

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4244705号
(P4244705)

(45) 発行日 平成21年3月25日(2009.3.25)

(24) 登録日 平成21年1月16日(2009.1.16)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 3 K 26/04 (2006.01)

B 2 3 K 26/04 Z

B 2 3 K 26/06 (2006.01)

B 2 3 K 26/06 A

B 2 3 K 26/08 (2006.01)

B 2 3 K 26/08 H

G O 5 B 19/18 (2006.01)

G O 5 B 19/18 A

請求項の数 8 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2003-150942 (P2003-150942)
 (22) 出願日 平成15年5月28日(2003.5.28)
 (65) 公開番号 特開2004-351450 (P2004-351450A)
 (43) 公開日 平成16年12月16日(2004.12.16)
 審査請求日 平成18年4月18日(2006.4.18)

(73) 特許権者 000006622
 株式会社安川電機
 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
 (74) 代理人 100105647
 弁理士 小栗 昌平
 (74) 代理人 100105474
 弁理士 本多 弘徳
 (74) 代理人 100108589
 弁理士 市川 利光
 (72) 発明者 福島 誠一郎
 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
 株式会社安川電機内

審査官 青木 正博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション装置およびその方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

狙い位置へレーザ焦点を倣わせるための回転機構とレーザ焦点の回転範囲を狙い位置に移動させるためにレーザ加工ヘッド自体を移動する機構とを有する装置に用いられ、異なる座標系のキャリブレーションを行いレーザ焦点を狙い位置に倣わせる回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション装置において、

キャリブレーションプレート上のマーク点を前記レーザ加工ヘッドに予め固定された制御点 T O O L 0 として指し、ロボット座標系の位置 r e f . 1 として記憶する制御点登録手段と、

前記制御点より前記レーザ加工ヘッドを所定パルス分だけ回転軸上を回転させてレーザ焦点が前記キャリブレーションプレート上のマーク点を指した後所定量上昇又は下降させて複数の教示点を設定し、前記複数の教示点のロボット座標系の各位置 r e f . 2 ~ r e f . 7 を記憶する教示点登録手段と、

前記位置 r e f 1 ~ r e f 7 のロボット座標系上の位置を用いて前記 T O O L 0 上の位置ベクトルとして c 1 1 ~ c 3 2 を求めてツール座標系への座標変換を行う教示点位置ベクトル演算手段と、

同様にレーザセンサ座標系による位置のロボット座標系上の位置を用いて前記 T O O L 0 上の位置ベクトルとして S c、S 1、S 2 および S 3 を求めてツール座標系への座標変換を行いレーザセンサ座標系を前記制御点からの相対位置として把握するセンサ位置ベクトル演算手段と、

10

20

前記レーザ加工ヘッドの回転軸に平行で加工ヘッドに向かう方向の単位ベクトルとして、
 前記位置ベクトルより複数の方向ベクトルを求めて合成した合成ベクトルを平均してツール座標系で表すZ軸方向の単位ベクトル e_{Lf} を求めるZ軸方向単位ベクトル演算手段と、
 、
 前記加工レーザ回転基準面と複数のレーザ交点を求めるレーザ回転基準面交点演算手段と、
 、
 前記複数のレーザ回転基準面交点よりレーザ回転軸原点 L_0 を求めるレーザ回転軸原点演算手段と、
 前記センサの視野中心 S_c からレーザ回転基準面へ垂直に下ろした垂下点と、前記レーザ回転軸原点 L_0 より前記垂下点へ向かう方向単位ベクトルを前記Z軸方向単位ベクトル e_{Lf} を基準にX軸方向への正面単位ベクトル e_{fr} として求めるX軸方向単位ベクトル演算手段と、
 前記Z軸方向単位ベクトルとX軸方向単位ベクトルを乗算してY軸方向単位ベクトル $e_{Lf} \times e_{fr}$ を求めるY軸方向単位ベクトル演算手段と、
 を有していることを特徴とする回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション装置。

10

【請求項2】

狙い位置へレーザ焦点を合わせるための回転機構とレーザ焦点の回転範囲を狙い位置に移動させるためにレーザ加工ヘッド自体を移動する機構とを有する装置に用いられ、異なる座標系のキャリブレーションを行いレーザ焦点を狙い位置に合わせる回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、
 キャリブレーションプレート上のマーク点を前記レーザ加工ヘッドに予め固定された制御点 $TOOL_0$ として指し、ロボット座標系の位置 $ref.1$ として記憶し、
 前記制御点より前記レーザ加工ヘッドを所定パルス分だけ回転軸上を回転させてレーザ焦点が前記キャリブレーションプレート上のマーク点を指した後所定量上昇又は下降させて複数の教示点を設定し、前記複数の教示点のロボット座標系の各位置 $ref.2 \sim ref.7$ を記憶し、
 前記位置 $ref.1 \sim ref.7$ のロボット座標系上の位置を用いて前記 $TOOL_0$ 上の位置ベクトルとして $c_{11} \sim c_{32}$ を求めてツール座標系への座標変換をし、同様にレーザセンサ座標系による位置のロボット座標系上の位置を用いて前記 $TOOL_0$ 上の位置ベクトルとして S_c 、 S_1 、 S_2 および S_3 を求めてツール座標系への座標変換を行いレーザセンサ座標系を前記制御点からの相対位置として把握し、
 前記レーザ加工ヘッドの回転軸に平行で加工ヘッドに向かう方向の単位ベクトルとして、前記位置ベクトルより複数の方向ベクトルを求めて合成した合成ベクトルを平均してツール座標系で表すZ軸方向の単位ベクトル e_{Lf} を求め、
 前記加工レーザ回転基準面と複数のレーザ交点を求め、
 前記複数のレーザ回転基準面交点よりレーザ回転軸原点 L_0 を求め、
 前記センサの視野中心 S_c からレーザ回転基準面へ垂直に下ろした垂下点と、前記レーザ回転軸原点 L_0 より前記垂下点へ向かう方向単位ベクトルを前記Z軸方向単位ベクトル e_{Lf} を基準にX軸方向への正面単位ベクトル e_{fr} として求め、
 前記求めたZ軸方向単位ベクトルとX軸方向単位ベクトルを乗算してY軸方向単位ベクトル $e_{Lf} \times e_{fr}$ を求め、
 前記レーザ回転軸原点 L_0 と、X軸姿勢成分 e_{fr} 、Z軸姿勢成分 e_{Lf} およびY軸姿勢成分 $e_{Lf} \times e_{fr}$ によりレーザ加工ヘッドの3次元位置への駆動指令を出力して、レーザ焦点を狙い位置に合わせることを特徴とする回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法。

20

30

40

【請求項3】

前記ツール座標系の各教示点の位置ベクトル $C_{11} \sim C_{32}$ は、少なくとも3本の教示ラインを含む6点の位置ベクトルとして、

【数 1】

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{c11} = \overrightarrow{(\text{ref.2})_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{c12} = \overrightarrow{(\text{ref.3})_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \vdots \\ \overrightarrow{c32} = \overrightarrow{(\text{ref.7})_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \end{array} \right.$$

10

により求めることを特徴とする請求項 2 記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法。

【請求項 4】

前記ツール座標系の各センサ位置ベクトル S_c 、 S_1 、 S_2 および S_3 は、少なくとも 4 点の位置ベクトルとして、

【数 2】

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{Sc} = \overrightarrow{(\text{ref.2}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{S1} = \overrightarrow{(\text{ref.3}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{S2} = \overrightarrow{(\text{ref.4}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{S3} = \overrightarrow{(\text{ref.5}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \end{array} \right.$$

20

により求めることを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法。

【請求項 5】

前記レーザ回転軸の Z 軸方向単位ベクトルを表す e_{Lf} は、

30

【数 3】

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{e_{Lf}} = \frac{\overrightarrow{e_{c1}} + \overrightarrow{e_{c2}} + \overrightarrow{e_{c3}}}{|\overrightarrow{e_{c1}} + \overrightarrow{e_{c2}} + \overrightarrow{e_{c3}}|} \end{array} \right.$$

但し、

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{e_{c1}} = \frac{\overrightarrow{c11} - \overrightarrow{c12}}{|\overrightarrow{c11} - \overrightarrow{c12}|} \\ \overrightarrow{e_{c2}} = \frac{\overrightarrow{c21} - \overrightarrow{c22}}{|\overrightarrow{c21} - \overrightarrow{c22}|} \\ \overrightarrow{e_{c3}} = \frac{\overrightarrow{c31} - \overrightarrow{c32}}{|\overrightarrow{c31} - \overrightarrow{c32}|} \end{array} \right.$$

10

20

により求めることを特徴とする請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法。

【請求項 6】

前記レーザ回転軸の X 軸方向単位ベクトルを表す e_{fr} は、

【数 4】

$$\overrightarrow{e_{fr}} = \frac{\overrightarrow{S_{c\perp}} - \overrightarrow{L_0}}{|\overrightarrow{S_{c\perp}} - \overrightarrow{L_0}|}$$

30

により求めることを特徴とする請求項 2 ～ 5 のいずれか 1 項記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法。

【請求項 7】

前記レーザ回転軸の Y 軸方向単位ベクトルは、

【数 5】

$$\overrightarrow{e_{Lf}} \times \overrightarrow{e_{fr}}$$

で表されることを特徴とする請求項 5 又は 6 記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法。

40

【請求項 8】

前記レーザ加工ヘッドの駆動指令を出力するレーザ回転軸フレームは、

【数 6】

$$\overrightarrow{L_f} = \begin{bmatrix} \overrightarrow{e_{fr}} & \overrightarrow{e_{Lf}} \times \overrightarrow{e_{fr}} & \overrightarrow{e_{Lf}} & \overrightarrow{L_0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

で表されることを特徴とする請求項 2 ～ 7 のいずれか 1 項記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、狙い位置へレーザ焦点を倣わせるための回転機構と、レーザ焦点の回転範囲を狙い位置に移動させるために加工ヘッドそのものを移動させる機構を持つロボット・アーム等の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法に関するものである。（なお、数式以外の文章中では方向ベクトルを表す矢印記号は全て省略する）。

【0002】

【従来の技術】

20

従来より、レーザスリット光を対象ワークに照射して対象ワークの位置を求めて、検出した対象ワークの位置により産業用ロボットの軌跡を修正するような場合、カメラで検出したレーザスリット光の位置を産業用ロボットの座標上の位置に変換するキャリブレーション作業が必要である。

【0003】

図 1 1 は特許文献 1 に開示の「レーザ加工ロボットのワーク倣い装置」の断面図であり、6 軸多関節の YAG レーザ溶接ロボット・アーム R a の先端に、レーザビームノズル H a を備えたレーザ加工ヘッド H が設置されている。ワーク W は 3 辺の両肩部 w を溶接するようなチャンネル形状である。キャリア部材 2 0 1 には各固定ネジ 1 0 4 によりレーザビームノズル H a が Z 方向下向き姿勢に固定され、更に、キャリア部材 2 0 1 にはサイドローラ 2 0 2 及び上下ローラ 2 0 3 が Z 方向軸心及び X 方向軸心回りに自由回転可能に配設されている。

30

一对のサイドローラ 2 0 2 は圧縮コイルばね 2 0 5 によって常に所定圧力でワーク W の外側周辺壁面 W a に押圧され、一对のワークローラ 2 0 3 は自重を含む圧力でワーク W を頂表面 W b に対して押圧されて、それぞれキャリア 2 0 1 の両表面 W a、W b にすき間なく倣って追従できるように構成されている。

【0004】

【特許文献 1】

特開平 9 - 2 4 8 6 8 3 号公報（第 2 ～ 3 頁、図 2）

【0005】

40

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の技術において特許文献 1 の場合は、機械的な倣い装置であり、特に大型サイズのワークに対して効果があるとされているものであるが、小形ワーク等については精度が悪く、また、少量多品種の生産ラインでは位置決めピン等のワークのセッティング用工具以外に、いちいち高価な機械式の倣い装置を製作して 1 生産ライン毎に使い捨てるのは無駄が多いという問題があった。

【0006】

そこで、本発明は、キャリブレーションプレートを用いて制御点・教示点をセッティングし、位置・方向ベクトル演算を用いてベース座標系への座標変換を行って、高さ方向（Z 軸方向）の単位方向ベクトルを求め、これを基準に X 軸及び Y 軸成分の単位方向ベクトル

50

を求める高精度な３次元キャリブレーションによって、低コストな構成で、狙い位置にレーザ焦点を正確に迅速に照射できる微細制御を実施できる回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法を提供することを目的としている。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項１に記載のキャリブレーション装置の発明は、狙い位置へレーザ焦点を倣わせるための回転機構とレーザ焦点の回転範囲を狙い位置に移動させるためにレーザ加工ヘッド自体を移動する機構とを有する装置に用いられ、異なる座標系のキャリブレーションを行いレーザ焦点を狙い位置に倣わせる回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション装置において、

キャリブレーションプレート上のマーク点を前記レーザ加工ヘッドに予め固定された制御点 $T O O L 0$ として指し、ロボット座標系の位置 $r e f . 1$ として記憶する制御点登録手段と、前記制御点より前記レーザ加工ヘッドを所定パルス分だけ回転軸上を回転させてレーザ焦点が前記キャリブレーションプレート上のマーク点を指した後所定量上昇又は下降させて複数の教示点を設定し、前記複数の教示点のロボット座標系の各位置 $r e f . 2 \sim r e f . 7$ を記憶する教示点登録手段と、前記位置 $r e f 1 \sim r e f 7$ のロボット座標系上の位置を用いて前記 $T O O L 0$ 上の位置ベクトルとして $c 1 1 \sim c 3 2$ を求めてツール座標系への座標変換を行う教示点位置ベクトル演算手段と、同様にレーザセンサ座標系による位置のロボット座標系上の位置を用いて前記 $T O O L 0$ 上の位置ベクトルとして $S c$ 、 $S 1$ 、 $S 2$ および $S 3$ を求めてツール座標系への座標変換を行いレーザセンサ座標系を前記制御点からの相対位置として把握するセンサ位置ベクトル演算手段と、前記レーザ加工ヘッドの回転軸に平行で加工ヘッドに向かう方向の単位ベクトルとして、前記位置ベクトルより複数の方向ベクトルを求めて合成した合成ベクトルを平均してツール座標系で表す Z 軸方向の単位ベクトル $e L f$ を求める Z 軸方向単位ベクトル演算手段と、前記加工レーザ回転基準面と複数のレーザ交点を求めるレーザ回転基準面交点演算手段と、前記複数のレーザ回転基準面交点よりレーザ回転軸原点 $L 0$ を求めるレーザ回転軸原点演算手段と、前記センサの視野中心 $S c$ からレーザ回転基準面へ垂直に下ろした垂下点と、前記レーザ回転軸原点 $L 0$ より前記垂下点へ向かう方向単位ベクトルを前記 Z 軸方向単位ベクトル $e L f$ を基準に X 軸方向への正面単位ベクトル $e f r$ として求める X 軸方向単位ベクトル演算手段と、前記 Z 軸方向単位ベクトルと X 軸方向単位ベクトルを乗算して Y 軸方向単位ベクトル $e L f \times e f r$ を求める Y 軸方向単位ベクトル演算手段と、を有していることを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

請求項２に記載の発明のキャリブレーション方法は、狙い位置へレーザ焦点を倣わせるための回転機構とレーザ焦点の回転範囲を狙い位置に移動させるためにレーザ加工ヘッド自体を移動する機構とを有する装置に用いられ、異なる座標系のキャリブレーションを行いレーザ焦点を狙い位置に倣わせる回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、キャリブレーションプレート上のマーク点を前記レーザ加工ヘッドに予め固定された制御点 $T O O L 0$ として指し、ロボット座標系の位置 $r e f . 1$ として記憶し、前記制御点より前記レーザ加工ヘッドを所定パルス分だけ回転軸上を回転させてレーザ焦点が前記キャリブレーションプレート上のマーク点を指した後所定量上昇又は下降させて複数の教示点を設定し、前記複数の教示点のロボット座標系の各位置 $r e f . 2 \sim r e f . 7$ を記憶し、前記位置 $r e f 1 \sim r e f 7$ のロボット座標系上の位置を用いて前記 $T O O L 0$ 上の位置ベクトルとして $c 1 1 \sim c 3 2$ を求めてツール座標系への座標変換をし、同様にレーザセンサ座標系による位置のロボット座標系上の位置を用いて前記 $T O O L 0$ 上の位置ベクトルとして $S c$ 、 $S 1$ 、 $S 2$ および $S 3$ を求めてツール座標系への座標変換を行いレーザセンサ座標系を前記制御点からの相対位置として把握し、前記レーザ加工ヘッドの回転軸に平行で加工ヘッドに向かう方向の単位ベクトルとして、前記位置ベクトルより複数の方向ベクトルを求めて合成した合成ベクトルを平均してツール座標系で表す Z 軸方向の単位ベクトル $e L f$ を求め、前記加工レーザ回転基準面と複数のレーザ交点を求め

10

20

30

40

50

、前記複数のレーザ回転基準面交点よりレーザ回転軸原点 L_0 を求め、前記センサの視野中心 S_c からレーザ回転基準面へ垂直に下ろした垂下点と、前記レーザ回転軸原点 L_0 より前記垂下点へ向かう方向単位ベクトルを前記 Z 軸方向単位ベクトル e_{Lf} を基準に X 軸方向への正面単位ベクトル e_{fr} として求め、前記求めた Z 軸方向単位ベクトルと X 軸方向単位ベクトルを乗算して Y 軸方向単位ベクトル $e_{Lf} \times e_{fr}$ を求め、前記レーザ回転軸原点 L_0 と、 X 軸姿勢成分 e_{fr} 、 Z 軸姿勢成分 e_{Lf} および Y 軸姿勢成分 $e_{Lf} \times e_{fr}$ によりレーザ加工ヘッドの 3 次元位置への駆動指令を出力して、レーザ焦点を狙い位置に倣わせることを特徴とする。

【0009】

また、請求項 3 記載の発明は、請求項 2 記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、前記ツール座標系の各教示点の位置ベクトル $C_{11} \sim C_{32}$ が、少なくとも 3 本の教示ラインを含む 6 点の位置ベクトルとして、

【数 7】

$$\begin{cases} \overrightarrow{c11} = \overrightarrow{(\text{ref.2})_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{c12} = \overrightarrow{(\text{ref.3})_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \vdots \\ \overrightarrow{c32} = \overrightarrow{(\text{ref.7})_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \end{cases}$$

10

20

により求めることを特徴としている。

また、請求項 4 記載の発明は、請求項 2 又は 3 記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、前記ツール座標系の各センサ位置ベクトル S_c 、 S_1 、 S_2 および S_3 が、少なくとも 4 点の位置ベクトルとして、

【数 8】

$$\begin{cases} \overrightarrow{Sc} = \overrightarrow{(\text{ref.2}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{S1} = \overrightarrow{(\text{ref.3}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{S2} = \overrightarrow{(\text{ref.4}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \\ \overrightarrow{S3} = \overrightarrow{(\text{ref.5}')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(\text{ref.1})_{RF}} \end{cases}$$

30

により求めることを特徴としている。

【0010】

また、請求項 5 記載の発明は、請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、前記レーザ回転軸の Z 軸方向単位ベクトルを表す e_{Lf} が、

【数 9】

40

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{e_{Lf}} = \frac{\overrightarrow{e_{c1}} + \overrightarrow{e_{c2}} + \overrightarrow{e_{c3}}}{|\overrightarrow{e_{c1}} + \overrightarrow{e_{c2}} + \overrightarrow{e_{c3}}|} \end{array} \right.$$

但し、

$$\left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{e_{c1}} = \frac{\overrightarrow{c11} - \overrightarrow{c12}}{|\overrightarrow{c11} - \overrightarrow{c12}|} \\ \overrightarrow{e_{c2}} = \frac{\overrightarrow{c21} - \overrightarrow{c22}}{|\overrightarrow{c21} - \overrightarrow{c22}|} \\ \overrightarrow{e_{c3}} = \frac{\overrightarrow{c31} - \overrightarrow{c32}}{|\overrightarrow{c31} - \overrightarrow{c32}|} \end{array} \right.$$

10

20

で求めることを特徴としている。

また、請求項 6 記載の発明は、請求項 2 ～ 5 のいずれか 1 項記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、前記レーザ回転軸の X 軸方向単位ベクトルを表す $\overrightarrow{e_{fr}}$ が、

【数 10】

$$\overrightarrow{e_{fr}} = \frac{\overrightarrow{S_{c\perp}} - \overrightarrow{L_0}}{|\overrightarrow{S_{c\perp}} - \overrightarrow{L_0}|}$$

30

により求めることを特徴としている。

また、請求項 7 記載の発明は、請求項 5 又は 6 記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、前記レーザ回転軸の Y 軸方向単位ベクトルが、

【数 11】

$$\overrightarrow{e_{Lf}} \times \overrightarrow{e_{fr}}$$

で表されることを特徴としている。

また、請求項 8 記載の発明は、請求項 2 ～ 7 のいずれか 1 項記載の回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法において、前記レーザ加工ヘッドの駆動指令を出力するレーザ回転軸フレームが、

40

【数 12】

$$\overrightarrow{L_f} = \begin{bmatrix} \overrightarrow{e_{fr}} & \overrightarrow{e_{Lf}} \times \overrightarrow{e_{fr}} & \overrightarrow{e_{Lf}} & \overrightarrow{L_0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

50

で表されることを特徴としている。

【0011】

この回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法によれば、
 先ず、キャリブレーションプレート上のマーク点を指し、この点を予めレーザ加工ノズル
 に対して相対位置が変化しない固定された制御点のロボット（あるいはツール）座標系上
 の位置 $ref.1$ として記憶・登録し、これを基準に加工ノズルの回転軸に沿って複数の
 教示点 $ref.2 \sim ref.7$ をロボット座標系として設定し、これら教示点を制御点 $TOOL0$
 を基準として位置・方向ベクトルで表すベース座標系に変換する位置ベクトル $c11 \sim c32$
 を演算して、3本の教示ラインによる方向ベクトル $ec1 \sim ec3$ より、同一
 方向の合成ベクトルをベクトル計算によって求めて、合成ベクトルの大きさ（絶対値）
 で除算し平均化することにより、先ず、Z軸方向単位ベクトル elf を演算する。

10

これによって、正面方向の単位ベクトル efr の計算については、レーザ回転基準面 11
 とのレーザ交点 $d1 \sim d3$ を求め、同一円上の $d1 \sim d3$ よりレーザ回転軸原点 $L0$ を求
 めて、レーザセンサの視野中心 Sc のレーザ回転基準面 11 との垂直垂下点と、レーザ回
 転軸原点 $L0$ とのキャリブレーションによる比較値と、先に求めたZ軸方向の単位ベクト
 ル elf を用いて、レーザ回転軸原点 $L0$ とセンサ視点 Sc の垂下位置へ向かうX軸方向
 の単位ベクトル efr を演算し、Y軸方向の単位ベクトルを、 $elf \times efr$ 、により求
 めて、ツール座標軸系のベクトル演算によるレーザ回転軸のフレーム出力が得られる。最
 後に、このフレーム出力を実際の制御パルス $u0$ に変換して出力することによって正確な
 倣い制御が可能になる。

20

【0012】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

図1は本発明の実施の形態に係る回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方
 法の制御点および教示点を示す図である。

図2は図1に示す教示点の取込方法を示す図である。

図3はレーザ回転軸の方向ベクトル平均化の説明図である。

図4はレーザの回転基準面の3つのレーザ交点を示す図である。

図5は図4に示すレーザ交点の演算説明図である。

図6はレーザの回転軸原点を示す図である。

30

図7はレーザの正面方向ベクトルを示す図である。

図8は図7に示すレーザ焦点回転軸のフレーム表現を示す図である。

図9は図1に示す回転機構付きレーザ加工ヘッドのカリブレーション方法で使用されるレ
 ーザ加工ヘッドの構造を示す図である。

【0013】

図1において、図1(a)に示す、1は多関節ロボットのアーム先端に装着されるレーザ
 加工ヘッドからワークに加工用のレーザ光を照射するYAGレーザ等の加工ノズルであり
 、例えば、図9に示すような、レーザ加工ヘッド20からYAGレーザ光線6を照射して
 加工を行い、レーザ光線回転用モータ22により加工ヘッド20から照射されるYAGレ
 ーザの光軸を回転させ、教示点等に測定用のレーザスリット光10を照射してセンサ・カ
 メラ23により撮像するような構造のものである。2は予め設定された制御点 $TOOL0$
 で、ロボット座標系（又は、ツール座標系）（ x 、 y 、 z ）3で表される。4はキャリブ
 レーションプレートで、測定用のレーザスリット光を照射して受光するカメラ23等のセ
 ンサ座標系とツール座標系などのキャリブレーションに用いるプレートである。5はキャ
 リブレーションプレート4上にマークされたマーク点である。

40

【0014】

つぎに動作について説明する。

先ず、図1(a)に示すように、YAGレーザ加工ノズル1に対し固定されている制御点
 $TOOL0$ により、キャリブレーションプレート4のマーク5を指すように位置をロボッ
 ト制御装置（図示していない）により移動制御する。この加工ノズル1の位置をロボット

50

座標系の位置 $ref.1$ として記憶させる。

次に、加工ヘッドの外部軸をエンコーダの任意のパルス $u1$ 分だけ回転させ、図 1 (b) に示すように、レーザ照射光 6 の焦点がマーク点を指すように移動させて、ロボット座標系の位置として $ref.2$ を記憶させる。続いて、回転位置はそのまま、レーザ加工ヘッドを上昇させ、レーザ焦点がマーク位置を指す位置をロボット座標系の $ref.3$ として記憶させる。

【0015】

次に、外部軸を任意パルス $u2$ 分、回転させ、図 1 (c) に示すように、 $ref.2$ と同じ高さまでヘッドを下降させて、レーザ焦点がマーク点を指す位置をロボット座標系により $ref.4$ として記憶させる。回転軸の位置はそのまま、レーザ加工ヘッドを上昇させて、レーザ焦点がマーク点を指す位置を $ref.5$ として記憶させる。

10

同様にして、外部軸を任意パルス $u3$ 分、回転させて、 $ref.4$ と同じ高さにレーザ加工ヘッドを下降させ、その位置を $ref.6$ として記憶させる。外部回転軸の位置はそのままに、 $ref.5$ と同じ高さまでレーザ加工ヘッドを上昇させ、 $ref.7$ として記憶させる。(なお、以上のティーチングポイント(教示点)の設定は任意である)。

【0016】

次に、以上により形成した教示点 $ref.2 \sim ref.7$ を、図 2 に示すように、位置ベクトル $c11 \sim c32$ としてシステムへ取込み、ロボット座標系の制御点 $TOOL0$ を基準とするツール座標系への変換を行う。

まず、位置ベクトル $c11 \sim c32$ の演算は、 $ref.1 \sim ref.7$ のロボット座標系上の位置、 $(ref.1)_{RF} \sim (ref.7)_{RF}$ を用い、 $TOOL0$ 上の位置ベクトルとして $(ref.1)_{RF}$ を基準に次式のように求める。

20

【数13】

$$\begin{cases} \vec{c11} = \overrightarrow{(ref.2)_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(ref.1)_{RF}} \\ \vec{c12} = \overrightarrow{(ref.3)_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(ref.1)_{RF}} \\ \vdots \\ \vec{c32} = \overrightarrow{(ref.7)_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(ref.1)_{RF}} \end{cases}$$

30

【0017】

また、図 2 の 10 はセンサ系のレーザスリット光であり、例えば、センサ座標系とロボット座標系のキャリブレーション用に Sc 、 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ の 4 点を求めている。

この場合の $Sc \sim S3$ は、対応する $ref.2' \sim ref.5'$ のロボット座標系の位置 $(ref.2')_{RF} \sim (ref.5')_{RF}$ を用いて、制御点 $ref.1$ より、次式のように求め、

【数14】

$$\begin{cases} \vec{Sc} = \overrightarrow{(ref.2')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(ref.1)_{RF}} \\ \vec{S1} = \overrightarrow{(ref.3')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(ref.1)_{RF}} \\ \vec{S2} = \overrightarrow{(ref.4')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(ref.1)_{RF}} \\ \vec{S3} = \overrightarrow{(ref.5')_{RF}}^{-1} \times \overrightarrow{(ref.1)_{RF}} \end{cases}$$

40

このセンシングに用いるレーザセンサ座標系を、キャリブレーションによる制御点 $ref.$

50

1からの相対位置として把握する。

【0018】

次に、レーザ回転軸の方向ベクトルを求める。図2に示すように、ref. 2～ref. 3相当のc11～c12の教示ライン7は、YAGレーザ光軸のパルスu1分の回転の場合の教示ラインであり、ref. 4～ref. 5によるc21～c22の教示ライン8はパルスu2の場合の、ref. 6～ref. 7相当のc31～c32の教示ライン9はパルスu3の場合の教示ラインである。（なお、教示ラインの設定はこれに限定されない）。

【0019】

図3に示すように、教示ラインc11～c12、c21～c22、c31～c32による方向ベクトルec1：7、ec2：8、ec3：9を、次式で、

10

【数15】

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{e}_{c1} = \frac{\vec{c11} - \vec{c12}}{|\vec{c11} - \vec{c12}|} \\ \vec{e}_{c2} = \frac{\vec{c21} - \vec{c22}}{|\vec{c21} - \vec{c22}|} \\ \vec{e}_{c3} = \frac{\vec{c31} - \vec{c32}}{|\vec{c31} - \vec{c32}|} \end{array} \right.$$

20

求め（式中、分母は絶対値）、図3に示すように、3個の方向ベクトルを合成し、平均化することによって、次式のように、

【数16】

$$\left\{ \vec{e}_{Lf} = \frac{\vec{e}_{c1} + \vec{e}_{c2} + \vec{e}_{c3}}{|\vec{e}_{c1} + \vec{e}_{c2} + \vec{e}_{c3}|} \right.$$

30

3つの方向ベクトルを平均した高さ方向の単位方向ベクトル（Z軸方向）を求める（式中の分母は絶対値）。

【0020】

続いて、図4に示すように、レーザ回転基準面上の3つのレーザ交点、d1～d3を求める。

40

まず、単位方向ベクトルeLfに垂直な面で制御点TOOL0と交わる平面をレーザ回転基準面11とし、レーザ回転基準面と位置ベクトルc11、c12を通る直線の交点をベクトルd1とする。同じくレーザ回転基準面11とベクトルc21、c22を通る直線の交点をベクトルd2とし、また、ベクトルc31、c32を通る直線の交点をベクトルd3として、次式により、

【数17】

$$\begin{cases} \vec{d}_1 = \vec{c}_{11} + l_1 \vec{e}_{c1} \\ \vec{d}_2 = \vec{c}_{21} + l_2 \vec{e}_{c2} \\ \vec{d}_3 = \vec{c}_{31} + l_3 \vec{e}_{c3} \end{cases}$$

求める。

【 0 0 2 1 】

なお、ここで l_1 、 l_2 、 l_3 は図 5 に示すように < 解法 1 > により、 l_1 は以下のよう 10
に求める。(l_2 、 l_3 も同様である)。

【 数 1 8 】

\vec{d}_1 と基準面に垂直な \vec{e}_{Lf} は常に直交する、
よって、常に内積がゼロとなることから

$$\begin{aligned} \vec{d}_1 \cdot \vec{e}_{Lf} &= 0 \\ (\vec{c}_{11} + l_1 \vec{e}_{c1}) \cdot \vec{e}_{Lf} &= 0 \\ \therefore l_1 &= - \frac{\vec{c}_{11} \cdot \vec{e}_{Lf}}{\vec{e}_{c1} \cdot \vec{e}_{Lf}} \end{aligned}$$

20

【 0 0 2 2 】

次に、レーザ回転軸原点 L_0 を求める。

図 6 に示すように、3 点 $d_1 \sim d_3$ の座標が分かれば、< 解法 2 > により求める。

< 解法 2 > により、 L_0 は以下のよう、

【 数 1 9 】

$$\begin{aligned}
l_{12} &= |\vec{d}_2 - \vec{d}_1|, & l_{23} &= |\vec{d}_3 - \vec{d}_2|, & l_{13} &= |\vec{d}_3 - \vec{d}_1| \\
\vec{e}_{12} &= \frac{\vec{d}_2 - \vec{d}_1}{l_{12}}, & \vec{e}_{23} &= \frac{\vec{d}_3 - \vec{d}_2}{l_{23}}, & \vec{e}_{13} &= \frac{\vec{d}_3 - \vec{d}_1}{l_{13}} \\
\cos \theta &= \vec{e}_{12} \cdot \vec{e}_{13} \\
\sin \theta &= \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \\
R &= \frac{l_{23}}{2 \sin \theta} \\
\vec{m} &= \frac{\vec{e}_{13} - \cos \theta \cdot \vec{e}_{23}}{\sin \theta} \\
\cos \alpha &= \frac{l_{12}}{2R} \\
\sin \alpha &= \frac{l_{13} - l_{12} \cos \theta}{2R \sin \theta} \\
\vec{L}_0 &= \vec{d}_1 + R (\cos \alpha \cdot \vec{e}_{12} + \sin \alpha \cdot \vec{m})
\end{aligned}$$

10

20

求められる。

【 0 0 2 3 】

次に、レーザ回転軸の正面方向ベクトル e_{fr} を求める。

図 7 に示すように、カメラ座標系で示すレーザセンサの視野中心位置ベクトル S_c から、レーザ回転基準面 1 1 へ垂直に下ろした足を、

【 数 2 0 】

30

$$\vec{S}_{c\perp} \equiv \vec{S}_c + [(\vec{L}_0 - \vec{S}_c) \cdot \vec{e}_{Lf}] \vec{e}_{Lf}$$

と計算すると（なお、上式の右辺、第 2 項は図 7 における $S_c - S_0$ の長さを表す、また、 $L_0 - S_c$ はツール座標系とセンサ座標系の座標差を表す）、レーザ回転軸原点 L_0 1 3 から S_c の足へ向かう単位ベクトル e_{fr} を次式で、Z 軸方向単位ベクトルを用いて、

【 数 2 1 】

40

$$\vec{e}_{fr} = \frac{\vec{S}_{c\perp} - \vec{L}_0}{|\vec{S}_{c\perp} - \vec{L}_0|}$$

と求める。

【 0 0 2 4 】

以上より、レーザ回転軸の Z 軸方向単位ベクトル e_{Lf} 、X 軸方向単位ベクトル e_{fr} が得られると、Y 軸成分の単位ベクトルは $e_{Lf} \times e_{fr}$ として求めることができるので、図 8 に示すように、レーザ回転軸の傾き制御は、原点位置： L_0 1 3、姿勢成分（x 軸）： e_{fr} 1 5、姿勢成分（z 軸）： e_{Lf} 1 2、姿勢成分（y 軸）： $e_{Lf} \times e_{fr}$ 1 6

50

より、レーザ焦点回転軸のフレーム表現として次の行列式、

【数 2 2】

$$\overrightarrow{L_f} = \begin{bmatrix} \overrightarrow{e_{fr}} & \overrightarrow{e_{Lf}} \times \overrightarrow{e_{fr}} & \overrightarrow{e_{Lf}} & \overrightarrow{L_0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

10

によって教示点のプレイバック方式による倣い制御出力が可能になる。

【 0 0 2 5 】

次に、最初に設定した教示点 $c 1 1 \sim c 3 2$ をティーチング・ポイントとしてプレイバックの例を、図 10 のフローチャートを用いて説明する。

記録してある教示点 $ref. 1 \sim ref. 7$ を読み出し (S 1 0 0)、位置ベクトル演算手段により、(1) 式のような制御点 $TOOL 0$ を基準としたツール座標系に変換した位置ベクトル $c 1 1 \sim c 3 2$ を演算し、3次元キャリブレーションを行う (S 1 0 1)。

【 0 0 2 6 】

求めた位置ベクトル $c 1 1 \sim c 3 2$ より演算したレーザ回転軸 (Z 軸方向) の単位ベクトル e_{Lf} を基準に、高さ方向 (Z 軸) の方向単位ベクトルを算出し、ツール座標系による高さ方向の Z 軸の正確な制御が実施できる (S 1 0 2)。

20

次に、レーザ光軸が回転基準面 1 1 と交わる $d 1$ 、 $d 2$ 、 $d 3$ を、(2) 式によって計算して (S 1 0 3)、

(3) 式より回転軸原点 $L 0$ を求め (S 1 0 4)。

正面方向 (X 軸方向) ベクトル e_{fr} を、Z 軸方向の単位ベクトル e_{Lf} を基準スケールとして求め (S 1 0 5)、空間的・3次元的なレーザ回転軸フレームを (4) 式により算出して (S 1 0 6)、ツール座標系に戻してレーザ加工ヘッドの移動・回転量指令パルス値 $U 0$ を算出して、レーザ加工光を狙い位置へ正確に駆動する倣い制御を行う (1 0 7)。

以上のように、正確な 3次元キャリブレーションを実施するためにツール座標系を設定して行うベクトル演算は、フレーム出力 $L f$ の計算まで行われ、最終的にはレーザ加工ヘッドの駆動指令として、(4) 式のフレーム出力 $L f$ をパルス $U 0$ として変換出力すればよいので、演算スピードが向上する。

30

また、以上、プレイバック例として教示点 $C 1 1 \sim c 3 2$ のプレイバックを説明したが、この教示点 $c 1 1 \sim c 3 2$ を含む 3次元のキャリブレーションを実施した後に、改めて、作業対象のワーク上の作業点をロボットに教示して実際の作業を行うようにすればよい。

【 0 0 2 7 】

このように、本実施の形態によれば、2次元のキャリブレーションプレート上のマーク点を用いて、制御点 $TOOL 0$ と教示点 $c 1 1 \sim c 3 2$ の設定によるツール座標系への変換・設定を行い、レーザ加工ヘッドの回転軸上に 3本の教示ライン $ec 1$ 、 $ec 2$ 、 $ec 3$ を作成して、この 3本の教示ラインの合成ベクトルを求めて平均化することによって、Z 軸方向の単位ベクトルを生成し、この高さ方向の単位ベクトルを基準スケールに、X 軸方向の単位ベクトルと Y 軸上の単位ベクトルを生成して、レーザ加工ヘッドの倣い制御位置を、センサ座標系上で 3次元方向ベクトルとして制御できるので、迅速で高さ方向も正確な空間的・3次元的な作業点の倣い制御が可能になる。

40

【 0 0 2 8 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、狙い位置へレーザ焦点を倣わせるための回転機構を有して、ツール座標系へのキャリブレーションを行い、制御点の位置 $ref 1$ と複数の教示点位置 $ref 2 \sim ref 7$ のベクトル演算によるツール座標系上の位置ベクトル $c 1$

50

1 ~ c 3 2 を求め、レーザセンサ座標系の位置についてもツール座標系の位置ベクトル S_c 、 S_1 、 S_2 および S_3 を求めて、レーザ加工光の回転軸に平行で加工器に向かう単位ベクトルとしてのレーザ回転軸の方向ベクトル $e_{L f}$ を、複数の教示ラインによる方向ベクトルを合成した合成ベクトルの平均としてツール座標系で表す Z 軸方向の単位ベクトルとして求め、センサの視野中心 S_c からレーザ回転基準面へ垂直に下ろした足 S_o に向う、レーザ回転軸原点 L_0 からの方向単位ベクトルを X 軸方向の単位ベクトル $e_{f r}$ として計算し、回転軸原点 L_0 と、X 軸姿勢成分 $e_{f r}$ 、Z 軸姿勢成分 $e_{L f}$ 、Y 軸姿勢成分 $e_{L f} \times e_{f r}$ によりレーザ加工ヘッドの駆動位置を空間的、3 次的に指令し、レーザ焦点を迅速に狙い位置に倣わせるように構成したので、コストアップに繋がらない簡単な構成で、教示点の位置・方向ベクトルによるツール座標系を設定し、高さ方向および X 軸、Y 軸成分の単位方向ベクトルを求めて高精度な 3 次元キャリブレーションを実施することで、狙い位置にレーザ焦点を正確に迅速に照射できる倣い制御を行うことができるという効果がある。

10

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態に係る回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法の制御点および教示点を示す図である。

【図 2】図 1 に示す教示点の取込方法を示す図である。

【図 3】レーザ回転軸の方向ベクトル平均化の説明図である。

【図 4】レーザの回転基準面上の 3 つのレーザ交点を示す図である。

【図 5】図 4 に示すレーザ交点の演算説明図である。

20

【図 6】レーザの回転軸原点を示す図である。

【図 7】レーザの正面方向ベクトルを示す図である。

【図 8】図 7 に示すレーザ焦点回転軸のフレーム表現を示す図である。

【図 9】図 1 に示す回転機構付きレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法で使用されるレーザ加工ヘッドの構造を示す図である。

【図 10】図 1 に示すレーザ加工ヘッドのキャリブレーション方法のフローチャートである。

【図 11】従来のレーザ加工ロボットのワーク倣い装置の構造を示す図である。

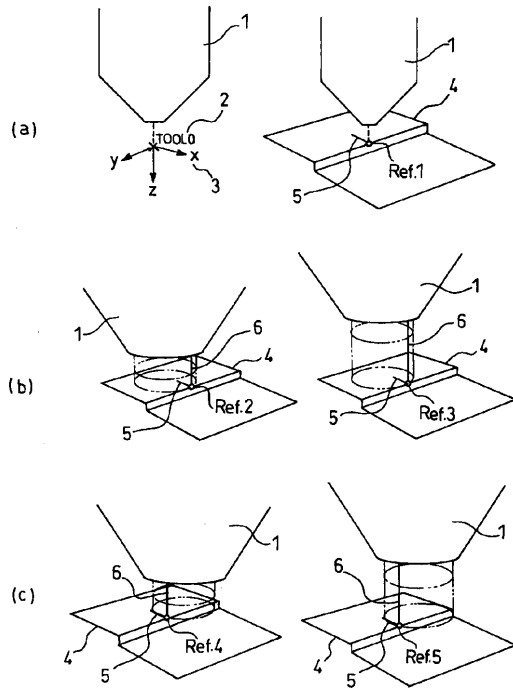
【符号の説明】

- 1 加工ノズル
- 2 制御点 $T O O L_0$
- 3 ツール座標系
- 4 キャリブレーションプレート
- 5 マーク
- 6 レーザ照射光
- 7、8、9 教示ライン
- 10 レーザスリット光
- 11 レーザ回転基準面
- 12 Z 軸方向単位ベクトル $e_{L f}$
- 13 レーザ回転軸原点 L_0
- 14 S_o
- 15 X 軸方向単位ベクトル $e_{f r}$
- 16 Y 軸方向単位ベクトル $e_{f r} \times e_{L f}$
- 20 レーザ加工ヘッド
- 22 レーザ光線回転用モータ
- 23 レーザセンサカメラ

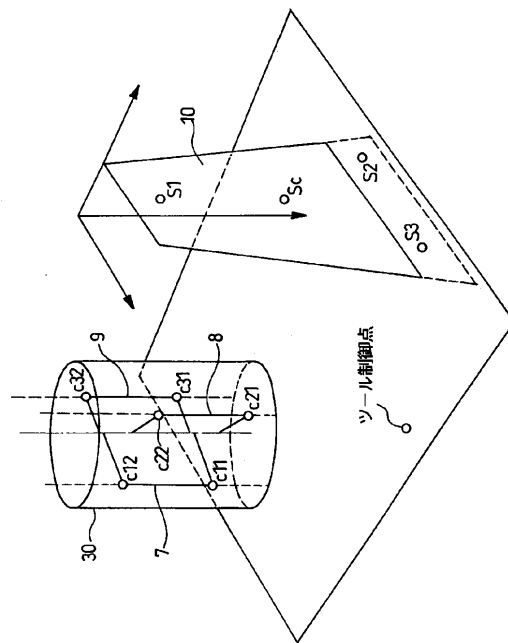
30

40

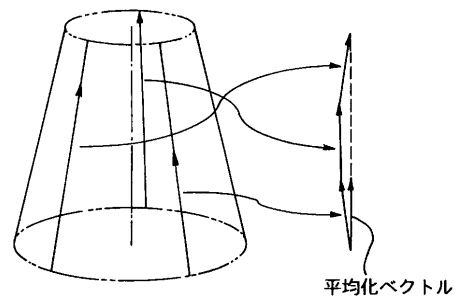
【図 1】



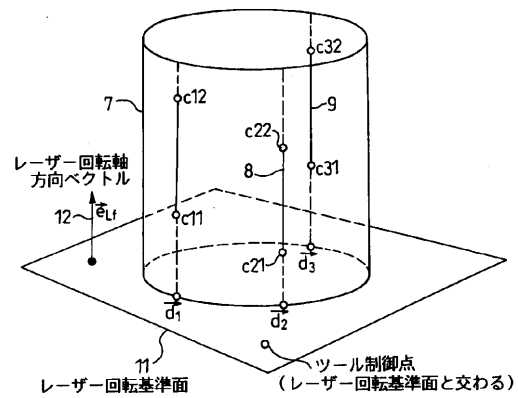
【図 2】



【図 3】

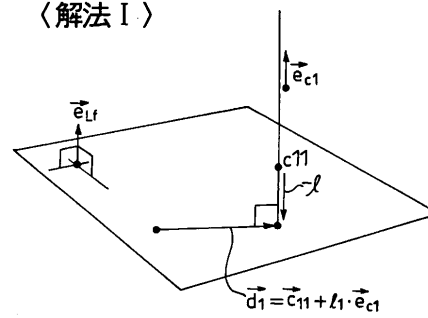


【図 4】



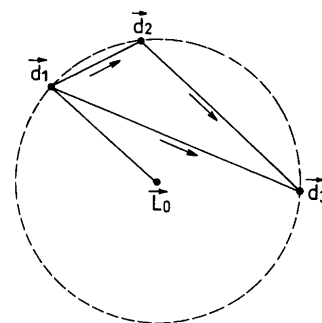
【図 5】

〈解法 I〉

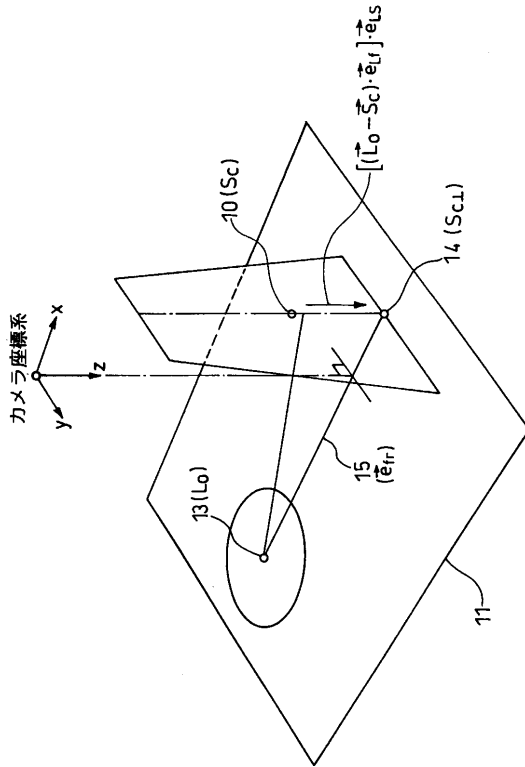


【図 6】

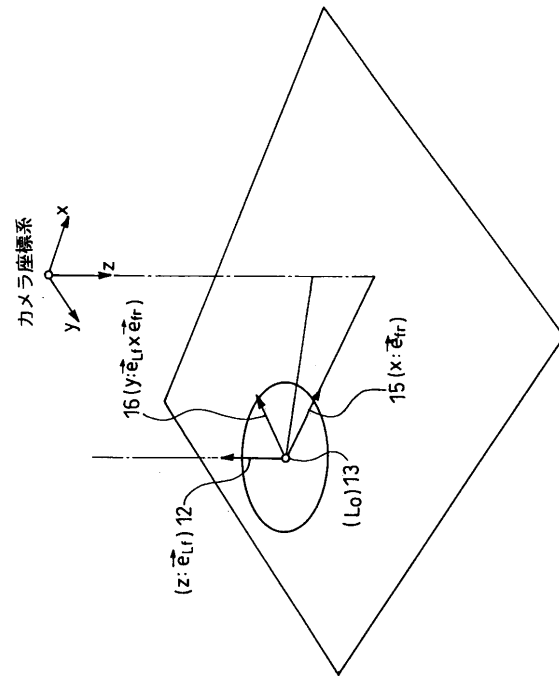
〈解法 II〉



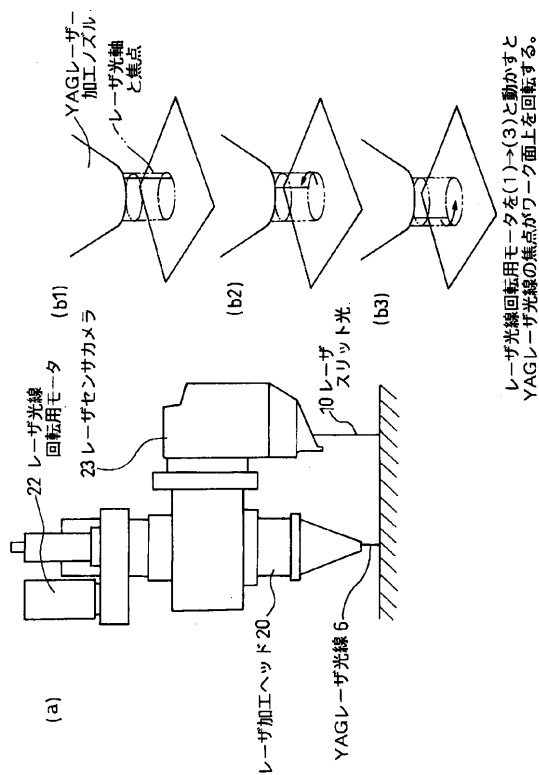
【圖 7】



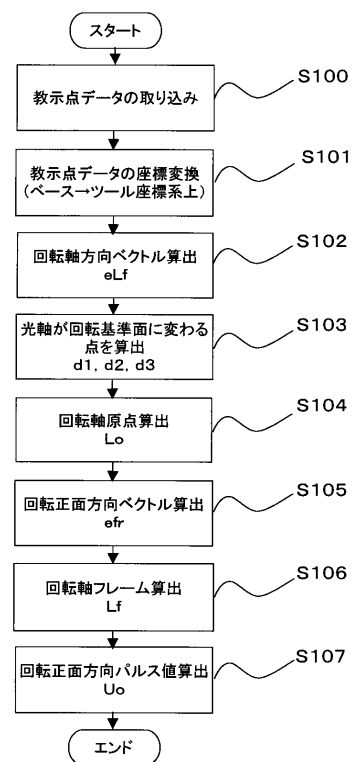
【 図 8 】



【圖 9】



【 図 1 0 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 0 6 - 0 3 1 4 7 4 (J P , A)
特開平 0 8 - 1 4 7 0 2 3 (J P , A)
特開昭 6 4 - 0 4 6 8 0 4 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 2 6 3 2 7 3 (J P , A)
特開平 0 6 - 1 4 2 9 6 7 (J P , A)
特開平 0 9 - 2 4 8 6 8 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B23K 26/00-26/42

G05B 19/18