

(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2015-174184

(P2015-174184A)

(43) 公開日 平成27年10月5日(2015.10.5)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
B 2 5 J 9/10 (2006.01) B 2 5 J 9/10 A 3 C 7 0 7

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-52516 (P2014-52516)	(71) 出願人	000006208
(22) 出願日	平成26年3月14日 (2014. 3. 14)		三菱重工業株式会社
			東京都港区港南二丁目16番5号
		(74) 代理人	100102864
			弁理士 工藤 実
		(74) 代理人	100117617
			弁理士 中尾 圭策
		(72) 発明者	松波 夏樹
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	田見 智宏
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

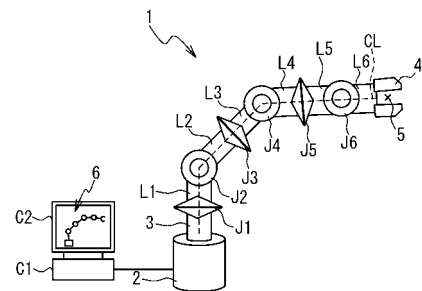
(54) 【発明の名称】 制御装置

(57) 【要約】

【課題】多関節マニピュレータの手先の位置を指定するのみでは対応が難しい環境において、適切な制御を可能とする。

【解決手段】多関節マニピュレータに対して、いずれかの位置を指定点として設定する。多関節マニピュレータの運動に関する制御指令値が与えられたとき、指定点において多関節マニピュレータの少なくとも1つの運動の自由度を拘束した被拘束状態で多関節マニピュレータの運動を制御するための被拘束制御指令値を生成する。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

互いに接続された複数の関節を有する多関節マニピュレータの制御装置であって、
前記多関節マニピュレータに対して、手先以外の位置を指定点として設定する指定点設定部と、

前記多関節マニピュレータの運動に関する制御指令値が与えられたとき、前記指定点において前記多関節マニピュレータの少なくとも 1 つの運動の自由度を拘束した被拘束状態で、前記多関節マニピュレータを制御するための被拘束制御指令値を生成する計算部と
を具備する制御装置。

【請求項 2】

10

請求項 1 に記載された制御装置であって、
更に、前記指定点に対応する指定位置を設定する座標設定部を具備し、
前記被拘束状態は、前記指定点における前記多関節マニピュレータを前記指定位置に固定した状態である
制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載された制御装置であって、
更に、前記指定点における前記多関節マニピュレータの姿勢を指定する情報である指定姿勢を設定する姿勢設定部を具備し、
前記計算部は、前記指定点における前記多関節マニピュレータを前記指定姿勢に固定した状態で前記被拘束制御指令値を生成する
制御装置。

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載された制御装置であって、
更に、前記関節のいずれかを指定関節として設定する指定関節設定部を具備し、
前記被拘束状態は、前記指定関節の動きを固定した状態である
制御装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載された制御装置であって、
前記計算部は、前記多関節マニピュレータの中で、前記指定関節から手先側に位置するすべての関節の角度を固定した状態で前記被拘束制御指令値を生成する
制御装置。

30

【請求項 6】

請求項 4 に記載された制御装置であって、
前記計算部は、前記多関節マニピュレータの中で、前記指定関節から根元側に位置するすべての関節の角度を固定した状態で前記被拘束制御指令値を生成する
制御装置。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれかに記載された制御装置であって、
前記指定点設定部は、前記多関節マニピュレータが支持する対象物上の位置を前記指定点として設定することが可能である
制御装置。

40

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれかに記載された制御装置であって、
更に、前記多関節マニピュレータのシミュレーション画像を表示する表示部を具備し、
前記指定点設定部は、画面上の位置を指定するマーカを用いて前記シミュレーション画像における前記多関節マニピュレータの位置を指定する入力操作に基づいて、前記指定点を設定する
制御装置。

【請求項 9】

50

請求項 8 に記載された制御装置であって、

更に、前記多関節マニピュレータが支持する対象物の形状を検出する検出装置を具備し

、

前記シミュレーション画像には、前記多関節マニピュレータの画像と共に、前記検出装置が検出した対象物の形状を示す対象物画像が表示され、

前記指定点設定部は、前記対象物画像上の位置を前記指定点として設定することができる

制御装置。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれかに記載された制御装置と、

前記多関節マニピュレータと

を具備するロボットシステム。

10

【請求項 11】

互いに接続された複数の関節を有する多関節マニピュレータの制御用データ生成方法であって、

前記多関節マニピュレータに対して、手先以外の位置を指定点として設定する工程と、

前記多関節マニピュレータの運動に関する制御指令値が与えられたとき、前記指定点において前記多関節マニピュレータの少なくとも 1 つの運動の自由度を拘束した被拘束状態で、前記多関節マニピュレータを制御するための被拘束制御指令値を生成する工程と

を具備する制御用データ生成方法。

20

【請求項 12】

請求項 11 に記載された制御用データ生成方法であって、

更に、前記指定点に対応する指定位置を設定する工程を具備し、

前記被拘束状態は、前記指定点における前記多関節マニピュレータを前記指定位置に固定した状態である

制御用データ生成方法。

【請求項 13】

請求項 11 に記載された制御用データ生成方法であって、

更に、前記関節のいずれかを指定関節として設定する工程を具備し、

前記被拘束状態は、前記指定関節の動きを固定した状態である

制御用データ生成方法。

30

【請求項 14】

請求項 11 から 13 のいずれかに記載された制御用データ生成方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットの多関節マニピュレータを制御する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

多関節マニピュレータ（多関節アーム）を備えたロボットが知られている。図 1 は、多関節マニピュレータの参考例を示す。多関節マニピュレータ 101 は、直列的に接続された複数のリンク L101～L106 を備える。隣接する一対のリンク（例えばリンク L101 と L102）は、その間に設けられた関節（関節 J102）によって互いに可動的に接続される。図 1 の例では、6 つの回転関節（関節 J101～J106）を有する多関節マニピュレータ 101 が描かれている。

40

【0003】

具体的には、固定された基部 102 に、支持部 103 の一端が取り付けられる。支持部 103 の他端に、第 1 の関節 J101 の一方側が取り付けられる。第 1 の関節 J101 の他方側に、第 1 のリンク L101 の一端が取り付けられる。第 1 のリンク L101 の他端

50

に、第２の関節Ｊ１０２の一方側が取り付けられる。以下、同様にして、第５のリンクの他端に第６の関節Ｊ１０６の一方側が取り付けられる。第６の関節Ｊ１０６の他方側に第６のリンクＬ１０６の一端が取り付けられる。リンクＬ１０６の他端にエンドエフェクタ１０４が取り付けられる。

【０００４】

図２は、多関節マニピュレータの関節及びリンクの関係をシンボルで表した図である。この図の例では、 n 個の関節Ｊ１０１～Ｊ１０ n と、 n 個のリンクＬ１０１～Ｌ１０ n が描かれている。

【０００５】

作業者は、エンドエフェクタ１０４の先端などに設定される指定点１０５のワールド座標系における位置指令値を制御装置に対して指定する。制御装置は、指定点１０５が位置指令値の方向に移動するように、各関節Ｊ１０１～Ｊ１０ n の角度指令値を計算する。各関節Ｊ１０１～Ｊ１０ n は、その角度指令値に従ってモータ等により駆動される。このような制御により、多関節マニピュレータ１０１の手先（指定点１０５）を所望の位置に移動することができる。

【０００６】

非特許文献１には、このような多関節マニピュレータの制御についての一般論が記載されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００７】

【非特許文献１】吉川恒夫『ロボット制御基礎論』、コロナ社、１９８８年１１月２５日発行

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

上記のように、多関節マニピュレータ１０１は、手先の位置を指定して制御することが多い。そのような制御においては、各関節Ｊ１０１～Ｊ１０ n は、指定された手先位置を実現するように、計算に基づいて自動制御される。

【０００９】

ところで、多関節マニピュレータ１０１は、手先の位置を指定するのみでは作業を行うことが難しい場合がある。本願の発明者は、そのような場合における多関節マニピュレータ１０１の制御について開発を進めている。図３は、その一例を示す。多関節マニピュレータ１０１が作業を行う場所が障害物１０６の裏側にある場合、障害物１０６を迂回する姿勢を維持して多関節マニピュレータ１０１の制御を行うことが望まれる。図３の例では、障害物１０６の右側から裏側に回り込むように多関節マニピュレータ１０１の姿勢が維持されている。

【００１０】

図４は、手先の位置を指定するのみでは作業を行うことが難しい場合の他の例を示す。この例では、多関節マニピュレータ１０１の基部１０２から見て、壁１０７の反対側の領域の天井１０９に対する作業が行われる。リンクＬ１０２が、壁１０７の隙間１０８に配置されている。このような場合、天井１０９付近のエンドエフェクタ１０４の位置を指定するのみでは十分ではなく、リンクＬ１０２が隙間１０８の位置を維持することが望まれる。

【００１１】

多関節マニピュレータの手先の位置を指定するのみでは対応が難しい環境において、適切な制御を可能とすることが望まれる。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

本発明の一側面において、制御装置は、互いに接続された複数の関節を有する多関節マ

10

20

30

40

50

ニピュレータの制御に用いられる。制御装置は、多関節マニピュレータに対して、手先以外の位置を指定点として設定する指定点設定部と、多関節マニピュレータの運動に関する制御指令値が与えられたとき、指定点において多関節マニピュレータの少なくとも1つの運動の自由度を拘束した被拘束状態で、多関節マニピュレータを制御するための被拘束制御指令値を生成する計算部とを備える。

【0013】

本発明の他の側面において、制御用データ生成方法は、互いに接続された複数の関節を有する多関節マニピュレータの制御用データを生成する。制御用データ生成方法は、多関節マニピュレータに対して、手先以外の位置を指定点として設定する工程と、多関節マニピュレータの運動に関する制御指令値が与えられたとき、指定点において多関節マニピュレータの少なくとも1つの運動の自由度を拘束した被拘束状態で、多関節マニピュレータを制御するための被拘束制御指令値を生成する工程とを備える。

10

【0014】

本発明の更に他の側面において、ロボットシステムは、本発明による制御装置と、多関節マニピュレータとを備える。

【0015】

本発明の更に他の側面において、プログラムは、本発明による制御用データ生成方法をコンピュータに実行させる。

【発明の効果】

【0016】

多関節マニピュレータの手先の位置を指定するのみでは対応が難しい環境において、適切な制御が可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、参考例における多関節マニピュレータを示す。

【図2】図2は、多関節マニピュレータの関節とリンクの関係をシンボルで表した図である。

【図3】図3は、障害物がある場合の制御の一例を示す。

【図4】図4は、障害物がある場合の制御の他の例を示す。

【図5】図5は、本発明の一実施形態における多関節マニピュレータを示す。

30

【図6】図6は、関節の制御の流れを示す。

【図7】図7は、制御用コンピュータによって実現される機能ブロックを示す。

【図8】図8は、リンク上に描かれた指定点を示す。

【図9】図9は、リンク上に描かれた指定点を示す。

【図10】図10は、リンク上に描かれた指定点を示す。

【図11】図11は、対象物を把持した多関節マニピュレータを示す。

【図12】図12は、手先固定制御について説明するための多関節マニピュレータの図である。

【図13】図13は、手先固定制御と根元固定制御のフローチャートである。

【図14】図14は、手先固定制御の説明図である。

40

【図15】図15は、手先固定制御の説明図である。

【図16A】図16Aは、指定点の設定方法の説明図である。

【図16B】図16Bは、指定点の設定方法の説明図である。

【図16C】図16Cは、指定点の設定方法の説明図である。

【図17A】図17Aは、指定点の設定方法の説明図である。

【図17B】図17Bは、指定点の設定方法の説明図である。

【図17C】図17Cは、指定点の設定方法の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施形態を説明する。図5は、本発明の一実施形

50

態における多関節マニピュレータ 1 と、コンピュータ C 1 と、表示装置 C 2 を備えたロボットシステムを示す。多関節マニピュレータ 1 は、床面等に固定された基部 2 を備える。基部 2 に、支持部 3 の一端が固定される。支持部 3 の他端は、関節 J 1 の一方側に固定される。関節 J 2 の他方側に、第 1 のリンク L 1 の一端が取り付けられる。第 1 のリンク L 1 の他端に、第 2 の関節 J 2 の一方側が取り付けられる。以下、同様にして、第 5 のリンクの他端に第 6 の関節 J 6 の一方側が取り付けられる。第 6 の関節 J 6 の他方側に、第 6 のリンク L 6 の一端が取り付けられる。第 6 のリンク L 6 の他端に、エンドエフェクタ 4 が取り付けられる。図 5 の例では、6 個の関節 J 1 ~ J 6 を備える多関節マニピュレータ 1 が描かれているが、これより多い、またはこれより少ない n 個の関節 J 1 ~ J n を備えた n 自由度の多関節マニピュレータ 1 を用いてもよい。

10

【0019】

図 1、図 2 を参照して説明した参考例と同様に、作業者は、多関節マニピュレータ 1 の手先（エンドエフェクタ 4 の先端など）に設定される指定点 5 のワールド座標系における位置及び姿勢を示す位置・姿勢指令値を制御装置に対して指定する。制御装置は、指定点 5 が位置・姿勢指令値に示された状態に向かうように、各関節 J 1 ~ J 6 の角度指令値を生成する。各関節 J 1 ~ J 6 は、その角度指令値に従ってモータ等により駆動される。このような制御により、多関節マニピュレータ 1 の手先（指定点 5）を所望の位置に移動することができる。

【0020】

多関節マニピュレータ 1 に、コンピュータ C 1 が接続される。コンピュータ C 1 は、ハードディスク等の非遷移的（non-transitory）な記憶媒体を備える。コンピュータ C 1 は、その記憶媒体に格納されたソフトウェアを実行することによって、多関節マニピュレータ 1 の動作をシミュレーションにより再現することができる。そのシミュレーションにより、多関節マニピュレータ 1 の動作は、表示装置 C 2 の画面上で再現される。作業者は、その画面上に表示された多関節マニピュレータ画像 6 を見て、例えば後述する Interactive Marker 等のグラフィカルユーザインタフェースによって画面上の指定点 5 を所望の場所に移動し、更にその指定点における姿勢を指定する。このような画面操作により、多関節マニピュレータ 1 の手先の位置・姿勢指令値を設定することができる。

20

【0021】

図 6 は、指定点 5 の指令値を入力したときの関節 J 1 ~ J 6 の制御の一般的な流れを示す。多関節マニピュレータ 1 は、エンコーダなどによって、関節 J 1 ~ J 6 の各々の現在の姿勢を示す関節角度を検出することができる。コンピュータ C 1 は、多関節マニピュレータ 1 から、各関節 J 1 ~ J 6 の関節角度の現在値を取得する。コンピュータ C 1 は、その関節角度に基づいて順運動学計算を行うことにより、ワールド座標系における現在の手先位置及び手先姿勢を計算する（A 1）。

30

【0022】

一方、作業者はコンピュータ C 1 を用い、表示装置 C 2 のシミュレーション画像を見ながら、指定点 5 の目標位置及び目標姿勢を示す手先指令を入力する。コンピュータ C 1 は、A 1 で算出された現在の手先位置及び姿勢に対する、手先指令の手先位置及び姿勢の偏差 E を計算する（A 2）。コンピュータ C 1 は更に、予め設定された位置制御用の比例ゲイン K_P を偏差 E に掛ける（A 3）。

40

【0023】

各関節 J 1 ~ J 6 の現在の角度の検出値に基づいて、ヤコビ行列 J を計算する（A 4）。更に、そのヤコビ行列の逆行列（多関節マニピュレータ 1 が冗長自由度を持っている場合は疑似逆行列）を計算する（A 5）。この逆ヤコビ行列を用いて、ゲインを掛けた位置姿勢偏差 $K_P \cdot E$ から関節速度の指令値を算出する（A 6）。この関節速度の指令値を時間積分することにより、関節角度の指令値が算出される（A 7）。コンピュータ C 1 は、関節角度の指令値を多関節マニピュレータ 1 に送信する。多関節マニピュレータ 1 の制御装置は、その指令値に基づいて、各関節 J 1 ~ J 6 のモータ等を制御する。以上の制御に

50

より、作業者が指定した目標位置及び目標姿勢を取るようエンドエフェクタ 4 を動かすことが可能である。

【 0 0 2 4 】

[リンク位置の固定]

以上は、多関節マニピュレータ 1 の手先を目標位置及び目標姿勢に動かすための制御についての説明である。それに加えて、本実施形態においては、多関節マニピュレータ 1 に対して、手先以外の位置を指定点 1 0 として設定する。そして指定点 1 0 における多関節マニピュレータ 1 の少なくとも 1 つの運動の自由度を拘束した被拘束状態で手先の位置及び姿勢を制御する部分固定制御を実行する。本実施形態における部分固定制御では、リンク L 1 ~ L 6 のうちの指定された位置を固定した状態でエンドエフェクタ 4 を動かす。以下、そのような制御について説明する。

10

【 0 0 2 5 】

図 7 は、そのような制御を行うためにコンピュータ C 1 によって実現される機能ブロックを示す。コンピュータ C 1 は、指定点設定部 3 1、座標設定部 3 2、計算部 3 3、姿勢設定部 3 4、及び指定関節設定部 3 5 として機能する。これらの各機能ブロックは、コンピュータ C 1 の演算制御装置が記憶媒体に格納されたソフトウェアを読み出して実行することによって実現される。

【 0 0 2 6 】

指定点設定部 3 1 は、多関節マニピュレータ 1 上のいずれかの位置を指定点 1 0 として設定する。具体的には、作業者が画面上に表示されるポインタ等を操作して、多関節マニピュレータ画像 6 の所望の位置を指定する入力操作を行う。指定点設定部 3 1 は、その入力操作に応じて、指定点 1 0 を設定する。指定点 1 0 は、ロボット座標系（多関節マニピュレータ 1 のローカル座標系）により指定される。後述するようにリンク番号とリンク原点からの相対位置によって、そのような指定を行うことができる。

20

【 0 0 2 7 】

指定点 1 0 の一例として、図 8 では指定点 1 0 がリンク L 4 上に描かれている。作業者は、多関節マニピュレータ画像 6 を見ながらコンピュータ C 1 を操作することによって、所望の位置に指定点 1 0 を設定することができる。図 8 の例では、第 1 の関節 J 1 から手先側が可動部分であるため、多関節マニピュレータ 1 上の関節 J 1 から手先側の任意の位置を指定点 1 0 として設定することができる。

30

【 0 0 2 8 】

指定点 1 0 を指定するための位置情報として特に重要なのは、リンク L 1 ~ L 6 の長さ方向の位置である。従って、作業者は例えば、多関節マニピュレータ 1 の基部 2 から、各リンク L 1 ~ L 6 の断面の中心付近を通してエンドエフェクタ 4 に向かう仮想的な中心線 C L（図 5 参照）を引いたときに、可動部（第 1 の関節 J 1 より手先側）における中心線 C L の任意の位置を、指定点 1 0 として指定することができる。

【 0 0 2 9 】

このような指定点 1 0 は、リンク番号とリンク原点からの長さ方向の位置によって特定することができる。リンク番号は、各々のリンクを個別に特定する識別子（例えば図 8 ではリンク L 1 ~ L 6 のうちの「L 4」）である。リンク原点からの位置は、指定点 1 0 が設定されたリンク L 4 において、根元側の所定位置（図 8 では例えば、関節 J 4 とリンク L 4 の接続箇所の位置）から指定点 1 0 までの長さを示す。

40

【 0 0 3 0 】

座標設定部 3 2 は、指定点 1 0 に対応づけて、ワールド座標系（図 8 では x y z 座標として示されている）における指定点 1 0 の固定位置を示す指定位置を設定する。具体的には、既に説明した指定点 1 0 の設定の場合と同様に、座標設定部 3 2 は、作業者が行う入力操作に応じて指定位置を設定する。

【 0 0 3 1 】

計算部 3 3 は、多関節マニピュレータ 1 から入力した検出値などに基づいて、指定点 1 0 の現在位置を示す情報を生成する。計算部 3 3 は更に、指定点 1 0 を現在位置から指定

50

位置に移動するための指令値を生成し、多関節マニピュレータ 1 に送信する。多関節マニピュレータ 1 は、この指令値に基づいて関節 J 1 ~ J 6 を駆動して、指定点 1 0 を指定位置に移動する。

【 0 0 3 2 】

計算部 3 3 は、指定点 1 0 を指定位置に固定した状態で多関節マニピュレータ 1 の手先位置及び手先姿勢を制御するための指令値（被拘束制御指令値）を計算する。例えば、作業者が手先の指定点 5 の目標位置 1 5 を入力すると、図 8 の指定点 5 が目標位置 1 5 に移動して図 9 に示す姿勢となるように、各関節 J 1 ~ J 6 に対する制御指令値を計算する。その計算は、指定点 1 0 よりも根元側の関節 J 1 ~ J 4 と、手先側の関節 J 5 ~ J 6 の二部分に分けて、各部分について独立に、図 6 で説明した順運動計算及び逆運動計算を用いることにより実現できる。

10

【 0 0 3 3 】

以上で、本実施の形態における多関節マニピュレータ 1 の制御用データの生成方法を説明した。この制御用データをコンピュータ C 1 が多関節マニピュレータ 1 に送信することにより、指定点 1 0 を指定位置に固定した状態で、多関節マニピュレータ 1 の制御が行われる。

【 0 0 3 4 】

指定点 1 0 より手先側の関節（図 8、図 9 の例では関節 J 5、J 6）の個数が 6 個以上有る場合など、手先側の自由度が十分であれば、指定点 5 に対して自在に目標位置及び目標姿勢を設定することができる。指定点 1 0 より手先側の自由度が十分でない場合でも、その自由度の範囲内で、作業者が目標位置及び目標姿勢を設定することができる。このような制御により、例えば周囲に図 3 のような障害物が存在したり図 4 のように隙間 1 0 8 を通すためにリンク L 4 を動かしたくない場合に、リンク L 4 を固定して手先を制御することができる。

20

【 0 0 3 5 】

[リンク位置と姿勢の固定]

部分固定制御においては更に、指定点 1 0 の位置のみならず、指定点 1 0 における多関節マニピュレータ 1 の姿勢も固定した制御を実行することができる。その際、図 7 の姿勢設定部 3 4 は、作業者が多関節マニピュレータ画像 6 を参照して入力した角度に応じて、指定姿勢を設定する。この操作により、例えばリンク L 4 の角度が指定姿勢によって示される値に固定される。図 8 では、この指定姿勢が角度 として示されている。図 8 は平面的に描かれているが、多関節マニピュレータ 1 が三次元的な動作を行う場合には、指定姿勢は三次元的な角度を示し、例えばワールド座標系に設定されたオイラー角によって指定される。

30

【 0 0 3 6 】

このような場合、計算部 3 3 は、指定点 1 0 において多関節マニピュレータ 1 の位置を指定位置に固定し、姿勢を指定姿勢に固定した状態で、多関節マニピュレータ 1 の運動を制御するための指令値の計算を行う。この指令値を多関節マニピュレータ 1 に送信することにより、図 1 0 に示すように、指定されたリンク L 4 の指定点 1 0 の位置のみならず、姿勢（角度）を固定した状態で多関節マニピュレータ 1 の制御をすることができる。

40

【 0 0 3 7 】

[対象物の固定]

部分固定制御においては、多関節マニピュレータ 1 上の位置以外の位置を指定点 1 0 として設定する対象物固定制御を行うことも可能である。図 1 1 は、その一例を示す。この例では、エンドエフェクタ 4 が工具などの対象物 1 1 を支持している。その対象物 1 1 上に指定点 1 0 が設定される。

【 0 0 3 8 】

このような位置に指定点 1 0 を設定した場合でも、計算部 3 3 は、指定点 1 0 において対象物 1 1 の位置及び姿勢を固定した状態で、被拘束制御指令値を生成することができる。但し、エンドエフェクタ 4 が取り付けられたリンク L 6 に対する対象物 1 1 の位置及び

50

姿勢は固定されているものとする。このような制御により、多関節マニピュレータ 1 の手先ではなく、そのエンドエフェクタ 4 が把持している対象物の先端の位置や姿勢を固定したい場合に、容易に設定を行うことができる。

【0039】

この制御において、作業者は、リンク L 1 ~ L 6 や関節 J 1 ~ J 6 の所望の箇所を指定する。更に、その箇所の目標位置や目標姿勢を指定する。計算部 33 は、対象物 11 上の指定点 10 をワールド座標系中の指定された位置に固定した被拘束状態で、指定された箇所が目標位置・目標姿勢に向かうように、各関節 J 1 ~ J 6 の角度を計算する。

【0040】

対象物固定制御において、指定点 10 の設定は、以下のように行うことができる。リンク番号とリンク原点に対するワールド座標系における相対位置とが設定される。図 11 の場合には、リンク番号としてリンク L 6 を設定し、リンク原点に対する指定点 10 の目標値の相対位置を設定する。この際、リンク原点に対する相対位置がリンク L 6 やエンドエフェクタ 4 の先端よりも遠方側に設定されれば、エンドエフェクタ 4 が把持している対象物 11 上に指定点 10 を設定したこととなる。

【0041】

指定点 10 の設定は、以下のように行うこともできる。多関節マニピュレータ 1 が備えるロボットヘッド等に、エンドエフェクタ 4 付近における物体の形状を検出することのできる検出装置（例えばレーザスキャナ）を設ける。その検出装置により、対象物 11 の位置、形状、及び姿勢を検出する。検出された対象物情報は、コンピュータ C 1 に送信される。

【0042】

コンピュータ C 1 は、多関節マニピュレータ 1 から受信した対象物情報に基づいて、表示装置 C 2 に対象物画像を表示する。すなわち、実空間における対象物 11 を把持した状態における多関節マニピュレータ 1 のシミュレーション画像が表示される。作業者は、その画面上の対象物 11 を見て、ポインタ等により対象物画像上に指定点 10 を設定する入力操作を行う。指定点設定部 31 は、その入力操作に応じて指定点 10 の設定を行う。

【0043】

[手先固定制御]

次に、本発明の実施形態として、手先固定制御と、根元固定制御を説明する。これらはいずれも、指定点において多関節マニピュレータ 1 の少なくとも 1 つの運動の自由度を拘束するという点では、図 5 ~ 図 11 で説明した実施形態と同様である。しかし、関節を選択し、その選択された関節の前後（根元側と手先側）のいずれか一方の全関節を固定するという点で異なる。既述の実施形態では指定点 10 のワールド座標系における位置を固定するという制御が行われたが、本実施形態では、根元側又は手先側において、関節におけるリンク相互の角度を固定する制御が行われる。

【0044】

まず手先固定制御について説明する。この制御においては、多関節マニピュレータ 1 において、ある関節より手先側の部分の全関節を固定した制御が行われる。図 12 を参照して、この制御について説明する。この実施形態においては、多関節マニピュレータ 1 の根元（例えば基部 2 と支持部 3 の接続箇所）などの固定された位置を「絶対基準座標 20」、作業者によって指定された指定関節（図 12 では関節 J 3）の位置を「設定座標 21」、エンドエフェクタ 4 上の所定位置など多関節マニピュレータ 1 の手先の位置を「手先座標 22」と呼ぶことにする。

【0045】

図 13 は、手先固定制御と根元固定制御の処理を示すフローチャートである。まず、作業者は、コンピュータ C 1 に対する入力操作により、多関節マニピュレータ 1 が備える複数の関節 J 1 ~ J 6 のうちのいずれかを指定関節として選択する。図 7 の指定関節設定部 35 は、その入力操作に応じて指定関節を設定する。図 12 の例では、関節 J 3 が指定関節として設定される。指定関節のワールド座標系における位置が「設定座標 21」である

(ステップ S 1)。

【 0 0 4 6 】

次に、手先と根元のどちらを固定するかを選択する。本実施形態においては、作業者のコンピュータ C 1 に対する入力操作に応じて、手先固定制御が選択される。この選択により、「設定座標 2 1」より根元側が可動側、手先側が固定側に設定される(ステップ S 2)。

【 0 0 4 7 】

次に、計算部 3 3 は、可動側の根元の位置を、基準座標として設定する。手先固定制御の場合は根元側が可動側なので、多関節マニピュレータ 1 全体の根元に当たる「絶対基準座標 2 0」を基準座標として設定する(ステップ S 3)。

10

【 0 0 4 8 】

次に、計算部 3 3 は、固定側の長さを算出する。図 1 2 の例では、指定関節の「設定座標 2 1」から、エンドエフェクタ 4 の「手先座標 2 2」までのワールド座標系における長さを算出する。この計算は、以下のようにして可能である。コンピュータ C 1 は、固定側の各関節 J 3 ~ J 6 の関節角度の現在の検出値を読み込む。更に、コンピュータ C 1 には多関節マニピュレータ 1 のリンクパラメータ等のシミュレーションモデルのデータが登録されているため、各リンク L 1 ~ L 6 の長さを知ることができる。そこで、固定側の関節角度の検出値と、各リンク L 3 ~ L 6 の長さに基づいて、「設定座標 2 1」と「手先座標 2 2」との間の、ワールド座標系における x 軸、y 軸、z 軸方向のそれぞれの距離を算出する。この計算により、固定側の x 軸、y 軸、z 軸の各方向の長さが得られる(ステップ S 4)。

20

【 0 0 4 9 】

次に、座標設定部 3 2 は、設定座標 2 1 の移動先を指定座標として設定する(ステップ S 5)。計算部 3 3 は、設定座標 2 1 が指定座標に移動するように逆運動学計算に基づいて、可動側の各関節 J 1、J 2 の制御指令値を生成する(ステップ S 6)。図 1 2 では可動側に 2 個の関節 J 1、J 2 しか描かれていないが、このような運動を可能とするために、実際にはより多数の関節が用意されていることが望ましい。次に、計算部 3 3 は、固定側(設定座標 2 1 から手先座標 2 2 まで)の各関節 J 3 ~ J 6 の角度指令値を、一定の値に固定する。このような処理により、被拘束制御指令値を生成する(ステップ S 7)。

30

【 0 0 5 0 】

コンピュータ C 1 は、以上の処理で生成された関節 J 1 ~ J 6 の角度の指令値を多関節マニピュレータ 1 に送信する。その指令値に基づいて、多関節マニピュレータ 1 の各関節 J 1 ~ J 6 が駆動される(ステップ S 8)。

【 0 0 5 1 】

図 1 4 と図 1 5 は、手元固定制御における多関節マニピュレータ 1 の動作の一例を示す。図 1 4 において、関節 J 4 が指定関節として設定されている。それより根元側 2 3 が可動部、手先側 2 4 が固定部である。図 1 5 は、ステップ S 5 で設定された移動後の多関節マニピュレータ 1 を示す。指定関節 J 4 が指定点 2 5 に移動している。その際、手先側 2 4 の各関節 J 4 ~ J 7 の角度は固定されているため、リンク L 3 ~ L 7 の相対的な位置及び姿勢は固定されている。すなわち、リンク L 3 からエンドエフェクタ 4 までの部分は、形状が固定されており、手先側 2 4 の可動部に把持された一種のエンドエフェクタのような使い方をすることができる。

40

【 0 0 5 2 】

通常、エンドエフェクタ 4 の手先は何らかの作業を行うため、そのワールド座標系における位置が制御の対象となる。その位置は、指定関節 J 4 の座標と、ステップ S 4 で計算された手先側 2 4 の長さを足すことによって知ることができる。

【 0 0 5 3 】

[根元固定制御]

次に、根元固定制御について説明する。この制御においては、多関節マニピュレータ 1 において、ある関節より根元側の部分における全ての関節を固定した制御が行われる。再

50

び図 1 3 を参照して、根元固定制御について説明する。ステップ S 1 の指定関節の選択は、手先固定制御と同様である。ステップ S 2 において、作業者のコンピュータ C 1 に対する入力操作に応じて、根元固定制御が選択される。この選択により、「設定座標」より根元側が固定側、手先側が可動側に設定される（ステップ S 2 ）。

【 0 0 5 4 】

次に、計算部 3 3 は、可動側の根元の位置を、基準座標として設定する。根元固定制御の場合は手先側が可動側なので、手先側の根元に当たる「設定座標 2 1 」を基準座標として設定する（ステップ S 3 ）。

【 0 0 5 5 】

次に、計算部は、固定側の長さを算出する。図 1 2 の例では、「絶対基準座標 2 0 」から、指定関節の「設定座標 2 1 」までの長さを算出する。算出方法は、手先固定制御の場合と同様である（ステップ S 4 ）。

【 0 0 5 6 】

次に、座標設定部 3 2 は、設定座標 2 1 の移動先を指定座標として設定する（ステップ S 5 ）。計算部 3 3 は、設定座標 2 1 が指定座標に移動するように逆運動学計算に基づいて、可動側の各関節 J 1 、 J 2 の制御指令値を生成する（ステップ S 6 ）。次に、計算部 3 3 は、固定側（絶対基準座標 2 0 から設定座標 2 1 まで）の各関節 J 1 、 J 2 の角度指令値を、一定の値に固定する（ステップ S 7 ）。

【 0 0 5 7 】

コンピュータ C 1 は、以上の処理で生成された関節 J 1 ~ J 6 の角度の指令値を多関節マニピュレータ 1 に送信する。その指令値に基づいて、多関節マニピュレータ 1 の各関節 J 1 ~ J 6 が駆動される（ステップ S 8 ）。

【 0 0 5 8 】

以上の処理により、図 1 4 に示された根元側 2 3 の各関節 J 1 ~ J 3 を固定した状態にして、手先側 2 4 の各関節 J 4 ~ J 7 を動作させる根元固定制御が可能となる。このような制御により、例えば図 3 に示したように障害物 1 0 6 がある場合に、途中までの関節 J 1 ~ J 3 をその障害物 1 0 6 を回り込むような姿勢で固定し、その向こう側の領域に対して、手先側 2 4 の各関節 J 4 ~ J 7 を動かして作業を行うことができる。

【 0 0 5 9 】

上記の手先固定制御と根元固定制御の応用として、一か所の指定関節のみの動きを固定することもできる。このような制御においては、指定関節の前後に接続された一対のリンクの相対位置及び相対姿勢を固定して、他の関節の制御が行われる。

【 0 0 6 0 】

[設定方法]

次に、指定点 1 0 の設定方法について説明する。図 1 6 A は、図 5 の表示装置 C 2 に表示される画面の例を示す。図 1 6 A の例では、x y z の 3 軸で示される直交座標の x 軸正方向から見た多関節マニピュレータ画像 6 が示されている。デフォルトの状態、エンドエフェクタ 4 を備える手先のリンク L 6 が選択されている。選択されているリンク L 6 は、他の部分に対して視覚的に区別して（例えば違う色で）表示される。

【 0 0 6 1 】

デフォルトの状態では更に、手先位置（エンドエフェクタ 4 上の所定位置）に、指定点 1 0 が表示される。指定点 1 0 の位置に更に、選択されたリンク L 6 の三次元的な姿勢を示すマーカ 1 3 が表示される。マーカ 1 3 として例えば、Willow Garage 社が開発したミドルウェアである ROS (Robot Operating System) の Interactive Marker を使用することができる。

【 0 0 6 2 】

画面に、マウス等のポインティングデバイスで操作できるポインタ 1 4 が表示される。作業者は、ポインタ 1 4 を操作して、多関節マニピュレータ画像 6 のうち所望のリンクを指示し、選択操作を行う。図 1 6 B は、その選択操作が行われた画面を示す。リンク L 5 が選択され、他のリンク L 1 ~ L 4 、 L 6 とは異なる色で表示される。作業者は更に、ポ

10

20

30

40

50

インタ 1 4 の先端を所望の位置に置いて指定操作を行う。その指定操作に応じて、ポイント 1 4 の先端の箇所が指定点 1 0 として指定される。

【 0 0 6 3 】

指定点 1 0 の付近に、選択されたリンク L 5 の姿勢を示すマーカ 1 3 が表示される。マーカ 1 3 は例えば $x y z$ の三軸の矢印を有し、三次元空間内でその角度が自在に設定できる。作業者は、ポイント 1 4 でマーカ 1 3 を指示し、画面上で所望の角度に回転することによって、リンク L 5 の姿勢を設定する。

【 0 0 6 4 】

リンク L 5 の姿勢の設定に応じて、多関節マニピュレータ画像 6 の全体を表示し直してもよい。その場合、計算部 3 3 は、マーカ 1 3 を用いて設定された姿勢に応じて順運動学及び逆運動学計算を行うことにより、各関節 J 1 ~ J 6 の角度を計算し、リンク L 5 の姿勢を設定姿勢に変更した後の状態の多関節マニピュレータ画像 6 を表示する。

【 0 0 6 5 】

作業者は更に、多関節マニピュレータ画像 6 を見る仮想的な視点の位置及び角度を自在に変更することができる。図 1 6 B では x 軸正方向から見た多関節マニピュレータ画像 6 が示されており、図 1 6 C では仮想的な視点を変更して z 軸正方向から見た多関節マニピュレータ画像 6 が示されている。この状態においても、作業者はポイント 1 4 及びマーカ 1 3 を操作することにより、リンク L 5 の選択と、その姿勢の指定とを行うことができる。このように仮想空間中における多関節マニピュレータ画像 6 の姿勢を様々な視点から見ることににより、選択されたリンク L 5 の姿勢の設定を容易に行うことができる。

【 0 0 6 6 】

次に、図 1 1 を参照して説明した対象物 1 1 を固定する部分固定制御の設定方法について説明する。図 1 7 A は、エンドエフェクタ 4 が対象物 1 1 を把持している場合の多関節マニピュレータ画像 6 を示す。既述のように、レーザスキャナ等により対象物 1 1 の形状、大きさ、及び姿勢を検出することができる。その検出結果に基づいて、多関節マニピュレータ画像 6 の一部として対象物 1 1 が表示される。デフォルトで、手先のリンク L 6 が選択された状態の画像が表示される。その際、最も手先側のリンク L 6 と共に対象物 1 1 も、その他の部分と異なる色で表示される。手先の位置に指定点 1 0 が表示され、その付近にマーカ 1 3 が表示される。

【 0 0 6 7 】

図 1 7 B に示すように、作業者は、ポイント 1 4 を操作して、対象物 1 1 上の所望の場所を指定点 1 0 として設定する。この指定点 1 0 の位置は、図 1 1 の場合について説明したように、リンク番号 (リンク L 6) と、リンク原点からの相対位置とを示すデータによって特定することができる。作業者は更に、指定点 1 0 の近傍に表示されるマーカ 1 3 を操作することにより、対象物 1 1 の姿勢を設定する。図 1 7 C に示すように、作業者は、画面上の仮想的な視点の位置及び角度を自由に変更することにより、様々な角度から対象物 1 1 を見てその姿勢を設定することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 8 】

- 1 多関節マニピュレータ
- 2 基部
- 3 支持部
- 4 エンドエフェクタ
- 5 指定点
- 6 多関節マニピュレータ画像
- 1 0 指定点
- 1 1 対象物
- 1 2 基準位置
- 1 3 マーカ
- 1 4 ポインタ

10

20

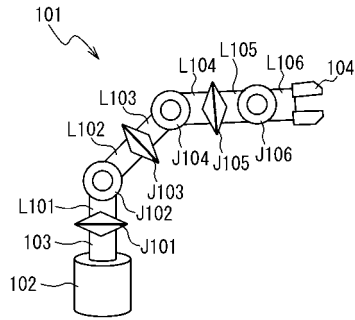
30

40

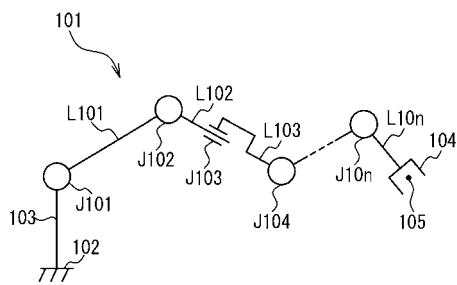
50

1 5	目 標 位 置	
2 0	絶 対 基 準 座 標	
2 1	指 定 関 節	
2 2	手 先 座 標	
2 3	根 元 側	
2 4	手 先 側	
3 1	指 定 点 設 定 部	
3 2	座 標 設 定 部	
3 3	計 算 部	
3 4	姿 勢 設 定 部	10
3 5	指 定 関 節 設 定 部	
1 0 1	多 関 節 マ ニ ュ レ ー タ	
1 0 2	基 部	
1 0 3	支 持 部	
1 0 4	エ ン ド エ フ ェ ク タ	
1 0 5	指 定 点	
1 0 6	障 害 物	
1 0 7	壁	
1 0 8	隙 間	
1 0 9	天 井	20
C 1	コ ン プ ュ ー タ	
C 2	表 示 装 置	
J 1 ~ J 6	関 節	
L 1 ~ L 5	リ ン ク	
J 1 0 1 ~ J 1 0 6	関 節	
L 1 0 1 ~ L 1 0 6	リ ン ク	

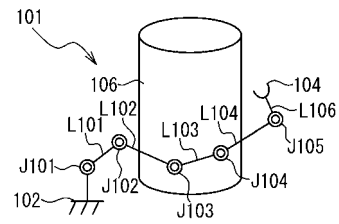
【図 1】



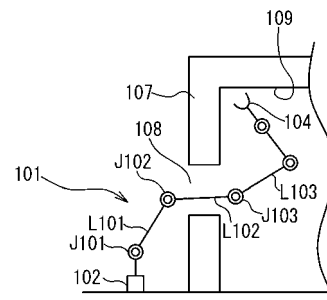
【図 2】



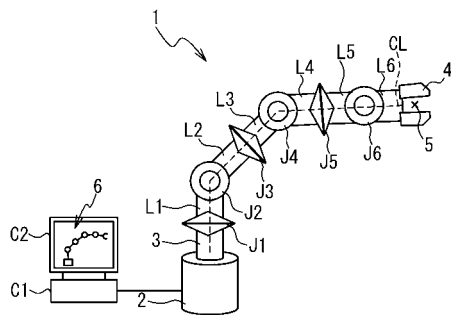
【図 3】



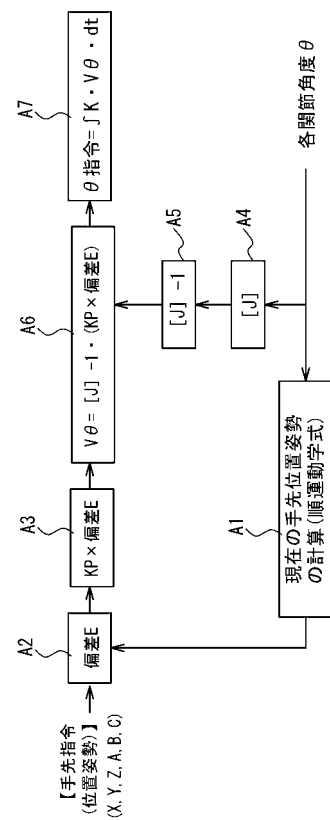
【図 4】



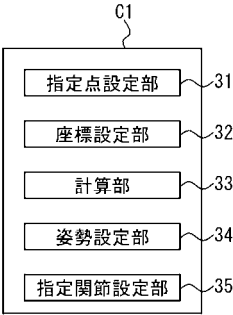
【図 5】



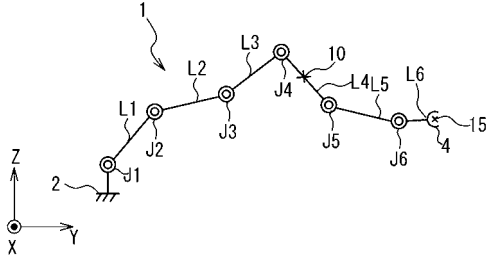
【図 6】



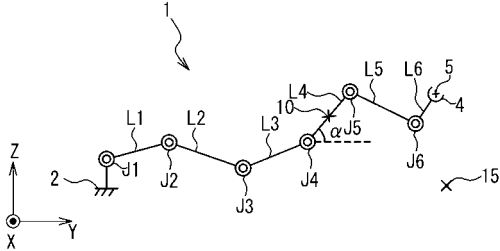
【 図 7 】



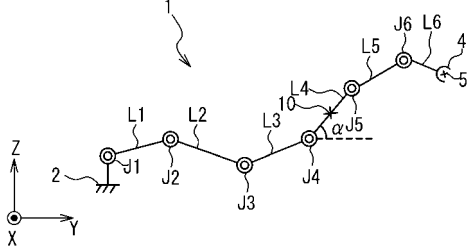
【 図 9 】



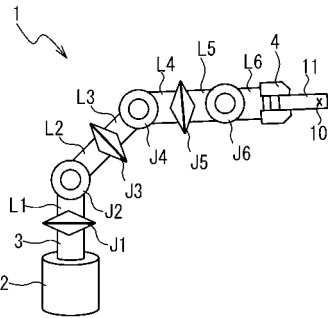
【 図 8 】



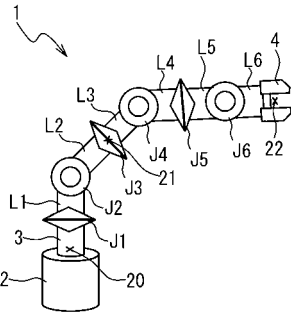
【 図 1 0 】



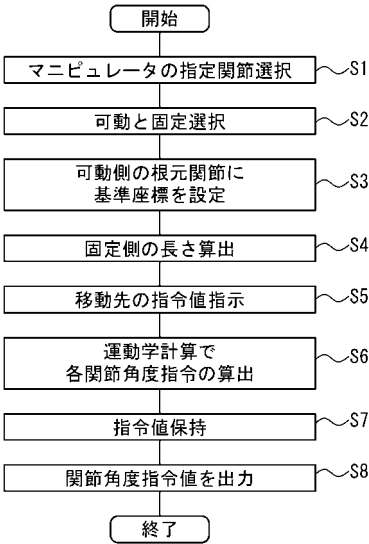
【 図 1 1 】



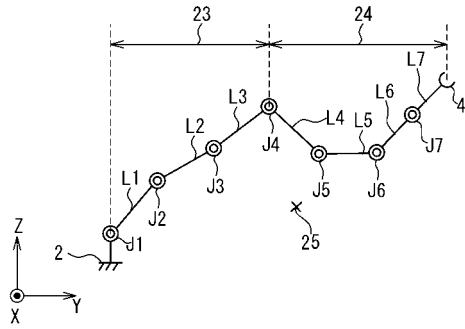
【 図 1 2 】



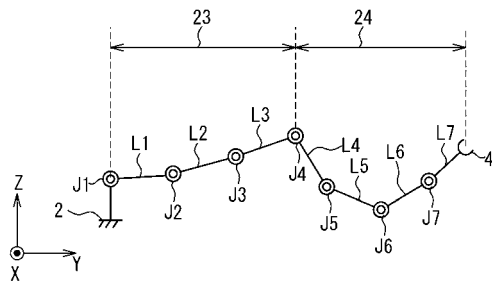
【 図 1 3 】



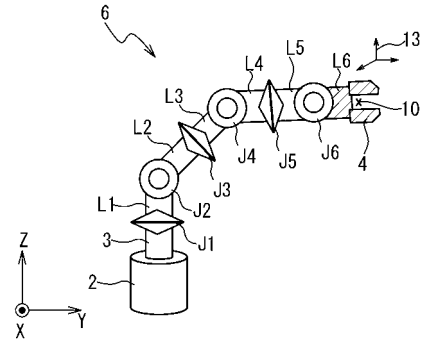
【図 1 4】



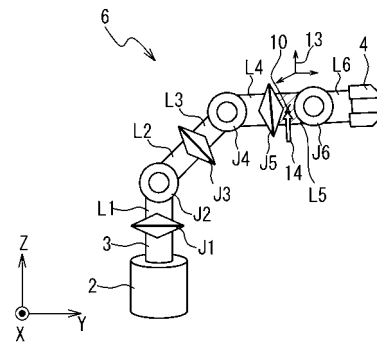
【図 1 5】



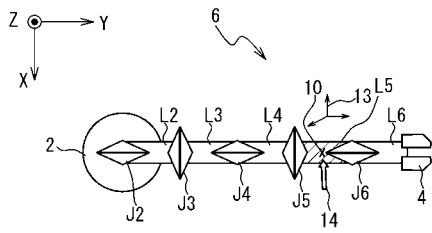
【図 1 6 A】



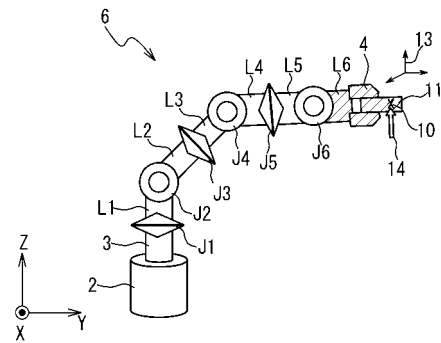
【図 1 6 B】



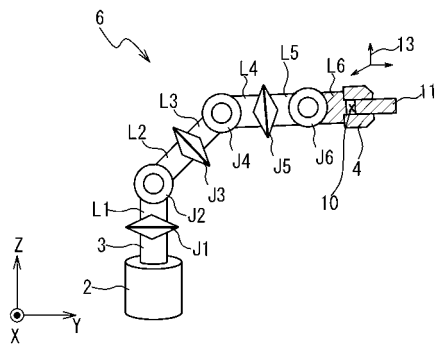
【図 1 6 C】



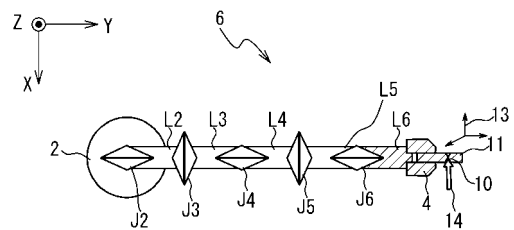
【図 1 7 B】



【図 1 7 A】



【図 1 7 C】



フロントページの続き

- (72)発明者 宅原 雅人
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 川内 直人
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内
- Fターム(参考) 3C707 BS10 BS12 KS17 LS20 LT01 MS10