

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5276434号  
(P5276434)

(45) 発行日 平成25年8月28日(2013.8.28)

(24) 登録日 平成25年5月24日(2013.5.24)

(51) Int.Cl.

G05B 19/416 (2006.01)  
G01B 5/008 (2006.01)

F 1

G05B 19/416  
G01B 5/008

Q

請求項の数 13 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2008-508276 (P2008-508276)	(73) 特許権者	391002306 レニショウ パブリック リミテッド カンパニー RENISHAW PUBLIC LIMITED COMPANY 英国 グロスター・シャー州 ワットン・アン・ダーニッジ ニューミルズ (番地なし)
(86) (22) 出願日	平成18年4月12日 (2006.4.12)	(74) 代理人	100077481 弁理士 谷 義一
(65) 公表番号	特表2008-538845 (P2008-538845A)	(74) 代理人	100088915 弁理士 阿部 和夫
(43) 公表日	平成20年11月6日 (2008.11.6)	(72) 発明者	イアン ウィリアム マクレーン イギリス イーエイチ4 1ビーティー・ロジアン エディンバラ リアマウス アベニュー 45
(86) 國際出願番号	PCT/GB2006/001335		
(87) 國際公開番号	W02006/114570		
(87) 國際公開日	平成18年11月2日 (2006.11.2)		
審査請求日	平成21年4月13日 (2009.4.13)		
(31) 優先権主張番号	0508217.7		
(32) 優先日	平成17年4月25日 (2005.4.25)		
(33) 優先権主張国	英國 (GB)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】経路計画方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

座標位置決め装置上に取り付けられた装置の軌跡を、該装置に取り付けられた測定プローブを用いて孔を測定するために計画する方法であって、前記座標位置決め装置は前記装置と前記座標位置決め装置の表面との間の相対移動を生じさせるように操作することができ、前記装置は2つ以上の回転軸周りで前記測定プローブの回転移動を生じさせるドライブを備えている方法であって、

所与の軌跡に対して、臨界角に直面するように前記測定プローブが前記2つ以上の回転軸周りに設定されることで、前記装置の回転軸周りの前記測定プローブの角速度または加速度が所定の閾値を超えるかどうかを判断するステップと、

そうである場合、前記回転軸周りの前記測定プローブの前記角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないようにパラメータを調節するステップとを含むことを特徴とする方法。

## 【請求項 2】

前記装置は、プローブヘッドを備えていることを特徴とする請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記パラメータを調節するステップは、前記回転軸周りの前記測定プローブの角速度または加速度が前記閾値より下であるように新しい軌跡を選択するステップを含むことを特徴とする請求項1または2に記載の方法。

## 【請求項 4】

10

20

前記新しい軌跡は、前の軌跡と平行にずれていることを特徴とする請求項3に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記装置は、上に前記測定プローブとしての表面感知装置が取り付けられたプローブヘッドを備え、前記前の軌跡は前記表面感知装置によって測定される表面輪郭の公称中心線であり、前記新しい軌跡は前記中心線と平行にずれていることを特徴とする請求項4に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記パラメータを調節するステップは、前記孔を再配向するステップを含むことを特徴とする請求項1または2に記載の方法。

10

**【請求項 7】**

前記パラメータを調節するステップは、前記測定プローブの角速度を変えるステップを含むことを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の方法。

**【請求項 8】**

前記装置はスタイラスを有する前記測定プローブが上に取り付けられたプローブヘッドを備えており、前記走査パラメータを調節するステップは、スタイラス長さを変えるステップを含んでいることを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載の方法。

**【請求項 9】**

前記装置は、前記測定プローブとしての非接触プローブが上に取り付けられたプローブヘッドを備えており、前記走査パラメータを調節するステップは、前記非接触プローブのずれを変えるステップを含んでいることを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載の方法。

20

**【請求項 10】**

前記プローブヘッドは、公称的に表面輪郭上の所要の位置点まで推進させることによって前記測定プローブを移動させ、これらの点の間の間隙は前記回転軸周りの前記測定プローブの角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないように選択されることを特徴とする請求項2に記載の方法。

**【請求項 11】**

座標位置決め装置上に取り付けられた装置の軌跡を、該装置に取り付けられた測定プローブを用いて孔を測定するために計画する装置であって、前記座標位置決め装置は前記装置と前記座標位置決め装置の表面との間の相対移動を生じさせるように操作することができる装置であって、前記装置は2つ以上の回転軸周りで前記測定プローブの回転移動を生じさせるドライブを備えており、

30

所与の軌跡に対して、臨界角に直面するように前記測定プローブが前記2つ以上の回転軸周りに設定されることで、前記装置の回転軸周りの前記測定プローブの角速度または加速度が所定の閾値を超えるかどうかを判断するステップと、そうである場合、前記回転軸周りの前記測定プローブの前記角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないようにパラメータを調節するステップとを行う計算装置を備えていることを特徴とする装置。

**【請求項 12】**

座標位置決め装置上のプローブヘッドに取り付けられた表面検出装置を使用して孔を測定する方法であって、前記座標位置決め装置は軌跡に沿って前記プローブヘッドと前記孔の間の相対移動を生じさせるように操作することができ、前記プローブヘッドは2つ以上の回転軸周りで前記表面検出装置の回転移動を生じせるドライブを備えており、それによって前記ドライブは前記表面検出装置を前記孔の表面に対して位置決めして前記孔の周りで測定を行うことを可能にするように操作することができる方法であって、

40

所与の軌跡に対して、臨界角に直面するように前記表面検出装置が前記2つ以上の回転軸周りに設定されることで、前記プローブヘッドの回転軸周りの前記表面検出装置の角速度または加速度が所定の閾値を超えるかどうかを判断するステップと、

そうである場合、前記回転軸周りの前記表面検出装置の前記角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないように走査パラメータを調節するステップと、

50

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 1 3】

所与の軌跡に対して、前記装置の回転軸周りの前記測定プローブの角速度または加速度が所定の閾値を超えるかどうかを判断する前記ステップは、前記装置が前記所与の軌跡に沿って移動している際に実行されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、座標測定機械(CMM)、工作機械、手動座標測定アーム、および検査ロボットなどの座標位置決め装置上に取り付けられた電動走査ヘッドを使用してワークピースの表面を走査する方法に関する。 10

【背景技術】

【0 0 0 2】

座標位置決め機械上に電動走査ヘッドを取り付けることが知られている(例えば、特許文献 1 参照)。電動走査ヘッドは、電動走査ヘッドに取り付けられたスタイラスを 2 つの直交軸の周りで回転させることができある。したがって、スタイラスはこれらの 2 つの軸の周りで角度位置決めすることができ、電動走査ヘッドは機械の作動容量内のあらゆる位置で座標位置決め機械によって位置決めすることができる。

【0 0 0 3】

このような電動走査ヘッドは、より大きな走査可撓性を座標位置決め機械に与える。 20 といふのは、電動走査ヘッドはスタイラスを多くの異なる向きに位置決めすることができるからである。

【0 0 0 4】

座標位置決め機械上に取り付けられたこのような電動走査ヘッドが、孔などの表面輪郭の走査に使用するのに適していることが特許文献 1 に開示されている。これは、表面輪郭の公称中心線に沿って電動走査ヘッドを移動させるのに座標位置決め機械を使用することによって行われる。走査ヘッドは、直交軸の一方または両方の周りで回転することによって、スタイラスの先端を表面輪郭周りで移動させる。しかし、この性質の製品は市販されていない。

【0 0 0 5】

これは、最も大きな表面輪郭のための簡単な手順である。しかし、スタイラスの角度が回転軸の一方にはほぼ平行になる、これ以下「臨界角」と呼ぶようなものとなる間の走査のために、走査ヘッドの角動作の切れ目(discontinuity)がこの走査方法によって生じることを本発明者らは見出した。これらの切れ目は、一方の軸周りの無限回転速度、およびこれらの軸の両方の周りでの無限角加速につながるもう一方の軸周りの回転速度のステップ変化の要件によって生じるものである。スタイラスの角度がこの臨界角に近くなる輪郭の走査と同様に、走査ヘッドの角動作の急速な変化は、無限に近い角加速につながる。このような動作は達成することができないので、スタイラスを上記方法を使用して臨界角に、またはその近くに配向させる表面輪郭を走査することは物理的に不可能である。 30

【0 0 0 6】

「臨界角問題」という用語は、許容値より大きい 1 つまたは複数の角度値(A1 および A2 に関する速度および加速度)による問題のことを指すのに使用される。したがって、この用語は、プローブが走査ヘッドの角動作に切れ目があるいくつかの点にある必要がある走査、およびプローブを(普通は、ハードウェアの制限による)走査に認められたものを超える角度値の 1 つに対する臨界角に十分近くまで移動させる必要がある走査のことを言う。 40

【0 0 0 7】

中心線での輪郭を走査する場合に既に記したように、走査ヘッドは通常中心線に沿って移動される。しかし、輪郭についてのある向きでは、臨界角に直面する可能性があることが分かった。このような向きはこれ以下、「臨界角配向」と呼ぶ。

**【0008】**

【特許文献1】国際公開第90/07097号公報

**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0009】**

本方法は、表面検出装置が走査中にプローブヘッドの回転軸のいずれかと平行になるのを防ぐように選択される3軸プローブヘッドなどの多軸プローブヘッドに適している。

**【課題を解決するための手段】****【0010】**

本発明の第1の形態は、座標位置決め装置上に取り付けられた装置の軌跡を計画する方法であって、前記座標位置決め装置は前記装置と前記座標位置決め装置の表面との間の相対移動を生じさせるように操作することができ、前記装置は2つ以上の軸周りで回転移動を生じさせるドライブを備えている方法であって、

10

所与の軌跡に対して、前記装置の回転軸周りの前記装置の角速度または加速度が所定の閾値を超えるかどうかを判断するステップと、

そうである場合、前記回転軸周りの前記装置の前記角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないようにパラメータを調節するステップと  
を含む方法を提供する。

**【0011】**

前記装置は、プローブヘッドを備えることができる。表面感知装置を前記プローブヘッド上に取り付けることができる。

20

**【0012】**

前記パラメータを調節するステップは、前記回転軸周りの前記装置の回転速度または加速度が前記閾値より下であるように新しい軌跡を選択するステップを含むことができる。  
前記新しい軌跡は、前の軌跡と平行にずれているものとすることができる。

**【0013】**

好適実施形態においては、上に表面感知装置が取り付けられたプローブヘッドであり、前記前の軌跡は前記表面感知装置によって測定される表面輪郭の公称中心線であり、前記新しい軌跡は前記中心線と平行にずれている。

**【0014】**

30

前記パラメータを調節するステップは、前記表面輪郭を再配向するステップおよび／または前記装置の角速度を変えるステップを備えることができる。

**【0015】**

前記装置はスタイルスを有するプローブが上に取り付けられたプローブヘッドを備えることができ、前記走査パラメータを調節するステップは、スタイルス長さを変えるステップを備えることができる。あるいは、前記装置は、非接触プローブが上に取り付けられたプローブヘッドを備えることができ、前記走査パラメータを調節するステップは、前記非接触プローブのずれを変えるステップを備えることができる。

**【0016】**

前記プローブヘッドは、公称的に表面輪郭上の所要の位置点まで推進させることによって前記表面感知装置を移動させ、これらの点の間の間隙は前記回転軸周りの前記プローブヘッドの角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないように選択されるものとすることができる。

40

**【0017】**

本発明の第2の形態は、座標位置決め装置上に取り付けられた装置の軌跡を計画する装置であって、前記座標位置決め装置は前記装置と前記座標位置決め装置の表面との間の相対移動を生じせるように操作することができる装置であって、2つ以上の軸周りで回転移動を生じせるドライブを備えており、

所与の軌跡に対して、前記装置の回転軸周りの前記装置の角速度または加速度が所定の閾値を超えるかどうかを判断するステップと、そうである場合、前記回転軸周りの前記装

50

置の前記角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないようにパラメータを調節するステップとを行う計算装置を備えている装置を提供する。

**【0018】**

本発明の第3の形態は、座標位置決め装置上のプローブヘッドに取り付けられた表面検出装置を使用して表面輪郭を測定する方法であって、前記座標位置決め装置は軌跡に沿って前記プローブヘッドと前記表面輪郭の間の相対移動を生じさせるように操作することができ、前記装置は2つ以上の軸周りで表面検出装置の回転移動を生じさせるドライブを備えており、それによって前記ドライブは前記表面検出装置を前記表面輪郭の表面に対して位置決めして前記表面輪郭周りで測定を行うことを可能にするように操作することができる方法であって、

10

所与の軌跡に対して、前記プローブの回転軸周りの前記プローブヘッドの角速度または加速度が所定の閾値を超えるかどうかを判断するステップと、

そうである場合、前記回転軸周りの前記プローブヘッドの前記角速度または加速度が前記所定の閾値を超えないように走査パラメータを調節するステップとを含む方法を提供する。

**【0019】**

本発明の第4の形態は、座標位置決め装置上のプローブヘッドに取り付けられた表面検出装置を使用して表面輪郭を測定する方法であって、前記座標位置決め装置は軌跡に沿って前記プローブヘッドと前記表面輪郭の間の相対移動を生じせるように操作することができ、前記プローブヘッドは2つ以上の軸周りで回転移動を生じせるドライブを備えており、それによって前記ドライブは前記表面検出装置を前記表面輪郭の表面に対して位置決めして前記表面輪郭周りで測定を行うことを可能にするように操作することができる方法であって、

20

所与の軌跡に対して、前記表面検出装置の長手軸が前記プローブヘッドの回転軸と平行、またはほぼ平行になるかどうかを判断するステップと、

そうである場合、前記表面検出装置の前記長手軸が前記プローブヘッドの回転軸と平行、またはほぼ平行にならないように、新しい軌跡を選択するステップと、を含む方法を提供する。

**【0020】**

前記表面感知装置は、プローブ先端を有するプローブを備え、前記表面感知装置の前記長手軸は前記プローブ先端から前記プローブヘッドの軸まで延びており、前記長手軸は前記プローブヘッドの前記軸に垂直であるものとすることができる。

30

**【発明を実施するための最良の形態】**

**【0021】**

本発明の好ましい実施形態の例を次に、添付の図面を参照して説明する。

**【0022】**

図1は、座標測定機械(CMM)に取り付けられた電動走査ヘッドを示している。測定されるワークピース10は、CMM14のテーブル12に取り付けられており、電動走査ヘッド16はCMM14のスピンドル18に取り付けられている。スピンドルは、公知の方法でモータによってテーブルに対して方向X、Y、Zに駆動可能である。

40

**【0023】**

図2に示すように、電動走査ヘッド16は、軸A1周りでハウジング20に対してモータM1によって回転可能なシャフト22の形の可動部を支持する基部またはハウジング20によって形成された固定部を備えている。シャフト22は別のハウジング24に固定されており、これは軸A1に垂直な軸A2周りでハウジング24に対してモータM2によって回転可能なシャフト26を支持する。

**【0024】**

ワークピース接触先端30を有するスタイラス29を備えたプローブ28は、電動走査ヘッド上に取り付けられている。この配置は、ヘッドのモータM1、M2が軸A1またはA2周りで角度付けしてワークピース接触先端を位置決めすることができ、スタイラス先

50

端を走査されている表面と所定の関係にするように CMM のモータが電動走査ヘッドを CMM の三次元座標構成内のどこかにリニアに位置決めすることができるようになっている。

#### 【 0 0 2 5 】

直線位置変換器は、走査ヘッドの直線変位を測定するために CMM 上に設けられており、角位置変換器 T1 および T2 は、それぞれの軸 A1 および A2 周りのスタイラスの角変位を測定するために走査ヘッドに設けられている。

#### 【 0 0 2 6 】

図 1 に示すように垂直アーム CMM 上では、走査ヘッド 16 の A1 軸は CMM Z 軸（スピンドル 18 に沿っている）と公称的に平行である。走査ヘッドは、この軸周りで連続的にプローブを回転させることができる。走査ヘッドの A2 軸は、その A1 軸と直交している。

10

#### 【 0 0 2 7 】

システムは、CMM の専用制御装置などの計算装置 17、または別個のコンピュータを備えている。これは、CMM および / またはプローブヘッドの動作を制御するためのプログラムを含んでいる。これは、または異なる制御装置は、以下に説明する方法で必要な計算に使用することができる。

#### 【 0 0 2 8 】

この装置は、表面輪郭、より詳細には孔などの中心線を有するものを走査するのに適している。これは普通、走査ヘッドがスタイラス先端を孔の表面周りで移動させながら、CMM のスピンドル、したがって走査ヘッドを表面輪郭の公称中心線に沿って移動させることによって行われる。この方法は、A1 および A2 軸周りの走査ヘッドの回転移動が、X、Y および Z 直線軸周りの CMM スピンドルの直線動作よりも反応性が高いという事実を利用する。

20

#### 【 0 0 2 9 】

次に、垂直孔の走査を図 3 を参照して説明する。ここで、走査ヘッド 16 は孔 34 の公称中心線 32 に沿って CMM スピンドルによって移動される。走査ヘッド 16 は、A1 軸周りで連続的にスタイラス 29 を回転させ、スタイラスは孔の表面上にプローブを保持するように A2 軸周りで公称的に一定の角度で保持されている。しかし実際、A2 軸周りのスタイラスの角度は一定のプローブ偏向（または、プローブ力）を維持するのに僅かに変わることがある。図 4 の 4A および 4B はそれぞれ、XY 平面および YZ 平面上の走査輪郭を示している。

30

#### 【 0 0 3 0 】

4C および 4D は、時間の経過にわたる、それぞれ A1 および A2 軸周りのスタイラス先端の位置を示している。4C は、時間の経過にわたって直線的に変化する軸 A1 周りのスタイラス先端の角度を示しており、4D は一定に留まっている A2 軸周りのスタイラス先端の角度を示している。4E および 4F はそれぞれ、A1 軸および A2 軸周りのスタイラス先端の速度を示している。4E は一定速度で A1 軸周りで移動するスタイラス先端を示しており、4F は A2 軸周りの速度がゼロに維持されることを示している。4G および 4H は、それぞれ A1 および A2 軸周りのスタイラス先端の加速度を示している。両方の場合とも、ゼロ加速度がある。

40

#### 【 0 0 3 1 】

図 5 は、水平孔を走査する方法に関する。上に記載したように、走査ヘッド 16 は孔 34 の公称中心線 32 に沿って CMM スピンドルによって移動される。この場合、A1 および A2 軸の両方の周りのスタイラス先端の位置は、孔の表面上にスタイラス先端を保持し、それによって一定のプローブ偏向を維持するように調整される。図 6 の 6A および 6B は、それぞれ XY 平面および YZ 平面上の走査輪郭を示している。

#### 【 0 0 3 2 】

6C および 6D はそれぞれ、A1 軸および A2 軸周りのスタイラス先端位置を示している。両方の場合とも、走査ヘッドの位置は調整されているように見えることが分かる。

50

E および 6 F はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の速度を示している。両方の場合とも、速度は調整されている。6 G および 6 H はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の加速度を示している。スタイラス先端の加速度は、両方の軸周りで調整されている。

#### 【0033】

次にほぼ垂直孔の走査を、図 7 を参照して説明する。前と同様に、走査ヘッド 16 は孔の公称中心線 32 に沿って CMM スピンドルによって移動される。スタイラス先端 30 は A 1 軸周りで連続的に回転され、孔の表面上にスタイラス先端を保持するように A 1 および A 2 軸両方の周りで調整され、それによって一定のプローブ偏向を維持する。図 8 の 8 A および 8 B はそれぞれ、XY 平面および YZ 平面内の走査輪郭を示している。

10

#### 【0034】

8 C および 8 D はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の位置を示している。8 C は、ある調整を起こした A 1 軸周りで回転されているスタイラス先端を示しており、8 D は A 2 軸周りで調整されているスタイラス先端を示している。8 E および 8 F はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の速度を示している。8 G および 8 H はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の加速度を示している。

#### 【0035】

図 9 は、ほぼ水平孔の走査を示している。前と同様に、走査ヘッド 16 は孔 34 の公称中心線 32 に沿って CMM スピンドルによって移動される。図 10 の 10 A および 10 B はそれぞれ、XY および YZ 平面内の走査輪郭を示している。

20

#### 【0036】

10 C および 10 D に示すように、スタイラス先端は、孔の表面上にプローブを保持し、プローブ偏向を維持するように、A 1 および A 2 軸両方の周りで調整されている。10 E および 10 F はそれぞれ、A 1 および A 2 周りのスタイラス先端調整の速度を示している。10 G および 10 H はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端調整の加速度を示している。

#### 【0037】

上に論じたように、ほぼ垂直孔を走査する場合、スタイラス先端は A 2 軸周りで調整させながら、A 1 軸周りで連続的に回転する必要がある。ほぼ水平孔を走査する場合、スタイラス先端は A 1 および A 2 軸両方の周りで調整される必要がある。孔は、ほぼ垂直からほぼ水平までの全角度範囲に向かせることができる。しかし、特定の孔角度では、A 1 軸周りのスタイラス先端の動作は連続回転から調整されるように切り換る。この孔角度は、臨界角配向と呼ばれる。

30

#### 【0038】

この臨界角配向で角度付けされた孔の走査中に、スタイラス先端は A 1 軸に対して A 2 軸周りで 0° の角度を通過する。スタイラス先端がこの角度を通過すると、スタイラスは A 1 軸と平行になる。これにより、走査ヘッドの角動作の切れ目が生じ、A 1 軸周りのスタイラス先端の無限の回転速度、および A 2 軸周りのその回転速度でのステップ変化につながり、それによって A 1 および A 2 軸周りで無限の角加速度が生じる。同様に、臨界角配向近くに角度付けされた孔では、走査ヘッドの角動作の急速な変化は、ほぼ無限の角加速度につながる。このような動作は実現することができず、したがって、上記方法を使用して、臨界角配向でまたはその近くで配向された孔を走査することは物理的に不可能である。

40

#### 【0039】

システムは、A 2 軸に沿ってずれたクランク付スタイラスまたはプローブ / スタイラスを有することができる。この場合、臨界角問題は、A 2 軸と垂直なスタイラス先端まで A 2 軸から延びて、A 1 軸と平行に、または平行近くになる線に関する。

#### 【0040】

図 11 は、臨界角配向に配向された走査されている孔を示している。図 11 に示す走査の点では、走査ヘッド 16 はスタイラスが走査ヘッドの A 1 回転軸と平行になるように位

50

置決めされている。スタイラスがこの位置を通過すると、A 1 軸周りのスタイラス位置、および A 2 軸周りの速度のステップ変化が生じる。

#### 【0041】

図 12 の 12A から 12G は、臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔の走査を示している。12A および 12B はそれぞれ、XY および YZ 平面の走査輪郭を示している。A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端位置はそれぞれ、12C および 12D に示されている。A 1 軸周りのスタイラス先端の位置のステップ変化は、12C で見ることができる。

#### 【0042】

12E および 12F はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の速度を示している。12F は、A 2 軸周りのスタイラス先端速度のステップ変化を示しており、12E は無限に向かう傾向がある A 1 軸周りで必要なスタイラス先端速度を示している。

10

#### 【0043】

12G および 12H はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の加速度を示している。両方の図で、無限に向かう傾向があるスタイラス先端加速度が示されている。

#### 【0044】

図 13 の 13A ~ 13G は、臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔の走査を示している。13A および 13B はそれぞれ、XY および YZ 平面の走査輪郭を示している。A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端位置はそれぞれ、13C および 13D に示されている。前と同様に、A 1 軸周りのスタイラス先端の位置のステップ変化は 13C で見ることができる。

20

#### 【0045】

13E および 13F はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の速度を示している。13F は、A 2 軸周りのスタイラス先端速度のステップ変化を示しており、13E は無限に向かう傾向がある A 1 軸周りで必要なスタイラス先端速度を示している。

#### 【0046】

13G および 13H はそれぞれ、A 1 および A 2 軸周りのスタイラス先端の加速度を示している。両方の図で、無限に向かう傾向があるスタイラス先端加速度が示されている。

#### 【0047】

電動走査ヘッドが A 1 軸周りの回転速度、および A 1 および A 2 軸周りの加速度の上限を有するので、臨界角問題が生じる。孔がこの臨界角配向に配向されている場合、電動走査ヘッドの上限を超える、A 1 および / または A 2 軸周りの回転速度および / または加速度が必要である。

30

#### 【0048】

臨界角配向の対策をとる必要があるかどうかを特定するために、A 1 軸周りの角速度、および / または A 1 および / または A 2 軸周りの加速度の限界を超えるかどうかを判断する必要がある。また、スタイラスが A 1 軸とほぼ平行になる必要がある位置の需要が生じるかどうかを判断することによって、臨界角問題が生じるかどうかを判断することができる。

#### 【0049】

40

速度および加速度走査パラメータを使用して臨界角問題を推測する技術を、例として孔を使用して以下に概略を示す。

#### 【0050】

A 1 軸周りの角速度  $V_{A_1}$ 、角加速度  $A_{A_1}$  および ジャーク  $J_{A_1}$  ( 加速度の変化率 ) の大きさ ( magnitude ) は、以下の式から走査の際にあらゆる点で測定することができる。

#### 【0051】

## 【数1】

$$V_{A1} = \frac{\omega \sin \phi (\cos \phi \sin \theta \cos(\omega t) - \sin \phi \cos \theta)}{(\cos \phi \sin \theta - \sin \phi \cos \theta \cos(\omega t))^2 + \sin^2 \phi \sin^2(\omega t)} \quad (1)$$

$$A_{A1} = \frac{a \sin(\omega t)(b \cos^2(\omega t) - c \cos(\omega t) + d)}{(f^2 \cos^2(\omega t) + 2g \cos(\omega t) + h)^2} \quad (2)$$

$$J_{A1} = \frac{[a\omega\omega(3b\cdot\cos^3(\omega\omega t) - 2c\cdot\cos^2(\omega\omega t)\cdot k\cdot\cos(\omega\cdot c + c))(\mathbf{f}^2\cos^2(\omega\omega t) - 2g\cdot\cos(\omega g + h))^2 + 4a\omega\omega\cdot\mathbf{f}^3(\omega\omega t)(b\cdot\cos^2(\omega\omega t)\cdot c\cdot\cos(\omega\cdot c + d))(\mathbf{f}^4\cdot\cos^3(\omega\omega t)\cdot m\cdot\cos^2(\omega\omega t)\cdot n\cdot\cos(\omega\cdot c + p))] }{(\mathbf{f}^2\cdot\cos^2(\omega t) + 2g\cdot\cos(\omega t) + h)^4} \quad (3)$$

## 【0052】

式中の記号は以下の通りである。

: 走査の角速度 (すなわち、走査平面内の先端の) [ラジアン / 秒]

: 孔半径による (A1、A2) 軸交点周りで範囲が定められた角度 [三角関数で常用されるようなものとは無関係な単位]

: 孔平面 [三角関数で常用されるようなものとは無関係な単位]

t : 走査が開始してからの時間 [秒]。ゼロは、A1軸に最も近い点である。

## 【0053】

また、式(1)、(2)および(3)の定数は以下の通り定義される。

$$\begin{aligned} a &= -\sin^2 \sin \\ b &= \sin^2 (\cos \sin^2 + \cos - 1) \\ c &= 2 \sin^3 \sin \cos \\ d &= \cos^3 \sin^2 - 2 \sin^2 \cos \cos^2 + \sin^2 \\ f &= \sin \sin \\ g &= \sin \cos \sin \cos \\ h &= \cos^2 \cos^2 - 1 \\ k &= 3 \sin^2 - 4 \sin^2 \cos + \cos^3 \sin^2 \\ m &= 3 \sin^3 \cos \sin^3 \cos \\ n &= \sin^2 \sin^2 (3 \cos^2 \cos^2 - 1) \\ p &= \sin \cos \sin \cos (\cos^2 \cos^2 - 1) \end{aligned} \quad (30)$$

A2軸周りの角速度  $V_{A2}$ 、角加速度  $A_{A2}$  およびジャーケ  $J_{A2}$  の大きさは、以下の式から走査の際にあらゆる点で測定することができる。

## 【0054】

【数2】

$$V_{A2} = \frac{\omega \sin \phi \sin \theta \sin(\omega t)}{(1 - (\cos \phi \cos \theta + \sin \phi \sin \theta \cos(\omega t))^2)^{0.5}} \quad (4)$$

$$A_{A2} = \frac{a(g \cos^2(\omega t) + q \cos(\omega t) + g)}{(1 - (r + f \cos(\omega t))^2)^{1.5}} \quad (5) \quad 10$$

$$J_{A2} = \frac{[-\alpha \omega \sin(\omega t)[(2g \cos(\omega t) + q)(1 - (r + f \cos(\omega t))^2)] \\ + 3f(g \cos^2(\omega t) + q \cos(\omega t) + g)(r + f \cos(\omega t))]}{(1 - (r + f \cos(\omega t))^2)^{2.5}} \quad (6) \quad 20$$

【0055】

式中、式(4)、(5)および(6)の定数は、式(1)、(2)および(3)の定数の通りであり、また以下のように定義される。

$$q = \sin^2 \sin^2 + \cos^2 \cos^2 - 1$$

$$r = \cos \cos$$

【0056】

これらの式は、最大の大きさのみだけではなく全体の走査を説明している。しかし、式は所要の走査計画に対する A1 周りの予測速度、A1 周りの加速度、A2 周りの速度、および A2 周りの加速度それぞれの最大大きさを測定するのに使用することができる。これらの最大値は、所要の計画に認められた最大値と比較される。これらの予測値のいずれかの大きさが対応する許容値の大きさを超えた場合、走査は問題となる臨界角に十分近くなる。そうでない場合、臨界角問題は存在せず、走査を進めることができる。

【0057】

上に説明したように、上記の式は A1 および A2 周りの角速度および加速度の最大大きさを導き出すのに使用することができる。これらは以下のように求められる。

【0058】

【数3】

$$V_{A1Max} = \frac{\omega \sin \phi}{\sin(\theta - \phi)} \quad \{\theta \neq \phi\} \quad (7) \quad 40$$

【0059】

この結果は、> に対して正であり、< に対して負である。= では、臨界角の事例が起こり、V = となる。

【0060】

A<sub>A1Max</sub> は、式から直接求めることができず（現時点では代数学的解法は存在せず）、したがって上記式(2)から反復して求めなければならない。

【0061】

c o s ( t ) が以下の式によって与えられた場合に、V<sub>A2Max</sub> が生じる。

【0062】

## 【数4】

$$\cos(\omega t) = \frac{(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \theta - \cos^2 \phi \cos^2 \theta) \pm (\cos^2 \phi - \cos^2 \theta)}{2 \sin \phi \cos \phi \sin \theta \cos \theta} \quad (8)$$

## 【0063】

の場合に正の事例を使用すべきであり、の場合に負の事例を使用すべきである。（これらの範囲の外側は、 $|\cos(t)| > 1$ である。） $\cos(t)$ の得られる値は、1つの完全な走査回転中の $t$ の2つの値に相当する（すなわち、 $t \in [0, 2\pi]$ の場合）。 $V_{A2}$ を式(4)に代入した場合、これらにより $V_{A2}$ 角速度の最大値および最小値が与えられる。

## 【0064】

$V_{A2Max}$ は通常、走査中に臨界角に近づいた場合に、無限になる傾向があることは予測されない。

## 【0065】

## 【数5】

$$A_{A2Max} = \frac{\omega^2 \sin \phi \sin \theta}{\sin(\theta - \phi)} \quad \{\theta \neq \phi\} \quad (9)$$

20

## 【0066】

この結果は常に正である。 $=$ では、臨界角配向の事例が生じ、 $A_{A2Max} =$ となる。

## 【0067】

これらの式は、特定の走査パラメータを有する孔を説明している。これらは以下の通りである：孔軸は、A1がゼロである平面内にあるべきであり、時間は先端のA1軸に最も近い点でゼロであるように測定される。これらの特定のパラメータを必要としないあらゆる走査は、（例えば、軸の回転をしようして、時間などを測定するための定数を加えて）変更することができ、それによって一定の特性はこの走査に対して当てはまるようになる。0から90°の孔平面は、これらの式によってサポートされる。

30

## 【0068】

臨界角の効果を示すために、A1軸周りの角速度に関する孔のパラメータの意味合いを次に調べる。走査ヘッドを中心線に沿って移動させながら孔を走査するのに必要な軸A1周りの角速度 $\omega$ は、以下の式を使用して計算される。

## 【0069】

## 【数6】

$$\omega = \frac{V}{2\pi \sqrt{L^2 - r^2} \sin \theta - r \cos \theta} \quad (10)$$

40

## 【0070】

式中の記号は以下の通りである。

$V$  = A1軸周りの最大回転速度 [回転/秒]

$V$  = スタイラス先端速度 [mm/秒]

$L$  = プローブ長さ [mm]

$r$  = 孔半径 [mm]

= 孔平面 [三角関数によって常に示されるものとは無関係な単位]

図14は、所与の孔半径、スタイラス先端速度、プローブ長さに対する、および孔軸に沿って走査ヘッドを移動させるための、孔平面に対するA1軸周りの最大回転速度のグラ

50

フである。破線 5 0 は、電動走査ヘッドに対する A 1 軸周りの回転速度の上限を示している。特定の孔平面では、線 5 0 によって示された上限を超える A 1 軸周りの最大角速度が必要であることが分かるだろう。したがって、現在の走査パラメータを使用してこの孔平面で走査を行うことはできない。

#### 【 0 0 7 1 】

所与の孔半径、プローブ長さおよびスタイラス先端速度では、どの孔平面でも、現在の走査輪郭を使用して走査を行うことができる事が分かるだろう。これらの許容孔平面は、上記式(10)から導き出される以下の式から計算することができる。

#### 【 0 0 7 2 】

【数 7】

10

$$\theta \geq \sin^{-1} \left( \frac{V}{L} \right) + \sin^{-1} \left( \frac{V}{2\pi L \cdot \omega_{max}} \right) \quad (11)$$

$$\theta \leq \sin^{-1} \left( \frac{r}{L} \right) - \sin^{-1} \left( \frac{V}{2\pi L \cdot \omega_{max}} \right) \quad (12)$$

20

#### 【 0 0 7 3 】

式中、 $\omega_{max}$  は、A 1 軸周りの最大回転速度である。

#### 【 0 0 7 4 】

図 15 は、A 1 軸周りの所定のスタイラス先端速度、プローブ長さ、および最大回転速度を使用した、その中心線に沿った孔の走査のための孔半径に対する孔平面のグラフである。線 5 2 および 5 4 は、走査輪郭を使用して走査を行うことができる、それぞれその上限および下限である。線 5 2 と 5 4 の間の領域では、臨界角問題が存在し、孔は走査輪郭を使用して走査することはできない。

#### 【 0 0 7 5 】

30

上記式(1)～(12)はまた、接触プローブに対する、また非接触プローブに対してずれたスタイラス先端直径を考慮するように変更させることができる。

#### 【 0 0 7 6 】

臨界角問題があらゆる特定の部分の走査に対して存在するかどうかを判断することができるいくつかの異なる方法がある。最初に、A 1 軸周りの必要な角速度、および / または A 1 および / または A 2 軸周りの加速度が走査の際にどこでも所定の限界値を超えるかどうかを判断することができる。(または別の方法では、必要な位置が認められないかどうか。) この場合、以下にさらに論じるように、誤差が示され、走査パラメータは問題を解消するように調節される。しかし、加速度、速度または位置値を予め計算することは可能ではないおそれがある。この場合、走査中に、位置需要における突然のステップが生じると、走査は中断し、走査パラメータを調節する必要がある。

40

#### 【 0 0 7 7 】

第 2 の方法では、測定される部分の C A D 描画を使用して、孔平面および直径を提供する。式(2)、(4)、(7)、(8)、(9)および(10)はその後、プローブ長さおよびスタイラス先端加速度の所与の値に対して、A 1 軸周りの最大角速度、および / または A 1 および / または A 2 軸周りの加速度が所定の限界値より上で生じるかどうかを判断するのに使用される。

#### 【 0 0 7 8 】

第 3 の方法では、孔平面および半径を測定するために、いくつかの予備測定を行うことができる。例えば、孔の上部および底部で測定を行うことができる、または孔平面および

50

半径を測定するのに十分なデータを収集するために孔長さに沿って螺旋状走査を行うことができる。これらは、第2の方法に記載したように、式(2)、(4)、(7)、(8)、(9)および(10)で使用することができる。別の方法では、電動走査ヘッドおよび孔軸の推定を使用して、孔の周面を部分的に走査して、孔の長さに沿った単一の位置での臨界角を避けることができる。走査ヘッドが孔軸に沿って正確に位置決めされた場合、不完全な円形輪郭が生じる。したがって、孔平面は正確に推定され、孔半径が判断される。

#### 【0079】

涙滴形状輪郭などの非円形輪郭が生じると、電動走査ヘッドは孔軸上にない可能性がある。涙滴形状は、公称上は球形および円筒形の交点の結果である。しかし、完全な円の理論中心線および半径を測定するために、十分なデータが涙滴形状輪郭から利用可能である。全て孔のZでの同じ高さに関する、円形輪郭を生じさせるように測定データを操作することができる。しかし、これは実際に測定されなかったデータを提供し、位置ずれによって形状が生じ、それ自体は一部ではないことを示すという欠点がある。涙滴形状輪郭は一部の形状によるものであるという可能性がある（しかし、これはあまり可能性が高くない）。理論中心線上の第2の走査は、これを確認する。

#### 【0080】

したがって、第2の方法で記載したように式(2)、(4)、(7)、(8)、(9)および(10)を使用して、臨界角問題が存在するかどうかを判断することができる。

#### 【0081】

臨界角問題は、走査パラメータの1つまたは複数を変えることによって克服することができる。線52、54の間の図15に示すように、問題が存在するバンドの幅はスタイルス先端速度Vを遅くすることによって小さくすることができる。バンドの位置／幅はまた、孔平面を再配向する、またはプローブ長さLを変更することによって変えることができる。

#### 【0082】

非接触プローブでは、プローブのずれ(offset)はプローブ長さLの代わりに変化し得る。しかし、プローブのずれはキャリブレーションされた範囲内に保持すべきである。

#### 【0083】

臨界角問題はまた、走査ヘッドの経路を孔軸からずらすことによって避けることができる。図16は、距離dだけ孔軸32からずれている経路56に沿って移動する電動走査ヘッドを示している。中心線に対するdの方向は、正であるか負であるかどうかによって示される。

#### 【0084】

軸A1周りの最大角速度ωは、以下の式によって新しい走査経路に対して測定することができます。

#### 【0085】

#### 【数8】

$$\omega = \frac{V}{2\pi \sqrt{L^2 - (r+d)^2} \sin\theta - (r+d) \cos\theta} \quad (13)$$

#### 【0086】

式中、dは走査ヘッド軸距離である。dは、負の値が、A2が臨界角に最も近い孔表面上の点に向かったずれを意味することを示している。

#### 【0087】

図17は、所与の孔半径、スタイルス先端速度、およびプローブ長さに対する、孔平面に対するA1軸周りの最大角速度のグラフである。3セットのデータは、ずれdの変化が臨界角問題が存在する孔平面を変えることを示している。

#### 【0088】

10

20

30

40

50

特定の走査および A 1 周りの最大許容角速度の所要のずれ  $\max \Delta$  は、式(13)を再び配置することによって測定することができる。

【0089】

【数9】

$$d = L \sin \left( \theta \pm \sin^{-1} \left( \frac{V}{2\pi \omega_{\max} L} \right) \right) - r \quad (14)$$

【0090】

10

図18の18A～18Hは、臨界角配向で角度付けされた孔の走査を示している。この場合、走査ヘッドは孔の公称中心線と平行であるが、ずれている軌跡に沿って移動される。18Aおよび18Bはそれぞれ、XYおよびYZ平面の走査輪郭を示している。

【0091】

18Cおよび18Dはそれぞれ、A1およびA2軸周りのスタイラス先端位置を示している。A1およびA2軸のいずれかの周りのスタイラス先端位置のステップ変化はない。

【0092】

20

18Eおよび18Fはそれぞれ、A1およびA2軸周りのスタイラス先端速度を示しており、18Gおよび18HはそれぞれA1およびA2軸周りのスタイラス先端加速度を示している。スタイラス先端速度にステップ変化はない。加えて、必要な無限速度または加速度はない。走査ヘッドの軌跡を孔の公称中心線からずらすこの方法により、臨界角配向で角度付けされた孔を、プローブ長さを変更する必要なく走査することが可能になる。

【0093】

前に説明したように、走査ヘッドの通常の軌跡は孔の公称中心線に沿っており、孔表面周りに対称走査を生じさせる。したがって、特定の走査ヘッド位置では、スタイラスは孔の公称中心線と直交する平面上の孔輪郭と交差する。しかし、走査ヘッドの軌跡が公称中心線からずれている場合、走査は孔表面周りで対称ではない。これは、一端部の孔の一方側、およびもう一端部のもう一方側の領域が走査されないことにつながる。

【0094】

30

孔表面臨界のこれらの領域の測定の要件がある場合、これらの表面上で追加の走査を行うことができる。別の方では、走査長さを延長することができる、または第2の走査を軸の別の側でずれた軸で行うことができる。

【0095】

走査ヘッドの軌跡をずらす方法は、垂直アームCMM上に取り付けられた走査ヘッドで孔の走査に限らない。円錐、球体、スタイラス先端が走査中にA1軸に対してA2軸周りで0°の角度に近づく表面などの、他の表面輪郭もこの方法を使用して測定することができる。

【0096】

40

他の表面輪郭では、表面輪郭が以下の方法によって輪郭角配向で角度付けされているかどうかを判断することができる。走査ヘッド軌跡（すなわち、走査ヘッドの中心に沿った軌跡）と表面の間のA1軸と平行な距離がプローブ長さ（その先端までのプローブの回転中心からの距離）と実質的に同じである場合、臨界角問題がある。これは、走査ヘッドをその軌跡上の様々な点まで移動させ、A1軸と平行な線を通過するように表面の法線に向かう方向にプローブ先端を回転させるためにヘッドを使用することによって検査することができる。

【0097】

臨界角の可能性は、プローブ先端が表面と接触する位置から判断することができる。

【0098】

円錐の場合、A1およびA2軸周りの走査ヘッド角度、速度および加速度輪郭は、CM Mが走査ヘッドを輪郭の中心線に沿って移動させるとときに、円錐の輪郭の周りでスタイラ

50

ス先端の全ての回転を繰り返さない。臨界角または略臨界角はしたがって、プローブ先端の1つの特定の回転中に生じることができ、他の回転中は起こらない。走査ヘッドの軌跡を円錐の中心線からはずることは、この状況を改善することはできず、プローブ先端の別の回転に対して臨界角または略臨界角を変えるだけである。

#### 【0099】

この問題は、臨界角または略臨界角が走査中にどこでも生じないようにヘッド軌跡を変えることによって解消される。この変更した軌跡は、前に説明したように、輪郭の中心線と平行である必要はない。図19は、公称中心線38を備えた円錐表面輪郭36を示している。変更した軌跡40は図では、円錐の頂点を通過している。同様の解決法を、球体、または同じ問題が存在する他の表面でとることができる。

10

#### 【0100】

図19に示すように、「下側半径」 $r_1$ を有する円錐の頂点に向かう第1の平面42、および「上側半径」 $r_2$ を有する円錐の頂点からさらに離れる第2の平面44の2つの平面間で円錐に沿ってまたその周りで走査する場合、以下のときに臨界角問題が生じる：

逆正弦(下側半径 / プローブ長さ) 表面輪郭の公称中心線の角度

逆正弦(上側半径 / プローブ長さ) 表面輪郭の公称中心線の角度

上記式では、上側半径および下側半径は輪郭の半径プラス(凹状輪郭に対して)またはマイナス(凸状輪郭に対して)プローブ先端半径である。

#### 【0101】

これらの式はまた半球にも当てはまる。表面輪郭は公称中心線を有している必要はない。スタイラスがA1軸とほぼ平行になるのを防ぐように軌跡が選択されたあらゆる表面輪郭を測定することができる。

20

#### 【0102】

臨界角問題に対する代替解決法は、走査の角速度を変えることが必要であり、以下により詳細に説明する。この方法は、A1およびA2軸周りの所要の角速度および/または加速度がその許容値を超えるように臨界角の近くまで(しかし、通らないで)通過する走査に適している。

#### 【0103】

この解決法は、走査の角速度(すなわち、走査平面内のスタイラス先端)の減少を含み、それによってA1およびA2軸周りの所要の角速度および加速度が減少する。

30

#### 【0104】

走査速度は異なる方法で減少させることができる。走査速度は、全体の走査に対して、または許容値を超える走査の一部に対して減少させることができる。別の方では、走査速度の減少は調整の形をとることができ、それによって走査速度は走査全体を通して変化し、臨界角に最も近い場合にその最小値に近づく。走査速度の減少は、各走査回転の走査位置に対する速度のいくつかの他の曲線を使用して行うことができる。

#### 【0105】

この解決法は、走査が臨界角を通過しない場合に使用することができないという欠点を有する。というのは、この点ではA1およびA2周囲の所要の角速度および加速度の一部が無限であり、これは走査速度の減少によりいかなる要因でも減少させることができないからである。

40

#### 【0106】

この解決法はしたがって、角速度および加速度の許容最大値を超える走査に適しており、この解決法はA1およびA2軸周りの角速度および加速度は常に許容限界値内にあることを保証する。

#### 【0107】

別の解決法は、臨界角を超えるように測定点間の間隙を使用することを含んでいる。この技術は、臨界角を通過する走査、また上で概略を説明した技術が非実用的に大きい走査角速度の減少が必要であるものを含む、臨界角に近い部分を含む走査に使用することができる。

50

**【 0 1 0 8 】**

この解決法は、プローブ先端を走査輪郭周りで推進させるように発生された別個の点に当てはまる。間隙はこれらの点の間に配置され、それによって間隙は臨界角と一致する。走査はその後、臨界角を超えて、したがって A 1 および A 2 軸周りの不可能な無限速度および加速度が必要ない。同じ原理がまた、A 1 および A 2 軸周りの所要の角速度および加速度が高い走査の一部を超えるように使用することができる。超える走査の部分が大きくなれば大きくなるほど、点の間の得られる距離がより大きくなる（すなわち、点密度がより低くなる）。

**【 0 1 0 9 】**

問題の走査部分中の走査速度の減少により、A 1 および A 2 軸周りの高い角速度および加速度を必要とする部分の長さが短くなるので、この解決法は上記解決法と組み合わせることができる。これにより最大点密度が大きくなり、この部分を超えるのに使用することができます。

10

**【 0 1 1 0 】**

臨界角を超える間に、プローブ偏向が変わり、プローブはさらに輪郭の表面から離れることができる。したがって、表面上のプローブ偏向の再装填が超えた後に必要になる可能性がある。

**【 0 1 1 1 】**

臨界角問題に対処する組み合わせた方法を使用することもできる。これにより、所与の応用例に対する特定の数値基準に基づき、いくつかの解決法（例えば、軸ずれ、減速、および走査速度の減少および臨界角を超えることの組合せ）のうちどれが好ましいかが検出される。走査パラメータはその後それに応じて変更することができ、走査を行うことができる。

20

**【 0 1 1 2 】**

表面輪郭の配向が臨界角配向に近くない場合、孔は前に説明したように測定することができる。しかし、表面輪郭の配向が臨界角配向に近い場合、修正測定を行わなければならない。

**【 0 1 1 3 】**

この場合、測定される部分に関する他の機構を考慮して、最も適当な解決法が選択される。

30

**【 0 1 1 4 】**

この部分を再配向するかどうかを決める際に、機構へのアクセスを考慮しなければならず、また走査される他の機構を考慮しなければならない、すなわち、新しい配向での十分なアクセスがあるかどうか、および臨界角問題が新しい配向でこれらの他の機構に起こるかどうかを考慮しなければならない。

**【 0 1 1 5 】**

同様に、スタイラスの長さを変更するかどうかを決定する際、機構自体の制約を考慮しなければならない。例えば長い孔では、長いスタイラスが必要である可能性がある。さらに、全体の走査時間を遅くするスタイラスの変化を最小限に抑えるために、部分上の他の機構に対するスタイラスの要件を考慮することができる。

40

**【 0 1 1 6 】**

上記の臨界角問題に対する解決法を利用する場合、1つの角度値を修正する軸シフトが、速度または加速度に対する新しく導入された過度の角度値につながらないことを保証することが重要である。この場合、新しいいずれを算出しなければならない。この方法により、走査は、角度値が所要の値を超えることなく、孔軸からずれているが、これと平行である走査軸周りに進むことが可能になる。

**【 0 1 1 7 】**

走査ヘッドは、あらゆるタイプの CMM、例えば水平アーム CMM 上に取り付けることができる、またはいかなる向きで取り付けることができる。例えば、垂直アーム CMM 上に水平方向に取り付けることができる。走査ヘッドは、工作機械などの他のタイプの座標

50

位置決め機械に取り付けることができる。

**【0118】**

上記実施形態は電動走査ヘッド上に取り付けられた接触プローブの使用を記載しているが、この方法はまた、光学、キャパシタンスまたはインダクタンスプローブなどの非接触プローブでの使用に適している。

**【0119】**

上記実施形態は表面輪郭を走査することを記載しているが、この方法はまた、タッチトリガプローブで別個の測定を行うのに適している。

**【0120】**

この方法はまた、A1およびA2軸周りの動作がワークピースの表面によって案内されているかどうかに関係ない使用に適している。例えば、連節しているプローブヘッドの自由空間動作はまた、上に説明するように臨界角度の問題が生じる可能性がある。10

**【0121】**

特に配置した幾何形状（実際に、または仮想で）によって案内されていない動作に対する臨界角問題は、上に概略を説明したものから適当な解決法を選択することによって解決することができる。

**【0122】**

上記方法はしたがって、臨界角を通って、または角速度および／または加速度を高くするのに十分近くを通過するA1およびA2軸周りのあらゆる動作の予測が可能になる。この方法はまた、走査パラメータの1つまたは複数を変えることによってこの問題を換えることを可能にする。20

**【0123】**

本発明は測定学的走査に限らないが、臨界角問題が起こる計測以外の分野での応用例に適している。

**【図面の簡単な説明】**

**【0124】**

【図1】本発明による走査装置を備えた座標測定機械の平面図である。

【図2】電動走査ヘッドの断面図である。

【図3】走査されている垂直孔を示す図である。

【図4】4Aは垂直孔に対するXY平面の走査輪郭を示す図、4Bは垂直孔に対するYZ平面の走査輪郭を示す図、4Cは垂直孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端位置を示す図、4Dは垂直孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端位置を示す図、4Eは垂直孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端速度を示す図、4Fは垂直孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端速度を示す図、4Gは垂直孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端加速度を示す図、4Hは垂直孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端加速度を示す図である。30

【図5】走査されている水平孔を示す図である。

【図6】6Aは水平孔に対するXY平面の走査輪郭を示す図、6Bは水平孔に対するYZ平面の走査輪郭を示す図、6Cは水平孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端位置を示す図、6Dは水平孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端位置を示す図、6Eは水平孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端速度を示す図、6Fは水平孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端速度を示す図、6Gは水平孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端加速度を示す図、6Hは水平孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端加速度を示す図である。40

【図7】走査されているほぼ垂直孔を示す図である。

【図8】8Aはほぼ垂直孔のXY平面の走査輪郭を示す図、8Bはほぼ垂直孔のYZ平面の走査輪郭を示す図、8Cはほぼ垂直孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端位置を示す図、8Dはほぼ垂直孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端位置を示す図、8Eはほぼ垂直孔の走査中のA1軸周りのスタイラス先端速度を示す図、8Fはほぼ垂直孔の走査中のA2軸周りのスタイラス先端速度を示す図、8Gはほぼ垂直孔の走査中のA1軸周り50

のスタイラス先端加速度を示す図、8 H はほぼ垂直孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図である。

【図 9】走査されているほぼ水平孔を示す図である。

【図 10】10 A はほぼ水平孔の X Y 平面の走査輪郭を示す図、10 B はほぼ水平孔の Y Z 平面の走査輪郭を示す図、10 C はほぼ水平孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、10 D はほぼ水平孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、10 E はほぼ水平孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、10 F はほぼ水平孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、10 G はほぼ水平孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図、10 H はほぼ水平孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図である。

【図 11】公称中心線に沿って走査ヘッドを移動させることによって走査されている、臨界角配向に角度付けされた孔を示す図である。

【図 12】12 A は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔に対する X Y 平面の走査輪郭を示す図、12 B は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔に対する Y Z 平面の走査輪郭を示す図、12 C は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、12 D は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、12 E は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、12 F は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、12 G は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図、12 H は臨界角配向より部分的に小さく角度付けされた孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図である。

【図 13】13 A は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔に対する X Y 平面の走査輪郭を示す図、13 B は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔に対する Y Z 平面の走査輪郭を示す図、13 C は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、13 D は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、13 E は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、13 F は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、13 G は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図、13 H は臨界角配向より部分的に大きく角度付けされた孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図である。

【図 14】孔平面に対する A 1 軸周りの最大回転速度のグラフである。

【図 15】孔半径に対する孔平面のグラフである。

【図 16】公称中心線からずれているが、これと平行である経路に沿って走査ヘッドを移動させることによって走査されている臨界角配向に角度付けされた孔を示す図である。

【図 17】孔平面に対する A 1 軸周りの最大角速度のグラフである。

【図 18】18 A はずれた軌道を使用した臨界角配向孔に対する X Y 平面の走査輪郭を示す図、18 B はずれた軌道を使用した臨界角配向孔に対する Y Z 平面の走査輪郭を示す図、18 C はずれた軌道を使用した臨界角配向孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、18 D はずれた軌道を使用した臨界角配向孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端位置を示す図、18 E はずれた軌道を使用した臨界角配向孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、18 F はずれた軌道を使用した臨界角配向孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端速度を示す図、18 G はずれた軌道を使用した臨界角配向孔の走査中の A 1 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図、18 H はずれた軌道を使用した臨界角配向孔の走査中の A 2 軸周りのスタイラス先端加速度を示す図である。

【図 19】公称中心線からずれた軌跡を使用して走査された円錐を示す図である。

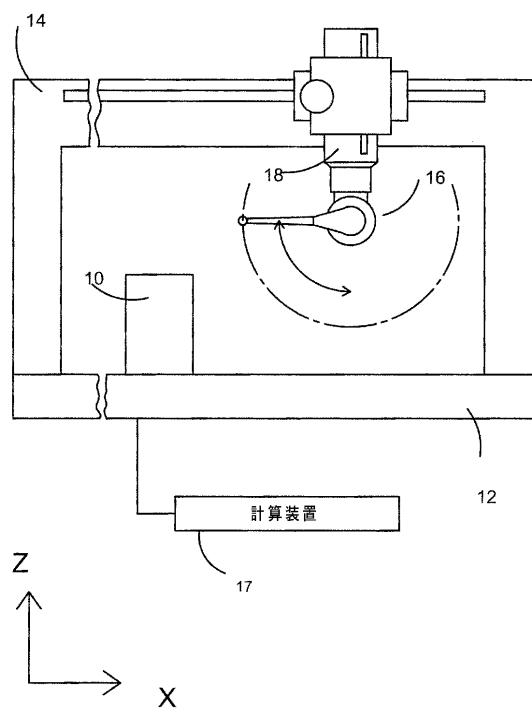
10

20

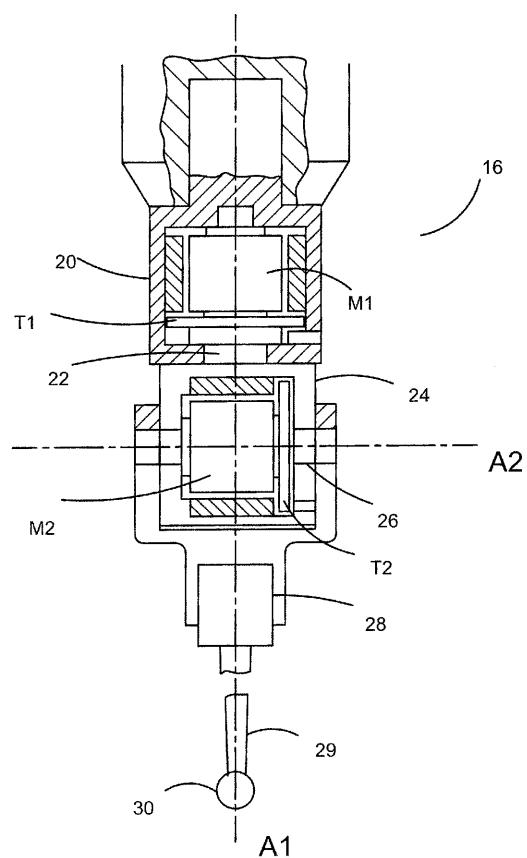
30

40

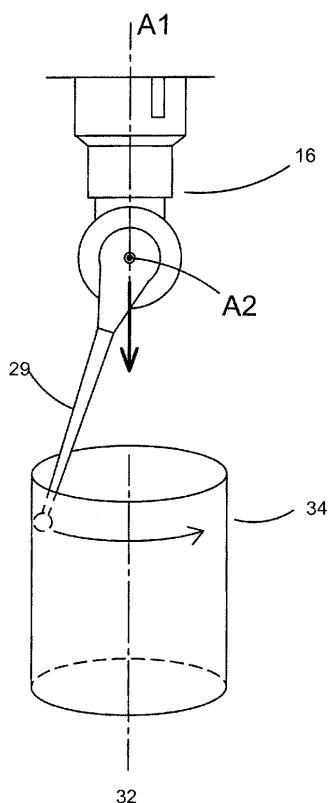
【図1】



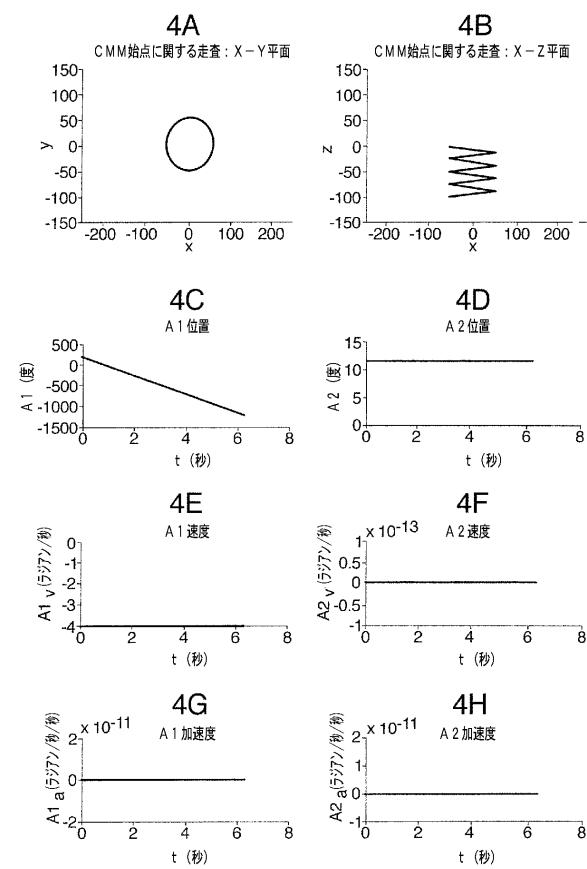
【図2】



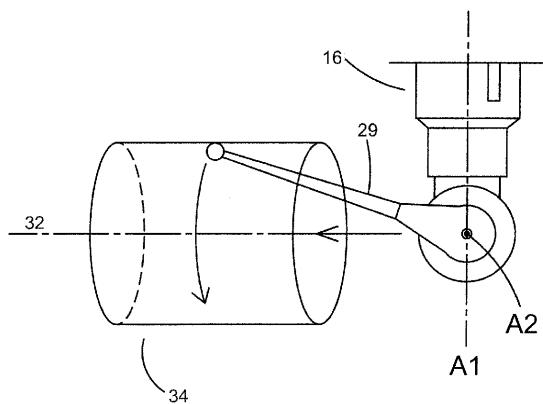
【図3】



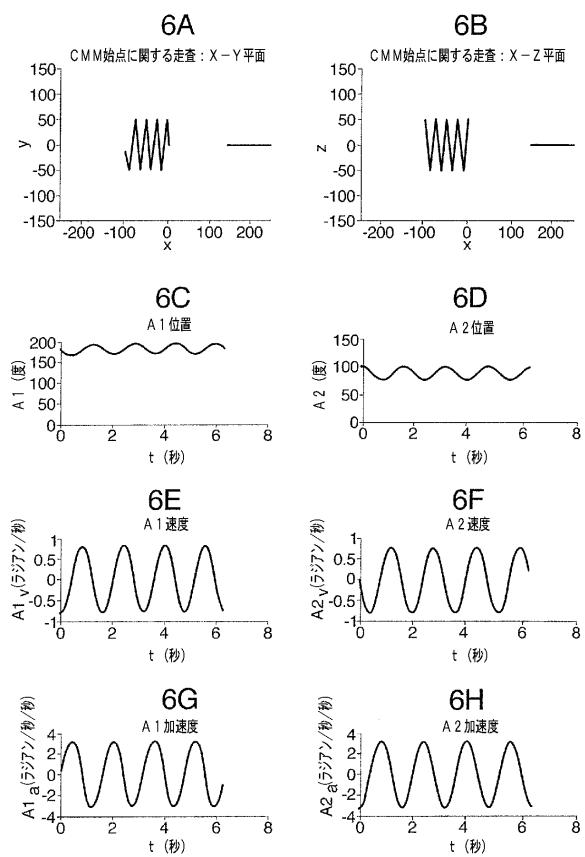
【図4】



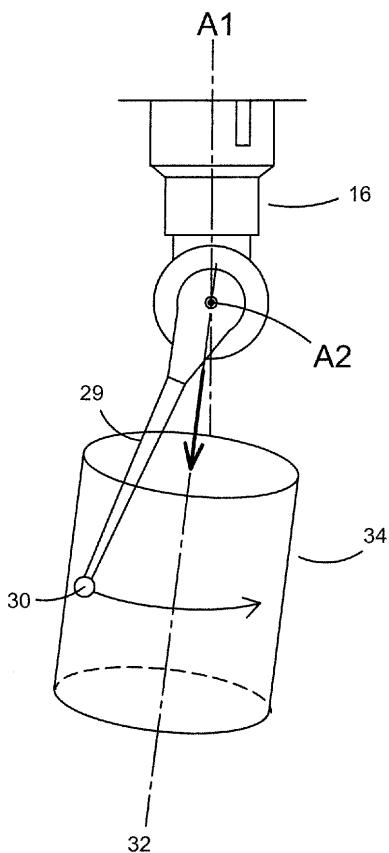
【図5】



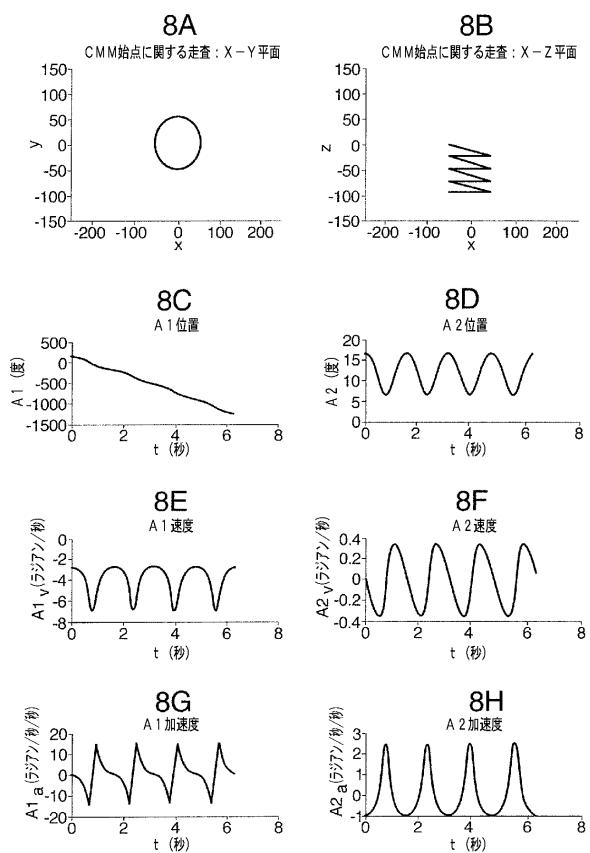
【図6】



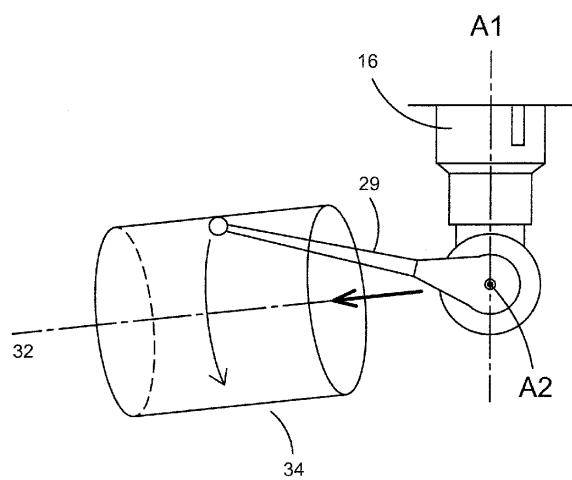
【図7】



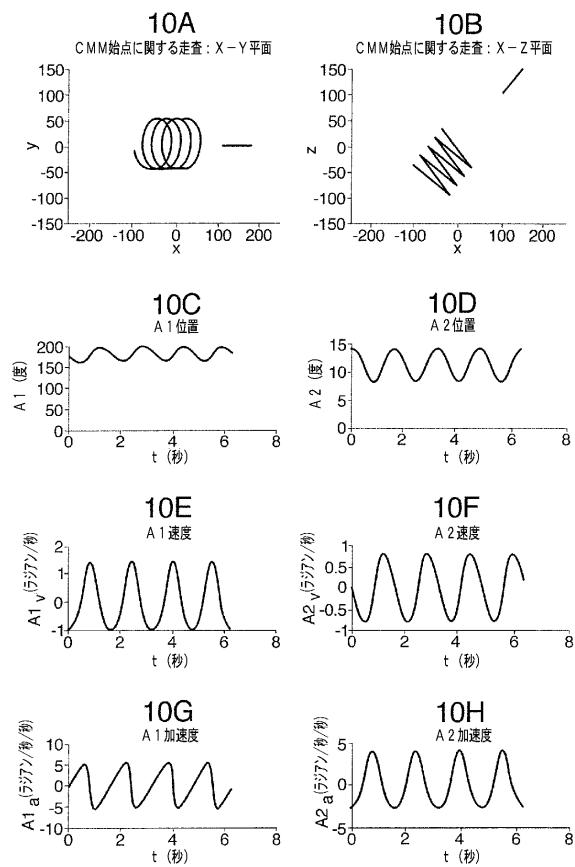
【図8】



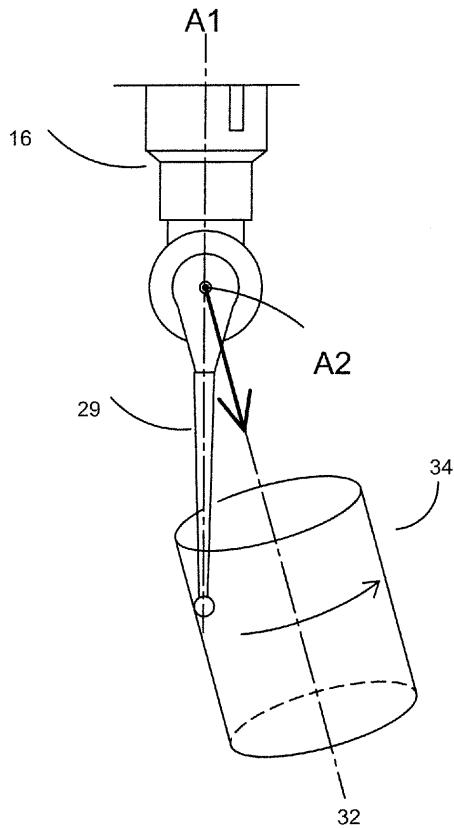
【図9】



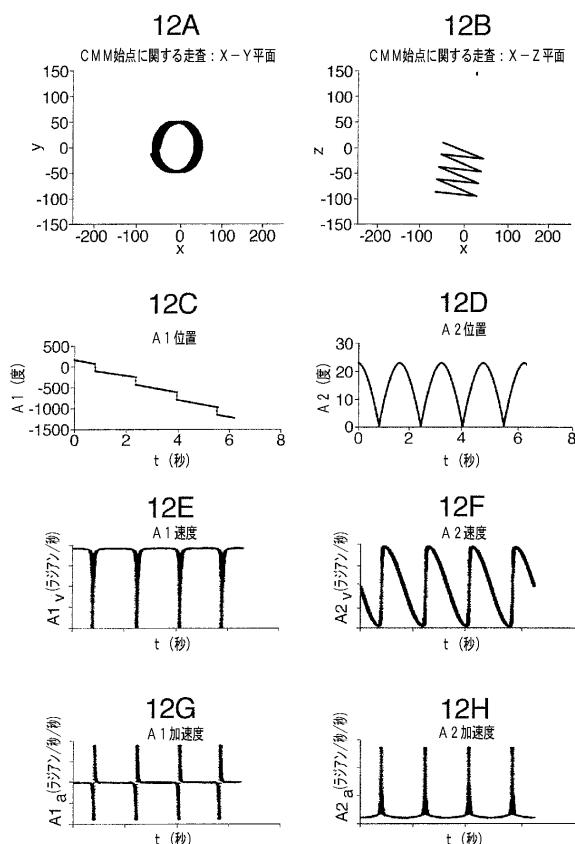
【図10】



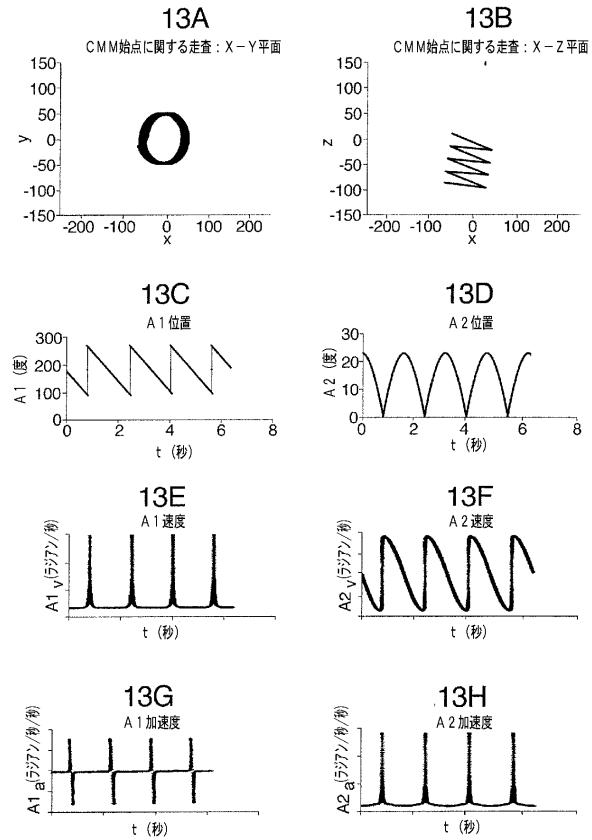
【図11】



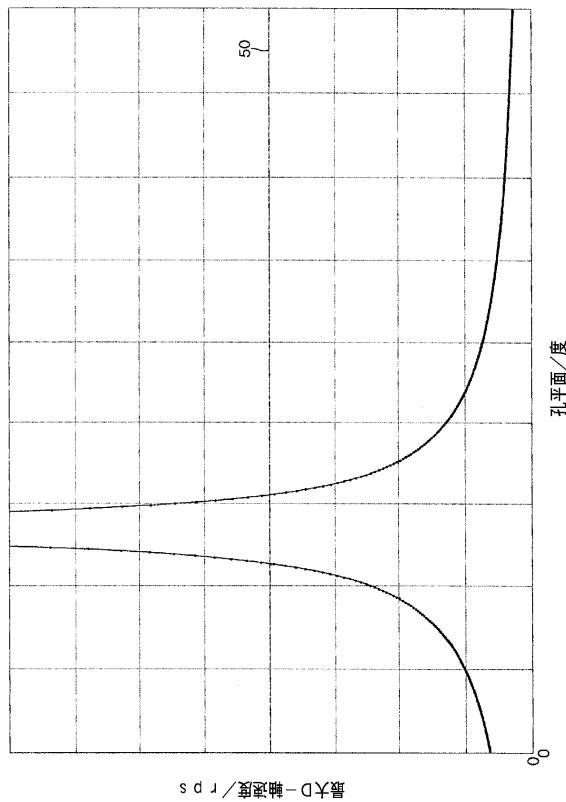
【図12】



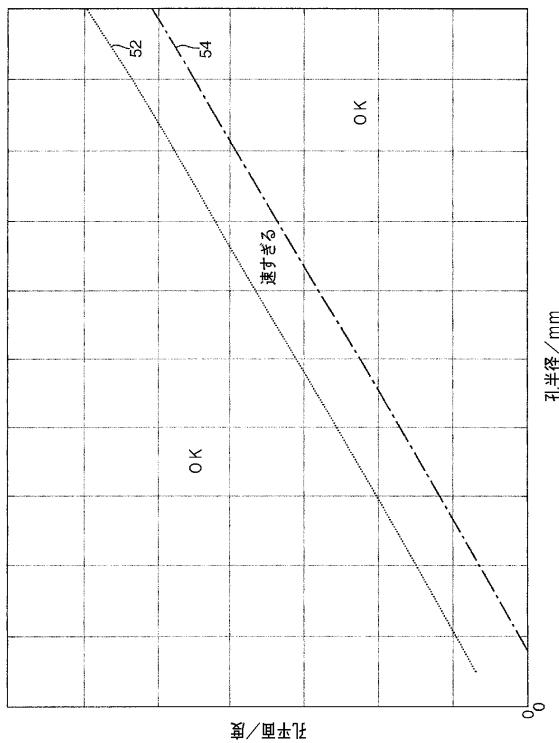
【図13】



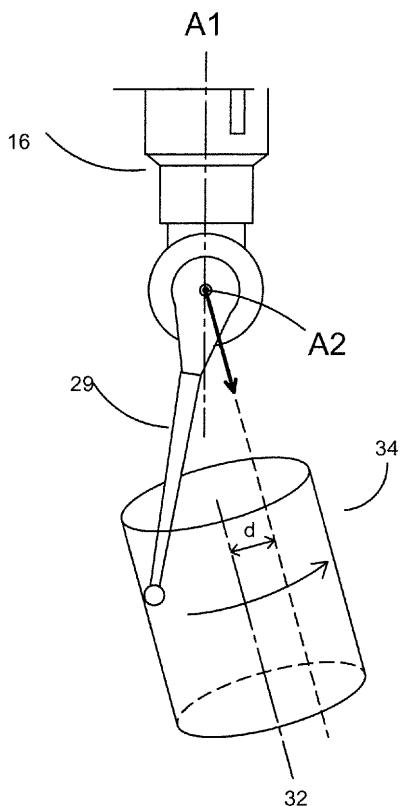
【図14】



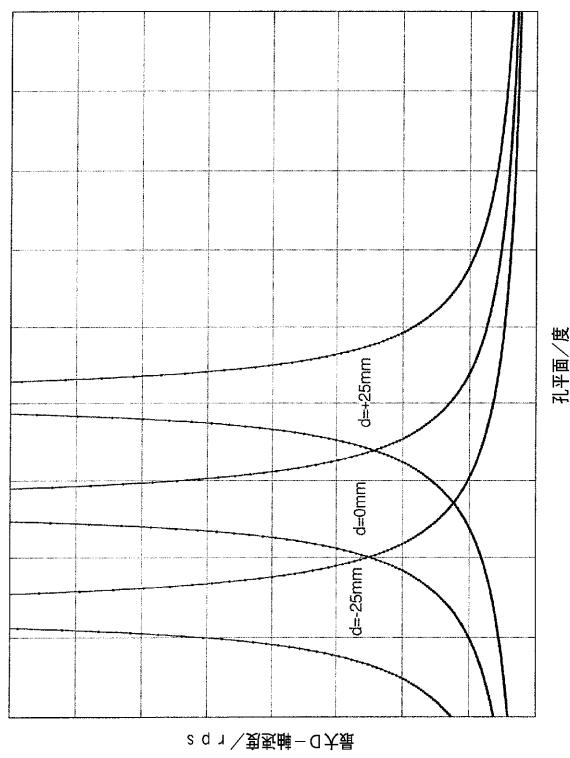
【図15】



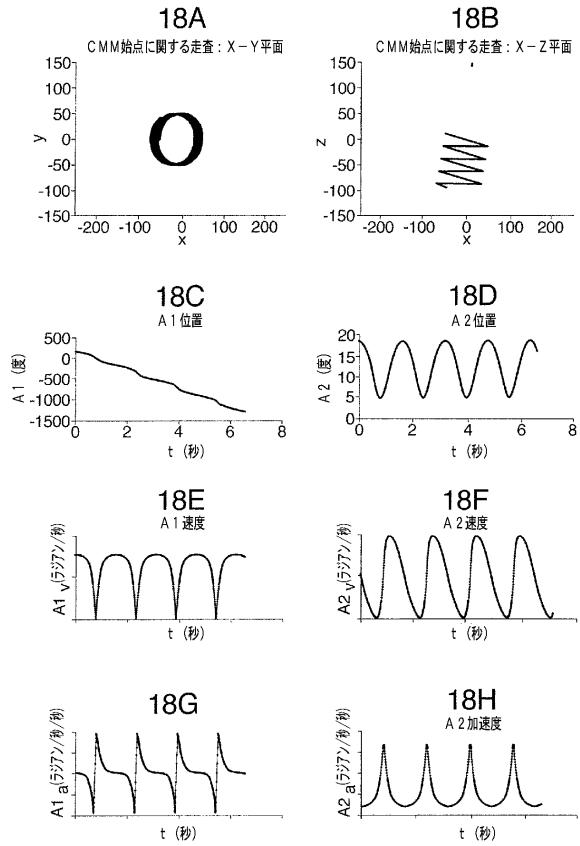
【図16】



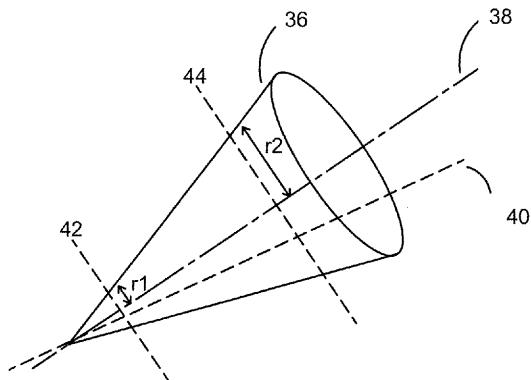
【図17】



【図18】



【図19】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ジェフリー マクファーランド

イギリス ジーエル12 8エルディー グロスター・シャー ウォットン・アンダー・エッジ ウ  
ィックウォー ウエスト エンド ウエスト エンド ファームハウス(番地なし)

(72)発明者 デビッド スペン ウオレス

イギリス ジーエル10 3ユーエイチ グロスター・シャー ニンプスフィールド ティンクリー<sup>レーン</sup> ザ バーン ストリート ファーム(番地なし)

審査官 金丸 治之

(56)参考文献 米国特許第05726917(US,A)

特開平10-300455(JP,A)

特開2003-001576(JP,A)

特開2003-300183(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/18-19/416

G01B 5/008