

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-189392
(P2020-189392A)

(43) 公開日 令和2年11月26日(2020.11.26)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
B25J 13/00 (2006.01)	B 2 5 J 13/00 A	3 C 7 0 7
B25J 13/08 (2006.01)	B 2 5 J 13/08 A	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2019-97490 (P2019-97490)
(22) 出願日 令和1年5月24日(2019.5.24)

(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(74) 代理人 100116665
弁理士 渡辺 和昭
(74) 代理人 100179475
弁理士 仲井 智至
(74) 代理人 100216253
弁理士 松岡 宏紀
(72) 発明者 竹内 馨
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
Fターム(参考) 3C707 AS01 BS12 KS03 KS34 KT01
KT06 KW03 KW06 KX06 NS02

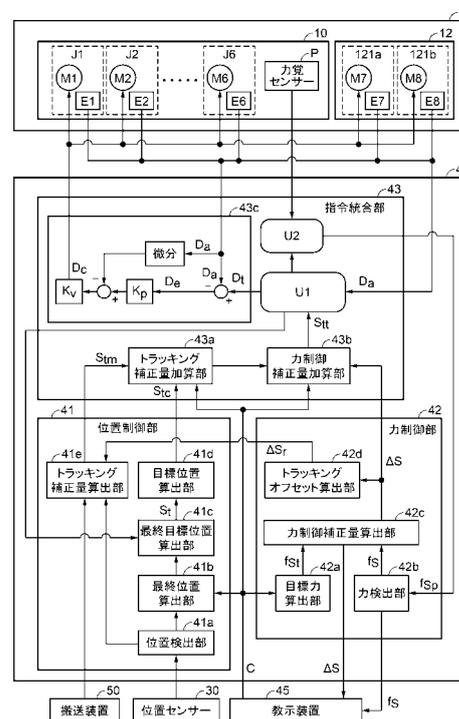
(54) 【発明の名称】 ロボットの制御方法

(57) 【要約】

【課題】対象物に対する作業が完了する前にワークがロボットの可動範囲から外れてしまう可能性を低減するロボットの制御方法を提供する。

【解決手段】搬送装置50により搬送される対象物Wに対してエンドエフェクター20を用いて作業を行うロボット1の制御方法において、対象物Wの位置に基づいてエンドエフェクター20の目標位置を算出し、対象物Wの搬送量に対応するように目標位置を補正するトラッキング補正量を算出し、目標位置及びトラッキング補正量に基づいてエンドエフェクター20を対象物Wに追従させ、力センサーPを用いて対象物Wからエンドエフェクター20に作用する作用力を取得し、作用力を目標力にするように目標位置を補正する力制御補正量を算出し、力制御補正量に基づいてマニピュレーター10を駆動することにより作用力を予め決定された目標力に制御する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

搬送装置により所定の経路に沿って搬送される対象物に対して、エンドエフェクターを用いて作業を行うロボットであって、前記エンドエフェクターを支持するマニピュレーターと、前記マニピュレーターを支持するベースと、前記ベースを移動させる移動部とを備えるロボットを、制御装置により制御するロボットの制御方法において、

位置センサーを用いて前記対象物の位置を取得することと、

前記対象物の位置に基づいて前記エンドエフェクターの目標位置を算出することと、

前記搬送装置による前記対象物の搬送量を取得することと、

前記搬送量に対応するように前記目標位置を補正するトラッキング補正量を算出することと、

10

前記目標位置に基づいて前記マニピュレーターを駆動し、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動することにより、前記エンドエフェクターを前記対象物に追従させることと、

力センサーを用いて前記対象物から前記エンドエフェクターに作用する作用力を取得することと、

前記作用力を所定の目標力にするように前記目標位置を補正する力制御補正量を算出することと、

前記力制御補正量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記対象物からの前記作用力を予め決定された目標力に制御することと、

20

を含むロボットの制御方法。

【請求項 2】

前記目標位置が前記ベースの位置を基準とする第 1 範囲から外れる場合において、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動する請求項 1 に記載のロボットの制御方法。

【請求項 3】

前記トラッキング補正量が第 1 閾値以上となる場合において、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動する請求項 1 又は 2 に記載のロボットの制御方法。

【請求項 4】

搬送装置により所定の経路に沿って搬送される対象物に対して、エンドエフェクターを用いて作業を行うロボットであって、前記エンドエフェクターを支持するマニピュレーターと、前記マニピュレーターを支持するベースと、前記ベースを移動させる移動部とを備えるロボットを、制御装置により制御するロボットの制御方法において、

30

位置センサーを用いて前記対象物の位置を取得することと、

前記対象物の位置に基づいて前記エンドエフェクターの目標位置を算出することと、

前記搬送装置による前記対象物の搬送量を取得することと、

前記搬送量に対応するように前記目標位置を補正するトラッキング補正量を算出することと、

前記移動部を前記経路に沿って駆動させながら、前記目標位置、前記トラッキング補正量及び前記移動部の移動量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記エンドエフェクターを前記対象物に追従させることと、

40

力センサーを用いて前記対象物から前記エンドエフェクターに作用する作用力を取得することと、

前記作用力を所定の目標力にするように前記目標位置を補正する力制御補正量を算出することと、

前記力制御補正量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記対象物からの前記作用力を予め決定された目標力に制御することと、

を含むロボットの制御方法。

【請求項 5】

前記力制御補正量が、前記目標位置を前記経路に沿う経路方向に補正する場合において

50

、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動し、前記力制御補正量の前記経路方向の成分以外に基づいて前記マニピュレーターを駆動する請求項1乃至4のいずれか1項に記載のロボットの制御方法。

【請求項6】

前記目標位置が前記ベースの位置を基準とする第2範囲から外れる場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動する請求項5に記載のロボットの制御方法。

【請求項7】

前記力制御補正量の前記経路方向の成分が第2閾値以上となる場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動する請求項5又は6に記載のロボットの制御方法。

10

【請求項8】

前記ベースの位置を基準とする前記エンドエフェクターの可動範囲に基づいて、前記作業の開始時における前記ベースの初期位置を、前記移動部の移動量が削減されるように決定する請求項1乃至7のいずれか1項に記載のロボットの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットの制御方法に関する。

【背景技術】

20

【0002】

特許文献1は、搬送装置によって搬送されるワークに対して作業を行うロボットを制御するロボット制御装置を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2015-174171号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

30

しかしながら、特許文献1に記載の技術では、作業に要する時間によっては、ワークに対する作業が完了する前に、ワークがロボットの可動範囲から外れてしまうおそれがある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

第1態様は、搬送装置により所定の経路に沿って搬送される対象物に対して、エンドエフェクターを用いて作業を行うロボットであって、前記エンドエフェクターを支持するマニピュレーターと、前記マニピュレーターを支持するベースと、前記ベースを移動させる移動部とを備えるロボットを、制御装置により制御するロボットの制御方法において、位置センサーを用いて前記対象物の位置を取得することと、前記対象物の位置に基づいて前記エンドエフェクターの目標位置を算出することと、前記搬送装置による前記対象物の搬送量を取得することと、前記搬送量に対応するように前記目標位置を補正するトラッキング補正量を算出することと、前記目標位置に基づいて前記マニピュレーターを駆動し、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動することにより、前記エンドエフェクターを前記対象物に追従させることと、力センサーを用いて前記対象物から前記エンドエフェクターに作用する作用力を取得することと、前記作用力を所定の目標力にするように前記目標位置を補正する力制御補正量を算出することと、前記力制御補正量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記対象物からの前記作用力を予め決定された目標力に制御することと、を含むロボットの制御方法である。

40

【0006】

50

第2態様は、第1態様において、前記目標位置が前記ベースの位置を基準とする第1範囲から外れる場合において、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動することである。

【0007】

第3態様は、第1又は第2態様において、前記トラッキング補正量が第1閾値以上となる場合において、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動することである。

【0008】

第4態様は、搬送装置により所定の経路に沿って搬送される対象物に対して、エンドエフェクターを用いて作業を行うロボットであって、前記エンドエフェクターを支持するマニピュレーターと、前記マニピュレーターを支持するベースと、前記ベースを移動させる移動部とを備えるロボットを、制御装置により制御するロボットの制御方法において、位置センサーを用いて前記対象物の位置を取得することと、前記対象物の位置に基づいて前記エンドエフェクターの目標位置を算出することと、前記搬送装置による前記対象物の搬送量を取得することと、前記搬送量に対応するように前記目標位置を補正するトラッキング補正量を算出することと、前記移動部を前記経路に沿って駆動させながら、前記目標位置、前記トラッキング補正量及び前記移動部の移動量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記エンドエフェクターを前記対象物に追従させることと、力センサーを用いて前記対象物から前記エンドエフェクターに作用する作用力を取得することと、前記作用力を所定の目標力にするように前記目標位置を補正する力制御補正量を算出することと、前記力制御補正量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記対象物からの前記作用力を予め決定された目標力に制御することと、を含むロボットの制御方法である。

10

20

【0009】

第5態様は、第1乃至第4態様の何れかにおいて、前記力制御補正量が、前記目標位置を前記経路に沿う経路方向に補正する場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動し、前記力制御補正量の前記経路方向の成分以外に基づいて前記マニピュレーターを駆動することである。

【0010】

第6態様は、第5態様において、前記目標位置が前記ベースの位置を基準とする第2範囲から外れる場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動することである。

30

【0011】

第7態様は、第5又は第6態様において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分が第2閾値以上となる場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動することである。

【0012】

第8態様は、第1乃至第7態様の何れかにおいて、前記ベースの位置を基準とする前記エンドエフェクターの可動範囲に基づいて、前記作業の開始時における前記ベースの初期位置を、前記移動部の移動量が削減されるように決定することである。

【図面の簡単な説明】

40

【0013】

【図1】ロボットシステムの概略構成を説明する斜視図。

【図2】複数のプロセッサを有する制御装置の一例を説明するブロック図。

【図3】制御装置を説明する機能ブロック図。

【図4】教示装置のGUIの一例を説明する図。

【図5】コマンドの一例を説明する表。

【図6】ねじ穴の位置とTCPとの関係を説明する図。

【図7】作業中におけるロボットの移動を説明する模式的な平面図。

【図8】目標位置オフセットを説明する模式的な平面図。

【図9】ロボットの制御方法を説明するフローチャート。

50

【図10】トラッキング補正量の決定方法を説明するフローチャート。

【図11】力制御補正量の決定方法を説明するフローチャート。

【図12】トラッキング補正量の決定方法の変形例を説明するフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を参照しながら実施形態を説明する。図面において、同一又は類似の要素には同一又は類似の符号がそれぞれ付され、重複する説明は省略される。

【0015】

図1に示すように、本実施形態に係るロボットシステム100は、ロボット1と、エンドエフェクター20と、位置センサー30と、制御装置40と、教示装置45と、搬送装置50とを備える。ロボット1は、搬送装置50により所定の経路51に沿って搬送される対象物Wに対して、エンドエフェクター20を用いて作業を行う。ロボット1は、エンドエフェクター20を支持するマニピュレーター10と、マニピュレーター10を支持するベース11と、ベース11を移動させる移動部12とを備える。ロボット1として、例えば、教示装置45の教示により各種作業が可能な汎用ロボットが採用され得る。

10

【0016】

マニピュレーター10は、例えば複数の相互連結されたリンク及び関節を有することにより複数自由度で運動するロボティックアームである。図1に示す例において、マニピュレーター10は、6つの関節J1~J6を備える6軸アームである。関節J2, J3, J5は曲げ関節であり、関節J1, J4, J6はねじり関節である。エンドエフェクター20は、例えば、スクリュードライバー、グリッパー、グラインダー等のツールである。エンドエフェクター20は、ワークである対象物Wに対して、例えば、ねじ締め、把持、加工等の種々の作業を行う。エンドエフェクター20は、マニピュレーター10の先端部において、メカニカルインターフェイスを介して関節J6に装着される。マニピュレーター10は、制御装置40に駆動されることにより、エンドエフェクター20の位置及び姿勢を決定する。

20

【0017】

マニピュレーター10は、先端近傍の所定位置において、エンドエフェクター20の位置の基準であるツールセンターポイント(TCP)を設定される。TCPは任意に設定可能であり、例えば、関節J6の回転軸上に設定される。エンドエフェクター20としてスクリュードライバーが使用される場合には、スクリュードライバーの先端をTCPとして設定可能である。なお、本実施形態において、マニピュレーター10は、6軸の自由度を有するが、例示である。マニピュレーター10は、対象物Wに対する作業に必要なTCPの移動を実現可能なロボットであれば、どのような関節機構を用いてもよい。ベース11は、マニピュレーター10の第1リンク、即ち、最もベース11に近い1つのリンクを位置決めする。

30

【0018】

例えば、マニピュレーター10は、エンドエフェクター20から対象物Wに作用する作用力を取得するための力センサーPを備える。力センサーPは、固有の3次元直交座標系であるセンサー座標系において、対象物Wに作用する3軸の力及び3軸周りのトルクを計測する力覚センサーである。図1に示す例において、力センサーPは関節J6に取り付けられるが、他の関節J1~J5のうち少なくともいずれか1つが力センサーを備えてもよい。

40

【0019】

移動部12は、例えば、一对の動輪121と、1つの従輪122とを備える。移動部12は、例えば、制御装置40の制御に応じて駆動される無人搬送車(AGV)である。移動部12は、制御装置40の制御に応じて、互いに同一の方向及び速度で一对の動輪121を回転させることにより、ベース11を一方向に移動させる。移動部12は、一对の動輪121の回転方向及び回転速度のバランスを制御装置40に制御されることにより、ベース11のx-y平面における配向、即ちz軸周りの旋回角を変更することができる。移

50

動部 12 は、搬送装置 50 により搬送される対象物 W に対する作業中において、経路 51 に沿う経路方向 52 に駆動されることにより、ベース 11 を経路方向 52 に移動させる。経路方向 52 は、対象物 W が搬送される第 1 方向の成分を有し、第 1 方向と反対の第 2 方向の成分を有しない方向である。即ち、経路方向 52 は、第 1 方向に平行とは限らない。移動部 12 は、制御装置 40 の制御に応じて、少なくとも経路 51 に沿って移動する装置であれば、どのような装置であってもよい。

【0020】

図 1 に示す x y z 座標系は、ロボット 1 が配置される床面に対して設定されるワールド座標系である。ワールド座標系は、水平面に沿って互いに直交する x 軸及び y 軸と、鉛直上向きを正方向とする z 軸とによって規定される 3 次元の直交座標系である。 z 軸における負の方向は概ね重力方向と一致する。 x 軸周りの回転角を R_x で表し、 y 軸周りの回転角を R_y で表し、 z 軸周りの回転角を R_z で表す。 x 、 y 、 z 軸の座標により 3 次元空間における任意の位置を表現でき、回転角 R_x 、 R_y 、 R_z により 3 次元空間における任意の姿勢を表現できる。エンドエフェクター 20、マニピュレーター 10、ベース 11 等の位置及び姿勢は、ワールド座標系において定義され得る。以下において「位置」は、ポーズ、即ち位置及び姿勢を意味し得る。同様に、以下において「力」は、負荷、即ち力及びトルクを意味し得る。制御装置 40 は、マニピュレーター 10 を駆動することによってワールド座標系における TCP の位置を制御する。

10

【0021】

搬送装置 50 は、例えば、経路 51 として機能するベルトと、ベルトを送る搬送ローラー 50a、50b とを備えるベルトコンベヤーである。搬送装置 50 は、ベルトコンベヤーに限るものでなく、対象物 W を所定の経路に沿って搬送する装置であればどのような装置であってもよい。対象物 W としては、例えばプリンターや自動車のような工業製品、又はこれらの部品等、エンドエフェクター 20 を用いたロボット 1 による作業が可能なあらゆる物体が挙げられる。

20

【0022】

図 1 に示す例において、搬送装置 50 のベルトの表面をなす搬送面は、ワールド座標系における x - y 平面に対して平行であり、 y 軸の正方向は、経路方向 52 に一致する。搬送装置 50 は、搬送ローラー 50a、50b によって搬送面を経路方向 52 に移動させることにより、対象物 W を経路方向 52 に搬送する。例えば、搬送ローラー 50a は、回転量に応じた信号を制御装置 40 に出力する、図示しない搬送量センサーを備える。搬送装置 50 の搬送面は、搬送ローラー 50a の回転に対して搬送面が滑らずに移動するため、搬送量センサーの出力は、搬送装置 50 により対象物 W の搬送量を示す。対象物 W の搬送量は、搬送される対象物 W の単位時間当たりの移動量を意味する。

30

【0023】

位置センサー 30 は、搬送装置 50 の上方から対象物 W の位置を検出する。位置センサー 30 は、例えば、対象物 W の画像を制御装置 40 に出力するカメラである。その他、位置センサー 30 としてレーザーレンジスキャナー等を採用してもよい。位置センサー 30 は、例えば、搬送装置 50 の上方において図示しない支持部材によって支持される。位置センサー 30 は、図 1 において破線で示すように、経路 51 に沿って搬送される対象物 W を含む画角を有する。位置センサー 30 から出力される画像における位置は、制御装置 40 によって、搬送装置 50 の経路 51 における位置と関連付けられる。よって、位置センサー 30 の画角内に対象物 W が存在する場合、位置センサー 30 の画像における対象物 W の位置に基づいて、 x - y 平面における対象物 W の座標を特定することが可能である。

40

【0024】

図 2 に示すように、制御装置 40 は、コンピューターシステムを構成するプロセッサー 40a 及びメモリー 40b を備える。制御装置 40 は、例えば汎用のコンピューターによって構成可能である。プロセッサー 40a は、制御プログラムに応じた指令を実行することによりロボット 1 を制御する。プロセッサー 40a は、例えば中央演算処理装置 (CPU) 等の処理回路である。メモリー 40b は、ロボット 1 の制御に必要なプログラムや各

50

種データ等を記憶する、コンピューターにより読み取り可能な記憶媒体である。メモリ 40b は、例えばランダムアクセスメモリ（RAM）、リードオンリーメモリ（ROM）等である。制御装置 40 の構成要素の一部又は全部は、ロボット 1 の筐体の内側に配置されてもよい。

【0025】

図 1 に示すように、制御装置 40 は、通信リンクを介してロボット 1 及び教示装置 45 とそれぞれ通信する。通信リンクは、有線、無線のいずれであってもよく、有線及び無線の組み合わせであってもよい。制御装置 40 は、エンドエフェクター 20、位置センサー 30 及び搬送装置 50 の駆動を制御し得る。例えば、エンドエフェクター 20 がスクリュードライバーである場合、制御装置 40 は、エンドエフェクター 20 を駆動することによりねじ締めを行うことができる。制御装置 40 は、搬送ローラー 50a、50b を駆動することにより、対象物 W を搬送することができる。また、制御装置 40 は、搬送装置 50 が備える搬送量センサーの出力に基づいて、搬送装置 50 に搬送される対象物 W の搬送量を取得する。

10

【0026】

制御装置 40 は、複数のプロセッサにより構成されてもよい。即ち、図 2 に示す例において、制御装置 40 は、ネットワーク 450 を介して制御装置 40 に接続されたパーソナルコンピューター（PC）400、410 と、サービスサーバーであるクラウド 500 と共に、ロボット 1 を制御する制御装置を構成可能である。PC 400 は、プロセッサ 400a 及びメモリ 400b を備え、PC 410 は、プロセッサ 410a 及びメモリ 410b を備える。クラウド 500 は、プロセッサ 500a 及びメモリ 500b を備える。制御装置 40 は、プロセッサ 400a、410a、500a 及びメモリ 400b、410b、500b 等の他の装置のハードウェア資源を利用して、ロボット 1 を制御する制御装置を実現してもよい。

20

【0027】

教示装置 45 は、制御装置 40 を介してロボット 1 にプログラムを教示するコンピューターである。教示装置 45 は、教示ペンダント等の専用のコンピューターであってもよく、ロボット 1 を教示するためのプログラムがインストールされた汎用のコンピューターであってもよい。教示装置 45 は、制御装置 40 と別個の筐体を備えてもよく、制御装置 40 と筐体を共有してもよい。

30

【0028】

本実施形態において、ロボットシステム 100 により、対象物 W に形成されたねじ穴 H に、スクリュードライバーであるエンドエフェクター 20 によってねじを挿入するねじ締めが作業として行われる場合を適宜例として説明する。

【0029】

図 3 に示すように、マニピュレーター 10 の関節 J1～J6 は、アクチュエーターとしてのモーター M1～M6 と、角度センサーとしてのエンコーダー E1～E6 とをそれぞれ備える。モーター M1～M6 は、制御装置 40 の制御によりそれぞれ駆動され、関節 J1～J6 をそれぞれ回転させる。エンコーダー E1～E6 は、モーター M1～M6 の回転角度を検出し、制御装置 40 に出力する。

40

【0030】

移動部 12 の一对の動輪 121 は、2つの動輪 121a、121b からなる。動輪 121a、121b は、アクチュエーターとしてのモーター M7、M8 と、角度センサーとしてのエンコーダー E7、E8 とをそれぞれ備える。モーター M7、M8 は、制御装置 40 の制御によりそれぞれ駆動され、動輪 121a、121b をそれぞれ回転させる。エンコーダー E7、E8 は、モーター M7、M8 の回転角度を検出し、制御装置 40 に出力する。

【0031】

図 3 に示すように、制御装置 40 は、位置制御部 41 と、力制御部 42 と、指令統合部 43 とを論理構造として有する。位置制御部 41、力制御部 42 及び指令統合部 43 は、

50

制御装置 40 が予めインストールされた制御プログラムを実行することにより実現される。位置制御部 41、力制御部 42 及び指令統各部 43 は、それぞれ複数の処理回路により構成されてもよく、互いに一体の処理回路により構成されてもよい。

【0032】

制御装置 40 は、予め記憶する対応関係に基づいて、モーター M1 ~ M8 の各回転角の組み合わせと、ワールド座標系における TCP の位置との間を双方向に変換する第 1 変換部 U1 を有する。例えば、第 1 変換部 U1 は、ワールド座標系における位置 S を、モーター M1 ~ M8 の各回転角 D_a に変換する。位置 S は、ワールド座標系を規定する 6 軸 (x, y, z, R_x, R_y, R_z) における位置及び姿勢を表し得る。制御装置 40 がモーター M1 ~ M8 に出力する制御信号は、例えばパルス幅変調 (PWM) された信号である。

10

【0033】

制御装置 40 は、ワールド座標系における TCP の位置 S 毎のセンサー座標系の姿勢を示す対応関係に基づいて、力センサー P により計測された力をワールド座標系における力 f_{sp} に変換する第 2 変換部 U2 を有する。第 2 変換部 U2 は、力 f_{sp} の力成分と、エンドエフェクター 20 及び対象物 W の接触点から力センサー P までの距離とから、力 f_{sp} のトルク成分を算出する。

【0034】

位置制御部 41 は、位置検出部 41a と、最終位置算出部 41b と、最終目標位置算出部 41c と、目標位置算出部 41d と、トラッキング補正量算出部 41e とを論理構造として有する。位置制御部 41 は、搬送される対象物 W にエンドエフェクター 20 を追従させるための機能を有する。搬送される対象物 W の位置は、位置制御部 41 において種々の手法で取得され得る。以下、イメージセンサーである位置センサー 30 から取得される画像等により、対象物 W の位置を検出する方法について例示的に説明する。

20

【0035】

位置検出部 41a は、位置センサー 30 を用いて対象物 W の位置を取得する。位置検出部 41a は、位置センサー 30 から入力される画像における対象物 W の位置から、ワールド座標系における対象物 W の位置を検出する。位置検出部 41a は、制御装置 40 に記憶される、搬送装置 50 の経路 51 の高さや対象物 W の形状を示す情報に基づいて、対象物 W のねじ穴 H の x, y 座標を検出する。位置検出部 41a は、テンプレートマッチングや教示装置 45 の教示により対象物 W の位置を検出してもよい。

30

【0036】

最終位置算出部 41b は、位置検出部 41a により検出された対象物 W の位置と、教示装置 45 を用いて作成されたコマンド C とに基づいて、作業完了時における TCP の最終位置とを算出する。例えば、最終位置算出部 41b は、ねじ締めのために、ねじ穴 H から z 軸の正方向に所定距離オフセットされた第 1 位置にねじの先端を移動させる作業の完了時における TCP の最終位置を算出する。また、最終位置算出部 41b は、第 1 位置から z 軸の負方向にねじが進む距離だけシフトされた位置にねじを移動させるねじ締めの完了時における TCP の最終位置を算出する。最終位置は、対象物 W を基準とする位置である。但し、初期位置及び最終位置がワールド座標系において定義されてもよい。

40

【0037】

最終目標位置算出部 41c は、最終位置算出部 41b により算出された TCP の最終位置と、目標位置オフセット S_{t_0} とから、最終目標位置 S_t を算出する。詳細には、最終目標位置算出部 41c は、最終位置に TCP が位置するときの、移動部 12 の位置を示す第 1 最終目標位置と、マニピュレーター 10 の位置を示す第 2 最終目標位置とを、最終目標位置 S_t として算出する。最終目標位置 S_t は、ワールド座標系において定義され得る。目標位置オフセット S_{t_0} は、例えば前回に行われた同一の作業により算出される、移動部 12 の位置をオフセットするための量である。

【0038】

目標位置算出部 41d は、最終目標位置 S_t に TCP を移動させるための制御指令となる、微小時間毎の目標位置 S_{t_c} を算出する。即ち、目標位置算出部 41d は、位置検出部

50

4 1 a により対象物 W の位置が検出された検出時刻から、TCP が最終目標位置 S_t に到達する到達時刻までの移動時間における微小時間毎の TCP の目標位置 S_{tc} を算出する。詳細には、目標位置算出部 4 1 d は、微小時間毎の移動部 1 2 の位置を示す第 1 目標位置と、微小時間毎のマニピュレータ 1 0 の位置を示す第 2 目標位置とを、目標位置 S_{tc} として算出する。目標位置算出部 4 1 d は、移動時間における微小時間毎の目標位置 S_{tc} を、移動時間における TCP の軌道として算出する。このように、最終位置算出部 4 1 b、最終目標位置算出部 4 1 c 及び目標位置算出部 4 1 d は、位置検出部 4 1 a により検出された対象物 W の位置に基づいて、エンドエフェクタ 2 0 の目標位置 S_{tc} を算出する。

【0039】

例えば、微小時間を T 、検出時刻を T 、到達時刻を T_f とすると、目標位置算出部 4 1 d は、 $T, T + T, T + 2T, \dots, T_f - T, T_f$ の各時刻における TCP の目標位置 S_{tc} を算出する。目標位置算出部 4 1 d は、微小時間毎の各時刻において、次の時刻における目標位置 S_{tc} を指令統合部 4 3 に出力する。目標位置 S_{tc} は、対象物 W に相対的に算出される位置であるため、TCP の位置制御における目標値とするには、搬送装置 5 0 の搬送量に基づいて補正される必要がある。

10

【0040】

トラッキング補正量算出部 4 1 e は、搬送装置 5 0 による対象物 W の搬送量に基づいて、目標位置 S_{tc} を補正するトラッキング補正量 S_{tm} を算出する。詳細には、トラッキング補正量算出部 4 1 e は、搬送装置 5 0 の搬送量センサーの出力に基づいて、微小時間毎の対象物 W の搬送量を算出することにより、微小時間毎のトラッキング補正量 S_{tm} を算出する。このため、トラッキング補正量算出部 4 1 e は、搬送装置 5 0 の経路 5 1 を示す情報を予め記憶する。トラッキング補正量 S_{tm} は、搬送量に対応してエンドエフェクタ 2 0 が対象物 W に追従するように、目標位置 S_{tc} を補正する量である。トラッキング補正量算出部 4 1 e は、目標位置 S_{tc} に同期するようにトラッキング補正量 S_{tm} を算出し、指令統合部 4 3 に出力する。

20

【0041】

力制御部 4 2 は、目標力算出部 4 2 a と、力検出部 4 2 b と、力制御補正量算出部 4 2 c と、トラッキングオフセット算出部 4 2 d とを論理構造として有する。力制御部 4 2 は、エンドエフェクタ 2 0 から対象物 W に作用する作用力 f_s を所定の目標力 f_{st} に制御するための機能を有する。具体的には、力制御部 4 2 は、作用力 f_s を目標力 f_{st} にするように目標位置 S_{tc} を補正する力制御補正量 S を算出し、指令統合部 4 3 に出力する。

30

【0042】

目標力算出部 4 2 a は、教示装置 4 5 の教示に応じて制御装置 4 0 が記憶したコマンド C に基づいて、目標力 f_{st} を算出する。コマンド C は、ロボット 1 が行う作業において対象物 W に作用するべき目標力 f_{st} を示す。例えば、目標力算出部 4 2 a は、スクリュードライバの先端に吸着されたねじを、対象物 W に既定の力で押しつける場合、この既定の力として目標力 f_{st} を算出する。図 1 に示すねじ締めの場合、目標力算出部 4 2 a は、z 軸の負方向の力を所定値、x - y 平面に沿う力を 0 にする做い制御を実行するための目標力 f_{st} を算出する。目標力 f_{st} は、対象物 W に作用される力を所望の値に制御する値であればよい。

40

【0043】

力検出部 4 2 b は、力センサー P を用いて、対象物 W からエンドエフェクタ 2 0 に作用する作用力 f_s を取得する。詳細には、力検出部 4 2 b は、第 2 変換部 U 2 を介して力センサー P から取得される力 f_{sp} に対して、重力に起因する成分を除去する重力補償を施すことにより、重力の影響を有しない、エンドエフェクタ 2 0 に作用する作用力 f_s を検出する。

【0044】

力制御補正量算出部 4 2 c は、目標力 f_{st} 及び作用力 f_s から、作用力 f_s を目標力 f_{st} にするように目標位置 S_{tc} を補正する力制御補正量 S を算出する。力制御補正量 S は、TCP が機械的インピーダンスを受けた場合において、目標力 f_{st} と作用力 f_s との力

50

偏差 $f_{S(t)}$ を解消するために、TCP が位置 S から移動すべき量を意味する。力制御補正量算出部 42c は、例えば、仮想の機械的インピーダンスをモーター $M1 \sim M8$ によって実現する能動インピーダンス制御により力制御補正量 S を算出する。力制御部 42 は、エンドエフェクター 20 が対象物 W に接触する状態の工程でインピーダンス制御を適用する。例えば、力制御補正量算出部 42c は、式 (1) に示すようなインピーダンス制御の運動方程式に、目標力 f_{S_t} 及び作用力 f_S を代入することにより力制御補正量 S を算出する。

【数 1】

$$m\Delta\ddot{S}(t) + d\Delta\dot{S}(t) + k\Delta S(s) = \Delta f_S(t) \quad \dots (1)$$

10

【0045】

式 (1) の左辺は、TCP の位置 S の 2 階微分値に仮想慣性パラメータ m を乗算した第 1 項と、TCP の位置 S の微分値に仮想粘性パラメータ d を乗算した第 2 項と、TCP の位置 S に仮想弾性パラメータ k を乗算した第 3 項との和である。式 (1) の右辺は、目標力 f_{S_t} から作用力 f_S を減算した力偏差 $f_S(t)$ である。式 (1) における微分は、時間微分を意味する。ロボット 1 が行う作業の工程において、目標力 f_{S_t} として一定値が設定される場合もあるし、目標力 f_{S_t} として時間の関数が設定される場合もある。仮想慣性パラメータ m は、TCP が仮想的に有する質量を意味する。仮想粘性パラメータ d は、TCP が仮想的に受ける粘性抵抗を意味する。仮想弾性パラメータ k は、TCP が仮想的に受ける弾性力のバネ定数を意味する。

20

【0046】

トラッキングオフセット算出部 42d は、力制御補正量算出部 42c により算出された力制御補正量 S から、トラッキング補正量 S_{tm} を補正するトラッキングオフセット S_r を算出する。トラッキングオフセット S_r は、例えば、力制御補正量 S の履歴に応じて算出される、複数の力制御補正量 S を代表する統計値である。トラッキングオフセット算出部 42d は、各時刻において算出された力制御補正量 S を蓄積し、複数の力制御補正量 S の、平均値や中央値等の統計値を、トラッキングオフセット S_r として算出する。或いは、トラッキングオフセット算出部 42d は、力制御補正量 S の分散や標準偏差が所定の範囲内に収束した場合に、力制御補正量 S の分布のピークに相当する最頻値をトラッキングオフセット S_r として算出してよい。

30

【0047】

ロボットシステム 100 における力制御では、制御装置 40 は、力制御補正量 S に基づいて少なくともマニピュレータ 10 を駆動することにより作用力 f_S を目標力 f_{S_t} に制御する。同一の対象物 W に対して同一の作業が複数回実行される場合、力制御補正量 S は再現され得る。エンドエフェクター 20 を対象物 W に追従させる位置制御を行うためのトラッキング補正量 S_{tm} に、力制御補正量 S に応じたトラッキングオフセット S_r を加えれば、力制御において必要な補正を位置制御によって実現することが可能になる。よって、同一の作業における制御が簡易になり、作業のサイクルタイムを短くすることができる。

40

【0048】

指令統合部 43 は、トラッキング補正量加算部 43a と、力制御補正量加算部 43b と、フィードバック制御部 43c とを論理構造として有する。指令統合部 43 は、位置制御部 41 により算出された制御指令である目標位置 S_{tc} 及びトラッキング補正量 S_{tm} と、力制御部 42 により算出された制御指令である力制御補正量 S とを統合する。指令統合部 43 は、統合した制御指令に応じた目標値を達成するように、ロボット 1 に操作量を出力する。

【0049】

トラッキング補正量加算部 43a は、目標位置 S_{tc} にトラッキング補正量 S_{tm} を加算する。即ち、トラッキング補正量加算部 43a は、目標位置 S_{tc} をトラッキング補正量 S_{tm}

50

で補正する。トラッキング補正量加算部 4 3 a は、トラッキング補正量 S_{tm} で補正された目標位置 S_{tc} を力制御補正量加算部 4 3 b に出力する。詳細には、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、トラッキング補正量 S_{tm} から、移動部 1 2 に適用される第 1 トラッキング補正量と、マニピュレータ 1 0 に適用される第 2 トラッキング補正量とを算出する。トラッキング補正量加算部 4 3 a は、第 1 トラッキング補正量で補正された第 1 目標位置と、第 2 トラッキング補正量で補正された第 2 目標位置とを力制御補正量加算部 4 3 b に出力する。

【 0 0 5 0 】

トラッキング補正量加算部 4 3 a は、例えば、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 1 範囲から外れる場合において、トラッキング補正量 S_{tm} を第 1 トラッキング補正量とし、第 2 トラッキング補正量を 0 とする。第 1 範囲は、例えば、ベース 1 1 に対して設定されるベース座標系において規定される。第 1 範囲は、例えば、エンドエフェクタ 2 0 の可動範囲、即ち、マニピュレータ 1 0 の駆動により変化する TCP の位置が取り得る範囲である。トラッキング補正量加算部 4 3 a は、トラッキング補正量 S_{tm} が第 1 閾値以上となる場合において、第 1 トラッキング補正量をトラッキング補正量 S_{tm} としてもよい。第 1 閾値は、例えば、第 1 閾値を超えるトラッキング補正量 S_{tm} で補正された目標位置 S_{tc} が第 1 範囲から外れることが見込まれる値である。第 1 トラッキング補正量がトラッキング補正量 S_{tm} とされることにより、制御装置 4 0 は、目標位置 S_{tc} に基づいてマニピュレータ 1 0 を駆動し、トラッキング補正量 S_{tm} に基づいて移動部 1 2 を駆動する。これにより制御装置 4 0 は、エンドエフェクタ 2 0 を搬送装置 5 0 により搬送される対象物 W に追従させる。

10

20

【 0 0 5 1 】

力制御補正量加算部 4 3 b は、トラッキング補正量 S_{tm} で補正された目標位置 S_{tc} に力制御補正量 S を加算する。即ち、力制御補正量加算部 4 3 b は、トラッキング補正量 S_{tm} で補正された目標位置 S_{tc} を、力制御補正量 S で更に補正する。詳細には、力制御補正量加算部 4 3 b は、力制御補正量 S から、移動部 1 2 に適用される第 1 力制御補正量と、マニピュレータ 1 0 に適用される第 2 力制御補正量とを算出する。力制御補正量加算部 4 3 b は、第 1 トラッキング補正量で補正された第 1 目標位置と、第 1 力制御補正量とから、第 1 指令位置を算出する。同様に、力制御補正量加算部 4 3 b は、第 2 トラッキング補正量で補正された第 2 目標位置と、第 2 力制御補正量とから、第 2 指令位置を算出する。このように、力制御補正量加算部 4 3 b は、移動部 1 2 のモーター M 7 , M 8 に適用される第 1 指令位置と、マニピュレータ 1 0 のモーター M 1 ~ M 6 に適用される第 2 指令位置とからなる指令位置 S_{tt} を算出する。指令位置 S_{tt} は、ワールド座標系における最終的な TCP の目標値を意味する。

30

【 0 0 5 2 】

力制御補正量加算部 4 3 b は、例えば、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 2 範囲から外れる場合において、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分を第 1 力制御補正量とし、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分以外を第 2 力制御補正量とする。第 2 範囲は、例えば、第 1 範囲と同一の範囲である。力制御補正量加算部 4 3 b は、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分が第 2 閾値以上となる場合において、第 1 力制御補正量を力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分としてもよい。このように、制御装置 4 0 は、力制御補正量 S が目標位置 S_{tc} を経路方向 5 2 に補正する場合において、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分に基づいて移動部 1 2 を駆動し、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分以外に基づいてマニピュレータ 1 0 を駆動し得る。

40

【 0 0 5 3 】

第 1 変換部 U 1 は、ワールド座標系における指令位置 S_{tt} を、モーター M 1 ~ M 8 の各回転角の目標値である目標角 D_t に変換する。指令位置 S_{tt} のうち、第 1 指令位置は、移動部 1 2 のモーター M 7 , M 8 に適用され、第 2 指令位置は、マニピュレータ 1 0 のモーター M 1 ~ M 6 に適用される。

【 0 0 5 4 】

50

フィードバック制御部 43c は、モーター M1 ~ M8 の実際の回転角 D_a を制御量として、目標角 D_t に制御するフィードバック制御を行う。フィードバック制御部 43c は、先ず、目標角 D_t から回転角 D_a を減算することにより偏差 D_e を算出する。フィードバック制御部 43c は、エンコーダ E1 ~ E8 の出力から回転角 D_a を取得する。フィードバック制御部 43c は、偏差 D_e に位置制御ゲイン K_p を乗算した値と、回転角 D_a を時間微分した値との差である駆動速度偏差を算出する。フィードバック制御部 43c は、駆動速度偏差に速度制御ゲイン K_v を乗算することにより操作量 D_c を算出する。位置制御ゲイン K_p 及び速度制御ゲイン K_v は、比例成分だけでなく微分成分や積分成分にかかる制御ゲインを含んでもよい。操作量 D_c は、モーター M1 ~ M8 のそれぞれについて特定される。

10

【0055】

制御装置 40 は、位置制御モードと、力制御モードと、位置・力制御モードとのいずれかの制御モード、又は、これらを順次変更する制御モードによってロボット 1 を制御する。制御装置 40 は、力センサー P、エンコーダ E1 ~ E8 等の出力に基づいて、上述の制御モードを自律的に切り替えてもよく、コマンドに応じて切り替えてもよい。図 1 に示す例において、ねじ締め作業を行う場合、x 軸成分及び y 軸成分の目標力を 0 とする做い制御を行うので、力制御モードが使用される。z 軸成分については、0 でない目標力でねじを介してエンドエフェクター 20 を対象物 W に対して押し付けるので、位置・力制御モードが使用される。この場合、Rx, Ry, Rz 成分については、位置制御モードが使用され得る。

20

【0056】

力制御モードは、運動方程式に基づいて目標力 f_{st} から導出される回転角でモーター M1 ~ M8 を制御するモードである。力制御モードでは、各時刻の目標位置 S_{tc} が作業中に経時的に変化しない場合に、目標力 f_{st} に関するフィードバック制御が実行される。例えば、ねじ締めや嵌合等の作業中において、目標位置 S_{tc} が作業完了位置になると、その後目標位置 S_{tc} が経時的に変化しないので、力制御モードで作業が実行される。制御装置 40 は、力制御モードにおいても、対象物 W の搬送量に応じたトラッキング補正量 S_{tm} を用いたフィードバック制御を行うことが可能である。

【0057】

位置制御モードは、目標位置 S_{tc} から線形演算で導出される回転角でモーター M1 ~ M8 を制御するモードである。位置制御モードでは、作業中に力を制御する必要が無い場合に、目標位置 S_{tc} に対するフィードバック制御が実行される。換言すれば、位置制御モードは、力制御による力制御補正量 S が常に 0 であるモードである。制御装置 40 は、位置制御モードにおいても、対象物 W の搬送量に応じたトラッキング補正量 S_{tm} を用いたフィードバック制御を行うことが可能である。

30

【0058】

位置・力制御モードは、目標位置 S_{tc} から線形演算で導出される回転角と、運動方程式に基づいて目標力 f_{st} から導出される回転角とを線型結合によって統合し、統合した回転角でモーター M1 ~ M8 を制御するモードである。位置・力制御モードでは、作業中において、各時刻の目標位置 S_{tc} が経時的に変化する場合、目標位置 S_{tc} と目標力 f_{st} に応じた力制御補正量 S に関するフィードバック制御が実行される。例えば、研磨作業やバリ取り等の作業において、対象物 W に対する作業位置が 1 点でなく、長さ又は面積を有することにより経時的に変化する場合、位置・力制御モードで作業が実行される。制御装置 40 は、位置・力制御モードにおいても、対象物 W の搬送量に応じたトラッキング補正量 S_{tm} を用いたフィードバック制御を行うことが可能である。

40

【0059】

以上の構成によれば、制御装置 40 は、移動部 12 及びマニピュレータ 10 を駆動することにより、搬送装置 50 により搬送される対象物 W にエンドエフェクター 20 を追従させる。これにより、制御装置 40 は、エンドエフェクター 20 を用いた対象物 W に対する作業をロボット 1 に行わせることができる。更に、ロボットシステム 100 によれば、

50

作業中において、移動部 12 は経路方向 52 にベース 11 を移動させるため、ロボット 1 による作業が可能な時間を長くすることができる。即ち、対象物 W に対する作業が完了する前に対象物 W がエンドエフェクター 20 の可動範囲から外れてしまう可能性を低減することができる。

【0060】

更に、制御装置 40 は、作業中にエンドエフェクター 20 と対象物 W との接触による相互作用が生じる場合において、作用力 f_s を目標力 f_{st} に制御する。ここで、目標力 f_{st} は対象物 W に対する作業に必要な力であるため、ロボット 1 は、対象物 W の搬送を妨げることなく作業を行うことができる。よって、ロボットシステム 100 は、搬送装置 50 を停止させたり、対象物 W を搬送装置 50 から退避させたりすることなく、対象物 W に対する作業を行うことが可能である。退避のための作業スペースも不要である。

10

【0061】

ロボットシステム 100 は、位置制御に加えて力制御も行うため、作業における各種誤差の影響を低減することができる。例えば、搬送装置 50 の搬送量センサーによって取得される対象物 W の搬送量には誤差が含まれ得る。また、搬送装置 50 の経路 51 の表面や位置センサー 30 の画像から特定される対象物 W の位置にも誤差が含まれ得る。更に、複数の対象物 W に対して作業が行われる場合において、個別の対象物 W には設計に対する誤差が含まれ得る。スクリュードライバー、研磨ツール等のエンドエフェクター 20 にも摩耗等による変形が生じ得る。従って、位置制御のみによってエンドエフェクター 20 を対象物 W に追従させる場合、複数の対象物 W のそれぞれに対して適正に作業を遂行し続けることは困難である。しかし、力制御によれば、TCP の位置と目標位置 S_{tc} との関係が理想的な関係からずれていたとしても、エンドエフェクター 20 が対象物 W に接触する間、作用力 f_s を目標力 f_{st} に制御することができる。このため、ロボットシステム 100 は、各種誤差の影響を低減しながら作業を行うことができる。

20

【0062】

なお利用者は、教示装置 45 によって各作業における最終目標位置 S_t 及び目標力 f_{st} を制御装置 40 に教示することができる。即ち、教示装置 45 において、教示に基づく上述のコマンドが生成される。教示装置 45 による教示は、種々の態様で行われてよい。例えば、利用者がロボット 1 を手で移動させることによって最終目標位置 S_t が指定されてもよく、教示装置 45 にてワールド座標系における最終目標位置 S_t が指定されてもよい。

30

【0063】

例えば図 4 に示すように、教示装置 45 の表示装置は、グラフィカルユーザーインターフェイス (GUI) として機能する画面 45a を表示する。利用者は、教示装置 45 の GUI を利用して、目標力 f_{st} 等のロボット 1 の制御に関する種々の変数を制御装置 40 に教示することができる。教示装置 45 は、目標力 f_{st} と共に仮想慣性パラメーター m 、仮想粘性パラメーター d 、仮想弾性パラメーター k を GUI によって教示可能であってもよい。教示装置 45 は、図示しない入力装置に対する利用者の操作に応じて、GUI を介してロボット 1 の制御に関する種々の変数値を入力され得る。入力装置として、各種スイッチ、キーボード、タッチパネルを含むポインティングデバイス等を採用可能である。GUI は、例えば、目標力 f_{st} による力制御を利用した作業の開始位置まで TCP が移動され、実際の対象物 W が配置された状態が表示される。図 4 に示す例において、画面 45a は、入力窓 $N1 \sim N3$ と、スライダバー Bh と、表示窓 $Q1, Q2$ と、グラフ $G1, G2$ と、ボタン $B1, B2$ とを含む。

40

【0064】

教示装置 45 は、入力窓 $N1, N2$ を用いて目標力 f_{st} の方向及び大きさを指定され得る。教示装置 45 は、入力窓 $N1$ において、ワールド座標系又はベース座標系を定義する軸の方向を指定される。ベース座標系において指定された方向は、教示装置 45 又は制御装置 40 において、ワールド座標系における方向に変換される。教示装置 45 は、入力窓 $N2$ において、目標力 f_{st} の大きさを指定される。

50

【 0 0 6 5 】

更に教示装置 4 5 は、入力窓 N 3 において仮想弾性パラメータ k を指定され得る。仮想弾性パラメータ k が指定されると、教示装置 4 5 は、仮想弾性パラメータ k に対応する記憶波形 V をグラフ G 2 にて表示する。グラフ G 2 の横軸は時刻を示し、グラフ G 2 の縦軸は作用力を示す。記憶波形 V は、作用力の時間応答波形であり、予め教示装置 4 5 の記憶媒体に仮想弾性パラメータ k ごとに記憶される。記憶波形 V は、入力窓 N 2 において指定された値に収束する。記憶波形 V は、一般的な条件において、入力窓 N 2 で指定された大きさの力が TCP に作用するようにマニピュレータ 1 0 を駆動する場合、力センサー P から取得される作用力の時間応答特性を示す。仮想弾性パラメータ k が異なると記憶波形 V の形状が大きく異なるため、仮想弾性パラメータ k 毎に記憶波形 V が記憶される。

10

【 0 0 6 6 】

教示装置 4 5 は、スライダバー B h 上におけるスライダー H 1 に対する利用者の操作に応じて、仮想粘性パラメータ d と仮想慣性パラメータ m を指定される。GUI において、仮想慣性パラメータ m と仮想粘性パラメータ d とを指定されるために、スライダバー B h 及びスライダー H 1 とが表示される。例えば、スライダー H 1 が右方向に位置するほど安定性が向上し、スライダー H 1 が左方向に位置するほど応答性が向上する。教示装置 4 5 は、スライダー H 1 の位置により仮想慣性パラメータ m と仮想粘性パラメータ d とを指定される。教示装置 4 5 は、例えば $m : d = 1 : 1000$ のように、仮想慣性パラメータ m と仮想粘性パラメータ d との比が一定となるように調整する。教示装置 4 5 は、仮想慣性パラメータ m 及び仮想粘性パラメータ d を表示窓 Q 1 及び表示窓 Q 2 に表示する。

20

【 0 0 6 7 】

教示装置 4 5 は、ボタン B 1 に対する利用者の操作に応じて、現在の設定値でマニピュレータ 1 0 を制御する。教示装置 4 5 は、制御装置 4 0 に対して、GUI にて設定された目標力 f_{st} とインピーダンス制御の各パラメータ m, d, k とに基づいてマニピュレータ 1 0 を駆動するように指令する。制御装置 4 0 は、力センサー P の出力に基づいて、TCP に作用する力の検出波形 V_L をグラフ G 1 に表示する。利用者は、記憶波形 V と検出波形 V_L とを比較することにより、目標力 f_{st} 及びインピーダンス制御のパラメータ m, d, k を調整することができる。

30

【 0 0 6 8 】

教示装置 4 5 は、最終目標位置 S_t と目標力 f_{st} とインピーダンス制御のパラメータ m, d, k を引数とするコマンドで記述された制御プログラムを生成し、制御装置 4 0 に出力する。制御プログラムが制御装置 4 0 にロードされると、制御装置 4 0 は、指定されたパラメータによるロボット 1 の制御を実行することができる。

【 0 0 6 9 】

制御プログラムは、予め定められたプログラム言語によって記述され、翻訳プログラムにより中間言語を経て機械語プログラムに変換される。プロセッサ 4 0 a は、クロックサイクルで機械語プログラムを実行する。翻訳プログラムは、教示装置 4 5 で実行されてもよく、制御装置 4 0 で実行されてもよい。制御プログラムのコマンドは、本体と引数とから構成される。コマンドは、移動部 1 2、マニピュレータ 1 0、エンドエフェクター 2 0 を動作させる動作制御コマンド、センサー等の出力を読み出すモニターコマンド、各種の変数を設定する設定コマンド等が含まれる。コマンドの実行は、コマンドが翻訳された機械語プログラムの実行を意味する。

40

【 0 0 7 0 】

図 5 に示すように、動作制御コマンドの種類は、力制御モードでロボット 1 を駆動することができる力制御対応コマンドと、力制御モードでロボット 1 を駆動することができない位置制御コマンドとを含む。力制御対応コマンドは、引数により力制御モードのオンを指定する。引数により力制御モードのオンが指定されない場合、力制御対応コマンドは位置制御モードで実行される。引数により力制御モードのオンが指定される場合、力制御対

50

応コマンドは力制御モードで実行される。力制御モードにおいて、力制御対応コマンドは実行可能であり、位置制御コマンドは実行不能である。力制御モードにおいて位置制御コマンドが実行されることがないように、翻訳プログラムによる構文エラーチェックが実行される。

【0071】

力制御対応コマンドでは、引数により力制御モードの継続を指定できる。力制御モードで実行される力制御対応コマンドにおいて、引数により力制御モードの継続が指定される場合、力制御モードは継続される。一方、引数により力制御モードの継続が指定されない場合、力制御対応コマンドの実行完了までに力制御モードは終了する。力制御対応コマンドが力制御モードで実行されるとしても、引数により継続が指定されない限り、力制御モードは力制御対応コマンドに応じて自律的に終了し、力制御対応コマンドの実行終了後に力制御モードが継続することはない。図5において「CP (Continuous Path)」は移動方向を指定できるコマンドの分類、「PTP (Pose to Pose)」は目標位置を指定できるコマンドの分類、「CP + PTP」は移動方向と目標位置を指定できるコマンドの分類である。

10

【0072】

制御装置40は、位置検出部41aにおいて対象物Wの位置が取得されると、教示装置45によるコマンドに基づいて、最終目標位置 S_t を取得する。即ち、図1に示す例において、制御装置40は、搬送装置50の経路51の高さや対象物Wにおけるねじ穴Hの位置を示す情報を予め記憶する。制御装置40は、最終目標位置 S_t に基づいて、微小時間

20

T 毎の目標位置 S_{tc} を算出する。

【0073】

例えば図6に示すように、位置検出部41aは、対象物Wの作業点であるねじ穴Hの、時刻 T における位置 H_0 を検出する。ねじ穴Hは、時刻 $T + T$ 、 $T + 2T$ 、 $T + 3T$ において、位置 H_1 、 H_2 、 H_3 に順次移動する。このとき、制御装置40は、時刻 T におけるTCPの位置 P_0 を検出する。以下、説明を簡単にするために、TCPの最終目標位置 S_t の $x - y$ 座標がねじ穴Hに一致する例について説明する。目標位置算出部41dは、時刻 T から、TCPがねじ穴Hに到達する時刻 T_f までの期間を微小時間 T 毎に分割し、各時刻における目標位置 S_{tc} を算出する。目標位置算出部41dは、時刻 $T + T$ 、 $T + 2T$ 、 $T + 3T$ 、……、 $T_f - T$ 、 T_f における各目標位置 S_{tc} として、位置 P_1 、 P_2 、 P_3 、……、 P_{f-1} 、 P_f を算出する。

30

【0074】

トラッキング補正量算出部41eは、搬送装置50の搬送量センサーの出力に基づいて、時刻 T から現在までの対象物Wの搬送量を算出する。トラッキング補正量算出部41eは、対象物Wの搬送量に基づいて、現在から微小時間 T の間に移動すると推定される対象物Wの移動量 L を、トラッキング補正量 S_{tm} として各時刻において算出する。例えば、現在の時刻が時刻 $T + 2T$ であれば、トラッキング補正量算出部41eは、時刻 $T + 3T$ における対象物Wの移動量 L をトラッキング補正量 S_{tm} として取得する。トラッキング補正量算出部41eは、時刻 T から時刻 $T + 2T$ までの対象物Wの移動量 $L_1 + L_2$ から、次の微小時間 T における移動量 L_3 を推定し、移動量 $L_1 + L_2$ に移動量 L_3 を加えることにより移動量 L を算出する。

40

【0075】

指令統合部43は、各時刻において、トラッキング補正量 S_{tm} により補正された目標位置 S_{tc} を、力制御補正量 S で更に補正することにより、指令位置 S_{tt} を算出する。指令統合部43は、指令位置 S_{tt} に基づく操作量 D_c をモーターM1～M8に出力することにより、移動部12及びマニピュレータ10を駆動する。但し、指令統合部43は、制御装置40に目標力 f_{st} が設定されていない場合、位置制御モードでロボット1を駆動する。

【0076】

上述のように、最終目標位置算出部41cは、最終位置算出部41bにより算出された

50

最終位置と、目標位置オフセット S_{t_0} とから、第 1 最終目標位置及び第 2 最終目標位置からなる最終目標位置 S_t を算出する。以下、図 7 及び図 8 を参照して、最終目標位置算出部 41c が目標位置オフセット S_{t_0} を算出する方法について説明する。

【0077】

図 7 に示すように、対象物 W が搬送範囲 A を搬送され、ロボット 1、即ちベース 11 が位置 c_0 から位置 c_1 までの距離 L_a を移動する間において、対象物 W に対する作業が完了したとする。範囲 F_0 、 F_1 は、それぞれロボット 1 が位置 c_0 、 c_1 に配置されるときベース 11 を基準とするエンドエフェクター 20 の可動範囲を示す。エンドエフェクター 20 の可動範囲は、上述の第 1 範囲及び第 2 範囲に対応し得る。制御装置 40 は、コマンドによる初期設定において、目標位置オフセット S_{t_0} を用いず第 1 指令位置を算出する。ロボット 1 は、作業開始時において、第 1 指令位置によって位置 c_0 に位置する。ロボット 1 は、位置 c_0 において、範囲 F_0 内の対象物 W に対して作業を開始し、位置 c_1 において、範囲 F_1 内の対象物 W に対して作業を完了する。制御装置 40 は、作業中の各時刻における第 1 指令位置及び第 2 指令位置により移動したエンドエフェクター 20 の各位置を、第 1 変換部 U1 を介して取得して記憶する。作業中に移動したエンドエフェクター 20 の各位置は、搬送範囲 A に対応する。

10

【0078】

図 8 に示すように、最終目標位置算出部 41c は、前回に同一の作業が行われたときの第 1 指令位置及び第 2 指令位置と、エンドエフェクター 20 の可動範囲に基づいて、ベース 11 が移動する距離の最小値である距離 L_b を算出する。即ち、最終目標位置算出部 41c は、搬送範囲 A と、ベース 11 の位置を基準とするエンドエフェクター 20 の可動範囲とに基づいて、作業中にベース 11 が移動する距離が最も短くなるような移動部 12 の経路を算出する。ロボット 1 は、位置 c_2 において、範囲 F_2 内の対象物 W に対して作業を開始し、位置 c_3 において、範囲 F_3 内の対象物 W に対して作業を完了する。算出された経路を移動部 12 が移動する間、対象物 W は、常にエンドエフェクター 20 の可動範囲内に位置する。図 8 に示す例において、距離 L_b は、作業開始時におけるロボット 1 の位置 c_2 から作業完了時におけるロボット 1 の位置 c_3 までの距離である。位置 c_2 は、位置 c_0 と比べて対象物 W の進行方向に位置する。対象物 W が搬送範囲 A に進入する作業開始時において、ロボット 1 は位置 c_2 に位置する。

20

【0079】

最終目標位置算出部 41c は、初期設定において算出された第 1 指令位置に対応する位置 c_0 と、距離 L_b の起点に対応する位置 c_2 との差を、目標位置オフセット S_{t_0} として算出する。最終目標位置算出部 41c は、最終位置算出部 41b により算出された最終位置と、前回算出した目標位置オフセット S_{t_0} とから、第 1 最終目標位置及び第 2 最終目標位置を算出する。即ち、最終目標位置算出部 41c は、目標位置オフセット S_{t_0} で補正された第 1 最終目標位置と、最終位置算出部 41b により算出された最終位置を、第 1 最終目標位置と共に実現する第 2 最終目標位置とを算出する。このように、最終目標位置算出部 41c は、ベース 11 の位置を基準とするエンドエフェクター 20 の可動範囲に基づいて、次の作業開始時におけるベース 11 の初期位置を、移動部 12 の移動量が削減されるように決定する。

30

40

【0080】

なお、本実施形態において移動部 12 は、2 つの動輪 121 を備える AGV である。このため、一方向に駆動されるためには、移動部 12 は、一方向に応じた配向に調整されている必要がある。このように、移動部 12 が移動に対して制限を有する場合、最終目標位置算出部 41c は、移動の制限を考慮して目標位置オフセット S_{t_0} を算出すればよい。

【0081】

以下、図 9 のフローチャートを参照して、本実施形態に係るロボット 1 の制御方法の一例として、制御装置 40 の動作を説明する。

【0082】

先ず、ステップ S101 において、位置検出部 41a は、位置センサー 30 から入力さ

50

れる画像における対象物Wの位置から、ワールド座標系における対象物Wの位置を検出する。

【0083】

ステップS102において、最終位置算出部41bは、ステップS101で検出された対象物Wの位置と、教示装置45を用いて作成されたコマンドCとから、ワールド座標系における作業完了時のTCPの最終位置を算出する。

【0084】

ステップS103において、最終目標位置算出部41cは、ステップS102で算出された目標位置から、移動部12の位置を示す第1最終目標位置及びマニピュレータ10の位置を示す第2最終目標位置からなる最終目標位置 S_t を算出する。既に同一の作業における目標位置オフセット S_{t_0} が算出されている場合、最終目標位置算出部41cは、目標位置及び目標位置オフセット S_{t_0} から最終目標位置 S_t を算出する。

10

【0085】

ステップS104において、目標位置算出部41dは、ステップS103で算出された第1最終目標位置及び第2最終目標位置から、移動部12の第1目標位置及びマニピュレータ10の第2目標位置からなる目標位置 S_{t_c} を算出する。即ち、目標位置算出部41dは、移動部12が第1最終目標位置に到達するまでの微小時間毎の第1目標位置と、マニピュレータ10が第2最終目標位置に到達するまでの微小時間毎の第2目標位置とを、各時刻において算出する。

20

【0086】

ステップS105において、トラッキング補正量算出部41eは、搬送装置50の搬送量センサーを用いて取得される対象物Wの搬送量からトラッキング補正量 S_{tm} を算出する。ここで、既に同一の作業におけるトラッキングオフセット S_r がトラッキングオフセット算出部42dにより算出されている場合、トラッキング補正量算出部41eは、対象物Wの搬送量と、トラッキングオフセット S_r とから、トラッキング補正量 S_{tm} を算出する。即ち、トラッキング補正量算出部41eは、トラッキングオフセット S_r により補正されたトラッキング補正量 S_{tm} を算出する。

【0087】

ステップS106において、トラッキング補正量加算部43aは、ステップS105で算出されたトラッキング補正量 S_{tm} から、移動部12に適用される第1トラッキング補正量と、マニピュレータ10に適用される第2トラッキング補正量とを算出する。

30

【0088】

ステップS107において、力検出部42bは、力センサーPの出力に基づいて、対象物Wからエンドエフェクタ20に作用する作用力 f_s を検出する。詳細には、力検出部42bは、第2変換部U2を介して力センサーPから取得される力 f_{sp} に対して、重力に起因する成分を除去する重力補償を施すことにより作用力 f_s を算出する。

【0089】

ステップS108において、力制御補正量算出部42cは、ステップS107で検出された作用力 f_s と、目標力算出部42aにより算出された目標力 f_{st} とから、作用力 f_s を目標力 f_{st} にするように目標位置 S_{t_c} を補正する力制御補正量 S を算出する。

40

【0090】

ステップS109において、力制御補正量加算部43bは、ステップS108で算出された力制御補正量 S から、移動部12に適用される第1力制御補正量と、マニピュレータ10に適用される第2力制御補正量とを算出する。

【0091】

ステップS110において、力制御補正量加算部43bは、ステップS104で算出された第1目標位置と、ステップS106で算出された第1トラッキング補正量と、ステップS109で算出された第1力制御補正量とから、第1指令位置を算出する。

【0092】

ステップS111において、力制御補正量加算部43bは、ステップS104で算出さ

50

れた第2目標位置と、ステップS106で算出された第2トラッキング補正量と、ステップS109で算出された第2力制御補正量とから、第2指令位置を算出する。

【0093】

ステップS112において、フィードバック制御部43cは、ステップS110で算出された第1指令位置と、ステップS111で算出された第2指令位置とに基づいて、移動部12及びマニピュレータ10を駆動する。

【0094】

ステップS113において、制御装置40は、対象物Wに対する作業が完了したか否かを判定する。例えば、制御装置40は、位置制御部41において検出される移動部12及びマニピュレータ10の位置から算出されるTCPの現在位置が、最終目標位置 S_t に対応するか否かにより、作業が完了したか否かを判定する。制御装置40は、作業が完了したと判定する場合、ステップS114に処理を進め、未だ作業が完了しないと判定する場合、ステップS104に処理を戻す。

10

【0095】

ステップS114において、トラッキングオフセット算出部42dは、各ステップS108で算出された力制御補正量 S から、力制御補正量 S の統計値であるトラッキングオフセット S_r を算出する。

【0096】

ステップS115において、最終目標位置算出部41cは、ステップS110で算出された第1指令位置と、ステップS111で算出された第2指令位置とに基づいて、目標位置オフセット S_{t_0} を算出する。詳細には、最終目標位置算出部41cは、作業中における各時刻において取得された第1指令位置及び第2指令位置と、予め記憶するエンドエフェクター20の可動範囲とに基づいて、目標位置オフセット S_{t_0} を算出する。最終目標位置算出部41cは、第1指令位置を補正する目標位置オフセット S_{t_0} を算出することにより、作業開始時におけるベース11の初期位置を決定する。

20

【0097】

次に、図10のフローチャートを参照して、図9のフローチャートにおけるステップS106の処理について詳細に説明する。

【0098】

先ず、ステップS21において、トラッキング補正量加算部43aは、移動部12に適用される第1トラッキング補正量を生じさせる条件設定がされているか否かを判定する。条件設定は、例えば、教示装置45の入力装置に対する利用者の操作に応じて予め決定される。トラッキング補正量加算部43aは、条件設定がされている場合、ステップS22に処理を進め、条件設定がされていない場合、ステップS24に処理を進める。

30

【0099】

ステップS22において、トラッキング補正量加算部43aは、ステップS105で算出されたトラッキング補正量 S_{tm} を、第1トラッキング補正量とする。ステップS23において、トラッキング補正量加算部43aは、第2トラッキング補正量を0とし、ステップS106の処理を終了する。

【0100】

ステップS24において、トラッキング補正量加算部43aは、ステップS104で算出された目標位置 S_{t_0} が、ベース11を基準とする第1範囲から外れるか否かを判定する。トラッキング補正量加算部43aは、目標位置 S_{t_0} が第1範囲から外れる場合、ステップS22に処理を進め、目標位置 S_{t_0} が第1範囲から外れない場合、ステップS25に処理を進める。

40

【0101】

ステップS25において、トラッキング補正量加算部43aは、ステップS105で算出されたトラッキング補正量 S_{tm} が、第1閾値以上であるか否かを判定する。トラッキング補正量加算部43aは、トラッキング補正量 S_{tm} が第1閾値以上である場合、ステップS22に処理を進め、トラッキング補正量 S_{tm} が第1閾値以上でない場合、ステップS2

50

6 に処理を進める。

【0102】

ステップ S 2 6 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、ステップ S 1 0 5 で算出されたトラッキング補正量 S_{tm} を、第 2 トラッキング補正量とする。ステップ S 2 7 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、第 1 トラッキング補正量を 0 とし、ステップ S 1 0 6 の処理を終了する。

【0103】

以上のように、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 1 範囲から外れる場合、又は、トラッキング補正量 S_{tm} が第 1 閾値以上となる場合において、第 1 トラッキング補正量をトラッキング補正量 S_{tm} とする。これにより、制御装置 4 0 は、目標位置 S_{tc} がエンドエフェクター 2 0 の可動範囲から外れる可能性がある場合において選択的に、トラッキング補正量 S_{tm} に基づいて移動部 1 2 を駆動することができる。これにより、作業中における移動部 1 2 の移動量を効率的に削減することができる。

10

【0104】

なお、ステップ S 2 4 及びステップ S 2 5 における判定による条件は、互いに組み合わせられてもよい。即ち、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 1 範囲から外れ、且つ、トラッキング補正量 S_{tm} が第 1 閾値以上となる場合において選択的に、トラッキング補正量 S_{tm} を第 1 トラッキング補正量とするようにしてもよい。これにより、作業中における移動部 1 2 の移動量を更に削減することができる。

20

【0105】

次に、図 1 1 のフローチャートを参照して、図 9 のフローチャートにおけるステップ S 1 0 9 の処理について詳細に説明する。

【0106】

まず、ステップ S 3 1 において、力制御補正量加算部 4 3 b は、移動部 1 2 に適用される第 1 力制御補正量を生じさせる条件設定がされているか否かを判定する。条件設定は、例えば、教示装置 4 5 の入力装置に対する利用者の操作に応じて予め決定される。力制御補正量加算部 4 3 b は、条件設定がされている場合、ステップ S 3 2 に処理を進め、条件設定がされていない場合、ステップ S 3 6 に処理を進める。

30

【0107】

ステップ S 3 2 において、力制御補正量加算部 4 3 b は、ステップ S 1 0 4 で算出された目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 2 範囲から外れるか否かを判定する。力制御補正量加算部 4 3 b は、目標位置 S_{tc} が第 2 範囲から外れる場合、ステップ S 3 3 に処理を進め、目標位置 S_{tc} が第 2 範囲から外れない場合、ステップ S 3 5 に処理を進める。

【0108】

ステップ S 3 3 において、力制御補正量加算部 4 3 b は、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分を第 1 力制御補正量とする。ステップ S 3 4 において、力制御補正量加算部 4 3 b は、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分以外を第 2 力制御補正量とし、ステップ S 1 0 9 における処理を終了する。

40

【0109】

ステップ S 3 5 において、力制御補正量加算部 4 3 b は、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分が第 2 閾値以上であるか否かを判定する。力制御補正量加算部 4 3 b は、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分が第 2 閾値以上である場合、ステップ S 3 3 に処理を進め、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分が第 2 閾値以上でない場合、ステップ S 3 6 に処理を進める。

【0110】

ステップ S 3 6 において、力制御補正量加算部 4 3 b は、力制御補正量 S を第 2 力制御補正量とする。ステップ S 3 7 において、力制御補正量加算部 4 3 b は、第 1 力制御補正量を 0 とし、ステップ S 1 0 9 における処理を終了する。

50

【 0 1 1 1 】

以上のように、力制御補正量加算部 4 3 b は、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 2 範囲から外れる場合、又は、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分が第 2 閾値以上となる場合において選択的に、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分に基づいて移動部 1 2 を駆動する。これにより、作業中における移動部 1 2 の移動量を効率的に削減することができる。更に、一般的な傾向として、マニピュレーター 1 0 は、移動部 1 2 に比べて速い応答性を有し、路面等の影響により安定性が悪化する可能性がある。このため、力制御補正量 S に基づく移動部 1 2 の駆動を最低限に抑えることにより、力制御の精度の悪化を低減することができる。

【 0 1 1 2 】

なお、ステップ S 3 2 及びステップ S 3 5 における判定による条件は、互いに組み合わせられてもよい。即ち、力制御補正量加算部 4 3 b は、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 2 範囲から外れ、且つ、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分が第 2 閾値以上となる場合において選択的に、力制御補正量 S の経路方向 5 2 の成分に基づいて移動部 1 2 を駆動するようにしてもよい。これにより、作業中における移動部 1 2 の移動量を更に削減することができる。

【 0 1 1 3 】

[変形例]

上述の実施形態では、トラッキング補正量 S_{tm} は、搬送装置 5 0 による対象物 W の搬送量に基づいて算出されたが、移動部 1 2 の移動量で更に補正されてもよい。即ち、本実施形態の変形例において、制御装置 4 0 は、移動部 1 2 を経路 5 1 に沿って駆動させながら、目標位置 S_{tc} と、移動部 1 2 の移動量で補正されたトラッキング補正量 S_{tm} とに基づいてマニピュレーター 1 0 を駆動することにより、エンドエフェクター 2 0 を対象物 W に追従させ得る。このように、移動部 1 2 が経路方向 5 2 に移動しながら、エンドエフェクター 2 0 が対象物 W に追従することにより、対象物 W に対する作業が完了する前に対象物 W がエンドエフェクター 2 0 の可動範囲から外れてしまう可能性を低減することができる。以下において説明しない作用、構成及び効果は、上述の実施形態と同様であるため、重複する説明を省略する。

【 0 1 1 4 】

トラッキング補正量算出部 4 1 e は、図 9 のフローチャートのステップ S 1 0 5 に相当する処理として、対象物 W の搬送量と、移動部 1 2 の移動量とから、トラッキング補正量 S_{tm} を算出する。本実施形態の変形例におけるトラッキング補正量 S_{tm} は、上述の実施形態におけるトラッキング補正量 S_{tm} を移動部 1 2 の移動量で補正した量に相当する。トラッキング補正量算出部 4 1 e は、移動部 1 2 の移動量をエンコーダー E 1 ~ E 8 の出力に基づいて算出してもよく、予め作成されたコマンドに基づいて取得してもよい。トラッキングオフセット S_r が算出されている場合、トラッキング補正量算出部 4 1 e は、対象物 W の搬送量と、移動部 1 2 の移動量と、トラッキングオフセット S_r とから、トラッキング補正量 S_{tm} を算出する。トラッキング補正量 S_{tm} は、ベース座標系における対象物 W の移動量に相当する。

【 0 1 1 5 】

トラッキング補正量加算部 4 3 a は、図 9 のフローチャートのステップ S 1 0 6 に相当する処理として、トラッキング補正量算出部 4 1 e により算出されたトラッキング補正量 S_{tm} から、第 1 トラッキング補正量及び第 2 トラッキング補正量を決定する。

【 0 1 1 6 】

以下、図 1 2 のフローチャートを参照して、トラッキング補正量加算部 4 3 a が第 1 トラッキング補正量及び第 2 トラッキング補正量を決定する方法について詳細に説明する。

【 0 1 1 7 】

先ず、ステップ S 4 1 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、移動部 1 2 に適用される第 1 トラッキング補正量を生じさせる条件設定がされているか否かを判定する。トラッキング補正量加算部 4 3 a は、条件設定がされている場合、ステップ S 4 2 に処理

10

20

30

40

50

を進め、条件設定がされていない場合、ステップ S 4 6 に処理を進める。

【 0 1 1 8 】

ステップ S 4 2 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、目標位置算出部 4 1 d により算出された目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 1 範囲から外れるか否かを判定する。トラッキング補正量加算部 4 3 a は、目標位置 S_{tc} が第 1 範囲から外れる場合、ステップ S 4 3 に処理を進め、目標位置 S_{tc} が第 1 範囲から外れない場合、ステップ S 4 5 に処理を進める。

【 0 1 1 9 】

ステップ S 4 3 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、トラッキング補正量算出部 4 1 e により算出されたトラッキング補正量 S_{tm} を、第 1 トラッキング補正量とする。ステップ S 4 4 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、第 2 トラッキング補正量を 0 とし、ステップ S 1 0 6 に相当する処理を終了する。

10

【 0 1 2 0 】

ステップ S 4 5 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、トラッキング補正量算出部 4 1 e により算出されたトラッキング補正量 S_{tm} が、第 1 閾値以上であるか否かを判定する。トラッキング補正量加算部 4 3 a は、トラッキング補正量 S_{tm} が第 1 閾値以上である場合、ステップ S 4 3 に処理を進め、トラッキング補正量 S_{tm} が第 1 閾値以上でない場合、ステップ S 4 6 に処理を進める。

【 0 1 2 1 】

ステップ S 4 6 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、トラッキング補正量算出部 4 1 e により算出されたトラッキング補正量 S_{tm} を、第 2 トラッキング補正量とする。ステップ S 4 7 において、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、第 1 トラッキング補正量を 0 とし、ステップ S 1 0 6 に相当する処理を終了する。

20

【 0 1 2 2 】

以上のように、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 1 範囲から外れる場合、又は、トラッキング補正量 S_{tm} が第 1 閾値以上となる場合において、第 1 トラッキング補正量をトラッキング補正量 S_{tm} とする。これにより、制御装置 4 0 は、移動部 1 2 を経路 5 1 に沿って移動させながら、目標位置 S_{tc} がエンドエフェクター 2 0 の可動範囲から外れる可能性がある場合において選択的に、トラッキング補正量 S_{tm} に基づいて移動部 1 2 を駆動することができる。このように、作業中において、トラッキング補正量 S_{tm} に基づく移動部 1 2 の移動量を削減することができる。

30

【 0 1 2 3 】

なお、ステップ S 4 2 及びステップ S 4 5 における判定による条件は、互いに組み合わせられてもよい。即ち、トラッキング補正量加算部 4 3 a は、目標位置 S_{tc} が、ベース 1 1 を基準とする第 1 範囲から外れ、且つ、トラッキング補正量 S_{tm} が第 1 閾値以上となる場合において選択的に、トラッキング補正量 S_{tm} を第 1 トラッキング補正量とするようにしてもよい。これにより、作業中におけるトラッキング補正量 S_{tm} に基づく移動部 1 2 の移動量を更に削減することができる。

【 0 1 2 4 】

[他の実施形態]

例えば、ロボット 1 は、6 軸アームである 1 つのマニピュレーター 1 0 を備えるロボットに限らない。ロボット 1 が備えるマニピュレーター及びエンドエフェクターの数、マニピュレーターの自由度等は、任意に変更され得る。例えば、ロボット 1 は、直交ロボット、水平多関節ロボット、垂直多関節ロボット、双腕ロボット等であり得る。同様に、移動部 1 2 は、経路 5 1 に沿って移動可能な装置であればよい。移動部 1 2 は、脚式ロボット、4 輪独立駆動車、ステアリング式の車、直交ロボット等であり得る。その他、制御装置 4 0 は、移動部 1 2 のエンコーダー E 7 , E 8 から移動部 1 2 の移動量を取得する構成に限らない。移動部 1 2 の移動量は、慣性計測装置 (I M U)、測位システム、レーザーレンジセンサー、カメラ等種々のセンサーを用いて取得され得る。例えば、力センサー P としは力覚センサーに限らず、各軸のトルクセンサーを用いて、エンドエフェクター 2 0

40

50

に作用する力を推定してもよい。例えば、搬送量センサーを用いることなく、時刻 T から現在までの対象物 W の搬送量を位置センサー 30 から算出してもよい。

【0125】

以下に、上述した実施形態から導き出される内容を、各態様として記載する。

【0126】

第1態様は、搬送装置により所定の経路に沿って搬送される対象物に対して、エンドエフェクターを用いて作業を行うロボットであって、前記エンドエフェクターを支持するマニピュレーターと、前記マニピュレーターを支持するベースと、前記ベースを移動させる移動部とを備えるロボットを、制御装置により制御するロボットの制御方法において、位置センサーを用いて前記対象物の位置を取得することと、前記対象物の位置に基づいて前記エンドエフェクターの目標位置を算出することと、前記搬送装置による前記対象物の搬送量を取得することと、前記搬送量に対応するように前記目標位置を補正するトラッキング補正量を算出することと、前記目標位置に基づいて前記マニピュレーターを駆動し、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動することにより、前記エンドエフェクターを前記対象物に追従させることと、力センサーを用いて前記対象物から前記エンドエフェクターに作用する作用力を取得することと、前記作用力を所定の目標力にするように前記目標位置を補正する力制御補正量を算出することと、前記力制御補正量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記対象物からの前記作用力を予め決定された目標力に制御することと、を含むロボットの制御方法である。

10

【0127】

第1態様によれば、トラッキング補正量に基づいて移動部を駆動することにより、ベースは、経路に沿って移動される。よって、対象物に対する作業が完了する前に対象物がエンドエフェクターの可動範囲から外れてしまう可能性を低減することができる。

20

【0128】

第2態様は、第1態様において、前記目標位置が前記ベースの位置を基準とする第1範囲から外れる場合において、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動することである。

【0129】

第2態様によれば、選択的にトラッキング補正量に基づいて移動部を駆動することにより、移動部の移動量を削減することができる。

30

【0130】

第3態様は、第1又は第2態様において、前記トラッキング補正量が第1閾値以上となる場合において、前記トラッキング補正量に基づいて前記移動部を駆動することである。

【0131】

第3態様によれば、選択的にトラッキング補正量に基づいて移動部を駆動することにより、移動部の移動量を削減することができる。

【0132】

第4態様は、搬送装置により所定の経路に沿って搬送される対象物に対して、エンドエフェクターを用いて作業を行うロボットであって、前記エンドエフェクターを支持するマニピュレーターと、前記マニピュレーターを支持するベースと、前記ベースを移動させる移動部とを備えるロボットを、制御装置により制御するロボットの制御方法において、位置センサーを用いて前記対象物の位置を取得することと、前記対象物の位置に基づいて前記エンドエフェクターの目標位置を算出することと、前記搬送装置による前記対象物の搬送量を取得することと、前記搬送量に対応するように前記目標位置を補正するトラッキング補正量を算出することと、前記移動部を前記経路に沿って駆動させながら、前記目標位置、前記トラッキング補正量及び前記移動部の移動量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前記エンドエフェクターを前記対象物に追従させることと、力センサーを用いて前記対象物から前記エンドエフェクターに作用する作用力を取得することと、前記作用力を所定の目標力にするように前記目標位置を補正する力制御補正量を算出することと、前記力制御補正量に基づいて前記マニピュレーターを駆動することにより、前

40

50

記対象物からの前記作用力を予め決定された目標力に制御することと、を含むロボットの制御方法である。

【0133】

第4態様によれば、経路に沿って移動部が駆動されることにより、ベースが経路に沿って移動する。よって、対象物に対する作業が完了する前に対象物がエンドエフェクターの可動範囲から外れてしまう可能性を低減することができる。

【0134】

第5態様は、第1乃至第4態様の何れかにおいて、前記力制御補正量が、前記目標位置を前記経路に沿う経路方向に補正する場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動し、前記力制御補正量の前記経路方向の成分以外に基づいて前記マニピュレーターを駆動することである。

10

【0135】

第5態様によれば、力制御補正量の経路方向の成分に基づいて移動部を駆動するため、対象物に対する作業が完了する前に対象物がエンドエフェクターの可動範囲から外れてしまう可能性を低減することができる。

【0136】

第6態様は、第5態様において、前記目標位置が前記ベースの位置を基準とする第2範囲から外れる場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動することである。

【0137】

第6態様によれば、選択的に力制御補正量に基づいて移動部を駆動することにより、移動部の移動量を削減することができる。また、力制御補正量に基づく移動部の駆動を最低限に抑えることにより、力制御の精度の悪化を低減することができる。

20

【0138】

第7態様は、第5又は第6態様において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分が第2閾値以上となる場合において、前記力制御補正量の前記経路方向の成分に基づいて前記移動部を駆動することである。

【0139】

第7態様によれば、選択的に力制御補正量に基づいて移動部を駆動することにより、移動部の移動量を削減することができる。また、力制御補正量に基づく移動部の駆動を最低限に抑えることにより、力制御の精度の悪化を低減することができる。

30

【0140】

第8態様は、第1乃至第7態様の何れかにおいて、前記ベースの位置を基準とする前記エンドエフェクターの可動範囲に基づいて、前記作業の開始時における前記ベースの初期位置を、前記移動部の移動量が削減されるように決定することである。

【0141】

第8態様によれば、移動部の駆動を抑えることにより、力制御の精度の悪化を低減することができる。

【符号の説明】

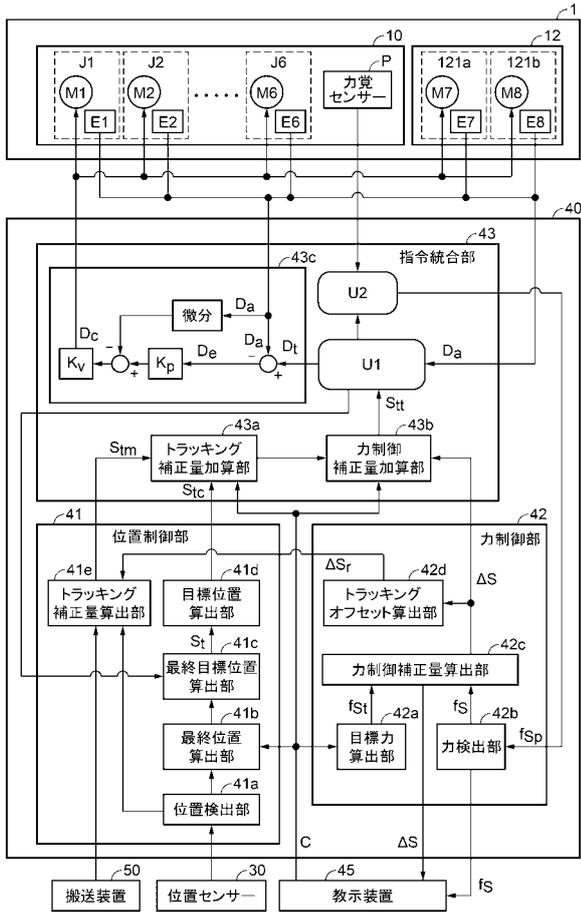
【0142】

1...ロボット、10...マニピュレーター、11...ベース、12...移動部、20...エンドエフェクター、30...位置センサー、40...制御装置、40a...プロセッサ、40b...メモリー、41...位置制御部、41a...位置検出部、41b...最終位置算出部、41c...最終目標位置算出部、41d...目標位置算出部、41e...トラッキング補正量算出部、42...力制御部、42a...目標力算出部、42b...力検出部、42c...力制御補正量算出部、42d...トラッキングオフセット算出部、43...指令統合部、43a...トラッキング補正量加算部、43b...力制御補正量加算部、43c...フィードバック制御部、45...教示装置、45a...画面、50...搬送装置、50a...搬送ローラー、51...経路、52...経路方向、100...ロボットシステム、121, 121a, 121b...動輪、122...従輪、400, 410...PC、400a, 410a, 500a...プロセッサ、400b, 41

40

50

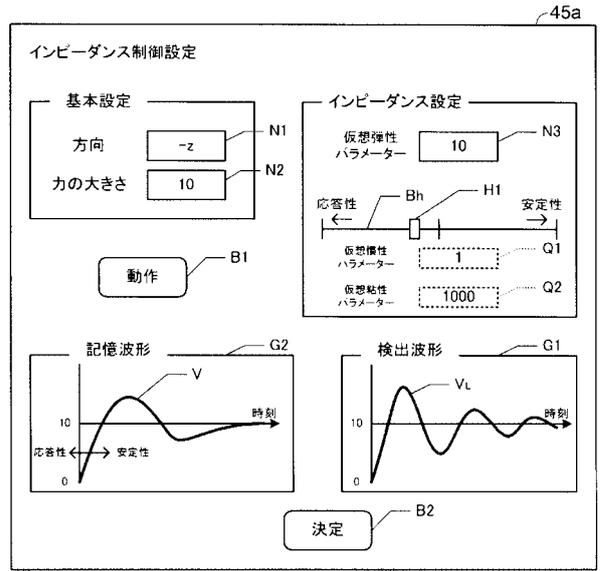
【図3】



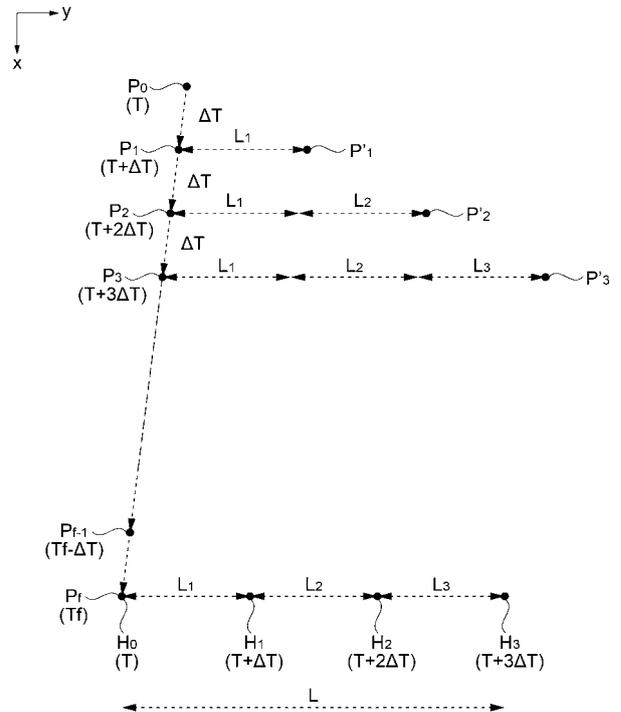
【図5】

	力制御対応コマンド	位置制御コマンド
CP	Move, TMove, BMove, CVMove, Arc, Arc3, FCSMove	Move, TMove, BMove, CVMove, Arc, Arc3, FCSMove
PTP		Pass, Pulse, Go, TGo, BGo, JTran, PTran
CP+PTP		Jump, Jump3
その他	FCKeep	Jump3CP

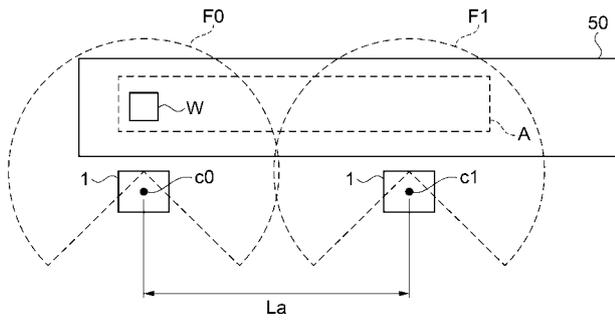
【図4】



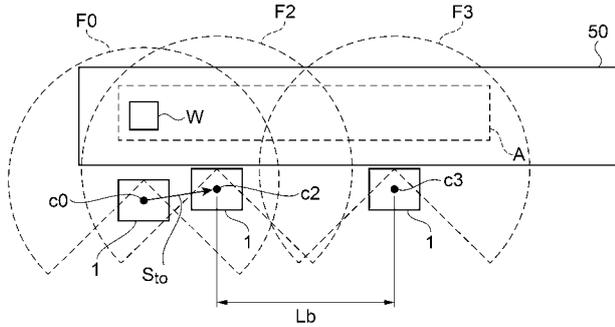
【図6】



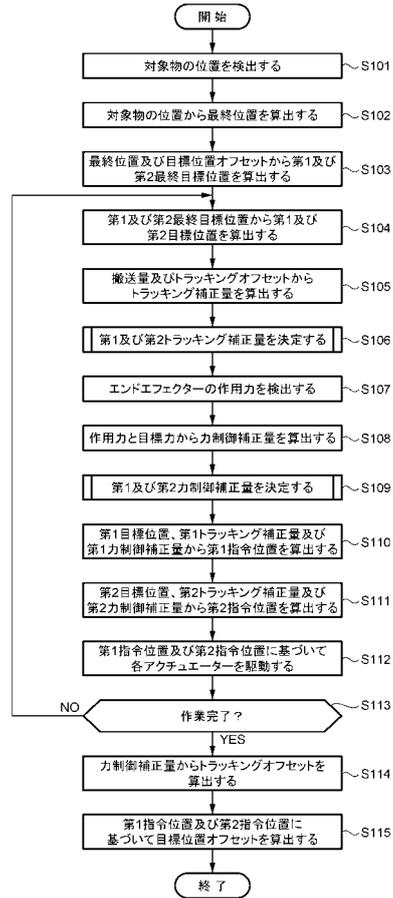
【図7】



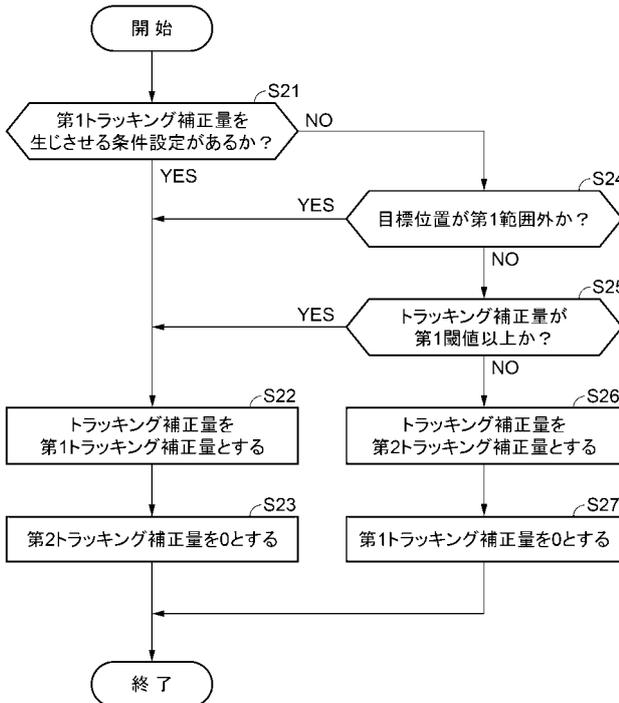
【図8】



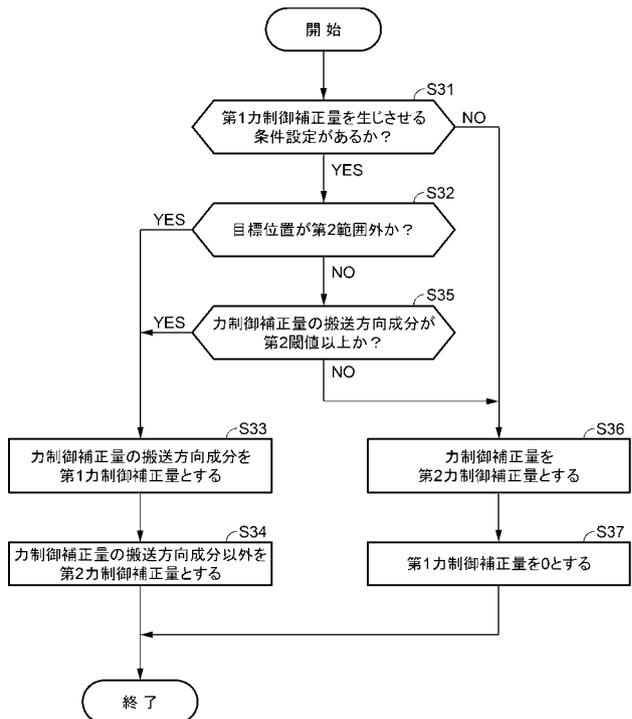
【図9】



【図10】



【図11】



【 図 1 2 】

