(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
2025年3月20日(20.03.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/057751 A1

(51) 国際特許分類:
G06T 7/80 (2017.01)　　*G01B 11/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2024/030928

(22) 国際出願日：　2024年8月29日(29.08.2024)

(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 2023-150219　2023年9月15日(15.09.2023)　JP

(71) 出願人: オムロン株式会社 (**OMRON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 Kyoto (JP).

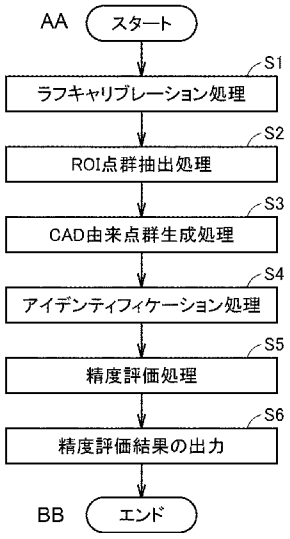
(72) 発明者: 大城　篤志 (**OSHIRO, Atsushi**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 相原 邦光(**AIHARA, Kunimitsu**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 築山 和成(**TSUKIYAMA, Kazunari**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 赤木 哲也(**AKAGI, Tetsuya**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人深見特許事務所(**FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.**); 〒5300005 大阪府大阪

(54) **Title:** INFORMATION PROCESSING DEVICE, INFORMATION PROCESSING METHOD, AND INFORMATION PROCESSING PROGRAM

(54) 発明の名称： 情報処理装置、情報処理方法および情報処理プログラム

FIG.3



S1 Rough calibration processing
S2 ROI point cloud extraction processing
S3 CAD-derived point cloud generation processing
S4 Identification processing
S5 Accuracy evaluation processing
S6 Outputting of result of accuracy evaluation
AA Start
BB End

(57) **Abstract:** Provided is a new method for evaluating the accuracy of registration. This information processing device includes: a first point cloud generation unit for extracting a first point cloud included in a first region determined with reference to a reference marker among point clouds generated on the basis of information pertaining to a reference object; a second point cloud generation unit for extracting a second point cloud included in a second region determined with reference to the reference marker among point clouds included in a composite image; a search unit for searching, with

WO 2025/057751 A1

［続葉有］

市北区中之島三丁目２番４号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (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.

(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)）

regard to a first point pair selected from within the first point cloud, for a second point pair corresponding to the first point pair in the second point cloud; and an evaluation unit for evaluating the accuracy of the correspondence relationship on the basis of the shape dimensions of the first point pair and the second point pair.

(57) 要約：レジストレーションの精度を評価するための新たな方法を提供する。 情報処理装置は、リファレンス物体の情報に基づいて生成された点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域に含まれる第１の点群を抽出する第１の点群生成部と、合成画像に含まれる点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域に含まれる第２の点群を抽出する第２の点群生成部と、第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、第２の点群において第１の点ペアに対応する第２の点ペアを探索する探索部と、第１の点ペアおよび第２の点ペアの形状寸法に基づいて、対応関係の精度を評価する評価部とを含む。

明　細　書

発明の名称 ：

情報処理装置、情報処理方法および情報処理プログラム

技術分野

[0001]　本発明は、複数のカメラについてのレジストレーションに関する。

背景技術

[0002]　例えば、自立ロボットを実現するためには、空間の認識が必要である。空間の認識には、例えば、複数のカメラで撮像される複数の画像を用いる方法が採用されてもよい。複数のカメラを用いる場合には、当該複数のカメラ間の位置合わせ（レジストレーションあるいはカメラレジストレーション）が必要となる。レジストレーションにより、カメラの外部パラメータ（同次変換行列）が決定される。

[0003]　例えば、特開２０２２－０３９９０６号公報（特許文献１）は、カメラの内部パラメータキャリブレーションと、レーザーレーダ－カメラの外部パラメータキャリブレーションとを含むマルチセンサによる複合キャリブレーション方法などを開示する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０２２－０３９９０６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005]　上述の先行技術文献においては、キャリブレーションの精度が向上されていると開示されているが、キャリブレーションの精度自体を評価する方法については開示されていない。

[0006]　本発明は、レジストレーションの精度を評価するための新たな方法を提供することを一つの目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一例に従う情報処理装置は、リファレンスマーカが配置されたリファレンス物体を第１のカメラで撮像して得られる第１の画像とリファレンス物体を第２のカメラで撮像して得られる第２の画像とを、第１のカメラの第１のカメラ座標系と第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成する合成部と、リファレンス物体の情報に基づいて生成された点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域に含まれる第１の点群を抽出する第１の点群生成部と、合成画像に含まれる点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域に含まれる第２の点群を抽出する第２の点群生成部と、第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、第２の点群において第１の点ペアに対応する第２の点ペアを探索する探索部と、第１の点ペアおよび第２の点ペアの形状寸法に基づいて、対応関係の精度を評価する評価部とを含む。

[0008] この構成によれば、リファレンスマーカが配置されたリファレンス物体に基づいて、第１の点群のうちから選択される第１の点ペアと、第２の点群において第１の点ペアに対応する第２の点ペアとを取得することで、第１の点ペアおよび第２の点ペアの形状寸法に基づいて、対応関係の精度を評価できる。第１の点ペアおよび第２の点ペアの形状寸法に基づくことで、絶対誤差を評価することもできるので、安全設計などの精度を高めることができる。

[0009] 情報処理装置は、第１のカメラでリファレンス物体を撮像して得られる画像に基づいて計算されるリファレンスマーカの位置および姿勢と、第２のカメラでリファレンス物体を撮像して得られる画像に基づいて計算されるリファレンスマーカの位置および姿勢との差に基づいて、対応関係を決定する決定部をさらに含んでもよい。この構成によれば、対応関係の精度を評価するために用いられるリファレンスマーカを用いて、カメラ座標系間の対応関係も決定できる。

[0010] 情報処理装置は、第１の点ペアと第２の点ペアとの形状寸法の差が小さく

なるように、対応関係を最適化する最適化部をさらに含んでもよい。この構成によれば、第１の点ペアおよび第２の点ペアの形状寸法に基づいて、カメラ座標系間の対応関係の精度を高めることができる。

[0011] 探索部は、第１の点ペアの各点に対応する第２の点群における座標を決定し、当該決定された座標から予め定められた距離内に存在する１または複数の点の重心に基づいて、第２の点ペアの各点を決定してもよい。この構成によれば、第１の点ペアの各点に対応する第２の点群における点を統計的にロバストに決定できる。

[0012] 第１の領域および第２の領域の各々は、リファレンス物体のリファレンスマーカが配置された面を基準として決定されてもよい。この構成によれば、リファレンスマーカが配置された面を基準とすることで、第１の点ペアと第２の点ペアとの対応付けに必要な点群を最適化できる。

[0013] 形状寸法は、長さおよび角度を含んでもよい。評価部は、長さの誤差についてのヒストグラムと、角度の誤差についてのヒストグラムとを出力してもよい。この構成によれば、形状寸法に含まれる長さおよび角度のそれぞれの観点から、精度を評価できる。

[0014] 評価部は、第２の点ペアの形状寸法の誤差の計算を繰り返すことで、形状寸法の誤差のばらつきを計算してもよい。この構成によれば、計測によって生じるゆらぎなどの予測が可能となる。

[0015] 第１の点ペアは、リファレンス物体の形状的な特徴に基づいて選択されてもよい。この構成によれば、第１の点ペアがより安定的に選択される。

[0016] 本発明の別の一例に従う情報処理方法は、リファレンスマーカが配置されたリファレンス物体を第１のカメラで撮像して得られる第１の画像とリファレンス物体を第２のカメラで撮像して得られる第２の画像とを、第１のカメラの第１のカメラ座標系と第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成することと、リファレンス物体の情報に基づいて生成された点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域に含まれる第１の点群を抽出することと、

合成画像に含まれる点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域に含まれる第２の点群を抽出することと、第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、第２の点群において第１の点ペアに対応する第２の点ペアを探索することと、第１の点ペアおよび第２の点ペアの形状寸法に基づいて、対応関係の精度を評価することとを含む。

[0017] 本発明のさらに別の一例に従う情報処理プログラムは、コンピュータに、リファレンスマーカが配置されたリファレンス物体を第１のカメラで撮像して得られる第１の画像とリファレンス物体を第２のカメラで撮像して得られる第２の画像とを、第１のカメラの第１のカメラ座標系と第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成することと、リファレンス物体の情報に基づいて生成された点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域に含まれる第１の点群を抽出することと、合成画像に含まれる点群のうち、リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域に含まれる第２の点群を抽出することと、第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、第２の点群において第１の点ペアに対応する第２の点ペアを探索することと、第１の点ペアおよび第２の点ペアの形状寸法に基づいて、対応関係の精度を評価することとを実行させる。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、レジストレーションの精度を評価できる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本実施の形態に従う情報処理システムの構成例を示す模式図である。

[図2]本実施の形態に従う情報処理装置のハードウェア構成例を示す模式図である。

[図3]本実施の形態に従う情報処理方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図4]本実施の形態に従う本実施の形態に従う情報処理方法の処理手順の別の一例を示すフローチャートである。

[図5]本実施の形態に従うラフキャリブレーション処理の一例を説明するための図である。

[図6]本実施の形態に従うラフキャリブレーション処理の別の一例を説明するための図である。

[図7]AprilTagの一例を示す図である。

[図8]図５および図６に示すラフキャリブレーション処理における同次変換行列を計算する処理を説明するための図である。

[図9]物体の各面に配置されたマーカのマーカ座標系の一例を示す図である。

[図10]ＣＡＤ正準座標系に基づくマーカ間の回転および平行移動の関係例を示す図である。

[図11]本実施の形態に従うＲＯＩ点群抽出処理の一例を説明するための図である。

[図12]本実施の形態に従うＣＡＤ由来点群生成処理の一例を説明するための図である。

[図13]本実施の形態に従うアイデンティフィケーション処理のキー点探索の一例を説明するための図である。

[図14]最小距離法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。

[図15]重心法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。

[図16]平均重心法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。

[図17]平均重心法およびM推定によりキー点を探索する方法を説明するための図である。

[図18]平均重心法およびＲＡＮＳＡＣ法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。

[図19]平均重心法およびＲＡＮＳＡＣ法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。

[図20]本実施の形態に従うアイデンティフィケーション処理の形状寸法計算の一例を説明するための図である。

[図21]本実施の形態に従う情報処理の処理例を示す図である。

[図22]本実施の形態に従う情報処理の処理例を示す図である。

[図23]本実施の形態に従う情報処理の処理例を示す図である。

[図24]本実施の形態に従う情報処理システムにおいて用いられるリファレンス物体の構成例を示す模式図である。

[図25]本実施の形態に従う情報処理システムにおいて用いられるリファレンス物体の構成例を示す模式図である。

[図26]本実施の形態に従う情報処理システムにおいて用いられるリファレンス物体の構成例を示す模式図である。

[図27]本実施の形態に従う情報処理システムにおいて用いられるリファレンス物体の構成例を示す模式図である。

[図28]本実施の形態に従う精度評価処理の絶対誤差評価の一例を説明するための図である。

[図29]本実施の形態に従う精度評価処理の繰り返し誤差評価の一例を説明するための図である。

[図30]本実施の形態に従う精度評価結果の出力の一例を示す模式図である。

[図31]本実施の形態に従うファインチューニング処理のペナルティ項の一例を説明するための図である。

[図32]本実施の形態に従うファインチューニング処理による長さの誤差の変化例を示す図である。

[図33]本実施の形態に従うファインチューニング処理による角度の誤差の変化例を示す図である。

[図34]本実施の形態に従う情報処理方法の点群厚を利用した精度確認を説明するための図である。

[図35]本実施の形態に従う精度空間分布の計算方法を説明するための図である。

[図36]本実施の形態に従う精度空間分布の計算方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図37]本実施の形態に従う精度空間分布の計算方法により得られた精度空間

分布を可視化した例を示す図である。

[図38]本実施の形態に従う情報処理システムの機能構成例を示す模式図である。

[図39]本実施の形態に従う情報処理システムにおける任意の世界座標系を設定する方法を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0020] 本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中の同一または相当部分については、同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0021] ＜Ａ．適用例＞

図１は、本実施の形態に従う情報処理システム１の構成例を示す模式図である。図１を参照して、情報処理システム１は、情報処理装置１００と、複数のカメラ１０－１，１０－２，…，１０－Ｎ（Ｎは２以上の整数）（以下、「カメラ１０」と総称することもある。）とを含む。

[0022] カメラ１０は、例えば、２次元画像（ＲＧＢ画像）およびデプス画像を同時に撮像する。カメラ１０は、３次元画像を撮像してもよい。

[0023] 情報処理装置１００は、複数のカメラ１０間の位置合わせ（レジストレーションあるいはカメラレジストレーション）を行う。カメラ１０－１，１０－２，…，１０－Ｎは、カメラ座標系１２－１，１２－２，…，１２－Ｎ（以下、「カメラ座標系１２」と総称することもある。）をそれぞれ有する。カメラ座標系１２は、各カメラ１０の視野に応じたものである。

[0024] レジストレーションは、複数のカメラ１０について、カメラ座標系１２間の対応関係を決定するための処理である。レジストレーションにおいて、空間ＳＰにある１または複数の点に基づいて、カメラ座標系１２間の対応関係が決定される。カメラ座標系１２間の対応関係は、例えば、カメラの外部パラメータである同次変換行列であってもよい。以下の説明においては、同次変換行列をカメラ座標系１２間の対応関係の一例として説明するが、どのようなパラメータ、変換行列または変換関数を用いてもよい。

[0025] レジストレーションが成功すると、あるカメラ１０のカメラ座標系１２と別のカメラ１０のカメラ座標系１２との間の対応関係を示す同次変換行列Ｔの計算が可能である。同次変換行列Ｔは、あるカメラ１０に対する別のカメラ１０の外部パラメータである。

[0026] 例えば、カメラ１０－１のカメラ座標系１２－１を基準（criteria）とすると、カメラ座標系１２－１からカメラ座標系１２－２への同次変換行列T^1_2が計算される。同様に、カメラ座標系１２－１からカメラ座標系１２－Ｎへの同次変換行列T^1_Nが計算される。同次変換行列は、回転および平行移動（位置）を示す行列である。

[0027] 本実施の形態に従う情報処理システム１は、計算されるカメラ座標系１２間の対応関係（同次変換行列Ｔ）の精度を評価する。

[0028] ＜Ｂ．ハードウェア構成例＞

次に、本実施の形態に従う情報処理システム１の情報処理装置１００のハードウェア構成例について説明する。

[0029] 図２は、本実施の形態に従う情報処理装置１００のハードウェア構成例を示す模式図である。図２を参照して、情報処理装置１００は、コンピュータの一例であり、１または複数のプロセッサ１０２と、メモリ１０４と、入力インターフェイス１０６と、表示インターフェイス１１０と、カメラインターフェイス１１４と、ネットワークコントローラ１１６と、ストレージ１２０とを含む。

[0030] １または複数のプロセッサ１０２は、ストレージ１２０に格納されているプログラムに含まれるコンピュータ読取可能命令を実行することで、後述するような処理および機能を提供する。１または複数のプロセッサ１０２がプログラムに含まれるコンピュータ読取可能命令を実行する場合には、プログラムの一部または全部がメモリ１０４に展開されてもよい。

[0031] ストレージ１２０は、非一過性のコンピュータ読取可能媒体の一例である。ストレージ１２０には、例えば、ＯＳ（Operating System）１２２と、情報処理プログラム１２４とが格納される。ＯＳ１２２は、コンピュータとし

て必要な機能を提供するためのコンピュータ読取可能命令と、情報処理プログラム１２４を実行する環境を生成するためのコンピュータ読取可能命令とを含む。

[0032] 情報処理プログラム１２４は、後述する処理のためのコンピュータ読取可能命令を含む。

[0033] 入力インターフェイス１０６は、キーボード、タッチパネル、マウス、および、タブレットなどの入力装置１０８からの入力指令を受け付ける。入力装置１０８は、情報処理装置１００の構成の一部であってもよい。

[0034] 表示インターフェイス１１０は、映像信号をディスプレイ１１２に出力する。ディスプレイ１１２は、情報処理装置１００の構成の一部であってもよい。

[0035] カメラインターフェイス１１４は、複数のカメラ１０とデータをやり取りする。

ネットワークコントローラ１１６は、ネットワークを介して、他の情報処理装置などとデータをやり取りする。

[0036] 本明細書において、「プロセッサ」との用語は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）およびＧＰＵ（Graphics Processing Unit）などのコンピュータ読取可能命令を順次実行する演算回路に加えて、ハードワイヤード回路も包含する。ハードワイヤード回路の一例としては、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）およびＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）などが挙げられる。「プロセッサ」は、コア、メモリおよび周辺回路を統合したＳｏＣ（System on a chip）を包含する。

[0037] ＜Ｃ．処理手順例＞

次に、本実施の形態に従う情報処理システム１において実行される処理の手順例について説明する。

[0038] 図３は、本実施の形態に従う情報処理方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。図３に示す処理は、レジストレーションおよび精度評価を含む。図３に示す各ステップは、情報処理装置１００のプロセッサ１０２が

情報処理プログラム１２４を実行することで、実現されてもよい。

[0039] 図３を参照して、情報処理装置１００は、ラフキャリブレーション処理を実行する（ステップＳ１）。ラフキャリブレーション処理の実行後、カメラ座標系１２間の対応関係が決定される。ステップＳ１は、他のステップの処理とは独立して、予め実行されてもよい。

[0040] 情報処理装置１００は、ＲＯＩ（Region of Interest；関心領域）点群抽出処理を実行する（ステップＳ２）。情報処理装置１００は、ＲＯＩ点群抽出処理を実行することで、ＲＯＩに含まれる点群（以下、「ＲＯＩ点群」とも称する。）を抽出する。

[0041] 情報処理装置１００は、ＣＡＤ（Computer Aided Design）由来点群生成処理を実行する（ステップＳ３）。情報処理装置１００は、ＣＡＤ由来点群生成処理を実行することで、ＣＡＤ情報に基づく点群（以下、「ＣＡＤ由来点群」とも称す。）を生成する。ステップＳ３は、他のステップの処理とは独立して、予め実行されてもよい。

[0042] 本明細書において、「点群（ポイントクラウド）」は、位置情報を含む点（ポイント）の集合を意味する。「点群」は、位置情報に加えて、色情報を含んでもよい。位置情報は、３次元データであってもよいし、２．５次元データであってもよい。位置情報は、２次元データと奥行情報（距離情報）とを互いに独立して有するものであってもよい。

[0043] 続いて、情報処理装置１００は、アイデンティフィケーション処理を実行する（ステップＳ４）。アイデンティフィケーション処理は、ＲＯＩ点群抽出処理により抽出されたＲＯＩ点群と、ＣＡＤ由来点群生成処理により生成されたＣＡＤ由来点群との対応関係を決定する処理を含む。アイデンティフィケーション処理は、ＣＡＤ由来点群のキー点ペアの形状寸法およびＲＯＩ点群のキー点ペアの形状寸法を計算する処理を含む。

[0044] 続いて、情報処理装置１００は、精度評価処理を実行する（ステップＳ５）。精度評価処理は、アイデンティフィケーション処理において計算された形状寸法に基づいて、精度を計算する処理を含む。

[0045] 本明細書において、「精度」は、レジストレーションの結果である同次変換行列Ｔ（外部パラメータ）の直接的または間接的な精度を意味する。ただし、「精度」は、複数のカメラが撮像する画像に基づいて再構成される空間情報の精度を意味する場合もある。また、「精度」は、複数のカメラが撮像する画像を合成した結果の精度を意味する場合もある。

[0046] 続いて、情報処理装置１００は、精度評価結果を出力する（ステップＳ６）。精度評価結果の出力は、例えば、計算された精度の空間的なビジュアライゼーションを含む。

[0047] ラフキャリブレーション処理に加えて、カメラ座標系１２間の対応関係を最適化するためのファインチューニング処理が実行されてもよい。

[0048] 図４は、本実施の形態に従う本実施の形態に従う情報処理方法の処理手順の別の一例を示すフローチャートである。図４に示す処理は、ファインチューニング処理を含む。図４に示す各ステップは、情報処理装置１００のプロセッサ１０２が情報処理プログラム１２４を実行することで、実現されてもよい。

[0049] 情報処理装置１００は、ラフキャリブレーション処理を実行する（ステップＳ１）。ステップＳ１は、他のステップの処理とは独立して、予め実行されてもよい。

[0050] 情報処理装置１００は、ＲＯＩ点群抽出処理を実行する（ステップＳ２）。情報処理装置１００は、ＣＡＤ由来点群生成処理を実行する（ステップＳ３）。ステップＳ３は、他のステップの処理とは独立して、予め実行されてもよい。

[0051] 情報処理装置１００は、アイデンティフィケーション処理を実行する（ステップＳ４）。情報処理装置１００は、ファインチューニング処理を実行する（ステップＳ７）。

[0052] 情報処理装置１００は、ファインチューニング処理の終了条件が満たされたか否かを判断する（ステップＳ８）。ファインチューニング処理の終了条件が満たされていなければ（ステップＳ８においてＮＯ）、ステップＳ２以

下の処理が繰り返される。

[0053] ファインチューニング処理の終了条件が満たされていれば（ステップＳ８においてＹＥＳ）、情報処理装置１００は、精度評価処理を実行する（ステップＳ５）。続いて、情報処理装置１００は、精度評価結果を出力する（ステップＳ６）。そして、処理は終了する。

[0054] 以下、各ステップの詳細について説明する。

＜Ｄ．ラフキャリブレーション処理（ステップＳ１）＞

次に、ラフキャリブレーション処理（ステップＳ１）について説明する。

[0055] 上述したように、ラフキャリブレーション処理においては、カメラ座標系１２間の対応関係が決定される。より具体的には、基準となるカメラ（以下、「基準カメラ１０Ｃ」とも称す。）のカメラ座標系１２Ｃから別のカメラ（以下、「ターゲットカメラ１０Ｔ」とも称す。）へのカメラ座標系１２Ｔの同次変換行列T^{C}_{T}が計算される。

[0056] 同次変換行列T^{C}_{T}の計算はどのような方法を用いてもよいが、以下では、リファレンスマーカを用いる方法、および、点群を用いる方法について例示する。

[0057] （ｄ１：リファレンスマーカを用いる方法）

図５は、本実施の形態に従うラフキャリブレーション処理の一例を説明するための図である。図５には、リファレンスマーカ（以下、単に「マーカ」とも略称する。）を用いたラフキャリブレーション処理の一例が示される。

[0058] 図５を参照して、基準カメラ１０Ｃおよびターゲットカメラ１０Ｔのそれぞれの視野（ＦＯＶ：Field Of View）１４Ｃ内にリファレンス物体（以下、単に「物体」とも称す。）２０が存在する。物体２０には、マーカ２２が配置されている。マーカ２２は、基準カメラ１０Ｃの視野１４Ｃ内に存在するとともに、ターゲットカメラ１０Ｔの視野１４Ｔ内に存在する。

[0059] マーカ２２は、例えば、３次元空間における位置および姿勢を検出可能なものが用いられる。マーカ２２は、例えば、２次元マーカであってもよい。マーカ２２が２次元マーカである場合には、２次元マーカが配置された面（

以下、「有効面」とも称す。）が規定される。

[0060] 図６は、本実施の形態に従うラフキャリブレーション処理の別の一例を説明するための図である。図６には、複数のカメラ１０が同一のマーカ２２を計測できない場合が示される。

[0061] 図６を参照して、物体２０のある面上にマーカ２２－１が配置され、物体２０の別の面上にマーカ２２－２が配置されている。このような配置によって、基準カメラ１０Ｃの視野１４Ｃ内にマーカ２２－１が存在し、ターゲットカメラ１０Ｔの視野１４Ｔ内にマーカ２２－２が存在する。

[0062] 複数のマーカが同時に用いられる場合には、マーカ２２を示す識別情報が検出可能であってもよい。マーカ２２としては、例えば、The APRIL Robotics Laboratory at the University of Michiganにより開発されたAprilTagを用いることができる。

[0063] 図７は、AprilTagの一例を示す図である。図７には、３つのAprilTagが例示されている。各AprilTagは、３次元空間における位置および姿勢、ならびに、識別情報を視覚的に計測可能である。

[0064] 図５および図６に示すように、各カメラ１０が撮像する画像により計測される、それぞれのカメラ座標系１２におけるマーカ２２の位置および姿勢の差に基づいて、同次変換行列Ｔが計算される。マーカ２２の位置および姿勢は、例えば、位置座標（３次元）および姿勢角度（３次元）の６次元のベクトルで表現される。

[0065] ラフキャリブレーション処理は、基準カメラ１０Ｃで物体２０を撮像して得られる画像に基づいて計算されるマーカ２２の位置および姿勢と、ターゲットカメラ１０Ｔで物体２０を撮像して得られる画像に基づいて計算されるマーカ２２の位置および姿勢との差に基づいて、カメラ座標系１２間の対応関係（同次変換行列Ｔ）を決定する処理を含む。

[0066] マーカ２２の位置および姿勢は、マーカ２２が配置された面（有効面２４）を基準とするマーカ座標系２６として定義することもできる。以下の説明においては、マーカ座標系２６を用いてカメラ座標系１２間の対応関係（同

次変換行列Ｔ）を決定する処理を説明する。

[0067] 図８は、図５および図６に示すラフキャリブレーション処理における同次変換行列を計算する処理を説明するための図である。

[0068] ＣＡＤ情報に基づいて予め設定されるＣＡＤ正準座標系２１から物体２０の各面に配置されたマーカ２２への同次変換行列（回転および平行移動）が、予め計算される。ＣＡＤ正準座標系２１を用いることで、マーカ２２の回転および平行移動の幾何計算の取扱性を容易化できる。

[0069] 例えば、図８（Ａ）に示すように、ＣＡＤ正準座標系２１からマーカ２２－１のマーカ座標系２６－１への同次変換行列$T^{CAD}{}_{mrk1}$が計算される。また、図８（Ｂ）に示すように、ＣＡＤ正準座標系２１からマーカ２２－２のマーカ座標系２６－２への同次変換行列$T^{CAD}{}_{mrk2}$が計算される。

[0070] 基準カメラ１０Ｃのカメラ座標系１２Ｃからターゲットカメラ１０Ｔのカメラ座標系１２Ｔへの同次変換行列$T^{C}{}_{T}$は、$T^{C}{}_{mrkC} \times T^{mrkC}{}_{mrkT} \times (T^{T}{}_{mrkT})^{-1}$で計算される。

[0071] 同次変換行列$T^{C}{}_{mrkC}$は、基準カメラ１０Ｃで物体２０を撮像して得られる画像に基づいて計算されるマーカ２２の位置および姿勢に相当する。同次変換行列$T^{T}{}_{mrkT}$は、ターゲットカメラ１０Ｔで物体２０を撮像して得られる画像に基づいて計算されるマーカ２２の位置および姿勢に相当する。

[0072] 同次変換行列$T^{mrkC}{}_{mrkT}$は、基準カメラ１０Ｃの視野１４Ｃに存在するマーカ２２からターゲットカメラ１０Ｔの視野１４Ｔ内に存在するマーカ２２への回転および平行移動に相当する。

[0073] 図８（Ａ）に示すように、基準カメラ１０Ｃおよびターゲットカメラ１０Ｔのそれぞれの視野内に同一のマーカ２２が存在する場合には、同次変換行列$T^{mrkTC}{}_{mrkT}$は、同一のマーカへの回転および平行移動に相当する。すなわち、同次変換行列$T^{mrkC}{}_{mrkT} = E$（単位行列）となる。

[0074] その結果、同次変換行列$T^{C}{}_{T} = T^{C}{}_{mrk1} \times (T^{T}{}_{mrk2})^{-1}$で計算される。

一方、図８（Ｂ）に示すように、基準カメラ１０Ｃの視野１４Ｃ内に存在するマーカ２２と、ターゲットカメラ１０Ｔの視野１４Ｔ内に存在するマー

カ２２とが異なる場合には、同次変換行列T^{mrkC}_{mrkT}がＥ（単位行列）ではなく、以下のように決定される。

[0075] 図９は、物体２０の各面に配置されたマーカ２２のマーカ座標系２６の一例を示す図である。図９を参照して、AprilTagのような識別情報を有するマーカ２２を用いる場合には、撮像された画像に写るマーカ２２の識別情報が取得される。

[0076] マーカ２２の識別情報毎に、ＣＡＤ正準座標系２１からマーカ２２への同次変換行列が予め計算される。

[0077] 図１０は、ＣＡＤ正準座標系に基づくマーカ間の回転および平行移動の関係例を示す図である。図１０を参照して、マーカ２２の識別情報（ＩＤ：０～ＩＤ：５）に対応付けて、回転量および並行移動量を示す情報が予め用意される。

[0078] 図１０に示す回転量および並行移動量は、ＩＤ：０のマーカ２２のＣＡＤ正準座標系２１に基づいて計算された値である。図１０に示す情報は、同次変換行列テーブルとして情報処理装置１００に格納されてもよい。

[0079] 例えば、基準カメラ１０Ｃで物体２０を撮像して得られる画像に基づいて取得されたマーカ２２の識別情報（ＩＤ）が「１」であり、ターゲットカメラ１０Ｔで物体２０を撮像して得られる画像に基づいて取得されたマーカ２２の識別情報（ＩＤ）が「２」である場合には、同次変換行列$T^{mrkC}_{mrkT}=T^{mrk1}_{mrk2}=(T^{CAD}_{mrk1})^{-1}\times T^{CAD}_{mrk2}$と計算される。

[0080] すなわち、図１０に示す同次変換行列テーブルにおいて、基準カメラ１０Ｃの視野１４Ｃ内に存在するマーカ２２の識別情報に対応する同次変換行列テーブルT^{CAD}_{mrki}と、ターゲットカメラ１０Ｔの視野１４Ｔ内に存在するマーカ２２の識別情報に対応する同次変換行列テーブルT^{CAD}_{mrki}とが選択され、同次変換行列T^{mrkTC}_{mrkT}が計算される。

[0081] 計算された同次変換行列T^{mrkTC}_{mrkT}を用いて、同次変換行列$T^{C}_{T}=T^{C}_{mrkC}\times T^{mrkC}_{mrkT}\times (T^{T}_{mrkT})^{-1}$が計算される。

[0082] このように、ラフキャリブレーション処理においては、１または複数のマ

ーカ２２が配置された物体２０を複数のカメラでそれぞれ撮像することで、カメラの外部パラメータである同次変換行列が計算される。

[0083] （ｄ２：点群を用いる方法）

上述の図５に示すように、基準カメラ１０Ｃの視野１４Ｃ内およびターゲットカメラ１０Ｔの視野１４Ｔ内のいずれにも物体２０が存在している場合を想定する。ラフキャリブレーション処理に用いる物体２０が決定された上で、基準カメラ１０Ｃが撮像する画像およびターゲットカメラ１０Ｔが撮像する画像の各々から、物体２０の外形を示す点群が抽出される。

[0084] ＦＰＦＨ（Fast Point Feature Histogram）法およびＩＣＰ（Iterative Closest Point）法を組み合わせることで、情報処理装置１００は、それぞれの画像から抽出された点群（共通の物体２０を示す）に基づいて、基準カメラ１０Ｃのカメラ座標系１２Ｃとターゲットカメラ１０Ｔのカメラ座標系１２Ｔとの対応関係を決定する。すなわち、情報処理装置１００は、基準カメラ１０Ｃのカメラ座標系１２Ｃからターゲットカメラ１０Ｔへのカメラ座標系１２Ｔの同次変換行列${}^{C}T_{T}$を推定する。

[0085] 以上のような処理によって、カメラ座標系１２間の対応関係（同次変換行列Ｔ）が計算される。

[0086] ＜Ｅ．ＲＯＩ点群抽出処理（ステップＳ２）＞

次に、ＲＯＩ点群抽出処理（ステップＳ２）について説明する。

[0087] 上述したように、ＲＯＩ点群抽出処理においては、マーカ２２が配置された物体２０を基準カメラ１０Ｃで撮像して得られる第１の画像と、物体２０をターゲットカメラ１０Ｔで撮像して得られる第２の画像とが合成画像に変換される。なお、２つの画像は、点群の集合であってもよい。そして、アイデンティフィケーション処理において用いられる点群を抽出するためのＲＯＩが決定され、合成画像からＲＯＩに含まれる点群（ＲＯＩ点群）が抽出される。

[0088] 上述の図５に示すように、マーカ２２が配置された物体２０を基準カメラ１０Ｃおよびターゲットカメラ１０Ｔで撮像することで２つの画像が得られ

る。得られた２つの画像は、基準カメラ１０Ｃのカメラ座標系１２Ｃとターゲットカメラ１０Ｔのカメラ座標系１２Ｔとの対応関係（同次変換行列${}^{C}T_{T}$）に基づいて、同一の座標系（カメラ座標系１２Ｃ）上に合成される。このような変換によって生成された合成画像に対して、ＲＯＩの決定およびＲＯＩ点群の抽出が行われる。

[0089] なお、図６に示すように、基準カメラ１０Ｃの視野１４Ｃ内およびターゲットカメラ１０Ｔの視野１４Ｔ内に共通のマーカ２２が存在しない場合であっても、同次変換行列${}^{C}T_{T}$を用いて、ＲＯＩ点群抽出処理を実行できる。

[0090] 図１１は、本実施の形態に従うＲＯＩ点群抽出処理の一例を説明するための図である。

図１１（Ａ）を参照して、物体２０のマーカ２２の３次元空間における位置および姿勢が計測されると、マーカ２２が配置された面（有効面２４）を基準とするマーカ座標系２６が決定される。マーカ座標系２６の原点は、マーカ２２の予め定められた位置（例えば、中心位置）に設定される。

[0091] 図１１（Ｂ）を参照して、決定されたマーカ座標系２６の原点を中心として、所定の領域がＲＯＩ５０として決定される。ＲＯＩ５０は、任意の大きさの６面体であってもよい。ＲＯＩ５０の大きさは、予め定められた固定値であってもよいし、任意の条件に応じて変化する可変値であってもよい。

[0092] 図１１（Ｃ）を参照して、決定されたＲＯＩ５０に含まれる点群（ＲＯＩ点群５６）が抽出される。ＲＯＩ点群５６は、例えば、２．５次元データ形式で表現されてもよい。２．５次元データ形式は、２次元画像データに奥行情報（距離情報）を付加したものである。

[0093] このように、ＲＯＩ点群抽出処理は、合成画像に含まれる点群のうち、マーカ２２を基準として決定されるＲＯＩ５０（第２の領域に相当）に含まれるＲＯＩ点群５６（第２の点群に相当）を抽出する処理を含む。ＲＯＩ５０は、物体２０のマーカ２２が配置された面（有効面２４）を基準として決定されてもよい。抽出されたＲＯＩ点群５６に基づいて、アイデンティフィケーション処理が実行される。

[0094] なお、説明の便宜上、１つのマーカ２２が配置された物体２０を例示するが、複数のマーカ２２が物体２０に配置されている場合には、マーカ２２（有効面２４）毎にＲＯＩを決定し、ＲＯＩ点群を抽出してもよい。

[0095] ＜Ｆ．ＣＡＤ由来点群生成処理（ステップＳ３）＞

次に、ＣＡＤ由来点群生成処理（ステップＳ３）について説明する。

[0096] 上述したように、ＣＡＤ由来点群生成処理においては、ＣＡＤ由来点群が生成される。

図１２は、本実施の形態に従うＣＡＤ由来点群生成処理の一例を説明するための図である。

[0097] 図１２を参照して、ラフキャリブレーション処理（ステップＳ１）およびＲＯＩ点群抽出処理（ステップＳ２）において用いられた物体２０の情報が用意される。物体２０の情報は、設計情報であってもよいし、実測情報であってもよい。設計情報の一例として、物体２０のＣＡＤ情報３０を用いてもよい。設計情報は、「ＣＡＤ」との用語に限定されず、どのような形式のデータであってもよい。実測情報の一例として、物体２０を光学的に測定して得られた情報を用いてもよい。実測情報は、どのような方法で測定された情報であってもよいし、どのような形式のデータであってもよい。

[0098] ＣＡＤ情報３０に基づいて、物体２０の形状を示す３次元点群３２が生成される。生成された３次元点群３２のうち、マーカ２２の有効面２４に対応する対象領域３４内に存在する点群がＣＡＤ由来点群３６として抽出される。ＣＡＤ由来点群３６は、物体２０のすべての点群を含まなくてもよく、少なくとも、マーカ２２の有効面２４の近傍の点群を含んでいればよい。

[0099] ３次元点群３２は、例えば、３次元データ形式で表現される。アイデンティフィケーション処理を簡素化するために、対象領域３４内に存在する点群は、３次元データ形式から２．５次元データ形式に変換されてもよい。

[0100] ＣＡＤ由来点群３６が２．５次元データ形式であれば、２．５次元データ形式において、ＲＯＩ点群５６とＣＡＤ由来点群３６とを対応付けることができる。

[0101] このように、ＣＡＤ由来点群生成処理は、物体２０の情報（例えば、ＣＡＤ情報３０）に基づいて生成された点群のうち、マーカ２２を基準として決定される対象領域３４（第１の領域に相当）に含まれるＣＡＤ由来点群３６（第１の点群に相当）を抽出する処理を含む。ＣＡＤ由来点群３６は、物体２０のマーカ２２が配置された面（有効面２４）を基準として決定されてもよい。

[0102] なお、説明の便宜上、１つのマーカ２２が配置された物体２０を例示するが、複数のマーカ２２が物体２０に配置されている場合には、マーカ２２（有効面２４）毎にＣＡＤ由来点群３６を生成してもよい。

[0103] ＜Ｇ．アイデンティフィケーション処理（ステップＳ４）＞

次に、アイデンティフィケーション処理（ステップＳ４）について説明する。

[0104] 上述したように、アイデンティフィケーション処理においては、ＲＯＩ点群５６とＣＡＤ由来点群３６との対応関係が決定される。また、アイデンティフィケーション処理においては、ＣＡＤ由来点群のキー点ペアの形状寸法およびＲＯＩ点群のキー点ペアの形状寸法が計算される。

[0105] アイデンティフィケーション処理においては、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点が選択される。選択されたＣＡＤ由来点群３６中のキー点に対応する、ＲＯＩ点群５６中のキー点が探索される。ＣＡＤ由来点群３６中のキー点は、２つのキー点を組にした「キー点ペア」の単位で決定される。後述の処理において、キー点ペアの形状寸法が計算される。すなわち、キー点ペアは、形状寸法を計算する対象となる。

[0106] 図１３は、本実施の形態に従うアイデンティフィケーション処理のキー点探索の一例を説明するための図である。図１３を参照して、ＣＡＤ由来点群３６において、キー点ペア４０－１，４０－２（以下、「キー点ペア４０」と総称することもある。）が選択される。キー点ペア４０（および、キー点４２）は、マーカ２２が配置された物体２０の形状的な特徴に基づいて選択されてもよい。

[0107] キー点ペア４０（および、キー点４２）は、ＣＡＤ情報に対して予め設定された１または複数の座標に従って、自動的に選択されてもよい。キー点ペア４０（および、キー点４２）は、ＣＡＤ由来点群３６に対するユーザの指示に応じて選択されてもよい。この場合には、情報処理装置１００は、ユーザがキー点ペア４０（および、キー点４２）を選択するためのユーザインターフェイス画面を提供してもよい。

[0108] 図１３に示す例において、キー点ペア４０－１は、キー点４２－１とキー点４２－２との組である。キー点ペア４０－２は、キー点４２－３とキー点４２－４との組である。以下では、キー点４２－１～４２－４を「キー点４２」と総称することもある。

[0109] ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２－１～４２－４にそれぞれ対応するＲＯＩ点群５６中のキー点６２－１～６２－４（以下、「キー点６２」と総称することもある。）が探索される。すなわち、アイデンティフィケーション処理は、ＣＡＤ由来点群３６（第１の点群）のうちから選択されるキー点ペア４０（第１の点ペアに相当）について、ＲＯＩ点群５６においてキー点ペア４０に対応するキー点６２の組（第２の点ペアに相当）を探索する処理を含む。

[0110] 以下、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応するＲＯＩ点群５６中のキー点６２を探索するためのキー点探索法のいくつかについて例示する。

[0111] （ｇ１：最小距離（Minimum distance）法）

まず、キー点探索法の一例である最小距離法について説明する。

[0112] 図１４は、最小距離法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。図１４を参照して、ＲＯＩ点群５６に対して、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標が与えられる。ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標から各点までの距離が計算される。ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標からの距離が最小となる点がキー点６２として推定される。

[0113] （ｇ２：重心（Center of gravity）法）

次に、キー点探索法の別の一例である重心法について説明する。

[0114] 図１５は、重心法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。図１５を参照して、ＲＯＩ点群５６に対して、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標が与えられる。ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標から所定の半径Ｒ内に存在する複数の点が決定される。半径Ｒ内に存在する複数の点の重心がキー点６２として推定される。

[0115] このように、重心法は、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０（第１の点ペア）の各点に対応するＲＯＩ点群５６（第２の点群）における座標を決定し、当該決定された座標から予め定められた距離内に存在する１または複数の点の重心に基づいて、キー点ペア６０（第２の点ペア）のキー点６２を決定する処理を含む。以下に説明する重心法をベースとした各種方法についても同様である。

[0116] （ｇ３：平均重心（Average Center of gravity）法）

次に、キー点探索法のさらに別の一例である平均重心法について説明する。

[0117] 図１６は、平均重心法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。図１６を参照して、上述の重心法と同様に、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標から所定の半径Ｒ内に存在する複数の点が選択される。半径Ｒ内に存在する複数の点の重心６４が計算される。

[0118] カメラ１０が複数回撮像することにより、ＲＯＩ点群５６のサンプルを複数用意できる場合には、ＲＯＩ点群５６毎に重心６４を計算できる。例えば、複数の重心６４－１～６４－６を計算した上で、複数の重心６４－１～６４－６の平均がキー点６２として推定される。

[0119] （ｇ４：平均重心法＋Ｍ推定（M-estimation））

次に、キー点探索法のさらに別の一例である平均重心法にＭ推定を加えた方法について説明する。

[0120] 図１７は、平均重心法およびＭ推定によりキー点を探索する方法を説明するための図である。図１７を参照して、カメラ１０が複数回撮像することに

より、ＲＯＩ点群５６のサンプルを複数用意できる場合には、上述の平均重心法と同様に、ＲＯＩ点群５６毎に重心６４を計算できる。複数の重心６４が計算されると、計算された複数の重心６４の平均が計算される。計算された平均に基づいて、複数の重心６４の各々の偏差および標準偏差σが計算される。

[0121] 複数の重心６４のうち標準偏差σを超える偏差がある重心６４は、外れ値（outlier）と決定され、それ以外の重心６４が適正値（inlier）と決定される。図１７に示す例では、３つの重心６４－１，６４－３，６４－４が適正値と決定される。

[0122] 適正値として決定された重心６４のうち１つがキー点６２として推定される。あるいは、適正値として決定された重心６４の平均がキー点６２として推定される。

[0123] （ｇ５：平均重心法＋ＲＡＮＳＡＣ（Random sample consensus）法）

次に、キー点探索法のさらに別の一例である平均重心法にＲＡＮＳＡＣ法を加えた方法について説明する。

[0124] 図１８および図１９は、平均重心法およびＲＡＮＳＡＣ法によりキー点を探索する方法を説明するための図である。図１８を参照して、ＲＯＩ点群５６の複数のサンプルから複数の重心６４が計算される。複数の重心６４は、外れ値（outlier）と適正値（inlier）とに分類される。

[0125] サンプル群１においては、３つの重心６４－５，６４－３，６４－２が適正値と決定され、残りの３つの重心６４－４，６４－１，６４－４が外れ値と決定される。適正値と決定された重心の平均、および、外れ値と決定された重心の平均がそれぞれＲＡＮＳＡＣ用キー点として決定される。適正値のＲＡＮＳＡＣ用キー点と外れ値のＲＡＮＳＡＣ用キー点との差がＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対する誤差として計算される。

[0126] 同様に、サンプル群２においては、３つの重心６４－１，６４－５，６４－６が適正値と決定され、残りの３つの重心６４－３，６４－２，６４－４が外れ値と決定される。適正値のＲＡＮＳＡＣ用キー点と外れ値のＲＡＮＳ

ＡＣ用キー点との差がＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対する誤差として計算される。

[0127] 図１９を参照して、複数のサンプル群に対して、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対する誤差が計算され、誤差が最小値となるサンプル群が最適なサンプル群として決定される。最適なサンプル群の重心の平均がキー点６２として推定される。

[0128] （ｇ５：小括）

キー点探索法としては、上述した方法に限られず、任意の方法を用いることができる。ただし、キー点探索法は、後述の精度評価処理に影響を与える重要なファクタであるため、複数のキー点探索法を評価した上で、適切な１または複数のキー点探索法を決定してもよい。

[0129] キー点探索法を用いて、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応するＲＯＩ点群５６中のキー点６２が探索されると、形状寸法が計算される。

[0130] 図２０は、本実施の形態に従うアイデンティフィケーション処理の形状寸法計算の一例を説明するための図である。図２０を参照して、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２－１～４２－４にそれぞれ対応するＲＯＩ点群５６中のキー点６２－１～６２－４が探索される。

[0131] ＲＯＩ点群５６中のキー点６２－１～６２－４に基づいて、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０－１，４０－２に対応するキー点ペア６０－１が決定され、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０－３，４０－４に対応するキー点ペア６０－２が決定される。

[0132] ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０－１，４０－２の各々の形状寸法が計算される。また、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０－１，６０－２（以下、「キー点ペア６０」と総称することもある。）の各々の形状寸法が計算される。形状寸法は、例えば、キー点ペアの長さ（１次元：スカラ量）であってもよいし、キー点ペアの長さおよび角度（ベクトル量）であってもよい。形状寸法の長さおよび方向は、長さを示す成分と、角度を示す回転成分とを用いて表現されてもよい。

[0133] ＜Ｈ．処理例＞

次に、ＲＯＩ点群抽出処理、ＣＡＤ由来点群生成処理、および、アイデンティフィケーション処理の処理例を説明する。

[0134] 図２１～図２３は、本実施の形態に従う情報処理の処理例を示す図である。

ラフキャリブレーション処理の後、基準カメラ１０Ｃのカメラ座標系１２Ｃからターゲットカメラ１０Ｔのカメラ座標系１２Ｔへの同次変換行列T^{C}_{T}が計算される。

[0135] 図２１（Ａ）を参照して、同次変換行列T^{C}_{T}を用いて、ターゲットカメラ１０Ｔのカメラ座標系１２Ｃにおけるマーカ座標系２６が基準カメラ１０Ｃのカメラ座標系１２Ｃにおけるマーカ座標系２６に座標変換される。この座標変換によって、基準カメラ１０Ｃの撮像により得られた点群、および、ターゲットカメラ１０Ｔの撮像によって得られた点群が同一の座標系上に合成される。すなわち、同次変換行列T^{C}_{T}を用いた座標変換により基準を一致させた上で、点群が集約される。

[0136] 続いて、図２１（Ｂ）を参照して、有効面２４を基準としたＲＯＩが決定され、ＲＯＩに含まれる点群（ＲＯＩ点群５６）が抽出される。すなわち、有効面２４の近傍にある表層の点群が抽出される。

[0137] 続いて、図２１（Ｃ）を参照して、ＲＯＩ点群５６は、ＣＡＤ正準座標系２１に座標変換される。この座標変換により、アイデンティフィケーション処理において、形状寸法を計算するための基準が一致する。

[0138] 図２２を参照して、マーカ２２が配置された物体２０のＣＡＤ情報に基づいて、キー点４２およびキー点ペア４０が選択される。キー点４２は、物体２０の形状的な特徴に基づいて選択されてもよい。

[0139] 図２３（Ａ）を参照して、ＲＯＩ点群５６に対して、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標が与えられる。

[0140] 図２３（Ｂ）を参照して、キー点探索法により、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応するＲＯＩ点群５６中のキー点６２が探索される。

[0141] ＜Ｉ．リファレンス物体＞

次に、リファレンス物体（物体２０）の形状の一例について説明する。

[0142] 上述したように、物体２０は、マーカ２２が配置される有効面２４を有しているとともに、キー点４２を選択するための形状的な特徴を有してもよい。リファレンス物体としてのいくつかの形状について例示する。

[0143] 図２４は、本実施の形態に従う情報処理システム１において用いられるリファレンス物体２０Ａの構成例を示す模式図である。図２４を参照して、リファレンス物体２０Ａは、立方体をベースとする。リファレンス物体２０Ａの各面には、マーカ２２がそれぞれ配置される（合計６面分）。図２４には、３つの面には位置されたマーカ２２－１～２２－３のみが表現されているが、図示されない残りの面の各々にもマーカ２２が配置されている。

[0144] リファレンス物体２０Ａは、立方体の４つの頂点に相当する部分が切り欠かれている。より具体的には、リファレンス物体２０Ａの上面の対向する一対の頂点には、立方体状の切欠部２８－１，２８－２が設けられている。また、リファレンス物体２０Ａの上面の別の対向する一対の頂点には、面取り部２９－１，２９－２が設けられている。

[0145] 切欠部２８－１，２８－２および面取り部２９－１，２９－２は、リファレンス物体２０Ａの形状的な特徴であり、キー点４２およびキー点ペア４０を選択する基準になり得る。

[0146] 図２５は、本実施の形態に従う情報処理システム１において用いられるリファレンス物体２０Ｂの構成例を示す模式図である。図２５を参照して、リファレンス物体２０Ｂは、主となる四角錐２５０と、四角錐２５０の１つの面に底面が一致する四角錐２５２，２５４とを含む。四角錐２５０の四角錐２５２，２５４が存在しない面には、マーカが配置されてもよい。

[0147] 四角錐２５０および四角錐２５２，２５４の各頂点などは、リファレンス物体２０Ｂの形状的な特徴であり、キー点４２およびキー点ペア４０を選択する基準になり得る。

[0148] 図２６は、本実施の形態に従う情報処理システム１において用いられるリ

ファレンス物体２０Ｃ，２０Ｄの構成例を示す模式図である。

[0149] 図２６（Ａ）を参照して、リファレンス物体２０Ｃは、立方体をベースとする。リファレンス物体２０Ｃの３つの面には、それぞれマーカ２２－１～２２－３が配置される。

[0150] リファレンス物体２０Ｃは、上面の各辺に相当する部分が切り欠かれている。より具体的には、リファレンス物体２０Ｃの上面の各辺に相当する部分には、切欠部２８－３～２８－６が設けられている。

[0151] 切欠部２８－３～２８－６の各々は、切り欠かれた区間および長さが互いに異なるように形成される。すなわち、切欠部２８－３～２８－６は、互いに識別可能な形状となっている。

[0152] 切欠部２８－３～２８－６は、リファレンス物体２０Ｃの形状的な特徴であり、キー点４２およびキー点ペア４０を選択する基準になり得る。

[0153] 図２６（Ｂ）を参照して、リファレンス物体２０Ｄは、立方体をベースとする。リファレンス物体２０Ｄの３つの面には、それぞれマーカ２２－１～２２－３が配置される。

[0154] リファレンス物体２０Ｄは、２つの面の一部が切り欠かれている。より具体的には、リファレンス物体２０Ｄの２つの側面の各々には、切欠部２８－７，２８－８が設けられている。

[0155] 切欠部２８－７の断面は長方形となっており、切欠部の２８－８の断面は三角形となっている。切欠部２８－７，２８－８は、リファレンス物体２０Ｄの内部に向かうに連れて、断面積が減少する形状であってもよい。このように、切欠部２８－７，２８－８の断面形状が異なることで、互いに識別可能な形状となっている。

[0156] 切欠部２８－７，２８－８は、リファレンス物体２０Ｄの形状的な特徴であり、キー点４２およびキー点ペア４０を選択する基準になり得る。

[0157] 図２７は、本実施の形態に従う情報処理システム１において用いられるリファレンス物体２０Ｅの構成例を示す模式図である。図２７を参照して、リファレンス物体２０Ｅは、主柱２６０と、マーカ２２を配置可能な５つの平

面板２６１～２６５を含む。平面板２６２は主柱２６０により支持される。平面板２６１，２６３，２６４，２６５は、主柱２６０に接続された支持部材２７１，２７３，２７４，２７５により支持される。

[0158] 平面板２６１～２６５の配置は、リファレンス物体２０Ｅの形状的な特徴であり、キー点４２およびキー点ペア４０を選択する基準になり得る。

[0159] リファレンス物体（物体２０）は、切欠部などが形成されていない立方体または直方体であってもよい。リファレンス物体（物体２０）は、上述した形状に限られず、任意の形状であってもよい。

[0160] 上述したように、キー点４２およびキー点ペア４０は、リファレンス物体の形状的な特徴に基づいて選択されてもよい。キー点４２およびキー点ペア４０を設定するために、形状的な特徴を有するリファレンス物体を採用してもよい。

[0161] ＜Ｊ．精度評価処理（ステップＳ５）＞

次に、精度評価処理（ステップＳ５）について説明する。

[0162] 上述したように、精度評価処理においては、アイデンティフィケーション処理において計算された形状寸法に基づいて、精度が計算される。すなわち、精度評価処理は、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０（第１の点ペア）およびＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０（第２の点ペア）の形状寸法に基づいて、同次変換行列Ｔ（カメラ座標系１２間の対応関係）の精度を評価する処理を含む。

[0163] 計算される精度としては、例えば、絶対誤差および繰り返し誤差のうち少なくとも一方を含む。

[0164] （ｊ１：絶対誤差）

図２８は、本実施の形態に従う精度評価処理の絶対誤差評価の一例を説明するための図である。図２８を参照して、キー点ペア毎に、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０の形状寸法と、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０の形状寸法との差が計算される。計算された差が絶対誤差となる。

[0165] 複数のキー点ペアの各々について計算された絶対誤差を統計処理すること

で、対象の情報処理システム１における絶対誤差が計算される。また、複数のサンプルから計算されるそれぞれのキー点ペアの形状誤差を統計処理することで、対象の情報処理システム１における絶対誤差が計算される。

[0166] 例えば、キー点ペアｐ１について、キー点ペア４０における形状寸法の長さが$L_{cad}1$であり、キー点ペア６０における形状寸法の長さが$L_{ROI}1$であれば、絶対誤差Δｐ１＝｜$L_{cad}1-L_{ROI}1$｜となる。同様に、キー点ペアｐ２について、キー点ペア４０における形状寸法がＬｃ２であり、キー点ペア６０における形状寸法が$L_{ROI}2$であれば、絶対誤差Δｐ２＝｜$L_{cad}2-L_{ROI}2$｜となる。

[0167] あるいは、キー点ペアｐ１とキー点ペアｐ２とのなす角度について、キー点ペア４０における角度が$\theta_{cad}1$であり、キー点ペア６０における角度が$\theta_{ROI}1$であれば、絶対誤差Δｐθ１＝｜$\theta_{cad}1-\theta_{ROI}1$｜となる。

[0168] このように、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０の形状寸法と、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０の形状寸法との差に基づいて、精度として絶対誤差が計算される。

[0169] （ｊ２：繰り返し誤差）

図２９は、本実施の形態に従う精度評価処理の繰り返し誤差評価の一例を説明するための図である。図２９を参照して、複数のサンプルについて、キー点ペア毎に、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０の形状寸法のばらつきが計算される。計算されたばらつき（例えば、標準偏差）が繰り返し誤差となる。

[0170] 例えば、キー点ペアｐ１について、サンプル１における形状寸法が$L_{ROI}11$であり、サンプル２における形状寸法が$L_{ROI}12$である場合には、$L_{ROI}11$と$L_{ROI}12$との誤差が繰り返し誤差となる。

[0171] 同様に、キー点ペアｐ２について、サンプル１における形状寸法が$L_{ROI}21$であり、サンプル２における形状寸法が$L_{ROI}22$である場合には、$L_{ROI}21$と$L_{ROI}22$との誤差が繰り返し誤差となる。

[0172] あるいは、キー点ペアｐ１について、サンプル１における角度が$\theta_{cad}11$

であり、サンプル２における角度がθ_{ROI}１２である場合には、θ_{ROI}２１とθ_{ROI}２２との誤差が繰り返し誤差となる。

[0173] ３つ以上のサンプルについて繰り返し誤差を計算する場合には、同一のキー点ペアの形状寸法の標準偏差が繰り返し誤差として計算される。

[0174] このように、精度評価処理は、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０（第２の点ペア）の形状寸法の誤差の計算を繰り返すことで、形状寸法の誤差のばらつきを計算する処理を含む。

[0175] （ｊ３：その他）

キー点ペア毎に、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０の形状寸法と、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０の形状寸法とが得られるので、２種類の形状寸法のうち少なくとも一方を用いて、任意の精度評価処理を行うことができる。

[0176] ＜Ｋ．精度評価結果の出力（ステップＳ６）＞

次に、精度評価結果の出力（ステップＳ６）について説明する。

[0177] 図３０は、本実施の形態に従う精度評価結果の出力の一例を示す模式図である。図３０を参照して、精度評価結果の出力画面２００は、形状寸法の長さの誤差を示す情報２１０と、形状寸法の角度の誤差を示す情報２２０とを含む。

[0178] 情報２１０は、統計情報２１２と、長さの誤差についてのヒストグラム２１４とを含む。ヒストグラム２１４は、長さの誤差の大きさ毎にキー点ペアの数（頻度）を示す。情報２２０は、統計情報２２２と、角度の誤差についてのヒストグラム２２４とを含む。ヒストグラム２２４は、角度の誤差の大きさ毎にキー点ペアの数（頻度）を示す。

[0179] このように、情報処理装置１００は、長さの誤差についてのヒストグラム２１４と、角度の誤差についてのヒストグラム２２４とを出力してもよい。

[0180] ヒストグラムにおいては、左側に分布が偏るほど精度が良好であると判断できる。図３０に示すように、長さおよび角度の誤差についてのヒストグラムの分布形状を参照することで、誤差のばらつきなども評価することができ

る。

[0181] ＜Ｌ．ファインチューニング処理（ステップＳ７）＞

次に、ファインチューニング処理（ステップＳ７）について説明する。計算された精度（絶対誤差および繰り返し誤差）が予め定められた条件を満たさない場合に、ファインチューニング処理を含む処理が実行されてもよい。

[0182] ファインチューニング処理は、アイデンティフィケーション処理により計算される形状寸法の誤差を最小化するように、同次変換行列Ｔを最適化する処理である。すなわち、ファインチューニング処理は、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０（第１の点ペア）およびＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０（第２の点ペア）との形状寸法の差が小さくなるように、同次変換行列Ｔ（カメラ座標系１２間の対応関係）を最適化する処理を含む。同次変換行列Ｔの最適化は、形状寸法を用いた評価関数を最小化（または、最大化）するための非線形計画問題に帰結できる。

[0183] ファインチューニング処理においては、コストを示す評価関数を定義するとともに、評価関数が示すコストを最小化するように、同次変換行列Ｔの各パラメータが探索される。

[0184] より具体的には、同次変換行列Ｔ＊（Ｒ＊，ｔ＊）に関して、以下のような評価関数を用いることができる。

[0185] [数1]

$$\boldsymbol{T}^{*} = \boldsymbol{R}^{*}, \boldsymbol{t}^{*} = argmin_{R,t} \sum \{L_{cad}(keypointpair) - L_{ROI}(keypointpair)\}^{2}$$

[0186] 評価関数は、すべてのキー点ペアについての、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０の形状寸法と、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０の形状寸法との絶対誤差の二乗総和を含む。すなわち、評価関数を最小化することは、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点ペア４０の形状寸法と、ＲＯＩ点群５６中のキー点ペア６０の形状寸法との絶対誤差の二乗総和を最小化することを意味する。

[0187] 上述の評価関数は、以下のようなペナルティ項を含んでもよい。

[0188]

[数2]

$$\boldsymbol{T}^{*} = \boldsymbol{R}^{*}, \boldsymbol{t}^{*} = argmin_{R,t}\left\{\sum\left(L_{cad}(keypointpair) - L_{ROI}(keypointpair)\right)^{2} + \sum\left(penalty(keypoint)\right)\right\}$$

[0189] 図３１は、本実施の形態に従うファインチューニング処理のペナルティ項の一例を説明するための図である。

[0190] 図３１を参照して、ラフキャリブレーション処理の精度、および、点群のゆらぎなどによって、ＣＡＤ由来点群３６中のキー点４２に対応する座標から所定の半径Ｒ内に所定数の点が存在しない場合がある。図３０の左側（現実）の例では、半径Ｒ内に１つの点のみが存在する。

[0191] このような場合には、所定数の点が見つかるまで、半径Ｒを段階的に大きくしてもよい。ただし、探索半径が基準の半径Ｒから半径Ｒ’まで増大したことをペナルティ項に反映してもよい。例えば、｜半径Ｒ’－半径Ｒ｜に係数を乗じた値をペナルティ項としてもよい。

[0192] また、形状寸法の長さの誤差および角度の誤差に加えて、Ｌ２正則化項をペナルティ項とする評価関数を採用してもよい。例えば、以下のような評価関数を用いることができる。

[0193] [数3]

$$\boldsymbol{T}^{*} = \boldsymbol{R}^{*}, \boldsymbol{t}^{*} = argmin_{R,t}\left\{\sum\left(L_{rel}(keypointpair)\right)^{2} + \sum\left(Ang_{rel}(keypointpair)\right)^{2} + \sum(|R_{serch}|)^{2}\right\}$$

ただし

$$L_{rel}(keypointpair) = L_{cad}(keypointpair) - L_{ROI}(keypointpair)$$
$$Ang_{rel}(keypointpair) = Ang_{cad}(keypointpair) - Ang_{ROI}(keypointpair)$$

[0194] 以上のように、ファインチューニング処理に用いる評価関数は、アイデンティフィケーション処理において得られるキー点ペアの形状寸法の計算結果を用いるものであれば、どのようなものであってもよい。

[0195] 以下、ファインチューニング処理の効果の一例について説明する。

図３２は、本実施の形態に従うファインチューニング処理による長さの誤差の変化例を示す図である。図３２を参照して、ファインチューニング処理前においては、ヒストグラムが多峰性を示していたのに対して、ファインチューニング処理後においては、ヒストグラムが指数分布を示しているのが分

かる。ヒストグラムにおいては、左側に分布が偏るほど精度が良好である。このように、ファインチューニング処理によって、理想的な誤差分布に近付いていることが分かる。

[0196] 図３３は、本実施の形態に従うファインチューニング処理による角度の誤差の変化例を示す図である。図３３を参照して、ファインチューニング処理前においては、指数分布から外れたヒストグラムであったのに対して、ファインチューニング処理後においては、ヒストグラムが指数分布を示しているのが分かる。指数分布ｐ（ｘ）＝λｅｘｐ（－λ）について、ファインチューニング処理後においては、パラメータλが大きくなっている。すなわち、ヒストグラムは、より鋭い指数分布を示すようになる。

[0197] このように、ファインチューニング処理によって、形状寸法の誤差を低減させることができる。

[0198] ＜Ｍ．精度評価の応用例＞

次に、本実施の形態に従う情報処理方法のいくつかの精度評価の応用例について説明する。上述の精度評価結果の出力は、ラフキャリブレーション処理およびファインチューニング処理の実行結果に基づくものであったが、本実施の形態に従う情報処理方法は、精度の経年的な変化および定期的な精度の管理などに用いることもできる。

[0199] （ｍ１：ヒストグラムに基づく精度管理）

上述の図３２に示すように、精度はヒストグラムの分布形状に反映される。ヒストグラムの分布形状を所定のアルゴリズムを用いて比較することで、精度の変化などを定量的に計算できる。

[0200] ヒストグラムの分布形状を比較するアルゴリズムとしては、例えば、ヒストグラム交差カーネルを用いる方法、および、ヒストグラムユークリッド距離を用いる方法などが挙げられる。

[0201] 例えば、設備保全者は、運用開始前に、誤差についてのヒストグラムを生成および保存しておき、日常点検時などに、誤差についてのヒストグラムを再生成し、保存されているヒストグラムと比較してもよい。設備保全者は、

ヒストグラムの分布形状の変化に基づいて、精度が低下しているか否かを判断できる。

[0202] このような誤差についてのヒストグラムの分布形状の変化に基づく観測を設備保全業務としてもよい。

[0203] あるいは、指数分布ｐ（ｘ）＝λｅｘｐ（－λ）を用いて誤差についてのヒストグラムを近似することで推定されるパラメータλに基づいて、精度のトレンド管理を行ってもよい。

[0204] 例えば、設備保全者は、運用開始前に、誤差についてのヒストグラムを生成し、生成されたヒストグラムを指数分布で近似して決定されたパラメータλを保存する。設備保全者は、日常点検時などに、誤差についてのヒストグラムを再生成し、生成されたヒストグラムを指数分布で近似してパラメータλを計算する。設備保全者は、パラメータλの値の変化に基づいて、精度をトレンド管理できる。

[0205] 精度のトレンド管理には、例えば、以下のような式に従って計算される余裕度Ｉ$_{\lambda margin}$を用いてもよい。

[0206] [数4]

$$I_{\lambda_{margin}} = \frac{\lambda_{Exp_curr} - \lambda_{Exp_crite}}{\lambda_{Exp_crite}}$$

[0207] ただし、λ$_{Exp_crite}$は、パラメータλの基準値を示し、λ$_{Exp_curr}$は評価対象のヒストグラムから計算あれたパラメータλの値を示す。

[0208] パラメータλが基準値から変化しない場合には余裕度Ｉ$_{\lambda margin}$＝０となり、改善方向であれば余裕度Ｉ$_{\lambda margin}$＞０となり、悪化方向は余裕度Ｉ$_{\lambda margin}$＜０となる。余裕度Ｉ$_{\lambda margin}$の絶対値は、（改善または悪化）傾向の度合いを示す。

[0209] このような誤差についてのヒストグラムから計算されるパラメータλを用いて、精度をトレンド管理することもできる。

[0210] （ｍ２：点群厚に基づく精度管理）

ファインチューニング処理後に、精度を詳細に確認する方法として、点群

の厚み（点群厚）を用いてもよい。

[0211] 図３４は、本実施の形態に従う情報処理方法の点群厚を利用した精度確認を説明するための図である。

[0212] 図３４（Ａ）を参照して、ラフキャリブレーション処理またはファインチューニング処理の実行後、基準カメラ１０Ｃが撮像した画像から抽出された点群と、ターゲットカメラ１０Ｔが撮像した画像から抽出された点群とを合成した合成点群２７０が生成される。

[0213] 合成点群２７０に対して、合成の繋ぎ目に相当する領域２８２、および、合成の繋ぎ目以外に相当する領域２８４の各々から点群厚が計算される。

[0214] 点群厚は、領域内の点群のばらつきの度合い示す。すなわち、計算される点群厚が小さいほど、精度が高いことを示す。

[0215] 合成の繋ぎ目以外に相当する領域２８４の点群厚は、カメラ１０（センサ）自体の精度に依存するものである。理想的には、合成の繋ぎ目に相当する領域２８２の点群厚は、合成の繋ぎ目以外に相当する領域２８４の点群厚と同じであることが好ましい。すなわち、領域２８２の点群厚が領域２８４の点群厚にどれだけ近接しているかに基づいて、ラフキャリブレーション処理またはファインチューニング処理がどの程度適切に実行されたかを定量的に評価できる。

[0216] 図３４（Ｂ）を参照して、指定された領域に含まれる点群から基準平面Ｑが推定される。基準平面Ｑは、例えば、最小二乗法により、指定された領域に含まれる点群の座標に基づいて決定される。点群に含まれる点Ｐ（ｉ）における基準平面Ｑとのユークリッド距離Ｌ（ｉ）が計算される。最終的に、ユークリッド距離Ｌ（ｉ）の分散が点群厚として決定される。すなわち、点群厚Ｔｈｉｃｋｎｅｓｓ＝ｖａｒｉａｎｃｅ（Ｌ（ｉ：１→ｎ））として計算される。

[0217] 点群厚の値が大きいほど、基準平面Ｑに対して点群が乱れて存在していることを示す。合成の繋ぎ目に相当する領域２８２と合成の繋ぎ目以外に相当する領域２８４との間で、点群厚を比較することで、合成精度が計算される

。

[0218] ＜Ｎ．精度空間分布＞

上述したように、アイデンティフィケーション処理は、マーカ２２の有効面２４の近傍から抽出された点群に基づく。そのため、計算される精度は、有効面２４の近傍に対するものである。マーカ２２が配置された物体２０を空間ＳＰの複数の位置に配置した上で、各位置における精度を計算すれば、空間ＳＰにおける精度空間分布が得られる。

[0219] 空間ＳＰにおける精度空間分布を用いることで、空間ＳＰにおける精度の一様性（フラットネス）を評価できる。また、空間ＳＰにおける精度空間分布を可視化してもよい。

[0220] 図３５は、本実施の形態に従う精度空間分布の計算方法を説明するための図である。図３５を参照して、空間ＳＰにおいて、基準カメラ１０Ｃおよびターゲットカメラ１０Ｔが配置されている。

[0221] 基準カメラ１０Ｃおよびターゲットカメラ１０Ｔの配置位置は維持したまま、マーカ２２が配置された物体２０は、計測位置Ｐｏｓ１，Ｐｏｓ２，Ｐｏｓ３，…と順次異なる位置に配置される。各計測位置において、上述したような処理によって精度が計算される。

[0222] 図３６は、本実施の形態に従う精度空間分布の計算方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。図３６に示す各ステップは、情報処理装置１００のプロセッサ１０２が情報処理プログラム１２４を実行することで、実現されてもよい。

[0223] 情報処理装置１００は、ラフキャリブレーション処理を実行する（ステップＳ１）。このとき、マーカ２２が配置された物体２０は、任意の計測位置に配置される。ステップＳ３は、他のステップの処理とは独立して、予め実行されてもよい。

[0224] 情報処理装置１００は、ＲＯＩ点群抽出処理を実行する（ステップＳ２）。情報処理装置１００は、ＣＡＤ由来点群生成処理を実行する（ステップＳ３）。ステップＳ３は、他のステップの処理とは独立して、予め実行されて

もよい。また、ステップＳ３は、ステップＳ１０を含むループ処理中において、最初の１回のみ実行されてもよい。

[0225] 情報処理装置１００は、アイデンティフィケーション処理を実行する（ステップＳ４）。続いて、情報処理装置１００は、精度評価処理を実行する（ステップＳ５）。情報処理装置１００は、計算された精度と、精度の計算に用いられたマーカ座標系２６をグローバル座標系に変換した座標とを対応付けて格納する（ステップＳ９）。

[0226] 情報処理装置１００は、マーカ２２が配置された物体２０が別の計測位置に移動されたか否かを判断する（ステップＳ１０）。ユーザが情報処理装置１００に指示を与えることで、情報処理装置１００は、物体２０が別の計測位置に移動された否かを判断してもよい。

[0227] マーカ２２が配置された物体２０が別の計測位置に移動されていれば（ステップＳ１０においてＹＥＳ）、ステップＳ２以下の処理が繰り返される。

[0228] マーカ２２が配置された物体２０が別の計測位置に移動されていなければ（ステップＳ１０においてＮＯ）、情報処理装置１００は、計算された精度と、精度の計算に用いられたマーカ座標系２６をグローバル座標系に変換した座標との組に基づいて、精度空間分布を計算する（ステップＳ１１）。

[0229] 物体２０を空間ＳＰ内でまんべんなく移動させることができない場合もあるので、情報処理装置１００は、公知の補間方法を用いて、格納されている情報から空間ＳＰ内の各計測位置の精度を計算してもよい。

[0230] 情報処理装置１００は、計算された空間ＳＰにおける精度空間分布を可視化して出力する（ステップＳ１２）。そして、処理は終了する。

[0231] このように、精度空間分布を計算する処理は、ＣＡＤ由来点群３６のキー点ペア４０（第１の点ペア）とＲＯＩ点群５６のキー点ペア６０（第２の点ペア）の形状寸法に基づいて、カメラ座標系１２間の対応関係（同次変換行列Ｔ）の精度を計算する処理と、物体２０が空間の複数の計測位置に配置されたときに、それぞれの計測位置について計算されるカメラ座標系１２間の対応関係（同次変換行列Ｔ）の精度をそれぞれの計測位置に関連付けて可視

化する処理とを含む。

[0232] 図３７は、本実施の形態に従う精度空間分布の計算方法により得られた精度空間分布を可視化した例を示す図である。図３７に示す精度空間分布においては、各計測位置の精度が濃淡または色で表現される。このように、カメラ座標系１２間の対応関係（同次変換行列Ｔ）の精度の値が、濃淡および色の少なくとも一方で表現された画像が出力されてもよい。

[0233] 可視化された精度空間分布によれば、空間ＳＰ内において、誤差のばらつきおよび誤差のバイアスなどが存在する領域をユーザが認識することを支援できる。誤差のばらつきおよび誤差のバイアスが存在する領域は、例えば、ロボットの設置場所を最適化するための有効な情報となる。また、誤差のばらつきおよび誤差のバイアスが存在する領域の有無の情報は、カメラを追加する必要性があるか否かを判断するための有効な情報となる。

[0234] ＜Ｏ．機能構成例＞

次に、本実施の形態に従う情報処理システム１の機能構成例について説明する。

[0235] 図３８は、本実施の形態に従う情報処理システム１の機能構成例を示す模式図である。図３８に示す各コンポーネントは、情報処理装置１００のプロセッサ１０２が情報処理プログラム１２４を実行することで、実現されてもよい。

[0236] 図３８を参照して、情報処理装置１００は、コンポーネントとして、合成部１５０と、決定部１５２と、第１の点群生成部１５４と、第２の点群生成部１５６と、探索部１５８と、評価部１６０と、出力部１６４と、最適化部１６６とを含む。

[0237] 合成部１５０は、同次変換行列${}^{C}T_{T}$を用いて、基準カメラ１０Ｃおよびターゲットカメラ１０Ｔが撮像して得られる２つの画像を合成画像に変換する。合成部１５０は、ＲＯＩ点群抽出処理（ステップＳ３）の合成画像を生成する処理を実行する。

[0238] 決定部１５２は、基準カメラ１０Ｃで物体２０を撮像し得られる画像に基

づいて計算されるマーカ２２の位置および姿勢と、ターゲットカメラ１０Ｔで物体２０を撮像し得られる画像に基づいて計算されるマーカ２２の位置および姿勢との差に基づいて、同次変換行列${}^{C}T_{T}$を決定する。決定部１５２は、ラフキャリブレーション処理（ステップＳ１）を実行する。

[0239] 第１の点群生成部１５４は、物体２０の情報（ＣＡＤ情報３０）に基づいて生成された点群からＣＡＤ由来点群３６を抽出する。第１の点群生成部１５４は、ＣＡＤ由来点群生成処理（ステップＳ３）を実行する。

[0240] 第２の点群生成部１５６は、合成画像に含まれる点群のうち、マーカ２２を基準として決定されるＲＯＩ５０に含まれるＲＯＩ点群５６を抽出する。第２の点群生成部１５６は、ＲＯＩ点群抽出処理（ステップＳ３）のＲＯＩを決定する処理およびＲＯＩ点群を抽出する処理を実行する。

[0241] 探索部１５８は、選択されたＣＡＤ由来点群３６中のキー点に対応する、ＲＯＩ点群５６中のキー点を探索する。探索部１５８は、探索したキー点ペアの形状寸法を計算する。探索部１５８は、ＣＡＤ由来点群のキー点ペアの形状寸法およびＲＯＩ点群のキー点ペアの形状寸法を計算する。探索部１５８は、アイデンティフィケーション処理（ステップＳ４）を実行する。

[0242] 評価部１６０は、探索部１５８により計算されたキー点ペアの形状寸法に基づいて精度を計算する。評価部１６０は、精度を計算するための計算部１６２を含んでもよい。評価部１６０は、精度評価処理（ステップＳ５）を実行する。

[0243] 出力部１６４は、評価部１６０による計算結果を出力する。出力部１６４は、精度評価結果を出力する処理（ステップＳ６）を実行する。

[0244] 出力部１６４は、精度空間分布を生成および出力してもよい。出力部１６４は、精度と座標との対応付け（ステップＳ９）、精度空間分布の計算（ステップＳ１１）、および、精度空間分布の可視化（ステップＳ１２）を実行する。

[0245] 最適化部１６６は、ＣＡＤ由来点群３６のキー点ペア４０とＲＯＩ点群５６のキー点ペア６０との形状寸法の差が小さくなるように、同次変換行列${}^{C}T$

$_T$を最適化する。最適化部１６６は、ファインチューニング処理（ステップＳ７）を実行する。

[0246] ＜Ｐ．世界座標系の設定＞

次に、任意の世界座標系を設定する処理について説明する。ラフキャリブレーション処理またはファインチューニング処理によって、カメラ座標系１２間の対応関係が決定された後、リファレンス物体２０を用いて、任意の位置に世界座標系が設定されてもよい。

[0247] 図３９は、本実施の形態に従う情報処理システムにおける任意の世界座標系を設定する方法を説明するための図である。図３９を参照して、カメラ１０－１，１０－２，１０－３が空間ＳＰに配置されている。

[0248] 例えば、カメラ１０－１が基準カメラであり、カメラ１０－２，１０－３がターゲットカメラであるとする。ラフキャリブレーション処理またはファインチューニング処理によって、カメラ１０－１（のカメラ座標系）からカメラ１０－２（のカメラ座標系）への同次変換行列$T^1{}_2$が決定されている。同様に、カメラ１０－１（のカメラ座標系）からカメラ１０－３（のカメラ座標系）への同次変換行列$T^1{}_3$が決定されている。

[0249] まず、カメラ１０－１～１０－３のそれぞれの視野のうち少なくとも一部に含まれるようにリファレンス物体２０が配置される。リファレンス物体２０は、ユーザが世界座標系を設定したい位置に配置される。リファレンス物体２０は、ＣＡＤ情報に基づいて予め設定されるＣＡＤ正準座標系２１を有している。レファアレンス物体２０のＣＡＤ正準座標系２１が世界座標系として用いられる。

[0250] レファアレンス物体２０をカメラ１０－１～１０－３で撮像して画像に基づいて、各カメラ１０のカメラ座標系におけるＣＡＤ正準座標系２１の位置および姿勢が計算される。ＣＡＤ正準座標系２１の位置および姿勢は、レファアレンス物体２０のマーカ２２が配置された面（有効面）を基準として決定される。

[0251] 基準カメラであるカメラ１０－１で撮像した画像に基づいて計算されたＣ

ＡＤ正準座標系２１の位置および姿勢は、そのまま世界座標系として設定されてもよい。

[0252] 基準カメラであるカメラ１０－１の視野内にレファアレンス物体２０が存在せず、カメラ１０－２またはカメラ１０－３の視野内にレファアレンス物体２０が存在する場合には、同次変換行列を用いて、世界座標系が決定されてもよい。より具体的には、カメラ１０－２またはカメラ１０－３で撮像した画像に基づいて計算されたＣＡＤ正準座標系２１の位置および姿勢は、同次変換行列を用いて、カメラ１０－１のカメラ座標系の位置および姿勢に変換される。このように、世界座標系は、基準カメラのカメラ座標系を経由して決定されてもよい。

[0253] なお、世界座標系を設定しない場合には、基準カメラのカメラ座標系を世界座標系として用いることができる。

[0254] ＜Ｑ．変形例＞

上述の説明においては、２次元マーカの一例であるAprilTagを用いる構成例を説明したが、マーカ２２は、AprilTagに限られず、任意のＡＲ（Augmented Reality）マーカを用いることができる。ＡＲマーカは、例えば、ＡＲ開発ライブラリの一例である「ＡＲＴｏｏｌＫｉｔ」を用いて生成される。マーカ２２は、任意のＱＲコード（登録商標）であってもよい。

[0255] 上述のラフキャリブレーション処理において用いられるマーカ２２と、それ以外の処理において用いられるマーカ２２とは別のものであってもよい。すなわち、ラフキャリブレーション処理においては、基準カメラ１０Ｃのカメラ座標系１２Ｃからターゲットカメラ１０Ｔのカメラ座標系１２Ｔへの同次変換行列T^{C}_{T}を決定できれば、どのような方法が採用されてもよい。そのため、任意の機械学習済みモデルを用いて、同次変換行列T^{C}_{T}が決定されてもよい。

[0256] 上述の説明においては、情報処理装置１００が主たる処理を実行する構成例を示したが、複数の情報処理装置１００が連係して処理を実行してもよい。また、クラウド上のコンピューティングリソースを用いて、一部または全

部の処理を実行してもよい。

[0257] ＜Ｒ．付記＞

上述したような本実施の形態は、以下のような技術思想を含む。

[0258] ［構成１］

リファレンスマーカ（２２）が配置されたリファレンス物体（２０）を第１のカメラ（１０Ｃ）で撮像して得られる第１の画像と前記リファレンス物体を第２のカメラ（１０Ｔ）で撮像して得られる第２の画像とを、前記第１のカメラの第１のカメラ座標系と前記第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成する合成部（Ｓ２；１５０）と、

前記リファレンス物体の情報（３０）に基づいて生成された点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域（３４）に含まれる第１の点群（３６）を抽出する第１の点群生成部（Ｓ３；１５４）と、

前記合成画像に含まれる点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域（５０）に含まれる第２の点群（５６）を抽出する第２の点群生成部（Ｓ２；１５６）と、

前記第１の点群のうちから選択される第１の点ペア（４０）について、前記第２の点群において前記第１の点ペアに対応する第２の点ペア（６０）を探索する探索部（Ｓ４；１５８）と、

前記第１の点ペアおよび前記第２の点ペアの形状寸法に基づいて、前記対応関係の精度を評価する評価部（Ｓ６；１６０）とを備える、情報処理装置。

[0259] ［構成２］

前記第１のカメラで前記リファレンス物体を撮像して得られる画像に基づいて計算される前記リファレンスマーカの位置および姿勢と、前記第２のカメラで前記リファレンス物体を撮像して得られる画像に基づいて計算される前記リファレンスマーカの位置および姿勢との差に基づいて、前記対応関係を決定する決定部（Ｓ１；１５２）をさらに備える、構成１に記載の情報処

理装置。

[0260] ［構成３］

前記第１の点ペアと前記第２の点ペアとの形状寸法の差が小さくなるように、前記対応関係を最適化する最適化部（Ｓ７；１６６）をさらに備える、構成１または２に記載の情報処理装置。

[0261] ［構成４］

前記探索部は、前記第１の点ペアの各点に対応する前記第２の点群における座標を決定し、当該決定された座標から予め定められた距離内に存在する１または複数の点の重心（６４）に基づいて、前記第２の点ペアの各点を決定する、構成１～３のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[0262] ［構成５］

前記第１の領域および前記第２の領域の各々は、前記リファレンス物体の前記リファレンスマーカが配置された面（２４）を基準として決定される、構成１～４のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[0263] ［構成６］

前記形状寸法は、長さおよび角度を含み、

前記評価部は、長さの誤差についてのヒストグラム（２１４）と、角度の誤差についてのヒストグラム（２２４）とを出力する、構成１～５のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[0264] ［構成７］

前記評価部は、前記第２の点ペアの形状寸法の誤差の計算を繰り返すことで、形状寸法の誤差のばらつきを計算する、構成１～６のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[0265] ［構成８］

前記第１の点ペアは、前記リファレンス物体の形状的な特徴に基づいて選択される、構成１～７のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[0266] ［構成９］

リファレンスマーカ（２２）が配置されたリファレンス物体（２０）を第

１のカメラ（１０Ｃ）で撮像して得られる第１の画像と前記リファレンス物体を第２のカメラ（１０Ｔ）で撮像して得られる第２の画像とを、前記第１のカメラの第１のカメラ座標系と前記第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成すること（Ｓ２）と、

前記リファレンス物体の情報（３０）に基づいて生成された点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域（３４）に含まれる第１の点群（３６）を抽出すること（Ｓ３）と、

前記合成画像に含まれる点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域（５０）に含まれる第２の点群（５６）を抽出すること（Ｓ２）と、

前記第１の点群のうちから選択される第１の点ペア（４０）について、前記第２の点群において前記第１の点ペアに対応する第２の点ペア（６０）を探索すること（Ｓ４）と、

前記第１の点ペアおよび前記第２の点ペアの形状寸法に基づいて、前記対応関係の精度を評価すること（Ｓ６）とを備える、情報処理方法。

[0267] ［構成１０］

コンピュータ（１００）に、

リファレンスマーカ（２２）が配置されたリファレンス物体（２０）を第１のカメラ（１０Ｃ）で撮像して得られる第１の画像と前記リファレンス物体を第２のカメラ（１０Ｔ）で撮像して得られる第２の画像とを、前記第１のカメラの第１のカメラ座標系と前記第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成すること（Ｓ２）と、

前記リファレンス物体の情報（３０）に基づいて生成された点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域（３４）に含まれる第１の点群を抽出すること（Ｓ３）と、

前記合成画像に含まれる点群のうち、前記リファレンスマーカを基準とし

て決定される第２の領域（５０）に含まれる第２の点群（５６）を抽出すること（Ｓ２）と、

前記第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、前記第２の点群において前記第１の点ペアに対応する第２の点ペア（６０）を探索すること（Ｓ４）と、

前記第１の点ペアおよび前記第２の点ペアの形状寸法に基づいて、前記対応関係の精度を評価すること（Ｓ６）とを実行させる、情報処理プログラム（１２４）。

[0268] ＜Ｓ．利点＞

本実施の形態に従う情報処理システム１によれば、予め形状などが定義されたリファレンス物体を用いて、レジストレーションを行うことで、レジストレーションの結果である同次変換行列の精度を評価できる。評価される精度は、絶対誤差に基づくものであるので、ロボットの安全設計を担保できる。

[0269] 本実施の形態に従う情報処理システム１によれば、対象の空間において複数の計測位置にリファレンス物体をそれぞれ配置して精度を計算することで、精度空間分布を生成できる。精度空間分布を用いることで、カメラ位置の最適化およびカメラ追加の要否検討などを効率化できる。

[0270] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0271] １０　カメラ、１０Ｃ　基準カメラ、１０Ｔ　ターゲットカメラ、１２，１２Ｃ，１２Ｔ　カメラ座標系、１４Ｃ，１４Ｔ　視野、２０，２０Ａ，２０Ｂ，２０Ｃ，２０Ｄ，２０Ｅ　リファレンス物体（物体）、２１　ＣＡＤ正準座標系、２２　マーカ、２４　有効面、２６　マーカ座標系、２８　切欠部、２９　面取り部、３０　ＣＡＤ情報、３２　３次元点群、３４　対象

領域、３６　ＣＡＤ由来点群、４０，６０　キー点ペア、４２，６２　キー点、５０　ＲＯＩ、５６　ＲＯＩ点群、６４　重心、１００　情報処理装置、１０２　プロセッサ、１０４　メモリ、１０６　入力インターフェイス、１０８　入力装置、１１０　表示インターフェイス、１１２　ディスプレイ、１１４　カメラインターフェイス、１１６　ネットワークコントローラ、１２０　ストレージ、１２２　ＯＳ、１２４　情報処理プログラム、１５０　合成部、１５２　決定部、１５４　第１の点群生成部、１５６　第２の点群生成部、１５８　探索部、１６０　評価部、１６２　計算部、１６４　出力部、１６６　最適化部、２００　出力画面、２１０，２２０　情報、２１２，２２２　統計情報、２１４，２２４　ヒストグラム、２５０，２５２，２５４　四角錐、２６０　主柱、２６１，２６２，２６３，２６４，２６５　平面板、２７０　合成点群、２７１，２７３，２７４，２７５　支持部材、２８２，２８４　領域。

請求の範囲

[請求項1] リファレンスマーカが配置されたリファレンス物体を第１のカメラで撮像して得られる第１の画像と前記リファレンス物体を第２のカメラで撮像して得られる第２の画像とを、前記第１のカメラの第１のカメラ座標系と前記第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成する合成部と、

前記リファレンス物体の情報に基づいて生成された点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域に含まれる第１の点群を抽出する第１の点群生成部と、

前記合成画像に含まれる点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域に含まれる第２の点群を抽出する第２の点群生成部と、

前記第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、前記第２の点群において前記第１の点ペアに対応する第２の点ペアを探索する探索部と、

前記第１の点ペアおよび前記第２の点ペアの形状寸法に基づいて、前記対応関係の精度を評価する評価部とを備える、情報処理装置。

[請求項2] 前記第１のカメラで前記リファレンス物体を撮像して得られる画像に基づいて計算される前記リファレンスマーカの位置および姿勢と、前記第２のカメラで前記リファレンス物体を撮像して得られる画像に基づいて計算される前記リファレンスマーカの位置および姿勢との差に基づいて、前記対応関係を決定する決定部をさらに備える、請求項１に記載の情報処理装置。

[請求項3] 前記第１の点ペアと前記第２の点ペアとの形状寸法の差が小さくなるように、前記対応関係を最適化する最適化部をさらに備える、請求項１に記載の情報処理装置。

[請求項4] 前記探索部は、前記第１の点ペアの各点に対応する前記第２の点群における座標を決定し、当該決定された座標から予め定められた距離

内に存在する１または複数の点の重心に基づいて、前記第２の点ペアの各点を決定する、請求項１～３のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[請求項5] 前記第１の領域および前記第２の領域の各々は、前記リファレンス物体の前記リファレンスマーカが配置された面を基準として決定される、請求項１～３のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[請求項6] 前記形状寸法は、長さおよび角度を含み、

前記評価部は、長さの誤差についてのヒストグラムと、角度の誤差についてのヒストグラムとを出力する、請求項１～３のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[請求項7] 前記評価部は、前記第２の点ペアの形状寸法の誤差の計算を繰り返すことで、形状寸法の誤差のばらつきを計算する、請求項１～３のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[請求項8] 前記第１の点ペアは、前記リファレンス物体の形状的な特徴に基づいて選択される、請求項１～３のいずれか１項に記載の情報処理装置。

[請求項9] リファレンスマーカが配置されたリファレンス物体を第１のカメラで撮像して得られる第１の画像と前記リファレンス物体を第２のカメラで撮像して得られる第２の画像とを、前記第１のカメラの第１のカメラ座標系と前記第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成することと、

前記リファレンス物体の情報に基づいて生成された点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域に含まれる第１の点群を抽出することと、

前記合成画像に含まれる点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域に含まれる第２の点群を抽出することと、

前記第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、前記

第２の点群において前記第１の点ペアに対応する第２の点ペアを探索することと、

前記第１の点ペアおよび前記第２の点ペアの形状寸法に基づいて、前記対応関係の精度を評価することとを備える、情報処理方法。

[請求項10] コンピュータに、

リファレンスマーカが配置されたリファレンス物体を第１のカメラで撮像して得られる第１の画像と前記リファレンス物体を第２のカメラで撮像して得られる第２の画像とを、前記第１のカメラの第１のカメラ座標系と前記第２のカメラの第２のカメラ座標系との対応関係に基づいて、同一の座標系上に合成して合成画像を生成することと、

前記リファレンス物体の情報に基づいて生成された点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第１の領域に含まれる第１の点群を抽出することと、

前記合成画像に含まれる点群のうち、前記リファレンスマーカを基準として決定される第２の領域に含まれる第２の点群を抽出することと、

前記第１の点群のうちから選択される第１の点ペアについて、前記第２の点群において前記第１の点ペアに対応する第２の点ペアを探索することと、

前記第１の点ペアおよび前記第２の点ペアの形状寸法に基づいて、前記対応関係の精度を評価することとを実行させる、情報処理プログラム。

[図1]

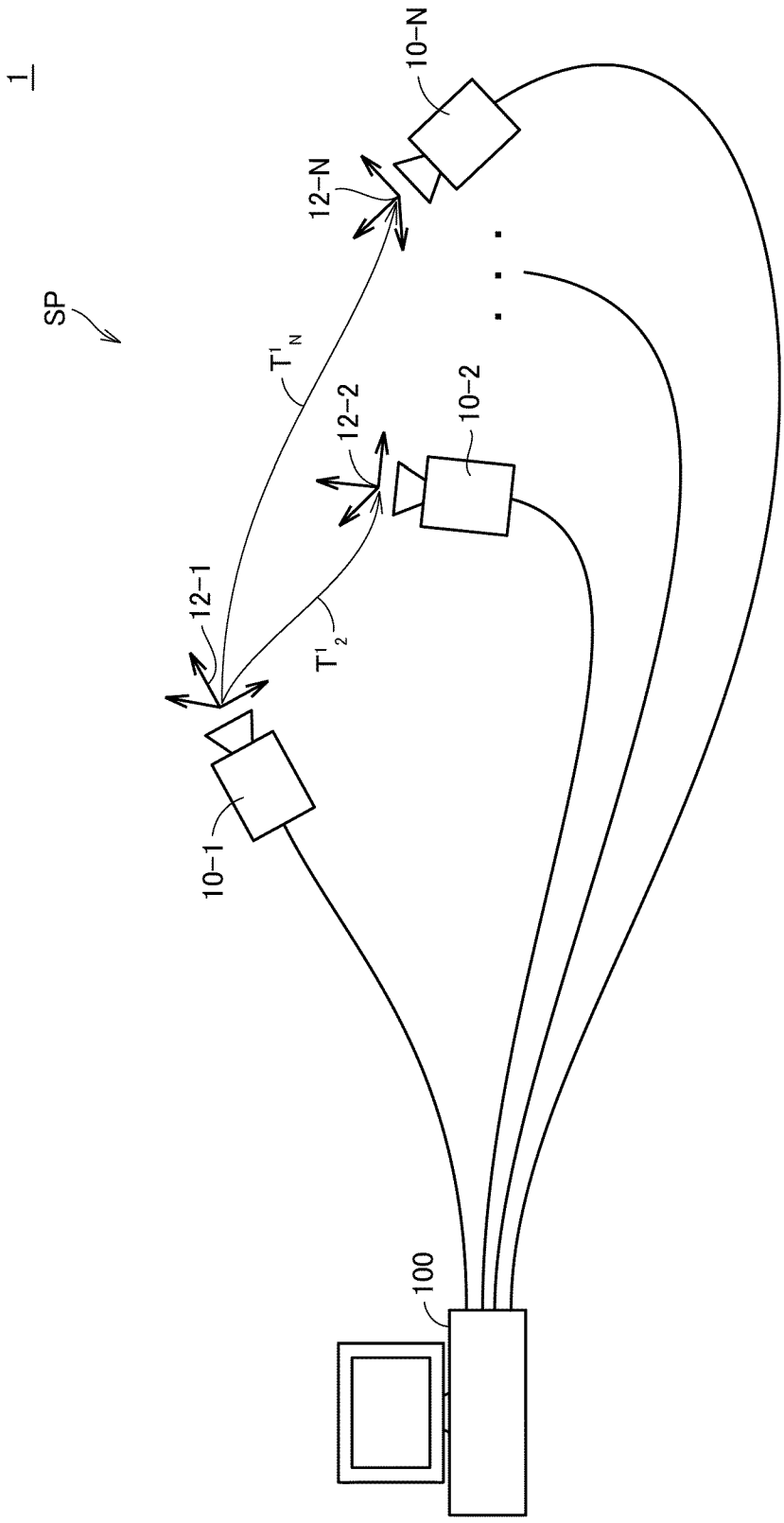


FIG.1

[図2]

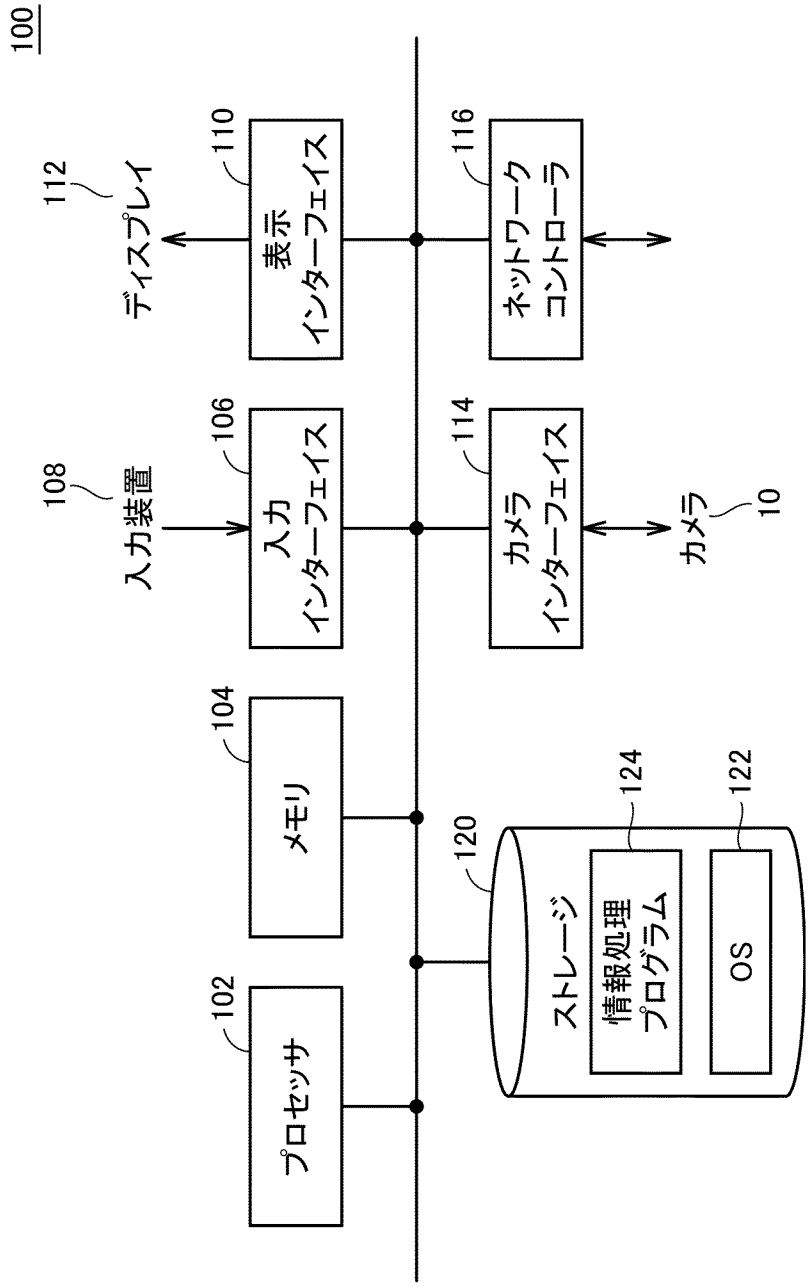
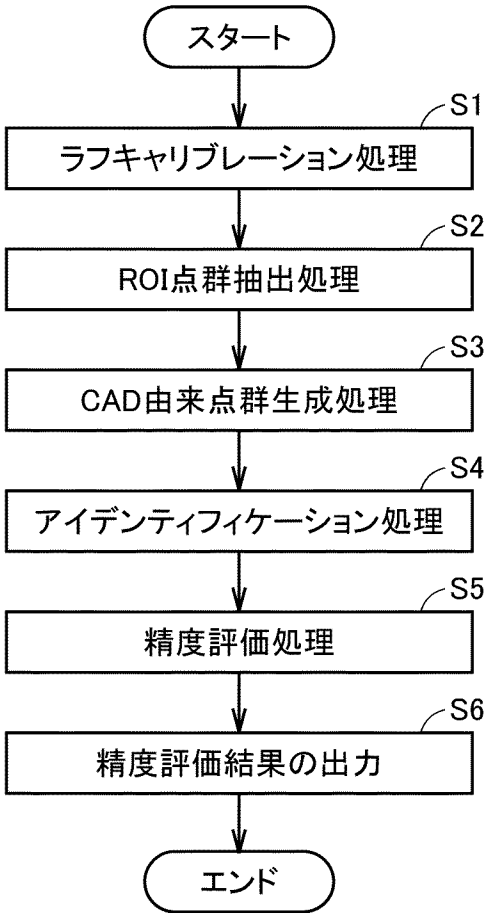

100
112
ディスプレイ
110
表示
インターフェイス
116
ネットワーク
コントローラ
108
入力装置
106
入力
インターフェイス
114
カメラ
インターフェイス
カメラ
10
104
メモリ
120
ストレージ
124
情報処理
プログラム
122
OS
102
プロセッサ

FIG.2

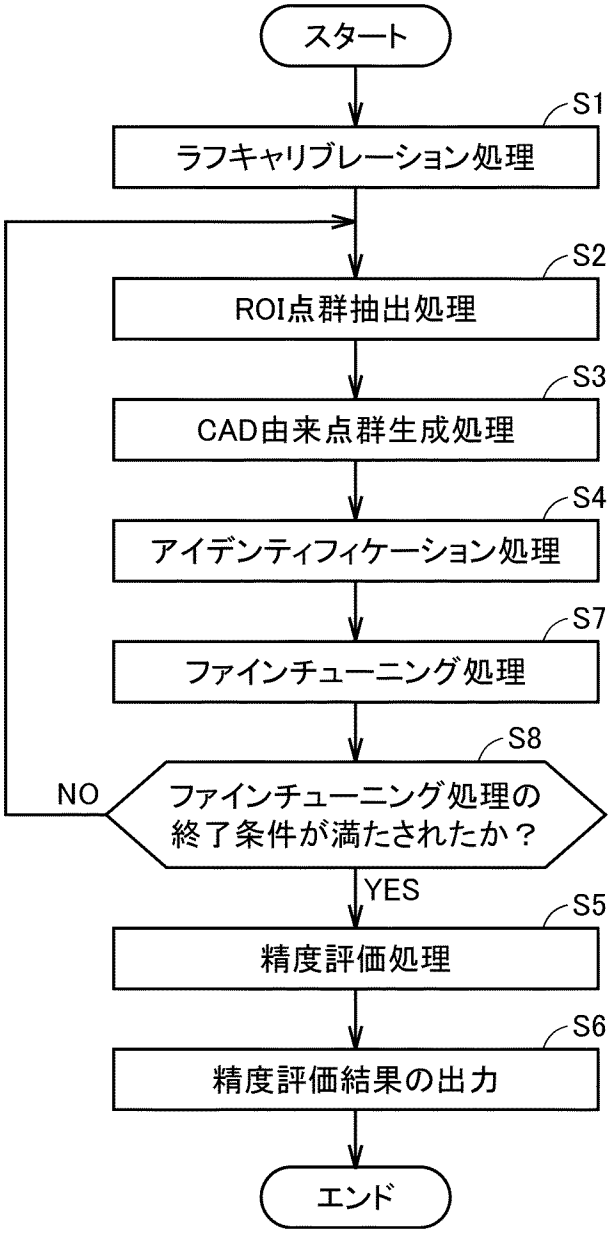
[図3]

FIG.3


スタート
S1
ラフキャリブレーション処理
S2
ROI点群抽出処理
S3
CAD由来点群生成処理
S4
アイデンティフィケーション処理
S5
精度評価処理
S6
精度評価結果の出力
エンド

[図4]

FIG.4


スタート
S1
ラフキャリブレーション処理
S2
ROI点群抽出処理
S3
CAD由来点群生成処理
S4
アイデンティフィケーション処理
S7
ファインチューニング処理
S8
NO
ファインチューニング処理の
終了条件が満たされたか？
YES
S5
精度評価処理
S6
精度評価結果の出力
エンド

[図5]

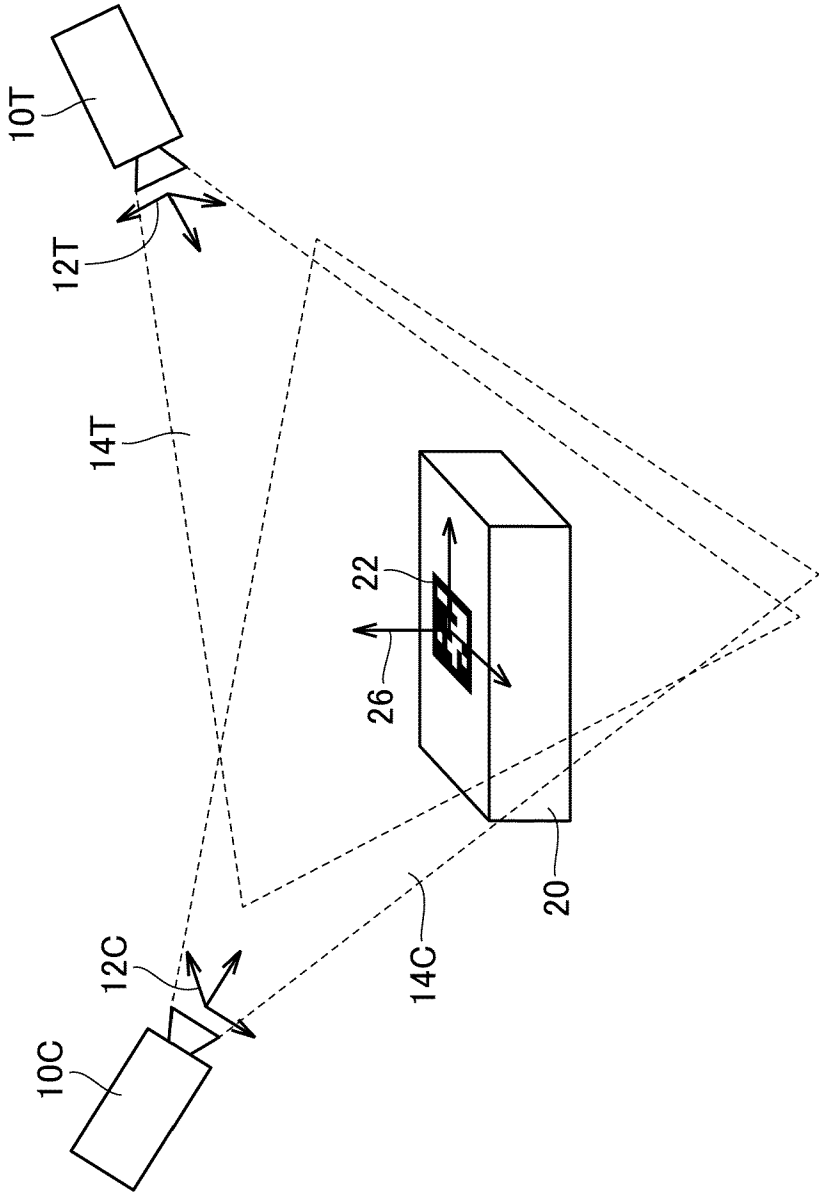


FIG.5

[図6]

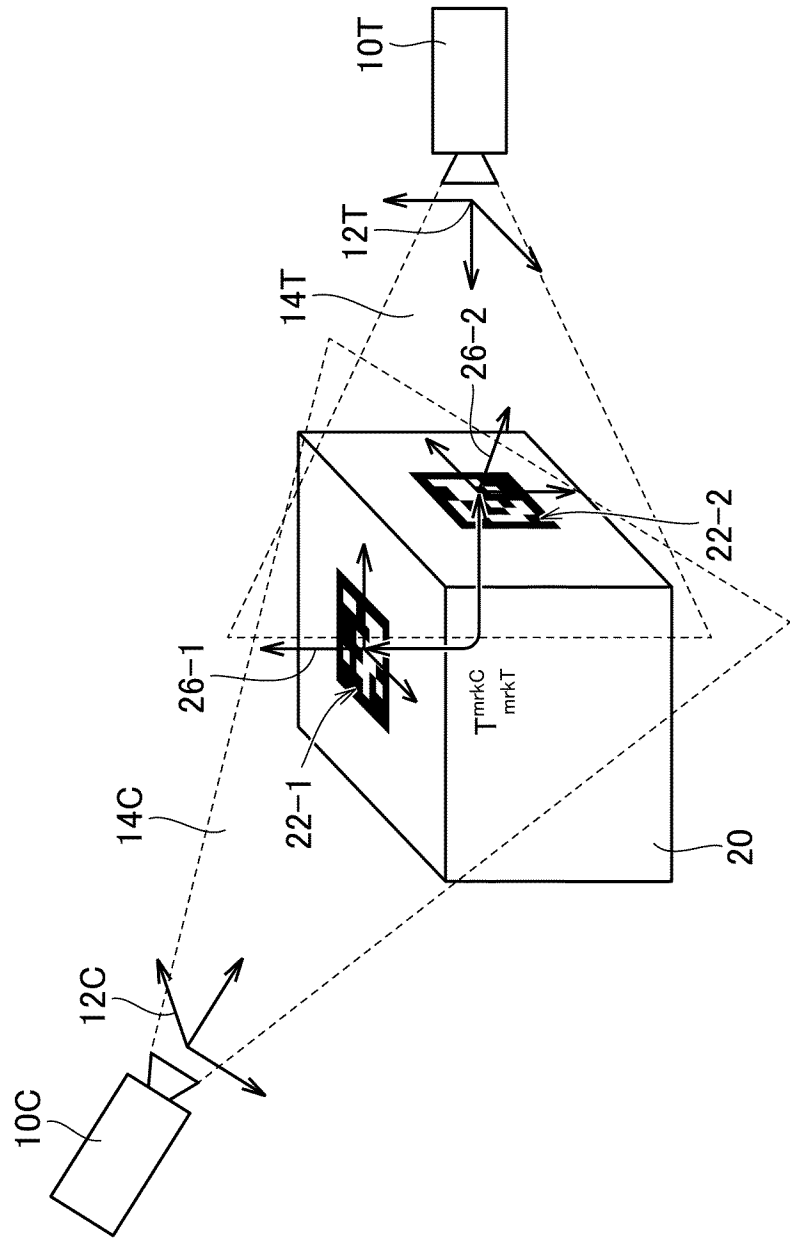


FIG.6

[図7]

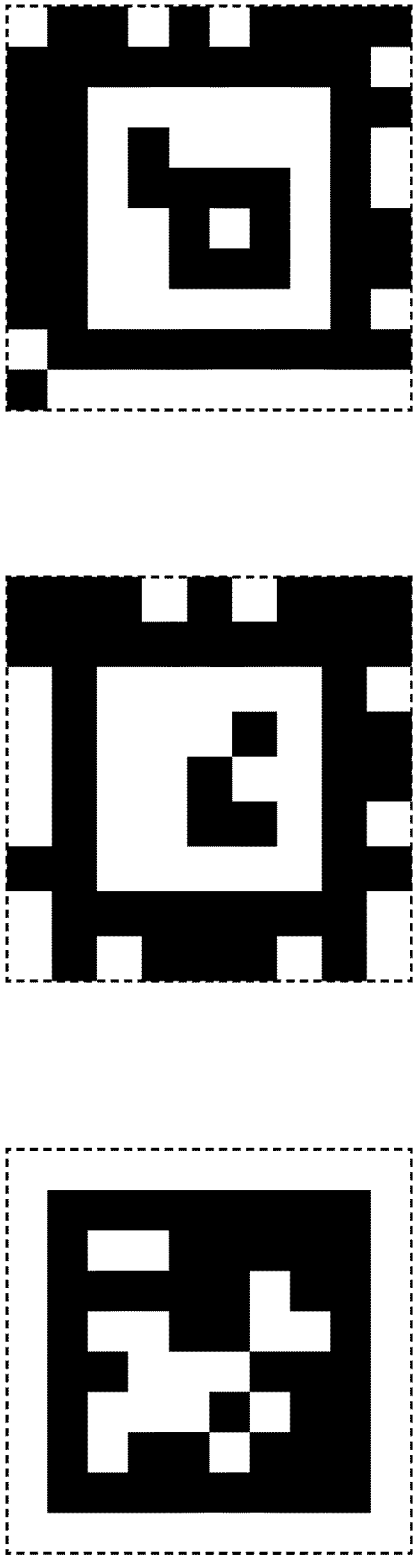


FIG.7

[図8]

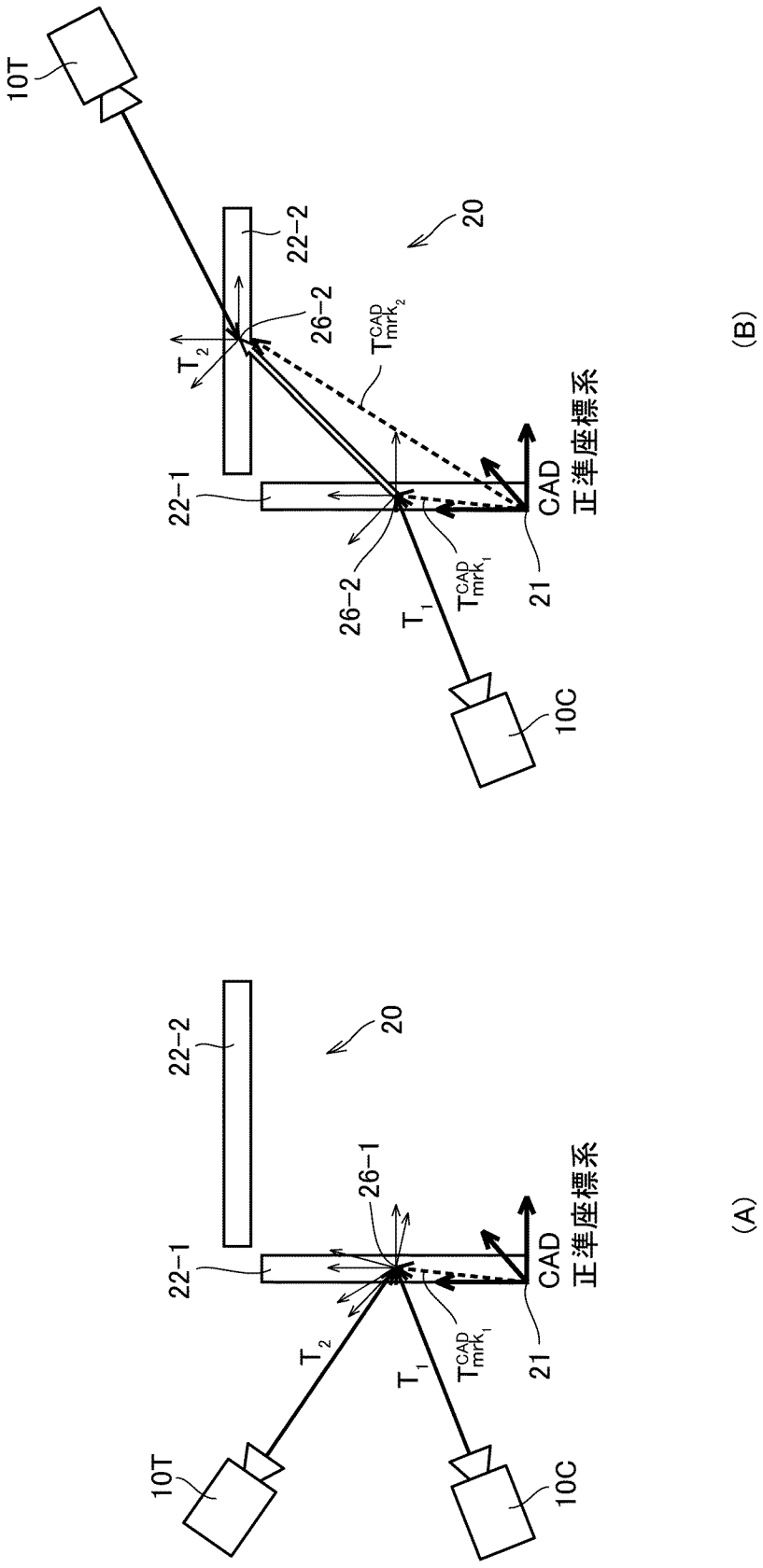

10T
22-2
20
26-2
T_2
$T^{CAD}_{mrk_2}$
22-1
CAD
正準座標系
26-2
T_1
$T^{CAD}_{mrk_1}$
21
10C
(B)
22-2
20
26-1
22-1
CAD
正準座標系
T_2
T_1
$T^{CAD}_{mrk_1}$
21
10T
10C
(A)

FIG.8

[図9]

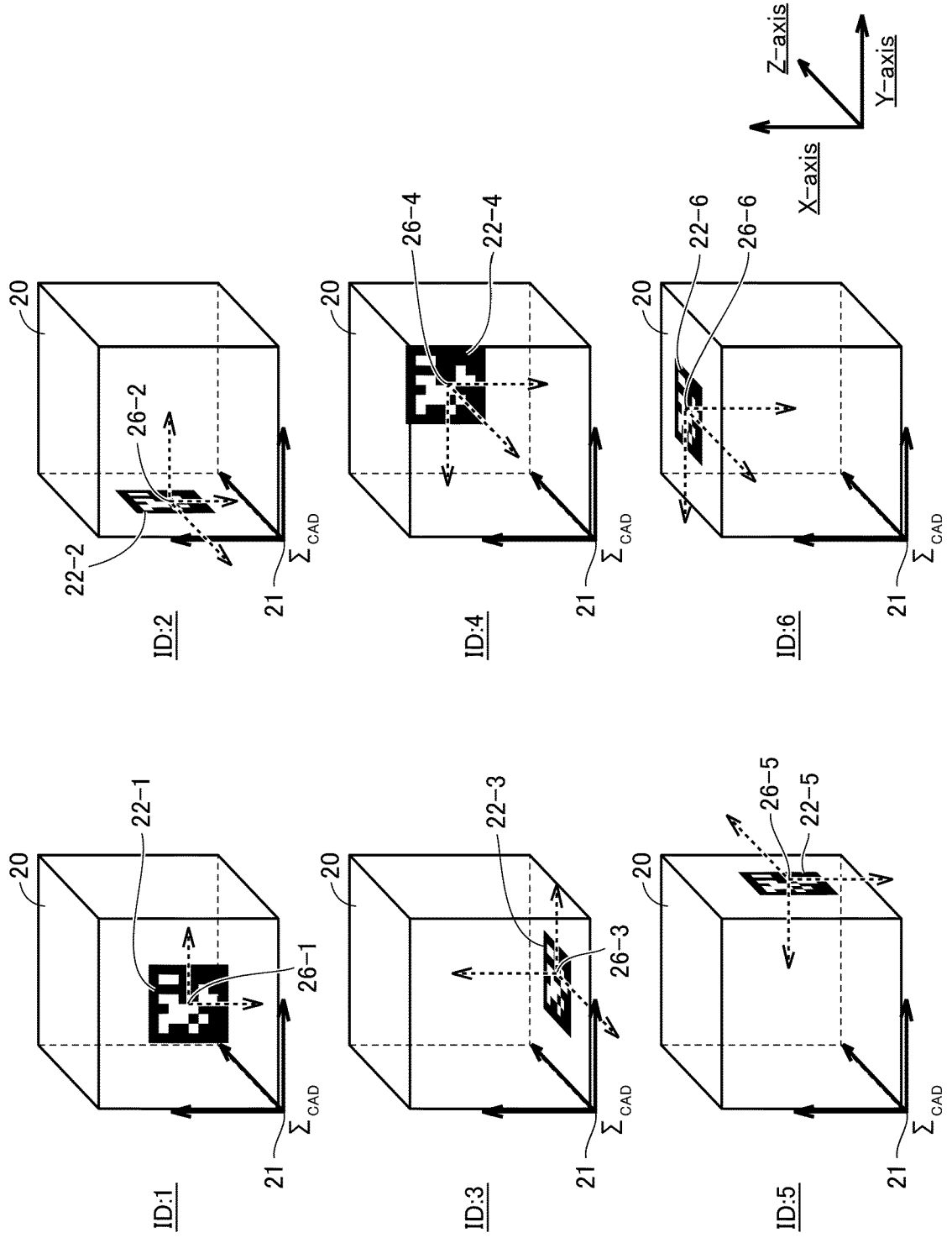

Z-axis
Y-axis
X-axis
20
21
Σ_{CAD}
22-1
26-1
ID:1
22-2
26-2
ID:2
22-3
26-3
ID:3
22-4
26-4
ID:4
22-5
26-5
ID:5
22-6
26-6
ID:6

FIG.9

[図10]

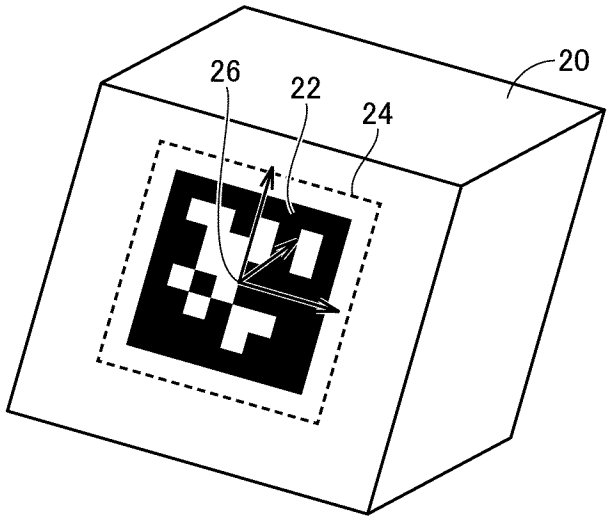
FIG.10

	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6
回転: $R_{mrk_i}^{CAD}$ [rad]	$Rz\left(-\frac{\pi}{2}\right)$	$Rz\left(-\frac{\pi}{2}\right)Ry\left(-\frac{\pi}{2}\right)$	$Ry\left(-\frac{\pi}{2}\right)$	$Rx(\pi)\,Rz\left(-\frac{\pi}{2}\right)$	$Rz\left(-\frac{\pi}{2}\right)Rx\left(-\frac{\pi}{2}\right)$	$Rz\left(-\frac{\pi}{2}\right)Ry\left(\frac{\pi}{2}\right)$
並行移動: $t_{mrk_i}^{CAD}$ [m]	$(0.1, 0.1, 0)^T$	$(0.1, 0, 0.1)^T$	$(0, 0.1, 0.1)^T$	$(0.1, 0.1, 0.2)^T$	$(0.1, 0.2, 0.1)^T$	$(0.2, 0.1, 0.1)^T$

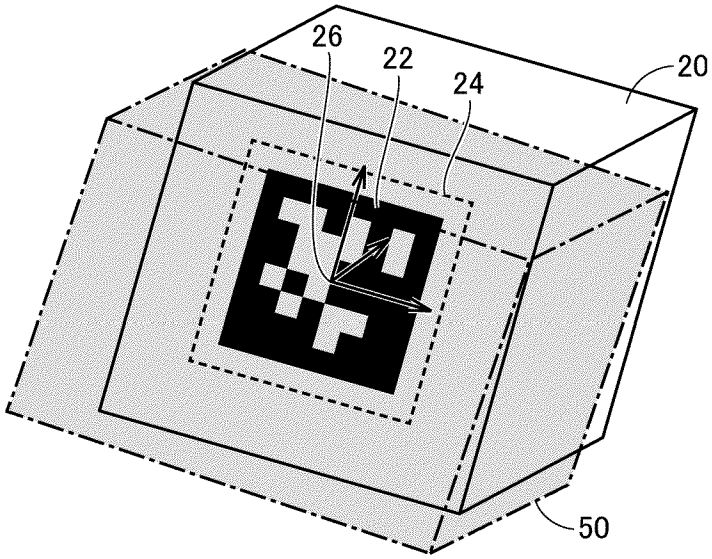
[図11]

FIG.11

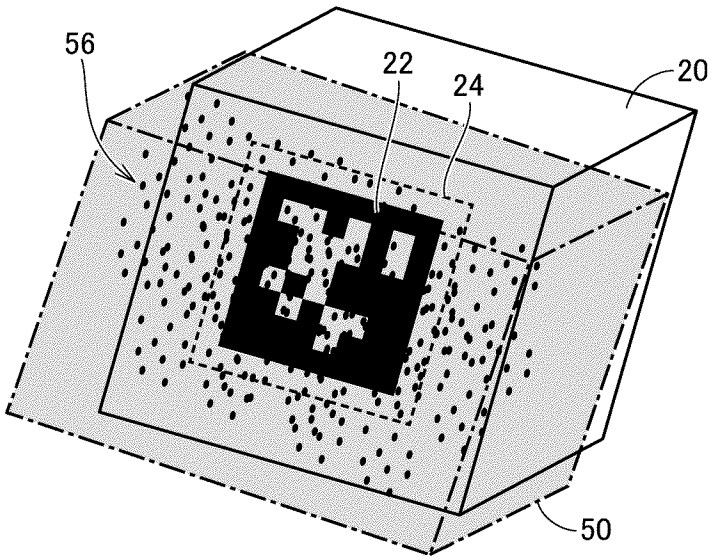
(A)



(B)



(C)



[図12]

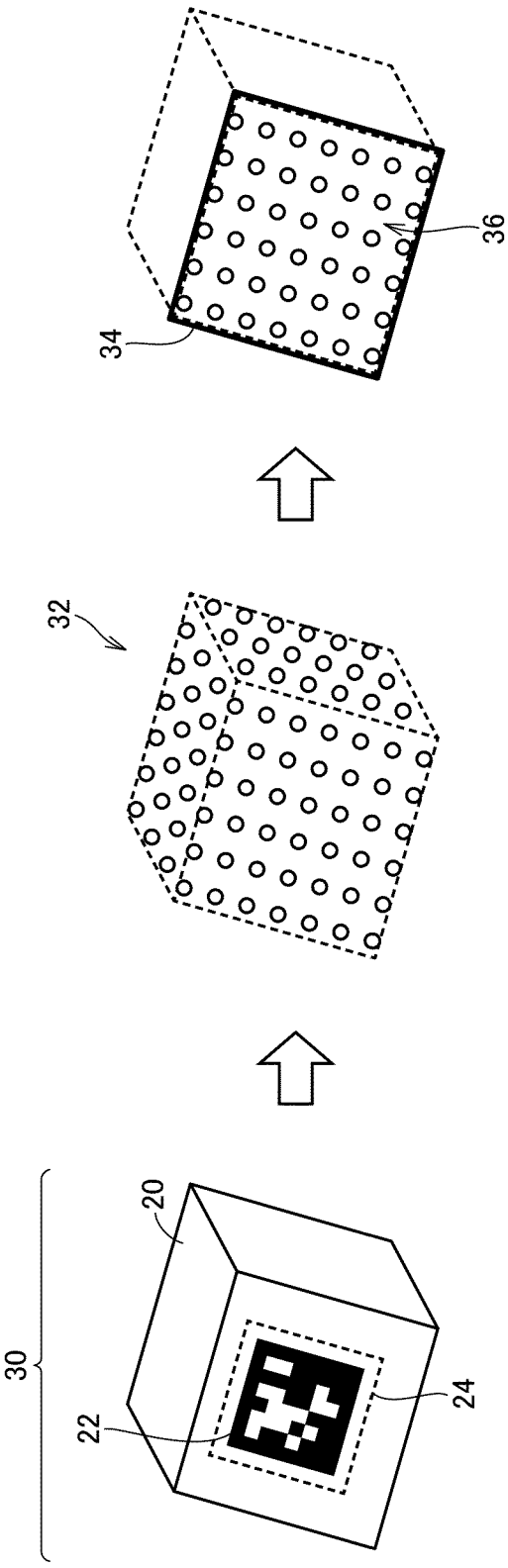
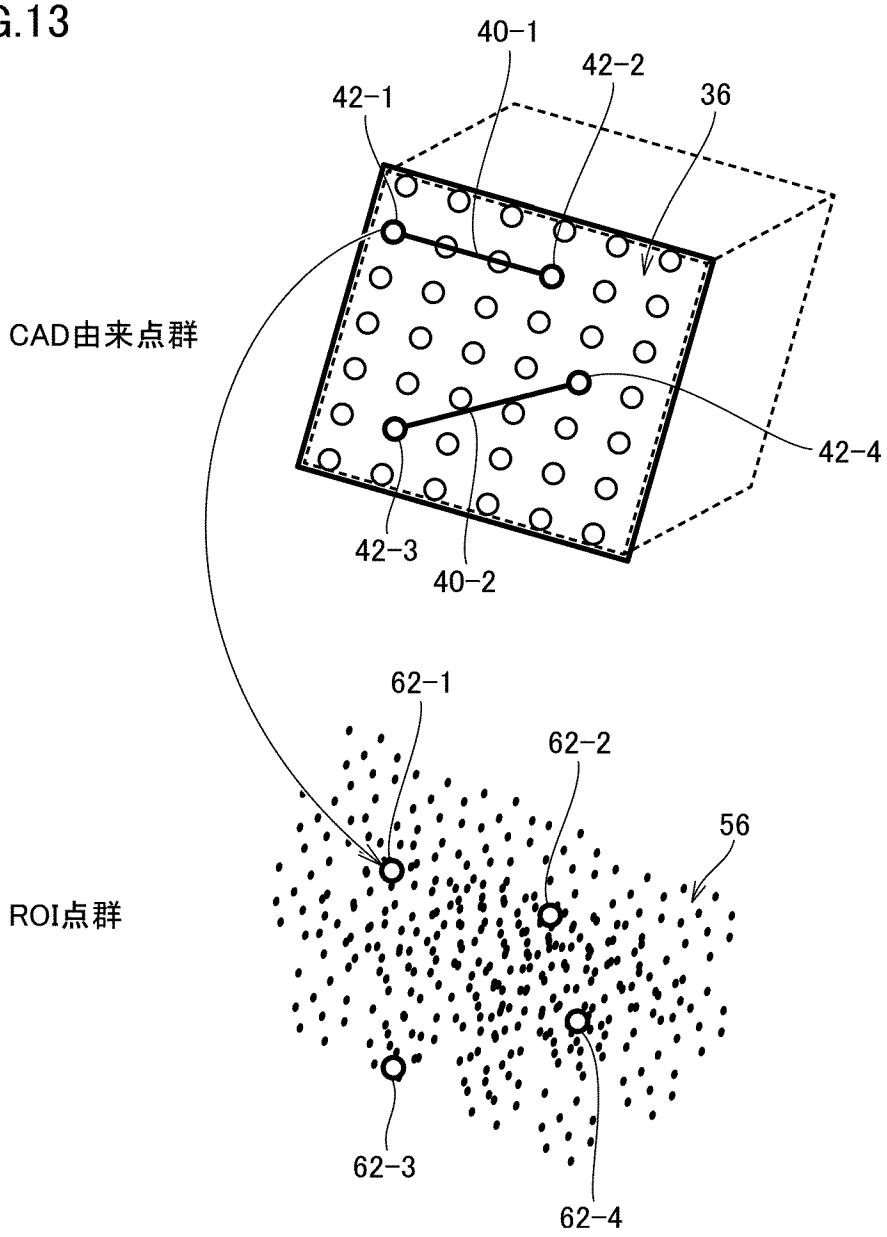


FIG.12

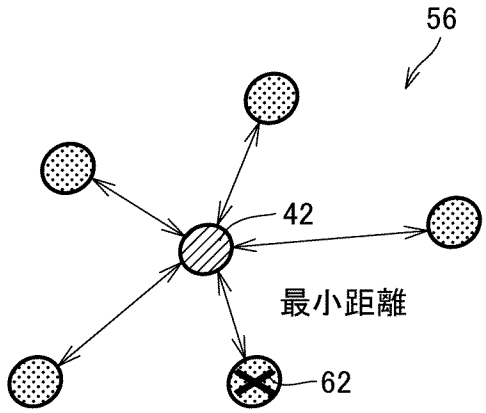
[図13]

FIG.13



[図14]

FIG.14



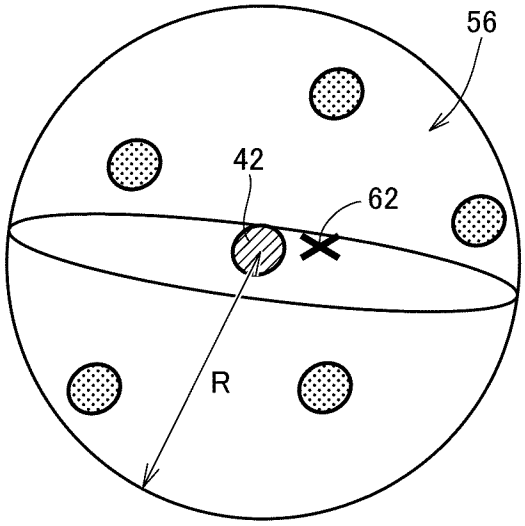
:ROI点群

:CAD由来点群中のキー点の座標

:推定されたROI点群中のキー点

[図15]

FIG.15



:ROI点群

:CAD由来点群中のキーポイントの座標

:推定されたROI点群中のキー点

[図16]

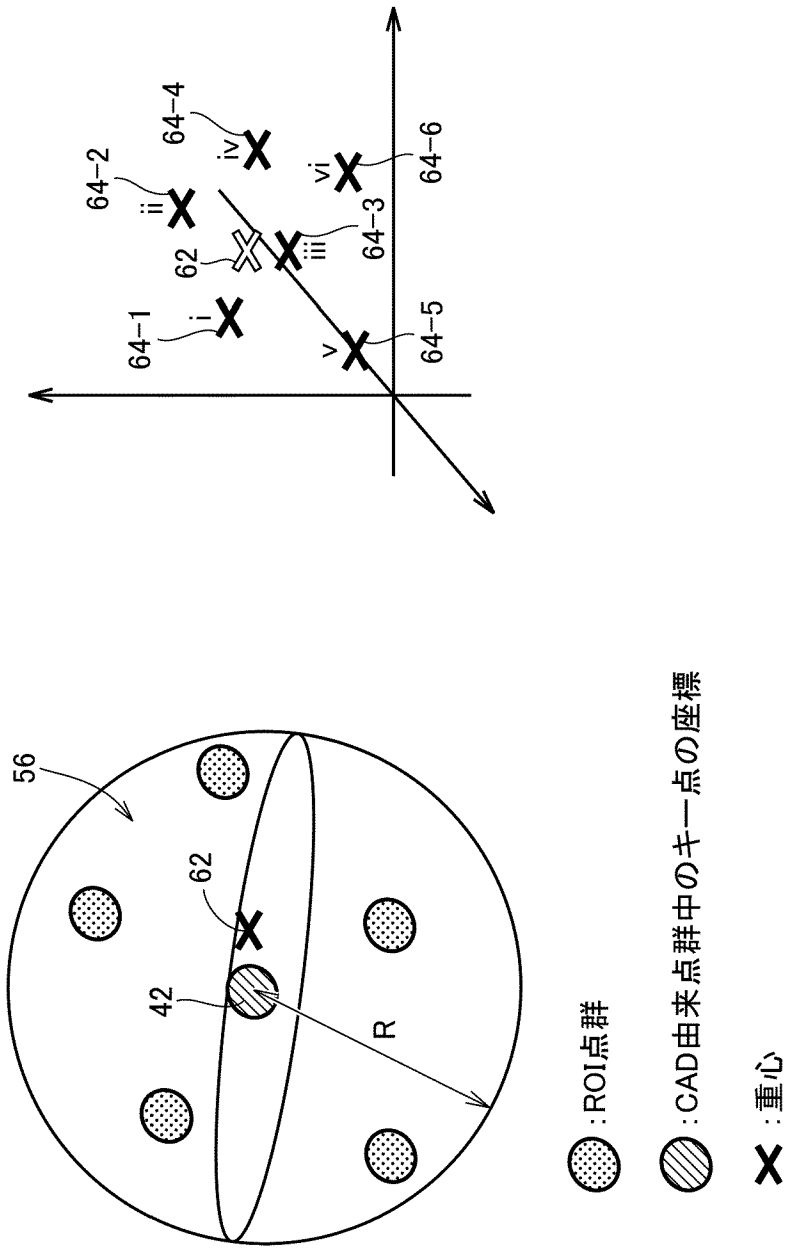

64-4
iv
64-2
ii
62
64-1
i
64-6
vi
64-3
iii
64-5
v
56
62
42
R
:ROI点群
:CAD由来点群中のキー点の座標
:重心

FIG.16

[図17]

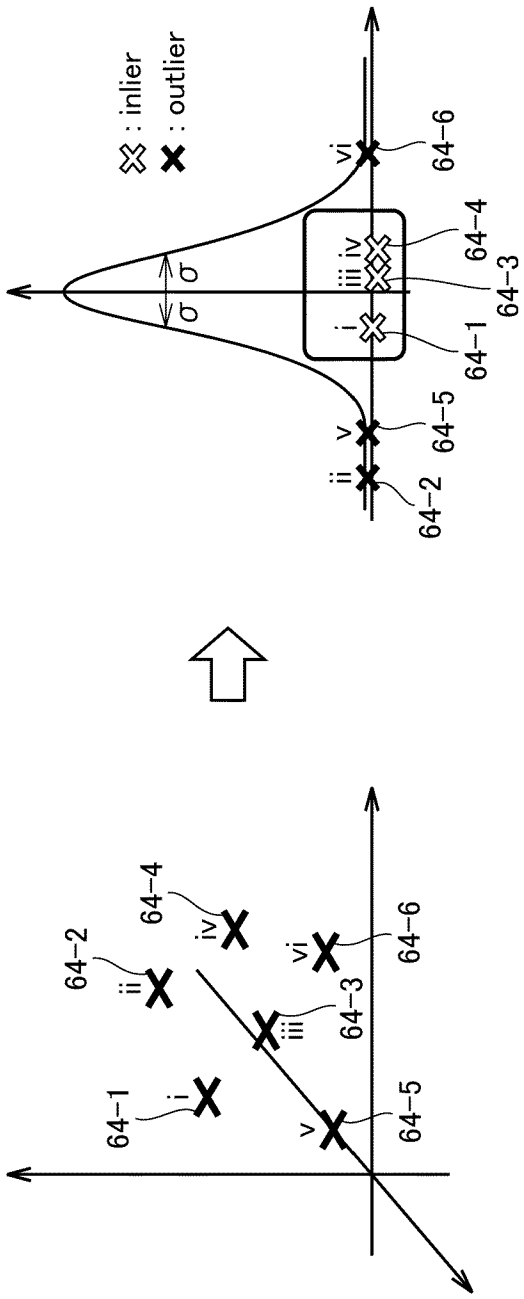


FIG.17

[図18]

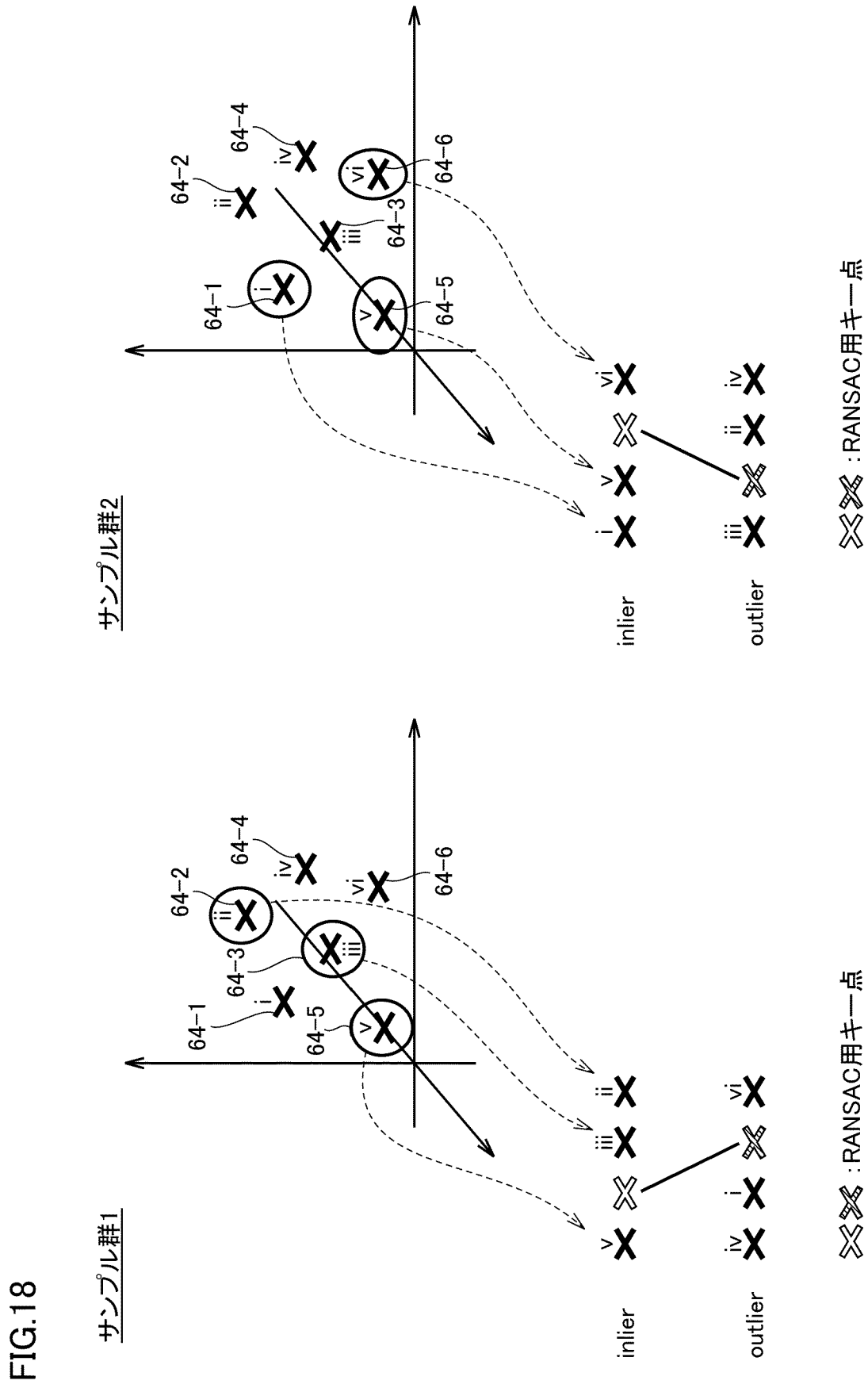
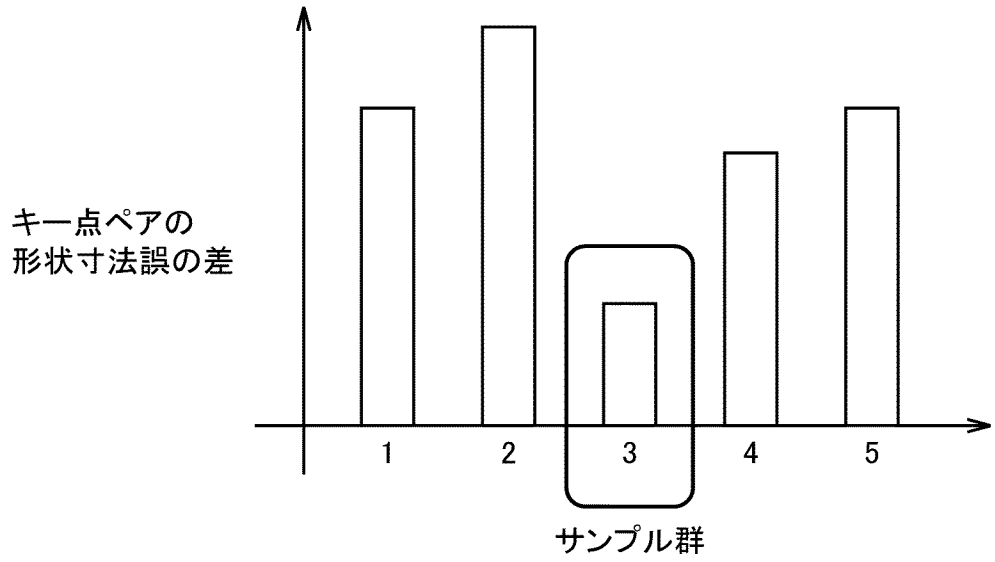

サンプル群1
サンプル群2
64-1
64-2
64-3
64-4
64-5
64-6
i
ii
iii
iv
v
vi
inlier
outlier
: RANSAC用キー点

FIG.18

[図19]

FIG.19



[図20]

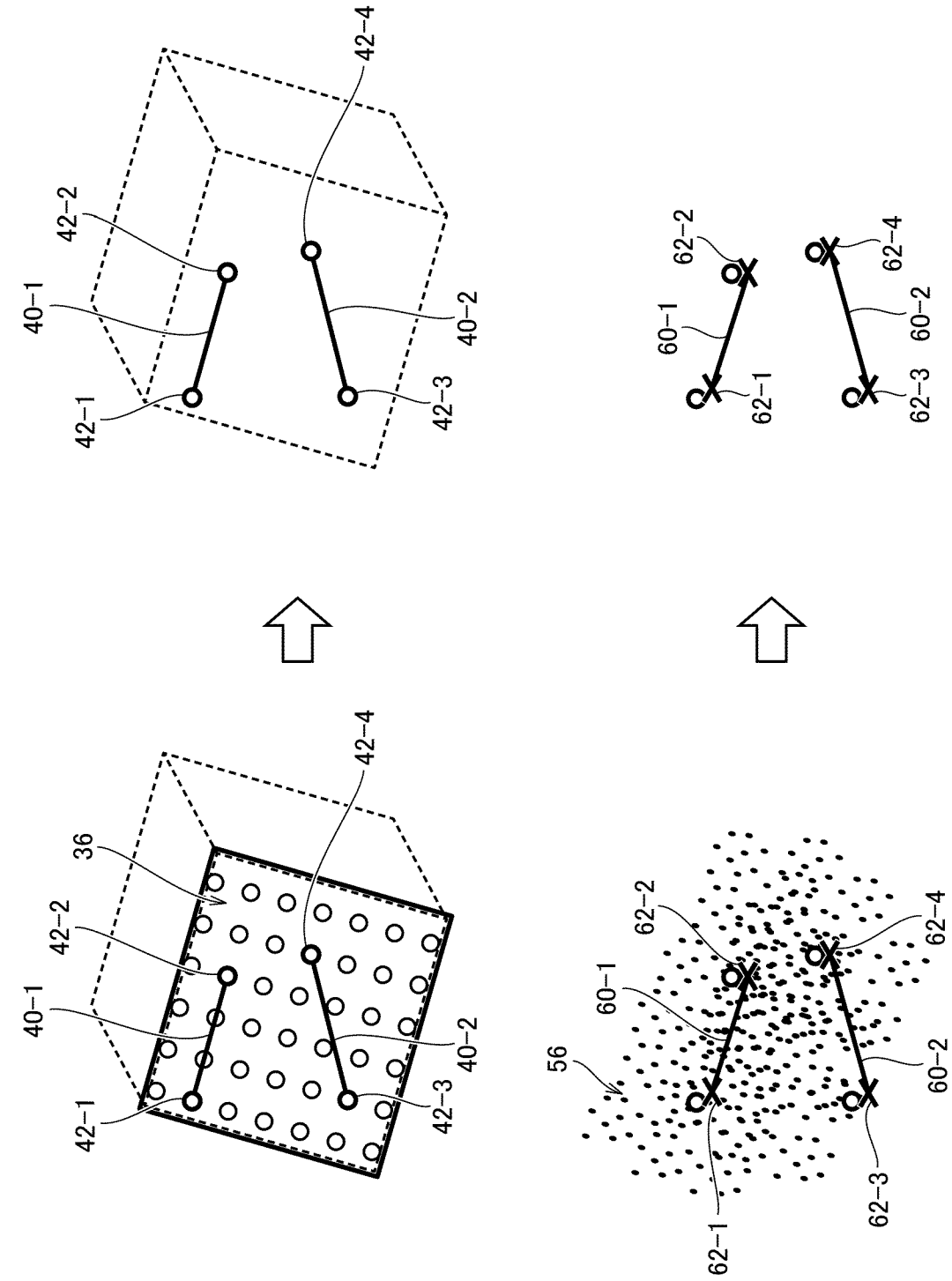
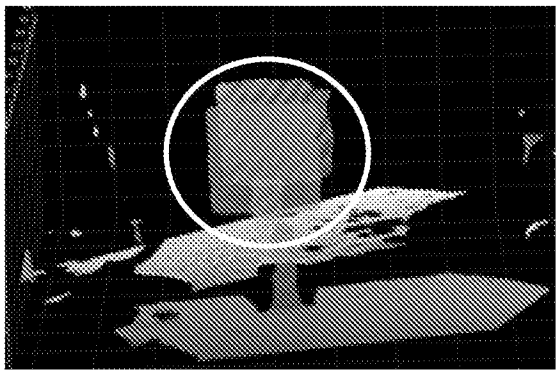


FIG.20

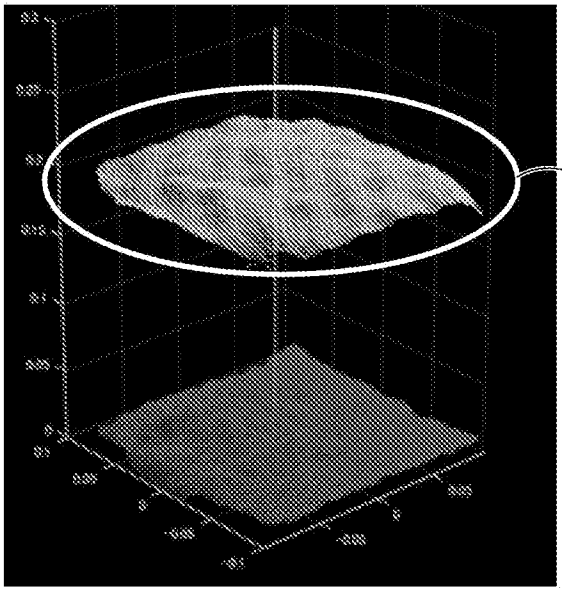
[図21]

FIG.21

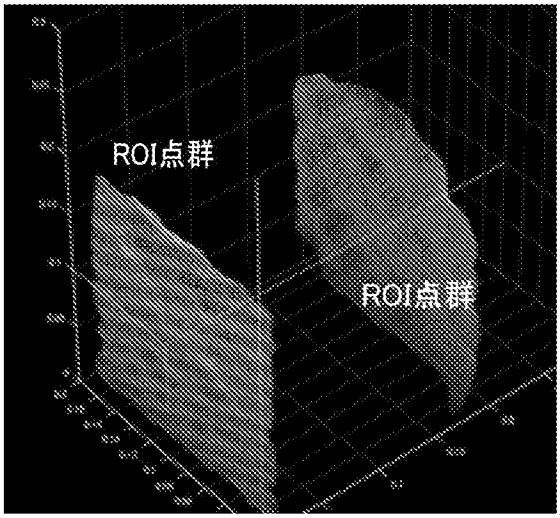
(A)



(B)

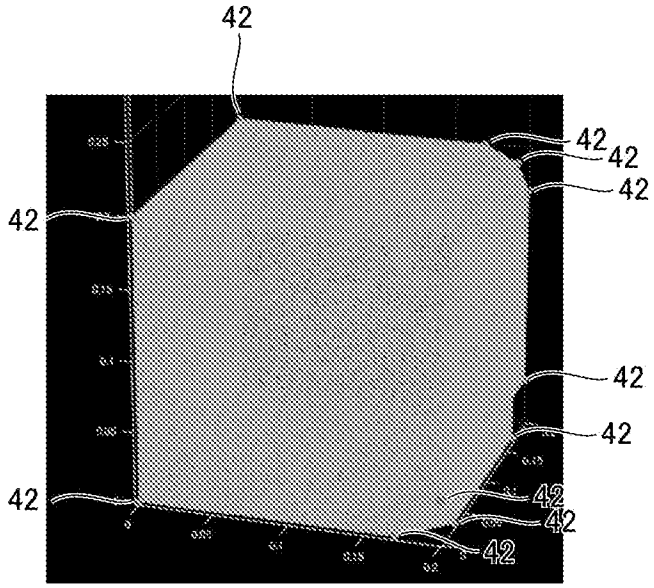


(C)



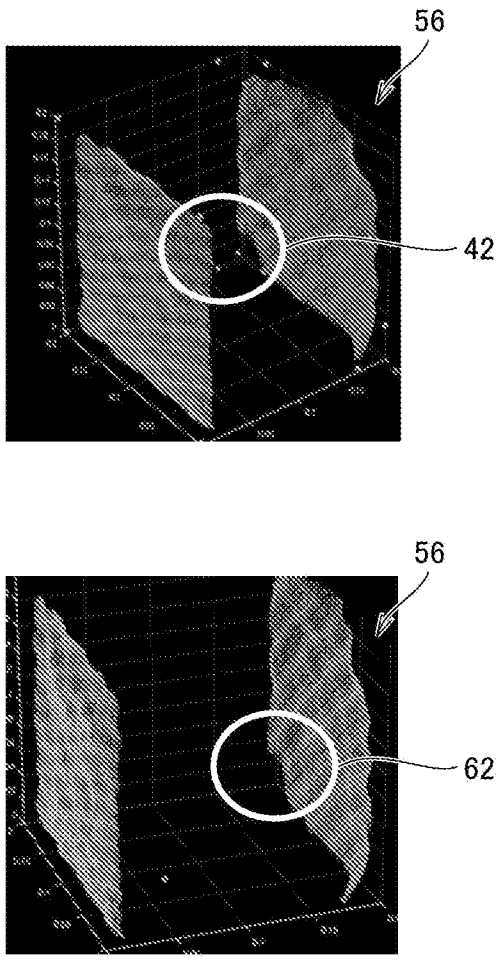
[図22]

FIG.22



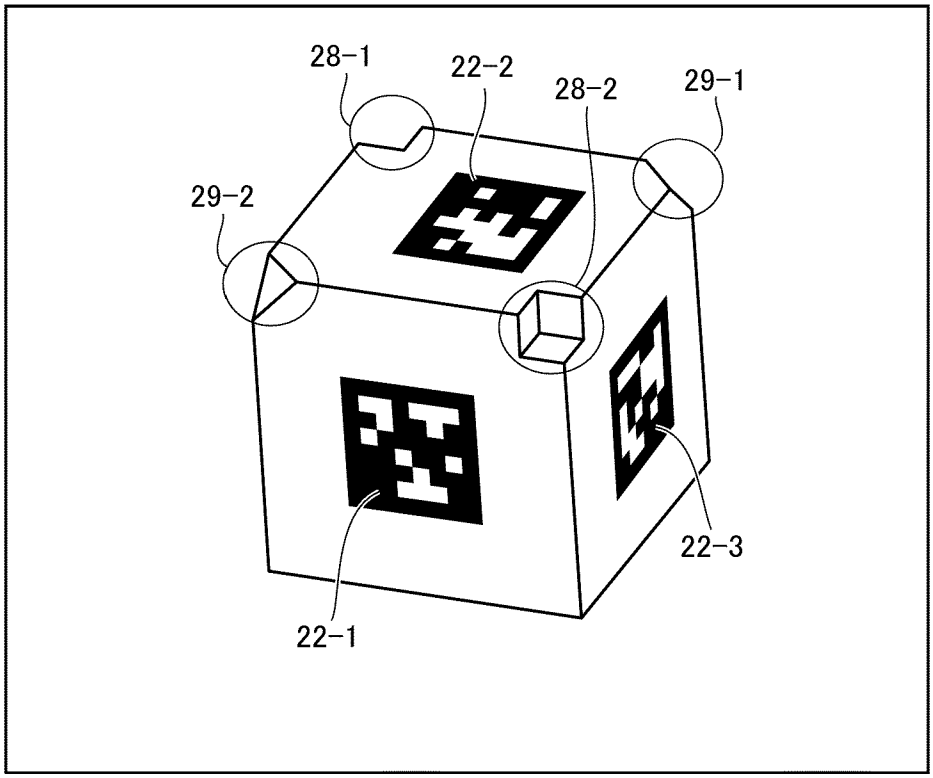
[図23]

FIG.23



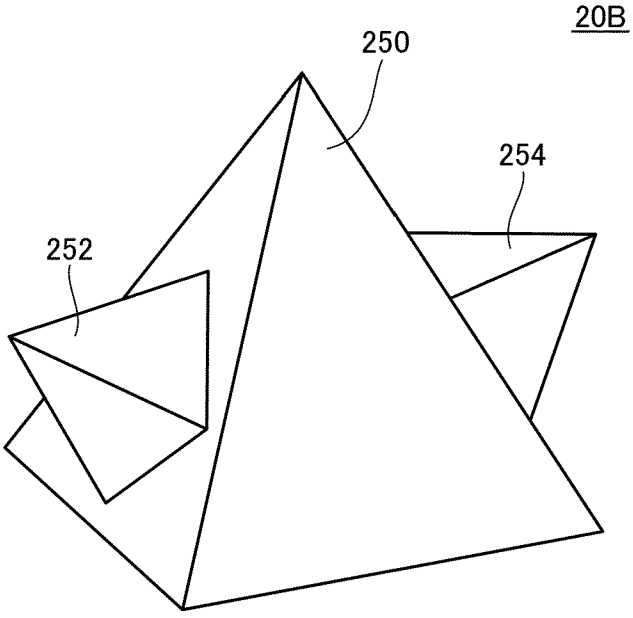
[図24]

FIG.24



[図25]

FIG.25



[図26]

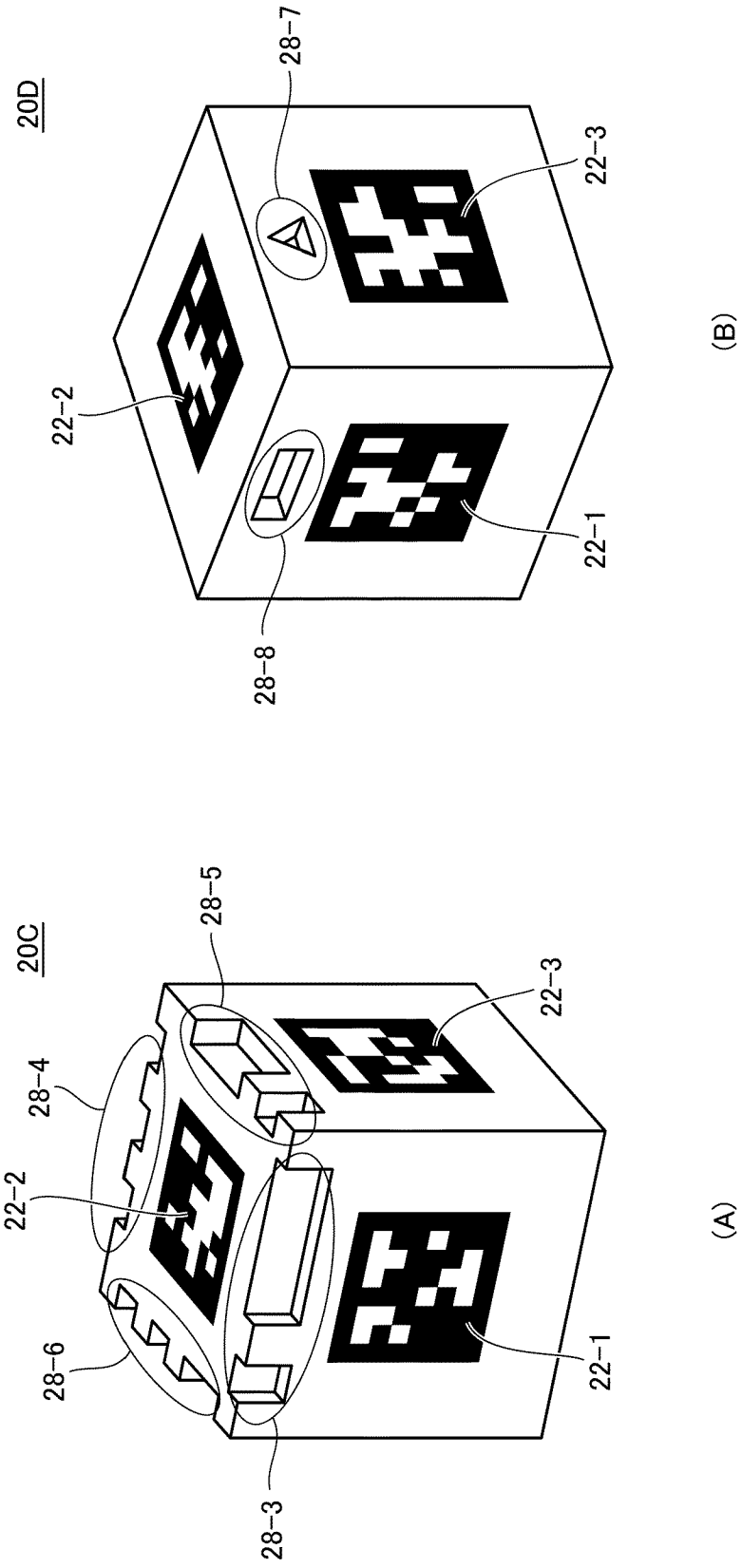
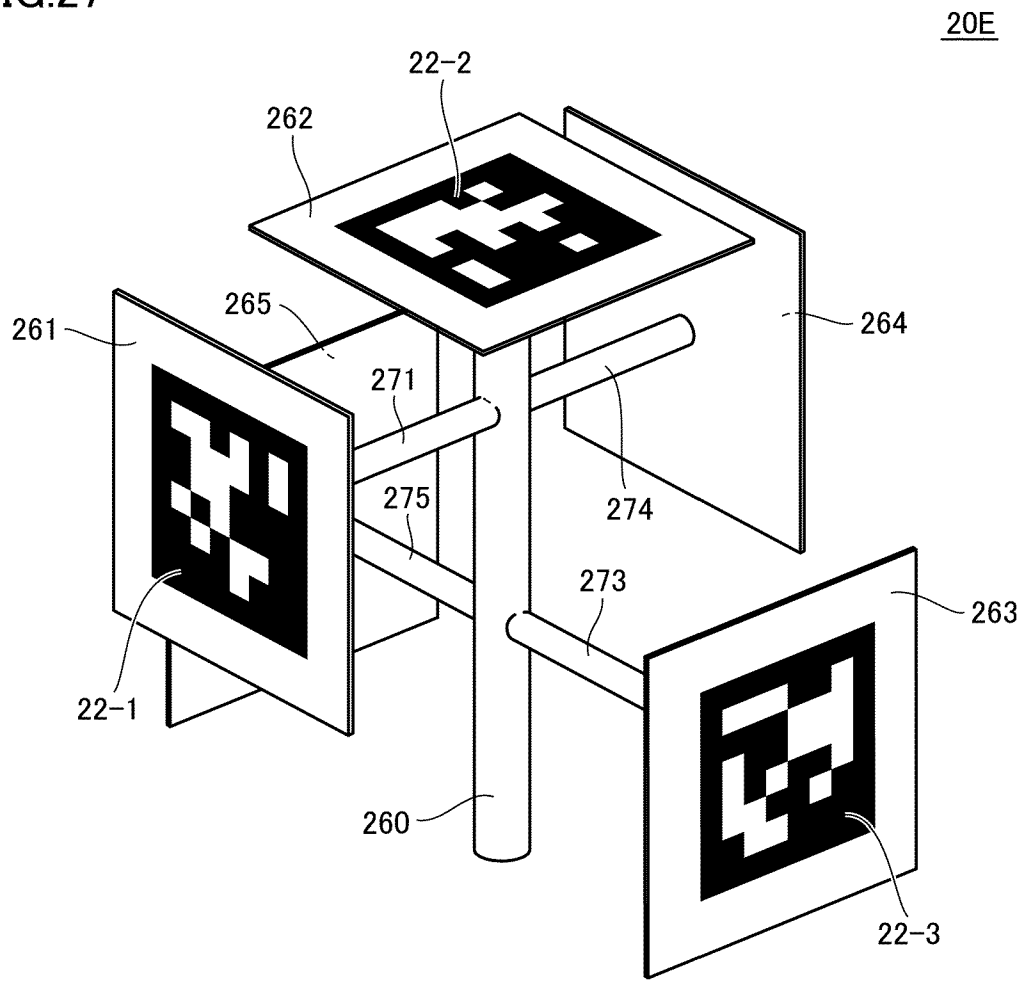


FIG.26

[図27]

FIG.27



[図28]

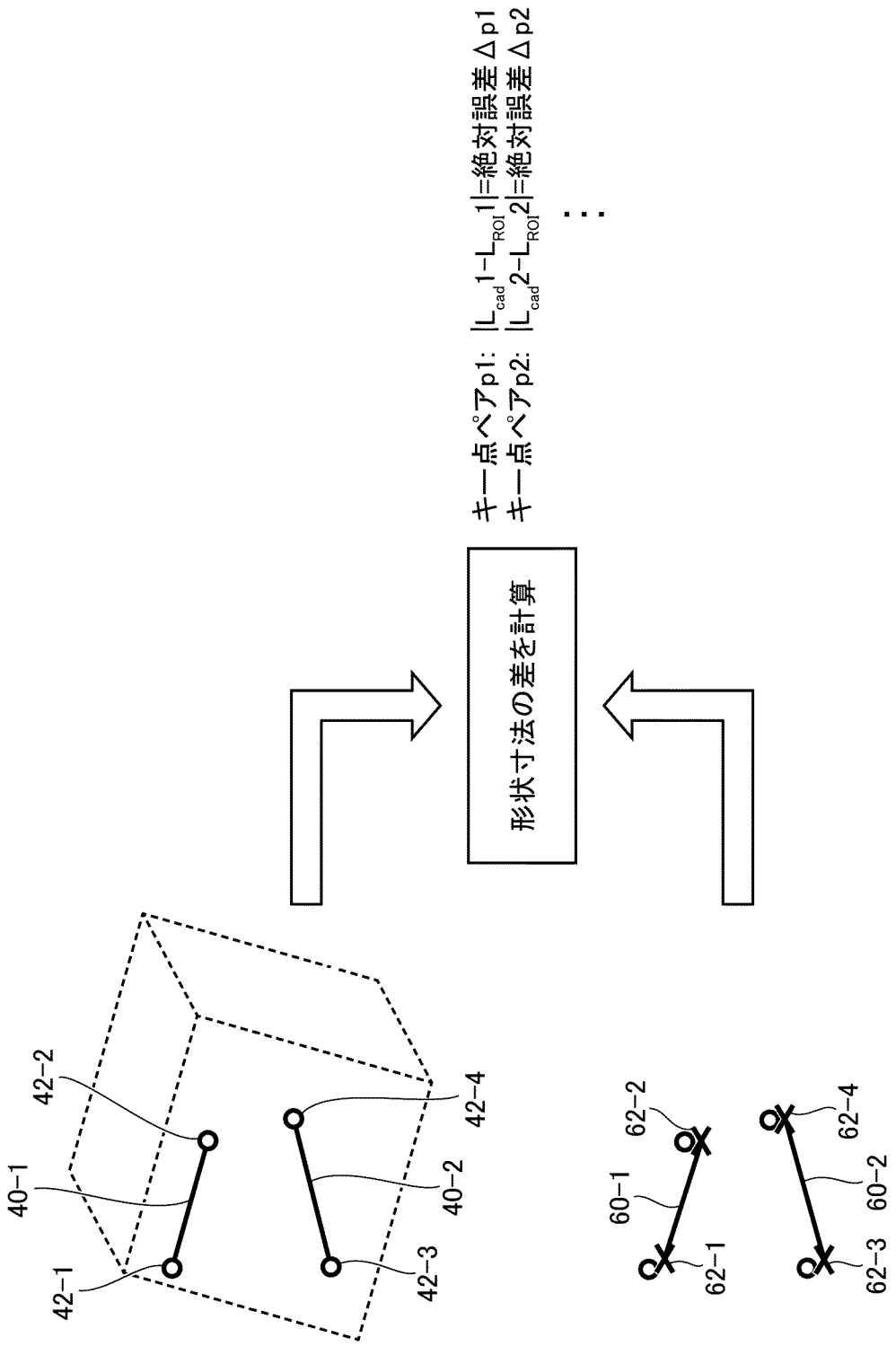
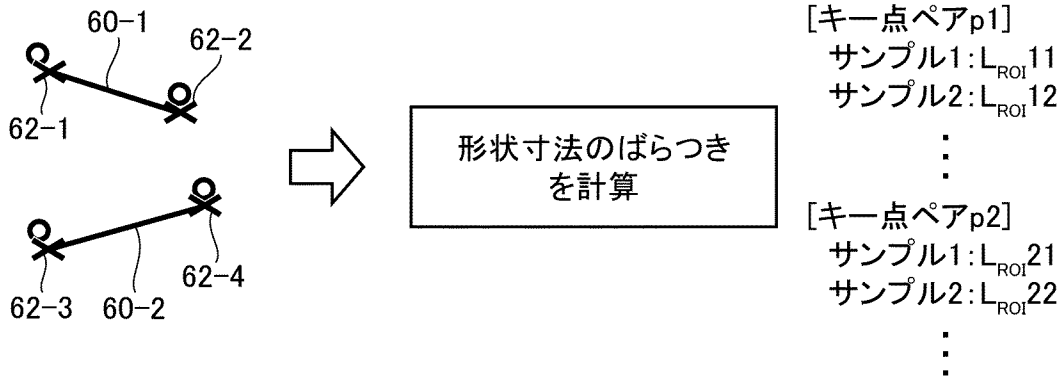

キー点ペアp1: |Lcad1−LROI1|=絶対誤差Δp1
キー点ペアp2: |Lcad2−LROI2|=絶対誤差Δp2
・・・
形状寸法の差を計算
40−1
40−2
42−1
42−2
42−3
42−4
60−1
60−2
62−1
62−2
62−3
62−4

FIG.28

[図29]

FIG.29


60-1
62-2
62-1
62-4
62-3
60-2
形状寸法のばらつき
を計算
[キー点ペアp1]
サンプル1:$L_{ROI}11$
サンプル2:$L_{ROI}12$
[キー点ペアp2]
サンプル1:$L_{ROI}21$
サンプル2:$L_{ROI}22$

[図30]

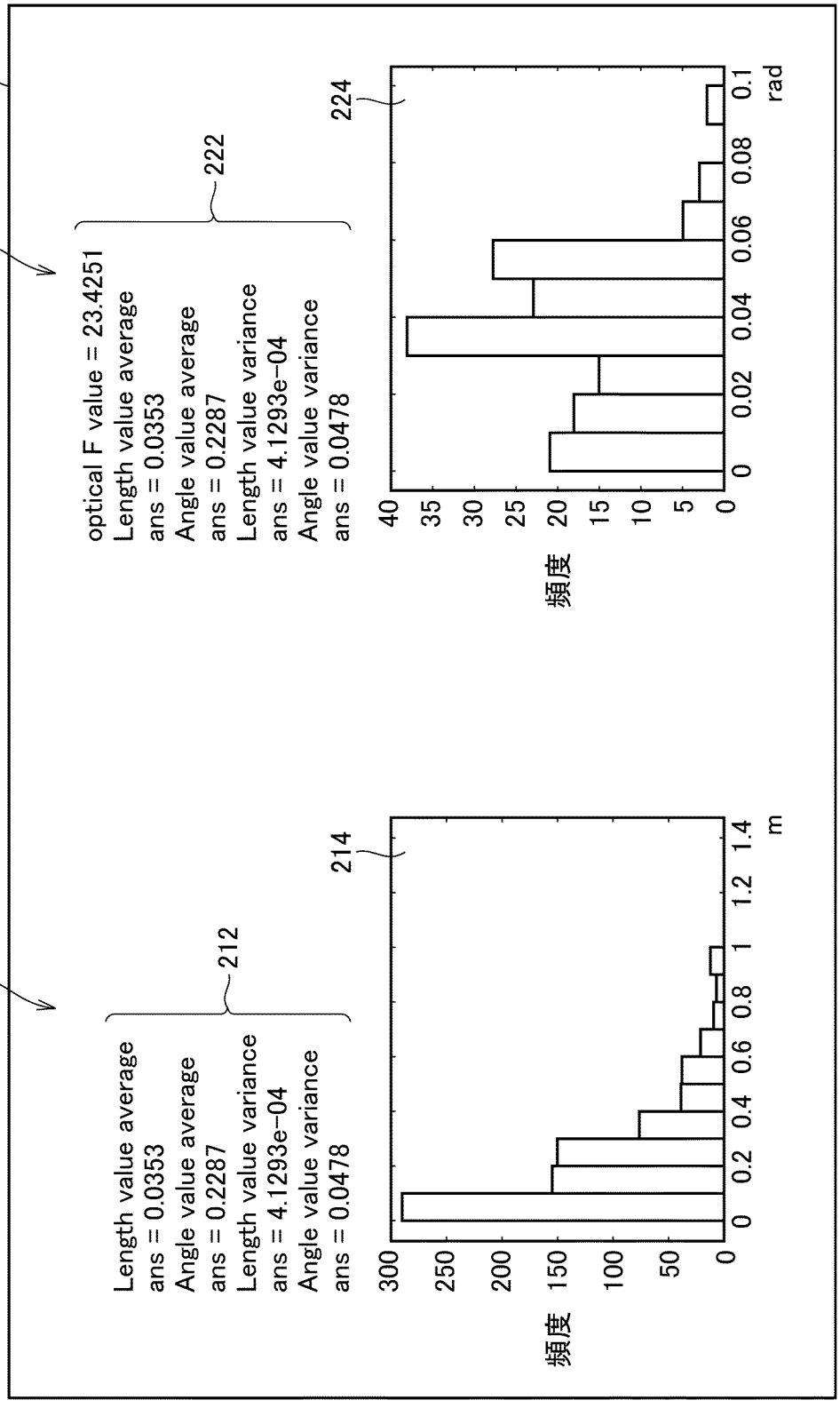

200
220
optical F value = 23.4251
Length value average
ans = 0.0353
Angle value average
ans = 0.2287
Length value variance
ans = 4.1293e-04
Angle value variance
ans = 0.0478
222
224
頻度
rad
210
Length value average
ans = 0.0353
Angle value average
ans = 0.2287
Length value variance
ans = 4.1293e-04
Angle value variance
ans = 0.0478
212
214
頻度
m

FIG.30

[図31]

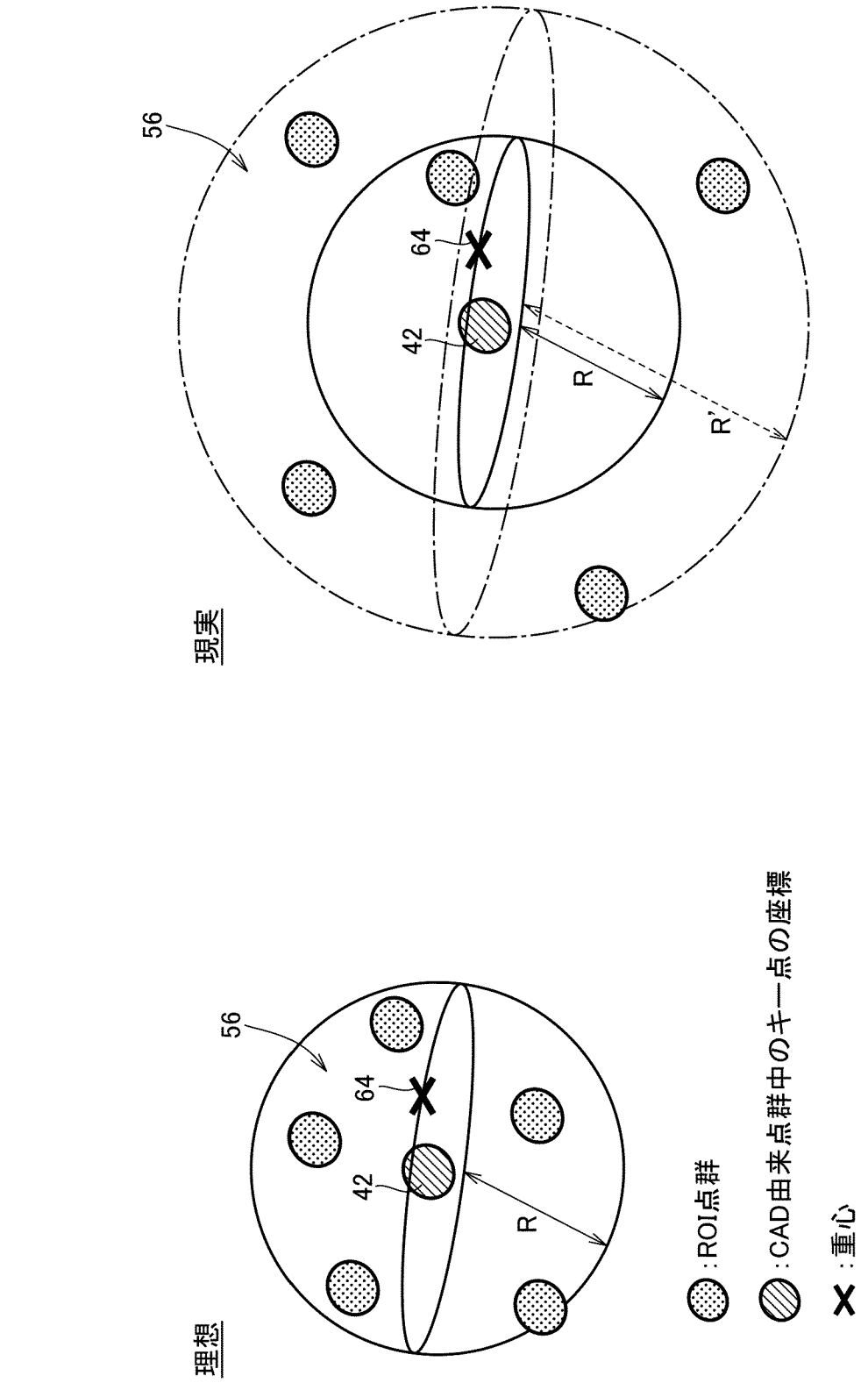
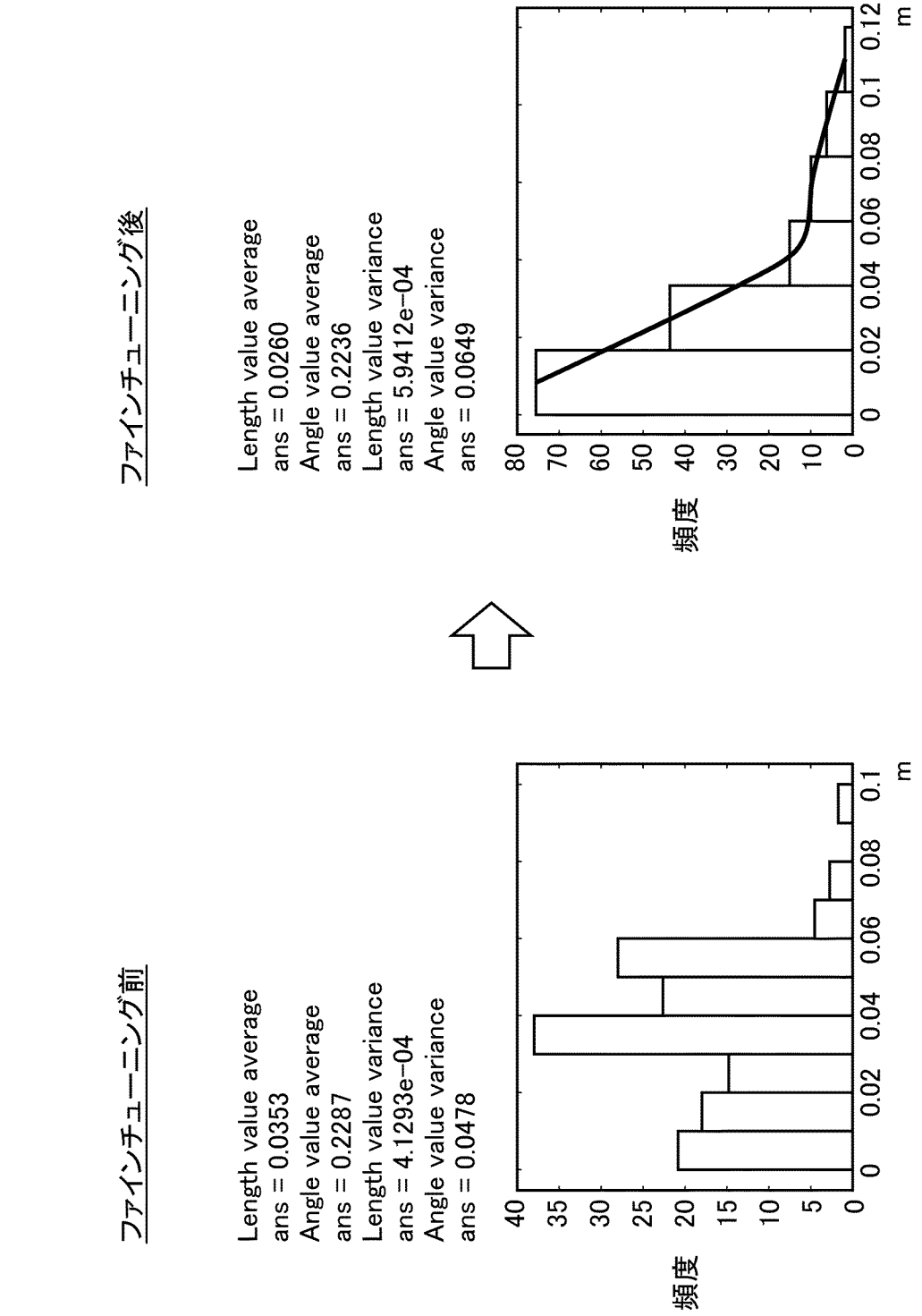


FIG.31

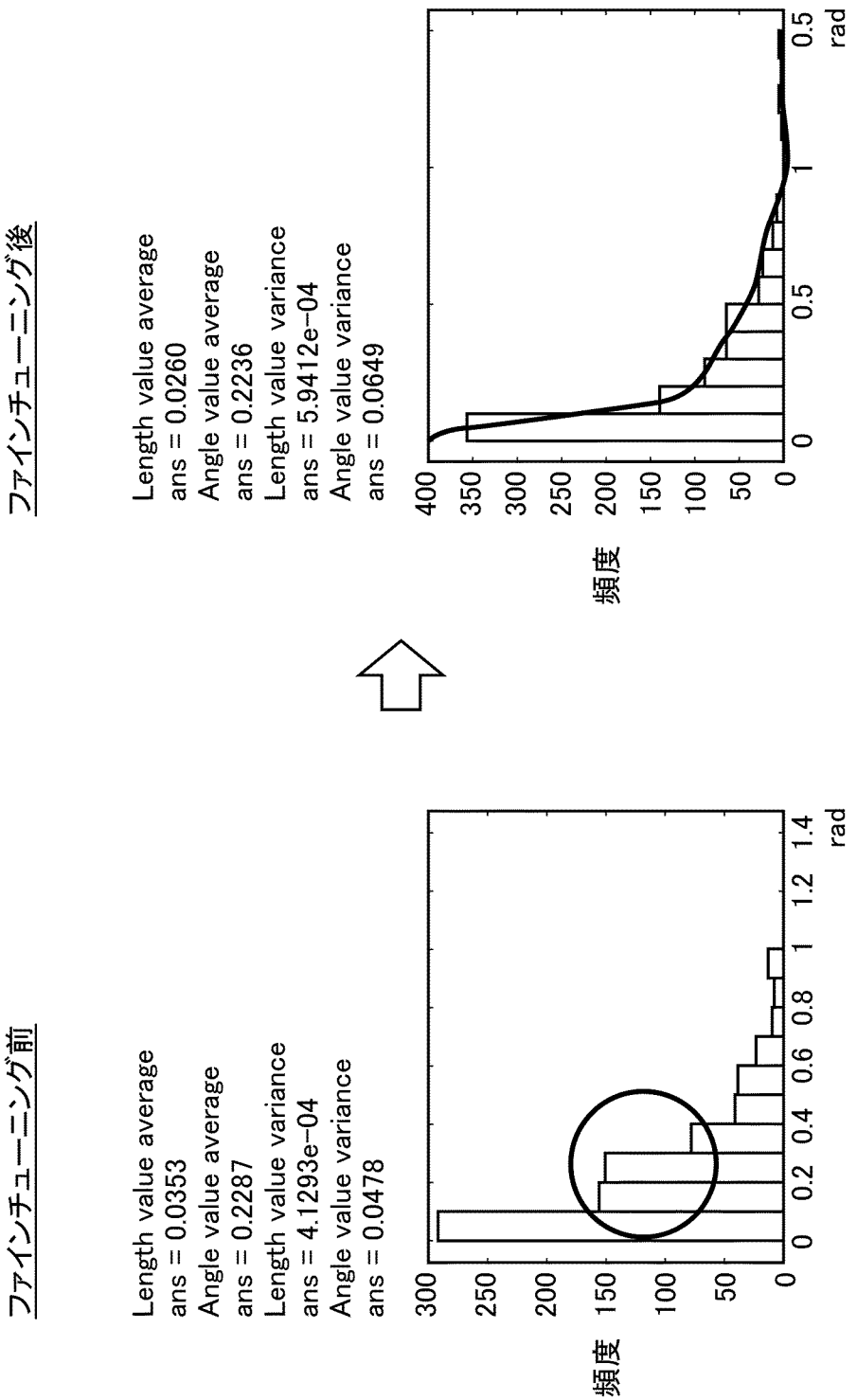
[図32]

FIG.32


ファインチューニング前
Length value average
ans = 0.0353
Angle value average
ans = 0.2287
Length value variance
ans = 4.1293e−04
Angle value variance
ans = 0.0478
頻度
m
ファインチューニング後
Length value average
ans = 0.0260
Angle value average
ans = 0.2236
Length value variance
ans = 5.9412e−04
Angle value variance
ans = 0.0649
頻度
m

[図33]

FIG.33


ファインチューニング前
Length value average
ans = 0.0353
Angle value average
ans = 0.2287
Length value variance
ans = 4.1293e-04
Angle value variance
ans = 0.0478
頻度
rad
ファインチューニング後
Length value average
ans = 0.0260
Angle value average
ans = 0.2236
Length value variance
ans = 5.9412e-04
Angle value variance
ans = 0.0649
頻度
rad

[図34]

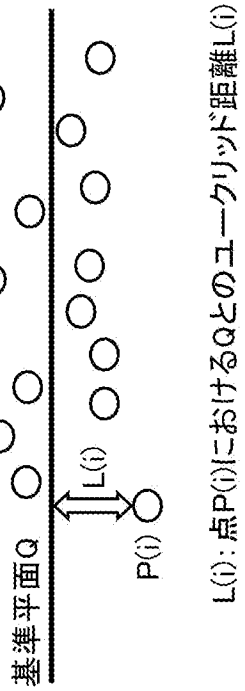
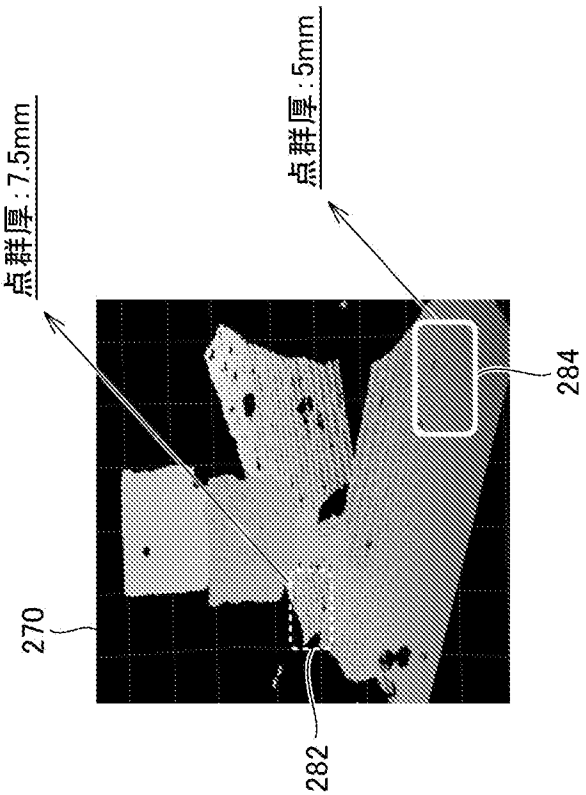

基準平面Q
L(i)
P(i)
L(i):点P(i)におけるQとのユークリッド距離L(i)

FIG.34


点群厚:7.5mm
点群厚:5mm
270
282
284

[図35]

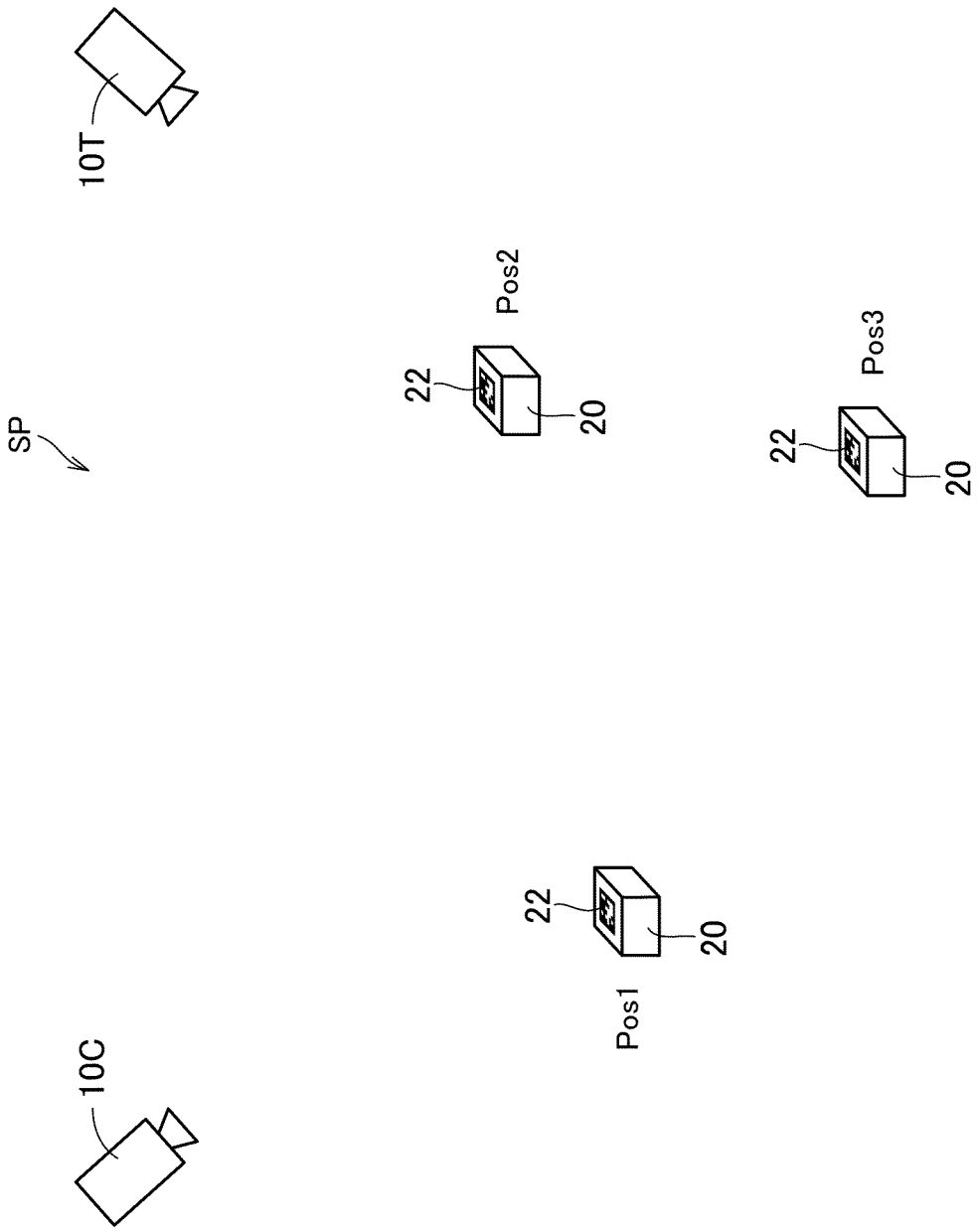
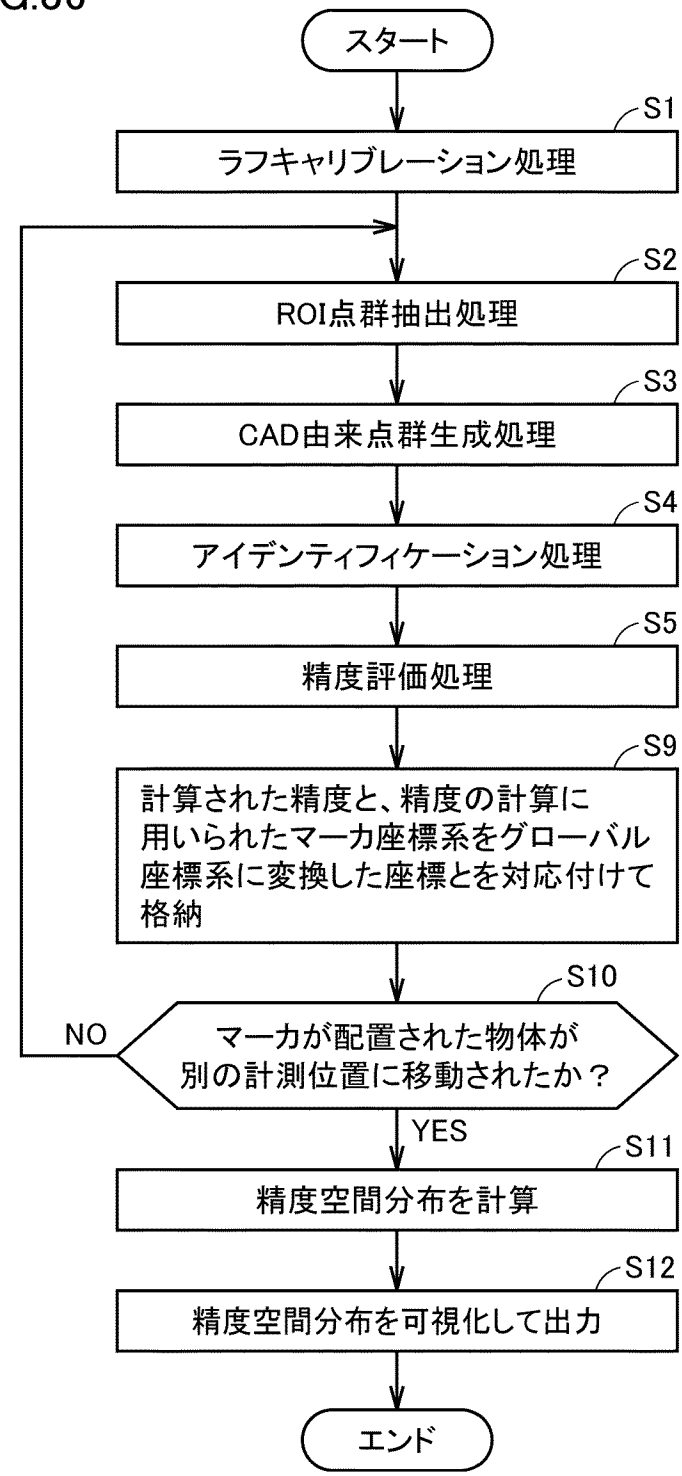


FIG.35

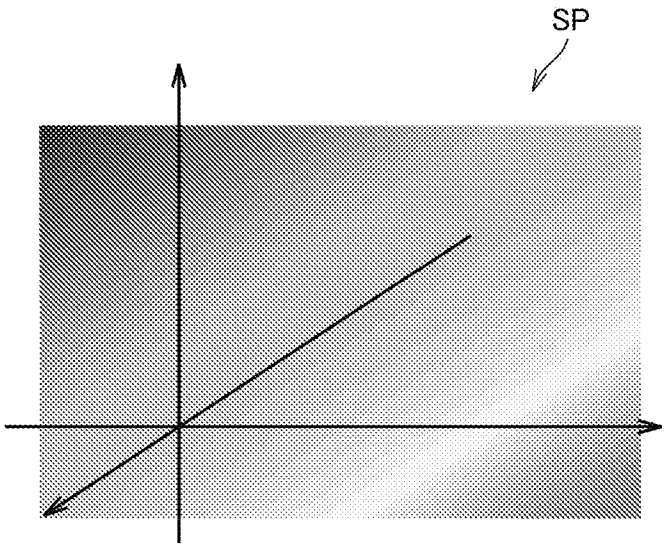
[図36]

FIG.36


スタート
S1
ラフキャリブレーション処理
S2
ROI点群抽出処理
S3
CAD由来点群生成処理
S4
アイデンティフィケーション処理
S5
精度評価処理
S9
計算された精度と、精度の計算に用いられたマーカ座標系をグローバル座標系に変換した座標とを対応付けて格納
S10
マーカが配置された物体が別の計測位置に移動されたか？
NO
YES
S11
精度空間分布を計算
S12
精度空間分布を可視化して出力
エンド

[図37]

FIG.37



[図38]

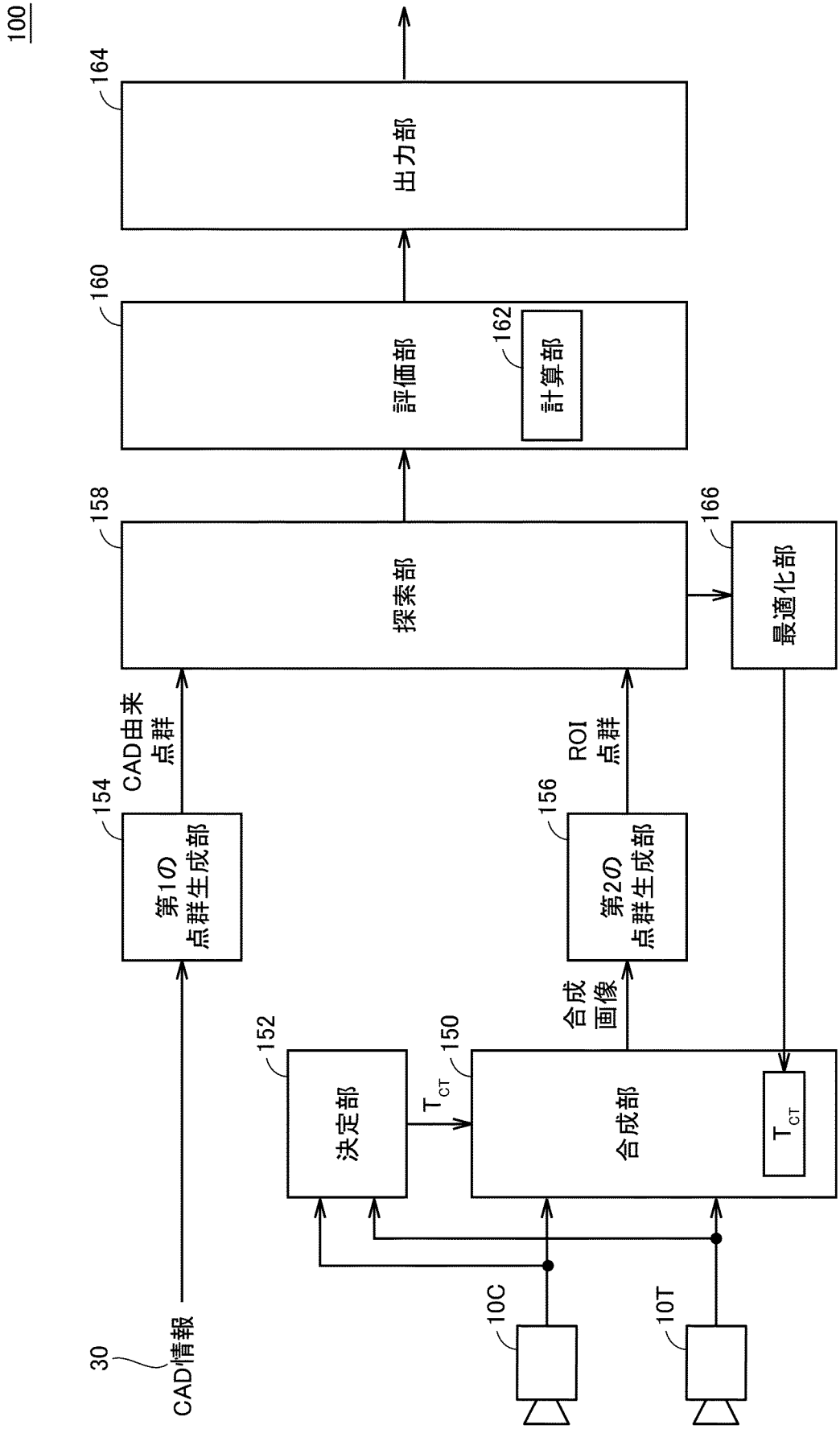

100
164
出力部
160
評価部
162
計算部
158
探索部
166
最適化部
CAD由来
点群
154
第1の
点群生成部
ROI
点群
156
第2の
点群生成部
合成
画像
152
決定部
T_{CT}
150
合成部
T_{CT}
10C
10T
30
CAD情報

FIG.38

[図39]

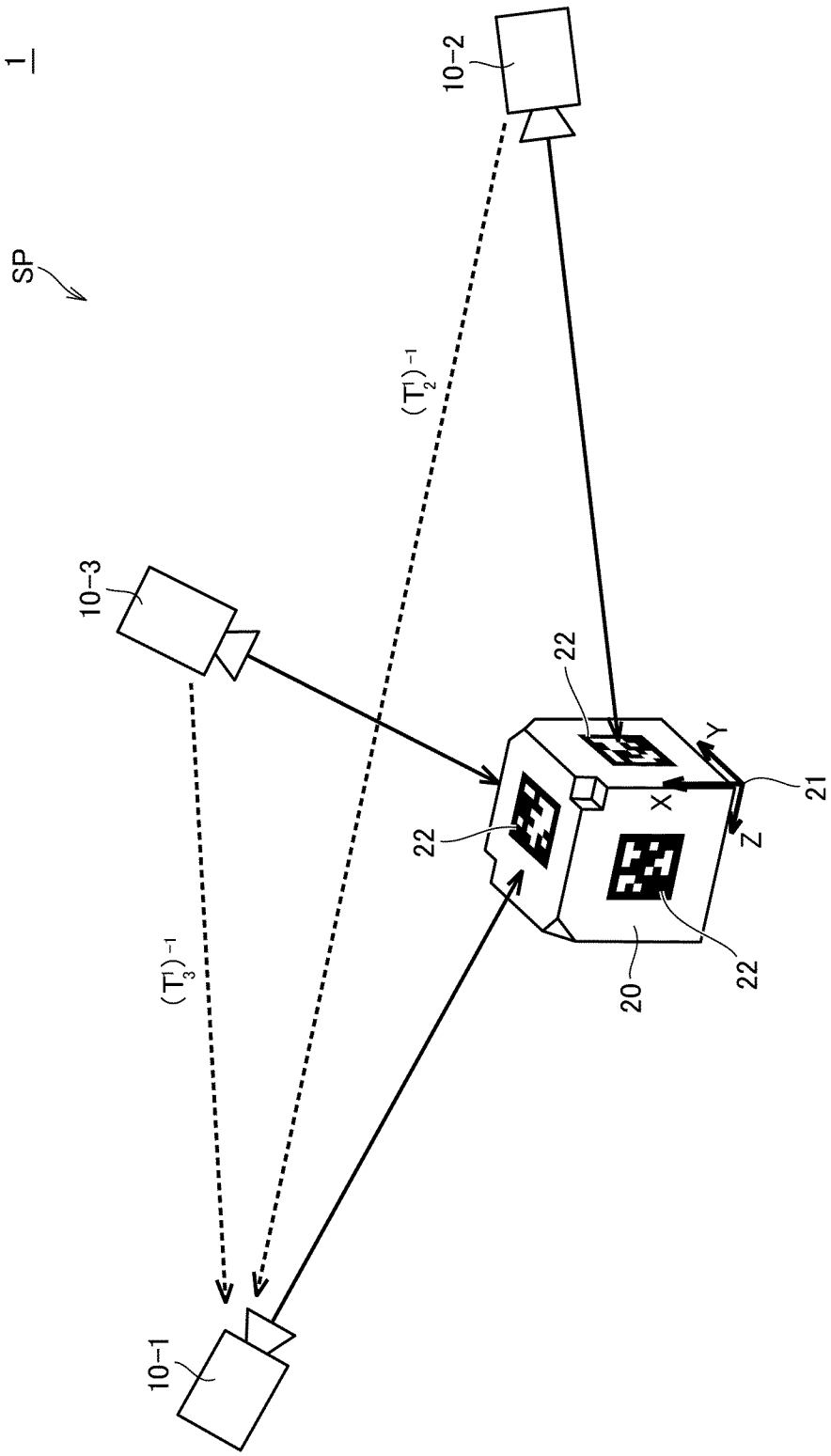


FIG.39

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/030928

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 7/80(2017.01)i; ***G01B 11/00***(2006.01)i
FI: G06T7/80; G01B11/00 H

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)

G06T7/80; G01B11/00

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 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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.
A	JP 2023-022517 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 15 February 2023 (2023-02-15) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2017-106749 A (HIELERO CO., LTD.) 15 June 2017 (2017-06-15) entire text, all drawings	1-10

☐ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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
25 September 2024	**08 October 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/030928

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2023-022517 A	15 February 2023	US 2023/0043369 A1 entire text, all drawings CN 115704675 A	
JP 2017-106749 A	15 June 2017	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/030928

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G06T 7/80(2017.01)i; G01B 11/00(2006.01)i
FI: G06T7/80; G01B11/00 H

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））

G06T7/80; G01B11/00

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	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４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
A	JP 2023-022517 A (株式会社東芝) 15.02.2023 (2023-02-15) 全文,全図	1-10
A	JP 2017-106749 A (株式会社Ｈｉｅｌｅｒｏ) 15.06.2017 (2017-06-15) 全文,全図	1-10

☐ 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
"D" 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
"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
25.09.2024	08.10.2024

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）
岡本　俊威 5P 9178

電話番号 03-3581-1101 内線 3539

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/JP2024/030928

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2023-022517 A	15.02.2023	US 2023/0043369 A1 全文,全図 CN 115704675 A	
JP 2017-106749 A	15.06.2017	（ファミリーなし）	