

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5100613号
(P5100613)

(45) 発行日 平成24年12月19日(2012.12.19)

(24) 登録日 平成24年10月5日(2012.10.5)

(51) Int. Cl. F 1
GO 1 B 21/30 (2006.01) GO 1 B 21/30 I O 1 F

請求項の数 2 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2008-277597 (P2008-277597)	(73) 特許権者	000002107
(22) 出願日	平成20年10月29日(2008.10.29)		住友重機械工業株式会社
(65) 公開番号	特開2010-107263 (P2010-107263A)		東京都品川区大崎二丁目1番1号
(43) 公開日	平成22年5月13日(2010.5.13)	(74) 代理人	100105887
審査請求日	平成23年2月14日(2011.2.14)		弁理士 来山 幹雄
		(74) 代理人	100091340
			弁理士 高橋 敬四郎
		(74) 代理人	100141302
			弁理士 鶴飼 伸一
		(72) 発明者	清田 芳永
			神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重機械工業株式会社 横須賀製造所内
		(72) 発明者	市原 浩一
			岡山県倉敷市玉島乙島8230番地 住友重機械ファインテック株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 真直度測定方法及び真直度測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の方向に並び、相対位置が固定された3個の変位計を測定対象物に対向させ、該変位計及び該測定対象物の一方である可動物を、他方の固定物に対して第1の方向に移動させながら、3個の変位計から、それぞれ測定対象物の表面において第1の方向に延在する測定対象線に沿って並ぶ3つの被測定点までの距離を測定する工程と、

前記3個の変位計の測定結果に基づいて、前記可動物に対する相対位置が固定された基準点の軌跡である倣い曲線のプロファイルを算出する工程と、

前記倣い曲線の算出されたプロファイルの2次成分を、事前に測定されている倣い曲線のプロファイルの2次成分に基づいて補正する工程と、

補正された倣い曲線のプロファイルに基づいて、前記測定対象物の表面のプロファイルを算出する工程と

を有する真直度測定方法。

【請求項2】

測定対象物を支持するテーブルと、

測定対象物の表面において該第1の方向に並ぶ被測定点までの距離を、それぞれ測定する3個の変位計を含むセンサヘッドと、

前記センサヘッド及び前記テーブルの一方である可動物を、他方の固定物に対して前記第1の方向に沿って移動可能に支持する案内機構と、

前記可動物に相対的に固定された基準点の軌跡である倣い曲線の2次成分を記憶してお

り、前記3個の変位計で測定された測定データに基づいて、前記第1の方向に平行な測定対象線に沿う前記表面のプロファイルを求める制御装置とを有し、

前記制御装置は、

前記可動物を前記第1の方向に移動させながら、3個の変位計の各々によって、前記測定対象線に沿う表面上の被測定点までの距離を測定して測定データを取得する工程と、

前記3個の変位計の測定結果に基づいて、前記可動物に対する相対位置が固定された基準点の軌跡である倣い曲線のプロファイルを算出する工程と、

前記倣い曲線の算出されたプロファイルの2次成分を、記憶されている倣い曲線のプロファイルの2次成分に基づいて補正する工程と、

補正された倣い曲線のプロファイルに基づいて、前記測定対象物の表面のプロファイルを算出する工程と

を実行する真直度測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、三点法を用いて真直度を測定する方法、及び真直度を測定する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

測定対象物の表面の真直度を、三点法により測定することができる(特許文献1)。例えば、3個の変位計の基準点が移動した軌跡である倣い曲線のプロファイル、測定対象物の表面プロファイル、及び3個の変位計のピッチング成分のプロファイルを用いて、3個の変位計の測定データを記述し、この記述式を連立方程式として解くことにより、表面プロファイルを決定することができる。

【0003】

【特許文献1】特開2003-254747号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

三点法により測定されたデータに基づいて、変位計が起動した軌跡である倣い曲線のプロファイル、3個の変位計の移動時に生じるピッチング成分のプロファイル、及び測定対象物の表面のプロファイルを分離するためには、3個の変位計のゼロ点が高精度に調整されていなければならない。例えば、平坦度が数 μm の表面の真直度を測定するためには、3個の変位計のゼロ点の目標位置からのずれ量を、数十ナノメートル~数ナノメートル以下にしなければならない。

【0005】

また、レーザ変位計等の非接触の変位計のゼロ点は、測定対象物の表面性状、例えば砥石による研削痕の状態、粗さ、材質、反射率、透過率等により、変動してしまう。また、ゼロ点の変動量には、個体差がある。このため、変位計のゼロ点調整を、事前に高精度に行っておくことは困難である。

【0006】

本発明の目的は、3個の変位計のゼロ点調整を高精度に行うことなく、測定対象物の表面プロファイルを算出することができる真直度測定方法を提供することである。

【0007】

本発明の他の目的は、上記方法を適用して真直度を測定する真直度測定装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一観点によると、

10

20

30

40

50

第 1 の方向に並び、相対位置が固定された 3 個の変位計を測定対象物に対向させ、該変位計及び該測定対象物の一方である可動物を、他方の固定物に対して第 1 の方向に移動させながら、3 個の変位計から、それぞれ測定対象物の表面において第 1 の方向に延在する測定対象線に沿って並ぶ 3 つの被測定点までの距離を測定する工程と、

前記 3 個の変位計の測定結果に基づいて、前記可動物に対する相対位置が固定された基準点の軌跡である倣い曲線のプロファイルを算出する工程と、

前記倣い曲線の算出されたプロファイルの 2 次成分を、事前に測定されている倣い曲線のプロファイルの 2 次成分に基づいて補正する工程と、

補正された倣い曲線のプロファイルに基づいて、前記測定対象物の表面のプロファイル

10

を算出する工程と

を有する真直度測定方法が提供される。

【 0 0 0 9 】

本発明の他の観点によると、

測定対象物を支持するテーブルと、

測定対象物の表面において該第 1 の方向に並ぶ被測定点までの距離を、それぞれ測定する 3 個の変位計を含むセンサヘッドと、

前記センサヘッド及び前記テーブルの一方である可動物を、他方の固定物に対して前記第 1 の方向に沿って移動可能に支持する案内機構と、

前記可動物に相対的に固定された基準点の軌跡である倣い曲線の 2 次成分を記憶しており、前記 3 個の変位計で測定された測定データに基づいて、前記第 1 の方向に平行な測定

20

対象線に沿う前記表面のプロファイルを求める制御装置と

を有し、

前記制御装置は、

前記可動物を前記第 1 の方向に移動させながら、3 個の変位計の各々によって、前記測定対象線に沿う表面上の被測定点までの距離を測定して測定データを取得する工程と、

前記 3 個の変位計の測定結果に基づいて、前記可動物に対する相対位置が固定された基準点の軌跡である倣い曲線のプロファイルを算出する工程と、

前記倣い曲線の算出されたプロファイルの 2 次成分を、記憶されている倣い曲線のプロファイルの 2 次成分に基づいて補正する工程と、

補正された倣い曲線のプロファイルに基づいて、前記測定対象物の表面のプロファイル

30

を算出する工程と

を実行する真直度測定装置が提供される。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

倣い曲線のプロファイルの 2 次成分を、倣い曲線のプロファイル変動の影響を受けない方法で事前に測定しておくことにより、変位計のゼロ点調整が行われていない場合でも、倣い曲線の 2 次成分を特定することができる。これにより、精密なゼロ点調整を行うことなく、測定対象物の表面プロファイルを測定することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 1 】

40

図 1 A に、実施例による真直度測定装置の概略斜視図を示す。可動テーブル 10 が、テーブル案内機構 11 により、一方向に移動可能に支持されている。可動テーブル 10 の移動方向を x 軸とし、鉛直下方を z 軸とする x y z 直交座標系を定義する。

【 0 0 1 2 】

案内レール 18 が、砥石ヘッド 15 を、可動テーブル 10 の上方に支持する。砥石ヘッド 15 は、案内レール 18 に沿って y 軸方向に移動可能である。また、砥石ヘッド 15 は、案内レール 18 に対して z 方向にも移動可能である。すなわち、砥石ヘッド 15 は、可動テーブル 10 に対して昇降可能である。砥石ヘッド 15 の下端に砥石 16 が取り付けられている。砥石 16 は、円柱状の外形を有し、その中心軸が y 軸に平行になる姿勢で砥石ヘッド 15 に取り付けられている。

50

【 0 0 1 3 】

可動テーブル 1 0 の上に、測定対象物（被研削物）2 0 が保持される。砥石 1 6 を測定対象物 2 0 の表面に接触させた状態で、砥石 1 6 を回転させながら、可動テーブル 1 0 を x 方向に移動させることにより、測定対象物 2 0 の表面を研削することができる。

【 0 0 1 4 】

制御装置 1 9 が、可動テーブル 1 0 及び砥石ヘッド 1 5 の移動を制御する。

【 0 0 1 5 】

図 1 B に示すように、砥石ヘッド 1 5 の下端にセンサヘッド 3 0 が取り付けられている。センサヘッド 3 0 に、3 個の変位計 3 1 i、3 1 j、及び 3 1 k が取り付けられている。変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k には、例えばレーザ変位計が用いられる。変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k は、それぞれ変位計から測定対象物 2 0 の表面上の被測定点までの距離を測定することができる。3 個の変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k は、y 方向に並んでいる。また、3 個の変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k の被測定点も、y 方向に並んでいる。このため、y 方向に平行な測定対象線に沿う表面の高さを測定することができる。砥石ヘッド 1 5 を y 方向に移動させながら測定を行うことにより、測定対象物 2 0 の表面の測定対象線に沿う表面のプロファイルを測定することができる。変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k から、測定データが制御装置 1 9 に入力される。

【 0 0 1 6 】

図 2 を参照して、座標系及び各種関数について説明する。図 2 では、上方を z 軸の正の向きとしている。このため、センサヘッド 3 0 と測定対象物 2 0 との上下関係が、図 1 B に示した上下関係とは逆転している。y 軸の負の向きに向かって、変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k が、この順番に等間隔 P で配置されている。両端の変位計 3 1 i、3 1 k のゼロ点を結ぶ線分の中点を基準点と定義する。基準点から、中央の変位計 3 1 j のゼロ点までの高さ（ゼロ点誤差）を δ とする。

【 0 0 1 7 】

測定対象物 2 0 の表面の、測定対象線に沿うプロファイルを $W(y)$ とする。センサヘッド 3 0 を y 方向に移動させたときの基準点の軌跡（倣い曲線）を $h(y)$ とする。理想的には、倣い曲線 $h(y)$ は直線であるが、実際には、理想的な直線からゆがむ。

【 0 0 1 8 】

両端の変位計 3 1 i、3 1 k のゼロ点を結ぶ直線が y 軸から傾く角度を $\theta(y)$ とする。理想的には、傾斜角 $\theta(y) = 0$ であるが、実際には、センサヘッド 3 0 の移動に伴ってピッチングが生ずることにより、傾斜角 $\theta(y)$ は、倣い曲線 $h(y)$ の傾きとは独立して変動する。変位計 3 1 i のゼロ点と、基準点との高さの差、及び変位計 3 1 k のゼロ点と基準点との高さの差は、 $T(y) \times P$ と表すことができる。ここで、ピッチング成分 $T(y) = \sin(\theta(y))$ と近似される。変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k の測定値をそれぞれ、 $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ とすると、下記の式が成り立つ。

【 0 0 1 9 】

【数 1】

$$W(y+P) = h(y) + i(y) + T(y) \times P \dots (1)$$

$$W(y) = h(y) + j(y) + \delta \dots (2)$$

$$W(y-P) = h(y) + k(y) - T(y) \times P \dots (3)$$

【 0 0 2 0 】

傾斜角 $\theta(y)$ は十分小さいため、 $\cos(\theta(y))$ を 1 と近似している。

【 0 0 2 1 】

測定対象物 2 0 の形状は、例えば一辺の長さが 2 m の正方形であり、変位計の間隔 P は、例えば 1 0 0 mm である。

【 0 0 2 2 】

式 (1)、(2)、(3) から $T(y)$ と $h(y)$ とを消去すると、以下の式が得られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

【 数 3 】

$$W(y+P)-2W(y)+W(y-P)+2\delta=i(y)-2j(y)+k(y)\cdots(4)$$

【 0 0 2 4 】

ここで、表面プロファイル $W(y)$ が次の 3 次式 (5) で表されると仮定する。

【 0 0 2 5 】

【 数 4 】

$$W(y)=ay^3+by^2+cy+d\cdots(5)$$

【 0 0 2 6 】

式 (5) を式 (4) に代入すると、次の式 (6) が得られる。

【 0 0 2 7 】

【 数 5 】

$$6aP^2y+2bP^2+2\delta=i(y)-2j(y)+k(y)\cdots(6)$$

【 0 0 2 8 】

式 (6) の右辺は、すべて測定データであり、変位計の間隔 P は既知である。従って、左辺の未知数 a は、右辺の変数 y の 1 次成分から算出することができる。ところが、右辺の y の 0 次成分が求まったとしても、左辺のゼロ点誤差 が未知であるため、未知数 b を決定することができない。すなわち、表面プロファイル $W(y)$ の 3 次成分 a を決定することはできるが、2 次成分 b を決定することはできない。なお、表面プロファイル $W(y)$ の 4 次以上の成分も、3 次成分と同様に決定することができる。

【 0 0 2 9 】

実施例においては、表面プロファイル $W(y)$ の 2 次成分が決定できないことを補うために、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分を事前に測定しておく。倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分は、案内レール 18 の撓みに相当するため、測定ごとに大きな変動はないと考えられる。従って、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分を事前に測定しておけば、測定対象物の表面プロファイルの測定ごとに、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分を測定し直す必要はない。なお、倣い曲線 $h(y)$ の 3 次以上の成分は、表面プロファイルの測定ごと (センサヘッド 30 の移動ごとに) に予測不能に変動すると考えられる。このため、倣い曲線 $h(y)$ の 3 次以上の成分を事前に測定しておいても、事前に測定された 3 次以上の成分に基づいて、実際の測定対象物の測定結果を補正することはできない。

【 0 0 3 0 】

図 3 A に、一例として、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分を事前に測定する方法のフローチャートを示す。ステップ S 1 において、図 3 B に示すように、測定対象物 20 を可動テーブル 10 の上に載置する。測定対象物 20 の表面上の y 方向に平行な任意の直線に沿って傾斜計 35 を移動させ、この直線に沿う表面の傾斜の分布を測定する。この傾斜の分布から、表面プロファイル $W(y)$ を算出する。傾斜計による測定は、案内レール 18 のゆがみの影響を受けない。

【 0 0 3 1 】

ステップ S 2 において、変位計 31 j を用いて、傾斜計 35 で傾斜分布を測定した直線と同一の直線に沿う表面プロファイルを測定することにより、測定データ $j(y)$ を取得する。

【 0 0 3 2 】

ステップ S 3 において、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分を算出する。以下、この算出方法について説明する。変位計 31 j で計測した表面プロファイルは、傾斜計による計測から求められた表面プロファイル $W(y)$ と同一である。このため、傾斜計による計測から求められた表面プロファイル $W(y)$ と、変位計 31 j による測定データ $j(y)$ との間には、式 (2) の関係が成り立つ。ゼロ点誤差 は定数であるため、表面プロファイル $W(y)$ の 2 次成分と測定データ $j(y)$ の 2 次成分とから、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分を

10

20

30

40

50

算出することができる。算出された2次成分は、制御装置19に記憶される。

【0033】

倣い曲線 $h(y)$ のプロファイルは、一般的には、砥石ヘッド15を y 方向に移動させる度に変化し、毎回同一のプロファイルになるとは限らない。ただし、倣い曲線 $h(y)$ の2次成分は、倣い曲線のおおまかな形状を決める低次成分であり、再現性が高いと考えられる。すなわち、測定ごとに大きな変動はないと考えられる。

【0034】

図4に、実施例による真直度測定方法のフローチャートを示す。まず、測定対象物20を可動テーブル10に載置する。この測定対象物20は、図3Aに示した工程で傾斜計を用いて表面プロファイルを測定した測定対象物20と同一である必要はない。

10

【0035】

ステップSA1において、砥石ヘッド15及びセンサヘッド30を y 方向に移動させながら、変位計31i、31j、31kで測定対象物20の表面の被測定点までの距離 $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ を測定する。測定されたデータは、制御装置19に入力される。

【0036】

ステップSA2において、測定データ $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ にローパスフィルタを適用して、ノイズ成分を除去する。ローパスフィルタを効果的に効かせるために、測定データ $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ は、変位計の間隔 P に対して十分細かい刻みで取得されている。例えば、0.05mmの刻み幅で測定データ $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ が取得されている。

20

【0037】

ステップSA3において、ローパスフィルタを適用した後の測定データ $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ をサンプリングして、ステップデータを生成する。サンプリングの周期は、例えば変位計の間隔 P の半分、すなわち50mmとする。

【0038】

ステップSA4において、ステップデータ $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ に基づいて、倣い曲線 $h(y)$ とピッチング成分 $T(y)$ とを、遺伝的アルゴリズムを用いて導出する。

【0039】

図5に、遺伝的アルゴリズムを適用したステップSA4の詳細なフローチャートを示す。この遺伝的アルゴリズムでは、倣い曲線 $h(y)$ とピッチング成分 $T(y)$ との組を1つの個体とする。

30

【0040】

ステップSB1において、初期世代の個体群を生成する。例えば、個体数は200とする。一例として、1つの個体の倣い曲線 $h(y)$ とピッチング成分 $T(y)$ を0とする。他の199個の個体の倣い曲線 $h(y)$ とピッチング成分 $T(y)$ とは、乱数により決定する。なお、初期状態では、すべての個体の倣い曲線 $h(y)$ 及びピッチング成分 $T(y)$ を0に設定してもよい。

【0041】

ステップSB2において、各個体を評価関数により評価し、各個体の適応度を計算する。評価関数は、表面プロファイル $W(y)$ に基づいて設定する。3個の変位計31i、31j、31kは、同一の測定対象物20の表面の同一の測定対象線に沿うプロファイルを測定しているのであるから、式(1)~式(3)を用いてそれぞれ算出した3個の表面プロファイル $W_1(y)$ 、 $W_2(y)$ 、 $W_3(y)$ は一致するはずである。

40

【0042】

そこで、まず $W_1(y)$ と $W_2(y)$ との差分 $W_1(y) - W_2(y)$ 、及び $W_2(y)$ と $W_3(y)$ との差分 $W_2(y) - W_3(y)$ を求める。表面プロファイル $W(y)$ を多項式で表した時の0次成分は、測定対象物20とセンサヘッド30との間隔に相当し、1次成分は、測定対象物20の姿勢に相当する。すなわち、表面プロファイル $W(y)$ の

50

0次成分と1次成分とは、測定対象物20の表面プロファイルに直接関係しない。このため、差分 $W_1(y) - W_2(y)$ 及び差分 $W_2(y) - W_3(y)$ から、0次成分と1次成分とを除去する。

【0043】

0次成分と1次成分とが除去された差分 $W_1(y) - W_2(y)$ 及び差分 $W_2(y) - W_3(y)$ の各々の分散を計算する。この2つの分散の和を評価関数とする。評価関数の値が小さいほど、適応度が高いといえる。すべての個体を、適応度によって並び替える。

【0044】

ステップSB3において、交叉対象となる個体を選択する。一例として、個体が選択される確率は、適応度が高い個体ほど高くなるように設定する。この選択確率に基づいて、2個の個体からなる10ペアを選択する。

10

【0045】

ステップSB4において、選択された個体のペアの倣い曲線 $h(y)$ またはピッチング成分 $T(y)$ の少なくとも一方を交叉させ、新たな固体を生成する。

【0046】

図6を参照して、交叉の方法を説明する。現世代の個体のうち、交叉の対象に選択された2つの個体 U_a 及び U_b の倣い曲線 $h(y)$ 及びピッチング成分のプロファイル $T(y)$ が示されている。固体 U_a の倣い曲線 $h(y)$ の一部と、個体 U_b の倣い曲線 $h(y)$ の対応する部分とを入れ換えて(交叉させて)、新たな個体 U_c 及び U_d を生成する。新たな固体 U_c 及び U_d のピッチング成分のプロファイル $T(y)$ は、それぞれ元の個体 U_a 及び U_b のピッチング成分のプロファイル $T(y)$ をそのまま引き継いでいる。このようにして、2つの個体から、新たに2つの個体が生成される。ステップSB3で10ペアの個体を選択されているため、ステップSB4では、新たに10ペア、即ち20個の個体が生成される。

20

【0047】

なお、ピッチング成分のプロファイル $T(y)$ を交叉させてもよいし、倣い曲線 $h(y)$ とピッチング成分のプロファイル $T(y)$ との両方を交叉させてもよい。

【0048】

ステップSB4が終了すると、ステップSB5において、突然変異の対象となる個体を選択する。一例として、適応度の高い10個の個体を除外し、残りの190個の個体から、80個を選択する。

30

【0049】

ステップSB6において、選択された個体に突然変異を生じさせ、新たな固体を生成する。

【0050】

図7を参照して、突然変異の方法について説明する。図7に、ステップSB5で選択された1つの個体 U_e を示している。個体 U_e の倣い曲線 $h(y)$ に、ランダムな幅及び高さのガウス曲線を重畳させ、新たな個体 U_f を生成する。なお、個体 U_e のピッチング成分のプロファイル $T(y)$ にガウス曲線を重畳させてもよいし、倣い曲線 $h(y)$ とピッチング成分のプロファイル $T(y)$ との両方にガウス曲線を重畳させてもよい。ステップSB5で80個の個体を選択されているため、ステップSB6では、新たに80個の個体が生成される。

40

【0051】

ステップSB7において、適応度の低い個体を淘汰する。具体的には、現世代の200個の個体のうち、適応度の低い100個の固体を、新たに生成された100個体で置き換える。これにより、新たな世代の200個の個体が決定される。

【0052】

ステップSB8において、新たな世代の200個の個体を評価し、適応度を求める。なお、ステップSB7で淘汰されなかった前世代の100個の個体については、既に適応度が算出されているため、適応度を算出し直す必要はない。新世代の200個の個体を、適

50

応度に応じて並び替える。

【 0 0 5 3 】

ステップ S B 9 において、世代数が目標値に達したか否かを判定し、目標値に達していない場合には、ステップ S B 3 に戻る。目標値に達している場合には、ステップ S B 1 0 において、最新の世代の個体のうち適応度の最も高い個体の倣い曲線 $h(y)$ 及びピッチング成分のプロファイル $T(y)$ を、最適解とする。

【 0 0 5 4 】

図 8 に、評価値の変位を示す。横軸は世代数を表し、縦軸は、現世代の個体のうち最も適応度の高い個体の評価関数の値（評価値）を示す。世代が進むに従って、評価値が低下（適応度が上昇）していることが分かる。2000 世代で、評価関数の値は約 $0.4 \mu\text{m}^2$ まで低下している。標準偏差は $0.63 \mu\text{m}$ になり、十分な精度が得られていることが分かる。また、500 世代程度で評価値が 90% 程度まで収束し、その後、緩やかに最適解の探索が進むことから、遺伝的アルゴリズムの各パラメータの設定も適切であったと考えられる。

10

【 0 0 5 5 】

図 9 A に、適応度が最も高い個体の倣い曲線 $h(y)$ 及びピッチング成分のプロファイル $T(y)$ を示す。縦軸は、 $h(y)$ 及び $T(y)$ の値を表し、 $h(y)$ の単位は「 μm 」、 $T(y)$ の単位は「 $10 \mu\text{rad}$ 」である。横軸は y 方向の位置を単位「 mm 」で表す。なお、倣い曲線 $h(y)$ 及びピッチング成分のプロファイル $T(y)$ の 0 次成分と 1 次成分とは、表面プロファイルに関係しないため、図 8 A では、0 次成分と 1 次成分とを除去して示している。

20

【 0 0 5 6 】

図 9 B に、変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k による測定データ $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ を示す。横軸は y 方向の位置を単位「 mm 」で表し、縦軸は測定データの値を単位「 μm 」で表す。なお、0 次成分及び 1 次成分は除去している。

【 0 0 5 7 】

図 9 C に、倣い曲線 $h(y)$ 及びピッチング成分のプロファイル $T(y)$ の最適解を、式 (1) ~ (3) に代入して求めた表面プロファイル $W_1(y)$ 、 $W_2(y)$ 、 $W_3(y)$ を示す。最適解から算出した 3 つの表面プロファイルは、図 9 B に示した 3 つの測定データに比べて、差が小さいことがわかる。

30

【 0 0 5 8 】

このように、遺伝的アルゴリズムを用いることにより、3 個の未知の関数を含む連立方程式を直接的に解くことなく、倣い曲線 $h(y)$ 、ピッチング成分のプロファイル $T(y)$ 、及び表面プロファイル $W(y)$ の最適解を求めることができる。

【 0 0 5 9 】

上記遺伝的アルゴリズムでは、倣い曲線 $h(y)$ と、ピッチング成分のプロファイル $T(y)$ とで遺伝的アルゴリズムの解の候補を定義し、表面プロファイル $W(y)$ に基づいて評価関数を定義した。その他に、倣い曲線 $h(y)$ 、ピッチング成分のプロファイル $T(y)$ 、表面プロファイル $W(y)$ のうち 2 つのプロファイルで解の候補を定義し、残りの 1 つのプロファイルで評価関数を定義してもよい。

40

【 0 0 6 0 】

図 4 のステップ S A 5 において、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分の補正を行う。式 (6) に示したように、連立方程式 (1) ~ (3) からは、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分を特定することはできない。このため、遺伝的アルゴリズムで求められた倣い曲線 $h(y)$ の最適解の 2 次成分は、意味を持たない。従って、遺伝的アルゴリズムによって得られた倣い曲線 $h(y)$ の最適解から、2 次成分を除去し、3 次以上の成分のみを含む倣い曲線 $h(y)$ を求める。この 3 次以上の成分のみを含む倣い曲線 $h(y)$ に、図 3 A のステップ S 2 で算出されている倣い成分 $h(y)$ の 2 次成分を重畳させる。これにより、有意な 2 次成分を含む倣い曲線 $h(y)$ が求まる。

【 0 0 6 1 】

50

ステップ S A 6 において、ステップ S A 5 で 2 次成分が補正された倣い曲線 $h(y)$ 、及び変位計 3 1 j の測定データ $j(y)$ を式 (2) に代入することにより、表面プロファイル $W(y)$ の 2 次以上の成分が求まる。なお、ゼロ点誤差 は定数であるため、ゼロ点誤差 が未知であったとしても、表面プロファイル $W(y)$ の 2 次以上の成分を特定することが可能である。

【0062】

可動テーブル 1 0 を x 方向にずらして、図 4 のステップ S A 1 から S A 6 までの工程を繰り返すことにより、測定対象物 2 0 の全面の表面プロファイルを測定することができる。可動テーブル 1 0 を x 方向にずらしても、倣い曲線 $h(y)$ の 2 次成分は変化しないと考えられる。このため、可動テーブル 1 0 を x 方向にずらす度に、図 3 A に示した傾斜計による測定を再実行する必要はない。また、測定対象物 2 0 を交換しても、傾斜計による測定を再実行する必要はない。

10

【0063】

傾斜計による表面プロファイルの測定は、多くの手間と時間を要し、自動化が困難である。実施例による方法では、自動化が容易な変位計を用いた測定により、測定対象物 2 0 の表面プロファイルを、容易に測定することができる。

【0064】

上記実施例では、ゼロ点誤差 が残っている場合にも、表面プロファイル $W(y)$ の 2 次成分を特定することができる。このため、精密なゼロ点調整を行う必要がない。

【0065】

上記実施例では、変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k を測定対象物 2 0 に対して移動させたが、その逆に変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k に対して測定対象物 2 0 を移動させてもよい。例えば、図 1 A において、変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k を x 方向に配列させ、測定対象物 2 0 を x 方向に移動させながら測定を行うことにより、測定対象物 2 0 の表面の x 方向に平行な測定対象線に沿う表面プロファイルを測定することができる。図 1 B に示したセンサヘッド 3 0 を、z 軸に平行な回転軸を中心として 90° 回転させることにより、変位計 3 1 i、3 1 j、3 1 k を x 方向に配列させることができる。センサヘッド 3 0 に、このような回転機構を設けてもよい。

20

【0066】

y 方向に平行な複数の測定対象線に沿う表面プロファイルと、x 方向に平行な複数の測定対象線に沿う表面プロファイルとを重ね合わせることにより、測定対象物 2 0 の表面の 2 次元的な表面プロファイル情報を得ることができる。

30

【0067】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【図面の簡単な説明】

【0068】

【図 1】(1 A) は、実施例による真直度測定装置の斜視図であり、(1 B) は、センサヘッド部分の概略図である。

【図 2】測定対象物の表面プロファイル $W(y)$ 、変位計の測定データ $i(y)$ 、 $j(y)$ 、 $k(y)$ 、倣い曲線 $h(y)$ 、及びピッチング成分 $T(y)$ の定義を示す線図である。

40

【図 3】(3 A) は、事前に倣い曲線の 2 次成分を測定しておく方法を示すフローチャートであり、(3 B) は、傾斜計で表面プロファイルを測定する様子を示す概略図である。

【図 4】実施例による真直度測定方法のフローチャートである。

【図 5】実施例による真直度測定方法で採用される遺伝的アルゴリズムのフローチャートである。

【図 6】遺伝的アルゴリズムで行われる交叉を説明するための図である。

【図 7】遺伝的アルゴリズムで行われる突然変異を説明するための図である。

【図 8】遺伝的アルゴリズムにより、世代が増えるに従って評価値が小さくなる（適応度

50

が高くなる)ことを示すグラフである。

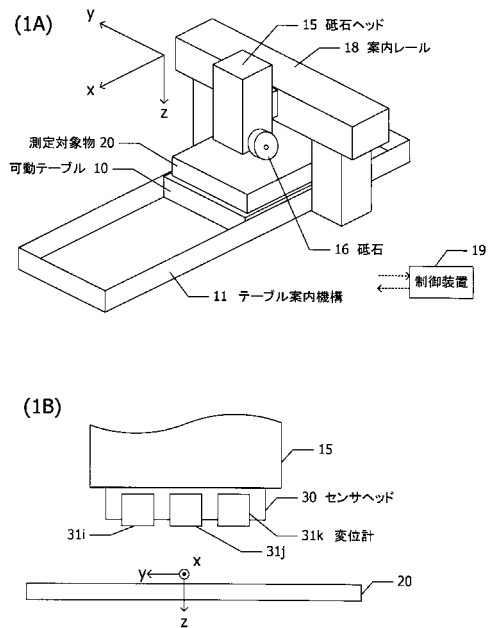
【図9】(9A)は、遺伝的アルゴリズムで求められた倣い曲線 $h(y)$ 及びピッチング成分 $T(y)$ の最適解を示すグラフであり、(9B)は、3つの変位計の測定データを示すグラフであり、(9C)は、遺伝的アルゴリズムにより求められた最適解を適用した場合の表面プロファイルを示すグラフである。

【符号の説明】

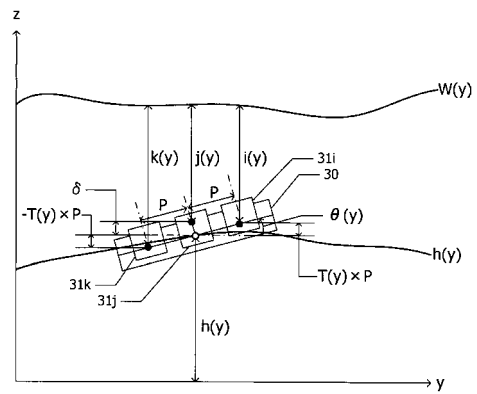
【0069】

- 10 可動テーブル
- 11 テーブル案内機構
- 15 砥石ヘッド
- 16 砥石
- 18 案内レール
- 19 制御装置
- 20 測定対象物
- 30 センサヘッド
- 31 i、31 j、31 k 変位計
- 35 傾斜計

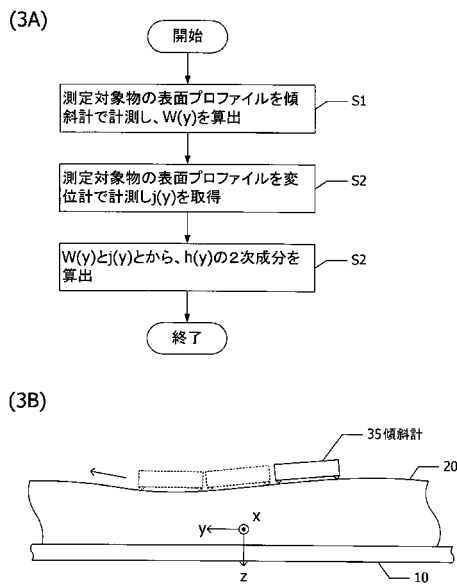
【図1】



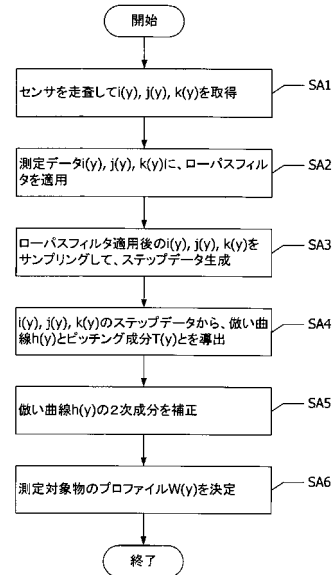
【図2】



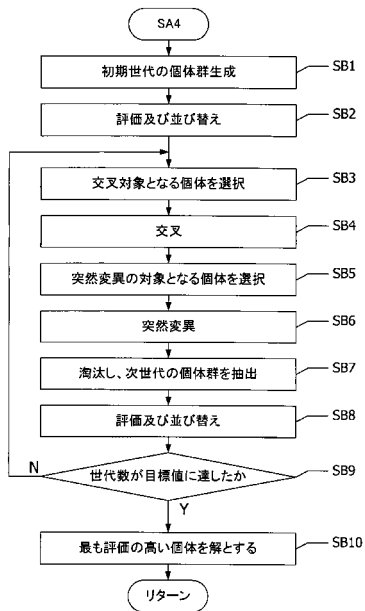
【 図 3 】



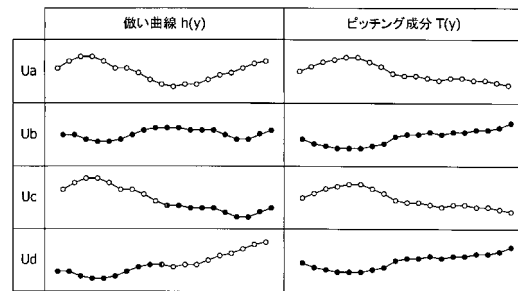
【 図 4 】



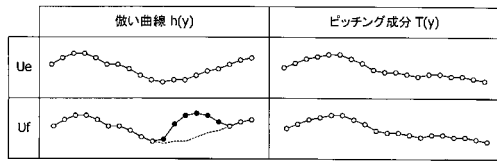
【 図 5 】



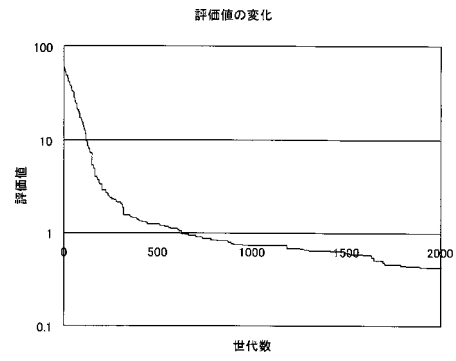
【 図 6 】



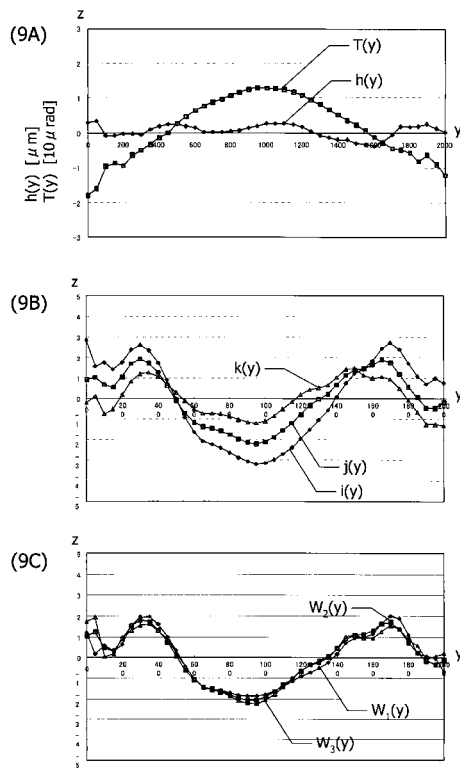
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

審査官 櫻井 仁

- (56)参考文献 特開昭61-139712(JP,A)
特開昭64-047905(JP,A)
特開平01-107105(JP,A)
特開平7-103751(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 21/00~21/32
G01B 5/00~5/30
G01B 11/00~11/30