

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-25578

(P2019-25578A)

(43) 公開日 平成31年2月21日(2019.2.21)

(51) Int.Cl.
B25J 13/08 (2006.01)F I
B25J 13/08テーマコード (参考)
3C707

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2017-146229 (P2017-146229)
(22) 出願日 平成29年7月28日 (2017.7.28)(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(74) 代理人 100116665
弁理士 渡辺 和昭
(74) 代理人 100179475
弁理士 仲井 智至
(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 説田 信之
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

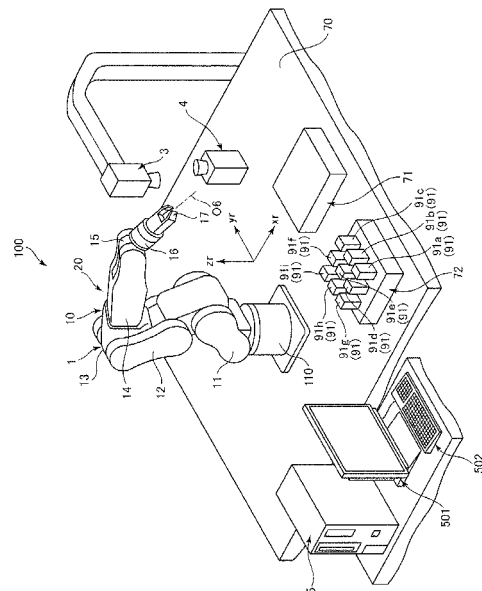
(54) 【発明の名称】 制御装置、ロボットシステムおよび制御方法

(57) 【要約】

【課題】 作業者にとっての使い勝手に優れた制御装置、ロボットシステムおよび制御方法を提供すること。

【解決手段】 撮像可能な第1撮像部からの第1撮像画像に関する情報を受け付ける受付部と、前記情報に基づいて、作業対象物を保持可能な可動部を有するロボットの駆動に関する指令を実行可能な制御部と、を備え、前記制御部は、前記ロボットに関する座標系であるロボット座標系と、前記第1撮像画像に関する座標系である第1画像座標系と、の対応付けを実行可能であり、前記第1撮像部の撮像領域内の複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物を保持している前記可動部の所定部位の前記ロボット座標系における座標と、前記複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物の前記第1画像座標系における座標とに基づいて、前記対応付けを行うことを特徴とする制御装置。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

撮像可能な第 1 撮像部からの第 1 撮像画像に関する情報を受け付ける受付部と、
前記情報に基づいて、作業対象物を保持可能な可動部を有するロボットの駆動に関する指令を実行可能な制御部と、を備え、

前記制御部は、前記ロボットに関する座標系であるロボット座標系と、前記第 1 撮像画像に関する座標系である第 1 画像座標系と、の対応付けを実行可能であり、前記第 1 撮像部の撮像領域内の複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物を保持している前記可動部の所定部位の前記ロボット座標系における座標と、前記複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物の前記第 1 画像座標系における座標とに基づいて、前記対応付けを行うことを特徴とする制御装置。

10

【請求項 2】

前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記作業対象物が前記撮像領域内における第 1 位置にあるときに撮像された前記第 1 撮像画像と、前記作業対象物が前記撮像領域内における前記第 1 位置とは異なる第 2 位置にあるときに撮像された前記第 1 撮像画像とを用いる請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 3】

前記作業対象物は、第 1 作業対象物と、前記第 1 作業対象物とは異なる第 2 作業対象物とを含み、

前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記第 1 作業対象物が前記撮像領域内における第 1 位置にあるときに撮像された前記第 1 撮像画像と、前記第 2 作業対象物が前記撮像領域内における前記第 1 位置とは異なる第 2 位置にあるときに撮像された前記第 1 撮像画像とを用いる請求項 1 に記載の制御装置。

20

【請求項 4】

前記作業対象物は、第 1 作業対象物と、前記第 1 作業対象物とは異なる第 2 作業対象物とを含み、

前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記第 1 作業対象物が前記撮像領域内における第 1 位置にあり、かつ、前記第 2 作業対象物が前記撮像領域内における前記第 1 位置とは異なる第 2 位置にあるときに撮像された前記第 1 撮像画像を用いる請求項 1 に記載の制御装置。

30

【請求項 5】

前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記作業対象物を前記可動部で保持している状態での前記所定部位の前記ロボット座標系における座標を求め、前記可動部を前記作業対象物から離脱させた後、前記作業対象物の前記第 1 撮像画像における座標を求める請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 6】

前記受付部は、前記作業対象物が配置されている作業台を撮像可能に設けられた前記第 1 撮像部と通信可能である請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 7】

前記受付部は、撮像可能で前記第 1 撮像部とは異なる第 2 撮像部からの第 2 撮像画像に関する情報を受け付けることが可能であり、

前記制御部は、前記ロボット座標系と前記第 2 撮像画像に関する座標系である第 2 画像座標系との座標変換が可能であり、前記座標変換を基にして前記所定部位に対する前記作業対象物の位置を求める請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の制御装置。

40

【請求項 8】

前記受付部は、前記可動部により保持された状態の前記作業対象物を撮像可能に設けられた前記第 2 撮像部と通信可能である請求項 7 に記載の制御装置。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の制御装置と、前記制御装置により制御されるロボットと、を有することを特徴とするロボットシステム。

50

【請求項 10】

作業対象物を保持可能な可動部を有するロボットに関する座標系であるロボット座標系と、撮像可能な第1撮像部から第1撮像画像に関する座標系である第1画像座標系と、の対応付けを行うステップと、

前記対応付けの結果と、前記第1撮像部からの前記第1撮像画像に関する情報とに基づいて、前記ロボットを駆動させるステップと、を有し、

前記対応付けを行うステップでは、前記第1撮像部の撮像領域内の複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物を保持している前記可動部の所定部位の前記ロボット座標系における座標と、前記複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物の前記第1画像座標系における座標とに基づいて、前記対応付けを行うことを特徴とする制御方法。

10

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、制御装置、ロボットシステムおよび制御方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来から、作業対象物に対して作業を行うロボットと、作業対象物を撮像可能なカメラ（撮像部）とを有す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では、カメラで撮像した画像を基にして、ロボットは実空間内における各種作業を行うことができる。画像を基にしてロボットが作業するためには、カメラで撮像した画像の画像座標系と、ロボットの制御の基準となるロボット座標系とのキャリブレーション（対応付け）が必要である。例えば、カメラで撮像した2次元画像での画像座標系と、ロボットが作業を行う作業台表面の2次元空間におけるロボット座標系とのキャリブレーションが必要である。

20

【0003】

特許文献1には、複数のマーカーが付されたマーカーボードを用いたキャリブレーションの方法が開示されている。かかる方法は、1つのマーカーのロボット座標での位置情報とカメラの画像座標での位置情報とを取得して、これら2つの位置情報を結び付けることで、ロボット座標系と画像座標系とのキャリブレーションを行う方法である。

【先行技術文献】

30

【特許文献】**【0004】**

【特許文献1】特開2016-187845号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

しかし、従来の方法では、マーカーボード等の専用の部材を用意しなければならず、作業者にとっては手間であった。

【0006】

また、2次元画像での画像座標系と、作業台の表面の2次元空間におけるロボット座標系とのキャリブレーションでは、作業台上の高さ方向におけるキャリブレーションを行っていない。それゆえ、マーカーボードの高さと作業対象物の高さとが一致していないと、キャリブレーションの結果を用いてロボットに適切な作業を行わせることが難しい。そのため、作業者は作業対象物の高さに応じたマーカーボードを用意する必要があり、作業者にとっては使い勝手がよくないという問題があった。

40

【課題を解決するための手段】**【0007】**

本発明は、前述した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、以下により実現することが可能である。

【0008】

50

本適用例の制御装置は、撮像可能な第1撮像部からの第1撮像画像に関する情報を受け付ける受付部と、前記情報に基づいて、作業対象物を保持可能な可動部を有するロボットの駆動に関する指令を実行可能な制御部と、を備え、前記制御部は、前記ロボットに関する座標系であるロボット座標系と、前記第1撮像画像に関する座標系である第1画像座標系と、の対応付けを実行可能であり、前記第1撮像部の撮像領域内の複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物を保持している前記可動部の所定部位の前記ロボット座標系における座標と、前記複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物の前記第1画像座標系における座標とに基づいて、前記対応付けを行うことを特徴とする。

【0009】

このような制御装置によれば、作業対象物を用いてキャリブレーション（対応付け）を行うことができるため、キャリブレーション用の専用部材を用意する手間を省くことができ、作業者の使い勝手を向上させることができる。また、より正確なキャリブレーションが可能である。また、キャリブレーションの結果を用いることで、作業対象物に対する実際の作業をロボットにより的確に行わせることができる。

【0010】

本適用例の制御装置では、前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記作業対象物が前記撮像領域内における第1位置にあるときに撮像された前記第1撮像画像と、前記作業対象物が前記撮像領域内における前記第1位置とは異なる第2位置にあるときに撮像された前記第1撮像画像とを用いることが好ましい。

【0011】

これにより、1つの第1撮像部でキャリブレーションを迅速かつ容易に、また、より正確に行うことができる。

【0012】

本適用例の制御装置では、前記作業対象物は、第1作業対象物と、前記第1作業対象物とは異なる第2作業対象物とを含み、前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記第1作業対象物が前記撮像領域内における第1位置にあるときに撮像された前記第1撮像画像と、前記第2作業対象物が前記撮像領域内における前記第1位置とは異なる第2位置にあるときに撮像された前記第1撮像画像とを用いることが好ましい。

【0013】

このように複数の作業対象物を用いたキャリブレーションを行うことが可能であり、よって、キャリブレーション用の専用部材を用いる手間を省くことができる。

【0014】

本適用例の制御装置では、前記作業対象物は、第1作業対象物と、前記第1作業対象物とは異なる第2作業対象物とを含み、前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記第1作業対象物が前記撮像領域内における第1位置にあり、かつ、前記第2作業対象物が前記撮像領域内における前記第1位置とは異なる第2位置にあるときに撮像された前記第1撮像画像を用いることが好ましい。

【0015】

これにより、各位置ごとに撮像した第1撮像画像を用いる場合に比べて、キャリブレーションをより迅速に行うことができる。

【0016】

本適用例の制御装置では、前記制御部は、前記対応付けにおいて、前記作業対象物を前記可動部で保持している状態での前記所定部位の前記ロボット座標系における座標を求め、前記可動部を前記作業対象物から離脱させた後、前記作業対象物の前記第1撮像画像における座標を求めることが好ましい。

【0017】

これにより、キャリブレーションを的確かつ迅速に、また、より正確に行うことができる。また、キャリブレーションをより精度良く行うことができる。

【0018】

本適用例の制御装置では、前記受付部は、前記作業対象物が配置されている作業台を撮

10

20

30

40

50

像可能に設けられた前記第 1 撮像部と通信可能であることが好ましい。

【0019】

これにより、作業台上に載置された作業対象物を撮像でき、作業対象物を撮像した第 1 撮像画像を用いてキャリブレーションを的確に行うことができる。さらに、ロボットによる作業対象物に対する作業を行うときにも、第 1 撮像画像を用いてロボットに作業を適切に行わせることができる。

【0020】

本適用例の制御装置では、前記受付部は、撮像可能で前記第 1 撮像部とは異なる第 2 撮像部からの第 2 撮像画像に関する情報を受け付けることが可能であり、前記制御部は、前記ロボット座標系と前記第 2 撮像画像に関する座標系である第 2 画像座標系との座標変換が可能であり、前記座標変換を基にして前記所定部位に対する前記作業対象物の位置を求めることが好ましい。

10

【0021】

これにより、所定部位に対する作業対象物の位置が未知な状態でも、第 1 画像座標系とロボット座標系との対応付けを適切かつ容易に行うことができる。

【0022】

本適用例の制御装置では、前記受付部は、前記可動部により保持された状態の前記作業対象物を撮像可能に設けられた前記第 2 撮像部と通信可能であることが好ましい。

【0023】

これにより、所定部位に対する作業対象物の位置を効率良く求めることができる。

20

【0024】

本適用例のロボットシステムは、本適用例の制御装置と、前記制御装置により制御されるロボットと、を有することを特徴とする。

【0025】

このようなロボットシステムによれば、作業者の使い勝手を向上させることができる。また、ロボットは作業対象物に対する作業をよりの確に、また迅速かつ正確に行うことができる。

【0026】

本適用例の制御方法は、作業対象物を保持可能な可動部を有するロボットに関する座標系であるロボット座標系と、撮像可能な第 1 撮像部から第 1 撮像画像に関する座標系である第 1 画像座標系と、の対応付けを行うステップと、前記対応付けの結果と、前記第 1 撮像部からの前記第 1 撮像画像に関する情報とに基づいて、前記ロボットを駆動させるステップと、を有し、前記対応付けを行うステップでは、前記第 1 撮像部の撮像領域内の複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物を保持している前記可動部の所定部位の前記ロボット座標系における座標と、前記複数の位置のそれぞれにあるときの前記作業対象物の前記第 1 画像座標系における座標とに基づいて、前記対応付けを行うことを特徴とする。

30

【0027】

このような制御方法によれば、作業者の使い勝手を向上させることができる。また、ロボットは作業対象物に対する作業をよりの確に、また迅速かつ正確に行うことができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】第 1 実施形態に係るロボットシステムを示す図である。

【図 2】図 1 に示すロボットシステムの概略図である。

【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】制御装置によるロボットの制御方法を示すフロー図である。

【図 5】対象物の一例を示す図である。

【図 6】キャリブレーションの流れを示すフロー図である。

【図 7】図 6 中のステップ S 1 1 を説明するための図である。

【図 8】図 6 中のステップ S 1 1 を説明するための図である。

50

【図 9】図 6 中のステップ S 1 2 を説明するための図である。

【図 10】第 1 撮像画像を示す図である。

【図 11】図 6 中のステップ S 1 4 を説明するための図である。

【図 12】第 1 撮像画像を示す図である。

【図 13】第 1 撮像画像を示す図である。

【図 14】第 1 撮像画像を示す図である。

【図 15】複数の対象物を用いたキャリブレーションの一例を示すフロー図である。

【図 16】第 1 撮像画像を示す図である。

【図 17】第 2 実施形態におけるキャリブレーションの流れを示すフロー図である。

【図 18】図 17 に示すステップ S 2 1 における第 1 撮像画像を示す図である。

10

【図 19】図 17 に示すステップ S 2 2 における第 1 撮像画像を示す図である。

【図 20】第 3 実施形態に係るロボットシステムを示す図である。

【図 21】キャリブレーションの流れを示すフロー図である。

【図 22】図 21 に示すステップ S 2 3 における第 1 撮像画像を示す図である。

【図 23】図 21 に示すステップ S 2 4 における第 1 撮像画像を示す図である。

【図 24】図 21 に示すステップ S 2 4 における第 1 撮像画像を示す図である。

【図 25】図 21 に示すステップ S 2 4 を説明するための図である。

【図 26】第 4 実施形態におけるキャリブレーションの流れを示すフロー図である。

【図 27】ロボットが有するハンドを示す図である。

【図 28】図 26 に示すステップ S 2 5 における第 2 撮像画像を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の制御装置、ロボットシステムおよび制御方法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。

【0030】

ロボットシステム

[第 1 実施形態]

図 1 は、第 1 実施形態に係るロボットシステムを示す図である。図 2 は、図 1 に示すロボットシステムの概略図である。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。なお、図 1 では、互いに直交する 3 軸 (x r 軸、y r 軸および z r 軸) を図示している。また、以下では、x r 軸に平行な方向を「x r 軸方向」とも言い、y r 軸に平行な方向を「y r 軸方向」とも言い、z r 軸に平行な方向を「z r 軸方向」とも言う。また、以下では、図示された各矢印の先端側を「+ (プラス)」、基端側を「- (マイナス)」と言う。また、z r 軸方向は「鉛直方向」と一致しており、x r - y r 平面に平行な方向は「水平方向」と一致している。また、z r 軸の + (プラス) 側を「上方」とし、z r 軸の - (-) 側を「下方」とする。

30

【0031】

また、本明細書において、「水平」とは、水平に対して $\pm 10^\circ$ 以下の範囲内で傾斜している場合も含む。同様に、「鉛直」とは、鉛直に対して $\pm 10^\circ$ 以下の範囲内で傾斜している場合も含む。また、「平行」とは、2 つの線 (軸を含む) または面が、互いに完全な平行である場合のみならず、 $\pm 10^\circ$ 以内で傾斜している場合も含む。また、「直交」とは、2 つの線 (軸を含む) または面が、互いに 90° の角度で交わる場合のみならず、 90° に対し $\pm 10^\circ$ 以内で傾斜している場合も含む。

40

【0032】

図 1 に示すロボットシステム 100 は、例えば、電子部品等の対象物の保持、搬送および組立て等の作業で用いることができる。このロボットシステム 100 は、ロボット 1 と、撮像機能を有する第 1 撮像部 3 と、撮像機能を有する第 2 撮像部 4 と、ロボット 1、第 1 撮像部 3 および第 2 撮像部 4 の各駆動を制御する制御装置 5 (キャリブレーション装置) とを、有する。また、ロボットシステム 100 は、モニターを有する表示装置 501 と、例えばキーボード等で構成された入力装置 502 (操作機器) とを有する。

50

【 0 0 3 3 】

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。

ロボット

ロボット 1 は、いわゆる 6 軸の垂直多関節ロボットであり、基台 1 1 0 と、基台 1 1 0 に接続された可動部 2 0 とを有する。可動部 2 0 は、ロボットアーム 1 0 およびハンド 1 7 を有する。

【 0 0 3 4 】

基台 1 1 0 は、ロボット 1 を任意の設置箇所に取り付ける部分である。本実施形態では、基台 1 1 0 は、例えば床等の設置箇所 7 0 に設置されている。なお、基台 1 1 0 の設置箇所は、床等の設置箇所 7 0 に限定されず、例えば、壁、天井、移動可能な台車上等であってもよい。

【 0 0 3 5 】

図 1 および図 2 に示すように、ロボットアーム 1 0 は、アーム 1 1 (第 1 アーム)、アーム 1 2 (第 2 アーム)、アーム 1 3 (第 3 アーム)、アーム 1 4 (第 4 アーム)、アーム 1 5 (第 5 アーム)、アーム 1 6 (第 6 アーム)と、保持部としてのハンド 1 7 と、を有する。これらアーム 1 1 ~ 1 6 は、基端側から先端側に向かってこの順に連結されている。各アーム 1 1 ~ 1 6 は、隣り合うアームまたは基台 1 1 0 に対して回動可能になっている。ハンド 1 7 は、作業対象物 9 1 を保持する機能を有する。なお、図 1 に示す作業対象物 9 1 は、電子部品等の「作業対象物」の一例であり、本実施形態では、直方体状の部材を例に用いている(図 5 参照)。

【 0 0 3 6 】

ここで、図 1 に示すように、アーム 1 6 は、円盤状をなし、アーム 1 5 に対して回動軸 O 6 周りに回動可能になっている。また、図 2 に示すように、本実施形態では、アーム 1 6 の先端面の中心を所定点 P 6 (所定部位)という。また、ハンド 1 7 の先端中心、すなわちハンド 1 7 が有する 2 つの指の間の領域の中心をツールセンターポイント P という。

【 0 0 3 7 】

また、図 3 に示すように、ロボット 1 は、一方のアームを他方のアーム(または基台 1 1 0)に対して回動させるモーターおよび減速機等を備える駆動部 1 3 0 を有する。モーターとしては、例えば、AC サーボモーター、DC サーボモーター等のサーボモーターを用いることができる。減速機としては、例えば、遊星ギア型の減速機、波動歯車装置等を用いることができる。また、ロボット 1 は、モーターまたは減速機の回転軸の回転角度を検出する位置センサー 1 4 0 (角度センサー)を有する。位置センサー 1 4 0 は、例えばロータリーエンコーダー等を用いることができる。また、駆動部 1 3 0 および位置センサー 1 4 0 は、例えば各アーム 1 1 ~ 1 6 に設けられており、本実施形態では、ロボット 1 は、6 つの駆動部 1 3 0 および 6 つの位置センサー 1 4 0 を有する。

【 0 0 3 8 】

また、各駆動部 1 3 0 は、図 1 に示す基台 1 1 0 に内蔵されたモータードライバ(図示せず)と電氣的に接続されている。このモータードライバを介して各駆動部 1 3 0 は制御装置 5 により制御されている。また、各位置センサー 1 4 0 も制御装置 5 に電氣的に接続されている。

【 0 0 3 9 】

このようなロボット 1 には、ロボット 1 の基台 1 1 0 を基準としたベース座標系(ロボット座標系)が設定されている。ベース座標系は、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 次元の直交座標系である。本実施形態では、ベース座標系は、基台 1 1 0 の上端面の中心点を原点としている。 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)

10

20

30

40

50

の単位は「°」である。

【0040】

また、ロボット1には、アーム16の所定点P6を原点とした先端座標系が設定されている。先端座標系は、互いに直交するx a軸とy a軸とによって定まる2次元の直交座標系である。x a軸およびy a軸は、それぞれ回動軸O6に対して直交している。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、z a軸に対する並進成分を「成分z a」とし、z a軸周りの回転成分を「成分u a」とし、y a軸周りの回転成分を「成分v a」とし、x a軸周りの回転成分を「成分w a」とする。成分x a、成分y aおよび成分z aの長さ(大きさ)の単位は「mm」であり、成分u a、成分v aおよび成分w aの角度(大きさ)の単位は「°」である。また、本実施形態では、前述したベース座標系と先端座標系とのキャリブレーションは済んでいる。なお、本実施形態では、前述したベース座標系を「ロボット座標系」として捉えているが、先端座標系を「ロボット座標系」として捉えてもよい。

10

【0041】

以上、ロボット1の構成について簡単に説明した。なお、本実施形態では、前述したように、保持部はハンド17であるが、保持部は、対象物を保持可能な構成であれば如何なるものであってもよく、例えば吸着機構を備えた機器(図示せず)であってもよい。また、ロボット1は、図示はしないが、例えばハンド17に加わる力(モーメントを含む)を検出する6軸力覚センサー等で構成された力検出装置を備えていてもよい。

【0042】

20

第1撮像部

図1および図2に示すように、第1撮像部3は、床等の設置箇所70の鉛直上方に位置し、作業台71の上面を撮像できるように設置されている。

【0043】

第1撮像部3は、図示はしないが、例えば、複数の画素を有するCCD(Charge Coupled Device)イメージセンサーで構成された撮像素子と、レンズを含む光学系と、を有する。この第1撮像部3は、撮像対象等からの光をレンズによって撮像素子の受光面で結像させて、光を電気信号に変換し、その電気信号を制御装置5へと出力する。なお、第1撮像部3は、撮像機能を有する構成であれば、前述の構成に限定されず他の構成であってもよい。

30

【0044】

このような第1撮像部3には、第1画像座標系、すなわち第1撮像部3から出力される撮像画像の座標系が設定されている。この第1画像座標系は、撮像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次元の直交座標系である(後述する図10等参照)。また、本実施形態では、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。なお、第1画像座標系は、第1撮像部3のカメラ視野に写る3次元直交座標を、レンズの光学特性(焦点距離、歪みなど)と撮像素子の画素数および大きさとを加味して非線形変換した2次元の直交座標系である。

40

【0045】

第2撮像部

図1および図2に示すように、第2撮像部4は、床等の設置箇所70上に設けられたカメラであり、第2撮像部4に対して鉛直上方を撮像できるように設置されている。

【0046】

第2撮像部4は、図示はしないが、例えば、複数の画素を有するCCD(Charge Coupled Device)イメージセンサーで構成された撮像素子と、レンズを含む光学系と、を有する。この第2撮像部4は、撮像対象等からの光をレンズによって撮像素子の受光面で結像させて、光を電気信号に変換し、その電気信号を制御装置5へと出力する。なお、第2撮

50

像部 4 は、撮像機能を有する構成であれば、前述の構成に限定されず他の構成であってもよい。

【0047】

このような第 2 撮像部 4 には、第 2 画像座標系、すなわち第 2 撮像部 4 から出力される第 2 撮像画像 40 の座標系が設定されている。この第 2 画像座標系は、第 2 撮像画像 40 の面内方向に対してそれぞれ平行な x_c 軸と y_c 軸とによって定まる 2 次元の直交座標系である（後述する図 28 参照）。また、本実施形態では、 x_c 軸に対する並進成分を「成分 x_b 」とし、 y_c 軸に対する並進成分を「成分 y_c 」とし、 $x_c - y_c$ 平面の法線周りの回転成分を「成分 u_c 」とする。成分 x_c および成分 y_c の長さ（大きさ）の単位は「ピクセル」であり、成分 u_c の角度（大きさ）の単位は「°」である。なお、第 2 撮像部 4 の画像座標系は、第 2 撮像部 4 のカメラ視野に写る 3 次元直交座標を、レンズの光学特性（焦点距離、歪みなど）と撮像素子の画素数および大きさとを加味して非線形変換した 2 次元の直交座標系である。

10

【0048】

制御装置

図 1 に示す制御装置 5 は、ロボット 1 および第 1 撮像部 3 の各部の駆動を制御する。この制御装置 5 は、例えば、CPU（Central Processing Unit）等のプロセッサ、ROM（Read Only Memory）等の揮発性メモリー、および、RAM（Random Access Memory）等の不揮発性メモリー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。なお、制御装置 5 と、ロボット 1、第 1 撮像部 3 および第 2 撮像部 4 とは、それぞれ、有線接続であってもよいし、無線接続であってもよい。また、制御装置 5 には、モニター（図示せず）を備える表示装置 501 と、例えばキーボード等で構成された入力装置 502 とが接続されている。

20

【0049】

図 3 に示すように、制御装置 5 は、制御部 51（プロセッサ）、記憶部 52（メモリー）および外部入出力部 53（I/O インターフェース）を有する。

【0050】

制御部 51（プロセッサ）は、記憶部 52 に記憶された各種プログラムを実行する。これにより、ロボット 1、第 1 撮像部 3 および第 2 撮像部 4 の各駆動を制御したり、各種演算および判断等の処理を実現できる。

30

【0051】

記憶部 52 は、例えば揮発性メモリーや不揮発性メモリー等のメモリーで構成されている。なお、記憶部 52 は、制御装置 5 に内蔵されるもの（揮発性メモリーや不揮発性メモリー等）に限らず、いわゆる外部記憶装置（図示せず）を有する構成であってもよい。

【0052】

記憶部 52 には、プロセッサにより実行可能な各種プログラム（指令）が保存されている。また、記憶部 52 には、外部入出力部 53 で受け付けた各種データが保存できる。

【0053】

各種プログラムとしては、ロボット 1 の駆動に関するロボット駆動指令、第 1 画像座標系とロボット 1 の先端座標系またはロボット座標系（ベース座標系）との対応付けに関する第 1 座標変換指令、および、第 2 画像座標系とロボット 1 の先端座標系またはロボット座標系（ベース座標系）との対応付けに関する第 2 座標変換指令、先端座標系とベース座標系との対応付けに関するロボット座標変換指令等が挙げられる。

40

【0054】

第 1 座標変換指令は、第 1 画像座標系における座標である第 1 画像座標（ x_b 、 y_b 、 u_b ：位置および姿勢）を、ロボット 1 の先端座標系における座標（ x_a 、 y_a 、 u_a ：位置および姿勢）またはロボット座標系における座標であるロボット座標（ x_r 、 y_r 、 u_r ：位置および姿勢）に変換するための座標変換式を求める指令である。この第 1 座標変換指令を実行することにより、第 1 画像座標と、先端座標系およびロボット座標系とを対応付けることができる。第 2 座標変換指令は、第 2 画像座標系における第 2 画像座標（

50

x_c 、 y_c 、 u_c ：位置および姿勢）を、ロボット 1 の先端座標系における座標（ x_a 、 y_a 、 u_a ：位置および姿勢）またはロボット座標に変換するための座標変換式を求める指令である。この第 2 座標変換指令を実行することにより、第 2 画像座標と、先端座標系およびロボット座標系とを対応付けることができる。

【0055】

各種データとしては、例えば、ロボット 1 が有する複数の位置センサー 140 から出力されたデータ、第 1 撮像部 3 から出力された撮像画像のデータ、および、第 2 撮像部 4 から出力された撮像画像のデータ等が挙げられる。また、各種データとしては、第 1 撮像部 3 および第 2 撮像部 4 の各画素数等のデータや、後述するキャリブレーションの実行時におけるロボット 1 の速度、加速度（より具体的には、例えばハンド 17 の移動速度、移動加速度）に関するデータ等が挙げられる。

10

【0056】

外部入出力部 53 は、例えば I/O インターフェース回路等で構成されており、制御装置 5 と、それ以外の各装置（ロボット 1、第 1 撮像部 3、第 2 撮像部 4、表示装置 501、入力装置 502）との接続のために用いられる。したがって、外部入出力部 53 は、ロボット 1、第 1 撮像部 3 および第 2 撮像部 4 から出力された各種データを受け付ける受付部としての機能を有する。また、外部入出力部 53 は、表示装置 501 のモニターに各種画面（例えば、操作画面等）に関する情報を出力して表示させる機能を有する。

【0057】

このような制御装置 5 は、前述した構成に加えて、さらに他の構成が付加されていてもよい。なお、制御部 51 は、1 つのプロセッサで構成されていてもよいし、複数のプロセッサで構成されていてもよい。記憶部 52 および外部入出力部 53 についても同様である。

20

【0058】

表示装置および入力装置

図 1 に示す表示装置 501 は、モニターを備えており、各種画面等を表示する機能を有する。したがって、作業者は、表示装置 501 を介して第 1 撮像部 3 から出力された撮像画像、第 2 撮像部 4 から出力された撮像画像およびロボット 1 の駆動等を確認することができる。

【0059】

入力装置 502 は、例えばキーボード等で構成されている。したがって、作業者は、入力装置 502 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。なお、図示はしないが、入力装置 502 は、例えばティーチングペンダントで構成されていてもよい。

30

【0060】

なお、表示装置 501 および入力装置 502 の代わりに、表示装置 501 および入力装置 502 の機能を兼ね備えた表示入力装置（図示せず）を用いてもよい。表示入力装置としては、例えばタッチパネル等を用いることができる。また、ロボットシステム 100 は、表示装置 501 および入力装置 502 をそれぞれ 1 つ有していてもよいし、複数有していてもよい。

40

【0061】

以上、ロボットシステム 100 の基本的な構成について簡単に説明した。かかるロボットシステム 100 は、制御装置 5 と、制御装置 5 により制御されるロボット 1 と、を有する。そして、制御装置 5 は後述する制御を実行する。

【0062】

このようなロボットシステム 100 によれば、後述する制御装置 5 による制御を実行できるので、作業者によるロボットシステム 100 の使い勝手を向上させることができる。また、ロボット 1 は作業対象物 91 に対する作業をよりの確に、また迅速かつ正確に行うことができる。

【0063】

50

制御方法

図 4 は、制御装置によるロボットの制御方法を示すフロー図である。

【0064】

図 4 に示すように、制御装置 5 によるロボット 1 の制御方法は、キャリブレーション（ステップ S 1 0）の工程と、キャリブレーションの結果を基にしたロボット 1 による作業（ステップ S 2 0）の工程と、を有する。

【0065】

なお、ロボット 1 による具体的な作業内容は特に限定されない。ただし、ロボット 1 による作業（ステップ S 2 0）では、キャリブレーション（ステップ S 1 0）で用いた「作業対象物」または「当該作業対象物と同一または同等の構成のもの」を用いる。したがって、本実施形態では、後述するようにキャリブレーションにおいて図 1 に示す作業対象物 9 1 を用いているため、ロボット 1 による実際の作業においても作業対象物 9 1 を用いた作業を行う。

【0066】

ロボット 1 による作業（ステップ S 2 0）の具体的な作業内容は特に限定されないため、以下では、その説明を省略し、キャリブレーション（ステップ S 1 0）について説明する。

【0067】

キャリブレーション

図 5 は、対象物の一例を示す図である。図 6 は、キャリブレーションの流れを示すフロー図である。図 7 および図 8 は、それぞれ、図 6 中のステップ S 1 1 を説明するための図である。図 9 は、図 6 中のステップ S 1 2 を説明するための図である。図 1 0 は、第 1 撮像画像を示す図である。図 1 1 は、図 6 中のステップ S 1 4 を説明するための図である。図 1 2 および図 1 3 は、第 1 撮像画像を示す図である。

【0068】

キャリブレーション（ステップ S 1 0）では、第 1 撮像部 3 の第 1 画像座標系とロボット 1 のロボット座標系とのキャリブレーション（対応付け）を行う。ロボットシステム 1 0 0 では、第 1 撮像部 3 から出力された撮像画像のデータを基にしてロボット 1 に各種作業を行わせるために、第 1 画像座標系における座標（第 1 画像座標： x_b 、 y_b 、 u_b ）をロボット座標系における座標（ロボット座標： x_r 、 y_r 、 u_r ）に変換する座標変換式を求める。この座標変換式を求めることで、第 1 画像座標系とロボット座標系とを対応付けることができる。

【0069】

本実施形態では、図 1 や図 5 に示す作業対象物 9 1 を用いてキャリブレーションを行う。作業対象物 9 1 は、図 5 に示すように、直方体状（柱状）の部材である。また、作業対象物 9 1 は、面 9 0 1 とそれに対向する面 9 0 2 にそれぞれ開放し、長手方向に延びる貫通孔 9 1 1 を有する。貫通孔 9 1 1 は、作業対象物 9 1 の中央に形成されている。この貫通孔 9 1 1 は、例えば、ロボット 1 による作業（ステップ S 2 0）でネジのような棒状の部材を挿入することに用いることができる。このような作業対象物 9 1 は、載置台 7 2 に複数（図示では 9 つ）載置されている。これら作業対象物 9 1 は、同方向、同姿勢に行列状に立設配置されている。本明細書では、これらを総称して作業対象物 9 1 という。なお、作業対象物 9 1 a ~ 9 1 i は、実質的に同形状（同寸法）、同重量のものとする。また、作業対象物 9 1 a ~ 9 1 i は、ロボット 1 により実際に作業がなされる「作業対象物」であり、キャリブレーション用の専用部材ではない。

【0070】

以下、図 6 に示すフロー図を参照しつつ、キャリブレーションについて説明する。なお、このキャリブレーションは、制御装置 5 が、作業者による入力装置 5 0 2 を用いて行った指示に応じて、制御部 5 1 が記憶部 5 2 に記憶されたプログラムを実行することにより行われる。

【0071】

10

20

30

40

50

まず、制御部 51 は、ロボットアーム 10 を駆動させて、図 7 に示すようにハンド 17 で 9 つの作業対象物 91 a ~ 91 i のうちの 1 つの作業対象物 91 a を把持させる（ステップ S 11）。この把持は、例えばジョグ動作により行う。ジョグ動作とは、例えばティーチングペンダント等の入力装置 502 を用いた作業者による誘導の指示に基づくロボット 1 の動作である。

【0072】

ここで、本実施形態では、図 8 に示すように、ハンド 17 は、作業対象物 91 a を把持した際に、回動軸 O 6 上に貫通孔 911 が位置するように構成されたセルフアライメント機能を有するものとする。すなわち、ハンド 17 は、回動軸 O 6 に沿った方向から見て所定点 P 6 の位置と貫通孔 911 の位置とが必ず一致するよう構成されている。

10

【0073】

次いで、制御部 51 は、作業対象物 91 a を第 1 撮像部 3 の視野内すなわち撮像領域 S 3 内に位置させ、図 9 に示すように作業台 71 に載置する（ステップ S 12）。この際、例えば、図 10 に示すように、第 1 撮像画像 30 には作業対象物 91 a が写る。

【0074】

次いで、制御部 51 は、所定点 P 6 のロボット座標を記憶部 52 に記憶する（ステップ S 13）。この際、図 9 に示すように、ハンド 17 を未だ開放せずに、ハンド 17 で作業対象物 91 a を把持したままの状態とする。

【0075】

次いで、制御部 51 は、ハンド 17 を開放して、図 11 に示すようにハンド 17 を作業対象物 91 a から離脱させる（ステップ S 14）。この際、作業対象物 91 a の位置がハンド 17 を開放する前の位置と変わらないようにする。

20

【0076】

次いで、制御部 51 は、第 1 撮像部 3 に作業対象物 91 a を撮像させ、第 1 撮像画像 30 のデータを基にして求めた作業対象物 91 a の貫通孔 911 における第 1 画像座標を記憶部 52 に記憶する（ステップ S 15）。

【0077】

次いで、制御部 51 は、前述したステップ S 11 ~ S 15 を行った回数が所定回数に達したか否かを判断し（ステップ S 16）、所定回数に達するまでステップ S 11 ~ S 15 を繰り返す。本実施形態では前述したステップ S 11 ~ S 15 を 9 回繰り返す。言い換えると、本実施形態では、制御部 51 は、ロボット座標および第 1 画像座標の組を 9 つ取得したと判断するまでステップ S 11 ~ S 15 を繰り返す。

30

【0078】

ここで、本実施形態では、各回において、第 1 撮像画像 30 に写る作業対象物 91 a の貫通孔 911 が異なる位置に写るように、制御部 51 は作業対象物 91 a を移動させる。特に、図 12 に示すように、貫通孔 911 が格子状に位置するように移動させることが好ましい。したがって、制御部 51 は、例えば、1 回目のステップ S 12 において、図 12 中の左上の位置（第 1 位置 P 10）に作業対象物 91 a を位置させた場合（図 9 および図 12 参照）、2 回目のステップ S 12 において、図 12 中の左側中央の位置（第 2 位置 P 20）に作業対象物 91 a が写るように作業対象物 91 a を移動させる。このようにして、制御部 51 は、ステップ S 11 ~ S 15 を 9 回繰り返し、9 つの所定点 P 6 のロボット座標を記憶部 52 に記憶し、かつ、各ロボット座標に対応する作業対象物 91 a の第 1 画像座標を記憶部 52 に 9 つ記憶する。

40

【0079】

次いで、制御部 51 は、所定回数（本実施形態では 9 回）に達したら、9 つの所定点 P 6 のロボット座標と、9 つの作業対象物 91 a の第 1 画像座標とに基づいて、第 1 画像座標をロボット座標に変換する座標変換式を求める（ステップ S 17）。これにより、画像座標系とロボット座標系とのキャリブレーション（対応付け）が完了する。

【0080】

以上、キャリブレーション（ステップ S 10）について簡単に説明した。ここで、求め

50

た座標変換式を用いれば、第1撮像部3で撮像した撮像対象の位置および姿勢をロボット座標系における位置および姿勢に変換することができる。さらには、前述したように、ロボット座標系（ベース座標系）と先端座標系との対応付けは済んでいる状態なので、第1撮像部3で撮像した撮像対象の位置および姿勢を先端座標系における位置および姿勢に変換することができる。そのため、制御部51は、第1撮像画像30を基にしてロボット1のハンド17およびそれに把持された作業対象物91aを目的の箇所に位置させることができる。それゆえ、キャリブレーション（ステップS10）における結果であるロボット座標系と第1撮像部3との座標変換式を用いることで、ロボット1による作業（図4：ステップS20）において、ロボット1に適切に作業を行わせることができる。

【0081】

また、前述したように、制御装置5は、撮像可能な第1撮像部3からの第1撮像画像30に関する情報を受け付ける受付部としての機能を有する外部入出力部53と、第1撮像画像30に関する情報に基づいて、作業対象物91aを保持可能な可動部20を有するロボット1の駆動に関する指令を実行可能な制御部51と、を備える。また、制御部51は、ロボット1に関する座標系であるロボット座標系と、第1撮像画像30に関する座標系である第1画像座標系と、の対応付けを実行可能である。そして、制御部51は、第1撮像部3の撮像領域S3内の複数の位置のそれぞれにあるときの作業対象物91aを保持している可動部20の所定部位としての所定点P6のロボット座標（ロボット座標系における座標）と、複数の位置のそれぞれにあるときの作業対象物91aの第1画像座標（第1画像座標系における座標）とに基づいて、キャリブレーション（対応付け）を行う。

【0082】

このような制御装置5によれば、ロボット1の実際の作業対象である作業対象物91aを用いてキャリブレーション（対応付け）を行うことができるため、従来のようにキャリブレーション用の専用部材を用意する手間を省くことができ、また、より正確なキャリブレーションが可能である。特に、従来のように作業対象物91aの高さを考慮した専用部材を用意する必要がない。また、作業対象物91aでキャリブレーションを行うことで、例えば作業対象物91aの設計上の高さを用いることができるので、高さ方向（z軸方向）のキャリブレーションを省略することができる。このようなことから、キャリブレーションの手順が簡略化され、作業者の使い勝手を向上させることができる。また、作業対象物91aを用いたキャリブレーションの結果（座標変換式）を基にして、ロボット1に実施の各種作業を行わせることができるため、作業対象物91aに対する作業をロボット1により的確に行なわせることができる。

【0083】

なお、本実施形態では、所定部位としての所定点P6を設定しているが、所定部位は、可動部20のいずれかの箇所であればよい。例えば、所定部位は、ツールセンターポイントPであってもよいし、アーム15の先端中心であってもよい。また、本実施形態では、キャリブレーションにおける作業対象物91aの基準となる箇所は、貫通孔911であるが、基準となる箇所はこれに限定されず、例えば作業対象物91aの角部等であってもよい。

【0084】

また、前述したように、制御部51は、キャリブレーション（対応付け）において、作業対象物91aを可動部20で保持している状態での所定部位としての所定点P6のロボット座標系における座標を求め（ステップS13）、可動部20を作業対象物91aから離脱させた後（ステップS14）、作業対象物91aの第1撮像画像30における座標を求める（ステップS15）。

【0085】

これにより、キャリブレーションを的確かつ迅速に、また、より正確に（より高精度に）行うことができる。また、ロボット1が実際に作業を行う第1撮像部3のみ（1つの撮像部）でキャリブレーションを実行できるため、作業者にとって使い勝手がより良い。

【0086】

さらに、前述したように、第 1 撮像部 3 は、作業台 7 1 を撮像可能に設置されている。そして、受付部としての機能を有する外部入出力部 5 3 は、作業対象物 9 1 a が配置されている作業台 7 1 を撮像可能に設けられた第 1 撮像部 3 と通信可能である。

【0087】

これにより、作業台 7 1 上に載置された作業対象物 9 1 a を撮像でき、作業対象物 9 1 a を撮像した第 1 撮像画像 3 0 を用いてキャリブレーションを的確に行うことができる。さらに、キャリブレーションの結果を基にしてロボット 1 による作業対象物 9 1 a および同様の構成の作業対象物 9 1 b ~ 9 1 i に対する作業を行うときにも、制御部 5 1 は第 1 撮像画像 3 0 を用いてロボット 1 にその作業を適切に行わせることができる。このように、第 1 撮像部 3 のみ（1つの撮像部）を用いて、キャリブレーションおよびロボット 1 による実際の作業を行うことができるため、作業者にとって使い勝手が非常に良い。

10

【0088】

また、前述したように、制御部 5 1 は、キャリブレーション（対応付け）において、作業対象物 9 1 a が撮像領域 S 3 内における第 1 位置 P 1 0 にあるときに撮像された第 1 撮像画像 3 0 と、作業対象物 9 1 a が撮像領域 S 3 内における第 1 位置 P 1 0 とは異なる第 2 位置 P 2 0 にあるときに撮像された第 1 撮像画像 3 0 とを用いる（図 1 2 参照）。

【0089】

これにより、1つの作業対象物 9 1 a さえあればキャリブレーションを行うことができる。また、1つの第 1 撮像部 3 でキャリブレーションを迅速かつ容易に、また、より正確に行うことができる。よって、作業者の手間を省くことができる。

20

【0090】

なお、第 1 位置 P 1 0 および第 2 位置 P 2 0 は、図示の位置に限定されず、互いに異なる位置であれば、それぞれ図 1 2 に示す位置に限定されない。

【0091】

ここで、前述した説明では、制御部 5 1 は、1つの作業対象物 9 1 a を用いたキャリブレーションを行ったが、複数の作業対象物 9 1 a ~ 9 1 i を用いたキャリブレーションを行うこともできる（図 1 参照）。以下、これについて説明する。

【0092】

複数の作業対象物を用いたキャリブレーションの第 1 例

図 1 4 は、第 1 撮像画像を示す図である。

30

【0093】

複数の作業対象物 9 1 a ~ 9 1 i を用いたキャリブレーションでは、例えば、第 1 位置 P 1 0 には、第 1 作業対象物である作業対象物 9 1 a を位置させ（図 1 0 参照）、第 2 位置 P 2 0 には、第 2 作業対象物である作業対象物 9 1 b を位置させる（図 1 4 参照）。すなわち、1回目のステップ S 1 1 ~ S 1 5 では作業対象物 9 1 a を用いて処理を行い、2回目のステップ S 1 1 ~ S 1 5 では作業対象物 9 1 b を用いて処理を行う。

【0094】

このように、作業対象物 9 1 は、作業対象物 9 1 a（第 1 作業対象物）と、作業対象物 9 1 a とは異なる作業対象物 9 1 b（第 2 作業対象物）とを含む。また、制御部 5 1 は、キャリブレーション（対応付け）において、作業対象物 9 1 a が撮像領域 S 3 内における第 1 位置 P 1 0 にあるときに撮像された第 1 撮像画像 3 0 と、作業対象物 9 1 b が撮像領域 S 3 内における第 1 位置 P 1 0 とは異なる第 2 位置 P 2 0 にあるときに撮像された第 1 撮像画像 3 0 とを用いる。そして、本実施形態では、制御部 5 1 は、9つの位置のそれぞれに異なる作業対象物 9 1 a ~ 9 1 i を位置させたときの各第 1 撮像画像 3 0 を用いる。

40

【0095】

このように複数の作業対象物 9 1 a ~ 9 1 i を用いたキャリブレーションを行うことが可能である。この方法によってもキャリブレーション用の専用部材を用いる手間を省くことができる。

【0096】

複数の作業対象物を用いてのキャリブレーションの第 2 例

50

図 15 は、複数の対象物を用いたキャリブレーションの一例を示すフロー図である。図 16 は、第 1 撮像画像を示す図である。

【0097】

制御部 51 は、例えば、任意の 9 つの位置のそれぞれに対し異なる作業対象物 91 a ~ 91 i を位置させた後に、これら作業対象物 91 a ~ 91 i を一括して第 1 撮像部 3 に撮像させる。すなわち、図 15 に示すように、ステップ S 16 の後にステップ S 15 を行う。

【0098】

このように、作業対象物 91 は、作業対象物 91 a (第 1 作業対象物) と、作業対象物 91 a とは異なる作業対象物 91 b (第 2 作業対象物) とを含み、制御部 51 は、キャリブレーション (対応付け) において、作業対象物 91 a が撮像領域 S 3 内における第 1 位置 P 10 にあり、かつ、作業対象物 91 b が撮像領域 S 3 内における第 1 位置 P 10 とは異なる第 2 位置 P 20 にあるときに撮像された第 1 撮像画像 30 を用いる。本実施形態では、9 つの位置のそれぞれに異なる作業対象物 91 a ~ 91 i を位置させた後に、9 つの作業対象物 91 a ~ 91 i を一括して撮像した第 1 撮像画像 30 を用いる (図 16 参照)。

10

【0099】

これにより、前述した各位置ごと撮像した第 1 撮像画像 30 を用いる場合に比べて、キャリブレーションをより迅速に行うことができる。

【0100】

20

以上説明したように、制御装置 5 を用いた制御方法は、作業対象物 91 を保持可能な可動部 20 を有するロボット 1 に関する座標系であるロボット座標系と、撮像可能な第 1 撮像部 3 から第 1 撮像画像 30 に関する座標系である第 1 画像座標系と、のキャリブレーション (対応付け) を行うステップ S 10 と、キャリブレーションの結果と、第 1 撮像部 3 からの第 1 撮像画像 30 に関する情報とに基づいて、ロボット 1 を駆動させるステップ S 20 と、を有する。また、キャリブレーションを行うステップ S 10 では、第 1 撮像部 3 の撮像領域 S 3 内の複数の位置のそれぞれにあるときの作業対象物 91 を保持している可動部 20 の所定部位としての所定点 P 6 のロボット座標系における座標と、複数の位置のそれぞれにあるときの作業対象物 91 の第 1 画像座標系における座標とに基づいて、キャリブレーション (対応付け) を行う。

30

【0101】

このような制御方法によれば、前述したように、作業対象物 91 を用いたキャリブレーション結果を基にしているため、作業対象物 91 に対する作業をロボット 1 によりの確に、また迅速かつ正確に行うことができる。

【0102】

以上、制御方法について説明した。なお、本実施形態では、図 4 に示すように、キャリブレーション (ステップ S 10) の後にロボット 1 による作業 (ステップ S 20) を行ったが、ステップ S 20 においてキャリブレーションの結果を用いていれば、ステップ S 20 を単独で行ってもよい。また、キャリブレーション (ステップ S 10) を単独で行ってもよい。

40

【0103】

また、本実施形態では、図 5 に示す構成の作業対象物 91 を用いたが、「作業対象物」の構成は図示のものに限定されない。「作業対象物」は、可動部 20 で保持可能であり、かつ、ロボット 1 による作業 (ステップ S 20) で用いるものと同一または同等の構成のものであればよい。

【0104】

[第 2 実施形態]

次に、第 2 実施形態について説明する。

【0105】

図 17 は、第 2 実施形態におけるキャリブレーションの流れを示すフロー図である。図

50

18は、図17に示すステップS21における第1撮像画像を示す図である。図19は、図17に示すステップS22における第1撮像画像を示す図である。

【0106】

本実施形態では、主に、低精度な座標変換式を求めて、ステップS11～S16を自動で行うこと以外は、前述した実施形態と同様である。なお、以下の説明では、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。

【0107】

以下では、図17に示すフロー図を参照しつつ、本実施形態におけるキャリブレーションについて説明する。

【0108】

まず、制御部51は、ベース座標系と第1画像座標系との座標変換式を求める(図17:ステップS21)。ステップS21で求める座標変換式は、ステップS17で求める座標変換式よりも低精度なものであり、第1撮像画像30において指定した位置のロボット座標を大まかに把握するために求める。

【0109】

具体的には、ステップS21における座標変換式は、第1撮像画像30の視野内における任意の2箇所に作業対象物91aを移動させる処理を経て生成できる。

【0110】

より具体的に説明すると、ステップS21では、まず、制御部51は、作業対象物91aをハンド17に把持させ、互いに異なる任意の2箇所に作業対象物91aを移動させて、所定点P6のロボット座標(x_r, y_r)と第1画像座標(x_b, y_b)との組を2つ取得する。例えば、図18に示すように、矢印R1方向に作業対象物91aを移動させて、移動前後の2箇所に所定点P6のロボット座標(x_r, y_r)と第1画像座標(x_b, y_b)とをそれぞれ取得する。次いで、制御部51は、2つの所定点P6のロボット座標(x_r, y_r)と、2つの作業対象物91aの第1画像座標(x_b, y_b)とに基づいて、下記式(1)中の係数a、b、c、dを求める。これにより、ロボット座標と第1画像座標との間の座標変換式を求めることができる。

【0111】

【数1】

$$\begin{pmatrix} x_b \\ y_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_r \\ y_r \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

【0112】

次に、図19に示すような第1撮像画像30における9つの基準点301を設定する(ステップS22)。本実施形態では、格子状に配列された9つの基準点301を設定する。例えば、第1撮像画像30のサーチウィンドウを9分割してその分割された各領域の中心を基準点301として設定する。なお、本実施形態では、サーチウィンドウと第1撮像画像30とは一致しているものとする。

【0113】

9つの基準点301を設定したら、前述したステップS21で求めた座標変換式を基にして、9つの基準点301に貫通孔911が位置するように制御部51は作業対象物91aを移動させる。前述したステップS21で求めた座標変換式を用いることで、第1撮像画像30内の指定した位置のロボット座標が分かるので、作業者の指令に基づくジョグ動作を省略することができる。そのため、ステップS11～S16を自動で行うことができる。

【0114】

以上説明したような方法によれば、ステップS11～S16を自動で行うことができる

10

20

30

40

50

ため、キャリブレーションにおける作業者の手間をより省くことができる。また、9つの基準点301をほぼ均等な間隔で設定できるため、作業者の指令に基づくジョグ動作により任意の9箇所に対して作業対象物91aを位置させる場合に比べてキャリブレーションの精度を高くすることができる。

【0115】

なお、本実施形態では、基準点301は9つであったが、基準点301の数は任意であり、少なくとも2つ以上であればよい。ただし、基準点301の数が多い程、キャリブレーションの精度が向上する。また、本実施形態では、これら基準点301は、格子状に配列されているが、これらの配列は格子状に限定されない。

【0116】

以上説明した本実施形態においても、第1実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【0117】

[第3実施形態]

次に、第3実施形態について説明する。

【0118】

図20は、第3実施形態に係るロボットシステムを示す図である。図21は、キャリブレーションの流れを示すフロー図である。図22は、図21に示すステップS23における第1撮像画像を示す図である。図23および図24は、それぞれ、図21に示すステップS24における第1撮像画像を示す図である。図25は、図21に示すステップS24を説明するための図である。なお、図23および図24では、説明の便宜上、ハンド17Aを模式的に示し、また、アーム16の図示は省略して所定点P6を図示している。

【0119】

本実施形態では、主に、第1撮像部を用いた作業対象物の指定位置の設定（ツール設定）を行うこと以外は、前述した実施形態と同様である。なお、以下の説明では、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。

【0120】

図20に示すように、本実施形態におけるロボット1が有するハンド17Aは、アーム16からずれた位置に設けられている。具体的には、ハンド17AのツールセンターポイントPは、回転軸O6に沿った方向から見て、所定点P6と一致してない。このようなハンド17Aを有するロボット1を用いたキャリブレーションを行う場合、図21に示すように、キャリブレーションにおいて、ステップS11～S16の処理を行う前に、第1撮像部を用いた作業対象物91aの指定位置の設定（ツール設定）を行うことが好ましい。これにより、所定点P6に対するツールセンターポイントPの位置や作業対象物91aの貫通孔911の位置が分かる。

【0121】

以下、図21に示すフロー図を参照しつつ、本実施形態におけるキャリブレーションについて説明する。

【0122】

まず、制御部51は、前述したステップS11を行う前に、ロボット座標系と第1画像座標系との相対関係を求める（ステップS23）。具体的には、制御部51は、図22中の実線で示すように第1撮像画像30内に作業対象物91aを位置させ、このときの所定点P6のロボット座標（ x_{r0} , y_{r0} ）と、貫通孔911の第1画像座標（ x_{b0} , y_{b0} ）とを取得する。次いで、制御部51は、矢印R2方向に作業対象物91aを移動させて、図22中の二点鎖線で示すように作業対象物91aを位置させ、このときの所定点P6のロボット座標（ x_{r1} , y_{r1} ）と、貫通孔911の第1画像座標（ x_{b1} , y_{b1} ）とを取得する。また、制御部51は、矢印R3方向に作業対象物91aを移動させて、図22中の破線で示すように作業対象物91aを位置させ、このときの所定点P6のロボット座標（ x_{r2} , y_{r2} ）と、貫通孔911の第1画像座標（ x_{b2} , y_{b2} ）とを取得する。

【 0 1 2 3 】

なお、前述したように作業対象物 9 1 a を第 1 撮像画像 3 0 内において 3 箇所に移動させているが、これらの箇所は第 1 撮像画像 3 0 内の箇所であればよく任意である。

【 0 1 2 4 】

次いで、制御部 5 1 は、取得した 3 つのロボット座標および 3 つの第 1 画像座標に基づいて、下記式 (2) 中の係数 a、b、c、d を求める。これにより、ロボット座標と第 1 画像座標との間の座標変換式を求めることができ、よって、第 1 画像座標系での変位量 (移動量) を、ロボット座標系 (ベース座標系) での変位量さらには先端座標系での変位量に変換することができる。

【 0 1 2 5 】

10

【 数 2 】

$$\begin{pmatrix} \Delta x b \\ \Delta y b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x r \\ \Delta y r \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

【 0 1 2 6 】

なお、式 (2) における $\Delta x b$ 、 $\Delta y b$ は、画像座標系での 2 箇所間の変位 (距離) を示し、 $\Delta x a$ 、 $\Delta y a$ は、ロボット座標系での 2 箇所間の変位を示す。

20

【 0 1 2 7 】

このように、3 つの異なる箇所に所定点 P 6 を移動させて得られた 3 つのロボット座標および 3 つの画像座標を基にして、上記式 (2) に示す座標変換式 (アフィン変換式) を用いることで、ロボット座標系と画像座標系の相対的な関係を簡単にかつ適切に求めることができる。

【 0 1 2 8 】

次に、第 1 撮像部 3 を用いた作業対象物 9 1 a の貫通孔 9 1 1 (指定位置) の設定を行う (ステップ S 2 4) 。

【 0 1 2 9 】

具体的には、制御部 5 1 は、ステップ S 2 3 で求めた座標変換式を用いて、図 2 3 に示すように、作業対象物 9 1 a の貫通孔 9 1 1 を第 1 撮像画像 3 0 の中心 O 3 0 に位置させ、この際の所定点 P 6 のロボット座標および第 1 画像座標を取得する。次いで、制御部 5 1 は、図 2 4 に示すように、作業対象物 9 1 a の貫通孔 9 1 1 を第 1 撮像画像 3 0 の中心 O 3 0 に位置させたまま、所定点 P 6 を移動させ、移動後の所定点 P 6 のロボット座標系での座標および画像座標系での座標を取得する。

30

【 0 1 3 0 】

次いで、制御部 5 1 は、図 2 5 に示すように、移動前後の所定点 P 6 のロボット座標系での座標および画像座標系での座標と、移動角度 θ (貫通孔 9 1 1 を中心とした所定点 P 6 の回転角度) と、中心 O 3 0 の画像座標系での座標と、を基にして、所定点 P 6 に対する貫通孔 9 1 1 のロボット座標系での座標を求める。このようにして、所定点 P 6 に対する貫通孔 9 1 1 の位置 (ロボット座標系での座標) を設定することができる。

40

【 0 1 3 1 】

以上説明したステップ S 2 3、S 2 4 の後で、制御部 5 1 は、ステップ S 1 1 ~ S 1 7 を行う。これにより、制御部 5 1 は、所定点 P 6 に対する作業対象物 9 1 a の位置が未知な状態でも、第 1 画像座標系とロボット座標系との対応付けを適切かつ容易に行うことができる。

【 0 1 3 2 】

なお、所定点 P 6 に対するツールセンターポイント P の位置が設計値や実測値により求められる場合には、前述したステップ S 2 3 は省略してもよい。そして、ステップ S 2 4 では、前述した方法を行わずに、設計値や実測値を、所定点 P 6 に対するツールセンター

50

ポイント P の位置（および貫通孔 9 1 1 の位置）として用いてもよい。

【 0 1 3 3 】

以上説明した本実施形態においても、第 1 実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【 0 1 3 4 】

[第 4 実施形態]

次に、第 4 実施形態について説明する。

【 0 1 3 5 】

図 2 6 は、第 4 実施形態におけるキャリブレーションの流れを示すフロー図である。図 2 7 は、ロボットが有するハンドを示す図である。図 2 8 は、図 2 6 に示すステップ S 2 5 における第 2 撮像画像を示す図である。

10

【 0 1 3 6 】

本実施形態では、主に、第 2 撮像部を用いた作業対象物の指定位置の設定（ツール設定）を行うこと以外は、前述した実施形態と同様である。なお、以下の説明では、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。

【 0 1 3 7 】

図 2 6 に示すキャリブレーションは、ハンド 1 7 がセルフアライメント機能を有しない場合に有効である。セルフアライメント機能を有していないハンド 1 7 は、作業対象物 9 1 a を把持した際に、回動軸 O 6 上に貫通孔 9 1 1 が必ず位置するように構成されていない。したがって、ハンド 1 7 は、図 8 に示すように、回動軸 O 6 上に貫通孔 9 1 1 が位置するように作業対象物 9 1 a を把持することや、図 2 7 に示すように、回動軸 O 6 上に貫通孔 9 1 1 が位置していない状態で作業対象物 9 1 a を把持することもある。

20

【 0 1 3 8 】

このようなハンド 1 7 を用いる場合、図 2 6 に示すように、作業対象物 9 1 を把持した後で（ステップ S 1 1）、作業対象物 9 1 a の載置を行う前に（ステップ S 1 2）、第 2 撮像部 4 を用いた作業対象物 9 1 a の貫通孔 9 1 1（指定位置）の設定を行う（ステップ S 2 5）。本実施形態では、作業対象物 9 1 a の指定位置は貫通孔 9 1 1 の位置である。

【 0 1 3 9 】

作業対象物 9 1 a の貫通孔 9 1 1（指定位置）の設定（ステップ S 2 5）では、制御部 5 1 は、ハンド 1 7 で作業対象物 9 1 a を把持した状態で、第 2 撮像部 4 の直上に作業対象物 9 1 a を位置させる。この際、例えば、図 2 7 に示すようにハンド 1 7 で作業対象物 9 1 a を把持している場合には、図 2 8 に示すように第 2 撮像画像 4 0 に作業対象物 9 1 a が写る。ここで、ロボットシステム 1 0 0 では、第 1 実施形態で述べたようにロボット座標系と第 2 画像座標系との対応付けが済んでいる。したがって、第 2 撮像部 4 の直上に作業対象物 9 1 a を位置させ、第 2 撮像部 4 で作業対象物 9 1 a を撮像することで、所定点 P 6 に対する作業対象物 9 1 a の貫通孔 9 1 1 のロボット座標が分かる。このようにして、所定点 P 6 に対する貫通孔 9 1 1 の位置（ロボット座標）を設定することができる。なお、所定点 P 6 に対する貫通孔 9 1 1 の位置の設定（ツール設定）は、上記以外の方法であってもよい。例えば、第 2 撮像部 4 の第 2 撮像画像 4 0 の画像中央に貫通孔 9 1 1 を位置させつつ、作業対象物 9 1 を異なる 2 つの姿勢に移動させることでツール設定する方法（第 2 撮像部 4 を用いた図 2 5 に示すような方法）等がある。

30

40

【 0 1 4 0 】

以上説明したような、本実施形態におけるキャリブレーションでは、前述したように、受付部としての機能を有する外部入出力部 5 3 は、撮像可能で第 1 撮像部 3 とは異なる第 2 撮像部 4 からの第 2 撮像画像 4 0 に関する情報を受け付けることが可能である。また、制御部 5 1 は、ロボット座標系と第 2 撮像画像 4 0 に関する座標系である第 2 画像座標系との座標変換が可能であり、その座標変換を基にして所定部位としての所定点 P 6 に対する作業対象物 9 1 a（特に貫通孔 9 1 1）の位置を求めることができる。

【 0 1 4 1 】

これにより、所定点 P 6 に対する作業対象物 9 1 a の位置が未知な状態でも、第 1 画像

50

座標系とロボット座標系とのキャリブレーション（対応付け）を適切かつ容易に行うことができる。

【0142】

さらに、前述したように、第2撮像部4は、可動部20により保持された状態の作業対象物91aを撮像可能に設置されている。特に、第2撮像部4の撮像方向は、第1撮像部3の撮像方向と反対の方向である。第2撮像部4は、第2撮像部4に対して鉛直方向上方を撮像可能であり、第1撮像部3は、第1撮像部3に対して鉛直方向下方を撮像可能である。そして、受付部としての機能を有する外部入出力部53は、可動部20により保持された状態の作業対象物91aを撮像可能に設けられた第2撮像部4と通信可能である。

【0143】

これにより、所定点P6に対する作業対象物91aの位置を効率良く求めることができる。

【0144】

ここで、第1実施形態で述べたように、「作業対象物」の構成は図5の構成に限定されず任意である。ただし、本実施形態のように第1撮像部3および第2撮像部4を用いてキャリブレーションを行う場合、作業対象物91aのキャリブレーションの基準となる箇所は、第1撮像部3による撮像可能な部分と、第2撮像部4により撮像可能な部分とのそれぞれに設けられていることが好ましい。すなわち、作業対象物91aの面901と、面902との双方に設けられていることが好ましい（図5参照）。そして、面901に設けられたキャリブレーションの基準となる箇所と、面902に設けられたキャリブレーションの基準となる箇所とは、zr軸方向から見て一致していることが好ましい。本実施形態では、貫通孔911が、面901に設けられたキャリブレーションの基準となる箇所と、面902に設けられたキャリブレーションの基準となる箇所との双方を兼ねている。このような構成の作業対象物91aを用いることで、前述した第1撮像部3および第2撮像部4を用いてキャリブレーションを効率良く行うことができる。

【0145】

以上説明した本実施形態においても、第1実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【0146】

以上、本発明の制御装置、ロボットシステムおよび制御方法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、本発明に、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、各実施形態を適宜組み合わせてもよい。

【0147】

また、前述した実施形態では、本発明のロボットシステムが有するロボットとして、いわゆる6軸の垂直多関節ロボットを例示したが、当該ロボットは、例えば、スカラーロボット等の他のロボットであってもよい。また、当該ロボットは、単腕ロボットに限定されず、例えば、双腕ロボット等の他のロボットであってもよい。したがって、可動部の数は、1つに限定されず、2つ以上であってもよい。また、可動部が備えるロボットアームが有するアームの数は、前述した実施形態では、6つであるが、1～5つまたは7つ以上であってもよい。

【符号の説明】

【0148】

1...ロボット、3...第1撮像部、4...第2撮像部、5...制御装置、10...ロボットアーム、11...アーム、12...アーム、13...アーム、14...アーム、15...アーム、16...アーム、17...ハンド、17A...ハンド、20...可動部、30...第1撮像画像、40...第2撮像画像、51...制御部、52...記憶部、53...外部入出力部、70...設置箇所、71...作業台、72...載置台、91...作業対象物、91a...作業対象物、91b...作業対象物、91c...作業対象物、91d...作業対象物、91e...作業対象物、91f...作業対象物、91g...作業対象物、91h...作業対象物、91i...作業対象物、100...ロボットシ

10

20

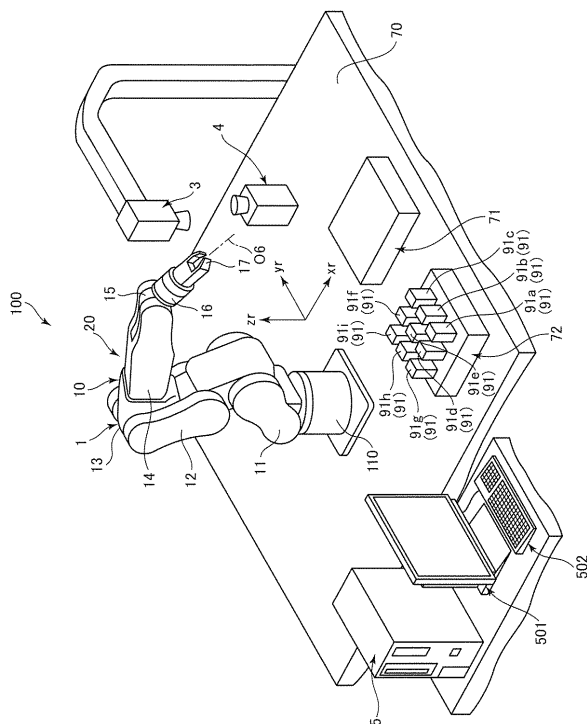
30

40

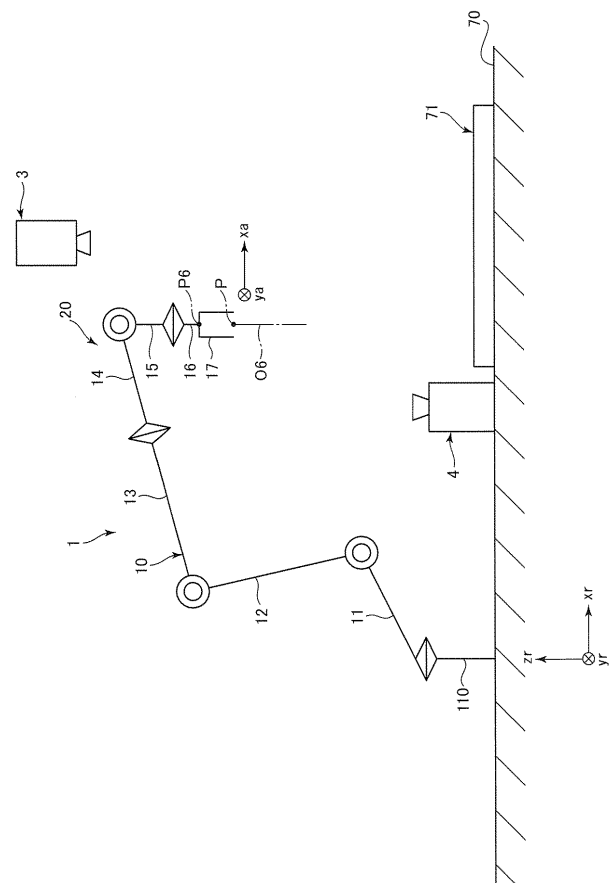
50

ステム、110...基台、130...駆動部、140...位置センサー、301...基準点、501...表示装置、502...入力装置、901...面、902...面、911...貫通孔、O30...中心、O6...回動軸、P...ツールセンターポイント、P10...第1位置、P20...第2位置、P6...所定点、R1...矢印、R2...矢印、R3...矢印、S3...撮像領域、 θ ...移動角度

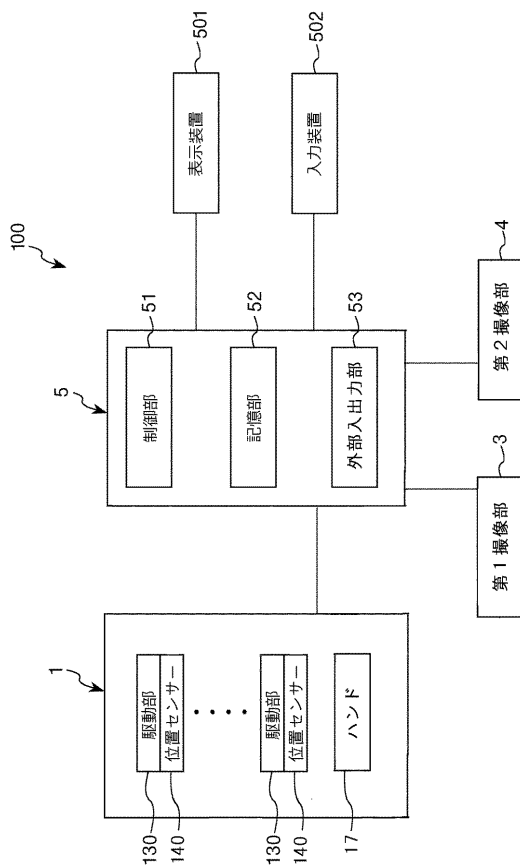
【図1】



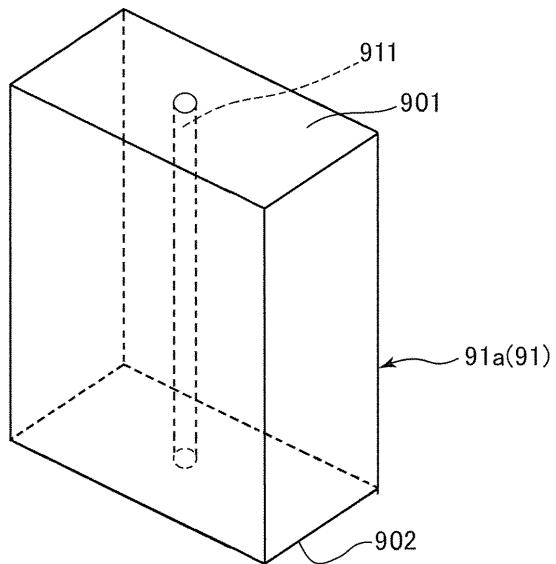
【図2】



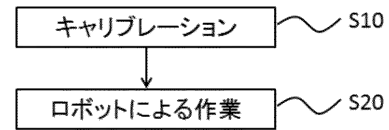
【図 3】



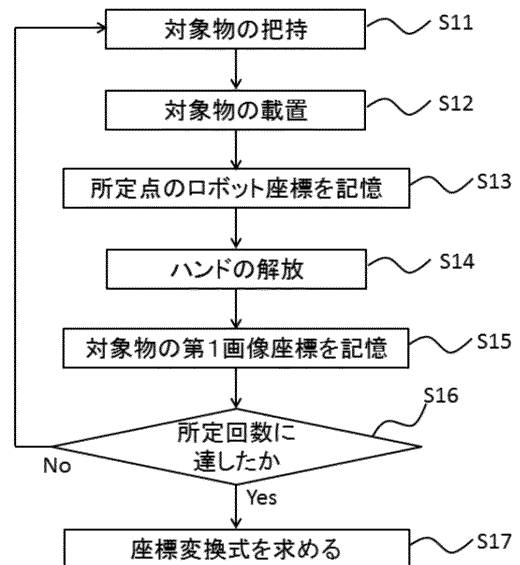
【図 5】



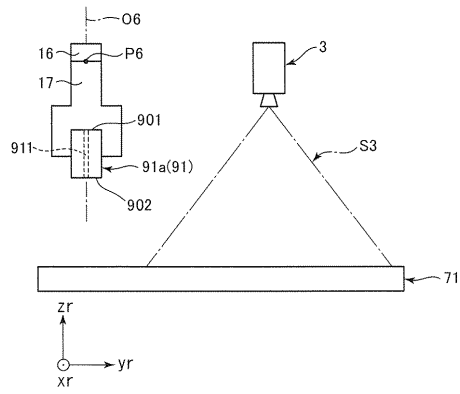
【図 4】



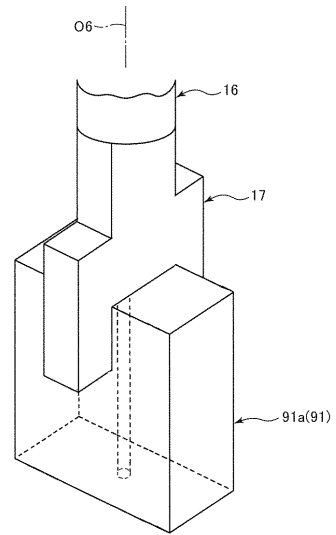
【図 6】



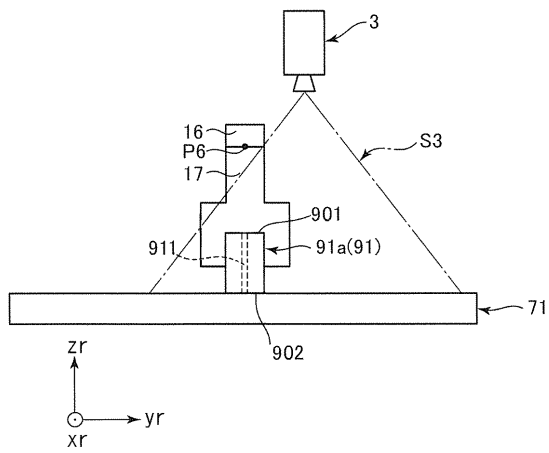
【図 7】



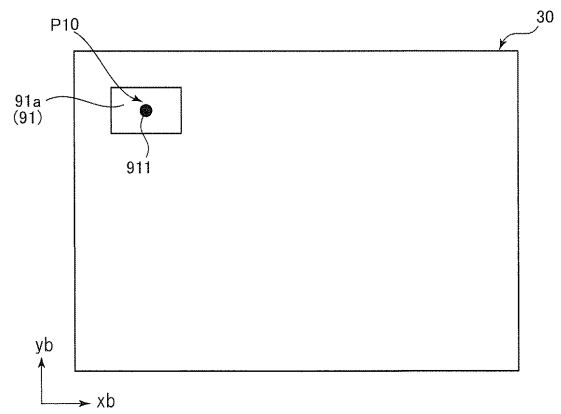
【図 8】



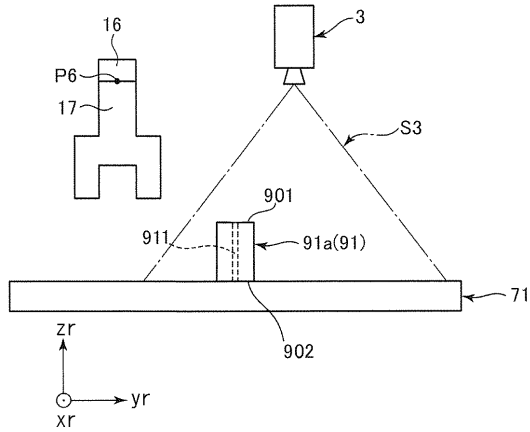
【図 9】



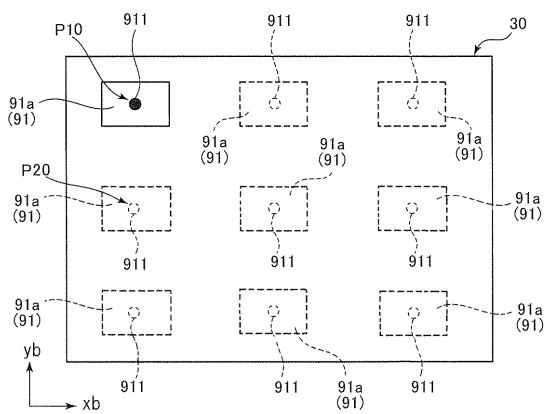
【図 10】



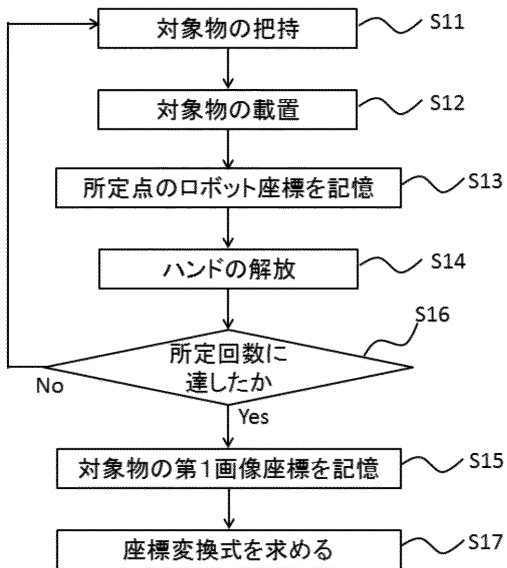
【図 1 1】



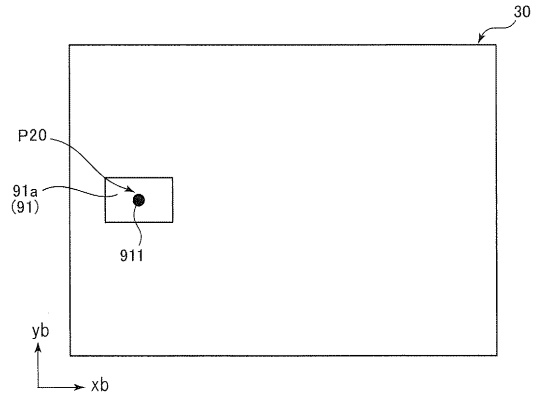
【図 1 2】



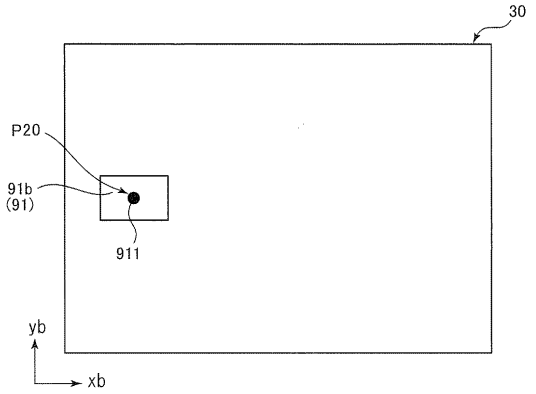
【図 1 5】



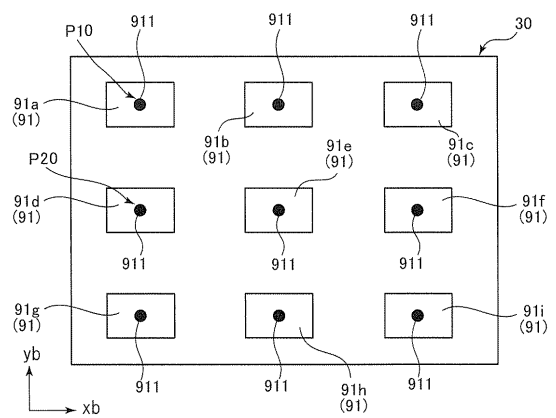
【図 1 3】



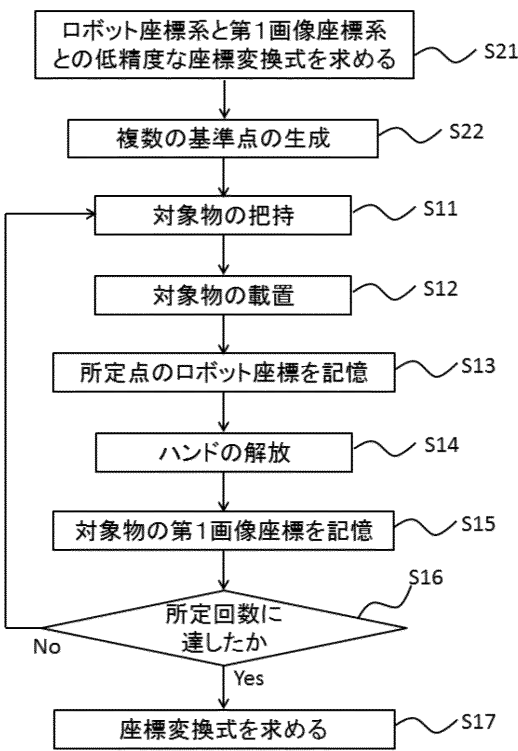
【図 1 4】



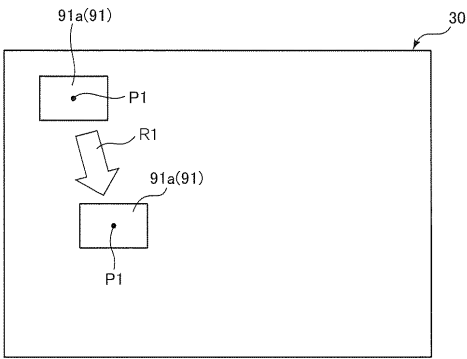
【図 1 6】



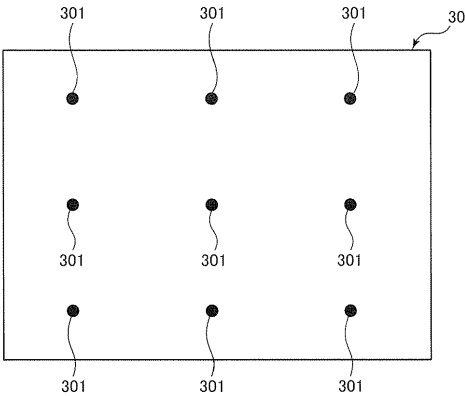
【図 17】



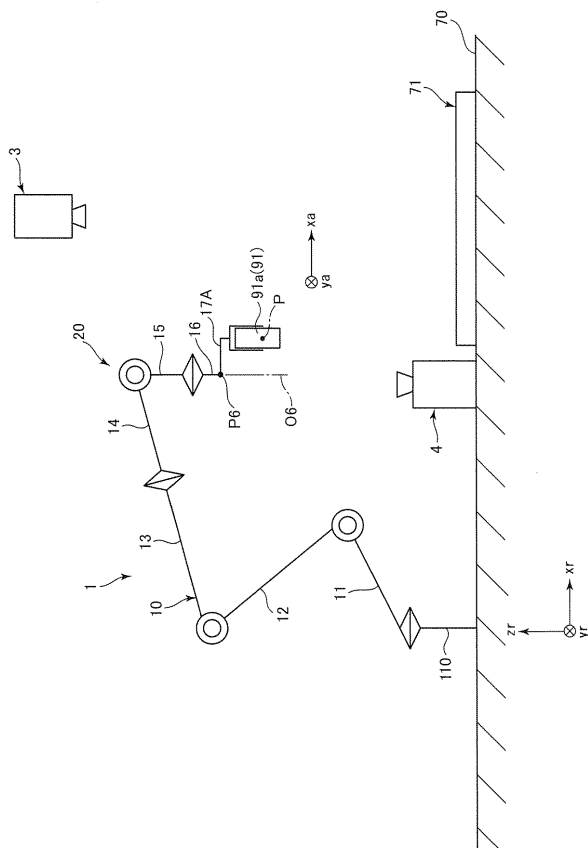
【図 18】



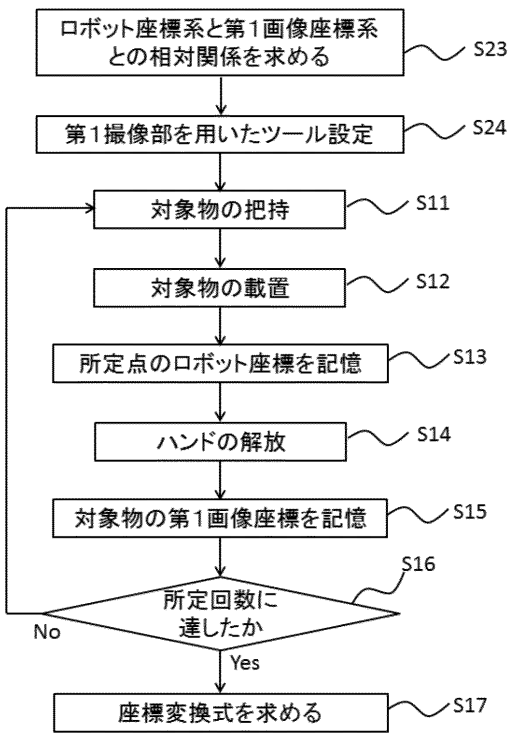
【図 19】



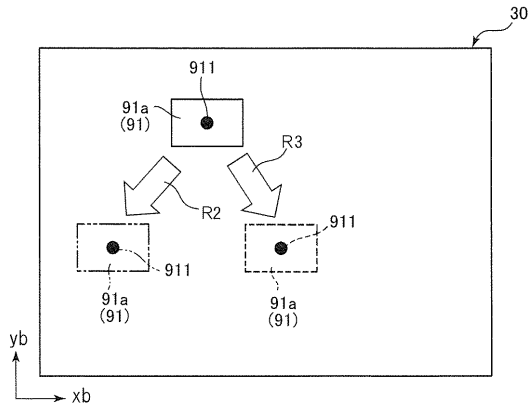
【図 20】



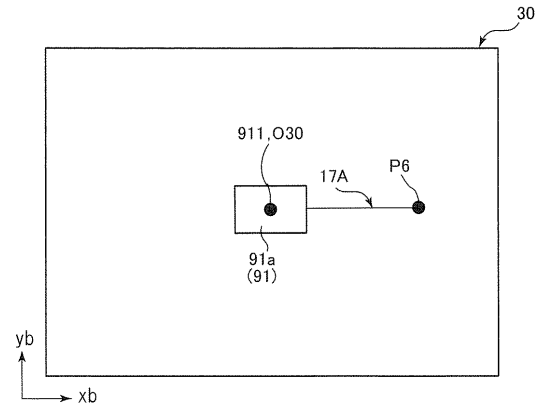
【図 21】



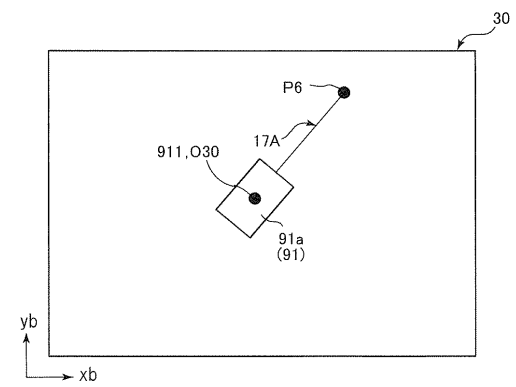
【図 2 2】



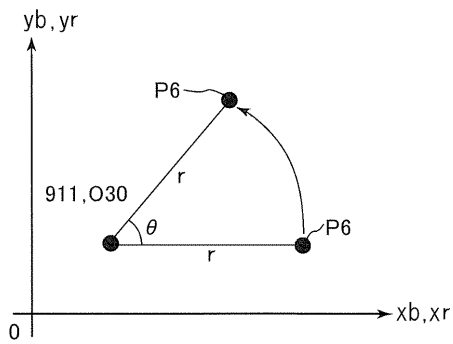
【図 2 3】



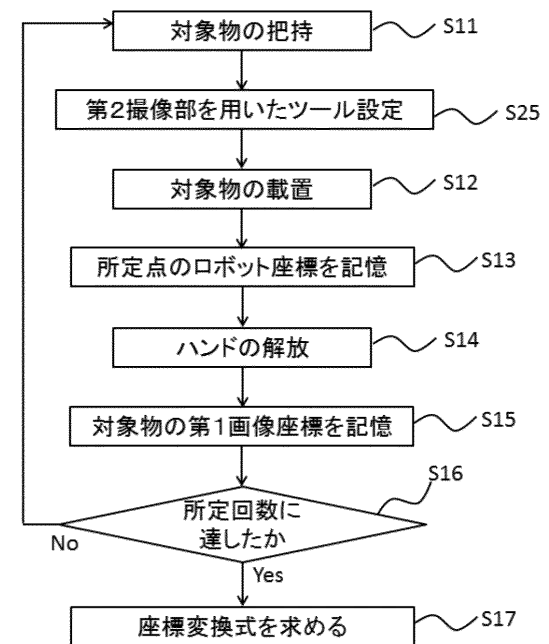
【図 2 4】



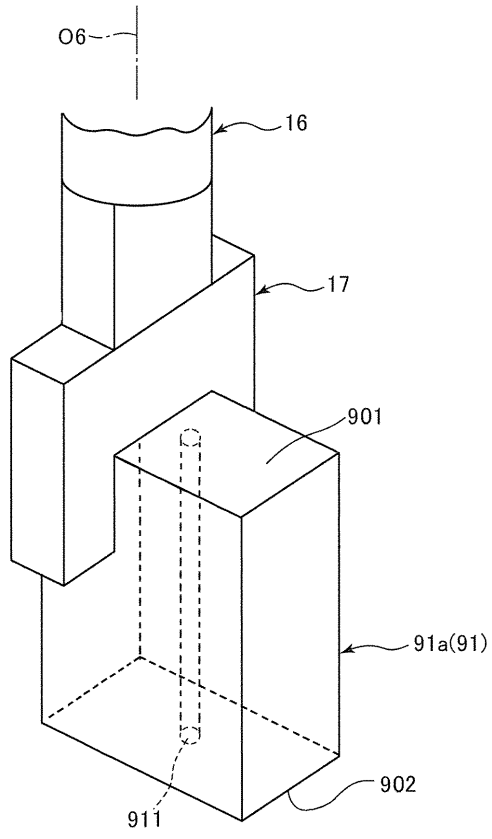
【図 2 5】



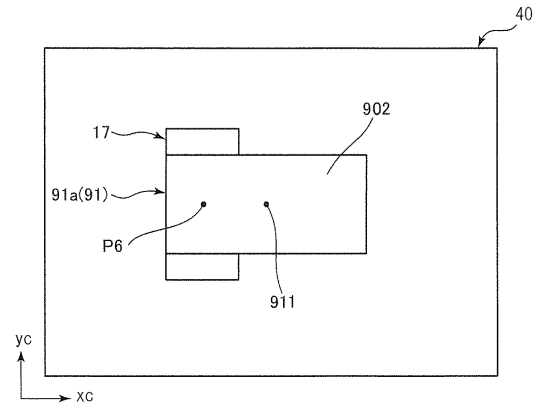
【図 2 6】



【図 27】



【図 28】



フロントページの続き

(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

Fターム(参考) 3C707 AS01 AS06 BS12 KS03 KS04 KT02 KT06 KT09 KT11 LV19
NS06