

(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2007-319970
(P2007-319970A)

(43) 公開日 平成19年12月13日(2007.12.13)

(51) Int.C1.

B25J 9/22

(2006.01)

F 1

B25J 9/22

A

テーマコード(参考)

3C007

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号

特願2006-152202 (P2006-152202)

(22) 出願日

平成18年5月31日 (2006.5.31)

(71) 出願人 000000262

株式会社ダイヘン

大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号

(71) 出願人 000005197

株式会社不二越

富山県富山市不二越本町一丁目1番1号

(74) 代理人 100068755

弁理士 恩田 博宣

(74) 代理人 100105957

弁理士 恩田 誠

(72) 発明者 神品 泰宏

大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号

株式会社ダイヘン内

最終頁に続く

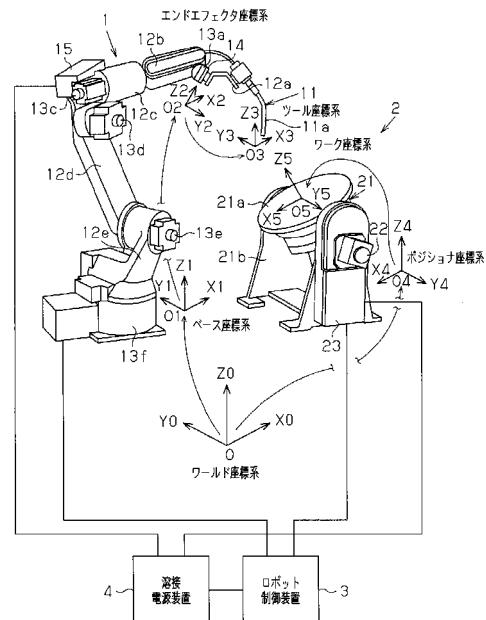
(54) 【発明の名称】産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法及び制御システム

(57) 【要約】

【課題】産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御するにあたり、当該手動制御の最中に、産業用ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作にそれぞれ適した基準座標系に切り替えるという煩雑な操作を行うことなく、簡易に産業用ロボットのツールを手動制御する方法及び制御システムを提供すること。

【解決手段】産業用ロボット1の位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、前記産業用ロボット1に備えられたツール11の並進動作と回転動作とに用いる基準座標系を各動作ごとにそれぞれ個別に設定した後、各基準座標系に基づいて並進動作及び回転動作の手動制御を行うことを解決手段とする。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

産業用ロボットの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、前記産業用ロボットに備えられたツールの並進動作と回転動作とに用いる基準座標系を各動作ごとにそれぞれ個別に設定した後、各基準座標系に基づいて並進動作及び回転動作の手動制御を行うことを特徴とする産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の位置・姿勢制御方法において、

前記並進動作の基準座標系としてワールド座標系、ベース座標系、又はワーク座標系の内のいずれか一の座標系を用いるとともに、前記回転動作の基準座標系としてツール座標系を用いる産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の位置・姿勢制御方法において、

前記産業用ロボットが 6 軸の多関節型ロボットであって、前記並進動作の基準座標系として、前記ワーク座標系を用いるとともに、該ワーク座標系が、前記ロボットに対してワークの相対位置を変更するポジショナに備えられたワーク載置面を基準とする産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法。

【請求項 4】

多関節を有する産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、

(1) ロボット作業命令の教示手段に対して手動制御が実行されたことを検知し、当該検知を契機として前記産業用ロボットへの手動運転命令を生成する手動運転命令生成ステップと、

(2) 前記手動運転命令に基づいて、前記ツールの手動制御の開始点座標を計算する開始点座標計算ステップと、

(3) 前記手動運転命令及び開始点座標に基づいて、所定の補間周期毎に前記ツールの位置及び姿勢に関するデータを計算するとともに、該位置及び姿勢データを、それぞれ前記開始点座標で表される開始点からツールの目標点に至る全補間周期で累積計算して並進動作及び回転動作の累積移動量を得る累積移動量計算ステップと、

(4) 前記累積移動量を、前記産業用ロボットの各関節の関節角度に逆変換することで、前記ツールを前記開始点から目標点に到達させる位置指令を生成するツール位置指令生成ステップと、

(5) 前記指令を前記産業用ロボットの各関節を動かすサーボ機構に与えることで当該サーボ機構を制御し、これにより前記ツールを前記開始点から目標点に到達させるようするサーボ機構制御ステップと、を備え、

前記開始点座標計算ステップ及び累積移動量計算ステップの各ステップにおいて、前記ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作に対して、それぞれ個別の基準座標系に基づき、前記開始点座標、位置及び姿勢データ、又は各動作の累積移動量を計算するようにしたことを特徴とする産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のツールの位置・姿勢制御方法において、前記ツール位置指令生成ステップには、

(i) 前記位置及び姿勢の累積移動量にそれぞれ対応する等価並進行列及び等価回転行列を計算する等価並進・回転行列計算ステップと、

(ii) 前記開始点座標と、前記等価並進行列及び等価回転行列とに基づいて、前記ツールを前記開始点から目標点に到達させる目標並進行列及び目標回転行列を計算する目標並進・回転行列計算ステップと、

(iii) 前記目標並進行列及び目標回転行列に基づいて前記産業用ロボットの各関節角度を計算するロボット関節角度計算ステップと、

が含まれる産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法。

10

20

30

40

50

【請求項 6】

産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御するにあたって使用される制御システムであって、

ロボット作業命令の教示手段に対して手動制御が実行されたことを検知し、当該検知を契機として前記産業用ロボットへの手動運転命令を生成する手動運転命令生成手段と、

前記手動運転命令に基づいて、前記ツールの手動制御の開始点座標を計算する開始点座標計算手段と、

前記手動運転命令及び開始点座標に基づいて、所定の補間周期毎に前記ツールの位置及び姿勢に関するデータを計算するとともに、該位置及び姿勢データを、それぞれ前記開始点座標で表される開始点からツールの目標点に至る全補間周期で累積計算して並進動作及び回転動作の累積移動量を得る累積移動量計算手段と、

前記累積移動量を、前記産業用ロボットの各関節の関節角度に逆変換することで、前記ツールを前記開始点から目標点に到達させる位置指令を生成するツール位置指令生成手段と、

前記位置指令を前記産業用ロボットの各関節を動かすサーボ機構に送信することで当該サーボ機構を制御し、これにより前記ツールを前記開始点から目標点に到達させるようとするサーボ機構制御手段と、を備え、

前記開始点座標計算手段及び累積移動量計算手段の各手段において、前記ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作に対して、それぞれ個別の基準座標系に基づき、前記開始点座標、位置及び姿勢データ、又は各動作の累積移動量を計算するようにしたことを特徴とする産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法及び制御システムに関し、詳しくは、産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法、及び、当該方法に適する位置・姿勢制御システムに関する。

【背景技術】**【0002】**

一般に産業用ロボットの手動制御は、多関節を用いた手動制御（以下、「関節手動制御」という。）と直交座標系を用いた手動制御（以下、「直角手動制御」という。）の2種に大別される。関節手動制御では、多関節を有する所謂多関節型ロボットに備えられた各関節を個別に回転動作させる。一方、直角手動制御では、産業用ロボットが把持するツール（ロボットの先端に取り付けられ、ワーク（被溶接物等）に作用させる道具）を、予め決められた、手動制御の際に基準とする座標系（以下、「基準座標系」という。）に従って並進・回転動作させる。これらの手動制御は、通常、産業用ロボットにその姿勢や位置での動作を教え込む所謂教示作業の際に使用される。尚、産業用ロボットでアーク溶接作業を行う場合には、前記ツールは、アーク溶接トーチ（以下、単に「トーチ」という。）となる。

【0003】

通常、関節手動制御は、産業用ロボットの姿勢を大きく変化させるときだけ使用され、その他の大多数の教示作業では、トーチ等が教示により移動される教示点へのツールの位置決めやツールの姿勢変更には、直角手動制御が使用される。このように産業用ロボットの手動制御において、直角手動制御が多用されるのは、関節手動制御では、トーチの位置と姿勢とを分離して手動制御することができないが、直角手動制御ではこれが可能であり、産業用ロボットのツールを所望の位置や姿勢とし易いためである。

【0004】

また、産業用ロボットの直角手動制御では、ツールの位置や姿勢の変化の自由度を増やすべく、通常、基準座標系を、複数の座標系から選択できるようになっている。これら基準座標系には、ベース座標系、ツール座標系、ワーク座標系、ショッップフロア座標系、任

意座標系等がある。これら基準座標系が変われば、産業用ロボットに手動制御の動作内容を教示する手段（手動運転命令手段）であるティーチングペンダント（以下、「TP」と略す。）上で同じキー操作を行っても、ツールの並進動作や回転動作が変わらるようになる。

【0005】

ところで、前記直角手動制御では、産業用ロボットに行わせる作業や動作の種類に応じて適切な座標系が存在する。例えば、ワークに沿ってツールの位置を並進動作により変更したいときはワーク座標系を基準とし、ロボットの設置位置を基準としてツールを並進動作させたいときはベース座標系を基準とすると、それぞれの場合にロボットの手動制御が容易化される。また、トーチの姿勢を回転動作により変更したいときは、ツールの取り付け部位に基づくツール座標系を基準とすると、ロボットの手動制御が容易化される。これは、通常、ツール座標系では、ツールの形状やツールに接続されるワイヤの送給方向に一致するように座標系が設定されているためである。

【0006】

ところが、従来は、直角手動制御において産業用ロボットのツールの位置や姿勢を変えるにあたり、並進動作及び回転動作の各動作には、常に同一の基準座標系が予め設定され、用いられている（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開平11-188676号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

このため、作業者は、主としてツールの並進動作を手動制御するときと、その回転動作を手動制御するときとで、その都度、各動作に適した基準座標系に切り替えることが必要となり、手動制御が著しく煩雑化することで産業用ロボットの教示作業に長時間を要し、作業効率を大きく低下させていた。

【0008】

本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであって、その目的は、産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御するにあたり、当該手動制御の最中に、産業用ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作にそれぞれ適した基準座標系に切り替えるという煩雑な操作を行うことなく、簡易に産業用ロボットのツールを手動制御することができる産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法及び当該方法を実現する位置・姿勢制御システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記問題点を解決するために、請求項1に記載の発明は、産業用ロボットの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、前記産業用ロボットに備えられたツールの並進動作と回転動作とに用いる基準座標系を各動作ごとにそれぞれ個別に設定した後、各基準座標系に基づいて並進動作及び回転動作の手動制御を行うこと、を要旨とする。

【0010】

上記請求項1の構成によれば、産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する前に、該ツールの並進動作及び回転動作の各動作に対してそれぞれ適した基準座標系を設定することができる。これにより、前記手動制御の最中に、産業用ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作にそれぞれ適した基準座標系に切り替えるという煩雑な操作を行う必要がなくなり、作業者が簡易に産業用ロボットのツールを手動制御することができるようになる。その結果、産業用ロボットへ作業プログラムを教示するために要する教示時間が低減され、産業用ロボットの教示作業が簡略化されるようになる。

【0011】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の位置・姿勢制御方法において、前記並進動作の基準座標系としてワールド座標系、ベース座標系、又はワーク座標系のいずれか一の

座標系を用いるとともに、前記回転動作の基準座標系としてツール座標系を用いること、を要旨とする。

【0012】

上記請求項2の構成によれば、ツールの並進動作については、作業者が直接的にその動作を認知できるベース座標系において所望の並進動作が実現される一方、ツールの回転動作についても、作業者が直接的にその動作を認知できるツール座標系において所望の回転動作が実現されるようになり、産業用ロボットのツールの手動制御が容易化されるようになる。

【0013】

請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の位置・姿勢制御方法において、前記産業用ロボットが6軸の多関節型ロボットであって、前記並進動作の基準座標系として、前記ワーク座標系を用いるとともに、該ワーク座標系が、前記ロボットに対してワークの相対位置を変更するポジショナに備えられたワーク載置面を基準とすること、を要旨とする。

【0014】

上記請求項3の構成によれば、ワークをロボットが作業し易いポジションに位置決めするポジショナのワーク載置面を基準として基準座標系を設定できるので、ワークに対するツールの並進動作を、作業者にとって更に認知しやすい状態で手動制御することができるようになる。特に産業用ロボットが溶接ロボットの場合に、例えば、溶接部を常に溶接し易い状態に置くことができるポジショナの姿勢に倣ってトーチ(ツール)を容易に並進移動させることができるようになる。

【0015】

請求項4に記載の発明は、多関節を有する産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、(1)ロボット作業命令の教示手段に対して手動制御が実行されたことを検知し、当該検知を契機として前記産業用ロボットへの手動運転命令を生成する手動運転命令生成ステップと、(2)前記手動運転命令に基づいて、前記ツールの手動制御の開始点座標を計算する開始点座標計算ステップと、(3)前記手動運転命令及び開始点座標に基づいて、所定の補間周期毎に前記ツールの位置及び姿勢に関するデータを計算するとともに、該位置及び姿勢データを、それぞれ前記開始点座標で表される開始点からツールの目標点に至る全補間周期で累積計算して並進動作及び回転動作の累積移動量を得る累積移動量計算ステップと、(4)前記累積移動量を、前記産業用ロボットの各関節の関節角度に逆変換することで、前記ツールを前記開始点から目標点に到達させる位置指令を生成するツール位置指令生成ステップと、(5)前記指令を前記産業用ロボットの各関節を動かすサーボ機構に与えることで当該サーボ機構を制御し、これにより前記ツールを前記開始点から目標点に到達させるようにするサーボ機構制御ステップと、を備え、前記開始点座標計算ステップ及び累積移動量計算ステップの各ステップにおいて、前記ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作に対して、それぞれ個別の基準座標系に基づき、前記開始点座標、位置及び姿勢データ、又は各動作の累積移動量を計算するようにしたこと、を要旨とする。

【0016】

上記請求項4の構成によれば、産業用ロボットの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、前記産業用ロボットに備えられたツールの並進動作と回転動作とに用いる基準座標系を各動作ごとにそれぞれ個別に設定した後、各基準座標系に基づいて並進動作及び回転動作の手動制御を行う方法を、簡略的且つ系統だったプロセスで実現することができる。

【0017】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載のツールの位置・姿勢制御方法において、前記ツール位置指令生成ステップには、(i)前記位置及び姿勢の累積移動量にそれぞれ対応する等価並進行列及び等価回転行列を計算する等価並進・回転行列計算ステップと、(ii)前記開始点座標と、前記等価並進行列及び等価回転行列とに基づいて、前記ツールを前記開始点から目標点に到達させる目標並進行列及び目標回転行列を計算する目標並進・

10

20

30

40

50

回転行列計算ステップと、(iii)前記目標並進行列及び目標回転行列に基づいて前記産業用ロボットの各関節角度を計算するロボット関節角度計算ステップと、が含まれること、を要旨とする。

【0018】

上記請求項5の構成によれば、産業用ロボットのツールの並進動作及び回転動作の累積移動量を各関節の関節角度に逆変換することで、ツールを開始点から目標点に到達させる位置指令を生成する方法を、簡略的且つ系統だったプロセスで実現することができる。

【0019】

請求項6に記載の発明は、産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御するにあたって使用される制御システムであって、ロボット作業命令の教示手段に対して手動制御が実行されたことを検知し、当該検知を契機として前記産業用ロボットへの手動運転命令を生成する手動運転命令生成手段と、前記手動運転命令に基づいて、前記ツールの手動制御の開始点座標を計算する開始点座標計算手段と、前記手動運転命令及び開始点座標に基づいて、所定の補間周期毎に前記ツールの位置及び姿勢に関するデータを計算するとともに、該位置及び姿勢データを、それぞれ前記開始点座標で表される開始点からツールの目標点に至る全補間周期で累積計算して並進動作及び回転動作の累積移動量を得る累積移動量計算手段と、前記累積移動量を、前記産業用ロボットの各関節の関節角度に逆変換することで、前記ツールを前記開始点から目標点に到達させる位置指令を生成するツール位置指令生成手段と、前記位置指令を前記産業用ロボットの各関節を動かすサーボ機構に送信することで当該サーボ機構を制御し、これにより前記ツールを前記開始点から目標点に到達させるようにするサーボ機構制御手段と、を備え、前記開始点座標計算手段及び累積移動量計算手段の各手段において、前記ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作に対して、それぞれ個別の基準座標系に基づき、前記開始点座標、位置及び姿勢データ、又は各動作の累積移動量を計算するようにしたこと、を要旨とする。

10

20

30

40

【0020】

上記請求項6の構成によれば、産業用ロボットの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、前記産業用ロボットに備えられたツールの並進動作と回転動作とに用いる基準座標系を各動作ごとにそれぞれ個別に設定した後、各基準座標系に基づいて並進動作及び回転動作の手動制御を行う方法を、簡略的且つ系統だった制御システムで実現することができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御するにあたり、当該手動制御の最中に、産業用ロボットのツールの並進動作及び回転動作の各動作にそれぞれ適した基準座標系に切り替えるという煩雑な操作を行うことなく、簡易に産業用ロボットのツールを手動制御することができる産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御方法及び当該方法を実現する位置・姿勢制御システムを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

図1に本実施形態で用いる多関節型ロボット装置の制御システムを示す。該制御システムには、多関節型ロボット1、ポジショナ2、前記多関節型ロボット1とポジショナ2とを制御するロボット制御装置3、及び前記多関節型ロボット1とポジショナ2とに駆動電力を供給する溶接電源装置4が設けられている。

【0023】

前記多関節型ロボット1は、トーチ(ツール)11と、5個(複数個)のアーム12a, 12b, 12c, 12d, 12eと、各アーム間に存在する各関節の関節角度を変えるための6個(複数個)のサーボモータ(駆動モータ)13a, 13b, 13c, 13d,

50

13e、13f（但し、サーボモータ13bとサーボモータ13eとは図示省略）とを備えている（トーチ11側よりロボット1が設置される大地面に向けてアルファベット順で示す。）。これらサーボモータ13a～13fには、ロボット制御装置3のサーボドライバより回転駆動電力が供給されるとともに、ロボット制御装置3から送信される制御信号によって制御される。

【0024】

また、前記多関節型ロボット1は、トーチ11を把持するためのフランジ部（面）（符号省略）を有するエンドエフェクタ14を更に備えており、このトーチ11は、アーム12aを介して前記フランジ部に取り付けられている。この多関節型ロボット1では、トーチ11を用いてワーク（被溶接物）に対してアーク溶接（溶接）が行われる。尚、図1に示すトーチ11の直棒状の先端部11aは、その基準位置において大地面に対して略直交するようにされている。10

【0025】

このように、多関節型ロボット1は、複数個のサーボモータ13a～13fがロボット制御装置3により制御され、回転駆動されることによって、多関節型ロボット1の各関節が回転し、且つアーム12a～12eが移動する。これにより、エンドエフェクタ14のフランジ部に取り付けられたトーチ11が上下前後左右に移動可能とされ、所望の位置とされるとともに、その姿勢も所望の状態とされる。

【0026】

前記多関節型ロボット1のアーム12c近傍には、トーチ11に対して溶接ワイヤ（符号省略）を送給するワイヤ送給装置15が設けられている。該ワイヤ送給装置15は、溶接ワイヤが巻回されたリールと、該リールを回転させる送給モータ（いずれも図示省略）とを備え、この送給モータは、溶接電源装置4からの電力によって所定のタイミングで回転駆動される。前記溶接ワイヤを介して溶接電源装置4からトーチ11に高電圧の溶接電圧が供給されることで溶接ワイヤの先端とワークとの間にアークが発生し、その熱で溶接ワイヤが溶融することで、ワークが溶接される。20

【0027】

本実施形態の制御システムにおいて、前記ポジショナ2は、多関節型ロボット1のトーチ11と対向し、ワークを回転又は傾斜させて当該ワークをトーチ11による溶接に適する状態とする。詳述すると、このポジショナ2は、溶接時にワークが載置される略円形のワーク載置面21aを有するワーク載置台21と、該ワーク載置台21を所定方向に回転又は傾斜自在に支持する支持台21bとを備えている。そして、前記トーチ11は、その先端部11aがワーク載置面21aに対向するように多関節型ロボット1に設けられている。このようにして、ポジショナ2がワークを自在に回転又は傾斜させるとともに、前述したように複数個のサーボモータ13a～13fによってアーム12a～12eを変位させることで、ワークがトーチ11に対して溶接に適する所要の位置及び姿勢関係に設定される。尚、ポジショナ2のワーク載置台21は、支持台21bの側部に設けられたサーボモータ22によって大地面に対して傾斜可能とされている。このサーボモータ22には、その下方位置にて支持台21bに設けられた電源ボックス23を介して溶接電源装置4から回転駆動電力が供給される。30

【0028】

また、図1に示すように、本実施形態の制御システムにおいては、多関節型ロボット1の手動制御にあたり、複数の基準座標系が用いられる。これら基準座標系としては、多関節型ロボット1側には、大地を基準に設定され、本制御システムで絶対的な基準となるワールド座標系（O-X0, Y0, Z0）、多関節型ロボット1のアーム12eを基準に設定されたベース座標系（O1-X1, Y1, Z1）、トーチ11が取り付けられるフランジ面（取り付け面）を基準に設定されたエンドエフェクタ座標系（O2-X2, Y2, Z2）、トーチ11を基準に設定されたツール座標系（O3-X3, Y3, Z3）が定義される。また、ポジショナ2側には、ポジショナ2の設置面を基準に設定されたポジショナ座標系（O4-X4, Y4, Z4）、及び、ポジショナ2のワーク載置面21aを基準に40

設定されたワーク座標系 (O 5 - X 5 , Y 5 , Z 5) が定義される。本実施形態における多関節型ロボット 1 の直角手動制御では、このように定義された複数の基準座標系を用いて、トーチ 1 1 の位置及び姿勢が表現される。

【 0 0 2 9 】

前記ロボット制御装置 3 は、図 2 に示すように、本ロボット制御装置 3 の制御中枢となる C P U 3 1 、多関節型ロボット 1 の作業や動作を規定する作業プログラムの各バッファとして機能する R A M 3 2 、作業プログラムが格納される R O M 3 3 、及び所定の定期時刻毎に同期信号を C P U 3 1 へ発生するタイマー (T I M E R) 3 4 を備えている。さらに、該ロボット制御装置 3 は、多関節型ロボット 1 に対して手動制御によって教示された教示データが格納されるハードディスク 3 5 、及び、手動制御時に使用し、 T P 3 6 a が接続されるティーチングペンドント I / F (インターフェース) 3 6 を備えている。この T P 3 6 a は、多関節型ロボット 1 に前記作業プログラムを教示する教示手段として用いる。さらに、該ロボット制御装置 3 は、操作ボックス I / F 3 7 及びサーボドライバ I / F 3 8 を備えている。この操作ボックス I / F 3 7 には、教示した作業プログラムのタイミングを C P U 3 1 に与える操作ボックス 3 7 a が接続されている。

10

【 0 0 3 0 】

また、サーボドライバ I / F 3 8 には、多関節型ロボット 1 の各関節を駆動する前記した複数のサーボドライバ (サーボ機構) 3 8 a , ... が接続されている。そして、サーボドライバ 3 8 a , ... には、各サーボドライバ 3 8 a によって制御可能な状態で、前記したサーボモータ 1 3 a ~ 1 3 f (図 1 参照) が接続されている。詳述すると、各サーボドライバ 3 8 a の制御は、 C P U 3 1 からの動作指令信号に基づいて行われ、図 2 に示す多関節型ロボット 1 を、 6 個のサーボモータ 1 3 a ~ 1 3 f によってそれぞれ各アーム 1 2 a ~ 1 2 e 間の関節角度 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 で回転するようにされている。

20

【 0 0 3 1 】

以上説明した C P U 3 1 、 R A M 3 2 、 R O M 3 3 、タイマー 3 4 、ハードディスク 3 5 、 T P 3 6 a 、操作ボックス I / F 3 7 、及びサーボドライバ I / F 3 8 は、バス (B U S) 3 9 を介して相互に接続され、上述した各機能を実現すべく必要な信号をやりとりするように構成されている。

【 0 0 3 2 】

本実施形態の制御システムを構成する主要部について詳述すると、前記 C P U 3 1 は、前記作業プログラム、 T P 3 6 a や操作ボックス 3 7 a から送信される操作信号、又は、各サーボモータ 1 3 a ~ 1 3 f に設けられた図示しないエンコーダからの現在位置情報等に基づいて、所定のデータ演算処理を行い、バス 3 9 及びサーボドライバ I / F 3 8 を介して各サーボドライバ 3 8 a に動作指令を与える。これにより、サーボモータ 1 3 a ~ 1 3 f が制御され回転駆動され、前述したように、トーチ 1 1 がワークに対して溶接に適した所要の位置及び姿勢関係とされる。また、前記 R O M 3 3 には、前記作業プログラムの他、この作業プログラムの実行条件を示すデータ、及び制御定数を示すデータ等が格納される。

30

【 0 0 3 3 】

また、前記 T P 3 6 a は、多関節型ロボット 1 を手動制御するときに作業者によって操作され、所定の操作情報が表示される表示装置 3 6 b と所定の情報の入力に用いるキーボード 3 6 c とを備えている。該キーボード 3 6 c には、手動制御操作用のスイッチ (以下、「軸キー」と呼ぶ。) が 1 2 個設けられている (図示省略) 。このようにキーボード 3 6 c に 1 2 個の軸キーが設けられているのは、本実施形態のように多関節型ロボット 1 を直角手動制御で操作する場合では、位置 (3 自由度) 及び姿勢 (3 自由度) からなる計 6 自由度に対して、それぞれ正 (+) 方向及び負 (-) 方向の 2 つの方向に対応する数の軸キーが使用される (6 自由度 × 2 つ = 1 2 個) ためである。

40

【 0 0 3 4 】

前記キーボード 3 6 c には、多関節型ロボット 1 を直角手動制御で操作するにあたり、作業者がトーチ 1 1 の並進動作及び回転動作の各動作に対してそれぞれ個別の基準座標系

50

を設定するための不図示のスイッチ（以下、「座標系スイッチ」という。）が備えられている。本実施形態において、並進動作及び回転動作の各動作の基準座標系としては、前述したワールド座標系、ベース座標系、ワーク座標系、及びツール座標系の4個の座標系が使用でき、それぞれの座標系について、1から4の間の整数で表される座標系番号が識別のために割り当てられる。ここで、並進動作の座標系番号が入力されるパラメータ変数には、CoorParaを使用し、回転動作の座標系番号が入力されるパラメータ変数には、CoorRotを使用する。作業者は、前記した座標系番号から所望の数字を選択し、前記座標系スイッチを使用して、CoorPara及びCoorRotにそれぞれ個別に座標系番号を入力する。

【0035】

また、前記キーボード36cには、多関節型ロボット1を直角手動制御で操作するにあたり、作業者がトーチ11の並進動作及び回転動作の各動作に対してそれぞれ個別の動作速度を設定するための不図示のスイッチ（以下、「速度スイッチ」という。）も備えられている。本実施形態において、並進動作の速度（単位：[mm/sec]）が入力されるパラメータ変数には、ManuParaVelを使用し、回転動作の速度（単位：[rad/sec]）が入力されるパラメータ変数には、ManuRotVelを使用する。作業者は、前記速度スイッチを使用して、ManuParaVel及びManuRotVelにそれぞれ個別に速度を入力する。

【0036】

さらに、前記キーボード36cには、多関節型ロボット1を直角手動制御で操作するにあたり、作業者がトーチ11の並進動作及び回転動作の各動作に対してそれぞれ個別の動作方向を指示するための不図示のスイッチ（以下、「動作方向指示スイッチ」という。）も備えられている。本実施形態において、例えば、X軸方向の並進動作については、正（+）方向への並進動作の指示の有無（0：なし、1：有り）が入力されるパラメータ変数には、AxesKey_Xplusを使用し、負（-）方向への並進動作の指示の有無（0：なし、1：有り）が入力されるパラメータ変数には、AxesKey_Xminusを使用する。作業者は、前記動作方向指示スイッチを使用して、AxesKey_Xplus及びAxesKey_Xminus等にそれぞれ個別に動作指示の有無を入力する。

【0037】

下表1に、トーチ11の並進動作及び回転動作に用いる基準座標系のパラメータ変数（CoorPar及びCoorRot）、当該並進動作及び回転動作の各動作の速度のパラメータ変数（ManuParaVel及びManuRotVel）、及び当該並進動作及び回転動作の各動作における2つの動作方向、即ち、正（+）方向及び負（-）方向のパラメータ変数（AxesKey_Xplus及びAxesKey_Xminus等）、から構成される動作指示の一覧を示す。

10

20

30

【表1】

No.	パラメータ変数	説明	内容
1	CoorPara	直角手動制御の並進動作の基準座標系番号 1 : ワールド座標系 2 : ベース座標系 3 : ワーク座標系 4 : ツール座標系	1 ~ 4 間の整数
2	CoorRot	直角手動制御の回転動作の基準座標系番号 1 : ワールド座標系 2 : ベース座標系 3 : ワーク座標系 4 : ツール座標系	10
3	ManuParaVel	直角手動制御の並進動作の線速度 [mm/sec]	線速度値
4	ManuRotVel	直角手動制御の回転動作の角速度 [rad/sec]	角速度値
5	AxesKey_XPuls	X + 方向への並進動作方向の指示の有無	20 0 : なし 1 : あり
6	AxesKey_XMinus	X - 方向への並進動作方向の指示の有無	
7	AxesKey_YPuls	Y + 方向への並進動作方向の指示の有無	
8	AxesKey_YMinus	Y - 方向への並進動作方向の指示の有無	
9	AxesKey_ZPuls	Z + 方向への並進動作方向の指示の有無	
10	AxesKey_ZMinus	Z - 方向への並進動作方向の指示の有無	
11	AxesKey_APuls	X + 方向への回転動作方向の指示の有無	
12	AxesKey_AMinus	X - 方向への回転動作方向の指示の有無	
13	AxesKey_BPuls	Y + 方向への回転動作方向の指示の有無	
14	AxesKey_BMinus	Y - 方向への回転動作方向の指示の有無	
15	AxesKey_CPuls	Z + 方向への回転動作方向の指示の有無	
16	AxesKey_CMinus	Z - 方向への回転動作方向の指示の有無	

【0038】

前記CPU31は、これらの各種のパラメータ変数で表される操作信号を受け取ることによって所定のデータ処理を行うとともに、TP36aに表示データを送信して前記表示装置36bに操作情報を表示させる。さらに、CPU31は、これら操作信号を、後述する手動運転命令生成部51(図4参照)によって教示データの形で読み出し可能な状態でハードディスク35に格納する。

【0039】

以下、図3を参照しつつ、前記したサーボドライバ38aにおけるサーボモータ13a～13fのサーボ制御系について簡単に説明する。このサーボ制御系には、位置制御ブロック300、速度制御ブロック301、及び電流制御ブロック302が設けられており、各ブロックによって、後述する多関節型ロボット1の各関節に対する位置指令にサーボモータ13a～13fの動作を追従させることができるとともに、教示データの再生が実行される。詳述すると、CPU31から送信される前記位置指令は、先ず、位置制御ブロック300に入力され、該位置制御ブロック300からの出力は、速度制御ブロック301に入力される。そして、この速度制御ブロック301からの出力は、電流制御ブロック302に入力され、電流制御ブロック302の出力は、サーボモータ13a～13fに

10

20

30

40

50

入力される。サーボモータ 13a～13f からの出力は、ばね等の減速機構 304 を介して、負荷となるアーム 12a～12e に伝えられる。

【0040】

各サーボモータ 13a～13f には、それぞれ電流検出ブロック 303 が接続され、各電流検出ブロック 303 において各サーボモータ 13a～13f に流れる電流が検出され、該電流値は電流制御ブロック 302 にフィードバックされる。また、各サーボモータ 13a～13f には、それぞれエンコーダ 305 が接続され、各エンコーダ 305 によって現在のアームの移動速度に対応する各サーボモータ 13a～13f の回転速度に関するデータが取得され、該取得された回転速度データは、位置制御ブロック 300 と速度制御ブロック 301 とにフィードバックされる。

10

【0041】

前記位置制御ブロック 300 では、電流制御ブロック 302 にフィードバックされた前記回転速度データが積分ブロック 306 によって積分されることにより位置データに変換されて減算器 307 に入力され、この減算器 307 により多関節型ロボット 1 の各関節に対する位置指令に対する現在の各関節の位置（関節角度）の誤差データが演算される。この誤差データは増幅器 308 により所定のゲイン Kpp（以下、「位置 FB ゲイン」という。）でレベル補正が行なわれた後、加算器 309 に入力される。

【0042】

また、位置制御ブロック 300 では、多関節型ロボット 1 の各関節に対する位置指令のデータは、微分ブロック 310 によって微分されることにより速度データに変換され、さらに増幅器 311 により所定のゲイン Kff（以下、「速度 FF ゲイン」という。）でレベル補正が行なわれた後、加算器 309 に入力される。該加算器 309 では速度 FF ゲイン Kff で出力される速度データと、位置 FB ゲイン Kpp で出力される誤差データとが加算され、前記した速度制御ブロック 301 に出力される。

20

【0043】

以上のとおり、本実施形態の制御システムでは、多関節型ロボット 1 の各関節に対する位置指令に対して各サーボモータ 13a～13f の動作をフィードバック（FB）制御することにより、予め教示された教示データの再生が正確に行われるようになっている。

【0044】

以下、図 4 を参照しつつ、このプログラムの構成について説明する。このプログラムは、多関節型ロボット 1 のトーチ 11（ツール）の位置及び姿勢を直角手動制御によって制御するためのものである。

30

【0045】

前述した ROM33（図 2 参照）には、多関節型ロボット 1 の動作制御を実行するプログラム、そのプログラムの実行条件、及び制御定数等が格納される。このプログラムは、図 4 に示すように、手動運転命令生成部 51、開始点座標生成部 52、補間点生成部 53、関節補間点生成部 54、及びサーボ出力部 55 を備えており、本プログラムに従って CPU31 にて演算処理が行われる。また、RAM32 は、CPU31 のワーキングエリアとして用いられ、図 4 に示す動作命令バッファ 51a、軌道バッファ 52a、補間点バッファ 53a、及び関節補間点バッファ 54a の各機能が実現される。これら各バッファは、FIFO (first-in first-out) バッファとして構成されており、先入れ及び先出しでデータが処理され、上記プログラムの各部 51～55 で生成するデータが一時的に格納されるようになっている。

40

【0046】

以下、図 5～図 9 を参照しつつ、本実施形態の多関節型ロボット装置の制御システムを使用し、産業用ロボットの位置及び姿勢を直角手動制御によって制御する方法について説明する。

【0047】

図 5 を参照して、先ず、多関節型ロボット 1 の動作制御を実行するプログラムにおける手動運転命令生成部 51（図 4 参照）が、TP36a からの手動制御のための操作（以下

50

、「手動制御操作」という。)の有無を待機する(ステップS0)。この手動制御操作が実行されない場合は、この待機の状態を継続する。一方、手動制御操作を実行したことが手動運転命令生成部51によって検知されると、当該手動運転命令生成部51において、前記検知を契機として多関節型ロボット1の手動運転命令が生成されるとともに、該手動運転命令が動作命令バッファ51aに格納される(ステップS1)。詳述すると、ステップS0にて、手動運転命令生成部51において、TP36aの12個の軸キーの内の少なくとも1個が操作されたこと、または、操作中の前記軸キーの数や種類が変更されたことが検知されると、ステップS1にて、前記手動運転命令生成部51において、新たな手動運転命令が生成される。この手動運転命令には、表1に示したトーチ11の並進動作及び回転動作の基準座標系のパラメータ変数(CoorPar及びCoorRot)、当該並進動作及び回転動作の各動作の速度[mm/sec, rad/sec]のパラメータ変数(ManuParaVel及びManuRotVel)、及び当該並進動作及び回転動作の各動作における2つの動作方向、即ち、正(+)方向及び負(-)方向のパラメータ変数(AxesKey_Xplus及びAxesKey_Xminus等)、から構成される動作指示データが含まれる。

【0048】

本実施形態では、TP36aを用い、パラメータ変数CoorParaに2を入力し(即ち、並進動作の基準座標系をベース座標系とする。)、パラメータ変数CoorRotに4を入力する(即ち、回転動作の基準座標系をツール座標系とする。)。また、パラメータ変数ManuParaVel及びManuRotVelには、それぞれ所定値[mm/sec, rad/sec]を入力するとともに、軸キーを操作し、AxesKey_Xplus及びAxesKey_Xminus等にも、所要の動作方向に応じた数値が入力されるようにする。

【0049】

ここで、並進動作の座標系は、図6(a)に示すように、ベース座標系を基準座標系に用いて表現され(同図では並進動作の移動距離=D[mm]とする。)、回転動作の座標系は、図6(b)に示すように、ツール座標系を基準座標系に用いて表現される(同図では回転動作の回転角度=[°]とする。)。このように、本実施形態では、並進動作及び回転動作の座標系はそれぞれ個別の基準座標系を用いて表現されるが、後述する同次変換行列を使用すれば、図7に示すように、並進動作及び回転動作の座標系は、まるで同一の基準座標系を用いる場合のように、統一して表現されるようになる。

【0050】

図5に戻り、次に、開始点座標生成部52(図4参照)において、動作命令バッファ51aから手動運転命令が読み出され、この手動運転命令に基づいて、トーチ11の手動制御の開始点座標(開始点の位置及び姿勢に対応する。)が三次元空間の直交座標上で計算(生成)されるとともに該開始点座標及び手動運転命令に関するデータ(以下、「軌道データ」という。)が軌道バッファ52aに格納される(ステップS2)。このステップS2では、多関節型ロボット1のトーチ11の並進動作及び回転動作の各動作に対して、それぞれ個別に基準座標系を用いて開始点座標が計算(生成)される。詳述すると、本実施形態では、前述したように、並進動作(位置に対応)、回転動作(姿勢に対応)の各動作に対して、それぞれベース座標系、ツール座標系を基準座標系に用いるので、トーチ11の並進動作及び回転動作の各動作にそれぞれ個別に計2個の開始点座標が計算(生成)される。尚、本実施形態では、前記開始点座標の目標座標系(基準座標系によって表現する目標(目的)となる座標系)については、並進動作及び回転動作共に、トーチ11が実際(最終的)に動作する座標系であるツール座標系を用いて表現する。

【0051】

このように、本実施形態では、並進動作、回転動作の各動作に対して、それぞれベース座標系、ツール座標系を基準座標系に用いる一方、両動作共にツール座標系を目標座標系に用いてその位置及び姿勢を表現する。このため、前記開始点座標は、トーチ11の並進動作については、ベース座標系から見たツール座標系の位置が表現され、トーチ11の回転動作については、ツール座標系から見たツール座標系の姿勢が表現される。後者のよう回転動作の目標座標系及び基準座標系が共にツール座標系の場合は、ツール座標系から

見たツール座標系の姿勢を求めるこことなって意味をなさないので、ベース座標系を基準座標系とする。以上のようにして、本実施形態では、開始点座標の並進動作及び回転動作は、ベース座標系から見たツール座標系の位置及び姿勢を表す4行4列の同次変換行列として計算される。

【0052】

ここで、前記同次変換行列の計算方法について説明する。下表2に、本計算で用いる同次変換行列を一覧して示す。表2に示す同次変換行列は、一の基準座標系から見た隣接する他の座標系（目標座標系）の位置及び姿勢を表現するものであり、多関節型ロボット1及びポジショナ2のアームの寸法、各関節の関節角度、設置（据付）位置姿勢等のリンクパラメータを用いて従来周知の方法で計算される。

10

【0053】

【表2】

No.	同次変換行列	説明	計算方法など
1	XWorld2Base	ワールド座標系から見たベース座標系の位置及び姿勢を表現する同次変換行列。	ワールド座標系から見た多関節型ロボットの設置位置及び姿勢から計算される時不变の同次変換行列。
2	XBase2End	ベース座標系から見たエンドエフェクタ座標系の位置及び姿勢を表現する同次変換行列。	多関節型ロボットのリンクパラメータ及び各関節角度から計算される同次変換行列。 ここで、各関節角度は、多関節型ロボットの各関節を駆動するサーボモータに連結されたエンコーダ値より計算される。
3	XEnd2Tool	エンドエフェクタ座標系から見たツール座標系の位置及び姿勢を表現する同次変換行列。	トーチの寸法や取り付け角から計算される時不变の同次変換行列。
4	XWorld2Po	ワールド座標系から見たポジショナ座標系の位置及び姿勢を表現する同次変換行列。	ワールド座標系から見たポジショナの据付位置及び姿勢から計算される時不变の同次変換行列。
5	XPo2Work	ポジショナ座標系から見たワーク座標系の位置及び姿勢を表現する同次変換行列。	ポジショナのリンクパラメータ及びポジショナの各関節角度から計算される同次変換行列。 ここで、各関節角度は、ポジショナの各関節を駆動するサーボモータに連結されたエンコーダ値より計算される。

20

30

40

注）上表2において、「時不变」とは、同次変換行列の特性が時間に依存せずに不变であることをいう。

【0054】

以下、用いる基準座標系別に、該基準座標系から見た、トーチ11の並進動作及び回転動作の各開始点座標を表す同次変換行列の計算式を示す。ここでは、トーチ11の並進動作の開始点座標を表す同次変換行列をMStartPara、トーチ11の回転動作の開始点座標を表す同次変換行列をMStartRotでそれぞれ表記する。尚、各同次変換行列において、右上

50

の添え字「 - 1 」がある行列は、同表記の添え字のない行列に対する逆行列を示す。

【 0 0 5 5 】

1) 並進動作のパラメータ変数 CoorPara = 1 (ワールド座標系基準) のとき、

$MStartPara = XWorld2Base \times XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 1)

2) 回転動作のパラメータ変数 CoorRot = 1 (ワールド座標系基準) のとき、

$MStartRot = XWorld2Base \times XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 2)

3) 並進動作のパラメータ変数 CoorPara = 2 (ベース座標系基準) のとき、

$MStartPara = XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 3)

4) 回転動作のパラメータ変数 CoorRot = 2 (ベース座標系基準) のとき、

$MStartRot = XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 4)

5) 並進動作のパラメータ変数 CoorPara = 3 (ワーク座標系基準) のとき、

$MStartPara = XPo2Work^{-1} \times XWorld2Po^{-1} \times XWorld2Base \times XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 5)

6) 回転動作のパラメータ変数 CoorRot = 3 (ワーク座標系基準) のとき、

$MStartRot = XPo2Work^{-1} \times XWorld2Po^{-1} \times XWorld2Base \times XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 6)

7) 並進動作のパラメータ変数 CoorPara = 4 (ツール座標系基準) のとき、

$MStartPara = XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 7)

8) 回転動作のパラメータ変数 CoorRot = 4 (ツール座標系基準) のとき、

$MStartRot = XBase2End \times XEnd2Tool \dots$ 式 (1 - 8)

10

20

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

前述したように、本実施形態では、パラメータ変数 CoorPara = 2 、パラメータ変数 CoorRot = 4 であるので、以下の計算プロセスでは、上式 (1 - 3) 及び式 (1 - 8) が使用される。

【 0 0 5 7 】

次いで、図 5 を参照して、補間点生成部 5 3 (図 4 参照) において、軌道バッファ 5 2 a から並進動作及び回転動作についての軌道データが各動作について個別に読み出される。そして、この軌道データに基づいて、トーチ 1 1 の位置及び姿勢のそれについて、補間周期 (以降の計算式で「 Sampling 」と表記する。単位 : [sec]) と呼ぶ所定の時間毎にトーチ 1 1 が到達すべき位置及び姿勢に関するデータが補間点データとして計算されるとともに、該補間点データは、トーチ 1 1 が前記開始点座標で表される開始点から目標点 (手動制御の終了点) に至る全補間周期の間で累積計算される。こうして得られた各補間点データ及び累積移動量は、補間点バッファ 5 3 a に一時的に格納される (ステップ S 3) 。これら累積計算の内、位置 (並進動作) の累積計算について図 8 を参照して説明すると、開始点 P 0 から目標点 P n 間を n 等分する各点 P 1 ~ P n - 1 についてそれぞれサイクリックに補間点データが計算され、各補間点データが開始点 P 0 から目標点 P n まで累積計算される。即ち、本ステップ S 3 では、多関節型ロボット 1 のトーチ 1 1 の並進動作及び回転動作の各動作に対して、それぞれベース座標系及びツール座標系を基準座標系として補間点データ及び累積移動量が計算されることになる。具体的には、これら補間点データ及び累積移動量は、前述した直角手動制御のパラメータ変数を用いて計算される。つまり、軸キーの操作状態 (AxesKey_XPuls AxesKey_Xminus 等) に対して、直角手動制御の並進動作又は回転動作の速度 (ManuParaVel [mm/sec] 又は ManuRotVel [rad/sec]) に補間周期 (Sampling[sec]) を乗じた値が、一の補間周期の間で計算される位置データ (SampParaX 、並進移動量) 又は姿勢データ (SampRotA 、回転移動量) となる。具体的には、下に示す計算式で表される。

【 0 0 5 8 】

$SampParaX = (AxesKey_XPuls AxesKey_Xminus) \times ManuParaVel \times Sampling \dots$ 式 (2 - 1)

$SampParaY = (AxesKey_Ypuls AxesKey_Yminus) \times ManuParaVel \times Sampling \dots$ 式 (2 - 2)

$SampParaZ = (AxesKey_Zpuls AxesKey_Zminus) \times ManuParaVel \times Sampling \dots$ 式 (2 - 3)

$SampRotA = (AxesKey_Apuls AxesKey_AMinus) \times ManuRotVel \times Sampling \dots$ 式 (2 - 4)

50

$SampRotB = (AxesKey_Bpuls - AxesKey_BMinus) \times ManuRotVel \times Sampling$ 式 (2 - 5)
 $SampRotC = (AxesKey_Cpuls - AxesKey_CMinus) \times ManuRotVel \times Sampling$ 式 (2 - 6)
 ここで、

$SampParaX$: 一の補間周期の間ににおけるトーチ 1 1 の X 軸方向の並進移動量 [mm]
 $SampParaY$: 一の補間周期の間ににおけるトーチ 1 1 の Y 軸方向の並進移動量 [mm]
 $SampParaZ$: 一の補間周期の間ににおけるトーチ 1 1 の Z 軸方向の並進移動量 [mm]
 $SampRotA$: 一の補間周期の間ににおけるトーチ 1 1 の X 軸周りの回転移動量 [rad]
 $SampRotB$: 一の補間周期の間ににおけるトーチ 1 1 の Y 軸周りの回転移動量 [rad]
 $SampRotC$: 一の補間周期の間ににおけるトーチ 1 1 の Z 軸周りの回転移動量 [rad]

【 0 0 5 9 】

10

さらに、トーチ 1 1 の並進動作の累積移動量（累積並進移動量：TotalParaX 等）及びトーチ 1 1 の回転動作の累積移動量（累積回転移動量：TotalRotA 等）は、下に示す計算式で表される。

$TotalParaX = TotalParaX + SampParaX$ 式 (3 - 1)
 $TotalParaY = TotalParaY + SampParaY$ 式 (3 - 2)
 $TotalParaZ = TotalParaZ + SampParaZ$ 式 (3 - 3)
 $TotalRotA = TotalRotA + SampRotA$ 式 (3 - 4)
 $TotalRotB = TotalRotB + SampRotB$ 式 (3 - 5)
 $TotalRotC = TotalRotC + SampRotC$ 式 (3 - 6)

ここで、

20

$TotalParaX$: 手動制御スタート後の基準座標系の X 軸方向の累積並進移動量 [mm]
 $TotalParaY$: 手動制御スタート後の基準座標系の Y 軸方向の累積並進移動量 [mm]
 $TotalParaZ$: 手動制御スタート後の基準座標系の Z 軸方向の累積並進移動量 [mm]
 $TotalRotA$: 手動制御スタート後の基準座標系の X 軸周りの累積回転移動量 [rad]
 $TotalRotB$: 手動制御スタート後の基準座標系の Y 軸周りの累積回転移動量 [rad]
 $TotalRotC$: 手動制御スタート後の基準座標系の Z 軸周りの累積回転移動量 [rad]

【 0 0 6 0 】

30

尚、各累積移動量 $TotalParaX$, $TotalParaY$, $TotalParaZ$, $TotalRotA$, $TotalRotB$, 及び $TotalRotC$ は、先ず、手動運転命令生成部 5 1 において、作業者が T P 3 6 a に対して手動制御操作を実行したことが検知され、さらに開始点座標生成部 5 2 において、動作命令バッファ 5 1 a から手動運転命令が読み出された後、最初に補間点生成部 5 3 において、補間点データが計算される直前にそれぞれ初期の累積移動量 0 [mm, rad] にリセットされる。

【 0 0 6 1 】

40

続いて、図 5 を参照して、関節補間点生成部 5 4 (図 4 参照) において、上述したように計算され、直交座標系で表現された位置及び姿勢にそれぞれ対応する累積移動量が、多関節型ロボット 1 の各関節の関節角度に逆変換される。これにより、前記関節補間点生成部 5 4 において、トーチ 1 1 を開始点座標で表される開始点から目標点に到達させるためのサーボドライバ 3 8 a, ...への位置指令 (多関節型ロボット 1 の各関節に対する位置指令) が計算される。この位置指令は、関節補間点バッファ 5 4 a に一時的に格納され、その後、サーボ出力部 5 5 によって関節補間点バッファ 5 4 a から読み出され、サーボドライバ 3 8 a (図 2 参照) に送信される (ステップ S 4)。

【 0 0 6 2 】

前記ステップ S 4 について詳述すると、該ステップ S 4 は、3 つ (複数) の小ステップ S 4 1, S 4 2, 及び S 4 3 によって構成される。各小ステップ S 4 1, S 4 2, 及び S 4 3 について、図 5 を参照して説明すると、先ず、関節補間点生成部 5 4 において、トーチ 1 1 の位置 (並進動作) 及び姿勢 (回転動作) の累積移動量にそれぞれ対応する等価並進行列及び等価回転行列が計算される (小ステップ S 4 1)。

【 0 0 6 3 】

50

具体的には、上述したように計算した累積並進移動量及び累積回転移動量に基づいて、

トーチ 1 1 の並進動作と回転動作の各動作について個別に等価並進行列及び等価回転行列を計算する。即ち、先ず、等価並進行列 $MatXYZ$ については、累積並進移動量を用いて以下の 4 次元ベクトルの形で定義する。

【数 1】

$$MatXYZ = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & V1 \\ 0 & 1 & 0 & V2 \\ 0 & 0 & 1 & V3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式 (4-1)}$$

ここで、

10

$V1 = TotalParaX$

$V2 = TotalParaY$

$V3 = TotalParaZ$

【0 0 6 4】

また、等価回転行列 $MatRPY$ については、累積回転移動量を用いて以下の 4 次元ベクトルの形で定義する。尚、剛体の回転動作（姿勢）には多種の表現が提案されているが、ここでは、多関節型ロボットの制御分野において一般的に使用されるロール・ピッチ・ヨー角²⁰による表現を使用する。

【0 0 6 5】

【数 2】

$$MatRPY = \begin{bmatrix} E11 & E21 & E31 & 0 \\ E12 & E22 & E32 & 0 \\ E13 & E23 & E33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式 (4-4)}$$

ここで、

30

$E11 = \cos \phi \cos \theta \cos \psi \times \sin \phi \sin \psi$

$E12 = \sin \phi \cos \theta \cos \psi + \cos \phi \sin \psi$

$E13 = -\sin \theta \cos \psi$

$E21 = -\cos \phi \cos \theta \sin \psi \times \sin \phi \cos \psi$

$E22 = -\sin \phi \cos \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi$

$E23 = \sin \theta \sin \psi$

$E31 = \cos \phi \sin \theta$

$E32 = \sin \phi \sin \theta$

$E33 = \cos \theta$

40

$\phi = TotalRotA$ (ロール角)

$\theta = TotalRotB$ (ピッチ角)

$\psi = TotalRotC$ (ヨー角)

【0 0 6 6】

次に、前述したように並進動作及び回転動作について個別に計算された各開始点座標と、上式 (4-1) 及び (4-4) によってそれぞれ計算された等価並進行列及び等価回転行列とに基づいて、関節補間点生成部 54 において、各開始点座標で表される開始点からトーチ 1 1 の目標点に至る目標並進行列及び目標回転行列がそれぞれ計算される（小ステップ S 4 2）。

50

【 0 0 6 7 】

具体的には、目標並進行列 $M_{TargetPara}$ については、TP 3 6 a に入力されたパラメータ変数 (CoorPara) が 1 (ワールド座標系)、2 (ベース座標系)、又は 3 (ワーク座標系) のいずれかの場合には、式 (4 - 1) で示される $MatXYZ$ を、並進動作の開始点座標を表す同次変換行列 $M_{StartPara}$ に対して左からかけることで計算する。このように等価並進行列 $MatXYZ$ を同次変換行列 $M_{StartPara}$ に対して左からかけることは、並進動作をワールド、ベース、ワーク座標系のいずれかの基準座標系に関して行うことに相当する。本実施形態では、前述したように、パラメータ変数 CoorPara = 2 であって、並進動作の基準座標系はベース座標系であるので、 $MatXYZ$ はベース座標系の並進動作として計算される。このように計算すると、作業者が直接的に並進動作を認知できるベース座標系において所望の並進動作が実現され、トーチ 1 1 の操作が容易化されるため好ましい。この場合、目標並進行列 $M_{TargetPara}$ は、関節補間点生成部 5 4 において、下式 (4 - 2) によって計算される。

$$M_{TargetPara} = MatXYZ \times M_{StartPara} \dots \text{式 (4 - 2)}$$

【 0 0 6 8 】

これに対して、TP 3 6 a に入力されたパラメータ変数 (CoorPar) が 4 (ツール座標系) の場合には、式 (4 - 1) で示される $MatXYZ$ を、並進動作の開始点座標を表す同次変換行列 $M_{StartPara}$ に対して右からかけることで目標並進行列 $M_{TargetPara}$ を計算する。このように等価並進行列 $MatXYZ$ を同次変換行列 $M_{StartPara}$ に対して右からかけることは、並進動作を目標座標系に関して行うことに相当する。即ち、この場合は、目標並進行列 $M_{TargetPara}$ は、関節補間点生成部 5 4 において、下式 (4 - 3) によって計算される。

$$M_{TargetPara} = M_{StartPara} \times MatXYZ \dots \text{式 (4 - 3)}$$

【 0 0 6 9 】

一方、目標回転行列 $M_{TargetRot}$ については、TP 3 6 a に入力されたパラメータ変数 (CoorRot) が 1 (ワールド座標系)、2 (ベース座標系)、又は 3 (ワーク座標系) のいずれかの場合には、式 (4 - 4) で示される $MatRPY$ を、回転動作の開始点座標を表す同次変換行列 $M_{StartRot}$ に対して左からかけることで計算する。このように等価回転行列 $MatRPY$ を同次変換行列 $M_{StartRot}$ に対して左からかけることは、回転動作をワールド、ベース、ワーク座標系のいずれかの基準座標系に関して行うことに相当する。即ち、この場合、目標回転行列 $M_{TargetRot}$ は、関節補間点生成部 5 4 において、下式 (4 - 5) によって計算される。

$$M_{TargetRot} = MatRPY \times M_{StartRot} \dots \text{式 (4 - 5)}$$

【 0 0 7 0 】

これに対して、TP 3 6 a に入力されたパラメータ変数 (CoorRot) が 4 (ツール座標系) の場合には、式 (4 - 4) で示される $MatRPY$ を、回転動作の開始点座標を表す同次変換行列 $M_{StartRot}$ に対して右からかけることで目標回転行列 $M_{TargetRot}$ を計算する。このように等価回転行列 $MatRPY$ を同次変換行列 $M_{StartRot}$ に対して右からかけることは、回転動作を目標座標系に関して行うことに相当する。本実施形態では、前述したように、回転動作の目標座標系はツール座標系であるので、 $MatRPY$ はツール座標系の回転動作として計算される。このように計算すると、作業者が直接的に回転動作を認知できるツール座標系において所望の回転動作が実現され、トーチ 1 1 の操作が容易化されるため好ましい。即ち、この場合は、目標回転行列 $M_{TargetRot}$ は、関節補間点生成部 5 4 において、下式 (4 - 6) によって計算される。

$$M_{TargetRot} = M_{StartRot} \times MatRPY \dots \text{式 (4 - 6)}$$

【 0 0 7 1 】

次いで、以上のようにして計算された目標並進行列及び目標回転行列に基づいて、関節補間点生成部 5 4 において、多関節型ロボット 1 の各関節の関節角度が計算され、関節補間点パッファ 5 4 a に一時的に格納される (小ステップ S 4 3)。

【 0 0 7 2 】

一般に、トーチ 1 1 の位置及び姿勢を前記した目標並進行列及び目標回転行列で示され

る座標に一致させるには、多関節型ロボットの各関節を操作することが必要になる。本実施形態では、多関節型ロボット1の各関節の関節角度を決定するために、多関節型ロボット1のベース座標系から見たエンドエフェクタ座標系の位置及び姿勢をそれぞれ表す同次変換行列TargetParaXBase2End及びTargetRotXBase2Endを、それぞれ表2に示す同次変換行列を用いて目標並進行列MTargetPara及び目標回転行列MTargetRotから抽出する方法を用いる。この方法を実行する計算式について、以下、並進動作及び回転動作の各動作について基準座標系別に示す。尚、各同次変換行列において、右上の添え字「-1」がある行列は、同表記の添え字のない行列に対する逆行列を示す。

【0073】

1) 並進動作のパラメータ変数CoorPar = 1 (ワールド座標系基準)のとき、

$$\text{TargetParaXBase2End} = \text{XWorld2Base}^{-1} \times \text{MTargetPara} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-1)}$$

2) 回転動作のパラメータ変数CoorRot = 1 (ワールド座標系基準)のとき、

$$\text{TargetRotXBase2End} = \text{XWorld2Base}^{-1} \times \text{MTargetRot} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-2)}$$

3) 並進動作のパラメータ変数CoorPar = 2 (ベース座標系基準)のとき、

$$\text{TargetParaXBase2End} = \text{MTargetPara} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-3)}$$

4) 回転動作のパラメータ変数CoorRot = 2 (ベース座標系基準)のとき、

$$\text{TargetRotXBase2End} = \text{MTargetRot} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-4)}$$

5) 並進動作のパラメータ変数CoorPar = 3 (ワーク座標系基準)のとき、

$$\text{TargetParaXBase2End} = \text{XWorld2Base}^{-1} \times \text{XWorld2Po} \times \text{XPo2Work} \times \text{MTargetPara} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-5)}$$

6) 回転動作のパラメータ変数CoorRot = 3 (ワーク座標系基準)のとき、

$$\text{TargetRotXBase2End} = \text{XWorld2Base}^{-1} \times \text{XWorld2Po} \times \text{XPo2Work} \times \text{MTargetRot} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-6)}$$

7) 並進動作のパラメータ変数CoorPar = 4 (ツール座標系基準)のとき、

$$\text{TargetParaXBase2End} = \text{MTargetPara} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-7)}$$

8) 回転動作のパラメータ変数CoorRot = 4 (ツール座標系基準)のとき、

$$\text{TargetRotXBase2End} = \text{MTargetRot} \times \text{XEnd2Tool}^{-1} \dots \text{式(5-8)}$$

【0074】

並進動作及び回転動作の各動作について、それぞれ個別の座標系を用いて上記のように計算されたTargetParaXBase2End及びTargetRotXBase2Endは、それぞれ、多関節型ロボットのベース座標系から見たエンドエフェクタ座標系の位置及び姿勢を表す同次変換行列である。したがって、同次変換行列TargetParaXBase2Endから位置成分を、同次変換行列TargetRotXBase2Endから姿勢成分を取り出して合成して得られる同次変換行列TargetMixXBase2Endが、トーチ11の位置及び姿勢を共に所望の状態(目標点の状態)とする同次変換行列となる。ここで、上述したように計算されたTargetParaXBase2End及びTargetRotXBase2Endの各同次変換行列は、それぞれ下式(7-1)及び式(7-2)で表される。

【0075】

【数3】

$$\text{TargetParaXBase2End} = \begin{bmatrix} P11 & P21 & P31 & P41 \\ P12 & P22 & P32 & P42 \\ P13 & P23 & P33 & P43 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \text{式(7-1)}$$

$$\text{TargetRotXBase2End} = \begin{bmatrix} R11 & R21 & R31 & R41 \\ R12 & R22 & R32 & R42 \\ R13 & R23 & R33 & R43 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \text{式(7-2)}$$

【0076】

10

20

30

40

50

この場合、同次変換行列 $TargetMixXBase2End$ は、並進成分と回転成分とをそれぞれ上式 (7-1) 及び式 (7-2) から分離し、再結合する従来周知の方法によって、下式 (7-3) で表される。

【数4】

$$TargetMixXBase2End = \begin{bmatrix} R11 & R21 & R31 & P41 \\ R12 & R22 & R32 & P42 \\ R13 & R23 & R33 & P43 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdots \text{式 (7-3)}$$

10

【0077】

上式 (7-3) によって、多関節型ロボット1のベース座標系から見たエンドエフェクタ座標系の位置及び姿勢を表す同次変換行列が得られる。この変換プロセスについて、図9を参照して説明すると、前述したように、本実施形態では、開始点座標は、並進動作については、ベース座標系を基準とし、回転動作については、ツール座標系を基準とする。また、開始点 P_0 から目標点 P_n までの並進移動（距離 D [mm] の移動）及び回転移動（角度 [°] の移動）は、ベース座標系を基準としたエンドエフェクタ座標系の同次変換行列で表現する。即ち、並進動作については、 $TargetParaXBase2End$ と表現し、回転動作については、 $TargetRotXBase2End$ と表現する。さらに、目標点 P_n は、両同次変換行列を合成して得られる同次変換行列 $TargetMixXBase2End$ によって、ベース座標系を基準として統一的に扱われる。

20

【0078】

以上のように計算された同次変換行列を、関節補間点生成部54において、従来周知の方法で逆変換して多関節型ロボット1の各関節角度を算出することにより、当該多関節型ロボット1のトーチ11が開始点から目標点（手動制御の終了点）に至る全補間周期で到達する関節角度が求められる。

【0079】

その後、図5を参照して、サーボ出力部55（図4参照）によって、関節補間点バッファ54aから多関節型ロボット1の各関節角度が読み出され、該各関節角度に基づいて、サーボドライバ38a（図2参照）に多関節型ロボット1の各関節及びトーチ11の位置及び姿勢を目標の状態とさせる指令（多関節型ロボット1の各関節に対する位置指令）が生成される。その後、サーボ出力部55から、前記位置指令をサーボドライバI/F38を介して各サーボドライバ38aに送信することでサーボモータ13a～13fを制御し、これによりトーチ11を開始点から目標点に到達させるようとする。尚、前記位置指令は、タイマー34（図2参照）で発生する同期信号に同期して各サーボドライバ38aへ送信される（ステップS5）。

30

【0080】

以上説明したように、本実施形態によれば、下記する作用・効果が奏される。

（1）本実施形態では、多関節型ロボット1の位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御するにあたり、当該多関節型ロボット1に備えられたツールの並進動作と回転動作とに用いる基準座標系を各動作ごとにそれぞれ個別に設定した後、各基準座標系に基づいて並進動作及び回転動作の手動制御を行うようにしている。このため、多関節型ロボット1のトーチ11の位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する前に、該トーチ11の並進動作及び回転動作の各動作に対してそれぞれ適した基準座標系を設定しておくことができる。これにより、前記手動制御の最中に、多関節型ロボット1のトーチ11の並進動作及び回転動作の各動作にそれぞれ適した基準座標系に切り替えるという煩雑な操作を行う必要がなくなり、作業者が簡易に多関節型ロボット1のトーチ11を手動制御することができるようになる。その結果、多関節型ロボット1へ作業プログラムを教示するために要する教示時間が低減され、多関節型ロボット1の教示作業が簡略化されるようになる。

40

50

【0081】

(2) 本実施形態では、トーチ11の並進動作の基準座標系としてベース座標系を用いるとともに、トーチ11の回転動作の基準座標系としてツール座標系を用いている。このため、トーチ11の並進動作については、作業者が直接的にその動作を認知できるベース座標系において所望の並進動作が実現される一方、トーチ11の回転動作についても、作業者が直接的にその動作を認知できるツール座標系において所望の回転動作が実現されるようになり、トーチ11の手動制御が容易化されるようになる。

【0082】

(3) 本実施形態では、トーチ11の並進動作の基準座標系を手動制御の状態に応じて変更したときでも、トーチ11の回転動作の基準座標系は、トーチ11の姿勢が変更された方向が作業者によって容易に認知できるツール座標系に固定されている。したがって、作業者に多関節型ロボット1の手動制御にあたっての混乱を生じさせることなく、多関節型ロボット1の手動制御による教示時間を低減させることができる。

【0083】

尚、上記実施形態は以下のように変形してもよい。

・上記実施形態では、多関節型ロボット1のトーチ11の並進動作及び回転動作の基準座標系として、それぞれワールド座標系、ベース座標系、ワーク座標系、又はツール座標系のいずれか一の座標系を選択可能なようにしたが、トーチ11の並進動作及び回転動作に対して個別に基準座標系を設定し得るようにする限り、これらの座標系に限るものではなく、多関節型ロボット1で一般に用いられるその他の座標系、例えば、エンドエフェクタ座標系やポジショナ座標系、ショップフロア座標系、又は、その他の任意座標系を選択可能としてもよい。

【0084】

・また、上記実施形態では、多関節型ロボット1のトーチ11の並進動作の基準座標系にベース座標系を用い、回転動作の基準座標系にツール座標系を用いるようにした。しかし、これに限らず、例えば、並進動作の基準座標系にワールド座標系を用い、回転動作の基準座標系にツール座標系を用いるようにしてもよい。

【0085】

・また、上記実施形態では、直交座標系で表現された姿勢に対応する累積回転移動量を多関節型ロボット1の各関節の関節角度に逆変換するにあたり、該累積回転移動量を用いて等価回転行列を定義するためにロール・ピッチ・ヨー角による表現を用いたが、オイラー角による表現を用いることも可能である。

【0086】

・また、上記実施形態の多関節型ロボット装置の制御システムにおいては、6軸の多関節型ロボット1及び2軸のポジショナ2を備えた構成としたが、当該制御システムにおいては、ロボットによる溶接作業が容易且つ確実に行える限り、ポジショナ2は必ずしも必要ではない。また、ポジショナ2の代わりに6軸の第二の多関節型ロボットを用いることもできる。このようにポジショナ2に代えて6軸の第二の多関節型ロボットを用いる場合には、ポジショナ2に設定したワーク座標系とポジショナ座標系の代わりに、該第二の多関節型ロボットに設定したロボットワールド座標系、ベース座標系、又はツール座標系のいずれかの座標系を基準座標系又は目標座標系に用いることができる。

【0087】

・また、上記実施形態では、多関節型ロボット1(産業用ロボット)を自動車等の溶接に用いる溶接口ボット、即ち、ツールとしてトーチ11(溶接トーチ)を備える溶接口ボットとしたが、本発明の技術的思想は、その他の産業用ロボット、例えば、組立ロボット、塗装ロボット、検査ロボット、研磨ロボット、洗浄ロボット等にも適用することができる。

【0088】

さらに、前記した実施形態および変形例より把握できる技術的思想について以下に記載する。

10

20

30

40

50

【0089】

・産業用ロボットのツールの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御するにあたって使用される制御システムであって、請求項4又は請求項5に記載の各ステップを実行することを特徴とする産業用ロボットのツールの位置・姿勢制御システム。このように構成した場合、産業用ロボットの位置及び姿勢を直交座標系を用いて手動で制御する方法であって、前記産業用ロボットに備えられたツールの並進動作と回転動作とに用いる基準座標系を各動作ごとにそれぞれ個別に設定した後、各基準座標系に基づいて並進動作及び回転動作の手動制御を行う方法を、系統だった制御システムで実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0090】

10

【図1】本発明に係る多関節型ロボットの制御システムの全体図。

【図2】本発明に係るロボット制御装置の内部構成及びその周辺装置を示すブロック図。

【図3】本発明に係るサーボドライバによるサーボ制御系を示すブロック図。

【図4】本発明に係るロボット制御装置に用いる制御プログラムの構成を示す概念図。

【図5】本発明に係るロボット制御装置に用いる制御プログラムのフローチャート図。

【図6】本発明に係る多関節型ロボットに用いる基準座標系及び同基準座標系を基準とした目標座標系の動作を示す説明図であり、(a)は、ベース座標系を基準座標系とした目標座標系の並進動作を示す図、(b)は、ツール座標系を基準座標系とした目標座標系の回転動作を示す図。

【図7】本発明に係る多関節型ロボットにおけるベース座標系、ツール座標系をそれぞれ基準座標系とした目標座標系の並進動作、回転動作を示す説明図。 20

【図8】本発明に係る多関節型ロボットにおける基準座標系を用いて目標座標系の並進動作の補間点データ及び累積移動量を計算するプロセスを示す説明図。

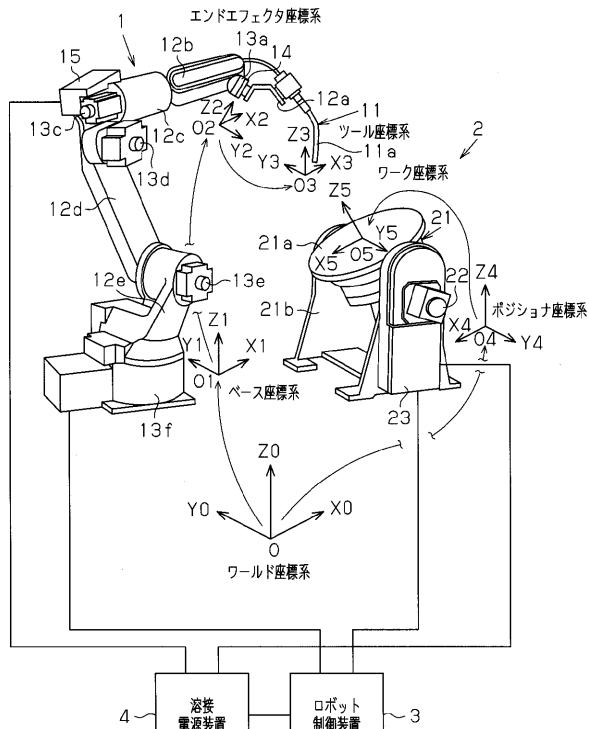
【図9】ベース座標系から見たエンドエフェクタ座標系の位置及び姿勢を表す同次変換行列と目標座標系(ツール座標系)との対応関係を示す説明図。

【符号の説明】

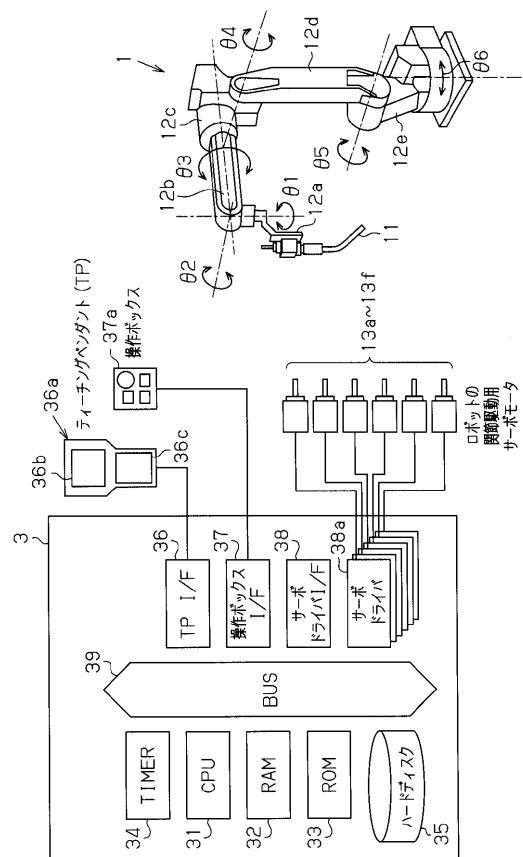
【0091】

1...多関節型ロボット、2...ポジショナ、3...ロボット制御装置、4...溶接制御装置、
11...トーチ。

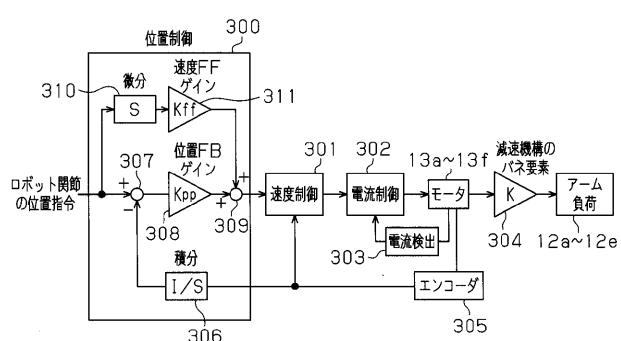
【図1】



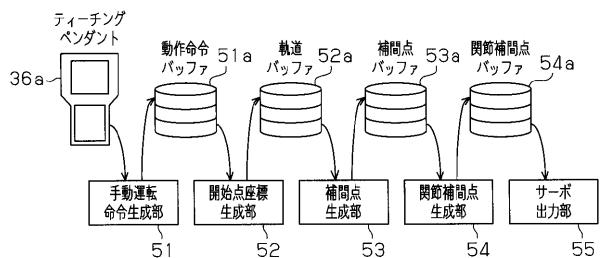
【図2】



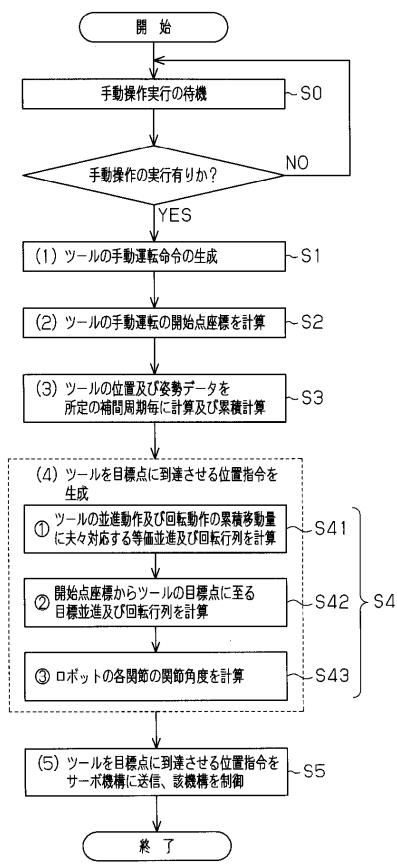
【図3】



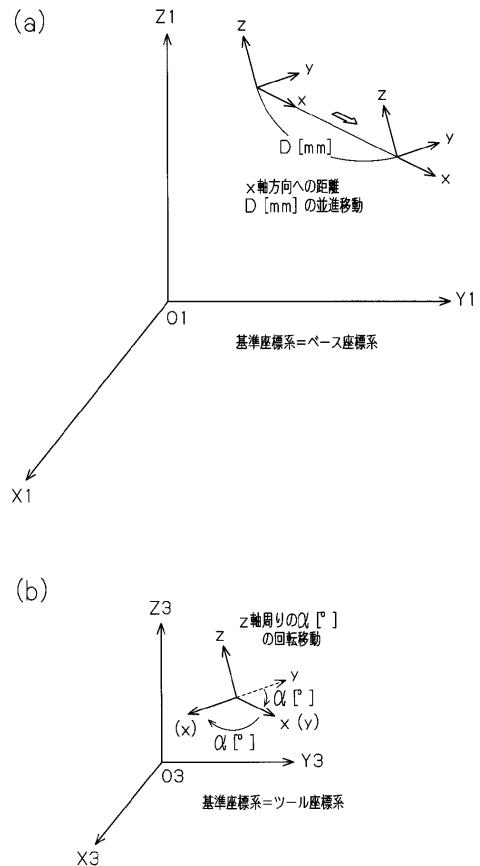
【図4】



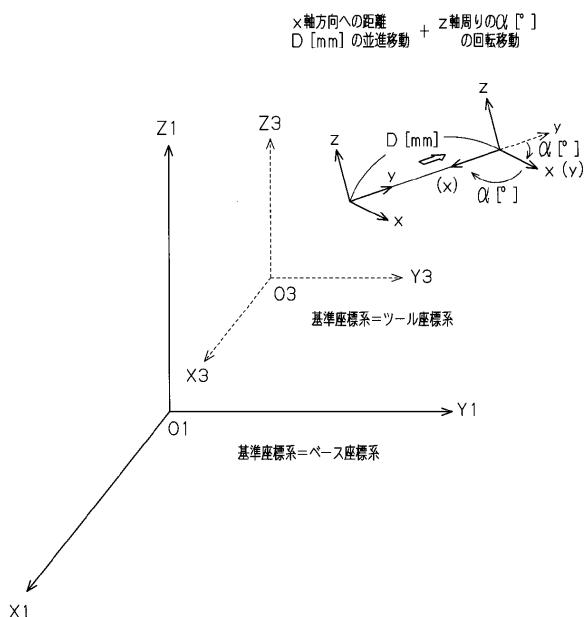
【図5】



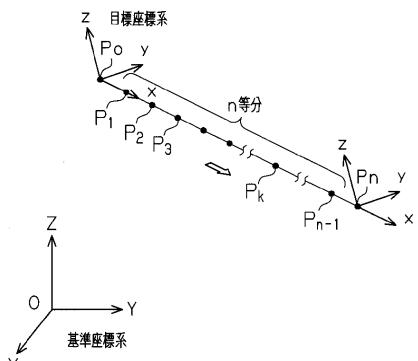
【図6】



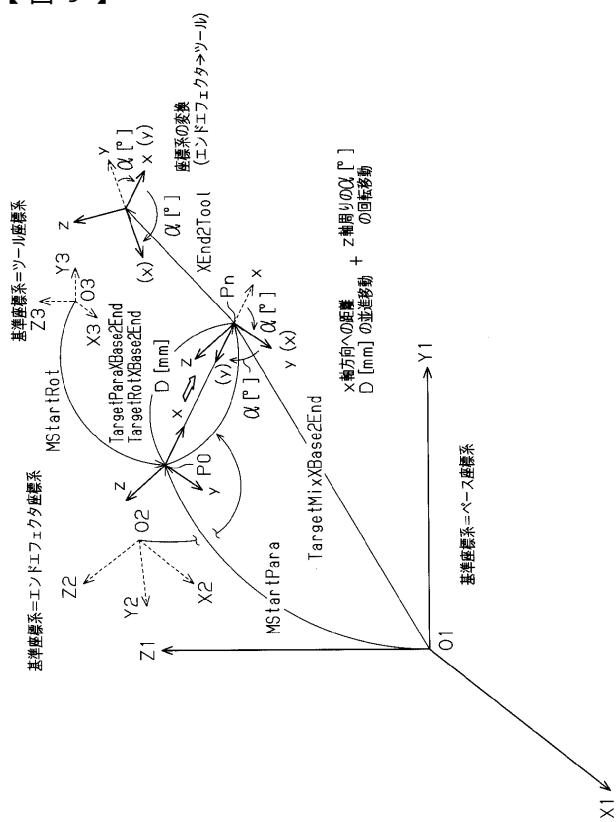
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 澤田 成弘
大阪府大阪市淀川区田川2丁目1番11号 株式会社ダイヘン内

(72)発明者 浜畠 光晴
富山県富山市不二越本町一丁目1番1号 株式会社不二越内

F ターム(参考) 3C007 AS11 BS10 JS01 LS04 LS16 LV01 LV19 MT01