

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第4646520号  
(P4646520)

(45) 発行日 平成23年3月9日(2011.3.9)

(24) 登録日 平成22年12月17日(2010.12.17)

(51) Int.Cl.

G O 1 B 21/20 (2006.01)

F I

G O 1 B 21/20 I O 1

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2004-4372 (P2004-4372)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成16年1月9日 (2004.1.9)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2005-195545 (P2005-195545A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
(43) 公開日	平成17年7月21日 (2005.7.21)	(74) 代理人	100091351
審査請求日	平成18年12月27日 (2006.12.27)		弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100084618
			弁理士 村松 貞男
		(74) 代理人	100100952
			弁理士 風間 鉄也
		(72) 発明者	伊藤 直
			東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
			オリンパス株式会社内
		審査官	小林 紀史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元形状測定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転機構により被測定物を 方向に回転させ、回転角度 を測定する工程と、  
前記回転機構により回転する前記被測定物の形状に沿って移動するプローブを、前記回転機構の回転軸と略直交するX方向に移動し、前記プローブの位置座標を測定する工程と、

前記回転機構の回転軸と前記プローブとの間のX方向の距離が長いほど、前記回転機構の回転数を下げると共に、前記プローブのX方向の移動速度を遅くすることにより、前記回転機構の回転数及び前記プローブのX方向の移動速度を変更する工程と、

前記プローブの位置座標から得られる前記被測定物の測定データと、前記回転機構の回転数及び前記プローブのX方向の移動速度の少なくとも一方を変更する指示信号と、を取得する工程と、

取得した前記指示信号に基づいて、前記回転数及び前記移動速度の少なくとも一方を変更したタイミングの前後の前記被測定物の測定データを規定した範囲で削除する工程と、  
を備えることを特徴とする3次元形状測定方法。

【請求項 2】

前記削除する工程は、  
設計形状どおりの球面とみなせる基準球の3次元形状を測定する工程と、  
前記指示信号に基づいて、前記回転数及び前記移動速度の少なくとも一方を変更したタイミングの前後における前記基準球の測定データと前記基準球の設計形状との偏差を算

10

20

出する工程と、

前記偏差が生じている範囲を前記被測定物の測定データを削除する範囲として記憶する工程と、

記憶した前記範囲で前記被測定物の測定データを削除する工程と、  
を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 次元形状測定方法。

【請求項 3】

被測定物の形状に沿って移動するプローブと、  
前記被測定物を 方向に回転させる回転機構と、  
前記被測定物の回転角度 を測定する回転角度測定手段と、  
前記プローブを、前記回転機構の回転軸と略直交する X 方向に移動し、前記プローブの  
位置座標を測定するプローブ位置座標測定手段と、

前記回転機構の回転軸と前記プローブとの間の X 方向の距離が長いほど、前記回転機構  
の回転数を下げると共に、前記プローブの X 方向の移動速度を遅くすることにより、前記  
回転機構の回転数及び前記プローブの X 方向の移動速度を変更する変更手段と、

前記プローブの位置座標から得られる前記被測定物の測定データと、前記回転機構の回  
転数及び前記プローブの X 方向の移動速度を変更する指示信号と、を取得し、前記指示信  
号に基づいて、前記回転数及び前記移動速度を変更したタイミングの前後の前記被測定物  
の測定データを規定した範囲で削除するコンピュータと、

を備えることを特徴とする 3 次元形状測定装置。

【請求項 4】

前記被測定物が、設計形状どおりの球面とみなせる基準球を含み、  
前記コンピュータは、前記指示信号に基づいて、前記回転機構の回転数及び前記プロー  
ブの移動速度の少なくとも一方を変更したタイミングの前後における前記基準球の測定デ  
ータと前記基準球の設計形状との偏差を算出し、前記偏差が生じている範囲を前記被測定  
物の測定データを削除する範囲として記憶し、記憶した前記範囲で前記被測定物の測定デ  
ータを削除する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の 3 次元形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学部品や金型等の被測定物の形状を高精度に測定する 3 次元形状測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光学部品や金型等の被測定物の形状を高精度に測定する 3 次元形状測定方法として、一般に、非接触式もしくは接触式のプローブを被測定物の形状に沿って走査して、被測定物の形状を測定する方法が知られている。プローブの走査方式の一例としては、被測定物を 方向に回転させながら、プローブを X 方向に走査する方式（以下「R 走査方式」）がある。

【0003】

この R 走査方式の 3 次元形状測定方法は、例えば、特許文献 1 に開示されている。即ち、図 9 に示すように、この R 走査方式の 3 次元形状測定方法を適用した 3 次元形状測定機 101 は、光プローブ 102 と、Z ステージ 103 と、X ステージ 104 と、ステージ 105 と、Z レーザ測長器 106 と、Z 基準ミラー 107 と、X レーザ測長器 108 と、X 基準ミラー 109 と、ロータリエンコーダ 110 から構成される。

【0004】

ここで、被測定物 111 は、非球面レンズである。このような被測定物 111 は、当該被測定物 111 の光軸と ステージ 105 の回転軸とを略一致させて、ステージ 105 上に配置される。

【0005】

光プローブ１０２は、この被測定物１１１に沿って非接触で走査されるものである。即ち、Ｚステージ１０３は、この光プローブ１０２をＺ軸方向に移動させる。また、Ｘステージ１０４は、この光プローブ１０２とＺステージ１０３とをＸ軸方向に移動させる。一方、ステージ１０５は、被測定物１１１を 方向に回転させる。

【０００６】

Ｚレーザ測長器１０６は、Ｚ基準ミラー１０７に対する光プローブ１０２のＺ軸方向の位置を測長する。また、Ｘレーザ測長器１０８は、Ｘ基準ミラー１０９に対する光プローブ１０２のＸ軸方向の位置を測長する。ロータリエンコーダ１１０は、ステージ１０５の回転角を測定する。そして、パーソナルコンピュータ（図示せず）は、これらＺレーザ測長器１０６とＸレーザ測長器１０８とロータリエンコーダ１１０の測定値を測定データとして取り込む。

10

【０００７】

次に、このような構成の３次元形状測定機１０１の動作を説明する。

【０００８】

即ち、Ｘステージ１０４を所定量移動させて停止させ、ステージ１０５により被測定物１１１を 方向に一定速度で回転させて、パーソナルコンピュータ（図示せず）が測定データの取り込みを開始する。そして、パーソナルコンピュータ（図示せず）が一定のサンプリング時間で測定データを取り込んでいき、被測定物１１１が 方向に１回転したならば、測定データの取り込みを停止する。その後、再度、Ｘステージ１０４を上記所定量移動させる。このような動作を繰り返して、被測定物１１１の表面の３次元形状測定を行う。

20

【０００９】

すると、図１０に示すような同心円状の測定データが取得される。ただし、この図は、取得した測定データをＺ軸方向から見た様子を示している。同図において、ポイントは測定データを取り込んだ位置を示し、２点鎖線はプローブ１０２が被測定物１１１の表面を走査した軌跡を示す（以降の測定データの図についても同様とする）。

【００１０】

また、上記構成の３次元形状測定機１０１による測定データの取得方法の別のやり方について説明する。

【００１１】

30

即ち、ステージ１０５により、被測定物１１１が 方向に一定速度で回転される。そして、Ｘステージ１０４を移動させながら、パーソナルコンピュータが一定のサンプリング時間で測定データを取り込む。

【００１２】

このような取得の仕方を行った場合には、図１１に示すような渦巻状の測定データが取得されることになる。

【００１３】

このようにして、被測定物１１１の３次元形状を測定することができる。

【特許文献１】特開２０００－２６６５２４号公報

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【００１４】

ところで、光プローブ１０２の線速度（光プローブ１０２が被測定物１１１に対して相対的に移動する速度）は、被測定物１１１の中心部（被測定物１１１の光軸に近い部分）で遅く、周辺部（被測定物１１１の外周に近い部分）で速くなる。このため、周辺部において光プローブ１０２の線速度が速くなると、光プローブ１０２が被測定物１１１の面形状の微小な凹凸に追従できなくなって、測定誤差が生じる場合がある。

【００１５】

これを回避するためには、ステージ１０５の回転数を下げればよい。回転数を下げれば、周辺部においても、光プローブ１０２の線速度が遅くなり、測定誤差が生じにくくな

50

る。

【 0 0 1 6 】

しかしながら、同心円状の測定データを取得する場合、そのように ステージ 1 0 5 の回転数を下げると、その下げた分だけ、測定時間が長くなる。

【 0 0 1 7 】

また、渦巻状の測定データを取得する場合には、図 1 2 に示すように、被測定物 1 1 1 の半径方向の測定データの間隔  $P \times$  が長くなる（なお、図 1 2 は、図 1 1 の測定データ取得時よりも ステージ 1 0 5 の回転数を下げた場合の測定データを示している）。ここで、一般的に、測定データの間隔があまり大きくなると、面の形状を正確に表すことができなくなり、測定精度が低下する。よって、ステージの回転数を下げたことにより、円周方向の測定精度は高くなるが、半径方向の測定精度が低下し、実質的に測定精度が低下する場合がある。

10

【 0 0 1 8 】

また、3次元形状測定機によるレンズの表面形状の測定時間は、レンズ表面全面の形状を一度に測定可能な干渉計の測定時間と比較して、極めて長い。そのため、3次元形状測定機は測定時間の短縮が強く求められている。

【 0 0 1 9 】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたもので、測定誤差を低減し、かつ極力測定時間が短い、3次元形状測定方法及び装置を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 1 】

本発明の3次元形状測定方法の一態様は、回転機構により被測定物を 方向に回転させ、回転角度 を測定する工程と、前記回転機構により回転する前記被測定物の形状に沿って移動するプローブを、前記回転機構の回転軸と略直交するX方向に移動し、前記プローブの位置座標を測定する工程と、前記回転機構の回転軸と前記プローブとの間のX方向の距離が長いほど、前記回転機構の回転数を下げると共に、前記プローブのX方向の移動速度を遅くすることにより、前記回転機構の回転数及び前記プローブのX方向の移動速度を変更する工程と、前記プローブの位置座標から得られる前記被測定物の測定データと、前記回転機構の回転数及び前記プローブのX方向の移動速度の少なくとも一方を変更する指示信号と、を取得する工程と、取得した前記指示信号に基づいて、前記回転数及び前記移動速度の少なくとも一方を変更したタイミングの前後の前記被測定物の測定データを規定した範囲で削除する工程と、を備えることを特徴とする。

30

【 0 0 2 3 】

本発明の3次元形状測定装置の一態様は、被測定物の形状に沿って移動するプローブと、前記被測定物を 方向に回転させる回転機構と、前記被測定物の回転角度 を測定する回転角度測定手段と、前記プローブを、前記回転機構の回転軸と略直交するX方向に移動し、前記プローブの位置座標を測定するプローブ位置座標測定手段と、前記回転機構の回転軸と前記プローブとの間のX方向の距離が長いほど、前記回転機構の回転数を下げると共に、前記プローブのX方向の移動速度を遅くすることにより、前記回転機構の回転数及び前記プローブのX方向の移動速度を変更する変更手段と、前記プローブの位置座標から得られる前記被測定物の測定データと、前記回転機構の回転数及び前記プローブのX方向の移動速度を変更する指示信号と、を取得し、前記指示信号に基づいて、前記回転数及び前記移動速度を変更したタイミングの前後の前記被測定物の測定データを規定した範囲で削除するコンピュータと、を備えることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【 0 0 2 4 】

本発明によれば、測定誤差を低減し、かつ極力測定時間が短い、3次元形状測定方法及び装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 5 】

50

以下、本発明を実施するための最良の形態を図面を参照して説明する。

【 0 0 2 6 】

[ 第 1 実施形態 ]

まず、本発明の第 1 実施形態を説明する。

【 0 0 2 7 】

[ 構成 ]

図 1 ( A ) は、本発明の第 1 実施形態に係る 3 次元形状測定方法の適用された 3 次元形状測定機 1 の構成を示す図である。

【 0 0 2 8 】

この 3 次元形状測定機 1 は、プローブ 2 と、先端球 3 と、静圧空気軸受 4 と、板ばね 5 と、板ばね保持部 6 と、マイクロリニアスケール 7 と、Z ステージ 8 と、X ステージ 9 と、Z レーザ測長器 10 と、X レーザ測長器 11 と、Z 基準ミラー 12 と、X 基準ミラー 13 と、ステージ 14 と、ロータリエンコーダ 15 と、測定機のフレーム 16 と、ステージ制御部 17 と、パーソナルコンピュータ 18 と、3 つの直角反射プリズム 19, 20, 21 とから構成される。

【 0 0 2 9 】

ここで、プローブ 2 は、被測定物 22 の形状に沿って走査される。先端球 3 は、プローブ 2 と一体に構成され、プローブ 2 の走査時に被測定物 22 の表面に接触する。静圧空気軸受 4 は、プローブ 2 を Z 軸方向に移動可能に保持する。板ばね 5 は、プローブ 2 を Z 軸方向に弾性支持する。板ばね保持部 6 は、板ばね 5 を静圧空気軸受 4 に固定する。Z ステージ 8 は、静圧空気軸受 4 を Z 軸方向に駆動する。X ステージ 9 は、Z ステージ 8 を Z 軸に略直交する X 軸方向に駆動する。マイクロリニアスケール 7 は、プローブ 2 に固定されたスケール部 7a と、Z ステージ 8 に固定された読み取り部 7b からなる。このマイクロリニアスケール 7 は、プローブ 2 の静圧空気軸受 4 に対する Z 軸方向の変位を測長する。Z 基準ミラー 12 及び X 基準ミラー 13 は、フレーム 16 に固定されている。Z レーザ測長器 10 は、フレーム 16 に固定された測長部 10a とプローブ 2 に固定されたプリズム部 10b からなる。この Z レーザ測長器 10 は、プローブ 2 の Z 軸方向の位置を測長する。なおここで、測長部 10a とプリズム部 10b との間には、直角反射プリズム 19 及び 20 が配されている。このようにすることで、プローブ 2 が Z 軸方向に変位しても、測長部 10a とプリズム部 10b との間に、測長のための光路が常に形成されるようになっている。また、X レーザ測長器 11 は、フレーム 16 に固定された測長部 11a と、Z ステージ 8 に固定されたプリズム部 11b からなる。この X レーザ測長器 11 は、プローブ 2 の X 軸方向の位置を測長する。ここで、測長部 11a とプリズム部 11b との間には、直角反射プリズム 21 が配されている。このようにすることで、プローブ 2 が X 軸方向に変位しても、測長部 11a とプリズム部 11b との間に、測長のための光路が、常に形成されるようになっている。

【 0 0 3 0 】

上記 Z レーザ測長器 10 及び X レーザ測長器 11 はそれぞれ、例えば、図 2 に示すようなシングルパスの干渉計の構成を有したレーザ測長器である。

【 0 0 3 1 】

即ち、レーザ測長器 50 は、平面ミラー 51 の測長軸 50c 上の移動量を測長するものである。このレーザ測長器 50 は、測長部 50a とプリズム部 50b とからなる。

【 0 0 3 2 】

測長部 50a は、レーザ光源 52 と、レシーバ 53 と、偏光板 54 とからなる。ここで、レーザ光源 52 は、偏光方向が互いに直交する P 偏光と S 偏光からなる光束を射出する。レシーバ 53 は、平面ミラー 51 とプリズム部 50b からの戻り光束を受光する。偏光板 54 は、1 方向の直線偏光のみを透過する。

【 0 0 3 3 】

また、プリズム部 50b は、P 偏光を透過し S 偏光を反射する偏光ビームスプリッタ 55 と、/ 4 板 56, 57 と、平面ミラー 58 と、直角反射プリズム 59 からなる。

## 【 0 0 3 4 】

このような構成において、レーザ光源 5 2 からの光束は、偏光ビームスプリッタ 5 5 で P 偏光が透過し、S 偏光が反射する。偏光ビームスプリッタ 5 5 で反射した光束は測定光束となり、透過した光束は参照光束となる。

## 【 0 0 3 5 】

偏光ビームスプリッタ 5 5 で反射した測定光束は、 / 4 板 5 6 を透過して円偏光となり、平面ミラー 5 1 で反射する。平面ミラー 5 1 で反射した円偏光は、再度 / 4 板 5 6 を透過して P 偏光となり、今度は偏光ビームスプリッタ 5 5 を透過する。

## 【 0 0 3 6 】

一方、偏光ビームスプリッタ 5 5 を透過した参照光束は、 / 4 板 5 7 を透過して円偏光となり、平面ミラー 5 8 で反射する。平面ミラー 5 8 で反射した円偏光は、再度 / 4 板 5 7 を透過して S 偏光となり、今度は偏光ビームスプリッタ 5 5 で反射し、上記偏光ビームスプリッタ 5 5 を透過した測定光束と重なり合う。

10

## 【 0 0 3 7 】

こうして重なりあった測定光束と参照光束は、直角反射プリズム 5 9 で反射し、1 方向の直線偏光成分だけが偏光板 5 4 を透過して、干渉が生じる。干渉した測定光束と参照光束は、レシーバ 5 3 で受光される。レシーバ 5 3 では、測定光束と参照光束の位相差の変動が、干渉信号により検出される。レシーバ 5 3 で受光された干渉信号は、図示しない演算部に入力されて測長値に換算され、測長値を出力する。

## 【 0 0 3 8 】

20

ここで、参照光束の光路長は常に一定である。これに対して、測定光束の光路長は、平面ミラー 5 1 の変位に伴って変化する。よって、レーザ測長器 5 0 は、測長軸 5 0 c 上の平面ミラー 5 1 の移動量を測長する。

## 【 0 0 3 9 】

なお、Z レーザ測長器 1 0 及び X レーザ測長器 1 1 は、図 2 に示すシングルパスの干渉計の構成に限定されるものではない。基準ミラー 1 2 , 1 3 に対する移動量を測長できればよく、例えばダブルパスの干渉計でもよい。

## 【 0 0 4 0 】

また、Z ステージ 8 と X ステージ 9 は、例えば、静圧空気軸受やリニアガイドなどからなるガイドと、ボールねじとステッピングモータの組み合わせやリニアモータなどからなる駆動手段から構成されている。

30

## 【 0 0 4 1 】

ステージ 1 4 は、例えば、静圧空気軸受とモータから構成されている。

## 【 0 0 4 2 】

また、被測定物 2 2 は、非球面レンズである。しかし、被測定物 2 2 は非球面レンズに限定されるものではない。例えば、被測定物 2 2 が、球面レンズやレンズ金型などの回転軸対称形状ならば全く同様の効果が生じるし、自由曲面やその金型等でも 3 次元形状測定は可能である。

## 【 0 0 4 3 】

## [ 作用 ]

40

次に、この 3 次元形状測定機 1 の作用について説明する。

## 【 0 0 4 4 】

まず、被測定物 2 2 は、当該被測定物 2 2 の光軸と ステージ 1 4 の回転軸とを略一致させて、ステージ 1 4 に固定される。次に、X ステージ 9 を駆動して、プローブ 2 の中心軸と ステージ 1 4 の回転軸とを略一致させる。そして、Z ステージ 8 を駆動して、先端球 3 を被測定物 2 2 に接触させる。なお、これらの設定動作は、ステージ制御部 1 7 が行っても良いし、操作者が手作業で行っても良い。

## 【 0 0 4 5 】

ここで、ステージ制御部 1 7 が ステージ 1 4 を回転させると、被測定物 2 2 が回転する。そして、ステージ制御部 1 7 が更に所定量 X ステージ 9 を駆動すると、Z ステージ 8

50

と静圧空気軸受 4 とプローブ 2 とが一体に X 軸方向に移動する。このとき、被測定物 2 2 の回転もしくはプローブ 2 の X 軸方向の移動により、プローブ 2 の位置における被測定物 2 2 の形状 (Z 軸方向の高さ) が変化する。そして、被測定物 2 2 の形状に応じて板ばね 5 がたわんで、プローブ 2 が静圧空気軸受 4 に対して Z 軸方向に移動する。これと同時に、マイクロリニアスケール 7 のスケール部 7 a が読み取り部 7 b に対して変位し、読み取り部 7 b が変位を測長する。而して、ステージ制御部 1 7 が、このマイクロリニアスケール 7 の測長値に応じて、プローブ 2 の静圧空気軸受 4 に対する位置が常に一定 (即ち、板ばね 5 のたわみが一定) になるように、Z ステージ 8 を駆動する。このようにして、被測定物 2 2 の形状に沿ってプローブ 2 を走査する。

【 0 0 4 6 】

10

このとき、Z レーザ測長器 1 0 の測長部 1 0 a から射出した光束は、X ステージ 9 に固定された直角反射プリズム 1 9 で反射し、更に、プローブ 2 に固定された直角反射プリズム 2 0 で反射して、プリズム部 1 0 b に入射する。プリズム部 1 0 b に入射した光束は、当該プリズム部 1 0 b の内部で、上述したように参照光束と測定光束とに分かれる。プリズム部 1 0 b から射出した測定光束は、Z 基準ミラー 1 2 で反射し、再度、プリズム部 1 0 b に入射する。そして、プリズム部 1 0 b の内部で参照光束と測定光束とが重ね合わされて、当該プリズム部 1 0 b から射出する。プリズム部 1 0 b から射出した光束は、直角反射プリズム 2 0 で反射し、更に、直角反射プリズム 1 9 で反射して、測長部 1 0 a に入射する。

【 0 0 4 7 】

20

測長部 1 0 a と直角反射プリズム 1 9 との間の光路長は、X ステージ 9 の移動に伴って変化する。しかしながら、測定光束と参照光束の共通の光路であるので、この光路長の変化は、Z レーザ測長器 1 0 では検出されない。また、直角反射プリズム 1 9 と直角反射プリズム 2 0 との間の光路長は、Z ステージ 8 の移動とプローブ 2 の静圧空気軸受 4 に対する変位に伴って変化する。しかしながら、測定光束と参照光束の共通の光路であるので、この光路長の変化は、Z レーザ測長器 1 0 では検出されない。更に、直角反射プリズム 2 0 とプリズム部 1 0 b との間の光路長は、常に一定である。これに対して、プリズム部 1 0 b と Z 基準ミラー 1 2 との間は、測定光束だけの光路である。この光路長は、Z ステージ 8 の移動とプローブ 2 の静圧空気軸受 4 に対する変位とに伴って変化する。この光路長の変化が、Z レーザ測長器 1 0 で検出される。このように、Z レーザ測長器 1 0 は、基準ミラー 1 2 に対するプローブ 2 の Z 軸方向の移動量を測長する。

30

【 0 0 4 8 】

一方、X レーザ測長器 1 1 の測長部 1 1 a から射出した光束は、X ステージ 9 に固定された直角反射プリズム 2 1 で反射し、プリズム部 1 1 b に入射する。プリズム部 1 1 b に入射した光束は、当該プリズム部 1 1 b の内部で参照光束と測定光束とに分かれる。プリズム部 1 1 b から射出した測定光束は、X 基準ミラー 1 3 で反射し、再度、プリズム部 1 1 b に入射する。そして、プリズム部 1 1 b の内部で参照光束と測定光束とが重ね合わされて、当該プリズム部 1 1 b から射出する。プリズム部 1 1 b から射出した光束は、直角反射プリズム 2 1 で反射して、測長部 1 1 a に入射する。

【 0 0 4 9 】

40

測長部 1 1 a と直角反射プリズム 2 1 との間の光路長は、X ステージ 9 の移動に伴って変化する。しかしながら、測定光束と参照光束の共通の光路であるので、この光路長の変化は、X レーザ測長器 1 1 では検出されない。また、直角反射プリズム 2 1 とプリズム部 1 1 b との間の光路長は、Z ステージ 8 の移動に伴って変化する。しかしながら、測定光束と参照光束の共通の光路であるので、この光路長の変化は、X レーザ測長器 1 1 では検出されない。これに対して、プリズム部 1 1 b と X 基準ミラー 1 3 との間は、測定光束だけの光路である。この光路長は、X ステージ 9 の移動に伴って変化し、光路長の変化が X レーザ測長器 1 1 で検出される。このように、X レーザ測長器 1 1 は、X 基準ミラー 1 3 に対するプローブ 2 の X 軸方向の移動量を測長する。

【 0 0 5 0 】

50

また、ロータリエンコーダ 15 が、被測定物 22 の回転角を測定する。

【0051】

そして、パーソナルコンピュータ 18 は、それら Z レーザ測長器 10 と X レーザ測長器 11 と ロータリエンコーダ 15 の測長値を、測定データとして、一定のサンプリング時間で取り込む。

【0052】

ここで、X レーザ測長器 11 の測長値に基づく測定データであるプローブ 2 と ステージ 14 の回転軸間の X 軸方向の距離が  $L$  [mm]、ロータリエンコーダ 15 の測長値に基づく測定データである ステージ 14 の回転数が  $R$  [round/sec] のとき、線速度  $V_m$  は、

$$V_m = 2 L \times \pi \times R \text{ [mm/sec]} \quad \dots (1)$$

となる。本実施形態においては、ステージ制御部 17 は、線速度の目標値が  $S_m$ 、線速度の許容範囲が  $D_m$  のとき、

$$S_m - D_m < V_m < S_m + D_m \quad \dots (2)$$

を満たすように、ステージ 14 の回転数  $R$  を変更するようにしている。

【0053】

即ち、プローブ 2 を被測定物 22 の形状に沿って走査しながら、ステージ制御部 17 が ステージ 14 を回転させる。次に、ステージ制御部 17 が X ステージ 9 を駆動しプローブ 2 を移動させて、X ステージ 9 を停止する。そして、パーソナルコンピュータ 18 が測定データの取り込みを開始し、ステージ 14 が 1 回転したら、測定データの取り込みを停止する。再度、ステージ制御部 17 が X ステージ 9 を駆動してプローブ 2 を移動させて、X ステージ 9 を停止する。この動作を繰り返し行う。

【0054】

ステージ制御部 17 は、プローブ 2 を移動させる前に、プローブ 2 の移動後の位置と ステージ 14 の回転数とから、移動後の線速度  $V_m$  を上記 (1) 式により演算する。そして、ステージ制御部 17 は、演算した移動後の線速度  $V_m$  が、規定された値よりも速く (つまり、 $V_m > S_m + D_m$ ) なるときには、ステージ 14 の回転数を、 $V_m > S_m - D_m$  となる最小の回転数  $R$  へ変更し、回転速度を遅くする。

【0055】

この制御を繰り返し行うことにより、図 1 (B) に示すような、同心円状の測定データが得られる。

【0056】

なお、線速度  $V_m$  の目標値  $S_m$  と許容範囲  $D_m$  とは、例えば、以下の方法で決定する。

【0057】

まず、被測定物 22 を十分に遅い線速度で走査し、3 次元形状の測定をする。次に、適当に速い線速度の目標値  $S_m$  と許容範囲  $D_m$  とを設定し、3 次元形状の測定を行う。こうして得られた 2 つの測定値に差が無ければ、より速い線速度の目標値  $S_m$  と許容範囲  $D_m$  とを設定して、再度、3 次元形状の測定を行う。逆に、2 つの測定値に差がある場合は、測定誤差が生じているので、より遅い線速度の目標値  $S_m$  と許容範囲  $D_m$  とを設定して、再度 3 次元形状の測定を行う。この方法により、被測定物 22 に関する最適な線速度の目標値  $S_m$  と許容範囲  $D_m$  とを決定できる。

【0058】

最適な線速度は、主には、プローブ 2 の追従性能によって決まる。プローブ 2 の追従性能としては、測定機の構成や制御方法で決定する上記の実験的な手法により、プローブ 2 の概略の追従性能、即ち、測定誤差が生じない線速度の目標値と許容範囲を求めることができる。よって、通常の測定時は、予め求めた値を用いて、測定を行えばよい。

【0059】

しかしながら、最適な線速度は、厳密には、被測定物の形状や面粗さ等の影響も受ける。一方、例えば、同じ仕様 (形状や製法等) の被測定物を大量に測定するなどの理由により、より最適な測定条件を決めたい場合がある。そこで、そのような場合には、上記の実

10

20

30

40

50

験的な手法で、その仕様の被測定物を測定して、当該仕様の被測定物に対する線速度の目標値と許容範囲とを求めることにより、よりその被測定物に最適な測定を行える。

【 0 0 6 0 】

また、過去に測定した被測定物の仕様と、その被測定物の仕様に対する線速度の目標値と許容範囲とをデータベース化しておいてもよい。その場合、新しい仕様の被測定物を測定する際には、過去の被測定物のデータベースから、製法が同じで形状に近いものの線速度の目標値と許容範囲とを、自動的に選択するようにしてもよい。

【 0 0 6 1 】

このようにして、被測定物 2 2 の 3 次元形状が測定できる。

【 0 0 6 2 】

10

[ 効果 ]

本実施形態の効果を説明するために、図 1 ( B ) とは ステージ 1 4 の制御が異なる場合の測定データを図 3 及び図 4 に示す。なお、各図中の  $P_m$  は、被測定物 2 2 の円周方向の測定データの間隔である。測定データのサンプリング時間が一定であるので、 $P_m$  は線速度の大きさに相当する。

【 0 0 6 3 】

図 3 は、本実施形態の測定データである図 1 ( B ) における、被測定物 2 2 の中心部を測定している際の ステージ 1 4 の回転数と同じで、かつ ステージ 1 4 の回転数が常に一定の場合の測定データを示している。

【 0 0 6 4 】

20

また、図 4 は、本実施形態の測定データである図 1 ( B ) における、被測定物 2 2 の周辺部を測定している際の ステージ 1 4 の回転数と同じで、かつ ステージ 1 4 の回転数が常に一定の場合の測定データを示している。

【 0 0 6 5 】

なお、被測定物 2 2 の中心部とは、被測定物 2 2 の光軸に近い部分を示し、周辺部とは、被測定物 2 2 の外周に近い部分を示す。

【 0 0 6 6 】

まず、図 1 ( B ) に示す本実施形態の測定データと図 3 の測定データとを比較する。図 3 の場合は、本実施形態に対して、中心部においては、線速度が同等 ( $P_{m3a} = P_{m1a}$ ) であるので、測定精度も同等である。一方、周辺部においては、線速度が本実施形態よりも速い ( $P_{m3b} > P_{m1b}$ )。ここで、図 3 の場合は、周辺部における線速度が速すぎるため、プローブ 2 が被測定物 2 2 の面形状に追従できなくなり、測定精度が低下する。よって、図 3 の場合は本実施の形態に対して、 ステージ 1 4 の回転数が高い分だけ測定時間は短い、周辺部の測定精度が低下してしまう。従って、本実施形態は、図 3 の場合と比較すると、周辺部での測定精度の低下を低減でき、高精度な 3 次元形状測定が実現できる。

30

【 0 0 6 7 】

ここで、図 3 において、周辺部でプローブ 2 が追従できない問題を回避するには、 ステージ 1 4 の回転数を下げればよい。図 4 は、 ステージ 1 4 の回転数を下げた場合の測定データである。

40

【 0 0 6 8 】

次に、図 1 ( B ) に示す本実施形態の測定データと図 4 の測定データを比較する。図 4 の場合は、本実施形態に対して、周辺部においては、線速度が同等 ( $P_{m4b} = P_{m1b}$ ) であるので、測定精度も同等である。一方、中心部においては、線速度が本実施形態よりも遅い ( $P_{m4a} < P_{m1a}$ )。しかし、本実施形態の中心部の線速度 ( $P_{m1a}$ ) は、前述の許容範囲内である。従って、本実施形態の中心部における線速度は十分に遅いので、プローブ 2 が追従できずに測定精度が低下する問題は生じない。よって、実質的に、中心部においても、測定精度は同等である。また、図 4 の場合は、本実施の形態に対して、 ステージ 1 4 の回転数が低い分だけ測定時間が長くなってしまふ。従って、本実施形態は、図 4 の場合と比較すると、測定精度が同等のままで、測定時間を短縮する 3 次元形

50

状測定を実現できる。

【 0 0 6 9 】

以上のように、本実施形態では、線速度を一定範囲とする制御を行うことにより、被測定物 2 2 の中心部と周辺部の両方で、プローブ 2 が被測定物 2 2 に追従できる限界に近い線速度で、走査することができる。

【 0 0 7 0 】

ゆえに、この実施形態によれば、周辺部における測定誤差を低減し、かつ極力測定時間を短縮する 3 次元形状の測定が実現できる。

【 0 0 7 1 】

[ 変形例 ]

なお、本第 1 実施形態の各構成は、当然、各種の変形、変更が可能である。

【 0 0 7 2 】

例えば、本実施形態では、プローブ 2 と被測定物 2 2 の光軸とを略一致させてから測定を行ったが、被測定物 2 2 全体の測定データが取得できればよいので、被測定物 2 2 の周辺部から測定を開始してもよいし、被測定物 2 2 の任意の部分から測定を行ってもよい。

【 0 0 7 3 】

また、本実施形態では、ステージ制御部 1 7 は、1 回だけ ステージ 1 4 の回転数を変更した例を示したが、回転数の変更は何回行ってもよい。また、例えば  $Dm = 0$  として、常に線速度を一定とするように、制御を行ってもよい。

【 0 0 7 4 】

なお、本実施形態では、ステージ 1 4 の回転数を下げたが、必ずしも回転数を下げる必要はなく、プローブ 2 と ステージ 1 4 の回転軸間の X 軸方向の距離に応じて、回転数を変更すればよい。例えば、被測定物 2 2 の周辺部から中心部に向けてプローブ 2 を移動させた場合は、プローブ 2 と ステージ 1 4 の回転軸間の X 軸方向の距離が短くなるので、回転数を上げる。

【 0 0 7 5 】

また、静圧空気軸受 4 は、プローブ 2 を Z 軸方向に移動可能に保持できればよいので、例えば、磁気軸受、すべり軸受、等の各種ガイドに置き換えが可能である。

【 0 0 7 6 】

同様に、マイクロリニアスケール 7 は、プローブ 2 の静圧空気軸受に対する変位を検出できればよいので、レーザ測長器等の光学式変位センサや静電容量センサ、等の各種変位計に置き換えが可能である。

【 0 0 7 7 】

[ 第 2 実施形態 ]

次に、本発明の第 2 実施の形態について説明する。

【 0 0 7 8 】

[ 構成 ]

本第 2 実施形態の構成も、図 1 ( A ) に示した、第 1 実施形態に係る 3 次元形状測定方法の適用された 3 次元形状測定機 1 と同じ構成である。

【 0 0 7 9 】

[ 作用 ]

次に、本第 2 実施形態における 3 次元形状測定機 1 の作用について説明する。

【 0 0 8 0 】

本実施形態は、上記第 1 実施形態とは、測定データを取り込む際の、ステージ 1 4 と X ステージ 9 の制御が異なるのみで、他の作用は同じである。

【 0 0 8 1 】

即ち、プローブ 2 と ステージ 1 4 の回転軸との間の X 軸方向の距離が  $L$  [ mm ]、ステージ 1 4 の回転数が  $R$  [ r o u n d / s e c ] のとき、線速度  $Vm$  は、上記 ( 1 ) 式のように  $Vm = 2 L \times R$  [ mm / s e c ] となる。ステージ制御部 1 7 は、線速度の目標値が  $Sm$ 、線速度の許容範囲が  $Dm$  のとき、上記 ( 2 ) 式の条件、つまり  $Sm - Dm$

10

20

30

40

50

$V_m < S_m + D_m$ を満たすように、 $R$ を変更するのは、上記第1実施形態と同様である。

【0082】

$X$ ステージ9の移動速度が $V_x$ のとき、半径方向（ $X$ 軸方向）の測定データの間隔 $P_x$ は、

$$P_x = V_x / R \text{ [mm]} \quad \dots (3)$$

である。本第2実施形態では、ステージ制御部17は、さらに、半径方向の測定データの間隔の目標値が $S_x$ 、半径方向の測定データの間の許容範囲が $D_x$ のとき、

$$S_x - D_x < P_x < S_x + D_x \quad \dots (4)$$

を満たすように、 $X$ ステージ9の移動速度 $V_x$ を変更する。

10

【0083】

即ち、プローブ2を被測定物22の形状に沿って走査しながら、ステージ制御部17がステージ14を回転させる。同時に、ステージ制御部17が $X$ ステージ9を駆動しながら、測定データをパーソナルコンピュータ18に取り込む。

【0084】

ステージ制御部17は、プローブ2を移動させながら、プローブ2の位置とステージ14の回転数とから、線速度 $V_m$ と、半径方向の測定データの間の $P_x$ とを演算する。そして、ステージ制御部17は、演算した線速度 $V_m$ が、規定された値よりも速く（つまり、 $V_m > S_m + D_m$ ）なるときには、ステージ14の回転数を、 $V_m > S_m - D_m$ となる回転数 $R$ へと変更し、回転速度を遅くする。このような動作は、上記第1実施形態と同様である。

20

【0085】

それと同様に、ステージ制御部17は、演算した上記半径方向の測定データの間の $P_x$ が、規定された値よりも大きく（つまり、 $P_x > S_x + D_x$ ）なるときには、 $X$ ステージ9の移動速度を、 $P_x > S_x - D_x$ となる移動速度 $V_x$ へと変更し、移動速度を遅くする。

【0086】

以上の動作により、図5に示すような渦巻状の測定データが得られる。

【0087】

なお、半径方向の測定データの間の $P_x$ と許容範囲 $D_x$ とは、例えば、以下の方法で決定する。まず、被測定物22を十分に小さい半径方向の測定データの間の $P_x$ で走査し、3次元形状の測定を行う。次に、適当に大きい半径方向の測定データの間の $P_x$ と許容範囲 $D_x$ とを設定し、3次元形状の測定を行う。こうして得られた2つの測定値に差が無ければ、より大きい半径方向の測定データの間の $P_x$ と許容範囲 $D_x$ とを設定して、再度、3次元形状の測定を行う。逆に、2つの測定値に差がある（即ち、大きい半径方向の測定データの間の $P_x$ では、測定されていない形状が存在する）場合は、測定誤差が生じている。従って、このような場合には、より小さい半径方向の測定データの間の $P_x$ と許容範囲 $D_x$ とを設定して、再度、3次元形状の測定をする。このような方法により、被測定物22に関する最適な半径方向の測定データの間の $P_x$ と許容範囲 $D_x$ とを決定できる。

30

【0088】

また、被測定物22とあまり設計形状や加工条件が変わらない被測定物を測定する際には、最適な半径方向の測定データの間の $P_x$ と許容範囲 $D_x$ も大きくは変わらないと考えられる。よって、そのような被測定物を策定する際には、被測定物22と同じ最適な半径方向の測定データの間の $P_x$ と許容範囲 $D_x$ とを用いることもできる。

40

【0089】

このようにして、被測定物22の3次元形状が測定できる。

【0090】

[効果]

上記のような本第2実施形態によれば、以下の効果がある。

【0091】

50

上記第 1 実施形態における効果の説明と同様に、本第 2 実施形態の効果の説明のために、図 6 乃至図 8 に、図 5 とは ステージ 1 4 と X ステージ 9 の制御が異なる場合の測定データを示す。なお、各図中の  $P_x$  は被測定物 2 2 の周辺部の半径方向 (X 軸方向) の測定データの間隔である。

【 0 0 9 2 】

即ち、図 6 は、本実施形態の測定データである図 5 における、被測定物 2 2 の中心部を測定している際の ステージ 1 4 の回転数及び X ステージ 9 の移動速度と同じで、かつ ステージ 1 4 の回転数と X ステージ 9 の移動速度が常に一定の場合の測定データを示している。

【 0 0 9 3 】

また、図 7 は、本実施形態の測定データである図 5 における、被測定物 2 2 の周辺部を測定している際の ステージ 1 4 の回転数及び X ステージ 9 の移動速度と同じで、かつ ステージ 1 4 の回転数と X ステージ 9 の移動速度が常に一定の場合の測定データを示している。

【 0 0 9 4 】

そして、図 8 は、本実施形態の測定データである図 5 における、被測定物 2 2 の中心部を測定している際の X ステージ 9 の移動速度と同じで、かつ X ステージ 9 の移動速度が常に一定であり、 ステージ 1 4 の回転数を本実施形態と同じように制御した場合の測定データを示している。

【 0 0 9 5 】

まず、図 5 に示す本実施形態の測定データと図 6 の測定データとを比較する。図 6 の場合は、本実施形態に対して、中心部においては、線速度が同等 ( $P_{m6a} = P_{m5a}$ ) である。また、被測定物 2 2 の半径方向の測定データの間隔も同等 ( $P_{x6a} = P_{x5a}$ ) である。従って、測定精度も同等である。一方、周辺部においては、線速度が本実施形態よりも速い ( $P_{m6b} > P_{m5b}$ )。また、周辺部においては、被測定物 2 2 の半径方向の測定データの間隔は同等 ( $P_{x6b} = P_{x5b}$ ) である。ここで、図 6 の場合は、周辺部において、線速度が速すぎるため、プローブ 2 が被測定物 2 2 の面形状に追従できなくなり、測定精度が低下する。よって、図 6 の場合は、本実施形態に対して、周辺部における X ステージ 9 の移動速度が速い分だけ測定時間は短い、周辺部において測定精度が低下してしまう。従って、本実施形態は、図 6 の場合と比較すると、周辺部での測定精度の低下を低減でき、高精度な 3 次元形状測定が実現できる。

【 0 0 9 6 】

次に、図 5 に示す本実施形態の測定データと図 7 の測定データとを比較する。図 7 の場合は、本実施形態に対して、周辺部においては、線速度が同等 ( $P_{m7b} = P_{m5b}$ ) である。また、被測定物 2 2 の半径方向の測定データの間隔も同等 ( $P_{x7b} = P_{x5b}$ ) である。従って、周辺部の測定精度は同等である。一方、中心部においては、線速度が本実施形態よりも遅い ( $P_{m7a} < P_{m5a}$ )。また、半径方向の測定データの間隔は同等 ( $P_{x7a} = P_{x5a}$ ) である。しかし、本実施形態の中心部の線速度 ( $P_{m5a}$ ) は前述の許容範囲内である。従って、本実施形態の中心部における線速度は十分に遅いので、プローブ 2 が追従できずに測定精度が低下する問題は生じない。よって、実質的に、中心部において、測定精度は同等である。また、図 7 の場合は、本実施形態に対して、中心部における X ステージ 9 の移動速度が遅いので、測定時間は長くなってしまふ。従って、本実施形態は、図 7 の場合と比較すると、測定精度が同等で、測定時間を短縮する 3 次元形状測定を実現できる。

【 0 0 9 7 】

次に、図 5 に示す本実施形態の測定データと図 8 の測定データとを比較する。図 8 の場合は、本実施形態に対して、中心部においては、線速度が同等 ( $P_{m8a} = P_{m5a}$ ) であり、半径方向の測定データの間隔も同等 ( $P_{x8a} = P_{x5a}$ ) である。よって、中

10

20

30

40

50

心部の測定精度も同等である。一方、周辺部においては、線速度は同等 ( $Pm8b = Pm5b$ ) であるが、半径方向の測定データの間隔は大きい ( $Px8b > Px5b$ )。ここで、一般的に、測定データの間隔がある程度大きくなると、面の形状を表すことができなくなり、測定精度が低下する。従って、図8の場合、周辺部におけるXステージ9の移動速度が速い分だけ測定時間は短い、半径方向の測定データの間の隔が大きすぎるため、測定精度が低下してしまう。従って、本実施形態は、図8の場合と比較すると、周辺部の測定精度の低下を低減でき、高精度な3次元形状測定が実現できる。

#### 【0098】

以上のように、本実施形態では、線速度を一定範囲とする制御を行うことにより、被測定物22の中心部と周辺部の両方で、プローブ2が被測定物22に追従できる限界に近い線速度で、走査することができる。さらに、半径方向の測定データの間の隔を一定範囲とする制御を行うことにより、測定データの間の隔が粗くなることで生じる測定誤差を低減できる。

#### 【0099】

ゆえに、この実施形態によれば、周辺部における測定誤差を低減し、かつ極力測定時間を短縮する3次元形状の測定が実現できる。

#### 【0100】

##### [変形例]

なお、本第2実施形態の各構成は、当然、各種の変形、変更が可能である。

#### 【0101】

例えば、本実施形態では、プローブ2と被測定物22の光軸を略一致させてから測定を行ったが、被測定物22全体の測定データが取得できればよいので、被測定物22のどの部分から測定を行ってもよい。

#### 【0102】

また、本実施形態では、ステージ14の回転数とXステージ9の移動速度を1回だけ変更した例を示したが、変更は何回行ってもよい。また、ステージ14の回転数とXステージ9の移動速度の変更は必ずしも間欠的に行う必要は無い。例えば、 $Dm = Ds = 0$ として、常に線速度と半径方向の測定データの間の隔が一定となるように、実質的に無段階で回転数と移動速度の変更をする制御を行ってもよい。

#### 【0103】

なお、本実施形態では、ステージ制御部17は、ステージ14の回転数を下げ、Xステージ9の移動速度を遅く変更した。しかしながら、プローブ2とステージ14の回転軸間のX方向の距離に応じて、ステージ14の回転数を変更すればよいのは、第1実施の形態と同様である。また、ステージ14の回転数に応じて、Xステージ9の移動速度を変更すればよい。例えば、被測定物22の周辺部から中心部に向けてプローブ2を移動する場合は、プローブ2とステージ14の回転軸間のX方向の距離が短くなるので、ステージ14の回転数を高くする。ステージ14の回転数を高くする場合は、Xステージ9の移動速度を速くする。

#### 【0104】

また、本実施形態では、ステージ14の回転数とXステージ9の移動速度とを同時に変更したが、必ずしも同時に変更する必要はなく、ステージ14の回転数の変更とは別のタイミングでXステージ9の移動速度を変化させてもよい。

#### 【0105】

ステージ14の回転数やXステージ9の移動速度を変更する際には、速度変化により微小な振動が生じ、測定値に測定誤差が生じる場合がある。この測定誤差が極端に大きい場合は、作業者が速度変化時の振動による測定誤差と判断できるので、測定完了後にパーソナルコンピュータ18のソフトウェア上でデータを削除することができる。しかし、速度変化による振動が極めて微小な場合、測定誤差も微小になる。そのため、作業者が、それが実際の被測定物22の形状なのか、速度変化時の振動による測定誤差なのかを判別できない場合がある。この課題を解決するため、ステージ14の回転数やXステージ9の

10

20

30

40

50

移動速度を変更する指令信号を測長値とともにパーソナルコンピュータ 18 に取り込む。そして、測定完了後に、速度変化のタイミングの前後の一定範囲の測定データをソフトウェアで削除する。これにより、速度変化時の振動による測定誤差を低減できるので、より高精度な 3 次元形状測定ができる。

【0106】

なお、測定データを削除する範囲は、例えば以下の手順で決定する。まず、高精度に加工され、ほぼ設計形状どおりの球面とみなせる基準球を被測定物とする。形状測定時に速度変化が有る条件で、この基準球の 3 次元形状の測定を行う。そして、速度変化を行った部分の測定データと、基準球の設計形状との偏差を算出する。ここで、速度変化の前後における設計形状との偏差が、振動により生じた測定誤差である。よって、速度変化のタイミングの前後で、設計形状との差が生じている範囲を記録し、これを測定データを削除する範囲とし、パーソナルコンピュータ 18 に記憶すればよい。

10

【0107】

以上、実施形態に基づいて本発明を説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲内で種々の変形や応用が可能なことは勿論である。

【0108】

(付記)

前記の具体的実施形態から、以下のような構成の発明を抽出することができる。

【0109】

(1) 回転機構により被測定物を 方向に回転させ、回転角度 を測定する工程と、  
上記被測定物の形状に沿って移動するプローブを、上記回転機構の回転軸と略直交する X 方向に移動し、所定の X 方向の位置で保持しながら上記プローブの位置座標を測定する工程と、

20

上記回転機構の回転数を変更する工程と、

を有し、

該回転機構の回転数を変更する工程は、上記回転機構の回転軸と上記プローブとの間の X 方向の距離が長いほど上記回転機構の回転数を下げる、

ことを特徴とする 3 次元形状測定方法。

【0110】

(対応する実施形態)

この(1)に記載の 3 次元形状測定方法は、第 1 実施形態が対応する。

30

【0111】

(作用効果)

この(1)に記載の 3 次元形状測定方法によれば、回転機構の回転軸とプローブとの間の X 方向の距離が長いほど回転機構の回転数を下げるように制御することによって、被測定物の中心部と周辺部のプローブの線速度の差が小さくなる。これにより、周辺部で線速度が速くなることにより、プローブが被測定物の微小な凹凸に追従できなくなることによる測定誤差が低減できる。また、中心部と周辺部の両方で、プローブが被測定物に追従できる限界に近い線速度で、走査することができるので、測定精度を下げずに、極力、測定時間を短縮できる。

40

【0112】

従って、この(1)に記載の 3 次元形状測定方法によれば、測定誤差を低減し、かつ極力測定時間が短い、3 次元形状測定が実現できる。

【0113】

(2) 回転機構により被測定物を 方向に回転させ、回転角度 を測定する工程と、  
上記回転機構により回転する上記被測定物の形状に沿って移動するプローブを、上記回転機構の回転軸と略直交する X 方向に移動し、上記プローブの位置座標を測定する工程と

、

上記回転機構の回転数及び上記プローブの X 方向の移動速度を変更する工程と、

を有し、

50

該回転数及び移動速度を変更する工程は、上記回転機構の回転軸と上記プローブとの間のX方向の距離が長いほど、上記回転機構の回転数を下げると共に、上記プローブのX方向の移動速度を遅くする、

ことを特徴とする3次元形状測定方法。

【0114】

(対応する実施形態)

この(2)に記載の3次元形状測定方法に関する実施形態は、第2実施形態が対応する。

【0115】

(作用効果)

この(2)に記載の3次元形状測定方法は、回転機構の回転軸とプローブとの間のX方向の距離が長いほど回転機構の回転数を下げるように制御することによって、被測定物の中心部と周辺部のプローブの線速度の差が小さくなる。これにより、周辺部で線速度が速くなることにより、プローブが被測定物の微小な凹凸に追従できなくなることによる測定誤差が低減できる。また、中心部と周辺部の両方で、プローブが被測定物に追従できる限界に近い線速度で、走査することができるので、測定精度を下げずに、極力、測定時間を短縮できる。

【0116】

また、回転機構の回転軸とプローブとの間のX方向の距離が長いほど、つまり回転機構の回転数が低いほど、プローブのX方向の移動速度が遅くなるように制御することによって、被測定物の中心部と周辺部の半径方向の測定データの間の差が小さくなる。これにより、測定データの間の差が粗くなることで生じる測定誤差を低減できる。

【0117】

従って、この(2)に記載の3次元形状測定方法によれば、測定誤差を低減し、かつ極力測定時間が短い、3次元形状測定が実現できる。

【0118】

(3) 上記回転機構の回転角度 及び上記プローブの位置座標からなる上記被測定物の測定データを処理する工程を更に有し、

該測定データを処理する工程は、上記回転機構の回転数もしくは上記プローブのX方向の移動速度を変更したタイミングの前後の測定データを規定した範囲で削除する、

ことを特徴とする(2)に記載の3次元形状測定方法。

【0119】

(対応する実施形態)

この(3)に記載の3次元形状測定方法に関する実施形態は、第2実施形態が対応する。

【0120】

(作用効果)

この(3)に記載の3次元形状測定方法は、回転機構の回転数もしくはプローブのX方向の移動速度を変えたタイミングの前後の測定データを規定した範囲で削除することにより、速度変化により生じる微小振動による測定誤差を低減できる。

【0121】

従って、この(3)に記載の3次元形状測定方法によれば、上記(2)の効果に加えて、さらに測定誤差を低減する3次元形状の測定が実現できる。

【0122】

(4) 回転機構により被測定物を 方向に回転させ、回転角度 を測定する回転角度測定手段と、

上記被測定物の形状に沿って移動するプローブを、上記回転機構の回転軸と略直交するX方向に移動し、所定のX方向の位置で保持しながら上記プローブの位置座標を測定するプローブ位置座標測定手段と、

上記回転機構の回転数を変更する回転数変更手段と、

10

20

30

40

50

を有し、

上記回転数変更手段は、上記回転機構の回転軸と上記プローブとの間のX方向の距離が長いほど上記回転機構の回転数を下げる、

ことを特徴とする3次元形状測定装置。

【0123】

(対応する実施形態)

この(4)に記載の3次元形状測定装置は、第1実施形態が対応する。

【0124】

(作用効果)

この(4)に記載の3次元形状測定装置によれば、回転機構の回転軸とプローブとの間のX方向の距離が長いほど回転機構の回転数を下げるように制御することによって、被測定物の中心部と周辺部のプローブの線速度の差が小さくなる。これにより、周辺部で線速度が速くなることにより、プローブが被測定物の微小な凹凸に追従できなくなることによる測定誤差が低減できる。また、中心部と周辺部の両方で、プローブが被測定物に追従できる限界に近い線速度で、走査することができるので、測定精度を下げずに、極力、測定時間を短縮できる。

【0125】

従って、この(4)に記載の3次元形状測定装置によれば、測定誤差を低減し、かつ極力測定時間が短い、3次元形状測定が実現できる。

【0126】

(5) 回転機構により被測定物を 方向に回転させ、回転角度 を測定する回転角度測定手段と、

上記回転機構により回転する上記被測定物の形状に沿って移動するプローブを、上記回転機構の回転軸と略直交するX方向に移動し、上記プローブの位置座標を測定するプローブ位置座標測定手段と、

上記回転機構の回転数及び上記プローブのX方向の移動速度を変更する変更手段と、  
を有し、

上記変更手段は、上記回転機構の回転軸と上記プローブとの間のX方向の距離が長いほど、上記回転機構の回転数を下げると共に、上記プローブのX方向の移動速度を遅くする、

ことを特徴とする3次元形状測定装置。

【0127】

(対応する実施形態)

この(5)に記載の3次元形状測定装置に関する実施形態は、第2実施形態が対応する。

【0128】

(作用効果)

この(5)に記載の3次元形状測定装置は、回転機構の回転軸とプローブとの間のX方向の距離が長いほど回転機構の回転数を下げるように制御することによって、被測定物の中心部と周辺部のプローブの線速度の差が小さくなる。これにより、周辺部で線速度が速くなることにより、プローブが被測定物の微小な凹凸に追従できなくなることによる測定誤差が低減できる。また、中心部と周辺部の両方で、プローブが被測定物に追従できる限界に近い線速度で、走査することができるので、測定精度を下げずに、極力、測定時間を短縮できる。

【0129】

また、回転機構の回転軸とプローブとの間のX方向の距離が長いほど、つまり回転機構の回転数が低いほど、プローブのX方向の移動速度が遅くなるように制御することによって、被測定物の中心部と周辺部の半径方向の測定データの間隔の差が小さくなる。これにより、測定データの間隔が粗くなることで生じる測定誤差を低減できる。

【0130】

従って、この(5)に記載の3次元形状測定装置によれば、測定誤差を低減し、かつ極力測定時間が短い、3次元形状測定が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0131】

【図1】(A)は本発明の第1実施形態に係る3次元形状測定方法の適用された3次元形状測定機の構成を示す図であり、(B)は(A)の3次元形状測定機によって取得された測定データを示す図である。

【図2】Zレーザ測長器及びXレーザ測長器としてのレーザ測長器の構成を示す図である。

【図3】図1(B)における被測定物の中心部を測定している際のステージの回転数と同じで且つステージの回転数が常に一定の場合の測定データを示す図である。

10

【図4】図1(B)における被測定物の周辺部を測定している際のステージの回転数と同じで且つステージの回転数が常に一定の場合の測定データを示す図である。

【図5】本発明の第2実施形態に係る3次元形状測定方法の適用された3次元形状測定機によって取得された測定データを示す図である。

【図6】図5における被測定物の中心部を測定している際のステージの回転数及びXステージの移動速度と同じで且つステージの回転数とXステージの移動速度が常に一定の場合の測定データを示す図である。

【図7】図5における被測定物の周辺部を測定している際のステージの回転数及びXステージの移動速度と同じで且つステージの回転数とXステージの移動速度が常に一定の場合の測定データを示す図である。

20

【図8】図5における被測定物の中心部を測定している際のXステージの移動速度と同じで且つXステージの移動速度が常に一定であり、ステージの回転数を図5の場合と同様に制御した場合の測定データを示す図である。

【図9】R 走査方式の3次元形状測定機の基本構成を概略的に示す図である。

【図10】図9の3次元形状測定機によって取得された測定データを示す図である。

【図11】別の測定データを取得方法により図9の3次元形状測定機によって取得された測定データを示す図である。

【図12】ステージの回転数を下げた場合の測定データを示す図である。

【符号の説明】

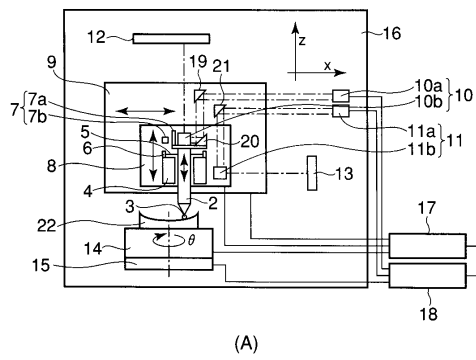
30

【0132】

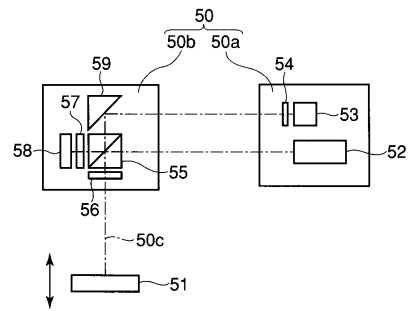
1...3次元形状測定機、2...プローブ、3...先端球、4...静圧空気軸受、5...板ばね、6...板ばね保持部、7...マイクロリニアスケール、7a...スケール部、7b...読み取り部、8...Zステージ、9...Xステージ、10...Zレーザ測長器、10a, 11a, 50a...測長部、10b, 11b, 50b...プリズム部、11...Xレーザ測長器、12...Z基準ミラー、13...X基準ミラー、14...ステージ、15...ロータリエンコーダ、16...フレーム、17...ステージ制御部、18...パーソナルコンピュータ、19, 20, 21, 59...直角反射プリズム、22...被測定物、50...レーザ測長器、50c...測長軸、51, 58...平面ミラー、52...レーザ光源、53...レシーバ、54...偏光板、55...偏光ビームスプリッタ、56, 57... / 4板。

40

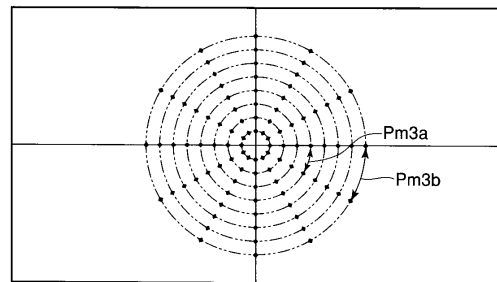
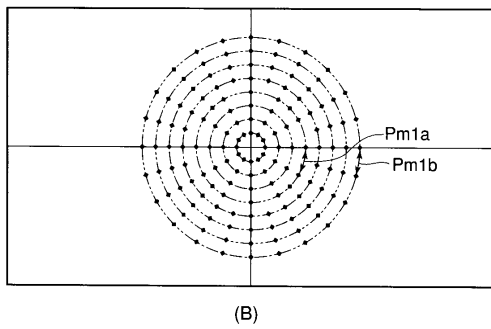
【図 1】



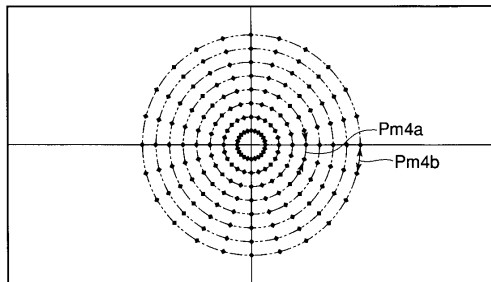
【図 2】



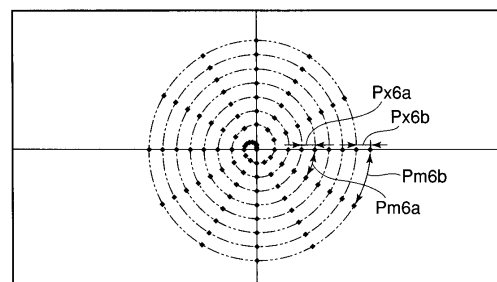
【図 3】



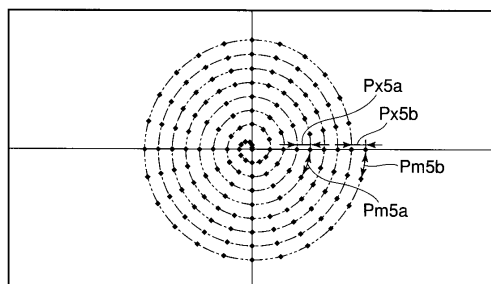
【図 4】



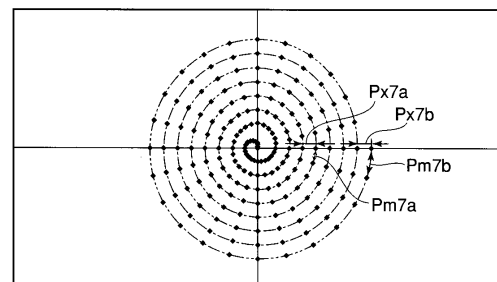
【図 6】



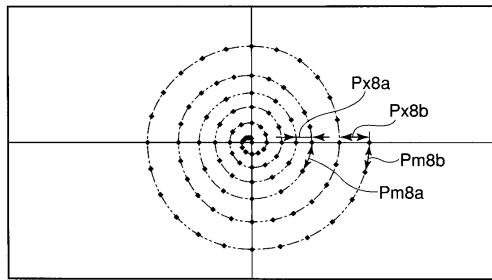
【図 5】



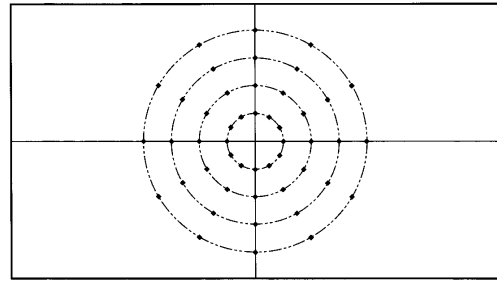
【図 7】



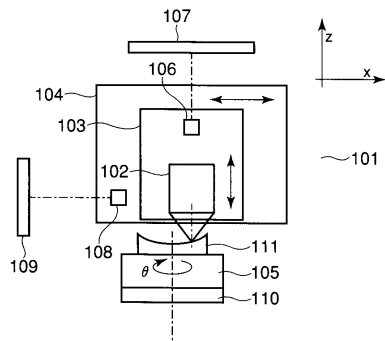
【図 8】



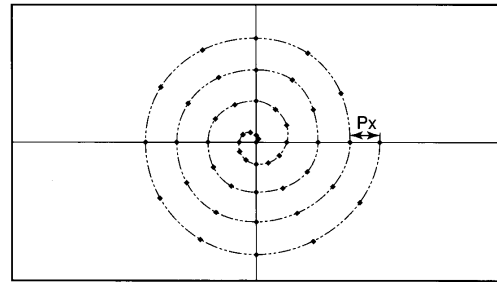
【図 10】



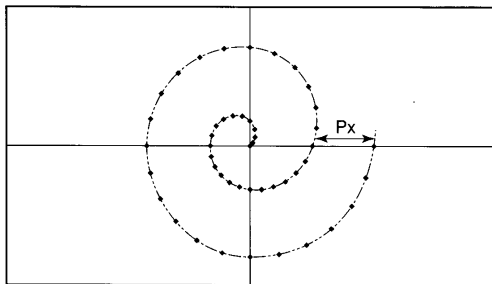
【図 9】



【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭55-133551(JP,A)  
実開平05-081623(JP,U)  
特開2002-333311(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B21/00-21/32  
G01B11/00-11/30, 102