

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4006313号  
(P4006313)

(45) 発行日 平成19年11月14日(2007.11.14)

(24) 登録日 平成19年8月31日(2007.8.31)

(51) Int. Cl.	F I
GO 2 B 26/10 (2006.01)	GO 2 B 26/10 D
GO 2 B 13/22 (2006.01)	GO 2 B 26/10 C
GO 2 B 17/08 (2006.01)	GO 2 B 13/22
GO 2 B 25/02 (2006.01)	GO 2 B 17/08 A
GO 2 B 27/02 (2006.01)	GO 2 B 25/02

請求項の数 9 (全 33 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-303442 (P2002-303442)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成14年10月17日(2002.10.17)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2004-138822 (P2004-138822A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成16年5月13日(2004.5.13)	(74) 代理人	100067541
審査請求日	平成17年8月8日(2005.8.8)		弁理士 岸田 正行
		(74) 代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(74) 代理人	100108361
			弁理士 小花 弘路
		(72) 発明者	山本 亮
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		審査官	三橋 健二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走査型表示光学系及び走査型表示装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの光束を2次元方向に偏向する偏向手段と、  
前記偏向手段により偏向された光束を結像させる走査光学系とを有し、  
前記偏向手段への前記光源からの光束の入射方向が、前記偏向手段における2方向の偏向軸のうち少なくとも一方に対して斜め方向であり、

前記走査光学系は、最も前記偏向手段側に配置された負の光学パワーを有する第1の光学素子と、像面側に配置された正の光学パワーを有する第2の光学素子と、前記第1及び第2の光学素子の間に配置された正の光学パワーを有する第3の光学素子とを含み、

前記第3の光学素子は、前記偏向手段による光束の2次元偏向範囲の中心軸に対して、前記光源からの光束が前記偏向手段に入射する側にチルトおよびシフトし、

前記第2の光学素子は、前記中心軸に対して、前記光源からの光束が前記偏向手段に入射する側とは反対側にシフトしていることを特徴とする走査型表示光学系。

【請求項 2】

前記第2の光学素子は、前記偏向手段側に凸面を向けたメニスカスレンズであり、  
前記第3の光学素子は、像面側に凸面を向けたレンズであることを特徴とする請求項1に記載の走査型表示光学系。

【請求項 3】

前記走査光学系の像面への光束の入射角度が5度以内であることを特徴とする請求項1又は2に記載の走査型表示光学系。

10

20

## 【請求項 4】

前記光源と前記偏向手段との間に、前記光源からの光束を前記偏向手段に、偏向軸に対して斜め方向から入射させるよう導く反射面が設けられていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載の走査型表示光学系。

## 【請求項 5】

前記光源と前記走査光学系との間に、前記光源からの光束を収束光束に変換する集束光学素子が設けられていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載の走査型表示光学系。

## 【請求項 6】

前記集束光学素子と前記偏向手段の間に、前記光源からの光束を前記偏向手段に、偏向軸に対して斜め方向から入射させるよう導く反射面が設けられていることを特徴とする請求項 5 に記載の走査型表示光学系。

10

## 【請求項 7】

以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 つに記載の走査型表示光学系。

$$1 < 2$$

但し、 $1$  は前記第 1 の光学素子のアッペ数、 $2$  は前記第 2 の光学素子のアッペ数である。

## 【請求項 8】

前記走査光学系により結像された偏向光束を観察者の眼に導く接眼光学系を有することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 つに記載の走査型表示光学系。

20

## 【請求項 9】

光源と、

請求項 1 から 8 のいずれか 1 つに記載の走査型表示光学系とを有することを特徴とする走査型表示装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、2次元方向に光束を偏向走査することにより2次元画像を形成する2次元走査装置を用い、特に観察者の網膜上に画像を走査形成する電子ファインダ等に好適な走査型表示光学系及び走査型表示装置に関するものである。

30

## 【0002】

## 【従来の技術】

光源から出射した光束を光偏向部材によって2次元方向に偏向走査して観察者の網膜上に残像効果を利用して直接画像を形成する網膜直接描画型の表示装置は従来いくつか提案されている。

## 【0003】

例えば、特許文献1～3には、網膜走査型ディスプレイの概要が開示されている。このディスプレイは、2次元方向に偏向された光束を1次結像面に結像させ、接眼光学系を通して観察者の網膜上に2次元画像を形成するものである。

40

## 【0004】

また、特許文献4には、プリズムを少なくとも1つ有する網膜直接描画型の表示装置が提案されている。プリズムは、入射面と内部反射面と出射面の少なくとも3面を有し、偏向された光束がプリズム内で3回以上反射するとともに、反射面のうち少なくとも1面は光学パワーを持つものである。

## 【0005】

また、像面上をスポットで2次元的に走査して2次元画像を形成する2次元走査型の表示光学系も従来提案されている。ここで、網膜直接描画型の表示装置では、光束を偏向した際に生じる走査スポットの像面上におけるデフォーカスにより、像面上での走査スポットの移動特性や像面サイズに変化が生じる。そして、これにより画角の変化や像の歪みが生

50

じてしまう。

【0006】

このため、特許文献5には、光束を偏向した際のデフォーカスにより、走査スポットの像面上における移動特性が $f$ 特性から外れないようにテレセントリック性を持たせた光学系が提案されている。

【0007】

さらに、特許文献6には、光源から出射した光束を2次元的に偏向し、歪曲特性として $f \cdot \sin$ 特性を有した走査レンズにより被走査面上を2次元的に走査する2次元走査装置が提案されている。これは、走査レンズの $f \cdot \sin$ 特性と電氣的な補正とにより表示画像の歪みを補正するものである。

10

【0008】

【特許文献1】

米国特許5557444号

【特許文献2】

米国特許5467104号

【特許文献3】

米国特許5903397号

【特許文献4】

特開2001-4955号公報

【特許文献5】

特開平10-68876号公報

20

【特許文献6】

特開平08-146320号公報

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記特許文献1～3には、網膜走査型ディスプレイの具体的な光学構成については記載されていない。

【0010】

また、特許文献4にて提案されているように、プリズム内の反射面を用いた構成では、一般に光学部材の反射率は透過率に比べ低いため、光量損失が問題となる。特に、特許文献4にて提案されているもののよう3面以上の反射面を用いた場合、光量損失が大きくなる。

30

【0011】

また、特許文献5にて提案の2次元走査装置は、テレセントリック性を有し、デフォーカスによる像面上での走査スポットの移動特性変化は小さいものの、光源の波長が $10\mu\text{m}$ 以上の赤外波長に対する用途のものであり、可視光領域での使用目的には適さない。また、異なる波長を持つ複数の光源を用いた場合については特許文献5には記載されていない。

【0012】

また、特許文献6にて提案の2次元走査装置は、像面がデフォーカスした際に像面の大きさが変化したり、像面上での特性が変化したりするために、一定の歪曲特性を求める用途には使用が困難である。

40

【0013】

さらに、光束を2次元方向に偏向走査して2次元画像を形成する場合、像面上における画像の歪み、所謂ディストーションが発生することが知られている。このディストーションには、台形歪み、等速走査性のディストーションと直進走査性のディストーション、さらに像面上に形成された画像の枠が歪むことを称したTVディストーションがある。特に、光偏向部材への光源からの光束の入射方向が、光偏向部材における偏向軸に対して斜め方向になっている（斜め入射する）場合には、TVディストーションや台形歪みが大きくなる。

50

## 【 0 0 1 4 】

しかし、特許文献 6 にて提案の 2 次元走査装置が採用する電氣的補正では、ＴＶディストーションの効果的な補正が困難である。また、特許文献 5 には、ＴＶディストーションの補正に関して記載がない。

## 【 0 0 1 5 】

本発明は、光束の 2 次元走査によって形成される画像のディストーションを光学的に補正し、高品位な画像を観察させることが可能な、特に網膜直接描画に好適な網膜走査型表示装置を提供することを目的としている。

## 【 0 0 1 6 】

## 【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明の走査型表示光学系は、光源からの光束を 2 次元方向に偏向する偏向手段と、偏向手段により偏向された光束を結像させる走査光学系とを有する。ここで、偏向手段への光源からの光束の入射方向が、偏向手段における 2 方向の偏向軸（例えば、偏向手段が揺動可能な反射面を有する場合のその揺動軸）のうち少なくとも一方に対して斜め方向である。そして、走査光学系は、最も偏向手段側に配置された負の光学パワーを有する第 1 の光学素子と、像面側に配置された正の光学パワーを有する第 2 の光学素子と、第 1 及び第 2 の光学素子の間に配置された正の光学パワーを有する第 3 の光学素子とを含み、第 3 の光学素子は、偏向手段による光束の 2 次元偏向範囲の中心軸に対して、光源からの光束が偏向手段に入射する側にチルトおよびシフトし、第 2 の光学素子は、上記中心軸に対して、光源からの光束が偏向手段に入射する側とは反対側にシフトしている。

## 【 0 0 1 7 】

このように、光源からの光束が偏向手段に対していわゆる斜め入射する場合に、走査光学系を構成する第 3 の光学素子を、上記中心軸に対して光源からの光束が偏向手段に入射する側にチルト及びシフトさせ、第 2 の光学素子を上記中心軸に対して光源からの光束が偏向手段に入射する側とは反対側にシフトさせることにより、光束の 2 次元走査によって形成される画像に発生するＴＶディストーションおよび台形歪み含むディストーションを光学的に良好に補正することが可能となる。

## 【 0 0 1 8 】

なお、ここにいう光学パワーとは、焦点距離の逆数である。

## 【 0 0 1 9 】

また、第 2 の光学素子を偏向手段側に凸面を向けたメニスカスレンズとし、第 3 の光学素子を像面側に凸面を向けたレンズとしてもよい。第 3 の光学素子の出射面側を凸面とすることで、第 3 の光学素子をチルトさせたときの収差への影響を小さくすることが可能である。

## 【 0 0 2 0 】

また、走査光学系の像面への光束の入射角度を 5 度以内としてもよい。これにより、走査光学系を略テレセントリックな光学系とし、像面がデフォーカスしても、像面上での走査スポットの移動特性の変化や像面サイズの変化を小さくすることが可能である。

## 【 0 0 2 1 】

また、光源と走査光学系との間に、光源からの光束を収束光束に変換する集束光学素子を設けてもよい。これにより、集束光学素子と走査光学系とでパワーを分担し、走査光学系をディストーションと非点隔差の補正に適した構成とすることが可能となる。

## 【 0 0 2 2 】

また、光源と偏向手段との間又は集束光学素子と偏向手段の間に、光源からの光束を偏向手段に、偏向軸に対して斜め方向から入射させるよう導く反射面を設けてもよい。これにより、光源から偏向手段への光束の入射系をコンパクトにでき、また光源の配置に自由度を増すことが可能である。

## 【 0 0 2 3 】

また、以下の条件を満足するようにしてもよい。

【 0 0 2 4 】

1 < 2

但し、 1 は第 1 の光学素子のアッペ数、 2 は第 2 の光学素子のアッペ数である。

【 0 0 2 5 】

これにより、特に光源が、互いに異なる波長を持つ複数の色光を発する場合に、色収差の補正効果を得ることが可能となる。

【 0 0 4 9 】

そして、以上の走査型表示光学系を用いて、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、各種観察機器等の光学機器に搭載される電子ファインダを構成することができる。

【 0 0 5 0 】

この場合、上記光源を複数の色光を発するものとするにより、カラー画像の走査表示を行う電子ファインダとすることもできる。

【 0 0 5 1 】

さらに、上述した走査型表示光学系を用いて、プロジェクタや、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等に設けられる電子ファインダといった走査型画像表示装置を構成することも可能である。

【 0 0 5 2 】

【 発明の実施の形態 】

( 参考例 1 )

図 1 には、本発明に関する参考例 1 である 2 次元走査装置の垂直断面 ( X Z 断面、以下の参考例及び本発明の実施形態も同様 ) を示している。図 1 において、 1 1 は光源であり、レーザダイオード、 L E D、ランプ等により構成されている。光源 1 1 は、画像信号が入力された不図示の駆動回路により発光が制御される。

【 0 0 5 3 】

光源 1 1 から発せられた光束 ( 平行光束 ) 1 2 は、2 枚の集光レンズを貼り合わせて構成される集束レンズ 1 3 により収束光束に変換され、ハーフミラー 1 4 に入射する。ハーフミラー 1 4 での反射により、光束 1 2 は 9 0 度折り曲げられ、保護ガラス 1 5 を透過して偏向ユニット 1 6 に入射する。保護ガラス 1 5 は、偏向ユニット 1 6 を外乱から保護するために設けられている。

【 0 0 5 4 】

偏向ユニット 1 6 としては、例えば互いに直交する揺動軸 ( 偏向軸 ) を中心に反射面を 2 次元的に揺動させ、この反射面に入射して反射した光束を 2 次元方向 ( X 方向および Y 方向 ) に偏向可能な M E M S ( Micro-Electro-Mechanical Systems ) デバイスが用いられている。

【 0 0 5 5 】

光束 1 2 は偏向ユニット 1 6 によって 2 次元方向に偏向走査され、保護ガラス 1 5 およびハーフミラー 1 4 を透過して走査光学系 1 7 に入射する。

【 0 0 5 6 】

走査光学系 1 7 は最も偏向ユニット 1 6 側に配置された第 1 のレンズ 1 7 a と、最も走査光学系 1 7 の像面 1 8 側に配置された第 2 のレンズ 1 7 c と、これら第 1 および第 2 のレンズ 1 7 a , 1 7 c 間に配置された第 3 のレンズ 1 7 b とから構成されており、偏向ユニット 1 6 により偏向された光束 1 2 を像面 1 8 上に結像させる。

【 0 0 5 7 】

こうして偏向ユニット 1 6 によって 2 次元方向に偏向走査される光束 1 2 が走査光学系 1 7 によって像面 1 8 上に結像されることにより、像面 1 8 上には光の残像効果により 2 次元画像が形成される。

【 0 0 5 8 】

ここで、偏向ユニット 1 6 として用いられる M E M S デバイスの構成について、図 2 を用いて簡単に説明する。この M E M S デバイスは、微小な偏向ミラー 2 1 を有し、この偏向ミラー 2 1 はトーションバー ( 偏向軸 ) 2 2 を介して揺動枠 2 3 により支持されている。

10

20

30

40

50

また、揺動棒 23 は、トーションバー 22 に対して直交するトーションバー（偏向軸）24 を介して筐体 25 により支持されている。偏向ミラー 21 は、その裏面に備えられた磁石が図示しないコイルから発生する磁力に反応して、トーションバー 22、24 を中心にして 2 次元方向に振動（揺動）する。この 2 次元方向の振動のうち一方又は双方は共振によるものである。そして、この揺動する偏向ミラー 21 に入射し反射した光束は、偏向軸を中心（要）として 2 次元方向に偏向される。

【0059】

本参考例の偏向ユニット 16 では、偏向ミラー 21 は、図 1 の紙面内方向（X 方向）において機械角で  $\pm 5.5 \text{ deg}$ 、紙面に垂直な方向（Y 方向）において  $\pm 4.13 \text{ deg}$  の振幅を持ち、それぞれ振幅全体の 8 割を光束偏向に用い、振幅の両側に 1 割ずつのブランクが残るように設定される。

【0060】

本参考例に従う 2 次元走査装置の数値実施例として、各光学素子の曲率半径および面間隔を表 1 に示す。曲率半径および面間隔の単位は mm である。また、nd は屈折率、d はアッペ数を示している。走査光学系 17 の 3 枚のレンズ 17a、17b、17c はそれぞれ負、正、正の光学パワー（焦点距離の逆数）を持つ。第 2 のレンズ 17c は正メニスカスレンズであり、その凸面は偏向ユニット側に向いている。

【0061】

【表 1】

表 1

D1/D D2/D						
0.645 0.123						
名称	図番	面番号	曲率半径	面間隔	nd	vd
集束レンズ(正)	13	1	22.63	3.00	1.516	64.1
		2	-18.26	0.00		
集束レンズ(負)		3	-18.26	2.00	1.603	38.0
		4	-104.90	8.10		
ハーフミラー	14	5	∞	3.50	1.697	55.5
		6	∞	3.50		
		7	∞	2.50		
保護ガラス	15	8	∞	1.00	1.516	64.1
		9	∞	5.00		
偏向ミラー	16	10	∞	5.00		
保護ガラス	15	11	∞	1.00	1.516	64.1
		12	∞	2.50		
ハーフミラー	14	13	∞	7.00	1.697	55.5
		14	∞	2.00		
負レンズ	17a	15	-6.95	1.00	1.689	31.1
		16	-68.46	1.40		
正レンズ1	17b	17	-4.72	1.25	1.744	44.8
		18	-4.91	0.10		
正レンズ2	17c	19	11.05	2.54	1.639	55.4
		20	25.00	3.35		
像面	18		∞			

【0062】

本参考例では、走査光学系 17 のうち、最も偏向ユニット 16 側に負レンズである第 1 のレンズ 17a を配置し、最も像面 18 側に正メニスカスレンズである第 2 のレンズ 17c を配置することで、光学系の全長を短くしながら、走査光学系 17 にテレセントリック性を持たせている。

【0063】

また、負レンズ（17a）と正メニスカスレンズ（17c）の組み合わせにより、走査光学系 17 に像面 18 上における像面湾曲を補正する効果を付与している。さらに、正メニ

スカスレンズ(17c)の凸面を偏向ユニット16側に向けることで、走査光学系17に、像面18上におけるディストーションを補正する効果を付与している。

【0064】

図3には、本参考例(数値実施例)の収差図を示す。図3(a)には主走査方向(図1の紙面内方向)と副走査方向(図1の紙面に垂直な方向)における非点隔差(単位mm)を、図3(b)には主走査方向の偏向角によるディストーション量(単位%)の変化を表している。図3(a)において、実線は主走査方向、点線は副走査方向を表す。なお、以後、収差図と述べた場合、図3と同様に、非点隔差、ディストーションの各量を表す図のことを示すものとする。図3から、本参考例の走査光学系17により非点隔差およびディストーションが良好に補正されることがわかる。

10

【0065】

また、図4には、本参考例の走査光学系17による像面18への入射角と像面18上に形成される画像上での相対位置との関係を示す。横軸は像高(%)、縦軸は像面への入射角(deg)を示す。

【0066】

この図4から、本参考例の走査光学系17は、像面18への入射角が5deg以下の良好なテレセントリック性を有していることがわかる。テレセントリック性を有することで、像面18がデフォーカスしても、像面18上での走査スポットの移動特性の変化および像面サイズの変化の小さい走査光学系となる。

【0067】

20

また、負レンズ(17a)の硝材のアッペ数 1は31.1、正メニスカスレンズ(17c)の硝材のアッペ数 2は55.4である。すなわち、

$$1 < 2$$

を満たす。

【0068】

このアッペ数の関係により、走査光学系17は、光源11から互いに異なる複数の波長の光が出射する場合に、色収差を補正する効果を持つことができる。

【0069】

本参考例において、光源11からの光としてF'線(波長479.99nm)、e線(波長546.07nm)、C'線(643.85nm)を与えた場合の、横収差図を図5

30

【0070】

図5において、(a)は像面18上における画像中心、(b)は像高50%、(c)は像高100%での横収差図である。また、図5において実線はe線、一点鎖線はC'線、破線はF'線を示している。図5より、光源11から互いに異なる複数の波長の光を出射させた場合に、走査光学系17は良好な色収差補正を行うことが分かる。また、光源11からの光が単一の波長を有する場合においては、光源11の波長変化が生じたときでも、走査光学系17の性能変化がほとんど生じない効果を持つ。

【0071】

また、本参考例は、走査光学系17とは別に、偏向ユニット16への入射系として集束レンズ13を持つ。偏向ユニット16に対して収束光束を入射させることで、集束レンズ13と走査光学系17とでパワーを分担できる。これにより、走査光学系17はディストーションと非点隔差の補正に適した構成とすることができる。

40

【0072】

また、本参考例は、集束レンズ13と偏向ユニット16との間の光路上に、ハーフミラー14を持つ。ハーフミラー14を挿入することで、光源11からの光束12を偏向ユニット16に導く入射系をコンパクトにすることができる。さらに、偏向ユニット16に対して光束12を垂直(2方向の偏向軸に対して垂直)に入射させることができる。

【0073】

また、本参考例において、図1に示すように、偏向ユニット16から走査光学系17の

50

像面 18 までの距離を  $D$ 、偏向ユニット 16 から第 1 のレンズ（負レンズ）17a の第 1 面（入射面）までの距離を  $D_1$  としたとき、

$$D_1 / D = 0.645$$

である。

【0074】

この  $D_1 / D$  が 0.4 を下回ると、光源 11 からの光束 12 を導く入射系に自由度がなくなる。また、 $D_1 / D$  が 0.8 を上回ると、走査光学系 17 を含む 2 次元走査装置全体の大型化につながる。このため、

$$0.4 < D_1 / D < 0.8 \dots (A)$$

とするのが望ましい。

10

【0075】

また、本参考例において、第 2 のレンズ（正メニスカスレンズ）17c の第 2 面（出射面）から像面 18 までの距離を  $D_2$  としたとき、

$$D_2 / D = 0.123$$

となる。

【0076】

この  $D_2 / D$  が 0.05 を下回ると、像面 18 上に被走査物（例えば、スクリーン）を配置するのが困難になる。また、 $D_2 / D$  が 0.3 を上回ると、走査光学系 17 を含む 2 次元走査装置全体の大型化につながる。このため、

$$0.05 < D_2 / D < 0.3 \dots (B)$$

とするのが望ましい。

20

【0077】

（参考例 2）

図 6 には、本発明に関する参考例 2 である 2 次元走査装置の垂直断面を示す。本参考例において、参考例 1 と共通する構成要素には参考例 1 と同符号を付して説明を省略する。なお、以下のすべての参考例及び本発明の実施形態においても、参考例 1 と共通する構成要素には参考例 1 と同符号を付して説明を省略する。

【0078】

本参考例では、参考例 1 に対して、走査光学系 61 を構成するレンズ枚数を、負レンズである第 1 のレンズ 61a と正メニスカスレンズである第 2 のレンズ 61b の 2 枚に削減

30

【0079】

このように走査光学系 61 を 2 枚のレンズで構成することにより、走査光学系 61 のコスト低減を図ることが可能になる。また、本参考例では、偏向ユニット 16 の偏向ミラーは、図 6 の紙面内方向（X 方向）において機械角で  $\pm 5.5 \text{ deg}$ 、紙面に垂直な方向（Y 方向）において  $\pm 4.13 \text{ deg}$  の振幅を持ち、それぞれ振幅の 8 割を光束偏向に用い、振幅の両側に 1 割ずつのブランクが残るように設定されている。

【0080】

本参考例に従う 2 次元走査装置の数値実施例として、各光学素子の曲率半径および面間隔を表 2 に示す。曲率半径および面間隔の単位は mm である。また、 $n_d$  は屈折率、 $d$  はアッペ数を示している。

40

【0081】

【表 2】



表 2

		D1/D D2/D 0.601 0.120				
名称	図番	面番号	曲率半径	面間隔	nd	vd
集束レンズ(正)	13	1	13.32	2.67	1.516	64.1
		2	-45.20	0.00		
集束レンズ(負)		3	-45.20	2.00	1.603	38.0
		4	37.27	8.10		
ハーフミラー	14	5	$\infty$	3.50	1.697	55.5
		6	$\infty$	3.50		
		7	$\infty$	2.50		
保護ガラス	15	8	$\infty$	1.00	1.516	64.1
		9	$\infty$	5.00		
偏向ミラー	16	10	$\infty$	5.00		
保護ガラス	15	11	$\infty$	1.00	1.516	64.1
		12	$\infty$	2.50		
ハーフミラー	14	13	$\infty$	7.00	1.697	55.5
		14	$\infty$	1.00		
負レンズ	61a	15	-11.12	1.08	1.689	31.1
		16	13.25	2.57		
正レンズ	61b	17	10.09	4.00	1.834	37.2
		18	3481.96	3.30		
像面	18		$\infty$			

## 【 0 0 8 2 】

本参考例でも、参考例 1 と同様に、偏向ユニット 1 6 側に負レンズ ( 6 1 a ) が、像面 1 8 側に正メニスカスレンズ ( 6 1 b ) が配置されている。この配置により、走査光学系 6 1 にテレセントリック性を与え、像面湾曲を低減させることができる。さらに、正メニスカスレンズ ( 6 1 b ) の凸面を偏向ユニット 1 6 側に向けることで、像面 1 8 上におけるディストーションを補正することができる。

## 【 0 0 8 3 】

図 7 には、本参考例 ( 数値実施例 ) の収差図を示す。図 7 から、本参考例においても、収差補正が良好に行われていることが分かる。

## 【 0 0 8 4 】

また、図 8 には、像高と像面 1 8 への入射角との関係を示す。本参考例においても、走査光学系 6 1 による像面 1 8 への最大の入射角は 5 d e g 以下と小さく、走査光学系 6 1 は良好なテレセントリック性を有していることが分かる。そして、走査光学系 6 1 がテレセントリック性を有することで、デフォーカスによる像面 1 8 上での走査スポットの移動特性の変化および像面サイズの変化を小さくすることができる。

## 【 0 0 8 5 】

また、負レンズ ( 6 1 a ) の硝材のアッペ数 1 は 3 1 . 1、正メニスカスレンズ ( 6 1 b ) の硝材のアッペ数 2 は 3 7 . 2 であり、  
 $1 < 2$

を満たす。

## 【 0 0 8 6 】

このアッペ数の関係により、走査光学系 6 1 は、光源 1 1 から互いに異なる複数の波長の光を出射させる場合に、色収差を補正する効果を持つことができる。

## 【 0 0 8 7 】

本参考例において、光源 1 1 からの光として、F ' 線 ( 波長 4 7 9 . 9 9 n m )、e 線 ( 波長 5 4 6 . 0 7 n m )、C ' 線 ( 6 4 3 . 8 5 n m ) を与えた場合の横収差図を図 9 に示す。図 9 において、( a ) は像面 1 8 上における画像中心、( b ) は像高 5 0 %、(

10

20

30

40

50

c) は像高 100% での横収差図である。また、図 9 において、実線は e 線、一点鎖線は C' 線、破線は F' 線を示している。

【0088】

この図 9 から、光源 11 から互いに異なる複数の波長の光を出射させる場合に、走査光学系 61 は良好な色収差補正を行うことが分かる。なお、光源 11 からの光が単一の波長を有する光である場合においては、光源 11 の波長変化が生じたときでも、走査光学系 61 の性能の変化がほとんど生じない効果を持つ。

【0089】

なお、本参考例でも、

$$D1/D = 0.601$$

$$D2/D = 0.120$$

であり、上述した (A), (B) の条件式を満足する。

【0090】

(参考例 3)

図 10 には、本発明に関する参考例 3 である 2 次元走査装置の垂直断面を示している。本参考例では、参考例 2 と同様に、走査光学系 101 を、負レンズである第 1 のレンズ 101a と正メニスカスレンズである第 2 のレンズ 101b の 2 枚で構成し、正メニスカスレンズ (101b) の凸面形状の第 1 面 (入射面: 表 3 中の面番号 17 の面) に回転対称非球面を導入することで、非点隔差の補正を行っている。回転対称非球面は、以下の式 1 で表される。

【0091】

【式 1】

$$Z(r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} \quad (\text{式 1})$$

【0092】

また、本参考例では、偏向ユニット 16 の偏向ミラーの振幅は、参考例 2 と同じく、図 10 の紙面内方向 (X 方向) において機械角で  $\pm 5.5 \text{ deg}$ 、紙面に垂直な方向 (Y 方向) において  $\pm 4.13 \text{ deg}$  であり、それぞれ振幅の 8 割を光束偏向に用い、振幅の両側に 1 割ずつのブランクが残るように設定されている。

【0093】

本参考例に従う 2 次元走査装置の数値実施例として、各光学素子の曲率半径および面間隔等を表 3 に示す。表 3 中、面番号 17 の部分には、非球面係数も記入している。

【0094】

【表 3】

10

20

30

表 3

名称	図番	D1/D		D2/D		nd	vd
		0.619	0.116	面番号	曲率半径		
集束レンズ(正)	13			1	23.25	3.00	1.516
				2	-19.06	0.00	
集束レンズ(負)				3	-19.06	2.00	1.603
				4	-96.62	8.10	
ハーフミラー	14			5	$\infty$	3.50	1.697
				6	$\infty$	3.50	
				7	$\infty$	2.50	
保護ガラス	15			8	$\infty$	1.00	1.516
				9	$\infty$	5.00	
偏向ミラー	16			10	$\infty$	5.00	
保護ガラス	15			11	$\infty$	1.00	1.516
				12	$\infty$	2.50	
ハーフミラー	14			13	$\infty$	7.00	1.697
				14	$\infty$	0.40	
負レンズ	101a			15	-13.61	2.00	1.689
				16	18.72	3.77	
正レンズ	101b			17	11.39	4.00	1.834
				k	A	B	
					0.000E+00	-1.283E-05	
					C	D	
					-8.416E-08	8.354E-10	
像面	18			18	73.52	2.97	

## 【 0 0 9 5 】

また、本参考例（数値実施例）の収差図を図 1 1 に示す。走査光学系 1 0 1 に回転対称非球面を導入したことで、走査光学系 1 0 1 は、全体としてテレセントリック性を有したまま、非点収差および像面湾曲の補正を有効に行うことができる。このため、本参考例は、参考例 2 に比べて、像面 1 8 への入射角が 5 . 0 d e g 以下というテレセントリック性を維持したまま（図 1 2 ）、非点隔差の量が小さくなっている。テレセントリック性を有することで、デフォーカスによる像面 1 8 上での走査スポットの移動特性の変化および像面サイズの変化が小さい走査光学系となる。

## 【 0 0 9 6 】

また、負レンズ（1 0 1 a）の硝材のアッベ数 1 は 3 1 . 1、正メニスカスレンズ（1 0 1 b）の硝材のアッベ数 2 は 3 7 . 2 であり、  
1 < 2 を満たす。

## 【 0 0 9 7 】

このアッベ数の関係により、光源 1 1 から互いに異なる複数の波長の光を出射させる場合に、色収差を補正する効果を持つ。本参考例において、光源 1 1 からの光として F ' 線（波長 4 7 9 . 9 9 n m）、e 線（波長 5 4 6 . 0 7 n m）、C ' 線（6 4 3 . 8 5 n m）を与えた場合の横収差図を図 1 3 に示す。図 1 3 において、（a）は像面 1 8 上における画像中心、（b）は像高 5 0 %、（c）は像高 1 0 0 % での横収差図である。また、図 1 3 において実線は e 線、一点鎖線は C ' 線、破線は F ' 線を示している。

## 【 0 0 9 8 】

図 1 3 から、光源 1 1 から互いに異なる複数の波長の光を出射させる場合に、走査光学系 1 0 1 は良好な色収差補正を行えることが分かる。なお、光源 1 1 からの光が単一の波長を有する場合においては、光源 1 1 の波長変化が生じたときでも、走査光学系 1 0 1 の性能の変化がほとんど生じない効果を持つ。

## 【 0 0 9 9 】

このように、本参考例では、走査光学系 1 0 1 のうち最も偏向ユニット 1 6 側に負の光学パワーを持つレンズ（第 1 のレンズ 1 0 1 a）を、最も像面 1 8 側に正の光学パワーを持つレンズ（第 2 のレンズ 1 0 1 b）を配置することで、像面湾曲が補正された、テレセントリック性を持つ走査光学系を構築できる。さらに、正レンズ（1 0 1 b）を、偏向ユ

10

20

30

40

50

ニット 16 側に凸面を向けた正メニスカスレンズとすることで、ディストーションが補正された走査光学系を構築できる。

#### 【0100】

なお、以上説明した参考例 1 ~ 3 では、偏向ユニット 16 側の負レンズと、像面 18 側の正メニスカスレンズとの間にレンズを配置しないか 1 枚のレンズを配置して走査光学系を構築したが、負レンズと正メニスカスレンズとの間に入るレンズの枚数はこれに限らず、2 枚以上のレンズを挿入してもよい。

#### 【0101】

また、参考例 1 ~ 3 では、収束光束を偏向ユニット 16 に導く反射面としてハーフミラー 14 を用いているが、反射面としてはこれに限らない。例えば、反射面として、偏光分離作用を持つ偏向ビームスプリッタを配置し、波長板と併せて使用することも可能である。

10

#### 【0102】

なお、本参考例でも、

$$D1 / D = 0.619$$

$$D2 / D = 0.116$$

であり、上述した (A) , (B) の条件式を満足する。

#### 【0103】

(実施形態 1)

図 14 には、本発明の実施形態 1 である 2 次元走査装置の垂直断面を示している。本実施形態は、偏向ユニット 16 に光源 11 からの光束が斜めに (偏向ミラーの図 14 の紙面内方向に延びる偏向軸に対して斜め方向から) 入射することで発生する、画像の枠の歪み (TV ディストーション) を補正できるものである。

20

#### 【0104】

光源 11 からの光束 (平行光束) 12 は、集束レンズ 13 により収束光束に変換され、折り返しミラー 141 により光路を曲げられ、保護ガラス 15 を透過した後、偏向ユニット 16 に入射する。偏向ユニット 16 は、参考例 1 と同様に、2 次元方向に光束を偏向走査可能な MEMS デバイスを用いたものである。光束 12 は偏向ユニット 16 により 2 次元方向に偏向される。偏向された光束は、保護ガラス 15 を再び透過した後、走査光学系 142 に入射する。

30

#### 【0105】

走査光学系 142 は、最も偏向ユニット 16 側に配置された負レンズである第 1 のレンズ 142a と、最も像面 18 側に配置された正メニスカスレンズである第 2 のレンズ 142c と、これら第 1 および第 2 のレンズ 142a , 142c 間に配置された正レンズである第 3 のレンズ 142b とから構成されている。

#### 【0106】

走査光学系 142 を透過した光束 12 は、像面 18 上に結像する。このため、偏向ユニット 16 により 2 次元方向に偏向された光束の像面 18 上でのスポット像が 2 次元方向に走査され、像面 18 上に 2 次元画像が形成される。

#### 【0107】

ここで、本実施形態 (およびこれ以降の実施形態) では、走査光学系 142 の負レンズ (第 1 のレンズ) 142a の中心を通る軸、つまりは偏向ユニット 16 による光束の 2 次元方向での偏向範囲の中心軸 Ldc を走査光学系 142 の光軸と定義する。本実施形態では、この走査光学系 142 の光軸 (2 次元偏向範囲の中心軸) Ldc と偏向ユニット 16 に入射する光束 12 の光軸とを含む断面 (図 14 における XZ 断面であり、以下、偏向ユニット 16 への入射断面という) において、第 2 のレンズ 142c および第 3 のレンズ 142b が走査光学系 142 の光軸 Ldc に対してチルトやシフトして配置されている。

40

#### 【0108】

本実施形態に従う数値実施例の各光学素子の曲率半径、面間隔、チルト量およびシフト量を表 4 に示す。チルト量およびシフト量は、偏向ユニット 16 への入射断面での走査光

50

学系 1 4 2 の光軸 L d c に対する傾き量および移動量を表している。また、本実施形態において、偏向ユニット 1 6 の偏向ミラーの振幅は、図 1 4 の紙面に垂直な方向において機械角で  $\pm 5.5 \text{ deg}$ 、紙面内方向において  $\pm 4.13 \text{ deg}$  であり、振幅の 8 割を光束偏向に使用し、振幅の両側に 1 割ずつのブランクが残るように設定されている。

【 0 1 0 9 】

【 表 4 】

表 4

名称	図番	面番号	曲率半径	面間隔	nd	vd
集束レンズ(正)	13	1	15.51	3.00	1.516	64.1
		2	-24.53	0.00		
集束レンズ(負)		3	-24.53	2.00	1.603	38.0
		4	104.06	11.72		
折り返しミラー	141	5	$\infty$	3.24		
保護ガラス	15	6	$\infty$	1.00	1.516	64.1
		7	$\infty$	4.00		
折り返しミラー	16	8	$\infty$	4.00		
保護ガラス	15	9	$\infty$	1.00	1.516	64.1
		10	$\infty$	7.00		
負レンズ	142a	11	-4.78	1.20	1.593	35.3
		12	-37.31	1.54		
正レンズ	142b	13	-6.15	2.71	1.835	42.7
		14	-6.25	0.66		
			傾き量	移動量		
			-10.63	-0.25		
正メニスカスレンズ	142c	15	13.38	2.68	1.741	52.6
		16	108.43	4.00		
			移動量			
			0.99			
像面	18		$\infty$			

【 0 1 1 0 】

本実施形態では、集束レンズ 1 3 によって収束光束に変換された光源 1 1 からの光束 1 2 は、偏向ユニット 1 6 への入射断面において、中立状態（非振動状態）にある偏向ユニット 1 6 の図 1 4 の紙面内方向に延びる偏向軸（光束が紙面に対して垂直な方向に偏向されるとき

の偏向軸）の法線に対して  $12.5 \text{ deg}$  傾いて偏向ユニット 1 6 に入射する。

【 0 1 1 1 】

このように、偏向ユニット 1 6 に、その偏向軸に対して斜め方向から光束 1 2 が入射する場合、これを原因として、像面 1 8 上に形成される画像には大きな TV ディストーションと台形歪みが発生する。

【 0 1 1 2 】

ここで、本実施形態の比較例として、図 1 5 に示すような光学系を考える。この比較例における走査光学系 1 5 1 は、偏向ユニット 1 6 側から順に、負、正、正の光学パワーを持った 3 枚のレンズ 1 5 1 a、1 5 1 b、1 5 1 c により構成されている。3 枚のレンズ 1 5 1 a ~ 1 5 1 c は光軸 L d c に対して互いに偏心（シフト）しておらず、走査光学系 1 5 1 を透過して像面 1 8 の画像中心へ向かう光束は、各レンズ 1 5 1 a ~ 1 5 1 c の中心を透過する。また、図 1 5 においても、偏向ユニット 1 6 に入射する光束 1 2 は、中立状態にある偏向ユニット 1 6 の図 1 5 の紙面内方向に延びる偏向軸の法線に対して  $12.5 \text{ deg}$  傾いている。このため、像面 1 8 上における画像には、大きな TV ディストーションが発生する。

【 0 1 1 3 】

図 1 6 には、図 1 5 に示した 2 次元走査装置における TV ディストーションの形状を示した表示画像（格子）を、また表 5 にはその TV ディストーションの大きさを示す。

【 0 1 1 4 】

10

20

30

40

50

図 16 に示すように、本来直線状であるはずの水平の線が大きく湾曲している。その大きさは、上辺にて 0.43%、下辺にて 1.79% である。また、本来長方形であるはずの画像が台形状に変形している。この台形歪みの大きさは、左右ともに 1.32% である（表 5）。ここで、TV ディストーションおよび台形歪みの大きさは、図 17 のように示され、その数値は以下の式 2 で表される。

【0115】

【表 5】

表 5

TV-Distortion		台形歪み
上辺	下辺	
0.43%	1.79%	1.32%

10

【0116】

式 2

TV ディストーション

上辺；  $f / B \times 100 (\%)$

下辺；  $e / B \times 100 (\%)$

台形歪み

左辺；  $g / 2 / A \times 100 (\%)$

右辺；  $h / 2 / A \times 100 (\%)$

このように、図 15 のような偏心を用いない構成の走査光学系 151 では、光偏向ユニット 16 に対して光束が斜め入射した場合に発生する TV ディストーションを抑えることができず、高品位の 2 次元画像を得ることができない。

【0117】

これに対し、本実施形態では、走査光学系 142 の第 3 のレンズ（正レンズ）142b が、偏向ユニット 16 への入射断面において、走査光学系 142 の光軸 Ldc に対し、図 14 における時計回り方向（マイナス側）に 10.63deg チルトしている。これは、光束 12 が偏向ユニット 16 に入射する側（図 14 の右側）へのチルトであり、偏向ユニット 16 に入射する光束とレンズの中心軸が平行に近づく向き（入射光束とレンズの中心軸のなす角が小さくなる向き）へのチルトである。

30

【0118】

さらに、第 3 のレンズ 142b は、偏向ユニット 16 への入射断面において、走査光学系 142 の光軸 Ldc に対し、図 14 中の右側（マイナス側）に 0.25mm シフトしている。これは、走査光学系 142 の光軸 Ldc に対して光束 12 が偏向ユニット 16 に入射する側へのシフトであり、偏向ユニット 16 への入射光束に近づく側へのシフトである。

【0119】

そしてこれは、第 3 のレンズ 142b が、走査光学系 142 の光軸 Ldc 上で、第 1 のレンズ（負レンズ）142a の第 2 面（出射面：表 4 の 12 面）から像面 18 側に 0.22mm 移動した点を回転中心として、回転半径 1.32mm で時計回り方向に 10.63deg 回転したのと等価である。

40

【0120】

また、第 2 のレンズ（正メニスカスレンズ）142c は、偏向ユニット 16 への入射断面において、走査光学系 142 の光軸 Ldc に対し、光束 12 が偏向ユニット 16 に入射する側とは反対側、すなわち図 14 における左側（プラス側）に 0.99mm シフトしている。これは、偏向ユニット 16 に入射する光束 12 から離れる側へのシフトである。

【0121】

50

本実施形態の２次元走査装置により形成される画像（格子）を図１８に、その画像のＴＶディストーションの量を表６に示す。図１６と図１８から、本実施形態では像面１８に形成される画像の上辺および下辺の湾曲が小さく、かつ台形の歪みも非常に少なくなっていることがわかる。

また、表６から、ＴＶディストーションの量が上辺で０．４１％、下辺で０．７９％、台形歪みが左右で０．５６％と、図１５に示した光学系のＴＶディストーション（表５）より大きく減少していることがわかる。このように、走査光学系を構成する光学素子に適切なチルトやシフトを与えることで、ＴＶディストーションと台形歪みを良好に補正することができる。

【０１２２】

10

【表６】

表６

TV-Distortion		台形歪み
上辺	下辺	
0.41%	0.79%	0.56%

【０１２３】

20

特に、本実施形態では、第３のレンズ（正レンズ）１４２**b**をチルトさせることで、台形歪みを補正し、第２のレンズ（正メニスカスレンズ）１４２**c**をシフトさせることでＴＶディストーションを補正している。なお、両者は相互に影響を与えるものであり、両者のバランスを取りながら設計する必要がある。また、第２のレンズ（正メニスカスレンズ）１４２**c**の凸面を偏向ユニット１６側に向けることで、第３のレンズ（正レンズ）１４２**b**のチルトにより発生する収差を小さくしている。さらに、第２のレンズ１４２**c**をメニスカスレンズとすることで、第３のレンズ１４２**b**のチルトによる、像面湾曲への影響を小さくしている。

【０１２４】

図１９には、走査光学系１４２から像面１８への光束の入射角と像高との関係を示している。横軸は像高（％）、縦軸は入射角（deg）である。

30

【０１２５】

図１９から、全画角において、入射角が５deg以下と良好なテレセントリック性を有していることがわかる。このように走査光学系１４２がテレセントリック性を有することで、デフォーカスによる像面１８上での走査スポットの移動特性の変化および像面サイズの変化を小さくすることができる。

【０１２６】

本実施形態では、走査光学系１４２とは別に、光源１１から偏向ユニット１６への入射系として、集束レンズ１３を持つ。偏向ユニット１６に入射する光束１２を集束レンズ１３によって収束させることで、集束レンズ１３と走査光学系１４２とでパワーを分担できる。これにより、集束レンズ１３が光束１２を結像させる効果と、走査光学系１４２がディストーションと非点隔差を補正する効果とを、集束レンズ１３と走査光学系１４２とがそれぞれ分担することができる。

40

【０１２７】

本実施形態では、集束レンズ１３と偏向ユニット１６との間の光路上に、折り返しミラー１４１を設けている。この折り返しミラー１４１を挿入することで、光源１１からの光束１２を偏向ユニット１６に導く入射系をコンパクト化することができ、また光源１１の配置に自由度が増す。

【０１２８】

また、本実施形態において、負レンズ（１４２**a**）の硝材のアッベ数 １は３５．３、

50

正メニスカスレンズ ( 1 4 2 c ) の硝材のアップベ数 2 は 5 2 . 6 であり、  
 $1 < 2$

を満たす。

【 0 1 2 9 】

このアップベ数の関係により、走査光学系 1 4 2 は、光源 1 1 から互いに異なる複数の波長の光を出射する場合に、色収差を補正する効果を持つ。本実施形態において、光源 1 1 からの光の波長が、F' 線 ( 波長 4 7 9 . 9 9 nm )、e 線 ( 波長 5 4 6 . 0 7 nm )、C' 線 ( 6 4 3 . 8 5 nm ) である場合の横収差図を図 2 0 に示す。

【 0 1 3 0 】

図 2 0 は、偏向ユニット 1 6 による x 方向 ( 水平方向 )、y 方向 ( 垂直方向 ) への光束偏向による画像の形成範囲をそれぞれ 1 としたとき、

- ( a ) x : - 0 . 5 , y : - 0 . 5
- ( b ) x : - 0 . 2 5 , y : - 0 . 2 5
- ( c ) x : 0 , y : 0
- ( d ) x : 0 . 2 5 , y : 0 . 2 5
- ( e ) x : 0 . 5 , y : 0 . 5

の各位置での横収差図を示している。また、図 2 0 において実線は e 線、一点鎖線は C' 線、破線は F' 線を示している。図 2 0 から、光源 1 1 から互いに異なる複数の波長の光を出射させた場合に、走査光学系 1 4 2 は良好な色収差補正を行うことが分かる。なお、光源 1 1 からの光が単一の波長を有する場合においては、光源 1 1 の波長変化が生じたときでも、走査光学系 1 4 2 はその性能の変化がほとんど生じない効果を持つ。

【 0 1 3 1 】

( 実施形態 2 )

図 2 1 には、本発明の実施形態 2 である 2 次元走査装置の垂直断面を示している。本実施形態は、実施形態 1 の像面のサイズを大きくしたものに相当する。この場合、偏向ユニット 1 6 の偏向ミラーの振幅は実施形態 1 と同じとし、該振幅のうち光束偏向に使用する幅を 8 割から 9 割にして、両側のブランクを 1 割から 0 . 5 割に変更した。これにより、像面のサイズも実施形態 1 に比べて 1 . 1 1 倍に大きくなる。なお、偏向ユニット 1 6 への光束 1 2 の斜め入射角は、1 2 . 5 d e g であり、実施形態 1 と同じである。また、集束レンズ 1 3 ' を、平行光束を収束する無限共役のレンズから、点光源 1 1 ' からの発散光束を、収束光束に変換する有限共役のレンズに変更している。

【 0 1 3 2 】

本実施形態に従う数値実施例の各光学素子の曲率半径、面間隔、チルト量およびシフト量を表 7 に示す。チルト量およびシフト量は、偏向ユニット 1 6 への入射断面での走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c に対する傾き量および移動量を表している。

【 0 1 3 3 】

【表 7】



表 7

名称	図番	面番号	曲率半径	面間隔	nd	vd
光源	11			12.25		
集束レンズ(正)	13	1	17.35	2.00	1.699	30.1
		2	4.41	0.00		
集束レンズ(負)		3	4.41	3.01	1.517	52.4
		4	-5.80	16.50		
折り返しミラー	141	5	$\infty$	4.50		
保護ガラス	15	6	$\infty$	1.09	1.516	64.1
		7	$\infty$	6.09		
偏向ミラー	16	8	$\infty$	5.59		
保護ガラス	15	9	$\infty$	1.00	1.516	64.1
		10	$\infty$	10.00		
負レンズ	211a	11	-6.18	1.00	1.699	30.1
		12	-11.47	1.10		
正レンズ	211b	13	-15.95	3.20	1.487	70.2
		14	-7.94	0.50		
			傾き量	移動量		
			-15.41	-0.72		
正メニスカスレンズ	211c	15	16.75	4.30	1.834	37.2
		16	45.47	2.40		
			移動量			
			0.83			
像面	18	像面	$\infty$			

## 【 0 1 3 4 】

本実施形態においても、実施形態 1 と同様に、走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c に対して、走査光学系 2 1 1 の第 3 のレンズ ( 正レンズ ) 2 1 1 b をチルトさせるとともにシフトさせ、さらに第 2 のレンズ ( 正メニスカスレンズ ) 2 1 1 c をシフトさせることで、像面 1 8 上に形成される画像の T V ディストーションおよび台形歪みを補正している。

## 【 0 1 3 5 】

本実施形態では、第 3 のレンズ 2 1 1 b は、偏向ユニット 1 6 への入射断面 ( X Z 断面 ) において、走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c に対して図 2 1 での時計回り方向 ( マイナス側 ) に 1 5 . 4 1 d e g チルトしている。これは、走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c に対して光束 1 2 が偏向ユニット 1 6 へ入射する側へのチルトであり、偏向ユニット 1 6 に入射する光束とレンズの中心軸が平行に近づく向き ( 入射光束とレンズの中心軸のなす角が小さくなる向き ) へのチルトである。

## 【 0 1 3 6 】

さらに、第 3 のレンズ 2 1 1 b は、偏向ユニット 1 6 への入射断面において、走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c に対し、図 2 1 での右側 ( マイナス側 ) に 0 . 7 2 m m シフトしている。これは、光束 1 2 が偏向ユニット 1 6 に入射する側へのシフトであり、偏向ユニット 1 6 への入射光束 1 2 に近づく側へのシフトである。

## 【 0 1 3 7 】

そしてこれは、第 3 のレンズ 2 1 1 b が、走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c 上で、第 1 のレンズ ( 負レンズ ) 2 1 1 a の第 1 面 ( 入射面 : 表 7 の 1 1 面 ) から 0 . 5 0 m m 偏向ユニット 1 6 側に移動した点を回転中心として、回転半径 2 . 6 0 m m で時計回り方向に 1 5 . 4 1 d e g 回転したのと等価である。

## 【 0 1 3 8 】

また、第 2 のレンズ 2 1 1 c は、偏向ユニット 1 6 への入射断面において、走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c に対し、図 2 1 での左側 ( プラス側 ) に 0 . 8 3 m m シフトしている。これは、走査光学系 2 1 1 の光軸 L d c に対して偏向ユニット 1 6 に光束 1 2 が入射する

10

20

30

40

50

側とは反対側、すなわち偏向ユニット16に入射する光束12から離れる側へのシフトである。

【0139】

図22には本実施形態の2次元走査装置による走査画像(格子)を、表8には該走査画像のTVディストーションと台形歪みの量を示す。

【0140】

【表8】

表8

TV-Distortion		台形歪み
上辺	下辺	
0.39%	0.70%	0.57%

10

【0141】

偏向ユニット16で光束偏向に使用する振幅が大きくなると、発生するTVディストーションや台形歪みの量も大きくなる。しかし、表8から、本実施形態で発生するTVディストーションは、上辺で0.39%、下辺で0.70%、台形歪みは左右ともに0.57%といずれも小さく、TVディストーションと台形歪みが良好に補正されていることがわかる。

20

【0142】

このように、偏向ユニット16による光束の偏向範囲(偏向角)が大きくなっても、第3のレンズ211bをチルトおよびシフトさせ、第2のレンズ211cをシフトさせることで、TVディストーションおよび台形歪みを良好に補正することができる。

【0143】

また、図23には、走査光学系211から像面18への光束入射角と、像面18上の画像における位置との関係を示す。横軸は像高(%)、縦軸は像面18への入射角である。図23から、本実施形態の走査光学系211についても、像面18への入射角が5deg以下と良好なテレセントリック性を有していることがわかる。走査光学系211がテレセントリック性を有することで、デフォーカスによる像面18上での走査スポットの移動特性の変化および像面サイズの変化が小さくなる。

30

【0144】

(実施形態3)

図24には、本発明の実施形態3である2次元走査装置の垂直断面を示している。本実施形態は、実施形態2の走査光学系に回転対称非球面を導入したものに相当する。偏向ユニット16の振幅とその光束偏向への使用幅、さらに偏向ユニット16への光束12の斜め入射角などは、実施形態2と同じである。

【0145】

本実施形態に従う数値実施例の各光学素子の曲率半径、面間隔、チルト量およびシフト量を表9に示す。チルト量およびシフト量は、偏向ユニット16への入射断面での走査光学系の光軸Ldcに対する傾き量および移動量を表している。また、回転対称非球面である第3のレンズ(正レンズ)241bの像面18側の面(出射面:表9中の面番号14面)および第2のレンズ(正メニスカスレンズ)241cの偏向ユニット16側の面(入射面:表9中の面番号15面)については、非球面係数も合わせて示している。なお、回転対称非球面は、参考例3に説明した式1で表される。

40

【0146】

【表9】

表 9

名称	図番	面番号	曲率半径	面間隔	nd	vd	
光源	11			12.13			
集束レンズ(正)	13	1	17.40	1.93	1.699	30.1	
		2	4.44	0.00			
集束レンズ(負)		3	4.44	2.95	1.517	52.4	
		4	-5.83	16.50			
折り返しミラー	141	5	∞	4.42			
保護ガラス	15	6	∞	1.09	1.516	64.1	
		7	∞	6.09			
偏向ミラー	16	8	∞	5.59			
保護ガラス	15	9	∞	1.00	1.516	64.1	
		10	∞	10.00			
負レンズ	241a	11	-12.32	1.00	1.699	30.1	
		12	32.01	1.05			
正レンズ	241b	13	-31.61	3.26	1.487	70.2	
		14	-8.85	0.50			
			傾き量	移動量			
			-13.09	-0.59			
		k	A	B			
			0.000E+00	-2.782E-05			5.448E-06
			C	D			
		-3.213E-08	0.000E+00				
正メニスカスレンズ	241c	15	11.96	4.50	1.834	37.2	
		k	A	B			
			0.000E+00	-1.159E-05			-5.350E-07
			C	D			
			8.765E-09	0.000E+00			
			移動量				
			0.72				
	16	30.00	5.25				
像面	18	像面	∞				

## 【0147】

本実施形態（数値実施例）では、第3のレンズ241bは、偏向ユニット16への入射断面（XZ断面）において、走査光学系241の光軸Ldcに対し、図24中の時計回り方向（マイナス側）に13.09degチルトしている。これは、走査光学系241の光軸Ldcに対して光束12が偏向ユニット16に入射する側へのチルトであり、偏向ユニット16に入射する光束とレンズの中心軸が平行に近づく向き（入射光束とレンズの中心軸のなす角が小さくなる向き）へのチルトである。

## 【0148】

さらに、第3のレンズ241bは、偏向ユニット16への入射断面において、走査光学系241の光軸Ldcに対し、図24中の右側（マイナス側）に0.59mmシフトしている。これは、走査光学系241の光軸Ldcに対して光束12が偏向ユニット16に入射する側へのシフトであり、偏向ユニット16への入射光束12に近づく側へのシフトである。

## 【0149】

そしてこれは、第3のレンズ241bが、走査光学系241の光軸Ldc上で、第1のレンズ（負レンズ）241aの第1面（入射面：表9中の面番号11面）から0.49mm、偏向ユニット16側に移動した点を回転中心として、回転半径2.54mmで時計回り方向に13.09deg回転したのと等価である。

## 【0150】

また、第2のレンズ241cは、偏向ユニット16への入射断面において、走査光学系241の光軸Ldcに対して、図24の左側（プラス側）に0.72mmシフトしている。これは、走査光学系241の光軸Ldcに対して光束12が偏向ユニット16に入射する側とは反対側へのシフトであり、偏向ユニット16に入射する光束12から離れる側へのシフトである。

## 【0151】

10

20

30

40

50

図 2 5 には本実施形態の網膜走査型表示装置による走査画像（格子）を、表 1 0 には該走査画像の T V ディストーションと台形歪みの量を示す。

【 0 1 5 2 】

【表 1 0 】

表 1 0

TV-Distortion		台形歪み
上辺	下辺	
0.45%	0.55%	0.55%

10

【 0 1 5 3 】

表 1 0 から、本実施形態で発生する T V ディストーションは、上辺で 0 . 4 5 %、下辺で 0 . 5 5 %、台形歪みは左右ともに 0 . 5 5 %といずれも小さく、T V ディストーションと台形歪みが良好に補正されていることがわかる。

【 0 1 5 4 】

本実施形態では、走査光学系 2 4 1 に回転対称非球面を導入することで、正レンズである第 3 のレンズ 2 4 1 b をチルトおよびシフトさせた効果と、正メニスカスレンズである第 2 のレンズ 2 4 1 c をシフトさせたことによる T V ディストーションおよび台形歪みを補正する効果とを保持したまま、収差に与える影響を軽減することができる。このため、T V ディストーションと台形歪みへの補正効果を振り分けることができる。

20

【 0 1 5 5 】

また、図 2 6 には、走査光学系 2 4 1 から像面 1 8 への光束の入射角と像面 1 8 上の位置との関係を示す。横軸は画像対角方向の相対位置（％）、縦軸は像面への入射角である。

【 0 1 5 6 】

図 2 6 から、本実施形態においても、走査光学系 2 4 1 は、像面 1 8 への光束入射角が 5 d e g 以下という良好なテレセントリック性を有していることがわかる。このテレセントリック性を有することで、走査光学系 2 4 1 は、デフォーカスによる像面 1 8 上での走査スポットの移動特性の変化および像面サイズの変化が小さいものとなる。

30

【 0 1 5 7 】

なお、実施形態 1 ~ 3 では、偏向ユニットへの入射方向をすべて主走査方向の偏向軸を含む断面から入射させているが、副走査方向の偏向軸を含む断面から入射させてもかまわない。

【 0 1 5 8 】

（実施形態 4）

図 2 7 には、本発明の実施形態 4 である網膜走査型表示装置の垂直断面を示している。この網膜走査型表示装置は、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラといった撮像装置や各種観察機器等の光学機器 3 0 0 に搭載され、電子ファインダを構成するものである。

【 0 1 5 9 】

本実施形態の網膜走査型表示装置は、実施形態 3 に示した 2 次元走査装置 2 7 1 の像面 1 8 の後方に、接眼光学系 2 7 2 を配置したものであり、偏向ユニット 1 6 で光束を 2 次元方向に偏向走査することで、観察者の網膜上に直接画像を形成（描画）する。

40

【 0 1 6 0 】

2 次元走査装置 2 7 1 は実施形態 3 と同じものであるため、ここでは、2 次元走査装置 2 7 1 による 1 次結像面 2 7 3（実施形態 3 の像面 1 8 に相当する）よりも後方の接眼光学系 2 7 2 とその光学作用についてのみ説明する。

【 0 1 6 1 】

一次結像面 2 7 3 において結像した光束 1 2 は、拡散光束となり、接眼光学系 2 7 2 に入射する。接眼光学系 2 7 2 を構成する各光学素子の曲率半径および面間隔等を表 1 1 に示

50

す。接眼光学系 272 は、すべて光軸が一致する第 1～第 6 の球面レンズ（但し、第 1 および第 2 球面レンズと第 5 および第 6 球面レンズはそれぞれ貼り合わせレンズ）272a～272d により構成されている。

【0162】

【表 11】

表 11

名称	図番	面番号	曲率半径	面間隔	nd	vd
第1レンズ	272a	1	-7.05	1.00	1.603	38.0
		2	114.46	0.00		
第2レンズ		3	114.46	6.00	1.639	55.4
		4	-13.70	0.10		
第3レンズ	272b	5	-115.87	3.39	1.603	60.6
		6	-24.79	0.10		
第4レンズ	272c	7	197.74	3.87	1.640	60.1
		8	-46.63	0.22		
第5レンズ	272d	9	34.85	6.00	1.620	60.3
		10	-27.11	0.00		
第6レンズ		11	-27.11	2.00	1.762	26.5
		12	-762.98	21.00		
瞳	274	13	$\infty$			

10

20

【0163】

本実施形態において、接眼光学系 272 により光束 12 は略平行光束に変換され、観察者の眼（瞳）274 に入射する。観察者の瞳 274 に入射した光束 12 は、眼の水晶体の作用によって網膜 275 上に結像し、スポット像 276 を結ぶ。このため、偏向ユニット 16 によって光束 12 が 2 次元方向に偏向されることにより、スポット像 276 は観察者の網膜 275 上で 2 次元方向に走査される。これにより、観察者の網膜 275 で走査されるスポット像 276 の残像効果によって 2 次元画像が観察者に認識される。

【0164】

本実施形態において、網膜 275 上に形成される画像（格子）を図 28 に、その TV ディストーションおよび台形歪みの量を表 12 に示す。

30

【0165】

【表 12】

表 12

TV-Distortion		台形歪み
上辺	下辺	
0.33%	0.58%	0.58%

【0166】

表 12 から、本実施形態で発生する TV ディストーションは、上辺で 0.33%、下辺で 0.58%、台形歪みは左右ともに 0.58% といずれも小さく、TV ディストーションと台形歪みが良好に補正されていることがわかる。

40

【0167】

本実施形態では、2 次元走査装置 271 により 1 次結像面 273 上に形成された空中像を接眼光学系 272 により拡大するのと等価となる。よって、1 次結像面 273 上の空中像の TV ディストーションおよび台形歪みが補正されているため、網膜 275 上に形成される画像の TV ディストーションおよび台形歪みも小さくなる。

【0168】

また、本実施形態において、2 次元走査装置 271 は略テレセントリック光学系となって

50

いる。このため、接眼光学系 272 を 1 次結像面 273 に対して垂直な方向（走査光学系 241 の光軸に平行な方向）に移動させることで、容易に視度調整を行うことが可能である。

#### 【0169】

また、本実施形態では、光源からの光の波長を特に指定していないが、光源として赤、緑、青の波長を持つ複数の発光部を用いることで、フルカラーの網膜走査型表示装置を構成することも可能である。

#### 【0170】

なお、上記実施形態 1 ~ 4 では、すべて回転対称の球面および非球面のレンズを用いた場合について説明したが、回転非対称非球面のレンズを用いても同等の効果を得ることが可能である。

#### （参考例 4）

図 29 には、本発明に関する参考例 4 である網膜走査型表示装置の垂直断面を示している。この網膜走査型表示光学系は、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラといった撮像装置や各種観察機器等の光学機器 400 に搭載され、電子ファインダを構成するものである。

#### 【0171】

本参考例の網膜走査型表示装置は、参考例 1 に示した 2 次元走査装置 291 の像面 18 の後方に、接眼光学系 292 を配置したものであり、偏向ユニット 16 で光束を 2 次元方向に偏向走査することで、観察者の網膜上に直接画像を形成（描画）する。

#### 【0172】

2 次元走査装置 291 は参考例 1 と同じものであるため、ここでは、2 次元走査装置 291 による 1 次結像面 293（参考例 1 の像面 18 に相当する）よりも後方の接眼光学系 292 とその光学作用についてのみ説明する。

#### 【0173】

一次結像面 293 において結像した光束 12 は、拡散光束となり、接眼光学系 292 に入射する。接眼光学系 292 を構成する各光学素子の曲率半径および面間隔等を表 13 に示す。接眼光学系 292 は、すべて光軸が一致する第 1 ~ 第 6 の球面レンズ（但し、第 1 および第 2 球面レンズと第 5 および第 6 球面レンズはそれぞれ貼り合わせレンズ）292a ~ 292d により構成されている。

#### 【0174】

#### 【表 13】

表 13

名称	図番	面番号	曲率半径	面間隔	nd	vd
第1レンズ	292a	1	-7.61	1.01	1.603	38.0
		2	218.84	0.00		
第2レンズ		3	218.84	6.50	1.639	55.4
	4	-14.75	0.10			
第3レンズ	292b	5	-125.14	3.29	1.603	60.6
		6	-26.46	0.39		
第4レンズ	292c	7	157.98	4.00	1.652	58.6
		8	-48.54	0.10		
第5レンズ	292d	9	33.86	6.00	1.620	60.3
		10	-29.35	1.01		
第6レンズ		11	-29.35	0.00	1.762	26.5
	12	483.84	21.00			
瞳	294	13	∞			

#### 【0175】

本参考例において、接眼光学系 292 により光束 12 は略平行光束に変換され、観察者の眼（瞳）294 に入射する。観察者の瞳 294 に入射した光束 12 は、眼の水晶体の作

用によって網膜 2 9 5 上に結像し、スポット像 2 9 6 を結ぶ。このため、偏向ユニット 1 6 によって光束 1 2 が 2 次元方向に偏向されることにより、スポット像 2 9 6 は観察者の網膜 2 9 5 上で 2 次元方向に走査される。これにより、観察者の網膜 2 9 5 で走査されるスポット像 2 9 6 の残像効果によって 2 次元画像が観察者に認識される。

【 0 1 7 6 】

本参考例における網膜 2 9 5 上での光学系の収差図を図 3 0 に示す。図 3 0 において、収差図の導出の際には、観察者の瞳 2 9 4 の位置に焦点距離 2 2 mm の理想レンズを配置し、網膜 2 9 5 上に結像させた収差をプロットしている。また、図 3 0 の横軸は瞳径を表しており、本参考例では瞳径  $D_e = 1.5 \text{ mm}$  ( $-0.75 \text{ mm} < x < 0.75 \text{ mm}$ ) とする。

10

【 0 1 7 7 】

図 3 0 から、本参考例の網膜走査型表示装置は、非点収差が小さく、かつディストーションの小さい高品位な画像を提供できることがわかる。

【 0 1 7 8 】

また、本参考例の光学系に、光源 1 1 からの光として F' 線 (波長  $479.99 \text{ nm}$ )、e 線 (波長  $546.07 \text{ nm}$ )、C' 線 ( $643.85 \text{ nm}$ ) を与えた場合の横収差図を図 3 1 に示す。

【 0 1 7 9 】

図 3 1 において、収差図の導出の際には、観察者の瞳 2 9 4 の位置に焦点距離 2 2 mm の理想レンズを配置し、網膜上に結像させた収差をプロットしている。図 3 1 で、実線は e 線、1 点鎖線は C' 線、破線は F' 線を示している。また、図 3 1 において、(a) は網膜 2 9 5 上における画像中心での、(b) は像高 5 0 % での、(c) は像高 1 0 0 % での横収差図である。各像高において、色収差の補正が良好に行われていることがわかる。

20

【 0 1 8 0 】

また、本参考例において、2 次元走査装置 2 9 1 は略テレセントリック光学系となっている。このため、接眼光学系 2 9 2 を 1 次結像面 2 9 3 に対して垂直な方向 (走査光学系 1 7 の光軸に平行な方向) に移動させることで、容易に視度調整を行うことが可能である。

【 0 1 8 1 】

また、本参考例では、光源からの光の波長を特に指定していないが、光源として赤、緑、青の波長を持つ複数の発光部を用いることで、フルカラーの網膜走査型表示装置を構成することも可能である。複数の光源を用いる場合、赤、緑、青の光源からの光束を、ダイクロイックプリズムなどの色を合成する手段で合成し、赤・緑・青それぞれの光源ごとに変調を行うことで、カラー画像を表現する。その他、青、緑、赤の 3 色の光を順次 (フィールドシーケンシャルに)、偏向ユニットに向けることによって、カラー画像の表現は可能である。

30

【 0 1 8 2 】

これ以外にも、白色の光源と青、緑、赤の 3 色のフィルタを回転可能なターレット上に配置したものとを組み合わせ、青、緑、赤の 3 色の光を順次、偏向ユニットに向けることができる。

40

【 0 1 8 3 】

なお、このように光源から青、緑、赤の 3 色の光を偏向ユニットへ向けつつ偏向ユニットと走査光学系を使ってカラーの 2 次元画像を形成する際の、光源や偏向ユニットの制御方法についての説明は省略する。

【 0 1 8 4 】

なお、上記実施形態 1 ~ 4 では、偏向ユニットとして 1 つの偏向ミラーで 2 次元方向へ光束の偏向が可能な、共振運動を利用したものを用いた場合について説明したが、1 次元方向に光束を偏向可能な偏向器を 2 つ組み合わせる方法や、共振を用いたものではなく、等角速度運動するガルバノミラーのような偏向器を用いることも可能である。

【 0 1 8 5 】

50

さらに、上記実施形態 1 ~ 4 では、走査光学系にガラスレンズを用いた場合について説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、例えば、射出成型により成形されたプラスチックレンズを用いることにより、製造が容易になり、コストダウンが図れる。

【 0 1 8 6 】

また、前述した特開平 8 - 1 4 6 3 2 0 号公報に提案されているように、電氣的に T V ディストーションを補正する技術もあるが、この種の電氣的な補正と本発明における走査光学系による光学的な補正とを組み合わせることで画像の歪みを補正する構成を採ることも可能である。

【 0 1 8 7 】

電氣的に補正する場合、偏向ユニットを制御する駆動回路（不図示）により 2 次元走査の際の反射面の傾斜角度を、光学的補正後の残存ディストーションを補正するように制御する。

10

【 0 1 8 8 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、光源からの光束が偏向手段に対していわゆる斜め入射する場合に、走査光学系を構成する第 3 の光学素子を光源からの光束が偏向手段に入射する側にチルト及びシフトさせ、第 2 の光学素子を光源からの光束が偏向手段に入射する側とは反対側にシフトさせることにより、光束の 2 次元走査によって形成される画像に発生する T V ディストーションおよび台形歪みを含むディストーションを光学的に良好に補正することができる。このため、高品位の画像観察が可能な走査型表示光学系を実現

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に関する参考例 1 である 2 次元走査装置の垂直断面図である。

【図 2】上記 2 次元走査装置に用いられる偏向ユニット（MEMS デバイス）の概略図である。

【図 3】参考例 1 における走査光学系の収差図である。

【図 4】参考例 1 における走査光学系の像面への入射角特性を示す図である。

【図 5】参考例 1 における走査光学系の横収差図である。

【図 6】本発明に関する参考例 2 である 2 次元走査装置の垂直断面図である。

【図 7】参考例 2 における走査光学系の収差図である。

30

【図 8】参考例 2 における走査光学系の像面への入射角特性を示す図である。

【図 9】参考例 2 における走査光学系の横収差図である。

【図 10】本発明に関する参考例 3 である 2 次元走査装置の垂直断面図である。

【図 11】参考例 3 における走査光学系の収差図である。

【図 12】参考例 3 における走査光学系の像面への入射角特性を示す図である。

【図 13】参考例 3 における走査光学系の横収差図である。

【図 14】本発明の実施形態 1 である 2 次元走査装置の垂直断面図である。

【図 15】実施形態 1 の比較例の光学系の垂直断面図である。

【図 16】上記比較例の光学系による表示画像（格子）を示す図である。

【図 17】T V ディストーションの算出方法の説明図である。

40

【図 18】実施形態 1 による表示画像（格子）を示す図である。

【図 19】実施形態 1 における走査光学系の像面への入射角特性を示す図である。

【図 20】実施形態 1 における走査光学系の横収差図である。

【図 21】本発明の実施形態 2 である 2 次元走査装置の垂直断面図である。

【図 22】実施形態 2 による表示画像（格子）を示す図である。

【図 23】実施形態 2 における走査光学系の像面への入射角特性を示す図である。

【図 24】本発明の実施形態 3 である 2 次元走査装置の垂直断面図である。

【図 25】実施形態 3 による表示画像（格子）を示す図である。

【図 26】実施形態 3 における走査光学系の像面への入射角特性を示す図である。

【図 27】本発明の実施形態 4 である網膜走査型表示装置の垂直断面図である。

50



【図 28】実施形態 4 による表示画像（格子）を示す図である。

【図 29】本発明に関する参考例 4 である網膜走査型表示装置の垂直断面図である。

【図 30】参考例 4 における光学系の収差図である。

【図 31】参考例 4 における光学系の横収差図である。

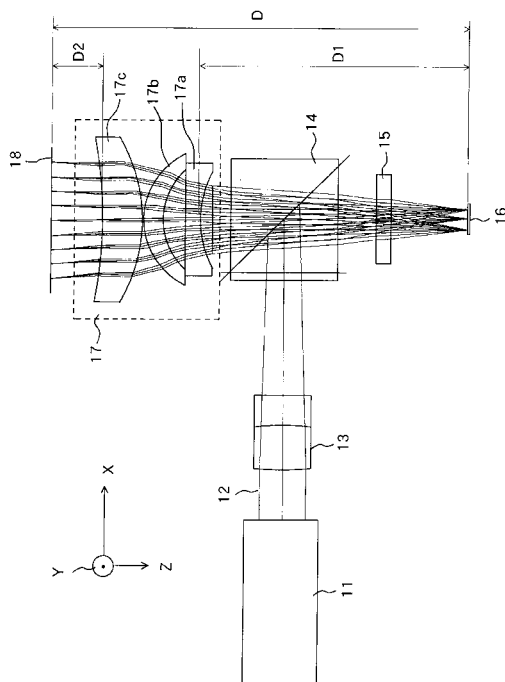
【符号の説明】

- 11 光源
- 12 光束
- 13 集束レンズ
- 14 ハーフミラー
- 15 保護ガラス
- 16 偏向ユニット
- 17, 61, 101, 142, 151, 211, 241 走査光学系
- 18 像面
- 21 偏向ミラー
- 141 折り返しミラー
- 271, 291 2次元走査装置
- 272, 292 接眼光学系
- 273, 293 1次結像面
- 274, 294 眼（瞳）
- 275, 295 網膜

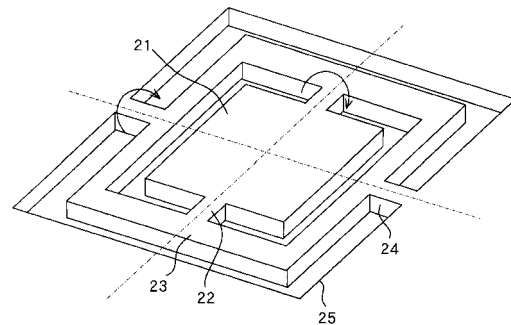
10

20

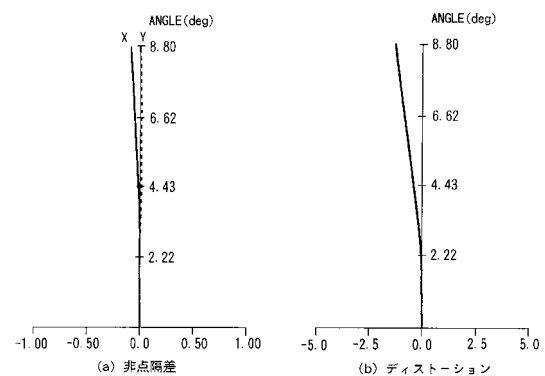
【図 1】



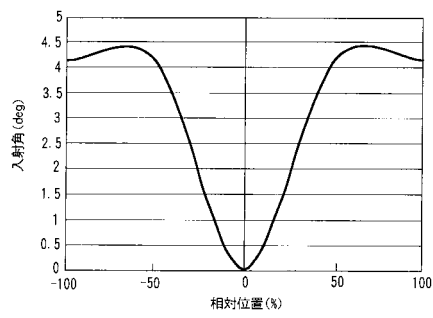
【図 2】



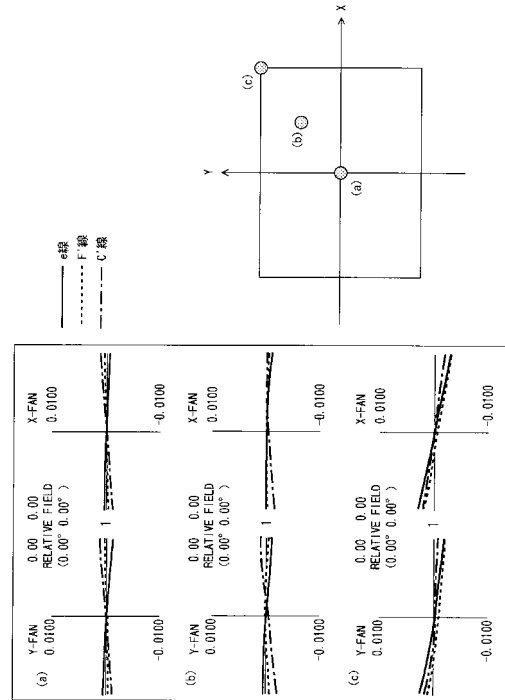
【図 3】



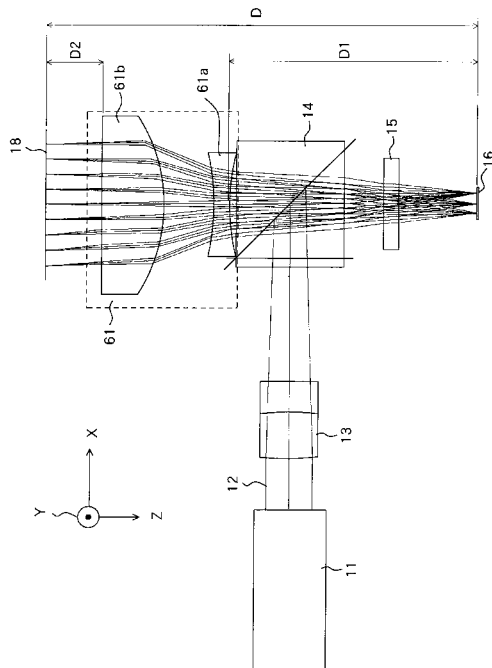
【図 4】



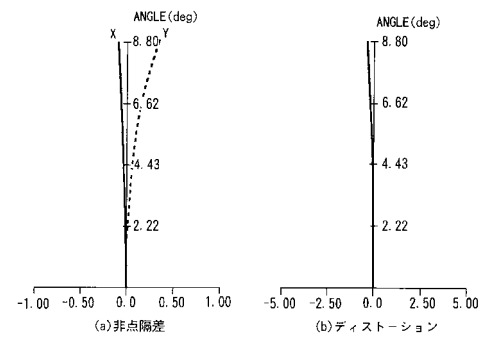
【図 5】



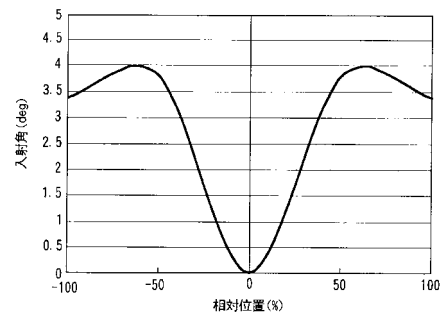
【図 6】



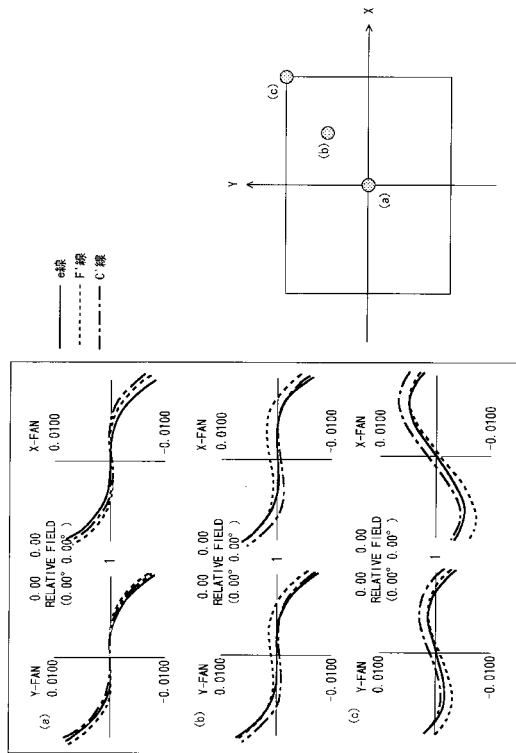
【図 7】



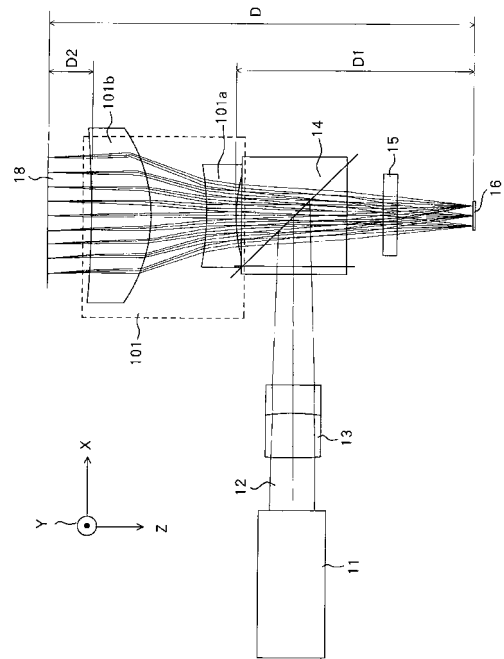
【図 8】



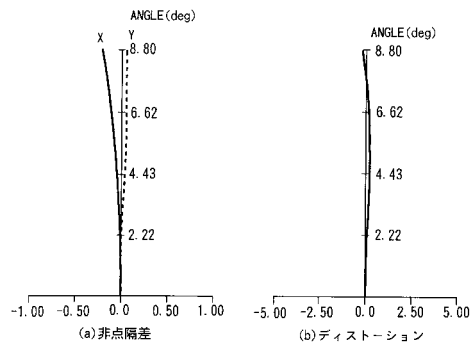
【図 9】



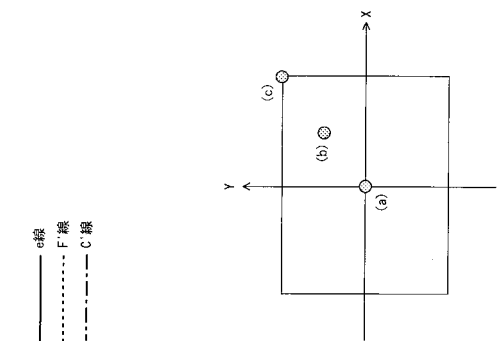
【図 10】



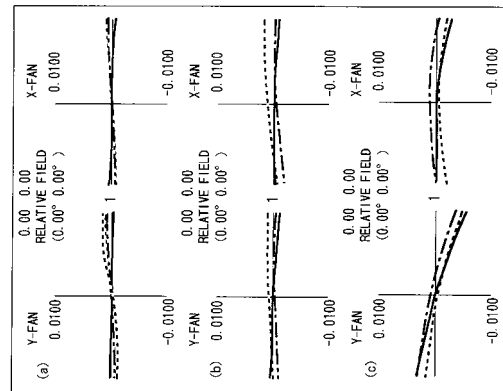
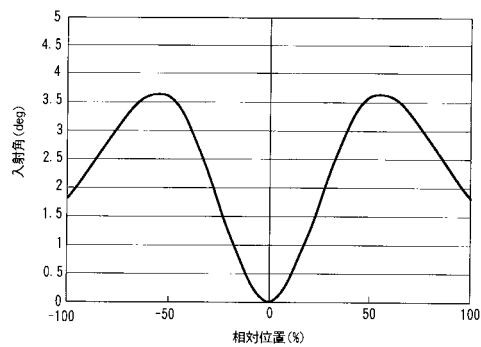
【図 11】



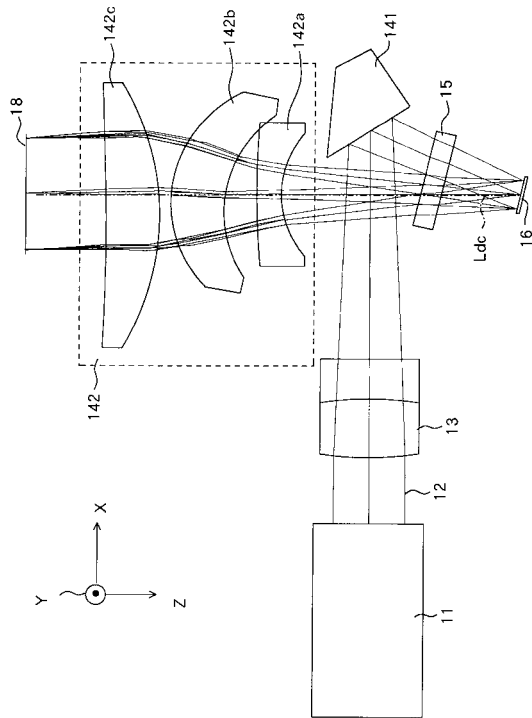
【図 13】



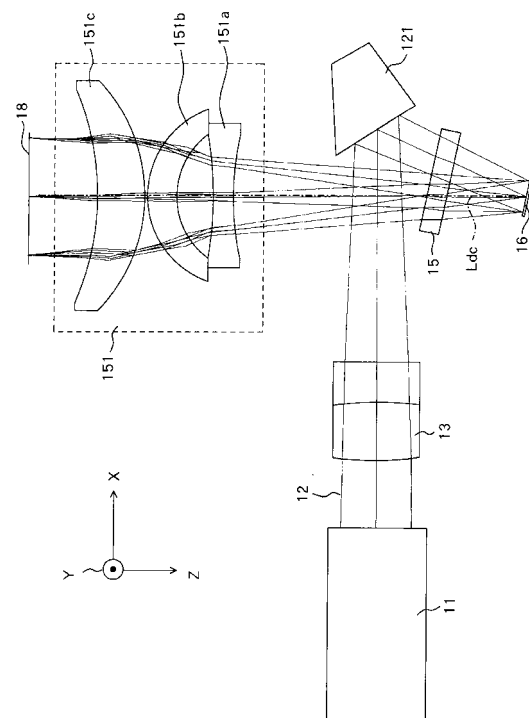
【図 12】



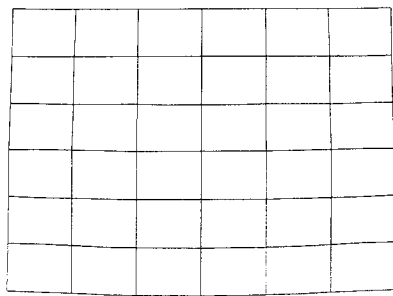
【図 14】



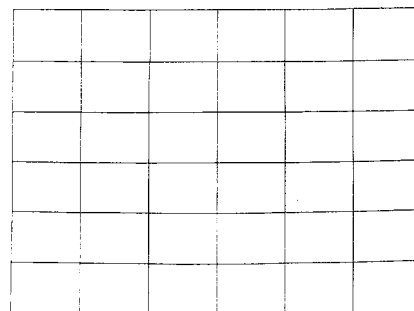
【図 15】



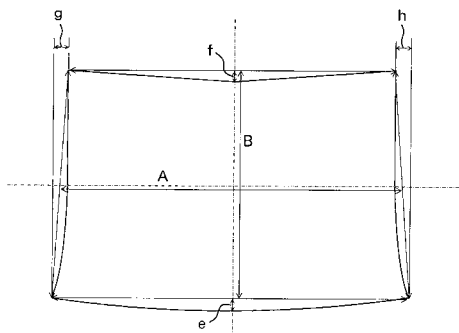
【図 16】



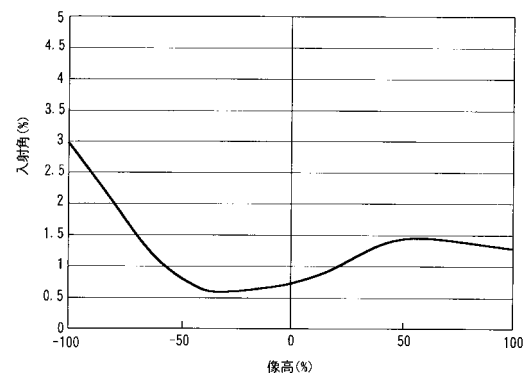
【図 18】



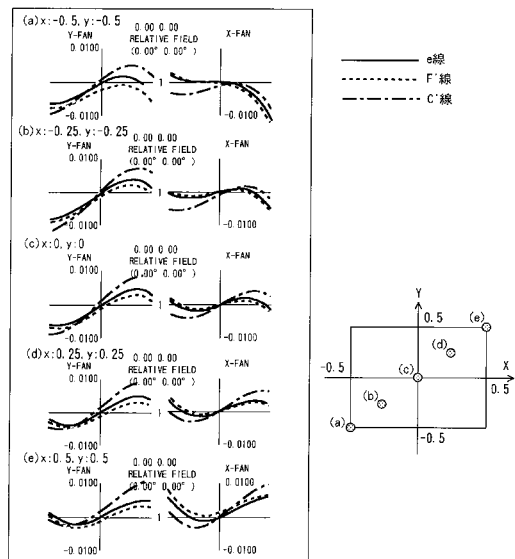
【図 17】



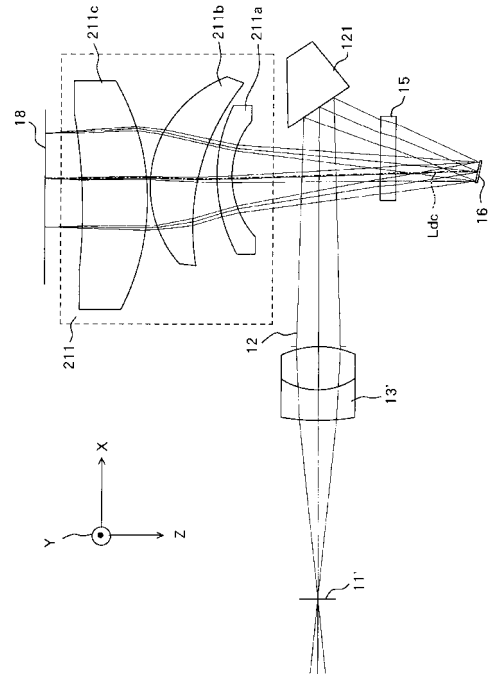
【図 19】



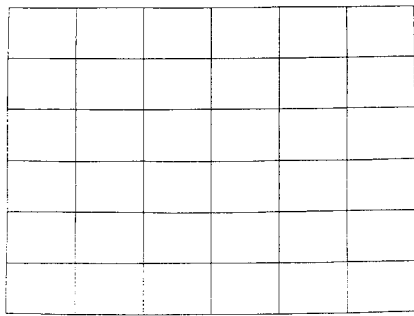
【図 20】



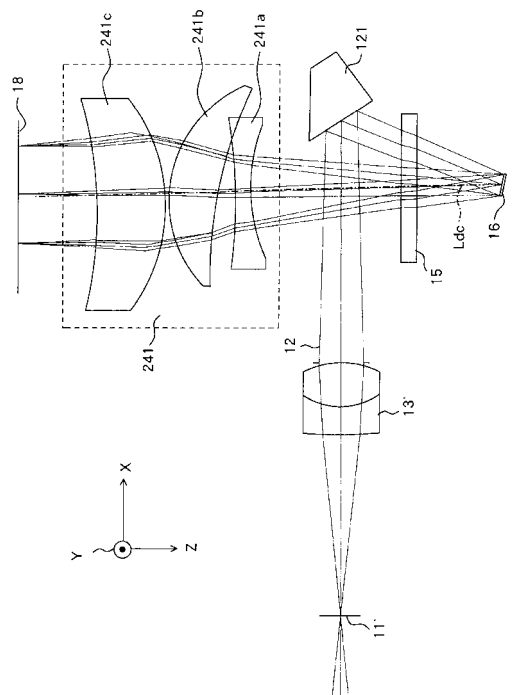
【図 21】



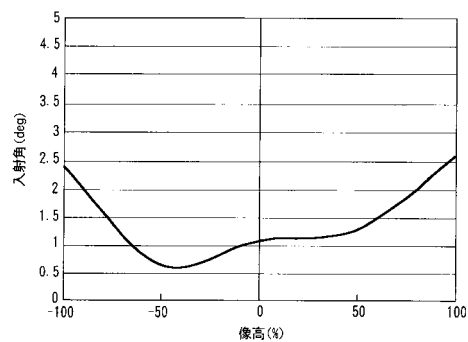
【図 22】



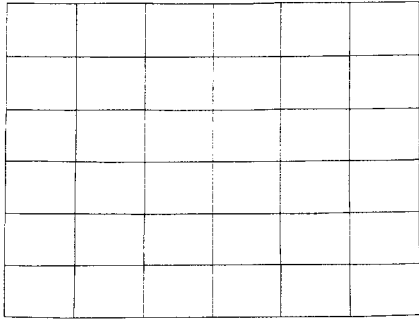
【図 24】



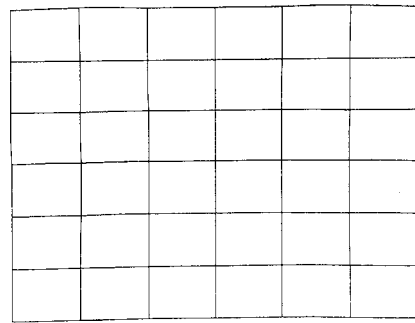
【図 23】



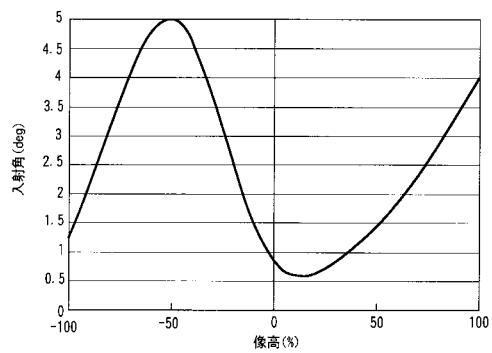
【図 25】



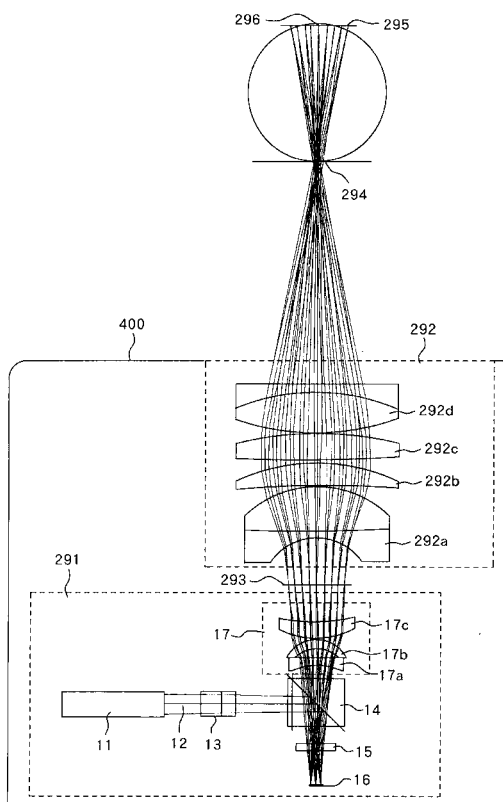
【図 28】



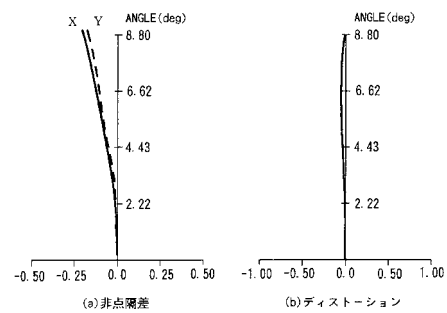
【図 26】



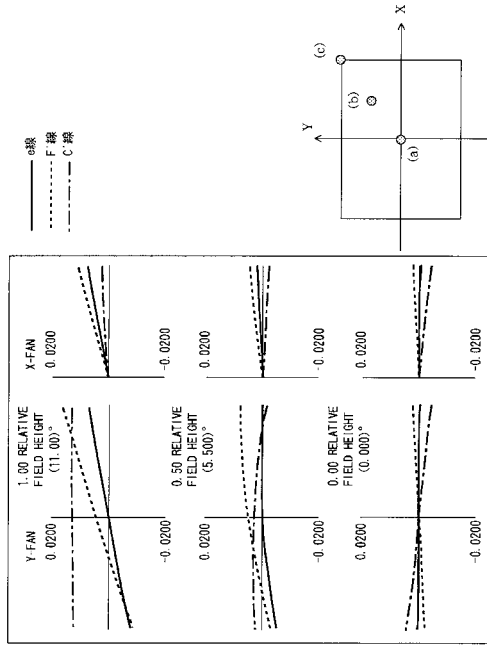
【図 29】



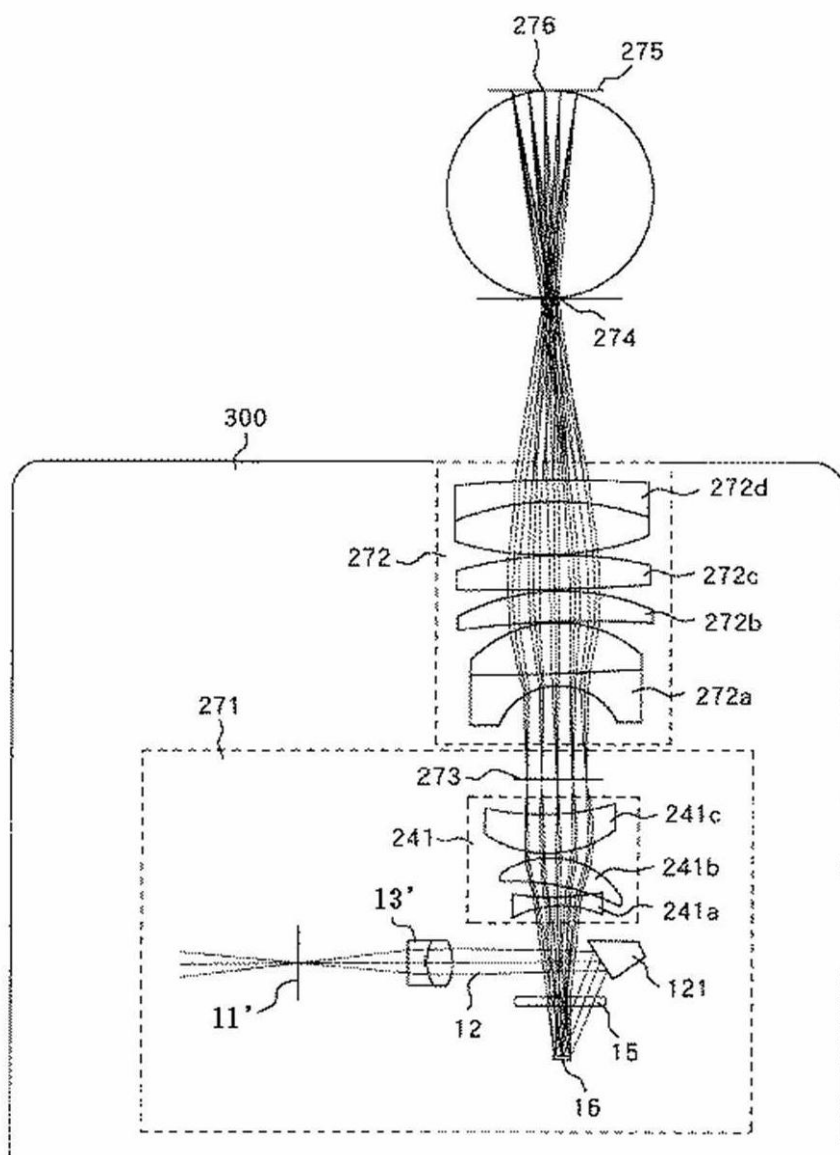
【図 30】



【図 31】



【図 27】





---

フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I  
G 0 2 B 27/02 Z

(56) 参考文献 特開 2 0 0 0 - 1 8 7 1 7 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 2 - 1 9 6 2 7 7 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 2 5 3 9 1 5 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 0 8 4 2 9 1 ( J P , A )

(58) 調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02B 26/10

G02B 27/02