

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7414643号
(P7414643)

(45)発行日 令和6年1月16日(2024.1.16)

(24)登録日 令和6年1月5日(2024.1.5)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 B 11/24 (2006.01) G 0 1 B 11/24 A

請求項の数 13 (全21頁)

(21)出願番号	特願2020-93416(P2020-93416)	(73)特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22)出願日	令和2年5月28日(2020.5.28)	(74)代理人	110000198 弁理士法人湘洋特許事務所
(65)公開番号	特開2021-189003(P2021-189003 A)	(72)発明者	渡辺 正浩 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(43)公開日	令和3年12月13日(2021.12.13)	(72)発明者	針山 達雄 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
審査請求日	令和5年1月25日(2023.1.25)	(72)発明者	丸野 兼治 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72)発明者	浜岸 真也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 形状測定装置および形状測定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

対象物の被測定部分に測定光を照射して被測定部分との距離測定を行う計測プローブと、計測プローブを移動する移動機構と、計測プローブを装着する校正機構としての一軸移動機構と、計測プローブ及び移動機構の動作を制御して、対象物の複数の被測定部分について距離測定を行って、形状測定を行う計測制御装置と、を備え、計測制御装置は、

移動機構に指示して、目的位置に計測プローブを移動させて、計測プローブにより被測定部分との距離を測定して、計測プローブが実際に移動した位置を求め、実際に移動した位置と目的位置との誤差を算出し、

算出した誤差に基づいて、移動機構により計測プローブの位置を修正し、修正した位置において、計測プローブに距離測定を行わせることを特徴とする形状測定装置。

【請求項2】

請求項1に記載の形状測定装置であって、移動機構は、多関節ロボットであり、アーム先端に計測プローブを保持し、対象物の複数の被測定部分について計測プローブを移動させて、対象物の立体形状を計測することを特徴とする形状測定装置。

【請求項3】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
計測制御装置は、移動機構により、計測プローブの先端側を対象物に設けられている穴部に挿入して、穴内周を被測定部分として距離測定を行うことを特徴とする形状測定装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
計測プローブは、測定光の放射方向を回転させて射出することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
計測プローブは、測定光をシート状に射出して対象物の被測定部分を照射し、照射された被測定部分からの反射光を受光して撮像し、得られた画像を解析して、形状測定を行うことを特徴とする形状測定装置。

10

【請求項 6】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
計測制御装置は、予め被測定部分の位置が分かっている基準サンプルの各被測定部分を計測プローブで測定した結果を解析することによって得た補正量を記憶し、測定時の移動の際の計測プローブの位置誤差を、補正量により補正することを特徴とする形状測定装置。

20

【請求項 7】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
計測プローブの位置・姿勢を外部から測定できるセンサを有し、
計測制御装置は、センサの出力により、計測プローブの移動位置を補正することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
移動機構に立体形状非接触計測装置を搭載し、
計測制御装置は、立体形状非接触計測装置により各被測定部分の位置を測定して、計測プローブの移動位置を補正することを特徴とする形状測定装置。

30

【請求項 9】

請求項 1 に記載の形状測定装置であって、
計測制御装置は、移動機構の残留振動が所定の量に減衰するのを待ってから計測プローブによる測定を実施することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の形状測定装置を複数有し、各形状測定装置の計測プローブに測定光を送る測距光源を、各形状測定装置について共通に設けることを特徴とする形状測定装置。

40

【請求項 11】

請求項 1 に記載の形状測定装置を、ネットワークを介して製造装置と接続し、測定結果を送って、製造装置の管理に利用することを特徴とする製造システム。

【請求項 12】

対象物の被測定部分に測定光を照射して被測定部分との距離測定を行う計測プローブと、計測プローブを移動する移動機構と、
計測プローブを装着する校正機構としての一軸移動機構と、
計測プローブ及び移動機構の動作を制御して、対象物の複数の被測定部分について距離測定を行って、形状測定を行う計測制御装置と、を備える形状測定装置による形状測定方

50

法であって、

計測制御装置は、

目的位置に計測プローブを移動させて、対象物の被測定部分に測定光を照射して被測定部分との距離測定を行い、

この距離測定結果から、計測プローブが実際に移動した位置を求め、実際に移動した位置と目的位置との誤差を算出し、

算出した誤差に基づいて、計測プローブを移動させてその位置を修正し、

修正した位置において、計測プローブに距離測定を行わせ、

上記の手順を、対象物の測定点について行って、得られた測定結果に基づいて立体形状を算出し、

一軸移動機構の内径が既知の箇所を計測プローブにより測定させることによって計測プローブの計測オフセットを校正する

ことを特徴とする形状測定方法。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の形状測定方法であって、

計測制御装置は、

一軸移動機構の異なる複数の箇所であって、それぞれの内径が異なり、且つ既知である前記異なる複数の箇所を計測プローブにより測定させることによって計測プローブの距離に対する感度を校正する

ことを特徴とする形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、立体形状の計測を行う形状計測技術に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、立体形状を計測する技術が開示されている。すなわち、同文献の段落[0008]には、「距離測定装置は、測定光を出力する発光部と、前記発光部から出力された測定光の偏光を制御する偏光状態制御部と、前記偏光状態制御部により制御された前記測定光を選択的に射出する光路切り替え素子と、を備え、前記偏光状態制御部は、前記光路切り替え素子から複数方向に向かって前記測定光を射出するように偏光を制御し、前記光路切り替え素子は、対象物までの距離の測定に用いる反射光であって、該光路切り替え素子から射出した前記測定光の前記対象物に対する前記反射光を取り込むことを特徴とする。」と記載されている。また、同文献の段落[0074]には、「多自由度系ロボットに本実施形態の測定プローブ 160 を設置し、測定プローブ先端部 164 を移動させることにより、より自由度の高い測定を可能とする立体形状測定装置 20 を構成することができる。」と記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第 6513846 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 に記載された技術では、プローブを多方向に移動させるためのロボット等の移動機構の位置精度が不足する場合には、測定される立体形状に誤差が含まれることが起こり得る。とりわけ、狭隘部の形状測定においては位置精度不足が生じやすい。

【0005】

本発明は、プローブを移動する機構の位置精度が不足するときにも、精度を保って対象物の形状計測ができる技術の提供を目的とする。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本願は、上記課題の少なくとも一部を解決する手段を複数含んでいるが、その例を挙げるならば、以下の通りである。

【0007】

本発明の一態様に係る形状測定装置は、対象物の被測定部分に測定光を照射して被測定部分との距離測定を行う計測プローブと、計測プローブを移動する移動機構と、計測プローブ及び移動機構の動作を制御して、対象物の複数の被測定部分について距離測定を行って、形状測定を行う計測制御装置と、を備える。計測制御装置は、移動機構に指示して、目的位置に計測プローブを移動させて、計測プローブにより被測定部分との距離を測定して、計測プローブが実際に移動した位置を求め、実際に移動した位置と目的位置との誤差を算出し、算出した誤差に基づいて、移動機構により計測プローブの位置を修正し、修正した位置において、計測プローブに距離測定を行わせる。

10

【発明の効果】**【0008】**

本発明によれば、ロボットのような比較的低コストで柔軟性が高い移動機構に搭載した計測プローブを用いても、精度よく立体形状を測定することが可能になる。

【0009】

上記した以外の課題、構成、及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

20

【0010】

【図1】図1は、第1実施形態の形状測定装置のシステム構成について、接続される周辺装置の構成と共に示すブロック図である。

【図2】図2は、第1実施形態における形状測定装置の一例の外観を模式的に示す説明図である。

【図3】図3は、第1実施形態において用いられる計測プローブの一例を示す模式図である。

【図4】図4は、高精度に狭隘部形状計測を行うための制御手順を概念的に示す説明図である。

【図5】図5は、計測プローブ自身による測定結果を用いて計測プローブの位置を補正して高精度な計測を実現する手順の一例を示す説明図である。

30

【図6】図6は、測定時における計測プローブの振動の状態を模式的に示す説明図である。

【図7】図7は、計測プローブの振動に起因する測定形状への影響を示す模式図である。

【図8】図8は、第2実施形態の形状測定装置のシステム構成について、接続される周辺装置の構成と共に示すブロック図である。

【図9】図9は、第2実施形態において用いられる計測プローブに関する別の例を示す模式図である。

【図10】図10は、第3実施形態の形状測定装置のシステム構成について、接続される周辺装置の構成と共に示すブロック図である。

【図11】図11は、第4実施形態として、上記各実施形態に適用可能な計測プローブの一例を模式的に示す説明図である。

40

【図12】図12は、第5実施形態として、上記各実施形態に適用可能な校正機構の例を模式的に示す説明図である。

【発明を実施するための形態】**【0011】**

以下、本発明の複数の実施形態について図面に基づいて説明する。なお、各実施形態を説明するための全図において、同一の部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、以下の各実施形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。また、特にその要素のみであ

50

る旨明示した場合等を除き、それ以外の要素を排除するものでないことは言うまでもない。同様に、以下の各実施形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうでないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状、位置関係等に近似または類似するもの等を含むものとする。各実施形態の構成の説明では、理解のため、X、Y、Z軸を備える直交座標系を用いる。X、Yは水平面を構成する方向とし、Zは鉛直方向とする。もちろん、各実施形態の構成は、厳密にX Y Z軸に一致していなくても、実質的に同じ作用効果を達成できる範囲内の変更は許容される。

【0012】

<第1実施形態>

以下、図面に基づいて本発明の実施形態の例について説明する。図1は、第1実施形態の形状測定装置のシステム構成について、接続される周辺装置の構成と共に示すブロック図である。図2は、第1実施形態における形状測定装置の一例の外観を模式的に示す説明図である。図3は、第1実施形態において用いられる計測プローブの一例を示す模式図である。

10

【0013】

本実施形態における形状測定装置200は、図1に示すように、計測プローブ160と、移動機構500と、これらを制御することにより、対象物について形状測定を行う計測制御装置210と、形状データ処理装置221と、表示部220とを有する。本実施形態及び以下の他の実施形態において、形状を測定すべき対象物として、製造装置に置かれているワーク400(図2参照)を例として説明する。

20

【0014】

計測制御装置210は、プローブ制御機構211と、移動機構制御装置215と、全体制御装置225とを有する。計測制御装置210は、形状計測処理全体を統括的に制御して、測定対象の立体形状を計測する。全体制御装置225は、ハードウェア資源として、図示しないCPU(Central Processing Unit)、メモリ等を含む演算装置を有する。予めインストールされたソフトウェアにより、各種演算、制御等を行う。同様に、プローブ制御機構211及び移動機構制御装置215についても同様に、ハードウェア資源とソフトウェアとを有する。また、形状データ処理装置221は、例えば、GPU(Graphics Processing Unit)を有し、全体制御装置225の処理を分担して、画像データ、形状データ等について高速で演算処理する。

30

【0015】

全体制御装置225は、移動機構制御装置215により計測プローブ160を各測定点に移動させる制御と、プローブ制御機構211による各測定点での計測プローブ160の計測を統括的に制御して、測定対象に関する各測定点の位置(目的位置)と、各被測定部分までの距離のデータとから、対象物の立体形状を算出する。また、全体制御装置225は、精度よく計測を行うため、計測プローブ160の目的位置からの移動のずれを検出するための予備計測と、予備計測の結果に基づいて、必要に応じてずれを修正して、被測定部分について距離を計測する本計測とを、移動機構制御装置215とプローブ制御機構211とに行わせて、対象物(ワーク400)の立体形状を測定する。また、全体制御装置225は、測定結果等を、表示部220において表示させることができる。

40

【0016】

移動機構500は、図2に示すように、保持部530において、計測プローブ160を保持する。移動機構500は、移動機構制御装置215の制御の下、計測プローブ160を目的位置に移動させて、ワーク400の被測定部分に対して様々な位置・方向から接近させる。移動機構500としては、例えば、図2に示すような多関節ロボットを用いることができる。この多関節ロボットは、複数のアーム510と、これらを変位可能に連結する関節部520と、各アームを自在に変位させるアクチュエータ(図示せず)とを有する。移動機構として多関節ロボットのようなロボットを用いることにより、計測プローブ160を、保持しつつ、自在な姿勢で、ワーク400の形状に対応して移動することができ

50

る。このような機構であれば、他の移動機構を用いてもよい。例えば、多軸ステージを用いることができる。

【0017】

移動機構制御装置215は、後述する、ワーク400の各測定点の位置情報に基づいて、計測プローブ160を目的位置に移動させる制御を行う。すなわち、移動機構制御装置215は、移動機構500に指示を出力し、計測プローブ160を目的位置まで移動させる。移動機構制御装置215は、プローブ制御機構211から、目的位置での距離測定終了の情報を受け付けると、次の測定点に計測プローブ160を移動するよう、移動機構500に指示を出す。ワーク400に設定された各測定点について、この手順を繰り返す。各測定点には、制御装置間において、測定すべき位置をシーケンシャルに管理するための計測位置番号が付されている。この計測位置番号は、測定点ごとに、プローブ制御機構211とやりとりする。

10

【0018】

測定点の位置情報については、例えば、製品の設計データを利用することができる。移動機構制御装置215は、この設計データとして、例えば、ワーク400に関するCAD（コンピュータ・エイディド・デザイン）データを利用することができる。すなわち、CADデータを予め読み込んでおいて、各測定点を位置座標と共に特定すると共に、それぞれの測定点に計測位置番号を付与して、この測定点データを移動機構500の移動制御に利用する。もちろん、各測定点についての測定を管理することができるのであれば、他の手段を用いてもよい。

20

【0019】

プローブ制御機構211は、図3に示すように、測距光源201を有する。測距光源201は、図示していないが、可干渉性光を出力する光源素子、例えば、レーザーダイオードと、その駆動装置とを有する。駆動装置には、レーザー光を出力させるための駆動回路と、レーザー光にFM変調等の変調を施すための回路等を含む。プローブ制御機構211は、測距光源201を制御して測定のためのレーザー光を出力させる。

【0020】

プローブ制御機構211は、光ファイバ、光学カプラ、光サーキュレータ等の各種光学部材と、光電変換素子とを有する。プローブ制御機構211は、測距光源201から出力されたレーザー光を、測定光と参照光とに分岐する。また、測定光を、光ファイバを有する接続ケーブル150を介して、計測プローブ160に送る。一方、測定対象からの反射光を、計測プローブ160を介して取り込み、前述した参照光と合成して、光電変換し、距離検出処理を行う。プローブ制御機構211は、検出した距離データを、例えば、前述した計測位置管理番号と紐付けて、全体制御装置225に送る。なお、距離検出処理については、例えば、前述した特許文献1に記載されている。

30

【0021】

形状測定は、ワークの外部形状、溝部、穴部等の複雑な形状について行われる。例えば、各穴部の内部の形状の測定が必要な場合がある。図2に、ワーク400として、穴部421、422、423、424等が設けられた形状の立方体状のブロックを例として示している。これらの穴部421等は、いわゆる狭隘部に相当するといえる。計測プローブ160は、このような狭隘部を含むワークの形状測定に対応することができる。

40

【0022】

図2には、ワーク400を、試料台600上の所定の位置に搭載して、形状測定を行う場合を示している。この例では、ワーク400を位置決め材620に係止させている。これにより、ワーク400は、試料台600におけるXY平面上の基準位置に固定される。

【0023】

試料台600上に、位置合わせマーク610が予め形成してある場合には、このマーク610を利用して、試料台600における測定時の位置の基準設定が容易に行える。例えば、計測プローブ160により、位置合わせマーク610について2点以上位置を測定することによって、試料台600上に置かれているワーク400の位置を正確に知ることが

50

できる。

【 0 0 2 4 】

また、ワーク 4 0 0 自身の特徴的な形状を、目印とすると、ワーク 4 0 0 の位置・姿勢を正確に求めることができる。例えば、コーナーを取り囲む 3 面の位置を、第 1 の方向 3 0 0 a または第 2 の方向 3 0 0 b に進む測定光により、複数のコーナーで測定すること、互いに直交しない面の位置・姿勢を、各面当たり 3 点以上第 1 の方向 3 0 0 a または第 2 の方向 3 0 0 b に進む測定光により測定することが挙げられる。

【 0 0 2 5 】

このような位置決め測定を行うことにより、試料台 6 0 0 上のワーク 4 0 0 の位置・姿勢を正確に知ることができる。ワーク 4 0 0 の位置・姿勢情報が得られると、ワーク 4 0 0 の C A D データを用いて、ワーク 4 0 0 上の目的位置の被測定部分に接近させる制御が可能となる。すなわち、移動機構制御装置 2 1 5 は、C A D データを読み込んでおき、このデータを用いて移動機構 5 0 0 を制御して、測定したいワーク 4 0 0 上の目的位置の被測定部分に、計測プローブ 1 6 0 を接近させることができる。

10

【 0 0 2 6 】

計測プローブ 1 6 0 は、図 3 に示すように、プローブ本体 1 6 0 a と、その先端側に位置するヘッド 1 6 0 b とを有する。計測プローブ 1 6 0 は、プローブ本体 1 6 0 a が前述した移動機構 5 0 0 の保持部 5 3 0 に保持される。この移動機構により、目的位置への移動の他、被測定部分に対して所定の向きとなるよう姿勢を変えられて、維持される。一方、ヘッド 1 6 0 b 側は、ワーク 4 0 0 に近接する測定対象に近接して距離検出を行う。計測プローブ 1 6 0 は、移動機構 5 0 0 により、移動機構制御装置 2 1 5 の制御の下、ワーク 4 0 0 の目的位置まで移動する。さらに、ヘッド 1 6 0 b は、目的位置の穴部 4 2 1 内に挿入された状態で、被測定部分 T に向けて移動する。

20

【 0 0 2 7 】

プローブ本体 1 6 0 a は、図 3 に示すように、レンズ系 1 6 1 と、回転機構 1 6 2 と、偏光状態制御部 1 6 5 と、偏光状態制御部駆動装置 1 6 6 と、を収容する。レンズ系 1 6 1 には、接続ケーブル 1 5 0 が有する光ファイバが接続され、接続ケーブル 1 5 0 から導かれた測定光を絞り、偏光状態制御部 1 6 5 へと導く。一方、偏光状態制御部 1 6 5 を経た測定対象からの反射光を接続ケーブル 1 5 0 に導く。また、図 3 に示すように、回転機構 1 6 2 及び偏光状態制御部駆動装置 1 6 6 と、プローブ制御機構 2 1 1 とは、信号線、電力線等として用いられる導線により接続される。本実施形態では、導線は、接続ケーブル 1 5 0 として、光ファイバと共に束ねられている。また、プローブ本体 1 6 0 a には、歪ゲージ 1 6 7 が取り付けられている（図 2 参照）。さらに、移動機構 5 0 0 の保持部 5 3 0 に、歪ゲージ 1 9 0 が取り付けられている（図 2 参照）。なお、信号の伝送については、他の機器間での伝送を含めて、無線通信手段を用いてもよい。

30

【 0 0 2 8 】

ヘッド 1 6 0 b は、例えば、図 3 に示すように、筒状であり、内壁の少なくとも一部で光路切り替え素子 1 6 3 を保持している。ヘッド 1 6 0 b は、光路切り替え素子 1 6 3 の第 1 の方向 3 0 0 a の出射側、及び、第 2 の方向 3 0 0 b を半径とする円周全体に渡って、測定光を透過できる性質を有することが必要である。光路切り替え素子 1 6 3 は、例えば、偏光ビームスプリッターを用いて実現することができる。計測プローブ 1 6 0 は、光路切り替え素子 1 6 3 を収容する筒状であるため、極めて細く形成することができる。従って、穴、溝等に容易に挿入することができ、狭隘部での距離測定がしやすい。

40

【 0 0 2 9 】

なお、ヘッド 1 6 0 b の構成はこれに限られない。例えば、1 又は 2 以上の支柱で光路切り替え素子 1 6 3 を係止し、支柱の回転に伴って光路切り替え素子 1 6 3 が回転するものであってもよい。また、ヘッド 1 6 0 b は、例えば、透明な 2 層の筒からなり、内筒で光路切り替え素子 1 6 3 を係止し、光路切り替え素子 1 6 3 を回転させる構成としてもよい。

【 0 0 3 0 】

50

偏光状態制御部 165 は、入射光の偏光状態を変える素子、例えば、偏光板等の偏光素子を有する。この偏光素子は、プローブ制御機構 211 の制御により、偏光状態制御部駆動装置 166 により回転駆動される。回転による角度変位に伴って、偏光状態制御部 165 は、測距制御機構 110 から出力された測定光の偏光を制御する。偏光状態制御部 165 は、偏光状態を変えることができる他の手段であってもよい。例えば、液晶素子を用いることができる。

【0031】

レンズ系 161 は、図 3 に示すように、プローブ制御機構 211 から出力され、接続ケーブル 150 に導かれた測定光を絞り、偏光状態制御部 165 へと導く。偏光状態制御部 165 は、導かれた測定光の偏光状態を、光路切り替え素子 163 を透過する光、または、反射する光となるように変える。これにより、測定光の偏光状態の変更に応じて、測定光の光路 300 が、光路切り替え素子 163 において、光路 300 と同方向の光路 300a と、光路 300 と直交する方向の光路 300b とに選択的に切り替えられることとなる。

10

【0032】

回転機構 162 は、モータ等の駆動機構を備え、プローブ制御機構 211 の制御により、ヘッド 160b を、レンズ系 161 から射出される測定光の光路 300 を軸として回転させる。これにより、ヘッド 160b が保持する光路切り替え素子 163 が光路 300 の光軸周りに回転する。その結果、光路切り替え素子 163 において光路 300b 方向に反射される測定光は、図 3 に示すように、光路切り替え素子 163 の回転に伴って、その放射方向が同図において矢印で示すように旋回する。これにより、ワーク 400 の穴部 421 の被測定部分 T の内側を、測定光の放射方向を旋回して走査することとなる。

20

【0033】

図 1 を参照すると、全体制御装置 225 は、移動機構制御装置 215 を介して移動機構 500 を制御すると同時に、プローブ制御機構 211 を介して、測距光源 201 と計測プローブ 160 とを制御して、立体形状計測を行う。また、全体制御装置 225 は、ワーク 400 の各測定点についての、移動機構制御装置 215 から得た、移動機構 500 による移動に関わる計測プローブ 160 の位置・姿勢データと、プローブ制御機構 211 から得た計測プローブ 160 による距離測定データとを、形状データ処理装置 221 に渡し、ワーク 400 の全体的な立体形状情報を合成する。なお、全体制御装置 225 は、プローブ制御機構 211 と、移動機構制御装置 215 と、制御機能を分担しているが、分担の仕方を変えることができる。さらに、全体制御装置 225 が全てを制御する構成とすることも可能である。この点については、後述する 3D センサ制御機構 381 が加わる場合においても、同様に分担の仕方を変えることができる。

30

【0034】

計測プローブ 160 で得られるワーク 400 の距離測定データは、計測プローブ 160 の測定時の位置・姿勢に対する相対的なデータである。全体制御装置 225 は、これらのデータについての処理を形状データ処理装置 221 に行わせる。形状データ処理装置 221 は、移動機構 500 の位置・姿勢データから計測プローブ 160 の測定時の位置・姿勢を計算し、基準座標系に変換して、立体形状情報を合成する。さらに、形状データ処理装置 221 は、得られたワーク 400 の全体的な立体形状情報、または、個々の狭隘部の立体形状情報を解析して、設計情報からの誤差を計算する。例えば、穴の径、穴のピッチ等の寸法情報を計算すること、円筒度、真直度、平面度などの幾何公差情報を計算することが挙げられる。全体制御装置 225 は、計算した結果を表示部 220 に表示させる。なお、形状データ処理装置 221 の計算処理の全部または一部を全体制御装置 225 が実行する構成としてもよい。

40

【0035】

形状測定装置 200 は、図 1 に示すように、ネットワーク 800 を介して、製造装置 700 と、データ処理装置 701 と接続して製造システムを構築することができる。これにより、形状測定装置 200 は、ネットワーク 800 を介して測定データを送ることにより、製造装置 700 の管理に利用することができる。具体的には、データ処理装置 701 に

50

測定データを送って、記憶装置 702 に蓄積させる。データ処理装置 701 では、形状測定結果の誤差を解析し、解析結果に基づく各種指示を、ワーク 400 を加工した製造装置 700 に対してネットワーク 800 を介して出力する。各種指示として、例えば、工具交換指示、工具サイズ補正量指示、加工パス・加工速度などの加工条件の変更指示が挙げられる。また、ワーク 400 を次に加工する製造装置 700 に対して、仕上げ加工量の変更を指示することが挙げられる。さらに、ワーク 400 を組み付ける組立工程に対して、組み付けるワークと組み付ける相手の双方の形状誤差を考慮して、両者がぴったりとはまり、最適となる組み付け相手を指示することもできる。なお、データ処理装置 701 と記憶装置 702 とは、構内ネットワーク 800 に接続するほかに、クラウドに設置してもよいことは言うまでもない。

10

【0036】

次に、本実施形態の動作例について説明する。まず、プローブ制御機構 211 の役割の一例について、測距光源 201 及び計測プローブ 160 との関係と共に説明する。測距光源 201 では、例えば、内蔵する発振器により生成される掃引波形信号により変調された、可干渉のレーザー光を出力する。レーザー光は、光ファイバを介してプローブ制御機構 211 に送られる。プローブ制御機構 211 は、レーザー光を参照光と測定光とに分岐して、測定光を、接続ケーブル 150 を介して計測プローブ 160 のプローブ本体 160a のレンズ系 161 に導く。

【0037】

移動機構制御装置 215 は、移動機構 500 に指示を出して、計測プローブ 160 を、目的位置に移動させる。例えば、図 2 に示すワーク 400 の穴部 421 について計測する場合には、穴部 421 の中心位置に移動させる。さらに、図 3 に示すように、計測プローブ 160 のヘッド 160b を、穴 421 中に挿入する。移動が完了すると、移動機構制御装置 215 は、プローブ制御機構 211 に計測位置番号を渡し計測を開始する。

20

【0038】

プローブ制御機構 211 は、測定光を出力する。測定光は、接続ケーブル 150 及びレンズ系 161 を経由して偏光状態制御部 165 に到達し、偏光状態制御部 165 で偏光が制御される。偏光状態制御部 165 によって制御された測定光は、光路切り替え素子 163 に到達する。

【0039】

図 3 に示すように、被測定部分が円筒形状である場合、偏光状態制御部 165 による偏光の制御によって、第 1 の方向 300a へ射出された測定光を用いることにより、円筒形状の測定部位 Ta での底部深さを測定することができる。一方、偏光状態制御部 165 による偏光の制御によって、光路切り替え素子 163 から第 2 の方向 300b に射出された光は、光路切り替え素子 163 の回転に応じて放射方向が角度変位し、ヘッド 160b の側面の開口部又は壁面を透過して被測定部分 Tb に照射される。被測定部分 Tb からの反射光は、第 1 の方向 300a に射出された光と同様に、経路を逆行してプローブ制御機構 211 に到達し、被測定部分 T までの距離が算出される。第 2 の方向 300b へ射出された測定光を用いることにより、例えば円筒形状の側面の形状を測定することができる。測定が完了すると、プローブ制御機構 211 は、移動機構制御装置 215 に測定完了を報告する。これにより、移動機構制御装置 215 は、次の測定点へ計測プローブ 160 を移動させる。

30

【0040】

次に、狭隘部での計測の一例について説明する。図 4 は、高精度に狭隘部形状計測を行うための制御手順を概念的に示している。図 4 (a) に示すように、計測プローブ 160 は、測定光を放射状に出射して、距離を測定するものであるため、光の反射特性などの要因が精度に影響する。そのため、計測プローブ 160 の位置は、狭隘部（特に穴）の中心にできるだけ近いところに挿入して、測定した方が精度がよい。ところが、移動機構 500 の絶対位置精度は、例えば、ロボットの場合、一般に 1mm 前後であることが多い。このため、本実施例では、図 4 に示すように、予備計測と本計測とを行う。これにより、高

40

50

精度の穴形状測定を実現する。

【0041】

まず、図4(a)に示すように、計測プローブのヘッドを穴に挿入して、予備計測をして、穴の中心位置、すなわち芯ずれ量を移動量として求める。次に、求めた移動量により芯ずれを打ち消す方向に、プローブ座標系で計測プローブ160の相対移動を行う。図4(b)に示すように、その後、本計測を行う。このように、予備計測を事前に行ってずれを修正することにより、計測プローブ160のヘッドの位置が、穴の中心により近くなる。この状態で計測が行うことにより、高精度な穴形状の測定が可能となる。

【0042】

形状測定装置における、上に述べた予備計測と本計測とを行うための動作フローについて、図5を参照して説明する。図5は、計測プローブ自身による測定結果を用いて計測プローブの位置を補正して高精度な計測を実現する手順の一例を示す説明図である。これらの計測は、図1に示す計測制御装置210において、全体制御装置225の制御に従って、移動機構制御装置215と、プローブ制御機構211とにより行われる。図5において、移動機構制御装置215の動作フローを左側に示し、プローブ制御機構211の動作フローを右側に示す。

10

【0043】

移動機構制御装置215は、移動機構500に指示を出して、穴の中心位置へプローブ160を移動させて、移動が完了すると、プローブ制御機構211に計測位置番号を渡す(S11)。これを受けて、プローブ制御機構211は、予備計測を行って、計測結果から芯ずれ量を算出する(S21)。プローブ制御機構211は、測定結果の測定断面の計測点群データに、円を当て嵌めて(フィッティング)、当て嵌めた円の中心位置から芯ずれ量を算出する。プローブ制御機構211は、算出した芯ずれ量を、位置補正量として、移動機構制御装置215に渡す。

20

【0044】

移動機構制御装置215は、移動機構500を制御して、受け取った補正量に対応する移動量、ハンド(プローブ)座標系により微小相対移動を行う。完了すると、計測位置番号を再びプローブ制御機構211に渡す(S12)。プローブ制御機構211は、計測プローブ160を制御して、穴の径や真円度などを得るための本計測を行う。測定が完了すると、プローブ制御機構211は、移動機構制御装置215に測定完了を報告する(S22)。

30

【0045】

移動機構制御装置215は、次の測定点へ計測プローブ160を移動させる(S13)。以上の手順を繰り返すことにより、複数の狭隘部を持つワーク400の形状を自動計測することが可能となる。

【0046】

なお、プローブ制御機構211は、予備計測時に、芯ずれ量が小さく、目的の精度を満たしている場合には、予備計測の測定結果を本計測の測定結果とし、移動機構制御装置215に測定完了の報告を行う(S22)。移動機構制御装置215は、位置補正のための微小相対移動は行わず、移動機構500により計測プローブ160を次の測定点に移動させる。

40

【0047】

移動機構500の先端部の位置・姿勢の精度を補って高精度な形状計測を実現するための、別の例を説明する。この例では、予め、各被測定部分の位置が分かっている基準サンプルを準備する。例えば、図2に示すワーク400の穴部421、422、423、424等の各被測定部分に相当する位置が分かっている基準サンプルを用意する。次に、測定対象のワーク400について、計測プローブ160で測定する。全体制御装置225及び形状データ処理装置221において、測定結果を解析して、各被測定部分の穴部421、422、423、424の位置を計算する。この位置と、予め分かっている各被測定部分の位置とのずれにより、移動機構500によって計測プローブ160を移動したときに生

50

じたずれを補正するための補正量データを得ることができる。この補正量データを図示しない記憶装置に記憶しておく。例えば、全体制御装置 2 2 5 において補正テーブルとして記録保持する。次に、測定した位置の測定データを、この補正テーブルを用いて、補正する。

【 0 0 4 8 】

このように、予め基準サンプルを測定して作成した補正テーブルを記録しておくことによって、同種のワークに対する計測プローブの移動時の位置誤差を補正テーブルで補正することができる。これにより、製造ライン等における高精度な形状計測に対応することが可能となる。なお、基準サンプルの形状とワーク 4 0 0 の形状とが異なっていて、被測定部分の位置が異なっている場合には、補正テーブルのデータをそのまま用いることができない。このような場合には、位置及び姿勢の近い補正データを用いて補正する。複数の近傍の補正データを用いる場合には、補正データを得た時の計測プローブの位置及び姿勢と、被補正データを得た時の計測プローブの位置及び姿勢との近さによって、重みづけをして、補間を行う。

10

【 0 0 4 9 】

本実施形態における位置姿勢精度確保の他の例について述べる。ロボットのような移動機構 5 0 0 の先端部の位置・姿勢の精度は一般に 1 mm 前後である。しかし、この精度では、狭隘部のワーク 4 0 0 の基準面（データ面）に対する位置、複数の狭隘部 4 2 1、4 2 2 等の間の間隔などを、高精度に測定するには不足であることが多い。そのため、本実施形態では、図 2 に示すように、計測プローブ 1 6 0 のプローブ本体 1 6 0 a の側面に、複数のターゲットマーク 3 9 1 を貼付し、これらのマークの 3 次元位置を、外部に設置した 3 D 位置測定機 3 9 0 によって測定することとしている。この 3 D 位置測定機 3 9 0 は、計測プローブ 1 6 0 の位置・姿勢を外部から測定できるセンサとして働く。移動機構制御装置 2 1 5 は、後述するように、このセンサの出力に基づいて、プローブの移動位置を補正する。

20

【 0 0 5 0 】

3 D 位置測定機 3 9 0 は、図 1 に示すように、移動機構制御装置 2 1 5 に接続される。移動機構制御装置 2 1 5 は、3 D 位置測定機 3 9 0 において撮像された画像からターゲットマーク 3 9 1 を認識して、これらのターゲットマーク 3 9 1 の位置を求める。これにより、移動機構制御装置 2 1 5 は、計測プローブ 1 6 0 の位置・姿勢を、数 1 0 μ m オーダの精度で正確に知ることができる。この結果として、この計測プローブ 1 6 0 の位置・姿勢を補正することにより、測定した複数の狭隘部間の位置関係を高精度に測定することが可能となる。

30

【 0 0 5 1 】

形状計測を行う場合に、CAD データの間違い、移動機構 5 0 0 の位置誤差などによって、計測プローブ 1 6 0 のヘッド 1 6 0 b が、誤ってワークに衝突する可能性を、完全には否定できない。そのための防止策として、例えば、本実施形態では、プローブ制御機構 2 1 1 と移動機構制御装置 2 1 5 とが連携して制御を行うことにより、衝突を回避している。例えば、計測プローブ 1 6 0 から放射される測定光の進行方向を、第 1 の方向 3 0 0 a と第 2 の方向 3 0 0 b とに繰り返し切り替えつつ、ワーク 4 0 0 との距離が所定以上に近づかないように制御することにより、衝突を回避することができる。なお、衝突回避制御を行った場合、全体制御装置 2 2 5 により、表示部 2 2 0 に、衝突回避を行った旨の表示を行うようにしてもよい。

40

【 0 0 5 2 】

また、他の方法として、計測プローブ 1 6 0 に配置した歪ゲージ 1 6 7 や、計測プローブ 1 6 0 の移動機構 5 0 0 に配置した歪ゲージ 1 9 0 を用いる方法がある。すなわち、ヘッド 1 6 0 b の先端部 1 6 4 がワーク 4 0 0 に接触することによる衝撃を、歪ゲージ 1 6 7 または歪ゲージ 1 9 0 により感知し、感知信号に応じて、移動機構制御装置 2 1 5 が、すぐに移動機構 5 0 0 の動作を止めて退避するように制御する。これによって、その位置での測定をとばして、衝突を回避し、多様な狭隘部を含む形状のワークの立体形状を自動

50

で測定することが可能になる。なお、測定を飛ばした場合、全体制御装置 2 2 5 により、表示部 2 2 0 に、その測定点についてその旨の表示を行うようにしてもよい。これにより、その測定点については、後に、手動等により、再測定を行うことができる。

【 0 0 5 3 】

形状計測を行う場合に、計測プローブ 1 6 0 に残留振動が生じる場合がある。例えば、移動機構 5 0 0 が目的位置に移動して停止した際、例えば、アーム 5 1 0 に残留振動が発生することがある。図 6 は、横軸を時間、縦軸を変位として振動の様子を示したものである。振動は、時間と共に減衰するので、残留振動が振動基準値以下になるまで待ってから、測定開始することが必要である。プローブ制御機構 2 1 1 は、残留振動が振動基準値以下になると、計測プローブ 1 6 0 に距離測定を開始させる。これにより、計測プローブに生じる残留振動の影響による精度低下を防ぐことができる。

10

【 0 0 5 4 】

残留振動が基準値以下になったことを判断するには、様々な方法が考えられる。例えば、歪ゲージ 1 6 7 または歪ゲージ 1 9 0 の出力をモニタする方法、計測プローブ 1 6 0 の付近に貼付した加速度センサ（図示せず）によって振動をとらえる方法、計測プローブ 1 6 0 自体によってワーク 4 0 0 との距離の振動的な変化をとらえる方法等、が考えられる。また、別の方法として、あらかじめ残留振動特性を測定しておいて、残留振動が基準値以下になるまでの時間を決定してもよい。

【 0 0 5 5 】

ここで、残留振動基準値は、以下に説明するように決めることができる。計測プローブ 1 6 0 が振動している状態で、例えば、図 3 に示すようなワーク 4 0 0 の穴部 4 2 1 の測定を行うと、振動が重畳して測定される。例えば、図 7 (a) 及び (b) の破線に示すような円形の穴を測定した場合に、振動が重畳して測定され、同図の実線のように、形状がゆがんで測定される。ここで、図 7 (a) は、計測プローブ 1 6 0 の測定が、測定光の巡回速度を 1 秒 / 回転に設定して測定した時の、残留振動が 1 0 H z の場合の測定結果を示す。また、図 7 (b) は、3 H z の場合の測定結果を示す。なお、図 6 に示す振動波系図、並びに、図 7 (a) 及び (b) に示す形状ゆがみを示す図を、例えば、全体制御装置 2 2 5 により、表示部 2 2 0 に表示するようにしてもよい。

20

【 0 0 5 6 】

計測プローブ 1 6 0 に、このような振動が重畳しているときの形状測定精度は、振動振幅と同程度となる。従って、振動基準値として必要形状測定精度と同程度の値を設定して、すでに説明したように測定開始タイミングを決めればよい。

30

【 0 0 5 7 】

さらに、望ましくは、下記のようにすることもできる。計測したい対象が、形状そのものではなく、例えば、穴径や穴位置といった形状評価値である場合は、得られた断面形状データに対して、円を当て嵌める処理（フィッティング）を行う。例えば、円と断面形状データの各点の距離の二乗和が最小となるように円の位置と径を決定する。この結果、得られた径及び位置が、得たい形状評価値となる。この場合は、残留振動が多少残っていても、振動の周期が測定時間よりも十分短ければ、振動の振幅よりも高精度に形状評価値を得ることができる。

40

【 0 0 5 8 】

図 7 (a) に示す例のように、測定時間 1 秒に対して、振動周期が、 $1 / 10$ 程度になっていれば、形状評価値は振動の振幅の $1 / 10$ 程度になることが期待できる。そのため、必要な評価精度の 10 倍程度の値を、振動整定の基準となる振動基準値とすることができる。これに対して、図 7 (b) に示す例のように、測定時間 1 秒に対して、振動周期が $1 / 3$ 程度の場合は、形状評価値は振動振幅と同程度となる。その場合は、必要な評価精度と同程度の値を、振動整定の基準となる振動基準値とする。

【 0 0 5 9 】

以上、第 1 実施形態について説明した。第 1 実施形態によれば、移動機構に、目的位置にプローブを移動させる指示を送り、移動先において計測プローブから測定対象物の被測

50

定部分に測定光を送り、被測定部分からの反射光を、計測プローブを介して受光して、距離を測ることにより、プローブの実際の位置と目的位置との誤差を求める予備計測を行う。その後、その誤差に基づいて、移動機構により計測プローブの位置を移動させて、被測定部分について計測する本計測を行う。これにより、移動機構による計測プローブの位置ずれを修正できて、精度よく形状計測が行える。仮に、移動機構が移動による位置制御の精度が低い場合でも、目的の精度で計測を行うことができる。

【 0 0 6 0 】

< 第 2 実施形態 >

図 8 は、第 2 実施形態の形状測定装置のシステム構成について、接続される周辺装置の構成と共に示すブロック図である。図 9 は、第 2 実施形態において用いられる計測プローブに関する別の例を示す模式図である。

10

【 0 0 6 1 】

本実施形態における形状測定装置 2 0 0 は、計測プローブ 1 6 0 と、移動機構 5 0 0 と、立体形状非接触計測装置 3 8 0 と、計測制御装置 2 1 0 と、形状データ処理装置 2 2 1 と、表示部 2 2 0 とを有する。ここで、計測制御装置 2 1 0 は、プローブ制御機構 2 1 1 と、移動機構制御装置 2 1 5 と、全体制御装置 2 2 5 と、3 D センサ制御機構 3 8 1 と、を有する。また、移動機構 5 0 0 の作動域近傍に、移動機構制御装置 2 1 5 に接続される 3 D 位置測定機 3 9 0 が設けられる。本実施形態は、基本構成については、第 1 実施形態の構成と共通するため、同一の構成要素については同一の符号を付している。また、本実施形態では、立体形状非接触計測装置 3 8 0 と 3 D センサ制御機構 3 8 1 とが加わっている。ここでは、相違点を中心に説明する。

20

【 0 0 6 2 】

図 9 に示すように、本実施形態では、移動機構 5 0 0 に立体形状非接触計測装置 3 8 0 を搭載する。立体形状非接触計測装置 3 8 0 は、移動機構 5 0 0 の保持部 5 3 0 に装着され、図示しない信号線を介して、3 D センサ制御機構 3 8 1 と接続される。立体形状非接触計測装置 3 8 0 は、例えば、ステレオカメラ、縞パターン投影装置とカメラを組み合わせたもの、レーザシート光投影装置とカメラを組み合わせたもの、フラッシュを点滅させてカメラの各画素に光が戻ってくるまでの時間を計測することによる T O F (T i m e o f F l i g h t) カメラ等を用いる。

【 0 0 6 3 】

3 D センサ制御機構 3 8 1 は、立体形状非接触計測装置 3 8 0 の撮影制御を行う。立体形状非接触計測装置 3 8 0 及び 3 D センサ制御機構 3 8 1 は、計測対象の表面形状に関する測定を分担する。すなわち、狭隘部形状を測定することが得意な計測プローブ 1 6 0 と、それ以外の表面形状を測定することが得意な立体形状非接触計測装置 3 8 0 の測定結果とを合わせて、形状計測を行う。その結果、測定対象であるワーク 4 0 0 の外面形状と狭隘部とについての形状データを、被測定部分の計測の難易による測定点欠落を生じることなく、目的の精度で形状データを得ることができる。

30

【 0 0 6 4 】

本実施形態において、全体制御装置 2 2 5 は、移動機構制御装置 2 1 5 を介して移動機構 5 0 0 を制御すると同時にプローブ制御機構 2 1 1 を介して測距光源 2 0 1 と計測プローブ 1 6 0 を制御して、主に狭隘部の 3 D 形状計測を行う。さらに、3 D センサ制御機構 3 8 1 を介して立体形状非接触計測装置 3 8 0 を制御して、主に狭隘部以外の表面形状の測定を行う。全体制御装置 2 2 5 は、移動機構制御装置 2 1 5 から得た移動機構 5 0 0 の位置・姿勢情報、プローブ制御機構 2 1 1 から得た計測プローブ 1 6 0 による各測定点の距離データ、及び、3 D センサ制御機構 3 8 1 から得た立体形状非接触計測装置 3 8 0 による 3 D データを、形状データ処理装置 2 2 1 に渡し、ワーク 4 0 0 の全体的な立体形状情報を合成する。

40

【 0 0 6 5 】

ここで、上述したように、計測プローブ 1 6 0 および立体形状非接触計測装置 3 8 0 で得られるワーク 4 0 0 の形状に関する測定データは、計測プローブ 1 6 0 および立体形状

50

非接触計測装置 380 の測定時の位置・姿勢に対する相対的なデータである。そこで、形状データ処理装置 221 は、移動機構 500 の位置姿勢から計測プローブ 160 および立体形状非接触計測装置 380 での測定時の位置・姿勢を計算し、3D 形状データを基準座標系に変換して、ワーク 400 の全体的な 3D 情報を合成する。さらに、形状データ処理装置 221 は、得られたワーク 301 の全体的な 3D 情報、または、個々の狭隘部の 3D 情報を解析して、様々な計算を行う。例えば、設計情報からの誤差、穴の径、穴のピッチなどの寸法情報、円筒度、真直度、平面度などの幾何公差情報等を計算する。また、計算した結果を表示部 220 において表示する。

【0066】

本実施形態において、3D センサ制御機構 381 は、立体形状非接触計測装置 380 によってワーク 301 の形状データを得て、この測定形状データに対して、予め読み込んだあったワーク 301 の CAD データと位置合わせすることで、計測プローブ 160 を用いて精密に測定したい、穴部・狭隘部 310 の部分の位置・姿勢を知ることができる。この情報を用いて、移動機構制御装置 215 は、移動機構 500 を制御して、計測プローブ 160 をその位置姿勢に位置決めすることができる。その結果、形状を精密に測定することが可能となる。また、立体形状非接触計測装置 380 によって、精密に測定したい狭隘部などの形状の入り口部分の形状を直接測定し、これから、狭隘部の位置姿勢を知り、この情報を用いて計測プローブ 160 をその位置姿勢に位置決めして内部の形状を測定することが可能となる。

【0067】

本実施形態でも、第 1 実施形態と同様に、計測プローブ 160 のプローブ本体 160 a の側面に、複数のターゲットマーク 391 を貼付し、これらのマークの 3 次元位置を外部に設置した 3D 位置測定機 390 によって測定することができるようにしている。これにより、この計測プローブ 160 を用いて測定した複数の狭隘部間の位置関係を高精度に測定することが可能となる。

【0068】

以上、第 2 実施形態について説明した。第 2 実施形態によれば、狭隘部形状を測定することが得意な計測プローブと、それ以外の表面形状を測定することが得意な立体形状非接触計測装置の測定結果とを合わせて、形状計測を行う構成としている。これにより、測定対象であるワークの外面形状と狭隘部とについて、測定対象の全体にわたって精読よく計測して、形状データを取得することができる。

【0069】

< 第 3 実施形態 >

図 10 は、第 3 実施形態の形状測定装置のシステム構成について、接続される周辺装置の構成と共に示すブロック図である。第 3 実施形態では、形状測定装置 200 を複数有し、かつ、測距光源として、複数の形状測定装置 200 について共通となる測距光源 202 を有している。各形状測定装置 200 の内部構成は、測距光源を除き、前述した第 2 実施形態と同様である。また、図 10 では、代表的に一つのみ示しているが、3D 位置測定機 390 を各形状測定装置の移動機構制御装置 215 に接続してある。

【0070】

測距光源 202 では、測定光を生成し、光ファイバで各プローブ制御機構 211 に分配する。分配の仕方は、各形状測定装置 200 のプローブ制御機構 211 からの要求に従って測距光源 201 内部の図示しない光路切替器を切り替えることによって実現することができる。また、常に、時分割で測距光源 202 からの測定光を、順番に各プローブ制御機構 211 に分配する構成としてもよい。また、光を増幅してから光のパワーを略等分になるように分けて、各プローブ制御機構 211 に送る構成としてもよい。各形状測定装置 200 における処理は、前述した第 2 実施形態と同様である。

【0071】

以上、第 3 実施形態について説明した。第 3 の実施形態では、測距光源 202 を複数の形状測定装置 200 で共有することにより、システムのコストを低減することが可能とな

10

20

30

40

50

る。

【0072】

上述した各実施形態では、反射光の検出処理及び光電変換と信号処理とをプローブ制御機構で行っている例を示した。これを異なる構成とすることも可能である。例えば、計測プローブ内において、光電変換処理及び信号処理を行い、電気信号をプローブ制御機構に伝送する構成とすることができる。また、光電変換と信号処理とを、測距光源内で行って、信号処理結果をプローブ制御機構に送る構成としてもよい。この場合は、光電変換と信号処理とを行う要素をプローブ制御機構内に保有する必要がないため、さらにシステムのコストを低減することが可能となる。

【0073】

<第4実施形態>

次に、第4実施形態について述べる。図3に示す計測プローブ160においては、ヘッド160bから第2の方向300bに放射される測定光はビーム状、すなわち直線状である。このビーム状の測定光を、光路切り替え素子163を回転させることによって、巡回走査光として、測定対象を照射させている。第4実施形態では、これまでの実施形態とは異なる形態の計測プローブを示す例である。ここでは、計測プローブの構成例を中心に説明する。

【0074】

図11は、第4の実施形態における計測プローブの構成の一例を示す図である。計測プローブ180は、プローブ本体180aと、ヘッド180bとを有する。プローブ本体180aには、図示しない画像センサと画像処理回路とを有する。ヘッド180bには、レーザー光を出力するレーザーダイオード185と、出力されるレーザー光を反射してシート状の測定光300cとして射出する円錐状ミラー186と、シート状測定光により照射されたワーク400の内周側のからの反射光を、プローブ本体180aの画像センサに導くためのカメラレンズ188と、を有する。ヘッド180bの先端側181は、透明体で構成される。なお、レーザーダイオード185とカメラレンズ188は、ヘッド180bの基端側182に配置することもできる。

【0075】

本実施形態においては、レーザーダイオード185と、出力されるレーザー光を円錐状ミラー186の頂点187に照射することにより、レーザー光をシート状に広がった測定光300cに変換する。これにより、ワーク400の内周側の測定部位Tが全周に渡って照射される。測定部位Tからの反射光を、カメラレンズ188によって図示しない画像センサに導いて撮像し、画像処理回路において画像処理する。得られた画像データは、プローブ制御機構211に送られる。なお、プローブ制御機構211は、受信した画像データを用いて画像解析処理によって距離検出を行えばよい。また、上述した他の実施形態における各種光学部材や光電変換素子を備えなくてよく、プロセッサや画像処理回路を備えればよい。これにより、測定対象Tの断面形状を測定することが可能となる。

【0076】

以上、第4実施形態について述べた。本実施形態によれば、測定光を巡回走査せず、シート状光として測定対象を全周に渡って照射できる。また、照射部位を画像センサにより撮像して、画像を解析することにより形状計測が行える。本実施形態は、回転等の駆動部分を要しないため、軽量化、小型化しやすい。

【0077】

<第5実施形態>

図12に示す第5実施形態について述べる。本実施形態は、計測プローブに校正機構を装着した例である。本実施形態は、これまでに示した第1から第4実施形態に適用することができるので、ここでは、計測プローブと一軸移動機構とについてのみ述べる。

【0078】

穴の内面の形状を測定する際に、穴の円筒度のような形状の評価値を得たい場合がある。この場合、計測プローブの移動の真直度が悪いと、真直度の悪化がそのまま穴の円筒度

10

20

30

40

50

の評価値に重畳してしまい、評価精度を劣化させることとなる。そのため、移動の真直度を確保することが求められる。

【0079】

図12は、第5実施形態として、上記各実施形態に適用可能な校正機構の例を模式的に示す説明図である。図12に示すように、計測プローブ160（又は180、以下省略）は、校正機構としての一軸移動機構252の内部に装着される。一軸移動機構252は、保持部530に保持される。一軸移動機構252は、例えば筒状に形成され、計測プローブ160を軸方向（図12の上下方向）に移動可能に保持する。また、一軸移動機構252の先端に内径の標準となるリングゲージ341を保持している。この構造において、一軸移動機構252により測定光300b（300c）がリングゲージ341に当たる位置で計測160の軸方向位置を停止させ、計測プローブ160による測定を行う。リングゲージ341の内径はあらかじめわかっているため、これにより、計測プローブ160の計測オフセットを補正して、正確な形状を出力するように定期的に校正することが可能となる

10

【0080】

さらに、内径の異なるリングゲージ342を具備することにより、計測のオフセットのみならず距離に対する感度（ゲイン）も校正することができる。すなわち、一軸移動機構252により測定光300b（300c）がリングゲージ342に当たる位置で計測プローブ160の軸方向位置を停止させ、計測プローブ160による測定を行う。あらかじめわかっているリングゲージ341と342の直径の差と、計測プローブ160で両者を測った時の直径の差が等しくなるように、計測プローブ160の距離に対する感度（ゲイン）も校正すればよい。なお、感度の非線形性も補正するために径の異なるリングゲージ341、342を計3個以上用いてもよい。

20

【0081】

以上、第5実施形態について述べた。本実施形態によれば、上述した各実施形態における計測プローブに適用することにより、計測プローブの移動の真直度を確保することができる。これにより、高精度な穴径評価を行うことができる。

【0082】

以上、本発明に係る各実施形態及び変形例の説明を行ってきたが、本発明は、上記した実施形態の一例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施形態の一例は、本発明を分かり易くするために詳細に説明したものであり、本発明は、ここで説明した全ての構成を備えるものに限定されない。また、ある実施形態の一例の構成の一部を他の一例の構成に置き換えることが可能である。また、ある実施形態の一例の構成に他の一例の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の一例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることもできる。また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、図中の制御線や情報線は、説明上必要と考えられるものを示しており、全てを示しているとは限らない。ほとんど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

30

【0083】

本発明に係る計測制御装置は、各種対象物の形状測定に用いることができる。穴部など狭隘部を含む対象であっても、計測プローブの精度よく計測することができる。従って、多種多様な測定対象の形状を測定するための形状測定装置として利用することができる。また、自動的に対象に接近して計測を行うことにも適しているため、製造ラインに置かれたワークの形状の計測を自動的に行うことができる。従って、生産現場、検査現場等に設置して利用することができる。また、本発明に係る形状測定装置は、製造ラインにおいて用いられる場合に限らず、対象の形状を計測する必要がある様々な状況において利用可能である。

40

【符号の説明】

【0084】

150：接続ケーブル、160：計測プローブ、161：レンズ系、162：回転機構、

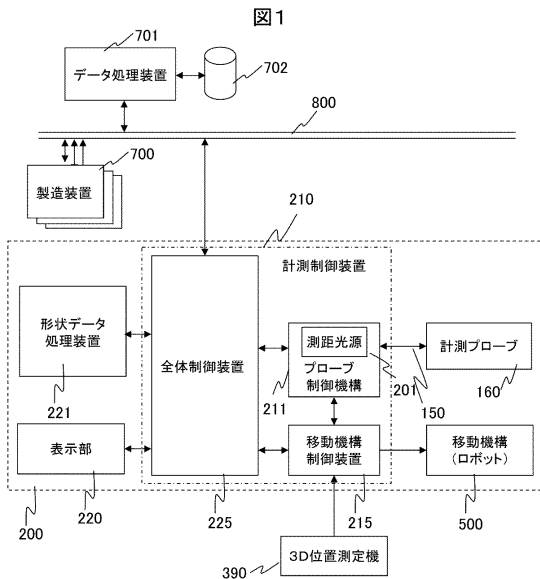
50

163 : 光路切り替え素子、164 : ヘッド先端部、165 : 偏光状態制御部、166 : 偏光状態制御部駆動装置、
 167, 190 : 歪ゲージ、
 185 : レーザダイオード、186 : 円錐状ミラー、188 : カメラレンズ、
 200 : 形状測定装置、210 : 計測制御装置、211 : プロブ制御機構、201, 202 : 測距光源、
 215 : 移動機構制御装置、220 : 表示部、221 : 形状データ処理装置、225 : 全体制御装置、
 300a : 第1の方向、300b : 第2の方向、T : 被測定部分、
 400 : ワーク、421, 422, 423, 424 : 穴部、
 500 : 移動機構、
 600 : 試料台、610 : 位置合わせマーク、620 : 位置決め材、
 380 : 立体形状非接触計測装置、381 : 3Dセンサ制御機構、
 390 : 3D位置測定機、391 : マーカ、
 700 : 製造装置、
 701 : データ処理装置、702 : 記憶装置

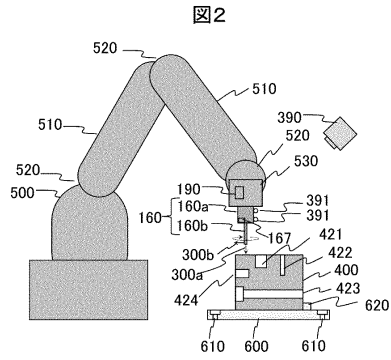
10

【図面】

【図1】



【図2】



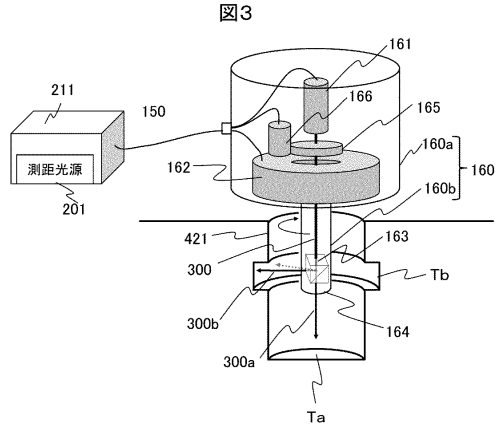
20

30

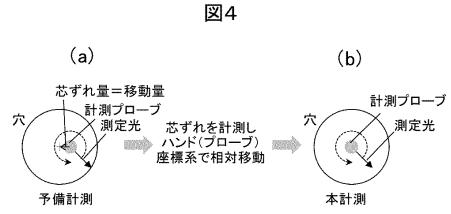
40

50

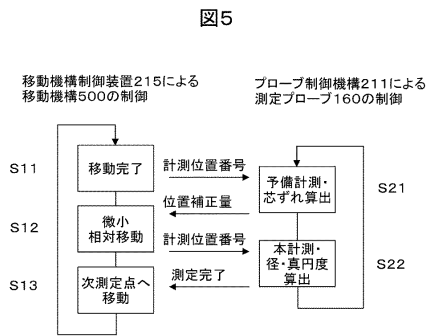
【 図 3 】



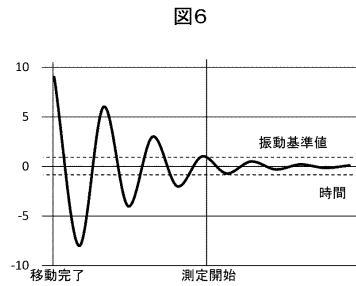
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



10

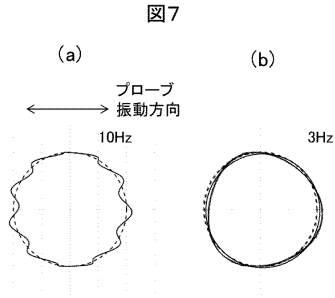
20

30

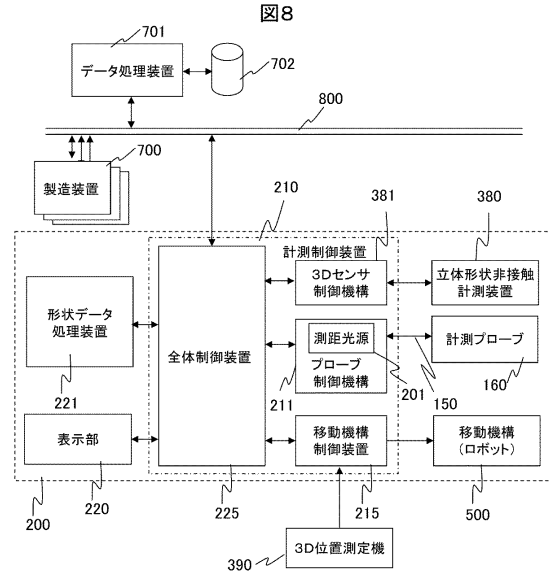
40

50

【 図 7 】



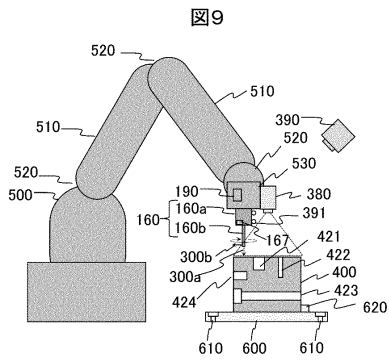
【 図 8 】



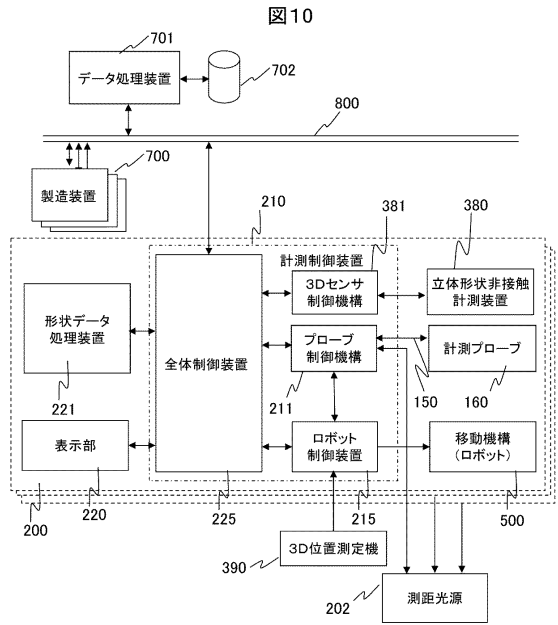
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

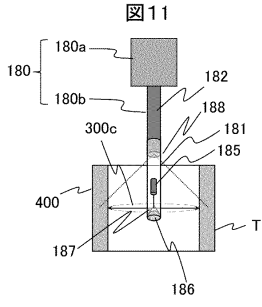


30

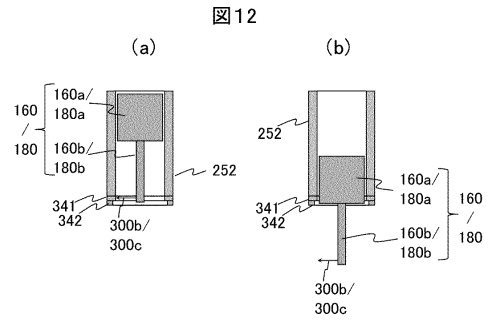
40

50

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
- (72)発明者 原山 元希
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
- 審査官 信田 昌男
- (56)参考文献 特開2018-205301(JP,A)
特開2007-125633(JP,A)
特開平08-082753(JP,A)
特許第4667400(JP,B2)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01B 11/24