

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4168060号
(P4168060)

(45) 発行日 平成20年10月22日(2008.10.22)

(24) 登録日 平成20年8月8日(2008.8.8)

(51) Int.Cl. F I
G 0 5 B 19/4103 (2006.01) G O 5 B 19/4103 J
B 2 3 Q 15/00 (2006.01) B 2 3 Q 15/00 3 O 3 Z

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2006-119446 (P2006-119446)	(73) 特許権者	390008235
(22) 出願日	平成18年4月24日 (2006.4.24)		ファナック株式会社
(65) 公開番号	特開2007-293522 (P2007-293522A)		山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場358
(43) 公開日	平成19年11月8日 (2007.11.8)		〇番地
審査請求日	平成19年5月16日 (2007.5.16)	(74) 代理人	100082304
早期審査対象出願			弁理士 竹本 松司
前置審査		(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
		(74) 代理人	100112302
			弁理士 手島 直彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 円錐状の加工面の加工を可能にした数値制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも2軸の回転軸を含む各軸がサーボモータで駆動される加工機を制御する数値制御装置であって、プログラムで指令された前記加工機の加工工具の動作経路に対して補間処理を行い、該補間処理の出力に応じて前記各軸の移動指令を出力する数値制御装置において、

前記プログラムの指令から得られる円弧形状及び該円弧指令の始点位置と該始点位置における被加工物に対する工具方向指令及び前記円弧指令の円弧終点位置と該終点位置における被加工物に対する工具方向指令に基づいて、円弧長、始点及び終点における円弧進行方向を示す進行方向ベクトルと円弧平面上の円弧の法線方向を示す法線方向ベクトル、及び工具方向の円弧進行方向とのなす角、工具方向の法線方向とのなす角を求める解析手段と

10

、
 該解析手段により求めたデータに基づいて、サンプリング周期毎に、補間して円弧補間位置、進行方向ベクトル、法線方向ベクトルと、始点から該円弧補間位置の円弧長を求め、該円弧長に基づいて該円弧補間位置における工具方向の円弧進行方向とのなす角、及び工具方向の法線方向とのなす角を補間して求めて工具方向を求め、該工具方向と進行方向ベクトル、法線方向ベクトルから工具方向ベクトルを求め、該求められたデータに基づいて前記回転軸の回転位置を求めると共に、他の軸の位置を求める補間手段と、
 該補間手段で求められた各軸位置に各軸を移動させる移動手段と、
 を備えたことを特徴とする円錐状の加工面の加工を可能にした数値制御装置。

20

【請求項 2】

前記プログラムでの指令は、円弧の中心の指定と円弧形状の始点位置、円弧形状の終点位置及び該始点位置、終点位置における前記回転軸の回転位置を含むものである請求項 1 に記載の円錐状の加工面の加工を可能にした数値制御装置。

【請求項 3】

前記プログラムでの指令は、円弧形状の始点位置、円弧形状の終点位置、円弧形状の中間点位置、及び該始点位置、終点位置、中間点位置における前記回転軸の回転位置を含むものである請求項 1 に記載の円錐状の加工面の加工を可能にした数値制御装置。

【請求項 4】

前記加工機は 2 軸の回転軸によって工具ヘッドが回転する加工機である請求項 1 乃至 3 の内いずれか 1 項に記載の円錐状の加工面の加工を可能にした数値制御装置。

10

【請求項 5】

前記加工機は 2 軸の回転軸によってテーブルが回転する加工機である請求項 1 乃至 3 の内いずれか 1 項に記載の円錐状の加工面の加工を可能にした数値制御装置。

【請求項 6】

前記加工機は 2 軸の回転軸によって工具ヘッド及びテーブルが回転する加工機である請求項 1 乃至 3 の内いずれか 1 項に記載の円錐状の加工面の加工を可能にした数値制御装置

。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、直線軸 3 軸と少なくとも回転軸 2 軸を有し 5 軸加工ができる加工機を制御する数値制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

工具先端点の移動経路を指令すると共に、該移動経路の始点における工具方向、終点における工具方向を指定することによって、円錐面等の加工を行う 5 軸加工が特許文献 1 で公知である。

図 1 1 は、この特許文献 1 に記載された円錐面加工の説明図である。図 1 1 (a) は立体的な説明図で、図 1 1 (b) は、図 1 1 (a) の上方から見た平面図である。工具先端の経路を円弧で指定し、その経路の始点及び終点における工具方向ベクトルを始点ベクトル、終点ベクトルとして指定し、始点ベクトルと終点ベクトルをつなぐ面上の第 1 角度 $P H I$ (始点ベクトルと終点ベクトルをつなぐ面上に工具方向ベクトルを投影したとき、始点ベクトルからこの投影した線までの角度) と、該面に垂直な工具方向ベクトルの第 2 角度 $P S I$ を補間することによって、工具先端を指令された円弧に沿って移動させると共に、工具方向を始点ベクトルの方向から終点ベクトルの方向まで円錐面上に変化させて円錐面を加工することが記載されている。

30

【0003】

また、図 1 2 に示すように、工具方向ベクトルの中心軸回りの円錐回転角を第 1 角度 $P H I$ とし、円錐先端角を第 2 角度 $P S I$ として、この 2 つの角度を補間することによって円錐面の加工を行う方法も記載されている。さらに、これらの角度が多項式補間によって変動し円錐面に対して変動しながら動作するようにして、図 1 3 に示すように、工具先端点の移動する下面は円弧ではないものを加工する例も記載されている。

40

【0004】

【特許文献 1】米国特許第 6 7 3 5 4 9 5 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述した特許文献 1 に記載されたものは、円錐面上またはそれに対する変動面上を加工することを前提としているものであり、始点ベクトル、終点ベクトル、および補間中の円

50

錐面上の工具方向ベクトル、またはそれらの延長線は1点で交差することを前提とするものである。

しかし、与えられる始点ベクトル、終点ベクトル、および計算して求められる工具方向ベクトルは必ず同一円錐面上に存在するとは限らない。例えば、図14に示すような形状の加工面を加工するような場合、上述した特許文献1に記載の方法では補間できず加工ができない。

【0006】

図14(a)は立体的な説明図で、図14(b)は、図14(a)の上方から見た平面図である。図14に示す例では、始点ベクトルと終点ベクトルはそれらを延長しても交差しない。これは、始点ベクトル、終点ベクトルが円弧を下面とする円錐面上にないためである。

10

【0007】

そこで、本発明は、図14に示す加工面をも加工可能にすることを目的とするものであり、始点ベクトル、終点ベクトル、および補間中の円錐面上の工具方向ベクトル、またはそれらの延長線は交差しない円錐状の加工面も、5軸加工によって加工できるようにすることを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、少なくとも2軸の回転軸を含む各軸がサーボモータで駆動される加工機を制御する数値制御装置であって、プログラムで指令された前記加工機の加工工具の動作経路に対して補間処理を行い、該補間処理の出力に応じて前記各軸の移動指令を出力する数値制御装置において、前記プログラムの指令から得られる円弧形状及び該円弧指令の始点位置と該始点位置における被加工物に対する工具方向指令及び前記円弧指令の円弧終点位置と該終点位置における被加工物に対する工具方向指令に基づいて、円弧長、始点及び終点における円弧進行方向を示す進行方向ベクトルと円弧平面上の円弧の法線方向を示す法線方向ベクトル、及び工具方向の円弧進行方向とのなす角、工具方向の法線方向とのなす角を求める解析手段と、該解析手段により求めたデータに基づいて、サンプリング周期毎に、補間して円弧補間位置、進行方向ベクトル、法線方向ベクトルと、始点から該円弧補間位置の円弧長を求め、該円弧長に基づいて該円弧補間位置における工具方向の円弧進行方向とのなす角、及び工具方向の法線方向とのなす角を補間して求めて工具方向を求め、該

20

30

【0009】

前記プログラムでの指令は、円弧の中心の指定と円弧形状の始点位置、円弧形状の終点位置及び工具方向として円弧形状の始点位置、終点位置における前記回転軸の回転位置を含むものである。または、プログラムでの指令には、円弧形状の始点位置、円弧形状の終点位置、円弧形状の中間点位置、及び該始点位置、終点位置、中間点位置における前記回転軸の回転位置を含むものである。

40

又、前記加工機は2軸の回転軸によって工具ヘッドが回転する加工機、2軸の回転軸によってテーブルが回転する加工機、若しくは2軸の回転軸によって工具ヘッド及びテーブルが回転する加工機であるものとした。

【発明の効果】

【0010】

図14に示すような、始点における工具方向ベクトル、終点における工具方向ベクトル、および補間中の円錐面上の工具方向ベクトル、またはそれらの延長線が交差しない円錐状の加工面も、また交差する加工面も加工ができ、指令円弧が2次元のものに限定されず、3次元の円弧の指令であっても円錐面の加工ができる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【 0 0 1 1 】

図 1 は、本発明の原理を説明する説明図である。

図 1 において、符号 1 は工具、符号 2 は指令円弧形状 4 が載る円弧平面、3 は直線軸の X Y Z 軸制御点である。始点 (x_s, y_s, z_s) から終点 (x_e, y_e, z_e) までの円弧形状が指令されているものとする。ここで、進行方向とは円弧の進行方向、法線方向とは円弧平面上の円弧進行方向と垂直な方向であるものとし、

- ・ 始点における、進行方向とのなす角 : a_s
- ・ 始点における、法線方向とのなす角 : b_s
- ・ 終点における、進行方向とのなす角 : a_e
- ・ 終点における、法線方向とのなす角 : b_e
- ・ 補間点における、進行方向とのなす角 : a_i
- ・ 補間点における、法線方向とのなす角 : b_i
- ・ 指令円弧長 : c_l
- ・ 始点から円弧補間点までの円弧長 : c_i

と定義する。

【 0 0 1 2 】

また、

- ・ 工具方向を示す工具方向ベクトルを $V_t(i, j, k)$
- ・ 始点における工具方向ベクトルを $V_{ts}(i_s, j_s, k_s)$
- ・ 終点における工具方向ベクトルを $V_{te}(i_e, j_e, k_e)$
- ・ 始点における進行方向を示す進行方向ベクトルを $V_{tans}(tanis, tanjs, tanks)$
- ・ 始点における法線方向を示す法線方向ベクトルを $V_{nors}(noris, norjs, norks)$
- ・ 終点における進行方向を示す進行方向ベクトルを $V_{tane}(tanie, tanje, tanke)$
- ・ 終点における法線方向を示す法線方向ベクトルを $V_{nore}(norie, norje, norke)$
- ・ 補間点における進行方向を示す進行方向ベクトルを $V_{tani}(tanii, tanji, tanki)$
- ・ 補間点における法線方向を示す法線方向ベクトルを $V_{nori}(norii, norji, norki)$
- ・ 補間点における工具方向ベクトルを $V_{ti}(ii, ji, ki)$

とする。

【 0 0 1 3 】

指令された始点 (x_s, y_s, z_s) と終点 (x_e, y_e, z_e) と円弧指令より、指令円弧長 c_l は求められる。また、始点と終点及び円弧中心より、始点、終点における法線方向ベクトル V_{nors} 、 V_{nore} 、進行方向ベクトル V_{tans} 、 V_{tane} が求められる。また、始点と終点における工具方向ベクトル V_{ts} 、 V_{te} は始点と終点における工具方向を示す指令から求まる。さらに、これらのベクトルに基づいて、始点、終点における工具方向の進行方向とのなす角 a_s 、 a_e 、法線方向とのなす角 b_s 、 b_e が求まる。そして、従来から公知技術である円弧補間処理によって円弧上の補間位置 (c_{xi}, c_{yi}, c_{zi}) を求めると共に、始点から補間位置までの円弧長 c_i を求める。また、さらに補間点における工具方向 (a_i, b_i) を次のようにして求める。

$$a_i = c_i / c_l * (a_e - a_s) + a_s \quad \dots (1)$$

$$b_i = c_i / c_l * (b_e - b_s) + b_s \quad \dots (2)$$

また、補間点における進行方向ベクトル V_{tani} 、法線方向ベクトル V_{nori} は、従来から公知技術である円弧補間処理によって求められる。

【 0 0 1 4 】

求めた補間点における工具方向 (a_i, b_i)、進行方向ベクトル $V_{tani}(tanii, tanji, tanki)$ 、法線方向ベクトル $V_{nori}(norii, norji, norki)$ と、工具方向ベクトル $V_{ti}(ii, ji, ki)$ の関係は、図 2 に示す関係であり、工具方向ベクトル V_{ti} と進行方向ベクトル V_{tani} の内積、工具方向ベクトル V_{ti} と法線方向ベクトル V_{nori} の内積より次の (3) 式、(4) 式が成立する。

【 0 0 1 5 】

$$V_{ti} \cdot V_{tani} = \cos(a_i)$$

$$\begin{aligned} & (- (i_i, j_i, k_i) \cdot (\tan i_i, \tan j_i, \tan k_i)) = \cos(a_i) \\ & - (i_i * \tan i_i + j_i * \tan j_i + k_i * \tan k_i) = \cos(a_i) \quad \dots (3) \end{aligned}$$

$$V_{ti} \cdot V_{nori} = \cos(b_i)$$

$$\begin{aligned} & (- (i_i, j_i, k_i) \cdot (\text{nor} i_i, \text{nor} j_i, \text{nor} k_i)) = \cos(b_i) \\ & - (i_i * \text{nor} i_i + j_i * \text{nor} j_i + k_i * \text{nor} k_i) = \cos(b_i) \quad \dots (4) \end{aligned}$$

また、工具方向ベクトル V_{ti} は単位ベクトルであることから次の (5) 式が成立する。

$$i_i^2 + j_i^2 + k_i^2 = 1 \quad \dots (5)$$

これら (3) ~ (5) 式から工具方向ベクトル $V_{ti}(i_i, j_i, k_i)$ が求められる。

【0016】

この求められた工具方向ベクトル $V_{ti}(i_i, j_i, k_i)$ から、回転軸の回転位置を求める。また、直線軸の位置、即ち、XYZ軸制御点3の位置 (X_{ai}, Y_{ai}, Z_{ai}) は、円弧補間によって求めた補間位置 (c_{xi}, c_{yi}, c_{zi}) と工具方向ベクトル $V_{ti}(i_i, j_i, k_i)$ 若しくは回転軸の回転位置によって求めることができる。回転軸の回転位置とXYZ軸制御点位置 (X_{ai}, Y_{ai}, Z_{ai}) は、工作機械の回転軸の構成によって求め方が相違し、この点は後述する。

10

【0017】

こうして求めた補間位置のXYZ軸制御点位置 (X_{ai}, Y_{ai}, Z_{ai}) に直線軸のX, Z, Y軸を移動させると共に、回転軸を求めた補間回転位置にさせることによって、工具先端点が円弧位置になり工具方向が補間された角度 (a_i, b_i) になるように各軸を駆動することができる。

20

この方式によって、始点ベクトルと終点ベクトルはそれらを延長しても交差する場合でも、交差しない場合でも補間が可能となり、円錐面の加工が可能となる。

【0018】

上述した工具方向とは工具の加工物に対する相対的な方向である。そのため、この方式は、工具ヘッドが回転する機械、テーブルが回転する機械、または工具ヘッド及びテーブルが回転する機械に同様に適用できるものである。

【0019】

本発明の第1の実施形態

本発明の第1の実施形態として、図3に示すように、X, Y, Z軸の直線軸と工具1のヘッドがY軸回りに回転するB軸とZ軸回りに回転するC軸を有し、工具1がテーブル5上に取り付けられたワーク6に対して相対的に直線移動及び回転する5軸加工機を制御する数値制御装置に、本発明を適用した実施形態である。

30

【0020】

図3では、被加工物のワーク6に対してPA, PB, PC, PDで囲まれた円錐面状の面を加工する例を示しており、PA - PBは円弧である。ただし、この円弧平面2は、X - Y, Y - Z、またはZ - X平面上の2次元の円である必要はなく、図3に示す例では、X - Y平面から傾斜した面にPA - PBの円弧が指定されているものを示している。ただし、PA - PBに対する実際の円弧指令としては、工具径分を考慮した円弧PA' - PB'が指令される。

【0021】

40

この第1の実施形態では、円弧平面2がX - Y平面で指令された場合を示す。このときのプログラムは、例えば次のようになる。

G43.4 H01 ;

工具先端点制御指令

G90 G01 X100.0 Y200.0 Z50.0 B - 10.0 C10.0 F1000;

PA'点への移動と工具傾斜の指令

G03 G17 X160.555 Y400.0 I - 300.0 J200.0 B - 20.0 C20.0 ;

PB'点への円弧指令と工具傾斜の指令

...

...

G49 ;

工具先端点制御キャンセル

50

上記プログラムにおいて、「G43.4」は、工具先端点制御指令を示すコード、「H」は、オフセット番号を指定するコードで「H01」は、オフセット番号01を指定している指令である。また「G90」は、アブソリュート指令のコード、「G01」は直線補間（切削送り）指令のコード、X、Y、Z、B、Cは、X軸、Y軸、Z軸、B軸、C軸への位置指令である。Fは速度指令である。また、「G03」は円弧補間指令（反時計方向回り）であり、Iは円弧始点から円弧中心までのX軸成分、Jは円弧始点から円弧中心までのY軸成分の指令である。

【0022】

このプログラムの指令より、始点における法線方向ベクトル V_{nors} (noris, norjs, norks) は、法線が常に円弧中心を向くことから、 $I =$ 円弧始点から円弧中心までのX軸成分 = 300.0、 $J =$ 円弧始点から円弧中心までのY軸成分 = 200.0より、 $V_{nors} = (-3 / \sqrt{13}, 2 / \sqrt{13}, 0) = (-0.832, 0.555, 0.0)$ として求まる。また、始点における進行方向ベクトル V_{tans} (tanis, tanjs, tanks) は、法線方向ベクトルを V_{nors} と直交するものであるから、 $V_{tans}(0.555, 0.832, 0.0)$ として求まる。

10

【0023】

さらに、始点における工具方向ベクトル V_{ts} (tis, tjs, tks) は、始点におけるB軸、C軸の指令位置が、 $B = -10.0$ 、 $C = 10.0$ であることに基づいて、 $V_{ts}(-\sin B \cos C, -\sin B \sin C, -\cos B) = (-\sin(-10.0)\cos(10.0), -\sin(-10.0)\sin(10.0), -\cos(10.0)) = (0.171, 0.030, -0.985)$ として求まる。

同様に、終点における法線方向ベクトル V_{nore} 、進行方向ベクトル V_{tane} 、工具方向ベクトル V_{te} は、

20

$$V_{nore} = (-1.0, 0.0, 0.0)$$

$$V_{tane} = (0.0, 1.0, 0.0)$$

$$V_{te} = (-\sin(-20.0)\cos(20.0), -\sin(-20.0)\sin(20.0), -\cos(-20.0)) \\ = (0.321, 0.117, -0.940)$$

として求まる。

【0024】

始点における工具方向ベクトル V_{ts} と進行方向ベクトル V_{tans} の内積を求めることによって始点における進行方向とのなす角 as 、始点における工具方向ベクトル V_{ts} と法線方向ベクトルを V_{nors} の内積を求めることによって始点における法線方向とのなす角 bs 、終点における工具方向ベクトル V_{te} と進行方向ベクトル V_{tane} の内積を求めることによって終点における進行方向とのなす角 ae 、終点における工具方向ベクトル V_{te} と法線方向ベクトルを V_{nore} の内積を求めることによって終点における法線方向とのなす角 be は、次のように求まる。

30

$$as=94.001\text{度}$$

$$bs=84.85\text{度}$$

$$ae=83.282\text{度}$$

$$be=71.253\text{度}$$

このプログラムにおける、始点 PA' 、終点 PB' 点での進行方向ベクトル、法線方向ベクトル、工具方向ベクトルはそれぞれ、図4のようになる。ここで、各ベクトルは単位ベクトルである。

40

【0025】

また、プログラムで指令されたI、Jの値から、円弧半径が求められ、始点における法線方向ベクトル V_{nors} から終点における法線方向ベクトル V_{nore} への変化量より、円弧の回転角が求められ、これら半径と回転角によって指令円弧長 cl は求められる。このプログラムの例では

$$cl=212.007$$

である。

【0026】

そこで、公知技術である従来の円弧補間を行いながら、円弧補間点(cxi, cyi, czi)を

50

求めると共に、始点から円弧補間点までの円弧長 c_i を求め、上述した(1)式、(2)式によって工具方向 (a_i, b_i) を求める。また、補間点における進行方向ベクトル V_{tani} 、法線方向ベクトル V_{nori} は、公知技術である従来の円弧補間によって求められる。

【0027】

こうして求めた円弧補間点における工具方向 (a_i, b_i) と進行方向ベクトル V_{tani} 、法線方向ベクトル V_{nori} から上述した(3)式～(5)式の演算を行って工具方向ベクトル $V_{ti}(i_i, j_i, k_i)$ を求める。

【0028】

B軸位置が0度、C軸位置が0度の時の工具方向 $(0, 0, -1)$ をB軸位置 B_{ai} 、C軸位置 C_{ai} だけ回転することにより工具方向ベクトル $V_{ti}(i_i, j_i, k_i)$ となるため、次の(6)式が成り立つ。これを解くことによって、移動すべきB軸位置 B_{ai} 、およびC軸位置 C_{ai} を求めることができる。ここで、 B_{ai} 、 C_{ai} は複数解が得られるが、直前のB軸、C軸位置に近い位置を選ぶようにする。

【0029】

【数1】

$$\begin{bmatrix} i_i \\ j_i \\ k_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(C_{ai}) & -\sin(C_{ai}) & 0 \\ \sin(C_{ai}) & \cos(C_{ai}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(B_{ai}) & 0 & \sin(B_{ai}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(B_{ai}) & 0 & \cos(B_{ai}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

【0030】

そして、プログラムのコード「H01」で指令されている工具長が t_l とすると、この工具長 t_l で、次の(7)～(9)式で示されるように、円弧補間点 (c_{xi}, c_{yi}, c_{zi}) を補正して、XYZ軸制御点3の位置(B軸、C軸の回転軸が交差する位置)である、移動すべきX軸位置 X_{ai} 、Y軸位置 Y_{ai} およびZ軸位置 Z_{ai} を求めることができる。

$$X_{ai} = c_{xi} - i_i * t_l \quad \dots (7)$$

$$Y_{ai} = c_{yi} - j_i * t_l \quad \dots (8)$$

$$Z_{ai} = c_{zi} - k_i * t_l \quad \dots (9)$$

よって、X、Y、Z軸を X_{ai} 、 Y_{ai} 、 Z_{ai} に移動させると共に回転軸のB軸、C軸を(6)式で求めた B_{ai} 、 C_{ai} に移動させることによって、図3において、ワーク6に対してPA、PB、PC、PDで囲まれた円錐面状の面を加工することができる。

【0031】

本発明の第2の実施形態

この第2の実施形態の数値制御装置が制御する工作機械の構成は、図3に示した第1の実施形態と同じである。この第2の実施形態の場合も、PA、PB、PC、PDで囲まれた円錐面状の面を加工するものであり、PA-PBは円弧である。ただし、この円弧は、X-Y、Y-Z、またはZ-X平面上の2次元の円弧ではなく、円弧が指令される円弧平面2は傾いているものであり、2次元の円弧でないため、中間点PMが指令される。

【0032】

実際の円弧指令としては、第1の実施形態と同様に工具径分を考慮した円弧PA'-PB'、中間点PM'が指令される。

【0033】

始点PA'を(100.0, 200.0, 50.0)、終点PB'を(174.166, 400.0, 150.0)、円弧中心を(-200, 400, 150)とする円弧を指令する場合、中間点PM'としては例えば(157.071, 300.0, 100.0)を指令することができる。この場合のプログラムとしては次のようになる。

G43.4 H01 ; ... 工具先端点制御指令

G90 G01 X100.0 Y200.0 Z50.0 B - 10.0 C10.0 F1000;

... PA'点への移動と工具傾斜の指令

G03.4 X157.071 Y300.0 Z100.0 B - 15.0 C15.0 ; ... 3次元円弧、PM'(中間点)、

10

20

30

40

50

中間点の工具傾斜の指令

X174.166 Y400.0 Z150.0 B - 20.0 C20.0 ;

...PB' 点への移動と工具傾斜の指令

...

...

G49 ;

...工具先端点制御キャンセル

このプログラムの指令と、円弧中心より始点PA'、終点PB'、中間点PM'の各点での進行方向ベクトル V_{tans} 、 V_{tane} 、 V_{tanm} 、法線方向ベクトル V_{nors} 、 V_{nore} 、 V_{norm} 、工具方向ベクトル V_{ts} 、 V_{te} 、 V_{tm} を第1の実施形態と同じようにして求める。各ベクトルは図5のようになる。ここで、各ベクトルは単位ベクトルである。

【0034】

10

こうして求めた各点の進行方向ベクトル、法線方向ベクトル、工具方向ベクトルより、第1の実施形態と同様に、工具方向ベクトルと進行方向ベクトルの内積を求めることによって、始点、終点における進行方向とのなす角 a_s 、 a_e 及び中間点での進行方向と工具方向のなす角 a_m 、工具方向ベクトルと法線方向ベクトルの内積を求めることによって、始点、終点における法線方向とのなす角 b_s 、 b_e 、及び中間点での法線方向と工具方向のなす角 b_m は、次のように求まる。

$a_s=76.744$ 度

$b_s=67.406$ 度

$a_e=71.602$ 度

$b_e=71.253$ 度

$a_m=73.718$ 度

$b_m=69.528$ 度

20

また、第1の実施形態と同様に、始点PA'から中間点PM'への指令円弧長 c_{lm} は、 $c_{lm}=126.124$

として求められ、中間点PM'から終点PB'への指令円弧長 c_{lb} は、

$c_{lb}=113.538$

として求められる。

【0035】

そして、従来から公知慣用の技術である3次元空間内の円弧補間を行いながら始点から円弧補間点までの円弧長 c_i を求め、補間点における工具方向(a_i , b_i)を次のようにして求める。

30

1) 始点PA'から中間点PM'までの補間点の場合

$a_i=c_i/c_{lm}*(a_m - a_s)+a_s$... (10)

$b_i=c_i/c_{lm}*(b_m - b_s)+b_s$... (11)

2) 中間点PM'から終点PB'までの補間点の場合

$a_i=(c_i - c_{lm})/c_{lb}*(a_e - a_m)+a_m$... (12)

$b_i=(c_i - c_{lm})/c_{lb}*(b_e - b_m)+b_m$... (13)

この補間点における工具方向(a_i , b_i)を求める方法がこの第2の実施形態は、第1の実施形態と相違し、第1の実施形態での(1)式、(2)式によって工具方向(a_i , b_i)を求めていた点が、上記(10)~(13)式に代わる点において相違する。

40

【0036】

また、第1の実施形態と同様に、補間点における進行方向ベクトル V_{tani} 、法線方向ベクトル V_{nori} は、従来から公知慣用の技術である3次元空間内の円弧補間によって求まる。

【0037】

こうして求めた円弧補間点における工具方向(a_i , b_i)と進行方向ベクトル V_{tani} 、法線方向ベクトル V_{nori} から、第1の実施形態と同様に、上述した(3)式~(5)式の演算を行って工具方向ベクトル V_{ti} (i_i , j_i , k_i)を求め、さらに、(6)式の演算を行って、回転軸B軸、C軸の位置 B_{ai} 、 C_{ai} を求める。

【0038】

50

さらに、第1の実施形態と同様に、移動すべきX軸位置 X_{ai} 、Y軸位置 Y_{ai} 、およびZ軸位置 Z_{ai} を(7)~(9)式の演算を行って求める。

【0039】

求めたX、Y、Z軸の位置 X_{ai} 、 Y_{ai} 、 Z_{ai} にX、Y、Z軸を移動させると共に回転軸のB軸、C軸を求めた B_{ai} 、 C_{ai} に移動させることによって、図3において、ワーク6に対してPA、PB、PC、PDで囲まれた円錐面状の面を加工することができる。

【0040】

本発明の第3の実施形態

この第3の実施形態は、工具ヘッドが回転するのではなく、ワークを取り付けるテーブルが回転する5軸加工用の工作機械での円錐面を加工する例であり、図6にこの工作機械の概要を示す。互いに直交する直線軸のX、Y、Z軸とX軸と平行な軸回りに回転する回転軸AとZ軸と平行な軸の回りに回転する回転軸Cを備え、工具1はテーブル5及びワーク6に対して相対的にX、Y、Z軸方向に直線移動し、テーブル5は回転軸A、Cによって回転される。

10

【0041】

このような加工機においても、テーブル5に取り付けたワーク6に対してPA、PB、PC、PDで囲まれた面を加工する場合、円弧としては第1、第2の実施形態と同様に、工具径を考慮してPA' - PB'が指令される。そのような加工においても、第1、第2の実施形態による加工が可能である。

【0042】

20

ここで、図6のテーブル5上における X_p - Y_p - Z_p をプログラム座標系とし、この座標系上でプログラム指令される。プログラム座標系は工具先端点制御モードが指令されたときのワーク座標系とし、そのワーク座標系原点を($w0x$, $w0y$, $w0z$)、A軸、C軸の回転中心は交差するとしその位置を(rcx , rcy , rcz)とする。また、プログラム座標系はテーブル回転とともに回転する。

【0043】

この第3の実施形態においても、円弧上の補間位置(cxi , cyi , cz_i)を求め、各補間点における工具方向(ai , bi)を求め、さらに、工具方向ベクトル V_{ti} (ii , ji , ki)を求めるまでは、第1、第2の実施形態と同様である。すなわち、プログラム座標系で、X - Y、Y - Z、またはZ - X平面上の2次元の円弧として、PA - PBの円弧が指令される場合は、(1)、(2)式によって工具方向(ai , bi)を求め、(3)、(4)、(5)式によって工具方向ベクトル V_{ti} (ii , ji , ki)を求める。また、PA - PBの円弧が2次元円弧ではないときは、中間点PMが指令されて、(10)~(13)式によって工具方向(ai , bi)を求め、続いて(3)、(4)、(5)式によって工具方向ベクトル V_{ti} (ii , ji , ki)を求める。

30

【0044】

そして、移動すべきA軸位置 A_{ai} 、C軸位置 C_{ai} 、X軸位置 X_{ai} 、Y軸位置 Y_{ai} およびZ軸位置 Z_{ai} を(6)式~(9)式の代わりに次の(14)式、(15)式によって求める。

【0045】

40

機械座標系上の工具方向は(0, 0, -1)なので、工具方向ベクトル V_{ti} (ii , ji , ki)がC軸位置 C_{ai} 、A軸位置 A_{ai} だけ回転することにより(0, 0, -1)となる必要がある。そのため、(14)式が成り立つ。これを解くことによって、移動すべきC軸位置 C_{ai} 、およびA軸位置 A_{ai} を求めることができる。ここで、テーブル回転の正方向は座標系の正方向と逆のため、 A_{ai} 、 C_{ai} に負号が付く。

【0046】

【数 2】

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-A_{ai}) & -\sin(-A_{ai}) \\ 0 & \sin(-A_{ai}) & \cos(-A_{ai}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(-C_{ai}) & -\sin(-C_{ai}) & 0 \\ \sin(-C_{ai}) & \cos(-C_{ai}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_i \\ j_i \\ k_i \end{bmatrix} \quad \dots (14)$$

【0047】

さらに、プログラム座標系上の円弧補間点を(cxi, cyi, czi)とすると、次の(15)式の計算によって、移動すべきX軸位置Xai、Y軸位置Yai、およびZ軸位置Zaiを求めることができる。この位置Xai、YaiおよびZaiは、図6におけるXYZ軸制御点(工具の根元位置)3である。

10

【0048】

【数 3】

$$\begin{bmatrix} X_{ai} \\ Y_{ai} \\ Z_{ai} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & rcx \\ 0 & \cos(-A_{ai}) & -\sin(-A_{ai}) & rcy \\ 0 & \sin(-A_{ai}) & \cos(-A_{ai}) & rcz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(-C_{ai}) & -\sin(-C_{ai}) & 0 & 0 \\ \sin(-C_{ai}) & \cos(-C_{ai}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_0x+cxi-rcx \\ w_0y+cyi-rcy \\ w_0z+czi-rcz \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ tl \\ 0 \end{bmatrix}$$

… (15)

20

【0049】

本発明の第4の実施形態

この第4の実施形態は、図7に示すように、テーブル5の回転軸が1軸(C軸)あり、工具ヘッドの回転軸が1軸(B軸)あるような5軸加工機により加工する場合である。互いに直交する直線軸のX、Y、Z軸と、Y軸と平行な軸回りに工具2が回転する回転軸Bと、Z軸と平行な軸の回りにテーブル5が回転する回転軸Cを備えるものである。

【0050】

このような機械においても、テーブル5に取り付けたワーク6に対してPA、PB、PC、PDで囲まれた円錐面状の面を加工することが可能であり、円弧としては第1、第2の実施形態と同様に、工具径を考慮してPA'-PB'が指令される。そのような加工においても、第1、第2の実施形態による加工が可能である。

30

【0051】

ここで、図7のテーブル5上におけるXp-Yp-Zpをプログラム座標系とし、この座標系上でプログラム指令される。プログラム座標系は工具先端点制御モードが指令されたときのワーク座標系としそのワーク座標系原点を(w0x, w0y, w0z)、C軸の回転中心の位置を(rcx, rcy, rcz)とする。また、プログラム座標系はテーブル回転とともに回転する。

【0052】

この第4の実施形態も、第3の実施形態と同様に、プログラム座標系で、X-Y、Y-Z、またはZ-X平面上の2次元の円弧として、PA-PBの円弧が指令される場合は、(1)、(2)式によって工具方向(ai, bi)を求め、(3)、(4)、(5)式によって工具方向ベクトルVti(ii, ji, ki)を求め、また、PA-PBの円弧が2次元円弧ではないときは、中間点PMが指令されて、(10)~(13)式によって工具方向(ai, bi)を求め、続いて(3)、(4)、(5)式によって工具方向ベクトルVti(ii, ji, ki)を求めるまでは、第3の実施形態と同一である(第1または第2の実施形態とも同じである)。

40

【0053】

こうして求めた工具方向ベクトルVti(ii, ji, ki)を用いて、次の(16)式、(17)式によって、移動すべきB軸位置Bai、C軸位置Cai、X軸位置Xai、Y軸位置YaiおよびZ軸位置Zaiを求める。

50

【 0 0 5 4 】

B 軸位置が 0 度の時の工具方向 (0 , 0 , - 1) を B 軸位置 Bai だけ回転したベクトルと、工具方向ベクトル Vti (ii , ji , ki) を C 軸位置 Cai だけ回転したベクトルが一致することから、式 (1 6) が成り立つ。これを解くことによって、移動すべき C 軸位置 Cai , および B 軸位置 Bai を求めることができる。

【 0 0 5 5 】

【 数 4 】

$$\begin{bmatrix} \cos(Bai) & 0 & \sin(Bai) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(Bai) & 0 & \cos(Bai) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-Cai) & -\sin(-Cai) & 0 \\ \sin(-Cai) & \cos(-Cai) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ii \\ ji \\ ki \end{bmatrix} \quad \dots (16) \quad 10$$

【 0 0 5 6 】

そして、プログラム座標系上の円弧補間点を (cxi , cyi , czi) とすると、次の (1 7) 式の計算によって、移動すべき X 軸位置 Xai , Y 軸位置 Yai , および Z 軸位置 Zai を求めることができる。ここで、Xai , Yai , および Zai は、図 7 における X Y Z 軸制御点 (B 軸回転中心位置) 3 である。

【 0 0 5 7 】

【 数 5 】

$$\begin{bmatrix} Xai \\ Yai \\ Zai \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-Cai) & -\sin(-Cai) & 0 & rcx \\ \sin(-Cai) & \cos(-Cai) & 0 & rcy \\ 0 & 0 & 1 & rcz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w0x+cxi - rcx \\ w0y+cyi - rcy \\ w0z+czi - rcz \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(Bai) & 0 & \sin(Bai) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(Bai) & 0 & \cos(Bai) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ ti \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots (17) \quad 20$$

【 0 0 5 8 】

図 8 は、上述した各実施形態を実施する数値制御装置の要部機能ブロック図である。数値制御装置の構成は、従来の 5 軸加工機を制御する数値制御装置の構成と同様であることから、簡単に機能ブロック図で示している。

指令解析部 1 0 は、プログラムでの指令を解析し、実行指令データを作成し、補間手段 1 1 は、この実行データに基づいて、補間周期毎の各軸への移動指令を求め、X 軸、Y 軸、Z 軸、B 軸 (または A 軸)、C 軸の各加減速処理 1 2 x ~ 1 2 c を行い、移動指令を X 軸、Y 軸、Z 軸、B 軸 (または A 軸)、C 軸の各サーボ制御部 1 3 x ~ 1 3 c に出力する。各サーボ制御部 1 3 x ~ 1 3 c では、位置、速度、電流のフィードバック制御を行って各軸のサーボモータを駆動する。

【 0 0 5 9 】

図 9、図 1 0 は、上述した第 1 の実施形態の円錐面の加工処理を、数値制御装置のプロセッサが実施する処理のアルゴリズムを示すフローチャートであり、図 9 は、指令解析部 1 0 における本発明が関係する部分の処理を示すフローチャートであり、図 1 0 は、補間手段 1 1 として実施する補間周期毎の本発明が関係する部分の処理のフローチャートである。

プログラムより「G 0 3」の円弧指令が読み出されたときには、プロセッサは本発明に關係して指令解析部 1 0 の処理として図 9 の処理を開始し、まず始点と終点間の円弧長 cl を求める (ステップ 1 0 1) 。

【 0 0 6 0 】

次にプログラムで指令された始点、終点位置と円弧中心より始点、終点における法線方向ベクトル Vnors , Vnore、接線方向ベクトル Vtans , Vtane 及び工具方向ベクトル Vts , Vte を求める (ステップ 1 0 2) 。

【 0 0 6 1 】

工具方向ベクトルと進行方向ベクトルの内積、工具方向ベクトルと法線方向ベクトルの内積によって、前述したように、始点及び終点における進行方向とのなす角 as 、 ae 、法線方向とのなす角 bs 、 be を求め、指令解析部10の処理は終了する(ステップ103)。

【0062】

一方、補間手段11の処理として、プロセッサは、従来と同様に指令された円弧の始点と終点間を円弧補間し円弧補間点(cx_i, cy_i, cz_i)と、補間点までの円弧長 c_i を求める(ステップ201)。

ステップ101で求めた円弧長 c_1 、ステップ103で求めた始点及び終点における進行方向とのなす角 as 、 ae 、法線方向とのなす角 bs 、 be 、及びステップ201で求めた補間点までの円弧長 c_i によって(1)式、(2)式の演算を行うことによって、補間点での工具方向の進行方向とのなす角 ai 、法線方向とのなす角 bi を求める。さらに、公知技術である従来の円弧補間によって補間点における法線方向ベクトル V_{nori} 、接線方向ベクトル V_{tani} を求める(ステップ202)。

10

【0063】

補間点における角度 ai 、 bi 、法線方向ベクトル V_{nori} 、接線方向ベクトル V_{tani} を用いて(3)~(5)式の演算を行うことによって工具方向ベクトル $V_{ti}(ii, ji, ki)$ を求める(ステップ203)。

【0064】

この工具方向ベクトル $V_{ti}(ii, ji, ki)$ を用いて(6)式の演算を行い回転軸のB軸位置 B_{ai} 、C軸位置 C_{ai} を求める(ステップ204)。

20

ステップ201で求めた円弧補間点(cx_i, cy_i, cz_i)とステップ203で求めた工具方向ベクトル $V_{ti}(ii, ji, ki)$ 及び工具長 t_1 を用いて、(7)~(9)式の演算を行ってX軸位置 X_{ai} 、Y軸位置 Y_{ai} 、Z軸位置 Z_{ai} を求める(ステップ205)。

【0065】

求めたX軸位置 X_{ai} 、Y軸位置 Y_{ai} 、Z軸位置 Z_{ai} 、B軸位置 B_{ai} 、C軸位置 C_{ai} と前回の補間周期で求めたこれらの位置との差を各軸への移動指令量として加減速処理部に出し(ステップ206)、この補間処理を終了する。以下、補間周期毎この処理を実行して5軸加工機を駆動制御して円錐面の加工を行う。

【0066】

図9、図10に示した処理は第1の実施形態の場合であり、プログラムで指令される円弧が2次元である場合であるが、第2実施形態のように円弧が3次元円弧である場合は、中間点が指令され、ステップ101で中間点までの指令円弧長 c_{lm} 、中間点から終点までの円弧長 c_{lb} も求められ、ステップ102では中間点での法線方向ベクトル V_{norm} 、接線方向ベクトル V_{tanm} も求められ、ステップ103では、中間点での工具方向の進行方向とのなす角 am 、法線方向とのなす角度 bm が求められる。ステップ204では(10)~(13)式に基づいて補間点における工具方向 ai, bi が求められる。他の処理は図10で示す処理と同じである。

30

【0067】

また、第3の実施形態の場合での処理は、ステップ204で(14)式の演算を行って、A軸位置 A_{ai} 、C軸位置 C_{ai} を求める点、ステップ205で(15)式の演算を行ってX軸位置 X_{ai} 、Y軸位置 Y_{ai} 、Z軸位置 Z_{ai} を求める点、ステップ206では、B軸位置の代わりにA軸位置 A_{ai} によって、X軸、Y軸、Z軸、A軸、C軸に対する移動指令が求められ出力される点で相違し、他は同一である。

40

【0068】

また、第4の実施形態においては、ステップ204で(16)式の演算を行って、B軸位置 B_{ai} 、C軸位置 C_{ai} を求める点、ステップ205で(17)式の演算を行ってX軸位置 X_{ai} 、Y軸位置 Y_{ai} 、Z軸位置 Z_{ai} を求める点で相違し、他は同一である。

【0069】

以上のように、各実施形態では、図14に示すような、始点ベクトル(始点における工具方向ベクトル)、終点ベクトル(終点における工具方向ベクトル)、および補間中の円

50

錐面上の工具方向ベクトル、またはそれらの延長線は交差しない円錐状の加工面も、また交差する加工面も加工ができ、指令円弧が2次元のものに限定されず、3次元の円弧の指令であっても加工を可能にするものである。

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】本発明の原理を説明する説明図である。

【図2】補間点における工具方向、進行方向ベクトル、法線方向ベクトル及び工具方向ベクトルの関係を説明する図である。

【図3】本発明の第1、第2の実施形態での加工を実施する5軸加工機の構成図である。

【図4】本発明の第1の実施形態における始点、終点、補間点での進行方向ベクトル、法線方向ベクトル、工具方向ベクトルの説明図である。 10

【図5】本発明の第2の実施形態における始点、終点、中間点での進行方向ベクトル、法線方向ベクトル、工具方向ベクトルの説明図である。

【図6】本発明の第3の実施形態での加工を実施する5軸加工機の構成図である。

【図7】本発明の第4の実施形態での加工を実施する5軸加工機の構成図である。

【図8】本発明の各実施形態を実施する数値制御装置の要部機能ブロック図である。

【図9】本発明の第1の実施形態による円錐面の加工処理における解析部での処理のアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図10】本発明の第1の実施形態による円錐面の加工処理における補間処理のアルゴリズムを示すフローチャートである。 20

【図11】先行技術による第1の円錐面加工の説明図である。

【図12】先行技術による第2の円錐面加工の説明図である。

【図13】先行技術による第3の円錐面加工の説明図である。

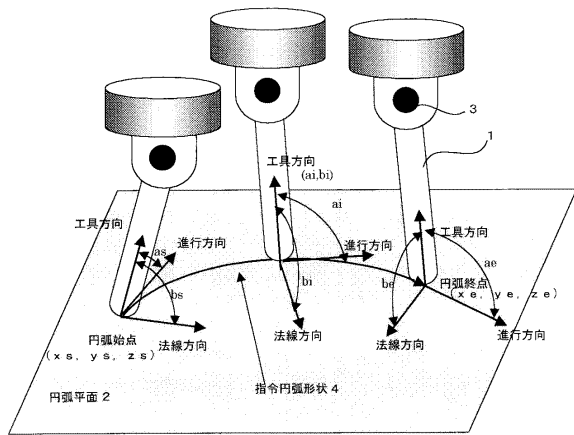
【図14】先行技術で加工できない円錐面の説明図である。

【符号の説明】

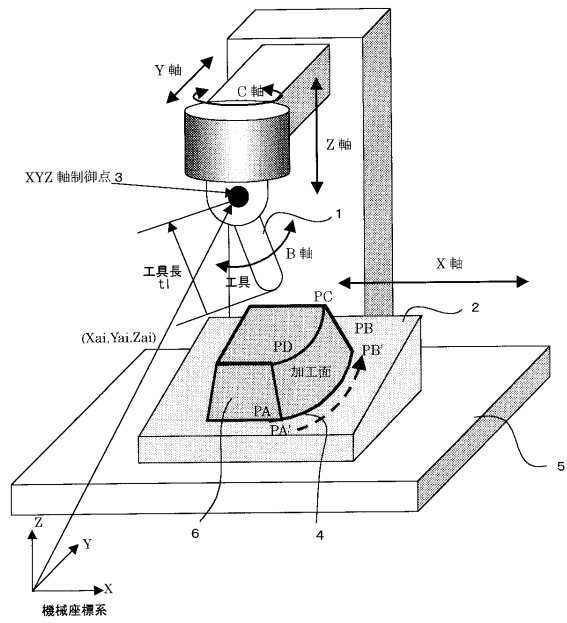
【0071】

- 1 工具
- 2 円弧平面
- 3 X Y Z 軸制御点
- 4 指令円弧形状
- 5 テーブル
- 6 ワーク（被加工物）

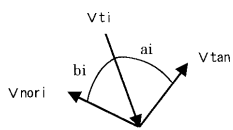
【図1】



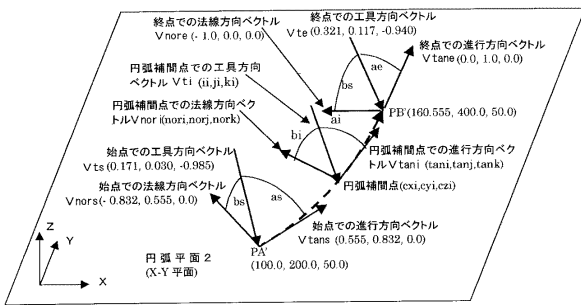
【図3】



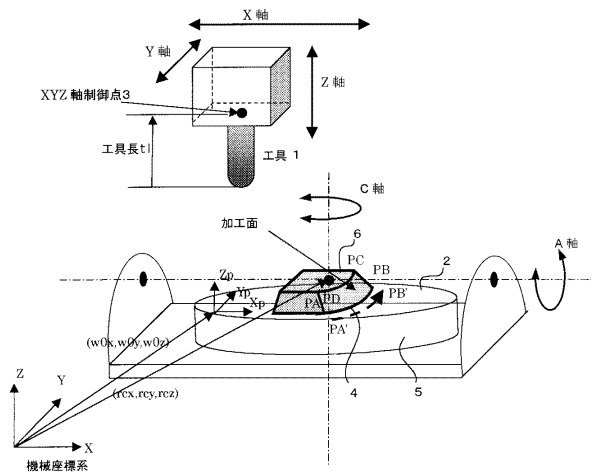
【図2】



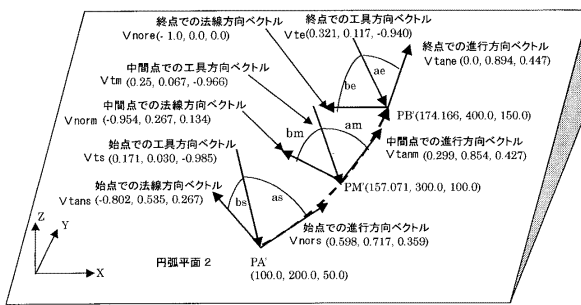
【図4】



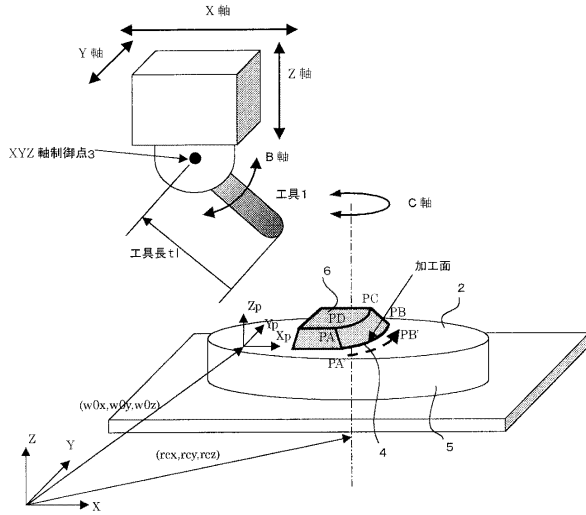
【図6】



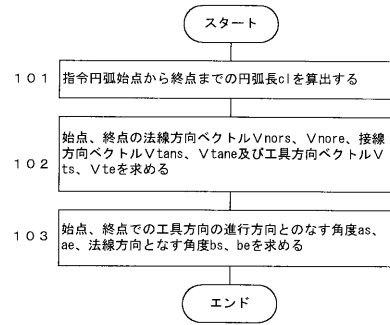
【図5】



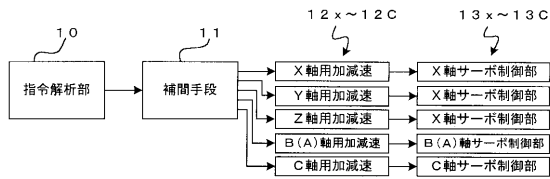
【図7】



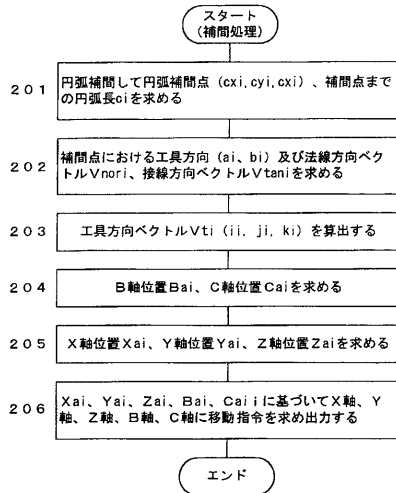
【図9】



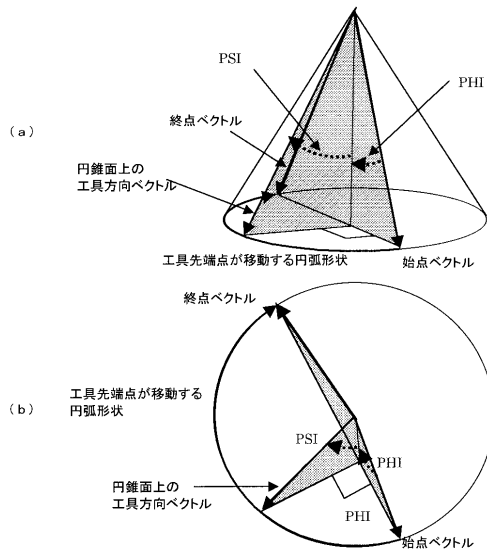
【図8】



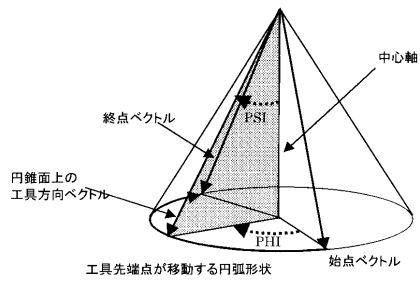
【図10】



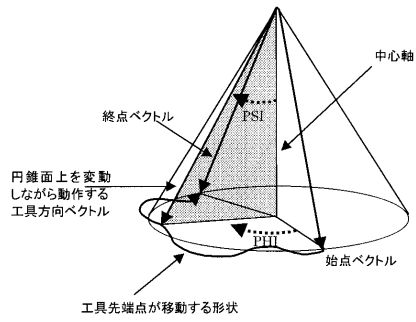
【図11】



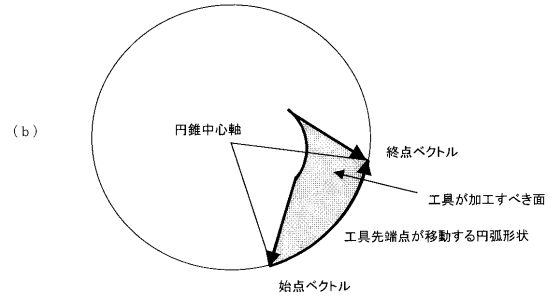
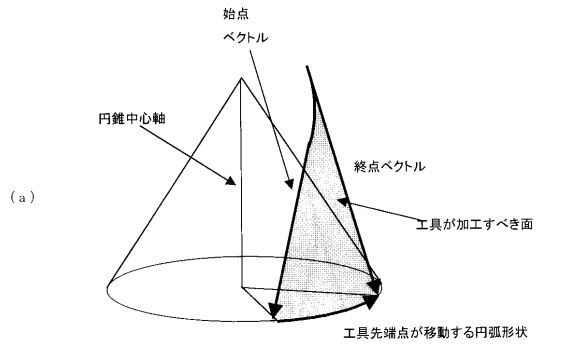
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

(74)代理人 100152124

弁理士 白石 光男

(72)発明者 大槻 俊明

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

(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 大山 健

(56)参考文献 特開2003-308115(JP,A)

特開平04-088511(JP,A)

特開平09-073309(JP,A)

特開平11-231925(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/18 - 19/46

B23Q 15/00 - 15/28