(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017 年 1 月 5 日(05.01.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/002831 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 11/25 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/069197

(22) 国際出願日: 2016 年 6 月 29 日(29.06.2016)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2015-130144 2015 年 6 月 29 日(29.06.2015) JP

(71) 出願人: 国立大学法人　宮崎大学(UNIVERSITY OF MIYAZAKI) [JP/JP]; 〒8892192 宮崎県宮崎市学園木花台西１丁目１番地 Miyazaki (JP).

(72) 発明者: 川末　紀功仁(KAWASUE, Kikuhito); 〒8892192 宮崎県宮崎市学園木花台西１丁目１番地　国立大学法人　宮崎大学内 Miyazaki (JP). 吉田　久美子(YOSHIDA, Kumiko); 〒8892192 宮崎県宮崎市学園木花台西１丁目１番地　国立大学法人　宮崎大学内 Miyazaki (JP).

(74) 代理人: 泉　通博(IZUMI, Michihiro); 〒1010047 東京都千代田区内神田１丁目１６番４号　ピーシー神田ビル４Ｆ Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

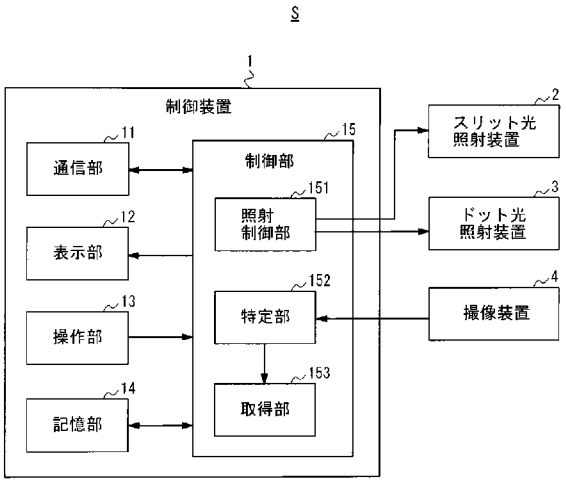
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: MEASURING SYSTEM AND MEASURING METHOD

(54) 発明の名称 : 計測システム及び計測方法

[図1]



1	Control device	13	Operation unit
2	Slit light irradiation device	14	Storage unit
3	Dot light irradiation device	15	Control unit
4	Imaging device	151	Emission control unit
11	Communication unit	152	Identification unit
12	Display unit	153	Acquisition unit

(57) **Abstract**: This measuring system S is provided with: a slit light irradiation device 2 that emits a plurality of slit laser beams 23a to 23d in the shape of a slit to a tubular body 9; a dot light irradiation device 3 that emits a plurality of dot laser beams in the shape of a dot to the tubular body 9, each dot laser beam having a predetermined positional relationship with each of the slit laser beams 23a to 23d; an imaging device 4 that images a plurality of bright lines L1 to L4 that appear on the surface of the tubular body 9 and a plurality of bright spots D that appear on the surface of the tubular body 9 to generate an image thereof; an identification unit 152 that compares the generated image with a reference image representing predetermined positional relationships between the bright lines L1 to L4 and the bright spots D to identify correspondences between the bright lines L1 to L4 in the generated image and the slit laser beams 23a to 23d; and an acquisition unit 153 that acquires three-dimensional coordinates of the bright lines L1 to L4 on the basis of two-dimensional coordinates of the bright lines L1 to L4 in the generated image and the correspondences identified by the identification unit 152.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/002831 A1

計測システムＳは、管体９にスリット状の複数のスリットレーザ光２３ａ～２３ｄを照射するスリット光照射装置２と、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄの各々と所定の位置関係を有するドット状の複数のドットレーザ光を管体９に照射するドット光照射装置３と、管体９の表面に現れる複数の輝線Ｌ１～Ｌ４と、管体９の表面に現れる複数の輝点Ｄとを撮像して、撮像画像を生成する撮像装置４と、撮像画像と、複数の輝線Ｌ１～Ｌ４及び輝点Ｄの予め定まった位置関係を示す基準画像とを対比して、撮像画像の輝線Ｌ１～Ｌ４とスリットレーザ光２３ａ～２３ｄとの対応関係を特定する特定部１５２と、撮像画像における輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標と、特定部１５２特定した対応関係とに基づいて、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を取得する取得部１５３とを備える。

明　細　書

発明の名称 ： 計測システム及び計測方法

技術分野

[0001] 本発明は、被測定物の三次元座標を計測する計測システム及び計測方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、コンピュータビジョンに関する研究が活性化し、撮像装置を用いた物体の三次元情報入力システムが身近なものになりつつある。この種の技術の中で、撮像装置としてカメラを用いて物体の三次元形状を入力する手法として、光切断法が広く知られている。

[0003] 例えば、下記の特許文献１には、光切断法を利用した距離測定装置が開示されている。この距離測定装置は、ＣＣＤカメラによって物体（被測定物）の表面におけるスリット光の反射光（輝線）を撮像し、スリット光を発した方向、光源の位置及びＣＣＤカメラの位置から、物体との間の距離を測定する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００２－１５６２０９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 一方で、被測定物の形状等を効率よく計測するために、被測定物に複数のスリットレーザ光を同時に照射する方式が検討されている。しかし、複数のスリット光を被測定物に照射した場合には、どの方向から投光されたスリットレーザ光であるかを特定する必要がある。撮像画像に、被測定物に現れる輝線と被測定物以外の部分に現れるスリットレーザ光とがずれた状態で写る場合のように、被測定物の形状が複雑な場合は、被測定物と被測定物以外の部分とで不連続になっている輝線の繰り返しパターンが撮像画像内に複数存

在する。このような場合、複数の輝線の各々に対応するスリットレーザ光を特定し難いため、各輝線までの距離が計測できない。この結果、被測定物の三次元座標が測定できない。

[0006] そこで、本発明はこれらの点に鑑みてなされたものであり、被測定物の三次元座標をより高精度に計測可能な計測システム及び計測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

[0007] 本発明の第１の態様においては、被測定物にスリット状の複数のスリット光を照射する第１照射手段と、前記第１照射手段が前記複数のスリット光を前記被測定物に照射する際に、前記複数のスリット光の各々と所定の位置関係を有するドット状の複数のドット光を、前記被測定物に照射する第２照射手段と、前記複数のスリット光が照射されることで前記被測定物の表面に現れる複数の輝線と、前記複数のドット光が照射されることで前記表面に現れる複数の輝点とを撮像して、撮像画像を生成する撮像手段と、前記撮像画像と、前記複数の輝線及び輝点の予め定まった位置関係を示す基準画像とを対比して、前記撮像画像の前記複数の輝線と前記複数のスリット光との対応関係を特定する特定手段と、前記撮像画像における前記複数の輝線の二次元座標と、前記特定手段が特定した前記対応関係とに基づいて、前記複数の輝線の三次元座標を取得する取得手段とを備える、計測システムを提供する。

[0008] また、前記第１照射手段及び前記第２照射手段は、前記スリット光を照射するスリットの長手方向であるスリット方向の同一直線上に位置することとしてもよい。

[0009] また、前記第１照射手段及び前記第２照射手段は、前記スリット方向以外の方向に所定間隔だけ離れて位置し、前記計測システムは、前記スリット光の前記被測定物への照射位置と、前記ドット光の前記被測定物への照射位置とを調整するための光反射手段を更に備えることとしてもよい。

[0010] また、前記複数のスリット光の前記被測定物への照射方向は、互いに交差する方向であり、前記特定手段は、前記複数の輝線の各々に対応する前記ス

リット光の照射方向を特定することとしてもよい。

[0011] また、前記第２照射手段は、前記複数の輝線の各々に対して輝点の隣接状態が異なるように、前記複数のドット光を照射することとしてもよい。

[0012] また、前記特定手段は、前記撮像画像の前記輝線上の一点及び前記一点の周囲を含む単位領域を抽出し、前記基準画像の前記単位領域との相関度合いを判定することとしてもよい。

[0013] また、前記被測定物は、管状体であり、前記撮像手段は、前記第１照射手段の照射方向と交差する視線方向から、前記管状体の表面に現れる前記複数の輝線及び輝点を撮像することとしてもよい。

[0014] また、前記取得手段は、円弧形状の前記輝線が一部を成す前記管状体の断面形状の三次元座標を取得することとしてもよい。

[0015] また、前記断面形状は、楕円形状であり、前記取得手段は、前記断面形状の楕円の短径を取得し、前記短径を前記管状体の外径と設定することとしてもよい。

[0016] また、前記取得手段は、前記複数の輝線の各々が一部を成す前記管状体の複数の断面形状に基づいて、前記管状体の中心線を取得することとしてもよい。

[0017] また、前記取得手段は、前記複数の輝線上の点の三次元座標に基づいて、前記管状体の中心線の方向ベクトルを取得してもよい。

[0018] 本発明の第２の態様においては、被測定物にスリット状の複数のスリット光を照射するステップと、前記複数のスリット光を前記被測定物に照射する際に、前記複数のスリット光の各々と所定の位置関係を有するドット状の複数のドット光を、前記被測定物に照射するステップと、前記複数のスリット光が照射されることで前記被測定物の表面に現れる複数の輝線と、前記複数のドット光が照射されることで前記表面に現れる複数の輝点とを撮像して、撮像画像を生成するステップと、前記撮像画像と、前記複数の輝線及び輝点の予め定まった位置関係を示す基準画像とを対比して、前記撮像画像の前記複数の輝線と前記複数のスリット光との対応関係を特定するステップと、前

記撮像画像における前記複数の輝線の二次元座標と、特定した前記対応関係とに基づいて、前記複数の輝線の三次元座標を取得するステップとを有する、計測方法を提供する。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、被測定物の三次元座標をより高精度に計測できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の一実施形態に係る計測システムＳの構成の一例を示すブロック図である。

[図2]被測定物に対するスリット光の照射状態の一例を示す図である。

[図3]スリット光照射装置２及びドット光照射装置３の構成の一例を説明するための模式図である。

[図4]スリット光とドット光の位置関係を説明するための図である。

[図5]撮像画像の一例を示す図である。

[図6]基準画像の一例を示す図である。

[図7A]撮像画像における対比対象の点を説明するための図である。

[図7B]抽出した単位領域を説明するための模式図である。

[図8]基準画像の基準側単位領域を説明するための図である。

[図9]エピポーラ直線を用いた探索方法を説明するための図である。

[図10]輝線Ｌ１～Ｌ４の各々から特定される管体９の断面を説明するための模式図である。

[図11]管体９の外径取得方法の第１変形例を説明するための図である。

[図12A]管体９の中心線の方向ベクトルの取得方法を説明するための図である。

[図12B]管体９の中心線の方向ベクトルの取得方法の変形例を説明するための図である。

[図13]スリット光照射装置２及びドット光照射装置３の構成の変形例を説明するための模式図である。

[図14]水平方向における輝線Ｌ１～Ｌ４と輝点Ｄのずれを説明するための模式図である。

[図15]光反射手段７０の構成の一例を説明するための模式図である。

[図16]管体９上の輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標の取得処理を説明するためのフローチャートである。

[図17]スリット光照射装置２及び撮像装置４のキャリブレーション方法を説明するためのフローチャートである。

[図18]キャリブレーション用ブロック９１を説明するための模式図である。

[図19]キャリブレーション用ブロック９１の前面を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0021] ＜１．計測システムの構成＞

図１を参照しながら、本発明の一実施形態に係る計測システムＳの概要について説明する。図１は、一実施形態に係る計測システムＳの構成の一例を示すブロック図である。

[0022] 計測システムＳは、制御装置１と、スリット光照射装置２と、ドット光照射装置３と、撮像装置４とを有する。本実施形態では、スリット光照射装置２が第１照射手段に該当し、ドット光照射装置３が第２照射手段に該当する。

[0023] 制御装置１は、例えばコンピュータであり、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３及び撮像装置４の動作を制御する。また、制御装置１は、撮像装置４から入力される撮像画像に対して画像処理を行う機能も有する。制御装置１は、詳細は後述するが、撮像画像における二次元座標から三次元座標を取得する処理を行う。

[0024] スリット光照射装置２は、被測定物にスリット状の複数のスリット光を照射する。具体的には、スリット光照射装置２は、同時に複数のスリットレーザ光を被測定物に照射する。スリット光として利用することができる光は、スリットレーザ光が典型的に利用可能であるが、適宜の光源（例えばプロジェクタ等）を用いて照射又は表示されるスリット状のパターン光も利用可能

である。

以下では、被測定物が、管状体であるものとする。ただし、これに限定されず、被測定物が、生体など任意の形状を有するものであってもよい。

[0025] 図２は、被測定物に対するスリット光の照射状態の一例を示す図である。図２では、説明の便宜上、ドット光照射装置３を図示していない。スリット光照射装置２が、複数のスリットレーザ光（ここでは、４つのスリットレーザ光２３ａ～２３ｄ）を被測定物である管体９に同時に照射することで、管体９の表面に円弧状の複数の輝線（ここでは、４つの輝線Ｌ１～Ｌ４）が現れる。なお、４つのスリットレーザ光２３ａ～２３ｄの管体９への照射方向は、平行ではなく、互いに交差する方向となっている。また、４つのスリットレーザ光２３ａ～２３ｄの照射方向（照射角度）は、予め設定されている。

[0026] 図３は、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３の構成の一例を説明するための模式図である。図３は、図２における管体９側からスリット光照射装置２及びドット光照射装置３を見た際の図である。スリット光照射装置２は、細長い開口である４本のスリット２１と、装置内部に設けられレーザ光を出射するレーザ素子（不図示）とを有する。レーザ素子から出射されたレーザ光は、４本のスリット２１を通過して管体９に照射される。

[0027] スリット光照射装置２及びドット光照射装置３は、スリット光照射装置２がスリットレーザ光を照射するスリットの長手方向であるスリット方向の同一直線上に位置する。すなわち、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３は、スリット光照射装置２が照射するスリットレーザ光の発散の原点である焦点と、ドット光照射装置３が照射するドットレーザ光の焦点とが、スリット方向の同一直線上になるように固定されている。本実施形態では、図３に示すように、スリット光照射装置２が、スリット方向（ｚ軸方向）において、ドット光照射装置３の真上に位置している。ただし、これに限定されず、スリット光照射装置２は、ドット光照射装置３の真下に位置してもよい。

[0028] 図１に戻り、ドット光照射装置３は、管体９にドット状の複数のドット光を照射する。具体的には、ドット光照射装置３は、ランダムにドットレーザ光を照射可能に構成されている。ドット光として利用することができる光は、ドットレーザ光が典型的に利用可能であるが、適宜の光源（例えばプロジェクタ等）を用いて照射又は表示されるドット状のパターン光も利用可能である。

[0029] ドット光照射装置３は、図３に示すような多数の孔３１と、装置内部に設けられレーザ光を出射するレーザ素子（不図示）とを有する。レーザ素子から出射されたレーザ光は、孔３１を通過して管体９に照射される。図３では、多数の孔３１が所定間隔で規則正しく配列されているように示されているが、孔３１同士の間隔がランダムとなるように多数の孔３１が配置されている。これにより、ランダムにドットレーザ光を照射することが可能となる。

[0030] 本実施形態において、ドット光照射装置３は、スリット光照射装置２が複数のスリットレーザ光２３ａ～２３ｄを管体９に照射する際に、複数のドットレーザ光を管体９に照射する。ここで、複数のドットレーザ光は、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄの各々と所定の位置関係を有する。

[0031] 図４は、スリット光とドット光の位置関係を説明するための図である。ここでは、図４（ａ）及び図４（ｂ）に示すように、スリット光照射装置２が平らな面の所定領域にスリットレーザ光を照射し、ドット光照射装置３も前記所定領域にドットレーザ光を照射するものとする。スリットレーザ光が照射されることで、図４（ａ）に示すような４つの輝線Ｌ１～Ｌ４が管体９の表面に現れることになり、ドットレーザ光が照射されることで、図４（ｂ）に示すような多数のランダムな輝点Ｄが管体９の表面に現れることになる。

[0032] 前述したように、スリット光照射装置２がドット光照射装置３のスリット方向の真上に位置するので、スリットレーザ光及びドットレーザ光が同時に照射されると、輝線Ｌ１～Ｌ４と輝点Ｄの位置関係は図４（ｃ）に示すような関係となる。図４（ｃ）を見ると分かるように、カメラからの視差により、輝線Ｌ１～Ｌ４及び輝点Ｄのスリット方向（上下方向）におけるずれが生

じるが、輝線Ｌ１～Ｌ４及び輝点Ｄのスリット方向に対して垂直な方向（左右方向）におけるずれは生じない。

[0033] 図１に戻り、撮像装置４は、例えばカメラであり、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄ及びドットレーザ光が照射された管体９を撮像して、撮像画像を生成する。すなわち、撮像装置４は、複数のスリットレーザ光が照射されることで管体９の表面に現れる複数の輝線Ｌ１～Ｌ４と、複数のドットレーザ光が照射されることで管体９の表面に現れる複数の輝点Ｄとを撮像して、撮像画像を生成する。

[0034] 撮像装置４は、図２に示すように、スリット光照射装置２の照射方向と視線方向とが交差する向きで、管体９を撮像する。撮像装置４は、スリット光照射装置２との位置関係が維持されるように、台６（図２）に取り付けられている。すなわち、測定中は、撮像装置４の設置方向とスリット光照射装置２の設置方向との角度、及び撮像装置４とスリット光照射装置２との距離が、所定の大きさに固定されている。なお、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３も、台６に取り付けられている。

[0035] 図５は、撮像画像の一例を示す図である。撮像画像は、表面に４つの輝線Ｌ１～Ｌ４と多数の輝点Ｄが現れている管体９を示す画像である。図５を見ると分かるように、４つの輝線Ｌ１～Ｌ４の周囲の輝点Ｄの配置パターンは、それぞれ異なる。すなわち、ドット光照射装置３は、複数の輝線Ｌ１～Ｌ４の各々に対して輝点Ｄの隣接状態が異なるように、複数のドットレーザ光をランダムに照射している。

[0036] なお、図５には示されていないが、撮像画像には、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄによって管体９の表面に現れる輝線Ｌ１～Ｌ４だけでなく、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄによって管体９以外の部分（例えば、スリット光照射装置２と管体９との間の部分）に現れる輝線も含まれる。これらの輝線は撮像画像に繰り返しパターンとして複数存在し、これらの繰り返しパターンは、通常ずれた関係となっているため、管体９上の輝線Ｌ１～Ｌ４がどのスリットレーザ光によって現れたのかを特定しにくい。

[0037] これに対して、本実施形態に係る計測システムＳは、輝線Ｌ１～Ｌ４と輝点Ｄが現れた撮像画像（図５）を生成して、各輝線Ｌ１～Ｌ４とスリットレーザ光２３ａ～２３ｄとの対応関係を特定している。そして、計測システムＳは、撮像画像から求まる輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標と、特定した対応関係とに基づいて、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を算出している。これにより、複数のスリットレーザ光２３ａ～２３ｄを同時に管体９に照射した場合でも、複数の輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標が取得可能となる。

[0038] また、本実施形態では、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３が、それぞれスリットレーザ光及びドットレーザ光を照射してから、撮像装置４が撮像するまで、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３及び撮像装置４の位置は、固定されている。これにより、輝線Ｌ１～Ｌ４の画像を一度に撮像可能となるので、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３及び撮像装置４の移動に起因する誤差の発生を抑制できる。

[0039] なお、管体９の軸方向の長さが大きい場合には、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３及び撮像装置４が取り付けられた台６を既知の所定量だけ移動させて、複数の撮像画像を撮像して繋げてもよい。かかる場合には、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３及び撮像装置４を用いて、軸方向の長さが大きい管体９の形状や位置も高精度に取得可能となる。

[0040] ＜２．制御装置の構成＞

被測定物の表面に現れる輝線の三次元座標を取得する制御装置１の構成について、図１を参照しながら説明する。

制御装置１は、図１に示すように、通信部１１と、表示部１２と、操作部１３と、記憶部１４と、制御部１５とを有する。

[0041] 通信部１１は、外部機器との間で通信を行う通信インターフェイス（以下、通信ＩＦ）である。通信部１１は、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３及び撮像装置４との間で、例えばケーブル等を介して有線通信を行い、情報を送受信する。ただし、これに限定されず、通信部１１は、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３及び撮像装置４との間で、無線通信を行

ってもよい。

[0042] 表示部１２は、例えば液晶ディスプレイや有機ＥＬ（Electro-Luminescence）ディスプレイ等により構成される。例えば、表示部１２は、撮像装置４が撮像した撮像画像を表示する。

[0043] 操作部１３は、例えばキーボードやマウス等により構成され、ユーザが入力操作を行うことが可能である。ユーザは、操作部１３を介して被測定物の測定に関する様々な入力操作を行う。

[0044] 記憶部１４は、例えばＲＯＭ及びＲＡＭ等により構成され、制御装置１を機能させるための各種プログラムや各種データを記憶する。記憶部１４は、撮像装置４から受信した撮像画像を記憶する。また、記憶部１４は、後述する管体９に現れる複数の輝線及び輝点の予め定まった位置関係を示す基準画像に関する情報を記憶する。基準画像は、撮像画像と対比して撮像画像中の輝線に対応するスリットレーザ光を特定するのに用いられる。基準画像は、輝度及び色度等の画像情報に限定されず、スリットレーザ光とドットレーザ光との位置関係を特定できる情報であってもよい。

[0045] 図６は、基準画像の一例を示す図である。図６に示すように、基準画像は、４つの輝線Ｍ１～Ｍ４と、多数の輝点Ｄとを含む画像である。基準画像は、例えばスリットレーザ光やドットレーザ光が照射される所定領域（図４（ａ）参照）を示す画像である。基準画像は、計測に用いられるスリット光照射装置２及びドット光照射装置３の組み合わせに応じて、設定されうる。

[0046] 図６に示す基準画像は、図２に示す円柱状の管体９にレーザ光を照射する場合とは異なり、平らな面にスリットレーザ光及びドットレーザ光を照射した場合の画像となっている。このため、輝線Ｍ１～Ｍ４は、図５に示す円弧状の輝線Ｌ１～Ｌ４とは異なり、直線となっている。また、多数の輝点Ｄは、輝線Ｍ１～Ｍ４にランダムに点在しており、輝線Ｍ１～Ｍ４の周囲の輝点Ｄの点在パターンがそれぞれ異なる。

[0047] 図１に戻り、制御部１５は、例えばＣＰＵにより構成される。制御部１５は、記憶部１４に記憶されている各種プログラムを実行することにより、制

御装置１に係る機能を統括的に制御する。本実施形態では、制御部１５は、照射制御部１５１と、特定部１５２と、取得部１５３として機能する。

[0048] （照射制御部１５１）

照射制御部１５１は、スリット光照射装置２によるスリットレーザ光２３ａ～２３ｄの照射と、ドット光照射装置３によるドットレーザ光の照射とを制御する。本実施形態において、照射制御部１５１は、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄを同時に被測定物に照射させる。

[0049] また、照射制御部１５１は、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄを照射する際に、ドットレーザ光も照射させる。具体的には、照射制御部１５１は、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄ及びドットレーザ光を同時に照射させる。なお、照射制御部１５１は、被測定物の種類や形状等を考慮して、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄ及びドットレーザ光の照射強度を制御してよい。

[0050] （特定部１５２）

特定部１５２は、図５に示す撮像画像と図６に示す基準画像とを対比して、撮像画像の複数の輝線Ｌ１～Ｌ４と複数のスリットレーザ光２３ａ～２３ｄとの対応関係を特定する。すなわち、特定部１５２は、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄ及びドットレーザ光が管体９に照射された際に撮像装置４が撮像した撮像画像と、記憶部１４に記憶されている基準画像とを対比して、輝線Ｌ１～Ｌ４とスリットレーザ光２３ａ～２３ｄとの対応関係を特定する。

[0051] 前述したように、管体９に照射されるスリットレーザ光２３ａ～２３ｄの照射方向は、それぞれ異なる。このため、特定部１５２は、輝線Ｌ１～Ｌ４とスリットレーザ光２３ａ～２３ｄとの対応関係を特定することで、輝線Ｌ１～Ｌ４の各々を現す基になったスリットレーザ光の照射方向を特定できる。

[0052] ここで、特定部１５２による撮像画像と基準画像の対比方法の一例について説明する。

まず、特定部１５２は、対比対象として、撮像画像の輝線Ｌ１～Ｌ４上の

一点を含む単位領域を抽出する。このように、撮像画像中の輝線Ｌ１～Ｌ４上の点を含む領域のみを対比対象とすることで、撮像画像の全ての領域を対比対象とする場合に比べて、撮像画像と基準画像との対比に要する処理時間を短縮できる。

[0053] 図７Ａは、撮像画像における対比対象の点を説明するための図である。図７Ａにおいては、輝線Ｌ３上の点Ａが、対比対象の点であるものとする。特定部１５２は、点Ａを中心として点Ａの周囲を含む小さな矩形状の領域を、単位領域として抽出する。

[0054] 図７Ｂは、抽出した単位領域を説明するための模式図である。抽出される単位領域は、小さな領域であるため、輝線Ｌ３が円弧状であっても、単位領域における輝線Ｌ３の部分は、図７Ｂに示すようにほぼ直線となる。図７Ｂを見ると分かるように、単位領域において輝線Ｌ３の周囲には、複数の輝点Ｄが点在している。本実施形態では、ドット光照射装置３は、単位領域中に輝点Ｄが点在するように、ドットレーザ光を照射することが望ましい。

[0055] 次に、特定部１５２は、抽出した撮像画像の単位領域（以下、撮像側単位領域と呼ぶ）と、基準画像上において撮像側単位領域と同じ大きさの単位領域（以下、基準側単位領域と呼ぶ）とを対比する。そして、特定部１５２は、図７Ｂに示す輝点Ｄの点在パターンと同じパターンを含む基準側単位領域を探索する。特定部１５２は、例えば、撮像側単位領域に含まれる画素の値と、基準側単位領域の対応する位置に含まれる画素の値とを比較し、画素の値が一致している数が所定の割合以上である場合に、基準側単位領域が撮像側単位領域との相関度合いが大きく、同じパターンを含むものと判定する。

[0056] 図８は、基準画像の基準側単位領域を説明するための図である。

特定部１５２は、輝線Ｍ１～Ｍ４に沿って、輝線Ｍ１～Ｍ４上の点を含む基準側単位領域を順次探索する。これにより、探索に用いる領域を限定できるので、探索時間を抑制できる。図８では、輝線Ｍ３上の点を中心とする基準側単位領域Ｒ内の輝点Ｄの点在パターンが、図７Ｂの輝点Ｄの点在パターンと同じであるものとする。すると、特定部１５２は、撮像画像の点Ａを含

む撮像側単位領域と、基準画像の基準側単位領域Ｒとが相関度合いが大きいと判定する。

[0057] 上記では、輝線Ｍ１～Ｍ４に沿って基準側単位領域を順次探索することとしたが、これに限定されない。例えば、特定部１５２は、エピポーラ直線を用いることで、効率良く撮像側単位領域の輝点Ｄの点在パターンと同じ基準側単位領域を探索できる。

[0058] 図９は、エピポーラ直線を用いた探索方法を説明するための図である。図９では、直線Ｎが、図７Ａの点Ａを通るエピポーラ直線である。エピポーラ直線Ｎは、点Ａとスリット光照射装置２との間を結んだ線を投影した直線である。このため、点Ａは、エピポーラ直線Ｎ上に位置することになる。このようなエピポーラ直線を利用することで、特定部１５２は、撮像側単位領域と、基準画像において輝線Ｍ１～Ｍ４とエピポーラ直線Ｎの交点（４点）の各々を中心とする４つの基準側単位領域とを対比することになる。これにより、探索する領域を限定できるので、探索に要する処理時間を抑制できる。

[0059] （取得部１５３）

図１に戻り、取得部１５３は、撮像装置４が撮像した管体９の三次元形状を取得する。具体的には、まず、取得部１５３は、撮像装置４が撮像した撮像画像を参照して、管体９の表面に現れる輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標を求める。次に、取得部１５３は、輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標と、特定部１５２が特定した対応関係（すなわち、輝線Ｌ１～Ｌ４の基になったスリットレーザ光２３ａ～２３ｄの照射方向）とに基づいて、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を取得する。

[0060] 例えば、取得部１５３は、三角計量の原理を用いて、輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標と、輝線Ｌ１～Ｌ４の基になったスリットレーザ光２３ａ～２３ｄの平面の方程式とから、輝線Ｌ１～輝線Ｌ４と撮像装置４との間の距離を求める。そして、取得部１５３は、輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標と、輝線Ｌ１～輝線Ｌ４と撮像装置４との間の距離とに基づいて、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を取得する。なお、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標は、例えば書籍「三

次元画像計測」（井口征士、佐藤宏介著）に記載された式（４．１８）（式（４．１６）及び（４．１７）も参照）から求めることができる。輝線の二次元座標（ｕ、ｖ）が、式（４．１６）のX_c、Y_cにそれぞれ該当する。

[0061] 取得部１５３は、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標に基づいて、更に管体９の断面形状を取得する。本実施形態では、取得部１５３は、円弧形状の輝線Ｌ１～Ｌ４が一部を成す管体９の断面形状の三次元座標を取得する。具体的には、取得部１５３は、形状が図１０に示すような楕円形状の断面を取得する。

[0062] 図１０は、輝線Ｌ１～Ｌ４の各々から特定される管体９の断面を説明するための模式図である。取得部１５３は、円弧形状の輝線Ｌ１～Ｌ４に基づいて、図１０に示す４つの楕円形状の断面Ｆ１～Ｆ４を取得する。ここで、断面Ｆ１は輝線Ｌ１を一部として含み、断面Ｆ２は輝線Ｌ２を一部として含み、断面Ｆ３は輝線Ｌ３を一部として含み、断面Ｆ４は輝線Ｌ４を一部として含む。

[0063] 取得部１５３は、取得した断面Ｆ１～Ｆ４に基づいて、管体９の外径を取得してもよい。具体的には、取得部１５３は、断面形状である楕円の短径（短軸方向の直径）を取得し、取得した短径を管体９の外径（直径）として設定する。楕円の短径を管体９の外径とする理由は、本来、管体９を軸方向と直交する面で切断した場合には、楕円の短径と同じ大きさの直径の真円となるからである。なお、取得部１５３は、４つの断面Ｆ１～Ｆ４の各々の楕円の短径の平均値を、管体９の外径としてもよい。これにより、精度良く管体９の外径を取得できる。

[0064] 取得部１５３は、取得した４つの断面Ｆ１～Ｆ４に基づいて、管体９の中心線を取得してもよい。具体的には、取得部１５３は、図１０に示すように４つの断面Ｆ１～Ｆ４の中心を通る直線Ｃを、管体９の中心線として取得する。このように中心線及び断面形状を取得することで、管体９の三次元形状を特定しやすくなる。

[0065] （変形例）

上記では、取得部１５３は、断面形状が楕円である場合に、楕円の短径を管体９の外径として設定することとしたが、これに限定されない。例えば、取得部１５３は、断面形状である楕円上の点から、管体９の中心線に下ろした垂線の大きさに基づいて、管体９の外径を設定してもよい。

[0066] 図１１は、管体９の外径取得方法の第１変形例を説明するための図である。図１１Ａでは、説明の便宜上、輝線Ｌ１、Ｌ２から取得された管体９の２つの断面Ｆ１、Ｆ２のみを示している。ここでは、断面Ｆ１を用いて管体９の外径を取得する方法を説明する。取得部１５３は、断面Ｆ１の形状である楕円上の点から中心線Ｃに向かって複数の垂線Ｈを形成し、複数の垂線Ｈの大きさの平均値を管体９の外径として設定する。

なお、取得部１５３は、断面Ｆ１の形状である楕円の代わりに、輝線Ｌ１の点から中心線Ｃに向かって複数の垂線Ｈを形成し、複数の垂線Ｈの大きさの平均値を管体９の外径として設定してもよい。

[0067] 図１２Ａは、管体９の中心線の方向ベクトル取得方法を説明するための図である。取得部１５３は、４つの輝線Ｌ１～Ｌ４上で空間内に設定した任意の平面に最も近い点Ｇ１～Ｇ４を通過する直線Ｄを特定する。この直線Ｄは、管体９の中心線Ｃと平行な線で管の中心軸の方向ベクトルとして定義される。

[0068] 図１２Ｂは、管体９の中心線の方向ベクトルの取得方法の変形例を説明するための図である。図１２Ｂでは、説明の便宜上、３つの断面Ｆ１～Ｆ３を示している。中心線の方向ベクトルの取得は、以下のように行われる。

まず、スリットレーザ輝線上にある断面Ｆ１上の一点Ｊを特定する。次に、断面Ｆ１上の点Ｊと、断面Ｆ２上の点とを結ぶ直線を特定する。例えば、点Ｊと、断面Ｆ２上の点K_3とを通る直線Ｄ３を特定する。同様にして、点Ｊと、断面Ｆ２上の他の点（一例として、点K_1、K_2）とを通る直線Ｄ１、Ｄ２を特定する。そして、直線Ｄ１～Ｄ３と断面Ｆ３との間の距離ｄを求め、断面Ｆ３との間での距離ｄが最も小さい直線を求める。図１２では、直線Ｄ１と断面Ｆ３との距離が０となっており、直線Ｄ１は３つの断面Ｆ１～Ｆ３

を通る直線である。このように求めた直線Ｄ１が、管体９の中心線の方向ベクトルとなる。

[0069] また、上記では、図３に示すようにスリット光照射装置２及びドット光照射装置３をスリット方向（Ｚ方向）に沿って設けていることとしたが、これに限定されない。例えば、図１３に示すように、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３が、スリットに対して垂直な方向（Ｘ方向）に沿って設けられていることとしてもよい。

[0070] 図１３は、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３の構成の変形例を説明するための模式図である。変形例においては、ドット光照射装置３が、スリットに対して垂直にスリット光照射装置２から所定距離だけ離れて位置している。

[0071] ところで、図１３に示すように、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３をスリットに対して垂直に離れて配置した場合には、図１４に示すように、管体９の表面に現れる輝線と輝点の位置がずれることになる。

[0072] 図１４は、スリットに対して垂直な方向における輝線Ｌ１～Ｌ４と輝点Ｄのずれを説明するための模式図である。図１４と図４（ｃ）を対比すると分かるように、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３をスリットに対して垂直に離れて配置した場合には、輝線Ｌ１～Ｌ４と輝点Ｄとが、スリット光照射装置２とドット光照射装置３の間の距離分だけずれてしまう。この場合、特定部１５２は、ずれた関係にある輝線Ｌ１～Ｌ４と輝点Ｄとを含む撮像画像と、基準画像との対比を正確に行えない恐れがある。そこで、かかる問題を解消するために、図１５に示すような光反射手段７０を設けることが望ましい。

[0073] 図１５は、光反射手段７０の構成の一例を説明するための模式図である。図１５では、スリット光照射装置２が照射したスリットレーザ光の光路と、ドット光照射装置３が照射したドットレーザ光の光路とが、破線で示されている。光反射手段７０は、スリットに対して垂直な方向におけるスリットレーザ光の管体９上の照射位置と、ドットレーザ光の管体９上の照射位置とを

調整する機能を有する。

[0074] 図１５に示すように、光反射手段７０は、ミラー７１と、ビームスプリッター７２とを有する。ミラー７１は、ドット光照射装置３の前方に位置している。ミラー７１は、ドット光照射装置３が照射したドットレーザ光をビームスプリッター７２に向けて反射させる。ビームスプリッター７２は、スリット光照射装置２の前方に位置している。ビームスプリッター７２は、スリットレーザ光を透過させる一方で、ドットレーザ光を反射させるハーフミラーである。

[0075] なお、図１５では、説明の便宜上、ビームスプリッター７２を透過したスリットレーザ光の光軸と、ビームスプリッター７２で反射したドットレーザ光の光軸とが、スリットに対して垂直な方向（Ｘ方向）において離れているように示されている。しかし、実際には、スリットレーザ光の光軸とドットレーザ光の光軸がスリットに対して垂直な方向において重なるように、ミラー７１及びビームスプリッター７２が配置されている。これにより、図１３に示すようにスリット光照射装置２及びドット光照射装置３を配置した場合でも、スリットに対して垂直な方向における輝線と輝点のずれを解消することが可能となる。

[0076] ＜３．輝線の三次元座標の取得処理＞

図１６を参照しながら、制御装置１（図１）による被測定物である管体９上の輝線（ここでは、図５に示す輝線Ｌ１～Ｌ４）の三次元座標の取得処理について説明する。輝線の三次元座標の取得処理は、制御装置１の制御部１５が記憶部１４に記憶されたプログラムを実行することで実現される。

[0077] 図１６は、管体９上の輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標の取得処理を説明するためのフローチャートである。本フローチャートは、作業者が、スリット光照射装置２、ドット光照射装置３、撮像装置４及び管体９を、測定用の位置にそれぞれセットしたところから開始される。

[0078] まず、制御部１５の照射制御部１５１は、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３を動作させて、管体９にスリットレーザ光２３ａ～２３ｄ及

びドットレーザ光を照射させる（ステップＳ１０２）。具体的には、照射制御部１５１は、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄ及びドットレーザ光を同時に管体９に照射させる。これにより、管体９の表面に４つの輝線Ｌ１～Ｌ４とランダムな複数の輝点Ｄが現れる。

[0079] 次に、制御部１５は、撮像装置４を動作させて、表面に４つの輝線Ｌ１～Ｌ４とランダムな複数の輝点Ｄが現れた管体９を撮像する（ステップＳ１０４）。そして、撮像装置４は、例えば図５に示すような輝線Ｌ１～Ｌ４及び複数の輝点Ｄを含む撮像画像を生成し、撮像画像を制御部１５に送信する。

[0080] 次に、制御部１５の特定部１５２は、撮像画像から輝線Ｌ１～Ｌ４を抽出する（ステップＳ１０６）。例えば、特定部１５２は、公知のメディアンフィルタ等を利用して、撮像画像から輝線Ｌ１～Ｌ４を抽出する。

[0081] 次に、特定部１５２は、抽出した輝線Ｌ１～Ｌ４の座標（ｕ、ｖ）を算出する（ステップＳ１０８）。具体的には、特定部１５２は、抽出した輝線Ｌ１～Ｌ４を細線化処理した後に、輝線Ｌ１～Ｌ４の座標（ｕ、ｖ）を算出する。抽出した輝線Ｌ１～Ｌ４を細線化処理することにより、撮像画像と基準画像とを対比する場合に、計算量を低減することができる。なお、特定部１５２は、細線化処理をせずに、輝線Ｌ１～Ｌ４の座標（ｕ、ｖ）を算出してもよい。

[0082] 次に、特定部１５２は、輝線（ここでは、図７Ａに示す輝線Ｌ３を例に挙げて説明する）上の一点Ａ（ｕ、ｖ）を含む単位領域の画像（以下、周辺画像とも呼ぶ）を抽出する（ステップＳ１１０）。この際、特定部１５２は、輝線Ｌ１～Ｌ４を消去して、輝点Ｄが点在する周辺画像を抽出してもよい。輝線Ｌ１～Ｌ４の消去は、例えば、ステップＳ１０４で生成される撮像画像から、ステップＳ１０６で抽出した輝線Ｌ１～Ｌ４を削除することで、実現される。

[0083] 次に、特定部１５２は、記憶部１４に記憶された基準画像において、周辺画像の輝点Ｄの点在パターンと同じパターンの単位領域（基準側単位領域）を探索する（ステップＳ１１２）。例えば、特定部１５２は、図８や図９で

説明した探索方法で、輝線Ｍ１～Ｍ４上の点を含む基準側単位領域を探索する。

[0084] そして、基準画像中で同じパターンを含む基準側単位領域が有る場合には（ステップＳ１１４：Ｙｅｓ）、特定部１５２は、輝線Ｌ３に対応するスリットレーザ光がスリットレーザ光２３ｃであると特定する（ステップＳ１１６）。

[0085] なお、ステップＳ１１４で同じパターンが見つからない場合には、特定部１５２は、輝線Ｌ３上の次の点の周辺の周辺画像を抽出し（ステップＳ１２０）、当該周辺画像の輝点Ｄの点在パターンと同じパターンを探索する（ステップＳ１１２）。

[0086] 輝線Ｌ１～Ｌ４に対応するスリットレーザ光が特定されると、取得部１５３は、４つの輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標と、特定部１５２が特定した輝線Ｌ１～Ｌ４とスリットレーザ光２３ａ～２３ｄとの対応関係とに基づいて、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を求める（ステップＳ１１８）。そして、取得部１５３は、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標に基づいて管体９の断面形状や中心線等を求めて、管体９の形状を取得する。

[0087] ＜４．キャリブレーション＞

計測システムＳは、上述した管体９上の輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標の取得を精度良く行うために、予めスリット光照射装置２及び撮像装置４のパラメータのキャリブレーション（較正）を行っている。キャリブレーションは、例えばスリット光照射装置２や撮像装置４を変更したり被測定物が変わったりした場合等に、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標の取得処理前に行われる。

[0088] 図１７は、スリット光照射装置２及び撮像装置４のキャリブレーション方法を説明するためのフローチャートである。図１７に示すフローチャートは、図１８に示すキャリブレーション用ブロック９１を、例えば図２に示す管体９の位置にセットしたところから開始される。

[0089] 図１８は、キャリブレーション用ブロック９１を説明するための模式図である。図１９は、直方体形状のキャリブレーション用ブロック９１の前面を

示す模式図である。図１９に示すように、キャリブレーション用ブロック９１は、方眼紙が貼り付けられた目盛り部９２と、図形や貼り付けられたマーカー部９３と、を含む。

[0090] 目盛り部９２は、スリット光照射装置２がスリットレーザ光をキャリブレーション用ブロック９１に照射した際に、キャリブレーション用ブロック９１の前面に現れる輝線の実際の三次元座標を測定するためのものである。目盛り部９２は、キャリブレーション用ブロック９１の上面や下面等にも貼り付けられている。輝線の実際の三次元座標は、例えば作業者によって計測される。マーカー部９３は、撮像装置４がキャリブレーション用ブロック９１を撮像した際に、キャリブレーション用ブロック９１における基準位置を特定するためのものである。

[0091] 図１７に戻り、まず、スリット光照射装置２が、キャリブレーション用ブロック９１にスリットレーザ光を照射する（ステップＳ２０２）。これにより、キャリブレーション用ブロック９１に輝線が現れる。次に、撮像装置４によって、輝線が現れたキャリブレーション用ブロック９１を撮像する（ステップＳ２０４）。これにより、輝線を含む撮像画像が生成される。

[0092] 次に、撮像装置４が生成した撮像画像における輝線の二次元座標と、作業者が実際に計測した輝線の実際の三次元座標とを比較して、撮像装置４のパラメータ及びスリット光照射装置２のパラメータを算出する（ステップＳ２０６、Ｓ２０８）。撮像装置４のパラメータは、撮像画像における二次元座標を三次元座標に変換するための定数である。撮像装置４のパラメータにより、撮像装置から輝線への視線ベクトルが定義される。スリット光照射装置２のパラメータは、各スリットレーザの平面を定義する定数である。これらのパラメータは、例えば前述した書籍「三次元画像計測」（井口征士、佐藤宏介著）の式（４．１８）に適用されるパラメータである。具体的には、撮像装置４のパラメータは、上記書籍の式（４．２１）から求められ、スリット光照射装置２のパラメータは、書籍の式（４．２４）から求められる。

[0093] また、レーザ輝線上の点の三次元座標は、カメラの焦点から輝線上の各点

への視線ベクトルとスリットレーザ平面の交点を算出することで取得できる。例えば、求めた撮像装置４のパラメータ及びスリット光照射装置２のパラメータを、書籍の式（４．１８）に適用する（ステップＳ２１０）。輝線の三次元座標の取得処理の際にパラメータが適用された式（４．１８）を用いることで、撮像画像中の輝線の三次元座標を高精度に取得できるようになる。

[0094] なお、上記では、スリット光照射装置２及び撮像装置４についてキャリブレーションを行うこととしたが、これに限定されず、例えばドット光照射装置３についてもキャリブレーションを行ってもよい。

[0095] ＜５．本実施形態における効果＞

上述した計測システムＳは、スリット光照射装置２が複数のスリットレーザ光２３ａ～２３ｄを被測定物である管体９に照射する際に、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄの各々と所定の位置関係を有するドット状の複数のドットレーザ光を、管体９に照射するドット光照射装置３を有する。そして、計測システムＳは、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄによる輝線Ｌ１～Ｌ４及びドットレーザ光による輝点Ｄが現れた管体９を撮像装置４が撮像した撮像画像と、輝線及び輝点の予め定まった位置関係を示す基準画像とを対比して、撮像画像の輝線Ｌ１～Ｌ４とスリットレーザ光２３ａ～２３ｄとの対応関係を特定する。さらに、計測システムＳは、撮像画像における輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標と、特定した対応関係とに基づいて、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を取得する。

[0096] 上記のように、輝線Ｌ１～Ｌ４に対して輝点Ｄがランダムに点在するようにドットレーザ光を照射することで、撮像画像中の輝線Ｌ１～Ｌ４の各々が、スリットレーザ光２３ａ～２３ｄのいずれによって現れたかを特定しやすくなる。これにより、輝線Ｌ１～Ｌ４の基になったスリットレーザ光２３ａ～２３ｄの照射方向（照射角度）も求まるので、求まった照射方向と輝線Ｌ１～Ｌ４の二次元座標とによって輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を取得できる。この結果、本実施形態によれば、複数のスリットレーザ光２３ａ～２３ｄ

を同時に管体９に照射した場合でも、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を高精度に取得可能となる。特に、撮像画像中に、輝線Ｌ１～Ｌ４に加えて、管体９以外の部分に現れる他の輝線（輝線Ｌ１～Ｌ４とずれて現れる）も含まれる場合に、より効果的である。

[0097] また、上記のように取得された輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標を用いることで、管体９の形状を精度良く把握できる。すなわち、輝線Ｌ１～Ｌ４の三次元座標によって、管体９の輝線Ｌ１～Ｌ４の各々を含む断面形状、外径、中心線を求めることができるので、管体９の詳細な形状を取得できる。

[0098] また、求まった管体９の中心線をアイソメトリック図に適用することで、管体９の全体形状を把握しやすくなる。さらに、求まった管体９の中心線及び外径を用いることで、ＣＡＤ化することが可能となる。

[0099] また、上記では、被測定物として管体９にスリットレーザ光を照射することとしたが、これに限定されない。例えば、スリット光照射装置２は、生体など任意形状の被測定物にスリットレーザ光を照射することとしてもよい。また、スリット光照射装置２が照射するスリットレーザ光の数は、図２に示すような４つに限定されず、例えば３つ以下や５つ以上であってもよい。

[0100] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更又は改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。そのような変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。例えば、上記の説明においては、スリット光照射装置２とドット光照射装置３とが異なる装置であるものとして説明したが、これに限らず、スリット光照射装置２とドット光照射装置３とが一体化した装置であってもよい。

[0101] また、スリット光照射装置２及びドット光照射装置３を用いる代わりに、パーソナルコンピュータにおいて縦縞のラインとランダムドットとを含む画面を生成し、生成した画面をプロジェクターで投光することで、プロジェクターを用いてスリット光照射装置２及びドット光照射装置３と同様な機能を

実現してもよい。

[0102] また、上記の実施形態では、撮像手段として撮像装置４を用いる例について説明したが、撮像手段として、複数の撮像装置を用いてもよい。

符号の説明

[0103] １ 制御装置

２ スリット光照射装置

３ ドット光照射装置

４ 撮像装置

９ 管体

７０ 光反射手段

１５１ 照射制御部

１５２ 特定部

１５３ 取得部

Ｄ 輝点

Ｌ１～Ｌ４ 輝線

Ｓ 計測システム

請求の範囲

[請求項1] 被測定物にスリット状の複数のスリット光を照射する第１照射手段と、

前記第１照射手段が前記複数のスリット光を前記被測定物に照射する際に、前記複数のスリット光の各々と所定の位置関係を有するドット状の複数のドット光を、前記被測定物に照射する第２照射手段と、

前記複数のスリット光が照射されることで前記被測定物の表面に現れる複数の輝線と、前記複数のドット光が照射されることで前記表面に現れる複数の輝点とを撮像して、撮像画像を生成する撮像手段と、

前記撮像画像と、前記複数の輝線及び輝点の予め定まった位置関係を示す基準画像とを対比して、前記撮像画像の前記複数の輝線と前記複数のスリット光との対応関係を特定する特定手段と、

前記撮像画像における前記複数の輝線の二次元座標と、前記特定手段が特定した前記対応関係とに基づいて、前記複数の輝線の三次元座標を取得する取得手段と、

を備える、計測システム。

[請求項2] 前記第１照射手段及び前記第２照射手段は、前記スリット光を照射するスリットの長手方向であるスリット方向の同一直線上に位置する、

請求項１に記載の計測システム。

[請求項3] 前記第１照射手段及び前記第２照射手段は、前記スリット方向以外の方向に所定距離だけ離れて位置し、

前記スリット光の前記被測定物への照射位置と、前記ドット光の前記被測定物への照射位置とを調整するための光反射手段を更に備える、

請求項１に記載の計測システム。

[請求項4] 前記複数のスリット光の前記被測定物への照射方向は、互いに交差する方向であり、

前記特定手段は、前記複数の輝線の各々に対応する前記スリット光の照射方向を特定する、

請求項１から３のいずれか１項に記載の計測システム。

[請求項5] 前記第２照射手段は、前記複数の輝線の各々に対して輝点の隣接状態が異なるように、前記複数のドット光を照射する、

請求項１から４のいずれか１項に記載の計測システム。

[請求項6] 前記特定手段は、前記撮像画像の前記輝線上の一点及び前記一点の周囲を含む単位領域を抽出し、前記基準画像の前記単位領域との相関度合いを判定する、

請求項５に記載の計測システム。

[請求項7] 前記被測定物は、管状体であり、

前記撮像手段は、前記第１照射手段の照射方向と交差する視線方向から、前記管状体の表面に現れる前記複数の輝線及び輝点を撮像する、

請求項１から６のいずれか１項に記載の計測システム。

[請求項8] 前記取得手段は、円弧形状の前記輝線が一部を成す前記管状体の断面形状の三次元座標を取得する、

請求項７に記載の計測システム。

[請求項9] 前記断面形状は、楕円形状であり、

前記取得手段は、前記断面形状の楕円の短径を取得し、前記短径を前記管状体の外径と設定する、

請求項８に記載の計測システム。

[請求項10] 前記取得手段は、前記複数の輝線の各々が一部を成す前記管状体の複数の断面形状に基づいて、前記管状体の中心線を取得する、

請求項８又は９に記載の計測システム。

[請求項11] 前記取得手段は、前記複数の輝線上の点の三次元座標に基づいて、前記管状体の中心線の方向ベクトルを取得する、

請求項８から１０のいずれか１項に記載の計測システム。

[請求項12] 被測定物にスリット状の複数のスリット光を照射するステップと、

前記複数のスリット光を前記被測定物に照射する際に、前記複数のスリット光の各々と所定の位置関係を有するドット状の複数のドット光を、前記被測定物に照射するステップと、

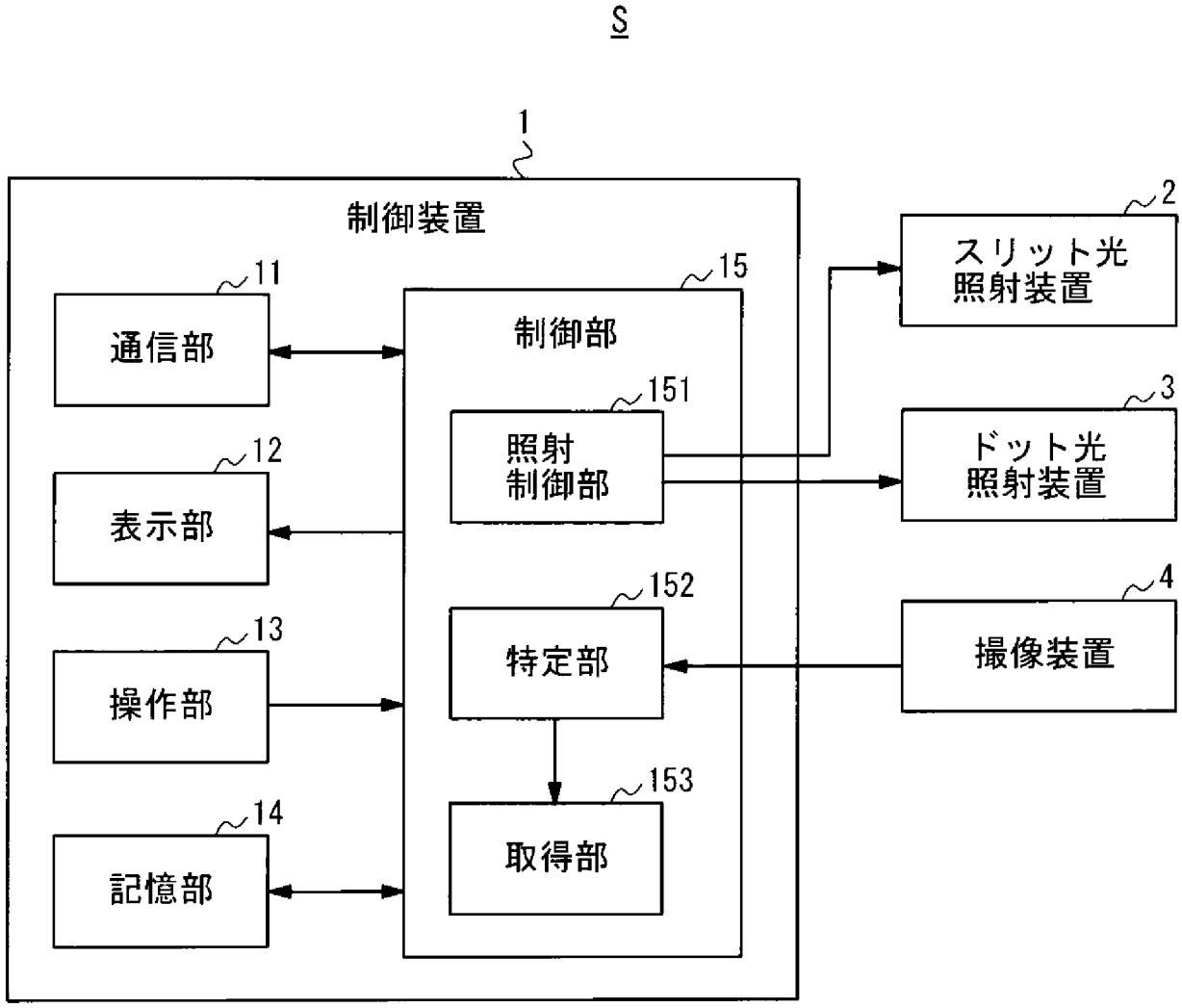
前記複数のスリット光が照射されることで前記被測定物の表面に現れる複数の輝線と、前記複数のドット光が照射されることで前記表面に現れる複数の輝点とを撮像して、撮像画像を生成するステップと、

前記撮像画像と、前記複数の輝線及び輝点の予め定まった位置関係を示す基準画像とを対比して、前記撮像画像の前記複数の輝線と前記複数のスリット光との対応関係を特定するステップと、

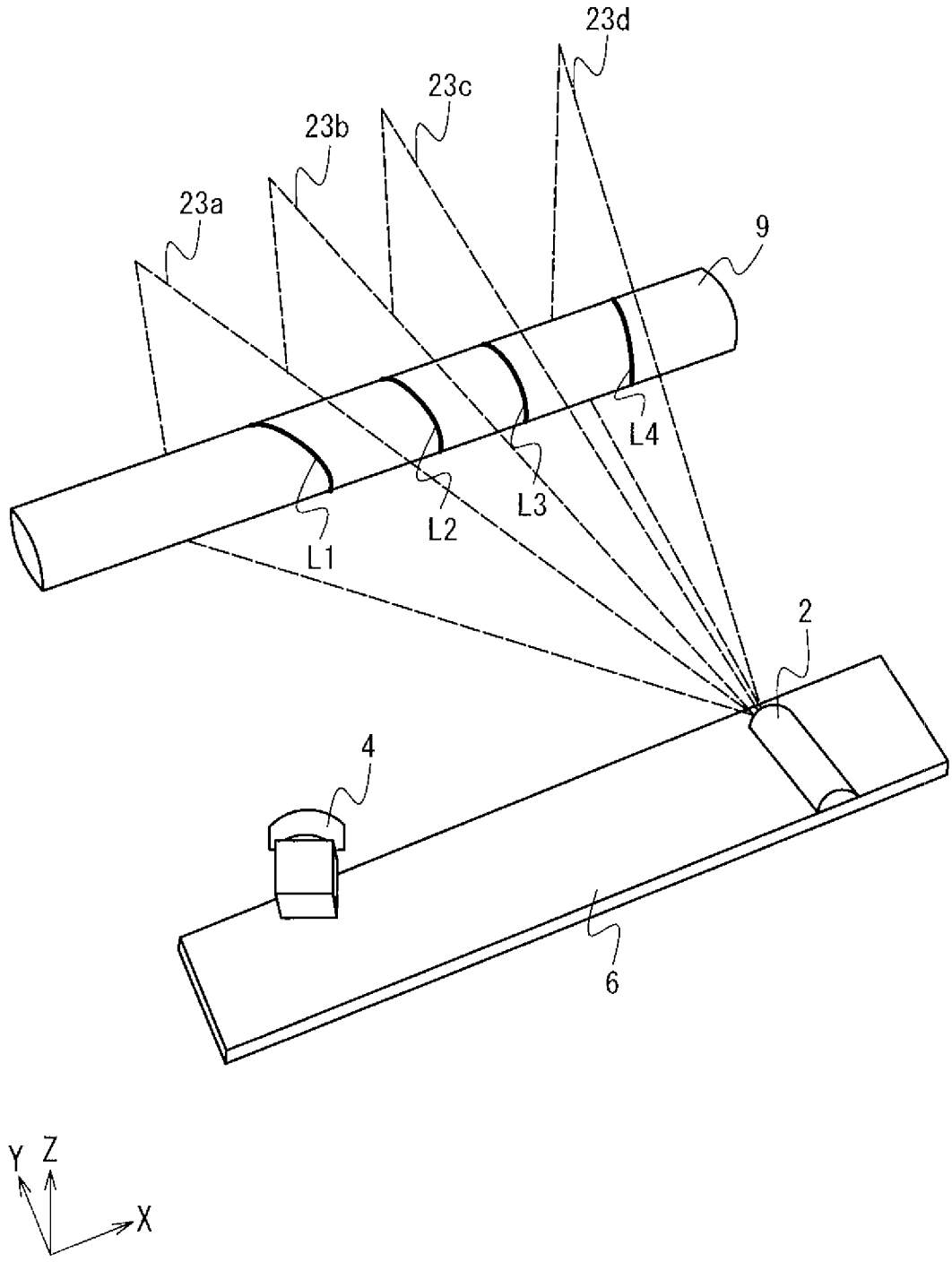
前記撮像画像における前記複数の輝線の二次元座標と、特定した前記対応関係とに基づいて、前記複数の輝線の三次元座標を取得するステップと、

を有する、計測方法。

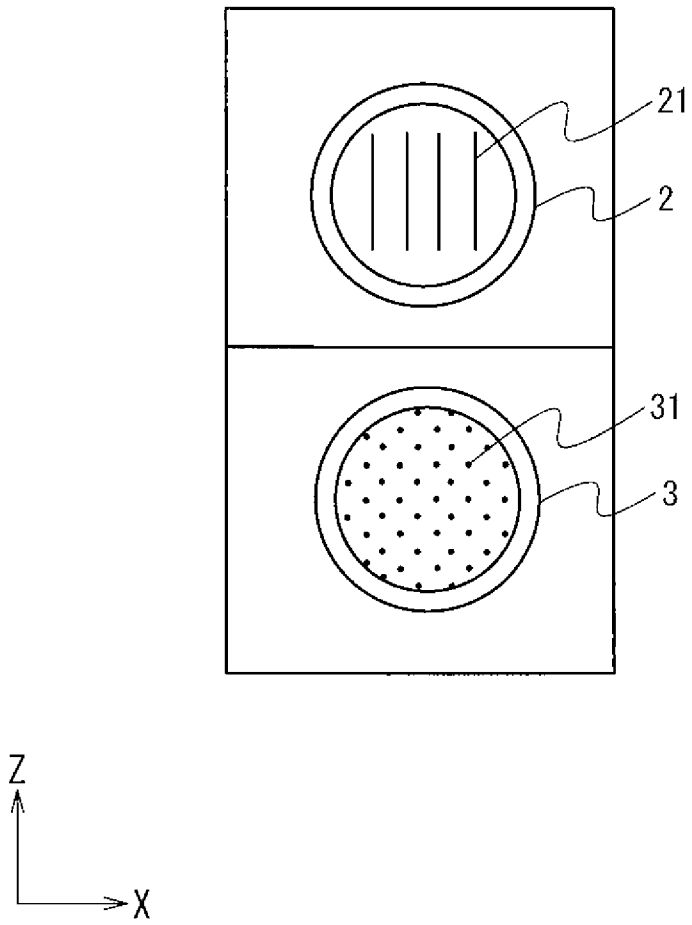
[図1]


S
1
制御装置
11
通信部
12
表示部
13
操作部
14
記憶部
15
制御部
151
照射
制御部
152
特定部
153
取得部
2
スリット光
照射装置
3
ドット光
照射装置
4
撮像装置

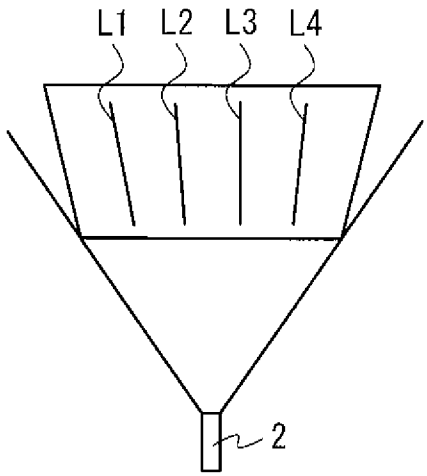
[図2]



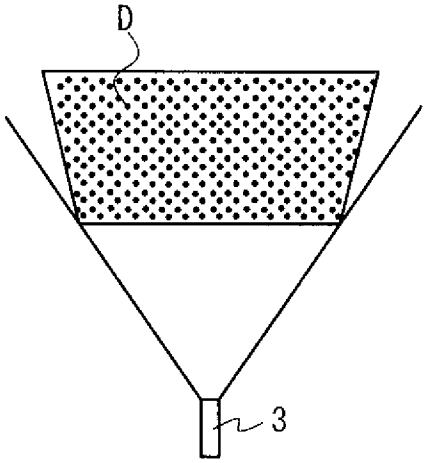
[図3]



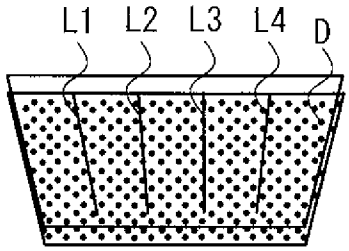
[図4]



(a)

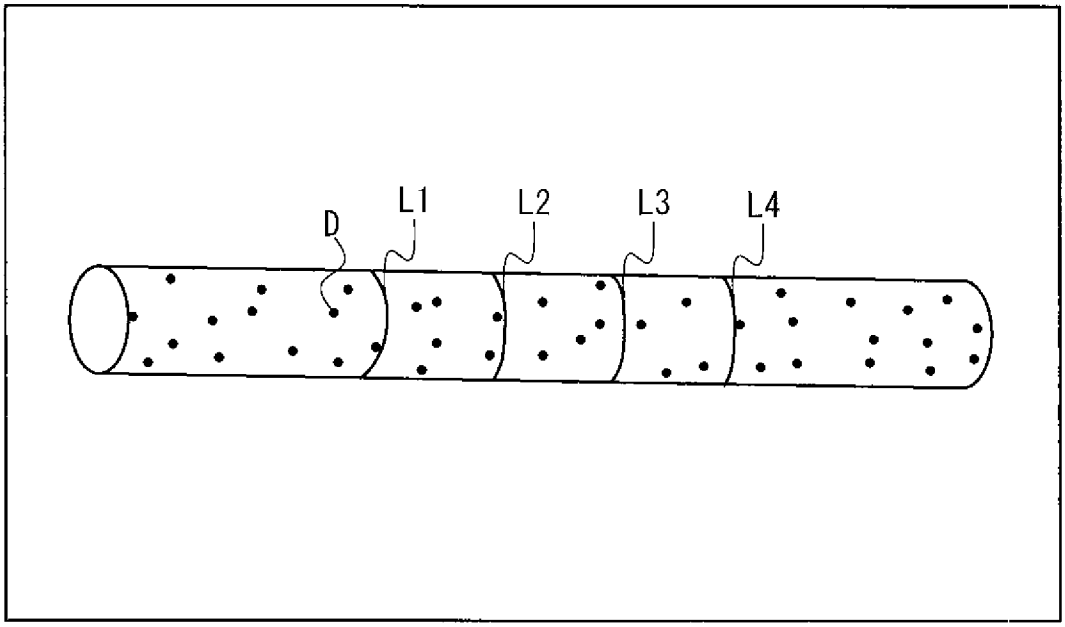


(b)

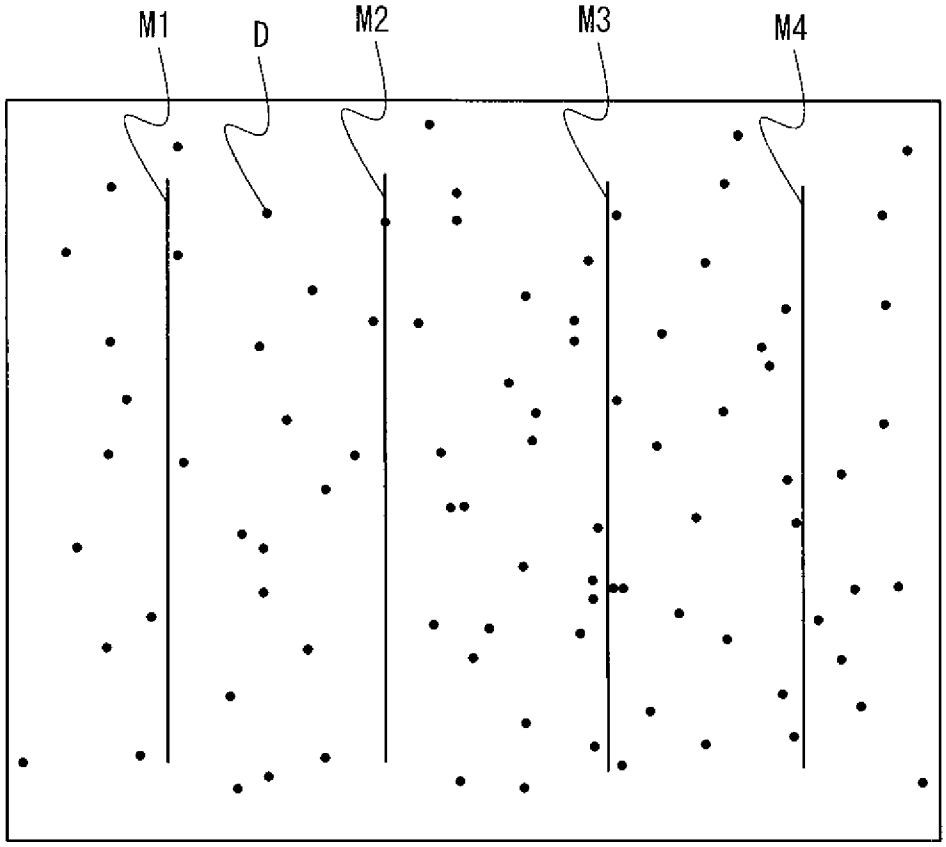


(c)

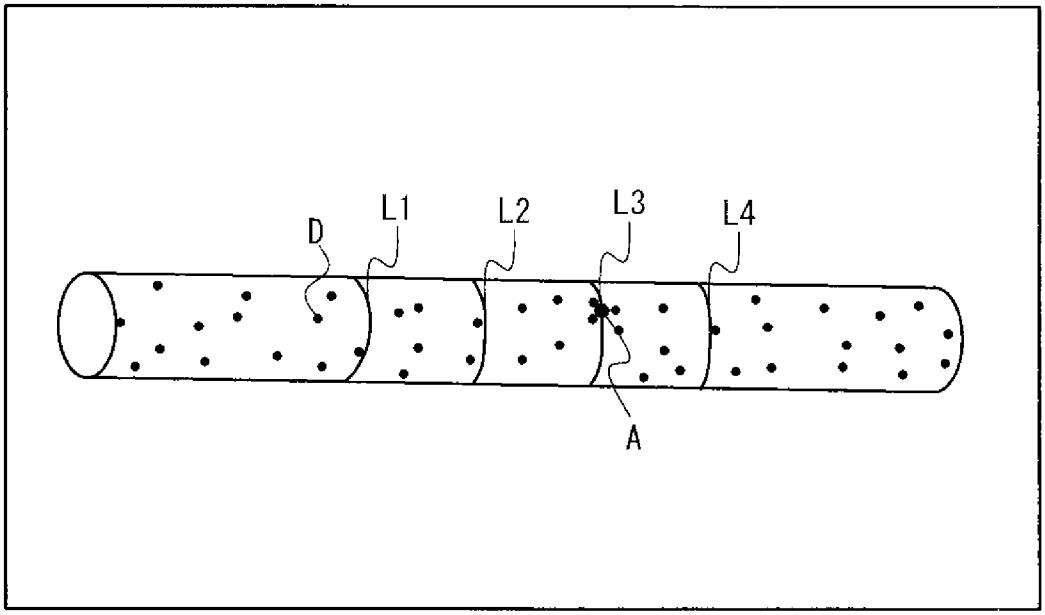
[図5]



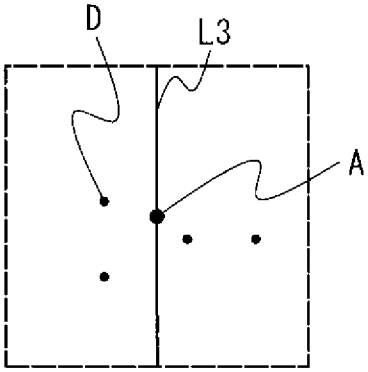
[図6]



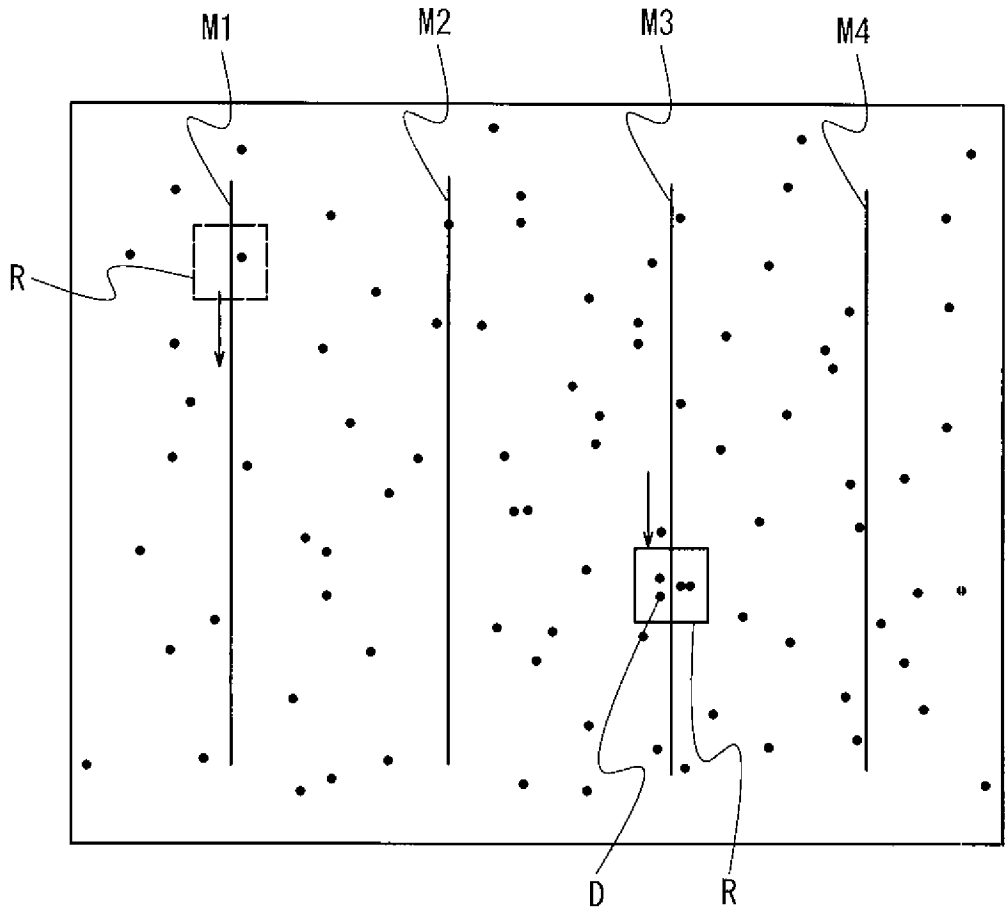
[図7A]



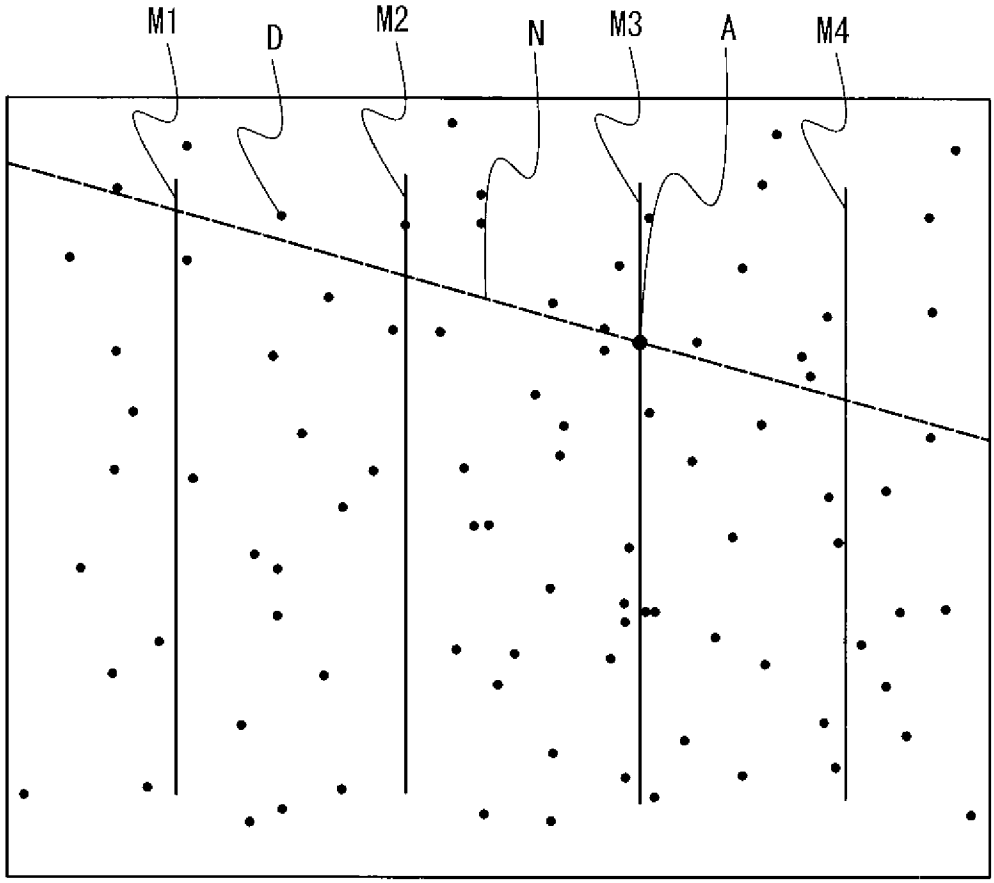
[図7B]



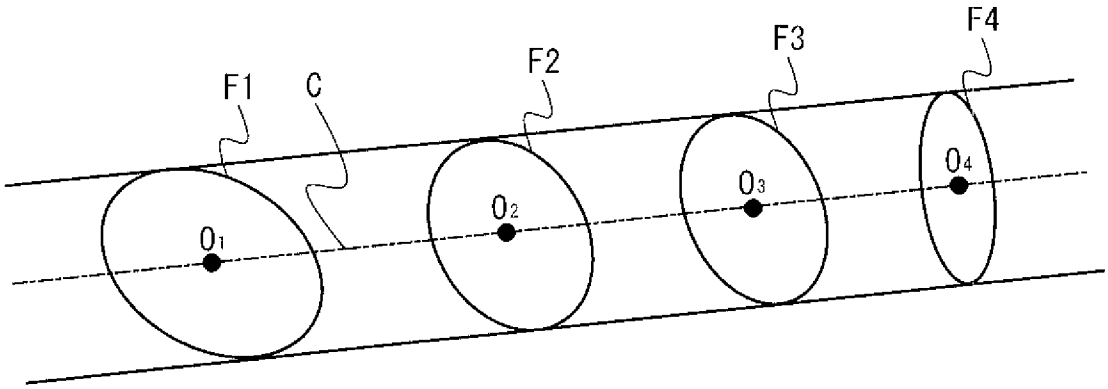
[図8]



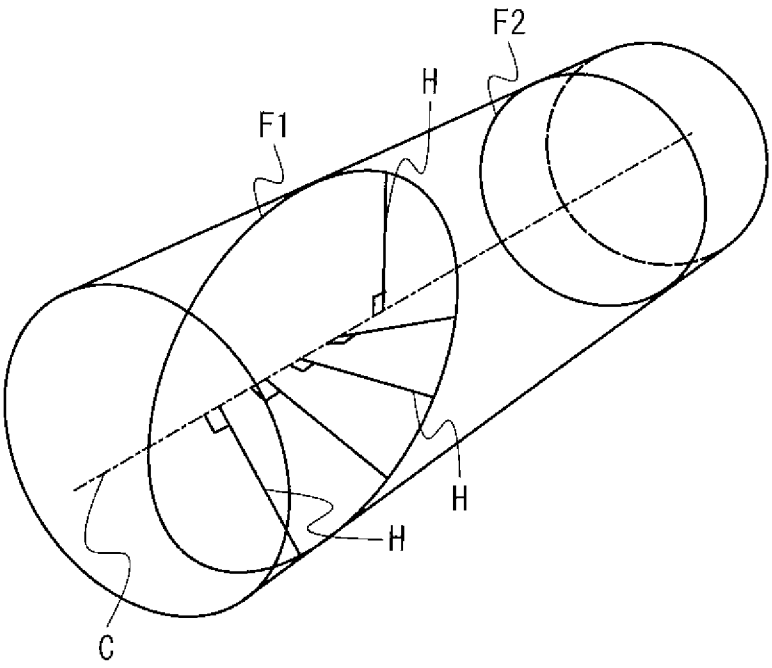
[図9]



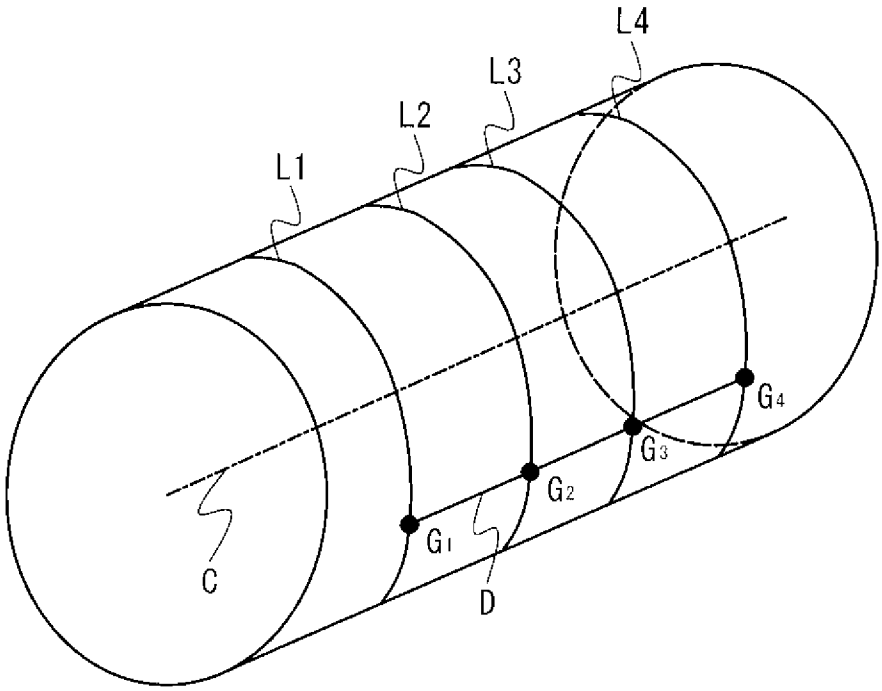
[図10]



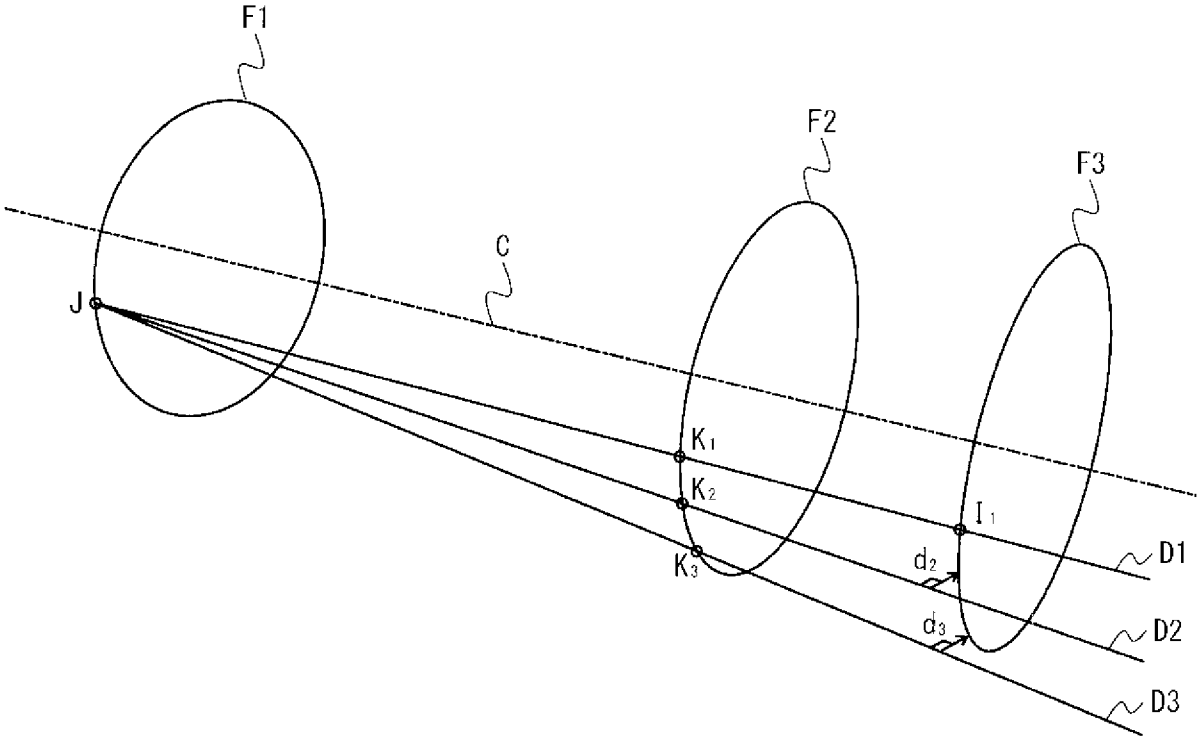
[図11]



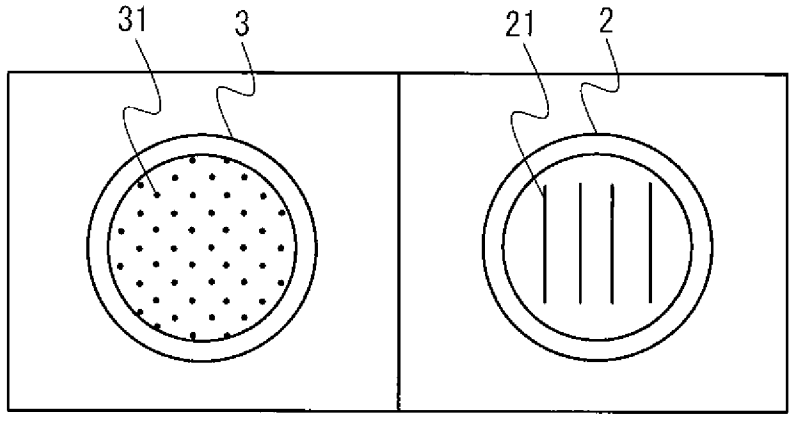
[図12A]

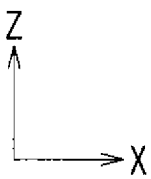


[図12B]

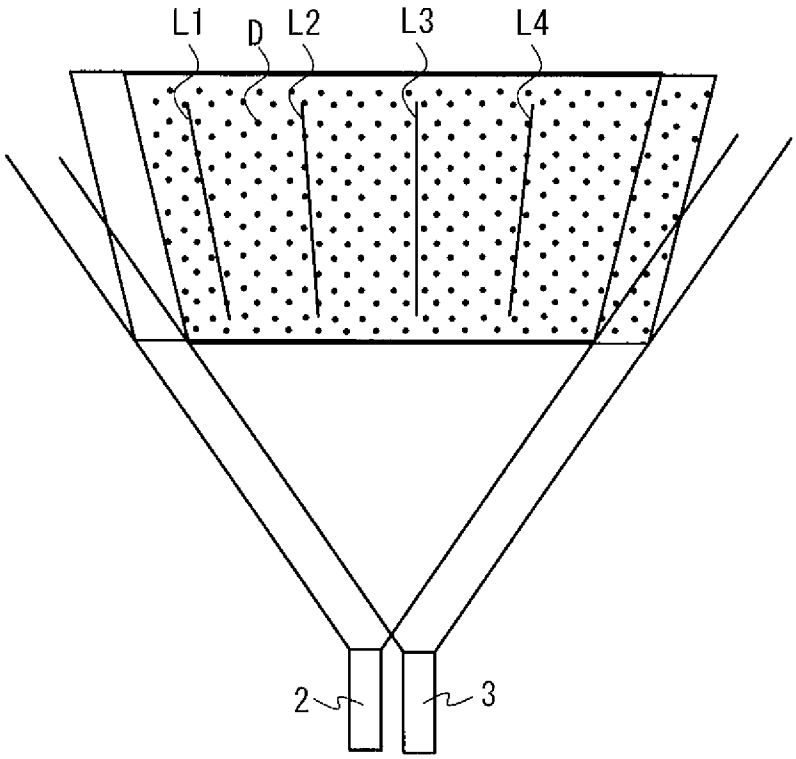


[図13]

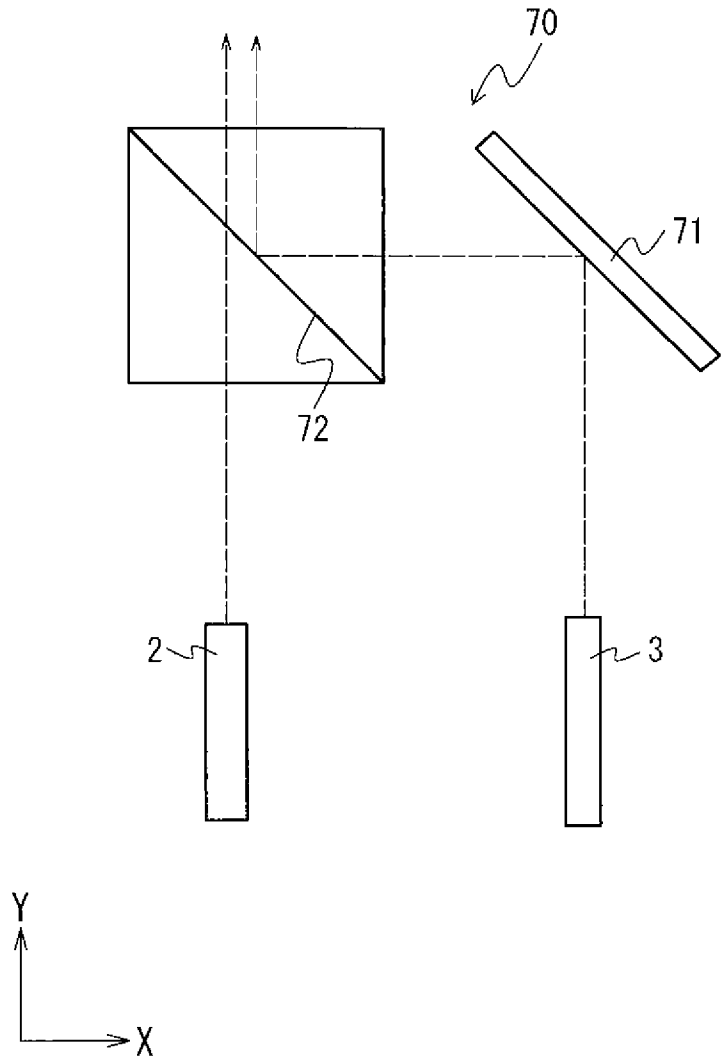




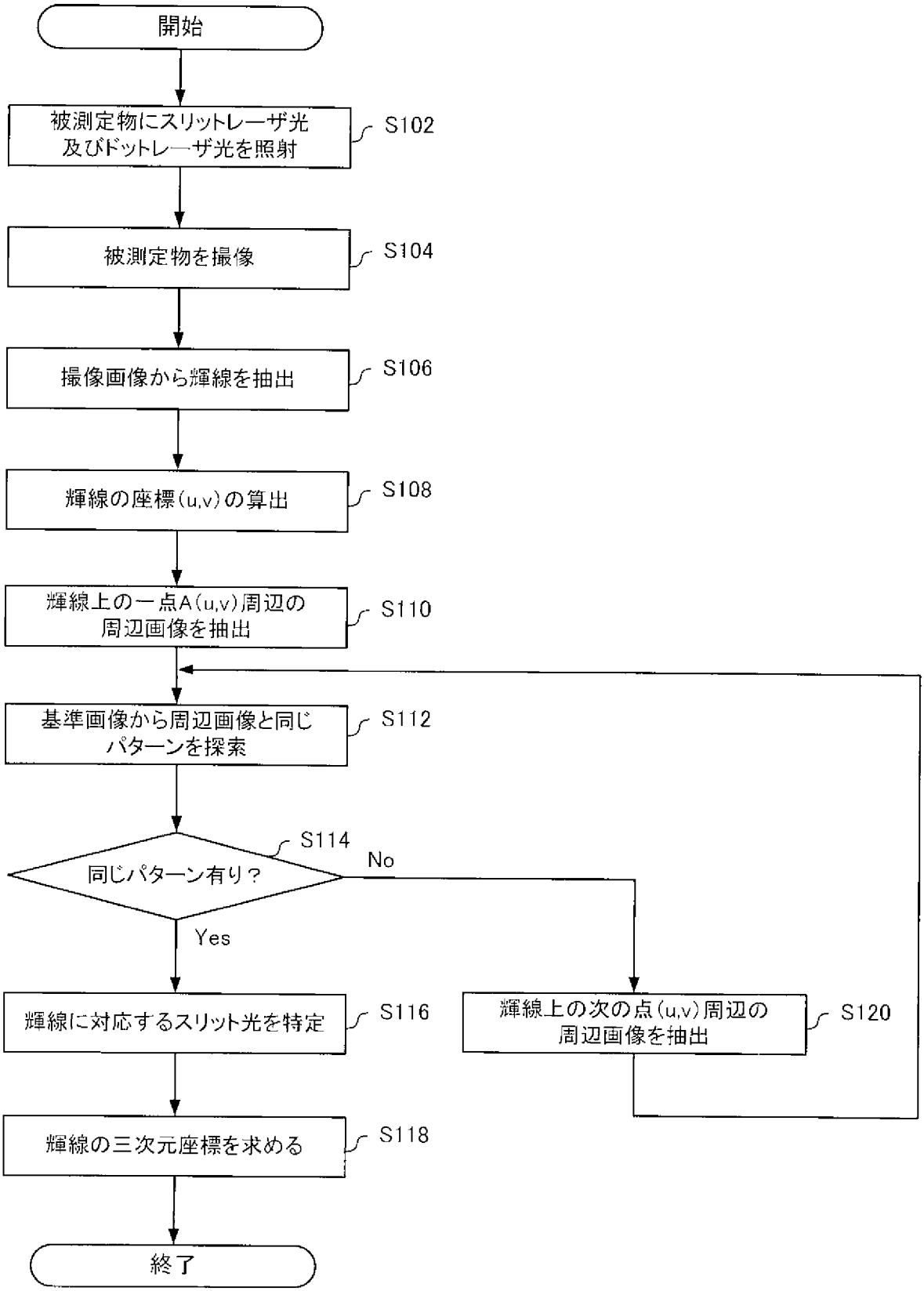
[図14]



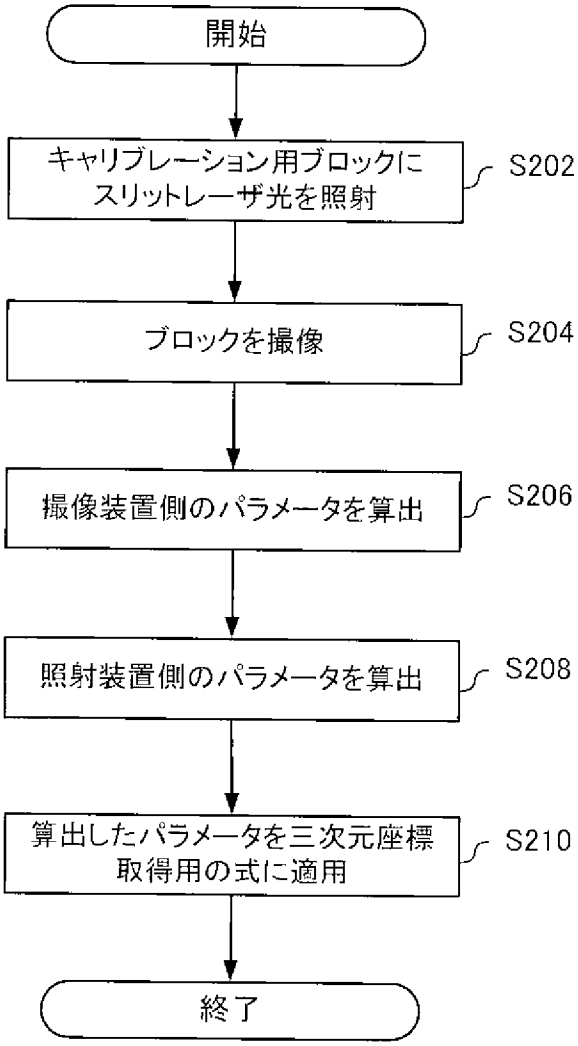
[図15]



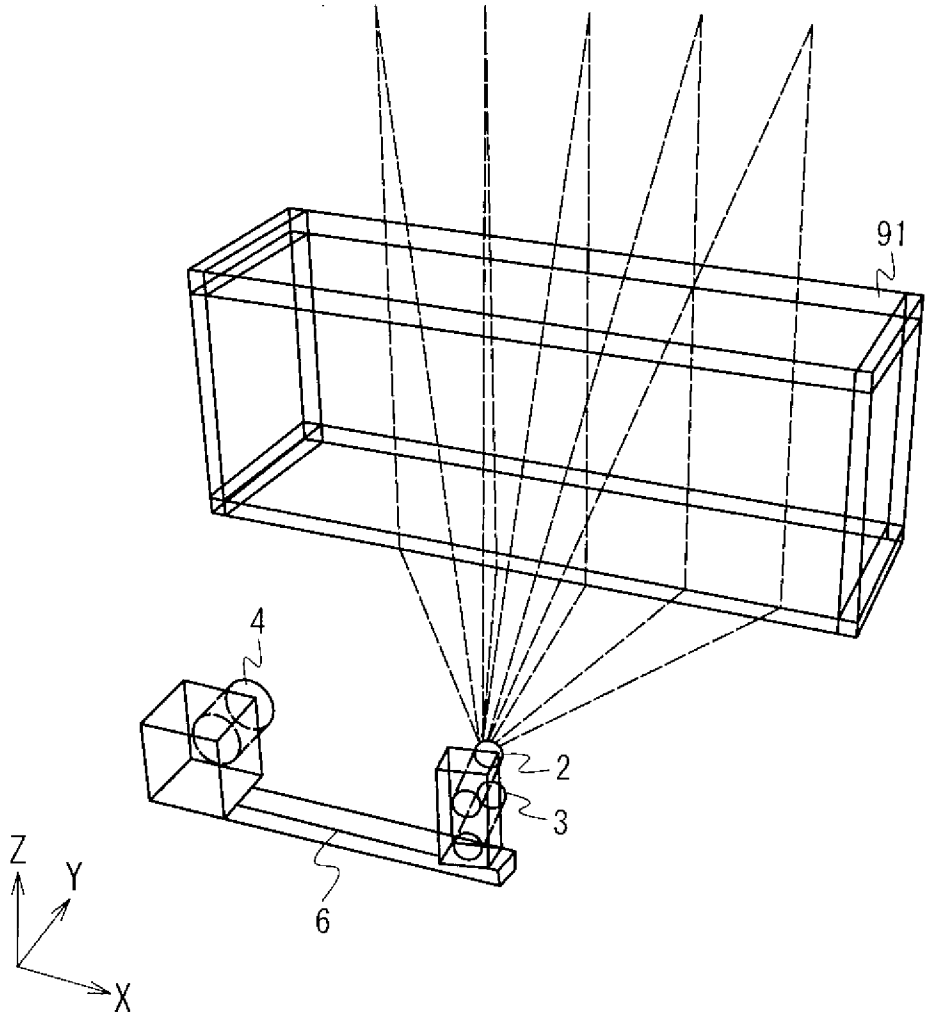
[図16]


開始
被測定物にスリットレーザ光及びドットレーザ光を照射
S102
被測定物を撮像
S104
撮像画像から輝線を抽出
S106
輝線の座標(u,v)の算出
S108
輝線上の一点A(u,v)周辺の周辺画像を抽出
S110
基準画像から周辺画像と同じパターンを探索
S112
同じパターン有り？
S114
No
Yes
輝線に対応するスリット光を特定
S116
輝線上の次の点(u,v)周辺の周辺画像を抽出
S120
輝線の三次元座標を求める
S118
終了

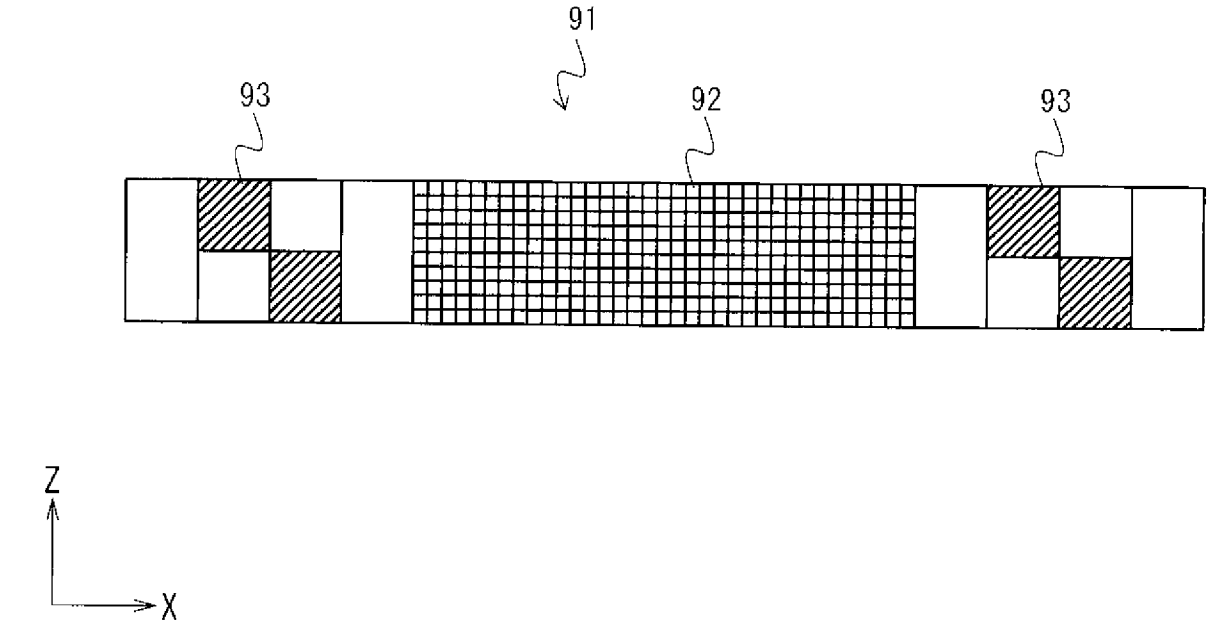
[図17]


開始
キャリブレーション用ブロックにスリットレーザ光を照射
S202
ブロックを撮像
S204
撮像装置側のパラメータを算出
S206
照射装置側のパラメータを算出
S208
算出したパラメータを三次元座標取得用の式に適用
S210
終了

[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/069197

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01B11/25(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B11/00-11/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2006-528770 A (Cognitens, Ltd.), 21 December 2006 (21.12.2006), paragraphs [0036] to [0064]; fig. 10 to 12 & US 2007/0057946 A1 paragraphs [0069] to [0096]; fig. 10 to 12b & WO 2005/010825 A2 & EP 1649423 A2 & DE 602004015799 D & CA 2529498 A & AT 404952 T & ES 2313036 T	1,4-6,12 7-11 2-3
Y A	JP 10-038531 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 13 February 1998 (13.02.1998), paragraphs [0009] to [0042] (Family: none)	7-11 1-6,12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 September 2016 (13.09.16)	27 September 2016 (27.09.16)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/069197

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2012-093268 A (Aida Engineering Co., Ltd.), 17 May 2012 (17.05.2012), paragraphs [0013] to [0033] (Family: none)	7-11 1-6,12
A	JP 2013-088260 A (Canon Inc.), 13 May 2013 (13.05.2013), paragraphs [0010] to [0037] & US 2013/0093881 A1 paragraphs [0026] to [0053] & EP 2584527 A2	1-12
P,A	JP 2016-057194 A (Canon Inc.), 21 April 2016 (21.04.2016), paragraphs [0009] to [0046]; fig. 1 & US 2016/0069669 A1 paragraphs [0019] to [0055]; fig. 1	1-12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６９１９７

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01B11/25(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01B11/00-11/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y A	JP 2006-528770 A（コグニテンス　リミテッド）2006.12.21, 段落[0036]-[0064]，図 10-12 & US 2007/0057946 A1,段落[0069]-[0096]，図 10-12b & WO 2005/010825 A2 & EP 1649423 A2 & DE 602004015799 D & CA 2529498 A & AT 404952 T & ES 2313036 T	1，4-6，12 7-11 2-3
Y A	JP 10-038531 A（三菱重工業株式会社）1998.02.13, 段落[0009]-[0042]（ファミリーなし）	7-11 1-6，12

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１３．０９．２０１６	２７．０９．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｓ　５５５１
神谷　健一
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Ｙ Ａ	JP 2012-093268 A (株式会社　英田エンジニアリング) 2012.05.17, 段落[0013]-[0033] (ファミリーなし)	7-11 1-6, 12
Ａ	JP 2013-088260 A (キヤノン株式会社) 2013.05.13, 段落[0010]-[0037] & US 2013/0093881 A1, 段落[0026]-[0053] & EP 2584527 A2	1-12
Ｐ，Ａ	JP 2016-057194 A (キヤノン株式会社) 2016.04.21, 段落[0009]-[0046], 図１ & US 2016/0069669 A1, 段落[0019]-[0055], 図１	1-12