

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5189806号
(P5189806)

(45) 発行日 平成25年4月24日(2013.4.24)

(24) 登録日 平成25年2月1日(2013.2.1)

(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 6 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2007-216380 (P2007-216380)	(73) 特許権者	000137694
(22) 出願日	平成19年8月22日 (2007.8.22)		株式会社ミットヨ
(65) 公開番号	特開2008-89578 (P2008-89578A)		神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号
(43) 公開日	平成20年4月17日 (2008.4.17)	(74) 代理人	110000637
審査請求日	平成22年7月2日 (2010.7.2)		特許業務法人樹之下知的財産事務所
(31) 優先権主張番号	特願2006-243376 (P2006-243376)	(72) 発明者	石川 修弘
(32) 優先日	平成18年9月7日 (2006.9.7)		茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	清谷 進吾
			茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内
		審査官	北川 創

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面形状測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも一部に円弧部分が含まれる被測定物表面に近接あるいは当接される測定子を有し、前記測定子と前記被測定物表面との相対位置を予め設定された基準位置に保って做い走査する做いプローブと、

前記被測定物表面に沿った前記做いプローブの次の移動位置を指示する做いベクトルを指令する做いベクトル指令部と、

前記做いプローブを保持するとともに三次元的に移動させる駆動軸を有し、前記做いベクトル指令に応じて前記做いプローブを移動させる駆動機構と、

前記駆動機構の駆動量を検出する駆動センサと、

前記做いベクトル指令部から発せられた前記做いベクトル指令に基づいて前記駆動機構の動作状態を推定して推定動作状態量を算出する動作推定部と、

前記推定動作状態量に応じて前記駆動センサの検出値を補正演算する補正演算部と、を備え、

前記動作推定部は、

前記做いベクトル指令部により前記做いベクトル指令が発せられてから前記做いプローブの移動位置に反映されるまでの信号伝達特性であるノミナルモデルが設定されたノミナルモデル設定部と、

前記做いベクトル指令部からの前記做いベクトル指令と前記ノミナルモデル設定部に設定された前記ノミナルモデルとを用いて前記做いプローブの位置を推定位置として求める

位置推定部と、

前記位置推定部にて求められた前記倣いプローブの推定位置を2階微分して前記推定動作状態量としての加速度を算出する2階微分演算部と、を備え、

前記補正演算部は、駆動中の前記駆動機構が変形することによって生じる測定誤差を補正する補正量を前記推定動作状態量に基づいて算出する

ことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項2】

請求項1に記載の表面形状測定装置において、

前記補正演算部は、

前記倣いプローブに生じる加速度と前記駆動機構の変形量との関係を表す補正パラメータを記憶した補正パラメータ記憶部と、 10

前記駆動センサの検出値を補正する補正量を前記倣いプローブに生じる加速度に基づいて算出する補正量算出部と、

前記算出された補正量を前記駆動センサの検出値に合成して前記被測定物表面の位置を求める測定データ合成部と、を備える

ことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項3】

請求項2に記載の表面形状測定装置において、

前記補正量算出部は、位相差補正量算出部を備え、

前記補正パラメータ記憶部は、位相差補正のための補正パラメータを記憶しており、 20

前記位相差補正のための補正パラメータ (b_2 、 b_1) は、

$= b_2 f^2 + b_1 f + b_0$ の関係式 (b_2 は位相差補正量、 f は倣い測定時の回転周波数、 b_0 は初期位相差) と、

測定領域中の異なる位置で円ゲージの倣い測定を異なる倣い速度で行った結果と、に基づいて算出されたものである

ことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項4】

請求項2または請求項3に記載の表面形状測定装置において、

前記補正量算出部は、ゲイン補正量算出部を備え、

前記補正パラメータ記憶部は、ゲイン補正のための補正パラメータを記憶しており、 30

前記ゲイン補正のための補正パラメータ k は、

$D = k \cdot A$ の関係式 (ここで、ゲイン補正量を D 、倣い測定時における前記倣いプローブの移動の加速度を A とする) と、

測定領域中の異なる位置で円ゲージの倣い測定を異なる倣い速度で行った結果と、に基づいて算出されたものである

ことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項5】

請求項2または請求項3に記載の表面形状測定装置において、

前記補正量算出部は、ゲイン補正量算出部を備え、

前記補正パラメータ記憶部は、ゲイン補正のための補正パラメータを記憶しており、 40

前記ゲイン補正のための補正パラメータ k は、

$|G_1| = 1 - k(2\pi \cdot f)^2$ の関係式 (ここで、 $|G_1|$ は信号伝達特性 G_1 のゲイン、 f は倣い測定時の回転周波数) と、

測定領域中の異なる位置で円ゲージの倣い測定を異なる倣い速度で行った結果と、に基づいて算出されたものである

ことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項6】

請求項2または請求項3に記載の表面形状測定装置において、

前記補正量算出部は、ゲイン補正量算出部を備え、

前記補正パラメータ記憶部は、ゲイン補正のための補正パラメータを記憶しており、 50

前記ゲイン補正のための補正パラメータは、
測定領域中の異なる位置で円ゲージの倣い測定を異なる倣い速度で行った結果から導出される回転周波数とゲインとの関係から導かれる多項式の係数として表される係数であることを特徴とする表面形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面形状測定装置に関する。

例えば、被測定物表面を倣い走査して被測定物の輪郭、表面粗さ、うねり等を測定する表面倣い測定装置に関する。

10

【背景技術】

【0002】

被測定物表面を倣い走査して被測定物の立体的形状を測定する表面倣い測定装置が知られている。

図19に、倣いプローブ130を利用した表面倣い測定装置としての測定システム100の構成を示す。

この測定システム100は、倣いプローブ130を移動させる三次元測定機110と、手動操作する操作部150と、三次元測定機110の動作を制御するモーションコントローラ160と、モーションコントローラ160を介して三次元測定機110を動作させるとともに三次元測定機110によって取得した測定データを処理して被測定物Wの寸法や形状などを求めるホストコンピュータ200と、を備えている。

20

【0003】

三次元測定機110は、定盤111と、定盤111に立設されて倣いプローブ130を三次元的に移動させる駆動機構120と、駆動機構120の駆動量を検出する駆動センサ(不図示)と、を備えて構成されている。

駆動機構120は、定盤111の両側端から定盤111に略垂直方向であるZm軸方向に高さを有するとともに定盤111の側端に沿ったYm軸方向へスライド可能に設けられた二本のビーム支持体121と、ビーム支持体121の上端に支持されてXm軸方向に長さを有するビーム122と、Xm軸方向にスライド可能にビーム122に設けられZm軸方向にガイドを有するコラム123と、コラム123内をZ軸方向にスライド可能に設けられ下端にて倣いプローブ130を保持するスピンドル124と、を備えて構成されている。

30

駆動センサは、ビーム支持体121のYm軸方向への移動を検出するYm軸センサと、コラム123のXm軸方向への移動を検出するXm軸センサと、スピンドル124のZm軸方向への移動を検出するZm軸センサと、を備えている。

【0004】

倣いプローブ130は、図20に示されるように、先端に接触部(測定子)132を有するスタイラス131と、スタイラス131の基端を一定の範囲内でXp方向、Yp方向、Zp方向にスライド可能に支持する支持部133と、を備えている。

支持部133は互いに直交する方向に移動可能なxpスライダ、ypスライダ、zpスライダを有するスライド機構(不図示)と、スライド機構の各軸方向の変位量を検出するとともに検出した変位量を出力するプローブセンサ(不図示)と、を備えている。

40

スタイラス131はスライド機構によって支持部133に対して一定の範囲内でスライド可能に支持されている。

なお、このような倣いプローブ130の構成は例えば特許文献1(特開平05-256640号)に記載されている。

【0005】

このような構成において、接触部132を基準押込量rで被測定物表面Sに当接させた状態で倣いプローブ130を被測定物表面Sに沿って倣い移動させる。

このとき、駆動機構120の駆動量から倣いプローブ130の移動軌跡が得られる。

50

そして、倣いプローブ 130 の移動軌跡は、すなわち、接触部 132 の移動軌跡となる
ところ、接触部 132 の中心点の移動軌跡に対して所定量 (Q) だけオフセットした位
置に被測定物表面 S と接触部 132 との接触点が存在する。

そこで、駆動センサによって検出される倣いプローブ 130 の位置とプローブセンサに
よって検出されるスタイラス 131 の変位とを合算して接触部 132 の位置を求めた上
で、接触部 132 の位置から所定のオフセット値分 (Q) だけ補正することによって被測
定物表面 S の位置が算出される。

【 0 0 0 6 】

ここで、表面倣い測定装置によって被測定物表面を倣い走査する際、加速度をもって駆
動する部分には慣性力が作用する。

例えば、被測定物 W が円あるいは円弧である場合、円運動による遠心力が発生し、図 2
1 に示されるように、駆動機構 120 (スピンドル 124) が変形するという問題が発生
する。

このような加速度による変形が生じる場合、変形が生じる分だけセンサの検出値には誤
差が含まれることとなる。

例えば、遠心力が発生する場合、スピンドル 124 が外側に变形する分だけセンサによ
る検出値は円の内側に入ってしまう、例えば、図 2 2 に示されるように径方向のズレが生
じる。

なお、図 2 2 中、L 1 はリングゲージの径であり、L 2 は測定データである。

このような課題は、例えば、自動車のボディを測定するような大型の三次元測定機 1 1
0 で高速倣い測定を行う必要がある場合には非常に大きな問題となって顕在化する。

【 0 0 0 7 】

この点、例えば、特許文献 2 (特開平 7 - 3 2 4 9 2 8 号) では、加速度によって生じ
る測定誤差を補正する方法として次の構成が開示されている。

すなわち、特許文献 2 にあっては、測定スライダの位置と測定スライダの加速度との関
数としてたわみ特性を表す補正値を予め求めておく。

例えば、測定領域の様々な位置において各加速度で半径既知のリンクゲージを測定する
ことにより加速度とたわみ特性との関数を求めておくことができる。

そして、被測定物を測定する際には、各センサによる検出データを得ることに加えて、
さらに、測定時の加速度から補正値を特定して、前記検出データを補正値で補正する。

このようにして加速度によって生じる測定誤差を補正して正しい測定値が得られる。

測定時の加速度を求める方法として、特許文献 2 では、測定スライダの位置の測定値を
二回微分することによって得る方法 (段落 0 0 3 7、請求項 1 2)、および、加速度セン
サを設けて測定スライダの加速度を検出する方法 (段落 0 0 4 7、請求項 1 3) が開示さ
れている。

【 0 0 0 8 】

【特許文献 1】特開平 0 5 - 2 5 6 6 4 0 号公報

【特許文献 2】特開平 0 7 - 3 2 4 9 2 8 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

特許文献 2 の方法では、測定スライダの位置を二回微分することで測定時の加速度を特
定することとしているが、位置の検出値の二回微分では加速度の分解能がサンプリング周
波数の二乗に反比例して劣化してしまうという問題がある。

例えば、位置検出のサンプリング周波数を 10 倍に高めると、求められる加速度の分解
能は 1 / 100 に劣化し、その結果、補正量の分解能も 1 / 100 に劣化してしまう。

このように、位置の二回微分による加速度の求め方は、実用的ではなく、高速での高精
度測定という要求に応えることができない。

さらには、測定スライダの位置を二回微分して測定スライダの加速度を求めているが、
実際の測定にあたって加速度および変形の発生が問題となるのはスピンドル 124 の先端

10

20

30

40

50

部あるいはプローブ部であり、測定スライダの加速度を議論の対象としていては補正の精度に原理的に限界がある。

なお、特許文献2では、加速度センサを設けることによって測定スライダの加速度を求めることも記載されているが、加速度センサの性能と設置方法については記載されておらず、現実的には困難である。

例えば、加速度センサで実測する場合、例えば、直径100mmの円を做い速度10mm/secで做い測定する際には約50 μ Gで中心方向の加速度が発生するが、50 μ Gの加速度を検出可能な加速度センサを移動軸毎に一つずつ合計3個設置することは困難である。

ましてや、プローブ部の近傍にこのような加速度センサを設置することは不可能である。

【0010】

このように、做い測定の際に生じる変形分を正確に求めることができないため、このような変形分を補正することができなかった。

そのため、高速で測定する場合には正確に被測定物の形状を求めることができず、正確に測定するためには変形が生じない程度の做い速度に制限されるという問題が生じていた。

特に、自動車等の大きな被測定物を高速に測定するための大型の三次元測定機110が必要とされているため、上記の課題を解決する手段が切望されていた。

【0011】

本発明の目的は、従来の問題を解消し、高速かつ高精度に做い測定できる表面形状測定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の表面形状測定装置は、少なくとも一部に円弧部分が含まれる被測定物表面に近接あるいは当接される測定子を有し、前記測定子と前記被測定物表面との相対位置を予め設定された基準位置に保って做い走査する做いプローブと、前記被測定物表面に沿った前記做いプローブの次の移動位置を指示する做いベクトルを指令する做いベクトル指令部と、前記做いプローブを保持するとともに三次元的に移動させる駆動軸を有し、前記做いベクトル指令に応じて前記做いプローブを移動させる駆動機構と、前記駆動機構の駆動量を検出する駆動センサと、前記做いベクトル指令部から発せられた前記做いベクトル指令に基づいて前記駆動機構の動作状態を推定して推定動作状態量を算出する動作推定部と、前記推定動作状態量に応じて前記駆動センサの検出値を補正演算する補正演算部と、を備え、前記動作推定部は、前記做いベクトル指令部により前記做いベクトル指令が発せられてから前記做いプローブの移動位置に反映されるまでの信号伝達特性であるノミナルモデルが設定されたノミナルモデル設定部と、前記做いベクトル指令部からの前記做いベクトル指令と前記ノミナルモデル設定部に設定された前記ノミナルモデルとを用いて前記做いプローブの位置を推定位置として求める位置推定部と、前記位置推定部にて求められた前記做いプローブの推定位置を2階微分して前記推定動作状態量としての加速度を算出する2階微分演算部と、を備え、前記補正演算部は、駆動中の前記駆動機構が変形することによって生じる測定誤差を補正する補正量を前記推定動作状態量に基づいて算出することを特徴とする。

なお、少なくとも一部に円弧部分が含まれるとは、一定の曲率を有する円弧を含むことを要せず、曲面を含むものであればよい。よって、自由曲面も本発明の測定対象に含まれる。

【0013】

このような構成において、做いプローブを被測定物表面に沿って移動させるための做いベクトル指令が做いベクトル指令部から発せられる。

すると、做いベクトル指令に応じ、駆動機構によって做いプローブが被測定物表面に沿って做い移動される。

倣いプローブで被測定物表面を走査するときの駆動機構の駆動量が駆動センサで検出される。

このような倣い測定の動作の際には加速度が生じ、加速度による力がかかった場合には駆動機構に変形が生じ、その変形分が測定誤差に含まれる恐れがある。

そこで、倣いプローブで倣い測定すると同時に、上記の変形分による誤差を補正する処理が行われる。

補正演算部により、倣いベクトル指令の指令値に基づいた補正量が算出される。

すなわち、動作時に生じる変形に伴う測定誤差分を補正する補正量が算出される。

例えば、倣いベクトル指令の指令値から導出される加速度に基づいて駆動機構の変動を見積り、補正量を算出する。

10

算出された補正量は、駆動センサによる検出値と合成されて測定データとして出力される。

【0014】

このような構成によれば、倣いベクトル指令の指令値に基づいて補正量が算出される。

したがって、駆動機構の駆動状態を詳細にかつ正確に求めることができ、駆動中の駆動機構に生じている変形を補正する補正量を正確に算出することができる。

従来、測定誤差の補正のために駆動機構の駆動状態を求めるにあたっては駆動センサの検出値から駆動状態を求めることが行われていた。

しかし、駆動センサの検出値では、駆動時に発生する駆動機構の変形を含んだ値となっており、正確な値とはいえず、このような誤差を含んだ値による補正量の算出では正確な補正は望めないという問題があった。

20

また、駆動センサの検出値に基づいて動作状態を求める場合に、例えば、位置の検出値から加速度を算出しようとするると離散化誤差が大きくなって実用的ではないという問題が生じる。

例えば、駆動センサによる位置検出のサンプリング周期を10分の1に短くすると、動作状態量としての加速度の分解能は100分の1に劣化してしまう。

あるいは、動作状態として加速度データを得る場合に加速度センサを設けることも考えられるが、Xm、Ym、Zmの各方向に加速度センサを設けることがそもそも困難であり、加速度センサの検出能力にも限界がある。

この点、本発明では、倣いベクトル指令の指令値から駆動状態を求めることとしているので、駆動機構の動作状態を求める場合でも実測のデータによることなく、演算によって求めることができる。

30

よって、短い周期であっても正確に動作状態を求めることができる。

その結果、高い分解性能で補正を行うことができる。

【0015】

本発明では、前記補正演算部は、前記倣いプローブに生じる加速度と前記駆動機構の変形量との関係を表す補正パラメータを記憶した補正パラメータ記憶部と、前記駆動センサの検出値を補正する補正量を前記倣いプローブに生じる加速度に基づいて算出する補正量算出部と、前記算出された補正量を前記駆動センサの検出値に合成して前記被測定物表面の位置を求める測定データ合成部と、を備えることが好ましい。

40

【0016】

このような構成において、補正演算に必要なパラメータは補正パラメータ記憶部に予め記憶されている。

そして、補正量算出部では、倣いベクトル指令の指令値から導出される加速度および補正パラメータに基づいて補正量を算出する。

算出された補正量が駆動センサの検出値に合成されることにより正確な測定値が求められる。

【0017】

ここで、補正量としては、駆動軸方向ごとの信号伝達特性あるいは駆動ゲインの差異によって円運動時に各軸間に生じる指令伝達の位相差を補正する位相差補正量と、加速度に

50

より駆動機構が変形することによって生じる軸ごとのゲイン誤差を補正するゲイン補正量と、がある。

そして、位相差補正量を求める構成としては次の構成が好ましい。

すなわち、本発明では、前記補正量算出部は、位相差補正量算出部を備え、前記補正パラメータ記憶部は、位相差補正のための補正パラメータを記憶しており、前記位相差補正のための補正パラメータ (b_2 、 b_1) は、 $\theta = b_2 f^2 + b_1 f + \theta_0$ の関係式 (θ は位相差補正量、 f は做い測定時の回転周波数、 θ_0 は初期位相差) と、測定領域中の異なる位置で円ゲージの做い測定を異なる做い速度で行った結果と、に基づいて算出されたものであることが好ましい。

【0018】

10

このように位相差補正量は做い測定時に做いプローブが被測定物を走査する回転周波数に相関するとして前記関係式をたてる。

そして、測定領域中の異なる位置において異なる做い速度 (回転周波数) で円ゲージを実際に測定して校正データを得る。

この校正データを上記関係式に代入してパラメータを求め、補正パラメータとして記憶する。

このように回転周波数および測定位置の違いに対応して位相ずれを補正する補正パラメータを求めることにより、位相差補正を行うことができる。

したがって、円運動時の位相誤差を補正して正確な測定データを得ることができる。

【0019】

20

また、ゲイン補正量を算出する構成としては次の構成が挙げられる。

すなわち、ゲイン誤差は加速度に比例するとした関係式を用いて加速度とゲイン誤差とを関係づけるパラメータを求めてもよく、

本発明では、前記補正量算出部は、ゲイン補正量算出部を備え、前記補正パラメータ記憶部は、ゲイン補正のための補正パラメータを記憶しており、前記ゲイン補正のための補正パラメータ k は、 $D = k \cdot A$ の関係式 (ゲイン補正量を D 、做い測定時における前記做いプローブの移動の加速度を A とする) と、測定領域中の異なる位置で円ゲージの做い測定を異なる做い速度で行った結果と、に基づいて算出されたものであることが好ましい。

【0020】

また、ゲイン誤差は做い測定時の回転周波数に相関するとした関係式を用いて回転周波数とゲイン誤差とを関係づけるパラメータを求めてもよく、

30

本発明では、前記補正量算出部は、ゲイン補正量算出部を備え、前記補正パラメータ記憶部は、ゲイン補正のための補正パラメータを記憶しており、前記ゲイン補正のための補正パラメータ k は、 $|G_1| = 1 - k(2\pi \cdot f)^2$ の関係式 ($|G_1|$ は信号伝達特性 G_1 のゲイン、 f は做い測定時の回転周波数) と、測定領域中の異なる位置で円ゲージの做い測定を異なる做い速度で行った結果と、に基づいて算出されたものであることが好ましい。

【0021】

さらには、ゲイン誤差と回転周波数との関係を実験的に求めてもよく、

本発明では、前記補正量算出部は、ゲイン補正量算出部を備え、前記補正パラメータ記憶部は、ゲイン補正のための補正パラメータを記憶しており、前記ゲイン補正のための補正パラメータは、測定領域中の異なる位置で円ゲージの做い測定を異なる做い速度で行った結果から導出される回転周波数とゲインとの関係から導かれる多項式の係数として表される係数であることが好ましい。

40

【0022】

本発明では、前記做いベクトル指令部から発せられた前記做いベクトル指令に基づいて前記駆動機構の動作状態を推定して推定動作状態量を算出する動作推定部を備え、前記動作推定部は、前記做いベクトル指令部により前記做いベクトル指令が発せられてから前記做いプローブの移動位置に反映されるまでの信号伝達特性であるノミナルモデルが設定されたノミナルモデル設定部と、前記做いベクトル指令部からの前記做いベクトル指令と前

50

記ノミナルモデル設定部に設定された前記ノミナルモデルとを用いて前記倣いプローブの位置を推定位置として求める位置推定部と、前記位置推定部にて求められた前記倣いプローブの推定位置を2階微分して前記推定動作状態量としての加速度を算出する2階微分演算部と、を備え、前記補正演算部は、駆動中の前記駆動機構が変形することによって生じる測定誤差を補正する補正量を前記推定動作状態量に基づいて算出することを特徴とする。

【0023】

このような構成において、倣いベクトル指令部からの倣いベクトル指令が位置推定部に入力される。

すると、位置推定部において倣いベクトル指令による位置指令Cと設定されたノミナルモデルGNとが乗算され、倣いプローブの推定位置Eが算出される。

算出された倣いプローブの推定位置Eは2階微分演算部に出力される。

そして、2階微分演算部において、倣いプローブの推定位置から推定動作状態量として加速度データが算出される。

この加速度データは、補正量算出部に出力され、駆動動作によって生じる駆動機構の変形に伴う測定誤差分を補正する補正量が算出される。

算出された補正量は、駆動センサによる検出値と合成され、測定データとして出力される。

【0024】

このような構成によれば、推定動作状態量として倣いプローブに発生している加速度を求めることができる。

実測の位置データに基づいて加速度を算出する場合にはサンプリング周期を短くするに伴って加速度データの分解能が劣化してしまうが、本発明ではノミナルモデルを用いて算出された推定位置を2階微分することで加速度を算出するので、サンプリング周期による加速度データの劣化はない。

よって、短い周期であっても加速度データの算出が可能であり、このように求められた加速度データによって補正量を細かく算出することができる。

その結果、短い周期で取得された位置データであっても動作状態に基づいて正確に補正することができ、短いピッチでの正確な形状データを取得することができる。

【0025】

このような構成によれば、2階微分演算部にて算出した推定加速度に基づいて円を倣い測定する際の回転周波数を周波数推定部にて算出するので、円の倣い動作中に変化する回転周波数も正確に求めることができる。

例えば、回転周波数fの回転速度で円を倣い測定する指令が倣いベクトル指令部によって発せられても、動作の開始直後で速度が安定する前には指令された通りの速度に達していないため、指令どおりの回転周波数fではない。

そのため、指令されたとおりの回転周波数fを前提にして補正量を算出したのでは、補正を正確に行うことができないという問題が生じる。

【0026】

この点、本発明では、指令値の回転周波数fをそのまま補正演算の前提とすることなく、2階微分による加速度推定を行ったうえで、推定加速度に基づいたその都度の回転周波数fを算出する。

その結果、円の倣い動作中に変化する回転周波数も正確に求めることができるので、円運動時の遠心力分を回転周波数に基づく補正演算で補正する場合であっても正確な補正を行うことができる。

【0027】

また、例えば、円の倣い測定において、指令された回転周波数に達するまでには時間がかかるので、指令された回転周波数を前提とした補正を行う場合には加速部分で取得したデータを利用することなく、倣い速度(すなわち回転周波数)が一定となった際に取得したデータのみを補正して測定データとすることで正確な測定データを得ることはできる。

10

20

30

40

50

しかし、この方法では、倣い速度（すなわち回転周波数）が一定になるまでの時間が無駄となり、測定の作業効率が非常に悪くなる。

【0028】

この点、本発明では、その都度の加速度推定値から回転周波数を算出し、この算出された回転周波数に基づいて補正量を算出できるので、倣い速度（すなわち回転周波数）が一定に達するのを待つことなく、総ての取得データを適切に補正して測定データとすることができる。

その結果、測定の作業効率を向上させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

以下、本発明の実施の形態を図示するとともに図中の各要素に付した符号を参照して説明する。

【0030】

（第1実施形態）

本発明の表面形状測定装置に係る第1実施形態について説明する。

第1実施形態として倣いプローブ130を用いた表面倣い測定装置としての測定システム100を図20に示す。

また、図1に測定システム100の機能ブロック図を示す。

測定システム100の概略構成は、背景技術で説明した構成に同様であり、三次元測定機110と、三次元測定機110の動作を手動操作する操作部150と、三次元測定機110の駆動制御を実行するモーションコントローラ160と、モーションコントローラ160に所定の指令を与えると同時に被測定物Wの形状解析等の演算処理を実行するホストコンピュータ200と、測定条件等を入力する入力手段61と、測定結果を出力する出力手段62と、を備えている。

【0031】

三次元測定機110は（図19参照）、定盤111と、定盤111に立設されて倣いプローブ130を三次元的に移動させる駆動機構120と、駆動機構120の駆動量を検出する駆動センサ140と、を備えて構成されている。

駆動機構120は、定盤111の両側端から定盤111に略垂直方向であるZm軸方向に高さを有するとともに定盤111の側端に沿ったYm軸方向へスライド可能に設けられた二本のビーム支持体121と、ビーム支持体121の上端に支持されてXm軸方向に長さを有するビーム122と、ビーム122にXm軸方向にスライド可能に設けられZm軸方向にガイドを有するコラム123と、コラム123内をZ軸方向にスライド可能に設けられ下端にて倣いプローブ130を保持するスピンドル124と、を備えて構成されている。

駆動センサ140は、ビーム支持体121のYm軸方向への移動を検出するYm軸センサ141と、コラム123のXm軸方向への移動を検出するXm軸センサ142と、スピンドル124のZm軸方向への移動を検出するZm軸センサ143と、を備えている。

【0032】

倣いプローブ130は（図20参照）、先端に接触部（測定子）132を有するスタイラス131と、スタイラス131の基端を一定の範囲内でXp方向、Yp方向、Zp方向にスライド可能に支持する支持部133と、を備えている。

支持部133は互いに直交する方向に移動可能なxpスライダ、ypスライダ、zpスライダを有するスライド機構（不図示）と、スライド機構の各軸方向の変位量を検出するとともに検出した変位量を出力するプローブセンサ134と、を備えている。

プローブセンサ134は、スタイラス131のXp方向への移動を検出するXp方向センサ135と、スタイラス131のYp方向への移動を検出するYp方向センサ136と、スタイラス131のZp方向への移動を検出するZp方向センサ137と、を備えている。

【0033】

10

20

30

40

50

モーションコントローラ 160 は、駆動センサ 140 およびプローブセンサ 134 からの検出信号を計数するカウンタ部 161 と、ホストコンピュータ 200 および操作部 150 からの指令に応じて駆動機構 120 を駆動制御する駆動制御回路 162 と、を備えている。

【0034】

カウンタ部 161 は、駆動センサ 140 から出力されるパルス信号をカウントして駆動機構 120 の駆動量を計測する駆動カウンタ 171 と、プローブセンサ 134 から出力されるパルス信号をカウントしてスタイラス 131 のスライド量を押込量として計測するプローブカウンタ 175 と、を備えている。

駆動カウンタ 171 は、Ym 軸センサ 141 からの出力を計数する Ym 軸カウンタ 172 と、Xm 軸センサ 142 からの出力を計数する Xm 軸カウンタ 173 と、Zm 軸センサ 143 からの出力を計数する Zm 軸カウンタ 174 と、を備えている。

プローブカウンタ 175 は、Xp 方向センサ 135 からの出力を計数する Xp 方向カウンタ 176 と、Yp 方向センサ 136 からの出力を計数する Yp 方向カウンタ 177 と、Zp 方向センサ 137 からの出力を計数する Zp 方向カウンタ 178 と、を備えている。駆動カウンタ 171 によるカウント値 (Xm、Ym、Zm) およびプローブカウンタ 175 によるカウント値 (Xp、Yp、Zp) はそれぞれホストコンピュータ 200 に出力される。

【0035】

ホストコンピュータ 200 は、入力手段 61 によって設定入力される測定条件等を記憶するメモリ (記憶装置) 210 と、被測定物表面に倣う移動方向および移動速度の倣いベクトルを指令する倣いベクトル指令部 220 と、倣いベクトル指令部 220 からの指令に基づいて駆動機構 120 の動作を推定して倣いプローブ 130 に発生する加速度を算出する動作推定部 600 と、動作推定部 600 による動作推定に基づいて補正量を算出して測定値を補正する補正演算部 700 と、被測定物 W の形状を解析する形状解析部 500 と、演算装置および記憶装置 (ROM、RAM) を有し所定プログラムの実行やデータ処理等を行う中央処理部 (CPU) 230 と、前記各機能部を接続するバスと、を備えている。

【0036】

メモリ 210 は、入力手段 61 から設定入力される測定条件等を記憶し、例えば、倣い走査中に駆動機構 120 の駆動量をサンプリングする間隔 (サンプリングピッチ) や、接触部 132 を被測定物 W に対して押し込む量 (基準押込量 r) や、倣い走査を行う速度 (倣い速度) や、被測定物 W の設計データなどによる輪郭データなどを記憶する。

【0037】

倣いベクトル指令部 220 は、例えば、メモリ 210 に設定された輪郭データに基づいて被測定物 W を倣い走査する倣いベクトル指令を生成する。

また、倣いベクトル指令部 220 は、プローブカウンタ 175 の出力に基づいて押込量を基準押込量 r で所定範囲 (基準位置範囲) にする押込方向の倣いベクトル指令を生成する。

倣いベクトル指令部 220 で生成された倣いベクトル指令は、駆動制御回路 162 に出力される。

【0038】

図 2 は、動作推定部 600 および補正演算部 700 の構成を示す図である。

動作推定部 600 は、加速度推定部 310 と周波数推定部 610 とを備えている。

加速度推定部 310 は、倣いベクトル指令部 220 による倣いベクトル指令が発せられてから駆動センサ 140 による位置検出が行われるまでの伝達関数であるノミナルモデルが設定されたノミナルモデル設定部 311 と、倣いベクトル指令とノミナルモデルとに基づいて倣いプローブ 130 の位置を推定する位置推定部 314 と、位置推定部 314 にて求められた推定位置のデータ値から 2 階微分により倣いプローブ 130 の加速度を算出する 2 階微分演算部 315 と、を備えている。

【0039】

10

20

30

40

50

図3は、ノミナルモデル設定部の構成を示す図である。

ノミナルモデル設定部311には、倣いベクトル指令が発せられてから三次元測定機110が駆動されて指令位置に到達するまでの周波数伝達関数であるノミナルモデルが設定されている。

ノミナルモデル設定部311には、図3に示されるように、三次元測定機のノミナルモデル $G_1(s)$ (駆動機構のノミナルモデル)と、倣いプローブのノミナルモデル $G_2(s)$ とが設定されている。

倣いプローブのノミナルモデルは、倣いプローブ130の交換に備えて倣いプローブ130の種類ごとに用意されており、現に取り付けている倣いプローブ130に対応したノミナルモデルを選択可能となっている。

10

そして、倣いベクトル指令から倣いプローブ130の位置までの伝達関数は三次元測定機のノミナルモデル $G_1(s)$ と倣いプローブのノミナルモデル $G_2(s)$ との積である $G_N(=G_1(s) \times G_2(s))$ として表される。

なお、ベクトル指令、三次元測定機110の駆動動作およびセンサによる位置検出等はXm軸、Ym軸およびZm軸方向でそれぞれ行われるが、三次元測定機110の位置制御系(倣いベクトル指令から位置検出を行うフィードバック制御系)はXm、Ym、Zm軸方向の駆動の時定数Tが総て同じになるように調整されていることから、Xm、Ym、Zm軸方向とも同じノミナルモデル G_N とする。

ノミナルモデル G_N は設計データあるいは実験値等から適宜求められる。

例えば、ノミナルモデル G_N が一次遅れ系であるとき、ノミナルモデル G_N は次の式で表される。

20

次式においてKはゲインを表し、sはラプラス演算子を表す。

【0040】

【数1】

$$G_N = K \cdot \frac{1}{1+T \cdot s}$$

【0041】

位置推定部314は、倣いベクトル指令の位置指令 $C(c_x, c_y, c_z)$ とノミナルモデル G_N とにより、倣いプローブ130の位置を推定する。

位置推定部314には、倣いベクトル指令部220にて生成された倣いベクトル指令が刻々入力される。

30

そして、位置指令 $C(c_x, c_y, c_z)$ とノミナルモデル G_N とにより倣いプローブ130の推定位置 $E(e_x, e_y, e_z)$ を次のように算出する。

すなわち、倣いプローブ130の推定位置Eはノミナルモデル G_N と位置指令Cとの積で表される。

【0042】

【数2】

$$E = G_N \cdot C$$

【0043】

推定位置を各方向(Xm軸方向、Ym軸方向、Zm軸方向)でそれぞれ分解して表すと次のようになる。

40

【0044】

【数3】

$$e_x = G_N \cdot c_x$$

$$e_y = G_N \cdot c_y$$

$$e_z = G_N \cdot c_z$$

【0045】

2階微分演算部315は、位置推定部314にて算出された倣いプローブ130の推定位置 $E(e_x, e_y, e_z)$ を2階微分することにより、倣いプローブ130に発生している加速度 $A(a_x, a_y, a_z)$ を推定動作状態量として求める。

50

【 0 0 4 6 】

【 数 4 】

$$A(t) = \frac{d^2 E(t)}{dt^2}$$

【 0 0 4 7 】

【 数 5 】

$$a_x = \ddot{e}_x$$

$$a_y = \ddot{e}_y$$

$$a_z = \ddot{e}_z$$

【 0 0 4 8 】

10

周波数推定部 6 1 0 は、倣いプローブ 1 3 0 を用いて、角速度一定で円を倣い測定する際の回転周波数 f を推定する。

ここで、2 階微分演算部 3 1 5 により加速度 A が算出されているところ、周波数推定部 6 1 0 には 2 階微分演算部 3 1 5 にて算出された加速度 A (a_x 、 a_y 、 a_z) が入力される。

そして、例えば、倣いベクトル指令による円運動倣い測定の際の回転半径を R_s とし、2 階微分演算部 3 1 5 にて算出された倣いプローブ 1 3 0 の推定加速度を A (a_x 、 a_y 、 a_z) とするとき、周波数推定部 6 1 0 は、次の式により円運動の回転周波数 f を算出する。

【 0 0 4 9 】

20

【 数 6 】

$$f = \sqrt{\frac{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}{(2\pi)^2 \cdot R_s}}$$

【 0 0 5 0 】

この式の導出については、例えば、次のように説明される。

回転周波数 f と角速度 ω との関係は $\omega = 2\pi f$ と表され、また、向心加速度を a_n と表すとき $a_n = R_s \omega^2$ であることから、次の式変形により導出可能である。

【 0 0 5 1 】

【 数 7 】

30

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

ここで、 $a_n = R_s \cdot \omega^2$

$$\omega = \sqrt{\frac{a_n}{R_s}}$$

$$= \sqrt{\frac{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}{R_s}}$$

したがって、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}{R_s}}$$

40

$$= \sqrt{\frac{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}{(2\pi)^2 \cdot R_s}}$$

【 0 0 5 2 】

また、特に、 $X Y$ 平面における円運動である場合には、上式は次のように簡略化される。

【 0 0 5 3 】

【数 8】

$$f = \sqrt{\frac{a_x^2 + a_y^2}{(2\pi)^2 \cdot R_s}}$$

【0054】

補正演算部 700 は、倣いプローブ 130 に生じた加速度と三次元測定機 110 の変形量との関係を表す補正パラメータを記憶した補正パラメータ記憶部 710 と、センサ検出値を補正する補正量 D を倣いプローブ 130 に生じた加速度に基づいて算出する補正量算出部 720 と、算出された補正量 D とセンサ検出値を合成して被測定物表面 S の位置を求める測定データ合成部 430 と、を備えている。

10

【0055】

補正パラメータ記憶部 710 には、補正パラメータ P が設定記憶されている。

補正パラメータ P は、倣いプローブ 130 に加速度 A が働くときに三次元測定機 110 に生じた変形量（具体的にはコラム 123 およびスピンドル 124 に生じた変形量）を加速度 A と関係づけるパラメータである。

補正パラメータ P (p_x 、 p_y 、 p_z) は、各軸方向、すなわち、X m、Y m、Z m 軸方向ごとに設定されている。

なお、補正パラメータ P の設定方法については後述する変形例 1、変形例 2、変形例 3 において円運動である場合を例にして示す。

【0056】

補正量算出部 720 は、ゲイン補正量算出部 721 と、位相差補正量算出部 722 と、を備えている。

20

【0057】

ゲイン補正量算出部 721 には、動作推定部 600 にて算出された加速度 A が入力される。

そして、ゲイン補正量算出部 721 は、補正パラメータ記憶部 710 に設定されている補正パラメータ P を用いて、次のように補正量 D を算出する。

【0058】

【数 9】

$$D = P \cdot A$$

30

【0059】

【数 10】

$$d_x = p_x \cdot a_x$$

$$d_y = p_y \cdot a_y$$

$$d_z = p_z \cdot a_z$$

【0060】

位相差補正量算出部 722 は、駆動軸方向ごとの信号伝達特性あるいは駆動ゲインの差異によって円運動時に生じる各軸間の指令伝達の位相差を位相差補正量 として算出する。

位相差補正量 は、回転周波数 f の関数（例えば、 $= b_2 f^2 + b_1 f + b_0$ ）として表され、理論的あるいは実験的に求められた補正パラメータが補正パラメータ記憶部 710 に設定記憶されている。

40

なお、ゲイン補正量 D および位相差補正量 を算出するための補正パラメータを設定する方法については後述の変形例 1、変形例 2、変形例 3 において例を挙げて説明する。

【0061】

測定データ合成部 430 は、駆動センサ 140 による検出値 (x_m 、 y_m 、 z_m)、補正量算出部 720 で算出された補正量 D (d_x 、 d_y 、 d_z) および位相差補正量 、および、プローブセンサ 134 による検出値 (x_p 、 y_p 、 z_p) を合成して倣いプローブ 130 の接触部 132 の軌跡を算出する。

さらに、基準押込量 r を考慮して被測定物表面 S の位置データを求める。

50

測定データ合成部 430 におけるデータ合成について説明する。

説明のために、XY 平面での円運動による倣い移動で被測定物表面を測定した場合を例にして説明する。

円運動の中心座標を (x_0, y_0) とし、円の半径を R で表すとき、駆動センサ 140 による検出値 (x_m, y_m) は、所定の位相 θ を用いて次のように表される。

【0062】

【数11】

$$x_m = x_0 + R \cos \theta$$

$$y_m = y_0 + R \sin \theta$$

【0063】

そして、算出されたゲイン補正量 (d_x, d_y) と、位相差補正量 ϕ の分を補正すると、次のように表される。

なお、 x_m 、 y_m は、補正後の駆動センサ検出値を表す。

【0064】

【数12】

$$x_m' = x_0 + R \cos \theta + d_x$$

$$y_m' = y_0 + R \sin(\theta + \phi) + d_y$$

【0065】

この補正された駆動センサ 140 の検出値 (x_m', y_m') とプローブセンサ 134 の検出値とを合成して求められる接触部 132 の位置に対して基準押込量 r を考慮した位置に被測定物の表面位置が求められる。

算出された被測定物表面 S の位置データは形状解析部 500 に出力される。

【0066】

形状解析部 500 は、データを合成して接触部 132 の軌跡および被測定物表面 S の形状データを算出する。

さらに、算出された被測定物の形状データを設計データと対比して誤差や歪みなどを求めるなどの形状解析も行う。

【0067】

このような構成を備える第 1 実施形態の動作を説明する。

まず、測定に先立って測定条件を設定入力する。

測定条件としてはサンプリングピッチ、基準押込量 r 、被測定物の輪郭データなどが挙げられる。

また、ノミナルモデル設定部 311 に三次元測定機のノミナルモデル $G_1(s)$ と倣いプローブのノミナルモデル $G_2(s)$ とを設定する。

倣いプローブ 130 のノミナルモデルは複数用意されているもののなかから現に使用する倣いプローブ 130 に対応するモデルを選択する。

この状態で、測定を開始させると、まず、倣いベクトル指令部 220 で生成される倣いベクトル指令が駆動制御回路 162 に出力される。

すると、駆動制御回路 162 から駆動機構 120 に制御信号が出力されて駆動機構 120 が駆動される。

駆動機構 120 によって倣いプローブ 130 が被測定物表面 S に対して基準押込量 r まで押し込まれた状態で被測定物表面 S に沿って倣い移動される。

この倣い移動時に加速度が生じ、三次元測定機 110 のスピンドル 124 に変形が生じる（例えば図 21 参照）。

また、倣い走査時にプローブカウンタ 175 から倣いベクトル指令部 220 に出力されるプローブカウンタ値に基づいて、押込量が基準押込量 r に制御される。

【0068】

倣いプローブ 130 で被測定物表面 S を走査するときの駆動機構 120 の駆動量が駆動センサ 140 で検出され、スタイラス 131 の変位量がプローブセンサ 134 で検出され

10

20

30

40

50

る。

駆動センサ 140 のセンサ出力は駆動カウンタ 171 でカウントされ、プローブセンサ 134 のセンサ出力はプローブカウンタ 175 でカウントされる。

なお、このようなカウンタ部 161 でカウントされたデータは、設定されたサンプリングピッチで取得される。

カウンタ部 161 (駆動カウンタ 171 およびプローブカウンタ 175) でカウントされて取得されたカウント値は補正演算部 700 にも出力される。

【 0069 】

倣いベクトル指令部 220 からの倣いベクトル指令は駆動制御回路 162 と同時に動作推定部 600 にも送られる。

10

動作推定部 600 において倣いベクトル指令は位置推定部 314 に入力される。

位置推定部 314 は、ノミナルモデル設定部 311 に設定されたノミナルモデルと倣いベクトル指令の位置指令とから周波数伝達速度を考慮した現在時点における倣いプローブ 130 の推定位置 $E(t)$ を算出する。

すなわち、位置指令 $C(c_x, c_y, c_z)$ とノミナルモデル G_N とを用いて次のように倣いプローブ 130 の推定位置 $E(t)$ (e_x, e_y, e_z) を算出する。

【 0070 】

【数 13】

$$e_x = G_N \cdot c_x$$

$$e_y = G_N \cdot c_y$$

$$e_z = G_N \cdot c_z$$

20

【 0071 】

位置推定部 314 にて算出された推定位置 E は 2 階微分演算部 315 に入力される。

2 階微分演算部 315 は、算出された推定位置を 2 階微分することにより、現在時点における倣いプローブ 130 に生じている加速度 $A(a_x, a_y, a_z)$ を算出する。

【 0072 】

【数 14】

$$a_x = \ddot{e}_x$$

$$a_y = \ddot{e}_y$$

$$a_z = \ddot{e}_z$$

30

【 0073 】

2 階微分演算部 315 にて算出された加速度 A は、補正演算部 700 の補正量算出部 720 へ出力される。

ゲイン補正量算出部 721 は、入力された加速度 A と補正パラメータとにより、加速度によって生じる変形分を補正する補正量 D を軸ごとに算出する。

すなわち、加速度 A が倣いプローブ 130 に生じている場合における駆動センサ検出値の補正量 $D(d_x, d_y, d_z)$ は次のように算出される。

【 0074 】

【数 15】

$$d_x = p_x \cdot a_x$$

$$d_y = p_y \cdot a_y$$

$$d_z = p_z \cdot a_z$$

40

【 0075 】

さらに、2 階微分演算部 315 にて算出された加速度 A は、周波数推定部 610 へ出力される。

周波数推定部 610 において円運動の回転周波数 f が算出され、算出された回転周波数 f は位相差補正量算出部 722 へ出力される。

そして、位相差補正量算出部 722 により、回転周波数 f の関数としての位相差補正量が算出される。

算出された位相差補正量 はゲイン補正量算出部 721 で算出されたゲイン補正量 D (

50

d_x 、 d_y 、 d_z)とともに測定データ合成部430に出力される。

【0076】

測定データ合成部430は、駆動センサ140による検出値(x_m 、 y_m 、 z_m)と、算出された補正量 $D(d_x, d_y, d_z)$ および位相差補正量と、プローブセンサ134の検出値(x_p 、 y_p 、 z_p)と、を合成して接触部132の位置を求める。

さらに、接触部132の位置に対して所定の基準押込量 r を考慮した位置に被測定物表面 S を求める。

求められた被測定物 W の表面データは順次形状解析部500に送られ、被測定物表面 S の形状データが求められる。

そして、被測定物 W の形状データを設計データとの対比により誤差や歪みなどを求めるなどの形状解析が行われる。

10

【0077】

このような構成を備える第1実施形態によれば次の効果を奏する。

(1)動作推定部600がノミナルモデル設定部311を有し、ノミナルモデルに基づく加速度の算出により駆動状態にある駆動機構120の動作状態として加速度を正確に算出することができる。

そして、この推定加速度に基づいて補正量算出部720にて補正量を算出するので、駆動中の駆動機構120に生じている変形を補正する補正量を正確に算出することができる。駆動機構120の動作状態を求める場合でも実測のデータによることなく、ノミナルモデルに基づいた演算によって求めることができるので、高い分解性能で補正を行うことができる。

20

【0078】

(2)周波数推定部610にて算出した円運動時の回転周波数 f に基づき駆動軸間の位相差を補正する。

したがって、円運動時の位相差誤差を補正して正確な測定データを得ることができる。

【0079】

(3)2階微分演算部315にて算出した推定加速度に基づいて円を倣い測定する際の回転周波数を周波数推定部610にて算出するので、円の倣い動作中に変化する回転周波数も正確に求めることができる。

【0080】

(4)円の倣い測定において、指令された回転周波数に達するまでには時間がかかるので、指令された回転周波数を前提とした補正を行う場合には加速部分で取得したデータを利用することなく、倣い速度(すなわち回転周波数)が一定となった際に取得したデータのみを補正して測定データとしなければならない。

30

例えば、図4に示すように、倣い速度(あるいは回転周波数)が一定値を示すところで1周分(360°)のデータを取らなければならない。

これに対し本実施形態では、その都度の加速度推定値から回転周波数 f を算出し、この算出された回転周波数 f に基づいて補正量を算出できるので、倣い速度(すなわち回転周波数)が一定に達するのを待つことなく、総ての取得データを適切に補正して測定データとすることができる。

40

例えば、図5に示すように、倣い速度(あるいは回転周波数)が変化(加速あるいは減速)している領域で取得したデータでも正確に補正することができる。

よって、全体として1周分(360°)のデータを取得すればよく、その結果、測定の作業効率を向上させることができる。

【0081】

(変形例1)

次に、本発明の変形例1について説明する。

変形例1は、基本的に第1実施形態と同様であるが、補正パラメータを設定する際の補正パラメータの求め方に特徴を有する。

第1実施形態の補正演算部700で算出する補正量としては、ゲイン補正量算出部72

50

1 によるゲイン補正量と、位相差補正量算出部 7 2 2 による位相差補正量とがある。

【 0 0 8 2 】

まず、ゲイン補正量を算出するための補正パラメータの設定について説明する。

変形例 1 にあっては、ゲイン補正量の補正パラメータを求めるにあたり、スピンドル 1 2 4 の変形量 D は加速度 A に相関するとして次の式を立てる。

【 0 0 8 3 】

【数 1 6】

$$D = k \cdot A$$

【 0 0 8 4 】

ここで、説明を単純化するために、X Y 面内において円運動する場合を例に説明する。

円運動時の向心加速度を a とすると、X m 軸方向の加速度 a_x は、倣い速度を V、半径を R_s として次のように表される。

【 0 0 8 5 】

【数 1 7】

$$a_x = \frac{V^2}{R_s} \cdot \frac{(x - x_0)}{R_s}$$

【 0 0 8 6 】

加速度が生じた場合の変形量は、測定位置にも相関することから、測定座標の 2 乗の項までを考慮にいと、X m 軸方向の変形量 d_x は X m 軸方向に生じている加速度 a_x との関係で次のように表される。

【 0 0 8 7 】

【数 1 8】

$$d_x = \left(\frac{V^2}{R_s} \times \frac{x - x_0}{R_s} \right) \times (\alpha_1 x^2 + \alpha_2 x + \alpha_3)$$

【 0 0 8 8 】

Y m 軸方向の補正量 d_y 、Z m 軸方向の補正量 d_z を含めると、次のように表される。

【 0 0 8 9 】

【数 1 9】

$$\begin{pmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{pmatrix} = \frac{V^2}{R_s} \begin{pmatrix} \alpha_1(x-x_0) & \alpha_2(x-x_0) & \alpha_3(x-x_0) \\ \alpha_4(x-x_0) & \alpha_5(x-x_0) & \alpha_6(x-x_0) \\ \alpha_7(x-x_0) & \alpha_8(x-x_0) & \alpha_9(x-x_0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^2 \\ x \\ 1 \end{pmatrix}$$

【 0 0 9 0 】

ただし、変形量 D は、x、y、z 成分の総てに相関するため、補正の係数は次のように表される。

【 0 0 9 1 】

【数 2 0】

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \beta_4 & \beta_5 & \beta_6 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{25} & \beta_{26} & \beta_{27} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y^2 \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_1 & \gamma_1 & \gamma_1 \\ \gamma_1 & \gamma_1 & \gamma_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_1 & \gamma_1 & \gamma_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z^2 \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

【 0 0 9 2 】

このような前提のもと、実際に実験して誤差を求めたうえ、フィッティングカーブの係数として補正パラメータを求めることができる。

【 0 0 9 3 】

実際の例を示す。

10

20

30

40

50

加速度による変形量は、場所によっても異なるため、校正用データの取得にあたっては、異なる複数の位置に標準ゲージをおいて円の倣い測定を複数の倣い速度（あるいは加速度）で校正試験を行う。

例えば、図 6 に示されるように、 P_1 から P_5 の複数の位置で円の倣い測定を行う。

なお、図 6 では説明の都合上、 Y_m 座標は同じで X_m 座標が異なる 5 点を選定しているが、測定システム 100 の測定領域において X_m 座標、 Y_m 座標、 Z_m 座標のすべてをまんべんなくふることがより好ましい。

【0094】

図 7 および図 8 は、各ポイント $P_1 \sim P_5$ で円の倣い測定をした際に、倣い速度 V と検出された半径の減少量（半径誤差 R ）との関係を示したグラフである。

10

ここで、円の倣い測定時には、図 22 に示されるように、 X 軸方向と Y 軸方向とでゲインに差があるために楕円誤差が生じる。

そのため、図 7 の縦軸は半径誤差 R の X_m 軸方向の最大量を示し、図 8 の縦軸は半径誤差 R の Y_m 軸方向の最大量を示す。

【0095】

図 9 および図 10 は、図 7 と図 8 中の倣い速度を加速度に変換して、半径の減少量（半径誤差 R ）と加速度との関係を示したグラフである。

図 9 の縦軸は図 7 と同様に半径誤差 R の X_m 軸方向の最大量を示し、図 10 の縦軸は図 8 と同様に半径誤差の Y_m 軸方向の最大量を示す。

図 7 および図 8 においては、 X_m 軸方向でも Y_m 軸方向でも測定半径の減少量（半径誤差 R ）は倣い速度の累乗（例えば 2 乗）に相関していることがわかるが、図 9 および図 10 によれば、測定半径の減少量（半径誤差 R ）は加速度に比例することがわかり、上記式（ $D = k \cdot A$ ）が適用できることが示されている。

20

【0096】

図 11 および図 12 は、測定位置と測定半径の減少量（半径誤差 R ）との関係を示す図である。

図 11 および図 12 において、縦軸は、測定半径の減少量（半径誤差 R ）を加速度で割って正規化した値（ R/a ）で示している。

そして、図 11 の縦軸は半径誤差 R の X_m 軸方向の最大量（ R_x ）を加速度で割った値（ R_x/a ）であり、図 12 の縦軸は半径誤差 R の Y_m 軸方向の最大量（ R_y ）を加速度で割った値（ R_y/a ）である。

30

図 11 において、 X_m 軸方向では測定半径の減少量（ R_x ）は測定位置の X_m 座標の一次に相関していることがわかる。

さらに、図 12 においては、 Y_m 軸方向の測定半径の減少量（ R_y ）であっても、 X_m 軸方向における測定位置の違いに影響され、 X_m 座標の二次に相関していることがわかる。

【0097】

このような実験データを収集して、 X_m 、 Y_m 、 Z_m 座標が異なる位置において、異なる倣い速度（あるいは加速度）で標準ゲージを測定したときの誤差（ d_x 、 d_y 、 d_z ）を式に代入する。

40

そして、この式を解くことにより、ゲイン補正のパラメータが求められる。

求められたゲイン補正のパラメータは補正パラメータ記憶部 710 に設定する。

【0098】

次に、位相差補正量を算出するための補正パラメータの設定について説明する。

駆動軸方向ごとの信号伝達特性あるいは駆動ゲインの差異によって円運動時に各軸間で指令伝達の位相差が生じる。

この位相差を位相差補正量とし、円運動の回転周波数 f の関数として求める。

説明を単純化するために、 XY 面内において円運動する場合を例に説明する。

位相差補正量は、円運動の回転周波数 f の関数であり、回転周波数 f の多項式として表される。

50

実際の例で示す。

図13は、図6に示したP₁からP₅の複数の位置で円の倣い測定を行った結果である。

図13においては、縦軸にY_m軸方向とX_m軸方向とで生じる位相差 ϕ をとり、横軸に円運動の回転周波数 f をとったものである。

図13に示されるように、Y_m軸方向とX_m軸方向との位相差 ϕ は、円運動の回転周波数 f に依存する。

また、影響は小さいながらも測定位置にも依存する。

そこで、位相差 ϕ を、 $\phi = b_2 f^2 + b_1 f + \phi_0$ として表し、フィッティングカーブから係数 b_2 、 b_1 および ϕ_0 を求めればよい。

【0099】

位相差 ϕ の係数 b_2 、 b_1 および ϕ_0 は、測定位置にも影響されることから、位相差は次のように表される。

【0100】

【数21】

$$\phi = b_2 f^2 + b_1 f + \phi_0$$

$$\begin{pmatrix} b_2 \\ b_1 \\ \phi_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_3 \\ \sigma_4 & \sigma_5 & \sigma_6 \\ \sigma_7 & \sigma_8 & \sigma_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^2 \\ x \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \vdots \\ \sigma_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \zeta_1 & \zeta_2 & \zeta_3 \\ \zeta_4 & \zeta_5 & \zeta_6 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \zeta_{25} & \zeta_{26} & \zeta_{27} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y^2 \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \\ \zeta_3 \\ \vdots \\ \zeta_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau_1 & \tau_2 & \tau_3 \\ \tau_4 & \tau_5 & \tau_6 \\ \tau_7 & \tau_8 & \tau_9 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tau_{79} & \tau_{80} & \tau_{81} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z^2 \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

【0101】

このように求められた補正パラメータを用い、第1実施形態に説明したようにゲイン補正量および位相差補正量を算出する。

そして、ゲイン補正量および位相差補正量を用いて第1実施形態で説明したように測定データの補正を行うことができる。

【0102】

(変形例2)

次に、本発明の変形例2について説明する。

変形例2は、基本的に変形例1と同様であるが、補正パラメータを設定する際の補正パラメータの求め方に特徴を有する。

具体的には、変形例1ではスピンドル124の変形量は加速度に相関するとして変形量を規定する式を立式したが、変形例2では、スピンドル124の変形量は回転周波数 f に相関するとして立てた式を利用する。

【0103】

なお、補正量としては、ゲイン補正量と位相差補正量とがあるが、位相差補正量を算出する補正パラメータの設定にあっては変形例1と同じ方法が採用できるので説明を省略する。

【0104】

10

20

30

40

50

ゲイン補正量を算出するための補正パラメータの設定について説明する。

変形例 2 にあっては、ゲイン補正量は回転周波数 f に相関するとし、駆動の信号伝達特性 G_1 のゲイン $|G_1|$ と円運動の周波数 f との関係を表す。

【 0 1 0 5 】

【 数 2 2 】

$$|G_1| = 1 - k(2\pi \cdot f)^2$$

【 0 1 0 6 】

この式の導出としては、次のような式変形が一例として挙げられる。

半径 R_s の円運動を指令したときに変形量 D が生じている場合、信号伝達特性 G_1 のゲインは次の式で表される。

【 0 1 0 7 】

【 数 2 3 】

$$|G_1| = \frac{(R_s - D)}{R_s}$$

$$= 1 - \frac{D}{R_s}$$

【 0 1 0 8 】

変形量 D は加速度 A に比例して $D = k \cdot A$ であるので、さらに次のように変形される。

【 0 1 0 9 】

【 数 2 4 】

$$|G_1| = 1 - \frac{k \cdot A}{R_s}$$

【 0 1 1 0 】

ここで、加速度 A は、円運動の半径 R_s と角速度 ω との関係から回転周波数 f を用いた次の式で表される。

【 0 1 1 1 】

【 数 2 5 】

$$A = R_s \cdot \omega^2$$

$$= R_s \cdot (2\pi \cdot f)^2$$

【 0 1 1 2 】

したがって、回転周波数特性のゲイン $|G_1|$ は次のように表される。

【 0 1 1 3 】

【 数 2 6 】

$$|G_1| = 1 - \frac{k \cdot R_s \cdot (2\pi \cdot f)^2}{R_s}$$

$$= 1 - k(2\pi \cdot f)^2$$

【 0 1 1 4 】

このような関係式に基づいて、ゲインと回転周波数 f との関係を決める補正パラメータ k を設計値あるいは実験値によって求める。

【 0 1 1 5 】

ゲイン $|G_1|$ は、 X_m 軸方向分、 Y_m 軸方向分でそれぞれ算出する。

すなわち、 X_m 軸方向分は $|G_{1X}|$ 、 Y_m 軸方向分は $|G_{1Y}|$ 、と算出する。

実際に $|G_{1X}|$ 、 $|G_{1Y}|$ を求めるにあたっては、変形例 1 と同様に、異なる位置において、異なる回転周波数 f で円の做い測定を行い、その結果に基づいて位置 (x_m 、 y_m) と回転周波数 f との関数として $|G_{1X}|$ 、 $|G_{1Y}|$ を表せばよい。

【 0 1 1 6 】

さらに、このように求められたゲイン補正量 ($|G_{1X}|$ 、 $|G_{1Y}|$) と位相差補正量 θ と、を考慮した測定値の補正は次のように実行する。

すなわち、駆動センサ 140 による検出値が (x_m 、 y_m) であるとき、円運動の中心座標を (x_0 、 y_0) とし、円の半径を R_s で表すとき、所定の位相 θ を用いて駆動セン

10

20

30

40

50

サ 1 4 0 の検出値は次のように表される。

【 0 1 1 7 】

【 数 2 7 】

$$x_m = x_0 + R \cos \theta$$

$$y_m = y_0 + R \sin \theta$$

【 0 1 1 8 】

そして、算出されたゲイン補正量 ($|G_{1x}|$ 、 $|G_{1y}|$) と、位相差 ϕ の分を補正すると、次のように表される。

なお、 x_m 、 y_m は、補正後の駆動センサ検出値を表す。

【 0 1 1 9 】

【 数 2 8 】

$$x_m' = x_0 + R \cdot g_{1x} \cdot \cos \theta$$

$$y_m' = y_0 + R \cdot g_{1y} \cdot \sin(\theta + \phi)$$

ただし、

$$g_{1x} = \frac{1}{|G_{1x}|}, \quad g_{1y} = \frac{1}{|G_{1y}|}$$

【 0 1 2 0 】

この補正された駆動センサ 1 4 0 の検出値 (x_m 、 y_m) とプローブセンサ 1 3 4 の検出値とを合成して求められる接触部 1 3 2 の位置に対して所定の基準押込量 r を考慮した位置に求められる。

【 0 1 2 1 】

以上説明したように変形例 2 の方法によってもゲイン補正量を算出するための補正パラメータを求めることができる。

さらに、ゲイン補正量および位相差補正量を用いて測定データの補正を行うことができる。

【 0 1 2 2 】

(変形例 3)

次に、本発明の変形例 3 について説明する。

変形例 3 は、基本的に変形例 2 と同様であるが、補正パラメータを設定する際の補正パラメータの求め方に特徴を有する。

具体的には、変形例 2 では変形量が回転周波数 f に相関する理論式で表されるという前提のもとに補正式を求めたが、変形例 3 では、変形量は回転周波数 f を用いた多項式で表されるとして補正の式を求める。

【 0 1 2 3 】

すなわち、 Xm 軸方向のゲイン補正量 $|G_{1x}|$ および Ym 軸方向のゲイン補正量 $|G_{1y}|$ は、円の倣い測定における円運動の回転周波数 f に関する多項式で表されるとする。

実際に実験した例を示す。

校正データの取得にあたっては、異なる複数の位置に標準ゲージをおいて複数の倣い速度で円の倣い測定を行う。

図 1 4 は、横軸に倣い測定時の回転周波数をと、縦軸に半径誤差 R の Xm 軸方向の最大量をとったグラフである。

図 1 5 は、横軸に倣い測定時の回転周波数をと、縦軸に半径誤差 R の Ym 軸方向の最大量をとったグラフである。

測定位置は変形例 1 と同様であり、図 6 に示される P_1 から P_5 の複数の位置で円の倣い測定を行った結果である。

図 1 4 の Xm 軸方向、図 1 5 の Ym 軸方向のいずれにおいても、倣い測定の回転周波数と測定誤差 (半径誤差 R) との関係を図 1 4 の回転周波数 f の二次の多項式でフィッティングでき、所定の係数により、 Xm 軸方向のゲイン誤差 $|G_{1x}|$ (半径誤差 R の Xm 方向)

10

20

30

40

50

および Y m 軸方向のゲイン誤差 $|G_{1Y}|$ (半径誤差 R の Y m 方向) は、次のように表される。

【 0 1 2 4 】

【 数 2 9 】

$$|G_{1X}| = \varphi_2 f^2 + \varphi_1 f + 1$$

$$|G_{1Y}| = \eta_2 f^2 + \eta_1 f + 1$$

【 0 1 2 5 】

さらに、変形量は測定する位置によっても変化するため測定位置の関数でもある。

図 16 は、X m 軸方向のゲイン誤差 $|G_{1X}|$ の係数と X m 座標との関係を示すグラフである。

10

図 17 は、Y m 軸方向のゲイン誤差 $|G_{1Y}|$ の係数と Y m 座標との関係を示すグラフである。

すなわち、多項式の係数 φ_2 、 φ_1 、 η_2 、 η_1 は、測定位置の関数であり次のように表される。

X m 軸方向ゲインを求める式に用いる係数 φ_2 、 φ_1 は、x 座標の関数としてそれぞれ次のように表される。

【 0 1 2 6 】

【 数 3 0 】

$$\varphi_2 = u_{22} \cdot x^2 + u_{21} \cdot x + u_{20}$$

$$\varphi_1 = u_{12} \cdot x^2 + u_{11} \cdot x + u_{10}$$

20

【 0 1 2 7 】

Y m 軸方向ゲインを求める式に用いる係数 η_2 、 η_1 は、y 座標の関数としてそれぞれ次のように表される。

【 0 1 2 8 】

【 数 3 1 】

$$\eta_2 = v_{22} \cdot y^2 + v_{21} \cdot y + v_{20}$$

$$\eta_1 = v_{12} \cdot y^2 + v_{11} \cdot y + v_{10}$$

【 0 1 2 9 】

このような関係式に基づいて、ゲインと回転周波数との関係を表す補正パラメータ g_{1X} 、 g_{1Y} を求める。

30

求められたゲイン補正のパラメータは補正パラメータ記憶部 710 に設定する。

実際の測定時における測定値の補正にあつては、上記変形例 2 と同様に、ゲイン補正量 ($|G_{1X}|$ 、 $|G_{1Y}|$) と位相差 ϕ とにより、次の式で補正演算を行う。

【 0 1 3 0 】

【 数 3 2 】

$$x_m' = x_0 + R \cdot g_{1X} \cdot \cos \theta$$

$$y_m' = y_0 + R \cdot g_{1Y} \cdot \sin(\theta + \phi)$$

ただし、

$$g_{1X} = \frac{1}{|G_{1X}|}, \quad g_{1Y} = \frac{1}{|G_{1Y}|}$$

40

【 0 1 3 1 】

このような変形例 3 によってもゲイン補正量を算出するための補正パラメータを求めることができる。

そして、ゲイン補正量および位相差補正量を用いて測定データの補正を行うことができる。

【 0 1 3 2 】

(第 2 実施形態)

次に、本発明の第 2 実施形態について説明する。

第 2 実施形態の基本的構成は第 1 実施形態と同様であるが、第 2 実施形態が特徴とする

50

ところは、動作推定部 600 にて算出された加速度の推定値を実際の実加速度と対比して加速度推定の正確さを判定する推定判定部 800 を備えている点にある。

図 18 は、第 2 実施形態における動作推定部、補正演算部および推定判定部の構成を示す図である。

推定判定部 800 は、カウンタ部 161 にて検出された座標の測定値に基づいて実際の加速度を算出する実加速度算出部 810 と、動作推定部 600 にて算出された加速度推定値を実加速度算出部 810 にて算出された実加速度に対比して差分を算出する差分算出部 820 と、差分算出部 820 にて算出された差分値を所定の閾値に対比して加速度推定値の正確さを判定する判定部 830 と、を備えている。

【0133】

実加速度算出部 810 には駆動カウンタ 171 からのカウント値が入力されており、実加速度算出部 810 は駆動カウンタ 171 からのカウント値を 2 階微分して実際の加速度を算出する。

算出した実加速度は差分算出部 820 に出力する。

【0134】

差分算出部 820 には、2 階微分演算部 315 からの推定加速度値と実加速度算出部 810 からの実加速度とが入力されている。

差分算出部 820 は、推定加速度 a から実加速度 a_R を減算して差分値 a_d を算出する。

算出した差分値 a_d は判定部 830 に出力する。

【0135】

判定部 830 には、予め閾値が設定されている。

この閾値は、推定加速度 a と実加速度 a_R との差分値 a_d が大きすぎる場合に加速度推定が正しく機能しておらず、推定加速度に基づく補正は不能であることを判定するための閾値である。

判定部 830 には差分算出部 820 にて算出された差分値 a_d が入力され、判定部 830 はこの差分値 a_d を閾値と対比する。

そして、差分値 a_d が閾値 s よりも小さい場合には ($|a_d| < s$)、測定動作の継続を指令する。

その一方、差分値 a_d が閾値 s よりも大きい場合には ($|a_d| > s$)、その結果をユーザーに対し出力手段 62 を介して表示する。

あるいは、補正演算部 700 における補正演算を停止させる。

【0136】

このような構成を備える第 2 実施形態によれば、推定判定部 800 を備えているので、動作推定部 600 による加速度の推定の正確さが判定できる。

そして、判定結果に基づいて補正演算の継続または中止を行うことができるので、測定データの誤った補正による誤った測定結果の出力を防止することができる。

【0137】

なお、本発明の表面形状測定装置は、上記実施形態および変形例にのみに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変更してもよいことは勿論である。

推定動作状態量としては加速度を例にして説明したが、加速度の他、倣い速度を推定動作状態量としてもよい。この場合、倣い速度に基づいて補正演算可能なように、倣い速度と補正量との関係を求めておけばよい。

上記実施形態ではノミナルモデルから位置を推定したうえで、この推定位置を 2 階微分して加速度を推定するとしたが、倣いベクトルの位置指令から加速度を直接に算出するノミナルモデルを設定しておいてもよい。

第 2 実施形態において、推定判定部 800 は内部にローパスフィルタを備え、実加速度算出部 810 にて求められた実加速度から高周波ノイズをカットするようにしてもよい。これにより高周波ノイズによる判定の誤差を防止することができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0138】

【図1】第1実施形態に係る測定システムの機能ブロック図。

【図2】第1実施形態において、動作推定部および補正演算部の構成を示す図。

【図3】ノミナルモデル設定部の構成を示す図。

【図4】倣い速度（あるいは回転周波数）が一定値を示すところで1周分（ 360° ）のデータを取る場合を示す図。

【図5】倣い速度（あるいは回転周波数）が変化（加速あるいは減速）している領域でデータを取る場合を示す図。

【図6】校正データ取得のために P_1 から P_5 の複数の位置で円の倣い測定を行う様子を示す図。 10【図7】各ポイント $P_1 \sim P_5$ で円の倣い測定をした際に倣い速度 V と検出された半径の減少量（半径誤差 R ）との関係を示す図。【図8】各ポイント $P_1 \sim P_5$ で円の倣い測定をした際に倣い速度 V と検出された半径の減少量（半径誤差 R ）との関係を示す図。

【図9】半径の減少量と加速度との関係を示す図。

【図10】半径の減少量と加速度との関係を示す図。

【図11】測定位置と測定半径の減少量との関係を示す図。

【図12】測定位置と測定半径の減少量との関係を示す図。

【図13】 Y_m 軸方向と X_m 軸方向とで生じる位相差と円運動の回転周波数 f との関係を示す図。 20【図14】倣い測定時の回転周波数と半径誤差 R との関係を示す図。【図15】倣い測定時の回転周波数と半径誤差 R との関係を示す図。

【図16】ゲイン誤差の係数と座標との関係を示す図。

【図17】ゲイン誤差の係数と座標との関係を示す図。

【図18】第2実施形態における動作推定部、補正演算部および推定判定部の構成を示す図。

【図19】背景技術において倣いプローブを利用した表面倣い測定装置としての測定システムの構成を示す図。

【図20】倣いプローブの構成および倣いプローブにて被測定物表面を測定する様子を示す図。 30

【図21】倣い測定中に変形による誤差を生じている状態を示す図。

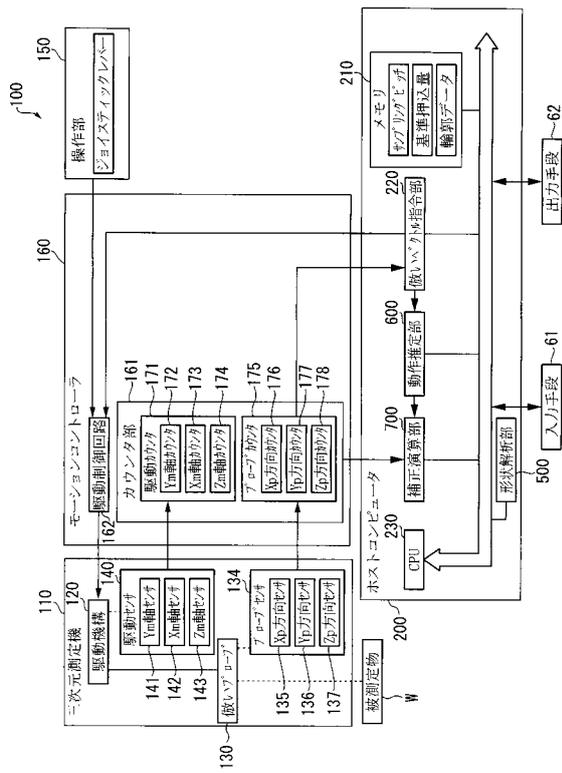
【図22】測定誤差として径方向のズレが生じた結果を示す図。

【符号の説明】

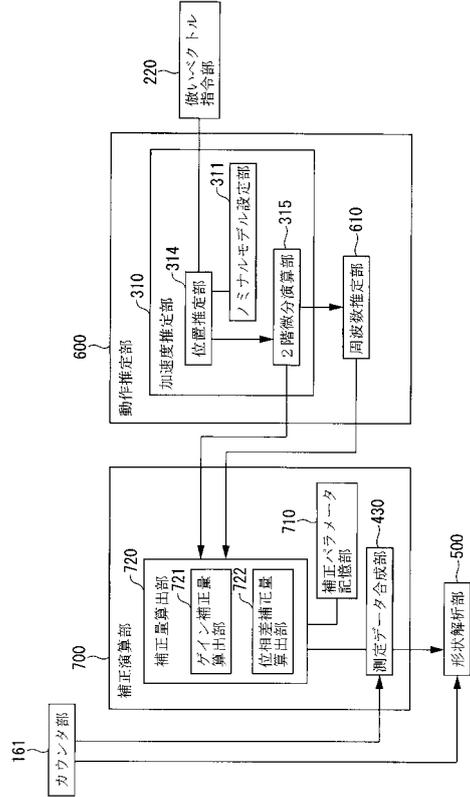
【0139】

61...入力手段、62...出力手段、100...測定システム、110...三次元測定機、111...定盤、120...駆動機構、121...ビーム支持体、122...ビーム、123...コラム、124...スピンドル、130...倣いプローブ、131...スタイラス、132...接触部、133...支持部、134...プローブセンサ、135... X_p 方向センサ、136... Y_p 方向センサ、137... Z_p 方向センサ、140...駆動センサ、141... Y_m 軸センサ、142... X_m 軸センサ、143... Z_m 軸センサ、150...操作部、160...モーションコントローラ、161...カウンタ部、162...駆動制御回路、171...駆動カウンタ、172... Y_m 軸カウンタ、173... X_m 軸カウンタ、174... Z_m 軸カウンタ、175...プローブカウンタ、176... X_p 方向カウンタ、177... Y_p 方向カウンタ、178... Z_p 方向カウンタ、200...ホストコンピュータ、210...メモリ、220...倣いベクトル指令部、310...加速度推定部、311...ノミナルモデル設定部、314...位置推定部、315...2階微分演算部、430...測定データ合成部、500...形状解析部、600...動作推定部、610...周波数推定部、700...補正演算部、710...補正パラメータ記憶部、720...補正量算出部、721...ゲイン補正量算出部、722...位相差補正量算出部、800...推定判定部、810...実加速度算出部、820...差分算出部、830...判定部。 40

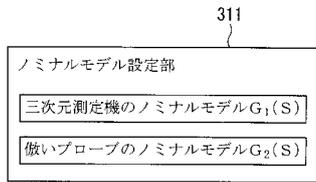
【図1】



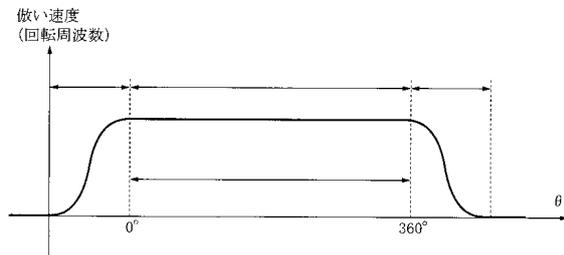
【図2】



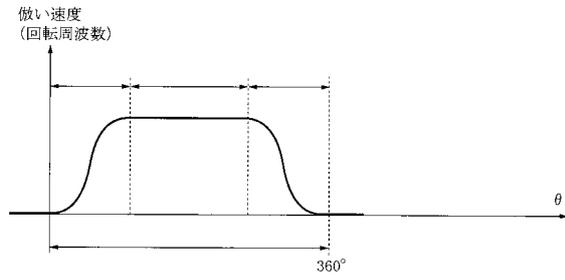
【図3】



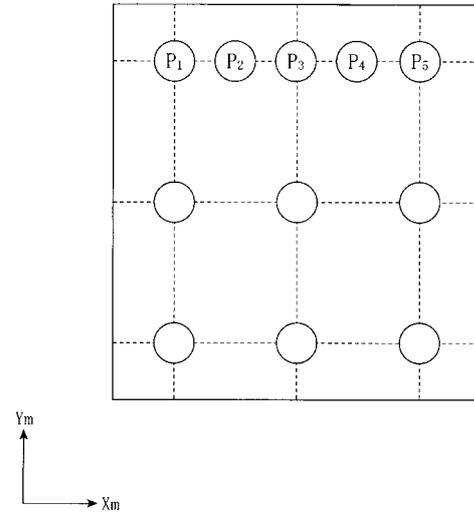
【図4】



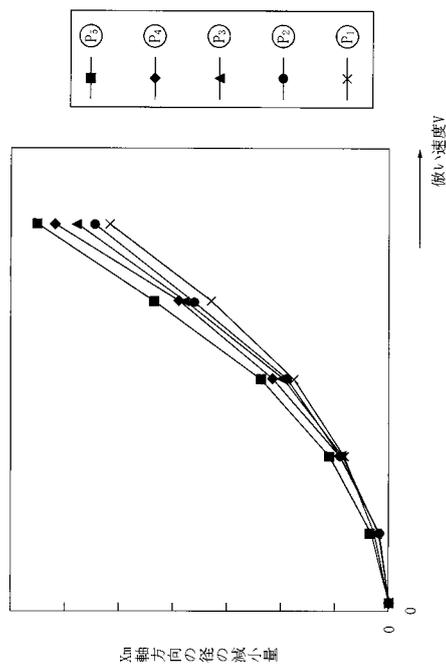
【 図 5 】



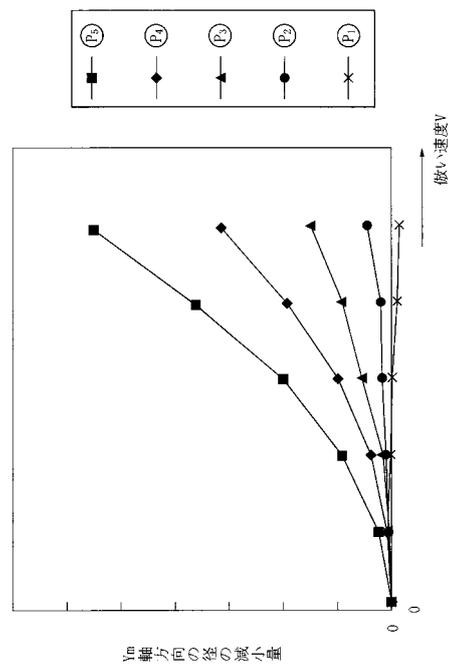
【 図 6 】



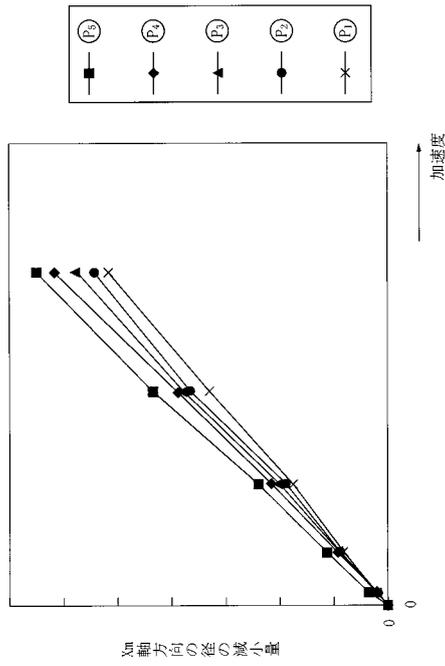
【 図 7 】



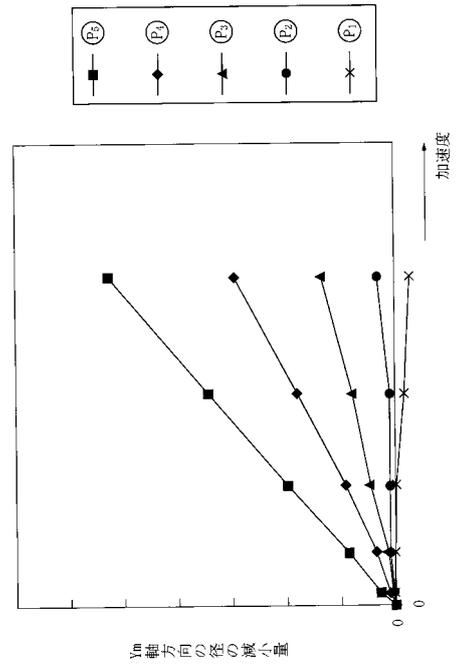
【 図 8 】



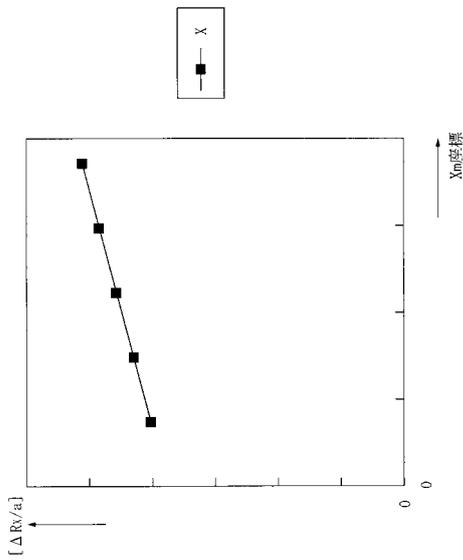
【図 9】



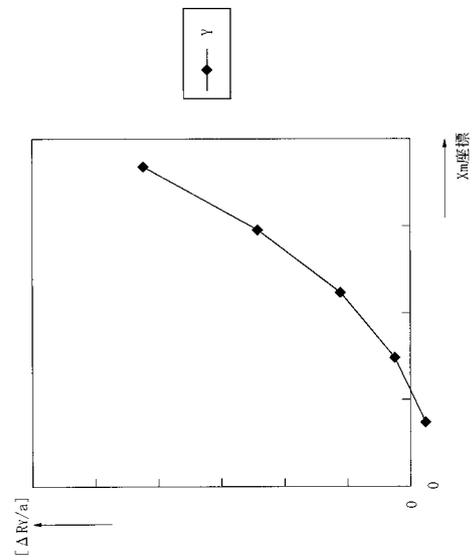
【図 10】



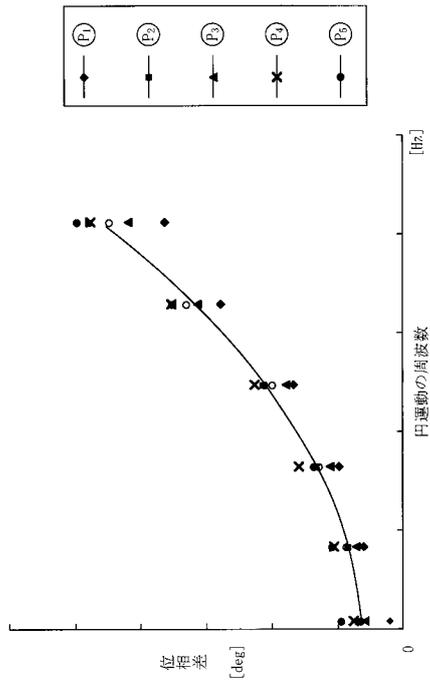
【図 11】



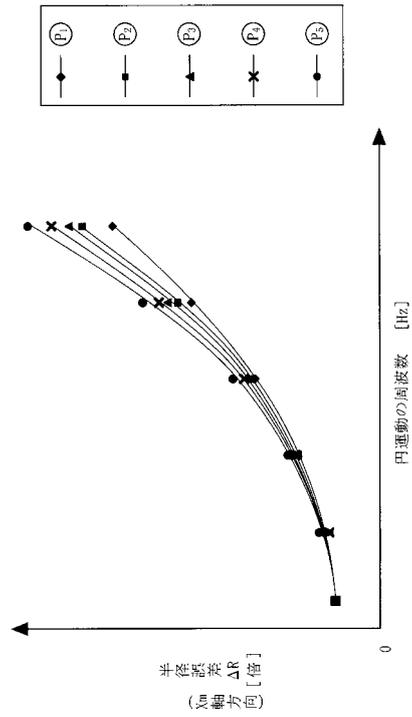
【図 12】



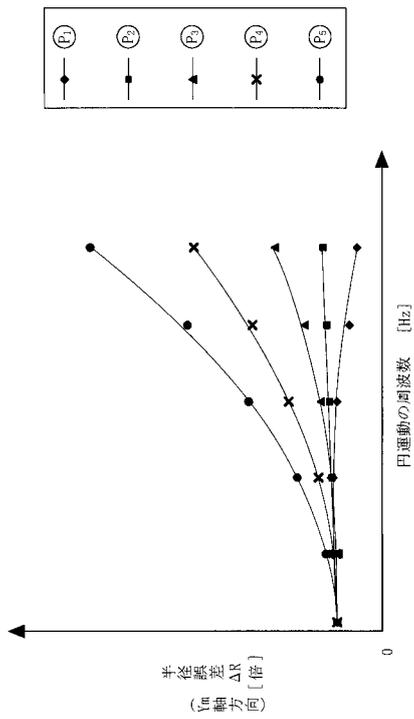
【図 13】



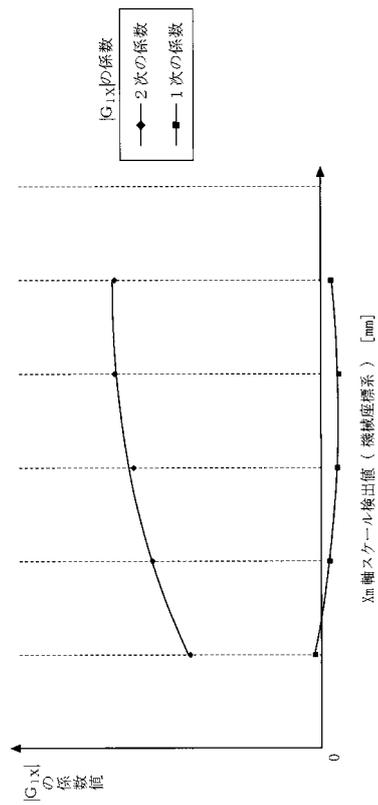
【図 14】



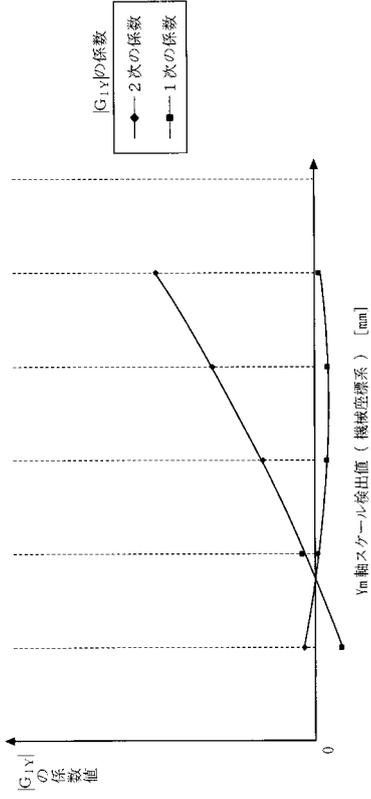
【図 15】



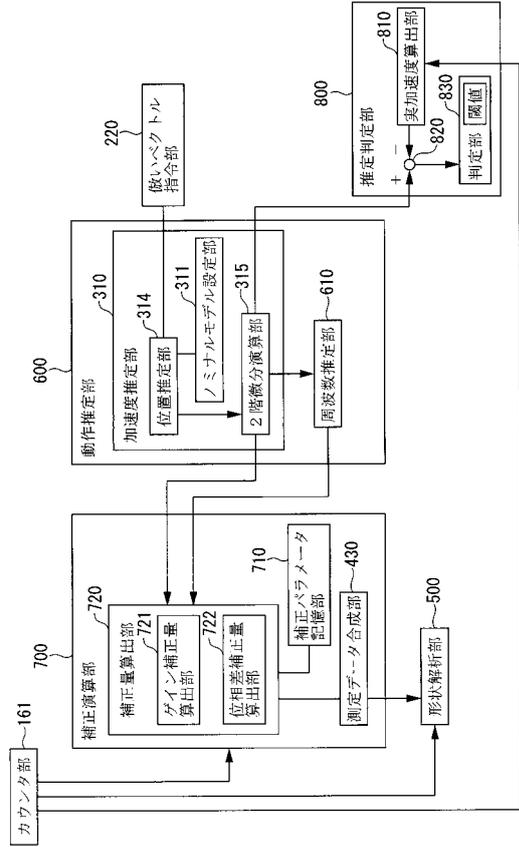
【図 16】



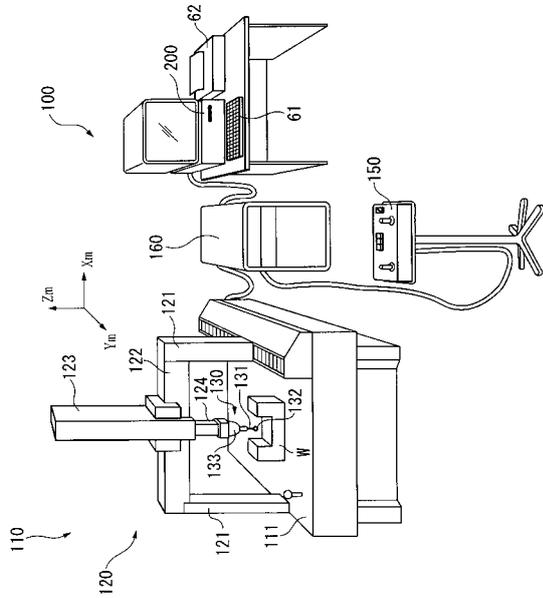
【図17】



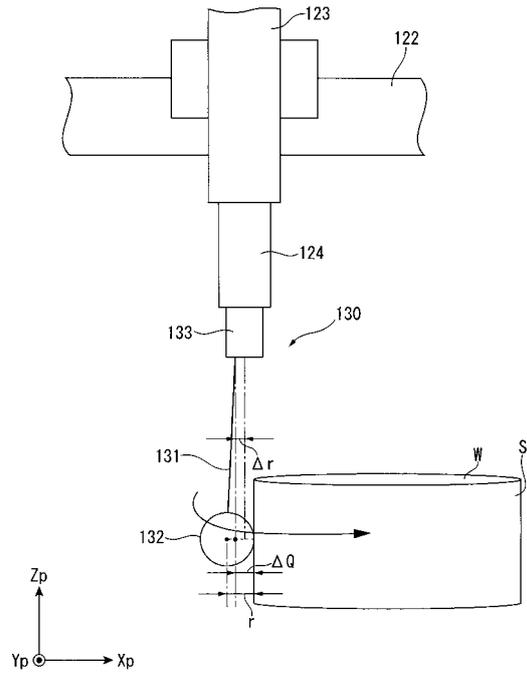
【図18】



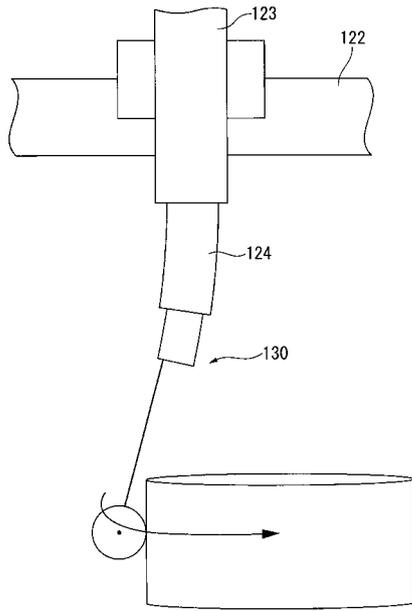
【図19】



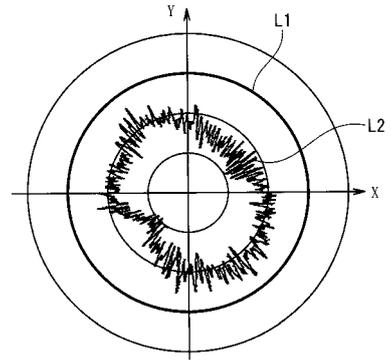
【図20】



【図 2 1】



【図 2 2】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平07 - 324928 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 5/20