

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-127810

(P2005-127810A)

(43) 公開日 平成17年5月19日(2005.5.19)

(51) Int.C1.<sup>7</sup>

G01B 21/00

G01M 11/00

F 1

G01B 21/00

G01M 11/00

テーマコード(参考)

2 F 0 6 9

2 G 0 8 6

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願2003-362473 (P2003-362473)

(22) 出願日

平成15年10月22日 (2003.10.22)

(71) 出願人 000000376

オリンパス株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 大出 寿

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ

リンパス株式会社内

F ターム(参考) 2F069 AA04 GG01 GG52 GG62 JJ17

LL02 MM34

2G086 FF01 FF04

(54) 【発明の名称】 3次元座標測定方法及び装置

## (57) 【要約】

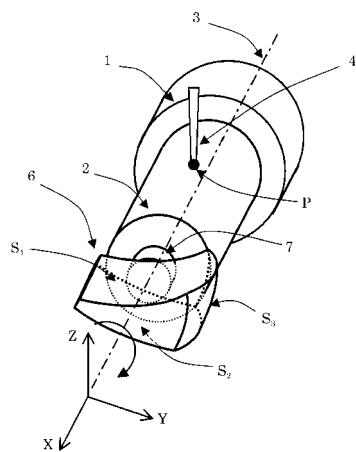
【課題】複数の被検面の相対的な位置関係を求める。

## 【解決手段】

前記被検物の測定に先立って、保持部材を1回転させて前記保持部材の外周部を測定プローブで測定し、測定結果から回転機構の回転軸に関する情報を算出し、第1面の面形状を測定する際の回転角度を第1回転角度として記憶して、第1面の面形状データを取得し、第2面の面形状を測定する際の回転角度を第2回転角度として記憶して、第2面の面形状データを取得し、前記回転機構の回転軸に関する情報、第1面の面形状データ、第2の面形状データ、第1の回転角度、第2の回転角度から、第1面と第2面の相対的な位置関係を算出する。

## 【選択図】

図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

2つの面を少なくとも有する被検物を、回転機構に接続された保持部材に保持し、前記被検物の測定に先立って、前記保持部材を回転させて前記保持部材の外周部を測定プローブで測定し、

該測定結果から、前記回転機構の回転軸に関する情報を算出し、

前記被検物の第1面が前記測定プローブと対向するように前記保持部材を回転させ、その回転角度を第1回転角度として記憶し、

前記被検物の第1面の面形状を測定して、該第1面の面形状データを取得し、

前記被検物の第2面が前記測定プローブと対向するように前記保持部材を回転させ、その回転角度を第2回転角度として記憶し、

前記被検物の第2面の面形状を測定して、該第2面の面形状データを取得し、

前記回転機構の回転軸に関する情報、前記第1面の面形状データ、前記第2の面形状データ、前記第1の回転角度、前記第2の回転角度から、前記第1面と前記第2面の相対的な位置関係を算出することを特徴とする3次元座標測定方法。 10

**【請求項 2】**

前記回転機構の回転軸に関する情報は、前記測定プローブの第1位置における測定結果と、前記保持部材の中心軸から外周面までの距離に基づくことを特徴とする請求項1記載の3次元座標測定方法。 20

**【請求項 3】**

前記保持部材は円柱形状を有し、前記距離は該円柱の半径であることを特徴とする請求項2記載の3次元座標測定方法。

**【請求項 4】**

前記回転軸に関する情報は、前記測定プローブの第1位置における測定と、前記測定プローブの第2位置における測定に基づくことを特徴とする請求項1記載の3次元座標測定方法。 30

**【請求項 5】**

2つの面を少なくとも有する被検物の形状を測定するプローブ、

前記被検物保持する保持部材

該保持部材を回転させる回転機構、

前記回転機構に備えられ、回転角度を検出する検出素子、

前記プローブ、前記検出素子から情報に基づいて処理を行う処理装置を備え、

該処理装置は、

前記被検物の測定に先立って、前記保持部材を回転させて前記保持部材の外周部を測定し、該測定結果から前記回転機構の回転軸に関する情報を算出する過程、

前記被検物の複数の面を測定する過程、

第1面の面形状、及び第2面の面形状データを取得する過程、

前記第1面の測定時における前記検出素子からの情報、及び前記第2面の測定時における前記検出素子からの情報を取得する過程、

前記回転機構の回転軸に関する情報、前記第1面及び第2の面形状データ、前記記検出素子からの情報に基づいて、前記第1面と前記第2面の相対的な位置関係を算出する過程を備えることを特徴とする3次元座標測定装置。 40

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は3次元座標測定方法に関し、特に光学素子を構成する複数の面の相対的な位置関係を求める3次元座標測定方法に関する。また、3次元座標測定方法を備える装置に関する。

**【背景技術】**

10

20

30

40

50

## 【0002】

光学素子としては、レンズやプリズム等がある。この光学素子の評価項目には、表面形状と、面の相対的な位置関係(偏心)がある。これらの評価を行うには、光学素子の面形状を測定し、各面の相対位置を算出しなくてはならない。そのため、測定手法の確立は、光学素子の製造工程における品質管理上、重要な課題となっている。特に、光学素子が自由曲面を有する場合、この自由曲面の形状、及び複数の面の相対的な位置関係を正確に求める必要がある

自由曲面を有する光学素子において、その面形状を測定する装置は、特許文献1、特許文献2、特許文献3に開示されている。

【特許文献1】特開平9-146002号公報 10

【特許文献2】特開2002-250621号公報

【特許文献3】特開2002-250622号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、特許文献1及び特許文献3で開示されているのは、面形状を正確に測定する技術である。また、特許文献2に開示されているのは、光学素子同士の位置関係を求める技術である。そのため、これらの特許文献においては、各面の面の相対的な位置関係を正確に求める技術は開示されていない。

【0004】 20

本技術は、従来技術のこのような状況に鑑みてなされたものであり、複数の面、特に複数の自由曲面について、各面の相対的な位置関係を正確に求める測定・解析方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の3次元座標測定方法は、2つの面を少なくとも有する被検物を、回転機構に接続された保持部材に保持し、前記被検物の測定に先立って、前記保持部材を回転させて前記保持部材の外周部を測定プローブで測定し、該測定結果から保持部材の回転軸に関する情報を算出し、前記被検物の第1面が前記測定プローブと対向するように前記保持部材を回転させ、その回転角度を第1回転角度として記憶し、前記被検物の第1面の面形状を測定して、該第1面の面形状データを取得し、前記被検物の第2面が前記測定プローブと対向するように前記保持部材を回転させ、その回転角度を第2回転角度として記憶し、前記被検物の第2面の面形状を測定して、該第2面の面形状データを取得し、前記回転軸に関する情報、前記第1面の面形状データ、前記第2の面形状データ、前記第1の回転角度、前記第2の回転角度から、前記第1面と前記第2面の相対的な位置関係を算出することを特徴とする。 30

【0006】

本発明の3次元座標測定方法は、前記回転軸に関する情報が、前記測定プローブの第1位置における測定結果と、前記保持部材の中心軸から外周面までの距離に基づくことを特徴とする。 40

【0007】

本発明の3次元座標測定方法は、前記保持部材は円柱形状を有し、前記距離は該円柱の半径であることを特徴とする。

【0008】

本発明の3次元座標測定方法は、前記回転軸に関する情報が、前記測定プローブの第1位置における測定と、前記測定プローブの第2位置における測定とにに基づくことを特徴とする。

【0009】

本発明の3次元座標測定装置は、2つの面を少なくとも有する被検物の形状を測定するプローブ、前記被検物保持する保持部材該保持部材を回転させる回転機構、前記回転機構 50

に備えられ、回転角度を検出する検出素子、前記プローブ、前記検出素子から情報に基づいて処理を行う処理装置を備え、該処理装置は、前記被検物の測定に先立って、前記保持部材を回転させて前記保持部材の外周部を測定し、該測定結果から保持部材の回転軸に関する情報を算出する過程、前記被検物の複数の面を測定する過程、第1面の面形状、及び第2面の面形状データを取得する過程、前記第1面の測定時における前記検出素子からの情報、及び前記第2面の測定時における前記検出素子からの情報を取得する過程、前記回転軸に関する情報、前記第1面及び第2の面形状データ、前記記検出素子からの情報に基づいて、前記第1面と前記第2面の相対的な位置関係を算出する過程を備えることを特徴とする。

## 【発明の効果】

10

## 【0010】

本発明の3次元座標測定方法によると、複数の被検面に対して、各被検面の相対位置を正確に求めることが可能となる。そのため、光学素子等の評価において、複数の被検面における相対的な偏心量と形状誤差が分かることになるので、光学性能劣化量の要因解明、製造における修正等に反映させることができるとなる。また、このような効果を備えた3次元測定装置が実現できる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0011】

以下、本発明の3次元座標測定方法及び装置について説明する。ここでは、プリズムを被検物とする。プリズムは複数の面で構成されているので、各面の相対位置関係を求ることになる。なお、面としては、例えば、自由曲面やシリンドリカル面、アナモルフィック面、非球面、球面、平面がある。

## 【0012】

自由曲面は、表現方法としては種々の定義式があるが、その一例として、以下の式で定義したものがある。この定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

## 【0013】

$$Z = c r^2 / [ 1 + \{ 1 - (1 + k) c^2 r^2 \} ] + \sum_{j=2}^{\infty} C_j X^m Y^n \quad \dots (a)$$

30

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

## 【0014】

球面項中、

c : 頂点の曲率

k : コーニック定数(円錐定数)

r = (X^2 + Y^2)

である。

## 【0015】

自由曲面項は、

66

40

$$\begin{aligned}
 & C_j X^m Y^n \\
 & \sum_{j=2}^{\infty} \\
 & = C_2 X + C_3 Y \\
 & + C_4 X^2 + C_5 X Y + C_6 Y^2 \\
 & + C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 X Y^2 + C_{10} Y^3 \\
 & + C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} X Y^3 + C_{15} Y^4 \\
 & + C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} X Y^4 \\
 & \quad + C_{21} Y^5 \\
 & + C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\
 & \quad + C_{27} X Y^5 + C_{28} Y^6
 \end{aligned}$$

50

$$\begin{aligned}
 & + C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\
 & + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} X Y^6 + C_{36} Y^7 \\
 & \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot
 \end{aligned}$$

ただし、 $C_j$  ( $j$  は 2 以上の整数) は係数である。上記自由曲曲面式は、一般的には X-Z 面、Y-Z 面共に対称面を持つことはないが、X の奇数次項を全て 0 にすることによって、Y-Z 面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。また Y の奇数次項を全て 0 にすることによって、X-Z 面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。

#### 【0016】

ここで、プリズムは自由曲面で構成されているとする。このようなプリズムの各面を測定するために、プリズムを円柱状の保持部材に保持する。そして、保持部材を回転機構で回転させる。このようにすれば、保持部材を回転させることで、測定したい面を、順次、プローブに対向させることができる。各面は同じプローブで測定されているので、各面の測定座標系に違いは生じない。よって、各面の測定データと各面の測定時における回転ステージを固定していた位置(角度)から、各面の位置関係も簡単に求めることができる。ただし、これは、保持部材の中心軸と回転機構の回転軸が一致している場合である。

#### 【0017】

ところが保持部材の中心軸と回転機構の回転軸が一致していない場合は、回転により保持部材にぶれが生じる。すなわち、回転機構の回転軸に対する保持部材の中心軸の向きが、回転角ごとに異なってしまう。そうすると、各面にぶれの情報が加わるので、このままでは、各面の位置関係を求めることができない。なお、このぶれとは、回転機構の回転軸に対する保持部材の中心軸のぶれである。

#### 【0018】

そこで、保持部材を円柱にしておき、この保持部材を回転させ、その外周面をプローブで測定する。このようにすれば、保持部材の測定結果から、保持部材の中心軸のぶれを導出できる。この時、初期位置を決めておけば、初期位置を基準として、任意の位置における回転角がわかる。そうすると、その回転角におけるぶれの情報が得られる。そして、このぶれの情報から、回転機構の回転軸に関する情報を取得することができる

また、保持部材の外周面を測定するプローブは、プリズムの各面を測定するプローブを用いる。そのため、保持部材の外周面を測定したときの座標系は、プリズムの各面を測定したときの座標系と同じである。したがって、プリズムの各面を測定した際、その面のデータに保持部材の中心軸のぶれによる影響が加わっていたとしても、その影響を補正することができる。その結果、各面の位置関係を求めることができる。

#### 【実施例 1】

#### 【0019】

3 次元座標測定方法及び装置の実施例 1 を説明する。図 1 は、3 次元座標測定装置の測定部を示す図である。本実施例では、被検物はプリズムである。このプリズムは、光学面として面 S1 ~ S3 を有する。本実施例では、この 3 つの面の相対位置を算出する。

#### 【0020】

図 1において、1 は回転機構である回転ステージ、2 は保持部材である基準円柱、3 は回転ステージ 1 の回転軸、4 は触針式のプローブ(以下、単にプローブ 4 とする。)である。また、7 は固定具であり、プリズム 6 を基準円柱 2 に固定する。ここで、基準円柱 2 は、中心軸(回転対称軸)が、回転ステージ 1 の回転軸 3 と略一致するように設置してある。また、基準円柱 2 は、非常に高い真円度を有する。また、回転ステージ 1 は、所望の角度で停止できる構造となっている。更に、回転ステージ 1 には、検出素子(不図示)が内臓されている。この検出素子により、回転ステージ 1 が停止した時の位置(角度)を、高精度に検出できるようになっている。よって、初期位置を適当に設定しておけば、初期位置から停止位置までの、回転角を算出することが可能となっている。

#### 【0021】

尚、本文中では、回転軸 3 に沿う方向を X 軸方向とし、プローブ 4 が変位する方向を Z 軸方向(本実施例では上下方向)とする。また、Y 軸方向は、X 軸方向と Z 軸方向の両方に

10

20

30

40

50

直交する方向である。但し、解析に用いる座標系は、これに限定するものではなく、他の座標系を用いても同様の解析が可能である。

【0022】

面  $S_1 \sim S_3$  の形状を測定に先立って、基準円柱 2 の外周面を測定する。この測定には、プローブ 4 を用いる。このようにしておけば、基準円柱 2 の測定座標系と、面  $S_1 \sim S_3$  の測定座標系は同じになる。

【0023】

プローブ 4 を、基準円柱 2 の外周面に位置させる。この時、プローブ 4 を Y 方向に移動させて、Z 方向の位置が最も高くなる位置を見つける。図 1 では、点 P が最も高い位置で、ここが初期位置となる。この点 P にプローブ 4 を接触させた状態で、回転ステージ 1 を回転させると、基準円柱 2 も回転する。ここで、回転ステージ 1 の回転軸 3 と、基準円柱の 2 の中心軸 5 が一致していると、プローブ 4 は Z 方向に移動しない。すなわち、プローブ 4 からの出力信号は一定である。

【0024】

しかしながら、実際には組み立て誤差等により、回転ステージ 1 の回転軸 3 と基準円柱 2 の中心軸に微妙なズレが生じる。すなわち、図 2 に示すように、基準円柱 2 の中心軸 5 は、回転ステージ 1 の回転軸 3 に対して、Y 軸方向に Y、Z 軸方向に Z のズレが生じる。ここで、本実施例では、回転ステージ 1 の回転軸 3 に対して、基準円柱 2 の中心軸 5 が平行にズれているとする。

【0025】

点 P では、回転ステージ 1 の回転に伴い変位が生じる。その変位は、図 2 に示すように、軸ズレの量を ( Y, Z ) とすると、回転ステージ 1 の回転角に対して、正弦波状の変位 H となる。ここで、軸ズレの量が小さい場合、点 P における回転に伴う変位 H は、以下の式(1)で表記することができる。

【0026】

(1)

：回転ステージ回転角

R : 円柱半径

図 3 は、回転に伴う Y = 0 における変位 H を示したものである。ここで、基準円柱 2 の半径は 5 mm である。また、基準円柱 2 の中心軸 5 は、回転軸に対して Y = 0.02 mm 、 Z = 0.03 mm ( = 0° ) だけ軸ズレしているとする。

【0027】

そこで、基準円柱 2 の外周面の測定結果から PV 値及びピークとなる回転角(位相)を求めることで、軸ズレの量 ( Y, Z ) を求めることができる。一方、基準円柱 2 の半径を高精度に算出しておく。そして、軸ズレの量 ( Y, Z ) と基準円柱 2 の半径から、点 P における Y - Z 断面と回転ステージ 1 の回転軸 3 が交わる点の位置を求めることができる。

【0028】

次に、各面  $S_1 \sim S_3$  の形状測定を実施する。各面を測定する際、測定で最も高精度に測定可能なように、プローブ 4 に対して各面を位置決めする。この位置決めは、回転ステージ 1 を回転することによって行う。本実施例の場合、プローブ 4 は Z 軸方向(上下方向)で変位を検出する。そのため、各面が X - Y 面と略水平となったところで、回転ステージ 1 の回転を止め、そこで固定する。

【0029】

図 4 ( a ) ~ ( c ) は、各面  $S_1 \sim S_3$  の形状を測定する様子を示したものである。尚、各面上に M<sub>1</sub> ~ M<sub>3</sub> で示した領域は、プローブ 4 で形状を測定した領域を意味する。また、この測定した領域は、各面の有効範囲を含む領域であることが望ましい。有効範囲とは、良好な像の形成に寄与する光線が通過する領域である。

【0030】

図 4 ( a ) ~ ( c ) において、面  $S_1 \sim S_3$  の測定時における Z 軸を Z<sub>1</sub> ~ Z<sub>3</sub> とし、Y 軸

10

20

30

40

50

を  $Y_1 \sim Y_3$  とする。また、回転ステージ1の初期位置(例えば、回転角0度)におけるZ軸を  $Z_0$  とする。そして、  $Z_1 \sim Z_3$  と  $Z_0$  のな角を、それぞれ  $\alpha_1 \sim \alpha_3$  とする。この、  $\alpha_1 \sim \alpha_3$  は、回転ステージ1の回転角に相当する。この回転角は、初期位置を基準としている。

#### 【0031】

まず、面  $S_1$  を測定するために、回転ステージ1を回転させる。図4(a)に示すように、面  $S_1$  がX-Y面と略水平となったところで、回転ステージ1の回転を止める。そして、この位置における回転角  $\alpha_1$  を高精度に検出し、記録しておく。この位置では、面  $S_1$  はプローブ4に対向している。そこで、プローブ4を面  $S_1$  に接触させ、測定を開始する。

#### 【0032】

面  $S_1$  の測定が終了したら、プローブ4を面  $S_1$  から離して、待機位置に移動させる。続いて、回転ステージ1を回転させ、図4(b)に示すように、面  $S_2$  がX-Y面と略水平となったところで、回転ステージ1の回転を止める。そして、この位置における回転角  $\alpha_2$  を高精度に検出し、記録しておく。そして、面  $S_2$  に測定を行う。面  $S_3$  についても同様である。

#### 【0033】

測定が終了すると、測定結果として各面  $S_1 \sim S_3$  の形状データ、各面  $S_1 \sim S_3$  の測定時における回転角を  $\alpha_1 \sim \alpha_3$  が得られる。そこで、これらの測定結果から、各面  $S_1 \sim S_3$  の相対位置を算出する。

#### 【0034】

そのため、各面毎に回転ステージ1の回転軸3の位置を算出する。このとき、各面毎に基準円柱2の中心軸5の位置が異なっている。ここで、各面を測定した時の基準円柱2の中心軸5が、回転ステージ1の回転軸3に対してどのくらいずれているかは、各面  $S_1 \sim S_3$  での軸ズレの量( $\Delta Y, \Delta Z$ )からわかる。したがって、この軸ズレの量( $\Delta Y, \Delta Z$ )に基づいて、各測定における基準円柱2の中心軸5を、回転ステージ1の回転軸3に一致させる。

#### 【0035】

続いて、基準円柱2の中心軸5の周りに、回転の座標変換をそれぞれ実施する。上述のように、測定時、各面  $S_1 \sim S_3$  はプローブ4に対向している。そのため、測定時における面の法線の向きは、いずれもZ軸方向である。しかしながら、外径形状からわかるように、各面の法線方向は異なる。そこで、各面の法線方向が正しくなるように、回転の座標変換を行う。

#### 【0036】

ここでは、面  $S_1$  を基準とする。面  $S_1$  の測定にあたって、回転ステージ1は  $\alpha_1$  回転している。一方、面  $S_2$  の測定にあたって、回転ステージ1は  $\alpha_2$  回転している。したがって、面  $S_1$  の測定から面  $S_2$  の測定に移る際、ステージ1は( $\alpha_1 - \alpha_2$ )だけ回転していることになる。よって、面  $S_2$  の測定座標に対して、X軸回りに、( $\alpha_1 - \alpha_2$ )量だけ、回転の座標変換を実施する。同様に、面  $S_2$  の測定座標に対して、X軸回りに、( $\alpha_1 - \alpha_3$ )量だけ、回転の座標変換を実施する。

#### 【0037】

なお、上記例では、各面の測定時に算出した基準円柱2の中心軸5を、回転ステージ1の回転軸3に、一致させるように軸を合わせた。しかしながら、例えば、回転ステージ1の回転軸3と基準円柱2の中心軸5のズレが小さい場合、どれか1つの基準円柱2の中心軸5に対して軸を合わせても良い。そのような場合も、各面  $S_1 \sim S_3$  の形状測定と共に、基準円柱2の中心軸5の算出を行う。

#### 【0038】

前述のように、基準円柱2の中心軸5にはズレが存在し、各面の形状測定時毎に固定する回転ステージの位置(角度)が異なるため、このズレの量( $\Delta Y, \Delta Z$ )は各面  $S_1 \sim S_3$  で異なることになる。そこで、基準円柱2の中心軸5を空間的に一致させる処理を行う。ここでは、面  $S_1$  を測定したときの基準円柱2の中心軸5に、残りの面  $S_2, S_3$  を測定し

10

20

30

40

50

たときの中心軸を合わせる処理をする。例えば、面  $S_1$  を測定したときのズレを  $(-Y_1, -Z_1)$  、面  $S_2$  を測定したときのズレを  $(-Y_2, -Z_2)$  、面  $S_3$  を測定したときのズレを  $(-Y_3, -Z_3)$  とする。

#### 【0039】

この場合、面  $S_1$  と面  $S_2$  のズレは、Y 軸方向で  $|Y_1 - Y_2|$  、Z 軸方向で  $|Z_1 - Z_2|$  となる。よって、 $|Y_1 - Y_2|$  及び  $|Z_1 - Z_2|$  を補正量として、面  $S_2$  の形状測定データに加算あるいは減算する。また、面  $S_1$  と面  $S_3$  のズレは、Y 軸方向で  $|Y_1 - Y_3|$  、Z 軸方向で  $|Z_1 - Z_3|$  となる。よって、同様に補正を行う。

#### 【0040】

以上の説明では、面  $S_1$  を基準としたが、回転ステージ 1 の初期位置  $Z_0$  を基準にしても良い。この場合、面  $S_1$  には  $z_1$  、面  $S_2$  には  $z_2$  、面  $S_3$  には  $z_3$  の量だけ、回転の座標変換を実施することになる。

#### 【0041】

図 5 は、回転ステージ 1 の基準位置における Z 軸  $Z_0$  を基準として、各被検面毎に回転の座標変換を実施した結果である。これにより、各被検面の形状測定結果を実際の形状どおりに再構成することが可能となり、面の偏心の情報を得ることが可能となる。

#### 【0042】

なお、参考までに、形状測定データを設計座標で表す方法を示す。各面の形状測定データは、面の形状に沿って走査してサンプリングした位置の点列データとなる。よって、この測定結果を基に、設計座標系の位置を求めることが可能である。

#### 【0043】

各面の設計座標系を算出するためには、各面毎に設計形状と測定結果を重ね合わせる。そして、そのときの残差が最小になるように、座標変換を行い、そのときのパラメータ(シフト、チルト)を最適化すればよい。この解析は、ニュートン法等の最適化手法を用いる。例えば、測定点  $(x_i, y_i) [i=1 \dots m]$  (測定点数  $m$ ) に対する、設計形状関数  $F$  の Z 座標  $F(x_i, y_i)$  と、実測の Z 座標  $z_i$  (定点数  $m$ )

$F(x, y)$  : 設計形状関数

この結果、形状の測定結果と、回転軸、設計座標系の各相対位置を明確にすることが可能となる。

#### 【0044】

また、設計座標系の位置を算出した際、測定結果と設計形状の差が形状誤差成分となる。従って、形状誤差成分を、例えば、多項式でフィッティングすることで、形状誤差成分を関数で近似することが可能となる。これらの解析の結果、各面の測定結果から設計座標系の位置を算出し、更に同座標系を用いて、形状を以下の関数  $G(x, y)$  で近似することが可能となる。

$G(x, y)$  : 測定結果を近似した関数

$F(x, y)$  : 設計形状関数

$E(x, y)$  : 形状誤差成分を近似した関数

これらの解析を予め実施しておく。そして、上記解析と同様に、回転ステージ 1 の回転軸 3 の周りに、各面の測定の際に記録しておいた角度分だけ、回転の座標変換をそれぞれ実施する。このようにすることで、図 6 に示すように、各面の設計座標系  $D_1 \sim D_3$  と、関数で表した近似形状  $G_1 \sim G_3$  の相対位置を算出することが可能となる。

#### 【0045】

このように、各面の形状を関数で近似することで、定量的に、偏心量と形状誤差を求めることが可能となる。更に、偏心量と関数で近似した形状誤差を用いることで、光学性能を容易にシミュレーションすることが可能となるため、測定結果から光学性能を予想することが可能となる。

#### 【0046】

尚、設計座標系を算出する方法は、上記方法に限定されない。例えば図 7 に示すよう

10

20

30

40

50

に、被検物の面上に、マークm等を加工しておき、その測定結果から導出する手法をとっても良い。この場合、予め、測定に用いるマークmの位置と、設計座標系Dの相対位置を明確にしておく必要がある。

【実施例2】

【0047】

本実施例では、回転ステージ1の回転軸に対して、基準円柱2の中心軸5が傾いている場合である。この場合は、図8に示すように、点P以外の点Q(位置)にプローブを移動させ、同様に測定を行う。よって、本実施例では、図9に示すように、点Pにおけるズレ量( $Y_p, Z_p$ )と、点Qにおけるズレ量( $Y_q, Z_q$ )が算出される。

【0048】

これより、各点におけるY-Z断面と回転軸が交わる点同士を結ぶ直線が、回転ステージ1の回転軸3となる。また、各点のあるズレ量( $Y_p, Z_p$ )とズレ量( $Y_q, Z_q$ )を示すを結ぶ直線が、基準円柱2の中心軸5となる。よって、これらのズレ量から、基準円柱2の中心軸5の位置(傾きを含む)を算出することができる。

【0049】

尚、測定する位置は、2点以上で実施しても構わない。このようにすれば、更に高精度に回転軸3の位置を求めることが可能となる。

【0050】

基準円柱2の中心軸5の位置が求まれば、後は実施例1と同じように測定すればよい。

【0051】

また、面の形状が平面の場合は、各面の法線ベクトルの向きを算出することが可能となる。そのため、各被検面のなす角度やピラミダル誤差を算出することが可能となる。

【0052】

また、この測定はプリズムに限定するものではなく、例えばレンズであっても良い。図10は、被検物としてレンズを測定する際の様子を示したものである。この場合、回転ステージは約180度回転させて、各面毎に形状を測定する。そして、同様の解析手法をとることで、各面の形状と偏心を同時に測定することが可能となる。また、この結果、形状の相対位置が分かるため、レンズの肉厚も同様に算出することが可能となる。

【0053】

尚、本測定に用いる測定機は、触針式のプローブに限定するものではなく、同測定が可能であれば、どのような手法でもよく、例えば光プローブ方式等を用いても良い。光プローブの場合、被検面に対して、非接触で測定が可能となるため、被検面に対して非破壊で測定することが可能となる。また、被検面の作用としては、測定が可能であれば、屈折面、反射面、コート面であっても良い。

【0054】

また、保持部材は基準円柱2に限られない。すなわち、保持部材の外周面をプローブで測定できれば、外形形状に制限は無い。例えば、四角柱や多角柱であっても良い。ただし、円柱であれば、外周面の測定が滑らかに行えるので、より好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】基準円柱の中心軸を求める様子を示す図である。

【図2】回転ステージの回転軸に対する基準円柱の中心軸のズレの様子を示す図である。

【図3】基準円柱の中心軸を求める過程において、プローブから出力される信号を示す図である。

【図4】被検物の各被検面を測定する様子であって、(a)は面 $S_1$ を測定している様子、(b)は面 $S_2$ を測定している様子、(c)は面 $S_3$ を測定している様子を示す図である。

【図5】各面を回転ステージの回転軸の周り回転させた様子を示す図である。

【図6】各面の設計座標系を、回転ステージの回転軸の周り回転させる様子を示す図である。

10

20

30

40

50

【図7】設計座標系を算出するために、加工したマークや被検物の外形に設けた例を示す図である。

【図8】基準円柱の中心軸を求める別の様子を示す図である。

【図9】回転ステージの回転軸に対する基準円柱の中心軸のズレの様子を示す図である。

【図10】被検物であるレンズを面の偏心量を測定する様子を示す図である。

【符号の説明】

【0056】

1 回転ステージ

2 基準円柱

3 回転軸

4 触針式プローブ

5 基準円柱軸(回転対称軸)

6 被検物(プリズム)

7 固定具

8 被検物(レンズ)

S1, S2, S3 被検面

Z1, Z2, Z3 各面の形状測定時におけるZ座標軸

Z1, Z2, Z3 各面の形状測定時におけるY座標軸

Z0 回転ステージの基準位置におけるZ軸

1, 2, 3 各面の形状測定時におけるZ軸(Z1~3)とZ0のなす角

X, Y 回転軸に対する基準円柱の軸ズレ量

M1, M2, M3 各面の形状測定領域

D1, D2, D3, D 各面の設計座標系

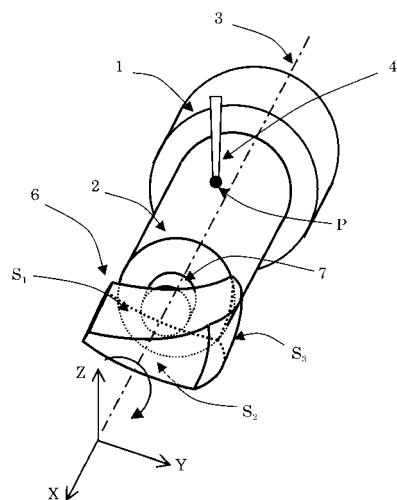
G1, G2, G3 各面の測定結果を基に、関数で近似した形状

m 設計座標系算出用に加工したマーク

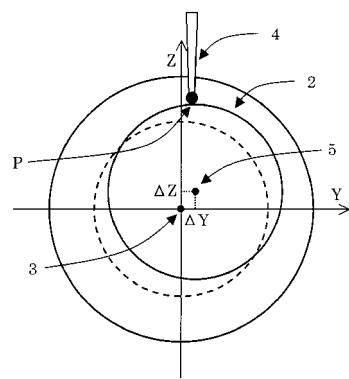
10

20

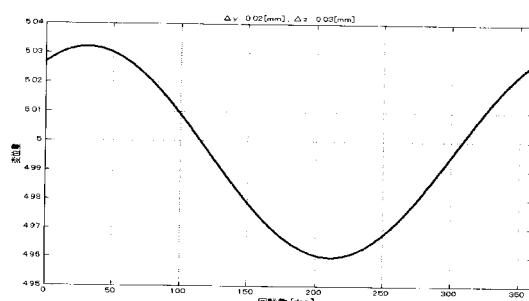
【図1】



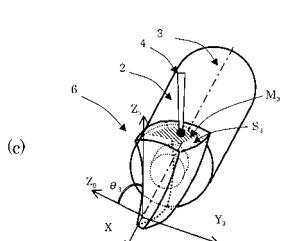
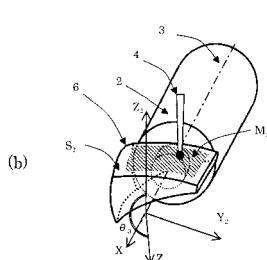
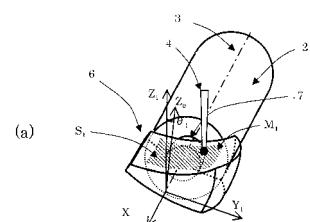
【図2】



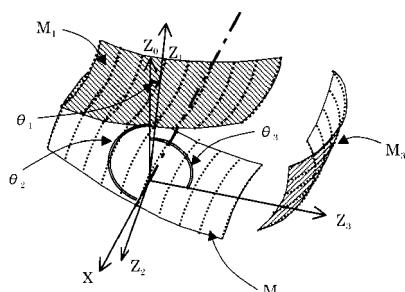
【図3】



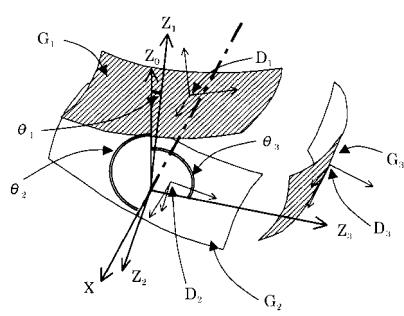
【図4】



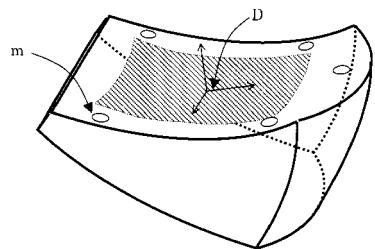
【図5】



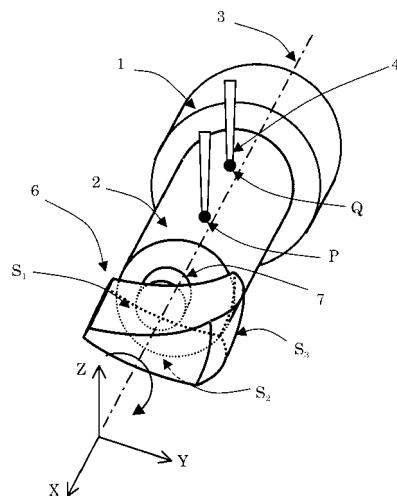
【図6】



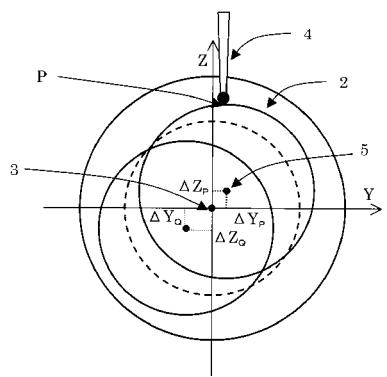
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

