



(51) 国際特許分類6 G05B 19/416, 19/18	A1	(11) 国際公開番号 WO97/01801 (43) 国際公開日 1997年1月16日(16.01.97)
(21) 国際出願番号 PCT/JP96/01819 (22) 国際出願日 1996年7月1日(01.07.96) (30) 優先権データ 特願平7/185000 1995年6月29日(29.06.95) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) ファナック株式会社(FANUC LTD)[JP/JP] 〒401-05 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 Yamanashi, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 加藤哲朗(KATO, Tetsuaki)[JP/JP] 〒259-13 神奈川県秦野市渋沢502-12 Kanagawa, (JP) 永山敦朗(NAGAYAMA, Atsuo)[JP/JP] 〒401-05 山梨県南都留郡忍野村忍草3513-2 ファナックマンションハリモミ 12-508 Yamanashi, (JP) (74) 代理人 弁理士 竹本松司, 外(TAKEMOTO, Shoji et al.) 〒105 東京都港区虎ノ門1丁目23番10号 山縣ビル2階 Tokyo, (JP)		(81) 指定国 US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). 添付公開書類 国際調査報告書
(54) Title: METHOD OF SETTING ACCELERATION/DECELERATION OPERATION OF ROBOT (54) 発明の名称 ロボットの加減速動作の設定方法 (57) Abstract A method of setting an acceleration/deceleration operation of a robot, wherein the torque of the robot is efficiently utilized without saturation. A movement ratio r expressing a position which satisfies the condition of the occurrence of a maximum torque inside one operation zone is determined by successive approximation. First, a 0-order approximation solution (initial value) is set to $ir_0 = 0$. Next, the equation of motion is calculated at the position ir_0 and an acceleration is determined so as to generate the maximum torque. Then, the position where a maximum torque is generated when the acceleration so calculated is used, is determined, and is set to ir_{k+1} . The difference $ ir_{k+1} - ir_k $ between ir_{k+1} so calculated and ir_k calculated previously is calculated, and whether or not the difference exceeds a predetermined minute value ε is checked. If the result proves YES, the flow returns to S3. If it proves NO, $irsol = ir_{k+1}$ is set and stored, and the index i is incremented by 1 and k is cleared to $k = 0$. If the calculation of all axes is not yet completed, the flow returns to S1. If the calculation of all the axes is completed, the flow proceeds to S7. Among $irsol$ at S7, the maximum is set to $rsol$, and the acceleration corresponding to $rsol$ is determined for all the axes, and the condition of the acceleration operation for each axis is set. <pre> graph TD Start([はじめ k=0; i=1]) --> S1[S1: ir0 = 0] S1 --> S2[S2: 位置 ir0 において運動方程式を計算し、最大トルクを発生するように加速度を求める。] S2 --> S3[S3: ir1 を求める] S3 --> S4{S4: ir1 - ir0 > ε?} S4 -- Y --> S3 S4 -- N --> S5[S5: i = i + 1; k = 0] S5 --> S6{S6: i > 4?} S6 -- Y --> S7[S7: 最大の irsol を求め、rsol とする。] S6 -- N --> S2 S7 --> S8[S8: rsol に基づいて、各軸の加減速条件を設定する。] S8 --> End([おわり]) </pre> S ... start (k=0; i=1) S2 ... Equation of motion is calculated at position ir_0, and acceleration is determined so as to generate maximum torque. S3 ... ir_{k+1} is calculated S4 ... $ir_{k+1} - ir_k > \varepsilon$? S5 ... $i > 4$? S7 ... Maximum $irsol$ is determined and is set to $rsol$. S8 ... Acceleration operation condition of each axis is set on the basis of $rsol$. E ... end		

(57) 要約

ロボットのトルクを飽和させずに効率的に使用することが出来るロボットの加減速動作の設定方法。一つの動作区間内で最大トルクを要する位置で最大トルクが発生する条件を満たす位置を表わす移動比率 r を逐次近似で求める。先ず、第0次近似解（初期値）を $r_0 = 0$ とする。次いで、位置 r_0 において運動方程式を計算し、最大トルクが発生するように加速度を求める。そして、計算された加速度を用いた時にトルクが最大になる位置を求め r_{k+1} とする。計算された r_{k+1} と前回計算された r_k の差 $|r_{k+1} - r_k|$ を計算し、予め設定された微小値 ε を上回るか否かをチェックする。イエスであれば S3 へ戻る。ノーであれば、 $r_{sol} = r_{k+1}$ として記憶し、指標 i を1アップし、 k を $k = 0$ にクリアする。もし、全軸の計算未完了であれば、S1 へ戻る。全軸の計算完了であれば、S7 へ進む。S7 で、 r_{sol} の内、最大のものを r_{sol} とし、 r_{sol} に対応する加速度を全軸に関して求め、各軸における加速動作の条件を設定する。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願をパンフレット第一頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AL	アルバニア	DE	ドイツ	LI	リヒテンシュタイン	PL	ポーランド
AM	アルメニア	DK	デンマーク	LC	セントルシア	PT	ポルトガル
AT	オーストリア	EE	エストニア	LK	スリランカ	RO	ルーマニア
AU	オーストラリア	ES	スペイン	LR	リベリア	RU	ロシア連邦
AZ	アゼルバイジャン	FI	フィンランド	LS	レソト	SD	スーダン
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	FR	フランス	LT	リトアニア	SE	スウェーデン
BB	バルバドス	GA	ガボン	LU	ルクセンブルグ	SG	シンガポール
BE	ベルギー	GB	イギリス	LV	ラトヴィア	SI	スロヴェニア
BF	ブルキナ・ファソ	GE	グルジア	MC	モナコ	SK	スロヴァキア
BG	ブルガリア	GN	ギニア	MD	モルドヴァ共和国	SN	セネガル
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	MG	マダガスカル	SZ	スワジランド
BR	ブラジル	HU	ハンガリー	MK	マケドニア旧ユーゴスラ	TD	チャド
BY	ベラルーシ	IE	アイルランド		ヴァイア共和国	TG	トーゴ
CA	カナダ	IL	イスラエル	ML	マリ	TJ	タジキスタン
CF	中央アフリカ共和国	IS	アイスランド	MN	モンゴル	TM	トルクメニスタン
CG	コンゴ	IT	イタリア	MR	モーリタニア	TR	トルコ
CH	スイス	JP	日本	MW	マラウイ	TT	トリニダード・トバゴ
CI	コート・ジボアール	KE	ケニア	MX	メキシコ	UA	ウクライナ
CM	カメルーン	KG	キルギスタン	NE	ニジェール	UG	ウガンダ
CN	中国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NL	オランダ	US	アメリカ合衆国
CU	キューバ	KR	大韓民国	NO	ノルウェー	UZ	ウズベキスタン
CZ	チェッコ共和国	KZ	カザフスタン	NZ	ニュージーランド	VN	ヴィエトナム

明 細 書

ロボットの加減速動作の設定方法

技 術 分 野

本発明は産業用ロボットの加減速動作の設定方法に関
5 し、更に詳しく言えば、軌道計画時に、ロボットの動特性を考慮して最大加速度を定めるようにした加減速動作の設定方法に関する。

背 景 技 術

ロボットを効率良く動作させるためには、加速／減速
10 時に駆動トルクの最大値（最大トルク）を発生させるような加減速動作を実現させることが望ましい。しかし、ロボットはその構造上、動作時のイナーシャ変動や他の軸の動作によって生じる干渉トルクが大きく、動摩擦の影響も無視出来ないため、精度良く最大トルクを発生させるような加減速制御を行なうことは容易ではなかった。
15

即ち、従来より広く採用されている最大加速度制御の方法では、軌道計画時に加減速動作の最大加速度を決定するに際して、干渉トルクが考慮されていなかった。また、動摩擦の影響についてはこれを固定的な値で評価し、
20 その分だけモータの最大トルクを予め減じて設定しておくという方法がとられていた。

上記従来の方法では、干渉トルクが考慮されていないため、計算上では最大トルクを発生するように加減速制御の条件設定（最大加速度の算定とそれに基づく時定数の決定）を行なっても、実際の動作時に必要とするトル
25

クがモータが出力し得る最大トルクを超過したり、あるいは逆に、モータの最大トルクが発揮されなかったりすることが珍しくない。

前者のケース（トルク飽和）ではロボットが動作指令
5 に追従出来なくなるために軌跡精度が悪化し、後者のケースではロボットの性能が十分に発揮されず、作業効率が低下する。また、動摩擦の影響の考慮が一方的であるため、減速時に必要以上に小さなトルクが使用されるという問題点がある。

10 発 明 の 開 示

本発明は、干渉トルクと動摩擦の影響が適正に考慮されるロボットの加減速動作の設定方法を提供し、それによってロボットの軌跡精度と作業効率の向上を図るものである。

15 本発明では、軌道計画時に、加減速時にロボットの軸にかかるトルクが最大となる位置を逐次計算法を用いて推定し、それに基づいて加減速動作を設定する。また、更に加減速時に動摩擦の影響を逆符号方向に考慮することにより、ロボットの加減速動作時に、より高精度で最大
20 トルクを発揮させ得るようにしたものである。

本発明に従えば、軌道計画時に下記の3条件を考慮して、加減速動作の条件が設定される。

1) ロボットの目標軌道を実現するための各軸の拘束条件式。通常、これは直交座標系上におけるツール先端
25 点の位置及び姿勢とそれに対応する各軸値との変換関係

を規定するヤコビアンとして与えられる。

2) ロボットの運動方程式。これに基づいて干渉トルクが計算される。

3) ロボットの最大トルクに関する拘束条件式。動摩擦の影響を考慮する際には、この拘束条件式の中で動摩擦の影響を逆符号方向に評価する。

上記1)～3)を考慮し、次のような処理A～Fを加速動作と減速動作に関して実行することで、適正な加減速動作条件の設定が行なわれる。

10 A. 目標軌道上のある位置を設定し、上記ロボットの運動方程式に基づいて最大トルクを発生するような加速度を計算する。

15 B. 目標軌道上をその加速度で動作（加速動作または減速動作）した時、指令トルクが最大となる位置を計算する。

 C. 上記2)の運動方程式を用い、指令トルクが最大となる位置とその時の速度及び加速度からトルクを計算する。このトルクには干渉トルクが含まれる。

20 D. 計算されたトルクが上記3)の条件を実質的に満たしているか判断する。

 E. 満たしていない場合には、これを満たすように加速度値を更新した上で、上記Bの処理へ戻る。以下、上記B～Eの処理サイクルは、上記Dの処理で上記3)の条件が実質的に満たされたと判断されるまで繰り返される。

25

F. 上記 D の処理で上記 3) の条件が実質的に満たされたと判断されたならば、その時の加速度値を加減速動作の加速度として定め、これに基づいて加減速動作の設定を行なう。通常は、指令速度値を定められた加速度値
5 で除して加減速制御の時定数の設定が行なわれる。

本発明の方法では、ロボット制御装置内で軌道計画を立てる際に、ロボットの目標軌道を実現するための各軸の拘束条件式と、ロボットの運動方程式と、各軸の最大トルクに関する拘束条件を考慮して、逐次計算処理に基づいて加減速動作が設定される。通常、ロボットの目標軌道は動作プログラムデータに基づく補間計算で定められ、これを実現するための各軸の拘束条件式はヤコビアンで与えられる。ヤコビアンは、ロボットの構造を反映しており、個々の点においてヤコビアンの値の計算に必要なデータは、予めロボット制御装置に設定される。
10
15

ロボットの運動方程式に含まれる各種パラメータや各軸の最大トルクに関する拘束条件を規定するパラメータについても、同様に、予めロボット制御装置に設定される。

20 本発明で実行される逐次計算処理は、トルク飽和を起こさない範囲で最大加速度を近似的に求めるためのものである。このような最大加速度が定められれば、指令速度のデータと合わせて加減速動作の時定数が決定される。この時定数の下で計算された各軸に関する移動指令を各
25 軸のサーボ制御系へ出力すれば、加減速動作の中で最大

のトルクが必要とされる位置においても、トルク飽和は回避される。また、上記最大加速度は、ロボットの動特性を考慮に入れて求められたトルク飽和を起こさない臨界的な条件として計算される。従って、その大きさ（絶対値）が過小に算出され、動作時間が無用に長引くことも回避される。

動摩擦が各軸の出力トルクに与える影響は、加速動作と減速動作では向きが逆である。即ち、加速動作時には出力トルクを減殺する方向（加速を妨げる方向）に作用し、加速動作時には出力トルクを幫助する方向（減速を促進する方向）に作用する。本発明ではこの事実を勘案し、各軸の最大トルクに関する拘束条件の中で動摩擦の影響を加速動作と減速動作について逆符号方向に評価するようにした。これにより、加速動作時のトルク飽和と減速動作時の動作の遅延化がより確実に回避される。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の方法を適用する 4 軸水平多関節ロボットの軸構成を示した図、

図 2 は、ロボットの制御に用いられる一般的なシステムの概略構成の一例を示したブロック図、

図 3 は、本実施例で加減速動作設定の対象とされる位置決め移動区間について、加速度の微分値 j （上段）、加速度 a （中段）、速度 v （下段）の各プロファイルを共通の時間軸（横軸）を用いてチャート表示したもの、

図 4 は、始点から終点に至るまでの速度とトルクの関

係の推移を記すグラフ、

図 5 は、本発明を適用する 4 軸水平多関節ロボットの軸変数と構造パラメータを説明する図、

図 6 は、本実施例で実行される処理の概要を記したフローチャート、

図 7 a 及び図 7 b は夫々、従来方法及び本発明の方法によって図 1 に示した軸構成を有するロボットを動作させたときの結果を示すグラフ、

図 8 は、図 7 a 及び図 7 b のグラフで対象とされたロボット動作を表わす図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の方法を適用するロボットとして、ここでは図 1 に示したような 4 軸水平多関節ロボットを想定する。図 1 において、4 軸水平多関節ロボットは、ベース側から順に、第 1 軸 1 ～第 4 軸 4 を有している。第 1 軸 1 は鉛直方向の直動軸、第 2 軸 2、第 3 軸 3 は各々水平面内で動作するリンクを駆動する旋回軸である。第 4 軸 4 は水平面内でロボットの手先のエンドエフェクタ 5 を回転させる軸である。符号 6 はエンドエフェクタ 5 の先端位置に設定されたツール先端点を表わしている。なお、ここでは軸変数を J 1 ～ J 4 で表示した。

このような軸構成を有するロボットの場合、第 2 軸 2 ～第 4 軸 4 の干渉トルク、特に第 3 軸 3 から第 2 軸 2 への干渉トルクが大きい。そのため、従来方法で加減速動作の設定を行なうと、トルクの使用効率がかなり悪くな

り、それだけ動作時間が延びていた。

図 2 に、ロボットの制御に用いられる一般的なシステムの概略構成の一例をブロック図で示した。図 2 に記したように、制御システム全体はホスト CPU 11、サーボ CPU 13 と、各 CPU 間の指令、データ等を媒介する共有 RAM 12、並びにパルスコード 15 が付設されたモータ 14 で構成される。

次に、本発明の実施例における加減速動作の設定について、図 3 を参照図に加えて説明する。図 3 は、本実施例で加減速動作設定の対象とされる位置決め移動区間について、加速度の微分値 j （上段）、加速度 a （中段）、速度 v （下段）の各プロファイルを共通の時間軸（横軸）を用いてチャート表示したものである。本実施例では、次の仮定 I ～ 仮定 IV の下に動作設定が行われる。これら仮定を成立させるに必要な設定については、処理の実行に必要な他のパラメータの設定とともに完了済みとする。

仮定 I：加速及び減速の比率は一定とする。即ち、加々速度のプロファイルは図 3 の上段チャートに示したパターンで与えられ、 $t_1 : t_2 - t_1 : t_3 - t_2 = \text{一定}$ 、
且つ、 $t_4 - t_3 : t_5 - t_4 : t_6 - t_5 = \text{一定}$ 、であるものとする。この仮定の下で、加速度 a 、速度 v のプロファイルは、夫々図 3 の中段、下段チャートに示したパターンを持つことになる。但し、ロングモーションの移動時には、速度 v のプロファイルがピーク C の代わりにプラトー領域（指令速度を保つ領域）を持つようになる。

仮定Ⅱ：上記仮定Ⅰの下で、トルクが最大となる点は点 A（加速度が最高加速値から下がり始める点）とする。即ち、加速度最大の条件で、速度が最大となる点で最も大きなトルク出力が要求されると仮定する。これは、通常、減速機の動摩擦等の影響により、同一の加速度の下でも速度が大きい方が大きなトルクが要求されると仮定したことに相当する。この仮定を入れて、始点から終点に至るまでの速度とトルクの関係の推移を記すと、図 4 に示したようなループになる。ここで、符号 D はモータ単体の最大トルクの特性曲線（トルクカーブ）を表わしており、仮定Ⅱにより、点 A で上記ループと接している。

仮定Ⅲ：ロボットは各軸動作を行なうものとする。

仮定Ⅳ：ロボットは指令軌道上を移動する。これは、始点と終点を与えられれば、全移動量に対する比率 r を用いて全ての動作中の位置がシステムで計算されるということの意味する。即ち、始点の各軸位置を q_s 、終点の各軸位置を q_d とした時、動作中の任意の点の位置は、次式（1）で与えられる。

$$q = q_s + r(q_d - q_s) \quad \dots\dots (1)$$

一般に、ロボットを動作させるための処理の基本的な流れは次のようなものである。

i) 始点、終点の位置及び指令速度を決める処理。これは、プログラムデータに基づいてホスト CPU 11 が行なう処理である。

ii) 処理 i) で指定された動作に応じた加速度を決め

処理で、本発明の固有の技術思想が含まれる。この処理は、図 2 に示したシステムのホスト CPU 11 が司る。

iii) 動作を実行する処理。ホスト CPU 11 から共有 RAM 12 を介して各軸のサーボ CPU 13 に移動指令を渡し、これに基づいてモータ 14 を制御する処理である。パルスコード 15 の出力信号は、位置ループや速度ループのフィードバック信号の生成に用いられる。

上記 i) 及び iii) の処理については周知であるからここでは詳しい説明は省略し、本発明の固有の技術思想を含む上記 ii) の処理に関連した事項について述べる。本発明では、上記 ii) の加速度決定の過程でロボットの動特性を考慮することで、モータトルクが十分に出し切るような加減速の動作設定が行なわれる。以下、本実施例における加速度決定の過程について詳しく説明する。

15 [動特性を考慮して加速度を定める方法]

動作時のトルクに関連する条件は 2 つあり、ロボットの第 i 軸にかかるトルク τ_i 及び最大トルク $\tau_{\max i}$ に関する次式 (2) 及び (3) で表わされる。

$$\tau_i = M_i(q) \ddot{q} + h_i(q, \dot{q}) \quad \dots\dots (2)$$

$$20 \quad \tau_{\max i} = g_i(v_i) - \operatorname{sgn}(\dot{v}_i) \mu_i |v_i| \quad \dots\dots (3)$$

先ず、式 (2) はロボットの運動方程式から得られる条件式であり、一般のロボットの動特性がこの条件式によって記述される。ここで使用されている諸記号の定義並びに具体的な内容については、説明の便宜上、補足説明で後述する。

前記仮定Ⅱから、図3中で示した点Aに注目すると、式(2)は次式(4)で表わされる。

$$\tau_{i_a} = M_i(q_a) \ddot{q}_a + h_i(q_a, \dot{q}_a) \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 q_a は点Aに対応する位置である。指令速度
5 V_{cmd} は既知なので、仮定Ⅰ、Ⅱ及びⅢから、 $\dot{q}_a$ は次式
(5)で決定される(即ち、既知の一定値となる)。 t_1 、 t_2 は、図3に示した時間値である。また、 $\ddot{q}_a$ は、 q_a 及び $\dot{q}_a$ から次の式(6)で決定される。

$$10 \quad \dot{q}_a = V_{cmd} \left(1.0 - \frac{t_1}{2 t_2} \right) \quad \dots\dots (5)$$

$$\ddot{q}_a = \frac{\tau_{i_a} - h_i(q_a, \dot{q}_a)}{M_i(q_a)} \quad \dots\dots (6)$$

従って、この条件式は q_a のみに関する式となる。更に、前述の式(1)の関係から、始点 q_s から点Aに対応する位置までの全移動量に対する比率を r_a として、
15 $q_a = q_s + r_a (q_d - q_s)$ $\dots\dots (7)$
となる。以上のことから、条件式(4)は移動比率 r_a のみに関する式と見て次式(8)で表わすことが出来る。

$$20 \quad \tau_{i_a} = f_i(r_a) \quad \dots\dots (8)$$

次に2つ目の条件式(3)に注目すると、この式はモータの速度・トルクカーブ及び動摩擦項からなる式である。第1項目の $g_i(v_i)$ はモータ単体の最大トルクの特性曲線を表わす関数で、図4に示した符号Dに対応するものである。 v_i はモータ速度で、 $\dot{q}_i$ を減速比で除し
25

たものである。

そして、第 2 項目の $\text{sgn}(\dot{v}_i) \mu_i |v_i|$ は動摩擦を表
 わす項である。 $\text{sgn}(\dot{v}_i)$ は、摩擦のかかる方向を規定し、
 $\mu_i |v_i|$ は摩擦の大きさを規定する。 μ_i は第 i 軸の
 5 動摩擦係数であり、 $|v_i|$ はモータ速度の絶対値であ
 る。この項は、モータの加速を妨げ、減速を助けるよう
 に働く。条件式 (3) の場合と同様に、仮定 II から、図
 3 中で示した点 A に注目すると、次式 (9) が得られる。

$$\tau_{\max i, a} = g(v_{i, a}) - \text{sgn}(\dot{v}_{i, a}) \mu_i |v_{i, a}| \quad \dots\dots (9)$$

ここで、 $\tau_{\max i, a}$ は点 A における最大トルクであり、
 $v_{i, a}$ は点 A におけるモータ速度である。 $\dot{q}_a$ と同様に、
 $\dot{v}_{i, a}$ は既知の一定値となる。

以上のことから、次式 (10) を満たす移動比率 r_a
 15 を求めれば良いことが判る (図 4 に示したように、最大
 トルクが要求される点 A でモータの能力一杯のトルクが
 発揮される)。

$$\tau_{i, a} - \tau_{\max i, a} \equiv f_i'(r_a) = 0 \quad \dots\dots (10)$$

[式 (10) を満たす r_a を求める計算処理]

20 式 (10) を満たす $r_a = r_{\text{sol}}$ を求める為に、下記の
 手順からなる近似計算処理を実行する。図 5 のフローチ
 ャートはこれをまとめたものである。なお、指標 i で代
 表される第 i 軸についての r_{sol} の第 k 近似 ($k = 0, 1,$
 $2, \dots$) を r_k で表わす (k の初期値は $k = 0$; 指
 25 標 i の初期値は $i = 1$ 、図 1 に示したロボットでは最大

値 $i = 4$ である)。

ステップ S 1 ; 第 0 次近似解 (初期値) を $i r_0 = 0$ とする (但し、他の値の設定も可)。

ステップ S 2 ; 位置 $i r_0$ において運動方程式を計算し、
5 最大トルクを発生するように加速度を求める。計算式は次式 (11) で与えられる。

$$\ddot{q}_1 = \frac{\tau_{imax} - h(q_0, \dot{q}_a)}{M(q_0)} \quad \dots\dots (11)$$

ステップ S 3 ; 計算された加速度を用いた時にトルク
10 が最大になる位置を求め、 $i r_{k+1}$ とする。理論上の計算式は次式 (12) で与えられるが、実際の計算処理は差分を用いた式 (13) で表わされる。

$$i r_{k+1} = i r_k - \left\{ \frac{\partial f'(i r_k)}{\partial r} \right\}^{-1} f'(i r_k) \quad \dots\dots (12)$$

$$15 \quad i r_{k+1} = i r_k - \frac{i r_k - i r_{k-1}}{f'(i r_k) - f'(i r_{k-1})} f'(i r_k) \quad \dots\dots (13)$$

ステップ S 4 ; 計算された $i r_{k+1}$ と前回計算された $i r_k$ の差 $|i r_{k+1} - i r_k|$ を計算し、予め設定された微小値 ε (例えば、 $\varepsilon = 0.01$; 全移動距離の 1 % の誤差) を上回るか否かをチェックする。イエスであればステップ S 3 へ戻る。ノーであれば、 $i r_{sol} = i r_{k+1}$ として記憶し、ステップ S 5 へ進む。

ステップ S 5 ; 指標 i を 1 アップし、 k を $k = 0$ にクリアする。
25

ステップ S 6 ; 全軸の計算未完了であれば、ステップ S 1 へ戻る。全軸の計算完了であれば、ステップ S 7 へ進む。

5 ステップ S 7 ; i r sol ($i = 1, 2, 3, 4$) の内、最大のものを r sol として記憶する。

10 ステップ S 8 ; r sol に対応する加速度を全軸に関して求め、各軸における加速動作の条件を設定する（加速制御の時定数を設定する）。以上の処理により、各軸について、図 4 における点 A の時間軸上の位置、加速度プロファイル（中段のチャート）における最大加速度（点 A の縦軸上の位置）が決定されたことになる。また、以上の説明で点 A の代わりに点 B を考え、同様の処理を行なえば減速動作について、各軸における加速動作の条件が設定出来る。その際、最大トルクに関する条件式（3）
15 の定め方により、動摩擦の影響が加速の時とは逆方向に評価され、加速度の絶対値が従来に比して大きめに設定されることになる。

20 本発明の方法を図 1 に示した軸構成を有する実際のロボットに適用した結果について従来方法による結果と対比して図 7 a 及び図 7 b のグラフを参照して説明する。各グラフには、第 2 軸と第 3 軸（干渉トルクが問題となる軸）について発生トルクが示されている。対象としたロボット動作は図 8 に示されているようなものである。なお、両グラフにおいて、横軸は時間を表わしている。
25 第 2 軸の最大トルクは $\pm \text{maxtrq2}$ で示されている。

今、第 2 軸に注目すると、この動作においては、第 3 軸や第 4 軸（特に第 3 軸）の動作による干渉トルクが第 2 軸に大きくかかる為、従来方法では、符号 E で示したように、トルクの飽和が観測される。

- 5 また、従来方法は動摩擦を考慮していない為、符号 F で示したように、減速時のトルクが加速時に比して小さくなっている。これに対して本発明の方法では、干渉トルクが考慮されている為、従来方法に比べて加速時のトルクはやや抑えられており、符号 G で示したように、トルクの飽和が回避される。そして、本発明の方法では、
10 動摩擦が考慮されている為、符号 H で示したように、減速時のトルクも有効に使用されている。

この結果、本発明の方法を適用した場合、加速時の最大トルクと減速時の最大トルクがほぼ同じとなり、加減速について均整のとれたトルクが発生していると言うことが出来る。この時、全体の動作時間は従来に比して遅延することではなく、むしろ短縮される傾向にある。このように、本発明の方法では加減速動作全体について無理なく、効率的なトルク使用が実現される。

20 [運動方程式に関する補足説明]

本実施例における対象ロボットである図 1 に示した 4 軸水平多関節ロボットの第 2 軸～第 4 軸の運動方程式は、次式 (14) ～ (19) で与えられる。また、各係数は、式 (20) ～ (40) で与えられる。

25
$$\tau_2 = a_{22} \ddot{q}_2 + a_{23} \ddot{q}_3 + a_{24} \ddot{q}_4 - b_{233} \dot{q}_3^2 - b_{244}$$

$$\begin{aligned} & \dot{q}_4^2 - b_{223} \dot{q}_2 \dot{q}_3 - b_{234} \dot{q}_3 \dot{q}_4 - b_{242} \dot{q}_4 \dot{q}_2 \\ & \dots\dots (14) \end{aligned}$$

$$\equiv M_2(q) \ddot{q} + h_2(q, \dot{q}) \dots\dots (15)$$

$$\begin{aligned} \tau_3 &= a_{32} \ddot{q}_2 + a_{33} \ddot{q}_3 + a_{34} \ddot{q}_4 - b_{322} \dot{q}_2^2 - b_{344} \\ 5 \quad & \dot{q}_4^2 - b_{334} \dot{q}_3 \dot{q}_4 - b_{342} \dot{q}_4 \dot{q}_2 \\ & \dots\dots (16) \end{aligned}$$

$$\equiv M_3(q) \ddot{q} + h_3(q, \dot{q}) \dots\dots (17)$$

$$\begin{aligned} \tau_4 &= a_{42} \ddot{q}_2 + a_{43} \ddot{q}_3 + a_{44} \ddot{q}_4 - b_{422} \dot{q}_2^2 - b_{433} \\ & \dot{q}_3^2 - b_{423} \dot{q}_2 \dot{q}_3 \dots\dots (18) \end{aligned}$$

$$10 \quad \equiv M_4(q) \ddot{q} + h_4(q, \dot{q}) \dots\dots (19)$$

$$\begin{aligned} a_{22} &= m_2 + m_3 (\ell_2^2 + \ell_{3g}^2 + 2\ell_2 \ell_{3g} C_3) + W (\ell_2^2 + \ell_3^2 \\ & + \ell_4^2 + 2\ell_2 \ell_3 C_3 + 2\ell_3 \ell_4 C_4 + 2\ell_4 \ell_2 C_{34} + I_2) \\ & \dots\dots (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{23} &= m_3 (\ell_{3g}^2 + \ell_1 \ell_{2g} C_2) + W (\ell_3^2 + \ell_4^2 + \ell_2 \ell_3 C_3 + \\ 15 \quad & 2\ell_3 \ell_4 C_4 + \ell_4 \ell_2 C_{34} + I_3) \dots\dots (21) \end{aligned}$$

$$a_{24} = W (\ell_4^2 + \ell_3 \ell_4 C_4 + \ell_4 \ell_2 C_{34} + I_4) \dots\dots (22)$$

$$\begin{aligned} b_{233} &= m_3 \ell_2 \ell_{3g} S_3 + W (\ell_2 \ell_3 S_3 + \ell_4 \ell_2 S_{34}) \\ & \dots\dots (23) \end{aligned}$$

$$b_{244} = W (\ell_3 \ell_4 S_4 + \ell_4 \ell_2 S_{34}) \dots\dots (24)$$

$$\begin{aligned} 20 \quad b_{223} &= 2(m_2 \ell_1 \ell_{2g} S_2 + W (\ell_2 \ell_3 S_3 + \ell_4 \ell_2 S_{34})) \\ & \dots\dots (25) \end{aligned}$$

$$b_{234} = 2W (\ell_3 \ell_4 S_4 + \ell_4 \ell_2 S_{34}) \dots\dots (26)$$

$$b_{242} = b_{234} \dots\dots (27)$$

$$a_{32} = a_{23} \dots\dots (28)$$

$$25 \quad a_{33} = m_3 \ell_{3g}^2 + W (\ell_3^2 + \ell_4^2 + 2\ell_3 \ell_4 C_4) + I_3$$

$$\dots\dots (29)$$

$$a_{34} = W(\ell_4^2 + \ell_3 \ell_4 C_4) + I_4 \dots\dots (30)$$

$$b_{322} = m_3 \ell_2 \ell_{3g} S_3 + W(\ell_2 \ell_3 S_3 + \ell_4 \ell_2 S_{34}) \dots\dots (31)$$

$$5 \quad b_{344} = W \ell_3 \ell_4 S_4 \dots\dots (32)$$

$$b_{334} = 2 b_{344} \dots\dots (33)$$

$$b_{342} = b_{334} \dots\dots (34)$$

$$a_{42} = W(\ell_4^2 + \ell_3 \ell_4 C_4 + \ell_4 \ell_2 C_{34} + I_2) \dots\dots (35)$$

$$a_{43} = W(\ell_4^2 + \ell_3 \ell_4 C_4 + I_3) \dots\dots (36)$$

$$10 \quad a_{44} = W \ell_4^2 \dots\dots (37)$$

$$b_{422} = W(\ell_3 \ell_4 S_4 + \ell_4 \ell_2 S_{34}) \dots\dots (38)$$

$$b_{433} = W \ell_3 \ell_4 S_4 \dots\dots (39)$$

$$b_{423} = 2 b_{433} \dots\dots (40)$$

ここで、 $\tau_2 \sim \tau_4$ は各々第2軸～第4軸にかかるトルクを表わしている。また、 C_i 、 S_i 、 C_{i+j} 、 S_{i+j} は、各々 $\cos(q_i)$ 、 $\sin(q_i)$ 、 $\cos(q_{i+j})$ 、 $\sin(q_{i+j})$ を表わしている。軸変数と構造パラメータのとり方は、図5に示した通りである。即ち、 m_i は第*i*リンクの質量、 ℓ_i は第*i*リンクのリンク長、 ℓ_{ig} は第*i*軸の回転中心軸から第*i*リンクの重心位置までの距離、 I_i は第*i*リンクの第*i*軸の回転中心軸周りのイナーシャを各々表わす。更に、 W はロボットに支持されたエンドエフェクタの質量である。これらの運動方程式を用いることにより、各軸の位置、速度、加速度が決められた時の各軸のトルクを計算することが出来る。

上記図 7 に示した結果からも判るように、本発明によれば、干渉トルクと動摩擦の影響が適正に考慮されるロボットの加減速動作の設定方法が提供される。また、それによってロボットの軌跡精度と作業効率の向上が図られる。

5

請 求 の 範 囲

1. ロボットの制御装置内で軌道計画を立てる際にロボットの目標軌道を実現するための各軸の拘束条件と、ロボットの運動方程式と、各軸の最大トルクに関する拘束条件を考慮した逐次計算処理に基づいて加減速動作を設定するようにした、ロボットの加減速動作の設定方法であって、前記逐次計算処理が、
- (a) 目標軌道上のある位置を設定し、前記ロボットの運動方程式に基づいて最大トルクを発生するような加速度を計算するステップと、
- (b) 目標軌道上をその加速度で動作した時、指令トルクが最大となる位置を計算するステップと、
- (c) 前記運動方程式を用い、指令トルクが最大となる位置とその時の速度及び加速度から干渉トルクを含むトルクを計算するステップと、
- (d) 計算されたトルクが各軸の最大トルクに関する前記拘束条件を実質的に満たしているか否かを判断するステップと、
- (e) 前記ステップ(d)で前記拘束条件が実質的に満たされていないと判断された場合に、これを満たすように加速度値を更新して前記ステップ(b)へ戻るステップと、
- (f) 前記ステップ(d)で前記拘束条件が実質的に満たされていると判断された場合に、その時の加速度値を加減速動作の加速度として定め、これに基づいて加減

速動作の設定を行なうステップとを含み、

前記ステップ (b) ~ (e) は、前記ステップ (d) で前記拘束条件が実質的に満たされていると判断されるまで繰り返し実行される、前記ロボットの加減速動作の

5 設定方法。

2. 前記各軸の最大トルクに関する拘束条件が、加速動作と減速動作について逆符号方向に動摩擦の影響を評価する条件を含んでいる、請求の範囲第1項に記載されたロボットの加減速動作の設定方法。

1/6

FIG. 1

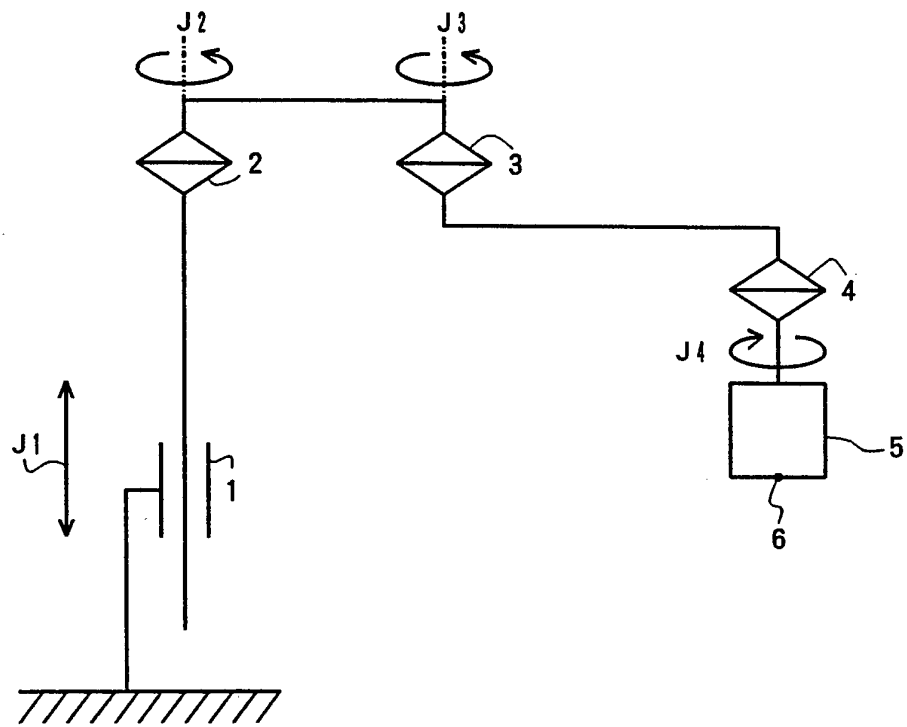
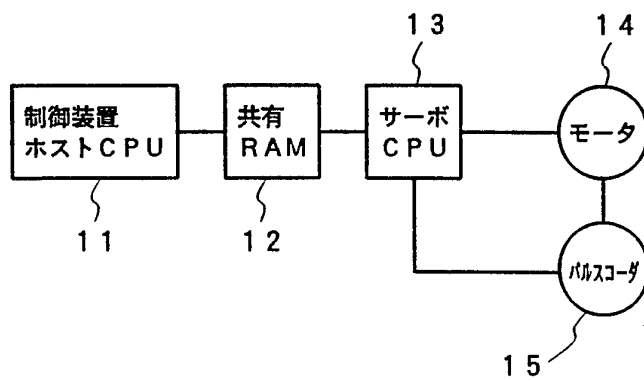
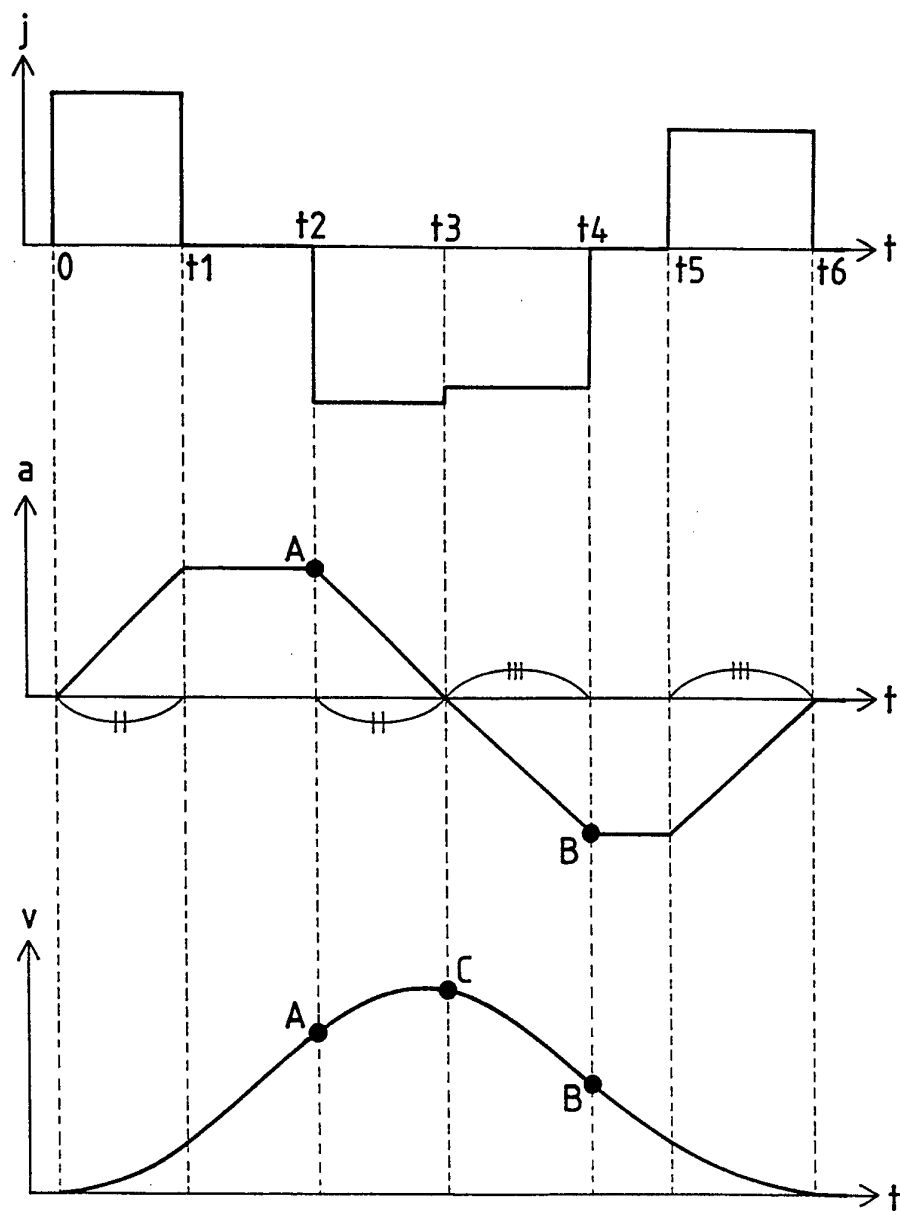


FIG. 2



2/6

FIG. 3



3/6

FIG. 4

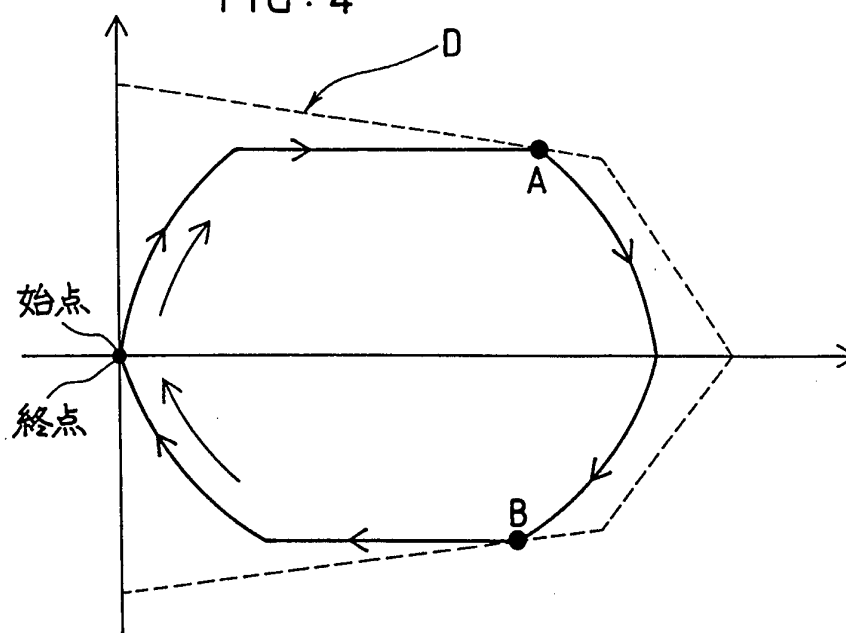
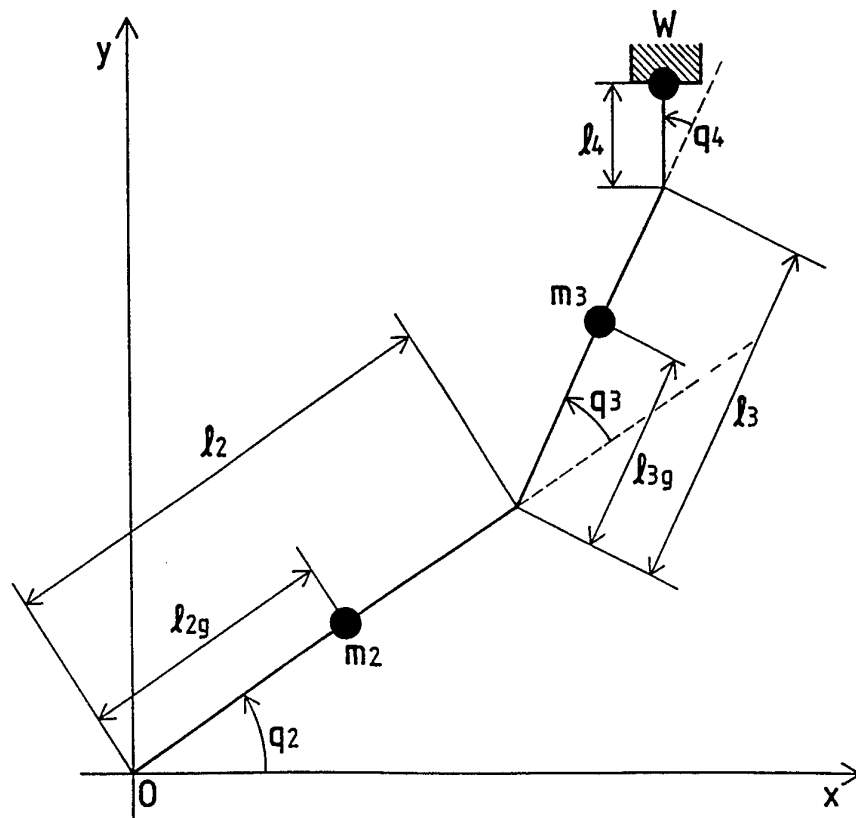
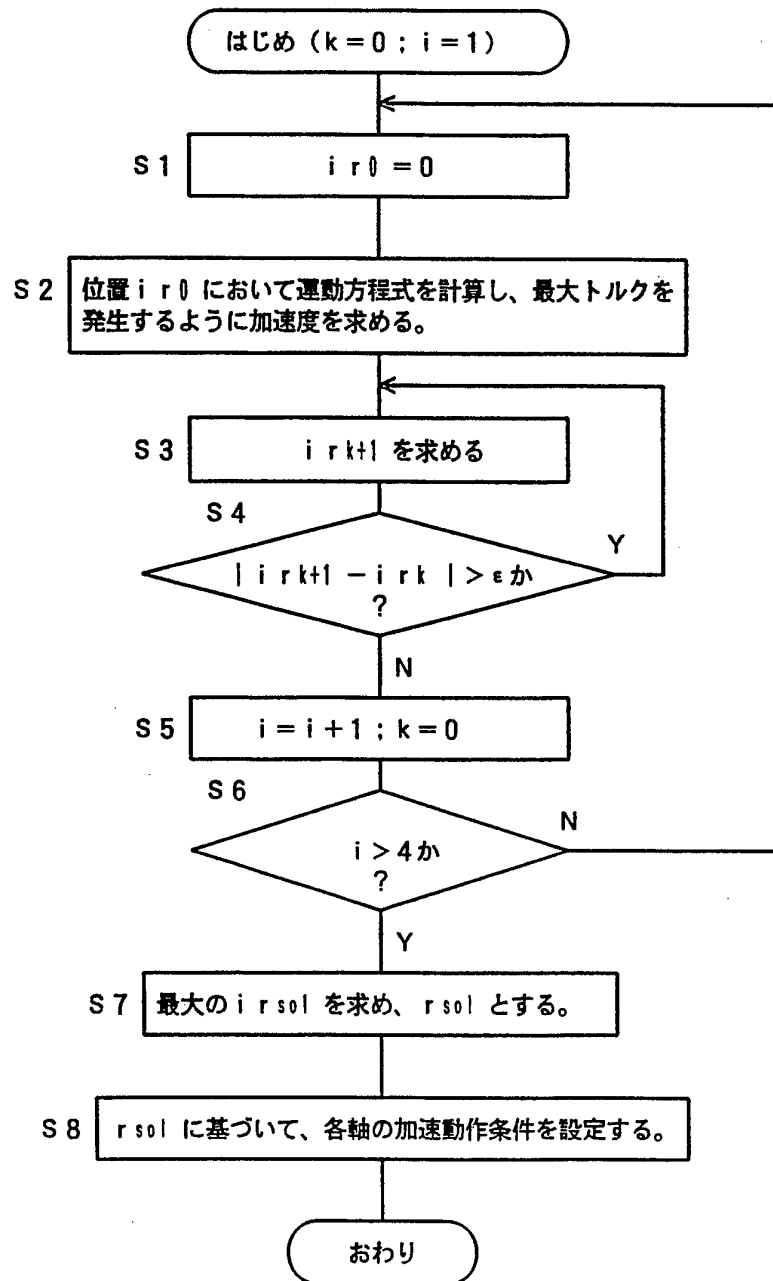


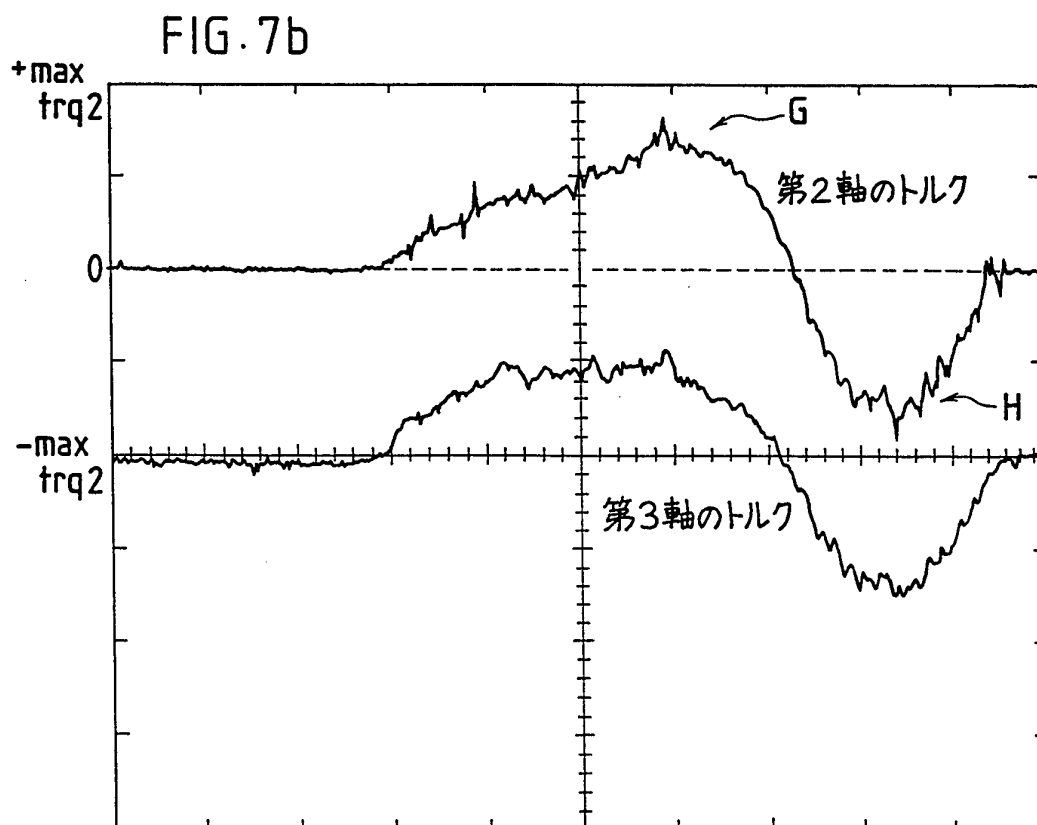
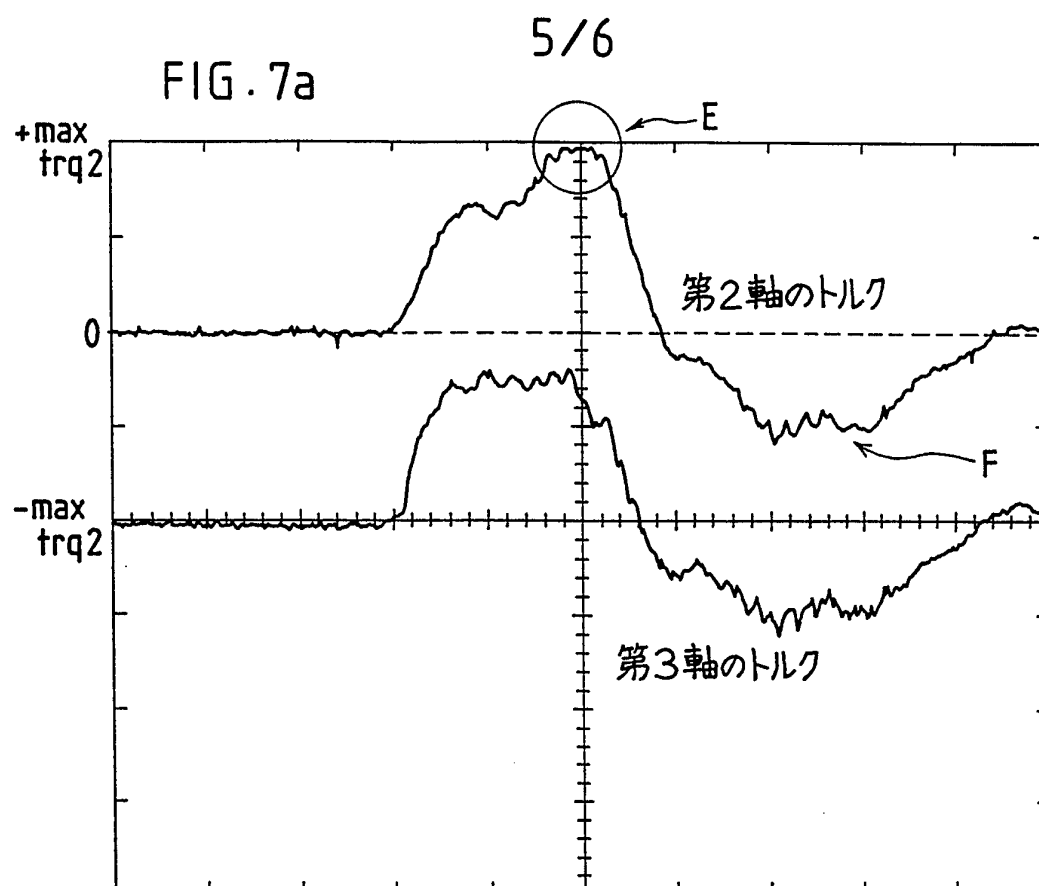
FIG. 5



4/6

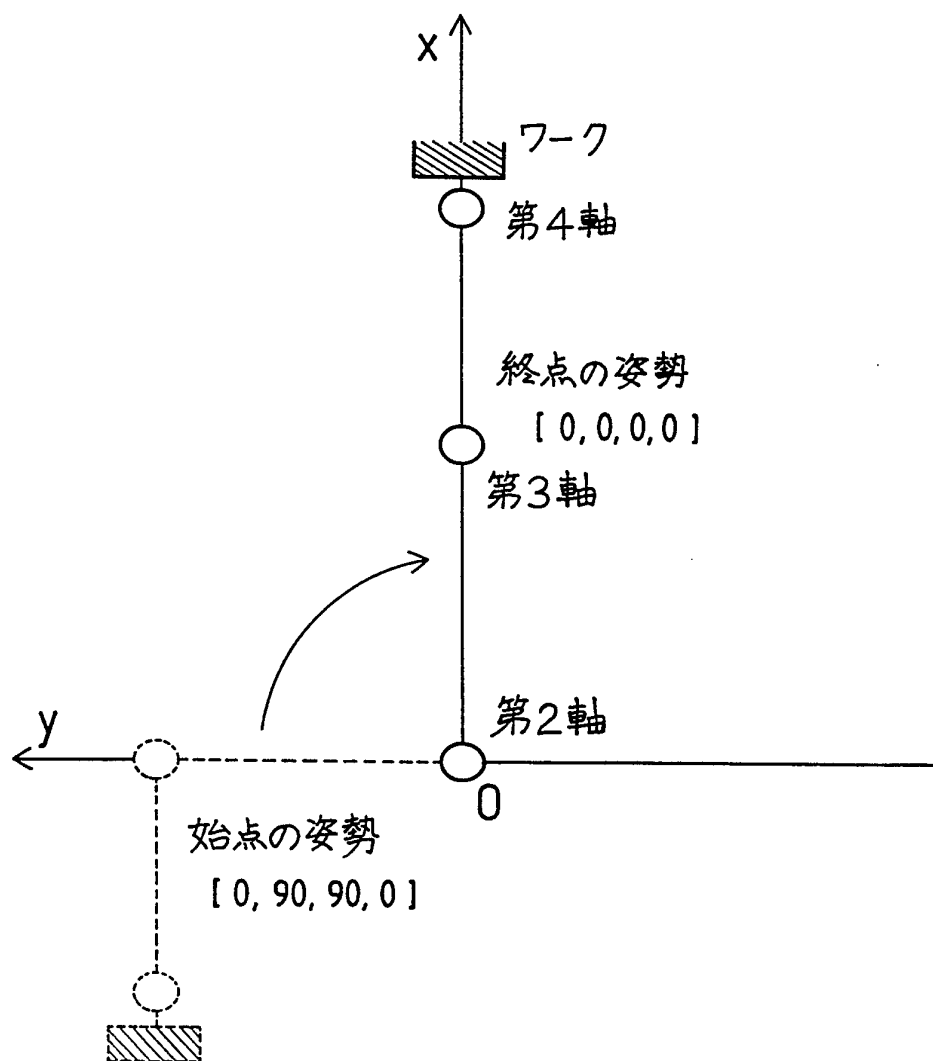
FIG. 6





6/6

FIG. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP96/01819

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl⁶ G05B19/416, G05B19/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl⁶ G05B19/416, G05B19/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1965 - 1996

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1996

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PY	JP, 7-200033, A (Mitsubishi Electric Corp.), August 4, 1995 (04. 08. 95), Page 4, right column, line 21 to page 5, left column, line 18 (Family: none)	1, 2
Y	JP, 4-30203, A (Fanuc Ltd.), February 3, 1992 (03. 02. 92), Page 2, upper right column, line 11 to lower left column, line 1 & WO, A1, 9118717 & US, A, 5325467	2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

September 25, 1996 (25. 09. 96)

Date of mailing of the international search report

October 8, 1996 (08. 10. 96)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. ⁶ G 05 B 19/416 G 05 B 19/18		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. ⁶ G 05 B 19/416 G 05 B 19/18		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1965-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-1996年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PY	J P、7-200033、A、三菱電機株式会社、 4. 8月. 1995 (04. 08. 1995)、 第4頁右欄第21行-第5頁左欄第18行 (ファミリーなし)	1、2
Y	J P、4-30203、A、ファナック株式会社、 3. 2月. 1992 (03. 02. 92)、 第2頁右上欄第11行-左下欄第1行&WO、A1、9118717 &US、A、5325467	2
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 25. 09. 96	国際調査報告の発送日 08.10.96	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 牧 初 電話番号 03-3581-1101 内線 3316	3H 9064 印