

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6946057号
(P6946057)

(45) 発行日 令和3年10月6日 (2021. 10. 6)

(24) 登録日 令和3年9月17日 (2021. 9. 17)

(51) Int. Cl.

F 1

B 2 5 J 13/08 (2006.01)

B 2 5 J 13/08

Z

請求項の数 16 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2017-107063 (P2017-107063)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成29年5月30日 (2017. 5. 30)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2018-202497 (P2018-202497A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成30年12月27日 (2018. 12. 27)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	令和2年5月25日 (2020. 5. 25)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	天野 新吾
			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
		(72) 発明者	藤井 信明
			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	尾形 元
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボットハンド、ロボットハンドの制御方法、ロボット装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の把持部により対象物を把持するロボットハンドにおいて、
前記把持部を駆動する駆動源と、
把持力制御値を用いて、前記把持部による把持力を制御する力制御部と、
把持位置制御値を用いて、前記把持部の把持位置を制御する位置制御部と、
前記力制御部による力制御と、前記位置制御部による位置制御とを切り換え可能な制御
切換部とを備え、

前記制御切換部は、前記力制御から前記位置制御への切り換えに際し、前記力制御から
前記位置制御に切り換える前の前記把持力制御値を前記駆動源に作用させた状態で前記駆
動源に前記把持位置制御値を作用させることを特徴とするロボットハンド。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のロボットハンドにおいて、前記力制御から前記位置制御に切り換える
前の前記把持力制御値を記憶する記憶部を備え、

前記制御切換部は、前記記憶部に記憶された、前記力制御から前記位置制御に切り換
える前の前記把持力制御値を、前記駆動源に作用させた状態で前記駆動源に前記把持位置制
御値を作用させることを特徴とするロボットハンド。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のロボットハンドにおいて、前記把持力を検出する検出部を備
え、

10

20

前記力制御部は、前記検出部から検出された前記把持力が所定回数連続で所定の閾値内に収まっていた場合に前記力制御が完了したと判定し、

前記制御切換部は、前記力制御から前記位置制御への切り換えに際し、前記力制御が完了したと判定した際の前記把持力制御値を前記駆動源に作用させた状態で、前記駆動源に前記把持位置制御値を作用させることを特徴とするロボットハンド。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のロボットハンドにおいて、

前記力制御部は、前記力制御の完了の判定として、前記把持部が前記対象物に接触した後に、前記検出部から検出された前記把持力の時刻歴応答の波形により、前記検出部から検出された前記把持力の極値が前記閾値内に収まっているかに基づき判定することを特徴とするロボットハンド。

10

【請求項 5】

請求項 4 に記載のロボットハンドにおいて、

前記力制御部は、

前記検出部から検出された前記把持力が前記閾値内となった時から、前記極値が前記閾値内となるまで、前記検出部による検出回数をカウントし、前記カウント数を前記力制御の完了の判定に用いることを特徴とするロボットハンド。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のロボットハンドにおいて、

前記力制御部は、

前記極値を前記閾値内に確認していない場合、前記波形から周波数を取得し、前記周波数から周期を取得し、前記周期の $1/2$ より長く前記周期の $3/4$ より短い時間で把持動作を継続することを特徴とするロボットハンド。

20

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載のロボットハンドをロボットアームに備えたロボット装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載のロボット装置を用いて物品の製造を行うことを特徴とする物品の製造方法。

【請求項 9】

30

複数の把持部と、前記把持部を駆動する駆動源と、把持力制御値を用いて前記把持部による把持力を制御する力制御部と、把持位置制御値を用いて前記把持部の把持位置を制御する位置制御部と、前記力制御部による力制御と前記位置制御部による位置制御とを切り換え可能な制御切換部とを備え、前記把持部により対象物を把持するロボットハンドの制御方法であって、

前記制御切換部が、

前記力制御から前記位置制御への切り換えに際し、

前記力制御から前記位置制御に切り換える前の前記把持力制御値を前記駆動源に作用させた状態で前記駆動源に前記把持位置制御値を作用させることを特徴とする制御方法。

【請求項 10】

40

請求項 9 に記載の制御方法において、

前記ロボットハンドは、前記力制御から前記位置制御に切り換える前の前記把持力制御値を記憶する記憶部を備え、

前記記憶部が、記力制御から前記位置制御に切り換える前の前記把持力制御値を記憶し、

前記制御切換部が、前記記憶部に記憶された、前記力制御から前記位置制御に切り換える前の前記把持力制御値を、前記駆動源に作用させた状態で前記駆動源に前記把持位置制御値を作用させることを特徴とする制御方法。

【請求項 11】

請求項 9 または 10 に記載の制御方法において、

50

前記ロボットハンドは、前記把持力を検出する検出部を備え、

前記力制御部は、前記検出部から検出された前記把持力が所定回数連続で所定の閾値内に収まっていた場合に前記力制御が完了したと判定し、

前記制御切換部は、前記力制御から前記位置制御への切り換えに際し、前記力制御が完了したと判定した際の前記把持力制御値を前記駆動源に作用させた状態で、前記駆動源に前記把持位置制御値を作用させることを特徴とする制御方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の制御方法において、

前記力制御部は、前記力制御の完了の判定として、前記把持部が前記対象物に接触した後、前記検出部から検出された前記把持力の時刻歴応答の波形により、前記検出部から検出された前記把持力の極値が前記閾値内に収まっているかに基づき判定することを特徴とする制御方法。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の制御方法において、

前記力制御部は、

前記検出部から検出された前記把持力が前記閾値内となった時から、前記極値が前記閾値内となるまで、前記検出部による検出回数をカウントし、前記カウント数を前記力制御の完了の判定に用いることを特徴とする制御方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の制御方法において、

前記力制御部は、

前記極値を前記閾値内に確認していない場合、前記波形から周波数を取得し、前記周波数から周期を取得し、前記周期の $1/2$ より長く前記周期の $3/4$ より短い時間で把持動作を継続することを特徴とする制御方法。

20

【請求項 1 5】

請求項 9 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の制御方法を実行させるための制御プログラム。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の制御プログラムを記録した、コンピュータで読み取り可能な記録媒体。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ワークを一定の把持力で把持し、位置ずれ等を生じることなく、搬送動作へ高速に切り換えることの可能なロボットハンド、そのロボットハンドの制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、工場の生産ラインにおいて、作業の自動化・省人化・効率化を図るために、ロボットによる自動組立を行うケースが多くなっている。そこでは、多関節アームなどのロボット本体とハンドなどの把持機構を組合せたシステムが利用されている。組付では、組付位置までワークをずれなく把持し、搬送しなければならない。そのためには、ワークを位置決めしつつ一定の把持力で把持する必要がある。また、把持装置（ハンド）としては把持開始から組付までにかかる時間を短縮する必要がある。

40

【0003】

ワークを位置決めしつつ一定の把持力で把持する例としては、ハンドに取り付けられた力センサの値によって、把持指の制御モードである位置制御と力制御を切り換えることで安定把持する方法が開示されている（特許文献 1 参照）。この方法では、位置制御でワークの位置決めを実現し、力制御で一定の把持力での把持を実現している。

【0004】

50

特許文献 2 では、ハンド駆動用アクチュエータ等において速度制御からトルク制御へ切り換えている。異なる制御への切り換えをスムーズに実現する方法として、切換直前と直後のモータへの指令値がほぼ一致するようにトルク、速度の目標値を演算している。こうすることでモータ指令値に突変を生じることなく滑らかに切り換えることが可能となる。(特許文献 2 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2010 - 69584 号公報

【特許文献 2】特開平 09 - 044253 号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献 1 に記載された把持方法は、力制御から位置制御への切り換え時、力制御による制御値が 0 になるため、ワークの剛性により把持部が押し返されて発生する把持力変動が生じてしまう。ゆえに、位置制御で力制御と同等の把持力を発生させるためには、位置制御で生じる偏差が位置制御の積分器に積分値として溜るまで待たなければならず、移行時間がかかるという問題点があった。

【0007】

また、特許文献 2 に記載された方法でも切り換え時にモータへの指令値を徐々に移行しなければならないため、特許文献 1 と同様に移行時間がかかるという問題点があった。

20

【0008】

本発明の課題は、上述の事情に鑑み、ワークを位置決めしつつ一定の把持力で把持し、高速に把持から搬送動作へ切り換えることができるロボットハンド、そのロボットハンドの制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するため、本発明では、複数の把持部により対象物を把持するロボットハンドにおいて、前記把持部を駆動する駆動源と、把持力制御値を用いて、前記把持部による把持力を制御する力制御部と、把持位置制御値を用いて、前記把持部の把持位置を制御する位置制御部と、前記力制御部による力制御と、前記位置制御部による位置制御とを切り換え可能な制御切換部とを備え、前記制御切換部は、前記力制御から前記位置制御への切り換えに際し、前記力制御から前記位置制御に切り換える前の前記把持力制御値を前記駆動源に作用させた状態で前記駆動源に前記把持位置制御値を作用させることを特徴とするロボットハンドを採用した。

30

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、ロボットハンドの把持処理において、力制御のみの把持制御から位置制御のみの把持制御に切り換える際、力制御時に所望のワーク把持力になったときに記憶した把持力制御値を把持部に与えながら、位置制御を行うことができる。このような制御を行うことにより、把持が位置制御に切り換わった際の把持力変動を小さくできる。そのため、移行時間を必要とせず、ワークの把持から搬送を素早く始めることができる。これにより、ワークを位置決めしつつ一定の把持力で把持し、高速に把持から搬送を行うことができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】本発明の全ての実施形態に係るロボットシステムの概略構成を示した説明図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係るロボットハンドの概略構成を示した説明図である。

50

【図 3】本発明の第 1 の実施形態に係るハンド制御装置の制御概略を示した説明図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態に係る把持指令テーブルの一例を示した説明図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施形態、第 2 の実施形態に係るモータ制御部のブロック線図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施形態、第 2 の実施形態に係る把持処理手順を示すフローチャート図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施形態に係る実施形態と比較例との把持力の時刻歴応答を示す図である。

【図 8】本発明の全ての実施形態に係る力制御完了カウント数の自動設定方法を示すフローチャート図である。

10

【図 9】本発明の全ての実施形態に係る対象物を把持する際の把持力の時刻歴応答を経過時間ごとに表した図である。

【図 10】本発明の第 2 の実施形態に係るロボットハンドの概略構成を示した説明図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施形態に係るハンド制御装置の制御概略を示した説明図である。

【図 12】本発明の第 2 の実施形態に係る把持指令テーブルの一例を示した説明図である。

【図 13】本発明の第 3 の実施形態に係るモータ制御部のブロック線図である。

20

【図 14】本発明の第 3 の実施形態に係る把持処理手順を示すフローチャート図である。

【図 15】本発明の第 3 の実施形態に係る実施形態と比較例との把持力の時刻歴応答を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、添付図面を参照して本発明を実施するに好適な実施形態につき詳細に説明する。なお、以下に示す実施例はあくまでも一例であり、例えば細部の構成については本発明の趣旨を逸脱しない範囲において変更することができる。また、各実施形態で取り上げる数値は、参考数値であって、本発明を限定するものではない。

【0013】

30

< 第 1 の実施形態 >

本発明の第 1 の実施形態について、図 1 ~ 9 を用いて説明する。図 1 は、本発明のロボットハンドを用いた本実施形態のロボットシステムの概略構成である。

【0014】

図 1 において、本実施形態のロボットシステム 100 は、アーム本体 200、ハンド 300、ロボットシステム全体を制御するシステム制御装置 400 で構成される。さらに、外部よりロボットシステムに移動位置、移動ルート等の教示を行うためのティーチングペンダント 700 等がある。

【0015】

システム制御装置 400 内には、アーム本体 200 を制御するアーム制御装置 600、ハンド 300 を制御するハンド制御装置 500、各種制御プログラムやデータを記憶した記憶装置 800 が含まれている。それらは、それぞれアーム本体 200、ハンド 300 を駆動制御して、ワーク載置台 S1 上に載置されている組立用部品であるワーク W1 を把持し、ワーク固定台 S2 上に固定されている被組立対象物であるワーク W2 へと搬送する。本実施例は、例えばワーク W1 を把持し、搬送動作へ移行する際に適用である。

40

【0016】

なお、システム制御装置 400、すなわちアーム制御装置 600、ハンド制御装置 500 はマイクロプロセッサなどから成る CPU によって構成されている。記憶装置 800 はロボットの各種動作に応じて対応する駆動部を制御するためのプログラムや、それらの制御に必要なデータ等を記憶した ROM と、ロボットシステムを制御する上で必要なデータ

50

、設定値、プログラム等を展開する。また、CPUの作業領域として使用するRAMを備えている。ティーチングペンダント700をはじめとする外部機器は、不図示の汎用入力インターフェイスI/Oなどによって接続されている。

【0017】

アーム本体200は、本実施形態では、多関節のロボットアームであり、アーム本体200の根元は基台に固定され、アーム本体200の先端には、エンドエフェクタとしてハンド300が装着されている。このハンド300を介してワークW1に対して把持動作を行う。また、アーム本体200の各関節には、各関節を各々駆動する駆動源としてのモータ（不図示）と、モータの回転角度を検知する検知器としてのエンコーダ（不図示）が設けられている。

10

【0018】

アーム制御装置600は、ハンド300の移動先であるアーム先端の目標位置及び姿勢に対して、アーム本体200の各関節の取るべき角度を計算し、各関節のモータを制御するサーボ回路（不図示）へと指令値を出力し、アーム200の各関節を駆動制御する。これによってハンド300に把持されたワークW1を目標位置へと搬送し、組み付けを行うことができる。

【0019】

図2は、ハンド300の概略構成を示した説明図である。ハンド300は、2本の把持指341、342によって構成され、開閉駆動機構J1、J2を有している。これらの把持指は対象物を把持する把持部として機能し、ワークW1を把持するのに用いられる。ハンド300の開閉駆動機構J1、J2には、各々駆動する駆動手段としてのモータ311、312が設けられ、それぞれ回転軸には、把持指341、342に形成されたラック341a、342aに常時噛合するギヤ321、322が直結されている。モータ311、312を回転することにより把持指341、342を開閉制御しワークを把持することができる。またモータ311、312には各々の回転角度を検知するエンコーダ331、332が設けられる。このエンコーダで検知されたモータの回転角度から把持指341、342の開閉位置を知ることができる。

20

【0020】

また第1指341先端のワークと接触する把持面には力センサ351が設けられ、把持指に加わる把持方向の外力（ワークを把持した際に、ワークから受ける反力）を計測することができる。（把持力の検出部として作用する。）ハンド制御装置500は、前述のように、システム制御装置400内にCPUによって構成されているが、その機能をブロック図で表すと図3のようになる。

30

【0021】

図3は、ハンド制御装置500の構成を示す概略図である。指令値生成部530と、開閉駆動機構J1、J2のモータ311、312を駆動制御するモータ制御部541、542、モータ制御部541、542より出力された制御値に基づいてモータ311、312を駆動するモータドライバ551、552からなる。

【0022】

また把持指令値記憶部510内には把持指令テーブル511が記憶されており、把持指令値生成部530によって参照され、ハンド300の各把持指に対する指令に基づいて、駆動制御に用いる各種パラメータを決定するために用いられる。

40

【0023】

ここで図4を用いて把持指令テーブル511の内容について説明する。同図は本実施形態に係る把持指令テーブルの一例を示した説明図である。把持指令テーブル511は、予め把持指令の番号毎に定義された把持パターン、把持モード、各開閉駆動機構J1、J2の目標把持位置、目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数の項目が設定される。開閉駆動機構J1は目標把持位置、目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数が設定される。開閉駆動機構J2は目標把持位置が設定される。

【0024】

50

把持パターンは、どの開閉駆動機構のモータが位置制御するか、あるいは、力制御するかが設定される。位置制御する開閉駆動機構をP、力制御する開閉駆動機構をFとし、記号(P、F)の順番を各開閉駆動機構の番号に対応させると、本実施形態では、把持パターンは以下の2種類が設定される。つまり、[PP(すべての開閉駆動機構を位置制御)]、[FP(開閉駆動機構J1のみ力制御で、残りの開閉駆動機構J2は位置制御)]の2種類である。把持モードは、外形把持と内形把持のいずれかが設定される。外形把持とはワークをワークの外側から把持する把持モードであり、内形把持とはワークをワークの内側から把持する把持モードである。

【0025】

各開閉駆動機構の目標把持位置は、把持ストロークに対応した値が設定される。各開閉駆動機構の目標把持力は、各指の先端に発生させる把持力に対応した値が設定される。各開閉駆動機構の力制御完了幅および力制御完了カウント数は、後述する把持処理において、力制御完了を判定する際に用いる設定パラメータである。力制御完了幅は、目標把持力に対して力制御完了とみなす幅である。例えば、目標把持力5N、力制御完了幅1Nとした場合、力センサ値が 5 ± 1 N、すなわち、4N～6Nの範囲にあるとき、力制御完了とみなす。力制御完了カウント数は、制御周期において、何回連続で力制御完了幅に入れば力制御完了とみなすカウント数である。力制御完了カウント数は3～20の範囲で設定すると、経験的に力が安定するので、好適である。なお、本実施形態では、開閉駆動機構J1のみが力制御の設定が可能である。

【0026】

指令値生成部530は、把持指令と把持指令テーブル511に基づいて、各モータ311、312への制御モード(位置制御あるいは力制御)、目標把持位置、目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数を各モータ制御部541、542に渡す。

【0027】

なお、各モータ311、312への制御モードが位置制御の場合は目標把持位置が、各モータ311、312への制御モードが力制御の場合は目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数が各モータ制御部541、542で用いられる。

【0028】

なお、本実施形態では、開閉駆動機構J1のモータ311のみ位置制御と力制御のどちらかが選択でき、開閉駆動機構J2のモータ312は位置制御のみ可能である。これは開閉駆動機構J2によって駆動される把持指342に力センサが配されていないことによる。そしてモータ制御部541、542は、指令値生成部530から渡された制御モードに応じてモータドライバ551、552へ各モータ311、312の制御値を渡す。

【0029】

図5はモータ制御部541、542の構成及び動作を説明するためのブロック図である。

【0030】

モータ制御部541、542の機能は実質的に同一であるので、例として、開閉駆動機構J1のモータ制御部541について示している。

【0031】

同図において、モータ311への制御モードが位置制御の場合は、目標把持位置とエンコード331からの値に基づき、位置制御部546でフィードバック制御を行い、把持位置制御値を出力する。モータ311への制御モードが力制御の場合は、目標把持力と力センサ341からの値に基づき、力制御部547でフィードバック制御を行い、把持力制御値を出力する。

【0032】

記憶部549はRAMによって構成され、後述する把持処理手順に基づき、力制御部547からの完了判定信号がONになったとき、そのときの力制御部547から出力される把持力制御値を記憶する。

【0033】

制御切換部 5 4 8 は、モータ 3 1 1 への制御モードと後述する把持処理手順に基づいて、位置制御部 5 4 6 からの接点 3 あるいは、力制御部 5 4 7 からの接点 1、または、位置制御部 5 4 6 と記憶部 5 4 9 からの接点 2 のいずれかを選択する。制御切換部 5 4 8 の接点 1 に切り換えられた場合は、力制御部 5 4 7 の把持力制御値が制御切換部 5 4 8 から出力され、力制御が実行される。

【 0 0 3 4 】

制御切換部 5 4 8 の接点 2 に切り換えられた場合は、位置制御部 5 4 6 と記憶部 5 4 9 からの把持力制御値の和が制御切換部 5 4 8 から出力され、位置制御が実行される。

【 0 0 3 5 】

制御切換部 5 4 8 の接点 3 に切り換えられた場合は、位置制御部 5 4 6 の把持位置制御値が制御切換部 5 4 8 から出力され、把持指の位置制御が実行される。

10

【 0 0 3 6 】

このように制御することで、把持指に対して、目標とする把持力を制御する力制御から、把持指を目標位置へと制御する位置制御に切り換えた際、切換直前の把持力制御値、すなわち把持力を維持したまま、位置制御のみの把持制御に切り換えることができる。

【 0 0 3 7 】

実際のロボットアームの動作を説明すると、ワーク W 1 は、ワーク W 2 が組付く組付部（凹部）を有する。また、ワーク W 2 は、ワーク W 1 が組付くための組付部（凸部）を有する。ここで、本実施形態におけるハンド制御装置 5 0 0 のワーク W 1 の把持処理方法について説明する。前提条件として、アーム 2 0 0、ハンド 3 0 0 をワーク W 1 の把持直前位置まで移動した状態から開始するものとする。また力制御を行わない第 2 指は既に位置決めされ、後述する把持処理によって第 1 指が力制御でワーク W 1 を把持するものとする。

20

【 0 0 3 8 】

ハンド制御装置 5 0 0 により把持処理する手順を、図 6 に示すフローチャートにより説明する。例えばワーク W 1 を図 4 の把持指令テーブル 5 1 1 の把持指令番号 3 で把持する場合について説明する。

【 0 0 3 9 】

まず、ハンド制御装置 5 0 0 は、制御切換部 5 4 8 を接点 1 に切換、力制御を行う（ステップ S 1 1）。把持指令番号 3 より、目標把持力は 5 N となる。制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値が用いられる。

30

【 0 0 4 0 】

次に、力制御部 5 4 7 において、目標把持力と力センサの計測値との差が所定回数連続で力制御完了幅に対応する範囲内（閾値内）か判断する（ステップ S 1 2）。ここでは把持指令番号 3 より、力制御完了幅が 1 N、力制御完了カウント数 3 である。すなわち、目標把持力と力センサの計測値との差が、制御周期 3 回（力制御完了カウント数）連続で ± 1 N（力制御完了幅）以内か判断する。前述の範囲内であれば力制御完了とみなし、力制御部 5 4 7 から完了判定信号を ON にして出力し、ステップ S 1 3 へ進む。前述の範囲外であれば、ステップ S 1 1 に戻る。ステップ S 1 3 では、記憶部 5 4 9 は、完了判定信号が ON に遷移したのを受けてから、力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値を記憶部 5 4 9 に保存する。

40

【 0 0 4 1 】

続いて、制御切換部 5 4 8 を接点 2 に切り換え位置制御を行う（ステップ S 1 4）。なお、そのときの位置制御部 5 4 6 の目標把持位置は、完了判定信号が ON に遷移した時点で、そのときのエンコーダの現在位置に切り換えられる。これにより制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は、接点 2 の入力、つまり記憶部 5 4 9 に保持された把持力制御値と、位置制御部 5 4 6 から出力された把持位置制御値との加算された値となる。また把持力の変動が所定の力完了幅内に収まるレベルまで減少しているため、ステップ S 1 4 に移行したタイミングを把持完了とみなすことができる。

【 0 0 4 2 】

50

本実施形態のハンド制御装置 500 によれば、力制御のみの把持制御から位置制御のみの把持制御に切り換える際、力制御時に所望のワーク把持力になったときに記憶した把持力制御値でワークに把持力を作用させながら位置制御を行う。このような制御を行うことにより、ワーク把持制御において、力制御のみの把持制御から位置制御のみの把持制御に切り換わった際の把持力変動を小さく安定させることができる。そのため移行時間を必要とせず、ワークを把持から搬送へ素早く切り換えることができる。また搬送時にワークに加速度がかかっても位置制御されているので、ワークの位置がずれて把持が不安定になることがなく、正しい把持位置で組立を行うことができる。

【0043】

図7は第1の実施形態と比較例とにおける、把持力の時刻歴応答を示す図である。ここで、第1の実施形態とは、上述のように把持処理を行った場合である。一方、比較例とは、図6のS13の処理を飛ばし、S14において接点2ではなく接点3に切り換えた場合、つまり単純に力制御のみの把持制御から位置制御のみの把持制御に切り換えた場合である。

10

【0044】

図7より、第1の実施形態では、比較例に対して把持完了までの時間を短縮することができた。実験においては、約0.1秒程度短縮できることを確認している。比較例では、力制御のみの把持制御から直接位置制御のみの把持制御へ切り換えるため、力制御の把持力制御値がゼロとなり、ワークの剛性により指先が押し戻され、把持力変動が生じる。そのため元の位置と把持力に戻ろうと位置制御部546が働くが、偏差をゼロにし把持完了するまでは時間がかかる。

20

【0045】

一方、第1の実施形態では記憶部549に記憶されている「力制御から位置制御へと切り換えた直前の把持力制御値」を、位置制御の初期値として設定するため、把持指に力をかけたまま位置制御へ移行できる。ゆえに把持力変動が小さく、短時間で把持完了することができる。

【0046】

なお、把持指令テーブル511の力制御完了カウント数は、ユーザが設定しても良いが、以下の方法で自動化が可能である。

【0047】

30

以下、力制御完了カウント数を自動設定する方法を図8に示すフローチャートと図9に示す力センサから検出された把持力の時刻歴応答を経過時間ごとに表した図により説明する。図9の黒点は実際に検出された波形を示し、白点は予想波形を示す。点の数が把持力の検出回数となる。前提条件として、アーム200、ハンド300をワークW1の把持直前位置まで移動した状態から開始するものとする。また、第2指は既に位置決めされ、後述する把持処理によって第1指が力制御でワークW1を把持するものとする。

【0048】

まず図8に示すフローチャートを用いて説明する。ハンド制御装置500は、力制御完了カウント数を自動設定するためのパラメータを設定する(ステップS21)。設定するパラメータは、把持番号、力制御完了カウント数の取り得る範囲である。なお、前記パラメータは、システム制御装置400あるいはハンド制御装置500の汎用信号インターフェイス(不図示)を介して外部のPC(不図示)、ティーチングペンダント700などで入力される。また、把持番号に紐づく把持動作は予め、力制御完了カウント数以外は把持指令テーブル511に入力済みとする。

40

【0049】

次に、設定された把持番号に基づいて把持動作の実行が開始される(ステップS22)。なお、この把持動作はステップS27に入って停止するまで実行される。

【0050】

続いて、力センサ351から計測された力センサ値から指がワークに接触したかをステップS23で判定する。例えば、目標把持力の10%以上の力センサ値が計測されたらワ

50

ークに接触したとする。把持指がワークに接触していると判定したならば、そのときから力センサ値の時刻歴応答をログとして記憶部 5 4 9 に記録し始め、ステップ S 2 4 に進む。ワークに接触していないと判定したならば、ステップ S 2 3 の開始状態に戻り、把持動作を継続する。

【 0 0 5 1 】

さらに、目標把持力と力センサ値との差が力制御完了幅の範囲内（閾値内）かステップ S 2 4 で判断する。範囲内と判定したならば、ステップ S 2 5 に進む。範囲外（閾値外）と判定したならば、ステップ S 2 4 の開始状態に戻り、把持動作を継続する。

【 0 0 5 2 】

続いて、ステップ S 2 3 から記録している力センサ値の時刻歴応答から把持力波形の振動の周波数を特定する（ステップ S 2 5）。本実施例では、以下の方法で把持力波形の振動の周波数を特定する。前提条件として、把持力波形は目標把持力に対して定常偏差を持たず、その応答は 2 次系で近似できるものとする。その時の把持のモデルは、次式のような単純なバネマスダンパ系の運動方程式で表される。

$$m a + c v + k (x - x_0) = f \quad \cdots (\text{数式 1})$$

【 0 0 5 3 】

ただし、 m は質量、 c は粘性係数、 k はバネ定数、 a は把持指の加速度、 v は把持指の速度、 x は把持指の変位、 x_0 はバネの釣合い点、 f は把持力である。ここで、 i サンプル目（カウント数）の速度 $v(i)$ 、加速度 $a(i)$ は、後退差分で離散化すると、次式で示される。

【 0 0 5 4 】

【 数 1 】

$$v(i) = \frac{x(i) - x(i-1)}{T_s}$$

$\cdots (\text{数式 2})$

【 0 0 5 5 】

【 数 2 】

$$a(i) = \frac{x(i) - 2x(i-1) + x(i-2)}{T_s^2}$$

$\cdots (\text{数式 3})$

【 0 0 5 6 】

なお、 T_s はハンド制御装置 5 0 0 の制御周期であり、 $x(0) = x(-1) = x(1)$ とする。 i サンプル目の運動方程式は、数式 1 より、次式で示される。

【 0 0 5 7 】

【 数 3 】

$$\begin{bmatrix} a(i) & v(i) & x(i) & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ c \\ k \\ kx_0 \end{bmatrix} = f(i)$$

$\cdots (\text{数式 4})$

【 0 0 5 8 】

1 ~ n サンプル目の応答が得られたとき、運動方程式は次式で示すことができる。

【 0 0 5 9 】

【 数 4 】

$$\begin{bmatrix} a(1) & v(1) & x(1) & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a(n) & v(n) & x(n) & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ c \\ k \\ kx_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(1) \\ \vdots \\ f(n) \end{bmatrix}$$

10

・・・ (数式 5)

【 0 0 6 0 】

ここで、

【 0 0 6 1 】

【 数 5 】

$$A = \begin{bmatrix} a(1) & v(1) & x(1) & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a(n) & v(n) & x(n) & -1 \end{bmatrix}, \theta = \begin{bmatrix} m \\ c \\ k \\ kx_0 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} f(1) \\ \vdots \\ f(n) \end{bmatrix}$$

20

・・・ (数式 6)

とすると、数式 5 は次式となる。

$$A \theta = b \quad \cdots (\text{数式 7})$$

【 0 0 6 2 】

A、b は既知であり、 θ は独立な 4 要素からなるので、n が 4 以上あれば未知変数 θ を 30
求めることができる。数式 7 に A の逆行列を掛けることで θ を求める。

【 0 0 6 3 】

$$\theta = A^{-1} b \quad \cdots (\text{数式 8})$$

【 0 0 6 4 】

よって、 θ の要素である m、k を求めることができるので、求める把持力波形の振動の
周波数を fre とすると、次式で導出される。

【 0 0 6 5 】

【 数 6 】

$$fre = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

40

・・・ (数式 9)

【 0 0 6 6 】

なお、周波数の特定には、上述以外のモデルを用いたパラメーター推定方法を用いても
良い。また、ワーク接触と判断してからのカウント数 n が 4 より小さい場合は、数式 8 で
A の逆行列が取れないので、周波数を特定せずに次の制御周期まで把持動作を延長する。

【 0 0 6 7 】

さらに、ステップ S 2 5 で特定した周波数から、力センサ値の時刻歴応答において、把 50

持力波形の極値を検出できているか判定する（ステップS 2 6）。ここでいう把持力波形の極値とは、波形が正弦波と仮定したときの極大値または極小値のことである。つまり、ステップS 2 5で特定した周波数の把持力波形の極大値または極小値が力制御完了幅の範囲内か判定する。範囲内と判定したならば、ステップS 2 7に進む。範囲外と判定したならば、ステップS 2 8に進む。

【 0 0 6 8 】

続いて、力センサ値の時刻歴応答から力制御完了カウント数を登録する（ステップS 2 7）。力センサ値の時刻歴応答において、力制御完了幅に現時刻まで連続して入り続けた時間を t_r 、ハンド制御装置500の制御周期を T_s とすると、力制御完了カウント数は t_r / T_s で求められる。力制御完了カウント数の登録は、把持指令テーブル511（図4）の該当把持番号の力制御完了カウント数を更新することで行う。力制御完了カウント数を登録後、把持動作および力センサ値の時刻歴応答のログ記録を停止し、終了する。

【 0 0 6 9 】

なお、力制御完了カウント数が力制御完了カウント数の取り得る範囲を超えた場合は、把持指令テーブル511の更新は行わず、力制御完了カウント数が取り得る範囲から超えた旨をユーザに通知して終了する。

【 0 0 7 0 】

ステップS 2 8に進んだ場合は、ステップS 2 5で特定した振動の周波数の逆数を取り、把持力波形の振動の周期を求める。そしてその周期の $1/2$ 周期よりも長く、 $3/4$ 周期よりも短い時間まで把持動作を継続する。極値は波形の周期の $1/2$ 周期から $3/4$ 周期までに出現するため、把持動作の継続時間を上記のように設定することで極値を検出する確実性を増すことができる。

【 0 0 7 1 】

ステップS 2 8で把持動作を継続したらステップS 2 5の開始状態に戻る。これはステップS 2 6で力制御完了幅の範囲内で把持力波形の極値を検出できなかったため、検出できる時間分だけ把持動作を進めることを図る。以上の方法により、力制御完了カウント数を自動設定することができる。

【 0 0 7 2 】

次に図9を用いて、実際の動作で説明する。同図において、 $t = 3 T_s [ms]$ のとき、検知した把持力が把持力指令値の10%を越えており、ワークと接触したものと判断する（ステップS 2 3）。

【 0 0 7 3 】

$t = 5 T_s [ms]$ のとき、検知した把持力が力制御完了幅の範囲内であると判断する（ステップS 2 4）。しかし、ワーク接触と判断してから4カウントより小さい（図9では3カウント）ので、周波数を特定せずに次の制御周期まで把持動作を延長する。

【 0 0 7 4 】

$t = 6 T_s [ms]$ のとき、検知した把持力が力制御完了幅の範囲内であると判断し（ステップS 2 4）、ワーク接触と判断してから4カウント以上より、波形から周波数を求める（ステップS 2 5）。しかし、現時点まで検知している波形（黒点）では、まだ把持力波形の極値が検知できていないと判断するため（ステップS 2 6）、極値が取れるように白点まで把持動作を延長する（ステップS 2 8）。

【 0 0 7 5 】

$t = 7 T_s [ms]$ のとき、検知した把持力が力制御完了幅の範囲外であると判断し（ステップS 2 4）、ステップS 2 4の前まで戻る。

【 0 0 7 6 】

$t = 9 T_s [ms]$ のとき、検知した把持力が力制御完了幅の範囲内であると判断し（ステップS 2 4）、ワーク接触と判断してから4カウント以上より、波形から周波数を求める（ステップS 2 5）。しかし現時点まで検知している波形（黒点）では、把持力波形の極値が検知できているが、その極値が力制御完了幅の範囲外と判断するため（ステップS 2 6）、ピーク極値が力制御完了幅の範囲内で取れるように白点まで把持動作を延長す

10

20

30

40

50

る（ステップS28）。

【0077】

$t = 12Ts [ms]$ のとき、検知した把持力が力制御完了幅の範囲内であると判断し（ステップS24）、ワーク接触と判断してから4カウント以上より、波形から周波数を求める（ステップS25）。現時点まで検知している波形（黒点）が、把持力波形の極値を検知し、その極値が力制御完了幅の範囲内と判断する（ステップS26）。

【0078】

力制御完了幅に現時刻まで連続して入り続けた時間を t_r 、ハンド制御装置500の制御周期を Ts とすると、力制御完了カウント数を t_r / Ts で求める（図9では4カウント）。その後、力制御完了カウント数を登録し、把持動作および力センサ値の時刻歴応答のログ記録を停止し、終了する（ステップS27）。

10

【0079】

以上の処理を行うことにより、把持力変動が任意で定めた力制御完了幅内であることを素早く判定でき、力制御完了カウント数を自動設定することができる。また、把持動作の延長を把持力波形の極値が確実に検出できる範囲の時間で設定しているため、力制御完了の判定の精度を向上させることができる。

【0080】

また、把持が力制御のみの把持制御から位置制御のみの把持制御に切替った際の把持力変動を小さくできる。そのため、移行時間を必要とせず、ワークを素早く把持から搬送に切り換えることができる。これにより、ワークを位置決めしつつ一定の把持力で把持し、高速に把持から搬送に切り換え、組立を行うことができる。

20

【0081】

< 第2の実施形態 >

上述の第1の実施形態では、2指を有するロボットハンドである場合について説明した。しかしながら、本発明は、3指を有するロボットハンドである場合においても実施できるものである。

【0082】

ロボットシステムの構成自体は、図1で説明した第1の実施形態と同様であるため、第1の実施形態と同一ないし相当する構成については同一の参照符号を用い、それらの説明は省略ないし簡略化するものとし、第1の実施形態と異なる点を中心に説明する。

30

【0083】

本実施形態では、図1に示す第1の実施形態と同様に、ロボットシステム100を用い、ハンド300の代わりに後述するハンド300'を用いる。つまりロボットシステム100は、アーム本体200、ハンド300'、アーム制御装置600'、ハンド制御装置500'を備える。同様に、組立用部品であるワークW1は、ワーク載置台S1上に載置され、被組立対象物であるワークW2は、ワーク固定台S2上に固定されている。本実施例は、例えばアーム本体200とハンド300'を用いてワークW1を把持し、搬送動作へ移行する際に適用である。

【0084】

第1の実施形態と異なる部分は、ハンド300'とハンド制御装置500'であり、以下にハンド300'とハンド制御装置500'について説明する。

40

【0085】

図10は、ハンド300'の概略構成を示した説明図である。ハンド300'は、3本の指を有し、全体で3自由度の開閉駆動機構J1'、J2'、J3'を有している。各指はお互いに120度等配に配置され、一つの開閉駆動機構J1'、J2'、J3'を有し、ワークW1を把持するのに用いられる。ハンド300'の開閉駆動機構J1'、J2'、J3'には、各開閉駆動機構を各々駆動する駆動手段としてモータ311'、312'、313'が設けられる。指は、モータ311'、312'、313'に直結した各々ギヤ321'、322'、323'を介して駆動される。また、モータ311'、312'、313'にはモータの各々の回転角度を検知するエンコーダ331'、332'、33

50

3' が設けられる。そして、各指の先端に力センサ 351'、352'、353' が設けられ、指に加わる把持方向の外力を計測することができる。

【0086】

またハンド制御装置 500' は、第1の実施形態と同様に、図1に示すシステム制御装置 400' 内において、CPU、ROM、RAM、汎用信号インターフェイスなどから構成されている。しかし、ROMに記憶されている制御プログラム及び把持指令テーブル 511' の内容は異なる。

【0087】

図11は本実施形態の概略構成を示すもので、第1の実施形態と差異がある部分を簡単に言うと、開閉駆動機構 J3' を制御する機能が追加になっている。ハンド制御装置 500' の制御構成は指令値生成部 530'、モータ制御部 541'、542'、モータドライバ 505' からなる。指令値生成部 530' は、把持指令と把持指令テーブル 511' に基づいて、各モータ 311'、312'、313' へ制御パラメータを各モータ制御部 541'、542'、543' に渡す。ここでいう制御パラメータは、制御モード（位置制御あるいは力制御）、目標把持位置、目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数である。

【0088】

なお各モータ 311'、312'、313' への制御モードが位置制御の場合は目標把持位置が各モータ制御部 541'、542'、543' で用いられる。また各モータ 311'、312'、313' への制御モードが力制御の場合は目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数が各モータ制御部 541'、542'、543' で用いられる。

【0089】

なお本実施形態では、すべてのモータ 311'、312'、313' が位置制御と力制御のどちらかを選択できる。各モータのモータ制御部 541'、542'、543' は、指令値生成部 530' から渡された制御モードに応じてモータドライバ 551'、552'、553' へ各モータ 311'、312'、313' の制御値を渡す。

【0090】

モータ制御部 541'、542'、543' の機能は同一であり、モータ制御部 541' に着目すると、その構成及び動作は、図3に示す第1の実施形態と同様である。

【0091】

把持指令テーブル 511'（図12）について説明する。把持指令テーブル 511' は、第1の実施形態の把持指令テーブル 511（図4）と異なり、すべての開閉駆動機構 J1'、J2'、J3' において、位置制御または力制御の関連パラメータが設定されるように構成されている。

【0092】

すなわち、把持指令テーブル 511' は、把持指令の番号毎に把持パターン、把持モード、各開閉駆動機構 J1'、J2'、J3' の目標把持位置、目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数の項目が設定される。本実施形態では、把持パターンは以下の8種類の内いずれかが設定される。つまり、[PPPP]、[FPPP]、[PPFP]、[PPFF]、[FFPP]、[FFPF]、[PPFF]、[FFFF] の8種類であり、3本の把持指を用いてより多様な制御が可能となっている。

【0093】

ここで、本実施形態におけるハンド制御装置 500' の、ワーク W1 の把持処理方法について説明する。前提条件として、アーム 200、ハンド 300' をワーク W1 の把持直前位置まで移動した状態から開始するものとする。また、開始後は、後述する把持処理によって3つすべての指を力制御してワーク W1 を把持するものとする。

【0094】

上述したハンド制御装置 500' により把持処理する手順は、第1の実施形態と同様に、図5に示すブロック図と図6に示すフローチャートにより行う。ただし、各ステップにおいて、第1の実施形態と差異があるので、詳述する。

【 0 0 9 5 】

まず、ハンド制御装置 5 0 0 ' は、各指の制御切換部 5 4 8 を接点 1 に切換、力制御を行う（ステップ S 1 1 ）。各指の制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は各指の力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値が用いられる。

【 0 0 9 6 】

次に、各指の力制御部 5 4 7 において、把持力制御値と力センサの計測値との差が所定回数連続で範囲内か判断する（ステップ S 1 2 ）。ここで、各指で目標把持力、力制御完了幅、力制御完了カウント数が異なるので、すべての指が前述の範囲内であれば力制御完了とみなし、各指の力制御部 5 4 7 から完了判定信号を O N にして出力し、ステップ S 1 3 へ進む。すべての指が前述の範囲内に入っていない場合は、ステップ S 1 1 に戻る。

10

【 0 0 9 7 】

ステップ S 1 3 では、各指の記憶部 5 4 9 は、完了判定信号が O N に遷移したのを受けてから、各指の力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値を R A M 5 0 3 に保存する。本実施形態では 3 指分の把持力制御値を保存することになる。

【 0 0 9 8 】

続いて、各指の制御切換部 5 4 8 を接点 2 に切換、位置制御を行う（ステップ S 1 4 ）。なお、そのときの各指の位置制御部 5 4 6 の目標把持位置は、完了判定信号が O N に遷移した時点で、そのときの各指のエンコードによって検出されている現在位置に切り換えられる。また、各指の制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は、接点 2 の入力、つまり、各指の記憶部 5 4 9 で保持された把持力制御値と各指の位置制御部 5 4 6 から出力された把持位置制御値の和となる。また把持力の変動が所定の力完了幅内に収まるレベルまで減少しているため、ステップ S 1 4 に入った時を把持完了とみなすことができる。このように制御することで把持部に力をかけながら位置制御の把持制御に切り換えることができる。

20

【 0 0 9 9 】

なお、把持指令テーブル 5 1 1 ' の力制御完了カウント数は、第 1 の実施形態と同様に、ユーザが設定しても良いが、以下の方法で自動化が可能である。

【 0 1 0 0 】

力制御完了カウント数を自動設定する方法は、基本的には第 1 の実施形態と同様に、図 8 のフローチャートに従う。第 1 の実施形態と差分がある部分は、設定する力制御完了カウント数が各指にあることと、ステップ S 2 3 以降の処理を各指それぞれに対して行うことである。前記差分を考慮した上で図 1 1 のフローチャートにより、力制御完了カウント数を自動設定することができる。

30

【 0 1 0 1 】

以上説明したように、本実施形態のハンド制御装置 5 0 0 ' によれば、把持部が 3 指になっても把持が位置制御のみの把持制御に切換った際の把持力変動を小さくできる。そのため、移行時間を必要とせず、ワークを素早く把持から搬送に切り換えることができる。これにより、把持部の指の数が変動してもワークを位置決めしつつ一定の把持力で把持し、高速に把持から搬送を行い、組付を行うことができる。また、複数の把持指により安定してワークを把持、搬送し、組付を行うことができる。

40

【 0 1 0 2 】

< 第 3 の実施形態 >

上述の第 1 および第 2 の実施形態では、把持完了時の力制御部からの把持力制御値を、ワークを把持する毎に記憶する場合について説明した。しかしながら、本発明は、一度記憶した把持力制御値を次のワークでも使用できるものである。

【 0 1 0 3 】

なお、以下では、第 1 の実施形態と同一ないし相当する構成については同一の参照符号を用い、それらの説明は省略ないし簡略化するものとし、第 1 の実施形態と異なる点を中心に説明する。

【 0 1 0 4 】

50

本実施形態では、第１の実施形態と同様に、ロボットシステム１００を用いる。つまり、ロボットシステム１００は、アーム本体２００、ハンド３００、システム制御装置４００、ハンド制御装置５００、アーム制御装置６００を備える。

【０１０５】

同様に、組立用部品であるワークＷ１は、ワーク載置台Ｓ１上に載置され、被組立対象物であるワークＷ２は、ワーク固定台Ｓ２上に固定されている。本実施例は、例えばアーム本体２００とハンド３００を用いてワークＷ１を把持し、搬送動作へ移行する際に適用である。

【０１０６】

第１の実施形態と差異がある部分は、ハンド制御装置５００である。ハンド制御装置５００は、第１の実施形態と同様に、ＣＰＵ、ＲＯＭ、ＲＡＭ、汎用信号インターフェイスなどから構成される。第１の実施形態と差異がある部分は、ＲＯＭとＲＡＭに格納される情報である。ＲＯＭには、後述する第３の実施形態における把持処理を実現するハンド３００の制御プログラムが格納される。

【０１０７】

本実施形態のハンド制御装置５００の制御概略図は、第１の実施形態と同様に図３に示される。本実施形態ではモータ制御部５４１、５４２の機能が変更になっている。モータ制御部５４１、５４２の機能は同一であるので、例として開閉駆動機構Ｊ１のモータ制御部５４１のブロック線図を図１３に示す。

【０１０８】

同図において、第１の実施形態と異なる部分について述べる。記憶部５４９は、後述する把持処理手順に基づき、力制御部５４７からの完了判定信号がＯＮになったとき、そのときの力制御部５４７から出力される把持力制御値をそのときの把持指令番号と紐付けて記憶する。

【０１０９】

制御切換部５４８は、モータ３１１への制御モードと後述する把持処理手順に基づいて、位置制御部５４６からの接点３、あるいは、力制御部５４７からの接点１、または、位置制御部５４６と記憶部５４９からの接点２を選択する。

【０１１０】

制御切換部５４８の接点１に切り換えられた場合は、力制御部５４７からの把持力制御値が制御切換部５４８から出力され、力制御が実行される。

【０１１１】

制御切換部５４８の接点２に切り換えられた場合は、第１の実施形態と同様に、位置制御部５４６からの把持位置制御値と記憶部５４９からの把持力制御値の和が制御切換部５４８から出力され、位置制御が実行される。

【０１１２】

制御切換部５４８の接点３に切り換えられた場合は、第１の実施形態と同様に、位置制御部５４６の把持位置制御値が制御切換部５４８から出力され、把持指の位置制御が実行される。

【０１１３】

このように制御することで、把持指に対して、目標とする把持力に制御する力制御から、把持指を目標位置へと位置制御する位置制御に切り換えた際、切換直前の把持力制御値すなわち把持力を維持したまま、位置制御のみの把持制御に切り換えることができる。

【０１１４】

ここで、本実施形態におけるハンド制御装置５００の、ワークＷ１の把持処理方法について説明する。前提条件として、第１の実施形態と同様に、アーム２００、ハンド３００をワークＷ１の把持直前位置まで移動した状態から開始するものとする。また、第２指は既に位置決めされ、後述する把持処理によって第１指が力制御でワークＷ１を把持するものとする。

【０１１５】

10

20

30

40

50

上述したハンド制御装置 5 0 0 ' ' により把持処理する手順を、図 1 4 に示すフローチャート用いて説明する。例えば、ワーク W 1 を把持指令テーブル 5 1 1 の把持指令番号 3 で 2 回把持する場合について説明する。

【 0 1 1 6 】

まず、ハンド制御装置 5 0 0 ' ' は、今までと異なる把持指令番号か、または把持力制御値を新たに記憶するか判断する（ステップ S 3 1 ）。把持力制御値を新たに記憶するかは、把持指令テーブル 5 1 1 ' ' の記憶されている把持指令値記憶部 5 1 0 ' ' において、ハンド 3 0 0 を制御する上で必要な関連設定値として書かれる。今までと異なる把持指令番号である場合、または、把持力制御値を新たに記憶する場合は、ステップ S 3 2 へ進む。それ以外の場合は、ステップ S 3 6 へ進む。

10

【 0 1 1 7 】

次にハンド制御装置 5 0 0 ' ' は、制御切換部 5 4 8 を接点 1 に切り換えて力制御を行う（ステップ S 3 2 ）。把持指令番号 3 より目標把持力は 5 N となる。制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値と記憶部 5 4 9 からの把持力制御値の和が用いられる。

【 0 1 1 8 】

ただし、このとき、記憶部 5 4 9 で記憶された把持力制御値は無いので、記憶部 5 4 9 からの把持力制御値はゼロとなる。結果として、制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値だけが用いられる。

【 0 1 1 9 】

続いて、力制御部 5 4 7 において、目標把持力と力センサの計測値との差が所定回数連続で範囲内か判断する（ステップ S 3 3 ）。把持指令番号 3 より、力制御完了幅が 1 N、力制御完了カウント数 3 である。すなわち、目標把持力と力センサの計測値との差が、制御周期 3 回（力制御完了カウント数）連続で ± 1 N（力制御完了幅）以内か判断する。前述の範囲内であれば力制御完了とみなし、力制御部 5 4 7 から完了判定信号を ON にして出力し、ステップ S 3 4 へ進む。前述の範囲外であれば、ステップ S 3 2 に戻る。

20

【 0 1 2 0 】

ステップ S 3 4 では、記憶部 5 4 9 は、完了判定信号が ON に遷移したのを受けてから、力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値をそのときの把持指令番号と紐付けて記憶部 5 4 9 に保存する。本実施形態の場合は、把持指令番号 3 と紐付けて把持力制御値が保存される。

30

【 0 1 2 1 】

続いて、制御切換部 5 4 8 を接点 2 に切換、位置制御を行う（ステップ S 3 5 ）。なお、そのときの位置制御部 5 4 6 の目標把持位置は、完了判定信号が ON に遷移した時点で、そのときのエンコーダの現在位置に切り換えられる。また、制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は、接点 2 の入力、つまり、記憶部 5 4 9 に保持された把持指令番号 3 と紐付けられた把持力制御値と位置制御部 5 4 6 から出力された把持位置制御値の和となる。また、把持力の変動が小さいため、ステップ S 3 5 に入った時を把持完了とみなすことができる。

【 0 1 2 2 】

また、ハンド制御装置 5 0 0 ' ' は、制御切換部 5 4 8 を接点 1 に切換、力制御を行う（ステップ S 3 6 ）。把持指令番号 3 より、目標把持力は 5 N となる。制御切換部 5 4 8 から出力される制御値は力制御部 5 4 7 から出力された把持力制御値と記憶部 5 4 9 からの把持力制御値の和が用いられる。

40

【 0 1 2 3 】

ただし、このとき、記憶部 5 4 9 からの把持力制御値は、記憶部 5 4 9 には把持指令番号 3 と紐付けられた把持力制御値が出力される。

【 0 1 2 4 】

そして、力制御部 5 4 7 において、把持力制御値と力センサの計測値との差が所定回数連続で範囲内か判断する（ステップ S 3 7 ）。前述の範囲内であれば力制御完了とみなし

50

、力制御部 5 4 7 から完了判定信号を ON にして出力し、ステップ S 3 5 へ進む。前述の範囲外であれば、ステップ S 3 6 に戻る。

【 0 1 2 5 】

図 1 5 は、本実施形態と比較例とにおける、把持力の時刻歴応答を示す図である。ここで、第 1 の実施形態とは、今まで把持指令番号 3 で動作させたことがない状態で、把持指令番号 3 の処理を実行した場合である。すなわち、ステップ S 3 1 の判断でステップ S 3 2 へ進んで把持処理をした場合である。第 3 の実施形態とは、既に把持指令番号 3 で動作させたことがある状態で、把持指令番号 3 の処理を実行した場合である。すなわち、ステップ S 3 1 の判断でステップ S 3 6 へ進んで把持処理をした場合である。

【 0 1 2 6 】

一方、比較例とは、図 1 4 のステップ S 3 4 の処理を飛ばし、ステップ S 3 5 において接点 2 ではなく接点 3 に切り換えた場合、つまり単純な力制御のみの把持制御から位置制御のみの把持制御に切替えた場合である。

【 0 1 2 7 】

図 1 5 から明らかなように、第 1 の実施形態、第 3 の実施形態では、比較例に対して把持完了までの時間を短縮することができた。比較例では、力制御から位置制御への切替直後は、位置制御の偏差がゼロのため把持位置制御値がゼロとなり、ワークの剛性により指先が押し戻され、把持力変動が生じる。元の位置に戻ろうと位置制御部 5 4 6 が働くが、偏差をゼロにし把持完了するまでは時間がかかる。

【 0 1 2 8 】

一方、第 1 の実施形態では、力をかけたまま位置制御へ移行できるので把持力変動が小さく、短期間に把持完了することができた。さらに、第 3 の実施形態では、ステップ 3 6 の力制御をする際に、把持指令番号 3 と紐付けられた把持力制御値がフィードフォワードとして加わる。そのため力制御の応答が速く収束することにより、第 1 の実施形態よりも早く把持完了することができた。ハンド 3 0 0 の駆動部であるモータ 3 1 1 やギヤ 3 2 1 には摩擦があり、それが経年変化するため、フィードフォワード量を事前に計算から求めるのは困難だったが、図 1 4 に示す把持処理により、それが可能となる。

【 0 1 2 9 】

なお、把持指令テーブル 5 1 1 ' ' の力制御完了カウント数は、ユーザが設定しても良いが、第 1 の実施形態と同様の方法で自動化が可能である。

【 0 1 3 0 】

さらに、種々のワークに対応した把持力制御値をあらかじめ記憶部 5 4 9 に紐付けて格納し、上記のように把持制御しても良い。

【 0 1 3 1 】

以上説明したように、本実施形態のハンド制御装置 5 0 0 ' ' によれば、把持が位置制御に切り換った際の把持力変動を小さくできる。そのため、移行時間を必要とせず、ワークを把持から搬送に素早く切り換えることができる。さらに、既に実施した把持指令番号と把持力制御値を紐付け記憶することにより、2 回目以降の把持処理時間を短縮することができる。これらにより、ワークを位置決めしつつ一定の把持力で把持し、高速に把持から搬送を行い、組付を行うことができる。

【 0 1 3 2 】

また、以上述べた第 1 の実施形態、第 2 の実施形態、第 3 の実施形態の把持処理手順は具体的にはハンド制御装置 5 0 0、5 0 0 '、5 0 0 ' ' 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ソフトウェアのプログラムを記録した記録媒体をハンド制御装置 5 0 0、5 0 0 '、5 0 0 ' ' に供給し、CPU 5 0 1 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構成することができる。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各実施形態の機能を実現することになり、プログラム自体およ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 1 3 3 】

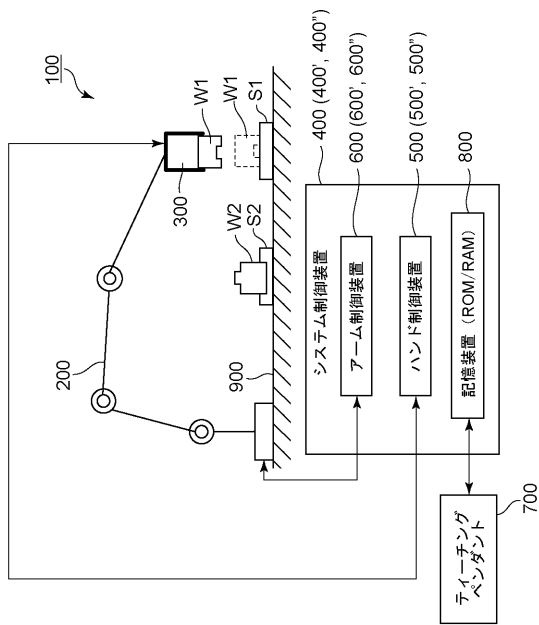
また、各実施形態では、コンピュータで読み取り可能な記録媒体がROM 502 或いはRAM 503 であり、ROM 502 或いはRAM 503 にプログラムが格納される場合について説明したが、本発明はこのような形態に限定されるものではない。本発明を実施するためのプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体であれば、いかなる記録媒体に記録されていてもよい。例えば、プログラムを供給するための記録媒体としては、HDD、外部記憶装置、記録ディスク等を用いてもよい。

【符号の説明】

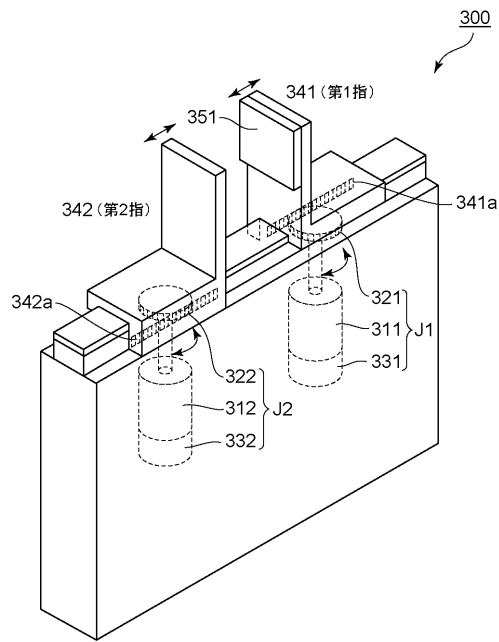
【0134】

100	ロボットシステム	
200	アーム本体	10
300、300'	ハンド	
311、312、311'、312'、313'	モータ	
321、322、321'、322'、323'	ギヤ	
331、332、331'、332'、333'	エンコーダ	
341、341'、342'、343'	把持指	
351、351'、352'、353'	力センサ	
400、400'、400''	システム制御装置	
500、500'、500''	ハンド制御装置	
600、600'、600''	アーム制御装置	
505、505'	モータドライバ	20
510、510'、510''	把持指令値記憶部	
511、511'、511''	把持指令テーブル	
530、530'	指令値生成部	
541、542、541'、542'、543'、541''、542''	モータ制御部	
546	位置制御部	
547	力制御部	
548	制御切換部	
549	記憶部	
700	ティーチングペンダント	30
900	基台	
J1、J2、J1'、J2'、J3'	開閉駆動機構	
S1	ワーク載置台	
S2	ワーク固定台	
W1、W2	ワーク	

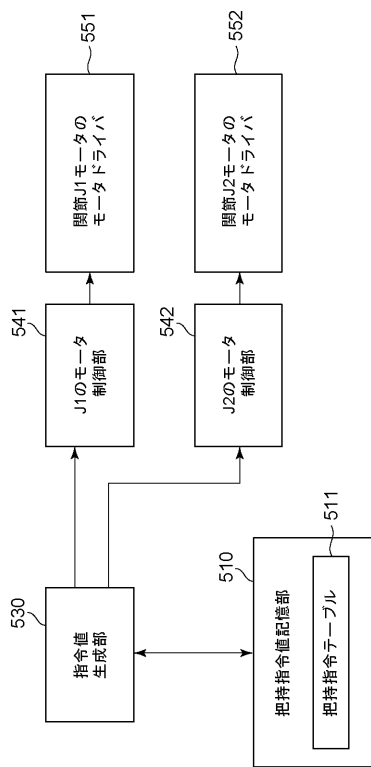
【図 1】



【図 2】



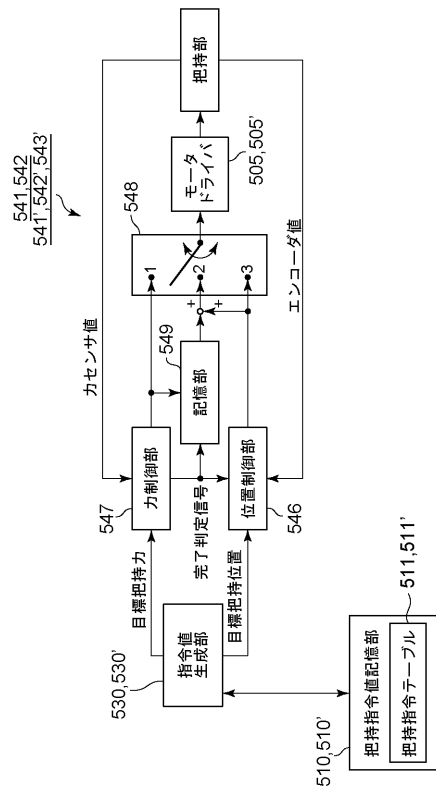
【図 3】



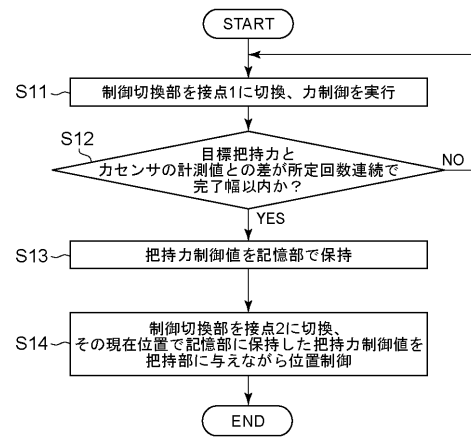
【図 4】

把持全体設定				J1設定				J2設定
把持 指令 番号	把持 パターン		把持 モード	目標 把持 位置 Xref1 [mm]	目標 把持力 Fref1 [N]	力制御 完了幅 εf1 [N]	力制御 完了 カウント数 Nf1[-]	目標 把持 位置 Xref2 [mm]
1	P	P	外形把持	0	-	-	-	0
2	P	P	外形把持	20	-	-	-	20
3	F	P	外形把持	-	5	1	3	20
4	P	P	内形把持	0	-	-	-	0
...								

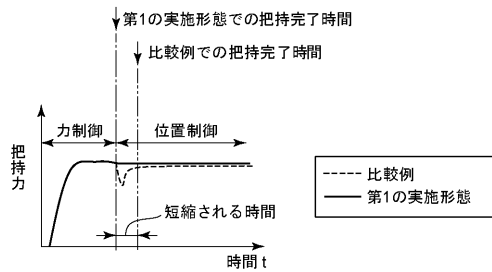
【 図 5 】



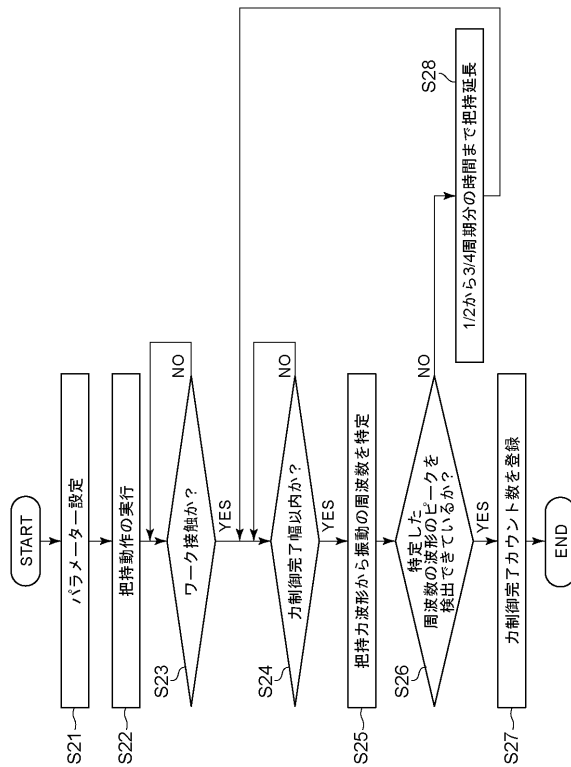
【 図 6 】



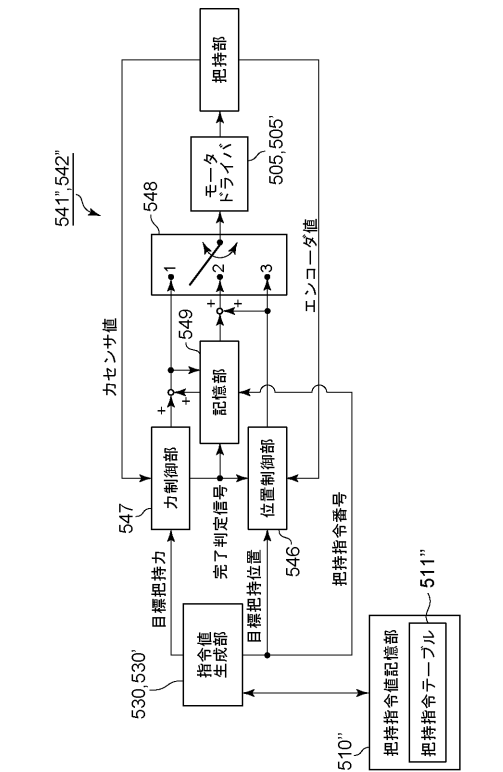
【 圖 7 】



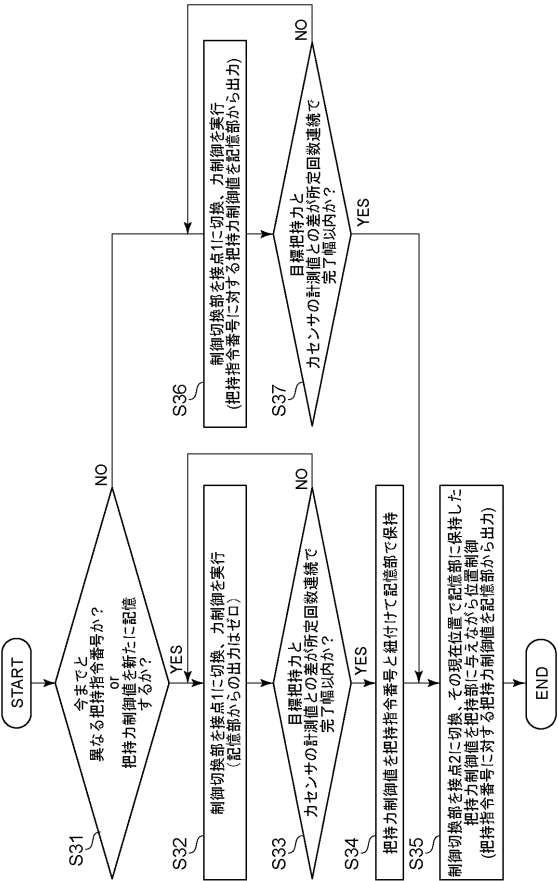
【 図 8 】



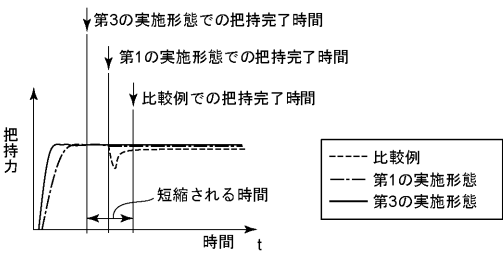
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-230239(JP,A)
特開2001-038667(JP,A)
特開昭62-120990(JP,A)
特開2015-003378(JP,A)

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