

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6974274号
(P6974274)

(45) 発行日 令和3年12月1日(2021.12.1)

(24) 登録日 令和3年11月8日(2021.11.8)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 B 5/20 (2006.01) G O 1 B 5/20 C

請求項の数 4 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2018-144146 (P2018-144146) (22) 出願日 平成30年7月31日 (2018.7.31) (65) 公開番号 特開2020-20647 (P2020-20647A) (43) 公開日 令和2年2月6日 (2020.2.6) 審査請求日 令和2年10月30日 (2020.10.30)</p>	<p>(73) 特許権者 000000376 オリンパス株式会社 東京都八王子市石川町2951番地 (74) 代理人 100106909 弁理士 棚井 澄雄 (74) 代理人 100094400 弁理士 鈴木 三義 (74) 代理人 100086379 弁理士 高柴 忠夫 (74) 代理人 100139686 弁理士 鈴木 史朗 (72) 発明者 長池 康成 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 形状測定方法および形状測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

設計形状が既知である被測定物にプローブを接触させて、被測定物の表面を少なくとも異なる2方向に走査して三次元表面形状を評価する形状測定方法において、

前記プローブを支持するプローブ支持手段に第1のプローブを装着し、前記被測定物を支持する被測定物支持手段に支持された被測定物の三次元表面形状を測定して第1面形状データを得る第1の三次元形状測定工程と、

前記プローブ支持手段に第2のプローブを装着し、前記被測定物支持手段に支持された前記被測定物の三次元表面形状を測定して第2面形状データを得る第2の三次元測定工程と、

前記プローブ支持手段に前記第2のプローブを装着した状態で、前記被測定物支持手段に支持された前記第1のプローブの三次元形状を測定して第3面形状データを得る第3の三次元測定工程と、

前記第2のプローブと前記被測定物の少なくとも一方の向きを変えた状態で、前記プローブ支持手段に前記第2のプローブを装着し、前記被測定物支持手段に支持された前記被測定物の三次元表面形状を測定して第4面形状データを得る第4の三次元形状測定工程と、

前記第1面形状データ、前記第2面形状データ、前記第3面形状データ、および前記第4面形状データに基づいて、前記被測定物の表面形状を算出する演算工程と、

を備える形状測定方法。

【請求項 2】

前記演算工程において、前記第 1 面形状データ、前記第 2 面形状データ、前記第 3 面形状データ、および前記第 4 面形状データに対して複数のアフィン変換を施した結果の加重平均から前記被測定物の表面形状を算出する、請求項 1 に記載の形状測定方法。

【請求項 3】

前記第 4 の三次元形状測定工程において、前記第 2 のプローブと前記被測定物の少なくとも一方は、中心軸周りに 90° 回転または -90° 回転している状態である、請求項 1 に記載の形状測定方法。

【請求項 4】

設計形状が既知の被測定面を有する被測定物に設計形状が既知のプローブ面を有するプローブを接触させて、前記被測定面の三次元的な表面形状を測定する形状測定装置であって、

第 1 表面を有する第 1 ワークを保持する第 1 保持部と、

凸形状の第 2 表面を有する第 2 ワークを保持する第 2 保持部と、

前記第 1 保持部および前記第 2 保持部を、測定基準面の法線である測定基準軸線に沿う方向および前記測定基準軸線に直交し互いに交差する少なくとも 2 方向に相対平行移動可能に移動する移動機構と、

前記第 1 表面に前記第 2 表面を当接させた状態で前記第 1 ワークおよび前記第 2 ワークを相対平行移動させ、前記第 2 ワークの代表点の三次元的な移動軌跡を前記第 2 表面の設計形状に基づいて換算することによって前記第 1 表面の面形状データを取得する面形状データ取得部と、

前記第 1 ワークとして前記被測定面を前記第 1 表面とする前記被測定物が前記第 1 保持部に保持され、前記第 2 ワークとして設計形状が既知の凸面で構成された第 1 プローブ面を前記第 2 表面として有する第 1 プローブを前記被測定物に対して第 1 測定姿勢で前記第 2 保持部に保持された場合に、前記面形状データである第 1 面形状データを取得し、

前記第 1 ワークとして前記被測定面を前記第 1 表面とする前記被測定物が前記第 1 保持部に保持され、前記第 2 ワークとして設計形状が既知の凸面で構成された第 2 プローブ面を前記第 2 表面として有する第 2 プローブを前記被測定物に対して第 2 測定姿勢で前記第 2 保持部に保持された場合に、前記面形状データである第 2 面形状データを取得し、

前記第 1 面形状データの取得時の前記第 1 表面に対する相対平行移動の各正方向と、前記第 2 面形状データの取得時の前記第 2 表面に対する相対平行移動の各正方向とが、互いに一致するように、前記第 1 ワークとして前記第 1 プローブを、前記第 2 ワークとして第 2 プローブを、それぞれ保持された場合に、前記面形状データである第 3 面形状データを取得し、

前記第 2 プローブと前記被測定物の少なくとも一方の向きを変えた状態で、前記第 1 ワークとして前記被測定物が前記第 1 保持部に保持され、前記第 2 ワークとして前記第 2 プローブを前記被測定物に対して第 3 測定姿勢で前記第 2 保持部に保持された場合に、前記面形状データである第 4 面形状データを取得する、

測定制御部と、

前記第 1 面形状データ、前記第 2 面形状データ、および前記第 3 面形状データをそれぞれ記憶する記憶部と、

前記第 1 面形状データ、前記第 2 面形状データ、および前記第 3 面形状データを、各測定位置における設計上の法線と前記測定基準軸線とのなす角である接触角の関数に変換する変数変換処理部と、

前記変数変換処理部によって変数変換された前記第 1 面形状データ、前記第 2 面形状データ、および前記第 3 面形状データを演算処理することによって、前記被測定面、第 1 プローブ面、および前記第 2 プローブ面の少なくとも一つの真の面形状を推定する面形状推定処理部と、

を備える形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、形状測定方法および形状測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、カメラ、顕微鏡等の様々な光学機器に用いられる光学素子の素子表面の製造誤差は、必要な光学性能を得るため、許容範囲内に抑制される必要がある。このため、光学素子の製造工程において、光学素子の素子表面あるいは光学素子を製造する成形型の表面形状などの被測定面を高精度に測定する必要がある。

【0003】

表面形状を測定する形状測定装置として、触針プローブを表面に追従させて被測定物の表面形状を測定する装置が知られている（例えば、特許文献1および特許文献2を参照）。特許文献1に記載の形状測定装置では、高精度に形成された基準球を被測定物として測定することにより、基準球を基準としてスタイラス（プローブ）の表面の形状誤差を被測定物との接触角に応じて計測しておく。そして、製作誤差が未知の被測定物の面形状を測定する場合には、基準球の測定に基づくスタイラスの表面の形状誤差の大きさを、各測定データから補正する。

【0004】

また、特許文献2に記載の形状測定装置および形状測定方法では、設計形状が既知の軸対称非球面形状を有する被測定物と、設計形状が既知の球面形状である第1のプローブおよび第2のプローブとを用いて、3種類の面形状測定を行う。これにより、被測定物、第1のプローブ、および第2のプローブの少なくとも1つの真の表面形状を測定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第4794753号公報

【特許文献2】特許第4766851号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1に記載の形状測定装置では、スタイラスの形状誤差が、基準球の形状測定に基づいて求められる。そのため、基準球の表面形状の製作誤差は極めて微小であることが前提になっている。しかしながら、現実には、基準球の製作誤差をなくすることはできないため、スタイラスの形状誤差の補正に基準球の製作誤差が付加されてしまうという問題がある。

【0007】

さらに、スタイラスの校正は、スタイラスを替えるごとに行う必要がある。このため、基準球は、取り扱いおよび経年変化等によって、表面形状が変化しないように厳重に管理する必要があるという問題がある。また、そのような管理が難しい場合には、スタイラスの校正の度に、基準球の表面形状のデータを更新する必要があるため、校正作業に時間がかかってしまうという問題がある。

【0008】

特許文献2に記載の技術によれば、基準球のような形状誤差が微小な校正治具を用いる必要がなく、形状測定装置のみを使用して、高精度な測定が可能になる。しかし、特許文献2に記載の技術は、軸対称非球面形状を有する被測定物を被測定面の面頂を通る2次元断面のみに適用される。そのため、被測定物の三次元形状を測定する場合には、被測定面の面頂を通る多数の2次元断面で測定を行う必要がある。このため、1断面における各測定で、3種類の面形状測定が必要になるため、測定に時間がかかるという問題がある。

【0009】

さらに、プローブによる測定経路が、被測定物の面頂を外れて測定されると、測定誤差

10

20

30

40

50

になるため、高精度の三次元測定が行えないおそれがあるという問題もある。また、特許文献2に記載の技術では、例えば、自由曲面など、軸対称非球面以外の形状の被測定物は測定できないという問題がある。

【0010】

本発明は、上述のような問題に鑑みてなされたものであり、形状誤差が測定対象の形状誤差に比べて微小に形成された校正用基準部材を使用しなくても、設計形状が既知の種々の三次元面形状を有する被測定物の面形状が高精度に測定できる形状測定方法および形状測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記の課題を解決するために、本発明の1態様に係る形状測定方法は、設計形状が既知である被測定物にプローブを接触させて、被測定物の表面を少なくとも異なる2方向に走査して三次元表面形状を評価する形状測定方法において、前記プローブを支持するプローブ支持手段に第1のプローブを装着し、前記被測定物を支持する被測定物支持手段に支持された被測定物の三次元表面形状を測定して第1面形状データを得る第1の三次元形状測定工程と、前記プローブ支持手段に第2のプローブを装着し、前記被測定物支持手段に支持された前記被測定物の三次元表面形状を測定して第2面形状データを得る第2の三次元測定工程と、前記プローブ支持手段に前記第2のプローブを装着した状態で、前記被測定物支持手段に支持された前記第1のプローブの三次元形状を測定して第3面形状データを得る第3の三次元測定工程と、前記第2のプローブと前記被測定物の少なくとも一方の向きを変えた状態で、前記プローブ支持手段に前記第2のプローブを装着し、前記被測定物支持手段に支持された前記被測定物の三次元表面形状を測定して第4面形状データを得る第4の三次元形状測定工程と、前記第1面形状データ、前記第2面形状データ、前記第3面形状データ、および前記第4面形状データに基づいて、前記被測定物の表面形状を算出する演算工程と、を備える。

【0012】

前記演算工程において、前記第1面形状データ、前記第2面形状データ、前記第3面形状データ、および前記第4面形状データに対して複数のアフィン変換を施した結果の加重平均から前記被測定物の表面形状を算出してもよい。

【0013】

前記第4の三次元形状測定工程において、前記第2のプローブと前記被測定物の少なくとも一方は、中心軸周りに90°回転または-90°回転している状態であってもよい。

【0014】

本発明の1態様に係る形状測定装置は、設計形状が既知の被測定面を有する被測定物に設計形状が既知のプローブ面を有するプローブを接触させて、前記被測定面の三次元的な表面形状を測定する形状測定装置であって、第1表面を有する第1ワークを保持する第1保持部と、凸形状の第2表面を有する第2ワークを保持する第2保持部と、前記第1保持部および前記第2保持部を、測定基準面の法線である測定基準軸線に沿う方向および前記測定基準軸線に直交し互いに交差する少なくとも2方向に相対平行移動可能に移動する移動機構と、前記第1表面に前記第2表面を当接させた状態で前記第1ワークおよび前記第2ワークを相対平行移動させ、前記第2ワークの代表点の3次元的な移動軌跡を前記第2表面の設計形状に基づいて換算することによって前記第1表面の面形状データを取得する面形状データ取得部と、前記第1ワークとして前記被測定面を前記第1表面とする前記被測定物が前記第1保持部に保持され、前記第2ワークとして設計形状が既知の凸面で構成された第1プローブ面を前記第2表面として有する第1プローブを前記被測定物に対して第1測定姿勢で前記第2保持部に保持された場合に、前記面形状データである第1面形状データを取得し、前記第1ワークとして前記被測定面を前記第1表面とする前記被測定物が前記第1保持部に保持され、前記第2ワークとして設計形状が既知の凸面で構成された第2プローブ面を前記第2表面として有する第2プローブを前記被測定物に対して第2測定姿勢で前記第2保持部に保持された場合に、前記面形状データである第2面形状データ

10

20

30

40

50

を取得し、前記第1面形状データの取得時の前記第1表面に対する相対平行移動の各正方向と、前記第2面形状データの取得時の前記第2表面に対する相対平行移動の各正方向とが、互いに一致するように、前記第1ワークとして前記第1プローブを、前記第2ワークとして第2プローブを、それぞれ保持された場合に、前記面形状データである第3面形状データを取得し、前記第2のプローブと前記被測定物の少なくとも一方の向きを変えた状態で、前記第1ワークとして前記被測定物が前記第1保持部に保持され、前記第2ワークとして前記第2プローブを前記被測定物に対して第3測定姿勢で前記第2保持部に保持された場合に、前記面形状データである第4面形状データを取得する、測定制御部と、前記第1面形状データ、前記第2面形状データ、および前記第3面形状データをそれぞれ記憶する記憶部と、前記第1面形状データ、前記第2面形状データ、および前記第3面形状データを、各測定位置における設計上の法線と前記測定基準軸線とのなす角である接触角の関数に変換する変数変換処理部と、前記変数変換処理部によって変数変換された前記第1面形状データ、前記第2面形状データ、および前記第3面形状データを演算処理することによって、前記被測定面、第1プローブ面、および前記第2プローブ面の少なくとも一つの真の面形状を推定する面形状推定処理部と、を備える。

10

【発明の効果】**【0015】**

本発明の形状測定方法および形状測定装置によれば、形状誤差が測定対象の形状誤差に比べて微小に形成された校正用基準部材を使用しなくても、設計形状が既知の種々の三次元面形状を有する被測定物の面形状が高精度に測定できる。

20

また、本発明は、干渉計を用いた非接触原理の三次元形状測定にも同様に適用でき、被測定物の面形状が高精度に測定できる。

【図面の簡単な説明】**【0016】**

【図1】本発明の第1の実施形態の形状測定装置の構成例を示す模式的な正面図である。

【図2】図1におけるA視の平面図である。

【図3】本発明の第1の実施形態の形状測定装置におけるX軸方向の測定時の様子を示す模式的な平面図である。

【図4】本発明の第1の実施形態の形状測定装置に用いるプローブの構成例を示す模式的な正面図である。

30

【図5】本発明の第1の実施形態の形状測定装置のプローブ測定時の構成例を示す模式的な正面図である。

【図6】本発明の第1の実施形態の形状測定装置のプローブ測定時の第1保持部を示す模式的な正面図である。

【図7】本発明の第1の実施形態の形状測定装置の制御ユニットの機能構成を示す機能ブロック図である。

【図8】同実施例における形状測定装置の測定手順を示すフローチャートである。

【図9】図8の各測定ステップの様子を示す図である。

【図10】(a)(b)はワークとプローブ、(c)はプローブとプローブが接触する場合の接触角の説明図である。

40

【発明を実施するための形態】**【0017】**

以下では、本発明の実施形態について添付図面を参照して説明する。すべての図面において、実施形態が異なる場合であっても、同一または相当する部材には同一の符号を付し、共通する説明は省略する。

【0018】

本発明の第1の実施形態の形状測定装置について説明する。

図1は、本発明の第1の実施形態の形状測定装置1の構成例を示す模式的な正面図である。図2は、図1におけるA視の平面図である。図3は、本発明の第1の実施形態の形状測定装置におけるX軸方向の測定時の様子を示す模式的な平面図である。図4は、本発明

50

の第 1 の実施形態の形状測定装置に用いるプローブの構成例を示す模式的な正面図である。図 5 は、本発明の第 1 の実施形態の形状測定装置のプローブ測定時の構成例を示す模式的な正面図である。図 6 は、本発明の第 1 の実施形態の形状測定装置のプローブ測定時の第 1 保持部を示す模式的な正面図である。図 7 は、本発明の第 1 の実施形態の形状測定装置の制御ユニットの機能構成を示す機能ブロック図である。

【 0 0 1 9 】

形状測定装置 1 は、第 1 表面を有する第 1 ワークを支持する支持部 3 と、第 2 表面を有する第 2 ワークを保持して第 1 ワークの面形状測定を行う測定部 2 と、を備えている。支持部 3 および測定部 2 は、基台 4 の上に対向して配置されている。さらに、形状測定装置 1 は、形状測定装置 1 の各装置部分を制御する制御ユニット（後述）を備えている。

10

図 1 に示すように、測定時には、第 1 ワークとしては被測定物 W が、第 2 ワークとしてはプローブ P 1（第 1 プローブ）またはプローブ P 2（第 2 プローブ）が用いられる。

【 0 0 2 0 】

以下では、形状測定装置 1 における方向を参照する場合に、図 1 に示す X Y Z 直交座標系（以下、X Y Z 座標系という）が用いられる場合がある。

図示の X Y Z 座標系では、Y 軸が鉛直軸線に平行である。Z X 平面は水平面に平行である。支持部 3 および測定部 2 は、Z 軸方向（Z 軸に沿う方向）において互いに対向している。

X Y Z 座標系における各軸方向の正負は右手系の規約に従う。図 1 においては、X 軸正方向は図示の紙面手前から奥側に向かう紙面垂直方向である。Y 軸正方向は鉛直上方向（紙面の下側から上側に向かう方向）である。Z 軸正方向は図示左側から右側に向かう方向である。

20

X Y Z 直交座標系は、形状測定装置 1 に固定された固定座標系である。

【 0 0 2 1 】

被測定物 W は、第 1 表面として適宜の三次元形状からなる被測定面 W_s を有する。被測定面 W_s の設計形状は、形状測定装置 1 による測定開始前に知られている。被測定面 W_s の設計形状は、1 方向に沿って測定用のプローブが接触可能であれば、凸面でもよいし凹面でもよい。被測定面 W_s は、凸面および凹面が混在した面形状でもよい。例えば、被測定面 W_s は、球面等の 2 次曲面、軸対称非球面、およびこれら以外の自由曲面であってもよい。

30

被測定面 W_s は、適宜の関数で記述された数式で知られていてもよいし、被測定面 W_s 上の多数の点座標の集合によって知られていてもよい。例えば、被測定面 W_s の設計値が多数の点座標の集合によって知られている場合、各点を通る補間処理によって、設計系所を表す連続関数が得られる。

以下では、被測定面 W_s の設計形状が、 $z_1 = H_d(x_1, y_1)$ で表されるものとして説明する。ここで、変数 x_1 、 y_1 は、被測定物 W に固定された $x_1 y_1 z_1$ 右手直交座標系（以下、単に $x_1 y_1 z_1$ 座標系という）における x_1 座標、 y_1 座標である。 z_1 は、点 (x_1, y_1) における被測定面 W_s の z_1 座標を表す。

$x_1 y_1 z_1$ 座標系の向きおよび原点は、被測定面 W_s の形状に応じて、関数 $H_d(x_1, y_1)$ が簡素になるように適宜設定される。例えば、被測定物 W が回転対称な形状であれば、回転対称軸が z_1 軸に選ばれることがより好ましい。この場合、被測定物 W の z_1 軸は、Z 軸に平行に配置される。

40

【 0 0 2 2 】

測定部 2 は、測定機台 7、測定機板 6、および測定ユニット 5 を備える。

測定機台 7 は、測定機板 6 および測定ユニット 5 を下方から支持する。測定機台 7 は、第 1 移動ステージ 2 5 を介して基台 4 上に配置されている。

第 1 移動ステージ 2 5 は、測定機台 7 を X 軸方向（X 軸に沿う方向）に往復移動させる。図 3 に示すように、第 1 移動ステージ 2 5 は、支持部 3 において第 1 ワークが配される X 軸方向の幅よりも広い範囲で、測定機台 7 を X 軸方向に平行移動させることができる。

図 1 に示すように、測定機台 7 の Z 軸負方向側の基台 4 上には、測定機台 7 の X 軸方向

50

の位置を検出する第1軸測長器43が配置されている。

第1軸測長器43の具体的な構成としては、測定機台7のX軸方向の位置計測が行えれば、特に限定されない。例えば、第1軸測長器43として、基準スケールと、基準ケールの移動量を読み取る読み取りヘッドと、を備えた構成が用いられてもよい。この場合、基準スケール20bは、測定機台7に固定される。

第1軸測長器43の検出出力は、後述する制御ユニットに送出される。

【0023】

測定機板6は、測定機台7とともにX軸方向に平行移動し、後述する測定ユニット5を下方から支持する板状部材である。

測定機板6は、駆動部24a、24bを介して測定機台7上に固定されている。

駆動部24a、24bは、測定機板6をY軸方向(Y軸に沿う方向)にそれぞれ独立に駆動する軸状部材である。駆動部24a、24bは、Z軸方向において支持部3から遠ざかる方向にこの順に配置されている。図1では、駆動部24a、24bは、それぞれ1つつ描かれているが、駆動部24a、24bの個数は、測定機板6の姿勢を安定して保持することができれば、特に限定されない。例えば、駆動部24a、24bは、それぞれ2以上設けられていてもよい。

駆動部24a、24bの各駆動量は、後述する制御部によって制御される。

駆動部24a、24bは、測定機板6のY軸方向の位置調整、測定機板6の傾斜姿勢の調整などに用いられる。例えば、後述する制御部によって駆動部24a、24bの各駆動量が変更されると、測定機板6がX軸回りに回転する。このため、測定機板6がZX平面に対して、YZ平面内で傾斜できるようになっている。

【0024】

測定ユニット5は、第1ワークの第1表面の面形状を測定する装置部分である。測定ユニット5は、測定機板6の上面に設けられている。以下では、特に断らない限り、測定ユニット5の構成および位置関係に関して、測定機板6の上面がZX平面に平行になっている場合の例で説明する。

測定ユニット5は、Z軸方向に延びる柱状に形成されたエアスライド軸8と、略直方体形状のエアスライド軸受9と、を備えている。

【0025】

エアスライド軸受9は、Z軸方向に貫通する貫通孔(不図示)が形成されており、その貫通孔が支持部3に向けられた状態で、測定機板6の上に固定されている。この貫通孔には、エアスライド軸8が挿通されている。エアスライド軸受9の貫通孔内の内壁面には、複数の吹出孔(不図示)が形成されている。エアスライド軸8と上記内壁面との間には、圧縮したクリーンでドライな圧縮空気が吹出孔から噴出されることにより、数 μm の微小な隙間を形成されるようになっている。吹出孔からの圧縮空気の噴出によって、エアスライド軸8は、エアスライド軸受9によって、エアスライド軸受9の内壁面と接触することなく浮動支持される。

エアスライド軸受9は、エアスライド軸8の中心軸線C₈に沿う方向において、エアスライド軸8を往復移動可能に支持している。

さらに、貫通孔内には、貫通孔の長手方向に延びる図示略の突条部が形成されている。この突条部は、エアスライド軸8の外周部においてエアスライド軸8の長手方向に延びて形成された図示略の凹条部に摺動可能に嵌合するように構成されている。このような突条部と凹条部との嵌合により、エアスライド軸8が中心軸線C₈に沿って移動する場合に、エアスライド軸8の中心軸線C₈回りの回転は抑制されている。

【0026】

例えば、測定機板6の上面がZX平面に平行になっている場合には、中心軸線C₈は、Z軸に平行に配置されている。ただし、駆動部24aの高さが、駆動部24bの高さよりも低くなるように、駆動部24a、24bが駆動されている場合、測定機板6がZ軸方向正方向から負方向に向かって下がるように傾斜するため、エアスライド軸8は、自重によって、支持部3に近づくとともに下方に傾斜する方向に移動する。

【 0 0 2 7 】

エアスライド軸 8 の Z 軸負方向側の端部（先端部）には、第 2 ワークが着脱可能に装着できるようにしている。

本実施形態では、エアスライド軸 8 の先端部には、一例として、第 2 ワークを保持するため、中心軸線 C_8 と平行な中心軸を有する雌ねじ部 8 a（第 2 保持部）が形成されている。

エアスライド軸 8 の先端部外周面の上部には、基準マーク 8 b が設けられている。

基準マーク 8 b は、第 2 ワークが雌ねじ部 8 a に装着される際に、中心軸線 C_8 回りの第 2 ワークの回転位置を位置合わせするための参照マークになっている。

以下では、一例として、基準マーク 8 b は、中心軸線 C_8 と Y 軸方向に対向する位置に形成されている場合の例で説明する。

基準マーク 8 b の構成は、測定者が第 2 ワークを位置決めして取り付けることができれば特に限定されない。例えば、基準マーク 8 b は、エアスライド軸 8 の外表面と色が異なる適宜形状の図形で形成されたマーク、エアスライド軸 8 の外表面に形成された刻印、溝、突起などで形成されたマークなどであってもよい。

【 0 0 2 8 】

ここで、雌ねじ部 8 a によって保持される第 2 ワークの例であるプローブ P 1、P 2 の構成について説明する。

プローブ P 1 は、中心軸 C_{p1} に沿って延びる柱状に形成されたプローブ軸 10 c の長手方向の第 1 端部（図示の左端部）に雄ねじ部 10 b が設けられ、第 2 端部（図示の右端部）に球状部 10 a が設けられている。

雄ねじ部 10 b は、雌ねじ部 8 a と螺合するねじ形状を有する。雄ねじ部 10 b は、中心軸線 C_{p1} と同軸に形成されている。このため、雄ねじ部 10 b および雌ねじ部 8 a の螺合によって、プローブ P 1 は、エアスライド軸 8 の Z 軸負方向側の端部に着脱可能に固定される。プローブ P 1 の装着時には、プローブ P 1 はエアスライド軸 8 の中心軸線 C_8 と同軸になっている。

【 0 0 2 9 】

球状部 10 a は、中心軸線 C_{p1} に沿う方向の先端部において、形状測定時に測定対象と接触可能な範囲に球面からなる表面 S_{p1} （第 1 表面）を有する。以下では簡単のため、プローブ軸 10 c との接続部を除く球状部 10 a の表面全体が表面 S_{p1} からなる場合の例で説明する。

表面 S_{p1} の設計形状は、中心軸線 C_{p1} 上の中心 O_{p1} から半径が R_{p1} の球面である。プローブ P 1 における中心 O_{p1} の位置および R_{p1} の大きさは予め知られている。ただし、表面 S_{p1} の表面の製作誤差は知られていなくてもよい。

表面 S_{p1} の半径は、被測定物 W の被測定面 W_s 上の各点で、被測定面 W_s と点接触可能な球面を構成できる大きさであれば、特に限定されない。

球状部 10 a の材料は特に限定されない。例えば、球状部 10 a は、精密に加工されたルビー球などで形成されてもよい。

【 0 0 3 0 】

プローブ軸 10 c の表面には、例えば、エアスライド軸 8 への固定時などに、中心軸線 C_{p1} 回りの位置合わせを行うための第 1 マーク 40 a と、第 2 マーク 40 b と、が形成されている。

第 1 マーク 40 a は、プローブ軸 10 c の表面において周方向の定位置に形成されている。

第 2 マーク 40 b は、プローブ軸 10 c の表面において中心軸線 C_{p1} を挟んで第 1 マーク 40 a と対向する位置に形成されている。

第 1 マーク 40 a および第 2 マーク 40 b の構成は、測定者がプローブ P 1 を位置決めして取り付けることができれば特に限定されない。例えば、第 1 マーク 40 a および第 2 マーク 40 b は、基準マーク 8 b の構成例として例示されたのと同様なマークなどであってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 1 】

プローブ P 1 は、その雄ねじ部 1 0 b がエアスライド軸 8 の雌ねじ部 8 a に予め決められた長さだけ螺合され、かつ Y 軸負方向に見て第 1 マーク 4 0 a が基準マーク 8 b と同一直線上に配列された状態で、エアスライド軸 8 に固定される。

【 0 0 3 2 】

プローブ P 2 は、プローブ P 1 の球状部 1 0 a に代えて、球状部 1 0 d を備える。以下、プローブ P 1 と異なる点を中心に説明する。

球状部 1 0 d は、プローブ P 2 の中心軸線 C_{P2} に沿う方向の先端部において、形状測定時に測定対象と接触可能な範囲に球面からなる表面 S_{P2} (第 2 表面) を有する。以下では簡単のため、プローブ軸 1 0 c との接続部を除く球状部 1 0 d の表面全体が表面 S_{P2} からなる場合の例で説明する。

表面 S_{P2} の設計形状は、中心軸線 C_{P2} 上の中心 O_{P2} から半径が R_{P2} の球面である。プローブ P 2 における中心 O_{P2} の位置および半径 R_{P2} の大きさは予め知られている。ただし、表面 S_{P2} の製作誤差は知られていなくてもよい。

表面 S_{P1} と同様、表面 S_{P2} の半径は、被測定物 W の被測定面 W_s 上の各点で、被測定面 W_s と点接触可能な球面を構成できる大きさであれば、特に限定されない。

R_{P2} の大きさは、上述の R_{P1} に等しくてもよいし、 R_{P1} とは異なってもよい。

$R_{P1} = R_{P2}$ の場合、表面 S_{P1} 、 S_{P2} の設計形状は互いに同一であるが、一般には、表面 S_{P1} 、 S_{P2} の製作誤差大きさおよび製作誤差の分布は異なる。

球状部 1 0 a と同様、球状部 1 0 d の材料は特に限定されない。例えば、球状部 1 0 d は、精密に加工されたルビー球などで形成されてもよい。

【 0 0 3 3 】

プローブ P 2 は、その雄ねじ部 1 0 b がエアスライド軸 8 の雌ねじ部 8 a に予め決められた長さだけ螺合され、かつ Y 軸負方向に見て第 1 マーク 4 0 a が基準マーク 8 b と同一直線上に配列された状態で、エアスライド軸 8 に固定される。

【 0 0 3 4 】

ここで、エアスライド軸 8 の構成の説明に戻る。

図 1、2 に示すように、エアスライド軸 8 の後端部 (Z 軸正方向側の端部) には、プローブ軸測長器 2 0 を位置決めして固定するための段差部 2 1 が形成されている。

プローブ軸測長器 2 0 は、中心軸線 C_8 に沿う方向のエアスライド軸 8 の基準位置からの移動量を測定することによって、エアスライド軸 8 の先端部に装着された第 2 ワークの位置検出を行う装置部分である。

プローブ軸測長器 2 0 の具体的な構成としては、中心軸線 C_8 に沿う方向の位置計測が行えれば、特に限定されない。例えば、プローブ軸測長器 2 0 として、板状部材からなるガラススケール (基準スケール) 2 0 b と、測定機板 6 に固定されたガラススケールヘッド 2 0 a と、を備えた構成が用いられてもよい。この場合、ガラススケール 2 0 b は、その一端が例えば、ねじ止めなどによって段差部 2 1 に固定されている。

ガラススケールヘッド 2 0 a には、ガラススケール 2 0 b が往復移動可能に挿通されている。ガラススケールヘッド 2 0 a は、ガラススケール 2 0 b の移動位置を逐次検出し、後述する制御ユニットに出力する。

このため、プローブ軸測長器 2 0 によって、Z 軸方向における測定機板 6 に対するエアスライド軸 8 の移動位置が検出できるようになっている。

【 0 0 3 5 】

エアスライド軸 8 の段差部 2 1 の近傍には、中心軸線 C_8 と直交する方向に延びる棒状のストッパハネ 2 2 が固定されている。ストッパハネ 2 2 は、図 2 に示すように、X 軸方向の長さがエアスライド軸 8 の X 軸方向の幅より長い。ストッパハネ 2 2 は、エアスライド軸 8 に固定された状態では、ストッパハネ 2 2 の長手方向の両端はエアスライド軸 8 よりも X 軸正方向および X 軸負方向においてそれぞれ外側に突出している。

ストッパハネ 2 2 の近傍において、エアスライド軸 8 よりも X 軸正方向側の測定機板 6

10

20

30

40

50

上には、ストッパ 2 3 が設けられている。

図 1 に示すように、ストッパ 2 3 は、X 軸方向から見て、Y 軸正方向に開口した略 U 字状（コの字状）に形成されている。ストッパ 2 3 の開口の内側には、ストッパハネ 2 2 の X 軸正方向側の端部が延びている。

このため、ストッパ 2 3 は、中心軸線 C₀ に沿う方向にエアスライド軸 8 が往復移動可能な移動範囲を規制している。これにより、中心軸線 C₀ に沿う方向におけるエアスライド軸 8 の移動可能範囲は、ストッパ 2 3 の両内側壁 2 3 a の内側におけるストッパハネ 2 2 の移動可能範囲に一致している。

このため、測定機板 6 が傾斜されたときに、エアスライド軸 8 が傾斜方向に移動しても、エアスライド軸 8 がエアスライド軸受 9 から抜け出すことが防止されている。

10

【 0 0 3 6 】

図 1 に示すように、支持部 3 は、第 2 移動ステージ 2 7 と、保持壁部 2 8 と、を備える。

第 2 移動ステージ 2 7 は、基台 4 上に固定され、保持壁部 2 8 を下方から支持している。さらに第 2 移動ステージ 2 7 は、保持壁部 2 8 を Y 軸方向に往復移動させる。第 2 移動ステージ 2 7 は、被測定物 W の y₁ 軸方向の幅よりも広い範囲で、保持壁部 2 8 を Y 軸方向に平行移動させることができる。

第 2 移動ステージ 2 7 の Z 軸負方向側の基台 4 上には、第 2 移動ステージ 2 7 の Y 軸方向の位置を検出する第 2 軸測長器 4 1 が配置されている。

第 2 軸測長器 4 1 の具体的な構成としては、第 2 移動ステージ 2 7 の Y 軸方向の位置計測が行えれば、特に限定されない。例えば、第 2 軸測長器 4 1 は、第 1 軸測長器 4 3 と同様な構成を有していてもよい。

20

第 2 軸測長器 4 1 の検出出力は、後述する制御ユニットに送出される。

【 0 0 3 7 】

保持壁部 2 8 は、直方体状に形成され、第 2 移動ステージ 2 7 の上部に固定されている。保持壁部 2 8 の外壁面のうち、X 軸正方向側の側面である前面 2 8 a には、第 1 ワークを保持する第 1 保持部を取り付けるための取付部 2 8 b が設けられている。

取付部 2 8 b の具体的な構成は、第 1 保持部を精度よく着脱できれば、特に制限されない。例えば、取付部 2 8 b は、位置決め用の係合部と雌ねじとの組み合わせであってもよいし、位置決め凹凸嵌合部を含む適宜のマウントで構成されてもよい。

30

形状測定装置 1 において、第 1 保持部は、第 1 ワークの種類に応じて複数用意されている。いずれの第 1 保持部も取付部 2 8 b と着脱可能に固定する装着部を有している。

【 0 0 3 8 】

例えば、図 1 に示す被測定物ホルダ 2 9 は、第 1 ワークとして被測定物 W を保持するための第 1 保持部である。以下、被測定物ホルダ 2 9 に関連する位置関係については、図 1 に示すように被測定物ホルダ 2 9 が保持壁部 2 8 に装着された姿勢に基づいて説明する。

【 0 0 3 9 】

被測定物ホルダ 2 9 を介して被測定物 W を保持壁部 2 8 に取り付けると、被測定物 W は、測定部 2 側に突出した状態で着脱可能に保持されるようになっている。被測定物 W は軸対称である必要はなく、自由曲面形状のように設計形状が既知のものであればよい。これにより、被測定物ホルダ 2 9 によって被測定物 W が保持されると、被測定物 W と測定部 2 側に設けられたプローブ P 1 とが対向して配されるようになっている。被測定物 W は支持部 3 を介して y 軸移動機構（第 2 移動ステージ）2 7 により Y 軸方向への移動が可能になっている。この被測定物 W の動きを、支持部 3 近傍に設けられた y 測長器（第 2 軸測長器）4 1 が検出し、この検出結果を後述する演算部（演算手段）2 6 に向けて逐一出力するようになっている。取付部 2 8 b には、被測定物ホルダ 2 9 を取り外して、図 5 のようにプローブ P 1 を保持するプローブホルダ 3 0 が取り付けられるようになっている。

40

【 0 0 4 0 】

被測定物ホルダ 2 9 は、被測定物 W の x₁ 軸、y₁ 軸、z₁ 軸が、それぞれ、形状測定装置 1 の X 軸、Y 軸、Z 軸に平行になるように、被測定物 W を保持する。

50

被測定物ホルダ 29 における被測定物 W の保持手段は特に限定されない。例えば、被測定物ホルダ 29 は、被測定物 W の外形を把持するチャッキング機構を備えていてもよい。

図示は省略するが、被測定物ホルダ 29 は、取付部 28 b に着脱可能に固定するための装着部を有する。

【0041】

例えば、図 5 に示すプローブホルダ 30 は、第 1 ワークとしてプローブ P 1 を保持するための第 1 保持部である。以下、プローブホルダ 30 の位置関係については、図 1 に示すようにプローブホルダ 30 が保持壁部 28 に装着された姿勢に基づいて説明する。

プローブホルダ 30 は、プローブ P 1 の球状部 10 a が Z 軸正方向に向いた姿勢で、中心軸線 C_{P1} が形状測定装置 1 の Z 軸に平行になるようにプローブ P 1 を保持する。

図 6 に示すように、プローブホルダ 30 は、プローブ P 1 の雄ねじ部 10 b を螺合する雌ねじ部 30 b を有することによって、プローブ P 1 を保持する。雌ねじ部 30 b の中心軸線は、プローブホルダ 30 が保持壁部 28 に装着された状態では、Z 軸に平行になっている。

図示は省略するが、プローブホルダ 30 は、雌ねじ部 30 b が形成された側面と反対側の側面に、取付部 28 b に着脱可能に固定するための装着部を有する。

【0042】

プローブホルダ 30 の Z 軸正方向側の側面において、雌ねじ部 30 b に対する Y 軸正方向側には、基準マーク 30 a が設けられている。

基準マーク 30 a は、プローブ P 1 が雌ねじ部 30 b に装着される際に、中心軸線 C_{P1} 回りのプローブ P 1 の回転位置を位置合わせするための参照マークになっている。

以下では、一例として、基準マーク 30 a は、雌ねじ部 30 b の中心軸線 C_8 と Y 軸方向に対向する位置に形成されている場合の例で説明する。

【0043】

例えば、図 3 に示すように、プローブ P 1 の第 1 マーク 40 a が Y 軸正方向に向くように周方向に基準マーク 8 b と位置合わせされて、プローブ P 1 がエアスライド軸 8 に固定された状態を第 1 取り付け状態と称する。図 6 に示すように、プローブ P 1 の第 2 マーク 40 b が Y 軸正方向に向くように周方向に基準マーク 30 a と位置合わせされてプローブホルダ 30 に固定された状態を第 2 取り付け状態と称する。

この場合、第 2 取り付け状態の表面 S_{P1} の姿勢は、第 1 取り付け状態の表面 S_{P1} を Y 軸回りに 180° 回転した後、Z 軸回りに 180° 回転して得られる姿勢に等しい。このため、第 2 取り付け状態の表面 S_{P1} を適宜平行移動すれば、第 2 取り付け状態の表面 S_{P1} と、第 1 取り付け状態の表面 S_{P1} とは互いに点対称の位置関係になっている。

【0044】

図 7 に示すように、制御ユニット 100 は、測定制御部 101、面形状データ取得部 102、記憶部 103、変数変換処理部 104、および面形状推定処理部 105 を備える。

測定制御部 101 は、形状測定装置 1 における測定動作全体を制御する。

例えば、測定制御部 101 は、第 1 移動ステージ 25、第 2 移動ステージ 27、および駆動部 24 a、24 b と通信可能に接続されており、測定制御部 101 は、第 1 移動ステージ 25、第 2 移動ステージ 27、および駆動部 24 a、24 b に制御信号を送出することによって、それぞれの駆動制御を行う。

【0045】

次に、上述のように構成された本実施例における形状測定装置 1 の作用について説明する。本実施例では、2 本のスタイラスと 1 つの被検サンプルを用いた 4 通りの測定により、被検物形状（スタイラス真球誤差）を抽出する。

本実施例における形状測定装置 1 の測定手順を概説すると以下のようになる。図 8 は測定手順のフローチャートであり、図 9 は、各測定ステップの様子を示す図である。

まず、スタイラス A（プローブ P 1）により被検サンプル（ワーク W）を測定する（第 1 の三次元測定工程 S 1）。

続いて、スタイラス B（プローブ P 2）により同じ被検サンプル（ワーク W）を測定す

10

20

30

40

50

る（第2の三次元測定工程S2）。

そして、スタイラスA（プローブP1）をスタイラスB（プローブP2）によって測定する（第3の三次元測定工程S3）。

さらに、スタイラスB（プローブP2）の向きを変え、被検サンプル（ワークW）を所定角度で回転させ、回転後の被検サンプル（ワークW）を測定する（第4の三次元測定工程S4）。

このようにして、4通りの測定で4個の測定結果を得る。

次に、アフィン変換で28個（上述の4個の測定結果×7個のアフィン変換）のデータを作り出す。7個のアフィン変換の条件としては、例えば、-90°回転、90°回転、180°回転、水平方向ミラー反転、垂直方向ミラー反転、水平方向ミラー反転後の-90°回転、水平方向ミラー反転後の90°回転である。

そして、全32個（4個+28個）の測定結果と32個の重みづけ係数の組合せから、制御ユニット100が所定の演算を行うことにより、ワークWの形状を表す真の値に近い値が算出される（演算工程S5）。重み付け係数は、残渣が最小となるように連立方程式を解くことで決定する。

このように、アスコマや球面収差といった典型的な表面形状の誤差を与え係数を求めることで、レンズ加工工程で生じるより現実的なパターンを効果的に抽出することができる。

【0046】

なお、アフィン変換の条件は上述のものに限定されない。例えば、180°きざみ、120°きざみ、60°きざみ、45°刻みで行ってもよい。また、アフィン変換の個数は7個に限定されない。

【0047】

ここで、上記のようにプローブP1、P2を用いてワークWを測定し、その測定結果を求めるための作用について詳説する。

【0048】

（第1の三次元測定工程）

最初に、雌ねじ部8aに雄ねじ部10bを螺合させることにより、エアスライド軸8にプローブP1を取り付ける。このとき、基準マーク8bとマーキング40とが一致する位置、すなわちマーキング40が上方を向く位置にプローブP1を配置する。また、測定しようとする第1のワークWを被測定物ホルダ29を介して保持壁部28に取り付ける。するとワークWとプローブP1とは、図2に示すように、両者が対向した状態になる。この状態で、駆動部を駆動すると、駆動部24bが駆動させられ、測定機板6が支持部3に向けて傾斜させられると同時に、測定ユニット5もプローブP1側の一端が斜め下方に、プローブ軸測長器20側の他端が斜め上方を向くように傾けられる。そのため、エアスライド軸8が軸方向に沿ってプローブP1側に移動させられると同時に、ストッパハネ22もストッパ23の両内側壁23aの間を移動させられる。

【0049】

そして、ストッパハネ22がプローブP1側の内側壁23aに接触すると、エアスライド軸8の移動が止められる。この位置は、プローブP1が、ワークWの表面に最初に接触する初期接触ポイントから、水平方向側方に離れた地点となる。つまり、初期状態では、エアスライド軸8が最大ストローク突出したとき、プローブP1が、ワークWの中心を通り且つ軸線Lを含む鉛直平面（以下、基準面という。）から水平方向（図4に示す矢印A方向）側方、すなわち基準面から所定の距離だけ離れたワークWの側方に配置される。そして、この状態、すなわちワークWの側方から、測定機台7が、矢印A方向に基準面側に向けて水平移動を開始する。測定機台7は、一定の距離を高速移動し、所定の地点から低速移動に切り替えられて、さらに、基準面側、すなわちプローブP1が上記初期接触ポイントに向かうよう水平移動しつつづける。

【0050】

その結果、プローブP1の球状部10aが、あるタイミングでワークWの初期接触ポイ

10

20

30

40

50

ントに所定の接触角を持って接触する。ここで、接触角とは図10(a)に示すように、接触ポイントにおける法線Nと、軸線Lとのなす角 θ_1 を意味している。そして、接触後は、ワークWのなめらかな突出面にならってプローブP1が移動させられる。このプローブP1の移動に合わせて両者の接触ポイントが移動させられるとともに、P1のワークWに対する接触角 θ_1 も漸次変化することになる。そしてプローブP1が所定の地点に到達すると、プローブ軸測長器20によって測定が開始される。さらに、測定機台7の移動により、プローブP1はワークWの最突出部分を通過し、測定の終端方向に向かって水平移動させられる。これら移動により、接触ポイントはプローブP1の球状部10aの表面に一定の軌跡を描くことになる。また、プローブP1はワークWの突出面にならって移動させられるので、エアスライド軸8もそれに応じて軸線L方向に直線移動させられる。

10

【0051】

本実施例では、例えば、直径20mmの凸形状のワークWに対して基準面から相対距離10mmになるまで、プローブP1が早送り速度でワークWの側方から水平移動させられる。その地点に到達すると、より低速な毎分2.5mmのアプローチ速度に切り替えられる。そして、基準面から9mm離れた地点でプローブP1がワークWに接触する。このときの接触力は、プローブP1を含む部材の自重の軸方向成分のみによって生じるものとなる。すなわち、プローブP1、エアスライド軸8、ストッパハネ22、ガラス測長器20の総重量が52gf、傾斜角を2分としているので、

$$52(\text{gf}) \times \sin(2/60) = 0.03(\text{gf})$$

すなわち、約30mgfの接触力となる。

20

【0052】

さらにプローブP1は、ワークWに接触しながら相対移動を続け、ワークWの凸形状によりエアスライド軸8が2mm押し戻された地点でプローブ軸測長器20による測定が開始される。このときには、エアスライド軸8が押し戻されていることから、ストッパハネ22は両内側壁23aから離された状態となる。その後も、プローブP1は、基準面をはさんだ反対側方向に向けて自重の軸方向成分のみによりワークWに接触しながら相対移動を続け、その反対側の所定の地点でワークWから離される。その間、プローブ軸測長器20はエアスライド軸8の位置を検出し続け、制御ユニット100に逐一その情報が出力される。さらに、測定機台7の矢印A方向の移動は、第2軸測長器41によりその位置が検知され、上記と同様、その情報が逐一制御ユニット100に出力される。

30

【0053】

そして制御ユニット100により、第2軸測長器41からの出力情報が接触角 θ_1 の変化に対応させられることによって、プローブ軸測長器20からの出力情報と第2軸測長器41からの出力情報との関係は、プローブ軸測長器20からの出力情報と接触角 θ_1 との関係に変換され、ワークWの測定結果が接触角 θ_1 に関する関数 $M_1(\theta_1)$ として求められる。

【0054】

測長座標 x と接触角度 θ_1 は、次式で換算できる。ここでRは被測定物の曲率半径を示している。

$$\theta_1 = \sin^{-1}(R/x)$$

40

尚、接触角 θ_1 に代替できる変数としては微分係数を用いることができる。自由曲面など曲率半径を持たない被測定物に適用する場合に有効な手段となる。被測定物の三次元形状 $f(x, y)$ が既知であれば、微分係数 $f'(x, y)$ が接触角 θ_1 に相当する変数になる。

【0055】

(第2の三次元測定工程)

次いで、プローブP1を雌ねじ部8aから取り外し、プローブP2を取り付ける。そして、プローブP2を用いて、ワークWを再度、上記と同様の作用により測定する。これにより得られた測定結果を制御ユニット100が処理することにより、ワークWの測定結果がプローブP2とワークWとの接触点におけるプローブP2の接触角 θ_2 (図10(b))

50

参照)に関する関数 M_2 (2)として求められる。

【0056】

(第3の三次元測定工程)

その後、ワークWを保持壁部28から取り外し、その代わりに上記の測定の際に用いたプローブP1をプローブホルダ30を介して改めて取り付け。このときも、ホルダ用マーキング(基準マーク)30aとマーキング40とが一致する位置、すなわちマーキング40が上方を向く位置にプローブP1を配置する。これにより、プローブP1は、エアスライド軸8およびプローブホルダ30への取り付けに際して、常にマーキング40が上方を向くように取り付けられる。そのため、両プローブP1, P2を用いてワークWを測定するときの両プローブP1, P2のワークWへのそれぞれの接触ポイントと、プローブP2を用いてプローブP1を測定するときの互いの接触ポイントとがそれぞれ等しくなり、それら接触ポイントが、球状部10aの表面において、同一軌跡上を移動することになる。つまり、両プローブP1, P2は、測定の際、常に同じ軌跡上で接触させられる。プローブP1を保持壁部ホルダ28に取り付けると、このプローブP1とエアスライド軸8に取り付けられているプローブP2とは、図1に示すように、両者が対向するように配される。この状態から、プローブP1を上記と同様の作用により測定する。

10

【0057】

測定原理上プローブ曲率半径の制約は設けないが、プローブ同士を測定する状態を鑑みて、いずれかひとつのプローブ曲率半径は0.5mm以上あることが望ましい。その場合、もう他方のプローブは曲率半径2 μ mのダイヤスタイルラスとすることが望ましい。また、プローブは球体に特定する必要はない。被測定物同様に既知の設計形状であれば本測定原理が適用できる。これにより得られた測定結果を制御ユニット100が処理することにより、プローブP1の測定結果がプローブP2とプローブP1との接触点におけるプローブP2の接触角 θ_3 (図10(c)参照)に関する関数 M_3 (3)として求められる。

20

【0058】

(第4の三次元測定工程)

次に、スタイラスB(プローブP2)の向きを変え(反転し)、被検サンプル(ワークW)を所定角度で回転させた後、スタイラスB(プローブP2)により回転後の被検サンプル(ワークW)を測定し、上記と同様の作用により測定する。これにより得られた測定結果を制御ユニット100が処理することにより、ワークWの測定結果がプローブP2とワークWとの接触点におけるプローブP2の接触角 θ_4 に関する関数 M_4 (4)として求められる。

30

【0059】

なお、被検サンプル(ワークW)を回転させる角度は、例えばZ軸中心で180°または90°である。なお、第4面形状データを得る測定方法は、これに限定されない。例えば、スタイラスBと被検サンプルWの少なくとも一方が90°回転または-90°回転していてもよい。

すなわち、第4の三次元測定工程では、スタイラスB(プローブP2)と被検サンプル(ワークW)の少なくとも一方の向きを変えた状態で、スタイラスB(プローブP2)により被検サンプル(ワークW)を測定する。

40

【0060】

次に、上記の作用により求められた4個の測定結果(第1~第4面形状データ)の各々に対応する4個の関数 $M_1 \sim M_4$ から、ワークWの真の値を演算するための処理について説明する。

プローブP1, P2の球状部10aには、製造上、微細な真球度の誤差、すなわち球状部10aの設計形状に対する形状誤差が発生しているおそれがある。そのため、測定結果としての4個の関数は、これら形状誤差が含まれたものとなる。また、ワークWにも、設計形状に対して形状誤差が生じている。

【0061】

以下の実施例では、 M_1 から M_4 すべての測定において、スタイラス側(上部につく側

50

)はY軸周りに180°回転させたように動かし、触針としての使用を前提とした。また、被検サンプル側(object side)はM₁~M₃までは回転せず、M₄で被検サンプルをZ軸中心に回転させた状態での測定とした。この姿勢に応じた測定結果M₁~M₄は以下のように表現することができる。

【0062】

【数1】

$$\begin{cases} M_1(\theta_x, \theta_y) = A(\theta_x, -\theta_y) + C(\theta_x, \theta_y) \\ M_2(\theta_x, \theta_y) = B(\theta_x, -\theta_y) + C(\theta_x, \theta_y) \\ M_3(\theta_x, \theta_y) = A(\theta_x, -\theta_y) + B(\theta_x, \theta_y) \\ M_4(\theta_x, \theta_y) = B(\theta_x, -\theta_y) + C(-\theta_y, \theta_x) \end{cases} \quad \dots(1)$$

【0063】

ここでx、yはプローブ接触点における接触角で、f(x, y)は設計形状である。また、曲率半径の異なる大きさのものを測定するので、演算する場合にはx-y座標ではなく、以下の式を用いて傾斜角度に換算(変換)した座標で行う。

【0064】

【数2】

$$\begin{aligned} \theta_x &= \tan^{-1}(\partial f(x, y)/\partial x) \\ \theta_y &= \tan^{-1}(\partial f(x, y)/\partial y) \end{aligned} \quad \dots(2)$$

【0065】

M₁~M₄は、4個の測定結果(第1~第4面形状データ)の各々に対応する関数である。AはスタイラスAに対応する関数であり、BはスタイラスBに対応する関数であり、Cは被検サンプルWに対応する関数である。本実施例では、関数M₁~M₄と関数A~Cとの対応は、以下の表のようになる。

【0066】

【表1】

M _i	Stylus side		Object side	
1	A	180 degrees rotation around Y axis	C	Non conversions
2	B		C	
3	A		B	
4	B		C	-90 degrees rotation around Z axis

【0067】

M₁(第1面形状データ)は、スタイラスAをY軸まわりに180°回転して、スタイラスAで被検サンプルWを測定することにより得ている。

M₂(第2面形状データ)は、スタイラスBをY軸まわりに180°回転して、スタイラスBで被検サンプルWを測定することにより得ている。

M₃(第3面形状データ)は、スタイラスAをY軸まわりに180°回転して、スタイラスAでスタイラスBを測定することにより得ている。

M_4 (第4面形状データ)は、被検サンプルWをZ軸まわりに -90° 回転して、スタイラスで被検サンプルWを測定することにより得ている。なお、 M_4 の測定方法は、これに限定されない。

【0068】

(演算工程)

上記の作用により求められた4個の測定結果に対して、7通りのアフィン変換を行い、元のデータ(測定データ)4個+アフィン変換で得られた数値データ28個の合計32個のデータを得る。元のデータ(測定データ)を、移動しない(無変換の)アフィン変換を行ったものであると考えると、8通りのアフィン変換を行ったと考えることもできる。

【0069】

4個の測定データ($M_1 \sim M_4$)の各々に対して8通りのアフィン変換(測定データ+7通りのアフィン変換)を施した結果の加重平均から被測定物Wの形状Cを求める式を、以下のように定義する。

【0070】

【数3】

$$C(X_1, Y_1) \cong \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^8 w_{i,j} M_i(X_j, Y_j) \quad \dots (3)$$

【0071】

$w_{i,j}$ は重みづけ係数である。被測定物Wの形状Cを求めるには、重みづけ係数 $w_{i,j}$ を決定する必要がある。ここで(X_1, Y_1)は 90° 度と反転を組み合わせた放射状に位置する8つの座標の一つを表している。

以下の式(4)におけるX、Yは、無変換(元のデータ)、 180° 回転、X反転(水平方向ミラー反転)、Y反転(垂直方向ミラー反転)、 $+90^\circ$ 回転、 -90° 回転、X反転 $+90^\circ$ (水平方向ミラー反転後の $+90^\circ$ 回転)、X反転 -90° (水平方向ミラー反転後の -90° 回転)の8通りのアフィン変換に相当する座標である。jは8通りのアフィン変換に対応するインデックスである。

【0072】

【数4】

$$\begin{cases} X = (\theta_x & \theta_x & -\theta_x & -\theta_x & \theta_y & \theta_y & -\theta_y & -\theta_y) \\ Y = (\theta_y & -\theta_y & -\theta_y & \theta_y & \theta_x & -\theta_x & -\theta_x & \theta_x) \\ j = (1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8) \end{cases} \quad \dots (4)$$

【0073】

以下の表2におけるf、mx、my、rp、rm、rot、mxp、mxmは、それぞれ、無変換(元のデータ)、X反転(水平方向ミラー反転)、Y反転(垂直方向ミラー反転)、 $+90^\circ$ 回転、 -90° 回転、 180° 回転、X反転と 90° 回転の組合せ、X反転と -90° 回転の組合せ、の8通りのアフィン変換に相当するインデックス変換である。

【0074】

10

20

30

40

【表 2】

f	1	2	3	4	5	6	7	8
mx	4	3	2	1	8	7	6	5
my	2	1	4	3	6	5	8	7
rp	6	7	8	5	2	3	4	1
rm	8	5	6	7	4	1	2	3
rot	3	4	1	2	7	8	5	6
mxp	5	8	7	6	1	4	3	2
mxm	7	6	5	8	3	2	1	4

10

【 0 0 7 5 】

式 (1) を用いて式 (2) の C を展開すると、以下の式 (5) のようになる。

【 0 0 7 6 】

【数 5】

$$\begin{aligned}
 C(X_1, Y_1) &\cong \sum_{j=1}^8 (w_{1,j} M_1(X_j, Y_j) + w_{2,j} M_2(X_j, Y_j) + w_{3,j} M_3(X_j, Y_j) + w_{4,j} M_4(X_j, Y_j)) \\
 &= \sum_{j=1}^8 \begin{bmatrix} w_{1,j} \\ w_{2,j} \\ w_{3,j} \\ w_{4,j} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} A(\theta_x, -\theta_y) + C(\theta_x, \theta_y) \\ B(\theta_x, -\theta_y) + C(\theta_x, \theta_y) \\ A(\theta_x, -\theta_y) + B(\theta_x, \theta_y) \\ B(\theta_x, -\theta_y) + C(-\theta_y, \theta_x) \end{bmatrix} \quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

20

【 0 0 7 7 】

式 (5) を、 A 、 B 、 C それぞれについてまとめると、以下の式 (6) のようになる。

【 0 0 7 8 】

【数 6】

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^8 (w_{1,my(j)} + w_{3,my(j)}) A(X_j, Y_j) &\cong 0 \\
 \sum_{j=1}^8 (w_{2,my(j)} + w_{3,f(j)} + w_{4,my(j)}) B(X_j, Y_j) &\cong 0 \\
 \sum_{j=1}^8 (w_{1,f(j)} + w_{2,f(j)} + w_{4,rm(j)}) C(X_j, Y_j) &\cong \begin{cases} C(X_1, Y_1), & j=1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad \dots (6)
 \end{aligned}$$

40

【 0 0 7 9 】

式 (6) は恒等式なので、以下の式 (7) を満たす。

【 0 0 8 0 】

【数 7】

$$w_{1,my(j)} + w_{3,my(j)} \cong 0, \quad j = 1, 2, \dots, 8$$

$$w_{2,my(j)} + w_{3,f(j)} + w_{4,my(j)} \cong 0, \quad j = 1, 2, \dots, 8$$

$$w_{1,f(j)} + w_{2,f(j)} + w_{4,rm(j)} \cong \begin{cases} 1, & j = 1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad \dots (7)$$

10

【0081】

同様に、 $C(X_k, Y_k)$ ($k = 2, 3, \dots, 8$) について3式を導出することで、全192通りの連立方程式が得られる。最小二乗法により、これら条件過多連立方程式を解くことで重みづけ係数 $w_{i,j}$ を決定し、被測定物 W の形状 C を求める式が完成する。そして、全32個の測定結果と32個の重みづけ係数の組合せから、制御ユニット100が所定の演算を行うことにより、被測定物(ワーク) W の形状 C を表す真の値に近い値が算出される。

【0082】

上述の説明では、7通りのアフィン変換を施す場合について説明したが、アフィン変換の個数は7個に限定されない。アフィン変換の種類についても、上述の例に限定されない。また、上述の演算方法および数式は一例であり、本発明は上述の演算方法および数式に限定されない。

20

【0083】

本実施例においては、基準球を用いたプローブ形状の校正などを行わずとも、直接ワーク W の形状を求めることができるという利点がある。また、形状誤差を有するプローブを用いて行なった測定結果から、簡単な演算によりワーク W の形状を求めることができるという利点も有する。

【0084】

以上より、本実施例における形状測定装置1によれば、基準球を使わずに、ワーク W の形状を表す真の値の近似値を容易に算出することができる。また、必ずしも同一測定座標を用いなくともよい。

30

なお、上記各実施形態の説明において、プローブP1、プローブP2は入れ替え可能である。

プローブP1およびプローブP2の先端は尖っていてもよいし、ボール状(球状部が設けられている)であってもよい。ただし、プローブP1およびプローブP2の両方の先端が尖っている場合は、第3の三次元測定工程を行うことが難しいので、不適當である。

【0085】

以上、本発明の好ましい各実施形態、各実施例を説明したが、本発明はこれらの各実施形態、各実施例に限定されることはない。本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、構成の付加、省略、置換、およびその他の変更が可能である。

40

また、本発明は前述した説明によって限定されることはなく、添付の特許請求の範囲によってのみ限定される。

【符号の説明】

【0086】

1...形状測定装置、2...測定部、3...支持部、4...基台、5...測定ユニット、6...測定機板、7...測定機台、8...エアスライド軸、8a...雌ねじ部(第2保持部)、8b...基準マーク、9...エアスライド軸受、10a...球状部、10b...雄ねじ部、10c...プローブ軸、10d...球状部10、20...プローブ軸測長器(ガラス測長器)、20a...ガラススケールヘッド、20b...基準スケール(ガラススケール)、21...段差部、22...ストッ

50

パハネ、23...ストッパ、23a...両内側壁、24a、24b...駆動部、25...第1移動ステージ、26...演算部(演算手段)、27...第2移動ステージ(y軸移動機構)、28...保持壁部(保持壁部ホルダ)、28a...前面、28b...取付部、29...被測定物ホルダ(第1保持部)、30...プローブホルダ(第1保持部)、30a...基準マーク(ホルダ用マーキング)、30b...雌ねじ部、40...マーキング、40a...第1マーク、40b...第2マーク、41...第2軸測長器(y測長器)、43...第1軸測長器、100...制御ユニット、101...測定制御部、102...面形状データ取得部、103...記憶部、104...変数変換処理部、105...面形状推定処理部

【図1】

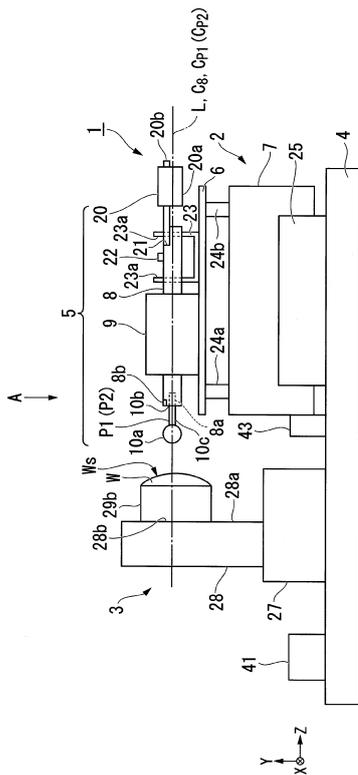


図1

【図2】

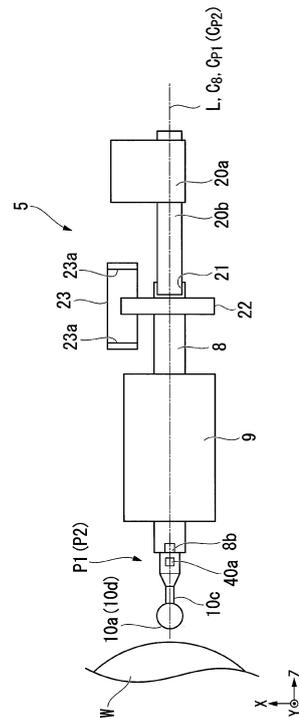


図2

【図3】

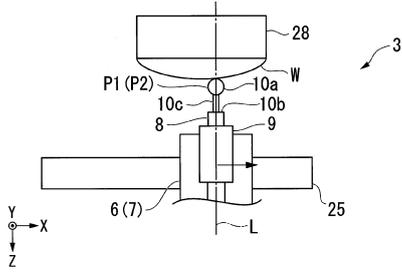


図3

【図4】

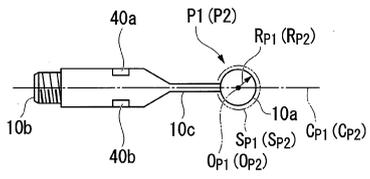


図4

【図6】

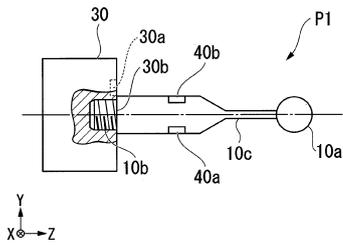


図6

【図5】

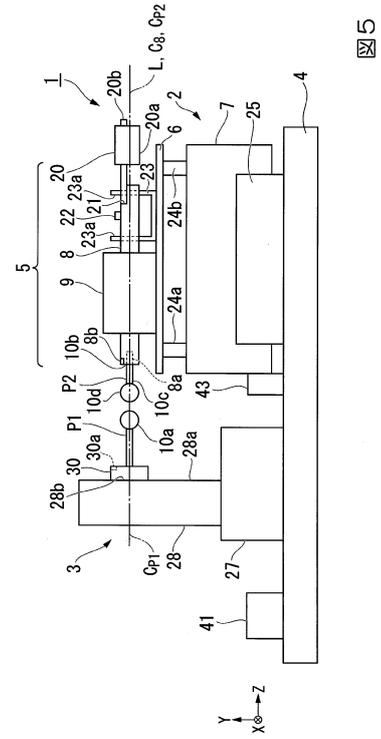


図5

【図7】

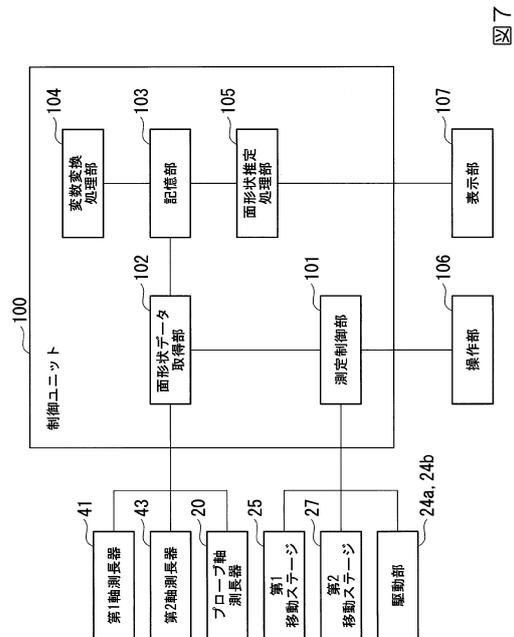


図7

【 図 8 】

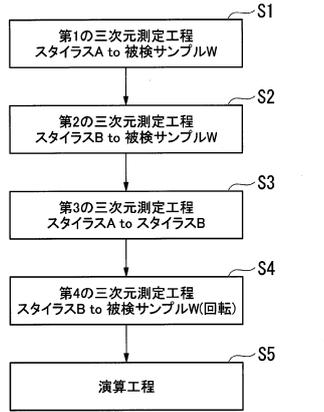
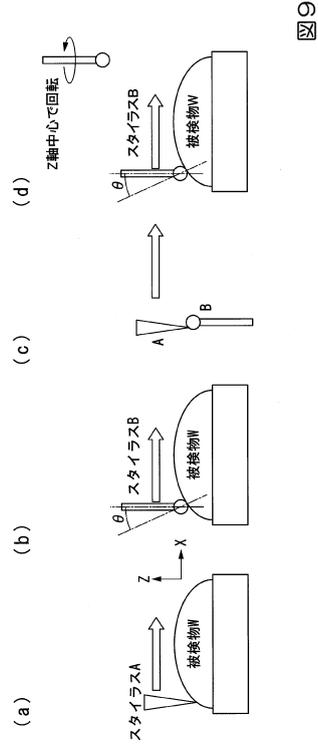


図 8

【 図 9 】



【 図 10 】

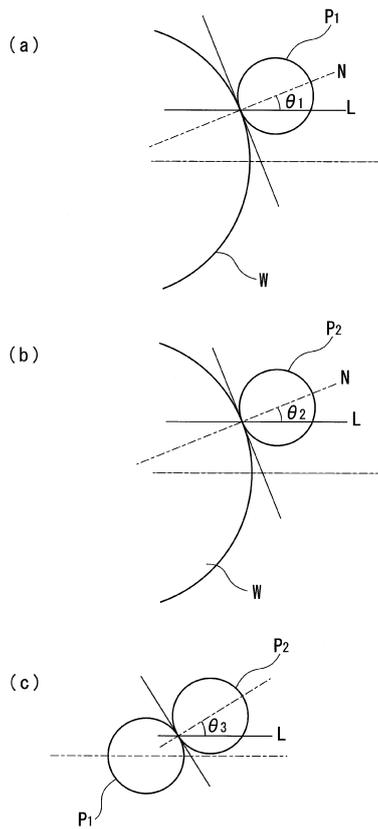


図10

フロントページの続き

(72)発明者 熊谷 俊樹
東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内

審査官 眞岩 久恵

(56)参考文献 特開2006-46908(JP,A)
特開2012-242136(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 5/00-5/30