

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6279862号  
(P6279862)

(45) 発行日 平成30年2月14日(2018.2.14)

(24) 登録日 平成30年1月26日(2018.1.26)

(51) Int.Cl. F I  
B 2 5 J 13/00 (2006.01) B 2 5 J 13/00 A

請求項の数 11 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-187363 (P2013-187363)	(73) 特許権者	514079114 ファナック アメリカ コーポレーション アメリカ合衆国, ミシガン 48309, ロチェスター ヒルズ, ウェスト ハムリ ン ロード 3900
(22) 出願日	平成25年9月10日(2013.9.10)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(65) 公開番号	特開2014-50952 (P2014-50952A)	(74) 代理人	100102819 弁理士 島田 哲郎
(43) 公開日	平成26年3月20日(2014.3.20)	(74) 代理人	100123582 弁理士 三橋 真二
審査請求日	平成28年4月27日(2016.4.27)	(74) 代理人	100112357 弁理士 廣瀬 繁樹
(31) 優先権主張番号	61/699,028	(74) 代理人	100157211 弁理士 前島 一夫
(32) 優先日	平成24年9月10日(2012.9.10)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	61/710,082		
(32) 優先日	平成24年10月5日(2012.10.5)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 冗長ロボットを制御する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の回転軸、および前記第1の回転軸と交差する第2の回転軸の周りに回転可能な第3の回転軸上に配置された肘点を有する、冗長ロボットのアームを制御するための方法であって、

ワークに対してロボットプロセスを実行するためのアプリケーションを選択するステップと、

前記第1の回転軸上に配置された原点と、前記肘点と、前記アームの先端に設けられた手首部の手首中心点とによって画定される肘平面と、前記第1の回転軸と前記手首中心点とによって画定されるレファレンス平面と、の角度を定義するステップと、

前記ワークに前記ロボットプロセスを実行するように、教示モードおよびプログラムモードの一方において前記冗長ロボットのアームを操作することによって、前記冗長ロボットのアームに取り付けられたロボット工具のための経路を示す命令セットを、選択された前記アプリケーションに基づいて生成するステップと、

前記肘点を、ロボット可動範囲における特定の制約上とし、該特定の制約の近傍とし、および、該特定の制約を避けることの少なくとも一方とするように維持すべく、前記ロボットプロセスの間に前記冗長ロボットのアームを制御するステップと、

前記冗長ロボットのアームの移動の間に、前記角度を維持しつつ、前記第1の回転軸と前記第3の回転軸が整列する特異点の発生を避けるために、前記肘点が前記第1の回転軸周りの円の軌道を辿るように該肘点の経路を修正する特異点アルゴリズムを生成するステ

ップと、を備える、方法。

【請求項 2】

コンベア上にて移動する前記ワークを追跡するように前記工具の工具中心点を制御するステップをさらに備え、

前記特定の制約は、前記コンベアに対して固定されているか、または、前記ワークに付与されている、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記制御するステップは、前記教示モードの間に、直交座標空間におけるジョグ操作によって実行される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記肘点を含む少なくとも 1 つの平面が、該肘点を、前記ロボット可動範囲における前記特定の制約上とし、該特定の制約の近傍とし、および、該特定の制約を避けることの少なくとも一方とするように維持すべく、用いられる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記工具の予め定められた工具中心点に関して、前記冗長ロボットのアームは、前記ロボット可動範囲における如何なる障害物との衝突を防止するように制御される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記特定の制約は、前記ロボット可動範囲における領域またはスペースである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記特定の制約は、前記ロボット可動範囲における障壁または障害物である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記肘点を維持すべく制御するステップは、前記冗長ロボットのアームの少なくとも 1 つの軸を固定することによって実行される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記冗長ロボットのアーム、前記ワーク、および前記特定の制約を視覚的に表示するステップをさらに備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記表示するステップは、前記肘点の自己運動の軌道の 3D 曲線を表示することを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記冗長ロボットのアームは、7 つの回転軸を有する、請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2012年9月10日に出版された米国特許仮出願シリアルNo. 61/699,028号、および、2012年10月5日に出版された米国特許仮出願シリアルNo. 61/710,082号に対して優先権を主張するものである。なお、これらの出願の内容は、この参照により本稿に含まれるものとする。

【0002】

本発明は、概して、ロボットコントローラに関するものであって、特に、冗長ロボットの移動を制御するための方法に関するものである。

【背景技術】

【0003】

産業用ロボットは、歴史的に、6つ(またはそれ以下)の関節軸を備えてきた。可能性のある(x, y, z, w, p, rによって示される)6つのデカルト自由度(Cartesian degree of freedom)があることから、典型的には、自由度の各々に対して1つの関節軸を有していることが望ましい。

10

20

30

40

50

## 【0004】

しかしながら、6つ（またはそれ以下）の関節軸を用いる慣習によって、特定のロボットアプリケーションにおいて困難がもたらされている。それ故に、第7軸を加えることに多くの利点がある。特にライン追跡アプリケーション（例えば、コンベアによって移動するラインとして）においては、十分な自由度がないことから、ロボットの衝突を回避するように6軸ロボットを制御することができない。塗装アプリケーションに関して、ライン追跡アプリケーションは、塗装対象のワークを移動中のコンベア上で移動可能とするのに、大変重要である。したがって、ライン追跡アプリケーションは、塗装アプリケーションの産業において、広く用いられている。これまでに、塗装ロボットシステムは、第7軸を加えるために、線形レールを使用してきた。しかしながら、線形レールは、スペースを要するとともに、塗装作業においてコストを増大させてしまう。

10

## 【0005】

1つの解決手段は、線形レールを用いることなく、ロボットに第7軸を加えることである。そこには依然として、可能性のある6つのデカルト自由度が存在するので、このようなロボットは、冗長と見做される追加の自由度を提供する。冗長ロボットは、デカルト自由度よりも多い関節軸を有する。7つ（またはそれ以上）の関節軸を有するロボットは、冗長ロボットであり得る。事実、第7軸を加えることには、多くの利点がある。例えば、米国特許第5,430,643号公報を参照されたい。冗長ロボットは、プログラムされたタスクを実行しつつ、例えば衝突回避のような多くの目的のために用いることができる柔軟な器用さを提供する。また、冗長ロボットは、6以下の軸および6自由度を有するロボットに適用することもできる。例えば、自らのタスク用に4自由度を要する、5軸の開扉ロボットも、冗長である。

20

## 【0006】

現在、第7軸として線形レールを有する6軸ロボットは、ライン追跡アプリケーションにおいて、しばしば用いられている。この利点は、線形レールがラインコンベアの移動を補償することにある。ラインコンベアとともに移動するワーク上の所与のポイントに関して、6軸ロボットの関節角度は、ラインコンベアの位置に関わらず、反復可能となり得る。線形レール上の6軸ロボットによって、使用者にとって、所望のタスクを達成するためにプログラムされたロボットの経路を教示して再現させるのが容易となる。しかしながら、線形レールは、高価であり、且つスペースを要する。また、塗装アプリケーションにおいて、線形レールを補うための塗装ブースのサイズは、コストを増大させてしまう。

30

## 【0007】

したがって、レールに置き換わる冗長第7軸を有するロボットを備えることが望ましい。塗装アプリケーションに関して、7軸冗長ロボットは、線形レール上の従来の6軸ロボットと比べて遥かに小さな塗装ブースサイズ内でタスクを実行しつつ、衝突回避といった多くの目的のために用いることができる柔軟な器用さを提供する。同様に、レールに置き換わる第5の冗長軸を有する開扉ロボットを備えることが望ましい。

## 【0008】

しかしながら、冗長軸は課題を呈する。第1に、冗長ロボットによって占有されたコンパクトなスペースは、障害物、ワーク、および領域内の他の装備と衝突する虞を増大させる。第2に、ワークは移動しているので、ロボットとワークとの間に衝突が生じ得るか否かを使用者が予測するのは、非常に困難である。第3に、ロボットの関節角度は、ラインコンベアとともに移動する所与のポイントに、繰り返して到達することができない。第4に、7軸冗長ロボットのプログラミングは、非常に複雑且つ困難である。使用者は、6位置： $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ 、 $p$ 、 $r$ に係る6軸ロボットをプログラミングするのに慣れていない。使用者は、典型的には、7軸ロボットから得られる追加の自由度をプログラミングするには慣れてはいない。第5に、冗長軸は、主軸と一直線上に整列したときに、特異点（singularity）を形成する。この特異点は、ロボットの予測不能な動きおよび速度を発生させ得る。特異構造に接近する一方で、ロボットのタスクレベルコントローラは、高いロボット関節トルクを発生させる。その結果、タスクスペースにおける不安定性ま

40

50

たは大きなエラーがもたらされる。タスクレベルコントローラは、特異構造にて不安定であるのみならず、特異構造の近傍においても不安定となる。特異点が生じたとき、ロボットは、依然として6自由度を有し得る。すなわち、ロボットの工具中心点(TCP)は、依然として、いずれの方向にも移動することができる。しかしながら、特異点は、軸に関するロボットの制御性に影響を与え、その結果、ロボットが主軸回りに非常に高速で移動してしまう。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従来技術は、多くの方法において不適切であった。第1に、従来技術は、通常、ヤコビ行列に基づいている。このヤコビ行列は、複雑且つ不安定であった。衝突および特異点の課題に対する、より安定した手段が、求められている。第2に、従来技術は、ライン追跡アプリケーションに対処していなかった。第3に、従来技術は、7軸ロボットをプログラムすることの複雑性および困難性を解決していなかった。冗長ロボットを制御する方法が改善されることは、有益である。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一実施形態によれば、冗長ロボットのアームを制御するための方法は、ワークに対してロボットプロセスを実行するためのアプリケーションを選択するステップと、ワークにロボットプロセスを実行するように、教示モードおよびプログラムモードの一方において冗長ロボットのアームを操作することによって、冗長ロボットのアームに取り付けられたロボット工具のための経路を示す命令セットを、選択されたアプリケーションに基づいて生成するステップと、冗長ロボットのアームの予め定められた点を、ロボット可動範囲(robot envelope)における特定の制約上とし、該特定の制約の近傍とし、および、該特定の制約を避けることの少なくとも一方とするように維持すべく、ロボットプロセスの間に冗長ロボットのアームを制御するステップとを備える。

【0011】

本発明の他の実施形態によれば、冗長ロボットのアームを制御するための方法は、ワークに対してロボットプロセスを実行するためのアプリケーションを選択するステップと、ロボットプロセスを実行するように、教示モードおよびプログラムモードの一方において冗長ロボットのアームを操作することによって、冗長ロボットのアームに取り付けられたロボット工具のための経路を示す命令セットを、選択されたアプリケーションに基づいて生成するステップと、冗長ロボットのアームの特異点の位置を避けるように、該冗長ロボットのアームの肘点の経路を修正するステップと、冗長ロボットのアームがワークに対してロボットプロセスを実行している間に特異点の位置が回避されるように、修正された肘点の経路に従って該冗長ロボットのアームを制御するステップとを備える。

【0012】

本発明のさらに他の実施形態によれば、冗長ロボットのアームを制御するための方法は、ワークに対して冗長ロボットのアームによってロボットプロセスを実行するためのアプリケーションを選択するステップと、冗長ロボットのアームの動作に少なくとも1つの制約を定義するステップと、ワークにロボットプロセスを実行するように、教示モードおよびプログラムモードの一方において冗長ロボットのアームを操作することによって、冗長ロボットのアームに取り付けられたロボット工具のための経路を示す命令セットを、選択されたアプリケーションに基づいて生成するステップと、ロボットプロセスの間に冗長ロボットのアームの移動を制御するステップと、冗長ロボットのアームの移動の間に、冗長ロボットのアームの予め定められた点を、ロボット可動範囲における特定の制約上とし、該特定の制約の近傍とし、および、該特定の制約を避けることの少なくとも一方とするように維持すべく、制約アルゴリズムを生成するステップと、冗長ロボットのアームの移動の間に特異点の発生を避けるために、特異点アルゴリズムを生成するステップとを備える。

## 【0013】

本発明の、上述のおよび他の利点は、添付の図面を斟酌すれば、後述する好ましい実施形態の詳細な説明から、当業者に容易に明らかとなるであろう。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0014】

【図1】本発明の一実施形態に係る7軸冗長ロボットの概略側方図である。

【図2】図1に示す7軸冗長ロボットの側とは反対側から見たロボットアームの側方斜視図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る7軸冗長ロボットにおける、角度 の定義の図である。

【図4】塗装アプリケーションに用いられている、本発明の一実施形態に係るロボットの概略斜視図であって、該ロボットは、コンベア上にて移動する車体ボディーを塗装している。

【図5】本発明の一実施形態に係る方法のフローチャートである。

【図6】角度 としての肘部の軌道を示す図であって、該肘部の軌道は、本発明の一実施形態に係る7軸ロボットのために変化する。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0015】

以下の詳細な説明、および添付の図面は、本発明の種々の例示的实施形態を説明し、図示している。これらの記載および図面は、本発明を作製し、使用することを可能とするためのものであって、如何なる事項であれ、本発明の範囲を限定することを意図するものではない。開示されている方法に関して、提示されているステップは、本質的に例示的なものであり、それ故に、これらステップの順序は、必須または重要ではない。

## 【0016】

図1を参照すると、本発明の一実施形態に係る7軸冗長ロボット10の概略側方図が示されている。ロボットアーム20は、図1に概略的に示すように、ロボット可動範囲12内で動作する。図示された実施形態においては、ロボットアーム20は、塗装アプリケーション用に構成されている。しかしながら、ロボットアーム20は、所望により、如何なる製造アプリケーション用に構成されてもよいことを理解されたい。ロボット可動範囲12は、その内部にてロボットが移動することができる、画定されたスペースであって、例えば、塗装アプリケーションにおける塗装ブースであってもよいし、または、所望により、他の如何なるロボットセル（もしくは画定されたスペース）であってもよい。

## 【0017】

引き続き図1を参照して、ロボットアーム20は、7軸関節アームであり、モジュラベースシステム21に設置されている。モジュラベースシステム21は、様々な設置状態に適応可能となっている。図示された実施形態においては、モジュラベースシステム21は、鉛直面（図示せず）への取り付けのために、方向付けられている。このような鉛直面としては、例えば、ロボット可動範囲12内の壁、ロボット可動範囲12内の鉛直ポスト（もしくは柱）、または、ロボット可動範囲12にて設置するために構成された他の如何なる構造といったものが挙げられる。非限定的な実施例において、ベースシステム21は、塗装ブースの壁、塗装ブースの鉛直ポスト（もしくは柱）、または、塗装ブースにて設置するために構成された他の如何なる構造への取り付けのために、方向付けられてもよい。

## 【0018】

図1に示すように、モジュラベースシステム21は、ロボットアーム20の第1の回転方向R1を有する。第1の回転方向R1によって、ロボットアーム20の他のコンポーネントが、第1の回転軸A1の周りを回転可能となる。回転軸A1は、モジュラベースシステム21に対して鉛直な軸であり、ロボットアーム20が水平面において移動するのを可能とする。ロボットアーム20の他のコンポーネントは、モジュラベースシステム21から延びており、モジュラベースシステム21に隣接する第1アーム部（または内側アーム部）22と、第1アーム部（または内側アーム部）22に隣接するコネクタ26と、コネ

10

20

30

40

50

クタ26に隣接する第2アーム部(または外側アーム部)23と、外側アーム部23に隣接する手首部24とを含む。ロボット工具(エンドエフェクタ)25は、手首部24に回転可能に連結される。図示された実施形態においては、ロボット工具25は、塗装アプリケーション用の塗装塗布器である。しかしながら、ロボット工具25は、例えば、材料操作、機械ツーリング、塗装、ペレット化、または、他の如何なる産業用ロボットの作業といった、如何なるロボット作業に用いられる、如何なるロボット工具であってもよいことを、理解されたい。

【0019】

肩回転軸(または第2の回転軸)A2は、第1の回転軸A1と重なり、且つ第1の回転軸A1と交差して延びる。内側アーム部22は、湾曲したツープース構造となっており、端部22bおよびアーム22cを有し、左手および右手の構造と、ロボットアーム20の最適化された到達距離を提供する。内側アーム部22のアーム22cは、第2の回転軸A2の周りを、第2の回転方向R2へ回転するように、モジュラベースシステム21の第1の端部22aに回転可能に取り付けられる。なお、第2の回転方向R2への回転によって、ロボットアーム20は、鉛直面において移動可能となる。外側アーム部23は、第1の端部23aを有している。この第1の端部23aは、肘回転軸(または第4の回転軸)A4の周りを第4の回転方向R4へ回転するように、コネクタ26によって、内側アーム部22の端部22bに回転可能に取り付けられている。なお、肘回転軸(または第4の回転軸)A4は、一般的には、第2の回転軸A2と平行である。手首部24は、ロボット工具25を、外側アーム部23の第2の端部23bに回転可能に連結する。手首部24は、第5の回転軸A5の周りを、第5の回転方向R5へ回転する。なお、第5の回転軸A5は、第4の回転軸A4を横切る方向に延びている。手首部24は、ロボット工具25を、角度調整軸(または第6の回転軸)A6の周りを第6の回転方向R6へ回転させるように構成される。なお、角度調整軸(または第6の回転軸)A6は、第5の回転軸A5に対して鈍角で延びている。また、手首部24は、ロボット工具25を、第7の回転軸A7の周りを第7の回転方向R7へ回転可能とするように、構成され得る。第7の回転軸A7は、第6の回転軸A6に対して鋭角で延びている。

【0020】

ロボットアーム20は、第4の回転軸A4と交差して延びる冗長回転軸(または第3の回転軸)A3を有する。内側アーム部22の第2の端部22bは、内側アーム部22のアーム22cに回転可能に連結されており、第3の回転軸A3の周りを第3の回転方向R3へ回転可能となっている。これにより、外側アーム部23、手首部24、およびロボット工具25は、第3の回転軸A3の周りを第3の回転方向R3へ回転可能となる。第3の回転軸A3は、第1の回転軸A1と第2の回転軸A2との交差点を通過し、且つ、第1の回転軸A1と同じ平面上にて延在している。内側アーム部22は、第2の回転軸A2の周りを、特異点の位置まで回転することができる。この特異点の位置において、第1の回転軸A1と第3の回転軸A3とが整列する。このような状態においては、逆運動学を解く場合、関節角度1と関節角度3の和のみを解くことが可能であるが、関節角度1および関節角度3の各々を解くことはできない。特異点の位置は、7軸冗長ロボット10の2以上の軸が同一直線状に整列することによって特異点を生じさせる位置である。特異点は、望ましくないことには、高いロボットの動きおよび速度に繋がる。

【0021】

また、(第5の回転軸A5によって示される)外側アーム部23の長手方向の軸は、コネクタ26によって、(第3の回転軸A3によって示される)内側アーム部22の長手方向の軸に対してオフセットされる。コネクタ26の一方の端部は、内側アーム部22の端部22bに回転可能に連結されており、第4の回転軸A4の周りを回転する。コネクタ26の第1の端部と反対側の、コネクタ26の第2の端部は、外側アーム部23の第1の端部23aに固定される。コネクタ26によってもたらされるオフセットは、ロボット20の近傍到達能力(near reach capability)を改善する。図示された実施形態においては、7軸冗長ロボット10が塗装用に用いられており、ホースルーム

10

20

30

40

50

における塗装ライン（または供給ホース）27は、ロボットアーム20との干渉を防止するために、ロボットアーム20の外側部に沿って配管される。

#### 【0022】

図1に概略的に示すように、ロボットアーム20は、ロボット可動範囲12の外側に配置されたロボットコントローラ28に接続される。コントローラ28は、命令セットを生成および記録し、この命令セットは、制御信号を生成する。この制御信号は、ロボットアーム20のコンポーネントに、記録された1セットの命令に従って、所望の経路に沿ってロボット工具25を移動させるように、要求されたものである。コントローラ28は、ロボットアーム20の移動を、教示モードまたはプログラムモードにおいて、制御する。また、コントローラ28は、ロボットアーム20からフィードバック信号を受信する。また、コントローラ28は、7軸冗長ロボット10とともに動作する他の装置から、フィードバック信号を受信する。例えば、塗装アプリケーションにおいて、塗装中のワークは、コンベア29上にて所望の方向に移動し得る。コントローラ28は、コンベア29からフィードバック信号を受信し、必要に応じて、コンベア29上のワークの位置に対するロボット工具25の位置を調整してもよい。教示ペンダント30は、ロボット制御命令を入力するとともに、使用者にディスプレイ31上にて提示される情報を受信するために、コントローラ28に接続されている。ディスプレイ31は、教示ペンダント30と一体に設けられてもよいし、または、独立したモニターであってもよい。

#### 【0023】

図2は、冗長ロボット10のロボットアーム20の側方斜視図であって、第1の回転軸A1と、冗長回転軸の第3の回転軸とを含む特異点の回避を示している。7軸冗長ロボット10のロボットアーム20は、使用可能なロボット可動範囲12を増大させることによって、ロボットシステムのサイズの減少を容易とする。冗長軸は、障害物、コンベア上のワーク、および、ロボット10と協働して使用される他の装置を避けるために用いられる。例えば、塗装されるワークが車体ボディーであるような塗装アプリケーションにおいては、冗長軸は、車体ボディーと、車体ボディー上のドアを開扉するように構成された開扉装置とを避けるために用いられる。

#### 【0024】

ロボットアーム20は、肘点EPを有しており、この肘点EPは、図2に示す第3の回転軸A3と第4の回転軸A4との交差点の位置である。本発明の一実施形態に係る方法は、第1の回転軸A1および第3の回転軸A3の双方が同一直線に沿って整列する（すなわち、肘点EPが第1の回転軸A1上に配置される）特異点を回避し、第1の回転軸A1と第3の回転軸A3との間の関節角度に大きな変化が生じるのを避ける。ロボットアーム20の工具中心点(TCP)が、移動するコンベア上に配置された移動中のワークを追跡するように要求されているような、ライン追跡アプリケーションにおいては、特異点を事前に予測することは、非常に困難である。したがって、リアルタイムの特異点回避が必要となる。

#### 【0025】

ロボットアーム20における冗長性は、7軸冗長ロボット10における肘点EPの自己運動として、特徴付けることができる。直交座標空間(cartesian space)にてTCPおよびロボットアーム構造が与えられると、ロボットアーム20の肘点EPは、3次元(3D)曲線に沿って移動し得る。したがって、スカラー因子は、異なるタイプの7軸ロボットを考慮することによって、7軸冗長ロボット10の冗長性を完全に表現するために用いられ得る。例えば、7軸冗長ロボット10は、1セットの6軸ロボットとして扱うことができる。7軸ロボットと従来の6軸ロボットとの違いは、7軸ロボットが追加軸を有することにある。例えば、図2に示す実施形態においては、追加軸は、第3の回転軸A3である。第3の回転軸A3が固定された（または、0に設定された）場合、7軸ロボットは、6軸ロボットと同じである。そして、6軸ロボットは、事実上、選択されたベクトルの周りで回転することができ、これにより、7軸ロボットは、無数の6軸ロボットのファミリーとして扱われる。

## 【 0 0 2 6 】

図3を参照すると、本発明の一実施形態に係る方法においては、 $\theta$  は角度である。7軸冗長ロボット10の機械的構造に基づいて冗長性を特徴付けるべく $\theta$ を定義するための多くの方法がある。非例示的实施形態において、 $\theta$ を用いる1つの方法は、冗長性を特徴付けるために、肘点EP、原点O、および手首中心点(WCP)によって形成される平面を決定することである。そして、O、WCP、および、ロボットベースフレームのz-ベクトルZによって形成されるレファレンス平面200を特定する。レファレンス平面200と、ロボットアーム20の回転後の肘点EP、原点O、および、WCPによって形成される平面との間に形成される角度が、 $\theta$ となり得る。そして、 $\theta$ は、逆運動学を解くために、直交座標空間にて与えられたロボットアーム20の位置とともに用いられる。 $\theta$ としてこの角度を用いることによって、肘点EPの直接制御とともに、教示および再生を行うのが容易となる。所望により、他の様々なバージョンの逆運動学が、7軸冗長ロボット10にて発生し得ることを理解されたい。

10

## 【 0 0 2 7 】

図3は、本発明の一実施形態に係る角度 $\theta$ の定義の図である。原点Oから、ロボットアーム20の手首中心点WCPまで、ベクトルが定義されている。なお、原点Oにおいて、第1の回転軸A1と第2の回転軸A2とが交差する。そして、肘点EPのような点が定義される。なお、肘点EPは、図1に示す第3の回転軸A3と第4の回転軸A4とが交差する位置である。平面(または、肘平面)100は、肘点EP、原点O、および手首中心点WCPを含む。また、肘平面100は、肘点EP、原点O、および点Pを含む平面として定義され得る。この点Pは、第4の回転軸A4と第5の回転軸A5との交差点である。固定された直交座標系のレファレンス平面200は、 $\theta$ が0に等しいときに定義される。固定された直交座標系のレファレンス平面200と肘平面100との間に定義される角度は、図3に示すように角度 $\theta$ であり、ロボットアーム20の冗長性を特徴付け得る。この角度 $\theta$ の定義は、1つのタイプの冗長ロボットにおける冗長性を完全に表していることを理解されたい。なお、所望により、他の点、他のベクトル、および他の平面を、 $\theta$ を定義するために用いてもよい。

20

## 【 0 0 2 8 】

図4を参照して、ロボットアーム20は、ライン追跡を伴うアプリケーションに用いられ得る。ここでは、ロボットアーム20のTCPは、移動中のコンベア上に配置された移動中のワークを追跡するように要求される。例えば、塗装塗布器のロボット工具25は、車体ボディー50を追跡するように要求される。車体ボディー50を追跡するために、塗装塗布器のロボット工具25は、図2に示すように、直線経路40に沿って、矢印によって示される方向に移動する必要がある。モジュラベースシステム21は、例えば塗装ブースの壁のような、ロボット可動範囲12の壁、鉛直ポスト、または柱に固定されているので、ロボット工具25は、第2の回転軸A2周りの回転によって、直線経路40に沿って移動される。TCPが直線経路40に沿って移動するにつれて、肘点EP(第3の回転軸A3と第4の回転軸A4との交差点)は、経路41に沿って移動する。このような移動によって、第3の回転軸A3が、経路41に沿って矢印の方向へ移動することになる。経路41が完全な直線である場合、第1の回転軸A1と第3の回転軸A3とが同じ直線に沿って整列する点が存在することになり、これにより、特異点が生じる。特異点の発生を回避し、関節角度が第1の回転軸A1および第3の回転軸A3に沿って短時間で大きく変化してしまうのを回避するために、本発明に係る方法は、経路41を半円部分42によって修正することを求める。この半円部分42は、第1の回転軸A1周りの回転円筒部43の外側部で延在する。回転円筒部43は、半径Rを有する。本発明の一実施形態によれば、特異点を回避するために、ロボットアーム20は、半円部分42を辿るように第1の回転軸A1周りに回転され、これにより、第1の回転軸A1と第3の回転軸A3との間の角度 $\theta$ を維持する。半円部分42は、特異点の潜在的な課題を認識している使用者によって経路教示セッションを行っている間に、または、例えば塗装アプリケーションのようなロボットアプリケーションの間にコントローラ28にて実行されるアルゴリズムによってリアル

30

40

50

タイムで、生成され得る。アルゴリズムは、ロボットアーム 20 のリアルタイムでの移動の間に特異点の潜在的な位置を認識するために、コントローラ 28 上で実行され、特異点を避けるべく、肘点 E P の経路 41 を自動的に変更する。

#### 【0029】

一旦、使用者によって が定義されると、所望のロボットアプリケーション用のロボットアーム 20 の制御を達成すべく、ロボット工具 25 の動作の自由に対する制約または禁止が定義される。図 4 に示すように、ロボットアーム 20 の動作の間に、ロボットアーム 20 は、例えば、コンベア 29 とともに移動している車体ボディー 50 に関して示された制約を満足するように、制御される必要がある。図 4 に示された例に関して、与えられた TCP における、可能性のある全ての肘点 E P は、3D 曲線 44 を形成する。この 3D 曲線 44 は、肘点 E P の自己運動の軌道である。肘点 E P は、第 3 の回転軸 A 3 と第 4 の回転軸 A 4 との交差点の位置として特定され得る。しかしながら、この軌道は、対応するロボットアプリケーションに依存して、所望により、如何なる形状、曲線、または線となり得ることを、理解されたい。ロボットアーム 20 は、肘点 E P を所望の制約平面 45 上に維持するように制御される。所望の制約平面 45 以外の多くの制約が、7 軸冗長ロボット 10 を制御するために用いられ得ることを、理解されたい。例えば、制約は、固定平面、またはコンベア上の移動するワークに付与された平面として、定義されてもよい。他の制約は、例えばオープンカーのドアによって形成されたスペースのような、領域またはスペースであってもよい。他の制約は、例えばロボット可動範囲 12 またはワークにおける他の装備のような、障壁または障害物であってもよい。他の制約は、7 軸冗長ロボット 10 の消費動力の最小化であってもよい。他の制約は、関節軸リミットであってもよい。さらに、他の制約は、特異点の回避、または特異点からの特定の距離であってもよい。

#### 【0030】

ライン追跡が要求されるロボットアプリケーションにおける、冗長ロボットアーム 20 の肘点 E P のさらなる制御は、以下のステップによって達成される。

a . ライン追跡における案内として、教示経路を用いるステップであって、該ライン追跡においては、コンベア上のワークの実際の位置が、コンベアの動きに依存し、且つ、ワークの位置が、該教示経路が教示された位置とは異なっている、ステップ。

b . コンベア上にある移動中のワークに関して、肘点 E P に対する制約を示すステップ。例えば、ライン追跡の間に衝突を避けるために、平面が、肘点 E P を制約するように示され得る。

c . ロボットアーム 20 の所与の TCP に関して、ロボットアーム 20 とワークとの間に衝突が発生しないように、肘点 E P を制御するステップ。

d . 以下の制約を考慮するステップ。すなわち、

i . 種々の形状を有するワークとロボットアーム 20 との間の衝突の回避、

ii . ロボットアーム 20 と、ロボット可動範囲 12 における壁または構造との間の衝突の回避、および、

iii . ロボットアーム 20 の動作の円滑性および制御である。

#### 【0031】

図 4 に示すように、ロボットアーム 20 は、コンベア 29 に近接して設置される。コンベア 29 は、ロボットアーム 20 を通過するように車体ボディー 50 を移動させている。本発明の一実施形態に係る方法においては、全ての肘点 E P と所望の制約平面 45 は、例えば、ロボットアーム 20 の肘点 E P の制御を使用者に対して可視化するために、教示ペンダント 30 のディスプレイ 31 上に表示されてもよい。しかしながら、肘点 E P と所望の制約平面 45 は、独立したモニターのような、如何なるディスプレイに表示されてもよいことを理解されたい。冗長性によって、ロボットアーム 20 は、所与の TCP に対して自己運動を有する。図 4 に示すように、教示ペンダント 30 のディスプレイ上にて可視化することによって、使用者は、 が変化するにつれて、曲線 44 に沿った、可能性のある全ての肘点 E P を視認することができる。また、可視化することによって、使用者は、所

10

20

30

40

50

望の制約平面45を視認することもできる。したがって、使用者は、ディスプレイ31上で、ロボットアーム20の肘点EPの所望の制約を視認することができる。特に、追跡アプリケーションにおいては、ロボットの肘点EPの所望の制約は、コンベア29とともに移動するワークに関して表される。この可視化によって、要求された動きを教示することが、簡単且つ直感的となる。使用者は、肘制御がアプリケーションにおいて機能しているか否か、および、如何にして機能させるかについて、容易に知ることができる。教示ペンダント30上のタッチスクリーンディスプレイ（または他の器具もしくは装置）が、教示ペンダント30と協働して用いられてもよい。これにより、使用者は、ロボットアーム20の肘点EPを、所望の位置に容易に移動させることができる。

#### 【0032】

図5は、本発明の一実施形態に係る方法のフローチャートである。ステップ60において、使用者は、ロボットアーム20のためのアプリケーションを選択する。例えば、アプリケーションは、図4に示すような塗装アプリケーションであってもよい。しかしながら、アプリケーションは、所望により、如何なるロボットアプリケーションであってもよい。ステップ61において、使用者は、例えば のような、ロボットアーム20のための1以上の制約を定義する。ステップ62において、使用者は、教示ペンダント30のディスプレイ31に示された情報を用いて、所望のロボット経路をロボットコントローラ28に教示し、記録する。次いで、ステップ63において、コントローラ28は、教示モードまたはプログラムモードにおいて所望の経路を辿るように、ロボットアーム20を動作させる。ステップ65に示すように、経路に沿って特異点が生じた場合、ステップ64において、特異点回避アルゴリズムが生成され、ロボットアーム20の如何なる特異点の位置を自動的に回避する。特異点が生じなかった場合、ステップ66において、リアルタイムアルゴリズムが、定義された制約を満たすように用いられる。

#### 【0033】

図6を参照して、オフセット手首部を備える冗長ロボットにおいて、図6に示すように、肘点EPの軌道は、手首部中心点WCPに依存し、制限され、且つ空間にて閉じられた曲線にはならない場合がある。図示するように、ロボットの肘点EPの対応する軌道Tは、既に円曲線ではない。手首部中心点WCPが与えられると、肘点EPの軌道は、空間における固定された3次元曲線となるが、該曲線を公式として定めることは困難である。この課題は、上述した本発明に係る方法によって解決される。

#### 【0034】

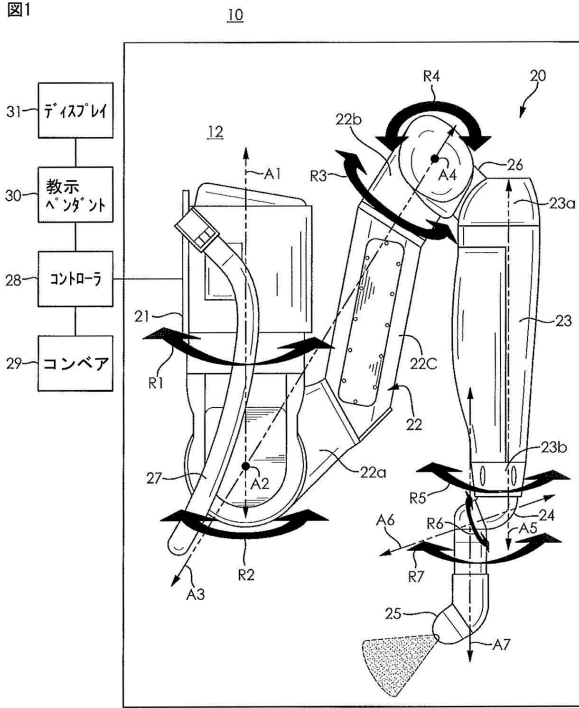
特許法の規定に従って、本発明を、その好ましい実施形態を示すものと考えられる事項において説明した。しかしながら、本発明の概念または範囲を逸脱することなく、特に図示および記載されたもの以外の形態で、本発明を実施することができることに留意されたい。

10

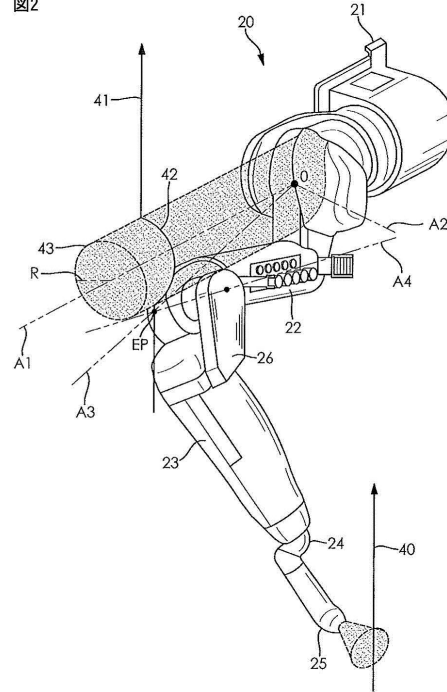
20

30

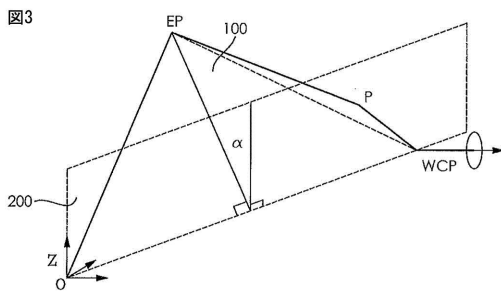
【図1】



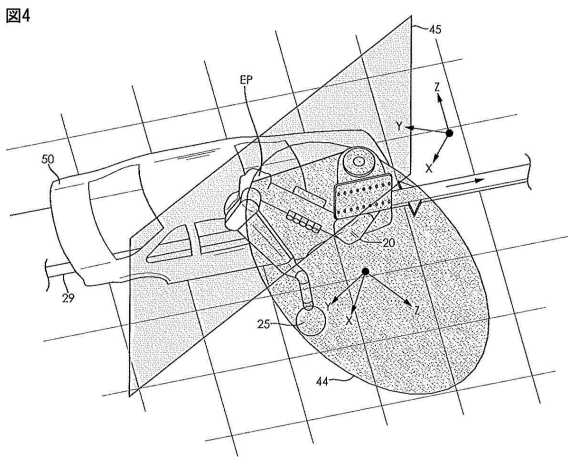
【図2】



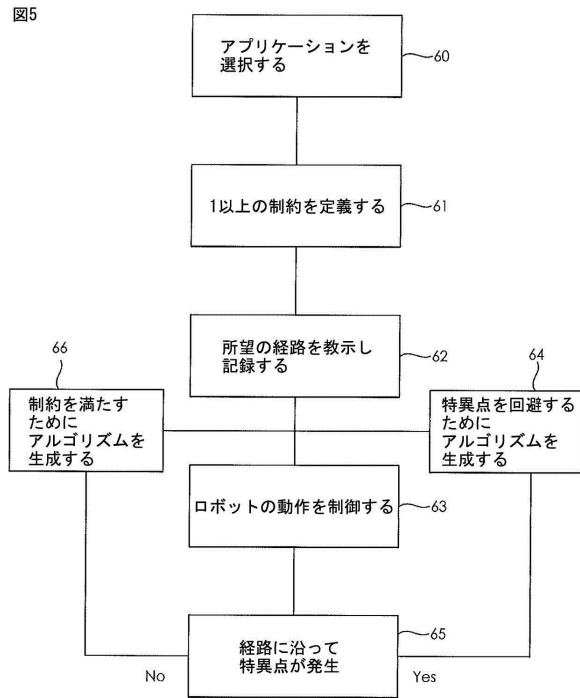
【図3】



【図4】

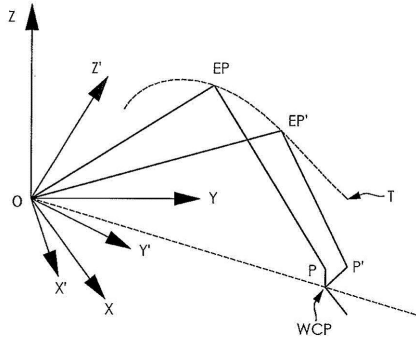


【図5】



【 図 6 】

図6



## フロントページの続き

- (74)代理人 100159684  
弁理士 田原 正宏
- (72)発明者 ディ シャオ  
アメリカ合衆国, ミシガン 48309, ロチェスター ヒルズ, タマロン ドライブ 3152
- (72)発明者 サイ - カイ チェン  
アメリカ合衆国, ミシガン 48309, ロチェスター ヒルズ, エバーグリーン コート 2475
- (72)発明者 ランディ エー . グレイサ  
アメリカ合衆国, ミシガン 48044, マコム, ディアフィールド パーク 49111
- (72)発明者 マシュー アール . サイコウスキ  
アメリカ合衆国, ミシガン 48346, クラークストン, シシリア アン アベニュー 4784
- (72)発明者 ジェyson ツァイ  
アメリカ合衆国, ミシガン 48302, ブルームフィールド ヒルズ, ヘロン リッジ 1734

審査官 白井 卓巳

- (56)参考文献 特開平05 - 228854 (JP, A)  
特開2012 - 071400 (JP, A)  
特開2012 - 139754 (JP, A)  
特開2010 - 082774 (JP, A)  
特開平03 - 079284 (JP, A)  
米国特許第05430643 (US, A)  
米国特許第07236850 (US, B2)  
特開平06 - 226667 (JP, A)  
特開2001 - 054889 (JP, A)  
特開2009 - 066738 (JP, A)  
特開2009 - 134352 (JP, A)  
特開平06 - 262548 (JP, A)  
特開2012 - 051043 (JP, A)  
米国特許出願公開第2011 / 0172819 (US, A1)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 3/00 - 13/02  
G05B 13/00  
G06F 19/00