

(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.

B25J 9/10 (2006.01)

F 1

B 25 J 9/10

テーマコード(参考)

A 3 C 7 O 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)

(22) 出願日

平成26年3月14日 (2014.3.14)

(71) 出願人 000006208

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

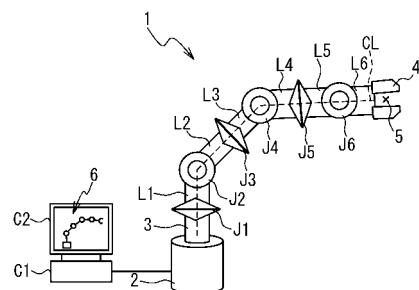
(54) 【発明の名称】制御装置

## (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】**

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。

**【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。

**【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。

**【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】**

10

20

30

40

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、

10

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。

【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 1 1 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 1 1 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

30

制御用データ生成方法。

【請求項 14】

請求項 1 1 から 1 3 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】

【0 0 0 1】

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】

【0 0 0 2】

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

【0 0 0 3】

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 J 102 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 106 の一方側が取り付けられる。第 6 の関節 J 106 の他方側に第 6 のリンク L 106 の一端が取り付けられる。リンク L 106 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 J 101 ~ J 10n と、n 個のリンク L 101 ~ L 10n 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 J 101 ~ J 10n の角度指令値を計算する。各関節 J 101 ~ J 10n 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的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 J 101 ~ J 10n 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 対する作業が行われる。リンク L 102 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なく、リンク L 102 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。

#### 【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。

【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、対象物を持っ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。

【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

態における多関節マニピュレータ1と、コンピュータC1と、表示装置C2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J1の一方側に固定される。関節J2の他方側に、第1のリンクL1の一端が取り付けられる。第1のリンクL1の他端に、第2の関節J2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J6の一方側が取り付けられる。第6の関節J6の他方側に、第6のリンクL6の一端が取り付けられる。第6のリンクL6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J1～J6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J1～Jn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J1～J6の角度指令値を生成する。各関節J1～J6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C1が接続される。コンピュータC1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C1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C2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ー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J1～J6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J1～J6の各々の現在の姿勢を示す関節角度 $\theta$ を検出することができる。コンピュータC1は、多関節マニピュレータ1から、各関節J1～J6の関節角度 $\theta$ の現在値を取得する。コンピュータC1は、その関節角度 $\theta$ 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(A1)。

30

#### 【0022】

一方、作業者はコンピュータC1を用い、表示装置C2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C1は、A1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(A2)。コンピュータC1は更に、予め設定された位置制御用の比例ゲインKPを偏差Eに掛ける(A3)。

40

#### 【0023】

各関節J1～J6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(A4)。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(A5)。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KP・Eから関節速度の指令値を算出する(A6)。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(A7)。コンピュータC1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J1～J6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にエンドエフェクタ4を動かすことが可能である。

#### 【0024】

##### [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10として設定する。そして指定点10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L1～L6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

#### 【0025】

図7は、そのような制御を行うためにコンピュータC1によって実現される機能ブロックを示す。コンピュータC1は、指定点設定部31、座標設定部32、計算部33、姿勢設定部34、及び指定関節設定部35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C1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。

20

#### 【0026】

指定点設定部31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10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31は、その入力操作に応じて、指定点10を設定する。指定点10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

#### 【0027】

指定点10の一例として、図8では指定点10がリンクL4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C1を操作することによって、所望の位置に指定点10を設定することができる。図8の例では、第1の関節J1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J1から手先側の任意の位置を指定点10として設定することができる。

30

#### 【0028】

指定点10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L1～L6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L1～L6の断面の中心付近を通ってエンドエフェクタ4に向かう仮想的な中心線CL（図5参照）を引いたときに、可動部（第1の関節J1より手先側）における中心線CLの任意の位置を、指定点10として指定することができる。

30

#### 【0029】

このような指定点10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L1～L6のうちの「L4」）である。リンク原点からの位置は、指定点10が設定されたリンクL4において、根元側の所定位置（図8では例えば、関節J4とリンクL4の接続箇所の位置）から指定点10までの長さを示す。

40

#### 【0030】

座標設定部32は、指定点10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10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10の設定の場合と同様に、座標設定部32は、作業者が行う入力操作に応じて指定位置を設定する。

#### 【0031】

計算部33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10の現在位置を示す情報を生成する。計算部33は更に、指定点10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J1～J6を駆動して、指定点10を指定位置に移動する。

#### 【0032】

計算部33は、指定点10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15を入力すると、図8の指定点5が目標位置15に移動して図9に示す姿勢となるように、各関節J1～J6に対する制御指令値を計算する。その計算は、指定点10よりも根元側の関節J1～J4と、手先側の関節J5～J6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

#### 【0033】

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C1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10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。

#### 【0034】

指定点10より手先側の関節(図8、図9の例では関節J5、J6)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10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108を通すためにリンクL4を動かしたくない場合に、リンクL4を固定して手先を制御することができる。20

#### 【0035】

##### [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10の位置のみならず、指定点10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34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L4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

#### 【0036】

このような場合、計算部33は、指定点10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10に示すように、指定されたリンクL4の指定点10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

#### 【0037】

##### [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10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11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11を支持している。その対象物11上に指定点10が設定される。

#### 【0038】

このような位置に指定点10を設定した場合でも、計算部33は、指定点10において対象物11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L6に対する対象物11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L1～L6や関節J1～J6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J1～J6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の場合では、リンク番号としてリンクL6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L6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C1に送信される。

#### 【0042】

コンピュータC1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C2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J3）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C1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J1～J6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J3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

10

20

30

40

50

(ステップS1)。

**【0046】**

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C1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21」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S2)。

**【0047】**

次に、計算部33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20」を基準座標として設定する(ステップS3)。

10

**【0048】**

次に、計算部33は、固定側の長さを算出する。図12の例では、指定関節の「設定座標21」から、エンドエフェクタ4の「手先座標22」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C1は、固定側の各関節J3～J6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C1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L1～L6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L3～L6の長さとに基づいて、「設定座標21」と「手先座標22」ととの間の、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S4)。

20

**【0049】**

次に、座標設定部32は、設定座標21の移動先を指定座標として設定する(ステップS5)。計算部33は、設定座標21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J1、J2の制御指令値を生成する(ステップS6)。図12では可動側に2個の関節J1、J2しか描かれていらないが、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33は、固定側(設定座標21から手先座標22まで)の各関節J3～J6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S7)。

30

**【0050】**

コンピュータC1は、以上の処理で生成された関節J1～J6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J1～J6が駆動される(ステップS8)。

**【0051】**

図14と図15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14において、関節J4が指定関節として設定されている。それより根元側23が可動部、手先側24が固定部である。図15は、ステップS5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J4が指定点25に移動している。その際、手先側24の各関節J4～J7の角度は固定されているため、リンクL3～L7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L3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24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

**【0052】**

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J4の座標と、ステップS4で計算された手先側24の長さを足すことによって知ることができる。

**【0053】**

[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13を参照して、根元固定制御について説明する。ステップS1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S2において、作業者のコンピュータC1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S2)。

#### 【0054】

次に、計算部33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21」を基準座標として設定する(ステップS3)。

#### 【0055】

次に、計算部は、固定側の長さを算出する。図12の例では、「絶対基準座標20」から、指定関節の「設定座標21」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S4)。

#### 【0056】

次に、座標設定部32は、設定座標21の移動先を指定座標として設定する(ステップS5)。計算部33は、設定座標21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J1、J2の制御指令値を生成する(ステップS6)。次に、計算部33は、固定側(絶対基準座標20から設定座標21まで)の各関節J1、J2の角度指令値を、一定の値に固定する(ステップS7)。

#### 【0057】

コンピュータC1は、以上の処理で生成された関節J1～J6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J1～J6が駆動される(ステップS8)。

#### 【0058】

以上の処理により、図14に示された根元側23の各関節J1～J3を固定した状態にして、手先側24の各関節J4～J7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106がある場合に、途中までの関節J1～J3をその障害物106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24の各関節J4～J7を動かして作業を行うことができる。

#### 【0059】

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。

#### 【0060】

##### [設定方法]

次に、指定点10の設定方法について説明する。図16Aは、図5の表示装置C2に表示される画面の例を示す。図16A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。デフォルトの状態で、エンドエフェクタ4を備える手先のリンクL6が選択されている。選択されているリンクL6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。

#### 【0061】

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10が表示される。指定点10の位置に更に、選択されたリンクL6の三次元的な姿勢を示すマーク13が表示される。マーク13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。

#### 【0062】

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14が表示される。作業者は、ポインタ14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16Bは、その選択操作が行われた画面を示す。リンクL5が選択され、他のリンクL1～L4、L6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、ポインタ 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、ポインタ 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。

10

#### 【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、作業者はポインタ 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。

20

#### 【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。

30

#### 【0 0 6 7】

図 1 7 B に示すように、作業者は、ポインタ 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。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0 0 6 8】

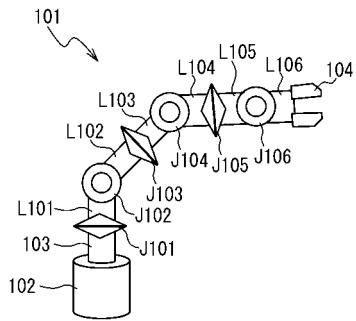
- |                |    |
|----------------|----|
| 1 多関節マニピュレータ   | 40 |
| 2 基部           |    |
| 3 支持部          |    |
| 4 エンドエフェクタ     |    |
| 5 指定点          |    |
| 6 多関節マニピュレータ画像 |    |
| 1 0 指定点        |    |
| 1 1 対象物        |    |
| 1 2 基準位置       |    |
| 1 3 マーカ        |    |
| 1 4 ポインタ       |    |

40

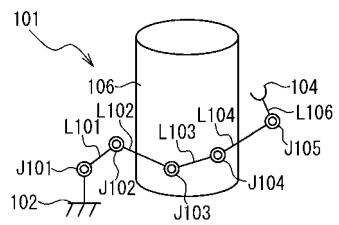
50

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	多関節マニピュレータ	
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	コンピュータ	
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	

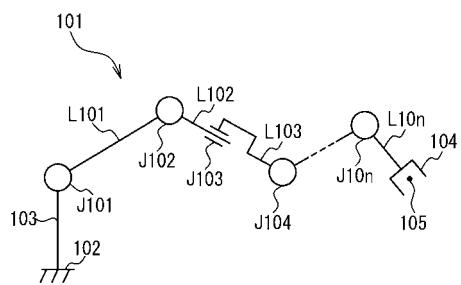
【図1】



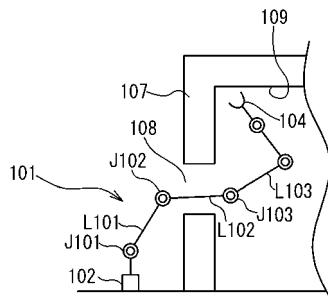
【図3】



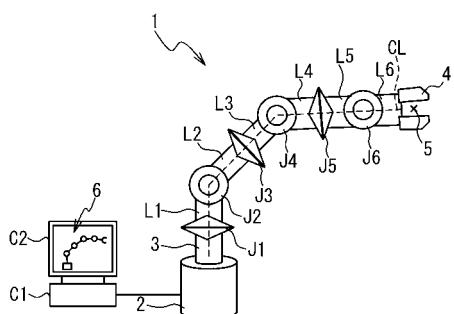
【図2】



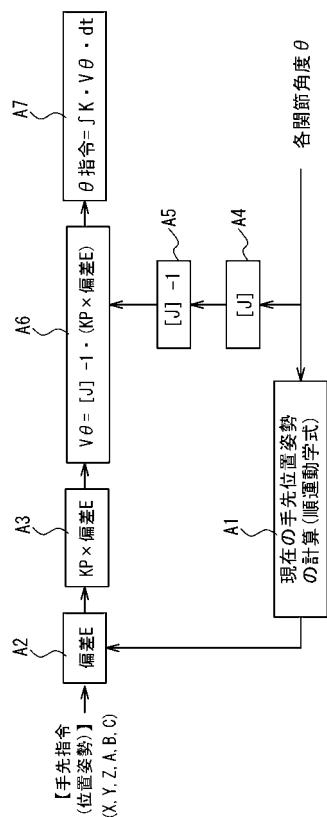
【図4】



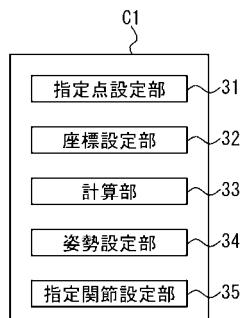
【図5】



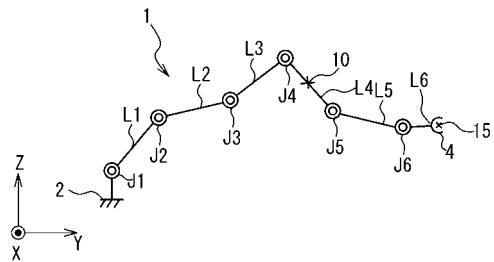
【図6】



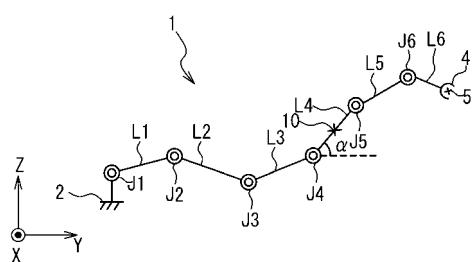
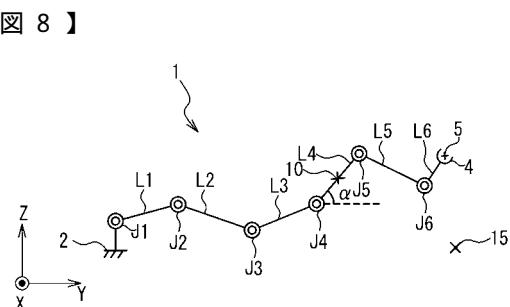
【図 7】



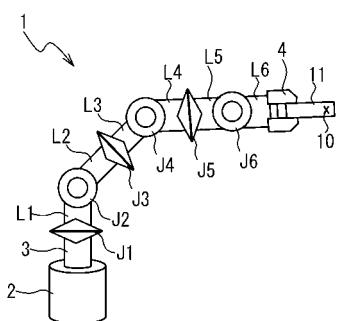
【図 9】



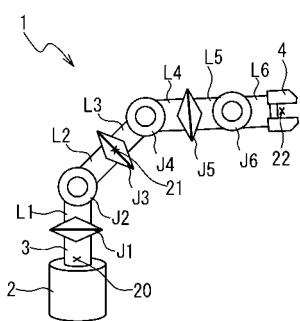
【図 10】



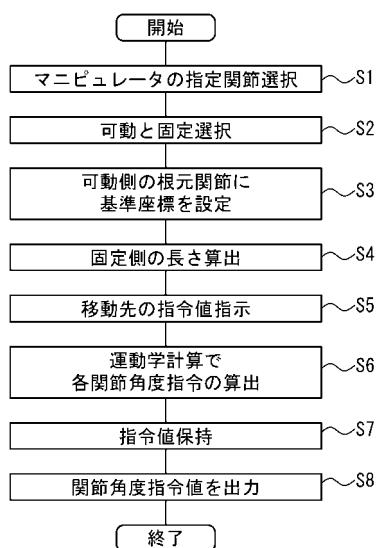
【図 11】



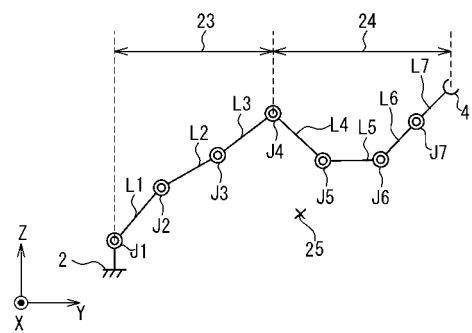
【図 12】



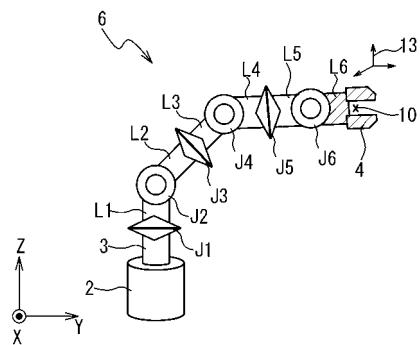
【図 13】



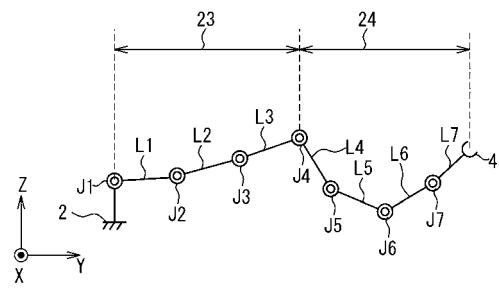
【図 1 4】



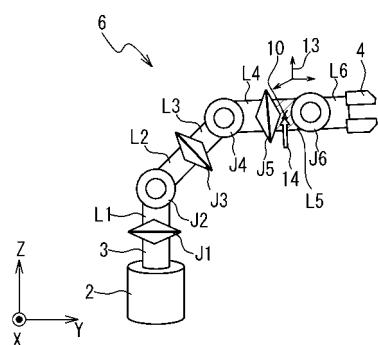
【図 1 6 A】



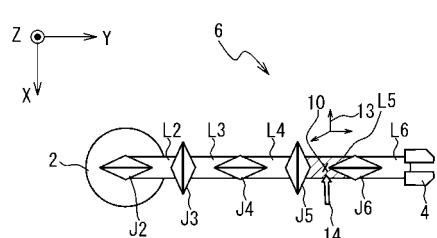
【図 1 5】



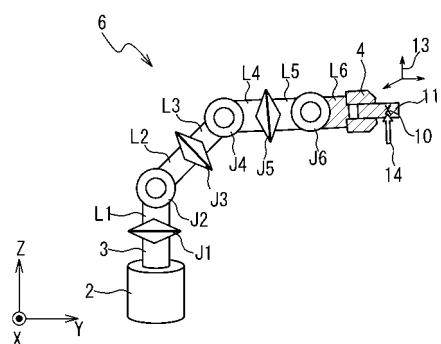
【図 1 6 B】



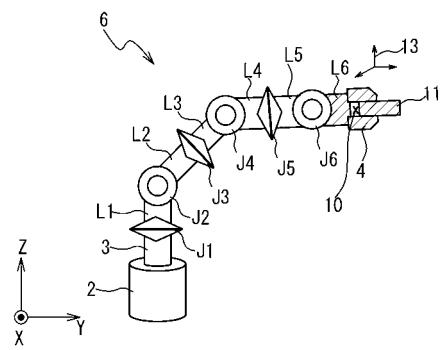
【図 1 6 C】



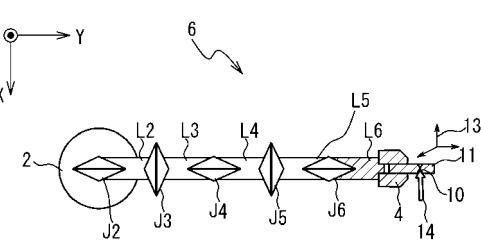
【図 1 7 B】



【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 16 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 16 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