

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7313564号  
(P7313564)

(45)発行日 令和5年7月24日(2023.7.24)

(24)登録日 令和5年7月13日(2023.7.13)

(51)国際特許分類		F I		
B 2 5 J	13/00 (2006.01)	B 2 5 J	13/00	Z
B 2 5 J	9/10 (2006.01)	B 2 5 J	9/10	A
B 2 5 J	9/22 (2006.01)	B 2 5 J	9/22	A

請求項の数 12 (全49頁)

(21)出願番号	特願2022-534555(P2022-534555)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和2年7月8日(2020.7.8)	(74)代理人	100118762 弁理士 高村 順
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/026686	(72)発明者	春尾 七星 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2022/009333	(72)発明者	前川 清石 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和4年1月13日(2022.1.13)	(72)発明者	白土 浩司 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和4年9月1日(2022.9.1)	(72)発明者	岡原 卓矢

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボット制御装置、ロボット制御方法、およびロボット制御プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボットの関節を移動させる複数の軸のそれぞれを駆動する各軸モータを制御する軸モータ制御部と、

前記ロボットの情報であるロボット情報、前記ロボットの特定位置が動作を開始する動作始点の情報と前記ロボットの特定位置が動作を終了する動作終点の情報とを含んだ端点情報、および前記ロボットに対する障害物の情報である障害物情報を記憶する記憶部と、

前記障害物を考慮せず前記ロボットの特定位置を前記動作始点から前記動作終点まで移動させた場合に移動の動作時間である第1の動作時間が最短となる前記各軸モータへの動作指令である第1の動作指令を前記ロボット情報および前記端点情報に基づいて生成するとともに、前記軸のうち、前記第1の動作指令で動作した場合に動作時間が最長となる軸を代表軸として選択する動作指令生成部と、

を備え、

前記第1の動作指令は、前記代表軸以外の軸である他軸への動作指令である他軸指令と、前記代表軸への動作指令である代表軸指令とを含み、

前記動作指令生成部は、

前記第1の動作指令とは異なる動作指令を生成し、生成された前記動作指令に含まれる他軸指令による動作時間である第2の動作時間を短縮するよう前記他軸指令を調整し、

前記障害物情報に基づいて、前記代表軸指令および調整後の前記他軸指令を含んだ第2の動作指令に対応する第1の軌道が、前記ロボットと前記障害物との衝突を回避する軌道

であると判断した場合には、前記第 1 の軌道に対応する第 2 の動作指令を前記軸モータ制御部に出力する、

ことを特徴とするロボット制御装置。

【請求項 2】

前記動作指令生成部は、

前記ロボット情報および前記端点情報に基づいて前記代表軸指令を調整し、

前記障害物情報に基づいて、調整後の前記代表軸指令および調整後の前記他軸指令を含んだ第 3 の動作指令に対応する第 2 の軌道が、前記ロボットと前記障害物との衝突を回避する軌道であり、かつ前記第 3 の動作指令による動作時間である第 3 の動作時間が前記第 2 の動作時間よりも長くなっていないと判断した場合には、前記第 3 の動作指令のうち前記第 3 の動作時間が最短となる第 3 の動作指令を前記軸モータ制御部に出力する、

10

ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボット制御装置。

【請求項 3】

前記動作指令生成部は、

前記他軸指令を調整しても前記ロボットと前記障害物との衝突を回避できない場合に、前記代表軸指令を調整する、

ことを特徴とする請求項 2 に記載のロボット制御装置。

【請求項 4】

前記動作指令生成部は、

前記動作始点から前記動作終点までの間に配置される 1 または複数の経路エリアを通過するよう、前記第 1 の動作指令とは異なる動作指令を生成する、

20

ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボット制御装置。

【請求項 5】

前記動作指令生成部は、

前記動作始点から前記動作終点までの間に配置される 1 または複数の経路エリアを通過するよう、前記他軸指令および前記代表軸指令の少なくとも一方を調整する、

ことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載のロボット制御装置。

【請求項 6】

前記動作指令生成部は、

前記第 3 の動作時間が、前記第 1 の動作時間と同じにならない場合には、前記経路エリアを変更して前記他軸指令および前記代表軸指令の少なくとも一方を調整する、

30

ことを特徴とする請求項 5 に記載のロボット制御装置。

【請求項 7】

前記動作指令生成部は、前記動作指令を表現するパラメータとして前記経路エリア毎に異なるパラメータを適用して前記他軸指令および前記代表軸指令の少なくとも一方を調整する、

ことを特徴とする請求項 6 に記載のロボット制御装置。

【請求項 8】

前記動作指令生成部は、

前記動作指令を表現するパラメータの評価関数を学習するパラメータ学習アルゴリズムに基づいて、前記ロボットと前記障害物との衝突を回避しつつ前記第 3 の動作時間を抑制した前記パラメータの候補を生成し、前記ロボットの動作時間が最短となる候補を、前記他軸指令または前記代表軸指令を調整する際のパラメータに設定する、

40

ことを特徴とする請求項 2 に記載のロボット制御装置。

【請求項 9】

前記パラメータは、前記各軸モータの角度変化の回数、各前記角度変化の開始タイミング、各前記角度変化における最高速度、前記各軸モータが最高速度を出力する時間である出力時間の長さ、各前記角度変化における加速度、各前記角度変化における減速度の少なくとも 1 つを含んでいる、

ことを特徴とする請求項 8 に記載のロボット制御装置。

50

## 【請求項 10】

前記動作指令生成部は、

前記ロボットのトルク制約を満たす前記パラメータの候補を生成する、  
ことを特徴とする請求項 8 または 9 に記載のロボット制御装置。

## 【請求項 11】

ロボットの関節を移動させる複数の軸のそれぞれを駆動する各軸モータを制御するロボット制御方法であって、

前記ロボットの情報であるロボット情報、前記ロボットの特定位置が動作を開始する動作始点の情報と前記ロボットの特定位置が動作を終了する動作終点の情報とを含んだ端点情報を取得する第 1 の取得ステップ、および前記ロボットに対する障害物の情報である障害物情報を記憶しておく記憶ステップと、

前記障害物を考慮せず前記ロボットの特定位置を前記動作始点から前記動作終点まで移動させた場合に移動の動作時間である第 1 の動作時間が最短となる前記各軸モータへの動作指令である第 1 の動作指令を前記ロボット情報および前記端点情報に基づいて生成する第 1 の生成ステップと、

前記軸のうち、前記第 1 の動作指令で動作した場合に動作時間が最長となる軸を代表軸として選択する選択ステップと、

前記ロボットと前記障害物との衝突を回避する軌道を生成する第 2 の生成ステップと、  
を含み、

前記第 1 の動作指令は、前記代表軸以外の軸である他軸への動作指令である他軸指令と、  
前記代表軸への動作指令である代表軸指令とを含み、

前記第 2 の生成ステップでは、

前記第 1 の動作指令とは異なる動作指令を生成し、生成された前記動作指令に含まれる他軸指令による動作時間である第 2 の動作時間を短縮するよう前記他軸指令を調整し、

前記障害物情報に基づいて、前記代表軸指令および調整後の前記他軸指令を含んだ第 2 の動作指令に対応する第 1 の軌道が、前記ロボットと前記障害物との衝突を回避する軌道であると判断した場合には、前記第 1 の軌道に対応する第 2 の動作指令を、各軸モータを制御する軸モータ制御部に出力する、

ことを特徴とするロボット制御方法。

## 【請求項 12】

ロボットの関節を移動させる複数の軸のそれぞれを駆動する各軸モータを制御するロボット制御プログラムであって、

前記ロボットの情報であるロボット情報、前記ロボットの特定位置が動作を開始する動作始点の情報と前記ロボットの特定位置が動作を終了する動作終点の情報とを含んだ端点情報を取得する第 1 の取得ステップ、および前記ロボットに対する障害物の情報である障害物情報を記憶しておく記憶ステップと、

前記障害物を考慮せず前記ロボットの特定位置を前記動作始点から前記動作終点まで移動させた場合に移動の動作時間である第 1 の動作時間が最短となる前記各軸モータへの動作指令である第 1 の動作指令を前記ロボット情報および前記端点情報に基づいて生成する第 1 の生成ステップと、

前記軸のうち、前記第 1 の動作指令で動作した場合に動作時間が最長となる軸を代表軸として選択する選択ステップと、

前記ロボットと前記障害物との衝突を回避する軌道を生成する第 2 の生成ステップと、  
をコンピュータに実行させ、

前記第 1 の動作指令は、前記代表軸以外の軸である他軸への動作指令である他軸指令と、  
前記代表軸への動作指令である代表軸指令とを含み、

前記第 2 の生成ステップでは、

前記第 1 の動作指令とは異なる動作指令を生成し、生成された前記動作指令に含まれる他軸指令による動作時間である第 2 の動作時間を短縮するよう前記他軸指令を調整し、

前記障害物情報に基づいて、前記代表軸指令および調整後の前記他軸指令を含んだ第 2

10

20

30

40

50

の動作指令に対応する第1の軌道が、前記ロボットと前記障害物との衝突を回避する軌道であると判断した場合には、前記第1の軌道に対応する第2の動作指令を、各軸モータを制御する軸モータ制御部に出力する、

ことを特徴とするロボット制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、ロボットを制御するロボット制御装置、ロボット制御方法、およびロボット制御プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

ロボットを制御するロボット制御装置の1つに、手先ツールでワークを保持して搬送するロボットへの制御を実行する装置がある。このロボット制御装置は、ワーク、手先ツールを含むロボットといった移動対象物と、障害物とが衝突しない軌道を生成し、生成した軌道に沿ってワークを移動させている。

【0003】

特許文献1に記載の制御装置は、ワークを始点から終点に移動させる際に、ワーク搬送に用いられるモータの動作時間が最短となるカム曲線をモータ毎に生成し、複数のモータのうち最も長い時間動作するモータのカム曲線を保持している。この制御装置は、始点と終点との間の位置のうちワークが障害物に衝突しない位置を経由点に設定し、残りのモータのカム曲線が経由点を通過するようにカム曲線を調整することで移動の動作時間を短縮している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2014-37029号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献1の技術では、制御装置が、ユーザによって指定された経由点を通過するよう各軸の動作指令を調整しているため、ユーザによって適切な経由点が指定されなければ、移動の動作時間が長くなるという問題があった。

【0006】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、ユーザによって適切な経由点が指定されなくても、ロボットと障害物との衝突を回避しつつ移動の動作時間を抑制することができるロボット制御装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示のロボット制御装置は、ロボットの関節を移動させる複数の軸のそれぞれを駆動する各軸モータを制御する軸モータ制御部と、ロボットの情報であるロボット情報、ロボットの特定位置が動作を開始する動作始点の情報とロボットの特定位置が動作を終了する動作終点の情報とを含んだ端点情報、およびロボットに対する障害物の情報である障害物情報を記憶する記憶部とを備える。また、本開示のロボット制御装置は、障害物を考慮せずロボットの特定位置を動作始点から動作終点まで移動させた場合に移動の動作時間である第1の動作時間が最短となる各軸モータへの動作指令である第1の動作指令をロボット情報および端点情報に基づいて生成するとともに、軸のうち、第1の動作指令で動作した場合に動作時間が最長となる軸を代表軸として選択する動作指令生成部を備える。第1の動作指令は、代表軸以外の軸である他軸への動作指令である他軸指令と、代表軸への動作指令である代表軸指令とを含む。動作指令生成部は、第1の動作指令とは異なる動作指令を生成し、生成された動作指令に含まれ

10

20

30

40

50

る他軸指令による動作時間である第2の動作時間を短縮するよう他軸指令を調整し、障害物情報に基づいて、代表軸指令および調整後の他軸指令を含んだ第2の動作指令に対応する第1の軌道が、ロボットと障害物との衝突を回避する軌道であると判断した場合には、第1の軌道に対応する第2の動作指令を軸モータ制御部に出力する。

【発明の効果】

【0008】

本開示にかかるロボット制御装置は、ユーザによって適切な経由点が指定されなくても、ロボットと障害物との衝突を回避しつつ移動の動作時間を抑制することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

10

【0009】

【図1】実施の形態1にかかるロボット制御装置を備えたロボットシステムの概略構成を示す図

【図2】実施の形態1にかかるロボット制御装置が制御するロボットの一例を示す図

【図3】実施の形態1にかかるロボット制御装置の構成を示す図

【図4】実施の形態1にかかるロボット制御装置による軌道生成の処理手順を示すフローチャート

【図5】実施の形態1にかかるロボット制御装置が選択する代表軸を説明するための図

【図6】実施の形態1にかかるロボット制御装置が設定する経由エリアを説明するための図

【図7】実施の形態1にかかるロボット制御装置が経由エリアに基づいて軌道を生成する処理の詳細な処理手順を示すフローチャート

20

【図8】実施の形態1にかかるロボット制御装置が他軸の仮動作指令を生成する処理を説明するための図

【図9】実施の形態1にかかるロボット制御装置が他軸の仮動作指令を生成する際に用いる仮中継点を説明するための図

【図10】実施の形態1にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャート

【図11】実施の形態1にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令の加減速タイミングをずらす処理を説明するための図

【図12】実施の形態1にかかるロボット制御装置が動作時間を短縮するよう他軸の動作指令の仮中継点における軸角度をずらす処理を説明するための図

30

【図13】実施の形態1にかかるロボット制御装置が代表軸の動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図

【図14】実施の形態1にかかるロボット制御装置が動作中の代表軸の最高速度を変更することで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図

【図15】実施の形態2にかかるロボット制御装置を備えたロボットシステムの概略構成を示す図

【図16】実施の形態2にかかるロボット制御装置が設定する経由エリアを説明するための図

【図17】実施の形態2にかかるロボット制御装置が経由エリアに基づいて軌道を生成する処理の詳細な処理手順を示すフローチャート

40

【図18】実施の形態2にかかるロボット制御装置が他軸の仮動作指令を生成する処理を説明するための図

【図19】実施の形態2にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャート

【図20】実施の形態2にかかるロボット制御装置が統合する連続方向の動作指令を説明するための図

【図21】実施の形態2にかかるロボット制御装置が動作時間を短縮するよう他軸の動作指令の加減速タイミングをずらす処理を説明するための図

【図22】実施の形態2にかかるロボット制御装置が動作時間を短縮するよう他軸の動作

50

指令の仮中継点における軸角度をずらす処理を説明するための図

【図 2 3】実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が代表軸の動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図

【図 2 4】実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が動作中の代表軸の最高速度を一括変更することで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図

【図 2 5】実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が動作中の代表軸の最高速度を局所変更することで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図

【図 2 6】実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が干渉点から特定距離だけ離れた空間に経由エリアを変更する処理を説明するための図

【図 2 7】実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が、障害物を内部に含まない位置に経由エリアを変更する処理を説明するための図

10

【図 2 8】実施の形態 3 にかかるロボット制御装置による軌道生成の処理手順を示すフローチャート

【図 2 9】実施の形態 3 にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャート

【図 3 0】実施の形態 3 にかかるロボット制御装置が用いる各軸モータの動作指令を説明するための図

【図 3 1】実施の形態 3 にかかるロボット制御装置が全軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャート

【図 3 2】実施の形態 1 から 3 にかかるロボット制御装置のハードウェア構成を示す図

20

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下に、本開示の実施の形態にかかるロボット制御装置、ロボット制御方法、およびロボット制御プログラムを図面に基づいて詳細に説明する。

【0011】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置を備えたロボットシステムの概略構成を示す図である。ロボットシステム 100 は、ロボット 101 と、ロボット 101 を制御するロボット制御装置 200 とを備えている。ロボット 101 は、ワーク 103 を保持して搬送する装置であり、ワーク 103 を保持する手先ツール 102 を備えている。ロボット 101 は、製品の生産などに用いられる。

30

【0012】

ワーク 103 は、ロボット 101 による搬送対象である。ロボット制御装置 200 は、ロボット 101 が有する各モータを制御することで、各モータに接続された軸のそれぞれの動作を制御するコンピュータである。ロボット制御装置 200 は、ロボット 101 が有する軸の動作を制御することで、手先ツール 102 の位置を制御する。

【0013】

なお、以下の説明では、ワーク 103 を保持した状態の手先ツール 102 を手先ツール 102 という。したがって、ロボット制御装置 200 は、手先ツール 102 を含むロボット 101 が障害物 31 に衝突しないよう、ロボット 101 を制御する。以下の説明では、ロボット 101 と障害物 31 との衝突の例として、手先ツール 102 と障害物 31 との衝突を説明する。すなわち、実施の形態 1 のロボット制御装置 200 は、手先ツール 102 が障害物 31 に衝突しないよう、ロボット 101 を制御する。具体的には、ロボット制御装置 200 は、手先ツール 102 が動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  まで移動する際に、手先ツール 102 が障害物 31 に衝突しないようにロボット 101 を制御する。

40

【0014】

図 2 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が制御するロボットの一例を示す図である。図 2 では、ロボット 101 が有する軸を図示している。図 2 では、ロボット 101 が、第 1 軸 A1 から第 6 軸 A6 の 6 軸を有している場合について説明するが、ロボット 101 が有する軸数は、5 軸以下であってもよいし、7 軸以上であってもよい。ロボット 1

50

01は、第1軸A1から第6軸A6を動作させることで、手先ツール102を移動させる。

【0015】

図3は、実施の形態1にかかるロボット制御装置の構成を示す図である。ロボット制御装置200は、障害物モデル記憶部21と、ロボットモデル記憶部22と、端点記憶部23と、動作指令生成部24と、各軸モータ制御部とを備えている。ロボット101は、各軸モータと、各軸エンコーダとを備えている。

【0016】

ロボット制御装置200の各軸モータ制御部は、ロボット101の軸の数だけ配置されている。したがって、ロボット制御装置200の各軸モータ制御部は、第1軸モータ制御部B1から第6軸モータ制御部B6の6つである。なお、図3では、第2軸モータ制御部B2から第5軸モータ制御部B5の図示を省略している。

10

【0017】

ロボット101の各軸モータは、ロボット101の軸の数だけ配置されている。したがって、ロボット101の各軸モータは、第1軸モータM1から第6軸モータM6の6つである。なお、図3では、第2軸モータM2から第5軸モータM5の図示を省略している。

【0018】

ロボット101の各軸エンコーダは、ロボット101の軸の数だけ配置されている。したがって、ロボット101の各軸エンコーダは、第1軸エンコーダE1から第6軸エンコーダE6の6つである。なお、図3では、第2軸エンコーダE2から第5軸エンコーダE5の図示を省略している。

20

【0019】

障害物モデル記憶部21は、障害物31などのロボットシステム100内に含まれる全ての障害物の障害物情報を記憶する。障害物モデルである障害物情報は、障害物31の形状および設置位置を示す情報である。障害物情報の例は、障害物31の3DCAD(Three Dimensional Computer Aided Design、3次元キャド)データである。また、障害物情報は、障害物31を外包する簡易モデルの形状および位置情報であってもよい。

【0020】

ロボットモデル記憶部22は、ロボット101に関する情報であるロボット情報を記憶する。ロボット情報は、少なくとも、ロボット101の形状を示す形状情報、ロボット101の寸法を示す寸法情報、各軸モータが実現できる回転の最高速度、各軸モータのトルクの制約の情報であるトルク制約情報、および各軸モータが実現できる回転角の角度範囲の情報を含んでいる。

30

【0021】

端点記憶部23は、動作始点 $P_S$ および動作終点 $P_G$ に関する情報である端点情報を記憶する。端点情報には、動作始点 $P_S$ における、手先ツール102の座標、手先ツール102の姿勢の情報、およびロボット101の各軸の関節角度の情報が含まれている。また、端点情報には、動作終点 $P_G$ における、手先ツール102の座標、手先ツール102の姿勢の情報、およびロボット101の各軸の関節角度の情報が含まれている。

【0022】

動作指令生成部24は、障害物モデル記憶部21、ロボットモデル記憶部22、端点記憶部23に接続されている。動作指令生成部24は、障害物モデル記憶部21から障害物情報を読み出し、ロボットモデル記憶部22からロボット情報を読み出し、端点記憶部23から端点情報を読み出す。

40

【0023】

動作指令生成部24は、障害物情報、ロボット情報、および端点情報に基づいて、ロボットシステム100内に配置されている障害物31を回避しながら、指定された動作始点 $P_S$ から動作終点 $P_G$ まで移動する際の手先ツール102の軌道を生成する。具体的には、動作指令生成部24は、ロボット情報および端点情報に基づいて、ロボット101に対する制約を満たした軌道を生成し、生成した軌道および障害物情報に基づいて、軌道が障害物31と衝突するか否かを判断する。以下、障害物情報、ロボット情報、および端点情報

50

を動作情報という場合がある。動作指令生成部 2 4 は、生成した軌道に対応する各軸モータの動作指令を各軸モータ制御部に出力する。

【 0 0 2 4 】

ロボット 1 0 1 内の各軸モータには、各軸エンコーダが接続されている。各軸エンコーダは、各軸モータの関節角度のデータである関節角データをリアルタイムで取得し、各軸モータ制御部へフィードバックする。

【 0 0 2 5 】

各軸モータ制御部は、各軸エンコーダから送られてくる関節角データを用いて、各軸モータをフィードバック制御する。

【 0 0 2 6 】

次に、動作指令生成部 2 4 が手先ツール 1 0 2 の軌道を生成する手順について説明する。図 4 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置による軌道生成の処理手順を示すフローチャートである。

【 0 0 2 7 】

動作指令生成部 2 4 は、動作情報を読み出す (ステップ S 1 1 0)。動作情報には、障害物情報と、ロボット情報と、端点情報とが含まれている。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、障害物モデル記憶部 2 1 から障害物情報を読み出し、ロボットモデル記憶部 2 2 からロボット情報を読み出し、端点記憶部 2 3 から端点情報を読み出す。端点情報には、動作始点  $P_S$  および動作終点  $P_G$  におけるロボット 1 0 1 の各軸の関節角度が含まれている。

【 0 0 2 8 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  までの関節補間軌道  $R_0$  を生成する (ステップ S 1 2 0)。関節補間軌道  $R_0$  は、障害物 3 1 を考慮せずに手先ツール 1 0 2 が動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  まで移動する際に、ロボット 1 0 1 の動作時間が最短となる軌道である。

【 0 0 2 9 】

動作指令生成部 2 4 は、関節補間軌道  $R_0$  に基づいて、各軸の動作指令を生成する。関節補間軌道  $R_0$  に対応する動作指令が第 1 の動作指令である。この第 1 の動作指令には、他軸への動作指令である他軸指令と、代表軸への動作指令である代表軸指令とが含まれている。第 1 の動作指令でロボット 1 0 1 が動作した場合の動作時間が第 1 の動作時間である。

【 0 0 3 0 】

実施の形態 1 では、ロボット制御装置 2 0 0 が、動作指令として、ロボット 1 0 1 に含まれる各軸の速度指令値を使用する場合について説明する。動作指令生成部 2 4 は、生成した関節補間軌道  $R_0$  を仮軌道に設定する。

【 0 0 3 1 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、各軸の中から仮軌道での動作時間に対する寄与度が最大の軸である代表軸を選択する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、各軸の中から仮軌道での動作時間を決定する代表軸を選択する (ステップ S 1 3 0)。また、動作指令生成部 2 4 は、仮軌道に含まれる各軸の動作指令の中から、代表軸の動作指令を選択する。

【 0 0 3 2 】

実施の形態 1 では、代表軸は、各軸モータが出力可能な最高速度に対して動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  までの角度変化量が最大となる軸であると定義する。代表軸は、障害物 3 1 を考慮せずに動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  まで最短時間で動作する場合に、動作時間に最も寄与する軸、すなわち動作時間が最長の軸とみることができる。

【 0 0 3 3 】

代表軸は、障害物 3 1 を考慮せずに動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  まで最短時間で動作する場合において、少なくとも 1 つの軸の角度変化量が十分に大きくなる動作において、軸を駆動する軸モータの角速度が、軸モータが実現できる最高速度に一致する軸となる。また、全ての軸の角度変化量が小さい場合には、代表軸は、軸モータが実現できる最高速度

10

20

30

40

50

に対する動作中に到達する最高速度の比が1未満で最大の軸となる。なお、以下の説明では、代表軸以外の軸を他軸という場合がある。

【0034】

図5は、実施の形態1にかかるロボット制御装置が選択する代表軸を説明するための図である。ここでは、ロボット101の軸数が3つである場合の代表軸について説明する。図5は、関節補間軌道R0でロボット101を動作させる場合の、代表軸および他軸の速度指令値に対応する角速度の変化を示している。

【0035】

以下、代表軸または他軸を軸jという場合がある。また、代表軸を、代表軸j'という場合がある。図5では、代表軸j'に対する角速度のグラフと、代表軸以外の軸である他軸j\_bに対する角速度のグラフと、代表軸j'以外の軸である他軸j\_cに対する角速度のグラフとを示している。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は軸の角速度である。

10

【0036】

図5の上段に示すグラフが代表軸j'に対する速度指令値に対応する角速度のグラフであり、中段に示すグラフが他軸j\_bに対する速度指令値に対応する角速度のグラフであり、下段に示すグラフが他軸j\_cに対する速度指令値に対応する角速度のグラフである。動作指令生成部24は、代表軸j'として、以下の式(1)を満たす軸jを選択する。

【0037】

【数1】

$$j' = \max_j |(\theta_{Gj} - \theta_{sj}) / v_{maxj}| \quad \dots (1)$$

20

【0038】

ここで、 $s_j$ は、動作始点P<sub>S</sub>における軸jの角度であり、 $G_j$ は動作終点P<sub>G</sub>における軸jの角度であり、 $v_{maxj}$ は軸jの軸モータが実現できる最高速度である。式(1)は、仮動作の動作時間を決定する代表軸j'を選択する数式である。式(1)の右辺は、軸jの角度変化量が軸jの軸モータが実現できる最高速度 $v_{maxj}$ に対し、どの程度の大きさにあたるかを示している。角度変化量を最高速度 $v_{maxj}$ で除した値が最大となる軸jが、代表軸j'となる。すなわち、軸モータが出力可能な最高速度 $v_{maxj}$ に対する軸jの角度変化量の割合が最大となる軸が代表軸である。

30

【0039】

代表軸j'に対する速度指令値に対応する角速度のグラフに示すように、代表軸j'の角度変化量が十分に大きい場合において、動作中に実現される代表軸j'の軸モータの最高速度 $v_{j'}$ は、代表軸j'の軸モータが実現できる最高速度 $v_{maxj'}$ に一致する。「 $\bar{v}$ 」はオーバーバーであり、 $v_{j'}$ の上部に付されている。以下、同様に「 $\bar{v}$ 」は全てオーバーバーである。動作指令生成部24は、仮軌道において、代表軸j'以外の他軸で実現されるモータの最高速度 $v_j$ を、以下の式(2)に基づいて算出する。

【0040】

【数2】

$$\bar{v}_j = \frac{(\theta_{Gj} - \theta_{sj})}{(\theta_{Gj'} - \theta_{sj'})} * v_{maxj'} \quad \dots (2)$$

40

【0041】

図5では、他軸j\_bの軸モータが実現できる最高速度を $v_{maxj_b}$ で示し、他軸j\_cの軸モータが実現できる最高速度を $v_{maxj_c}$ で示している。また、仮軌道において他軸j\_bの動作中に実現される他軸j\_bの最高速度を最高速度 $v_{j_b}$ で示し、仮軌道において他軸j\_cの動作中に実現される他軸j\_cの最高速度を最高速度 $v_{j_c}$ で示している。

【0042】

動作指令生成部24は、代表軸の動作指令を選択すると、第1の繰り返しカウンタを初

50

期化する。すなわち、動作指令生成部 24 は、第 1 の繰り返しカウンタに  $i = 1$  を代入する（ステップ S 140）。第 1 の繰り返しカウンタは、後述する経路エリアを変更する処理を繰り返す際の、繰り返し回数をカウントするカウンタである。第 1 の繰り返しカウンタは、ステップ S 220 の処理で用いられる。

【0043】

次に、動作指令生成部 24 は、経路エリアの候補を設定し、候補の中から手先ツール 102 の特定位置が通過する経路エリアを指定する（ステップ S 150）。

【0044】

図 6 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が設定する経路エリアを説明するための図である。図 6 では、経路エリアの候補の例として、経路エリア 601 と、経路エリア 603 とを図示している。

10

【0045】

経路エリアの候補は、ユーザが障害物 31 の配置に基づいて予め設定しておく。なお、動作指令生成部 24 が、障害物モデル記憶部 21 から取得した障害物情報に基づいて、障害物 31 が存在しないエリアに経路エリアの候補を設定してもよい。

【0046】

動作指令生成部 24 は、経路エリアを指定する際に、複数の経路エリアの候補の中から 1 つの経路エリアを指定する。ここでは、動作指令生成部 24 が、経路エリア 601 を指定した場合について説明する。動作指令生成部 24 は、任意の時刻において手先ツール 102 の特定位置が経路エリア 601 の任意の位置を通過する軌道 602 を生成する。

20

【0047】

動作指令生成部 24 は、ロボット 101 の全体を基準としたロボット動作空間、すなわち XYZ 空間に対して、経路エリア 601、603 および軌道 602 を生成する。なお、動作指令生成部 24 は、ロボット 101 の関節角を基準とした関節角空間に対して、経路エリア 601、603 および軌道 602 を生成してもよい。

【0048】

動作指令生成部 24 は、経路エリアを指定した後、第 2 の繰り返しカウンタを初期化する。すなわち、動作指令生成部 24 は、第 2 の繰り返しカウンタに  $i_2 = 1$  を代入する（ステップ S 160）。第 2 の繰り返しカウンタは、1 つの経路エリアに対して軌道を生成する処理を繰り返す際の、繰り返し回数をカウントするカウンタである。第 2 の繰り返しカウンタは、ステップ S 210 の処理で用いられる。

30

【0049】

動作指令生成部 24 は、第 2 の繰り返しカウンタを初期化した後、ステップ S 150 で選択した経路エリアに基づいて、軌道を生成する。この場合において、動作指令生成部 24 は、生成軌道に基づいて、代表軸以外の他軸の動作指令と、代表軸の動作指令とを生成する。

【0050】

動作指令生成部 24 は、前記の他軸の動作指令の動作時間が第 1 の動作時間より長い場合に他軸の動作指令を調整して関節補間軌道 R0 と異なる軌道を生成し、生成軌道の動作時間を短縮する（ステップ S 170）。他軸の動作指令に対応するロボット 101 の動作時間が、第 2 の動作時間である。ステップ S 170 では、第 2 の動作時間が短くなるよう、動作指令生成部 24 が、他軸の動作指令を調整する。

40

【0051】

他軸の調整後の動作指令および調整されていない代表軸の動作指令を含んだ動作指令が第 2 の動作指令である。この第 2 の動作指令に対応する軌道が第 1 の軌道である。動作指令生成部 24 は、他軸の動作指令を調整した後、調整後の動作指令を用いて軌道を生成する。この軌道が、障害物 31 を回避する軌道となっている場合がある。

【0052】

また、動作指令生成部 24 は、生成した軌道が特定の条件を満たすか否かを判断する。具体的には、動作指令生成部 24 は、障害物情報に基づいて、生成した軌道である生成軌

50

道が障害物 3 1 を回避するか否かを判断する (ステップ S 1 8 0)。なお、関節補間軌道 R 0 は、最短の動作時間に対応する軌道なので、生成軌道での動作時間が関節補間軌道 R 0 よりも短くなることはない。また、ここでは他軸の動作指令を調整しているだけなので、生成軌道での動作時間が関節補間軌道 R 0 よりも長くなることはない。すなわち、この時点では、生成軌道での動作時間は、関節補間軌道 R 0 での動作時間と同じであり、最短動作時間となっている。

#### 【 0 0 5 3 】

生成軌道が障害物 3 1 を回避する場合 (ステップ S 1 8 0、Y e s)、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 2 6 0 の処理に移行する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、最短動作時間の生成軌道に対応する動作指令を出力する。ここでの動作指令生成部 2 4 が記憶している生成軌道は、最短動作時間の生成軌道である。したがって、動作指令生成部 2 4 は、第 2 の動作指令のうち、障害物 3 1 を回避する第 1 の軌道に対応する動作指令を出力する。

10

#### 【 0 0 5 4 】

生成軌道が障害物 3 1 に干渉する場合 (ステップ S 1 8 0、N o)、動作指令生成部 2 4 は、代表軸の動作指令を調整し、調整後の動作指令を用いて軌道を生成する (ステップ S 1 9 0)。他軸の調整後の動作指令および代表軸の調整後の動作指令を含んだ動作指令が第 3 の動作指令である。この第 3 の動作指令によるロボット 1 0 1 の動作時間が第 3 の動作時間であり、第 3 の動作指令に対応する軌道が第 2 の軌道である。以下、ステップ S 1 7 0、S 1 9 0 で調整された動作指令を、調整済みの動作指令という場合がある。

20

#### 【 0 0 5 5 】

動作指令生成部 2 4 は、生成軌道が特定の条件を満たすか否かを判断する。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、他軸および代表軸の調整済みの動作指令に基づいて軌道を生成する。そして、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道が障害物 3 1 を回避し、かつ生成軌道での動作時間 = 関節補間軌道 R 0 での動作時間を満たすか否かを判断する (ステップ S 2 0 0)。このとき、動作指令生成部 2 4 は、障害物情報に基づいて、生成軌道が障害物 3 1 を回避するか否かを判断する。

#### 【 0 0 5 6 】

ステップ S 2 0 0 の条件を満たす場合 (ステップ S 2 0 0、Y e s)、動作指令生成部 2 4 は、最短動作時間の生成軌道に対応する動作指令を各軸モータ制御部に出力する (ステップ S 2 6 0)。動作指令生成部 2 4 は、記憶しておいた生成軌道に基づいて、動作時間を算出する。動作指令生成部 2 4 は、各動作時間の中から最短動作時間を選択し、最短動作時間の生成軌道に対応する動作指令を出力する。ここでの動作指令生成部 2 4 は、第 3 の動作指令のうち、障害物 3 1 を回避し最短動作時間となる第 2 の軌道に対応する動作指令を出力する。

30

#### 【 0 0 5 7 】

ステップ S 2 0 0 の条件を満たさない場合 (ステップ S 2 0 0、N o)、動作指令生成部 2 4 は、第 2 の繰り返しカウンタのカウント数が、設定された最大値となっているか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、 $i 2 =$  最大繰り返し回数となっているか否かを判断する (ステップ S 2 1 0)。

40

#### 【 0 0 5 8 】

$i 2 =$  最大繰り返し回数となっていない場合 (ステップ S 2 1 0、N o)、動作指令生成部 2 4 は、 $i 2$  に 1 を加算し (ステップ S 2 3 0)、ステップ S 1 7 0 の処理に戻る。

#### 【 0 0 5 9 】

この場合において、動作指令生成部 2 4 は、ロボット 1 0 1 の動作の条件を示す動作指令パラメータを変更してステップ S 1 7 0 の処理を実行する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、動作指令パラメータを変更しながら、衝突を回避できる動作指令を探索する。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、動作指令パラメータとして、各軸モータの角度変化の回数、各角度変化の開始タイミング、各角度変化における最高速度、各軸モータが最高速度を出力する時間の長さである出力時間、各角度変化における加速度、および各角度変化

50

における減速度の少なくとも1つを新たな値に変更してステップS 1 7 0の処理を実行する。

【0 0 6 0】

これにより、動作指令生成部2 4は、複数回にわたってステップS 1 7 0の処理を実行するので、複数の条件でステップS 1 7 0の処理を実行することができる。各軸モータの1回の角度変化は、各軸モータの速度が0の状態から加速または減速を行った後、各軸モータの速度が再び0になるまでの動作である。

【0 0 6 1】

$i 2 =$  最大繰り返し回数となっている場合（ステップS 2 1 0、Y e s）、動作指令生成部2 4は、第1の繰り返しカウンタのカウント数が、設定された最大値となっているか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部2 4は、 $i =$  最大繰り返し回数となっているか否かを判断する（ステップS 2 2 0）。

10

【0 0 6 2】

$i =$  最大繰り返し回数となっている場合（ステップS 2 2 0、Y e s）、動作指令生成部2 4は、最短動作時間の生成軌道に対応する動作指令を各軸モータ制御部に出力する（ステップS 2 6 0）。

【0 0 6 3】

$i =$  最大繰り返し回数となっていない場合（ステップS 2 2 0、N o）、動作指令生成部2 4は、経路エリアを変更する（ステップS 2 4 0）。すなわち、動作指令生成部2 4は、設定された経路エリアの中から別の経路エリアを指定する。そして、動作指令生成部2 4は、 $i$ に1を加算し（ステップS 2 5 0）、ステップS 1 6 0の処理に戻る。

20

【0 0 6 4】

ここで、動作指令生成部2 4が、経路エリアに基づいて軌道を生成する処理について説明する。図7は、実施の形態1にかかるロボット制御装置が経路エリアに基づいて軌道を生成する処理の詳細な処理手順を示すフローチャートである。以下に説明するステップS 3 1 0からS 4 3 0の処理は、図4で説明したステップS 1 7 0からS 2 0 0の処理に対応している。

【0 0 6 5】

動作指令生成部2 4は、第2の繰り返しカウンタを初期化、すなわち第2の繰り返しカウンタに $i 2 = 1$ を代入する（ステップS 1 6 0）。

30

【0 0 6 6】

動作指令生成部2 4は、第2の繰り返しカウンタに $i 2 = 1$ を代入すると、経路エリア内の任意の一点に、手先ツール1 0 2の特定位置が通過する仮の中継点（以下、仮中継点 $P_R$ という）を設定する（ステップS 3 1 0）。

【0 0 6 7】

また、動作指令生成部2 4は、仮中継点 $P_R$ に手先ツール1 0 2の特定位置が達するように、ロボット1 0 1の各軸モータのモータ角度を決定する。換言すると、動作指令生成部2 4は、仮中継点 $P_R$ でのロボット1 0 1の各軸モータのモータ角度を決定する（ステップS 3 2 0）。すなわち、動作指令生成部2 4は、経路エリア内の仮中継点 $P_R$ に対し、手先ツール1 0 2を含む関節角の組を設定する。

40

【0 0 6 8】

なお、動作指令生成部2 4の代わりに、ユーザが仮中継点 $P_R$ として、経路エリア内の任意の位置と、この時のロボット1 0 1の姿勢とを指定してもよい。また、動作指令生成部2 4は、仮中継点 $P_R$ として経路エリア内の点をランダムに選択してもよい。仮中継点 $P_R$ は、軌道上で通過しなければならないものではなく、初期軌道を計算するために仮に指定されるものである。

【0 0 6 9】

次に、動作指令生成部2 4は、ステップS 3 2 0で決定した各軸モータのモータ角度における各軸モータの角速度を指定する。すなわち、動作指令生成部2 4は、決定した関節角で仮中継点 $P_R$ を通過する際の通過速度を指定する（ステップS 3 3 0）。ここで指定さ

50

れる角速度は、初期軌道を計算するために仮に設定される角速度である。

【 0 0 7 0 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、端点情報、指定した仮中継点  $P_R$  の位置、および指定した角速度に基づいて、動作始点  $P_S$ 、動作終点  $P_G$ 、仮中継点  $P_R$  において各軸の駆動に使用できる最大駆動トルクを計算する（ステップ S 3 4 0）。次に、動作指令生成部 2 4 は、代表軸以外の軸である他軸の仮動作指令を生成する（ステップ S 3 5 0）。

【 0 0 7 1 】

図 8 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が他軸の仮動作指令を生成する処理を説明するための図である。図 9 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が他軸の仮動作指令を生成する際に用いる仮中継点を説明するための図である。図 9 に示すように、仮中継点  $P_R$  は、経路エリア 6 0 1 内に設定される。

10

【 0 0 7 2 】

図 8 の上段に示すグラフが、代表軸  $j'$  に対する角速度のグラフである。また、中段に示すグラフが、他軸  $j_b$  が動作始点  $P_S$  において最大駆動トルクで加速した場合の角速度のグラフであり、下段に示すグラフが、他軸  $j_b$  が仮中継点  $P_R$  において最大駆動トルクで加速した場合の角速度のグラフである。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は角速度である。

【 0 0 7 3 】

まず、図 8 の上段に示すグラフについて説明する。動作指令生成部 2 4 は、関節補間軌道 R 0 の代表軸  $j'$  の動作指令を用いて、動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_R$  までの動作時間  $t_1$ 、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの動作時間  $t_2$  を求める。動作始点  $P_S$  における代表軸  $j'$  の角度  $\theta_{sj'}$  から仮中継点  $P_R$  における代表軸  $j'$  の角度  $\theta_{Rj'}$  までの角度変化量が、時刻  $t = 0$  から  $t_1$  までの代表軸  $j'$  の動作指令の積分値と一致する時刻が  $t_1$  となる。

20

【 0 0 7 4 】

次に、代表軸  $j'$  以外の軸  $j_b$  への仮動作指令の生成方法を、図 8 の中段に示すグラフを用いて説明する。動作指令生成部 2 4 は、動作始点  $P_S$  において最大駆動トルクで加速した場合の指令直線 L 1 の傾きを計算する。また、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  まで最大駆動トルクで減速した場合の指令直線 L 2 の傾きを計算する。さらに、動作指令生成部 2 4 は、ロボット 1 0 1 の各軸モータが実現できる最高速度を示す指令直線 L 3 を生成する。

30

【 0 0 7 5 】

動作指令生成部 2 4 は、指令直線 L 1 , L 2 , L 3、および角速度 0 の直線の 4 本の直線で囲まれた台形の面積  $S_1$  を計算する。ここで、指令直線 L 1 と角速度 0 の直線の交点は時刻  $t = 0$  である。動作指令生成部 2 4 は、面積  $S_1$  の値が軸  $j_b$  の動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_R$  までの角度変化量の絶対値  $|\theta_{Rj_b} - \theta_{sj_b}|$  と等しくなるように、指令直線 L 2 と角速度 0 の直線の交点となる時刻を決定する。時刻  $t = 0$  から、指令直線 L 2 と角速度 0 の直線の交点となる時刻までの動作時間が動作時間  $t_{1j}$  である。したがって、指令直線 L 2 と角速度 0 の直線の交点は、時刻  $t_{1j}$  である。 $\theta_{sj_b}$  は、動作始点  $P_S$  での軸  $j_b$  の角度であり、 $\theta_{Rj_b}$  は仮中継点  $P_R$  での軸  $j_b$  の角度である。

【 0 0 7 6 】

指令直線 L 1 の傾きを  $a (> 0)$ 、指令直線 L 2 の傾きを  $b (< 0)$  とすると、動作指令生成部 2 4 は、指令直線 L 2 と角速度 0 の直線の交点である時刻  $t_{1j}$  を、以下の式 ( 3 ) に基づいて計算できる。

40

【 0 0 7 7 】

【数 3】

$$t_{1j} = \frac{|\theta_{Rj_b} - \theta_{sj_b}|}{v_{max_j}} + \frac{v_{max_j}}{2} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad \dots (3)$$

【 0 0 7 8 】

50

ここで、 $t_{1j} > t_1$  の場合は、前述の 4 本の直線で囲まれた台形の波形が動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_R$  までの軸  $j\_b$  の動作指令となる。

【 0 0 7 9 】

一方、 $t_{1j} < t_1$  の場合、動作指令生成部 2 4 は、動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_R$  までの動作時間が  $t_1$  になるよう、動作中の最高速度を  $v\_max_j$  から  $ovrd_{1j} * v\_max_j$  に変更する。動作指令生成部 2 4 は、以下の式 ( 4 ) を  $ovrd_{1j}$  について解くことで  $ovrd_{1j} * v\_max_j$  を計算する。

【 0 0 8 0 】

【 数 4 】

$$|\theta_{Rj} - \theta_{Sj}| = \frac{ovrd_{1j} * v\_max_j}{2} * \left( 2t_1 - ovrd_{1j} * v\_max_j * \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \right), \quad \dots (4) \quad 10$$

$$0 < ovrd_{1j} \leq 1$$

【 0 0 8 1 】

次に、図 8 の下段に示すグラフについて説明する。動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  から最大駆動トルクで加速した場合の指令直線 L 5 の傾きを計算する。さらに、動作指令生成部 2 4 は、動作終点  $P_G$  まで最大駆動トルクで減速した場合の指令直線 L 6 の傾きを計算する。加えて、動作指令生成部 2 4 は、ロボット 1 0 1 の各軸モータが実現できる最高速度を示す指令直線 L 7 を生成する。 20

【 0 0 8 2 】

動作指令生成部 2 4 は、指令直線 L 5 , L 6 , L 7 , および角速度 0 の直線の 4 本の直線で囲まれた台形の面積  $S_2$  を計算する。

【 0 0 8 3 】

動作指令生成部 2 4 は、 $S_2$  の値が軸  $j\_b$  の仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの角度変化量の絶対値  $|\theta_{Gj} - \theta_{Rj}|$  と等しくなるように、指令直線 L 6 と角速度 0 の直線の交点である時刻  $t_{1j} + t_{2j}$  を決定する。 $\theta_{Gj}$  は動作終点  $P_G$  での軸  $j\_b$  の角度、 $\theta_{Rj}$  は仮中継点  $P_R$  での軸  $j\_b$  の角度である。ここで、角速度 0 の直線と指令直線 L 5 との交点は時刻  $t_{1j}$  の点である。したがって、時刻  $t_{1j}$  から、指令直線 L 6 と角速度 0 の直線の交点となる時刻  $t_{1j} + t_{2j}$  までの動作時間は動作時間  $t_{2j}$  である。 30

【 0 0 8 4 】

指令直線 L 5 の傾きを  $c (> 0)$  、指令直線 L 6 の傾きを  $d (< 0)$  とすると、動作指令生成部 2 4 は、指令直線 L 6 と角速度 0 の直線の交点である時刻  $t_{1j} + t_{2j}$  を、以下の式 ( 5 ) に基づいて計算できる。

【 0 0 8 5 】

【 数 5 】

$$t_{1j} + t_{2j} = t_{1j} + \frac{|\theta_{Rj} - \theta_{Gj}|}{v\_max_j} + \frac{v\_max_j}{2} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{d} \right) \quad \dots (5) \quad 40$$

【 0 0 8 6 】

ここで、 $t_{2j} > t_2$  の場合は、指令直線 L 5 , L 6 , L 7 , および角速度 0 の直線の 4 本で囲まれた台形の波形が仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの軸  $j\_b$  の動作指令となる。

【 0 0 8 7 】

一方、 $t_{2j} < t_2$  の場合、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの動作時間が  $t_2$  になるよう、動作中の最高速度を  $v\_max_j$  から  $ovrd_{2j} * v\_max_j$  に変更する。動作指令生成部 2 4 は、以下の式 ( 6 ) を  $ovrd_{2j}$  について解くことで  $ovrd_{2j} * v\_max_j$  を計算す 50

る。

【 0 0 8 8 】

【 数 6 】

$$|\theta_{Rj} - \theta_{Gj}| = \frac{ovrd_{2j} * v\_max_j}{2} * \left( 2t_1 - ovrd_{2j} * v\_max_j * \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{d} \right) \right), \dots (6)$$

$$0 < ovrd_{2j} \leq 1$$

10

【 0 0 8 9 】

以下で説明するステップ S 3 6 0 の処理は、図 4 で説明したステップ S 1 7 0 の処理に対応し、ステップ S 3 7 0 から S 3 8 0 の処理は、図 4 で説明したステップ S 1 8 0 の処理に対応している。

【 0 0 9 0 】

動作指令生成部 2 4 は、他軸の仮動作指令を生成した後、他軸の動作指令を調整する（ステップ S 3 6 0）。動作指令生成部 2 4 は、他軸の動作指令を調整した軌道を生成する。他軸の動作指令を調整するステップ S 3 6 0 の処理の詳細については後述する。実施の形態 1 では、他軸の動作指令を調整した後に、代表軸の動作指令を調整する。

20

【 0 0 9 1 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、調整済みの、他軸の動作指令および代表軸の動作指令に基づいて、軌道での動作時間を算出し、軌道での動作時間が特定条件を満たすか否かを判断する。

【 0 0 9 2 】

具体的には、動作指令生成部 2 4 は、調整済みの、他軸の動作指令および代表軸の動作指令に基づいてロボット 1 0 1 を動作させた場合に、ロボット 1 0 1 に対する生成軌道が障害物 3 1 を回避するか否かを判断する（ステップ S 3 7 0）。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、動作指令に対応する軌道でロボット 1 0 1 を動作させた場合に、ロボット 1 0 1 の全体である、ロボット 1 0 1 本体、手先ツール 1 0 2、およびワーク 1 0 3 が、障害物 3 1 に衝突するか否かを判断する。

30

【 0 0 9 3 】

生成軌道が障害物 3 1 と干渉する場合（ステップ S 3 7 0、No）、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道を出力軌道の候補として記憶せず、代表軸の動作指令を調整する（ステップ S 4 0 0）。動作指令生成部 2 4 は、動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整してもよいし、動作中の最高速度を変更することで代表軸の動作指令を調整してもよい。

【 0 0 9 4 】

一方、生成軌道が障害物 3 1 を回避する場合（ステップ S 3 7 0、Yes）、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道を出力軌道の候補として記憶しておく（ステップ S 3 8 0）。なお、動作指令生成部 2 4 は、出力軌道の候補とともに、出力軌道の候補に対応する動作指令を記憶しておいてもよい。そして、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 2 6 0 の処理に移行する。

40

【 0 0 9 5 】

ここで、ステップ S 3 6 0 の詳細な処理、すなわち他軸の動作指令を調整する処理について説明する。図 1 0 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャートである。

【 0 0 9 6 】

動作指令生成部 2 4 は、図 7 のステップ S 3 5 0 で生成した仮動作指令を一時的な動作指令である一時動作指令に設定する（ステップ S 5 1 0）。

50

## 【 0 0 9 7 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、一時動作指令での動作時間が関節補間軌道 R 0 での動作時間を超過する他軸を全て選択する（ステップ S 5 2 0）。

## 【 0 0 9 8 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、選択した他軸の動作時間を短縮するよう動作指令の加減速タイミングをずらす（ステップ S 5 3 0）。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、選択した他軸の動作時間を短縮するよう、加減速タイミングのずらし量を決定し、決定した加減速タイミングのずらし量に基づいて動作指令を生成する。これにより、動作指令生成部 2 4 は、選択した他軸の動作時間を短縮するよう動作指令を変更する。

## 【 0 0 9 9 】

図 1 1 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令の加減速タイミングをずらす処理を説明するための図である。図 1 1 では、他軸として軸 j が選択されている場合について説明する。

## 【 0 1 0 0 】

図 1 1 の上段に示すグラフが代表軸に対する速度指令値に対応する角速度のグラフであり、中段に示すグラフが他軸に対する変更前の速度指令値に対応する角速度のグラフであり、下段に示すグラフが他軸に対する変更後の速度指令値に対応する角速度のグラフである。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は軸の角速度である。図 1 1 の下段に示すグラフでは、変更前の角速度の波形を点線で示し、変更後の角速度の波形を実線で示している。なお、図 1 1 以降の図面においても、点線の波形と実線の波形の両方が記載されているグラフは、点線の波形が変更前の角速度であり、実線の波形が変更後の角速度である。

## 【 0 1 0 1 】

動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 3 5 0 で生成した仮動作指令に基づいて、軸 j の動作始点 P<sub>S</sub> から仮中継点 P<sub>R</sub> までの動作時間  $t_{1j}$  と、代表軸の動作始点 P<sub>S</sub> から仮中継点 P<sub>R</sub> までの動作時間  $t_1$  とを算出する。動作指令生成部 2 4 は、 $t_{1j} = t_1$  が成立しているかを確認する。

## 【 0 1 0 2 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 3 5 0 で生成した仮動作指令に基づいて、軸 j の仮中継点 P<sub>R</sub> から動作終点 P<sub>G</sub> までの動作時間  $t_{2j}$  と、代表軸の仮中継点 P<sub>R</sub> から動作終点 P<sub>G</sub> までの動作時間  $t_2$  とを算出する。動作指令生成部 2 4 は、 $t_{2j} = t_2$  が成立しているかを確認する。

## 【 0 1 0 3 】

動作指令生成部 2 4 は、 $t_{1j} = t_1$  と、 $t_{2j} = t_2$  との両方が成立しない場合には、軸 j の動作指令の加減速タイミングを変更しない。

## 【 0 1 0 4 】

図 1 1 では、 $t_{1j} = t_1$  のみ成立し、 $t_{2j} = t_2$  が成立していない場合を示している。この場合、動作始点 P<sub>S</sub> から仮中継点 P<sub>R</sub> までの動作中の軸 j の軸モータの最高速度  $ovrd_{1j} * v_{maxj}$  は、軸 j の軸モータが実現できる最高速度  $v_{maxj}$  に到達しない。そこで、動作指令生成部 2 4 は、動作始点 P<sub>S</sub> から仮中継点 P<sub>R</sub> までの動作中の軸 j の軸モータの最高速度に、 $ovrd_{1j} < ovrd_{1j\_New} < 1$  を満たす  $ovrd_{1j\_New}$  を用いる。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、動作始点 P<sub>S</sub> から仮中継点 P<sub>R</sub> までの動作中の軸 j の軸モータの最高速度を、 $ovrd_{1j\_New} * v_{maxj}$  に変更する。

## 【 0 1 0 5 】

また、動作指令生成部 2 4 は、動作始点 P<sub>S</sub> での加速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 1 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 1 の傾きを使用する。同様に、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点 P<sub>R</sub> での減速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 2 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 2 の傾きを使用する。

## 【 0 1 0 6 】

なお、動作指令生成部 2 4 は、 $ovrd_{1j\_New}$  の値を、経路エリア内での軌道生成の繰り返しごとに変更してもよい。換言すると、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 2 1 0 で i

10

20

30

40

50

2 = 最大繰り返し回数となるか否かを判断するたびに、 $ovrd_{1j\_New}$ の値を、変更してもよい。動作指令生成部 2 4 は、例えば、繰り返しの初期は $ovrd_{1j\_New} = 1$ に設定し、繰り返し回数が増えるごとに $ovrd_{1j\_New}$ を一定量ずつ減少させる。

【 0 1 0 7 】

動作指令生成部 2 4 は、軸  $j$  の動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_R$  までの動作時間  $t_{1j}$  の変更後の動作時間  $t_{1j\_New}$  を、以下の式 ( 7 ) を用いて計算する。

【 0 1 0 8 】

【数 7】

$$t_{1j\_New} = \frac{|\theta_{Rj} - \theta_{Sj}|}{ovrd_{1j\_New} * v\_max_j} + \frac{ovrd_{1j\_New} * v\_max_j}{2} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad \dots (7) \quad 10$$

【 0 1 0 9 】

次に、 $t_{2j} = t_2$ のみ成立し、 $t_{1j} = t_1$ が成立していない場合について説明する。この場合、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの動作中の軸  $j$  のモータの最高速度  $ovrd_{2j} * v\_max_j$  は、軸  $j$  のモータが実現できる最高速度  $v\_max_j$  に到達しない。そこで、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの動作中の軸  $j$  のモータの最高速度に、 $ovrd_{2j} < o$   $ovrd_{2j\_New} < 1$  を満たす  $ovrd_{2j\_New}$  を用いる。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの動作中の軸  $j$  のモータの最高速度を、 $ovrd_{2j\_New} * v\_max_j$  に変更する。 20

【 0 1 1 0 】

また、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  での加速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 5 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 5 の傾きを使用する。同様に、動作指令生成部 2 4 は、動作終点  $P_G$  での減速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 6 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 6 の傾きを使用する。

【 0 1 1 1 】

なお、動作指令生成部 2 4 は、 $ovrd_{2j\_New}$ の値を、経路エリア内での軌道生成の繰り返しごとに変更してもよい。換言すると、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 2 1 0 で  $i_2 =$  最大繰り返し回数となるか否かを判断するたびに、 $ovrd_{2j\_New}$ の値を、変更してもよい。動作指令生成部 2 4 は、例えば、繰り返しの初期は $ovrd_{2j\_New} = 1$ に設定し、繰り返し回数が増えるごとに $ovrd_{2j\_New}$ を一定量ずつ減少させる。 30

【 0 1 1 2 】

動作指令生成部 2 4 は、軸  $j$  の仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの動作時間  $t_{2j}$  の変更後の動作時間  $t_{2j\_New}$  を、以下の式 ( 8 ) を用いて計算する。

【 0 1 1 3 】

【数 8】

$$t_{2j\_New} = \frac{|\theta_{Rj} - \theta_{Gj}|}{ovrd_{2j\_New} * v\_max_j} + \frac{ovrd_{2j\_New} * v\_max_j}{2} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{d} \right) \quad \dots (8) \quad 40$$

【 0 1 1 4 】

このように、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 5 3 0 で動作指令を変更した各他軸に対し、変更後の動作指令の実行時間、すなわち変更後の動作指令に対応する動作時間を計算する。また、動作指令生成部 2 4 は、各他軸に対し、一時動作指令の実行時間、すなわ 50

ち一時動作指令に対応する動作時間を計算する。

【 0 1 1 5 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、各他軸に対し、変更後の動作指令での動作時間が、一時動作指令での動作時間以下であるか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、全他軸に対し、他軸が、変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間であるか否かを判断する（ステップ S 5 4 0）。

【 0 1 1 6 】

他軸における変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間である場合（ステップ S 5 4 0、Yes）、動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令を、出力軌道の候補として記憶する。すなわち、変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間の他軸に対し、動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令を一時動作指令に設定する（ステップ S 5 5 0）。

10

【 0 1 1 7 】

動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令での動作時間 > 一時動作指令での動作時間の他軸に対しては（ステップ S 5 4 0、No）、一時動作指令を変更せず、ステップ S 5 6 0 の処理に進む。

【 0 1 1 8 】

動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 5 3 0 で動作指令を変更した他軸のうち、一時動作指令での動作時間が関節補間軌道 R 0 での動作時間を超過する他軸を選択する（ステップ S 5 6 0）。

20

【 0 1 1 9 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 5 2 0 で選択した他軸の動作時間を短縮するよう動作指令の仮中継点 P<sub>R</sub>における他軸の角度である軸角度をずらす（ステップ S 5 7 0）。動作指令生成部 2 4 は、仮中継点 P<sub>R</sub>における軸角度をずらした動作指令を生成する。

【 0 1 2 0 】

図 1 2 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が動作時間を短縮するよう他軸の動作指令の仮中継点における軸角度をずらす処理を説明するための図である。図 1 2 では、軸 j が選択されている場合について説明する。

【 0 1 2 1 】

図 1 2 の上段に示すグラフが代表軸に対する速度指令値に対応する角速度のグラフであり、中段に示すグラフが他軸に対する変更前の速度指令値に対応する角速度のグラフであり、下段に示すグラフが他軸に対する変更後の速度指令値に対応する角速度のグラフである。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は軸の角速度である。

30

【 0 1 2 2 】

動作指令生成部 2 4 は、仮中継点 P<sub>R</sub>における軸 j の角度を、 $R_j$ から  $R_{j\_New}$ に変更する。また、動作指令生成部 2 4 は、動作始点 P<sub>S</sub>での加速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 1 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 1 の傾きを使用する。また、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点 P<sub>R</sub>での減速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 2 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 2 の傾きを使用する。

【 0 1 2 3 】

また、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点 P<sub>R</sub>での加速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 5 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 5 の傾きを使用する。また、動作指令生成部 2 4 は、動作終点 P<sub>G</sub>での減速度として、ステップ S 3 5 0 で計算した指令直線 L 6 の傾き、すなわち図 8 で説明した指令直線 L 6 の傾きを使用する。

40

【 0 1 2 4 】

動作指令生成部 2 4 は、 $R_{j\_New}$ を以下の式（9）を満たす範囲から指定する。

【 0 1 2 5 】

【数 9】

$$|\theta_{Rj} - \theta_{Sj}| > |\theta_{Rj\_New} - \theta_{Sj}| \quad \dots (9)$$

50

## 【 0 1 2 6 】

動作指令生成部 2 4 は、軸 j の動作始点 P<sub>S</sub> から仮中継点 P<sub>R</sub> までの動作時間 t<sub>1j</sub> の変更後である動作時間 t<sub>1j-New</sub> の値を、以下の式 ( 1 0 ) を用いて計算する。図 1 2 では、ovrd<sub>1j-New</sub> = 1 の場合を示している。

## 【 0 1 2 7 】

## 【 数 1 0 】

$$t_{1j\_New} = \frac{|\theta_{Rj\_New} - \theta_{Sj}|}{ovrd_{1j\_New} * v\_max_j} + \frac{ovrd_{1j\_New} * v\_max_j}{2} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad \dots (10) \quad 10$$

## 【 0 1 2 8 】

動作指令生成部 2 4 は、軸 j の仮中継点 P<sub>R</sub> から動作終点 P<sub>G</sub> までの動作時間 t<sub>2j</sub> の変更後である動作時間 t<sub>2j-New</sub> の値を、以下の式 ( 1 1 ) を用いて計算する。図 1 2 では、ovrd<sub>2j-New</sub> = 1 の場合を示している。

## 【 0 1 2 9 】

## 【 数 1 1 】

$$t_{2j\_New} = \frac{|\theta_{Gj} - \theta_{Rj\_New}|}{ovrd_{2j\_New} * v\_max_j} + \frac{ovrd_{2j\_New} * v\_max_j}{2} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{d} \right) \quad \dots (11) \quad 20$$

## 【 0 1 3 0 】

図 1 2 に示すように動作指令生成部 2 4 は、動作時間を短縮するよう軸 j の動作指令の仮中継点 P<sub>R</sub> における軸角度をずらすことで、角度変化量を減らすことができる。軸角度を変更する前の台形の面積 T 1 と、軸角度を変更した後の台形の面積 T 2 との差分が、角度変化量の削減量に対応している。

## 【 0 1 3 1 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、各他軸に対し、変更後の動作指令での動作時間が、一時動作指令での動作時間以下であるか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、全他軸に対し、他軸が、変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間であるか否かを判断する ( ステップ S 5 8 0 ) 。

## 【 0 1 3 2 】

他軸に対する変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間である場合 ( ステップ S 5 8 0、Y e s )、動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令を、出力軌道の候補として記憶する。すなわち、変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間の他軸に対し、動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令を一時動作指令に設定する ( ステップ S 5 9 0 ) 。

## 【 0 1 3 3 】

他軸に対する変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間でない場合 ( ステップ S 5 8 0、N o )、動作指令生成部 2 4 は、一時動作指令を変更しない。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令での動作時間 > 一時動作指令での動作時間の軸に対しては、一時動作指令を変更せず、他軸の動作指令を調整する処理を終了する。

## 【 0 1 3 4 】

以下で説明するステップ S 4 0 0 の処理は、図 4 で説明したステップ S 1 9 0 の処理に

30

40

50

対応し、ステップ S 4 1 0 から S 4 3 0 の処理は、図 4 で説明したステップ S 2 0 0 の処理に対応している。

【 0 1 3 5 】

図 1 3 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が代表軸の動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図である。図 1 4 は、実施の形態 1 にかかるロボット制御装置が動作中の代表軸の最高速度を変更することで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図である。

【 0 1 3 6 】

図 1 3 の上段に示すグラフが、代表軸に対する角速度のグラフであり、下段に示すグラフが、他軸に対する角速度のグラフである。また、図 1 4 の上段に示すグラフが、代表軸

10

【 0 1 3 7 】

動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 3 6 0 で調整した他軸の動作指令のうち、最も動作時間の長い他軸 j\_l の動作時間 t<sub>1j\_l</sub> + t<sub>2j\_l</sub> に合わせるよう代表軸の動作指令を調整する (ステップ S 4 0 0)。

【 0 1 3 8 】

動作指令生成部 2 4 は、図 1 3 に示す方法および図 1 4 に示す方法のうちの何れかの方法に基づいて、代表軸の動作指令を調整する。図 1 3 に示す方法と、図 1 4 に示す方法とでは、手先ツール 1 0 2 が通過する位置が変わる。このため、動作指令生成部 2 4 は、例えば、一方の方法を用いて代表軸の動作指令を生成し、生成軌道が障害物 3 1 と衝突する

20

【 0 1 3 9 】

まず、図 1 3 を用いて、動作指令生成部 2 4 が、代表軸の動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整する方法について説明する。動作指令生成部 2 4 は、動作指令の開始タイミングのずれ量である時間 t を、調整後の代表軸の動作時間 ( t + t<sub>1j\_l</sub> + t<sub>2j\_l</sub> ) が、他軸のうち最も動作時間の長い他軸 j\_l の動作時間 ( t<sub>1j\_l</sub> + t<sub>2j\_l</sub> ) を超えない範囲で選択する。

【 0 1 4 0 】

つぎに、図 1 4 を用いて、動作指令生成部 2 4 が、代表軸の動作中の最高速度を変更することで代表軸の動作指令を調整する方法について説明する。動作指令生成部 2 4 は、最高速度を、v\_maxj' から ovr<sub>dj'</sub> \* v\_maxj' に変更する。動作指令生成部 2 4 は、ovr<sub>dj'</sub> として、以下の式 ( 1 2 ) を ovr<sub>dj'</sub> について解いた値を使用する。動作指令生成部 2 4 は、加速度および減速度として、調整前の代表軸の動作指令と同じ値を使用する。式 ( 1 2 ) では、代表軸の動作指令における加速度が a<sub>j'</sub> であり、減速度が b<sub>j'</sub> である。

30

【 0 1 4 1 】

【数 1 2】

$$\begin{aligned}
 |\theta_{Gj'} - \theta_{Sj'}| &= \frac{ovr_{dj'} * v_{maxj'}}{2} \\
 &* \left( 2(t_{1j_l} + t_{2j_l}) - ovr_{dj'} * v_{maxj'} \right. \\
 &\left. * \left( \frac{1}{a_{j'}} - \frac{1}{b_{j'}} \right) \right), 0 < ovr_{dj'} \leq 1 \dots (12)
 \end{aligned}$$

40

【 0 1 4 2 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、他軸の調整済みの動作指令および代表軸の調整済みの動作指令に基づいて軌道を生成し、生成軌道が特定の条件を満たすか否かを判断する。具体

50

的には、動作指令生成部 2 4 は、他軸の調整済みの動作指令および代表軸の調整済みの動作指令に基づいた生成軌道でロボット 1 0 1 を動作させた場合、手先ツール 1 0 2 が障害物 3 1 と干渉するか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道が障害物 3 1 を回避するか否かを判断する（ステップ S 4 1 0）。

#### 【 0 1 4 3 】

生成軌道が障害物 3 1 を回避する場合（ステップ S 4 1 0、Y e s）、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道を出力軌道の候補として記憶しておく（ステップ S 4 2 0）。なお、動作指令生成部 2 4 は、出力軌道の候補とともに、出力軌道の候補に対応する動作指令を記憶しておいてもよい。

#### 【 0 1 4 4 】

一方、生成軌道が障害物 3 1 と干渉する場合（ステップ S 4 1 0、N o）、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道を出力軌道の候補として記憶せず、指定の経路エリアを通過する別の軌道を生成する処理の繰り返し処理に移行する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、第 2 の繰り返しカウンタのカウント数である  $i 2$  が、 $i 2 =$  最大繰り返し回数となっているか否かを判断する（ステップ S 2 1 0）。

#### 【 0 1 4 5 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、調整済みの、他軸の動作指令および代表軸の動作指令に基づいて、ロボット 1 0 1 を動作させた場合の動作時間が、関節補間軌道 R 0 での動作時間以下となるか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道での動作時間 = 関節補間軌道 R 0 での動作時間であるか否かを判断する（ステップ S 4 3 0）。

#### 【 0 1 4 6 】

生成軌道での動作時間 = 関節補間軌道 R 0 での動作時間である場合（ステップ S 4 3 0、Y e s）、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 2 6 0 の処理に移行する。生成軌道での動作時間 > 関節補間軌道 R 0 での動作時間である場合（ステップ S 4 3 0、N o）、動作指令生成部 2 4 は、指定の経路エリアを通過する別の軌道を生成する処理の繰り返し処理に移行する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、第 2 の繰り返しカウンタのカウント数である  $i 2$  が、 $i 2 =$  最大繰り返し回数となっているか否かを判断する（ステップ S 2 1 0）。

#### 【 0 1 4 7 】

$i 2 =$  最大繰り返し回数となっていない場合（ステップ S 2 1 0、N o）、動作指令生成部 2 4 は、 $i 2$  に 1 を加算し（ステップ S 2 3 0）、ステップ S 3 1 0 の処理に戻る。

#### 【 0 1 4 8 】

$i 2 =$  最大繰り返し回数となっている場合（ステップ S 2 1 0、Y e s）、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 3 8 0 またはステップ S 4 2 0 の処理において、障害物 3 1 を回避する生成軌道の記憶数が 1 つ以上であるか否かを判断する（ステップ S 2 1 5）。

#### 【 0 1 4 9 】

動作指令生成部 2 4 は、障害物 3 1 を回避する生成軌道の記憶数が 1 つ以上である場合（ステップ S 2 1 5、Y e s）、経路エリアを変更する処理の繰り返し処理に移行する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、障害物 3 1 を回避する軌道を 1 つ以上記憶している場合には、図 4 で説明したステップ S 2 2 0 の処理に移行する。

#### 【 0 1 5 0 】

一方、動作指令生成部 2 4 は、障害物 3 1 を回避する生成軌道の記憶数が 0 である場合（ステップ S 2 1 5、N o）、動作指令生成部 2 4 は、新たな経路エリアを追加する（ステップ S 2 1 6）。この後、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 1 4 0 の処理に戻る。

#### 【 0 1 5 1 】

図 4 で説明したように、 $i =$  最大繰り返し回数となっている場合（ステップ S 2 2 0、Y e s）、動作指令生成部 2 4 は、最短動作時間の生成軌道に対応する動作指令を各軸モータ制御部に出力する（ステップ S 2 6 0）。

#### 【 0 1 5 2 】

一方、 $i =$  最大繰り返し回数となっていない場合（ステップ S 2 2 0、N o）、動作指

10

20

30

40

50

令生成部 24 は、経路エリアを変更する（ステップ S 240）。そして、動作指令生成部 24 は、図 4 で説明したステップ S 250 の処理を実行し、その後、ステップ S 160 の処理に戻る。

【0153】

実施の形態 1 では、動作指令生成部 24 が、ロボット 101 と障害物 31 とが衝突しない生成軌道を記憶しておき、この生成軌道に対応する動作指令を出力するので、ロボット 101 と障害物 31 との衝突を回避できる。これにより、ロボット制御装置 200 は、生産効率を向上させることが可能となる。

【0154】

また、動作指令生成部 24 は、経路エリアがユーザによって指定されなくても、動作指令を探索することができるので、経路エリアを指定して軌道を生成する場合よりも動作時間が短縮された軌道の生成が容易となる。

10

【0155】

また、動作指令生成部 24 は、まず代表軸の動作指令を変更することなく軌道を生成する場合、動作時間を増加させることなく衝突を回避した軌道を生成できる。また、動作指令生成部 24 は、代表軸の動作指令を変更しなければ干渉回避可能な軌道が生成できない場合には、代表軸の動作指令を変更して軌道を生成するので、衝突を回避する軌道が複雑な場合であっても、干渉を回避できる軌道を生成することが可能となる。

【0156】

また、動作指令生成部 24 は、経路エリアに基づいて動作指令を探索するので、衝突を回避することができる動作指令の探索に要する時間を削減できる。

20

【0157】

また、動作指令生成部 24 は、最初に指定した経路エリア以外の経路エリアの候補を追加するので、動作時間が最短となる軌道の導出が容易になる。

【0158】

このように、実施の形態 1 によれば、動作指令生成部 24 は、他軸の動作指令を調整した後、代表軸の動作指令を、関節補間軌道 R0 における代表軸の動作指令から変更する。そして、動作指令生成部 24 は、変更後の動作指令に対して軌道を生成し、障害物 31 との干渉がない場合には、生成軌道を出力軌道の候補として記憶しておく。したがって、動作指令生成部 24 は、障害物 31 との衝突を回避し、且つロボット 101 によって実行可能な軌道のみを、出力軌道の候補として生成することが可能となる。

30

【0159】

また、動作指令生成部 24 は、生成軌道での動作時間が関節補間軌道 R0 での動作時間より長い場合には、経路エリアを変更して新たな軌道を生成する。したがって、動作指令生成部 24 は、経路点を限定する場合と比較して、動作時間を同等以下とする軌道を生成できる。

【0160】

また、動作指令生成部 24 は、生成軌道に従って動作した場合に動作時間が関節補間軌道 R0 での動作時間以下の軌道を優先して出力する。また、動作指令生成部 24 は、全ての生成軌道が関節補間軌道 R0 での動作時間よりも長い場合には、生成軌道の中で最も動作時間が短い軌道を選択する。したがって、動作指令生成部 24 は、障害物 31 との干渉を回避する軌道の中で動作時間が最短となる軌道を選択できる。

40

【0161】

また、動作指令生成部 24 は、各軸モータが出力可能な最高速度に対して動作時の角度変化量が最大となる軸を代表軸に設定し、代表軸の動作指令を選択している。動作指令生成部 24 は、選択した代表軸の動作指令を初期値として、障害物 31 を回避するよう各軸モータの動作指令を探索するので、動作時間が短い経路を効率良く探索できる。さらに、動作指令生成部 24 は、経路点を陽に指定せず各軸モータの動作指令を探索するので、経路点を陽に指定する場合と比較して動作時間の短縮が可能となる。

【0162】

50

実施の形態 2 .

次に、図 4、図 1 4、および図 1 5 から図 2 7 を用いて実施の形態 2 について説明する。実施の形態 2 では、ロボット制御装置 2 0 0 が、複数の経路エリアがある場合に軌道を生成する。

【 0 1 6 3 】

図 1 5 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置を備えたロボットシステムの概略構成を示す図である。図 1 6 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が設定する経路エリアを説明するための図である。図 1 5 の各構成要素のうち図 1 に示す実施の形態 1 のロボットシステム 1 0 0 と同一機能を達成する構成要素については同一符号を付しており、重複する説明は省略する。

10

【 0 1 6 4 】

実施の形態 2 のロボットシステム 1 0 0 は、2 つの経路エリア 6 0 1 a , 6 0 1 b を用いる点で実施の形態 1 のロボットシステム 1 0 0 と異なる。なお、経路エリアは 3 つ以上であってもよい。複数からなる経路エリア 6 0 1 a , 6 0 1 b が存在する場合の一例は、ロボットシステム 1 0 0 内に複数の障害物 3 1 , 3 2 が配置されている場合である。

【 0 1 6 5 】

ロボットシステム 1 0 0 の動作指令生成部 2 4 は、手先ツール 1 0 2 の特定位置を動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  まで移動させる際に、手先ツール 1 0 2 が障害物 3 1 , 3 2 に衝突しないようにロボット 1 0 1 を制御する。

【 0 1 6 6 】

次に、動作指令生成部 2 4 が手先ツール 1 0 2 の軌道を生成する手順について説明する。実施の形態 2 でも、動作指令生成部 2 4 は、実施の形態 1 の図 4 で説明した処理手順で主要なステップを実行し軌道を生成する。このため、図 4 で説明した主要なステップの処理のうち、実施の形態 1 と異なる処理について説明する。

20

【 0 1 6 7 】

実施の形態 2 のステップ S 1 5 0 では、動作指令生成部 2 4 は、手先ツール 1 0 2 の特定位置が通過する経路エリアの候補を複数設定する。そして、動作指令生成部 2 4 は、設定した複数の経路エリアの候補の中から任意の数（複数）の経路エリアを設定する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、設定した複数の経路エリアの候補の中から、複数の経路エリアを指定する。動作指令生成部 2 4 は、例えば、図 1 6 に示すように 2 つの経路エリア 6 0 1 a , 6 0 1 b を指定する。

30

【 0 1 6 8 】

経路エリアの候補は、ユーザが障害物 3 1 , 3 2 の配置に基づいて予め設定しておく。なお、動作指令生成部 2 4 は、障害物モデル記憶部 2 1 から取得した障害物情報に基づいて、障害物 3 1 が存在しないエリアに経路エリアの候補を設定してもよい。

【 0 1 6 9 】

動作指令生成部 2 4 は、複数の経路エリアを設定すると、設定した複数の経路エリアに基づいて軌道を生成する。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、任意の時刻において手先ツール 1 0 2 の特定位置が各経路エリアの任意の位置を通過する軌道を生成する。

【 0 1 7 0 】

実施の形態 2 では、動作指令生成部 2 4 が、経路エリアに基づいて軌道を生成する処理が、実施の形態 1 とは異なる。図 1 7 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が経路エリアに基づいて軌道を生成する処理の詳細な処理手順を示すフローチャートである。図 1 7 に示す処理のうち、図 7 で説明した処理と同様の処理については重複する説明を省略する。

40

【 0 1 7 1 】

以下の説明では、実施の形態 2 のステップ S 1 5 0 で選択した経路エリアの組に含まれる経路エリアを、それぞれ経路エリア  $m$  と呼ぶ。 $m$  は 1 から経路エリアの組に含まれる経路エリアの総数までの自然数とする。 $m$  で示される各数値は、手先ツール 1 0 2 が通過する順番に対応している。

50

## 【 0 1 7 2 】

動作指令生成部 2 4 は、第 2 の繰り返しカウンタを初期化、すなわち第 2 の繰り返しカウンタに  $i_2 = 1$  を代入する (ステップ S 1 6 0)。動作指令生成部 2 4 は、経路エリア  $m$  内の任意の一点である仮中継点  $P_R$  に、手先ツール 1 0 2 の特定位置が通過する仮中継点  $P_R$  を設定する (ステップ S 3 1 0)。これらの、ステップ S 1 6 0, S 3 1 0 の処理は、実施の形態 1 で説明したステップ S 1 6 0, S 3 1 0 の処理と同様である。なお、以下の説明では、仮中継点  $P_R$  のうち  $X$  ( $X$  は 1 から  $m$  の自然数) 番目の仮中継点  $P_R$  を  $P_X$  という場合がある。

## 【 0 1 7 3 】

つぎに、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  でのロボット 1 0 1 の各軸モータのモータ角度を決定する (ステップ S 3 2 0)。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、経路エリア  $m$  内の仮中継点  $P_R$  に対し、手先ツール 1 0 2 を含む関節角の組を設定する。

## 【 0 1 7 4 】

なお、動作指令生成部 2 4 の代わりに、ユーザが仮中継点  $P_R$  として、経路エリア内の任意の位置と、この時のロボット 1 0 1 の姿勢とを指定してもよい。また、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  として経路エリア内の点をランダムに選択してもよい。動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  の指定を、 $m$  個の経路エリアの全てに対して実行する。

## 【 0 1 7 5 】

動作指令生成部 2 4 は、モータ角度を決定すると、代表軸以外の軸である他軸の仮動作指令を生成する (ステップ S 3 5 0)。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、動作始点  $P_S$ 、動作終点  $P_G$ 、および仮中継点  $P_R$  の位置に基づいて、他軸の仮動作指令を生成する。

## 【 0 1 7 6 】

動作指令生成部 2 4 は、他軸の仮動作指令を生成した後、他軸の動作指令を調整する (ステップ S 3 6 0)。他軸の仮動作指令を生成するステップ S 3 5 0 の処理、および他軸の動作指令を調整するステップ S 3 6 0 の処理の詳細については後述する。以下、ステップ S 3 7 0 以降の処理は、実施の形態 1 で説明した処理と同様の処理である。

## 【 0 1 7 7 】

図 1 8 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が他軸の仮動作指令を生成する処理を説明するための図である。図 1 8 のグラフは、経路エリアが 2 つの場合における、関節補間軌道の各軸モータの角速度を示している。すなわち、図 1 8 では  $m = 2$  である。

## 【 0 1 7 8 】

図 1 8 の上段に示す 2 つのグラフが、代表軸に対する角速度のグラフである。また、中段に示すグラフおよび下段に示すグラフが、他軸に対する角速度のグラフである。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は角速度である。

## 【 0 1 7 9 】

動作指令生成部 2 4 は、手先ツール 1 0 2 を、動作始点  $P_S$  から  $m$  個の仮中継点  $P_R$  ごとに停止させて動作終点  $P_G$  まで移動させる関節補間軌道を生成する。以下、実施の形態 2 での関節補間軌道を関節補間軌道 R 1 という。図 1 8 の上段に示すグラフのうち左側のグラフが関節補間軌道 R 1 に対応し、右側のグラフが関節補間軌道 R 0 に対応する。

## 【 0 1 8 0 】

ロボット 1 0 1 に含まれる全ての軸は同じ動作時間を有している。ここで、動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_1$  までの動作時間を  $t_{1j}$ 、仮中継点  $P_{k-1}$  から仮中継点  $P_k$  までの動作時間を  $t_{kj}$  ( $k$  は 2 から  $m$  までの自然数)、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  までの動作時間を  $t_{m+1j}$  とする。

## 【 0 1 8 1 】

動作指令生成部 2 4 は、代表軸に対し、関節補間軌道 R 1 における動作指令ではなく関節補間軌道 R 0 における動作指令を使用する。動作指令生成部 2 4 は、代表軸に対し、関節補間軌道 R 0 における動作指令を用いて動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_1$  まで動作する際の動作時間  $t_{1j}$  を計算する。

## 【 0 1 8 2 】

10

20

30

40

50

また、動作指令生成部 24 は、代表軸に対し、関節補間軌道 R0 における動作指令を用いて、仮中継点  $P_{k-1}$  から仮中継点  $P_k$  まで動作する際の動作時間  $t_{kj}$  を計算する。図 18 では、仮中継点  $P_{k-1} = P_1$  であり、仮中継点  $P_k = P_2$  であり、動作時間  $t_{kj} = t_2$  である。

【0183】

また、動作指令生成部 24 は、代表軸に対し、関節補間軌道 R0 における動作指令を用いて、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  まで動作する際の動作時間  $t_{m+1j}$  を計算する。図 18 では、仮中継点  $P_R = P_2$  であり、動作時間  $t_{m+1j} = t_3$  である。

【0184】

例えば、動作始点  $P_S$  における代表軸  $j'$  の角度  $\theta_{sj'}$  から仮中継点  $P_1$  における代表軸  $j'$  の角度  $\theta_{R1'}$  までの角度変化量が、時刻  $t = 0$  から  $t_{1j}$  までの代表軸  $j'$  の動作指令の積分値と一致する時刻が  $t_{1j}$  となる。

10

【0185】

動作指令生成部 24 は、実施の形態 1 と同様の処理によって他軸の動作時間  $t_{1j}$ ,  $t_{kj}$ ,  $t_{m+1j}$  を計算する。ここでは、動作始点  $P_S$  から仮中継点  $P_1$  まで動作する際の動作時間が動作時間  $t_{1j}$  であり、仮中継点  $P_{k-1}$  から仮中継点  $P_k$  まで動作する際の動作時間が動作時間  $t_{2j}$  であり、仮中継点  $P_R$  から動作終点  $P_G$  まで動作する際の動作時間が動作時間  $t_{3j}$  である。

【0186】

ここで、図 17 のステップ S360 の詳細な処理、すなわち他軸の動作指令を調整する処理について説明する。図 19 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャートである。図 19 に示す処理のうち、図 10 で説明した処理と同様の処理については重複する説明を省略する。

20

【0187】

動作指令生成部 24 は、図 17 のステップ S350 で生成した仮動作指令を一時的な動作指令である一時動作指令に設定する（ステップ S510）。

【0188】

次に、動作指令生成部 24 は、移動方向が同じで連続する区間の動作を統合する（ステップ S521）。換言すると、動作指令生成部 24 は、各軸の一時動作指令の中で連続方向の角度変化を行う区間を統合する。移動方向が同じで連続する区間の組は、軸  $j$  について仮中継点  $P_{k-1}$  から仮中継点  $P_k$  までの区間と、仮中継点  $P_k$  から仮中継点  $P_{k+1}$  までの区間とが存在する場合に、以下の式 (13) が成立する区間の組である。

30

【0189】

【数 13】

$$\operatorname{sgn}(|\theta_{kj} - \theta_{k-1j}|) = \operatorname{sgn}(|\theta_{k+1j} - \theta_{kj}|) \quad \dots (13)$$

【0190】

図 20 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が統合する連続方向の動作指令を説明するための図である。図 20 のグラフは、移動方向である回転方向が同じで連続する区間の角速度を示している。図 20 の左に示すグラフが、統合前の角速度のグラフであり、右に示すグラフが、統合後の角速度のグラフである。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は角速度である。

40

【0191】

図 20 では、仮中継点  $P_{k-1}$  から  $P_k$  までの区間の動作時間を  $t_{1j}$  で示し、仮中継点  $P_k$  から  $P_{k+1}$  までの区間の動作時間を  $t_{2j}$  で示し、仮中継点  $P_{k+1}$  から  $P_{k+2}$  までの区間の動作時間を  $t_{3j}$  で示している。

【0192】

仮中継点  $P_{k-1}$  から  $P_k$  までの区間と、仮中継点  $P_k$  から  $P_{k+1}$  までの区間とが同じ回転方向の動作である。したがって、動作指令生成部 24 は、仮中継点  $P_{k-1}$  から  $P_k$  までの区間と、仮中継点  $P_k$  から  $P_{k+1}$  までの区間とを統合する。これにより、動作指令生成部 24 は、連続して同じ方向に角度変化する区間を統合する。

50

## 【 0 1 9 3 】

この場合において、動作指令生成部 2 4 は、統合後の区間での加速度には、仮中継点  $P_{k-1}$  から  $P_k$  までの区間の加速度と同一の加速度を使用する。また、動作指令生成部 2 4 は、統合後の減速度には、仮中継点  $P_{k-1}$  から  $P_k$  までの区間と同一の減速度を使用する。また、動作指令生成部 2 4 は、統合後の区間の動作時間を、仮中継点  $P_{k-1}$  から  $P_k$  までの区間の動作時間と、仮中継点  $P_k$  から  $P_{k+1}$  までの区間の動作時間の和とする。統合後の区間における軸  $j$  の動作指令の最高速度  $v_{k-1j}$  は、以下の式 ( 1 4 ) を  $v_{k-1j}$  について解くことで決定される。ここで、加速度は  $a$ 、減速度は  $b$  とする。

## 【 0 1 9 4 】

## 【 数 1 4 】

$$\begin{aligned} & |\theta_{k+1j} - \theta_{k-1j}| \\ &= \frac{abs(\bar{v}_{k-1j})}{2} \\ & * \left( 2(t_{k-1j} + t_{kj}) - abs(\bar{v}_{k-1j}) * \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \right) \end{aligned} \quad \dots (14)$$

$$sgn(\bar{v}_{k-1j}) = sgn(|\theta_{k+1j} - \theta_{k-1j}|)$$

## 【 0 1 9 5 】

以下の説明では、統合後の区間で、軸  $j$  の角速度が 0 となる時刻における  $m_j$  ( $< m$ ) 個の軸  $j$  の角度  $\theta_{kj}$  となる位置を、統合後の仮中継点と呼ぶ。

## 【 0 1 9 6 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、選択した他軸の動作時間を短縮するよう動作指令の加減速タイミングをずらす (ステップ S 5 3 0)。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、選択した他軸の動作時間を短縮するよう、加減速タイミングのずらし量を決定し、決定した加減速タイミングのずらし量に基づいて動作指令を生成する。

## 【 0 1 9 7 】

図 2 1 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が動作時間を短縮するよう他軸の動作指令の加減速タイミングをずらす処理を説明するための図である。図 2 1 では、他軸として軸  $j$  が選択されている場合について説明する。

## 【 0 1 9 8 】

図 2 1 の上段に示すグラフが、代表軸に対する関節補間軌道 R 0 の速度指令値に対応する角速度のグラフである。中段に示すグラフが他軸に対する変更前の速度指令値に対応する角速度のグラフであり、下段に示すグラフが他軸に対する変更後の速度指令値に対応する角速度のグラフである。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は軸の角速度である。

## 【 0 1 9 9 】

図 2 1 では、仮中継点  $P_{k-1}$  から  $P_k$  までの区間の動作時間を  $t_{1j}$  で示し、仮中継点  $P_k$  から  $P_{k+1}$  までの区間の動作時間を  $t_{2j}$  で示し、仮中継点  $P_{k+1}$  から  $P_{k+2}$  までの区間の動作時間を  $t_{3j}$  で示している。

## 【 0 2 0 0 】

動作指令生成部 2 4 は、動作始点  $P_s$  から統合後の仮中継点  $P_1$  までの動作指令から順番に動作指令の最高速度を変更することで動作時間を短縮する。具体的には、動作指令生成部 2 4 は、統合後の仮中継点  $P_{k-1}$  から統合後の仮中継点  $P_k$  までの動作指令の最高速度を、最高速度  $ovrd_{kj} * v_{maxj}$  から最高速度  $ovrd_{kj\_New} * v_{maxj}$  ( $0 < ovrd_{kj\_New} < 1$ ) に変更する。

## 【 0 2 0 1 】

また、動作指令生成部 2 4 は、統合後の仮中継点  $P_{k-1}$  での加速度に、ステップ S 5 2 1 で使用した加速度を使用する。同様に、動作指令生成部 2 4 は、統合後の仮中継点  $P_{k-1}$  で

10

20

30

40

50

の減速度に、ステップ S 5 2 1 で使用した減速度を使用する。

【 0 2 0 2 】

なお、動作指令生成部 2 4 は、 $ovrd_{kj\_New}$  の値を、経路エリア内での軌道生成の繰り返しごとに変更してもよい。動作指令生成部 2 4 は、例えば、繰り返しの初期は  $ovrd_{kj\_New} = 1$  に設定し、繰り返し回数が増えるごとに  $ovrd_{kj\_New}$  を一定量ずつ減少させる。

【 0 2 0 3 】

動作指令生成部 2 4 は、統合後の仮中継点  $P_{k-1}$  から統合後の仮中継点  $P_k$  までの動作時間  $t_{kj}$  の変更後の動作時間  $t_{kj\_New}$  を、以下の式 ( 1 5 ) を用いて計算する。

【 0 2 0 4 】

【 数 1 5 】

$$t_{kj\_New} = \frac{|\theta_{kj} - \theta_{k-1j}|}{ovrd_{kj\_New} * v_{maxj}} + \frac{ovrd_{kj\_New} * v_{maxj}}{2} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad \dots (15)$$

10

【 0 2 0 5 】

図 2 1 の下段のグラフでは、 $k = 1$  の場合の動作時間を図示している。すなわち、図 2 1 の下段のグラフでは、変更後の動作時間である動作時間  $t_{1j\_New}$  を図示している。

20

【 0 2 0 6 】

図 2 1 に示すように動作指令生成部 2 4 は、動作時間を短縮するよう軸  $j$  の動作指令の仮中継点  $P_k$  における軸角度をずらすことで、角度変化量を減らすことができる。軸角度を変更する前の台形の面積  $T_3$  と、軸角度を変更した後の台形の面積  $T_4$  との差分が、角度変化量の削減量に対応している。

【 0 2 0 7 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 5 3 0 で動作指令を変更した各他軸について、変更後の動作指令での動作時間が、一時動作指令での動作時間以下であるか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、全他軸に対し、他軸が、変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間であるか否かを判断する ( ステップ S 5 4 0 ) 。

30

【 0 2 0 8 】

他軸における変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間である場合 ( ステップ S 5 4 0、Yes )、動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令を、出力軌道の候補として記憶する。すなわち、変更後の動作指令での動作時間 = 一時動作指令での動作時間の他軸に対し、動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令を一時動作指令に設定する ( ステップ S 5 5 0 ) 。

【 0 2 0 9 】

動作指令生成部 2 4 は、変更後の動作指令での動作時間 > 一時動作指令での動作時間の他軸に対しては ( ステップ S 5 4 0、No )、一時動作指令を変更せず、ステップ S 5 6 0 の処理に進む。

40

【 0 2 1 0 】

動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 5 3 0 で変更した他軸のうち、一時動作指令での動作時間が関節補間軌道  $R_0$  での動作時間を超過する他軸を選択する ( ステップ S 5 6 0 ) 。

【 0 2 1 1 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 5 2 1 で統合した他軸の動作時間を短縮するよう動作指令の仮中継点  $P_R$  における軸角度をずらす ( ステップ S 5 7 1 )。動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  の軸角度をずらした動作指令を生成する。以下、ステップ S 5 8 0 以降の処理は、実施の形態 1 で説明した処理と同様の処理である。

【 0 2 1 2 】

図 2 2 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が動作時間を短縮するよう他軸の動

50

作指令の仮中継点における軸角度をずらす処理を説明するための図である。図 2 2 では、軸  $j$  が選択されている場合について説明する。

【 0 2 1 3 】

図 2 2 の上段に示すグラフが、代表軸に対する関節補間軌道  $R_0$  の速度指令値に対応する角速度のグラフである。中段に示すグラフが他軸に対する変更前の速度指令値に対応する角速度のグラフであり、下段に示すグラフが他軸に対する変更後の速度指令値に対応する角速度のグラフである。各グラフの横軸は時間であり、縦軸は軸の角速度である。

【 0 2 1 4 】

動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  における軸  $j$  の角度を、 $R_{kj}$  から  $R_{kj\_New}$  に変更する。また、動作指令生成部 2 4 は、動作始点  $P_S$  での加速度として、ステップ  $S_{521}$  で用いた加速度を使用する。また、動作指令生成部 2 4 は、仮中継点  $P_R$  での減速度として、ステップ  $S_{521}$  で用いた減速度を使用する。

10

【 0 2 1 5 】

動作指令生成部 2 4 は、 $R_{kj\_New}$  を以下の式 ( 1 6 ) を満たす範囲から指定する。

【 0 2 1 6 】

【数 1 6】

$$|\theta_{Rkj} - \theta_{Rk-1j}| > |\theta_{Rkj\_New} - \theta_{Rk-1j}| \quad \dots (16)$$

【 0 2 1 7 】

動作指令生成部 2 4 は、軸  $j$  の統合後の仮中継点  $P_{k-1}$  から統合後の仮中継点  $P_k$  までの変更後の動作時間  $t_{kj\_New}$  の値を、以下の式 ( 1 7 ) を用いて計算する。図 2 2 では、 $ovrd_{kj\_New} = 1$  の場合を示している。ここで、加速度を  $a$ 、減速度を  $b$  とする。

20

【 0 2 1 8 】

【数 1 7】

$$t_{kj\_New} = \frac{|\theta_{Rkj\_New} - \theta_{Rk-1j}|}{ovrd_{kj\_New} * v\_max_j} + \frac{ovrd_{kj\_New} * v\_max_j}{2} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad \dots (17)$$

30

【 0 2 1 9 】

動作指令生成部 2 4 は、軸  $j$  の統合後の仮中継点  $P_k$  から統合後の仮中継点  $P_{k+1}$  までの変更後の動作時間  $t_{k+1j\_New}$  の値を、以下の式 ( 1 8 ) を用いて計算する。図 2 2 では、 $ovrd_{k+1j\_New} = 1$  の場合を示している。ここで、加速度を  $c$ 、減速度を  $d$  とする。

【 0 2 2 0 】

【数 1 8】

$$t_{k+1j\_New} = \frac{|\theta_{Rk+1j} - \theta_{Rkj\_New}|}{ovrd_{k+1j\_New} * v\_max_j} + \frac{ovrd_{k+1j\_New} * v\_max_j}{2} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{d} \right) \quad \dots (18)$$

40

【 0 2 2 1 】

図 2 2 の下段のグラフでは、 $k = 1$  の場合の動作時間を図示している。すなわち、図 2 2 の下段のグラフでは、変更後の動作時間である動作時間  $t_{1j\_New}$  および動作時間  $t_{2j\_New}$  を図示している。

【 0 2 2 2 】

50

図 2 2 に示すように動作指令生成部 2 4 は、動作時間を短縮するよう軸  $j$  の動作指令の仮中継点  $P_k$  における軸角度をずらすことで、角度変化量を減らすことができる。軸角度を変更する前の台形の面積  $T_5$  と、軸角度を変更した後の台形の面積  $T_6$  との差分が、角度変化量の削減量に対応している。

【 0 2 2 3 】

ここで、動作指令生成部 2 4 が、代表軸の動作指令を調整する処理であるステップ S 4 0 0 の処理について説明する。動作指令生成部 2 4 は、例えば、動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整してもよい。また、動作指令生成部 2 4 は、動作中の最高速度を一括変更することで代表軸の動作指令を調整してもよいし、動作中の最高速度を局所変更することで代表軸の動作指令を調整してもよい。

10

【 0 2 2 4 】

図 2 3 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が代表軸の動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図である。図 2 4 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が動作中の代表軸の最高速度を一括変更することで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図である。図 2 5 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が動作中の代表軸の最高速度を局所変更することで代表軸の動作指令を調整する処理を説明するための図である。

【 0 2 2 5 】

図 2 3 から図 2 5 の上段に示すグラフは、何れも代表軸に対する関節補間軌道  $R_0$  での角速度のグラフであり、下段に示すグラフは、何れも他軸に対する関節補間軌道  $R_1$  での角速度のグラフである。

20

【 0 2 2 6 】

動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 3 6 0 で調整した他軸の動作指令のうち、最も動作時間の長い軸  $j\_l$  の動作時間  $t_{kj\_l\_New}$  に合わせるよう、代表軸の動作指令を調整する。

【 0 2 2 7 】

図 2 3 に示すように、動作指令生成部 2 4 は、動作指令の開始タイミングをずらすことで代表軸の動作指令を調整する場合、 $t$  だけ動作指令の開始タイミングをずらす。この場合において、動作指令生成部 2 4 は、調整後の代表軸の動作時間  $t + t_k$  が最も動作時間の長い軸  $j\_l$  の動作時間  $t_{kj\_l\_New}$  を超えない範囲の  $t$  を選択する。

30

【 0 2 2 8 】

図 2 4 に示すように、動作指令生成部 2 4 は、動作中の最高速度を一括変更することで代表軸の動作指令を調整する場合、最高速度を  $v_{maxj}$  から  $ovrdj \cdot v_{maxj}$  に変更する。動作指令生成部 2 4 は、 $ovrdj$  として、以下の式 ( 1 9 ) を  $ovrdj$  について解いた値を使用する。また、動作指令生成部 2 4 は、加速度および減速度として、調整前の代表軸の動作指令と同じ加速度および減速度を使用する。式 ( 1 9 ) では、代表軸の動作指令における加速度が  $a_{j'}$  であり、減速度が  $b_{j'}$  である。

【 0 2 2 9 】

【 数 1 9 】

40

50

$$\begin{aligned}
& |\theta_{Gj'} - \theta_{Sj'}| \\
&= \frac{ovrd_{j'} * v_{max_{j'}}}{2} \\
&* \left( 2 \left( \sum_1^{m'} t_{kj\_l\_New} \right) - ovrd_{j'} * v_{max_{j'}} \right) \dots (19) \\
&* \left( \frac{1}{a_{j'}} - \frac{1}{b_{j'}} \right) \\
&0 < ovrd_{j'} \leq 1
\end{aligned}$$

10

## 【0230】

図25に示すように、動作指令生成部24は、動作中の最高速度を局所変更することで代表軸の動作指令を調整する場合、軸j\_lの統合後の仮中継点P<sub>k-1</sub>から統合後の仮中継点P<sub>k</sub>までの動作に対応する代表軸の動作指令区間の動作時間をt<sub>kj\_l\_New</sub>に変更する。ここで、軸j\_lの統合後の仮中継点P<sub>k-1</sub>から統合後の仮中継点P<sub>k</sub>までの動作が、統合前の仮中継点P<sub>k'-1</sub>から統合前の仮中継点P<sub>k'+k</sub>までのk+1個の動作指令の統合である場合、対応する代表軸の動作指令区間は時刻t<sub>k'</sub>から時刻t<sub>k'+k</sub>の区間である。

20

## 【0231】

軸j\_lの統合後の仮中継点P<sub>k-1</sub>から統合後の仮中継点P<sub>k</sub>までの動作に対する代表軸の最高速度をovrd<sub>kj'</sub> \* v<sub>max<sub>j'</sub></sub>とする。また、実施の形態2では、動作指令区間を切り替える際の速度変更にかかる時間は、後の動作区間に含まれるものとする。この場合において、動作指令生成部24は、ステップS360で調整した他軸の動作指令と、代表軸の仮中継点P<sub>R</sub>の位置および速度情報とから、時刻t<sub>kj\_l\_New</sub>において代表軸の駆動に使用できる最大駆動トルクを計算する。次に、動作指令生成部24は、軸jを最大駆動トルクで駆動した場合の加速度a<sub>k</sub>を求める。ここでの動作指令生成部24は、以下の式(20)を解くことによってovrd<sub>kj'</sub>を決定する。

30

## 【0232】

## 【数20】

$$\begin{aligned}
& |\theta_{k+1j} - \theta_{kj'}| \\
&= ovrd_{kj'} \\
&* v_{max_{j'}} + \frac{v_{max_{j'}}^2}{2 * a_k} (ovrd_{kj'} - ovrd_{k-1j'})^2, \dots (20) \\
&0 < ovrd_{kj'} \leq 1
\end{aligned}$$

40

## 【0233】

図25では、代表軸の変更後の最高速度として、ovrd<sub>1j'</sub> \* v<sub>max<sub>j'</sub></sub>と、ovrd<sub>2j'</sub> \* v<sub>max<sub>j'</sub></sub>と、ovrd<sub>3j'</sub> \* v<sub>max<sub>j'</sub></sub>とを図示している。

## 【0234】

動作指令生成部24は、ステップS160からS230まで、実施の形態1と同様の処理を実行する。ここで、実施の形態2のステップS240の処理、すなわち動作指令生成部24が経由エリアを変更する処理について説明する。

50

## 【 0 2 3 5 】

動作指令生成部 2 4 は、生成した軌道が障害物 3 1 , 3 2 の何れかと干渉する場合、ステップ S 1 5 0 で設定した経路エリアの候補の中から 1 つの候補を指定し、現在の経路エリアを指定した経路エリアに変更する。また、動作指令生成部 2 4 は、干渉点を基準に、現在の経路エリアを、干渉点から特定距離だけ離れた空間の経路エリアに変更してもよい。干渉点は、動作指令生成部 2 4 が生成した軌道が、障害物 3 1 , 3 2 の何れかと初めて衝突する時刻におけるロボット 1 0 1 と衝突する障害物との交差部分の位置である。

## 【 0 2 3 6 】

図 2 6 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が干渉点から特定距離だけ離れた空間に経路エリアを変更する処理を説明するための図である。図 2 6 では、障害物が障害物 3 1 ~ 3 3 の 3 つである場合について説明する。ここでは、軌道が、初めて衝突する障害物が障害物 3 1 である場合を示している。

10

## 【 0 2 3 7 】

動作指令生成部 2 4 は、干渉点 P X を通過する経路エリア ( 図示せず ) を、干渉点 P X から特定距離だけ離れた経路エリア 6 0 4 に変更する。ここでの特定距離は、例えば、手先ツール 1 0 2 の特定位置の寸法の数倍程度の距離である。なお、特定距離は、ロボット 1 0 1 の特定位置の寸法の数倍程度の距離であってもよい。動作指令生成部 2 4 が経路エリア 6 0 4 を追加する方向は、干渉点 P X から見て障害物 3 1 の物体中心から遠ざかる方向が望ましい。

## 【 0 2 3 8 】

動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 1 5 0 で設定した経路エリアの候補の中から 1 つの候補を指定して経路エリアを変更し、全ての候補に対して動作指令を調整する処理を実行しても出力する軌道が無い場合には、経路エリアを追加してもよい。

20

## 【 0 2 3 9 】

また、動作指令生成部 2 4 は、生成軌道での動作時間が関節補間軌道 R 0 での動作時間よりも長い場合には、ステップ S 1 5 0 で指定した経路エリアの候補の中から 1 つの候補を選択し、現在の経路エリアを指定した経路エリアに変更する。また、動作指令生成部 2 4 は、図 2 7 に示すように、現在の経路エリアの位置を、障害物 3 1 ~ 3 3 を内部に含まない範囲で移動させてもよい。

## 【 0 2 4 0 】

図 2 7 は、実施の形態 2 にかかるロボット制御装置が、障害物を内部に含まない位置に経路エリアを変更する処理を説明するための図である。図 2 6 では、障害物が障害物 4 1 の 1 つである場合について説明する。ここでは、変更前の経路エリアを経路エリア 6 0 5 として示し、変更後の経路エリアを経路エリア 6 0 6 として示している。

30

## 【 0 2 4 1 】

経路エリア 6 0 5 から経路エリア 6 0 6 への移動方向は、ロボット 1 0 1 の各軸の角度変化量が減少する方向が望ましい。

## 【 0 2 4 2 】

動作指令生成部 2 4 は、経路エリア 6 0 5 の位置を経路エリア 6 0 6 の位置に移動させても動作時間が短縮されない場合には、ステップ S 1 5 0 で設定した経路エリアの候補の中から 1 つの候補を指定して経路エリアを変更してもよい。

40

## 【 0 2 4 3 】

実施の形態 2 でも、動作指令生成部 2 4 は、実施の形態 1 と同様に、生成軌道に従って動作した場合に動作時間が関節補間軌道 R 0 での動作時間以下となる軌道を優先して出力する。また、動作指令生成部 2 4 は、全ての生成軌道が関節補間軌道 R 0 での動作時間よりも長い場合には、生成軌道の中で最も動作時間が短い軌道を選択する。したがって、動作指令生成部 2 4 は、障害物 3 1 との干渉を回避する軌道の中で動作時間が最短となる軌道を選択できる。

## 【 0 2 4 4 】

このように、実施の形態 2 によれば、動作指令生成部 2 4 は、複数の障害物が配置され

50

、複数の経路エリアを設定する場合であっても、実施の形態 1 と同様に経路エリアを通過する軌道を生成することができる。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、他軸の動作指令を調整した後、代表軸の動作指令を調整し、調整後の動作指令に対して軌道を生成する。そして、動作指令生成部 2 4 は、障害物 3 1 との干渉がない場合には、生成軌道を出力軌道の候補として記憶しておく。したがって、動作指令生成部 2 4 は、各障害物との衝突を回避し、且つロボット 1 0 1 によって実行可能な軌道のみを、出力軌道の候補として生成することが可能となる。

#### 【 0 2 4 5 】

また、動作指令生成部 2 4 は、実施の形態 1 と同様に、経路点を限定して経路点の位置を変更しない場合と比較して、動作時間を同等以下とする軌道を生成できる。また、動作指令生成部 2 4 は、実施の形態 1 と同様に、障害物との干渉を回避する軌道の中で動作時間が最短となる軌道を生成できる。

#### 【 0 2 4 6 】

実施の形態 3 .

次に、図 2 8 から図 3 1 を用いて実施の形態 3 について説明する。実施の形態 3 では、ロボット制御装置 2 0 0 が、機械学習によって各軸の動作指令を調整する。実施の形態 3 でも、実施の形態 1 と同様に、手先ツール 1 0 2 の特定位置が動作始点  $P_S$  から動作終点  $P_G$  まで移動する際に、手先ツール 1 0 2 が障害物 3 1 と衝突しないように動作する軌道を生成する方法を説明する。

#### 【 0 2 4 7 】

実施の形態 3 では、手先ツール 1 0 2 の経路エリアは指定されない。また、実施の形態 3 のロボット 1 0 1 およびロボット制御装置 2 0 0 の構成は、実施の形態 1 のロボット 1 0 1 およびロボット制御装置 2 0 0 の構成と同じである。

#### 【 0 2 4 8 】

以下、実施の形態 3 において動作指令生成部 2 4 が、手先ツール 1 0 2 の軌道を生成する処理について説明する。図 2 8 は、実施の形態 3 にかかるロボット制御装置による軌道生成の処理手順を示すフローチャートである。実施の形態 3 のロボット制御装置 2 0 0 は、動作指令生成部 2 4 が、実施の形態 1 の図 4 で説明した、ステップ S 1 1 0 から S 1 4 0 の処理と同様の処理を実行する。

#### 【 0 2 4 9 】

また、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 1 4 0 の処理の後、機械学習を用い、ロボット動作の制約下で障害物 3 1 との干渉を回避する軌道の中で動作時間が最短となる軌道に対応する各軸モータの動作指令を生成する学習処理を実行する。この学習処理には、他軸の動作指令を調整して動作時間を短縮する処理と、少なくとも代表軸を含む各軸モータの動作指令を調整して軌道を生成する処理とが含まれている。

#### 【 0 2 5 0 】

具体的には、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 1 4 0 の処理の後、ステップ S 1 7 0 から S 2 0 0 の処理を実行する。この場合において、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 1 9 0 の代わりにステップ S 1 9 1 の処理を実行する。すなわち、生成軌道が障害物 3 1 を回避できない場合（ステップ S 1 8 0、No）、動作指令生成部 2 4 は、代表軸を含む全軸の動作指令を調整し、軌道を生成する（ステップ S 1 9 1）。ステップ S 1 9 1 の処理である全軸の動作指令を調整する処理の詳細については、後述する。

#### 【 0 2 5 1 】

動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 2 0 0 の処理において、軌道がステップ S 2 0 0 の条件を満たさない場合（ステップ S 2 0 0、No）、第 1 の繰り返しカウンタのカウント数が、設定された最大値となっているか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、 $i =$  最大繰り返し回数となっているか否かを判断する（ステップ S 2 2 0）。

#### 【 0 2 5 2 】

$i =$  最大繰り返し回数となっていない場合（ステップ S 2 2 0、No）、 $i$  に 1 を加算し（ステップ S 2 5 0）、ステップ S 1 7 0 の処理に戻る。一方、 $i =$  最大繰り返し回数

10

20

30

40

50

となっている場合（ステップ S 2 2 0、Yes）、動作指令生成部 2 4 は、最短動作時間の生成軌道に対応する動作指令を各軸モータ制御部に出力する（ステップ S 2 6 0）。

【0 2 5 3】

ここで、実施の形態 3 におけるステップ S 1 7 0 の処理、すなわち他軸の動作指令を調整する処理の詳細について図 2 9 を用いて説明する。図 2 9 は、実施の形態 3 にかかるロボット制御装置が他軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャートである。図 3 0 は、実施の形態 3 にかかるロボット制御装置が用いる各軸モータの動作指令を説明するための図である。図 3 0 では、各軸モータの動作指令の値を表現するパラメータを明示している。

【0 2 5 4】

実施の形態 3 では、動作指令生成部 2 4 は、各軸モータの動作指令としてモータ速度指令を使用する。また、実施の形態 3 では、動作指令生成部 2 4 は、各軸モータの動作指令の調整を簡易化するために、図 3 0 に示すパラメータを動作指令パラメータとして使用する。

【0 2 5 5】

1 つ目の動作指令パラメータは、動作中の角度変化の回数である。動作中の角度変化は、各軸モータの速度が 0 の状態から加速を行い、指定の最高速度に到達したら一定速度で稼働し、ある程度の時間が経過したら減速を行うという一連のモータ動作における角度変化である。実施の形態 3 では、ロボット 1 0 1 の軸  $j$  の軸モータである  $j$  軸モータの動作中の角度変化の回数を  $j_k$  とする。

【0 2 5 6】

2 つ目の動作指令パラメータは、各角度変化の開始タイミングである。各角度変化の開始タイミングは、ロボット 1 0 1 の  $j$  軸モータの動作指令に対し  $j_k$  個存在する。実施の形態 3 では、 $j_k$  番目の角度変化の開始タイミングを  $time_{jk}$  とする。

【0 2 5 7】

3 つ目の動作指令パラメータは、各角度変化における角速度の最高速度である。各角度変化における最高速度は、ロボット 1 0 1 の  $j$  軸モータの動作指令に対し  $j_k$  個存在する。実施の形態 3 では、 $j_k$  番目の角度変化における最高速度を  $v_{max_{jk}}$  とする。

【0 2 5 8】

4 つ目の動作指令パラメータは、各軸モータが最高速度を出力する時間の長さである。各軸モータが最高速度を出力する時間の長さは、ロボット 1 0 1 の  $j$  軸モータの動作指令に対し  $j_k$  個存在する。実施の形態 3 では、 $j_k$  番目の角度変化における各軸モータが最高速度を出力する時間の長さである出力時間を  $ct_{jk}$  とする。

【0 2 5 9】

5 つ目の動作指令パラメータは、各角度変化における加速度である。各角度変化における加速度は、ロボット 1 0 1 の  $j$  軸モータの動作指令に対し  $j_k$  個存在する。実施の形態 3 では、 $j_k$  番目の各角度変化における加速度を  $a_{jk}$  とする。

【0 2 6 0】

6 つ目の動作指令パラメータは、各角度変化における減速度である。各角度変化における減速度はロボット 1 0 1 の  $j$  軸モータの動作指令に対し  $j_k$  個存在する。実施の形態 3 では、 $j_k$  番目の各角度変化における減速度を  $d_{jk}$  とする。

【0 2 6 1】

まず、動作指令生成部 2 4 は、全ての他軸に対して動作中の角度変化の回数である  $j_k$  を設定する（ステップ S 8 1 0）。関節補間軌道 R 0 においては、全ての軸が  $j_k = 1$  である。

【0 2 6 2】

動作指令生成部 2 4 は、障害物 3 1 との間で干渉を回避する軌道を学習して生成する。この干渉を回避する軌道は、関節補間軌道 R 0 よりも自由度が高いため、動作指令生成部 2 4 は、 $j_k = 2$  以上となる軸が複数存在するよう軌道を生成することが望ましい。

【0 2 6 3】

10

20

30

40

50

次に、動作指令生成部 24 は、各角度変化について、加速度 $a_{jk}$ および減速度 $d_{jk}$ の仮の値を設定する（ステップ S 8 2 0）。この場合において、動作指令生成部 24 は、 $a_{jk}$ および $d_{jk}$ として、各軸モータが単体で出力可能な最大加速度を超えない値を設定する。

【0264】

次に、動作指令生成部 24 は、一次学習を繰り返す処理で繰り返し回数の判断に用いるカウンタである第 1 の学習用カウンタを初期化する。すなわち、動作指令生成部 24 は、第 1 の学習用カウンタに  $i_2 = 1$  を代入する（ステップ S 8 3 0）。第 1 の学習用カウンタは、後述するステップ S 8 7 0 の処理で用いられるカウンタである。

【0265】

次に、動作指令生成部 24 は、動作指令パラメータのうち、開始タイミング $time_{jk}$ 、最高速度 $v_{max_{jk}}$ 、および出力時間 $ct_{jk}$ の候補である候補 C 1 を生成する（ステップ S 8 4 0）。具体的には、動作指令生成部 24 は、動作指令パラメータのうち、角度変化の開始タイミング $time_{jk}$ と、各角度変化における最高速度 $v_{max_{jk}}$ と、各軸モータが最高速度を出力する出力時間 $ct_{jk}$ の初期値と、を設定した動作指令の候補 C 1 を生成する。ここでの動作指令生成部 24 は、 $v_{max_{jk}}$ として、各軸モータの出力可能な最高速度を超えない値を設定する。また、動作指令生成部 24 は、 $time_{jk}$ として、関節補間軌道 R 0 での動作時間を超えない値を設定する。

【0266】

動作指令生成部 24 は、次のステップ S 8 5 0 の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムに基づいて、生成する候補 C 1 の組数を決定する。ステップ S 8 5 0 の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムは、動作指令パラメータを学習するアルゴリズムである。すなわち、ステップ S 8 5 0 の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムは、動作指令を表現するパラメータの評価関数（後述する評価関数 J 1）を学習するアルゴリズムである。

【0267】

動作指令生成部 24 は、例えば、ステップ S 8 5 0 の処理で群強化学習または遺伝アルゴリズムを使用する場合には、候補 C 1 となる動作指令パラメータの組を複数用意する。また、動作指令生成部 24 は、ステップ S 8 5 0 の処理でベイズ最適化を使用する場合には、候補 C 1 となる動作指令パラメータの組を一組用意する。

【0268】

次に、動作指令生成部 24 は、評価関数 J 1 に基づいて、生成した各候補 C 1 の値を更新する（ステップ S 8 5 0）。すなわち、動作指令生成部 24 は、評価関数 J 1 に基づいて、角度変化の開始タイミング $time_{jk}$ 、各角度変化における最高速度 $v_{max_{jk}}$ 、および各軸モータが最高速度を出力する出力時間 $ct_{jk}$ の各値を更新する。動作指令生成部 24 は、評価関数 J 1 の評価値 V 1 を最小化するように、動作指令パラメータの各候補 C 1 の値を更新する。

【0269】

動作指令生成部 24 は、評価関数 J 1 として、例えば、以下の式 (21) に示す関数を使用する。式 (21) では、 $c_1$  は  $c_1 > 0$  を満たす任意の定数であり、 $tact$  は、使用した動作指令パラメータの候補 C 1 における動作指令での動作時間である。

【0270】

【数 21】

$$J1 = clash + c_1 * tact$$

$$clash = \begin{cases} 100000 & \text{衝突ありの場合} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases} \quad \dots (21)$$

【0271】

式 (21) に示す関数の第 1 項は、動作中にロボット 1 0 1 と障害物 3 1 との衝突が発

生した場合に大きくなる。式(21)に示す関数の第2項は、候補C1となる動作指令パラメータから動作指令を生成した際の動作時間に比例する。式(21)に示す関数の値である評価値V1を小さくする候補C1は、ロボット101と障害物31の衝突を回避し、動作時間が抑制された候補である。すなわち、動作指令生成部24は、評価関数J1を学習するパラメータ学習アルゴリズムに基づいて、ロボット101と障害物31との衝突を回避しつつ第3の動作時間を抑制したパラメータの候補C1を生成する。評価値V1は、動作時間が短いほど低くなる。

【0272】

前述したように、動作指令生成部24が用いるステップS850のパラメータ学習アルゴリズムは、例えば、群強化学習、遺伝アルゴリズム、ベイズ最適化などの任意のブラックボックス最適化手法である。

10

【0273】

次に、動作指令生成部24は、更新した動作指令パラメータの候補C1のうち、評価関数J1の値である評価値V1が、事前に指定しておいた指定値TH1以下となる候補C1が1つ以上存在するか否かを確認する(ステップS860)。事前に指定しておく指定値TH1は、例えば、関節補間軌道R0での動作時間の2倍程度の値である。

【0274】

評価値V1が指定値TH1以下となる候補C1が存在しない場合(ステップS860、No)、動作指令生成部24は、繰り返し回数が最大繰り返し回数となっているか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部24は、 $i_2 =$ 最大繰り返し回数となっているか否かを判断する(ステップS870)。

20

【0275】

$i_2 =$ 最大繰り返し回数である場合(ステップS870、Yes)、ステップS191の処理、すなわち代表軸を含む全軸の動作指令を調整する処理に移行する。 $i_2 =$ 最大繰り返し回数でない場合(ステップS870、No)、動作指令生成部24は、 $i_2$ に1を加算し(ステップS880)、ステップS850の処理に戻る。

【0276】

動作指令生成部24は、評価値V1が指定値TH1以下となる候補C1が存在せず(ステップS860、No)、 $i_2 =$ 最大繰り返し回数でない場合(ステップS870、No)、ステップS850からS880までの処理を繰り返す。

30

【0277】

評価値V1が指定値TH1以下となる候補C1が1つでも存在する場合(ステップS860、Yes)、動作指令生成部24は、一次学習を繰り返す処理で繰り返し回数の判断に用いるカウンタである第2の学習用カウンタを初期化する。すなわち、動作指令生成部24は、第2の学習用カウンタに $i_3 = 1$ を代入する(ステップS890)。第2の学習用カウンタは、後述するステップS930の処理で用いられるカウンタである。

【0278】

次に、動作指令生成部24は、評価値V1が指定値TH1以下となるパラメータの候補C1に基づいて、動作指令パラメータのうち、開始タイミング $time_{jk}$ 、最高速度 $v_{max_{jk}}$ 、出力時間 $ct_{jk}$ 、加速度 $a_{jk}$ 、および減速度 $d_{jk}$ の候補である候補C2を生成する(ステップS900)。具体的には、動作指令生成部24は、動作指令パラメータのうち、角度変化の開始タイミング $time_{jk}$ と、各角度変化における最高速度 $v_{max_{jk}}$ と、各軸モータが最高速度を出力する出力時間 $ct_{jk}$ と、加速度 $a_{jk}$ の初期値と、および減速度 $d_{jk}$ の初期値とを設定した動作指令の候補である候補C2を生成する。ここでの動作指令生成部24は、ステップS860において評価値V1が指定値TH1以下となる候補C1の $time_{jk}$ 、 $v_{max_{jk}}$ 、および $ct_{jk}$ を用いる。

40

【0279】

動作指令生成部24は、次のステップS910の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムに基づいて、生成する候補C2の数を決定する。ステップS910の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムは、動作指令パラメータを学習するアルゴリズムである。

50

すなわち、ステップ S 9 1 0 の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムは、動作指令を表現するパラメータの評価関数（後述する評価関数 J 2）を学習するアルゴリズムである。

【 0 2 8 0 】

動作指令生成部 2 4 は、例えば、ステップ S 9 1 0 の処理で群強化学習または遺伝アルゴリズムを使用する場合には、候補 C 2 となる動作指令パラメータの組を複数用意する。また、動作指令生成部 2 4 は、ステップ S 9 1 0 の処理でベイズ最適化を使用する場合には、候補 C 2 となる動作指令パラメータの組を一組用意する。

【 0 2 8 1 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、評価関数 J 2 に基づいて、生成した各候補 C 2 の値を更新する（ステップ S 9 1 0）。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、評価関数 J 2 に基づいて、角度変化の開始タイミング  $time_{jk}$ 、各角度変化における最高速度  $v_{maxjk}$ 、各軸モータが最高速度を出力する出力時間  $ct_{jk}$ 、加速度  $a_{jk}$ 、および減速度  $d_{jk}$  の各値を更新する。動作指令生成部 2 4 は、評価関数 J 2 の評価値 V 2 を最小化するように、動作指令パラメータの各候補 C 2 の値を更新する。

【 0 2 8 2 】

動作指令生成部 2 4 は、評価関数 J 2 として、例えば、以下の式（22）に示す関数を使用する。式（22）では、 $c_1$  は  $c_1 > 0$  を満たす任意の定数であり、 $c_2$  は  $c_2 > 0$  を満たす任意の定数である。また、 $tact$  は、使用した動作指令パラメータの候補 C 2 における動作指令での動作時間である。 $torque_o$  は、動作中にトルク制約を超過した軸があった場合、最大超過量の絶対値であり、動作中に何れの軸もトルク制約を超過しない場合は 0 とする。

【 0 2 8 3 】

【数 2 2】

$$J2 = clash + c_1 * tact + c_2 * torque_o$$

$$clash = \begin{cases} 100000 & \text{衝突ありの場合} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases} \quad \dots (22)$$

【 0 2 8 4 】

式（22）に示す関数の第 1 項は、動作中にロボット 1 0 1 と障害物 3 1 との衝突が発生した場合に大きくなる。式（22）に示す関数の第 2 項は、候補 C 2 となる動作指令パラメータから動作指令を生成した際の動作時間に比例する。式（22）に示す関数の第 3 項は、ロボット 1 0 1 のトルク制約に関する項であり、制約を違反するほど第 3 項の値が大きくなる。ここで、ロボット 1 0 1 のトルク制約は、ロボット 1 0 1 の姿勢および各軸速度に依存するため動作中で値が変化する。式（22）に示す関数の値である評価値 V 2 を小さくする候補 C 2 は、ロボット 1 0 1 と障害物 3 1 の衝突を回避し、動作中のロボット 1 0 1 のトルク制約を満たし、かつ動作時間が抑制された候補である。すなわち、動作指令生成部 2 4 は、評価関数 J 2 を学習するパラメータ学習アルゴリズムに基づいて、ロボット 1 0 1 と障害物 3 1 との衝突を回避し、かつ動作中のロボット 1 0 1 のトルク制約を満たし、かつ第 3 の動作時間を抑制したパラメータの候補 C 2 を生成する。評価値 V 2 は、動作時間が短いほど低くなる。

【 0 2 8 5 】

前述したように、動作指令生成部 2 4 が用いるステップ S 9 1 0 のパラメータ学習アルゴリズムは、例えば、群強化学習、遺伝アルゴリズム、ベイズ最適化などの任意のブラックボックス最適化手法である。

【 0 2 8 6 】

次に、動作指令生成部 2 4 は、更新した動作指令パラメータの候補 C 2 のうち、評価関数 J 2 の値である評価値 V 2 が、事前に指定しておいた指定値 TH 2 以下となる候補 C 2 が 1 つ以上存在するか否かを確認する（ステップ S 9 2 0）。事前に指定しておく指定値

10

20

30

40

50

TH2 は、例えば、関節補間軌道 R0 での動作時間の値である。

【0287】

評価値 V2 が指定値 TH2 以下となる候補 C2 が 1 つでも存在する場合 (ステップ S920、Yes)、動作指令生成部 24 は、評価値 V2 が最小となる候補 C2 を他軸の動作指令に設定する (ステップ S950)。すなわち、動作指令生成部 24 は、動作時間が最短となる候補 C2 を 1 つ選択し、選択した候補 C2 を、他軸の動作指令を調整する際のパラメータに設定する。

【0288】

一方、評価値 V2 が指定値 TH2 以下となる候補 C2 が存在しない場合 (ステップ S920、No)、動作指令生成部 24 は、繰り返し回数が最大繰り返し回数となっているか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 24 は、 $i3 =$  最大繰り返し回数となっているか否かを判断する (ステップ S930)。

10

【0289】

$i3 =$  最大繰り返し回数である場合 (ステップ S930、Yes)、動作指令生成部 24 は、評価値 V2 が最小となる候補 C2 を他軸の動作指令に設定する (ステップ S950)。

【0290】

$i3 =$  最大繰り返し回数でない場合 (ステップ S930、No)、動作指令生成部 24 は、 $i3$  に 1 を加算し (ステップ S940)、ステップ S910 の処理に戻る。

【0291】

動作指令生成部 24 は、評価値 V2 が指定値 TH2 以下となる候補 C2 が存在せず (ステップ S920、No)、 $i3 =$  最大繰り返し回数でない場合 (ステップ S930、No)、ステップ S910 から S940 までの処理を繰り返す。そして、動作指令生成部 24 は、評価値 V2 が指定値 TH2 以下となる候補 C2 が 1 つでも存在するか、または  $i3 =$  最大繰り返し回数になると、評価値 V2 が最小となる候補 C2 を他軸の動作指令に設定する (ステップ S950)。この後、動作指令生成部 24 は、ステップ S170 の処理を実行する。

20

【0292】

図 28 に示したステップ S170 の処理が完了すると、動作指令生成部 24 は、ステップ S950 で設定した動作指令を用いてロボット 101 を動作させた場合の動作時間が関節補間軌道 R0 での動作時間以下であるか否かを確認する。すなわち、動作指令生成部 24 は、生成軌道が障害物 31 を回避するか否かを判断する (ステップ S180)。

30

【0293】

動作指令生成部 24 は、生成軌道が障害物 31 を回避する場合 (ステップ S180、Yes)、ステップ S260 の処理を実行する。一方、生成軌道が障害物 31 を回避できない場合 (ステップ S180、No)、動作指令生成部 24 は、代表軸を含む全軸の動作指令を調整し、調整後の動作指令で軌道を生成する (ステップ S191)。

【0294】

ここで、実施の形態 3 におけるステップ S191 の処理、すなわち代表軸を含む全軸の動作指令を調整する処理の詳細について図 31 を用いて説明する。図 31 は、実施の形態 3 にかかるロボット制御装置が全軸の動作指令を調整する処理の処理手順を示すフローチャートである。

40

【0295】

まず、動作指令生成部 24 は、代表軸を含む全軸に対して動作中の角度変化の回数である  $jk$  を設定する (ステップ S1010)。動作指令生成部 24 は、他軸の  $jk$  については、ステップ S950 で設定された値に設定することが望ましい。

【0296】

次に、動作指令生成部 24 は、各角度変化について、加速度  $a_{jk}$  および減速度  $d_{jk}$  の仮の値を設定する (ステップ S1020)。動作指令生成部 24 は、他軸の加速度  $a_{jk}$  および減速度  $d_{jk}$  については、ステップ S950 で設定された値に設定することが望ましい。

50

## 【0297】

次に、動作指令生成部24は、学習を繰り返す処理で繰り返し回数の判断に用いるカウンタである第3の学習用カウンタを初期化する。すなわち、動作指令生成部24は、第3の学習用カウンタに $i_4 = 1$ を代入する(ステップS1030)。第3の学習用カウンタは、後述するステップS1070の処理で用いられるカウンタである。

## 【0298】

次に、動作指令生成部24は、動作指令パラメータのうち、開始タイミング $time_{jk}$ 、最高速度 $v_{max_{jk}}$ 、出力時間 $ct_{jk}$ 、加速度 $a_{jk}$ 、および減速度 $d_{jk}$ の候補である候補C3を生成する(ステップS1040)。具体的には、動作指令生成部24は、動作指令パラメータのうち、角度変化の開始タイミング $time_{jk}$ と、各角度変化における最高速度 $v_{max_{jk}}$ と、各軸モータが最高速度を出力する出力時間 $ct_{jk}$ と、加速度 $a_{jk}$ の初期値、および減速度 $d_{jk}$ の初期値を設定した動作指令の候補である候補C3を生成する。

10

## 【0299】

動作指令生成部24は、次のステップS1050の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムに基づいて、生成する候補C3の数を決定する。ステップS1050の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムは、動作指令パラメータを学習するアルゴリズムである。すなわち、ステップS1050の処理で使用するパラメータ学習アルゴリズムは、動作指令を表現するパラメータの評価関数(後述する評価関数J3)を学習するアルゴリズムである。

## 【0300】

動作指令生成部24は、例えば、ステップS1050の処理で群強化学習または遺伝アルゴリズムを使用する場合には、候補C3となる動作指令パラメータの組を複数用意する。また、動作指令生成部24は、ステップS1050の処理でベイズ最適化を使用する場合には、候補C3となる動作指令パラメータの組を一組用意する。

20

## 【0301】

次に、動作指令生成部24は、評価関数J3に基づいて、生成した各候補C3の値を更新する(ステップS1050)。すなわち、動作指令生成部24は、評価関数J3に基づいて、角度変化の開始タイミング $time_{jk}$ 、各角度変化における最高速度 $v_{max_{jk}}$ 、各軸モータが最高速度を出力する出力時間 $ct_{jk}$ 、加速度 $a_{jk}$ 、および減速度 $d_{jk}$ の各値を更新する。動作指令生成部24は、評価関数J3の評価値V3を最小化するように、動作指令パラメータの各候補C3の値を更新する。

30

## 【0302】

動作指令生成部24は、評価関数J3として、例えば、上述の式(22)に示す数式のJ2をJ3に入れ替えた数式を使用する。この式(22)に示す関数の値である評価値V3を小さくする候補C3は、ロボット101と障害物31との衝突を回避し、動作中のロボット101のトルク制約を満たし、かつ動作時間が抑制された候補である。すなわち、動作指令生成部24は、評価関数J3を学習するパラメータ学習アルゴリズムに基づいて、ロボット101と障害物31との衝突を回避し、かつ動作中のロボット101のトルク制約を満たし、かつ第3の動作時間を抑制したパラメータの候補C3を生成する。評価値V3は、動作時間が短いほど低くなる。

40

## 【0303】

前述したように、動作指令生成部24が用いるステップS1050のパラメータ学習アルゴリズムは、例えば、群強化学習、遺伝アルゴリズム、ベイズ最適化などの任意のブラックボックス最適化手法である。

## 【0304】

次に、動作指令生成部24は、更新した動作指令パラメータの候補C3のうち、評価関数J3の値である評価値V3が、事前に指定しておいた指定値TH3以下となる候補C3が1つ以上存在するか否かを確認する(ステップS1060)。事前に指定しておく指定値TH3は、例えば、関節補間軌道R0での動作時間の値である。

## 【0305】

50

評価値  $V_3$  が指定値  $TH_3$  以下となる候補  $C_3$  が 1 つでも存在する場合 (ステップ  $S_{1060}$ 、Yes)、動作指令生成部 24 は、評価値  $V_3$  が最小となる候補  $C_3$  を各軸の動作指令に設定する (ステップ  $S_{1090}$ )。すなわち、動作指令生成部 24 は、動作時間が最短となる候補  $C_3$  を 1 つ選択し、選択した候補  $C_3$  を、各軸の動作指令を調整する際のパラメータに設定する。

#### 【0306】

一方、評価値  $V_3$  が指定値  $TH_3$  以下となる候補  $C_3$  が存在しない場合 (ステップ  $S_{1060}$ 、No)、動作指令生成部 24 は、繰り返し回数が最大繰り返し回数となっているか否かを判断する。すなわち、動作指令生成部 24 は、 $i_4 =$  最大繰り返し回数となっているか否かを判断する (ステップ  $S_{1070}$ )。

10

#### 【0307】

$i_4 =$  最大繰り返し回数である場合 (ステップ  $S_{1070}$ 、Yes)、動作指令生成部 24 は、評価値  $V_3$  が最小となる候補  $C_3$  を各軸の動作指令に設定する (ステップ  $S_{1090}$ )。

#### 【0308】

$i_4 =$  最大繰り返し回数でない場合 (ステップ  $S_{1070}$ 、No)、動作指令生成部 24 は、 $i_4$  に 1 を加算し (ステップ  $S_{1080}$ )、ステップ  $S_{1050}$  の処理に戻る。

#### 【0309】

動作指令生成部 24 は、評価値  $V_3$  が指定値  $TH_3$  以下となる候補  $C_3$  が存在せず (ステップ  $S_{1060}$ 、No)、 $i_4 =$  最大繰り返し回数でない場合 (ステップ  $S_{1070}$ 、No)、ステップ  $S_{1050}$  から  $S_{1080}$  までの処理を繰り返す。そして、動作指令生成部 24 は、評価値  $V_3$  が指定値  $TH_3$  以下となる候補  $C_3$  が 1 つでも存在するか、または  $i_4 =$  最大繰り返し回数になると、評価値  $V_3$  が最小となる候補  $C_3$  を他軸の動作指令に設定する (ステップ  $S_{1090}$ )。この後、動作指令生成部 24 は、図 28 で説明したステップ  $S_{200}$  以降の処理を実行する。

20

#### 【0310】

ステップ  $S_{220}$  の処理において、 $i =$  最大繰り返し回数となっていない場合 (ステップ  $S_{220}$ 、No)、動作指令生成部 24 は、 $i$  に 1 を加算し (ステップ  $S_{250}$ )、ステップ  $S_{170}$  の処理に戻る。すなわち、第 1 の繰り返しカウンタの値が、最大繰り返し回数に達していない場合、動作指令生成部 24 は、ステップ  $S_{170}$  の処理に戻って他軸の動作指令を調整し、軌道を再生成する。この場合において、動作指令生成部 24 は、ステップ  $S_{170}$  の処理で設定する動作中の角度変更回数の  $j_k$  を変更することで、前回の試行とは異なる軌道を生成することが可能である。

30

#### 【0311】

実施の形態 3 でも、動作指令生成部 24 は、実施の形態 1、2 と同様に、生成軌道に従って動作した場合に動作時間が関節補間軌道  $R_0$  での動作時間以下となる軌道を優先して出力する。また、動作指令生成部 24 は、全ての生成軌道が関節補間軌道  $R_0$  での動作時間よりも長い場合には、生成軌道の中で最も動作時間が短い軌道を選択する。したがって、動作指令生成部 24 は、障害物 31 との干渉を回避する軌道の中で動作時間が最短となる軌道を選択できる。なお、実施の形態 3 で説明した学習処理を実施の形態 2 での軌道の生成処理に適用してもよい。

40

#### 【0312】

このように、実施の形態 3 によれば、動作指令生成部 24 は、各軸モータの動作指令を有限個数の動作指令パラメータで表現し、動作指令パラメータを既存の学習アルゴリズムを用いて調整することで軌道を生成している。したがって、動作指令生成部 24 は、有限回数の調整試行で障害物 31 を回避する軌道を生成できる。また、動作指令生成部 24 は、衝突を回避した動作指令を、短時間で算出することが可能となる。

#### 【0313】

ここで、ロボット制御装置 200 のハードウェア構成について説明する。図 32 は、実施の形態 1 から 3 にかかるロボット制御装置のハードウェア構成を示す図である。

50

## 【 0 3 1 4 】

ロボット制御装置 2 0 0 は、図 3 2 に示した制御回路、すなわちプロセッサ 3 0 1 およびメモリ 3 0 2 により実現することができる。プロセッサ 3 0 1 の例は、CPU (Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、DSP (Digital Signal Processor) ともいう) またはシステム LSI (Large Scale Integration) である。メモリ 3 0 2 の例は、RAM (Random Access Memory) または ROM (Read Only Memory) である。

## 【 0 3 1 5 】

ロボット制御装置 2 0 0 は、プロセッサ 3 0 1 が、メモリ 3 0 2 で記憶されている、ロボット制御装置 2 0 0 の動作を実行するためのプログラムを読み出して実行することにより実現される。また、このプログラムは、ロボット制御装置 2 0 0 の手順または方法をコンピュータに実行させるものであるともいえる。ロボット制御装置 2 0 0 で実行されるプログラムは、動作指令生成部 2 4、および各軸モータ制御部を含むモジュール構成となっており、これらが主記憶装置上にロードされ、これらが主記憶装置上に生成される。

10

## 【 0 3 1 6 】

メモリ 3 0 2 は、障害物情報、ロボット情報および端点情報を記憶する。メモリ 3 0 2 は、プロセッサ 3 0 1 が各種処理を実行する際の一時メモリにも使用される。

## 【 0 3 1 7 】

プロセッサ 3 0 1 が実行するプログラムは、インストール可能な形式または実行可能な形式のファイルで、コンピュータが読み取り可能な記憶媒体に記憶されてコンピュータプログラムプロダクトとして提供されてもよい。また、プロセッサ 3 0 1 が実行するプログラムは、インターネットなどのネットワーク経由でロボット制御装置 2 0 0 に提供されてもよい。

20

## 【 0 3 1 8 】

また、ロボット制御装置 2 0 0 を専用のハードウェアで実現してもよい。また、ロボット制御装置 2 0 0 の機能について、一部を専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現するようにしてもよい。

## 【 0 3 1 9 】

以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

30

## 【 符号の説明 】

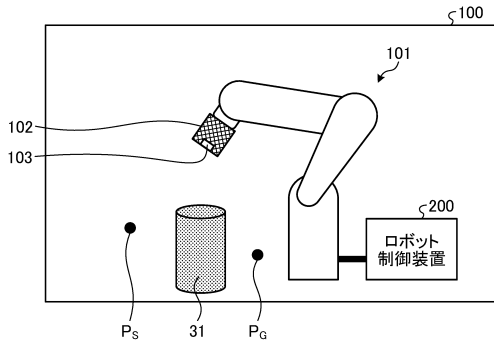
## 【 0 3 2 0 】

2 1 障害物モデル記憶部、2 2 ロボットモデル記憶部、2 3 端点記憶部、2 4 動作指令生成部、3 1 ~ 3 3 , 4 1 障害物、1 0 0 ロボットシステム、1 0 1 ロボット、1 0 2 手先ツール、1 0 3 ワーク、2 0 0 ロボット制御装置、3 0 1 プロセッサ、3 0 2 メモリ、6 0 1 , 6 0 1 a , 6 0 1 b , 6 0 3 ~ 6 0 6 経路エリア、6 0 2 軌道、B 1 第 1 軸モータ制御部、B 2 第 2 軸モータ制御部、B 3 第 3 軸モータ制御部、B 4 第 4 軸モータ制御部、B 5 第 5 軸モータ制御部、B 6 第 6 軸モータ制御部、E 1 第 1 軸エンコーダ、E 2 第 2 軸エンコーダ、E 3 第 3 軸エンコーダ、E 4 第 4 軸エンコーダ、E 5 第 5 軸エンコーダ、E 6 第 6 軸エンコーダ、M 1 第 1 軸モータ、M 2 第 2 軸モータ、M 3 第 3 軸モータ、M 4 第 4 軸モータ、M 5 第 5 軸モータ、M 6 第 6 軸モータ、L 1 ~ L 3 , L 5 ~ L 7 指令直線、P G 動作終点、P R 仮中継点、P S 動作始点。

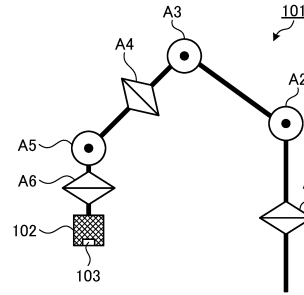
40

【図面】

【図 1】

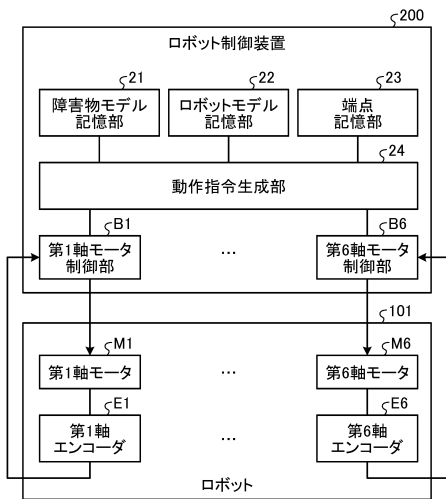


【図 2】

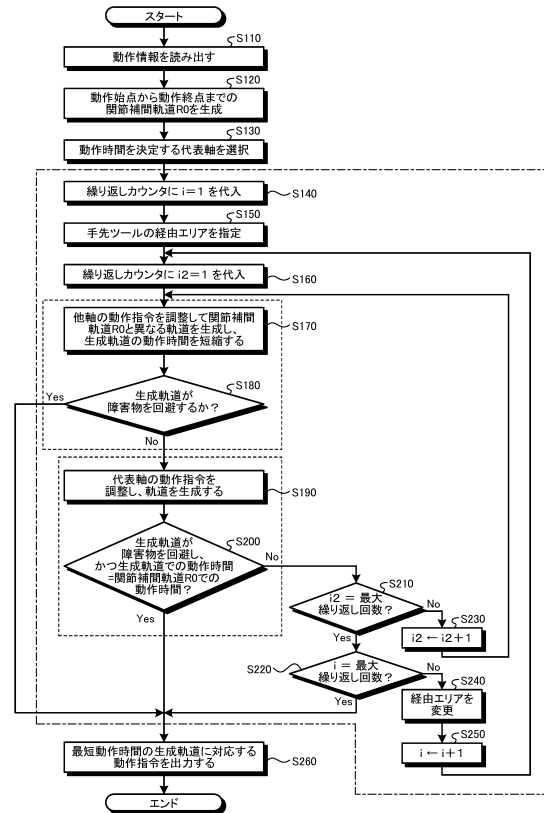


10

【図 3】



【図 4】



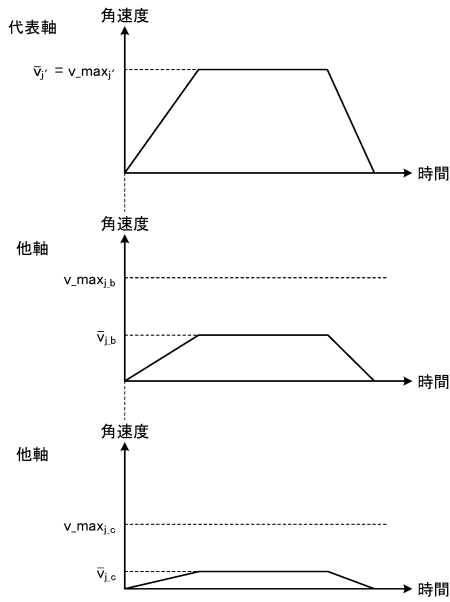
20

30

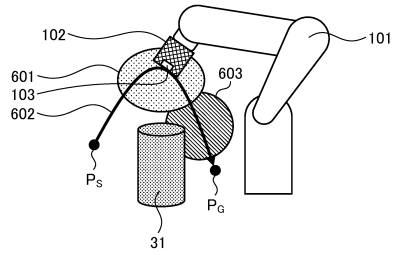
40

50

【図5】



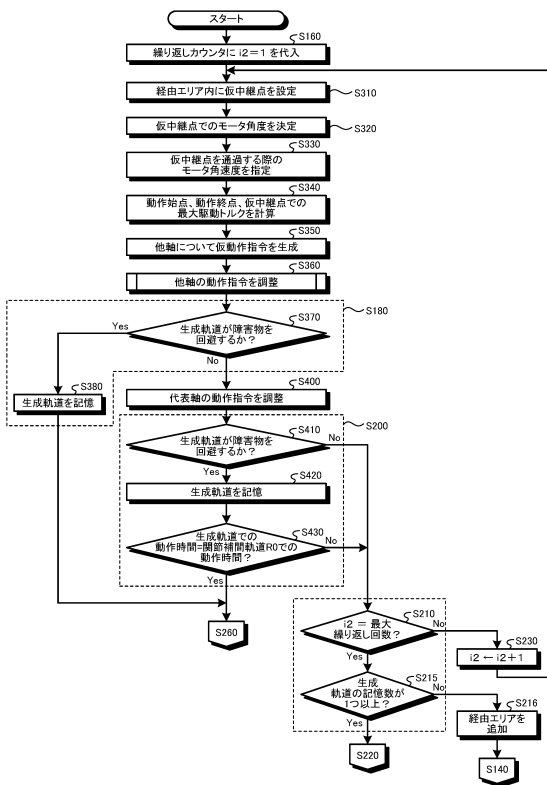
【図6】



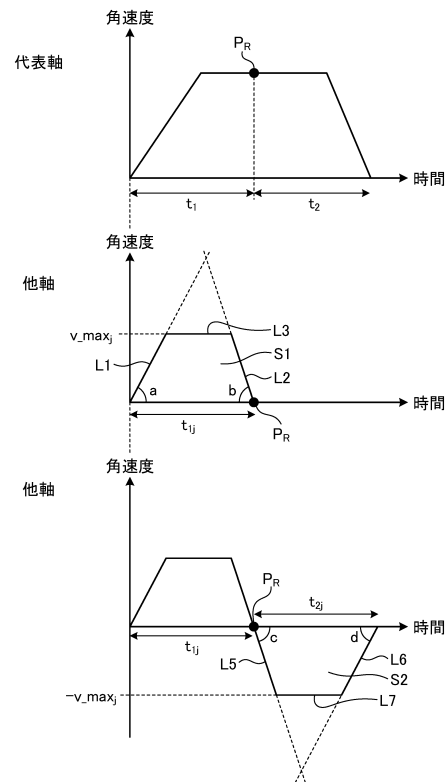
10

20

【図7】



【図8】

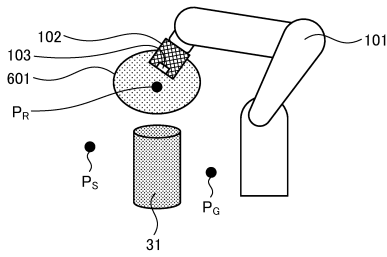


30

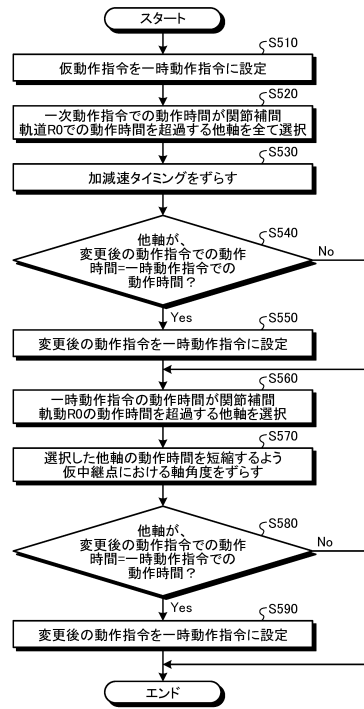
40

50

【 図 9 】



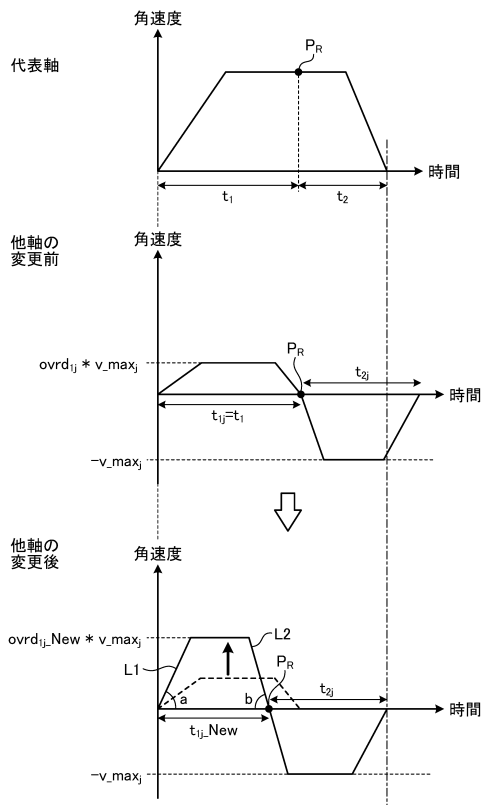
【 図 1 0 】



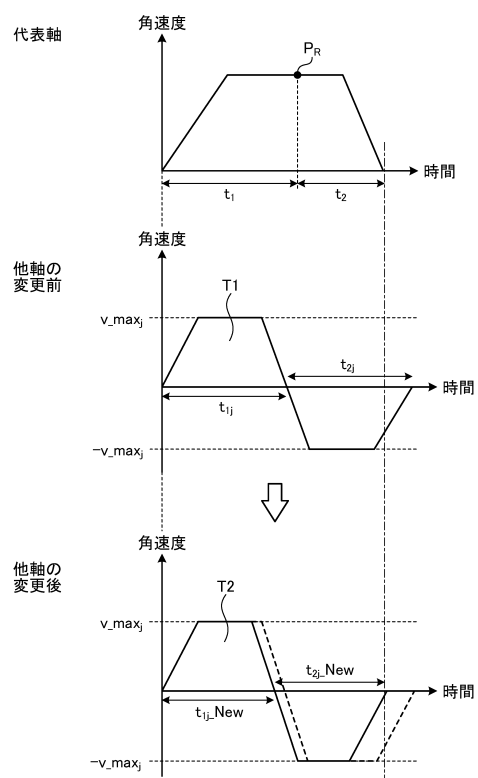
10

20

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

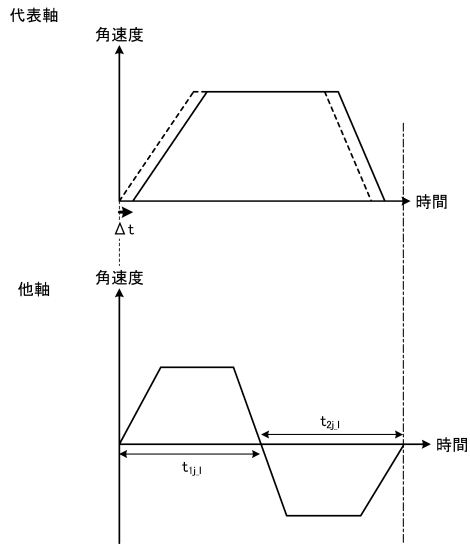


30

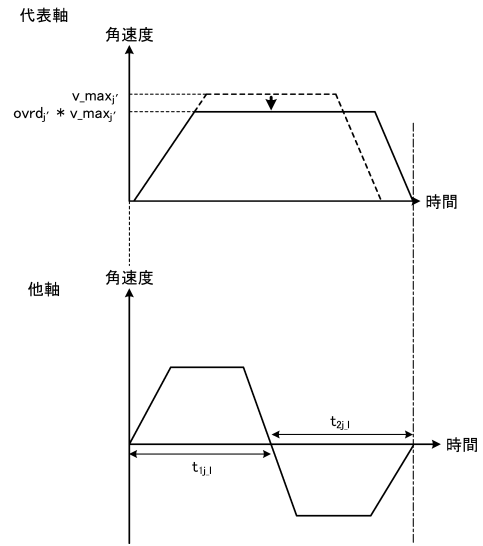
40

50

【 図 1 3 】



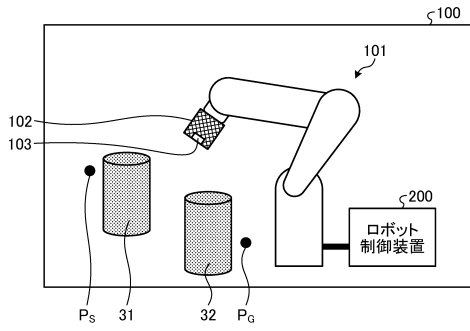
【 図 1 4 】



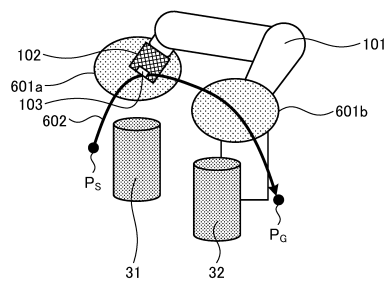
10

20

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

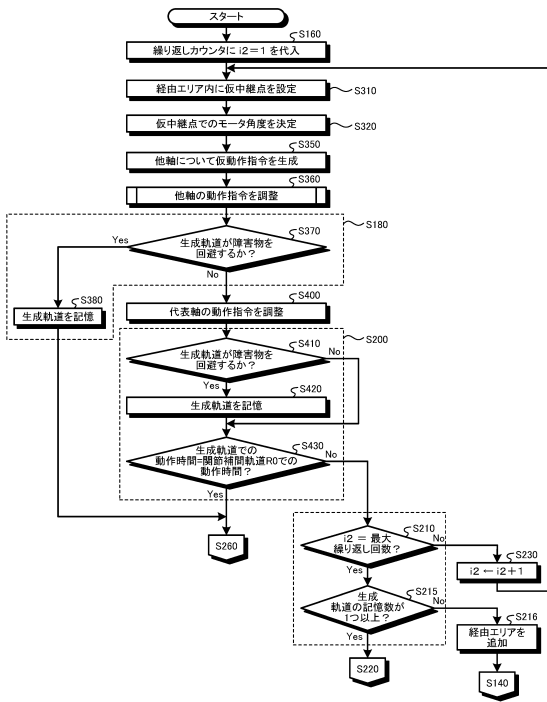


30

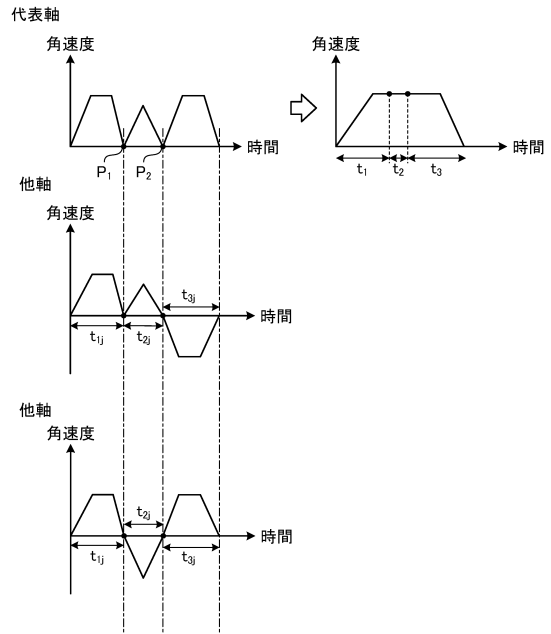
40

50

【 図 1 7 】



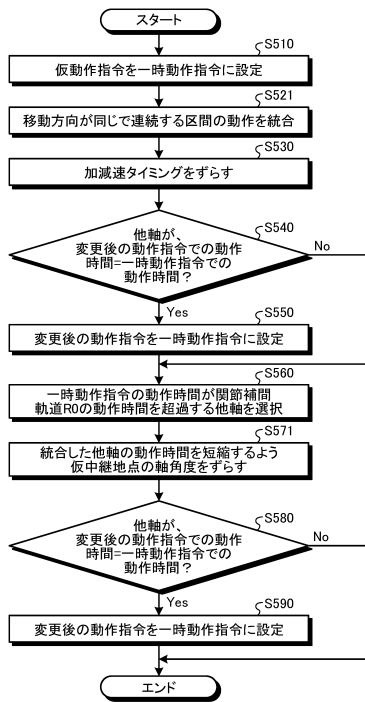
【 図 1 8 】



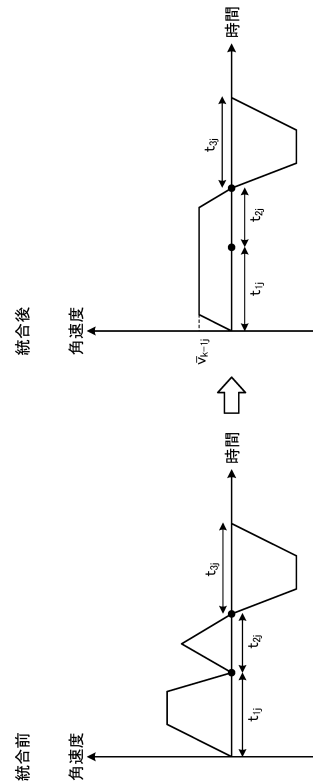
10

20

【 図 1 9 】



【 図 2 0 】

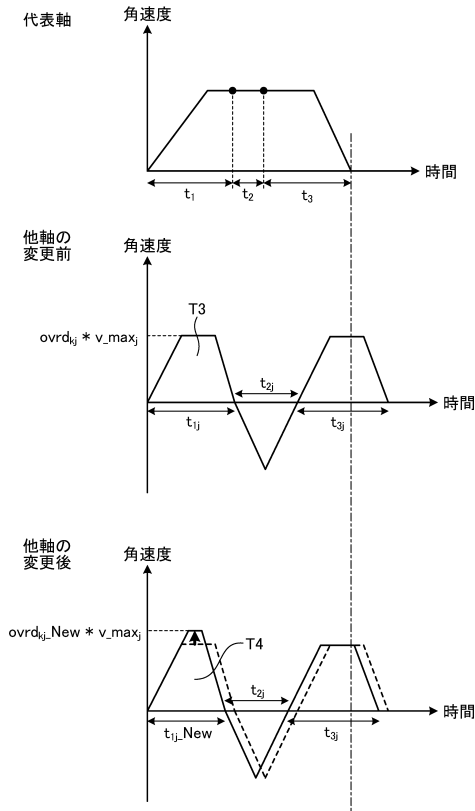


30

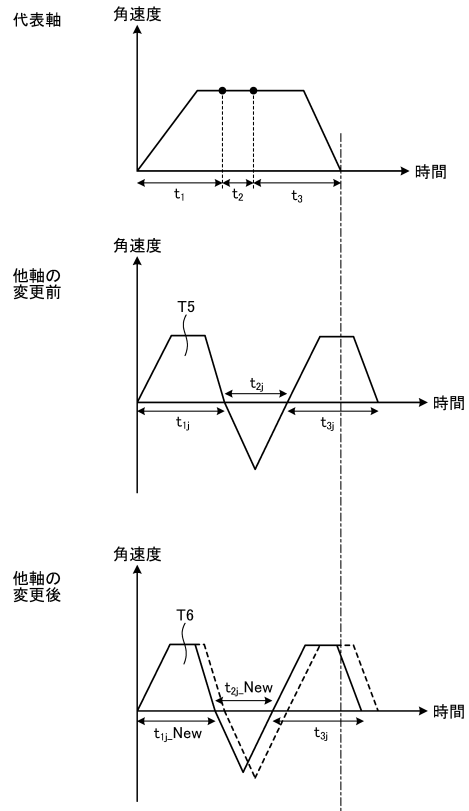
40

50

【 図 2 1 】



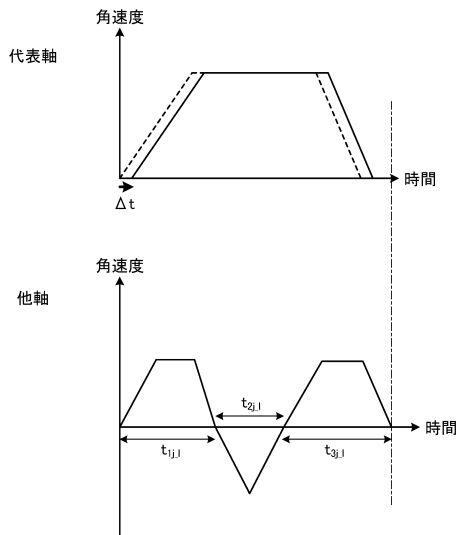
【 図 2 2 】



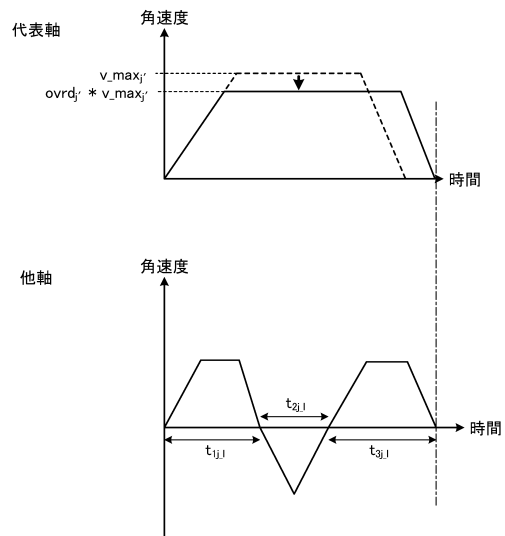
10

20

【 図 2 3 】



【 図 2 4 】

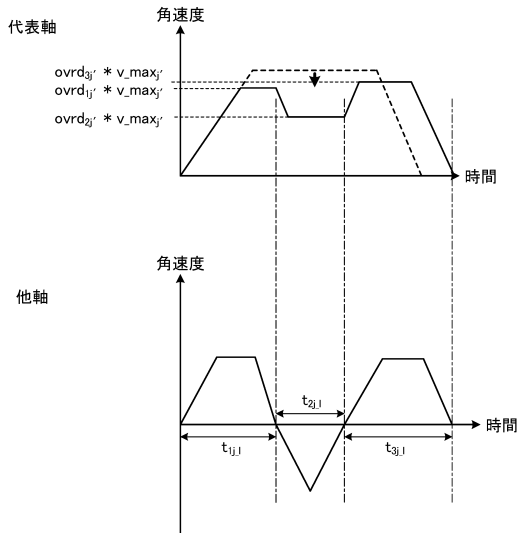


30

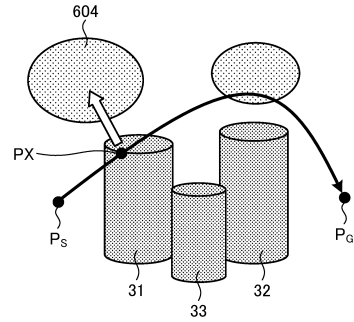
40

50

【図 25】



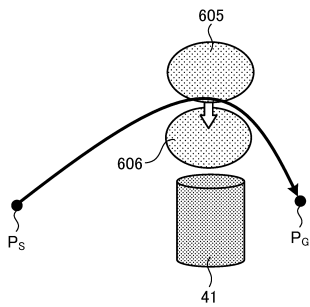
【図 26】



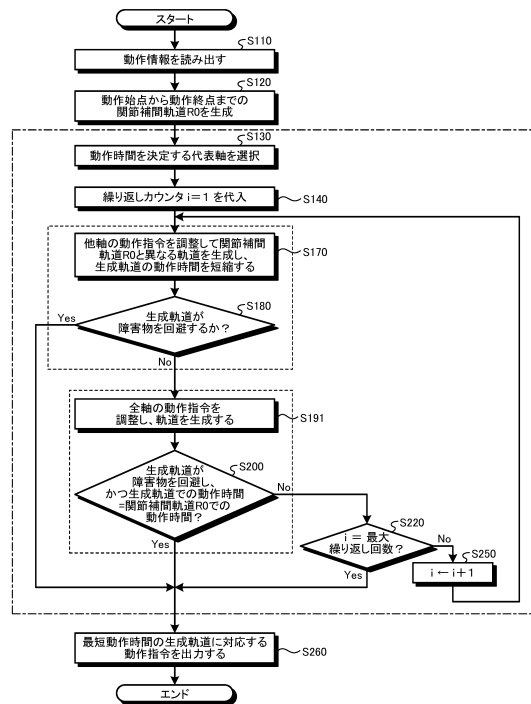
10

20

【図 27】



【図 28】

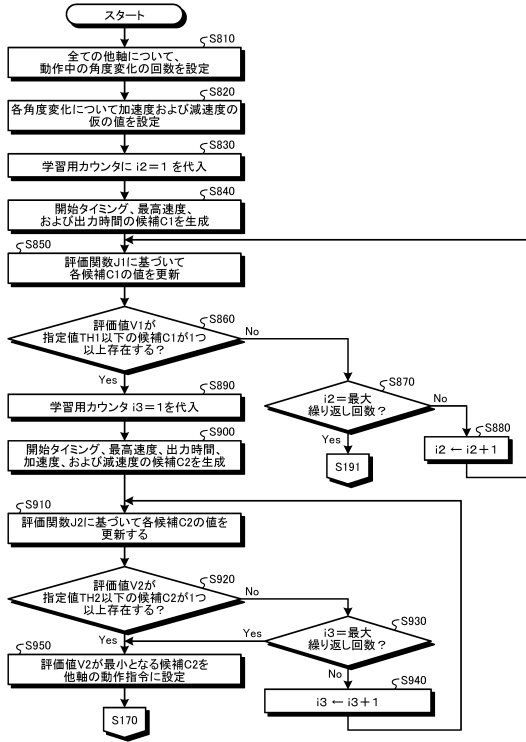


30

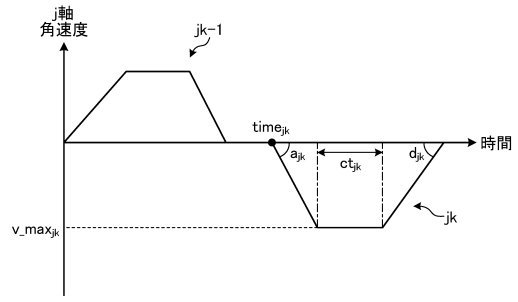
40

50

【図 29】



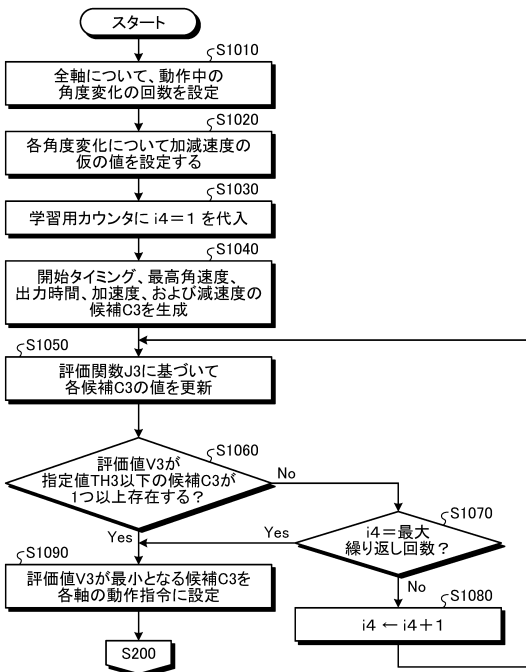
【図 30】



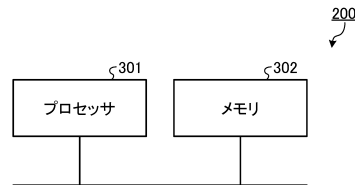
10

20

【図 31】



【図 32】



30

40

50

## フロントページの続き

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 樋口 幸太郎

- (56)参考文献 特開2014-37029(JP,A)  
特開2015-160253(JP,A)  
特開2019-135076(JP,A)  
特開2009-172721(JP,A)  
特開2014-161918(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
B25J 13/00  
B25J 9/10  
B25J 9/22