1では、例えば、検査制御部110の第2入力画像取得部122が、2番目以降に処理される検査対象のワークWの表面W aを検査ユニットU3により撮像することで、検査対象のワークWについての撮像画像P l sを取得する。

[0102] 次に、制御装置100は、ステップS d - 3を実行する。ステップS d - 3は、上記ステップS c - 3と同じ条件で実行される。ステップS d - 3では、例えば、第2中間情報取得部124が、ステップS d - 1で得られた撮像画像P l s（参照入力画像）を上記画像認識モデルMに入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される検査中間情報を取得する。第2中間情報取得部124は、例えば、画像認識モデルMの中間層において、撮像画像P l sと、互いに異なる特徴を抽出する複数のフィルタとに基づいて生成

された複数の抽出画像  $C_{ls1}$ （複数の検査抽出画像）を含む抽出画像群  $C_{lgs1}$  を、検査中間情報として取得する。ステップ  $S_{d-3}$  で用いられる複数のフィルタと、ステップ  $S_{c-3}$  で用いられる複数のフィルタとは同じものである。

[0103] 次に、制御装置 100 は、ステップ  $S_{d-4}$  を実行する。ステップ  $S_{d-4}$  は、第 1 実施形態に係る基板検査方法でのステップ  $S_{b-4}$  と同様に実行される。ステップ  $S_{d-4}$  では、例えば、第 2 特徴画像生成部 126 が、ステップ  $S_{d-3}$  で得られた複数の抽出画像  $C_{ls1}$  に含まれるピクセル ( $i, j$ ) ごとの画素値（輝度値）の配列データについて、ステップ  $S_{c-3}$  で得られた複数の抽出画像  $C_{lr1}$  のデータ分布を基準にマハラノビス距離（検査マハラノビス距離）を算出する。

[0104] 次に、制御装置 100 は、ステップ  $S_{d-5}$  を実行する。ステップ  $S_{d-5}$  は、上記ステップ  $S_{c-5}$  と同様に実行される。ステップ  $S_{d-5}$  では、例えば、第 2 特徴画像生成部 126 が、ステップ  $S_{d-4}$  でのマハラノビス距離の算出結果に基づいて、検査特徴画像  $D_{ls1}$  を生成する。第 2 特徴画像生成部 126 は、ピクセル ( $i, j$ ) ごとに、ステップ  $S_{d-4}$  で算出したマハラノビス距離を検査特徴画像  $D_{ls1}$  における当該ピクセルでの画素値に設定してもよい。

[0105] 次に、制御装置 100 は、ステップ  $S_{d-6}$  を実行する。ステップ  $S_{d-6}$  は、第 1 実施形態に係る基板検査方法でのステップ  $S_{b-6}$  と同様に実行される。ステップ  $S_{d-6}$  では、例えば、異常判定部 136 が、ステップ  $S_{d-5}$  で生成された検査特徴画像  $D_{ls1}$  と、参照画像保持部 118 が保持する参照特徴画像  $D_{lr1}$  とを比較することで、比較画像  $D_{il1}$  を生成する。異常判定部 136 は、ピクセル ( $i, j$ ) ごとに、検査特徴画像  $D_{ls1}$  の画素値と参照特徴画像  $D_{lr1}$  の画素値との差分を算出することで、比較画像  $D_{il1}$  の当該ピクセルでの画素値を算出してもよい。

[0106] ステップ  $S_{d-3} \sim S_{d-6}$  を含む一連の処理と並行して、又は、その一連の処理の実行後に、制御装置 100 は、ステップ  $S_{f-2}$  を実行する。ス

ステップS f - 2は、上記ステップS e - 2と同じ条件で実行される。ステップS f - 2では、例えば、第2入力画像取得部1 2 2が、ステップS d - 1で得られた撮像画像P l sに対してコントラストを強調する処理を施すことで強調画像E l s 2を生成する。

[0107] 次に、制御装置1 0 0は、ステップS f - 3を実行する。ステップS f - 3は、上記ステップS e - 3と同じ条件で実行される。ステップS f - 3では、例えば、第2中間情報取得部1 2 4が、ステップS f - 2で得られた強調画像E l s 2（検査入力画像）を画像認識モデルMに入力したときに、画像認識モデルMの中間層で生成される検査中間情報を取得する。第2中間情報取得部1 2 4は、例えば、画像認識モデルMの中間層において、強調画像E l s 2と、互いに異なる特徴を抽出する複数のフィルタ（複数の第2フィルタ）とに基づいて生成された複数の抽出画像C l s 2（複数の第2検査抽出画像）を含む抽出画像群C l G s 2を、検査中間情報として取得する。ステップS e - 3で用いられる複数のフィルタと、ステップS f - 3で用いられる複数のフィルタとは同じものである。

[0108] 次に、制御装置1 0 0は、ステップS f - 4を実行する。ステップS f - 4は、上記ステップS e - 4と同様に実行される。ステップS f - 4では、例えば、第2特徴画像生成部1 2 6が、ステップS f - 3で得られた複数の抽出画像C l s 2に含まれるピクセル（ $i$ ， $j$ ）ごとの画素値（輝度値）の配列データについて、複数の抽出画像C l s 2のデータ分布を基準にマハラノビス距離（検査マハラノビス距離）を算出する。ステップS d - 4では、基準データを生成するためにマハラノビス距離を算出する際に利用した平均及び共分散行列が利用されるのに対して、ステップS f - 4では、自身（複数の抽出画像C l s 2）から得られる平均及び共分散行列が利用される。

[0109] 次に、制御装置1 0 0は、ステップS f - 5を実行する。ステップS f - 5は、上記ステップS e - 5と同様に実行される。ステップS f - 5では、例えば、第2特徴画像生成部1 2 6が、ステップS f - 4でのマハラノビス距離の算出結果に基づいて、検査特徴画像D l s 2（第2検査特徴画像）を

生成する。第2特徴画像生成部126は、ピクセル(i, j)ごとに、ステップSf-4で算出したマハラノビス距離を検査特徴画像Dis2における当該ピクセルでの画素値に設定してもよい。

[0110] 次に、制御装置100は、ステップSf-6を実行する。ステップSf-6は、ステップSd-6と同様に実行される。ステップSf-6では、例えば、異常判定部136が、ステップSf-5で生成された検査特徴画像Dis2と、参照画像保持部118が保持する参照特徴画像Dir2とを比較することで、比較画像Dil2を生成する。異常判定部136は、ピクセル(i, j)ごとに、検査特徴画像Dis2の画素値と参照特徴画像Dir2の画素値との差分を算出することで、比較画像Dil2の当該ピクセルでの画素値を算出してもよい。

[0111] 次に、制御装置100は、ステップS47を実行する。ステップS47では、例えば、異常判定部136が、参照特徴画像Dir1と検査特徴画像Dis1とを比較した結果と、参照特徴画像Dir2と検査特徴画像Dis2とを比較した結果とに基づいて、処理対象のワークWの表面Waにおける異常の有無を判定する。異常判定部136は、ステップSd-6で得られた比較画像Dil1と、ステップSf-6で得られた比較画像Dil2とに基づいて、処理対象のワークWの表面Waにおける異常の有無を判定する。

[0112] 一例では、異常判定部136は、比較画像Dil1及び比較画像Dil2のそれぞれにおいて所定値以上の画素値を有するピクセルを抽出する処理を実行する。異常判定部136は、比較画像Dil1及び比較画像Dil2の少なくとも一方において、所定値以上の画素値を有する領域（又はピクセル）が検出された場合に、検査対象のワークWの表面Waにおいて異常があると判定してもよい。異常判定部136は、比較画像Dil1及び比較画像Dil2の両方において、所定値以上の画素値を有する領域（又はピクセル）が検出されなかった場合に、検査対象のワークWの表面Waにおいて異常がないと判定してもよい。

[0113] 図14に戻り、ステップS60又はステップS70の実行後に、制御装置

100は、ステップS48を実行する。ステップS48では、例えば、判定結果出力部138が、ステップS47及びステップS60における判定結果を示す情報を、処理制御部102又は上位コントローラに出力する。表面Waに異常（欠陥）が有ると判定されたワークWが、検査ユニットU3での検査以降の処理ラインから除外されてもよい。ステップS60において1枚目のワークWにおいて異常が検出された場合、検査制御部110は、2枚目のワークWについてステップS50を実行して、2枚目のワークWの撮像画像等から基準データを生成してもよい。

[0114] 次に、制御装置100は、ステップS49を実行する。ステップS49では、例えば、制御装置100が、ロット単位を定める所定枚数のワークWの検査が完了したか否かを判定する。ステップS49において、所定枚数のワークWの検査が完了していないと判断された場合（ステップS49：NO）、制御装置100が実行する処理は、ステップS41に戻る。ステップS49において、所定枚数のワークWの検査が完了したと判断された場合（ステップS49：YES）、1つのロットでの基板検査が終了する。制御装置100（検査制御部110）は、次のロットでも同様の基板検査処理を実行する。

[0115] [第2実施形態の効果]

第2実施形態に係る基板処理システム1で実行される基板検査方法においても、第1実施形態と同様の効果が奏されるので、ワークWの表面Waにおける異常を精度良く検出するのに有用である。

[0116] 以上に説明した第2実施形態に係る基板検査方法において、参照特徴画像D<sub>l r 2</sub>を生成することは、複数の参照抽出画像（複数の抽出画像C<sub>l r 2</sub>）に含まれるピクセルごとの画素値の配列データについて、複数の抽出画像C<sub>l r 2</sub>のデータ分布を基準に参照マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、参照特徴画像D<sub>l r 2</sub>のピクセルごとの画素値を算出することを含んでもよい。検査特徴画像D<sub>l s 2</sub>を生成することは、複数の検査抽出画像（複数の抽出画像C<sub>l s 2</sub>）に含まれるピクセルごとの画素値の配列データに

ついて、複数の抽出画像  $C | s 2$  のデータ分布を基準に検査マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、検査特徴画像  $D | s 2$  のピクセルごとの画素値を算出することを含んでもよい。基準データを作成する際に参照マハラノビス距離を算出した際の平均及び共分散行列を利用して、検査マハラノビス距離を算出した場合、参照用のワーク  $W$  と検査対象のワーク  $W$  との間での異常と判定したくない変化まで検出され得る。上記構成では、自身のデータ分布から検査マハラノビス距離を算出しており、参照用のワーク  $W$  との違いが検査マハラノビス距離に反映されない。従って、検出したい異常の種類に合わせた検出感度の調節に有用である。

[0117] 以上に説明した第2実施形態に係る基板検査方法において、参照用のワーク  $W$  は、所定枚数の処理対象のワーク  $W$  に対して所定の塗布現像処理を順に施すロット処理において1番目に塗布現像処理が施される1枚目のワーク  $W$  であってもよい。検査対象のワーク  $W$  は、ロット処理において2番目以降のいずれかの順に塗布現像処理が施される2枚目以降のいずれかのワーク  $W$  であってもよい。この場合、ロット単位で検査のための基準データが生成される。そのため、複数のロット間でのワーク  $W$  自体又は塗布現像処理でのばらつきが、異常判定に影響し難い。従って、ワーク  $W$  の表面  $W a$  における高精度な異常検出に有用である。

[0118] 以上に説明した第2実施形態に係る基板検査方法は、参照特徴画像  $D | r 1$  の生成と検査特徴画像  $D | s 1$  の生成とに加えて、画像認識モデル  $M$  に参照入力画像を入力したときに、画像認識モデル  $M$  の中間層において、参照入力画像と、互いに異なる特徴を抽出する複数の第2フィルタとに基づき生成される複数の第2参照抽出画像（複数の抽出画像  $C | r 2$ ）を取得することと、複数の抽出画像  $C | r 2$  に基づいて第2参照特徴画像（参照特徴画像  $D | r 2$ ）を生成することと、を含む。上記基板検査方法は、画像認識モデル  $M$  に検査入力画像を入力したときに、画像認識モデル  $M$  の中間層において、検査入力画像と上記複数の第2フィルタとに基づき生成される複数の第2検査抽出画像（複数の抽出画像  $C | s 2$ ）を取得することと、複数の抽出画像

C 1 s 2に基づいて第2検査特徴画像（検査特徴画像D 1 s 2）を生成することと、を更に含んでもよい。検査対象のワークWの表面W aにおける異常の有無を判定することは、参照特徴画像D 1 r 1と検査特徴画像D 1 s 1とを比較した結果と、参照特徴画像D 1 r 2と検査特徴画像D 1 s 2とを比較した結果とに基づいて、検査対象のワークWの表面W aにおける異常の有無を判定することを含んでもよい。この場合、互いに異なる2つの検査手順それぞれで特徴画像同士を比較しているので、検出したい異常の種類に合わせた検出感度の調節を容易にしつつ、異常が検出できない可能性を低減できる。従って、異常の検出感度の調節と検出精度との両立に有用である。

[0119] 以上に説明した第2実施形態に係る基板検査方法は、参照特徴画像に基づいて、1枚目のワークWの表面W aにおける異常の有無を判定することを更に含んでもよい。この場合、検査の基準データを生成するための1枚目のワークWの表面W aにおいて、明らかな異常が含まれている場合に、そのワークWを排除でき、別のワークWを利用して基準データを作成できる。従って、ワークWの表面W aにおける高精度な異常検出に有用である。

[0120] [変形例]

本開示は、上述した第1実施形態及び第2実施形態に限られない。第1実施形態で説明した一部の事項が、第2実施形態に適用されてもよく、第2実施形態で説明した一部の事項が、第1実施形態に適用されてもよい。上述した一連の処理は、適宜変更可能である。上記一連の処理において、制御装置100（検査制御部110）は、一のステップと次のステップとを並列に実行してもよく、上述した例とは異なる順序で各ステップを実行してもよい。制御装置100（検査制御部110）は、いずれかのステップを省略してもよく、いずれかのステップにおいて上述の例とは異なる処理を実行してもよい。

[0121] 第1実施形態に係る検査制御部110は、ステップS a - 2及びステップS b - 2を省略してもよい。この場合、検査制御部110は、ステップS a - 3では撮像画像P 1 rを画像認識モデルMに入力し、ステップS b - 3で

は撮像画像  $P I s$  を画像認識モデル  $M$  に入力する。第 1 実施形態に係る検査制御部 110 は、1 枚の参照用のワーク  $W$  から、基準データである参照特徴画像  $D I r$  を生成してもよい。

[0122] 第 2 実施形態に係る検査制御部 110 は、2 つの異なる検査手順を実行するが、いずれか一方の検査手順のみを実行してもよい。検査制御部 110 は、図 13 に示される検査手順を実行せずに、図 12 に示される検査手順を実行して得られる比較画像  $D i 1$  に基づき検査対象のワーク  $W$  の表面  $W a$  における異常の有無を判定してもよい。検査制御部 110 は、図 12 に示される検査手順を実行せずに、図 13 に示される検査手順を実行して得られる比較画像  $D i 2$  に基づき検査対象のワーク  $W$  の表面  $W a$  における異常の有無を判定してもよい。

[0123] 第 2 実施形態に係る検査手順において、1 枚目のワーク  $W$  に対して施される一連の処理が、生産フェーズが開始される前の準備フェーズにおいて実行されてもよい。そして、生産フェーズにおいて、2 枚目以降のワーク  $W$  に施される一連の処理が、ロット単位に関係なく、処理対象のワーク  $W$  に対して実行されてもよい。

[0124] 検査制御部 110 が、画像認識モデル  $M$  を保持せずに、制御装置 100 の外部装置が画像認識モデル  $M$  を記憶していてもよい。この場合、検査制御部 110 は、撮像画像又は強調画像を外部装置に送信したうえで、外部装置から抽出画像群  $C I G$  を取得してもよい。

[0125] 検査制御部 110 を構成するコンピュータが、塗布現像装置 2 以外に設けられてもよい。この場合、制御装置 100 と検査制御部 110 とが、有線、無線、又はネットワークを介して通信可能に接続されてもよい。制御装置 100 が、検査ユニット  $U 3$  から撮像画像を取得したうえで、その撮像画像を検査制御部 110 に送信してもよい。検査制御部 110 は、異常の有無の判定結果を示す情報を制御装置 100 に送信してもよい。以上に説明した種々の例のうちの 1 つの例において、他の例で説明した事項の少なくとも一部が適用されてもよい。

## 符号の説明

[0126] 1…基板処理システム、2…塗布現像装置、U3…検査ユニット、W…ワーク、110…検査制御部、112…第1入力画像取得部、114…第1中間情報取得部、116…第1特徴画像生成部、122…第2入力画像取得部、124…第2中間情報取得部、126…第2特徴画像生成部、136…異常判定部、P<sub>l r</sub>, P<sub>l s</sub>…撮像画像、E<sub>l r</sub>, E<sub>l s</sub>…強調画像、C<sub>l r</sub>, C<sub>l s</sub>…抽出画像、D<sub>l r</sub>…参照特徴画像、D<sub>l s</sub>…検査特徴画像、D<sub>i l</sub>…比較画像。

## 請求の範囲

### [請求項1]

参照用の基板の表面を撮像した画像に基づく参照入力画像を取得することと、

入力された画像の認識結果を出力するように予め構築されたニューラルネットワークに前記参照入力画像を入力したときに、前記ニューラルネットワークの中間層で生成される参照中間情報を取得することと、

前記参照中間情報に基づいて、前記参照入力画像の特徴を示す参照特徴画像を生成することと、

検査対象の基板の表面を撮像した画像に基づく検査入力画像を取得することと、

前記ニューラルネットワークに前記検査入力画像を入力したときに、前記ニューラルネットワークの中間層で生成される検査中間情報を取得することと、

前記検査中間情報に基づいて、前記検査入力画像の特徴を示す検査特徴画像を生成することと、

前記参照特徴画像と前記検査特徴画像とを比較した結果に基づいて、前記検査対象の基板の表面における異常の有無を判定することと、を含む基板検査方法。

### [請求項2]

前記参照中間情報は、前記ニューラルネットワークの中間層において、前記参照入力画像と、互いに異なる特徴を抽出する複数のフィルタとに基づいて生成された複数の参照抽出画像であり、

前記参照特徴画像を生成することは、前記複数の参照抽出画像に基づいて前記参照特徴画像を生成することを含み、

前記検査中間情報は、前記ニューラルネットワークの中間層において、前記検査入力画像と前記複数のフィルタとに基づいて生成された複数の検査抽出画像であり、

前記検査特徴画像を生成することは、前記複数の検査抽出画像に基

づいて前記検査特徴画像を生成することを含む、請求項 1 に記載の基板検査方法。

[請求項3] 前記参照特徴画像を生成することは、前記複数の参照抽出画像に含まれるピクセルごとの画素値の配列データについて、前記複数の参照抽出画像のデータ分布を基準に参照マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、前記参照特徴画像のピクセルごとの画素値を算出することを含み、

前記検査特徴画像を生成することは、前記複数の検査抽出画像に含まれるピクセルごとの画素値の配列データについて、前記参照マハラノビス距離を算出する際に利用した平均と共分散行列とに基づいて検査マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、前記検査特徴画像のピクセルごとの画素値を算出することを含む、請求項 2 に記載の基板検査方法。

[請求項4] 前記参照特徴画像を生成することは、前記複数の参照抽出画像に含まれるピクセルごとの画素値の配列データについて、前記複数の参照抽出画像のデータ分布を基準に参照マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、前記参照特徴画像のピクセルごとの画素値を算出することを含み、

前記検査特徴画像を生成することは、前記複数の検査抽出画像に含まれるピクセルごとの画素値の配列データについて、前記複数の検査抽出画像のデータ分布を基準に検査マハラノビス距離を算出した結果に基づいて、前記検査特徴画像のピクセルごとの画素値を算出することを含む、請求項 2 に記載の基板検査方法。

[請求項5] 前記参照入力画像は、前記参照用の基板の表面を撮像した画像に対してコントラストを強調する処理を施すことで生成された画像であり、

前記検査入力画像は、前記検査対象の基板の表面を撮像した画像に対してコントラストを強調する処理を施すことで生成された画像であ

る、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の基板検査方法。

[請求項6]

参照用の第 2 基板の表面を撮像した画像に基づく第 2 参照入力画像を取得することと、

前記ニューラルネットワークに前記第 2 参照入力画像を入力したときに、前記ニューラルネットワークの中間層で生成される第 2 参照中間情報を取得することと、を更に含み、

前記参照特徴画像を生成することは、前記参照中間情報と前記第 2 参照中間情報とに基づいて、前記参照特徴画像を生成することを含む、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の基板検査方法。

[請求項7]

前記参照用の基板は、所定枚数の処理対象の基板に対して所定の基板処理を順に施すロット処理において 1 番目に前記基板処理が施される第 1 基板であり、

前記検査対象の基板は、前記ロット処理において 2 番目以降のいずれかの順に前記基板処理が施される第 2 基板である、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の基板検査方法。

[請求項8]

前記参照用の基板は、所定枚数の処理対象の基板に対して所定の基板処理を順に施すロット処理において 1 番目に前記基板処理が施される第 1 基板であり、

前記検査対象の基板は、前記ロット処理において 2 番目以降のいずれかの順に前記基板処理が施される第 2 基板であり、

前記基板検査方法は、

前記ニューラルネットワークに前記参照入力画像を入力したときに、前記ニューラルネットワークの中間層において、前記参照入力画像と、互いに異なる特徴を抽出する複数の第 2 フィルタとに基づき生成される複数の第 2 参照抽出画像を取得することと、

前記複数の第 2 参照抽出画像に基づいて第 2 参照特徴画像を生成することと、

前記ニューラルネットワークに前記検査入力画像を入力したとき

に、前記ニューラルネットワークの中間層において、前記検査入力画像と前記複数の第2フィルタとに基づき生成される複数の第2検査抽出画像を取得することと、

前記複数の第2検査抽出画像に基づいて第2検査特徴画像を生成することと、を更に含み、

前記検査対象の基板の表面における異常の有無を判定することは、前記参照特徴画像と前記検査特徴画像とを比較した結果と、前記第2参照特徴画像と前記第2検査特徴画像とを比較した結果とに基づいて、前記第2基板の表面における異常の有無を判定することを含む、請求項2～4のいずれか一項に記載の基板検査方法。

[請求項9] 前記参照特徴画像に基づいて、前記第1基板の表面における異常の有無を判定することを更に含む、請求項7に記載の基板検査方法。

[請求項10] 前記参照特徴画像に基づいて、前記第1基板の表面における異常の有無を判定することを更に含む、請求項8に記載の基板検査方法。

[請求項11] 請求項1～4のいずれか一項に記載の基板検査方法をコンピュータに実行させるための基板検査プログラム。

[請求項12] 参照用の基板の表面を撮像した画像に基づく参照入力画像を取得する第1入力画像取得部と、

入力された画像の認識結果を出力するように予め構築されたニューラルネットワークに前記参照入力画像を入力したときに、前記ニューラルネットワークの中間層で生成される参照中間情報を取得する第1中間情報取得部と、

前記参照中間情報に基づいて、前記参照入力画像の特徴を示す参照特徴画像を生成する第1特徴画像生成部と、

検査対象の基板の表面を撮像した画像に基づく検査入力画像を取得する第2入力画像取得部と、

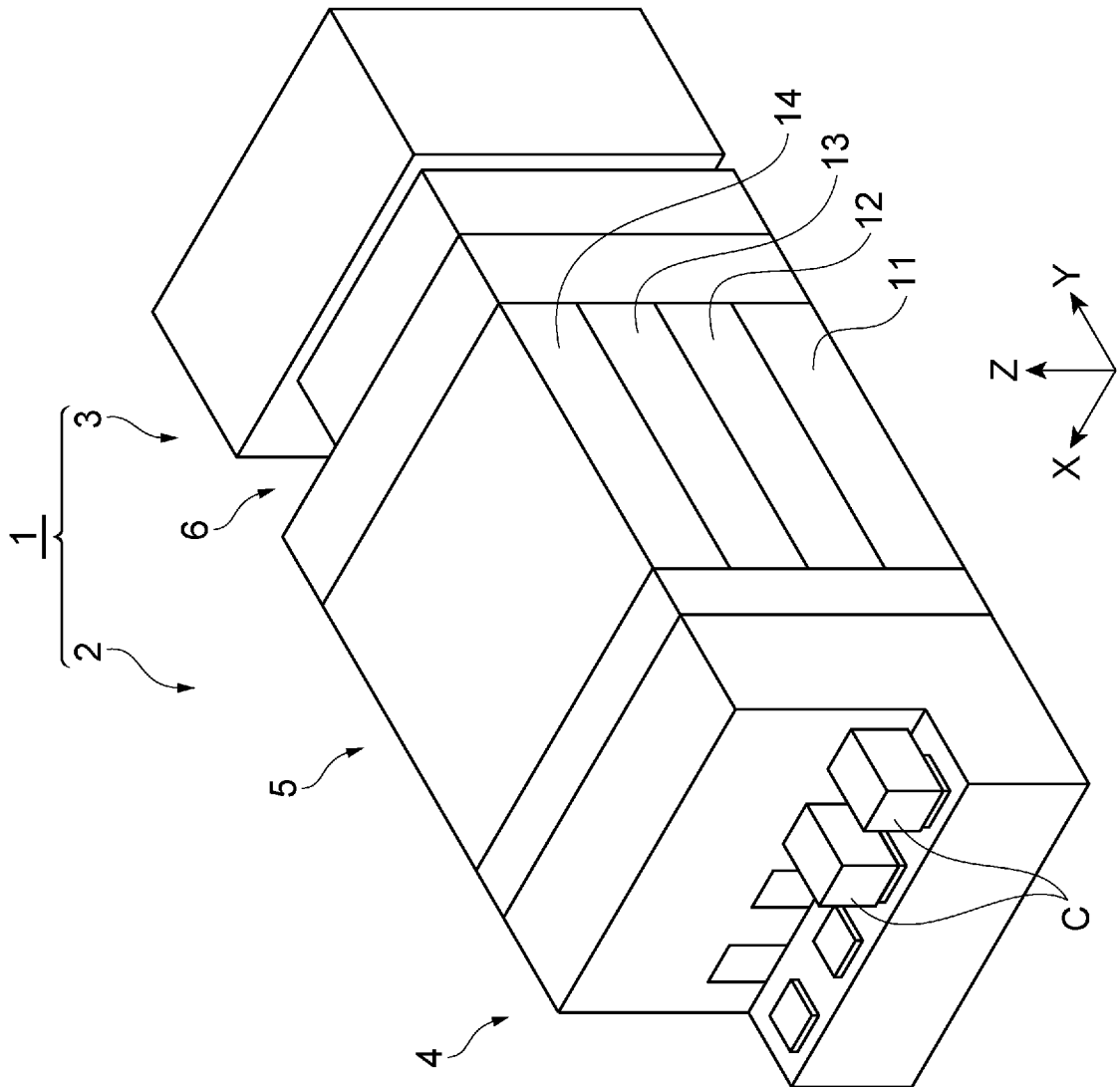
前記ニューラルネットワークに前記検査入力画像を入力したときに、前記ニューラルネットワークの中間層で生成される検査中間情報を

取得する第2中間情報取得部と、

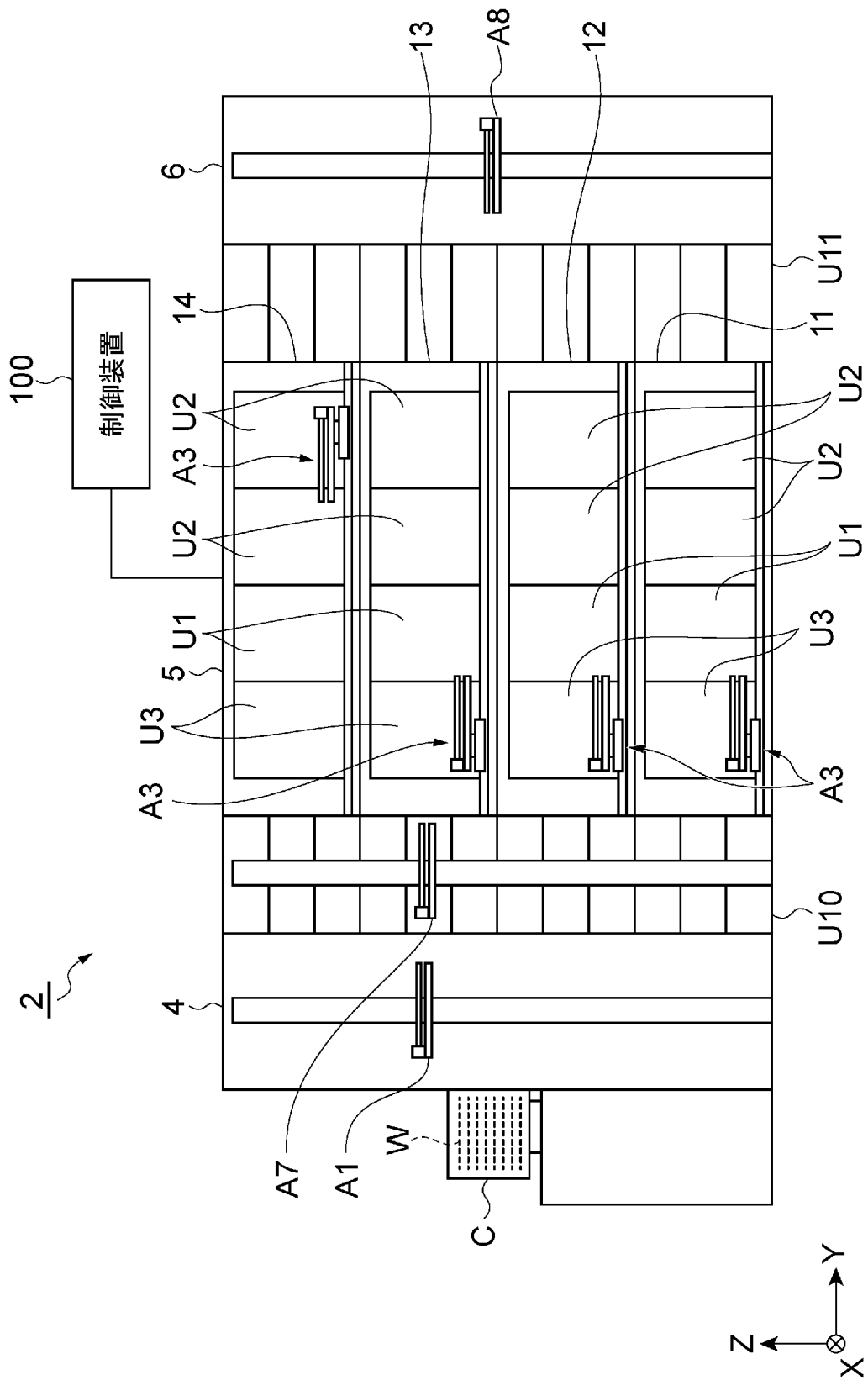
前記検査中間情報に基づいて、前記検査入力画像の特徴を示す検査特徴画像を生成する第2特徴画像生成部と、

前記参照特徴画像と前記検査特徴画像とを比較した結果に基づいて、前記検査対象の基板の表面における異常の有無を判定する異常判定部と、を備える基板検査装置。

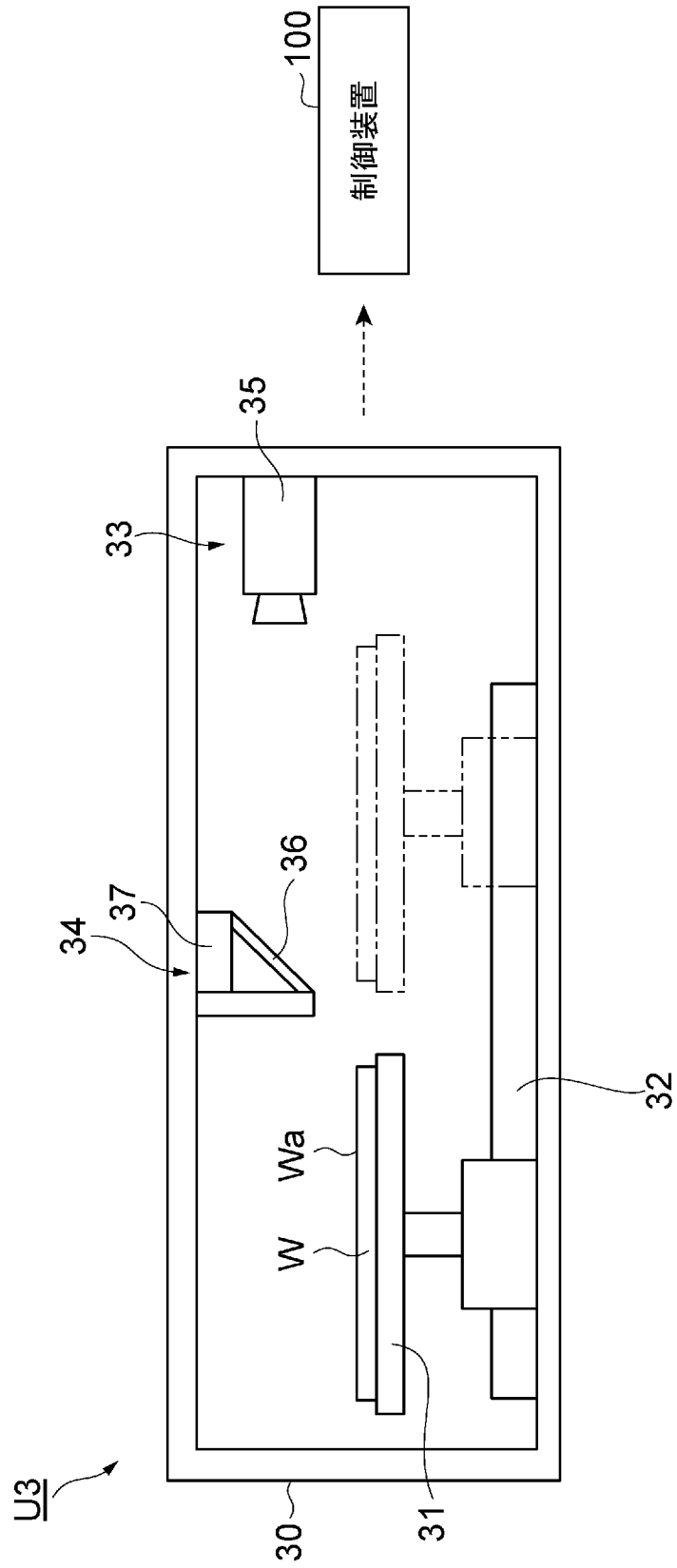
[図1]



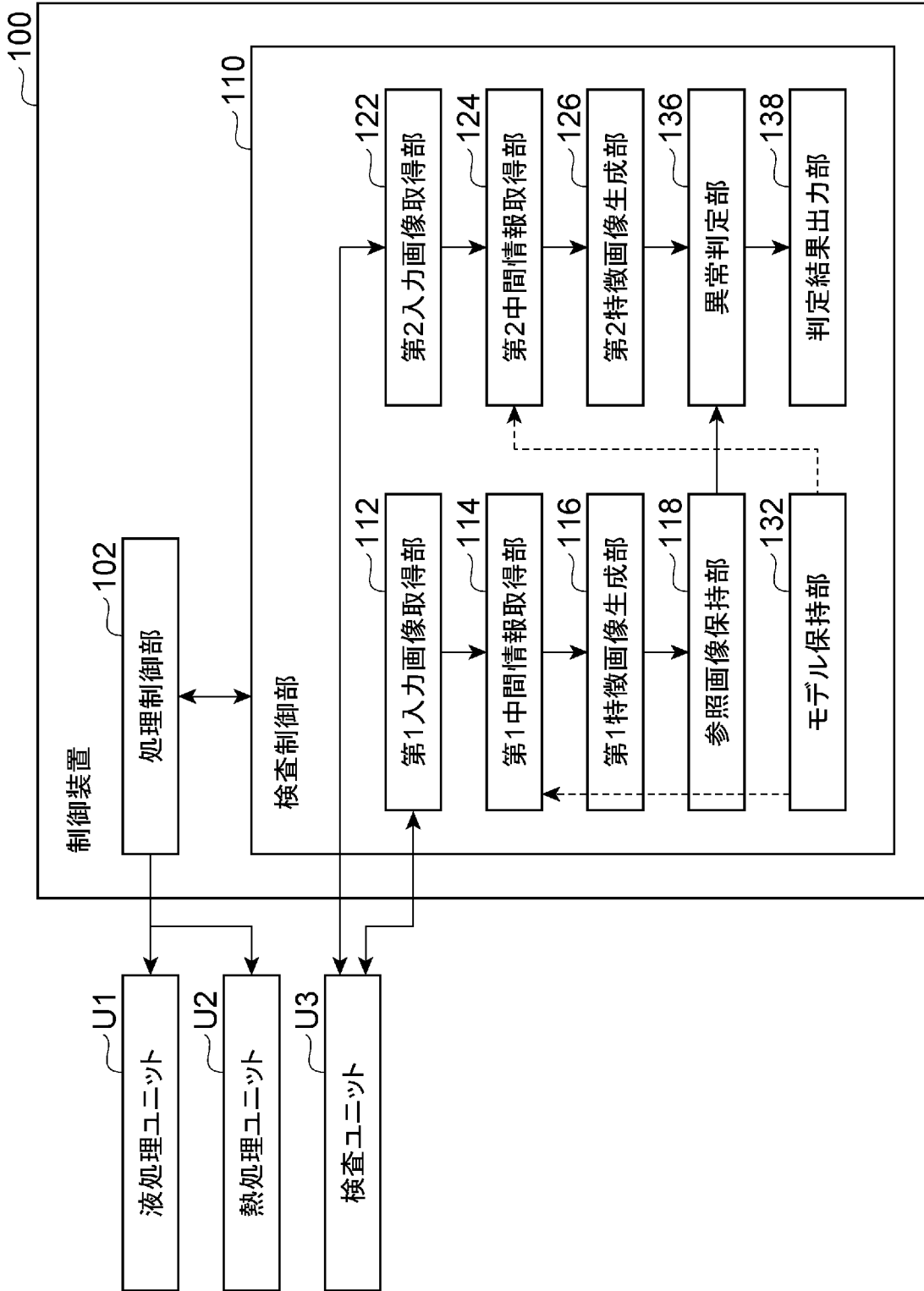
[図2]



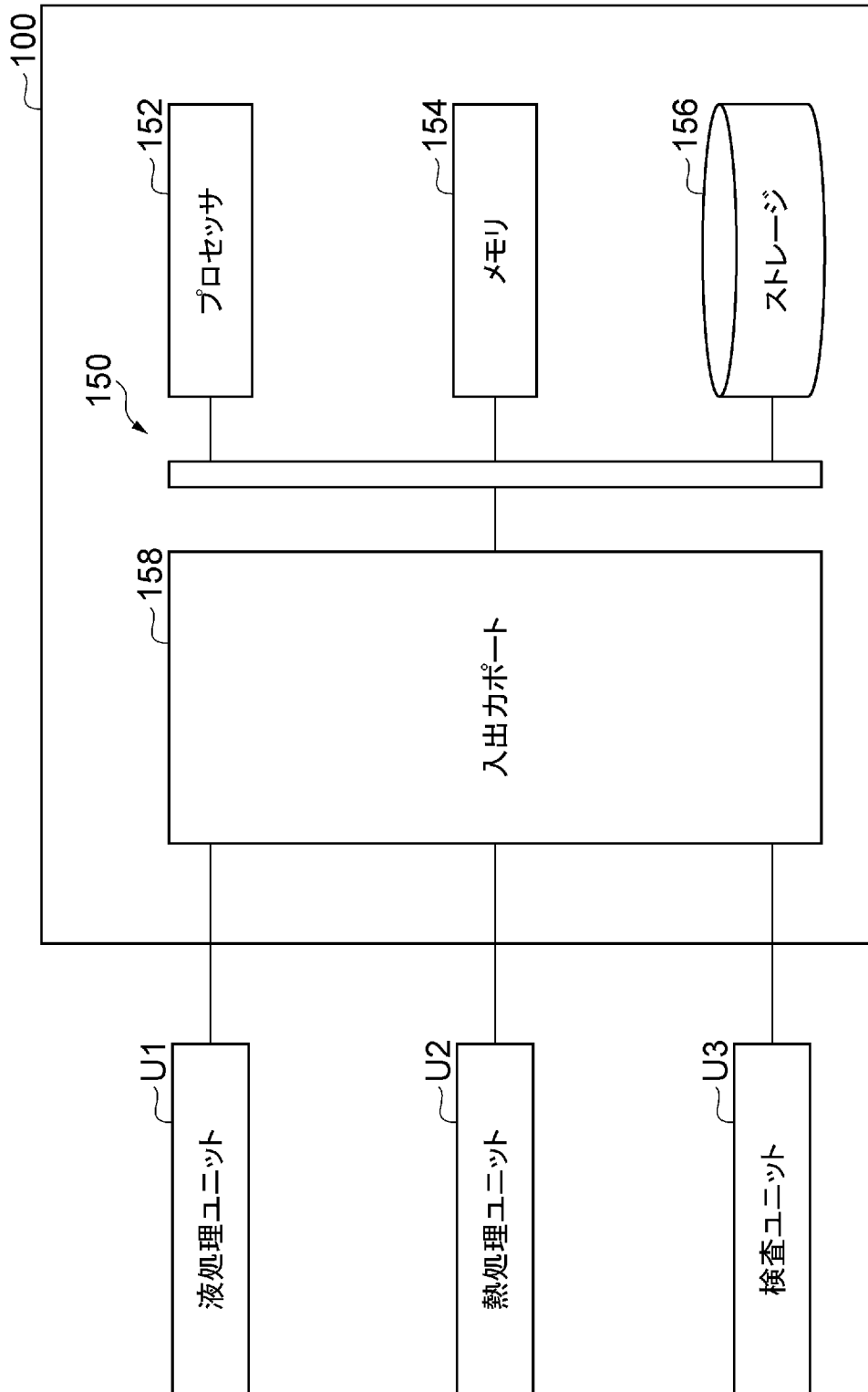
[図3]



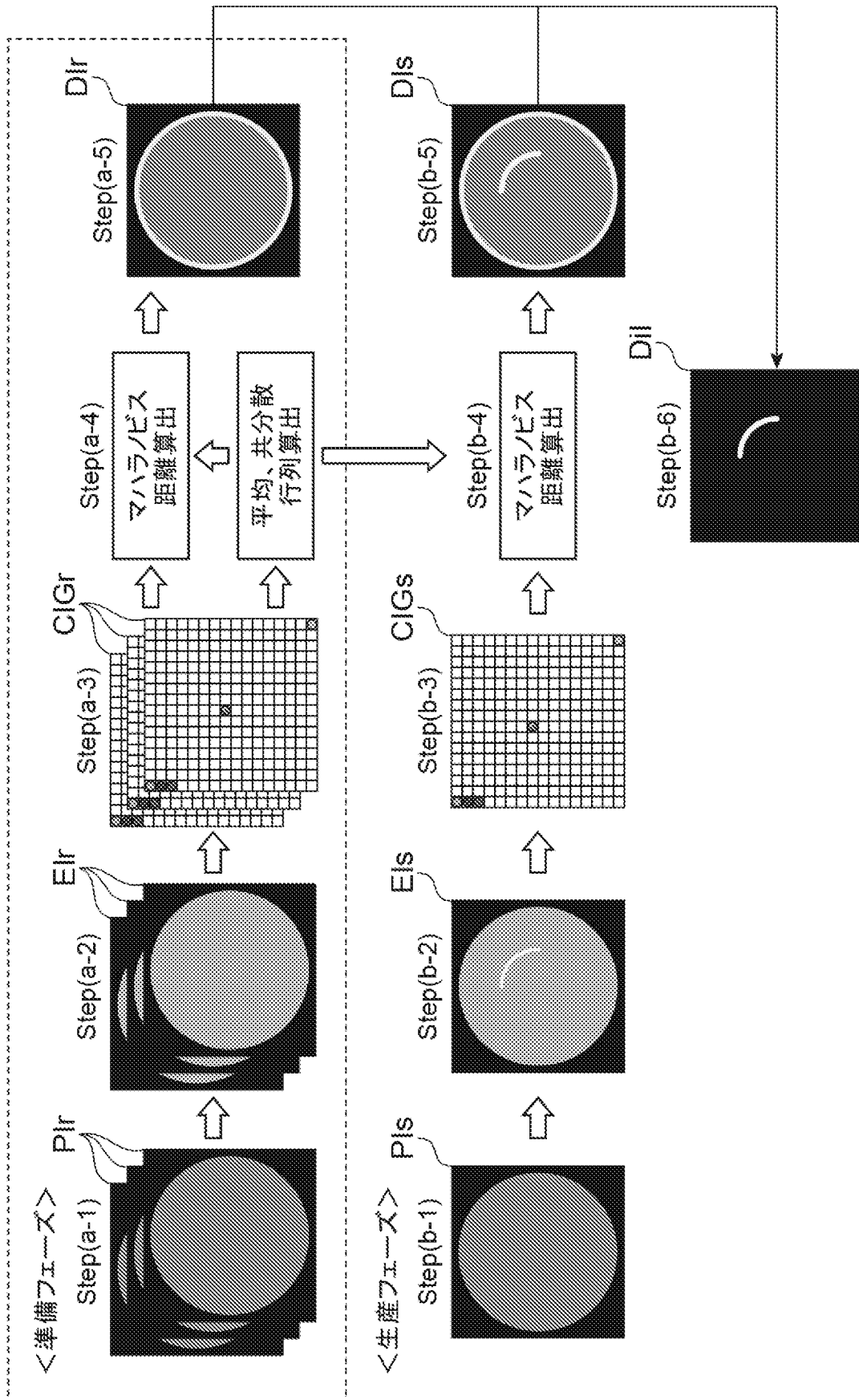
[図4]



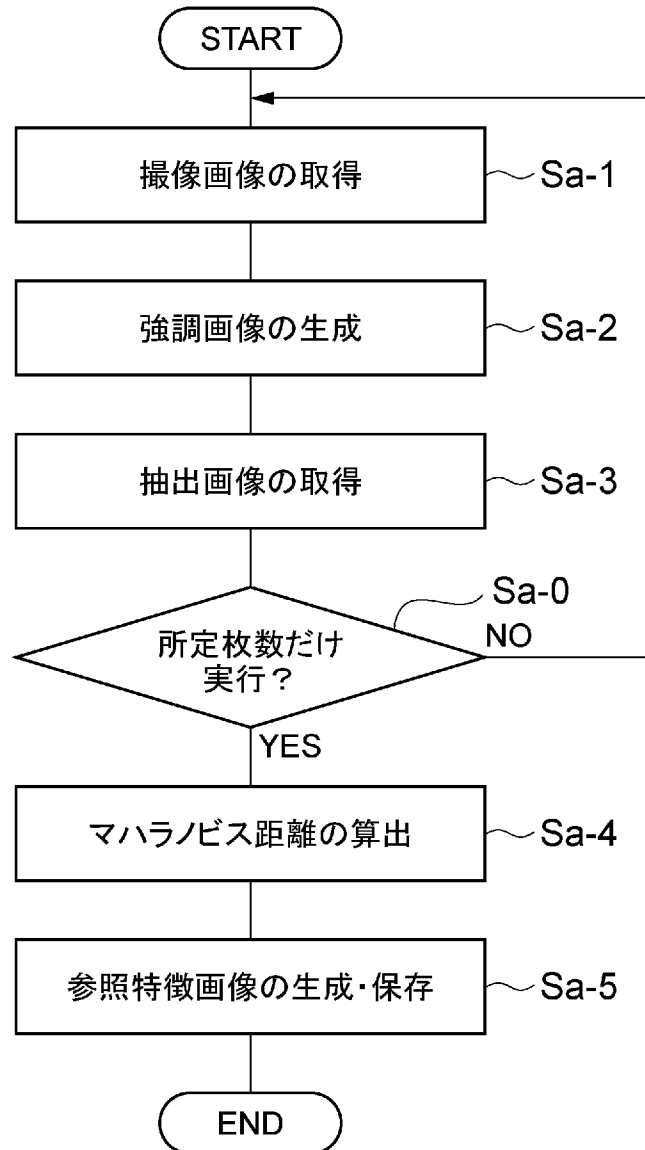
[図5]



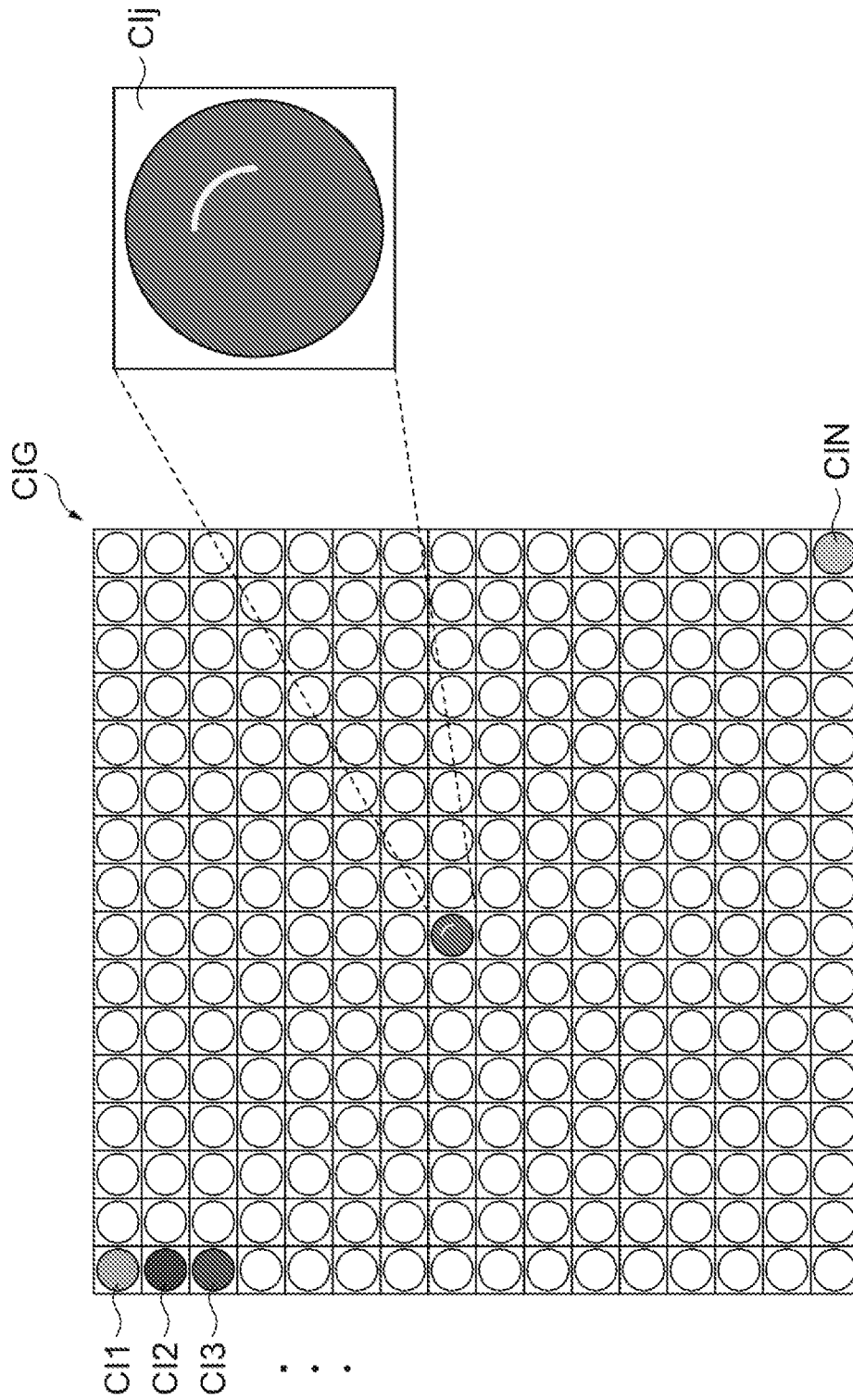
[図6]



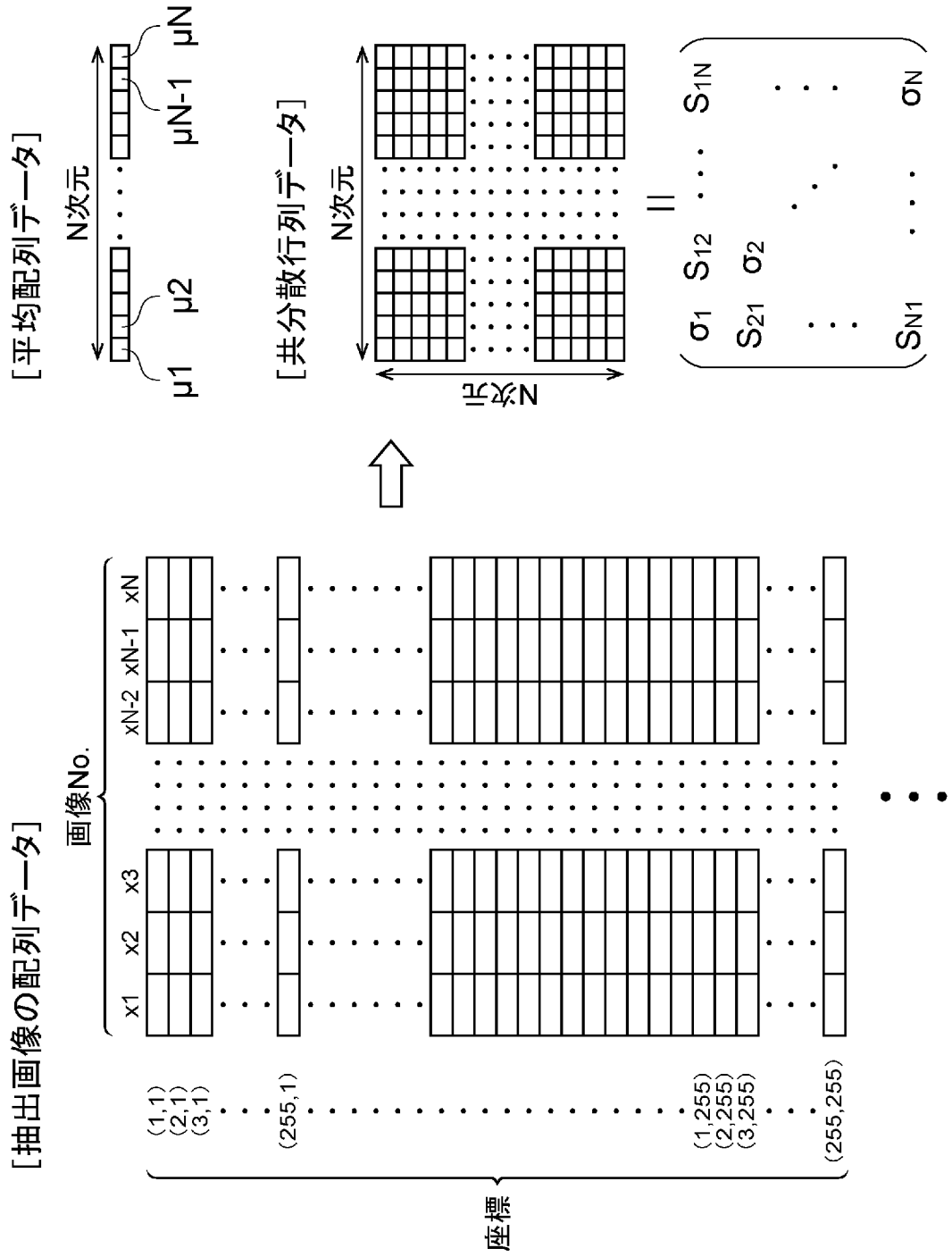
[図7]



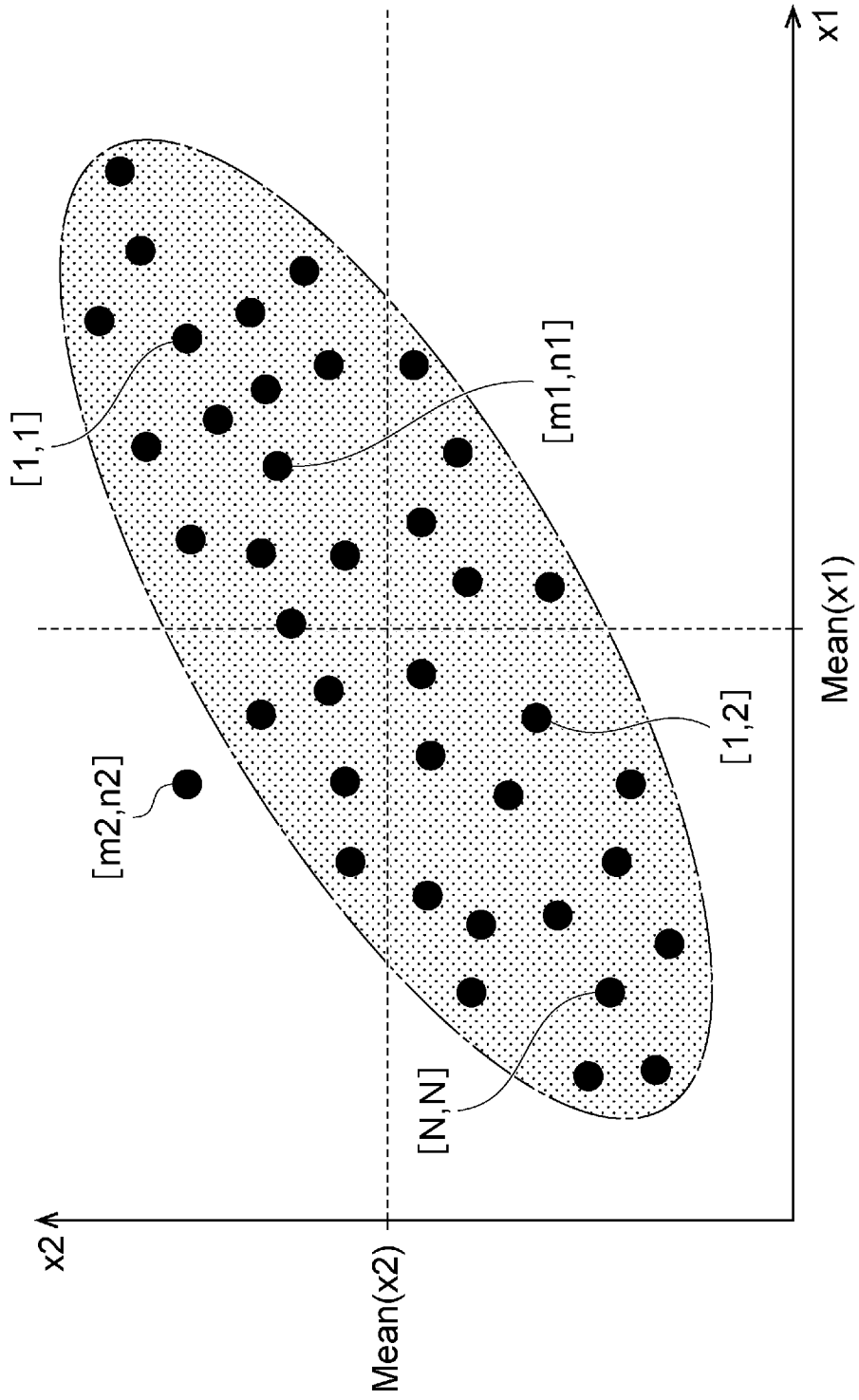
[図8]



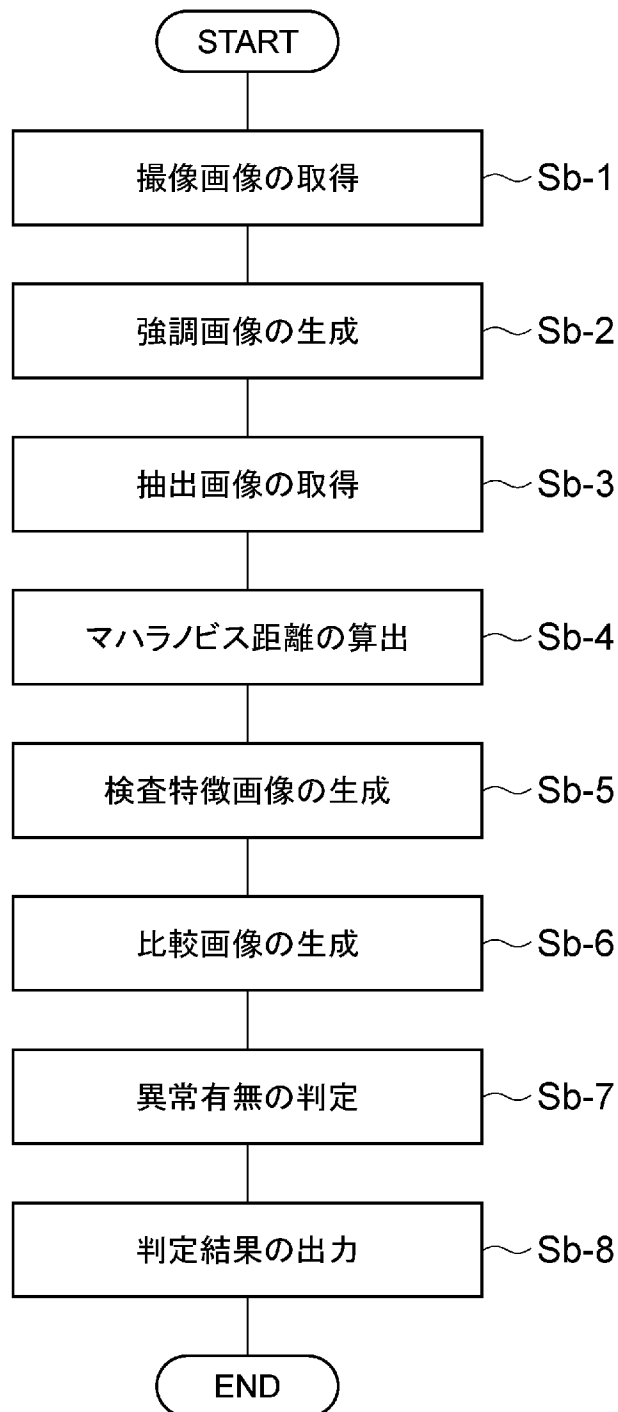
[図9]



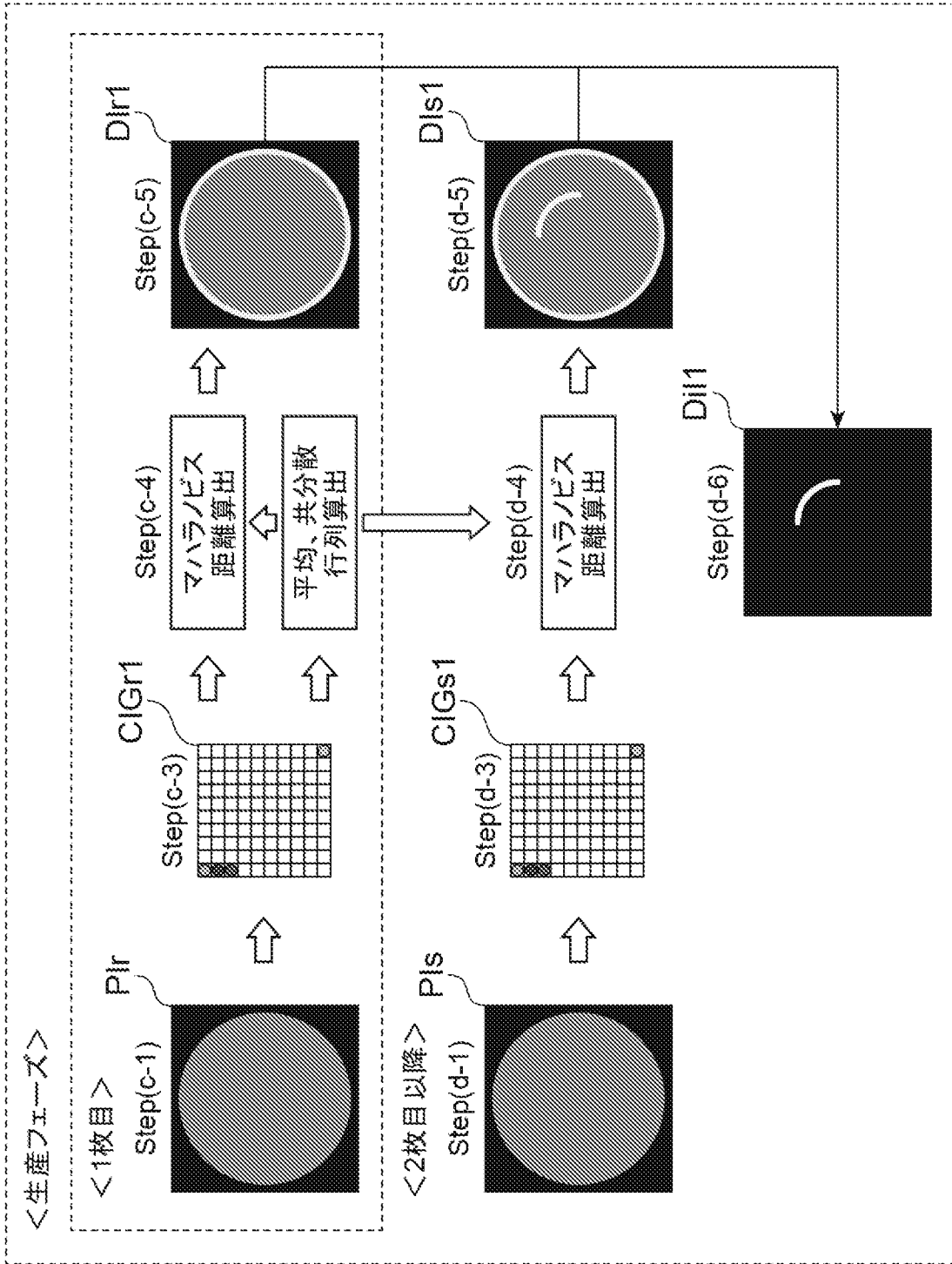
[図10]



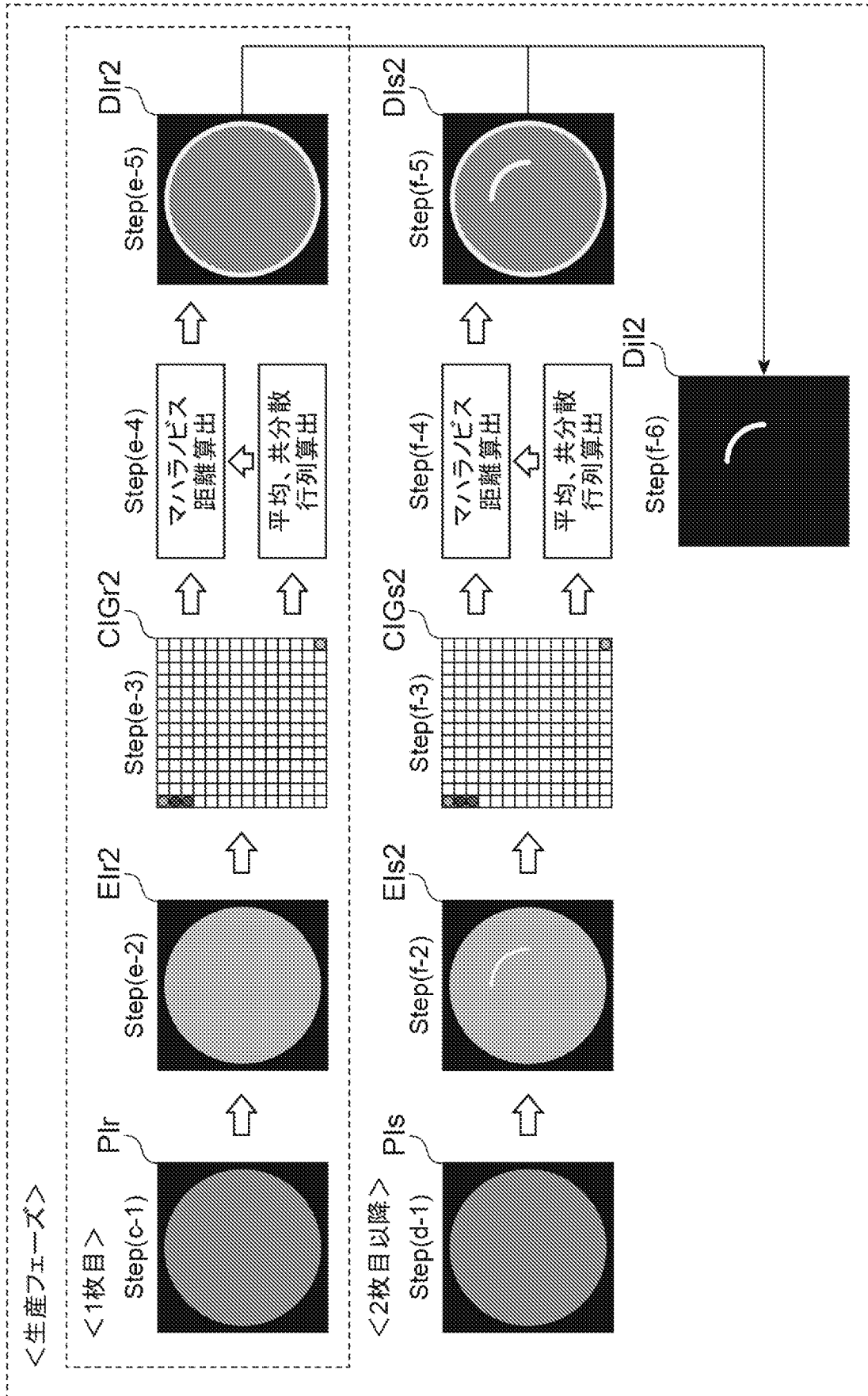
[図11]



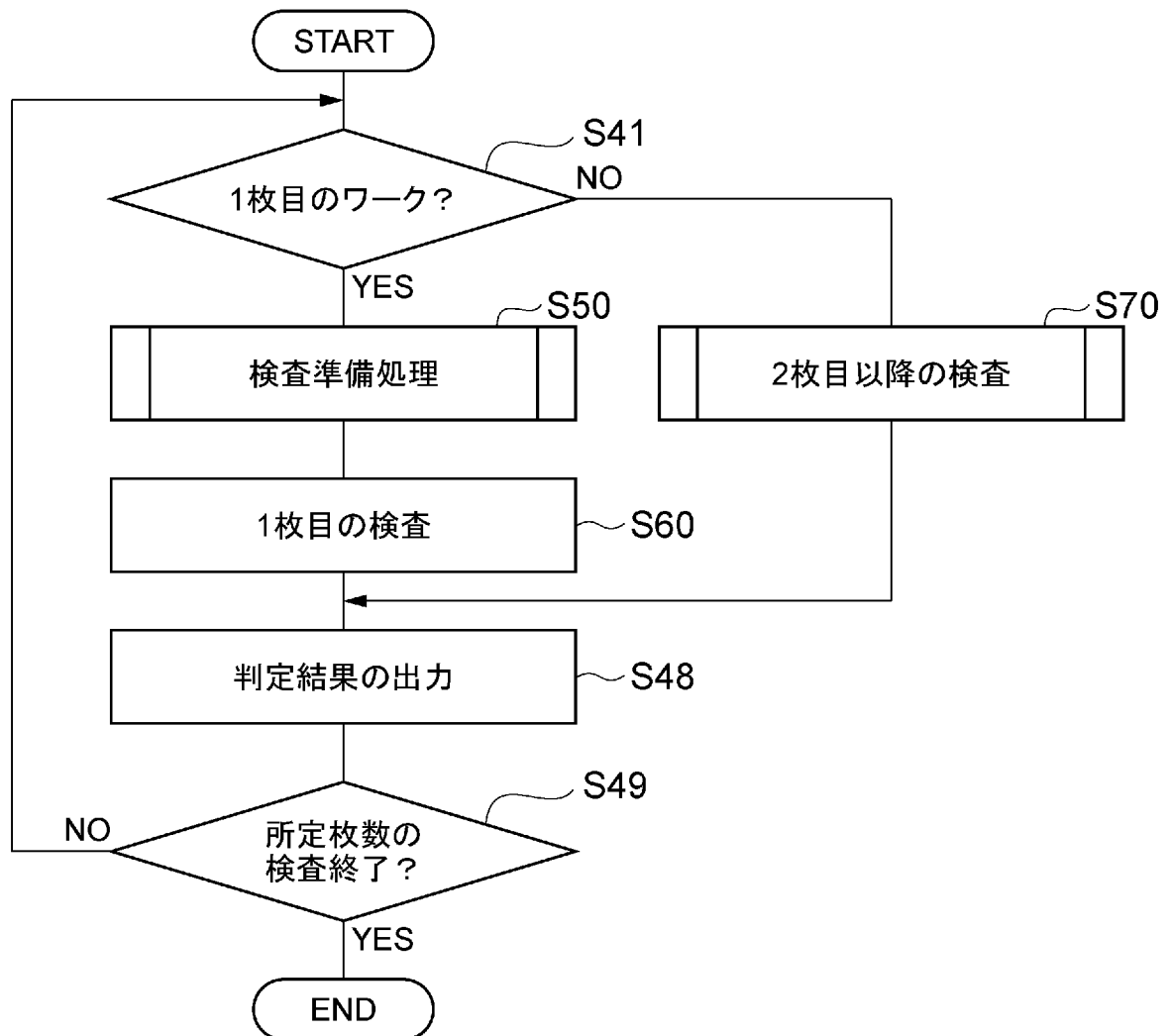
[図12]



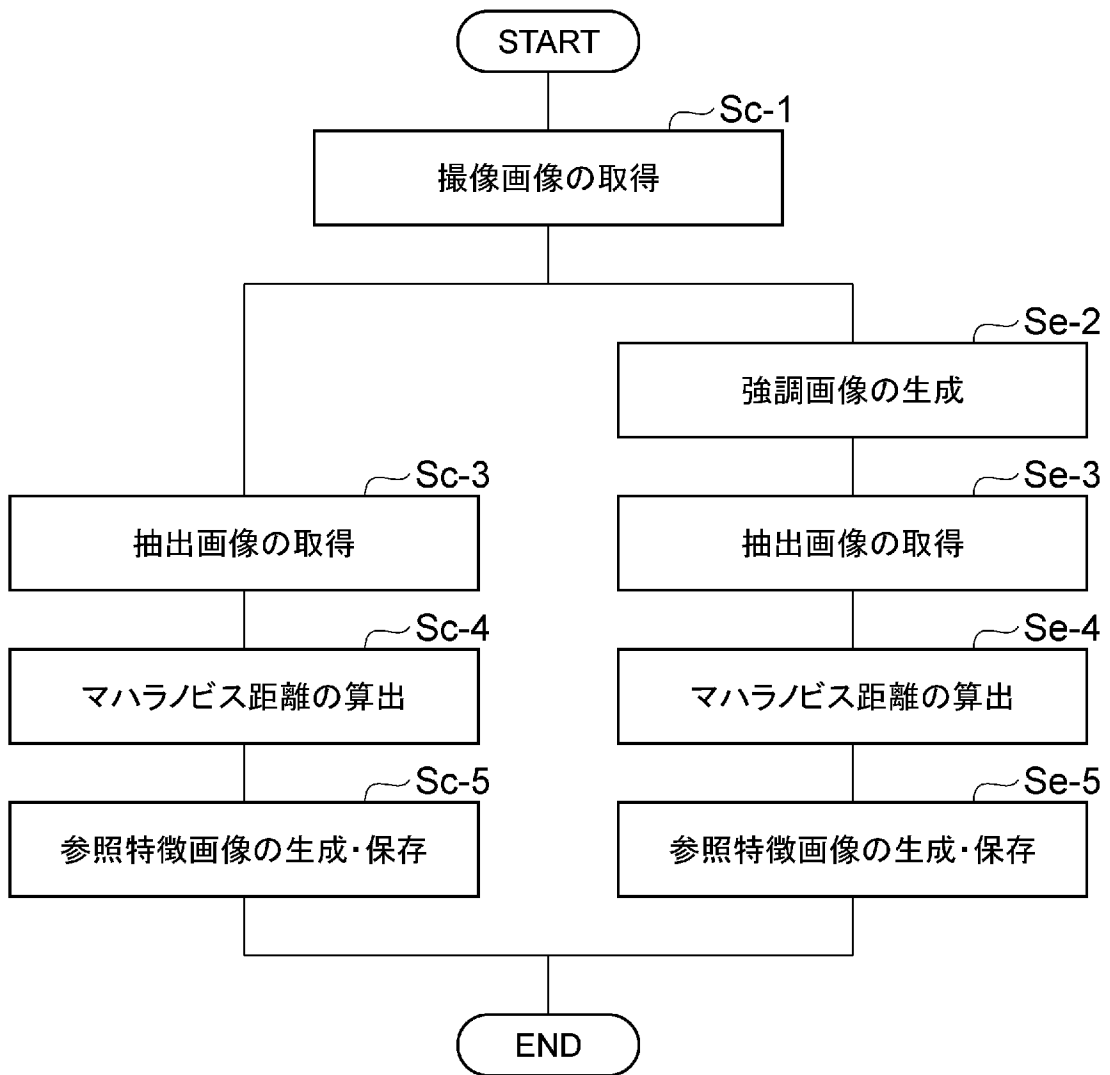
[図13]



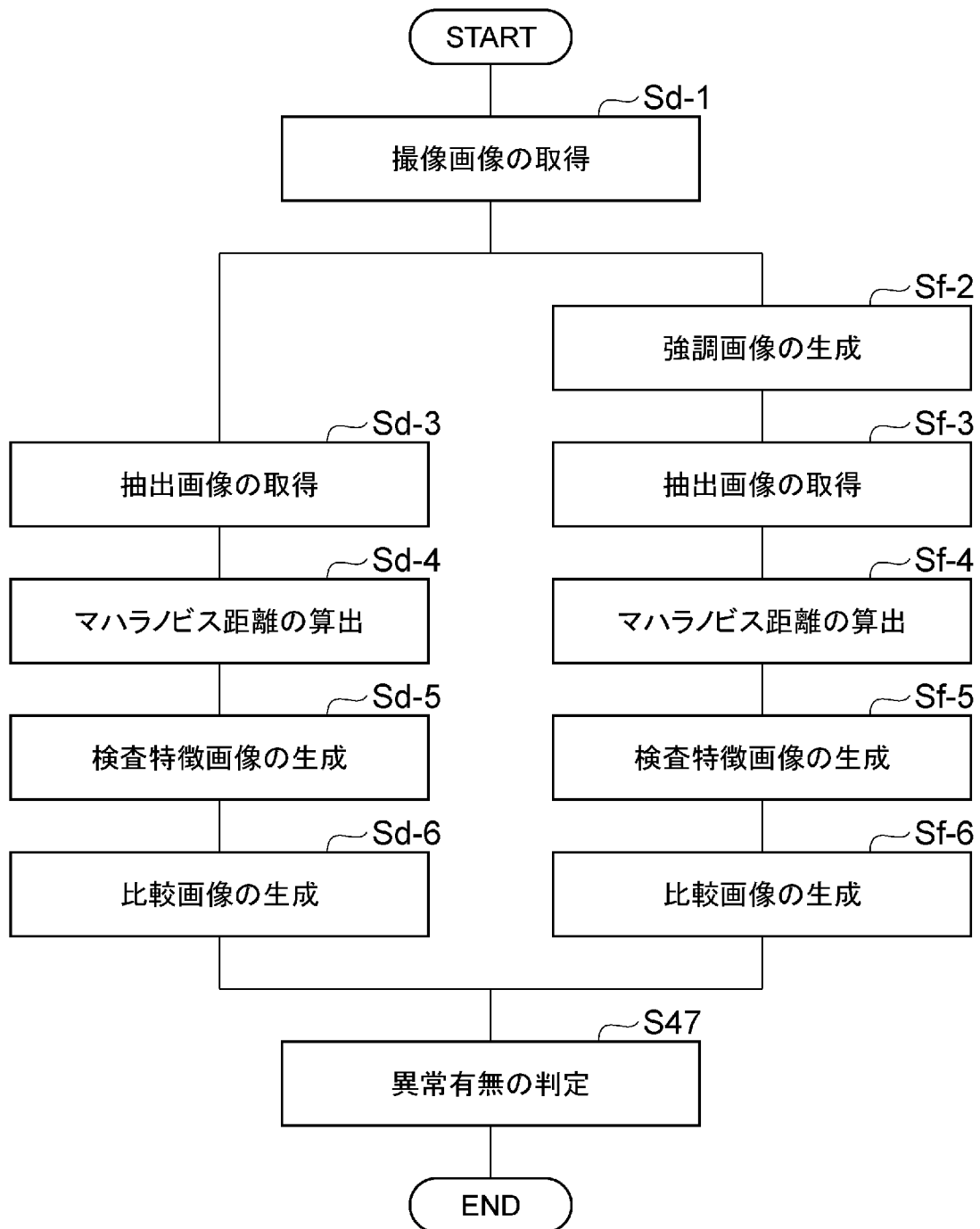
[図14]



[図15]



[図16]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/043802

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G01N 21/956</i> (2006.01)i; <i>G06T 7/00</i> (2017.01)i FI: G01N21/956 A; G06T7/00 350C; G06T7/00 610B		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N 21/84-G01N 21/958, G01B 11/00-G01B 11/30, H01L 21/64-H01L 21/66, G06T 7/00-G06T 7/90		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2021-140739 A (PROS CONS INC) 16 September 2021 (2021-09-16) paragraphs [0010], [0131]-[0155]	1-12
A	WO 2019/131742 A1 (PREFERRED NETWORKS, INC.) 04 July 2019 (2019-07-04) paragraphs [0012], [0038]-[0042]	1-12
A	JP 2019-124591 A (TOKYO ELECTRON LTD) 25 July 2019 (2019-07-25) claims, paragraphs [0013]-[0026], fig. 4-5	1-12
A	WO 2020/246366 A1 (TOKYO ELECTRON LTD) 10 December 2020 (2020-12-10) paragraphs [0064]-[0071], fig. 1-21	1-12
A	WENYUAN, Cui et al. Metal Additive Manufacturing Parts Inspection Using Convolutional Neural Network. Applied Sciences. 2020, vol. 10, no. 545, pp. 1-15 fig. 3	1-12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>16 December 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>10 January 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2022/043802</b>
---

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2021-140739 A	16 September 2021	(Family: none)	
WO 2019/131742 A1	04 July 2019	(Family: none)	
JP 2019-124591 A	25 July 2019	US 2019/0220972 A1 claim 1, paragraphs [0031]- [0058], fig. 4-5	
WO 2020/246366 A1	10 December 2020	US 2022/0237770 A1 paragraphs [0084]-[0091], fig. 1-21	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 21/956(2006.01)i; G06T 7/00(2017.01)i FI: G01N21/956 A; G06T7/00 350C; G06T7/00 610B		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01N 21/84-G01N 21/958, G01B 11/00-G01B 11/30, H01L 21/64-H01L 21/66, G06T 7/00-G06T 7/90 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2021-140739 A (株式会社 Pros Cons) 16.09.2021 (2021-09-16) [0010], [0131]-[0155]	1-12
A	WO 2019/131742 A1 (株式会社 Preferred Networks) 04.07.2019 (2019-07-04) [0012], [0038]-[0042]	1-12
A	JP 2019-124591 A (東京エレクトロン株式会社) 25.07.2019 (2019-07-25) [請求項1], [0013]-[0026], [図4]-[図5]	1-12
A	WO 2020/246366 A1 (東京エレクトロン株式会社) 10.12.2020 (2020-12-10) [0064]-[0071], [図1]-[図21]	1-12
A	WENYUAN Cui et al., Metal Additive Manufacturing Parts Inspection Using Convolutional Neural Network, Applied Sciences, 2020, Vol.10, No.545, pp.1-15 Fig.3	1-12
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	16.12.2022	国際調査報告の発送日 10.01.2023
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  井上 徹 2W 3607  電話番号 03-3581-1101 内線 3258	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/043802

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2021-140739 A	16.09.2021	(ファミリーなし)	
WO 2019/131742 A1	04.07.2019	(ファミリーなし)	
JP 2019-124591 A	25.07.2019	US 2019/0220972 A1 claim1, [0031]- [0058], Figs. 4-5	
WO 2020/246366 A1	10.12.2020	US 2022/0237770 A1 [0084]-[0091], Figs. 1-21	