

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6086099号  
(P6086099)

(45) 発行日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日(2017.2.10)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 B 11/24 (2006.01)

GO 1 B 11/24

A

請求項の数 2 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2014-142515 (P2014-142515)	(73) 特許権者	000001258
(22) 出願日	平成26年7月10日 (2014.7.10)		J F E スチール株式会社
(65) 公開番号	特開2016-17916 (P2016-17916A)		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(43) 公開日	平成28年2月1日 (2016.2.1)	(74) 代理人	100066980
審査請求日	平成28年2月23日 (2016.2.23)		弁理士 森 哲也
		(74) 代理人	100108914
			弁理士 鈴木 壯兵衛
		(74) 代理人	100103850
			弁理士 田中 秀▲てつ▼
		(74) 代理人	100105854
			弁理士 廣瀬 一
		(74) 代理人	100116012
			弁理士 宮坂 徹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面形状測定装置及びその方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

演算処理機能を有する計算機及び三次元スキャナを用いて測定対象物の表面形状を評価する表面形状測定装置であって、

前記三次元スキャナの分解能 で前記三次元スキャナから前記測定対象物の表面までの距離を測定し、その距離データを前記測定対象物の表面の位置データ及び高さデータに分解するデータ分解部と、

前記分解された測定対象物の表面の位置データ及び高さデータから前記測定対象物の表面を投影する基準平面を設定する基準平面設定部と、

前記基準平面に投影した前記測定対象物の表面を予め設定された大きさの測定領域に分割し、分割された各測定領域の高さデータの点群数を算出する測定領域分割部と、

前記分割された各測定領域の中心と前記三次元スキャナとの前記基準平面に投影された距離  $r$  を算出する測定領域距離算出部と、

前記算出された前記三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離  $r_F$  を用いて各測定領域と前記三次元スキャナとの前記距離  $r$  に応じた各測定領域の高さデータの目標点群数を下記(1)式に従って算出する目標点群数算出部と、

前記各測定領域の高さデータの点群数が前記算出された各測定領域の高さデータの目標点群数 より多い場合には当該目標点群数まで当該測定領域の高さデータの点群数を間引き処理する間引き処理部と、

前記各測定領域の高さデータの点群から表面形状を回帰曲面により評価する表面形状評

10

20

価部と

を備えたことを特徴とする表面形状測定装置。

【数 1】

$$\rho = \frac{1}{r_F z \Delta \theta^2} \frac{z^2}{z^2 + r^2} \quad \dots \dots (1)$$

但し、

ρ：目標点群数（基準平面単位面積当たりの点群密度）[ 1 / m<sup>2</sup> ]

z：三次元スキャナの基準平面からの高さ [ m ]

r：各測定領域の中心と三次元スキャナとの基準平面に投影された距離 [ m ]

10

r<sub>F</sub>：三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離 [ m ]

Δθ：三次元スキャナの分解能 [ rad ]

【請求項 2】

演算処理機能を有する計算機及び三次元スキャナを用いて測定対象物の表面形状を評価する表面形状測定方法であって、

前記三次元スキャナの分解能 Δθ で前記三次元スキャナから前記測定対象物の表面までの距離を測定し、その距離データを前記測定対象物の表面の位置データ及び高さデータに分解するステップと、

前記分解された測定対象物の表面の位置データ及び高さデータから前記測定対象物の表面を投影する基準平面を設定するステップと、

20

前記基準平面に投影した前記測定対象物の表面を予め設定された大きさの測定領域に分割し、分割された各測定領域の高さデータの点群数を算出するステップと、

前記分割された各測定領域の中心と前記三次元スキャナとの前記基準平面に投影された距離 r を算出するステップと、

前記算出された前記三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離 r<sub>F</sub> を用いて各測定領域と前記三次元スキャナとの前記距離 r に応じた各測定領域の高さデータの目標点群数 ρ を下記 ( 1 ) 式に従って算出するステップと、

前記各測定領域の高さデータの点群数が前記算出された各測定領域の高さデータの目標点群数 ρ より多い場合には当該目標点群数まで当該測定領域の高さデータの点群数を間引き処理するステップと、

30

前記各測定領域の高さデータの点群から表面形状を回帰曲面により評価するステップとを備えたことを特徴とする表面形状測定方法。

【数 2】

$$\rho = \frac{1}{r_F z \Delta \theta^2} \frac{z^2}{z^2 + r^2} \quad \dots \dots (1)$$

但し、

ρ：目標点群数（基準平面単位面積当たりの点群密度）[ 1 / m<sup>2</sup> ]

z：三次元スキャナの基準平面からの高さ [ m ]

r：各測定領域の中心と三次元スキャナとの基準平面に投影された距離 [ m ]

40

r<sub>F</sub>：三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離 [ m ]

Δθ：三次元スキャナの分解能 [ rad ]

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば鋼板などの測定対象物の表面形状測定装置及びその方法に関し、例えば圧延工程或いは加熱冷却工程で鋼板に発生した反り、耳波、歪みなどの表面形状をライン上で測定するのに好適なものである。

【背景技術】

50

## 【 0 0 0 2 】

鋼板の表面形状を自動測定する装置としては、例えば下記特許文献 1 に記載されるように、単一のレーザ光源からのレーザ光を多軸回転操作して距離データを測定する所謂三次元スキャナを用い、搬送ライン上に静止した鋼板の表面形状を測定するものがある。この表面形状測定装置では、三次元スキャナで測定された鋼板の表面までの距離を鋼板表面の位置データ及び高さデータの点群とし、それらの高さデータから平滑化スプライン曲面などの回帰曲面を解析し、その回帰曲面で鋼板表面の形状を評価する。また、この表面形状測定装置では、測定された高さデータの点群を平滑化処理し易いように、高さデータを均等に間引き処理している。また、下記特許文献 2 に記載される表面形状測定装置では、前記特許文献 1 と同様にして得られた鋼板表面の高さデータの点群の誤差を除去するためにデータを平滑化する方法が記載されている。

10

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 3 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 0 - 1 5 5 2 7 2 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 1 2 - 3 7 3 1 3 号公報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 4 】

品質保証の目的などで鋼板の表面形状を評価するためには、鋼板の表面全面で平滑化による統計誤差ができるだけ小さくなることが望ましい。しかしながら、統計誤差を零にすることは不可能なので、測定領域内での最大統計誤差を所定の誤差値内にすることが前提となる。そして、この前提の上で、測定時間の短縮及び前記特許文献 2 に記載される平滑化処理の計算時間の短縮のために、高さデータの点群数を可能な限り小さくすることが望ましい。以上より、鋼板の表面全面における測定領域内での統計誤差が均一になるように点群である高さデータを間引くことが最良の方法である。三次元スキャナで測定された高さデータの点群は、回転時の三次元スキャナの分解能（角度分解能）が一定であることから、測定対象物のうち三次元スキャナに近い部分ほど点群密度が高く、遠くなるほど点群密度が低くなる。前記特許文献 1 では、各測定領域内の高さデータの点群密度が測定対象物表面で均一化するように高さデータを間引くことで点群数を減らしており、これは点群数が同じであれば統計誤差も同じになるという前提である。しかしながら、このような間引き処理で鋼板の表面全面における測定領域内の統計誤差が均一になるかどうか不明である。

20

30

本発明は、上記のような問題点に着目してなされたものであり、測定対象物の表面全面で測定領域内の統計誤差を同等にすることで測定対象物の表面形状を適正に評価することが可能な表面形状測定装置及びその方法を提供することを目的とするものである。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 5 】

上記課題を解決するために、本発明の一態様によれば、演算処理機能を有する計算機及び三次元スキャナを用いて測定対象物の表面の表面形状を評価する場合に、三次元スキャナの分解能で三次元スキャナから測定対象物の表面までの距離を測定し、その距離データを測定対象物の表面の位置データ及び高さデータに分解するデータ分解部、分解された測定対象物の表面の位置データ及び高さデータから測定対象物の表面を投影する基準平面を設定する基準平面設定部、基準平面に投影した測定対象物の表面を予め設定された大きさの測定領域に分割し、分割された各測定領域の高さデータの点群数を算出する測定領域分割部、分割された各測定領域の中心と三次元スキャナとの基準平面に投影された距離  $r$  を算出する測定領域距離算出部、算出された三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離  $r_F$  を用いて各測定領域と三次元スキャナとの距離  $r$  に応じた各測定領域の高さデータの目標点群数を下記 ( 1 ) 式に従って算出する目標点群数算出部、各測定領域の高さデータの点群数が算出された各測定領域の高さデータの目標点群数より多い場合には

40

50

目標点群数まで測定領域の高さデータの点群数を間引き処理する間引き処理部、各測定領域の高さデータの点群から表面形状を回帰曲面により評価する表面形状評価部を備えた表面形状測定装置が提供される。

【0006】

【数1】

$$\rho = \frac{1}{r_F z \Delta \theta^2} \frac{z^2}{z^2 + r^2} \quad \dots \quad (1)$$

但し、

：目標点群数（基準平面単位面積当たりの点群密度）[ 1 / m<sup>2</sup> ]

z：三次元スキャナの基準平面からの高さ [ m ]

r：各測定領域の中心と三次元スキャナとの基準平面に投影された距離 [ m ]

r<sub>F</sub>：三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離 [ m ]

：三次元スキャナの分解能 [ rad ]

【0007】

また、本発明の異なる態様によれば、演算処理機能を有する計算機及び三次元スキャナを用いて測定対象物の表面の表面形状を評価する場合に、三次元スキャナの分解能で三次元スキャナから測定対象物の表面までの距離を測定し、その距離データを測定対象物の表面の位置データ及び高さデータに分解するステップ、分解された測定対象物の表面の位置データ及び高さデータから測定対象物の表面を投影する基準平面を設定するステップ、基準平面に投影した測定対象物の表面を予め設定された大きさの測定領域に分割し、分割された各測定領域の高さデータの点群数を算出するステップ、分割された各測定領域の中心と三次元スキャナとの基準平面に投影された距離 r を算出するステップ、算出された三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離 r<sub>F</sub> を用いて各測定領域と三次元スキャナとの距離 r に応じた各測定領域の高さデータの目標点群数を下記(1)式に従って算出するステップ、各測定領域の高さデータの点群数が算出された各測定領域の高さデータの目標点群数より多い場合には目標点群数まで測定領域の高さデータの点群数を間引き処理するステップ、各測定領域の高さデータの点群から表面形状を回帰曲面により評価するステップを備えた表面形状測定方法が提供される。

【0008】

【数2】

$$\rho = \frac{1}{r_F z \Delta \theta^2} \frac{z^2}{z^2 + r^2} \quad \dots \quad (1)$$

但し、

：目標点群数（基準平面単位面積当たりの点群密度）[ 1 / m<sup>2</sup> ]

z：三次元スキャナの基準平面からの高さ [ m ]

r：各測定領域の中心と三次元スキャナとの基準平面に投影された距離 [ m ]

r<sub>F</sub>：三次元スキャナから最も遠い測定領域までの距離 [ m ]

：三次元スキャナの分解能 [ rad ]

【発明の効果】

【0009】

本発明の表面形状測定装置及びその方法によれば、各測定領域内での統計誤差が同等な各測定領域の高さデータの点群数は、各測定領域の中心と三次元スキャナとの基準平面に投影された距離 r に依存するので、測定対象物の表面で各測定領域内の統計誤差を同等にすることができ、これにより測定対象物の表面形状を適正に評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の表面形状測定装置及びその方法の一実施形態を示す概略説明図である。

【図2】図1の表面形状測定装置の平面図である。

【図3】図1及び図2のコンピュータ内で行われる演算処理のフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図4】表面形状測定方法の説明図である。

【図5】表面形状測定方法の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施形態に係る表面形状測定装置及びその方法について図面を参照しながら説明する。図1は、本実施形態の表面形状測定装置の概略構成を示す斜視図、図2は、図1の平面図である。本実施形態の表面形状測定装置は、厚板の鋼板Sを測定対象物としてライン上で形状測定するものである。本実施形態では、予め設定された分解能（角度分解能）でレーザ光を走査して測定対象物までの距離を測定する三次元スキャナ1を用い、この三次元スキャナ1で測定された鋼板Sの表面までの距離から、演算処理機能を有するコンピュータ（計算機）2で鋼板Sの表面形状を測定する。このような表面形状測定装置に用いる三次元スキャナ1としては、例えば前述の特許文献1に記載されているので、ここでの詳細な説明は省略する。

10

【0012】

鋼板Sは、一般に搬送方向に長手で、搬送方向と直交方向に短い。つまり、鋼板Sには長辺と短辺があり、本実施形態では、長辺方向を長手方向（X方向ともいう）とし、短辺方向を幅方向（Y方向ともいう）と定義する。また、高さ方向をZ方向ともいう。三次元スキャナ1は、周知のように、レーザ光源からのレーザ光を例えば鋼板Sの長手方向に偏向すると共に鋼板Sの幅方向に走査して、鋼板Sの表面からの反射光を受光することにより、その表面の測定点までの距離を求めることができる。この距離は、測定点の長手方向（X方向）の位置及び幅方向（Y方向）の位置を規定すると、誤差を含む高さ方向Zの位置情報に変換することができる。従って、鋼板Sの表面におけるX、Y座標（x、y）上の高さz（位置）を鋼板Sの表面の形状として認識することができる。

20

【0013】

本実施形態の表面形状測定装置は、コンピュータ2内で行われる演算処理によって構成される。この表面形状装置の概略について説明すると、例えば図1、図2に示すように、測定対象物である鋼板Sの表面を予め設定された大きさ、例えば予め規定された長手方向及び幅方向の長さ或いは面積の測定領域に分割する。その際、三次元スキャナ1で測定した鋼板Sの表面までの距離を位置と高さに分解し、分解された位置データ及び高さデータから鋼板Sの表面を投影する基準平面を設定し、その基準平面を予め設定された大きさの測定領域に分割する。そして、各測定領域内の高さデータの点群数を調整した後、表面形状を回帰曲面（平滑化スプライン曲面）によって評価する。

30

【0014】

次に、表面形状測定装置を構成するためにコンピュータ2内で行われる演算処理について、図3のフローチャートを用いて説明する。この演算処理は、例えばオペレータの開始入力によって実行され、まずステップS1で、表面形状測定対象物、即ち鋼板Sの表面までの距離を三次元スキャナの分解能で測定し、その距離を鋼板Sの表面の位置データ及び高さデータに分解する。

次にステップS2に移行して、ステップS1で得られた鋼板Sの表面の位置データ及び高さデータから表面形状測定対象物、即ち鋼板Sの表面を投影する基準平面を設定する。この基準平面は、例えば取得した位置データ及び高さデータを用いて例えば最小二乗法などによって鋼板Sの表面状態に応じた平均的な平面を設定する。

40

【0015】

次にステップS3に移行して、ステップS2で設定された基準平面を予め設定された大きさ、例えば予め規定された長手方向及び幅方向の長さ或いは面積の測定領域に分割し、各測定領域における高さデータの点群数を算出する。三次元スキャナで測定対象物、即ち鋼板Sの表面を走査すると、例えば図10のように、各測定領域で多数の高さデータが得られる。この各測定領域内における高さデータの数を点群数と定義する。なお、本実施形態では、測定領域は、図2に示すような方形の測定領域とした。測定領域の形状は、これ以外の形状であってもよい。

50

## 【 0 0 1 6 】

次にステップ S 4 に移行して、ステップ S 3 で分割された各測定領域の中心（重心）と三次元スキャナとの基準平面に投影した距離  $r$  を算出する。例えば図 2 に示すように、各測定領域の中心（重心）を  $O$  としたとき、実際には三次元スキャナ 1 は測定対象物である鋼板 S の表面から予め設定された高さにあるので、各測定領域の中心（重心）と三次元スキャナとの基準平面に投影した距離  $r$  は、実際の三次元スキャナ 1 と各測定領域の中心（重心） $O$  との距離から三次元スキャナ 1 の高さ成分を除去した距離を意味する。

次にステップ S 5 に移行して、例えば図 2 に示すように、三次元スキャナ 1 から最も遠い測定領域までの距離  $r_F$  を用いて、後述する 1 式に基づいて、各測定領域と三次元スキャナとの基準平面に投影した距離  $r$  に応じた高さデータの目標点群数を算出する。

10

## 【 0 0 1 7 】

次にステップ S 6 に移行して、各測定領域の高さデータの点群数とその測定領域の目標点群数より多い場合には、目標点群数までその測定領域の高さデータの点群数を間引き処理する。この間引き処理は、測定領域の高さデータを目標点群数までランダムに間引くとか、間引かれた高さデータの相互間距離が同等になるように間引くといった手法がある。

次にステップ S 7 に移行して、全測定領域の高さデータの点群から表面形状を回帰曲面（平滑化スプライン曲面）により評価してから復帰する。高さデータの点群から回帰曲面（平滑化スプライン曲面）を求める方法は、前述の特許文献 2 に詳しいので、ここでは詳細な説明を省略する。

## 【 0 0 1 8 】

20

次に、図 3 の演算処理の作用について説明する。ある測定領域に含まれる  $n$  個の測定値  $z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) から測定値の平均値  $\hat{z}$  を求める式は下記 (2) 式で表される。測定値の平均値は、母平均の推定値と考えてよいので、下記 2 式は推定モデルであり、 $\hat{z}$  は推定値となる。

## 【 数 3 】

$$\hat{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad \dots \dots (2)$$

## 【 0 0 1 9 】

測定値の平均が零、分散が  $\sigma_z^2$  となる統計分布に従うとすると、(2) 式の推定値の平均は下記 (3) 式となり、推定値の分散は下記 (4) 式となる。この (4) 式から、推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  は下記 (5) 式となる。(5) 式より明らかなように、推定値の標準偏差は、測定値の標準偏差の  $1/n^{1/2}$  倍となる。従って、測定点数  $n$  が大きくなるほど、推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  又は誤差は小さくなる。(5) 式は、中心極限定理と呼ばれるものであり、推定値の分布は、平均零、分散  $\sigma_z^2/n$  の正規分布となる。つまり、(5) 式は、平均化したときに誤差が小さくなる原理式である。

30

## 【 数 4 】

$$E(\hat{z}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(z_i) = 0 \quad \dots \dots (3)$$

40

$$\sigma_{\hat{z}}^2 = E(\hat{z}^2) = \frac{1}{n^2} E\left(\left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^2\right) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n E(z_i^2) = \frac{1}{n} \sigma_z^2 \quad \dots \dots (4)$$

$$\hat{\sigma}_z = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma_z \quad \dots \dots (5)$$

## 【 0 0 2 0 】

次に、三次元スキャナを用いた場合の測定点数  $n$  と高さ方向  $Z$  の測定値の分散  $\sigma_z^2$  を求めることを考える。対象となる測定領域の面積を  $A$ 、三次元スキャナの中心から測定領域の中心（重心） $O$  までの基準平面に投影した距離を  $r$ 、三次元スキャナの鉛直方向回転角度を  $\theta$  とすると、測定点数  $n$  は下記 (6) 式で表される。(6) 式の分母は、測定点

50

1 個当たりの面積である。

【数 5】

$$n = \frac{A}{rd\phi dr} \quad \dots\dots (6)$$

【0021】

図 4 に、これらのパラメータの幾何学的な関係を示す。図 4 の X Y 平面が基準平面となる。三次元スキャナ 1 の水平回転角度を  $\theta$ 、基準平面 X Y から三次元スキャナ 1 までの高さを  $z$  とすると、図 4 から下記 (7) 式が得られる。(7) 式の両辺を微分して下記 (8) 式を得、(7) 式を (8) 式に代入して下記 (9) 式が得られる。(9) 式を (6) 式に代入すると下記 (10) 式が得られる。三次元スキャナ 1 では、水平方向回転角分解能  $d\theta$  と鉛直方向回転角分解能  $dz$  は同じであるから、三次元スキャナの角度分解能を  $\Delta\theta$  とすると (10) 式は下記 (11) 式に置き換えられる。(11) 式からは、距離  $r$  が大きくなるほど、測定点数  $n$  が小さくなることが分かる。

10

【数 6】

$$\tan\theta = \frac{r}{z} \quad \dots\dots (7)$$

$$dr = (1 + \tan^2\theta) z d\theta \quad \dots\dots (8)$$

$$dr = \left(1 + \frac{r^2}{z^2}\right) z d\theta \quad \dots\dots (9)$$

20

$$n = \frac{A}{rz \left(1 + \frac{r^2}{z^2}\right) d\theta dz} \quad \dots\dots (10)$$

$$n = \frac{A}{rz \left(1 + \frac{r^2}{z^2}\right) \Delta\theta^2} \quad \dots\dots (11)$$

【0022】

図 4 を距離  $r$  と高さ  $z$  を含む平面で表すと図 5 のようになる。ここで、三次元スキャナ 1 の距離測定誤差の標準偏差を  $\sigma_s$  とすると、高さ方向  $Z$  の誤差成分代表値である標準偏差  $\sigma_z$  は、図 5 の関係から下記 (12) 式で表される。(12) 式から明らかなように、標準偏差  $\sigma_z$  は、距離  $r$  が大きくなるほど小さくなる。

30

【数 7】

$$\sigma_z = \sigma_s \cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r^2}{z^2}}} \sigma_s \quad \dots\dots (12)$$

【0023】

(11) 式と (12) 式を (5) 式に代入すると、高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  は下記 (13) 式で表される。(13) 式から明らかなように、高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  は距離  $r$  の平方根に比例して大きくなるが、距離に対する精度の劣化は比較的小さい。これに対し、距離  $r$  における位置推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_r$  は、同じく図 5 から下記 (14) 式で表される。(14) 式から明らかなように、位置推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_r$  は距離  $r$  の  $3/2$  乗に比例して大きくなることから、距離に対する精度の劣化は比較的大きい。しかしながら、表面形状測定において、位置推定値は高さ推定値ほど精度を要求されない。

40

【数 8】

$$\hat{\sigma}_z = \frac{\Delta\theta}{\sqrt{A}} \sqrt{rz} \sigma_s \quad \dots\dots (13)$$

$$\hat{\sigma}_r = \hat{\sigma}_z \tan\theta = \frac{r}{z} \hat{\sigma}_z = \frac{\Delta\theta}{\sqrt{A}} \sqrt{\frac{r^3}{z}} \sigma_s \quad \dots\dots (14)$$

50

## 【 0 0 2 4 】

標準偏差は、誤差の大きさを表す尺度の一つである。下記表 1 には、標準偏差 の倍率とその中に含まれる測定値の割合を示す。

【表 1】

$\pm\sigma$	0.682689492137086
$\pm 2\sigma$	0.954499736103641
$\pm 3\sigma$	0.997300203936740
$\pm 4\sigma$	0.999936657516326
$\pm 5\sigma$	0.999999426696856

10

## 【 0 0 2 5 】

前述のように、標準偏差は誤差の大きさを表す尺度の一つであるから、例えば(12)式、(13)式、(14)式内の標準偏差を別の誤差の大きさを表す尺度に置き換えてもよい。ここでは、各測定領域 における高さ推定値の標準偏差が一定になるように各測定領域 内の目標点群数を点群密度 で表すことを考える。(12)式を(5)式に代入すると、高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  は下記(15)式で表される。(15)式中の高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  をある定数に固定すると、測定領域 内の点群数  $n$  は下記(16)式で表される。

## 【数 9】

20

$$\hat{\sigma}_z = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{z}{\sqrt{z^2+r^2}} \sigma_s \quad \dots \quad (15)$$

$$n = \left( \frac{\sigma_s}{\hat{\sigma}_z} \right)^2 \frac{z^2}{z^2+r^2} \propto \frac{z^2}{z^2+r^2} \quad \dots \quad (16)$$

## 【 0 0 2 6 】

点群密度 は、下記(17)式で定義されるので、高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  を一定とする点群密度 は下記(18)式の条件を満たせばよい。距離  $r$  は基準平面に投影した三次元スキャナと点群との距離であるから、(18)式から明らかなように、距離  $r$  が大きいほど、つまり三次元スキャナから遠く離れるほど、点群密度 を小さくしてもよいことが定性的に分かる。

30

## 【数 10】

$$\rho = \frac{n}{A} \quad \dots \quad (17)$$

$$\rho \propto \frac{z^2}{z^2+r^2} \quad \dots \quad (18)$$

## 【 0 0 2 7 】

(13)式から、三次元スキャナから最も遠い測定領域 での高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  が最も大きくなるので、この標準偏差を基準とする。三次元スキャナから最も遠い測定領域での高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  は、三次元スキャナから最も遠い測定領域 の中心(重心)までの距離  $r_F$  を(13)式に用いることで下記(19)式と表される。(19)式を(16)式に代入すると下記(20)式が得られるので、(20)式を(17)式に代入し、高さ推定値の標準偏差  $\hat{\sigma}_z$  が(19)式で一定となる点群密度(目標点群数)は下記(1)式で表される。

40

【数 1 1】

$$\hat{\sigma}_z = \frac{\Delta \theta}{\sqrt{A}} \sqrt{r_F z} \sigma_s \quad \dots \dots (19)$$

$$n = \frac{A}{r_F z \Delta \theta^2} \frac{z^2}{z^2 + r^2} \quad \dots \dots (20)$$

$$\rho = \frac{1}{r_F z \Delta \theta^2} \frac{z^2}{z^2 + r^2} \quad \dots \dots (1)$$

10

【0028】

このように本実施形態の表面形状測定装置及びその方法では、演算処理機能を有するコンピュータ（計算機）2及び三次元スキャナ1を用いて鋼板（測定対象物）Sの表面の表面形状を評価するにあたり、三次元スキャナ1の分解能で三次元スキャナ1から鋼板Sの表面までの距離を測定し、その距離データを鋼板Sの表面の位置データ及び高さデータに分解する。また、分解された鋼板Sの表面の位置データ及び高さデータから鋼板Sの表面を投影する基準平面を設定する。また、基準平面に投影した鋼板Sの表面を予め設定された大きさの測定領域に分割し、分割された各測定領域の高さデータの点群数を算出する。また、分割された各測定領域の中心Oと三次元スキャナ1との基準平面に投影された距離rを算出する。また、算出された三次元スキャナ1から最も遠い測定領域までの距離r<sub>F</sub>を用いて各測定領域と三次元スキャナ1との距離rに応じた各測定領域の高さデータの目標点群数を算出する。そして、各測定領域の高さデータの点群数が算出された各測定領域の高さデータの目標点群数より多い場合には目標点群数まで測定領域の高さデータの点群数を間引き処理し、各測定領域の高さデータの点群から表面形状を回帰曲面により評価する。各測定領域内の統計誤差が同等な各測定領域の高さデータの点群数は、各測定領域の中心Oと三次元スキャナ1との基準平面に投影された距離rに依存するので、鋼板Sの表面で各測定領域内の統計誤差を同等にすることができ、これにより鋼板Sの表面形状を適正に評価すると共に、計算時間を短縮することができる。

20

【0029】

なお、実施形態では、ライン上でオンライン的に鋼板の表面形状を評価する場合について説明したが、本発明の表面形状測定装置及びその方法は、ラインの側方でオフライン的に適用することも可能である。

30

また、実施形態では、表面形状測定対象物として、ラインで圧延された鋼板についてのみ詳述したが、本発明の表面形状測定装置及びその方法は、鋼板に限らず、測定対象表面上の点群データを取得できる測定対象物であれば、如何様なものにも適用することができる。

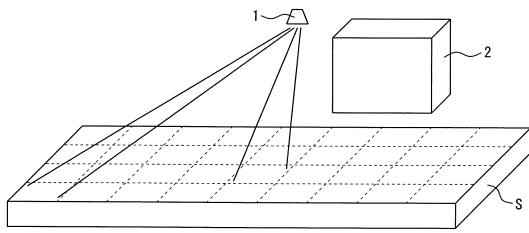
【符号の説明】

【0030】

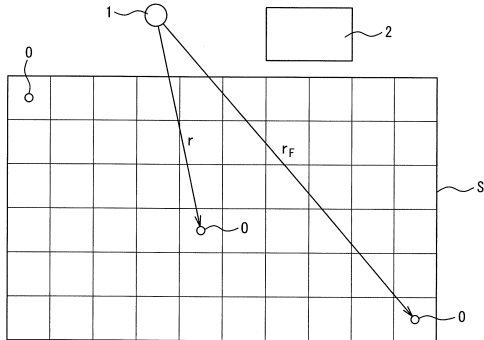
- 1 三次元スキャナ
- 2 コンピュータ（計算機）
- S 鋼板（測定対象物）

40

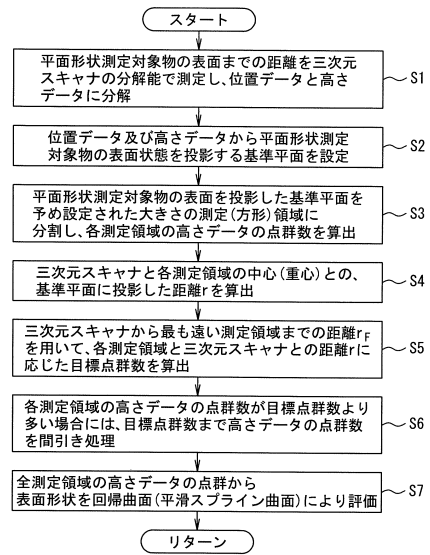
【図1】



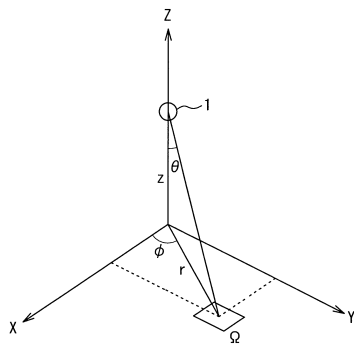
【図2】



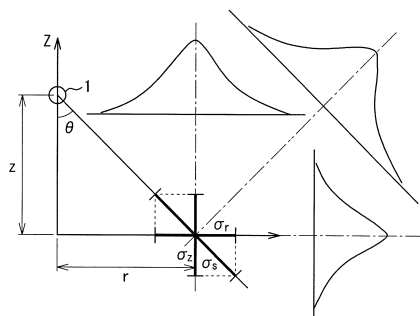
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 青江 信一郎  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内
- (72)発明者 亀崎 俊一  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内
- (72)発明者 釘屋 順平  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

審査官 梶田 真也

- (56)参考文献 特開2010-155272(JP,A)  
特開2012-037313(JP,A)  
特開2010-156622(JP,A)  
特開2011-179910(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B 11/00 - 11/30