

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7029681号

(P7029681)

(45)発行日 令和4年3月4日(2022.3.4)

(24)登録日 令和4年2月24日(2022.2.24)

(51)国際特許分類

F I

B 2 5 J 19/06 (2006.01)

B 2 5 J 19/06

請求項の数 7 (全24頁)

(21)出願番号	特願2020-48095(P2020-48095)	(73)特許権者	000006622
(22)出願日	令和2年3月18日(2020.3.18)		株式会社安川電機
(65)公開番号	特開2021-146438(P2021-146438 A)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(43)公開日	令和3年9月27日(2021.9.27)	(74)代理人	110003096
審査請求日	令和2年3月18日(2020.3.18)		特許業務法人第一テクニカル国際特許事務所
		(74)代理人	100104503
			弁理士 益田 博文
		(74)代理人	100191112
			弁理士 益田 弘之
		(72)発明者	吉浦 泰史
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
		(72)発明者	喜多川 輝久
		最終頁に続く	

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

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

パラレルリンクロボットを制御するロボット制御装置であって、
前記パラレルリンクロボットにおける複数のモータを制御する駆動制御部と、
前記モータの回転子の位置を検出するエンコーダ部と、
前記パラレルリンクロボットの機構部における衝突を、前記複数のモータの各々に対する前記駆動制御部によるトルク指令及び前記複数のモータの各々の前記エンコーダ部による検出位置を含む状態データに基づいて推定した前記機構部に作用する接触外力と所定の第1しきい値との比較によって、判定する異常判定部と、
を有することを特徴とするロボット制御装置。

【請求項2】

前記異常判定部が前記衝突を判定した場合、
前記駆動制御部は、Z軸方向が鉛直方向に対応したX Y Z軸直交座標系の動作空間におけるX Y軸方向での衝突とZ軸方向での衝突とで前記機構部の動作が異なるように前記複数のモータを制御することを特徴とする請求項1記載のロボット制御装置。

【請求項3】

前記異常判定部が前記X Y軸方向での衝突を判定した場合、
前記駆動制御部は、前記機構部が備えるエンドエフェクタを所定位置に移動させるように、前記複数のモータを制御する

ことを特徴とする請求項 2 記載のロボット制御装置。

【請求項 4】

前記異常判定部が前記 X Y 軸方向での衝突を判定した場合

前記駆動制御部は、前記機構部が備えるエンドエフェクタの移動を停止させるように、前記複数のモータを制御する

ことを特徴とする請求項 2 記載のロボット制御装置。

【請求項 5】

前記異常判定部が前記 Z 軸方向での衝突を判定した場合、

前記駆動制御部は、前記複数のモータにおける出力トルクを制限し、かつ、前記機構部が備えるエンドエフェクタを所定位置に移動させるように、前記モータを制御する

10

ことを特徴とする請求項 2 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のロボット制御装置。

【請求項 6】

パラレルリンクロボットと、前記パラレルリンクロボットを制御するロボット制御装置とを有するロボット制御システムであって、

前記ロボット制御装置は、

前記パラレルリンクロボットにおける複数のモータを制御する駆動制御部と、

前記モータの回転子の位置を検出するエンコーダ部と、

前記パラレルリンクロボットの機構部における衝突を、前記複数のモータの各々に対する前記駆動制御部によるトルク指令及び前記複数のモータの各々の前記エンコーダ部による検出位置を含む状態データに基づいて推定した前記機構部に作用する接触外力と所定の第 1 しきい値との比較によって、判定する異常判定部と、

20

を有することを特徴とするロボット制御システム。

【請求項 7】

パラレルリンクロボットを制御するロボット制御装置が備える演算装置が実行するロボット制御方法であって、

前記パラレルリンクロボットの機構部における衝突を、前記パラレルリンクロボットにおける複数のモータの各々に対するトルク指令及び前記複数のモータの各々の回転子の検出位置を含む状態データに基づいて推定した前記機構部に作用する接触外力と所定の第 1 しきい値との比較によって、判定し、

前記衝突を判定した場合、前記パラレルリンクロボットにおける複数のモータに対して所定の制御を実行する、

30

ことを特徴とするロボット制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示の実施形態は、ロボット制御装置、ロボット制御システム、及びロボット制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば特許文献 1 には、ロボット機構を駆動するモータの状態情報を周波数帯域別に取り出し、各周波数帯域ごとに出力を積算した値に基づいて異常を検出する異常監視装置が記載されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2020 - 022329 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一方、パラレルリンクロボットのように閉リンク機構を複数の駆動軸で連携制御する構成

50

においては、それら複数の駆動軸が互いに異なるトルクを付加して相殺させる状況があり、それら駆動軸の間の状態情報の関係は複雑となる。このためパラレルリンクロボットの制御においては、上記従来技術のように１つの駆動軸の状態情報だけで衝突や脱臼などの異常を判定することは困難であった。

【０００５】

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、パラレルリンクロボットの機構部における異常を判定可能なロボット制御装置、ロボット制御システム、及びロボット制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

上記課題を解決するため、本発明の一の観点によれば、パラレルリンクロボットを制御するロボット制御装置であって、前記パラレルリンクロボットにおける複数の駆動軸を制御する駆動制御部と、前記パラレルリンクロボットの機構部における衝突および脱臼の少なくともいずれか一方を、前記複数の駆動軸の状態データに基づいて判定する異常判定部と、を有するロボット制御装置が適用される。

【０００７】

また、本発明の別の観点によれば、パラレルリンクロボットと、前記パラレルリンクロボットを制御するロボット制御装置とを有するロボット制御システムであって、前記ロボット制御装置は、前記パラレルリンクロボットにおける複数の駆動軸を制御する駆動制御部と、前記パラレルリンクロボットの機構部における衝突および脱臼の少なくともいずれか一方を、前記複数の駆動軸の状態データに基づいて判定する異常判定部と、を有するロボット制御システムが適用される。

【０００８】

また、本発明の別の観点によれば、パラレルリンクロボットを制御するロボット制御装置が備える演算装置が実行するロボット制御方法であって、前記パラレルリンクロボットの機構部における衝突および脱臼の少なくともいずれか一方を、前記パラレルリンクロボットにおける複数の駆動軸の状態データに基づいて判定し、前記衝突を判定した場合、前記パラレルリンクロボットにおける複数の駆動軸に対して所定の制御を実行し、前記脱臼を判定した場合、前記複数の駆動軸の制御を停止するロボット制御方法が適用される。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によれば、パラレルリンクロボットの機構部における異常を判定できる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】第１実施形態に係るロボット制御システム全体構成の一例を表す斜視図である。

【図２】モータの概略構成の一例を表す図である。

【図３】ロボット制御装置の内部構成とその周辺で送受される各種情報の一例を表す図である。

【図４】サーボ内において処理されるフィードバックループの一例を表す図である。

【図５】衝突判定手法を説明する１軸駆動機構モデルの一例を表す図である。

【図６】１軸駆動機構モデルの制御シーケンスにおいてモータの状態データの時間変化の一例を表す図である。

【図７】パラレルリンクロボットの機構モデルの一例を表す図である。

【図８】ＸＹ軸方向での衝突に対する対処動作の一例を表す図である。

【図９】Ｚ軸方向での衝突に対する対処動作の一例を表す図である。

【図１０】脱臼に対する対処動作の一例を表す図である。

【図１１】異常判定処理の制御手順の一例を表すフローチャートである。

【図１２】作業制御処理の制御手順の一例を表すフローチャートである。

【図１３】第２実施形態に係るロボット制御システム全体構成の一例を表す斜視図である。

【図１４】ロボット制御装置の内部構成とその周辺で送受される各種情報の一例を表す図

10

20

30

40

50

である。

【図 1 5】ロボット制御装置のハードウェア構成を表すシステムブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

< 1 . 第 1 実施形態 >

< 1 - 1 . ロボット制御システムの概略的構成 >

以下、第 1 実施形態のロボット制御システムについて図面を参照しつつ説明する。本実施形態の例に示すロボット制御システムは、例えばピックアンドブレースなどのワークの移送作業等を実行するパラレルリンクロボットを制御するシステムである。図 1 においてロボット制御システム 1 は、上位制御装置 2 と、ロボット制御装置 3 と、パラレルリンクロボット 4 とを有している。なお、以下において、パラレルリンクロボット等の構成の説明の便宜上、上下左右前後等の方向を適宜使用する場合があるが、パラレルリンクロボット 4 等の各構成の位置関係を限定するものではない。

10

【0012】

上位制御装置 2 は、例えばユーザによる入力操作や、特に図示しない通信回線を介してパラレルリンクロボット 4 に実行させる作業の種類を特定し、対応する作業指令を後述のロボット制御装置 3 に出力する。

【0013】

ロボット制御装置 3 は、上記の上位制御装置 2 から入力された作業指令に対応する所定の作業シーケンスに従い、パラレルリンクロボット 4 が備える複数のモータ 4 4 にそれぞれモータ駆動電力を給電することで当該パラレルリンクロボット 4 の動作を制御する。また後述するように、パラレルリンクロボット 4 の上記複数のモータ 4 4 にはそれぞれの回転子の回転位置をモータ検出位置として検出するエンコーダ部 1 4 が設けられており、ロボット制御装置 3 は各モータ検出位置を参照して上記作業シーケンスに基づく動作を実現するよう各モータ駆動電力の給電を制御する。なお、このロボット制御装置 3 の内部構成や処理内容については、後に詳述する（後述の図 3 参照）。

20

【0014】

パラレルリンクロボット 4 は、図示する例では 3 つのモータ 4 4 を備えており、各モータ 4 4 の軸駆動によってエンドエフェクタ（特に図示せず）をその動作空間における任意の座標位置へ移動させるなどの動作制御が可能な機械システムである。

30

【0015】

< 1 - 2 . パラレルリンクロボットの構成 >

図 1 に示すように、この例のパラレルリンクロボット 4 は、基礎部 4 1 と、可動部 4 2 と、3 つのリンク機構部 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c と、3 つのモータ 4 4 a , 4 4 b , 4 4 c とを有する。

【0016】

3 つのリンク機構部 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c は、パラレルリンクロボット 4 の中心軸 A X 周りの円周方向に沿って配置され、基礎部 4 1 と可動部 4 2 とを連結する。3 つのモータ 4 4 a , 4 4 b , 4 4 c は、基礎部 4 1 に配置され、それぞれリンク機構部 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c を駆動する。基礎部 4 1 は、この例では円盤状に形成されており、その内部に 3 つのモータ 4 4 a ~ 4 4 c を固定して収容している。可動部 4 2 は、この例では円盤状に形成されており、下端に取付部材 4 5 を備える。取付部材 4 5 には、例えばロボットハンド等の図示しないエンドエフェクタが取り付けられる。なお、各モータ 4 4 a ~ 4 4 c の構成については、後に詳述する（後述の図 2 参照）。

40

【0017】

3 つのリンク機構部 4 3 a ~ 4 3 c はいずれも同様の構成を有している。リンク機構部 4 3 a は、モータ 4 4 a の出力軸に連結された駆動リンク 4 6 a と、駆動リンク 4 6 a と可動部 4 2 とに連結された 2 つの受動リンク 4 7 a とを有する。2 つの受動リンク 4 7 a は、それぞれ球面軸受 4 8 a を介して駆動リンク 4 6 a と連結され、それぞれ球面軸受 4 9 a を介して可動部 4 2 と連結される。リンク機構部 4 3 b は、モータ 4 4 b の出力軸に連

50

結された駆動リンク 4 6 b と、駆動リンク 4 6 b と可動部 4 2 とに連結された 2 つの受動リンク 4 7 b とを有する。2 つの受動リンク 4 7 b は、それぞれ球面軸受 4 8 b を介して駆動リンク 4 6 b と連結され、それぞれ球面軸受 4 9 b を介して可動部 4 2 と連結される。リンク機構部 4 3 c は、モータ 4 4 c の出力軸に連結された駆動リンク 4 6 c と、駆動リンク 4 6 c と可動部 4 2 とに連結された 2 つの受動リンク 4 7 c とを有する。2 つの受動リンク 4 7 c は、それぞれ球面軸受 4 8 c を介して駆動リンク 4 6 c と連結され、それぞれ球面軸受 4 9 c を介して可動部 4 2 と連結される。駆動リンク 4 6 a , 4 6 b , 4 6 c は直線状の部材であり、中心軸 A X を中心とする半径方向に延設されている。本実施形態においては、上記の 3 つのリンク機構部 4 3 a , 4 3 b , 4 3 c 、可動部 4 2 、取付部材 4 5 、及びエンドエフェクタ (特に図示せず) をまとめて機構部 5 0 という。

10

【 0 0 1 8 】

なお、パラレルリンクロボット 4 には、エンドエフェクタの動作空間において Z 軸方向が鉛直方向に対応した X Y Z 軸直交座標のロボット座標系が設定されている。また、パラレルリンクロボット 4 が備えるモータ 4 4 とそれに対応するリンク機構部 4 3 は図示する例の 3 組に限定されるものではなく、4 組以上備えた構成 (つまり 4 軸以上の多軸駆動型の構成) としてもよい (特に図示せず) 。

【 0 0 1 9 】

図 2 は、各モータ 4 4 a ~ 4 4 c の概略構成の一例について説明する。3 つのモータ 4 4 a ~ 4 4 c は同様の構成を有する。図 2 に示すように、モータ 4 4 (4 4 a ~ 4 4 c) は、モータ本体部 1 2 と、ブレーキ部 1 3 と、エンコーダ部 1 4 と、減速機 1 5 とを有する。

20

【 0 0 2 0 】

モータ本体部 1 2 は、固定子及び回転子 (図示省略) を備え、モータ駆動電力が給電されることにより回転子が固定子に対し回転する回転型 (ロータリタイプ) のモータである。

【 0 0 2 1 】

ブレーキ部 1 3 は、ブレーキ信号が入力されることにより回転子の回転を制動する。

【 0 0 2 2 】

エンコーダ部 1 4 は、回転子の位置 (「回転位置」や「回転角度」等ともいう) を検出し、その位置をモータ検出位置として出力する。

【 0 0 2 3 】

減速機 1 5 は、回転子の回転軸 (図示省略) を入力軸とし、その軸出力を内部に備える歯車減速機構を介して減速変換 (位置変換、トルク変換) してシャフト S H に出力する。上記の駆動リンク 4 6 (4 6 a ~ 4 6 c) は、このシャフト S H に固定されて揺動駆動される。

30

【 0 0 2 4 】

< 1 - 3 . ロボット制御装置の詳細構成 >

図 3 は、ロボット制御装置 3 の内部構成とその周辺で送受される各種情報を表している。この図 3 において、ロボット制御装置 3 は、駆動制御部 3 1 と、異常判定部 3 2 を有している。

【 0 0 2 5 】

駆動制御部 3 1 は、パラレルリンクロボット 4 が備える 3 つのモータ 4 4 a ~ 4 4 c を制御する。駆動制御部 3 1 は、作業制御部 3 3 と、モーション制御部 3 4 と、各モータ 4 4 a ~ 4 4 c に対応する 3 つのサーボ 3 5 a , 3 5 b , 3 5 c を有している。

40

【 0 0 2 6 】

作業制御部 3 3 は、上記の上位制御装置 2 から入力された作業指令に対応する作業シーケンスに従って、パラレルリンクロボット 4 のエンドエフェクタの移動先位置である座標位置指令をモーション制御部 3 4 へ出力する。この座標位置指令は、上記ロボット座標系上における 3 次元座標位置であり、作業制御部 3 3 は常にエンドエフェクタが次に移動すべき移動先位置として座標位置指令を逐次出力し続ける (同じ座標位置を出力し続けることで移動停止) 。

50

【 0 0 2 7 】

また作業制御部 3 3 は、後述の異常判定部 3 2 から入力される異常判定情報に基づいて、全てのサーボ 3 5 に対しモータ駆動電力の給電停止を指示するサーボオフ信号と、出力トルクの制限を指示するトルク制限信号とをそれぞれ必要に応じて出力可能となっている。また作業制御部 3 3 は、同様に異常判定情報に基づいて、全てのモータ 4 4 のブレーキ部 1 3 に対しモータ 4 4 の回転を制動するブレーキ信号をそれぞれ必要に応じて出力可能となっている。なお、パラレルリンクロボット 4 の取付部材 4 5 に取り付けられるエンドエフェクタ自体の動作についても当該作業制御部 3 3 が上記作業シーケンスに従って制御するが、以下においては説明の便宜上、エンドエフェクタの制御に関する図示説明を省略する。また、この作業制御部 3 3 における処理内容については、後に詳述する。

10

【 0 0 2 8 】

モーション制御部 3 4 は、上記作業制御部 3 3 から入力された座標位置指令へのエンドエフェクタの移動に必要な各モータ 4 4 の目標位置をいわゆる逆キネマティック演算により算出し、それぞれモータ位置指令として対応するサーボ 3 5 へ逐次出力する。

【 0 0 2 9 】

サーボ 3 5 は、対応するモータ 4 4 のエンコーダ部 1 4 から検出されたモータ検出位置を参照しつつ、上記モーション制御部 3 4 から入力されたモータ位置指令に基づいて当該モータ 4 4 を駆動制御（この場合は位置制御）する駆動電力の給電制御を行う。また各サーボ 3 5 は、それぞれの内部で生成されたモータトルク指令と、対応するエンコーダ部 1 4 から検出されたモータ検出位置及びモータ検出速度とをまとめてモータ状態データとして後述の異常判定部 3 2 へ逐次出力する。なお、このサーボ 3 5 における制御内容については、後に詳述する（後述の図 4 参照）。

20

【 0 0 3 0 】

異常判定部 3 2 は、各サーボ 3 5 から入力されるモータ状態データ（この例のモータトルク指令、モータ検出位置、及びモータ検出速度）に基づいて、パラレルリンクロボット 4 の機構部 5 0 において後述する衝突や脱臼などの異常状態が発生しているかを判定し、その判定結果とそれに関係する情報を含んだ異常判定情報を作業制御部 3 3 に出力する。なお、この異常判定部 3 2 における処理内容についても、後に詳述する。

【 0 0 3 1 】

なお、上述した駆動制御部 3 1（作業制御部 3 3、モーション制御部 3 4、サーボ 3 5）、異常判定部 3 2 等における処理等は、これらの処理の分担の例に限定されるものではなく、例えば、更に少ない数の処理部（例えば 1 つの処理部）で処理されてもよく、また、更に細分化された処理部により処理されてもよい。また、ロボット制御装置 3 は、後述する C P U 9 0 1（演算装置：図 1 5 参照）が実行するプログラムによりソフトウェア的に実装されてもよいし、その一部又は全部が A S I C や F P G A、その他の電気回路等の実際の装置によりハードウェア的に実装されてもよい。

30

【 0 0 3 2 】

< 1 - 4 . サーボにおける制御処理構成 >

図 4 は、上記サーボ 3 5 内において処理されるフィードバックループを表している。この図 4 に示すフィードバックループは、サーボ 3 5 において実行される制御処理を伝達関数形式で表現したものである。本実施形態の例では、モーション制御部 3 4 が出力したモータ位置指令に基づいてサーボ 3 5 が位置制御を行うものとし、それに対応して図示するような位置制御フィードバックループと速度制御フィードバックループの二重ループ処理を実行する。

40

【 0 0 3 3 】

この二重ループ処理では、モーション制御部 3 4 から入力されたモータ位置指令とエンコーダ部 1 4 から検出されたモータ検出位置との間の偏差を位置偏差として求め、この位置偏差に基づいて位置制御部 6 1 が速度指令を生成する。さらに、この速度指令とエンコーダ部 1 4 から検出されたモータ検出速度との間の偏差を速度偏差として求め、この速度偏差に基づいて速度制御部 6 2 がモータトルク指令を生成する。なおモータ検出速度は、図

50

示るようにモータ検出位置を微分演算子 6 5 により 1 階時間微分して算出すればよい。そして、トルクリミッタ 6 3 を経由したモータトルク指令に基づいて P W M 制御部 6 4 が駆動電力を給電することによりモータ 4 4 を駆動する。

【 0 0 3 4 】

ここで上記トルクリミッタ 6 3 は、通常時においては入力されたモータトルク指令をそのままの値で出力するが、作業制御部 3 3 からトルク制限信号が入力されている間はあらかじめ設定された上限値（または下限値）でモータトルク指令の値を制限して出力する。また上記 P W M 制御部 6 4 は、通常時においてはモータトルク指令に基づく P W M 制御によりモータ駆動電力を給電するが、作業制御部 3 3 からサーボオフ信号が入力されている間はモータ駆動電力の給電自体を停止してモータ 4 4 の動作を自由とする（以下、サーボオフという）。

10

【 0 0 3 5 】

< 1 - 5 . 本実施形態の特徴 >

上記構成のようにパラレルリンクロボット 4 は、一般的に複数のリンク機構部 4 3 を並列に連結した閉リンク機構の機構部 5 0 を備え、駆動制御部 3 1 が各リンク機構部 4 3 をそれぞれ個別に駆動する複数のモータ（駆動軸）を連携して制御することで、上記の機構部 5 0 の全体を任意の動作に制御できる。

【 0 0 3 6 】

このように複数のモータの複合的な連携制御によって閉リンク機構を駆動する構成の場合、機構部 5 0 の配置や姿勢によってはその状態を安定させるために複数のモータが互いに異なるトルクを各リンク機構に付加して相殺させる場合があり、それらトルクの間の関係は複雑となる。このため、機構部 5 0 における衝突や脱臼などの動作異常の発生を単純にいずれか 1 つのモータの挙動や状態データだけで判定することは困難であった。

20

【 0 0 3 7 】

これに対し本実施形態では、パラレルリンクロボット 4 の機構部 5 0 における衝突および脱臼の少なくともいずれか一方を、複数のモータの状態データ（本実施形態の例のモータトルク指令、モータ検出位置、及びモータ検出速度）に基づいて判定する異常判定部 3 2 、を有している。

【 0 0 3 8 】

これにより、パラレルリンクロボット 4 の機構部 5 0 を駆動する複数のモータ 4 4 a ~ 4 4 c 全ての状態データに基づいて、機構部 5 0 における外部との衝突や、各球面軸受 4 8 , 4 9 における脱臼の発生を高い精度で判定できる。以上の機能を実現するために必要な手法について、以下に順次説明する。

30

【 0 0 3 9 】

< 1 - 6 . 衝突判定の基本的手法について >

まず、図 5 に示す 1 軸駆動機構をモデル例として参照し、本実施形態における衝突判定の基本的手法について説明する。図 5 に示す 1 軸駆動機構 7 0 は、床面から垂直に立設したボールネジ 7 1 を 1 つのモータ 7 2 で回転させてリンク 7 3 を昇降移動させるよう構成されている。この 1 軸駆動機構 7 0 において衝突に対処する制御シーケンスとして、図 5 (a) に示すようにリンク 7 3 を降下移動させている途中で、図 5 (b) に示すようにリンク 7 3 に予期しない異物 7 4 が衝突した際にその移動を停止させ、その後図 5 (c) に示すようにリンク 7 3 を異物 7 4 から退避させるよう上昇移動させる制御シーケンスを実行させる。図 6 は、そのような制御シーケンスでの衝突前後における位置指令速度、モータトルク指令、衝突トルクの時間変化を表している。なお衝突トルクは、異物 7 4 に衝突したリンク 7 3 に付加される抗力としての接触外力を外乱トルクとして換算した値に相当する。

40

【 0 0 4 0 】

図 6 に示すように、リンク 7 3 の降下移動中において安定していたモータトルク指令は、異物 7 4 と接触して衝突した直後に大きく下がり、それに追従して衝突トルクも大幅に変動する。これは、モータ 7 2 を制御するサーボのフィードバックループにおいて、衝突後

50

に入力される位置指令や速度指令を実現しようとした結果による変動である。本制御シーケンスでは、このようなモータトルク指令と衝突トルクの変動を検知して衝突を判定する。また本制御シーケンスでは特に、その衝突判定後すぐに衝突方向に向けてモータトルク指令を制限（トルク制限）しつつ降下移動を停止することにより、異物 7 4 に対する衝突の影響を抑えることができ、続いてリンク 7 3 を上昇移動させて退避する。なお、この退避の上昇移動中における引き戻し方向に対してはトルク制限する必要はない。

【 0 0 4 1 】

ここで、図 5 (b) に示すように、リンク 7 3 が異物 7 4 に接触した直後に受ける抗力 F_1 と異物 7 4 における影響は比較的小さいものの、そのまま下降移動し続けると受ける抗力 F_2 が増大して異物 7 4 における影響も大きくなる。このため、リンク 7 3 が実際に異物 7 4 に接触してからできるだけ迅速に衝突判定してその下降移動を止めることが望まれる。そのためにはモータトルク指令に対してできるだけ絶対値の小さいしきい値との比較により衝突判定する手法が考えられるが、その場合には通常時におけるリンク 7 3 の昇降移動の安定性を考慮するとそのしきい値の設定が難しくなる。

【 0 0 4 2 】

つまり、リンク 7 3 自体の質量が十分大きい場合や急峻な昇降動作を行わせる場合には、その昇降移動における加速期間と減速期間のそれぞれにおいて大きなモータトルクが必要であり、それよりも低くしきい値を設定することができない。また、例えばワークを移送する複数軸駆動の多関節ロボットなどに適用する場合は、ワークの把持による質量の増減やリンク部分の配置や姿勢によっては、必要となるモータトルクが複雑に変化する。特に本実施形態の平行リンクロボット 4 のような閉リンク機構の動作を制御する場合には、各リンク機構部 4 3 の配置や姿勢によってはその状態を安定させるために複数のモータ 4 4 が互いに異なるトルクを各リンク機構部 4 3 に付加して相殺させる場合があり、それらトルクの間の関係は複雑となる。以上から、モータ駆動機構における衝突の判定を、単純にモータトルク指令と、固定的に設定された 1 つのしきい値との比較だけで行うことは困難である。

【 0 0 4 3 】

これに対して本実施形態の異常判定部 3 2 は、衝突時に異物 7 4 から機構部 5 0 に作用する抗力としての接触外力 F 自体を推定し、その接触外力 F と十分低く設定したしきい値との比較によって迅速かつ高い精度での衝突判定を行う。その接触外力 F の推定は、複数のモータ 4 4 のモータ状態データ（本実施形態の例のモータトルク指令、モータ検出位置、及びモータ検出速度）に基づく演算処理によって行う。

【 0 0 4 4 】

< 1 - 7 . 接触外力の推定演算処理について >

以下、平行リンクロボット 4 の機構部 5 0 に作用する接触外力 F を推定するための演算処理内容について詳しく説明する。本実施形態の例では、図 7 に示す平行リンクロボット 4 の機構モデルで定義した諸元パラメータに基づいてラグランジュの運動方程式を導出し、この運動方程式から機構部 5 0 に作用した接触外力 F を算出する。

【 0 0 4 5 】

まず、エンドエフェクタの運動エネルギーは、次式で記述できる。

$$T_p = \frac{1}{2} m_p \left(\dot{P}_x(t)^2 + \dot{P}_y(t)^2 + \dot{P}_z(t)^2 \right) \quad \cdots (式1)$$

同様に駆動リンク 4 6 と受動リンク 4 7 の運動エネルギーは、次式で記述できる。

$$T_a = \frac{1}{2} J_a \left(\dot{\theta}_{\alpha 1}(t)^2 + \dot{\theta}_{\alpha 2}(t)^2 + \dot{\theta}_{\alpha 3}(t)^2 \right) + \frac{1}{8} m_a L_u^2 \left(\dot{\theta}_{\alpha 1}(t)^2 + \dot{\theta}_{\alpha 2}(t)^2 + \dot{\theta}_{\alpha 3}(t)^2 \right) \quad \cdots (式2)$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
T_b = & \frac{3}{8}m_b \left(\dot{P}_x(t)^2 + \dot{P}_y(t)^2 + \dot{P}_z(t)^2 \right) + \frac{1}{2} \left(J_{b1}(t, \theta_{\beta 1}) \dot{\theta}_{\beta 1}(t)^2 + J_{b2}(t, \theta_{\beta 2}) \dot{\theta}_{\beta 2}(t)^2 + \right. \\
& J_{b3}(t, \theta_{\beta 3}) \dot{\theta}_{\beta 3}(t)^2 \Big) \\
& + \frac{1}{8}m_a L_u^2 \left(\dot{\theta}_{\alpha 1}(t)^2 + \dot{\theta}_{\alpha 2}(t)^2 + \dot{\theta}_{\alpha 3}(t)^2 \right) \\
& + \sum_{i=1}^3 \frac{1}{4} m_b L_u \dot{\theta}_{\alpha i}(t) \left(-\dot{P}_x(t) \cos(\phi_i) \sin(\theta_{\alpha i}(t)) - \dot{P}_y(t) \sin(\phi_i) \sin(\theta_{\alpha i}(t)) - \right. \\
& \left. \dot{P}_z(t) \cos(\theta_{\alpha i}(t)) \right) \quad \dots \text{(式3)}
\end{aligned}$$

10

【 0 0 4 6 】

また、エンドエフェクタのポテンシャルエネルギーは、次式で記述できる。

$$U_p = m_p g_c P_z(t) \quad \dots \text{(式4)}$$

同様に駆動リンク 4 6 と受動リンク 4 7 のポテンシャルエネルギーは、次式で記述できる。

。

$$\begin{aligned}
U_a = & m_a g_c \left(O_z - \frac{1}{2} L_u \sin(\theta_{\alpha 1}(t)) \right) + m_a g_c \left(O_z - \frac{1}{2} L_u \sin(\theta_{\alpha 2}(t)) \right) + m_a g_c \left(O_z - \right. \\
& \left. \frac{1}{2} L_u \sin(\theta_{\alpha 3}(t)) \right) \quad \dots \text{(式5)}
\end{aligned}$$

20

$$\begin{aligned}
U_b = & m_b g_c \left(-\frac{1}{2} L_u \sin(\theta_{\alpha 1}(t)) + \frac{1}{2} P_z(t) + \frac{1}{2} O_z \right) + m_b g_c \left(-\frac{1}{2} L_u \sin(\theta_{\alpha 2}(t)) + \right. \\
& \left. \frac{1}{2} P_z(t) + \frac{1}{2} O_z \right) + m_b g_c \left(-\frac{1}{2} L_u \sin(\theta_{\alpha 3}(t)) + \frac{1}{2} P_z(t) + \frac{1}{2} O_z \right) \quad \dots \text{(式6)}
\end{aligned}$$

【 0 0 4 7 】

なお、上記（式 1）～（式 6）において、図 7 中に記載のない諸元パラメータについては以下の通りである。

30

m_p : エンドエフェクタの質量

m_a : 駆動リンクの質量

J_a : モータの回転子及びギアの慣性モーメント

$J_b(t, \theta_b)$: 受動リンクの XYZ 平面に対する重心まわりに慣性テンソル行列

g_c : 重力加速度

【 0 0 4 8 】

ここで、

$$J_b = Rot(\delta x) Rot(\delta y) J'_b Rot(\delta y)^T Rot(\delta x)^T$$

40

である。ただし、

$$Rot(\delta x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\delta x - \frac{\pi}{2}\right) & -\sin\left(\delta x - \frac{\pi}{2}\right) \\ 0 & \sin\left(\delta x - \frac{\pi}{2}\right) & \cos\left(\delta x - \frac{\pi}{2}\right) \end{bmatrix}$$

$$Rot(\delta y) = \begin{bmatrix} \cos(\delta y) & 0 & -\sin(\delta y) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\delta y) & 0 & \cos(\delta y) \end{bmatrix}$$

10

であり、 δx 、 δy は受動リンク 4 7 の X 軸、Y 軸まわりの回転角度である。また、

$$J'_b = \frac{1}{12} m_b L_l^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

m_b : 受動リンクの質量
 L_l : 受動リンクの長さ

20

である。

【 0 0 4 9 】

そして、上記 (式 1) ~ (式 6) より、次式のようなラグランジュ関数を得ることができる。

$$L = (T_p + T_a + T_b) - (U_p + U_a + U_b) \quad \cdots (式7)$$

【 0 0 5 0 】

ここで、一般化座標を

$$q = [P_x \ P_y \ P_z \ \theta_{\alpha 1} \ \theta_{\alpha 2} \ \theta_{\alpha 3}]$$

30

とおき、機構部 5 0 に付加される一般化力を

$$Q = [F_x \ F_y \ F_z \ Trq_1 \ Trq_2 \ Trq_3]$$

とおくと、運動方程式は次式を演算することによって導出できる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = Q_j \quad \cdots (式8)$$

(ただし、 $j = 1 \sim 6$)

40

【 0 0 5 1 】

上記 (式 8) より、X Y Z 軸方向のベクトルで表される接触外力 F (F_x , F_y , F_z) と各モータ 4 4 のシャフトトルク (Trq_1 , Trq_2 , Trq_3) による運動方程式を得ることができる。なお、機構部 5 0 が異物に接触していない通常状態では接触外力 F が 0 であるため、 $F_x = F_y = F_z = 0$ とする。また各シャフトトルク (Trq_1 , Trq_2 , Trq_3) は、各モータ 4 4 の減速機 1 5 のシャフト S H が出力して駆動リンク 4 6 を揺動駆動するトルクであり、上記減速機 1 5 の減速比と減速効率の積を η とした場合のモータトルク指令 $\times \eta$ に相当する値である。そして本実施形態の例では、上記 (式 8) の運動方程式を変形して得られる微分方程式に、各モータ 4 4 のモータ状態データ (モータトルク指令、モータ検出位置、モータ検出速度) とともにエンドエフェクタの位置 (P_x

50

(P_x, P_y, P_z)、速度、加速度を代入して接触外力 F を求めることができる。なお、上記のエンドエフェクタの位置、速度、加速度については、異常判定部 32 が図 7 の機構モデル等で示した機械諸元と、各サーボ 35 から入力されたモータ状態データに基づいて順キネマティック演算により算出すればよい。

【0052】

< 1 - 8 . 衝突に対する各軸方向別の対処制御内容について >

一般的に多くのパラレルリンクロボット 4 に実行させるピックアンドプレースの動作は、その制御上、水平方向 (XY 軸方向) での移動動作と、鉛直方向 (Z 軸方向) での移動動作とに区別され、必要に応じてそれらを組み合わせて行わせる場合が多い。そして上記ピックアップアンドプレース動作が行われる作業環境では、機構部 50 がワーク以外の異物 74 等

10

【0053】

< 1 - 8 - 1 . XY 軸方向での衝突に対する対処制御内容 >

図 8 (a) は、パラレルリンクロボット 4 の可動部 42 が異物 74 に対して主に XY 軸方向 (水平方向) で衝突した状態を側面から示しており、図 8 (b) は、そのような XY 軸方向の衝突に対応して作業制御部 33 が可動部 42 を退避移動するよう制御した状態を示している。上述したように、異常判定部 32 は、運動方程式から得られた所定の算出式に各モータ 44 のモータ状態データ (モータトルク指令、モータ検出位置、モータ検出速度) 及びエンドエフェクタの位置、速度、加速度を代入することで、その時点で可動部 42 に付加されている接触外力 F を逐次算出し、異常判定情報として作業制御部 33 へ出力することができる。この接触外力 F は、ロボット座標系の X 軸方向、 Y 軸方向、 Z 軸方向のそれぞれの分力 F_x, F_y, F_z で算出される。

20

【0054】

そこで、接触外力 F の X 軸方向と Y 軸方向の分力 F_x, F_y を合成した合成分力 F_{xy} の絶対値を、 $F_{xy} = (F_x^2 + F_y^2)^{1/2}$ で求めることができる。また、各分力 F_x, F_y それぞれの符号に基づいて、合成分力 F_{xy} の方向も求めることができる。そして異常判定部 32 は、算出した合成分力 F_{xy} の絶対値が所定のしきい値を超えた場合に、 XY 軸方向での衝突が発生したものと判定する。また、接触外力 F の Z 軸方向の分力 F_z の絶対値が別途のしきい値を超えた場合には、単純に Z 軸方向での衝突が発生したものと判定できる。以上の 2 つの衝突判定においては、それぞれしきい値と比較する対象が単純に機構部 50 に付加される接触外力であるため、当該しきい値を十分小さく設定しても確度と感度の高い衝突判定が可能となる。

30

【0055】

図 8 (a) に示す例では、算出された接触外力 F の分力 F_z が対応するしきい値と比較して十分に小さく、その一方で合成分力 F_{xy} が対応するしきい値と比較して十分に大きいことから、異常判定部 32 は機構部 50 (可動部 42) に XY 軸方向での衝突だけが発生したと判定する。一般的なパラレルリンクロボット 4 の作業現場では、このように機構部 50 に対して水平方向に異物 74 が衝突した場合、当該機構部 50 をその衝突点 P から水平方向で衝突方向に離間するよう移動させるだけで、機構部 50 及び異物 74 の両方でその衝突による影響を比較的軽くできる場合が多い。このため本実施形態では、異常判定部 32 が XY 軸方向の衝突が発生したとする判定結果と合成分力 F_{xy} を異常判定情報として出力した場合、それを受け取った作業制御部 33 は、図 8 (b) に示すように、可動部 42 を合成分力 F_{xy} の方向であらかじめ設定されている所定の離間距離 D_e だけ水平に離間した位置 (所定位置) へ退避移動するよう作業指令を出力する。

40

【0056】

なお、特に図示しないが、上記の合成分力 F_{xy} ではなく、 X 軸方向の分力 F_x と Y 軸方向の分力 F_y のそれぞれで個別にしきい値と比較して軸方向別に衝突を判定し、各衝突判

50

定に対応して対処してもよい。

【 0 0 5 7 】

< 1 - 8 - 2 . Z 軸方向での衝突に対する対処制御内容 >

また図 9 (a) に示す例のように、算出された接触外力 F の合成分力 $F_x y$ が対応するしきい値と比較して十分に小さく、その一方で分力 F_z が対応するしきい値と比較して十分に大きい場合、機構部 5 0 (可動部 4 2) には Z 軸方向での衝突だけが発生したと判定される。一般的なパラレルリンクロボット 4 の作業現場では、機構部 5 0 に対して鉛直方向での衝突が生じた場合、機構部 5 0 が例えば図示しないベルトコンベアなどの床面との間で異物 7 4 を挟み込み下方へ押圧してしまう場合がある。このため本実施形態では、異常判定部 3 2 が Z 軸方向の衝突が発生したとする判定結果と分力 F_z を異常判定情報として出力した場合に、それを受け取った作業制御部 3 3 は、図 9 (b) に示すように、可動部 4 2 をあらかじめ設定されている所定の離間距離 U_e だけ分力 F_z と同じ方向 (上方、下方) に離間した位置 (所定位置) へ退避移動するよう作業指令を出力する。またこのとき、作業制御部 3 3 は、全てのサーボ 3 5 にトルク制限信号を出力して各モータ 4 4 の出力トルクを制限することで、機構部 5 0 と異物 7 4 の両方の影響を迅速かつ確実に軽減できる。

10

【 0 0 5 8 】

なお、機構部 5 0 と異物 7 4 の接触方向によっては、上記の X Y 軸方向と Z 軸方向の両方で衝突が発生したと判定される場合もあり、その場合には両方の対処制御 (退避移動) を同時に実行してもよい (特に図示せず) 。

20

【 0 0 5 9 】

< 1 - 9 . 脱臼に対する対処制御内容について >

例えば機構部 5 0 が急激に異物 7 4 と衝突した場合には、図 1 0 (a) に示すように、当該機構部 5 0 が備えるいずれかの球面軸受 4 8 , 4 9 からボールジョイントが外れる脱臼状態となる場合がある。このとき機構部 5 0 に対する各モータ 4 4 の駆動力が大きく変化することから、異常判定部 3 2 が算出する接触外力 F も大きく変化する。本実施形態の例では、異常判定部 3 2 が衝突の場合と脱臼の場合の間の接触外力 F (またはその時間変化など) の違いを判別することで、衝突判定と脱臼判定を区別して行うことができる。

【 0 0 6 0 】

このような脱臼状態が発生した場合には、機構部 5 0 の各リンク機構部 4 3 に不要な加振力や拘束力を付与せず、図 1 0 (b) に示すように、機構部 5 0 全体をそのまま自重での自由動作により下方へ降下させることが望ましい。このため本実施形態では、異常判定部 3 2 が脱臼判定を異常判定情報として出力した場合に、それを受け取った作業制御部 3 3 は、全てのサーボ 3 5 にサーボオフ信号を出力して各モータ 4 4 への駆動電力の給電を停止する。

30

【 0 0 6 1 】

< 1 - 1 0 . 制御フロー >

以上説明した異常判定部 3 2 と作業制御部 3 3 の機能を実現するために、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 においてソフトウェア的に実行される異常判定処理と作業制御処理の制御手順を図 1 1 、図 1 2 のフローチャートを参照しつつ説明する。図 1 1 は、異常判定部 3 2 をソフトウェア的に実装した場合のフローチャートを示しており、パラレルリンクロボット 4 の制御を開始した際にその実行を開始する。

40

【 0 0 6 2 】

まず、ステップ S 1 0 5 において、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、各サーボ 3 5 で生成されたモータトルク指令と、検出されたモータ検出位置及びモータ検出速度をモータ状態データとして取得する。

【 0 0 6 3 】

次にステップ S 1 1 0 へ移り、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、上記ステップ S 1 0 5 で取得したモータ状態データに基づく順キネマティック演算により、その時点のエンドエフェクタ (図中では「 E E 」と略記) の位置、速度、加速度を算出する。

50

【 0 0 6 4 】

次にステップ S 1 1 5 へ移り、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、上記ステップ S 1 0 5 で取得したモータ状態データと、上記ステップ S 1 1 0 で算出したエンドエフェクタの位置、速度、加速度に基づいて接触外力 $F (F_x, F_y, F_z)$ を算出する。本実施形態におけるこの算出手法は、上記 (式 8) の運動方程式を用いた演算処理により行えばよい。

【 0 0 6 5 】

次にステップ S 1 2 0 へ移り、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、上記ステップ S 1 1 5 で算出した接触外力 F の X Y 軸方向の分力 F_x, F_y に基づいて合成分力 F_{xy} を算出する。

10

【 0 0 6 6 】

次にステップ S 1 2 5 へ移り、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、上記ステップ S 1 2 0 で算出した合成分力 F_{xy} が対応するしきい値以上にあるか否か、言い換えると X Y 軸方向での衝突が発生したか否かを判定する。合成分力 F_{xy} がしきい値以上である場合、判定が満たされ (S 1 2 5 : Y E S)、ステップ S 1 3 0 へ移る。

【 0 0 6 7 】

ステップ S 1 3 0 では、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、X Y 軸方向で衝突が発生したとする判定結果と合成分力 F_{xy} を異常判定情報として作業制御部 3 3 に出力する。そしてステップ S 1 3 5 へ移る。

【 0 0 6 8 】

一方、上記ステップ S 1 2 5 の判定において、合成分力 F_{xy} がしきい値未満である場合、判定は満たされず (S 1 2 5 : N O)、ステップ S 1 3 5 へ移る。

20

【 0 0 6 9 】

ステップ S 1 3 5 では、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、上記ステップ S 1 1 5 で算出した接触外力 F の Z 軸方向の分力 F_z が対応するしきい値以上にあるか否か、言い換えると Z 軸方向での衝突が発生したか否かを判定する。分力 F_z がしきい値以上である場合、判定が満たされ (S 1 3 5 : Y E S)、ステップ S 1 4 0 へ移る。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 1 4 0 では、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、Z 軸方向で衝突が発生したとする判定結果と分力 F_z を異常判定情報として作業制御部 3 3 に出力する。そしてステップ S 1 4 5 へ移る。

30

【 0 0 7 1 】

一方、上記ステップ S 1 3 5 の判定において、分力 F_z がしきい値未満である場合、判定は満たされず (S 1 3 5 : N O)、ステップ S 1 4 5 へ移る。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 1 4 5 では、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、上記ステップ S 1 1 5 で算出した接触外力 F (またはその時間変化など) に基づいて脱臼が発生したか否かを判定する。脱臼が発生した場合、判定が満たされ (S 1 4 5 : Y E S)、ステップ S 1 5 0 へ移る。

【 0 0 7 3 】

ステップ S 1 5 0 では、ロボット制御装置 3 の C P U 9 0 1 は、脱臼が発生したとする判定結果を異常判定情報として作業制御部 3 3 に出力する。そしてステップ S 1 0 5 へ戻り、同様の手順を繰り返す。

40

【 0 0 7 4 】

一方、上記ステップ S 1 4 5 の判定において、脱臼が発生していない場合、判定は満たされず (S 1 4 5 : N O)、ステップ S 1 0 5 へ戻り、同様の手順を繰り返す。

【 0 0 7 5 】

以上のステップを繰り返すことで、異常判定部 3 2 は、パラレルリンクロボット 4 の機構部 5 0 に衝突又は脱臼が発生した際にその判定結果と関係する情報を異常判定情報として作業制御部 3 3 に逐次出力する。

50

【 0 0 7 6 】

次に、図 1 2 のフローチャートを参照して作業制御処理の制御手順について説明する。この作業制御処理は、パラレルリンクロボット 4 の制御を開始した際に上記図 1 1 の異常判定処理と並行して実行される。

【 0 0 7 7 】

まず、ステップ S 2 0 5 において、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、上位制御装置 2 から入力された作業指令を取得する。

【 0 0 7 8 】

次にステップ S 2 1 0 へ移り、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、上記ステップ S 2 0 5 で取得した作業指令に対応する制御シーケンスに従って、次のエンドエフェクタの移動先位置を座標位置指令として算出し、モーション制御部 3 4 へ出力する。

10

【 0 0 7 9 】

次にステップ S 2 2 0 へ移り、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、異常判定部 3 2 から入力された異常判定情報を取得する。

【 0 0 8 0 】

次にステップ S 2 2 5 へ移り、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、上記ステップ S 2 2 0 で取得した異常判定情報に何らかの異常判定結果が含まれているか否か、言い換えると衝突または脱臼が発生したとする判定結果が含まれているか否かを判定する。異常判定結果が含まれていない場合、判定は満たされず (S 2 2 5 : N O)、ステップ S 2 3 0 へ移る。

20

【 0 0 8 1 】

ステップ S 2 3 0 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、その時点で実行している作業シーケンスが終了しているか否かを判定する。作業シーケンスが終了しておらず実行中である場合、判定は満たされず (S 2 3 0 : N O)、ステップ S 2 1 0 へ戻って同様の手順を繰り返す。

【 0 0 8 2 】

一方、作業シーケンスが終了していた場合、判定が満たされ (S 2 3 0 : Y E S)、ステップ S 2 0 5 へ戻って同様の手順を繰り返す。

【 0 0 8 3 】

また一方、上記ステップ S 2 2 5 の判定において、異常判定情報に異常判定結果が含まれている場合、判定が満たされ (S 2 2 5 : Y E S)、ステップ S 2 3 5 へ移る。なお、このときに座標位置指令を一旦固定して各モータ 4 4 の出力位置を停止させるようにしてもよい。

30

【 0 0 8 4 】

ステップ S 2 3 5 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、X Y 軸方向の衝突の発生が判定されたか否か、言い換えると異常判定情報に X Y 軸方向の衝突が発生している旨の判定結果が含まれているか否かを判定する。X Y 軸方向の衝突の発生が判定されている場合、判定が満たされ (S 2 3 4 : Y E S)、ステップ S 2 4 0 へ移る。

【 0 0 8 5 】

ステップ S 2 4 0 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、異常判定情報に含まれている合成分力 $F \times y$ に基づいて可動部 4 2 を退避移動させる移動先位置を算出し、それを座標位置指令としてモーション制御部 3 4 へ出力する。そして、ステップ S 2 4 5 へ移る。

40

【 0 0 8 6 】

一方、上記ステップ S 2 3 5 の判定において、X Y 軸方向の衝突の発生が判定されていない場合、判定は満たされず (S 2 3 5 : N O)、ステップ S 2 4 5 へ移る。

【 0 0 8 7 】

ステップ S 2 4 5 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、Z 軸方向の衝突の発生が判定されたか否か、言い換えると異常判定情報に Z 軸方向の衝突が発生している旨の判定結果が含まれているか否かを判定する。Z 軸方向の衝突の発生が判定されている場合、判定が満たされ (S 2 4 5 : Y E S)、ステップ S 2 5 0 へ移る。

50

【 0 0 8 8 】

ステップ S 2 5 0 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、各サーボ 3 5 にトルク制限信号を出力するとともに、異常判定情報に含まれている分力 F_z に基づいて可動部 4 2 を上昇退避移動させる移動先位置を算出し、それを座標位置指令としてモーション制御部 3 4 へ出力する。そしてステップ S 2 5 5 へ移る。

【 0 0 8 9 】

一方、上記ステップ S 2 4 5 の判定において、Z 軸方向の衝突の発生が判定されていない場合、判定は満たされず (S 2 4 5 : N O)、ステップ S 2 5 5 へ移る。

【 0 0 9 0 】

ステップ S 2 5 5 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、脱臼の発生が判定されたか否か、言い換えると異常判定情報に脱臼が発生している旨の判定結果が含まれているか否かを判定する。脱臼の発生が判定されている場合、判定が満たされ (S 2 5 5 : Y E S)、ステップ S 2 6 0 へ移る。

10

【 0 0 9 1 】

ステップ S 2 6 0 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、各サーボ 3 5 にサーボオフ信号を出力する。そしてステップ S 2 6 5 へ移る。

【 0 0 9 2 】

一方、上記ステップ S 2 5 5 の判定において、脱臼の発生が判定されていない場合、判定は満たされず (S 2 5 5 : N O)、ステップ S 2 6 5 へ移る。

【 0 0 9 3 】

ステップ S 2 6 5 では、ロボット制御装置 3 の CPU 9 0 1 は、パラレルリンクロボット 4 の機構部 5 0 に衝突又は脱臼の異常が発生した旨を特に図示しない表示部などを介してユーザに報知する。そして、このフローを終了する。

20

【 0 0 9 4 】

< 1 - 1 1 . 本実施形態による効果 >

以上説明したように、本実施形態のロボット制御装置 3 は、パラレルリンクロボット 4 における複数のモータ 4 4 を制御する駆動制御部 3 1 と、パラレルリンクロボット 4 の機構部 5 0 における衝突および脱臼の少なくともいずれか一方を、複数のモータ 4 4 の状態データ (モータトルク指令、モータ検出位置、モータ検出速度) に基づいて判定する異常判定部 3 2 と、を有している。これにより、パラレルリンクロボット 4 の機構部 5 0 を駆動する複数のモータ 4 4 の全ての状態データに基づいて、機構部 5 0 における外部との衝突や、各球面軸受 4 8 , 4 9 における脱臼の発生を高い精度で判定できる。

30

【 0 0 9 5 】

なお、本実施形態の例のロボット制御システム 1 は、複数の回転型モータ 4 4 a ~ 4 4 c を連携駆動することにより制御するパラレルリンクロボット 4 を使用しているが、複数の直動型 (リニアタイプ) のモータを連携駆動して制御するパラレルリンクロボット (特に図示せず) を使用する場合にも適用可能である。この場合には、上記エンコーダ部 1 4 は可動子の移動位置 (移動速度) を検出可能なリニアスケールに置き換えられ、また上記の減速機 1 5 は不要となる。また、上記 (式 8) の運動方程式の導出においては、直動型モータを用いたパラレルリンクロボットの機構モデルに基づいて導出すればよい。

40

【 0 0 9 6 】

また、本実施形態では特に、異常判定部 3 2 が衝突を判定した場合、駆動制御部 3 1 は、Z 軸方向が鉛直方向に対応した X Y Z 軸直交座標系の動作空間における X Y 軸方向での衝突と Z 軸方向での衝突とで機構部 5 0 の動作が異なるように複数のモータ 4 4 を制御する。これにより、水平方向 (X Y 軸方向) での移動動作と、鉛直方向 (Z 軸方向) での移動動作とを組み合わせる実行されるパラレルリンクロボット 4 のピックアンドプレースの動作において、衝突が生じた場合の機能的な対処が可能となる。

【 0 0 9 7 】

また、本実施形態では特に、異常判定部 3 2 が X Y 軸方向での衝突を判定した場合、駆動制御部 3 1 は、機構部 5 0 が備えるエンドエフェクタを衝突点 P から X Y 軸方向で所定距

50

離に離間した相対位置に移動させるように、複数のモータ４４を制御する。例えば機構部５０に対して水平方向に衝突が生じて、当該機構部５０をその衝突方向から水平方向に離間するよう移動させるだけで、機構部５０及び異物７４の両方でその衝突による影響を比較的軽くできる場合が多い。このように水平方向の衝突に対しては、所定位置への移動だけを行うように駆動制御部３１が複数のモータ４４を連携制御することで迅速かつ確実に適切な対処が可能となる。なお、衝突判定時の移動先位置は、上述したような衝突点Ｐからの相対位置に限られず、ロボット座標系中にあらかじめ設定しているいわゆるホームポジションなどの絶対位置へ移動させてもよい。

【００９８】

また、ＸＹ軸方向での衝突に対しては、ＸＹ軸方向におけるエンドエフェクタの移動をすぐに停止させてもよい。すなわち、異常判定部３２がＸＹ軸方向での衝突を判定した場合、駆動制御部３１は、機構部５０が備えるエンドエフェクタの移動を停止させるように、複数のモータ４４を制御してもよい。例えば機構部５０に対して水平方向に衝突が生じた場合、機構部５０及び異物７４の両方でその衝突による影響を増大させないために、最低限、ＸＹ軸方向の移動を停止させる必要がある。このように水平方向の衝突に対して、ＸＹ軸方向の移動を停止させるように駆動制御部３１が複数のモータ４４を連携制御することで、所定位置へ移動させるよりも当該駆動制御部３１における演算処理の負担を省略でき、より迅速かつ確実に適切な対処が可能となる。なお、このときの移動停止制御については、作業制御部３３が同じ座標位置指令を出力し続けてエンドエフェクタの位置をクランプさせてもよい。もしくは、作業制御部３３がサーボオフ信号を出力して各モータ４４へのモータ駆動電力の給電を停止するサーボオフを行うとともに、ブレーキ信号を出力して各モータ４４の位置を制動させてもよい。

【００９９】

また、本実施形態では特に、異常判定部３２がＺ軸方向での衝突を判定した場合、駆動制御部３１は、複数のモータ４４における出力トルクを制限し、かつ、機構部５０が備えるエンドエフェクタを衝突点ＰからＺ軸方向で所定位置に離間した相対位置に移動させるように、複数のモータ４４を制御する。例えば機構部５０に対して鉛直方向での衝突が生じた場合には、機構部５０が例えばベルトコンベアなどの床面との間で異物７４を挟み込み下方へ押圧してしまう場合がある。これに対し、機構部５０をその衝突方向から鉛直方向（上昇方向、下降方向）に移動させるだけでなく、各モータ４４の出力トルクを制限することで、機構部５０と異物７４の両方の影響を迅速かつ確実に軽減できる。なお、衝突判定時の移動先位置は、上述したような衝突点Ｐからの相対位置に限られず、ロボット座標系中にあらかじめ設定しているいわゆるホームポジションなどの絶対位置へ移動させてもよい。

【０１００】

また、本実施形態では特に、異常判定部３２が脱臼を判定した場合、駆動制御部３１は、複数のモータ４４の制御を停止する。これにより、例えば球面軸受４８、４９に脱臼が発生して機構部５０が分解した場合でも、作業制御部３３がサーボオフ信号を出力して各モータ４４へのモータ駆動電力の給電を停止するサーボオフにより制御を停止することで、各リンク機構に不要な加振力や拘束力を付与せずにより自由動作を許容させることができるため、周囲への干渉を軽減させることができる。

【０１０１】

< １ - １２ . 変形例 >

なお、以上説明した実施形態は、その趣旨及び技術的思想を逸脱しない範囲内で種々の変形が可能である。

【０１０２】

上記実施形態では、異常判定部３２が各モータ４４の状態データ（モータトルク指令、モータ検出位置、モータ検出速度）に基づいて機構部５０に付与されたと推定される接触外力Ｆを算出し、その接触外力Ｆから直接的に機構部５０の衝突と脱臼の発生を判定していたが、これに限られない。他にも、算出した接触外力Ｆからさらに各モータ４４の外乱ト

10

20

30

40

50

トルクを推定し、それら外乱トルクに基づいて衝突と脱臼を判定してもよい。この場合、上記の外乱トルクは、接触外力 F に対する抗力分として各モータ 44 のモータトルク指令に含まれる潜在トルク値に相当する。この外乱トルクを推定するためには、上記図 7 に示した機構モデルを考慮して各モータ 44 ごとに適宜設計された外乱オブザーバにより、接触外力 F を各モータ 44 の推定外乱に変換すればよい。この外乱オブザーバについては、上記(式 8)における一般化力 Q の接触外力 F とシャフトトルク T_{rq} の関係に基づいて設計すればよい(特に図示せず)。

【0103】

このように推定された各モータ 44 の外乱トルクは、単純に機構部 50 に付与された接触外力 F に相当するトルク値であるため、十分低い値で設定されたしきい値と比較することで確度と感度の高い衝突判定が可能となる。また、この外乱トルクに基づいて行うことで、精度の高い脱臼判定も可能となる。また、上記の接触外力 F 及び外乱トルクをより高い精度で推定するためには、モータ 44 のエンコーダ部 14 がモータ 44 の回転子ではなく、減速機 15 の出力軸であるシャフト SH の回転位置をモータ検出位置として検出し、対応するモータトルク指令、モータ検出速度を参照してエンコーダの位置、速度、加速度、接触外力 F 、及び外乱トルクを推定してもよい。

【0104】

< 2 . 第 2 実施形態 >

上記第 1 実施形態では、衝突や脱臼の判定に用いる接触外力 F を各モータ 44 の状態データに基づく運動方程式から算出していたが、これに限られない。他にも、機構部 50 に設けたセンサの検出値とモータ状態データとの比較に基づいて接触外力 F を求めてもよく、そのような構成の第 2 実施形態について以下に説明する。なお、上記第 1 実施形態と同等の構成や処理については、図示及び説明を省略する。

【0105】

上記図 1 に対応する図 13 は、本実施形態におけるロボット制御システム 1A の概略構成を示している。この図 13 において、パラレルリンクロボット 4 は可動部 42 の上面に 3 次元加速度センサ 16 を備えている。この 3 次元加速度センサ 16 は、ロボット座標系の X 軸方向、 Y 軸方向、 Z 軸方向のそれぞれに対応した可動部 42 の加速度を座標検出加速度として検出し、ロボット制御装置 3 へ出力している。上記図 3 に対応する図 14 は、本実施形態におけるロボット制御装置 3 の内部構成とその周辺で送受される各種情報を表している。この図 14 において、上記 3 次元加速度センサ 16 が検出した座標検出加速度は、ロボット制御装置 3 の異常判定部 32 に入力される。

【0106】

以上の構成のロボット制御システム 1A において、異常判定部 32 は、各サーボ 35 から入力されるモータ状態データに基づいてエンドエフェクタの加速度(及び位置、速度、)を算出し、それら算出値と 3 次元加速度センサ 16 から入力される座標検出加速度とに基づいて機構部 50 に作用する接触外力 F を推定できる。例えば、 X Y Z 軸の各軸方向のそれぞれで、エンドエフェクタの算出加速度と座標検出加速度との間の差分が接触外力 F の分力 F_x , F_y , F_z に対して比例関係($F = a \cdot m$)にあると考えられる。この検討に基づいて、上記図 7 に示した機構モデルの各諸元パラメータを考慮し、 X Y Z 軸の各軸方向別に接触外力 F の分力 F_x , F_y , F_z を求めることができる。また、このようにして求めた接触外力 F からさらに各モータ 44 の外乱トルクも推定できる。

【0107】

これによりこの第 2 実施形態では、運動方程式を利用した上記第 1 実施形態と比較して、機構部 50 に作用した各軸方向の接触外力 F をより負担の少ない演算処理によって簡易に算出できる。さらに、上記(式 8)に基づいて設計した外乱オブザーバで各サーボ 35 から入力されるモータ状態データを参照して外乱トルクも算出できる。

【0108】

< 3 . ロボット制御装置のハードウェア構成例 >

次に、図 15 を参照しつつ、上記で説明した CPU 901 が実行するプログラムによりソ

10

20

30

40

50

フトウェア的に実装された駆動制御部 3 1 (作業制御部 3 3、モーション制御部 3 4、サーボ 3 5)、異常判定部 3 2 等による処理を実現するロボット制御装置 3 のハードウェア構成例について説明する。

【 0 1 0 9 】

図 1 5 に示すように、ロボット制御装置 3 は、例えば、CPU 9 0 1 と、ROM 9 0 3 と、RAM 9 0 5 と、ASIC 又は FPGA 等の特定の用途向けに構築された専用集積回路 9 0 7 と、入力装置 9 1 3 と、出力装置 9 1 5 と、記録装置 9 1 7 と、ドライブ 9 1 9 と、接続ポート 9 2 1 と、通信装置 9 2 3 とを有する。これらの構成は、バス 9 0 9 や入出力インターフェース 9 1 1 を介し相互に信号を伝達可能に接続されている。

【 0 1 1 0 】

プログラムは、例えば、ROM 9 0 3 や RAM 9 0 5、記録装置 9 1 7 等に記録しておくことができる。

【 0 1 1 1 】

また、プログラムは、例えば、フレキシブルディスクなどの磁気ディスク、各種の CD・MO ディスク・DVD 等の光ディスク、半導体メモリ等のリムーバブルな記録媒体 9 2 5 に、一時的又は永続的に記録しておくこともできる。このような記録媒体 9 2 5 は、いわゆるパッケージソフトウェアとして提供することもできる。この場合、これらの記録媒体 9 2 5 に記録されたプログラムは、ドライブ 9 1 9 により読み出されて、入出力インターフェース 9 1 1 やバス 9 0 9 等を介し上記記録装置 9 1 7 に記録されてもよい。

【 0 1 1 2 】

また、プログラムは、例えば、ダウンロードサイト・他のコンピュータ・他の記録装置等 (図示せず) に記録しておくこともできる。この場合、プログラムは、LAN やインターネット等のネットワーク NW を介し転送され、通信装置 9 2 3 がこのプログラムを受信する。そして、通信装置 9 2 3 が受信したプログラムは、入出力インターフェース 9 1 1 やバス 9 0 9 等を介し上記記録装置 9 1 7 に記録されてもよい。

【 0 1 1 3 】

また、プログラムは、例えば、適宜の外部接続機器 9 2 7 に記録しておくこともできる。この場合、プログラムは、適宜の接続ポート 9 2 1 を介し転送され、入出力インターフェース 9 1 1 やバス 9 0 9 等を介し上記記録装置 9 1 7 に記録されてもよい。

【 0 1 1 4 】

そして、CPU 9 0 1 が、上記記録装置 9 1 7 に記録されたプログラムに従い各種の処理を実行することにより、上記の駆動制御部 3 1 (作業制御部 3 3、モーション制御部 3 4、サーボ 3 5)、異常判定部 3 2 等による処理が実現される。この際、CPU 9 0 1 は、例えば、上記記録装置 9 1 7 からプログラムを直接読み出して実行してもよいし、RAM 9 0 5 に一旦ロードした上で実行してもよい。更に CPU 9 0 1 は、例えば、プログラムを通信装置 9 2 3 やドライブ 9 1 9、接続ポート 9 2 1 を介し受信する場合、受信したプログラムを記録装置 9 1 7 に記録せずに直接実行してもよい。

【 0 1 1 5 】

また、CPU 9 0 1 は、必要に応じて、例えばマウス・キーボード・マイク (図示せず) 等の入力装置 9 1 3 から入力する信号や情報に基づいて各種の処理を行ってもよい。

【 0 1 1 6 】

そして、CPU 9 0 1 は、上記の処理を実行した結果を、例えば表示装置や音声出力装置等の出力装置 9 1 5 から出力してもよく、さらに CPU 9 0 1 は、必要に応じてこの処理結果を通信装置 9 2 3 や接続ポート 9 2 1 を介し送信してもよく、上記記録装置 9 1 7 や記録媒体 9 2 5 に記録させてもよい。

【 0 1 1 7 】

なお、以上の説明において、「垂直」「平行」「平面」等の記載がある場合には、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「垂直」「平行」「平面」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に垂直」「実質的に平行」「実質的に平面」という意味である。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 8 】

また、以上の説明において、外観上の寸法や大きさ、形状、位置等が「同一」「同じ」「等しい」「異なる」等の記載がある場合は、当該記載は厳密な意味ではない。すなわち、それら「同一」「等しい」「異なる」とは、設計上、製造上の公差、誤差が許容され、「実質的に同一」「実質的に同じ」「実質的に等しい」「実質的に異なる」という意味である。

【 0 1 1 9 】

また、以上既に述べた以外にも、上記実施形態や各変形例による手法を適宜組み合わせて利用しても良い。その他、一々例示はしないが、上記実施形態や各変形例は、その趣旨を逸脱しない範囲内において、種々の変更が加えられて実施されるものである。

10

【 符号の説明 】

【 0 1 2 0 】

- 1 , 1 A ロボット制御システム
- 2 上位制御装置
- 3 ロボット制御装置
- 4 パラレルリンクロボット
- 1 2 モータ本体部
- 1 3 ブレーキ部
- 1 4 エンコーダ部
- 1 5 減速機
- 1 6 3次元加速度センサ
- 3 1 駆動制御部
- 3 2 異常判定部
- 3 3 作業制御部
- 3 4 モーション制御部
- 3 5 サーボ
- 4 1 基礎部
- 4 2 可動部
- 4 3 リンク機構部
- 4 4 モータ（駆動軸）
- 4 5 取付部材
- 4 6 駆動リンク
- 4 7 受動リンク
- 4 8 , 4 9 球面軸受
- 5 0 機構部
- S H シャフト

20

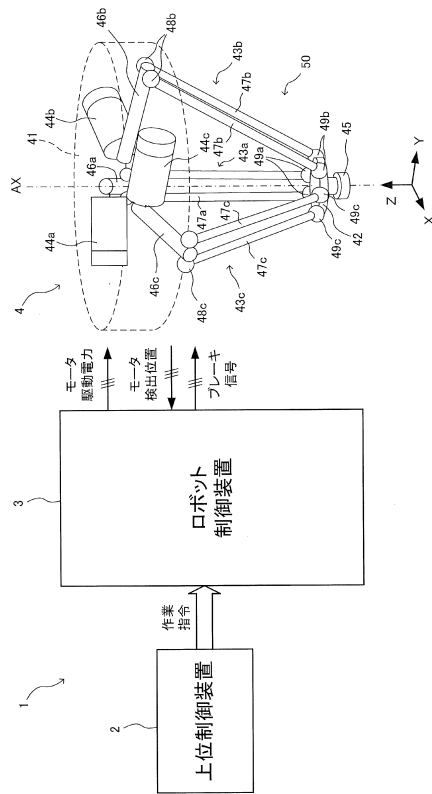
30

40

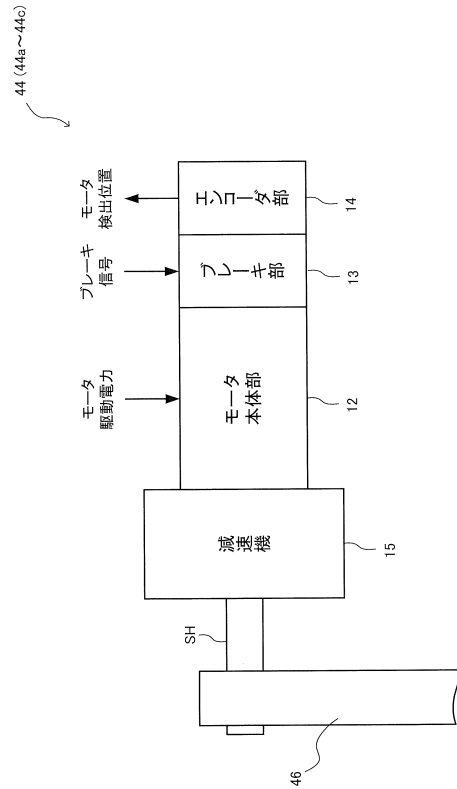
50

【 図面 】

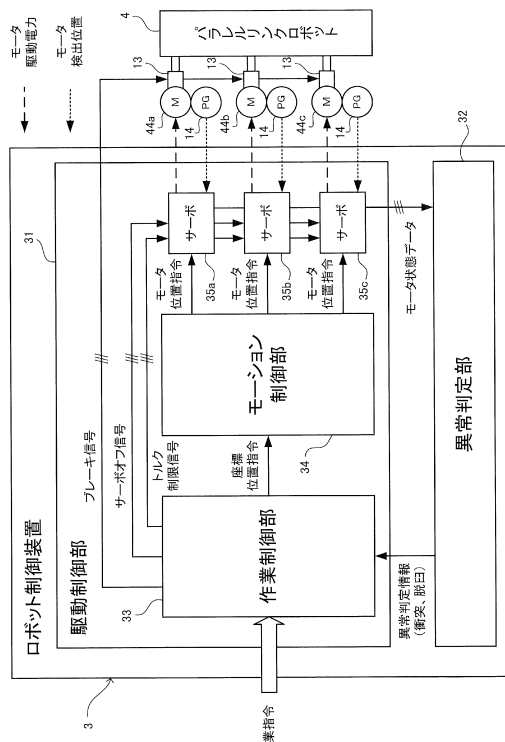
【 図 1 】



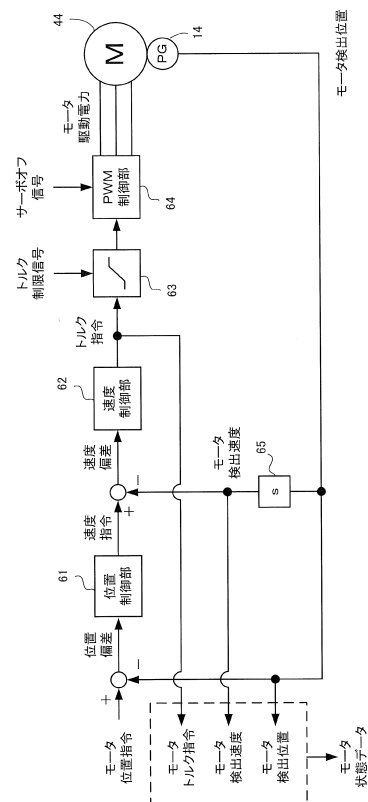
【 図 2 】



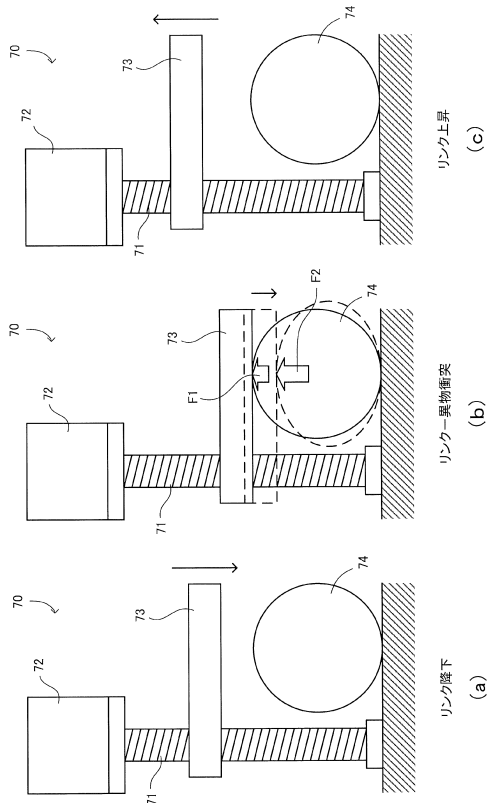
【 図 3 】



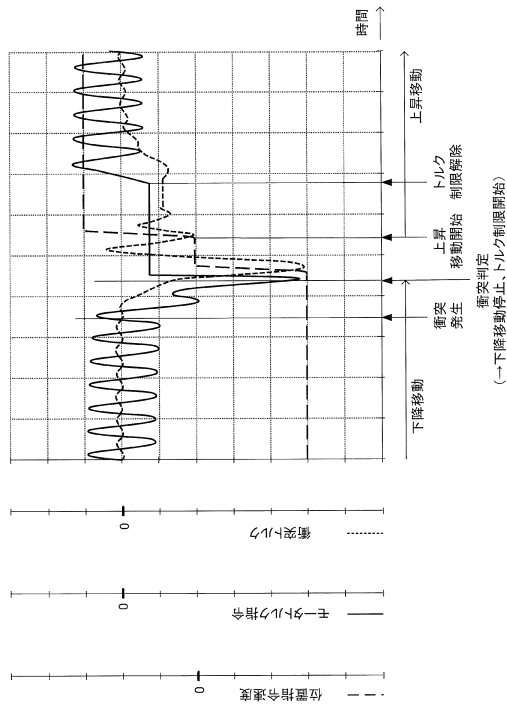
【 図 4 】



【図 5】



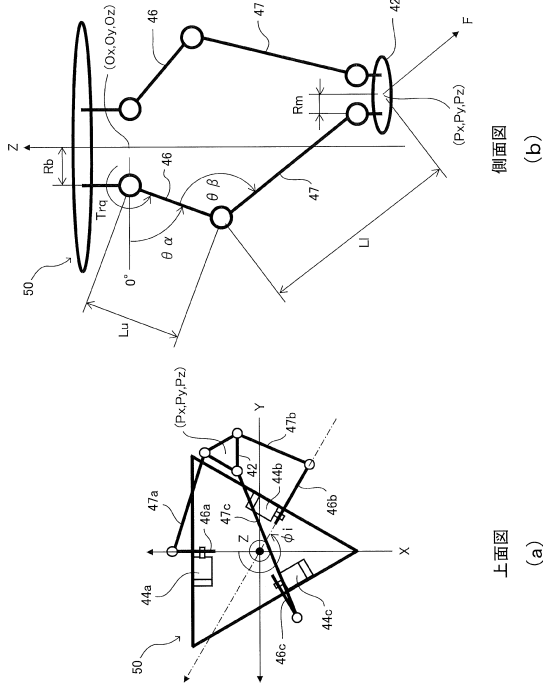
【図 6】



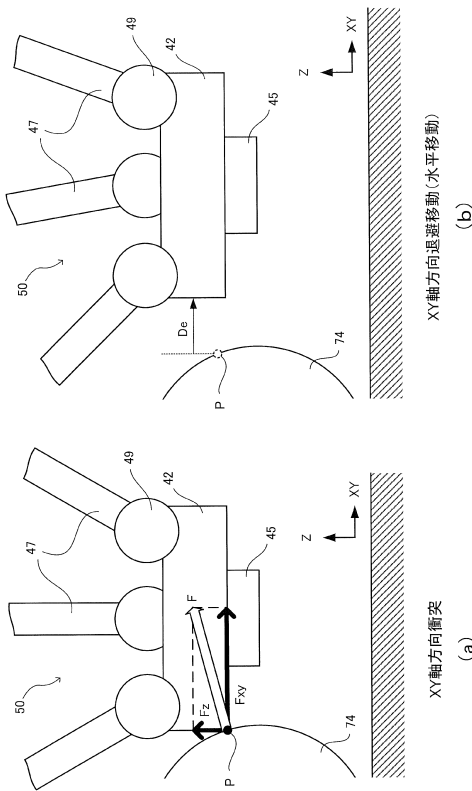
10

20

【図 7】



【図 8】

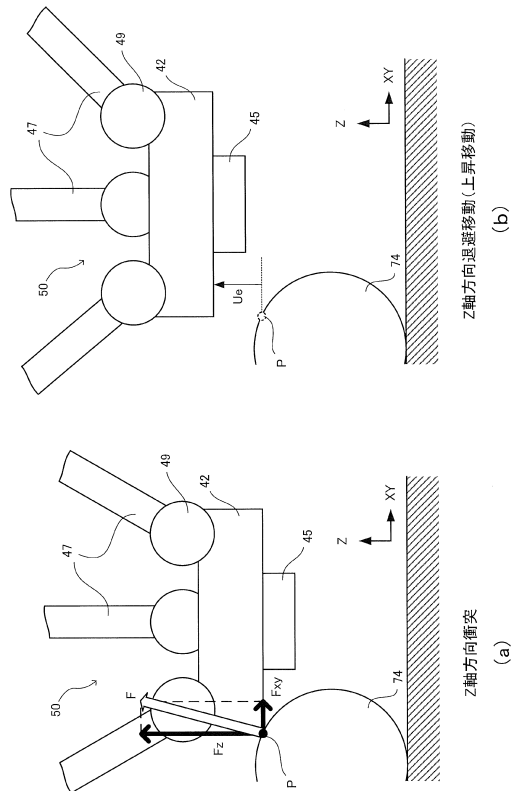


30

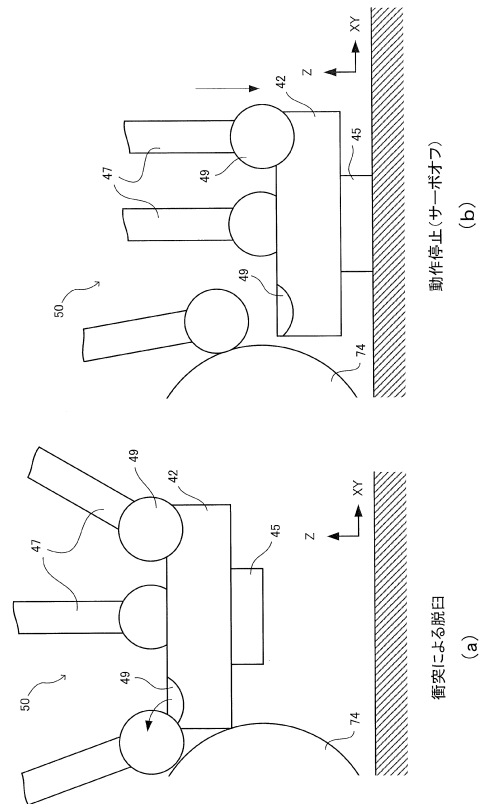
40

50

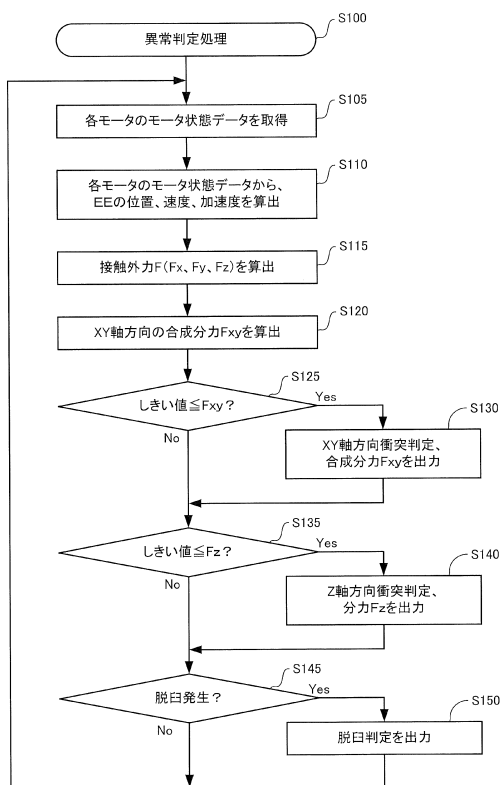
【図 9】



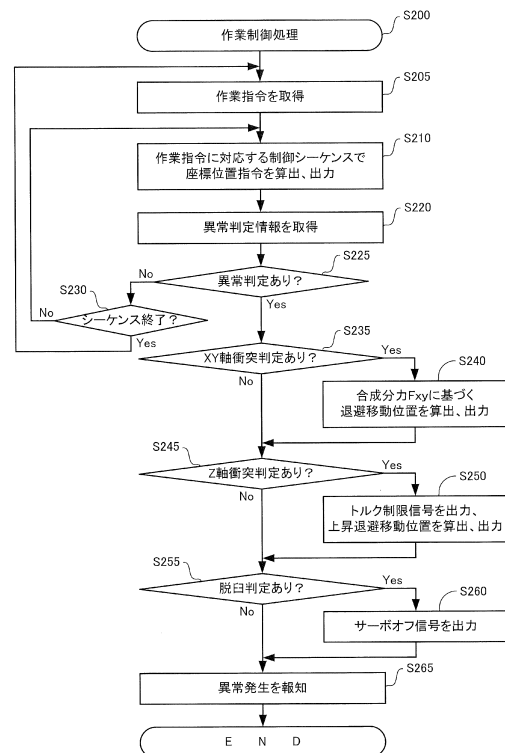
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

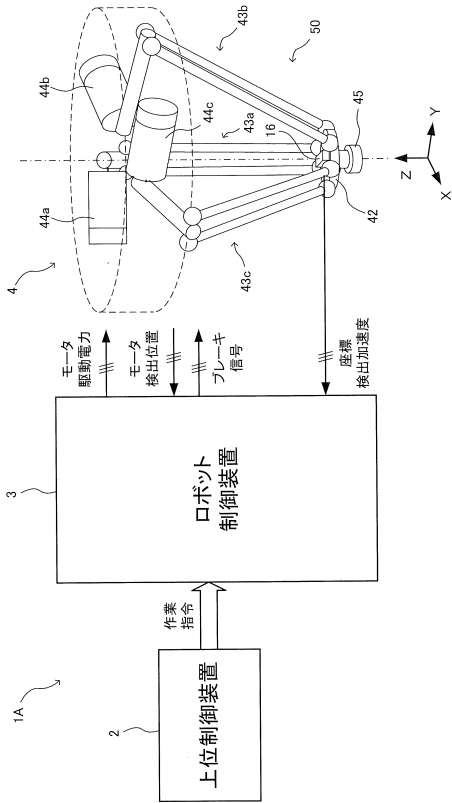
20

30

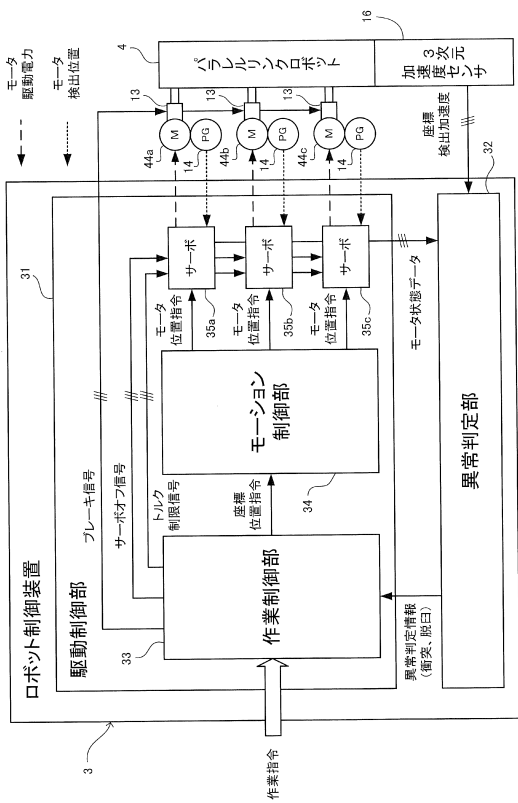
40

50

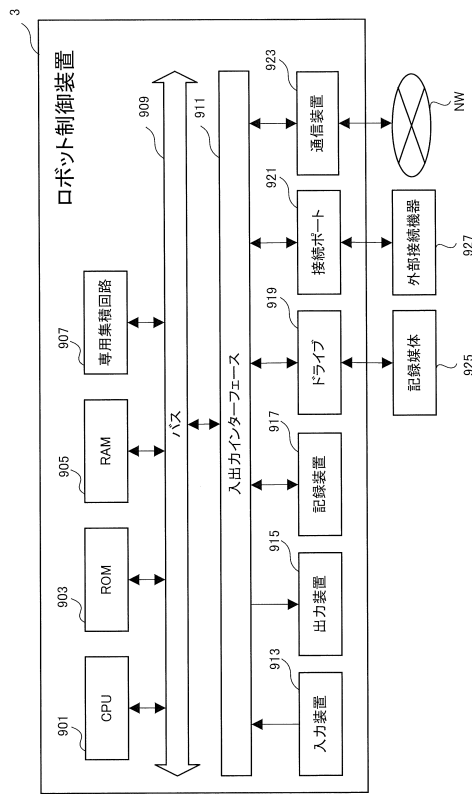
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内

審査官 松浦 陽

- (56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 1 1 2 6 3 8 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 3 6 4 3 9 6 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 0 5 2 5 0 1 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 5 2 0 4 0 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 5 6 5 0 7 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 4 8 2 8 9 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 1 3 1 6 0 (J P , A)
特開 2 0 1 9 - 1 3 6 8 3 8 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 2 1 7 7 0 9 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 1 4 2 3 5 3 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 0 2 2 3 2 9 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 2 5 J 1 / 0 0 - 2 1 / 0 2
G 0 5 B 1 9 / 1 8 - 1 9 / 1 9