

(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2013-193131
(P2013-193131A)

(43) 公開日 平成25年9月30日(2013.9.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 13/00 (2006.01)	B 2 5 J 13/00	Z 3 C 2 6 9
G 0 5 B 19/18 (2006.01)	G 0 5 B 19/18	D 3 C 7 0 7

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2012-59137 (P2012-59137)	(71) 出願人	000001247 株式会社ジェイテクト
(22) 出願日	平成24年3月15日 (2012.3.15)	(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	太田 浩充 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
		(72) 発明者	向井 康晴 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボットの制御方法及びロボット制御装置、並びにロボット制御システム

(57) 【要約】

【課題】

冗長自由度を利用して制御性を向上することができ、回転系アクチュエータの小型化、ロボットの小型化を実現できるロボットの制御方法及びロボット制御装置、並びにロボット制御システムを提供する。

【解決手段】

ロボット制御装置のCPUは手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に各リンクの関節軸の慣性力、遠心力・コリオリ力、重力、摩擦トルク及びアクチュエータ慣性トルクに基づく負荷トルクを算出する。CPUは姿勢パラメータの変化の中で、負荷トルクと第1～7サーボモータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求め、手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の第1～7サーボモータの制御指令に負荷トルクと第1～7サーボモータの定格トルク比が最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

作業自由度に対して少なくとも 1 つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボットの制御方法において、

手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を変化させた場合の、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出し、

変化させた場合の前記リンク位置姿勢の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求め、

前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与することを特徴とするロボットの制御方法。

【請求項 2】

作業自由度に対して少なくとも 1 つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボットの制御方法において、

手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出し、

前記姿勢パラメータの変化の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求め、

前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与することを特徴とするロボットの制御方法。

【請求項 3】

前記負荷トルクには、摩擦トルクが含まれていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のロボットの制御方法。

【請求項 4】

作業自由度に対して少なくとも 1 つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボット制御装置において、

手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出する負荷トルク算出部と、

前記姿勢パラメータの変化の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求めるリンク姿勢算出部と、

前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与する付与部を備えることを特徴とするロボット制御装置。

【請求項 5】

前記負荷トルク算出部は、各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力の他に摩擦トルクを含む負荷トルクを算出することを特徴とする請求項 4 に記載のロボット制御装置。

【請求項 6】

作業自由度に対して少なくとも 1 つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボット制御システムにおいて、

手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿

10

20

30

40

50

勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出する負荷トルク算出部と、

前記姿勢パラメータの変化の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求めるリンク姿勢算出部と、

前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与する付与部を備えることを特徴とするロボット制御システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、ロボットの制御方法ロボット制御装置に関し、特に、作業自由度に対して少なくとも1つの冗長自由度を備えるロボットの制御方法及びロボット制御装置、並びにロボット制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ロボットアームの計算トルク制御器として、特許文献1が公知である。特許文献1では、この制御器により、ロボットアームの運動に伴って、所定のサンプリング周期毎の角度の出力値と、前記角度の目標値との偏差と角速度の目標値との偏差とからの状態フィードバック値とにより、目標角加速度を修正して慣性力、コリオリ力、求心力、重力をリアルタイムで計算し、それらと等価のトルクを関節駆動アクチュエータに発生させてロボットアームの運動を制御するようにしている。

20

【0003】

上記のように前記慣性力等をリアルタイムで計算してロボットアームを回転駆動するモータに対し、トルクを与えることにより、制御性を向上させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平4-98304号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、作業自由度に対して冗長自由度を有するロボットに対して、上記のように慣性力等をリアルタイムで計算してロボットアームを回転駆動するモータに対し、トルクを与える場合、ロボット姿勢によっては、過大なトルクを発生させなければならない場合があり、逆に制御性が劣化することがある。

【0006】

本発明の目的は、作業自由度に対して冗長自由度を有するロボットにおいて、冗長自由度を利用して制御性を向上することができ、さらには、回転系アクチュエータのトルク容量を必要最小限にできるため、回転系アクチュエータの小型化、ひいてはロボットの小型化を実現できるロボットの制御方法及びロボット制御装置、並びにロボット制御システムを提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記問題点を解決するために、請求項1の発明は、作業自由度に対して少なくとも1つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボットの制御方法において、手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を変化させた場合の、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出し、変化させた場合の前記リンク位置姿勢

50

の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求め、前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与することを特徴とするロボットの制御方法を要旨としている。

【0008】

請求項2の発明は、作業自由度に対して少なくとも1つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボットの制御方法において、手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出し、前記姿勢パラメータの変化の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求め、前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与することを特徴とするロボットの制御方法を要旨としている。

10

【0009】

請求項3の発明、請求項1または請求項2において、前記負荷トルクには、摩擦トルクが含まれていることを特徴とする。

20

請求項4の発明は、作業自由度に対して少なくとも1つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボット制御装置において、手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出する負荷トルク算出部と、前記姿勢パラメータの変化の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求めるリンク姿勢算出部と、前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与する付与部を備えることを特徴とするロボット制御装置を要旨としている。

30

【0010】

請求項5の発明は、請求項4において、前記負荷トルク算出部は、各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力の他に摩擦トルクを含む負荷トルクを算出することを特徴とする。

【0011】

請求項6の発明は、作業自由度に対して少なくとも1つの冗長自由度を備えるように複数のリンクが各関節軸にて連結されたマニピュレータを備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた回転系アクチュエータにより駆動するロボット制御システムにおいて、手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、前記冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出する負荷トルク算出部と、前記姿勢パラメータの変化の中で、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求めるリンク姿勢算出部と、前記手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が前記最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与する付与部を備えることを特徴とするロボット制御システムを要旨としている。

40

【発明の効果】

【0012】

請求項1、請求項2、請求項4、請求項6の発明によれば、作業自由度に対して冗長自

50

由度を有するロボットにおいて、冗長自由度を利用して制御性を向上することができ、さらには、回転系アクチュエータのトルク容量を必要最小限にできるため、回転系アクチュエータの小型化、ひいてはロボットの小型化を実現できる。

【0013】

請求項3及び請求項5の発明によれば、負荷トルクに摩擦トルクが含まれることにより、さらに、制御性の精度が高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の一実施形態の冗長性を有するマニピュレータのスケルトン図。

【図2】一実施形態のロボット制御装置の概略構成図。

【図3】姿勢パラメータの説明図。

【図4】ロボット制御装置の制御フローチャート。

【図5】ロボット制御装置の制御フローチャート。

【図6】他の実施形態のロボット制御システムのブロック図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明を具体化した一実施形態の作業自由度に対して冗長自由度を有するロボット制御装置及びロボット制御方法を図1～図5を参照して説明する。

まず、本実施形態の作業自由度に対して冗長自由度を有するマニピュレータについて説明する。

【0016】

図1に示すように、マニピュレータ10は、8個のリンク11～18が7個の関節21～27により直列に連結されて形成されている。多関節ロボットであるマニピュレータ10は、7個の関節21～27においてリンク12～18が回転することのできる7自由度（自由度 $n = 7$ ）を有するロボットであり、その作業空間の次元数（次元数 m ）は6であって、 $1 (= n - m)$ の冗長性を有する。すなわち、本実施形態のマニピュレータは、作業自由度6に対して、1つの冗長自由度を有する。

【0017】

第1リンク11は一端が床面FLに固定され、他端が第1関節21の一侧に接続されている。第1関節21の他側には、第2リンク12の一端が接続され、第2リンク12の他端には第2関節22の一侧が接続されている。以下同様に、第3リンク13、第4リンク14、第5リンク15、第6リンク16、第7リンク17及び第8リンク18が、それぞれ第3関節23、第4関節24、第5関節25、第6関節26及び第7関節27を介して順に連結されている。

【0018】

第1関節21の他側は一侧に対して、矢印31に示すように、図1において上下方向に延びる軸を中心に回転可能とされており、これにより、第2リンク12は隣接する第1リンク11に対して、第1関節21の回転軸（J1軸）を中心に矢印31方向に回転可能である。

【0019】

また、第2関節22の他側は一侧に対して、矢印32に示すように、図1において紙面に垂直な方向に延びる軸（J2軸）を中心に回転可能とされている。これにより、第3リンク13は隣接する第2リンク12に対して、第2関節22の回転軸を中心に矢印32方向に回転可能である。

【0020】

以下、第3関節23、第4関節24、第5関節25、第6関節26及び第7関節27についてもそれぞれ、回転可能とされており、第4リンク14、第5リンク15、第6リンク16、第7リンク17及び第8リンク18も、それぞれ関節23～27の回転軸（J3軸～J7軸）を中心に、矢印33～37方向に回転可能である。尚、本願の全体にわたって、第1関節21～27を介して連結されているリンク11～18同士を、互いに隣接す

10

20

30

40

50

るリンク 11 ~ 18 という。また、J1 軸 ~ J7 軸は、関節軸に相当する。

【0021】

図 1 に示すように、第 1 関節 21 には第 1 サーボモータ 41 が取り付けられており、電力が供給されることにより、第 2 リンク 12 を図示しない減速機を介して第 1 リンク 11 に対して回転させる。

【0022】

また、第 2 関節 22 には第 2 サーボモータ 42 が取り付けられており、電力が供給されることにより、第 3 リンク 13 を図示しない減速機を介して第 2 リンク 12 に対して回転させる。以下、同様に、第 3 関節 23、第 4 関節 24、第 5 関節 25、第 6 関節 26 及び第 7 関節 27 にはそれぞれサーボモータ 43 ~ 47 が取り付けられており、電力が供給されることにより、各々リンク 14 ~ 18 を図示しない減速機を介して回転させる。

10

【0023】

なお、各モータは、各関節内に設けられるが、図 1 では、説明の便宜上、関節とは分離して図示している。また、本実施形態では回転系アクチュエータとしてサーボモータである AC モータが使用されているが、限定されるものではない。

【0024】

第 8 リンク 18 の先端には、ツール 49 が取り付けられている。ツール 49 は第 8 リンク 18 とともに、第 7 関節 27 の回転軸 (J7 軸) を中心に図 1 に示すように矢印 37 方向に回転可能とされている。ツール 49 は、例えば、ワーク等を把持可能なハンドである。なお、ツール 49 の種類は、本発明とは関係しないため、限定されるものではない。

20

【0025】

上述したようにマニピュレータ 10 は、第 1 サーボモータ 41 ~ 第 7 サーボモータ 47 を駆動して第 2 リンク 12 ~ 第 8 リンク 18 を回転させることにより、第 2 リンク 12 ~ 第 8 リンク 18 の回転角度が累積して先端部にあるツール 49 に働くため、ツール 49 の先端の位置および姿勢を、その作業内容に応じた目標位置および目標姿勢に一致させることが可能である。

【0026】

次に、図 2 を参照して、前記マニピュレータ 10 を制御するロボット制御装置としてのコントローラ RC を中心とした多関節ロボットの電氣的な構成を説明する。

コントローラ RC は、コンピュータ 90 と、コンピュータ 90 に電氣的に接続された PWM ジェネレータ 51 ~ 57 と、PWM ジェネレータ 51 ~ 57 に電氣的に接続されたサーボアンプ 61 ~ 67 を有する。各サーボアンプ 61 ~ 67 はそれぞれ第 1 サーボモータ 41 ~ 第 7 サーボモータ 47 に電氣的に接続されている。

30

【0027】

コンピュータ 90 は、制御指令を PWM ジェネレータ 51 ~ 57 に出力し、PWM ジェネレータ 51 ~ 57 は、当該制御令指令に基づいて PWM 信号をサーボアンプ 61 ~ 67 に出力する。サーボアンプ 61 ~ 67 は、その出力に応じてサーボモータ 41 ~ 47 を作動させることにより、各リンク 12 ~ 18 を回転させる。

【0028】

前記サーボモータ 41 ~ 47 にはロータリエンコーダ 71 ~ 77 が内蔵されており、インターフェイス 80 を介してコンピュータ 90 と接続されている。ロータリエンコーダ 71 ~ 77 は、各々のサーボモータ 41 ~ 47 の回動角度を検出することにより、すなわち、リンク 12 ~ 18 のそれぞれが隣接するリンク 11 ~ 17 に対する回転角度 (関節角度) を検出して、その検出信号をコントローラ RC に送信する。ロータリエンコーダ 71 ~ 77 は、回転角度検出器に相当する。なお、回転角度検出器としては、ロータリエンコーダに限定するものではなく、レゾルバ、或いは、ポテンショメータであってもよい。

40

【0029】

なお、第 1 サーボモータ 41 ~ 第 7 サーボモータ 47 に対してロータリエンコーダ 71 ~ 77 を設ける代わりに、リンク 11 ~ 18 または第 1 関節 21 ~ 第 7 関節 27 に、リンク 11 ~ 18 の回転角度 (関節角度) を直接に検出可能なセンサを取り付けてもよい。

50

【 0 0 3 0 】

前記コンピュータ90は、CPU91、ROM92、RAM93、及びハードディスク等の不揮発性の記憶部94、及びインターフェイス95等を備え、バス96を介して電氣的に接続されている。

【 0 0 3 1 】

記憶部94には、各種データ、ロボットに各種作業を行わせるための作業プログラム、各種パラメータ等が記憶されている。すなわち、本実施形態のロボットは、ティーチングプレイバック方式で作動するロボットであり、前記作業プログラムが実行されることにより、前記マニピュレータ10が動作する。ROM92は、システム全体のシステムプログラムが記憶されている。RAM93は、CPU91の作業用のメモリであって、各種演算等が実行されるときに一時的にデータが格納される。CPU91は、負荷トルク算出部、リンク姿勢算出部及び付与部に相当する。

10

【 0 0 3 2 】

コントローラRCには入力装置82が前記インターフェイス95を介して接続されている。入力装置82は、図示しないモニター画面及び各種入力キー等を有する操作盤であり、ユーザーが各種のデータを入力操作可能とされている。入力装置82は、多関節ロボットの電源スイッチが設けられるとともに、コンピュータ90に対して、マニピュレータ10の先端部にあるツール49の先端(以下、手先という)の最終目標位置および最終目標姿勢、ツール49の先端の補間点における位置および姿勢の入力、並びに、冗長性を利用したマニピュレータ10の姿勢変更のためのジョグ操作等による入力が可能となっている。

20

【 0 0 3 3 】

(第1実施形態の作用)

次に、本実施形態による多関節ロボットのコントローラRCの作用を説明する。図4及び図5は、コントローラRCのCPU91が実行する作業プログラムに書き込まれている教示点(最終目標位置、並びにツール49の先端の補間点における位置)に手先を位置させるときの制御フローチャートである。前記ロータリエンコーダ71~77は下記各ステップが実行される制御周期よりも、十分に速い検出周期で回転角度(すなわち、関節角度)を検出している。

30

【 0 0 3 4 】

(ステップ10)

まず、ステップ10(以下、ステップをSという)では、CPU91は、記憶部94の作業プログラムに書き込まれている教示点(手先位置)、手先姿勢及び速度データをRAM93の所定領域にセットする。なお、手先位置及び手先姿勢を合わせて手先位置姿勢という。

【 0 0 3 5 】

(S20)

次に、CPU91は、S20で、手先をS10でセットした教示点(手先位置)において、負荷トルク/定格トルク比最小姿勢決定を行う。このS20の処理の詳細を図5のフローチャートを参照して説明する。

40

【 0 0 3 6 】

(S21)

S21では、CPU91は、姿勢パラメータを初期化する、本実施形態では=0にして初期化するが、初期値は0に限定するものではない。姿勢パラメータについて説明する。

【 0 0 3 7 】

姿勢パラメータは、冗長自由度を有する前記マニピュレータ10が、手先位置を固定した場合、すなわち、手先位置姿勢を拘束した場合において、その冗長自由度により許容されるリンク位置姿勢を示すものである。具体的には、図3に示すようにマニピュレータ10の第4関節24は、第2関節22(以下、第1基準点Wという)を中心とし、第3リ

50

リンク 13 ~ 第 4 リンク 14 のリンク長の合計を半径とした球 A 1 と、第 6 関節 26 (以下、第 2 基準点 K という) を中心とし、第 5 リンク 15 ~ 第 6 リンク 16 のリンク長の合計を半径とする球 A 2 とが形成する交差円 E 上の移動が可能である。従って、本実施形態では、この交差円 E 上に第 4 関節 24 が位置するようにして、リンク位置姿勢が変わる。

【0038】

前記交差円 E の中心を通る中心軸 O は、図 3 に示すように、第 1 基準点 W (第 2 関節 22 中心) と第 2 基準点 K (第 6 関節 26 中心) を通過する軸である。第 4 関節 24 はこの交差円 E 上に位置するため、姿勢パラメータは、交差円 E 上のリンク位置姿勢を示すパラメータとして表すことができる。そこで、交差円 E 上の適宜の位置 R から、変更された位置までの角度を、ここでは、姿勢パラメータとして定義されている。本実施形態では位置 R は、第 4 関節 24 の現在位置とする。

10

【0039】

(S22)

S22 では、CPU 91 は姿勢パラメータとして所定値を加算して更新する。すなわち、仮想的に姿勢パラメータを増加させてリンクの位置姿勢を変えたものとするのである。

【0040】

(S23)

S23 では、手先位置姿勢から関節角度を求めるために逆変換演算を行う。

ここで、第 1 関節 21 ~ 第 7 関節 27 の関節角度 $q_1, q_2, q_3, \dots, q_7$ とし、手先座標 (x, y, z) 及び手先姿勢 (a, b, c) とすると、ベクトル q 及び手先位置姿勢 X は下記のように表される。

20

【0041】

【数 1】

$$q = (q_1, q_2, \dots, q_7)$$

$$X = (x, y, z, a, b, c) \quad \dots (1)$$

30

各関節角度 $q_1, q_2, q_3, \dots, q_7$ は、式 (2) に示すように表すことができ、これらの式は、逆変換式である。本ステップでは、式 (2) により、手先位置姿勢 X と姿勢パラメータにより、各関節角度 $q_1, q_2, q_3, \dots, q_7$ を算出する。

【0042】

【数 2】

$$q_1 = f_1(X, \phi)$$

$$q_2 = f_2(X, \phi)$$

⋮

⋯ (2)

40

$$q_7 = f_7(X, \phi)$$

(S24)

S24 では、CPU 91 は、各関節軸に設けられたモータの負荷トルクを式 (3) により算出し、記憶部 94 に格納する。

【0043】

式 (3) の右辺において、第 1 項は慣性力、第 2 項は遠心力・コリオリ力より導かれるトルク、第 3 項は重力負荷より導かれるトルク、第 4 項は摩擦トルク、及び第 5 項はアクチュエータ慣性トルクである。これらの式中、右辺の第 1 項から第 3 項は、ラグランジュ

50

法により導かれた運動方程式であり、公知の式である。また、右辺の第 4 項及び第 5 項はアクチュエータの影響を考慮に入れた項である。

【 0 0 4 4 】

【 数 3 】

$$\begin{aligned} \tau_1 = & \frac{1}{u} \left\{ \sum_{k=j}^n \sum_{j=1}^k \text{tr} \left(\frac{\partial^0 T_k}{\partial q_j} \hat{H}_k \frac{\partial^0 T_k^T}{\partial q_i} \right) \ddot{q}_j \right. \\ & + \sum_{k=j}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^k \text{tr} \left(\frac{\partial^{20} T_k}{\partial q_j \partial q_m} \hat{H}_k \frac{\partial^0 T_k^T}{\partial q_i} \right) \dot{q}_j \dot{q}_m - \sum_{j=i}^n m_j g^T \frac{\partial^0 T_{j,j}}{\partial q_j} \hat{s}_j \left. \right\} \\ & + (\gamma_{q,i} + \gamma_{C,i} \cdot \dot{q}_i) + I_i \ddot{q}_i \end{aligned} \quad 10$$

…… (3)

なお、上記式 (3) 中の符号は、下記の通りである。

q_i : 関節 i の角度、 \dot{q}_i : 関節 i の角速度、 \ddot{q}_i : 関節 i の角加速度、

n : リンク数、k : リンク k (k=1~7)、T : 転置行列

tr : トレース (対角和)

u : 減速機の減速比 (既知)

なお、関節 i の角速度、各加速度は、求められた関節角度 q_i と、S10 でセットされた速度データに基づいて算出する。

【 0 0 4 5 】

第 1 項の慣性力については下記の通りである。

【 0 0 4 6 】

【 数 4 】

(第 1 項について)

$$\frac{\partial^0 T_k}{\partial q_j} : \text{ワールド座標 } \Sigma_0 \text{ から } k \text{ 軸への同次変換行列 } {}^0 T_k \text{ を } q_j \text{ で偏微分}$$

なお、同次変換行列の偏微分は、以下のように展開できる。

$$\frac{\partial^0 T_k}{\partial q_j} = {}^0 T_1 {}^1 T_2 \cdots {}^{j-2} T_{j-1} \frac{\partial^{j-1} T_{j,j}}{\partial q_j} {}^{j+1} T_{j+1} \cdots {}^{k-1} T_k \quad 40$$

また、モータ等の回転系アクチュエータの場合には、

$$\frac{\partial^{j-1} T_j}{\partial q_j} = {}^{j-1} T_j \cdot \Delta \quad \text{ここで、} \Delta = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ となり、同次}$$

変換行列の偏微分は、同次変換行列と Δ との積であらわすことができる。

【 0 0 4 7 】

【 数 5 】

\hat{H}_k : 疑似慣性行列

疑似慣性行列 (4 × 4) は慣性行列により求められるため、リンクの特性から下記のように表される。

$$\hat{H}_k = \begin{pmatrix} \frac{-\hat{I}_{ixx} + \hat{I}_{iyy} + \hat{I}_{izz}}{2} & \hat{H}_{ixy} & \hat{H}_{ixz} & m_i \hat{s}_{ix} \\ \hat{H}_{ixy} & \frac{\hat{I}_{ixx} - \hat{I}_{iyy} + \hat{I}_{izz}}{2} & \hat{H}_{iyz} & m_i \hat{s}_{iy} \\ \hat{H}_{ixz} & \hat{H}_{iyz} & \frac{\hat{I}_{ixx} + \hat{I}_{iyy} - \hat{I}_{izz}}{2} & m_i \hat{s}_{iz} \\ m_i \hat{s}_{ix} & m_i \hat{s}_{iy} & m_i \hat{s}_{iz} & m_i \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 10 \\ 20 \end{matrix}$$

ここで、リンク座標系 Σ_i からみた、リンク i の質量中心位置の位置は、

$${}^i \hat{s}_i = [{}^i \hat{s}_{ix}, {}^i \hat{s}_{iy}, {}^i \hat{s}_{iz}, 1]^T \quad \text{である。}$$

なお、 $\hat{s}_{ix} = \int_{ink} {}^i r_x dm / m_i$ リンク i の質量中心位置の座標系 Σ_i の x 座標

$$\hat{s}_{iy} = \int_{ink} {}^i r_y dm / m_i \quad \text{リンク } i \text{ の質量中心位置の座標系 } \Sigma_i \text{ の } y \text{ 座標} \quad 30$$

$$\hat{s}_{iz} = \int_{ink} {}^i r_z dm / m_i \quad \text{リンク } i \text{ の質量中心位置の座標系 } \Sigma_i \text{ の } z \text{ 座標}$$

m_i : リンク i の質量、 dm : リンク i 上の任意の点 r の微小質量、

また、リンク i の任意の点の位置は、 ${}^i r_i = [{}^i r_x, {}^i r_y, {}^i r_z]^T$ とする。

$$\hat{I}_{ixx} = \int_{inki} ({}^i r_y^2 + {}^i r_z^2) dm \quad \text{: 慣性モーメント} \quad 40$$

$$\hat{H}_{ixy} = \int_{inki} {}^i r_x {}^i r_y^2 dm \quad \text{: 慣性乗積、なお、}\hat{I}_{iyy}, \hat{I}_{izz}, \hat{H}_{ixz}, \hat{H}_{iyz} \text{ も同様で}$$

ある。

【 0 0 4 8 】

【数 6】

(第2項について)

 $j \leq m \leq k$ である。

(第3項について)

$g = [g_x, g_y, g_z, 0]^T$: ワールド座標系 (基準座標系) Σ_0 上の重力加速度ベクトル

10

(第4項について)

 γ_q : クローン摩擦 (既知) γ_c : 粘性摩擦 (既知)

(第5項について)

第5項の I_i : モータの出力シャフト兼減速機の入力シャフトの慣性モーメント

なお、「既知」とかかかれているパラメータ等は、記憶部 9 4 に格納されている。

【0049】

各軸の各関節軸に設けられたモータの負荷トルクの算出が終了すると、CPU 9 1 は、S 2 5 に移行する。

20

(S 2 5)

S 2 5 では、CPU 9 1 は、姿勢パラメータ θ が、予め設定された上限値 m_{max} 以下であれば、S 2 2 に戻り、姿勢パラメータ θ が予め設定された上限値 m を超えた場合には、S 2 6 に移行する。この上限値 m は、予め試験等により設定されたものである。

【0050】

(S 2 6)

S 2 6 では、CPU 9 1 は、S 2 4 で算出した各負荷トルクと、予め記憶部 9 4 に格納されている各関節軸のモータの定格トルクの比 (負荷トルク / 定格トルク) を算出して、最小の比となった負荷トルクが算出された姿勢パラメータ θ を導出する。

30

【0051】

次に、図 4 のフローチャートに戻って説明する。

(S 3 0)

S 3 0 では、CPU 9 1 は、前記最小の比となった負荷トルクが算出された姿勢パラメータ θ において、該負荷トルクとなるトルクフィードフォワード値、すなわち、前記負荷トルクを生成するためのモータ電流値を公知の方法で算出する。

【0052】

(S 4 0)

S 4 0 では、CPU 9 1 は、S 1 0 でセットした手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の回転系アクチュエータの制御指令に、前記算出したトルクフィードフォワード値を付与し、そのトルクフィードフォワード値が付与された制御指令を、今回の制御周期分の指令として PWM ジェネレータ 5 1 ~ 5 7 にそれぞれ出力する。PWM ジェネレータ 5 1 ~ 5 7 は、その制御指令に基づく PWM 信号をサーボアンプ 6 1 ~ 6 7 に出力する。サーボアンプ 6 1 ~ 6 7 は、その出力に応じて各関節軸の第 1 サーボモータ 4 1 ~ 第 7 サーボモータ 4 7 を作動させることにより、各リンク 1 2 ~ 1 8 を回転させる。

40

【0053】

(S 5 0)

CPU 9 1 は、S 5 0 において、各ロータリエンコーダ 7 1 ~ 7 7 からの検出信号に基づいて、最終目標位置、及び最終目標姿勢 (すなわち、最終の目標位置姿勢) に手先が到達したか否かを判定し、達していないと判定した場合は S 1 0 に戻り、反対に作業プログ

50

ラムの最終の目標位置姿勢に達していると判定した場合は、このフローチャートを終了する。なお、S10に戻った場合、作業プログラムに記述されている次の手先位置姿勢、速度データをセットする。

【0054】

本実施形態では、下記の特徴を有する。

(1) 本実施形態の制御方法は、作業自由度に対して1つの冗長自由度を備えるように複数の第1リンク11～第8リンク18が各関節軸(J1軸～J7軸)にて連結されたマニピュレータ10を備え、前記関節軸を該関節毎に設けられた第1サーボモータ41～第7サーボモータ47(回転系アクチュエータ)により駆動するロボットの制御方法であって、手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を変化させた場合の、各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力、摩擦トルク及びアクチュエータ慣性トルクに基づく負荷トルクを算出した。さらに、変化させた場合のリンク位置姿勢の中で、前記負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求めるようにした。さらに、手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の制御指令に、前記負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の定格トルク比が最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与するようにした。この結果、本実施形態の制御方法によれば、冗長自由度を利用して制御性を向上することができ、さらには、第1サーボモータ41～第7サーボモータ47のトルク容量を必要最小限にできるため、第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の小型化、ひいてはロボットの小型化を実現できる。

10

20

【0055】

(2) 本実施形態の制御方法は、手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、各リンクの関節軸の慣性力、遠心力・コリオリ力、重力、摩擦トルク及びアクチュエータ慣性トルクに基づく負荷トルクを算出した。さらに、姿勢パラメータの変化の中で、前記負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47(回転系アクチュエータ)の定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求めるようにした。さらに、手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の制御指令に、前記負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の定格トルク比が最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与するようにした。この結果、上記(1)と同様の効果を奏することができる。

30

【0056】

(3) 本実施形態の制御方法は、負荷トルクには、摩擦トルクが含まれていることを特徴とする。この結果、本実施形態の制御方法によれば、負荷トルクに摩擦トルクが含まれることにより、さらに、制御性の精度を高めることができる。

【0057】

(4) 本実施形態のロボット制御装置は、手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、各リンクの関節軸の慣性力、遠心力・コリオリ力、重力、摩擦トルク及びアクチュエータ慣性トルクに基づく負荷トルクを算出するCPU91(負荷トルク算出部)を備えている。また、前記CPU91は、姿勢パラメータの変化の中で、負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47(回転系アクチュエータ)の定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求めるリンク姿勢算出部として機能する。

40

【0058】

さらに、CPU91は、手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の制御指令に、負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の定格トルク比が最小となるときの各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与する付与部として機能する。この結果、本実施形態によれば、冗長自由度を利用して制御性を向上することができ、さらには、第1サーボモータ41～第7サーボモータ4

50

7のトルク容量を必要最小限にできるため、第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の小型化、ひいてはロボットの小型化を実現できるロボット制御装置を提供できる。

【0059】

(5) 本実施形態のロボット制御装置は、CPU91(負荷トルク算出部)は、各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力の他に摩擦トルクを含む負荷トルクを算出する。この結果、本実施形態のロボット制御装置によれば、負荷トルクに摩擦トルクが含まれることにより、さらに、制御性の精度が高めることができる。

【0060】

なお、本発明の実施形態は前記実施形態に限定されるものではなく、下記のように変更しても良い。

10

・ 前記実施形態では、S10～S50の処理及びS21～S26の処理は、作業プログラムの実行時に負荷トルク/定格トルク比最小姿勢の導出をリアルタイムに行うようにしている。この制御方法に代えて、ロボット制御システムとして具体化してもよい。

【0061】

具体的には、図6に示すように、ティーチングプレイバック方式で作成された作業プログラムを、コントローラRCと通信が可能に接続されたコンピュータ100(例えばコントローラRCの上位のコンピュータ)がシミュレーションで作業プログラムを実行して、該コンピュータ100が、負荷トルク算出部として機能して、作業プログラムのステップに記述されている手先位置姿勢を目標値とした拘束条件の下で、冗長自由度が許容するリンク位置姿勢を示す姿勢パラメータを順次変化させる毎に、少なくとも各リンクの関節軸の慣性力と遠心力・コリオリ力と重力に基づく負荷トルクを算出する。なお、負荷トルクには、前記実施形態と同様に、摩擦トルク、アクチュエータ慣性トルクの少なくともいずれかを加えても良い。そして、コンピュータ100は、リンク姿勢算出部として、姿勢パラメータの変化の中で、負荷トルクと前記回転系アクチュエータの定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を求める。なお、図6のコントローラRCは、説明の便宜上、CPU91と記憶部94のみ図示しているが、前記実施形態と同様の構成を有する。

20

【0062】

この求めた負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47の定格トルク比が最小となるリンク位置姿勢を、該外部コンピュータ100からコントローラRCに出力して記憶部94に前記作業プログラムに記述された複数のステップにそれぞれ関連付けて記憶させる。なお、前記作業プログラムに記述された複数のステップには、教示点、教示姿勢、速度データが記述されている。

30

【0063】

そして、コントローラRCのCPU91は、前記作業プログラムの実行時に、前記実施形態と同様に付与部として、手先位置姿勢を目標値とした各関節軸の第1サーボモータ41～第7サーボモータ47(回転系アクチュエータ)の制御指令に、記憶部94に記憶した前記負荷トルクと第1サーボモータ41～第7サーボモータ47(回転系アクチュエータ)の定格トルク比が前記最小となる時の各負荷トルクとなるフィードフォワード値を付与する。

【0064】

40

このようにしても、前記実施形態と同様の効果を実現することができる。

・ 前記実施形態では、アクチュエータをサーボモータとしてのACモータを使用した。が、DCモータでもよく、ステッピングモータ等を使用してもよい。

【0065】

・ 前記実施形態では、式(3)において、第4項の摩擦トルク、及び第5項はアクチュエータ慣性トルクを加算するようにしたが、いずれか一方、或いは両方の加算を省略するようにしてもよい。この場合は、前記実施形態よりは制御性が若干劣るが、これらの場合でも、従来技術よりも制御性が向上する。

【0066】

・ 前記実施形態では、1つの冗長自由度をもつようにしたが、1つの冗長自由度に限

50

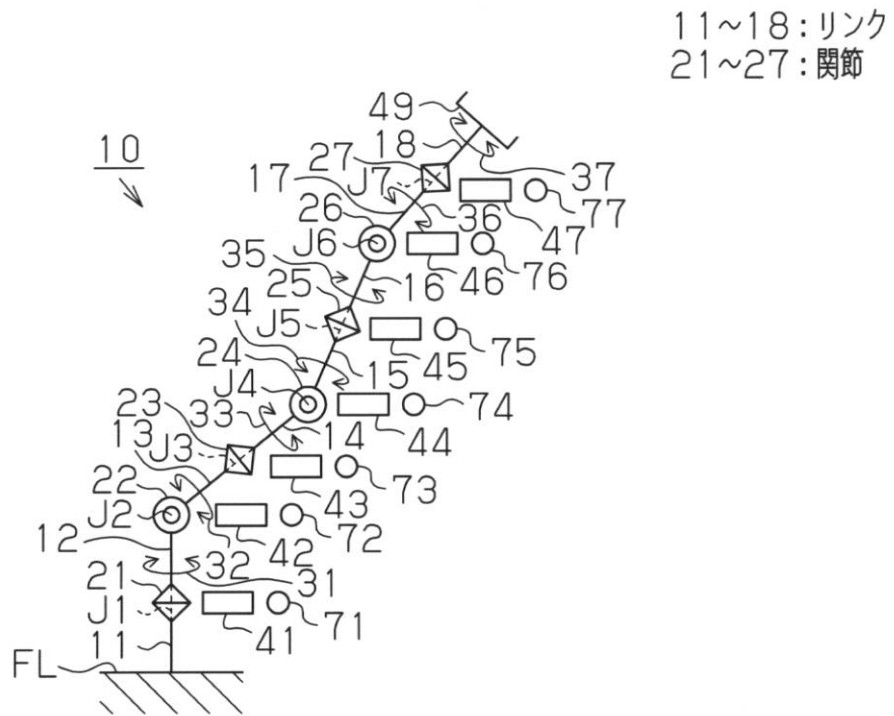
定するものではなく、2つ以上の冗長自由度をもつロボット制御装置及び制御方法にも適用できる。

【符号の説明】

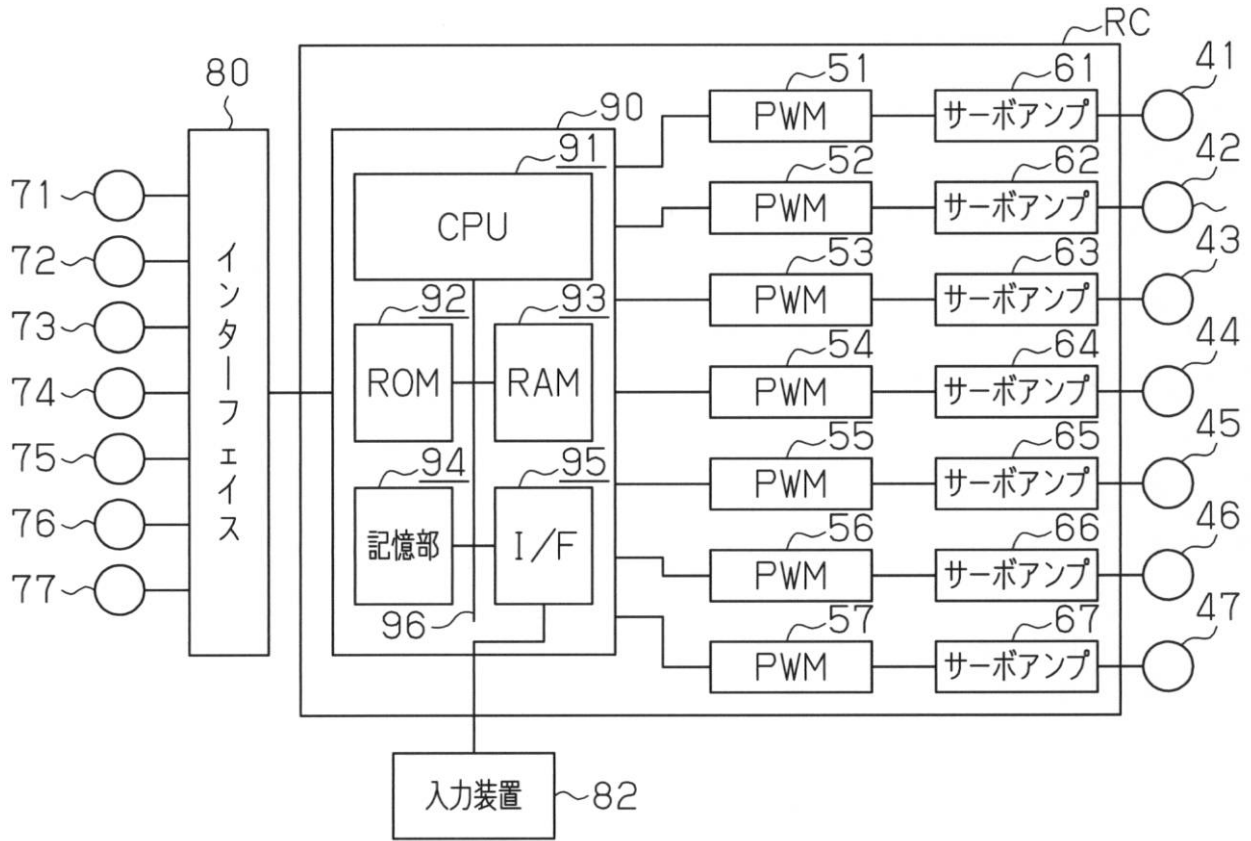
【0067】

- RC ... コントローラ（制御装置）、
- 10 ... マニピュレータ、11～18 ... リンク、
- 41～47 ... サーボモータ（回転系アクチュエータ）、
- 91 ... CPU（リンク姿勢算出部、負荷トルク算出部、付与部）、
- 94 ... 記憶部。

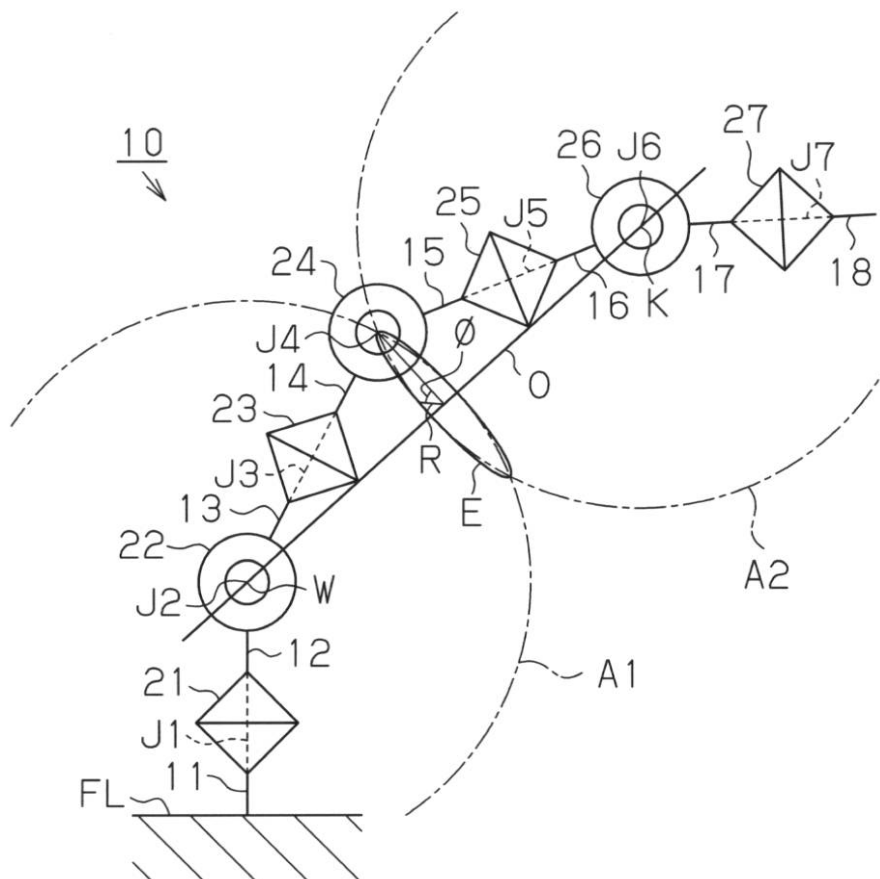
【図1】



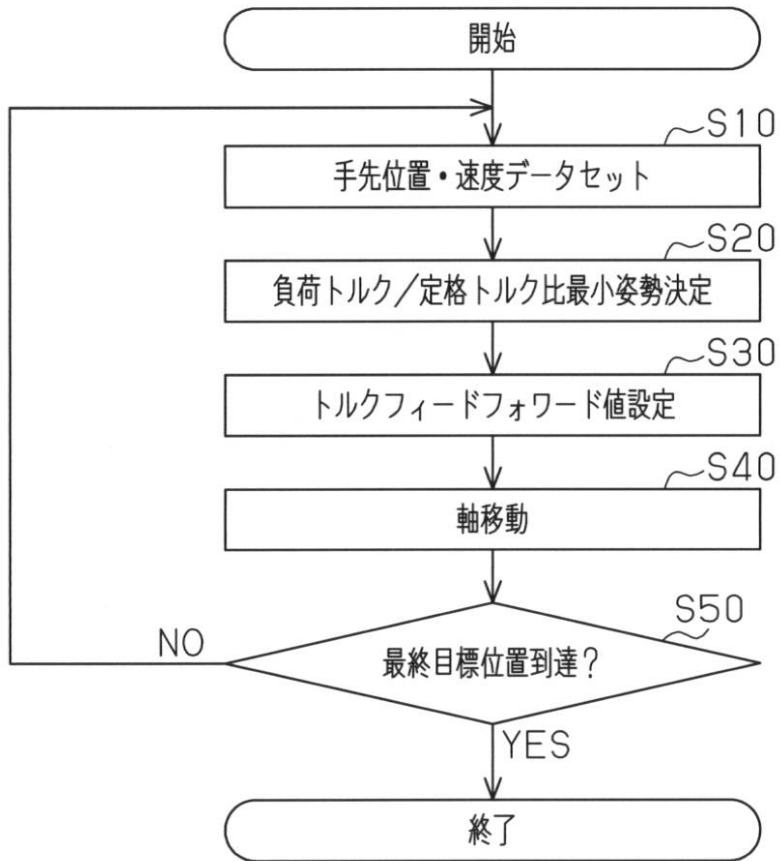
【図2】



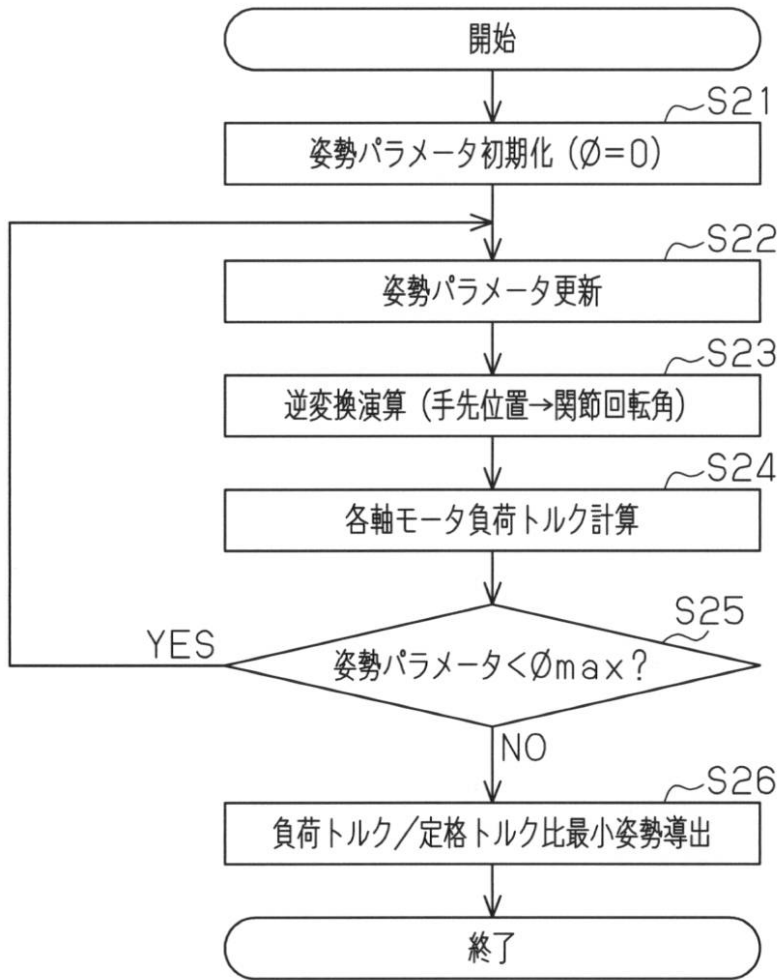
【図3】



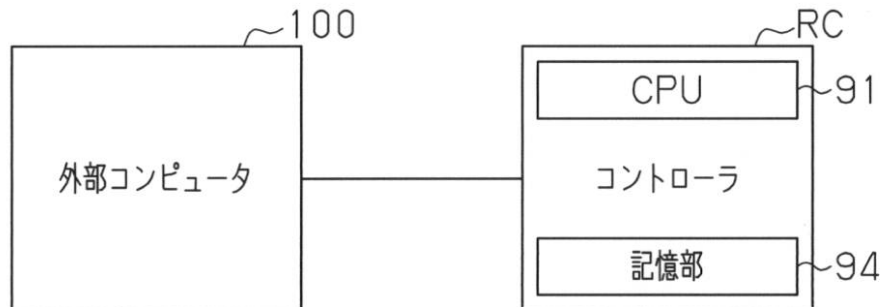
【 図 4 】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 沼崎 和也

大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内

Fターム(参考) 3C269 AB33 CC09 GG03 MN40

3C707 BS13 CY36 LV19 LW01 MT13