

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6659238号
(P6659238)

(45) 発行日 令和2年3月4日 (2020. 3. 4)

(24) 登録日 令和2年2月10日 (2020. 2. 10)

(51) Int.Cl.
B 2 5 J 13/00 (2006.01)

F I
B 2 5 J 13/00 Z

請求項の数 12 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2015-108688 (P2015-108688)	(73) 特許権者	510341215
(22) 出願日	平成27年5月28日 (2015. 5. 28)		ライフロボティクス株式会社
(65) 公開番号	特開2016-221606 (P2016-221606A)		山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8
(43) 公開日	平成28年12月28日 (2016. 12. 28)		〇番地
審査請求日	平成30年5月18日 (2018. 5. 18)	(74) 代理人	110002103
			特許業務法人にじいろ特許事務所
		(72) 発明者	尹 祐根
			東京都江東区富岡二丁目9番11号 ライ
			フロボティクス株式会社内
		審査官	貞光 大樹
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 ロボット装置及びステッピングモータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

関節部を有するロボットアーム機構と、
前記関節部を作動させる動力を発生するステッピングモータと、
前記ステッピングモータを駆動するモータドライバと、
前記ロボットアーム機構の着目点が現在位置である移動開始位置から最終目標位置まで移動する軌道を計算する軌道計算部と、
前記軌道計算部で計算された軌道に応じた指令値を前記モータドライバに出力する指令値出力部と、
前記ステッピングモータの脱調を検知する脱調検知部と、
前記脱調が検知されたとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記最終目標位置までの軌道を再度計算させ、前記再度計算された軌道に従って前記着目点を移動させるために前記軌道計算部と前記指令値出力部とを制御するシステム制御部とを具備することを特徴とするロボット装置。

【請求項 2】

前記軌道計算部により、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から、前記移動開始位置と前記最終目標位置までの当初の軌道に戻り前記最終目標位置に至る第 1 軌道と、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記最終目標位置までの直線的な第 2 軌道とが再度計算されることを特徴とする請求項 1 記載のロボット装置。

【請求項 3】

前記システム制御部は、前記当初の軌道により予定されているタスクタイムを維持するために必要とされる前記着目点の移動速度に基づいて前記第 1、第 2 軌道の一方を選択することを特徴とする請求項 2 記載のロボット装置。

【請求項 4】

前記システム制御部は、前記第 1 軌道で予定される前記着目点の移動速度が所定の上限値未満であるとき前記第 1 軌道を優先的に選択し、前記第 1 軌道で予定される前記着目点の移動速度が所定の上限値以上であるとき前記第 2 軌道を選択することを特徴とする請求項 3 記載のロボット装置。

【請求項 5】

前記システム制御部は、前記脱調が検知された時点から所定の待ち時間の経過後に前記第 1 軌道又は前記第 2 軌道に従って前記着目点の移動を再開させるために前記指令値出力部を制御することを特徴とする請求項 4 記載のロボット装置。

10

【請求項 6】

前記システム制御部は、前記脱調が検知された後であってユーザによる移動再開指示を待って前記第 1 軌道又は前記第 2 軌道に従って前記着目点の移動を再開させるために前記指令値出力部を制御することを特徴とする請求項 4 記載のロボット装置。

【請求項 7】

前記軌道計算部により、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から、前記移動開始位置から前記最終目標位置までの当初の軌道から前記脱調により外れた経路を辿って前記当初の軌道に戻り前記最終目標位置に至る第 1 軌道と、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記当初の軌道から前記脱調により外れた経路と異なる経路を辿って前記当初の軌道に戻り前記最終目標位置に至る第 2 軌道と、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記最終目標位置までの直線的な第 3 軌道とが再度計算されることを特徴とする請求項 1 記載のロボット装置。

20

【請求項 8】

関節部を有するロボットアーム機構と、
前記関節部を作動させる動力を発生するステッピングモータと、
前記ステッピングモータを駆動するモータドライバと、
前記ロボットアーム機構の着目点が現在位置である移動開始位置から最終目標位置まで移動する軌道を計算する軌道計算部と、
前記軌道計算部で計算された軌道に応じた指令値を前記モータドライバに出力する指令値出力部と、

30

前記ステッピングモータの脱調を検知する脱調検知部と、

前記脱調が検知されたとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記移動開始位置に戻る軌道を計算させ、前記計算された軌道に従って前記着目点を前記移動開始位置に戻すために前記軌道計算部と前記指令値出力部とを制御するシステム制御部とを具備することを特徴とするロボット装置。

【請求項 9】

関節部を有するロボットアーム機構と、
前記関節部を作動させる動力を発生するステッピングモータと、
前記ステッピングモータを駆動するモータドライバと、
前記ロボットアーム機構の着目点が現在位置である移動開始位置から最終目標位置まで移動する軌道を計算する軌道計算部と、
前記軌道計算部で計算された軌道に応じた指令値を前記モータドライバに出力する指令値出力部と、

40

前記ステッピングモータの脱調を検知する脱調検知部と、

前記脱調が検知されたとき、前記軌道から前記脱調に起因してシフトした前記着目点のシフト距離が所定の距離以下であって、且つ前記脱調が検知された時点から前記脱調が回復する時点までの遅延時間が所定の時間以下であるとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記最終目標位置までの軌道に沿って前記着目点を移動させ、一方

50

、前記シフト距離が前記所定の距離以下でなく、又は前記遅延時間が前記所定の時間以下でないとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記移動開始位置に前記着目点を戻すために前記軌道計算部と前記指令値出力部とを制御するシステム制御部とを具備することを特徴とするロボット装置。

【請求項 10】

ロボットアーム機構に装備された関節部を作動させる動力を発生するステッピングモータを駆動するモータドライバを制御するステッピングモータ制御装置において、

前記ロボットアーム機構の着目点が現在位置から最終目標位置まで移動する軌道を計算する軌道計算部と、

前記軌道計算部で計算された軌道に応じた指令値を前記モータドライバに出力する指令値出力部と、

前記ステッピングモータの脱調を検知する脱調検知部において、前記脱調が検知されたとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記最終目標位置までの軌道を再度計算させ、前記再度計算された軌道に従って前記着目点を移動させるために前記軌道計算部と前記指令値出力部とを制御するシステム制御部とを具備することを特徴とするステッピングモータ制御装置。

【請求項 11】

ロボットアーム機構に装備された関節部を作動させる動力を発生するステッピングモータを駆動するモータドライバを制御するステッピングモータ制御装置において、

前記ロボットアーム機構の着目点が現在位置である移動開始位置から最終目標位置まで移動する軌道を計算する軌道計算部と、

前記軌道計算部で計算された軌道に応じた指令値を前記モータドライバに出力する指令値出力部と、

前記ステッピングモータの脱調を検知する脱調検知部において、前記脱調が検知されたとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記移動開始位置に戻る軌道を計算させ、前記計算された軌道に従って前記着目点を前記移動開始位置に戻すために前記軌道計算部と前記指令値出力部とを制御するシステム制御部とを具備することを特徴とするステッピングモータ制御装置。

【請求項 12】

ロボットアーム機構に装備された関節部を作動させる動力を発生するステッピングモータを駆動するモータドライバを制御するステッピングモータ制御装置において、

前記ロボットアーム機構の着目点が現在位置である移動開始位置から最終目標位置まで移動する軌道を計算する軌道計算部と、

前記軌道計算部で計算された軌道に応じた指令値を前記モータドライバに出力する指令値出力部と、

前記ステッピングモータの脱調を検知する脱調検知部において、前記脱調が検知されたとき、前記軌道から前記脱調に起因してシフトした前記着目点のシフト距離が所定の距離以下であって、且つ前記脱調が検知された時点から前記脱調が回復する時点までの遅延時間が所定の時間以下であるとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記最終目標位置までの軌道に沿って前記着目点を移動させ、一方、前記シフト距離が前記所定の距離以下でなく、又は前記遅延時間が前記所定の時間以下でないとき、前記脱調に起因してシフトした前記着目点の位置から前記移動開始位置に前記着目点を戻すために前記軌道計算部と前記指令値出力部とを制御するシステム制御部とを具備することを特徴とするステッピングモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態はロボット装置及びステッピングモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

ステッピングモータは、回転角がパルス信号の数に比例するので基本的にフィードバック回路の必要性がなく、オープンループ制御が可能であるで、ＡＣモータ、ＤＣモータよりも有利である反面、過負荷がかかったり、パルス周波数が高すぎると同期外れで制御が乱れるいわゆる「脱調」が生じる。脱調が発生すると、ステッピングモータが停止する。また再開しても目標位置には到達させるには基準位置に戻すことが必要とされ、それによるダウンタイムは避けられない。脱調現象はステッピングモータに不可避であり、従ってステッピングモータが脱調を起こさないような様々な工夫が従来からなされてきたが、その多くが対症的であった。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【０００３】

目的は、ステッピングモータに脱調が生じることを前提として脱調が生じたときの好適な対処を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００４】

本実施形態に係るロボット装置は、関節部を有するロボットアーム機構と、関節部を駆動させる動力を発生するステッピングモータと、ステッピングモータを駆動するモータドライバとを、ロボットアーム機構の着目点が現在位置から最終目標位置まで移動する軌道を計算する軌道計算部と、軌道計算部で計算された軌道に応じた指令値をモータドライバに出力する指令値出力部と、ステッピングモータの脱調を検知する脱調検知部とを備える。さらにロボット装置はシステム制御部を備える。システム制御部は、脱調が検知されたとき、脱調に起因してシフトした着目点の位置から最終目標位置までの軌道を再度計算させ、再度計算された軌道に従って着目点を移動させるために軌道計算部と指令値出力部とを制御する。

20

【図面の簡単な説明】

【０００５】

【図１】図１は、本実施形態に係るロボット装置のロボットアーム機構の外観斜視図である。

【図２】図２は、図１のロボットアーム機構の内部構造を示す側面図である。

【図３】図３は、図１のロボットアーム機構の構成を図記号表現により示す図である。

30

【図４】図４は、本実施形態に係るロボット装置の構成を示すブロック図である。

【図５】図５は、図４の動作制御装置による脱調時の処理手順を示すフローチャートである。

【図６】図６は、図５の脱調後の複数の軌道を示す図である。

【図７】図７は、図５の工程Ｓ１３の手順を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【０００６】

以下、図面を参照しながら本実施形態に係るロボット装置を説明する。本実施形態に係るロボット装置は動作制御装置を備える。動作制御装置は、ロボット装置に装備されている多関節アーム機構の各関節のモータドライバを制御する単独の装置として機能する。また動作制御装置は、多関節アーム機構を備えるロボット装置に組み込むこともできる。本実施形態に係るロボット装置の動作制御装置は様々な形態の多関節アーム機構に適用可能である。ここでは複数の関節部のうちが直動伸縮関節の多関節アーム機構を一例として説明する。以下の説明において、略同一の機能及び構成を有する構成要素については、同一符号を付し、重複説明は必要な場合にのみ行う。

40

【０００７】

図１は、本実施形態に係るロボットアーム機構の外観斜視図である。ロボットアーム機構は、略円筒形状の基部１０と基部１０に接続されるアーム部２とアーム部２の先端に取り付けられる手首部４とを有する。手首部４には図示しないアダプタが設けられている。例えば、アダプタは後述の第６回転軸ＲＡ６の回転部に設けられる。手首部４に設けられた

50

アダプタには、用途に応じたロボットハンドが取り付けられる。

【0008】

ロボットアーム機構は、複数、ここでは6つの関節部J1, J2, J3, J4, J5, J6を有する。複数の関節部J1, J2, J3, J4, J5, J6は基部10から順番に配設される。一般的に、第1、第2、第3関節部J1, J2, J3は根元3軸と呼ばれ、第4、第5、第6関節部J4, J5, J6はロボットハンドの姿勢を変化させる手首3軸と呼ばれる。手首部4は第4、第5、第6関節部J4, J5, J6を有する。根元3軸を構成する関節部J1, J2, J3の少なくとも一つは直動伸縮関節である。ここでは第3関節部J3が直動伸縮関節部、特に伸縮距離の比較的長い関節部として構成される。アーム部2は直動伸縮関節部J3(第3関節部J3)の伸縮部分を表している。

10

【0009】

第1関節部J1は基台面に対して例えば垂直に支持される第1回転軸RA1を中心としたねじり関節である。第2関節部J2は第1回転軸RA1に対して垂直に配置される第2回転軸RA2を中心とした曲げ関節である。第3関節部J3は、第2回転軸RA2に対して垂直に配置される第3軸(移動軸)RA3を中心として直線的にアーム部2が伸縮する関節である。

【0010】

第4関節部J4は、第4回転軸RA4を中心としたねじり関節である。第4回転軸RA4は、後述の第7関節部J7が回転していないとき、つまりアーム部2の全体が直線形状にあるとき、第3移動軸RA3と略一致する。第5関節部J5は第4回転軸RA4に対して直交する第5回転軸RA5を中心とした曲げ関節である。第6関節部J6は第4回転軸RA4に対して直交し、第5回転軸RA5に対して垂直に配置される第6回転軸RA6を中心とした曲げ関節である。

20

【0011】

基部10を成すアーム支持体(第1支持体)11aは、第1関節部J1の第1回転軸RA1を中心に形成される円筒形状の中空構造を有する。第1関節部J1は図示しない固定台に取り付けられる。第1関節部J1が回転するとき、アーム部2は第1支持体11aの軸回転とともに左右に旋回する。なお、第1支持体11aが接地面に固定されていてもよい。その場合、第1支持体11aとは独立してアーム部2が旋回する構造に設けられる。第1支持体11aの上部には第2支持部11bが接続される。

30

【0012】

第2支持部11bは第1支持部11aに連続する中空構造を有する。第2支持部11bの一端は第1関節部J1の回転部に取り付けられる。第2支持部11bの他端は開放され、第3支持部11cが第2関節部J2の第2回転軸RA2において回動自在に嵌め込まれる。第3支持部11cは第1支持部11a及び第2支持部に連通する鱗状の外装からなる中空構造を有する。第3支持部11cは、第2関節部J2の曲げ回転に伴ってその後部が第2支持部11bに収容され、また送出される。ロボットアーム機構の直動伸縮関節部J3(第3関節部J3)を構成するアーム部2の後部はその収縮により第1支持部11aと第2支持部11bの連続する中空構造の内部に収納される。

【0013】

40

第3支持部11cはその後端下部において第2支持部11bの開放端下部に対して第2回転軸RA2を中心として回動自在に嵌め込まれる。それにより第2回転軸RA2を中心とした曲げ関節部としての第2関節部J2が構成される。第2関節部J2が回動するとき、アーム部2は第2回転軸RA2を中心に垂直方向に回動、つまり起伏動作をする。

【0014】

第4関節部J4は、アーム部2の伸縮方向に沿ったアーム中心軸、つまり第3関節部J3の第3移動軸RA3に典型的には接する第4回転軸RA4を有するねじり関節である。第4関節部J4が回転すると、手首部4及び手首部4に取り付けられたロボットハンドは第4回転軸RA4を中心に回転する。第5関節部J5は、第4関節部J4の第4回転軸RA4に対して直交する第5回転軸RA5を有する曲げ関節部である。第5関節部J5が回

50

転すると、第5関節部J5から先端にかけてロボットハンドとともに上下（第5回転軸RA5を中心に垂直方向）に回転する。第6関節部J6は、第4関節部J4の第4回転軸RA4に直交し、第5関節部J5の第5回転軸RA5に垂直な第6回転軸RA6を有する曲げ関節である。第6関節部J6が回転すると、ロボットハンドは左右に旋回する。

【0015】

上記の通り手首部4のアダプタに取り付けられたロボットハンドは、第1、第2、第3関節部J1、J2、J3により任意位置に移動され、第4、第5、第6関節部J4、J5、J6により任意姿勢に配置される。特に第3関節部J3のアーム部2の伸縮距離の長さは、基部10の近接位置から遠隔位置までの広範囲の対象にロボットハンドを到達させることを可能にする。第3関節部J3はそれを構成する直動伸縮機構により実現される直線的な伸縮動作とその伸縮距離の長さなどが特徴的である。

10

【0016】

（内部構造の説明） 図2

図2は、図1のロボットアーム機構の内部構造を示す斜視図である。直動伸縮機構はアーム部2と射出部30とを有する。アーム部2は第1連結コマ列21と第2連結コマ列22とを有する。第1連結コマ列21は複数の第1連結コマ23からなる。第1連結コマ23は略平板形に構成される。前後の第1連結コマ23は、互いの端部箇所においてピンにより屈曲自在に列状に連結される。第1連結コマ列21は内側や外側に自在に屈曲できる。

【0017】

20

第2連結コマ列22は複数の第2連結コマ24からなる。第2連結コマ24は横断面コ字形状の短溝状体に構成される。前後の第2連結コマ24は、互いの底面端部箇所においてピンにより屈曲自在に列状に連結される。第2連結コマ列22は内側に屈曲できる。第2連結コマ24の断面はコ字形状であるので、第2連結コマ列22は、隣り合う第2連結コマ24の側板同士が衝突して、外側には屈曲しない。なお、第1、第2連結コマ23、24の第2回転軸RA2に向いた面を内面、その反対側の面を外面というものとする。第1連結コマ列21のうち先頭の第1連結コマ23と、第2連結コマ列22のうち先頭の第2連結コマ24とは結合コマ27により接続される。例えば、結合コマ27は第2連結コマ24と第1連結コマ23とを合成した形状を有している。

【0018】

30

射出部30は、複数の上部ローラ31と複数の下部ローラ32とが角筒形状のフレーム35に支持されてなる。例えば、複数の上部ローラ31は第1連結コマ23の長さと同程度の間隔を隔ててアーム中心軸に沿って配列される。同様に、複数の下部ローラ32は第2連結コマ24の長さと同程度の間隔を隔ててアーム中心軸に沿って配列される。射出部30の後方には、ガイドローラ40とドライブギア50とが第1連結コマ列21を挟んで対向するように設けられる。ドライブギア50は図示しない減速器を介してステッピングモータ330に接続される。第1連結コマ23の内面には連結方向に沿ってリニアギアが形成されている。複数の第1連結コマ23が直線状に整列されたときに互いのリニアギアは直線状につながって、長いリニアギアを構成する。ドライブギア50は、直線状のリニアギアにかみ合わされる。直線状につながったリニアギアはドライブギア50とともにラックアンドピニオン機構を構成する。

40

【0019】

（接合構造の説明）

アーム伸長時、モータ55が駆動し、ドライブギア50が順回転すると、第1連結コマ列21はガイドローラ40により、アーム中心軸と平行な姿勢となって、上部ローラ31と下部ローラ32との間に誘導される。第1連結コマ列21の移動に伴い、第2連結コマ列22は射出部30の後方に配置された図示しないガイドレールにより射出部30の上部ローラ31と下部ローラ32との間に誘導される。上部ローラ31と下部ローラ32との間に誘導された第1、第2連結コマ列21、22は互いに押圧される。これにより、第1、第2連結コマ列21、22による柱状体が構成される。射出部30は、第1、第2連結

50

コマ列 2 1, 2 2 を接合して柱状体を構成するとともに、その柱状体を上下左右に支持する。第 1、第 2 連結コマ列 2 1、2 2 の接合による柱状体が射出部 3 0 により堅持されることで、第 1、第 2 連結コマ列 2 1, 2 2 の接合状態が保持される。第 1、第 2 連結コマ列 2 1、2 2 の接合状態が維持されているとき、第 1、第 2 連結コマ列 2 1, 2 2 の屈曲は互いに拘束される。それにより第 1、第 2 連結コマ列 2 1、2 2 は、一定の剛性を備えた柱状体を構成する。柱状体とは、第 2 連結コマ列 2 2 に第 1 連結コマ列 2 1 が接合されてなる柱状の棒体を言う。この柱状体は第 2 連結コマ 2 4 が第 1 連結コマ 2 3 とともに全体として様々な断面形状の筒状体に構成される。筒状体とは上下左右が天板、底板及び両側板で囲まれ、前端部と後端部とが開放された形状として定義される。第 1、第 2 連結コマ列 2 1、2 2 の接合による柱状体は、結合コマ 2 7 が始端となっており、第 3 移動軸 R A 3 に沿って直線的に第 3 支持部 1 1 c の開口から外に向かって送り出される。

10

【0020】

アーム収縮時、モータ 5 5 が駆動し、ドライブギア 5 0 が逆回転されると、ドライブギア 5 0 と係合している第 1 連結コマ列 2 1 が第 1 支持体 1 1 a 内に引き戻される。第 1 連結コマ列の移動に伴って、柱状体が第 3 支持体 1 1 c 内に引き戻される。引き戻された柱状体は射出部 3 0 後方で分離される。例えば、柱状体を構成する第 1 連結コマ列 2 1 はガイドローラ 4 0 とドライブギア 5 0 とに挟まれ、柱状体を構成する第 2 連結コマ列 2 2 は重力により下方に引かれ、それにより第 2 連結コマ列 2 2 と第 1 連結コマ列 2 1 とは互いに離反される。離反された第 1、第 2 連結コマ列 2 1, 2 2 はそれぞれ屈曲可能な状態に復帰し、それぞれ同方向の内側に屈曲され、第 1 支持体 1 1 a の内部に略平行に格納される。

20

【0021】

(図記号表示) 図 3

図 3 は、図 1 のロボットアーム機構を図記号表現により示す図である。ロボットアーム機構において、根元 3 軸を構成する第 1 関節部 J 1 と第 2 関節部 J 2 と第 3 関節部 J 3 とにより 3 つの位置自由度が実現される。また、手首 3 軸を構成する第 4 関節部 J 4 と第 5 関節部 J 5 と第 6 関節部 J 6 とにより 3 つの姿勢自由度が実現される。

【0022】

ロボット座標系 b は第 1 関節部 J 1 の第 1 回転軸 R A 1 上の任意位置を原点とした座標系である。ロボット座標系 b において、直交 3 軸 (X_b , Y_b , Z_b) が規定されている。 Z_b 軸は第 1 回転軸 R A 1 に平行な軸である。 X_b 軸と Y_b 軸とは互いに直交し、且つ Z_b 軸に直交する軸である。手先座標系 h は、手首部 4 に取り付けられたロボットハンド 5 の任意位置 (手先基準点) を原点とした座標系である。例えば、ロボットハンド 5 が 2 指ハンドのとき、手先基準点 (以下、単に手先という。) の位置は 2 指先間中央位置に規定される。手先座標系 h において、直交 3 軸 (X_h , Y_h , Z_h) が規定されている。 Z_h 軸は第 6 回転軸 R A 6 に平行な軸である。 X_h 軸と Y_h 軸とは互いに直交し、且つ Z_h 軸に直交する軸である。例えば、 X_h 軸は、ロボットハンド 5 の前後方向に平行な軸である。手先姿勢とは、手先座標系 h のロボット座標系 b に対する直交 3 軸各々周りの回転角 (X_h 軸周りの回転角 (ヨー角)、 Y_h 軸周りの回転角 (ピッチ角)、 Z_h 軸周りの回転角 (ロール角)) として与えられる。

30

40

【0023】

第 1 関節部 J 1 は、第 1 支持部 1 1 a と第 2 支持部 1 1 b との間に配設されており、回転軸 R A 1 を中心としたねじり関節として構成されている。回転軸 R A 1 は第 1 関節部 J 1 の固定部が設置される基台の基準面 B P に垂直に配置される。

【0024】

第 2 関節部 J 2 は回転軸 R A 2 を中心とした曲げ関節として構成される。第 2 関節部 J 2 の回転軸 R A 2 は空間座標系上の X_b 軸に平行に設けられる。第 2 関節部 J 2 の回転軸 R A 2 は第 1 関節部 J 1 の回転軸 R A 1 に対して垂直な向きに設けられる。さらに第 2 関節部 J 2 は、第 1 関節部 J 1 に対して、第 1 回転軸 R A 1 の方向 (Z_b 軸方向) と第 1 回転軸 R A 1 に垂直な Y_b 軸方向との 2 方向に関してオフセットされる。第 2 関節部 J 2 が

50

第 1 関節部 J 1 に対して上記 2 方向にオフセットされるように、第 2 支持体 1 1 b は第 1 支持体 1 1 a に取り付けられる。第 1 関節部 J 1 に第 2 関節部 J 2 を接続する仮想的なアームロッド部分（リンク部分）は、先端が直角に曲がった 2 つの鉤形状体が組み合わされたクランク形状を有している。この仮想的なアームロッド部分は、中空構造を有する第 1、第 2 支持体 1 1 a、1 1 b により構成される。

【 0 0 2 5 】

第 3 関節部 J 3 は移動軸 R A 3 を中心とした直動伸縮関節として構成される。第 3 関節部 J 3 の移動軸 R A 3 は第 2 関節部 J 2 の回転軸 R A 2 に対して垂直な向きに設けられる。第 2 関節部 J 2 の回転角がゼロ度、つまりアーム部 2 の起伏角がゼロ度であってアーム部 2 が水平な基準姿勢においては、第 3 関節部 J 3 の移動軸 R A 3 は、第 2 関節部 J 2 の回転軸 R A 2 とともに第 1 関節部 J 1 の回転軸 R A 1 にも垂直な方向に設けられる。空間座標系上では、第 3 関節部 J 3 の移動軸 R A 3 は X b 軸及び Z b 軸に対して垂直な Y b 軸に平行に設けられる。さらに、第 3 関節部 J 3 は、第 2 関節部 J 2 に対して、その回転軸 R A 2 の方向（Y b 軸方向）と、移動軸 R A 3 に直交する Z b 軸の方向との 2 方向に関してオフセットされる。第 3 関節部 J 3 が第 2 関節部 J 2 に対して上記 2 方向にオフセットされるように、第 3 支持体 1 1 c は第 2 支持体 1 1 b に取り付けられる。第 2 関節部 J 2 に第 3 関節部 J 3 を接続する仮想的なアームロッド部分（リンク部分）は、先端が垂直に曲がった鉤形状体を有している。この仮想的なアームロッド部分は、第 2、第 3 支持体 1 1 b、1 1 c により構成される。

【 0 0 2 6 】

第 4 関節部 J 4 は回転軸 R A 4 を中心としたねじり関節として構成される。第 4 関節部 J 4 の回転軸 R A 4 は第 3 関節部 J 3 の移動軸 R A 3 に略一致するよう配置される。

第 5 関節部 J 5 は回転軸 R A 5 を中心とした曲げ関節として構成される。第 5 関節部 J 5 の回転軸 R A 5 は第 3 関節部 J 3 の移動軸 R A 3 及び第 4 関節部 J 4 の回転軸 R A 4 に略直交するよう配置される。

第 6 関節部 J 6 は回転軸 R A 6 を中心としたねじり関節として構成される。第 6 関節部 J 6 の回転軸 R A 6 は第 4 関節部 J 4 の回転軸 R A 4 及び第 5 関節部 J 5 の回転軸 R A 5 に略直交するよう配置される。第 6 関節部 J 6 は手先効果器としてのロボットハンド 5 を左右に回転するために設けられている。なお、第 6 関節部 J 6 は、その回転軸 R A 6 が第 4 関節部 J 4 の回転軸 R A 4 及び第 5 関節部 J 5 の回転軸 R A 5 に略直交する曲げ関節として構成されてもよい。

【 0 0 2 7 】

このように複数の関節部 J 1 - J 6 の根元 3 軸のうちの一つの曲げ関節部を直動伸縮関節部に換装し、第 1 関節部 J 1 に対して第 2 関節部 J 2 を 2 方向にオフセットさせ、第 2 関節部 J 2 に対して第 3 関節部 J 3 を 2 方向にオフセットさせることにより、本実施形態に係るロボット装置のロボットアーム機構は、特異点姿勢を構造上解消している。

【 0 0 2 8 】

（ブロック構成図）図 4

図 4 は、本実施形態に係るロボット装置の構成を示すブロック図である。本実施形態に係るロボット装置のロボットアーム機構の関節部 J 1、J 2、J 3、J 4、J 5、J 6 には、アクチュエータとして、それぞれステッピングモータ 3 1 0、3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0、3 6 0 が設けられている。ステッピングモータ 3 1 0、3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0、3 6 0 には、ドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 が電氣的に接続されている。典型的には、ドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 は、制御対象のステッピングモータ 3 1 0、3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0、3 6 0 に併設される。これらドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 は、同一の構成を有し、動作制御装置 1 0 0 からの制御信号に従って、制御対象のステッピングモータに対して同一の動作をする。ここでは、ドライバユニット 2 1 0 のみ説明し、他のドライバユニット 2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 の説明は省略する。

【 0 0 2 9 】

ドライバユニット 2 1 0 は、ステッピングモータ 3 1 0 の駆動および停止を制御する。ドライバユニット 2 1 0 は、制御部 2 1 1 と、電源回路 2 1 2 と、パルス信号発生部 2 1 3 と、ロータリーエンコーダ 2 1 5 と、脱調判定部 2 1 6 と、カウンタ 2 1 7 とを有する。制御部 2 1 1 は、動作制御装置 1 0 0 から入力された制御信号に従って、ドライバユニット 2 1 0 を統括して制御する。

【 0 0 3 0 】

具体的には、ドライバユニット 2 1 0 内の制御部 2 1 1 には、動作制御装置 1 0 0 からステッピングモータ 3 1 0 の回転角の単位時間 t 経過後の目標位置（後述の最終目標位置とは区別される）に関する位置指令信号が入力される。制御信号は t 後の関節変数（関節角度、 $J 3$ では伸縮距離）として与えられる。制御部 2 1 1 は、ステッピングモータ 3 1 0 の回転角の現在位置と目標位置とに基づいてパルス数 N_p を決定する。具体的には、制御部 2 1 1 は、ステッピングモータ 3 1 0 の回転角の現在位置と目標位置とに基づいて回転角度差を計算し、現在位置と目標位置との回転角度差をステッピングモータ 3 1 0 の例えば 0.72 度のステップ角で除算することによりパルス信号のパルス数 N_p を決定する。また、制御部 2 1 1 は、決定したパルス数と単位時間 t とに基づいてパルス周波数 f_p を決定する。具体的には、制御部 2 1 1 は、単位時間 t にパルス数 N_p を乗算し、その逆数を計算することによりパルス周波数 f_p を決定する。制御部 2 1 1 は、パルス信号発生部 2 1 3 に対して、パルス数に関するパルス数指令信号とパルス周波数に関するパルス周波数指令信号とを出力する。パルス信号発生部 2 1 3 は、ステッピングモータ 3 1 0 の各相に、パルス数指令信号で指令されたパルス数のパルス信号をパルス周波数指令信号で指令された周波数、つまり当該周波数の逆数の周期で出力する。パルス信号発生部 2 1 3 から出力されたパルス信号は後述の脱調判定部 2 1 6 にも取り込まれる。

【 0 0 3 1 】

制御部 2 1 1 には、動作制御装置 1 0 0 からステッピングモータ 3 1 0 の駆動電流値を表す駆動電流指令信号が入力される。制御部 2 1 1 は、電源回路 2 1 2 に対して、駆動電流指令信号に応じた制御信号を出力する。電源回路 2 1 2 は、図示しない外部の電源供給部から供給された電力を用いて、指定された駆動電流値を有する駆動電流を発生する。発生された駆動電流はステッピングモータ 3 1 0 に供給される。ステッピングモータ 3 1 0 は、電源回路 2 1 2 から供給された駆動電流により駆動され、パルス信号発生部 2 1 3 から出力されたパルス信号に従って、回転される。

【 0 0 3 2 】

ロータリーエンコーダ 2 1 5 は、ステッピングモータ 3 1 0 のドライブシャフトに接続され、例えば 0.18 度の一定の回転角ごとにパルス信号（エンコーダパルス）を出力する。カウンタ 2 1 7 は、ロータリーエンコーダ 2 1 5 から出力されたエンコーダパルスの数を回転方向に応じて加減算することによりカウント数を計算する。このカウント数はステッピングモータ 3 1 0 のドライブシャフトの基準位置（原点）でリセットされる。リセット回数とカウント数により関節部の関節角度（関節変数）が求められる。

【 0 0 3 3 】

脱調判定部 2 1 6 は、パルス信号発生部 2 1 3 から出力されたパルス信号に対するエンコーダパルスのカウント数を比較することによりステッピングモータ 3 1 0 が脱調を生じているか、脱調を生じていないかを判定する。脱調判定部 2 1 6 は、パルス信号に同期してエンコーダパルスのカウント／リセットを繰り返す。パルス信号の一周期で回転するステップ角は固定である。ステップ角に対応するエンコーダパルスの数は固定である。エンコーダパルスのカウント数がステップ角に対応する数に一致していれば、パルス信号に対してステッピングモータ 3 1 0 の回転が同期している、つまり脱調は生じていない。一方、エンコーダパルスのカウント数がステップ角に対応する数に一致していなければ、パルス信号に対してステッピングモータ 3 1 0 の回転が同期していない、つまり脱調が生じている。ステッピングモータ 3 1 0 が脱調を生じているとき、脱調判定部 2 1 6 は、脱調検知信号を発生する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

動作制御装置 1 0 0 は、システム制御部 1 0 1 と、操作部インターフェース 1 0 2 と、指令値出力部 1 0 3 と、現在位置・姿勢計算部 1 0 4 と、軌道計算部 1 0 5 と、指令値計算部 1 0 6 と、ダイナミクス計算部 1 0 7 と、駆動電流決定部 1 0 8 と、ドライバユニットインターフェース 1 0 9 とを有する。動作制御装置 1 0 0 には、ドライバユニット 2 1 0 から、カウンタ 2 1 7 により計数されたカウント数（基準位置からの回転角を表す）とリセット回数（回転回数を表す）に関するデータと脱調判定部 2 1 6 から出力された脱調検知信号とがドライバユニットインターフェース 1 0 9 を介して入力される。本実施形態に係るロボット装置の動作制御装置 1 0 0 は、独立した装置として、ステッピングモータを使用する他の装置、機構に対して適用することができる。

10

【 0 0 3 5 】

（システム制御部）

システム制御部 1 0 1 は、CPU (Central Processing Unit) と半導体メモリ等を有し、動作制御装置 1 0 0 を統括して制御する。システム制御部 1 0 1 には、制御 / データバス 1 1 0 を介して各部が接続されている。

【 0 0 3 6 】

（操作部）

動作制御装置 1 0 0 には、操作部インターフェース 1 0 2 を介して操作部 5 0 が接続されている。操作部 5 0 は、手首部 4 又はロボットハンド（手先効果器）の着目点の位置の変更、姿勢の変更および変更時間をユーザが入力するための入力インターフェースとして機能する。動作制御装置 1 0 0 は、例えば 2 指ハンドの手先を着目点（制御点）として移動・姿勢変更等の計算処理を実行する。例えば、操作部 5 0 は、ロボットハンドを移動させる最終目標位置と移動時間とを指定するためのジョイスティック等を備える。例えば、ジョイスティックが操作された方向、ジョイスティックが傾けられた角度、ジョイスティックの操作加速度に基づいて、ロボットハンドの最終目標位置と移動時間とが入力される。なお、操作部 5 0 を構成するこれらの入力デバイスは、他のデバイス、例えば、マウス、キーボード、トラックボールおよびタッチパネル等で代替が可能である。

20

【 0 0 3 7 】

（指令値出力部）

指令値出力部 1 0 3 は、システム制御部 1 0 1 の制御に従って、後述の指令値計算部 1 0 6 で計算された関節部 J 1 - J 6 ごとの指令値（ t 後の関節角度（関節変数））をドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 各々に対して出力する。具体的には、指令値出力部 1 0 3 は、後述の指令値計算部 1 0 6 で計算された関節部 J 1 - J 6 ごとの関節変数に応じた位置指令信号をドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 に対して出力する。また、指令値出力部 1 0 3 は、後述の駆動電流決定部 1 0 8 で決定された関節部 J 1 - J 6 各々を駆動する駆動電流値に応じた駆動電流指令信号をドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 に対して出力する。

30

【 0 0 3 8 】

（現在位置・姿勢計算部）

現在位置・姿勢計算部 1 0 4 は、関節部 J 1、J 2、J 3、J 4、J 5、J 6 各々の関節変数に基づいて、アーム構造のリンクパラメータに応じて既定された同次変換行列に従って順運動学によりロボット座標系から見た手先着目点の位置と姿勢とを計算する。なお関節変数とは、関節部 J 1、J 2、J 4、J 5、J 6 では基準位置からの正負の回転角度であり、関節部 J 3 であれば最も収縮した状態からの伸張距離（直動変位）である。

40

【 0 0 3 9 】

現在位置・姿勢計算部 1 0 4 は、ドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 各々のカウンタ 2 1 7 により計数されたカウント数に基づいて、関節部 J 1 - J 6 に関する関節変数ベクトル $\vec{\theta}$ を計算する。関節変数ベクトル $\vec{\theta}$ は回転関節部 J 1、J 2、J 4、J 5、J 6 の関節角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_4 、 θ_5 、 θ_6 と直

50

動伸縮関節部 J 3 の伸縮長 L_{J3} とで与えられる関節変数の組 ($J_1, J_2, L_{J3}, J_4, J_5, J_6$) である。例えば、現在位置・姿勢計算部 104 は、関節部 J 1 のステッピングモータ 310 の始動前までの累積カウンタ数を保持し、始動中に計数されたカウンタ数を累積カウンタ数に加算することにより、累積カウンタ数を更新する。現在位置・姿勢計算部 104 は、累積カウンタ数に 1 カウンタに対応するステップ角度を乗算することにより、ステッピングモータ 310 の基準位置からの回転角度を計算し、関節部 J 1 の関節変数を特定する。現在位置・姿勢計算部 104 は、他の関節部 J 2 - J 6 の関節変数を同様の手法で特定する。

【0040】

現在位置・姿勢計算部 104 は、同次変換行列 K (パラメータ ($J_1, J_2, L_{J3}, J_4, J_5, J_6$)) により、ロボット座標系 b から見た手先着目点の位置 (x, y, z) と手先姿勢 ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) とを計算する。同次変換行列 K は、手先座標系 h とロボット座標系 b との関係を定義する行列式である。同次変換行列 K は、ロボットアーム機構を構成するリンク間の関係 (リンク長とリンクのねじれ角) と関節部の軸間の関係 (リンク間距離とリンクの間角度) とで決まる。例えば、現在位置・姿勢計算部 104 は、現在のロボットアーム機構の関節変数ベクトル $q_0 (q_0 - J_1, q_0 - J_2, L_{J3}, q_0 - J_4, q_0 - J_5, q_0 - J_6)$ を同次変換行列 K に代入することにより、ロボット座標系 b から見た手先の現在位置 $P_0 (x_0, y_0, z_0)$ と手先姿勢 $\theta_0 (\theta_0, \theta_0, \theta_0)$ とを計算する。

【0041】

(軌道計算部)

軌道計算部 105 は、手先の現在位置・姿勢と手先の最終目標位置・姿勢とに基づいて、その間を結ぶ単位時間 t (制御周期、例えば 10 ms) 毎の手先の目標位置の点列を計算する。手先の現在位置・姿勢は、現在位置・姿勢計算部 104 による計算処理から得られる。手先の最終目標位置・姿勢と移動時間とは、例えば操作部 50 を介してユーザにより入力される。軌道計算部 105 は、予めプリセットされている、手先の現在位置と現在姿勢、手先の最終目標位置と最終目標姿勢とをパラメータとする関数に、各パラメータを代入することにより手先の軌道 (以下、手先軌道という) を計算し、その手先軌道上に単位時間 t 毎の目標位置を計算する。軌道計算方法としては任意の方法が採用される。単位時間 t は制御周期として固定値であり、ユーザにより、例えば 10 ms に設定されている。軌道計算部 105 は、手先の現在位置から最終目標位置への移動に要する移動時間幅 T と単位時間 t とに基づいて、目標位置の数 $m (= T / t)$ を決定し、手先軌道上に単位時間 t 毎の目標位置 ($p_1, p_2 \dots p_m (m = T / t)$) を計算する。ここでは、目標位置は、手先の位置と姿勢との両方を与えるパラメータとする。

【0042】

詳細は後述するが、軌道計算部 105 は、脱調が検知されたとき、システム制御部 101 の制御のもと 5 種類の軌道を再度計算することができる。第 1 - 第 3 軌道は、脱調に起因して本来の軌道からシフトしたハンドの着目点の位置 (移動再開位置) から、異なる経路を通過して最終目標位置に至る軌道である。第 4、第 5 軌道は、移動再開位置から、異なる経路を通過して移動開始時の位置に戻る軌道である。脱調検知時には、これら 5 つの軌道から一の軌道が選択され、その軌道に沿って移動制御される。

【0043】

なお、軌道計算部 105 には、軌道計算方法は任意であり、また予め複数の関数がプリセットされていてよい。例えば、軌道計算部 105 は、システム制御部 101 の制御に従って、手先軌道の計算に用いる関数を変更する。例えば、軌道計算部 105 は、通常の手先軌道の計算に用いられる関数と異なる関数を用いて脱調検知後の手先軌道を再度計算する。例えば、脱調検知後に再度計算された手先軌道は、脱調検知後の位置 P_0' と最終目標位置 P_1 とを結ぶ最短経路と等価である。また、脱調検知後に再度計算された手先軌道は、脱出検知後の位置から脱調検知時の位置に向かって、手先が所定距離引き戻される軌道を有する。

【 0 0 4 4 】

(指令値計算部)

指令値計算部 1 0 6 は、計算された軌道上に t の周期で配列された目標位置にそれぞれ対応する複数の関節変数ベクトルを計算する。なお、関節変数ベクトルとは関節部 J 1 - J 6 の 6 つの関節変数、つまり回転関節部 J 1、J 2、J 4 - J 6 の回転角と直動伸縮関節部 J 3 のアーム伸縮長との 6 変数をいう。指令値計算部 1 0 6 の計算処理については後述する。

【 0 0 4 5 】

(ダイナミクス計算部)

ダイナミクス計算部 1 0 7 は、手先を目標位置から t 後の次の目標位置に移動させるために必要とされる関節部 J 1 - J 6 にそれぞれ設けられたステッピングモータ 3 1 0 ~ 3 6 0 各々のトルク (駆動トルク) を計算する。またダイナミクス計算部 1 0 7 は、アーム部 2 を静止させるために各関節部に必要とされるトルク (静止トルク) を計算する。各関節部に必要とされる静止トルクはその関節部より前方の部分の重心質量、その関節部の回転軸から重心までの距離等により計算される当該関節部に係る負荷トルクに逆向きで等価なトルク、つまり自重による負荷トルクと釣り合うトルクである。

【 0 0 4 6 】

ステッピングモータ 3 1 0 ~ 3 6 0 各々の必要トルクは、関節部 J 1 - J 6 に関するダイナミクスモデルデータを用い、ロボットアーム機構の関節部 J 1 - J 6 を連結するリンク各々の重心位置、重心質量、リンク長、慣性テンソル、関節部の関節変数 (回転角位置または直動変位)、関節角速度、関節角加速度等から計算される。なお、ダイナミクスモデルは、モータの動特性に関するモデルを指す。

【 0 0 4 7 】

(駆動電流決定部)

駆動電流決定部 1 0 8 は、ダイナミクス計算部 1 0 7 で計算されたトルクを発生するためにステッピングモータ 3 1 0、3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0、3 6 0 各々の駆動電流値を決定する。駆動電流決定部 1 0 8 は、ステッピングモータ 3 1 0、3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0、3 6 0 各々の、トルクの大きさと駆動電流値とを対応付けた対応表のデータを保持する。駆動電流決定部 1 0 8 は、対応表を参照し、ダイナミクス計算部 1 0 7 で計算された関節部 J 1 - J 6 各々のトルクの大きさにそれぞれ対応する駆動電流値を決定する。

【 0 0 4 8 】

(脱調時の対処手順) 図 5、図 6

以下、本実施形態に係るロボット装置の動作制御装置 1 0 0 による脱調時の対処手順について図 5 を参照して説明し、その補足説明を図 6 を参照して行う。図 5 は、図 4 の動作制御装置 1 0 0 による脱調時の処理手順を説明するためのフローチャートである。図 6 は、第 1 - 第 5 軌道 (1) - (5) を示す図である。動作制御装置 1 0 0 の各部は、システム制御部 1 0 1 の制御に従って、図 5 のフローチャートに沿って動作される。

【 0 0 4 9 】

(工程 S 1 1) 最終目標位置等の入力

手先移動に際してはまず操作部インターフェース 1 0 2 を介して、手先着目点の最終目標位置が入力される。工程 S 1 1 により、図 6 に示すように、最終目標位置 P 1 が入力される。また脱調発生後にオペレータによる手動指示を待って移動再開させるか否か (手動再開のオン / オフ)、手動再開のオフ設定されたときにはさらに脱調発生後移動再開までの待機時間 t_w が設定される。なお、待機時間 t_w は 0 以上に設定可能である。待機時間 t_w が 0 時間に設定されていることは、当然にして即座に移動再開を許可していることを意味する。また脱調発生後に移動開始時の位置 (移動開始位置) P 0 に戻るとき、その帰還経路の異なる軌道 (4)、(5) のいずれかをオペレータが手動で選択するか否かが設定される。

【 0 0 5 0 】

(工程 S 1 2) 手先軌道の計算処理

手先着目点の現在位置（移動開始位置）から、工程 S 1 1 で入力された最終目標位置までの手先軌道が、軌道計算部 1 0 5 により計算される。軌道計算部 1 0 5 により、手先着目点の現在位置から最終目標位置までの手先軌道上に単位時間 t 毎の複数の目標位置が設定される。図 6 の例では現在位置 P_0 と最終目標位置 P_1 とを結ぶ手先軌道が計算され、その手先軌道上に単位時間 t 毎の複数の目標位置 (p_1 、 p_2 、 \dots 、 p_{m-1} 、 $p_m (= P_1)$) が設定される。手先着目点の現在位置 P_0 は、現在位置・姿勢計算部 1 0 4 による計算処理から得られる。具体的には、現在位置・姿勢計算部 1 0 4 により、ドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 各々のカウンタ 2 1 7 により計数されたカウント数に基づいて、現在の関節変数ベクトル \vec{r}_0 ($\theta_0 - J_1$ 、 $\theta_0 - J_2$ 、 $L_0 - J_3$ 、 $\theta_0 - J_4$ 、 $\theta_0 - J_5$ 、 $\theta_0 - J_6$) が計算され、その関節変数ベクトル \vec{r}_0 に基づいて、順運動学により手先の現在位置 P_0 が計算される。

10

【0051】

(工程 S 1 3) 関節部 $J_1 - J_6$ の指令値（関節変数ベクトル）の計算処理

工程 S 1 2 で計算された複数の目標位置にそれぞれ対応する各関節の角度、伸張距離を表す複数の関節変数ベクトルが、指令値計算部 1 0 6 により計算される。工程 S 1 3 により、図 6 に示す、複数の目標位置 (p_1 、 p_2 、 \dots 、 p_{m-1} 、 $p_m (= P_1)$) にそれぞれ対応する複数の関節変数ベクトル (\vec{r}_1 、 \vec{r}_2 、 \dots 、 \vec{r}_m) が計算される。指令値計算部 1 0 6 による計算処理手順の詳細は後述する。

20

【0052】

(工程 S 1 4) 指令値の出力処理

工程 S 1 3 で計算された関節変数ベクトルに対応する位置指令信号と、駆動電流決定部 1 0 8 により決定された駆動電流値に対応する駆動電流指令信号とが、指令値出力部 1 0 3 から、ドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 に対して、所定の制御周期 t (例えば、10 ms) で順次出力される。工程 S 1 4 により、手先が現在位置 P_0 から制御周期 t 毎に、目標位置 p_1 、 p_2 、 \dots 、 p_{m-1} を順次通って、最終目標位置 P_1 まで移動される。

【0053】

(工程 S 1 5) 手先が最終目標位置に到達したかの判定処理

システム制御部 1 0 1 により、手先が最終目標位置に到達したかが判定される。具体的には、現在位置・姿勢計算部 1 0 4 により、制御周期 t 毎に計算される手先の現在位置が、図 6 に示す最終目標位置 P_1 に対して比較される。手先の現在位置が最終目標位置に一致したとき、手先が最終目標位置に到達したと判定される。このとき、動作制御装置 1 0 0 による一連の制御が完了される。一方、手先の現在位置が手先の最終目標位置に不一致のとき、処理が工程 S 1 6 に移行される。

30

【0054】

(工程 S 1 6) 脱調発生の有無の判定処理

システム制御部 1 0 1 により、脱調発生の有無が判定される。具体的には、脱調判定部 2 1 6 から動作制御装置 1 0 0 に脱調検知信号が入力されたとき、処理が工程 S 1 7 に移行される。図 6 では、脱調検知時点の手先の位置を P_{so} とし、何らかの外因、例えば、作業者がロボットアーム機構のアーム部 2 に触れてしまい、手先が位置 P_0' に移動してしまったものとする。一方、脱調判定部 2 1 6 から脱調検知信号が出力されなければ、手先の現在位置が手先の最終目標位置まで到達するまで、位置指令信号と駆動電流指令信号とが、所定の制御周期 t で順次出力される。

40

【0055】

(工程 S 1 7) 脱調発生時の手先軌道の再度の計算処理

工程 S 1 7 では、システム制御部 1 0 1 は、脱調検知後に手先移動を再開したときにその到達位置として当初の最終目標位置 P_1 を維持するのか、又は当初の最終目標位置 P_1 から移動開始時の位置 P_0 に変更するのかを、脱調によりシフトした距離 d 、つまり当初の軌道上の脱調検知時点の手先の位置 P_{so} と脱調発生後にシフトした手先位置 P_0' と

50

の距離（シフト距離） d と、脱調検知から脱調解消して移動再開できるまでの時間までの経過時間（ $n \cdot t1$ ）とに基づいて、決定する。脱調によるシフト距離 d が所定の閾値 THd 未満であり、且つ脱調検知から移動再開までの経過時間（ $n \cdot t1$ ）が所定の閾値 THt 未満であるとの条件を満たすか否かが判定される。以下、この経過時間（ $n \cdot t1$ ）を脱調によるダウンタイムという。なお、脱調検知後、動作制御部100はドライバユニット210を制御して移動再開のための指令値を繰り返し出力し、移動再開をリトライする。この繰り返し周期（リトライ周期）を $t1$ 、繰り返し回数（リトライ回数）を n とする。パルス信号発生部213からのパルス信号数とエンコードパルス数とが整合、つまりパルス信号と回転とが同期した状態は脱調解消した状態であり、その状態で移動再開が可能になる。この状態に達成するまで移動再開のリトライ制御が繰り返される。

10

【0056】

工程S17では、脱調に起因して手先位置が本来の軌道から大幅に外れることなく（シフト距離 d が比較的短い）、さらに脱調発生してそれが解消するまでに長時間を経過していない（ダウンタイム $n \cdot t1$ が比較的短い）ときには、移動再開して当初の最終目標位置を目指し、一方、脱調に起因して手先位置が本来の軌道から大幅に外れてしまい、（シフト距離 d が比較的長い）及び/又は脱調発生してそれが解消するまでに長時間を経過している（ダウンタイム $n \cdot t1$ が比較的長い）ときには、当初の最終目標位置を解除して、移動開始位置に戻り次のタスクを待機するものである。

【0057】

なお、シフト距離 d の長短を判定するためにシフト距離 d に比較される閾値 THd 、ダウンタイム（ $n \cdot t1$ ）の長短を判定するためにダウンタイム（ $n \cdot t1$ ）に比較される閾値 THt は、システム制御部101により動的に変動される。例えば脱調検知時の位置 Pso が最終目標位置 $P1$ より移動開始位置 $P0$ に近いときには比較的小さい値に設定され、脱調検知時の位置 Pso が移動開始位置 $P0$ より最終目標位置 $P1$ に近いときには比較的大きな値に設定される。

20

【0058】

工程S17で“YES”のとき、つまり移動再開して当初の最終目標位置を目指すとは判断されたとき、工程S18において、システム制御部101はオペレータによる移動再開指示が入力されるまで移動再開を待機する。またはオペレータによる移動再開の手動指示が工程S11でオフに設定されているときには、脱調検知時点から工程S11で設定された待機時間 t_w の経過を待機する。これらは移動再開時の安全性確保のために設けられている。

30

【0059】

工程S18でオペレータにより移動再開指示が入力されたとき、又は待機時間 t_w が経過しているとき、工程S19 - S21により選択された軌道に従って指令値出力がなされ、移動が再開される。実際には、軌道再計算工程S19及び軌道選択工程S20は工程S18と平行して実行される。工程S19では、図6に示す3種類の軌道（1） - （3）が軌道計算部105により計算される。

【0060】

第1軌道（1）は、脱調に起因してシフトしたハンドの着目点の位置（移動再開時の位置） $P0'$ から、移動開始位置 $P0$ から最終目標位置 $P1$ に至る当初の軌道から脱調に起因して外れた経路を辿って当初の軌道上の脱調検知位置 Pso に戻り、当初の軌道に沿って最終目標位置に至る軌道である。

40

【0061】

第2軌道（2）は、脱調に起因してシフトしたハンドの着目点の位置（移動再開時の位置） $P0'$ から、脱調検知時の位置 Pso と最終目標位置 $P1$ との間の位置に移動し、当初の軌道に沿って最終目標位置に至る軌道である。第3軌道（3）は、脱調に起因してシフトした着目点の位置 $P0'$ から最終目標位置 $P1$ までの直線的な最短の軌道である。

【0062】

次に工程S20において、これら3種類の軌道（1） - （3）から一の軌道が軌道計算

50

部 1 0 5 又はシステム制御部 1 0 1 により選択される。ここでは安全性の観点から第 1 軌道 (1) が第 1 位の優先順位、第 2 軌道 (2) が第 2 位の優先順位、第 3 軌道 (3) が第 3 位の優先順位にそれぞれ設定される。選択条件としては、当初の移動開始位置 P 0 から最終目標位置 P 1 までの移動に本来的に設定されているタスクタイムが、手先着目点の移動速度に対して既定されている速度上限値未満の範囲内で維持され得るが否かが与えられる。最も軌道長の長い、最も安全性が高いと想定される第 1 軌道 (1) が当該選択条件を満たすのであれば、第 1 軌道 (1) が選択される。第 1 軌道 (1) が当該選択条件を満たさず、次に軌道長の長い、次に安全性が高いと想定される第 2 軌道 (2) が当該選択条件を満たすのであれば、第 2 軌道 (2) が選択される。第 1、第 2 軌道 (1)、(2) ともに当該選択条件を満たさず、最終目標位置 P 1 まで最短経路である第 3 軌道 (3) が当該選択条件を満たすときには、第 3 軌道 (3) が選択される。なお、第 3 軌道 (3) が当該選択条件を満たさないときの動作は任意に設定され、典型的には、その移動再開位置 P 0 ' で留まるようにしても良いし、又は第 4 軌道 (4) を選択して、移動開始位置 P 0 にも戻って次のタスクを待機するようにしてもよい。

10

【 0 0 6 3 】

工程 2 1 では、工程 S 2 0 で選択された軌道上の複数の目標位置にそれぞれ対応する複数の関節変数ベクトルを表す指令値が指令値計算部 1 0 6 により計算され、所定の制御周期 t の周期で順番に駆動電流決定部 1 0 8 により決定された各位置の駆動電流値を表す指令信号とともに指令値出力部 1 0 3 から、ドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 に対して出力される。

20

【 0 0 6 4 】

工程 S 1 7 で “ N O ” のとき、つまり移動再開して、帰還軌道 (4)、(5) のいずれかを辿って元の移動開始位置 P 0 に戻ると判断されたとき、工程 S 2 2 において、システム制御部 1 0 1 はオペレータによる移動再開指示が入力されるまで移動再開を待機し、又は脱調検知時点から工程 S 1 1 で設定された待機時間 t_w の経過を待機する。

【 0 0 6 5 】

工程 S 2 2 でオペレータにより移動再開指示が入力されたとき、又は待機時間 t_w が経過しているとき、工程 S 2 3 において、工程 S 1 1 で設定された「移動開始位置 P 0 に戻る帰還軌道 (4)、(5) の手動選択機能」がオフに設定されているとき、工程 S 2 4 において、軌道計算部 1 0 5 により、脱調に起因してシフトしたハンドの着目点の位置 (移動再開時の位置) P 0 ' から、元の移動開始位置 P 0 に戻る帰還軌道 (4) が計算される。

30

【 0 0 6 6 】

帰還軌道 (4) は、移動再開時の位置 P 0 ' から、移動開始位置 P 0 から最終目標位置 P 1 に至る当初の軌道から脱調に起因して外れた経路を辿って脱調検知位置 P so に戻り当初の軌道を遡って元の移動開始位置 P 0 に至る軌道である。一方、第 5 軌道 (5) は、脱調に起因してシフトした着目点の位置 (移動再開位置) P 0 ' から元の移動開始位置 P 0 までの直線的な最短の帰還軌道である。帰還軌道 (4) は、直前に通ってきた道程であるので、新規な第 5 軌道 (5) よりも軌道上に障害物等が介在する可能性が低く、すなわち安全性が高いといえる。そのためにオペレータが手動で軌道選択をしないときには帰還軌道 (4) が帰還軌道 (5) に優先的に選択されるものとしている。

40

【 0 0 6 7 】

工程 2 5 では、工程 S 2 4 で計算された軌道 (4) 上の複数の目標位置にそれぞれ対応する複数の関節変数ベクトルを表す指令値が指令値計算部 1 0 6 により計算され、所定の制御周期 t の周期で順番に駆動電流決定部 1 0 8 により決定された各位置の駆動電流値を表す指令信号とともに指令値出力部 1 0 3 から、ドライバユニット 2 1 0、2 2 0、2 3 0、2 4 0、2 5 0、2 6 0 に対して出力される。

【 0 0 6 8 】

工程 S 2 3 において、工程 S 1 1 で設定された「移動開始位置 P 0 に戻る帰還軌道 (4)、(5) の手動選択機能」がオンに設定されているとき、工程 S 2 6 において、システム制御部 1 0 1 により操作部 5 0 のディスプレイに帰還軌道 (4) と第 5 軌道 (5) とい

50

ずれかの選択をオペレータに促すための画面が表示される。オペレータが帰還軌道(4)を選択したときは、工程S24に移行する。オペレータが帰還軌道(5)を選択したときは、工程S28において軌道計算部105により、脱調に起因してシフトしたハンドの着目点の位置(移動再開時の位置)P0'から、元の移動開始位置P0に直線的に最短で戻る帰還軌道(5)が計算され、工程S25に移行する。

【0069】

上記工程S14 - S28は工程S15を介してハンド5の手先着目点が最終目標位置P1に到達し、又は移動開始位置P0に帰還するまで繰り返される。

【0070】

このようにロボットアームのアクチュエータにステッピングモータを採用することはその脱調により動作が停止してしまうためにその採用が難しかったが、上述の通り脱調が発生したときにはその時の位置から最終目標位置までの軌道が再度計算され、その再度計算された軌道に沿った手先移動を再開することができ、またタスクタイムが維持できないときには元の移動開始位置に帰還する手先移動を再開して次のタスク指令を待機することができる。これら作用効果はロボットアームのアクチュエータにステッピングモータを採用することを促進することができる。

【0071】

本実施形態の脱調時に移動を再開させる制御を採用することは、ステッピングモータ固有の特性である脱調を、安全性向上のために活用できるという新規な着想を現実的に実用化することを意味している。従来ではアームに作業員が接触した時、その接触を加速度センサ等で検知して動作を停止する等の安全機構が必要とされていた。しかし、ステッピングモータを採用したロボットアームに作業員が接触した時、その負荷により脱調が発生し、動作停止する。従って従来同様の安全性が確保され得る。

【0072】

(指令値計算部の処理の説明) 図7

次に、工程S21、S24の指令値計算部106による指令値計算処理について図7を参照して説明する。

【0073】

(工程S131)初期化($n = 0$)

ここでは説明の便宜上、変数 n を用いる。まずこの変数 n がゼロ値に初期化される。

(工程S132)ヤコビアン逆行列 $J^{-1}(\dot{\theta}_n)$ の計算

本実施形態のロボット装置のロボットアーム機構はその構造上特異点が存在せず、従ってヤコビアン逆行列が常に存在する。ヤコビアン逆行列は、手先速度(手先位置・姿勢の微小変化)を関節角速度(関節角度・伸縮長の微小変化)に変換する行列である。ヤコビアン逆行列は、手先の位置・手先姿勢を表すベクトルの関節変数による編微分で与えられる。指令値計算部106は、工程S12で現在位置・姿勢計算部104により計算された現在の関節変数ベクトル $\theta_n(\theta_{n-1}, \theta_{n-2}, L, \theta_{n-3}, \theta_{n-4}, \theta_{n-5}, \theta_{n-6})$ により、アーム構造のリンクパラメータによるヤコビアン逆行列 $J^{-1}(\dot{\theta}_n)$ を計算する。

【0074】

(工程S133)手先速度 \dot{p}_{n+1} の計算

現在の手先位置(現在の目標位置) p_n 、次の手先位置(単位時間 t 後の次の目標位置) p_{n+1} 、単位時間 t に基づいて、手先速度 \dot{p}_{n+1} が計算される。

(工程S134)関節角速度 $\dot{\theta}_{n+1}$ の計算

工程S133で計算された手先速度 \dot{p}_{n+1} がヤコビアン逆行列 $J^{-1}(\dot{\theta}_n)$ により、関節角速度 $\dot{\theta}_{n+1}$ に変換される。

【0075】

(工程S135)目標の関節変数ベクトル θ_{n+1} の計算

繰り返し回数が前の工程S135で計算された(変数 $n = 0$ の場合は工程S11で計算された)関節変数ベクトル θ_n 、工程S134で計算された関節角速度 $\dot{\theta}_{n+1}$ 、

単位時間 t に基づいて、次の関節変数ベクトル $\dot{\theta}_{n+1}$ が計算される。関節角速度 $\dot{\theta}_{n+1}$ に単位時間 t を乗算することにより、単位時間 t の間の各関節の変位量が計算される。移動直前の関節変数ベクトル θ_n に関節の変位量を加算することにより、単位時間 t 経過後の関節変数ベクトル θ_{n+1} が計算される。

【0076】

(工程 S136) 処理継続の判定

変数 n が繰り返し回数 $(m-1)$ のとき、指令値計算部 106 による計算処理は終了される。一方、変数 (n) が繰り返し回数 $(m-1)$ ではない場合、工程 S137 に処理が移行される。

【0077】

(工程 S137) 変数の繰り上げ $n \leftarrow n+1$

変数 n を $(n+1)$ に繰り上げ、工程 S142 に処理が戻る。

【0078】

以上説明した指令値計算部 106 による計算処理により、手先の目標位置 (p_1, p_2, \dots, p_m) にそれぞれ対応する関節変数ベクトル $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ が計算される。

【0079】

(効果)

以上説明したように、本実施形態に係るロボット装置において、ロボットアーム機構を構成する関節部 J1 - J6 にはそれぞれステッピングモータ 310 ~ 360 が備えられる。これらステッピングモータ 310 ~ 360 の動作は、動作制御装置 100 により制御される。ステッピングモータは、ステッピングモータに対して、ステッピングモータのトルクよりも大きな負荷が加わると、脱調が発生してしまうため、一般的に産業用ロボットには用いられない。しかしながら、本実施形態に係るロボット装置は、構造上特異点がなく、そのため、アームが予期せぬタイミングで特異点を回避するための大きな旋回移動等をしないことから、例えば、作業者と協働して作業を行うコ・ロボット装置として使用することができる。すなわち、本実施形態に係るロボット装置は、作業者に近接して配置することができる。そのため、関節部のアクチュエータとしてステッピングモータをあえて使用することで、作業者がロボット装置のアームに接触した場合であっても、ステッピングモータの必要トルク以上の負荷がステッピングモータに加われば、脱調してしまうため、アームが作業者に対してステッピングモータの必要トルク以上の大きな力で危害を加えることはない。そのため、関節部のアクチュエータにステッピングモータを用いることで、アームが作業者に接触することによる作業者の怪我等のリスクを他のモータ、例えば AC モータ等を使用する場合に比べて低くすることができる。

【0080】

このように、本実施形態に係るロボット装置の想定配置環境において、作業者がアームに接触し、ステッピングモータが脱調してしまうことは予め想定される。このような場合、脱調後の位置が予定していた手先軌道上から外れてしまう場合がある。しかしながら、本実施形態のロボット装置の動作制御装置 100 の軌道計算部 105 は、ステッピングモータ 310 ~ 360 に脱調が発生したときに、脱調検知後の手先の現在位置から手先の最終目標位置までの手先軌道を再度計算することができる。したがって、脱調が発生した場合でも、手先の移動制御が継続され、手先を脱調検知後の位置から再び最終目標位置まで移動させることができる。これにより、脱調が発生した場合でも、手先の移動制御が中断されることなく、また、手先を一旦基準位置に戻すことが不要となるため、ダウンタイムを短くすることができる。したがって、本実施形態に係るロボット装置は、ステッピングモータに脱調が生じることを前提として脱調が生じたときの好適な対処を提供することができる。

【0081】

本実施形態ではロボット装置を例としてステッピングモータ制御について説明したが、他の作動対象、例えばコンベア装置のライン移動のアクチュエータにステッピングモータ

10

20

30

40

50

を採用し、そのステッピングモータ制御にも適用できる。作動対象としてのラインが現在状態（現在速度）から目標状態（目標速度）まで変化（速度変化）する過程を計算し、その過程に従って指令値を出力する。その過程でステッピングモータが脱調を生じたとき、脱調を生じた時点のラインの速度から目標速度までの過程を再度計算し、再度計算された過程に従ってラインの速度を段階的に変化させる。そのような適用も本実施形態のコンセプトの範囲内である。

【 0 0 8 2 】

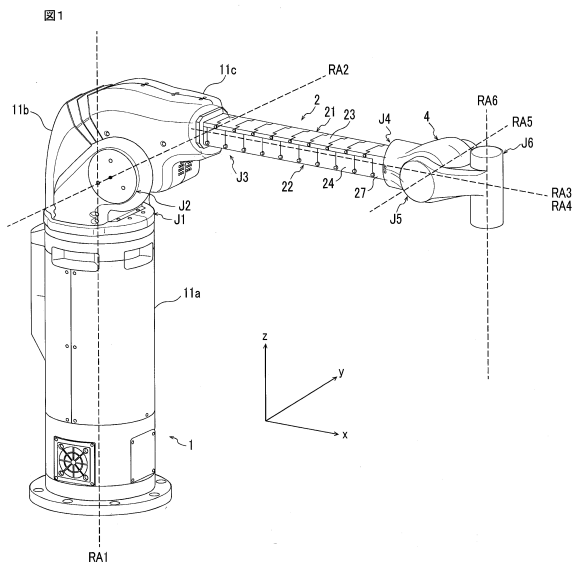
本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

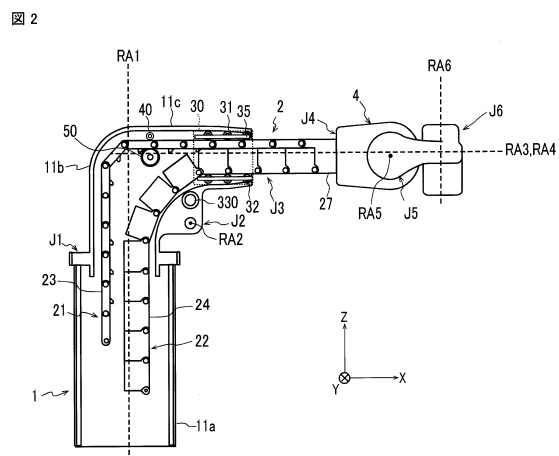
【 0 0 8 3 】

5 0 ... 操作部、1 0 0 ... 動作制御装置、1 0 1 ... システム制御部、1 0 2 ... 操作部 I / F、1 0 3 ... 指令値出力部、1 0 4 ... 現在位置・姿勢計算部、1 0 5 ... 軌道計算部、1 0 6 ... 指令値計算部、1 0 7 ... ダイナミクス計算部、1 0 8 ... 駆動電流決定部、1 0 9 ... ドライバユニット I / F、1 1 0 ... 制御 / データバス、2 1 0 ~ 2 6 0 ... ドライバユニット、3 1 0 ... ステッピングモータ、2 1 1 ... 制御部、2 1 2 ... 電源回路、2 1 3 ... パルス信号発生部、2 1 5 ... エンコーダ、2 1 6 ... 脱調判定部、2 1 7 ... カウンタ

【 図 1 】

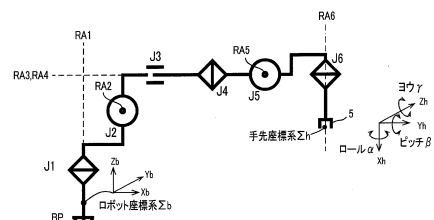


【 図 2 】



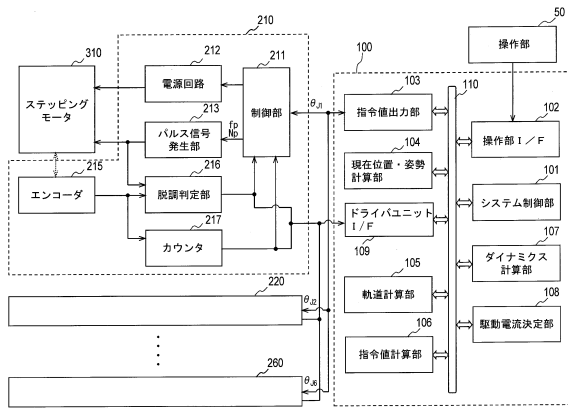
【 図 3 】

図 3



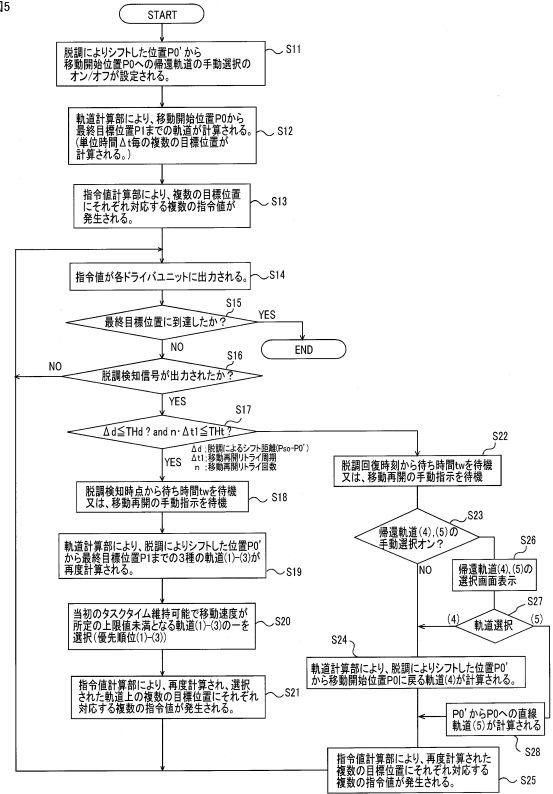
【図 4】

図4



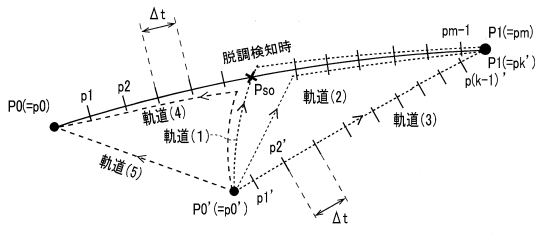
【図 5】

図5



【図 6】

図6

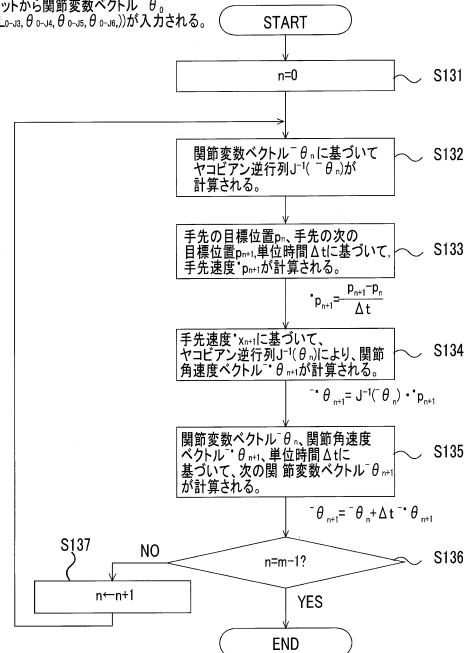


【図 7】

図7

指令値計算部(S13)のフロー

各ドライバユニットから関節変数ベクトル θ_n
 $(=\theta_{0-1}, \theta_{0-2}, \theta_{0-3}, \theta_{0-4}, \theta_{0-5}, \theta_{0-6}, \theta_{0-7})$ が入力される。



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭63-206197(JP,A)
特開2000-47731(JP,A)
特開2013-132696(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B25J 1/00 - 21/02