(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1月5日(05.01.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/276327 A1

(51) 国際特許分類:
G06T 5/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/012688

(22) 国際出願日： 2022年3月18日(18.03.2022)

(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 2021-107918 2021年6月29日(29.06.2021) JP

(71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社 (**HAMAMATSU PHOTONICS K.K.**) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ Shizuoka (JP).

(72) 発明者: 大西 達也(**ONISHI Tatsuya**); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 土屋 智(**TSUCHIYA Satoshi**); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

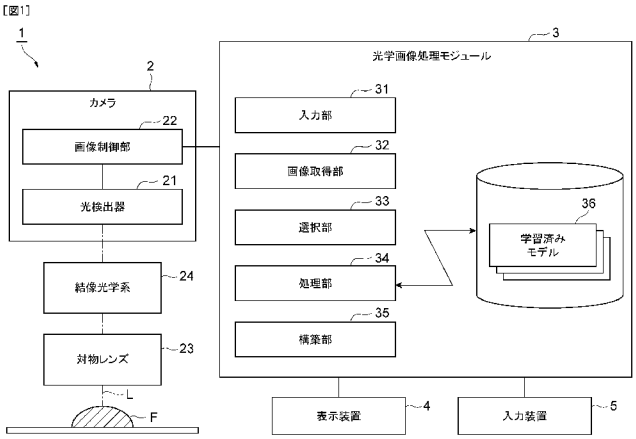
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(**HASEGAWA Yoshiki et al.**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, CL,

(54) **Title:** OPTICAL IMAGE PROCESSING METHOD, MACHINE LEARNING METHOD, TRAINED MODEL, MACHINE LEARNING PRE-PROCESSING METHOD, OPTICAL IMAGE PROCESSING MODULE, OPTICAL IMAGE PROCESSING PROGRAM, AND OPTICAL IMAGE PROCESSING SYSTEM

(54) 発明の名称： 光学画像処理方法、機械学習方法、学習済みモデル、機械学習の前処理方法、光学画像処理モジュール、光学画像処理プログラム、及び光学画像処理システム

[図1]



2 Camera
3 Optical image processing module
4 Display device
5 Input device
21 Optical detector
22 Image control unit
23 Objective lens
24 Image-forming optical system
31 Input unit
32 Image acquisition unit
33 Selection unit
34 Processing unit
35 Construction unit
36 Trained model

(57) **Abstract:** Provided are an optical image processing method, a machine learning method, a trained model, a machine learning pre-processing method, an optical image processing module, an optical image processing program, and an optical image processing system, which make it possible to effectively remove noise in an optical image. This optical image

WO 2023/276327 A1

［続葉有］

CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

processing module 3 comprises: an image acquisition unit 32 that acquires an optical image in which light L from a target object F is captured; a selection unit 33 that uses condition information including optical detector information indicating the type of an optical detector 21 to select a trained model 36 from among a plurality of trained models 36 respectively constructed in advance by machine learning; and a processing unit 34 that inputs the optical image to the selected trained model 36 and executes image processing to remove noise from the optical image.

(57) 要約：光学画像におけるノイズを効果的に除去できる光学画像処理方法、機械学習方法、学習済みモデル、機械学習の前処理方法、光学画像処理モジュール、光学画像処理プログラム、及び光学画像処理システムを提供する。光学画像処理モジュール３は、対象物Ｆからの光Ｌが撮像された光学画像を取得する画像取得部３２と、光検出器２１の種類を示す光検出器情報を含む条件情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデル３６の中から、学習済みモデル３６を選択する選択部３３と、光学画像を、選択された学習済みモデル３６に入力し、光学画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部３４と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ：

光学画像処理方法、機械学習方法、学習済みモデル、機械学習の前処理方法、光学画像処理モジュール、光学画像処理プログラム、及び光学画像処理システム

技術分野

[0001] 本開示は、光学画像処理方法、機械学習方法、学習済みモデル、機械学習の前処理方法、光学画像処理モジュール、光学画像処理プログラム、及び光学画像処理システムに関する。

背景技術

[0002] 従来、撮像対象であるサンプルからの光を撮像し、撮像結果に基づく画像データを取得し、当該画像データのノイズ除去を行うことでノイズ除去後の画像データを出力する技術が知られている（例えば、特許文献１参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０２０－２１３１４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述したようなノイズ除去の処理においては、サンプル等の対象物からの光が撮像された光学画像に対して、機械学習による学習済みモデルを用いてノイズを除去する手法が用いられる場合がある。しかしながら、その場合、例えば対象物の撮像に用いられる光検出器の種類等、対象物の撮像条件によって、画像における輝度とノイズとの関係が変動しやすく、ノイズが効果的に除去できない傾向にあった。

[0005] 本開示は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、光学画像におけるノイズを効果的に除去できる光学画像処理方法、機械学習方法、学習済みモデ

ル、機械学習の前処理方法、光学画像処理モジュール、光学画像処理プログラム、及び光学画像処理システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 実施形態の一側面に係る光学画像処理方法は、対象物からの光が撮像された光学画像を取得する第１画像取得ステップと、対象物の撮像に関する撮像情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択ステップと、光学画像を、選択された学習済みモデルに入力し、光学画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理ステップと、備える。

[0007] あるいは、実施形態の他の側面に係る光学画像処理モジュールは、対象物からの光が撮像された光学画像を取得する第１画像取得部と、対象物の撮像に関する撮像情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択部と、光学画像を、選択された学習済みモデルに入力し、光学画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部と、を備える。

[0008] あるいは、実施形態の他の側面に係る光学画像処理プログラムは、プロセッサを、対象物からの光が撮像された光学画像を取得する画像取得部、対象物の撮像に関する撮像情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択部、及び、光学画像を、選択された学習済みモデルに入力し、光学画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部、として機能させる。

[0009] あるいは、実施形態の他の側面に係る光学画像処理システムは、上記光学画像処理モジュールと、対象物からの光を撮像することにより、光学画像を取得する撮像装置と、を備える。

[0010] 上記一側面あるいは他の側面のいずれかによれば、対象物の撮像に関する撮像情報が用いられて、予め構築された学習済みモデルの中からノイズ除去に用いる学習済みモデルが選択される。これにより、対象物の撮像条件、対象物の光学画像等により変化する撮像環境に応じて選択された学習済みモデ

ルがノイズ除去に用いられるので、対象物の撮像条件の変化に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、光学画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0011] 実施形態の他の側面に係る機械学習方法は、所定のノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像とし、訓練画像、及び訓練画像からノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、訓練画像を基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデルを、機械学習によって構築する構築ステップ、を備える。上記光学画像処理モジュールは、所定のノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像とし、訓練画像、及び訓練画像からノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、訓練画像を基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデルを、機械学習によって構築する構築部を更に備えていてもよい。上記構成によれば、学習済みモデルに光学画像が入力されることにより、対象物の光学画像におけるノイズを効果的に除去できるノイズ除去処理が実現できる。

[0012] 実施形態の他の側面に係る学習済みモデルは、上記機械学習方法によって構築される学習済みモデルであって、プロセッサに、対象物の光学画像からノイズを除去する画像処理を実行させる。これにより、学習済みモデルを用いて、対象物の光学画像におけるノイズを効果的に除去できるノイズ除去処理が実現できる。

[0013] 更に、上記の他の側面に係る機械学習の前処理方法は、ノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像として生成する訓練画像生成ステップを備える。これにより、上記前処理方法によって生成された訓練画像を用いて構築される学習済みモデルに光学画像が入力されると、対象物の光学画像におけるノイズを効果的に除去できるノイズ除去処理が実現できる。

発明の効果

[0014] 本実施形態の一側面及び他の側面によれば、光学画像におけるノイズを効

果的に除去できる光学画像処理方法、機械学習方法、学習済みモデル、機械学習の前処理方法、光学画像処理モジュール、光学画像処理プログラム、及び光学画像処理システムを提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]第１実施形態の光学画像処理システムの機能構成を示すブロック図である。

[図2]図１の光学画像処理モジュールのハードウェア構成を示す図である。

[図3]図１の学習済みモデルの入出力データの一例を示す図である。

[図4]画像取得部が取得した光学画像の一例を示す図である。

[図5]構築部による学習済みモデルの構築に用いられる教師データに含まれる訓練画像の作成手順を示すフローチャートである。

[図6]光学画像処理モジュールを含む光学画像処理システムによる観察処理の手順を示すフローチャートである。

[図7]第２実施形態の光学画像処理システムの機能構成を示すブロック図である。

[図8]図９の学習済みモデルの入出力データの一例を示す図である。

[図9]光学画像処理モジュールを含む光学画像処理システムによる観察処理の手順を示すフローチャートである。

[図10]輝度－ノイズ比の評価に用いられる治具画像の一例を示す図である。

[図11]図７の特定部が取得した輝度－ＳＮＲの特性グラフの一例を示す図である。

[図12]解像度の評価に用いられる治具画像の一例を示す図である。

[図13]変形例にかかる光学画像処理システムの機能構成を示すブロック図である。

[図14]変形例にかかるノイズ除去処理の前後の光学画像の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお

、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

［第１実施形態］

[0017] 図１は、第１実施形態の光学画像処理システム１の機能構成を示すブロック図である。図１に示されるように、光学画像処理システム１は、対象物Ｆからの光Ｌに基づいて、対象物Ｆを撮像した光学画像を取得するシステムである。光Ｌは、例えば、対象物Ｆの発光、対象物Ｆの透過光、対象物Ｆの反射光、あるいは対象物Ｆの散乱光である。上記光Ｌの例としては、紫外線、可視光線、及び赤外線が挙げられる。以下、上記光を観察光という場合がある。光学画像処理システム１は、カメラ（撮像装置）２と、光学画像処理モジュール３と、表示装置４と、入力装置５と、を備えている。

[0018] カメラ２は、対象物Ｆからの光Ｌを撮像することにより、光学画像を取得する。カメラ２は、光検出器２１、及び画像制御部２２を有している。光検出器２１は、複数の画素を有する撮像素子である。光検出器２１の例としては、ＣＣＤ（Charge Coupled Device）イメージセンサ、ＣＭＯＳ（Complementary Metal-Oxide Semiconductor）イメージセンサ、フォトダイオード、ＩｎＧａＡｓセンサ、ＴＤＩ（Time Delay Integration）－ＣＣＤイメージセンサ、ＴＤＩ－ＣＭＯＳイメージセンサ、撮像管、ＥＭ（Electron Multiplying）－ＣＣＤイメージセンサ、ＥＢ（Electron Bombarded）－ＣＭＯＳイメージセンサ、ＳＰＡＤ(Single Photon Avalanche Diode, ＳＰＰＣ(Single-Pixel Photon Counter))、ＭＰＰＣ（Multi-Pixel Photon Counter, ＳｉＰＭ(Silicon Photomultiplier)）、ＨＰＤ(Hybrid Photo Detector)、ＡＰＤ（Avalanche Photodiode）、及び光電子増倍管（ＰＭＴ(Photomultiplier Tube)）が挙げられる。また、光検出器２１は、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ等にＩ．Ｉ（Image Intensifier）あるいはＭＣＰ（micro-channel plate）を組み合わせたものでもよい。光検出器２１の形状の例としては、エリアセンサ、ラインスキャンによる画像の取得を行うラインセンサ、ＴＤＩセンサ、及び２次元走査による画像の取得

を行うポイントセンサが挙げられる。カメラ２は、対物レンズ２３を通して結像光学系２４で結像した対象物Ｆからの光Ｌを撮像し、撮像結果に基づくデジタル信号を画像制御部２２に出力する。

[0019] 画像制御部２２は、光検出器２１からのデジタル信号に基づく画像処理を実行する。画像制御部２２は、例えばＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）、或いはＦＰＧＡ（field-programmable gate array）等によって構成されている。画像制御部２２は、光検出器２１から受け取ったデジタル信号に基づいて画像データを生成し、生成した画像データに所定の画像処理を加えた上で光学画像処理モジュール３に出力する。

[0020] 光学画像処理モジュール３は、例えばＰＣ（Personal Computer）等のコンピュータである。光学画像処理モジュール３は、カメラ２から出力される画像データに対して画像処理を行い、ノイズが除去された光学画像を生成する。光学画像処理モジュール３は、有線又は無線により、カメラ２、表示装置４、及び入力装置５のそれぞれと相互に通信可能に接続されている。生成された光学画像は、後述するノイズ除去処理が施された後に表示装置４に出力され、表示装置４によって表示される。光学画像処理モジュール３には、入力装置５から、ユーザの操作に基づいて、対象物Ｆの撮像条件等の各種入力情報が入力される。また、光学画像処理モジュール３は、カメラ２を制御する。なお、第１実施形態の光学画像処理モジュール３は、カメラ２の外部に独立に設けられた装置であるが、カメラ２の内部に一体化されていてもよい。例えば、光学画像処理モジュール３は、ＣＰＵ及びＧＰＵ等のカメラに実装された処理回路に相当するモジュールであってもよい。

[0021] 図２は、光学画像処理モジュール３のハードウェア構成を示している。図２に示されるように、光学画像処理モジュール３は、物理的には、プロセッサであるＣＰＵ（Central Processing Unit）１０１及びＧＰＵ(Graphic Processing Unit)１０５、記録媒体であるＲＡＭ（Random Access Memory）１０２及びＲＯＭ（Read Only Memory）１０３、通信モジュール１０４

、並びに入出力モジュール１０６等を含んだコンピュータ等であり、各々は電気的に接続されている。なお、光学画像処理モジュール３は、表示装置４及び入力装置５として、ディスプレイ、キーボード、マウス、タッチパネルディスプレイ等を含んでいてもよいし、ハードディスクドライブ、半導体メモリ等のデータ記録装置を含んでいてもよい。また、光学画像処理モジュール３は、複数のコンピュータによって構成されていてもよい。

[0022] 図１に示されるように、光学画像処理モジュール３は、入力部３１、画像取得部（第１画像取得部）３２、選択部３３、処理部３４、及び構築部３５を有している。図１に示される光学画像処理モジュール３の各機能部は、ＣＰＵ１０１、ＧＰＵ１０５、及びＲＡＭ１０２等のハードウェア上にプログラム（第１実施形態の光学画像処理プログラム）を読み込ませることにより、ＣＰＵ１０１及びＧＰＵ１０５の制御のもとで、通信モジュール１０４、及び入出力モジュール１０６等を動作させるとともに、ＲＡＭ１０２におけるデータの読み出し及び書き込みを行うことで実現される。光学画像処理モジュール３のＣＰＵ１０１及びＧＰＵ１０５は、このコンピュータプログラムを実行することによって光学画像処理モジュール３を図１に示される各機能部として機能させ、後述する光学画像処理方法に対応する処理を順次実行する。なお、ＣＰＵ１０１及びＧＰＵ１０５は、単体のハードウェアでもよく、いずれか一方のみでもよい。また、ＣＰＵ１０１及びＧＰＵ１０５は、ソフトプロセッサのようにＦＰＧＡのようなプログラマブルロジックの中に実装されたものでもよい。ＲＡＭやＲＯＭについても単体のハードウェアでもよく、ＦＰＧＡのようなプログラマブルロジックの中に内蔵されたものでもよい。このコンピュータプログラムの実行に必要な各種データ、及び、このコンピュータプログラムの実行によって生成された各種データは、全て、ＲＯＭ１０３、ＲＡＭ１０２等の内蔵メモリ、又は、ハードディスクドライブなどの記憶媒体に格納される。また、光学画像処理モジュール３内の内蔵メモリあるいは記憶媒体には、ＣＰＵ１０１及びＧＰＵ１０５によって読み込まれることによって、ＣＰＵ１０１及びＧＰＵ１０５に光学画像を対象に

ノイズ除去処理を実行させる複数の学習済みモデル３６が予め格納されている。学習済みモデル３６の詳細については後述する。以下、１の学習済みモデル３６について説明する場合があるが、その場合、他の学習済みモデル３６についても同様である。

[0023] ここで、図３を用いて、光学画像処理モジュール３の光学画像処理方法の概要について説明する。図３は、図１の学習済みモデル３６の入出力データの一例を示す図である。光学画像処理モジュール３では、機械学習による学習フェーズにおいて、複数の学習済みモデル３６を構築し、ノイズ除去フェーズにおいて、学習済みモデル３６を用いて、対象物Ｆの光学画像Ｇ１のノイズが除去された光学画像Ｇ６を生成する。まず、学習フェーズでは、光学画像処理モジュール３は、所定の構造をもつ構造体の画像である構造体画像Ｇｃを作成し、構造体画像Ｇｃ、及びノイズ分布モデル（詳細は後述）に基づいて、教師データとなる訓練画像（構造体画像）Ｇｔを生成する。そして、光学画像処理モジュール３は、訓練画像Ｇｔ等を含む訓練データを用いて、複数の学習済みモデル３６を機械学習によって構築する。ノイズ除去フェーズでは、光学画像処理モジュール３は、まず、条件情報を取得する。条件情報は、対象物Ｆを撮像する際の光検出器２１の種類を含む撮像条件を示す。光学画像処理モジュール３は、光検出器２１の種類に応じて、複数の学習済みモデル３６の中から、光学画像Ｇ１のノイズ除去処理に用いる学習済みモデル３６を選択する。そして、光学画像処理モジュール３は、光学画像Ｇ１を、選択した学習済みモデル３６に入力し、光学画像からノイズを除去する画像処理を実行することにより、ノイズが除去された光学画像Ｇ６を生成して出力する。

[0024] 以下、光学画像処理モジュール３の各機能部の機能の詳細について説明する。

[0025] 入力部３１は、条件情報（撮像情報）の入力を受け付ける。条件情報は、対象物Ｆの撮像に関する情報であって、対象物Ｆを撮像する際の撮像条件等を示す。具体的には、入力部３１は、条件情報の入力を、光学画像処理シス

テム１のユーザから受け付ける。条件情報は、光検出器情報、ゲイン設定値、シェーディング補正係数、オフセット、ノイズファクター（Noise Factor）、光検出器２１において熱雑音によって発生した暗電流ノイズを表す情報、光検出器２１における読出しノイズ値を表す情報の少なくとも１つを含む。光検出器情報は、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１の種類を示す情報である。光検出器情報の例としては、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ、フォトダイオード、ＩｎＧａＡｓセンサ、ＴＤＩ－ＣＣＤイメージセンサ、ＴＤＩ－ＣＭＯＳイメージセンサ、撮像管、ＥＭ－ＣＣＤイメージセンサ、ＥＢ－ＣＭＯＳイメージセンサ、ＳＰＡＤ、ＭＰＰＣ、ＨＰＤ、ＡＰＤ、及び光電子増倍管のいずれかを示す情報が挙げられる。入力部３１は、条件情報の入力を、数値等の情報の直接入力として受け付けてもよいし、予め内部メモリに設定された数値等の情報に対する選択入力として受け付けてもよい。入力部３１は、上記の条件情報の入力をユーザから受け付けるが、一部の条件情報（光検出器２１の種類等）を、光学画像処理モジュール３による制御状態の検出結果に応じて取得してもよい。

[0026] 画像取得部３２は、対象物Ｆからの光が撮像された光学画像を取得する。具体的には、画像取得部３２は、カメラ２から出力された光学画像を取得する。図４は、画像取得部３２が取得した光学画像Ｇ１の一例を示す図である。

[0027] 選択部３３は、条件情報（撮像情報）を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデル３６の中から、光学画像のノイズ除去処理に用いる学習済みモデル３６を選択する。具体的には、選択部３３は、条件情報に含まれる光検出器情報を参照して、光検出器情報（条件情報）によって示される光検出器２１の種類に応じて、学習済みモデル３６を選択する。すなわち、選択部３３は、対象物Ｆの撮像に用いられる光検出器２１に最も適した学習済みモデル３６を選択する。光検出器２１の種類に応じた学習済みモデル３６の選択処理の詳細については後述する。

[0028] 処理部３４は、光学画像を、選択された学習済みモデル３６に入力し、光

学画像からノイズを除去する画像処理を実行する。すなわち、図３に示されるように、処理部３４は、光学画像処理モジュール３内の内蔵メモリあるいは記憶媒体から、選択部３３によって選択された学習済みモデル３６を取得する。そして、処理部３４は、画像取得部３２によって取得された光学画像Ｇ１を、学習済みモデル３６に入力する。これにより、処理部３４は、学習済みモデル３６を利用して光学画像Ｇ１からノイズを除去する画像処理を実行させることにより、ノイズが除去された光学画像Ｇ６を生成する。そして、処理部３４は、生成した光学画像Ｇ６を表示装置４等に出力する。

[0029] 構築部３５は、所定のノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像とし、訓練画像、及び訓練画像からノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、訓練画像を基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデル３６を、機械学習によって構築する。本実施形態では、構築部３５は、条件情報として入力され得る光検出器２１の種類に応じて、その種類に応じた所定のノイズ分布モデルを用いて複数の学習済みモデル３６を構築する。条件情報として入力され得る光検出器２１の種類は、上述した入力部３１に入力され得る光検出器情報が示す種類（例えば、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ等）である。そして、構築部３５は、構築した複数の学習済みモデル３６を、光学画像処理モジュール３内の内蔵メモリあるいは記憶媒体に記憶させる。機械学習には、教師あり学習、教師なし学習、及び強化学習があり、それらの学習の中には、深層学習（ディープラーニング）、ニューラルネットワーク学習等がある。第１実施形態では、ディープラーニングのアルゴリズムの一例として、Kai Zhangらの論文“Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising”に記載された２次元の畳み込みニューラルネットワークが採用される。なお、各学習済みモデル３６は、構築部３５によって構築される以外に、外部のコンピュータ等により生成されて光学画像処理モジュール３にダウンロードされてもよい。なお、機械学習に用いられる光学画像は、既知の構造物を撮像した光学画像、或

いは当該光学画像を再現した画像を含む。訓練画像は、実際に複数種類の既知の構造物を対象に生成された画像であってもよいし、シミュレーション計算によって生成された画像であってもよい。

[0030] 構築部３５は、機械学習を行うための前処理として、ノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像として生成する。構造体画像は、所定の構造をもつ構造体からの光が撮像された画像である。

[0031] 具体的には、構築部３５は、各学習済みモデル３６を構築する際に、入力部３１から、シミュレーション計算時の光検出器情報を含む条件情報を取得する。そして、構築部３５は、構造体画像を生成する。そして、構築部３５は、光検出器情報に基づいて選択されたノイズ分布モデルに基づいて、構造体画像にノイズを付加する。つまり、機械学習の前処理方法は、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１の種類を示す光検出器情報を含む条件情報の入力を受け付ける入力ステップと、ノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像として生成する訓練画像生成ステップと、を備える。そして、訓練画像生成ステップでは、光検出器情報から、用いるノイズ分布モデルが決定される。

[0032] 構築部３５は、学習済みモデル３６ごとに用意された訓練データを用いて、各学習済みモデル３６を機械学習によって構築する。具体的には、まず、構築部３５は、訓練画像からノイズが除去されたノイズ除去画像データを予め取得する。構築部３５は、訓練画像の生成過程においてノイズが付加される前の画像をノイズ除去画像データとする。構築部３５は、訓練画像を基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデル３６を、機械学習によるトレーニングを実行して構築する。

[0033] 図５は、構築部３５による学習済みモデル３６の構築に用いられる教師データ（訓練データ）に含まれる訓練画像の作成手順を示すフローチャートである。

[0034] 教師データである訓練画像（教師画像ともいう）は、次の手順で作成される。まず、構築部３５は、構造体画像を生成する（ステップＳ１０１）。構

築部３５は、例えば、シミュレーション計算により、構造体画像を作成してもよい。次に、構造体画像を構成する複数の画素のうちから選択した一の画素について、画素値の標準偏差であるシグマ値を算出する（ステップＳ１０２）。ステップＳ１０２で算出されるシグマ値は、ノイズの大きさを示す。構築部３５は、光検出器情報に基づいて、後述する下記式（１）、下記式（２）、及び下記式（３）の中から適した関係式を選択する。そして、構築部３５は、選択した関係式を用いて、変数Ｓｉｇｎａｌに構造体画像の画素の画素値を代入して、画素の変数Ｎｏｉｓｅを算出し、算出した画素の変数Ｎｏｉｓｅをノイズの大きさ（シグマ値）として得る（詳細は後述）。

[0035] ここで、ノイズの大きさの算出方法について説明する。構築部３５は、条件情報に含まれる光検出器情報に基づいて、複数のノイズの関係式の中から、１つの関係式を選択する。すなわち、構築部３５は、光検出器２１の種類に応じて、光検出器２１に最も適した関係式を選択する。そして、構築部３５は、関係式及び構造体画像に基づいて、構造体画像の画素のノイズの大きさを、ノイズの大きさとして得る。

[0036] 本実施形態では、構築部３５は、以下の３つの関係式の中から１つの関係式を選択する。構築部３５は、光検出器２１が電子増倍型でない場合は、下記式（１）を関係式として選択する。一例として、構築部３５は、光検出器情報が、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ、フォトダイオード、ＩｎＧａＡｓセンサ、ＴＤＩ－ＣＣＤイメージセンサ、ＴＤＩ－ＣＭＯＳイメージセンサ、及び増倍機構のない撮像管のいずれかを示す場合、下記式（１）を関係式として選択する。

[0037] [数1]

$$Noise = \sqrt{\left(\sqrt{Cf \cdot Signal}\right)^2 + \left(\sqrt{D}\right)^2 + R^2} \qquad (1)$$

上記式（１）中、変数Ｎｏｉｓｅはノイズ値の標準偏差、定数Ｃｆはカメラ２において画素の信号値を電荷に変換する変換係数、変数Ｓｉｇｎａｌは

画素の信号値（画素値）、定数Ｄは暗電流ノイズを表す情報、定数Ｒは読出しノイズ値を表す情報である。以下に説明する各式に共通して用いられる符号は、同一の要素を示すものとし、以下説明を省略する。

[0038] 上記式（１）が使用される際、構築部３５により、変数Ｓｉｇｎａｌには画像取得部３２によって取得された光学画像の各画素の画素値が代入される。そして、構築部３５により、上記式（１）を用いて計算された変数Ｎｏｉｓｅが、ノイズ値の標準偏差の数値として得られる。なお、上記式（１）のその他のパラメータは、入力部３１によって入力を受け付けられることで取得されてもよいし、予め設定されていてもよい。

[0039] 構築部３５は、光検出器２１が電子増倍型であって且つフォトンカウンティング型でない場合は、下記式（２）を関係式として選択する。一例として、構築部３５は、光検出器情報が、ＥＭ－ＣＣＤイメージセンサ、ＥＢ－ＣＭＯＳイメージセンサ、ＳＰＡＤ、ＨＰＤ、ＡＰＤ、光電子増倍管、及びＭＰＰＣのいずれかを示す場合、下記式（２）を関係式として選択する。

[0040] [数2]

$$Noise = \sqrt{\left(F\sqrt{G \cdot Cf \cdot Signal}\right)^2 + \left(F \cdot G\sqrt{D}\right)^2 + R^2} \qquad (2)$$

上記式（２）中、定数Ｆはノイズファクター、定数Ｇはゲイン設定値を表す情報である。上記式（２）が使用される際、上記式（１）の場合と同様に、構築部３５により、変数Ｓｉｇｎａｌには画像取得部３２によって取得された光学画像の各画素の画素値が代入される。そして、構築部３５により、上記式（２）を用いて計算された変数Ｎｏｉｓｅが、ノイズ値の標準偏差の数値として得られる。なお、上記式（２）の定数Ｆ及び定数Ｇのそれぞれは、入力部３１によって入力を受け付けられることで取得されてもよいし、予め設定されていてもよい。

[0041] 構築部３５は、光検出器２１が電子増倍型且つフォトンカウンティング型である場合は、下記式（３）を関係式として選択する。一例として、構築部

３５は、光検出器情報が光電子増倍管、ＨＰＤ、ＭＰＰＣ等を使用しフォトンカウティングを目的として動作する場合、下記式（３）を関係式として選択する。

[0042] [数3]

$$Noise = \sqrt{\left(F\sqrt{G \cdot Cf \cdot Signal}\right)^2 + \left(F \cdot G\sqrt{D}\right)^2} \qquad (3)$$

上記式（３）中、変数Ｓｉｇｎａｌはフォトンカウンティング数を表す情報である。上記式（３）が使用される際、上記式（１）の場合と同様に、構築部３５により、変数Ｓｉｇｎａｌには画像取得部３２によって取得された光学画像の各画素の画素値が代入される。そして、構築部３５により、上記式（３）を用いて計算された変数Ｎｏｉｓｅが、ノイズ値の標準偏差の数値として得られる。以上のようにして、構築部３５は、上記式（１）、上記式（２）及び上記式（３）のいずれかを用いて画素の変数Ｎｏｉｓｅをノイズの大きさとして得る。

[0043] 続いて、構築部３５は、ステップＳ１０２で求めたシグマ値に基づいて、ノイズ分布モデルを設定する（ステップＳ１０３）。構築部３５は、入力部３１から条件情報を取得し、条件情報に含まれる光検出器情報に応じて、ノイズ分布モデルを設定する。ノイズ分布モデルは、正規分布モデル、ポアソン分布モデル、及びベッセル関数分布モデルを含む。また、条件情報は、光Ｌの光量を示す情報を更に含む。構築部３５は、光検出器情報を参照し、光検出器２１が電子増倍型でなく且つ光Ｌの光量が少なくない場合、正規分布モデルをノイズ分布モデルとして設定する。また、構築部３５は、光検出器２１が電子増倍型でなく且つ光Ｌの光量が少ない場合、ポアソン分布モデルをノイズ分布モデルとして設定する。一例として、構築部３５は、光検出器情報が、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ、フォトダイオード、ＩｎＧａＡｓセンサ、ＴＤＩ－ＣＣＤイメージセンサ、ＴＤＩ－ＣＭＯＳイメージセンサ、及び増倍機構のない撮像管のいずれかであって且つ光量

が予め定められた基準値以上である場合、正規分布モデルをノイズ分布モデルとして設定する。また、一例として、構築部３５は、条件情報を参照して、光検出器情報が、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ、フォトダイオード、ＩｎＧａＡｓセンサ、ＴＤＩ－ＣＣＤイメージセンサ、ＴＤＩ－ＣＭＯＳイメージセンサ、及び撮像管のいずれかであって且つ光量が基準値未満である場合には、ポアソン分布モデルをノイズ分布モデルとして設定する。なお、ノイズ分布モデルは、正規分布モデル及びポアソン分布モデルの一方のみを含んでいてもよい。一方、構築部３５は、光検出器２１が、１段当たりの増倍が２倍であり且つ多段の電子増倍型である場合、ベッセル関数分布モデルをノイズ分布モデルとして設定する。一例として、構築部３５は、光検出器情報が、ＥＭ－ＣＣＤイメージセンサである場合、ベッセル関数分布モデルをノイズ分布モデルとして設定する。このように、正規分布モデル又はベッセル関数分布モデルを設定することで様々なノイズ条件の教師データを生成することができる。なお、光検出器情報が上記のいずれの光検出器にも該当しない場合には、構築部３５は、ヒストグラムを算出してノイズ分布を表す関数を作成することにより、新たなノイズ分布モデルを作成してもよい。ヒストグラムは、同一の光量を有する光を光検出器２１に対して入射させたときの光学画像の画素値のヒストグラムである。構築部３５は、例えば、時間的に光量が変化しない光源が撮像された複数の光学画像を取得することにより、ヒストグラムを算出する。一例として、ヒストグラムの横軸は、カメラ２の輝度値であって、ヒストグラムの縦軸は、頻度である。ノイズ分布は、光量ごとに変化するので、構築部３５は、更に、光学画像処理システム１の使用時に想定し得る光量の範囲で光源の光量を変化させて複数のヒストグラムを取得して、ノイズ分布モデルを作成する。

[0044] 続いて、構築部３５は、ステップＳ１０２で取得されたノイズの大きさ（シグマ値）、及びステップＳ１０３でシグマ値に基づいて設定されたノイズ分布モデルを基に、ランダムに設定されたノイズ値を算出する（ステップＳ１０４）。続いて、構築部３５は、一の画素の画素値にステップＳ１０４で

求めたノイズ値を付加することで、教師データである訓練画像を構成する画素値を生成する（ステップＳ１０５）。構築部３５は、ステップＳ１０２～ステップＳ１０５までの処理を、構造体画像を構成する複数の画素それぞれに対して行い（ステップＳ１０６）、教師データとなる訓練画像を生成する（ステップＳ１０７）。また、訓練画像がさらに必要な場合は、ステップＳ１０１～ステップＳ１０７までの処理を、別の構造体画像に対して行うことを判断し（ステップＳ１０８）、教師データとなる別の訓練画像を生成する。なお、別の構造体画像は、同じ構造を持つ構造体の画像であってもよいし、別の構造を持つ構造体の画像であってもよい。

[0045] なお、学習済みモデル３６の構築に用いられる教師データである訓練画像は多数用意する必要がある。また、構造体画像は、ノイズが少ない画像がよく、理想的には、ノイズがない画像がよい。そのため、シミュレーション計算によって構造体画像を生成すると、ノイズがない画像を数多く生成することができるので、シミュレーション計算によって、構造体画像を生成することは効果的である。

[0046] 次に、第１実施形態に係る光学画像処理システム１を用いた対象物Ｆの光学画像の観察処理の手順、すなわち、第１実施形態に係る光学画像取得方法の流れについて説明する。図６は、光学画像処理モジュール３を含む光学画像処理システム１による観察処理の手順を示すフローチャートである。

[0047] まず、構築部３５によって、訓練画像、及びノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、訓練画像を基にノイズ除去画像データを出力する複数の学習済みモデル３６が、機械学習によって構築される（ステップＳ２００）。次に、入力部３１によって、光学画像処理システム１のオペレータ（ユーザ）から、撮像条件等を示す条件情報の入力が受け付けられる（ステップＳ２０１）。

[0048] 続いて、光学画像処理システム１において対象物Ｆがセットされて対象物Ｆが撮像され、画像取得部３２によって、対象物Ｆの光学画像が取得される（ステップＳ２０２）。さらに、選択部３３によって、条件情報に含まれる

光検出器情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデル３６の中から、学習済みモデル３６が選択される（ステップＳ２０３）。

[0049] 具体的には、選択部３３は、光検出器情報が示す光検出器２１が電子増倍型でなく且つ光量が少なくない場合は、ノイズ分布モデルとして正規分布モデルが設定されて構築された学習済みモデル３６（以下、「正規分布モデルの学習済みモデル３６」という場合がある）を選択する。一例として、選択部３３は、光検出器情報が、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ、フォトダイオード、ＩｎＧａＡｓセンサ、ＴＤＩ－ＣＣＤイメージセンサ、ＴＤＩ－ＣＭＯＳイメージセンサ、及び撮像管のいずれかであって、光量を示す情報が基準値以上である場合、正規分布モデルの学習済みモデル３６を選択する。また、選択部３３は、光検出器情報が示す光検出器２１が電子増倍型でなく且つ光量が少ない場合は、ノイズ分布モデルとしてポアソン分布モデルが設定されて構築された学習済みモデル３６（以下、「ポアソン分布モデルの学習済みモデル３６」という場合がある）を選択する。一例として、選択部３３は、光検出器情報が、上記いずれかの光検出器を示し且つ光量を示す情報が基準値未満である場合、ポアソン分布モデルの学習済みモデル３６を選択する。一方、選択部３３は、光検出器情報が示す光検出器２１が電子増倍型である場合は、ノイズ分布モデルとしてベッセル関数分布モデルが設定されて構築された学習済みモデル３６（以下、「ベッセル関数分布モデルの学習済みモデル３６」という場合がある）を選択する。一例として、選択部３３は、光検出器情報が、ＥＭ－ＣＣＤイメージセンサである場合、ベッセル関数分布モデルの学習済みモデル３６を選択する。すなわち、選択部３３は、カメラ２の光検出器２１が電子増倍型でない場合には、電子増倍型でない光検出器２１に適するように構築された学習済みモデル３６を選択する。また、選択部３３は、カメラ２の光検出器２１が電子増倍型である場合には、電子増倍型である光検出器２１に適するように構築された学習済みモデル３６を選択する。

[0050] 次に、処理部３４によって、選択部３３によって選択された学習済みモデル３６に、対象物Ｆの光学画像が入力され、光学画像を対象にノイズ除去処理が実行される（ステップＳ２０４）。さらに、処理部３４によって、ノイズ除去処理が施された光学画像が、表示装置４に出力される（ステップＳ２０５）。

[0051] 以上説明した光学画像処理モジュール３によれば、対象物Ｆを撮像する際の撮像条件を示す条件情報が用いられて、予め構築された学習済みモデル３６の中からノイズ除去に用いる学習済みモデル３６が選択される。これにより、対象物Ｆの撮像条件により変化する撮像環境に応じて選択された学習済みモデル３６がノイズ除去に用いられるので、対象物Ｆの撮像条件の変化に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、光学画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0052] 特に、第１実施形態の光学画像処理モジュール３では、入力部３１が、対象物Ｆを撮像する際の撮像条件を示す条件情報の入力を受け付け、選択部３３が、条件情報を用いて、上記ノイズ除去処理に用いる学習済みモデル３６を選択し、各学習済みモデル３６が、ノイズ分布モデルを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであって、選択部３３が、条件情報に対応して予め構築された学習済みモデル３６を選択する。これにより、対象物Ｆの撮像条件が考慮されて、ノイズを適切に除去する複数の学習済みモデル３６の中から最も適した学習済みモデル３６が選択されるので、撮像条件の変化に対応した対象物Ｆの光学画像におけるノイズ除去が可能となる。なお、条件情報が同一であれば、対象物Ｆの撮像環境が異なっていたとしても、同一の学習済みモデル３６を利用できる。

[0053] ここで、第１実施形態の光学画像処理モジュール３によるノイズ除去処理の効果の例について説明する。例えば、光検出器２１としてＣＭＯＳイメージセンサ（浜松ホトニクス社製C13440-20 ORCA（商用登録）-Flash4.0 V3）が用いられ、観察光として可視光が対象物Ｆに照射される例においては、光学画像Ｇ１（図３参照）におけるノイズの標準偏差は３．３１であって、光

学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は０．３２であった。光検出器２１として上記ＣＭＯＳイメージセンサとは別のＣＭＯＳイメージセンサ（浜松ホトニクス社製C14440-20 ORCA（商用登録）-Fusion）が用いられ、観察光として可視光が対象物Ｆに照射される例においては、光学画像Ｇ１におけるノイズの標準偏差は６．９１であって、光学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は０．６６であった。光検出器２１として上記２つのＣＭＯＳイメージセンサとは別のＣＭＯＳイメージセンサ（浜松ホトニクス社製C15440-20 ORCA（商用登録）-FusionBT）が用いられ、観察光として可視光が対象物Ｆに照射される例においては、光学画像Ｇ１におけるノイズの標準偏差は６．９１であって、光学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は０．６５であった。光検出器２１としてＩｎＧａＡｓセンサ（浜松ホトニクス社製C12741-03 InGaAsカメラ）が用いられ、観察光として赤外光が対象物Ｆに照射される例においては、光学画像Ｇ１におけるノイズの標準偏差は７．５４であって、光学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は２．６９であった。なお、上記の各例においては、電子増倍型でない光検出器２１が用いられているので、ノイズ分布モデルとして正規分布モデルが設定されている。

[0054] 光検出器２１としてＥＭ－ＣＣＤイメージセンサ（浜松ホトニクス社製C9100-23B ImagEM（商標登録） X2 EM-CCDカメラ）が用いられ、増幅率が３００倍であって、観察光として可視光が対象物Ｆに照射される例においては、以下のような結果となった。具体的には、デジタル値が２２００(count)である場合には、光学画像Ｇ１におけるノイズの標準偏差は４１．５であって、光学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は５．６６であった。また、デジタル値が２５００(count)である場合には、光学画像Ｇ１におけるノイズの標準偏差は４４．１であって、光学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は７．７３であった。また、上記条件において増幅率が１２００倍である例においては、以下のような結果となった。具体的には、デジタル値が２２００(count)である場合には、光学画像Ｇ１におけるノイズの標準偏差は８６．９であって、光学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は１３．２でであった。また、デ

ジタル値が２５００(count)である場合には、光学画像Ｇ１におけるノイズの標準偏差は９１．５であって、光学画像Ｇ６におけるノイズの標準偏差は１５．５であった。なお、上記の各例においては、電子増倍型の光検出器２１が用いられているため、ノイズ分布モデルとしてベッセル関数分布モデルが設定されている。

[0055] 以上の各例に示されるように、第１実施形態の光学画像処理モジュール３によれば、光検出器２１の種類に応じて、複数の学習済みモデル３６の中から最も適した学習済みモデル３６が選択されるので、光学画像Ｇ１におけるノイズが効果的に除去された光学画像Ｇ６を得ることができる。

[0056] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３では、条件情報が、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１の種類を示す光検出器情報（情報）を含み、各学習済みモデル３６が、条件情報として入力され得る光検出器２１の種類に応じて構築された学習済みモデルであって、選択部３３が、光検出器情報によって示される光検出器２１の種類に対応したノイズ分布モデルを用いて予め構築された学習済みモデル３６を選択する。一般に、輝度に対するノイズの特性は、光検出器２１の種類によって異なるといえる。上記構成によれば、光検出器２１の種類に応じて構築された複数の学習済みモデル３６の中から、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１に対応する学習済みモデル３６が選択されるので、対象物Ｆに用いられる光検出器２１に対応した対象物Ｆの光学画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0057] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３では、学習済みモデル３６の構築に用いられるノイズ分布モデルが、正規分布モデルを含んでいる。これにより、例えば、電子増倍型でない一般的な光検出器２１が対象物Ｆの撮像に用いられる場合において、正規分布モデルを用いた機械学習によって構築された学習済みモデル３６が選択されることによって、光学画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0058] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３では、学習済みモデル３６の構築に用いられるノイズ分布モデルが、ベッセル関数分布モデルを含んでいる

。これにより、例えば、電子増倍型の光検出器２１が対象物Ｆの撮像に用いられる場合において、ベッセル関数分布モデルを用いた機械学習によって構築された学習済みモデル３６が選択されることによって光学画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0059] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３は、所定のノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像とし、訓練画像、及び訓練画像からノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、訓練画像を基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデル３６を、機械学習によって構築する構築部３５を備える。上記構成によれば、学習済みモデル３６に光学画像が入力されると、対象物Ｆの光学画像におけるノイズを効果的に除去できるノイズ除去処理が実現できる。

[0060] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３は、ノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像として生成する前処理の機能を有する。これにより、上記前処理方法によって生成され、上記の機械学習方法のための訓練画像を用いて構築される学習済みモデル３６に光学画像が入力されると、対象物Ｆの光学画像におけるノイズを効果的に除去できるノイズ除去処理が実現できる。

[0061] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３は、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１の種類を示す光検出器情報を含む条件情報の入力を受け付け、訓練画像の生成処理では、光検出器情報から、用いるノイズ分布モデルを決定する機能を有する。光学画像における画素値とノイズとの関係は、対象物Ｆの撮像に用いられる光検出器２１の種類によって変動するところ、上記構成によれば、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１の種類が考慮されて、光学画像に対してノイズが適切に付加された訓練画像を得ることが可能となる。その結果、光検出器２１に対応した対象物Ｆの光学画像におけるノイズ除去を実行する学習済みモデル３６を構築させることができる。

[0062] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３の前処理では、訓練画像の生成に用いられるノイズ分布モデルが、正規分布モデル及びポアソン分布モデル

を含んでいる。これにより、例えば、電子増倍型でない一般的な光検出器２１が対象物Ｆの撮像に用いられる場合において、構造体画像に対してノイズが適切に付加された訓練画像を得ることが可能となる。その結果、光検出器２１に対応した対象物Ｆの光学画像におけるノイズ除去を実行する学習済みモデル３６を構築させることができる。特に、ノイズ分布モデルが、正規分布モデルに加えて、ポアソン分布モデルを更に含んでいるので、光Ｌの光量が少ない場合においても、構造体画像に対してノイズが適切に付加された訓練画像を得ることが可能となる。

[0063] 第１実施形態の光学画像処理モジュール３の前処理では、ノイズ分布モデルが、ベッセル関数分布モデルを含んでいる。これにより、例えば、電子増倍型の光検出器２１が対象物Ｆの撮像に用いられる場合において、構造体画像に対してノイズが適切に付加された訓練画像を得ることが可能となる。その結果、光検出器２１に対応した対象物Ｆの光学画像におけるノイズ除去を実行する学習済みモデル３６を構築させることができる。

［第２実施形態］

[0064] 図７は、第２実施形態の光学画像処理システム１Ａの機能構成を示すブロック図である。図８は、図７の学習済みモデル３６Ａの入出力データの一例を示す図である。第２実施形態の光学画像処理モジュール３Ａは、上述した第１実施形態と比較して、画像取得部（第２画像取得部）３０Ａ及び特定部３７Ａを有する点が異なる。更に、光学画像処理モジュール３Ａは、上述した第１実施形態と比較して、各学習済みモデル３６Ａが、画像データを用いて予め機械学習によって構築された学習モデルである点、及び選択部３３Ａにおいて、治具（構造体）の光学画像である治具画像（構造体の光学画像）の画像特性（詳細は後述）を用いて、複数の学習済みモデル３６Ａの中から、学習済みモデル３６Ａを選択する機能を有する点が異なる。具体的には、図８に示されるように、ノイズ除去フェーズで、まず、光学画像処理モジュール３Ａは、治具画像Ｇ２７を取得する。そして、光学画像処理モジュール３Ａは、治具画像Ｇ２７に基づいて、治具画像Ｇ２７の画像特性を特定し、

特定した画像特性に基づいて、ノイズ除去処理に用いる学習済みモデル３６Ａを選択する。各学習済みモデル３６Ａは、画像データが教師データとして予め構築された機械学習による学習済みモデルである。教師データとしては、様々な光検出器２１の種類、ゲイン設定値、読出しモード等で撮像された画像データが用いられうる。画像データは、実際に光学画像処理モジュール３Ａを用いて複数種類の対象物Ｆを対象に生成された光学画像を用いてもよいし、シミュレーション計算によって生成された画像データが用いられてもよい。

[0065] 図９は、図７の光学画像処理モジュール３Ａを含む光学画像処理システム１Ａによる観察処理の手順を示すフローチャートである。図９に示されるように、第２実施形態に係る光学画像処理モジュール３Ａにおいては、ステップＳ３０１、Ｓ３０３に示す処理が、図６に示す第１実施形態の光学画像処理モジュール３によるステップＳ２０１及びステップＳ２０３の処理に置き換えて実行される。

[0066] 画像取得部３０Ａは、治具からの光を撮像することにより、治具画像を取得する（ステップＳ３０１）。具体的には、画像取得部３０Ａは、カメラ２を用いて治具からの光を撮像した光学画像を取得する。治具からの光は、治具の蛍光、治具の反射光、治具の透過光、及び治具の散乱光等を含む。治具としては、段階的に変化する濃度ステップによって階調性能を評価できるグレースケールチャート、あるいは様々な解像度のチャートを有する治具が用いられる。すなわち、画像取得部３０Ａは、対象物Ｆの観察処理に先立ってカメラ２を用いて撮像された治具画像Ｇ２７を取得する。そして、画像取得部（第１画像取得部）３２Ａは、カメラ２を用いて撮像された対象物Ｆの光学画像を取得する。ただし、治具及び対象物Ｆの光学画像の取得タイミングは上記には限定されず、同時であってもよいし逆のタイミングであってもよい。

[0067] 続いて、特定部３７Ａは、治具画像の画像特性を特定する（ステップＳ３０２）。具体的には、特定部３７Ａは、治具画像の画像特性として、輝度－

ノイズ特性、あるいは解像度特性等を特定する。

[0068] 特定部３７Ａは、段階的に変化する濃度ステップによって階調性能を評価できるグレースケールチャートを有する治具が用いられた場合には、治具の光学画像のノイズ特性として、複数の測定領域ごとの輝度値とノイズを解析し、輝度－ノイズ比の特性グラフをノイズ特性として取得することができる。光学画像の輝度―ノイズ比は、グレースケールチャートを用いて測定することができる。すなわち、特定部３７Ａは、互いに濃度の異なる複数の測定領域ごとの輝度値及びノイズを解析し、輝度－ノイズ比の特性グラフとして取得する。具体的には、特定部３７Ａは、互いに濃度の異なる複数の測定領域を選択し、複数の測定領域の輝度値の標準偏差及び輝度値の平均値を解析し、輝度－ＳＮＲ（ＳＮ比）の特性グラフをノイズ特性として取得する。この時、特定部３７Ａは、測定領域ごとのＳＮＲを、ＳＮＲ＝（輝度値の平均値）÷（輝度値の標準偏差）によって算出する。図１０には、グレースケールチャートである治具の治具画像Ｇ２７が示されている。図１１には、特定部３７Ａが取得した輝度－ＳＮＲの特性グラフの一例が示されている。ここで、特定部３７Ａは、ノイズ特性として、上記の輝度－ＳＮＲの特性グラフに代えて、縦軸を輝度値の標準偏差から計算されるノイズとした特性グラフを取得してもよい。

[0069] 特定部３７Ａは、一方向に沿ってステップ状に解像度が変化する解像度チャートを有する治具が用いられた場合には、治具の光学画像における解像度の分布を解像度特性として取得することもできる。さらに、特定部３７Ａは、治具の光学画像に対して複数の学習済みモデル３６Ａを適用してノイズ除去処理を施した後の画像に関しても、解像度特性を取得する機能を有する。図１２には、解像度チャートである治具の治具画像Ｇ２６が示されている。治具画像の解像度は、ＭＴＦ（Modulation Transfer Function）又はＣＴＦ（Contrast Transfer Function）を用いて測定することができる。

[0070] 続いて、特定部３７Ａは、治具画像に複数の学習済みモデル３６Ａを適用する。治具がグレースケールチャートである場合には、特定部３７Ａは、複

数の学習済みモデル３６Ａが適用された結果生成された輝度－ノイズ比特性を画像特性として取得する。治具が解像度チャートである場合には、特定部３７Ａは、複数の学習済みモデル３６Ａが適用された結果生成されたノイズ除去後の画像の解像度の分布である解像度特性を画像特性として取得する。

[0071] 続いて、選択部３３Ａは、特定部３７Ａによって取得された画像特性（撮像情報）を基に、光学画像処理モジュール３Ａ内に格納された複数の学習済みモデル３６Ａの中からノイズ除去処理に用いる学習済みモデル３６Ａを選択する（ステップＳ３０３）。具体的には、選択部３３Ａは、治具画像を対象に、複数の学習済みモデル３６Ａを適用してノイズ除去処理を実行した後の画像の特性を基に、特性が相対的に優れた画像の生成に用いられた学習済みモデル３６Ａを選択する。例えば、治具がグレースケールチャートである場合には、選択部３３Ａは、特定部３７Ａによって取得された輝度－ノイズ比の特性と最も近い輝度－ノイズ比の特性を有する画像データによって構築された学習済みモデル３６Ａを、最終的な学習済みモデル３６Ａとして選択する。また、例えば、治具が解像度チャートである場合には、選択部３３Ａは、特定部３７Ａで特定された解像度特性を用いて、ノイズ除去処理前後における各分布の解像度の変化が最も小さい画像に用いられた学習済みモデル３６Ａを選択する。ただし、解像度チャートは、グレースケールチャートを用いた場合の補助としても用いることができる。例えば、解像度チャートによって得られる解像度に変化がないことを条件に追加して、グレースケールチャートを用いてその条件を満たした学習済みモデル３６を選択してもよい。また、学習済みモデル３６Ａの構築に用いられた画像データの画像特性は、選択部３３Ａが画像データから取得してもよいし、予め光学画像処理モジュール３Ａの外部で算出されたものを参照してもよい。ここで、選択部３３Ａは、ノイズ特性として、輝度－ノイズ比の特性に代えて、輝度－ノイズの特性を用いて学習済みモデル３６Ａを選択してもよい。このような輝度－ノイズの特性を用いることにより、光検出器２１によって検出される各信号量に対し、各信号量の領域のグラフの傾きから支配的なノイズ要因（ショット

ノイズ、読出しノイズ値等）を特定し、その特定の結果を基に学習済みモデル３６Ａを選択できる。

[0072] 以上説明した第２実施形態の光学画像処理モジュール３Ａは、治具画像を取得する画像取得部３０Ａと、治具画像の画像特性を特定する特定部３７Ａと、を備え、選択部３３Ａは、特定部３７Ａによって特定された画像特性を用いて、複数の学習済みモデル３６Ａの中からノイズ除去処理に用いる学習済みモデル３６Ａを選択し、各学習済みモデル３６Ａは、画像データを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、選択部３３は、画像特性を基に予め構築された学習済みモデル３６を選択する。これにより、構造体の光学画像の画像特性が特定され、その画像特性を基に、予め構築された学習済みモデル３６Ａの中からノイズ除去に用いる学習済みモデル３６Ａが選択される。これにより、画像特性ごとに最適なノイズ低減を実現することができる。

［変形例］

[0073] 以上、本開示の種々の実施形態について説明したが、本開示の実施形態は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、構築部３５は、各学習済みモデル３６を構築する際に、実際の撮像により訓練画像を生成してもよい。すなわち、訓練画像は、実際にカメラ２を用いて複数種類の既知の構造物を対象に生成された光学画像であってもよい。

[0074] 光学画像処理システム１は、スキャン型であってもよい。図１３に示される例では、光学画像処理システム１が、共焦点顕微鏡２Ｂを備えている点で、上記各実施形態と相違する。共焦点顕微鏡２Ｂは、対象物Ｆの光学断層像の構築を可能とする画像を取得する。共焦点顕微鏡２Ｂは、共焦点顕微鏡ユニット６が顕微鏡７の外部ユニット接続用の接続ポートＰ１に接続されて構成される。この共焦点顕微鏡ユニット６は、顕微鏡７内の結像レンズ７１、対物レンズ７２等の顕微鏡光学系を経由して、顕微鏡７のステージ上等に配置された対象物Ｆに励起光を照射し、その励起光に応じて対象物Ｆからの蛍光（光）を、顕微鏡７の顕微鏡光学系を経由して受光して（検出して）光学

的断層像を生成して出力する装置である。

[0075] 詳細には、共焦点顕微鏡ユニット６は、メイン筐体６１と、鏡筒６２と、メイン筐体６１内に固定されたスキャンミラー６３、固定ミラー６４と、サブユニット６５と、鏡筒６２内に固定されたスキャンレンズ６６とを含んで構成される。鏡筒６２は、メイン筐体６１の一部を構成し、顕微鏡７の接続ポートＰ１に着脱可能に接続される。以下、共焦点顕微鏡ユニット６の各構成要素について詳細に説明する。

[0076] 鏡筒６２内のスキャンレンズ６６は、スキャンミラー６３の反射面を対物レンズ７２の瞳位置にリレーすると同時に、顕微鏡７の顕微鏡光学系の１次結像面に励起光（観察光）を集光させるための光学素子である。スキャンレンズ６６は、スキャンミラー６３によって走査された励起光を顕微鏡光学系に導光することにより対象物Ｆに照射させ、それに応じて対象物Ｆから生じた蛍光（観察光）をスキャンミラー６３に導光する。詳細には、スキャンレンズ６６は、対物レンズ７２の瞳をスキャンミラー６３に結像するように構成され、顕微鏡７の対物レンズ７２及び結像レンズ７１によって結像された蛍光をスキャンミラー６３に導く。

[0077] メイン筐体６１内のスキャンミラー６３は、例えば、反射板を２軸で傾動可能に構成されたＭＥＭＳ（Micro Electro Mechanical System）ミラー等の光走査素子である。スキャンミラー６３は、反射角度を連続的に変更することにより、サブユニット６５から出力された励起光を対象物Ｆ上に走査させ、その励起光に応じて生じる蛍光を、サブユニット６５に向けて導く役割を有する。

[0078] 固定ミラー６４は、メイン筐体６１内に固定された光反射素子であり、サブユニット６５から出力された励起光をスキャンミラー６３に向けて反射させ、スキャンミラー６３で反射された蛍光を励起光と同軸でサブユニット６５に向けて反射する。

[0079] サブユニット６５は、ベース板６５１、ベース板６５１上に配置された全反射ミラー６５２、光源６５３、ダイクロイックミラー６５４、ピンホール

板６５５、及び光検出器６５６を有する。全反射ミラー６５２は、サブユニット６５が照射する波長λ１の第１の励起光及びそれに応じて対象物Ｆから生じる波長範囲Δλ１の第１の蛍光を反射する。ダイクロイックミラー６５４は、全反射ミラー６５２の第１の蛍光の反射方向に設けられ、波長範囲Δλ１の第１の蛍光を透過し、波長範囲Δλ１より短い波長λ１の第１の励起光を反射させる性質を有するビームスプリッタである。光源６５３は、波長λ１の第１の励起光（例えば、レーザ光）を出力する発光素子（例えば、レーザダイオード）であり、第１の励起光がダイクロイックミラー６５４によって第１の蛍光と同軸で全反射ミラー６５２に向けて反射されるように配置される。ピンホール板６５５は、そのピンホール位置が対象物Ｆの第１の励起光のスポットの共役位置に一致するように配置され、第１の蛍光の光束を制限する絞り部材であり、光源６５３等とともに共焦点光学系を構成する。このピンホール板６５５は、ピンホールの径を外部から調整可能にされ、光検出器６５６によって検出される画像の解像度と画像の信号強度を変更可能とする。

[0080] 光検出器６５６は、その検出面がピンホール板６５５に対向して配置され、ピンホール板６５５を通過した第１の蛍光を受光および検出する。光検出器６５６の例としては、上記各実施形態と同様の光検出器（例えば、ＣＣＤイメージセンサ、ＣＭＯＳイメージセンサ等）が挙げられる。サブユニット６５は、光検出器６５６を用いて対象物Ｆからの光を撮像し、撮像結果に基づくデジタル信号を光学画像処理モジュール３に出力する。光学画像処理モジュール３の画像取得部３２は、サブユニット６５から受け取ったデジタル信号に基づいて画像データを生成することで、光学画像を取得する。本変形例の構成によっても、上記各実施形態と同様に、対象物Ｆの撮像条件により変化する撮像環境に応じて選択された学習済みモデル３６がノイズ除去に用いられるので、対象物Ｆの撮像条件の変化に対応したノイズ除去が実現できる。図１４には、光検出器６５６としてＰＭＴが用いられ、観察光として可視光が対象物Ｆに照射されている場合の光学画像Ｇ１及び光学画像Ｇ６が示

されている。

[0081] 入力部３１から入力される条件情報は、光検出器情報に限られない。例えば、条件情報は、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１のゲイン設定値を示す情報を含み、各学習済みモデル３６は、条件情報として入力され得る光検出器２１のゲイン設定値に応じて構築された学習済みモデルであり、選択部３３は、光検出器情報によって示される光検出器２１のゲイン設定値に対応して予め構築された学習済みモデル３６を選択してもよい。その場合、構築部３５は、以下のように複数の学習済みモデル３６を構築する。まず、訓練画像の作成手順において、上記実施形態と本変形例が異なる点について主に説明する。ステップＳ１０２においては、構築部３５によって、入力され得ると想定されるゲイン設定値に応じて、ノイズの大きさが取得される。構築部３５は、まず、光検出器情報に基づいて、適した関係式を選択する。そして、構築部３５は、選択した関係式に含まれる定数Ｇ（ゲイン設定値を表す情報）を、入力され得ると想定されるゲイン設定値ごとに設定して、当該ゲイン設定値ごとにノイズの大きさを算出する。なお、本変形例では、定数Ｇを含む上記式（２）及び上記式（３）の中から、適した関係式が選択される。そして、構築部３５は、当該ゲイン設定値ごとに、シグマ値を用いて設定したノイズ分布モデルを基に、上記実施形態と同様に訓練画像を生成する（ステップＳ１０３～Ｓ１０７）。

[0082] 続いて、対象物Ｆの光学画像の観察処理の手順において、上記実施形態と本変形例が異なる点について主に説明する。ステップＳ２０１においては、入力部３１によって、光学画像処理システム１のオペレータ（ユーザ）から、光検出器情報及びゲイン設定値を含む条件情報の入力が受け付けられる。ステップＳ２０３においては、選択部３３によって、条件情報に含まれる光検出器情報及びゲイン設定値を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデル３６の中から、学習済みモデル３６が選択される。つまり、本変形例では、入力され得ると想定されるゲイン設定値ごとに、正規分布モデルの学習済みモデル３６、ポアソン分布モデルの学習済みモ

デル３６、及びベッセル関数分布モデルの学習済みモデル３６が構築されており、このように構築された複数の学習済みモデル３６の中から、ゲイン設定値に応じた適切な学習済みモデル３６が選択される。

[0083] 一般に、輝度に対するノイズの特性は、光検出器２１のゲイン設定値によって異なるといえる。本変形例によれば、光検出器２１のゲイン設定値に応じて構築された複数の学習済みモデル３６の中から、上記ゲイン設定値に対応する学習済みモデル３６が選択されるので、上記ゲイン設定値に対応した対象物Ｆの光学画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0084] また、例えば、条件情報は、対象物Ｆの撮像に用いる光検出器２１の読出しモードを示す情報を含み、各学習済みモデル３６は、条件情報として入力され得る光検出器２１の読出しモードに応じて構築された学習済みモデルであり、選択部３３は、光検出器情報によって示される光検出器２１の読出しモードに対応して予め構築された学習済みモデル３６を選択してもよい。その場合、構築部３５は、以下のように複数の学習済みモデル３６を構築する。まず、訓練画像の作成手順において、上記実施形態と本変形例が異なる点について主に説明する。ステップＳ１０２においては、構築部３５によって、入力され得ると想定される読出しモードに応じて、ノイズの大きさが取得される。構築部３５は、まず、光検出器情報に基づいて、適した関係式を選択する。そして、構築部３５は、選択した関係式に含まれる定数Ｒ（読出しモードに対応する読出しノイズ値を表す情報）を、入力され得ると想定される読出しノイズ値ごとに設定して、当該読出しノイズ値ごとにノイズの大きさを算出する。なお、本変形例では、定数Ｒを含む上記式（１）及び上記式（２）の中から、適した関係式が選択される。そして、構築部３５は、当該読出しノイズ値ごとに、シグマ値を用いて設定したノイズ分布モデルを基に、上記実施形態と同様に訓練画像を生成する（ステップＳ１０３～Ｓ１０７）。

[0085] 続いて、対象物Ｆの光学画像の観察処理の手順において、上記実施形態と本変形例が異なる点について主に説明する。ステップＳ２０１においては、

入力部３１によって、光学画像処理システム１のオペレータ（ユーザ）から、光検出器情報及び読出しノイズ値情報を含む条件情報の入力が受け付けられる。ステップＳ２０３においては、選択部３３によって、条件情報に含まれる光検出器情報及び読出しノイズ値を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデル３６の中から、学習済みモデル３６が選択される。つまり、本変形例では、入力され得ると想定される読出しノイズ値ごとに、正規分布モデルの学習済みモデル３６、ポアソン分布モデルの学習済みモデル３６、及びベッセル関数分布モデルの学習済みモデル３６が構築されており、このように構築された複数の学習済みモデル３６の中から、読出しノイズ値に応じた適切な学習済みモデル３６が選択される。

[0086] 一般に、輝度に対するノイズの特性は、光検出器２１の読出しモードによって異なるといえる。本変形例によれば、光検出器２１の読出しモード（具体的には、読出しモードに対応する読出しノイズ値）に応じて構築された複数の学習済みモデル３６の中から、上記読出しモードに対応する学習済みモデル３６が選択されるので、上記読出しモードに対応した対象物Ｆの光学画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0087] 光学画像処理方法は、対象物を撮像する際の撮像条件を示す条件情報の入力を受け付ける入力ステップを更に備え、撮像情報は、条件情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、所定のノイズ分布モデルを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、選択ステップでは、条件情報に対応して予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。また、光学画像処理モジュールは、対象物を撮像する際の撮像条件を示す条件情報の入力を受け付ける入力部を更に備え、撮像情報は、条件情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、所定のノイズ分布モデルを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、選択部は、条件情報に対応して予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。これにより、対象物の撮像条件が考慮されて、ノイズを適切に除去する複数の学習済みモデルの中から最も適した学習済みモデルが選択されるので、撮像条件の変化に対応し

た対象物の光学画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0088] 光学画像処理方法では、条件情報は、対象物の撮像に用いる光検出器の種類を示す情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、条件情報として入力され得る光検出器の種類に応じて構築された学習済みモデルであり、選択ステップでは、条件情報によって示される光検出器の種類に対応した所定のノイズ分布モデルを用いて予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。また、光学画像処理モジュールでは、条件情報は、対象物の撮像に用いる光検出器の種類を示す情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、条件情報として入力され得る光検出器の種類に応じて構築された学習済みモデルであり、選択部は、条件情報によって示される光検出器の種類に対応した所定のノイズ分布モデルを用いて予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。一般に、輝度に対するノイズの特性は、光検出器の種類によって異なるといえる。上記構成によれば、光検出器の種類に応じて構築された複数の学習済みモデルの中から、対象物の撮像に用いる光検出器に対応する学習済みモデルが選択されるので、対象物に用いられる光検出器に対応した対象物の光学画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0089] 光学画像処理方法では、条件情報は、対象物の撮像に用いる光検出器のゲイン設定値を示す情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、条件情報として入力され得る光検出器のゲイン設定値に応じて構築された学習済みモデルであり、選択ステップでは、条件情報によって示される光検出器のゲイン設定値に対応して予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。また、光学画像処理モジュールでは、条件情報は、対象物の撮像に用いる光検出器のゲイン設定値を示す情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、条件情報として入力され得る光検出器のゲイン設定値に応じて構築された学習済みモデルであり、選択部は、条件情報によって示される光検出器のゲイン設定値に対応して予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。一般に、輝度に対するノイズの特性は、光検出器のゲイン設定値によって異なるといえる。上記構成によれば、光検出器のゲイン設定値に応じて構築され

た複数の学習済みモデルの中から、上記ゲイン設定値に対応する学習済みモデルが選択されるので、上記ゲイン設定値に対応した対象物の光学画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0090] 光学画像処理方法では、条件情報は、対象物の撮像に用いる光検出器の読出しモードを示す情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、条件情報として入力され得る光検出器の読出しモードに応じて構築された学習済みモデルであり、選択ステップでは、条件情報によって示される光検出器の読出しモードに対応して予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。また、光学画像処理モジュールでは、条件情報は、対象物の撮像に用いる光検出器の読出しモードを示す情報を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、条件情報として入力され得る光検出器の読出しモードに応じて構築された学習済みモデルであり、選択部は、条件情報によって示される光検出器の読出しモードに対応して予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。一般に、輝度に対するノイズの特性は、光検出器の読出しモードによって異なるといえる。この構成によれば、光検出器の読出しモードに応じて構築された複数の学習済みモデルの中から、上記読出しモードに対応する学習済みモデルが選択されるので、上記読出しモードに対応した対象物の光学画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0091] 上記実施形態において、ノイズ分布モデルは、正規分布モデル及びポアソン分布モデルの少なくとも一方を含んでいてもよい。これにより、例えば、電子増倍型でない一般的な光検出器が対象物の撮像に用いられる場合において、正規分布モデルを用いた機械学習によって構築された学習済みモデル、あるいはポアソン分布モデルを用いた機械学習によって構築された学習済みモデルが選択されることによって、光学画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0092] 上記実施形態において、ノイズ分布モデルは、ベッセル関数分布モデルを含んでいてもよい。これにより、例えば、電子増倍型の光検出器が対象物の撮像に用いられる場合において、ベッセル関数分布モデルを用いた機械学習

によって構築された学習済みモデルが選択されることによって光学画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0093] 光学画像処理方法は、所定の構造をもつ構造体からの光を撮像することにより、構造体の光学画像を取得する第２画像取得ステップと、構造体の光学画像の画像特性を特定する特定ステップと、を更に備え、撮像情報は、画像特性を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、画像データを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、選択ステップでは、画像特性を基に予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。また、光学画像処理モジュールは、所定の構造をもつ構造体からの光を撮像することにより、構造体の光学画像を取得する第２画像取得部と、構造体の光学画像の画像特性を特定する特定部と、を更に備え、撮像情報は、画像特性を含み、複数の学習済みモデルのそれぞれは、画像データを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、選択部は、画像特性を基に予め構築された学習済みモデルを選択してもよい。これにより、構造体の光学画像の画像特性が特定され、その画像特性を基に、予め構築された学習済みモデルの中からノイズ除去に用いる学習済みモデルが選択される。これにより、画像特性ごとに最適なノイズ低減を実現することができる。

[0094] 機械学習の前処理方法は、対象物の撮像に用いる光検出器の種類を示す光検出器情報を含む条件情報の入力を受け付ける入力ステップを更に備え、訓練画像生成ステップでは、光検出器情報から、用いるノイズ分布モデルを決定する。光学画像における画素値とノイズとの関係は、対象物の撮像に用いられる光検出器の種類によって変動するところ、上記構成によれば、対象物の撮像に用いる光検出器の種類が考慮されて、光学画像に対してノイズが適切に付加された訓練画像を得ることが可能となる。その結果、光検出器に対応した対象物の光学画像におけるノイズ除去を実行する学習済みモデルを構築させることができる。

[0095] 機械学習の前処理方法では、ノイズ分布モデルは、正規分布モデル及びポアソン分布モデルの少なくとも一方を含んでいてもよい。これにより、例え

ば、電子増倍型でない一般的な光検出器が対象物の撮像に用いられる場合において、光学画像に対してノイズが適切に付加された訓練画像を得ることが可能となる。その結果、光検出器の種類に対応した対象物の光学画像におけるノイズ除去を実行する学習済みモデルを構築させることができる。

[0096] 機械学習の前処理方法では、ノイズ分布モデルは、ベッセル関数分布モデルを含んでいてもよい。これにより、例えば、電子増倍型の光検出器が対象物の撮像に用いられる場合において、光学画像に対してノイズが適切に付加された訓練画像を得ることが可能となる。その結果、光検出器の種類に対応した対象物の光学画像におけるノイズ除去を実行する学習済みモデルを構築させることができる。

符号の説明

[0097] １，１Ａ…光学画像処理システム、２…カメラ（撮像装置）、３，３Ａ…光学画像処理モジュール、２１，６５６…光検出器、３０Ａ…画像取得部（第２画像取得部）、３１…入力部、３２，３２Ａ…画像取得部（第１画像取得部）、３３，３３Ａ…選択部、３４…処理部、３５…構築部、３６，３６Ａ…学習済みモデル、３７Ａ…特定部、Ｆ…対象物、Ｇ１，Ｇ６…光学画像、Ｇ２６，Ｇ２７…治具画像(構造体の光学画像)、Ｇｃ…構造体画像、Ｇｔ…訓練画像、Ｌ…光。

請求の範囲

[請求項1] 対象物からの光が撮像された光学画像を取得する第１画像取得ステップと、

前記対象物の撮像に関する撮像情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択ステップと、

前記光学画像を、選択された前記学習済みモデルに入力し、前記光学画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理ステップと、

を備える光学画像処理方法。

[請求項2] 前記対象物を撮像する際の撮像条件を示す条件情報の入力を受け付ける入力ステップを更に備え、

前記撮像情報は、前記条件情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、所定のノイズ分布モデルを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、

前記選択ステップでは、前記条件情報に対応して予め構築された前記学習済みモデルを選択する、

請求項１に記載の光学画像処理方法。

[請求項3] 前記条件情報は、前記対象物の撮像に用いる光検出器の種類を示す情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、前記条件情報として入力され得る光検出器の種類に応じて構築された学習済みモデルであり、

前記選択ステップでは、前記条件情報によって示される前記光検出器の種類に対応した前記所定のノイズ分布モデルを用いて予め構築された前記学習済みモデルを選択する、

請求項２に記載の光学画像処理方法。

[請求項4] 前記条件情報は、前記対象物の撮像に用いる光検出器のゲイン設定値を示す情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、前記条件情報として入力

され得る光検出器のゲイン設定値に応じて構築された学習済みモデルであり、

前記選択ステップでは、前記条件情報によって示される前記光検出器のゲイン設定値に対応して予め構築された前記学習済みモデルを選択する、

請求項２に記載の光学画像処理方法。

[請求項5] 前記条件情報は、前記対象物の撮像に用いる光検出器の読出しモードを示す情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、前記条件情報として入力され得る光検出器の読出しモードに応じて構築された学習済みモデルであり、

前記選択ステップでは、前記条件情報によって示される前記光検出器の読出しモードに対応して予め構築された前記学習済みモデルを選択する、

請求項２に記載の光学画像処理方法。

[請求項6] 前記ノイズ分布モデルは、正規分布モデル及びポアソン分布モデルの少なくとも一方を含む、

請求項２～５のいずれか一項に記載の光学画像処理方法。

[請求項7] 前記ノイズ分布モデルは、ベッセル関数分布モデルを含む、

請求項２～５のいずれか１項に記載の光学画像処理方法。

[請求項8] 所定の構造をもつ構造体からの光を撮像することにより、前記構造体の光学画像を取得する第２画像取得ステップと、

前記構造体の光学画像の画像特性を特定する特定ステップと、を更に備え、

前記撮像情報は、前記画像特性を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、画像データを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、

前記選択ステップでは、前記画像特性を基に予め構築された前記学

習済みモデルを選択する、

請求項１に記載の光学画像処理方法。

[請求項9] 所定のノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像とし、前記訓練画像、及び前記訓練画像からノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、前記訓練画像を基に前記ノイズ除去画像データを出力する学習済みモデルを、機械学習によって構築する構築ステップ、を備える機械学習方法。

[請求項10] 請求項９に記載の機械学習方法によって構築される学習済みモデルであって、

プロセッサに、対象物の光学画像からノイズを除去する画像処理を実行させる学習済みモデル。

[請求項11] 請求項９に記載の機械学習方法における前処理方法であって、

前記ノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を前記訓練画像として生成する訓練画像生成ステップを備える、機械学習の前処理方法。

[請求項12] 対象物の撮像に用いる光検出器の種類を示す光検出器情報を含む条件情報の入力を受け付ける入力ステップを更に備え、

前記訓練画像生成ステップでは、前記光検出器情報から、用いる前記ノイズ分布モデルを決定する、

請求項１１に記載の機械学習の前処理方法。

[請求項13] 前記ノイズ分布モデルは、正規分布モデル及びポアソン分布モデルの少なくとも一方を含む、請求項１２に記載の機械学習の前処理方法。

[請求項14] 前記ノイズ分布モデルは、ベッセル関数分布モデルを含む、請求項１２に記載の機械学習の前処理方法。

[請求項15] 対象物からの光が撮像された光学画像を取得する第１画像取得部と、

前記対象物の撮像に関する撮像情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択部と、

前記光学画像を、選択された前記学習済みモデルに入力し、前記光学画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部と、

を備える光学画像処理モジュール。

[請求項16] 前記対象物を撮像する際の撮像条件を示す条件情報の入力を受け付ける入力部を更に備え、

前記撮像情報は、前記条件情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、所定のノイズ分布モデルを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、

前記選択部は、前記条件情報に対応して予め構築された前記学習済みモデルを選択する、

請求項１５に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項17] 前記条件情報は、前記対象物の撮像に用いる光検出器の種類を示す情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、前記条件情報として入力され得る光検出器の種類に応じて構築された学習済みモデルであり、

前記選択部は、前記条件情報によって示される前記光検出器の種類に対応した前記所定のノイズ分布モデルを用いて予め構築された前記学習済みモデルを選択する、

請求項１６に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項18] 前記条件情報は、前記対象物の撮像に用いる光検出器のゲイン設定値を示す情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、前記条件情報として入力され得る光検出器のゲイン設定値に応じて構築された学習済みモデルであり、

前記選択部は、前記条件情報によって示される前記光検出器のゲイ

ン設定値に対応して予め構築された前記学習済みモデルを選択する、
請求項１６に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項19] 前記条件情報は、前記対象物の撮像に用いる光検出器の読出しモードを示す情報を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、前記条件情報として入力され得る光検出器の読出しモードに応じて構築された学習済みモデルであり、

前記選択部は、前記条件情報によって示される前記光検出器の読出しモードに対応して予め構築された前記学習済みモデルを選択する、
請求項１６に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項20] 前記ノイズ分布モデルは、正規分布モデル及びポアソン分布モデルの少なくとも一方を含む、
請求項１６～１９のいずれか一項に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項21] 前記ノイズ分布モデルは、ベッセル関数分布モデルを含む、
請求項１６～１９のいずれか１項に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項22] 所定の構造をもつ構造体からの光が撮像された構造体の光学画像を取得する第２画像取得部と、

前記構造体の光学画像の画像特性を特定する特定部と、を更に備え、

前記撮像情報は、前記画像特性を含み、

前記複数の学習済みモデルのそれぞれは、画像データを用いて予め機械学習によって構築された学習済みモデルであり、

前記選択部は、前記画像特性を基に予め構築された前記学習済みモデルを選択する、
請求項１５に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項23] 所定のノイズ分布モデルに基づくノイズが付加された構造体画像を訓練画像とし、前記訓練画像、及び前記訓練画像からノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、

前記訓練画像を基に前記ノイズ除去画像データを出力する学習済みモデルを、機械学習によって構築する構築部を更に備える、

請求項１６～２１のいずれか一項に記載の光学画像処理モジュール。

[請求項24] プロセッサを、

対象物からの光が撮像された光学画像を取得する画像取得部、

前記対象物の撮像に関する撮像情報を用いて、予め機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択部、及び、

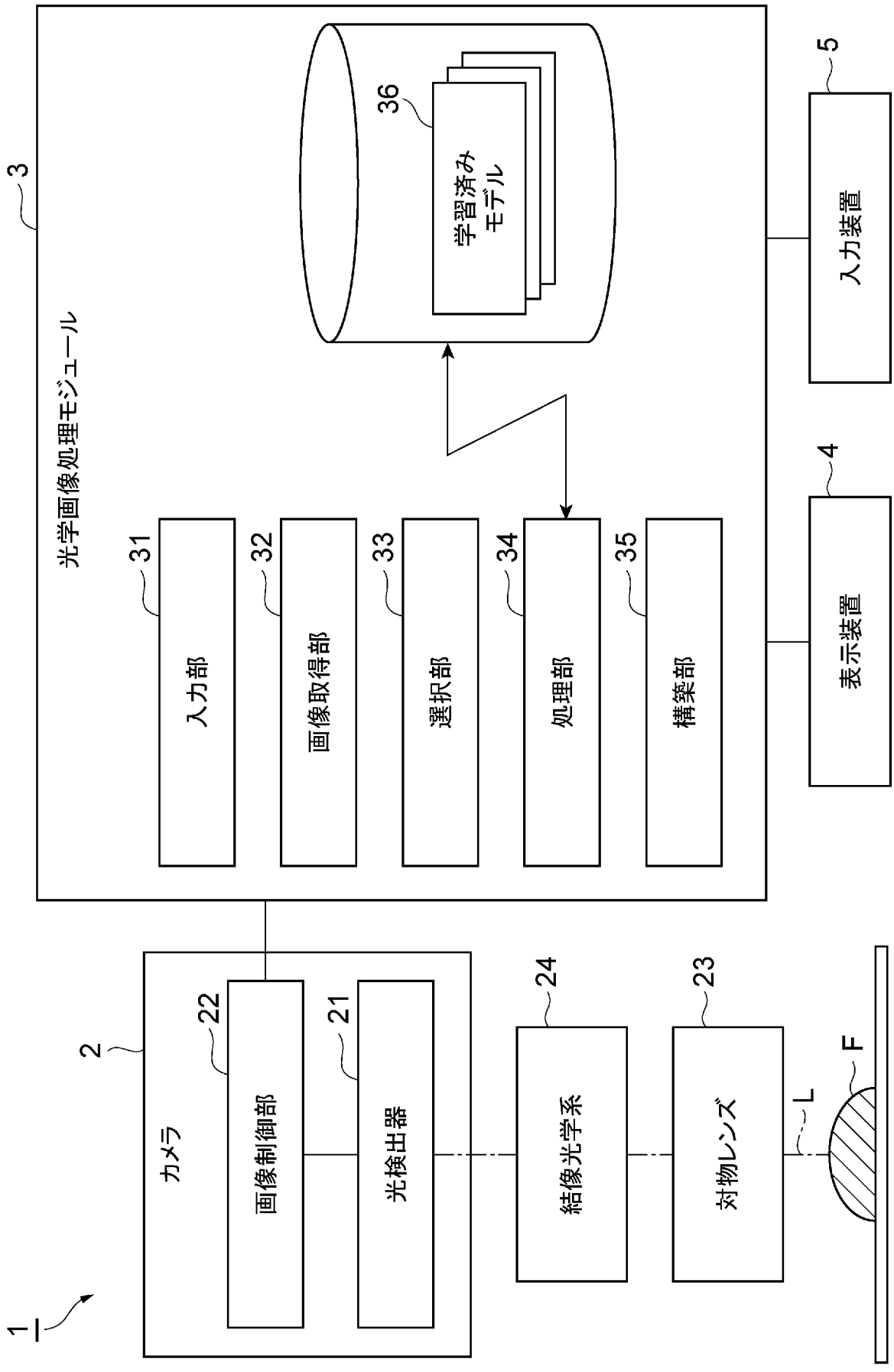
前記光学画像を、選択された前記学習済みモデルに入力し、前記光学画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部、として機能させる光学画像処理プログラム。

[請求項25] 請求項１５～２３のいずれか１項に記載の光学画像処理モジュールと、

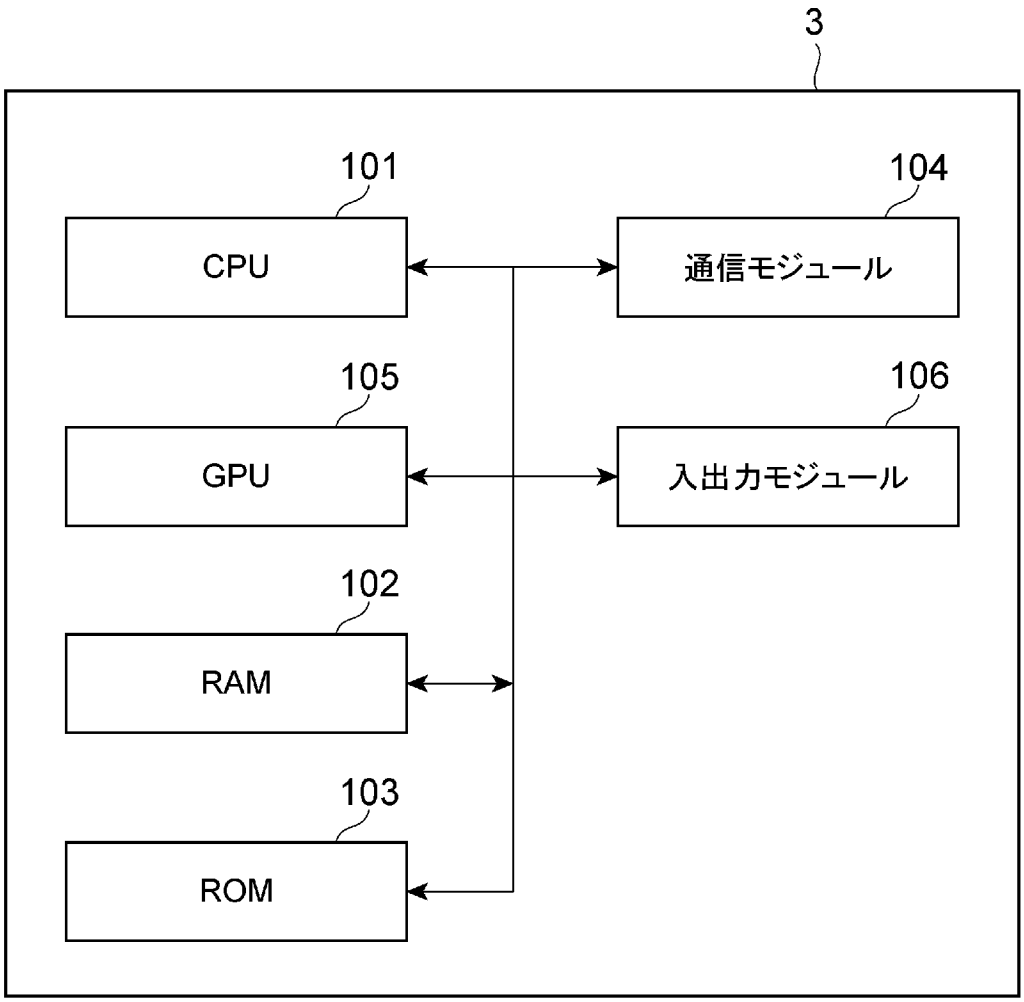
前記対象物からの光を撮像することにより、前記光学画像を取得する撮像装置と、

を備える光学画像処理システム。

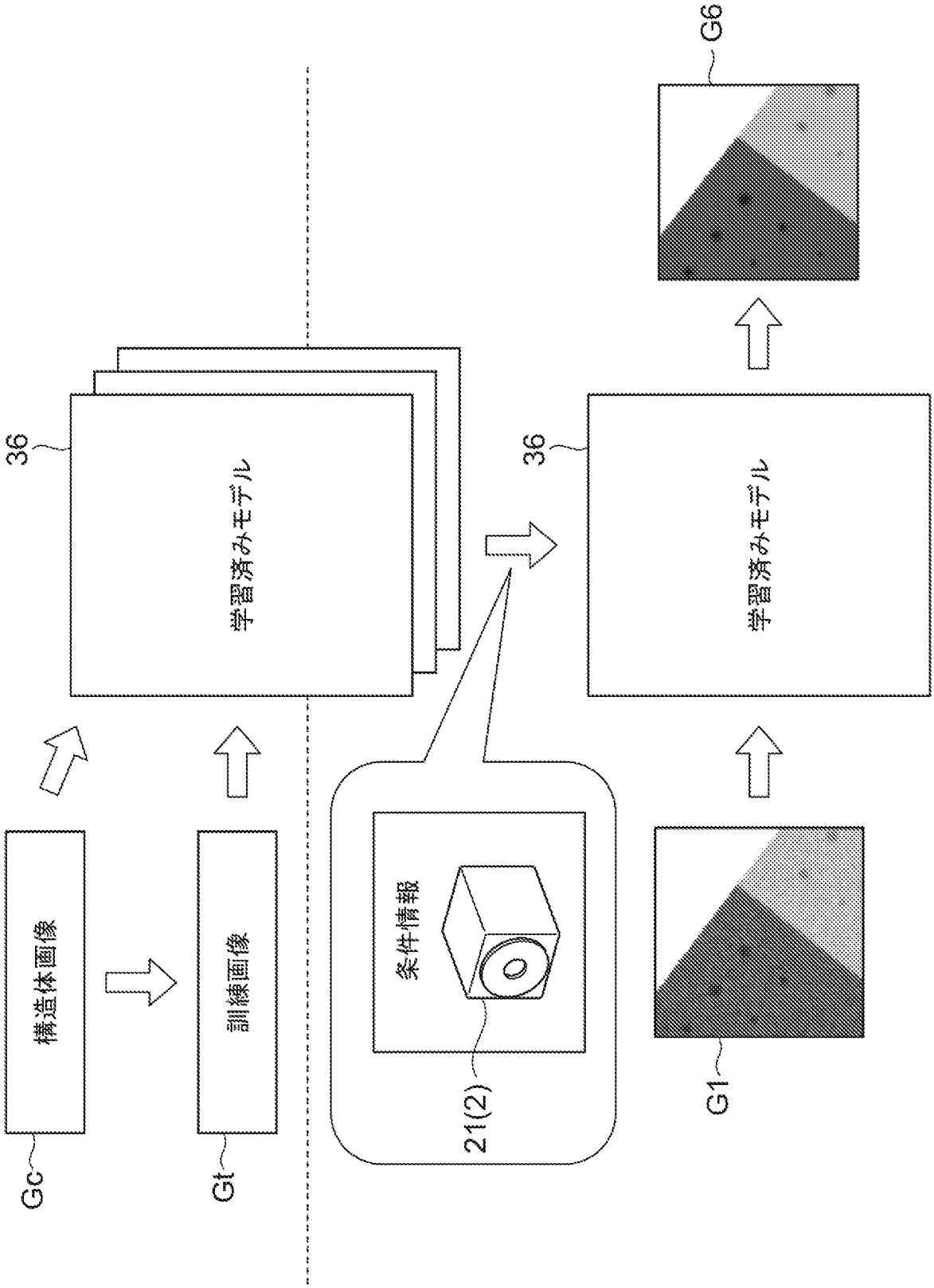
[図1]


1
2
カメラ
22
画像制御部
21
光検出器
24
結像光学系
23
対物レンズ
L
F
3
光学画像処理モジュール
31
入力部
32
画像取得部
33
選択部
34
処理部
35
構築部
36
学習済み
モデル
4
表示装置
5
入力装置

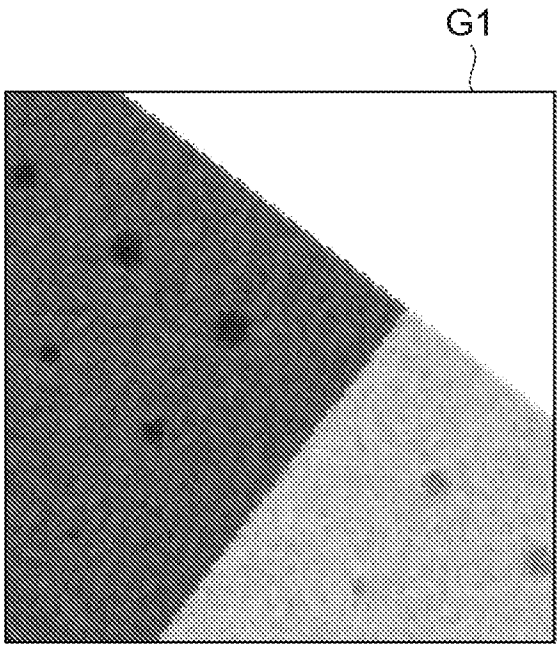
[図2]



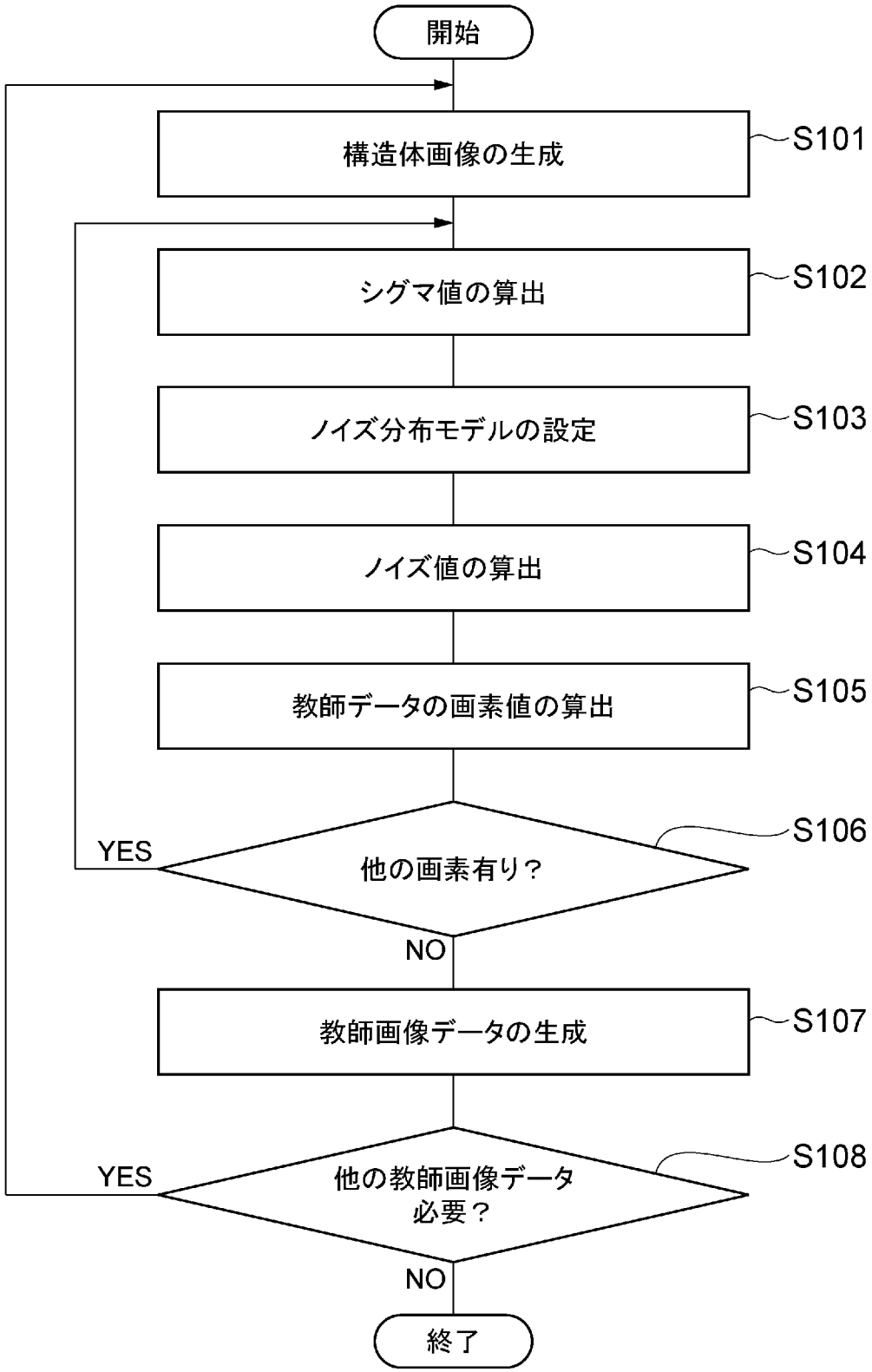
[図3]



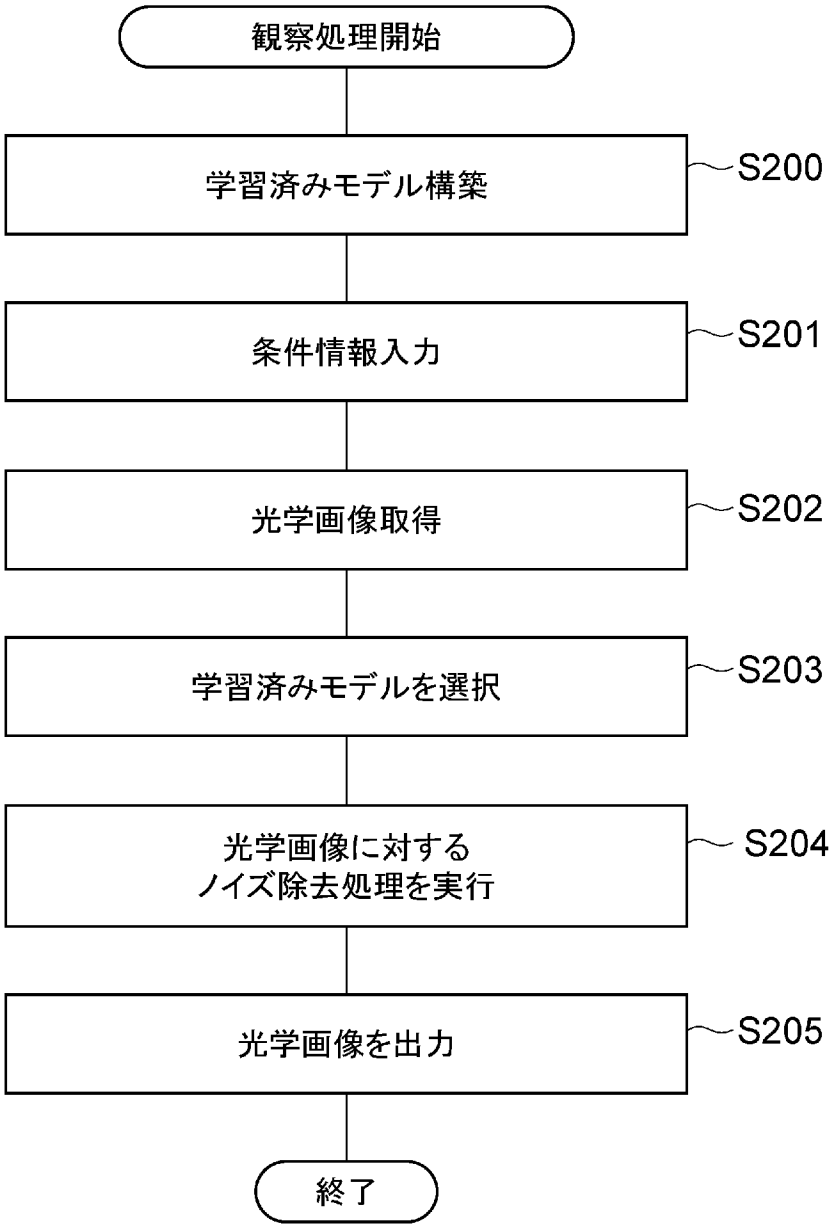
[図4]



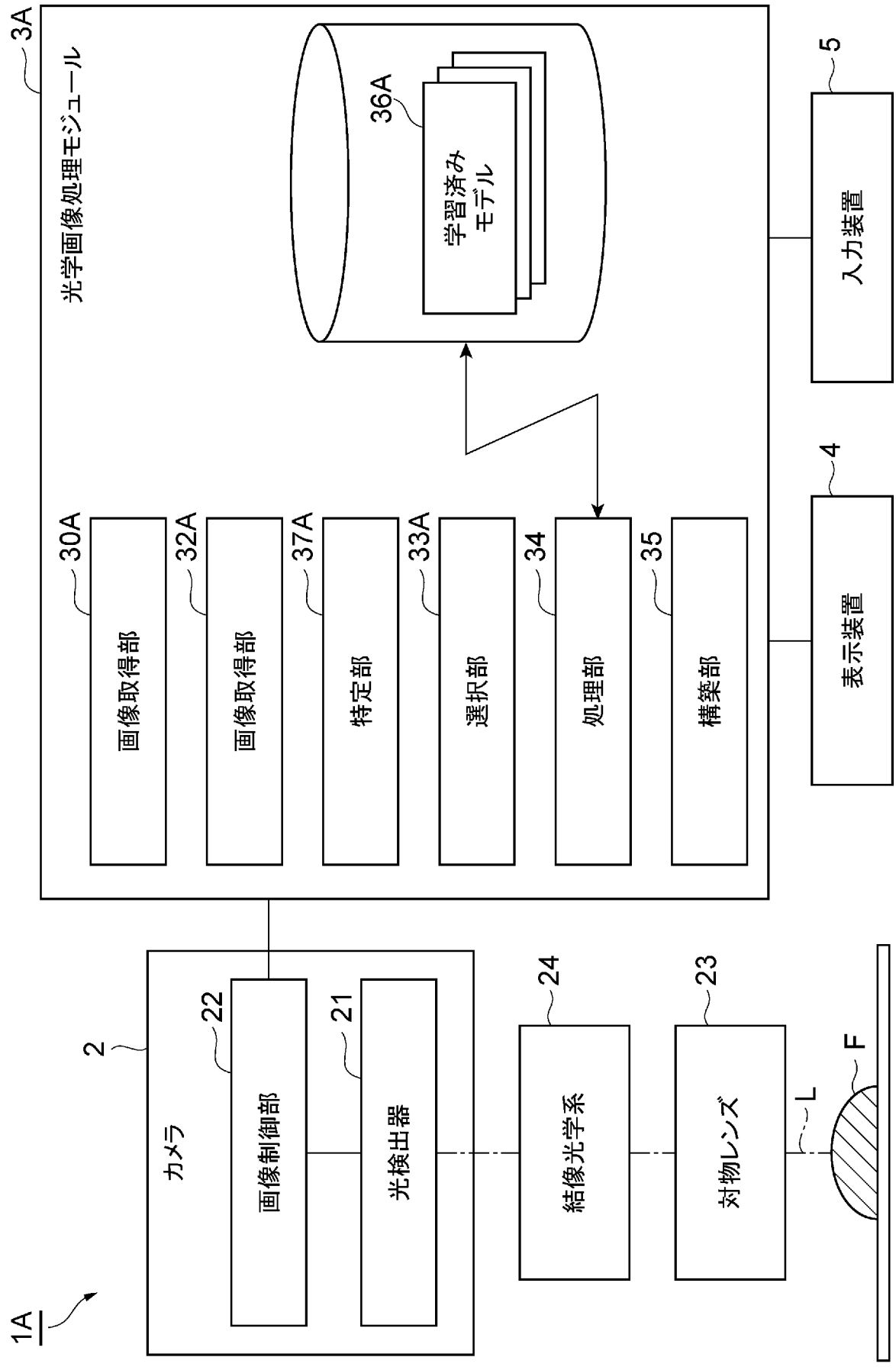
[図5]


開始
構造体画像の生成
S101
シグマ値の算出
S102
ノイズ分布モデルの設定
S103
ノイズ値の算出
S104
教師データの画素値の算出
S105
他の画素有り？
S106
YES
NO
教師画像データの生成
S107
他の教師画像データ
必要？
S108
YES
NO
終了

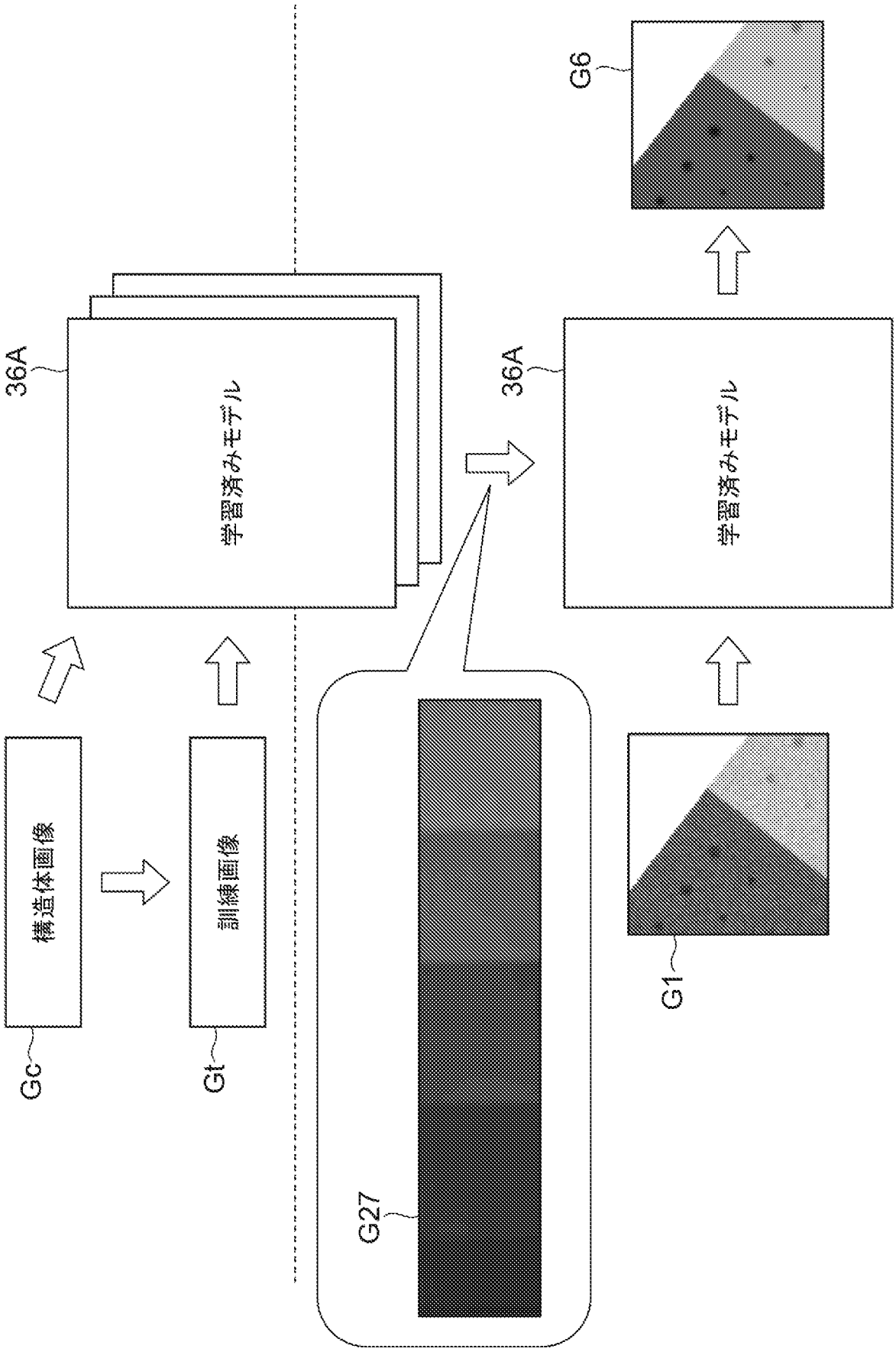
[図6]


観察処理開始
学習済みモデル構築
S200
条件情報入力
S201
光学画像取得
S202
学習済みモデルを選択
S203
光学画像に対する
ノイズ除去処理を実行
S204
光学画像を出力
S205
終了

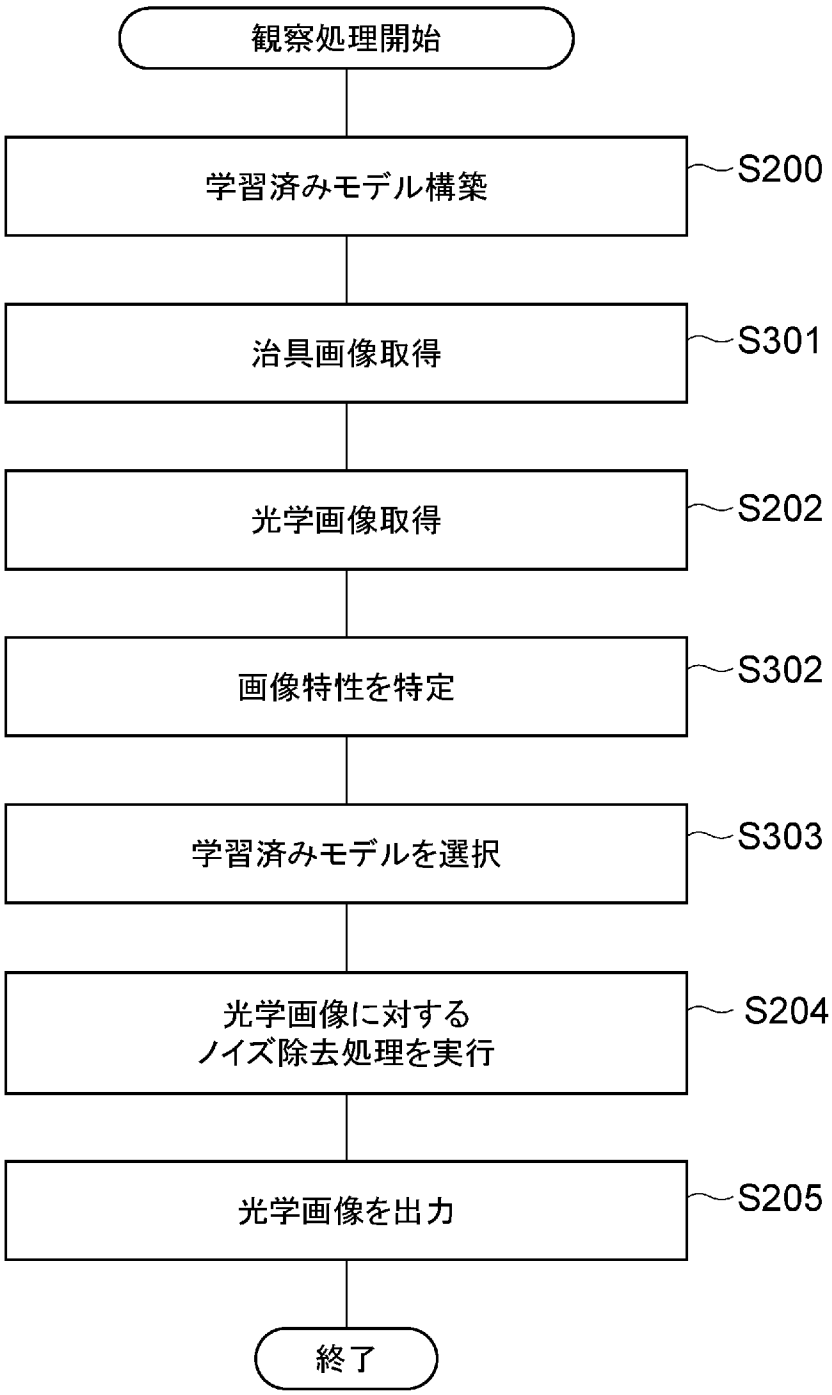
[図7]


3A
光学画像処理モジュール
36A
学習済み
モデル
5
入力装置
4
表示装置
30A
画像取得部
32A
画像取得部
37A
特定部
33A
選択部
34
処理部
35
構築部
2
カメラ
22
画像制御部
21
光検出器
24
結像光学系
23
対物レンズ
L
F
1A

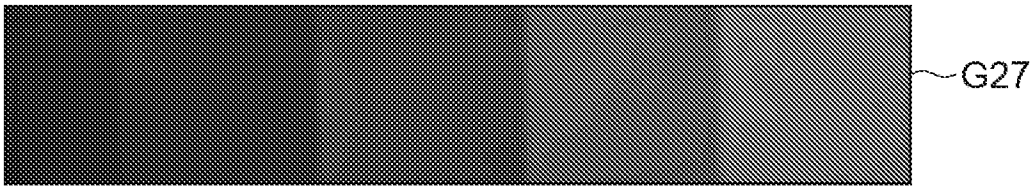
[図8]



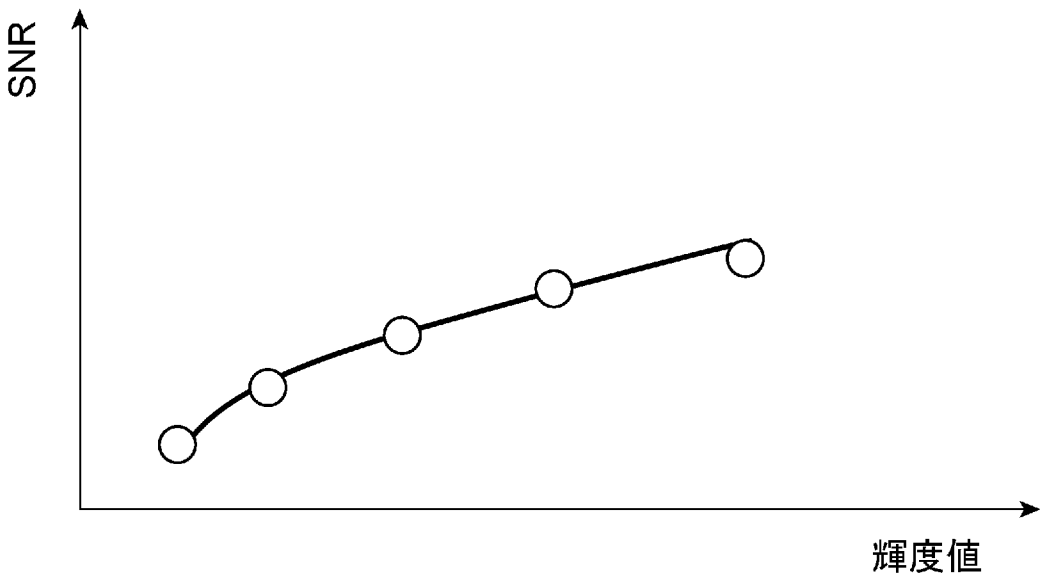
[図9]


観察処理開始
学習済みモデル構築
S200
治具画像取得
S301
光学画像取得
S202
画像特性を特定
S302
学習済みモデルを選択
S303
光学画像に対する
ノイズ除去処理を実行
S204
光学画像を出力
S205
終了

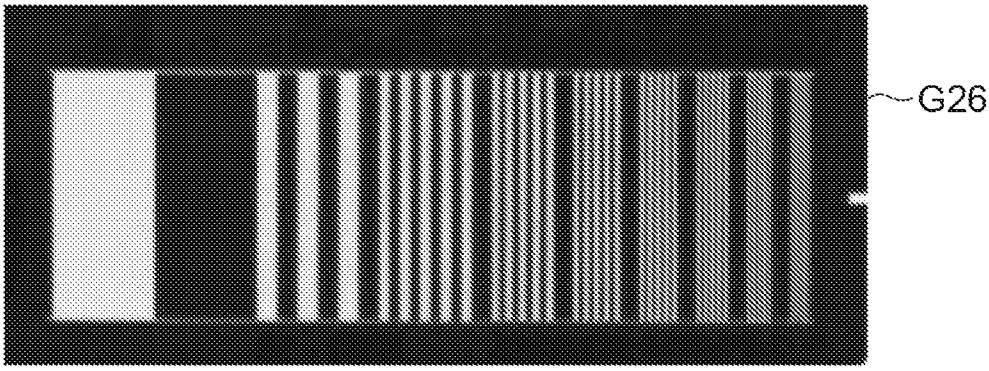
[図10]



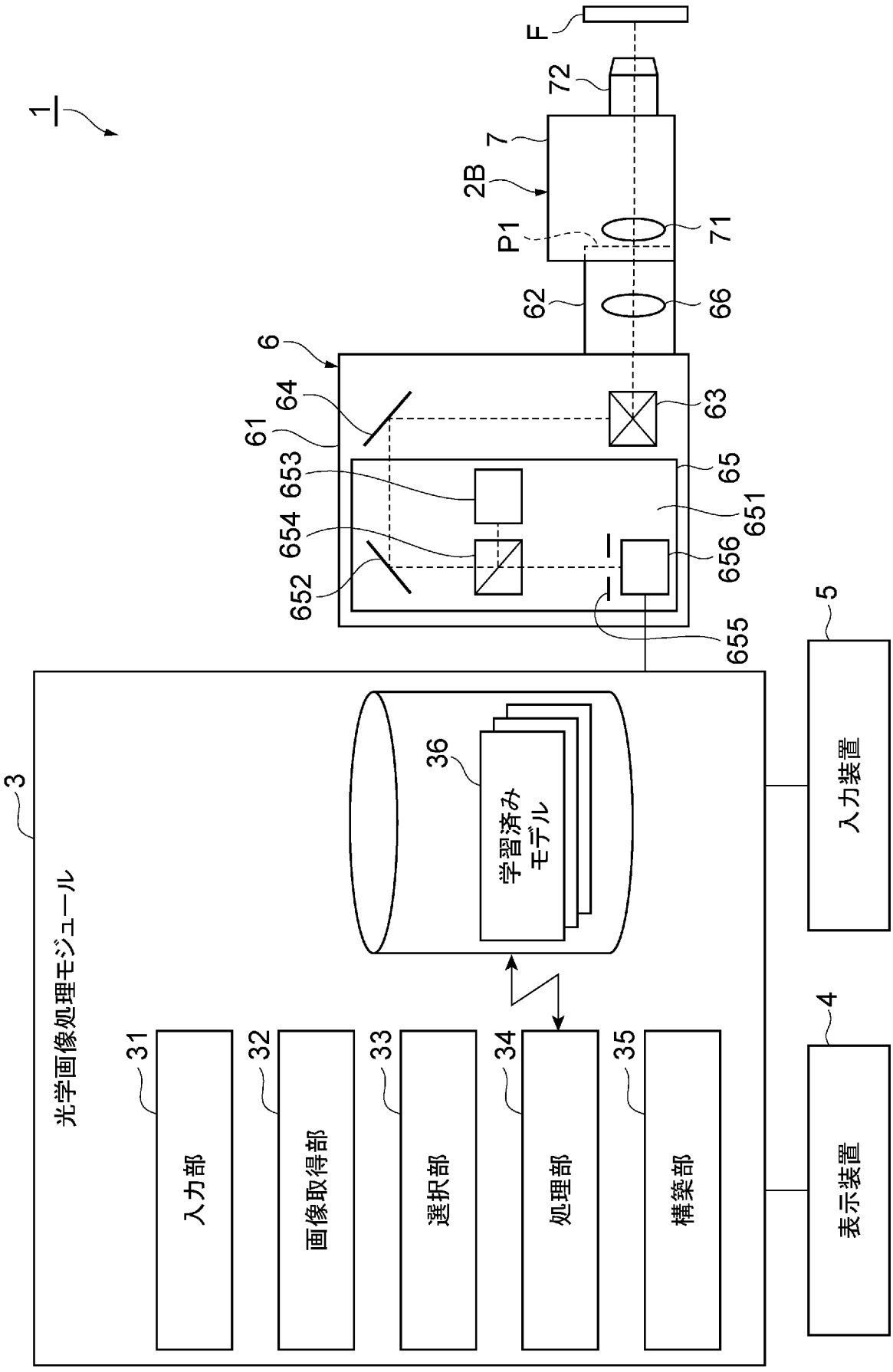
[図11]



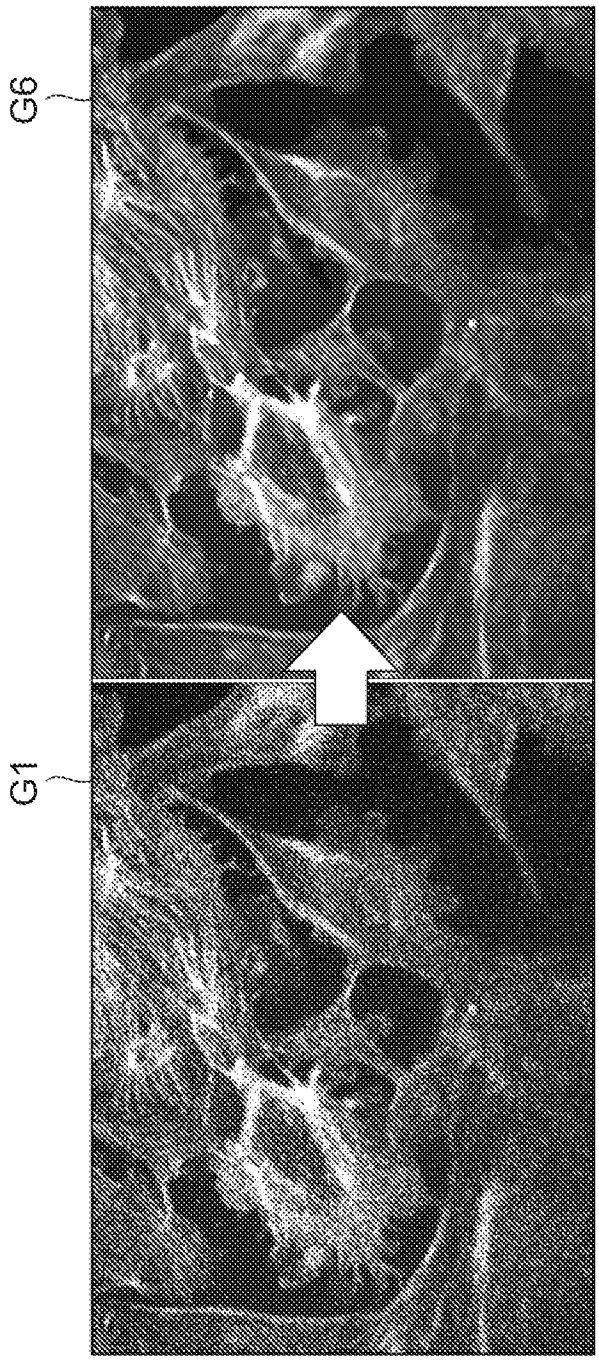
[図12]



[図13]


1
F
72
7
2B
P1
71
62
66
6
64
61
63
653
65
654
651
652
656
655
5
3
36
学習済み
モデル
入力装置
光学画像処理モジュール
31
32
33
34
35
4
入力部
画像取得部
選択部
処理部
構築部
表示装置

[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/012688

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 5/00(2006.01)i
FI: G06T5/00 705

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T5/00

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021/095256 A1 (OLYMPUS CORP.) 20 May 2021 (2021-05-20) paragraphs [0001], [0005]-[0006], [0013]-[0015], [0022]-[0027], [0039]-[0042], [0045], [0056]-[0062], [0068], fig. 3, 7-8, 13	1, 8, 15, 22, 24, 25
Y		23
A		2-7, 9-14, 16-21
X	JP 2020-144488 A (CANON INC.) 10 September 2020 (2020-09-10) paragraphs [0001], [0007], [0017]-[0020], [0024]-[0037], [0073], fig. 2, 4-6	9-10
Y		23
A		1-8, 11-22, 24-25

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

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 May 2022	**31 May 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/012688

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2021/095256 A1	20 May 2021	(Family: none)	
JP 2020-144488 A	10 September 2020	US 2020/0285901 A1 paragraphs [0001], [0005], [0025]-[0028], [0032]-[0045], [0082], fig. 2, 4-6 EP 3706042 A1 CN 111669522 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/012688

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G06T 5/00(2006.01)i
FI: G06T5/00 705

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））

G06T5/00

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）

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
X	WO 2021/095256 A1 (オリンパス株式会社) 20.05.2021 (2021-05-20) 段落 [0001], [0005] － [0006], [0013] － [0015], [0022] － [0027], [0039] － [0042], [0045], [0056] － [0062], [0068], 図3, 7－8, 13	1,8,15,22,24,25
Y		23
A		2-7,9-14,16-21
X	JP 2020-144488 A (キヤノン株式会社) 10.09.2020 (2020-09-10) 段落 [0001], [0007], [0017] － [0020], [0024] － [0037], [0073], 図2, 4－6	9-10
Y		23
A		1-8,11-22,24-25

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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	国際調査報告の発送日
19.05.2022	31.05.2022

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）

大室　秀明 5V 3992

電話番号 03-3581-1101 内線 3571

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/JP2022/012688

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2021/095256 A1	20.05.2021	（ファミリーなし）	
JP 2020-144488 A	10.09.2020	US 2020/0285901 A1 段落［0001］，［0005］，［0025］－［0028］，［0032］－［0045］，［0082］，図2，4－6 EP 3706042 A1 CN 111669522 A	