

(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2009-36699

(P2009-36699A)

(43) 公開日 平成21年2月19日(2009.2.19)

(51) Int.Cl.

G O 1 B 5/20 (2006.01)
G O 1 B 5/012 (2006.01)

F 1

G O 1 B 5/20
G O 1 B 5/012

C

テーマコード(参考)

2 F O 6 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号

特願2007-202687 (P2007-202687)

(22) 出願日

平成19年8月3日(2007.8.3)

(71) 出願人 000137694

株式会社ミツトヨ

神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号

(74) 代理人 110000637

特許業務法人樹之下知的財産事務所

(72) 発明者 清谷 進吾

茨城県つくば市上横場430-1 株式会社ミツトヨ内

F ターム(参考) 2F062 AA04 AA51 DD01 DD03 DD10
DD11 DD34 EE01 EE62 FF05
FF28 HH01 HH13 JJ00

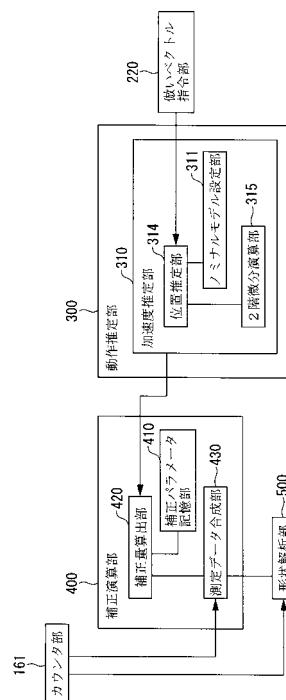
(54) 【発明の名称】表面形状測定装置

(57) 【要約】

【課題】高速かつ高精度に倣い測定できる表面形状測定装置を提供する。

【解決手段】倣いベクトル指令部220から発せられた倣いベクトル指令に基づいて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300と、動作推定部300にて算出された推定動作状態量に応じて駆動センサの検出値を補正演算する補正演算部400と、を備える。

動作推定部300は、倣いベクトル指令が発せられてから倣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311を有し、補正演算部400は駆動中の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推定動作状態量に基づいて算出する補正量算出部420と、駆動センサおよび検出センサによる検出値と補正量算出部420にて算出された補正量とを合成して測定データとする測定データ合成部430と、を備える。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被測定物表面に近接あるいは当接される測定子、および、前記測定子と前記被測定物表面との相対位置を検出する検出センサを有し、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倣い走査する倣いプローブと、

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

前記倣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、前記倣いベクトル指令に応じて前記倣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、

前記倣いベクトル指令部から発せられた前記倣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、

前記動作推定部にて算出された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、

前記倣いベクトル指令部により前記倣いベクトル指令が発せられてから前記倣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を有し、

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補正量算出部と、

前記駆動センサおよび前記検出センサによる検出値と前記補正量算出部にて算出された補正量とを合成して測定データとす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 2】

請求項 1 に記載の表面形状測定装置において、

前記動作推定部は、

前記倣いベクトル指令部からの前記倣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、を備えている

ことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の表面形状測定装置において、

前記ノミナルモデル設定部は、

前記駆動機構のノミナルモデルが設定された駆動機構ノミナルモデル設定部と、

前記倣いプローブのノミナルモデルが設定された倣いプローブノミナルモデル設定部と、を備えている

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、

前記被測定物表面の一部に円弧部分が含まれ、

前記倣いベクトル指令部からは前記円弧部分に倣う前記倣いベクトル指令が発せられ、

前記動作推定部は、前記 2 階微分演算部にて算出された加速度に基づいて前記円弧部分を倣い走査する際の回転周波数 f を前記推定動作状態量として算出する周波数推定部を有する

ことを特徴とする表面形状測定装置。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の表面形状測定装置において、

10

20

30

40

50

前記動作推定部での推定の正確さを判定する推定判定部を備え、

前記推定判定部は、

前記駆動センサにて検出された測定値に基づいて実際の動作状態量である実動作状態量を算出する実動作状態量算出部と、

前記動作推定部にて算出された前記推定動作状態量を前記実動作状態量に対比して差分を算出する差分算出部と、

前記差分算出部にて算出された差分値を所定の閾値に対比して前記動作推定部での推定の正確さを判定する判定部と、を備える

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。

【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20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。

【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Zm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21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。

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05-256

10

20

30

40

50

640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。

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ルス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。

【0006】

ここで、表面倣い測定装置によって被測定物表面S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22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駆動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が外側に変形する分だけ駆動センサによる検出値は円の内側に入ってしまい、例えば、図23に示されるように径方向のズレが生じる。

なお、図23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110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。

【0007】

この点、例えば、特許文献2(特開平7-324928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值を予め求めておく。

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值を特定して、前記検出データを補正值で補正する。

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0037、請求項12)、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0047、請求項13)が開示されている。

【0008】

【特許文献1】特開平05-256640号

【特許文献2】特開平07-324928号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

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が記載されているが、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 100 mm の円を倣い速度 10 m / s e c で倣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、倣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倣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が必要されているため、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、高速かつ高精度に倣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、被測定物表面に近接あるいは当接される測定子、および、前記測定子と前記被測定物表面との相対位置を検出する検出センサを有し、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倣い走査する倣いプローブと、前記被測定物表面に沿った前記倣いプローブの次の移動位置を指示する倣いベクトルを指令する倣いベクトル指令部と、

前記倣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、前記倣いベクトル指令に応じて前記倣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、前記倣いベクトル指令部から発せられた前記倣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、前記動作推定部にて算出された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、前記倣いベクトル指令部により前記倣いベクトル指令が発せられてから前記倣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を有し、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補正量算出部と、前記駆動センサおよび前記検出センサによる検出値と前記補正量算出部にて算出された補正量とを合成して測定データとする測定データ合成部と、を備えることを特徴とする。

【0013】

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

すると、倣いベクトル指令に応じ、駆動機構によって倣いプローブが被測定物表面に沿

10

20

30

40

50

って倣い移動される。

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とともに、測定子と被測定物表面との相対位置が検出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。

すなわち、倣いベクトル指令部からの倣いベクトル指令は動作推定部にも入力される。

倣いベクトル指令に応じて駆動機構が動作する際の動作状態が信号伝達特性であるノミナルモデルに基づいて動作推定部により推定され、推定動作状態量として算出される。 10

推定動作状態量は補正量算出部に出力され、補正量算出部において測定誤差を補正する補正量が推定動作状態量に基づいて算出される。

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。

算出された補正量は、駆動センサおよび検出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、動作推定部がノミナルモデル設定部を有しており、ノミナルモデルに基づく推定動作状態量の算出により駆動状態にある駆動機構の動作状態を算出することができる。

そして、この推定動作状態量に基づいて補正量演算部にて補正量を算出するので、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。 20

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是望めないという問題があった。

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と離散化誤差が大きくなつ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。 30

あるいは、動作状態として加速度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、ノミナルモデル設定部にノミナルモデルを設定しているので、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。

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、高い分解能で補正を行うことができる。

【0015】

また、実測データによることなく動作状態を推定する場合、例えば、倣いベクトル指令の通りにタイムラグなく駆動機構が動作すると仮定して、位置指令を発した場合にはその指令が発せられた時点で指令された位置に倣いプローブがあるとして駆動機構の駆動位置や駆動加速度を推定することも考えられる。

しかし、単純に上記のような方法では、駆動機構には時定数に応じた遅れ等の信号伝達特性があることから、このような推定では正しい補正を行うことは不可能である。

さらには、動作し始めや曲線を描く動作の場合には加速度が変動するため、単純な仮定は適用できないという問題もある。

【0016】

この点、本発明では、信号伝達特性を表すノミナルモデルを設定し、このノミナルモ

10

20

30

40

50

ルを用いて倣いベクトル指令を受けた駆動機構の動作状態を推定しているので、駆動機構の実際の位置や加速度等の動作状態を現実に則して正確に求めることができる。

そして、このように求められた動作状態に基づいて算出された補正量により正確な補正を行うことができる。

【0017】

本発明では、前記動作推定部は、前記倣いベクトル指令部からの前記倣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、を備えていることが好ましい。

10

【0018】

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 G_N 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が算出される。

この加速度は、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を補正する補正量が算出される。

20

算出された補正量は、駆動センサおよび検出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。

【0019】

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の劣化はない。

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

30

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。

【0020】

本発明では、前記ノミナルモデル設定部は、前記駆動機構のノミナルモデルが設定された駆動機構ノミナルモデル設定部と、前記倣いプローブのノミナルモデルが設定された倣いプローブノミナルモデル設定部と、を備えていることが好ましい。

【0021】

このような構成において、表面形状測定装置全体のノミナルモデル G_N は駆動機構のノミナルモデル $G_1(s)$ と倣いプローブのノミナルモデル $G_2(s)$ との積で表される。

40

そして、倣いベクトル指令部からの倣いベクトル指令と表面形状測定装置全体のノミナルモデル G_N とが乗算されて倣いプローブの推定位置が算出される。

このような構成によれば、駆動機構ノミナルモデル設定部と倣いプローブノミナルモデル設定部とがそれぞれ設けられているので、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とを別々に設定できる。

したがって、例えば、倣いプローブの交換に備えて倣いプローブの種類ごとに倣いプローブのノミナルモデルを用意し、現に取り付けている倣いプローブに対応したノミナルモデルを選択可能とすることができます。

その結果、倣いプローブの破損や測定対象に応じた倣いプローブの選択等による倣いプローブの交換の際でも迅速に対応することができ、測定効率の向上を図ることができます。

50

【0022】

本発明では、前記被測定物表面の一部に円弧部分が含まれ、前記倣いベクトル指令部からは前記円弧部分に倣う前記倣いベクトル指令が発せられ、前記動作推定部は、前記2階微分演算部にて算出された加速度に基づいて前記円弧部分を倣い走査する際の回転周波数fを前記推定動作状態量として算出する周波数推定部を有することが好ましい。

【0023】

このような構成において、被測定物表面の一部に円弧部分が含まれる場合、倣いベクトル指令部から円弧部分を倣い走査する倣いベクトル指令が発せられ、円弧部分の倣い測定が行われる。

そして、倣いベクトル指令は動作推定部にも入力され、動作推定部においてはノミナルモデルを用いた位置の推定および推定位置の2階微分からの加速度算出が行われる。 10

さらに続いて、加速度からそのときの円運動の周波数の算出が周波数推定部にて行われる。

例えば、次の式により加速度から円運動の周波数算出を行う。

倣いベクトル指令による円の倣い測定の半径をRsとし、2階微分演算部にて算出された倣いプローブの推定加速度をA(a_x、a_y、a_z)とするとき、周波数推定部は、次の式により回転周波数fを算出する。

【0024】

【数1】

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

10

20

【0025】

このように算出された回転周波数fのデータは推定動作状態量として補正演算部に出力される。

そして、駆動機構の変形によって生じる測定誤差を補正する補正量が回転周波数fに基づいて補正量算出部にて算出される。

【0026】

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fを周波数推定部にて算出するので、円弧部分の倣い動作中に変化する回転周波数fも正確に求めることができる。 30

30

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、補正が正確に行うことができないという問題が生じる。

【0027】

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の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。

40

その結果、円弧部分の倣い動作中に変化する回転周波数f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fに基づく補正演算で補正する場合にあっても正確な補正を行うことができる。

【0028】

また、例えば、円弧部分の倣い測定において、指令された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。

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

50

駄となり、測定の作業効率が非常に悪くなる。

【0029】

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ます。

その結果、測定の作業効率を向上させることができる。

【0030】

本発明では、前記動作推定部での推定の正確さを判定する推定判定部を備え、前記推定判定部は、前記駆動センサにて検出された測定値に基づいて実際の動作状態量である実動作状態量を算出する実動作状態量算出部と、前記動作推定部にて算出された前記推定動作状態量を前記実動作状態量に対比して差分を算出する差分算出部と、前記差分算出部にて算出された差分値を所定の閾値に対比して前記動作推定部での推定の正確さを判定する判定部と、を備えることが好ましい。

10

【0031】

このような構成によれば、推定判定部を備えているので、動作推定部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。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

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。

【0033】

(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。

30

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ともに被測定物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。

【0034】

三次元測定機110は(図20参照)、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。

40

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Zm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。

【0035】

50

倣いプローブ 130 は(図21参照)、先端に接触部(測定子)132を有するスタイルス131と、スタイルス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、と備えている。

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、スタイルス131のXp方向への移動を検出するXp方向センサ135と、スタイルス131のYp方向への移動を検出するYp方向センサ136と、スタイルス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。10

【0036】

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。

【0037】

カウンタ部161は、駆動センサ140から出力される検出信号(パルス信号)を計数して駆動機構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から出力される検出信号(パルス信号)を計数してスタイルス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。20

駆動カウンタ171は、Ym軸センサ141から出力される検出信号を計数するYm軸カウンタ172と、Xm軸センサ142から出力される検出信号を計数するXm軸カウンタ173と、Zm軸センサ143から出力される検出信号を計数する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から出力される検出信号を計数するXp方向カウンタ176と、Yp方向センサ136から出力される検出信号を計数するYp方向カウンタ177と、Zp方向センサ137から出力される検出信号を計数するZp方向カウンタ178と、を備えている。駆動カウンタ171による計数値(Xm、Ym、Zm)およびプローブカウンタ175による計数値(Xp、Yp、Zp)はそれぞれホストコンピュータ200に出力される。30

【0038】

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300と、動作推定部300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400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。

【0039】

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。40

【0040】

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。50

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。

【0041】

図 2 は、動作推定部 300 および補正演算部 400 の構成を示す図である。

動作推定部 300 は、倣いプローブ 130 の加速度を推定して求める加速度推定部 310 によって構成されている。

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（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 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。
10

【0042】

図 3 は、ノミナルモデル設定部 311 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（信号伝達特性）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 110 のノミナルモデル $G_1(s)$ （駆動機構 120 のノミナルモデル）と、倣いプローブ 130 のノミナルモデル $G_2(s)$ とが設定されている。
20

倣いプローブ 130 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。

そして、倣いベクトル指令から倣いプローブ 130 の位置までの周波数伝達関数は三次元測定機 110 のノミナルモデル $G_1(s)$ と倣いプローブ 130 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、倣いベクトル指令、三次元測定機 110 の駆動動作および駆動センサ 140 による位置検出等は X m 軸、Y m 軸および Z m 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 X m、Y m、Z m 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、X m、Y m、Z m 軸方向ともに同じノミナルモデル G_N とする。
30

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。

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。

【0043】

【数 2】

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

【0044】

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。
40

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。

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。

【0045】

【数3】

$$E = G_N \cdot C$$

【0046】

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

【0047】

【数4】

$$e_x = G_N \cdot c_x$$

$$e_y = G_N \cdot c_y$$

$$e_z = G_N \cdot c_z$$

10

【0048】

2階微分演算部315は、位置推定部314にて算出された値いプローブ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、値いプローブ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。

【0049】

【数5】

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

【0050】

【数6】

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

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

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

20

【0051】

補正演算部400は、値いプローブ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410と、駆動センサ140およびプローブセンサ134による検出値を補正する補正量Dを値いプローブ130に生じた加速度に基づいて算出する補正量算出部420と、算出された補正量Dと駆動センサ140およびプローブセンサ134による検出値とを合成して被測定物表面の位置を求める測定データ合成部430と、を備えている。

30

【0052】

補正パラメータ記憶部410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、値いプローブ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が、これらの例に限らず、設計値あるいは実験値に基づいて加速度Aと変形量との間の関係を表すパラメータを適宜設定すればよい。

40

【0053】

補正量算出部420は、加速度Aと補正パラメータPとから各軸方向についての補正量D(d_x、d_y、d_z)を算出する。

補正量算出部420には、動作推定部300にて算出された加速度Aが入力される。

そして、補正量算出部420は、補正パラメータ記憶部410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。

【0054】

【数7】

$$D = P \cdot A$$

【0055】

50

【数8】

$$d_x = p_x \cdot a_x$$

$$d_y = p_y \cdot a_y$$

$$d_z = p_z \cdot a_z$$

【0056】

測定データ合成部430は、駆動カウンタ171にて計測された駆動機構120の駆動量と補正量算出部420にて算出された補正量Dとを合成して、倣いプローブ130の位置データを求める。

すなわち、被測定物表面Sの座標値(x_s, y_s, z_s)は、駆動センサ140による検出値(x_m, y_m, z_m)と補正量算出部420にて算出された補正量D(d_x, d_y, d_z)とプローブセンサ134の検出値(x_p, y_p, z_p)とを合成して求められる接触部132の位置に対して所定の基準押込量rを考慮した位置に求められる。
10

算出された被測定物表面の測定データは形状解析部500に出力される。

【0057】

形状解析部500は、測定データを合成して接触部132の軌跡および被測定物表面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。

【0058】

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、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110のノミナルモデルG₁(s)と倣いプローブ130のノミナルモデルG₂(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に対応するノミナルモデルを選択する。

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(例えは図22参照)。

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(スタイラス131の押込量)に基づいて、押込量が基準押込量rに制御される。

【0059】

倣いプローブ130で被測定物表面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で検出される。

駆動センサ140から出力される検出信号は駆動カウンタ171で計数され、プローブセンサ134から出力される検出信号はプローブカウンタ175で計数される。

なお、このようなカウンタ部161で計数されたデータは、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)で計数されて取得されたデータは補正演算部400にも出力される。

【0060】

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

10

20

30

40

50

推定部 3 0 0 にも送られる。

動作推定部 3 0 0 において倣いベクトル指令は位置推定部 3 1 4 に入力される。

位置推定部 3 1 4 は、ノミナルモデル設定部 3 1 1 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関数を考慮した現在時点における倣いプローブ 1 3 0 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 1 3 0 の推定位置 $E(t)$ (e_x, e_y, e_z) を算出する。

【0 0 6 1】

【数 9】

$$e_x = G_N \cdot c_x$$

$$e_y = G_N \cdot c_y$$

$$e_z = G_N \cdot c_z$$

【0 0 6 2】

位置推定部 3 1 4 にて算出された推定位置 $E(t)$ は 2 階微分演算部 3 1 5 に入力される。

2 階微分演算部 3 1 5 は、算出された推定位置 $E(t)$ 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 1 3 0 に生じている加速度 $A(a_x, a_y, a_z)$ を算出する。

【0 0 6 3】

【数 1 0】

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

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

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

【0 0 6 4】

2 階微分演算部 3 1 5 にて算出された加速度 A は、補正演算部 4 0 0 の補正量算出部 4 2 0 に出力される。

補正量算出部 4 2 0 は、入力された加速度 A と補正パラメータ $P(p_x, p_y, p_z)$ とにより、加速度 A 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 1 3 0 に生じている場合において、駆動センサ 1 4 0 の検出値を補正する補正量 $D(d_x, d_y, d_z)$ は次のように算出される。

【0 0 6 5】

【数 1 1】

$$d_x = p_x \cdot a_x$$

$$d_y = p_y \cdot a_y$$

$$d_z = p_z \cdot a_z$$

【0 0 6 6】

このように算出された補正量 D は、測定データ合成部 4 3 0 に出力される。

測定データ合成部 4 3 0 は、駆動センサ 1 4 0 による検出値 (x_m, y_m, z_m) と算出された補正量 $D(d_x, d_y, d_z)$ とプローブセンサ 1 3 4 の検出値 (x_p, y_p, z_p) とを合成して接触部 1 3 2 の位置を求める。

さらに、接触部 1 3 2 の位置に対して所定の基準押込量 r を考慮した位置に被測定物 W の表面を求める。

求められた被測定物 W の表面データ（測定データ）は順次形状解析部 5 0 0 に送られ、被測定物表面の形状データが求められる。

そして、被測定物 W の形状データと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。

【0 0 6 7】

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 3 0 0 がノミナルモデル設定部 3 1 1 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 1 2 0 の動作状態として加速度を正確に算出

10

20

30

40

50

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 420 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ますので、高い分解能で補正を行うことができる。

【0068】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態に係る表面倣い測定装置について説明する。

第2実施形態の基本的構成は第1実施形態に同様であるが、第2実施形態が特徴とするところは特に円運動時の遠心力によって生じる変形分を補正する点にある。

図4に、第2実施形態における動作推定部600と補正演算部700とを示す。

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。

周波数推定部610は、倣いプローブ130の円運動の回転周波数を推定する。

ここで、2階微分演算部315により加速度Aが算出されているところ、周波数推定部610には2階微分演算部315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回転半径をR_sとし、2階微分演算部315にて算出された倣いプローブ130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610は、次の式により円運動の回転周波数fを算出する。

【0069】

【数12】

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

【0070】

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 = 2πfと表され、また、向心加速度をa_nと表すとき a_n = R_sω²であることから、次の式変形により導出可能である。

【0071】

【数13】

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

$$\text{ここで、 } a_n = R_s \cdot \omega^2$$

$$\begin{aligned} \omega &= \sqrt{\frac{a_n}{R_s}} \\ &= \sqrt{\frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}{R_s}} \end{aligned}$$

したがって、

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}{R_s}} \\ &= \sqrt{\frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}{(2\pi)^2 \cdot R_s}} \end{aligned}$$

【0072】

また、特に、XY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。

【0073】

【数14】

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

【0074】

補正演算部700は、補正パラメータ記憶部710と、補正量算出部720と、測定データ合成部430と、を備えている。

【0075】

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。

ゲイン補正量算出部721の構成および動作は、第1実施形態の補正量算出部420の構成に相当し、補正パラメータP(p_x 、 p_y 、 p_z)を用いて各軸方向の補正量D(d_x 、 d_y 、 d_z)を算出する。

さらに、第2実施形態にあっては、補正量算出部720は位相差補正量算出部722を備えている。

位相差補正量算出部722は、駆動軸方向ごとの信号伝達速度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。

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。

【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)、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の位置データを求める。

【0077】

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、所定の位相を用いて次のように表される。

【0078】

【数15】

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

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

【0079】

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。

【0080】

【数16】

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

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

【0081】

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

10

20

30

40

50

の検出値とを合成して求められる接触部 132 の位置に対して所定の基準押込量 r を考慮した位置に被測定物 W の表面位置が求められる。

【0082】

このような第2実施形態によれば、第1実施形態の効果に加えて次の効果を奏する。
(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。
(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弧部分を倣い測定する際の回転周波数 f を周波数推定部 610 にて算出するので、円弧部分の倣い動作中に変化する回転周波数 f も正確に求めることができる。

(4) 円の倣い測定において、指令された回転周波数 f 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 f 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 f ）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。

例えば、図 5 に示すように、倣い速度（あるいは回転周波数 f ）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、その都度の推定加速度から回転周波数 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 f ）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。

例えば、図 6 に示すように、倣い速度（あるいは回転周波数 f ）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。

【0083】

（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2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2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 721 によるゲイン補正量と、位相差補正量算出部 722 による位相差補正量とがある。

【0084】

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 124 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。

【0085】

【数 17】

$$D = k \cdot A$$

【0086】

ここで、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。

円運動時の向心加速度を a とすると、Xm 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。

【0087】

【数 18】

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

【0088】

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れると、Xm 軸方向の変形量 d_x は Xm 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。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 9 】

【 数 1 9 】

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

【 0 0 9 0 】

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 9 1 】

【 数 2 0 】

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

【 0 0 9 2 】

10

20

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

【 0 0 9 3 】

【 数 2 1 】

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

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

【 0 0 9 4 】

30

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 5 】

実際の例を示す。

30

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値測定を複数の値測定（あるいは加速度）で校正試験を行う。

例えば、図 7 に示されるように、P₁ から P₅ の複数の位置で円の値測定を行う。

なお、図 7 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。

【 0 0 9 6 】

40

図 8 および図 9 は、各ポイント P₁ ~ P₅ で円の値測定をした際に、値速度 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。

ここで、円の値測定時には、図 23 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横円誤差が生じる。

そのため、図 8 の縦軸は半径誤差 R の X m 軸方向の最大量を示し、図 9 の縦軸は半径誤差 R の Y m 軸方向の最大量を示す。

【 0 0 9 7 】

40

図 10 および図 11 は、図 8 と図 9 中の値速度を加速度に変換して、半径の減少量 R と加速度との関係を示したグラフである。

図 10 の縦軸は図 8 と同様に半径誤差 R の X m 軸方向の最大量を示し、図 11 の縦軸は図 9 と同様に半径誤差 R の Y m 軸方向の最大量を示す。

図 8 および図 9 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 R は値

50

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10および図11によれば、測定半径の減少量 R は加速度に比例することがわかり、上記式 ($D = k \cdot A$) が適用できていることが示されている。

【0098】

図12および図13は、測定位置と測定半径の減少量 R との関係を示す図である。

図12および図13において、縦軸は、測定半径の減少量 R を加速度で割って正規化した値で示している。

そして、図12の縦軸は半径誤差 R の $X\text{m}$ 方向の最大量を加速度 a で割った値であり、図13の縦軸は半径誤差 R の $Y\text{m}$ 方向の最大量を加速度 a で割った値である。

図12において、 $X\text{m}$ 軸方向では測定半径の減少量 R は測定位置の $X\text{m}$ 座標の一次に相関していることがわかる。
10

さらに、図13においては、 $Y\text{m}$ 軸方向の測定半径の減少量 R であっても、 $X\text{m}$ 軸方向における測定位置の違いに影響され、 $X\text{m}$ 座標の二次に相関していることがわかる。

【0099】

このような実験データを収集して、 $X\text{m}$ 、 $Y\text{m}$ 、 $Z\text{m}$ 座標が異なる位置において、異なる値の速度（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。

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。

【0100】

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速度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。

実際の例で示す。

図14は、図7に示した P_1 から P_5 の複数の位置で円の値の測定を行った結果である。
30

図14においては、縦軸に $Y\text{m}$ 軸方向と $X\text{m}$ 軸方向とで生じる位相差 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14に示されるように、 $Y\text{m}$ 軸方向と $X\text{m}$ 軸方向との位相差 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 を、 $= b_2 f^2 + b_1 f + b_0$ として表し、フィッティングカーブから補正係数 b_2 、 b_1 および b_0 を求めればよい。

【0101】

位相差 の補正係数 b_2 、 b_1 および b_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。

【0102】

10

20

30

40

【数22】

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

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

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \vdots \\ \sigma_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varsigma_1 & \varsigma_2 & \varsigma_3 \\ \varsigma_4 & \varsigma_5 & \varsigma_6 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varsigma_{25} & \varsigma_{26} & \varsigma_{27} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y^2 \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \varsigma_1 \\ \varsigma_2 \\ \varsigma_3 \\ \vdots \\ \varsigma_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau_1 & \tau_2 & \tau_3 \\ \tau_4 & \tau_5 & \tau_6 \\ \tau_7 & \tau_8 & \tau_9 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tau_{79} & \tau_{80} & \tau_{81} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z^2 \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

【0103】

このように求められた補正パラメータを用い、第2実施形態に説明したようにゲイン補正量Dおよび位相差補正量を算出する。

そして、ゲイン補正量Dおよび位相差補正量を用いて第2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。

【0104】

(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、基本的に第2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。

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關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に相關するとして立てた式を利用する。

【0105】

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。

【0106】

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に相關するとし、駆動の周波数伝達特性G₁のゲイン|G₁|と円運動の回転周波数fとの関係を次の式で表す。

【0107】

【数23】

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

【0108】

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、周波数伝達特性G₁のゲイン|G₁|は次の式で表される。

【0109】

10

20

30

40

【数24】

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

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

【0110】

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。

【0111】

【数25】

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

10

【0112】

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

【0113】

【数26】

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

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

【0114】

したがって、周波数特性のゲイン | G₁ | は次のように表される。

20

【0115】

【数27】

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

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

【0116】

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。

【0117】

ゲイン | G₁ | は、X m 軸方向分、Y m 軸方向分でそれぞれ算出する。

30

すなわち、X m 方向分は | G_{1x} | 、Y m 方向成分は | 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 で円の値を測定を行い、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。

【0118】

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 ϕ を考慮した測定値の補正是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 (x₀ 、 y₀) とし、円の半径を R_s で表すとき、所定の位相 ϕ を用いて駆動センサ 140 の検出値は次のように表される。

40

【0119】

【数28】

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

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

【0120】

そして、算出されたゲイン補正量 (| G_{1x} | 、| G_{1y} |) 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。

【0121】

【数29】

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

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

ただし、

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

【0122】

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の位置に対して所定の基準押込量rを考慮した位置に求められる。

【0123】

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。

【0124】

(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、基本的に第2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。

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。

【0125】

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15は、横軸に倣い測定時の回転周波数をとり、縦軸に半径誤差RのXm方向の最大量をとったグラフである。

図16は、横軸に倣い測定時の回転周波数をとり、縦軸に半径誤差RのYm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7に示される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15のXm軸方向、図16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との関係を回転周波数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)およびYm軸方向のゲイン誤差 $|G_{1y}|$ (半径誤差RのYm方向)は、次のように表される。

【0126】

【数30】

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

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

【0127】

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

図18は、Ym軸方向のゲイン誤差 $|G_{1y}|$ の係数とYm座標との関係を示すグラフ

10

20

30

40

50

である。

すなわち、多項式の係数 u_{22} 、 u_{21} 、 u_{20} 、 u_{12} 、 u_{11} 、 u_{10} 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 u_{22} 、 u_{21} は、 X m 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】

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

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

【0 1 2 9】

Y m 軸方向ゲインを求める式に用いる係数 u_{22} 、 u_{21} は、 Y m 座標の関数としてそれぞれ次のように表される。

【0 1 3 0】

【数 3 2】

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

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

【0 1 3 1】

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} 、 g_{2x} 、 g_{2y} を求める。

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。

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

【0 1 3 2】

【数 3 3】

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

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

ただし、

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

【0 1 3 3】

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 4】

(第 3 実施形態)

次に、本発明の第 3 実施形態について説明する。

第 3 実施形態の基本的構成は第 2 実施形態に同様であるが、第 3 実施形態が特徴とするところは、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 19 は、第 3 実施形態における動作推定部 600、補正演算部 700 および推定判定部 800 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 にて算出された推定加速度を加速度推定部 310 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。

【0 1 3 5】

実加速度算出部 810 には駆動カウンタ 171 にて計測された駆動機構 120 の駆動量

10

20

30

40

50

が入力されており、実加速度算出部 810 は駆動カウンタ 171 にて計測された駆動機構 120 の駆動量を 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。

【0136】

差分算出部 820 には、2 階微分演算部 315 からの推定加速度と実加速度算出部 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 を算出する。
算出した差分値 a は判定部 830 に出力する。

【0137】

判定部 830 には、予め閾値 s が設定されている。

この閾値 s は、推定加速度 a と実加速度 a_R との差分値 a 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是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 が入力され、判定部 830 はこの差分値 a を閾値 s と対比する。

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

その一方、差分値 a が閾値 s よりも大きい場合には ($|a| > s$) 、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。

【0138】

このような構成を備える第 3 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。

【0139】

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 3 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。

【図面の簡単な説明】

【0140】

【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】第 2 実施形態における動作推定部と補正演算部とを示す図。

【図 5】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 6】倣い速度（あるいは回転周波数）が変化している（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 7】校正データ取得のために P₁ から P₅ の複数の位置で円の倣い測定を行う様子を

10

20

30

40

50

示す図。

【図 8】各ポイント $P_1 \sim P_5$ で円の値い測定をした際に値い速度 V と検出された半径の減少量 R との関係を示す図。

【図 9】各ポイント $P_1 \sim P_5$ で円の値い測定をした際に値い速度 V と検出された半径の減少量 R 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】半径の減少量と加速度との関係を示す図。

【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】測定位置と測定半径の減少量との関係を示す図。

【図 14】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。 10

【図 15】値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】値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 17】ゲイン誤差の係数と座標との関係を示す図。

【図 18】ゲイン誤差の係数と座標との関係を示す図。

【図 19】第 3 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 20】背景技術において値いプローブを利用した表面値い測定装置としての測定システムの構成を示す図。

【図 21】値いプローブの構成および値いプローブにて被測定物表面を測定する様子を示す図。 20

【図 22】値い測定中に変形による誤差を生じている状態を示す図。

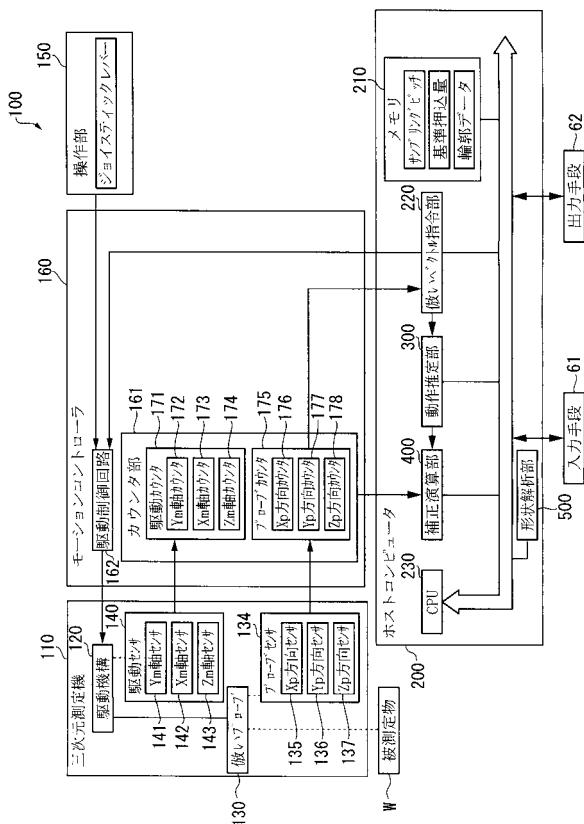
【図 23】測定誤差として径方向のズレが生じた結果を示す図。

【符号の説明】

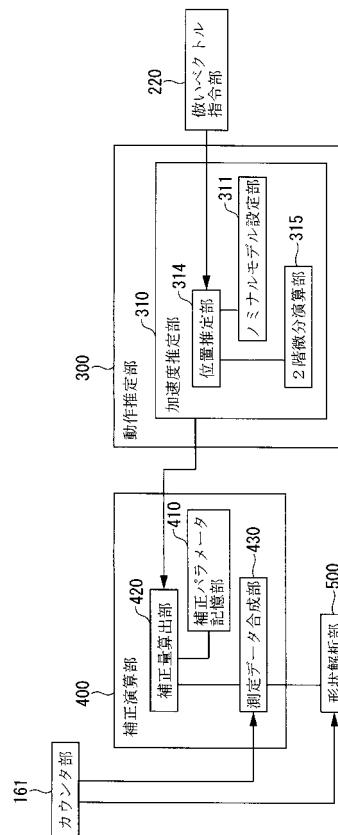
【0 1 4 1】

6 1 … 入力手段、6 2 … 出力手段、1 0 0 … 測定システム、1 1 0 … 三次元測定機、1 1 1 … 定盤、1 2 0 … 駆動機構、1 2 1 … ビーム支持体、1 2 2 … ビーム、1 2 3 … コラム、1 2 4 … スピンドル、1 3 0 … 値いプローブ、1 3 1 … スタイラス、1 3 2 … 接触部、1 3 3 … 支持部、1 3 4 … プローブセンサ、1 3 5 … X p 方向センサ、1 3 6 … Y p 方向センサ、1 3 7 … Z p 方向センサ、1 4 0 … 駆動センサ、1 4 1 … Y m 軸センサ、1 4 2 … X m 軸センサ、1 4 3 … Z m 軸センサ、1 5 0 … 操作部、1 6 0 … モーションコントローラ、1 6 1 … カウンタ部、1 6 2 … 駆動制御回路、1 7 1 … 駆動カウンタ、1 7 2 … Y m 軸カウンタ、1 7 3 … X m 軸カウンタ、1 7 4 … Z m 軸カウンタ、1 7 5 … プローブカウンタ、1 7 6 … X p 方向カウンタ、1 7 7 … Y p 方向カウンタ、1 7 8 … Z p 方向カウンタ、2 0 0 … ホストコンピュータ、2 1 0 … メモリ、2 2 0 … 値いベクトル指令部、3 0 0 … 動作推定部、3 1 0 … 加速度推定部、3 1 1 … ノミナルモデル設定部、3 1 4 … 位置推定部、3 1 5 … 2 階微分演算部、4 0 0 … 補正演算部、4 1 0 … 補正パラメータ記憶部、4 2 0 … 補正量算出部、4 3 0 … 測定データ合成部、5 0 0 … 形状解析部、5 1 1 … サンプリングピッチ、6 0 0 … 動作推定部、6 1 0 … 周波数推定部、7 0 0 … 補正演算部、7 1 0 … 補正パラメータ記憶部、7 2 0 … 補正量算出部、7 2 1 … ゲイン補正量算出部、7 2 2 … 位相差補正量算出部、8 0 0 … 推定判定部、8 1 0 … 実加速度算出部、8 2 0 … 差分算出部、8 3 0 … 判定部。 30 40

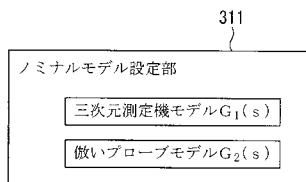
【図 1】



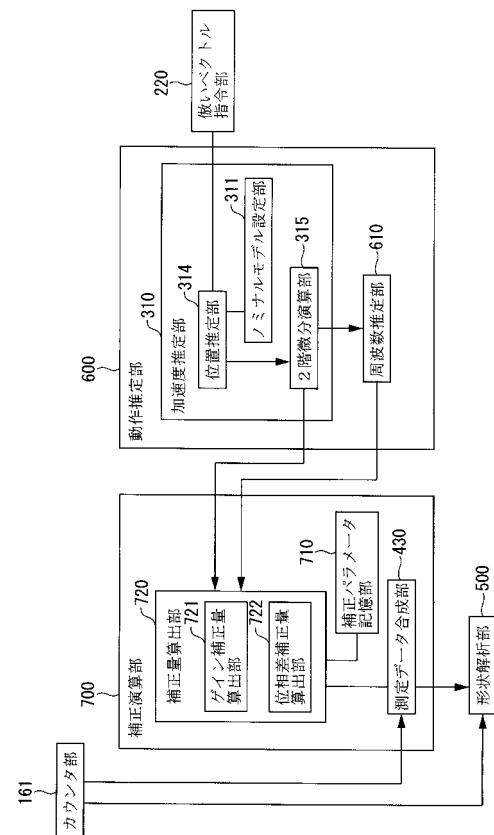
【図 2】



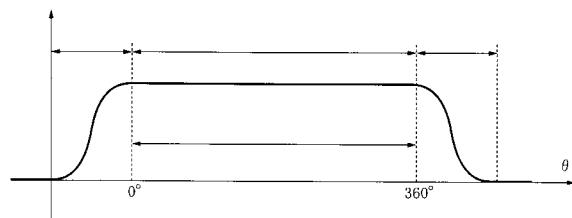
【図 3】



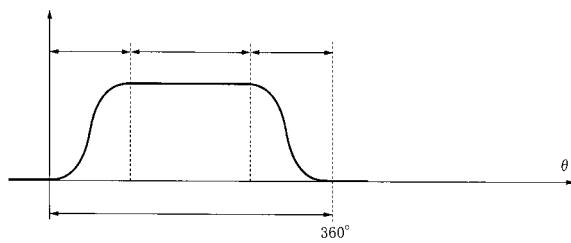
【図 4】



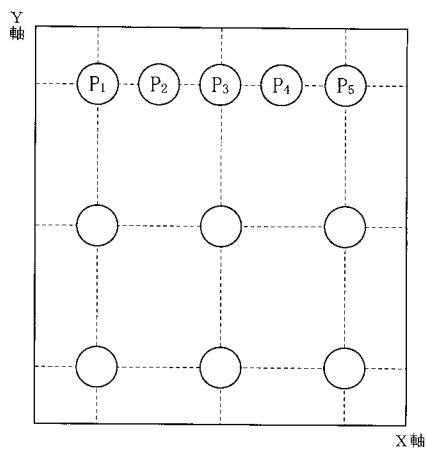
【図 5】



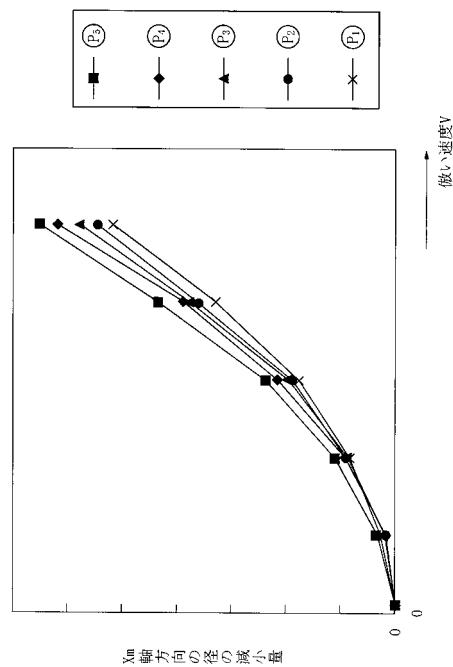
【図 6】



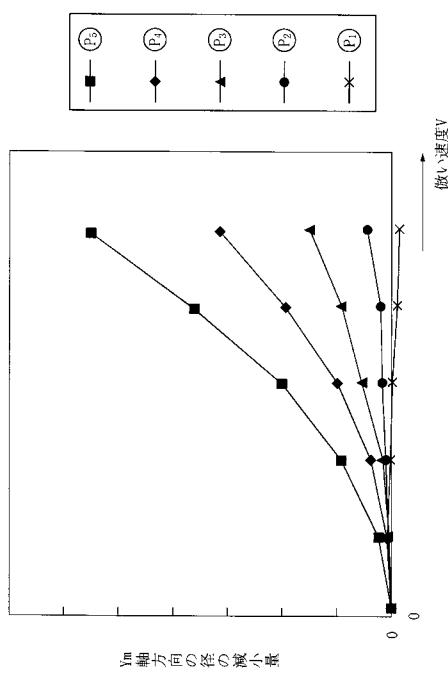
【図 7】



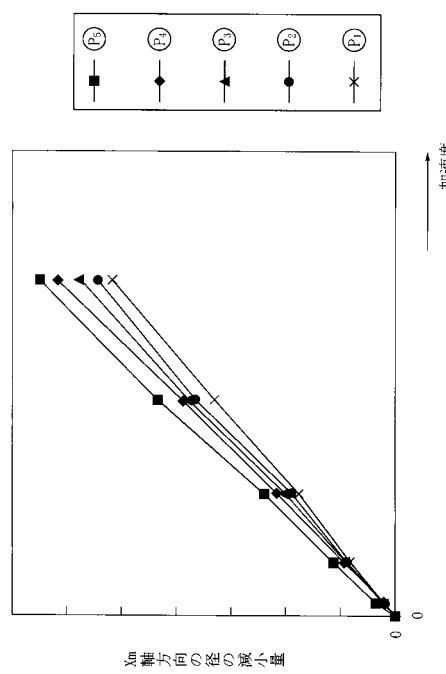
【図 8】



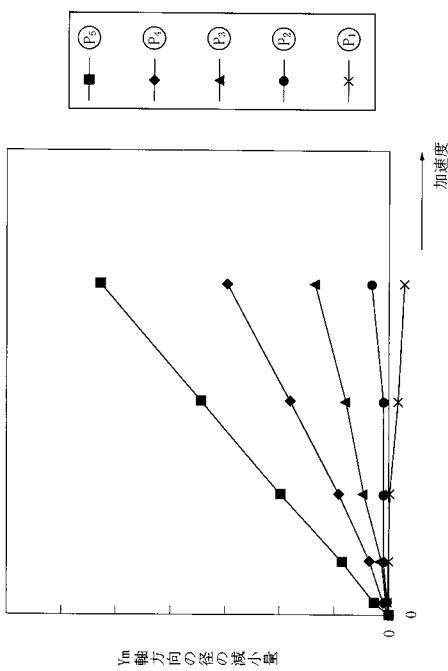
【図 9】



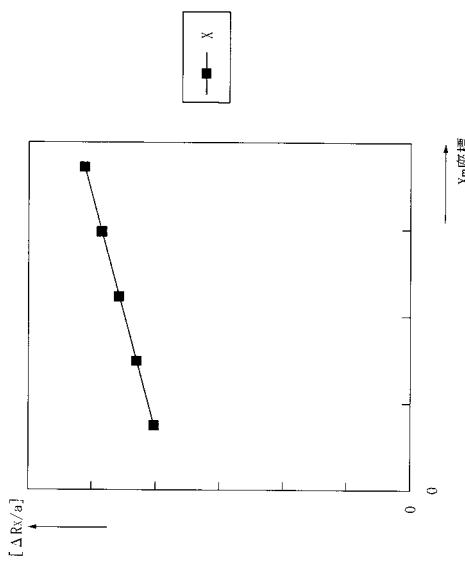
【図 10】



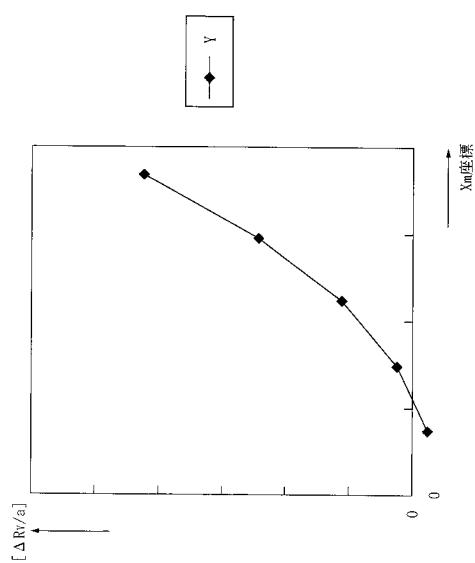
【図 11】



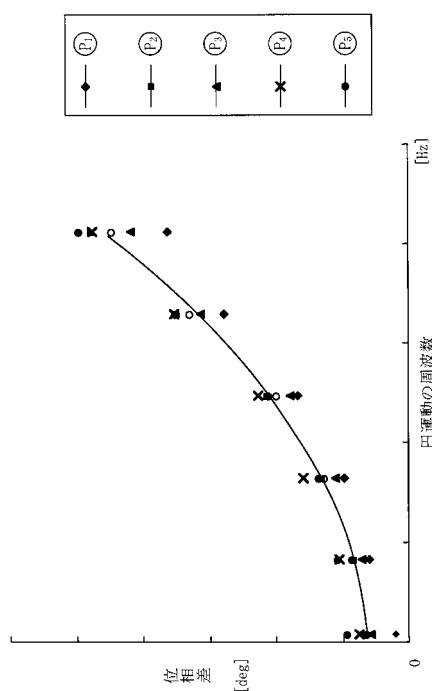
【図 12】



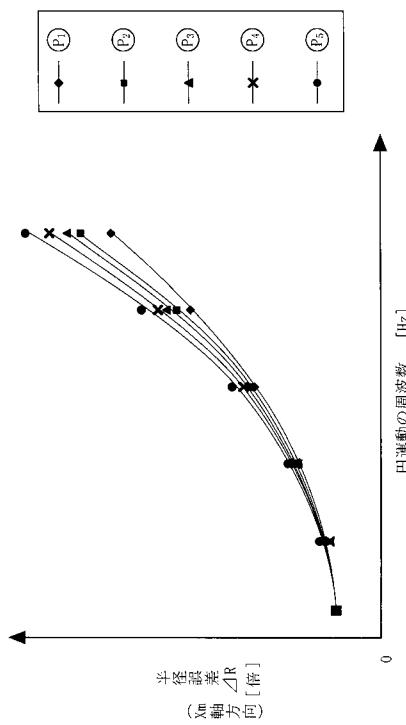
【図 1 3】



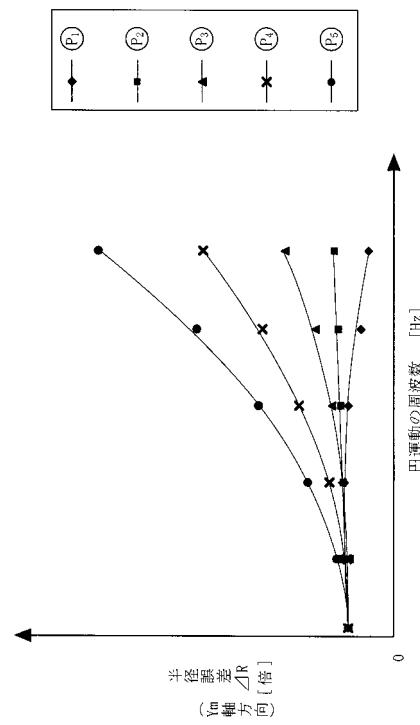
【図 1 4】



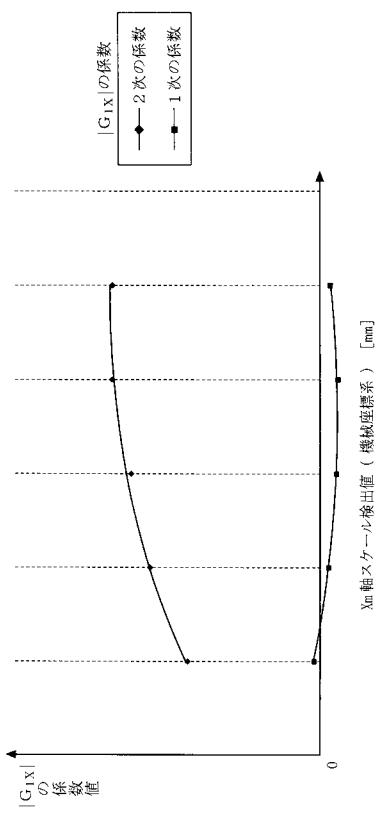
【図 1 5】



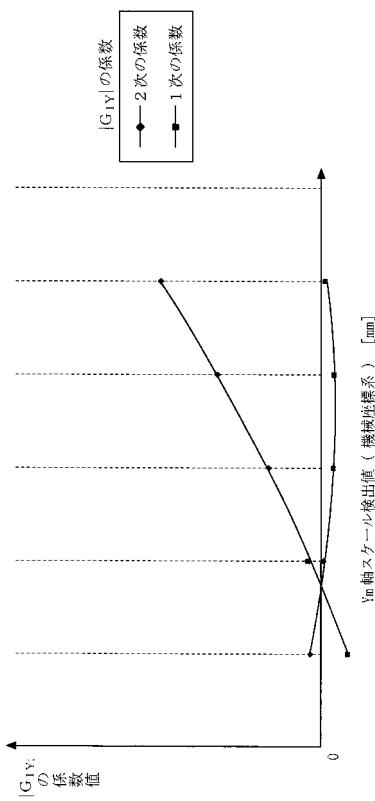
【図 1 6】



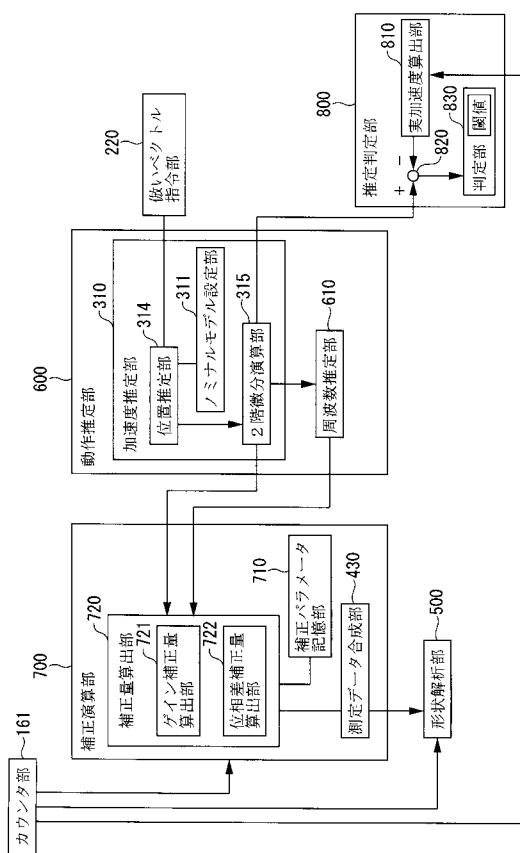
【図 17】



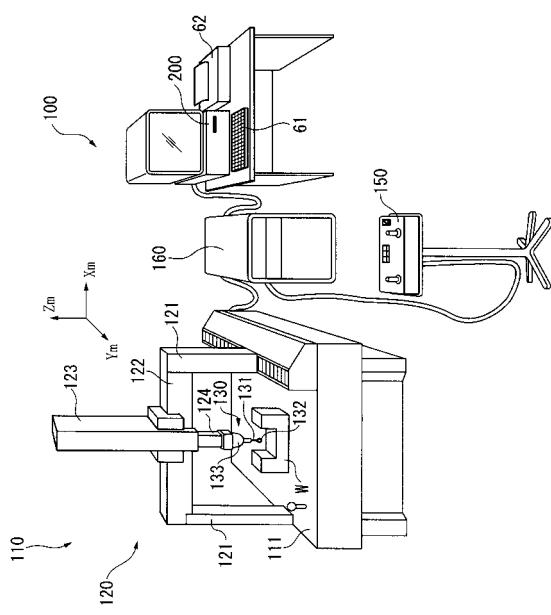
【図 18】



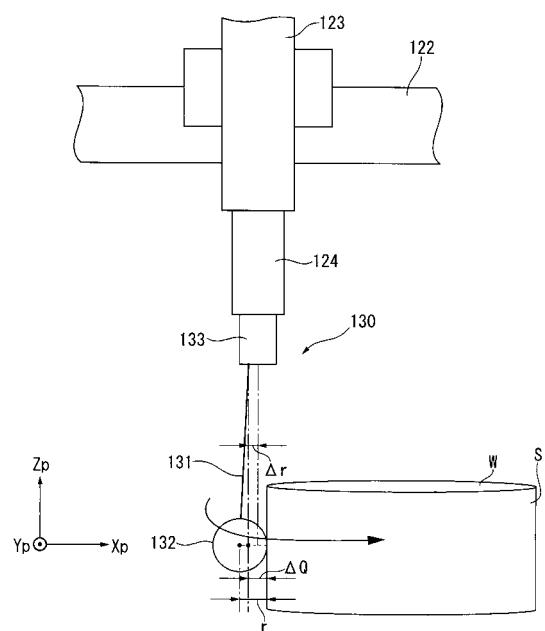
【図 19】



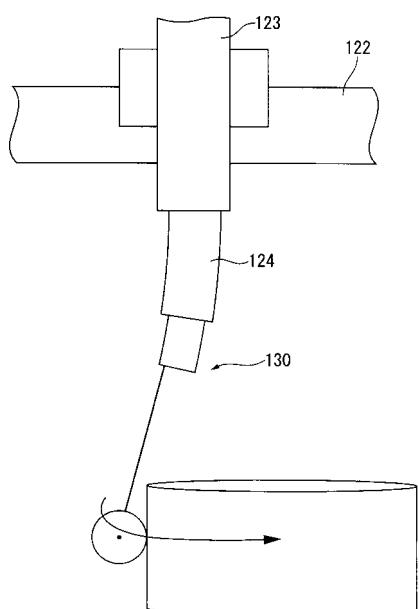
【図 20】



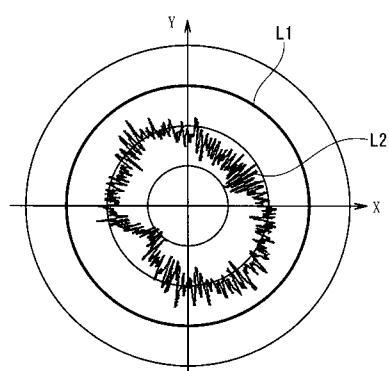
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】



フロントページの続き

【要約の続き】

【選択図】図2