

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7058126号
(P7058126)

(45)発行日 令和4年4月21日(2022.4.21)

(24)登録日 令和4年4月13日(2022.4.13)

(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 6 (全18頁)

(21)出願番号	特願2018-3123(P2018-3123)	(73)特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22)出願日	平成30年1月12日(2018.1.12)	(74)代理人	110001689 青稜特許業務法人
(65)公開番号	特開2019-123022(P2019-123022 A)	(72)発明者	中須 信昭 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(43)公開日	令和1年7月25日(2019.7.25)	(72)発明者	今沢 慶 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
審査請求日	令和2年3月25日(2020.3.25)	審査官	松浦 陽

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボット制御装置および自動組立システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボットと作業者が作業空間を共有する自動組立システムのロボット制御装置であって、前記ロボットに動作指令を出力するロボット制御指令部と、衝突回避部とを備え、前記衝突回避軌道に関連付けられた識別番号である衝突回避軌道生成方式番号を含むロボットの軌道情報を格納する軌道生成方式情報テーブルを保持し、前記衝突回避部は、前記ロボットの動作状態を入力するロボット動作状態入力部と、前記作業者の動作状態をセンシングした結果を入力する作業者動作状態入力部と、前記ロボットと前記作業者の動作状態より前記ロボットと前記作業者のそれぞれの位置と速度ベクトルを算出する位置・速度ベクトル算出部と、前記ロボットと前記作業者のそれぞれの周辺に設定される危険性判定領域を生成する危険性判定領域生成部と、前記ロボットの危険性判定領域と前記作業者の危険性判定領域の重なりから危険性を判定する危険性判定部と、前記ロボットと前記作業者の位置と速度ベクトルから衝突回避可否を判定する衝突回避可否判定部と、前記軌道生成方式情報テーブルに格納された情報に基づき、衝突を回避するロボットの衝突回避軌道を生成する衝突回避軌道生成部と、前記衝突回避軌道生成部で生成した軌道をロボット制御するデータに変換するロボット制

御データ変換部と、
前記衝突回避軌道を、前記ロボット制御指令部に出力するロボット制御データ出力部とを有し、
前記危険性判定領域は、前記ロボットおよび前記作業者をそれぞれ抱囲すると共にその外側にそれぞれ広がり、各々が重なっているときにロボットを停止させる停止領域と、前記停止領域を抱囲すると共にその外側に広がり、各々が重なっているときにロボットを退避させる衝突回避軌道を生成する退避領域と、前記退避領域を抱囲すると共にその外側に広がり、各々が重なっているときにロボットを減速させる減速領域と、からなり、
前記危険性判定部は、前記ロボットの危険性判定領域における退避領域と前記作業者の危険性判定領域における退避領域に重なり部分があるか否かを判定し、
前記ロボットの危険性判定領域における退避領域と前記作業者の危険性判定領域における退避領域に重なり部分があるときに、前記衝突回避軌道生成部は、前記軌道生成方式情報テーブルに格納された情報に基づき、前記ロボットの衝突回避軌道を生成し、
前記衝突回避可否判定部は、前記生成した衝突回避軌道により衝突回避の可否を判定し、前記衝突回避の可否の判定結果を、前記軌道生成方式情報テーブルに格納し、
前記衝突回避軌道生成部は、衝突回避が可能のときに、衝突回避が可能とされた衝突回避軌道に対応する前記軌道生成方式情報テーブルに格納された衝突回避軌道生成方式番号を出力し、
出力された衝突回避軌道生成方式番号に対応付けられた軌道情報による衝突回避軌道により、前記ロボットの退避動作を行なうことを特徴とするロボット制御装置。

10

20

【請求項 2】

前記ロボットが今まで移動してきた軌道を逆にたどる軌道を衝突回避軌道と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】

前記作業者の速度ベクトルと平行な方向を有する衝突回避軌道と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 4】

ロボットと作業者が作業空間を共有する自動組立システムであって、
前記ロボットを制御する動作指令を与えるロボット制御装置と、
前記ロボット制御装置制御に動作指令を与えるロボット作業指示装置と、
前記作業者の動作をセンシングするセンサとを備え、
前記衝突回避軌道に関連付けられた識別番号である衝突回避軌道生成方式番号を含むロボットの軌道情報を格納する軌道生成方式情報テーブルを保持し、
前記ロボット制御装置にロボットの動作状態を入力し、
前記ロボット制御装置に前記センサより作業者の動作状態を入力し、
前記ロボット制御装置は、前記ロボットの動作状態と前記作業者の動作状態より、前記ロボットと前記作業者のそれぞれの位置と速度ベクトルを算出し、
前記ロボット制御装置は、前記ロボットと前記作業者のそれぞれの周辺に危険性判定領域を生成し、

30

前記危険性判定領域は、前記ロボットおよび前記作業者をそれぞれ抱囲すると共にその外側にそれぞれ広がり、各々が重なっているときにロボットを停止させる停止領域と、前記停止領域を抱囲すると共にその外側に広がり、各々が重なっているときにロボットを退避させる衝突回避軌道を生成する退避領域と、前記退避領域を抱囲すると共にその外側に広がり、各々が重なっているときにロボットを減速させる減速領域と、からなり、
前記ロボット制御装置は、前記ロボットの危険性判定領域における退避領域と前記作業者の危険性判定領域における退避領域に重なり部分があるか否かを判定し、
前記ロボット制御装置は、前記ロボットの危険性判定領域における退避領域と前記作業者の危険性判定領域における退避領域に重なり部分があるときに、前記軌道生成方式情報テーブルに格納された情報に基づき、前記ロボットの衝突回避軌道を生成し、
前記ロボット制御装置は、算出された前記ロボットと前記作業者のそれぞれの位置と速度

40

50

ベクトルと前記生成した衝突回避軌道により衝突回避の可否を判定し、前記衝突回避の可否の判定結果を、前記軌道生成方式情報テーブルに格納し、衝突回避が可能のときに、衝突回避が可能とされた衝突回避軌道に対応する前記軌道生成方式情報テーブルに格納された衝突回避軌道生成方式番号を出力し、前記ロボット制御装置は、出力された衝突回避軌道生成方式番号に対応付けられた軌道情報による衝突回避軌道により、前記ロボットの退避動作を行なうことを特徴とする自動組立システム。

【請求項 5】

前記ロボットが今まで移動してきた軌道を逆にたどる軌道を衝突回避軌道とすることを特徴とする請求項 4 記載の自動組立システム。

10

【請求項 6】

前記作業者の速度ベクトルと平行な方向を有する衝突回避軌道とすることを特徴とする請求項 4 記載の自動組立システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット制御装置および自動組立システムに係り、特に、作業者とロボットが協働して、組立作業を行う場合に、作業者の安全性を向上させ、ラインの稼働率を向上させるのに好適なロボット制御装置および自動組立システムに関する。

【背景技術】

20

【0002】

労働人口比率の低下や労働賃金の上昇に伴い、製造ラインへの自動組立機械（組立ロボット）の導入が進んでいる。組立ロボットの導入においては、動作中に作業者との接触が起きないように、安全柵内に組立ロボットを設置する必要があった。

【0003】

しかしながら、ロボットと安全柵の間に作業者がはさまれないよう、安全柵を十分広く設置する必要があり、組立ロボット設備の設置面積が大きくなり、工場内のスペースの有効活用ができない課題があった。また、生産形態が多品種変量生産にかわってきており、製品ごとの専用自動化設備ではなく、作業者と組立ロボットが協調して作業するフレキシブルラインが求められている。

30

【0004】

そこで、作業者が安全に組立ロボットと同一空間で作業するための安全技術が、例えば、特許文献 1 と特許文献 2 に開示されている。

【0005】

特許文献 1 には、組立ロボットが周辺障害物と衝突するか否かを動作シミュレーションで予測し、衝突すると判定した場合に、ハンドを障害物から遠ざかる方向に動作させる方法が開示されている。

【0006】

また、特許文献 2 には、ロボットアームが障害物や人に近づく方向に移動する場合に、ロボットと障害物および人との距離がある値より接近した時にロボットアームを緊急停止させる方法が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開 2010 - 240782 号公報

特開 2011 - 125975 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記従来技術の特許文献 1 および特許文献 2 は、ロボットと障害物あるいは人との距離に

50

基づいて安全性を判定するものであり、ロボットや障害物、人の移動速度や方向を考慮していない。したがって、障害物や人がロボットから遠ざかっている場合など、本来安全である場合にも、ロボットを緊急停止させることになるため、必要以上にロボットを停止させることになり、その結果、組立ラインの稼働率が低下することになる。

【0009】

本発明の目的は、作業者とロボットが協働して、組立作業を行う場合に、作業者の安全性を向上させ、ラインの稼働率を向上させることのできるロボット制御装置および自動組立システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するために、本発明のロボット制御装置の構成は、好ましくは、ロボットと作業者が作業空間を共有する自動組立システムのロボット制御装置であって、ロボットに動作指令を出力するロボット制御指令部と、衝突回避部とを備え、衝突回避部は、ロボットの動作状態を入力するロボット動作状態入力部と、作業者の動作状態をセンシングした結果を入力する作業者動作状態入力部と、ロボットと作業者の動作状態よりロボットと作業者のそれぞれの位置と速度ベクトルを算出する位置・速度ベクトル算出部と、ロボットと作業者のそれぞれの周辺に危険性判定領域を生成する危険性判定領域生成部と、抽出したロボットの危険性判定領域と作業者の危険性判定領域の重なりから危険性を判定する危険性判定部と、ロボットと作業者の位置と速度ベクトルから衝突回避可否を判定する衝突回避可否判定部と、危険性判定部で判定した結果から、衝突を回避するロボットの衝突回避軌道を生成する衝突回避軌道生成部と、衝突回避軌道を、ロボット制御指令部に出力するロボット制御データ出力部とを有するようにしたものである。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、作業者とロボットが協働して、組立作業を行う場合に、作業者の安全性を向上させ、ラインの稼働率を向上させることのできるロボット制御装置および自動組立システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】自動組立システムの概要構成図である。

【図2】ロボット制御装置の機能構成図である。

【図3】モデル情報テーブルの一例を示す図である。

【図4】衝突回避情報テーブルの一例を示す図である。

【図5】軌道生成方式情報テーブルの一例を示す図である。

【図6】ロボット制御装置において衝突回避軌道を生成する処理を説明するゼネラルチャートである。

【図7】危険性判定領域の設定を説明するための図である。

【図8】危険性判定処理の詳細を示すフローチャートである。

【図9】危険性判定処理の仕方を説明する図である。

【図10】衝突回避軌道生成処理の詳細を示すフローチャートである。

【図11】衝突回避可否判定の詳細を示すフローチャートである（その一）。

【図12】ロボットが衝突回避動作を開始する直前の状態を示す図である（その一）。

【図13】衝突回避可否判定の詳細を示すフローチャートである（その二）。

【図14】ロボットが衝突回避動作を開始する直前の状態を示す図である（その二）。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明に係る一実施形態を、図1ないし図14を用いて説明する。

【0014】

まず、図1および図2を用いて自動組立システムの構成について説明する。

自動組立システム100は、図1に示されるように、ロボット101、センサ103、口

10

20

30

40

50

ロボット制御装置 104、ロボット作業指示装置 106 から構成される。

【0015】

ロボット 101 は、ロボット制御装置 104 からの指令により、ワーク 120 に対して、移動、加工、部品の取付けなどのなんらかの動作を行う装置である。ロボット制御装置 104 は、ロボット作業指示装置 106 からの指示に従って、ロボット 101 に動作の指令をする装置である。ロボット作業指示装置 106 は、ロボットの移動軌道や移動タイミングなどの指示をロボット制御装置 104 に与える装置である。センサ 103 は、作業員 102 の動きをとらえるセンシング装置であり、2次元カメラや3次元カメラ、レーザ距離計を用いることができ、さらに、作業員 102 に取り付けられた加速度センサなどの一般的なセンシングデバイスを用いることができる。

10

【0016】

本実施形態の自動組立システム 100 は、無人ではなく、有人作業であって、作業員 102 とロボットが協働して組立てを行うことを前提とする。自動組立システム 100 は、ロボット作業指示装置 106 からの作業指示に従って、ロボット制御装置 104 の動作指令によりロボット 101 を動作させる。作業スペースには、ワーク 120 が設置され、ロボット 101 と作業員 102 は、ワーク 120 に対して部品の組み立てを行う。また、ロボット制御装置 104 は、センサ 103 で取得した作業員 102 の動作データと、ロボット制御装置 104 から取得したロボットの関節角や角速度、角加速度などの現在のロボット動作状態を表すデータを用いて、衝突危険性を判断するとともに、衝突すると判定した場合には、衝突回避軌道を生成し、その衝突回避に基づいた動作指令により回避動作を指示する。

20

【0017】

なお、本実施形態では、ロボットが2軸制御のロボットである場合を例に採り説明するが、制御軸数や装置構成はこれに限られるものではない。

【0018】

次に、図2を用いてロボット制御装置の機能構成について説明する。

ロボット制御装置 104 は、ロボット制御指令部 105、衝突回避部 109、入力部 118、記憶部 119、表示部 121、通信部 122 の各機能部により構成される。また、衝突回避部 109 は、ロボット動作状態入力部 111、作業員動作状態入力部 112、位置・速度ベクトル算出部 113、危険性判定領域生成部 114、危険性判定部 115、衝突回避軌道生成部 116、衝突回避可否判定部 124、ロボット制御データ変換部 117、ロボット制御データ出力部 123 のサブコンポーネントより構成される。記憶部 119 は、モデル情報テーブル 300、衝突回避情報テーブル 400、軌道生成方式情報テーブル 500、ロボット制御指令履歴 600 を格納している。

30

【0019】

ロボット制御指令部 105 は、ロボット 101 に対して動作指令を与える部分である。衝突回避部 109 は、作業員 102 とロボット 101 との衝突を回避するための衝突回避軌道を生成して、ロボット制御指令部 105 に対して出力する部分である。

【0020】

衝突回避部 109 のロボット動作状態入力部 111 は、ロボット制御指令履歴 600 からロボット 101 の関節角や角速度、角加速度などの現在のロボット動作状態を表すデータを取得する部分である。作業員動作状態入力部 112 は、センサ 103 がセンシングした作業員 102 の動きを表す位置や速度、加速度などの作業員の動作状態を表すデータを取得する部分である。位置・速度ベクトル算出部 113 は、ロボット動作状態入力部 111 と作業員動作状態入力部 112 で取得したロボット動作と作業員動作データから、それぞれの代表点の位置と速度ベクトルを抽出する部分である。危険性判定領域生成部 114 は、モデル情報テーブル 300 に格納したロボット 101 や作業員 102 のモデルデータと位置・速度ベクトル算出部 113 で算出したロボット 101 と作業員 102 の位置と速度ベクトルを用いて、ロボット 101 と作業員 102 の危険性判定領域に関する情報を生成する部分である。危険性判定部 115 は、危険性判定領域生成部 114 で生成したロボッ

40

50

トの危険性判定領域に関する情報と作業者の危険性判定領域の情報から衝突の危険性を判定する部分である。衝突回避軌道生成部 116 は、作業者 102 からロボット 101 を回避させる軌道を生成する部分である。衝突回避可否判定部 124 は、衝突回避軌道生成処理で用いられ、生成された衝突回避軌道で衝突回避可能かを判定する部分である。ロボット制御データ変換部 117 は、衝突回避軌道生成部 116 で生成したロボットの回避軌道をロボットの制御信号に変換する部分である。ロボット制御データ出力部 123 は、ロボット制御データ変換部 117 で生成したロボット制御データを、ロボット制御指令部 105 に出力する部分である。

【0021】

入力部 118 は、ロボット 101 や作業者 102 のモデルデータや危険性判定条件、回避軌道生成条件など、衝突回避軌道生成に必要な設定情報の入力、メニューの選択指示、あるいはその他の指示等を入力する部分であり、入力された情報は、記憶部 119 の各テーブルに格納される。表示部 121 は、評価対象モデルの表示、入力情報の表示、処理結果の表示、処理途中の経緯の表示等を行う表示部である。通信部 122 は、ロボット 101、センサ 103、ロボット作業指示装置 106 間でデータを送受信する部分である。

10

【0022】

このロボット制御装置 104 の各機能構成部は、専用のハードウェアロジックで実現してもよい。パーソナルコンピュータのような一般的な情報処理装置において、各の機能を実現するプログラムを実行させて、実現するようにしてもよい。その場合には、CPU (Central Processing Unit: 中央処理装置) が、HDD (Hard Disk Drive) や SSD (Solid State Drive) からなる補助記憶装置にインストールされたプログラムやテーブルを、RAM (Random Access Memory) からなる主記憶装置に、ロードして参照して実行する形態になる。

20

【0023】

また、この場合の入力部 118 は、例えば、キーボード、マウスなどであり、その他、タッチパネル、専用のスイッチやセンサあるいは音声認識装置を用いてもよい。表示部 121 は、例えば、ディスプレイ、プロジェクタ、ヘッドマウントディスプレイなど画面やスクリーンに情報を表示する装置である。さらに、表示部 121 に表示された情報を用紙に出力するプリンタ (図示せず) を、ロボット制御装置 104 に接続してもよい。

【0024】

また、ロボット制御装置 104 は、ロボット 101 やロボット作業指示装置 106 とハードウェアを共有してもよい。

30

【0025】

本実施形態は、1 本腕を装着するロボットを想定したアルゴリズムを記述しているが、1 本腕のロボットに限定されるものではなく、腕の本数は 2 本以上、または、XYZ の直動軸を持つ機械など 6 軸ロボット以上の駆動軸数を有するものであってもよい。

【0026】

なお、記憶部 119 に格納されている各テーブルの詳細は、後に説明する。記憶部 119 に格納されているロボット制御指令履歴 600 は、ロボット制御指令部 105 がロボットに与えた指令の履歴情報である。

40

【0027】

次に、図 3 ないし図 5 を用いてロボット制御装置で参照されるデータ構造について説明する。

モデル情報テーブル 300 は、ロボットに作業指令を与えるための基礎データ (モデル情報) を格納するテーブルであり、図 3 に示されるように、ロボットモデル情報 301、作業者モデル情報 302、作業環境モデル情報 303 の格納欄を有する。ロボットモデル情報 301 は、ロボット構造や付帯物の情報を格納する欄であり、リンク数 301 a、リンク寸法 301 b、リンク接続情報 301 c、ロボット代表点座標 301 d、把持物寸法 301 e、把持座標 301 f の中項目からなる情報を有する。

【0028】

50

リンク数 3 0 1 a は、ロボットアームを構成する部品（リンク）の数である。リンク寸法 3 0 1 b は、その部品の寸法である。リンク接続情報 3 0 1 c は、各リンクをつなぐ関節に関する情報である。ロボット代表点座標 3 0 1 d は、ロボット速度ベクトルを算出するロボットの代表点の座標である。把持物寸法 3 0 1 e は、ロボット 1 0 1 が把持している物体の寸法である。把持座標 3 0 1 f は、その物体の座標である。

【 0 0 2 9 】

リンク接続情報 3 0 2 c は、関節を構成するリンク名と、回転軸や直動軸といった関節の形態が格納されている。

【 0 0 3 0 】

作業モデル情報 3 0 2 も、ロボットモデル情報 3 0 1 と名称が若干異なるが同様の中項目を有しており、各々の意味は、作業者の身体の動きをロボットに擬似的になぞらえている。なお、本実施形態では、作業モデルを片腕の肘から指までとして記述しているが、胴体や両腕を含むモデルであってもよい。

10

【 0 0 3 1 】

作業環境モデル情報 3 0 3 は、ワーク位置座標 3 0 3 a、作業第情報 3 0 3 b、ロボット原点位置 3 0 3 c、作業者原点位置 3 0 3 d、センサ取付け原点位置 3 0 3 e の中項目からなる情報を有する。

【 0 0 3 2 】

ワーク位置座標 3 0 3 a は、作業台の中の作業位置を示す座標である。作業第情報 3 0 3 b は、作業台の形状寸法を記述したデータである。ロボット原点位置 3 0 3 c は、作業台に設置されたロボット 1 0 1 の原点位置を示す座標である。作業者原点位置 3 0 3 d は、作業台の近くで作業する作業者 1 0 2 の立ち位置を示す座標である。センサ取付け原点位置 3 0 3 e は、作業者 1 0 2 の動きを検出するセンサ 1 0 3 の取付け位置を示す座標である。

20

【 0 0 3 3 】

衝突回避情報テーブル 4 0 0 は、ロボット制御装置 1 0 4 がロボット 1 0 1 と作業者の衝突を回避するためのデータを格納するテーブルであり、図 4 に示されるように、衝突回避時間 4 0 1、減速条件 4 0 2、危険性判定領域幅 4 0 3、接近距離情報 4 0 4 を有する。

【 0 0 3 4 】

衝突回避時間 4 0 1 は、衝突回避判定領域を速度ベクトル方向に拡大する幅を設定するために使用される衝突を回避するための時間情報である。減速条件 4 0 2 は、ロボットを減速させると判定されたときのロボット動作の条件である。危険性判定領域幅 4 0 3 は、ロボット 1 0 1 と作業者 1 0 2 の相対位置における危険性を判定する領域幅を設定するための情報である。接近距離情報 4 0 4 は、ロボット 1 0 1 と作業者 1 0 2 が近接したときに危険であると判断するための情報である。

30

【 0 0 3 5 】

衝突回避時間 4 0 1 は、停止領域、退避領域、減速領域毎に設定できるようにし、それぞれ停止領域用衝突回避時間 4 0 1 a、退避領域用衝突回避時間 4 0 1 b、減速領域用衝突回避時間 4 0 1 c の中項目情報を有する。減速条件 4 0 2 は、減速時動作速度上限値 4 0 2 a、対作業者速度比率 4 0 2 b、対ロボット指示値速度比率 4 0 2 c の中項目情報を有する。

40

【 0 0 3 6 】

減速時動作速度上限値 4 0 2 a は、ロボット 1 0 1 が減速するときの速度の上限値の情報である。対作業者速度比率 4 0 2 b は、作業者速度に対する減速比率である。対ロボット指示値速度比率 4 0 2 c は、ロボット指示値に対する減速比率である。

【 0 0 3 7 】

危険性判定領域幅 4 0 3 は、停止領域、退避領域、減速領域毎に設定できるようにし、それぞれ停止領域用危険性判定領域幅 4 0 3 a、退避領域用危険性判定領域幅 4 0 3 b、減速領域用危険性判定領域幅 4 0 3 c の中項目情報を有する。

【 0 0 3 8 】

50

接近距離情報 404 には、最小接近距離 404 a の中項目情報を有する。最小接近距離 404 a は、作業員 102 が安全であると判断できる最小の接近距離である。

【0039】

軌道生成方式情報テーブル 500 は、ロボット 101 に対して軌道を生成する情報を格納するテーブルであり、図 5 に示されるように、方式数 501、軌道生成方式情報 502 を有する。

【0040】

方式数 501 は、このテーブルにおいて格納されている方式の数である。軌道生成方式情報 502 は、軌道生成される方式の各種情報である。

【0041】

軌道生成方式情報 502 には、方式番号 502 a、方式名称 502 b、軌道生成アルゴリズムリンク情報 502 c、優先順位 502 d、衝突回避可否判定結果 502 e、衝突回避軌道データ 502 f の中項目情報を有する。

【0042】

方式番号 502 a は、このテーブルにおける識別番号である。方式名称 502 b は、この方式に対する名称である。アルゴリズムリンク情報 502 c は、軌道生成アルゴリズムを呼び出す時のパスなどの情報である。優先順位 502 d は、適用するアルゴリズムの優先順位を示す情報である。衝突回避可否判定結果 502 e は、衝突回避可否判定の結果情報である。衝突回避軌道データ 502 f は、衝突回避軌道の点列データである。

【0043】

次に、図 6 ないし図 14 を用いてロボット制御装置の衝突回避部において衝突回避軌道を生成する処理について説明する。

衝突回避部 109 は、ロボット 101 と作業員 102 のセンサ 103 によるセンシングデータに基づいて衝突の危険性を判定し、衝突の危険性があると判定されたときに、衝突回避軌道を生成し、ロボット制御指令部 105 に出力する。

【0044】

まず、衝突回避部 109 のロボット動作状態入力部 111 は、ロボット状態取得処理を行う (S11)。ロボット状態取得処理では、ロボット制御指令履歴 600 からロボットの各関節の角度を取得する。短時間でロボットの状態をロボット制御にフィードバックするためには、その取得間隔は、数ミリ秒から数十ミリ秒であることが望ましい。また、ロボット関節角の取得方法は、ロボットに取り付けられた加速度センサや、外部に取り付けられた 2次元カメラや 3次元カメラ、レーザ距離計などの一般的なセンサによって取得してもよい。2次元カメラや 3次元カメラ、レーザ距離計などから得られたデータを用い、モデル情報テーブル 300 に格納されているロボットモデル情報と比較することにより、ロボットの関節角を算出することができる。

【0045】

S11 と並行して、作業員動作状態入力 112 は、センシングデータ取得処理を行う (S12)。この処理では、作業員 102 の動作、例えば、腕の動きの状態を取得する。センシングデータ取得処理においても、ロボット状態取得処理と同様に、腕の座標を数ミリ秒から数十ミリ秒間隔で取得し、ロボット制御にフィードバックすることが望ましい。データの取得には、作業員 102 の腕に取り付けられた加速度センサや、外部に取り付けられた 2次元カメラや 3次元カメラ、レーザ距離計などの一般的なセンサによって取得してもよい。2次元カメラや 3次元カメラ、レーザ距離計などから得られたデータを用い、モデル情報テーブル 300 に格納されている作業員モデル情報と比較することにより、作業員の腕の角度や位置を算出することができる。

【0046】

次に、位置・速度ベクトル算出部 113 は、位置・速度ベクトル算出処理を行う (S13)。この処理は、S11 のロボット状態取得処理で取得したロボットの関節角情報とモデル情報テーブル 300 に格納されているロボットモデル情報から、ロボット 101 の代表点の位置と速度ベクトルを算出するとともに、センシングデータ取得処理で取得した作業

10

20

30

40

50

者 102 の関節角情報とモデル情報テーブル 300 に格納されている作業者モデル情報から、作業者の代表点の位置と速度ベクトルを算出する。ここで、代表点とは、例えばハンドの先端やハンドが把持している物体の先端など、衝突の危険性が高い点のことである。衝突の危険性が高い点は、ロボット 101 と作業者 102 の相対的位置関係や作業内容により変化する。

【0047】

次に、危険性判定領域生成部 114 は、危険性判定領域生成処理を行う (S14)。この処理では、S13 の位置・速度ベクトル抽出処理で取得したロボット 101 と作業者 102 の代表点の位置と速度ベクトル、およびモデル情報テーブル 300 に格納されているロボットモデル情報と作業者モデル情報を用いて、危険性判定領域を生成する。

10

【0048】

ここで、図 7 を用いて危険性判定領域の設定について説明する。危険性判定領域には、停止領域 201 a、b と退避領域 202 a、b、および減速領域 203 a、b があり、少なくともその内の一つの領域を設定する。ロボットの停止領域 201 b に作業者 102 が侵入したときにはロボットを停止させ、ロボットの退避領域 202 b に作業者 102 が侵入したときにはロボットを退避させ、ロボットの減速領域 203 b に作業者 102 が侵入したときにはロボットを減速させるという判定に用いる。

【0049】

危険性判定領域は、ロボット 101 と作業者 102 の各時刻における位置を基準とし、衝突回避情報テーブル 400 に格納した危険性判定領域幅 403 に基づいて、3 次元的に設定される。さらに、速度ベクトル 204 a、b 方向に、各領域を拡大した領域とする。拡大幅は、衝突回避情報テーブル 400 に格納した衝突回避時間 401 を用い、衝突回避時間 × 速度ベクトルの大きさを算出される拡大幅とする。

20

【0050】

次に、危険性判定部 115 は、危険性判定処理を行う (S15)。

【0051】

危険性判定処理で停止と判定されたときには、「停止」というステータスを付与し (S21)、ロボット制御指令部 105 に送信され (S23)、ロボット 101 は直ちに停止される。危険性判定処理で減速と判定されたときには、「減速」というステータスを付与し (S20)、ロボット制御指令部 105 に送信され (S23)、ロボット 101 は動作速度を低下させて作業を続行する。このときの動作軌道は、ロボット作業指示装置 106 が指示した軌道である。速度低下の割合は、衝突回避情報テーブル 400 に格納した減速条件 402 を用い、例えば、減速時動作速度上限値 402 a や作業者 102 の速度ベクトルの大きさに対する対作業者速度比率 402 b、ロボット作業指示装置 106 が指示した速度の大きさに対する対ロボット指示値速度比率 402 c などが用いられる。危険性判定処理で回避なしと判定されたときには、「回避なし」というステータスを付与し (S19)、ロボット制御指令部 105 に送信され (S23)、ロボット 101 はロボット作業指示装置 106 が指示した動作を変更することなく実行する。退避と判定されたときには、「退避」というステータスを付与 (S22) するとともに、衝突回避軌道生成処理 (S16)、ロボットデータ変換処理 (S17)、衝突回避軌道出力処理 (S18) をおこなって、衝突回避軌道情報をロボット制御指令部 105 に出力する。その後、判定結果「退避」は、ロボット制御指令部 105 に送信され (S23)、S18 で出力した衝突回避軌道にロボット動作を切り替える。

30

40

【0052】

なお、S17 のロボット制御データ変換処理は、ロボット制御データ変換部 117 で実行される処理である。この処理は、ロボット固有の言語や回避軌道をあらかずロボット関節角の点列等、ロボットを制御する一般的なデータに変換する処理である。

【0053】

また、S18 の回避軌道出力処理は、ロボット制御データ出力部 123 で実行される処理である。この処理は、ロボット制御データ変換部 117 で生成したロボット制御データを

50

、ロボット制御指令部 105 に出力する処理である。

【0054】

次に、図8および図9を用いてS15の危険性判定処理について説明する。

危険性判定処理では、まず、図9(a)に示すように、ロボット101と作業員102の停止領域201a、bに重なり領域が存在するか否かを判定する(S31)。ここで、停止領域に重なり部分が存在すると判定されたときには、「停止」という判定結果を出力する(S35)。停止領域に重なり部分が存在しないときは、退避領域202a、bに重なり領域が存在するか否かを判定する(S32)。ここで、退避領域に重なり部分が存在すると判定されたときには、「退避」という判定結果を出力する(S36)。退避領域に重なり部分が存在しないときは、図9(b)に示すように、減速領域203a、bに重なり領域が存在するか否かを判定する(S33)。ここで、減速領域に重なり部分が存在すると判定されたときには、「減速」という判定結果を出力する(S37)。減速領域に重なり部分が存在しない場合は、回避の必要がないと判断し、「回避なし」という判定結果を出力する(S34)。

10

【0055】

以上のように、危険性が高い順番、すなわち、ロボット101と作業員102が接近する順に危険性を判定して、ロボット101に与える指令動作を「停止」、「退避」、「減速」と振り分けることにより、危険レベルを正しく判定した動作指令を与えることができる。危険性判定領域の重なり部分の検出は、一般的な3次元点群データの干渉チェックアルゴリズムを用いることができる。また、モデル情報テーブル300に格納したロボット101と作業員102のモデル情報を簡素な形状、例えば、球と円柱の組み合わせで表現すれば、干渉チェック処理を短時間で実行可能である。

20

【0056】

次に、図10を用いてS16の衝突回避軌道生成処理について説明する。

この衝突回避軌道生成処理は、衝突回避軌道生成部116で実行される処理である。

【0057】

まず、軌道生成方式情報テーブル500に格納されている複数の回避軌道生成方式の一つについて、衝突回避軌道を生成し、軌道の点列データを軌道生成方式情報テーブル500に格納する(S40)。次に、回避可否判定を実施し、判定結果を軌道生成方式情報テーブル500に格納する(S41)。

30

【0058】

次に、軌道生成方式情報テーブル500に格納されたすべての回避軌道生成方式に対して、回避可否判定を実施したか否かについて判定し(S42)、回避可否を判定していない回避軌道生成方式がある場合は、S40に戻る。

【0059】

次に、軌道生成方式情報テーブル500に格納された回避可否判定結果情報から、「回避可能」と判定された生成方式の有無を判定し(S43)、「回避可能」と判定された生成方式がない場合には、ロボット制御指令部105に対して停止信号を出力する(S46)。「回避可能」と判定された回避軌道生成方式が存在する場合には、図5の軌道生成方式情報テーブル500の中から、回避可否判定結果が「回避可能」かつ最も優先順位が高い方式を一つ選択し(S44)、選択した回避軌道生成方式の方式番号等を出力する(S45)。

40

【0060】

ロボット制御装置104は、出力された衝突回避軌道生成方式番号に関連付けられた衝突回避軌道の点列データを取得し、ロボット101の退避動作を指令する。ロボット退避軌道として、例えば、今まで移動してきた経路を逆にたどる軌道や作業員速度ベクトルを基準として、作業員速度ベクトルと平行方向に移動する経路、作業員速度ベクトルとの角度が鋭角である方向に移動する経路など、様々な衝突回避軌道生成アルゴリズムを軌道生成方式情報テーブル500に格納し、衝突回避軌道生成に利用することができる。

【0061】

50

例えば、衝突回避開始時のロボットの速度ベクトルと作業者の速度ベクトルから算出される単位時間後のロボットと作業者間の距離が大きくなるようなロボットの速度ベクトル方向を衝突回避軌道とすることができる。

【0063】

次に、図11および図12を用いて、S41の衝突回避可否判定処理について説明する。図12に示されるように、ロボット101が衝突回避動作を開始するときのロボット速度ベクトル V_r (R_x 、 R_y 、 R_z)と作業者102の作業者速度ベクトル V_w (W_x 、 W_y 、 W_z)から、ロボット101の現在位置であるロボット速度ベクトル V_r の始点 R_0 (X_{r0} 、 Y_{r0} 、 Z_{r0})と、作業者の現在位置である作業者速度ベクトル V_w の始点 W_0 (X_{w0} 、 Y_{w0} 、 Z_{w0})、および単位時間経過したときのロボット101と作業者102の位置をそれぞれ R_1 、 W_1 とする。

10

【0064】

回避可否判定処理では、まず、以下の(式1)を用いて、ロボット速度ベクトル始点 R_0 と作業者速度ベクトル始点 W_0 間の距離 D_0 を算出する(S51)。次にロボット速度ベクトル R_1 と作業者速度ベクトル W_1 から、単位時間経過したときのロボット位置 R_1 と作業者位置 W_1 を(式2)、(式3)を用いて算出する(S52)。次に、 R_1 と W_1 間の距離 D_1 を、(式4)を用いて算出し(S53)、(式5)を用いて、回避可否を判定する(S54)。ここで、回避可能と判定されたときは、軌道生成方式情報テーブル500に「回避可能」と格納し(S55)、回避不可能と判定されたときは、「回避不可能」と格納する(S56)。

20

【0065】

【数1】

$$|D_0|^2 = (X_{r0} - X_{w0})^2 + (Y_{r0} - Y_{w0})^2 + (Z_{r0} - Z_{w0})^2 \quad \dots \text{(式1)}$$

【0066】

【数2】

$$R_1 = (X_{r0} + R_x, Y_{r0} + R_y, Z_{r0} + R_z) \quad \dots \text{(式2)}$$

30

【0067】

【数3】

$$W_1 = (W_{r0} + W_x, W_{r0} + W_y, W_{r0} + W_z) \quad \dots \text{(式3)}$$

40

【0068】

【数4】

$$\begin{aligned} |D_1|^2 &= |R_1 - W_1|^2 \\ &= (X_{r0} + R_x - X_{w0} - W_x)^2 + (Y_{r0} + R_y - Y_{w0} - W_y)^2 \\ &\quad + (Z_{r0} + R_z - Z_{w0} - W_z)^2 \quad \dots \text{(式4)} \end{aligned}$$

50

【 0 0 6 9 】

【数 5】

$$\left. \begin{array}{l} \text{If } |D0|^2 < |D1|^2 \cdots \cdots \text{回避可能} \\ \text{If } |D0|^2 \geq |D1|^2 \cdots \cdots \text{回避不可能} \end{array} \right\} \cdots \text{(式5)}$$

【 0 0 7 0 】

10

次に、図 1 3 および図 1 4 を用いて、S 4 1 の衝突回避可否判定処理の別の一例について説明する。

図 1 4 に示されるように、ロボット 1 0 1 が回避動作を開始するときのロボット位置を R_0 、ロボット速度ベクトルを V_r 、作業者 1 0 2 の位置を W_0 、作業者速度ベクトル V_w とする。 R_0 を通り V_r に平行な直線 L_r 上の点 R_t と、 W_0 を通り V_w に平行な直線 L_w 上の点 W_s は、(式 6) (式 7) であらわされる。ここで、 s 、 t は任意の実数である。

【 0 0 7 1 】

【数 6】

$$R_t = R_0 + tV_r = (X_{r0} + tR_x, Y_{r0} + tR_y, Z_{r0} + tR_z) \cdots \text{(式6)}$$

20

【 0 0 7 2 】

【数 7】

$$W_s = W_0 + sV_w = (X_{w0} + sW_x, Y_{w0} + sW_y, Z_{w0} + sW_z) \cdots \text{(式7)}$$

30

【 0 0 7 3 】

まず、ロボット速度ベクトル V_r と作業者速度ベクトル V_w が平行であるか否かを判定する (S 6 1)。2 直線が平行である場合は、2 直線間の距離を最短距離 D_3 として算出する (S 6 2)。2 直線が平行ではなく、ねじれの位置にある場合は、 R_0 を通り V_r に平行な直線 L_r と W_0 を通り V_w に平行な直線 L_w の共通垂線 L_h を求める (S 6 3)。共通垂線の長さは 2 直線間の最短距離であることから、共通垂線の長さを最短距離 D_3 として算出する (S 6 4)。

【 0 0 7 4 】

40

次に、衝突回避情報テーブル 4 0 0 の接近距離情報に格納された最小接近距離 C を参照し、最短距離 D_3 と最小接近距離 C の大きさを比較する (S 6 5)。最短距離 D_3 が最小接近距離 C より大きい場合は、直線 L_r 、 L_w 上のどの点をとってもロボットと作業者は衝突しないため、軌道生成方式情報 1 3 3 に「回避可能」と格納する (S 6 8)。最短距離 D_3 が最小接近距離 C 以下である場合は、直線 L_r と共通垂線 L_h の交点 R_2 を示す t_2 を (式 6) から求め、直線 L_w と共通垂線 L_h の交点 W_2 を示す s_2 を (式 7) から求める (S 6 6)。

【 0 0 7 5 】

次に、 t_2 と s_2 を判定し (S 6 7)、 $t_2 > 0$ かつ $s_2 > 0$ である場合は、ロボット 1 0 1 と作業者 1 0 2 の両者とも、共通垂線との交点 R_2 、 W_2 から遠ざかる方向へ移動す

50

るため、双方の距離が離れていくことから、軌道生成方式情報 1 3 3 に「回避可能」と格納する (S 6 8)。一方、 $t_2 = 0$ かつ $s_2 = 0$ でない場合 (すなわち、 $t_2 > 0$ または $s_2 > 0$ の場合)は、軌道生成方式情報 1 3 3 に「回避不可能」と格納する (S 6 9)。ここで、最小接近距離 C は、例えば、モデル情報テーブル 3 0 0 に格納した把持物寸法の最大値とすることで、ロボット 1 0 1 と作業員 1 0 2 の衝突の有無を判定することができる。

【 0 0 7 6 】

以上説明した本実施形態のロボット制御装置によれば、ロボットと作業員が空間を共有して作業する場合において、作業員の安全を確保しつつ、ロボットを長い時間動作させることが可能となり、設備稼働率を向上させることができる。

10

【符号の説明】

【 0 0 7 7 】

- 1 0 0 ... 自動組立システム
- 1 0 1 ... ロボット
- 1 0 2 ... 作業員
- 1 0 4 ... ロボット制御装置
- 1 0 6 ... ロボット作業指示装置
- 1 2 0 ... ワーク
- 2 0 1 ... 停止領域
- 2 0 2 ... 退避領域
- 2 0 3 ... 減速領域

20

30

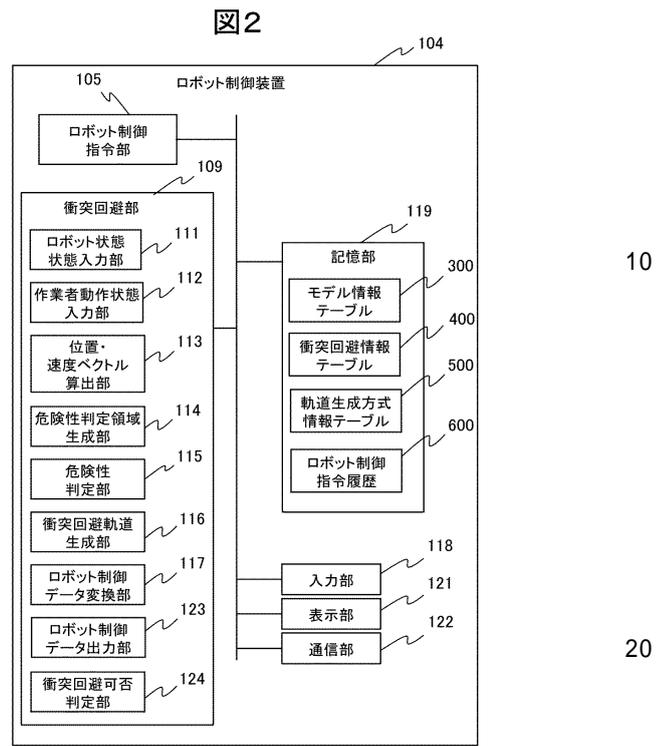
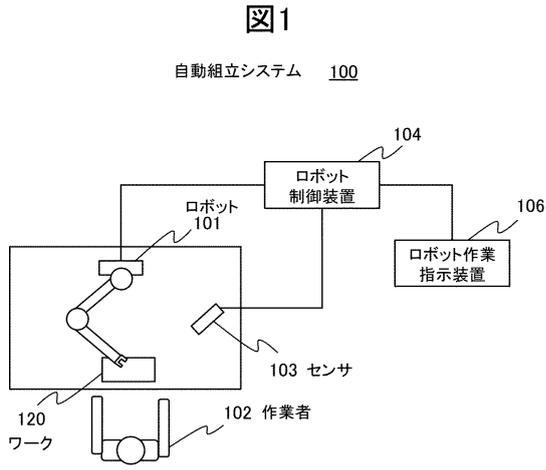
40

50

【図面】

【図 1】

【図 2】



【 図 3 】

図3
モデル情報テーブル 300

大項目	中項目	小項目	例	
301 ロボットモデル 情報	リンク数	—	6	
		リンク寸法	L1 (400, 400, 400) L2 (400, 400, 300) L3 (200, 200, 600) L4 (100, 100, 100) L5 (100, 100, 600) L6 (80, 80, 100) L7 (50, 50, 50)	
	301c リンク接続情報	関節1	(L1, L2, 回転)	
		関節2	(L2, L3, 回転)	
		関節3	(L3, L4, 回転)	
		関節4	(L4, L5, 回転)	
		関節5	(L5, L6, 回転)	
		関節6	(L6, L7, 回転)	
	301d	ロボット代表点座標	—	(100, 130, 0)
	301e	把持物寸法	—	(100, 120, 30)
301f	把持座標	—	(80, 110, 0)	
302 作業者モデル 情報	リンク数	—	4	
		リンク寸法	L1 (100, 100, 300) L2 (100, 100, 10) L3 (100, 100, 10) L4 (80, 80, 80)	
	302c リンク接続関係	関節1	(L1, L2, 回転)	
		関節2	(L2, L3, 回転)	
		関節3	(L3, L4, 回転)	
	302d	作業者代表点座標	—	(100, 130, 0)
	302e	把持物寸法	—	(100, 120, 30)
	302f	把持物取付け座標	—	(80, 110, 0)
303 作業環境モデル 情報	ワーク位置座標	—	(2000, 1100, 300)	
	303a 作業台情報	形状寸法	3D-CADデータ	
	303b ロボット原点位置	—	(1500, 1100, 500)	
	303c 作業者原点位置	—	(2500, 1100, 500)	
	303d センサ取付け原点位置	—	(1000, 700, 1500)	
	303e			

【 図 4 】

図4
衝突回避情報テーブル 400

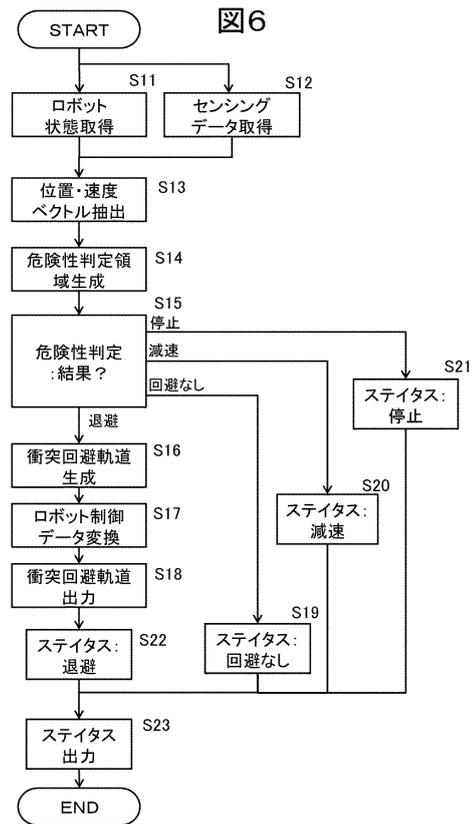
大項目	中項目	例	
401 衝突回避時間	401b	停止領域用衝突回避時間	0.5秒
	401c	退避領域用衝突回避時間	1秒
	401c	減速領域用衝突回避時間	3秒
402 減速条件	402a	減速時動作速度上限値	250mm/秒
	402b	対作業者速度比率	60%
	402c	対ロボット指示値速度比率	70%
403 危険性判定領域 幅	403a	停止領域用危険性判定領域幅	2cm
	403b	退避領域用危険性判定領域幅	2cm
	403c	減速領域用危険性判定領域幅	5cm
404	接近距離情報	最小接近距離	100mm

【 図 5 】

図5
軌道生成方式情報テーブル 500

大項目	中項目	例	
501 軌道生成方式数	—	2	
	502 軌道生成方式情報	方式番号	1
		502a 方式名称	逆順動作方式
		502b アルゴリズムリンク情報	プログラムへのパス
		502c 優先順位	1
		502d 衝突回避可否判定結果	回避可能
502e 衝突回避軌道データ		(0,20.5) (0,22.7)...	
軌道生成方式情報	方式番号	2	
	方式名称	平行動作方式	
	アルゴリズムリンク情報	プログラムへのパス	
	優先順位	2	
	衝突回避可否判定結果	回避可能	
	衝突回避軌道データ	(0,20.5) (0,24.6)...	

【 図 6 】



10

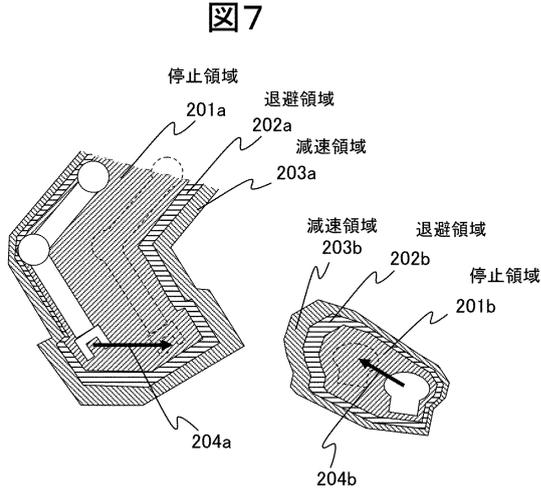
20

30

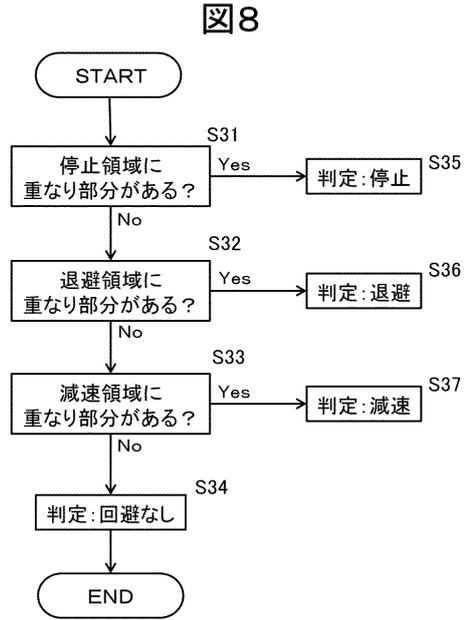
40

50

【 図 7 】



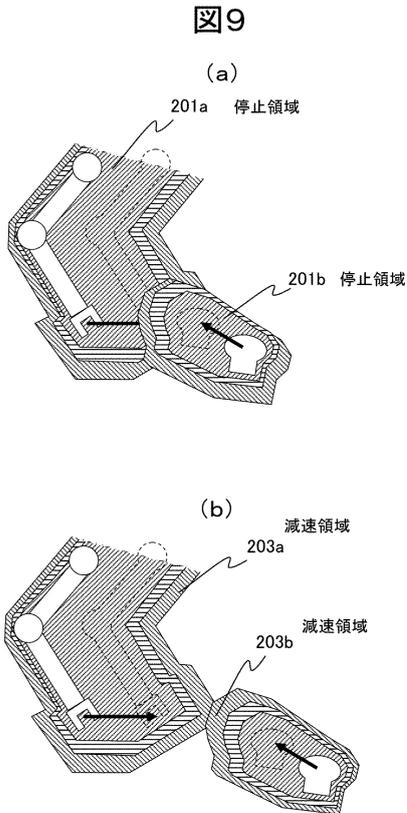
【 図 8 】



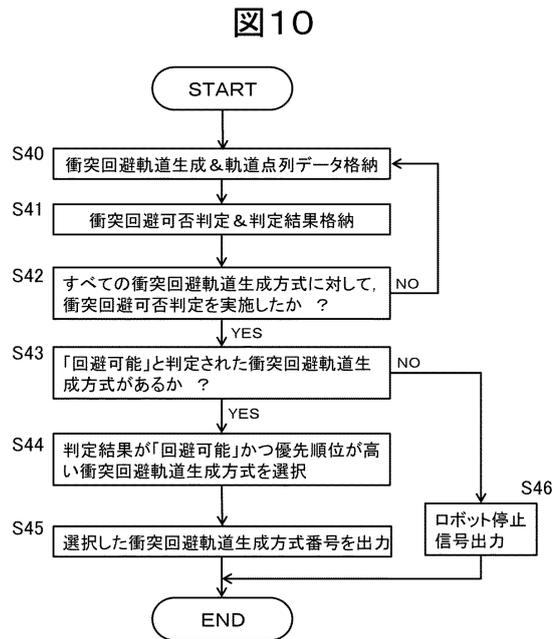
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

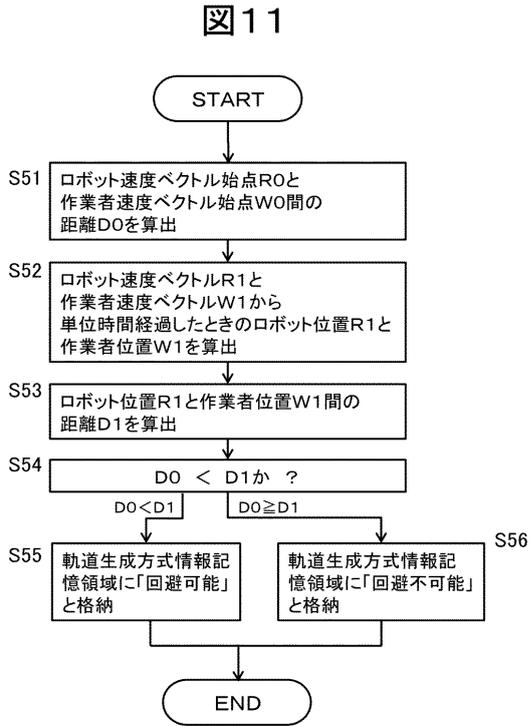


30

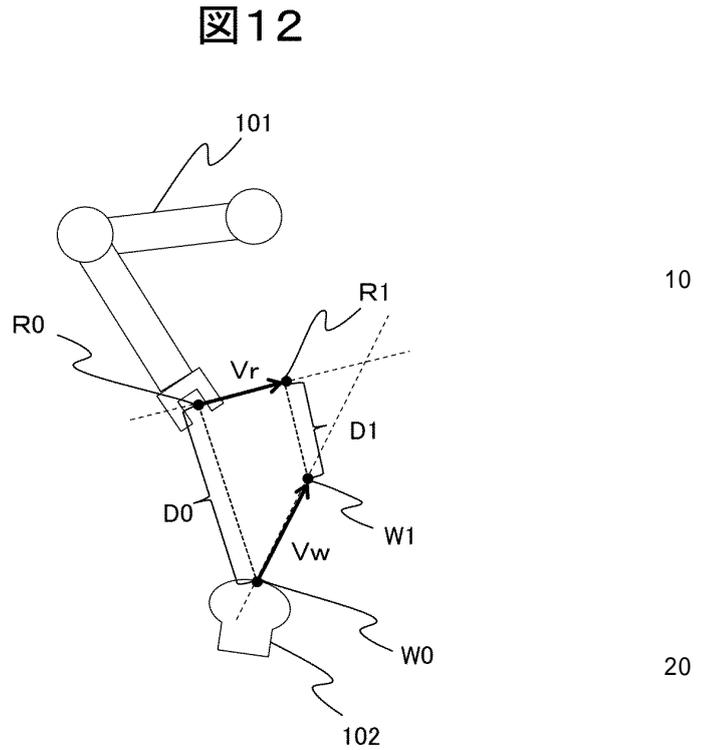
40

50

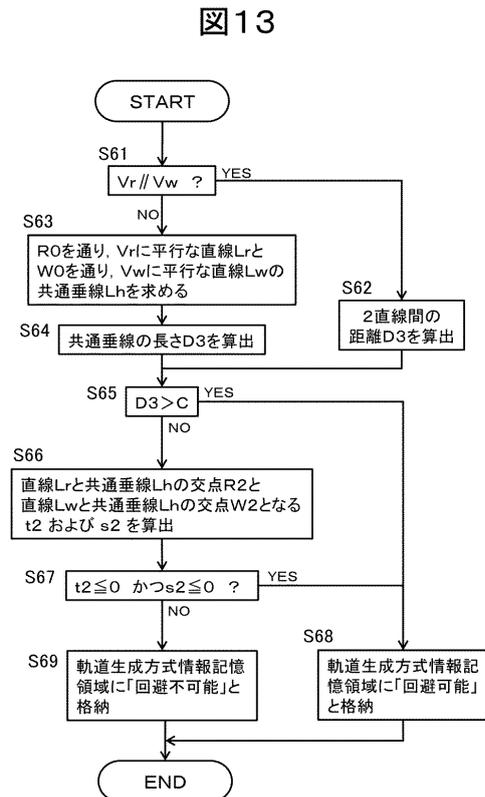
【図 1 1】



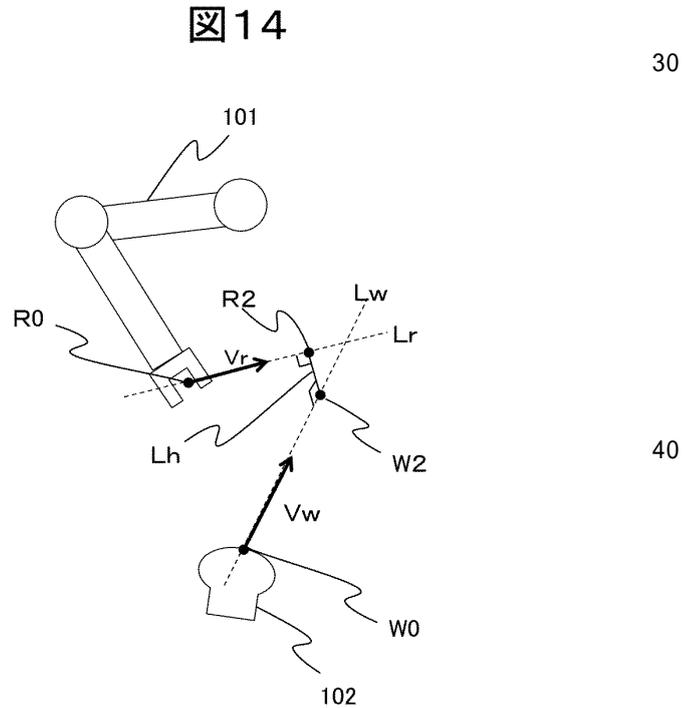
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-208002(JP,A)
特開2010-052116(JP,A)
特開昭61-086194(JP,A)
特表2017-516670(JP,A)
特開2006-043861(JP,A)
特開2006-043862(JP,A)
特開2010-052114(JP,A)
米国特許出願公開第2015/0131896(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B25J 1/00 - 21/02
G05B 19/18 - 19/416