

(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
2020年6月18日(18.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/121396 A1

(51) 国際特許分類:

B25J 9/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2018/045423

(22) 国際出願日:

2018年12月11日(11.12.2018)

(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: 株式会社 F U J I (FUJI CORPORATION) [JP/JP]; 〒4728686 愛知県知立市山町茶碓山 1 9 番地 Aichi (JP).

(72) 発明者: 大石 信夫 (OISHI, Nobuo); 〒4728686 愛知県知立市山町茶碓山 1 9 番地 株式会社 F U J I 内 Aichi (JP). 岡本 実幸 (OKAMOTO, Miyuki); 〒4728686 愛知県知立市山町茶碓山 1 9 番地 株式会社 F U J I 内 Aichi (JP). 櫻井 正樹 (SAKURAI, Masaki); 〒4728686 愛知県知立市山町茶碓山 1 9 番地 株式会社 F U J I 内 Aichi (JP).

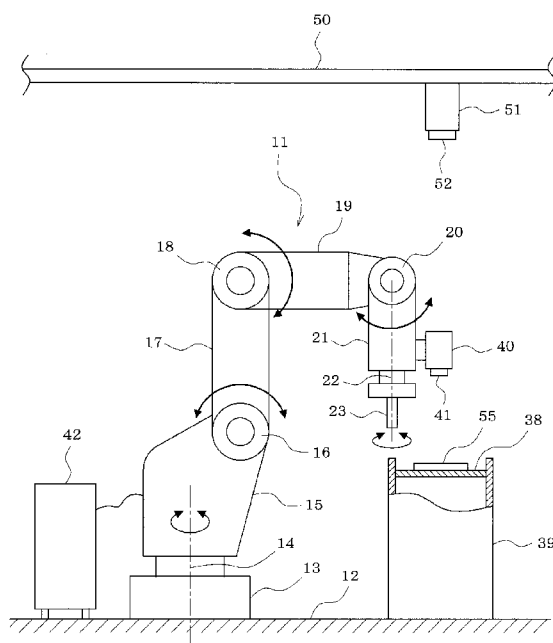
(74) 代理人: 加古 宗男 (KAKO, Muneco); 〒4600022 愛知県名古屋市中区金山一丁目 9 番 1 9 号 ミズノビル 4 階 Aichi (JP).

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

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

(54) Title: ROBOT CALIBRATION SYSTEM AND ROBOT CALIBRATION METHOD

(54) 発明の名称: ロボットキャリブレーションシステム及びロボットキャリブレーション方法



(57) Abstract: This invention is provided with: a hand camera (40) attached to an arm of a robot (11); a fixed camera (51) that is fixed facing downward at a site higher than the area in which the robot arm can move; a coordinate conversion parameter calculation unit (45) for calculating coordinate conversion parameters for converting coordinate values in the vision coordinate system of the fixed camera to coordinate values in a global coordinate system, which is a coordinate system of the robot; and a calibration tool (55) disposed at a prescribed position. The coordinate conversion parameters include an origin correction parameter for correcting the origin of the vision coordinate system of the fixed camera and a coordinate axis tilt correction parameter for correcting the tilt of the coordinate axes of the vision coordinate system of the fixed camera. The origin correction parameter and the coordinate axis tilt correction parameter are calculated on the basis of the relationship between information relating to the position and tilt angle of the calibration tool in the vision coordinate system of the hand camera and information relating to the position and tilt angle of the calibration tool in the vision coordinate system of the fixed camera.

TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：ロボット（11）のアームに取り付けられたハンドカメラ（40）と、ロボットのアーム可動領域よりも高い場所に下向きに固定され固定カメラ（51）と、固定カメラのビジョン座標系の座標値をロボットの座標系である世界座標系の座標値に変換するための座標変換パラメータを算出する座標変換パラメータ算出部（45）と、所定位置に配置したキャリブレーション治具（55）とを備える。座標変換パラメータは、固定カメラのビジョン座標系の原点を補正する原点補正パラメータと、固定カメラのビジョン座標系の座標軸の傾きを補正する座標軸傾き補正パラメータとを含み、ハンドカメラのビジョン座標系でのキャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報と固定カメラのビジョン座標系でのキャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報との関係に基づいて原点補正パラメータ及び座標軸傾き補正パラメータを算出する。

明 細 書

発明の名称：

ロボットキャリブレーションシステム及びロボットキャリブレーション方法

技術分野

[0001] 本明細書は、作業エリアに供給されたワークを上方から固定カメラで撮像して当該ワークの位置を認識して作業するロボットの座標系と固定カメラの座標系との対応関係をキャリブレーション（校正）するロボットキャリブレーションシステム及びロボットキャリブレーション方法に関する技術を開示したものである。

背景技術

[0002] 近年、特許文献１（特開２０１３－２１５８６６号公報）に記載されているように、ロボットのアーム可動領域の上方に固定カメラを下向きに固定し、アーム可動領域に供給されたワークを固定カメラで撮像して当該ワークの位置を認識しながらロボットのアームの動作を制御するロボット制御システムにおいて、固定カメラの座標系とロボットの座標系との関係をキャリブレーションするキャリブレーターを備えたものがある。この特許文献１のキャリブレーション方法は、ロボットのアームにマークを付して、固定カメラの視野内にロボットのアームに付されたマークを収めて撮像して当該マークの位置を固定カメラの座標系で認識することで、固定カメラの座標系とロボットの座標系との対応関係をキャリブレーションするようにしている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特開２０１３－２１５８６６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、キャリブレーションの精度を高めるには、固定カメラの座標系の座標軸（X軸とY軸）の方向をロボットの座標系の座標軸（X軸とY軸）の方向と正確に一致させる必要がある。しかし、実際には、ロボットのアーム可動領域の上方の固定構造物（ロボット防護柵の天井等）に固定カメラを取り付けるときの取付誤差によって固定カメラの座標系の座標軸の方向とロボットの座標系の座標軸の方向との間に多少のずれが生じることは避けられない。

[0005] 上記特許文献1のキャリブレーション方法では、ロボットのアームにマークを付して、固定カメラの視野内にロボットのアームに付されたマークを収めて撮像して当該マークの位置を固定カメラの座標系で認識することで、ロボットの座標系の原点に対する固定カメラの座標系の原点のずれ量とずれ方向を計測できるため、ロボットの座標系の原点に対する固定カメラの座標系の原点のずれを補正できる。しかし、ロボットのアームに付されたマークを固定カメラで撮像するだけでは、ロボットの座標系の座標軸に対する固定カメラの座標系の座標軸の傾き角度を計測することはできない。このため、取付誤差等によって生じる固定カメラの座標系の座標軸の傾きを補正することはできず、その座標軸の傾きによってキャリブレーションの精度が低下するという欠点がある。

課題を解決するための手段

[0006] 上記課題を解決するために、作業エリアに供給されたワークに対して所定の作業を行うロボットと、前記ロボットのアームに取り付けられたハンドカメラと、前記ロボットのアーム可動領域よりも高い場所に下向きに固定され、前記作業エリアに供給されたワークを上方から撮像する固定カメラと、前記ハンドカメラで撮像した画像を処理して撮像対象の位置を当該画像の基準点を原点とする座標系（以下「ハンドカメラのビジョン座標系」という）の座標値で認識し、前記固定カメラで撮像した画像を処理して撮像対象の位置を当該画像の基準点を原点とする座標系（以下「固定カメラのビジョン座標系」という）の座標値で認識する画像処理部と、前記固定カメラのビジョン

座標系の座標値を前記ロボットのアームの動作を制御する座標系である世界座標系の座標値に変換するための座標変換パラメータを算出する座標変換パラメータ算出部と、前記座標変換パラメータを用いて前記固定カメラのビジョン座標系の座標値を前記世界座標系の座標値に変換する座標変換部と、前記ロボットのアームの位置を前記世界座標系の座標値で制御する制御部と、前記固定カメラの視野内に収まる所定位置に配置されたキャリブレーション治具とを備え、前記座標変換パラメータは、前記固定カメラのビジョン座標系の原点を補正する原点補正パラメータと、前記固定カメラのビジョン座標系の座標軸の傾きを補正する座標軸傾き補正パラメータとを含み、前記座標変換パラメータ算出部が前記座標変換パラメータを算出する際に、前記制御部は、前記ハンドカメラの視野内に前記キャリブレーション治具が収まるように前記ロボットのアームの動作を制御して前記ハンドカメラを移動させ、前記画像処理部は、前記ハンドカメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報を前記ハンドカメラのビジョン座標系で認識すると共に、前記固定カメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報を前記固定カメラのビジョン座標系で認識し、前記座標変換パラメータ算出部は、前記画像処理部が認識した前記ハンドカメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報と前記固定カメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報との関係に基づいて前記原点補正パラメータ及び前記座標軸傾き補正パラメータを算出するようにしたものである。

[0007] このように、所定位置に配置されたキャリブレーション治具を固定カメラとハンドカメラの両方で撮像して、画像処理により各々のビジョン座標系でキャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報を認識するようにすれば、両座標系のキャリブレーション治具の位置関係に基づいて原点補正パラメータを算出できると共に、両座標系のキャリブレーション治具の傾き

角度の関係に基づいて座標軸傾き補正パラメータを算出することができる。
これにより、ロボットの座標系である世界座標系の座標軸に対して固定カメラのビジョン座標系の座標軸が傾いていたとしても、そのビジョン座標系の座標軸の傾きと原点のずれを座標軸傾き補正パラメータと原点補正パラメータで精度良く補正して、固定カメラのビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に精度良く変換することができる。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]図1はロボット制御システムの外観を示す正面図である。
[図2]図2はロボット制御システムの電氣的構成を示すブロック図である。
[図3]図3はキャリブレーション治具の平面図である。
[図4]図4はキャリブレーション実行プログラムの前半部の処理の流れを示すフローチャートである。
[図5]図5はキャリブレーション実行プログラムの後半部の処理の流れを示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

- [0009] 以下、本明細書に開示した一実施例を図面を用いて説明する。
まず、図1に基づいてロボット11の構成を説明する。
- [0010] ロボット11は、例えば5軸垂直多関節ロボットであり、工場フロア12に設置された固定ベース13と、この固定ベース13上に第1関節軸14（J1）を中心に回転可能に設けられた第1アーム15と、この第1アーム15の先端に第2関節軸16（J2）によって旋回可能に設けられた第2アーム17と、この第2アーム17の先端に第3関節軸18（J3）によって旋回可能に設けられた第3アーム19と、この第3アーム19の先端に第4関節軸20（J4）によって旋回可能に設けられた手首部21と、この手首部21に第5関節軸22（J5）を中心に回転可能且つ交換可能に取り付けられたエンドエフェクタ23とから構成されている。これにより、手首部21に取り付けたエンドエフェクタ23は、その手首部21の関節軸である第4関節軸20によって旋回動作するようになっている。

- [0011] この場合、エンドエフェクタ23は、例えば、吸着ノズル、ハンド、グリッパ、溶接機等のいずれであっても良い。ロボット11の第1～第5の各関節軸14, 16, 18, 20, 22は、それぞれサーボモータ25～29（図2参照）により駆動されるようになっている。図2に示すように、各サーボモータ25～29には、それぞれ回転角を検出するエンコーダ31～35が設けられ、各エンコーダ31～35で検出した回転角の情報がサーボアンプ36を経由して制御部37にフィードバックされる。これにより、制御部37は、各エンコーダ31～35で検出した各サーボモータ25～29の回転角が各々の目標回転角と一致するようにサーボアンプ36を介して各サーボモータ25～29をフィードバック制御することで、ロボット11の各アーム15, 17, 19と手首部21とエンドエフェクタ23の位置を各々の目標位置にフィードバック制御する。
- [0012] 図2の構成例では、サーボアンプ36は、複数のサーボモータ25～29をフィードバック制御する多軸アンプであるが、サーボモータ25～29を1台ずつ別々のサーボアンプでフィードバック制御するようにしても良い。
- [0013] ロボット11のアーム可動領域（手首部21先端側のエンドエフェクタ23が移動可能な領域）の所定位置には、作業対象となるワーク（図示せず）を一定の高さ位置の作業エリア38に供給する供給装置39が設置されている。この供給装置39は、コンベアで構成したものであっても良いし、振動式パーツフィーダ等、どのような構成のパーツフィーダを用いても良く、要は、作業エリア38の高さ位置が既知の一定の高さ位置であれば良い。
- [0014] 図1に示すように、ロボット11のアーム先端部である手首部21には、作業エリア38に供給されたワーク又は所定位置に配置されたキャリブレーション治具55を上方から撮像するハンドカメラ40が取り付けられている。このハンドカメラ40は、2次元の画像を撮像する2次元のカメラであり、光軸が第5関節軸22と平行で、且つ、ハンドカメラ40のレンズ41が第5関節軸22の先端側（アーム先端側）に位置するように固定されている。

[0015] 更に、ロボット 11 のアーム可動領域よりも高い場所に設置された固定構造物 50（例えばロボット防護柵の天井）の所定位置には、固定カメラ 51 が下向きに固定され、そのレンズ 52 側が下方に向けられている。この固定カメラ 51 は、作業エリア 38 に供給されたワーク又は所定位置に配置されたキャリブレーション治具 55 を上方から撮像する 2 次元のカメラとして使用される。

[0016] 図 3 に示すように、キャリブレーション治具 55 は、樹脂板、ガラス板、金属板等により四角形の板状に形成され、その上面に小さな円形のキャリブレーションマーク 56 が所定ピッチでマトリックス状（格子点状）に形成されている。

[0017] 後述するように、固定カメラ 51 のビジョン座標系の座標値をロボット 11 のアーム位置を制御する座標系である世界座標系の座標値に変換するための座標変換パラメータを算出する場合には、所定位置に配置されたキャリブレーション治具 55 を固定カメラ 51 とハンドカメラ 40 の両方で順番に撮像するが、作業エリア 38 に供給されたワークを撮像する場合には、要求される分解能やロボット 11 のアーム可動領域内における作業エリア 38 の位置等によってハンドカメラ 40 と固定カメラ 51 とを使い分けるようにしている。ここで、固定カメラ 51 の視野やハンドカメラ 40 の視野は、ロボット 11 のアーム可動領域よりも狭い。ハンドカメラ 40 と固定カメラ 51 とを比較すると、視野は固定カメラ 51 の方が広いが、分解能（1 ピクセル当たりの撮像対象の実際の長さ）はハンドカメラ 40 の方が細かく、高精度の画像処理が可能である。従って、例えば、作業エリア 38 上のワークのサイズが小さくて細かい分解能が要求される場合には、ハンドカメラ 40 を使用し、また、固定カメラ 51 の視野から外れた位置に設置された作業エリア 38 についてはハンドカメラ 40 を使用するようにすれば良い。また、固定カメラ 51 の視野内に複数の作業エリア 38 が収まる場合には、固定カメラ 51 の視野内に複数の作業エリア 38 を収めて撮像すれば、複数の作業エリア 38 上のワークの画像処理を能率良く行うことができる。或は、複数の作業

エリア38が存在する場合に、作業エリア38毎にハンドカメラ40を移動させてワークを撮像するようにしても良い。

[0018] 以上のように構成したロボット11の動作を制御するロボット制御ユニット42は、図2に示すように、画像処理部43、座標変換パラメータ算出部45、座標変換部44、制御部37及びサーボアンプ36等を備えた構成となっている。画像処理部43は、ハンドカメラ40又は固定カメラ51で撮像した2次元の画像を処理して作業エリア38上のワークの位置、或はキャリブレーション治具55の特定のキャリブレーションマーク56の位置を当該画像の基準点（例えば画像の中心）を原点とする2次元の直交座標系（以下「ビジョン座標系」という）の座標値で認識する。このビジョン座標系の座標軸は、画像上で直交する X_v 軸と Y_v 軸である。作業エリア38上のワーク又はキャリブレーション治具55をハンドカメラ40で撮像する際には、ハンドカメラ40の光軸を鉛直下向きに向けて撮像するため、ハンドカメラ40で撮像した画像は、固定カメラ51で撮像した画像と同様に、水平面を撮像した画像となり、ビジョン座標系の X_v 軸と Y_v 軸は水平面上の直交座標軸となる。画像処理部43は、画像処理によってワークの位置又はキャリブレーション治具55の特定のキャリブレーションマーク56の位置をビジョン座標系のピクセル単位の座標値で認識する。

[0019] 一方、座標変換部44は、ロボット11の稼働中には、画像処理部43の画像処理でワークの位置として認識した2次元のビジョン座標系の座標値を、ロボット11の各アーム15、17、19と手首部21とエンドエフェクタ23の位置を制御するための世界座標系の座標値に変換する。この世界座標系は、基準点を原点とする3次元の直交座標系であり、世界座標系の座標軸は、水平面上の直交座標軸（ X 軸と Y 軸）と鉛直上向きの座標軸（ Z 軸）である。この世界座標系の座標値の単位は、長さの単位（例えば μm 単位）である。この世界座標系の原点（基準点）は、例えば、ロボット11のアーム可動領域（手首部21先端側のエンドエフェクタ23が移動可能な領域）の中心である。

[0020] この場合、座標変換部44は、ロボット11の稼働中に固定カメラ51のビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に変換する場合には、座標変換パラメータ算出部45で算出した座標変換パラメータを用いて固定カメラ51のビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に変換する。ここで、座標変換パラメータは、固定カメラ51のビジョン座標系の原点を補正する原点補正パラメータと、固定カメラ51のビジョン座標系の座標軸の傾きを補正する座標軸傾き補正パラメータとを含む。この固定カメラ51の原点補正パラメータと座標軸傾き補正パラメータの算出方法については後述する。

[0021] 一方、ハンドカメラ40のビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に変換する場合には、世界座標系の座標軸に対するハンドカメラ40のビジョン座標系の座標軸の傾き角度 R_z と原点を補正することによって、ハンドカメラ40のビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に変換する。この補正は、それぞれの座標軸の傾き角度 R_z を示す回転行列とビジョン座標原点の世界座標系上の位置 (X_{1w}, Y_{1w}) への並進ベクトルとを求めることによって、ハンドカメラ40のビジョン座標系の座標値 (X_{av}, Y_{av}) を次式で補正して世界座標系の座標値 $(X_{w'}, Y_{w'})$ に変換することができる。

[0022] [数1]

・座標軸傾き補正

$$\begin{bmatrix} X_{av}' \\ Y_{av}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(R_z) & -\sin(R_z) \\ \sin(R_z) & \cos(R_z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{av} \\ Y_{av} \end{bmatrix}$$

・原点補正

$$\begin{bmatrix} X_{w'} \\ Y_{w'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{av}' \\ Y_{av}' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{lw} \\ Y_{lw} \end{bmatrix}$$

[0023] 上式により、座標変換を行うためには、ハンドカメラ40のビジョン座標系の座標軸の傾き角度 R_z と原点の座標値を測定する必要がある。

[0024] ハンドカメラ40はロボット11の手首部21に固定されているため、ロボット11のアーム位置とハンドカメラ40との相対的位置関係は常に一定に維持される。従って、世界座標系の XY 座標軸に対するハンドカメラ40のビジョン座標系の座標軸の傾き角度 R_z は、次式により算出される。

[0025] $R_z = [\text{ハンドカメラ40の設置角度}] + [\text{第1関節軸14の回転角度}]$

ここで、ハンドカメラ40の設置角度は、ロボット11の手首部21に対するハンドカメラ40の設置角度であり、ハンドカメラ40をロボット11の手首部21に設置したときに手首部21に対するハンドカメラ40の設置角度を測定してロボット制御ユニット42の不揮発性メモリ（図示せず）に保存しておいた値を参照する。

[0026] 第1関節軸14の回転角度の検出方法については、ロボット11のアーム位置（ハンドカメラ40の位置）が撮像位置で停止しているときの第1関節軸14のサーボモータ25のエンコーダ31の出力値をロボット制御ユニット42の制御部37がリアルタイムで取得して、第1関節軸14の回転角度を算出するようにしている。

[0027] 一方、ハンドカメラ40のビジョン座標系の原点の座標値は、ロボット制御ユニット42の制御部37がハンドカメラ40の撮像位置に指定した世界座標系の座標値と一致するようにロボット11へのハンドカメラ40組付け時にキャリブレーション済の状態にしておく。ロボット11のアーム位置とハンドカメラ40との相対的位置関係は常に一定の為、ロボット11の基準点とハンドカメラ40の光軸中心の距離を測定し、これを補正值として制御部37からの座標指令値に反映する事によって、ロボット11に世界座標系上の位置($X1w$ 、 $Y1w$)を指示すると、ハンドカメラ40のビジョン座標系の原点が世界座標系上の位置($X1w$ 、 $Y1w$)に移動する様に制御される。

[0028] ロボット制御ユニット42の制御部37は、各エンコーダ31～35で検

出した各サーボモータ 25～29 の回転角とハンドカメラ 40 と手首部 21（エンドエフェクタ 23）との相対的位置関係に基づいてリアルタイムでハンドカメラ 40 のビジョン座標系の原点の座標値（ X_{1w} , Y_{1w} ）を算出するようにしている。

[0029] ロボット制御ユニット 42 の制御部 37 は、ロボット 11 の稼働中に座標変換部 44 で 3 次元の世界座標系の座標値に変換したワークの位置に基づいてロボット 11 の各アーム 15, 17, 19 と手首部 21 とエンドエフェクタ 23 の目標位置を世界座標系の座標値で設定して、当該アーム 15, 17, 19 と手首部 21 とエンドエフェクタ 23 の位置を世界座標系の座標値で制御する。

[0030] 次に、固定カメラ 51 のビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に変換する際に使用する原点補正パラメータと座標軸傾き補正パラメータと分解能の算出処理について説明する。この原点補正パラメータと座標軸傾き補正パラメータと分解能の算出処理は、ロボット 11 の設置作業完了時にロボット制御ユニット 42 によって図 4 及び図 5 のキャリブレーション実行プログラムに従って自動的に実行される。

[0031] 本プログラムが起動されると、まず、ステップ 101 で、ハンドカメラ 40 が固定カメラ 51 の視野から外れる位置までロボット 11 の各アーム 15, 17, 19 を動作させてハンドカメラ 40 を退避させる。この後、ステップ 102 に進み、作業者がキャリブレーション治具 55 を固定カメラ 51 の視野中央に位置する作業エリア 38 の所定位置にセットするように作業者に指示する案内を表示及び／又は音声で作業者に知らせる。この案内により、作業者はキャリブレーション治具 55 を作業エリア 38 の所定位置にセットする作業を行うことになる。

[0032] 次のステップ 103 で、ロボット制御ユニット 42 は、作業者がキャリブレーション治具 55 を作業エリア 38 の所定位置にセットする作業を完了するまで待機する。このキャリブレーション治具 55 のセット作業の完了の判定は、センサ等で自動検知するようにしても良いし、セット作業の完了時に

作業者がセット作業完了の情報を手動操作でロボット制御ユニット42に入力するようにしても良い。

[0033] その後、キャリブレーション治具55のセット作業が完了した時点で、ステップ104に進み、固定カメラ51でキャリブレーション治具55を撮像し、次のステップ105で、固定カメラ51で撮像した画像を処理して、キャリブレーション治具55の1箇所の特定点である中央のキャリブレーションマーク56(A)の位置を固定カメラ51のビジョン座標系の座標値で認識すると共に、2箇所の特定点である2箇所のコーナー部分のキャリブレーションマーク56(B, C)の位置を固定カメラ51のビジョン座標系の座標値で認識する。更に、固定カメラ51のビジョン座標系での2箇所のコーナー部分のキャリブレーションマーク56(B, C)を結ぶ直線の傾き角度を算出する。更に、キャリブレーション治具55の中央付近の2箇所のキャリブレーションマーク56(A, D)の位置を固定カメラ51のビジョン座標系の座標値で認識し、当該2箇所のキャリブレーションマーク56(A, D)の位置間の実際の長さ寸法を画像上の当該位置間のピクセル数で割り算して固定カメラ51の分解能を算出する。

[0034] この後、図5のステップ106に進み、ハンドカメラ40の視野内にキャリブレーション治具55が収まるようにロボット11のアーム位置を制御して、ハンドカメラ40をキャリブレーション治具55の1箇所の特定点である中央のキャリブレーションマーク56(A)の上方の所定位置へ移動させる。この後、ステップ107に進み、ハンドカメラ40でキャリブレーション治具55を撮像し、次のステップ108で、ハンドカメラ40で撮像した画像を処理して、キャリブレーション治具55の中央のキャリブレーションマーク56(A)の位置をハンドカメラ40のビジョン座標系の座標値で認識する。

[0035] この後、ステップ109に進み、ハンドカメラ40をキャリブレーション治具55の一方のコーナー部分のキャリブレーションマーク56(B)の上方へ移動させた後、ステップ110に進み、ハンドカメラ40でキャリブレ

ーション治具 55 を撮像し、次のステップ 111 で、ハンドカメラ 40 で撮像した画像を処理して、キャリブレーション治具 55 の一方のコーナー部分のキャリブレーションマーク 56 (B) の位置をハンドカメラ 40 のビジョン座標系の座標値で認識する。

[0036] この後、ステップ 112 に進み、ハンドカメラ 40 をキャリブレーション治具 55 の他方のコーナー部分のキャリブレーションマーク 56 (C) の上方へ移動させた後、ステップ 113 に進み、ハンドカメラ 40 でキャリブレーション治具 55 を撮像し、次のステップ 114 で、ハンドカメラ 40 で撮像した画像を処理して、キャリブレーション治具 55 の他方のコーナー部分のキャリブレーションマーク 56 (C) の位置をハンドカメラ 40 のビジョン座標系の座標値で認識する。

[0037] この後、ステップ 115 に進み、固定カメラ 51 のビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に変換するための原点補正パラメータと座標軸傾き補正パラメータを次のようにして算出する。

[0038] 原点補正パラメータを算出する場合には、固定カメラ 51 の撮像画像を処理して認識したキャリブレーション治具 55 の中央のキャリブレーションマーク 56 (A) の位置の座標値と、ハンドカメラ 40 の撮像画像を処理して認識したキャリブレーション治具 55 の中央のキャリブレーションマーク 56 (A) の位置の座標値との差分値 (ΔX , ΔY) を原点補正パラメータとして算出する。

[0039] 座標軸傾き補正パラメータを算出する場合には、ハンドカメラ 40 の撮像画像を処理して認識したキャリブレーション治具 55 の 2 箇所のコーナー部分のキャリブレーションマーク 56 (B, C) を結ぶ直線の傾き角度を算出し、前記ステップ 105 で算出した固定カメラ 51 のビジョン座標系での 2 箇所のコーナー部分のキャリブレーションマーク 56 (B, C) を結ぶ直線の傾き角度と、ハンドカメラ 40 のビジョン座標系での 2 箇所のコーナー部分のキャリブレーションマーク 56 (B, C) を結ぶ直線の傾き角度との差分値を座標軸傾き補正パラメータとして算出する。

- [0040] ところで、固定カメラ51のビジョン座標系では、認識対象の座標値をピクセル単位で認識するのに対して、世界座標系の座標値の単位は、長さの単位（例えば $[\mu\text{m}]$ の単位）である。このため、固定カメラ51のビジョン座標系のピクセル単位の座標値を世界座標系の座標値と同じ長さの単位（例えば $[\mu\text{m}]$ の単位）の座標値に変換する必要がある。
- [0041] そこで、前記ステップ105で算出した固定カメラ51の分解能 $[\mu\text{m}/\text{ピクセル}]$ を固定カメラ51のビジョン座標系のピクセル単位の座標値に乗算することで、固定カメラ51のビジョン座標系のピクセル単位の座標値を世界座標系の座標値と同じ長さの単位（例えば $[\mu\text{m}]$ の単位）の座標値に変換する。
- [0042] 図4及び図5のキャリブレーション実行プログラムの終了後は、作業エリア38の所定位置にセットされているキャリブレーション治具55を作業者が取り出せば、キャリブレーション作業は終了する。
- [0043] 尚、図4及び図5のキャリブレーション実行プログラムでは、キャリブレーション治具55の中央のキャリブレーションマーク56（A）を原点補正用の1箇所の特定点としたが、これ以外の位置の1箇所のキャリブレーションマーク56を原点補正用の1箇所の特定点としても良く、要は、画像処理によりキャリブレーション治具55の位置に関する情報を取得できるようにすれば良い。
- [0044] また、図4及び図5のキャリブレーション実行プログラムでは、キャリブレーション治具55の2箇所のコーナー部分のキャリブレーションマーク56（B，C）を座標軸傾き補正用の2箇所の特定点としたが、これ以外の位置の2箇所のキャリブレーションマーク56を座標軸傾き補正用の2箇所の特定点としても良く、要は、2箇所の特定点を結ぶ直線の傾き角度をキャリブレーション治具55の傾き角度に関する情報として取得できるようにすれば良い。或は、キャリブレーション治具55の上面に直線を形成して、画像処理によりこの直線の傾き角度を計測するようにしても良い。或は、キャリブレーション治具55の一辺のエッジを画像処理により認識してキャリブレ

ーション治具５５の傾き角度を計測するようにしても良い。要は、画像処理によりキャリブレーション治具５５の傾き角度に関する角度情報を取得できるようにすれば良い。

[0045] また、図４及び図５のキャリブレーション実行プログラムでは、先に固定カメラ５１の撮像・画像処理（ステップ１０４～１０５）を行った後に、ハンドカメラ４０の撮像・画像処理（ステップ１０６～１１４）を行うようにしたので、ステップ１０６、１０９、１１２で移動するキャリブレーションマーク（Ａ）（Ｂ）（Ｃ）の世界座標系の座標値は、ステップ１０５での固定カメラの画像処理で認識済なため、この世界座標系の座標値を制御部３７から自動的に指示される。つまり、キャリブレーション治具５５の配置位置によって前記キャリブレーションマーク（Ａ）（Ｂ）（Ｃ）の世界座標系の座標値を作業者が指示し直す必要がないように配慮されている。

[0046] 以上説明した図４及び図５のキャリブレーション実行プログラムは、ロボット１１の設置作業完了時にロボット制御ユニット４２によって実行されるが、ロボット１１の作業ミスの発生頻度が増加した場合等、再度のキャリブレーションが必要と判断される状況になったときに、ロボット制御ユニット４２が図４及び図５のキャリブレーション実行プログラムを再実行して各補正パラメータを再計測したり、或は、ロボット１１の点検・修理時や異常停止時（エラー停止時）、又は、ロボット１１の積算運転時間、積算運転日数、エラー発生回数（エラー発生率）等が所定値に達する毎に、ロボット制御ユニット４２が図４及び図５のキャリブレーション実行プログラムを再実行して各補正パラメータを再計測するようにしても良い。

[0047] この場合、各補正パラメータを再計測する毎に、その計測値で各補正パラメータを更新するようにしても良いし、或は、ロボット１１の設置作業完了時に計測した各補正パラメータをロボット制御ユニット４２の不揮発性メモリに記憶しておき、各補正パラメータの再計測時に、再計測した各補正パラメータを不揮発性メモリの記憶値と比較して、両者の差が所定のしきい値を超えたときに、各補正パラメータを再計測値に更新するようにしても良い。

[0048] いずれの場合でも、例えば、固定カメラ51とロボット11との相対的位置・角度関係が経時的に変化したり、固定カメラ51の設置角度が経時的に変化したり、固定カメラ51と作業エリア38（キャリブレーション治具のセット位置）との相対的位置・角度関係が経時的に変化したりして、再度のキャリブレーションが必要となったときに、各補正パラメータを再計測して各補正パラメータを適正な値に修正することができる。

[0049] 以上説明した本実施例によれば、所定位置に配置されたキャリブレーション治具55を固定カメラ51とハンドカメラ40の両方で撮像して、画像処理により各々のビジョン座標系でキャリブレーション治具55の位置及び傾き角度に関する情報を認識するようにしたので、両座標系のキャリブレーション治具55の位置関係に基づいて原点補正パラメータを算出できると共に、両座標系のキャリブレーション治具55の傾き角度の関係に基づいて座標軸傾き補正パラメータを算出することができる。これにより、ロボット11の座標系である世界座標系の座標軸に対して固定カメラ51のビジョン座標系の座標軸が傾いていたとしても、そのビジョン座標系の座標軸の傾きと原点のずれを座標軸傾き補正パラメータと原点補正パラメータで精度良く補正して、固定カメラ51のビジョン座標系の座標値を世界座標系の座標値に精度良く変換することができる。

[0050] 尚、本実施例では、キャリブレーション治具55の上面に配列したキャリブレーションマーク56の形状を円形としたが、四角形等、他の形状であっても良い。

[0051] その他、本発明は、ロボット11の構成を適宜変更しても良い等、要旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施できることは言うまでもない。

符号の説明

[0052] 11…ロボット、14…第1関節軸、15…第1アーム、16…第2関節軸、17…第2アーム、18…第3関節軸、19…第3アーム、20…第4関節軸、21…手首部（アーム先端部）、22…第5関節軸、23…エンドエフェクタ、25～29…サーボモータ、31～35…エンコーダ、36…

サーボアンプ、３７…制御部、３８…作業エリア、３９…供給装置、４０…
ハンドカメラ、４１…レンズ、４２…ロボット制御ユニット、４３…画像処
理部、４４…座標変換部、４５…座標変換パラメータ算出部、５０…固定構
造物、５１…固定カメラ、５２…レンズ、５５…キャリブレーション治具、
５６…キャリブレーションマーク

請求の範囲

- [請求項1] 作業エリアに供給されたワークに対して所定の作業を行うロボットと、
- 前記ロボットのアームに取り付けられたハンドカメラと、
- 前記ロボットのアーム可動領域よりも高い場所に下向きに固定され、前記作業エリアに供給されたワークを上方から撮像する固定カメラと、
- 前記ハンドカメラで撮像した画像を処理して撮像対象の位置を当該画像の基準点を原点とする座標系（以下「ハンドカメラのビジョン座標系」という）の座標値で認識し、前記固定カメラで撮像した画像を処理して撮像対象の位置を当該画像の基準点を原点とする座標系（以下「固定カメラのビジョン座標系」という）の座標値で認識する画像処理部と、
- 前記固定カメラのビジョン座標系の座標値を前記ロボットのアームの動作を制御する座標系である世界座標系の座標値に変換するための座標変換パラメータを算出する座標変換パラメータ算出部と、
- 前記座標変換パラメータを用いて前記固定カメラのビジョン座標系の座標値を前記世界座標系の座標値に変換する座標変換部と、
- 前記ロボットのアームの位置を前記世界座標系の座標値で制御する制御部と、
- 前記固定カメラの視野内に収まる所定位置に配置されたキャリブレーション治具とを備え、
- 前記座標変換パラメータは、前記固定カメラのビジョン座標系の原点を補正する原点補正パラメータと、前記固定カメラのビジョン座標系の座標軸の傾きを補正する座標軸傾き補正パラメータとを含み、
- 前記座標変換パラメータ算出部が前記座標変換パラメータを算出する際に、前記制御部は、前記ハンドカメラの視野内に前記キャリブレーション治具が収まるように前記ロボットのアームの動作を制御して

前記ハンドカメラを移動させ、前記画像処理部は、前記ハンドカメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報を前記ハンドカメラのビジョン座標系で認識すると共に、前記固定カメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報を前記固定カメラのビジョン座標系で認識し、

前記座標変換パラメータ算出部は、前記画像処理部が認識した前記ハンドカメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報と前記固定カメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報との関係に基づいて前記原点補正パラメータ及び前記座標軸傾き補正パラメータを算出する、ロボットキャリブレーションシステム。

[請求項2]

前記座標変換パラメータ算出部が前記原点補正パラメータを算出する際に、前記制御部は、前記ハンドカメラの視野内に前記キャリブレーション治具が収まるように前記ロボットのアームの動作を制御して前記ハンドカメラを移動させ、前記画像処理部は、前記ハンドカメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の1つの特定点の位置を前記キャリブレーション治具の位置に関する情報として前記ハンドカメラのビジョン座標系の座標値で認識すると共に、前記固定カメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の前記1つの特定点の位置を前記キャリブレーション治具の位置に関する情報として前記固定カメラのビジョン座標系の座標値で認識し、

前記座標変換パラメータ算出部は、前記画像処理部が認識した前記ハンドカメラのビジョン座標系での前記1つの特定点の位置の座標値と前記固定カメラのビジョン座標系での前記1つの特定点の位置の座標値との位置関係に基づいて前記原点補正パラメータを算出する、請

求項 1 に記載のロボットキャリブレーションシステム。

[請求項3]

前記座標変換パラメータ算出部が前記座標軸傾き補正パラメータを算出する際に、前記制御部は、前記ハンドカメラの視野内に前記キャリブレーション治具が収まるように前記ロボットのアームの動作を制御して前記ハンドカメラを移動させ、前記画像処理部は、前記ハンドカメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の 2 箇所の特定点の位置を前記ハンドカメラのビジョン座標系の座標値で認識すると共に、前記固定カメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の前記 2 箇所の特定点の位置を前記固定カメラのビジョン座標系の座標値で認識し、

前記座標変換パラメータ算出部は、前記ハンドカメラのビジョン座標系での前記 2 箇所の特定点の位置の座標値に基づいて前記ハンドカメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の傾き角度を算出すると共に、前記固定カメラのビジョン座標系での前記 2 箇所の特定点の位置の座標値に基づいて前記固定カメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の傾き角度に関する情報を算出し、前記ハンドカメラのビジョン座標系と前記固定カメラのビジョン座標系で算出した 2 つの前記キャリブレーション治具の傾き角度に関する情報の差分値に基づいて前記座標軸傾き補正パラメータを算出する、請求項 1 又は 2 に記載のロボットキャリブレーションシステム。

[請求項4]

前記キャリブレーション治具は、それを前記ハンドカメラと前記固定カメラで撮像する際に作業者が前記固定カメラの視野内の所定位置にセットし、撮像終了後に取り出す、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のロボットキャリブレーションシステム。

[請求項5]

作業エリアに供給されたワークに対して所定の作業を行うロボットと、

前記ロボットのアームに取り付けられたハンドカメラと、

前記ロボットのアーム動作範囲よりも高い場所に下向きに固定され、前記作業エリアに供給されたワークを上方から撮像する固定カメラと、

前記ロボットのアームの動作を世界座標系の座標値で制御する制御部と、

前記固定カメラの視野内に収まる所定位置に配置されたキャリブレーション治具とを備え、

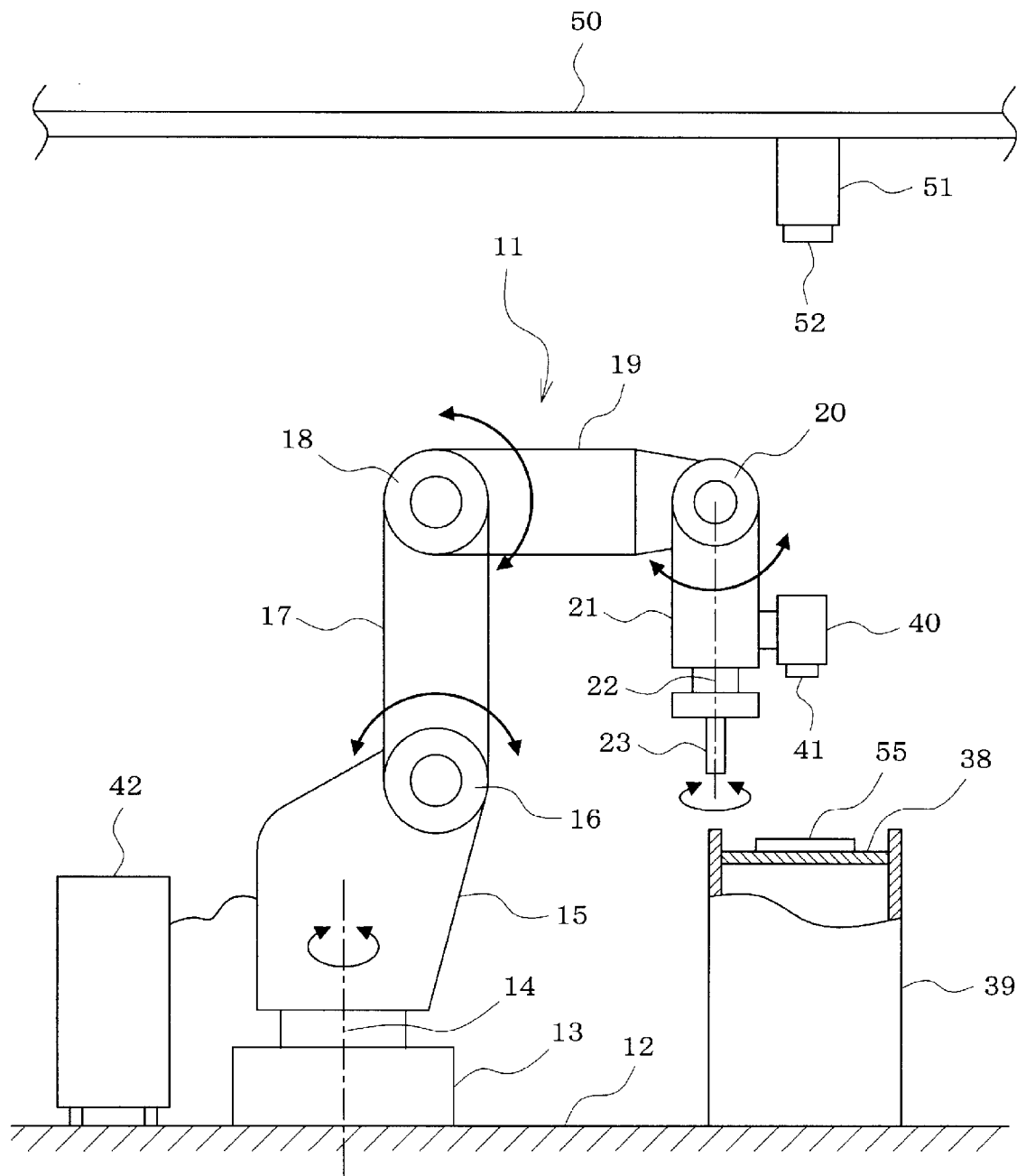
前記固定カメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報を当該画像の基準点を原点とする座標系（以下「固定カメラのビジョン座標系」という）で認識する工程と、

前記ハンドカメラの視野内に前記キャリブレーション治具が収まるように前記ロボットのアームの動作を制御して前記ハンドカメラを移動させて、前記ハンドカメラで前記キャリブレーション治具を撮像した画像を処理して前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報を当該画像の基準点を原点とする座標系（以下「ハンドカメラのビジョン座標系」という）で認識する工程と、

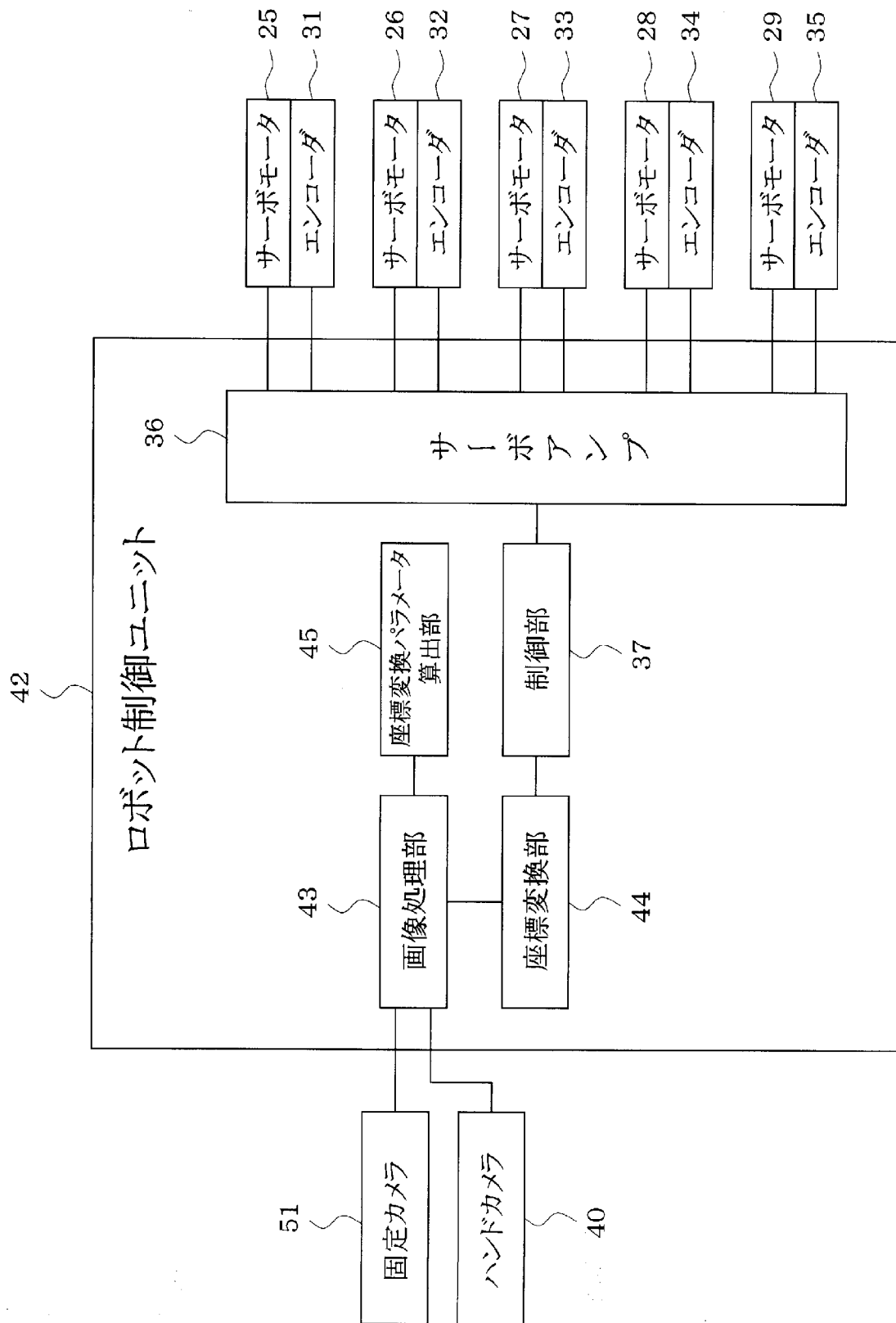
前記固定カメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報と前記ハンドカメラのビジョン座標系での前記キャリブレーション治具の位置及び傾き角度に関する情報との関係に基づいて前記固定カメラのビジョン座標系の座標値を前記世界座標系の座標値に変換するための座標変換パラメータを算出する工程と

を含む、ロボットキャリブレーション方法。

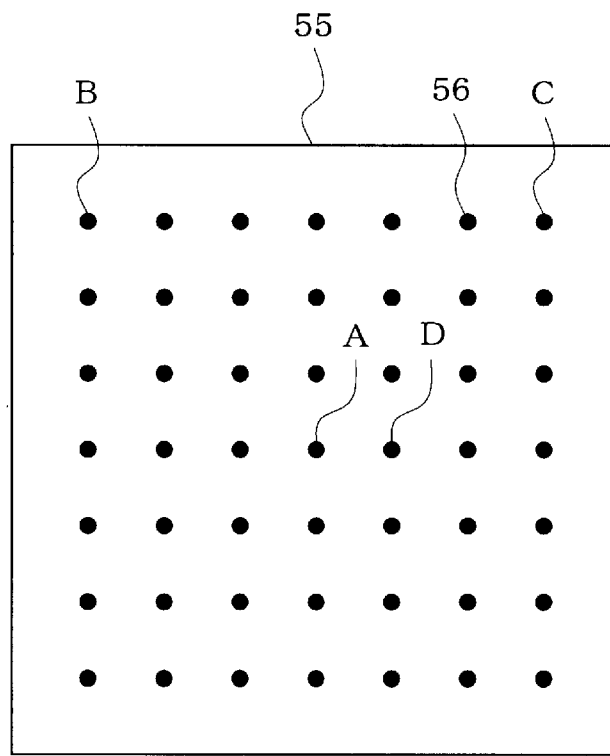
[図1]



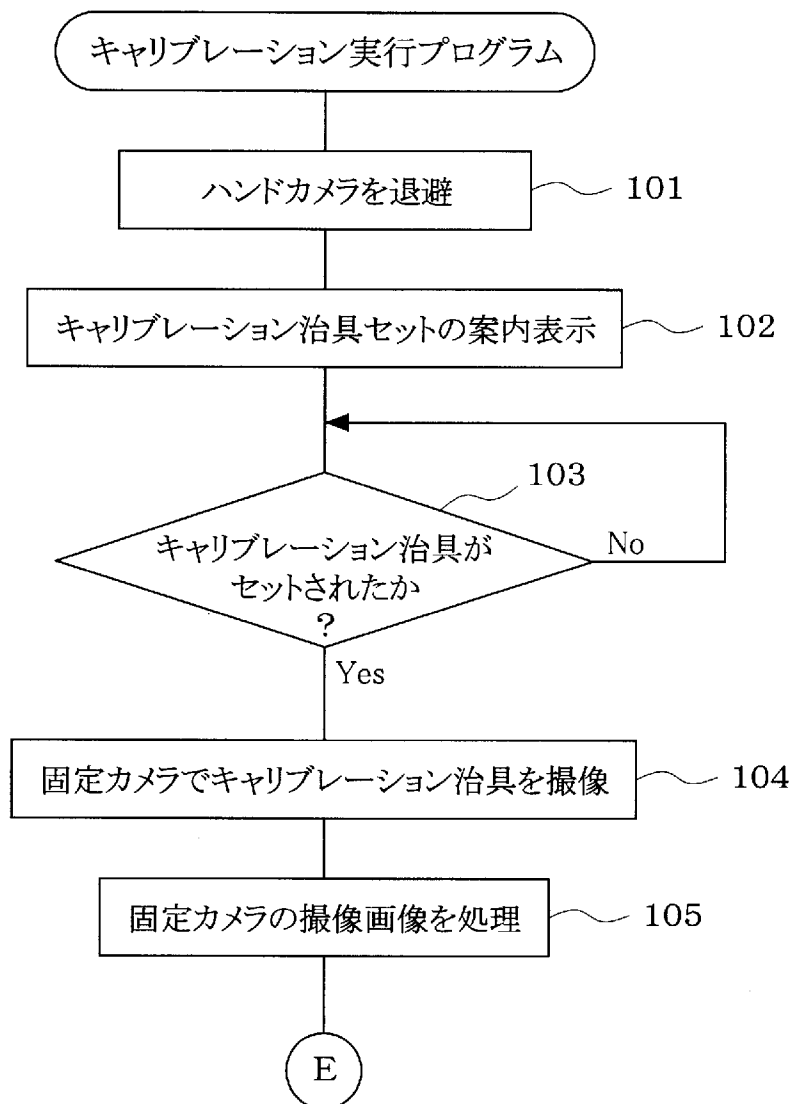
[図2]



[図3]

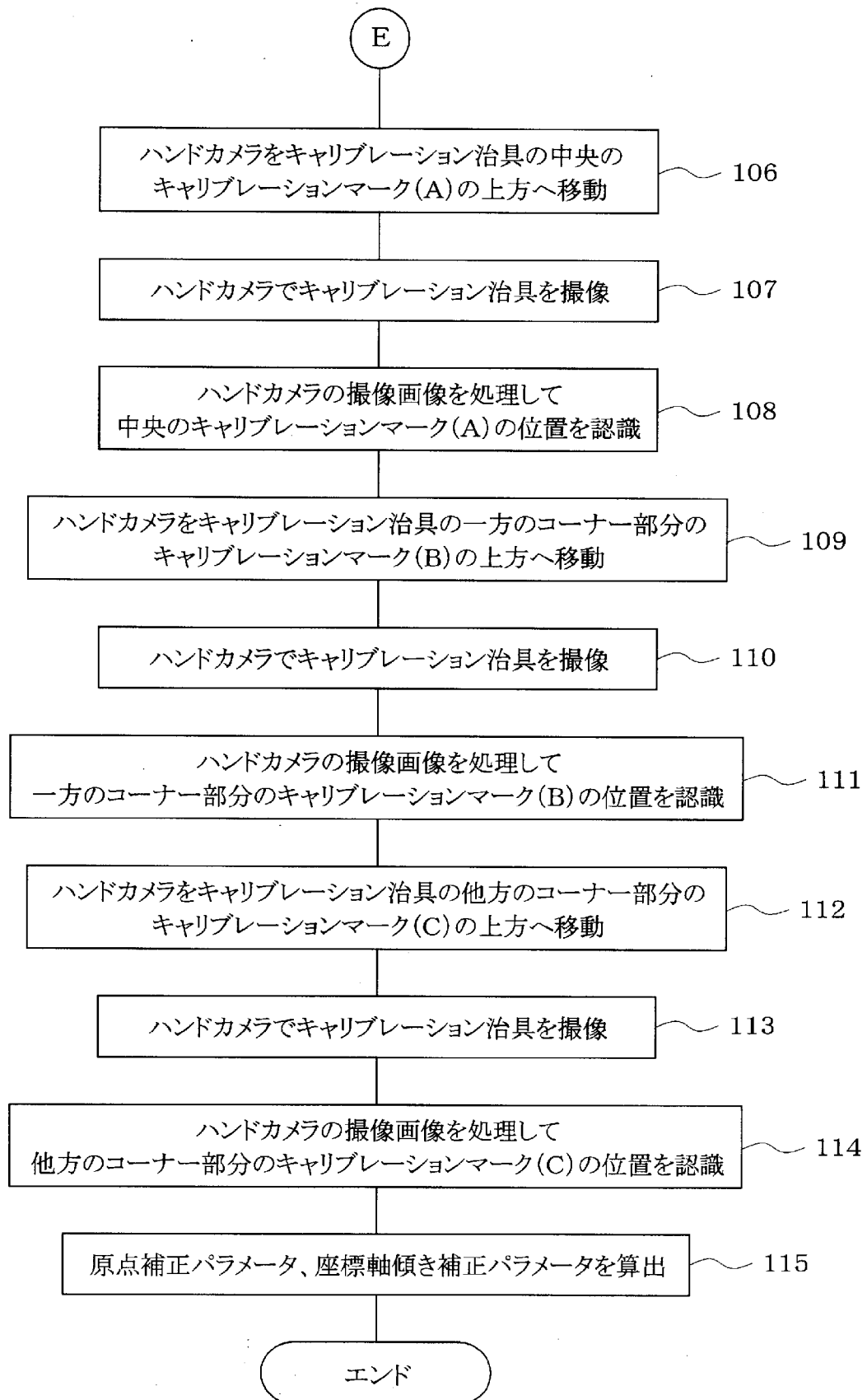


[図4]



(図5のステップ106へ進む)

[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/045423

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. B25J9/10 (2006.01) i

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)

Int. Cl. B25J1/00-21/02

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 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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 2016-52695 A (CANON INC.) 14 April 2016, paragraphs [0019]-[0085], fig. 1-6 & US 2016/0059419 A1, paragraphs [0030]-[0093], fig. 1-6 & EP 2993002 A1	1-5
A	US 9193073 B1 (QUANTA STORAGE INC.) 24 November 2015, entire text, all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 2014-151427 A (CANON INC.) 25 August 2014, entire text, all drawings & US 2014/0229005 A1, entire text, all drawings & EP 2767370 A2 & CN 103991078 A	1-5

☒ 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
05.03.2019

Date of mailing of the international search report
12.03.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/045423

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-100240 A (SEIKO EPSON CORP.) 08 June 2017, entire text, all drawings & US 2017/0151671 A1, entire text, all drawings & CN 107053167 A	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B25J9/10(2006.01)i

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））

Int.Cl. B25J1/00-21/02

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 2016-52695 A（キヤノン株式会社）2016.04.14, 段落 [0019] - [0085], 第1-6図 & US 2016/0059419 A1, 段落 [0030] - [0093], 第1-6図 & EP 2993002 A1	1-5
A	US 9193073 B1（QUANTA STORAGE INC.）2015.11.24, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-5

☒ 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矛盾するものではなく、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

05.03.2019

国際調査報告の発送日

12.03.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

貞光 大樹

3U

3629

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C (続き) . 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 2014-151427 A (キヤノン株式会社) 2014. 08. 25, 全文, 全図 & US 2014/0229005 A1, 全文, 全図 & EP 2767370 A2 & CN 103991078 A	1-5
A	JP 2017-100240 A (セイコーエプソン株式会社) 2017. 06. 08, 全文, 全図 & US 2017/0151671 A1, 全文, 全図 & CN 107053167 A	1-5