

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6460690号
(P6460690)

(45) 発行日 平成31年1月30日 (2019. 1. 30)

(24) 登録日 平成31年1月11日 (2019. 1. 11)

(51) Int. Cl.

B 2 5 J 13/08 (2006. 01)

F I

B 2 5 J 13/08

Z

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2014-187509 (P2014-187509)
 (22) 出願日 平成26年9月16日 (2014. 9. 16)
 (65) 公開番号 特開2016-59971 (P2016-59971A)
 (43) 公開日 平成28年4月25日 (2016. 4. 25)
 審査請求日 平成29年9月14日 (2017. 9. 14)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100082337
 弁理士 近島 一夫
 (74) 代理人 100141508
 弁理士 大田 隆史
 (72) 発明者 ▲高▼橋 俊也
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 審査官 松井 裕典

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット装置、ロボット制御方法、プログラム及び記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多関節のロボットアームと、
 前記ロボットアームの先端に取り付けられたロボットハンドと、
 前記ロボットハンドに把持された把持物の移動方向の力としての第1検出力及び前記移動方向と交差する方向の力としての第2検出力を検出する力検出器と、
 前記ロボットアームの軌道データに基づき、前記把持物を前記移動方向にある対象物に向けて、離れた位置から移動作業を行うよう、前記ロボットアームの動作を制御する制御部と、を備え、
 前記制御部は、
 前記移動作業中、第1カットオフ周波数の第1ローパスフィルタにて、前記第1検出力に対してフィルタ処理を行う第1検出力補正処理と、
 前記移動作業中、前記把持物と前記対象物とが接触して前記第1検出力が閾値を上回ったときに前記ロボットハンドの前記移動方向への移動を停止させる第1力制御処理と、
 前記移動作業中、前記第1カットオフ周波数よりも周波数の低い第2カットオフ周波数の第2ローパスフィルタにて、前記第2検出力に対してフィルタ処理を行う第2検出力補正処理と、
 前記移動作業中、前記第2検出力が小さくなるように前記ロボットアームの軌道を前記移動方向とは交差する方向に補正する第2力制御処理と、を実行することを特徴とするロボット装置。

10

20

【請求項 2】

前記把持物及び前記対象物のうち、一方が嵌合物であり、他方が、前記嵌合物が嵌合する穴を有する被嵌合物であり、

前記制御部は、前記移動作業として、前記嵌合物を前記被嵌合物の穴に嵌合させる嵌合作業を行うことを特徴とする請求項 1 に記載のロボット装置。

【請求項 3】

前記嵌合物は、円柱状の円柱部と、前記円柱部の先端部と後端部との間の中間部における外周面に突設された突起部と、を有しており、

前記穴は、前記円柱部が嵌合する円柱状の円柱穴と、前記円柱穴に繋がり、前記突起部が嵌合する溝と、を有しており、

前記制御部は、前記嵌合作業として、前記円柱部を前記円柱穴に嵌合させ、かつ前記突起部を前記溝に嵌合させる作業中、前記円柱部の先端部を前記円柱穴に嵌合させて前記第 1 力制御処理にて前記把持物の前記移動方向の移動を停止させたとき、前記第 1 検出力が前記閾値を下回るまで、前記把持物を、前記移動方向を軸に回転させることを特徴とする請求項 2 に記載のロボット装置。

【請求項 4】

多関節のロボットアームの先端に、力検出器を介してロボットハンドが取り付けられており、前記力検出器が、前記ロボットハンドに把持された把持物の移動方向の力としての第 1 検出力、及び前記移動方向と交差する方向の力としての第 2 検出力を検出するよう構成されており、制御部が、前記ロボットアームの軌道データに基づき、前記把持物を前記移動方向にある対象物に向けて、離れた位置から移動作業を行うよう前記ロボットアームの動作を制御するロボット制御方法であって、

前記制御部が、前記移動作業中、第 1 カットオフ周波数の第 1 ローパスフィルタにて、前記第 1 検出力に対してフィルタ処理を行う第 1 検出力補正工程と、

前記制御部が、前記移動作業中、前記把持物と前記対象物とが接触して前記第 1 検出力が閾値を上回ったときに前記ロボットハンドの前記移動方向への移動を停止させる第 1 力制御工程と、

前記制御部が、前記移動作業中、前記第 1 カットオフ周波数よりも周波数の低い第 2 カットオフ周波数の第 2 ローパスフィルタにて、前記第 2 検出力に対してフィルタ処理を行う第 2 検出力補正工程と、

前記制御部が、前記移動作業中、前記第 2 検出力が小さくなるように前記ロボットアームの軌道を前記移動方向とは交差する方向に補正する第 2 力制御工程と、を備えたことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 5】

コンピュータに、請求項 4 に記載のロボット制御方法の各工程を実行させるためのプログラム。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットアームの力制御に関するものである。

【背景技術】

【0002】

産業用のロボットは、多関節のロボットアームと、ロボットアームの先端に取り付けられたロボットハンドとを有して構成されている。この種のロボットを用いた嵌合作業や作業対象物取得作業では、作業対象物の公差や設置誤差、ロボットハンド内で把持中の作業対象物の把持位置ズレなどが生じる。これにより、作業対象物とロボットハンドとの間に、ロボットアームからロボットハンドに延びる先端軸に対して交差する方向に位置ズレが発生する。

【 0 0 0 3 】

そのため、ロボットの各関節の角度を角度指令値に制御する位置制御のみ行くと、作業対象物とロボットハンドとの位置ズレにより、嵌合ミスや作業対象物取得ミスが発生する。そこで、ロボットがロボットハンドに作用する力を検出する力検出器を有し、制御装置によりロボットアームの力制御が行われている（特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 4 】

力制御には、軌道補正の制御と到達位置検知の制御とがある。軌道補正の制御は、嵌合時やワーク取得時に、作業対象物とロボットハンドとの位置ズレにより発生する接触力が力検出器で検出され、先端軸に交差する方向に発生した接触力が小さくなる（0 に近づく）ようにロボットアームの軌道を補正する制御である。到達位置検知の制御は、先端軸の延びる方向であるアプローチ方向の到達位置を検知して、ロボットアームを停止させる制御である。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開平 5 - 6 9 3 5 8 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

力検出器を有するロボットの構成では、ロボット動作時の振動等により、検出したい力以外の出力が力検出器の出力にノイズとして乗ることがある。力検出器の出力によって軌道補正の制御を行う際に、そのノイズの影響で補正が不安定になることがある。そのため、力検出器の出力にローパスフィルタをかけ、軌道補正の制御を行っている。

【 0 0 0 7 】

しかし、到達位置検知の制御を行う際に、軌道補正の制御を行う場合と同様、力検出器の出力に同様の特性のフィルタを通して制御すると、到達時に発生する力を低い感度でしか検出することができない。そのため、ロボットアームを停止させるタイミングが遅くなる問題があった。ロボットアームを停止させるタイミングが遅くなると、ロボットハンドや力検出器、即ちロボットに過負荷がかかった状態で停止することがあった。

【 0 0 0 8 】

逆に、到達位置検知の制御を優先して、高感度に力を検出するようにフィルタの特性を設定すれば、到達時に発生する力の過渡応答が速くなるので、ロボットへの過負荷を小さくすることは可能である。しかし、軌道補正の制御を行う際には、力検出結果に含まれる振動成分の除去が不十分であり、軌道の補正動作が不安定となっていた。

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、移動方向と交差する方向のロボットハンドの位置ズレを安定して補正し、かつ移動方向のロボットハンドの到達を迅速に検知することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

本発明のロボット装置は、多関節のロボットアームと、前記ロボットアームの先端に取り付けられたロボットハンドと、前記ロボットハンドに把持された把持物の移動方向の力としての第 1 検出力及び前記移動方向と交差する方向の力としての第 2 検出力を検出する力検出器と、前記ロボットアームの軌道データに基づき、前記把持物を前記移動方向にある対象物に向けて、離れた位置から移動作業を行うよう、前記ロボットアームの動作を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記移動作業中、第 1 カットオフ周波数の第 1 ローパスフィルタにて、前記第 1 検出力に対してフィルタ処理を行う第 1 検出力補正処理と、前記移動作業中、前記把持物と前記対象物とが接触して前記第 1 検出力が閾値を上回ったときに前記ロボットハンドの前記移動方向への移動を停止させる第 1 力制御処理と、前記移動作業中、前記第 1 カットオフ周波数よりも周波数の低い第 2 カットオフ周波数の第 2 ローパスフィルタにて、前記第 2 検出力に対してフィルタ処理を行う第 2 検出力補正

処理と、前記移動作業中、前記第２検出力が小さくなるように前記ロボットアームの軌道を前記移動方向とは交差する方向に補正する第２力制御処理と、を実行することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１１】

本発明によれば、感度の高い到達位置検知の制御と安定した軌道補正の制御とが同時に実施される。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】本発明の第１実施形態に係るロボット装置を示す模式図である。

10

【図２】本発明の第１実施形態に係るロボット装置を示すブロック図である。

【図３】本発明の第１実施形態に係るロボット装置のロボットコントローラの構成を示すブロック図である。

【図４】本発明の第１実施形態における嵌合物と被嵌合物との嵌合作業を行っている状態を示す説明図である。

【図５】本発明の第２実施形態に係るロボット装置を示す模式図である。

【図６】本発明の第２実施形態における嵌合物と被嵌合物との嵌合作業を説明するための説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００１３】

20

以下、本発明を実施するための形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

【００１４】

〔第１実施形態〕

図１は、本発明の第１実施形態に係るロボット装置を示す模式図である。図２は、本発明の第１実施形態に係るロボット装置を示すブロック図である。図１に示すロボット装置１００は、把持物と対象物との嵌合作業を行い組立部品Ｗを製造する製造方法を実行するものである。把持物及び対象物のうち、一方（第１実施形態では把持物）が、嵌合物 W_1 であり、他方（第１実施形態では対象物）が、嵌合物 W_1 が嵌合する穴 H_2 を有する被嵌合物 W_2 である。被嵌合物 W_2 は、第１実施形態では、基台Ｂに載置されているものとするが、別のロボットに把持されていてもよい。嵌合物 W_1 は、円柱状のピンであり、被嵌合物 W_2 の穴 H_2 は、嵌合物 W_1 が嵌合する円柱状のピン穴である。

30

【００１５】

ロボット装置１００は、多関節のロボット２００と、ロボット２００にケーブル等で接続されたロボットコントローラ３００と、を備えている。

【００１６】

ロボット２００は、多関節（例えば垂直多関節）のロボットアーム２０１と、エンドエフェクタであるロボットハンド２０２と、ロボットハンド２０２（フィンガ）に作用した力を検出する力検出器２０３と、を有している。ロボットアーム２０１は、複数のリンクが複数の関節 $J_1 \sim J_6$ で旋回又は回転可能に連結されて構成されている。ロボットアーム２０１の基端（基端リンク、ベース部ともいう）が基台Ｂの上面に固定されている。ロボットアーム２０１の先端（先端リンク、フランジ部ともいう）には、力検出器２０３を介してロボットハンド２０２が取り付けられている。なお、図１では、ロボットアーム２０１の先端リンクが力検出器２０３と一体に形成されている場合について図示しているが、先端リンクと力検出器２０３とが別体に形成されていて、力検出器２０３が先端リンクに固定具等で固定されている場合であってもよい。ロボットハンド２０２は、複数のフィンガを有し、嵌合物 W_1 を把持又は把持解放することができるよう構成されている。

40

【００１７】

ロボット２００（ロボットアーム２０１）の基端には、ワールド座標系 ${}_0$ が設定されている。ワールド座標系 ${}_0$ は、基台Ｂに垂直な Z_0 軸と、 Z_0 軸に対して交差（直交）し、互いに交差（直交）する X_0 軸及び Y_0 軸とで規定されている。

50

【 0 0 1 8 】

また、ロボット 2 0 0 (ロボットアーム 2 0 1)の先端には、手先座標系 Σ_1 が設定されている。手先座標系 Σ_1 は、ロボットアーム 2 0 1の先端からロボットハンド 2 0 2に向かって延びる先端軸である Z_1 軸と、 Z_1 軸に対して交差(直交)し、互いに交差(直交)する X_1 軸及び Y_1 軸とで規定されている。

【 0 0 1 9 】

力検出器 2 0 3 は、いわゆる力覚センサであり、負荷されている力の大きさ及び方向を検出することができるよう構成されている。即ち、力検出器 2 0 3 は、ロボットハンド 2 0 2 (フィンガ)に作用した、 X_1 軸及び Y_1 軸の方向の力(第 2 検出力) F_x 、 F_y 、及び Z_1 軸の方向の力(第 1 検出力) F_z を検出する。

10

【 0 0 2 0 】

またロボットアーム 2 0 1 は、各関節 $J_1 \sim J_6$ に対応して設けられた、各関節 $J_1 \sim J_6$ を駆動するモータ(図 2) 2 1 1 と、各モータ 2 1 1 の回転位置を検出する位置検出器 2 1 2 と、各モータ 2 1 1 の回転を制御するモータ制御器 2 1 3 と、を有している。

【 0 0 2 1 】

各モータ 2 1 1 は、ブラシレス DC モータや AC モータ等のサーボモータである。各位置検出器 2 1 2 は、ロータリエンコーダで構成されている。各モータ制御器 2 1 3 は、各位置検出器 2 1 2 で検出した各関節 $J_1 \sim J_6$ の角度がロボットコントローラ 3 0 0 から取得した軌道、即ち角度指令値(位置指令値)となるように、各モータ 2 1 1 の回転を制御する。

20

【 0 0 2 2 】

図 3 は、本発明の第 1 実施形態に係るロボット装置 1 0 0 のロボットコントローラ 3 0 0 の構成を示すブロック図である。図 3 に示すように、ロボットコントローラ 3 0 0 は、コンピュータで構成されている。ロボットコントローラ 3 0 0 は、コンピュータの中核となる制御部(演算部)としての CPU (Central Processing Unit) 3 0 1 を備えている。また、ロボットコントローラ 3 0 0 は、記憶部として、ROM (Read Only Memory) 3 0 2、RAM (Random Access Memory) 3 0 3、及び HDD (Hard Disk Drive) 3 0 4 を備えている。また、ロボットコントローラ 3 0 0 は、記録ディスクドライブ 3 0 5 及び各種のインタフェース 3 1 1 ~ 3 1 4 を備えている。

【 0 0 2 3 】

CPU 3 0 1 には、ROM 3 0 2、RAM 3 0 3、HDD 3 0 4、記録ディスクドライブ 3 0 5 及びインタフェース 3 1 1 ~ 3 1 4 が、バス 3 1 0 を介して接続されている。

30

【 0 0 2 4 】

ROM 3 0 2 には、BIOS 等の起動プログラムが格納されている。RAM 3 0 3 は、CPU 3 0 1 の演算処理結果等、各種データを一時的に記憶する記憶装置である。HDD 3 0 4 には、プログラム 3 2 1 が格納(記録)される。そして、CPU 3 0 1 がプログラム 3 2 1 を読み出して実行することにより、図 2 に示す各部 3 3 2、3 3 3、3 3 5、3 3 6、3 3 7、3 3 8 として機能し、後述するロボット制御方法の各工程を実行する。なお、HDD 3 0 4 には、ユーザにより作成されたロボット動作プログラム 3 2 0 が格納される。記録ディスクドライブ 3 0 5 は、記録ディスク 3 2 2 に記録された各種データやプログラム等を読み出すことができる。

40

【 0 0 2 5 】

インタフェース 3 1 1 には、ロボット 2 0 0 の各モータ制御器 2 1 3 が接続されている。CPU 3 0 1 は、バス 3 1 0 及びインタフェース 3 1 1 を介して、各モータ制御器 2 1 3 に、関節 $J_1 \sim J_6$ の角度指令値(位置指令値)を出力し、ロボット 2 0 0 の動作を制御する。

【 0 0 2 6 】

インタフェース 3 1 2 には、マウスやキーボード等、作業者が操作して、操作に応じた指令を CPU 3 0 1 に送信する入力装置 6 0 0 が接続されている。インタフェース 3 1 3 には、画像を表示するディスプレイ等の表示装置 7 0 0 が接続されている。インタフェー

50

ス 3 1 4 には、U S B メモリ等の書き換え可能な不揮発性メモリ、或いは外付け H D D 等の外部記憶装置 8 0 0 が接続されている。

【 0 0 2 7 】

C P U 3 0 1 は、軌道データに基づき、ロボットハンド 2 0 2 に把持された嵌合物 W_1 と被嵌合物 W_2 との嵌合作業を行うようロボット 2 0 0 (ロボットアーム 2 0 1) の動作を制御する。

【 0 0 2 8 】

軌道データは、C P U 3 0 1 が、ロボット動作プログラム 3 2 0 に基づいて生成する。ロボット動作プログラム 3 2 0 は、ロボット 2 0 0 に対してどのような動きをさせるかを指示する動作指示であり、ロボット専用のプログラミング言語を用いてユーザにより作成されたプログラムである。ロボット 2 0 0 に何らかの動作を行わせる際には、ロボット動作プログラム 3 2 0 内で位置制御や力制御などの制御方法や位置、速度、力目標値等のパラメータをプログラムし、動作の指示を行う。

【 0 0 2 9 】

C P U 3 0 1 は、図 3 に示すプログラム 3 2 1 を実行することにより、図 2 に示す軌道計算部 3 3 2、位置出力部 3 3 3、軌道補正計算部 3 3 5、軌道補正フィルタ部 3 3 6、到達位置判定部 3 3 7 及び到達位置判定フィルタ部 3 3 8 として機能する。

【 0 0 3 0 】

軌道計算部 3 3 2 は、ロボット動作プログラム 3 2 0 に記載されている情報をもとに、ロボット 2 0 0 (ロボットアーム 2 0 1) の経路を作成し、ロボット 2 0 0 の経路に基づいて、ロボット 2 0 0 (ロボットアーム 2 0 1) の軌道を生成する。

【 0 0 3 1 】

ここで、ロボット 2 0 0 の経路とは、ロボット 2 0 0 の各関節 $J_1 \sim J_6$ の軌跡である。換言すれば、ロボット 2 0 0 の経路とは、関節 $J_1 \sim J_6$ の角度を座標軸とした関節空間における点 (ポーズ) の順序集合である。ロボット 2 0 0 の軌道とは、時間をパラメータとしてポーズ (経路) を表したものであり、第 1 実施形態では、所定時間 (例えば 2 m s) 間隔のロボット 2 0 0 の関節 $J_1 \sim J_6$ の角度指令値の集合である。

【 0 0 3 2 】

ここで、C P U 3 0 1 によるロボットアーム 2 0 1 の動作の制御は、大別して、位置制御と力制御の 2 つの方法がある。

【 0 0 3 3 】

位置制御は、ロボット動作プログラム 3 2 0 により生成した軌道に従ってロボットアーム 2 0 1 を動作させる制御である。力制御は、ロボット動作プログラム 3 2 0 により生成した軌道に従ってロボットアーム 2 0 1 を動作させているときに、力検出器 2 0 3 により検出された力 F_x , F_y , F_z に基づいて動作を修正する制御である。

【 0 0 3 4 】

また、力制御は、軌道補正の制御と到達位置検知の制御とがある。軌道補正の制御は、第 2 検出力である力 F_x , F_y が小さくなるように (0 に近づくように) ロボットハンド 2 0 2 を X_1 軸 , Y_1 軸の方向に移動させて、ロボットアーム 2 0 1 の軌道を補正する制御である。到達位置検知の制御は、第 1 検出力である力 F_z に対して閾値判定を行い、力 F_z が閾値を上回ったときにロボットハンド 2 0 2 の Z_1 軸の方向の移動を停止させる制御である。

【 0 0 3 5 】

ユーザは、C P U 3 0 1 (ロボットコントローラ 3 0 0) に位置制御でロボット 2 0 0 を制御させる際は、位置制御を行う旨をロボット動作プログラム 3 2 0 に記載する。軌道計算部 3 3 2 は、このように記述されたロボット動作プログラム 3 2 0 に基づき、目標位置までの軌道を生成する。

【 0 0 3 6 】

位置出力部 3 3 3 は、生成された軌道 (角度指令値) を、所定時間 (例えば 2 m s) 毎にモータ制御器 2 1 3 に通知する。モータ制御器 2 1 3 は、位置出力部 3 3 3 から受領し

10

20

30

40

50

た軌道と位置検出器 2 1 2 から取得した現在位置を用いてモータ 2 1 1 をフィードバック制御する。

【 0 0 3 7 】

この位置制御の際には、図 2 に示す軌道補正計算部 3 3 5、軌道補正フィルタ部 3 3 6、到達位置判定部 3 3 7 及び到達位置判定フィルタ部 3 3 8 は機能しない。

【 0 0 3 8 】

次に、ユーザは、CPU 3 0 1 (ロボットコントローラ 3 0 0) に力制御でロボット 2 0 0 を制御させる際は、力制御を行う旨をロボット動作プログラム 3 2 0 に記載する。ロボット動作プログラム 3 2 0 内では、到達位置検知の制御や軌道補正の制御の力制御を実施する旨が記載される。

10

【 0 0 3 9 】

CPU 3 0 1 は、記載されたロボット動作プログラム 3 2 0 の情報を解析する。到達位置判定フィルタ部 3 3 8 は、ロボット動作プログラム 3 2 0 内で到達位置検知の制御が指定された場合に、ロボット動作プログラム 3 2 0 で指定されたローパスフィルタを設定する。軌道補正フィルタ部 3 3 6 は、ロボット動作プログラム 3 2 0 内で軌道補正の制御が指定された場合に、ロボット動作プログラム 3 2 0 で指定されたローパスフィルタを設定する。第 1 実施形態では、嵌合物 W_1 と被嵌合物 W_2 との嵌合作業を行う際には、軌道補正の制御及び到達位置検知の制御の両方を同時に実行する。

【 0 0 4 0 】

軌道補正フィルタ部 3 3 6 及び到達位置判定フィルタ部 3 3 8 は、力検出器 2 0 3 で出力された力 F_x 、 F_y 、 F_z のデータの高周波のノイズ成分をカットするためのローパスフィルタ (デジタルフィルタ) として機能する。各フィルタ部 3 3 6、3 3 8 は、カットオフ周波数 F_{c1} 、 F_{c2} がパラメータとして指定され、そのパラメータはロボット動作プログラム 3 2 0 内で記載することができる。具体的には、軌道補正フィルタ部 3 3 6 は、第 2 カットオフ周波数であるカットオフ周波数 F_{c1} の第 2 ローパスフィルタとして動作し、力 F_x 、 F_y に対してフィルタ処理を行う。到達位置判定フィルタ部 3 3 8 は、嵌合作業中、第 1 カットオフ周波数であるカットオフ周波数 F_{c2} の第 1 ローパスフィルタとして動作し、力 F_z に対してフィルタ処理を行う。

20

【 0 0 4 1 】

軌道計算部 3 3 2 は、力制御が指定された場合、ロボット動作プログラム 3 2 0 に記載された動作指示通りに、位置制御と同様な方法で軌道を生成する。位置出力部 3 3 3 は、所定時間 (例えば 2 m s) 毎に角度指令値をモータ制御器 2 1 3 に通知する。モータ制御器 2 1 3 は、モータ 2 1 1 の回転をフィードバック制御し、ロボット 2 0 0 を動作させる。

30

【 0 0 4 2 】

同時に、各フィルタ部 3 3 6、3 3 8 は、力検出器 2 0 3 よりロボット 2 0 0 にかかる力 F_x 、 F_y 、 F_z を取得する。具体的には、軌道補正フィルタ部 3 3 6 は力 F_x 、 F_y を取得し、到達位置判定フィルタ部 3 3 8 は力 F_z を取得する。

【 0 0 4 3 】

軌道補正フィルタ部 3 3 6 は、嵌合作業中、カットオフ周波数 F_{c1} の第 2 ローパスフィルタを用いて、力 F_x 、 F_y に対してフィルタ処理を行う (第 2 検出力補正処理、第 2 検出力補正工程)。同時に、到達位置判定フィルタ部 3 3 8 は、嵌合作業中、カットオフ周波数 F_{c2} の第 1 ローパスフィルタを用いて、力 F_z に対してフィルタ処理を行う (第 1 検出力補正処理、第 1 検出力補正工程)。

40

【 0 0 4 4 】

軌道補正計算部 3 3 5 は、軌道補正フィルタ部 3 3 6 を通して取得した力 F_x 、 F_y のデータに合わせた (比例する) 軌道補正量を計算し、軌道計算部 3 3 2 で計算した軌道に加えることで、軌道を補正する。即ち、軌道補正計算部 3 3 5 は、嵌合作業中、力 F_x 、 F_y が小さくなるように (0 に近づくように) ロボットハンド 2 0 2 を X_1 軸、 Y_1 軸の方向に移動するよう、ロボットアーム 2 0 1 の軌道を補正する (第 2 力制御処理、第 2 力

50

制御工程)。

【0045】

位置出力部333は、補正された軌道データ(補正された角度指令値)をモータ制御器213に通知する。これにより、モータ制御器213は、補正された軌道データに基づいてモータ211の回転を制御する。このように、CPU301は、力制御による軌道補正の制御を実施する。

【0046】

一方、到達位置判定部337は、ロボット動作プログラム320に記載された力目標値(閾値)と到達位置判定フィルタ部338を通して取得した力Fzのデータとを比較する。そして、到達位置判定部337は、力Fzが力目標値(閾値)を上回ったタイミングで位置出力部333にロボットハンド202がZ₁軸の方向に移動するのを停止させる停止指令を通知する。即ち、到達位置判定部337は、嵌合作業中、力Fzに対して閾値判定を行い、力Fzが閾値を上回ったときにロボットハンド202のZ₁軸の方向の移動が停止するようにロボットアーム201の動作を制御する(第1力制御処理, 第1力制御工程)。

10

【0047】

第1実施形態では、到達位置判定部337は、ロボットハンド202のX₁軸の方向及びY₁軸の方向の移動も停止するよう停止指令を通知する。つまり、第1実施形態では、停止指令はロボットアーム201の動作を停止させる指令である。

【0048】

位置出力部333は、停止指令を受信したタイミングで各モータ制御器213へ停止するよう通知し、各モータ制御器213はモータ211を停止させる。このように、CPU301は、力制御による到達位置検知の制御を実施する。

20

【0049】

ここで、位置出力部333から停止指令をモータ制御器213が受信した際、モータ211を即停止させず、モータ制御器213が各モータ211を減速させて停止しても良い。また、位置出力部333で到達位置判定部337から停止指令を受信した際に、軌道計算部332を通して減速軌道を計算し、算出された軌道をモータ制御器213に通知して、停止させても良い。

【0050】

次に、ロボットコントローラ300によるロボットハンド202が嵌合物W₁を把持し、嵌合物W₁を被嵌合物W₂の穴H₂に嵌合させる嵌合作業を行う場合の力制御について、具体的に説明する。図4は、嵌合物W₁と被嵌合物W₂との嵌合作業を行っている状態を示す説明図である。

30

【0051】

図4に示すように、被嵌合物W₂の穴H₂は、凹み穴であり、底部B₂が形成されている。穴H₂の開口端には、嵌合物W₁を誘い込むための面取り部C₂が形成されている。なお、面取り部は、嵌合物W₁及び被嵌合物W₂のうち少なくとも一方に形成されていればよく、嵌合物W₁に面取り部が形成されていても、嵌合物W₁と被嵌合物W₂の両方に面取り部が形成されていてもよい。

40

【0052】

嵌合物W₁と被嵌合物W₂はそれぞれ、不図示の供給装置により供給され、取得位置に供給された嵌合物W₁をロボットハンド202で把持し、被嵌合物W₂は組付け位置に供給される。

【0053】

このような供給方法をとると、ロボットハンド202に対する嵌合物W₁の位置ズレや、被嵌合物W₂の組み付け位置に対する位置ズレにより、被嵌合物W₂に対する嵌合物W₁の相対的な位置ズレが生じることがある。また、嵌合物W₁及び被嵌合物W₂は製作時の公差分バラつきが生じている。

【0054】

50

上記の要因から被嵌合物 W_2 に対する嵌合物 W_1 の組付け方向（図4に示す Z_1 軸の方向）と組付け方向に鉛直な面方向（図4に示す X_1 、 Y_1 軸の方向）それぞれの相対位置ズレが生じる。位置制御だけで嵌合作業を行うと、被嵌合物 W_2 の穴 H_2 に嵌合物 W_1 が嵌合されない場合がある。

【0055】

そのため、第1実施形態では、穴 H_2 の中心軸に対する嵌合物 W_1 の中心軸の、 X_1 、 Y_1 軸の方向の相対的なズレ X 、 Y を補正する軌道補正の制御と、 Z_1 軸の方向の到達位置検知の制御の2つの力制御を同時に行う。

【0056】

ここで、デジタルフィルタを介した力検出の感度は、デジタルフィルタのカットオフ周波数で決まる。即ち、カットオフ周波数を高い周波数にするほど、感度が高くなり、逆にカットオフ周波数を低い周波数にするほど、感度が低くなる。

【0057】

到達位置検知の制御を実施する際に、仮に接触したことを検知する感度が低い場合、嵌合物 W_1 を底部 B_2 に押し付け続けることとなり、ロボットハンド202と力検出器203、即ちロボット200に過負荷がかかった状態を維持し続けることとなる。

【0058】

そこで、第1実施形態では、到達位置検知の制御に使用する到達位置判定フィルタ部338におけるローパスフィルタのカットオフ周波数 F_{c2} を、カットオフ周波数 F_{c1} よりも高い周波数に設定し、急峻な力の変化を検知できるような設定とする。

【0059】

また、嵌合物 W_1 と被嵌合物 W_2 の穴 H_2 との X_1 、 Y_1 軸の方向のズレを補正するための軌道補正の制御では、相対位置ズレの影響で、嵌合物 W_1 の下端が面取り部 C_2 に接触することで、 X_1 、 Y_1 軸の方向に力 F_x 、 F_y が発生する。その発生した力 F_x 、 F_y を力検出器203で検出し、軌道補正計算部335は、軌道補正の制御を実施する。

【0060】

ここで、力検出器203はロボット200に設置されているため、面取り部 C_2 に接触して発生した力以外もロボット200（ロボットアーム201）の振動によるノイズが同時に検出される。そのため、軌道補正フィルタ部336で使用するローパスフィルタのカットオフ周波数 F_{c1} をカットオフ周波数 F_{c2} よりも低い周波数に設定し、力の急峻な変化を無視するような設定とする。

【0061】

例えば、カットオフ周波数 F_{c1} を20Hzに設定し、カットオフ周波数 F_{c2} を100Hzに設定する。これらカットオフ周波数 F_{c1} 、 F_{c2} は、実験を行って決定すればよい。

【0062】

以上、第1実施形態によれば、軌道補正フィルタ部336に使用する第2ローパスフィルタと、到達位置判定フィルタ部338に使用する第1ローパスフィルタとを別々に設定している。そして、第1ローパスフィルタのカットオフ周波数 F_{c2} を第2ローパスフィルタのカットオフ周波数 F_{c1} よりも高い周波数に設定している。

【0063】

これにより、軌道補正の制御では、軌道補正フィルタ部336によって、力検出器203により検出された力 F_x 、 F_y において周波数 F_{c1} 以上の高周波のノイズがカットされる。したがって、安定した軌道補正を実施することができる。

【0064】

また、到達位置検知の制御では、軌道補正フィルタ部336により、力検出器203により検出された力 F_z において、周波数 F_{c2} 以上の周波数のノイズはカットされ、周波数 $F_{c1} \sim F_{c2}$ の周波数成分については、カットされずに残っている。よって、軌道補正フィルタ部336に用いるフィルタよりも感度良く力を検出することができる。これにより、 Z_1 軸方向の到達位置に達した時に発生する力 F_z を感度よく検知することが可能

10

20

30

40

50

になる。

【 0 0 6 5 】

このように、感度の高い到達位置検知の制御と安定した軌道補正の制御とが同時に実施されるので、嵌合物 W_1 と被嵌合物 W_2 との安定した嵌合作業を実現することが可能になる。

【 0 0 6 6 】

[第 2 実施形態]

次に、本発明の第 2 実施形態に係るロボット装置によるロボット制御について説明する。図 5 は、本発明の第 2 実施形態に係るロボット装置を示す模式図である。なお、第 2 実施形態のロボット装置は、上記第 1 実施形態のロボット装置と同様の構成であるため、同一符号を付して説明を省略する。第 2 実施形態では、嵌合を行う嵌合物及び被嵌合物の形状が上記第 1 実施形態と異なる。なお、ロボットハンド 202 は、ロボットアーム 201 の先端リンクが関節 J₆ で回転することにより Z₁ 軸を中心に回転する。

10

【 0 0 6 7 】

嵌合物 W_{10} は、円柱状の円柱部 W_{11} と、円柱部 W_{11} の中心軸の延びる方向の先端部と後端部との間の中間部における外周面に突設された突起部であるボス W_{12} と、を有している。被嵌合物 W_{20} には、穴 H_{20} が形成されている。穴 H_{20} は、円柱部 W_{11} が嵌合する円柱状の円柱穴 H_{21} と、円柱穴 H_{21} に繋がり、ボス W_{12} が嵌合する溝であるボス穴 H_{22} と、を有している。

【 0 0 6 8 】

20

第 2 実施形態では、ロボットハンド 202 が把持する把持物が、嵌合物 W_{10} であり、対象物が被嵌合物 W_{20} である。第 2 実施形態では、嵌合作業として、円柱部 W_{11} を円柱穴 H_{21} に嵌合させ、かつボス W_{12} をボス穴 H_{22} に嵌合させる作業を行う。

【 0 0 6 9 】

以下、嵌合物 W_{10} の回転し押し付けながらボス W_{12} をボス穴 H_{22} に嵌合させる動作について説明する。

【 0 0 7 0 】

CPU301 は、ロボットハンド 202 によってボス W_{12} を有した嵌合物 W_{10} を把持させ、ロボットハンド 202 が把持している嵌合物 W_{10} を被嵌合物 W_{20} に設けられた穴 H_{20} に嵌合する嵌合作業を行う。この嵌合作業はボス W_{12} をボス穴 H_{22} に嵌合することで完了する。

30

【 0 0 7 1 】

円柱穴 H_{21} は上記第 1 実施形態の穴 H_2 と同様の凹み穴であり、円柱穴 H_{21} の開口端に、円柱部 W_{11} の先端部を誘い込むための面取り部が形成されている。なお、面取り部は、円柱部 W_{11} 及び円柱穴 H_{21} のうち少なくとも一方に形成されていればよく、円柱部 W_{11} に面取り部が形成されていても、円柱部 W_{11} と円柱穴 H_{21} の両方に面取り部が形成されていてもよい。

【 0 0 7 2 】

また、嵌合物 W_{10} 及び被嵌合物 W_{20} は、上記第 1 実施形態と同様の方法で供給される。また、嵌合物 W_{10} 及び被嵌合物 W_{20} の公差、嵌合物 W_{10} の把持位置、被嵌合物 W_{20} の設置位置の影響で、被嵌合物 W_{20} に対して嵌合物 W_{10} に相対位置のズレが生じる。このため、第 2 実施形態においても、到達位置検知の制御と軌道補正の制御の 2 つの力制御で嵌合作業を行う。

40

【 0 0 7 3 】

ここで、ボス W_{12} は、円柱部 W_{11} の先端部（下端部）より一定距離上方に離れた場所に取り付けられている。

【 0 0 7 4 】

図 6 は、本発明の第 2 実施形態における嵌合物 W_{10} と被嵌合物 W_{20} との嵌合作業を説明するための説明図である。図 6 (a) は、嵌合作業の途中状態を示し、図 6 (b) は、嵌合作業の終了状態を示している。

50

【0075】

CPU301は、図6(a)に示すように、円柱部 W_{11} の先端部を穴 H_{20} の円柱穴 H_{21} に嵌合する工程を実施した後、図6(b)に示すように、ボス W_{12} をボス穴 H_{22} に嵌合するために位相を合わせて嵌合する2つの工程を実施する。

【0076】

まず、図6(a)に示す円柱部 W_{11} の先端部を穴 H_{20} に嵌合する処理は、上記第1実施形態に記載の内容とほぼ同様の方法で嵌合作業を行うため、詳細な説明は省略する。上記第1実施形態と異なる点として、第2実施形態では、CPU301は、到達位置検知の制御により、ボス W_{12} を被嵌合物 W_{20} 上面に接触させたとき、ロボットアーム201の動作を停止させる点である。即ち、到達位置判定部337は、嵌合作業中、円柱部 W_{11} の先端部を円柱穴 H_{21} に嵌合させて、力 F_z が閾値を上回ったとき、嵌合物 W_{10} の Z_1 軸の方向の移動を停止させる。

10

【0077】

次に、CPU301は、ボス W_{12} をボス穴 H_{22} に嵌合させる際に、図6(b)に示すように、ロボットハンド202で把持している嵌合物 W_{10} の円柱部 W_{11} の先端部を円柱穴 H_{21} に嵌合させている状態で、嵌合物 W_{10} を Z_1 軸まわりに回転させる。

【0078】

即ち、CPU301は、嵌合作業中、円柱部 W_{11} の先端部を円柱穴 H_{21} に嵌合させて第1力制御処理にて嵌合物 W_{10} の Z_1 軸方向の移動を停止させたとき、力 F_z が閾値を下回るまで、嵌合物 W_{10} を、 Z_1 軸を中心に回転させる。具体的には、ロボットハンド202をロボットアーム201に対して Z_1 軸を中心に回転させる。

20

【0079】

ボス W_{12} がボス穴 H_{22} に到達すると、ボス穴 H_{22} に到達したタイミングで Z_1 軸方向の力 F_z が抜け、力 F_z が閾値を下回る。その力 F_z を到達位置検知の力制御で検知することで、ボス W_{12} をボス穴 H_{22} に嵌合するための位相が検知可能になる。

【0080】

ここで、ボス穴 H_{22} の位相を検知する際、仮に到達位置検知の感度が低いと、組付け位相に到達しても閾値を下回る力を検知せずに通過ぎてしまい、ボス穴 H_{22} の位相を検知することができなくなるおそれがある。そのため、上記第1実施形態と同様、到達位置検知に使用する到達位置判定フィルタ部338で使用するフィルタのカットオフ周波数 F_{c2} をカットオフ周波数 F_{c1} よりも大きく設定し、急峻な力の変化を検知できるように設定とする。その後、検知した位相で嵌合物 W_{10} を Z_1 軸の方向に押し込んで、再度、閾値判定を行うことにより、嵌合物 W_{10} を穴 H_{20} に嵌合する嵌合作業が完了する。

30

【0081】

ここで、嵌合物 W_{10} を回転させる際、嵌合物 W_{10} を回転させる回転軸と穴 H_{20} の回転軸にズレが生じている場合、回転中に X_1 、 Y_1 軸の方向の力 F_x 、 F_y が生じることがある。

【0082】

よって、第2実施形態では、ロボットハンド202と力検出器203、即ちロボット200に過負荷がかかるのを回避するため、嵌合物 W_{10} を回転させるのと同時に、回転軸のズレを補正するための軌道補正の制御を実施する。

40

【0083】

この軌道補正の制御では、回転時のロボット200の振動によるノイズを検出し、嵌合物 W_{10} と穴 H_{20} が接触することによって発生する力以外の力も同時に検出する。そのため、上記第1実施形態と同様、軌道補正フィルタ部336で使用するフィルタのカットオフ周波数 F_{c1} を小さくし、力の急峻な変化を無視するような設定とする。

【0084】

以上の如くカットオフ周波数 F_{c1} 、 F_{c2} を設定することで、感度の高い到達位置検知によりボス W_{12} を組付ける位相を検知すると同時に、嵌合物 W_{10} と穴 H_{20} との相対位置ズレにより発生する回転軸のズレを吸収した嵌合作業を実現できる。

50

【 0 0 8 5 】

なお、本発明は、以上説明した実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で多くの変形が可能である。

【 0 0 8 6 】

上記第2実施形態では、力 F_z を検知して到達位置検知を実施したが、力 F_z だけでなく、力 F_z の時間変化量を使用して、到達位置検知を実施しても良い。また、上記第2実施形態で使用した到達位置検知では、挿入方向の力 F_z をモニタリングして検知していたが、Z軸まわりの回転方向の力成分を利用して、到達位置検知を実施してもよい。

【 0 0 8 7 】

上記第1, 第2実施形態では、ロボットハンドが嵌合物を把持して嵌合物と被嵌合物との嵌合作業を行う場合について説明したが、これに限定するものではない。ロボットハンドが被嵌合物を把持して嵌合作業を行う場合であっても本発明は適用可能である。

【 0 0 8 8 】

上記実施形態の各処理動作は具体的にはCPU301により実行されるものである。従って上述した機能を実現するプログラムを記録した記録媒体をロボットコントローラに供給し、ロボットコントローラを構成するコンピュータが記録媒体に格納されたプログラムを読み出し実行することによって達成されるようにしてもよい。この場合、記録媒体から読み出されたプログラム自体が上述した実施形態の機能を実現することになり、プログラム自体及びそのプログラムを記録した記録媒体は本発明を構成することになる。

【 0 0 8 9 】

また、上記実施形態では、コンピュータ読み取り可能な記録媒体がHDD304であり、HDD304にプログラム321が格納される場合について説明したが、これに限定するものではない。プログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体であれば、いかなる記録媒体に記録されていてもよい。例えば、プログラムを供給するための記録媒体としては、図3に示すROM302、記録ディスク322、外部記憶装置800等を用いてもよい。具体例を挙げて説明すると、記録媒体として、フレキシブルディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、磁気テープ、書き換え可能な不揮発性のメモリ（例えばUSBメモリ）、ROM等を用いることができる。

【 0 0 9 0 】

また、上記実施形態におけるプログラムを、ネットワークを介してダウンロードしてコンピュータにより実行するようにしてもよい。

【 0 0 9 1 】

また、コンピュータが読み出したプログラムコードを実行することにより、上記実施形態の機能が実現されるだけに限定するものではない。そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼働しているOS（オペレーティングシステム）等が実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される場合も含まれる。

【 0 0 9 2 】

さらに、記録媒体から読み出されたプログラムコードが、コンピュータに挿入された機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書き込まれてもよい。そのプログラムコードの指示に基づき、その機能拡張ボードや機能拡張ユニットに備わるCPU等が実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって上記実施形態の機能が実現される場合も含まれる。

【 0 0 9 3 】

また、上記実施形態では、コンピュータがHDD等の記録媒体に記録されたプログラムを実行することにより、処理を行う場合について説明したが、これに限定するものではない。プログラムに基づいて動作する演算部の一部又は全部の機能をASICやFPGA等の専用LSIで構成してもよい。なお、ASICはApplication Specific Integrated Circuit、FPGAはField-Programmable Gate Arrayの頭字語である。

【 符号の説明 】

10

20

30

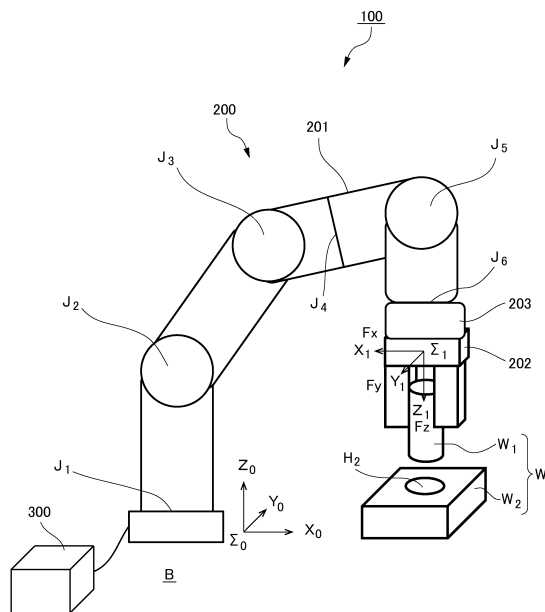
40

50

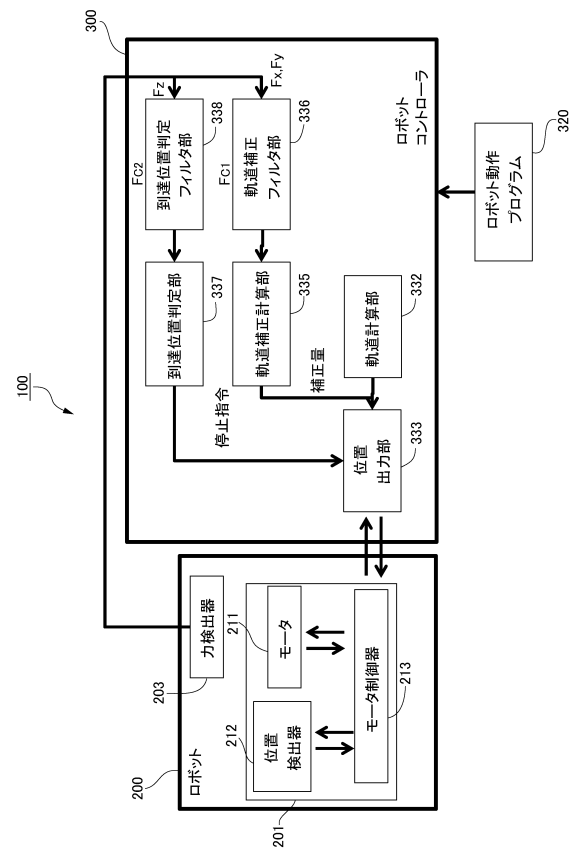
【 0 0 9 4 】

1 0 0 ... ロボット装置、2 0 1 ... ロボットアーム、2 0 2 ... ロボットハンド、2 0 3 ... 力検出器、3 0 1 ... CPU (制御部)、 F_{C1} ... カットオフ周波数 (第2カットオフ周波数)、 F_{C2} ... カットオフ周波数 (第1カットオフ周波数)

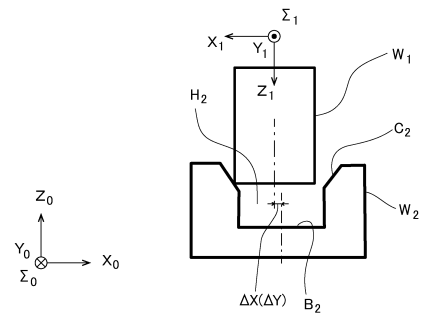
【 図 1 】



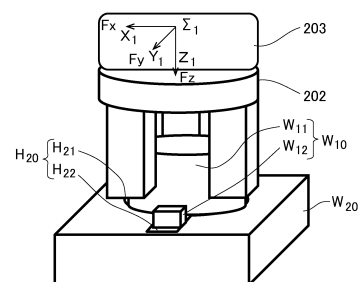
【 図 2 】



【 図 4 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-058218(JP,A)
特開平06-031664(JP,A)
特開2010-099784(JP,A)
特開2014-000646(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B25J 1/00 - 21/02
B23P 19/00 - 21/00