

(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  
2011年11月3日(03.11.2011)

PCT

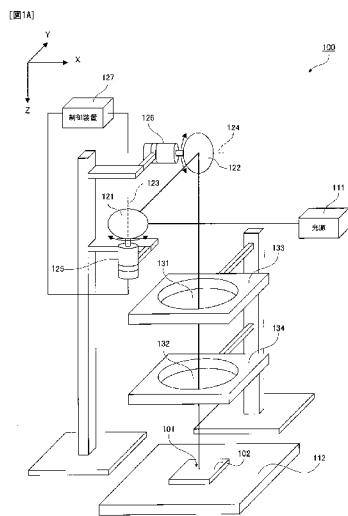
(10) 国際公開番号  
WO 2011/135771 A1

- |   |  |   |
|---|--|---|
| (51) 国際特許分類:<br>G02B 26/12 (2006.01)<br>B23K 26/08 (2006.01)<br>B41J 2/44 (2006.01)<br>G01N 21/84 (2006.01) | G02B 13/00 (2006.01)<br>G02B 26/10 (2006.01)<br>H04N 1/113 (2006.01)                 | (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).   |
| (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/001241  | (72) 発明者: および  | (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 日下 雄介 (KUSAKA, Yuusuke). 濱野 誠司 (HAMANO, Seiji).  |
| (22) 国際出願日: 2011年3月3日(03.03.2011)   | (74) 代理人: 原田 洋平 (HARADA, Yohei); 〒5500005 大阪府大阪市西区西本町1丁目4番1号 オリックス本町ビル4階 Osaka (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, |
| (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:<br>特願 2010-104676 2010年4月30日(30.04.2010) JP  |  |   |

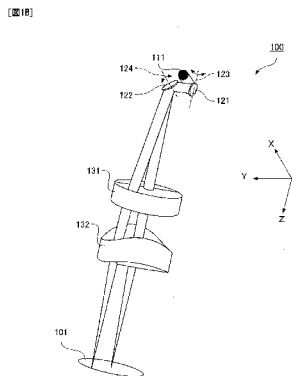
[続葉有]

(54) Title: TWO-DIMENSIONAL SCANNER

(54) 発明の名称: 二次元走査装置



127 Control device  
111 Light source



(57) Abstract: A two-dimensional scanner (100) is provided with: a light source (111) that outputs light; a mirror (121) that handles scanning in the X direction with respect to the test surface (101); a mirror (122) that handles scanning in the Y direction with respect to the test surface (101); a lens (131), the power of which differs in the X direction and the Y direction, and the power of which is positive in the X direction; and a lens (132), the power of which differs in the X direction and the Y direction, and the power of which is positive in the Y direction. The mirrors (121, 122) are positioned more towards the light source (111) than towards the lens group comprising lenses (131, 132).

(57) 要約: 二次元走査装置 (100) は、光を出力する光源 (111) と、被検面 (101) に対する X 方向の走査を担当するミラー (121) と、被検面 (101) に対する Y 方向の走査を担当するミラー (122) と、X 方向と Y 方向とでパワーが異なり、X 方向のパワーが正であるレンズ (131) と、X 方向と Y 方向とでパワーが異なり、Y 方向のパワーが正であるレンズ (132) とを備え、ミラー (121, 122) が、レンズ (131, 132) からなるレンズ群より光源 (111) 側に配置されている。



WO 2011/135771 A1



GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

(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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

(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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))

## 明 細 書

### 発明の名称： 二次元走査装置

#### 技術分野

[0001] 本発明は、被検面を二次元に走査する二次元走査装置に関する。

#### 背景技術

[0002] 一般に、走査光学系において、平面状の被検面あるいは照射面に対して歪のない光学系を組む方法として、被検面側（像側）をテレセントリックな光学系にする方法がある。

[0003] 例えば、特許文献 1 には、二次元の走査光学系に関する技術が開示されている。当該技術では、主走査方向、あるいは副走査方向のみにパワーをもったシリンダリカルレンズ 2 枚を用い、主走査断面及び副走査断面共にテレセントリックな状態を成り立たせている。

[0004] 具体的には、図 30 に示すように、光源 41 から発せられた光は、コリメータレンズ 42 を通り、ポリゴンミラー 43 に導かれる。ポリゴンミラー 43 に導かれた光は、ポリゴンミラー 43 によって副走査方向に折り曲げられる。ポリゴンミラー 43 によって副走査方向に折り曲げられた光は、副走査断面のみパワーをもつシリンダリカルレンズ 44 を通り、ポリゴンミラー 45 に導かれる。ポリゴンミラー 45 に導かれた光は、ポリゴンミラー 45 によって主走査方向に折り曲げられる。ポリゴンミラー 45 によって主走査方向に折り曲げられた光は、主走査断面のみパワーをもつシリンダリカルレンズ 46 を通り、被走査面 47 に導かれる。

[0005] ここで、各シリンダリカルレンズは、各シリンダリカルレンズの物体側の焦点位置に各ポリゴンミラーの中心が位置するように配置されている。

[0006] このような構成によって、走査断面ごとにテレセントリックな状態を実現させている。

[0007] すなわち、上記の二次元の走査光学系では、ポリゴンミラーと当該ポリゴンミラーの走査方向のみにパワーを持つシリンダリカルレンズとを組み合わせ

せたものを、主走査方向と副走査方向とについて、それぞれ備え、それらを直列につなげている。これによって、二次元の走査が可能な光学系、かつ被走査面47側がテレセントリックな光学系を実現している。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0008] 特許文献1：特許第2709928号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、上記従来の二次元の走査光学系では、二次元でテレセントリックな光学系を実現するために、ポリゴンミラー43、シリンダリカルレンズ44、ポリゴンミラー45、シリンダリカルレンズ46の順に配置する必要がある。このため、走査光学系の光路の全長が非常に長くなり、設置面積の大きな装置が必要になるという課題がある。

[0010] 本発明は、上記の課題を解決するものであり、二次元の走査で得られる二次元像の歪が少なく、高精度な分解能を有し、かつ簡易な構成でコンパクトな二次元走査装置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

[0011] 上記目的を達成するために、本発明に係わる二次元走査装置は、第1方向と、前記第1方向に直交する第2方向とに被検面を走査する二次元走査装置であって、光源と、前記光源からの光を前記被検面に対する前記第1方向および前記第2方向に走査させる走査光学系と、前記第1方向と前記第2方向とでパワーが異なる第1レンズと、前記第1方向と前記第2方向とでパワーが異なる第2レンズとを備え、前記走査光学系は、前記第1レンズと前記第2レンズとからなるレンズ群より前記光源側に配置され、走査方向が前記第1方向である場合の前記第1レンズの焦点距離を  $f_{1x}$  とし、走査方向が前記第2方向である場合の前記第1レンズの焦点距離を  $f_{1y}$  とし、走査方向が前記第1方向である場合の前記第2レンズの焦点距離を  $f_{2x}$  とし、走査

方向が前記第2方向である場合の前記第2レンズの焦点距離を  $f_{2y}$  としたとき、下記の式(1)および(2)を満たすことを特徴とする。

[0012] (1)  $|f_{1x} / f_{1y}| < 1$

(2)  $|f_{2x} / f_{2y}| > 1$

### 発明の効果

[0013] 本発明によれば、二次元の走査で得られる二次元像の歪が少なく、高精度な分解能を有し、かつ簡易な構成でコンパクトな二次元走査装置を実現することができる。

### 図面の簡単な説明

[0014] [図1A]図1Aは、本発明の実施の形態1における二次元走査装置の概要図である。

[図1B]図1Bは、本実施の形態1における二次元走査装置の鳥瞰図である。

[図2]図2は、本実施の形態1における二次元走査装置をX方向から見た図である。

[図3]図3は、本実施の形態1における二次元走査装置をY方向から見た図である。

[図4A]図4Aは、本実施の形態1における二次元走査装置でY方向に走査した場合における光路図である。

[図4B]図4Bは、本実施の形態1における二次元走査装置でX方向に走査した場合における光路図である。

[図5]図5は、本実施の形態1における二次元走査装置の各光学素子の諸元表を示す図である。

[図6]図6は、本実施の形態1における二次元走査装置の設計条件を定義する数式の計算結果の表を示す図である。

[図7A]図7Aは、本実施の形態1における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標  $[0, 0]$  の横収差図である。

[図7B]図7Bは、本実施の形態1における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標  $[0, 0]$  の横収差図である。

[図8A]図8Aは、本実施の形態1における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図8B]図8Bは、本実施の形態1における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図9]図9は、本発明の実施の形態2における二次元走査装置の鳥瞰図である。

[図10]図10は、本実施の形態2における二次元走査装置をX方向から見た図である。

[図11]図11は、本実施の形態2における二次元走査装置をY方向から見た図である。

[図12]図12は、本実施の形態2における二次元走査装置の各光学素子の諸元表を示す図である。

[図13]図13は、本実施の形態2における二次元走査装置の設計条件を定義する数式の計算結果の表を示す図である。

[図14A]図14Aは、本実施の形態2における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標 $[0, 0]$ の横収差図である。

[図14B]図14Bは、本実施の形態2における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標 $[0, 0]$ の横収差図である。

[図15A]図15Aは、本実施の形態2における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図15B]図15Bは、本実施の形態2における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図16]図16は、本発明の実施の形態3における二次元走査装置の鳥瞰図である。

[図17]図17は、本実施の形態3における二次元走査装置をX方向から見た図である。

[図18]図18は、本実施の形態3における二次元走査装置をY方向から見た図である。

[図19]図19は、本実施の形態3における二次元走査装置の各光学素子の諸元表を示す図である。

[図20]図20は、本実施の形態3における二次元走査装置の設計条件を定義する数式の計算結果の表を示す図である。

[図21A]図21Aは、本実施の形態3における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標 $[0, 0]$ の横収差図である。

[図21B]図21Bは、本実施の形態3における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標 $[0, 0]$ の横収差図である。

[図22A]図22Aは、本実施の形態3における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図22B]図22Bは、本実施の形態3における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図23]図23は、本発明の実施の形態4における二次元走査装置の鳥瞰図である。

[図24]図24は、本実施の形態4における二次元走査装置をX方向から見た図である。

[図25]図25は、本実施の形態4における二次元走査装置をY方向から見た図である。

[図26]図26は、本実施の形態4における二次元走査装置の各光学素子の諸元表を示す図である。

[図27]図27は、本実施の形態4における二次元走査装置の設計条件を定義する数式の計算結果の表を示す図である。

[図28A]図28Aは、本実施の形態4における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標 $[0, 0]$ の横収差図である。

[図28B]図28Bは、本実施の形態4における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標 $[0, 0]$ の横収差図である。

[図29A]図29Aは、本実施の形態4における二次元走査装置でY方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図29B] 図29Bは、本実施の形態4における二次元走査装置でX方向に走査した場合の被検面の座標 $[-10, -10]$ の横収差図である。

[図30] 図30は、従来の二次元の走査光学系の概要を示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明に係る実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下の説明において、同じ構成には同じ符号を付けて、適宜、説明を省略している。

[0016] (実施の形態1)

以下、本発明に係る実施の形態1について、図面を参照しながら説明する。

[0017] <二次元走査装置100>

図1Aに示すように、二次元走査装置100は、被検面101を二次元に走査する装置である。ここでは、二次元走査装置100は、光源111、ミラー121、122、レンズ131、132を備える。

[0018] 被検面101は、ステージ112に載置されている被検物102の上面である。被検物102としては、例えば、パターンが形成されたディスプレイパネルなどがある。ミラー121は、サーボドライバ125の回転軸123に取り付けられている。ミラー122は、サーボドライバ126の回転軸124に取り付けられている。レンズ131は、レンズホルダー133で保持されている。レンズ132は、レンズホルダー134で保持されている。サーボドライバ125は、回転軸123がZ軸と平行になるように配置されている。サーボドライバ126は、回転軸124がX軸と平行になるように配置されている。サーボドライバ125、126は、制御装置127で個別に制御されている。回転軸123の回転角度が制御装置127で制御されることで、ミラー121の向きが調整される。回転軸124の回転角度が制御装置127で制御されることで、ミラー122の向きが調整される。

[0019] 以下、二次元走査装置100については、図を簡潔にするために、被検物102、ステージ112、サーボドライバ125、126、制御装置127

、レンズホルダー 133, 134 を省略して図示する。また、光源 111 を黒丸で図示する。

[0020] この二次元走査装置 100 における光源 111 から被検面 101 までの光の動きについて説明する。図 1B に示すように、光源 111 から出力された光がミラー 121 で反射される。ミラー 121 で反射された光がミラー 122 で反射される。ミラー 122 で反射された光がレンズ 131 を通過する。レンズ 131 を通過した光がレンズ 132 を通過する。レンズ 132 を通過した光が被検面 101 に照射される。

[0021] なお、X 方向において、光源 111 からミラー 121 へ向かう方を負とする。Y 方向において、ミラー 121 からミラー 122 へ向かう方を負とする。以下の説明では、特に言及しない限り、被検面 101 の中心を原点とする。被検面 101 の中心とミラー 122 の中心とを結ぶ線を、レンズ 131, 132 からなる光学系の光軸とする。

[0022] <光源 111>

光源 111 は、X 軸に平行に、波長 1310 nm の光を出力する。

[0023] <ミラー 121, 122>

ミラー 121 は、被検面 101 を X 方向（第 1 方向）に走査する方向に光を屈折させるガルバノミラーである。ミラー 122 は、被検面 101 を Y 方向（第 2 方向）に走査する方向に光を屈折させるガルバノミラーである。ミラー 121 の中心とミラー 122 の中心とは、同一軸上に位置する。光源側 111 側にミラー 121 が配置されている。レンズ 131 側にミラー 122 が配置されている。ミラー 121 とミラー 122 との間には、各ミラーが衝突せずに回転可能な空間が確保されている。

[0024] このミラー 121, 122 による被検面 101 の走査について説明する。光源 111 から出力された光がミラー 121 で反射される。ミラー 121 で反射された光がミラー 122 で反射される。回転軸 123 を中心に所定角度範囲でミラー 121 が回転することで、被検面 101 を X 方向に走査する。回転軸 124 を中心に所定角度範囲でミラー 122 が回転することで、被検

面 101 を Y 方向に走査する。

[0025] <レンズ 131, 132>

レンズ 131 は、X 方向と Y 方向とで曲率が異なり、X 方向と Y 方向とで屈折力（パワー）が異なるトロイダルレンズである。レンズ 132 は、X 方向と Y 方向とで曲率が異なり、X 方向と Y 方向とで屈折力（パワー）が異なるトロイダルレンズである。レンズ 131 の向きは、レンズ 131 の光軸が Z 軸と平行になるように調整されている。レンズ 132 の向きは、レンズ 132 の光軸が Z 軸と平行になるように調整されている。レンズ 131 の光軸とレンズ 132 の光軸とは、同一軸上に位置する。ミラー 122 側にレンズ 131 が配置されている。被検面 101 側にレンズ 132 が配置されている。ミラー 122 で反射された光がレンズ 131 に入射する。レンズ 131 から射出された光がレンズ 132 に入射する。

[0026] なお、図 2、図 3 に示すように、レンズ 131 の入射面については、X 方向の曲がり具合が凸型（正）であり、Y 方向の曲がり具合が凹型（負）である。レンズ 131 の入射面については、Y 方向よりも X 方向の方が大きく曲がっている。レンズ 131 の射出面については、X 方向の曲がり具合が凹型（負）であり、Y 方向の曲がり具合が凹型（負）である。レンズ 131 の射出面については、X 方向よりも Y 方向の方が大きく曲がっている。レンズ 132 の入射面については、X 方向の曲がり具合が凹型（負）であり、Y 方向の曲がり具合が凸型（正）である。レンズ 132 の入射面については、Y 方向よりも X 方向の方が大きく曲がっている。レンズ 132 の射出面については、X 方向の曲がり具合が凹型（負）であり、Y 方向の曲がり具合が凹型（負）である。レンズ 132 の射出面については、Y 方向よりも X 方向の方が大きく曲がっている。

[0027] <設計条件>

次に、二次元走査装置 100 を構成する各光学素子の設計条件について説明する。

[0028] 本実施の形態では、2 枚のトロイダルレンズからなるレンズ群を使用して

いる。これによって、簡易な構成で、X方向またはY方向のいずれの方向に走査しても、全体として、被検面101での走査平面側（像側）がテレセントリックになる。

[0029] 一般に、走査光学系において、走査平面側がテレセントリックになるためには、レンズの走査平面側の焦点距離と、走査ミラーの中心からレンズの光源側の主点位置までの距離が等しいことが必要である。これを、図4A、図4Bにおいて、模式図を用いて説明する。

[0030] ここでは、X方向の走査を担当する走査ミラーM1、Y方向の走査を担当する走査ミラーM2、トロイダルレンズL1、トロイダルレンズL2からなる走査光学系を例に説明する。図4Aに走査ミラーM2の走査方向（Y方向）の光線追跡図、図4Bに走査ミラーM1の走査方向（X方向）の光線追跡図を示す。

[0031] また、図4A、図4Bにおいて、点線で表された第一光路は、無限遠にある点光源から、トロイダルレンズL1、L2を通り、走査平面側の像面IPで結像される光線である。また、実線で表された第二光路は、走査ミラーM1または走査ミラーM2に物点があるときの、トロイダルレンズL1、L2を通る光路である。

[0032] 像側テレセントリックを構成するときは、この第二光路と走査平面側の像面IPのなす角度が直角である。すなわち、第二光路の結像位置は、無限遠方に存在する。

[0033] 図4Aに示すY方向の走査光学系、図4Bに示すX方向の走査光学系において、走査ミラーM1、M2が、それぞれ、物体側のX方向、及びY方向の焦点位置にあるときを考える。このとき、走査ミラーの中心にある物点の像は、それぞれ無限遠方に存在する。ここで、焦点位置は、レンズの主点位置から、焦点距離分、物体から離れた位置である。

[0034] 本実施の形態での走査光学系では、走査ミラーが入射瞳であり、射出瞳の位置が無限である。このとき、トロイダルレンズL1、L2からなるレンズ群は、像側テレセントリックを構成する。

- [0035] また、トロイダルレンズL1、L2からなるレンズ群は、レンズ群の両走査断面において像側テレセントリックになるため、どの走査断面でも像側テレセントリックになる。
- [0036] ここで、簡易に二次元の走査を実現する方法は、ガルバノミラーを2枚組み合わせて、X方向とY方向との各方向に走査させることである。なお、この場合、これらの2枚のガルバノミラーの間には、ミラーを回転させるだけの物理的に一定の距離が必要となる。
- [0037] ここで、この走査光学系に使用されるレンズが、通常の軸回転対称なレンズであると仮定する。この場合、当該レンズの持つ焦点距離は、すべての走査方向に対して同じ値になり、主点位置も同位置になる。しかしながら、この場合、2枚の走査ミラーを同じ位置に配置することができない。そのため、この走査光学系では、走査ミラーを別々の位置に配置することになる。すなわち、この走査光学系での走査ミラーの回転中心からの距離は、走査方向によって異なる。そのため、通常の軸回転対称なレンズを用いた場合では、走査方向によってテレセントリックを満たすことが出来なくなる。
- [0038] これに対して、本実施の形態の走査光学系では、走査断面によって異なるパワーを持つ特殊なレンズを用いることで、走査方向によらず、テレセントリック条件を満たしている。
- [0039] また、レンズの解像力を高めるためには、走査方向によらず、走査光学系から射出し、被検面に当たるスポット径を、小さくする必要がある。これを実現させるためには、走査光学系の像面を、走査方向によらず一定にすることが必要である。さらに、スポット径を小さくする上で、走査光学系の収差を小さくすることが必要である。
- [0040] すなわち、テレセントリック条件と、像面一致条件、収差を簡易な構成で小さくすることを満たす条件式として、下記の数式が挙げられる。
- [0041] 数式(1)は、トロイダルレンズL1における、X方向の走査断面の焦点距離とY方向の走査断面の焦点距離との比率の条件式である。ここで、数式(1)は、本発明の走査光学系として必要な条件を満たすためのトロイダル

レンズL1の数値範囲である。

[0042] [数1]

$$(1) \quad \left| \frac{f1x}{f1y} \right| < 1$$

[0043] 数式(2)は、トロイダルレンズL2における、X方向の走査断面の焦点距離とY方向の走査断面の焦点距離との比率の条件式である。ここで、数式(2)は、本発明の走査光学系として必要な条件を満たすためのトロイダルレンズL2の数値範囲である。

[0044] [数2]

$$(2) \quad \left| \frac{f2x}{f2y} \right| > 1$$

[0045] 本実施の形態では、Y方向の走査を像面に近い走査ミラーM2で行い、X方向の走査を像面から遠い走査ミラーM1で行っている。なお、本実施の形態では、トロイダルレンズL1の条件を数式(1)の条件(数値範囲)とし、トロイダルレンズL1の条件を数式(2)の条件(数値範囲)としたが、走査方向などの条件を変えることで、これらの数式をレンズ間で入れ替えることも可能である。

[0046] 2つのレンズを透過した光において良好なスポットを得るためには、正のパワーのレンズ(以下、正レンズ)と負のパワーのレンズ(以下、負レンズ)の組み合わせのレンズ群が望ましい。これは、正レンズが発する収差(主として球面収差)を、負レンズで打ち消すためである。

[0047] また、パワーが強い面を持つレンズは、高次の収差(主として球面収差)が現れやすい。そのため、本実施の形態のレンズ群としては、2枚の正負のパワーをもつレンズの組み合わせで、テレフトタイプ(光源から順に、正レンズ、負レンズが並ぶ光学系)を用いている。レンズ群としてテレフトタイプを選択したのは、テレフトタイプが、面のパワーを大きくすること

なく、焦点距離を長くすることができるためである。

[0048] なお、テレフォトタイプに代えて、レトロフォーカスタイプ（光源から順に、負レンズ、正レンズが並ぶ光学系）を用いることもできる。このレトロフォーカスタイプをレンズ群として用いると、面のパワーを大きくすることなく、一方の焦点距離を短くできる。テレフォトタイプかレトロフォーカスタイプかは、焦点距離に基づいて選択される。特に、レンズ最終面から像点までの距離（以下、ワーキングディスタンス）を焦点距離に対して比較的長くしたい場合、このレトロフォーカスタイプが有効である。

[0049] 本実施の形態のように、2枚のレンズ群で、走査断面によって異なる焦点距離を持たせる場合、焦点距離の長い走査断面を、テレフォトタイプに近いタイプ、焦点距離の短い走査断面を、レトロフォーカスタイプに近いタイプにするのが望ましい。

[0050] 焦点距離が短いY方向の走査断面については、トロイダルレンズL2が正のパワーが強く、トロイダルレンズL1が負のパワーに近くなる。また、X方向の走査断面については、この逆にするのが望ましい。ゆえに、トロイダルレンズL1では、Y方向の走査断面の焦点距離がX方向の走査断面の焦点距離に対して長いほうが望ましい。トロイダルレンズL2では、X方向の走査断面の焦点距離がY方向のそれに対して長いほうが望ましい。

[0051] また、数式(3)は、トロイダルレンズL1、L2からなるレンズ群の各方向の走査断面の焦点距離の差分と、走査ミラーの間隔との比の条件式である。ここで、数式(3)は、本実施の形態において望ましい数値範囲である。

[0052] [数3]

$$(3) \quad 0.2 < \frac{|f_x - f_y|}{D_m} < 1.4$$

[0053] ここで、数式(3)の数値範囲とした理由について説明する。

[0054] 前述のように、本実施の形態では、2枚のトロイダルレンズを使用して、

テレセントリック光学系を実現するものであり、必然的に焦点距離が走査断面によって異なる。焦点距離が異なる走査断面に対して像面を一致させるには、各走査断面に対して、レンズ群の像側主点位置がその焦点距離の差分の分だけズレていることが必要である。

[0055] 数式(3)は、このズレ量に関して規定するものである。この値が大きい程、トロイダルレンズL1、L2の間隔に対して焦点距離の差が大きくなり、焦点距離に差分が出る。すなわち、本実施の形態におけるトロイダルレンズL1、L2の走査断面は、走査断面の方向によって、形が大きく異なる。

[0056] 具体的には、光源101から見た場合に、焦点距離の短いY方向に関しては、レトロフォーカスタイプである負正の順番になる。また、焦点距離の長いX方向に関しては、テレフォトタイプである正負の順番になる。これは、各トロイダルレンズにおいて、走査断面によってパワーの正負が逆になることを意味する。そのため、本実施の形態でのトロイダルレンズの形状は、いびつになりやすく、加工の難しい。さらに、トロイダルレンズの形状がいびつになるため、面の厚みが大きくなる、収差が大きくなるという不利益をもたらす。

[0057] 一方、数式(3)の値が小さい(焦点距離の差分がトロイダルレンズL1、L2の間隔に比べ小さい)と、像点一致条件とテレセントリックを両立することが困難となる。これは、焦点距離の差分は上記のように、走査ミラーの間隔の差分に由来しているためである。

[0058] なお、数式(3)の数値範囲は、トロイダルレンズの形状がいびつでなく、かつ、像点一致条件とテレセントリックが両立するための条件である。

[0059] 数式(4)は、トロイダルレンズL2から被検面までの距離と、トロイダルレンズL1とトロイダルレンズL2のなす光学系のY方向の走査断面の焦点距離の比の条件式である。

[0060]

[数4]

$$(4) \quad 0.6 < \frac{WD}{f_y} < 1.4$$

[0061] ここで、数式（４）の数値範囲とした理由について説明する。

[0062] 本実施の形態のように、トロイダルレンズL 1、L 2からなるレンズ群のY方向の走査断面の焦点距離は、X方向のそれに比べ短い。そのため、本実施の形態のレンズ群としては、レトロフォーカスタイプ、すなわち負正の順番に並ぶ形が望ましい。数式（４）は、このレトロフォーカスタイプのレトロ比に相当するものである。この数式（４）は、レンズ群のY方向の走査断面の焦点距離に対して、バックフォーカス（後側焦点）の長さの比率を表すものである。なお、X方向の走査断面がテレフォトタイプの正負の並びになる場合は、形が走査断面によって、極端に曲率が異なる歪（いびつ）な形になる。そのため、これを実現するためのトロイダルレンズの加工は難しく、さらに収差が悪化する可能性がある。

[0063] レトロフォーカスタイプのレンズ群における光軸中心付近の画角では、正レンズで打ち消す収差が縮小される一方、負レンズで打ち消す収差が拡大する。ここで、数式（４）の $WD/f_y$ の数値が大きくなると、レトロ比が大きくなる。すなわち、負レンズ（トロイダルレンズL 1）で打ち消す収差の割合が大きくなり、簡易な構成のトロイダルレンズL 1で、収差の影響の小さいレンズ群を満たすことが困難になる。

[0064] 逆に、数式（４）の $WD/f_y$ の数値が小さくなると、レトロ比が小さくなる。すなわち、正レンズ（トロイダルレンズL 2）で打ち消す収差の割合が大きくなり、トロイダルレンズL 2が複雑な構成になる。

[0065] 数式（４）は、これらの条件を満たすための数値範囲である。

[0066] 数式（５）は、トロイダルレンズL 1とトロイダルレンズL 2との間隔と、トロイダルレンズL 2から被検面までの距離とを足したものと、トロイダルレンズL 1、L 2からなるレンズ群のX方向の走査断面の焦点距離の比の

条件式である。

[0067] [数5]

$$(5) \quad 0.6 < \frac{D+WD}{f_X} < 1.4$$

[0068] これは、トロイダルレンズL1、L2からなるレンズ群のX方向の走査断面において、光学系の全長に対して、焦点距離の比率を表すものに相当する。

[0069] ここで、数式(5)の数値範囲とした理由について説明する。

[0070] 前述のように、本実施の形態のレンズ群は、X方向の走査断面に関し焦点距離が長い、テレフトタイプを選択している。数式(5)は、このテレフトタイプのテレフト比に相当するものである。トロイダルレンズL1、L2からなるレンズ群は、値が小さいほど、全長に対する焦点距離が長いレンズ群になる。テレフトタイプのレンズ群では、テレフト比が小さくなって焦点距離が短くなると、正レンズおよび負レンズのパワーがそれぞれ大きくなり、収差が悪化する。数式(5)の範囲より小さくなると、トロイダルレンズL1及びトロイダルレンズL2のパワーが大きくなる傾向にあり、簡易な構成で良好な収差を保つことが難しくなる。

[0071] また、数式(5)の範囲を超えて、このテレフト比に相当するものが大きくなると、レンズ群がコンパクトな構成を保てなくなる。

[0072] 数式(5)は、これらの問題を解決するための条件を満たす数値範囲である。

[0073] なお、本実施の形態のレンズ群においては、さらに数式(6)の数値範囲を満たしていることが望ましい。

[0074] [数6]

$$(6) \quad 0.5 < \frac{f_{LX}}{f_X} < 1.4$$

- [0075] ここで、数式（６）の数値範囲が望ましい理由について説明する。
- [0076] 数式（６）は、トロイダルレンズL 1におけるX方向の走査断面の焦点距離と、トロイダルレンズL 1, L 2からなるレンズ群のX方向の走査断面の焦点距離との比の条件式である。この条件式は、二つのレンズから構成される光学系において、第二レンズ（トロイダルレンズL 2）の担う倍率の逆数を既定するものである。
- [0077] 光学系において、光学系の収差において占める第一レンズ（トロイダルレンズL 1）の収差は、第一レンズ（トロイダルレンズL 1）以降のレンズの受け持つ倍率分拡大される。特に、本実施の形態のテレフォトタイプのように、X方向の走査断面における焦点距離が長いレンズは、倍率が大きくなる傾向があり、第二レンズ（トロイダルレンズL 2）で打ち消す必要がある収差が大きくなる。
- [0078] 数式（６）の範囲を超えて数値が小さくなると、トロイダルレンズL 2の受け持つ倍率が大きくなる。そのため、トロイダルレンズL 1の収差がトロイダルレンズL 2で大きく拡大される。
- [0079] また、数式（６）の範囲を超えて数値が大きくなると、トロイダルレンズL 2の受け持つ倍率が小さくなる。この場合、トロイダルレンズL 1の収差が大きく拡大されることはないが、その一方で、倍率が小さくなることで、光学系を大きくする必要があり、コンパクトな光学系にするのが困難になる。
- [0080] 数式（６）は、これらの問題を解決するための条件を満たす数値範囲である。
- [0081] なお、本実施の形態のレンズ群においては、さらに数式（７）の数値範囲を満たしていることが望ましい。
- [0082] [数7]

$$(7) \quad 1.0 < \frac{f_x}{f_y} < 1.7$$

[0083] 数式（7）は、トロイダルレンズL1、L2からなるレンズ群のX方向の走査断面の焦点距離と、Y方向の走査断面の焦点距離との比の条件式である。

[0084] ここで、数式（7）の数値範囲が望ましい理由について説明する。

[0085] 本実施の形態のレンズ群では、テレセントリック条件を満たすために、走査方向の走査断面の焦点距離が、ミラーの間隔分だけ異なる構成になっている。

[0086] 数式（7）の範囲を超えて、走査断面におけるパワーの比が異なると、X方向の走査断面とY方向の走査断面との中間、すなわち、斜めの走査方向において、スポットの形状が楕円形となる。この場合、本実施の形態のように、トロイダルレンズが2枚という簡易な構成でスポット径を小さくすることが、困難になる。

[0087] 数式（7）は、これらの問題を解決するための条件を満たす数値範囲である。

[0088] なお、本実施の形態のレンズ群においては、さらに数式（8）の数値範囲を満たしていることが望ましい。

[0089] [数8]

$$(8) \quad \left| \left( \frac{1}{f_{1x}} + \frac{1}{f_{2x}} \right) - \left( \frac{1}{f_{1y}} + \frac{1}{f_{2y}} \right) \right| < 0.02$$

[0090] ここで、数式（8）の数値範囲が望ましい理由について説明する。

[0091] 数式（8）は、トロイダルレンズL1におけるX方向とY方向の走査断面の焦点距離と、トロイダルレンズL2におけるX方向とY方向の走査断面との焦点距離の逆数である。すなわち、数式（8）は、2つのトロイダルレンズのパワーの差分の和の条件式である。

[0092] 光学系において、各レンズのパワーの和は、非点格差に影響する値である。パワーの和がゼロに近いほど、非点収差が小さくなり、中心から遠い点のビームスポットの形が円に近くなり、良好な光学性能が得られる。しかしな

がら、本実施の形態では、テレセントリック条件を満たすために、走査方向によるパワーが異なる。そのため、数式(8)の値に必然的に差分が生まれやすい。

[0093] よって、数式(8)の数値範囲を満たすことで、非点収差を小さくし、ビームスポットを円形に近くすることができる。その結果、数式(8)の条件を満たすことで、走査方向によらず、解像度の良い走査光学系を構成することができる。

[0094] なお、数式(8)の値を超えると、非点収差が大きくなり、中心から離れた点におけるビームスポット径の形が歪(いびつ)になる。この場合、走査方向により、解像度に差分が生じてしまう。

[0095] また、レンズ表面が非球面なものを利用することで、スポット形状をさらに小さく、真円に近づけて、さらにレンズの解像力を上げることができる。

[0096] 以上のように、本実施の形態では、走査ミラーよりも被検面側に、2枚のトロイダルレンズからなるレンズ群を配置している。この構成により、簡易な構成で、テレセントリックでコンパクトな走査光学系を実現することができる。

[0097] <実施例>

ここで、本実施の形態1の実施例について、図1A、図1B等を参照しながら説明する。レンズ131は、走査方向がX方向である場合の焦点距離 $f_{1x}$ が53.45mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離 $f_{1y}$ が86.55mmである。レンズ132は、走査方向がX方向である場合の焦点距離 $f_{2x}$ が-380.1mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離 $f_{2y}$ が159.54mmである。

[0098] レンズ131、132からなる光学系(レンズ群)は、走査方向がX方向である場合の焦点距離 $f_x$ が68.27mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離 $f_y$ が60mmである。

[0099] ミラー121の中心とミラー122の中心との距離は、10mmである。

[0100] このように構成された光学系を含む二次元走査装置100を用い、回転軸

1 2 3 を中心に  $\pm 4.83^\circ$  でミラー 1 2 1 を回転させ、回転軸 1 2 4 を中心に  $\pm 5.34^\circ$  でミラー 1 2 2 を回転させることで、被検面 1 0 1 における  $20\text{mm} \times 20\text{mm}$  の正方形の範囲を走査する。

- [0101] 二次元走査装置 1 0 0 を構成する光学素子の諸元を図 5 に示す。
- [0102] 図 5 に示す諸元表には、各光学素子の面について、面番号、有効径、 $R_X$  ( $X$  方向の曲率半径)、 $R_Y$  ( $Y$  方向の曲率半径)、距離 (次の番号の光学系までの距離)、屈折率を列挙している。
- [0103] この諸元表のデータを使用して計算された上記の数式 (1) - (8) の各値を図 6 に示す。図 6 に示す表には、各数式について、数式の番号、計算結果を列挙している。
- [0104] なお、図 5 において、面番号 1 は、ミラー 1 2 1 の反射面に割り当てられた面番号である。面番号 2 は、ミラー 1 2 2 の反射面に割り当てられた面番号である。面番号 3 は、レンズ 1 3 1 の入射面に割り当てられた面番号である。面番号 4 は、レンズ 2 3 1 の射出面に割り当てられた面番号である。面番号 5 は、レンズ 1 3 2 の入射面に割り当てられた面番号である。面番号 6 は、レンズ 1 3 2 の射出面に割り当てられた面番号である。
- [0105] 図 5 に示すように、本実施例の構成では、焦点距離  $f_x$  と焦点距離  $f_y$  との差分に影響があるミラー間隔  $D_m$  は、 $10\text{mm}$  である。また、レトロ比とテレフォト比とに影響を及ぼすワーキングディスタンス  $WD$  は、 $45\text{mm}$  である。図 6 に示す各値により、二次元走査装置 1 0 0 では、走査方向によらず、テレセントリック条件、像点一致条件、およびビームスポット条件を満たすことが分かる。
- [0106] ここで、二次元走査装置 1 0 0 で、 $Y$  方向に走査した場合の被検面 1 0 1 の座標  $[0, 0]$  の横収差を図 7 A に示し、 $X$  方向に走査した場合の被検面 1 0 1 の座標  $[0, 0]$  の横収差を図 7 B に示す。また、二次元走査装置 1 0 0 で、 $Y$  方向に走査した場合の被検面 1 0 1 の座標  $[-10, -10]$  の横収差を図 8 A に示し、 $X$  方向に走査した場合の被検面 1 0 1 の座標  $[-10, -10]$  の横収差を図 8 B に示す。なお、これらの図については、一目

盛り  $100\ \mu\text{m}$  で横収差をプロットしている。これらの図に示すグラフにより、二次元走査装置 100 では、収差が十分に小さく、二次元走査に収差が問題無いことが分かった。

[0107] 面番号 1 の距離は、ミラー 121 の中心からミラー 122 の中心までの距離である。面番号 2 の距離は、ミラー 122 からレンズ 131 の入射面までの光軸上の距離である。面番号 3 の距離は、レンズ 131 の入射面からレンズ 131 の射出面までの光軸上の距離である。面番号 4 の距離は、レンズ 131 の射出面からレンズ 132 の入射面までの光軸上の距離である。面番号 5 の距離は、レンズ 132 の入射面からレンズ 132 の射出面までの光軸上の距離である。面番号 6 の距離は、レンズ 132 の射出面から被検面 101 までの光軸上の距離である。

[0108] 屈折率は、どの面番号の屈折率も、波長  $1310\ \text{nm}$  の光に対する屈折率である。

[0109] なお、本実施例では、光を二次元平面上で動かすために、ミラー 121, 122 の 2 枚のガルバノミラーを用いている。しかしながら、ほぼ同様の射出が行われるのであれば、2 枚のガルバノミラーの代わりに、ミラーが 1 枚で 2 軸に揺動可能な構成、または光源自体が被検面に揺動照射可能な構成などとしてもよい。

[0110] <まとめ>

以上、本実施の形態では、レンズ 131, 132 にトロイダルレンズを採用している。そして、光源 111 から順に、ミラー 121, 122、レンズ 131, 132 を配置している。このとき、ミラー 121, 122 は、二次元平面上を走査可能なように配置している。また、レンズ 131, 132 とは、隣接して配置している。これらの構成によって、歪が少なく、かつ簡易な構成でコンパクトな二次元走査装置を実現することができる。

[0111] (実施の形態 2)

以下、本発明に係わる実施の形態 2 について、図面を参照しながら説明する。

- [0112] 図9に示すように、本実施の形態における二次元走査装置200は、実施の形態1における二次元走査装置100と比べて、レンズ131, 132の代わりに、レンズ231, 232を備える点異なる。
- [0113] <レンズ231, 232>  
レンズ231は、X方向のみにパワーがあるシリンダリカルレンズである。レンズ232は、Y方向のみにパワーがあるシリンダリカルレンズである。
- [0114] なお、シリンダリカルレンズは、トロイダルレンズの一形態である。このため、前述の実施の形態1で説明した各光学素子の設計条件を、本実施の形態2でも適用することができる。
- [0115] レンズ231の向きは、レンズ231の光軸がZ軸と平行になるように調整されている。レンズ232の向きは、レンズ232の光軸がZ軸と平行になるように調整されている。レンズ231の光軸とレンズ232の光軸とは、同一軸上に配置されている。
- [0116] レンズ231は、ミラー122側に配置している。レンズ232は、被検面101側に配置している。ミラー122で反射された光は、レンズ231に入射する。レンズ231から射出された光は、レンズ232に入射する。
- [0117] なお、レンズ231は、YZ断面が長方形となっている。レンズ232は、XZ断面が長方形となっている。レンズ231は、Y軸の垂直な面の形状が凸型（正）であり、X軸に垂直な面の形状が平坦である。そのため、レンズ231は、入射面の曲率よりも射出面の曲率の方が大きい。
- [0118] レンズ232は、Y軸に垂直な面の形状が平坦であり、X軸に垂直な面の形状が凸型（正）である。そのため、レンズ232は、入射面の曲率よりも射出面の曲率の方が大きい。
- [0119] なお、シリンダリカルレンズは、トロイダルレンズよりも製造が容易である。しかしながら、シリンダリカルレンズでは、レトロフォーカスタイプの光学系や、テレフォトタイプの光学系を構成することができない。シリンダリカルレンズで、テレセントリック条件、像点一致条件、およびビームスポ

ット条件を満たすためには、シリンダリカルレンズの面を非球面にする必要がある。

[0120] <実施例>

ここで、本実施の形態2の実施例について、図9等を用いて説明する。レンズ231は、走査方向がX方向である場合の焦点距離  $f_{1x}$  が60.02 mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離  $f_{1y}$  が無限大である。レンズ232は、走査方向がX方向である場合の焦点距離  $f_{2x}$  が無限大であり、走査方向がY方向である場合の焦点距離  $f_{2y}$  が54.44 mmである。

[0121] レンズ231, 232からなる光学系（レンズ群）は、走査方向がX方向である場合の焦点距離  $f_x$  が60.02 mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離  $f_y$  が54.44 mmである。

[0122] ミラー121の中心とミラー122の中心との距離は、10 mmである。レンズ231射出面とレンズ232射出面との間隔は、5.58 mmである。

[0123] このように構成された光学系を含む二次元走査装置200を用い、回転軸123を中心に $\pm 4.83^\circ$ でミラー121を回転させ、回転軸124を中心に $\pm 5.34^\circ$ でミラー122を回転させることで、被検面101における20 mm $\times$ 20 mmの正方形の範囲を走査する。

[0124] 二次元走査装置200を構成する光学素子の諸元を図12に示す。この諸元表のデータを使用して計算された、上記の数式(1) - (8)の各値を図13に示す。図13に示す各値により、二次元走査装置200でも、走査方向によらず、テレセントリック条件、像点一致条件、およびビームスポット条件を満たすことが分かった。

[0125] また、ミラー121の反射面が平面であるので、面番号1のRXとRYは、 $inf$ （無限大）である。ミラー122の反射面が平面であるので、面番号2のRXとRYは、 $inf$ （無限大）である。レンズ231のYZ断面が長方形であるので、面番号3, 4のRYは、 $inf$ （無限大）である。レン

ズ 2 3 2 の X Z 断面が長方形であるので、面番号 5, 6 の R X は、inf (無限大) である。

[0126] レンズ 2 3 1 の射出面は非球面形状である。レンズ 2 3 2 の射出面は非球面形状である。すなわち、レンズ 2 3 1, 2 3 2 について、入射面と射出面とのうち、レンズの曲率が大きい面が非球面形状である。非球面形状は、下記の数式 (9) で定義される。

[0127] ここで、光軸方向の値を X、光軸方向に垂直な方向の値を H、光の進行方向の符号を正、近軸曲率半径を R、離心率を k、各非球面係数を A, B, C, D とした。

[0128] [数9]

$$(9) \quad X = -\frac{1}{R} \frac{H^2}{\left\{1 + (1 - (1 + k) \left(\frac{H}{R}\right)^2)\right\}^{\frac{1}{2}}} + AH^4 + BH^6 + CH^8 + DH^{10}$$

[0129] ミラー間隔 Dm は、10 mm である。ワーキングディスタンス WD は、52.36 mm である。図 13 に示す各値により、二次元走査装置 200 では、走査方向によらず、テレセントリック条件、像点一致条件、およびビームスポット条件を満たすことが分かった。

[0130] なお、二次元走査装置 200 で、Y 方向に走査した場合の被検面 101 の座標 [0, 0] の横収差を図 14 A に示し、X 方向に走査した場合の被検面 101 の座標 [0, 0] の横収差を図 14 B に示す。また、二次元走査装置 200 で、Y 方向に走査した場合の被検面 101 の座標 [-10, -10] の横収差を図 15 A に示し、X 方向に走査した場合の被検面 101 の座標 [-10, -10] の横収差を図 15 B に示す。これらの図については、一目盛り 100 μm で横収差をプロットしている。これらの図に示すグラフにより、二次元走査装置 200 では、十分に収差が小さく、二次元走査に収差が問題無いことが分かった。

[0131] <まとめ>

以上、本実施の形態では、レンズ 2 3 1, 2 3 2 にシリンダリカルレンズ

を採用している。これによって、二次元の走査で得られる二次元像の歪が少なく、高精度な解像度を有し、かつ簡易な構成でコンパクトな二次元走査装置を実現することができる。本実施の形態2の二次元走査装置200は、前述の実施の形態1の二次元走査装置100と比べて、レンズの形状の自由度が増す。

[0132] (実施の形態3)

以下、本発明に係わる実施の形態3について、図面を参照しながら説明する。

[0133] 図16に示すように、本実施の形態における二次元走査装置300は、前述の実施の形態1における二次元走査装置100と比べて、レンズ131, 132の代わりに、レンズ331, 332を備える点が異なる。

[0134] <レンズ331, 332>

レンズ331は、X方向とY方向とでパワーが異なるトロイダルレンズである。レンズ332は、X方向とY方向とでパワーが異なるトロイダルレンズである。レンズ331の向きは、レンズ331の光軸がZ軸と平行になるように調整されている。レンズ332の向きは、レンズ332の光軸がZ軸と平行になるように調整されている。レンズ331の光軸とレンズ332の光軸とは、同一軸上に配置されている。

[0135] レンズ331は、ミラー122側に配置している。レンズ332は、被検面101側に配置している。ミラー122で反射された光は、レンズ331に入射する。レンズ331から射出された光は、レンズ332に入射する。

[0136] なお、図17、図18に示すように、レンズ331の入射面は、X方向の曲率が凸型（正）であり、Y方向の曲率が凸型（正）である。このレンズ331の入射面は、Y方向の曲率よりもX方向の曲率の方が大きい。レンズ331の射出面については、X方向の曲率が凹型（負）であり、Y方向の曲率が凹型（負）である。このレンズ331の射出面は、X方向の曲率とY方向の曲率とも略同じである。レンズ332の入射面は、X方向の曲率が凹型（負）であり、Y方向の曲率が凸型（正）である。このレンズ332の入射面

は、Y方向の曲率よりもX方向の曲率の方が大きい。レンズ332の射出面については、X方向の曲率が凹型（負）であり、Y方向の曲率が凹型（負）であり、Y方向の曲率よりもX方向の曲率の方が大きい。

[0137] <実施例>

ここで、本実施の形態3の実施例について、図16等を参照しながら説明する。レンズ331は、走査方向がX方向である場合の焦点距離 $f_{1x}$ が51.82mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離 $f_{1y}$ が83.98mmである。レンズ332は、走査方向がX方向である場合の焦点距離 $f_{2x}$ が-413.17mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離 $f_{2y}$ が172.9mmである。

[0138] レンズ331、332からなる光学系は、走査方向がX方向である場合の焦点距離 $f_x$ が66.16mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離 $f_y$ が60mmである。

[0139] ミラー121の中心とミラー122の中心との距離は、10mmである。

[0140] このように構成された光学系を含む二次元走査装置300を用い、回転軸123を中心に $\pm 4.5^\circ$ でミラー121を回転させ、回転軸124を中心に $\pm 5.0^\circ$ でミラー122を回転させることで、被検面101における20mm $\times$ 20mmの正方形の範囲を走査する。

[0141] 二次元走査装置300を構成する光学素子の諸元を図19に示す。この諸元表のデータを使用して計算された上記の数式(1) - (8)の各値を図20に示す。

[0142] ミラー間隔 $D_m$ は、5mmである。ワーキングディスタンスWDは、45mmである。図20に示す各値より、二次元走査装置300では、走査方向によらず、テレセントリック条件、像点一致条件、およびビームスポット条件を満たすことが分かった。

[0143] なお、二次元走査装置300で、Y方向に走査した場合の被検面101の座標[0, 0]の横収差を図21Aに示し、X方向に走査した場合の被検面101の座標[0, 0]の横収差を図21Bに示す。また、二次元走査装置

300で、Y方向に走査した場合の被検面101の座標 $[-10, -10]$ の横収差を図22Aに示し、X方向に走査した場合の被検面101の座標 $[-10, -10]$ の横収差を図22Bに示す。これらの図については、一目盛り $100\mu\text{m}$ で横収差をプロットしている。これらの図に示すグラフにより、二次元走査装置300では、収差が十分に小さく、二次元走査に収差が問題無いことが分かった。

[0144] <まとめ>

以上、本実施の形態3では、レンズ331、332に特殊な形状のトロイダルレンズを採用している。そのため、二次元の走査で得られる二次元像の歪が少なく、より高精度な解像度を有し、かつ簡易な構成でコンパクトな二次元走査装置を実現することができる。

[0145] (実施の形態4)

以下、本発明に係わる実施の形態4について、図面を参照しながら説明する。

[0146] 図23に示すように、本実施の形態における二次元走査装置400は、前述の実施の形態1における二次元走査装置100と比べて、レンズ131、132の代わりに、レンズ431、432を備える点が異なる。

[0147] <レンズ431、432>

レンズ431は、X方向とY方向とでパワーが異なるトロイダルレンズである。レンズ432は、X方向とY方向とでパワーが異なるトロイダルレンズである。レンズ431の向きは、レンズ431の光軸がZ軸と平行になるように調整されている。レンズ432の向きは、レンズ432の光軸がZ軸と平行になるように調整されている。レンズ431の光軸とレンズ432の光軸とは、同一軸上に配置されている。レンズ431は、ミラー122側に配置している。レンズ432は、被検面101側に配置している。ミラー122で反射された光は、レンズ431に入射する。レンズ431から射出された光は、レンズ432に入射する。

[0148] なお、図24、図25に示すように、レンズ431の入射面については、

X方向の曲がり具合が凸型（正）であり、Y方向の曲がり具合が凹型（正）である。このレンズ431の入射面は、X方向の曲がり具合とY方向の曲がり具合とも略同じである。

[0149] レンズ431の射出面については、X方向の曲がり具合が凹型（負）であり、Y方向の曲がり具合が凹型（負）である。このレンズ431の出射面は、X方向の曲がり具合よりもY方向の曲がり具合の方が大きく曲がっている。

[0150] レンズ432の入射面については、X方向の曲がり具合が凹型（負）であり、Y方向の曲がり具合が凸型（正）である。このレンズ432の入射面は、Y方向の曲がり具合よりもX方向の曲がり具合の方が大きく曲がっている。

[0151] レンズ432の射出面については、X方向の曲がり具合が凹型（負）であり、Y方向の曲がり具合が凹型（負）である。このレンズ432の出射面は、X方向の曲がり具合よりもY方向の曲がり具合の方が大きく曲がっている。

[0152] <実施例>

ここで、本実施の形態4の実施例について、図23等を用いて説明する。レンズ431は、走査方向がX方向である場合の焦点距離  $f_{1x}$  が47.9 mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離  $f_{1y}$  が213.3 mmである。レンズ432は、走査方向がX方向である場合の焦点距離  $f_{2x}$  が-90.35 mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離  $f_{2y}$  が85.96 mmである。

[0153] レンズ431、432からなる光学系は、走査方向がX方向である場合の焦点距離  $f_x$  が84.48 mmであり、走査方向がY方向である場合の焦点距離  $f_y$  が60 mmである。

[0154] ミラー121の中心とミラー122の中心との距離は、10 mmである。

[0155] このように構成された光学系を含む二次元走査装置400を用い、回転軸123を中心に±3.4°でミラー121を回転させ、回転軸124を中心

に±4.8°でミラー122を回転させることで、被検面101における20mm×20mmの正方形の範囲を走査する。

[0156] 二次元走査装置400を構成する光学素子の諸元を図26に示す。この諸元表のデータを使用して計算された上記の数式(1)～(8)の各値を図27に示す。焦点距離 $f_x$ と焦点距離 $f_y$ との差分に影響するミラー間隔 $D_m$ は、50mmである。レトロ比とテレフォト比に影響するワーキングディスタンスWDは、60mmである。図27に示す各値により、二次元走査装置400では、走査方向によらず、テレセントリック条件、像点一致条件、およびビームスポット条件を満たすことが分かった。

[0157] なお、二次元走査装置400で、Y方向に走査した場合の被検面101の座標[0, 0]の横収差を図28Aに示し、X方向に走査した場合の被検面101の座標[0, 0]の横収差を図28Bに示す。また、二次元走査装置400で、Y方向に走査した場合の被検面101の座標[-10, -10]の横収差を図29Aに示し、X方向に走査した場合の被検面101の座標[-10, -10]の横収差を図29Bに示す。これらの図については、一目盛り100 $\mu\text{m}$ で横収差をプロットしている。これらの図に示すグラフにより、二次元走査装置400では、収差が十分に小さく、二次元走査に収差が問題無いことが分かった。

[0158] <まとめ>

以上、本実施の形態4では、レンズ431, 432にトロイダルレンズを採用することで、二次元の走査で得られる二次元像の歪が少なく、高精度な解像度を有し、かつ簡易な構成でコンパクトな二次元走査装置を実現することができる。

### 産業上の利用可能性

[0159] 本発明は、例えば、診断装置、レーザー加工機などのように、二次元に被検面を走査する二次元走査装置などとして、利用することができる。

## 請求の範囲

- [請求項1] 第1方向と、前記第1方向に直交する第2方向とに被検面を走査する二次元走査装置であって、
- 光源と、
- 前記光源からの光を前記被検面に対する前記第1方向および前記第2方向に走査させる走査光学系と、
- 前記第1方向と前記第2方向とでパワーが異なる第1レンズと、
- 前記第1方向と前記第2方向とでパワーが異なる第2レンズとを備え、
- 前記走査光学系は、前記第1レンズと前記第2レンズとからなるレンズ群より前記光源側に配置され、
- 走査方向が前記第1方向である場合の前記第1レンズの焦点距離を  $f_{1x}$  とし、走査方向が前記第2方向である場合の前記第1レンズの焦点距離を  $f_{1y}$  とし、走査方向が前記第1方向である場合の前記第2レンズの焦点距離を  $f_{2x}$  とし、走査方向が前記第2方向である場合の前記第2レンズの焦点距離を  $f_{2y}$  としたとき、下記の式(1)および(2)を満たす
- $$(1) \quad |f_{1x} / f_{1y}| < 1$$
- $$(2) \quad |f_{2x} / f_{2y}| > 1$$
- ことを特徴とする二次元走査装置。
- [請求項2] 前記第1レンズと前記第2レンズとが、トロイダルレンズであることを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。
- [請求項3] 前記レンズ群が、前記第1方向と前記第2方向とのいずれか一方に前記被検面を走査する場合には、テレフォトタイプの光学系として機能し、他方に走査する場合には、レトロフォーカスタイプの光学系として機能する
- ことを特徴とする請求項2に記載の二次元走査装置。
- [請求項4] 走査方向が前記第1方向である場合の前記レンズ群の焦点距離を  $f$

xとしたとき、

下記式(6)を満たす

$$(6) \quad 0.5 < f_{1x} / f_x < 1.4$$

ことを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。

[請求項5] 前記第1レンズと前記第2レンズとが、シリンドリカルレンズである

ことを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。

[請求項6] 前記第1レンズと前記第2レンズとの少なくとも1つが、入射面と射出面との少なくとも1つが非球面であるレンズである

ことを特徴とする請求項5に記載の二次元走査装置。

[請求項7] 前記第1レンズと前記第2レンズとについて、入射面と射出面とのうち、レンズの曲率が大きい面が非球面である

ことを特徴とする請求項5に記載の二次元走査装置。

[請求項8] 前記走査光学系が、前記被検面に対する前記第1方向を走査する第1ミラーと、前記被検面に対する前記第2方向を走査する第2ミラーとから構成された

ことを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。

[請求項9] 走査方向が前記第1方向である場合の前記レンズ群の焦点距離を  $f_x$  とし、

走査方向が前記第2方向である場合の前記レンズ群の焦点距離を  $f_y$  とし、

前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間隔を  $D_m$  とし、

前記第1レンズの射出面と前記第2レンズの入射面との光軸上の距離を  $D$  とし、

前記第2レンズの射出面から前記被検面までの光軸上の距離を  $WD$  とし、

下記の式(3) - (5)を満たす

$$(3) \quad 0.2 < |f_x - f_y| / D_m < 1.4$$

$$(4) \quad 0.6 < WD / f_y < 1.4$$

$$(5) \quad 0.6 < (D+WD) / f_x < 1.4$$

ことを特徴とする請求項8に記載の二次元走査装置。

[請求項10]

下記の式(7)を満たす

$$(7) \quad 1.0 < f_x / f_y < 1.7$$

ことを特徴とする請求項9に記載の二次元走査装置。

[請求項11]

下記の式(8)を満たす

$$(8) \quad | (1 / f_{1x} + 1 / f_{2x}) - (1 / f_{1y} + 1 / f_{2y}) | < 0.02$$

ことを特徴とする請求項8に記載の二次元走査装置。

補正された請求の範囲  
[2011年7月27日(27.07.2011)国際事務局受理]

[請求項1] (補正後)

第1方向と、前記第1方向に直交する第2方向とに被検面を走査する二次元走査装置であって、

光源と、

前記光源からの光を前記被検面に対する前記第1方向および前記第2方向に走査させる走査光学系と、

前記第1方向と前記第2方向とでパワーが異なる第1レンズと、

前記第1方向と前記第2方向とでパワーが異なる第2レンズとを備え、

前記走査光学系は、前記第1レンズと前記第2レンズとからなるレンズ群より前記光源側に配置され、

前記レンズ群が像側テレセントリックであり、

走査方向が前記第1方向である場合の前記第1レンズの焦点距離を  $f_{1x}$  とし、走査方向が前記第2方向である場合の前記第1レンズの焦点距離を  $f_{1y}$  とし、走査方向が前記第1方向である場合の前記第2レンズの焦点距離を  $f_{2x}$  とし、走査方向が前記第2方向である場合の前記第2レンズの焦点距離を  $f_{2y}$  としたとき、

下記の式(1)および(2)を満たす

$$(1) \quad |f_{1x}/f_{1y}| < 1$$

$$(2) \quad |f_{2x}/f_{2y}| > 1$$

ことを特徴とする二次元走査装置。

[請求項2]

前記第1レンズと前記第2レンズとが、トロイダルレンズである

ことを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。

[請求項3]

前記レンズ群が、前記第1方向と前記第2方向とのいずれか一方に前記被検面を走査する場合には、テレフォトタイプの光学系として機能し、他方に走査する場合には、レトロフォーカスタイプの光学系として機能する

ことを特徴とする請求項2に記載の二次元走査装置。

[請求項4]

走査方向が前記第1方向である場合の前記レンズ群の焦点距離を $f_x$ としたとき

下記式(6)を満たす

$$(6) \quad 0.5 < f_{1x} / f_x < 1.4$$

ことを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。

[請求項5]

前記第1レンズと前記第2レンズとが、シリンドリカルレンズである

ことを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。

[請求項6]

前記第1レンズと前記第2レンズとの少なくとも1つが、入射面と射出面との少なくとも1つが非球面であるレンズである

ことを特徴とする請求項5に記載の二次元走査装置。

[請求項7]

前記第1レンズと前記第2レンズとについて、入射面と射出面とのうち、レンズの曲率の大きい面が非球面である

ことを特徴とする請求項5に記載の二次元走査装置。

[請求項8]

前記走査光学系が、前記被検面に対する前記第1方向を走査する第1ミラーと、前記被検面に対する前記第2方向を走査する第2ミラーとから構成された

ことを特徴とする請求項1に記載の二次元走査装置。

[請求項9]

走査方向が前記第1方向である場合の前記レンズ群の焦点距離を $f_x$ とし、

走査方向が前記第2方向である場合の前記レンズ群の焦点距離を $f_y$ とし、

前記第1ミラーと前記第2ミラーとの間隔を $D_m$ とし、

前記第1レンズの射出面と前記第2レンズの入射面との光軸上の距離を $D$ とし、

前記第2レンズの射出面から前記被検面までの光軸上の距離を $WD$ として、

下記の式 (3) - (5) を満たす

$$(3) 0.2 < |f_x - f_y| / D_m < 1.4$$

$$(4) 0.6 < WD / f_y < 1.4$$

$$(5) 0.6 < (D+WD) / f_x < 1.4$$

ことを特徴とする請求項 8 に記載の二次元走査装置。

[請求項 10]

下記の式 (7) を満たす

$$(7) 1.0 < f_x / f_y < 1.7$$

ことを特徴とする請求項 9 に記載の二次元走査装置。

[請求項 11]

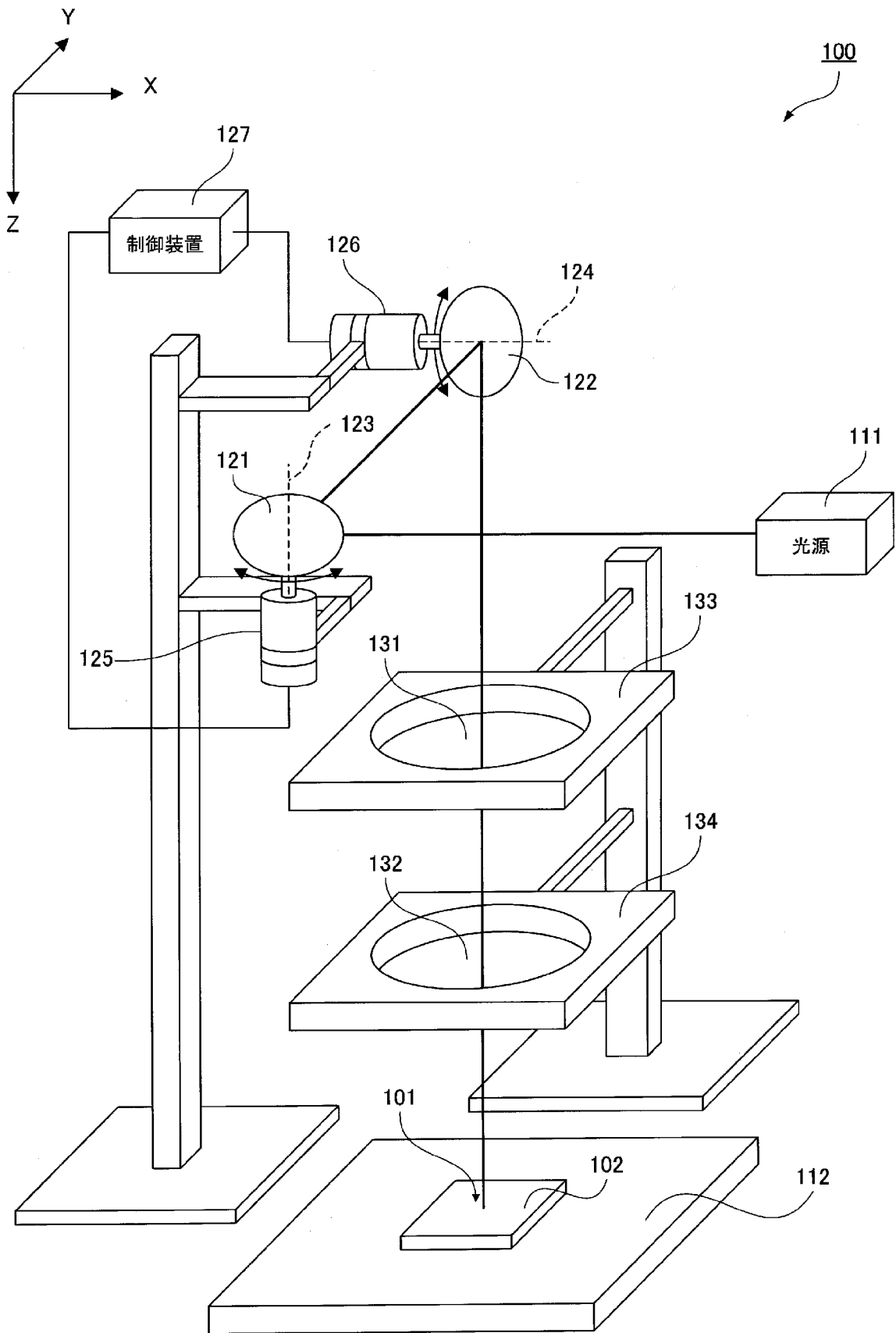
下記の式 (8) を満たす

$$(8) | (1/f_{1x} + 1/f_{2x}) - (1/f_{1y} + 1/f_{2y}) | < 0$$

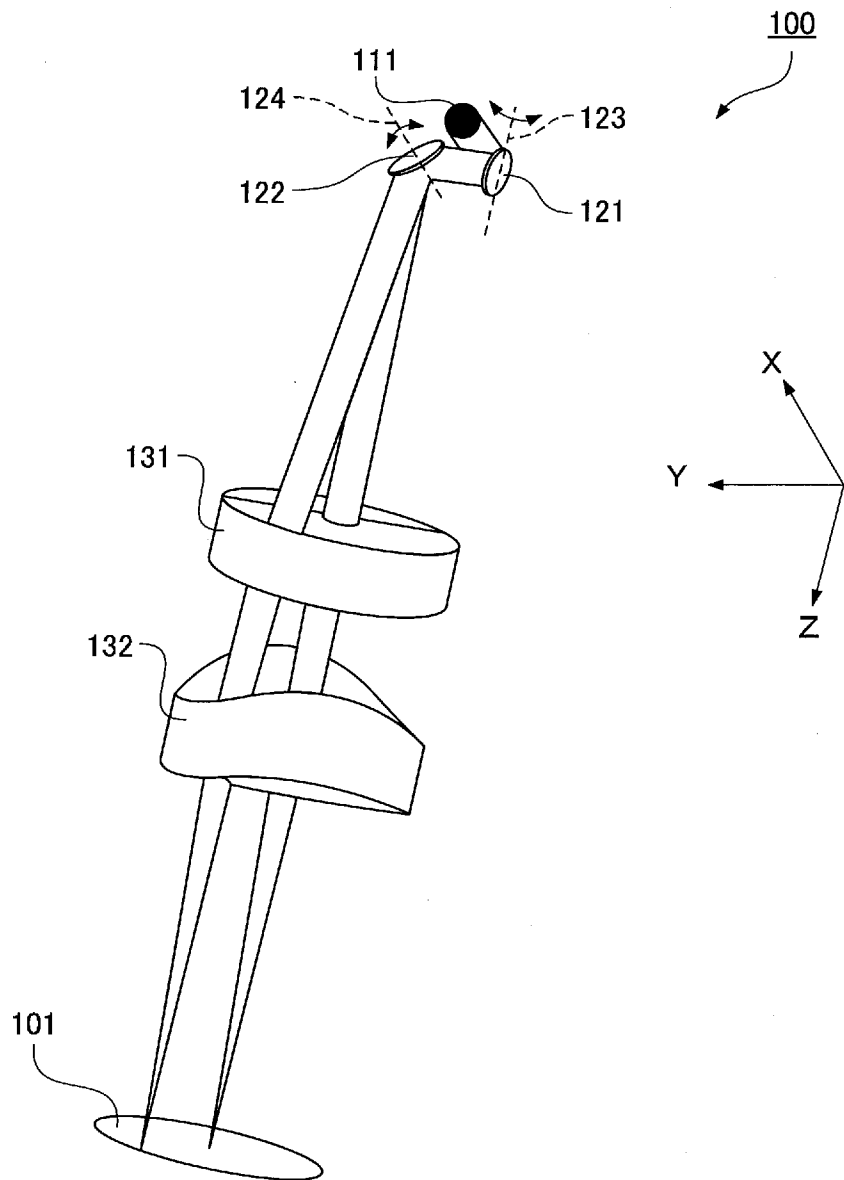
. 02

ことを特徴とする請求項 8 に記載の二次元走査装置。

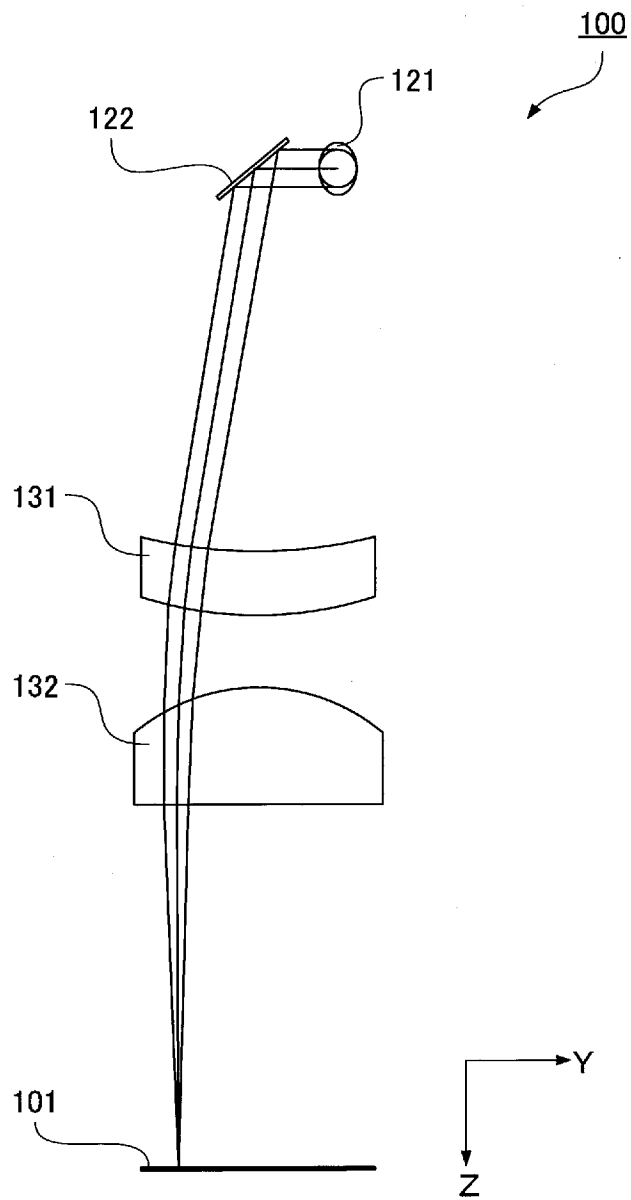
[図1A]



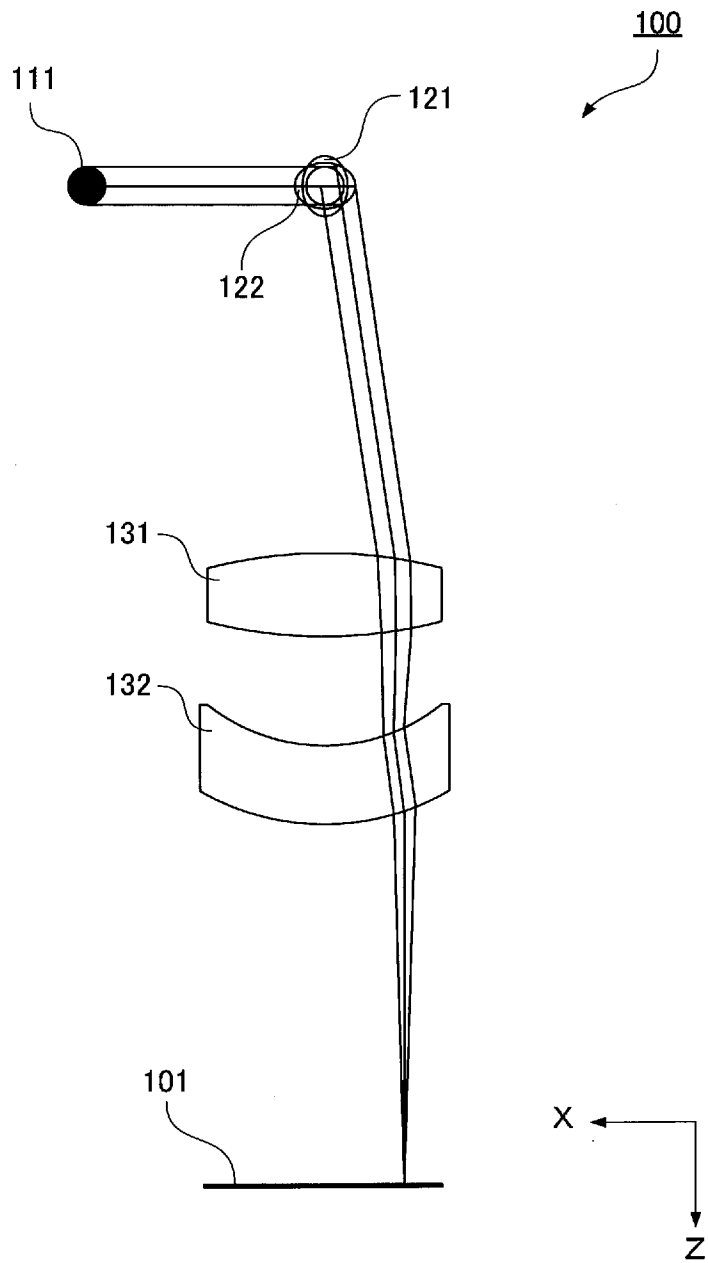
[図1B]



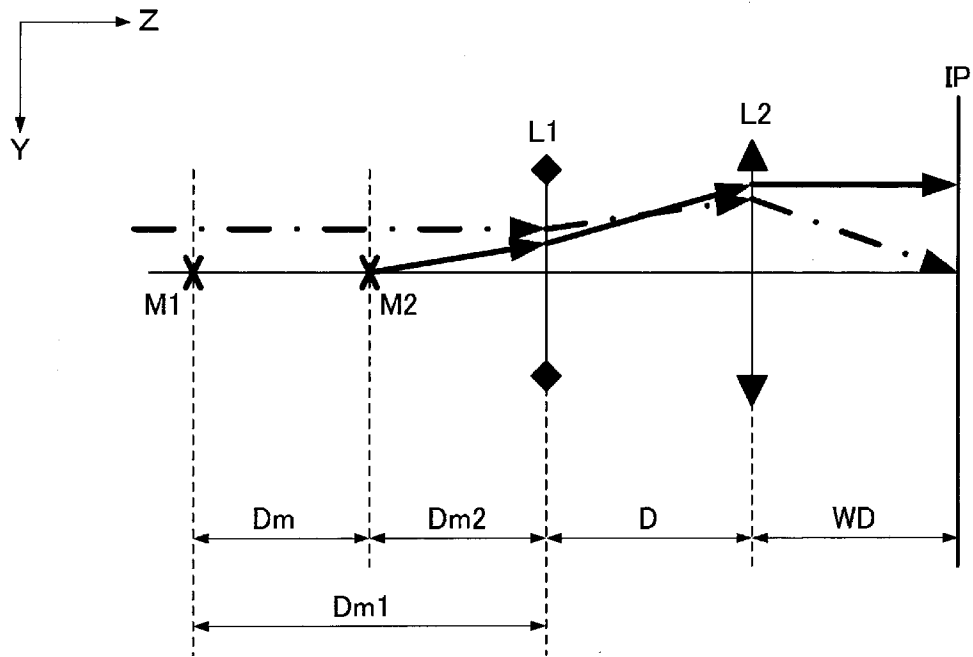
[図2]



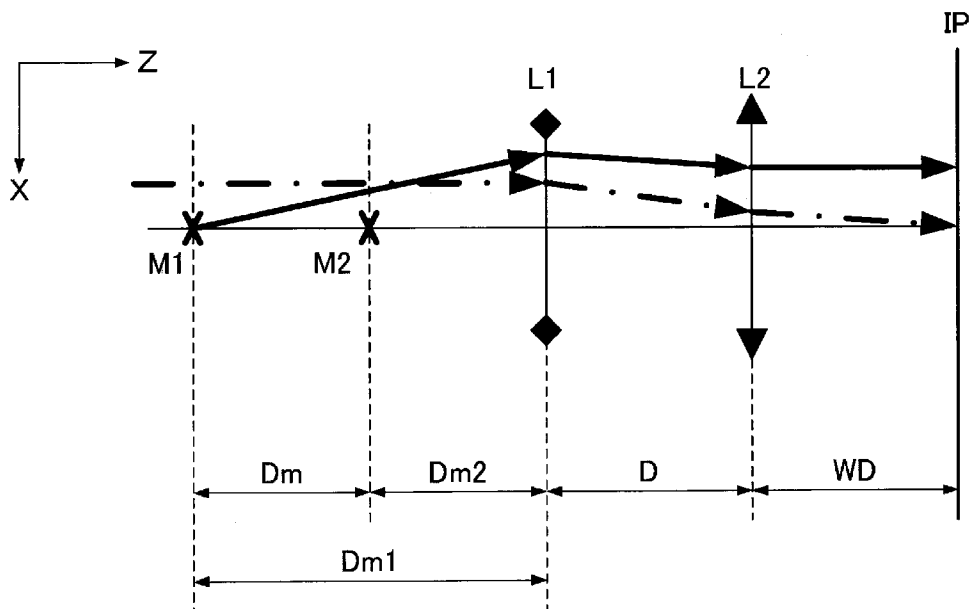
[図3]



[図4A]



[図4B]



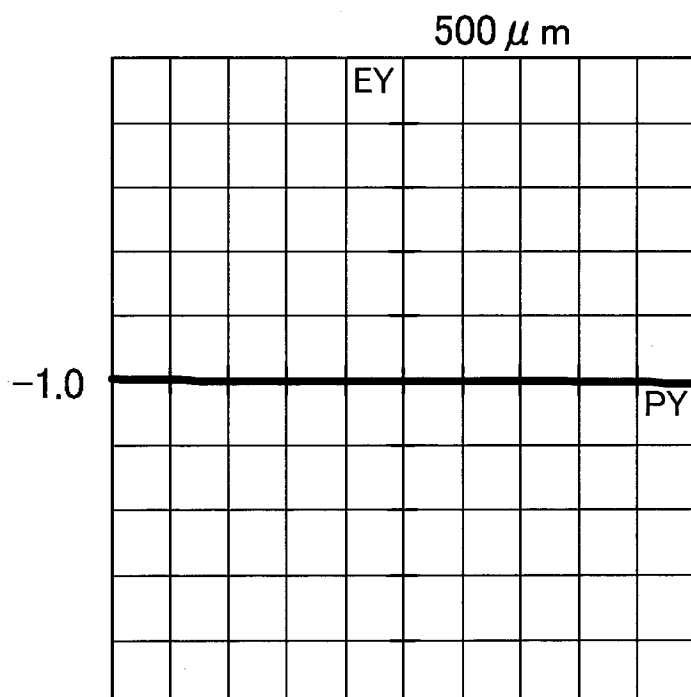
[図5]

面番号	有効径	RX	RY	距離	屈折率
1	6.2	inf	inf	10.00	(mirror)
2	8.0	inf	inf	46.14	(mirror)
3	28.2	61.634	-790.485	10.00	1.587
4	29.7	-60.209	-48.014	13.95	1.000
5	29.6	-23.504	150.275	10.00	1.587
6	31.2	-30.400	-243.223	45.00	1.000

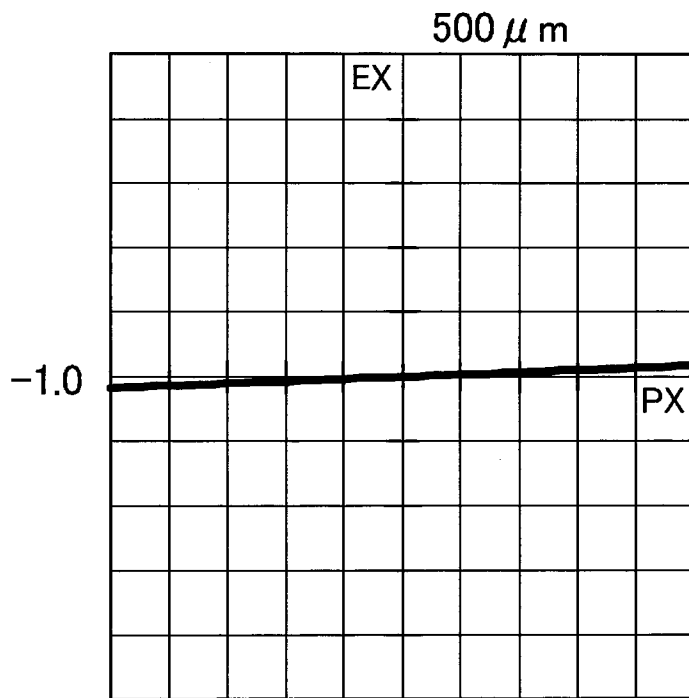
[図6]

	計算結果
数式(1)	0.62
数式(2)	2.39
数式(3)	0.83
数式(4)	0.74
数式(5)	0.86
数式(6)	0.78
数式(7)	1.1
数式(8)	0.00177

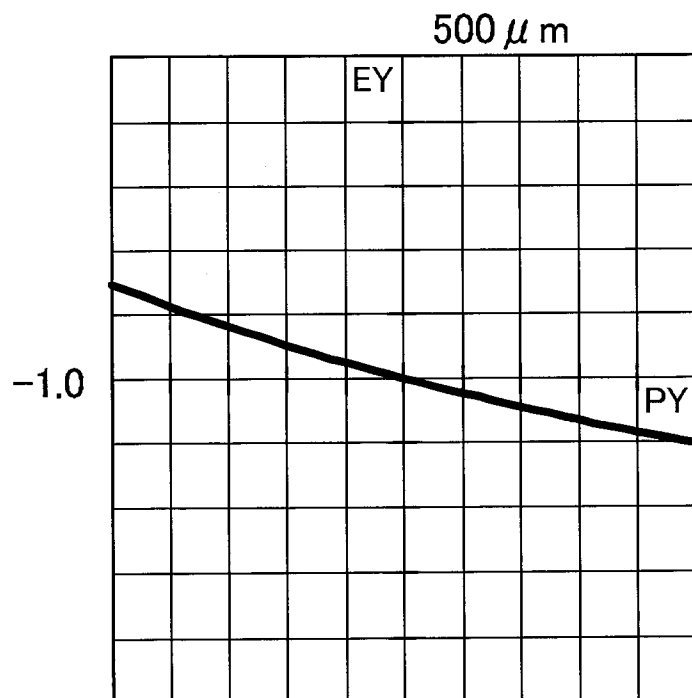
[図7A]



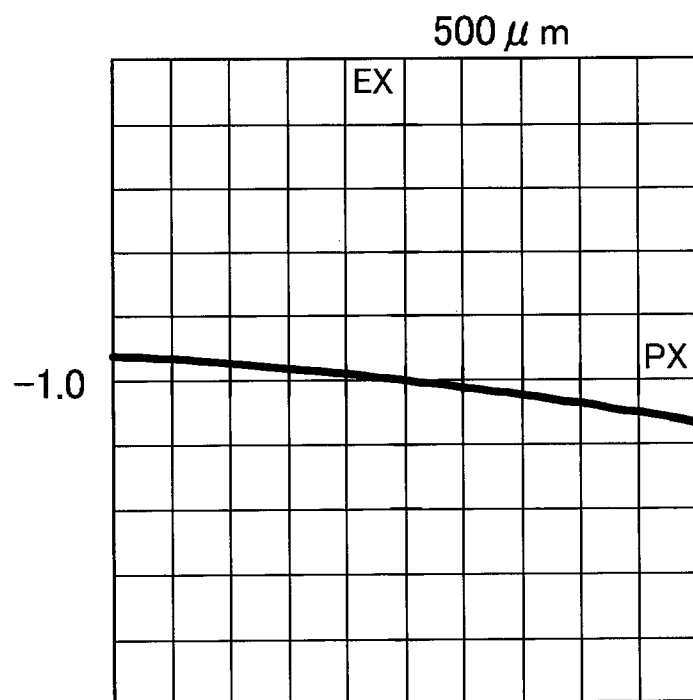
[図7B]



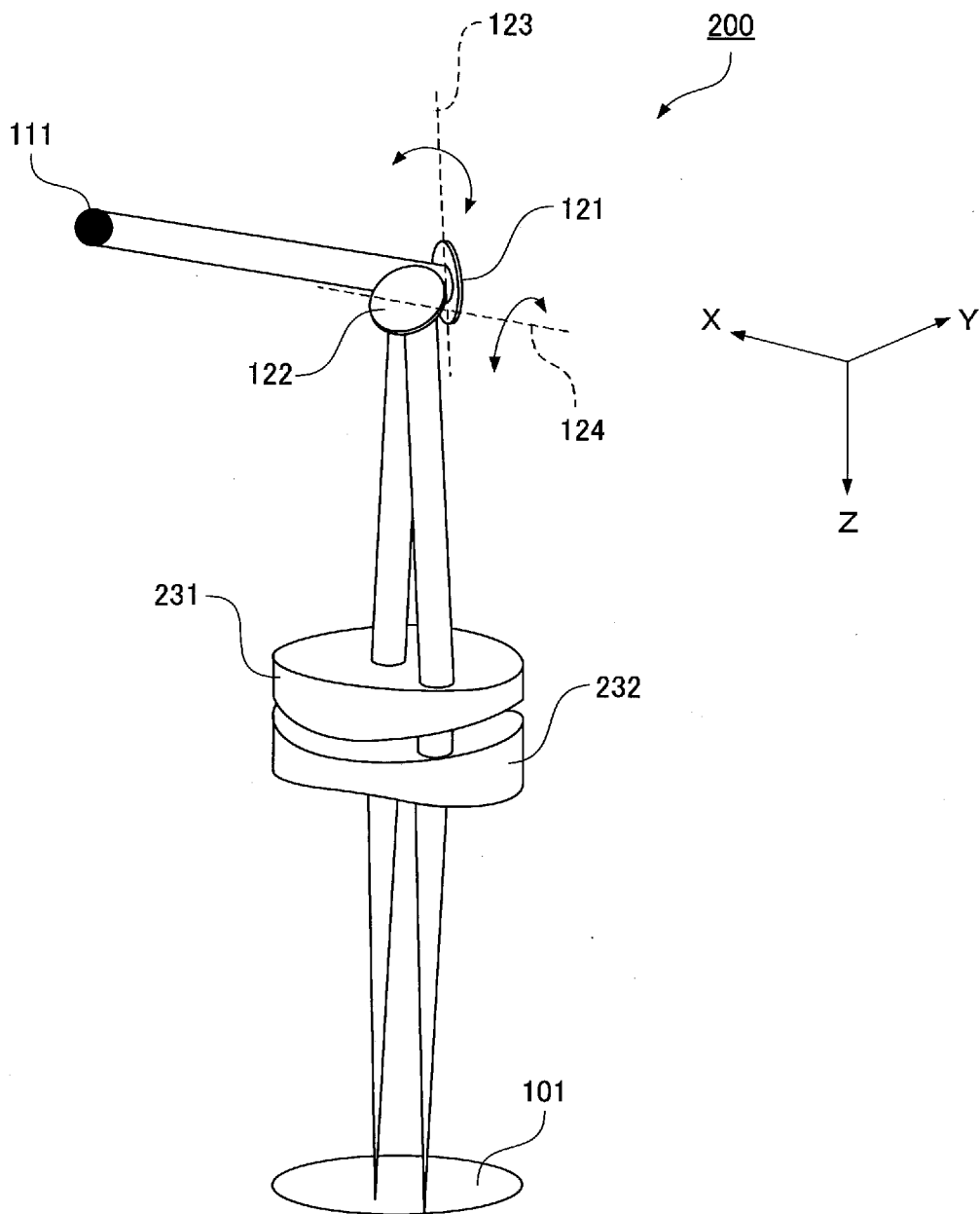
[図8A]



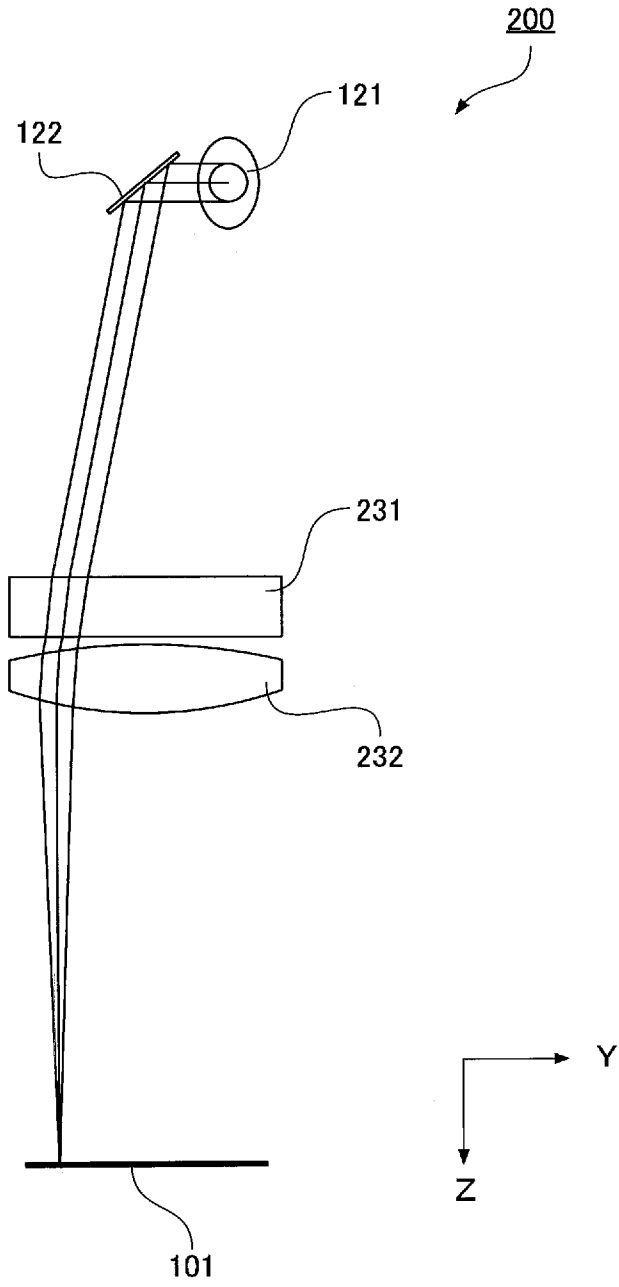
[図8B]



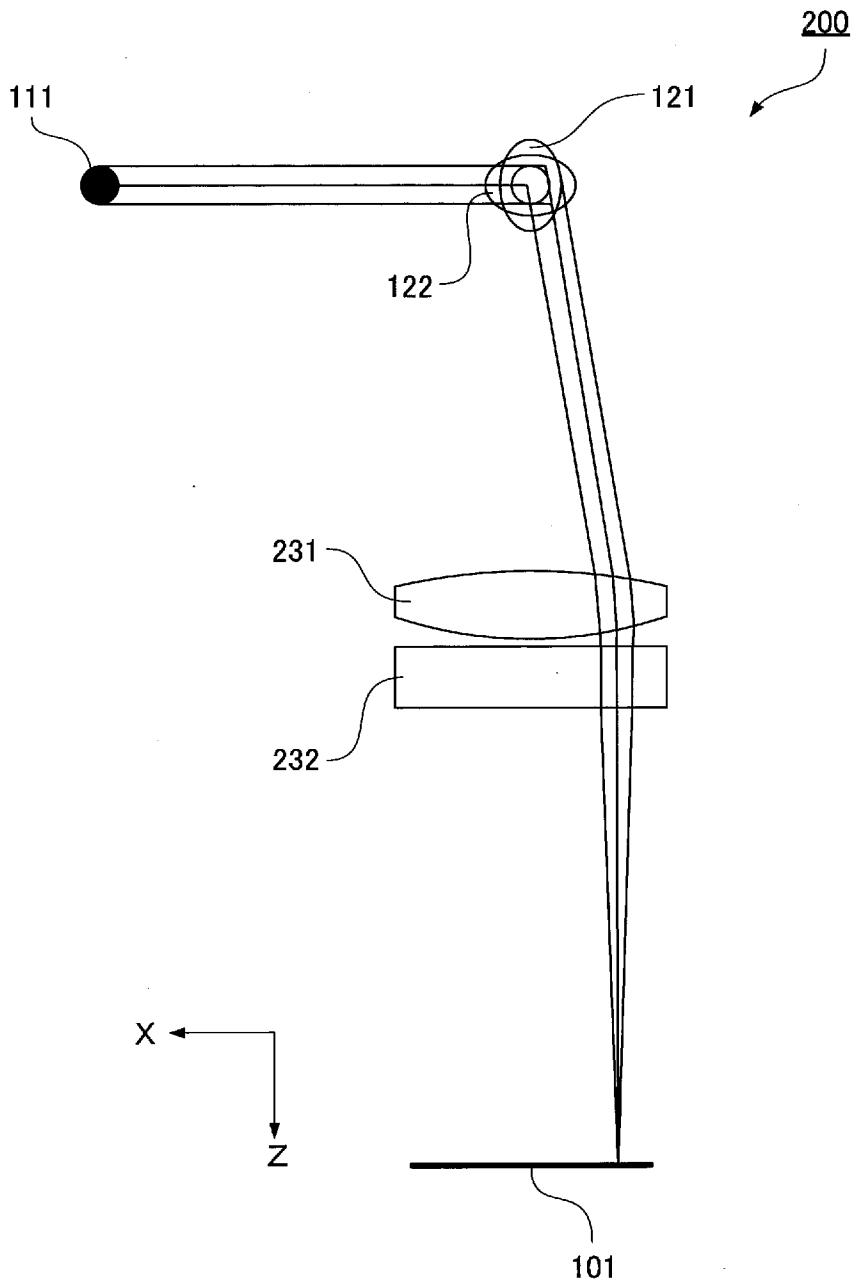
[図9]



[10]



[図11]



[図12]

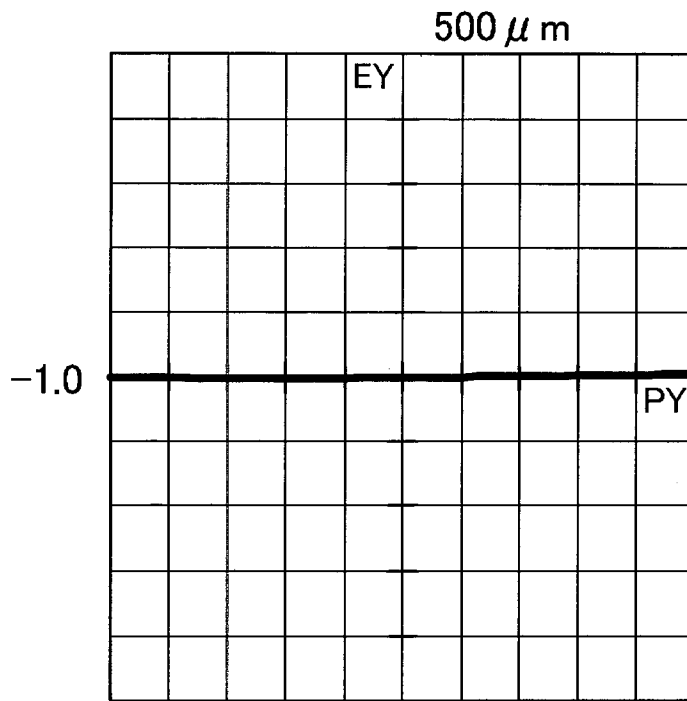
面番号	有効径	RX	RY	距離	屈折率
1	6.2	inf	inf	10.00	(mirror)
2	8.2	inf	inf	45.52	(mirror)
3	30.2	117.013	inf	7.00	1.587
4*	31.5	-49.381	inf	1.00	1.000
5	32.3	inf	83.090	8.00	1.587
6*	32.6	inf	-50.180	52.36	1.000

非球面係数	k	A	B	C	D
RX4	-0.460	8.247E-07	7.193E-09	-7.036E-11	2.599E-13
RY6	0.109	2.266E-06	3.583E-10	2.221E-11	-1.359E-13

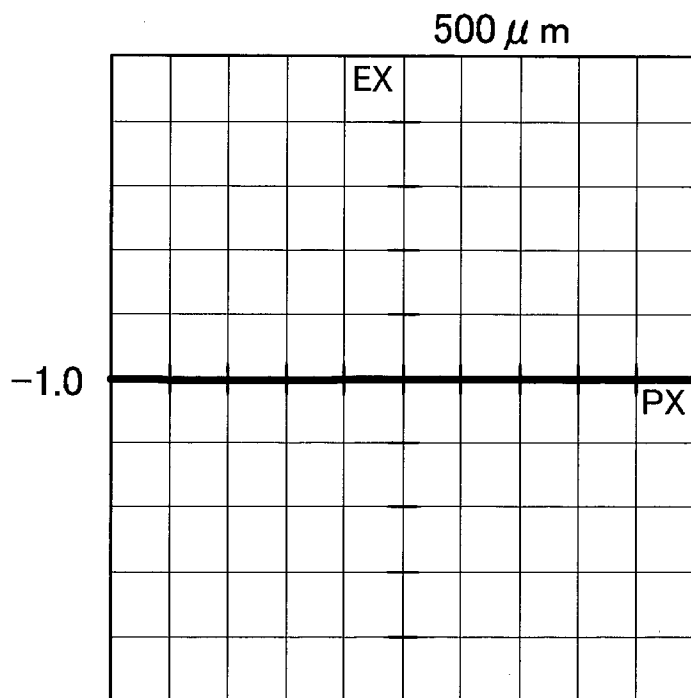
[図13]

	計算結果
数式(1)	1.00E-29
数式(2)	1.84E+28
数式(3)	0.56
数式(4)	0.96
数式(5)	0.89
数式(6)	1
数式(7)	1.1
数式(8)	0.00171

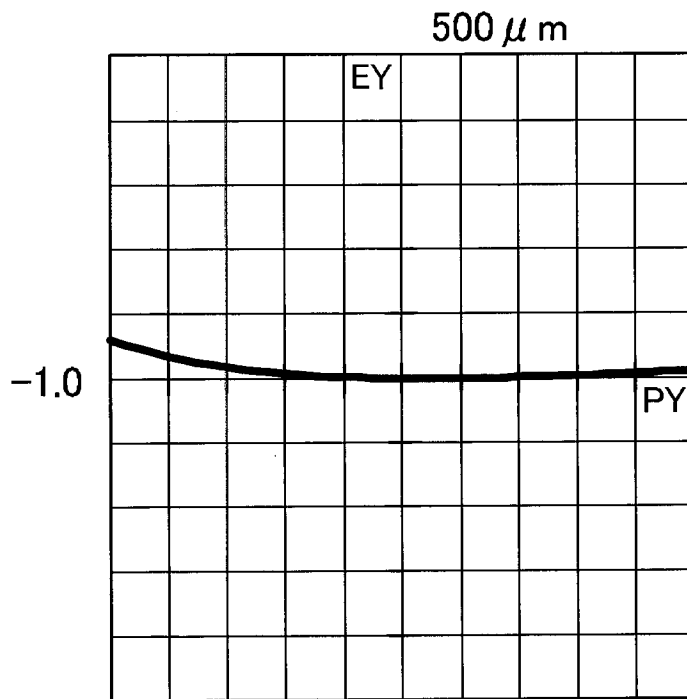
[図14A]



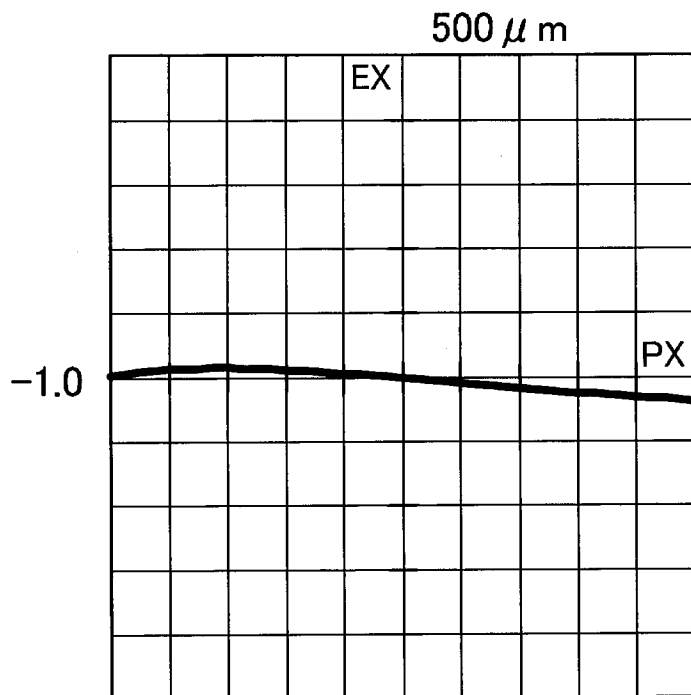
[図14B]

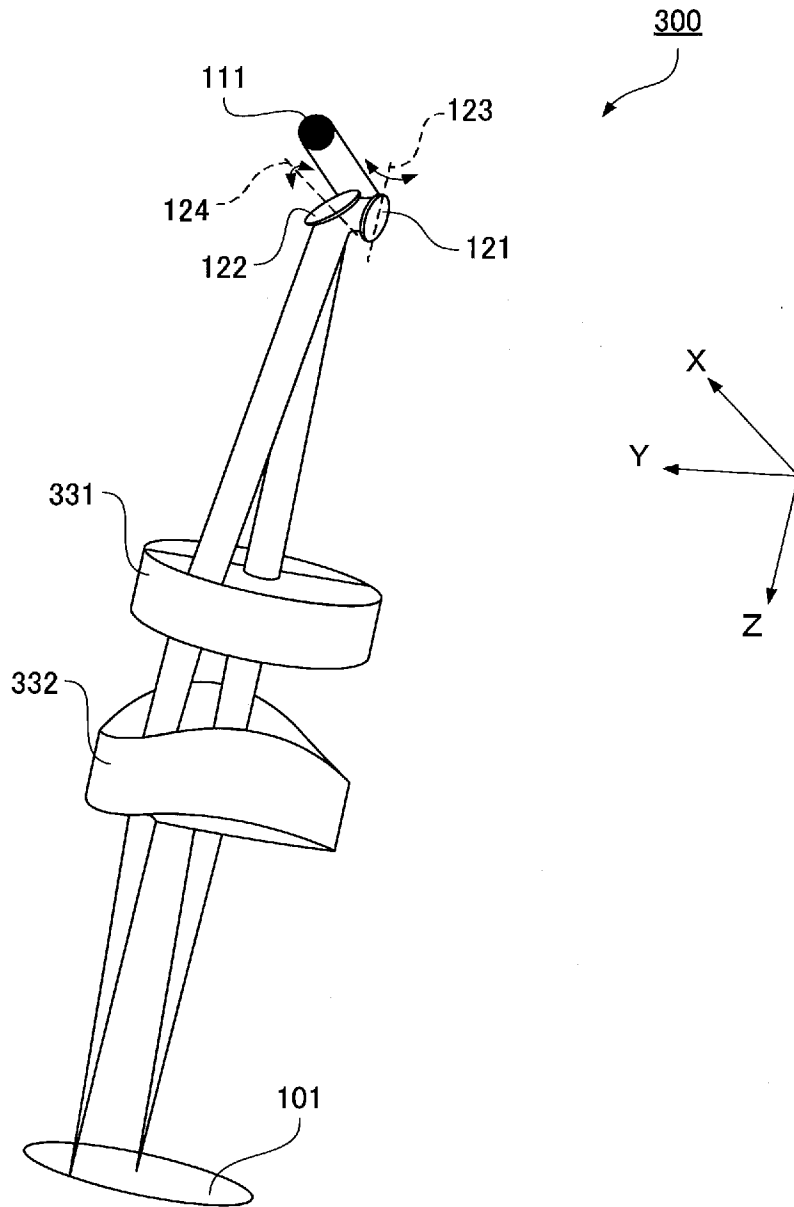


[図15A]

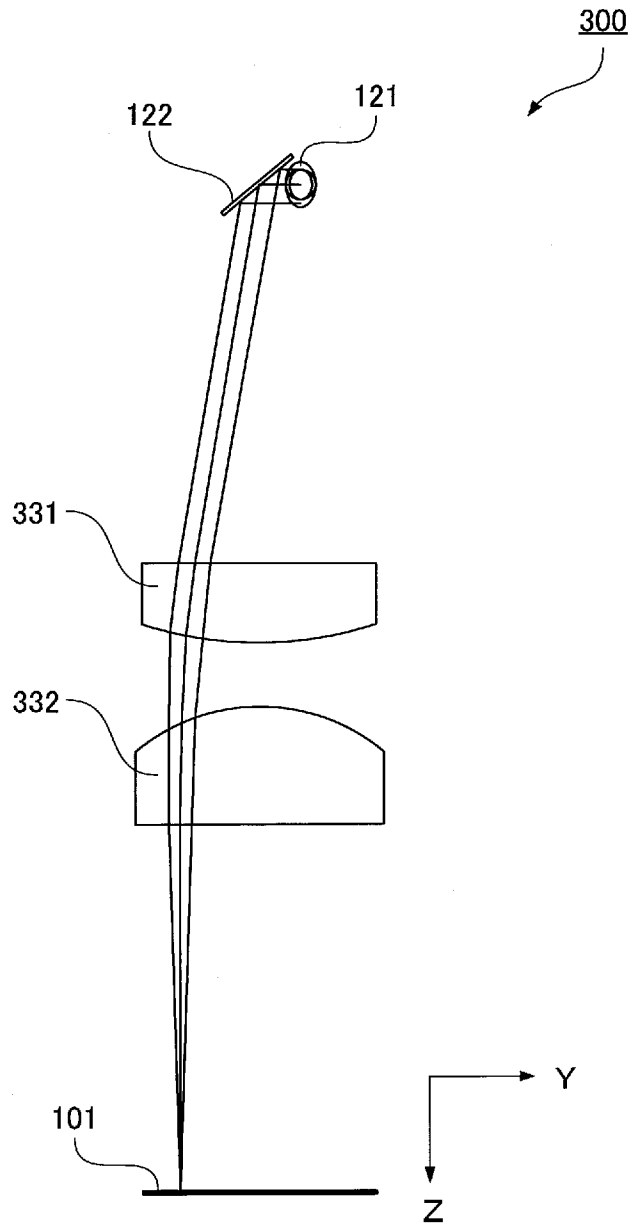


[図15B]

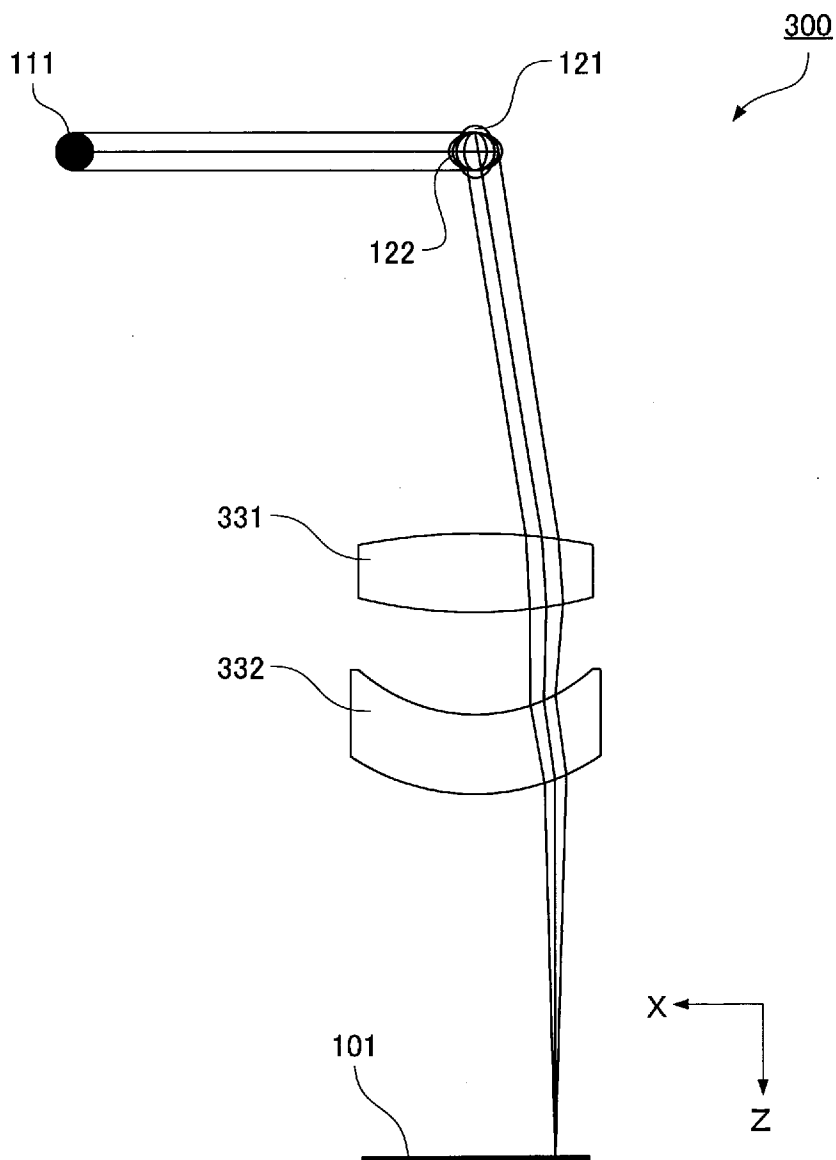


[16]

[17]



[図18]



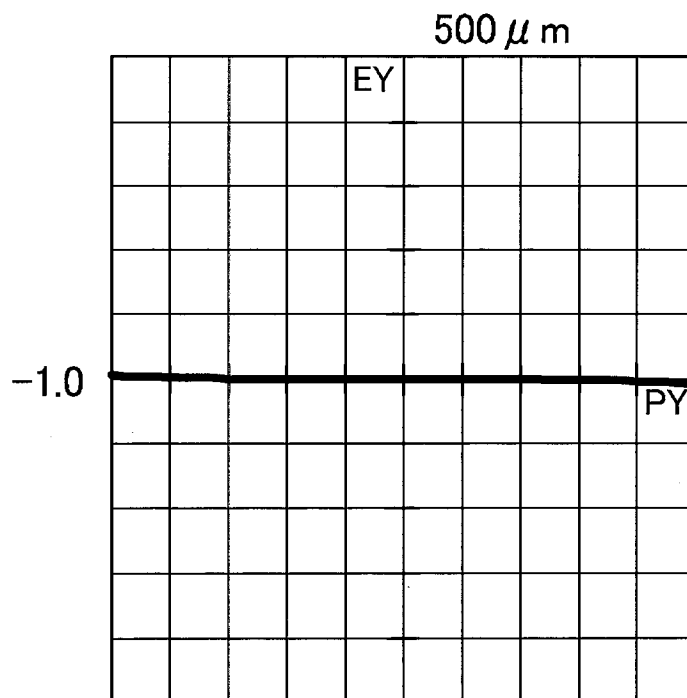
[図19]

面番号	有効径	RX	RY	距離	屈折率
1	6.2	inf	inf	5.00	(mirror)
2	8.0	inf	inf	47.47	(mirror)
3	28.2	64.528	2064.703	10.00	1.587
4	29.7	-54.362	-50.477	12.76	1.000
5	29.6	-22.276	146.612	10.00	1.587
6	31.2	-28.602	-322.768	45.00	1.000

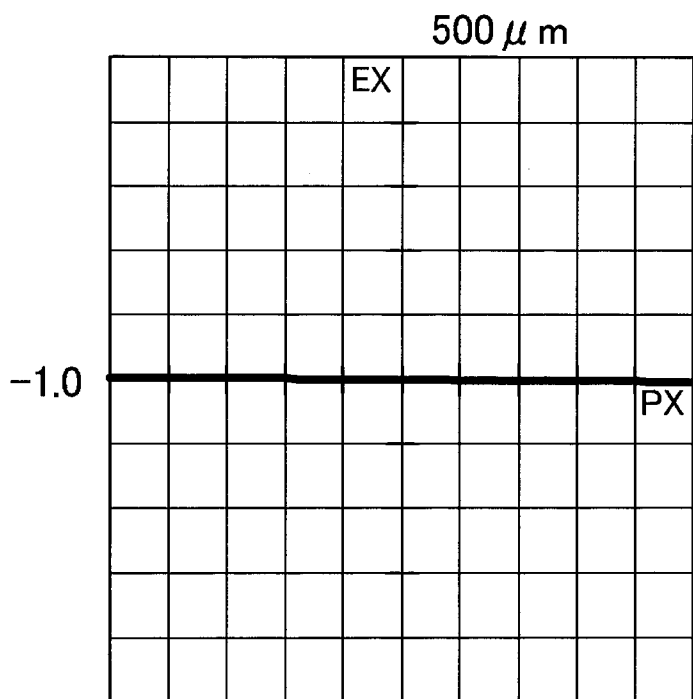
[図20]

	計算結果
数式(1)	0.61
数式(2)	2.39
数式(3)	1.23
数式(4)	0.74
数式(5)	0.87
数式(6)	0.78
数式(7)	1.1
数式(8)	0.000812

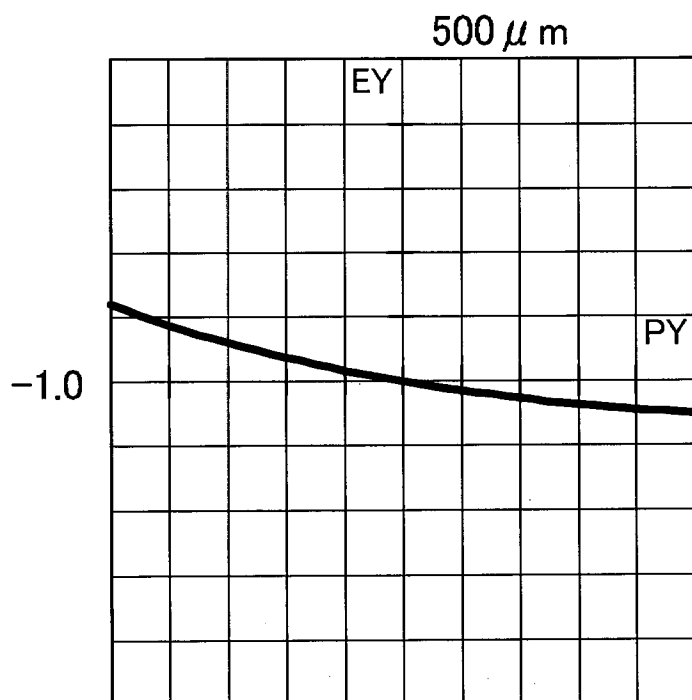
[図21A]



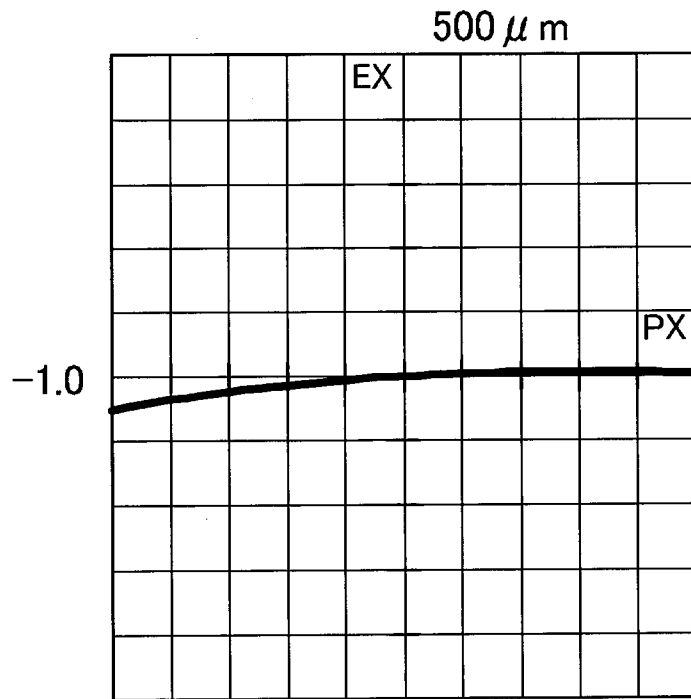
[図21B]



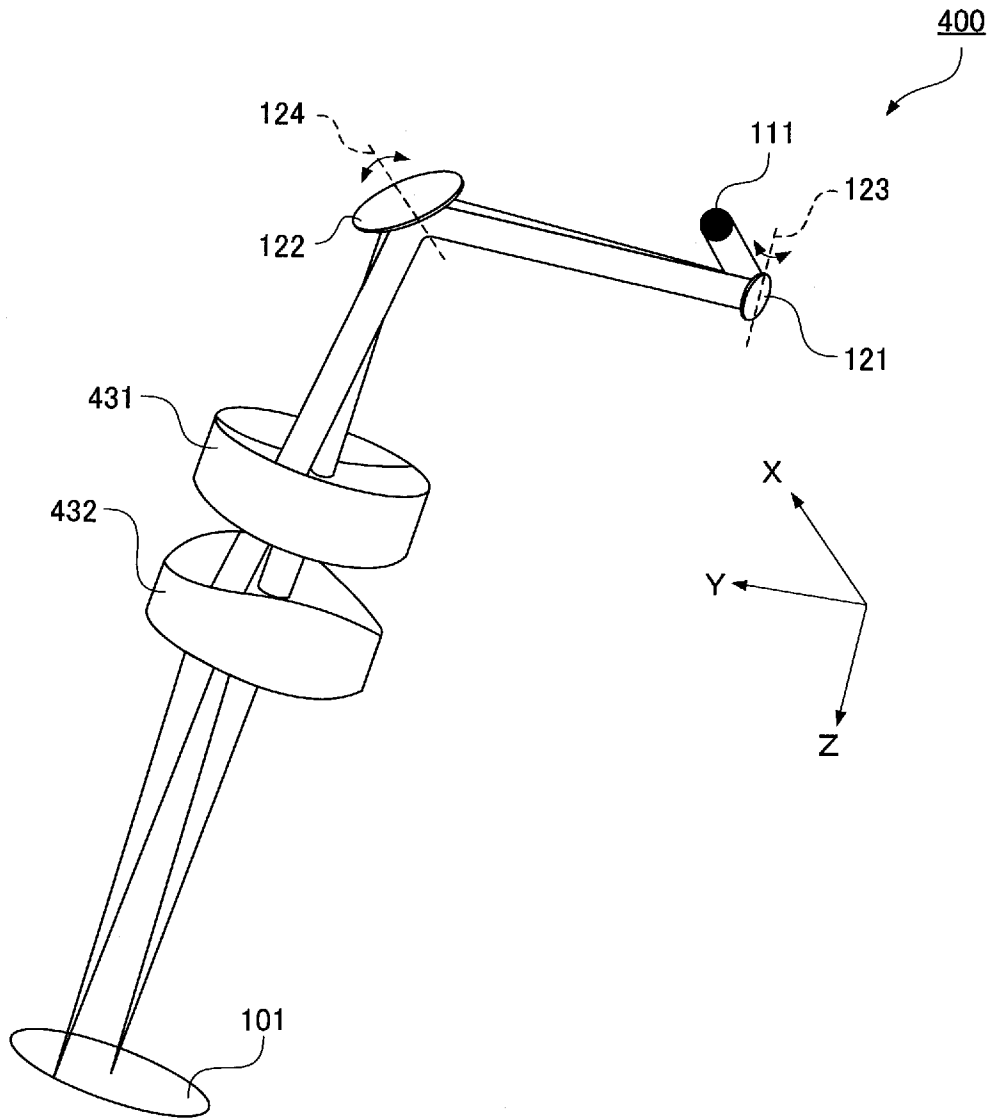
[図22A]



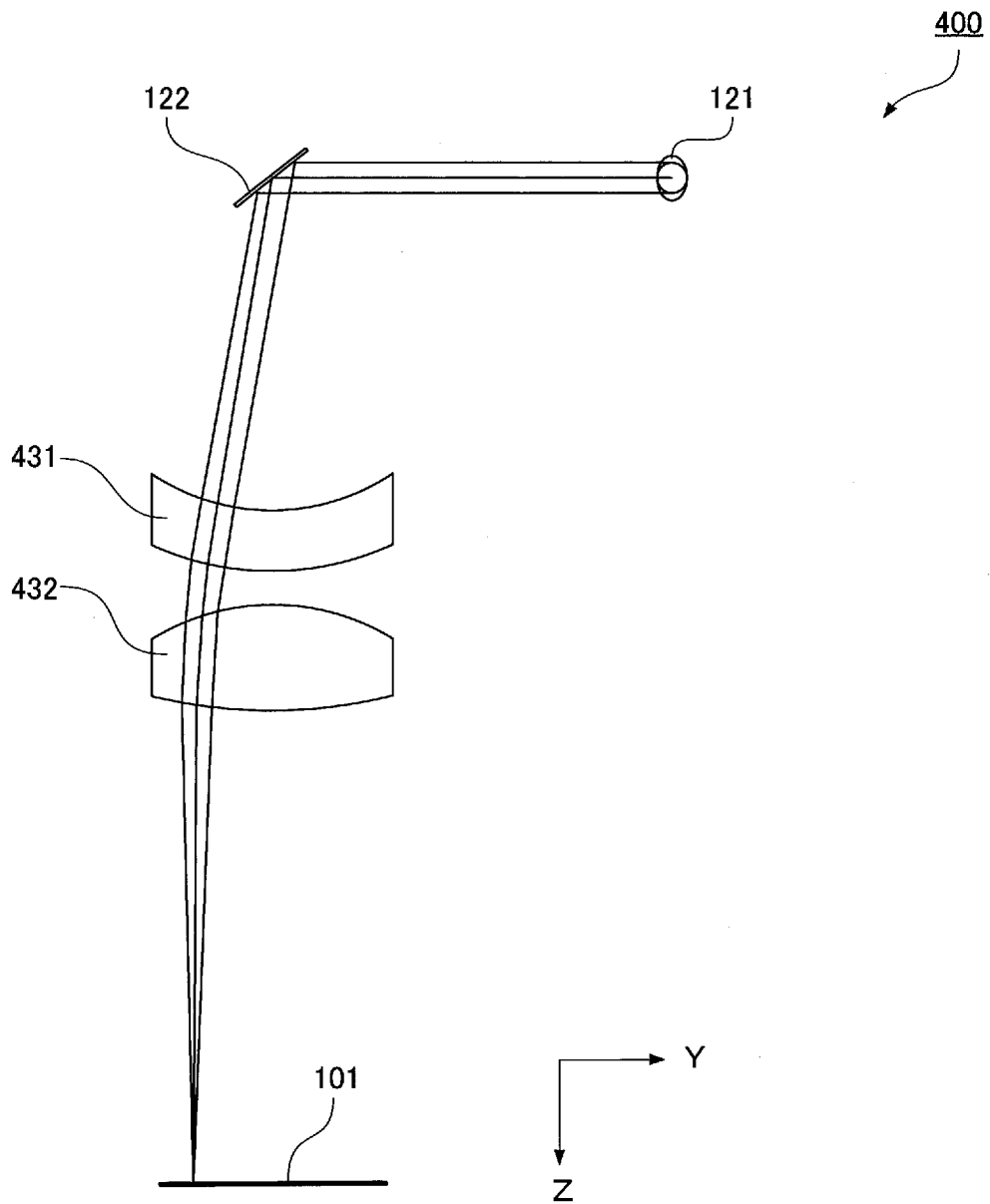
[図22B]



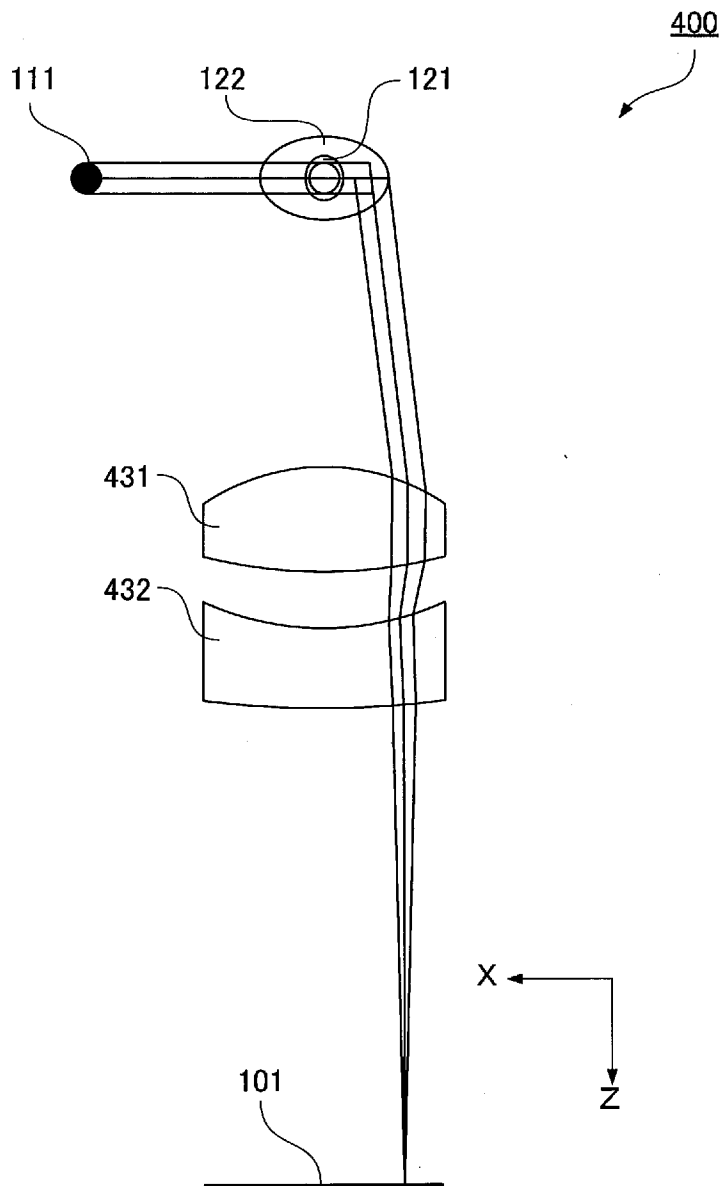
[図23]



[図24]



[図25]



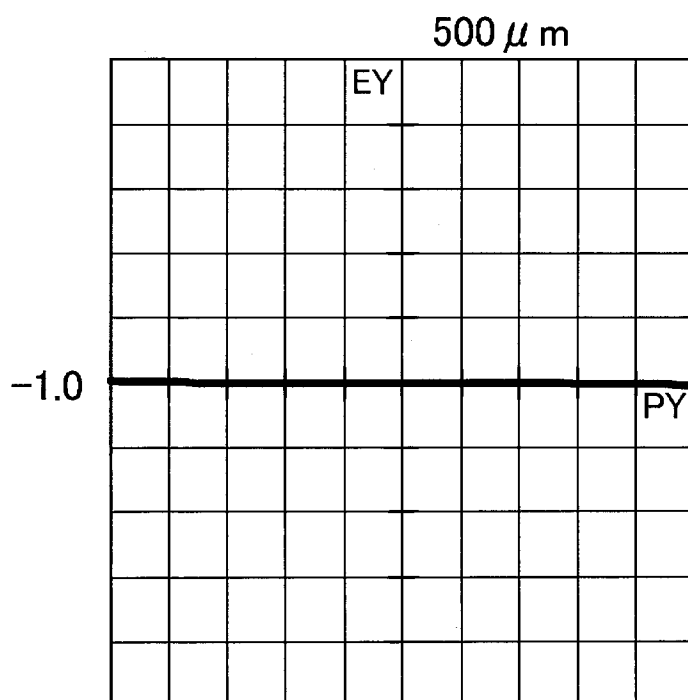
[図26]

面番号	有効径	RX	RY	距離	屈折率
1	6.2	inf	inf	50.00	(mirror)
2	16.0	inf	inf	39.10	(mirror)
3	29.4	47.812	-42.499	10.00	1.587
4	30.6	-63.011	-34.505	7.71	1.000
5	29.8	-35.913	178.203	10.00	1.587
6	31.0	-122.380	-69.044	60.00	1.000

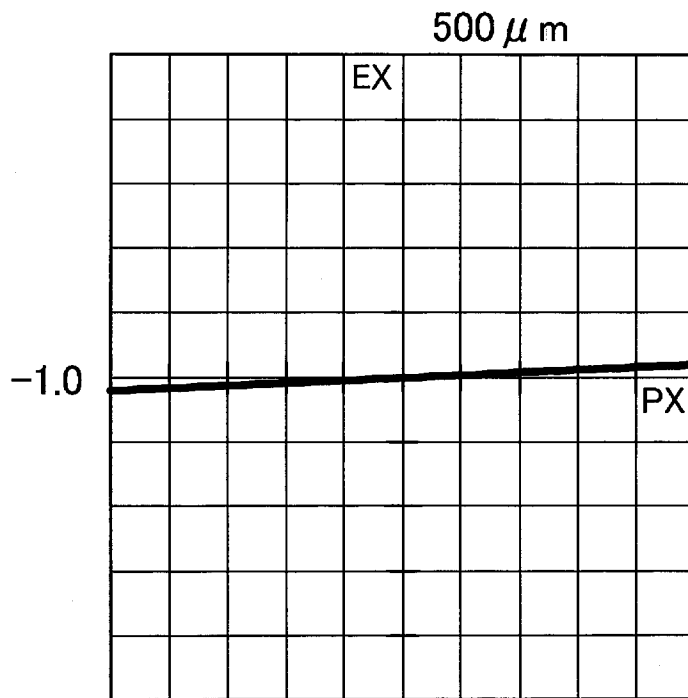
[図27]

	計算結果
数式(1)	0.22
数式(2)	1.05
数式(3)	0.48
数式(4)	0.99
数式(5)	0.8
数式(6)	0.56
数式(7)	1.41
数式(8)	0.00649

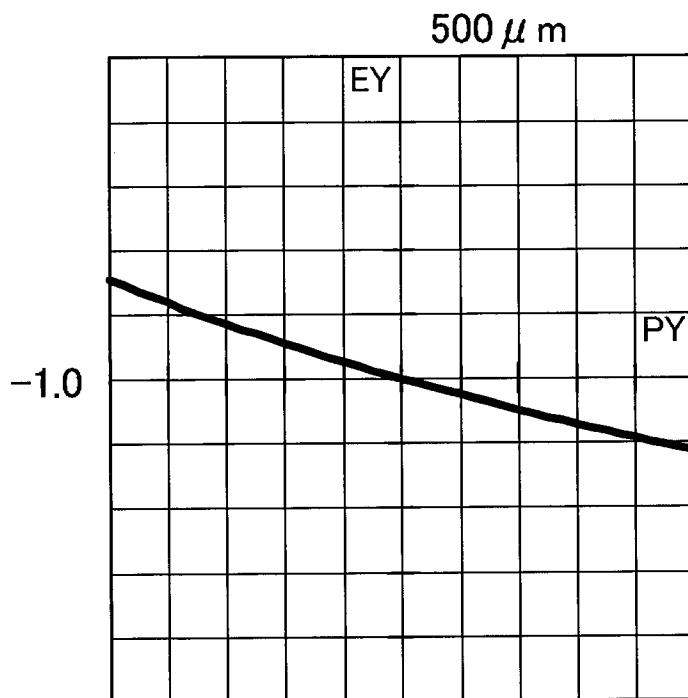
[図28A]



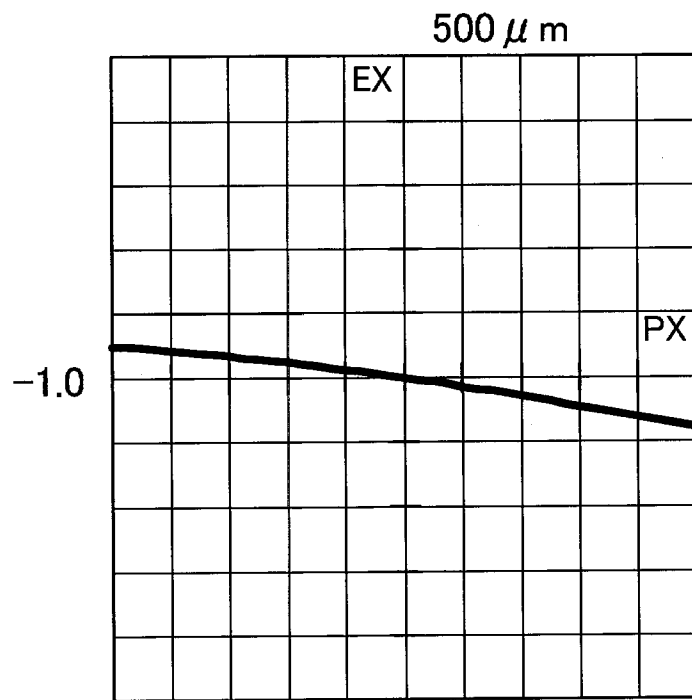
[図28B]



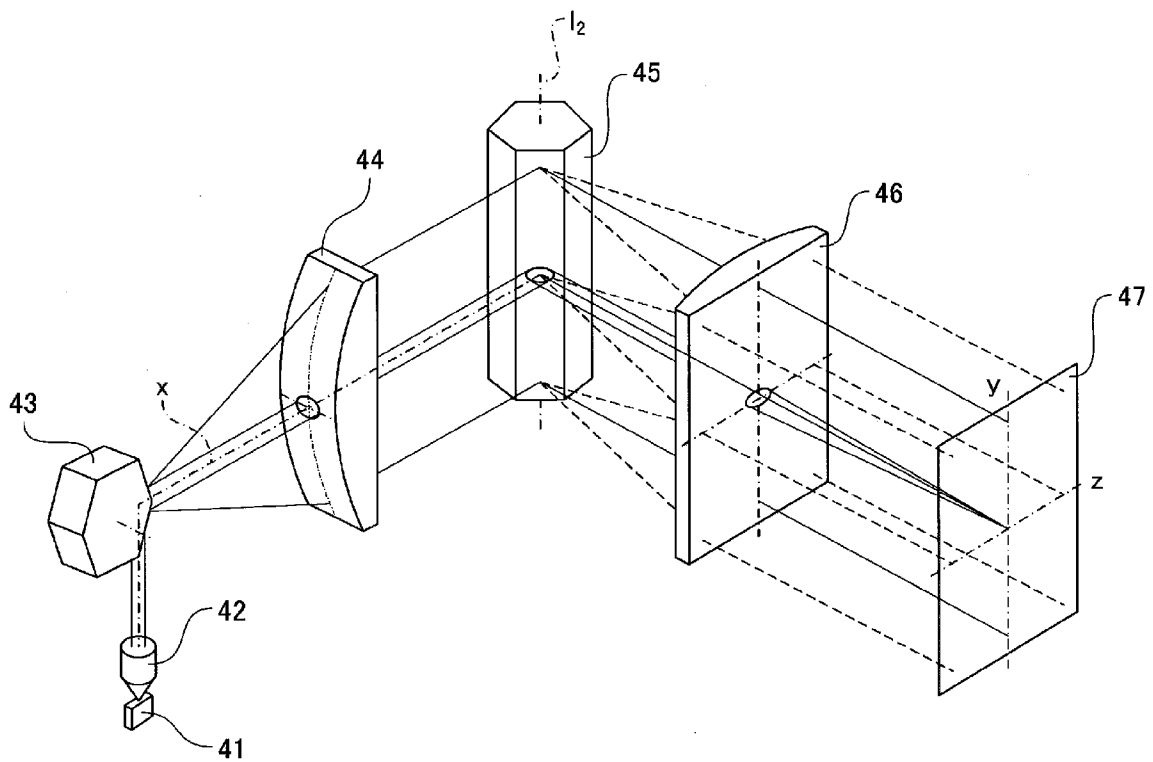
[図29A]



[図29B]



[図30]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/001241

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> G02B26/12(2006.01)i, B23K26/08(2006.01)i, B41J2/44(2006.01)i, G01N21/84(2006.01)i, G02B13/00(2006.01)i, G02B26/10(2006.01)i, H04N1/113(2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B26/12, B23K26/08, B41J2/44, G01N21/84, G02B13/00, G02B26/10, H04N1/113  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 1996-2011 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-82663 A (Sunx Ltd.), 15 April 2010 (15.04.2010), paragraphs [0028], [0033]; fig. 1 (Family: none)	1
A	JP 2004-138822 A (Canon Inc.), 13 May 2004 (13.05.2004), entire text; all drawings & US 2004/0075914 A1	1
A	JP 2007-253203 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 October 2007 (04.10.2007), claims; fig. 2 (Family: none)	1
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 24 March, 2011 (24.03.11)		Date of mailing of the international search report 05 April, 2011 (05.04.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02B26/12(2006.01)i, B23K26/08(2006.01)i, B41J2/44(2006.01)i, G01N21/84(2006.01)i, G02B13/00(2006.01)i, G02B26/10(2006.01)i, H04N1/113(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. G02B26/12, B23K26/08, B41J2/44, G01N21/84, G02B13/00, G02B26/10, H04N1/113		
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 1971-2011年 日本国実用新案登録公報 1996-2011年 日本国登録実用新案公報 1994-2011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
A	JP 2010-82663 A (サンクス株式会社) 2010.04.15, 【0028】, 【0033】, 図1 (ファミリーなし)	1
A	JP 2004-138822 A (キヤノン株式会社) 2004.05.13, 全文全図 & US 2004/0075914 A1	1
A	JP 2007-253203 A (住友電気工業株式会社) 2007.10.04, 特許請求の範囲、図2 (ファミリーなし)	1
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 24.03.2011	国際調査報告の発送日 05.04.2011	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 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) 野田 定文 電話番号 03-3581-1101 内線 3294	2X 9711