

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7446432号
(P7446432)

(45)発行日 令和6年3月8日(2024.3.8)

(24)登録日 令和6年2月29日(2024.2.29)

(51)国際特許分類		F I			
F 2 1 S	2/00 (2016.01)	F 2 1 S	2/00	3 1 1	
F 2 1 V	5/04 (2006.01)	F 2 1 V	5/04	5 5 0	
F 2 1 V	5/08 (2006.01)	F 2 1 V	5/04	6 0 0	
F 2 1 V	5/02 (2006.01)	F 2 1 V	5/08		
G 0 3 B	21/00 (2006.01)	F 2 1 V	5/02	1 0 0	
請求項の数 10 (全37頁) 最終頁に続く					
(21)出願番号	特願2022-538576(P2022-538576)	(73)特許権者	000006013		
(86)(22)出願日	令和3年2月2日(2021.2.2)		三菱電機株式会社		
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/003622		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号		
(87)国際公開番号	WO2022/018891	(74)代理人	100088672		
(87)国際公開日	令和4年1月27日(2022.1.27)		弁理士 吉竹 英俊		
審査請求日	令和4年9月27日(2022.9.27)	(74)代理人	100088845		
(31)優先権主張番号	PCT/JP2020/028228		弁理士 有田 貴弘		
(32)優先日	令和2年7月21日(2020.7.21)	(72)発明者	山田 旭洋		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号		
			三菱電機株式会社内		
		(72)発明者	木田 博		
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号		
			三菱電機株式会社内		
		審査官	野木 新治		
最終頁に続く					

(54)【発明の名称】 光源装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】
X軸、Y軸およびZ軸を含むXYZ座標系におけるZ軸方向の照射対象に光を照射する光源装置であって、
前記XYZ座標系におけるY軸方向に離間して配置され、前記Y軸方向の発散角が前記XYZ座標系におけるX軸方向の発散角よりも小さい光を発する第1光源および第2光源を含み、光束を発する光源群と、
前記光源群が発する前記光束を平行化する平行化レンズと、
前記Z軸方向において前記光源群と前記平行化レンズとの間に配置され、前記第1光源が発する光を偏向する平面の第1光学面および前記第2光源が発する前記光を偏向する平面の第2光学面を用いて前記Z軸方向の前記照射対象に向けて凹型に構成され、前記光源群から発せられた前記光束を偏向して前記平行化レンズに入射させる光偏向素子と、を備え、前記第1光源は、前記Z軸方向で前記第1光学面に対向するように配置され、前記第2光源は、前記Z軸方向で前記第2光学面に対向するように配置される、光源装置。

【請求項2】
前記光偏向素子は、
前記第1光源および前記第2光源の各々から発せられた前記光を透過し、屈折させて前記平行化レンズの前記Z軸方向から離れる方向に偏向する、請求項1記載の光源装置。

【請求項3】
前記Y軸方向に拡がりをも有して前記第1光源および前記第2光源を出射した前記光は、

前記 Y 軸方向に拡がりをも有して前記光偏向素子を出射し、

前記 Y 軸方向に拡がりをも有して前記平行化レンズに入射した前記光は、前記平行化レンズにより前記 Z 軸方向に対して平行となり出射する、請求項 1 または請求項 2 記載の光源装置。

【請求項 4】

前記光偏向素子は、

前記第 1 光源および前記第 2 光源の各々から発せられた前記光を反射させて前記平行化レンズの前記 Z 軸方向から離れる方向に偏向する、請求項 1 記載の光源装置。

【請求項 5】

前記光偏向素子は光の反射面を有し、

前記第 1 光源および前記第 2 光源の中の 1 つの光源の中央部と前記 Z 軸との距離を間隔 $y1ac$ とし、

前記 1 つの光源の前記中央部と前記反射面との距離を間隔 $D4$ とし、

前記反射面の前記 Z 軸に対する傾き角を $\alpha 9$ とした場合に、

前記間隔 $D4$ は、

$y1ac / D4 = \sin(2 \times |\alpha 9|)$ の関係式に基づいて設定され、

前記間隔 $D4$ は、 $\pm 10\%$ の誤差が許容される、請求項 4 記載の光源装置。

【請求項 6】

前記 Z 軸に沿った方向において前記第 1 光源および前記第 2 光源とは反対側から前記平行化レンズに平行光を入射した場合に、前記平行化レンズおよび前記光偏向素子を含む光学系による前記平行光の集光位置が、前記第 1 光源および前記第 2 光源と前記光偏向素子の間に位置する、請求項 4 または請求項 5 記載の光源装置。

【請求項 7】

前記平行化レンズの前記第 1 光源および前記第 2 光源側の焦点位置より、前記平行化レンズ側の位置において、リング状の照度分布を有する請求項 1 または請求項 6 記載の光源装置。

【請求項 8】

前記 Z 軸上に配置される第 3 の光源をさらに含み、

前記光偏向素子は、

前記第 1 光源および前記第 2 光源の前記 Y 軸方向において、前記第 1 光源および前記第 2 光源の各々から発せられた前記光を前記 Z 軸から離れる方向に偏向する、請求項 1 から請求項 7 の何れか 1 項に記載の光源装置。

【請求項 9】

入射光を平行化する平行化レンズと、

前記平行化レンズの光軸から離れる方向に互いに離間して配置される複数の光源を含み、全体として互いに直交する前記光軸から離れる方向に平行な第 1 の方向と第 2 の方向とで発散角が異なる光束を発する光源群と、

前記光軸の方向において前記光源群と前記平行化レンズとの間に配置され、前記第 1 の方向および前記第 2 の方向のうち、前記光源群の前記発散角が小さい前記第 1 の方向において、前記複数の光源の各々から発せられた光を前記光軸から離れる方向に偏向して前記平行化レンズに入射させる光偏向素子と、を備え、

前記光偏向素子は、

光の反射面を有し、

前記複数の光源の各々から発せられた前記光を反射させて前記光軸から離れる方向に偏向し、

前記複数の光源の中の 1 つの光源の中央部と前記光軸との距離を間隔 $y1ac$ とし、

前記 1 つの光源の前記中央部と前記反射面との距離を間隔 $D4$ とし、

前記反射面の前記光軸に対する傾き角を $\alpha 9$ とした場合に、

前記間隔 $D4$ は、

$y1ac / D4 = \sin(2 \times |\alpha 9|)$ の関係式に基づいて設定され、

10

20

30

40

50

前記間隔 D 4 は、 $\pm 10\%$ の誤差が許容される、光源装置。

【請求項 10】

入射光を平行化する平行化レンズと、

前記平行化レンズの光軸から離れる方向に互いに離間して配置される複数の光源を含み、全体として互いに直交する前記光軸から離れる方向に平行な第 1 の方向と第 2 の方向とで発散角が異なる光束を発する光源群と、

前記光軸の方向において前記光源群と前記平行化レンズとの間に配置され、前記第 1 の方向および前記第 2 の方向のうち、前記光源群の前記発散角が小さい前記第 1 の方向において、前記複数の光源の各々から発せられた光を前記光軸から離れる方向に偏向して前記平行化レンズに入射させる光偏向素子と、を備え、

前記光偏向素子は、

光の反射面を有し、

前記複数の光源の各々から発せられた前記光を反射させて前記光軸から離れる方向に偏向し、

前記光軸に沿った方向において前記光源群とは反対側から前記平行化レンズに平行光を入射した場合に、前記平行化レンズおよび前記光偏向素子を含む光学系による前記平行光の集光位置が、前記複数の光源と前記光偏向素子の間に位置する、光源装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は光源装置に関し、特に光利用効率を高めた光源装置に関する。

【背景技術】

【0002】

投射型表示装置等に用いられる固体光源において、高出力化と結合効率の向上が課題となっている。例えば、特許文献 1 には、複数の発光点を備える光源と、光源からの出射光を平行化するコリメートレンズと、主面に対して異なる傾斜角を有し、かつ複数の出射光それぞれに対する複数の入射面を有する光学素子と、で構成された光源ユニットが開示されている。特許文献 1 には、特に、光源ユニットの小型化を実現するために、光学素子が、入射面を備えたミラーを複数有する構成が図 16 等

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】国際公開第 2014/115194 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 のようにミラーを利用した構成では、コリメートレンズから出射される平行化後の光線の光量分布が光軸に対して不均一となると、光軸上の光利用効率が低下してしまうなどの課題が生じるが、特許文献 1 では光源が見かけ上傾くことによる光軸上の光利用効率の低下等に関して何ら考慮されていない。

【0005】

本開示は上記のような問題を解決するためになされたものであり、光軸上の光利用効率を高めた光源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】

【0006】

本開示に係る光源装置は、X 軸、Y 軸および Z 軸を含む XYZ 座標系における Z 軸方向の照射対象に光を照射する光源装置であって、前記 XYZ 座標系における Y 軸方向に離間して配置され、前記 Y 軸方向の発散角が前記 XYZ 座標系における X 軸方向の発散角よりも小さい光を発する第 1 光源および第 2 光源を含み、光束を発する光源群と、前記光源群が発する前記光束を平行化する平行化レンズと、前記 Z 軸方向において前記光源群と前記

10

20

30

40

50

平行化レンズとの間に配置され、前記第1光源が発する光を偏向する平面の第1光学面および前記第2光源が発する前記光を偏向する平面の第2光学面を用いて前記Z軸方向の前記照射対象に向けて凹型に構成され、前記光源群から発せられた前記光束を偏向して前記平行化レンズに入射させる光偏向素子と、を備え、前記第1光源は、前記Z軸方向で前記第1光学面に対向するように配置され、前記第2光源は、前記Z軸方向で前記第2光学面に対向するように配置される。

【発明の効果】

【0007】

本開示の光源装置によれば、光軸上の光利用効率が高い光源装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態1の光源装置の概略構成を示す図である。

【図2】実施の形態1の光源装置の概略構成を示す図である。

【図3】実施の形態1の光源装置の光源の配光特性を示す図である。

【図4】実施の形態1の光源装置の光線追跡の一例を示す図である。

【図5】実施の形態1の光源装置の光偏向素子の作用を説明する図である。

【図6】実施の形態2の光源装置の光偏向素子をミラーに代えた場合の概略構成を示す図である。

【図7】実施の形態2の光源装置の光線追跡結果を示す図である。

【図8】光源から出射される光線の光軸に対する傾き角度を説明する図である。

【図9】実施の形態2の光源装置の逆光線追跡結果を示す図である。

【図10】実施の形態2の光源装置の平行化レンズの逆光線追跡結果を示す図である。

【図11】実施の形態2の光源装置の照度分布を示す図である。

【図12】実施の形態2の光源装置の照度分布を示す図である。

【図13】実施の形態2の光源装置のミラーの逆光線追跡結果を示す図である。

【図14】実施の形態1の光源装置の照度分布を示す図である。

【図15】実施の形態2の光源装置の照度分布を示す図である。

【図16】実施の形態1および2の光源装置の比較例の照度分布を示す図である。

【図17】実施の形態1の光源装置の照度分布を示す図である。

【図18】実施の形態2の光源装置の照度分布を示す図である。

【図19】実施の形態2の光源装置の照度分布を示す図である。

【図20】実施の形態3の光源装置の概略構成を示す図である。

【図21】実施の形態3の光源装置の光偏向素子の作用を説明する図である。

【図22】実施の形態3の光源装置の逆光線追跡結果を示す図である。

【図23】実施の形態3の光源装置の平行化レンズの逆光線追跡結果を示す図である。

【図24】実施の形態3の光源装置の照度分布を示す図である。

【図25】実施の形態1の光源装置の光源群と平行化レンズの位置関係を説明するための図である。

【図26】実施の形態3の光源装置の光源群と平行化レンズの位置関係を説明するための図である。

【図27】実施の形態1の光源装置のX軸方向の逆光線追跡結果を示す図である。

【図28】実施の形態3の光源装置のX軸方向の逆光線追跡結果を示す図である。

【図29】実施の形態3の光源装置の照度分布を示す図である。

【図30】実施の形態3の光源装置の照度分布を示す図である。

【図31】実施の形態4の光源装置の照度分布を示す図である。

【図32】実施の形態4の光源装置の照度分布を示す図である。

【図33】実施の形態1の光源装置の平行化レンズにアナモフィック非球面を適用した場合照度分布を示す図である。

【図34】実施の形態1の光源装置の平行化レンズにトロイダル面を適用した場合照度分布を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 3 5】実施の形態 5 の光源装置の概略構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

＜実施の形態 1＞

図 1 および図 2 を用いて実施の形態 1 の光源装置 100 の概略構成を説明する。図 1 は Y Z 平面を - X 軸側から観察した図を示し、図 2 は Z X 平面を + Y 軸方向側から観察した図を示している。図 1 および図 2 に示されるように光源装置 100 は、光源群 1、光偏向素子 2 および平行化レンズ 3 を備え、光源群 1 と平行化レンズ 3 との間に光偏向素子 2 が配置されている。光偏向素子 2 は、光偏向用の光学面 21 および 22 が光出射側に設けられており、当該光学面 21 および 22 は、平行化レンズ 3 の中心を通る光軸 C1 に向けて共に傾斜している。光源群 1 は、図 1 に示されるように Y 軸方向に配列された光源 1a および光源 1b を有している。

10

【0010】

＜座標の設定＞

本実施の形態では、説明を容易にするために、以下に示す図において X Y Z 座標を用い、+ Z 軸方向に光が進行するものとする。また、X 軸中心の右回りの回転を + R X、Y 軸中心の右回りの回転を + R Y、Z 軸中心の右回りの回転を + R Z とする。

【0011】

＜光源 1a、光源 1b＞

光源 1a および光源 1b は X 軸方向の発散角と Y 軸方向の発散角が異なる固体光源であり、例えば、レーザーダイオードである。ここで、光源 1a および光源 1b の X Y 平面を発光面とし、Y 軸方向の辺が X 軸方向の辺より長く、Y 軸方向の発散角（± R X 方向の角度）は、X 軸方向の発散角（± R Y 方向の角度）より小さいものとする。例えば、光源 1a および 1b の Y 軸方向の長さは 70 μm であり、X 軸方向の長さは 1 μm である。以下、発散角の小さい Y 軸方向を第 1 の方向、X 軸方向を第 2 の方向とも呼ぶ。

20

【0012】

＜光源 1a、光源 1b の配光特性＞

光源 1a および光源 1b から出射される光の配光特性を図 3 に示す。図 3 において縦軸は相対光強度（任意単位）を示し、横軸は、光の発散角度（°）を示す。実線で示す特性 301 は、X 軸方向（± R Y 方向）に発散する光の配光特性を示しており、一点鎖線で示す特性 302 は、Y 軸方向（± R X 方向）に発散する光の配光特性を示している。上述したように、Y 軸方向の発散角は、X 軸方向の発散角よりも小さい。

30

【0013】

なお、破線 303 は相対光強度が $1/e^2$ となる位置、つまり相対光強度が約 0.135 の位置を示している。一般的にレーザーダイオードの発散角の仕様は、相対光強度が $1/e^2$ となる位置の角度で表示することが多く、光の拡がりの目安となる。ここでは、特性 301 の $1/e^2$ となる位置の角度は ± 約 37°、特性 302 の $1/e^2$ となる位置の角度は ± 約 5° となる。以降、光源 1a および光源 1b の発散角の範囲といった場合、相対光強度が $1/e^2$ となる位置を基準とした角度範囲を示すものとする。

【0014】

＜光源 1a と光源 1b の間隔＞

光源 1a および光源 1b は、例えば、中心波長 638 nm の赤色の光を発する。複数の光源を隣接配置して高出力化を行う際に、中心波長が例えば、450 nm の青色の光を発する光源および中心波長が例えば、525 nm の緑色の光を発する光源と比較して、赤色の光を発する光源は、温度に対して感度が高く、温度が高くなると発光効率の低下および波長シフトが発生する。従って、冷却を考慮すると、光源 1a と光源 1b の配列間隔、すなわち配列方向の間隔、本実施の形態では Y 軸方向の間隔は、広い方が好ましい。しかし、一般的に光源 1a と光源 1b の配列間隔が拡がるに従って、光軸 C1 上の光利用効率が低下するため、光利用効率を向上させるためには、光源 1a および光源 1b は光軸 C1 の近くに配置されることが好ましい。

40

50

【0015】

<光源1aと光源1bの間隔と光利用効率との関係>

光偏向素子2を配置しない場合、つまり、光源群1と平行化レンズ3のみの場合、光源1aから出射した光と光源1bから出射した光は、平行化レンズ3で屈折後、光軸C1を境に徐々に離れていく。そのため、平行化レンズ3の後段で集光レンズを配置し、複数の光源装置100から出射した光を光軸C1上に集光する際に、集光レンズの光軸C1上に集光する光の効率が低くなる。

【0016】

図4は、光線追跡の一例を示す図である。図4においては光源群1および平行化レンズ3のみで構成される光学系を示しており、光源群1および平行化レンズ3を含む領域“A”の拡大図を併せて示している。

10

【0017】

図4に示されるように、光源1aの中央部から出射した光線401を実線で、光源1bの中央部から出射した光線402を一点鎖線で示す。なお、各光線のY軸方向の拡がり、図3を用いて説明したように $\pm 5^\circ$ とした。平行化レンズ3を出射した光線401および光線402は光源の配列方向において、徐々に光軸C1から離れる方向、より具体的には光線401は-Y軸方向、光線402は+Y軸方向に進行していることが確認できる。これにより、光源の配列方向において、光源群1からの光は光軸C1から離れていくこととなり、光軸C1上の光利用効率が低下することとなる。ここで、光軸C1から各光源の出射位置までの配列間隔を像高とすると、平行化レンズ3の焦点距離が短くなるほど、到達面、すなわち任意のZ軸方向位置での像高が高くなり、光軸C1から離れた位置に光線が到達することとなる。一方、光軸C1上を出射した光線は到達面でも光軸C1付近に到達する。ここで、付近とは、光源の発散角の影響により光線が $\pm Y$ 軸方向に幅を有するため、到達面には光軸C1と平行な光線も到達することとなり、 $\pm Y$ 軸方向の幅を有することを鑑みて「付近」とした。

20

【0018】

<光偏向素子>

図5は光偏向素子2の作用を説明する概念図であり、図5を用いて光偏向素子2の特徴を説明する。光偏向素子2を光源1aと平行化レンズ3(図1)の間に配置することによって、光偏向素子2の偏向作用により光源1aの中央部から出射した光線501ccが光軸C1に対して+Y軸方向に角度 $\alpha 1$ を有して平行化レンズ3に入射させることが可能となる。角度 $\alpha 1$ で+Z軸方向に進行した光線が平行化レンズ3で光軸C1に対して平行な光線となって出射することにより、光軸C1上の光利用効率の低下を抑制できる。光源1bに対しても光軸C1を線対称にして同様に作用する。すなわち、光偏向素子2を配置することによって、光源1aおよび光源1bの中央部から出射した光軸C1と平行な光線を、屈折後に+Y軸方向および-Y軸方向に偏向させることにより、光軸C1から $\pm Y$ 軸方向に離れて配置された光源を光軸C1上あるいは、光軸C1方向に平行移動した位置に配置されたかのような振る舞いをさせることが可能となる。

30

【0019】

例えば、図5に示されるように、光源1aのY軸方向長さ $y1a$ を $70\mu m$ とし、光源1bのY軸方向長さ $y1b$ を $70\mu m$ とし、光源1aの中央部と光軸C1とのY軸方向の間隔 $y1ac$ を $105\mu m$ とし、光源1aの-Y軸方向端部と光源1bの+Y軸方向端部の間隔 $y1c$ を $140\mu m$ とし、光源1aの中央部と光源1bの中央部の間隔 $y1d$ を $210\mu m$ とする。また、光源1aおよび光源1bの発光面と光偏向素子2の光入射面までの間隔 $D1$ を $350\mu m$ 、光偏向素子2の最小部分の厚み $T1$ を $280\mu m$ とする。また、光源1aの中央部から出射した光のうち光軸C1と平行な光線と光偏向素子2の光入射面との交点をP50とし、光源1aの中央部から出射した光のうち光軸C1と平行な光線と光偏向素子2の出射面側の交点をP51とした場合、P50とP51との間隔 $D2$ を約 $315\mu m$ とする。

40

【0020】

50

ここで、光偏向素子2の材質は例えば、HOYA株式会社のBSC7であり、波長638nmでの屈折率は約1.515である。

【0021】

＜光線の振り舞い＞

図5に示されるように、光線501cuは光源1aの中央部から角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射した光線の軌跡を示し、光線501ccは光源1aの中央部から角度 0° で出射した光線、すなわち、光軸C1と平行な光線の軌跡を示し、光線501cdは光源1aの中央部から角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射した光線の軌跡を示す。

【0022】

光線501ccは、光源1aの中央部を出射し、光偏向素子2に角度 0° で入射する。光偏向素子2の出射面に到達後、屈折し、角度 $\alpha 1$ で+Z軸方向に進行する。角度 $\alpha 1$ はスネルの法則を用いて、以下の数式(1)で算出される。なお、角度は絶対値として計算する。

10

【0023】

$$1.515 \times \sin(|\alpha 8|) = \sin(|\alpha 1| + |\alpha 8|) \cdots (1)$$

ここで、光偏向素子2の出射面のXY平面に対するY軸方向(+RX方向)の傾き角度 $\alpha 8$ を $+18.81^\circ$ とすると、角度 $\alpha 1$ は以下の数式(2)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0024】

$$1.515 \times \sin(18.81^\circ) = \sin(|\alpha 1| + 18.81^\circ) \cdots (2)$$

20

上記数式(2)より $|\alpha 1| = 10.43^\circ$ となり、出射方向を考慮すると $\alpha 1 = -10.43^\circ$ となる。なお、屈折率および角度を四捨五入により概略値として算出しているため、算出した角度において、誤差は生じる。

【0025】

光線501cuは、光源1aの中央部を出射し、光偏向素子2に角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で入射する。入射した光は屈折し、角度 $\alpha 3$ となって光偏向素子2の出射面に進行する。光偏向素子2の出射面では、屈折後、角度 $\alpha 4$ で+Z軸方向に進行する。

【0026】

角度 $\alpha 3$ は以下の数式(3)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0027】

$$\sin(|\alpha 2|) = 1.515 \times \sin(|\alpha 3|) \cdots (3)$$

30

上記数式(3)より $|\alpha 3| = 3.3^\circ$ となり、出射方向を考慮すると $\alpha 3 = -3.3^\circ$ となる。

【0028】

角度 $\alpha 4$ は以下の数式(4)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0029】

$$1.515 \times \sin(|\alpha 8| + |\alpha 3|) = \sin(|\alpha 8| + |\alpha 4|) \cdots (4)$$

数式(4)に既知の角度を代入すると以下の数式(5)となる。

【0030】

$$1.515 \times \sin(22.11^\circ) = \sin(18.81^\circ + |\alpha 4|) \cdots (5)$$

40

数式(5)より $|\alpha 4| = 15.96^\circ$ となり、出射方向を考慮すると $\alpha 4 = -15.96^\circ$ となる。

【0031】

光線501cdは、光源1aの中央部を出射し、光偏向素子2に角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で入射する。入射した光は屈折し、角度 $\alpha 6$ となって光偏向素子2の出射面に進行する。光偏向素子2の出射面では、屈折後、角度 $\alpha 7$ で+Z軸方向に進行する。

【0032】

角度 $\alpha 6$ は以下の数式(6)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0033】

$$\sin(|\alpha 5|) = 1.515 \times \sin(|\alpha 6|) \cdots (6)$$

50

数式(6)より $|\alpha 6| = 3.3^\circ$ となり、出射方向を考慮すると、 $\alpha 6 = +3.3^\circ$ となる。

【0034】

角度 $\alpha 7$ は以下の数式(7)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0035】

$$1.515 \times \sin(|\alpha 8| - |\alpha 6|) = \sin(|\alpha 8| + |\alpha 7|) \dots (7)$$

数式(7)に既知の角度を代入すると以下の数式(8)となる。

【0036】

$$1.515 \times \sin(15.51^\circ) = \sin(18.81^\circ + |\alpha 7|) \dots (8)$$

数式(8)より $|\alpha 7| = 5.09^\circ$ となり、出射方向を考慮すると、 $\alpha 7 = -5.09^\circ$ となる。

10

【0037】

光線 501dd は、光源 1a の -Y 軸方向端部から出射した光軸 C1 と角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ 傾いた光線の軌跡を示している。光線 501dd は、光利用効率を考慮すると、光軸 C1 と光偏向素子 2 の出射面との交点 P52 より +Y 軸方向を通過することが好ましい。

【0038】

光線 501dd は、角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で光源 1a の -Y 軸方向端部を出射後、光偏向素子 2 の光入射面に到達し、屈折後、角度 $\alpha 6 = +3.3^\circ$ で +Z 軸方向に進行する。さらに光偏向素子 2 の出射面で屈折して角度 $\alpha 7 = -5.09^\circ$ で +Z 軸方向に進行する。光線 501dd と光偏向素子 2 の出射面側の交点 P53 が、点 P52 より +Y 軸方向に位置することが光利用効率の観点から好ましい。なお、光線 501cd と光線 501dd は、平行な関係にある。なお、光源 1b からの光については、光軸 C1 に対して光源 1a からの光と線対称の関係になる。

20

【0039】

このように、光偏向素子 2 は、光源の配列方向において、光軸 C1 より +側に配置された光源、本実施の形態では、光源 1a からの光に対しては、配光方向 +側 (+Y 軸方向) に偏向して出射する機能、および光軸 C1 より -側に配置された光源、本実施の形態では、光源 1b からの光に対しては、配光方向 -側 (-Y 軸方向) に偏向して出射する機能を有する。これにより、見かけ上の光源 1a および光源 1b の Y 軸方向の位置を光軸 C1 方向に移動できる。その結果、見かけ上の光源全体の Y 軸方向の長さを短くできる。

30

【0040】

<見かけ上の光源 1a の位置>

光線 501cu、光線 501cc および光線 501cd より、光源 1a の中央部から出射した光線が平行化レンズ 3 に進行する際の光軸 C1 に対する角度を算出した。すなわち、平行化レンズ 3 に進行する光線 501cu、光線 501cc および光線 501cd に関して、光偏向素子 2 を配置せずに同様の光線が出射されたと仮定した場合の -Z 軸方向における光線の振る舞いを、図 5 においては光線 502cu、光線 502cc および光線 502cd で表している。つまり、光線 501cu、光線 501cc および光線 501cd に関して、-Z 軸方向の構成をブラックボックス化した際の -Z 軸方向での光線の振る舞いを光線 502cu、光線 502cc および光線 502cd で表している。この処理により、光源 1a の中央部が図 5 中の P54 の位置に移動した場合と同様の光線の振る舞いをしていることが判る。

40

【0041】

ここで、位置 P54 の Y 軸方向長さ $y1p$ は $21\mu\text{m}$ であり、光源 1a と位置 P54 の Z 軸方向の間隔 D3 は $214\mu\text{m}$ である。なお、光偏向素子 2 の影響により収差が発生するため、位置 P54 は概略位置となる。

【0042】

すなわち、光軸 C1 に対する実際の光源 1a の像高が $y1ac = 105\mu\text{m}$ であるのに対し、光偏向素子 2 を挿入することにより、光軸 C1 に対する見かけ上の光源 1a の像高である仮想像高 $y1p$ を $21\mu\text{m}$ とすることが可能となる。つまり、平行化レンズ 3 を出

50

射後の像高を $1/5$ とすることが可能となる。このように、光偏向素子 2 を用いることにより、見かけ上の像高を低くすることが可能となる。これによって、光軸 C 1 付近の光利用効率を向上させることが可能となる。

【0043】

ここで、光源 1 a の中央部から出射する光線 5 0 1 c c の光偏向素子 2 を出射する角度 $\alpha 1$ に関しては、後段に配置される平行化レンズ 3 の小径化を考慮すると、できる限り小さいことが好ましい。平行化レンズ 3 は、XY 平面から観察すると円形のため、Y 軸方向に光線が移動すると、光源 1 a の X 軸方向（ $\pm RY$ 方向）への発散角が $\pm 37^\circ$ であることを想定すると、平行化レンズ 3 に入射する光量が減少する可能性が高くなるからである。

【0044】

また、上述したように、見かけ上の光源位置 P 5 4 は、実際の光源位置よりも +Z 軸方向に $214\ \mu\text{m}$ 移動している。これに伴い、平行化レンズ 3 の焦点距離を $214\ \mu\text{m}$ 短くする必要性が発生する。そのため、集光位置での光源像が少し大きくなる。例えば、 $6.5\ \text{mm}$ の焦点距離の平行化レンズが $6.3\ \text{mm}$ の焦点距離の平行化レンズになった場合、像高が $21\ \mu\text{m}$ の場合、平行化レンズ 3 から $2000\ \text{mm}$ 遠方の像高は、光偏向素子 2 が不在の場合の $6.46\ \text{mm}$ から少し大きくなって、 $6.67\ \text{mm}$ となる。つまり、 1.03 倍となる。しかし、このような倍率（ 1.03 倍）の影響は、像高を低くする効果すなわち $1/5$ 倍にする効果に比べて十分小さいといえる。以下、算出式を示す。

【0045】

$6.5\ \text{mm}$ の焦点距離の場合、像高 $= 21\ \mu\text{m} \times 2000\ \text{mm} / 6.5\ \text{mm} = 6.46\ \text{mm}$ となる。

【0046】

$6.3\ \text{mm}$ の焦点距離の場合、像高 $= 21\ \mu\text{m} \times 2000\ \text{mm} / 6.3\ \text{mm} = 6.67\ \text{mm}$ となる。

【0047】

<他の構成例>

例えば、図 5 に示す構成では、隣接する光源の端部間距離（間隔 $y 1 c$ ）を $140\ \mu\text{m}$ としたが、間隔 $y 1 c$ を $70\ \mu\text{m}$ としても同様の効果が得られる。その場合、間隔 D 1 を $350\ \mu\text{m}$ から $150\ \mu\text{m}$ とすることができる。

【0048】

この場合において、光源 1 a の -Y 軸方向端部から角度 $\alpha 5$ で +Z 軸方向に進行する光線、すなわち図 5 における光線 5 0 1 d d が、P 5 2 より +Y 軸方向を進行するように、光偏向素子 2 の位置を +Z 軸方向に移動させることができる。光源 1 a の Y 軸方向長さ $y 1 a$ が長くなった場合も同様に、光源 1 a の -Y 軸方向端部から角度 $\alpha 5$ で +Z 軸方向に進行する光線が、P 5 2 より -Y 軸方向を進行する場合は、光偏向素子 2 の位置を -Z 軸方向に移動させることができる。

【0049】

なお、光偏向素子 2 の材料を屈折率の高い硝子材等に変更することにより、間隔 D 1 を長くすることは可能である。その際には、角度 $\alpha 8$ を変更する。例えば、光偏向素子 2 を HOYA 株式会社の FD 60 で作製した場合、波長 $638\ \text{nm}$ での屈折率は 1.80 となる。この場合、角度 $\alpha 1$ が 10.43° となるように、角度 $\alpha 8$ を設定すればよく、具体的には角度 $\alpha 8$ を 12.5° とすることができる。また、屈折率差によるバックフォーカス長の変化を考慮し、間隔 D 1 を $380\ \mu\text{m}$ とすることができる。なお、厳密には、光偏向素子 2 を +Z 軸方向に移動、また角度 $\alpha 8$ を変更すると、見かけ上の光源位置 P 5 4 の Y 軸方向および Z 軸方向位置が変わるため、その場合は平行化レンズ 3 の Z 軸方向位置および焦点を変更する必要性が生じる。なお、見かけ上の光源位置 P 5 4 の Y 軸方向および Z 軸方向位置が変わらないように、間隔 D 1、光偏向素子 2 の最小部の厚み T 1、また角度 $\alpha 8$ を設定すると、平行化レンズ 3 の Z 軸方向位置および焦点を変更する必要性なくなる。

【0050】

<ミラーでの代用>

10

20

30

40

50

ここで、例えば、光偏向素子 2 と同等の機能を 2 枚のミラーを用いて実現することができる。この場合、 $\alpha 1 = 10.43^\circ$ とすると、ミラーを、光軸 C 1 に対して $\pm 10.43/2 = 5.22^\circ$ 傾ける。より具体的には、+Y 軸側に配置される光源 1 a の光に対しては -5.22° 、-Y 軸側に配置される光源 1 b の光に対しては $+5.22^\circ$ 傾ける。

【0051】

光源 1 a の発散角が $\pm 5^\circ$ である場合、 -5° で出射した光の一部はミラーに到達することなく平行化レンズ 3 に到達する可能性がある。これは、光源が配列方向である Y 軸方向に長さを有することから、ミラーの幅、すなわち Z 軸方向の長さを平行化レンズ 3 までの距離よりも長くしないと、光源の端部、例えば、+Y 軸側に配置される光源 1 a であれば +Y 軸方向の端部から出射した光がミラーに到達しない場合があるためである。

10

【0052】

<実施の形態 2：ミラーを用いた場合の一例>

図 6 は、実施の形態 2 として光偏向素子 2 をミラーで代用する場合の概略構成を示す。便宜上、図 5 と同様に光源 1 a の光線の振る舞いのみを示す。光源 1 a の Y 軸方向長さ $y 1 a$ は $70 \mu\text{m}$ 、光源 1 a の中央部と光軸 C 1 との Y 軸方向の間隔 $y 1 a c$ は $105 \mu\text{m}$ とし、図 5 の例と同一とする。角度 $\alpha 2$ 、角度 $\alpha 5$ も図 5 の例と同様である。なお、ミラー M の傾き角 $\alpha 9$ は -8° とした。

【0053】

光源 1 a の中央部から光軸 C 1 に平行に出射する光線 503 c c は、ミラー M の反射面で反射された後、光軸 C 1 に対して角度 $\alpha 11 = -16^\circ$ で +Z 軸方向に進行する。光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射する光線 503 c u は、ミラー M を反射後、光軸 C 1 に対して角度 $\alpha 12 = -11^\circ$ ($-(16^\circ - 5^\circ)$) で +Z 軸方向に進行する。光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射する光線 503 c d は、ミラー M を反射後、光軸 C 1 に対して角度 $\alpha 10 = -21^\circ$ ($-(16^\circ + 5^\circ)$) で +Z 軸方向に進行する。

20

【0054】

また、図 6 において、-Z 軸方向の光線の振る舞いとして、光源 1 a から光軸 C 1 に平行な光線 503 c c に対応する光線を光線 504 c c、光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射する光線 503 c u に対応する光線を光線 504 c u、光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射する光線 503 c d に対応する光線を光線 504 c d で示す。図 6 に示すように、本構成では、見かけ上、位置 P 55 c にある発光点から光線が出射しているような振る舞いをしていることが確認できる。また、光源 1 a の +Y 軸方向の端部から出射される光に注目すると、光軸 C 1 に平行に出射する光線 503 u c、角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射する光線 503 u u、角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射する光線 503 u d について、それぞれの -Z 軸方向の光線を、光線 504 u c、504 u u、504 u d で表すと、位置 P 55 u にある発光点から出射しているような振る舞いをしていることが確認できる。

30

【0055】

同様に、光源 1 a の -Y 軸方向の端部から出射される光に注目すると、光軸 C 1 に平行に出射する光線 503 d c、角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射する光線 503 d u、角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射する光線 503 d d について、それぞれの -Z 軸方向の光線を、光線 504 d c、504 d u、504 d d で表すと、位置 P 55 d にある発光点から出射しているような振る舞いをしていることが確認できる。

40

【0056】

これらより、光源 1 a は、見かけ上、発光面が XY 平面に対して角度 $\alpha 13 = -16^\circ$ 傾いて配置されているように振る舞うこととなる。従って、後段に平行化レンズ 3 を配置して光軸 C 1 に対して光線を平行光とする際に、発光面の傾きの影響により、-Y 軸方向と +Y 軸方向で光線幅が異なることとなり、発光面の傾きによる像ボケが発生する。ただし、平行化レンズ 3 を調整することにより像ボケの影響を低減できる。

【0057】

ところで、ミラー M を用いて光源 1 a の集光効率を向上させる場合、以下の数式(9)を満

50

たす場合が最も集光効果が高くなる。以下は、位置 P 5 5 c を光軸 C 1 上とする場合の条件式である。

【0058】

$$y1ac/D4 = \sin(2 \times |\alpha 9|) \cdots (9)$$

例えば、間隔 $y1ac = 105 \mu\text{m}$ 、ミラー M の傾き角 $\alpha 9 = -8^\circ$ の場合、光源 1 a の中央部とミラー M の反射面との間隔 D 4 は、約 $381 \mu\text{m}$ となる。なお、実装される間隔 D 4 は例えば、 $381 \mu\text{m} \pm 10\%$ ($38 \mu\text{m}$) の誤差が許容される。

【0059】

なお、図 6 に示すように、ミラー M の傾き角 $\alpha 9$ が小さいと、光源 1 a の +Y 軸方向端部、すなわち光軸 C 1 から離れる方向の端部から外向き、すなわち光軸 C 1 から離れる方向に角度 $\alpha 2$ で出射した光線 5 0 3 u u は、ミラー M に到達しにくい。このようにミラー M を用いた場合、見かけ上の像高を低くする効果ひいては光軸 C 1 付近の光利用効率を向上させる効果は得られるが、ミラー M の角度精度が要求されると共に、次のような懸念がある。すなわち、図 5 の角度 $\alpha 1$ に相当する角度 $\alpha 11$ を大きくする必要があり、このため後段の平行化レンズ 3 の大径化あるいは、平行化レンズ 3 への到達効率が低下する懸念がある。

【0060】

ただし、平行化レンズ 3 の大径化が許容されるのであれば、ミラー M による光偏向素子 2 の代用も除外されない。ミラー M を用いることにより、光の進行方向を +Z 軸方向から ±X 軸方向などに変えることができる。従って、ミラー M の傾きまたは光源 1 a および光源 1 b から平行化レンズまでの距離を調整することで、光軸上の光利用効率の低下を抑止するという効果に加えて、部品配置の自由度を向上できる。

【0061】

ただし、±X 軸方向などに光の進行方向を変更する場合は、ミラー面が 2 軸に傾くため、ミラーの回転中心によって出射する光線の傾向が変化する。図 6 とは異なり、ミラー反射後は反射前の光線の拡がり維持することなく、X 軸方向に進行することとなる。

【0062】

＜実施の形態 1 および実施の形態 2 に適用する平行化レンズ＞

実施の形態 1 において平行化レンズ 3 は、光偏向素子 2 から出射した光を光軸 C 1 に対して平行な光とする。平行化レンズ 3 は例えば、非球面形状で形成されている。非球面形状は、X 軸方向と Y 軸方向で形状が異なるトロイダル形状とすることができる。また、光入射面は凸形状とすることもでき、凹形状とすることもできる。

【0063】

実施の形態 2 において、平行化レンズ 3 は、ミラー M で反射した光を光軸 C 1 に対して平行な光とする。平行化レンズ 3 は例えば、非球面形状で形成されている。非球面形状は、X 軸方向と Y 軸方向で形状が異なるトロイダル形状とすることができる。また、光入射面は凸形状とすることもでき、凹形状とすることもできる。

【0064】

また、光源 1 a の中央部および光源 1 b の中央部から出射した光線に対して、光軸 C 1 に対して平行な光とすることが好ましい。これにより、光線の到達位置では、光軸 C 1 付近に光源 1 a の中央部および光源 1 b の中央部から出射した光線が到達し、到達した光源像を最も小さくすることが可能となる。

【0065】

＜実施の形態 1 の光偏向素子の光線追跡結果＞

図 7 は実施の形態 1 における光源 1 a から出射した光線の光線追跡結果を示す図である。図 7 においては光源群 1 および光偏向素子 2 を含む領域 “B” の拡大図と、平行化レンズ 3 の出射面の領域 “C” の拡大図を併せて示している。なお、光源 1 a から光偏向素子 2 の位置関係等は図 5 に準じる。また、光偏向素子 2 の +Z 軸方向側に平行化レンズ 3 を配置している。平行化レンズの焦点距離は約 6.5 mm である。

【0066】

図 7 の領域 “ B ” の拡大図に示されるように、光源 1 a からは、 $\pm 5^\circ$ の拡がりを持った光線が + Z 軸方向に出射している。光源 1 a の + Y 軸方向端部から出射した光線 6 0 1 u、光源 1 a の中央部から出射した光線 6 0 1 c、光源 1 a の - Y 軸方向端部から出射した光線 6 0 1 d の光線追跡結果を示している。

【 0 0 6 7 】

図 7 の領域 “ C ” の拡大図に示されるように、平行化レンズ 3 を出射する光線 6 0 1 u、光線 6 0 1 c、光線 6 0 1 d は、概ね光軸 C 1 と平行な光線となっている。

【 0 0 6 8 】

＜実施の形態 1 および実施の形態 2 の効果の確認＞

図 8 は、実際に光源 1 a から出射される光線の光軸 C 1 に対する傾き角度を説明する図である。なお、平行化レンズ 3 は仮定の薄肉レンズ 7 0 3 とし、焦点距離 F 7 は 6 . 5 m m である。光源 1 a の中央部が光軸 C 1 に位置するように光源 1 a を移動した場合を仮定している。図 8 では、光源 1 a の + Y 軸方向端部から出射した光線 7 0 1 u および光源 1 a の - Y 軸方向端部から出射した光線 7 0 1 d の光線の振る舞いを示す。薄肉レンズ 7 0 3 を出射した光線 7 0 1 u および光線 7 0 1 d の光軸 C 1 に対する角度 βu および角度 $-\beta d$ は、以下の数式(10)で表される。

【 0 0 6 9 】

$$\begin{aligned}\beta u &= -\beta d = \arctan \left((y_{1a} / 2) / F_7 \right) \\ &= \arctan (35 \mu\text{m} / 6500 \mu\text{m}) \\ &= 0.31^\circ \cdots (10)\end{aligned}$$

角度 βu および角度 βd の結果から、光源 1 a の中央部から出射した光線が角度 0° 、光源 1 a の + Y 軸方向端部から出射した光線 7 0 1 u および - Y 軸方向端部から出射した光線 7 0 1 d が、角度 0.31° で平行化レンズ 3 を出射する場合、光源 1 a が光軸 C 1 から出射していると仮定できる。

【 0 0 7 0 】

上記仮定を検証するため、図 5 の構成を用いて逆光線追跡を行った結果を図 9 に示す。図 9 においては光源群 1 および光偏向素子 2 を含む領域 “ D ” の拡大図と、平行化レンズ 3 の出射面の領域 “ E ” の拡大図を併せて示している。ここでは、平行化レンズ 3 の + Z 軸方向から - Z 軸方向に進行する光線の逆光線追跡を行い、結像位置を確認することにより、上記仮定を確認する。

【 0 0 7 1 】

図 9 では、実施の形態 1 における光線 8 0 1 u、光線 8 0 1 c、光線 8 0 1 d の逆光線追跡結果を示しており、光線 8 0 1 d は、光軸 C 1 に対して -0.31° の角度を有して平行化レンズ 3 に入射し、光線 8 0 1 c は、光軸 C 1 に対して平行で平行化レンズ 3 に入射し、光線 8 0 1 u は、光軸 C 1 に対して $+0.31^\circ$ の角度を有して平行化レンズ 3 に入射している。

【 0 0 7 2 】

光源 1 a 上の光線を確認すると、光線 8 0 1 u は、光源 1 a の + Y 軸方向端部に集光（結像）し、光線 8 0 1 c は、光源 1 a の中央部に集光（結像）し、光線 8 0 1 d は、光源 1 a の - Y 軸方向端部に集光（結像）していることが確認できる。つまり、光偏向素子 2 を挿入することにより、光源 1 a が光軸 C 1 上にある場合と同様の光線の振る舞いをしていくことが確認できる。このように、光偏向素子 2 を用いることで、光軸 C 1 付近の光利用効率が向上する効果が得られる。

【 0 0 7 3 】

なお、上記では、光線 8 0 1 c が Y 軸方向において光源 1 a の中央部に集光する例であるが、平行化レンズ 3 の + Z 軸方向側から平行光を入射した場合の平行化レンズ 3 および光偏向素子 2 を含む光学系による平行光の集光位置は、光源 1 a および光源 1 b の各々の発光面に厳密に位置してなくともよい。すなわち光源 1 a および光源 1 b の各々の中央部とは、光源 1 a の場合、Y 軸方向において、中心から $\pm y_{1a} / 3$ の範囲内、かつ Z 軸方向において、光源 1 a の発光面から $\pm 30 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $\pm 10 \mu\text{m}$ 以下を含んで

10

20

30

40

50

もよい。

【0074】

ここで、図5に示したように、位置P54のY軸方向位置が光源1aの像高位置となるが、図9では光源1aの中央部が光軸C1上に位置するような光線の振る舞いをしている。これは、平行化レンズ3に+Z軸方向から光軸C1と平行な光線を入射させた際に、位置P54で光線が集中するように平行化レンズ3の形状を設定しているためである。平行化レンズ3の焦点位置は位置P54より-Z軸方向となるが、光軸C1に光源1aの中央部が配置されている光線の振る舞いをさせることが可能となる。

【0075】

<実施の形態1の平行化レンズの特徴>

図10は、平行化レンズ3の+Z軸方向から光軸C1と平行な光線を入射させた場合の逆光線追跡結果を示す図である。図10においては光源群1を含む領域“F”の拡大図を併せて示している。図10に示されるように、平行化レンズ3の集光点P80は、光源1aより+Z軸方向側かつ光軸C1より+Y軸方向側であることが判る。また、平行化レンズ3の焦点位置P80fは、集光点P80より-Z軸方向側であることが判る。焦点位置P80fが光源1aより+Z軸側に位置するのは、光学素子である光偏向素子2の影響により、平行化レンズ3のバックフォーカスが短くなるからである。また、光線を偏向したことによる角度 $\alpha 1$ の影響もあると考えられる。なお、図10の例では集光点P80と焦点位置P80fのZ軸方向の間隔は約140 μm である。

【0076】

図10において、平行化レンズ3の+Z軸側から平行光束を-Z軸方向に入射した場合の集光点P80上および、焦点位置P80f上の照度分布を、それぞれ図11および図12に示す。図11および図12では、横軸にX軸(mm)を、縦軸にY軸(mm)を示し、光の強度を5階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度100%を表している。

【0077】

図11に示されるように、集光点P80上では中心が空洞化したリング状の照度分布となっており、半径20 μm の領域付近において強度が強くなっていることが判る。また、図12に示されるように、焦点位置P80f上では、同心円状の照度分布となって小さな集光スポットが形成されて、焦点位置となっていることが判る。

【0078】

このように、焦点位置より+Z軸方向側において、リング状の光強度の強い領域を形成することにより、仮想光源位置が+Y軸側に位置していても、光軸C1から出射した場合と同様の光線の振る舞いをさせることが可能となる。

【0079】

なお、実施の形態1では、光偏向素子2の光出射側に光偏向用の光学面21および22を設けているが、光入射側に光偏向用の光学面21および22を設けた場合も同様の効果が得られる。なお、リング状の光強度の強い領域を形成しなくとも、光軸C1上の光利用効率を向上させる効果は得られる。また、図6に示した実施の形態2のミラーMを用いた構成においても、リング状の照度分布を形成することができる。

【0080】

<実施の形態2のミラーを用いた場合の特徴>

図6に示した実施の形態2のミラーMを用いた構成の逆光線追跡を行った結果を図13に示す。図13においては光源群1およびミラーMを含む領域“G”の拡大図と、平行化レンズ3の出射面の領域“F”の拡大図を併せて示している。

【0081】

図13では、平行化レンズ3の+Z軸方向から光線1101u、光線1101c、光線1101dを入射させた場合の逆光線追跡結果を示している。なお、光線1101uは、光軸C1に対して角度 -0.31° で平行化レンズ3に入射し、光線1101cは、光軸C1に対して平行で平行化レンズ3に入射し、光線1101dは、光軸C1に対して角度

10

20

30

40

50

+0.31°で平行化レンズ3に入射している。

【0082】

図13より、光線1101uは、光源1aの+Y軸方向端部に集光（結像）し、光線1101cは、光源1aの中央部に集光（結像）し、光線1101dは、光源1aの-Y軸方向端部に集光（結像）していることが判る。

【0083】

また、光線1101uは、光線1101cの集光位置と比較して-Z軸方向に集光していることが判る。また、光線1101dは、光線1101cの集光位置と比較して+Z軸方向に集光していることが判る。つまり、光偏向素子2を用いた場合と比較して、Y軸方向の集光位置がZ軸方向にずれるため、光源1aから出射する光線において、平行化レンズ3出射後の任意の到達面での光線幅がY軸方向で不均一となることが判る。

【0084】

＜実施の形態1および実施の形態2の光偏向素子とミラーとの比較＞

実施の形態1の図5の構成を用いて逆光線追跡を行った結果である図9、および実施の形態2の図6の構成を用いて逆光線追跡を行った結果である図13において、光源1aから2000mm遠方における評価面（XY平面）における、光源1aから出射した光の照度分布を図14～図16に示す。なお、光源1aの発散角は、図3より、X軸方向（RY方向）の $1/e^2$ は±約37°、Y軸方向（RX方向）の $1/e^2$ は±約5°とした。図14～図16においては、横軸にX軸（mm）を、縦軸にY軸（mm）を示し、光の強度を5階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度100%を表している。

【0085】

図14は光偏向素子2を用いた実施の形態1の場合、図15はミラーMを用いた実施の形態2の場合の光の照度分布を示している。図14より、Y軸方向において光軸C1上を0mmとした場合、連続して光強度が80%（最大光強度を100%として80%）以上の領域が-8.4mmから+10.1mm（18.5mm）の範囲に均一に光が到達していることが判る。また、光強度が最大光強度を100%として20%以上の領域は、-10.3mmから+12.3mm（22.6mm）の範囲であることが判る。これより、20%以上の光強度の領域に対する80%以上の均一な領域のY軸方向の範囲の比率は、は約81.9%（18.5mm/22.6mm）となる。

【0086】

また、図8に示した構成において、焦点距離F7を6.5mm、仮想の薄肉レンズ703（平行化レンズ3）から評価面までの距離を1993.5mmとすると、光源1aの像高は以下の数式(11)で表される。

【0087】

$$(y_{1a}/2) \times (1993.5 \text{ mm} / 6.5 \text{ mm}) = 10.7 \text{ mm} \cdots (11)$$

図14の照度分布によれば、Y軸方向の照度範囲は20%以上の光強度の領域から+側が+10.7mmに少し収まっていらないが、-側は-10.7mmに収まっている。また、80%以上の光強度の領域が±10.7mmに収まっており、20%以上の光強度の領域に対する80%の光強度の領域のY軸方向の範囲の比率を考慮すると光軸C1上に光源1aがある場合と概ね同等の結果が得られていると考えられる。

【0088】

一方、図15より、Y軸方向の照度分布は、Y軸方向において、80%以上の光強度の領域が-9.3mmから-6.9mm（2.4mm）の範囲であることが判る。光強度が高い領域が光軸C1から離れた位置にあることが判る。また、80%以上の光強度の領域の範囲が狭いことから、光強度の強い光が集中していることが判る。さらに、20%以上の光強度は、-10.2mmから+12.8mm（22.8mm）の範囲であることが判る。40%以上の光強度が±10.7mmの範囲に収まっていることから、±10.7mmに概ね収まっていると考えられる。これにより、光軸C1付近の光利用効率の向上効果は確認できるものの、光軸C1上の光強度はピーク位置と比較すると低く、見かけ上の光源1aが傾いていることが影響していると考えられる。

【0089】

図16は、比較例として光偏向素子2およびミラーMを配置しない図4の構成の場合の照度分布を示す図である。図16より、Y軸方向において光軸C1上を0mmとした場合、20%以上の光強度の領域が、-42.7mmから-20.7mm(22.0mm)の範囲に概ね均一に光が到達していることが判る。つまり、光軸C1上には光線が到達していないことが判る。以上からも、光偏向素子2またはミラーMを用いることで、光軸C1上の光利用効率が向上する効果が確認できる。つまり、実施の形態1および実施の形態2の光軸C1上の光利用効率向上の効果が判る。

【0090】

また、光源1aおよび光源1bの両方を点灯させた場合の光源1aおよび光源1bから2000mm遠方における評価面における光の照度分布を図17～図19に示す。なお、光源1aおよび光源1bの発散角は、何れも図3より、X軸方向(RY方向)の $1/e^2$ は±約37°、Y軸方向(RX方向)の $1/e^2$ は±約5°とした。図17～図19においては、横軸にX軸(mm)を、縦軸にY軸(mm)を示し、光の強度を5階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度100%を表している。

【0091】

図17は光偏向素子2を用いた実施の形態1の場合、図18はミラーMを用いた実施の形態2の場合、図19は実施の形態2のミラーMを用いて平行化レンズ3の焦点位置を+Z軸方向に15μm移動した場合の照度分布を示している。

【0092】

図17より、Y軸方向において、光軸C1上を0mmとした場合、連続して光強度が80%以上の領域が-8.9mmから+8.9mm(17.8mm)の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、-11.5mmから+11.6mm(23.1mm)の範囲であることが判る。これより、20%以上の光強度の領域に対する80%以上の均一な領域のY軸方向の範囲の比率は、約77.1%(17.8mm/23.1mm)となる。つまり、約77.1%の範囲で、ピークの山がなく光強度が均一に分布していることが判る。

【0093】

図18より、基準位置(光軸C1位置)に対して+Y軸側と-Y軸側に2つのピーク位置が存在しており、図15に比べて光軸C1を中心とした不均一さが低減されていることが判る。Y軸方向において、光強度が80%以上の領域が-9.4mmから-5.5mm(3.9mm)の範囲および+5.6mmから+9.3mm(3.7mm)の範囲で2つあることが判る。また、光強度が20%以上の領域が-12.0mmから+12.0mm(24.0mm)の範囲であることが判る。

【0094】

また、図19では、光強度が80%以上の領域が-2.7mmから+2.7mm(5.4mm)の範囲であることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、-10.8mmから+10.7mm(21.5mm)の範囲であることが判る。これより、20%以上の光強度の領域に対する80%以上の光強度が高い領域のY軸方向の範囲の比率は、は約25.1%(5.4mm/21.5mm)となる。つまり、約25.1%の範囲に光強度が80%以上の領域が集中しており、光軸C1上の光利用効率が高いことが判る。換言すると、光軸C1上の光強度が強くなっており、光軸C1方向の光利用効率を図18の場合より向上させることが可能となることが判る。これは、平行化レンズ3の設計を工夫し、逆光線追跡した光線1101uが、図13に示す光源1aの+Y軸方向端面付近に集光するようにすることで、光軸C1方向の光利用効率を向上させることが可能となることを意味する。ここで、逆光線追跡した光線1101uが光源1aの+Y軸方向端面付近に集光するとは、換言すれば、図13の集光位置(平行化レンズ3の焦点位置)が+Z軸方向に移動することを意味している。

【0095】

なお、図19はミラーMを用いて平行化レンズ3の焦点位置を+Z軸方向に15μm移

10

20

30

40

50

動した例であるが、図 1 8 相当以上の光軸 C 1 上の光利用効率とする構成としては、平行化レンズ 3 の焦点位置を + Z 軸方向に $15\ \mu\text{m} \pm 15\ \mu\text{m}$ 移動した構成でもよい。

【0096】

また、光強度が 80 % 以上の領域において Y 軸方向の幅を確認すると、図 1 9 が $5.4\ \text{mm} (\pm 2.7\ \text{mm})$ 、図 1 7 が $17.8\ \text{mm} (\pm 8.9\ \text{mm})$ となる。従って、反射型の光偏向素子であるミラー M を用いた図 1 9 が透過型の光偏向素子 2 を用いた図 1 7 より光軸 C 1 上の光利用効率が高い。なお、図 1 7 はミラー M の反射率による光損失がないため、全体として光利用効率が高く、評価面上での光利用効率が高い。

【0097】

以上より、実施の形態 1 において好適に設計された光偏向素子 2 を用いることで、20 % 以上の光強度の領域に対する 80 % 以上の光強度が高い領域の Y 軸方向の範囲の比率を 75 % 以上とすることができ、光軸 C 1 上の光利用効率を高めつつ、均一な光を光軸 C 1 上に集めることができる。一例として、光強度均一素子、例えば、ロッドレンズおよびライトパイプにおいて、素子内の反射回数を減らせるため、光学系のサイズ（長さ）を短くすることが可能となる。また、実施の形態 2 において好適に設計されたミラー M を含む光学系を用いることで、20 % 以上の光強度の領域に対する 80 % 以上の光強度が高い領域の Y 軸方向の範囲の比率を 30 % 以下とすることができ、光軸 C 1 上の光利用効率をさらに高めることができる。一例として、光強度均一素子、例えば、ロッドレンズおよびライトパイプの開口サイズが小さい場合に、高い光利用効率で光学系に取り込むことが可能となる。

【0098】

ここで、好適に設計されたミラー M を含む光学系の例としては、上述のように平行化レンズ 3 の焦点位置を調整したものが含まれる。平行化レンズ 3 の焦点位置の調整方法としては、平行化レンズ 3 を + Z 軸方向に移動する、あるいは光源群を - Z 軸方向に移動する方法が挙げられる。

【0099】

<実施の形態 3：光偏向素子の反転配置の例>

図 20 は実施の形態 3 の光源装置 2101 の概略構成を示す図である。図 1 の光源装置 100 とは光偏向素子 2 の構成および平行化レンズ 3 の Z 軸方向位置が異なる点以外は実施の形態 1 と同様のため、説明を適宜省略する。実施の形態 3 の光偏向素子 212 においては、入射した光を偏向する光偏向用の光学面 2121 および 2122 を - Z 軸方向側に有している点で図 1 の構成と異なる。光学面 2121 および 2122 は、平行化レンズ 3 の中心を通る光軸 C 1 に向けて共に傾斜している。

【0100】

<実施の形態 3 の光偏向素子 212>

光偏向素子 212 の作用を説明する概念図を図 21 に示す。光源 1a、光源 1b、間隔 y_{1d} 、間隔 y_{1ac} 、間隔 y_{1c} 、長さ y_{1a} 、長さ y_{1b} は図 5 と同様のため説明を省略する。光偏向素子 212 の最小部分の厚み T_1 は、図 5 と同じ $280\ \mu\text{m}$ とする。また、光源 1a と光偏向素子 212 の凹部との間隔 D_{1a} は、 $520\ \mu\text{m}$ とする。ここで、光偏向素子 212 の材質は例えば、HOYA 株式会社の BSC7 であり、波長 $638\ \text{nm}$ での屈折率は約 1.515 である。

【0101】

また、光偏向素子 2（図 1）および光偏向素子 212 の製造方法において、例えば、+ Y 軸方向側を切削と研磨により作製し、光軸 C 1 を含む ZX 平面を接着界面として接合してもよい。つまり、2 つの同形状の台形状四角柱の素子を接合して 1 つの光偏向素子 2 あるいは光偏向素子 212 としてもよい。なお、接合を用いずに、成型により光偏向素子 2 あるいは光偏向素子 212 を作製してもよい。

【0102】

<実施の形態 3 の光線の振る舞い>

光線 2101 u u は光源 1a の + Y 軸方向端部から角度 $\alpha_2 = -5^\circ$ で出射した光線の

10

20

30

40

50

軌跡を示し、光線 2 1 0 1 u c は光源 1 a の + Y 軸方向端部から角度 0° で出射した光線、すなわち、光軸 C 1 と平行な光線の軌跡を示し、光線 2 1 0 1 u d は光源 1 a の + Y 軸方向端部から角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射した光線の軌跡を示す。

【0103】

光線 2 1 0 1 c u は光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射した光線の軌跡を示し、光線 2 1 0 1 c c は光源 1 a の中央部から角度 0° で出射した光線、すなわち、光軸 C 1 と平行な光線の軌跡を示し、光線 2 1 0 1 c d は光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射した光線の軌跡を示す。

【0104】

光線 2 1 0 1 d u は光源 1 a の - Y 軸方向端部から角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射した光線の軌跡を示し、光線 2 1 0 1 d c は光源 1 a の - Y 軸方向端部から角度 0° で出射した光線、すなわち、光軸 C 1 と平行な光線の軌跡を示し、光線 2 1 0 1 d d は光源 1 a の - Y 軸方向端部から角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射した光線の軌跡を示す。

【0105】

<光線 2 1 0 1 c u、光線 2 1 0 1 c c、光線 2 1 0 1 c d の軌跡>

光線 2 1 0 1 u u、光線 2 1 0 1 d u の軌跡において、光線 2 1 0 1 c u の光線が光偏向素子 2 1 2 に入射して進行する角度 $\alpha 2 a$ 、また、光偏向素子 2 1 2 を出射して進行する角度 $\alpha 2 b$ が等しいため、光線 2 1 0 1 c u の光の軌跡に関してのみ説明する。また、光線 2 1 0 1 u c、光線 2 1 0 1 d c は光線 2 1 0 1 c c の光線が光偏向素子 2 1 2 に入射して進行する角度 $\alpha 1 a$ 、また、光偏向素子 2 1 2 を出射して進行する角度 $\alpha 1 b$ が等しいため、光線 2 1 0 1 c c の光の軌跡に関してのみ説明する。そして、光線 2 1 0 1 u d、光線 2 1 0 1 d d は、光線 2 1 0 1 c d の光線が光偏向素子 2 1 2 に入射して進行する角度 $\alpha 5 a$ 、また、光偏向素子 2 1 2 を出射して進行する角度 $\alpha 5 b$ が等しいため、光線 2 1 0 1 c d の光の軌跡に関してのみ説明する。

【0106】

<光線 2 1 0 1 c u の振る舞い>

光線 2 1 0 1 c u は、光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 2 = -5^\circ$ で出射した後、光偏向素子 2 1 2 で屈折して $\alpha 2 a$ で + Z 軸方向に進行する。角度 $\alpha 2 a$ はスネルの法則を用いると、以下の数式(12)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0107】

$$\sin(|\alpha 8| - |\alpha 2|) = 1.515 \times \sin(|\alpha 8| - |\alpha 2 a|) \cdots (12)$$

$\alpha 8$ を例えば、 $+18.81^\circ$ とすると、 $\alpha 2 a = -9.74^\circ$ となる。なお、計算誤差が生じること等は実施の形態 1 と同じであり、以下の計算においても同じである。

【0108】

光偏向素子 2 1 2 内を進行した光線 2 1 0 1 c u は、光偏向素子 2 1 2 の出射面で屈折し、角度 $\alpha 2 b$ で + Z 軸方向に進行する。角度 $\alpha 2 b$ は、以下の数式(13)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0109】

$$1.515 \times \sin(|\alpha 2 a|) = \sin(|\alpha 2 b|) \cdots (13)$$

$\alpha 2 a = -9.74^\circ$ として計算すると、 $\alpha 2 b = -14.85^\circ$ となる。

【0110】

<光線 2 1 0 1 c c の振る舞い>

光線 2 1 0 1 c c は、光源 1 a の中央部から角度 0° で出射した後、光偏向素子 2 1 2 で屈折して $\alpha 1 a$ で + Z 軸方向に進行する。 $\alpha 1 a$ は以下の数式(14)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0111】

$$\sin(|\alpha 8|) = 1.515 \times \sin(|\alpha 8| - |\alpha 1 a|) \cdots (14)$$

$\alpha 8$ を例えば、 $+18.81^\circ$ とすると、 $\alpha 1 a = -6.52^\circ$ となる。

【0112】

10

20

30

40

50

光偏向素子 2 1 2 内を進行した光線 2 1 0 1 c c は、光偏向素子 2 1 2 の出射面で屈折し、角度 $\alpha 1 b$ で + Z 軸方向に進行する。角度 $\alpha 1 b$ は、以下の数式(15)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0 1 1 3】

$$1.515 \times \sin(|\alpha 1 a|) = \sin(|\alpha 1 b|) \cdots (15)$$

$\alpha 1 a = -6.52^\circ$ として計算すると、 $\alpha 1 b = -9.91^\circ$ となる。

【0 1 1 4】

<光線 2 1 0 1 c d の振る舞い>

光線 2 1 0 1 c d は、光源 1 a の中央部から角度 $\alpha 5 = +5^\circ$ で出射した後、光偏向素子 2 1 2 で屈折して $\alpha 5 a$ で + Z 軸方向に進行する。 $\alpha 5 a$ は以下の数式(16)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0 1 1 5】

$$\sin(|\alpha 8| + |\alpha 5|) = 1.515 \times \sin(|\alpha 8| - |\alpha 2 a|) \cdots (16)$$

$\alpha 8$ を例えば、 $+18.81^\circ$ とすると、 $\alpha 5 a = -3.36^\circ$ となる。

【0 1 1 6】

光偏向素子 2 1 2 内を進行した光線 2 1 0 1 c d は、光偏向素子 2 1 2 の出射面で屈折し、角度 $\alpha 5 b$ で + Z 軸方向に進行する。角度 $\alpha 5 b$ は、以下の数式(17)で算出される。なお、角度は絶対値で計算する。

【0 1 1 7】

$$1.515 \times \sin(|\alpha 5 a|) = \sin(|\alpha 5 b|) \cdots (17)$$

$\alpha 5 a = -3.36^\circ$ として計算すると、 $\alpha 5 b = -5.09^\circ$ となる。

【0 1 1 8】

<見かけ上の光源 1 a の位置>

光線 2 1 0 1 c u、光線 2 1 0 1 c c および光線 2 1 0 1 c d より、光源 1 a の中央部から出射した光線が平行化レンズ 3 に進行する際の光軸 C 1 に対する角度を算出した。ここで、平行化レンズ 3 に進行する光線 2 1 0 1 c u、光線 2 1 0 1 c c および光線 2 1 0 1 c d に関して、光偏向素子 2 1 2 を配置せずに同様の光線が出射されたと仮定した場合の - Z 軸方向における光線の振る舞いを、図 2 1 においては破線で表している。つまり、光線 2 1 0 1 c u、光線 2 1 0 1 c c および光線 2 1 0 1 c d に関して、- Z 軸方向の構成をブラックボックス化した際の - Z 軸方向での光線の振る舞いを破線で表している。光源 1 a の + Y 軸方向端部から出射した光線 2 1 0 1 u u、光線 2 1 0 1 u c、光線 2 1 0 1 u d に関しても同様である。また、光源 1 a の - Y 軸方向端部から出射した光線 2 1 0 1 d u、光線 2 1 0 1 d c、光線 2 1 0 1 d d に関しても同様である。この処理により、光源 1 a の中央部が図 2 1 中の P 2 1 c の位置に移動した場合、光源 1 a の + Y 軸方向端部が図 2 1 中の P 2 1 u の位置に移動した場合、光源 1 a の - Y 軸方向端部が図 2 1 中の P 2 1 d の位置に移動した場合、と同様の光線の振る舞いをしていることが判る。

【0 1 1 9】

このように、実施の形態 3 の光偏向素子 2 1 2 は、図 5 と同様に光源の配列方向において、光軸 C 1 より + 側に配置された光源、すなわち光源 1 a からの光に対しては、配光方向 + 側 (+ Y 軸方向) に偏向して出射する機能、および光軸 C 1 より - 側に配置された光源、すなわち光源 1 b からの光に対しては、配光方向 - 側 (- Y 軸方向) に偏向して出射する機能を有する。これにより、見かけ上の光源 1 a および光源 1 b の Y 軸方向の位置を光軸 C 1 方向に移動できる。その結果、見かけ上の光源全体の Y 軸方向の長さを短くできる。

【0 1 2 0】

また、図 2 1 から判るように、光源 1 a の見かけ上の位置は、光源 1 a に対して角度 $\alpha 2 1$ 傾いていることが判る。角度 $\alpha 2 1$ は例えば 7° である。ただし、図 6 のミラーを用いた場合と比較して傾きが小さく、像ボケの影響は限定的である。後述する図 2 2 の逆光線追跡結果から、像ボケの影響が小さいことが想定される。

10

20

30

40

50

【0121】

ここで、位置P21cの光軸C1からのY軸方向長さ y_{1pa} は $17\mu\text{m}$ であり、光源1aと位置P21cのZ軸方向の間隔D3aは $97\mu\text{m}$ であり、図5の間隔D3より短くなっていることが判る。なお、光偏向素子212の影響により収差が発生するため、位置P21u、位置P21c、位置P21dは概略位置となる。

【0122】

<逆光線追跡によるY軸方向の集光位置の確認>

図22に実施の形態3の光源装置2101の逆光線追跡結果を示す。図22においては光源群1および光偏向素子212を含む領域“ I ”の拡大図と、平行化レンズ3の出射面の領域“ J ”の拡大図を併せて示している。ここでは、平行化レンズ3の+Z軸方向から-Z軸方向に進行する光線の逆光線追跡を行い、結像位置を確認する。

【0123】

図22では、光線2301u、光線2301c、光線2301dの逆光線追跡結果を示しており、光線2301dは、光軸C1に対して -0.31° の角度を有して平行化レンズ3に入射し、光線2301cは、光軸C1に対して平行で平行化レンズ3に入射し、光線2301uは、光軸C1に対して $+0.31^\circ$ の角度を有して平行化レンズ3に入射している。

【0124】

光源1a上の光線を確認すると、光線2301uは、光源1aの+Y軸方向端部に集光（結像）し、光線2301cは、光源1aの中央部に集光（結像）し、光線2301dは、光源1aの-Y軸方向端部に集光（結像）していることが確認できる。つまり、光偏向素子212を挿入することにより、光源1aが光軸C1上にある場合と同様の光線の振る舞いをしていないことが確認できる。このように、光偏向素子212を用いることで、光軸C1付近の光利用効率が向上する効果が得られる。また、図21に確認された見かけ上の光源像の傾き α_{23} は約 3° であり、照度分布への影響は概ねないと想定される。これは、平行化レンズ3の収差により傾き角度が軽減されているためであると想定される。

【0125】

<平行化レンズ3と光偏向素子212の関係>

図23は、平行化レンズ3の+Z軸方向から光軸C1と平行な光線を入射させた場合の逆光線追跡結果を示す図である。図23においては光源群1を含む領域“ K ”の拡大図を併せて示している。図23に示されるように、平行化レンズ3の焦点位置P240fは、光源1aより-Z軸方向側であることが判る。それに対し、図10の平行化レンズ3の焦点位置P80fが光源1aより+Z軸側に位置する点でも実施の形態1と異なる。後述するが、これは、平行化レンズ3の形状は実施の形態1と同様であるが、-Z軸方向に $100\mu\text{m}$ 移動させているためである。なお、図23の光源1aの発光面と焦点位置P240fとのZ軸方向の間隔D24は $33\mu\text{m}$ であり、図10の光源1aの発光面と焦点位置P80fとのZ軸方向の間隔は $67\mu\text{m}$ である。つまり、焦点位置を $100\mu\text{m}$ 移動させていることとなる。図22に示す逆光線追跡におけるY軸方向の集光位置を光源1aの発光面付近に合わせるため平行化レンズ3を-Z軸方向に $100\mu\text{m}$ 移動させている。

【0126】

<実施の形態3の照度分布>

図24に光偏向素子212を用いて光源1aおよび光源1bの両方を点灯させた場合の光源1aおよび光源1bから 2000mm 遠方における評価面（XY平面）における光の照度分布を示す。なお、光源1aおよび光源1bの発散角は、何れも図3より、X軸方向（RY方向）の $1/e^2$ は±約 37° 、Y軸方向（RX方向）の $1/e^2$ は±約 5° とした。図24においては、横軸にX軸（mm）を、縦軸にY軸（mm）を示し、光の強度を5階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度100%を表している。

【0127】

X軸方向の照度分布において、光軸C1上を 0mm とした場合、光強度が80%以上の領域が -7.2mm から $+7.2\text{mm}$ （ 14.4mm ）の範囲で 0mm を中心に分離して

10

20

30

40

50

到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、 -11.5 mm から $+11.4\text{ mm}$ (22.9 mm) の範囲であることが判る。図17の実施の形態1の照度分布と比較してX軸方向幅の拡がりが広がっていることが確認できる。

【0128】

また、Y軸方向の照度分布において、光軸C1上を 0 mm とした場合、連続して光強度が80%以上の領域が -10.5 mm から $+10.3\text{ mm}$ (20.8 mm) の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、 -11.9 mm から $+12.0\text{ mm}$ (23.9 mm) の範囲であることが判る。

【0129】

図17と比較して、Y軸方向への照度分布の拡がり（光強度が20%以上の領域）は少し広がっているが、光軸C1上の光利用効率が向上する効果が確認できる。また、図17よりX軸方向に照度分布が広がっていることが確認できる。これは、+Z軸方向から-Z軸方向に光軸C1と平行な光線を入射した際に、Y軸方向は光源1aの発光面で集光するのに対し、X軸方向は光源1aの発光面で集光していない、すなわち発光面より-Z軸方向で集光していることを意味している。つまり、X軸方向の光線とY軸方向の光線に対する集光位置が異なっていることを示している。従って、光偏向素子212の傾斜面を-Z軸方向としたことにより、X軸方向の光線とY軸方向の光線に対する集光位置が照度分布に影響するほどに異なるという新たな課題が発生したと考えられる。ただし、例えば、実施の形態3の光源装置2101を用いて、スクリーン上へ投射する画面サイズが横：縦＝4：3のように正方形に近い場合はスクリーンの横を光源装置のY軸方向に対応させ、スクリーンの縦を光源装置のX軸方向に対応させることにより、効率の低下を抑制してスクリーンに光を導くことが可能となる。X軸方向の光強度が20%以上の領域が 22.9 mm 、Y軸方向の光強度が20%以上の領域が 23.9 mm より、 $X:Y=1:1.04$ となり、横：縦＝4：3との対応が比較的好ましい。

【0130】

ここで、投射装置は一般的に、光源装置と照明光学系と投射光学系から構成され、光源装置の光の強度分布を均一化する光強度均一化素子に光源装置の光を集光し、光強度均一化素子で均一化された光を照明光学系で表示デバイスに転送し、表示デバイスで形成された画像を投射光学系でスクリーンへ拡大投射する。

【0131】

光強度均一化素子と表示デバイスの縦横比は概ね等しくなるため、例えば、画面解像度がXGA (eXtended Graphics Array) の場合等は4：3、およびフルHD (フルハイビジョン) の場合は16：9の縦横比となる。なお、16：9の縦横比となる場合、図24の照度分布よりX軸方向の照度分布の拡がりが狭い方が好ましい。

【0132】

< X軸方向とY軸方向で集光位置が異なることの説明 >

図25および図26を用いて光源群1と平行化レンズ3の位置関係を説明する。図25は、実施の形態1で示した図7と同様の図であり、光源1aの+Y軸方向端部、中心および-Y軸方向端部から $\pm 5^\circ$ の拡がりをもって+Z軸方向に光線が進行した場合の光線追跡結果を示す。また、図26は、実施の形態3の光源1aの+Y軸方向端部、中心および-Y軸方向端部から $\pm 5^\circ$ の拡がりをもって+Z軸方向に光線が進行した場合の光線追跡結果を示す。

【0133】

後に説明するX軸方向の光線の逆光線追跡を行うにあたり、Y軸方向位置を決めるため、平行化レンズ3を出射した時点のY軸方向高さを確認する。図25より、 -5° で出射した光線が平行化レンズ3を出射する高さとして光軸C1の間隔 y_{26t1} は 1.8 mm 、 $+5^\circ$ で出射した光線が平行化レンズ3を出射する高さとして光軸C1の間隔 y_{26b1} は 0.5 mm となる。また、図26より、 -5° で出射した光線が平行化レンズ3を出射する高さとして光軸C1の間隔 y_{26t2} は 1.7 mm 、 $+5^\circ$ で出射した光線が平行化レンズ3を出射する高さとして光軸C1の間隔 y_{26b2} は 0.5 mm となる。

【0134】

なお、図25の光源1aの発光面と平行化レンズ3の+Z軸方向端部のZ軸方向間隔D261は、8.14mm、図26の光源1aの発光面と平行化レンズ3の+Z軸方向端部のZ軸方向間隔D262は、8.04mmであり、平行化レンズ3の位置が100μm異なる。

【0135】

<実施の形態1のX軸方向の逆光線追跡>

図27に実施の形態1のX軸方向の逆光線追跡結果を示す。図27では光源1aを含む領域“L”の拡大図として、図25に示したY軸方向位置が間隔y26b1に相当する光軸C1から+Y軸方向に0.5mmの高さで光線が入射する場合と、Y軸方向位置が間隔y26t1に相当する光軸C1から+Y軸方向に1.8mmの高さで光線が入射する場合の拡大図を示す。図27より、間隔y26b1の場合には、集光位置の範囲は、光源1aの発光面に対して、-Z軸方向側に $Dz1m = 41.9\mu m$ 、+Z軸方向側に $Dz1p = 47.3\mu m$ 、つまり $-41.9\mu m \sim +47.3\mu m$ の範囲内に集光することが判る。また、間隔y26t1の場合には、集光位置の範囲は、光源1aの発光面に対して、-Z軸方向側に $Dz2m = 9.8\mu m$ 、+Z軸方向側に $Dz2p = 14.6\mu m$ 、つまり $-9.8\mu m \sim +14.6\mu m$ の範囲内に集光することが判る。Y軸方向位置が低いと集光範囲が広くなることが確認できる。また、平均で考えると集光位置が+Z軸方向に少しずれていることが確認できる。

【0136】

<実施の形態3のX軸方向の逆光線追跡>

図28に実施の形態3のX軸方向の逆光線追跡結果を示す。図28では光源1aを含む領域“M”の拡大図として、図26に示したY軸方向位置が間隔y26b2に相当する光軸C1から+Y軸方向に0.5mmの高さで光線が入射する場合と、Y軸方向位置が間隔y26t2に相当する光軸C1から+Y軸方向に1.7mmの高さで光線が入射する場合の拡大図を示す。図28より、間隔y26b2の場合には、集光位置の範囲は、光源1aの発光面に対して、-Z軸方向側に $Dz3m = 142\mu m$ 、 $Dz3p = 52.8\mu m$ 、つまり $-142\mu m \sim -52.8\mu m$ の範囲内に集光することが判る。また、間隔y26t2の場合には、集光位置の範囲は、光源1aの発光面に対して、-Z軸方向側に $Dz4m = 111.9\mu m$ 、 $Dz4p = 85.7\mu m$ 、つまり $-111.9\mu m \sim -85.7\mu m$ の範囲内に集光することが判る。Y軸方向位置が低いと集光範囲が広くなることが確認できる。また、平均で考えると集光位置が光源1aの発光面に対して、-Z軸方向に50μm以上、約98μm移動した位置になっていることが判る。-Z軸方向に約98μm集光位置が移動していることから、光源1aの中心からX軸方向に拡がって出射した光線が平行化レンズ3を出射後に、実施の形態1より角度を有して、すなわち平行度が低く出射することが、図24に示すようにX軸方向に照度分布が拡がる要因であると考えられる。

【0137】

<平行化レンズ3と光偏向素子212を移動させた場合の照度分布>

図29および図30に、実施の形態3の光源1aおよび光源1bの両方を点灯させた場合の光源1aおよび光源1bから2000mm遠方における評価面における光の照度分布を示す。図29は実施の形態3の平行化レンズ3と光偏向素子212を+Z軸方向に150μm移動させた場合の照度分布を示す。図30は実施の形態3の平行化レンズ3と光偏向素子212を+Z軸方向に100μm移動させた場合の照度分布を示す。なお、光源1aおよび光源1bの発散角は、何れも図3より、X軸方向(RY方向)の $1/e^2$ は±約37°、Y軸方向(RX方向)の $1/e^2$ は±約5°とした。図29および図30においては、横軸にX軸(mm)を、縦軸にY軸(mm)を示し、光の強度を5階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度100%を表している。

【0138】

ここで、図17に示した実施の形態1のX軸方向の照度分布において、光軸C1上を0mmとした場合、連続して光強度が80%以上の領域が-0.6mmから+0.6mm(

1. 2 mm) の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が 20 % 以上の領域は、 -1.8 mm から $+1.8$ mm (3.6 mm) の範囲であることが判る。

【0139】

一方、図 30 の X 軸方向の照度分布において、光軸 C1 上を 0 mm とした場合、連続して光強度が 80 % 以上の領域が -0.8 mm から $+0.8$ mm (1.6 mm) の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が 20 % 以上の領域は、 -1.9 mm から $+1.9$ mm (3.8 mm) の範囲であることが判る。図 17 の照度分布と比較して、X 軸方向幅の拡がりがわずかに広がっていることが確認できる。また、図 30 の Y 軸方向の照度分布において、光軸 C1 上を 0 mm とした場合、連続して光強度が 80 % 以上の領域が -10.0 mm から $+10.0$ mm (20.0 mm) の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が 20 % 以上の領域は、 -12.3 mm から $+12.4$ mm (24.7 mm) の範囲であることが判る。これより、図 17 の照度分布と比較して少し、Y 軸方向幅の拡がりが広がっていることが確認できる。

10

【0140】

なお、図 30 の X 軸方向の照度分布から判るように、平行化レンズ 3 と光偏向素子 212 を +Z 軸方向に $100\text{ }\mu\text{m}$ 移動させることで、光源 1a の発光面に X 軸方向の焦点位置が概ね一致するため、X 軸方向の焦点位置が光源 1a の発光面に対して -Z 軸方向に約 $100\text{ }\mu\text{m}$ 移動している図 24 と比較して照度分布の X 軸方向の拡がりが小さくなっていることが確認できる。このことから、光源の発散角が大きい X 軸方向の焦点位置を光源の発光面に合わせることが好ましいと考えられる。つまり、発散角度が小さい Y 軸方向は発散角度が大きい X 軸方向より焦点深度が深くなり、焦点位置に対する感度が低くなり、照度分布への影響が小さくなるため、発散角度が大きい X 軸方向の焦点位置に合わせることが好ましいと考えられる。

20

【0141】

また、図 29 から、実施の形態 3 の平行化レンズ 3 と光偏向素子 212 を +Z 軸方向にさらに $50\text{ }\mu\text{m}$ 移動させると、光強度が 20 % 以上の領域が X 軸方向で広がることが確認でき、X 軸方向の焦点位置を Y 軸方向の焦点位置より優先することが好ましいことが判る。

【0142】

< X 軸方向と Y 軸方向の集光位置の補正 >

以上説明したように、入射面に傾斜を有する光偏向素子 212 を用いた場合は、X 軸方向と Y 軸方向で平行化レンズ 3 に +Z 軸方向から -Z 軸方向に光線を入射する逆光線追跡をした際に焦点位置が異なり、Y 軸方向の焦点を合わせると X 軸方向が評価面でボケることが判る。X 軸方向と Y 軸方向の焦点位置の差異に関しては、平行化レンズ 3 の +Z 軸方向側の面を Z 軸に対して回転対称な非球面ではなく、YZ 平面の曲率より ZX 平面の曲率を大きくすることにより、X 軸方向の焦点位置を +Z 軸方向に移動することが可能となり、Y 軸方向の焦点位置に近づけることが可能となると想定される。つまり、平行化レンズ 3 の +Z 軸方向側の面をアナモフィック非球面とするとよいと考えられる。例えば、平行化レンズ 3 の +Z 軸方向側の面で、ZX 平面において、YZ 平面と同様のコーニック定数、非球面係数とし、曲率のみ大きくすればよい。例えば、YZ 平面の曲率半径を 4.90 mm、ZX 平面の曲率半径を 4.81 mm としてもよい。なお、入射面すなわち -Z 軸方向側の面は Z 軸中心に回転対称な形状でよい。例えば、曲率半径が 43.7 mm の球面の凹形状でもよい。

30

40

【0143】

< 実施の形態 4：アナモフィック非球面を用いた場合の照度分布 >

図 31 は、実施の形態 4 の光源装置として、平行化レンズ 3 の +Z 軸方向側の面をアナモフィック非球面とした場合の照度分布を示す。すなわち、図 31 には、平行化レンズ 3 の +Z 軸方向の面において、YZ 平面の曲率より ZX 平面の曲率を大きくしたアナモフィック非球面、例えば YZ 平面の曲率半径を 4.90 mm、ZX 平面の曲率半径を 4.81 mm とし、光源 1a および光源 1b の両方を点灯させた場合の光源 1a および光源 1b から 2000 mm 遠方における評価面における光の照度分布を示す。なお、光源 1a および

50

光源 1 b の発散角は、何れも図 3 より、X 軸方向（R Y 方向）の $1/e^2$ は ± 約 37°、Y 軸方向（R X 方向）の $1/e^2$ は ± 約 5° とした。図 3 1 においては、横軸に X 軸（mm）を、縦軸に Y 軸（mm）を示し、光の強度を 5 階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度 100% を表している。

【0144】

図 3 1 の X 軸方向の照度分布において、光軸 C 1 上を 0 mm とした場合、連続して光強度が 80% 以上の領域が -0.4 mm から +0.5 mm（0.9 mm）の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が 20% 以上の領域は、-1.5 mm から +1.5 mm（3.0 mm）の範囲であることが判る。図 1 7 の照度分布と比較して X 軸方向幅の広がりが少し狭くなっていることが確認できる。

【0145】

また、Y 軸方向の照度分布において、光軸 C 1 上を 0 mm とした場合、連続して光強度が 80% 以上の領域が -9.9 mm から +9.9 mm（19.8 mm）の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が 20% 以上の領域は、-12.5 mm から +12.6 mm（25.1 mm）の範囲であることが判る。これより、図 1 7 の照度分布と比較して、Y 軸方向幅の広がりが少し広がっていることが確認できる。

【0146】

以上より、光偏向素子 2 を用いた実施の形態 1 の光源装置 100 の図 1 7 の照度分布と概ね同様の照度分布が得られることが確認できる。これにより、アナモフィック非球面の効果が確認できた。また、図 3 0 に示したデフォーカスした場合の照度分布と比較すると、照度分布の X 軸方向の広がりがさらに抑制されていることが確認できる。なお、平行化レンズ 3 において、Z X 平面および Y Z 平面において非球面形状であることが好ましく、どちらか一方が球面となる場合、例えば、トロイダル面では、X 軸方向の広がりが抑制されるものの、収差の影響が大きく、評価面の光軸 C 1 付近に到達する光の利用効率が低下する。

【0147】

本実施の形態 4 で説明しているアナモフィック非球面は、Y Z 平面と Z X 平面のコーニック定数、非球面係数が等しく、曲率半径のみ異なる場合を示している。なお、Y Z 平面と Z X 平面のコーニック定数、非球面係数を異なる形状としてもよいが、形状が複雑化し加工性への影響が懸念される。

【0148】

また、平行化レンズ 3 の +Z 軸側の面形状に関して説明したが、+Z 軸側の面形状を Z 軸中心に回転対称な非球面形状とし、-Z 軸方向の面に対して、Z X 平面の曲率を Y Z 平面の曲率より大きくしてもよい。例えば、+Z 軸側の面は、+Z 軸側の面形状の曲率半径を 4.90 mm とした Z 軸中心に回転対称な非球面とし、-Z 軸側の面は、-Z 軸側の面形状の Y Z 平面の曲率半径を 43.7 mm、Z X 平面の曲率半径を 70 mm とした凹形状のトロイダル面でもよい。-Z 軸側の面形状は凹面、すなわち負の曲率のため、曲率は、Y Z 平面より Z X 平面の方が大きい。なお、曲率は曲率半径の逆数である。

【0149】

<-Z 軸方向の面がトロイダル面の場合>

図 3 2 は、実施の形態 4 の光源装置の変形例として、平行化レンズ 3 の -Z 軸方向側の面をトロイダル面とした場合の照度分布を示す。すなわち、図 3 2 には、平行化レンズ 3 の -Z 軸側の面において Y Z 平面の曲率半径を 43.7 mm、Z X 平面の曲率半径を 70 mm とした凹形状のトロイダル面とし、+Z 軸方向側の面形状を回転対称の非球面とし、光源 1 a および光源 1 b の両方を点灯させた場合の光源 1 a および光源 1 b から 2000 mm 遠方における評価面における光の照度分布を示す。なお、光源 1 a および光源 1 b の発散角は、何れも図 3 より、X 軸方向（R Y 方向）の $1/e^2$ は ± 約 37°、Y 軸方向（R X 方向）の $1/e^2$ は ± 約 5° とした。図 3 2 においては、横軸に X 軸（mm）を、縦軸に Y 軸（mm）を示し、光の強度を 5 階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度 100% を表している。

【0150】

図32のX軸方向の照度分布において、光軸C1上を0mmとした場合、連続して光強度が80%以上の領域が-0.4mmから+0.4mm(0.8mm)の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、-1.3mmから+1.3mm(2.6mm)の範囲であることが判る。図17の照度分布と比較して、X軸方向幅の拡がりが少し狭くなっていることが確認できる。

【0151】

また、Y軸方向の照度分布において、光軸C1上を0mmとした場合、連続して光強度が80%以上の領域が-10.1mmから+10.0mm(20.1mm)の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、-12.5mmから+12.5mm(25.0mm)の範囲であることが判る。これより、図17の照度分布と比較して少し、Y軸方向幅の拡がりが広がっていることが確認できる。

10

【0152】

以上より、光偏向素子2を用いた実施の形態1の光源装置100の図17の照度分布と概ね同様の照度分布が得られることが確認できる。これにより、トロイダル面の効果が確認できた。また、図30に示したデフォーカスした場合の照度分布と比較すると、照度分布のX軸方向の拡がりがさらに抑制されていることが確認できる。

【0153】

ここで実施の形態4においては、平行化レンズ3の-Z軸方向側の面と+Z軸方向側の面とで異なる形状を示しているが、これに限定されるものではなく、平行化レンズ3において、ZX平面の曲率がYZ平面の曲率より大きくなればよい。

20

【0154】

実施の形態4の変形例において効果を示すトロイダル面は、ZX平面およびYZ平面において、コーニック定数=0と非球面係数=0の場合を示している。コーニック定数と非球面係数を有していると、形状が複雑化するという懸念がある。つまり、ZX平面およびYZ平面は球面の曲率または曲率半径が異なるトロイダル面となる。なお、実施の形態1より実施の形態3の方が、平行化レンズ3の+Z軸方向側の面をアナモフィック非球面にする、あるいは-Z軸方向側の面をトロイダル面にする効果大きい。しかし、図17の照度分布のように、+Z軸方向側に光偏向素子2の傾斜面を有している場合においてもX軸方向側の光線の集光位置とY軸方向側の集光位置は異なっており、平行化レンズ3の+Z軸方向側の面をアナモフィック非球面にすることにより、X軸方向の評価面での照度分布幅を狭くしてもよい。また、平行化レンズ3の-Z軸方向側の面をトロイダル面としてもよい。

30

【0155】

<実施の形態1にアナモフィック非球面を適用した場合>

実施の形態1の光源装置100の平行化レンズ3を+Z軸方向側の面で、ZX平面において、YZ平面と同様のコーニック定数、非球面係数とし、曲率のみ大きくしてアナモフィック非球面としてもよい。例えば、YZ平面の曲率半径を4.90mm、ZX平面の曲率半径を4.895mmとする。なお、入射面すなわち-Z軸方向側の面はZ軸中心に回転対称な形状でよい。例えば、曲率半径が43.7mmの球面の凹形状でもよい。

40

【0156】

図33に光源1aおよび光源1bの両方を点灯させた場合の光源1aおよび光源1bから2000mm遠方における評価面における光の照度分布を示す。なお、光源1aおよび光源1bの発散角は、何れも図3より、X軸方向(RY方向)の $1/e^2$ は±約37°、Y軸方向(RX方向)の $1/e^2$ は±約5°とした。図33においては、横軸にX軸(mm)を、縦軸にY軸(mm)を示し、光の強度を5階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度100%を表している。

【0157】

図33のX軸方向の照度分布において、光軸C1上を0mmとした場合、連続して光強度が80%以上の領域が-0.5mmから+0.5mm(1.0mm)の範囲で均一に光

50

が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、 -1.8 mm から $+1.8\text{ mm}$ (3.6 mm) の範囲であることが判る。図17と比較して、光強度が80%以上の領域のX軸方向幅の拡がりが若干狭くなっていることが確認できる。

【0158】

また、Y軸方向の照度分布において、光軸C1上を 0 mm とした場合、連続して光強度が80%以上の領域が -8.8 mm から $+8.8\text{ mm}$ (17.6 mm) の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、 -11.5 mm から $+11.5\text{ mm}$ (23.0 mm) の範囲であることが判る。これより、図17の照度分布と比較して、Y軸方向幅の拡がりが概ね等しいことが確認できる。

【0159】

以上より、実施の形態1の光源装置100の平行化レンズ3にアナモフィック非球面を適用した場合、アナモフィック非球面を適用していない場合の図17の照度分布と比較して、X軸方向の照度分布が若干ではあるが狭くなることが確認できる。これにより、アナモフィック非球面の効果が確認できた。

【0160】

なお、実施の形態4と同様の効果が得られる実施の形態1の光源装置100の平行化レンズ3に適用するアナモフィック非球面は、YZ平面とZX平面のコーニック定数、非球面係数が等しく、曲率半径のみ異なる場合を示している。

【0161】

また、図27を用いて説明したように、実施の形態1の光源装置100においては、X軸方向の光線の集光位置が光源の発光面より+Z軸方向側に位置すると想定されるが、図33の照度分布の結果から光源の強度分布（配光）を考慮すると、X軸方向の光線の集光位置が発光面より-Z軸方向側に位置すると考えられるため、ZX平面の曲率をYZ平面の曲率より大きくすることで効果が得られたと考えられる。

【0162】

＜実施の形態1にトロイダル面を適用した場合＞

実施の形態1の光源装置100の平行化レンズ3を+Z軸側の面形状をZ軸中心に回転対称な非球面形状とし、-Z軸方向の面に対して、ZX平面の曲率をYZ平面の曲率より大きくしてトロイダル面としてもよい。例えば、+Z軸側の面は、+Z軸側の面の曲率半径を 4.90 mm としたZ軸中心に回転対称な非球面とし、-Z軸側の面は、-Z軸側の面のYZ平面の曲率半径を 43.7 mm 、ZX平面の曲率半径を 50 mm とした凹形状のトロイダル面でもよい。-Z軸側の面形状は凹面、すなわち負の曲率のため、曲率は、YZ平面よりZX平面の方が大きい。

【0163】

図34に光源1aおよび光源1bの両方を点灯させた場合の光源1aおよび光源1bから 2000 mm 遠方における評価面における光の照度分布を示す。なお、光源1aおよび光源1bの発散角は、何れも図3より、X軸方向（RY方向）の $1/e^2$ は±約 37° 、Y軸方向（RX方向）の $1/e^2$ は±約 5° とした。図34においては、横軸にX軸（mm）を、縦軸にY軸（mm）を示し、光の強度を5階調に分けて表している。なお、最も明るい白色が強度100%を表している。

【0164】

図34のX軸方向の照度分布において、光軸C1上を 0 mm とした場合、連続して光強度が80%以上の領域が -0.3 mm から $+0.3\text{ mm}$ (0.6 mm) の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、 -1.3 mm から $+1.3\text{ mm}$ (2.6 mm) の範囲であることが判る。図17の照度分布と比較して、X軸方向幅の拡がりが狭くなっていることが確認できる。

【0165】

また、Y軸方向の照度分布において、光軸C1上を 0 mm とした場合、連続して光強度が80%以上の領域が -9.1 mm から $+9.0\text{ mm}$ (18.1 mm) の範囲で均一に光が到達していることが判る。また、光強度が20%以上の領域は、 -11.3 mm から+

10

20

30

40

50

11. 3 mm (22. 6 mm) の範囲であることが判る。これより、図 17 の照度分布と比較して、Y 軸方向幅の拡がりが概ね等しいことが確認できる。

【0166】

以上より、光源装置 100 の平行化レンズ 3 にトロイダル面を適用した場合、トロイダル面を適用していない場合の図 17 の照度分布と比較して、X 軸方向の照度分布が狭くなることが確認できる。これにより、トロイダル面の効果が確認できた。

【0167】

なお、実施の形態 4 と同様の効果が得られる実施の形態 1 の光源装置 100 の平行化レンズ 3 に適用するトロイダル面は、ZX 平面および YZ 平面において、コーニック定数 = 0 と非球面係数 = 0 の場合を示している。コーニック定数と非球面係数を有していると、形状が複雑化するという懸念がある。つまり、ZX 平面および YZ 平面は球面の曲率（または曲率半径）が異なるトロイダル面となる。

【0168】

また、図 27 を用いて説明したように、実施の形態 1 の光源装置 100 においては、X 軸方向の光線の集光位置が光源の発光面より +Z 軸方向側に位置すると想定されるが、図 34 の照度分布の結果からも光源の強度分布（配光）を考慮すると、X 軸方向の光線の集光位置が発光面より -Z 軸方向側に位置すると考えられるため、ZX 平面の曲率を YZ 平面の曲率より大きくすることで効果が得られたと考えられる。

【0169】

<実施の形態 3 の傾斜面が曲面の場合>

図 20 に示した実施の形態 3 の光源装置 2101 の光偏向素子 212 の -Z 軸方向側の傾斜面が平面ではなく曲面の場合は、例えば、光軸 C1 より +Y 軸方向側の曲面が、光源 1a の中心部より +Y 軸方向に曲率中心が位置する球面あるいは非球面となり、光源 1a から出射した光線を +Y 軸方向に偏向して出射することとなる。この際、曲率が大いほど偏向による影響が強くなる。この対策の一例として、平行化レンズ 3 出射後の光線を光軸 C1 と平行とするために、例えば、平行化レンズ 3 において、光軸 C1 より +Y 軸方向側の曲面に対して、平行化レンズ 3 の曲率中心を -Y 軸方向とすることで、+Y 軸方向に進行していた光線を -Y 軸方向に偏向させることにより、光軸 C1 と平行な光線とすることが可能となる。

【0170】

つまり、平行化レンズ 3 を、光軸 C1 より +Y 軸方向側の曲面に対して、平行化レンズ 3 の曲率中心を -Y 軸方向とし、光軸 C1 より -Y 軸方向側の曲面に対して、平行化レンズ 3 の曲率中心を +Y 軸方向とし、曲率中心位置が異なる 2 つのレンズを一体化することにより、図 17 の照度分布と同様に Y 軸方向の見かけ上の光源の長さを短くすることが可能となる。

【0171】

なお、光偏向素子 212 の -Z 軸方向側の傾斜面を曲面にすることによる製造コストと、曲率中心が異なるレンズを一体化する製造コストを考慮すると、実施の形態 1、実施の形態 3 あるいは実施の形態 4 方が好ましいと考えられる。

【0172】

<実施の形態 5：3 つ以上の光源数の例>

図 35 は実施の形態 5 の光源装置 100A の概略構成を示す図である。図 35 に示されるように、光源の数を 3 つ以上にすることが可能である。図 35 に示す例では、光軸 C1 に対して対象に配置される光源 14a（第 1 の光源）、光源 14b（第 2 の光源）に加えて、光軸 C1 上にさらに光源 14c（第 3 の光源）を配置している。このような光源群 14 を用いる場合、図 35 に示すような光偏向素子 20 を用いることができる。図 35 に示す光偏向素子 20 は、光軸 C1 上に光軸 C1 と垂直な基準平面（XY 平面）に対して傾斜を有しない第 1 の光学面 20c と、その両側に、規準平面に対して傾斜を有する第 2 の光学面 20a および第 3 の光学面 20b を含んでいる。第 1 の光学面 20c は、光源 14c から出射した光線を同一の角度で光偏向素子 20 から +Z 軸方向に出射する。第 2 の光学

10

20

30

40

50

面 2 0 a は、光源 1 4 a から出射した光線を例えば、図 5 の光線 5 0 1 c c のように + Y 軸方向に角度を有して + Z 軸方向に出射する。第 3 の光学面 2 0 b は、光源 1 4 b から出射した光線を - Y 軸方向に角度を有して + Z 軸方向に出射する。なお、第 2 の光学面 2 0 a により、光源 1 4 a の仮想的な集光点は + Z 軸方向に移動し、第 3 の光学面 2 0 b により、光源 1 4 b の仮想的な集光点は、+ Z 軸方向に移動する。従って、両者の仮想的な集光点に Z 軸方向位置を合わせるように次のような調整をしてもよい。すなわち、第 1 の光学面 2 0 c を + Z 軸方向に移動させて、空気換算長を調整してもよい。また、光源 1 4 c を + Z 軸方向に移動させてもよい。

【 0 1 7 3 】

このような構成を採ることによって、光軸 C 1 付近の光利用効率をさらに向上させることが可能となる。

10

【 0 1 7 4 】

なお、図 3 5 に示す例では、光入射側に光偏向用の光学面を配置する例を示したが、該光学面を光出射側に設けることも可能である。このような構成を採ることによって、光軸 C 1 付近の光利用効率をさらに向上させることが可能となる。

【 0 1 7 5 】

また、ミラーを用いて同様の偏向機能を代替することも可能である。この場合、図 3 5 に示した光偏向素子 2 0 の代替とする場合には、傾斜を有しない第 1 の光学面 2 0 c に対応する部分にはミラーを設けず、第 2 の光学面 2 0 a および第 3 の光学面 2 0 b に対応する部分にはミラーを設けることとなる。また、図 3 5 の場合と同様に光源 1 4 a および光源 1 4 b の仮想的な集光点の Z 軸方向位置に合わせるように光源 1 4 c を + Z 軸方向に移動してもよい。従って、本開示では広義の「光偏向素子」には、反射を用いて光を偏向させることにより光源の配列方向での見かけ上の光源全体の Y 軸方向の長さを調整する部材（本例では上記ミラー）も含まれるものとする。なお、本実施の形態 5 の効果を得るためには、光源数を 2 つ以上とした構成が好ましい。また、実施の形態 4 の平行化レンズ 3 を用いることにより、実施の形態 4 の効果を得ることが可能である。

20

【 0 1 7 6 】

本開示は詳細に説明されたが、上記した説明は、すべての局面において、例示であって、本開示がそれに限定されるものではない。例示されていない無数の変形例が、本開示の範囲から外れることなく想定され得るものと解される。

30

【 0 1 7 7 】

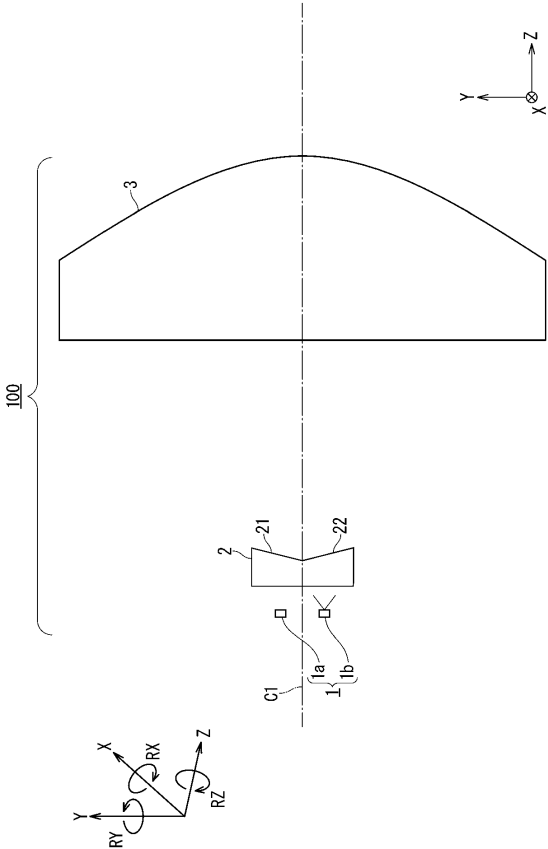
なお、本開示は、その開示の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略することが可能である。

40

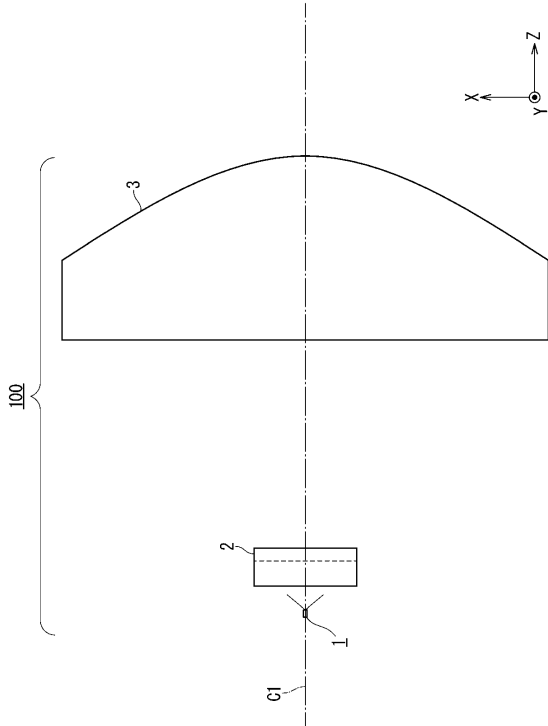
50

【図面】

【図 1】



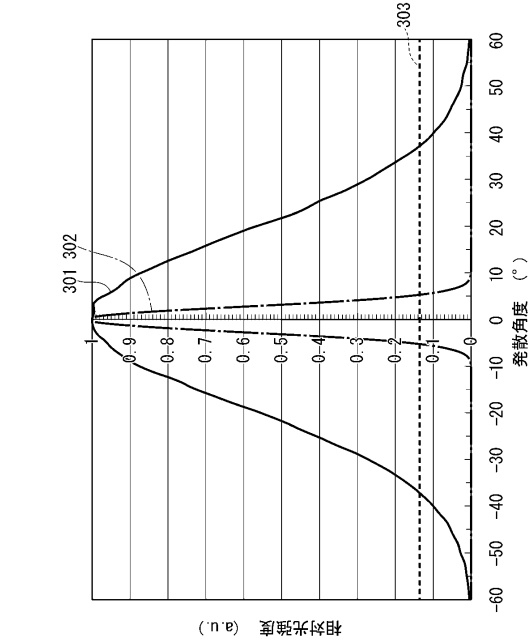
【図 2】



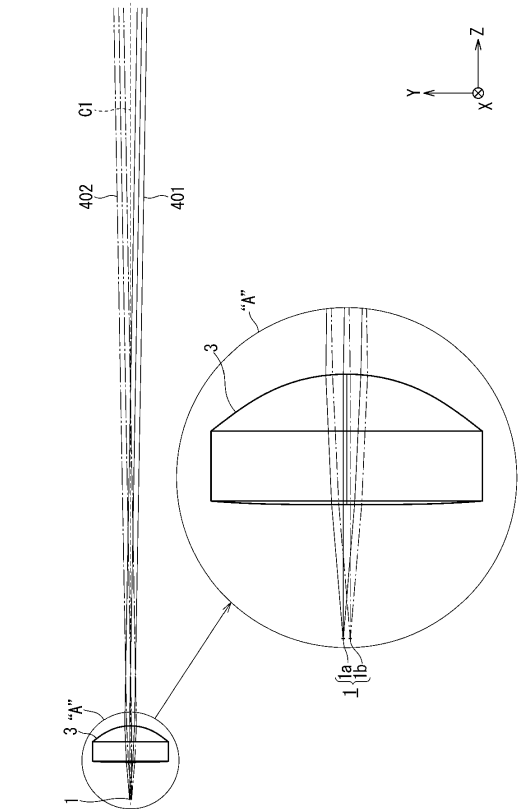
10

20

【図 3】



【図 4】

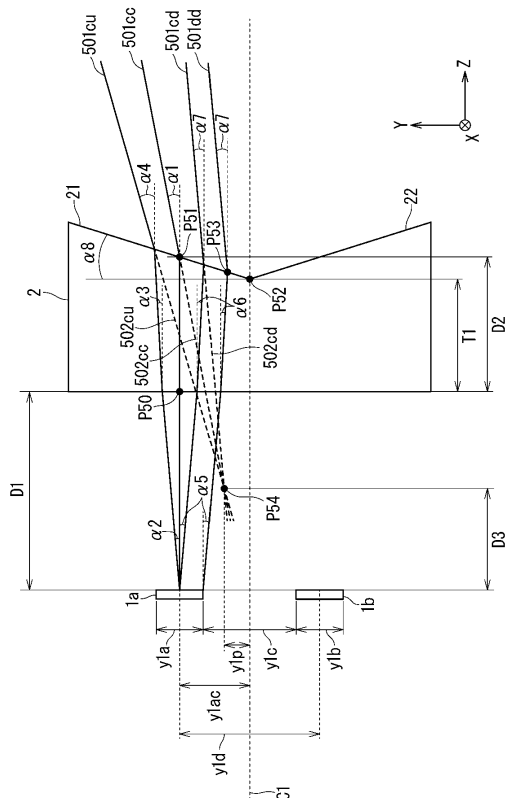


30

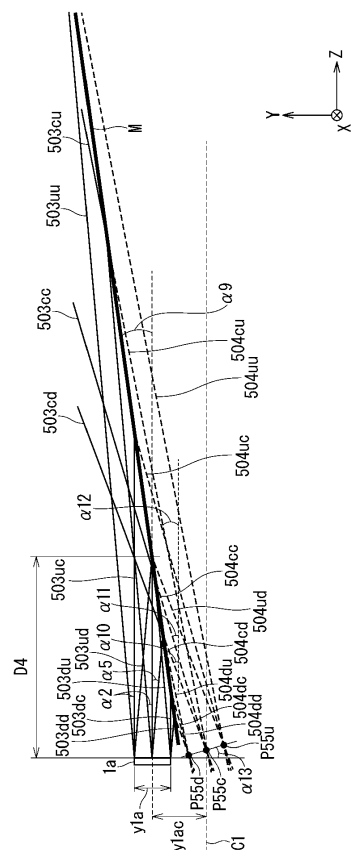
40

50

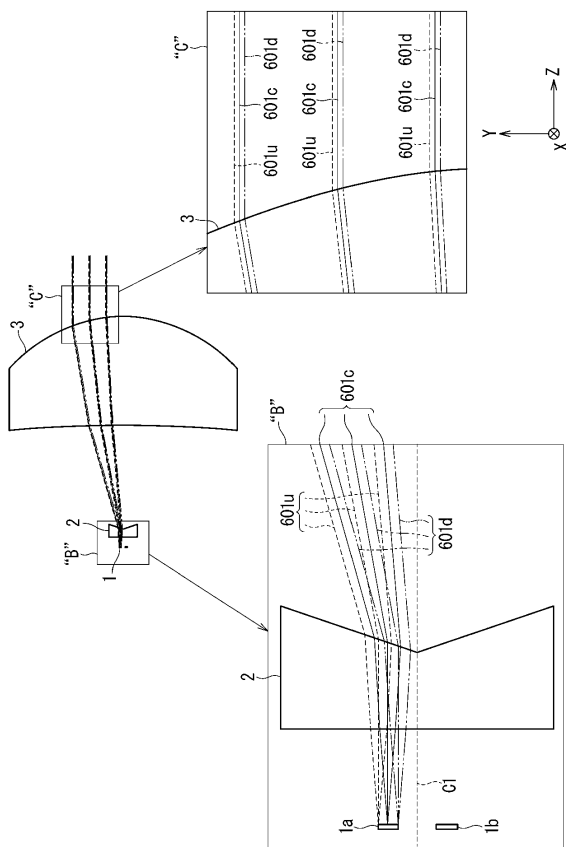
【図 5】



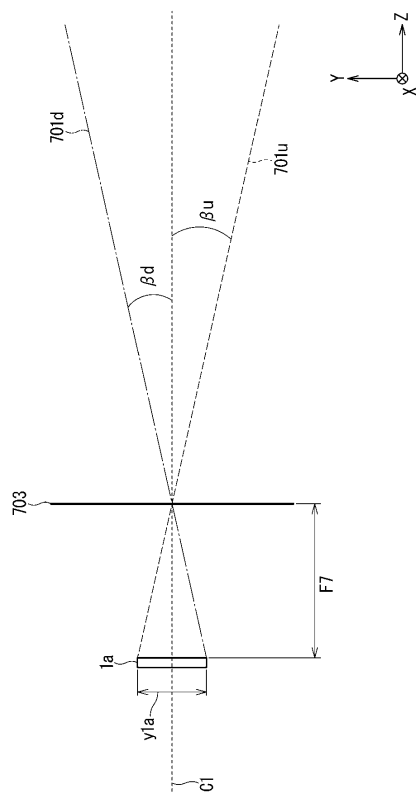
【圖 6】



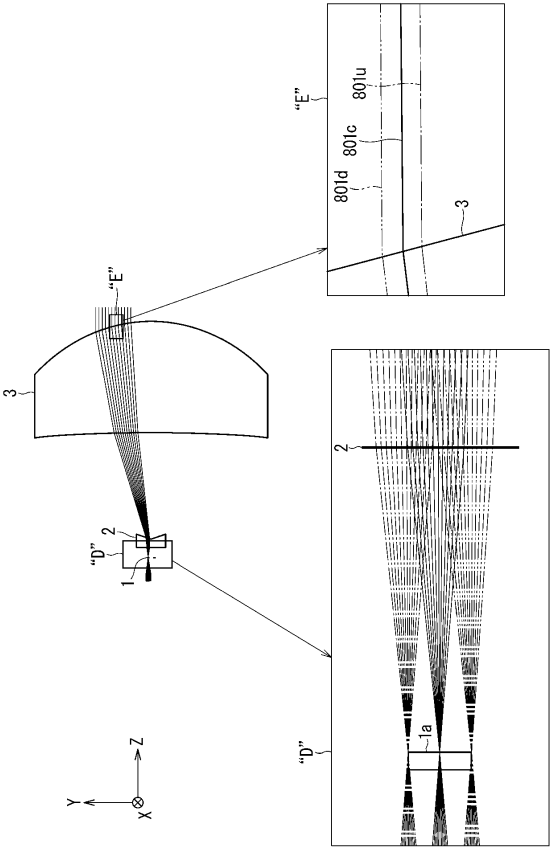
【圖 7】



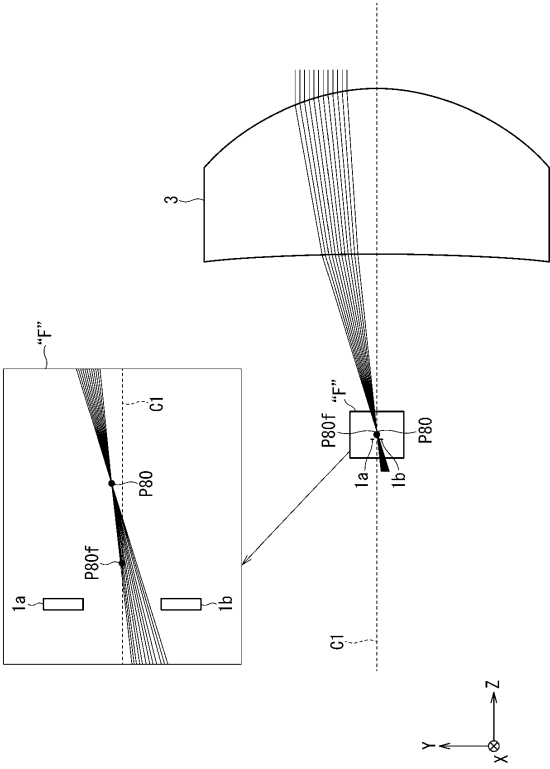
【圖 8】



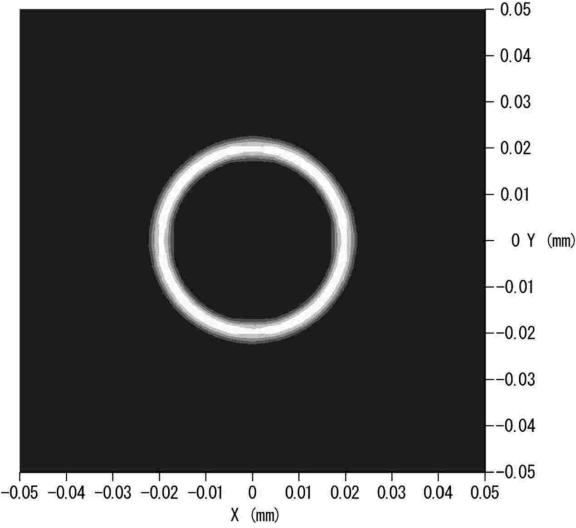
【図 9】



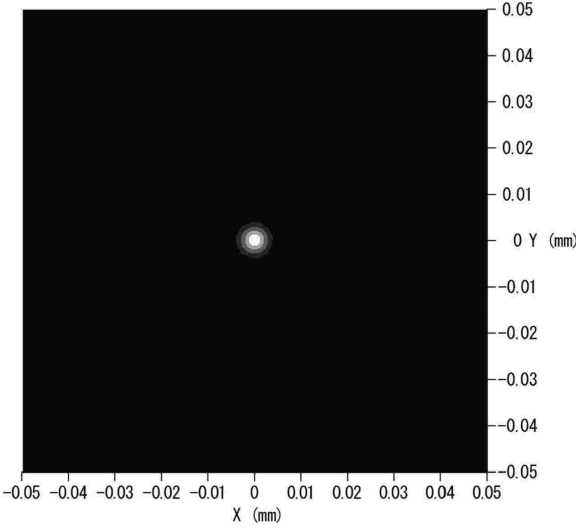
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

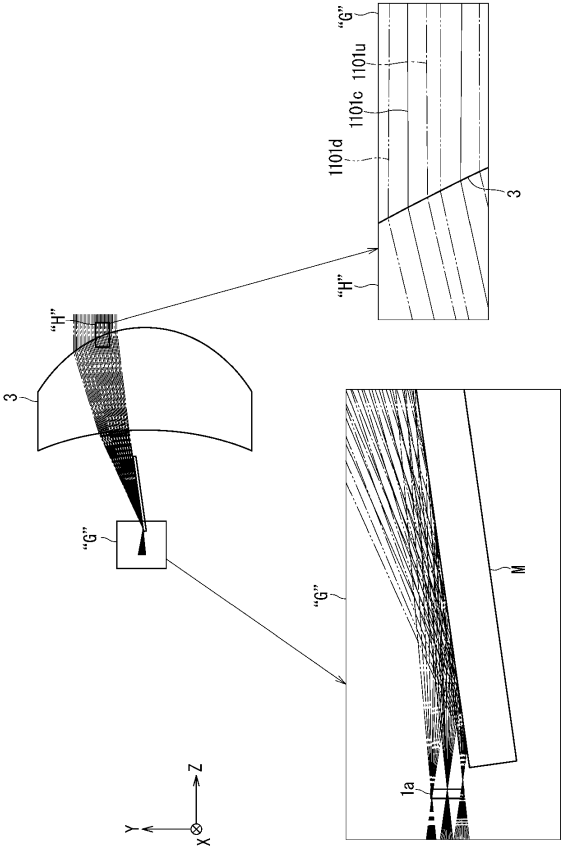
20

30

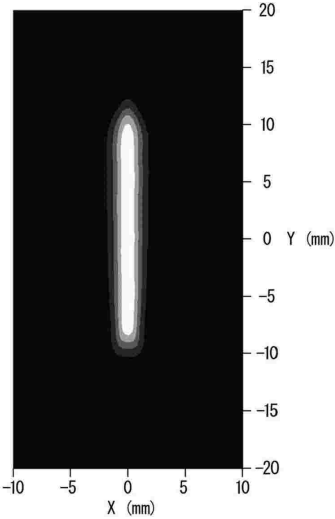
40

50

【図 1 3】



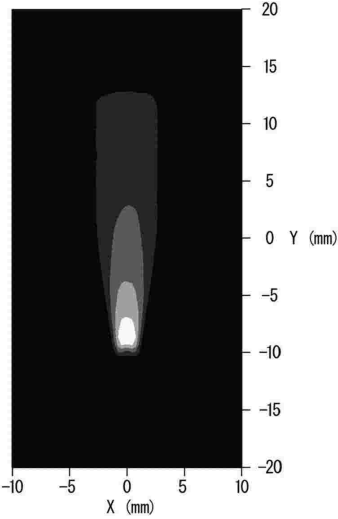
【図 1 4】



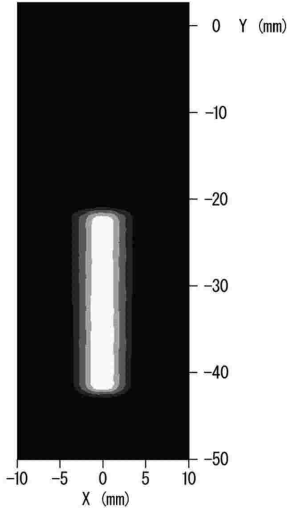
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

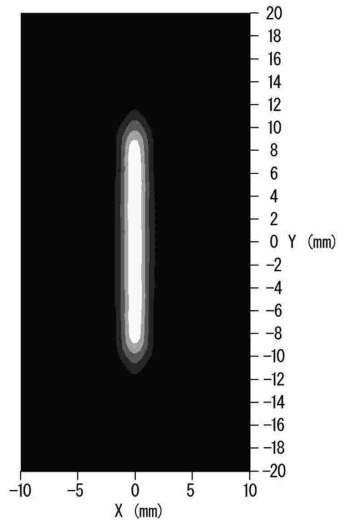


30

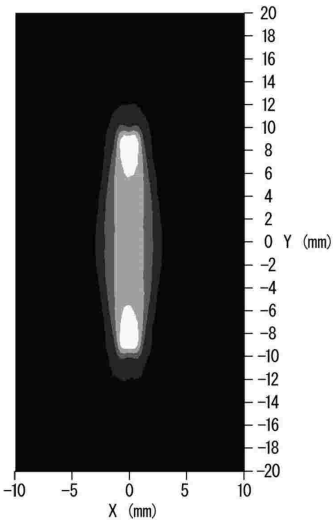
40

50

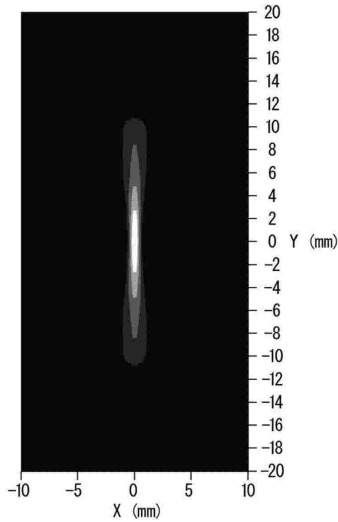
【図 17】



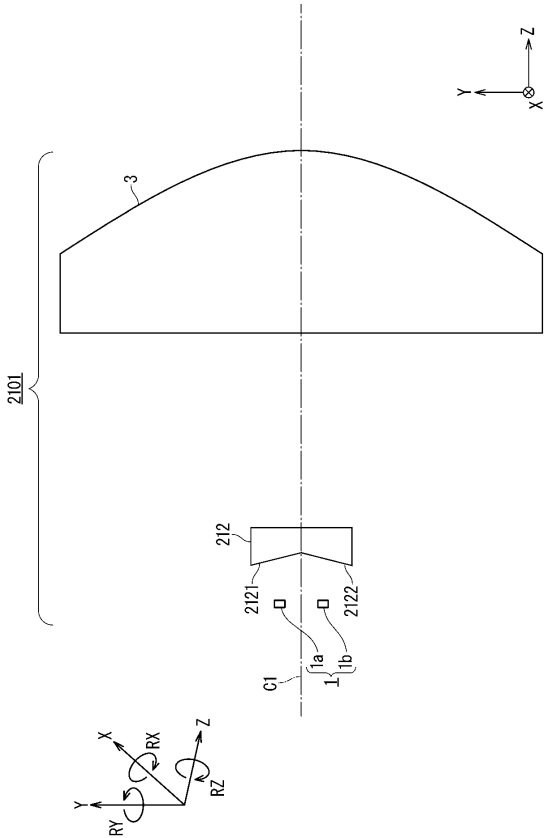
【図 18】



【図 19】



【図 20】



10

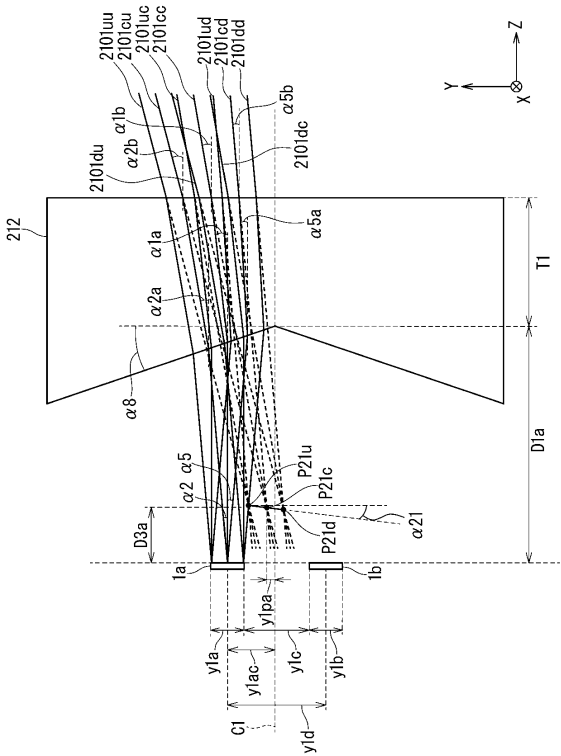
20

30

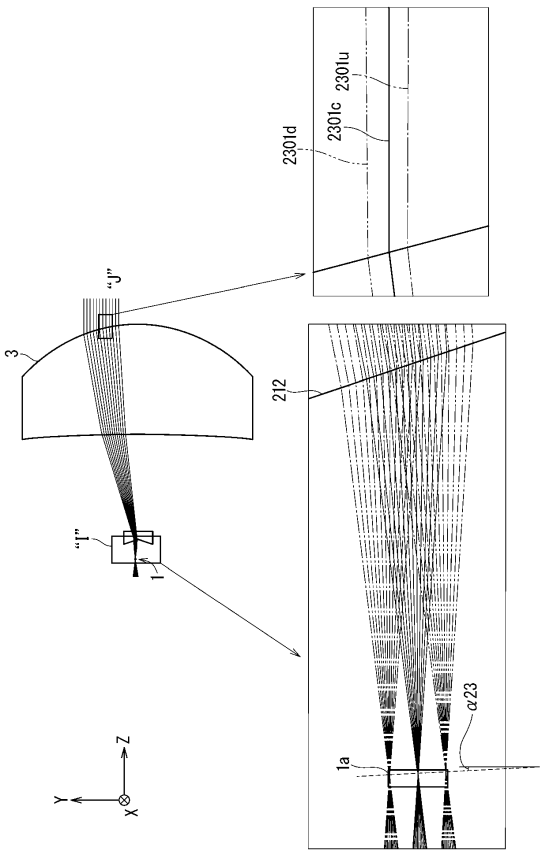
40

50

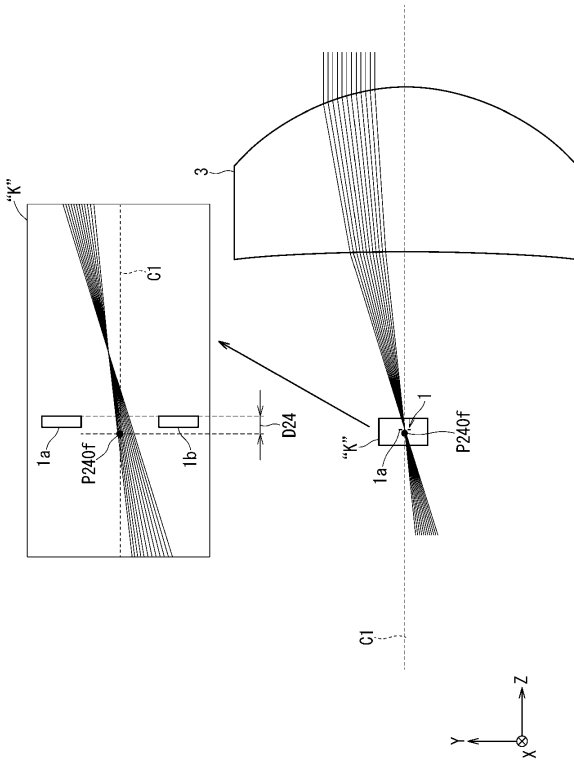
【図 2 1】



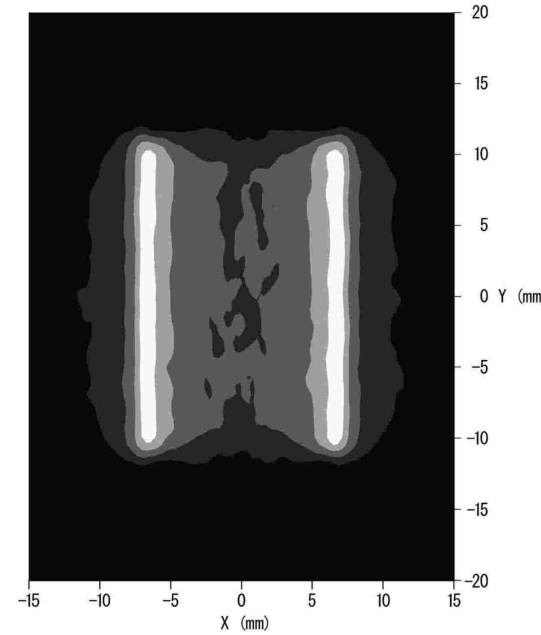
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

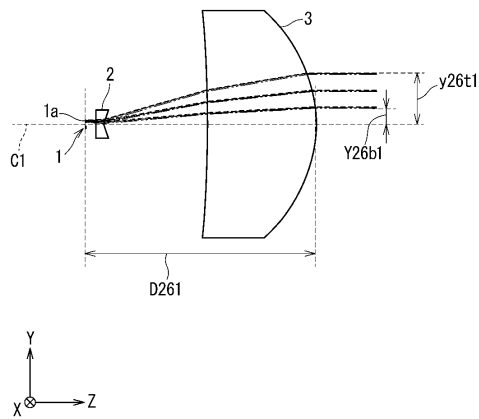
20

30

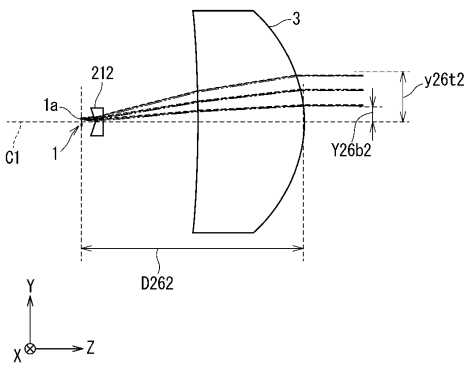
40

50

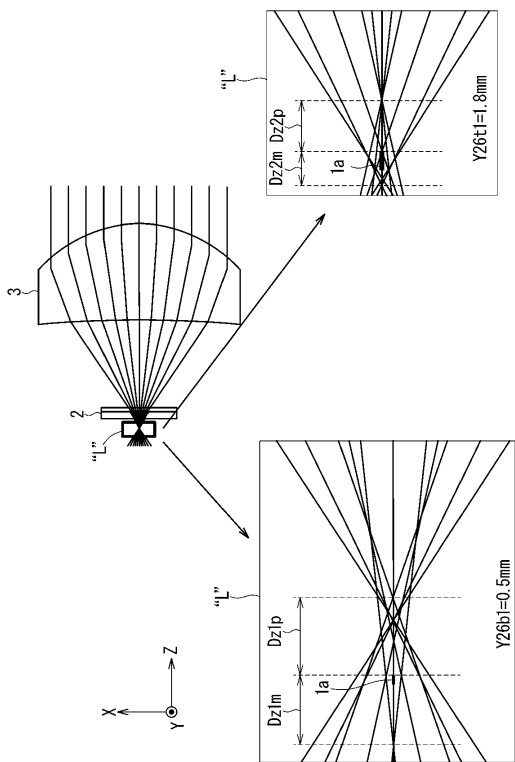
【図 2 5】



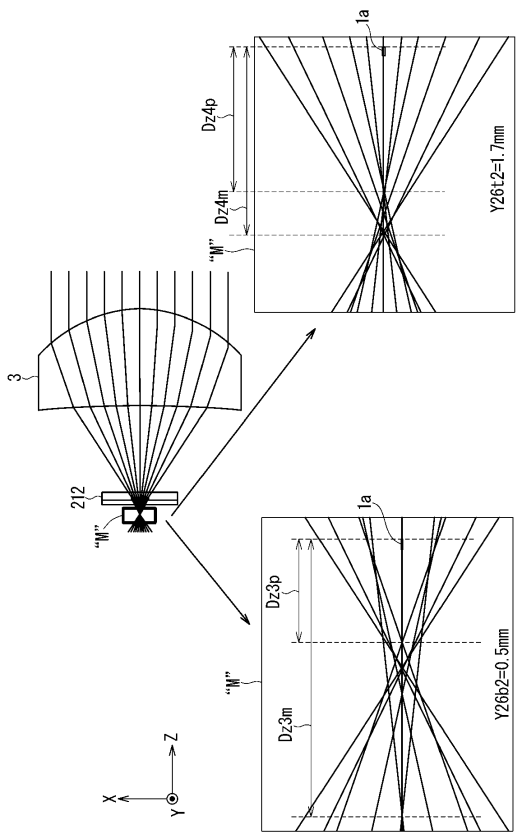
【図 2 6】



【図 2 7】



【図 2 8】



10

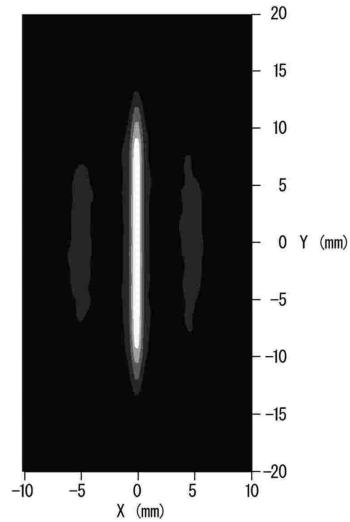
20

30

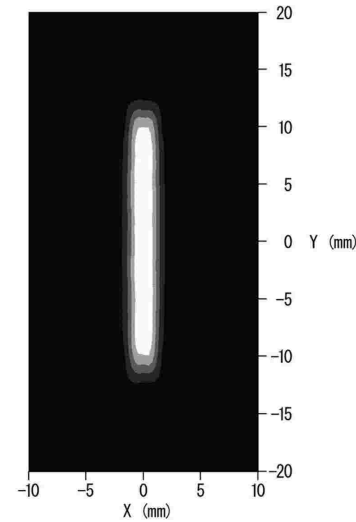
40

50

【図 29】

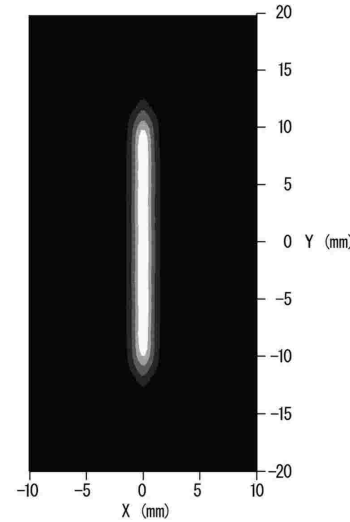


【図 30】

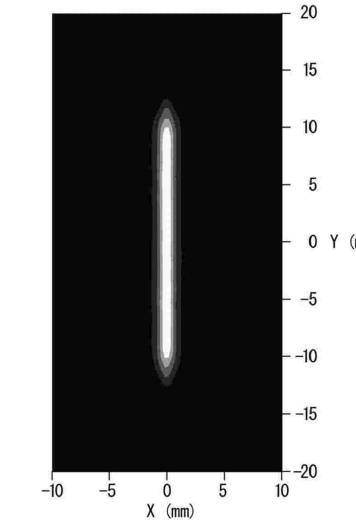


10

【図 31】



【図 32】



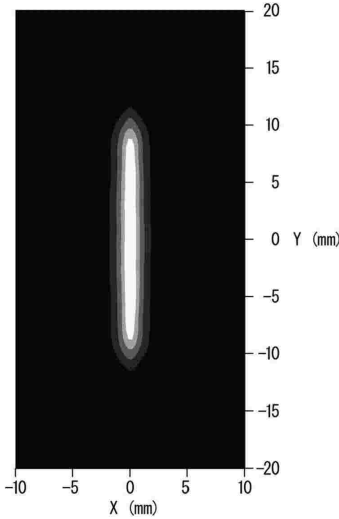
20

30

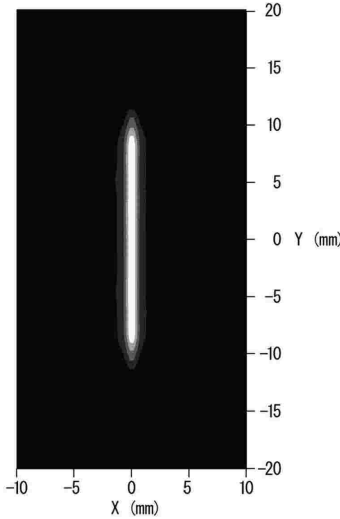
40

50

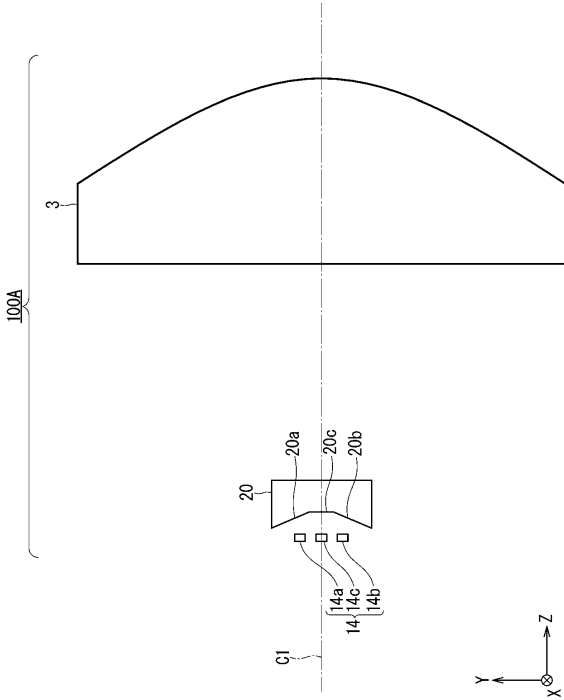
【図 3 3】



【図 3 4】



【図 3 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類	F I		
G 0 3 B 21/14 (2006.01)	G 0 3 B 21/00		D
G 0 2 B 13/00 (2006.01)	G 0 3 B 21/14		A
G 0 2 B 13/08 (2006.01)	G 0 2 B 13/00		
G 0 2 B 13/18 (2006.01)	G 0 2 B 13/08		
F 2 1 Y 115/30 (2016.01)	G 0 2 B 13/18		
F 2 1 Y 113/00 (2016.01)	F 2 1 Y 115:30		
	F 2 1 Y 113:00		

- (56)参考文献 特開 2 0 1 7 - 1 6 8 2 5 3 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 6 / 0 3 5 3 4 9 (W O , A 1)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)
- F 2 1 S 2 / 0 0
 - F 2 1 V 5 / 0 4
 - F 2 1 V 5 / 0 8
 - F 2 1 V 5 / 0 2
 - G 0 3 B 2 1 / 0 0
 - G 0 3 B 2 1 / 1 4
 - G 0 2 B 1 3 / 0 0
 - G 0 2 B 1 3 / 0 8
 - G 0 2 B 1 3 / 1 8
 - F 2 1 Y 1 1 5 / 3 0
 - F 2 1 Y 1 1 3 / 0 0