

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4759660号
(P4759660)

(45) 発行日 平成23年8月31日(2011.8.31)

(24) 登録日 平成23年6月10日(2011.6.10)

(51) Int.Cl.		F I			
B 2 5 J	9/22	(2006.01)	B 2 5 J	9/22	Z
B 2 5 J	13/08	(2006.01)	B 2 5 J	13/08	Z

請求項の数 13 (全 71 頁)

(21) 出願番号	特願2011-500781 (P2011-500781)	(73) 特許権者	000005821
(86) (22) 出願日	平成22年8月12日 (2010.8.12)		パナソニック株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/005054		大阪府門真市大字門真1006番地
(87) 国際公開番号	W02011/021375	(74) 代理人	100081422
(87) 国際公開日	平成23年2月24日 (2011.2.24)		弁理士 田中 光雄
審査請求日	平成23年1月6日 (2011.1.6)	(74) 代理人	100100158
(31) 優先権主張番号	特願2009-191796 (P2009-191796)		弁理士 鮫島 睦
(32) 優先日	平成21年8月21日 (2009.8.21)	(74) 代理人	100091524
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 和田 充夫
早期審査対象出願		(72) 発明者	津坂 優子
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
		(72) 発明者	岡▲崎▼ 安直
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボットアーム制御用の装置、方法、プログラム及び集積電子回路、並びに、組立ロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行うロボットアームの制御装置であって、

前記ロボットアームに作用する人の力を検出する力検出手段と、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記力検出手段で検出された前記人の力とをそれぞれ取得する情報取得部と、

前記ロボットアームが前記組立対象物に加える力を検出する対象物力検出手段と、

前記情報取得部でそれぞれ取得した前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記人の力に関する情報と前記対象物力検出手段で検出した前記対象物に加える力とから前記動作を補正する補正動作の種別を決定する補正動作種別決定手段と、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を補正する動作補正手段とを備えるロボットアームの制御装置。

【請求項2】

前記動作に関する情報は、前記ロボットアームが行う前記組立作業に応じた、前記ロボットアームの前記位置と姿勢との情報と、前記ロボットアームから組立作業面にかかる力情報と、前記ロボットアームの方向に関する情報と、前記ロボットアームの速度情報と、

前記ロボットアームの作業を行わない領域に関する情報である作業不可領域情報のうちの少なくとも1つの情報を有する請求項1に記載のロボットアームの制御装置。

【請求項3】

前記動作に関する情報は、前記ロボットアームが行う前記組立作業に応じた、前記ロボットアームから前記作業面にかかる力情報を少なくとも有し、前記動作補正手段は、前記動作に関する情報に基づいて、予め設定された力を前記ロボットアームから前記作業面に作用させて前記動作を行なう力制御モードを前記ロボットアームが移動可能なx y z軸方向のそれぞれの軸別に設定して前記動作を前記ロボットアームで行っている最中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力に応じて、補正動作前の前記動作に関する情報のうちの前記設定された力の大きさ又は方向を補正する請求項1に記載のロボットアームの制御装置。

10

【請求項4】

前記動作に関する情報は、前記ロボットアームが行う前記組立作業に応じた、前記ロボットアームの前記位置と姿勢の情報と、前記ロボットアームの方向に関する情報と、前記ロボットアームの速度情報と、作業を行わない領域に関する情報である作業不可領域情報とを有し、

前記動作補正手段は、前記動作に関する情報に基づいて、前記ロボットアームの位置を制御する位置制御モードで動作している最中に、前記ロボットアームに対して前記人から前記ロボットアームに加わる力に応じて前記ロボットアームが作動するハイブリッドインピーダンス制御モードを前記ロボットアームが移動可能なx y z軸方向のそれぞれの軸別に設定して前記作業を動作させている最中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力に応じて、前記インピーダンス制御での前記ロボットアームの前記動作を補正する請求項1に記載のロボットアームの制御装置。

20

【請求項5】

前記補正動作種別決定手段は、前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量を検出するとともに、

前記補正動作種別決定手段は、前記対象物力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記対象物に加わる力が第1の閾値未満であり、かつ前記補正動作種別決定手段により検出された前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量が第3閾値以上である場合に、前記補正動作の種別として、作業面の位置と姿勢の移動の種別であると決定し

30

さらに、前記動作補正手段は、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢を補正する請求項1に記載のロボットアームの制御装置。

【請求項6】

前記補正動作種別決定手段は、前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量を検出するとともに、

前記補正動作種別決定手段は、前記対象物力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記対象物に加わる力が第1の閾値未満であり、かつ前記補正動作種別決定手段により検出された前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量が第3閾値未満である場合に、前記補正動作の種別として、速度の補正の種別であると決定し、

40

さらに、前記動作補正手段は、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの速度を補正する請求項1に記載のロボットアームの制御装置。

【請求項7】

前記補正動作種別決定手段は、前記ロボットアームの前記手先の位置の移動量を検出するとともに、

前記補正動作種別決定部は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力の成分が、ある時間、

50

力の成分用のある閾値を越えており、かつ、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力が、ある時間、力用の別のある閾値以下であり、かつ、前記補正動作種別決定部で検出された前記ロボットアームの前記手先の位置の前記移動量が、移動量用のある閾値以上である場合に、前記補正動作の種別として、位置・姿勢の補正の種別であると決定し、

さらに、前記動作補正手段は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの位置及び姿勢を補正する請求項 1 に記載のロボットアームの制御装置。

【請求項 8】

前記補正動作種別決定部は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力の成分が、ある時間、ある閾値を越えており、かつ、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力が、ある時間、別のある閾値を越える場合に、前記補正動作の種別として、力の補正の種別であると決定し、

さらに、前記動作補正手段は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの力の大きさを補正する請求項 1 に記載のロボットアームの制御装置。

【請求項 9】

前記補正動作種別決定手段で決定した前記補正動作の種別に基づき、前記補正動作の種別に関する情報を表示する表示手段をさらに備える請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 つに記載のロボットアームの制御装置。

【請求項 10】

組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行うロボットアームの制御方法であって、

前記ロボットアームに作用する人の力を力検出手段で検出し、

前記ロボットアームが前記組立対象物に加える力を対象物力検出手段で検出し、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する前記人の力に関する情報と前記対象物力検出手段で検出した前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定手段で決定し、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を動作補正手段で補正するロボットアームの制御方法。

【請求項 11】

前記ロボットアームと、

前記ロボットアームを制御する請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 つに記載のロボットアームの制御装置とを備える組立ロボット。

【請求項 12】

組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行う組立ロボット用ロボットアームの制御プログラムであって、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する人の力に関する情報と対象物力検出手段で検出しかつ前記ロボットアームが前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定手段で決定するステップと、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正

10

20

30

40

50

動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を動作補正手段で補正する動作補正ステップとをコンピュータに実行させるための組立ロボット用ロボットアームの制御プログラム。

【請求項 13】

組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行う組立ロボット用ロボットアームの制御用集積電子回路であって、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する人の力に関する情報と対象物力検出手段で検出しかつ前記ロボットアームが前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を決定する補正動作種別決定手段と、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を補正する動作補正手段とを備える組立ロボット用ロボットアームの制御用集積電子回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば工場内で組立を行うロボットの組立方法を生成、教示するためのロボットアームの制御装置及び制御方法、ロボットアームの制御装置を有する組立ロボット、ロボットアームのプログラム、ロボットアームの制御用集積電子回路に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、工場内ではセル生産が盛んに行われるようになってきた。セル生産では、ネジ締め作業又は部品の勘合作業、装着作業、フレキシブル基板などの挿入作業、研磨作業などのように多種多様な作業を人手中心で行っている。

【0003】

さらに、携帯電話などの電気製品はモデル数が増大し、加えて、各々の機種において、モデルチェンジが頻繁に起こるため、扱う部品の仕様変更又は作業手順の変更が頻繁に発生する。

【0004】

これらの作業をロボットにより自動化するためには、多種多様な部品又は作業手順に柔軟に対応する必要がある。

【0005】

そのためには、部品変更又は作業手順の変更を簡単、短時間に教示ができる必要がある。

【0006】

ロボット装置の教示方法の一例として、ロボットの手首などに力センサを装着し、力センサの先に装着されたハンドルを教示者が直接把持してロボットを教示点に誘導し、ロボットの位置の教示を行っている（特許文献1を参照）。

【0007】

さらに、ロボットを直接把持してロボットを教示する際に、教示作業者の意図を理解して教示作業中に力制御の操作感を自動的に変更することを行っている（特許文献2を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開昭59-157715号公報

【特許文献2】特開2008-110406号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献1においては、全ての教示点を教示者が教示する必要があるため、教示に時間がかかり、非常に面倒であった。さらに、産業用分野にて、教示した動きの一部を修正する場合に、ティーチングペンダントと呼ばれる遠隔装置により、プログラミングにより修正するか、若しくは、全ての動作を一から教示しなければならず、効率が悪かった。

【0010】

さらに、特許文献2においては、人の直接教示時に、教示作業者の意図を理解し、作業中の操作感を自動的に変更しているが、教示作業者が位置、力、速度などの複数種類の教示パラメータのうち、どのパラメータを操作しようとしているかなどの操作感以外の操作意図の理解は行っていない。そのため、作業教示者がどのパラメータを教示するかを明示的に設定する必要がある。さらに、教示した動きの一部を修正することができず、作業効率が悪かった。

10

【0011】

本発明の目的は、このような課題に鑑みてなされたものであり、作業者が簡単に短時間にロボットの教示を行うことが可能な、ロボットアームの制御装置及び制御方法、組立ロボット、ロボットアームの制御プログラム、及び、ロボットアームの制御用集積電子回路を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0012】

前記目的を達成するために、本発明は以下のように構成する。

【0013】

本発明の第1態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行うロボットアームの制御装置であって、

前記ロボットアームに作用する人の力を検出する力検出手段と、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記力検出手段で検出された前記人の力とをそれぞれ取得する情報取得部と、

前記ロボットアームが前記組立対象物に加える力を検出する対象物力検出手段と、

30

前記情報取得部でそれぞれ取得した前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記人の力に関する情報と前記対象物力検出手段で検出した前記対象物に加える力とから前記動作を補正する補正動作の種別を決定する補正動作種別決定手段と、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を補正する動作補正手段とを備えることを特徴とするロボットアームの制御装置を提供する。

【0014】

本発明の第10態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行うロボットアームの制御方法であって、

40

前記ロボットアームに作用する人の力を力検出手段で検出し、

前記ロボットアームが前記組立対象物に加える力を対象物力検出手段で検出し、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する前記人の力に関する情報と前記対象物力検出手段で検出した前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定手段で決定し、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正

50

動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を動作補正手段で補正することを特徴とするロボットアームの制御方法を提供する。

【0015】

本発明の第1態様によれば、前記ロボットアームと、
前記ロボットアームを制御する第1～9のいずれか1つの態様に記載のロボットアームの制御装置とを備えることを特徴とする組立ロボットを提供する。

【0016】

本発明の第2態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行う組立ロボット用ロボットアームの制御プログラムであって、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する人の力に関する情報と対象物力検出手段で検出しかつ前記ロボットアームが前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定手段で決定するステップと、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を動作補正手段で補正する動作補正ステップとをコンピュータに実行させるための組立ロボット用ロボットアームの制御プログラムを提供する。

【0017】

本発明の第3態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行う組立ロボット用ロボットアームの制御用集積電子回路であって、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する人の力に関する情報と対象物力検出手段で検出しかつ前記ロボットアームが前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を決定する補正動作種別決定手段と、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を補正する動作補正手段とを備えることを特徴とする組立ロボット用ロボットアームの制御用集積電子回路を提供する。

【発明の効果】

【0018】

以上述べたように、本発明のロボットアームの制御装置によれば、補正動作種別決定手段と、力検出手段と、対象物力検出手段と、動作補正手段と、制御手段とを有することにより、前記ロボットアームが加える力及び対象物に加わる力及び前記ロボットアームの位置及び速度を含む組立動作に関する情報を利用して、人の力に応じて、組立動作を簡単に補正することができるロボットアームの制御が可能となる。

【0019】

また、本発明のロボットアームの制御方法、ロボットアームの制御プログラム、及び、ロボットアームの制御用集積電子回路によれば、補正動作種別決定手段と、動作補正手段と、制御手段とを有することにより、前記ロボットアームが加える力及び対象物に加わる力及び前記ロボットアームの位置及び速度を含む組立動作に関する情報を利用して、力検出手段で検出された人の力に応じて、組立動作を簡単に補正することができるロボットアームの制御が可能となる。

【0020】

さらに、補正動作種別決定手段を有することにより、複数の動作をボタンなどを使わずに自動で切り替えて補正することが可能となる。

さらに、補正動作種別決定手段を有することにより、操作する人のスキルなどに応じて、

10

20

30

40

50

一度に複数種別の補正を行うか、1種類の補正を行うかを切り替えることができる。

【0021】

また、制御パラメータ管理手段と制御部をさらに有することにより、補正動作の種別に応じて、ロボットアームの機械インピーダンス値を設定することで、ロボットアームの補正方向に応じて、機械インピーダンス値を変更させて制御したり、補正中の作業面に対する力を弱めたり停止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】図1は、本発明の第1実施形態における組立ロボットを構成するロボットアームの制御装置の構成の概要を示す図であり、

10

【図2A】図2Aは、本発明の前記第1実施形態における前記ロボットアームの制御装置においてロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図2B】図2Bは、本発明の前記第1実施形態における前記ロボットアームの制御装置においてロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図3】図3は、本発明の前記第1実施形態における前記ロボットアームの制御装置と制御対象であるロボットアームの詳細構成を示す図であり、

【図4】図4は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアームの制御装置における動作データベースの動作情報の一覧表を説明する図であり、

【図5】図5は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアームの制御装置における動作データベースのフラグに関する情報を説明する図であり、

20

【図6】図6は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアームの制御装置における補正パラメータのフラグに関する情報を説明する図であり、

【図7】図7は、本発明の前記第1実施形態における前記ロボットアームの制御装置の制御部の構成を示すブロック図であり、

【図8】図8は、本発明の前記第1実施形態における前記ロボットアームの制御装置の経路に関する図であり、

【図9】図9は、本発明の前記第1実施形態における周辺装置の表示部を説明する図であり、

【図10】図10は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアームの制御装置における作業不可領域データベース情報の一覧表を説明する図であり、

30

【図11】図11は、本発明の前記第1実施形態における前記ロボットアーム制御装置の経路に関する図であり、

【図12A】図12Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における座標系に関する図であり、

【図12B】図12Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における座標系に関する図であり、

【図12C】図12Cは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における座標系に関する図であり、

【図13】図13は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における動作補正部と補正動作種別決定部と動作選択部と動作記憶部と動作データベースと制御パラメータ管理部の動作ステップを表すフローチャートであり、

40

【図14】図14は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における補正動作種別決定部の動作ステップを表すフローチャートであり、

【図15】図15は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置において人のかける力とその時刻の関係を示す図であり、

【図16】図16は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における制御部の動作ステップを表すフローチャートであり、

【図17】図17は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における力と位置の閾値を説明する図であり、

【図18A】図18Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置にお

50

けるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図18B】図18Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図18C】図18Cは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図18D】図18Dは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図19A】図19Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図19B】図19Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

10

【図19C】図19Cは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図19D】図19Dは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図20A】図20Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図20B】図20Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図20C】図20Cは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図（図20Aを上から見た図）であり、

20

【図20D】図20Dは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図20E】図20Eは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図21A】図21Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図21B】図21Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図22A】図22Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

30

【図22B】図22Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図22C】図22Cは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図23】図23は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図24A】図24Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図24B】図24Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

40

【図24C】図24Cは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図25A】図25Aは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図25B】図25Bは、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を説明するときのハンドの拡大図であり、

【図26】図26は、本発明の前記第1実施形態の前記ロボットアーム制御装置における周辺装置のデータ入力IFを説明する図であり、

【図27】図27は、本発明の第2実施形態の前記ロボットアーム制御装置における組立

50

ロボットを構成する制御装置と制御対象であるロボットアームの詳細構成を示す図であり、

【図28A】図28Aは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図28B】図28Bは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図28C】図28Cは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図であり、

【図29】図29は、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置における動作データベースの動作情報の一覧表を説明する図であり、

【図30A】図30Aは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図30B】図30Bは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図30C】図30Cは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図30D】図30Dは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図30E】図30Eは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図30F】図30Fは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図であり、

【図30G】図30Gは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図（図30Bの挿入口の挿入部分を拡大した図）であり、

【図30H】図30Hは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図（図30Cの挿入口の挿入部分を拡大した図）であり、

【図30I】図30Iは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図（図30Dの挿入口の挿入部分を拡大した図）であり、

【図30J】図30Jは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図（図30Eの挿入口の挿入部分を拡大した図）であり、

【図30K】図30Kは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示す図（図30Fの挿入口の挿入部分を拡大した図）であり、

【図30L】図30Lは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示しかつ挿入口の付近を拡大した図（図30Iの円Lの拡大図）であり、

【図30M】図30Mは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示しかつ挿入口の付近を拡大した図（図30Jの円Mの拡大図）であり、

【図30N】図30Nは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの動作状態を示しかつ挿入口の付近を拡大した図（図30Kの円Nの拡大図）であり、

【図31】図31は、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置における対象物にかかる力とその時刻の関係を示す図であり、

【図32】図32は、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置における補正動作種別決定部の動作ステップを表すフローチャートであり、

10

20

30

40

50

、
【図36G】図36Gは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図（図36Dの円Gの拡大図）であり、

【図36H】図36Hは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図（図36Eの円Hの拡大図）であり、

【図36I】図36Iは、本発明の前記実施形態の前記ロボットアーム制御装置におけるロボットアームの操作状態を示す図（図36Fの円Iの拡大図）である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下に、本発明にかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

10

【0024】

以下、図面を参照して本発明における実施形態を詳細に説明する前に、本発明の種々の態様について説明する。

【0025】

本発明の第1態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行うロボットアームの制御装置であって、

前記ロボットアームに作用する人の力を検出する力検出手段と、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記力検出手段で検出された前記人の力とをそれぞれ取得する情報取得部と、

20

前記ロボットアームが前記組立対象物に加える力を検出する対象物力検出手段と、

前記情報取得部でそれぞれ取得した前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記人の力に関する情報と前記対象物力検出手段で検出した前記対象物に加える力とから前記動作を補正する補正動作の種別を決定する補正動作種別決定手段と、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を補正する動作補正手段とを備えることを特徴とするロボットアームの制御装置を提供する。

【0026】

30

このような構成により、人の力に応じて、ロボットアームの組立方法を補正することができる。

【0027】

本発明の第2態様によれば、前記動作に関する情報は、前記ロボットアームが行う前記組立作業に応じた、前記ロボットアームの前記位置と姿勢との情報と、前記ロボットアームから組立作業面にかかる力情報と、前記ロボットアームの方向に関する情報と、前記ロボットアームの速度情報と、前記ロボットアームの作業を行わない領域に関する情報である作業不可領域情報のうちの少なくとも1つの情報を有することを特徴とする第1の態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

【0028】

40

このような構成により、前記ロボットアームが行う作業に応じて、それぞれの時間での、位置情報と、前記ロボットアームがかかる力情報と、方向に関する情報と、速度情報と、作業をしてほしくない領域に関する情報のうちの少なくとも1つの情報を補正することができる。

【0029】

本発明の第3態様によれば、前記動作に関する情報は、前記ロボットアームが行う前記組立作業に応じた、前記ロボットアームから前記作業面にかかる力情報を少なくとも有し、

前記動作補正手段は、前記動作に関する情報に基づいて、予め設定された力を前記ロボットアームから前記作業面に作用させて前記動作を行なう力制御モードを前記ロボットア

50

ームが移動可能な $x y z$ 軸方向のそれぞれの軸別に設定して前記動作を前記ロボットアームで行っている最中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力に応じて、補正動作前の前記動作に関する情報のうちの前記設定された力の大きさ又は方向を補正することを特徴とする第1の態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

【0030】

このような構成により、前記動作に関する情報に基づいて、予め設定された力を前記ロボットアームから前記作業面に作用させて前記動作を行なう力制御モードを前記ロボットアームが移動可能な $x y z$ 軸方向のそれぞれの軸別に設定して前記動作を前記ロボットアームで行っている最中に、前記力検出手段で検出した前記人の力に応じて、補正動作前の前記動作に関する情報のうちの前記設定された力の大きさ又は方向を補正することができる。

10

【0031】

本発明の第4態様によれば、前記動作に関する情報は、前記ロボットアームが行う前記組立作業に応じた、前記ロボットアームの前記位置と姿勢の情報と、前記ロボットアームの方向に関する情報と、前記ロボットアームの速度情報と、作業を行わない領域に関する情報である作業不可領域情報とを有し、

前記動作補正手段は、前記動作に関する情報に基づいて、前記ロボットアームの位置を制御する位置制御モードで動作している最中に、前記ロボットアームに対して前記人から前記ロボットアームに加わる力に応じて前記ロボットアームが作動するハイブリッドインピーダンス制御モードを前記ロボットアームが移動可能な $x y z$ 軸方向のそれぞれの軸別に設定して前記作業を動作させている最中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力に応じて、前記インピーダンス制御での前記ロボットアームの前記動作を補正することを特徴とする第1の態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

20

【0032】

このような構成により、前記動作に関する情報に基づいて、前記ロボットアームの位置を制御する位置制御モードで動作している最中に、駆動停止している前記ロボットアームに対して前記人から前記ロボットアームに加わる力に応じて前記ロボットアームが作動するインピーダンス制御モードを前記ロボットアームが移動可能な $x y z$ 軸方向のそれぞれの軸別に設定して前記作業を動作させている最中に、前記力検出手段で検出した前記人の力に応じて、前記インピーダンス制御での前記動作に関する情報の前記動作を補正することができる。

30

【0034】

本発明の第5態様によれば、前記補正動作種別決定手段は、前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量を検出するとともに、

前記補正動作種別決定手段は、前記対象物力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記対象物に加わる力が第1の閾値未満であり、かつ前記補正動作種別決定手段により検出された前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量が第3閾値以上である場合に、前記補正動作の種別として、作業面の位置と姿勢の移動の種別であると決定し

40

、さらに、前記動作補正手段は、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢を補正することを特徴とする第1の態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

【0035】

本発明の第6態様によれば、前記補正動作種別決定手段は、前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量を検出するとともに、

前記補正動作種別決定手段は、前記対象物力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記対象物に加わる力が第1の閾値未満であり、かつ前記補正動作種別決定手段に

50

より検出された前記ロボットアームの前記手先の位置と姿勢の移動量が第3閾値未満である場合に、前記補正動作の種別として、速度の補正の種別であると決定し、

さらに、前記動作補正手段は、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの速度を補正することを特徴とする第1の態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

【0036】

本発明の第7態様によれば、前記補正動作種別決定手段は、前記ロボットアームの前記手先の位置の移動量を検出するとともに、

前記補正動作種別決定部は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力の成分が、ある時間、力の成分用のある閾値を越えており、かつ、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力が、ある時間、力用の別のある閾値以下であり、かつ、前記補正動作種別決定部で検出された前記ロボットアームの前記手先の位置の前記移動量が、移動量用のある閾値以上である場合に、前記補正動作の種別として、位置・姿勢の補正の種別であると決定し、

さらに、前記動作補正手段は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの位置及び姿勢を補正することを特徴とする第1の態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

【0037】

本発明の第8態様によれば、前記補正動作種別決定部は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力の成分が、ある時間、ある閾値を越えており、かつ、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力が、ある時間、別のある閾値を越える場合に、前記補正動作の種別として、力の補正の種別であると決定し、

さらに、前記動作補正手段は、前記対象物力検出部で前記対象物に加えられた力が検出されかつ前記情報取得部を介して取得した前記対象物に加えられた力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームの力の大きさを補正することを特徴とする第1の態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

【0038】

本発明の第9態様によれば、前記補正動作種別決定手段で決定した前記補正動作の種別に基づき、前記補正動作の種別に関する情報を表示する表示手段をさらに備える第1～8のいずれか1つの態様に記載のロボットアームの制御装置を提供する。

【0039】

このような構成により、補正動作の種別に関する情報を表示することができる。

【0040】

本発明の第10態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行うロボットアームの制御方法であって、

前記ロボットアームに作用する人の力を力検出手段で検出し、

前記ロボットアームが前記組立対象物に加える力を対象物力検出手段で検出し、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と前記力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する前記人の力に関する情報と前記対象物力検出手段で検出した前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定手段で決定し、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正

10

20

30

40

50

動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を動作補正手段で補正することを特徴とするロボットアームの制御方法を提供する。

【0041】

このような構成により、ロボットアームの動作に関する情報に基づき、前記動作の補正種別を決定し、人の力を検出し、前記ロボットアームの作業中に、前記人の力と前記補正種別に応じて、前記動作を提供することができる。

【0042】

本発明の第1-1態様によれば、前記ロボットアームと、前記ロボットアームを制御する第1～9のいずれか1つの態様に記載のロボットアームの制御装置とを備えることを特徴とする組立ロボットを提供する。

10

【0043】

本発明の第1-2態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行う組立ロボット用ロボットアームの制御プログラムであって、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する人の力に関する情報と対象物力検出手段で検出しかつ前記ロボットアームが前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定手段で決定するステップと、

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を動作補正手段で補正する動作補正ステップとをコンピュータに実行させるための組立ロボット用ロボットアームの制御プログラムを提供する。

20

【0044】

本発明の第1-3態様によれば、組立作業用ロボットアームの動作を制御して、前記ロボットアームで把持した組立対象物を被対象物に対して組立てる組立作業を行う組立ロボット用ロボットアームの制御用集積電子回路であって、

前記組立作業における前記ロボットアームの位置を含む前記動作に関する情報と力検出手段で検出しかつ情報取得部で取得した前記ロボットアームに作用する人の力に関する情報と対象物力検出手段で検出しかつ前記ロボットアームが前記対象物に加える力とを用いて、前記動作を補正する補正動作の種別を決定する補正動作種別決定手段と、

30

予め定められた前記ロボットアームの前記組立作業中に、前記力検出手段で検出しかつ前記情報取得部で取得した前記人の力と前記補正動作種別決定手段で決定された前記補正動作の種別とに応じて、前記ロボットアームを制御して前記動作を補正する動作補正手段とを備えることを特徴とする組立ロボット用ロボットアームの制御用集積電子回路を提供する。

【0045】

以下、本発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。

【0046】

(第1実施形態)

40

まず、本発明の第1実施形態における、ロボットアームの制御装置を備える組立ロボット1の構成について説明する。

【0047】

図1に示すように、組立ロボット1の一例として、工場内のセル生産で、テレビ若しくはDVDレコーダ、又は、携帯電話などの機器6のフレキシブル基板挿入口7-5に、フレキシブル基板7-4を取り付ける組立作業を行う、組立ロボット用ロボットアーム5について説明する。

【0048】

組立ロボット1のロボットアーム5は、作業台7の壁面7-aに設置され、ロボットアーム5の基端が、壁面7-aに固定されたレール8に、移動可能に支持され、レール8上を口

50

ロボットアーム 5 が、レール 8 沿いの横方向例えば水平方向に、人 16 A の手 16 の力により、又はモータなどにより自動的に、移動可能とする。ロボットアーム 5 の基端の固定場所は、作業台 7 の壁面 7 a に限られるものではなく、天井などでもよい。

【 0 0 4 9 】

作業台 7 の側面には、ボタン 26 a などが配置された操作盤 26 A などのデータ入力 I F 26 と、作業台 7 の壁面などに配置された表示手段の一例としての表示部 14 とを備えるように構成されている。

【 0 0 5 0 】

レール 8 は、壁面 7 a に固定されたレール固定部 8 a と、モータ 65 の駆動により正逆回転駆動される車輪（図示せず）を有してレール固定部 8 a に対して移動可能なレール可動部 8 b とで構成されている。ロボットアーム 5 の基端が連結された台部 34 が前記レール可動部 8 b に連結されて、レール固定部 8 a に対して、ロボットアーム 5 の台部 34 がレール可動部 8 b と共に移動可能に構成されている。又は、このような構成に代えて、ロボットアーム 5 の基端が連結された台部 34 にモータ 65 により正逆回転駆動される車輪を設けて、壁面 7 a に固定されたレール 8 に沿って、台部 34 が移動するような構成としてもよい。

【 0 0 5 1 】

ロボットアーム 5 の先端には、フレキシブル基板 74 を把持するために開閉可能なハンド 30 が取り付けられている。

【 0 0 5 2 】

組立ロボット 1 は、作業台 7 の上に固定的に載置された機器 6 の挿入口 75 にフレキシブル基板 74 を挿入するロボットであり、前記ロボットアーム 5 と、ロボットアーム 5 の動作を制御する制御装置とで構成されている。

【 0 0 5 3 】

組立ロボット 1 の操作手順の概要を説明する。

【 0 0 5 4 】

まず、図 2 A において、人 16 が作業台 7 の側面に配置されているデータ入力 I F 26（例えば図 26 の操作盤 26 A の電源ボタン 26 a の「ON」を押すなど）により電源を入れる。

【 0 0 5 5 】

次に、機器 6 を作業台 7 の上に設置する。設置の際に、図 2 B に示すように、ロボットアーム 5 の先端を移動させて、機器 6 を作業台 7 の上に設置しやすいように、ロボットアーム 5 を人の手 16 により移動することができる（機器 6 を作業台 7 の上に設置するのに邪魔にならない位置までロボットアーム 5 を人の手 16 により移動することができる）。

【 0 0 5 6 】

次に、作業台 7 の側面に配置されているデータ入力 I F 26（例えば図 26 の操作盤 26 A の作業スイッチ 26 c のスタートボタンなど）を人の手 16 で押すことにより、組立ロボット 1 が作動し、後述する動作選択部 29 で最適な組立動作を選択して、その選択された動作に基づき、ロボットアーム 5 による組立作業を開始させる。

【 0 0 5 7 】

なお、データ入力 I F 26 の一例としての操作盤 26 A は、作業台 7 の側面に固定したが、遠隔操作が可能なりモコンでも良い。

【 0 0 5 8 】

ロボットアーム 5 による組立作業の際には、ロボットアーム 5 のハンド 30 により、フレキシブル基板 74 の基板自体若しくは基板先端のコネクタ部などの所望の箇所を把持させる。その後、ハンド 30 でフレキシブル基板 74 を把持した状態でロボットアーム 5 を、人の手 16 で又は自動的に移動させ、フレキシブル基板 74 のコネクタ部が機器 6 のフレキシブル基板挿入口 75 に対向させ、ロボットアーム 5 により、フレキシブル基板 74 のコネクタ部を挿入口 75 内に挿入して、フレキシブル基板 74 を機器 6 に組み付ける。このとき、必要に応じて、人の手 16 でロボットアーム 5 を押すなどしてロボットアーム

10

20

30

40

50

5の動作を補正などするように制御している。

【0059】

より具体的には、図18Bに示すように、フレキシブル基板74又は機器6などのモデルチェンジにより、フレキシブル基板74を挿入口75内に挿入する力加減又は位置などが変更になった場合には、人16が変更の状態を確認し、図18Cに示すように、人の手16でロボットアーム5を押すなどして力を強めにかけるように補正する。このようにすることで、図18Dに示すように、力加減を強めに挿入することができる。以下、このようなロボットアーム5による組立作業について詳細に説明する。

【0060】

図3は、組立ロボット1を構成する制御装置の構成要素を詳細に示す図であり、制御装置本体部45と、動作を生成する動作生成装置12と、制御対象であるロボットアーム5と、レール8と、周辺装置47との詳細構成を示す図である。組立ロボット1の前記制御装置は、制御装置本体部45と、動作生成装置12と、周辺装置47とで大略構成されている。

【0061】

制御装置本体部45及び動作生成装置12及び周辺装置47は、それぞれ、一般的なパーソナルコンピュータにより構成される。

【0062】

制御装置本体部45は、動作生成装置12の動作補正手段の一例としての動作補正部20と補正動作種別決定手段の一例としての補正動作種別決定部23と周辺装置47のデータ入力IF26とにそれぞれ接続された制御パラメータ管理手段の一例としての制御パラメータ管理部21と、制御パラメータ管理部21と周辺装置47の入出力IF24とに接続されたインピーダンス制御手段の一例としての制御部(インピーダンス制御部)22とを備えるように構成される。

【0063】

動作生成装置12は、動作データベース17と、作業不可領域データベース28と、動作補正部20と、補正動作種別決定部23と、動作記憶部15と、動作選択部29と、情報取得部(情報取得手段の一例)100とを備えるように構成される。動作記憶部15は、動作データベース17と作業不可領域データベース28と動作補正部20とに接続されている。動作データベース17と作業不可領域データベース28とは、それぞれ、動作記憶部15と動作補正部20と動作選択部29とに接続されている。動作補正部20は、動作データベース17と作業不可領域データベース28と動作記憶部15と制御装置本体部45の制御パラメータ管理部21と補正動作種別決定部23と周辺装置47のデータ入力IF26とが接続されている。補正動作種別決定部23は、動作補正部20と周辺装置47のデータ入力IF26と制御装置本体部45の制御パラメータ管理部21とに接続されている。動作選択部29は、動作データベース17と作業不可領域データベース28とデータ入力IF26と接続されている。情報取得部100は、補正動作種別決定部23と、動作データベース17と作業不可領域データベース28と、制御部22の力検出部(力検出手段の一例)53と対象物力検出部(対象物力検出手段の一例)78とに接続されている。よって、情報取得部100は、組立作業におけるロボットアーム5の位置を含むロボットアーム5の動作に関する情報と、力検出部53で検出されたロボットアーム5に作用する人の力に関する情報と、対象物力検出部78からの情報とをそれぞれ取得可能としている。情報取得部100で取得した情報は、補正動作種別決定部23に入力され、情報取得部100でそれぞれ取得した動作に関する情報と人の力に関する情報とから、後述するように、ロボットアーム5の動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定部23で決定することができる。

【0064】

周辺装置47は、補正動作種別決定部23と動作補正部20と制御装置本体部45の制御パラメータ管理部21と表示部14と動作生成装置12とに接続されたデータ入力IF26と、レール可動部8bのモータ65の回転軸に取り付けられてその回転軸の回転角度

10

20

30

40

50

を検出するエンコーダ 6 4 と各関節部のモータ 4 3 の回転軸に取り付けられてその回転軸の回転角度を検出するエンコーダ 4 4 とハンド駆動用のモータ 6 2 の回転軸に取り付けられてその回転軸の回転角度を検出するエンコーダ 6 1 とからそれぞれの角度情報が入力されるとともに制御部 2 2 に接続された入出力 I F 2 4 と、レール可動部 8 b のモータ 6 5 とロボットアーム 5 の各関節部のモータ 4 3 とハンド開閉駆動用のモータ 6 2 とにそれぞれ接続されたモータドライバ 2 5 と、補正動作種別決定部 2 3 に接続された表示部 1 4 とを備えるように構成される。

【 0 0 6 5 】

入出力 I F 2 4 は、パーソナルコンピュータの P C I バスなどの拡張スロットに接続された、例えば D / A ボードと、 A / D ボードと、カウンタボードなどを備えるように構成されている。

10

【 0 0 6 6 】

ロボットアーム 5 及びレール可動部 8 b の動作を制御する動作生成装置 1 2 と、制御装置本体部 4 5 と、周辺装置 4 7 とが、それぞれの動作を実行することにより、ロボットアーム 5 の各関節部の各関節角度情報であってかつ後述するエンコーダ 4 4 より出力される各関節角度情報が、入出力 I F 2 4 を通じて制御装置本体部 4 5 に取り込まれる。そして、制御装置本体部 4 5 は、取り込まれた各関節角度情報に基づき、ロボットアーム 5 の各関節部の回転動作での制御指令値を算出する。さらに、レール可動部 8 b のモータ 6 5 のエンコーダ 6 4 より出力されるレール可動部 8 b の位置情報が、入出力 I F 2 4 を通じて制御装置本体部 4 5 に取り込まれる。そして、制御装置本体部 4 5 は、取り込まれた各位置情報に基づき、レール可動部 8 b のモータ 6 5 の制御指令値を算出する。

20

【 0 0 6 7 】

算出されたロボットアーム 5 の各関節部のモータ 4 3 の制御指令値は、入出力 I F 2 4 を通じてモータドライバ 2 5 に与えられ、モータドライバ 2 5 から送られた各制御指令値に従って、ロボットアーム 5 の各関節部のモータ 4 3 がそれぞれ独立して駆動される。

【 0 0 6 8 】

また、算出されたレール可動部 8 b の制御指令値は、入出力 I F 2 4 を通じてモータドライバ 2 5 に与えられ、モータドライバ 2 5 から送られた各制御指令値に従って、レール可動部 8 b のモータ 6 5 が駆動される。

【 0 0 6 9 】

30

また、モータドライバ 2 5 により駆動制御されるハンド駆動装置の一例としてハンド駆動用のモータ 6 2 と、ハンド駆動用のモータ 6 2 の回転軸の回転位相角を検出するエンコーダ 6 1 とをさらにハンド 3 0 に備えて、例えば、モータ 6 2 の回転軸を正方向に回転させることによりハンド 3 0 を開いて、フレキシブル基板 7 4 をハンド 3 0 で把持可能に位置させる一方、モータ 6 2 の回転軸を逆方向に回転させることによりハンド 3 0 を閉じて、ハンド 3 0 に把持可能な位置に位置させたフレキシブル基板 7 4 をハンド 3 0 で把持するように構成することができる。このような場合、エンコーダ 6 1 で検出されたモータ 6 2 の回転軸の回転角度を基に、制御装置本体部 4 5 の制御部 2 2 のハンド制御部 5 4 (図 7 に図示) からの制御信号 (開閉指令信号) により、モータドライバ 2 5 を介してハンド駆動用のモータ 6 2 の回転を駆動制御して、ハンド駆動用のモータ 6 2 の回転軸を正逆回転させることによりハンド 3 0 を開閉させる。

40

【 0 0 7 0 】

ロボットアーム 5 は、6 自由度の多リンクマニピュレータであり、ハンド 3 0 と、ハンド 3 0 が取り付けられている手首部 3 1 を先端に有する前腕リンク 3 2 と、前腕リンク 3 2 の基端に先端が回転可能に連結される上腕リンク 3 3 と、上腕リンク 3 3 の基端が回転可能に連結支持される台部 3 4 とを備えている。台部 3 4 は、レール可動部 8 b に連結されている。手首部 3 1 は、第 4 関節部 3 8 と、第 5 関節部 3 9 と、第 6 関節部 4 0 との 3 つの回転軸を有しており、前腕リンク 3 2 に対するハンド 3 0 の相対的な姿勢を変化させることができる。すなわち、図 3 において、第 4 関節部 3 8 は、手首部 3 1 に対するハンド 3 0 の横軸周りの相対的な姿勢を変化させることができる。第 6 関節部 4 0 は、手首部

50

31に対するハンド30の、第4関節部38の横軸及び第5関節部39の縦軸とそれぞれ直交する横軸周りの相対的な姿勢を変化させることができる。前腕リンク32の他端は、上腕リンク33の先端に対して第3関節部37周りに、すなわち、第4関節部38の横軸と平行な横軸周りに回転可能とする。上腕リンク33の他端は、台部34に対して第2関節部36周りに、すなわち、第4関節部38の横軸と平行な横軸周りに回転可能とする。さらに、台部34の上側可動部34aは、台部34の下側固定部34bに対して第1関節部35周りに、すなわち、第5関節部39の縦軸と平行な縦軸周りに回転可能としている。この結果、ロボットアーム5は、合計6個の軸周りに回転可能として前記6自由度の多リンクマニピュレータを構成している。

【0071】

各軸の回転部分を構成する各関節部には、回転駆動装置の一例としてのモータ43と、モータ43の回転軸の回転位相角(すなわち関節角)を検出するエンコーダ44とを備えている。モータ43は、各関節部を構成する一对の部材(例えば、回動側部材と、該回動側部材を支持する支持側部材)のうち一方の部材に備えられ、かつ後述するモータドライバ25により駆動制御される(実際には、ロボットアーム5の各関節部一方の部材の内部に配設されている)。また、エンコーダ44は、モータ43の回転軸の回転位相角(すなわち、関節角)を検出するために、一方の部材に備えられる(実際には、ロボットアーム5の各関節部一方の部材の内部に配設されている)。一方の部材に備えられたモータ43の回転軸が他方の部材に連結されて、前記回転軸を正逆回転させることにより、他方の部材を一方の部材に対して各軸周りに回転可能とする。

【0072】

46はレール座標系 O_d であり、レール8の端の点 O_s (図8参照)からの相対的な位置関係を示す。41はレール8のレール可動部8bに固定された台部34の台部座標系であり、レール座標系 O_d からの相対的な位置関係を示す。手先座標系42は台部座標系41からの相対的な位置関係を示す。

【0073】

レール8の端の点 O_s から見たレール座標系46の原点位置 $O_d(x, y)$ をレール可動部8bの位置(レール位置)とする。さらに、台部座標系41から見た手先座標系42の原点位置 $O_e(x, y, z)$ をロボットアーム5の手先位置(ハンド30の先端の位置)とし、台部座標系41から見た手先座標系42の姿勢をロール角とピッチ角とヨー角とで表現した(、)をロボットアーム5の手先姿勢とし、手先位置及び姿勢ベクトルをベクトル $r = [x, y, z, \text{、} \text{、}]^T$ と定義する。ロール角、ピッチ角、ヨー角について図12A~図12Cを用いて説明する。

【0074】

まず、絶対座標系35のZ軸を回転軸として、座標系を角度 θ だけ回転させた座標系を考える(図12A)。このときの座標軸を $[X', Y', Z]$ とする。

【0075】

次に、この座標系を、 Y' を回転軸として角度 ϕ だけZ軸周りに回転させる(図12B参照)。このときの座標軸を $[X'', Y', Z'']$ とする。

【0076】

最後に、この座標系を、 X'' 軸を回転軸として、角度 ψ だけ X'' 軸周りに回転させる(図12C参照)。このときの座標軸を $[X''', Y''', Z''']$ とする。このときの座標系の姿勢を、ロール角度 ψ 、ピッチ角度 ϕ 、ヨー角度 θ とし、このときの姿勢ベクトルは(、)となる。姿勢(、)の座標系が、原点位置を手先座標系42の原点位置 $O_e(x, y, z)$ に平行移動した座標系と、手先座標系42が一致する場合、手先座標系42の姿勢ベクトルは(、)であるとする。

【0077】

ロボットアーム5の手先位置と姿勢とをそれぞれ制御する場合には、手先位置及び姿勢ベクトル r を、後述する目標軌道生成部55で生成された手先位置と姿勢目標ベクトル r_d とに追従させることになる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

26はデータ入力IF（インターフェース）であり、人（組立作業員）がボタン又はキーボード又はマウス又はマイクなどの入力装置を使用して、組立作業の開始、終了などの指令を組立ロボット1に入力するインターフェースである。

【 0 0 7 9 】

表示部14は、例えば作業台7に設置されたディスプレイ装置であり、後述するロボットの動作又は補正するパラメータの種別などを表示部14に表示する。

【 0 0 8 0 】

動作データベース17は、レール可動部8b及びロボットアーム5の、ある時間における位置及び姿勢など動作（例えば組立動作）に関する情報（動作に関する情報）を記憶して保持している。ここで、動作に関する情報とは、データベースは、前記ロボットアーム5が行う作業（例えば組立作業）に応じた、ロボットアーム5の手先位置姿勢の情報と、ロボットアーム5が機器6に加える力情報と、ロボットアーム5の速度情報と、作業を行わない領域に関する情報である作業不可領域情報とのうちの少なくとも1つの情報を含むものである。

【 0 0 8 1 】

動作データベース17の詳細について説明する。

【 0 0 8 2 】

動作データベース17は、例えば、図4に示したレール可動部8b及びロボットアーム5の動作に関する情報で、作業を識別する作業ID番号と、その作業内の個々の動作を識別する動作ID番号と、その動作におけるレール可動部8bの位置に関する情報と、前記動作におけるロボットアーム5の手先位置と姿勢とに関する情報と、前記その動作におけるロボットアーム5が組立作業面（例えば、機器6のフレキシブル基板挿入口75の挿入面）にかける力に関する情報と、ロボットアーム5の位置と姿勢と力とのパラメータのうちのいずれの情報も有効か否かを示すフラグ（有効性を示すフラグ）に関する情報と、各動作が作用する時間に関する情報と、後述する動作補正部20で動作データベース17の動作情報を補正する際の補正すべきパラメータの種別に関する情報と、現在動作中かどうかを示す進捗情報とを保持するように構成される。

【 0 0 8 3 】

動作データベース17の挿入作業を識別する作業ID番号は、複数種類の組立作業（例えば挿入作業）がある場合に、互いに識別するために、それぞれの作業に対して付された作業ID番号を表す情報である。

【 0 0 8 4 】

動作データベース17の組立作業内の個々の動作を識別する動作ID番号は、1つの組立作業が複数の組立動作で構成されている場合に、1つの組立作業内の個々の組立動作を互いに識別するために、それぞれの組立動作に対して付された動作ID番号を表す情報である。

【 0 0 8 5 】

動作データベース17のレール可動部8bの位置に関する情報は、前述したレール位置の情報を表し、すなわち、レール8の端の O_s から見たレール座標系46の原点位置 O_d （ x 、 y ）とし、例えば図8に示すように、組立ロボット1がレール固定部8a上を左から右に走行して組立動作を行なう場合においては、レール可動部8bの第1のレール位置（ x_1 、 y_1 ）、第2のレール位置（ x_2 、 y_2 ）、第3のレール位置（ x_3 、 y_3 ）などを記憶する。

【 0 0 8 6 】

動作データベース17のレール可動部8bの位置に関する情報は、動作データベース17内に、予め設定しておくか、ロボットアーム5を人の手16で直接把持して、後述するインピーダンス制御モードにて、ロボットアーム5を移動させて記憶させても良い。

【 0 0 8 7 】

動作データベース17のロボットアーム5の手先位置と姿勢とに関する情報は、前述し

10

20

30

40

50

たロボットアーム5の手先位置と姿勢とを表し、原点位置 O_0 と姿勢とから、(x 、 y 、 z 、 θ_1 、 θ_2)と表す。

【0088】

動作データベース17のロボットアーム5の位置及び姿勢・時間の情報は、例えば、図1に示すように、ロボットアーム5を人の手16で直接把持して、後述するインピーダンス制御モードにて、ロボットアーム5を移動させて、ある一定時間毎(例えば0.2ms毎)にロボットアーム5の手先位置と姿勢の情報を制御部22で取得し(具体的に、制御部22の説明でも記載しているように、順運動学計算部58により各関節部のエンコーダ44で計測された関節角を手先位置及び姿勢に変換してロボットアーム5の手先位置と姿勢の情報を取得し)、時間の情報と共に、動作データベース17に動作記憶部15で記憶する。なお、製品出荷時にメーカーにてあらかじめ位置及び姿勢・時間の情報を同様の方法で生成し、動作データベース17に記憶しておいても良い。また、ロボットアーム5を移動させて、(例えば、ロボットアーム5の上方に配置された)カメラなどの画像撮像装置で環境(ロボットアーム56及び機器6を含む環境)を撮影し、得られた画像データ(例えば、得られた環境情報のうちの機器6の挿入口75の画像)と、あらかじめ記憶された物体の画像(例えば機器6の挿入口75の画像)との間でモデルマッチング処理を行い、合致した位置をロボットアーム5の手先位置として動作データベース17に、具体的には図示していないがデータ入力IF26を介して動作記憶部15で記憶するようにしても良い。動作データベース17に記憶されているロボットアーム5がかける力に関する情報は、ロボットアーム5が作業をする際に対象となる物体にかかる力の情報を示し、ロボットアーム5の x 、 y 、 z 方向にかかる力をそれぞれ f_x 、 f_y 、 f_z とし、さらに、 θ_1 、 θ_2 方向にかかる力を f_{θ_1} 、 f_{θ_2} とする。動作データベース17では、(f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{θ_1} 、 f_{θ_2})と表す。例えば $f_z = 5$ [N]である場合は、 z 軸方向に5Nの力をかけて作業することを表し、機器6の挿入口75にフレキシブル基板74を挿入する組立作業の際に、機器6の挿入口75の挿入面に対して垂直方向に力をかけて挿入する場合などに使用するパラメータである。

【0089】

動作データベース17の、ロボットアーム5の位置と姿勢と力とのパラメータのうちのいずれの情報が有効か否かを示すフラグ(有効性を示すフラグ)に関する情報、すなわち、図4の動作データベース17のフラグの情報は、各動作IDが示すロボットアーム5の位置と姿勢と力とのうちのいずれの情報が有効かを示す値であり、具体的には、図5で示した32ビットの数値で表す。図5において、それぞれのビットで位置、姿勢、力のそれぞれの値が有効の場合は「1」とし、無効の場合は「0」とする。例えば、0ビット目は位置の x 座標の値が有効の場合は「1」とし、無効の場合は「0」とする。1ビット目は位置の y 座標の値が有効の場合は「1」とし、無効の場合は「0」とする。2ビット目は位置の z 座標の値が有効の場合は「1」とし、無効の場合は「0」とし、順次、3、4、5ビット目は姿勢の θ_1 、 θ_2 の有効性を表す。6ビット目~11ビット目は力のそれぞれの成分 f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{θ_1} 、 f_{θ_2} が有効か無効かを表す。また、フラグは将来の拡張用に多め(32ビット)に用意しているため、この例では、12ビット目から31ビット目は使用しないので、「0」を入れておくが、12ビット目のみ、格納できる変数としても良い。図5では、0ビット目から1ビット目が「1」となり、8ビット目が「1」となっているので、動作情報のうち、位置の x 、 y 情報と力の f_z 情報のみが有効であることを示し、動作情報のうち、 z 、 θ_1 、 θ_2 及び、力の f_x 、 f_y 以外の値のそれぞれに、どのような値が記憶されていても無効であるとする。

【0090】

動作データベース17の各動作が作用する時間に関する情報、すなわち、図4の動作データベース17の時間は、各動作を組立ロボット1が実行するために必要な時間であり、この動作IDに記憶された動作を、ここで記憶された時間をかけて組立ロボット1が動作することを表す。この時間は、絶対時刻ではなく、前の動作からの相対時間を表す。すなわち、動作IDが示すルール可動部8bの位置及びロボットアーム5の位置及び姿勢に、

10

20

30

40

50

ルール可動部 8 b 及びロボットアーム 5 がそれぞれ移動するまでの時間を表す。

【 0 0 9 1 】

動作データベース 1 7 の、動作補正部 2 0 で動作データベース 1 7 の動作情報を補正する際の補正すべきパラメータの種別に関する情報、すなわち、図 4 の補正パラメータフラグは、後述する補正動作種別決定部 2 3 で決定した種別に応じて、どのパラメータを補正するかを表す情報である。具体的には、図 6 に示した 3 2 ビットの数値で表す。図 6 において、それぞれのビットで位置、姿勢、力のそれぞれの値の補正が可能な場合は「 1 」とし、補正が不可能な場合は「 0 」とする。例えば、0 ビット目は位置の x 座標の値の補正が可能な場合は「 1 」とし、不可能な場合は「 0 」とする。1 ビット目は位置の y 座標の値の補正が可能な場合は「 1 」とし、不可能な場合は「 0 」とする。2 ビット目は位置の z 座標の値の補正が可能な場合は「 1 」とし、不可能な場合は「 0 」とする。順次、3 , 4 , 5 ビット目は姿勢の 、 の補正可能性を表す。同様に、6 ビット目 ~ 1 1 ビット目は力の補正可能性を表す。また、フラグは将来の拡張用に多め (3 2 ビット) に用意しているため、この例では、1 2 ビット目から 3 1 ビット目は使用しないので、「 0 」を入れておくが、1 2 ビット目のみ、格納できる変数としても良い。

10

【 0 0 9 2 】

動作データベース 1 7 の、現在動作中かどうかを示す進捗情報は、組立ロボット 1 の現在動作中の動作であるかどうかどうかを示す情報で、動作中の場合は「 1 」を記録するとともに、動作中でない場合は「 0 」を記録する。具体的には、人は、データ入力 I F 2 6 を介して作業したい組立作業を選択して、選択された情報がデータ入力 I F 2 6 から動作選択部 2 9 に入力される。選択した作業のうち一番目の組立動作が組立ロボット 1 で開始されると、動作選択部 2 9 により、その組立作業を構成する複数の組立動作のうち、現在動作中の組立動作について「 1 」を動作データベース 1 7 に記憶するとともに、動作していない組立動作について「 0 」を動作データベース 1 7 に記憶する。なお、動作中か否かの情報は、制御部 2 2 から指令した動作が終了したことの通知を動作補正部 2 0 を介して動作記憶部 1 5 に入力し、動作記憶部 1 5 にて作業方法データベース 1 7 に記憶する。

20

【 0 0 9 3 】

図 4 において、動作 I D 「 1 」 ~ 「 8 」は、図 2 1 A に示すように、機器 6 の挿入口 7 5 まで機器 6 の上方を、ロボットアーム 5 のハンド 3 0 がフレキシブル基板 7 4 を把持しながら移動する動作である。動作「 9 」 ~ 「 1 6 」は、図 2 1 B に示すように、ロボットアーム 5 を使用して、機器 6 の挿入口 7 5 にフレキシブル基板 7 4 を挿入する動作である。

30

【 0 0 9 4 】

図 3 の動作選択部 2 9 は、動作データベース 1 7 の作業一覧 (例えば、図 2 6 のスイッチ 2 6 c の中央の下側に表示された「挿入 1 」及び「挿入 2 」というような作業表示) から最適な作業を人 1 6 がデータ入力 I F 2 6 を介して選択するとき、選択された作業のうち、現在、動作している動作 I D の進捗情報に「 1 」を設定して動作データベース 1 7 に記憶し、その他の動作については「 0 」を設定して動作データベース 1 7 に記憶する。

【 0 0 9 5 】

作業不可領域データベース 2 8 は、組立ロボット 1 で作業 (この例ではフレキシブル基板挿入作業) をしない領域に関する情報を記憶しており、具体的な情報については、図 1 0 に示す。図 1 0 において、作業不可領域の位置 (x , y) は、人が、組立ロボット 1 により作業をしてほしくない領域を表す。例えば、図 1 1 の作業可能面 R のうち、斜線の領域を作業不可領域 R B とした場合は、その領域 R B を表すのに必要な座標 (この例では、矩形領域の 4 個の角の座標 (x_{c1}, y_{c1})、(x_{c2}, y_{c2})、(x_{c3}, y_{c3})、(x_{c4}, y_{c4})) を記憶する。なお、それぞれの座標は、作業を行う作業領域 R A の作業経路のうち、ルール 8 の端の座標 O_s からの相対座標で表す。これらの作業不可領域 R B を表す座標は、後述する動作補正部 2 0 で生成され、作業不可領域データベース 2 8 に記憶される。

40

【 0 0 9 6 】

50

補正動作種別決定部 23 は、後述する動作補正部 20 にて、人がその手 16 でロボットアーム 5 に力をかけることにより動作の補正を行うことが可能な補正の種別を決定する。例えば、図 19C のように、人がその手 16 でロボットアーム 5 に横方向から力をかけると、ロボットアーム 5 の作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に対する平行な方向（例えば、作業面が水平方向沿いの場合には水平方向を意味する。以下の説明では、説明を簡単にするため、単に「水平方向」と称する。）の位置を移動することで、作業領域 RA を平行移動させることができる。この場合の補正動作の種別は、「作業面の位置の移動」である。図 18A に示すようにロボットアーム 5 で機器 6 の挿入口 75 にフレキシブル基板 74 を挿入中に、図 18C に示すように、人がその手 16 でロボットアーム 5 の上方からロボットアーム 5（例えばハンド 30）に下向きの力をかけると、後述する動作補正部 20 によって、図 19D のように挿入時の力のかけ具合を強めに設定することができる。この場合の補正動作の種別は、「力のかけ具合」である。このように、補正動作種別決定部 23 は、人の手 16 によるロボットアーム 5 への力のかけ具合とロボットアーム 5 の手先位置などから、組立動作の補正の種別を決定することができる。なお、詳細については後述する。

10

【0097】

動作補正部 20 は、動作データベース 17 の位置と姿勢と時間との情報に基づいて組立ロボット 1 が組立動作中に、人が手 16 でロボットアーム 5 に力をかけることにより、動作データベース 17 の組立動作情報を補正する機能を持っている。詳細については、後述する。

20

【0098】

動作記憶部 15 は、動作補正部 20 により補正した動作情報を動作データベース 17 若しくは作業不可領域データベース 28 に記憶する。

【0099】

次に、制御パラメータ管理部 21 の詳細について説明する。

【0100】

制御パラメータ管理部 21 は、動作補正部 20 の動作補正指示に基づいて、ロボットアーム 5 のインピーダンス制御モードと、ハイブリッドインピーダンス制御モードと、力制御モードと、カハイブリッドインピーダンス制御モードと、高剛性の位置制御モードとを切り替える設定、及び、それぞれの制御モード時の機械インピーダンス設定値の設定、及び、それぞれの制御モードで制御部 22 のインピーダンス計算部 51 で出力する手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d の設定、及び、制御部 22 の目標軌道設定部 55 への動作情報の設定を行う。

30

【0101】

さらに、制御パラメータ管理部 21 は、動作データベース 17 に記憶されているレール可動部 8b の位置（レール 8 の端の座標 O_s から見たレール座標系 46 の原点位置 O_d (x, y)）から、作業不可領域データベース 28 の作業不可領域 RB を除いた作業領域 RA での経路を生成する。また、制御部 22 からロボットアーム 5 の手先位置又は力の情報などの情報を制御パラメータ管理部 21 で受けて、制御パラメータ管理部 21 から動作補正部 20 へそれらの情報の通知を行う。また、データ入力 IF 26 によりハンド 30 の開閉の指令が入力されると、データ入力 IF 26 からの入力情報が制御パラメータ管理部 21 を介して制御部 22 のハンド制御部 54 へ入力されて、制御パラメータ管理部 21 からハンド制御部 54 へハンド 30 の開閉指令を出す。

40

【0102】

位置制御モードは、後述する目標軌道生成部 55 の手先位置及び姿勢目標ベクトル指令に基づいて、ロボットアーム 5 が作動するモードである。

【0103】

インピーダンス制御モードは、人などからロボットアーム 5 に加わる力に応じて、ロボットアーム 5 が作動するモードである。

【0104】

50

ハイブリッドインピーダンス制御モードは、位置制御モードでロボットアーム 5 が動作している最中に、人などからロボットアーム 5 に加わる力に応じて、ロボットアーム 5 が作動するモード（インピーダンス制御モード）であり、位置制御モードとインピーダンス制御モードを同時に行うモードである。例えば、機器 6 の挿入口 7 5 にフレキシブル基板 7 4 を挿入する組立作業中に、図 1 8 C のように、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を直接持って、作業領域 R A を平行移動するなどの補正を行うモードである。

【 0 1 0 5 】

力制御モードは、制御部 2 2 へ予め与えられた力で、ロボットアーム 5 が作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に対してハンド 3 0 で把持した対象物（例えば、フレキシブル基板 7 4）を押し付けながら動作する制御モードで、例えば、機器 6 の挿入口 7 5 に対してロボットアーム 5 が、ある力をかけてフレキシブル基板 7 4 を挿入口 7 5 に挿入する際に、ロボットアーム 5 の作業面成分に使用する制御モードである。

10

【 0 1 0 6 】

力ハイブリッドインピーダンス制御モードは、6 軸の方向別にハイブリッドインピーダンス制御モードかインピーダンス制御モードかを切り替え、さらに、指定した力を作用させて動作する力制御モードで動作させる制御モードである。なお、力制御モードが設定された方向にインピーダンス制御モードを設定することはできない（力制御モードとインピーダンス制御モードは排他的な関係）。

【 0 1 0 7 】

これらの制御モードは、組立動作の際に、ロボットアーム 5 の方向及び姿勢別に、それぞれ、以下のように、適切な制御モードを設定して動作させる。

20

【 0 1 0 8 】

例えば、組立ロボット 1 が、図 1 8 A のように、機器 6 の挿入口 7 5 に対して、ハンド 3 0 で把持したフレキシブル基板 7 4 を、作業面の一例である機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面に対して垂直な挿入方向（図 1 8 A では、挿入口 7 5 の挿入面が水平面沿いであるため、水平面に対して垂直な挿入方向でかつ下向き）に指定した力をかけて、フレキシブル基板 7 4 を挿入口 7 5 に挿入する場合には、力ハイブリッドインピーダンス制御モードを設定する。具体的には、(x 、 y 、 z 、 、) の 6 軸のそれぞれに、以下の制御モードを設定する。すなわち、(x 、 y) 成分がハイブリッドインピーダンス制御モードで動作し、(、 、) 成分がインピーダンス制御モードで動作し、z 軸成分が力制御モードで動作する力ハイブリッドインピーダンス制御モードである。このように機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面と平行な方向は、ハイブリッドインピーダンス制御モードとすることで、位置制御モードで動作している最中に、人が操作している際に、ハイブリッドインピーダンス制御モードに切り替えることで、人などからロボットアーム 5 に加わる力に応じて、ロボットアーム 5 を移動させることができる。さらに、(、 、) 成分をインピーダンス制御モードとすることで、停止している状態で人などからロボットアーム 5 に加わる力に応じて、ロボットアーム 5 の姿勢を変更することができるようになる。また、z 軸成分を力制御モードに設定することで、指定された力で押し付けながら動作することができるようになる。

30

【 0 1 0 9 】

高剛性位置制御モードは、組立作業中の位置制御モードを、さらに高剛性にしたモードで、かつ、後述する位置誤差補償部 5 6 でのゲインを大きくすることで実現し、人の手 1 6 で力をロボットアーム 5 にかけると、ロボットアーム 5 を容易に移動できなくすることで、ロボットアーム 5 の手先位置の変化量により、人の手 1 6 がかけた力を力検出部 5 3 で検出することができる。

40

【 0 1 1 0 】

機械インピーダンス設定値の設定パラメータとしては、慣性 M、粘性 D、剛性 K がある。機械インピーダンス設定値の各パラメータの設定は、補正值を使って、以下の評価式に基づいて行う。

【 0 1 1 1 】

50

【数 1】

$$M = KM \times (\text{補正值}) \quad \dots \text{式 (1)}$$

【0112】

【数 2】

$$D = KD \times (\text{補正值}) \quad \dots \text{式 (2)}$$

【0113】

【数 3】

$$K = KK \times (\text{補正值}) \quad \dots \text{式 (3)}$$

【0114】

前記式(1)～(3)中のKM、KD、KKはゲインであり、それぞれ、ある定数値である。

【0115】

制御パラメータ管理部21は、前記式(1)～(3)に基づいて計算した機械インピーダンスパラメータの慣性M、粘性D、剛性Kを制御部22へそれぞれ出力する。

【0116】

前記式(1)～(3)により、例えば、図19Cのように、人が作業面(例えば、挿入口75に対してフレキシブル基板75を挿入する挿入作業を行う作業面)の領域を移動させるように補正させたい場合に、x軸及びy軸以外の位置成分及び姿勢成分が簡単に動く、前記補正作業を行うことが困難になる。そこで、x軸及びy軸以外の位置成分及び姿勢成分についてのみ、制御パラメータ管理部21で、上述の補正値を高く(具体的には約10倍だけ高く)設定することで、粘性D及び剛性Kが大きくなるように設定されることになり、ロボットアーム5の動きに抵抗感又は硬さが生じ、x軸及びy軸以外の位置成分及び姿勢成分について動きにくくなる。

【0117】

又は、別の方法として、後述するインピーダンス計算部51から出力される手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d の各成分のうち、x軸及びy軸以外の値を、制御パラメータ管理部21で、全て0にする方法がある。これによって、x軸及びy軸以外は、人の手16の力で移動できなくなるため、誤操作を防ぐことができる。

【0118】

さらに、動作補正部20に、ロボットアーム5の手先位置と姿勢と、人のかけた力の情報(ロボットアーム5に作用する人の力に関する情報)とを制御パラメータ管理部21から通知する必要がある。そのため、制御部22からロボットアーム5の手先位置及び力の情報を制御パラメータ管理部21が受けて、動作選択部29と、動作記憶部15と、動作補正部20とへ制御パラメータ管理部21から通知を行う。また、制御パラメータ管理部21は、動作補正部20から入力された、位置と姿勢と時間となどの動作情報を制御部22へ通知する。

【0119】

図7は制御部22のブロック図を示す。制御部22は、制御パラメータ管理部21で設定された制御モードで動作し、さらに制御モードに応じて、慣性Mと粘性Dと剛性Kとの設定値に基づき設定されたロボットアーム5の機械インピーダンス設定値に、ロボットアーム5の機械インピーダンスの値を制御する。さらに、制御部22は、挿入作業の場合には、指定された力で、挿入口75の挿入面に対してフレキシブル基板74を押し付ける制御を行う。さらに、制御部22は、レール可動部8bを制御して、ロボットアーム5をレール固定部8a上の指定された位置に移動する制御を行う。

【0120】

10

20

30

40

50

次に、制御部 2 2 の詳細について、図 7 により説明する。

【 0 1 2 1 】

制御部 2 2 は、ロボットアーム 5 の各関節部のモータ 4 3 の駆動をそれぞれ制御するロボットアーム制御部 4 9 と、レール可動部 8 b のモータ 6 5 の駆動を制御するレール制御部 4 8 とを備えるように構成される。ロボットアーム制御部 4 9 は、位置誤差計算部 5 0 とインピーダンス計算部 5 1 と力検出手段の一例としての力検出部 5 3 とハンド制御部 5 4 と目標軌道生成部 5 5 と位置誤差補償部 5 6 と近似逆運動学計算部 5 7 と順運動学計算部 5 8 とを備えて構成している。位置誤差補償部 5 6 と近似逆運動学計算部 5 7 と順運動学計算部 5 8 とで位置制御系 5 9 を構成している。

【 0 1 2 2 】

次に、ロボットアーム制御部 4 9 について詳細に説明する。

【 0 1 2 3 】

ロボットアーム 5 からは、それぞれの関節部の関節軸のエンコーダ 4 4 により計測された関節角の現在値（関節角度ベクトル）ベクトル $q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]^T$ が出力され、入出力 I F 2 4 により制御部 2 2 に取り込まれる。ただし、 $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$ は、それぞれ、第 1 関節部 3 5、第 2 関節部 3 6、第 3 関節部 3 7、第 4 関節部 3 8、第 5 関節部 3 9、第 6 関節部 4 0 の関節角度である。

【 0 1 2 4 】

目標軌道生成部 5 5 は、制御パラメータ管理部 2 1 からの組立動作の入力を受けて、目標とするロボットアーム 5 の動作を実現するための、手先位置及び姿勢目標ベクトル r_d と、手先の力ベクトル f_d と、それぞれの方向別にどのパラメータが有効かを示すフラグ（有効性を示すフラグ）とが出力される。目標とするロボットアーム 5 の動作は、目的とする組立作業に応じて、動作補正部 2 0 から、制御パラメータ管理部 2 1 を介して、それぞれの時間（ $t = 0, t = t_1, t = t_2, \dots$ ）でのポイントごとの位置及び姿勢（ $r_{d0}, r_{d1}, r_{d2}, \dots$ ）の情報と、力（ $f_{d0}, f_{d1}, f_{d2}, \dots$ ）の情報とが目標軌道生成部 5 5 に与えられる。

【 0 1 2 5 】

目標軌道生成部 5 5 は、多項式補間を使用し、各ポイント間の軌道と、力とを補間し、手先位置及び姿勢目標ベクトル r_d 及び力ベクトル f_d を生成する。

【 0 1 2 6 】

ハンド制御部 5 4 は、制御パラメータ管理部 2 1 から入力したハンド開閉指令により、ハンド駆動用のモータ 6 2 を駆動してハンド 3 0 を開閉するよう、ロボットアーム 5 のハンド駆動用のモータ 6 2 へ指令を出す。

【 0 1 2 7 】

力検出部 5 3 は、力検出手段の一例として機能し、人などとロボットアーム 5 との接触によってロボットアーム 5 に加わる外力を検出する。力検出部 5 3 には、モータドライバ 4 7 の電流センサで計測された、ロボットアーム 5 の各関節部を駆動するモータ 4 3 を流れる電流値 $i = [i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6]^T$ が入出力 I F 2 4 を介して取り込まれ、また、各関節部の各関節角の現在値 q が入出力 I F 2 4 を介して取り込まれるとともに、後述する近似逆運動学計算部 5 7 からの関節角度誤差補償出力 u_{q_e} が取り込まれる。力検出部 5 3 は、オブザーバとして機能し、以上の電流値 i と関節角の現在値 q と関節角度誤差補償出力 u_{q_e} とに基づいて、ロボットアーム 5 に加わる外力により各関節部に発生するトルク e_{x_t} を算出する。そして、 $F_{e_{x_t}} = J_v(q) \cdot e_{x_t} - [0, 0, mg]^T$ によりロボットアーム 5 の手先における等価手先外力 $F_{e_{x_t}}$ に換算して等価手先外力 $F_{e_{x_t}}$ を出力する。ここで、 $J_v(q)$ は、

【 0 1 2 8 】

10

20

30

40

【数 4】

$$v = J_v(q) \dot{q}$$

【0129】

を満たすヤコビ行列である。ただし、 $v = [v_x, v_y, v_z, \dot{\alpha}_x, \dot{\alpha}_y, \dot{\alpha}_z]^T$ であり、 (v_x, v_y, v_z) は手先座標系 42 でのロボットアーム 5 の手先の並進速度、 $(\dot{\alpha}_x, \dot{\alpha}_y, \dot{\alpha}_z)$ は手先座標系 42 でのロボットアーム 5 の手先の角速度である。また、 m はロボットアーム 5 のハンド 30 に把持されたフレキシブル基板 74 の重さであり、 g は重力加速度である。フレキシブル基板 74 の重さ m の値は、フレキシブル基板 74 をハンド 30 で把持する前に、人がデータ入力 IF 26 から力検出部 53 に入力することもできるが、通常は、フレキシブル基板 74 の重さ m は度々変更される値ではないため、予め設定した値とすることもできる。

10

【0130】

インピーダンス計算部 51 は、ロボットアーム 5 に機械インピーダンス設定値への前記ロボットアーム 5 の機械インピーダンスの値の制御を実現する機能を果たす部分である。

【0131】

インピーダンス制御モードが指定された際には、インピーダンス計算部 51 から手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d を出力する。力ハイブリッドインピーダンス制御モードに切り替えられた際には、フラグ（有効性を示すフラグ）で有効と指定された力成分が存在する場合には、制御パラメータ管理部 21 で設定されたインピーダンスパラメータである慣性 M と粘性 D と剛性 K と、関節角の現在値 q と、力検出部 53 が検出した外力 F_{ext} と、目標軌道生成部 55 から出力される f_d とに基づいて、前記ロボットアーム 5 の機械インピーダンスの値がロボットアーム 5 に機械インピーダンス設定値に近づくようにする制御を実現するための手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d を、以下の式（4）によりインピーダンス計算部 51 で計算し、インピーダンス計算部 51 から出力する。

20

【0132】

手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d は、目標軌道生成部 55 の出力する手先位置及び姿勢目標ベクトル r_d に位置誤差計算部 50 で加算され、手先位置及び姿勢補正目標ベクトル $r_{d\Delta}$ が位置誤差計算部 50 で生成される。例えば、 z 軸方向のみ、力をかけて挿入し、その他の成分は位置制御モードで動くようにするには、手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d の z 成分以外を 0 に位置誤差計算部 50 で設定する。

30

【0133】

【数 5】

$$r_{d\Delta} = (s^2 \hat{M} + s \hat{D} + \hat{K})^{-1} (F_{ext} - f_d) \quad \dots \text{式 (4)}$$

【0134】

ただし、

【0135】

40

【数 6】

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & M \end{bmatrix} \dots \text{式 (5)}$$

10

【0136】

【数 7】

$$\hat{D} = \begin{bmatrix} D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D \end{bmatrix} \dots \text{式 (6)}$$

20

【0137】

【数 8】

$$\hat{K} = \begin{bmatrix} K & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K \end{bmatrix} \dots \text{式 (7)}$$

30

【0138】

であり、 s はラプラス演算子である。

【0139】

位置誤差計算部 50 は、さらに、手先位置及び姿勢補正目標ベクトル r_{d_m} と、後述する順運動学計算部 58 により計算される手先位置及び姿勢ベクトル r との誤差 r_e を求め、求められた誤差 r_e を位置誤差補償部 56 に出力する。

【0140】

順運動学計算部 58 には、ロボットアーム 5 の各関節部の各関節軸のエンコーダ 44 からエンコーダ 44 で計測された関節角の現在値 q である関節角度ベクトル q が、入出力 I/F 24 を介して入力される。順運動学計算部 58 は、ロボットアーム 5 の関節角度ベクトル q から、手先位置及び姿勢ベクトル r への変換の幾何学的計算を行う。順運動学計算部 58 で計算された手先位置及び姿勢ベクトル r は、位置誤差計算部 50 及びインピーダンス計算部 51 及び目標軌道生成部 55 に出力される。

40

【0141】

位置誤差補償部 56 は、位置誤差計算部 50 で求められた誤差 r_e に基づいて、位置誤差補償出力 u_{r_e} を近似逆運動学計算部 57 に出力する。

【0142】

具体的には、位置誤差補償出力 u_{r_e} は、

50

【 0 1 4 3 】

【 数 9 】

$$\mathbf{u}_{re} = \mathbf{K}_P \mathbf{r}_e + \mathbf{K}_I \int_0^t \mathbf{r}_e dt' + \mathbf{K}_D \frac{d\mathbf{r}_e}{dt}$$

【 0 1 4 4 】

により計算される。ここで、 \mathbf{K}_P は比例ゲイン行列、 \mathbf{K}_I は積分ゲイン行列、 \mathbf{K}_D は微分ゲイン行列であり、その対角成分が手先位置ベクトル $\mathbf{r}_e = [x, y, z, \dots]^T$ の各成分に対するゲインで構成される対角行列である。

10

【 0 1 4 5 】

さらに、位置誤差補償部 5 6 では、高剛性位置制御モードが設定された際に、比例ゲイン行列 \mathbf{K}_P 、積分ゲイン行列 \mathbf{K}_I 、微分ゲイン行列 \mathbf{K}_D をあらかじめ設定された値に大きく設定する。ここで、高剛性とは、通常の位置制御と比較して剛性が高くなることを意味し、具体的には、通常の位置制御モードと比較して大きな値を設定する。例えば、通常の位置制御モード時の 2 倍程度の値に設定すると、剛性を約 2 倍まで高くすることができる。

【 0 1 4 6 】

このようにすることで、高剛性の位置制御を実現することができる。なお、前記ゲインを各成分毎に値を変えることで、例えば、z 軸方向のみ高剛性で、その他の方向は通常の位置制御で動作するよう制御することができる。

20

【 0 1 4 7 】

近似逆運動学計算部 5 7 は、位置誤差補償部 5 6 から入力される位置誤差補償出力 \mathbf{u}_{re} とロボットアーム 5 において計測される関節角度ベクトル \mathbf{q} とに基づいて、近似式 $\mathbf{u}_t = \mathbf{J}_r(\mathbf{q})^{-1} \mathbf{u}_{in}$ により、逆運動学の近似計算を行う。ただし、 $\mathbf{J}_r(\mathbf{q})$ は、

【 0 1 4 8 】

【 数 1 0 】

$$\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J}_r(\mathbf{q}) \dot{\mathbf{q}}$$

30

【 0 1 4 9 】

の関係を満たすヤコビ行列であり、 \mathbf{u}_{in} は近似逆運動学計算部 5 7 への入力であり、 \mathbf{u}_t は近似逆運動学計算部 5 7 からの出力であり、入力 \mathbf{u}_{in} を関節角度誤差 \mathbf{q}_e とすれば、 $\mathbf{q}_e = \mathbf{J}_r(\mathbf{q})^{-1} \mathbf{r}_e$ のように手先の位置姿勢誤差 \mathbf{r}_e から関節角度誤差 \mathbf{q}_e への変換式となる。

【 0 1 5 0 】

従って、位置誤差補償部 5 6 から位置誤差補償出力 \mathbf{u}_{re} が近似逆運動学計算部 5 7 に入力されると、近似逆運動学計算部 5 7 からの出力として、関節角度誤差 \mathbf{q}_e を補償するための関節角度誤差補償出力 \mathbf{u}_{qe} が近似逆運動学計算部 5 7 から入出力 I F 2 4 を介してロボットアーム 5 のモータドライバ 2 5 に出力される。

40

【 0 1 5 1 】

関節角度誤差補償出力 \mathbf{u}_{qe} は、入出力 I F 2 4 の D / A ボードを介してロボットアーム 5 のモータドライバ 2 5 に電圧指令値として与えられ、各モータ 4 3 により各関節軸が正逆回転駆動されロボットアーム 5 が動作する。

【 0 1 5 2 】

レール制御部 4 8 は、目標軌道生成部 5 5 から入力されたレール可動部 8 b の位置情報に基づき、レール可動部 8 b のモータ 6 5 を駆動制御してレール固定部 8 a 上でロボット

50

アーム 5 をレール可動部 8 b と共に移動させるように制御を行う。具体的には、レール可動部 8 b のモータ 6 5 の正逆回転駆動をレール制御部 4 8 により制御して、ロボットアーム 5 が連結されたレール可動部 8 b をレール固定部 8 a 上で左右方向に移動可能としている。

【 0 1 5 3 】

以下、ロボットアーム 5 のロボットアーム制御プログラムの実際の動作ステップについて、図 1 6 のフローチャートに基づいて説明する。

【 0 1 5 4 】

ロボットアーム 5 の関節部のそれぞれのエンコーダ 4 4 により計測された関節角度データ (関節変数ベクトル又は関節角度ベクトル q) が制御装置本体部 4 5 に取り込まれる (ステップ S 5 1)。

10

【 0 1 5 5 】

次いで、逆運動学計算部 5 7 にて、ロボットアーム 5 の運動学計算に必要なヤコビ行列 J_r 等の計算を行う (ステップ S 5 2)。

【 0 1 5 6 】

次いで、順運動学計算部 5 8 にて、ロボットアーム 5 からの関節角度データ (関節角度ベクトル q) から、ロボットアーム 5 の現在の手先位置及び姿勢ベクトル r を計算する (ステップ S 5 3)。

【 0 1 5 7 】

次いで、動作補正部 2 0 から送信された動作情報に基づき、目標軌道計算部 5 5 は、ロボットアーム 5 の手先位置及び姿勢目標ベクトル r_d 及び力目標ベクトル f_d を計算する (ステップ S 5 4)。

20

【 0 1 5 8 】

次いで、力検出部 5 3 は、モータ 4 3 の駆動電流値 i と、関節角度データ (関節角度ベクトル q) と、関節角度誤差補償出力 u_{q_e} とから、ロボットアーム 5 の手先における等価手先外力 $F_{e_x t}$ を計算する (ステップ S 5 5)。

【 0 1 5 9 】

次いで、ステップ S 5 6 では、制御パラメータ管理部 2 1 で設定された制御モードを設定する。高剛性位置制御モードのみの場合には、ステップ S 5 7 に処理を進める。一方、力ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくはインピーダンス制御モード若しくはハイブリッドインピーダンス制御モードの場合には、ステップ S 5 8 へ処理を進める。

30

【 0 1 6 0 】

ステップ S 5 7 (インピーダンス計算部 5 1 での処理) では、制御パラメータ管理部 2 1 において、高剛性位置制御モードが設定された場合には、インピーダンス計算部 5 1 で、手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d を 0 ベクトルとする。その後、ステップ S 5 9 に進む。

【 0 1 6 1 】

制御パラメータ管理部 2 1 において、力ハイブリッドインピーダンス制御モード、若しくはインピーダンス制御モード若しくはハイブリッドインピーダンス制御モードが設定された場合には、制御パラメータ管理部 2 1 において設定された機械インピーダンスパラメータの慣性 M と粘性 D と剛性 K と、関節角度データ (関節角度ベクトル q) と、力検出部 5 3 により計算されたロボットアーム 5 に加わる等価手先外力 $F_{e_x t}$ とから、手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d が、インピーダンス計算部 5 1 により計算される (ステップ S 5 8)。

40

【 0 1 6 2 】

次いで、位置誤差計算部 5 0 では、手先位置及び姿勢目標ベクトル r_d と手先位置及び姿勢目標補正出力 r_d の和である手先位置及び姿勢補正目標ベクトル r_{d_m} と、現在の手先位置及び姿勢ベクトル r との差である手先位置及び姿勢の誤差 r_e が計算される (ステップ S 5 9、ステップ S 6 0)。ステップ S 6 0 では、位置誤差補償部 5 6 の具体例としては P I D 補償器が考えられる。定数の対角行列である比例、微分、積分の 3 つのゲイ

50

ンを適切に調整することにより、位置誤差が 0 に収束するように制御が働く。ステップ S 5 9 では、そのゲインを、ある値まで大きくすることで、高剛性の位置制御を実現する。

【 0 1 6 3 】

ステップ S 5 9 又はステップ S 6 0 に次いでステップ S 6 1 では、近似逆運動学計算部 5 7 では、ステップ S 5 2 で計算したヤコビ行列 J_r の逆行列を近似逆運動学計算部 5 7 で乗算することにより、位置誤差補償出力 u_{r_e} を、手先位置及び姿勢の誤差に関する値から関節角度の誤差に関する値である関節角度誤差補償出力 u_{q_e} に、近似逆運動学計算部 5 7 により変換する。

【 0 1 6 4 】

ステップ S 6 1 に次いで、関節角度誤差補償出力 u_{q_e} が、近似逆運動学計算部 5 7 から入出力 I F 2 4 を通じ、モータドライバ 2 5 に与えられ、それぞれのモータ 4 3 を流れる電流量を変化させることによりロボットアーム 5 のそれぞれの関節軸の回転運動が発生する（ステップ S 6 2）。

【 0 1 6 5 】

以上のステップ S 5 1 ~ ステップ S 6 2 が制御の計算ループとして繰り返し実行されることにより、ロボットアーム 5 の動作の制御、すなわち、ロボットアーム 5 の機械インピーダンスの値を、前記適切に設定された設定値に制御する動作を実現することができる。

【 0 1 6 6 】

次に、補正動作種別決定部 2 3 と動作補正部 2 0 について詳細に説明する。

【 0 1 6 7 】

補正動作種別決定部 2 3 は、動作補正部 2 0 にて、人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかけることで組立動作の補正を行うことが可能な補正の種別を決定する。以下の 6 種類の補正の種別がある。

【 0 1 6 8 】

1 つ目の補正の種別は、「作業面の位置の移動」である。具体的には、図 1 9 A のように動作する動作情報を使って、モデルチェンジにより大きさ又は剛性が変化したフレキシブル基板 7 4 a を機器 6 の挿入口 7 5 に挿入するとき、図 1 9 B のようにフレキシブル基板 7 4 a が挿入口 7 5 a に引っかかってフレキシブル基板 7 4 a のコネクタ部を挿入口 7 5 a 内に挿入できない場合がある。そのような場合に、図 1 9 C のように、ロボットアーム 5 が位置制御モードで機器 6 の挿入口 7 5 a にフレキシブル基板 7 4 a を挿入している最中に、図 1 9 C のように人の手 1 6 でロボットアーム 5 に横方向から力をかけると、動作補正部 2 0 によって、図 1 9 D のようにロボットアーム 5 の作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に対する水平方向の位置をロボットアーム 5 が移動することで、ロボットアーム 5 を機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面に対して平行移動することができる。

【 0 1 6 9 】

2 つ目の補正の種別は、フレキシブル基板 7 4 の挿入時の「力のかけ具合」である。これは、現在動作中（動作データベース 1 7 の進捗情報が「1」）の動作のフラグ（有効性を示すフラグ）において、力のビットが「1」となっている場合に有効である。図 1 8 B に示すように、ロボットアーム 5 でフレキシブル基板 7 4 b の挿入口 7 5 b への挿入作業中に、図 1 8 C のように、人の手 1 6 でロボットアーム 5 に上方から下向きに力をかけると、動作補正部 2 0 によって、図 1 8 D のように力のかけ具合を強めに、逆に、人の手 1 6 でロボットアーム 5 に下方から上向きに力をかけると、力のかけ具合を弱めに補正することができる。

【 0 1 7 0 】

3 つ目の補正の種別は、ロボットアーム 5 の手先「速度」である。図 2 2 A のように、フレキシブル基板 7 4 を把持したロボットアーム 5 が機器 6 の挿入口 7 5 に向かって移動中に、図 2 2 B のように、ロボットアーム 5 の進行方向に反する方向に人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかけると、動作補正部 2 0 によって、図 2 2 C のように、ロボットアーム 5 の移動時の速度を減速させることができる。逆に、ロボットアーム 5 が移動中に、人の手 1 6 がロボットアーム 5 の進行方向に向かって人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力

10

20

30

40

50

をかけると、動作補正部 20 によって、ロボットアーム 5 の移動時の速度を加速させることができる。

【0171】

4 つ目の補正の種別は、「方向（姿勢）の変更」である。図 20 A 及び図 20 C（図 20 A を上から見た図）のように動作する動作情報を使って、モデルチェンジにより、図 20 A の機器 6 の挿入口 75 の向きが図 20 B の挿入口 75 c のように変更された場合には、図 20 B のように、フレキシブル基板 74 を把持したロボットアーム 5 を、図 20 A の機器 6 の挿入口 75 に対する動作と同様な動作で挿入を行うと、フレキシブル基板 74 が挿入口 75 c に引っかかってフレキシブル基板 74 を挿入口 75 c に挿入することができない。その場合に、図 20 D のように、ロボットアーム 5 によるフレキシブル基板 74 の挿入作業中に、人の手 16 でロボットアーム 5（特に、フレキシブル基板 74 を把持しているハンド 30）の姿勢の向きを変更するようにロボットアーム 5（特にハンド 30 又はハンド近傍の部分）に力をかけると、動作補正部 20 によって、図 20 E のようにロボットアーム 5（特に、フレキシブル基板 74 を把持しているハンド 30）の姿勢を変更して、挿入口 75 a に合わせてロボットアーム 5（特に、ハンド 30）の進行方向を変更することができる。これは、ロボットアーム 5 の手先の姿勢（ 、 、 ）を変更することで実現できる。

10

【0172】

5 つ目の補正の種別は、「作業をして欲しくない領域」である。人 16 A の手 16 で図 23 に示すように、ロボットアーム 5（例えば、ハンド 30）を把持して、作業をして欲しくない領域 R B の輪郭に沿って、ロボットアーム 5 に力をかけてロボットアーム 5（例えば、ハンド 30）を移動させると、動作補正部 20 によって、図 23 のように、作業をして欲しくない領域 R B を設定することができる。

20

【0173】

6 つ目の補正の種別は、「作業面垂直方向の移動」である。図 24 A のように、ロボットアーム 5 で機器 6 の挿入口 75 に対するフレキシブル基板 74 の挿入作業中に、図 24 B のように人の手 16 でロボットアーム 5 に、上方向の力をかけて、ロボットアーム 5 を上方向に移動させると、動作補正部 20 によって、例えば、図 24 C に示すように、機器 6 の上向きに突出した凸部 6 a でのフレキシブル基板 74 の挿入作業を行うことができる。

30

【0174】

補正動作種別決定部 23 は、前記の 6 種類の補正の種別のうち、1 種類の補正の種別を決定する。具体的には、ボタンなどのデータ入力 I F 26 にて 6 種の補正の種別のうちの 1 つの補正の種別を選択するか、若しくは、力検出部 53 で検出されて情報取得部 100 で取得された人の手 16 でロボットアーム 5 にかけた力と、動作データベース 17 に記憶されて情報取得部 100 で取得されたロボットアーム 5 にかけた力と、補正の種別との関係情報（例えば、力のかかる向きと大きさと補正の種別との関係情報）とにより、補正動作種別決定部 23 で種別を推定する。

【0175】

以下、補正の種別の推定方法の具体的な補正種別推定処理について、図 14 のフローチャートを使って詳細に説明する。

40

【0176】

組立ロボット 1 の電源ボタン 26 a を「ON」にした状態で、人の手 16 でロボットアーム 5 を把持して力をロボットアーム 5 に加えていない場合は、ロボットアーム 5 は動かない。人の手 16 でロボットアーム 5 に力を加えている場合は、インピーダンス制御モード（人の手 16 の力を検出した方向にインピーダンス制御で移動させるモード）でロボットアーム 5 を移動させたい方向に移動させることができる。この場合、制御部 22 の力検出部 53 にて、ロボットアーム 5 に作用する力を検出し、力検出部 53 で検出された力の情報が、情報取得部 100 を介して、補正動作種別決定部 23 に入力される（ステップ S71）。

50

【 0 1 7 7 】

次いで、ステップ S 7 2 では、力検出部 5 3 で検出しかつ情報取得部 1 0 0 で取得された力の全ての成分 (f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz} 、 f_d 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz}) の 6 成分) が、ある閾値 (具体的には、図 1 7 の ID 「 1 」 の (f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz} 、 f_d 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz})) 以下であるか否かを補正動作種別決定部 2 3 で判断する。力検出部 5 3 で検出しかつ情報取得部 1 0 0 で取得された力の全ての成分 (f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz} の 6 成分) が、前記ある閾値以下であると補正動作種別決定部 2 3 で判断した場合は、ロボットアーム 5 は動かず、補正はせず (ステップ S 8 8)、補正動作の種別推定方法の補正種別推定処理を終了する。その場合の制御モードは、インピーダンス制御モードである。

【 0 1 7 8 】

ステップ S 7 2 にて、力検出部 5 3 で検出しかつ情報取得部 1 0 0 で取得された力のいずれかの成分 (f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz} の 6 成分のうちいずれかの成分) が、前記ある閾値 (具体的には、図 1 7 の ID 「 1 」 の (f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz} 、 f_d 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz})) を越えると補正動作種別決定部 2 3 で判断した場合は、ステップ S 7 3 に進む。

【 0 1 7 9 】

ステップ S 7 3 では、さらに、現在の組立ロボット 1 が動作データベース 1 7 で動作しているかどうか、を情報取得部 1 0 0 を介して取得した情報を基に補正動作種別決定部 2 3 で判定する。具体的には、動作選択部 2 9 にて作業を選択しておらず、かつ、動作データベース 1 7 の全ての作業 ID について、進捗情報が 「 0 」 となっている、と補正動作種別決定部 2 3 で判断する場合 (作業を開始していない状態) は、動作データベース 1 7 で動作していないと補正動作種別決定部 2 3 で判定して、ステップ S 7 6 に進む。動作選択部 2 9 にて組立作業を選択して組立を開始しており、かつ、進捗情報が 「 1 」 となっていると補正動作種別決定部 2 3 で判断している場合は、動作データベース 1 7 で動作していると補正動作種別決定部 2 3 で判定して、ステップ S 7 4 に進む。

【 0 1 8 0 】

ステップ S 7 4 では、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を把持して、ロボットアーム 5 の動作を補正したい方向に力を加えるとき、力検出部 5 3 でロボットアーム 5 に加えられた力を検出し、力検出部 5 3 で検出されかつ情報取得部 1 0 0 を介して取得した人の手 1 6 からの力 (f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz}) のそれぞれのある一定時間の変位量を補正動作種別決定部 2 3 で計測し、位置成分 (f_x 、 f_y 、 f_z) と姿勢成分 (f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz}) のどちらの変位量が大きいかを補正動作種別決定部 2 3 で計測する。具体的には、図 1 5 に示すように、(f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{dx} 、 f_{dy} 、 f_{dz}) それぞれの時系列の力を補正動作種別決定部 2 3 で計測し、ある一定時間 (例えば $time = 1$) に力がどれくらい変位したか、を補正動作種別決定部 2 3 で計測し、最も変位の大きかった成分を補正動作種別決定部 2 3 で計測する。この例では、 f_{dx} の変位が最も大きいので、姿勢成分が位置成分より力がかかっていると補正動作種別決定部 2 3 で判断してステップ S 7 9 へ進む。

【 0 1 8 1 】

ステップ S 7 4 にて姿勢の変位量が位置の変位量より大きいと補正動作種別決定部 2 3 で判断する場合には、補正の種別は 「 方向 (姿勢) の変更 」 の種別であると補正動作種別決定部 2 3 で決定して、補正の種別推定処理を終了する (ステップ S 7 9)。その際の制御モードは、補正の種別を決定する前と同様の制御モード (力ハイブリッドインピーダンス制御モード) である。

【 0 1 8 2 】

一方、ステップ S 7 4 にて位置の変位量が姿勢の変位量以上であると補正動作種別決定部 2 3 で判断する場合には、さらに、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面) に垂直な方向の力成分 (例えば、機器 6 の挿入口 7 5 が地面 (例えば、機器 6 の載置面) に水平になるように設置された機器 6 にフレキシブル基板 7 5 のコネクタ部を挿入する場合、又は、組立作業の一部として、地面 (例えば、機器 6 の載置面) に水平になるように設

10

20

30

40

50

置された機器 6 の研磨対象面を研磨する研磨作業の場合は f_z) が、ある閾値 (具体的には、図 17 の I D 「 1 」 の f_{dz}) 以上かどうか、を補正動作種別決定部 23 で判定する (ステップ S 75) 。

【 0 1 8 3 】

ステップ S 75 で、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に垂直な方向の力成分が前記ある閾値より小さい、と補正動作種別決定部 23 で判定された場合は、さらに作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に水平な方向 (作業面沿いの方向) の力成分 (例えば作業台 7 に水平に設定された機器 6 にフレキシブル基板 74 を挿入する場合は f_x 、 f_y のいずれか若しくは両方) が、ある閾値 (具体的には、図 17 の I D 「 1 」 の f_{dx} 、 f_{dy}) 以上であるかどうかを補正動作種別決定部 23 で判定する (ステップ S 80) 。

10

【 0 1 8 4 】

ステップ S 80 にて、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に水平な方向 (作業面沿いの方向) の力成分が前記ある閾値 (具体的には、図 17 の I D 「 1 」 の f_x 、 f_y) 未満であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合は、補正なし (種別なし) と決定して、補正種別推定処理を終了する (ステップ S 81) 。補正なしの場合は補正を中止して作業を行う。

【 0 1 8 5 】

ステップ S 80 にて、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に水平な方向 (作業面沿いの方向) の力成分が前記ある閾値以上であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合は、ステップ S 83 に進む。

20

【 0 1 8 6 】

ステップ S 83 では、さらに補正動作種別決定部 23 で算出された作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に水平な方向 (作業面沿いの方向) のロボットアーム 5 の移動量が、ある閾値 (具体的には、図 17 の I D 「 2 」 の g_x 、 g_y) 以上であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合は、補正の種別として「作業面の位置の移動」の種別を補正動作種別決定部 23 で決定して、補正種別推定処理を終了する (ステップ S 84) 。なお、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に水平な方向の移動量を補正動作種別決定部 23 で算出するとき、具体的には、制御部 22 から制御パラメータ管理部 21 又は情報取得部 100 を介して人の操作前のロボットアーム 5 の手先位置と操作中の手先位置を補正動作種別決定部 23 に入力し、操作中の手先位置から操作前の手先位置を減じた値を移動量として補正動作種別決定部 23 で算出することができる。また、作業面に垂直な方向の移動量を補正動作種別決定部 23 で算出するとき、具体的には、制御部 22 から制御パラメータ管理部 21 又は情報取得部 100 を介して人の操作前のロボットアーム 5 の手先位置の z 成分と操作中の手先位置の z 成分を補正動作種別決定部 23 に入力し、操作中の手先位置の z 成分から操作前の手先位置の z 成分を減じた値を移動量として補正動作種別決定部 23 で算出することができる。

30

【 0 1 8 7 】

ステップ S 83 にて、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に水平な方向の移動量が前記ある閾値未満であると補正動作種別決定部 23 で判定された場合は、補正の種別として、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に水平な方向の「速度」の種別を決定して、補正種別推定処理を終了する (ステップ S 85) 。

40

【 0 1 8 8 】

また、ステップ S 75 で、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に垂直な力が前記ある閾値以上であると補正動作種別決定部 23 で判定された場合は、さらに、補正動作種別決定部 23 で算出された作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) のロボットアーム 5 の垂直方向の移動量が、ある閾値 (具体的には、図 17 の I D 「 2 」 の g_z) より大きいかなかを補正動作種別決定部 23 で判断する (ステップ S 82) 。

【 0 1 8 9 】

ステップ S 82 において、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) の垂直方向

50

の移動量が、前記ある閾値より大きいと補正動作種別決定部 23 で判断する場合には、補正の種別として「作業面垂直方向の移動」の種別を補正動作種別決定部 23 で決定して、補正種別推定処理を終了する（ステップ S 87）。

【0190】

また、ステップ S 82 で作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）の垂直方向の移動量が前記ある閾値以下であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合には、補正の種別として「力の補正」と決定し（ステップ S 86）、補正種別推定処理を終了する。

【0191】

また、ステップ S 73 において、動作データベース 17 で動作していないと補正動作種別決定部 23 で判定された場合には、ステップ S 76 に進み、ステップ S 76 にて、さらに、人の手 16 でロボットアーム 5 にかけている力が作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に水平であり、かつ、ある一定時間の水平方向の移動量が、ある閾値（具体的には、図 17 の ID「2」の g_x 、 g_y ）以上であるか否かを補正動作種別決定部 23 で判断する。

10

【0192】

ステップ S 76 において、人の手 16 でロボットアーム 5 にかけている力が作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に水平であり、かつ、ある一定時間の水平方向の移動量が、前記ある閾値以上であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合には、補正の種別として「作業をして欲しくない領域」の種別であると決定し（ステップ S 78）、補正種別推定処理を終了する。ステップ S 76 で、人の手 16 でロボットアーム 5 にかけている力が作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に対して水平ではない場合（例えば、垂直である場合）、又は、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に水平な力であっても水平方向の移動量が前記ある閾値未満であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合は、補正の種別として「補正なし」と決定し（ステップ S 77）、補正種別推定処理を終了する。

20

【0193】

以上により、ボタンなどのデータ入力 IF 26 を使わずに、補正動作種別決定部 23 により、補正の種別を切り替えることができる。

【0194】

動作補正部 20 は、動作データベース 17 の位置と姿勢と時間とに基づいて動作中に、人の手 16 でロボットアーム 5 に力をかけることで、動作データベース 17 の動作情報を補正する機能である。

30

【0195】

以下、動作補正部 20 の機能について説明する。

【0196】

人の手 16 で、組立ロボット 1 の作業台 7 に配置されているデータ入力 IF 26（例えば操作盤 26A の電源ボタン 26a など）により電源を入れると、動作補正部 20 は、インピーダンス制御モードで動作するよう、制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。

【0197】

次に、人の手 16 で、動作選択部 29 により、動作データベース 17 の作業の一覧の中から所望の組立作業を選択して、組立動作開始の指示を行う。動作補正部 20 は、動作データベース 17 の中から選択された作業 ID の動作情報（具体的には、レール可動部 8b の位置及びロボットアーム 5 の位置と姿勢と時間と）に基づきレール可動部 8b 及びロボットアーム 5 の制御モードを設定する。この例では、図 4 の作業 ID「3」が選択されたので、動作データベース 17 の動作 ID「1」に対するフラグ（有効性を示すフラグ）のうち、フラグのビットが「1」になっているロボットアーム 5 の位置及び姿勢のそれぞれに対して、ハイブリッドインピーダンス制御モード（位置制御モードで動作している最中に、人などからロボットアーム 5 に加わる力に応じて、ロボットアーム 5 が作動するモード）が動作補正部 20 で設定され、制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。動作補正部 20 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出すと、図 21A に示すように、挿入口 75

40

50

に向かって、フレキシブル基板 75 をハンド 30 で把持したロボットアーム 5 が移動する。動作 ID「1」から順次次の動作情報により、制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。動作 ID「9」は力ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するように、制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。

【0198】

力ハイブリッドインピーダンス制御モードの場合は、動作データベース 17 の動作 ID に対するフラグ（有効性を示すフラグ）のうち、フラグのビットが「1」になっているロボットアーム 5 の位置及び姿勢のそれぞれに対して、ハイブリッドインピーダンス制御モード（位置制御モードで動作している最中に、人などからロボットアーム 5 に加わる力に応じて、ロボットアーム 5 が作動するモード）が動作補正部 20 で設定され、力のフラグ（有効性を示すフラグ）のビットが「1」になっている成分は力制御モードが動作補正部 20 で設定される。位置及び姿勢の 6 成分のうち、ハイブリッドインピーダンス制御モードも力制御モードもいずれも設定されていない成分は、インピーダンス制御モードが動作補正部 20 で設定される。

10

【0199】

例えば、図 4 の作業 ID「3」の動作 ID「9」の場合は、挿入口 75 に対してフレキシブル基板 74 を挿入する作業を示しており、動作 ID が「9」の場合のフラグは 1, 2, 8 ビット目のみ「1」であるので、x 軸成分及び y 軸成分に対しては、ハイブリッドインピーダンス制御モードが動作補正部 20 で設定されるとともに、z 軸成分に対しては力制御モードが動作補正部 20 で設定され、姿勢成分に対してはインピーダンス制御モードが動作補正部 20 で設定される。

20

【0200】

制御パラメータ管理部 21 は、動作補正部 20 から指令を受ける。すなわち、力ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくは力ハイブリッドインピーダンス制御モードで組立作業をするように動作補正部 20 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出すと、図 21A ~ 図 21B に示すように、ロボットアーム 5 が挿入口 75 に向かって移動した後、挿入口 75 にフレキシブル基板 74 を挿入する作業をロボットアーム 5 が開始する。

【0201】

次に、モデルチェンジなどにより、フレキシブル基板 74 又は挿入口 75 の仕様変更に伴って、人が状況などを確認して、図 19C に示すように、もう少し横方向にロボットアーム 5 を平行移動させて作業させたい場合を例にとって説明する。図 19C に示すように、人の手 16 でロボットアーム 5 を直接つかんで、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に対して平行移動するように作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に平行に力をロボットアーム 5 にかける。

30

【0202】

補正動作種別決定部 23 により、情報取得部 100 で取得された、人の手 16 がロボットアーム 5 にかけた力と動作データベース 17 に記憶された情報とにより、図 14 のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、人の手 16 で、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に水平な方向に力をロボットアーム 5 にかけて、ロボットアーム 5 を前記ある閾値以上移動させているので、ステップ S84 において、補正の種別として「作業面の位置の移動」の種別であると補正動作種別決定部 23 で決定する。

40

【0203】

図 4 の作業 ID が「3」の場合で動作 ID が「9」に示す作業の場合は、x 軸成分及び y 軸成分は力ハイブリッドインピーダンス制御モードにより、位置制御モードでロボットアーム 5 を移動させながら、インピーダンス制御モードにより人の手 16 でロボットアーム 5 にかけられた力を力検出部 53 で検出して人の手 16 でロボットアーム 5 に力をかけた方向にロボットアーム 5 を x 軸方向及び y 軸方向に移動させて、図 19D のようにフレキシブル基板 75 の挿入位置を補正することができる。

【0204】

50

なお、この例では、 x 軸の方向及び y 軸の方向にのみ動作を補正したいので、補正動作種別決定部23で補正の種別が決定されたタイミングで、補正動作種別決定部23により、図6の補正パラメータフラグの0,1ビット目を「1」に設定するとともに、その他のビットを「0」に設定して、補正動作種別決定部23から制御パラメータ管理部21へ指令を出すことで、 x 軸及び y 軸以外の移動ができないように設定することができる。さらに、インピーダンス制御モード時の機械インピーダンス設定値を補正動作種別決定部23で変更して補正動作種別決定部23から制御パラメータ管理部21へ指令を出すことで、ロボットアーム5の x 軸方向及び y 軸方向の剛性を他の方向の剛性よりも低くして、人の手16でロボットアーム5を x 軸方向及び y 軸方向に動かしやすくし、 x 軸方向及び y 軸方向以外の方向の剛性を高くして、人の手16でロボットアーム5を x 軸方向及び y 軸方向以外の方向に動かしにくくすることができる。これにより、ロボットアーム5の x 軸成分及び y 軸成分のみを補正したい場合に、ロボットアーム5の z 軸成分の補正を誤って行なうことがないようにできる。また、ロボットアーム5の x 軸方向及び y 軸方向の補正中に、補正動作種別決定部23により、 z 軸成分の作業面(例えば、機器6の挿入口75の挿入面)にかける力を、補正前の動作時より弱く若しくは小さく(具体的には半分程度に)することもできる。又は、力制御を停止するよう、補正動作種別決定部23から制御パラメータ管理部21へ指令を出すこともできる。具体的には、動作データベース17のフラグの6~17ビット目を「0」に補正動作種別決定部23で設定する。これにより、 x 軸方向及び y 軸方向にロボットアーム5を移動させて補正している最中に、ロボットアーム5に力をかけて機器6を傷つけることを防ぐことができる。

10

20

【0205】

上述のように、人の手16でロボットアーム5を把持して、作業面(例えば、機器6の挿入口75の挿入面)に水平な方向へ力をかけてロボットアーム5を x 分及び y 分だけ x 軸方向及び y 軸方向に移動させた場合に、 x の値及び y の値が、制御部22と制御パラメータ管理部21とを經由して、動作補正部20に送信される。

【0206】

動作補正部20では、選択された作業IDの動作情報の全ての x 座標の値から x を減じ、さらに、全ての y 座標の値から、 y を減じて補正した動作情報を、動作補正部20から制御パラメータ管理部21へ送信する。制御パラメータ管理部21は、 x 分及び y 分を補正した座標でロボットアーム5が動作するように制御部22へ指示する。これにより、図19Dのような動作に補正される。次に、 x 及び y 分だけ減じた動作情報を、動作記憶部15で動作データベース17に記憶する。

30

【0207】

次に、図24Bのように、例えば、機器6上を作業中に、機器6に設置された凸部6aで挿入作業する場合は、人の手16でロボットアーム5を直接把持して、作業面(例えば、機器6の挿入口75の挿入面)に対して垂直方向の上向きに移動するように作業面(例えば、機器6の挿入口75の挿入面)に垂直に力をロボットアーム5にかける。

【0208】

補正動作種別決定部23により、情報取得部100でそれぞれ取得された、人の手16がロボットアーム5にかけた力と動作データベース17の情報とにより、図14のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、人の手16でロボットアーム5に、作業面(例えば、機器6の挿入口75の挿入面)の垂直方向に力をかけて、ロボットアーム5を前記ある閾値以上移動させているので、ステップS87において、補正の種別として「作業面の垂直方向の移動」の種別であると補正動作種別決定部23で決定する。

40

【0209】

力ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくはハイブリッドインピーダンス制御モードにより、位置制御モードでロボットアーム5を移動させながら、インピーダンス制御モードにより、人の手16の力を力検出部53で検出してロボットアーム5に人の手16で力のかけた方向にロボットアーム5を z 軸方向に移動させて、図24Cのように挿入位

50

置を z 軸方向に補正することができる。

【0210】

なお、この例では、z 軸の方向にのみ動作を補正したいので、補正動作種別決定部 23 で補正の種別が決定されたタイミングで、補正動作種別決定部 23 により、図 6 の 2 ビット目を「1」に設定するとともに、それ以外のビットを「0」に設定して、補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出すことで、z 軸方向以外の移動ができないように設定することができる。さらに、インピーダンス制御モード時の機械インピーダンス設定値を補正動作種別決定部 23 で変更して補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出すことで、z 軸方向の剛性を他の方向の剛性よりも低くして、人の手 16 でロボットアーム 5 を z 軸方向に動かしやすくし、z 軸方向以外の剛性を高くして、人の手 16 でロボットアーム 5 を z 軸方向以外の方向に動かしにくくすることができる。

10

【0211】

また、ロボットアーム 5 の z 軸方向の動作を補正する際に、補正動作種別決定部 23 により、z 軸成分の作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）にかける力を、補正前の動作時より弱く若しくは小さく（具体的には半分程度に）することもできる。又は、力制御を停止するよう、補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出すこともできる。具体的には、動作データベース 17 のフラグの 6～17 ビット目を「0」に補正動作種別決定部 23 で設定する。これにより、z 軸方向にロボットアーム 5 を移動させている最中に、ロボットアーム 5 に力をかけて機器 6 を傷つけることを防ぐことができる。

20

【0212】

上述のように、人の手 16 でロボットアーム 5 を把持して、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）の垂直方向へ力をかけてロボットアーム 5 を z 分だけ z 軸方向に移動させた場合に、z の値が、制御部 22 と制御パラメータ管理部 21 とを經由して、動作補正部 20 に送信される。

【0213】

動作補正部 20 では、選択された作業 ID の動作情報の全ての z 座標の値から z を減じて補正した動作情報を、動作補正部 20 から制御パラメータ管理部 21 へ送信する。制御パラメータ管理部 21 は、z 分の補正した座標でロボットアーム 5 が動作するように制御部 22 へ指示する。これにより、図 24C のような動作に補正される。次に、z 分減じた動作情報を、動作記憶部 15 で動作データベース 17 に記憶する。

30

【0214】

図 20B のように、例えば、ロボットアーム 5 の姿勢を変更させる場合は、図 20D のように、人の手 16 でロボットアーム 5 を直接把持して、変更したい方向にロボットアーム 5 を移動させる。

【0215】

補正動作種別決定部 23 により、情報取得部 100 でそれぞれ取得された、人の手 16 がロボットアーム 5 にかけた力と動作データベース 17 の情報とにより、図 14 のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、人の手 16 でロボットアーム 5 を変更したい方向に移動させようと力をかけているので、ステップ S79 において、補正の種別として「方向（姿勢）の変更」の種別であると補正動作種別決定部 23 で決定する。

40

【0216】

ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくは力ハイブリッドインピーダンス制御モードにより、位置制御モードでロボットアーム 5 を移動させながら、インピーダンス制御モードにより、人の手 16 でロボットアーム 5 にかけた力を力検出部 53 で検出して人の手 16 でロボットアーム 5 に力をかけた方向にロボットアーム 5 を z 軸方向に回転させて、図 20E のように挿入方向を補正することができる。

【0217】

50

なお、この例では、軸の方向にのみ動作を補正したいので、補正動作種別決定部 2 3 で補正の種別が決定されたタイミングで、補正動作種別決定部 2 3 により、図 6 の補正パラメータフラグの 3 ビット目を「1」に設定するとともに、それ以外のビットを「0」に設定して、補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 へ指令を出す。これにより、軸方向以外の移動ができないように補正動作種別決定部 2 3 で設定することができる。さらに、インピーダンス制御モード時の機械インピーダンス設定値を補正動作種別決定部 2 3 で変更して補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 へ指令を出すことで、軸方向の剛性を他の方向の剛性より低くして、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を軸方向に動かしやすくし、軸方向以外の剛性を高くして、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を軸方向以外の方向に動かしにくくすることができる。

10

【0218】

また、ロボットアーム 5 の軸方向の補正中に、補正動作種別決定部 2 3 により、z 軸成分の作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）にかける力を、補正前の動作時より弱く若しくは小さく（具体的には半分程度に）することができる。又は、力制御を停止するよう、補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 へ指令を出すこともできる。具体的には、動作データベース 1 7 のフラグの 6 ~ 1 7 ビット目を「0」に補正動作種別決定部 2 3 で設定する。これにより、軸方向に移動させている最中に、ロボットアーム 5 に力をかけて機器 6 を傷つけることを防ぐことができる。

【0219】

上述のように、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を把持して、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）の垂直方向へ力をかけてロボットアーム 5 を分だけ軸方向に回転させた場合に、の値が、制御部 2 2 と制御パラメータ管理部 2 1 とを經由して、動作補正部 2 0 に送信される。

20

【0220】

動作補正部 2 0 では、選択された作業 ID の動作情報の全ての座標の値からを減じて補正した動作情報を、動作補正部 2 0 から制御パラメータ管理部 2 1 へ送信する。制御パラメータ管理部 2 1 は、分の補正した座標でロボットアーム 5 が動作するように制御部 2 2 へ指示する。これにより、図 2 0 E のような動作に補正される。次に、分だけ減じた動作情報を、動作記憶部 1 5 で動作データベース 1 7 に記憶する。

【0221】

以上により、動作補正部 2 0 は、動作データベース 1 7 の位置と姿勢と時間とにより、ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくは力ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作している状態で、人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力がかかることで、生成された位置を方向別に補正することができるようになる。

30

【0222】

次に、図 1 8 C のように、組立作業時の作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に対する力を変更する場合は、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を直接把持して、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に対して垂直方向に力をロボットアーム 5 にかける。

【0223】

補正動作種別決定部 2 3 により、情報取得部 1 0 0 でそれぞれ取得された、人の手 1 6 がロボットアーム 5 にかけた力と動作データベース 1 7 の情報とにより、図 1 4 のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、人の手 1 6 で作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）の垂直方向に力をロボットアーム 5 にかけて、ロボットアーム 5 を前記ある閾値以上移動させていないので、ステップ S 8 6 において、補正の種別として「力の補正」の種別であると補正動作種別決定部 2 3 で決定する。

40

【0224】

補正動作種別決定部 2 3 で補正の種別が「力の補正」であると決定したタイミングで、力ハイブリッドインピーダンス制御モードから高剛性位置制御モードで動作するよう補正

50

動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 へ指令を出す。補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 への指令時に、高剛性位置制御モードでは、方向別に位置制御時の高剛性を補正動作種別決定部 2 3 で設定することができるため、例えば図 4 の動作データベース 1 7 の作業 ID 「 3 」でかつ動作 ID 「 9 」の動作のフラグは、 0 、 1 、 8 ビットが「 1 」に設定されているので、z 軸方向は力制御モードで動作し、その他の方向はハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するため、z 軸方向のみ高剛性位置制御モードで動作し、その他の方向はハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するよう、補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 へ指令を出す。

【 0 2 2 5 】

次に、図 1 8 C に示すように、ロボットアーム 5 がフレキシブル基板 7 4 の挿入作業のために動作している最中に、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を直接把持して、挿入する力を強め（より強い力）に変更をしたい場合には、人の手 1 6 で作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に向かってロボットアーム 5 に下方向に力をかける。高剛性位置制御モードでは、組立作業時のハイブリッドインピーダンス制御モードのうち、方向別設定された位置制御モードを、さらに高剛性にしたモードで、かつ、位置誤差補償部 5 6 でのゲインを大きく（具体的には、組立作業時の位置制御モードの 2 倍程度に）することで実現し、人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかけると、ロボットアーム 5 を容易に移動させることができず、人の手 1 6 でロボットアーム 5 にかけた力を力検出部 5 3 で検出することができる。制御部 2 2 の力検出部 5 3 で検出された力を動作補正部 2 0 に通知する。動作補正部 2 0 に通知された力を、動作記憶部 1 5 で動作データベース 1 7 に記憶することで、強めに（より強い力で）挿入するよう動作を補正することができる。人が補正を終了したい場合は、ロボットアーム 5 を把持して力をロボットアーム 5 にかけることを止める。人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかけない場合は、図 1 4 のステップ S 7 2 により、力の全ての成分が前記閾値以下になるので、補正動作種別決定部 2 3 により、補正の種別として「補正なし」とであると決定する（図 1 4 のステップ S 8 8 ）。動作補正部 2 0 は、「補正なし」の情報を受けて、高剛性の位置制御モードからハイブリッドインピーダンス制御モードで制御するよう、補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 に指令を出す。これにより、補正後の動作データベース 1 7 で作業を行う。

【 0 2 2 6 】

以上により、動作補正部 2 0 は、動作データベース 1 7 の力の情報により、ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作している状態で、人の手 1 6 が力をかけることで、補正された力で挿入するように補正することができるようになる。

【 0 2 2 7 】

次に、図 2 2 B のように、ロボットアーム 5 の移動時の速度を変更する場合は、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を直接把持して、加速したい場合は、挿入のためのロボットアーム 5 の進行方向と同じ向きに人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかける一方、減速したい場合は、挿入のためのロボットアーム 5 の進行方向に逆らう向きに人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかける。その際に、ロボットアーム 5 の手先位置の速度を変えても良いが、位置は前記ある閾値以上動かさないように人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかける。

【 0 2 2 8 】

補正動作種別決定部 2 3 により、情報取得部 1 0 0 でそれぞれ取得された、人の手 1 6 でロボットアーム 5 にかけた力と動作データベース 1 7 の情報とにより、図 1 4 のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、人の手 1 6 で作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に水平な方向に力をロボットアーム 5 にかけて、ロボットアーム 5 を前記ある閾値以上移動させていないので、図 1 4 のステップ S 8 5 により、補正の種別として、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に水平な方向の「速度」の種別であると補正動作種別決定部 2 3 で決定する。

【 0 2 2 9 】

ハイブリッドインピーダンス制御モードにより、位置制御モードでロボットアーム 5 を

10

20

30

40

50

移動させながら、インピーダンス制御モードにより、人の手16でロボットアーム5にかけた力を力検出部53で検出して、人の手16でロボットアーム5に力をかけた方向に、ロボットアーム5をx軸方向及びy軸方向に移動させる。動作データベース17で例えば作業IDと動作IDとで示されたロボットアーム5の位置(x_1 、 y_2 、 z_1)から、次の動作IDのロボットアーム5の位置(x_2 、 y_2 、 z_2)まで移動するのにかかる時間を t_1 とすると、ロボットアーム5の速度を人の手16の力で変更した場合(図22B参照)には、すなわち、位置(x_1 、 y_2 、 z_1)から位置(x_2 、 y_2 、 z_2)までに移動するのにかかる時間が t_1 から t_2 に変更された場合には、時間 t_2 の値が、制御部22と制御パラメータ管理部21とを經由して、動作補正部20に送信される。動作補正部20では、選択された作業IDの動作情報について、 t_1 の時間から t_2 の時間に変更して、動作補正部20から制御パラメータ管理部21へ送信する。制御パラメータ管理部21において、補正した時間である t_2 で動作するように制御パラメータ管理部21から制御部22へ指示する。これにより、図22Cのような動作に補正される。次に、時間 t_2 を、動作記憶部15で動作データベース17に記憶する。

10

【0230】

以上により、動作補正部20は、動作データベース17の位置と姿勢と時間との情報により、力ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作している状態で、人の手16でロボットアーム5に力をかけることで、ロボットアーム5の動作速度を補正することができるようになる。

【0231】

20

図23に示すように、組立ロボット1に作業をして欲しくない領域RBを、ロボットアーム5を使って設定する場合を例にとって説明する。

【0232】

人の手16で組立ロボット1の上部に配置されているデータ入力IF26(例えば操作盤26Aの電源ボタン26aなど)により電源を入れると、動作補正部20は、インピーダンス制御モードで動作するよう、制御パラメータ管理部21へ指令を出す。動作選択部29にて作業を選択していない状態で、図23に示すように、人16Aの手16がロボットアーム5(例えばハンド30など)を直接把持して、作業面(例えば、機器6が載置されている作業台7の上面)に対して平行な方向に移動するようにロボットアーム5を移動させて、作業をして欲しくない領域RBの輪郭に沿って、ロボットアーム5(例えばハンド30)を移動させる。図25Aは、作業面(例えば、機器6が載置されている作業台7の上面)を上方から見た図で、作業をして欲しくない領域RBを斜線の領域とすると、人の手16がロボットアーム5を移動させて、矢印のように、作業をして欲しくない領域RBの輪郭にロボットアーム5(例えばハンド30)を沿わせて、移動させる。その際、ロボットアーム5の手先(ハンド30)の上面の中央先端にマーク63が付与されており(図25A及び図25B参照)、作業をして欲しくない方向にマーク63を向けて移動させる。

30

【0233】

補正動作種別決定部23により、図14に示した補正種別推定処理を実行して動作データベース17で動作していないと判定し(ステップS72、S73、S76)、さらに、人の手16でロボットアーム5にかけている力が作業面(例えば、機器6が載置されている作業台7の上面)に水平であり、かつ、ある一定時間の水平方向の移動量が、前記ある閾値以上の場合は、ステップS78において、補正の種別として「作業をしてほしくない領域」の種別であると決定する。

40

【0234】

インピーダンス制御モードにより、人の手16でロボットアーム5にかけた力を力検出部53で検出して、人の手16でロボットアーム5に力をかけた方向に、ロボットアーム5をx軸方向及びy軸方向に移動させて、図25Aのように、位置(x_1 、 y_1)、位置(x_2 、 y_2)、位置(x_3 、 y_3)、位置(x_4 、 y_4)の順にロボットアーム5(例えばハンド30)を移動させる。このとき、これらの位置情報が、制御部22と制御パラ

50

メータ管理部 21 とを經由して、動作補正部 20 に送信される。動作補正部 20 は、その指令を受けて、これらの位置情報が作業不可領域 RB の情報として、動作記憶部 15 により作業不可領域データベース 28 に記憶する。これらの 4 つの位置が作業不可領域 RB の頂点の情報であることは、例えば、ある一定間隔で人が移動させたロボットアーム 5 の手先位置を取得して、取得した手先位置の座標をつなげて領域を生成し、それを作業不可領域 RB とすることができる。さらに、どのような形の領域とするかを決定する機能を追加し、例えば、「矩形」と設定されている場合は、90 度近くの角度で移動方向が変われば、その位置を頂点の情報として記憶し、「ランダム」と設定された場合は、ある一定間隔で人が移動させたロボットアーム 5 の手先位置を取得して、取得した手先位置の座標をつなげて生成し、それを作業不可領域 RB とすることができる。

10

【0235】

なお、この例では、x 軸の方向及び y 軸の方向にのみロボットアーム 5 の動作を補正したいので、補正動作種別決定部 23 で、補正の種別が決定されたタイミングで、図 6 の補正パラメータフラグの 0, 1 ビット目を「1」に設定するとともに、その他のビットを「0」に設定して、補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出すことで、ロボットアーム 5 が x 軸方向及び y 軸方向以外の軸方向への移動ができないように設定することができる。さらに、インピーダンス制御モード時の機械インピーダンス設定値を変更して補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出すことで、x 軸方向及び y 軸方向の剛性を低くして、人の手 16 でロボットアーム 5 を x 軸方向及び y 軸方向に動かしやすくし、x 軸方向及び y 軸方向以外の軸方向の剛性を高くして、人の手 16 でロボットアーム 5 を x 軸方向及び y 軸方向以外の軸方向に動かしにくくするようにできる。

20

【0236】

以上により、動作補正部 20 は、人の手 16 が力をかけることで、作業をして欲しくない領域の設定を行うことができるようになる。

【0237】

表示部 14 には、図 9 に示すように、表示部 14 の画面を左右 2 画面 14a, 14b に分割して表示し、左側の画面 14a に、動作データベース 17 で記述されたロボットアーム 5 の組立動作が映像若しくは写真若しくはテキストで表示される。さらに、右側の画面 14b には、補正動作種別決定部 23 にて推定された補正の種別の情報を映像若しくは写真若しくはテキストで表示する。この図 9 の例では、人の手 16 で作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に垂直に力をロボットアーム 5 にかけて、力のかけ具合を補正するような動作をすると、補正動作種別決定部 23 が、補正の種別として「力の補正」の種別であると決定したタイミングで、右側の画面 14b に力の補正をしている映像と現在の力の強弱を表示する。

30

【0238】

なお、この例では、映像若しくは写真、テキストとしたが、動作を説明する音声などでも良い。

【0239】

以上の動作補正部 20 と補正動作種別決定部 23 と動作選択部 29 と動作記憶部 15 と動作データベース 17 と制御パラメータ管理部 21 の動作ステップ（すなわち、組立ロボット 1 を駆動開始してから組立作業を開始するまでの間に行う、組立作業及び組立動作の設定処理）について、図 13 のフローチャートに基づいて説明する。

40

【0240】

人の手 16 でデータ入力 IF 26 により、組立ロボット 1 の電源をオンする（ステップ S121）。

【0241】

次いで、動作補正部 20 が、インピーダンス制御モードで制御するように制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す（ステップ S122）。

【0242】

50

次に、作業不可領域 R B の補正かどうか、を補正動作種別決定部 2 3 により判定する (ステップ S 1 3 0)。作業不可領域 R B の補正であると補正動作種別決定部 2 3 により判定された場合は、動作補正部 2 0 にて補正を行い (ステップ S 1 3 3)、その補正の情報を動作記憶部 1 5 により動作データベース 1 7 に記憶する (ステップ S 1 3 4)。その後、ステップ S 1 2 3 に進む。

【 0 2 4 3 】

ステップ S 1 3 0 で作業不可領域 R B の補正ではない、と補正動作種別決定部 2 3 により判定された場合に、又は、ステップ S 1 3 4 を実行した後の場合に、ステップ S 1 2 3 に進む。ステップ S 1 2 3 では、動作選択部 2 9 により、人が、表示部 1 4 に表示された組立作業の一覧から 1 つの作業をデータ入力 I F 2 6 を介して選択し、動作データベース 1 7 の進捗情報に、選択された現在の作業を設定する (ステップ S 1 2 3)。

10

【 0 2 4 4 】

次いで、動作補正部 2 0 は、制御パラメータ管理部 2 1 へカハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するよう指令を出し、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を機器 6 などの作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面) まで誘導し、データ入力 I F 2 6 (例えば、スイッチ 2 6 c のスタートボタン) にて、ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくはカハイブリッドインピーダンス制御モードに切り替えて、作業開始の指令を行う (ステップ S 1 2 4)。

【 0 2 4 5 】

次いで、人が補正したい方向に力かけると、補正動作種別決定部 2 3 により補正動作の種別を推定して決定する (ステップ S 1 2 5)。

20

【 0 2 4 6 】

次いで、ステップ S 1 2 5 で、補正の種別として、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面) にかかる力の補正の種別であると補正動作種別決定部 2 3 で決定した場合は、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面) に垂直な方向に対して高剛性の位置制御モードで動作するよう、動作補正部 2 0 から制御パラメータ管理部 2 1 へ指令を出す (ステップ S 1 2 6 , S 1 2 7)。

【 0 2 4 7 】

次いで、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を把持して、補正したい方向に人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力かけることで、動作補正部 2 0 が動作情報を補正する (ステップ S 1 2 8)。

30

【 0 2 4 8 】

一方、ステップ S 1 2 5 で、補正の種別として作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面) にかかる力の種別以外の補正の種別であると決定した場合は、制御モードはカインピーダンス制御モードで変更せず、補正したい方向に人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力かけることで、動作補正部 2 0 が動作情報を補正する (ステップ S 1 2 6 , S 1 2 8)。

【 0 2 4 9 】

次いで、ステップ S 1 2 8 で補正された動作情報は、動作記憶部 1 5 により、動作データベース 1 7 に記憶されて、一連の組立作業及び組立動作の設定処理を終了する (ステップ S 1 2 9)。

40

【 0 2 5 0 】

一方、ステップ S 1 2 5 で、補正動作種別決定部 2 3 により、補正の種別として「補正なし」と決定した場合は、一連の組立作業及び組立動作の設定処理を終了する (ステップ S 1 2 6 , S 1 3 1)。

【 0 2 5 1 】

組立作業及び組立動作の設定処理終了後は、設定された組立作業及び組立動作に基づき、組立ロボット 1 により組立作業を行う。

【 0 2 5 2 】

以上の動作ステップ S 1 2 1 ~ ステップ S 1 2 2 , ステップ S 1 3 0 , ステップ S 1 2

50

3及びステップS124、ステップS133～ステップS134により、ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくは力ハイブリッドインピーダンス制御で動作中に、ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくは高剛性位置制御にて、組立動作を補正することで、ロボットアーム5による組立作業が実現する。

【0253】

また、補正動作種別決定部23により、複数の動作をボタンなどを使わずに人の手16でロボットアーム5に力かけるだけで、自動で切り替えて補正することが可能となる。

【0254】

また、制御パラメータ管理部21と制御部22とを有することにより、補正動作の種別に応じて、ロボットアーム5の機械インピーダンス値を適宜設定することで、ロボットアーム5の補正方向に応じて、機械インピーダンス値を変更させて制御したり、補正中の力を弱めたり停止することができるので、動作の補正中に、機器6を傷つけることを防ぐことができる。

【0255】

なお、前記第1実施形態において、動作補正部20は、補正動作種別決定部23により、情報取得部100でそれぞれ取得された、人の手16でロボットアーム5にかけた力と動作データベース17の情報とにより、補正の種別の推定を行った後で、すぐに動作の補正を行ったが、人の手16で誤ってロボットアーム5に力かけて、人の意図しない補正の種別を選択してしまう事を防ぐために、補正動作種別決定部23で推定後、ある一定時間後に補正を開始しても良い。この場合、補正が始まるまでは、人は意図した補正種別を選択するまで、何度でも操作することができる。

【0256】

また、前記第1実施形態において、動作選択部29と動作記憶部15と動作補正部20と補正動作種別決定部23と制御パラメータ管理部21と制御部22となどのそれぞれ、又は、そのうちの任意の一部は、それ自体がソフトウェアで構成することができる。よって、例えば、本明細書の前記第1実施形態又は後述する実施形態の制御動作を構成するステップを有するコンピュータプログラムとして、記憶装置（ハードディスク等）などの記録媒体に読み取り可能に記憶させ、そのコンピュータプログラムをコンピュータの一時記憶装置（半導体メモリ等）に読み込んでCPUを用いて実行することにより、前記した各ステップを実行することができる。

【0257】

（第2実施形態）

本発明の第2実施形態における、ロボットアームの制御装置を備える組立ロボット1の前記ロボットアームの制御装置の基本的な構成は、第1実施形態の場合と同様であるので、共通部分の説明は省略し、異なる部分についてのみ以下、詳細に説明する。

【0258】

第2実施形態において、第1実施形態と同様に、図1に示すように、セル生産の工場テレビ又はDVDレコーダなどの機器6のフレキシブル基板挿入口75にフレキシブル基板74を取り付ける場合を例にとって説明する。

【0259】

組立ロボット1の構成を図27に示す。

【0260】

制御装置本体部45と、周辺装置47と、作業負荷領域データベース28と、動作記憶部15と、動作選択部29と、対象物力検出手段の一例として機能する対象物力検出部78（図27に示すように、対象物力検出機構76と対象物力情報出力部77とで構成されている。ただし、対象物力検出機構76は、理解しやすくするため、本来の配置位置であるハンド30の位置とは別に仮想線で対象物力情報出力部77の近くに図示している。）以外のロボットアーム5とは、第1実施形態と同様であるので、説明は省略する。

【0261】

対象物力検出機構76は、例えば、6軸の力センサの機構で構成され、ロボットアーム

10

20

30

40

50

5のハンド30付近に配置する。対象物力検出機構76は、図28Aに示すように、ロボットアーム5がフレキシブル基板74を挿入口75に挿入したり、図28Bに示すように、人が手16でロボットアーム5を把持しながら操作してロボットアーム5によりフレキシブル基板74を挿入口75に挿入するように、人がロボットアーム5に教示をしている際に、図28Cに示すように、フレキシブル基板74に加わる力を検出する機構である。対象物力情報出力部77は、対象物力検出機構76で検出した6軸の力の値を動作補正部20と補正動作種別決定部23と情報取得部100とにそれぞれ出力する。情報取得部100は、組立作業におけるロボットアーム5の位置を含むロボットアーム5の動作に関する情報と、力検出部53で検出されたロボットアーム5に作用する人の力に関する情報と、対象物力検出部78で検出された(対象物力検出機構76で検出され対象物力情報出力部77から出力された)フレキシブル基板74に加わる力に関する情報とをそれぞれ取得可能としている。情報取得部100で取得した情報は、補正動作種別決定部23に入力され、情報取得部100でそれぞれ取得した動作に関する情報と人の力に関する情報とから、ロボットアーム5の動作を補正する補正動作の種別を補正動作種別決定部23で決定することができる。

10

【0262】

第1実施形態では、力検出部53で人の加える力と対象物の一例であるフレキシブル基板74に作用する力の両方を検出したが、本第2実施形態では、対象物の一例であるフレキシブル基板74に作用する力は対象物力検出機構76で検出し、人が加える力は力検出部53でそれぞれ検出する。

20

【0263】

図29は、動作データベース17の一例を示す。全ての項目は第1実施形態と同様である。

【0264】

作業ID「4」の作業について詳細に説明する。図31は、フレキシブル基板74に加わる力を時系列に現したグラフを示す。

【0265】

作業ID[4]は、ロボットアーム5により、フレキシブル基板74を挿入口75に挿入する挿入作業を表す。具体的には、図30A~図30F(図30G~図30Nは挿入口75の付近を拡大した図)に示す。

30

【0266】

まず、作業ID「4」の動作ID「1」~動作ID「7」は、図30Aに示すように、フレキシブル基板74をハンド30で把持したロボットアーム5が挿入口75に向かって移動している動作を表す(対象物力検出機構76で検出されたフレキシブル基板74に加わる力の値は、図31の「31a」の状態である。)。

【0267】

次に、作業ID「4」の動作ID「8」は、図30B及び図30G(図30Gは挿入口75の挿入部分を拡大した図)に示すように、フレキシブル基板74のコネクタ部74gが挿入口75に接触した時点の動作を表す(対象物力検出機構76で検出されたフレキシブル基板74に加わる力の値は、図31の「31b」の状態である。)。

40

【0268】

次に、作業ID「4」の動作ID「9」は、図30C及び図30H(図30Hは挿入口75の挿入部分を拡大した図)に示すように、挿入口75の先端部分75hに向かって、フレキシブル基板74のコネクタ部74gの先端部分74hが接触するまでロボットアーム5が移動している動作を表す。ただし、フレキシブル基板74のコネクタ部74gは挿入口75には刺さっていない状態(フレキシブル基板74のコネクタ部74gの先端部分が挿入口75内に少しでも入り込んでいない状態)を表す(対象物力検出機構76で検出されたフレキシブル基板74に加わる力の値は、図31の「31c」の状態である。)。

【0269】

次に、作業ID「4」の動作ID「10」は、図30D、図30I、及び、図30L(

50

図30I及び図30Lは挿入口75の挿入部分をそれぞれ拡大した図)の動作に示すように、挿入口75の先端部分75hとフレキシブル基板74の先端部分74hが接触している状態の動作を示す(対象物力検出機構76で検出されたフレキシブル基板74に加わる力の値は、図31の「31d」の状態である。)

【0270】

次に、作業ID「4」の動作ID「11」及び「12」は、図30E、図30J、及び、図30M(図30J及び図30Mは挿入口75の挿入部分をそれぞれ拡大した図)に示すように、挿入口75の凹部75iに、フレキシブル基板74の先端部分74hが刺さって、先端部分74hを凹部75iにさらに差し込むように挿入している最中の動作を示す(対象物力検出機構76で検出されたフレキシブル基板74に加わる力の値は、図31の「31e」の状態である。)

10

【0271】

次に、作業ID「4」の動作ID「13」及び「14」は、図37F、図30K及び図30N(図30K及び図30Nは挿入口75の挿入部分をそれぞれ拡大した図)に示すように、フレキシブル基板74の挿入口75への挿入が完了している状態(先端部分74hが凹部75i内に差し込み完了した状態)を表す(対象物力検出機構76で検出されたフレキシブル基板74に加わる力の値は、図31の「31f」の状態である。)

【0272】

補正動作種別決定部23は、第1実施形態と同様に、動作補正部20にて、人がその手16でロボットアーム5に力をかけることにより動作の補正を行うことが可能な補正の種別を決定する。以下、4種類の補正の種別がある。

20

【0273】

1つ目の補正の種別は、「位置・姿勢の補正」である。具体的には、機器6のモデルチェンジにより、図33Aの挿入口75の位置又は向きが図38Bの挿入口75jのように変更した場合には、図33Bのように、フレキシブル基板74が挿入口75jに引っかかって挿入ができない。その場合に、図33Bのように、ロボットアーム5がフレキシブル基板74の挿入口75jへの挿入作業中に、人の手16でロボットアーム5の位置又は姿勢の向きを変更するように力をかけると、動作補正部20によって、図33Cのようにロボットアーム5の位置及び姿勢を変更して、挿入口75jに合わせてロボットアーム5の進行方向を変更することができる。ロボットアーム5の手先の姿勢(x、y、z、
、)を変更することで実現できる。

30

【0274】

2つ目の補正の種別は、ロボットアーム5の手先「速度」である。第1実施形態と同様に、図22Aのように、フレキシブル基板74を把持したロボットアーム5で機器6の挿入口75に向かって移動中に、図22Bのように、ロボットアーム5の進行方向に反する方向に人の手16でロボットアーム5に力をかけると、動作補正部20によって、図22Cのように、ロボットアーム5の移動時の速度を減速させることができる。逆に、ロボットアーム5が移動中に、人の手16がロボットアーム5の進行方向に向かって人の手16でロボットアーム5に力をかけると、動作補正部20によって、ロボットアーム5の移動時の速度を加速させることができる。

40

【0275】

3つ目の補正の種別は、フレキシブル基板74の挿入時の「力のかけ具合」である。これは、現在動作中(動作データベース17の進捗情報が「1」)の動作のフラグ(有効性を示すフラグ)において、力のビットが「1」となっている場合に有効である。第1実施形態と同様に、図18Bに示すように、ロボットアーム5でフレキシブル基板74の挿入口75bへの挿入作業中に、図18Cのように、人の手16でロボットアーム5に上方から下向きに力をかけると、動作補正部20によって、図18Dのように力のかけ具合を強めに、逆に、人の手16でロボットアーム5に下方から上向きに力をかけると、力のかけ具合を弱めに補正することができる。

【0276】

50

4つ目の補正の種別は、「作業をして欲しくない領域」である。第1実施形態と同様に、人16Aの手16で図23に示すように、ロボットアーム5（例えば、ハンド30）を把持して、作業をして欲しくない領域RBの輪郭に沿って、ロボットアーム5に力をかけてロボットアーム5（例えば、ハンド30）を移動させると、動作補正部20によって、図23のように、作業をして欲しくない領域RBを設定することができる。

【0277】

補正動作種別決定部23は、前記の4種類の補正の種別のうち、1種類の補正の種別を決定する。具体的には、ボタンなどのデータ入力IF26にて4種の補正の種別のうちの1つの補正の種別を選択するか、若しくは、力検出部53で検出されて情報取得部100で取得された人の手16でロボットアーム5にかけた力と補正の種別との関係情報（例えば、力のかかる向きと大きさと補正の種別との関係情報）と、対象物力検出機構76で検出されて対象物力情報出力部77を介して情報取得部100で取得されたフレキシブル基板74などの対象物にかかる力により、補正動作種別決定部23で種別を推定する。

10

【0278】

以下、補正の種別の推定方法の具体的な補正種別推定処理について、図32のフローチャートを使って詳細に説明する。

【0279】

組立ロボット1の電源ボタン26aを「ON」にした状態で、人の手16でロボットアーム5を把持して力をロボットアーム5に加えていない場合は、ロボットアーム5は動かない。人の手16でロボットアーム5に力を加えている場合は、インピーダンス制御モード（人の手16の力を検出した方向にインピーダンス制御で移動させるモード）でロボットアーム5を移動させたい方向に移動させることができる。この場合、制御部22の力検出部53にて、ロボットアーム5に作用する力を検出し、力検出部53で検出された力の情報が、情報取得部100を介して、補正動作種別決定部23に入力される（ステップS1）。

20

【0280】

次いで、ステップS2では、力検出部53で検出しかつ情報取得部100で取得された力の全ての成分（ f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{θ} 、 f_{ϕ} 、 f_{ψ} の6成分）が、ある閾値以下であるか否かを補正動作種別決定部23で判断する。具体的な閾値は、フレキシブル基板74の剛性により、図17のようにあらかじめ記憶されており、フレキシブル基板74のID（フレキシブル基板ID）が「1」の場合には、図17のID「1」の（ f_{dx1} 、 f_{dy1} 、 f_{dz1} 、 $f_{\theta1}$ 、 $f_{\phi1}$ 、 $f_{\psi1}$ ）とする。力検出部53で検出しかつ情報取得部100で取得された力の全ての成分（ f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{θ} 、 f_{ϕ} 、 f_{ψ} の6成分）が、前記ある閾値以下であると補正動作種別決定部23で判断した場合は、ロボットアーム5は動かず、補正はせず（ステップS3）、補正動作の種別推定方法の補正種別推定処理を終了する。その場合の制御モードは、インピーダンス制御モードである。

30

【0281】

ステップS2にて、力検出部53で検出しかつ情報取得部100で取得された力のいずれかの成分（ f_x 、 f_y 、 f_z 、 f_{θ} 、 f_{ϕ} 、 f_{ψ} の6成分のうちのいずれかの成分）が、前記ある閾値（具体的には、フレキシブル基板IDが「1」の場合には、図17のID「1」の（ f_{dx1} 、 f_{dy1} 、 f_{dz1} 、 $f_{\theta1}$ 、 $f_{\phi1}$ 、 $f_{\psi1}$ ））を越えると補正動作種別決定部23で判断した場合は、ステップS4に進む。

40

【0282】

ステップS4では、さらに、現在の組立ロボット1が動作データベース17で動作しているかどうか、を情報取得部100を介して取得した情報を基に補正動作種別決定部23で判定する。具体的には、動作選択部29にて作業を選択しておらず、かつ、動作データベース17の全ての作業IDについて、進捗情報が「0」となっている、と補正動作種別決定部23で判断する場合（作業を開始していない状態）は、動作データベース17で動作していないと補正動作種別決定部23で判定して、ステップS6に進む。動作選択部29にて組立作業を選択して開始しており、かつ、進捗情報が「1」となっていると補正動

50

作種別決定部 23 で判断している場合は、動作データベース 17 で動作していると補正動作種別決定部 23 で判定して、ステップ S5 に進む。

【0283】

ステップ S5 では、対象物力検出部 76 で、対象物の一例としてのフレキシブル基板 74 に加わる力を検出し、対象物力検出部 76 で検出された対象物に加わる力の情報が、情報取得部 100 を介して補正動作種別決定部 23 に入力される。

【0284】

ステップ S9 では、対象物力検出部 76 で検出されたフレキシブル基板 74 に加えられた力 (f_{t_x} 、 f_{t_y} 、 f_{t_z} 、 $f_{t_{\theta}}$ 、 $f_{t_{\phi}}$) がある時間 (例えば 1 sec) 連続してある「閾値 1」(具体的には、フレキシブル基板 ID が「1」の場合には、図 17 の ID「3」の ($f_{t_{d_{ox1}}}$ 、 $f_{t_{d_{oy1}}}$ 、 $f_{t_{d_{oz1}}}$ 、 $f_{t_{d_{\theta1}}}$ 、 $f_{t_{d_{\phi1}}}$ 、 $f_{t_{d_{\psi1}}}$)、図 31 の「閾値 1」) 以上であるか否か、を補正動作種別決定部 23 で判断する。対象物力検出部 76 で検出された対象物に加わる力 (f_{t_x} 、 f_{t_y} 、 f_{t_z} 、 $f_{t_{\theta}}$ 、 $f_{t_{\phi}}$) が、前記ある「閾値 1」未満であると補正動作種別決定部 23 で判断した場合 (図 31 の「閾値 1」未満の場合の (31a) に相当する場合は) ステップ S11 に進む (ただしステップ S2 で判定した力以上であること)。ステップ S9 にて、対象物力検出部 76 で検出された対象物に加わる力 (f_{t_x} 、 f_{t_y} 、 f_{t_z} 、 $f_{t_{\theta}}$ 、 $f_{t_{\phi}}$ 、 $f_{t_{\psi}}$) が前記ある「閾値 1」以上である場合 (図 31 の (31c) に相当する場合は) は、ステップ S10 に進む。ステップ S9 で、ある時間 (例えば 1 sec) 連続してある閾値 (「閾値 1」) 以上であるか否かを判断するのは、一瞬、力が前記閾値以上検出されても、その場合はノイズとし、人が意思を持って力を加えたときは、一瞬ではなく、1 秒程度以上、力を加えていると考え、人意思を持って力を加えたときか否かを判断するためである。

【0285】

ステップ S11 では、補正動作種別決定部 23 で算出されたロボットアーム 5 の移動量が、ある閾値 (具体的には、フレキシブル基板 ID が「1」の場合には、図 17 の ID「2」の g_{x1} 、 g_{y1} 、 g_{z1} 、 $g_{\theta1}$ 、 $g_{\phi1}$ 、 $g_{\psi1}$) 以上であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合は、補正の種別として「位置・姿勢の補正」の種別を補正動作種別決定部 23 で決定して、補正種別推定処理を終了する (ステップ S14)。なお、ロボットアーム 5 の移動量を補正動作種別決定部 23 で算出するとき、具体的には、制御部 22 から制御パラメータ管理部 21 又は情報取得部 100 を介して人の操作前のロボットアーム 5 の手先位置と操作中の手先位置を補正動作種別決定部 23 に入力し、操作中の手先位置から操作前の手先位置を減じた値を移動量として補正動作種別決定部 23 で算出することができる。

【0286】

ステップ S11 にて、ロボットアーム 5 の移動量が前記ある閾値未満であると補正動作種別決定部 23 で判定された場合は、補正の種別として、「速度」の種別を決定して、補正種別推定処理を終了する (ステップ S15)。

【0287】

ステップ S10 では、対象物力検出部 76 でフレキシブル基板 74 に加えられた力を検出し、対象物力検出部 76 で検出され、かつ対象物力情報出力部 77 を介して情報取得部 100 で取得された対象物に加わる力 (f_{t_x} 、 f_{t_y} 、 f_{t_z} 、 $f_{t_{\theta}}$ 、 $f_{t_{\phi}}$ 、 $f_{t_{\psi}}$) が、ある時間 (例えば 1 sec) 連続して、ある「閾値 2」(具体的には、フレキシブル基板 ID が「1」の場合には、図 17 の ID「4」の ($f_{t_{d_{ox21}}}$ 、 $f_{t_{d_{oy21}}}$ 、 $f_{t_{d_{oz21}}}$ 、 $f_{t_{d_{\theta21}}}$ 、 $f_{t_{d_{\phi21}}}$ 、 $f_{t_{d_{\psi21}}}$)、図 31 の「閾値 2」) 以上であるか否かを補正動作種別決定部 23 で判断する。対象物力検出部 76 で検出された対象物に加わる力 (f_{t_x} 、 f_{t_y} 、 f_{t_z} 、 $f_{t_{\theta}}$ 、 $f_{t_{\phi}}$ 、 $f_{t_{\psi}}$) が、前記ある「閾値 2」未満であると補正動作種別決定部 23 で判断した場合 (図 31 の閾値 2 未満の場合の (31c) に相当する場合は) は、ステップ S16 に進む。対象物力検出部 76 で検出された対象物に加わる力 (f_{t_x} 、 f_{t_y} 、 f_{t_z} 、 $f_{t_{\theta}}$ 、 $f_{t_{\phi}}$ 、 $f_{t_{\psi}}$) が前記ある「閾値 2

」以上であると補正動作種別決定部 23 で判断した場合（図 31 の（31d）に相当の場合）は、補正の種別として「力の補正」の種別であると決定し、補正種別推定処理を終了する（ステップ S12）。ステップ S10 で、ある時間（例えば 1 sec）連続してある閾値（「閾値 2」）以上であるか否かを判断するのは、一瞬、力が前記閾値以上検出されても、その場合はノイズとし、人が意思を持って力を加えたときは、一瞬ではなく、1 秒程度以上、力を加えていると考え、人意思を持って力を加えたときか否かを判断するためである。

【0288】

ステップ S16 では、補正動作種別決定部 23 で算出されたロボットアーム 5 の手先の位置の移動量が、ある閾値（具体的には、フレキシブル基板 ID が「1」の場合には、図 17 の ID「2」の g_{x1} 、 g_{y1} 、 g_{z1} 、 $g_{\theta 1}$ 、 $g_{\phi 1}$ 、 $g_{\psi 1}$ ）以上であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合は、補正の種別として「位置・姿勢の補正」の種別を補正動作種別決定部 23 で決定して、補正種別推定処理を終了する（ステップ S18）。

10

【0289】

ステップ S16 にて、ロボットアーム 5 の移動量が前記ある閾値未満であると補正動作種別決定部 23 で判定された場合は、補正の種別として、「力の補正」の種別を決定して、補正種別推定処理を終了する（ステップ S17）。

【0290】

また、ステップ S4 において、動作データベース 17 で動作していないと補正動作種別決定部 23 で判定された場合には、ステップ S6 に進み、ステップ S6 にて、ある一定時間のロボットアーム 5 の移動量が、ある閾値以上であるか否かを補正動作種別決定部 23 で判断する。

20

【0291】

ステップ S6 において、ある一定時間のロボットアーム 5 の移動量が、前記ある閾値以上であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合には、補正の種別として「作業をして欲しくない領域」の種別であると決定し（ステップ S8）、補正種別推定処理を終了する。

【0292】

ステップ S6 において、ある一定時間のロボットアーム 5 の移動量が前記ある閾値未満であると補正動作種別決定部 23 で判断する場合は、補正の種別として「補正なし」と決定し、補正種別推定処理を終了する（ステップ S7）。

30

【0293】

以上により、ボタンなどのデータ入力 IF 26 を使わずに、補正動作種別決定部 23 により、補正の種別を切り替えることができる。

【0294】

動作補正部 20 は、第 1 実施形態と同様に動作データベース 17 の位置と姿勢と時間とに基づいて動作中に、人の手 16 でロボットアーム 5 に力をかけることで、動作データベース 17 の動作情報を補正する機能である。

【0295】

以下、動作補正部 20 の機能について説明する。

40

【0296】

人の手 16 で、組立ロボット 1 の作業台 7 に配置されているデータ入力 IF 26（例えば操作盤 26A の電源ボタン 26a など）により電源を入れると、動作補正部 20 は、インピーダンス制御モードで動作するよう、制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。

【0297】

次に、人の手 16 で、動作選択部 29 により、動作データベース 17 の作業の一覧の中から所望の組立作業を選択して、組立動作開始の指示を行う。動作補正部 20 は、動作データベース 17 の中から選択された作業 ID の動作情報（具体的には、レール可動部 8b の位置及びロボットアーム 5 の位置と姿勢と時間と）に基づきレール可動部 8b 及びロボットアーム 5 の制御モードを設定する。この例では、図 29 の作業 ID「4」が選択され

50

たので、動作データベース17の動作ID「1」に対するフラグ（有効性を示すフラグ）のうち、フラグのビットが「1」になっているロボットアーム5の位置及び姿勢のそれぞれに対して、ハイブリッドインピーダンス制御モード（位置制御モードで動作している最中に、人などからロボットアーム5に加わる力に応じて、ロボットアーム5が作動するモード）が動作補正部20で設定され、制御パラメータ管理部21へ指令を出す。動作補正部20から制御パラメータ管理部21へ指令を出すと、図30Aに示すように、挿入口75に向かって、フレキシブル基板75をハンド30で把持したロボットアーム5が移動する。動作ID「1」から順次次の動作情報により、制御パラメータ管理部21へ指令を出す。動作ID「9」～「12」は力ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するように、制御パラメータ管理部21へ指令を出す。

10

【0298】

力ハイブリッドインピーダンス制御モードの場合は、動作データベース17の動作IDに対するフラグ（有効性を示すフラグ）のうち、フラグのビットが「1」になっているロボットアーム5の位置及び姿勢のそれぞれに対して、ハイブリッドインピーダンス制御モード（位置制御モードで動作している最中に、人などからロボットアーム5に加わる力に応じて、ロボットアーム5が作動するモード）が動作補正部20で設定され、力のフラグ（有効性を示すフラグ）のビットが「1」になっている成分は力制御モードが動作補正部20で設定される。位置及び姿勢の6成分のうち、ハイブリッドインピーダンス制御モードも力制御モードもいずれも設定されていない成分は、インピーダンス制御モードが動作補正部20で設定される。

20

【0299】

例えば、図29の作業ID「4」の動作ID「9」の場合は、図33A、図30C、図30H（図30Hは挿入部分を拡大した図）に示すように、挿入口75の先端部分75hに向かって、フレキシブル基板74の先端部分74hが接触するまで移動している動作を示しており、動作IDが「9」の場合のフラグは0, 1, 3, 4, 5, 8ビット目のみ「1」であるので、x軸及びy軸及び姿勢成分に対しては、ハイブリッドインピーダンス制御モードが動作補正部20で設定されるとともに、z軸成分に対しては力制御モードが動作補正部20で設定される。

【0300】

次に、作業ID「4」の動作ID「10」～「12」では、動作ID「9」と同様の動作モードで動作する。

30

【0301】

次に、作業ID「4」の動作ID「13」「14」では、動作ID[1]と同様の動作モードで動作する。

【0302】

次に、モデルチェンジなどにより、フレキシブル基板74又は挿入口75の仕様変更に伴って、人が状況などを確認して、図33Bに示すように、ロボットアーム5の位置又はロボットアーム5の姿勢を移動させて作業させたい場合を例にとって説明する。

【0303】

図33Aに示すように、作業ID「4」の動作ID「1」～「8」で動作中に、人の手16でロボットアーム5を直接把持して、作業面（例えば、機器6の挿入口75の挿入面）に対して移動するようにロボットアーム5に力をかける。

40

【0304】

補正動作種別決定部23により、情報取得部100で取得された、人の手16がロボットアーム5にかけた力と動作データベース17に記憶された情報とにより、図32のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、フレキシブル基板74が接触していない状態で（対象物力検出部76で検出された力が閾値以下である状態で）、人の手16で、ロボットアーム5に力をかけて、ロボットアーム5を前記ある閾値以上移動させているので、ステップS14において、補正の種別として「位置・姿勢の補正」の種別であると補正動作種別決定部23で決定する。

50

【0305】

図29の作業IDが「4」の場合で動作IDが「1」に示す作業の場合は、位置姿勢の全成分でハイブリッドインピーダンス制御モードにより、位置制御モードでロボットアーム5を移動させながら、インピーダンス制御モードにより人の手16でロボットアーム5にかけられた力を力検出部53で検出して情報取得部100で取得された、人の手16でロボットアーム5に力をかけた方向に、ロボットアーム5を移動させて、図33Cのように位置及び姿勢を補正することができる。

【0306】

上述のように、人の手16でロボットアーム5を把持して、力をかけてロボットアーム5を(x、 y、 z、 、)分だけ移動させた場合に、(x、 y、 z、 、)の値が、制御部22と制御パラメータ管理部21とを經由して、動作補正部20に送信される。

10

【0307】

動作補正部20では、選択された作業IDの動作情報の全ての位置及び姿勢成分について、(x、 y、 z、 、)を減じて補正した動作情報を、動作補正部20から制御パラメータ管理部21へ送信する。制御パラメータ管理部21は、(x、 y、 z、 、)分を補正した座標でロボットアーム5が動作するように制御部22へ指示する。これにより、図33Bのような動作に補正される。次に、(x、 y、 z、 、)分だけ減じた動作情報を、動作記憶部15で動作データベース17に記憶する。

20

【0308】

以上により、動作補正部20は、動作データベース17の位置と姿勢と時間とにより、ハイブリッドインピーダンス制御モード若しくは力ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作している状態で、人の手16でロボットアーム5に力をかけることで、生成された位置を方向別に補正することができるようになる。

【0309】

図34A、図34D(図34Dは図34Aの挿入口75の挿入部分を拡大した図)に示すように、動作ID「9」で動作中に、斜めに挿入してしまった場合に、図34Bに示すように、人の手16でロボットアーム5を直接把持して、作業面(例えば、機器6の挿入口75の挿入面)に対して移動するようにロボットアーム5に力をかける。

30

【0310】

補正動作種別決定部23により、情報取得部100でそれぞれ取得された、人の手16がロボットアーム5にかけた力と動作データベース17に記憶された情報とにより、図32のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、フレキシブル基板74に前記「閾値2」以上の力が加わっている状態で(ステップS10)、人の手16で、ロボットアーム5にかけて、ロボットアーム5を前記ある閾値以上移動させているので(ステップS16)、ステップS17において、補正の種別として「位置・姿勢の補正」の種別であると補正動作種別決定部23で決定する。

【0311】

図29の作業IDが「4」の場合で動作IDが「9」に示す作業の場合は、位置姿勢のz軸成分以外でハイブリッドインピーダンス制御モードにより、位置制御モードでロボットアーム5を移動させながら、インピーダンス制御モードにより人の手16でロボットアーム5にかけられた力を力検出部53で検出して、人の手16でロボットアーム5に力をかけた方向に、ロボットアーム5を移動させて、図34Cのように位置・姿勢を補正することができる。

40

【0312】

次に、図22Bのように、速度を変更する場合は、人の手16でロボットアーム5を直接把持して、加速したい場合は、ロボットアーム5の進行方向と同じ向きに人の手16でロボットアーム5に力をかけ、減速したい場合は、ロボットアーム5の進行方向に逆らう向きに人の手16でロボットアーム5に力をかける。その際に、ロボットアーム5の手先

50

位置の速度を変えても良いが、位置はある閾値以上動かさないように人の手 16 でロボットアーム 5 に力をかける。

【0313】

補正動作種別決定部 23 により、情報取得部 100 でそれぞれ取得された、人の手 16 でロボットアーム 5 にかけた力と動作データベース 17 の情報と、対象物にかかる力とにより、図 32 のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、人の手 16 で力をロボットアーム 5 にかけて、ロボットアーム 5 をある閾値以上移動させていないので、図 32 のステップ S15 により、補正の種別として、「速度」の種別であると補正動作種別決定部 23 で決定する。

【0314】

ハイブリッドインピーダンス制御モードにより、位置制御モードでロボットアーム 5 を移動させながら、インピーダンス制御モードにより、人の手 16 でロボットアーム 5 にかけた力を力検出部 53 で検出して、人の手 16 でロボットアーム 5 に力をかけた方向に、ロボットアーム 5 を移動させる。動作データベース 17 で例えば作業 ID と動作 ID とで示されたロボットアーム 5 の位置 (x_1 、 y_2 、 z_1) から、次の動作 ID のロボットアーム 5 の位置 (x_2 、 y_2 、 z_2) まで移動するのにかかる時間を t_1 とすると、ロボットアーム 5 の速度を人の手 16 の力で変更した場合 (図 22B 参照) には、すなわち、位置 (x_1 、 y_2 、 z_1) から位置 (x_2 、 y_2 、 z_2) までに移動するのにかかる時間が t_1 から t_2 に変更された場合には、時間 t_2 の値が、制御部 22 と制御パラメータ管理部 21 とを經由して、動作補正部 20 に送信される。動作補正部 20 では、選択された作業 ID の動作情報について、 t_1 の時間から t_2 の時間に変更して、動作補正部 20 から制御パラメータ管理部 21 へ送信する。制御パラメータ管理部 21 において、補正した時間である t_2 で動作するように制御パラメータ管理部 21 から制御部 22 へ指示する。これにより、図 22C のような動作に補正される。次に、時間 t_2 を、動作記憶部 15 で動作データベース 17 に記憶する。

【0315】

以上により、動作補正部 20 は、動作データベース 17 の位置と姿勢と時間との情報により、ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作している状態で、人の手 16 でロボットアーム 5 に力をかけることで、ロボットアーム 5 の動作速度を補正することができるようになる。

【0316】

次に、図 35B のように、作業時の作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に対する力を変更する場合は、人の手 16 でロボットアーム 5 を直接把持して、作業面 (例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面) に対して垂直方向に力をロボットアーム 5 にかける場合について説明する。この動作は、図 35A ~ 図 35F (図 35D ~ 図 35F は挿入口 75 の付近を拡大した図) に示すが、先の、ロボットアーム 5 により、フレキシブル基板 74 を挿入口 75 に挿入する挿入作業を表す図 30A ~ 図 30F (図 30G ~ 図 30N は挿入口 75 の付近を拡大した図) と同様な動作については、説明を省略する。

【0317】

補正動作種別決定部 23 により、情報取得部 100 でそれぞれ取得された、人の手 16 がロボットアーム 5 にかけた力と動作データベース 17 の情報と、対象物にかかる力とにより、図 32 のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、フレキシブル基板 74 が挿入口 75 に接触しており、かつその力が前記「閾値 2」以下であり、人の手 16 で力をロボットアーム 5 にかけて、ロボットアーム 5 を前記ある閾値以上移動させていないので、ステップ S18 において、補正の種別として「力の補正」の種別であると補正動作種別決定部 23 で決定する。

【0318】

補正動作種別決定部 23 で補正の種別が「力の補正」であると決定したタイミングで、力ハイブリッドインピーダンス制御モードから高剛性位置制御モードで動作するよう補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。補正動作種別決定部 2

10

20

30

40

50

3 から制御パラメータ管理部 2 1 への指令時に、高剛性位置制御モードでは、方向別に位置制御時の高剛性を補正動作種別決定部 2 3 で設定することができるため、例えば図 4 の動作データベース 1 7 の作業 ID 「4」でかつ動作 ID 「9」の動作のフラグは、0、1、3、4、5、8 ビットが「1」に設定されているので、z 軸方向は力制御モードで動作し、その他の方向はハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するため、z 軸方向のみ高剛性位置制御モードで動作し、その他の方向はハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するよう、補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 へ指令を出す。

【0319】

次に、図 3 5 B に示すように、ロボットアーム 5 がフレキシブル基板 7 4 の挿入作業の動作をしている最中に、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を直接把持して、挿入する力を強め（より強い力）に変更をしたい場合には、人の手 1 6 で作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に向かってロボットアーム 5 に下方向に力をかける。高剛性位置制御モードでは、ハイブリッドインピーダンス制御モードのうち、方向別設定された位置制御モードを、さらに高剛性にしたモードで、かつ、位置誤差補償部 5 6 でのゲインを大きく（具体的には、通常的位置制御モードの 2 倍程度に）することで実現し、人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかけると、ロボットアーム 5 を容易に移動させることができず、人の手 1 6 でロボットアーム 5 にかけた力を力検出部 5 3 で検出することができる。制御部 2 2 の力検出部 5 3 で検出された力を動作補正部 2 0 に通知する。動作補正部 2 0 に通知された力を、動作記憶部 1 5 で動作データベース 1 7 に記憶することで、強めに（より強い力）挿入するよう動作を補正することができる。人が補正を終了したい場合は、ロボットアーム 5 を把持して力をロボットアーム 5 にかけることを止める。人の手 1 6 でロボットアーム 5 に力をかけない場合は、図 3 2 のステップ S 2 により、力の全ての成分が閾値以下になるので、補正動作種別決定部 2 3 により、補正の種別として「補正なし」であると決定する（図 3 2 のステップ S 3）。動作補正部 2 0 は、「補正なし」の情報を受けて、高剛性の位置制御モードからハイブリッドインピーダンス制御モードで制御するよう、補正動作種別決定部 2 3 から制御パラメータ管理部 2 1 に指令を出す。これにより、補正後の動作データベース 1 7 で作業を行う。

【0320】

以上により、動作補正部 2 0 は、動作データベース 1 7 の力の情報により、ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作している状態で、人の手 1 6 が力をかけることで、補正された力で挿入作業するように補正することができるようになる。

【0321】

なお、この例で力の補正值を取得するために、力制御モードから高剛性位置制御モードに変更したが、第 1 実施形態とは異なり、人の加える力を検出する力検出部 5 3 と、対象物に加える力を検出する対象物力検出部 7 6 とを分けて配置しているため、制御モードは力制御モードで変更せずに、力検出部 5 3 で人が加えた力を検出することができる。さらに、位置制御モードに変更する場合には剛性を変更しなくても、通常的位置制御モードでも力検出部 5 3 で検出することができる。

【0322】

次に、図 3 6 B のように、作業 ID 「4」動作 ID 「11」若しくは「12」で動作中に、作業時の作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に対する力を変更する場合は、人の手 1 6 でロボットアーム 5 を直接把持して、作業面（例えば、機器 6 の挿入口 7 5 の挿入面）に対して垂直方向に力をロボットアーム 5 にかける場合について説明する。この動作は、図 3 6 A ~ 図 3 6 I（図 3 6 D ~ 図 3 6 F は挿入口 7 5 の付近を拡大した図、図 3 6 G ~ 図 3 6 I は図 3 6 D ~ 図 3 6 F の円部分の拡大図）に示すが、先の、ロボットアーム 5 により、フレキシブル基板 7 4 を挿入口 7 5 に挿入する挿入作業を表す図 3 0 A ~ 図 3 0 F（図 3 0 G ~ 図 3 0 N は挿入口 7 5 の付近を拡大した図）と同様な動作については、説明を省略する。

【0323】

補正動作種別決定部 23 により、情報取得部 100 でそれぞれ取得された、人の手 16 がロボットアーム 5 にかけた力と動作データベース 17 の情報と、対象物の一例であるフレキシブル基板 74 にかかる力により、図 32 のフローチャートに示した補正種別推定処理で補正の種別を推定して決定する。ここでは、フレキシブル基板 74 が挿入口 75 に接触しており、かつその力が前記「閾値 2」以上であり、人の手 16 で力をロボットアーム 5 にかけているので、ステップ S12 において、補正の種別として「力の補正」の種別であると補正動作種別決定部 23 で決定する。ここではロボットアームの移動量に関係なく、「力の補正」のみしか選択できないため、図 36E のようにフレキシブル基板 74 の先端部分 74h が差し込まれている最中にロボットアームを移動させてフレキシブル基板 74 の先端部分 74h を傷めることを防ぐことができる。

10

【0324】

補正動作種別決定部 23 で補正の種別が「力の補正」であると決定したタイミングで、力ハイブリッドインピーダンス制御モードから高剛性位置制御モードで動作するよう補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 への指令時に、高剛性位置制御モードでは、方向別に位置制御時の高剛性を補正動作種別決定部 23 で設定することができるため、例えば図 4 の動作データベース 17 の作業 ID「4」でかつ動作 ID「9」の動作のフラグは、0、1、3、4、5、8 ビットが「1」に設定されているので、z 軸方向は力制御モードで動作し、その他の方向はハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するため、z 軸方向のみ高剛性位置制御モードで動作し、その他の方向はハイブリッドインピーダンス制御モードで動作するよう、補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 へ指令を出す。

20

【0325】

次に、図 35B に示すように、ロボットアーム 5 がフレキシブル基板 74 の挿入作業の動作をしている最中に、人の手 16 でロボットアーム 5 を直接把持して、挿入する力を強め（より強い力）に変更をしたい場合には、人の手 16 で作業面（例えば、機器 6 の挿入口 75 の挿入面）に向かってロボットアーム 5 に下方向に力がかかる。高剛性位置制御モードでは、ハイブリッドインピーダンス制御モードのうち、方向別設定された位置制御モードを、さらに高剛性にしたモードで、かつ、位置誤差補償部 56 でのゲインを大きく（具体的には、通常的位置制御モードの 2 倍程度に）することで実現し、人の手 16 でロボットアーム 5 に力かけると、ロボットアーム 5 を容易に移動させることができず、人の手 16 でロボットアーム 5 にかけた力を力検出部 53 で検出することができる。制御部 22 の力検出部 53 で検出された力を動作補正部 20 に通知する。動作補正部 20 に通知された力を、動作記憶部 15 で動作データベース 17 に記憶することで、強めに（より強い力で）挿入するよう動作を補正することができる。人が補正を終了したい場合は、ロボットアーム 5 を把持して力をロボットアーム 5 にかけることを止める。人の手 16 でロボットアーム 5 に力かけない場合は、図 32 のステップ S2 により、力の全ての成分が閾値以下になるので、補正動作種別決定部 23 により、補正の種別として「補正なし」であると決定する（図 32 のステップ S3）。動作補正部 20 は、「補正なし」の情報を受けて、高剛性の位置制御モードからハイブリッドインピーダンス制御モードで制御するよう、補正動作種別決定部 23 から制御パラメータ管理部 21 に指令を出す。これにより、補正後の動作データベース 17 で作業を行う。

30

40

【0326】

以上により、動作補正部 20 は、動作データベース 17 の力の情報により、ハイブリッドインピーダンス制御モードで動作している状態で、人の手 16 が力かけることで、補正された力で挿入作業するよう補正することができるようになる。

【0327】

なお、この例で力の補正值を取得するために、力制御モードから高剛性位置制御モードに変更したが、第 1 実施形態とは異なり、人の加える力を検出する力検出部 53 と、対象物に加える力を検出する対象物力検出部 76 とを分けて配置しているため、制御モードは

50

力制御モードで変更せずに、力検出部53で人が加えた力を検出することができる。さらに、位置制御モードに変更する場合には剛性を変更しなくても、通常の位置制御モードでも力検出部53で検出することができる。

【0328】

図23に示すように、組立ロボット1に作業をして欲しくない領域RBを、ロボットアーム5を使って設定する場合を例にとって説明する。

【0329】

人の手16で組立ロボット1の上部に配置されているデータ入力IF26（例えば操作盤26Aの電源ボタン26aなど）により電源を入れると、動作補正部20は、インピーダンス制御モードで動作するよう、制御パラメータ管理部21へ指令を出す。動作選択部29にて作業を選択していない状態で、図23に示すように、人16Aの手16がロボットアーム5（例えばハンド30など）を直接把持して、作業面（例えば、機器6が載置されている作業台7の上面）に対して平行な方向に移動するようにロボットアーム5を移動させて、作業をして欲しくない領域RBの輪郭に沿って、ロボットアーム5（例えばハンド30）を移動させる。図25Aは作業面（例えば、機器6が載置されている作業台7の上面）を上方から見た図で、作業をして欲しくない領域RBを斜線の領域とすると、人の手16がロボットアーム5を移動させて、矢印のように、作業をして欲しくない領域RBの輪郭にロボットアーム5（例えばハンド30）を沿わせて、移動させる。その際、ロボットアーム5の手先（ハンド30）の中央先端にマーク63が付与されており（図25A及び図25B参照）、作業をして欲しくない方向にマーク63を向けて移動させる。

【0330】

補正動作種別決定部23により、図32に示した補正種別推定処理を実行して動作データベース17で動作していないと判定し（ステップS4）、さらに、ある一定時間の移動量が、前記ある閾値以上の場合は、ステップS8において、補正の種別として「作業をして欲しくない領域」の種別であると決定する。

【0331】

インピーダンス制御モードにより、人の手16でロボットアーム5にかけた力を力検出部53で検出して、人の手16でロボットアーム5に力をかけた方向に、ロボットアーム5を移動させて、図25Aのように、位置 (x_1, y_1) 、位置 (x_2, y_2) 、位置 (x_3, y_3) 、位置 (x_4, y_4) の順にロボットアーム5を移動させる。このとき、これらの位置情報が、制御部22と制御パラメータ管理部21とを經由して、動作補正部20に送信される。動作補正部20は、その指令を受けて、これらの位置情報が作業不可領域RBの情報として、動作記憶部15により作業不可領域データベース28に記憶する。これらの4つの位置が作業不可領域RBの頂点の情報であることは、例えば、ある一定間隔で人が移動させたロボットアーム5の手先位置を取得して、取得した手先位置の座標をつなげて領域を生成し、それを作業不可領域RBとすることができる。さらに、どのような形の領域とするかを決定する機能を追加し、例えば、「矩形」と設定されている場合は、90度近くの角度で移動方向が変われば、その位置を頂点の情報として記憶し、「ランダム」と設定された場合は、ある一定間隔で人が移動させたロボットアーム5の手先位置を取得して、取得した手先位置の座標をつなげて生成し、それを作業不可領域RBとすることができる。

【0332】

以上により、動作補正部20は、人の手16が力をかけることで、作業をして欲しくない領域の設定を行うことができるようになる。

【0333】

さらに、前記様々な実施形態及び変形例のうちの任意の実施形態又は任意の変形例を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようになることができる。

【産業上の利用可能性】

【0334】

本発明は、例えば工場内で組立を行うロボットなど人とロボットが協調して作業を行う

10

20

30

40

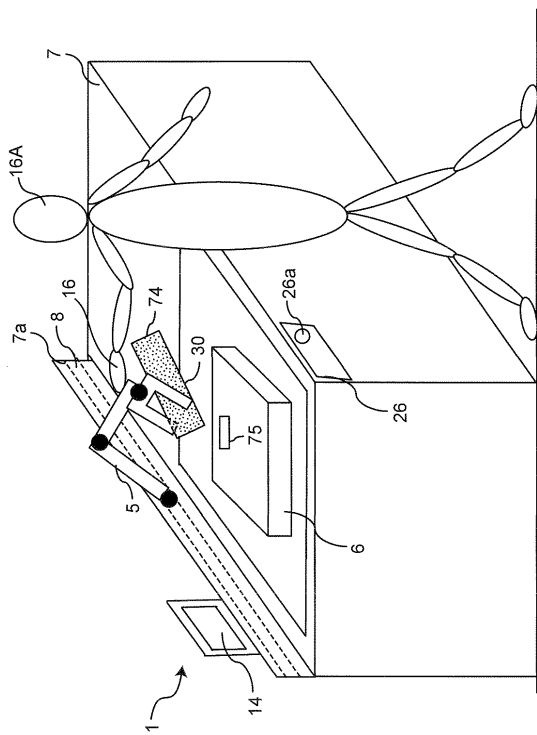
50

際の組立ロボットのロボットアームの動作の制御を行う、ロボットアームの制御装置及び制御方法、組立ロボット、組立ロボット用ロボットアームの制御プログラム、及び、組立ロボット用ロボットアームの制御用集積電子回路として有用である。

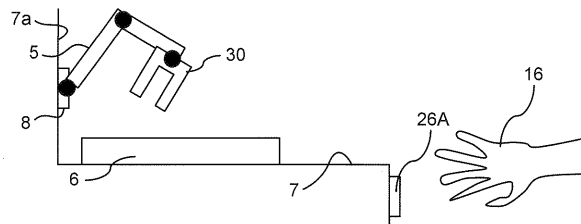
【 0 3 3 5 】

本発明は、添付図面を参照しながら好ましい実施形態に関連して十分に記載されているが、この技術の熟練した人々にとっては種々の変形又は修正は明白である。そのような変形又は修正は、添付した請求の範囲による本発明の範囲から外れない限りにおいて、その中に含まれると理解されるべきである。

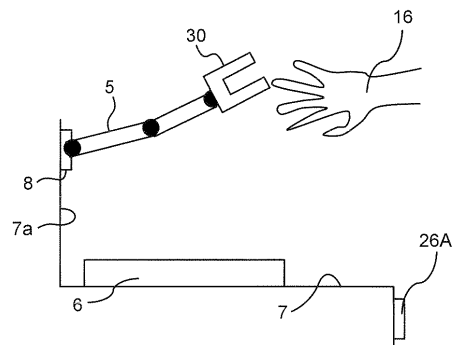
【 図 1 】



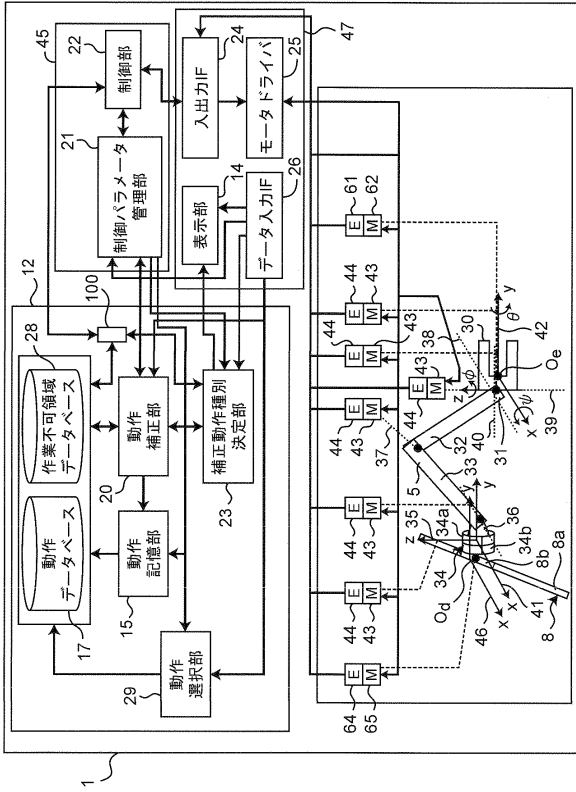
【 図 2 A 】



【 図 2 B 】



【図3】



【図4】

作業ID	動作ID	レベルの位置(x,y)	ロボットアームの先位置・姿勢(m)(X, Y, z, φ, θ, ψ)	力(N)($f_x, f_y, f_z, f_\phi, f_\theta, f_\psi$)	77g(32ビット)	時間(sec)	補正パラメータラゲ(32ビット)	運送情報
3	1	0.1.0	0.1.0.1.0.3.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2ビット-1	0.37	0.1.2ビット-1	0
3	2	0.2.0	0.2.0.2.0.4.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2ビット-1	0.37	0.1.2ビット-1	0
..
3	7	0.5.0.4	0.3.0.2.0.4.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2ビット-1	0.37	0.1.2ビット-1	0
3	8	0.6.0.4	0.4.0.2.0.4.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2ビット-1	0.37	0.1.8ビット-1	0
3	9	0.1.0	0.1.0.1.0.0.0.0.0	0.0.5.0.0.0	0.1.8ビット-1	0.37	0.1.8ビット-1	0
3	10	0.2.0	0.1.0.2.0.0.0.0.0	0.0.5.0.0.0	0.1.8ビット-1	0.37	0.1.8ビット-1	0
..
3	15	0.5.0.4	0.2.0.2.0.0.0.0.0	0.0.5.0.0.0	0.1.8ビット-1	0.37	0.1.8ビット-1	0
3	16	0.6.0.4	0.2.0.1.0.0.0.0.0	0.0.5.0.0.0	0.1.8ビット-1	0.37	0.1.8ビット-1	0
..
..

【図5】

ビット数	未使用	f_ψ	f_θ	f_ϕ	f_z	f_y	f_x	ψ	θ	ϕ	z	y	x
31	...	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
値	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

力

ロボットアームの位置・姿勢

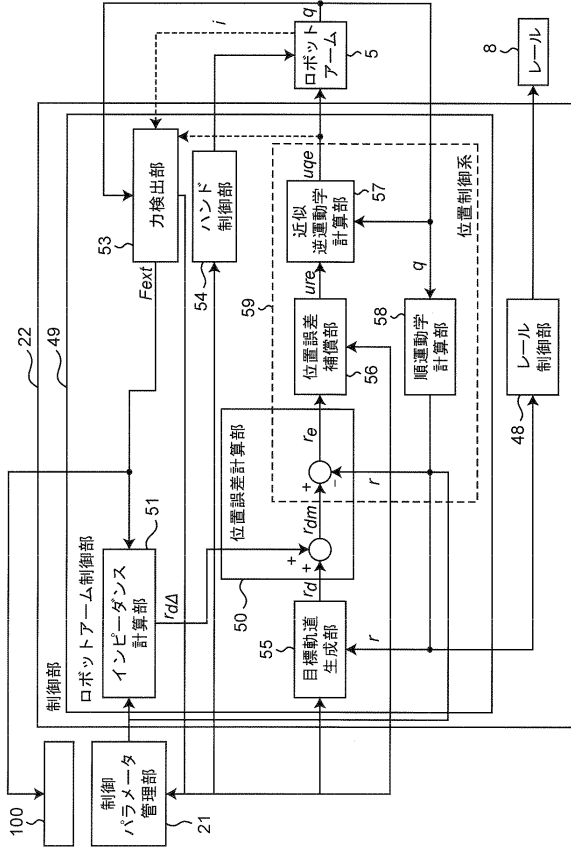
【図6】

ビット数	未使用	f_ψ	f_θ	f_ϕ	f_z	f_y	f_x	ψ	θ	ϕ	z	y	x
31	...	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
値	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

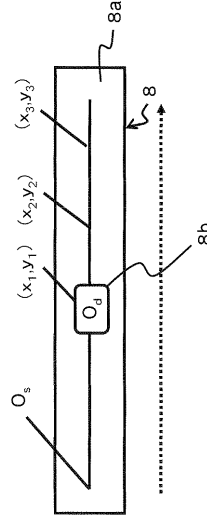
力

ロボットアームの位置・姿勢

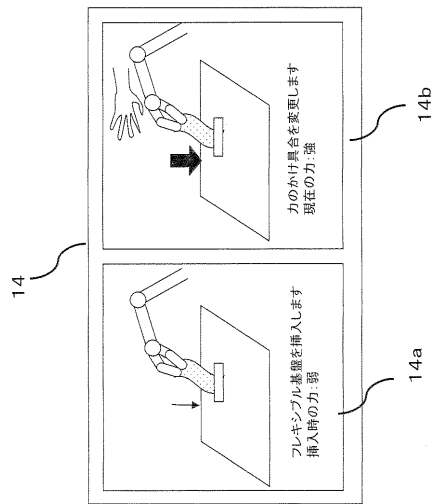
【図7】



【図8】



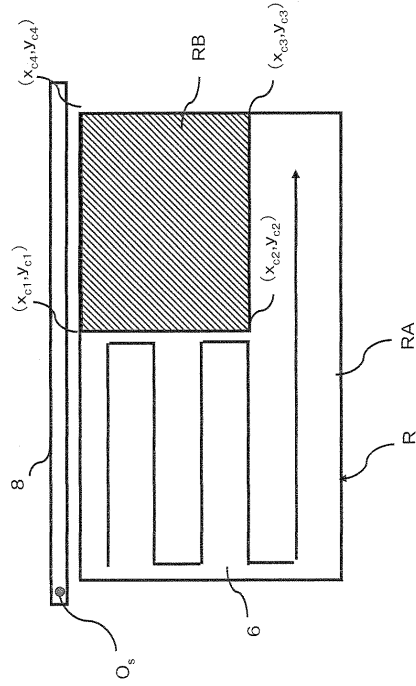
【図9】



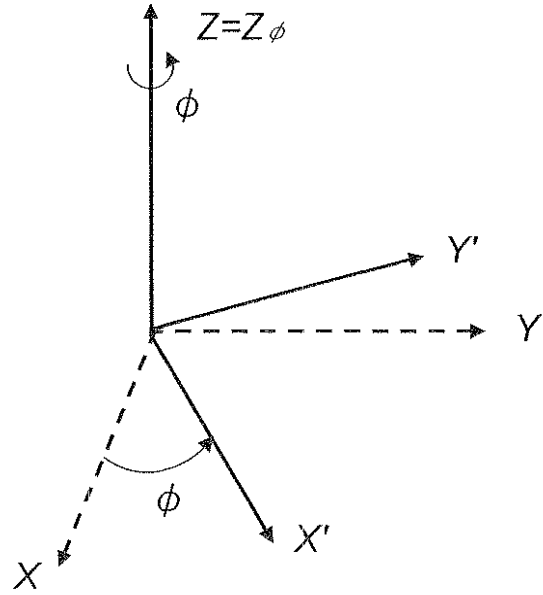
【図10】

作業不可領域 の位置(x, y)	...
	x_1, y_1
	x_2, y_2
	x_3, y_3
	x_4, y_4
	...

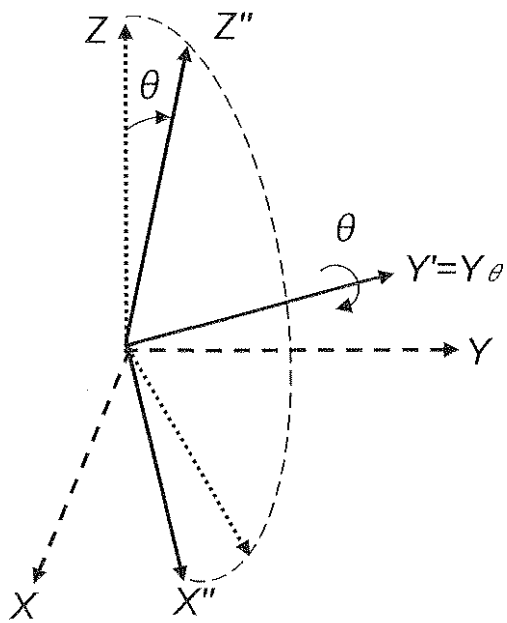
【 図 1 1 】



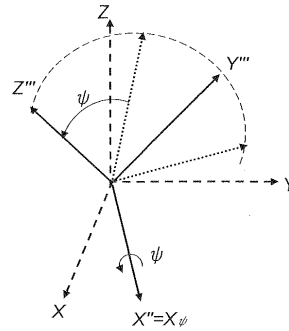
【 図 1 2 A 】



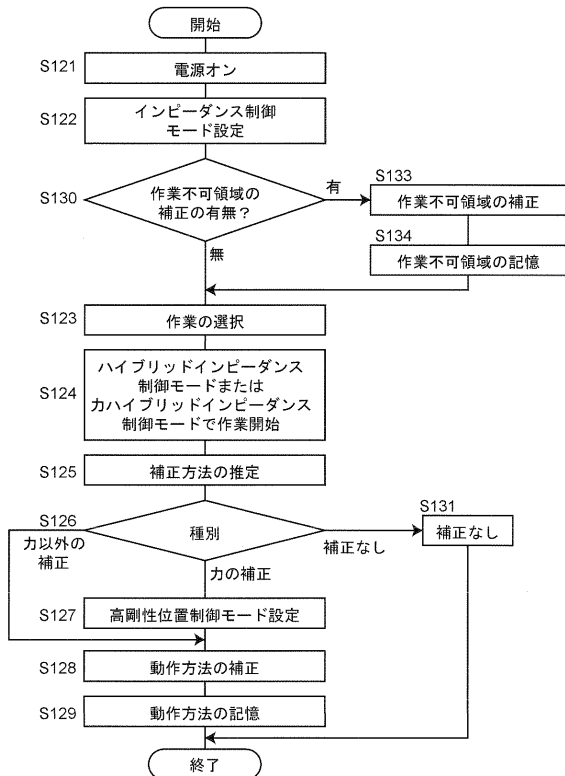
【 図 1 2 B 】



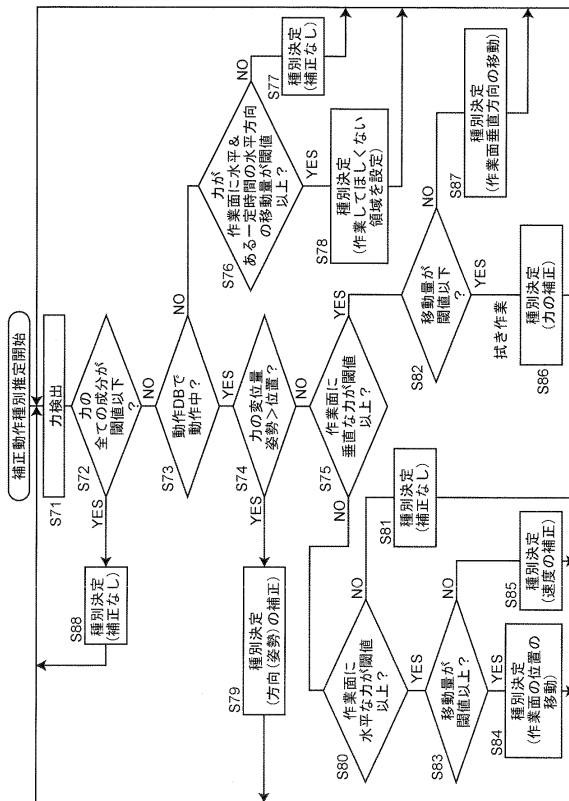
【 図 1 2 C 】



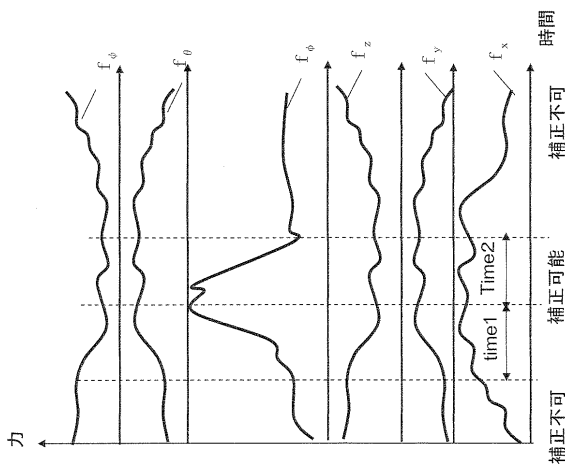
【図13】



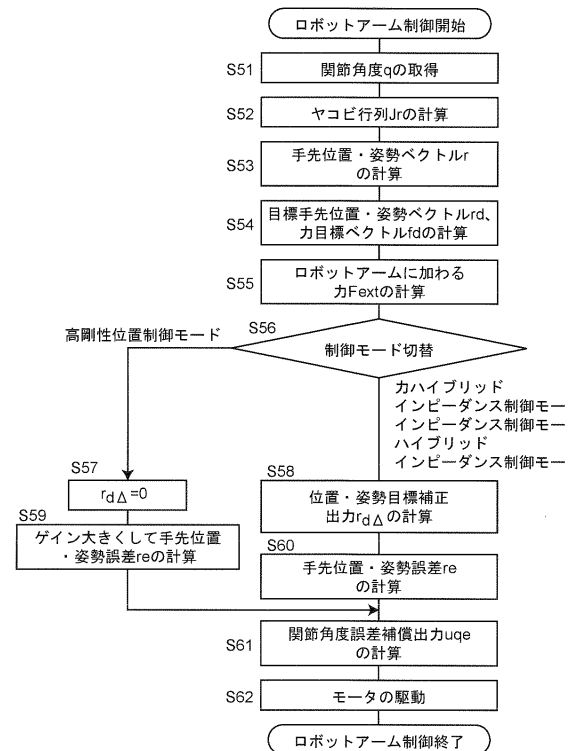
【図14】



【図15】



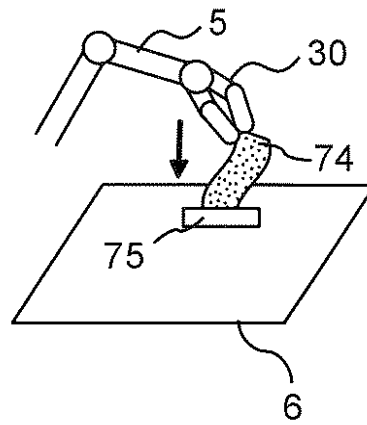
【図16】



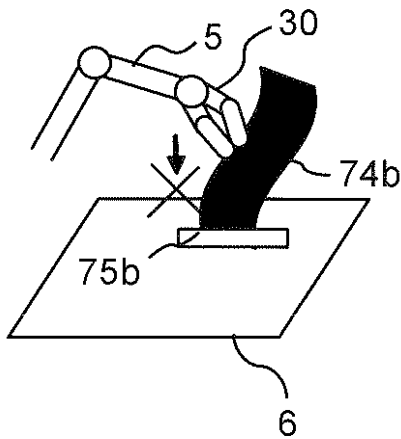
【図 17】

ID	フレキシブル基板ID	1	2
	補正パラメータ	閾値	閾値
1	力成分の閾値	$(f_{ax1}, f_{ay1}, f_{az1}, f_{\theta x1}, f_{\theta y1}, f_{\theta z1})$	$(f_{ax2}, f_{ay2}, f_{az2}, f_{\theta x2}, f_{\theta y2}, f_{\theta z2})$
2	位置成分の閾値	$(g_x, g_y, g_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$	$(g_x, g_y, g_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$
3	対象物力成分の閾値	$(f_{ax1}, f_{ay1}, f_{az1}, f_{\theta x1}, f_{\theta y1}, f_{\theta z1})$	$(f_{ax2}, f_{ay2}, f_{az2}, f_{\theta x2}, f_{\theta y2}, f_{\theta z2})$
4	対象物力成分の閾値2	$(f_{ax12}, f_{ay12}, f_{az12}, f_{\theta x12}, f_{\theta y12}, f_{\theta z12})$	$(f_{ax22}, f_{ay22}, f_{az22}, f_{\theta x22}, f_{\theta y22}, f_{\theta z22})$

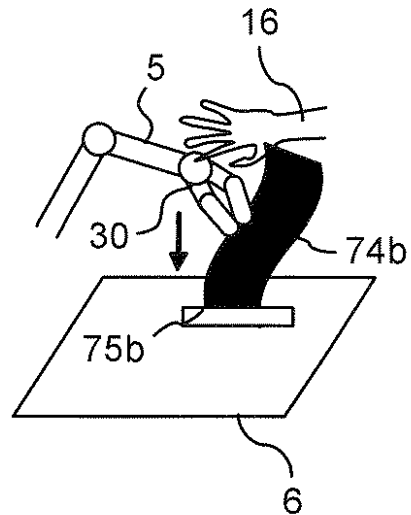
【図 18 A】



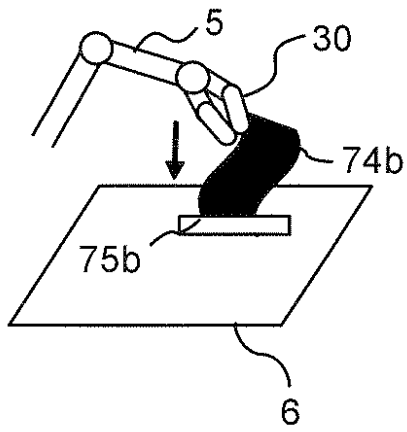
【図 18 B】



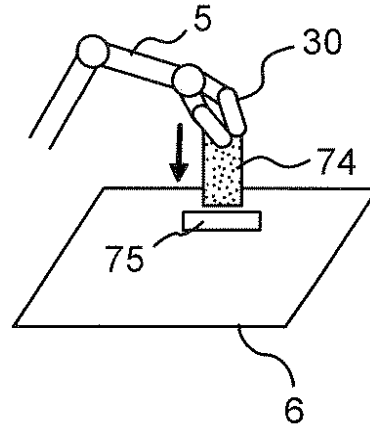
【図 18 C】



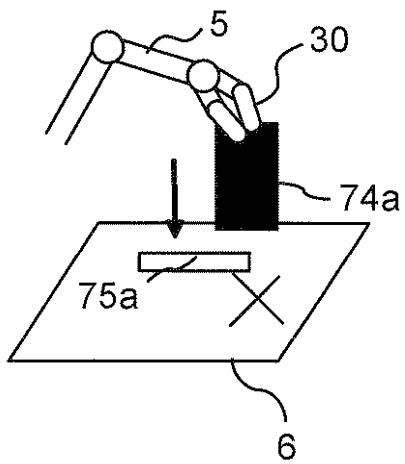
【図18D】



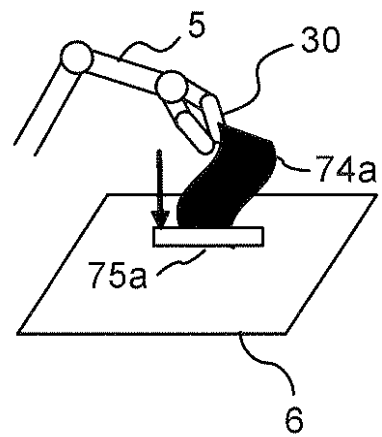
【図19A】



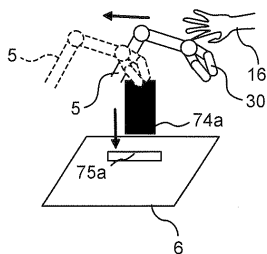
【図19B】



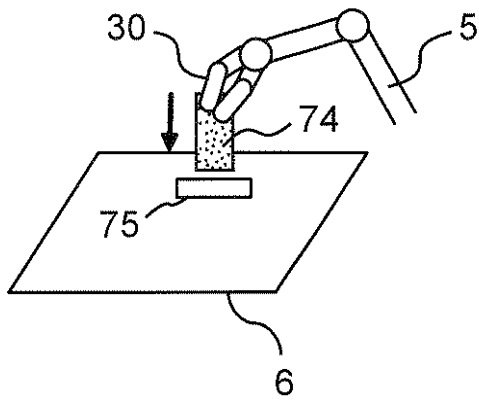
【図19D】



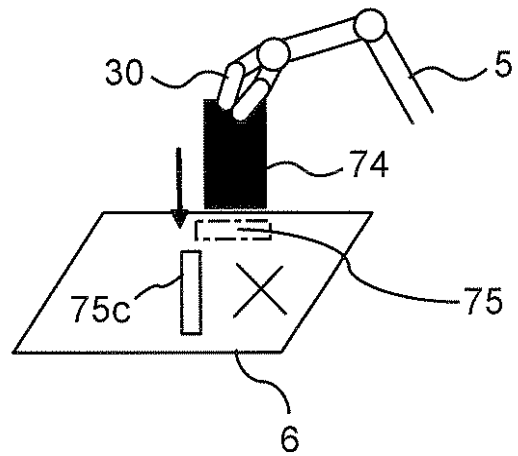
【図19C】



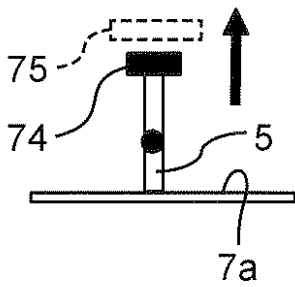
【図20A】



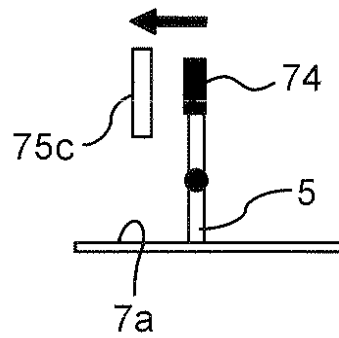
【図20B】



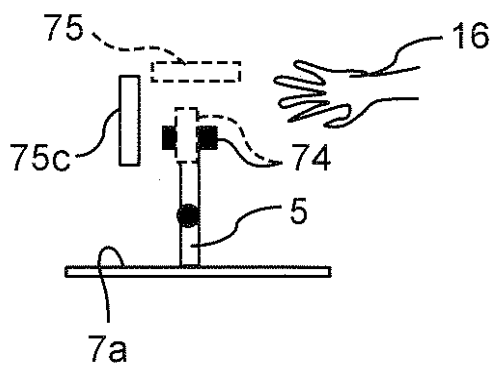
【図20C】



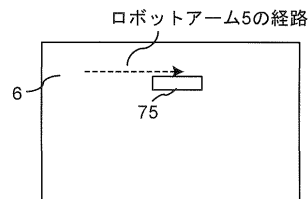
【図20E】



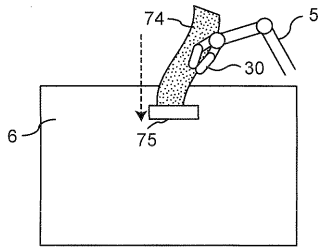
【図20D】



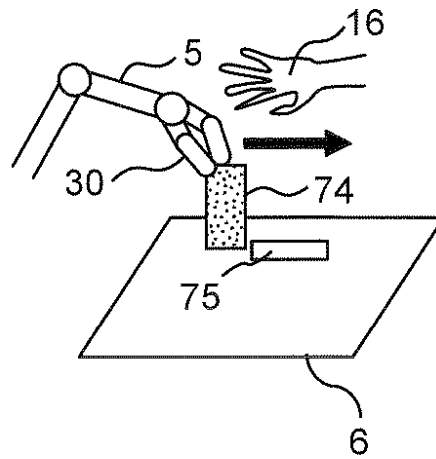
【図21A】



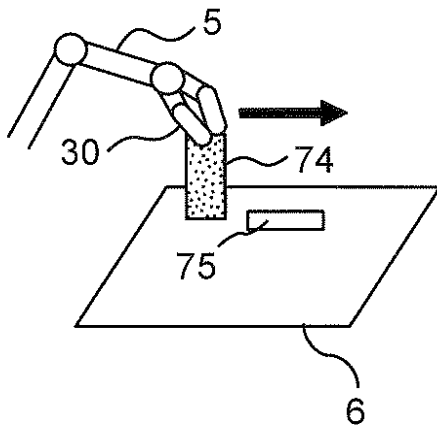
【図 2 1 B】



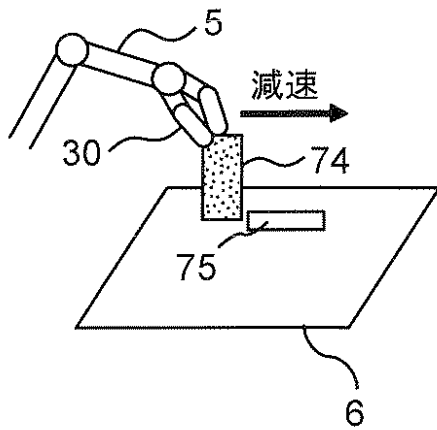
【図 2 2 B】



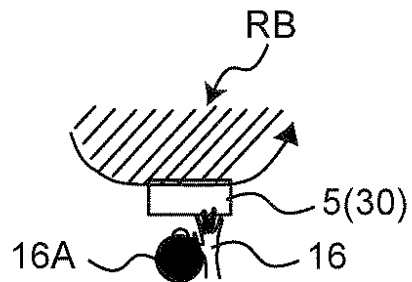
【図 2 2 A】



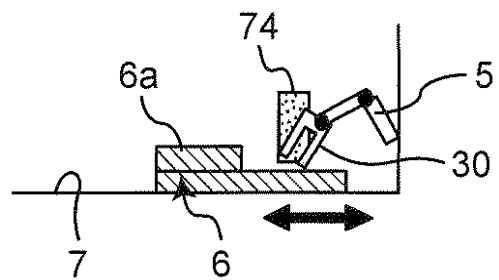
【図 2 2 C】



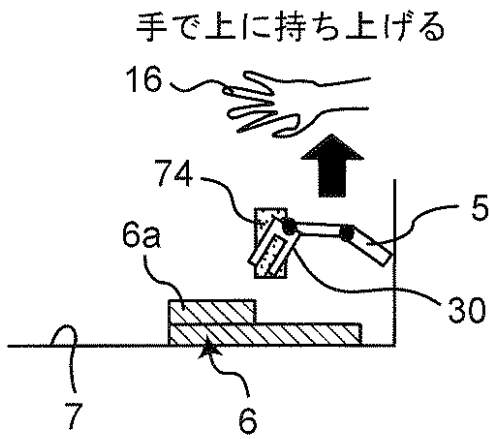
【図 2 3】



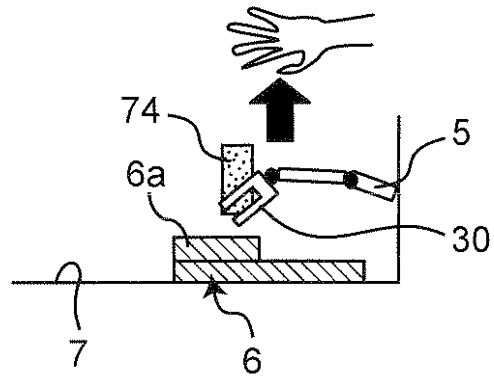
【図 2 4 A】



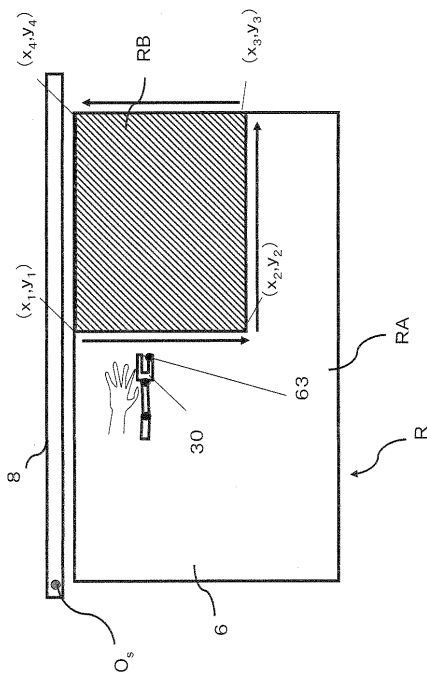
【図24B】



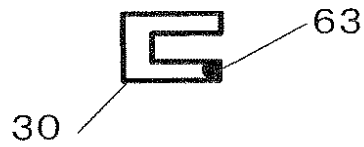
【図24C】



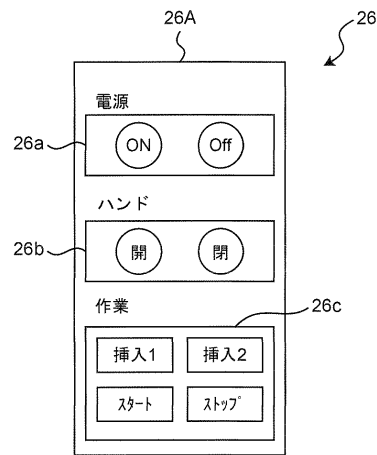
【図25A】



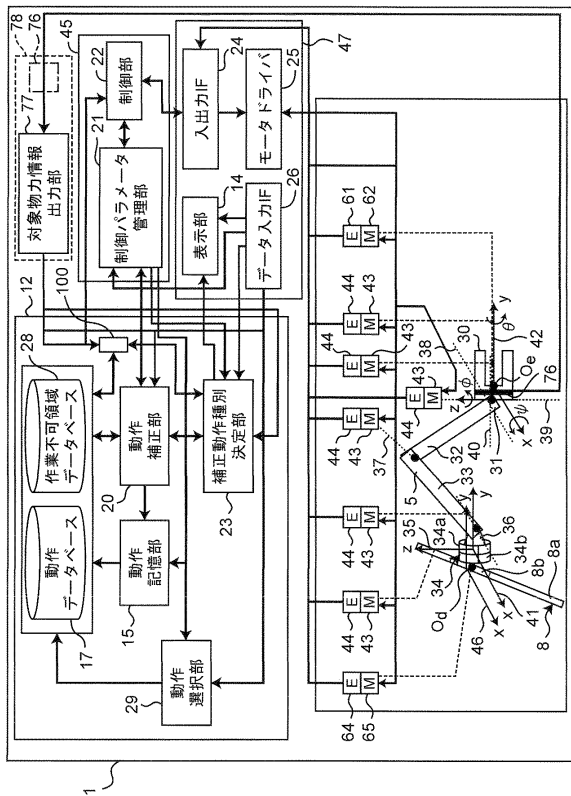
【図25B】



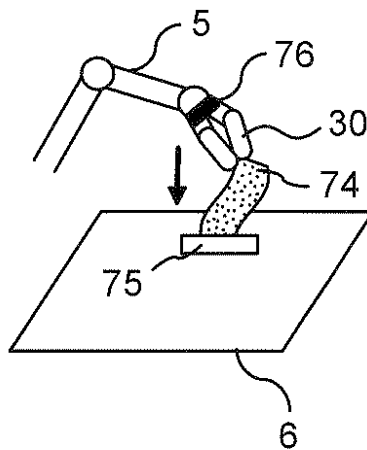
【図26】



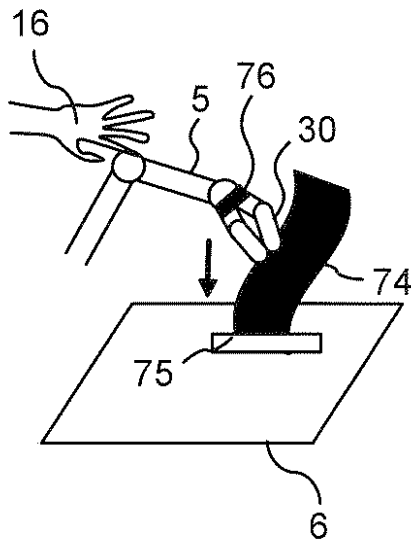
【図 27】



【図 28 A】



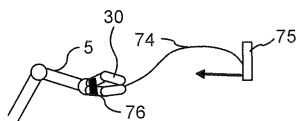
【図 28 B】



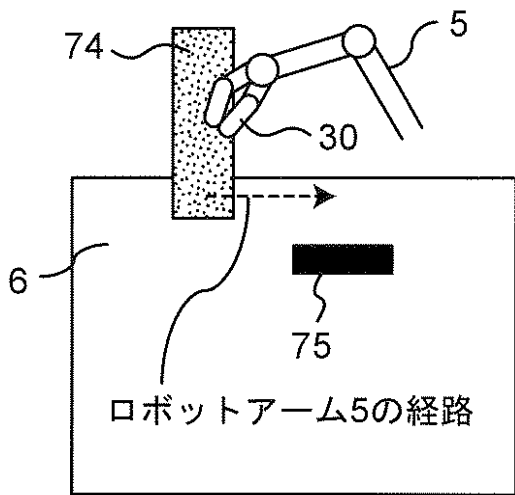
【図 29】

作業 ID	動作 ID	レールの位置(x,y)	ロボットアームの先端位置・姿勢(m) (x, y, z, φ, θ, ψ)	力(N) ((f _x , f _y , f _z , f _φ , f _θ , f _ψ)	フガ (32ビット)	時間 (sec)	補正パラメータフラグ(32ビット)	進捗情報
4	1	0.1.0	0.1.0.1.0.3.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0.37	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0
4	2	0.2.0	0.2.0.2.0.4.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0.37	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0
4	7	0.5.0.4	0.3.0.2.0.4.0.0.0	0.0.0.0.0.0	...	0.37	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0
4	8	0.6.0.4	0.4.0.2.0.4.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0.37	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0
4	9	0.1.0	0.1.0.1.0.0.0.0	0.0.5.0.0.0	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0.37	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0
4	10	0.2.0	0.1.0.2.0.0.0.0	0.0.1.0.0.0.0	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0.37	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0
4	11	0.2.0	0.1.0.2.0.0.0.0	0.0.8.0.0.0	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0.37	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0
4	12	0.2.0	0.1.0.2.0.0.0.0	0.0.6.0.0.0	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0.37	0.1.3.4.5.8 ビット-1	0
4	13	0.2.0	0.2.0.2.0.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0.37	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0
4	14	0.2.0	0.2.0.1.0.0.0.0	0.0.0.0.0.0	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0.37	0.1.2.3.4.5 ビット-1	0
...

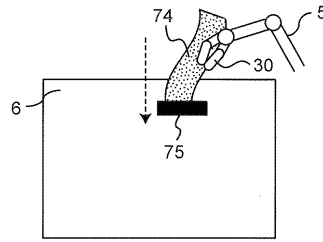
【図 28 C】



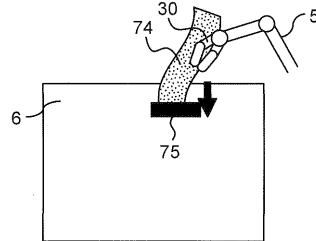
【図30A】



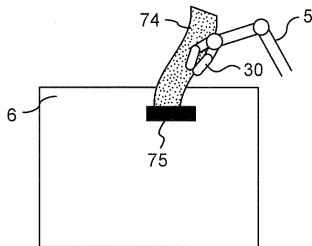
【図30C】



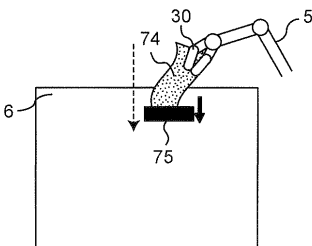
【図30D】



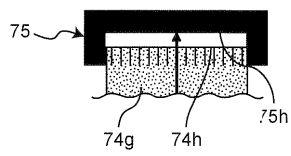
【図30B】



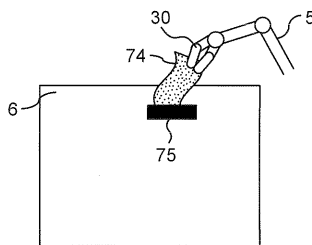
【図30E】



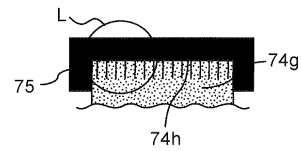
【図30H】



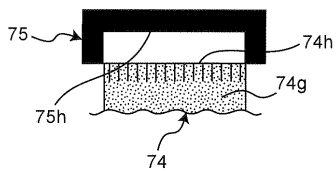
【図30F】



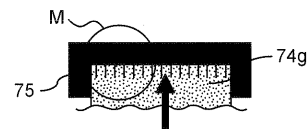
【図30I】



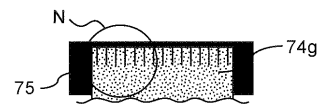
【図30G】



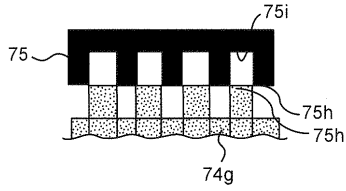
【図30J】



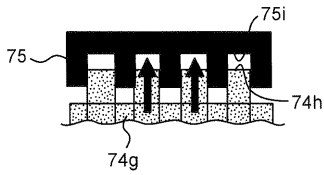
【図30K】



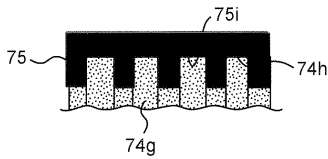
【図30L】



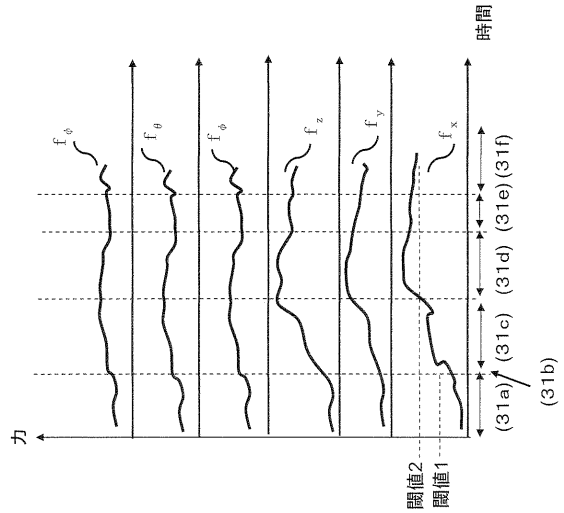
【図30M】



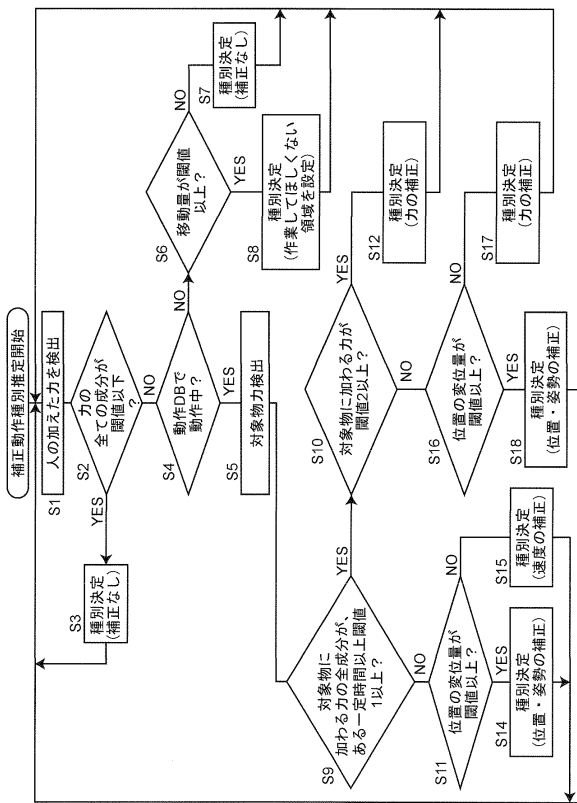
【図30N】



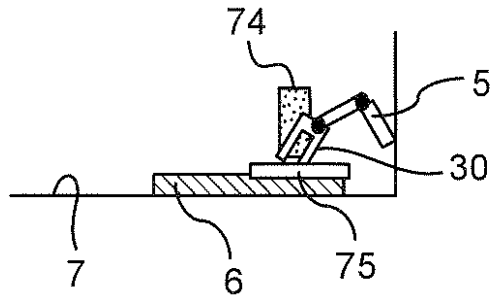
【図31】



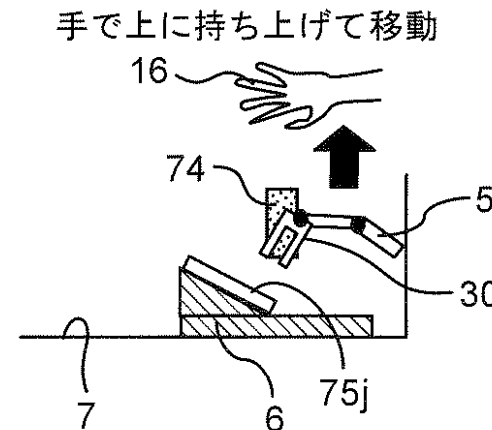
【図32】



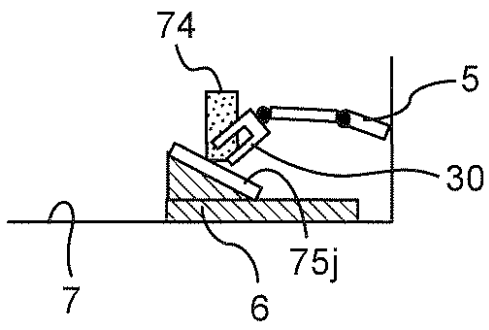
【図33A】



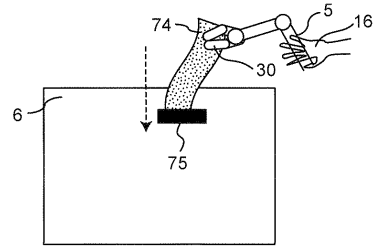
【図33B】



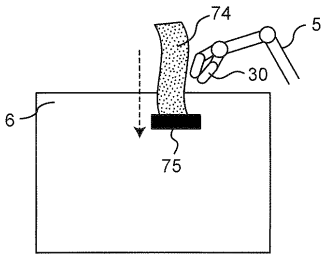
【図33C】



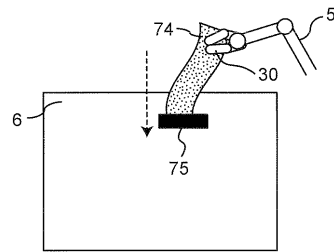
【図34B】



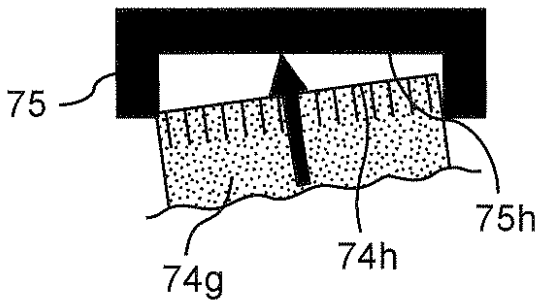
【図34A】



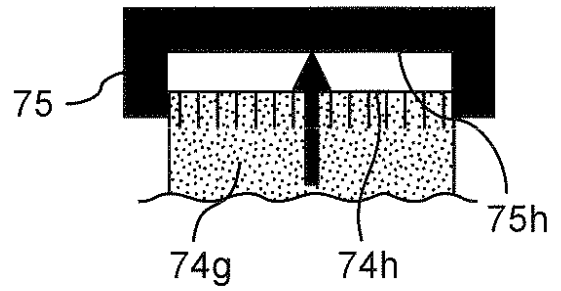
【図34C】



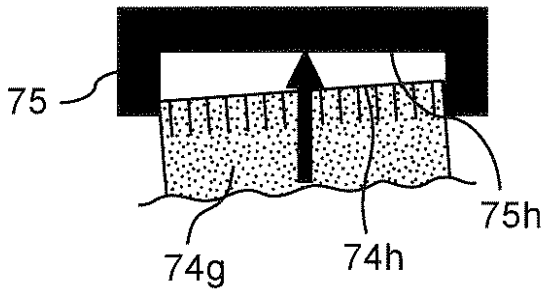
【図34D】



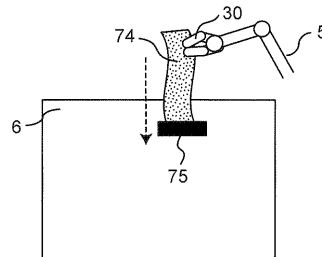
【図34F】



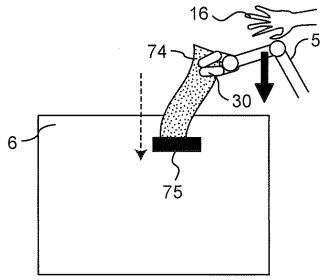
【図34E】



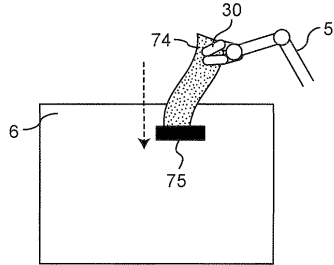
【図35A】



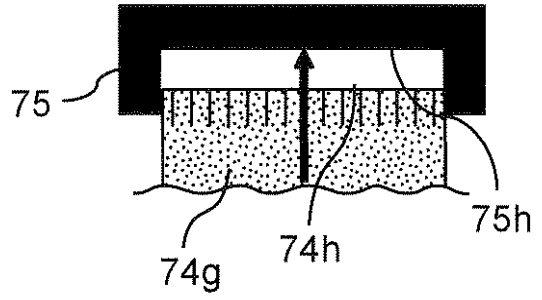
【 3 5 B 】



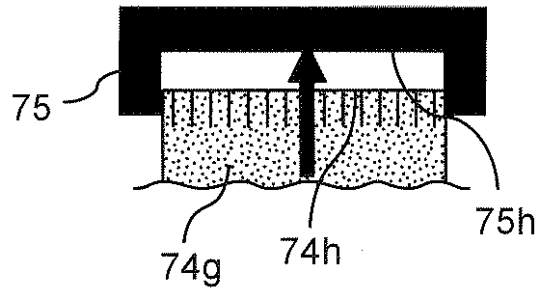
【 3 5 C 】



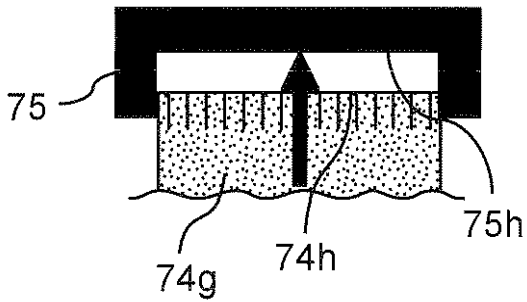
【 3 5 D 】



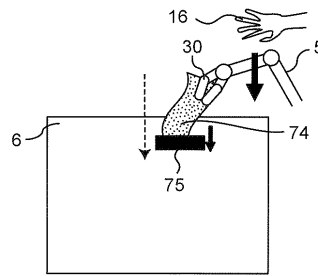
【 3 5 E 】



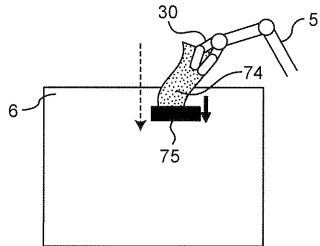
【 3 5 F 】



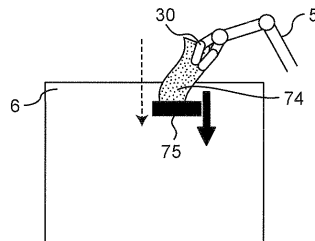
【 3 6 B 】



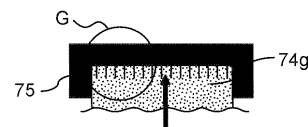
【 3 6 A 】



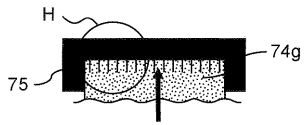
【 3 6 C 】



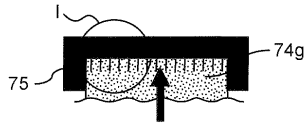
【 3 6 D 】



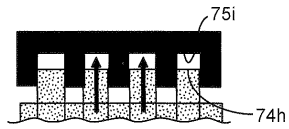
【 3 6 E 】



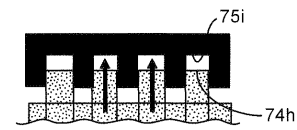
【 3 6 F 】



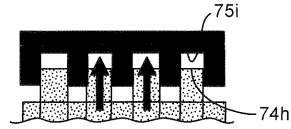
【 3 6 G 】



【 3 6 H 】



【 3 6 I 】



フロントページの続き

審査官 松浦 陽

- (56)参考文献 特開2008-296308(JP,A)
国際公開第2009/004772(WO,A1)
特開平06-190753(JP,A)
特開2008-238338(JP,A)
特開2008-110406(JP,A)
特開2006-212741(JP,A)
特許第4512672(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00 - 21/02
G05B 19/18 - 19/46
JSTPlus(JDreamII)
IEEE Xplore
CiNii