

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7678135号
(P7678135)

(45)発行日 令和7年5月15日(2025.5.15)

(24)登録日 令和7年5月7日(2025.5.7)

(51)国際特許分類	F I			
B 2 5 J 13/08 (2006.01)	B 2 5 J 13/08	Z		
B 2 5 J 15/08 (2006.01)	B 2 5 J 15/08	W		

請求項の数 12 (全20頁)

(21)出願番号	特願2023-563786(P2023-563786)	(73)特許権者	000006633
(86)(22)出願日	令和4年11月29日(2022.11.29)		京セラ株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/044048		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
(87)国際公開番号	WO2023/095928	(74)代理人	100147485
(87)国際公開日	令和5年6月1日(2023.6.1)		弁理士 杉村 憲司
審査請求日	令和6年5月27日(2024.5.27)	(74)代理人	230118913
(31)優先権主張番号	特願2021-193651(P2021-193651)		弁理士 杉村 光嗣
(32)優先日	令和3年11月29日(2021.11.29)	(74)代理人	100132045
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 坪内 伸
		(74)代理人	100195534
			弁理士 内海 一成
		(72)発明者	山岸 友樹
			京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
			京セラ株式会社内
		(72)発明者	大野 一樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 制御装置、ロボット制御システム、及びロボット制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

把持対象物を把持可能であり、第1指及び第2指を有するハンド部を制御するハンド制御部を備え、

前記ハンド制御部は、

前記第1指及び前記第2指に連携している少なくとも1つのセンサから前記把持対象物から前記第1指及び前記第2指のそれぞれに作用する力を示す複数の力情報を取得し、

前記複数の力情報の関係が前記複数の力情報の和が所定の値より大きく、かつ、前記複数の力情報の差の絶対値が所定の値より小さいという領域に位置するか否かに基づいて前記把持対象物に接触する前記第1指及び前記第2指の接触領域の適否を判定する、

制御装置。

【請求項2】

前記ハンド制御部は、前記接触領域の適否に基づいて、前記把持対象物に対する前記ハンド部の把持接触状態が前記把持対象物に対する作業を実行可能な作業可能状態であるか判定する、請求項1に記載の制御装置。

【請求項3】

前記ハンド制御部は、前記第1指及び前記第2指に配された複数の接触力センサの前記複数の力情報に基づき、前記接触領域の適否を判定する、請求項1に記載の制御装置。

【請求項4】

前記ハンド制御部は、前記ハンド部に配された、少なくとも1つの力覚センサの前記複

数の力情報に基づき、前記接触領域の適否を判定する、請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 5】

前記ハンド制御部は、前記第 1 指及び前記第 2 指に接触する把持対象物の接触位置及び接触角度に基づいて、前記接触領域の適否を判定する、請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 6】

前記ハンド制御部は、

前記複数の力情報の関係に基づいて、前記把持対象物に接触する前記第 1 指及び前記第 2 指の接触力の適否を判定するとともに、

前記接触力の適否に基づいて、前記把持対象物に対する前記ハンド部の把持接触状態が前記把持対象物に対する作業を実行可能な作業可能状態であるか判定する、請求項 1 に記載の制御装置。

10

【請求項 7】

前記ハンド制御部は、前記把持接触状態が作業可能状態であると判定した場合、前記把持接触状態を前記作業可能状態のまま維持するように前記ハンド部を制御する、請求項 6 に記載の制御装置。

【請求項 8】

前記ハンド制御部は、前記把持接触状態が前記作業可能状態でない場合、前記把持対象物に対する前記ハンド部の把持の仕方を変更するように、前記ハンド部を制御する、請求項 6 に記載の制御装置。

【請求項 9】

前記ハンド制御部は、

前記把持接触状態が前記作業可能状態でない場合、前記複数の力情報に基づいて、前記把持接触状態が前記作業可能状態でない原因が、前記把持対象物が前記各指で把持されている位置であるか、前記把持対象物が把持されている姿勢であるかを推定する、請求項 6 に記載の制御装置。

20

【請求項 10】

前記ハンド制御部は、前記ハンド部が有する第 3 指に連携しているセンサから前記第 3 指に作用する力を示す力情報をさらに取得し、前記接触領域の適否を判定する、請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 11】

請求項 1 から 10 までのいずれか一項に記載の制御装置と、ハンド部を有するロボットとを備える、ロボット制御システム。

30

【請求項 12】

把持対象物を把持可能であり、第 1 指及び第 2 指を有するハンド部を制御する制御装置が、前記第 1 指及び前記第 2 指に連携している少なくとも 1 つのセンサから前記把持対象物から前記第 1 指及び前記第 2 指のそれぞれに作用する力を示す複数の力情報を取得することと、

前記制御装置が、前記複数の力情報の関係が前記複数の力情報の和が所定の値より大きく、かつ、前記複数の力情報の差の絶対値が所定の値より小さいという領域に位置するかどうかに基づいて前記把持対象物に接触する前記第 1 指及び前記第 2 指の接触領域の適否を判定することと

40

を含むロボット制御方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願へのクロスリファレンス】

【0001】

本出願は、日本国特許出願 2021-193651 号（2021 年 11 月 29 日出願）の優先権を主張するものであり、当該出願の開示全体を、ここに参照のために取り込む。

【技術分野】

【0002】

本開示は、制御装置、ロボット制御システム、及びロボット制御方法に関する。

50

【背景技術】

【0003】

物体把持まで時間を要せず、物体形状に依存しないで安定して未知の形状物体を把持することができるロボットの制御方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2003-245883号公報

【発明の概要】

【0005】

本開示の一実施形態に係る制御装置は、把持対象物を把持可能であり、第1指及び第2指を有するハンド部を制御するハンド制御部を備える。前記ハンド制御部は、前記第1指及び前記第2指に連携している少なくとも1つのセンサから前記把持対象物から前記第1指及び前記第2指のそれぞれに作用する力を示す複数の力情報を取得する。前記ハンド制御部は、前記複数の力情報の関係に基づいて前記把持対象物に接触する前記第1指及び前記第2指の接触領域の適否を判定する。

10

【0006】

本開示の一実施形態に係るロボット制御システムは、前記制御装置と、ハンド部を有するロボットとを備える。

【0007】

本開示の一実施形態に係るロボット制御方法は、把持対象物を把持可能であり、第1指及び第2指を有するハンド部を制御する制御装置によって実行される。前記ロボット制御方法は、前記制御装置が、前記第1指及び前記第2指に連携している少なくとも1つのセンサから前記把持対象物から前記第1指及び前記第2指のそれぞれに作用する力を示す複数の力情報を取得することを含む。前記ロボット制御方法は、前記制御装置が、前記複数の力情報の関係に基づいて前記把持対象物に接触する前記第1指及び前記第2指の接触領域の適否を判定することを含む。

20

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】一実施形態に係るロボット制御システムの構成例を示すブロック図である。

30

【図2】ハンド制御装置及びハンド部の構成例を表すブロック図である。

【図3】ハンド部が把持対象物を把持する態様の一例を示す模式図である。

【図4A】把持対象物の中心と指の中心とが一致する例を示す模式図である。

【図4B】把持対象物が一方の指に対して偏って位置する例を示す模式図である。

【図4C】把持対象物が一方の指に対して偏って位置し、かつ、指の中心から外れて位置する例を示す模式図である。

【図5】各指の接触力センサの出力の関係をプロットした2次元グラフの例である。

【図6】図4Bの接触状態において各指の接触力センサの出力とモータの回転角度との関係の一例を示すグラフである。

【図7】図4Cの接触状態において各指の接触力センサの出力とモータの回転角度との関係の一例を示すグラフである。

40

【図8】一実施形態に係るロボット制御方法の手順例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】

【0009】

物体への接触の前後で把持の制御を切り替える場合、制御の不連続範囲において把持が不安定になることがある。把持の安定性の向上が求められる。

【0010】

図1に示されるように、一実施形態に係るロボット制御システム1は、ロボット2と、制御装置70とを備える。ロボット2は、アーム3とハンド部4とを備える。アーム3は、関節とリンクとを備えてよい。ハンド部4は、把持対象物8（図3参照）を把持可能に

50

構成される。本実施形態の制御装置 70 は、ロボット制御部 10 とハンド制御部 20 とを備える。なお、制御装置 70 は、少なくともハンド制御部 20 を有していればよい。ロボット制御部 10 は、ロボット 2 の動作を制御する情報に基づいてロボット 2 のアーム 3 を動作させてハンド部 4 を把持対象物 8 の位置まで移動させる。ハンド部 4 が把持対象物 8 の位置に近づく動作は、アプローチ動作とも称される。ロボット制御部 10 は、ハンド部 4 の把持対象物 8 へのアプローチ動作を制御する。ハンド制御部 20 は、ハンド部 4 を制御してハンド部 4 に把持対象物 8 を把持させる。

【0011】

ロボット制御部 10 及びハンド制御部 20 は、例えば以下に説明する動作を実行してよい。ロボット制御部 10 は、把持対象物 8 を把持できる位置にハンド部 4 を移動させるようにアーム 3 を制御する。ハンド制御部 20 は、ハンド部 4 が把持対象物 8 まで移動した状態で把持対象物 8 を把持するように把持対象物 8 を把持する目標位置を決定してハンド部 4 を制御する。ロボット制御部 10 は、ハンド部 4 が把持対象物 8 を把持した状態でハンド部 4 を上昇させるようにアーム 3 を制御することによって、把持対象物 8 を持ち上げて把持対象物 8 を移動させる目標地点まで移動させる。ハンド制御部 20 は、持ち上げた把持対象物 8 が目標地点まで移動した状態で把持対象物 8 の把持力を低下させて把持対象物 8 をハンド部 4 から離して目標地点に置く。

10

【0012】

ロボット制御部 10 は、ロボット 2 の動作を制御する情報を自身で生成して取得してよい。ロボット制御部 10 は、ネットワーク 60 を介して、又は、ネットワーク 60 を介さずに接続される情報処理装置 50 等の外部装置から、ロボット 2 の動作を制御する情報を取得してもよい。ハンド制御部 20 は、ハンド部 4 の動作を制御する情報を自身で生成して取得してよい。ハンド制御部 20 は、ロボット制御部 10 から、ハンド部 4 の動作を制御する情報を取得してもよい。ロボット制御部 10 とハンド制御部 20 とは一体に構成されてもよい。

20

【0013】

ロボット制御部 10 は、種々の機能を実行するための制御及び処理能力を提供するために、少なくとも 1 つのプロセッサを含んで構成されてよい。プロセッサは、ロボット制御部 10 の種々の機能を実現するプログラムを実行しうる。プロセッサは、単一の集積回路として実現されてよい。集積回路は、IC (Integrated Circuit) ともいう。プロセッサは、複数の通信可能に接続された集積回路及びディスクリート回路として実現されてよい。プロセッサは、他の種々の既知の技術に基づいて実現されてよい。

30

【0014】

ロボット制御部 10 は、記憶部を備えてよい。記憶部は、磁気ディスク等の電磁記憶媒体を含んでよいし、半導体メモリ又は磁気メモリ等のメモリを含んでもよい。記憶部は、各種情報及びロボット制御部 10 で実行されるプログラム等を格納する。記憶部は、ロボット制御部 10 のワークメモリとして機能してよい。記憶部の少なくとも一部は、ロボット制御部 10 とは別体として構成されてもよい。

【0015】

図 2 に示されるように、ハンド制御部 20 は、状態推定部 21 と、変換部 22 と、位置制御部 24 と、加算器 25、26 及び 27 と、スイッチ 29 とを備える。ハンド制御部 20 は、少なくとも 1 つのプロセッサを含んで構成されてよい。ハンド制御部 20 は、記憶部を含んで構成されてよい。なお、各構成部の動作は後述されるが、以下簡単に説明される。状態推定部 21 は、ハンド部 4 の把持対象物 8 の把持状態を推定する。変換部 22 は、信号を変換する。変換部 22 は、把持力情報を位置情報へ変換することができる。位置制御部 24 は、ハンド部 4 の位置を制御する制御信号を出力する。加算器 25、26、27 は、信号を加算又は減算する。スイッチ 29 は、信号の出力経路の開閉を切り替える。

40

【0016】

ロボット制御部 10 は、ロボット制御部 10 に接続されたカメラなどから画像情報を取得し、ロボット 2 のアーム 3 の制御又は把持対象物 8 を認識するための画像処理等を実行

50

する。ハンド制御部 20 は、例えば認識した把持対象物 8 を把持するように、ハンド部 4 を制御する。ロボット制御部 10 の演算負荷とハンド制御部 20 の演算負荷とは、互いに異なる。ロボット制御部 10 とハンド制御部 20 とは、別体で構成されてよい。ロボット制御部 10 は、ロボット 2 の本体又はアーム 3 の足元に設置されたコンピュータとして構成されてよい。ハンド制御部 20 は、ハンド部 4 の内部に組み込まれた CPU 等のプロセッサとして構成されてよい。ハンド制御部 20 は、ロボット制御部 10 と同一又は類似に構成されてもよい。

【0017】

ハンド部 4 は、モータ 41 と、エンコーダ 42 と、第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B と、力覚センサ 44 とを備える。第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B は、接触力センサ 43 とも総称される。モータ 41 は、例えばステッピングモータ等のサーボモータとして構成され、制御信号に基づいて回転角度を制御する。エンコーダ 42 は、モータの回転角度を検出してハンド制御部 20 に出力する。エンコーダ 42 は、ロボット 2 のアーム 3 又はハンド部 4 の位置若しくは姿勢、又は、速度若しくは加速度等を検出する。ハンド部 4 は、モーションセンサを更に備えてもよい。モーションセンサは、ロボット 2 のアーム 3 の関節に設置されてよい。

10

【0018】

エンコーダ 42、接触力センサ 43 及び力覚センサ 44 は、単にセンサとも称される。ハンド部 4 は、複数のセンサを有する。接触力センサ 43 及び力覚センサ 44 の説明は、後述される。

20

【0019】

図 3 に示されるように、ハンド部 4 は、2 本の指 45A 及び 45B を備える。ハンド部 4 は、モータ 41 を駆動することによって 2 本の指 45A 及び 45B の間隔を制御し、2 本の指 45A 及び 45B によって把持対象物 8 を把持する。ハンド部 4 は、把持対象物 8 を把持した状態で、Z 軸の正の方向に移動することによって、把持対象物 8 を Z 軸方向に持ち上げる。図 3 において、Z 軸の負の方向は、把持対象物 8 に重力が作用する方向に対応する。把持対象物 8 に重力が作用する方向は、鉛直方向とも称される。

【0020】

指 45A は、把持対象物 8 に接触する部分に配された 1 又は複数の第 1 接触力センサ 43A を備える。指 45B は、把持対象物 8 に接触する部分に配された 1 又は複数の第 2 接触力センサ 43B を備える。第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B は、指 45A 及び 45B が把持対象物 8 を把持する場合に把持対象物 8 から指 45A 及び 45B に作用する力を検出する。指 45A 及び 45B に把持対象物 8 から作用する力は、接触力とも称される。第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B が検出した接触力の情報は、力情報とも称される。指 45A は、第 1 指とも称される。指 45B は、第 2 指とも称される。

30

【0021】

第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B は、圧電センサ又は歪みゲージ等として構成されてよい。第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B は、複数の軸に沿った方向の力を検出できるように構成されてよい。第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B は、複数の方向それぞれの力に対応する複数のセンサを含んで構成されてよい。力情報は、第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B の検出結果だけでなく、ロボット 2 を駆動するモータに流れる電流を検出する電流センサの検出結果に基づいて取得されてもよい。

40

【0022】

ハンド部 4 は、2 本の指 45A 及び 45B を支持する本体部分とロボット 2 のアーム 3 との間に配された 1 又は複数の力覚センサ 44 を備える。力覚センサ 44 は、2 本の指 45A 及び 45B を介して本体部分に作用する力又はトルクを検出する。力覚センサ 44 は、Z 軸の負の方向の力、つまり把持対象物 8 及びハンド部 4 に作用する重力を検出する。力覚センサ 44 は、圧電センサ又は歪みゲージ等として構成されてよい。力覚センサ 44

50

は、複数の方向それぞれの力又はトルクに対応する複数のセンサを含んで構成されてよい。力覚センサ 4 4 は、ハンド部 4 だけでなく、ロボット 2 のアーム 3 等に設置されてもよい。力覚センサ 4 4 が検出した力又はトルクの情報は、力情報に含まれる。

【 0 0 2 3 】

第 1 接触力センサ 4 3 A 及び第 2 接触力センサ 4 3 B はそれぞれ、指 4 5 A 及び 4 5 B に作用する力を検出するので、指 4 5 A 及び 4 5 B に連携しているといえる。また、力覚センサ 4 4 は、指 4 5 A 及び 4 5 B を支持するハンド部 4 の本体部分に作用する力又はトルクを検出するので、指 4 5 A 及び 4 5 B に連携しているといえる。

【 0 0 2 4 】

ハンド制御部 2 0 は、エンコーダ 4 2、接触力センサ 4 3 又は力覚センサ 4 4 等を含む複数のセンサの少なくとも 1 つの情報に基づいてハンド部 4 の位置を表す情報を取得してよい。ハンド部 4 の位置を表す情報は、ハンド部 4 の位置情報とも称される。ハンド部 4 の位置情報は、把持対象物 8 を把持する位置の情報を含んでもよい。

【 0 0 2 5 】

ロボット制御部 1 0 がロボット 2 のハンド部 4 に把持対象物 8 を把持させる場合、ハンド制御部 2 0 は、以下に説明されるようにハンド部 4 を制御してよい。

【 0 0 2 6 】

ハンド制御部 2 0 は、位置制御部 2 4 からハンド部 4 のモータ 4 1 に対してモータ 4 1 の回転角度を制御する制御信号を出力する。また、ハンド制御部 2 0 は、位置制御部 2 4 からハンド部 4 のモータ 4 1 に対して指 4 5 A 及び 4 5 B で把持対象物 8 を把持する力を制御する情報を制御信号として出力する。ハンド制御部 2 0 は、ハンド部 4 に対して信号を増幅するドライバ 2 8 を介して制御信号を出力する。ドライバ 2 8 は、モータ 4 1 を動作させる（アクチュエートする）電圧を出力する。

【 0 0 2 7 】

モータ 4 1 は、制御信号に基づいて回転角度を制御する。エンコーダ 4 2 は、モータ 4 1 の回転角度を検出してハンド制御部 2 0 の状態推定部 2 1 と加算器 2 6 とに出力する。モータ 4 1 に対して回転角度を制御する制御信号が出力され、かつ、モータ 4 1 の回転角度の検出結果がフィードバックされる制御ループは、内側の制御ループとも称され、接触力センサ 4 3 の出力を利用しない場合に単純な位置制御ループとして機能する。

【 0 0 2 8 】

モータ 4 1 は、制御信号に含まれる、把持対象物 8 を把持する力を制御する情報に基づいて指 4 5 A 及び 4 5 B を動かす力を制御する。第 1 接触力センサ 4 3 A は、指 4 5 A が把持対象物 8 に接触した場合の接触力を検出してハンド制御部 2 0 の状態推定部 2 1 に出力する。第 2 接触力センサ 4 3 B は、指 4 5 B が把持対象物 8 に接触した場合の接触力を検出してハンド制御部 2 0 の状態推定部 2 1 に出力する。

【 0 0 2 9 】

状態推定部 2 1 は、第 1 接触力センサ 4 3 A 及び第 2 接触力センサ 4 3 B が検出した接触力に基づいて、指 4 5 A 及び 4 5 B で把持対象物 8 を把持する力を算出する。把持対象物 8 を把持する力は、把持力とも称される。状態推定部 2 1 は、算出した把持力 T を加算器 2 5 に出力する。加算器 2 5 は、基準把持力 $r e f T$ から算出した把持力 T を減算した値を T として変換部 2 2 に出力する。 T は、基準把持力 $r e f T$ からの上下限設定範囲を表す。なお、基準把持力 $r e f T$ は、把持対象物 8 毎に定められてもよい。基準把持力 $r e f T$ は、例えば、把持対象物 8 毎にユーザによって設定されてもよい。基準把持力 $r e f T$ は、例えば、把持対象物 8 毎に設定されて記憶部に保持されていてもよく、把持対象物 8 に応じて記憶部から読み込まれてもよい。なお、この場合、ロボット制御システム 1 は、ユーザ入力を受け付けるキーボード、ポインタ又はタッチパネル等の入力部を有していてもよい。

【 0 0 3 0 】

変換部 2 2 は、 T を X に変換してスイッチ 2 9 に出力する。具体的には、変換部 2 2 は、例えば把持力 T を示すセンサ出力を、ハンド部 4 のモータ 4 1 の回転角度 θ へ変換

10

20

30

40

50

することができる。なお、変換部 22 は、例えば記憶部に記憶されたセンサ出力と回転角度との関係を示すテーブル情報を介して、 T から X への変換を行えばよい。なお、記憶部は、例えば不揮発メモリであってもよい。この場合、記憶部は、例えば、初期動作時、出荷時又は保守時における把持力情報から位置情報への変換テーブルを保持することができる。また、記憶部は、ロボット制御部 10 又はハンド制御部 20 の記憶部に限らず、ロボット制御部 10 又はハンド制御部 20 にネットワーク上で接続される記憶部であってもよい。この場合、変換部 22 は、例えば、識別情報を別途取得して、その識別情報に基づいて記憶部に記憶された変換テーブルを取得してもよい。なお、識別情報は、例えばロボット 2 の表面等に付与された QR コード又はバーコード等であってもよく、ロボット制御部 10 に接続されたカメラなどから変換テーブルのアドレスなどの認識情報を取得してもよい。

10

【0031】

X は、モータ 41 の回転角度が制御目標からずれている値を表す。変換部 22 は、 X をフィルタに通してスイッチ 29 に出力してもよい。フィルタは、例えば制御系の安定性のために高周波成分をカットするローパスフィルタを含んでよい。スイッチ 29 が閉状態である場合、変換部 22 の出力は加算器 27 に入力される。加算器 27 は、 X と ref とを加算して加算器 26 に出力する。 X と ref との加算結果は、把持力を考慮した場合のモータ 41 の回転角度の制御目標値を表す。加算器 26 は、加算器 27 から出力された把持力を考慮した場合のモータ 41 の回転角度の制御目標値から、エンコーダ 42 から出力されたモータ 41 の回転角度の検出結果を減算した値を位置制御部 24 に出力する。位置制御部 24 は、加算器 26 から入力された信号に基づいてモータ 41 を制御する。具体的に、位置制御部 24 は、エンコーダ 42 から取得したモータ 41 の回転角度の検出結果と制御目標値とに基づいて、モータ 41 の回転角度が制御目標値 (ref) に近づくようにモータ 41 を制御する。この制御を繰り返すことによって、ハンド部 4 の把持力は、制御目標値 ($ref T$) に近づけられる。なお、 ref は、例えば、 $ref T$ を回転角度へ変換した値であってもよい。

20

【0032】

モータ 41 に対して把持力が出力され、かつ、把持力がフィードバックされる制御ループは、外側の制御ループとも称され、接触力センサ 43 の出力を利用した力 (把持力) 制御ループとして機能する。

30

【0033】

ハンド制御部 20 は、スイッチ 29 の開閉によって、外側の制御ループを機能させる状態と機能させない状態とを制御できる。具体的に、ハンド制御部 20 は、スイッチ 29 を閉状態にすることによって X を位置制御部 24 にフィードバックさせて外側の制御ループを機能させる状態に制御できる。ハンド制御部 20 は、スイッチ 29 を開状態にすることによって X を位置制御部 24 にフィードバックさせずに ref だけをフィードバックさせて外側の制御ループを機能させない状態に制御できる。状態推定部 21 は、エンコーダ 42 から取得したモータ 41 の回転角度の検出結果と、接触力センサ 43 から取得した把持力の検出結果とに基づいて、スイッチ 29 の開閉を制御する信号を出力する。

40

【0034】

状態推定部 21 は、指 45 A 及び 45 B による把持状態に基づいて把持力をフィードバックする外側の制御ループを機能させるか決定する。言い換えれば、状態推定部 21 は、把持状態が安定しているか否かに基づいて、把持力をフィードバックするか否かを判断することができる。例えば図 4 A に示されるように、把持対象物 8 の中心 (Z 軸方向の一点鎖線と Y 軸方向の一点鎖線との交点) が Z 軸方向及び Y 軸方向の両方において指 45 A 及び 45 A の中間に位置する場合、指 45 A 及び 45 B それぞれの接触力が均等になり安定に検出される。接触力が安定に検出されることによって、指 45 A 及び 45 B による把持が把持力に基づいて安定に制御される。この場合、把持状態が安定しているともいえる。

【0035】

一方、例えば図 4 B に示されるように、把持対象物 8 の中心 (Z 軸方向の一点鎖線と Y

50

軸方向の一点鎖線との交点)がZ軸方向において指45A及び45Bの中間に位置するもののY軸方向において指45A及び45Bの一方に偏って位置する場合、把持対象物8は、指45A及び45Bの一方だけに先に接触したり、指45A及び45Bの一方に接触した後にY軸方向に動いて指45A及び45Bの他方に接触したりする。この場合、指45A及び45Bそれぞれの接触力が大きく変化し得る。また、指45A及び45Bそれぞれの接触力の差が大きくなり得る。その結果、指45A及び45Bそれぞれの接触力が安定に検出されない。接触力が安定に検出されないことによって、把持力に基づく把持の制御が不安定になる。この場合、把持状態が不安定であるともいえる。

【0036】

また、例えば図4Cに示されるように、把持対象物8の中心(Z軸方向の一点鎖線とY軸方向の一点鎖線との交点)がZ軸方向において指45A及び45Bの中間から外れて位置し、かつ、Y軸方向において指45A及び45Bの一方に偏って位置する場合、把持対象物8が指45A及び45Bの中心からずれることによって、第1接触力センサ43A又は第2接触力センサ43Bの少なくとも1つの出力が小さくなる。第1接触力センサ43A又は第2接触力センサ43Bの少なくとも1つの出力が小さくなることによって、把持力に基づく把持の制御が不安定になる。この場合、把持状態が不安定であるともいえる。

【0037】

状態推定部21は、把持力に基づく把持の制御が安定する場合に、指45A及び45Bが把持対象物8に接触する領域が適切であると判定してよい。一方で、状態推定部21は、把持力に基づく把持の制御が不安定である場合に、指45A及び45Bが把持対象物8に接触する領域が適切でないとして判定してよい。すなわち、ハンド制御部20は、状態推定部21によって、把持対象物8の把持状態の安定を判定してよい。具体的には、ハンド制御部20は、状態推定部21によって、把持対象物8に接触する指45A及び45Bの接触領域の適否を判定してよい。ハンド制御部20は、状態推定部21によって、複数の力情報に基づいて指45A及び45Bの接触領域の適否を判定してよい。ハンド制御部20は、状態推定部21によって、複数の第1接触力センサ43A又は複数の第2接触力センサ43Bの複数の力情報に基づいて接触領域の適否を判定してよい。ハンド制御部20は、状態推定部21によって、少なくとも1つの力覚センサ44の複数の力情報に基づいて接触領域の適否を判定してもよい。

【0038】

ハンド制御部20は、状態推定部21によって、複数の力情報に基づいて、指45A及び45Bに接触する把持対象物8の接触位置及び接触角度を推定してよい。ハンド制御部20は、状態推定部21によって、指45A及び45Bに接触する把持対象物8の接触位置及び接触角度に基づいて接触領域の適否を判定してよい。

【0039】

接触力センサ43の出力は、図5に例示される二次元のグラフで表され得る。図5のグラフにおいて、横軸は、第1接触力センサ43Aの出力(A)と第2接触力センサ43Bの出力(B)との和(A+B)を表す。縦軸は、第1接触力センサ43Aの出力(A)と第2接触力センサ43Bの出力(B)との差(A-B)と和(A+B)との比((A-B)/(A+B))を表す。

【0040】

指45A及び45Bによる把持対象物8の把持状態は、図5のグラフ上の点として表される。指45A及び45Bが把持対象物8の把持を開始した場合、A+Bの値が大きくなる方向に点が移動する。把持対象物8が指45A及び45Bの中央に近づくほど|A-B|の値が小さくなる。通常の把持状態において、A+Bの値が大きくなるほど、|A-B|の値が0に近づく。把持状態を表す点は、図5において破線で例示されているように、A+Bの値が小さい領域(左側)から大きい領域(右側)へ向けて横軸(A-B=0の線)に近づくように移動する。通常の把持状態は、指45A及び45Bが両方とも把持対象物8に接触している状態に対応する。

【0041】

10

20

30

40

50

図5のグラフは、複数の領域に分けられる。 $A + B < L_a$ の領域は、R1で表される。把持状態を表す点がR1で表される領域に位置する場合、接触力センサ43に対する把持対象物8の中心軸ずれ、接触把持に伴う接触力センサ43の出力値低減、又は、接触力センサ43の一方だけと把持対象物8との接触が発生している。 $A + B > L_a$ 、かつ、 $|A - B| / (A + B) < L_v$ （つまり、 $(A - B) / (A + B) < +L_v$ かつ $(A - B) / (A + B) > -L_v$ ）の領域は、R2で表される。把持状態を表す点がR2で表される領域に位置する場合、指45A及び45Bが適切な状態で把持対象物8に接触している。この場合、ハンド制御部20は、把持力に基づいて把持を制御できる。状態推定部21は、把持状態を表す点がR2で表される領域に位置する場合、指45A及び45Bの接触領域が適切であると判定する。R2で表される領域は、以下の式(1)で表される領域であってもよい。

【数1】

$$(A + B) > L_a \quad \& \quad \left| \frac{A - B}{A + B} \right| < L_v \quad (1)$$

$A + B$ で除算している意味は、 $A + B$ が大きくなるほど、センサ中心ずれに伴うセンサ出力値が減少するため、規格化（ノーマライズ）することで安定に判定ができる。

【0042】

一方で、 $A + B > L_a$ 、かつ、 $|A - B| / (A + B) > L_v$ （つまり、 $(A - B) / (A + B) > +L_v$ 又は $(A - B) / (A + B) < -L_v$ ）の領域は、R3で表される。把持状態を表す点がR3に位置する場合、指45A及び45Bの一方だけが把持対象物8に接触している状態のまま指45A及び45Bが閉じる方向に移動している。この場合、ハンド制御部20は、把持力に基づいて把持を制御できない。状態推定部21は、把持状態を表す点がR3で表される領域に位置する場合、指45A及び45Bの接触領域が適切でないと判定する。なお、一般的に、センサ出力（A及びB）は、回転角度の一次関数として表現することができたり、回転角度との関係を線形変換して一次関数として取り扱うことができたりする。このとき、回転角度を無限大に近づけたときに $|A - B| / (A + B)$ の値は収束していく。そのため、 L_v は、例えばこの収束値に基づいて定め

【0043】

R1とR2との間の領域、又は、R2とR3との間の領域は、R4で表される。R4で表される領域は、過渡状態領域とも称される。過渡状態は、スイッチ29が開状態と閉状態との間で遷移するときの状態に対応する。ハンド制御部20は、過渡状態領域において、例えばH又はLの2値を出力するデジタルセンサのチャタリング除去のように、指定回数連続で同じ判断をした結果を、把持状態を表す点がR2又はR3のどちらの領域に位置するか判定した結果として出力してよい。状態推定部21は、把持状態を表す点がR4で表される領域に位置する場合、指45A及び45Bの接触領域が適切でないと判定してよいし、把持状態を表す点がR2又はR3のどちらの領域に位置するか判定して接触領域の適否を判定してもよい。

【0044】

状態推定部21は、把持状態を表す点がR2で表される領域に位置する場合、把持力に基づいて把持を制御するようにスイッチ29を閉じる信号をスイッチ29に出力してよい。状態推定部21は、把持状態を表す点がR1又はR3で表される領域に位置する場合、

10

20

30

40

50

把持力に基づかずに把持を制御するようにスイッチ 29 を開く信号をスイッチ 29 に出力してよい。このようにすることで、ハンド制御部 20 は、把持を制御するために把持力を利用するか把持状態に基づいて決定できる。その結果、把持力制御開始時に把持が安定に制御され得る。状態推定部 21 は、把持状態を表す点が R 4 で表される領域に位置する場合、スイッチ 29 の開閉信号を適宜決定して出力してもよい。

【 0 0 4 5 】

把持状態を表す点が R 2 で表される領域に位置する場合、ハンド部 4 は、把持対象物 8 を安定に把持できる。言い換えれば、ハンド部 4 の把持接触状態は、把持対象物 8 に対する作業を実行可能な状態である。把持対象物 8 に対する作業を実行可能な状態は、作業可能状態とも称される。状態推定部 21 は、接触領域の適否の判定結果に基づいて、ハンド部 4 の把持接触状態が作業可能状態であるか判定してよい。

10

【 0 0 4 6 】

図 5 に例示されるグラフにおいて把持状態を表す点が R 2 で表される領域に位置する場合、状態推定部 21 は、把持対象物 8 に対する指 45 A 及び 45 B の接触領域が適切であると判定する。一方で、図 5 に例示されるグラフにおいて把持状態を表す点が R 3 で表される領域に位置する場合、状態推定部 21 は、把持対象物 8 に対する指 45 A 及び 45 B の接触領域が適切でないと判定する。言い換えれば、状態推定部 21 は、式 (1) の中の $| A - B | / (A + B)$ と $L v$ との大小関係に基づいて接触領域の適否を判定してよい。

【 0 0 4 7 】

図 5 に例示されるグラフにおいて把持状態を表す点が R 1 で表される領域に位置する場合、指 45 A 及び 45 B が把持対象物 8 に十分に近づいておらず、把持対象物 8 に接触したり把持対象物 8 から離れたりする。つまり、把持対象物 8 に対する指 45 A 及び 45 B の接触状態が不安定である。この場合、状態推定部 21 は、指 45 A 及び 45 B に作用する接触力が適切でないと判定してよい。一方で、図 5 に例示されるグラフにおいて把持状態を表す点が R 1 で表される領域の外に位置する場合、指 45 A 及び 45 B が把持対象物 8 に十分に近づき、把持対象物 8 に接触し、把持対象物 8 から離れない。つまり、把持対象物 8 に対する指 45 A 及び 45 B の接触状態が安定である。この場合、状態推定部 21 は、指 45 A 及び 45 B に作用する接触力が適切であると判定してよい。言い換えれば、状態推定部 21 は、式 (1) の中の $(A + B)$ と $L a$ との大小関係に基づいて接触力の適否を判定してよい。

20

【 0 0 4 8 】

図 5 に例示されるグラフに基づく接触領域又は接触力の適否の判定は、第 1 接触力センサ 43 A の力情報 (A) と第 2 接触力センサ 43 B の力情報 (B) との関係に基づく判定であるといえる。つまり、ハンド制御部 20 は、状態推定部 21 によって、複数の力情報の関係に基づいて、接触領域又は接触力の適否を判定してよい。

30

【 0 0 4 9 】

状態推定部 21 は、把持状態を表す点が R 1 で表される領域から外に出た後で、把持状態を表す点が R 2 で表される領域の中に位置するか外に位置するか判定してよい。具体的に、状態推定部 21 は、複数の力情報の関係に基づいて指 45 A 及び 45 B の接触力が適切か判定し、接触力が適切であると判定した後で、複数の力情報の関係に基づいて指 45 A 及び 45 B の接触領域が適切か判定してよい。つまり、ハンド制御部 20 は、状態推定部 21 によって、複数の力情報の関係に基づいて、指 45 A 及び 45 B に作用する接触力の適否を判定してよい。また、ハンド制御部 20 は、状態推定部 21 によって、指 45 A 及び 45 B に作用する接触力の適否の判定結果に基づいて、指 45 A 及び 45 B の接触領域の適否、又は、ハンド部 4 の把持接触状態が作業可能状態であるかを判定してよい。

40

【 0 0 5 0 】

ハンド制御部 20 は、ハンド部 4 の把持接触状態が作業可能状態であると判定した場合、その状態を維持するようにハンド部 4 を制御してよい。ハンド制御部 20 は、ハンド部 4 の把持接触状態が作業可能状態でないと判定した場合、把持対象物 8 に対するハンド部 4 の把持の仕方を変更するように、ハンド部 4 を制御してよい。ハンド制御部 20 は、把

50

持の仕方として、ハンド部 4 による把持対象物 8 の把持位置又は把持姿勢を変更してよい。ハンド制御部 20 は、把持対象物 8 に対する指 45A 及び 45B の把持アプローチを変更してもよい。また、ハンド制御部 20 は、把持対象物 8 に対するハンド部 4 の把持アプローチを変更するように、ロボット制御部 10 に対してハンド部 4 の把持接触状態に関する情報を出力してよい。ロボット制御部 10 は、ハンド部 4 の把持接触状態に関する情報に基づいて、把持対象物 8 に対するハンド部 4 の把持アプローチを変更するように、ロボット 2 のアーム 3 等を制御してよい。

【0051】

ハンド制御部 20 は、状態推定部 21 によって、ハンド部 4 の把持接触状態が作業可能状態でない場合、複数の力情報に基づいて、把持接触状態が作業可能状態でない原因を推定してよい。把持接触状態が作業可能状態でない原因は、例えば、把持対象物 8 が指 45A 及び 45B のそれぞれで把持されている位置、又は、把持対象物 8 が把持されている姿勢であり得る。

10

【0052】

ハンド制御部 20 は、把持接触状態が作業可能状態でない判定した場合、さらにその原因を推定してもよい。そして、ハンド制御部 20 は、その推定結果に基づいて、把持の仕方を変更するように制御してもよい。本実施形態では、状態推定部 21 が、接触領域が不適と判定した場合、状態推定部 21 が、さらに接触位置が不適か、接触角度が不適かさらに判定してもよい。そして、接触位置が不適の場合、ハンド制御部 20 は、ハンド部 4 による把持対象物 8 の把持位置を変更するように、ハンド部 4 を制御してもよい。また、接触角度が不適の場合、ハンド制御部 20 は、把持対象物 8 に対する指 45A 及び 45B の把持アプローチを変更してもよい。

20

【0053】

なお、接触位置の判定は、例えば、力覚センサ 44 に基づいて判定することができる。例えば、力覚センサ 44 で検知する X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの方向へ働く力を $F_x(t)$ 、 $F_y(t)$ 、 $F_z(t)$ とし、 t を経過時間としたとき、評価値 E_{tra} が以下の式 (2) によって算出される。そして、この評価値 E_{tra} が所定の閾値を超えたときに、接触位置が不適であると判定することができる。なお、 $t=0$ は、把持直前の時刻を示している。

【数 2】

$$E_{tra} = (F_x(t) - F_x(0))^2 + (F_y(t) - F_y(0))^2 + (F_z(t) - F_z(0))^2 \quad (2)$$

30

【0054】

また、接触角度の判定は、例えば、力覚センサ 44 に基づいて判定することができる。例えば、力覚センサ 44 で検知する X 軸回り、Y 軸回り、Z 軸回りのそれぞれに働くモーメントを $M_x(t)$ 、 $M_y(t)$ 、 $M_z(t)$ とし、 t を経過時間としたとき、評価値 M_{rot} が以下の式 (3) によって算出される。そして、この評価値 M_{rot} が所定の閾値を超えたときに、接触角度が不適であると判定することができる。なお、 $t=0$ は、把持直前の時刻を示している。

【数 3】

$$M_{rot} = (M_x(t) - M_x(0))^2 + (M_y(t) - M_y(0))^2 + (M_z(t) - M_z(0))^2 \quad (3)$$

40

【0055】

図 6 及び図 7 に、第 1 接触力センサ 43A 及び第 2 接触力センサ 43B それぞれの出力と、モータ 41 の回転角度との関係の例がグラフとして示される。グラフの横軸はモータ 41 の回転角度を表す。グラフの縦軸は、各接触力センサ 43 の出力を表す。モータ 41 の回転角度が大きくなるほど指 45A と指 45B との間隔が狭くなる。その結果、モータ 41 の回転角度が大きくなるほど接触力センサ 43 の出力が大きくなる。

【0056】

50

図 6 に例示されるグラフは、第 1 接触力センサ 4 3 A が第 2 接触力センサ 4 3 B よりも先に把持対象物 8 に接触した場合の出力を示している。図 6 に例示されるように接触力センサ 4 3 の出力が変化する場合、図 5 において把持状態を表す点は、一点鎖線の曲線に沿って移動して R 2 で表される領域に入っていく。この場合、ハンド制御部 2 0 は、把持力に基づき把持の制御を開始できる。

【 0 0 5 7 】

図 7 に例示されるグラフは、第 1 接触力センサ 4 3 A が第 2 接触力センサ 4 3 B よりも先に把持対象物 8 に接触し、かつ、第 2 接触力センサ 4 3 B がその中心からずれた位置で把持対象物 8 に接触している場合の出力を示している。図 7 に例示されるように接触力センサ 4 3 の出力が変化する場合、図 5 において把持状態を表す点は、二点鎖線の曲線に沿って移動して R 2 で表される領域に入らないことがある。この場合、ハンド制御部 2 0 は、把持力に基づき把持の制御を開始できない。

10

【 0 0 5 8 】

以上述べてきたように、第 1 接触力センサ 4 3 A の出力と第 2 接触力センサ 4 3 B の出力との組み合わせを表す点が 2 次元平面にプロットされることによって、状態推定部 2 1 は、点がプロットされた位置に基づいて把持力に基づいて把持を制御するか把持力に基づかずに把持を制御するか決定できる。

【 0 0 5 9 】

本実施形態に係るロボット制御部 1 0 又はハンド制御部 2 0 は、以上述べてきたように動作することによって、接触力センサ 4 3 の検出結果に基づいて、把持力に基づいて把持を制御するか把持力に基づかずに把持を制御するかを決定できる。その結果、把持の安定性が高められる。

20

【 0 0 6 0 】

具体的には、把持力が常にフィードバックされる場合と比較して、図 4 B に示されるように把持対象物が一方の指だけに接触した場合など、第 1 接触力センサ及び第 2 接触力センサの出力が不安定になることによって、不安定な出力がフィードバックされ得る。これに対して、本願によれば、本実施形態に係るロボット制御部 1 0 又はハンド制御部 2 0 は、複数の接触力センサ 4 3 の出力の関係に基づいて、安定した把持状態であることを判定した後に、把持力をフィードバックすることができるため、把持の安定性が高められる。言い換えれば、把持状態が適正であると判定されるまでは把持力をフィードバックしないため、把持力制御開始時の制御安定性が確保され得る。

30

【 0 0 6 1 】

<フローチャートの例>

ロボット制御部 1 0 又はハンド制御部 2 0 は、図 8 に例示されるフローチャートの手順を含むロボット制御方法を実行してもよい。ロボット制御方法は、ロボット制御部 1 0 又はハンド制御部 2 0 を構成するプロセッサに実行させるロボット制御プログラムとして実現されてもよい。ロボット制御プログラムは、非一時的なコンピュータ読み取り可能な媒体に格納されてよい。

【 0 0 6 2 】

ロボット制御部 1 0 は、把持対象物 8 の持ち上げを開始する（ステップ S 1）。具体的に、ロボット制御部 1 0 は、ハンド部 4 が把持対象物 8 を把持できるように、アーム 3 を制御することによって、ハンド部 4 を把持対象物 8 まで移動させる。ハンド制御部 2 0 は、ハンド部 4 が把持対象物 8 を把持するように、把持力に基づかずにハンド部 4 を制御する（ステップ S 2）。

40

【 0 0 6 3 】

ハンド制御部 2 0 は、ハンド部 4 が把持対象物 8 の把持を開始している状態で、第 1 接触力センサ 4 3 A 及び第 2 接触力センサ 4 3 B の検出結果を取得する（ステップ S 3）。ハンド制御部 2 0 は、各センサによる接触力の検出結果の図 5 のグラフに対するプロットが R 2 で表される領域の範囲内に位置するか判定する（ステップ S 4）。

【 0 0 6 4 】

50

ハンド制御部 20 は、接触力の検出結果のプロットが R2 で表される領域の範囲内に位置しない場合（ステップ S4：NO）、把持力に基づかずにハンド部 4 を制御するステップ S2 の手順に戻る。ハンド制御部 20 は、接触力の検出結果のプロットが R2 で表される領域の範囲内に位置する場合（ステップ S4：YES）、把持力に基づいてハンド部 4 を制御する（ステップ S5）。ロボット制御部 10 及びハンド制御部 20 は、ステップ S5 の手順の実行後、図 8 のフローチャートの手順の実行を終了する。

【0065】

（他の実施形態）

以上述べてきた実施形態において、ハンド部 4 が 2 本の指 45A 及び 45B を有する構成が説明されてきた。指の数は、2 本に限られず、3 本以上であってよい。ハンド部 4 が 3 本以上の指を有する場合、ハンド制御部 20 は、少なくとも 2 本の指に連携されたセンサの力情報に基づいて少なくとも 2 本の指の接触領域の適否を判定してよい。

10

【0066】

<指が 3 本以上の場合>

ハンド部 4 は、指 45A（第 1 指）及び指 45B（第 2 指）の他に、第 3 指を更に備えてよい。第 3 指は、1 又は複数の第 3 接触センサを備える。ハンド制御部 20 は、状態推定部 21 によって、ハンド部 4 の第 3 指に連携しているセンサから第 3 指に作用する力を示す力情報を更に取得し、接触領域の適否を判定してよい。具体的に、状態推定部 21 は、以下に説明されるように接触領域の適否を判定してよい。

20

【0067】

ハンド部 4 が 2 本の指を備える場合、接触領域の適否を判定するために、以下の式（4）で表される評価値 E が算出された。評価値 E の式（4）は、図 5 に例示されるグラフの縦軸の値に対応する。

【数 4】

$$E = \frac{|A-B|}{A+B} \quad (4)$$

30

【0068】

一方で、ハンド部 4 の指が 3 本の場合の評価値 E は、以下の式（5）で表される。第 3 接触センサの出力は C で表されるとする。

【数 5】

$$E = \frac{\sqrt{(A-B)^2 + (B-C)^2 + (C-A)^2}}{2(A+B+C)} \quad (5)$$

40

【0069】

また、指の数が 4 本以上に増えた場合でも、評価値 E は以下の式（6）で表される。

【数 6】

50

$$E = \frac{\text{となりあう指同士のセンサ出力の差の絶対値}}{(\text{センサ数} - 1) \times \text{センサ出力の和}} \quad (6)$$

【0070】

状態推定部 2 1 は、評価値 E を算出し、評価値 E が所定の閾値（図 5 の例において L v）よりも小さくなる場合に、接触領域が適切であると判定してよい。

【0071】

<ステータス出力>

状態推定部 2 1 は、把持状態を離散状態として定義したステータス出力を生成し、外部コントローラに出力してよい。把持状態が離散状態として定義されることによって、各センサの力情報の組み合わせと把持状態との関係が定義される。

【0072】

ハンド部 4 の複数の力情報それぞれに基づく判定を順次実行する場合、判定に用いる力情報の数が増えるほど、把持状態を推定するために費やされる時間又は演算負荷が増大し得る。複数の力情報の組み合わせと把持状態との関係があらかじめ定義されることによって、状態推定部 2 1 は、把持状態を簡便に推定できる。また、ハンド部 4 は、把持動作を実行するための各制御事項を、離散的に管理または記録することによって、既に条件を満たす制御事項については演算処理を省き、ハンド制御部 2 0 の制御負荷を低減することができる。

【0073】

状態推定部 2 1 は、把持動作を実行するための各制御事項として、例えば、以下の表 1 に示されるように、接触力センサ 4 3 から入力される値と、エンコーダ 4 2 から入力される把持位置とに基づき推定される、把持判定出力、把持力出力、及び、ステータス出力の組み合わせを出力してよい。

【0074】

【表 1】

接触力センサ入力	把持位置入力	把持判定出力	把持力出力	ステータス出力
条件を満たす	所定把持位置内	把持接触適正	平均出力	把持接触適正
条件を満たさない	所定把持位置内	把持接触不適正	出力ゼロ	把持接触不適正
入力を使用しない	所定把持位置外	判定しない	出力ゼロ	把持位置不適切

【0075】

把持判定出力は、ハンド部 4 の制御に把持力をフィードバックするか決定するためにハンド部 4 による把持対象物 8 に対する接触が適正であるか判定した結果に対応する。把持力出力は、ハンド部 4 の制御にフィードバックする把持力に対応する。

【0076】

ステータス出力は、ハンド部 4 の把持状態として、ハンド部 4 による把持対象物 8 に対する接触が適正であるか又は把持位置が適切であるか判定した結果に対応する。ステータス出力は、把持対象物 8 に接触する指 4 5 A 及び 4 5 B の接触領域の適否の判定結果に対応するともいえる。

【0077】

表 1 の 2 行目は、センサ入力が条件を満たし、かつ、把持位置が所定把持位置内である場合に対応する。センサ入力が条件を満たす場合は、第 1 接触力センサ 4 3 A の出力 A 及び第 2 接触力センサ 4 3 B の出力 B が上述した式（1）を満たす場合に対応する。この場合、状態推定部 2 1 は、把持判定出力として、ハンド部 4 が把持対象物 8 を把持するため

の接触が適正であると判定した結果を出力する。また、状態推定部 2 1 は、ハンド部 4 の制御にフィードバックする把持力として、第 1 接触力センサ 4 3 A の出力 A と第 2 接触力センサ 4 3 B の出力 B との平均値を出力する。状態推定部 2 1 は、把持力をフィードバックするようにスイッチ 2 9 を閉状態にする信号を出力してもよい。また、状態推定部 2 1 は、ステータス出力として、ハンド部 4 による把持対象物 8 に対する接触が適正であると判定した結果を出力する。

【 0 0 7 8 】

表 1 の 3 行目は、センサ入力条件を満たさず、かつ、把持位置が所定把持位置内である場合に対応する。センサ入力条件を満たさない場合は、第 1 接触力センサ 4 3 A の出力 A 及び第 2 接触力センサ 4 3 B の出力 B が上述した式 (1) を満たさない場合に対応する。この場合、状態推定部 2 1 は、把持判定出力として、ハンド部 4 が把持対象物 8 を把持するための接触が適正でないと判定した結果を出力する。また、状態推定部 2 1 は、ハンド部 4 の制御に把持力をフィードバックしないように、把持力としてゼロを出力する。状態推定部 2 1 は、把持力をフィードバックしないようにスイッチ 2 9 を開状態にする信号を出力してもよい。また、状態推定部 2 1 は、ステータス出力として、ハンド部 4 による把持対象物 8 に対する接触が適正でないと判定した結果を出力する。

10

【 0 0 7 9 】

表 1 の 4 行目は、センサ入力に基づいて判定せず、かつ、把持位置が所定把持位置外である場合に対応する。この場合、状態推定部 2 1 は、把持判定出力として、ハンド部 4 が把持対象物 8 を把持するための接触が適正か判定しない。また、状態推定部 2 1 は、ハンド部 4 の制御に把持力をフィードバックしないように、把持力としてゼロを出力する。状態推定部 2 1 は、把持力をフィードバックしないようにスイッチ 2 9 を開状態にする信号を出力してもよい。また、状態推定部 2 1 は、ステータス出力として、ハンド部 4 が把持対象物 8 を把持する位置が適切でないと判定した結果を出力する。

20

【 0 0 8 0 】

状態推定部 2 1 は、表 1 に例示される関係をあらかじめ作成することによって、接触力の検出結果と把持位置との組み合わせに基づいて、把持接触状態を簡便に推定できる。

【 0 0 8 1 】

以上、ロボット制御システム 1 0 0 の実施形態を説明してきたが、本開示の実施形態としては、システム又は装置を実施するための方法又はプログラムの他、プログラムが記録された記憶媒体（一例として、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、CD-RW、磁気テープ、ハードディスク、又はメモリカード等）としての実施態様をとることも可能である。プログラムは、非一時的なコンピュータ読み取り可能な媒体に格納されてよい。

30

【 0 0 8 2 】

また、プログラムの実装形態としては、コンパイラによってコンパイルされるオブジェクトコード、インタプリタにより実行されるプログラムコード等のアプリケーションプログラムに限定されることはなく、オペレーティングシステムに組み込まれるプログラムモジュール等の形態であってもよい。さらに、プログラムは、制御基板上の CPU においてのみ全ての処理が実施されるように構成されてもされなくてもよい。プログラムは、必要に応じて基板に付加された拡張ボード又は拡張ユニットに実装された別の処理ユニットによってその一部又は全部が実施されるように構成されてもよい。

40

【 0 0 8 3 】

本開示に係る実施形態について、諸図面及び実施例に基づき説明してきたが、当業者であれば本開示に基づき種々の変形又は改変を行うことが可能であることに注意されたい。従って、これらの変形又は改変は本開示の範囲に含まれることに留意されたい。例えば、各構成部等に含まれる機能等は論理的に矛盾しないように再配置可能であり、複数の構成部等を 1 つに組み合わせたり、或いは分割したりすることが可能である。

【 0 0 8 4 】

本開示において、X 軸、Y 軸、及び Z 軸は、説明の便宜上設けられたものであり、互い

50

に入れ替えられてよい。本開示に係る構成は、X軸、Y軸、及びZ軸によって構成される直交座標系を用いて説明されてきた。本開示に係る各構成の位置関係は、直交関係にあると限定されるものではない。

【符号の説明】

【0085】

- 1 ロボット制御システム
- 2 ロボット(3:アーム)
- 4 ハンド部(41:モータ、42:エンコーダ、43(43A、43B):接触力センサ、44:力覚センサ、45A、45B:指)
- 8 把持対象物
- 10 ロボット制御装置
- 20 ハンド制御装置(21:状態推定部、22:変換部、24:位置制御部、25~27:加算器、29:スイッチ)
- 28 ドライバ

10

20

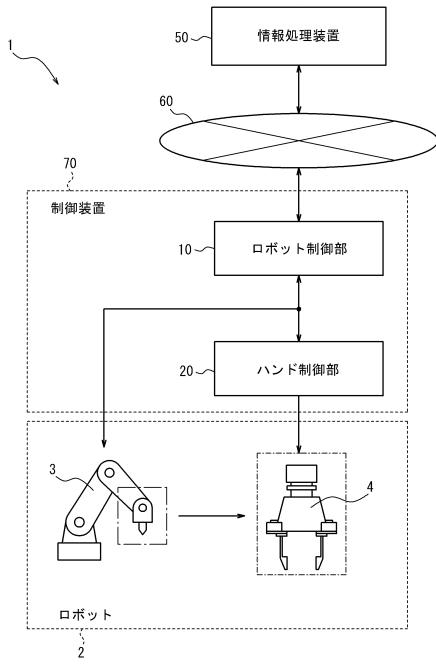
30

40

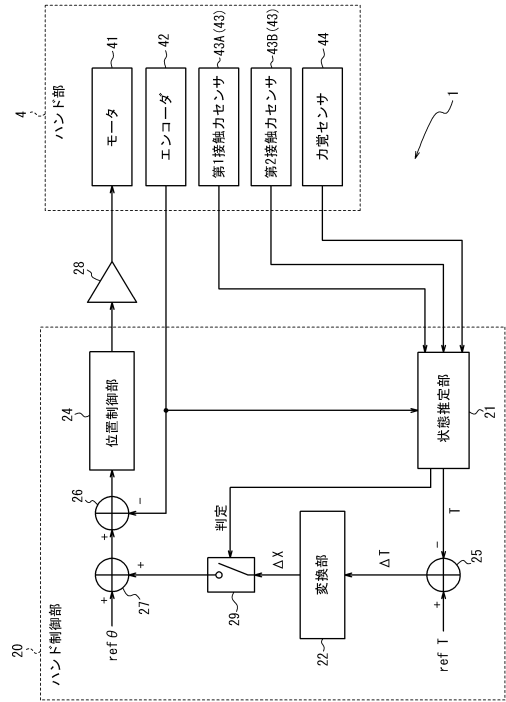
50

【図面】

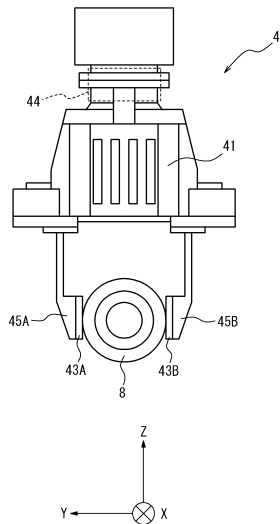
【図 1】



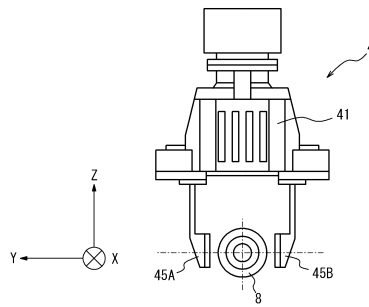
【図 2】



【図 3】



【図 4 A】



10

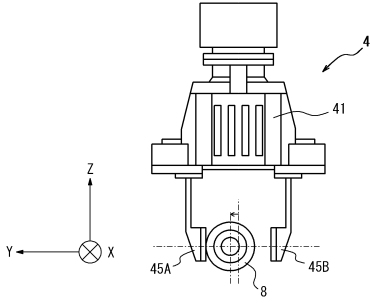
20

30

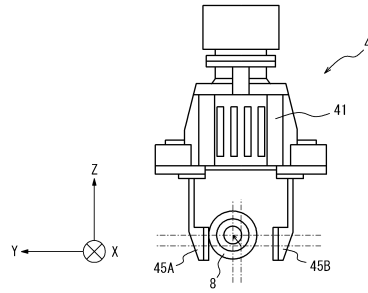
40

50

【 図 4 B 】



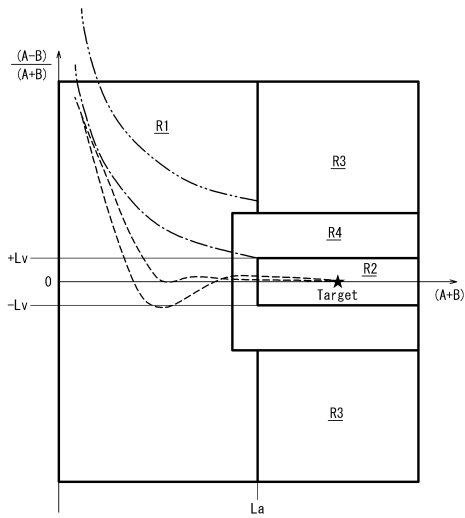
【 図 4 C 】



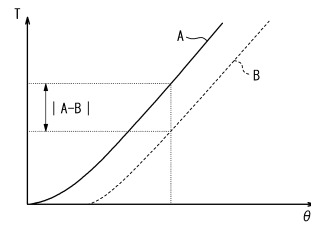
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

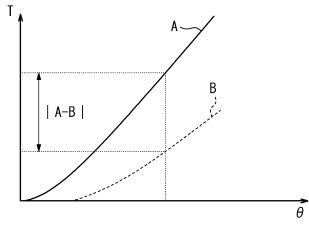


30

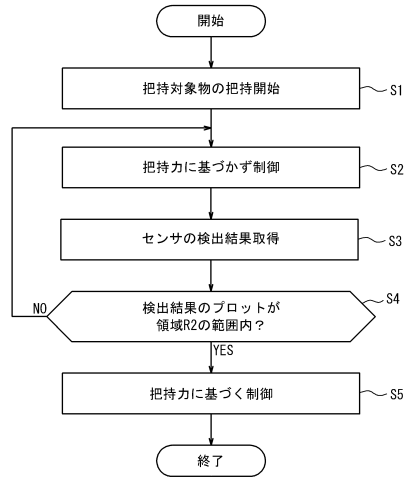
40

50

【図7】



【図8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内
(72)発明者 阿南 尚宏
- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内
(72)発明者 石田 敬之
- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内
(72)発明者 宮村 博昭
- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内
審査官 臼井 卓巳
- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 8 / 2 1 2 1 8 9 (W O , A 1)
特開 2 0 1 1 - 2 2 4 6 9 5 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 0 1 1 5 3 1 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 0 8 5 4 5 5 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 2 3 9 1 9 5 (U S , A 1)
特開 2 0 0 9 - 0 6 6 7 1 4 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 1 4 4 5 2 6 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 0 4 9 5 8 1 (J P , A)
米国特許第 0 4 7 1 5 7 7 3 (U S , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 2 5 J 9 / 1 6 - 1 5 / 0 8