

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3830475号

(P3830475)

(45) 発行日 平成18年10月4日(2006.10.4)

(24) 登録日 平成18年7月21日(2006.7.21)

(51) Int. Cl.	F I	
G05B 19/4103 (2006.01)	G O 5 B 19/4103	Q
B23Q 15/00 (2006.01)	B 2 3 Q 15/00	K
G05B 19/18 (2006.01)	G O 5 B 19/18	C
G05B 19/4093 (2006.01)	G O 5 B 19/4093	P
G05B 19/416 (2006.01)	G O 5 B 19/416	W

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2003-286692 (P2003-286692)	(73) 特許権者	390008235
(22) 出願日	平成15年8月5日(2003.8.5)		ファナック株式会社
(65) 公開番号	特開2005-56171 (P2005-56171A)		山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
(43) 公開日	平成17年3月3日(2005.3.3)		〇番地
審査請求日	平成15年9月16日(2003.9.16)	(74) 代理人	100082304
			弁理士 竹本 松司
		(74) 代理人	100088351
			弁理士 杉山 秀雄
		(74) 代理人	100093425
			弁理士 湯田 浩一
		(74) 代理人	100102495
			弁理士 魚住 高博
		(72) 発明者	大槻 俊明
			山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
			〇番地 ファナック株式会社 内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

各駆動軸がサーボモータで駆動され、少なくとも1以上の駆動軸が直交座標系の軸方向に移動しないメカニズムを持つ加工機を制御するために、プログラムの指令に基づいて動作経路に関する補間処理を行い、該補間処理の出力に応じて前記各駆動軸の移動指令を出力する制御装置において、

指令プログラムを解析し、第1補間手段のためのデータに変更する指令解析部と、前記変更されたデータに基づいて、第1のサンプリング周期毎に、動作経路上の点の位置を、直交座標系上のデータとして出力する第1補間手段と、前記直交座標系上のデータとして出力された動作経路上の点の位置を前記各駆動軸の位置に変換する変換部と、

前記変換された各駆動軸の位置と各駆動軸毎に設定された最大許容加速度とにもとづき、前記第1補間手段で求められた位置間の各セグメントの接線方向加速度を求める接線方向加速度計算部と、

前記変換された前記各駆動軸の位置を一時的に記憶するメモリと、前記変換された各駆動軸の位置と前記最大許容加速度とに基づいて、前記各セグメント終点での制限速度を求める制限速度計算部と、

前記接線方向加速度と前記制限速度に基づいて前記各セグメント終点での減速目標速度を求める減速目標速度計算部と、

前記減速目標速度に基づいて、各駆動軸の合成接線方向速度に対して加減速制御を行い、

10

20

第 2 のサンプリング周期毎の接線方向移動量を求める加減速制御手段と、
該加減速制御手段で求めた接線方向移動量と前記メモリに記憶された前記各駆動軸の位置
に基づいて、前記第 2 のサンプリング周期毎に補間位置を求める第 2 補間手段とを備えた
制御装置。

【請求項 2】

前記制限速度は、各駆動軸の移動において各駆動軸の速度、加速度、および加速度の時
間微分である加加速度の各最大許容値の内の少なくとも 1 以上の最大許容値を越えないよ
うな各駆動軸の合成接線方向速度である請求項 1 に記載された制御装置。

【請求項 3】

前記第 2 補間手段は、滑らかな曲線を生成して該滑らかな曲線上の位置を出力する請求 10
項 1 又は請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記滑らかな曲線は n 次の多項式で定義した請求項 3 に記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、加工機等を制御する制御装置に関し、パラレルメカニズム機など、少なくと
も 1 以上の駆動軸が直交座標系の軸方向に移動しないメカニズムを持つ加工機等を制御す
るのに適した制御装置に関する。

【背景技術】

20

【0002】

パラレルメカニズム工作機械等の直交座標系の軸方向に移動しない駆動軸を備えた機械
を制御する数値制御装置等の制御装置では、直交座標系で与えられた指令に基づいて、各
駆動軸の指令へ変換して各駆動軸を駆動し、工具等を取り付ける可動部材の位置と姿勢を
制御する。

例えば、図 8 に示すパラレルメカニズム工作機械の場合、駆動軸 $U_1 \sim U_6$ は $X - Y - Z$ の直交座標系の軸方向には移動しない。このパラレルメカニズム工作機械は、固定部材
20 に 6 個の支点 21 ~ 26 が設けられ、該支点 21 ~ 26 と可動部材 30 に設けられた
6 個の支点 31 ~ 36 とがそれぞれ駆動軸 $U_1 \sim U_6$ で接続され、駆動軸 $U_1 \sim U_6$ 内に
存在するサーボモータ等の駆動装置により支点間の距離を任意に伸縮することによって、
可動部材 30 の位置と姿勢を制御し、該可動部材 30 内に設けられた主軸に取り付けられ
た工具 40 の位置姿勢を制御するものである。

30

【0003】

可動部材 30 (工具 40) の所望の位置と姿勢に対応する可動部材 30 の各支点 31 ~
36 の座標を求めれば、固定部材 20 の各支点 21 ~ 26 の座標は固定なので、可動部材
30 の各支点 31 ~ 36 の座標から各駆動軸 $U_1 \sim U_6$ の長さを求めることができる。よ
って、各駆動軸 $U_1 \sim U_6$ の長さが求めた長さになるようにサーボモータ等の駆動装置を
駆動制御することにより、可動部材 30 及び工具 40 を所望の位置と姿勢に移動させ、加
工を行わせることができる。

【0004】

40

このようなパラレルメカニズム工作機械を数値制御装置等の制御装置で制御する場合、
直交座標系での指令 (工具位置の指令) に基づいて、各駆動軸 $U_1 \sim U_6$ の伸縮量に変換
して可動部材 30 及び工具 40 の位置姿勢を制御している。

例えば、プログラム指令より、関数発生部で、直交座標系の X 軸、 Y 軸、 Z 軸と X 軸回
りの回転軸 A 、 Y 軸回りの回転軸 B 、 Z 軸回りの回転軸 C の各補間座標値を求め加減速処
理を行い、逆機構変換部で加減速処理後の直交座標系上の座標値 (X' 、 Y' 、 Z' 、 A'
、 B' 、 C') から各駆動軸 $U_1 \sim U_6$ の長さを求め各駆動軸 $U_1 \sim U_6$ の駆動装置を
駆動するようにした数値制御装置が知られている (特許文献 1 参照) 。

【0005】

また、直交座標系上の指令から、各駆動軸 $U_1 \sim U_6$ の移動の指令に変換することから

50

、可動部材 30 (工具 40) の移動方向、移動速度によって、駆動軸 U1 ~ U6 の移動速度 (長さの変化速度) がその駆動軸の最大許容速度を越える場合が生じる。そのため、各駆動軸の許容速度を越えないような直交座標系上での速度を制限してその速度を求めて直交座標系上で補間し、その後逆機構変換部で各駆動軸 U1 ~ U6 の移動指令を求めるようにしたものも知られている (特許文献 2 参照)。

【 0006 】

又、パラレルメカニズム工作機械を制御する数値制御装置ではないが、プログラムで指令された指令を 2 段に分けて補間する方法も知られている。プログラムで指令された動作経路を第 1 のサンプリング周期で補間し補間点を求め、該補間点間を第 1 のサンプリング周期よりも短い第 2 のサンプリング周期で補間し、各駆動軸を駆動制御するようにし、この場合、第 1 の補間点の近傍で各軸の速度が急変することから、第 2 の補間を滑らかな曲線で補間し、かつ、第 1 の補間後に加減速制御して第 2 の補間を実行して、速度変化を滑らかにした発明も知られている (特許文献 3 , 4 参照)。

10

【 0007 】

【特許文献 1】特開 2001 - 34314 号公報

【特許文献 2】特開 2001 - 92508 号公報

【特許文献 3】特開平 11 - 149306 号公報

【特許文献 4】特許第 3034843 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【 0008 】

プログラム等からの指令に対して、各軸への補間後に加減速処理を行うと加減速の遅れに伴う経路誤差が発生し、これを避けることができない。特許文献 1 に記載された発明では、関数発生の後、すなわち補間後の直交座標系上の各軸指令に対して加減速を行ったあとに逆機構変換を行って、各駆動軸を駆動している。このように補間後加減速を行っていたため、加減速を行うことによる誤差が避けられない。

【 0009 】

また、特許文献 2 に記載された発明では、パラレルメカニズム工作機械の各駆動軸の許容速度を越えないように直交座標系上における送り速度を制御して、各駆動軸の許容加速度を越えないように制御しているが、加速度や加速度の時間微分である加加速度の許容値を越えないように速度を制御できない。また、煩雑な制御を行う必要があり、実行する数値制御装置のプロセッサに大きな能力を必要とする。

30

そこで、本発明は上記課題を解決し、加減速を行うことによる誤差をなくすとともに、各駆動軸の、最大許容速度、最大許容加速度、加速度の時間微分である加加速度の最大許容値を越えないように速度を制御できる制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0010 】

各駆動軸がサーボモータで駆動され、少なくとも 1 以上の駆動軸が直交座標系の軸方向に移動しないメカニズムを持つ加工機を制御するために、プログラムの指令に基づいて動作経路に関する補間処理を行い、該補間処理の出力に応じて前記各駆動軸の移動指令を出力する制御装置において、請求項 1 に係わる発明は、指令プログラムを解析し、第 1 補間手段のためのデータに変更する指令解析部と、前記変更されたデータに基づいて、第 1 のサンプリング周期毎に、動作経路上の点の位置を、直交座標系上のデータとして出力する第 1 補間手段と、前記直交座標系上のデータとして出力された動作経路上の点の位置を前記各駆動軸の位置に変換する変換部と、前記変換された各駆動軸の位置と各駆動軸毎に設定された最大許容加速度とにもとづき、前記第 1 補間手段で求められた位置間の各セグメントの接線方向加速度を求める接線方向加速度計算部と、前記変換された前記各駆動軸の位置を一時的に記憶するメモリと、前記変換された各駆動軸の位置と前記最大許容加速度とに基づいて各セグメント終点での制限速度を求める制限速度計算部と、前記接線方向加速度と前記制限速度に基づいて各セグメント終点での減速目標速度を求める減速目標速度

40

50

計算部と、前記減速目標速度に基づいて、各駆動軸の合成接線方向速度に対して加減速制御を行い、第2のサンプリング周期毎の接線方向移動量を求める加減速制御手段と、該加減速制御手段で求めた接線方向移動量と前記メモリに記憶された前記各駆動軸の位置に基づいて、前記第2のサンプリング周期毎に補間位置を求める第2補間手段とを設け、一部の駆動軸が直交座標系にない機械をも制御できるようにした。

【0011】

又、請求項2に係わる発明は、前記制限速度を、各駆動軸の移動において各駆動軸の速度、加速度、および加速度の時間微分である加加速度の各最大許容値の内の少なくとも1以上の最大許容値を越えないような各駆動軸の合成接線方向速度とした。さらに、請求項3に係わる発明は、前記第2補間手段を、滑らかな曲線を生成して該滑らかな曲線上の位置を出力するものとした。特に、請求項4に係わる発明は、この滑らかな曲線は n 次の多項式で表される曲線とした。

10

【発明の効果】

【0012】

本発明は、駆動軸が直交座標系にないメカニズムを持つ機械において、従来技術よりもより小さなCPU能力で、各駆動軸の速度、加速度、加加速度の最大許容値を越えないように、かつ加減速による誤差が発生しないように制御できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

図1は、本発明の一実施形態の制御装置を構成する数値制御装置の概要ブロック図である。数値制御装置のハードウェア構成は、従来の数値制御装置の構成と差異はないので、概略的に図示している。この実施形態では、図8に示したパラレルメカニズム工作機械をこの数値制御装置で制御するものとして以下説明する。

20

数値制御装置1は、プログラム等で指令された移動指令に基づき、各軸へ各移動指令を補間分配する数値制御部2と、該数値制御部2からの移動指令を受けて各駆動軸の位置、速度、電流のフィードバック制御等のサーボ制御を行う各軸制御部3を有し、各軸制御部3は、各軸のサーボアンプA1～A6を介して各駆動軸U1～U6を駆動するサーボモータM1～M6を駆動する。なお、主軸モータも数値制御部が主軸モータ制御部を介して制御するが、図1では省略している。

【0014】

数値制御装置1のハードウェア構成は従来の数値制御装置における6軸制御の構成と同一であり、数値制御装置内部のソフトウェア処理により行う本発明特有の機能処理について説明する。本実施形態では、ソフトウェアの面から見たブロック構成から見ると、図2のように表わすことができる。

30

【0015】

この実施形態では、指令プログラムは通常の加工機と同様に直交座標系上の基本3軸X、Y、Zの位置 (x, y, z) とX、Y、Z軸に対するそれぞれの回りの回転軸3軸A、B、Cの位置 (a, b, c) で指令される。そして数値制御装置内で、パラレルメカニズム工作機械の各駆動軸U1、U2、U3、U4、U5、U6の6軸の位置 $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6$ に変換されて各駆動軸U1～U6のサーボモータM1～M6が駆動される。

40

【0016】

図2において、指令解析部11は直交座標系における指令プログラムを解析し、第1補間部12で使用しやすいデータに変換する。第1補間部12は直交座標系における指令経路上の各指令軸上の点 $P_n(x_n, y_n, z_n, a_n, b_n, c_n)$ を第1のサンプリング周期で補間計算する。ここで「 n 」は第1補間部12での補間処理の番号であり、第1補間部12での n 回目の補間を示すもので、 $P_n(x_n, y_n, z_n, a_n, b_n, c_n)$ は第1補間部12での n 回目の補間位置を表す。この第1の補間は通常の基本3軸X、Y、Zと回転軸3軸A、B、Cを持つ従来の加工機を制御する数値制御装置における補間と同様であり、その詳細な説明は省略する。

【0017】

50

第 1 補間部 1 2 で求められた補間点 $P_n(x_n, y_n, z_n, a_n, b_n, c_n)$ に基づいて ($n = 0, 1, 2 \dots$)、変換部 1 3 が図 3 に示すように逆機構変換して変換座標系における各駆動軸の位置 $U_n(u1_n, u2_n, u3_n, u4_n, u5_n, u6_n)$ を求めて、中間メモリ 1 5 に出力する。さらに、この位置 $U_n(u1_n, u2_n, u3_n, u4_n, u5_n, u6_n)$ に基づいて、当該第 1 補間のサンプリング周期 $\tau 1$ における移動量 L_n 、変換座標系上の各駆動軸の速度 $V_n(v1_n, v2_n, v3_n, v4_n, v5_n, v6_n)$ 、各駆動軸の加速度 $A_n(a1_n, a2_n, a3_n, a4_n, a5_n, a6_n)$ 、各駆動軸の加速度の時間微分である加加速度 $J_n(j1_n, j2_n, j3_n, j4_n, j5_n, j6_n)$ を求め中間メモリ 1 5 に出力する。なお、逆機構変換の方法は周知であり、説明を省略する。また、この第 1 補間部 1 2 で補間された補間位置を変換部 1 3 で逆機構変換して変換座標系における各駆動軸の位置のある位置から次の位置への移動部分をセグメントと呼ぶことにする。したがって、位置 U_{n-1} から位置 U_n への移動部分を第 n セグメントと呼ぶ。

10

移動量 L_n は次の (1) 式の処理演算することによって求められる第 1 のサンプリング周期毎の変換座標系における移動量である。

【0018】

$$L_n = \{(u1_n - u1_{n-1})^2 + (u2_n - u2_{n-1})^2 + (u3_n - u3_{n-1})^2 + (u4_n - u4_{n-1})^2 + (u5_n - u5_{n-1})^2 + (u6_n - u6_{n-1})^2\}^{1/2} \dots (1)$$

変換座標系上の各駆動軸の速度 $V_n(v1_n, v2_n, v3_n, v4_n, v5_n, v6_n)$ は、補間位置 $U_n(u1_n, u2_n, u3_n, u4_n, u5_n, u6_n)$ と第 1 補間のサンプリング周期 $\tau 1$ に基づいて、次の (2-1) ~ (2-6) 式の演算処理によって求める。

$$v1_n = (u1_n - u1_{n-1}) / \tau 1 \dots (2-1)$$

20

$$v2_n = (u2_n - u2_{n-1}) / \tau 1 \dots (2-2)$$

$$v3_n = (u3_n - u3_{n-1}) / \tau 1 \dots (2-3)$$

$$v4_n = (u4_n - u4_{n-1}) / \tau 1 \dots (2-4)$$

$$v5_n = (u5_n - u5_{n-1}) / \tau 1 \dots (2-5)$$

$$v6_n = (u6_n - u6_{n-1}) / \tau 1 \dots (2-6)$$

変換座標系上の各駆動軸の加速度 $A_n(a1_n, a2_n, a3_n, a4_n, a5_n, a6_n)$ は、(2-1) ~ (2-6) 式で求められた各駆動軸の速度 $V_n(v1_n, v2_n, v3_n, v4_n, v5_n, v6_n)$ と第 1 サンプリング周期 $\tau 1$ から、次の (3-1) ~ (3-6) 式の演算処理によって求める。

$$a1_n = (v1_n - v1_{n-1}) / \tau 1 \dots (3-1)$$

$$a2_n = (v2_n - v2_{n-1}) / \tau 1 \dots (3-2)$$

$$a3_n = (v3_n - v3_{n-1}) / \tau 1 \dots (3-3)$$

$$a4_n = (v4_n - v4_{n-1}) / \tau 1 \dots (3-4)$$

$$a5_n = (v5_n - v5_{n-1}) / \tau 1 \dots (3-5)$$

$$a6_n = (v6_n - v6_{n-1}) / \tau 1 \dots (3-6)$$

30

変換座標系上における各駆動軸の加速度の時間微分である加加速度 $J_n(j1_n, j2_n, j3_n, j4_n, j5_n, j6_n)$ は、(3-1) ~ (3-6) 式で求めた各駆動軸の加速度 $A_n(a1_n, a2_n, a3_n, a4_n, a5_n, a6_n)$ と第 1 サンプリング周期 $\tau 1$ から次の (4-1) ~ (4-6) 式の演算処理によって求める。

【0019】

$$j1_n = (a1_n - a1_{n-1}) / \tau 1 \dots (4-1)$$

40

$$j2_n = (a2_n - a2_{n-1}) / \tau 1 \dots (4-2)$$

$$j3_n = (a3_n - a3_{n-1}) / \tau 1 \dots (4-3)$$

$$j4_n = (a4_n - a4_{n-1}) / \tau 1 \dots (4-4)$$

$$j5_n = (a5_n - a5_{n-1}) / \tau 1 \dots (4-5)$$

$$j6_n = (a6_n - a6_{n-1}) / \tau 1 \dots (4-6)$$

図 4 は、中間メモリ 1 5 に格納されたデータの説明図である。図 4 に示すように、変換座標系上の補間位置 (各駆動軸 $U 1 \sim U 6$ の位置) $U_n(u1_n, u2_n, u3_n, u4_n, u5_n, u6_n)$ と、変換座標系上の移動量 L_n 、変換座標系上の各駆動軸の速度 $V_n(v1_n, v2_n, v3_n, v4_n, v5_n, v6_n)$ 、変換座標系上の各駆動軸の加速度 $A_n(a1_n, a2_n, a3_n, a4_n, a5_n, a6_n)$ 、変換座標系上の各駆動軸の加加速度 $J_n(j1_n, j2_n, j3_n, j4_n, j5_n, j6_n)$ 、さらに、後述する制限

50

速度 $R F_n$ 、減速目標速度 $D F_n$ 、接線方向加速度 $A T_n$ が第 1 の補間周期の回数 n に対応して記憶される。ただし、補間開始位置の U_0 に対応する変換座標系上の移動量 L_0 、速度 V_0 、加速度 A_0 、加加速度 J_0 は、上記 (1) 式、(2-1) ~ (2-6) 式、(3-1) ~ (3-6) 式、(4-1) ~ (4-6) 式の性格から存在しない。また、同様な理由で、補間点 U_1 に対応する変換座標系上の加速度 A_1 、加加速度 J_1 、さらに、補間点 U_2 に対応する変換座標系上の加加速度 J_2 も存在しないが、計算上必要となるので、 $A_1 = A_2$ 、 $J_1 = J_3$ 、 $J_2 = J_3$ としてセットしておく。

【0020】

図 5 は、接線方向加速度計算部 14 において、変換部 13 からの出力である各駆動軸の位置データ U_n ($n = 0, 1, \dots$) と、各駆動軸の最大許容加速度 $am1, am2, am3, am4, am5, am6$ から、最適な接線方向加速度を求める手順を表すフローチャートである。以下、本フローチャートに基づいて、最適な接線方向加速度 $A T_n$ を求める手順を説明する。

【0021】

図 5 のステップ 101 では、各駆動軸の位置データ U_n ($n = 0, 1, \dots$) から各駆動軸の移動量 (1 セグメント分) を求め、各駆動軸に関する方向余弦 $D C i$ を求める。ここで、 i は軸番号であり、U1軸、U2軸、U3軸、U4軸、U5軸、U6軸を制御するので、 $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ である。この場合、方向余弦 $D C 1$ は、各軸についての 1 セグメントを合成 (ベクトル合成) した移動方向ベクトル、つまり、合成接線方向ベクトルが、第 1 軸 (U1軸) に対してなす角度の余弦となる。したがって、 $D C 1$ の n 番目 ($n = 1, 2, \dots$) データは、

$$D C 1_n = |u1_n - u1_{n-1}| / L_n \quad \dots (5)$$

ここで、 L_n はすでに中間メモリに出力されている第 1 のサンプリング周期毎の変換座標系における合成移動量である。

【0022】

同様に、方向余弦 $D C 2, D C 3, D C 4, D C 5, D C 6$ は、各軸についての 1 セグメントを合成した方向ベクトル (合成接線方向ベクトル) が、U2軸、U3軸、U4軸、U5軸、U6軸に対してそれぞれなす角度の余弦となる。

上記方向ベクトルで表わされる移動方向の加速度 (即ち、合成接線方向加速度) $A W$ は、指令された全軸について、下記の条件を満たす必要がある。

【0023】

$$A W \times D C i \leq a m i \quad \dots (6)$$

ここで、 $a m i$ は第 i 駆動軸の最大許容加速度である。したがって、

$$A W \times D C 1_n \leq a m 1 \quad \dots (7-1)$$

$$A W \times D C 2_n \leq a m 2 \quad \dots (7-2)$$

$$A W \times D C 3_n \leq a m 3 \quad \dots (7-3)$$

$$A W \times D C 4_n \leq a m 4 \quad \dots (7-4)$$

$$A W \times D C 5_n \leq a m 5 \quad \dots (7-5)$$

$$A W \times D C 6_n \leq a m 6 \quad \dots (7-6)$$

となる。

【0024】

ステップ 102 では、ステップ 101 の結果を用いて、最適な接線方向加速度 $A T_n$ ($n = 1, 2, \dots$) を求める。最適接線方向加速度 $A T_n$ は、駆動対象の全軸に関して接線方向加速度が最大許容加速度以下でなければならないということを表わしている上記の条件を破らない範囲で、最も大きい値として計算される。これは、 $a m i / D C i$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) の中で最小のもの、 $\text{Min} \{ a m i / D C i \}$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) を見つけることを意味している。

つまり、

$$A T_n = \text{Min} \{ a m i / D C i_n \} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (n = 1, 2, \dots) \quad \dots (8)$$

である。

続くステップ103で、求めた最適接線方向加速度 $A T_n$ を中間メモリ15に出力し記憶させ処理を終える。

【0025】

このようにして、中間メモリ15には、第1のサンプリング周期毎に、変換部13からの出力である各駆動軸の位置 U_n などに加えて、上記最適接線方向加速度 $A T_n$ が記憶される。なお、ここで注意すべきことは、最適接線方向加速度 $A T_n$ は一般には定数でなく、変換部13からの出力である各駆動軸の位置に依存して変化するという点である。

【0026】

制限速度計算部16は、中間メモリ15上のデータに基づき、変換座標系上の点 U_n ($n=1, 2, \dots$) に対応して制限速度 $R F_n$ を計算し中間メモリ15上に書込む。

10

ここで、制限速度 $R F_n$ は、各セグメントにおける合成接線方向の速度に関し、位置 U_n ($n=1, 2, \dots$) において、各駆動軸の速度、加速度、加加速度の最大許容値を越えないように制限される速度である。つまり、各駆動軸の速度、加速度、加加速度にはそれぞれ設定されている最大許容値があり、速度の最大許容値を $V M$ ($vm1, vm2, vm3, vm4, vm5, vm6$)、加速度の最大許容値を $A M$ ($am1, am2, am3, am4, am5, am6$)、加加速度の最大許容値を $J M$ ($jm1, jm2, jm3, jm4, jm5, jm6$) とすると、制限速度 $R F_n$ とは、各第1のサンプリング周期毎の各駆動軸の速度、加速度、加加速度がそれぞれの最大許容値を越えないような各セグメントにおける合成接線方向の速度である。

【0027】

変換部13から出力されたデータによる各セグメントにおける合成接線方向の速度は、 $L_n / \tau 1$ である。したがって、制限速度 $R F_n$ を計算するとは、この速度 $L_n / \tau 1$ に対して次のように処理を行い、各駆動軸の速度、加速度、加加速度がそれぞれの最大許容値を越えないような各セグメントにおける合成接線方向の制限速度 $R F_n$ ($n=1, 2, \dots$) を求めることである。計算された制限速度 $R F_n$ ($n=1, 2, \dots$) は中間メモリ15に出力される。

20

$$KV = \text{Min}(vm1 / v1_n, vm2 / v2_n, vm3 / v3_n, vm4 / v4_n, vm5 / v5_n, vm6 / v6_n)$$

... (9)

この(9)式において、右辺のかっこ内で最小の値を右辺の値とし、これを KV の値にするという意味であり、ただし、この右辺が1以上であれば KV は「1」とする。

$$KA = \text{Min}(am1 / a1_n, am2 / a2_n, am3 / a3_n, am4 / a4_n, am5 / a5_n, am6 / a6_n)$$

30

... (10)

この(10)式にも同様に、右辺のかっこ内で最小の値を右辺の値とし、これを KA の値にするという意味であり、ただし、この右辺が1以上であれば KA は「1」とする。

$$KJ = \text{Min}(jm1 / j1_n, jm2 / j2_n, jm3 / j3_n, jm4 / j4_n, jm5 / j5_n, jm6 / j6_n)$$

... (11)

この(11)式にも同様に、右辺のかっこ内で最小の値を右辺の値とし、これを KJ の値にするという意味であり、この右辺が1以上であれば KJ は「1」とする。

$$R F_n = \text{Min}(KV, KA, KJ) \times L_n / \tau 1$$

... (12)

この(12)式にも同様に $\text{Min}(KV, KA, KJ)$ は、 KV, KA, KJ の中の最小値を意味する。

【0028】

40

(9) ~ (11) 式、及び(12)式の $\text{Min}(KV, KA, KJ)$ は、最大許容速度 / 速度、最大許容加速度 / 加速度、最大許容加加速度 / 加加速度の最小のものを選択することを意味しており、各駆動軸 $U_1 \sim U_6$ に対して速度、加速度、加加速度のそれぞれの最大許容値に対して、変換部13が(2-1) ~ (2-6) 式、(3-1) ~ (3-6) 式、(4-1) ~ (4-6) 式の演算処理で求めた速度、加速度、加加速度が相対的に一番大きなものを選択することを意味している。

【0029】

例えば、「 $vm1 / v1_n$ 」が最小であったとする。これは、駆動軸 U_1 の速度が最大許容値より相対的に1番大きく越えていることを意味する。上記(12)において、 $\text{Min}(KV, KA, KJ)$ は、「 $vm1 / v1_n$ 」となる。その結果、制限速度 $R F_n = (vm1 / v1_n) \times L_n / \tau 1$ とな

50

る。

「 $L_n / \tau 1$ 」の速度で駆動軸 U 1 の速度は $v1_n$ であったものであるから、制限速度 $R F_n$ となると、比例関係にあるので、

$$\begin{aligned} (L_n / \tau 1) / v1_n &= R F_n / (\text{駆動軸 U 1 の速度}) \\ (\text{駆動軸 U 1 の速度}) &= R F_n \times v1_n / (L_n / \tau 1) \\ &= [(vm1 / v1_n) \times L_n / \tau 1] \times v1_n / (L_n / \tau 1) \\ &= vm1 \end{aligned}$$

となり、この制限速度 $R F_n$ にすることによって、一番最大許容値から外れて大きかった駆動軸 U 1 の速度が許容速度に制限されることになる。又、他の要素は、 $\text{Min}(KV, KA, KJ)$ で一番小さな値が選択されて、制限速度 $R F_n$ が求められたものであるから、他の駆動軸の速度や、加速度、加加速度は最大許容値内になる。

10

【0030】

以上のように、(9) ~ (12) 式の演算処理を行って、制限速度 $R F_n$ を求め、中間メモリ 15 に図 4 に示すように格納する。

【0031】

なお、本実施形態では、変換座標系上 (各駆動軸 U 1 ~ U 6) の速度、加速度、加加速度がいずれも最大許容値を越えないように制限速度 $R F_n$ を求めたが、速度、加速度、加加速度のいずれか 1 つでもよい。又いずれか 2 つの組み合わせでもよい。例えば速度だけ許容値内に制限するとすれば、(12) 式の $\text{Min}(KV, KA, KJ)$ は、「KV」となり、加速度だけとすれば、「KA」となる。また、速度、加速度が許容値内とする場合には、(12) 式の $\text{Min}(KV, KA, KJ)$ は、 $\text{Min}(KV, KA)$ となる。

20

【0032】

中間メモリ 15 に渡されたこれらデータは、減速目標速度計算部 17 で行なわれる減速目標速度計算の処理に利用される。この減速目標速度計算は、「複数のセグメントにまたがった加減速」のためのものである。「複数のセグメントにまたがった加減速」を説明するために、図 6 に示した例で説明する。

【0033】

図 6 において、 $S 1, S 2 \dots S 8$ は、いずれも変換部 13 から出力されて中間メモリ上にあるセグメントを表わしている。 $S 1 \sim S 8$ の内、 $S 8$ は中間メモリ 15 上の最新のセグメントとし、 $S 1$ は現在実行中のセグメントとする。なお、ここからの説明において、「実行中のセグメント」とは、第 2 補間部 19 による第 2 補間処理が既に開始されている最新のセグメントのことであり、一般には、中間メモリ 15 上にある最古のセグメントでもある (第 2 補間部 19 が完了したセグメントデータは中間メモリ 15 上から消去され、直ちに次のセグメントの第 2 補間処理が開始される)。

30

【0034】

ここで一例として、中間メモリ 15 に記憶された最新のセグメント $S 8$ の終点速度を 0 とし、各セグメント毎に求められる最適接線方向加速度 $A T_n$ で減速した結果、その終点速度 (ここでは、 $S 8$ については 0) に達すると想定し、そのセグメント始点 (最初はセグメント $S 8$ の始点) での速度を求める。その速度を 1 個前のセグメント (セグメント $S 8$ に対してはセグメント $S 7$) の終点での速度とする。以後、同様に、1 個前のセグメント始点での速度を求めることを繰り返しながら、目下実行中のセグメント $S 1$ (中間メモリ上の最古のセグメント) まで遡って速度パターンを作っていく。

40

【0035】

途中で、図 6 中のセグメント $S 4$ の終点のように、制限速度 $R F_n$ や、変換部 13 から出力されたデータによる合成接線方向速度 $L_n / \tau 1$ が、作成された速度パターンよりも低い速度になる場合には、その速度から新たな速度パターンを作る。ここで、中間メモリ 15 上で最新のセグメントの終点速度を仮に 0 としたのは、もし第 1 補間または変換部側が停止した場合でも必ず 0 まで減速できるようにするためである。このようにして作成された速度パターンの各セグメントの終点に対応する速度を、各セグメントの減速目標速度 $D F_n$ ($n=1, 2 \dots$) とし、中間メモリに入力し記憶させる。

50

【 0 0 3 6 】

加減速処理部 18 は、中間メモリ 15 上のデータに基づき、減速目標速度を越えない最大の速度となるように加減速制御を行い第 2 のサンプリング周期 (τ_2) 毎の移動量 ΔS を計算し、第 2 補間部 19 に出力する。ここで、第 1 のサンプリング周期 τ_1 中に第 2 補間は m_z 回行なわれるとする。つまり、 $m_z = \tau_1 / \tau_2$ とする。この時、第 n 回目の第 1 補間周期における変換部から出力される合成接線方向速度は、 L_n / τ_1 である。また、その第 1 補間周期における第 m 回目 ($m = 1 \dots m_z$) の第 2 補間周期において、減速目標速度 DF_n から得られる速度は、

$$DF_{n-1} + (DF_n - DF_{n-1}) \times m / m_z \quad \dots (13)$$

である。

10

【 0 0 3 7 】

これらのうち、より低い速度が第 2 のサンプリング周期において実現すべき速度である。この第 2 のサンプリング周期において実現すべき速度から、この回の第 2 のサンプリング周期での移動量 ΔS は得られる。したがって、 ΔS は次のようになる。

$$\Delta S = \text{Min} \left((L_n / \tau_1), (DF_{n-1} + (DF_n - DF_{n-1}) \times m / m_z) \right) \times \tau_2 \quad \dots (14)$$

第 2 補間部 19 は、加減速処理部 18 からの出力と中間メモリ 15 から取り出したデータに基づき第 2 サンプリング周期 τ_2 で補間を行う。ここで、補間する形状としては、 U_n ($n=0,1 \dots$) の点列を結ぶように直線で補間してもよいし、 U_n ($n=0,1 \dots$) の点列から滑らかな曲線を生成し第 2 のサンプリング周期毎にその滑らかな曲線上の点を出力してもよい。第 2 のサンプリング周期 τ_2 は、第 1 のサンプリング周期 τ_1 よりも短く、例えば第 1 のサンプリング周期 τ_1 は 4 ms、第 2 のサンプリング周期 τ_2 は 0.5 ms とする。

20

【 0 0 3 8 】

本実施形態では、 U_n ($n=0,1 \dots$) の点列から滑らかな曲線を生成し第 2 補間部 19 で滑らかな補間を行うものとしている。滑らかな曲線を生成する方式としては種々の方式が可能であるが、この実施形態では簡単のため、点列 U_n ($n=0,1 \dots$) を通る n 次式 (3 次式) を使用する方式を用いる。ここで、 U_n ($n=0,1 \dots$) の点列のうち、1 つの点と次の点の間の曲線補間部分をここでもセグメントと呼ぶことにする。また、後述するフローチャート中の記号は以下のように定義される。

U_a : U_n ($n=0,1 \dots$) の点列のうち現在補間処理実行中のセグメント始点の 1 個前の点

30

U_b : U_n ($n=0,1 \dots$) の点列のうち現在補間処理実行中のセグメント始点

U_c : U_n ($n=0,1 \dots$) の点列のうち現在補間処理実行中のセグメント終点

U_d : U_n ($n=0,1 \dots$) の点列のうち現在補間処理実行中のセグメント終点の 1 個後の点

L_b : $U_a - U_b$ 間の距離

L_c : $U_b - U_c$ 間の距離

L_d : $U_c - U_d$ 間の距離

s : 加減速処理部が目標減速速度を越えない最大の速度となるように加減速制御を行い第 2 補間部に出力される、各駆動軸の合成接線方向における第 2 のサンプリング周期毎の移動量

KI : セグメント切換え時に未出力である移動量の比率を表す係数

40

セグメント内の補間点の座標は、次の (15 - 1) ~ (15 - 6) 式を用いて計算される。パラメータ t は、点 U_a 、 U_b 、 U_c 、 U_d で、 $-L_b$ 、 0 、 L_c 、 $(L_c + L_d)$ の値をとるものとし、それらの時点における $U(t)$ ($U1(t)$ 、 $U2(t)$ 、 $U3(t)$ 、 $U4(t)$ 、 $U5(t)$ 、 $U6(t)$) の座標値が点 $U_a \sim U_d$ の座標値に一致するという条件から、係数 $A1$ 、 $B1$ 、 $C1$ 、 $D1$ 、 $A2$ 、 $B2$ 、 $C2$ 、 $D2$ 、 $A3$ 、 $B3$ 、 $C3$ 、 $D3$ 、 $A4$ 、 $B4$ 、 $C4$ 、 $D4$ 、 $A5$ 、 $B5$ 、 $C5$ 、 $D5$ 、 $A6$ 、 $B6$ 、 $C6$ 、 $D6$ を求める。セグメント内の第 2 補間部 19 による補間点は、以下の (15 - 1) ~ (15 - 6) 式でパラメータ t を $[0 \quad t \quad L_c]$ の範囲で変化させることによって得られる。

【 0 0 3 9 】

$$U1(t) = A1 \times t^3 + B1 \times t^2 + C1 \times t + D1 \quad \dots (15-1)$$

50

$$U2(t) = A2 \times t^3 + B2 \times t^2 + C2 \times t + D2 \quad \dots (15-2)$$

$$U3(t) = A3 \times t^3 + B3 \times t^2 + C3 \times t + D3 \quad \dots (15-3)$$

$$U4(t) = A4 \times t^3 + B4 \times t^2 + C4 \times t + D4 \quad \dots (15-4)$$

$$U5(t) = A5 \times t^3 + B5 \times t^2 + C5 \times t + D5 \quad \dots (15-5)$$

$$U6(t) = A6 \times t^3 + B6 \times t^2 + C6 \times t + D6 \quad \dots (15-6)$$

また、 $U1(t)$ 、 $U2(t)$ 、 $U3(t)$ 、 $U4(t)$ 、 $U5(t)$ 、 $U6(t)$ をパラメータ t について微分したものを $U1'(t)$ 、 $U2'(t)$ 、 $U3'(t)$ 、 $U4'(t)$ 、 $U5'(t)$ 、 $U6'(t)$ で表わす。

【0040】

図7は、この第2補間部19による補間処理を実行する数値制御装置のプロセッサが行う処理のフローチャートである。該フローチャートにおいて、各ステップにおける処理の要点は次の通りである。

【ステップ201】：パラメータ t と係数 KI を初期化する。係数 KI はセグメント切換え時に出力されていない移動量の比率を表す係数であるから、切換え時以外は1.0が設定されている。

【ステップ202】：最初のセグメントの補間を行う。最初のセグメントでは、そのセグメントの1個前の点 U_a が存在しないためフローチャートのステップ203以降で説明する方法と違った補間処理が行なわれる。このようなケースにおける補間処理方法は周知であり、詳細な手順については説明を省略する。

【ステップ203】：補間処理を実行するセグメントを次のセグメントに切換える。

【ステップ204】：現在補間処理実行中のセグメントが最後のセグメントかどうか判断し、最後のセグメントである場合にはステップ214（最後のセグメントの補間処理）へ進む。最後のセグメントでない場合には、ステップ205に進む。

【ステップ205～207】：中間メモリから U_a 、 U_b 、 U_c 、 U_d の座標および、セグメントの距離 L_b 、 L_c 、 L_d を読取り、補間を行うための(9-1)～(9-1)式の $U1(t)$ 、 $U2(t)$ 、 $U3(t)$ 、 $U4(t)$ 、 $U5(t)$ 、 $U6(t)$ の係数 $A1$ 、 $B1$ 、 $C1$ 、 $D1$ 、 $A2$ 、 $B2$ 、 $C2$ 、 $D2$ 、 $A3$ 、 $B3$ 、 $C3$ 、 $D3$ 、 $A4$ 、 $B4$ 、 $C4$ 、 $D4$ 、 $A5$ 、 $B5$ 、 $C5$ 、 $D5$ 、 $A6$ 、 $B6$ 、 $C6$ 、 $D6$ を求める。

【ステップ208】：加減速処理部18で計算された第2のサンプリング周期 τ_2 あたりの移動量 s 、 $U1(t)$ 、 $U2(t)$ 、 $U3(t)$ 、 $U4(t)$ 、 $U5(t)$ 、 $U6(t)$ の1次微分値、並びに係数 KI からパラメータ t の増分 Δt を求める。

【ステップ209】： t にその増分 Δt を加える。

【ステップ210】：パラメータ t と距離 L_c を比較し、 $t > L_c$ となった場合には次のセグメントに切換える必要があると判断し、ステップ213（次のセグメントで出力する距離の比率 KI の計算）へ進む。 $t \leq L_c$ の場合には、同じセグメント内であると判断し、ステップ111に進む。

【ステップ211】：比率 $KI = 1.0$ とする。

【ステップ212】：第2補間点を式 $U1(t)$ 、 $U2(t)$ 、 $U3(t)$ 、 $U4(t)$ 、 $U5(t)$ 、 $U6(t)$ に基づいて計算し、出力した後、ステップ208に戻る。

【ステップ213】：次のセグメントで出力する距離の係数（比率） KI を計算する。

【ステップ214】：最後のセグメントの補間処理を行う。最後のセグメントでは、そのセグメントの1個後の点 U_d が存在しないため、最初のセグメントの場合と同様、フローチャートのステップ203以降で説明した方法と違った補間処理が行なわれる。このようなケースにおける補間処理方法は周知であり、詳細な手順については説明を省略する。

【0041】

以上のように、第2補間の前に加減速処理がなされるので、指令に対する誤差をなくすることができる。

なお、この実施形態はパラレルメカニズム機のみにも適用されるものでなく、直交座標系上の軸方向とは異なる方向の駆動軸を少なくとも1以上有するような機械に適用できるものである。又、移動軸の指令軸数および変換座標系上の駆動軸数は任意の軸数に対応させ

10

20

30

40

50

ることが可能であり、直交座標系上の各指令軸は直線軸または回転軸に任意に対応させることが可能である。

【 0 0 4 2 】

例えば、図 9 図に示す例は、伸縮する 2 つの駆動軸 U 1 , U 2 は支点 2 1 , 2 2 でそれぞれ固定部材 2 0 に接続され、各駆動軸 U 1 , U 2 の他端は可動部材 3 0 の支点 3 1 に接続されている。駆動軸 U 1 , U 2 内には、サーボモータが組み込まれており、該サーボモータの駆動によって駆動軸 U 1 , U 2 の長さが伸縮する。このような機構において、直交座標系上の指令軸の 2 軸 (X , Y) の移動指令に対して、その移動指令を駆動軸 U 1 , U 2 の移動指令に変換して、各駆動軸のサーボモータを駆動して可動部材 3 0 の位置速度を制御する。このような機構に適用することも可能である。

10

【 0 0 4 3 】

また、例えば、図 1 0 に示す例では、内部に設けられたサーボモータ等により伸縮する駆動軸 U 1 と所定長の腕 5 0 の一端が固定部材 2 0 に設けた支点 2 2 で接続され、腕 5 0 は支点 2 2 を中心に回転軸 A に接続され、腕 5 0 の他端と駆動軸 U 1 の他端は可動部材 3 0 の支点 3 1 に接続されている。回転軸 A の移動指令に対して、その移動指令を駆動軸 U 1 の移動指令に変換して、駆動軸 U 1 を駆動するサーボモータを駆動して可動部材 3 0 の位置速度を制御する。このような機構にも適用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 4 】

【図 1】本発明の一実施形態の数値制御装置の概要ブロック図である。

20

【図 2】同実施形態における機能ブロック図である。

【図 3】同実施形態における変換部の変換データを表す図である。

【図 4】同実施形態における中間メモリに格納されるデータの説明図である。

【図 5】同実施形態における接線方向加速度算出処理のフローチャートである。

【図 6】同実施形態における減速目標速度算出の説明図である。

【図 7】同実施形態における第 2 補間処理のフローチャートである。

【図 8】同実施形態における加工機の構成を表す図である。

【図 9】本発明が適用可能な動作機構の一例を示す図である。

【図 1 0】本発明が適用可能な動作機構の他の一例を示す図である。

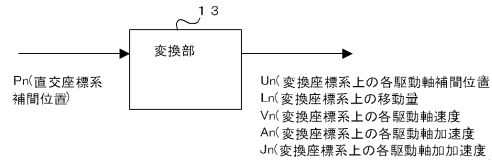
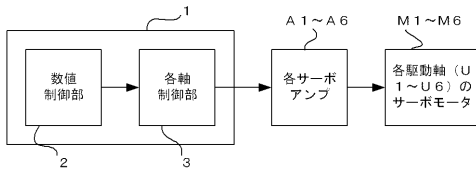
【符号の説明】

30

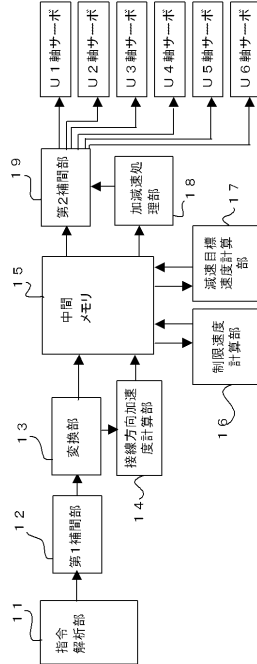
【 0 0 4 5 】

- 1 数値制御装置
- 2 0 固定部材
- 2 1 , 2 2 , 2 3 , 2 4 , 2 5 , 2 6 支点
- 3 0 可動部材
- 3 1 , 3 2 , 3 3 , 3 4 , 3 5 , 3 6 支点
- 4 0 工具
- U 1 , U 2 , U 3 , U 4 , U 5 , U 6 駆動軸

【 図 3 】



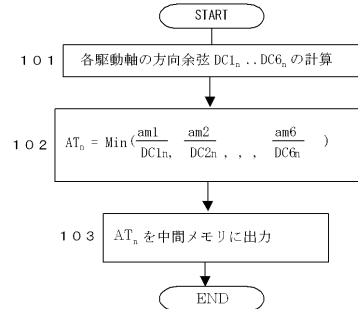
【 図 2 】



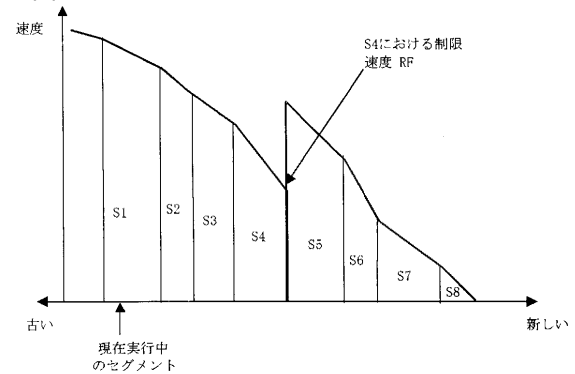
【 図 4 】

変換座標系上の 相対位置 (各運動軸分の要 素を持つベクトル)	変換座標系上の 相対速度 (各運動軸分の要 素を持つベクトル)	変換座標系上の 相対加速度 (各運動軸分の要 素を持つベクトル)	変換座標系上の 相対加速度 (各運動軸分の要 素を持つベクトル)	制限速度 (スカラー)	減速・自慢 速度 (スカラー)	接続方向 加速度 (スカラー)
$U_1(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	—	—	—	—	—	—
$U_1(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	L_1	$V_1(v_1, v_2, v_3)$ 、 v_4, v_5, v_6)	$\{A_1 = A_2\}$	RF_1	DF_1	AT_1
$U_1(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	L_2	$V_2(v_1, v_2, v_3)$ 、 v_4, v_5, v_6)	$A_1(a_1, a_2, a_3)$ 、 a_4, a_5, a_6)	RF_2	DF_2	AT_2
$U_2(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	L_3	$V_3(v_1, v_2, v_3)$ 、 v_4, v_5, v_6)	$A_1(a_1, a_2, a_3)$ 、 a_4, a_5, a_6)	RF_3	DF_3	AT_3
$U_3(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)						
$U_3(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	L_a	$V_3(v_1, v_2, v_3)$ 、 v_4, v_5, v_6)	$A_1(a_1, a_2, a_3)$ 、 a_4, a_5, a_6)	RF_a	DF_a	AT_a
$U_3(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	L_b	$V_3(v_1, v_2, v_3)$ 、 v_4, v_5, v_6)	$A_1(a_1, a_2, a_3)$ 、 a_4, a_5, a_6)	RF_b	DF_b	AT_b
$U_3(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	L_c	$V_3(v_1, v_2, v_3)$ 、 v_4, v_5, v_6)	$A_1(a_1, a_2, a_3)$ 、 a_4, a_5, a_6)	RF_c	DF_c	AT_c
$U_3(u_1, v_2, w_3)$ 、 u_4, u_5, u_6)	L_d	$V_3(v_1, v_2, v_3)$ 、 v_4, v_5, v_6)	$A_1(a_1, a_2, a_3)$ 、 a_4, a_5, a_6)	RF_d	DF_d	AT_d

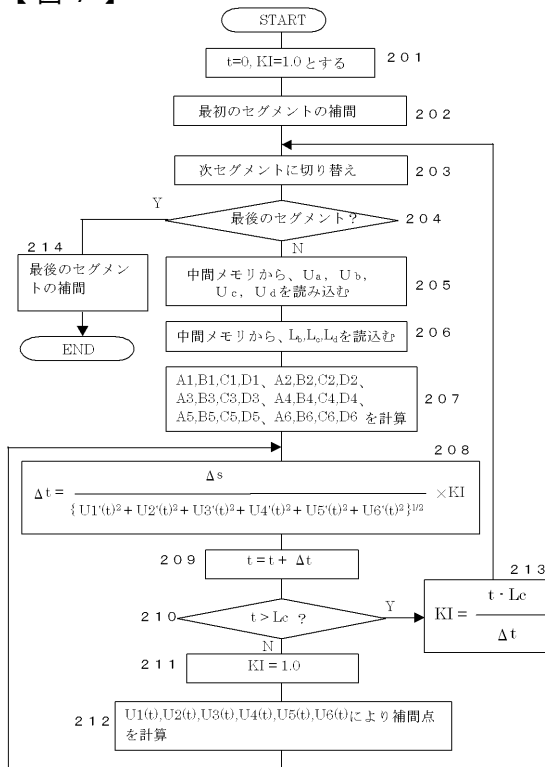
【 図 5 】



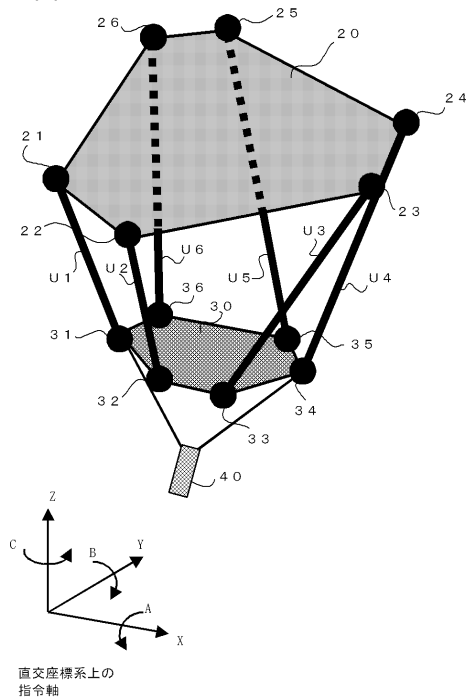
【 図 6 】



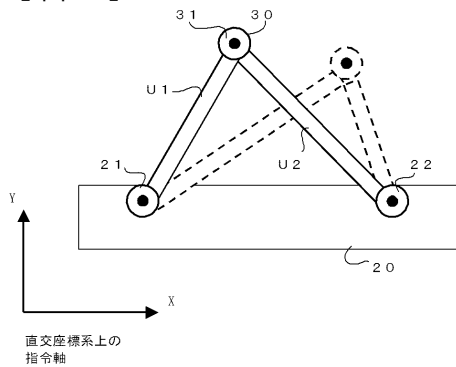
【図 7】



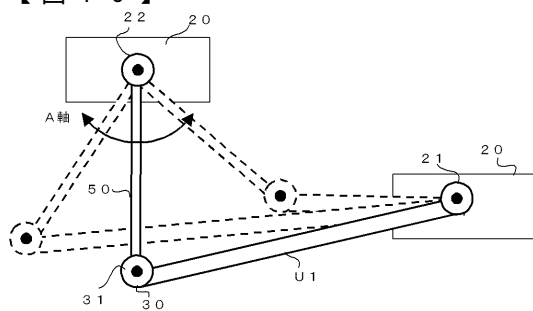
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 井出 聡一郎

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社 内

審査官 二階堂 恭弘

(56)参考文献 特許第3034843(JP, B2)

特開2001-100828(JP, A)

特開2001-92508(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/18 - 19/46

B23Q 15/00 - 15/28