(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2013-250074
(P2013-250074A)
(43)公開日　平成25年12月12日(2013.12.12)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01B 21/00	(2006.01)	G01B 21/00	G	2F065
G01B 21/20	(2006.01)	G01B 21/20		2F069
G01B 11/00	(2006.01)	G01B 11/00	A	

審査請求 未請求　請求項の数 5　ＯＬ　（全 14 頁）

(21)出願番号　特願2012-122976 (P2012-122976)
(22)出願日　平成24年5月30日 (2012.5.30)

（特許庁注：以下のものは登録商標）
１．Ｂｌｕ－ｒａｙ

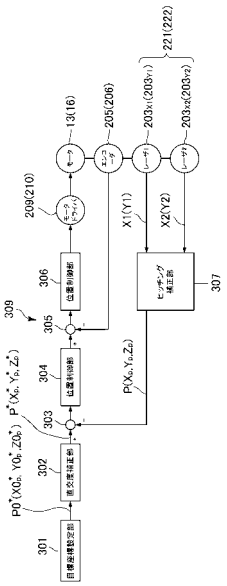
(71)出願人　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100082337
弁理士　近島　一夫
(74)代理人　100141508
弁理士　大田　隆史
(72)発明者　酒井　陽平
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内
(72)発明者　池田　隆
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

Ｆターム(参考)　2F065 AA06　AA31　BB01　JJ05　PP22　QQ25

最終頁に続く

(54)【発明の名称】形状測定装置

(57)【要約】
【課題】被測定物の表面形状の測定精度を向上させる。
【解決手段】ピッチング補正部３０７は、測定部２２１の測定結果に基づき、基準構造物で規定される第１座標系を基準としたプローブの位置座標Ｘ$_p$を求める。目標座標設定部３０１は、第２座標系を基準としたプローブのＸ軸方向の目標位置座標Ｘ０$_p$＊を設定する。直交度補正部３０２は、第１座標系及び第２座標系のうちのいずれか一方の座標系として、第１座標系を基準とするように、目標座標設定部３０１で設定された目標位置座標Ｘ０$_p$＊を目標位置座標Ｘ$_p$＊に座標変換する。フィードバック制御部３０９は、第１座標系を基準とする位置座標Ｘ$_p$が第１座標系を基準とする目標位置座標Ｘ$_p$＊に追従するようにＸ軸スライド駆動用モータ１３をフィードバック制御する。
【選択図】図４



【特許請求の範囲】
【請求項１】
被測定物の表面の形状を測定する形状測定装置において、
前記被測定物の表面を走査するプローブと、
前記被測定物を支持する第１ステージ部と、
前記プローブを支持する第２ステージ部と、
前記第１ステージ部及び前記第２ステージ部のうち少なくとも一方を駆動して、前記プローブを前記被測定物の表面に対して相対的に走査させる駆動部と、
前記第１ステージ部に支持された基準構造物と、
前記基準構造物の基準面に対する前記プローブの走査方向の距離を測定する測定部と、
前記測定部の測定結果に基づき、前記基準構造物で規定される第１座標系を基準とした前記プローブの位置座標を求める位置座標演算部と、
第２座標系を基準とした前記プローブの前記走査方向の目標位置座標を設定する目標座標設定部と、
前記第１座標系及び前記第２座標系のうちのいずれか一方の座標系を基準とするように、前記位置座標演算部で求められた前記位置座標又は前記目標座標設定部で設定された前記目標位置座標を座標変換する座標変換部と、
前記一方の座標系を基準とする前記位置座標が前記一方の座標系を基準とする前記目標位置座標に追従するように前記駆動部をフィードバック制御するフィードバック制御部と、
を備えたことを特徴とする形状測定装置。
【請求項２】
前記座標変換部は、前記目標座標設定部で設定された前記目標位置座標を、前記第１座標系を基準とするように座標変換し、
前記フィードバック制御部は、前記第１座標系を基準とする前記位置座標が前記第１座標系を基準とする前記目標位置座標に追従するように前記駆動部をフィードバック制御することを特徴とする請求項１に記載の形状測定装置。
【請求項３】
前記座標変換部は、前記位置座標演算部で求められた前記位置座標を、前記第２座標系を基準とするように座標変換し、
前記フィードバック制御部は、前記第２座標系を基準とする前記位置座標が前記第２座標系を基準とする前記目標位置座標に追従するように前記駆動部をフィードバック制御することを特徴とする請求項１に記載の形状測定装置。
【請求項４】
前記測定部は、前記基準構造物の基準面上の第１点に対する前記プローブの前記走査方向の第１距離Ｘ１を測定する第１測長器と、前記第１点に対して前記走査方向と直交する方向にずれた前記基準構造物の基準面上の第２点に対する前記プローブの前記走査方向の第２距離Ｘ２を測定する第２測長器と、を有し、
前記位置座標演算部は、前記第２距離から前記第１距離を差し引いた差分に応じた前記基準構造物に対する前記プローブの傾き量を求め、前記第１距離を前記傾き量で補正した値を用いて、前記基準構造物の座標系を基準とした前記プローブの位置座標を求めることを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項に記載の形状測定装置。
【請求項５】
前記基準構造物は、平面状の反射面を有する参照ミラーであり、
前記第１測長器及び前記第２測長器は、前記参照ミラーの反射面に対する前記走査方向の距離を測定するレーザ測長器であることを特徴とする請求項４に記載の形状測定装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、レンズ、金型等の形状を高精度に測定するための形状測定装置に関するもの

である。
【背景技術】
【０００２】
従来の形状測定装置は、測定用のプローブを被測定物の被測定面である表面に接触させて表面に沿って走査することにより、プローブが表面に追従しながら表面の形状に応じてＺ軸方向に駆動される（特許文献１参照）。レーザ測長光学系は、測定用のプローブなどと共に移動体上に固定的に設けられて、周知の光干渉法によりＺ参照ミラーを基準としたプローブのＺ座標の距離を測長する。同様に、レーザ測長光学系は、Ｘ参照ミラー及びＹ参照ミラーをそれぞれ基準としたプローブのＸ座標及びＹ座標の距離を測長する。
【０００３】
上記のＸ参照ミラー、Ｙ参照ミラー及びＺ参照ミラーは、支持部を介して石定盤上に固定されている。Ｘステージ及びＹステージは、移動体をＸ軸方向及びＹ軸方向にそれぞれ移動させる。以上の構成により、プローブは被測定物の表面の形状に追従しながらＸ，Ｙ軸方向に走査される。そして、プローブのＸＹ座標の走査位置でのＺ座標データの列を求め、このＺ座標データの列に基づいて被測定物の表面の形状測定を行う。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特許第３８２７４９６号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかしながら、上記特許文献１に記載の従来例では、参照ミラーを基準とした座標の測長について記載されているが、参照ミラー等の基準構造物を基準としてプローブの位置決めをするフィードバック制御を行なうものではない。これでは、例えばＤＶＤやＢｌｕ－ｒａｙディスク用のピックアップレンズのような小型の被測定物において、プローブで狙った位置を高精度に走査することが難しい。
【０００６】
また、Ｘ参照ミラー、Ｙ参照ミラー及びＺ参照ミラーを基準とした座標系では、参照ミラーの直交度誤差を含むため、理想的なＸＹＺ直交座標系ではない。つまり、基準構造物に対するプローブの距離の測定結果に基づいてプローブの位置座標を求めた場合、このプローブの位置座標は理想の座標系を基準としたものではなく、基準構造物の座標系を基準としたものとなる。そのため、基準構造物を基準とした位置決めのみでは、理想的なＸＹＺ直交座標系においてプローブで狙った位置を走査することが難しい。
【０００７】
そこで、本発明は、プローブを目標の位置に高精度に走査させて、被測定物の表面形状の測定精度を向上させた形状測定装置を提供することを目的とするものである。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本発明は、被測定物の表面の形状を測定する形状測定装置において、前記被測定物の表面を走査するプローブと、前記被測定物を支持する第１ステージ部と、前記プローブを支持する第２ステージ部と、前記第１ステージ部及び前記第２ステージ部のうち少なくとも一方を駆動して、前記プローブを前記被測定物の表面に対して相対的に走査させる駆動部と、前記第１ステージ部に支持された基準構造物と、前記基準構造物の基準面に対する前記プローブの走査方向の距離を測定する測定部と、前記測定部の測定結果に基づき、前記基準構造物で規定される第１座標系を基準とした前記プローブの位置座標を求める位置座標演算部と、第２座標系を基準とした前記プローブの前記走査方向の目標位置座標を設定する目標座標設定部と、前記第１座標系及び前記第２座標系のうちのいずれか一方の座標系を基準とするように、前記位置座標演算部で求められた前記位置座標又は前記目標座標設定部で設定された前記目標位置座標を座標変換する座標変換部と、前記一方の座標系を

基準とする前記位置座標が前記一方の座標系を基準とする前記目標位置座標に追従するように前記駆動部をフィードバック制御するフィードバック制御部と、を備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によれば、プローブを被測定物の狙った位置に高精度に走査させることができるので、被測定物の表面形状を高精度に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の第１実施形態に係る形状測定装置の概略構成を示す説明図である。

【図２】各参照ミラーの配置を示す説明図である。

【図３】形状測定装置の制御ブロック図である。

【図４】本発明の第１実施形態に係る形状測定装置のＮＣコントローラの機能を示す機能ブロック図である。

【図５】本発明の第２実施形態に係る形状測定装置のＮＣコントローラの機能を示す機能ブロック図である。

【図６】本発明の第３実施形態に係る形状測定装置のＮＣコントローラの機能を示す機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下、本発明を実施するための形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

【００１２】

［第１実施形態］

図１は、本発明の第１実施形態に係る形状測定装置の概略構成を示す説明図である。形状測定装置１００は、接触式のプローブ２１を備え、プローブ２１の先端をワーク（被測定物）Ｗの表面に接触させた状態でプローブ２１をワークＷの表面に対して相対的に走査して、ワークＷの表面の形状を測定するものである。なお、図１中、直交座標系（ＸＹＺ直交座標系）におけるＸ軸方向とＸ軸方向に直交するＹ軸方向とは、走査方向を示し、これらＸ軸方向及びＹ軸方向に直交するＺ軸方向は、走査方向に直交する方向を示している。

【００１３】

形状測定装置１００は、基部を構成する除振台１０ａ，１０ｂ，１０ｃを備え、除振台１０ａ，１０ｂ，１０ｃ上には、装置全体の基台となるベッド１１が配置され、ベッド１１は、これら除振台１０ａ，１０ｂ，１０ｃにより３ヶ所で支持されている。ベッド１１はベース定盤１を支持するための支持面２６を有し、この支持面２６上の３ヵ所においてベース定盤１を支持する。第１の支持点は、ベース定盤１の底面及び支持面２６の両方に略円錐形状の窪み２７が設けられ、これら窪み２７，２７で球２９ａを挟んで構成されている。第２の支持点は、第１の支持点を通るＹ軸に平行な直線上に位置し、ベース定盤１の底面及び支持面２６の両方に、Ｙ軸方向に稜線の方向を一致させた略３角柱形状の窪み２８が設けられ、これら窪み２８，２８で球２９ｂを挟んで構成されている。第３の支持点は、第１及び第２の支持点からＸ軸方向に所定距離だけ離間した位置にあり、ベース定盤１の底面及び支持面２６の両方の平面の間に球２９ｃを挟んで構成されている。

【００１４】

ベース定盤１は、ワークＷを支持する固定ステージ部（第１ステージ部）である。ベース定盤１の上面には、ワークＷが固定される。

【００１５】

また、ベース定盤１の上面には、３本の支柱５ａ，５ｂ，５ｃが固定され、これら支柱５ａ，５ｂ，５ｃ上の３ヵ所において、メトロロジフレーム２５を支持する。第１の支柱５ａ上の第１の支持点２２には、メトロロジフレーム２５が堅固に固定されている。第２の支柱５ｂ上の第２の支持点２４は、第１の支持点２２を通るＹ軸に平行な直線上にあり

、断面がＸ軸方向に長くＹ軸方向に薄い四角柱状（薄板状）に形成されている。また、第３の支持点２３は、第１の支持点２２からＸ軸方向に所定距離だけ離間した位置にあり、直径の小さい円柱状に形成されている。

【００１６】

メトロロジフレーム２５には、基準構造物としてのＸ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８及びＺ参照ミラー９が固定されている。つまり、Ｘ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８及びＺ参照ミラー９は、メトロロジフレーム２５及び３本の支柱５ａ，５ｂ，５ｃを介してベース定盤１に支持されている。

【００１７】

ベッド１１上にはＸ軸スライドガイド１２が固定されており、Ｘ軸スライドガイド１２上には、Ｘスライド３がＸ軸方向にスライド自在に支持されている。Ｘスライド３は、駆動部としてのＸ軸スライド駆動用モータ１３及びボールねじ１４によりスライド駆動される。Ｘスライド３には、Ｙ軸方向に沿ってＹ軸スライドガイド１５が固定されており、Ｙ軸スライドガイド１５には、Ｙスライド２がＹ軸方向にスライド自在に支持されている。Ｙスライド２は、駆動部としてのＹ軸スライド駆動用モータ１６及びボールねじ１７によりスライド駆動される。さらに、Ｙスライド２には、Ｚ軸方向に沿ってＺ軸スライドガイド１８が固定されており、Ｚ軸スライドガイド１８には、Ｚスライド４がＺ軸方向にスライド自在に支持されている。Ｚスライド４は、Ｚ軸スライド駆動用モータ１９及びボールねじ２０によりスライド駆動される。Ｚスライド４にはプローブ２１が固定されている。

【００１８】

以上の構成により、プローブ２１をベッド１１に対してＸＹＺ軸方向に３次元的に動かすことができる。つまり、Ｘスライド３は、Ｚスライド４及びＹスライド２を介してプローブ２１を支持する移動ステージ部であり、Ｙスライド２は、Ｚスライド４を介してプローブ２１を支持する移動ステージ部である。そして、Ｘ軸スライド駆動用モータ１３は、Ｘスライド３を駆動して、プローブ２１をワークＷの表面に対して相対的にＸ軸方向に走査させる。また、Ｙ軸スライド駆動用モータ１６は、Ｙスライド２を駆動して、プローブ２１をワークＷの表面に対して相対的にＹ軸方向に走査させる。

【００１９】

図２は、各参照ミラーの配置を示す説明図である。各Ｘ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８及びＺ参照ミラー９は、各反射面７ａ，８ａ，９ａを有し、これら反射面７ａ，８ａ，９ａは、平面状に形成されている。

【００２０】

Ｘ参照ミラー７の反射面７ａとＹ参照ミラー８の反射面８ａとは概略互いに直交するようにメトロロジフレーム２５に取り付けられている。また、Ｚ参照ミラー９の反射面９ａとＸ参照ミラー７の反射面７ａ及びＹ参照ミラー８の反射面８ａとは概略互いに直交するようにメトロロジフレーム２５に取り付けられている。これらＸ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８及びＺ参照ミラー９の反射面７ａ，８ａ，９ａを、測定の基準面として使用する。

【００２１】

図３は、形状測定装置の制御ブロック図である。形状測定装置１００は、図３に示すように、電装ユニット２００と、５つの光干渉計201_{X1}，201_{X2}，201_{Y1}，201_{Y2}，201_{Z}（２０１）と、を備えている。また、形状測定装置１００は、各モータ１３，１６，１９に設けられた３つのエンコーダ２０５，２０６，２０７を備えている。

【００２２】

図１に示すＺスライド４の先端部には、Ｘ参照ミラー７の反射面７ａ（図２）に対するプローブ２１のＸ軸方向（走査方向）の距離Ｘ１，Ｘ２の測定に用いられる図３に示す２つの光干渉計201_{X1}，201_{X2}が設けられている。また、Ｚスライド４の先端部には、Ｙ参照ミラー８の反射面８ａ（図２）に対するプローブ２１のＹ軸方向（走査方向）の距離Ｙ１，Ｙ２の測定に用いられる図３に示す２つの光干渉計201_{Y1}，201_{Y2}が設けられている。また、Ｚスライド４の先端部には、Ｚ参照ミラー９の反射面９ａ（図

２）に対するプローブ２１のＺ軸方向の距離Ｚの測定に用いられる図３に示す光干渉計２０１$_{Z}$が設けられている。

【００２３】

電装ユニット２００には、各光干渉計２０１の干渉信号をそれぞれ取り込むための５つのレーザ測長ボード２０２$_{X1}$，２０２$_{X2}$，２０２$_{Y1}$，２０２$_{Y2}$，２０２$_{Z}$（２０２）が搭載されている。レーザ測長ボード２０２は、光干渉計２０１から得られた干渉信号に基づいて、距離Ｘ１，Ｘ２，Ｙ１，Ｙ２，Ｚを求める。

【００２４】

本第１実施形態では、光干渉計２０１$_{X1}$及びレーザ測長ボード２０２$_{X1}$により、第１測長器としての第１レーザ測長器２０３$_{X1}$が構成されている。また、光干渉計２０１$_{X2}$及びレーザ測長ボード２０２$_{X2}$により、第２測長器としての第２レーザ測長器２０３$_{X2}$が構成されている。また、光干渉計２０１$_{Y1}$及びレーザ測長ボード２０２$_{Y1}$により、第１測長器としての第１レーザ測長器２０３$_{Y1}$が構成されている。また、光干渉計２０１$_{Y2}$及びレーザ測長ボード２０２$_{Y2}$により、第２測長器としての第２レーザ測長器２０３$_{Y2}$が構成されている。また、光干渉計２０１$_{Z}$及びレーザ測長ボード２０２$_{Z}$により、測長器としてのレーザ測長器２０３$_{Z}$が構成されている。

【００２５】

第１レーザ測長器２０３$_{X1}$は、基準面上であるＸ参照ミラー７の反射面７ａ上の第１点Ｐ$_{X1}$に対するプローブ２１の走査方向であるＸ軸方向の第１距離Ｘ１を測定する。第２レーザ測長器２０３$_{X2}$は、第１点Ｐ$_{X1}$に対してＺ軸方向にずれたＸ参照ミラー７の反射面７ａ上の第２点Ｐ$_{X2}$に対するプローブ２１のＸ軸方向の第２距離Ｘ２を測定する。

【００２６】

また、第１レーザ測長器２０３$_{Y1}$は、基準面上であるＹ参照ミラー８の反射面８ａ上の第１点Ｐ$_{Y1}$に対するプローブ２１の走査方向であるＹ軸方向の第１距離Ｙ１を測定する。第２レーザ測長器２０３$_{Y2}$は、第１点Ｐ$_{Y1}$に対してＺ軸方向にずれたＹ参照ミラー８の反射面８ａ上の第２点Ｐ$_{Y2}$に対するプローブ２１のＹ軸方向の第２距離Ｙ２を測定する。

【００２７】

また、レーザ測長器２０３$_{Z}$は、Ｚ参照ミラー９の反射面９ａ上の点Ｐ$_{Z}$に対するプローブ２１の走査方向と直交する方向であるＺ軸方向の距離Ｚを測定する。

【００２８】

各レーザ測長器２０３で測定した距離のデータは、測定用コンピュータ２０４に出力され処理される。また、各レーザ測長器２０３で測定した距離のデータは、Ｘスライド３、Ｙスライド２及びＺスライド４を制御するＮＣコントローラ２０８にも出力される。

【００２９】

更に、各エンコーダ２０５，２０６，２０７の位置データもＮＣコントローラ２０８に出力される。エンコーダ２０５は、Ｘ軸スライド駆動用モータ１３の回転位置を検出するエンコーダである。エンコーダ２０６は、Ｙ軸スライド駆動用モータ１６の回転位置を検出するエンコーダであり、エンコーダ２０７は、Ｚ軸スライド駆動用モータ１９の回転位置を検出するエンコーダである。

【００３０】

ＮＣコントローラ２０８から出力された各駆動信号は各モータドライバ２０９，２１０，２１１に入力され、各モータドライバ２０９，２１０，２１１によって各モータ１３，１６，１９が駆動される。

【００３１】

モータドライバ２０９はＸ軸スライド駆動用モータ１３、モータドライバ２１０はＹ軸スライド駆動用モータ１６、モータドライバ２１１はＺ軸スライド駆動用モータ１９の駆動を制御する駆動制御部である。

【００３２】

本第１実施形態では、第１レーザ測長器２０３$_{X1}$及び第２レーザ測長器２０３$_{X2}$により、Ｘ参照ミラー７の反射面７ａに対するプローブ２１の走査方向の距離を測定する測定部２２１が構成されている。また、第１レーザ測長器２０３$_{Y1}$及び第２レーザ測長器２０３$_{Y2}$により、Ｙ参照ミラー８の反射面８ａに対するプローブ２１の走査方向の距離を測定する測定部２２２が構成されている。

【００３３】

なお、図２中、長さＬ１は、Ｚ参照ミラー９から距離Ｘ１，Ｙ１の測定軸の高さまでの距離とする。長さＬ２は、距離Ｘ１，Ｙ１の測定軸と距離Ｘ２，Ｙ２の測定軸との高さの差とする。長さＬ３は、距離Ｘ２，Ｙ２の測定軸の高さからプローブ２１のシャフト２１ａに取り付けられた参照ミラー２１ｂまでの距離とする。長さＬ４は、プローブ２１の参照ミラー２１ｂからプローブ２１の先端２１ｃまでの距離とする。

【００３４】

図４は、本発明の第１実施形態に係る形状測定装置のＮＣコントローラの機能を示す機能ブロック図である。図４に示した制御ブロックは、ＮＣコントローラ２０８により構成されている。なお、ここでは、Ｘ軸方向に移動させるＸスライド３（第２ステージ部）を駆動するＸ軸スライド駆動用モータ１３の制御をメインに説明する。

【００３５】

ＮＣコントローラ２０８は、目標座標設定部３０１、座標変換部としての直交度補正部３０２、減算部３０３、位置制御部３０４、減算部３０５、位置制御部３０６、及び位置座標演算部としてのピッチング補正部３０７の機能を有している。本第１実施形態では、減算部３０３、位置制御部３０４、減算部３０５及び位置制御部３０６によりフィードバック制御部３０９が構成されている。このフィードバック制御部３０９では、エンコーダ２０５の位置をフィードバック制御するマイナーループを構成し、さらに参照ミラーを基準とした位置をフィードバック制御するメジャーループを構成する。

【００３６】

ピッチング補正部３０７は、測定部２２１からの測定結果に基づいて、Ｘ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８及びＺ参照ミラー９で規定される座標系（第１座標系）を基準としたプローブ２１のＸ軸方向の位置座標Ｘ$_p$を求める。この第１座標系は、参照ミラー７，８，９の取付状態によって決まる、参照ミラー７，８，９を基準とした直交度誤差を含む現実の座標系である。なお、本第１実施形態では、ピッチング補正部３０７は、測定部２２２からの測定結果に基づいて、第１座標系を基準としたプローブ２１のＹ軸方向の位置座標Ｙ$_p$を求める。更に、本第１実施形態では、ピッチング補正部３０７は、図４で図示は省略するが、測定部としてのレーザ測長器２０３$_Z$の測定結果に基づいて、第１座標系を基準としたプローブ２１のＺ軸方向の位置座標Ｚ$_p$を求める。つまり、ピッチング補正部３０７は、３次元の位置座標Ｐ（Ｘ$_p$，Ｙ$_p$，Ｚ$_p$）を求める。

【００３７】

一方、目標座標設定部３０１は、予め規定された３次元の直交座標系（第２座標系）を基準としたプローブ２１のＸ軸方向の目標位置座標Ｘ０$_p$＊、具体的には、３次元の目標位置座標Ｐ０＊（Ｘ０$_p$＊，Ｙ０$_p$＊，Ｚ０$_p$＊）を設定する。この座標系は、直交度誤差を含まない理想の座標系である。つまり、第１座標系と第２座標系とは互いに異なる座標系となる。

【００３８】

そこで、直交度補正部３０２は、目標座標設定部３０１で設定された目標位置座標Ｐ０＊（Ｘ０$_p$＊，Ｙ０$_p$＊，Ｚ０$_p$＊）を、Ｘ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８及びＺ参照ミラー９で規定される座標系（第１座標系）を基準とするように座標変換する。

【００３９】

具体的には、直交度補正部３０２は、座標変換行列Ｈを用いて、第１座標系を基準とした目標位置座標Ｐ０＊（Ｘ０$_p$＊，Ｙ０$_p$＊，Ｚ０$_p$＊）を、第２座標系を基準とした目標位置座標Ｐ＊（Ｘ$_p$＊，Ｙ$_p$＊，Ｚ$_p$＊）に変換する。つまり、直交度補正部３０２は、Ｐ＊＝Ｈ・Ｐ０＊の演算を行う。

【００４０】
この目標位置座標Ｐ０＊（Ｘ０$_{p}$＊，Ｙ０$_{p}$＊，Ｚ０$_{p}$＊）と、目標位置座標Ｐ＊（Ｘ$_{p}$＊，Ｙ$_{p}$＊，Ｚ$_{p}$＊）との間には、以下の式（１）の関係が成り立つ。
【００４１】
【数１】

$$\begin{bmatrix} X_p^* \\ Y_p^* \\ Z_p^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\theta_{xy} & \theta_{zx} \\ 0 & 1 & -\theta_{zy} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X0_p^* \\ Y0_p^* \\ Z0_p^* \end{bmatrix} \qquad (1)$$

【００４２】
ここで、座標変換行列Ｈ中のθｘｙ，θｚｘ，θｚｙは、Ｘ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８、Ｚ参照ミラー９の相対的な傾き誤差である。直交度補正部３０２でこの補正量を目標位置座標Ｐ０＊（Ｘ０$_{p}$＊，Ｙ０$_{p}$＊，Ｚ０$_{p}$＊）に演算することで直交度補正を行い、その結果を減算部３０３へ出力する。なお、直交度補正に使用する数式は式（１）以外の数式であってもよい。
【００４３】
Ｘ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８、Ｚ参照ミラー９の相対的な傾き誤差は、例えば文献（根岸真人、修正研磨による自由曲面創成に関する研究、博士学位論文、東京大学、２００４、第５章）に記載されている方法によって求めておく。文献に記載されている方法によると、凸面または凹面の球面原器を測定した結果から、球面原器の真球度誤差に影響されないＸ参照ミラー７、Ｙ参照ミラー８、Ｚ参照ミラー９の相対的な傾き誤差を得られる。
【００４４】
減算部３０３は、ピッチング補正部３０７により求められた第１座標系を基準とするプローブ２１のＸ軸方向の位置座標Ｘ$_{p}$と、直交度補正部３０２により求められた第１座標系を基準とするプローブ２１のＸ軸方向の目標位置座標Ｘ$_{p}$＊との差分を求める。位置制御部３０４は、減算部３０３により求められた差分に基づき、例えばＰＩＤ演算を行って指令値を生成する。このように、参照ミラー７，８，９を基準とした位置制御ループにより生成された指令値は、次段の減算部３０５に出力される。
【００４５】
減算部３０５は、位置制御部３０４から得た指令値と、エンコーダ２０５からの回転位置との差分を求める。位置制御部３０６は、減算部３０５により求められた差分に基づき、例えばＰＩＤ演算を行ってモータ１３の回転位置を示す指令値を生成する。このエンコーダの位置制御ループにより生成された指令値は、モータドライバ２０９に出力され、モータ１３が駆動される。
【００４６】
つまり、フィードバック制御部３０９は、第１座標系を基準とする位置座標Ｘ$_{p}$が第１座標系を基準とする目標位置座標Ｘ$_{p}$＊に追従するようにモータ１３をフィードバック制御する。
【００４７】
なお、Ｙ軸方向に移動させるＹスライド２（第２ステージ部）を駆動するＹ軸スライド駆動用モータ１６の制御も同様であり、説明を省略する。また、図４への図示を省略しているが、Ｚ軸方向に移動させるＺスライド４を駆動するＺ軸スライド駆動用モータ１９の制御も同様である。
【００４８】
以上、本第１実施形態では、理想の座標系を基準とした目標位置座標Ｐ０＊を参照ミラーの座標系を基準とした目標位置座標Ｐ＊に補正し、参照ミラーの座標系を基準としたプローブ２１の位置座標Ｐを目標位置座標Ｐ＊に追従させるフィードバック制御を行う。し

たがって、プローブ２１をワークＷの狙った位置に高精度に走査させることができ、ワークＷの表面形状を高精度に測定することができる。

【００４９】

ここで、Ｘスライド３及びＹスライド２は、これらの重量により、ベース定盤１に対して傾く、ピッチングが生じる。

【００５０】

本第１実施形態では、ピッチング補正部３０７は、プローブ２１のＸ軸方向の位置座標X_pとして、第１レーザ測長器203_{X1}の測長データと第２レーザ測長器203_{X2}の測長データとを用いてピッチング補正することで求めている。同様に、ピッチング補正部３０７は、プローブ２１のＹ軸方向の位置座標Y_pとして、第１レーザ測長器203_{Y1}の測長データと第２レーザ測長器203_{Y2}の測長データとを用いてピッチング補正することで求めている。

【００５１】

以下、具体的に説明すると、ピッチング補正部３０７は、第１レーザ測長器203_{X1}の測長データである第１距離Ｘ１と第２レーザ測長器203_{X2}の測長データである第２距離Ｘ２とから、プローブ２１のＸ軸方向の位置座標X_pを、式（２）を用いて計算する。プローブ２１のＹ軸方向の位置座標Y_pも同様に、第１レーザ測長器203_{Y1}の測長データである第１距離Ｙ１と第２レーザ測長器203_{Y2}の測長データである第２距離Ｙ２とから、式（２）を用いて計算される。

【００５２】

【数２】

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X1 + (X2 - X1)\dfrac{L2 + L3 + L4}{L2} \\ -Y1 - (Y2 - Y1)\dfrac{L2 + L3 + L4}{L2} \\ -Z \end{bmatrix} \qquad (2)$$

【００５３】

つまり、位置座標演算部であるピッチング補正部３０７は、第２距離Ｘ２から第１距離Ｘ１を差し引いた差分（Ｘ２－Ｘ１）に応じたＸ参照ミラー７に対するプローブ２１の傾き量（Ｘ２－Ｘ１）・（Ｌ２＋Ｌ３＋Ｌ４）／Ｌ２を求める。そして、ピッチング補正部３０７は、第１距離Ｘ１を傾き量で補正した値、即ち、第１距離Ｘ１に傾き量を加算した値を、第１座標系を基準としたプローブ２１の位置座標X_pとして求める。なお、位置座標Y_pも同様に求められるが、座標基準の関係上、マイナスの符号が付してある。

【００５４】

以上、本第１実施形態では、Ｘスライド３及びＹスライド２のピッチング（傾き）に基づいてプローブ２１の位置座標Ｐを補正しているので、プローブ２１をワークＷの狙った位置により高精度に走査させることができる。したがって、ワークＷの表面形状をより高精度に測定することができる。

【００５５】

［第２実施形態］

次に、本発明の第２実施形態に係る形状測定装置について説明する。図５は、本発明の第２実施形態に係る形状測定装置のＮＣコントローラの機能を示す機能ブロック図である。なお、上記第１実施形態と同様の構成については、同一符号を付して説明を省略する。

【００５６】

上記第１実施形態では、エンコーダ２０５（２０６）の位置をフィードバック制御するマイナーループを有しているが、これに限定するものでなない。

【００５７】

本第２実施形態では、図５に示すように、エンコーダ２０５（２０６）の位置をフィー

ドバック制御するマイナーループを持たずに、参照ミラーを基準とした位置のフィードバック制御のみとしている。つまり、フィードバック制御部３０９Ａは、上記第１実施形態で説明した減算部３０３及び位置制御部３０４からなるものである。

【００５８】

この場合であっても、プローブを被測定物の狙った位置に高精度に走査させることができ、被測定物の表面形状を高精度に測定することができる。

【００５９】

［第３実施形態］

次に、本発明の第３実施形態に係る形状測定装置について説明する。図６は、本発明の第３実施形態に係る形状測定装置のＮＣコントローラの機能を示す機能ブロック図である。なお、上記第１実施形態と同様の構成については、同一符号を付して説明を省略する。

【００６０】

上記第１実施形態では、座標変換部である直交度補正部３０２は、目標座標設定部３０１で設定された目標位置座標Ｐ０＊を、第１座標系を基準とするように目標位置座標Ｐ＊に座標変換する場合について説明した。そして、フィードバック制御部３０９は、第１座標系を基準とする位置座標Ｐが第１座標系を基準とする目標位置座標Ｐ＊に追従するようにモータ１３（１６）をフィードバック制御する場合について説明した。

【００６１】

本第３実施形態では、座標変換部である直交度補正部３０２Ｂは、位置座標演算部であるピッチング補正部３０７で求められた位置座標Ｐ（X_p，Y_p，X_p）を、第２座標系を基準とする位置座標Ｐ０（$X0_p$，$Y0_p$，$Z0_p$）に座標変換する。この場合、直交度補正部３０２Ｂは、以下の式（３）に示す、上記第１実施形態の座標変換行列Ｈの逆行列H^{-1}を用いて座標変換すればよい。

【００６２】

【数３】

$$\boldsymbol{H}^{-1}=\begin{bmatrix}1 & -\theta_{xy} & \theta_{zx}\\ 0 & 1 & -\theta_{zy}\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}^{-1} \qquad (3)$$

【００６３】

そして、フィードバック制御部３０９は、第２座標系を基準とする位置座標Ｐ０が第２座標系を基準とする目標位置座標Ｐ０＊に追従するようにモータ１３（１６）をフィードバック制御する。

【００６４】

つまり、直交度補正部３０２，３０２Ｂは、第１座標系及び第２座標系のうちのいずれか一方の座標系を基準とするように、ピッチング補正部３０７で求められた位置座標又は目標座標設定部３０１で設定された目標位置座標を座標変換すればよい。そして、フィードバック制御部３０９は、一方の座標系を基準とする位置座標が一方の座標系を基準とする目標位置座標に追従するようにモータ１３（１６）をフィードバック制御すればよい。

【００６５】

このように、予め測定しておいた直交度補正量を制御系に加え、さらにピッチング補正を加えることで理想的な直交座標系での高精度なプローブの位置決めが実現できる。

【００６６】

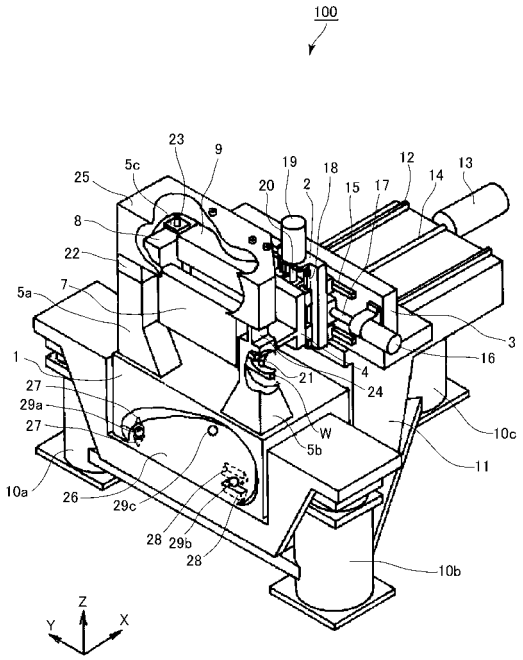
なお、本発明は、以上説明した実施形態に限定されるものではなく、多くの変形が本発明の技術的思想内で当分野において通常の知識を有する者により可能である。

【００６７】

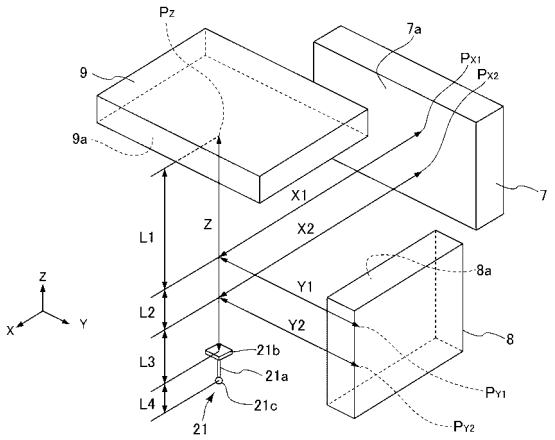
上記第３実施形態では、フィードバック制御部３０９がエンコーダ２０５（２０６）のマイナーフィードバックループを有する場合について説明したが、上記第２実施形態と同様、マイナーループを持たないフィードバック制御部３０９Ａとしてもよい。

【００６８】
　また、上記第１～第３実施形態では、被測定物であるワークＷを支持するベース定盤１を固定し、Ｘスライド３及びＹスライド２を移動させてプローブ２１をワークＷに対して相対的に走査させる場合について説明したがこれに限定するものではない。プローブ２１を固定ステージ部に固定し、ベース定盤１をＸＹ軸方向に移動させることにより、プローブ２１をワークＷに対して相対的に走査させるようにしてもよい。また、ベース定盤１、Ｘスライド３及びＹスライド２をＸＹ軸方向に移動させて、プローブ２１をワークＷに対して相対的に走査させるようにしてもよい。
【００６９】
　また、上記第１～第３実施形態では、接触式のプローブを用いた場合について説明したが、非接触式のプローブであっても本発明は適用可能である。非接触式のプローブを用いた場合、プローブから例えばレーザ光を被測定物の表面に向けて照射し、被測定物の表面からの反射光によりプローブに対する被測定物の表面の距離を測定し、この測定距離が一定となるようにＺスライドをＺ軸方向に移動させればよい。そして、被測定物の表面に対するプローブの走査は、プローブを保持したＸスライド及びＹスライドをＸＹ軸方向に移動させてもよいし、ベース定盤をＸＹ軸方向に移動させてもよいし、ベース定盤、Ｘスライド及びＹスライドをＸＹ軸方向に移動させてもよい。
【符号の説明】
【００７０】
１…ベース定盤（第１ステージ部）、２…Ｙスライド（第２ステージ部）、３…Ｘスライド（第２ステージ部）、７…Ｘ参照ミラー（基準構造物）、７ａ…反射面（基準面）、８…Ｙ参照ミラー（基準構造物）、８ａ…反射面（基準面）、１３…Ｘ軸スライド駆動用モータ（駆動部）、１６…Ｙ軸スライド駆動用モータ（駆動部）、２１…プローブ、１００…形状測定装置、203_{X1}…第１レーザ測長器、203_{X2}…第２レーザ測長器、203_{Y1}…第１レーザ測長器、203_{Y2}…第２レーザ測長器、２２１…測定部、２２２…測定部、３０１…目標座標設定部、３０２…直交度補正部（座標変換部）、３０７…ピッチング補正部（位置座標演算部）、３０９…フィードバック制御部

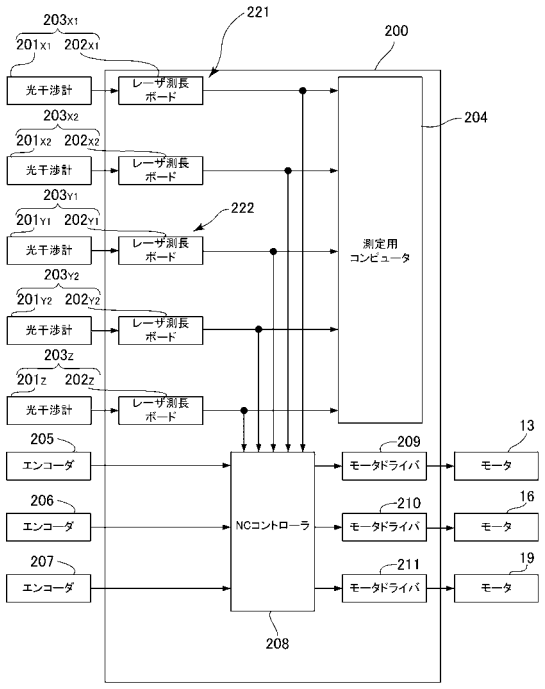
【図１】


100
23
9
5c
25
19
18
12
13
20
2
15
17
14
8
22
5a
7
3
16
1
21
4
24
27
29a
27
W
5b
10c
11
10a
26
29c
28
29b
28
10b
Z
Y
X

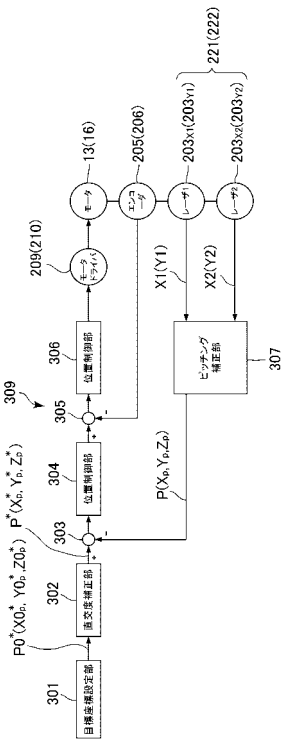
【図２】


Pz
7a
PX1
PX2
9
9a
7
X1
X2
Z
L1
L2
L3
L4
Y1
Y2
8a
8
21b
21a
21c
21
PY1
PY2
Z
X
Y

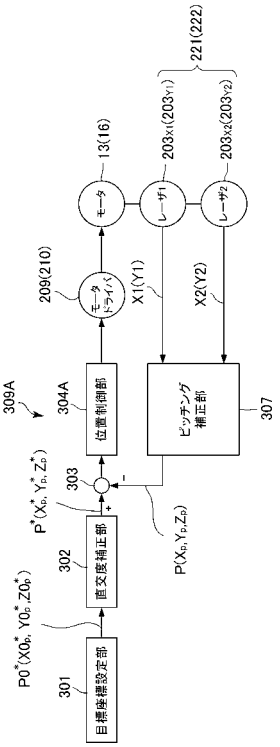
【図３】


221
200
203X1
201X1
202X1
光干渉計
レーザ測長ボード
203X2
201X2
202X2
204
203Y1
201Y1
202Y1
222
測定用コンピュータ
203Y2
201Y2
202Y2
203Z
201Z
202Z
205
エンコーダ
206
207
209
モータドライバ
210
211
13
モータ
16
19
NCコントローラ
208

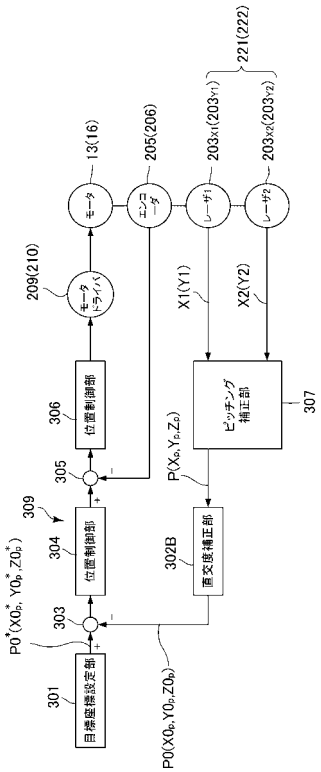
【図４】


221(222)
13(16)
205(206)
203X1(203Y1)
203X2(203Y2)
モータ
エンコーダ
レーザ
209(210)
X1(Y1)
X2(Y2)
306
位置制御部
ピッチング補正部
307
309
305
304
位置制御部
303
302
直交度補正部
301
目標座標設定部

【図５】


目標座標設定部
301
直交度補正部
302
303
位置制御部
304A
309A
モータドライバ
209(210)
モータ
13(16)
レーザ1
レーザ2
221(222)
X1(Y1)
X2(Y2)
ピッチング補正部
307
P0*(X0*, Y0*, Z0*)
P*(X*, Y*, Z*)
P(X, Y, Z)

【図６】


目標座標設定部
301
303
位置制御部
304
309
302B
直交度補正部
305
位置制御部
306
モータドライバ
209(210)
モータ
13(16)
エンコーダ
205(206)
レーザ1
レーザ2
221(222)
X1(Y1)
X2(Y2)
ピッチング補正部
307
P0*(X0*, Y0*, Z0*)
P(X, Y, Z)
P0(X0, Y0, Z0)

フロントページの続き

Ｆターム(参考) 2F069 AA01 AA61 AA71 EE21 GG01 GG07 JJ04 PP02