

(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2014-134428

(P2014-134428A)

(43) 公開日 平成26年7月24日(2014.7.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1B 21/20 (2006.01)	GO1B 21/20 C	2F069
GO1C 7/00 (2006.01)	GO1C 7/00	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2013-1861 (P2013-1861)  
 (22) 出願日 平成25年1月9日 (2013.1.9)

特許法第30条第2項適用申請有り

(71) 出願人 504151365  
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
 茨城県つくば市大穂1番地1  
 (74) 代理人 100093816  
 弁理士 中川 邦雄  
 (72) 発明者 久米 達哉  
 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内  
 Fターム(参考) 2F069 AA61 AA71 GG01 GG58 GG62  
 GG63 JJ04 MM04

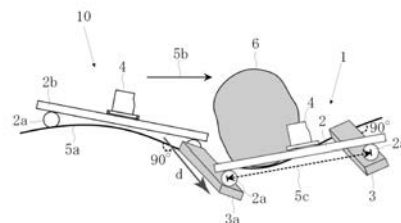
(54) 【発明の名称】 形状測定装置及び形状測定方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 傾斜計を用いた形状測定において、測定経路上の障害物を回避して、高精度に被測定形状を測定する形状測定装置及び形状測定方法を提供する。

【解決手段】 被測定形状5aの測定方向に直交する方向に突出する2本のオフセットバー3, 3aと、オフセットバー3, 3a間に渡される直定規2bと、直定規2bの傾斜角を測定する傾斜計4と、からなり、測定経路上の障害物6を回避して、傾斜計4で測定した傾斜角に基づき被測定形状5aを導出する形状測定装置10。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被測定形状の測定経路上の障害物を回避して被測定形状を傾斜計で測定する形状測定装置であって、

前記被測定形状の測定方向に直交する方向に突出する 2 本のオフセットバーと、前記オフセットバー間に渡される直定規と、前記直定規の傾斜角を測定する傾斜計と、からなり、前記傾斜計で測定した傾斜角に基づき被測定形状を導出することを特徴とする形状測定装置。

## 【請求項 2】

前記直定規に、前記オフセットバーに接する接触子を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の形状測定装置。 10

## 【請求項 3】

さらに、

前記 2 本のオフセットバー a、b の傾斜角を測定する傾斜計 A、B を備え、前記オフセットバーの傾斜角を測定し、前記オフセットバーの形状、姿勢、変形に起因する傾斜角の誤差を反転測定により測定された前記直定規の傾斜角を補正することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の形状測定装置。

## 【請求項 4】

前記直定規の測定された傾斜角を、次式 20

$$t = (1/2) \cdot (m_c - n_c) + (d/2s) \cdot (m_a - m_b + n_b - n_a)$$

$t$  : 直定規の補正傾斜角

$m_c$  : 基準測定時の直定規の検出角

$n_c$  : 反転測定時の直定規の検出角

$d$  : オフセットバー a、b の測定点からの水平距離

$s$  : 測定経路上の測定間隔の水平距離

$m_a$  : 基準測定時のオフセットバー a の検出角

$m_b$  : 基準測定時のオフセットバー b の検出角 30

$n_b$  : 反転測定時のオフセットバー a の検出角

$n_a$  : 反転測定時のオフセットバー b の検出角

によって補正することを特徴とする請求項 3 に記載の形状測定装置。

## 【請求項 5】

被測定形状の測定経路上の障害物を回避して被測定形状を傾斜計で測定する形状測定方法であって、

前記被測定形状の測定方向に直交する方向に 2 本のオフセットバーを突出させ、前記オフセットバー間に直定規を渡し、前記直定規の傾斜角を傾斜計で測定し、前記傾斜計で測定した傾斜角に基づき被測定形状を導出することを特徴とする形状測定方法。 40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、傾斜計を用いた形状測定において、測定経路上の障害物を回避して、高精度に被測定形状を測定する形状測定装置及び形状測定方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

形状測定として水準器などに代表される傾斜計を用いた形状測定方法が知られている。傾斜計を用いた形状測定では、測定時の測定装置の送り誤差の影響を受けにくいため、高精度な形状測定が可能である。 50

## 【0003】

水準器を用いた形状測定法の原理を図8に示す。図8において形状検出器として用いられる水準器4aは、被測定形状5aに直接当てて、測定方向のx軸方向に順に送られながら、形状 $f(x)$ 上の各測定点における接線の傾斜角 $\theta(x)$ を次々と検出する。

## 【0004】

このとき各測定点 $x_i$  ( $i = 1 \text{ to } n$ )における傾斜角の測定値を $\theta(x_i)$ とすると、 $\theta(x_i)$ は水準器の経路 $e(x)$ の影響を受けない。一方、 $\theta(x_i)$ は各測定点 $x_i$ における形状 $f(x_i)$ の微分値に相当することから、図8中の式(A)のように $\theta(x_i)$ を積分することで形状 $f_m(x_n)$ が導出される。式(A)において、 $h_1$ は任意に定めた測定開始点の形状、 $s$ は測定間隔である。

10

## 【0005】

形状検出器に変位計などを用いる一般的な形状測定では、形状検出器の経路 $e(x)$ を基準に形状導出が行われるため、 $e(x)$ の影響を受ける。それに対して水準器を用いた形状測定法による導出形状 $f_m(x_n)$ は、図8式(A)より $e(x)$ の影響を受けないことがわかる。即ち、水準器を用いた形状測定法では、形状基準やその誤差に影響される事無く形状が導出される。

## 【0006】

そして、図1に示すように、従来の形状測定装置10は、底面の前後に被測定形状5aに接触する2つの接触子2a(足)を備える直定規2bと、直定規2b上面に直定規2bの傾斜(被測定形状断面における水平(図1破線)とでなす角(傾斜角4b))を測定する傾斜計4からなる。そして、被測定形状5aの測定経路上を測定方向5bに移動させながら、接触子2a、2aの間の測定間隔5cにおける傾斜角4bを順次測定してゆく。そして、式(A)によって、被測定形状5aの形状を計算機(図示省略)によって導出することができる。

20

## 【0007】

直定規2bと被測定形状5aの間に接触子2aが位置することで、被測定形状5a上のカッターマークやうねりなどの微細形状の影響を取り除くとともに、測定経路上の小型の障害物を回避することができる。

## 【0008】

上述のように、水準器などに代表される高精度な傾斜計を用いた形状測定では、測定時の装置の送り誤差の影響を受けにくい上、さらに反転測定を組み合わせることにより、測定系に内在する系統誤差を除去することができることから、高精度な形状測定が可能となる。

30

## 【0009】

そこで、我々は、被測定形状の2点に渡した直定規の傾斜角を傾斜計で測定し、加速器の構成機器間の機械的アライメントの評価を行った(非特許文献1)。その結果、誤差伝播則に基づく誤差見積り値は、実験値とよく一致し、KEK(高エネルギー加速器研究機構)入射器最長の約500mの直線部を標準偏差0.3mm程度の繰返し性で評価可能と見積られた。

## 【0010】

しかしながら、傾斜計による形状測定では、被測定形状の直上に傾斜計を設置し、その直下の傾斜角を検出するため、図2に示すように、測定対象の測定経路(被測定形状5a)上に大型の障害物6がある場合は適用できない。また、測定経路上の障害物6により直定規2bを差し渡すこと、さらには直定規2bが移動させることができなくなるため、形状測定の範囲が制限されていた。

40

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0011】

【非特許文献1】久米ら、「水準器を用いたKEK入射器の真直度測定」、第7回加速器学会年会、THPS121、姫路市、(2010)。

50

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0012】

そこで、本発明は、傾斜計を用いた形状測定において、測定経路上の障害物を回避して、高精度に被測定形状を測定する形状測定装置及び形状測定方法を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0013】

本発明は、上記の課題を解決するために、

(1)

被測定形状の測定経路上の障害物を回避して被測定形状を傾斜計で測定する形状測定装置であって、

前記被測定形状の測定方向に直交する方向に突出する2本のオフセットバーと、前記オフセットバー間に渡される直定規と、前記直定規の傾斜角を測定する傾斜計と、からなり、前記傾斜計で測定した傾斜角に基づき被測定形状を導出することを特徴とする形状測定装置の構成とした。

10

(2)

前記直定規に、前記オフセットバーに接する接触子を備えることを特徴とする(1)に記載の形状測定装置の構成とした。

20

(3)

さらに、

前記2本のオフセットバーa、bの傾斜角を測定する傾斜計A、Bを備え、前記オフセットバーの傾斜角を測定し、前記オフセットバーの形状、姿勢、変形に起因する傾斜角の誤差を反転測定により測定された前記直定規の傾斜角を補正することを特徴とする(1)又は(2)に記載の形状測定装置の構成とした。

(4)

前記直定規の測定された傾斜角を、次式

30

$$t = (1/2) \cdot (m_c - n_c) + (d/2s) \cdot (m_a - m_b + n_b - n_a)$$

$t$  : 直定規の補正傾斜角

$m_c$  : 基準測定時の直定規の検出角

$n_c$  : 反転測定時の直定規の検出角

$d$  : オフセットバーa、bの測定点からの水平距離

$s$  : 測定経路上の測定間隔の水平距離

$m_a$  : 基準測定時のオフセットバーaの検出角

$m_b$  : 基準測定時のオフセットバーbの検出角

$n_b$  : 反転測定時のオフセットバーaの検出角

$n_a$  : 反転測定時のオフセットバーbの検出角

40

によって補正することを特徴とする(3)に記載の形状測定装置の構成とした。

(5)

被測定形状の測定経路上の障害物を回避して被測定形状を傾斜計で測定する形状測定方法であって、

前記被測定形状の測定方向に直交する方向に2本のオフセットバーを突出させ、前記オフ

50

セットバー間に直定規を渡し、前記直定規の傾斜角を傾斜計で測定し、前記傾斜計で測定した傾斜角に基づき被測定形状を導出することを特徴とする形状測定方法の構成とした。

【発明の効果】

【0014】

本発明は、上記構成であるので、以下の効果を発揮する。オフセットバーを測定方向と直交する方向に突出させることで、測定経路上の障害物を回避して、測定対象の傾斜角を求め、さらに測定対象の被測定形状を導出することができる。

【0015】

直定規に接触子を備えることで、被測定形状上のカッターマークやうねりなどの微細形状の影響を取り除くとともに、測定経路上の小型の障害物を回避することができる。

10

【0016】

2本のオフセットバーに渡された直定規の傾斜角をオフセットバーの形状、姿勢、変形に起因する傾斜角の誤差を反転測定で補正することで、高精度の形状測定が可能になる。具体的には、式(13)で、直定規の傾斜角を補正することで、被測定形状の目的とする二点p-q間の傾斜角 $\theta_t$ が、3台の傾斜計のオフセット $\theta_{0a}$ 、 $\theta_{0b}$ 、 $\theta_{0c}$ 、オフセットバーa、bの形状誤差 $h_{sa}$ 、 $h_{sb}$ 、および、オフセットバーa、bの形状誤差に起因する傾斜誤差 $\theta_{sa}$ 、 $\theta_{sb}$ 、直定規の形状誤差 $h_{c1}$ 、 $h_{c2}$ と直定規の形状誤差に起因する傾斜角誤差 $\theta_{sa}$ 、さらに、オフセットバーa、bの端点 $a_2$ 、 $b_2$ への荷重に起因するオフセットバーの変形 $h_{wa}$ 、 $h_{wb}$ に影響されずに導出でき、高精度な形状測定が可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】従来の直定規と傾斜計を用いた形状測定方法の説明図である。

【図2】従来の直定規と傾斜計を用いた形状測定方法が、障害物によって制限される状況を示した図である。

【図3】本発明である形状測定装置の模式図である。

【図4】形状測定装置の基準測定時の様子を示す模式図である。

【図5】形状測定装置の反転測定時の様子を示す模式図である。

【図6】加速器の構成機器のアライメント評価を本発明の測定方法で行っているときの写真である。

30

【図7】図6によって測定された、KEK入射器206m直線部分のアライメント評価結果である。

【図8】従来の水準器を用いた形状測定方法の原理説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、添付の図面3-7を参照し、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、本発明は下記実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0019】

図3に示すように、本発明である形状測定装置1は、被測定形状5aの測定経路上の障害物6を回避して被測定形状5aの形状を傾斜計4で測定するものであって、直定規2と、前後2本のオフセットバー3、3aと、傾斜計4と、傾斜計4で測定した傾斜角を取得して形状を導出する計算機(図示省略)からなる。

40

【0020】

2本のオフセットバー3、3aは、障害物6を回避して被測定形状5aの測定方向5bに直交する方向(90°)に被測定形状5aの2点から突出する、梁である。

【0021】

直定規2は、底面に接触子2aを備え、接触子2aがオフセットバー3、3aに接触し、2本のオフセットバー3、3aの間に渡される。

【0022】

50

傾斜計 4 は、直定規 2 上面に載置され、直定規 2 の傾斜角を測定する、水準器などであり、従来の形状測定に用いられている水準器 4 a、傾斜計 4 を採用することができる。

【0023】

計算機は、パーソナルコンピュータなどで、測定された傾斜角を取得して、それに基づき図 8 式 (A) などを用いて被測定形状 5 a の形状を導出する。さらに、後述の反転測定結果を基に、検出される傾斜角に誤差として加わる、オフセットバー 3、3 a の形状、姿勢、変形などの影響を、オフセットバー 3、3 a の傾斜角を考慮した反転測定により、直定規 2 の形状、姿勢、変形に加え、使用する傾斜計 4 のオフセット誤差とともに除去する。

【実施例 2】

【0024】

以下、本発明である形状測定方法について、詳しく説明する。

【0025】

図 4、5 に、2 本のオフセットバー a、b とその上に設置された 1 本の直定規 c を用いた傾斜角測定方法の概念図を示す。本発明では、測定系を反転させることで、測定系の持つ系統誤差を除去するが、図 4 が基準測定時の様子、図 5 が反転測定時の様子をそれぞれ示している。

【0026】

ここでは、3 台の傾斜計 A、B、C を用いて、オフセットバー a、b、および、直定規 c の基準測定  $m$  の傾斜角  $m_a$ 、 $m_b$ 、 $m_c$ 、及び反転測定  $n$  の傾斜角  $n_a$ 、 $n_b$ 、 $n_c$  を検出し、これらをもとに測定対象 P、Q 上の測定点 p、q を結ぶ直線の傾斜角  $t$  (補正傾斜角) を導出する。

【0027】

反転測定時には、基準測定時において p 点上に設置したオフセットバー a と傾斜計 A からなる測定系と、q 点上に設置したオフセットバー b と傾斜計 B からなる測定系を q、p 点上に設置し、それらの上に設置した直定規 c と傾斜計 C からなる測定系の両端点  $c_1$ 、 $c_2$  が、そのまま反測定経路側の  $a_2$ 、 $b_2$  点上になるように入れ替える。このとき傾斜計 A、B、C と、それらを載せるオフセットバー a、b、および、直定規 c との相対位置と相対方位は、それぞれ固定されている。

【0028】

図 4 において、3 台の傾斜計 A、B、C の測定値を、 $m_a$ 、 $m_b$ 、 $m_c$ 、傾斜計のオフセット誤差を、 $o_a$ 、 $o_b$ 、 $o_c$  とする。一方、2 本のオフセットバー a、b の両端点を  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  として、測定点 p、q から遠い側の端点  $a_2$ 、 $b_2$  の測定点 p、q に対する高さを、 $h_{ma2}$ 、 $h_{mb2}$ 、2 点  $a_2$ 、 $b_2$  間の傾斜角を、 $u$  とする。

【0029】

また、2 本のオフセットバー a、b の形状誤差 (真の直線からのずれ) に起因する傾斜計測定位置における傾斜角誤差を、 $s_a$ 、 $s_b$  とし、直定規を載せる先端部  $a_2$ 、 $b_2$  点への荷重に起因するオフセットバーのたわみによる傾斜計測定位置における傾斜角誤差を、 $w_a$ 、 $w_b$  とする。

【0030】

さらに、直定規 c の形状誤差に起因する傾斜角測定位置における傾斜角誤差を、 $c_a$ 、直定規両端点  $c_1$ 、 $c_2$  の高さを、 $h_{c1}$ 、 $h_{c2}$  とする。最後に、測定点 p、q における測定対象 P、Q 上に引いた接線の傾斜角を、 $1$ 、 $2$ 、2 点 p、q 間の水平距離を  $s$ 、オフセットバー a、b の水平方向長さを  $d$  とする。

【0031】

図 5 において、3 台の傾斜計 A、B、C の反転測定時の測定傾斜角値を、 $n_a$ 、 $n_b$ 、 $n_c$  とする。2 本のオフセットバー a、b の測定点 p、q から遠い側の端点  $a_2$ 、 $b_2$  の測定点 p、q に対する高さを、 $h_{ma2}$ 、 $h_{mb2}$ 、 $a_2$ 、 $b_2$  点間の傾斜角を、 $v$  とする。一方、3 台の傾斜計 A、B、C のオフセット誤差  $o_a$ 、 $o_b$ 、 $o_c$ 、

10

20

30

40

50

オフセットバー a、b の形状誤差に起因する傾斜角誤差  $s_a$ 、 $s_b$ 、直定規 c の形状誤差に起因する傾斜角誤差  $c_a$ 、両端点  $c_1$ 、 $c_2$  の高さ  $h_{c_1}$ 、 $h_{c_2}$  については、基準測定時と等しい。

【0032】

さらに、 $a_2$ 、 $b_2$  点への荷重に起因するたわみによる傾斜角測定位置における傾斜角誤差についても、基準測定時と反転測定時の間の荷重変化がないものと考えて、基準測定時と等しいとする。

【0033】

また、測定対象 P、Q 上の測定点 p、q における接線の傾斜角、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、2 点 p - q 間の距離 s、オフセットバー a、b の長さ d も基準測定時からの変化は無いものとする。

10

【0034】

このとき 2 本のオフセットバー a、b の端点  $a_2$ 、 $b_2$  の基準測定時、反転測定時の高さ  $h_{ma_2}$ 、 $h_{mb_2}$ 、 $h_{na_2}$ 、 $h_{nb_2}$  は、それぞれ (1) ~ (4) 式のように示される。

【0035】

なお、高精度な水準器を用いた形状測定において、取り扱われる角度  $\theta$  は何れも微小量と考えられることから、以下において  $\tan \theta$  と考える。

$$h_{ma_2} = d \cdot \theta_1 + h_{sa} + h_{wa} \quad \dots \quad (1)$$

20

$$h_{mb_2} = d \cdot \theta_2 + h_{sb} + h_{wb} \quad \dots \quad (2)$$

$$h_{nb_2} = d \cdot \theta_1 + h_{sb} + h_{wb} \quad \dots \quad (3)$$

$$h_{na_2} = d \cdot \theta_2 + h_{sa} + h_{wa} \quad \dots \quad (4)$$

【0036】

ただし、 $h_{sa}$ 、 $h_{sb}$  は、オフセットバー a、b の形状誤差による端点  $a_2$ 、 $b_2$  の変位、 $h_{wa}$ 、 $h_{wb}$  は、オフセットバー a、b への荷重による端点  $a_2$ 、 $b_2$  の変位を示す。ここで、 $h_{sa}$ 、 $h_{sb}$  には、オフセットバー a、b の両端部分の厚さの差や自重および傾斜計 A、B の質量による端点  $a_2$ 、 $b_2$  の変位も含まれる。一方、 $h_{wa}$ 、 $h_{wb}$  については、基準測定時と反転測定時の間において端点  $a_2$ 、 $b_2$  のへの荷重は変化しないものと考えられることから、基準測定時と反転測定時の間において等しいものとする。

30

【0037】

一方、基準測定時の 2 点  $a_2$ 、 $b_2$  間の傾斜角  $\theta_u$  と、反転測定時の 2 点  $b_2$ 、 $a_2$  間の傾斜角  $\theta_v$  は、それぞれ (5)、(6) 式のように示される。

【0038】

$$\theta_u = \theta_t + (h_{mb_2} - h_{ma_2}) / s \quad \dots \quad (5)$$

$$\theta_v = \theta_t + (h_{na_2} - h_{nb_2}) / s \quad \dots \quad (6)$$

40

【0039】

ここで、 $\theta_t$  は、最終的に導出することを目的とする、二点 p、q を結ぶ直線の傾斜角 (補正傾斜角) である。

【0040】

さらに、直定規上の傾斜計 C の基準測定時の検出角  $\theta_{mc}$ 、反転測定時の検出角  $\theta_{nc}$  は、それぞれ (7)、(8) 式のように示される。

【0041】

$$\theta_{mc} = \theta_u + \theta_{0c} + \theta_{sc} + (h_{c_2} - h_{c_1}) / s \quad \dots \quad (7)$$

$$\theta_{nc} = -\theta_v + \theta_{0c} + \theta_{sc} + (h_{c_2} - h_{c_1}) / s \quad \dots \quad (8)$$

50

## 【 0 0 4 2 】

また、2本のオフセットバー a、b上の傾斜計 A、Bの基準測定時の測定値  $m_a$ 、 $m_b$ 、反転測定時の測定値  $n_a$ 、 $n_b$ は、それぞれ(9)～(12)式のように示される。

## 【 0 0 4 3 】

$$\begin{aligned} m_a &= 1 + 0_a + s_a + w_a \cdots (9) \\ m_b &= 2 + 0_b + s_b + w_b \cdots (10) \\ n_a &= 2 + 0_a + s_a + w_a \cdots (11) \\ n_b &= 1 + 0_b + s_b + w_b \cdots (12) \end{aligned}$$

10

## 【 0 0 4 4 】

ただし、 $0_a$ 、 $0_b$ は、傾斜計 A、Bのオフセット誤差、 $s_a$ 、 $s_b$ は、オフセットバー a、bの形状誤差による傾斜計測定位置でのオフセットバーの傾斜角誤差、 $w_a$ 、 $w_b$ は、オフセットバー a、bへの荷重による傾斜計測定位置でのオフセットバーの傾斜角誤差をそれぞれ示す。

## 【 0 0 4 5 】

ここで、 $s_a$ 、 $s_b$ には、オフセットバー a、bの自重および傾斜計 A、Bの質量による変形に起因する傾きも含まれる。一方、 $w_a$ 、 $w_b$ については、基準測定時と反転測定時の間において端点  $a_2$ 、 $b_2$ のへの荷重は変化しないものと考えられることから、基準測定時と反転測定時の間において等しいものとする。

20

## 【 0 0 4 6 】

上記(1)～(12)式から、次の(13)式が導出される。

$$t = (1/2) \cdot (m_c - n_c) + (d/2s) \cdot (m_a - m_b + n_b - n_a) \cdots (13)$$

## 【 0 0 4 7 】

(13)式は、二点 p、q間の傾斜角  $t$  (補正傾斜角)が、2本のオフセットバー a、bと直定規 c上の3台の傾斜計の基準測定時の検出角  $m_a$ 、 $m_b$ 、 $m_c$ 、および反転測定時の検出角  $n_a$ 、 $n_b$ 、 $n_c$ により示される。

30

## 【 0 0 4 8 】

(13)式から、被測定形状の目的とする二点 p - q間の傾斜角  $t$ が、上述のように、3台の傾斜計のオフセット  $0_a$ 、 $0_b$ 、 $0_c$ 、オフセットバー a、bの形状誤差  $h_{s_a}$ 、 $h_{s_b}$ 、および、オフセットバー a、bの形状誤差に起因する傾斜誤差  $s_a$ 、 $s_b$ 、直定規の形状誤差  $h_{c1}$ 、 $h_{c2}$ と直定規の形状誤差に起因する傾斜角誤差  $s_a$ 、さらに、オフセットバー a、bの端点  $a_2$ 、 $b_2$ への荷重に起因するオフセットバーの変形  $h_{w_a}$ 、 $h_{w_b}$ に影響されずに導出可能であることが分かる。

## 【 実施例 3 】

40

## 【 0 0 4 9 】

次に、本願発明の形状測定方法に従って、加速器を構成する機器のアライメント評価について説明する。図6は、加速器の構成機器のアライメント評価測定をしているときの写真である。

## 【 0 0 5 0 】

KEKの入射器は、125m、および476mの2つの直線部が180°偏向アーク部で接続された全長約600mの“J”字型のビームラインを持っている。そして476mの直線部が、加速器を収納する地下トンネル内の中央部に設置されたシールド壁により分割されている。ここでは、入射器5dの最下流の直線部約206mを測定対象とした。

## 【 0 0 5 1 】

50



水準器には、従来と同様に測定範囲 $\pm 3 \text{ mrad}$  ( $\pm 600 \text{ arcsec}$ )、分解能 $0.5 \mu\text{rad}$  ( $0.1 \text{ arcsec}$ )の精密電子水準器：タリベル4 (テーラーホブソン社)を用いた。オフセットバーには、幅 $50 \text{ mm}$ 、厚さ $25 \text{ mm}$ 、肉厚 $2 \text{ mm}$ の角型パイプ断面をもつ長さ $400 \text{ mm}$ のアルミ押出材を用いた。

【0052】

直定規には、幅 $50 \text{ mm}$ 、厚さ $25 \text{ mm}$ 、肉厚 $2$ 、もしくは、 $3 \text{ mm}$ の角型パイプ断面をもつアルミ押出材を、長さ $640$ 、 $1344$ 、 $2304 \text{ mm}$ の3種類について用意し、これらを測定間隔 $5 \text{ c}$ に合わせて用いた。

【0053】

オフセットバーの傾斜角を考慮した反転測定では、基準測定時と反転測定時にそれぞれ3つの傾斜角を検出する必要がある。この場合、角度検出器が置かれない測定位置に、角度検出器と等しい質量とフットプリントを持つダミーウェイトを置くことで、たわみの影響が一定になるように配慮した。角度検出器の質量は、ケーブルを含めて約 $0.82 \text{ kg}$ であった。

10

【0054】

オフセットバーの先端部に載せる角度検出器と直定規の質量は、最大で約 $3.3 \text{ kg}$ であった。2本のオフセットバーとそれらの上に載せる角度検出器の質量を併せて、全体の角度検出系をバランスさせるため、2本のオフセットバーの根元上にそれぞれ約 $14 \text{ kg}$ のバランスウェイト7を置いた。これらのバランスウェイト7は、基準測定時と反転測定時における、測定系の支持条件を揃えるために、オフセットバー a、bそれぞれについて専用とした。

20

【0055】

図7に測定結果を示す。ここでは比較のためKEK入射器に組み込まれているレーザーライメントシステム、および、アライメント望遠鏡による同一部分の測定結果も示す。tallyvelが本発明の形状測定方法、laserがレーザーアライメントシステム、telescopeがアライメント望遠鏡によるものである、カッコ内は測定年月日を示す。

【0056】

本測定では重力方向を基準とするため、 $100 \text{ m}$ を超えるような長距離において、 $\text{mm}$ レベルの形状差を問題とするような高精度な測定では、地球表面の曲率が問題となる。ここでは、地球を平均半径 $R = 6371 \text{ km}$ の球体と考え、この形状分を差し引くことで導出形状を補正している。図7に、測定原点からの距離に対する補正量をgeoid curveにて示す。この値は、地球表面の平均形状に相当する。

30

【0057】

図6では、互いに独立した異なる方式により得られた3つの評価結果が、部分的ではあるがサブ $\text{mm}$ レベルでの一致が見られた。一方、本発明の測定方法により任意の測定点にて4度の繰返し測定を行った場合、得られる傾斜角の繰返し性は、標準偏差で約 $15 \mu\text{rad}$ となった。

【0058】

オフセットバーを用いない従来法(レーザー、アライメント望遠鏡)での傾斜角測定値の繰返し性が、全測定点での平均値で約 $10 \mu\text{rad}$ であったことから、オフセットバーを用いることで測定系が複雑になったにも関わらず、従来法と同程度の繰返し性での評価が可能であった。

40

【0059】

これらのことから、本発明である形状測定方法、その前段である傾斜角測定及び補正は、従来法と同様に大型の加速器のアライメントなど広範囲な形状測定に適用可能であると言える。

【符号の説明】

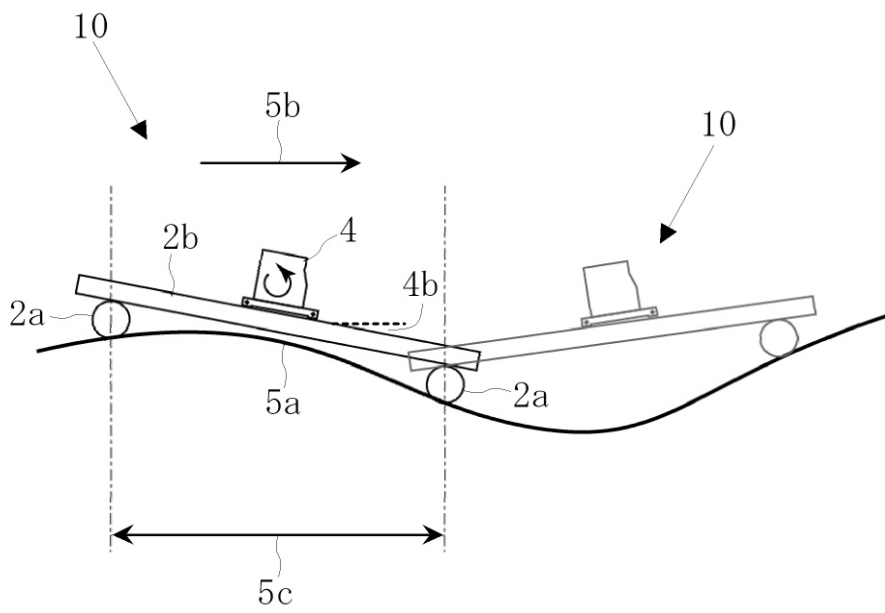
【0060】

- 1 形状測定装置
- 2 直定規

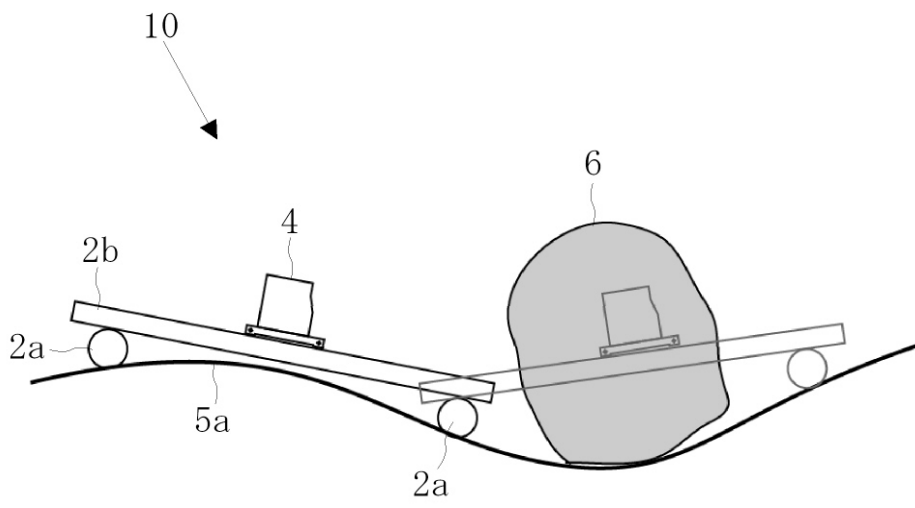
50

- 2 a 接触子
- 2 b 直定規
- 3 オフセットバー ( a )
- 3 a オフセットバー ( b )
- 4 傾斜計
- 4 a 水準器
- 4 b 傾斜角
- 5 測定対象
- 5 a 被測定形状
- 5 b 測定方向
- 5 c 測定間隔
- 5 d 入射器
- 6 障害物
- 7 バランスウェイト
- 1 0 従来の形状測定装置

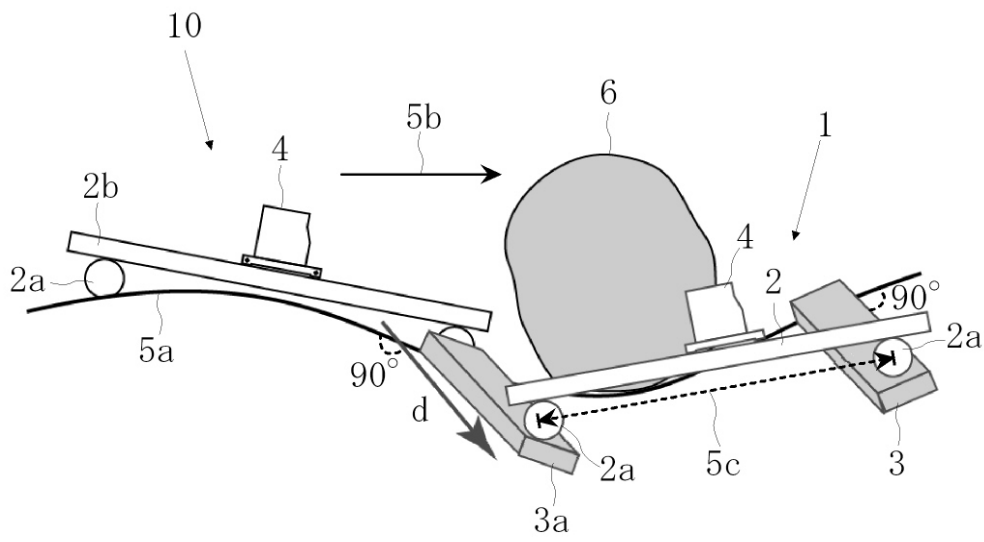
【 図 1 】



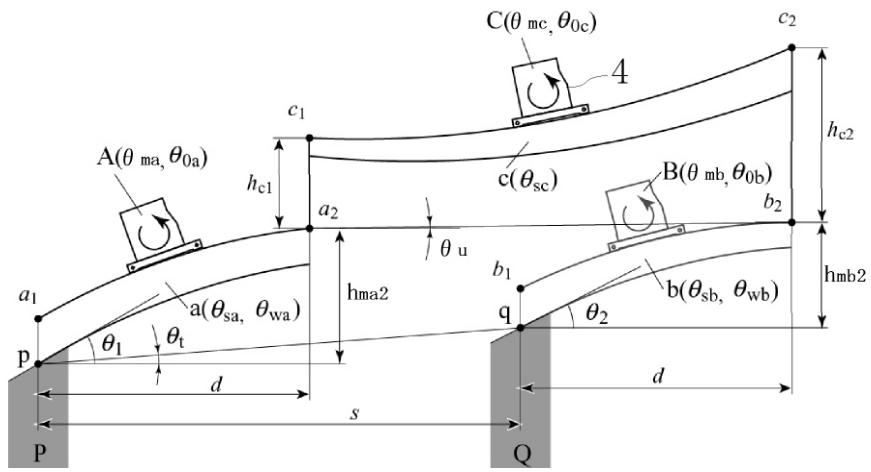
【 図 2 】



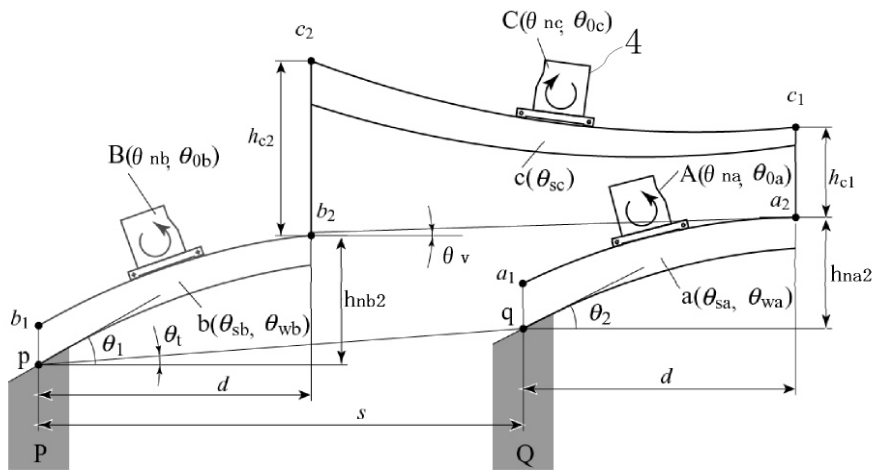
【 図 3 】



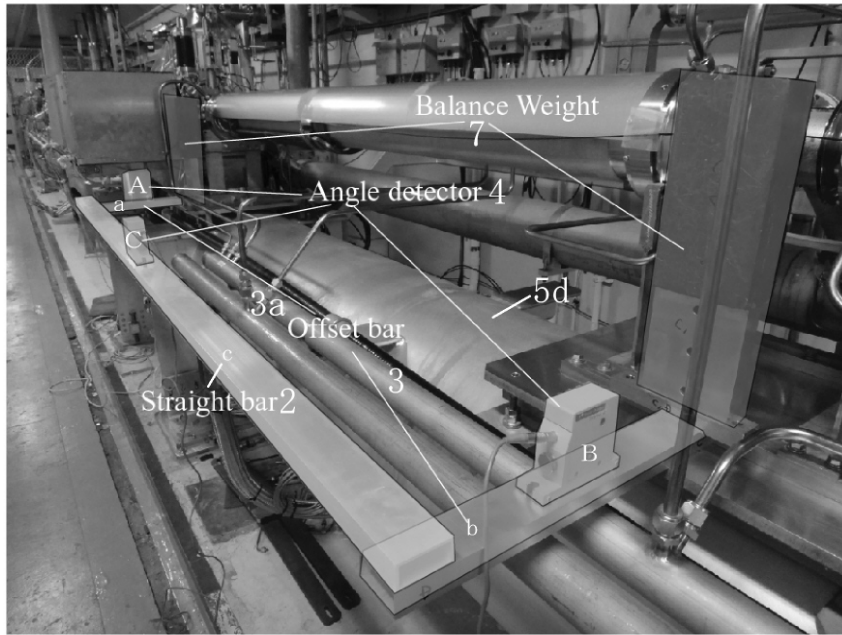
【 図 4 】



【 図 5 】

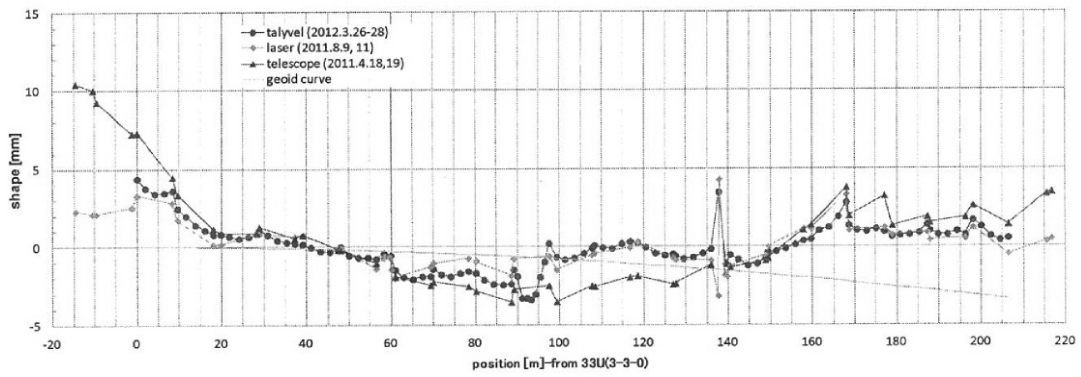


【 図 6 】

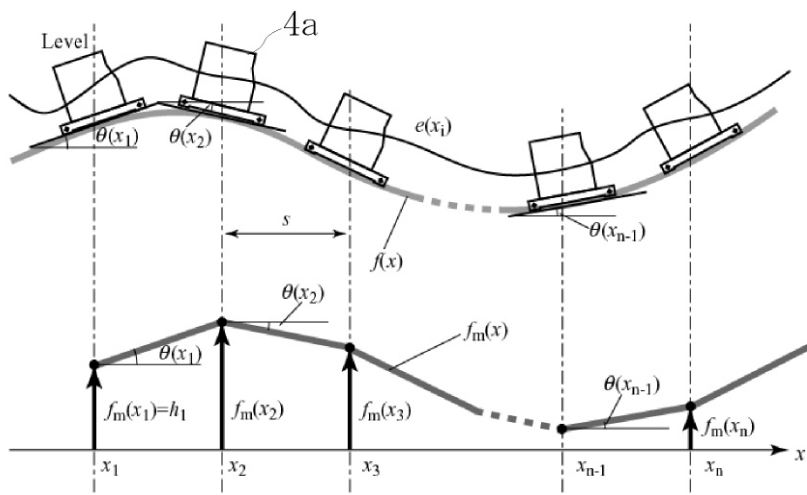




【 図 7 】



【 図 8 】



$$f_m(x_n) = h_1 + s \times \sum_{i=1}^{n-1} \theta(x_i) \quad \dots \quad (A)$$