

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6710946号  
(P6710946)

(45) 発行日 令和2年6月17日 (2020.6.17)

(24) 登録日 令和2年6月1日 (2020.6.1)

(51) Int. Cl.	F I
<b>B 2 5 J</b> 9/10 (2006.01)	B 2 5 J 9/10 A
<b>B 2 5 J</b> 13/08 (2006.01)	B 2 5 J 13/08 A

請求項の数 9 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2015-235250 (P2015-235250)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成27年12月1日 (2015.12.1)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-100240 (P2017-100240A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成29年6月8日 (2017.6.8)	(74) 代理人	100091292
審査請求日	平成30年11月30日 (2018.11.30)		弁理士 増田 達哉
		(74) 代理人	100091627
			弁理士 朝比 一夫
		(72) 発明者	石毛 太郎
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		(72) 発明者	原田 篤
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御装置、ロボットおよびロボットシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボットアームを有するロボットと、

第1基準マーカ、第2基準マーカおよび第3基準マーカを含み、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカは、共通のマーカである基準マーカ群を撮像する撮像部と、

を制御する制御装置であって、

前記基準マーカ群が前記ロボットに設けられ、前記ロボットアームの姿勢を変化させることにより、前記撮像部と、前記基準マーカ群との間の距離を変化させ、

前記撮像部で前記第1基準マーカを撮像した第1画像と、前記撮像部で前記第1基準マーカとは異なる位置に配置された前記第2基準マーカを撮像した第2画像と、前記撮像部で前記第1基準マーカおよび前記第2基準マーカとは異なる位置に配置された前記第3基準マーカを撮像した第3画像と、に基づいて、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカを通る平面と平行な基準面の姿勢を求め、

前記撮像部に撮像される前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカの大きさが、互いに等しく、

前記撮像部に、前記第1画像における前記第1基準マーカの大きさと、前記第2画像における前記第2基準マーカの大きさと、前記第3画像における前記第3基準マーカの大きさとが等しくなるように、前記第1画像、前記第2画像および前記第3画像を撮像させ、

10

20

前記第 1 基準マーカ―を撮像した際の前記第 1 基準マーカ―と前記撮像部との前記撮像部の光軸方向の距離と、前記第 2 基準マーカ―を撮像した際の前記第 2 基準マーカ―と前記撮像部との前記光軸方向の距離と、前記第 3 基準マーカ―を撮像した際の前記第 3 基準マーカ―と前記撮像部との前記光軸方向の距離とが等しいことを特徴とする制御装置。

【請求項 2】

ロボットアームを有するロボットと、

第 1 基準マーカ―、第 2 基準マーカ―および第 3 基準マーカ―を含み、前記第 1 基準マーカ―、前記第 2 基準マーカ―および前記第 3 基準マーカ―は、共通のマーカ―である基準マーカ―群を撮像する撮像部と、

を制御する制御装置であって、

前記基準マーカ―群が前記ロボットに設けられ、前記ロボットアームの姿勢を変化させることにより、前記撮像部と、前記基準マーカ―群との間の距離を変化させ、

前記撮像部で前記第 1 基準マーカ―を撮像した第 1 画像と、前記撮像部で前記第 1 基準マーカ―とは異なる位置に配置された前記第 2 基準マーカ―を撮像した第 2 画像と、前記撮像部で前記第 1 基準マーカ―および前記第 2 基準マーカ―とは異なる位置に配置された前記第 3 基準マーカ―を撮像した第 3 画像と、に基づいて、前記第 1 基準マーカ―、前記第 2 基準マーカ―および前記第 3 基準マーカ―を通る平面と平行な基準面の姿勢を求め、

前記撮像部に撮像される前記第 1 基準マーカ―は、第 1 間隔で配置された第 1 マーカ―群を有し、

前記撮像部に撮像される前記第 2 基準マーカ―は、第 2 間隔で配置された第 2 マーカ―群を有し、

前記撮像部に撮像される前記第 3 基準マーカ―は、第 3 間隔で配置された第 3 マーカ―群を有し、

前記撮像部に撮像される前記第 1 基準マーカ―の前記第 1 間隔と、前記撮像部に撮像される前記第 2 基準マーカ―の前記第 2 間隔と、前記撮像部に撮像される前記第 3 基準マーカ―の前記第 3 間隔とが、等しく、

前記撮像部に、前記第 1 画像における前記第 1 間隔と、前記第 2 画像における前記第 2 間隔と、前記第 3 画像における前記第 3 間隔とが等しくなるように、前記第 1 画像、前記第 2 画像および前記第 3 画像を撮像させ、

前記第 1 基準マーカ―を撮像した際の前記第 1 基準マーカ―と前記撮像部との前記撮像部の光軸方向の距離と、前記第 2 基準マーカ―を撮像した際の前記第 2 基準マーカ―と前記撮像部との前記光軸方向の距離と、前記第 3 基準マーカ―を撮像した際の前記第 3 基準マーカ―と前記撮像部との前記光軸方向の距離とが等しいことを特徴とする制御装置。

【請求項 3】

ロボットアームを有するロボットと、

第 1 基準マーカ―、第 2 基準マーカ―および第 3 基準マーカ―を含み、前記第 1 基準マーカ―、前記第 2 基準マーカ―および前記第 3 基準マーカ―は、別々のマーカ―である基準マーカ―群を撮像する撮像部と、

を制御する制御装置であって、

前記撮像部が前記ロボットに設けられ、前記ロボットアームの姿勢を変化させることにより、前記撮像部と、前記基準マーカ―群との間の距離を変化させ、

前記撮像部で前記第 1 基準マーカ―を撮像した第 1 画像と、前記撮像部で前記第 1 基準マーカ―とは異なる位置に配置された前記第 2 基準マーカ―を撮像した第 2 画像と、前記撮像部で前記第 1 基準マーカ―および前記第 2 基準マーカ―とは異なる位置に配置された前記第 3 基準マーカ―を撮像した第 3 画像と、に基づいて、前記第 1 基準マーカ―、前記第 2 基準マーカ―および前記第 3 基準マーカ―を通る平面と平行な基準面の姿勢を求め、

前記撮像部に撮像される前記第 1 基準マーカ―、前記第 2 基準マーカ―および前記第 3 基準マーカ―の大きさが、互いに等しく、

前記撮像部に、前記第 1 画像における前記第 1 基準マーカ―の大きさと、前記第 2 画像における前記第 2 基準マーカ―の大きさと、前記第 3 画像における前記第 3 基準マーカ―

10

20

30

40

50

の大きさとが等しくなるように、前記第 1 画像、前記第 2 画像および前記第 3 画像を撮像させ、

前記第 1 基準マーカを撮像した際の前記第 1 基準マーカと前記撮像部との前記撮像部の光軸方向の距離と、前記第 2 基準マーカを撮像した際の前記第 2 基準マーカと前記撮像部との前記光軸方向の距離と、前記第 3 基準マーカを撮像した際の前記第 3 基準マーカと前記撮像部との前記光軸方向の距離とが等しいことを特徴とする制御装置。

【請求項 4】

ロボットアームを有するロボットと、

第 1 基準マーカ、第 2 基準マーカおよび第 3 基準マーカを含み、前記第 1 基準マーカ、前記第 2 基準マーカおよび前記第 3 基準マーカは、別々のマーカである基準マーカ群を撮像する撮像部と、

を制御する制御装置であって、

前記撮像部が前記ロボットに設けられ、前記ロボットアームの姿勢を変化させることにより、前記撮像部と、前記基準マーカ群との間の距離を変化させ、

前記撮像部で前記第 1 基準マーカを撮像した第 1 画像と、前記撮像部で前記第 1 基準マーカとは異なる位置に配置された前記第 2 基準マーカを撮像した第 2 画像と、前記撮像部で前記第 1 基準マーカおよび前記第 2 基準マーカとは異なる位置に配置された前記第 3 基準マーカを撮像した第 3 画像と、に基づいて、前記第 1 基準マーカ、前記第 2 基準マーカおよび前記第 3 基準マーカを通る平面と平行な基準面の姿勢を求め、

前記撮像部に撮像される前記第 1 基準マーカは、第 1 間隔で配置された第 1 マーカ群を有し、

前記撮像部に撮像される前記第 2 基準マーカは、第 2 間隔で配置された第 2 マーカ群を有し、

前記撮像部に撮像される前記第 3 基準マーカは、第 3 間隔で配置された第 3 マーカ群を有し、

前記撮像部に撮像される前記第 1 基準マーカの前記第 1 間隔と、前記撮像部に撮像される前記第 2 基準マーカの前記第 2 間隔と、前記撮像部に撮像される前記第 3 基準マーカの前記第 3 間隔とが、等しく、

前記撮像部に、前記第 1 画像における前記第 1 間隔と、前記第 2 画像における前記第 2 間隔と、前記第 3 画像における前記第 3 間隔とが等しくなるように、前記第 1 画像、前記第 2 画像および前記第 3 画像を撮像させ、

前記第 1 基準マーカを撮像した際の前記第 1 基準マーカと前記撮像部との前記撮像部の光軸方向の距離と、前記第 2 基準マーカを撮像した際の前記第 2 基準マーカと前記撮像部との前記光軸方向の距離と、前記第 3 基準マーカを撮像した際の前記第 3 基準マーカと前記撮像部との前記光軸方向の距離とが等しいことを特徴とする制御装置。

【請求項 5】

前記第 1 画像を撮像した際の前記ロボットのロボット座標系における前記ロボットの任意の部位の座標と、前記第 2 画像を撮像した際の前記ロボット座標系における前記部位の座標と、前記第 3 画像を撮像した際の前記ロボット座標系における前記部位の座標と、に基づいて前記基準面の姿勢を求める請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 6】

前記第 1 基準マーカを撮像した際の前記第 1 基準マーカと前記撮像部との前記光軸方向の距離は、前記第 1 基準マーカを撮像した際の前記第 1 基準マーカと前記撮像部の撮像基準点との前記光軸方向の距離であり、

前記第 2 基準マーカを撮像した際の前記第 2 基準マーカと前記撮像部との前記光軸方向の距離は、前記第 2 基準マーカを撮像した際の前記第 2 基準マーカと前記撮像部の撮像基準点との前記光軸方向の距離であり、

前記第 3 基準マーカを撮像した際の前記第 3 基準マーカと前記撮像部との前記光軸方向の距離は、前記第 3 基準マーカを撮像した際の前記第 3 基準マーカと前記撮像部の撮像基準点との前記光軸方向の距離である請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の制

10

20

30

40

50

御装置。

【請求項 7】

前記基準面の原点を求める請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 8】

請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の制御装置によって制御されることを特徴とするロボット。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の制御装置と、当該制御装置によって制御されるロボットと、撮像部と、を備えることを特徴とするロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御装置、ロボットおよびロボットシステムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、例えば電子部品等の対象物の把持、搬送および組立て等の作業で用いられるロボットシステムが知られている。このようなロボットシステムは、複数のアームを有するロボットアームおよびその先端に設けられたハンドを有するロボットと、カメラ等の撮像部と、ロボットおよび撮像部をそれぞれ制御する制御装置と、を有する。このような構成のロボットシステムは、例えば、撮像部で撮像した対象物の画像を基にして、ロボットがハンドにより対象物に対して各種作業を行う。

20

【0003】

ここで、撮像部で撮像した画像を基にして、ロボットが対象物に対して的確に作業を行うためには、撮像部で撮像した対象物の画像上の位置および姿勢をロボット座標系における値に変換するための補正パラメータを求める撮像部の校正（キャリブレーション）が必要である。

【0004】

例えば、特許文献 1 には、ロボット - 視覚センサシステム（ロボットシステム）を用いて、画像上の位置をロボット座標系の値に変換するパラメータを求める処理について記載されている。特許文献 1 に記載のロボット - 視覚センサシステムは、ロボットアームおよびその先端に設けられたタッチアップ用ハンドを有するロボットと、ロボットアームの先端に設けられた視覚センサー（撮像部）と、3つの基準点および4つの参照点を有する平面を備えるキャリブレーション治具と、を有する。

30

【0005】

特許文献 1 に記載の処理では、まず、3つの基準点にタッチアップ用ハンドを接触させることにより、ロボット座標系におけるキャリブレーション治具の位置および姿勢を特定する。その後、ロボットアームを駆動して視覚センサーで4つの参照点を撮像して、撮像部の画像座標系でキャリブレーション治具の位置を特定することによって、画像上の位置をロボット座標系の値に変換するパラメータを求めている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開平 8 - 210816 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、特許文献 1 に記載の処理では、前述したように、3つの基準点にタッチアップ用ハンドを接触させることにより、ロボット座標系におけるキャリブレーション治具の位置を特定している。このような従来の校正の処理では、一般的に、作業者がキャリブレーション治具とタッチアップ用ハンドとの接触を確認するため、作業者によって接触の判断

50

に差が生じてしまう。そのため、キャリブレーション治具の位置および姿勢を高精度に特定することが難しい。

【 0 0 0 8 】

また、作業者によって接触の判断を正確に行おうとすると、キャリブレーション治具の位置および姿勢の特定に長時間を要するという問題がある。そのため、校正対象であるロボットの数が増えるほど、前記問題が深刻になる。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の本発明により実現することが可能である。

【 0 0 1 0 】

本発明の制御装置は、ロボットアームを有するロボットと、第1基準マーカ、第2基準マーカおよび第3基準マーカを撮像することが可能な撮像部とをそれぞれ制御することが可能な制御装置であって、

前記撮像部と、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカとのいずれか一方が前記ロボットに対して設けられ、前記ロボットアームの姿勢を変化させることにより、前記撮像部と、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカのそれぞれとの間の距離を変化させることが可能であり、

前記撮像部で前記第1基準マーカを撮像した第1画像と、前記撮像部で前記第1基準マーカとは異なる位置に配置された前記第2基準マーカを撮像した第2画像と、前記撮像部で前記第1基準マーカおよび前記第2基準マーカとは異なる位置に配置された前記第3基準マーカを撮像した第3画像と、に基づいて、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカを通る平面と平行な基準面の姿勢を求めることを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

このような制御装置によれば、撮像部で撮像した画像（第1画像、第2画像および第3画像）を基にして基準面の姿勢を求めることができるため、従来のように、作業者による校正用部材（キャリブレーション治具）への接触の判断によって基準面の姿勢を求めることよりも、人為的な誤差や作業者によるバラツキを低減することができる。また、基準面の姿勢を非接触で求めることができるため、例えば、校正用部材の材質等によって基準面の姿勢が変化することを回避できる。このようなことから、本発明の制御装置によれば、基準面の姿勢を高精度に求めることができる。また、本発明の制御装置によれば、撮像部で撮像した画像を基にして基準面の姿勢を求めることができるため、従来よりも基準面の姿勢を容易かつ迅速に求めることができる。

【 0 0 1 2 】

本発明の制御装置では、前記第1画像を撮像した際のロボット座標系における前記ロボットの任意の部位の座標と、前記第2画像を撮像した際の前記ロボット座標系における前記部位の座標と、前記第3画像を撮像した際の前記ロボット座標系における前記部位の座標と、に基づいて前記姿勢を求めることが好ましい。

【 0 0 1 3 】

これにより、ロボットの任意の部位（例えば、軸座標）を含む基準面の姿勢を特定することができる。そのため、基準面でロボットが各種作業を行うことで、ロボットは、撮像部で撮像した画像を基にして各種作業を的確に行うことができる。

【 0 0 1 4 】

本発明の制御装置では、前記第1画像における前記第1基準マーカの大きさと、前記第2画像における前記第2基準マーカの大きさと、前記第3画像における前記第3基準マーカの大きさとに基づいて、前記姿勢を求めることが好ましい。

【 0 0 1 5 】

これにより、撮像部で撮像した画像を基にして基準面の姿勢を的確に求めることができる。

## 【0016】

本発明の制御装置では、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカのそれぞれの大きさが、互いに等しい場合、

前記撮像部に、前記第1画像における前記第1基準マーカの大きさと、前記第2画像における前記第2基準マーカの大きさと、前記第3画像における前記第3基準マーカの大きさとが等しくなるように、前記第1画像、前記第2画像および前記第3画像を撮像させることが好ましい。

## 【0017】

これにより、撮像部で撮像した画像を基にして基準面の姿勢を容易かつ迅速に求めることができる。

10

## 【0018】

本発明の制御装置では、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカおよび前記第3基準マーカが、それぞれ、所定の間隔で配置された複数のマーカを有する構成であり、

前記第1画像における前記第1基準マーカが有する前記複数のマーカ同士の第1間隔と、前記第2画像における前記第2基準マーカが有する前記複数のマーカ同士の第2間隔と、前記第3画像における前記第3基準マーカが有する前記複数のマーカ同士の第3間隔とに基づいて、前記姿勢を求めることが好ましい。

## 【0019】

これにより、第1基準マーカ、第2基準マーカおよび第3基準マーカのそれぞれに対して焦点を厳密に合わせる処理をせずとも、基準面の姿勢を求めることができる。

20

## 【0020】

本発明の制御装置では、前記第1基準マーカの前記第1間隔と、前記第2基準マーカの前記第2間隔と、前記第3基準マーカの前記第3間隔とが、等しい場合、

前記撮像部に、前記第1画像における前記第1間隔と、前記第2画像における前記第2間隔と、前記第3画像における前記第3間隔とが等しくなるように、前記第1画像、前記第2画像および前記第3画像を撮像させることが好ましい。

## 【0021】

これにより、第1基準マーカ、第2基準マーカおよび第3基準マーカのそれぞれに対して焦点を合わせる処理をせずとも、基準面の姿勢を容易かつ迅速に求めることができる。

30

## 【0022】

本発明の制御装置では、前記基準面は、前記撮像部の光軸に対して直交していることが好ましい。

## 【0023】

これにより、撮像部の光軸に対して直交している基準面に対してロボットが各種作業を行うことで、ロボットは、撮像部で撮像した画像を基にして各種作業を的確に行うことができる。また、撮像部の画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理を容易に行うことができる。

## 【0024】

40

本発明の制御装置では、前記第1画像に基づいて求めた前記第1基準マーカと前記撮像部の撮像基準点との間の第1距離と、前記第2画像に基づいて求めた前記第2基準マーカと前記撮像基準点との間の第2距離と、前記第3画像に基づいて求めた前記第3基準マーカと前記撮像基準点との間の第3距離とに基づいて前記姿勢を求めることが好ましい。

## 【0025】

これにより、第1基準マーカ、第2基準マーカおよび第3基準マーカのそれぞれに対して焦点を合わせる処理をせずとも、基準面の姿勢を求めることができる。

## 【0026】

本発明の制御装置では、前記第1距離、前記第2距離および前記第3距離は、等しいこ

50

とが好ましい。

【0027】

これにより、第1基準マーカ、第2基準マーカおよび第3基準マーカのそれぞれに対して焦点を合わせる処理をせずとも、基準面の姿勢を容易かつ迅速に求めることができる。

【0028】

本発明の制御装置では、前記基準面の原点を求めることが好ましい。

これにより、基準面の原点を特定することで、作業者が基準面の位置を把握し易くなる。

【0029】

本発明の制御装置では、前記撮像部は、前記撮像部は、第4基準マーカを撮像することが可能であり、

前記第1基準マーカと前記第2基準マーカとを通る第1直線と、前記第3基準マーカと前記第4基準マーカとを通る第2直線とが交差するように配置されている場合、

前記撮像部に、前記第1基準マーカ、前記第2基準マーカ、前記第3基準マーカおよび前記第4基準マーカをそれぞれ撮像させ、

前記第1基準マーカを撮像した際のロボット座標系における前記第1基準マーカの座標と、前記第2基準マーカを撮像した際の前記ロボット座標系における前記第2基準マーカの座標と、前記第3基準マーカを撮像した際の前記ロボット座標系における前記第3基準マーカの座標と、前記第4基準マーカを撮像した際の前記ロボット座標系における前記第4基準マーカの座標とから前記第1直線および前記第2直線を求め、求めた前記第1直線および前記第2直線に基づいて、前記ロボット座標系における前記基準面の原点を求めることが好ましい。

これにより、基準面の原点を容易に求めることができる。

【0030】

本発明のロボットは、本発明の制御装置によって制御されることを特徴とする。

このようなロボットによれば、各種作業を的確に行うことができる。

【0031】

本発明のロボットシステムは、本発明の制御装置と、当該制御装置によって制御されるロボットと、撮像する機能を有する撮像部とを備えることを特徴とする。

【0032】

このようなロボットシステムによれば、撮像部で撮像した画像を基にしてロボットが各種作業を的確に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明の第1実施形態に係るロボットシステムを示す概略斜視図である。

【図2】図1に示すロボットの概略図である。

【図3】図1に示すロボットシステムのブロック図である。

【図4】図1に示すロボットシステムを用いた撮像部の校正方法を示すフローチャートである。

【図5】図4に示す撮像部の校正で使用する校正用部材の平面図である。

【図6】図4に示す固定カメラの校正を説明するためのロボットの概略図である。

【図7】図4に示す固定カメラの校正を説明するためのフローチャートである。

【図8】図7に示す基準面を特定する処理を説明するためのフローチャートである。

【図9】図8に示す基準面を特定する処理における第1マーカと第nマーカとの比較を説明するための図である。

【図10】図4に示すモバイルカメラの校正を説明するためのフローチャートである。

【図11】図10に示すモバイルカメラの校正を説明するためのロボットの概略図である。

【図12】図10に示す基準面を特定する処理を説明するためのフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図 1 3】図 1 0 に示すオフセット成分を求める処理を説明するためのフローチャートである。

【図 1 4】図 1 3 に示すオフセット成分  $u$ 、 $v$ 、 $w$  を求める処理を説明するための図である。

【図 1 5】図 1 3 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための図である。

【図 1 6】図 1 3 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための図である。

【図 1 7】図 1 3 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための図である。

10

【図 1 8】図 1 3 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための図である。

【図 1 9】図 1 3 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための図である。

【図 2 0】図 1 3 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための座標図である。

【図 2 1】図 1 3 に示すオフセット成分  $z$  を求める処理を説明するため図である。

【図 2 2】本発明の第 2 実施形態に係るロボットシステムを用いた撮像部の校正で使用する校正用部材の平面図である。

【図 2 3】第 2 実施形態における基準面を特定する処理における第 1 マーカーと第  $n$  マーカーとの比較を説明するための図である。

20

【図 2 4】本発明の第 3 実施形態に係るロボットシステムを用いた撮像部の校正で使用する校正用部材の平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下、本発明の制御装置、ロボットおよびロボットシステムを添付図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。

【0035】

[ 第 1 実施形態 ]

ロボットシステム

30

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係るロボットシステムを示す概略斜視図である。図 2 は、図 1 に示すロボットの概略図である。図 3 は、図 1 に示すロボットシステムのブロック図である。

【0036】

なお、以下では、説明の都合上、図 2 中の上側を「上」または「上方」、下側を「下」または「下方」と言う。また、図 2 中の上下方向を「鉛直方向」とし、その鉛直方向に交差する面を「水平面」とし、水平面に平行な方向を「水平方向」とする。ここで、本願明細書で言う「水平」とは、完全な水平に限定されず、水平に対して  $5^\circ$  以下の範囲で傾斜している場合も含む。また、本願明細書で言う「鉛直」とは、完全な鉛直に限定されず、鉛直に対して  $5^\circ$  以下の範囲で傾斜している場合も含む。また、図 2 中に示すロボットの基台側を「基端」、その反対側（ハンド側）を「先端」と言う。

40

【0037】

図 1 に示すロボットシステム 100 は、例えば、電子部品および電子機器等の対象物の把持、搬送および組立て等の作業で用いられる装置である。

【0038】

図 1 に示すように、ロボットシステム 100 は、ロボットアーム 10 を有するロボット 1 と、作業領域 9 内に固定された撮像機能を有する固定カメラ 2（撮像部）と、ロボット 1 に取り付けられた撮像機能を有するモバイルカメラ 3（撮像部）と、ロボット 1、固定カメラ 2 およびモバイルカメラ 3 をそれぞれ制御する制御装置 5（校正装置）とを、有する。

50



## 【 0 0 3 9 】

また、本実施形態では、作業領域 9 0 内に、対象物の組立てを行う作業台 6 1（組立て台）と、対象物が例えば作業者によって供給される供給台 6 2 とが設けられている。作業台 6 1 および供給台 6 2 は、それぞれ、ロボット 1 のロボットアーム 1 0 の駆動範囲内に設けられている。

## 【 0 0 4 0 】

以下、ロボットシステム 1 0 0 が有する各部を順次説明する。

## &lt; ロボット &gt;

図 1 および図 2 に示すロボット 1 は、対象物の把持、搬送および組立て等の作業を行うことができる。

10

## 【 0 0 4 1 】

ロボット 1 は、6 軸の垂直多関節ロボットであり、基台 1 0 1 と、基台 1 0 1 に接続されたロボットアーム 1 0 と、ロボットアーム 1 0 の先端部に設けられたハンド 1 0 2（ツール）と、を有する。また、図 3 に示すように、ロボット 1 は、ロボットアーム 1 0 を駆動させる動力を発生させる複数の駆動部 1 3 0 および複数のモータドライバ 1 2 0 を備えている。

## 【 0 0 4 2 】

基台 1 0 1 は、ロボット 1 を作業領域 9 0 内の所定の箇所に取り付け部分である。

ロボットアーム 1 0 は、第 1 アーム 1 1（アーム）と、第 2 アーム 1 2（アーム）と、第 3 アーム 1 3（アーム）と、第 4 アーム 1 4（アーム）と、第 5 アーム 1 5（アーム）と、第 6 アーム 1 6（アーム）とを有する。第 1 アーム 1 1 は、基台 1 0 1 に接続されており、第 1 アーム 1 1 と第 2 アーム 1 2 と第 3 アーム 1 3 と第 4 アーム 1 4 と第 5 アーム 1 5 と第 6 アーム 1 6 とは、基端側から先端側に向けてこの順に連結されている。

20

## 【 0 0 4 3 】

図 2 に示すように、第 1 アーム 1 1 は、基台 1 0 1 に連結された回転軸部材 1 1 1 を有し、回転軸部材 1 1 1 の中心軸を回転中心として基台 1 0 1 に対して回転可能となっている。また、第 2 アーム 1 2 は、第 1 アーム 1 1 に連結された回転軸部材 1 2 1 を有し、回転軸部材 1 2 1 の中心軸を回転中心として第 1 アーム 1 1 に対して回転可能となっている。また、第 3 アーム 1 3 は、第 2 アーム 1 2 に連結された回転軸部材 1 3 1 を有し、回転軸部材 1 3 1 の中心軸を回転中心として第 2 アーム 1 2 に対して回転可能となっている。また、第 4 アーム 1 4 は、第 3 アーム 1 3 に連結された回転軸部材 1 4 1 を有し、回転軸部材 1 4 1 の中心軸を回転中心として第 3 アーム 1 3 に対して回転可能となっている。また、第 5 アーム 1 5 は、第 4 アーム 1 4 に連結された回転軸部材 1 5 1 を有し、回転軸部材 1 5 1 の中心軸を回転中心として第 4 アーム 1 4 に対して回転可能となっている。また、第 6 アーム 1 6 は、第 5 アーム 1 5 に連結された回転軸部材 1 6 1 を有し、回転軸部材 1 6 1 の中心軸 A 6 を回転中心として第 5 アーム 1 5 に対して回転可能となっている。ここで、中心軸 A 6 と第 6 アーム 1 6 の先端面との交わる点（第 6 アーム 1 6 の先端面の中心）を軸座標 O 6（所定の部位）という。

30

## 【 0 0 4 4 】

ハンド 1 0 2 は、第 6 アーム 1 6 の先端面に取り付けられており、ハンド 1 0 2 の中心軸が第 6 アーム 1 6 の中心軸 A 6 と一致している。ここで、ハンド 1 0 2 の先端面の中心を T C P（ツールセンターポイント）という。本実施形態では、ハンド 1 0 2 が有する 2 つの指の間の領域の中心をいう。

40

## 【 0 0 4 5 】

また、各アーム 1 1 ~ 1 6 には、それぞれ、サーボモーター等のモーターおよび減速機を有する複数の駆動部 1 3 0 が設けられている。すなわち、図 3 に示すように、ロボット 1 は、各アーム 1 1 ~ 1 6 に対応した数（本実施形態では 6 つ）の駆動部 1 3 0 を有している。そして、各アーム 1 1 ~ 1 6 は、それぞれ、対応する駆動部 1 3 0 に電氣的に接続された複数（本実施形態では 6 つ）のモータドライバ 1 2 0 を介して制御装置 5 により制御されている。

50

## 【 0 0 4 6 】

また、各駆動部 1 3 0 には、例えば、エンコーダー、ロータリーエンコーダー等の角度センサー（図示せず）が設けられている。これにより、各駆動部 1 3 0 が有するモーターまたは減速機の回転軸の回転角度を検出することができる。

## 【 0 0 4 7 】

また、図 1 および図 2 に示すように、本実施形態では、ロボット 1 を制御する際に用いられるロボット座標系（ロボット 1 の座標系）として、水平方向に対してそれぞれ平行な  $x_r$  軸と  $y_r$  軸と、水平方向に対して直交し、かつ、鉛直上向きを正方向とする  $z_r$  軸とによって定まる 3 次元の直交座標系を設定している。また、 $x_r$  軸に対する並進成分を「成分  $x_r$ 」とし、 $y_r$  軸に対する並進成分を「成分  $y_r$ 」とし、 $z_r$  軸に対する並進成分を「成分  $z_r$ 」とし、 $z_r$  軸周りの回転成分を「成分  $u_r$ 」とし、 $y_r$  軸周りの回転成分を「成分  $v_r$ 」とし、 $x_r$  軸周りの回転成分を「成分  $w_r$ 」とする。成分  $x_r$ 、成分  $y_r$  および成分  $z_r$  の長さ（大きさ）の単位は「mm」であり、成分  $u_r$ 、成分  $v_r$  および成分  $w_r$  の角度（大きさ）の単位は「°」である。

## 【 0 0 4 8 】

## &lt; 固定カメラ &gt;

図 1 および図 2 に示す固定カメラ 2 は、対象物等を撮像する機能を有する。

## 【 0 0 4 9 】

図 2 に示すように、固定カメラ 2 は、複数の画素を有する CCD（Charge Coupled Device）イメージセンサで構成された撮像素子 2 1 と、レンズ 2 2（光学系）と、を有している。この固定カメラ 2 は、対象物等からの光をレンズ 2 2 によって撮像素子 2 1 の受光面 2 1 1（センサー面）で結像させ、光を電気信号に変換して、その電気信号を制御装置 5 へと出力する。ここで、受光面 2 1 1 とは、撮像素子 2 1 の表面であって、光が結像する面である。また、本実施形態では、受光面 2 1 1 から光軸  $O A 2$  方向に焦点距離だけ進んだ位置を「固定カメラ 2 の撮像基準点  $O 2$ 」とする。

## 【 0 0 5 0 】

このような固定カメラ 2 は、鉛直方向上方を撮像できるように作業領域 9 0 内の所定の箇所に固定されている。また、本実施形態では、固定カメラ 2 は、その光軸  $O A 2$ （レンズ 2 2 の光軸）が鉛直方向に対してほぼ平行になるように取り付けられている。

## 【 0 0 5 1 】

また、本実施形態では、固定カメラ 2 の画像座標系（固定カメラ 2 から出力される画像の座標系）として、画像の面内方向に対してそれぞれ平行な  $x_a$  軸と  $y_a$  軸とによって定まる 2 次元の直交座標系を設定している。また、 $x_a$  軸に対する並進成分を「成分  $x_a$ 」とし、 $y_a$  軸に対する並進成分を「成分  $y_a$ 」とし、 $x_a - y_a$  平面の法線周りの回転成分を「成分  $u_a$ 」とする。成分  $x_a$  および成分  $y_a$  の長さ（大きさ）の単位は「ピクセル」であり、成分  $u_a$  の角度（大きさ）の単位は「°」である。

## 【 0 0 5 2 】

なお、固定カメラ 2 の画像座標系は、固定カメラ 2 のカメラ視野に写る 3 次元直交座標を、レンズ 2 2 の光学特性（焦点距離、歪みなど）と撮像素子 2 1 の画素数および大きさを加味して非線形変換した 2 次元の直交座標系である。

## 【 0 0 5 3 】

## &lt; モバイルカメラ &gt;

図 1 および図 2 に示すモバイルカメラ 3 は、対象物等を撮像する機能を有する。

## 【 0 0 5 4 】

図 2 に示すように、モバイルカメラ 3 は、複数の画素を有する CCD（Charge Coupled Device）イメージセンサで構成された撮像素子 3 1 と、レンズ 3 2（光学系）と、を有する。このモバイルカメラ 3 は、対象物等からの光をレンズ 3 2 によって撮像素子 3 1 の受光面 3 1 1（センサー面）で結像させ、光を電気信号に変換して、その電気信号を制御装置 5 へと出力する。ここで、受光面 3 1 1 とは、撮像素子 3 1 の表面であって、光が結像する面である。また、本実施形態では、受光面 3 1 1 から光軸  $O A 3$  方向に焦点距離だ

け進んだ位置を「モバイルカメラ3の撮像基準点O3」とする。

【0055】

このようなモバイルカメラ3は、第6アーム16よりもロボットアーム10の先端側を撮像できるように第6アーム16に取り付けられている。また、本実施形態では、設計上、モバイルカメラ3は、その光軸OA3（レンズ32の光軸）が第6アーム16の中心軸A6に対してほぼ平行になるように、第6アーム16に取り付けられている。また、モバイルカメラ3は、第6アーム16に取り付けられているため、ロボットアーム10の駆動により、第6アーム16と共にその姿勢を変えることができる。

【0056】

また、本実施形態では、モバイルカメラ3の画像座標系（モバイルカメラ3で出力される画像の座標系）として、画像の面内方向に対してそれぞれ平行なx b軸とy b軸とによって定まる2次元の直交座標系を設定している。また、x b軸に対する並進成分を「成分x b」とし、y b軸に対する並進成分を「成分y b」とし、x b - y b平面の法線周りの回転成分を「成分u b」とする。成分x bおよび成分y bの長さ（大きさ）の単位は「ピクセル」であり、成分u bの角度（大きさ）の単位は「°」である。

【0057】

なお、モバイルカメラ3の画像座標系は、モバイルカメラ3のカメラ視野に写る3次元直交座標を、レンズ32の光学特性（焦点距離、歪みなど）と撮像素子31の画素数および大きさを加味して非線形変換した2次元の直交座標系である。

【0058】

< 制御装置 >

図1に示す制御装置5は、ロボット1、固定カメラ2およびモバイルカメラ3の各部を制御する。この制御装置5は、例えば、CPU（Central Processing Unit）やROM（read only memory）およびRAM（Random Access Memory）が内蔵されたパーソナルコンピュータ（PC）等で構成することができる。

【0059】

図3に示すように、制御装置5は、駆動制御部51と、情報取得部52と、処理部53と、記憶部54と、を備える。

【0060】

駆動制御部51は、ロボット1が有する各アーム11～16の駆動を担う各駆動部130の駆動を制御し、各アーム11～16をそれぞれ独立して駆動させたり停止させたりすることができる。例えば、駆動制御部51は、ハンド102を目標位置に移動させるために、各アーム11～16に設けられた各駆動部130が有するモーターの目標値を導出する。また、駆動制御部51は、各駆動部130が有する角度センサーから出力された回転角度（検出結果）を基にロボット1をフィードバック制御する。また、駆動制御部51は、固定カメラ2およびモバイルカメラ3の撮像等を制御したりする。

【0061】

情報取得部52は、ロボット1、固定カメラ2およびモバイルカメラ3からそれぞれ出力される検出結果を取得する。検出結果としては、例えば、ロボット1の各駆動部130が有するモーターまたは減速機の回転軸の回転角度、固定カメラ2およびモバイルカメラ3でそれぞれ撮像した画像、および、ロボット座標系における軸座標O6の座標（成分x r、y r、z r、u r、v r、w r：位置および姿勢）等が挙げられる。

【0062】

処理部53は、情報取得部52で取得した検出結果を基にして各種演算や各種判断等の処理を行う。例えば、処理部53は、固定カメラ2で撮像した画像を基にして固定カメラ2の画像座標系における撮像対象の座標（成分x a、y a、u a：位置および姿勢）を演算したり、モバイルカメラ3で撮像した画像を基にしてモバイルカメラ3の画像座標系における撮像対象の座標（成分x b、y b、u b：位置および姿勢）を演算したりする。また、例えば、処理部53は、固定カメラ2の画像座標系における対象物の座標をロボット座標系における座標に変換するための補正パラメーターを求めたり、モバイルカメラ3の

画像座標系における対象物の座標をロボット座標系における座標に変換するための補正パラメーターを求めたりする。

【 0 0 6 3 】

記憶部 5 4 は、制御装置 5 が各種処理を行うためのプログラムやデータ等を記憶する。また、記憶部 5 4 は、各種検出結果等を記憶する。

【 0 0 6 4 】

また、図 1 および図 3 に示すように、制御装置 5 には、表示機器 4 1 および操作機器 4 2 が接続されている。

【 0 0 6 5 】

表示機器 4 1 は、液晶表示パネル等の表示パネルで構成されたモニター 4 1 1 を有する。作業者は、このモニター 4 1 1 を介して、固定カメラ 2 およびモバイルカメラ 3 で撮像した画像やロボット 1 による作業等を確認したりすることができる。

10

【 0 0 6 6 】

操作機器 4 2 は、キーボードで構成された入力デバイスであり、作業者による操作に応じた操作信号を制御装置 5 に対して出力する。したがって、作業者は、操作機器 4 2 を操作することで、制御装置 5 に対して各種処理等の指示を行うことができる。

以上、ロボットシステム 1 0 0 の基本的な構成について簡単に説明した。

【 0 0 6 7 】

このような構成のロボットシステム 1 0 0 では、例えば、以下のような作業を行うことができる。

20

【 0 0 6 8 】

まず、制御装置 5 の制御により、ロボットアーム 1 0 を駆動させてハンド 1 0 2 で対象物を把持する。その後、ロボットアーム 1 0 を駆動させてハンド 1 0 2 を固定カメラ 2 上に移動させる。次いで、固定カメラ 2 で対象物を撮像して、その固定カメラ 2 で撮像した画像を基に、制御装置 5 は、ハンド 1 0 2 によって対象物を的確に把持しているか否かを判断する。的確に把持していたら、ロボットアーム 1 0 の駆動によりハンド 1 0 2 を作業台 6 1 上に移動させる。そして、モバイルカメラ 3 で撮像した画像を基にして、ハンド 1 0 2 で把持している対象物を作業台 6 1 上に予め配置されていた対象物に対して組み込む。

【 0 0 6 9 】

30

このような上記作業では、固定カメラ 2 およびモバイルカメラ 3 でそれぞれ撮像した対象物の画像を基にして、ロボット 1 が対象物に対して作業を行う。

【 0 0 7 0 】

このような作業において、固定カメラ 2 で撮像した画像を基にロボット 1 が対象物に対して的確に作業を行うためには、固定カメラ 2 の画像上の座標（画像座標系における位置および姿勢）をロボット座標系における座標に変換するための補正パラメーターを求める処理、すなわち、固定カメラ 2 の校正（キャリブレーション）が必要である。また、同様に、モバイルカメラ 3 で撮像した画像を基にロボット 1 が対象物等に対して的確に作業を行うためには、モバイルカメラ 3 の画像上の座標（画像座標系における位置および姿勢）をロボット座標系における座標に変換するための補正パラメーターを求める処理、すなわち、モバイルカメラ 3 の校正（キャリブレーション）が必要である。

40

【 0 0 7 1 】

以下、ロボットシステム 1 0 0 を用いた固定カメラ 2 の校正方法およびモバイルカメラ 3 の校正方法（以下、これらをまとめて「撮像部の校正方法（キャリブレーション方法）」という）について説明する。

【 0 0 7 2 】

撮像部の校正方法（キャリブレーション方法）

図 4 は、図 1 に示すロボットシステムを用いた撮像部の校正方法を示すフローチャートである。図 5 は、図 4 に示す撮像部の校正で使用する校正用部材の平面図である。図 6 は、図 4 に示す固定カメラの校正を説明するためのロボットの概略図である。図 7 は、図 4

50

に示す固定カメラの校正を説明するためのフローチャートである。図 8 は、図 7 に示す基準面を特定する処理を説明するためのフローチャートである。図 9 は、図 8 に示す基準面を特定する処理における第 1 マーカーと第 n マーカーとの比較を説明するための図である。図 10 は、図 4 に示すモバイルカメラの校正を説明するためのフローチャートである。図 11 は、図 10 に示すモバイルカメラの校正を説明するためのロボットの概略図である。図 12 は、図 10 に示す基準面を特定する処理を説明するためのフローチャートである。図 13 は、図 10 に示すオフセット成分を求める処理を説明するためのフローチャートである。図 14 は、図 13 に示すオフセット成分  $u$ 、 $v$ 、 $w$  を求める処理を説明するための図である。図 15、図 16、図 17、図 18 および図 19 は、それぞれ、図 13 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための図である。図 20 は、図 13 に示すオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める処理を説明するための座標図である。図 21 は、図 13 に示すオフセット成分  $z$  を求める処理を説明するため図である。

10

#### 【0073】

図 4 に示すように、本実施形態の撮像部の校正方法では、固定カメラ 2 の校正（ステップ S1）を行った後、モバイルカメラ 3 の校正（ステップ S2）を行う。

#### 【0074】

撮像部の校正は、作業者が操作機器 42 を用いて制御装置 5 に撮像部の校正開始の指示をすることにより開始される。そして、作業者が制御装置 5 に撮像部の校正開始の指示さえすれば、それ以降、撮像部の校正は、ロボットシステム 100 により自動的に行われる。なお、この撮像部の校正は、例えば、ロボット 1 の作業内容等が変わることに行われる。

20

#### 【0075】

ここで、本実施形態では、図 5 に示す校正用部材 70（キャリブレーションボード）を用いて撮像部の校正を行う。

#### 【0076】

校正用部材 70 は、四角形の平板状の部材であり、校正用部材 70 の表面 701 には、複数のマーカー 75 が付されている。複数のマーカー 75 は、互いに同じ円形状（形状）であり、互いにほぼ同じ大きさである。また、複数のマーカー 75 は、隣り合うマーカー 75 同士のピッチ（間隔）が全てほぼ一定になるように配置されている。また、マーカー 75 同士のピッチは、予め測定されており、既知である。

30

#### 【0077】

これら複数のマーカー 75 のうちの図 5 中の上側に位置するマーカー 75 と、図 5 中の中央部（表面 701 の中央部）に位置するマーカー 75 と、図 5 中の右側に位置するマーカー 75 には、それぞれ、マーカー 75 を囲む円がさらに付されている。これら 3 つのマーカー 75 とそれを囲む円とで構成された同心円状をなすマーカーのうち、図 5 中の上側に位置するマーカーを「第 1 マーカー 71（第 1 基準点）」とし、図 5 中の中央部に位置するマーカーを「第 2 マーカー 72（第 2 基準点）」とし、図 5 中の右側に位置するマーカーを「第 3 マーカー 73（第 3 基準点）」とする。このような第 1 マーカー 71、第 2 マーカー 72 および第 3 マーカー 73 は、後述する撮像部の校正の基準面を特定する処理（図 7 参照）において、基準マーカーとして用いられる。それゆえ、第 1 マーカー 71、第 2 マーカー 72 および第 3 マーカー 73 は、互いに異なる位置にあり、かつ、第 1 マーカー 71、第 2 マーカー 72 および第 3 マーカー 73 が同一直線上にない。

40

#### 【0078】

なお、複数のマーカー 75、第 1 マーカー 71、第 2 マーカー 72 および第 3 マーカー 73 の形状は、それぞれ、図示の形状に限定されず、いかなる形状であってもよい。また、マーカー 75、第 1 マーカー 71、第 2 マーカー 72 および第 3 マーカー 73 は、それぞれ、視認できる形態であればよく、いかなる色であってもよいし、凹凸を有する形態であってもよい。また、複数のマーカー 75、第 1 マーカー 71、第 2 マーカー 72 および第 3 マーカー 73 は、異なる形態であってもよい。例えば、複数のマーカー 75、第 1 マーカー 71、第 2 マーカー 72 および第 3 マーカー 73 は、それぞれ異なる色や形であってもよい。

50

い。ただし、第1マーカー71、第2マーカー72および第3マーカー73は、基準マーカーとして用いるため、他のマーカー75との識別力を有する形態であることが好ましい。

#### 【0079】

このような構成の校正用部材70は、図6に示すように、作業者による撮像部の校正開始の指示をする前に、予め、ロボット1にハンド102で把持させておく。また、本実施形態では、第2マーカー72が第6アーム16の中心軸A6上に位置するように、ハンド102によって校正用部材70を把持させる。また、本実施形態では、ロボット座標系における軸座標O6の座標に対する第2マーカー72の座標が特定されており、ロボット座標系における第2マーカー72の座標を求めることができるようになっている。

10

#### 【0080】

なお、本実施形態では、前述したように、第2マーカー72が第6アーム16の中心軸A6上に位置しているが、ロボット座標系における第2マーカー72の座標を求めることができるよう設定されていれば、第2マーカー72が第6アーム16の中心軸A6上に位置していなくてもよい。

#### 【0081】

<固定カメラの校正(ステップS1)>

図4に示すように、作業者による撮像部の校正の開始の指示がなされると、制御装置5は、まず、固定カメラ2の校正(ステップS1)を開始する。

#### 【0082】

20

図7に示すように、固定カメラ2の校正(ステップS1)では、基準面を特定する処理(ステップS11)を行った後、固定カメラ2の画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理(ステップS12)を行う。

#### 【0083】

[基準面を特定する処理(ステップS11)]

以下、基準面を特定する処理(ステップS11)を、図8に示すフローチャートを参照しつつ説明する。

#### 【0084】

図8に示すように、基準面を特定する処理(ステップS11)が開始すると、まず、制御装置5は、ロボットアーム10を駆動させて、図6に示すように、校正用部材70を固定カメラ2に対向させる(ステップS111)。

30

#### 【0085】

次いで、図8に示すように、制御装置5は、ロボットアーム10を駆動させて、校正用部材70に付された第2マーカー72が固定カメラ2の画像の中心部に位置するように校正用部材70を移動させる(ステップS112)。

#### 【0086】

次いで、制御装置5は、固定カメラ2に第2マーカー72を撮像させる(ステップS113)。このとき、制御装置5は、固定カメラ2の焦点が第2マーカー72に合う(合焦する)ように、ロボットアーム10を駆動させることにより、校正用部材70を移動させる処理(合焦処理)を行う。なお、この合焦処理は省略しても構わない。

40

#### 【0087】

次いで、制御装置5は、固定カメラ2で撮像した第2マーカー72の画像を「第1画像」として記憶部54に記憶し、かつ、第1画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標O6の座標を記憶部54に記憶する(ステップS114)。ここで、固定カメラ2における基準面を特定する処理(ステップS11)では、第1画像を撮像した際の第2マーカー72を「第1基準マーカー」とする。

#### 【0088】

次に、制御装置5は、ロボットアーム10を駆動させて、固定カメラ2の画像上においてステップS112で移動させた位置とは異なる位置に第2マーカー72が位置するように、校正用部材70をロボット座標系におけるx<sub>r</sub>軸、y<sub>r</sub>軸およびz<sub>r</sub>軸に沿って並進

50

移動させる（ステップS 1 1 5）。

【 0 0 8 9 】

次いで、制御装置 5 は、固定カメラ 2 に第 2 マーカー 7 2 を撮像させる（ステップ S 1 1 6）。

【 0 0 9 0 】

次いで、ステップ S 1 1 6 において固定カメラ 2 で撮像した画像における第 2 マーカー 7 2 の形状および大きさと、ステップ S 1 1 4 で記憶部 5 4 に記憶した第 1 画像における第 2 マーカー 7 2 の形状および大きさとを比較する（ステップ S 1 1 7）。そして、第 2 マーカー 7 2 の形状および大きさと、第 1 画像における第 2 マーカー 7 2 の形状および大きさと

10

【 0 0 9 1 】

所定の閾値内であると判断した場合（ステップ S 1 1 8 の「Y e s」）には、ステップ S 1 1 1 0 に移行する。一方、所定の閾値内でないと判断した場合（ステップ S 1 1 8 の「N o」）には、所定の閾値内になるようにロボットアーム 1 0 の駆動により校正用部材 7 0 を移動させる（ステップ S 1 1 9）。例えば、図 9 に示すように、図 9 中の 2 点鎖線で示す第 2 マーカー 7 2 の大きさ（外形）が、図 9 中の実線で示す第 1 画像における第 2 マーカー 7 2 の大きさ（外形）と異なり、その大きさの差が所定の閾値内でない場合には、所定の閾値内になるようにロボットアーム 1 0 の駆動により校正用部材 7 0 を移動させる。

【 0 0 9 2 】

20

次に、制御装置 5 は、所定の閾値内であると判断したら、固定カメラ 2 で撮像した第 2 マーカー 7 2 の画像を「第 2 画像（第 n 画像）」として記憶部 5 4 に記憶し、かつ、第 2 画像（第 n 画像）を撮像した際のロボット座標系における軸座標 O 6 の座標を記憶部 5 4 に記憶する（ステップ S 1 1 1 0）。ここで、固定カメラ 2 における基準面を特定する処理（ステップ S 1 1 1）では、第 2 画像を撮像した際の第 2 マーカー 7 2 を「第 2 基準マーカー」とする。なお、第 2 画像を撮像する際には、ハンド 1 0 2 に把持されている校正用部材 7 0 に付された第 2 マーカー 7 2 は、第 1 画像を撮像する際における位置と異なる位置にある。

【 0 0 9 3 】

次に、撮像した画像の数 n が予め設定した所定数（ただし、n は整数であって、3 < n の関係を満足する数）であるか否かを判断する（ステップ S 1 1 1 1）。所定数であると判断した場合には、ステップ S 1 1 1 2 に移行し、所定数未満であると判断した場合には、所定数であると判断されるまで、前述したステップ S 1 1 5 からステップ S 1 1 1 0 を繰り返す。

30

【 0 0 9 4 】

ここで、本実施形態では、画像の数が 3 になるまで画像を取得すること、すなわち、固定カメラ 2 で 3 つの画像（第 1 画像、第 2 画像および第 3 画像）を撮像することを予め設定している。そのため、本実施形態では、固定カメラ 2 で第 2 画像を撮像した後に、さらにもう 1 回、ステップ S 1 1 5 からステップ S 1 1 1 0 を行い、ロボットアーム 1 0 の駆動により校正用部材 7 0 を移動させて固定カメラ 2 で撮像した第 2 マーカー 7 2 の画像を「第 3 画像」として記憶部 5 4 に記憶し、かつ、第 3 画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標 O 6 の座標を記憶部 5 4 に記憶する。ここで、固定カメラ 2 における基準面を特定する処理（ステップ S 1 1 1）では、第 3 画像を撮像した際の第 2 マーカー 7 2 を「第 3 基準マーカー」とする。なお、第 3 画像を撮像する際には、ハンド 1 0 2 に把持されている校正用部材 7 0 に付された第 2 マーカー 7 2 は、第 1 画像を撮像する際における位置および第 2 画像を撮像する際における位置と異なる位置にあり、それらは同一直線上にない。また、固定カメラ 2 における基準面を特定する処理（ステップ S 1 1 1）では、第 2 マーカー 7 2 が「第 1 基準マーカー、第 2 基準マーカーおよび第 3 基準マーカー」を兼ねていると捉えることができる。

40

【 0 0 9 5 】

50

次に、画像の数  $n$  が所定数であると判断したら、処理部 53 は、記憶部 54 に記憶した  $n$  個（本実施形態では 3 つ）のロボット座標系における軸座標  $O_6$  の座標を基に、図 6 に示すような撮像素子 21（3 つの異なる箇所に配置された状態の第 2 マーカー 72 を通る平面）に平行な基準面 81 の原点および  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸の各方向を求める（ステップ  $S_{1112}$ ）。そして、制御装置 5 は、ロボット座標系における基準面 81 の位置および姿勢、すなわち、基準面 81 の成分  $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$ 、 $u_r$ 、 $v_r$ 、 $w_r$  を定義する（ステップ  $S_{1113}$ ）。

以上にて、図 7 に示す基準面を特定する処理（ステップ  $S_{11}$ ）が終了する。

【0096】

以上のように、制御装置 5 によれば、固定カメラ 2（撮像部）で撮像した画像（第 1 画像、第 2 画像および第 3 画像）を基にして基準面 81 の姿勢を求めることができる。このため、従来のように、作業者によるタッチアップ用ハンドとキャリブレーション治具（校正用部材）との接触を判断する作業を省くことができる。このため、人為的な誤差や、作業者によるバラツキを低減することができ、よって、基準面 81 の姿勢を高精度に求めることができる。また、従来のようにタッチアップ用ハンドをキャリブレーション治具に接触させることにより基準面を求めると、キャリブレーション治具の材質等によって求めた基準面の姿勢が異なり、基準面の姿勢を高精度に検出することが難しい。これに対し、本実施形態では、固定カメラ 2 で撮像した画像を基にして基準面 81 の姿勢を求めているので、校正用部材 70 に対して接触せずに（非接触で）、基準面 81 の姿勢を求めることができる。このため、例えば校正用部材 70 の材質等によらず基準面 81 の姿勢を高精度に求めることができる。

【0097】

また、制御装置 5 によれば、固定カメラ 2 で撮像した画像を基にして基準面 81 の姿勢を求めることができるため、従来よりも基準面 81 の姿勢を容易かつ迅速に求めることができる。

【0098】

また、前述したように、本実施形態では、3 つの画像（第 1 画像、第 2 画像および第 3 画像）をそれぞれ撮像した際のロボット座標系における軸座標  $O_6$ （所定の部位）の座標を基にして基準面 81 を求めている。したがって、基準面 81 は軸座標  $O_6$  を含む面であるといえる。そのため、基準面 81 でロボット 1 が作業（例えば、ハンド 102 により対象物を的確に把持しているか否かを判断する作業）を行うことで、ロボット 1 は前記作業を的確に行うことができる。

【0099】

特に、前述したように、本実施形態では、3 つの画像を撮像する際に、合焦処理をしておくことで、ロボット 1 が基準面 81 で対象物の検出、検査、組み立て等の各作業を行えば、ロボット 1 は各種作業をより高い精度で行うことができる。

【0100】

なお、予め、軸座標  $O_6$  とツールセンターポイント  $TCP$  との間の距離が既知であれば、その距離と、軸座標  $O_6$  を含む面である基準面 81 とを基にして、ツールセンターポイント  $TCP$  を含む面を求めることができる。

【0101】

また、本実施形態では、軸座標  $O_6$  の座標を基にして基準面 81 を特定する処理（ステップ  $S_{11}$ ）を行ったが、ツールセンターポイント  $TCP$  の座標を基に基準面 81 を特定してもよいし、その他のロボットの任意の部位を基に基準面 81 を特定してもよい。

【0102】

また、前述したように、本実施形態では、第 1 画像における第 2 マーカー 72 の大きさと、第 2 画像における第 2 マーカー 72 の大きさと、第 3 画像における第 2 マーカー 72 の大きさに基づいて、基準面 81 の位置および姿勢を求めている。そのため、本実施形態では、各画像における第 2 マーカー 72 の大きさに基づいて基準面 81 の位置および姿勢を求めれば、基準面 81 の姿勢を的確に求めることができる。



## 【0103】

また、各画像における第2マーカー72の大きさに基づいて基準面81の位置および姿勢を求めることは、第1画像を取得した際の第2マーカー72と固定カメラ2の受光面211（より具体的には、撮像基準点02）との間の距離（第1距離）と、第2画像を取得した際の第2マーカー72と受光面211（撮像基準点02）との間の距離（第2距離）と、第3画像を取得した際の第2マーカー72と受光面211（撮像基準点02）との間の距離（第3距離）とに基づいて、基準面81の姿勢を求めていることと同等である。したがって、本実施形態の校正方法によれば、第1距離、第2距離および第3距離の距離に基づいて、基準面81の姿勢を求めることができる。

## 【0104】

[固定カメラの画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップS12）]

次に、図7に示すように、固定カメラの画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップS12）を行う。

## 【0105】

制御装置5は、まず、ロボットアーム10を駆動させて、前述したステップS12で求めた基準面81内の格子状に配列された任意の9つの基準点（仮想の目標点）にそれぞれ軸座標06が位置するように、校正用部材70を移動させる。すなわち、第2マーカー72を格子状に配列された9つの箇所に移動させる。このとき、制御装置5は、校正用部材70を移動させるごとに、固定カメラ2に第2マーカー72を撮像させる。

## 【0106】

ここで、9つの基準点は、全て固定カメラ2の画像の範囲内（撮像領域内）にあり、隣り合う基準点同士の間隔が全て等しくなっているものとする。

## 【0107】

次に、制御装置5は、9つの画像に基づいた固定カメラ2の画像座標系における第2マーカー72の座標（成分 $x_a$ 、 $y_a$ 、 $u_a$ ）と、前述したステップS11で求めたロボット座標系における基準面81の座標（成分 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $u_r$ ）とに基づいて、固定カメラ2の画像座標をロボット座標系における基準面81の座標に変換する補正パラメーター（座標変換行列）を求める。

## 【0108】

このようにして求めた補正パラメーターを用いれば、固定カメラ2で撮像した対象物等の位置および姿勢（具体的には、成分 $x_a$ 、 $y_a$ 、 $u_a$ ）をロボット座標系における値（具体的には、成分 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $u_r$ ）に変換することができる。なお、この補正パラメーターは、レンズ22の歪み等の固定カメラ2の内部パラメーターも加味した値である。

## 【0109】

なお、本実施形態では、前述したように、9つの基準点を用いて補正パラメーターを求めたが、補正パラメーターを求めるために用いる基準点の数が多いほど校正の精度は高くなる。

以上にて、図4に示す固定カメラの校正（ステップS1）が終了する。

## 【0110】

<モバイルカメラの校正（ステップS2）>

次に、制御装置5は、図4に示すモバイルカメラ3の校正（ステップS2）を開始する。

## 【0111】

図10に示すように、モバイルカメラ3の校正（ステップS2）では、基準面を特定する処理（ステップS21）、オフセット成分を求める処理（ステップS22）、作業面を特定する処理（ステップS23）、ロボット1にマーカーの位置および姿勢を教示する処理（ステップS24）、および、モバイルカメラ3の画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップS25）を、この順に行う。

## 【0112】

〔基準面を特定する処理（ステップS21）〕

まず、図11に示すように、基準面を特定する処理（ステップS21）を行う前に、予め、ハンド102で把持していた校正用部材70を作業台61の作業面611上に載置しておく。その後、基準面を特定する処理（ステップS21）を行う。

【0113】

以下、基準面を特定する処理（ステップS21）を、図12に示すフローチャートを参照しつつ、その詳細を説明する。

【0114】

図12に示すように、基準面を特定する処理（ステップS21）が開始すると、まず、制御装置5は、ロボットアーム10を駆動させて、図12に示すように、モバイルカメラ3を校正用部材70に対向させる（ステップS211）。 10

【0115】

次いで、制御装置5は、ロボットアーム10を駆動させて、校正用部材70に付された第1マーカ71がモバイルカメラ3の画像の中心部に位置するようにモバイルカメラ3を移動させる（ステップS212）。

【0116】

次いで、制御装置5は、モバイルカメラ3に第1マーカ71を撮像させる（ステップS213）。このとき、制御装置5は、モバイルカメラ3の焦点が第1マーカ71に合う（合焦する）ようにロボットアーム10を駆動させることにより、モバイルカメラ3を移動させる処理（合焦処理）を行う。なお、この合焦処理は省略しても構わない。 20

【0117】

次いで、制御装置5は、モバイルカメラ3で撮像した第1マーカ71の画像を「第1画像」として記憶部54に記憶し、かつ、第1画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標O6の座標を記憶部54に記憶する（ステップS214）。ここで、モバイルカメラ3における基準面を特定する処理（ステップS21）では、第1マーカ71を「第1基準マーカ」とする。

【0118】

次に、制御装置5は、ロボットアーム10を駆動させて、第2マーカ72がモバイルカメラ3の画像の中心部に位置するようにモバイルカメラ3を並進移動させる（ステップS215）。 30

【0119】

次いで、制御装置5は、モバイルカメラ3に第2マーカ72（第nマーカ）を撮像させる（ステップS216）。

【0120】

次いで、ステップS216においてモバイルカメラ3で撮像した画像における第2マーカ72の形状および大きさと、ステップS214で記憶部54に記憶した第1画像における第1マーカ71の形状および大きさとを比較する（ステップS217）。そして、第2マーカ72の形状および大きさと、第1マーカ71の形状および大きとの差が、所定の閾値内であるか否かを判断する（ステップS218）。 40

【0121】

所定の閾値内であると判断した場合（ステップS218の「Yes」）には、ステップS2110に移行する。一方、所定の閾値内でないと判断した場合（ステップS218の「No」）には、所定の閾値内になるようにロボットアーム10の駆動によりモバイルカメラ3を移動させる（ステップS219）。 50

【0122】

次に、制御装置5は、所定の閾値内であると判断したら、モバイルカメラ3で撮像した第2マーカ72（第nマーカ）の画像を「第2画像（第n画像）」として記憶部54に記憶し、かつ、第2画像（第n画像）を撮像した際のロボット座標系における軸座標O6の座標を記憶部54に記憶する（ステップS2110）。ここで、モバイルカメラ3における基準面を特定する処理（ステップS21）では、第2マーカ72を「第2基準マ

ーカー」とする。

【0123】

次に、撮像した画像の数  $n$  が予め設定した所定数（ただし、 $n$  は整数であって、 $3 \leq n$  の関係を満足する数）であるか否かを判断する（ステップ S 2 1 1 1）。所定数であると判断した場合には、ステップ S 2 1 1 2 に移行し、所定数未満であると判断した場合には、所定数であると判断されるまで、前述したステップ S 2 1 5 からステップ S 2 1 1 0 を繰り返す。

【0124】

ここで、本実施形態では、モバイルカメラ 3 で 3 つの画像（第 1 画像、第 2 画像および第 3 画像）を撮像することを予め設定している。そのため、本実施形態では、モバイルカメラ 3 で第 2 画像を撮像した後に、さらにもう 1 回、ステップ S 2 1 5 からステップ S 2 1 1 0 を行い、モバイルカメラ 3 で撮像した第 3 マーカー 7 3 の画像を「第 3 画像」として記憶部 5 4 に記憶し、かつ、第 3 画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標 O 6 の座標を記憶部 5 4 に記憶する。ここで、モバイルカメラ 3 における基準面を特定する処理（ステップ S 2 1）では、第 3 マーカー 7 3 を「第 3 基準マーカー」とする。

【0125】

次に、画像の数  $n$  が所定数であると判断したら、処理部 5 3 は、記憶部 5 4 に記憶した  $n$  個（本実施形態では 3 つ）のロボット座標系における軸座標 O 6 の座標を基に、図 1 1 に示すような表面 7 0 1（第 1 マーカー 7 1、第 2 マーカー 7 2 および第 3 マーカー 7 3 を通る平面）に平行な基準面 8 2 の原点および  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸の各方向を求める（ステップ S 2 1 1 2）。そして、制御装置 5 は、ロボット座標系における基準面 8 2 の位置および姿勢、すなわち、基準面 8 2 の成分  $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$ 、 $u_r$ 、 $v_r$ 、 $w_r$  を定義する（ステップ S 2 1 1 3）。

【0126】

以上のように、制御装置 5 によれば、固定カメラ 2 における基準面を特定する処理（ステップ S 1 1）と同様の効果を発揮することができる。すなわち、モバイルカメラ 3（撮像部）で撮像した画像（第 1 画像、第 2 画像および第 3 画像）を用いているため、校正用部材 7 0 に対して接触せずに、基準面 8 2 の姿勢を求めることができ、よって、例えば校正用部材 7 0 の材質等によらず基準面 8 2 の姿勢を高精度に求めることができる。また、従来よりも基準面 8 2 の姿勢を容易かつ迅速に求めることができる。

【0127】

また、前述したように、本実施形態では、第 1 画像における第 1 マーカー 7 1 の大きさと、第 2 画像における第 2 マーカー 7 2 の大きさと、第 3 画像における第 2 マーカー 7 2 の大きさに基づいて、基準面 8 2 の位置および姿勢を求めている。そのため、本実施形態では、各画像における第 2 マーカー 7 2 の大きさに基づいて基準面 8 2 の位置および姿勢を求めれば、基準面 8 2 の姿勢を的確に求めることができる。

【0128】

また、各画像における第 2 マーカー 7 2 の大きさに基づいて基準面 8 2 の位置および姿勢を求めることは、第 1 画像を取得した際の第 1 マーカー 7 1 とモバイルカメラ 3 の受光面 3 1 1（より具体的には、撮像基準点 O 3）との間の距離（第 1 距離）と、第 2 画像を取得した際の第 2 マーカー 7 2 と受光面 3 1 1（撮像基準点 O 3）との間の距離（第 2 距離）と、第 3 画像を取得した際の第 3 マーカー 7 3 と受光面 3 1 1（撮像基準点 O 3）との間の距離（第 3 距離）とに基づいて、基準面 8 2 の姿勢を求めていることと同等である。したがって、本実施形態の校正方法によれば、第 1 距離、第 2 距離および第 3 距離の距離に基づいて、基準面 8 2 の姿勢を求めることができる。

【0129】

さらに、上述したように、モバイルカメラ 3 における基準面を特定する処理（ステップ S 2 1）では、大きさが互いに等しい第 1 マーカー 7 1、第 2 マーカー 7 2 および第 3 マーカー 7 3 が付された校正用部材 7 0 を用いて、画像上における第 1 マーカー 7 1、第 2 マーカー 7 2 および第 3 マーカー 7 3 の大きさが互いに等しくなるように固定カメラ 2 で

第1画像、第2画像および第3画像を撮像している。このように撮像すれば、モバイルカメラ3の焦点距離や画角が既知でなくとも、表面701に平行な(モバイルカメラ3の光軸OA3に対して直交している)基準面82を求めることができる。

【0130】

また、第1マーカー71、第2マーカー72および第3マーカー73の大きさが互いに等しくなるようにモバイルカメラ3で第1画像、第2画像および第3画像を撮像することは、互いに距離が等しい第1距離、第2距離および第3距離に基づいて、基準面82の姿勢を求めていることと同等である。したがって、本実施形態の校正方法によれば、距離が等しい第1距離、第2距離および第3距離に基づいて、モバイルカメラ3の焦点距離や画角が既知でなくとも、表面701に平行な基準面82を容易かつ迅速に求めることができる。

10

【0131】

なお、本実施形態では、第1マーカー71、第2マーカー72および第3マーカー73のそれぞれの大きさが互いに等しいが、これらの大きさの関係が既知であれば、これらの大きさはそれぞれ異なってもよい。その場合には、第1マーカー71、第2マーカー72および第3マーカー73のそれぞれの大きさの関係に基づいて、第1距離、第2距離および第3距離の距離を求めることで、表面701に平行な基準面82を容易かつ迅速に求めることができる。

【0132】

[オフセット成分を求める処理(ステップS22)]

20

次に、オフセット成分を求める処理(ステップS22)を、図13に示すフローチャートを参照しつつ説明する。

【0133】

ここで、前述したように、モバイルカメラ3は、設計上、光軸OA3が第6アーム16の中心軸A6に対してほぼ平行になるように、第6アーム16に対してオフセットして取り付けられている。しかし、実際には、その設計上のオフセット成分(第6アーム16に対するモバイルカメラ3の位置および姿勢)からズレが生じる。このズレは、例えば、モバイルカメラ3の組み付け誤差や、モバイルカメラ3の筐体に対する撮像素子31の組み付け誤差等により生じる。

【0134】

30

そこで、このオフセット成分を求める処理(ステップS22)にて、実際のオフセット成分(第6アーム16に対するモバイルカメラ3の位置および姿勢)を求める。

【0135】

以下のオフセット成分を求める処理(ステップS22)では、回動軸部材161の軸座標O6に対するモバイルカメラ3の撮像基準点O3の位置および光軸OA3の方向(姿勢)のオフセット成分( $x$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $u$ 、 $v$ 、 $w$ )を求める。

【0136】

なお、本実施系形態では、軸座標O6に対する撮像基準点O3の位置および光軸OA3の方向のオフセット成分を求めるが、オフセット成分を求めるにあたり基準とする箇所は、軸座標O6および撮像基準点O3に限定されず任意である。

40

【0137】

図13に示すように、オフセットを求める処理(ステップS22)が開始すると、まず、制御装置5は、ロボットアーム10を駆動させて、モバイルカメラ3に校正用部材70を検出させる(ステップS221)。

【0138】

次に、制御装置5は、モバイルカメラ3の受光面311が校正用部材70の表面701に正対するようにロボットアーム10を駆動させる(ステップS222)。

【0139】

次いで、制御装置5は、モバイルカメラ3の受光面311に対する校正用部材70の表面701の平行度を検証する(ステップS223)。そして、制御装置5は、平行度が所

50

定の閾値内であるか否かを判断する（ステップ S 2 2 4）。

【 0 1 4 0 】

図 1 4 に示すように、平行度は、画像における表面 7 0 1 に付された隣り合うマーカー 7 5 同士のピッチ  $P$  の差を用いて検証する。例えば、図 1 4 中の実線で示すように、隣り合うマーカー 7 5 同士のピッチ  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$  の差がほぼ同じであり、その差が所定の閾値内である場合には、ステップ S 2 2 5 に移行する。一方、図 1 4 中の 2 点鎖線で示すように、隣り合うマーカー 7 5 同士のピッチ  $P_1'$ 、 $P_2'$ 、 $P_3'$ 、 $P_4'$  の差が異なり、その差が所定の閾値を超える場合には、所定の閾値内になるまで、ステップ S 2 2 1 からステップ S 2 2 4 を繰り返す。ここで、所定の閾値内であることは、前述した基準面 8 2 と光軸  $O A 3$  とが閾値以内で垂直になっていることを意味する。

10

【 0 1 4 1 】

次に、制御装置 5 は、所定の閾値内であると判断したら、所定の閾値内であると判断した際のロボット座標系における軸座標  $O 6$  の成分  $u_r$ 、 $v_r$ 、 $w_r$  と、前述した基準面を特定する処理（ステップ S 2 2 1）で求めた際のロボット座標系における基準面 8 2 の成分  $u_r$ 、 $v_r$ 、 $w_r$  との差からオフセット成分  $u$ 、 $v$ 、 $w$  を求める（ステップ S 2 2 5）。このオフセット成分  $u$ 、 $v$ 、 $w$  は、軸座標  $O 6$  に対する光軸  $O A 3$  のオフセット成分  $u$ 、 $v$ 、 $w$  に相当する。

【 0 1 4 2 】

次に、図 1 3 に示すように、制御装置 5 は、軸座標  $O 6$  に対する撮像基準点  $O 3$  のオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める（ステップ S 2 2 6）。以下、オフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める方法を図 1 5 ~ 図 2 0 を参照しつつ説明する。なお、図 1 5 ~ 図 1 9 は、例えば、ロボット 1 を鉛直方向上方から見たときのモバイルカメラ 3 および第 6 アーム 1 6 を模式的に示している。

20

【 0 1 4 3 】

具体的には、まず、図 1 5 に示すように、制御装置 5 は、例えばモバイルカメラ 3 の画像 3 0 の中心  $O 3 0$ （重心）に第 2 マーカー 7 2 が位置するようにロボットアーム 1 0 を駆動させる。この図 1 5 に示すモバイルカメラ 3 および第 6 アーム 1 6 の状態を「第 1 状態」とする。ここで、画像 3 0 の中心  $O 3 0$  と撮像基準点  $O 3$  は一致している。

【 0 1 4 4 】

次いで、図 1 6 に示すように、制御装置 5 は、ロボットアーム 1 0 を駆動させて第 6 アーム 1 6 を中心軸  $A 6$  周りに所定の角度で回転させる。この際の所定の角度は、画像 3 0 外に第 2 マーカー 7 2 が出ない範囲内（モバイルカメラ 3 の撮像領域内に収まる範囲内）の所定の角度（例えば  $1 \sim 10^\circ$  程度）とする。この図 1 6 に示すモバイルカメラ 3 および第 6 アーム 1 6 の状態を「第 2 状態」とする。

30

【 0 1 4 5 】

次いで、図 1 7 に示すように、制御装置 5 は、ロボットアーム 1 0 を駆動させて、第 2 マーカー 7 2 が中心  $O 3 0$  に一致するようにモバイルカメラ 3 および第 6 アーム 1 6 をロボット座標系における  $x_r$  軸および  $y_r$  軸を含む平面（基準面 8 2 の  $x - y$  平面）に平行な平面内に並進移動させる。この図 1 7 に示すモバイルカメラ 3 および第 6 アーム 1 6 の状態を「第 3 状態」とする。

40

【 0 1 4 6 】

このような第 1 状態から第 2 状態を経て第 3 状態となるモバイルカメラ 3 および第 6 アーム 1 6 の移動は、図 1 5 に示す第 1 状態と図 1 7 に示す第 3 状態とを見ると、撮像中心  $O 3 0$ （撮像基準点  $O 3$ ）を通る線分を回転中心軸にして軸座標  $O 6$ （第 6 アーム 1 6）が回転していることと同等であることが分かる。したがって、図 2 0 に示すように、第 1 状態から第 2 状態を経て第 3 状態となる移動は、中心  $O 3 0$ （撮像基準点  $O 3$ ）を通る線分を回転中心軸として軸座標  $O 6$  を回転角度  $\theta$  で移動させたことと等しい。それゆえ、回転角度  $\theta$  と、第 1 状態でのロボット座標系における軸座標  $O 6$  の座標と、第 3 状態でのロボット座標系における軸座標  $O 6$  の座標とに基づいて、ロボット座標系における撮像基準点  $O 3$  の座標を求める。そして、求めたロボット座標系における撮像基準点  $O 3$

50

の座標と、第1状態および第3状態のいずれか一方のロボット座標系における軸座標O6の座標とから、軸座標O6に対する撮像基準点O3の仮オフセット成分  $x'$ 、 $y'$  を求める。

【0147】

次いで、図18に示すように、制御装置5は、第2マーカー72が画像30外に出ないように仮オフセット成分  $x'$ 、 $y'$  を基にしてロボットアーム10を駆動させ、撮像基準点O3（中心O30）を通る線分を回動中心軸として軸座標O6を所定の角度で回動させる。この図18に示すモバイルカメラ3および第6アーム16の状態を「第4状態」とする。

【0148】

次に、図19に示すように、制御装置5は、ロボットアーム10の駆動によりモバイルカメラ3および第6アーム16をロボット座標系における $x_r$ 軸および $y_r$ 軸を含む平面（基準面82の $x-y$ 平面）に平行な平面内に並進移動させ、画像30の中心O30に第2マーカー72を位置させる。この図19に示すモバイルカメラ3および第6アーム16の状態を「第5状態」とする。

【0149】

このような第1状態から第2状態、第3状態および第4状態を経て第5状態となるモバイルカメラ3および第6アーム16の移動は、図15に示す第1状態と図19に示す第5状態とを見ると、中心O30（撮像基準点O3）を通る線分を回動中心軸にして軸座標O6を回動させていることと同等であることが分かる。したがって、図20に示すように、第1状態から第2状態、第3状態および第4状態を経て第5状態となる移動は、中心O30（撮像基準点O3）を通る線分を回動中心軸として軸座標O6を回動角度  $\theta_1$  で移動させたことと等しい。それゆえ、回動角度  $\theta_1$  と、第1状態でのロボット座標系における軸座標O6の座標と、第5状態でのロボット座標系における軸座標O6の座標とに基づいて、ロボット座標系における撮像基準点O3の座標を求める。そして、求めたロボット座標系における撮像基準点O3の座標と、第1状態および第5状態のいずれか一方のロボット座標系における軸座標O6の座標とから、軸座標O6に対する撮像基準点O3のオフセット成分  $x$ 、 $y$  を求める。

【0150】

このような処理によれば、軸座標O6に対する撮像基準点O3のオフセット成分  $x$ 、 $y$  を容易かつ高精度に求めることができる。

【0151】

また、前述したように、本実施形態では、第1状態から第2状態を経て第3状態に移行する処理を行うことにより、仮オフセット成分  $x'$ 、 $y'$  を算出している。すなわち、第2マーカー72がモバイルカメラ3の画像30内（撮像領域内）に収まる範囲内の微小な角度で、第6アーム16を中心軸A6周りに回動させる処理を行うことで、仮オフセット成分  $x'$ 、 $y'$  を算出している。このような仮オフセット  $x'$ 、 $y'$  の情報を用いて第3状態から第4状態への移動を行うことで、第4状態において第2マーカー72を確実に画像30内に写すことができる。

【0152】

次に、図13に示すように、制御装置5は、軸座標O6に対する撮像基準点O3のオフセット成分  $z$  を求める（ステップS227）。以下、オフセット成分  $z$  を求める方法を、図21を参照しつつ説明する。なお、図21は、オフセット成分  $z$  を求める際のモバイルカメラ3および第6アーム16の過程を図示しており、説明の便宜上、図21中の実線で示すモバイルカメラ3が、「設計上のモバイルカメラ3」の位置を示しており、図21中の点線で示すモバイルカメラ3'が、「実際のモバイルカメラ3」の位置を示している。

【0153】

図21に示すように、まず、制御装置5は、例えば第2マーカー72がモバイルカメラ3'の画像の中心に写るようにロボットアーム10を駆動させて、図21に示す状態Aと

10

20

30

40

50

する。次いで、制御装置 5 は、モバイルカメラ 3' で第 2 マーカー 7 2 を撮像して、図 2 1 に示すモバイルカメラ 3 の受光面 3 1 1 と第 2 マーカー 7 2 との間の距離 H を求める。

【 0 1 5 4 】

ここで、本実施形態では、モバイルカメラ 3 の焦点距離は予め求められていて、既知である。このため、距離 H は、例えば、モバイルカメラ 3 の焦点距離と、モバイルカメラ 3 の画像におけるマーカー 7 5 同士のピッチの長さ「ピクセル」と、実際のマーカー 7 5 同士のピッチ「mm」とから算出することができる。

【 0 1 5 5 】

なお、モバイルカメラ 3 の焦点距離は、例えば、校正用部材 7 0 のマーカー 7 5 を写しながら、モバイルカメラ 3 を光軸 O A 3 方向（z r 方向）へ微小量だけ動かした場合における動作前後での、画像上のマーカー 7 5 同士のピッチの長さ「ピクセル」と、実際のマーカー 7 5 同士のピッチ「mm」とから求めることも可能である。

【 0 1 5 6 】

次いで、図 2 1 中の状態 B に示すように、制御装置 5 は、ロボットアーム 1 0 を駆動させて、モバイルカメラ 3' を設計上のオフセット成分 z を基に角度 2 だけ傾ける。

【 0 1 5 7 】

次いで、図 2 1 中の状態 C に示すように、制御装置 5 は、ロボットアーム 1 0 を駆動させて、状態 B のモバイルカメラ 3' の姿勢を保ったまま、第 2 マーカー 7 2 がモバイルカメラ 3' の画像の中心に写るようにモバイルカメラ 3' をロボット座標系における x r 軸および y r 軸を含む平面（基準面 8 2 の x - y 平面）に平行な面内に並進移動させる。そして、制御装置 5 は、このときのロボット座標系における軸座標 O 6 の移動距離 X'（具体的には、設計上のオフセット成分 z に基づく、基準面 8 2 の x - y 平面に平行な面内での撮像基準点 O 3 の移動距離）を求める。

【 0 1 5 8 】

次いで、制御装置 5 は、下記の式（1）より、モバイルカメラ 3' の実際のオフセット成分 z を求めるための補正量 H を求める。

【 0 1 5 9 】

【数 1】

$$\Delta H = \frac{X'}{\tan \theta 2} - H \quad \cdots (1)$$

【 0 1 6 0 】

次いで、制御装置 5 は、補正量 H と設計上のオフセット成分 z とを基に、実際のオフセット成分 z を求める。

【 0 1 6 1 】

このようにして、オフセット成分 z を求めることができる。このような処理によれば、オフセット成分 z を容易に算出することができる。

【 0 1 6 2 】

次に、図 1 3 に示すように、制御装置 5 は、設計上のオフセット成分から、求めた実際のオフセット成分 x、y、z、u、v、w にデータを更新する（ステップ S 2 2 8）。

以上にて、図 1 0 に示すオフセットを求める処理（ステップ S 2 2）が終了する。

【 0 1 6 3 】

[作業面を特定する処理（ステップ S 2 3）]

次に、図 1 0 に示すように、作業面を特定する処理（ステップ S 2 3）を行う。作業面を特定する処理（ステップ S 2 3）は、ロボット座標系における作業面 6 1 1 の位置および姿勢、すなわち、作業面 6 1 1 の成分 x r、y r、z r、u r、v r、w r を求める処理である。

## 【 0 1 6 4 】

ここで、作業面 6 1 1 は、基準面 8 2 に対して平行であり、基準面 8 2 の法線方向（ $z_r$  方向）にオフセットした位置にある。このため、この作業面を特定する処理（ステップ S 2 3）では、作業面 6 1 1 の基準面 8 2 に対する法線方向（ $z_r$  方向）のオフセット量を決定することにより、作業面 6 1 1 の成分  $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$ 、 $u_r$ 、 $v_r$ 、 $w_r$  を求めることができる。

## 【 0 1 6 5 】

作業面 6 1 1 の基準面 8 2 に対する法線方向（ $z_r$  方向）のオフセット量は、予め求めておいたモバイルカメラ 3 の焦点距離と、校正用部材 7 0 の隣り合うマーカ 7 5 のピッチの値（実寸）に対するモバイルカメラ 3 の画素数と、前述した実際のオフセット成分とに基づいて求めることができる。

10

## 【 0 1 6 6 】

このようにしてロボット座標系における作業面 6 1 1 の位置および姿勢を求めることで、ロボット 1 は作業面 6 1 1 上に載置された対象物に対して高精度に作業を行うことができる。

## 【 0 1 6 7 】

[ ロボットにマーカの位置および姿勢を教示する処理（ステップ S 2 4） ]

次に、図 1 0 に示すように、ロボット 1 にマーカの位置および姿勢を教示する処理（ステップ S 2 4）を行う。

## 【 0 1 6 8 】

ここでは、例えば、基準面 8 2（または作業面 6 1 1）の  $x - y$  平面における第 2 マーカ 7 2 のロボット座標をロボット 1 に教示する。

20

## 【 0 1 6 9 】

具体的には、まず、制御装置 5 は、前述したオフセット成分を求める処理（ステップ S 2 2）にて算出した軸座標 O 6 に対する撮像基準点 O 3 の位置および光軸 O A 3 の方向のオフセット成分を基にして、基準面 8 2 の  $z$  軸にモバイルカメラ 3 の光軸 O A 2 を揃える。その後、制御装置 5 は、ロボットアーム 1 0 の駆動により、基準面 8 2 の  $x - y$  平面に平行な面内にモバイルカメラ 3 を並進移動させ、第 2 マーカ 7 2 をモバイルカメラ 3 の画像中心に合わせる。そして、制御装置 5 は、第 2 マーカ 7 2 をモバイルカメラ 3 の画像中心に合わせた際のモバイルカメラ 3 の撮像基準点 O 3 の位置を第 2 マーカ 7 2 のロボット座標として教示する。

30

## 【 0 1 7 0 】

なお、例えば、軸座標 O 6 におけるオフセットが既知である教示専用ツール（タッチアップ用ハンド）を第 2 マーカ 7 2 に接触させることにより、ロボット 1 に第 2 マーカ 7 5 の位置および姿勢を教示してもよい。ただし、モバイルカメラ 3 で第 2 マーカ 7 2 の画像を撮像することにより、ロボット 1 に第 2 マーカ 7 2 の位置および姿勢を教示する方が、例えば校正用部材 7 0 の材質等によらずに第 2 マーカ 7 2 を高精度に教示することができるため、好ましい。

## 【 0 1 7 1 】

[ モバイルカメラの画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップ S 2 5） ]

40

次に、図 1 0 に示すように、モバイルカメラの画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップ S 2 5）を行う。

## 【 0 1 7 2 】

モバイルカメラの画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップ S 2 5）は、前述した固定カメラの画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップ S 1 2）と、作業面 6 1 1 上に配置された校正用部材 7 0 を用いて基準面を特定すること、および、ロボットアーム 1 0 を駆動させて、作業面 6 1 1 上に配置された校正用部材 7 0 の第 2 マーカ 7 2（ロボット座標が既知であるマーカ）を、モバイルカメラ 3 を 9 箇所に移動させながら 9 回撮像すること以外は、同様である。

50



## 【0173】

したがって、モバイルカメラ3の画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップS25）が終了すると、9つの画像に基づいたモバイルカメラ3の画像座標系における第2マーカー72の座標（成分 $x_b$ 、 $y_b$ 、 $u_b$ ）と、前述したステップS21で求めたロボット座標系における基準面82の座標（成分 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $u_r$ ）とに基づいて、固定カメラ2の画像座標をロボット座標系における基準面82の座標に変換する補正パラメーター（座標変換行列）を求めることができる。

## 【0174】

このようにして求めた補正パラメーターを用いれば、モバイルカメラ3で撮像した対象物等の位置および姿勢（具体的には、成分 $x_b$ 、 $y_b$ 、 $u_b$ ）をロボット座標系における値（具体的には、成分 $x_r$ 、 $y_r$ 、 $u_r$ ）に変換することができる。

10

## 【0175】

なお、前述したように、モバイルカメラの画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップS25）は、前述した固定カメラ2の画像座標系とロボット座標系との関係を求める処理（ステップS12）とほぼ同様であるため、その詳細な説明（処理内容および効果）を省略する。

以上により、図4に示す撮像部の校正が終了する。

## 【0176】

このような撮像部の校正方法によれば、固定カメラ2およびモバイルカメラ3でそれぞれ撮像した画像を基にして基準面81、82の姿勢を求めることができるため、従来のように作業者による判断を省くことができる。そのため、人為的な誤差や、作業者によるバラツキを低減することができ、よって、高精度な校正ができる。

20

## 【0177】

<第2実施形態>

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

## 【0178】

図22は、本発明の第2実施形態に係るロボットシステムを用いた撮像部の校正で使用する校正用部材の平面図である。図23は、第2実施形態における基準面を特定する処理における第1マーカーと第nマーカーとの比較を説明するための図である。

## 【0179】

本実施形態に係るロボットシステムを用いた撮像部の校正方法は、校正用部材の構成、および、基準面を特定する処理の一部が異なること以外は、前述した第1実施形態と同様である。

30

## 【0180】

なお、以下の説明では、第2実施形態に関し、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図22および図23では、それぞれ、前述した実施形態と同様の構成について、同一符号を付している。

## 【0181】

図22に示す校正用部材70Aの表面701Aには、複数のマーカー75が付されている。これら複数のマーカー75のうちの図22中の左側に位置する9つのマーカー75と、図22中の右側に位置する9つのマーカー75と、図22中の下側に位置する9つのマーカー75と、図22中の上側に位置する9つのマーカー75とには、それぞれ、9つのマーカー75を囲む四角形の枠がさらに付されている。これら9つのマーカー75とそれを囲む四角形の枠とで構成されたマーカーのうち、図22中の左側に位置するマーカーを「第1マーカー76」とし、図22中の右側に位置するマーカーを「第2マーカー77」とし、図22中の下側に位置するマーカーを「第3マーカー78」とし、図22中の上側に位置するマーカーを「第4マーカー79」とする。このような第1マーカー76、第2マーカー77、第3マーカー78および第4マーカー79は、それぞれ、基準マーカーとして用いられる。

40

## 【0182】

50

## 〔基準面を特定する処理（ステップS 1 1）〕

本実施形態では、図8に示すステップS 1 1 4において、固定カメラ2で撮像した第2マーカー77の画像を「第1画像」として記憶部54に記憶し、かつ、第1画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標O 6の座標を記憶部54に記憶する。

## 【0183】

また、ステップS 1 1 7において、ステップS 1 1 6で固定カメラ2が撮像した第2マーカー77が有する複数のマーカー75同士のピッチPと、記憶部54に記憶した第1画像における第2マーカー77が有する複数のマーカー75同士のピッチPとを比較する。例えば、図23に示すように、図23中の2点鎖線で示す第2マーカー77（第nマーカー）が有する複数のマーカー75同士のピッチPが、図23中の実線で示す第1画像における第2マーカー77が有する複数のマーカー75同士のピッチPと異なり、そのピッチPの差が所定の閾値内でない場合には、所定の閾値内になるようにロボットアーム10の駆動により校正用部材70をz r軸方向に並進移動させる（ステップS 1 1 9）。

10

## 【0184】

次いで、制御装置5は、ピッチPの差が所定の閾値内であると判断したら、ステップS 1 1 1 0において、固定カメラ2で撮像した第2マーカー77の画像を「第2画像（第n画像）」として記憶部54に記憶し、かつ、第2画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標O 6の座標を記憶部54に記憶する。

## 【0185】

ここで、本実施形態では、固定カメラ2で3つの画像（第1画像、第2画像および第3画像）を撮像することを予め設定している。そのため、本実施形態では、固定カメラ2で第2画像を撮像した後に、さらにもう2回、ステップS 1 1 5からステップS 1 1 1 0を行い、ロボットアーム10の駆動により校正用部材70を移動させ、固定カメラ2で撮像した第2マーカー77の画像を「第3画像」として記憶部54に記憶し、かつ、第3画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標O 6の座標を記憶部54に記憶する。

20

## 【0186】

このように、本実施形態では、第1画像における第2マーカー77が有するマーカー75同士のピッチ（第1間隔）と、第2画像における第2マーカー77が有するマーカー75同士のピッチ（第2間隔）と、第3画像における第2マーカー77が有するマーカー75同士のピッチ（第3間隔）と、が互いに等しくなるように第1画像、第2画像および第3画像を撮像している。これにより、各画像におけるマーカー75同士のピッチに基づいて、基準面81の姿勢を求めることができる。ここで、第1実施形態のように、各画像上の第2マーカー77の大きさを用いる方法では、固定カメラ2の合焦度合により画像上の第2マーカー77の大きさが変化しやすい。これに対し、本実施形態のように、マーカー75同士のピッチ（マーカー75の重心間の距離）を用いる方法によれば、合焦度合によらず、基準面81をより正確に求めることができる。

30

## 【0187】

## 〔基準面を特定する処理（ステップS 2 1）〕

本実施形態では、図12に示すステップS 2 1 4において、モバイルカメラ3で撮像した第1マーカー76の画像を「第1画像」として記憶部54に記憶し、かつ、第1画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標O 6の座標を記憶部54に記憶する。

40

## 【0188】

また、ステップS 2 1 7において、ステップS 2 1 6でモバイルカメラ3が撮像した第2マーカー77が有する複数のマーカー75同士のピッチPと、記憶部54に記憶した第1画像における第1マーカー76が有する複数のマーカー75同士のピッチPとを比較する。ピッチPの差が所定の閾値内でない場合には、所定の閾値内になるようにロボットアーム10の駆動によりモバイルカメラ3を校正用部材70に対してz r軸方向に並進移動させる（ステップS 2 1 9）。

## 【0189】

次いで、制御装置5は、ピッチPの差が所定の閾値内であると判断したら、ステップS

50

2 1 1 0において、モバイルカメラ3で撮像した第2 マーカー 7 7の画像を「第2 画像（第n 画像）」として記憶部5 4に記憶し、かつ、第2 画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標0 6の座標を記憶部5 4に記憶する。

【0 1 9 0】

ここで、本実施形態では、固定カメラ2で4つの画像（第1 画像、第2 画像、第3 画像および第4 画像）を撮像することを予め設定している。そのため、本実施形態では、固定カメラ2で第2 画像を撮像した後に、さらにもう2回、ステップS 2 1 5からステップS 2 1 1 0を行う。したがって、本実施形態では、モバイルカメラ3で撮像した第3 マーカー 7 8の画像を「第3 画像」として記憶部5 4に記憶し、かつ、第3 画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標0 6の座標を記憶部5 4に記憶する。また、モバイルカメラ3で撮像した第4 マーカー 7 9の画像を「第4 画像」として記憶部5 4に記憶し、かつ、第4 画像を撮像した際のロボット座標系における軸座標0 6の座標を記憶部5 4に記憶する。ここで、本実施形態におけるモバイルカメラ3における基準面を特定する処理（ステップS 2 1）では、第4 マーカー 7 9を「第4 基準マーカー」とする。

【0 1 9 1】

このように、本実施形態では、第1 画像における第1 マーカー 7 6が有するマーカー 7 5同士のピッチ（第1 間隔）と、第2 画像における第2 マーカー 7 7が有するマーカー 7 5同士のピッチ（第2 間隔）と、第3 画像における第3 マーカー 7 8が有するマーカー 7 5同士のピッチ（第3 間隔）と、第4 画像における第4 マーカー 7 9が有するマーカー 7 5同士のピッチ（第4 間隔）と、が互いに等しくなるように第1 画像、第2 画像、第3 画像および第4 画像を撮像している。これにより、各画像におけるマーカー 7 5同士のピッチに基づいて、基準面8 1の姿勢を求めることができる。

【0 1 9 2】

また、第1 間隔、第2 間隔、第3 間隔および第4 間隔が等しい校正用部材7 0 Aを用いて、第1 画像における第1 間隔、第2 画像における第2 間隔、第3 画像における第3 間隔および第4 画像における第4 間隔が等しくなるように第1 画像、第2 画像、第3 画像および第4 画像を撮像することで、表面7 0 1に平行な基準面8 2を容易かつ迅速に求めることができる。

【0 1 9 3】

なお、本実施形態では、第1 間隔、第2 間隔、第3 間隔および第4 間隔が全て等しいが、これらの間隔（ピッチ）の関係が既知であれば、これらの間隔（ピッチ）はそれぞれ異なってもよい。その場合には、第1 間隔、第2 間隔、第3 間隔および第4 間隔のそれぞれの間隔（ピッチ）の関係に基づいて、表面7 0 1に平行な基準面8 2を求めることができる。

【0 1 9 4】

また、図2 2に示すように、校正用部材7 0 Aに付された第1 マーカー 7 6、第2 マーカー 7 7、第3 マーカー 7 8および第4 マーカー 7 9は、第1 マーカー 7 6と第2 マーカー 7 7とを通る第1 直線7 X Aと、第3 マーカー 7 8と第4 マーカー 7 9とを通る第2 直線7 Y Aとが交差するように配置されている。したがって、第1 画像を撮像した際のロボット座標系における第1 マーカー 7 6の座標と第2 画像を撮像した際のロボット座標系における第2 マーカー 7 7の座標とから第1 直線7 X Aを求め、第3 画像を撮像した際のロボット座標系における第3 マーカー 7 8の座標と第4 画像を撮像した際のロボット座標系における第4 マーカー 7 9の座標とから第2 直線7 Y Aを求め、求めた第1 直線7 X Aおよび第2 直線7 Y Aに基づいて、基準面8 2の原点7 0 0およびx 軸、y 軸、z 軸の各方向を求めることができる。このように基準面8 2の原点7 0 0およびx 軸、y 軸、z 軸の各方向を特定することで、作業者が基準面8 2の位置を把握し易くなる。

【0 1 9 5】

< 第3 実施形態 >

次に、本発明の第3 実施形態について説明する。

【0 1 9 6】

図24は、本発明の第3実施形態に係るロボットシステムを用いた撮像部の校正で使用する校正用部材の平面図である。

【0197】

本実施形態に係るロボットシステムを用いた撮像部の校正方法は、校正用部材の構成が異なること以外は、前述した第1実施形態と同様である。

【0198】

なお、以下の説明では、第3実施形態に関し、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図24では、それぞれ、前述した実施形態と同様の構成について、同一符号を付している。

【0199】

図24に示す校正用部材70Bの表面701Bには、第1マーカ71B、第2マーカ72Bおよび第3マーカ73Bが付されている。

【0200】

このような3つの第1マーカ71B、第2マーカ72Bおよび第3マーカ73Bが付された校正用部材70Bによっても、前述した第2実施形態におけるモバイルカメラ3の基準面を特定する処理(ステップS21)と同様に、第1画像を撮像した際のロボット座標系における第1マーカ71Bの座標と第2画像を撮像した際のロボット座標系における第2マーカ72Bの座標とから第1直線7XBを求め、第1画像を撮像した際のロボット座標系における第1マーカ71Bの座標と第3画像を撮像した際のロボット座標系における第3マーカ73Bの座標とから第2直線7YBを求める。そして、第1マーカ71Bを原点とした基準面82のx軸、y軸、z軸の各方向を求めることができる。

【0201】

以上、本発明の制御装置、ロボットおよびロボットシステムを、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。また、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、本発明は、前記各実施形態のうちの、任意の2以上の構成(特徴)を組み合わせたものであってもよい。

【0202】

また、前記実施形態では、6軸の垂直多関節ロボットを用いた場合を例に説明したが、本発明におけるロボットは、垂直多関節ロボット以外のロボット、例えば水平多関節ロボット等であってもよい。なお、水平多関節ロボットとは、例えば、基台と、基台に接続され、水平方向に延びている第1アームと、第1アームに接続され、水平方向に延びる部分を有する第2アームとを有する構成である。また、本発明におけるロボットが水平多関節ロボットである場合、前述したような校正を行うことで、例えば、ロボットが作業面に対して平行に設置されているか否かや、固定カメラの光軸がロボット座標系におけるxr軸およびyr軸を含む面に対して鉛直になるように固定カメラが設置されているか否か等を把握することができる。

【0203】

また、前記実施形態では、ロボットが有するロボットアームの回転軸の数は、6つであるが、本発明では、これに限定されず、ロボットアームの回転軸の数は、例えば、2つ、3つ、4つ、5つまたは7つ以上でもよい。また、前記実施形態では、ロボットが有するアームの数は、6つであるが、本発明では、これに限定されず、ロボットが有するアームの数は、例えば、2つ、3つ、4つ、5つ、または、7つ以上でもよい。

【0204】

また、前記実施形態では、ロボットが有するロボットアームの数は、1つであるが、本発明では、これに限定されず、ロボットが有するロボットアームの数は、例えば、2つ以上でもよい。すなわち、ロボットは、例えば、双腕ロボット等の複数腕ロボットであってもよい。

【0205】

また、前記実施形態では、撮像部としての固定カメラおよびモバイルカメラは、それぞれ、撮像素子およびレンズを有する構成であったが、本発明における撮像部は、第1マーカ、第2マーカおよび第3マーカを撮像することができる構成であればいかなる構成であってもよい。

#### 【0206】

また、前記実施形態では、校正用部材を用いて固定カメラの校正を行ったが、固定カメラの校正では、校正用部材を用いなくてもよい。校正用部材を用いない場合には、例えば、ロボットアームの先端部（軸座標）に1つのマーカを付して、その1つのマーカを基準マーカとして用いればよい。この場合には、1つのマーカを「第1基準マーカ、第2基準マーカおよび第3基準マーカ」と捉える。

10

#### 【符号の説明】

#### 【0207】

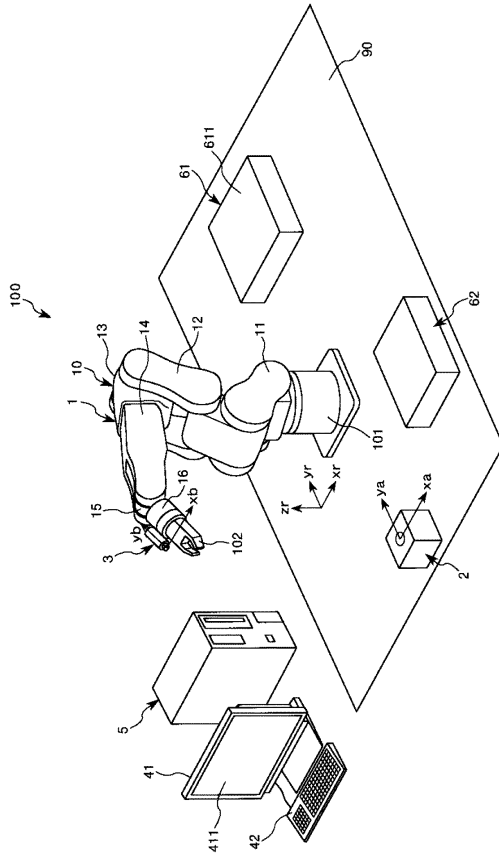
1...ロボット、2...固定カメラ、3...モバイルカメラ、3'...モバイルカメラ、5...制御装置、7XA...第1直線、7XB...第1直線、7YA...第2直線、7YB...第2直線、10...ロボットアーム、11...第1アーム、12...第2アーム、13...第3アーム、14...第4アーム、15...第5アーム、16...第6アーム、21...撮像素子、22...レンズ、30...画像、31...撮像素子、32...レンズ、41...表示機器、42...操作機器、51...駆動制御部、52...情報取得部、53...処理部、54...記憶部、61...作業台、62...供給台、70...校正用部材、70A...校正用部材、70B...校正用部材、71...第1マーカ、71B...第1マーカ、72...第2マーカ、72B...第2マーカ、73...第3マーカ、73B...第3マーカ、75...マーカ、76...第1マーカ、77...第2マーカ、78...第3マーカ、79...第4マーカ、70O...原点、81...基準面、82...基準面、90...作業領域、100...ロボットシステム、101...基台、102...ハンド、111...回動軸部材、120...モータドライバ、121...回動軸部材、130...駆動部、131...回動軸部材、141...回動軸部材、151...回動軸部材、161...回動軸部材、211...受光面、311...受光面、411...モニター、611...作業面、701...表面、701A...表面、701B...表面、A...状態、A6...中心軸、B...状態、C...状態、H...距離、O2...撮像基準点、O3...撮像基準点、O30...中心、O6...軸座標、OA2...光軸、OA3...光軸、P...ピッチ、P1、P2、P3、P4...ピッチ、P1'、P2'、P3'、P4'...ピッチ、S1...ステップ、S11...ステップ、S111...ステップ、S1110...ステップ、S1111...ステップ、S1112...ステップ、S1113...ステップ、S112...ステップ、S113...ステップ、S114...ステップ、S115...ステップ、S116...ステップ、S117...ステップ、S118...ステップ、S119...ステップ、S12...ステップ、S2...ステップ、S21...ステップ、S22...ステップ、S221...ステップ、S222...ステップ、S223...ステップ、S224...ステップ、S225...ステップ、S226...ステップ、S227...ステップ、S228...ステップ、S23...ステップ、S24...ステップ、S25...ステップ、S211...ステップ、S212...ステップ、S213...ステップ、S214...ステップ、S215...ステップ、S216...ステップ、S217...ステップ、S218...ステップ、S219...ステップ、S2110...ステップ、S2111...ステップ、S2112...ステップ、S2113...ステップ、TCP...ツールセンターポイント、X'...ロボット移動距離、H...補正量、1...回動角度、10...回動角度、2...角度

20

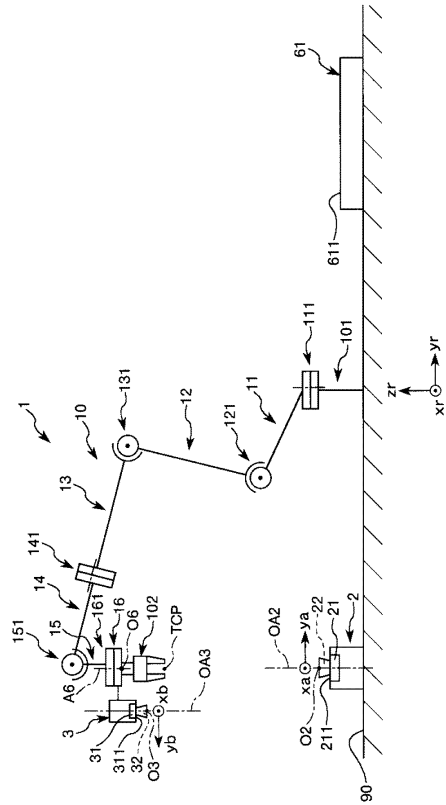
30

40

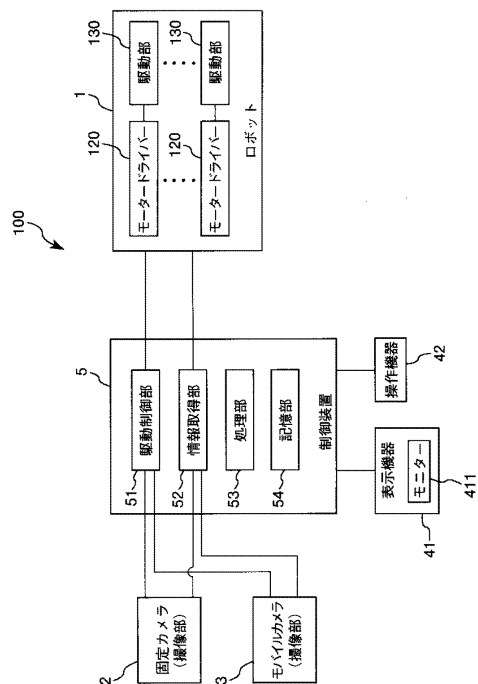
【 図 1 】



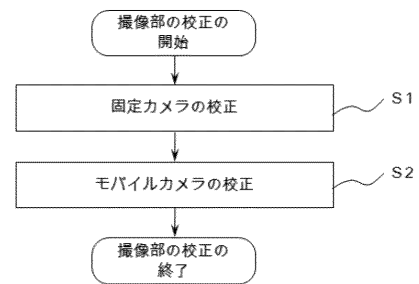
【 図 2 】



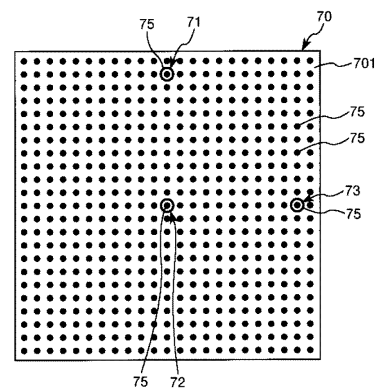
【 図 3 】



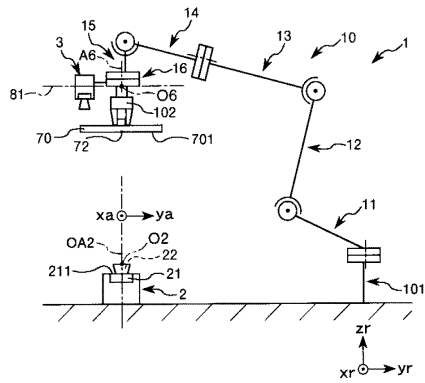
【 圖 4 】



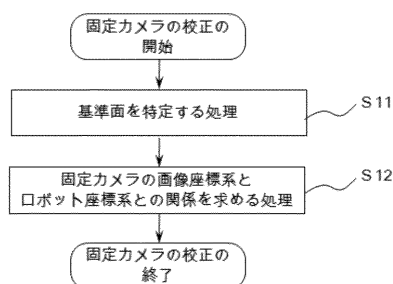
【 図 5 】



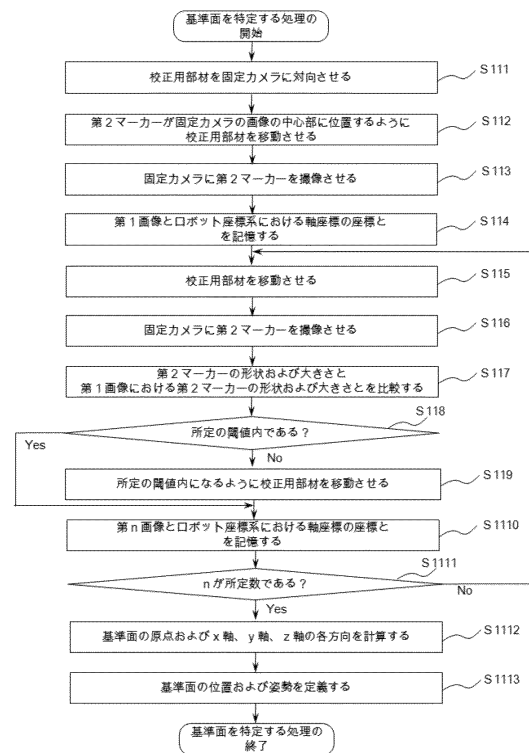
【図 6】



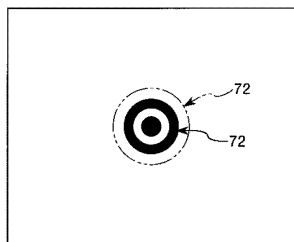
【図 7】



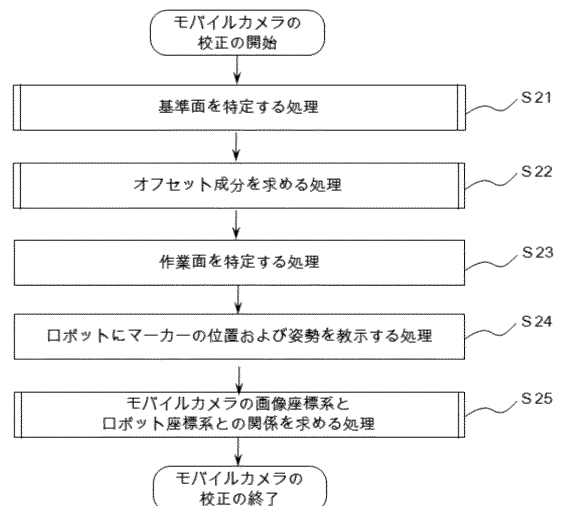
【図 8】



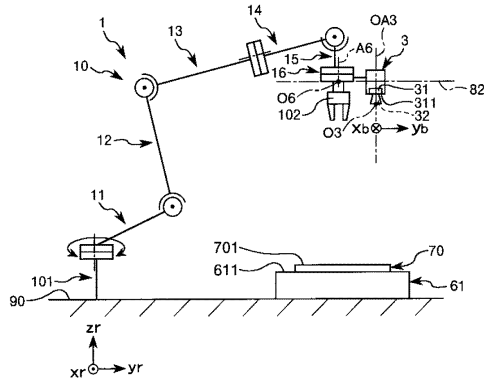
【図 9】



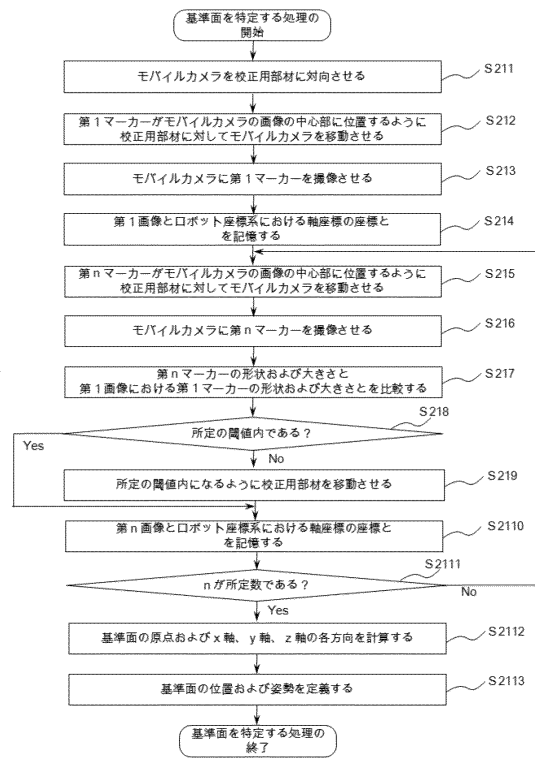
【図 10】



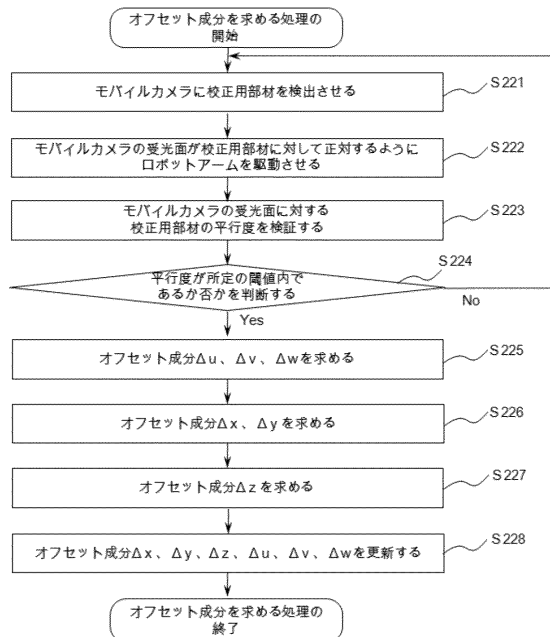
【図 1 1】



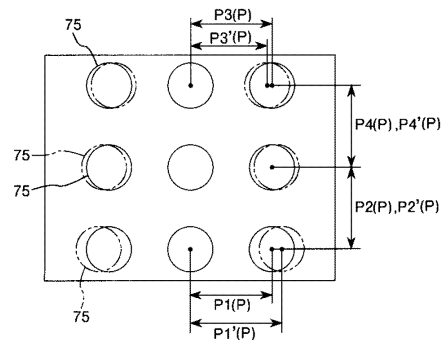
【図 1 2】



【図 1 3】

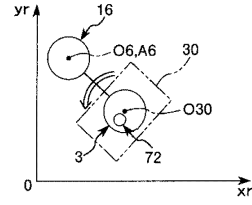


【図 1 4】

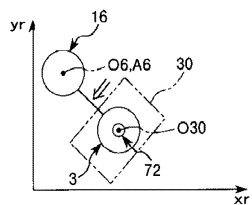




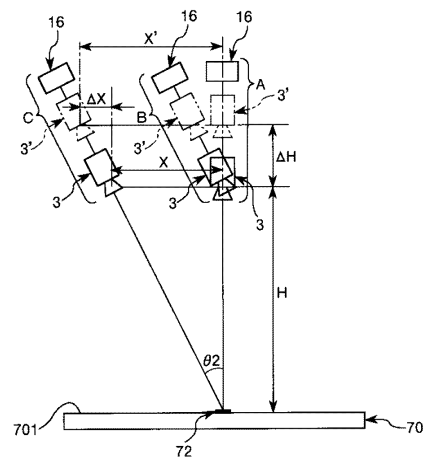
【 図 1 8 】



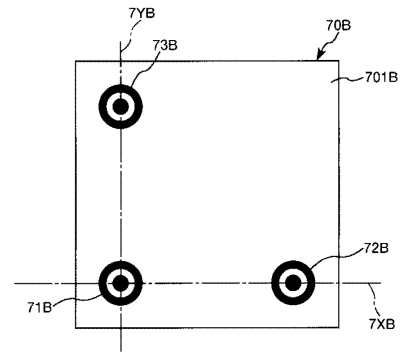
【 図 1 9 】



【 図 2 1 】



【 図 2 4 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 山口 如洋  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 阿部 弘光  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 貞光 大樹

- (56)参考文献 特開2014-180720(JP,A)  
特開平8-210816(JP,A)  
特開2006-110705(JP,A)  
特開2005-201824(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B25J 1/00 - 21/02