

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6584102号  
(P6584102)

(45) 発行日 令和1年10月2日 (2019. 10. 2)

(24) 登録日 令和1年9月13日 (2019. 9. 13)

(51) Int. Cl.	F 1
<b>B 2 5 J 9/18 (2006. 01)</b>	B 2 5 J 9/18
<b>B 2 5 J 9/10 (2006. 01)</b>	B 2 5 J 9/10 A
<b>B 2 5 J 13/00 (2006. 01)</b>	B 2 5 J 13/00 Z

請求項の数 18 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2015-50260 (P2015-50260)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成27年3月13日 (2015. 3. 13)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2016-168650 (P2016-168650A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成28年9月23日 (2016. 9. 23)	(74) 代理人	100082337
審査請求日	平成30年3月9日 (2018. 3. 9)		弁理士 近島 一夫
		(74) 代理人	100141508
			弁理士 大田 隆史
		(72) 発明者	川口 洋平
			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	藤井 浩介

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、記録媒体、及び物品の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

関節を有し、先端にエンドエフェクタが取り付けられたロボットと、  
 前記ロボットの動作を制御する制御装置と、を備えたロボット装置であって、  
 前記関節は、モータと、前記モータの回転を減速する減速機と、前記モータの回転角度を検出する第1角度検出部と、前記減速機の出力軸の回転角度を検出する第2角度検出部と、を有し、

前記制御装置は、

前記第1角度検出部の角度検出結果を用いて、所定作業を行う作業開始位置に前記エンドエフェクタが移動するよう前記ロボットの動作を制御する移動制御モードと、  
 前記第1角度検出部の角度検出結果を用いて、前記所定作業の最中に、前記エンドエフェクタに作用する力のうち、所定方向の力成分が小さくなるように前記ロボットの動作を制御するコンプライアンス制御モードと、を実行可能であり、

前記第1角度検出部の角度検出結果及び前記第2角度検出部の角度検出結果を用いて、前記関節に作用するトルクを算出し、前記関節のトルクの算出結果を用いて、前記エンドエフェクタに作用する力を算出することを特徴とするロボット装置。

【請求項 2】

前記制御装置は、前記コンプライアンス制御モードにおいて、前記所定作業を開始する前に算出した力のうち前記所定方向の力成分と、前記所定作業の最中に算出した力のうち前記所定方向の力成分との差が小さくなるように前記ロボットの動作を制御することを特

10

20

徴とする請求項 1 に記載のロボット装置。

【請求項 3】

前記制御装置は、前記第 1 角度検出部の角度検出結果を前記減速機の減速比で前記関節の角度に換算した結果と、前記第 2 角度検出部の角度検出結果との差分、及び前記減速機のねじり剛性から、前記関節に作用するトルクを算出することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のロボット装置。

【請求項 4】

前記制御装置は、前記関節のトルクの算出結果及び前記ロボットのリンクパラメータから、前記エンドエフェクタに作用する力を算出することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のロボット装置。

10

【請求項 5】

前記エンドエフェクタは、複数のフィンガーを有するロボットハンドであり、

前記所定作業は、前記ロボットハンドに把持させたワークを別のワークに嵌合させる嵌合作業、又は前記ロボットハンドに把持させたワークを別のワークから抜き取る抜き取り作業であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のロボット装置。

【請求項 6】

前記ロボットは、複数の関節を有し、前記複数の関節は各々、前記モータと、前記減速機と、前記第 1 角度検出部と、前記第 2 角度検出部と、を有し、

前記制御装置は、前記複数の関節にそれぞれ作用するトルクを算出し、これらトルクの算出結果を合成して、前記エンドエフェクタに作用する力を算出することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のロボット装置。

20

【請求項 7】

前記制御装置は、

前記モータの回転位置が入力を受けた位置指令に近づくように前記モータに電流を供給して前記ロボットの関節角度を制御する複数の関節制御部と、

前記各関節制御部に位置指令を出力するメイン制御部と、を有することを特徴とする請求項 6 に記載のロボット装置。

【請求項 8】

前記各関節制御部は、前記各関節に作用するトルクを算出して、トルクの算出結果を前記メイン制御部に出力し、

30

前記メイン制御部は、予め設定された教示点に基づいて位置指令を生成し、

前記移動制御モードでは、前記各関節制御部に前記教示点に基づく位置指令を出力し、

前記コンプライアンス制御モードでは、前記各関節制御部から入力を受けたトルクの算出結果を用いて前記エンドエフェクタに作用する力を算出し、算出した力のうち前記所定方向の力成分が小さくなるように前記教示点に基づく位置指令を補正して、前記各関節制御部に補正した位置指令を出力することを特徴とする請求項 7 に記載のロボット装置。

【請求項 9】

前記第 1 角度検出部及び前記第 2 角度検出部は、エンコーダであることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のロボット装置。

【請求項 10】

40

関節を有するロボットの前記関節が、モータと、前記モータの回転を減速する減速機と、前記モータの回転角度を検出する第 1 角度検出部と、前記減速機の出力軸の回転角度を検出する第 2 角度検出部と、を有しており、制御装置が前記ロボットの動作を制御するロボット制御方法であって、

前記制御装置が、前記第 1 角度検出部の角度検出結果を用いて、前記ロボットの先端に取り付けられたエンドエフェクタが所定作業を行う作業開始位置に移動するよう前記ロボットを制御する移動制御工程と、

前記制御装置が、前記第 1 角度検出部の角度検出結果及び前記第 2 角度検出部の角度検出結果を用いて、前記関節に作用するトルクを算出するトルク算出工程と、

前記制御装置が、前記関節のトルクの算出結果を用いて、前記エンドエフェクタに作用

50

する力を算出する力算出工程と、

前記制御装置が、前記所定作業の最中に、前記エンドエフェクタに作用する力のうち、所定方向の力成分が小さくなるように、前記第 1 角度検出部の角度検出結果を用いて、前記ロボットの動作を制御するコンプライアンス制御工程と、を備えたことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 1 1】

前記コンプライアンス制御工程では、前記制御装置が、前記所定作業を開始する前に算出した力のうち前記所定方向の力成分と、前記所定作業の最中に算出した力のうち前記所定方向の力成分との差が小さくなるように前記ロボットの動作を制御することを特徴とする請求項 1 0 に記載のロボット制御方法。

10

【請求項 1 2】

前記トルク算出工程では、前記制御装置が、前記第 1 角度検出部の角度検出結果を前記減速機の減速比で前記関節の角度に換算した結果と、前記第 2 角度検出部の角度検出結果との差分、及び前記減速機のねじり剛性から、前記関節に作用するトルクを算出することを特徴とする請求項 1 0 又は 1 1 に記載のロボット制御方法。

【請求項 1 3】

前記力算出工程では、前記制御装置が、前記関節のトルクの算出結果及び前記ロボットのリンクパラメータから、前記エンドエフェクタに作用する力を算出することを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 2 のいずれか 1 項に記載のロボット制御方法。

【請求項 1 4】

20

前記ロボットは、複数の関節を有し、前記複数の関節は各々、前記モータと、前記減速機と、前記第 1 角度検出部と、前記第 2 角度検出部と、を有し、

前記トルク算出工程では、前記制御装置が、前記複数の関節にそれぞれ作用するトルクを算出し、

前記力算出工程では、前記制御装置が、前記トルク算出工程にて算出した複数のトルクの算出結果を合成して、前記エンドエフェクタに作用する力を算出することを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載のロボット制御方法。

【請求項 1 5】

前記第 1 角度検出部及び前記第 2 角度検出部は、エンコーダであることを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載のロボット制御方法。

30

【請求項 1 6】

コンピュータに、請求項 1 0 乃至 1 5 のいずれか 1 項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 1 7】

請求項 1 6 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。

【請求項 1 8】

請求項 1 0 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載のロボット制御方法により前記ロボットを制御し、第 1 ワークを第 2 ワークに組み付けて物品を製造する物品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0 0 0 1】

本発明は、作業時にロボットハンド等のエンドエフェクタに発生する外力に対して柔軟にするロボット装置、ロボット制御方法、プログラム、記録媒体、及び物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

ロボット装置を用いて、部品同士の接触を伴う部品組立の作業、例えば嵌合部品を被嵌合部品に嵌合する嵌合作業を実施する場合、ロボットアームに配置した力センサを利用してコンプライアンス制御を行うのが一般的である。

【0 0 0 3】

50

コンプライアンス制御は、嵌合部品を把持したロボットハンドが受ける力（力及び力のモーメントを含む）に対し、ロボットアームに仮想的なばね性や粘性を持たせ、作業時に発生する反力に対して柔軟にロボットアームを動作させる制御である。コンプライアンス制御によって、ロボットアームの位置決め誤差や被嵌合部品の位置誤差、ロボットハンドの把持繰り返し性等を補正した嵌合作業が実施できる。

【0004】

しかし、ロボットアームに力センサを設ける場合、力センサの機械的強度が、ロボットアームの機械的強度に比べて低いため、力センサの許容荷重以上の力が必要な組み立て作業はロボット装置で実現できないという問題があった。

【0005】

上記の問題に対し、特許文献1では、ロボットアームに力センサを設けずに、コンプライアンス制御を実現する方法を提案している。その方法は、コンプライアンス制御したい方向を定め、その方向に対する指令位置を逐次、ロボットアームの各関節軸を駆動するモータのエンコーダの現在位置に更新することで、指定方向に対する剛性を低下させるものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許第2619227号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

一般に、ロボットアームは、高速低トルクのモータの出力を減速機で低速高トルクに変換して関節を駆動する関節駆動装置を備えている。この種の減速機は、減速機自体の撓み変形により、入力軸と出力軸との間でねじれが生じる。

【0008】

しかし、特許文献1は、減速機を有するロボットアームを対象にコンプライアンス制御を行うものではない。即ち、特許文献1では、モータのエンコーダの情報のみでコンプライアンス制御を行っており、減速機の入力軸と出力軸の間で生じるねじれ角は考慮されていない。よって、減速機を有するロボットアームに特許文献1のコンプライアンス制御を適用した場合、減速機のねじれ角の分の誤差が生じ、コンプライアンス制御の精度が低いものであった。

【0009】

また、エンドエフェクタに外力が作用した際にエンドエフェクタの変位量を大きくするためには、サーボ制御における位置や速度のゲインを小さくする必要があり、応答速度が制限される場合があった。

【0010】

そこで、本発明は、力センサを用いずに、精度よくかつ応答が速いコンプライアンス制御を実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明のロボット装置は、関節を有し、先端にエンドエフェクタが取り付けられたロボットと、前記ロボットの動作を制御する制御装置と、を備えたロボット装置であって、前記関節は、モータと、前記モータの回転を減速する減速機と、前記モータの回転角度を検出する第1検出部と、前記減速機の出力軸の回転角度を検出する第2角度検出部と、を有し、前記制御装置は、前記第1角度検出部の角度検出結果を用いて、所定作業を行う作業開始位置に前記エンドエフェクタが移動するよう前記ロボットの動作を制御する移動制御モードと、前記第1角度検出部の角度検出結果を用いて、前記所定作業の最中に、前記エンドエフェクタに作用する力のうち、所定方向の力成分が小さくなるように前記ロボットの動作を制御するコンプライアンス制御モードと、を実行可能であり、前記第1角度検出

10

20

30

40

50

部の角度検出結果及び前記第２角度検出部の角度検出結果を用いて、前記関節に作用するトルクを算出し、前記関節のトルクの算出結果を用いて、前記エンドエフェクタに作用する力を算出することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１２】

本発明によれば、力センサを用いずに、精度よくかつ応答が速いコンプライアンス制御を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】第１実施形態に係るロボット装置を示す斜視図である。

10

【図２】ロボット装置のロボットアームの関節を示す部分断面図である。

【図３】ロボット装置の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図４】ロボット装置の要部構成を示した機能ブロック図である。

【図５】第１実施形態に係るロボット制御方法を示すフローチャートである。

【図６】第２実施形態に係るロボット制御方法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】

【００１４】

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。

【００１５】

〔第１実施形態〕

20

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斜視図である。ロボット装置１００は、ロボット２００と、ロボット２００の動作を制御する制御装置３００と、ユーザの操作によりロボット２００の動作を教示する教示部としてのティーチングペンダント４００と、を備えている。

【００１６】

ロボット２００は、垂直多関節型のロボットアーム２０１と、ロボットアーム２０１の先端に取り付けられた、エンドエフェクタとしてのロボットハンド２０２と、を有している。

【００１７】

ロボットアーム２０１は、作業台に固定されるベース部（基端リンク）２１０と、変位や力を伝達する複数のリンク２１１～２１６とが関節Ｊ１～Ｊ６で屈曲（旋回）又は回転可能に連結されている。第１実施形態では、ロボットアーム２０１は、屈曲する３軸と回転する３軸の６軸の関節Ｊ１～Ｊ６で構成されている。ここで、屈曲とは２つのリンクの結合部のある点で折れ曲がること、回転とは２つのリンクの長手方向の回転軸でリンクが相対的に回ることをいい、それぞれを屈曲部、回転部と呼ぶ。ロボットアーム２０１は、６つの関節Ｊ１～Ｊ６から構成され、関節Ｊ１、Ｊ４、Ｊ６が回転部、関節Ｊ２、Ｊ３、Ｊ５が屈曲部である。

30

【００１８】

ロボットハンド２０２は、複数のフィンガー２２０を有し、リンク（先端リンク）２１６に取り付けられている。複数のフィンガー２２０を開動作させることにより、第１ワークであるワークＷ１を把持することができ、複数のフィンガー２２０を開動作させることにより、ワークＷ１を把持解放することができる。ロボットハンド２０２は、複数のフィンガー２２０を用いてワークＷ１を把持することにより、第１ワークであるワーク（嵌合部品）Ｗ１を第２ワークであるワーク（被嵌合部品）Ｗ２に嵌合する嵌合作業を行うことができる。

40

【００１９】

ロボットアーム２０１は、各関節Ｊ１～Ｊ６に対して設けられ、各関節Ｊ１～Ｊ６をそれぞれ駆動するための複数の（６つ）の関節駆動装置２３０を有している。なお、図１では、関節駆動装置２３０は、便宜上、関節Ｊ２にのみ図示しているが、他の関節Ｊ１、Ｊ３～Ｊ６において図示を省略しているが、他の関節Ｊ１、Ｊ３～Ｊ６にも、同様の構成の関

50

節駆動装置 230 が配置されている。

【0020】

図2は、ロボットアーム201の関節J2を示す部分断面図である。以下、関節J2を例に代表して説明し、他の関節J1, J3~J6については、同様の構成であるため、説明を省略する。

【0021】

関節駆動装置230は、電動モータである回転モータ(以下、「モータ」という)231と、モータ231の回転軸232の回転を減速する減速機233と、を有している。関節J2は、モータ231の回転軸232(減速機233の入力軸)の回転角度を検出する第1角度検出部であるエンコーダ(入力軸エンコーダ)235を有する。また、関節J2は、リンク121に対するリンク122の角度(減速機233の出力軸の回転角度)を検出する第2角度検出部であるエンコーダ(出力軸エンコーダ)236を有している。即ち、エンコーダ236は、関節J2の角度(関節角度)を検出する。モータ231は、サーボモータであり、例えばブラシレスDCサーボモータやACサーボモータである。

【0022】

エンコーダ235は、アブソリュート型のロータリーエンコーダが望ましく、1回転の絶対角度エンコーダ、絶対角度エンコーダの回転総数のカウンタ、及びカウンタに電力を供給するバックアップ電池を有して構成される。ロボットアーム201への電源の供給がオフになっても、このバックアップ電池が有効であれば、ロボットアーム201への電源供給のオン/オフに関係なく、カウンタにおいて回転総数が保持される。したがって、ロボットアーム201の姿勢が制御可能となる。なお、エンコーダ235は、回転軸232に取り付けられているが、減速機233の入力軸に取り付けてもよい。

【0023】

エンコーダ236は、隣り合う2つのリンク間の相対角度を検出するロータリーエンコーダである。関節J2においては、エンコーダ236は、リンク211とリンク212との間の相対角度を検出するロータリーエンコーダである。エンコーダ236は、リンク211にエンコーダスケールを設け、リンク212に検出ヘッドを設けた構成、或いは逆の構成となる。

【0024】

また、リンク211とリンク212とは、クロスローラベアリング237を介して回転自在に結合されている。モータ231は、モータカバー238で覆われて保護されている。モータ231とエンコーダ235の間には、不図示のブレーキユニットが設けられている。ブレーキユニットの主な機能は、電源オフ時のロボットアーム201の姿勢の保持である。

【0025】

減速機233は、第1実施形態では、小型軽量で減速比の大きい波動歯車減速機である。減速機233は、モータ231の回転軸232に結合された、入力軸であるウェブジェネレータ241と、リンク212に固定された、出力軸であるサーキュラスプライン242と、を備えている。なお、サーキュラスプライン242は、リンク212に直結されているが、リンク212に一体に形成されていてもよい。

【0026】

また、減速機233は、ウェブジェネレータ241とサーキュラスプライン242との間に配置され、リンク211に固定されたフレクスプライン243を備えている。フレクスプライン243は、ウェブジェネレータ241の回転に対して減速比Nで減速され、サーキュラスプライン242に対して相対的に回転する。従って、モータ231の回転軸232の回転は、減速機233で1/Nの減速比で減速されて、フレクスプライン243が固定されたリンク211に対してサーキュラスプライン242が固定されたリンク212を相対的に回転運動させ、関節J2を屈曲させる。

【0027】

図3は、ロボット装置100の制御装置300の構成を示すブロック図である。制御装

10

20

30

40

50

置 3 0 0 は、メイン制御部 3 3 0 と、複数（関節の数に対応した数：第 1 実施形態では 6 つ）の関節制御部 3 4 0 と、を有する。

【 0 0 2 8 】

メイン制御部 3 3 0 は、コンピュータで構成されており、演算部としての C P U（Central Processing Unit）3 0 1 を備えている。また、メイン制御部 3 3 0 は、記憶部として、R O M（Read Only Memory）3 0 2、R A M（Random Access Memory）3 0 3、H D D（Hard Disk Drive）3 0 4 を備えている。また、メイン制御部 3 3 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 3 を備えている。

【 0 0 2 9 】

C P U 3 0 1 には、R O M 3 0 2、R A M 3 0 3、H D D 3 0 4、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 3 が、バスを介して接続されている。R O M 3 0 2 には、B I O S 等の基本プログラムが格納されている。R A M 3 0 3 は、C P U 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。

10

【 0 0 3 0 】

H D D 3 0 4 は、C P U 3 0 1 の演算処理結果や外部から取得した各種データ等を記憶する記憶装置であると共に、C P U 3 0 1 に、後述する演算処理を実行させるためのプログラム 3 2 0 を記録するものである。C P U 3 0 1 は、H D D 3 0 4 に記録（格納）されたプログラム 3 2 0 に基づいてロボット制御方法の各工程を実行する。

【 0 0 3 1 】

記録ディスクドライブ 3 0 5 は、記録ディスク 3 2 1 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。なお、メイン制御部 3 3 0 には、書き換え可能な不揮発性メモリや外付け H D D 等の不図示の外部記憶装置が接続されていてもよい。

20

【 0 0 3 2 】

教示部であるティーチングペンダント 4 0 0 は、インタフェース 3 1 1 に接続されている。ティーチングペンダント 4 0 0 は、ユーザの入力操作により、ロボット 2 0 0 を教示する教示点、即ち各関節 J 1 ~ J 6 の目標関節角度（各関節 J 1 ~ J 6 のモータ 2 3 1 の目標回転位置）を指定するものである。教示点のデータは、インタフェース 3 1 1 及びバスを通じて H D D 3 0 4 に出力される。

【 0 0 3 3 】

H D D 3 0 4 は、ティーチングペンダント 4 0 0 により指定された教示点のデータを格納することができる。C P U 3 0 1 は、H D D 3 0 4 に設定（格納）された教示点のデータを読み出すことができる。

30

【 0 0 3 4 】

表示部である表示装置（モニタ）5 0 0 は、インタフェース 3 1 2 に接続されており、C P U 3 0 1 の制御の下、画像を表示する。

【 0 0 3 5 】

インタフェース 3 1 3 には、関節制御部 3 4 0 が接続されている。なお、第 1 実施形態では、ロボットアーム 2 0 1 が 6 つの関節 J 1 ~ J 6 を有しているので、制御装置 3 0 0 は、6 つの関節制御部 3 4 0 を有するが、図 3 では、関節制御部 3 4 0 が 1 つだけ図示し、残りの 5 つは図示を省略している。各関節制御部 3 4 0 は、制御装置 3 0 0 の筐体内に配置されている。なお、各関節制御部 3 4 0 の配置位置は、筐体内に限定するものではなく、例えばロボットアーム 2 0 1 に配置されていてもよい。

40

【 0 0 3 6 】

C P U 3 0 1 は、予め設定された教示点に基づき、ロボットアーム 2 0 1 の軌道を計算し、モータ 2 3 1 の回転軸 2 3 2 の目標回転位置（回転角度の制御量）を示す位置指令の信号を所定時間間隔で各関節制御部 3 4 0 に出力する。

【 0 0 3 7 】

関節制御部 3 4 0 は、C P U 3 5 1、記憶部としての E E P R O M 3 5 2 及び R A M 3 5 3、インタフェース 3 6 1、検出回路 3 6 2、3 6 3 並びにモータ駆動回路 3 6 5 を備えており、これらがバスを介して接続されて構成されている。

50

## 【0038】

CPU351は、プログラム370に従って演算処理を実行する。EEPROM352は、プログラム370を記憶する記憶装置である。RAM353は、CPU351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。

## 【0039】

メイン制御部330は、複数(6つ)のインタフェース313(図3では1つのみ図示)を有している。各インタフェース313と各関節制御部340のインタフェース361とがケーブル等で接続されており、メイン制御部330と各関節制御部340との間で信号の送受信を行うことができる。

## 【0040】

エンコーダ235は、検出回路362に接続され、エンコーダ236は、検出回路363に接続されている。エンコーダ235, 236からは、検出した角度検出値を示すパルス信号が出力される。

## 【0041】

検出回路362, 363は、エンコーダ235, 236からパルス信号を取得し、CPU351にて取得可能な信号に変換してCPU351に出力する。

## 【0042】

モータ駆動回路365は、例えば半導体スイッチング素子を有するモータドライバであり、入力した電流指令に応じて、パルス幅変調された3相交流のPWM波形の電圧をモータ231に出力することで、モータ231に電流を供給する。

## 【0043】

各関節制御部340のCPU351は、メイン制御部330のCPU301から入力を受けた位置指令にモータ231の回転位置(回転角度)が近づくようにモータ231への電流の出力量(電流指令)を演算し、電流指令をモータ駆動回路365に出力する。

## 【0044】

モータ駆動回路365は、入力を受けた電流指令に対応する電流をモータ231に供給する。そして、モータ231は、モータ駆動回路265から電力供給を受けて駆動トルクを発生し、減速機233の入力軸であるウェブジェネレータ241にトルクを伝達する。減速機233において、出力軸であるサーキュラスプライン242は、ウェブジェネレータ241の回転に対して1/Nの回転数で回転する。これにより、リンク212がリンク211に対して相対的に回転する。

## 【0045】

このように、各関節制御部340は、モータ231の回転位置がメイン制御部330から入力を受けた位置指令に近づくようにモータ231に電流を供給して各関節J1~J6の関節角度を制御する。

## 【0046】

なお、第1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, EEPROM352であり、HDD304, EEPROM352にプログラム320, 370が格納される場合について説明するが、これに限定するものではない。プログラム320, 370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320, 370を供給するための記録媒体としては、図3に示す記録ディスク321、不図示の外部記憶装置等を用いてもよい。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、不揮発性メモリ、ROM等を用いることができる。

## 【0047】

図4は、本発明の第1実施形態に係るロボット装置の要部構成を示した機能ブロック図である。制御装置300については、プログラム320に基づくCPU301の機能をブロック化して図示し、プログラム370に基づくCPU351の機能及びモータ駆動回路365の機能をブロック化して図示している。ロボット200については、ロボットアー

10

20

30

40

50



ム 201 の関節 J 1 をブロック化して図示している。

【0048】

制御装置 300 は、メイン制御部 330 及び各関節 J 1 ~ J 6 に対応する関節制御部 340 を有している。図 4 では、関節 J 1 と関節 J 1 に対応する関節制御部 340 のみ図示しており、図示は省略しているが、制御装置 300 は、他の関節 J 2 ~ J 6 それぞれに対応する関節制御部 340 を複数有している。

【0049】

メイン制御部 330 は、軌道計算部 331、位置判断部 332、制御切替部 333、力記憶部 334、力算出部 335、リンクパラメータ記憶部 336、補正量算出部 337 からなる。各関節制御部 340 は、モータ制御部 341、トルク算出部 342、減速機定数記憶部 343 からなる。

【0050】

メイン制御部 330 の CPU 301 は、プログラム 320 により軌道計算部 331、位置判断部 332、制御切替部 333、力算出部 335 及び補正量算出部 337 として機能する。力記憶部 334、リンクパラメータ記憶部 336 は、例えば HDD 304 である。

【0051】

また、各関節制御部 340 のモータ制御部 341 は、プログラム 370 により動作する CPU 351 及びモータ駆動回路 365 の機能である。トルク算出部 342 は、プログラム 370 により動作する CPU 351 の機能である。減速機定数記憶部 343 は、例えば EEPROM 352 である。

【0052】

まず、メイン制御部 330 の制御動作について説明する。軌道計算部 331 は、教示点のデータに基づいて、ロボットアーム 201 の動作（軌道）を計算する。教示点は、関節空間又はタスク空間上の点として、作業者が操作するティーチングペンダント 400 により設定される。

【0053】

ロボットアーム 201 の自由度を表すパラメータを関節角度として、ロボットアーム 201 の関節 J 1 ~ J 6 の関節角度をそれぞれ  $\theta_1 \sim \theta_6$  とする。ロボットアーム 201 のコンフィグレーションは  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6)$  で表され、関節空間上では、1つの点とみなすことができる。このように、ロボットアーム 201 の自由度を表すパラメータ（例えば、関節角度や伸縮長さ）を座標軸の値とした場合、ロボットアーム 201 のコンフィグレーションは関節空間上の点として表現することができる。つまり、関節空間は、ロボットアーム 201 の関節角度を座標軸とする空間である。

【0054】

また、ロボットハンド 202 には、ツールセンターポイント（TCP）が設定されている。TCP は、位置を表す 3 つのパラメータ  $(x, y, z)$  と、姿勢（回転）を表す 3 つのパラメータ  $(\alpha, \beta, \gamma)$ 、即ち 6 つのパラメータ  $(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$  で表され、タスク空間上では、1つの点としてみなすことができる。つまり、タスク空間は、これら 6 つの座標軸で規定された空間である。

【0055】

軌道計算部 331 は、設定された複数の教示点を繋ぐロボットアーム 201 の経路を所定の補間方法（例えば、直線補間や円弧補間、関節補間等）で生成する。そして、軌道計算部 331 は、生成したロボットアーム 201 の経路から、ロボットアーム 201 の軌道を生成する。

【0056】

ここで、ロボットアーム 201 の経路とは、関節空間又はタスク空間の点の順序集合である。ロボットアーム 201 の軌道とは、時間をパラメータとして経路を表したものであり、第 1 実施形態では、時刻毎の各関節 J 1 ~ J 6 のモータ 231 の位置指令の集合である。

【0057】

軌道データは、ロボットアーム 201 を動作させる前に予め計算して記憶部、例えば HDD 304 に記憶（設定）させておく。

【0058】

なお、軌道データの計算は、メイン制御部 330 の CPU 301 が行う場合について説明するが、不図示の他のコンピュータに行わせ、メイン制御部 330 の記憶部、例えば HDD 304 に予め記憶（設定）してもよい。

【0059】

位置判断部 332 は、HDD 304 から読み出した、教示点に基づくロボットアーム 201 の軌道のデータを用いて、ロボットアーム 201 の先端に取り付けられたロボットハンド 202 が所定作業の作業開始位置又は作業完了位置へ達したか否かを判断する。第 1 実施形態では、所定作業は、ロボットハンド 202 に把持させたワーク W1 を別のワーク W2 に嵌合させる嵌合作業である。

10

【0060】

制御切替部 333 は、各関節 J1 ~ J6、図 4 では関節 J1 の駆動を制御する関節制御部 340 のモータ制御部 341 に指令する位置指令について、補正量算出部 337 から出力される補正量を位置指令に加えるか否かを切り替える。

【0061】

具体的には、関節制御部 340 は、教示点に基づき算出された位置指令の補正を行う制御モード（コンプライアンス制御モード）と、教示点に基づき算出された位置指令の補正を行わない制御モード（通常制御モード）と、を有する。

20

【0062】

コンプライアンス制御モードは、嵌合作業の最中に、ロボットハンド 202 に作用する力のうち、所定方向（例えば嵌合方向と交差（直交）する方向）の力成分が小さくなるように位置指令を補正してロボットアーム 201 の動作を制御する力制御モードである。つまり、コンプライアンス制御モードでは、軌道計算部 331 にて計算した位置指令に、補正量算出部 337 にて算出した補正量を加算する補正を行う。

【0063】

通常制御モードは、嵌合作業を行わせる作業開始位置にロボットハンド 202 が移動するようロボットアーム 201 の動作を制御する制御モード（移動制御モード）を含み、この制御モードのときは、軌道計算部 331 にて算出した位置指令を補正しない。

30

【0064】

制御切替部 333 は、位置判断部 332 にてロボットハンド 202 が作業開始位置に到達したと判断すれば、通常制御モードからコンプライアンス制御モードに切り替える。また、制御切替部 333 は、位置判断部 332 にてロボットハンド 202 が作業完了位置に到達したと判断すれば、コンプライアンス制御モードから通常制御モードに切り替える。なお、制御切替部 333 は、位置判断部 332 にてロボットハンド 202 が作業完了位置に到達していないと判断した場合は、コンプライアンス制御モードを継続する。

【0065】

力算出部 335 は、後述する各トルク算出部 342 からのトルクの算出結果を用いて、ロボットハンド 202 に作用する力を算出する。具体的には、力算出部 335 は、各軸のトルク算出部 342 からのトルクの計算結果と、リンクパラメータ記憶部 336 に記憶されているロボットアーム 201 のリンクパラメータから、ロボットハンド 202 の任意の位置に生じさせている合成の力を算出する。リンクパラメータ記憶部 336 には、予めロボットアーム 201 のリンクパラメータが記憶（設定）されている。ロボットアーム 201 のリンクパラメータは、ロボットアーム 201 を構成する各リンク 210 ~ 216 の長さや各関節 J1 ~ J6 の位置関係を示したパラメータである。算出する基準となるロボットハンド 202 の任意位置については、例えばロボットハンド 202 の掌面の中心とする。

40

【0066】

力記憶部 334 は、制御切替部 333 が通常制御モード（移動制御モード）からコンプ

50

ライアンス制御モードに切り替える直前の力算出部 335 により算出した力を記憶する。なお、力記憶部 334 は、所定作業（嵌合作業）を行う直前に力算出部 335 により算出した力を記憶するのが好ましいが、直前に限定するものではなく、所定作業（嵌合作業）を行う前であればよい。

【0067】

補正量算出部 337 は、力記憶部 334 に記憶された嵌合作業を開始する前にロボットハンド 202 に生じていた力と、嵌合作業中に力算出部 335 が算出するロボットハンド 202 に生じている力との差を算出する。具体的には、補正量算出部 337 は、嵌合作業を開始する前に算出した力のうち所定方向の力成分と、嵌合作業の最中に算出した力のうち所定方向の力成分との差を算出する。そして、補正量算出部 337 は、所定方向の力成分の差を小さくするための位置指令の補正量を算出する。

10

【0068】

補正量については、ロボットハンド 202 を中心とするツール座標系の任意の軸方向に対して算出可能である。例えば、ワーク W1 の嵌合作業を実施する場合に、嵌合方向への力成分は補正せずに、嵌合方向と交差（直交）する方向（所定方向）に対する力成分の補正は実施するように補正量を算出する。

【0069】

次に、各関節制御部 340 について説明する。モータ制御部 341 は、通常制御モード時は、軌道計算部 331 からの位置指令を入力し、コンプライアンス制御モード時には、軌道計算部 331 からの位置指令と補正量算出部 337 の補正量とを足し合わせた値の位置指令を入力する。軌道計算部 331 からの位置指令とは、上述したように、教示点に基づき算出した位置指令である。モータ制御部 341 は、入力した位置指令とエンコーダ 235 の値とを参照して、モータ 231 の回転位置が位置指令に近づくようにモータ 231 の位置制御（フィードバック制御）を行う。

20

【0070】

トルク算出部 342 は、エンコーダ 235 の角度検出結果及びエンコーダ 236 の角度検出結果を用いて、関節に作用するトルクを算出する。

【0071】

具体的に説明すると、トルク算出部 342 は、まず、エンコーダ 235 により検出された角度検出結果を減速機 233 の減速比で関節の角度に換算する。具体的には、エンコーダ 235 の角度検出結果に減速比 N（例えば 50）を除算する。減速機 233 の減速比 N は、予め EEPROM 352 に記憶（設定）されている。

30

【0072】

次に、トルク算出部 342 は、角度換算した角度情報と、エンコーダ 236 からの角度情報の差分に対して、減速機定数記憶部 343 に予め記憶（設定）されている減速機 233 のねじり剛性（回転方向に対するばね定数）を乗算する。これにより、トルク算出部 342 は、関節に生じているトルクを算出する。上記トルク計算を各関節 J1 ~ J6 にて実施することにより、各関節 J1 ~ J6 に生じているトルクを算出する。

【0073】

次に、制御装置 300 によりロボット 200 の動作を制御するロボット制御方法について説明する。図 5 は、本発明の第 1 実施形態に係るロボット制御方法を示すフローチャートである。第 1 実施形態では、ロボット 200（ロボットハンド 202）に行わせる所定作業は、ワーク W1 をワーク W2 に嵌合する嵌合作業である。

40

【0074】

まず、メイン制御部 330 の CPU 301 は、ロボットアーム 201 の制御を通常制御モードにする（S1）。

【0075】

次に、CPU 301 は、ワーク W1 を把持して取り出すための位置（ワーク取り出し位置）にロボットハンド 202 が移動するようロボットアーム 201 の動作を制御する（S2）。

50

## 【 0 0 7 6 】

次に、CPU301は、ロボットハンド202がワーク取り出し位置に移動したら、ロボットハンド202にワークW1を把持させるようロボットハンド202の動作を制御する(S3)。

## 【 0 0 7 7 】

次に、CPU301は、ロボット200によりワークW1の嵌合作業を開始する作業開始位置にロボットハンド202を位置合わせするよう、ロボットアーム201の動作を制御する(S4：移動制御工程)。この場合、CPU301は、通常制御モード(移動制御モード)に設定しているので、ロボットハンド202を作業開始位置に高速に移動することができる。作業開始位置は、ワークW2の近傍の位置に設定されている。

10

## 【 0 0 7 8 】

ロボットハンド202を作業開始位置に移動させる際、各関節制御部340のCPU351は、上述した計算方法で関節に作用するトルクを算出する(S5：トルク算出工程)。そして、メイン制御部330のCPU301は、上述した計算方法でロボットハンド202に作用する力を算出する(S6：力算出工程)。

## 【 0 0 7 9 】

次に、CPU301は、作業開始位置にロボットハンド202が到達したか否かを判断する(S7：判断工程)。

## 【 0 0 8 0 】

CPU301は、ステップS7にて、ロボットハンド202が作業開始位置に到達していないと判断した場合には(S7：No)、ステップS4へ戻り、通常制御モードによりロボットアーム201の動作を制御する。

20

## 【 0 0 8 1 】

CPU301は、ステップS7にて、ロボットハンド202が作業開始位置に到達したと判断した場合には(S7：Yes)、ロボットアーム201の制御を、通常制御モードからコンプライアンス制御モードへ切り替える(S8)。コンプライアンス制御モードでは、通常制御モードでの位置指令に加えて、作業中にロボットアーム201やワークW1に生じる外力を小さくするように位置を補正するように制御する。

## 【 0 0 8 2 】

ここで、CPU301は、ステップS8にて作業開始位置でコンプライアンス制御モードへ切り替える直前の力の値を、力記憶部334(例えばHDD304)に記憶させる。力記憶部334に記憶させた力の値は、嵌合作業によって生じる外力を受けていない状態でのロボットハンド202に作用する力となるので、コンプライアンス制御の基準値となる。

30

## 【 0 0 8 3 】

ロボットハンド202を嵌合方向の作業完了位置に移動させる際、各関節制御部340のCPU351は、上述した計算方法で関節に作用するトルクを算出する(S9：トルク算出工程)。そして、メイン制御部330のCPU301は、上述した計算方法でロボットハンド202に作用する力を算出する(S10：力算出工程)。

## 【 0 0 8 4 】

CPU301は、ワークW1を把持したロボットハンド202がワークW1をワークW2に嵌合する嵌合方向に移動するようロボットアーム201の動作を制御する(S11：コンプライアンス制御工程)。このステップS11において、CPU301は、嵌合作業中、ロボットハンド202に作用する力のうち、嵌合方向と直交する方向(所定方向)の力成分が小さくなるようにロボットアーム201の動作を制御する。

40

## 【 0 0 8 5 】

次に、CPU301は、嵌合作業が完了したか否か、即ち作業完了位置に到達したか否かを判断する(S12：作業完了判断工程)。CPU301は、嵌合作業が未完了であれば(S12：No)、ステップS9に戻り、嵌合作業を継続する。

## 【 0 0 8 6 】

50

CPU301は、嵌合作業が完了したと判断した場合は(S12:Yes)、ロボットアーム201の制御をコンプライアンス制御モードから通常制御モードに切り替える(S13)。そして、CPU301は、ロボットハンド202のフィンガー220を開方向へ移動させて、ワークW1の把持解放を行い、ロボットアーム201を所定の位置姿勢へ移動させる(S14)。これにより動作が終了する。

#### 【0087】

次に、第1実施形態のロボット装置100を用いて、力検知及び応答速度を計測した結果を示す。表1は、ロボットハンド202に対して、1[N]の負荷と10[N]の負荷を印加した場合のJ3軸のエンコーダ235とエンコーダ236の値の変化を計測したデータを示したものである。

#### 【0088】

【表1】

	エンコーダ 235	エンコーダ 236
無負荷状態と 1N 印加時の角度差	分解能以下≒0	0.0011°
無負荷状態と 10N 印加時の角度差	分解能以下≒0	0.0116°

#### 【0089】

表1より、エンコーダ235については、力印加中と無負荷状態では、エンコーダの最低分解能以上の差が得られなかったが、エンコーダ236については、ほぼ印加力に比例した角度変化が得られていることが分かる。本計測結果の角度変化量に対して減速機233のねじり剛性を乗算することで、関節にかかるトルクを算出でき、そのトルクによって生じる力を全関節軸分を剛性することにより、ロボットハンド202に対して印加されている力を算出することが可能である。

#### 【0090】

表2はロボットアーム201のゲインを上掲のケースより下げた状態で、ロボットハンド202に対して、1[N]の負荷と10[N]の負荷を印加した場合のJ3軸のエンコーダ235とエンコーダ236の値の変化量を計測したデータを示したものである。

#### 【0091】

【表2】

	エンコーダ 235 (入力軸)	エンコーダ 236 (出力軸)	出力軸から入力軸変化 分を引いた値
無負荷状態と 1N 印加時の角度差	0.0139°	0.0012°	0.0011°
無負荷状態と 10N 印加時の角度差	10.5257°	0.0563°	0.0125°

#### 【0092】

その結果、ゲインを下げた状態では、力印加時と、無負荷状態でのエンコーダ235の値の変化量は検出可能であった。しかし、印加力が大きくなると、エンコーダ235の値の変化量が急激に大きくなるために、エンコーダ235のみで、精度良く印加力を算出することは困難であることが分かる。エンコーダ236でも、印加力が大きくなると、エンコーダ値の変化量が急激に大きくなっている。しかし、エンコーダ236の値の変化量から、エンコーダ235の値の変化量にJ3軸の減速比1/240を乗算した値を引くと、

ほぼ印加力に比例した角度変化が得られていることが分かる。

【 0 0 9 3 】

表 1 及び表 2 より、エンコーダ 2 3 5 のみでは検知できなかった力を、エンコーダ 2 3 6 を併用することで精度良く検知することが可能であることが分かる。また、ゲインの高い状態でも低印加力から高印加力まで力を検知できるので、ロボットアーム 2 0 1 の応答速度が速いままでの力検出が可能となる。

【 0 0 9 4 】

以上、第 1 実施形態によれば、力センサを使用せずにコンプライアンス制御を実現できるので、力センサの許容荷重以上の力（挿入力）が必要な組み立て作業でも、コンプライアンス性を確保できる。

10

【 0 0 9 5 】

また、第 1 実施形態では、CPU 3 5 1 が 2 つのエンコーダ 2 3 5 , 2 3 6 の検出結果を用いて関節のトルクを算出してロボットハンド 2 0 2 に作用する力を算出している。したがって、エンコーダ 2 3 5 のみでコンプライアンス制御する場合よりもコンプライアンス制御の精度が向上する。

【 0 0 9 6 】

また、第 1 実施形態では、コンプライアンス制御モード、通常制御モードのいずれの制御モードでも、各関節制御部 3 4 0 の CPU 3 5 1 は、エンコーダ 2 3 5 の角度検出値を位置指令に近づけるフィードバック制御を行う。ロボットハンド 2 0 2 に加わる力をエンコーダ 2 3 5 の値の変位量で検出するためには、ゲインを下げる必要があるが、第 1 実施形態では、エンコーダ 2 3 6 で検出できるので、ゲインを下げる必要がない。そのため、サーボの応答が速く、各関節を高速に目標関節角度に制御することができる。

20

【 0 0 9 7 】

サーボ応答性が高いので、通常制御モード（移動制御モード）時には、ロボットハンド 2 0 2 を高速に作業開始位置へ到達させることができるので、作業時間を短縮することができる。よって、ロボット装置 1 0 0 による製品の生産性が高まる。

【 0 0 9 8 】

また、第 1 実施形態によれば、複数の関節制御部 3 4 0 それぞれにおいてトルクを算出するようにしたので、メイン制御部 3 3 0 における計算負荷が低減し、よりロボットアーム 2 0 1 の動作を高速化することができる。

30

【 0 0 9 9 】

また、第 1 実施形態によれば、コンプライアンス制御モードにおいて、嵌合作業を開始する前に算出した力のうち所定方向の力成分と、嵌合作業の最中に算出した力のうち所定方向の力成分との差が小さくなるようにロボットアーム 2 0 1 の動作を制御する。即ち、嵌合作業を開始する前の力を基準値とし、嵌合作業中にロボットハンド 2 0 2 にかかる力が基準値に近づけられることとなる。よって、嵌合作業中に、ワーク W 1 , W 2 或いはロボットアーム 2 0 1 に過度な負荷が掛かるのが抑制され、嵌合作業が円滑に行われる。

【 0 1 0 0 】

[ 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おけるロボット制御方法について説明する。第 2 実施形態では、ワーク W 1 をワーク W 2 から抜き取る作業におけるロボット制御方法について説明する。

40

【 0 1 0 1 】

図 6 は、本発明の第 2 実施形態に係るロボット制御方法を示すフローチャートである。第 2 実施形態において、ロボット装置の装置構成は、上記第 1 実施形態と略同様であり、CPU 3 0 1 の制御動作、即ち CPU 3 0 1 を動作させるプログラム 3 2 0 が上記第 1 実施形態と異なる。したがって、第 2 実施形態において、上記第 1 実施形態と同様の構成については説明を省略し、異なる点について説明する。

【 0 1 0 2 】

第 2 実施形態においても、上記第 1 実施形態と同様、CPU 3 0 1 がプログラム 3 2 0

50

に基づき、CPU351がプログラム370に基づき、ロボット制御方法の各工程を実行する。第2実施形態では、ロボット200（ロボットハンド202）による所定作業は、ロボットハンド202に把持させたワークW1を別のワークW2から抜き取る抜き取り作業である。

【0103】

メイン制御部330のCPU301は、ロボットアーム201の制御を通常制御モードにする（S21）。

【0104】

次に、CPU301は、ロボットハンド202にワークW1を把持させるために、ロボットハンド202のフィンガー220を開方向へ移動させて、ワークW1の把持の準備をする（S22）。

【0105】

次に、CPU301は、ロボット200によりワークW1の抜き取り作業を開始する作業開始位置にロボットハンド202を位置合わせするよう、ロボットアーム201の動作を制御する（S23：移動制御工程）。この場合、CPU301は、通常制御モード（移動制御モード）に設定しているので、ロボットハンド202を作業開始位置に高速に移動することができる。作業開始位置は、ワークW1の位置に設定されている。なお、ステップS22の動作は、ステップS23のロボットアーム201の動作中に行ってもよい。

【0106】

ロボットハンド202を作業開始位置に移動させる際、各関節制御部340のCPU351は、第1実施形態で説明した計算方法で関節に作用するトルクを算出する（S24：トルク算出工程）。そして、メイン制御部330のCPU301は、第1実施形態で説明した計算方法でロボットハンド202に作用する力を算出する（S25：力算出工程）。

【0107】

次に、CPU301は、作業開始位置にロボットハンド202が到達したか否かを判断する（S26：判断工程）。

【0108】

CPU301は、ステップS26にて、ロボットハンド202が作業開始位置に到達していないと判断した場合には（S26：No）、ステップS23へ戻り、通常制御モードによりロボットアーム201の動作を制御する。

【0109】

CPU301は、ステップS26にて、ロボットハンド202が作業開始位置に到達したと判断した場合には（S26：Yes）、ロボットアーム201の制御を、通常制御モードからコンプライアンス制御モードへ切り替える（S27）。コンプライアンス制御モードでは、通常制御モードでの位置指令に加えて、作業中にロボットアーム201やワークW1に生じる外力を小さくするように位置を補正するように制御する。

【0110】

ここで、CPU301は、ステップS27にて作業開始位置でコンプライアンス制御モードへ切り替える直前の力の値を、力記憶部334（例えばHDD304）に記憶させる。力記憶部334に記憶させた力の値は、抜き取り作業によって生じる外力を受けていない状態でのロボットハンド202に作用する力となるので、コンプライアンス制御の基準値となる。

【0111】

次にCPU301は、ロボットハンド202のフィンガー220を閉方向に移動させてロボットハンド202にワークW1を把持させる（S28）。

【0112】

ロボットハンド202を抜き取り方向の作業完了位置に移動させる際、各関節制御部340のCPU351は、第1実施形態で説明した計算方法で関節に作用するトルクを算出する（S29：トルク算出工程）。そして、メイン制御部330のCPU301は、第1実施形態で説明した計算方法でロボットハンド202に作用する力を算出する（S30：

10

20

30

40

50

力算出工程)。

【0113】

CPU301は、ワークW1を把持したロボットハンド202がワークW1をワークW2から抜き取る抜き取り方向に移動するようにロボットアーム201の動作を制御する(S31:コンプライアンス制御工程)。このステップS31において、CPU301は、抜き取り作業中、ロボットハンド202に作用する力のうち、抜き取り方向と直交する方向(所定方向)の力成分が小さくなるようにロボットアーム201の動作を制御する。

【0114】

コンプライアンス制御モードでは、抜き取り作業中に生じる外力に対して、力算出部335が算出する力と、力記憶部334に記憶された力との差分が小さくなるように補正する。これにより、ワークW1、W2或いはロボットアーム201に過度な負荷が掛かるのが抑制され、ワークW1が抜けない、又はワークW1、W2に傷がつく等の問題が生じるのが防止される。

【0115】

次に、CPU301は、抜き取り作業が完了したか否か、即ち作業完了位置に到達したか否かを判断する(S32:作業完了判断工程)。CPU301は、抜き取り作業が完了であれば(S32:No)、ステップS29に戻り、抜き取り作業を継続する。

【0116】

CPU301は、抜き取り作業が完了したと判断した場合は(S32:Yes)、ロボットアーム201の制御をコンプライアンス制御モードから通常制御モードに切り替える(S33)。そして、CPU301は、ワークW1を所定の位置へ移動させる(S34)。これにより本動作が終了する。

【0117】

以上、第2実施形態によれば、力センサを使用せずにコンプライアンス制御を実現できるので、力センサの許容荷重以上の力が必要な組み立て作業でも、コンプライアンス性を確保できる。

【0118】

また、第2実施形態によれば、CPU351が2つのエンコーダ235、236の検出結果を用いて関節のトルクを算出してロボットハンド202に作用する力を算出している。したがって、エンコーダ235のみでコンプライアンス制御する場合よりもコンプライアンス制御の精度が向上する。

【0119】

また、第2実施形態では、コンプライアンス制御モード、通常制御モードのいずれの制御モードでも、各関節制御部340のCPU351は、エンコーダ235の角度検出値を位置指令に近づけるフィードバック制御を行う。モータ231の角度を直接検出するため、サーボ応答性が高く(サーボの応答が速く)、各関節を高速に目標関節角度に制御することができる。

【0120】

サーボ応答性が高いので、通常制御モード(移動制御モード)時には、ロボットハンド202を高速に作業開始位置へ到達させることができるので、作業時間を短縮することができる。よって、ロボット装置100による製品の生産性が高まる。

【0121】

また、第2実施形態によれば、複数の関節制御部340それぞれにおいてトルクを算出するようにしたので、メイン制御部330における計算負荷が低減し、よりロボットアーム201の動作を高速化することができる。

【0122】

第2実施形態によれば、コンプライアンス制御モードにおいて、抜き取り作業を開始する前に算出した力のうち所定方向の力成分と、抜き取り作業の最中に算出した力のうち所定方向の力成分との差が小さくなるようにロボットアーム201の動作を制御する。即ち、抜き取り作業を開始する前の力を基準値とし、抜き取り作業中にロボットハンド202

10

20

30

40

50



にかかる力が基準値に近づけられることとなる。これにより、ワークW1を把持後、抜き取り動作を実施する前に、ワークW1に対するロボットハンド202の位置ずれや、抜き取り軸に対する傾きによる外力を補正できる。よって、抜き取り作業中に、ワークW1、W2或いはロボットアーム201に過度な負荷が掛かるのが抑制され、抜き取り時にワークW1、W2が傷つくのが抑制され、抜き取り作業が円滑に行われる。

#### 【0123】

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。また、本発明の実施形態に記載された効果は、本発明から生じる最も好適な効果を列挙したに過ぎず、本発明による効果は、本発明の実施形態に記載されたものに限定されない。

10

#### 【0124】

##### [その他の実施形態]

本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路(例えば、ASIC)によっても実現可能である。

#### 【0125】

また、上記実施形態では、トルク計算を各関節制御部340が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く、メイン制御部330が各関節のトルク計算を行ってもよい。この場合、各関節J1~J6におけるエンコーダ235、236の検出結果は、メイン制御部330に送信されるようにすればよい。また、メイン制御部330のCPU301の数又は各関節制御部340のCPU351の数は、1つに限定するものではなく、複数あってもよい。

20

#### 【0126】

また、上記実施形態では、複数の関節J1~J6全てに減速機233が配置されている場合について説明したが、これに限定するものではなく、複数の関節J1~J6のうち少なくとも1つの関節に減速機233が配置されている場合であってもよい。なお、ロボットアーム201の関節が1つの場合には、当該関節に減速機233が配置されていればよい。これらの場合、減速機233が配置されている関節について2つのエンコーダ235、236の検出値からトルクを計算すればよい。そして、トルク計算結果を用いて、ロボットハンド202に作用する力を計算すればよい。

30

#### 【0127】

また、エンドエフェクタが、ロボットハンド202である場合について説明したが、これに限定するものではなく、例えば工具等が取り付けられたツールである場合であっても本発明は適用可能である。

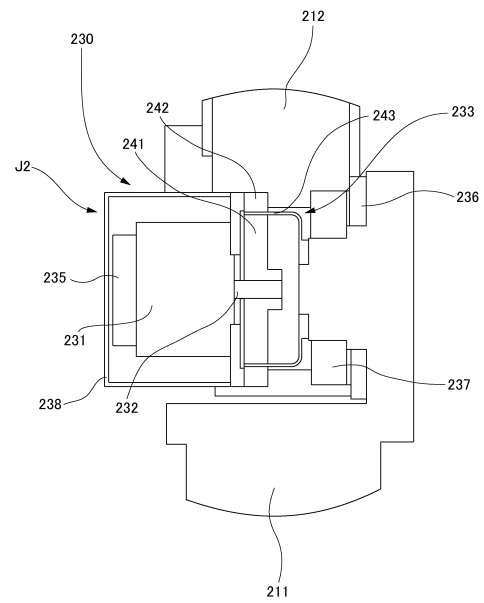
#### 【符号の説明】

#### 【0128】

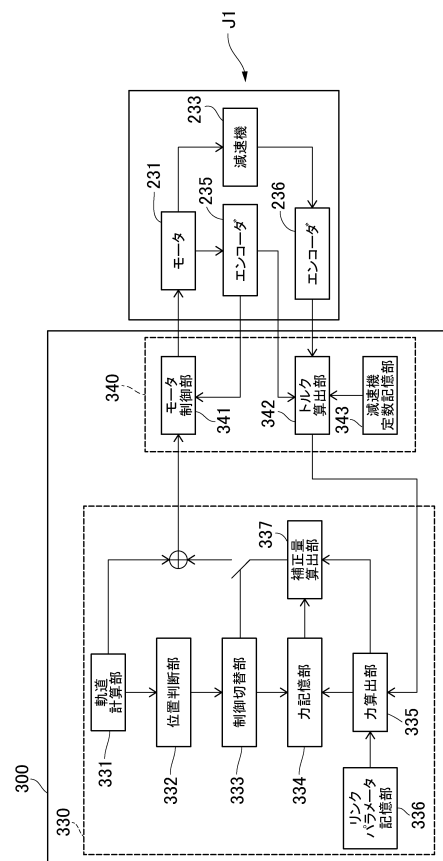
100...ロボット装置、201...ロボットアーム、202...ロボットハンド(エンドエフェクタ)、230...関節駆動装置、231...モータ、233...減速機、235...エンコーダ(第1角度検出部)、236...エンコーダ(第2角度検出部)、300...制御装置

40

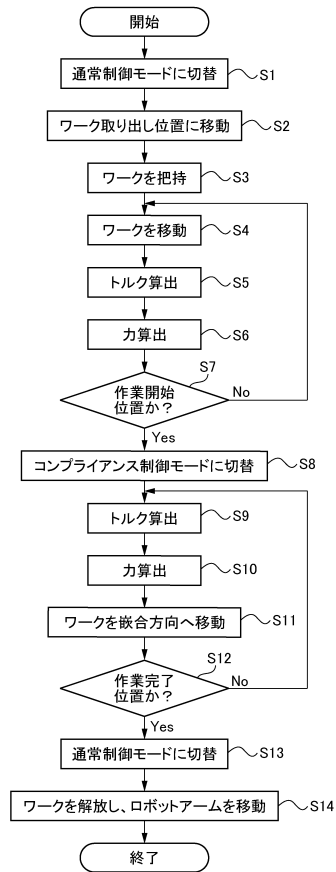
【 図 2 】



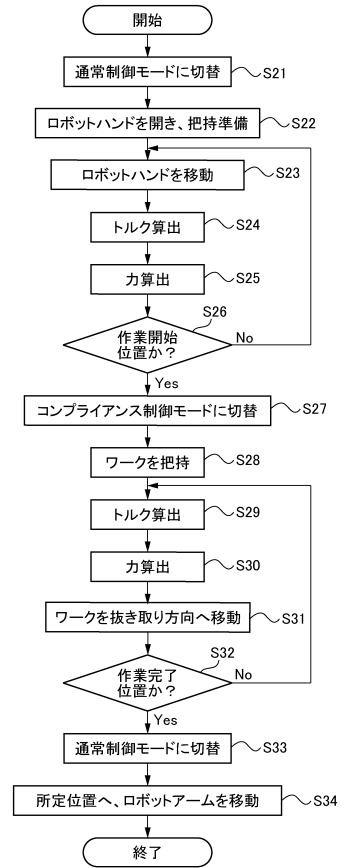
【 図 4 】



【図 5】



【図 6】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 2 6 9 4 1 2 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 1 9 3 2 9 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 3 0 5 6 7 8 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 3 2 2 9 8 8 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 1 1 / 1 6 1 7 6 5 ( W O , A 1 )  
特許第 2 6 1 9 2 2 7 ( J P , B 2 )  
特開 2 0 1 1 - 1 7 6 9 1 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 5 0 7 1 0 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B 2 5 J      1 / 0 0 - 2 1 / 0 2