

(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
2024年12月19日(19.12.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/257318 A1

(51) 国際特許分類:
G06T 5/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/022328

(22) 国際出願日: 2023年6月15日(15.06.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: オリンパスメディカルシステムズ株式会社 (**OLYMPUS MEDICAL SYSTEMS CORP.**) [JP/JP]; 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 井岡 健(**IOKA, Ken**); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパスメディカルシステムズ株式会社内 Tokyo (JP).

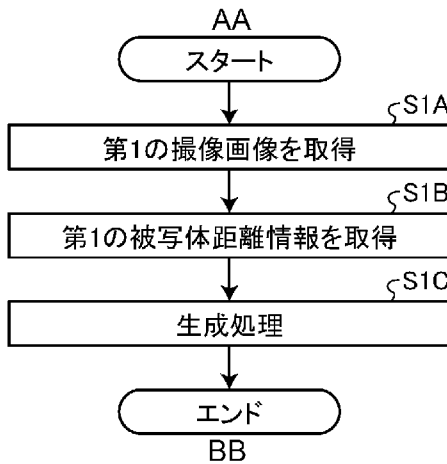
(74) 代理人: 弁理士法人酒井国際特許事務所 (**SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎ノ門ダイビルイースト Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, 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, MU, 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.

(54) **Title:** TRAINING DATA GENERATION METHOD FOR MACHINE LEARNING, MACHINE LEARNING METHOD, MACHINE LEARNING PROGRAM, AND IMAGE PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: 機械学習用訓練データ生成方法、機械学習方法、機械学習プログラム、及び画像処理装置

[図2]



AA... START
S1A... ACQUIRE FIRST CAPTURED
IMAGE
S1B... ACQUIRE FIRST SUBJECT
DISTANCE INFORMATION
S1C... GENERATION PROCESS
BB... END

(57) **Abstract:** In order to acquire a first captured image generated by a first imaging device and a first subject distance of the first captured image, and to generate, as training data for machine learning corresponding to the first captured image serving as teaching data, a simulation image that imitates a second captured image captured at a second subject distance by a second imaging device that generates a captured image of lower image quality than the first captured image, this training data generation method for machine learning corrects the image quality of the first captured image on the basis of a conversion table that defines a correction amount according to a correlation between the first subject distance and the first imaging device, and the second subject distance and the second imaging device, to generate the simulation image.

[続葉有]

(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, SC, 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))

(57) 要約: 機械学習用訓練データ生成方法は、第1の撮像装置によって生成された第1の撮像画像、及び第1の撮像画像の第1の被写体距離を取得し、第1の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する第2の撮像装置によって第2の被写体距離で撮像された第2の撮像画像を模したシミュレーション画像を教師データとなる第1の撮像画像に対応する機械学習用の訓練データとして生成するために、第1の被写体距離及び第1の撮像装置と、第2の被写体距離及び第2の撮像装置との相関関係から補正量を定めた換算表に基づいて、第1の撮像画像の画質を補正してシミュレーション画像を生成する。

明 細 書

発明の名称：

機械学習用訓練データ生成方法、機械学習方法、機械学習プログラム、及び画像処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、機械学習用訓練データ生成方法、機械学習方法、機械学習プログラム、及び画像処理装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、低画質の撮像画像を生成する撮像装置によって生成された処理対象画像に対して高画質化処理を実行することによって、あたかも高画質の撮像画像を生成する撮像装置によって生成されたかのような高画質化推論画像を生成する超解像技術が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。以下、高画質の撮像画像を生成する撮像装置を第 1 の撮像装置と記載し、処理対象画像を生成する撮像装置を第 2 の撮像装置と記載する。

特許文献 1 に記載の技術では、機械学習によって生成された学習済みモデルを用いて、処理対象画像に対して高画質化処理を実行している。ここで、当該学習済みモデルを生成する際に用いられる教師データ（正解画像）及び訓練データは、以下の通りである。

教師データは、第 1 の撮像装置によって生成された撮像画像（以下、第 1 の撮像画像と記載）である。一方、訓練データは、第 1 の撮像画像に対してボケを付加したシミュレーション画像である。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2018-195069 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献 1 に記載の技術では、教師データとなる第 1 の撮像画像から訓練データとなるシミュレーション画像を生成するにあたって、第 1 の撮像装置が撮像した際の当該第 1 の撮像画像の被写体距離と、第 2 の撮像装置により取得した画像の被写体距離との違いを考慮していない。すなわち、特許文献 1 に記載の技術では、当該被写体距離が特定の被写体距離であると仮定して、第 1 の撮像画像に対してボケを付加してシミュレーション画像を生成している。

しかしながら、第 1 の撮像画像が上述した特定の被写体距離とは異なる被写体距離で撮像された撮像画像であった場合には、シミュレーション画像を正しく生成することができない。結果として、正しい学習済みモデルを生成することができず、高画質化推論画像を精度良く生成することができない。

[0005] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、高画質化推論画像を精度良く生成可能とする機械学習用訓練データ生成方法、機械学習方法、機械学習プログラム、及び画像処理装置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] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る機械学習用訓練データ生成方法は、第 1 の撮像装置によって生成された第 1 の撮像画像、及び前記第 1 の撮像画像の第 1 の被写体距離を取得し、前記第 1 の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する第 2 の撮像装置によって第 2 の被写体距離で撮像された第 2 の撮像画像を模したシミュレーション画像を教師データとなる前記第 1 の撮像画像に対応する機械学習用の訓練データとして生成するために、前記第 1 の被写体距離及び前記第 1 の撮像装置と、前記第 2 の被写体距離及び前記第 2 の撮像装置との相関関係から補正量を定めた換算表に基づいて、前記第 1 の撮像画像の画質を補正して前記シミュレーション画像を生成する。

[0007] 本発明に係る機械学習方法は、教師データ及び訓練データを取得し、前記教師データ及び前記訓練データに基づいて機械学習によって学習済みモデルを生成し、前記教師データは、第 1 の撮像装置が第 1 の被写体距離で撮像し

た第 1 の撮像画像であり、前記訓練データは、前記第 1 の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する第 2 の撮像装置によって第 2 の被写体距離で撮像された第 2 の撮像画像を模したシミュレーション画像であって、前記第 1 の被写体距離及び前記第 1 の撮像装置と、前記第 2 の被写体距離及び前記第 2 の撮像装置との相関関係から補正量を定めた換算表に基づいて前記第 1 の撮像画像の画質が補正されたシミュレーション画像である。

[0008] 本発明に係る機械学習プログラムは、第 1 の撮像装置が第 1 の被写体距離で撮像した第 1 の撮像画像を教師データとして用い、前記第 1 の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する第 2 の撮像装置によって第 2 の被写体距離で撮像された第 2 の撮像画像を模したシミュレーション画像を訓練データとして用いて学習された機械学習プログラムであって、前記訓練データは、前記第 1 の被写体距離及び前記第 1 の撮像装置と、前記第 2 の被写体距離及び前記第 2 の撮像装置との相関関係から補正量を定めた換算表に基づいて前記第 1 の撮像画像の画質を補正した画像である。

[0009] 本発明に係る画像処理装置は、高画質化処理を実行する処理対象画像の被写体距離を示す被写体距離を取得する距離情報取得部と、複数の学習済みモデルのうち、前記距離情報取得部が取得した前記被写体距離に対応する学習済みモデルを選択する学習済みモデル選択部と、前記処理対象画像を取得し、前記学習済みモデル選択部によって選択された学習済みモデルを用いて前記処理対象画像に対して前記高画質化処理を実行して高画質化推論画像を生成する画像処理部と、を備える。

発明の効果

[0010] 本発明に係る機械学習用訓練データ生成方法、機械学習方法、機械学習プログラム、及び画像処理装置によれば、高画質化推論画像を精度良く生成可能とする。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図 1 は、実施の形態に係る機械学習用訓練データ生成装置の構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、機械学習用訓練データ生成方法を示すフローチャートである。

[図3]図3は、生成処理（ステップS1C）を説明する図である。

[図4]図4は、生成処理（ステップS1C）を説明する図である。

[図5]図5は、機械学習装置の構成を示すブロック図である。

[図6]図6は、機械学習方法を示すフローチャートである。

[図7]図7は、学習処理（ステップS2B）を説明する図である。

[図8]図8は、第2の内視鏡システムの構成を示すブロック図である。

[図9]図9は、画像処理方法を示すフローチャートである。

[図10]図10は、実施の形態の変形例1を説明する図である。

[図11]図11は、実施の形態の変形例2を説明する図である。

[図12]図12は、実施の形態の変形例2を説明する図である。

[図13]図13は、実施の形態の変形例2を説明する図である。

[図14]図14は、実施の形態の変形例2を説明する図である。

[図15]図15は、実施の形態の変形例3を説明する図である。

[図16]図16は、実施の形態の変形例4を説明する図である。

[図17]図17は、実施の形態の変形例4を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下に、図面を参照しつつ、本発明を実施するための形態（以下、実施の形態）について説明する。なお、以下に説明する実施の形態によって本発明が限定されるものではない。さらに、図面の記載において、同一の部分には同一の符号を付している。

[0013] 以下、機械学習用の訓練データを生成する機械学習用訓練データ生成装置100及びその方法と、当該訓練データを用いて機械学習を実行して学習済みモデルを生成する機械学習装置200及びその方法と、当該学習済みモデルを用いて高画質化処理を実行して高画質化推論画像を生成する第2の内視鏡システム300及びその方法を順に説明する。

[0014] [機械学習用訓練データ生成装置の構成]

先ず、機械学習用の訓練データを生成する機械学習用訓練データ生成装置

１００の構成について説明する。

図１は、実施の形態に係る機械学習用訓練データ生成装置１００の構成を示すブロック図である。

機械学習用訓練データ生成装置１００は、ＰＣ（Personal Computer）またはサーバ等の情報処理装置であり、高画質化処理（超解像）において用いられる学習済みモデルを生成する際に必要な訓練データとなるシミュレーション画像を生成する。ここで、機械学習用訓練データ生成装置１００は、第１の内視鏡システム４００によって生成された第１の撮像画像から当該訓練データを生成する。

[0015] 以下、機械学習用訓練データ生成装置１００の構成を説明する前に、第１の内視鏡システム４００の構成について説明する。

第１の内視鏡システム４００は、医療分野において用いられ、被検体内（生体内）を観察するシステムである。この第１の内視鏡システム４００は、図１に示すように、第１の内視鏡４１０と、第１の画像処理装置４２０とを備える。

[0016] 第１の内視鏡４１０は、本発明に係る第１の撮像装置に相当する。この第１の内視鏡４１０は、一部が生体内に挿入され、当該生体内の被写体像を撮像する撮像部４１１（図１）を有する例えば軟性鏡によって構成されている。

撮像部４１１は、被写体像を受光して電気信号に変換するＣＣＤ（Charge Coupled Device）またはＣＭＯＳ（Complementary Metal Oxide Semiconductor）等の撮像素子を有する。以下では、撮像部４１１によって被写体像を撮像することで生成された撮像画像を第１の撮像画像と記載する。

[0017] 第１の画像処理装置４２０は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）やＭＰＵ（Micro Processing Unit）等のコントローラ、または、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）やＦＰＧＡ（Field-Programmable Gate Array）等の集積回路を含んで構成され、第１の内視鏡システム４００全体の動作を制御する。この第１の画像処理装置４２０は、図１に示

すように、画像処理部４２１と、外部インターフェース４２２とを備える。

[0018] 画像処理部４２１は、第１の撮像画像に対して所定の画像処理を実行する。そして、当該画像処理が実行された後の第１の撮像画像は、表示装置（図示略）に表示される。また、当該第１の撮像画像は、外部インターフェース４２２を経由することによって、外部に出力される。

[0019] 機械学習用訓練データ生成装置１００は、図１に示すように、外部インターフェース１１０と、記憶部１２０と、生成処理部１３０とを備える。

記憶部１２０は、外部インターフェース１１０を経由することによって取得した第１の撮像画像を記憶する。なお、図１では、機械学習用訓練データ生成装置１００は、第１の内視鏡システム４００から直接、第１の撮像画像を取得する構成を図示しているが、これに限らない。機械学習用訓練データ生成装置１００は、第１の内視鏡システム４００から出力され、サーバ等に格納された第１の撮像画像を当該サーバから外部インターフェース１１０を経由して取得する構成としても構わない。

また、記憶部１２０は、生成処理部１３０が実行する各種プログラム、及び当該生成処理部１３０の処理に必要な情報等を記憶する。

[0020] 生成処理部１３０は、ＣＰＵやＭＰＵ等のコントローラ、または、ＡＳＩＣやＦＰＧＡ等の集積回路を含んで構成され、後述する生成処理を実行することによって、シミュレーション画像を生成する。

なお、生成処理部１３０の詳細な機能については、後述する「機械学習用訓練データ生成方法」において説明する。

[0021] 〔機械学習用訓練データ生成方法〕

次に、上述した機械学習用訓練データ生成装置１００が実行する機械学習用訓練データ生成方法について説明する。

図２は、機械学習用訓練データ生成方法を示すフローチャートである。

まず、生成処理部１３０は、記憶部１２０に記憶された第１の撮像画像を取得するとともに（ステップＳ１Ａ）、第１の内視鏡４１０が撮像した際の当該第１の撮像画像の第１の被写体距離を示す第１の被写体距離情報を取得

する（ステップS 1 B）。

さらに、第 1 の撮像画像を撮像した撮像装置情報（以下、内視鏡情報とも記載する）を取得してもよい。撮像装置情報としては例えば撮像装置の機種、型番、及び撮像した内視鏡が有するピントが合う最適被写体距離の少なくとも 1 種が挙げられる。撮像装置としては、例えば、内視鏡、目付きカテテル、及びデジタルカメラ等が挙げられる。

撮像装置情報は、内視鏡等の撮像装置、内視鏡プロセッサ、及び画像の少なくとも 1 種から取得することができる。

撮像装置情報を取得した後、同じ画像を用いて再度、機械学習用訓練データ生成方法を実行するか、または、同じ動画から切り出した画像や一連の画像に対して機械学習用訓練データ生成方法を実行する際には、取得済の撮像装置情報を用いることで、撮像装置情報の取得を省略してもよい。

[0022] ここで、撮像部 4 1 1 がステレオカメラによって構成されていた場合を想定する。この場合には、生成処理部 1 3 0 は、ステップ S 1 Bにおいて、以下に示すように、第 1 の被写体距離情報または、第 1 の被写体距離情報及び内視鏡情報を取得する。

具体的に、生成処理部 1 3 0 は、当該ステレオカメラによって異なる視点から同時に撮像された各撮像画像（第 1 の撮像画像）において、同一被写体の画像中の相対的なずれ量を用いることによって、三角測量の原理に基づいて、第 1 の被写体距離を示す第 1 の被写体距離情報を算出（取得）する。ここで、生成処理部 1 3 0 は、第 1 の撮像画像の画像中央に写り込んだ被写体までの第 1 の被写体距離、または当該第 1 の撮像画像に写り込んだ所定の被写体までの第 1 の被写体距離を示す第 1 の被写体距離情報を算出する。

[0023] また、撮像部 4 1 1 を構成する撮像素子が位相差画素を含む撮像素子によって構成されていた場合を想定する。この場合には、生成処理部 1 3 0 は、ステップ S 1 Bにおいて、以下に示すように、第 1 の被写体距離情報または、第 1 の被写体距離情報及び内視鏡情報を取得する。

具体的に、生成処理部 1 3 0 は、第 1 の撮像画像における位相差画素に相

当する画素情報に基づいて、第1の被写体距離を示す第1の被写体距離情報を算出（取得）する。ここで、生成処理部130は、第1の撮像画像の画像中央に写り込んだ被写体までの第1の被写体距離、または、当該第1の撮像画像に写り込んだ所定の被写体までの第1の被写体距離を示す第1の被写体距離情報を算出する。

[0024] ステップS1Bの後、生成処理部130は、以下に示すように、生成処理を実行することによって、シミュレーション画像を生成する（ステップS1C）。

図3及び図4は、生成処理（ステップS1C）を説明する図である。具体的に、図4は、記憶部120に記憶された補正PSF（Point Spread Function）を示す図である。

[0025] 本実施の形態では、生成処理部130は、ステップS1Bにおいて取得した第1の被写体距離情報及び内視鏡情報を基に、第1の内視鏡とは別の所定の最適被写体距離を有する第2の内視鏡で所定の被写体距離の画像を撮像した場合の対応するシミュレーション画像を生成する。前記シミュレーション画像が機械学習における訓練データとなる。

ここで、第1の被写体距離は、例えば、3mmである。なお、第1の被写体距離を示す上述した値は、単なる例示であり、その他の値であっても構わない。以下では、説明の便宜上、上述した値を用いる。

[0026] 先ず、生成処理部130は、図3に示すように、第1の内視鏡410によって第1の内視鏡410にとってのピンボケの無い最適被写体距離で撮像された第1の撮像画像C11を像面投影することによって当該第1の内視鏡410の光学像を生成する（ステップS1C1）。具体的に、生成処理部130は、第1の撮像画像C11の縦横を所定の倍率で拡大することによって当該第1の内視鏡410の光学像を生成する。

[0027] ステップS1C1の後、生成処理部130は、図3に示すように、第1の撮像画像C11の第1の被写体距離に対応した補正PSF（補正PSF（1）（図4））を記憶部120から読み込む（ステップS1C2）。

ここで、記憶部 120 には、図 4 に示すように、第 1 の被写体距離 (3mm) 及び第 2 の内視鏡 310 (図 8 参照) の第 2 の被写体距離 (2mm) に対応した補正 P S F として、画質補正情報 (補正 P S F (1)) が記憶されている。

「第 2 の撮像装置で撮像した被写体距離 2 mm のボケ画像」を学習データとして生成したい場合に、単に、最適被写体距離の第 1 の撮像画像を被写体距離 2 mm に補正しても学習データとして適切な画像は得られない。このため、あらかじめ第 1 の撮像装置のボケ度と第 2 の撮像装置のボケ度とを関係づけて必要な補正 P S F を算出した換算表を用いる。例えば図 4 に示される換算表を見ると、第 2 の撮像装置で被写体距離 2 mm のボケ画像を得るには、第 1 の撮像装置で撮像した最適被写体距離の画像を被写体距離 3 mm にまでボケさせなければならないことがわかる。言い換えると 2 mm ではなく 3 mm にボケさせなければならないことが分かる。

撮像装置の組み合わせが異なる換算表を複数保持する場合、上述の撮像装置情報から対応する換算表を特定してもよい。

[0028] 第 2 の内視鏡 310 は、第 1 の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する。本実施の形態では、シミュレーション画像は、第 1 の内視鏡 410 によって第 1 の被写体距離 (3mm) で撮像された第 1 の撮像画像を教師データ (正解画像) とし、当該教師データに対応する訓練データであって、第 2 の内視鏡 310 によって第 2 の被写体距離 (2mm) で撮像された第 2 の撮像画像を模したシミュレーション画像である。なお、第 2 の被写体距離を示す上述した値は、単なる例示であり、その他の値であっても構わない。以下では、説明の便宜上、上述した値を用いる。

[0029] また、補正 P S F (1) は、以下に示すように、算出されたものである。

第 1 の被写体距離 (3mm) での第 1 の内視鏡 410 を構成する光学系の結像面におけるボケの量 (M T F (Modulation Transfer Function)) である M T F 1 は、当該第 1 の被写体距離 (3mm) 及び当該光学系に関する第 1 のレンズ構成情報とから、光学シミュレーションによって算出される。

また、第 2 の被写体距離 (2mm) での第 2 の内視鏡 310 を構成する光学系

の結像面におけるボケの量（MTF）であるMTF 2は、当該第2の被写体距離（2mm）及び当該光学系に関する第2のレンズ構成情報とから、光学シミュレーションによって算出される。

そして、補正PSF（1）は、MTF 1がMTF 2になるように、ボケの量を補正するための画質補正情報であり、例えば、2次元フィルタによって構成されている。

[0030] ステップS1C2の後、生成処理部130は、図3に示すように、当該ステップS1C2において生成した光学像に対して補正PSF（1）をコンボリューションし、当該光学像（第1の撮像画像）のボケ（画質）を補正する（ステップS1C3）。これによって、第2の内視鏡310の光学像が生成される（ステップS1C4）。

[0031] ステップS1C4の後、生成処理部130は、図3に示すように、当該ステップS1C4において生成した光学像をサンプリング（画素間引き）し、シミュレーション画像S11を生成する。

[0032] そして、生成処理部130は、シミュレーション画像S11の生成に用いた第1の撮像画像C11（教師データ）と当該シミュレーション画像S11（訓練データ）とを1組として、記憶部120に記憶する。

[0033] [機械学習装置の構成]

次に、機械学習用訓練データ生成装置100によって生成されたシミュレーション画像S11を用いて機械学習を実行して学習済みモデルを生成する機械学習装置200の構成について説明する。

図5は、機械学習装置200の構成を示すブロック図である。

機械学習装置200は、PCまたはサーバ等の情報処理装置であり、教師データ及び訓練データを用いて機械学習を実行して学習済みモデルを生成する。この機械学習装置200は、図5に示すように、外部インターフェース210と、記憶部220と、学習処理部230とを備える。

[0034] 記憶部220は、外部インターフェース210を経由することによって取得した教師データ（第1の撮像画像C11）及び訓練データ（シミュレーシ

ョン画像S 1 1) の組を複数組、記憶する。なお、図5では、機械学習装置200は、機械学習用訓練データ生成装置100から直接、教師データ(第1の撮像画像C 1 1) 及び訓練データ(シミュレーション画像S 1 1) の組を複数組、取得する構成を図示しているが、これに限らない。機械学習装置200は、機械学習用訓練データ生成装置100から出力され、サーバ等に格納された複数組の教師データ(第1の撮像画像C 1 1) 及び訓練データ(シミュレーション画像S 1 1) を当該サーバから外部インターフェース210を経由して取得する構成としても構わない。

また、記憶部220は、学習処理部230が実行する各種プログラム、及び当該学習処理部230の処理に必要な情報等を記憶する。

[0035] 学習処理部230は、CPUやMPU等のコントローラ、または、ASICやFPGA等の集積回路を含んで構成され、後述する学習処理を実行することによって、学習済みモデルを生成する。

なお、学習処理部230の詳細な機能については、後述する「機械学習方法」において説明する。

[0036] [機械学習方法]

次に、上述した機械学習装置200が実行する機械学習方法について説明する。

図6は、機械学習方法を示すフローチャートである。

先ず、学習処理部230は、記憶部220に記憶された複数組の教師データ(第1の撮像画像C 1 1) 及び訓練データ(シミュレーション画像S 1 1) を取得する(ステップS 2 A)。

[0037] ステップS 2 Aの後、学習処理部230は、以下に示すように、学習処理を実行することによって、学習済みモデルを生成する(ステップS 2 B)。

図7は、学習処理(ステップS 2 B)を説明する図である。

学習処理部230は、図7に示すように、複数組の教師データ(第1の撮像画像C 1 1) 及び訓練データ(シミュレーション画像S 1 1) を用いて、学習モデルに対する学習処理を繰り返し実行し、その学習後の学習モデルを

学習済みモデルMDとして生成する。当該学習処理に用いる学習モデルは、例えば、CNN (Convolutional Neural Network) である。そして、学習処理部230は、当該CNNの各層の重み値とバイアス値を算出し、それらの値を学習済みモデルMDとして生成し、当該学習済みモデルMDを記憶部220に記憶する。

[0038] なお、学習処理（ステップS1B）に用いるニューラルネットワークとしては、CNNに限らず、その他のニューラルネットワークを採用しても構わない。また、ニューラルネットワークにおける機械学習のアルゴリズムとしては、公知の種々な学習アルゴリズムを採用することができる。例えば、誤差逆伝搬法を用いた教師有り学習アルゴリズムを採用することができる。

[0039] 〔第2の内視鏡システムの構成〕

次に、機械学習装置200によって生成された学習済みモデルMDを用いて高画質化処理を実行して高画質化推論画像を生成する第2の内視鏡システム300の構成について説明する。

図8は、第2の内視鏡システム300の構成を示すブロック図である。

第2の内視鏡システム300は、医療分野において用いられ、被検体内（生体内）を観察するシステムである。この第2の内視鏡システム300は、図8に示すように、第2の内視鏡310と、第2の画像処理装置320とを備える。

[0040] 第2の内視鏡310は、本発明に係る第2の撮像装置に相当する。この第2の内視鏡310は、一部が生体内に挿入され、当該生体内の被写体像を撮像する撮像部311（図8）を有する例えば軟性鏡によって構成されている。

撮像部311は、撮像部411よりも低画質の撮像画像を生成する点のみが当該撮像部411と異なる。以下では、撮像部311によって生成された撮像画像を第2の撮像画像と記載する。

[0041] 第2の画像処理装置320は、CPUやMPU等のコントローラ、または、ASICやFPGA等の集積回路を含んで構成され、第2の内視鏡システ

ム300全体の動作を制御する。この第2の画像処理装置320は、図8に示すように、外部インターフェース321と、記憶部322と、画像処理部323とを備える。

[0042] 記憶部322は、外部インターフェース321を経由することによって取得した学習済みモデルMDを記憶する。なお、図8では、第2の内視鏡システム300は、機械学習装置200から直接、学習済みモデルMDを取得する構成を図示しているが、これに限らない。第2の内視鏡システム300は、機械学習装置200から出力され、サーバ等に格納された学習済みモデルMDを当該サーバから外部インターフェース321を経由して取得する構成としても構わない。

また、記憶部322は、画像処理部323が実行する各種プログラム、及び当該画像処理部323の処理に必要な情報等を記憶する。

[0043] 画像処理部323は、第2の撮像画像に対して所定の画像処理を実行する。そして、当該画像処理が実行された後の第2の撮像画像は、表示装置（図示略）に表示される。

なお、画像処理部323の詳細な機能については、後述する「画像処理方法」において説明する。

[0044] 〔画像処理方法〕

次に、上述した第2の画像処理装置320が実行する画像処理方法について説明する。

図9は、画像処理方法を示すフローチャートである。

先ず、画像処理部323は、第2の撮像画像を取得するとともに（ステップS3A）、記憶部322から学習済みモデルMDを読み込む（ステップS3B）。そして、ステップS3Bの後、画像処理部323は、ステップS3Aで取得した第2の撮像画像（処理対象画像）に対して、学習済みモデルMDを用いて高画質化処理を実行し、高画質化推論画像を生成する（ステップS3C）。すなわち、第2の内視鏡310によって撮像された第2の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第2の内視鏡310

よりも高画質の撮像画像を生成する第1の内視鏡410によって第1の被写体距離（3mm）で撮像された第1の撮像画像C11のような高画質化推論画像が生成される。

[0045] 以上説明した本実施の形態によれば、以下の効果を奏する。

本実施の形態に係る生成処理（ステップS1C）では、第1の撮像画像C11よりも低画質の撮像画像を生成する第2の内視鏡310によって第2の被写体距離で撮像された第2の撮像画像を模したシミュレーション画像を当該第1の撮像画像C11（教師データ）に対応する機械学習用の訓練データとして生成するにあたって、第1の被写体距離に基づいて、当該第1の撮像画像C11の画質を補正してシミュレーション画像S11を生成する。すなわち、第1の内視鏡410が撮像した際の第1の撮像画像C11の第1の被写体距離を考慮してシミュレーション画像S11を生成している。

したがって、本実施の形態によれば、シミュレーション画像S11を正しく生成することができ、結果として、正しい学習済みモデルMDを生成することができ、高画質化推論画像を精度良く生成することができる。

[0046] （その他の実施形態）

ここまで、本発明を実施するための形態を説明してきたが、本発明は上述した実施の形態によってのみ限定されるべきものではない。

上述した実施の形態において、以下に示す変形例1～4を採用しても構わない。

[0047] （変形例1）

図10は、実施の形態の変形例1を説明する図である。具体的に、図10は、図3に対応した図であり、本変形例1に係る生成処理（ステップS1C）を説明する図である。

上述した実施の形態では、ボケの補正処理（ステップS1C3）において用いる補正PSF（補正PSF（1））は、記憶部120に記憶されていたが、これに限らない。例えば、図10に示した本変形例1のように、ボケの補正処理（ステップS1C3）の前に、当該補正PSF（補正PSF（1）

)を算出しても構わない。

[0048] 具体的に、本変形例1に係る生成処理(ステップS1C)では、図10に示すように、ステップS1C2の代わりに、ステップS1C5が採用されている。

ステップS1C5において、生成処理部130は、図10に示すように、第1の被写体距離(略3mm)D1と、第1の内視鏡410を構成する光学系に関する第1のレンズ構成情報I1とから、光学シミュレーションによって、当該第1の被写体距離(3mm)D1での当該第1の内視鏡410を構成する光学系の結像面におけるボケの量(MTF)であるMTF1を算出する。また、生成処理部130は、第2の被写体距離(2mm)D2と、第2の内視鏡310を構成する光学系に関する第2のレンズ構成情報I2とから、光学シミュレーションによって、当該第2の被写体距離(2mm)D2での当該第2の内視鏡310を構成する光学系の結像面におけるボケの量(MTF)であるMTF2を算出する。そして、生成処理部130は、MTF1がMTF2になるように、ボケの量を補正するための画質補正情報である補正PSF(補正PSF(1))を算出する。当該算出された補正PSF(補正PSF(1))は、ボケの補正処理(ステップS1C3)において用いられる。

[0049] 以上説明した本変形例1の構成を採用した場合であっても、上述した実施の形態と同様の効果を奏する。

[0050] (変形例2)

図11ないし図14は、実施の形態の変形例2を説明する図である。具体的に、図11は、図4に対応した図であり、本変形例2に係る記憶部120に記憶された補正PSFを示す図である。図12は、図7に対応した図であり、本変形例2に係る学習処理(ステップS1B)を説明する図である。図13は、図8に対応した図であり、本変形例2に係る第2の内視鏡システム300Aの構成を示すブロック図である。図14は、図9に対応した図であり、本変形例2に係る画像処理方法を示すフローチャートである。

上述した実施の形態では、機械学習用訓練データ生成装置100は、第1

の被写体距離が3mmの第1の撮像画像C11（教師データ）に対応する訓練データであるシミュレーション画像S11のみを生成していたが、これに限らない。例えば、第1の被写体距離が3mm以外の他の値である第1の撮像画像に対応する訓練データであるシミュレーション画像を生成しても構わない。

[0051] 本変形例2に係る生成処理部130は、第1の被写体距離情報に基づく第1の被写体距離が第1の特定の距離となる第1の撮像画像C11に対応する訓練データとなるシミュレーション画像S11と、当該第1の被写体距離が第2の特定の距離となる第1の撮像画像C12に対応する訓練データとなるシミュレーション画像S12と、当該第1の被写体距離が第3の特定の距離となる第1の撮像画像C13に対応する訓練データとなるシミュレーション画像S13とをそれぞれ生成する。

[0052] ここで、第1の特定の距離は、上述した実施の形態と同様に3mmである。また、第2の特定の距離は、例えば、7.5mmである。さらに、第3の特定の距離は、例えば、12.5mmである。なお、第1～第3の特定の距離を示す上述した値は、単なる例示であり、その他の値であっても構わない。以下では、説明の便宜上、上述した値を用いる。

[0053] すなわち、本変形例2に係る生成処理部130は、ステップS1Aにおいて、第1の被写体距離（3mm）で撮像された第1の撮像画像C11と、第1の被写体距離（7.5mm）で撮像された第1の撮像画像C12と、第1の被写体距離（12.5mm）で撮像された第1の撮像画像C13とをそれぞれ取得する。

[0054] また、本変形例2に係る生成処理部130は、ステップS1Bにおいて、第1の被写体距離（3mm）を示す第1の被写体距離情報と、第1の被写体距離（7.5mm）を示す第1の被写体距離情報と、第1の被写体距離（12.5mm）を示す第1の被写体距離情報とをそれぞれ取得する。

[0055] 本変形例2に係る記憶部120には、図11に示すように、第1の内視鏡410の第1の被写体距離（3mm）及び第2の内視鏡310の第2の被写体距離（2mm）に対応した補正PSFとして画質補正情報（補正PSF（1））が記憶されている。また、記憶部120には、第1の内視鏡410の第1の被

写体距離（7.5mm）及び第2の内視鏡310の第2の被写体距離（5mm）に対応した補正PSFとして画質補正情報（補正PSF（2））が記憶されている。さらに、記憶部120には、第1の内視鏡410の第1の被写体距離（12.5mm）及び第2の内視鏡310の第2の被写体距離（9mm）に対応した補正PSFとして画質補正情報（補正PSF（3））が記憶されている。

[0056] そして、本変形例2に係る生成処理部130は、第1の被写体距離（3mm）の第1の撮像画像C1と補正PSF（1）とを用いてステップS1Cを実行することによって、シミュレーション画像S1を生成する。このシミュレーション画像S1は、第1の内視鏡410によって第1の被写体距離（3mm）で撮像された第1の撮像画像C1を教師データとし、当該教師データに対応する訓練データであって、第2の内視鏡310によって第2の被写体距離（2mm）で撮像された第2の撮像画像を模したシミュレーション画像である。

[0057] また、本変形例2に係る生成処理部130は、第1の被写体距離（7.5mm）の第1の撮像画像C2と補正PSF（2）とを用いてステップS1Cを実行することによって、シミュレーション画像S2を生成する。このシミュレーション画像S2は、第1の内視鏡410によって第1の被写体距離（7.5mm）で撮像された第1の撮像画像C2を教師データとし、当該教師データに対応する訓練データであって、第2の内視鏡310によって第2の被写体距離（5mm）で撮像された第2の撮像画像を模したシミュレーション画像である。なお、第2の被写体距離を示す上述した値は、単なる例示であり、その他の値であっても構わない。以下では、説明の便宜上、上述した値を用いる。

[0058] さらに、本変形例2に係る生成処理部130は、第1の被写体距離（12.5mm）の第1の撮像画像C3と補正PSF（3）とを用いてステップS1Cを実行することによって、シミュレーション画像S3を生成する。このシミュレーション画像S3は、第1の内視鏡410によって第1の被写体距離（12.5mm）で撮像された第1の撮像画像C3を教師データとし、当該教師

データに対応する訓練データであって、第2の内視鏡310によって第2の被写体距離(9mm)で撮像された第2の撮像画像を模したシミュレーション画像である。なお、第2の被写体距離を示す上述した値は、単なる例示であり、その他の値であっても構わない。以下では、説明の便宜上、上述した値を用いる。

[0059] そして、生成処理部130は、シミュレーション画像S11の生成に用いた第1の撮像画像C11(教師データ)と当該シミュレーション画像S11(訓練データ)とを1組として、記憶部120に記憶する。また、生成処理部130は、シミュレーション画像S12の生成に用いた第1の撮像画像C12(教師データ)と当該シミュレーション画像S12(訓練データ)とを1組として、記憶部120に記憶する。さらに、生成処理部130は、シミュレーション画像S13の生成に用いた第1の撮像画像C13(教師データ)と当該シミュレーション画像S13(訓練データ)とを1組として、記憶部120に記憶する。

[0060] また、本変形例2では、機械学習装置200(学習処理部230)の処理も上述した実施の形態とは異なる。

具体的に、本変形例2に係る学習処理部230は、図12に示すように、複数組の教師データ(第1の撮像画像C11)及び訓練データ(シミュレーション画像S11)を用いて、学習モデルに対する学習処理(ステップS2B(ステップS2B1))を繰り返し実行し、その学習後の学習モデルを学習済みモデルMD1として生成する。

[0061] また、本変形例2に係る学習処理部230は、図12に示すように、複数組の教師データ(第1の撮像画像C12)及び訓練データ(シミュレーション画像S12)を用いて、学習モデルに対する学習処理(ステップS2B(ステップS2B2))を繰り返し実行し、その学習後の学習モデルを学習済みモデルMD2として生成する。

[0062] さらに、本変形例2に係る学習処理部230は、図12に示すように、複数組の教師データ(第1の撮像画像C13)及び訓練データ(シミュレーシ

ョン画像S 1 3) を用いて、学習モデルに対する学習処理(ステップS 2 B(ステップS 2 B 3)) を繰り返し実行し、その学習後の学習モデルを学習済みモデルMD 3として生成する。

[0063] すなわち、本変形例2に係る学習処理部2 3 0は、ステップS 2 Aにおいて、複数組の教師データ(第1の撮像画像C 1 1)及び訓練データ(シミュレーション画像S 1 1)と、複数組の教師データ(第1の撮像画像C 1 2)及び訓練データ(シミュレーション画像S 1 2)と、複数組の教師データ(第1の撮像画像C 1 3)及び訓練データ(シミュレーション画像S 1 3)とをそれぞれ取得する。

[0064] そして、本変形例2に係る学習処理部2 3 0は、生成した学習済みモデルMD 1を第2の被写体距離(2mm)に対応付けて記憶部2 2 0に記憶する。また、学習処理部2 3 0は、生成した学習済みモデルMD 2を第2の被写体距離(5mm)に対応付けて記憶部2 2 0に記憶する。さらに、学習処理部2 3 0は、生成した学習済みモデルMD 3を第2の被写体距離(9mm)に対応付けて記憶部2 2 0に記憶する。

[0065] また、本変形例2では、第2の内視鏡システム3 0 0 Aの構成も上述した実施の形態において説明した第2の内視鏡システム3 0 0とは異なる。

具体的に、本変形例2に係る第2の内視鏡システム3 0 0 Aは、図1 3に示すように、第2の内視鏡システム3 0 0に対して、第2の画像処理装置3 2 0の構成を変更している。以下では、本変形例2に係る第2の画像処理装置3 2 0を第2の画像処理装置3 2 0 Aと記載する。

[0066] 第2の画像処理装置3 2 0 Aは、本発明に係る画像処理装置に相当する。この第2の画像処理装置3 2 0 Aは、図1 3に示すように、第2の画像処理装置3 2 0に対して、距離情報取得部3 2 4及び学習済みモデル選択部3 2 5の機能が追加されている。

[0067] 以下、本変形例2に係る画像処理方法を説明しつつ、距離情報取得部3 2 4及び学習済みモデル選択部3 2 5の機能について説明する。

本変形例2に係る画像処理方法は、図1 4に示すように、上述した実施の

形態において説明した画像処理方法に対して、ステップS 3 Bの代わりに、ステップS 3 D, S 3 Eが追加されている。

[0068] ステップS 3 Dは、ステップS 3 Aの後に実行される。

具体的に、距離情報取得部3 2 4は、ステップS 3 Dにおいて、ステップS 3 Aで取得された第2の撮像画像の第2の被写体距離を示す第2の被写体距離情報を取得する。

[0069] ここで、撮像部3 1 1がステレオカメラによって構成されていた場合を想定する。この場合には、距離情報取得部3 2 4は、ステップS 3 Dにおいて、以下に示すように、第2の被写体距離情報を取得する。

具体的に、距離情報取得部3 2 4は、当該ステレオカメラによって異なる視点から同時に撮像された各撮像画像（第2の撮像画像）において、同一被写体の画像中の相対的なずれ量を用いることによって、三角測量の原理に基づいて、第2の被写体距離を示す第2の被写体距離情報を算出（取得）する。ここで、距離情報取得部3 2 4は、第2の撮像画像の画像中央に写り込んだ被写体までの第2の被写体距離、または当該第2の撮像画像に写り込んだ所定の被写体までの第2の被写体距離を示す第2の被写体距離情報を算出する。

[0070] また、撮像部3 1 1を構成する撮像素子が位相差画素を含む撮像素子によって構成されていた場合を想定する。この場合には、距離情報取得部3 2 4は、ステップS 3 Dにおいて、以下に示すように、第2の被写体距離情報を取得する。

具体的に、距離情報取得部3 2 4は、第2の撮像画像における位相差画素に相当する画素情報に基づいて、第2の被写体距離を示す第1の被写体距離情報を算出（取得）する。ここで、距離情報取得部3 2 4は、第2の撮像画像の画像中央に写り込んだ被写体までの第2の被写体距離、または当該第2の撮像画像に写り込んだ所定の被写体までの第2の被写体距離を示す第2の被写体距離情報を算出する。

[0071] ステップS 3 Dの後、学習済みモデル選択部3 2 5は、記憶部3 2 2に記

憶された学習済みモデルMD 1～MD 3のうち、当該ステップS 3 Dで取得された第2の被写体距離情報に基づく第2の被写体距離に対応する学習済みモデルを選択する（ステップS 3 E）。そして、ステップS 3 Cの高画質化処理では、ステップS 3 Eで選択された学習済みモデルが用いられる。すなわち、第2の内視鏡3 1 0によって撮像された第2の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第2の内視鏡3 1 0よりも高画質の撮像画像を生成する第1の内視鏡4 1 0によって第1の被写体距離で最適被写体距離で撮像された第1の撮像画像C 1 1のような高画質化推論画像が生成される。この場合、例えば、機械学習の際には被写体距離2 mmの画像を最適被写体距離となるように学習させた学習モデルに適用させる高画質化対象画像は必ずしも被写体距離2 mmである必要はない。この場合、例えば被写体距離1 mm～3 mmの画像であっても最適被写体距離となるように画質変換することが可能である。言い換えると機械学習時に用いた学習用画像に対して例えば被写体距離が±1.5 mm異なるボケ画像であっても同機械学習モデルを用いて高画質化できる。

また、第2の内視鏡3 1 0によって第2の被写体距離（略5mm）で撮像された第2の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第2の内視鏡3 1 0よりも高画質の撮像画像を生成する第1の内視鏡4 1 0によって最適被写体距離で撮像された第1の撮像画像C 1 2のような高画質化推論画像が生成される。さらに、第2の内視鏡3 1 0によって第2の被写体距離（略9mm）で撮像された第2の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第2の内視鏡3 1 0よりも高画質の撮像画像を生成する第1の内視鏡4 1 0によって最適被写体距離で撮像された第1の撮像画像C 1 3のような高画質化推論画像が生成される。

[0072] 以上説明した本変形例2の構成を採用した場合であっても、上述した実施の形態と同様の効果を奏する。

また、本変形例2では、第1の被写体距離が異なる第1の撮像画像C 1 1～C 1 3毎に、当該第1の被写体距離に基づいて、シミュレーション画像S

11～S13を生成する。また、第1の撮像画像C11（教師データ）及びシミュレーション画像S11（訓練データ）の組、第1の撮像画像C12（教師データ）及びシミュレーション画像S12（訓練データ）の組、及び第1の撮像画像C13（教師データ）及びシミュレーション画像S13（訓練データ）の組毎に、機械学習によって学習済みモデルMD1～MD3を生成する。そして、学習済みモデルMD1～MD3のうち、第2の内視鏡310が撮像した際の第2の撮像画像の第2の被写体距離に対応する学習済みモデルを用いて、当該第2の撮像画像に対して高画質化処理を実行して高画質化推論画像を生成する。

したがって、第2の内視鏡310が種々の第2の被写体距離で第2の撮像画像を生成した場合であっても、当該第2の被写体距離に対応する学習済みモデルを用いて当該第2の撮像画像から精度良く高画質化推論画像を生成することができる。

[0073] （変形例3）

図15は、実施の形態の変形例3を説明する図である。具体的に、図15は、図12に対応した図であり、本変形例3に係る学習処理（ステップS1B）を説明する図である。

上述した変形例2では、複数組の教師データ（第1の撮像画像C11）及び訓練データ（シミュレーション画像S11）と、複数組の教師データ（第1の撮像画像C12）及び訓練データ（シミュレーション画像S12）と、複数組の教師データ（第1の撮像画像C13）及び訓練データ（シミュレーション画像S13）とから、機械学習によって、学習済みモデルMD1～MD3を生成していたが、これに限らない。

[0074] 本変形例3に係る学習処理部230は、図15に示すように、ステップS2Bにおいて、複数組の教師データ（第1の撮像画像C11）及び訓練データ（シミュレーション画像S11）と、複数組の教師データ（第1の撮像画像C12）及び訓練データ（シミュレーション画像S12）と、複数組の教師データ（第1の撮像画像C13）及び訓練データ（シミュレーション画像

S 1 3) とを用いて、同一の学習モデルに対する学習処理を繰り返し実行し、その学習後の学習モデルを学習済みモデルMD 4 として生成する。当該学習済みモデルMD 4 は、本発明に係る第 3 の学習済みモデルに相当する。

[0075] なお、本変形例 3 に係る画像処理方法は、学習済みモデルMD を学習済みモデルMD 4 に変更する点以外は、上述した実施の形態と同様である。すなわち、本変形例 3 においても、上述した変形例 2 と同様に、第 2 の内視鏡 3 1 0 によって撮像された第 2 の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第 2 の内視鏡 3 1 0 よりも高画質の撮像画像を生成する第 1 の内視鏡 4 1 0 によって第 1 の被写体距離で最適被写体距離で撮像された第 1 の撮像画像 C 1 1 のような高画質化推論画像が生成される。この場合、例えば、機械学習の際には被写体距離 2 m m の画像を最適被写体距離となるように学習させた学習モデルに適用させる高画質化対象画像は必ずしも被写体距離 2 m m である必要はない。この場合、例えば被写体距離 1 m m ~ 3 m m の画像であっても最適被写体距離となるように画質変換することが可能である。言い換えると機械学習時に用いた学習用画像に対して例えば被写体距離が ± 1 . 5 m m 異なるボケ画像であっても同機械学習モデルを用いて高画質化できる。

また、第 2 の内視鏡 3 1 0 によって第 2 の被写体距離（略 5mm）で撮像された第 2 の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第 2 の内視鏡 3 1 0 よりも高画質の撮像画像を生成する第 1 の内視鏡 4 1 0 によって最適被写体距離で撮像された第 1 の撮像画像 C 1 2 のような高画質化推論画像が生成される。さらに、第 2 の内視鏡 3 1 0 によって第 2 の被写体距離（略 9mm）で撮像された第 2 の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第 2 の内視鏡 3 1 0 よりも高画質の撮像画像を生成する第 1 の内視鏡 4 1 0 によって最適被写体距離で撮像された第 1 の撮像画像 C 1 3 のような高画質化推論画像が生成される。

[0076] 以上説明した本変形例 3 の構成を採用した場合であっても、上述した実施の形態及び変形例 2 と同様の効果を奏する。

また、本変形例 3 では、複数組の教師データ（第 1 の撮像画像 C 1 1）及び訓練データ（シミュレーション画像 S 1 1）と、複数組の教師データ（第 1 の撮像画像 C 1 2）及び訓練データ（シミュレーション画像 S 1 2）と、複数組の教師データ（第 1 の撮像画像 C 1 3）及び訓練データ（シミュレーション画像 S 1 3）とを用いて、機械学習によって 1 つの学習済みモデル M D 4 を生成する。

したがって、第 2 の内視鏡 3 1 0 が種々の第 2 の被写体距離で第 2 の撮像画像を生成した場合において、当該第 2 の被写体距離を取得しなくても、学習済みモデル M D 4 を用いて当該第 2 の撮像画像から精度良く高画質化推論画像を生成することができる。

[0077] （変形例 4）

図 1 6 及び図 1 7 は、実施の形態の変形例 4 を説明する図である。具体的に、図 1 6 は、図 3 に対応した図であり、本変形例 4 に係る生成処理（ステップ S 1 C）を説明する図である。

本変形例 4 に係る生成処理部 1 3 0 は、シミュレーション画像 S 1 1 を生成する他、以下のシミュレーション画像 S 1 4 を生成する。

シミュレーション画像 S 1 4 は、シミュレーション画像 S 1 1 を訓練データとし、当該訓練データに対応する教師データであって、第 1 の撮像画像 C 1 1 よりも低画質で、第 2 の内視鏡 3 1 0 が生成する第 2 の撮像画像よりも高画質の撮像画像を生成する第 3 の内視鏡（図示略）によって所定の被写体距離で撮像された撮像画像を模したシミュレーション画像である。

[0078] 具体的に、本変形例 4 に係る生成処理部 1 3 0 は、ステップ S 1 Cにおいて、上述した実施の形態と同様にシミュレーション画像 S 1 1 を生成するとともに、以下に示すように、シミュレーション画像 S 1 4 を生成する。

先ず、本変形例 4 に係る生成処理部 1 3 0 は、図 1 6 に示すように、第 1 の内視鏡 4 1 0 によって第 1 の被写体距離（3mm）で撮像された第 1 の撮像画像 C 1 1 を像面投影することによって当該第 1 の内視鏡 4 1 0 の光学像を生成する（ステップ S 1 C 6）。具体的に、生成処理部 1 3 0 は、第 1 の撮像

画像C 1 1の縦横を所定の倍率で拡大することによって当該第1の内視鏡410の光学像を生成する。

[0079] ステップS 1 C 6の後、本変形例4に係る生成処理部130は、図16に示すように、第1の撮像画像C 1 1の第1の被写体距離に対応した補正PSF（補正PSF（4））を記憶部120から読み込む（ステップS 1 C 7）。

ここで、記憶部120には、第1の被写体距離（3mm）及び第3の内視鏡（図示略）の所定の被写体距離に対応した補正PSFとして、画質補正情報（補正PSF（4））が記憶されている。

[0080] ここで、補正PSF（1）は、以下に示すように、算出されたものである。

第1の被写体距離（3mm）での第1の内視鏡410を構成する光学系の結像面におけるボケの量（MTF）であるMTF 1は、当該第1の被写体距離（3mm）及び当該光学系に関する第1のレンズ構成情報とから、光学シミュレーションによって算出される。

また、所定の被写体距離での第3の内視鏡を構成する光学系の結像面におけるボケの量（MTF）であるMTF 3は、当該所定の被写体距離及び当該光学系に関する第3のレンズ構成情報とから、光学シミュレーションによって算出される。

そして、補正PSF（4）は、MTF 1がMTF 3になるように、ボケの量を補正するための画質補正情報であり、例えば、2次元フィルタによって構成されている。

[0081] ステップS 1 C 7の後、本変形例4に係る生成処理部130は、図16に示すように、当該ステップS 1 C 6において生成した光学像に対して補正PSF（4）をコンボリューションし、当該光学像（第1の撮像画像）のボケ（画質）を補正する（ステップS 1 C 7）。これによって、第3の内視鏡の光学像が生成される（ステップS 1 C 8）。

[0082] ステップS 1 C 8の後、本変形例4に係る生成処理部130は、図16に

示すように、当該ステップS 1 C 8において生成した光学像をサンプリング（画素間引き）し、シミュレーション画像S 1 4を生成する。

[0083] そして、本変形例4に係る生成処理部1 3 0は、シミュレーション画像S 1 4（教師データ）とシミュレーション画像S 1 1（訓練データ）とを1組として、記憶部1 2 0に記憶する。

[0084] また、本変形例4では、機械学習装置2 0 0（学習処理部2 3 0）の処理も上述した実施の形態とは異なる。

具体的に、本変形例4に係る学習処理部2 3 0は、図1 7に示すように、複数組の教師データ（シミュレーション画像S 1 4）及び訓練データ（シミュレーション画像S 1 1）を用いて、学習モデルに対する学習処理（ステップS 2 B）を繰り返し実行し、その学習後の学習モデルを学習済みモデルMD 5として生成する。そして、学習処理部2 3 0は、生成した学習済みモデルMD 5を記憶部2 2 0に記憶する。

[0085] すなわち、本変形例4に係る学習処理部2 3 0は、ステップS 2 Aにおいて、複数組の教師データ（シミュレーション画像S 1 4）及び訓練データ（シミュレーション画像S 1 1）を取得する。

[0086] なお、本変形例4に係る画像処理方法は、学習済みモデルMDを学習済みモデルMD 5に変更する点以外は、上述した実施の形態と同様である。すなわち、本変形例4においては、第2の内視鏡3 1 0によって第2の被写体距離（略2mm）で撮像された第2の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第2の内視鏡3 1 0よりも高画質の撮像画像を生成する第3の内視鏡によって所定の被写体距離で撮像された撮像画像のような高画質化推論画像が生成される。

[0087] 以上説明した本変形例4の構成を採用した場合であっても、上述した実施の形態と同様の効果を奏する。

また、本変形例4では、シミュレーション画像S 1 1を訓練データとし、当該訓練データに対応する教師データであって、第1の撮像画像C 1 1よりも低画質で、第2の内視鏡3 1 0が生成する第2の撮像画像よりも高画質の

撮像画像を生成する第3の内視鏡（図示略）によって所定の被写体距離で撮像された撮像画像を模したシミュレーション画像S14を生成する。また、本変形例4では、複数組の教師データ（シミュレーション画像S14）及び訓練データ（シミュレーション画像S11）を用いて、機械学習によって学習済みモデルMD5を生成する。

したがって、学習済みモデルMD5を用いて第2の内視鏡310が撮像した第2の撮像画像に対して高画質化処理を実行することによって、当該第2の内視鏡310よりも高画質の撮像画像を生成する第3の内視鏡によって所定の被写体距離で撮像された撮像画像のような高画質化推論画像を生成することができる。すなわち、当該第3の内視鏡等の目標とする内視鏡が撮像した撮像画像を教師データとして機械学習する必要があるため、当該目標とする内視鏡の実写画像を撮り直すことなく、当該目標とする内視鏡が撮像した撮像画像のような高画質化推論画像を生成することが可能となる。

[0088]（変形例5）

上述した実施の形態では、本発明に係る第1～第3の撮像装置を内視鏡によって構成していたが、これに限らず、撮像により撮像画像を生成する撮像装置であれば、その他の撮像装置を採用しても構わない。

[0089]（変形例6）

上述した実施の形態では、シミュレーション画像S11を生成するにあたって、光学像（2次元画像）のPSFを補正していたが、これに限らない。例えば、第1の撮像画像C11を周波数空間に変換し、当該周波数空間においてOTF（Optical Transfer function）を補正することによって、シミュレーション画像S11を生成しても構わない。

符号の説明

- [0090] 100 機械学習用訓練データ生成装置
 110 外部インターフェース
 120 記憶部
 130 生成処理部

- 200 機械学習装置
- 210 外部インターフェース
- 220 記憶部
- 230 学習処理部
- 300, 300A 第2の内視鏡システム
- 310 第2の内視鏡
 - 311 撮像部
- 320, 320A 第2の画像処理装置
 - 321 外部インターフェース
 - 322 記憶部
 - 323 画像処理部
 - 324 距離情報取得部
 - 325 学習済みモデル選択部
- 400 第1の内視鏡システム
 - 410 第1の内視鏡
 - 411 撮像部
 - 420 第1の画像処理装置
 - 421 画像処理部
 - 422 外部インターフェース
- C11～C13 第1の撮像画像
- D1 第1の被写体距離
- D2 第2の被写体距離
- I1 第1のレンズ構成情報
- I2 第2のレンズ構成情報
- MD, MD1～MD5 学習済みモデル
- S11～S14 シミュレーション画像

請求の範囲

- [請求項1] 第1の撮像装置によって生成された第1の撮像画像、及び前記第1の撮像画像の第1の被写体距離を取得し、
- 前記第1の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する第2の撮像装置によって第2の被写体距離で撮像された第2の撮像画像を模したシミュレーション画像を教師データとなる前記第1の撮像画像に対応する機械学習用の訓練データとして生成するために、前記第1の被写体距離及び前記第1の撮像装置と、前記第2の被写体距離及び前記第2の撮像装置との相関関係から補正量を定めた換算表に基づいて、前記第1の撮像画像の画質を補正して前記シミュレーション画像を生成する機械学習用訓練データ生成方法。
- [請求項2] 前記第1の撮像画像に紐づく前記第1の撮像装置の情報である第1の撮像装置情報を取得し、
- 前記第1の撮像装置情報をもとに前記換算表を選択する請求項1に記載の機械学習用訓練データ生成方法。
- [請求項3] 前記第1の撮像装置情報として、前記第1の撮像装置を構成する光学系に関する第1のレンズ構成情報を取得する請求項2に記載の機械学習用訓練データ生成方法。
- [請求項4] 前記第1の被写体距離は、
- 前記第1の撮像画像の画像中央の被写体距離であるか、または、前記第1の撮像画像に写り込んだ所定の被写体までの被写体距離である請求項1に記載の機械学習用訓練データ生成方法。
- [請求項5] 前記換算表に基づき、前記第2の撮像装置によって第3の被写体距離で撮像された第3の撮像画像を模したシミュレーション画像を生成する請求項1に記載の機械学習用訓練データ生成方法。
- [請求項6] 教師データ及び訓練データを取得し、
- 前記教師データ及び前記訓練データに基づいて機械学習によって学習済みモデルを生成し、

前記教師データは、

第 1 の撮像装置が第 1 の被写体距離で撮像した第 1 の撮像画像であり、

前記訓練データは、

前記第 1 の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する第 2 の撮像装置によって第 2 の被写体距離で撮像された第 2 の撮像画像を模したシミュレーション画像であって、前記第 1 の被写体距離及び前記第 1 の撮像装置と、前記第 2 の被写体距離及び前記第 2 の撮像装置との相関関係から補正量を定めた換算表に基づいて前記第 1 の撮像画像の画質が補正されたシミュレーション画像である機械学習方法。

[請求項7]

さらに、前記換算表に基づき、前記第 2 の撮像装置によって第 3 の被写体距離で撮像された第 3 の撮像画像を模したシミュレーション画像を訓練データとして用いた機械学習を行う請求項 6 に記載の機械学習方法。

[請求項8]

第 1 の撮像装置が第 1 の被写体距離で撮像した第 1 の撮像画像を教師データとして用い、

前記第 1 の撮像画像よりも低画質の撮像画像を生成する第 2 の撮像装置によって第 2 の被写体距離で撮像された第 2 の撮像画像を模したシミュレーション画像を訓練データとして用いて学習された機械学習プログラムであって、

前記訓練データは、前記第 1 の被写体距離及び前記第 1 の撮像装置と、前記第 2 の被写体距離及び前記第 2 の撮像装置との相関関係から補正量を定めた換算表に基づいて前記第 1 の撮像画像の画質を補正した画像である機械学習プログラム。

[請求項9]

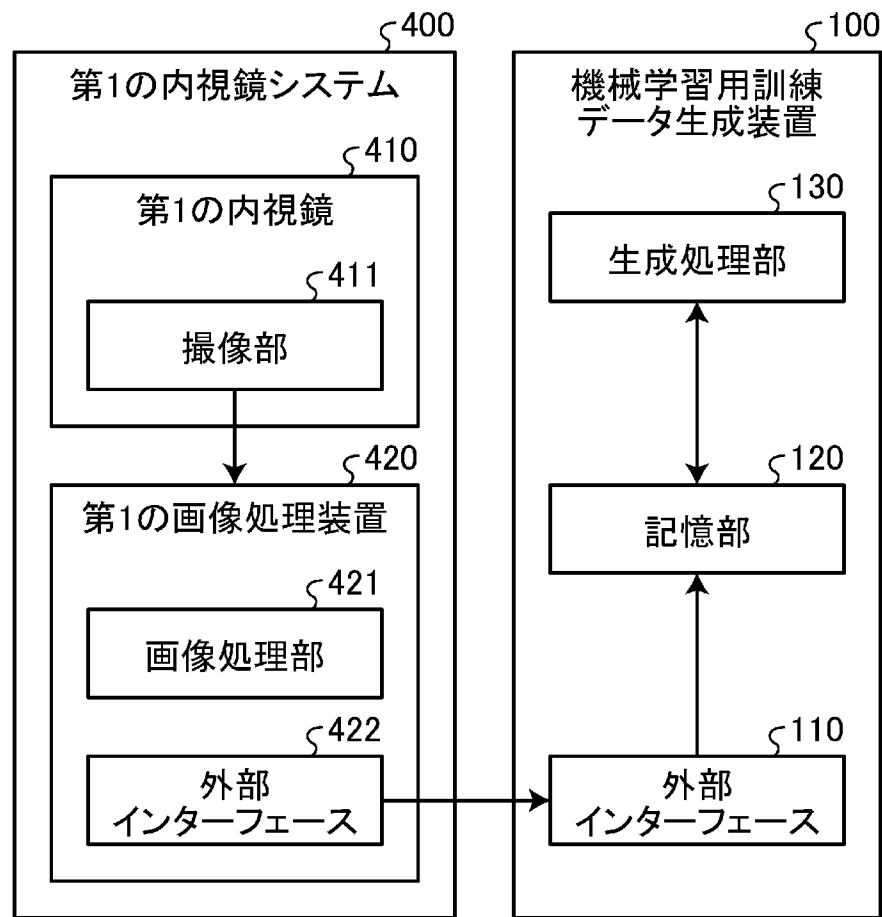
高画質化処理を実行する処理対象画像の被写体距離を取得する距離情報取得部と、

複数の学習済みモデルのうち、前記距離情報取得部が取得した前記被写体距離に対応する学習済みモデルを選択する学習済みモデル選択

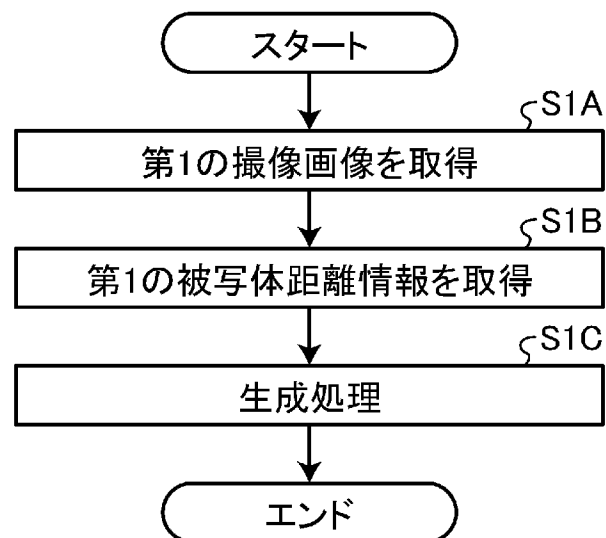
部と、

前記処理対象画像を取得し、前記学習済みモデル選択部によって選択された学習済みモデルを用いて前記処理対象画像に対して前記高画質化処理を実行して高画質化推論画像を生成する画像処理部と、を備える画像処理装置。

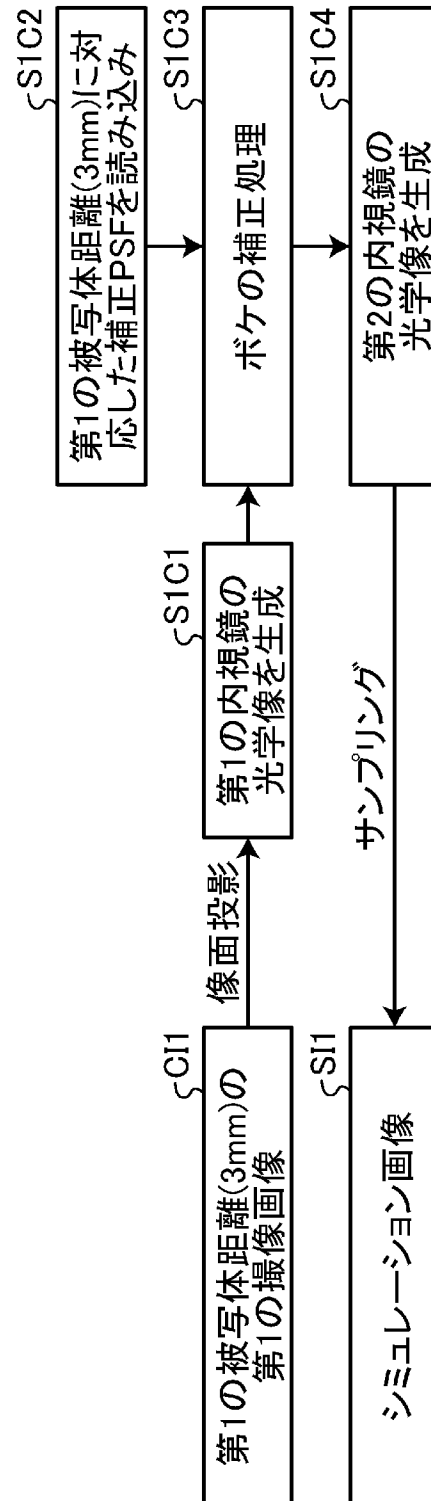
[図1]



[図2]



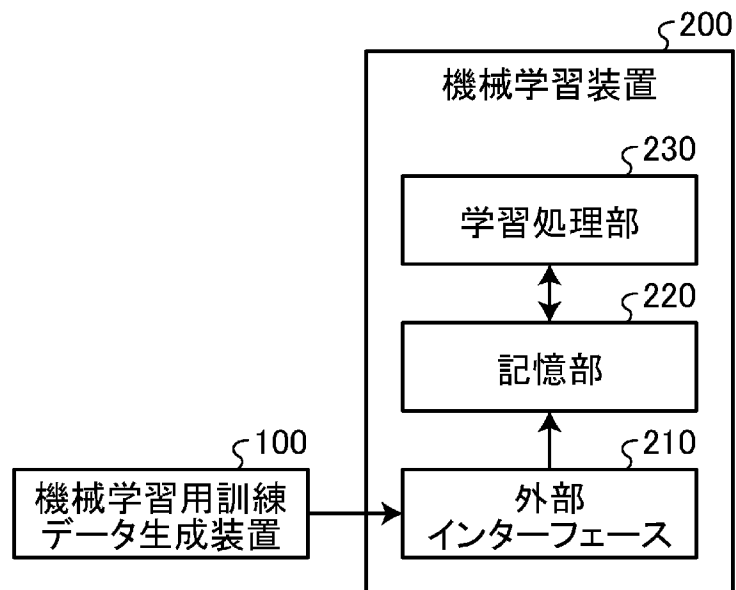
[図3]



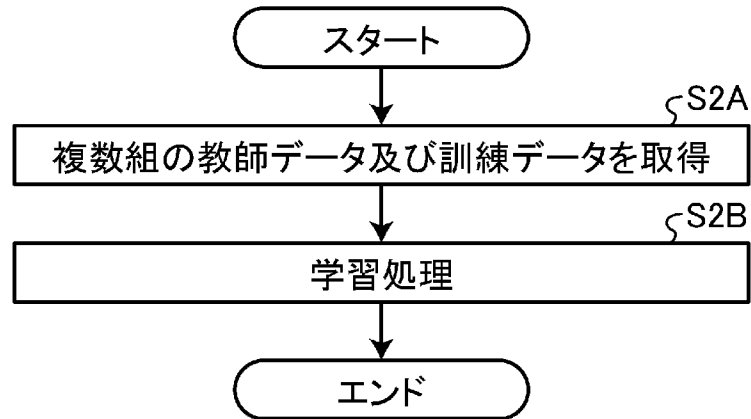
[図4]

第1の撮像装置 第1の被写体距離	第2の撮像装置 第2の被写体距離	補正PSF
3mm	2mm	補正PSF(1)

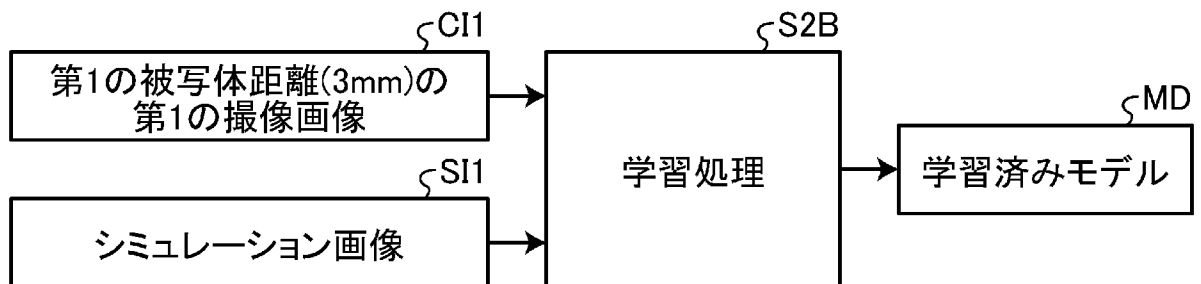
[図5]



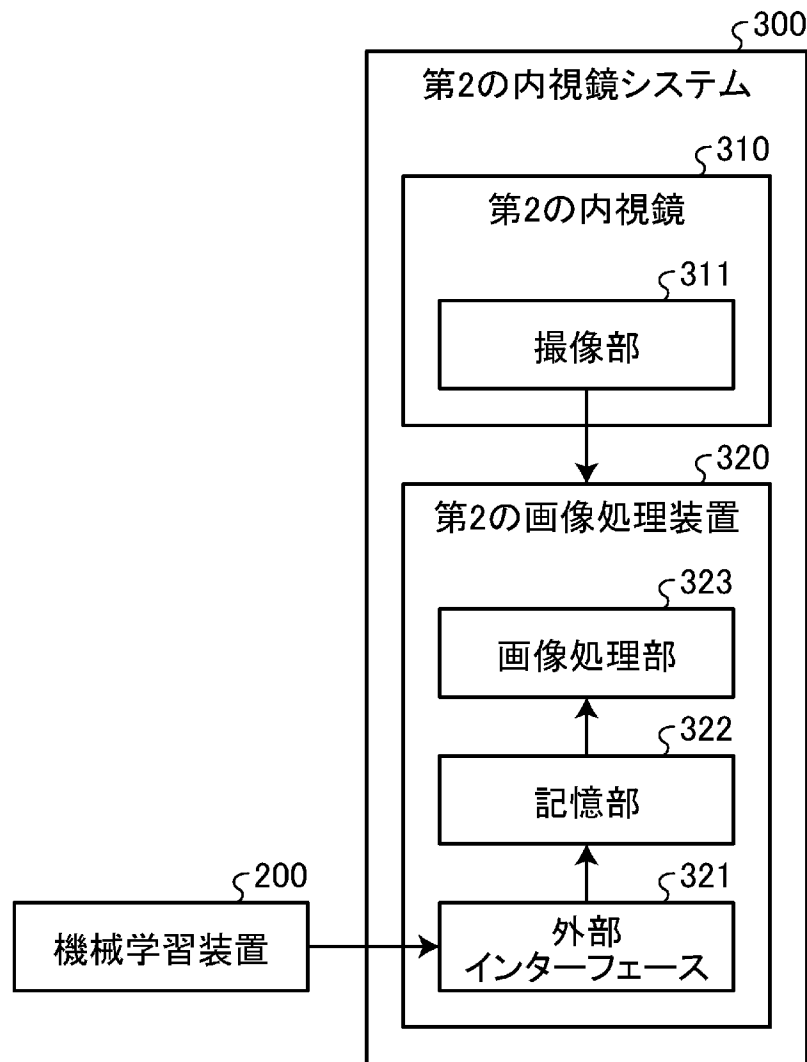
[図6]



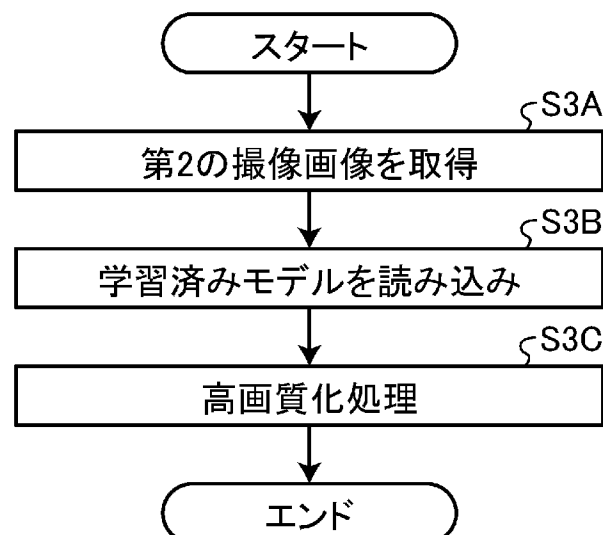
[図7]



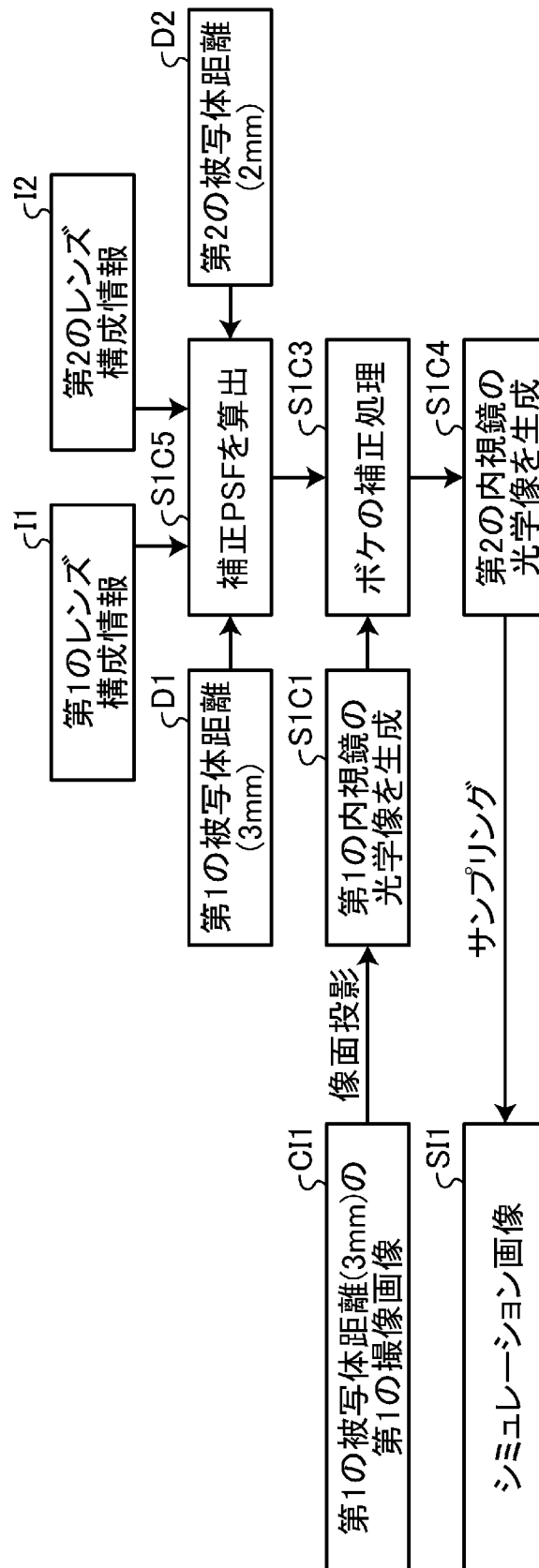
[図8]



[図9]



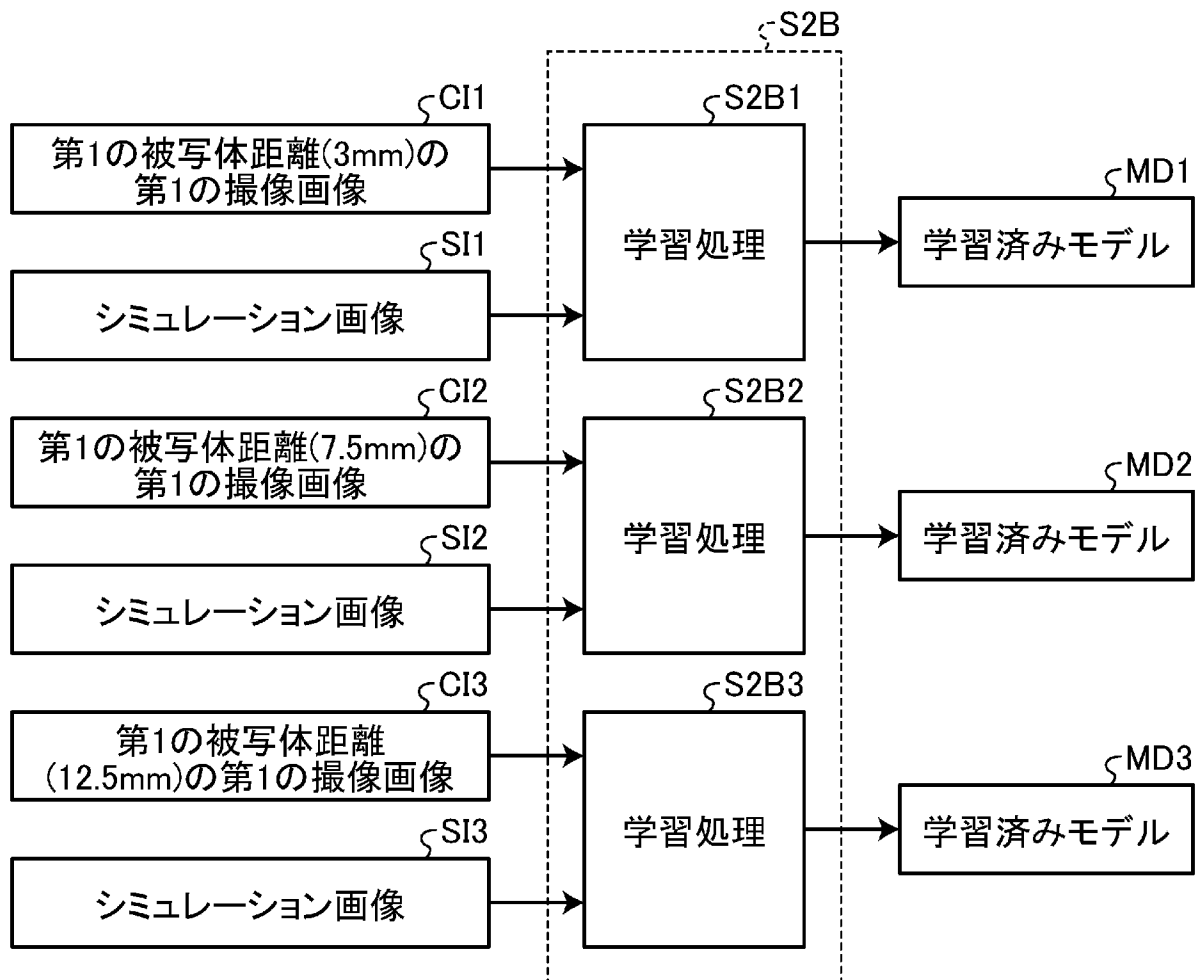
[図10]



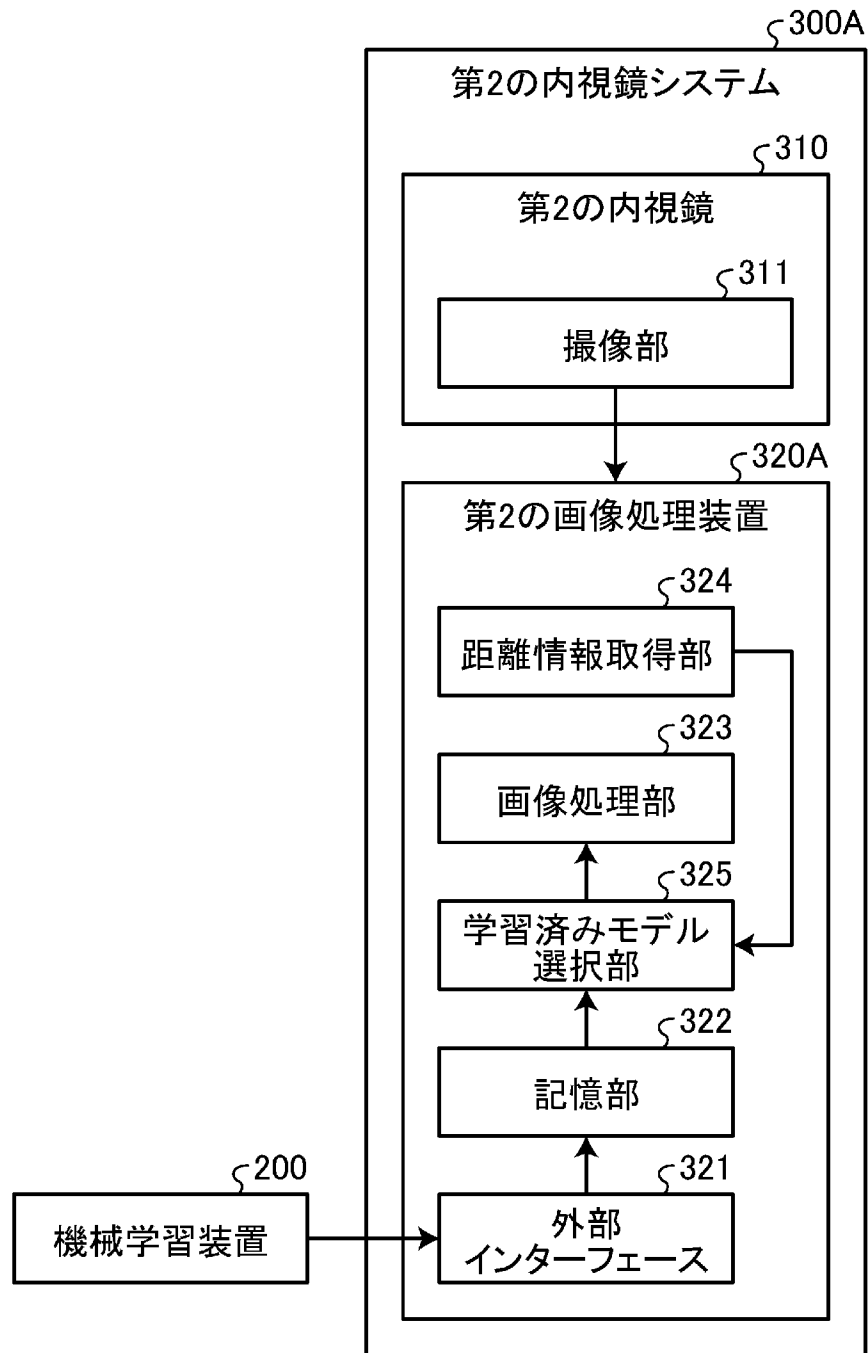
[図11]

第1の撮像装置 第1の被写体距離	第2の撮像装置 第2の被写体距離	補正PSF
3mm	2mm	補正PSF(1)
7.5mm	5mm	補正PSF(2)
12.5mm	9mm	補正PSF(3)

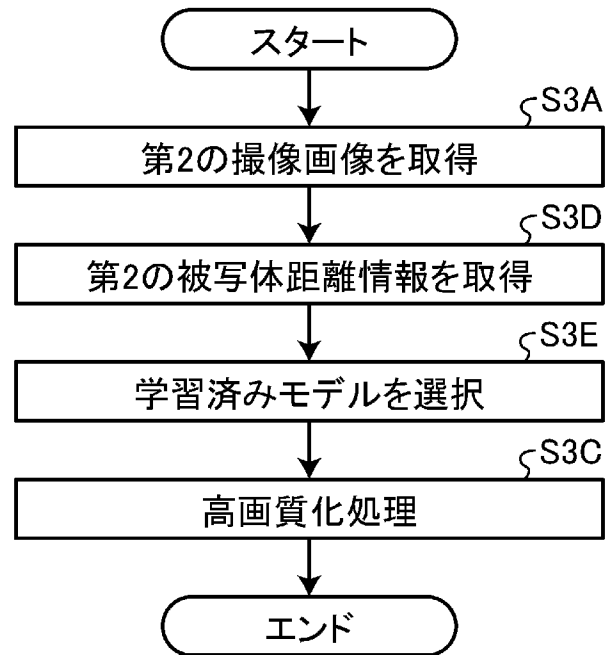
[図12]



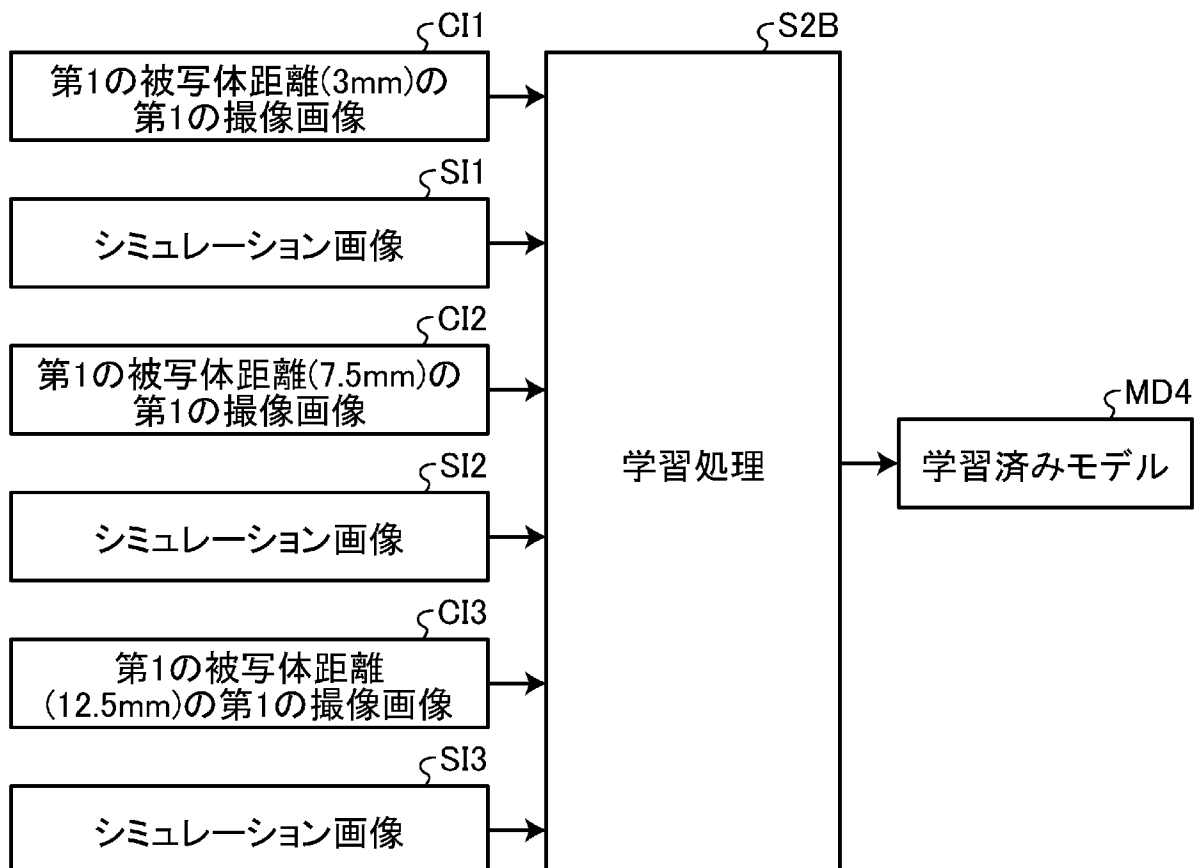
[図13]



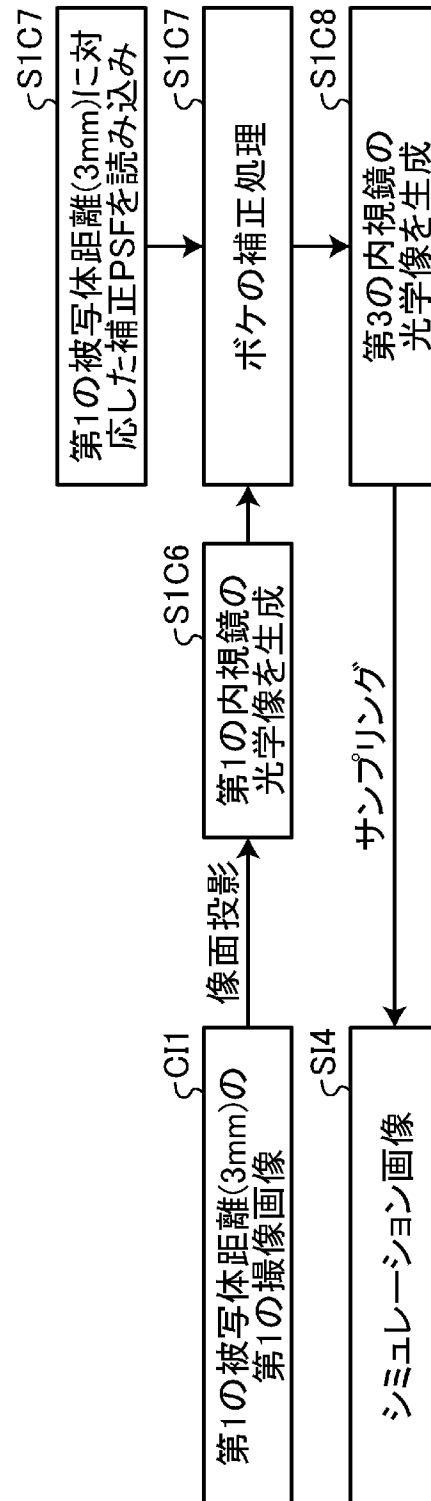
[図14]



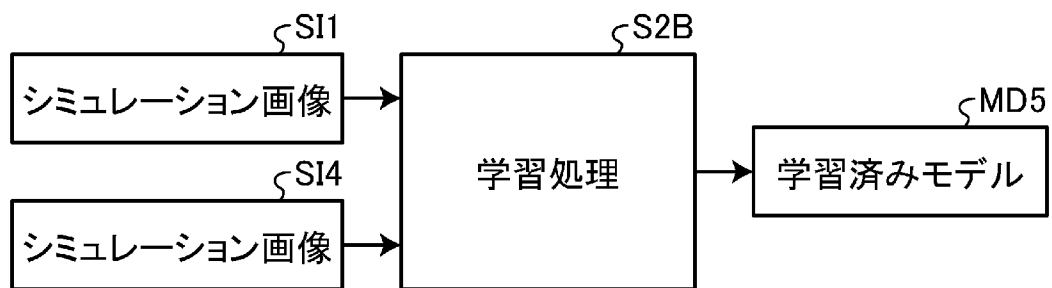
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/022328

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06T 5/00**(2006.01)i

FI: G06T5/00 710

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 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	JP 2021-190814 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 13 December 2021 (2021-12-13)	6-9
A	paragraphs [0010]-[0046], fig. 1-5	1-5
A	JP 2021-189929 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 13 December 2021 (2021-12-13)	1-9
	entire text, all drawings	
A	JP 2021-174070 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 01 November 2021 (2021-11-01)	1-9
	entire text, all drawings	



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

22 August 2023

Date of mailing of the international search report

05 September 2023

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/JP2023/022328

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-190814	A	13 December 2021	(Family: none)	
JP	2021-189929	A	13 December 2021	(Family: none)	
JP	2021-174070	A	01 November 2021	(Family: none)	

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: G06T5/00 710		
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 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023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	JP 2021-190814 A（キヤノン株式会社）13.12.2021（2021 - 12 - 13） 段落[0010]-[0046], 図1-5	6-9
A		1-5
A	JP 2021-189929 A（キヤノン株式会社）13.12.2021（2021 - 12 - 13） 全文, 全図	1-9
A	JP 2021-174070 A（キヤノン株式会社）01.11.2021（2021 - 11 - 01） 全文, 全図	1-9
☐ 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 22.08.2023	国際調査報告の発送日 05.09.2023	
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） 橘 高志 5V 8391 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/JP2023/022328

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2021-190814	A	13.12.2021	(ファミリーなし)	
JP	2021-189929	A	13.12.2021	(ファミリーなし)	
JP	2021-174070	A	01.11.2021	(ファミリーなし)	