

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4246071号  
(P4246071)

(45) 発行日 平成21年4月2日(2009.4.2)

(24) 登録日 平成21年1月16日(2009.1.16)

(51) Int.Cl. F I  
G O 1 B 21/00 (2006.01) G O 1 B 21/00 E

請求項の数 14 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2003-578856 (P2003-578856)	(73) 特許権者	504262889
(86) (22) 出願日	平成15年1月13日 (2003.1.13)		カール ツァイス インドゥストリーレ
(65) 公表番号	特表2005-538342 (P2005-538342A)		メステクニーク ゲーエムペーハー
(43) 公表日	平成17年12月15日 (2005.12.15)		Carl Zeiss Industrielle Messtechnik Gm
(86) 国際出願番号	PCT/EP2003/000217		bH
(87) 国際公開番号	W02003/081168		ドイツ連邦共和国 D-73447 オー
(87) 国際公開日	平成15年10月2日 (2003.10.2)		バーコッヘン カールツァイス-シュト
審査請求日	平成17年10月19日 (2005.10.19)		ラーゼ 22
(31) 優先権主張番号	102 14 490.7	(74) 代理人	100087701
(32) 優先日	平成14年3月26日 (2002.3.26)		弁理士 稲岡 耕作
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100101328
			弁理士 川崎 実夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 座標測定機械における案内誤差を求めかつ補正する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

可動測定ヘッド(30)を有し、少なくとも2つの異なる空間的な方向(16, 22, 24)において前記測定ヘッド(30)を移動可能に案内する手段(14, 20)を有し、スケール(18, 26, 28)を有し、各空間的方向に沿って規定され前記空間的方向(16, 22, 24)に割り当てられた測定線(49; 108, 110, 112, 114; 128, 130, 132, 134)を有する座標測定機械(10)における、弾性起因の案内誤差を求めかつ補正する方法であって、

前記少なくとも2つの異なる空間的方向(16, 22, 24)のうちの第一の空間的方向に沿って、複数の第一の測定線(128, 130, 132)が規定されており、前記少なくとも2つの異なる空間的方向(16, 22, 24)のうちの第二の空間的方向に沿って、第二の測定線(134)が規定されており、

前記異なる空間的方向(16, 22, 24)の前記第一および第二の測定線は交差して各第一の測定線(128, 130, 132)と前記第二の測定線(134)との交点を規定しており、

前記スケール(18, 26, 28)および/または前記測定ヘッド(30)を移動可能に案内する手段(14, 20)の誤差を補正するために、前記スケール(18, 26, 28)の所定の値に対して前記測定線(49; 108, 110, 112; 128, 130, 132, 134)に沿って補正值が決定され、

各第一の測定線(128, 130, 132)の修正された補正值が、前記第二の空間的

10

20

方向の前記第二の測定線(134)との前記交点の各々において所定の値と等しくなるように、前記第一の空間的方向の前記第一の測定線(128, 130, 132)に沿って決定される補正値が、減算によって修正され、

前記複数の第一の測定線(128, 130, 132)のうちの1つ(128)が、基準線として選択され、前記基準線(128)の前記修正された補正値が、残りの前記第一の測定線(130, 132)の対応する前記修正された補正値から更に差し引かれて、その結果、前記残りの第一の測定線(130, 132)に沿って、修正された補正値が弾性起因誤差のみを表すように決定されることを特徴とする方法。

【請求項2】

前記第一の空間的方向の前記第一の測定線(128, 130, 132)に沿う前記補正値が、まず、一定の誤差成分(100, 106)を差し引くことによって修正されることを特徴とする、請求項1記載の方法。

10

【請求項3】

前記交点の各々における前記所定の値がゼロに等しいことを特徴とする、請求項1または2記載の方法。

【請求項4】

前記第二の空間的方向の更なる第二の測定線(114)の関数として、前記補正値を更に修正することを特徴とする、請求項1ないし3のいずれかに記載の方法。

【請求項5】

前記修正をした後に、1つの前記測定線(49; 108, 110; 128, 130, 132)の前記補正値が、前記第二の空間的方向の前記更なる第二の測定線(114)との、前記1つの第一の測定線(49; 108, 110; 128, 130, 132)の前記交点において他の所定の値と等しくなるように、前記第一の空間的方向に走る前記第一の測定線(49; 108, 110; 128, 130, 132)の1つに沿う前記補正値を表す曲線(122)が修正されることを、前記更なる修正が含むことを特徴とする、請求項4記載の方法。

20

【請求項6】

前記他の所定の値がゼロに等しいことを特徴とする、請求項5記載の方法。

【請求項7】

前記基準線(128)の前記補正値が、第一の補正値として補正値メモリ(40)内に保存されることを特徴とする、請求項1ないし6のいずれかに記載の方法。

30

【請求項8】

前記第一の補正値が、個々の座標測定機械(10)について個別に求められ、そして保存されることを特徴とする、請求項7記載の方法。

【請求項9】

前記更なる減算で得られ、弾性起因誤差によってのみ決定される、前記残りの第一の測定線(130, 132)に沿う前記修正された補正値が、前記補正値メモリ(40)内に第二の補正値として保存されることを特徴とする、請求項6ないし8のいずれかに記載の方法。

【請求項10】

前記第二の補正値が、特定のタイプの個々の座標測定機械(10)について求められて、同じタイプの他の座標測定機械(10)の補正値メモリ(40)内に保存されることを特徴とする、請求項9記載の方法。

40

【請求項11】

座標測定機械(10)の案内誤差が、前記第一および第二の補正値に基づいて修正されることを特徴とする、請求項9または10記載の方法。

【請求項12】

前記座標測定機械(10)が、X方向(11)に移動するようになされたコラム(14)を有する水平アーム型測定機械であり、前記コラムが前記測定ヘッド(30)を有する水平アーム(20)を支持しており、前記水平アームはY方向(22)およびZ方向(2

50

4) に移動するようになされていることを特徴とする、請求項 1 ないし 1 1 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 3】

前記座標測定機械 ( 1 0 ) が、ガントリー型機械であり、そのガントリーが Y 方向に移動可能であり、そのガントリーが当該ガントリー上を X 方向に移動できるキャリッジを有しており、前記キャリッジが測定ヘッドと共に Z 方向に移動可能なセンタースリーブを支持していることを特徴とする、請求項 1 ないし 1 1 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 4】

可動測定ヘッド ( 3 0 ) を有し、少なくとも 2 つの異なる空間的な方向 ( 1 6 , 2 2 , 2 4 ) において前記測定ヘッド ( 3 0 ) を移動可能に案内する手段 ( 1 4 , 2 0 ) を有し、スケール ( 1 8 , 2 6 , 2 8 ) を有し、各空間的方向に沿って規定され前記空間的方向 ( 1 6 , 2 2 , 2 4 ) に割り当てられた測定線 ( 4 9 ; 1 0 8 , 1 1 0 , 1 1 2 , 1 1 4 ; 1 2 8 , 1 3 0 , 1 3 2 , 1 3 4 ) を有し、前記少なくとも 2 つの異なる空間的な方向 ( 1 6 , 2 2 , 2 4 ) のうちの第一の空間的方向に沿って、複数の第一の測定線 ( 1 2 8 , 1 3 0 , 1 3 2 ) が規定されており、前記少なくとも 2 つの異なる空間的な方向 ( 1 6 , 2 2 , 2 4 ) のうちの第二の空間的方向に沿って、第二の測定線 ( 1 3 4 ) が規定されており、前記異なる空間的な方向 ( 1 6 , 2 2 , 2 4 ) の前記第一および第二の測定線は交差して各第一の測定線 ( 1 2 8 , 1 3 0 , 1 3 2 ) と前記第二の測定線 ( 1 3 4 ) との交点を規定しており、前記測定線 ( 4 9 ; 1 0 8 , 1 1 0 ; 1 2 8 , 1 3 0 , 1 3 2 , 1 3 4 ) に沿った前記スケール ( 1 8 , 2 6 , 2 8 ) の所定の値に対して求められた補正值が保存される補正值メモリ ( 4 0 ) を有し、前記スケール ( 1 8 , 2 6 , 2 8 ) および / または前記測定ヘッド ( 3 0 ) を移動可能に案内するための手段 ( 1 4 , 2 0 ) の誤差が前記補正值によって補正され、

前記第一の空間的方向の各第一の測定線 ( 4 9 ; 1 0 8 , 1 1 0 ; 1 2 8 , 1 3 0 , 1 3 2 ) の前記補正值が、前記第二の空間的方向の前記第二の測定線 ( 1 1 2 ; 1 3 4 ) との前記交点の各々において所定の値に等しくされるように構成された座標測定機械 ( 1 0 ) であって、

前記補正值が、前記複数の第一の測定線 ( 1 2 8 , 1 3 0 , 1 3 2 ) から選択される基準線 ( 1 2 8 ) に沿う第一の補正值と、残りの前記第一の測定線 ( 1 3 0 , 1 3 2 ) に沿う第二の補正值とを含み、前記第二の補正值が、減算によって得られた、前記基準線 ( 1 2 8 ) に沿う前記補正值に対する差違を表しており、その結果、前記残りの第一の測定線 ( 1 3 0 , 1 3 2 ) に沿う前記補正值が弾性起因誤差のみを表すように構成されていることを特徴とする機械。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、可動測定ヘッドと、空間内の少なくとも 2 つの異なる方向において測定ヘッドを移動可能に案内する手段と、前記空間内の各方向に割り当てられたスケールおよび測定線とを有する座標測定機械における案内誤差を求めかつ補正する方法に関する。ここで、空間内の異なる方向のそれぞれの測定線は交差しており、スケールおよび / または測定ヘッドを移動可能に案内する手段の誤差を補正するために、スケールの所定の値に対する測定線に沿って補正值が決定される。

【0002】

本発明はまた、上記の方法を使用する座標測定機械に関し、また座標測定機械における弾性起因の案内誤差を求めかつ補正する装置、および座標測定機械に対する補正值を保存する補正值記憶媒体に関する。

【背景技術】

【0003】

最初に述べたタイプの方法、座標測定機械、座標測定機械における弾性起因の誤差を求めかつ補正する装置、および補正值記憶媒体は、各々下記特許文献 1 から既知のものであ

10

20

30

40

50

る。

この文献によれば、座標測定機械の測定ヘッドの変位経路は干渉計を利用して得られる。干渉計を利用して得られた値は評価装置により、光学的および/または電子的に走査可能な一連の機械的な目印のようなスケールによって供給される変位経路の値と比較される。スケールから得られた値と干渉計を利用して得られた値との間の偏差が保存され、座標測定機械の操作に使用されて、スケールから得られた値が補正される。

【0004】

座標測定機械の操作において、いわゆる案内誤差の補正はこのようにして行われる。案内誤差は干渉計を利用して求められるだけでなく、その他の測定手段を使用しても求められることは言うまでもない。そのことを以下、図16および図17を参照して更に詳しく説明する。案内誤差は、測定ヘッドの実際の座標値の、この位置でスケールによって与えられる座標値からの偏差(ずれ)として理解される。この場合、実際の座標値はガイドの位置から求められる。

10

【0005】

理想的な剛性のあるガイドの場合、望みの位置と実際の位置との間のかかる偏差は、ガイドおよび/またはスケールの形状起因の誤差によって生じることがある。例えば、測定ヘッドの平行運動を案内するガイドは、製造中に生じた波目模様を有している可能性があり、それは測定ヘッドの位置を平行運動の方向に対して横方向に変位させる。

これらの誤差を補正するために、例えば座標測定機械の各軸に沿って1つの測定線(標準線)を規定することができ、例えば干渉計による補正値をこの標準線との関係において求めることができる(標準的方法)。標準測定線から離れている測定空間内に位置する点での補正値は、剛性のあるガイドの場合は、個別の標準測定線について測定された補正値に基づく内挿補間計算によって求めることができる。

20

【0006】

しかし実際の座標測定機械は理想的な剛体ではないガイドを備えている。これらのガイドは使用する材料および構造に依存する弾性を有している。この弾性の結果、座標測定機械は変形し、その結果実際の座標値と弾性変形したスケールによって得られた座標値との間に偏差が生じ、それが誤差として認識される。重力の方向に対して横向きに伸ばす(延びる)ことのできる測定アームの末端に装着した測定ヘッドの場合は、例えばアームを伸ばす(アームが延びる)長さの増大とともに測定アームのたわみが増加する。このようなたわみは、たわみの方向に測定ヘッドの弾性起因の位置誤差を生じさせる。

30

【0007】

かかる弾性起因の誤差が、形状起因の案内誤差に重ね合わされる。ここで、弾性起因の誤差と形状起因の誤差とが、様々な影響、および軸すなわち空間的な方向によって変化することが問題である。上記の標準的方法は形状起因の誤差の補正に対するものであり、従って弾性起因の誤差の補正には一般に最適とは言えない。しかし座標測定機械の精度を上げるためには、弾性起因の誤差の補正も必要である。

【0008】

下記特許文献2は、加工対象物における座標値を測定する方法を開示しているが、その場合は、座標測定機械の弾性的な曲げ挙動は変形マトリックスによって模擬的に示される。この既知の方法で質の良い補正が得られるが、しかし変形マトリックスの各係数を求めるためには、測定装置および計算機能に多くの出費を必要とする。

40

【特許文献1】独国特許出願公開第3334460号明細書

【特許文献2】独国特許出願公開第19518268号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記の背景の下で、本発明は測定装置の弾性変形によって生じる測定誤差に対しても質の良い補正を提供することを目的とする。同時に、座標測定機械の工業的製造の範囲で本発明の補正を利用できるようにするために、測定に必要なコストを制限すべきである。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0010】

最初に述べたタイプの方法、座標測定機械、弾性起因の誤差を求めかつ補正する装置、および補正值記憶媒体の場合、この目的は、第一の空間的方向の測定線の補正值が、この測定線の補正值が第二の空間的方向の第二の測定線との交点において所定の値を取るように、修正されるという事実によって達成される。

第一の空間的方向に沿って、複数の第一の測定線が規定されており、この複数の第一の測定線のうちの1つが、基準線として選択され、この基準線の修正された補正值が、残りの第一の測定線の対応する修正された補正值から更に差し引かれて、その結果、残りの第一の測定線に沿って、修正された補正值が弾性起因誤差のみを表すように決定される。

10

このアプローチの結果、第一の空間的方向の測定線に沿っての修正された補正值は、所定の値を基準とする相対的な偏差を反映するだけであり、絶対値の情報は修正によって失われてしまう。状況によっては、絶対値は測定作業の結果生じる未知のオフセットをも含み、そしてそれは第二の空間的方向の誤差の影響によって更に影響を受けている。所定の値が交点で設定されるように補正值を修正することにより、他の空間的方向およびオフセットからのこれらの望ましくない影響が取り除かれて、残った第一の空間的方向の修正された補正值がこれらの影響に依存しなくなるという利点が得られる。

## 【0011】

このようにして、第二の空間的方向の測定線が交差する各第一の測定線の間、その交点において、各第一の測定線の補正值が所定の値を取るという関係が作られ、この関係の結果として、横方向の測定線が交差する2本の平行な測定線の間関係が形成される。平行な測定線の間この関係は、弾性起因の誤差を平行な測定線の助けを得て補正するという本発明の前提条件を構成する。

20

1つの有利な改良によれば、補正值の修正は、まず、一定の誤差成分を差し引くことによって修正される。

## 【0012】

この手順は、計算のためのコストが極めて低いことにより有利である。

更に別の改良によれば、前記所定の値はゼロに等しい。

ゼロからの偏差を記憶するだけでよいという事実から、必要な記憶スペースが非常に小さいという利点が生じる。

30

## 【0013】

1つの空間的方向に複数の測定線を使用することにより、本発明により所定の値を基準とすることと相まって、第一の空間的方向に対して横向きの弾性的影響を数量的に捉えることが可能となる。

本発明の更に別の改良は、第二の空間的方向の更なる第二の測定線の関数として補正值を更に修正することを含む。

## 【0014】

この改良により、測定線の方向の所望の方向からの望ましくない偏差によって生じる影響を補償しながら、それに関連する誤差または補正值を記録することが可能になる。

この改良の1つの実施形態は、前記修正をした後に、1つの測定線の補正值が、第二の空間的方向の更なる第二の測定線との、1つの第一の測定線の交点において他の所定の値と等しくなるように、第一の空間的方向に走る第一の測定線の1つに沿う補正值を表す曲線が修正されることを、更なる修正が含むことを特徴とする。

40

## 【0015】

この実施形態では、上で説明した望ましくない効果を計算によって簡単に補正することができるので有利である。

この改良の別の実施形態によれば、前記他の所定の値はゼロに等しい。更に別の実施形態では、前記曲線は、第二の空間的方向の第一の測定線との交点におけるこの測定線の修正された補正值の所定の値によって形成される固定点の外で操作される。

## 【0016】

50

かかる操作は例えば式  $f_g(x_i) = f(x_i) - (h/x_h) \times x_i$  で得られるが、ここで  $f(x_i)$  は第一の空間的方向の測定線の点  $x_i$  のまわりの一連の補正值を表しており、 $h$  はこの測定線と第二の空間的方向の第二の測定線との交点における補正值  $f(x_h)$  のゼロからの距離を示す。この結果、ゼロ点のまわりでの曲線  $f(x_i)$  の操作が得られる。

【0017】

これらの実施形態もまた、単純な計算で実施できることで特徴付けられる。

本発明の更に別の改良によれば、第一の空間的方向の測定線に対して、第一の空間的方向の複数の測定線によって規定される平面への法線を基準とする直角度の追加的な測定を行う。共通の基準値からの各々1本の測定線の直角からの偏差が形成され、その後で個々の測定線の補正值の曲線の操作が行われるが、操作の程度は前記偏差によって決められる。

10

【0018】

この実施形態は、測定線の平面から外へ出る偏差に対して、測定線の方向の所望の値からの偏差の補償を可能にする点で有利である。

別の実施形態によれば、操作の程度が前記偏差に比例するという事実により、この影響の簡単な計算による補償が可能となる。ここで操作という言葉は、例えば直線を差し引くことによる曲線の補正と定義される。

【0019】

別の有利な実施形態によれば、第一の空間的方向に沿って走る様々な複数の測定線、すなわち測定線のグループからの所定の測定線の補正值は、これらの測定線の関連する補正值から差し引かれる。

20

この減算の結果として、平行な測定線の残存する相対的な補正值または誤差は、標準線の対応する値に関連付けられることになる。ここで考えている平行な測定線の形状起因の誤差は互いに等しいので、この減算の結果これらの形状起因の誤差が都合よく取り除かれ、その結果、残りの値は弾性起因の誤差のみにより決定されることになる。

【0020】

弾性に関わる補正、または補正すべき弾性起因の誤差についてこのようにして得られたデータは、従って形状起因の案内誤差には依存せず、あるタイプの座標測定機械に対して一定に維持するか、または単純な測定によって適合させることができる。

30

これらのデータは弾性に関わる補正の長期的な成分だけを含み、従って既知のタイプのフィルターによって有利に平滑化できることが理解されるであろう。

【0021】

その結果、一連の機械のうちの各個別の機械に対して、標準的な手順によって案内誤差を測定するだけでよい。言い換えれば、個々の座標測定機械について弾性変形からの誤差を再度求める必要が無いということである。

示された分離に従って補正データの原点を確立することができ、また別々に視覚化できるという別の利点が理解される。

【0022】

これはまた、個々の補正を単純な仕方で除外したり導入したりできる可能性を与える（個々の機械については弾性および形状に基づく方法、あるタイプの一連の機械については弾性に基づく方法）。

40

更にまた、個々の機械の案内誤差およびあるタイプの一連の機械について典型的な弾性誤差の補正の順序も、2段階補正の場合、任意に選択できる。

【0023】

この目的のためには、第一の空間的方向に沿って走る所定の測定線（標準線）の補正值を、補正值メモリ内に第一の補正值として保存するのが有利である。

これらの第一の補正值は、個別の座標測定機械ごとに個別に求めて記憶するのが有利である。これらの中には、個別の機械の形状起因の案内誤差と、個別の機械の弾性誤差の成分とが含まれる。

50

## 【 0 0 2 4 】

別の実施形態によれば、減算によって得られる結果が補正值メモリ内に第二の補正值として保存される。

これらの第二の補正值には、あるタイプの一連の機械に典型的な弾性起因の誤差で、従って個別の機械に結びついていない成分が含まれる。これらの第二の補正值は、特定のタイプの個別の座標測定機械の場合に有利に求められて、同じタイプの他の測定機械の補正值メモリ内に保存される。それに伴う特に大きな利点は、個々の機械について標準的手順を超える測定を行う必要が無いということである。その代わりにこれらの測定をあるタイプの一連の機械の特定の1つについて、そのタイプの他の機械を代表するものとして記録すれば十分である。

10

## 【 0 0 2 5 】

本発明の1つの改良によれば、座標測定機械の案内誤差は、第一および第二の補正值に基づいて、座標測定機械の作動中に補正される。このタイプの補正は、一方では個々の機械の形状起因の誤差と弾性起因の誤差との両方の補正を可能にし、他方ではあるタイプの一連の機械に典型的な弾性起因の誤差の補正を可能にする。標準線を記録するとき得られる絶対誤差の情報で、この補正を補足することもできる。

## 【 0 0 2 6 】

本発明の更に別の改良によれば、測定線上に乗っていない点に対する補正值は、少なくとも2本の測定線からの補正值を内挿補間することで求められる。

内挿により、測定線と測定線との間の補正值が計算的な方法で得られるので、記録される測定線の数を抑制することが可能となる。既に上で述べたように、この内挿は測定線間に共通の関係があることを前提とする。

20

## 【 0 0 2 7 】

内挿は、2次元内挿法または3次元内挿法に基づいて行うことができる。

前記の方法を使用するのに適した典型的な座標測定機械は水平アーム型測定機械であり、これはX方向に移動できて水平アームを支持するコラムを有し、アームはY方向およびZ方向に移動可能であり、また測定ヘッドを有するものである。水平アームが延びていることにより弾性変形が生じるので、かかる座標測定機械では上記の利点が特に得られる。

## 【 0 0 2 8 】

しかし本発明の用途はかかる水平アーム型測定機械に限定されるものではなく、弾性変形が生じるすべての座標測定機械に適用可能である。別の座標測定機械の例としては、Y方向に移動可能なガントリーと、ガントリー上をX方向に移動できてZ方向に移動可能なセンタースリーブを支持するキャリッジとを有し、測定ヘッドを備えた、いわゆるガントリー型機械がある。片持ち梁型の設計、またはその他任意の望みの動力学的チェーンを有する座標測定機械も、別の実施形態を構成する。

30

## 【 0 0 2 9 】

更に別の利点が、添付の図面と下記の説明から明らかになるであろう。

これまで述べてきた特徴と以下で説明する特徴とは、ここで述べた組み合わせだけでなく、本発明の範囲から逸脱することなくその他の組み合わせで、またはそれら単独で利用可能であることは、言うまでもない。

40

本発明の実施形態を下記の図面に図示し、以下の記述でより詳しく説明する。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 3 0 】

座標測定機械の一例としての水平アーム型測定機械の全体を、図1において参照符号10で示す。水平アーム型測定機械10は、その上でコラム14がX方向16に移動できる基準面12を有する。基準面12は例えば測定テーブルであるか、または空間内で可能な限り平坦な面である。コラム14の位置は、Xスケール18から読み取れる。コラム14は、Y方向22およびZ方向24に移動可能な水平アーム20を支持している。水平アーム20のY位置とZ位置とは、それぞれYスケール26とZスケール28とから読み取れる。水平アーム20は、それによって加工対象物(ワークピース)の位置や成分が求めら

50

れる測定ヘッド30を支持している。測定ヘッド30が部品に接触したときに到達するX、YおよびZ位置は、前記各スケールから読み取られ、かつ/または適切なセンサシステムにより取り込まれて、評価装置32に送られてその後の処理が行われる。

#### 【0031】

図2はそのような評価装置32の構造を示す。中央処理装置34はプログラムメモリ38に保存されたプログラムに従って、また補正值メモリ40に保存されたデータを使用して、入出力装置36の入力部と出力部との間の切り替えを行う。

図3は、座標測定機械および水平アーム型測定機械10の操作中に発生する平行移動(並進; トランスレーション)の誤差を示す。この場合、参照符号42は測定ヘッド30の誤差のない位置を示す。それに対して参照符号44は誤差のない位置から距離 $x \cdot T \cdot x$ だけ変位した測定ヘッド30の位置を示す。ここで最初の $x$ (左側)は測定ヘッドの運動方向を示し、文字 $T$ は運動が平行移動であることを示し、後の $x$ (右側)はこれが表す誤差の方向を示す。従って $x \cdot T \cdot x$ は、X方向における平行移動で発生するX方向における位置の誤差に対応する。このような誤差の典型的な原因は、Xスケール18の精度の低さである。

10

#### 【0032】

参照符号46は、Y方向における位置の誤差を有する測定ヘッド30の位置を示す。この誤差をここでは $x \cdot T \cdot y$ と示す。従って $x \cdot T \cdot y$ は何らかの種類の直線性の偏差を表す。このような誤差は、例えばXガイドが波状になっていることにより発生し、それはX軸の方向での平行移動の場合は横方向の変位 $y$ をもたらす。

20

参照符号48はZ方向における位置の誤差 $x \cdot T \cdot z$ を有する測定ヘッド30の位置を示す。この場合も、最初の2文字 $x$ および $T$ で表されるX方向の平行移動に基づく表記である。Xガイドの波形状(直線性の欠如)のために、前に述べたY方向での横方向の偏差と同様に、典型的にはZ方向での横方向の偏差も生じる。

#### 【0033】

図3は、X軸の方向での運動に対するX、YおよびZ方向の平行移動の誤差を示す。X、YおよびZ方向の誤差は、Y軸方向の運動のときおよびZ軸方向の運動のときと同様に発生し、その結果発生する可能性のある平行移動の誤差は合計 $3 \times 3 = 9$ 個となる。

図4はX軸方向における測定ヘッド30の運動に対して発生する可能性のある回転運動の3つの誤差を示す。ここで誤差 $x \cdot R \cdot x$ はX軸方向での運動におけるX軸まわりの回転、すなわち測定ヘッド30のいわゆるローリングを示す。X軸方向での運動におけるY軸まわりの回転はピッチングと呼ばれ、X軸方向での運動におけるZ軸まわりの回転はヨーイングと呼ばれる。

30

#### 【0034】

従って図4はX軸方向での運動において発生する可能性のある3つの回転誤差を表す。ローリング、ピッチングおよび/またはヨーイングは、Y軸方向での運動およびZ軸方向での運動の場合にも同様に起きる可能性があり、従って回転の場合も $3 \times 3 = 9$ 個の誤差が生じる可能性がある。

図5は、測定ヘッド30の様々な運動に対するX軸まわりの回転( $R \cdot x$ )の起こりうる分布(プロファイル)を示す。平行な測定線49の上の曲線は $x \cdot R \cdot x$ 誤差に対応し、点 $y_1$ および $y_2$ を結ぶ直線の上の曲線は $y \cdot R \cdot x$ 誤差に対応する。ここで、 $y$ が増加する( $y_2 > y_1$ )と $R \cdot x$ 誤差が増大する傾向が見られる。これは、形状起因の誤差および弾性起因の誤差が加算される(ただしこれらの誤差は符合が異なり、従って減算となる場合もある)水平アーム型座標測定機械の場合に予想される典型的な効果である。水平アーム20が長く延びていれば延びているほど、その結果X軸の回りに生じるトルクが大きくなるが、これはカラム14および水平アーム20の弾性変形によって吸収される。弾性変形の結果、 $R \cdot x$ の値が図5で左から右に向かって増加する傾向が生じる。図5に示される分布における短い波の極小値と極大値とは、典型的にはXおよびYガイドの形状起因の案内誤差から生じる。

40

#### 【0035】

50

図6はレーザー測定装置50を示すが、これにより図5に示す分布を記録することができる。参照符号52は、例えばレーザーダイオードのような4個のレーザー54, 56, 58および60を集光(集束)装置と共に支持するベースを示す。ベース52は、例えば水平アーム型測定機械10の基準面12に、規定された仕方で結合されている。反射鏡64、66、68および70を備えた反射機構62が、測定ヘッド30に結合されている。レーザー54, 56, 58および60から出た光は、反射鏡64、66、68および70で反射されて光検出器(フォトディテクタ)80、82、84および86によって記録される。測定ヘッドは反射機構62と共にレーザービームの方向に移動させられる。ここで発生する回転および平行移動の変位はこの場合、反射されて光検出器80、82、84および86によって記録されるレーザービームの強度の変化をもたらす。図5に示した分布は、このような強度の変化から作成できる。

10

#### 【0036】

そこで、測定ヘッド、従ってまた反射機構62の運動の方向における位置の誤差を求めするために、例えば干渉計72を使用できる。レーザー56から出たレーザービームは、プリズム74と78との間の界面で測定ビームと参照ビームとに分割される。参照ビームはプリズム76および、プリズム74と78との間の境界面の作用により、光検出器80に送り込まれる。そのため参照ビームは規定された長さを有する。測定ビームはプリズム78を出てから、例えば銀メッキされたキューブコーナーからなる反射鏡66で反射される。プリズム74と78とは反射されたビームを光検出器80に送り込み、参照ビームと反射されたビームとが重ね合わされるようにする。反射されたビーム、すなわち測定ビームは、反射機構62のベース52からの距離に依存する可変長を有する。2本のビームが結合した後の干渉は、参照ビームと測定ビームとの間の光路差に依存して増幅または消滅という結果になる。反射機構62が移動すると、明るさの極大値と極小値とが半波長ごとに繰り返されるパターンが現れる。極大値を数えることにより、波長の半分の細かさで長さを測れることになる。600nmの波長で得られる結果は、1 $\mu$ mの10分の1のオーダーの精度となる。これにより、測定ヘッドをX軸方向に移動したとき、この方向での位置の誤差( $\times T \times$ )をこの程度の精度で求めることが可能となる。

20

#### 【0037】

レーザー58から出射した光は光検出器84の平面鏡68で反射される。従って反射機構62のヨーイングおよびピッチング運動は光検出器84上の強度分布として直接視覚化(イメージ)される。そこでこの強度分布を調べることにより、回転によるピッチングおよびヨーイング誤差が求められる。

30

ローリング運動は、光検出器82および86の信号を調べることで求められる。最初に光検出器82または86を単独で使用して、反射機構62の横方向の変位を求めることができる。これを図7に示す。反射鏡64は入射光を入射方向と平行に逆反射する特性を有するキューブコーナーとして実現できる。例えば64で示される位置において、反射鏡64は入射ビーム90を反射ビーム94として光検出器82に向かって反射する。参照符号88は、Z方向と逆向きに距離aだけ入射レーザービームを横切る方向に変位した位置にある反射鏡64を示す。この場合、反射鏡64に入射する光は、光のビーム92として反射される。図からわかるように、光のビーム92は光のビーム94から2 $\times$ aだけ離れた位置で光検出器82に入射する。従って横方向の変位aは光検出器82上の強度分布を調べることで検出できる。図6では、図の紙面から出る反射鏡64の横方向の運動と、図の紙面に入る反射鏡70の横方向の運動とが(またはそれぞれ逆の運動が)同時に起きることが、X軸まわりのローリング運動に対応する。従って、図示のレーザー装置を使用してローリング運動を数量的に検出し、そして取り込むことも可能となる。

40

#### 【0038】

様々な平行移動および回転運動の誤差を検出するには、光検出器80、82、84および86の信号を、例えば評価装置32に供給すればよい。図8は上で述べたレーザー測定装置50を使って取り込めるような回転誤差Ryを示す。ここで参照符号49は空間的方向Zを通る測定線であり、第一のY位置y1と第二のY位置y2とで測定されたものを示

50

す。参照符号 96 と 102 とはそれに関わる  $z R y$  の分布を示す。誤差  $z R y 1$  (参照符号 96) は 2 つの固定成分 98, 100 と、変化する残余とを含む。

【0039】

固定した誤差成分 98 は、例えば位置  $y 1$  における Y ガイドの形状起因の案内誤差から生じることがある。この形状起因の誤差成分はその後、Z 軸に沿っての図示した運動に対して、定数  $y 1$  である Y 位置について、一定となる。

固定した誤差成分 100 は、レーザーベース 52 または反射機構 62 の調整によって生じる測定誤差 (オフセット) に対応する可能性があり、空間的方向 Z に沿う測定ヘッド 30 および反射鏡 64 の運動の間、一定のままとなる。

【0040】

全く同様にして、曲線 102 すなわち位置  $y 2$  での誤差  $z R y$  の分布は、Y ガイドの形状起因の案内誤差としての一定の誤差成分 104 と、一定の測定誤差 106 (オフセット) とを有する。

レーザー測定装置 50 は、誤差曲線 96 および 102 の記録のために毎回新たに取り付けて調整されるので、これらの取り付けの結果生じるオフセット誤差 100 および 106 は一般に等しくない。このことは、異なる点  $y 1$ 、 $y 2$  で一般に異なる Y ガイドの誤差 98 および 104 についても同様である。一定の誤差成分の大きさが異なるため、 $z R y$  誤差曲線 96 および 102 の絶対値を直接比較することはできない。線と線との間の内挿補間を目的とする場合は、特にこのことは問題となる。正しい内挿を行うためには、誤差曲線 96 および 102 が同じ絶対値の関係を有する必要がある。図示した理由により、このことは複数の個別の線を単に測定するだけの場合はそのまま該当するものではない。

【0041】

本発明によれば、規定された位置における回転誤差の分布 (ここでは  $z R y 1$ 、 $z R y 2$ ) は所定の値に設定される。そのような点は例えば、第一の空間的方向の測定線 49 と第二の空間的方向の測定線との交点によって規定される。図 8 において、点  $y 1$  と  $y 2$  とを結ぶことで、第二の空間的方向の測定線を形成することができる。この場合、誤差曲線 96 および 102 はそれぞれの  $y 1$  と  $y 2$  とを結ぶ直線との交点でゼロの値を取るまで、移動する。これにより、回転  $z R y 1$ 、 $z R y 2$ 、および該当する場合は  $y R y$  の間に共通の関係が形成される。測定線 49 全体にわたる 上記移動の後で残存する残余誤差は、空間的方向 Z に沿う運動に対する誤差またはそれぞれの補正の値の相対的变化を表す。

【0042】

これにより、各回転誤差曲線の間関係が当初は欠けていたという問題が解消される。レーザービームの方向によって規定される測定線の方向が、望みの方向からずれるという事実から、更に別の問題が発生する。これは、平行移動の誤差データを収集する際に特に問題となる。

測定値を記録する場合において、方向または角度の誤差におけるそのような偏差を図 9 に示す。図 9 は Z Y 平面とそれに垂直な直線 117 とを示す。参照符号 116 は望ましい方向、従ってまた測定線の理想的な位置を示す。参照符号 108 は、第一の空間的方向の測定線を示す。この測定線は、疑いなく Y Z 平面上にあるが、望みの方向 116 から角度変位 120 だけこの平面内でずれている。参照符号 110 は望みの方向 116 から角度変位 118 だけずれている第一の空間的方向の測定線に対応して示すが、この変位は Y Z 平面内には延びていない。参照符号 112 は第二の空間的方向の第一の測定線を示し、参照符号 114 はそれと平行な第二の空間的方向の第二の測定線を示す。第一の測定線 112 は、図 8 に関連して説明したように、異なる誤差曲線の間関係を作り出すための交点を規定する役割を果たす。第二の測定線 114 は、図示した角度誤差の影響を補正するために使用できるある種の横方向の補助線を表す。これについては以下で説明する。

【0043】

図 10 は、測定線の角度誤差と共に記録される補正值の曲線の典型的な形状を示す。左側では、図 8 に関連して説明したように曲線はゼロ点に変位させられている。曲線が右に向かって上がっているのは、角度誤差 118 または 120 の結果である。図 9 に示した方

10

20

30

40

50

向の誤差は、見かけの横変位を生じる。この見かけの横変位は、測定操作の間に、実際には存在せず、従って測定結果を歪曲するという望ましくない影響を有する。距離が大きくなるにつれてこれらの見かけの横変位も増大し、曲線 1 2 2 が図 1 0 に示すような不正常的な形になる。この場合曲線 1 2 2 は、それが、複数の異なる測定誤差またはそれに対応する補正値を結合するという事実によって規定される。本発明によればこの誤差は、曲線 1 2 2 をその右端が所定の値、好適にはゼロになるまで、その左側の原点の周りに計算上の操作することによって補正される。

かかる操作は例えば式  $f_g(z_i) = f(z_i) - (h/z_h) \times z_i$  で得られるが、ここで  $f(z_i)$  は第一の空間的方向の測定線の点  $z_i$  のまわりの一連の補正値を表しており、 $h$  はこの測定線と第二の空間的方向の第二の測定線との交点における補正値  $f(z_h)$  のゼロからの距離を示す。この結果、ゼロ点のまわりでの曲線  $f(z_i)$  の操作が得られる。この場合、右端は測定線 1 1 6 と横方向の補助線 1 1 4 との交点と一致する。上の説明で第二の空間的方向の第二の測定線としても示された横方向の補助線 1 1 4 は、従って角度誤差 1 1 8、1 2 0 を補正する役割を果たす。図 1 1 の曲線 1 2 4 は、曲線 1 2 2 を本発明に従って操作した結果を示す。

#### 【 0 0 4 4 】

個別に記録された回転運動の誤差曲線に対する共通の基準をどのように生成できるか、また平行移動の誤差曲線中の方向誤差をどのように除去できるかを上で説明した。収集されたデータを上で説明したように調整した後で残る誤差の値は、依然として弾性起因の誤差成分と形状起因の誤差成分とを含んでいる。以下では、弾性起因の案内誤差と形状起因の案内誤差とを、完全ではないとしてもはるかに高度に分離することのできる本発明の改良を説明する。

#### 【 0 0 4 5 】

図 1 2 は、YZ 平面内で第一の空間的方向としての Z 軸方向に沿って延びる複数の測定線 1 2 8、1 3 0 および 1 3 2、すなわち、測定線のグループ 1 2 6 を、第二の空間的方向に沿って規定された第二の測定線 1 3 4 とともに示す。これらの測定線の上に、Z 方向の運動の場合なら Y 軸の周りの回転、すなわち z R y 誤差、さもなければこれらの誤差を正確に補正するための補正値がプロットされる。測定線 1 2 8、1 3 0 および 1 3 2 には第二の空間的方向（ここでは y）の第一の測定線が交差している。この測定線の配置は、Z 軸方向の運動の場合なら Y 軸を基準とする回転誤差の弾性起因の修正を得るために利用できる。

#### 【 0 0 4 6 】

そのような影響を説明するために、最初に図 1 の水平アーム型測定機械を考慮する。水平アーム 2 0 が延びていると、当然、延びている長さ、すなわち図 1 2 における  $y_1$ 、 $y_2$  および  $y_3$  の値の関数としての、弾性たわみが生じる。これらの弾性たわみは、回転と共に Y ガイドに沿って生じる形状起因の案内誤差に重ねあわされる。水平アーム 2 0 の形状起因の回転とその弾性たわみとを重ねあわすことは、弧状のビームを回転することに物理的に対応する。弧状のビームが回転する間、弧状のビームの最も深い線の端は、その最も深い位置から回転して出る。重力の結果、最も深い位置から回転してこのように出るとは、復元トルクを生じてビームの弾性的なねじれをもたらす。

#### 【 0 0 4 7 】

この弾性的なねじれは形状起因の回転に重ね合わされる。最後に、重ね合わせの結果が測定される。延びている長さ（ $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ ）に依存して、異なるたわみ、従って異なる復元トルク、およびその結果として異なるねじれが発生する。この結果、Y 位置（ $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ ）に依存して異なる強さを有する弾性起因の影響が、Z 軸に沿った運動に対する Y 軸の周りの回転に対して生まれる。

#### 【 0 0 4 8 】

他の空間的方向にも同様の影響が生じて、例えば z R x 案内誤差が X 軸方向に起きる可能性がある。従って図 1 2 に示した測定線の配置は、単なる例としてのみ認識すべきである。

10

20

30

40

50

誤差分布  $z R y 1$ 、 $z R y 2$ 、 $z R y 3$  またはこれらの誤差に関連付けられた補正值が、上で述べたような仕方で測定線  $1 2 8$ 、 $1 3 0$ 、 $1 3 2$  に沿ってプロットされる。更に、図 8 に関連して説明したように、 $z R y$  曲線を加算的に変位させることにより、第二の空間的な方向の測定線  $1 3 4$  にわたるこれらの  $z R y$  曲線と  $y R y$  曲線との間の関係が生成される。該当する場合は、図 9 ~ 図 11 に関連して説明したように、曲線进行操作することにより、角度の補正が更に行われる。この操作、すなわち角度補正は平行運動の場合に重要であり、回転を対象とする場合は必要に応じて省略できる。定性的には、これらの補正を行った後で残留する  $z R y$  の値は図 13 に示す構成を有する。ここで分かりやすくするために、 $z R y$  分布は基本的に一定であるとして図示してある。

#### 【 0 0 4 9 】

測定線  $1 2 8$  の上の  $z R y$  分布  $1 3 6$  は、例えば形状起因の成分  $1 4 0$  と弾性起因の成分  $1 3 8$  とを有する。同様に、測定線  $1 3 0$  の上の  $z R y$  分布  $1 4 2$  は、形状起因の成分  $1 4 6$  と負の符号を有する弾性起因の成分  $1 4 4$  とを有する。同じように、測定線  $1 3 2$  の上の  $z R y$  分布  $1 4 8$  は、例えば弾性起因の成分  $1 5 0$  と形状起因の成分  $1 5 2$  とを有する。

#### 【 0 0 5 0 】

形状起因の成分に関しては、図 8 による  $z R y$  曲線の変位の場合は、異なる Y 位置から生じた異なる形状起因の誤差が既に差し引かれていることが重要である。従って図 13 においてまだ残留している形状起因の誤差成分は、Z 方向におけるガイドの形状の影響によって生じたものである。

これらの影響は、3本の測定線  $1 2 8$ 、 $1 3 0$ 、 $1 3 2$  に対して同じである。これから重要な結論として、残留する形状起因の影響が、更に減算をすることで除去できることになる。

#### 【 0 0 5 1 】

本発明によれば、複数の測定線  $1 2 8$ 、 $1 3 0$ 、 $1 3 2$ 、すなわち、測定線のグループ  $1 2 6$  の 1 つが基準線として選ばれる。これは典型的には測定範囲の中央に位置する標準線  $1 2 8$  ( $S L ( y 2 )$ ) であるが、そうでなくてもよい。距離と共に増大する不正確さは、中央の位置を選ぶことで最小となる。この標準線  $1 2 8$  の  $z R y$  の値が、残りの平行な測定線  $1 3 0$  および  $1 3 2$  の対応する  $z R y$  の値から差し引かれる。図 14 に示すように、これによりいかなる種類の形状起因の成分も含まない  $z R y$  の値が得られる。

#### 【 0 0 5 2 】

物理的にはこれら残留する値は、標準線  $1 2 8$  からそれと平行な線に移行したときに、弾性による影響に生じる変化に対応している。本発明によれば、弾性起因の誤差と形状起因の誤差とを完全ではないとしてもはるかに高度に分離することが、これによって達成される。この分離は、測定線  $1 3 0$  および  $1 3 2$  の上の残りの  $z R y$  の値が、いかなる種類の形状起因の成分も含まないほど高度なものである。一方で、標準測定線  $1 2 8$  の上の曲線  $1 3 6$  の  $z R y$  の値は、依然として形状起因の成分  $1 4 0$  と弾性起因の成分  $1 3 8$  とを有しているので、この分離は不完全である。

#### 【 0 0 5 3 】

本発明により、形状起因の影響から弾性起因の影響を高度に分離することは、大きな利点を有する。例えば標準線の値と比較して弾性起因の変化を表す残留する弾性起因の影響は、特定のタイプの座標測定機械については概略一定である。特に、それらは個々の機械の形状起因の誤差によって影響されない。個々の機械のこれら形状起因の案内誤差は、各々の機械について少数の標準線を測定することにより得られる。それに対して、個別の座標測定機械の場合、追加的な弾性起因の変化は、そのタイプの全ての座標測定機械の代表的なものによって記録することができる。次にこれらの値を、個々の機械に対して記録された標準線に加えて、個々の機械に対する補正值メモリに保存するだけでよい。

#### 【 0 0 5 4 】

これにより本発明はまた、弾性起因の案内誤差を低コストで補正することを可能にするが、単独の機械を考えたとき、そのコストは標準線を記録するのに従来要したコストを越

10

20

30

40

50

えることはない。

図15は、座標測定機械の測定空間内の任意の所望の点Pの誤差を求め、かつ/または補正するための内挿の方法を示す。ここで測定線ML(zTy2)は例えば、その上の点BおよびDに対する補正值F(B)およびF(D)が、第一の補正值として補正值メモリに保存されている標準線に対応する。測定線ML(zTy1)は、個別の座標測定機械の場合に、関連するタイプの一連の座標測定機械の代表によって測定されたような標準線と平行な測定線に対応する。それに対応して補正值メモリ40は、この線の点CおよびAに対して、標準線の点BおよびDの値と比較して弾性起因の誤差/補正の変化を含む。次にF(T)、F(B)の値と点CおよびAに対する変化とから補正值/誤差F(A)およびF(C)を求めることができる。任意の所望の点Fの誤差/補正値を、次に、図15に示した内挿補間によって4つの値F(A)、F(B)、F(C)、F(D)について求めることができる。この自明な表現によれば、点Pにおける誤差F(P)は、点Aの誤差/補正値の面積 $(1 - dz) \times (1 - dy)$ で重み付けされた値と、点Bの $(1 - dz) \times dy$ で重み付けされた誤差/補正値と、点Cにおける $dz \times (1 - dy)$ で重み付けされた誤差/補正値と、点Dにおける $dz \times dy$ で重み付けされた誤差/補正値とを有する。

#### 【0055】

方向に関わる関係が、異なる測定線の間にもどのように確立されるかについて、図9~図11を参照して述べてきた。図9~図11を参照して述べた方法の代わりに、Z方向の平行移動の場合、同じ水平位置で高精度電子傾斜スケールによってZ方向の平行移動を重力の方向に合わせて、それにより方向に関わる関係を得ることも可能である。測定線は常に、座標測定機械の基準面を参照して記録しなければならないが、その基準面も座標測定機械の移動と共に傾斜する可能性があるため、この目的のためにZ方向の平行移動を、2つの電子傾斜スケールの差にあわせることが特に有利であるが、その場合例えば1組の傾斜スケールを座標測定機械の基準面に直接取り付け、他の組をTz測定のためのレーザー測定装置に取り付ける。

#### 【0056】

更にまた、大きな較正されたプレート上の適切な点を測定することにより平行移動の方向を合わせることもできる。この場合、測定および評価は平行移動の方向に行われる。X方向の平行移動の場合、方向に関わる関係を生成する目的で、例えば座標測定機械のX方向に較正された基準面を使用することができる。X方向に較正された測定点160を有するそのような較正されたZY平面を図16に示す。全ての方向に較正されたボールを有するボールプレートを測定し、全ての平行移動の方向に関わる関係を生成することもできる。

#### 【0057】

特に有利なのは、図17に示された恒久的に固定されて位置合わせされた真直度基準162を有する大きなプレートである。これらの真直度基準を使用して、真直度基準をスキャンするだけで全ての必要な平行移動(例えばZの複数の線の場合はzTxおよびzTy)を直接に、および方向に関わる関係とともに求めることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0058】

- 【図1】座標測定機械の一例としての水平アーム型測定機械を示す。
- 【図2】図1の評価装置の構造を示す。
- 【図3】平行移動の誤差を説明するための図である。
- 【図4】回転移動の誤差を説明するための図である。
- 【図5】図1の水平アーム型測定機械の測定ヘッドが様々な運動を行った場合のX軸に関わる回転誤差の分布を示す。
- 【図6】平行移動および回転運動の誤差を記録するレーザー測定器を示す。
- 【図7】真直度の測定を説明するための模式図である。
- 【図8】種々の誤差成分を有する回転誤差のY軸に関する2つの分布を示す。
- 【図9】特定の測定線に沿っての測定値の記録における角度誤差を示す。

10

20

30

40

50

【図10】これらの角度誤差の影響を示す。

【図11】これらの角度誤差を補正した結果を示す。

【図12】1本の標準線と2本の追加の線とを使用した場合の、複数の測定線、すなわち測定線のグループを示す。

【図13】オフセットを除去した後に残留する誤差の定性的な表現を示す。

【図14】図12の複数の線を図12の標準線に正規化した後に残留する誤差の定性的な表現を示す。

【図15】2次元的な内挿方法に関連する形状的な関係を示す。

【図16】図6のレーザー測定器の代わりに機械的な較正装置を使用して測定線を記録する別の方法を示す。

【図17】図6のレーザー測定器の代わりに機械的な較正装置を使用して測定線を記録する別の方法を示す。

【図1】

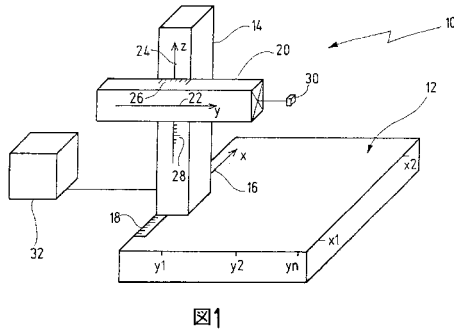


図1

【図3】

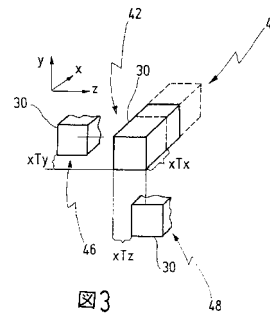


図3

【図2】

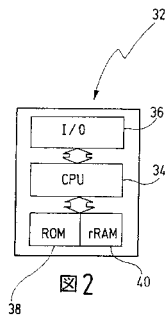


図2

【図4】

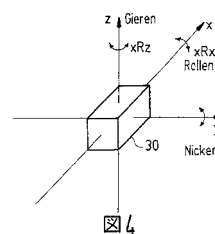
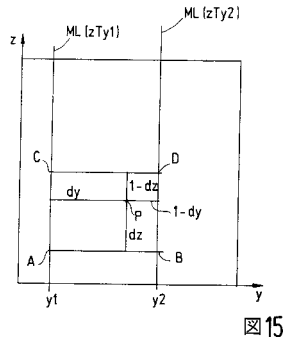


図4



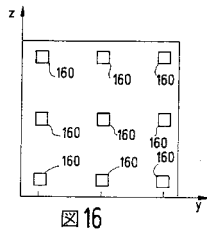
【 15 】



15

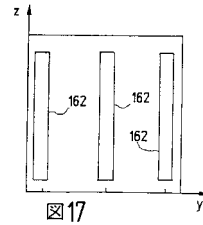
$$\begin{aligned}
 F(P) = & (1 - dz)(1 - dy) F(A) \\
 & + [1 - dz] dy F(B) \\
 & + dz[1 - dy] F(C) \\
 & + dz dy F(D)
 \end{aligned}$$

【 16 】



16

【 17 】



17

## フロントページの続き

- (72)発明者 グルッブ, ギュンター  
ドイツ連邦共和国, 8 9 5 5 8 ベーメンキルヒ, フリードホフシュトラーセ 3 2 番地
- (72)発明者 フフス, アンドレアス  
ドイツ連邦共和国, 7 3 4 3 4 アーレン, アルバトロスヴェク 3 8 番地
- (72)発明者 イェニシュ, ヴァルター  
ドイツ連邦共和国, 8 9 5 2 0 ハイデンハイム, ヴィヘルンヴェク 1 4 番地
- (72)発明者 ヘルンハルト, ラルフ  
ドイツ連邦共和国, 7 3 4 3 2 アーレン, アルブシュトラーセ 1 1 5 番地
- (72)発明者 シュミッド, ハラルド  
ドイツ連邦共和国, 7 3 4 3 0 アーレン, アイヒヴァルドシュトラーセ 3 4 番地
- (72)発明者 スターデン, ウルリッヒ  
ドイツ連邦共和国, 8 9 5 2 0 ハイデンハイム, ヴィヘルンヴェク 3 1 / 1

審査官 鈴野 幹夫

- (56)参考文献 特開2002-059340(JP, A)  
特開昭62-173151(JP, A)  
特開2001-141443(JP, A)  
特開昭58-113805(JP, A)  
特開平05-209741(JP, A)  
特開平07-324929(JP, A)  
特開平03-135712(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B21/00-21/32