

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6746328号  
(P6746328)

(45) 発行日 令和2年8月26日 (2020.8.26)

(24) 登録日 令和2年8月7日 (2020.8.7)

(51) Int.Cl.	F I
<b>G O 2 B</b> 17/08 (2006.01)	G O 2 B 17/08 A
<b>G O 1 B</b> 11/00 (2006.01)	G O 1 B 11/00 H
<b>G O 1 C</b> 3/06 (2006.01)	G O 1 C 3/06 1 4 O
<b>B 6 O R</b> 21/00 (2006.01)	G O 1 C 3/06 1 2 O Z
<b>H O 4 N</b> 5/225 (2006.01)	B 6 O R 21/00 9 9 1
請求項の数 22 (全 38 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2016-42686 (P2016-42686)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成28年3月4日 (2016.3.4)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-156714 (P2017-156714A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成29年9月7日 (2017.9.7)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成31年2月5日 (2019.2.5)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	石原 圭一郎
			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
		(72) 発明者	中野 正嗣
			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	小倉 宏之
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系、それを備える撮像装置及び投影装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

拡大側から順に配置された前群、開口絞り、後群で構成され、

前記前群に含まれる屈折面の曲率半径を  $R_1$ 、前記屈折面と前記開口絞りとの間隔を  $L_1$  とするとき、前記前群は以下の条件式 (1) を満足する拡大側に向かって凸形状の屈折面を複数含み、

$$0.7 \leq |R_1| / L_1 \leq 1.5 \quad (1)$$

$$2 \leq |R_m| / L_m \leq 7 \quad (2)$$

【請求項 2】

前記前群における最も拡大側の光学面から前記反射面の拡大側に隣接する光学面までの光学部の焦点距離を  $f_f$  とするとき、以下の条件式 (3) を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

$$0.5 \leq |R_m| / f_f \leq 2 \quad (3)$$

【請求項 3】

全系の焦点距離を  $f$  とするとき、以下の条件式 (4) を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学系。

$$0.25 \leq f / |R_m| \leq 0.45 \quad (4)$$

## 【請求項 4】

前記開口絞りと拡大側瞳との間隔を  $L_p$ 、全系の焦点距離を  $f$  とするとき、以下の条件式 (5) を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の光学系。

$$0.0 < L_p / f < 0.2 \quad (5)$$

## 【請求項 5】

前記条件式 (1) を満足する複数の屈折面のうち、最も拡大側の屈折面の曲率中心と他の屈折面の曲率中心との間隔を  $D_c$ 、全系の焦点距離を  $f$  とするとき、以下の条件式 (6) を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の光学系。

$$0.0 < D_c / f < 0.1 \quad (6)$$

## 【請求項 6】

前記条件式 (1) を満足する複数の屈折面は負のパワーを有する屈折面を含み、該負のパワーを  $-1$ 、全系のパワーを  $1$  とするとき、以下の条件式 (7) を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の光学系。

$$1 / \text{負のパワー} < 0.27 \quad (7)$$

## 【請求項 7】

拡大側から順に配置された前群、開口絞り、後群で構成され、  
屈折面の曲率半径を  $R_1$ 、前記屈折面と前記開口絞りとの間隔を  $L_1$  とするとき、前記前群は以下の条件式 (1) を満足する拡大側に向かって凸形状の屈折面を含み、前記後群は以下の条件式 (1) を満足する拡大側に向かって凹形状の屈折面を含み、

前記後群に含まれる反射面の曲率半径を  $R_m$ 、前記開口絞りと前記反射面との間隔を  $L_m$  とするとき、前記後群は以下の条件式 (2) を満足する凹形状の反射面を含み、

前記前群に含まれる前記屈折面の曲率中心と前記開口絞りとの間隔を  $D_1$ 、前記後群に含まれる前記屈折面の曲率中心と前記開口絞りとの間隔を  $D_2$ 、全系の焦点距離を  $f$  とするとき、以下の条件式 (8) を満足することを特徴とする光学系。

$$0.7 < |R_1| / L_1 < 1.5 \quad (1)$$

$$2 < |R_m| / L_m < 7 \quad (2)$$

$$-0.2 < (D_1 + D_2) / f < 0.2 \quad (8)$$

## 【請求項 8】

前記前群及び前記後群の夫々は、正のパワーを有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一項に記載の光学系。

## 【請求項 9】

前記前群のパワーよりも前記後群のパワーの方が大きいことを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れか一項に記載の光学系。

## 【請求項 10】

前記開口絞りに最も近い光学面は、負のパワーを有することを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載の光学系。

## 【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 の何れか一項に記載の光学系と、該光学系からの光を受光する撮像素子とを備えることを特徴とする撮像装置。

## 【請求項 12】

前記撮像素子の撮像面の中心は、前記光学系の光軸に対して偏心していることを特徴とする請求項 11 に記載の撮像装置。

## 【請求項 13】

前記撮像素子の撮像面は平面であることを特徴とする請求項 11 又は 12 に記載の撮像装置。

## 【請求項 14】

前記光学系の光軸を含む第 1 断面内での画角よりも、前記光軸を含み前記第 1 断面に垂直な第 2 断面内での画角の方が小さいことを特徴とする請求項 11 乃至 13 の何れか一項に記載の撮像装置。

## 【請求項 15】

前記撮像素子の撮像面は、前記第 2 断面内において、光軸に対して前記撮像素子とは反対側から前記光学系に入射する光束のみを受光することを特徴とする請求項 1 4 に記載の撮像装置。

【請求項 1 6】

前記開口絞りには楕円形状の開口が設けられており、該開口の長軸は前記第 1 断面に平行であり、前記開口の短軸は前記第 2 断面に平行であることを特徴とする請求項 1 4 又は 1 5 に記載の撮像装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 1 乃至 1 6 の何れか一項に記載の撮像装置を備え、該撮像装置により取得された物体の画像データに基づいて前記物体までの距離情報を取得することを特徴とする車載カメラシステム。

10

【請求項 1 8】

前記距離情報に基づいて車両と前記物体との衝突可能性を判定する衝突判定部を備えることを特徴とする請求項 1 7 に記載の車載カメラシステム。

【請求項 1 9】

前記車両と前記物体との衝突可能性が有ると判定された場合に、前記車両の各輪に制動力を発生させる制御信号を出力する制御装置を備えることを特徴とする請求項 1 8 に記載の車載カメラシステム。

【請求項 2 0】

前記車両と前記物体との衝突可能性が有ると判定された場合に、前記車両の運転者に対して警告を行う警告装置を備えることを特徴とする請求項 1 8 又は 1 9 に記載の車載カメラシステム。

20

【請求項 2 1】

画像を表示する表示素子と、該画像を結像する光学系とを備え、該光学系は請求項 1 乃至 1 0 の何れか一項に記載の光学系であることを特徴とする投影装置。

【請求項 2 2】

請求項 1 1 乃至 1 6 の何れか一項に記載の撮像装置を備え、該撮像装置を保持して移動可能であることを特徴とする移動装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0 0 0 1】

本発明は、屈折面及び反射面を有する光学系に関し、例えば、デジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラ、携帯電話用カメラ、監視カメラ、ウェアラブルカメラ、医療用カメラ等の撮像装置や、プロジェクタ等の投影装置に好適なものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

近年、撮像装置や投影装置に用いられる光学系として、広画角にわたって高解像度でかつ小型なものが求められている。

【0 0 0 3】

特許文献 1 には、球状レンズを備える撮像装置が記載されている。この球状レンズによれば、コマ収差、非点収差、倍率色収差などの軸外収差の発生を抑制しつつ、球面収差や軸上色収差などの軸上収差を良好に補正することができるため、広画角にわたり高解像度な光学系の実現が可能になる。

40

【0 0 0 4】

また、特許文献 2 には、物体側に凸面を向けたレンズと、凹形状の内面反射面を有する反射屈折レンズと、を有する光学系が記載されており、これにより広画角化を実現することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 5】

50

【特許文献 1】特開 2 0 1 3 - 2 1 0 5 4 9 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 9 - 3 0 0 9 9 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献 1 に記載の球状レンズによる結像面は球面状となってしまうため、この球状レンズを撮像装置や投影装置に設ける場合、球面形状の撮像素子や表示素子、あるいは一端が球面でかつ他端が平面である導光手段などが必要となる。これにより、装置全体が複雑化及び大型化し、高コスト化してしまう。

【0007】

また、特許文献 2 に記載の光学系では、F 値を小さくしつつ収差を良好に補正することが困難であるため、小型化と高解像度との両立が難しくなる。

【0008】

そこで本発明は、撮像装置や投影装置において、小型化及び広画角にわたる高解像度化を実現可能な光学系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】

【0009】

上記目的を達成するための、本発明の一側面としての光学系は、拡大側から順に配置された前群、開口絞り、後群で構成され、前記前群に含まれる屈折面の曲率半径を  $R_1$ 、前記屈折面と前記開口絞りとの間隔を  $L_1$  とするとき、前記前群は以下の条件式 (1) を満足する拡大側に向かって凸形状の屈折面を複数含み、前記後群に含まれる反射面の曲率半径を  $R_m$ 、前記開口絞りと前記反射面との間隔を  $L_m$  とするとき、前記後群は以下の条件式 (2) を満足する凹形状の反射面を含むことを特徴とする。

$$0.7 \leq \frac{R_1}{L_1} \leq 1.5 \quad (1)$$
$$-2 \leq \frac{R_m}{L_m} \leq -7 \quad (2)$$

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、撮像装置や投影装置において、小型化及び広画角にわたる高解像度化を実現可能な光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】本発明の実施例 1 に係る光学系の要部概略図。

【図 2】実施例 1 に係る光学系の縦収差図。

【図 3】点対称形状の屈折面の作用を説明するための図。

【図 4】条件式 (1) の効果を説明するための図。

【図 5】凹形状の反射面の作用を説明するための図。

【図 6】反射面と像面湾曲との関係を示す図。

【図 7】条件式 (2) の効果を説明するための図。

【図 8】実施例 1 に係る前群、後群、及び全系の像面湾曲を示す図。

【図 9】本発明の実施例 2 に係る撮像装置の要部概略図。

【図 10】実施例 2 に係る光学系の要部概略図。

【図 11】撮像面における画角を示す図。

【図 12】実施例 2 に係る光学系の収差図。

【図 13】本発明の実施例 3 に係る光学系の要部概略図。

【図 14】実施例 3 に係る光学系の収差図。

【図 15】本発明の実施例 4 に係る光学系の要部概略図。

【図 16】実施例 4 に係る光学系の収差図。

【図 17】本発明の実施例 5 に係る光学系の要部概略図。

【図 18】実施例 5 に係る反射面の構成を示す図。

【図 19】実施例 5 に係る光学系の収差図。

【図 20】本発明の実施形態に係る車載カメラシステムの機能ブロック図。

10

20

30

40

50

【図 2 1】本発明の実施形態に係る車両の要部概略図。

【図 2 2】実施形態に係る車載カメラシステムの動作例を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、各図面は、便宜的に実際とは異なる縮尺で描かれている場合がある。また、各図面において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明を省略する。

【0013】

[実施例 1]

図 1 は、本発明の実施例 1 に係る光学系 10 の、光軸 A を含む YZ 断面における要部概略図である。本実施例に係る光学系 10 は、不図示の物体からの光束を集光して物体の像を形成するための結像光学系である。光学系 10 は、撮像装置や投影装置に適用することができる。

10

【0014】

光学系 10 が撮像光学系として撮像装置に適用される場合は、光学系 10 の像面（縮小面）4 の位置に CCD センサや CMOS センサ等の撮像素子の撮像面が配置される。また、光学系 10 が投影光学系として投影装置に適用される場合は、縮小面 4 の位置に液晶パネル（空間変調器）等の表示素子の表示面が配置される。ただし、撮像光学系と投影光学系とでは、物体側と像側とが反転し、光路が逆向きになる。なお、以下の説明では、光学系 10 が撮像装置に適用される場合を想定している。

20

【0015】

（光学系 10 の構成について）

光学系 10 は、光束幅を制限する開口絞り 3 と、開口絞り 3 よりも物体側（拡大側）に配置された光学素子群である前群 1 と、開口絞り 3 よりも像側（縮小側）に配置された光学素子群である後群 2 と、から構成される。本実施例において、前群 1 は、物体側に向かって凸形状の屈折面 11a を含む光学素子 11 から成り、後群 2 は、入射光に向かって凹形状の反射面 12b を含む光学素子 12 から成る。

【0016】

第 1 光学素子 11 は、結像に寄与する有効光束が通過する光学面を 2 つ有する凸平レンズである。第 1 光学素子 11 において、最も物体側の光学面（入射面）としての第 1 面 11a は、物体側に向かって凸形状の球面であり、最も像側の光学面（出射面）としての第 2 面 11b は、平面である。ただし、図 1 に示すように、像面 4 の位置に撮像素子や表示素子を配置するために、第 1 光学素子 11 における有効光束が通過しない不要な部分はカットされている。

30

【0017】

第 2 光学素子 12 は、3 つの光学面を有する反射屈折レンズである。第 2 光学素子 12 において、入射面としての第 1 面 12a は平面であり、第 2 面 12b は像側に向かって凹形状の非球面であり、出射面としての第 3 面 12c は平面である。第 1 光学素子 11 及び第 2 光学素子 12 は、何れも屈折率  $N_d = 1.51608$ 、アッペ数  $d = 64.1$  の材料から成り、互いに接合されて一体化している。開口絞り 3 は、第 1 光学素子 11 及び第 2 光学素子 12 の接合面に設けられている。

40

【0018】

表 1 に、本実施例に係る光学系 10 の諸元値を示す。なお、表 1 においては、第 1 光学素子 11 の第 2 面 11b、第 2 光学素子 12 の第 1 面 12a、及び開口絞り 3 を同一面として表している。また、表 1 における「最前面」は、「最も物体側の光学面」を示している。

【0019】

【表 1】

表1:実施例1に係る光学系10の構成											
面番号 No.	面名称	符号	面タイプ		曲率半径 R (mm)	面間隔 d (mm)	屈折率 Nd	アッベ数 $\nu_d$	開口絞りとの間隔 L (mm)	曲率中心位置	
1	第1光学素子	第1面	11a	球面	屈折面	10.0000	10.000	1.51608	64.10	10.000	0.000
2	第1光学素子	第2面	11b	平面	屈折面	$\infty$	5.405	1.51608	64.10		
	開口絞り	3									
3	第2光学素子	第1面	12a								
3	第2光学素子	第2面	12b	球面	反射面	-20.0000	-5.670	1.51608	64.10	5.405	
4	第2光学素子	第3面	12c	平面	屈折面	$\infty$	-0.100	Air			
5	受光面	4		平面		$\infty$	0.000				
			開始面	終了面			焦点距離 (mm)		パワー	パワー比(対全系)	
全系			面番号1		面番号4		8.1		0.124	1.00	
最前面～反射面の手前			面番号1		面番号2		19.3		0.052	0.42	
反射面			面番号3		面番号3		10.0		0.100	0.81	

面間隔 (mm)	
最前面～開口絞り	10.00
最前面～入射瞳	10.00
開口絞り～入射瞳 Lp	0.00

【 0 0 2 0 】

不図示の物体からの光束は、第1光学素子11の第1面11a及び第2面11bを透過

10

20

30

40

50

し、開口絞り 3 の開口部を通過する。このとき、光束の一部は開口絞り 3 の遮光部により遮光されるため、光束幅が制限されることになる。開口絞り 3 を通過した光束は、第 2 光学素子 12 の第 1 面 12 a を透過し、第 2 面 12 b で反射されて第 3 面 12 c を透過し、平面形状の像面 4 を形成する。図 1 に示すように、本実施例では、反射面 12 b に対して開口絞り 3 と同じ側（-Z 側）に像面 4 が形成される。

#### 【0021】

本実施例に係る光学系 10 について、ZX 断面（第 1 断面）内での画角（水平画角）は  $x = 30^\circ$ （ $x = -15^\circ \sim +15^\circ$ ）、YZ 断面（第 2 断面）内での画角（垂直画角）は  $y = 20^\circ$ （ $y = +15^\circ \sim +35^\circ$ ）、である。すなわち、水平画角は光軸 A の両側に対称に設定されているのに対して、垂直画角は光軸 A に対して片側（+側）にのみ設定されている。

10

#### 【0022】

このように、YZ 断面内において、光学系 10 の各光学面に光束を斜入射させることで、像面 4 に配置される撮像素子の撮像面が、光軸 A に対して撮像素子とは反対側から光学系 10 に入射する光束のみを受光するように構成することができる。また、投影装置では、像面 4 に配置される表示素子の表示面からの光束が、YZ 断面内において、光学系 10 における光軸 A に対して表示素子とは反対側からのみ出射するように構成することができる。これにより、撮像素子や表示素子が各光学素子や各光路と干渉しないようにすることができる。

20

#### 【0023】

また、本実施例に係る光学系 10 の絞り値（F 値）は  $F = 2.0$  であるため、本実施例に係る光学系 10 は、広画角でかつ F 値が小さい（明るい）光学系となっている。そして、図 2 に示すように、光学系 10 の諸収差は良好に補正されている。具体的に、光学系 10 は、屈折面 11 a により広画角にわたって高い結像性能を得つつ、屈折面 11 a に起因する結像面の湾曲を反射面 12 b により良好に補正している。このことについて、以下に詳細に説明する。

#### 【0024】

（前群 1 について）

本実施例に係る前群 1 が有する屈折面 11 a は、開口絞り 3 までの距離と曲率半径とが略等しい形状（点対称形状）である。具体的に、屈折面 11 a は、屈折面 11 a の曲率半径を  $R1$ （mm）、屈折面 11 a と開口絞り 3 との間隔を  $L1$ （mm）、とするとき、以下の条件式（1）を満足する形状である。

30

#### 【0025】

##### 【数 1】

$$0.7 \leq \frac{|R1|}{L1} \leq 1.5 \quad \cdots (1)$$

#### 【0026】

ただし、特に断りがない限り、「間隔」は「光軸 A 上での間隔」を示すものとする。また、光軸 A は、光学系 10 におけるパワーを有する各光学面の中心（面頂点）及び開口絞り 3 の中心を通る軸である。条件式（1）の範囲を外れると、軸外収差の発生量が増加してしまい、良好な光学特性が得られなくなる。このことについて、以下に説明する。

40

#### 【0027】

一般的に、光学系を設計する際は、コマ収差、非点収差、像面湾曲、歪曲収差、及び倍率色収差などの軸外収差と、球面収差や軸上色収差などの軸上収差と、を補正することが求められる。しかし、通常の軸対称形状のレンズ面を用いた場合、周辺画角（軸外）では軸外収差が大きく発生するため、光軸上（軸上）での光学性能が最も高くなり、それに対して周辺画角での光学性能は低下してしまう。

#### 【0028】

一方、点対称形状のレンズ面は、光軸上から周辺画角にかけて略同等の形状を有するた

50

め、コマ収差、非点収差、倍率色収差などの軸外収差の発生を抑え、周辺画角における光学性能の低下を抑制することができる。よって、点対称形状のレンズ面を採用することで、補正すべき収差の数を限定することができるため、簡易な構成であっても軸上収差を良好に補正することが可能になる。結果として、絞り値を小さくしつつ、小型でかつ広画角にわたって高解像度な光学系を実現することができる。

#### 【0029】

図3は、点対称形状の屈折面の作用を説明するための図であり、レンズ6a, 6bを通過した光束が開口絞り3を介して集光される様子を示している。レンズ6a, 6bの夫々は、本実施例に係る屈折面11aと同様の、曲率半径 $R1 = 10.0000\text{ mm}$ を有するレンズ面5a, 5bを含んでいる。なお、レンズ6a, 6bの屈折率、及び開口絞り3よりも像側の媒質7a, 7bの屈折率の夫々は、本実施例に係る第1光学素子11及び第2光学素子12の屈折率と同様に $Nd = 1.51608$ である。また、図3においては、画角 $0^\circ$ ,  $+30^\circ$ の光束のみを示している。

10

#### 【0030】

図3(a)において、レンズ面5aを通過した光束は、開口絞り3及び媒質4を介して集光され、曲率半径が $20.000\text{ mm}$ の結像面8aを形成する。ここで、レンズ面5aと開口絞り3との間隔は、本実施例に係る光学系10と同様に $L1 = 10.000\text{ mm}$ であり、 $|R1|/L1 = 1.00$ となるため、条件式(1)を満足する。このとき、図から明らかなように、結像面8aの球面に対するずれ及び非点収差はゼロであり、コマ収差もほぼゼロとなる。

20

#### 【0031】

一方、図3(b)においては、レンズ面5bと開口絞り3の間隔は、本実施例に係る光学系10とは異なり $L1 = 15.000\text{ mm}$ であり、 $|R1|/L1 = 0.67$ となるため、条件式(1)を満足しない。このため、図から明らかなように、画角 $+30^\circ$ において大きなコマ収差及び結像面8aのずれが発生している。

#### 【0032】

図4は、条件式(1)における $|R1|/L1$ の値とコマ収差との関係を示す図である。図4において、横軸は $|R1|/L1$ の値、縦軸は結像面でのコマ収差の発生量(mm)、を夫々示している。グラフを見て明らかなように、 $|R1|/L1 = 1.0$ の近傍でコマ収差が最も小さく、 $|R1|/L1 = 1.0$ から離れるに従ってコマ収差が大きくなっている。特に、 $|R1|/L1 = 0.7$ を下回る場合及び $|R1|/L1 = 1.5$ を上回る場合に、コマ収差が大きく発生していることがわかる。

30

#### 【0033】

このように、本実施例では、屈折面11aの形状を、条件式(1)を満たす点対称形状とすることで、軸外収差の発生を抑制することを可能にしている。更に、以下の条件式(1')を満足することがより好ましい。

#### 【0034】

##### 【数2】

$$0.8 \leq \frac{|R1|}{L1} \leq 1.3 \quad \dots (1')$$

40

#### 【0035】

(後群2について)

本実施例に係る反射面12bは、像面湾曲を補正する作用を有する。具体的に、反射面12bは、反射面12bの曲率半径を $Rm(\text{mm})$ 、開口絞り3と反射面12bとの間隔を $Lm(\text{mm})$ 、とするとき、以下の条件式(2)を満足する形状である。

#### 【0036】

【数 3】

$$2 \leq \frac{|Rm|}{Lm} \leq 7 \quad \dots (2)$$

【0037】

条件式(2)の上限値を上回ると、像面湾曲量が増加してしまい良好な結像性能が得られなくなる。また、条件式(3)の下限値を下回ると、像面4に配置される撮像素子や表示素子が光路と干渉してしまう。このことについて、以下に説明する。

【0038】

図5は、凹形状の反射面の作用を説明するための図であり、前群が無いと仮定したとき、開口絞り3を通過して反射面9a, 9b, 9c, 9dにて反射された光束が像面4に集光される様子を示している。反射面9a, 9b, 9c, 9dの夫々は、本実施例に係る反射面12bと同様の曲率半径 $Rm = -20.0000\text{ mm}$ を有している。なお、図5においては、画角 $+10^\circ$ ,  $+20^\circ$ ,  $+30^\circ$ の各光束のみを示している。

10

【0039】

図5(a)において、開口絞り3と反射面9aとの光軸A上での間隔は、本実施例に係る光学系10とは異なり $Lm = 11.765\text{ mm}$ であり、 $|Rm|/Lm = 1.7$ となるため、条件式(2)を満足しない。図5(b)において、開口絞り3と反射面9bとの光軸A上での間隔は、本実施例に係る光学系10とは異なり $Lm = 10.000\text{ mm}$ であるが、 $|Rm|/Lm = 2.0$ となるため、条件式(2)を満足する。

20

【0040】

図5(c)において、開口絞り3と反射面9cとの光軸A上での間隔は、本実施例に係る光学系10と同様に $Lm = 5.405\text{ mm}$ であり、 $|Rm|/Lm = 3.7$ となるため、条件式(2)を満足する。図5(d)において、開口絞り3と反射面9dとの光軸A上での間隔は、本実施例に係る光学系10とは異なり $Lm = 3.333\text{ mm}$ であるが、 $|Rm|/Lm = 7.0$ となるため、条件式(2)を満足する。

【0041】

ここで、図5(c)において、反射面9cで反射された光束は、反射面9cから曲率半径 $Rm$ の $1/2$ の位置の像面4に集光される。すなわち、反射面9cの光軸A上における点から像面4までの光軸方向での間隔は、 $L_{img} = 10.000\text{ mm}$ であり、開口絞り3と反射面9cとの間隔 $Lm$ よりも長い。同様に、図5(d)においても、間隔 $L_{img}$ が間隔 $Lm$ よりも長くなっている。また、図5(b)においては、間隔 $L_{img}$ と間隔 $Lm$ とが一致している。

30

【0042】

このとき、開口絞り3から反射面9b, 9c, 9dに向かう光束が像面4と干渉しないように構成することができる。よって、反射面9b, 9c, 9dを撮像装置や投影装置に適用した場合、撮像素子や表示素子を配置するための領域を十分に確保することができる。なお、図5(d)においては、反射面9dから像面4に向かう光束が開口絞り3と干渉しないように垂直画角を設定することが望ましい。一方、図5(a)においては、間隔 $Lm$ に対して間隔 $L_{img}$ が短いため、像面4の一部が、開口絞り3から反射面9aに向かう光束と重なってしまう。

40

【0043】

図6は、図5(a)~(d)の夫々における像面4での像面湾曲を示す図である。また、図7は、条件式(2)における $|Rm|/Lm$ の値と像面湾曲との関係を示す図である。図7において、横軸は $|Rm|/Lm$ の値、縦軸は像面4での像面湾曲の発生量(mm)、を夫々示している。

【0044】

図6及び図7から明らかなように、 $|Rm|/Lm = 3.7$ のとき、メリジオナル像面湾曲量 $dM$ とサジタル像面湾曲量 $dS$ とが像面の両側に振り分けられており、メリジオナル像面とサジタル像面との中間位置にある平均像面の像面湾曲量はほぼゼロになる。 $|R$

50

$m \mid / L m$  が 3 . 7 よりも大きくなると、像面湾曲量がプラス方向に増加し、 $\mid R m \mid / L m = 7 . 0$  付近で像面湾曲量が + 0 . 5 mm を超え、メリジオナル像面湾曲量  $d M$  は + 1 . 5 mm に到達する。

【 0 0 4 5 】

このように、本実施例では、反射面 1 2 b の形状を、条件式 ( 2 ) を満たす形状とすることで、像面 4 と光路との干渉を回避しつつ、像面湾曲を良好に補正することを可能にしている。更に、以下の条件式 ( 2 ' ) を満足することがより好ましい。

【 0 0 4 6 】

【 数 4 】

$$2.5 \leq \frac{\mid R m \mid}{L m} \leq 5 \quad \cdots (2')$$

10

【 0 0 4 7 】

図 8 は、本実施例に係る光学系 1 0 における、前群 1、後群 2、及び全系の夫々の像面湾曲を示す図である。ただし、前群 1 の像面湾曲は、点対称形状のレンズ面による理想的な球面形状の結像面 ( 曲率半径  $R = - 1 9 . 3 4 9 8 \text{ mm}$  ) に対する、実際の結像面のずれを示している。前群 1 において、平面に対しては像面湾曲が発生しているが、図 8 に示すように球面に対する像面湾曲はゼロであり、非点収差もゼロとなっている。後群 2 においては、平面形状の理想的な像面に対してメリジオナル像面湾曲及びサジタル像面湾曲が大きく発生しているが、平均像面の像面湾曲はゼロとなっている。

20

【 0 0 4 8 】

そして、光学系 1 0 の全系では、図 8 に示す通り、メリジオナル像面湾曲及びサジタル像面湾曲の形状が後群 2 での像面湾曲と同様の形状であり、平均像面の像面湾曲はゼロとなっている。それだけでなく、全系では、メリジオナル像面湾曲及びサジタル像面湾曲の絶対値も小さく抑えられている。

【 0 0 4 9 】

このように、光学系 1 0 によれば、条件式 ( 1 ) を満足する屈折面 1 1 a によりメリジオナル像面及びサジタル像面の像面湾曲を補正し、条件式 ( 2 ) を満足する反射面 1 2 b により平均像面の像面湾曲を補正することができる。すなわち、前群 1 が形成した球面形状の一次結像面を物体面として、それを後群 2 により再結像させることで、平面形状の像面 4 における像面湾曲を良好に補正することが可能になる。

30

【 0 0 5 0 】

なお、本実施例においては、前群 1 及び後群 2 の夫々が 1 つの光学素子から成る構成を採っているが、必要に応じて夫々を複数の光学素子により構成してもよい。その際、屈折面や反射面を複数設けてもよい。その場合にも、複数の屈折面の少なくとも 1 つが条件式 ( 1 ) を満たし、かつ複数の反射面の少なくとも 1 つが条件式 ( 2 ) を満たすように構成することにより、本発明の効果を得ることができる。

【 0 0 5 1 】

ここで、本実施例に係る光学系 1 0 において、前群 1 及び後群 2 の夫々は正のパワーを有している。光学系 1 0 によれば、正のパワーを有する光学素子群のみで像面湾曲を良好に補正することができるため、各群の正のパワーを強くすることなく、全系を正のパワーとすることができる。これにより、各光学面のパワーを弱めることができ、収差の発生量を小さく抑えることが可能になる。また、光学系 1 0 では、前群 1 のパワーよりも後群 2 のパワーの方を強く設定している。これにより、全系のパワーが一定である場合に、前群 1 のパワーよりも後群 2 のパワーの方を弱く設定した場合と比較して、開口絞り 3 から像面 4 までの距離を長く設定することができるため、像面 4 を光束と干渉しないように配置することが可能になる。

40

【 0 0 5 2 】

また、光学系 1 0 において最も物体側の光学面 ( 第 1 光学素子 1 1 の第 1 面 1 1 a ) から反射面 1 2 b の直前の光学面 ( 第 1 光学素子 1 1 の第 2 面 1 1 b ) までの光学部 ( 光学

50

素子群)の焦点距離を  $f$  とするとき、以下の条件式(3)を満たすことが望ましい。ただし、後群2が反射面を複数有する場合は、そのうち最も強いパワーを有する反射面が条件式(3)を満足すればよい。

【0053】

【数5】

$$0.5 \leq \frac{|Rm|}{ff} \leq 2 \quad \dots (3)$$

【0054】

条件式(3)を満足することにより、像面4と光路との干渉を回避しつつ、反射面12bにより像面湾曲を良好に補正することができる。条件式(3)の下限値を下回ると、像面4と光路とが干渉してしまう可能性が生じる。また、条件式(3)の上限値を上回ると、反射面12bによる像面湾曲の補正作用が十分に得られなくなる可能性が生じる。本実施例では、 $ff = 19.3 \text{ mm}$ 、 $Rm = -20.0000 \text{ mm}$ であり、 $|Rm|/ff = 1.04$ となるため、条件式(3)を満足する。

【0055】

さらに、光学系10の全系の焦点距離を  $f$  とするとき、以下の条件式(4)を満足することが望ましい。ただし、後群2が反射面を複数有する場合は、そのうち最も強いパワーを有する反射面が条件式(4)を満足すればよい。

【0056】

【数6】

$$0.25 \leq \frac{f}{|Rm|} \leq 0.45 \quad \dots (4)$$

【0057】

条件式(4)の下限値を下回ると、像面4と光路とが干渉してしまう可能性が生じる。また、条件式(4)の上限値を上回ると、反射面12bによる像面湾曲の補正作用が十分に得られなくなる可能性が生じる。本実施例では、 $f = 8.1 \text{ mm}$ 、 $Rm = -20.0000 \text{ mm}$ であり、 $f/|Rm| = 0.41$ となるため、条件式(4)を満足する。

【0058】

また、光学系10においては、開口絞り3の中心点と入射瞳(拡大側瞳)の中心点とが、互いに近接するように構成することが望ましい。具体的には、開口絞り3と入射瞳との間隔を  $Lp$  (mm) とするとき、以下の条件式(5)を満足することが望ましい。

【0059】

【数7】

$$0.0 \leq \frac{Lp}{f} \leq 0.2 \quad \dots (5)$$

【0060】

条件式(5)を満足することにより、点対称形状の屈折面に対して各画角の光線が垂直に近い角度で入射する、コンセントリックな構成とすることが可能になる。条件式(5)の上限値を上回ると、コンセントリックな構成から離れてしまい、点対称形状の屈折面による効果が十分に得られなくなる。本実施例では、開口絞り3と入射瞳との間隔は  $Lp = 0.00 \text{ mm}$  であり、 $Lp/f = 0.00$  となるため、条件式(5)を満足する。

【0061】

表2に、本実施例に係る光学系10における、条件式(1)~(5)の値を表す。

【0062】

10

20

30

40

50

【表 2】

表2: 条件式(実施例1)	
条件式(1), (1') $ R  / L_l$	1.000 (面番号1)
条件式(2), (2') $ R_m  / L_m$	3.700 (面番号3)
条件式(3) $ R_m  / f_f$	1.04 (面番号3)
条件式(4) $f /  R_m $	0.41 (面番号3)
条件式(5) $L_p / f$	0.00

10

## 【0063】

以上、本実施例に係る光学系10によれば、簡素でかつ小型な構成でありながら、広画角にわたる高解像度化を実現することができる。また、光学系10を撮像装置や投影装置に適用した場合、像面4を平面形状とすることができるため、装置全体の小型化を実現することが可能になる。

## 【0064】

## 〔実施例2〕

20

図9は、本発明の実施例2に係る光学系20を備える撮像装置100の、光軸Aを含むYZ断面における要部概略図である。

## 【0065】

撮像装置100は、撮像光学系としての光学系20、撮像素子101、ケーブル102、及び処理部103を備える。撮像装置100において、光学系20は不図示の被写体からの光束を集光し、撮像素子101の撮像面(受光面)4に被写体を結像する。撮像素子101は、光学系20により形成された被写体の像を光電変換し、電気信号を出力する。処理部103は、ケーブル102を介して伝送される撮像素子101からの電気信号を処理し、被写体の画像データを取得する。

## 【0066】

30

図10は、光学系20の光軸Aを含むYZ断面における要部概略図である。本実施例に係る光学系20は、実施例1とは異なり、互いに接合された4つの光学素子を備えている。具体的には、光学系20において、開口絞り3よりも物体側の前群1は、物体側から順に第1光学素子21及び第2光学素子22を含み、開口絞り3よりも像側の後群2は、物体側から順に第3光学素子23及び第4光学素子24を含む。開口絞り3は、第2光学素子22及び第3光学素子23の接合面に設けられている。

## 【0067】

前群1において、第1光学素子21は、非球面である第1面21aと、球面である第2面21b面と、を有する非球面レンズであり、第2光学素子22は、何れも球面である第1面22a及び第2面22bを有する球面レンズである。また、後群2において、第3光学素子23は、夫々が球面である第1面23a、第2面23b、及び第3面23cを有するレンズであり、第4光学素子24は、球面である第1面24aと、非球面である第2面24bと、を有するレンズである。なお、第4光学素子24の第2面24bは、反射膜が形成された内面反射面である。

40

## 【0068】

本実施例に係る光学系20が有する各光学面の面頂点は、光軸A上に存在している。なお、第3光学素子23の第3面23cは、光軸Aと交わっていないが、光軸A上に面頂点が存在する(光軸Aと中心軸とが一致する)球面の一部を切り出した形状である。また、本実施例において、非球面形状の光学面は、光軸Aを中心とした回転対称形状であり、以下の非球面式で表現される。

50

【 0 0 6 9 】

【 数 8 】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} + Er^{12} + Fr^{14} + Gr^{16}$$

【 0 0 7 0 】

ここで、 $z$  は非球面形状の光軸方向のサグ量 (mm)、 $c$  は光軸 A 上における曲率 (1/mm)、 $k$  は円錐定数 (コーニック定数)、 $r$  は光軸 A からの半径方向の間隔 (mm)、 $A \sim G$  の夫々は 4 次項 ~ 16 次項の非球面係数、である。なお、この非球面式において、第 1 項はベース球面のサグ量を示しており、このベース球面の曲率半径は  $R = 1/c$  である。また、第 2 項以降の項は、ベース球面上に付与される非球面成分のサグ量を示している。

10

【 0 0 7 1 】

なお、本実施例においては、光学面が非球面形状である場合、ベース球面の曲率半径をその光学面の曲率半径としており、その曲率半径が各条件式を満足するように構成している。ただし、非球面形状の近軸曲率半径を光学面の曲率半径としてもよい。また、非球面の局所曲率を考慮して、ある位置での面法線と光軸 A との交点を、光学面の曲率中心とみなしてもよい。

【 0 0 7 2 】

20

表 3 に、本実施例に係る光学系 20 の諸元値を示す。なお、表 3 においては、互いに接合されている光学面を同一面として表している。また、光学面同士の接合面に設けられる開口絞り 3 についても、その接合面と同一の面として表している。

【 0 0 7 3 】

【表 3】

表3:実施例2に係る光学系20の構成									
面番号 No.	面名称 符号	面タイプ	曲率半径 R	面間隔 d	屈折率 Nd	アッペ数 $\nu_d$	開口絞りとの間隔 L	曲率中心位置 Dc	パワー $\phi_l$
1	第1光学素子 第1面 21a	非球面	24.3155	12.000	1.92119	24.0	21.3461	0.0000	0.038
2	第1光学素子 第2面 21b	球面	11.8959	9.346	1.67790	55.3	9.3461	0.4196	-0.020
3	第2光学素子 第1面 22a	球面	15.8236	12.000	1.60863	46.6	0.0000	12.8543	-0.904
4	第2光学素子 第2面 22b	球面	90.0982	6.562	1.62041	60.3	12.0000	99.1288	0.000
5	第3光学素子 第1面 23a	非球面	-77.9645	-6.562	1.62041	60.3	18.5623		
6	第3光学素子 第2面 23b	球面	90.0982	-10.000	1.60863	46.6			
7	第3光学素子 第3面 23c	球面	100.1456	-1.000		Air			
8	受光面	平面	$\infty$						

非球面係数 (面番号1)	
係数項目	値
コーニンク定数	-2.27421E-01
4次の係数	1.17917E-06
6次の係数	1.48940E-09
8次の係数	5.63951E-13
10次の係数	1.66412E-15
12次の係数	0.00000E+00
14次の係数	0.00000E+00
16次の係数	0.00000E+00

非球面係数 (面番号5)	
係数項目	値
コーニンク定数	-1.35136E+00
4次の係数	4.99534E-07
6次の係数	-1.59303E-09
8次の係数	-7.32390E-12
10次の係数	5.10788E-14
12次の係数	-1.19504E-16
14次の係数	0.00000E+00
16次の係数	0.00000E+00

全系		開始面	終了面	焦点距離 (mm)	パワー	パワー比 (対全系)
最前面～反射面の手前	面番号1	面番号7		27.0	0.037	1.00
	面番号1	面番号4		51.2	0.020	0.53
	面番号5	面番号5		39.0	0.026	0.69

面間隔 (mm)	
最前面～開口絞り	21.35
最前面～入射瞳	19.59
開口絞り～入射瞳 Lp	1.76

【0074】

不図示の被写体からの光束は、第1光学素子21及び第2光学素子22を通過した後、開口絞り3の遮光部で制限される。開口絞り3の開口部を通過した光束は、第3光学素子23の第1面23a及び第2面23b、第4光学素子24の第1面24aを順に通過して、第4光学素子24の第2面24bで反射される。反射された光束は、再び第4光学素子24の第1面24aを透過し、第3光学素子23の第2面23b及び第3面23cを順に透過して、平面形状の像面4を形成する。

【0075】

光学系20においては、前群1が有する第1光学素子21の第1面21a、第1光学素子21の第2面21b、及び第2光学素子22の第1面22aの3つの光学面が、条件式

10

20

30

40

50

(1)を満足する点対称形状の屈折面となっている。この構成により、軸外収差の発生を抑制することを可能にしている。

【0076】

具体的には、屈折面21aについて、そのベース球面の曲率半径は $R1 = 24.3155 \text{ mm}$ 、開口絞り3の中心点P1との光軸A上での間隔は $L1 = 21.3461 \text{ mm}$ であり、 $|R1|/L1 = 1.14$ となるため、条件式(1)及び(1')を満足する。また、屈折面21b, 22aについて、曲率半径は $R1 = 11.8959 \text{ mm}$ 、開口絞り3の中心点P1との光軸A上での間隔は $L1 = 9.3461 \text{ mm}$ であり、 $|R1|/L1 = 1.27$ となるため、条件式(1)及び(1')を満足する。

【0077】

なお、本実施例のように、条件式(1)を満足する屈折面を複数有する場合は、最も物体側の屈折面の曲率中心と他の屈折面の曲率中心との間隔を $Dc \text{ (mm)}$ 、全系の焦点距離を $f \text{ (mm)}$ 、とするとき、以下の条件式(6)を満足することが望ましい。

【0078】

【数9】

$$0.0 \leq \frac{Dc}{f} \leq 0.1 \quad \dots (6)$$

【0079】

条件式(6)を満足することにより、点対称形状の屈折面の夫々の曲率中心の位置を近づけることができるため、コマ収差の発生量をより小さく抑えることが可能になる。条件式(6)の上限値を上回ると、点対称形状の屈折面の夫々に起因してコマ収差が発生してしまい、高解像度の実現が難しくなる。本実施例では、屈折面21aの曲率中心C21aと屈折面21b, 22aの曲率中心C21b, C22aとの間隔は $Dc = 0.4196 \text{ mm}$ 、全系の焦点距離は $f = 27.0 \text{ mm}$ であり、 $Dc/f = 0.016$ となるため、条件式(6)を満足する。

【0080】

また、本実施例のように、条件式(1)を満足する屈折面を採用した場合は、負のパワーを有する屈折面を設けることが望ましい。本実施例に係る光学系20において、第1光学素子21の第2面21bと第2光学素子22の第1面22aとの接合面、及び第2光学素子22の第2面22bと第3光学素子23の第1面23aとの接合面は、負のパワーを有する屈折面である。これらの負のパワーを有する屈折面により、正のパワーを有する屈折面21aで生じた軸上収差を良好に補正することができる。

【0081】

このとき、負のパワーを有する屈折面を、最も物体側の屈折面21aと反射面24bとの間に配置することが好ましい。更に、負のパワーを有する屈折面を、条件式(1)を満足する点対称形状とすることがより好ましく、その負のパワーを $-1$ 、全系のパワーを $-1$ 、とするとき、以下の条件式(7)を満足することが望ましい。

【0082】

【数10】

$$\frac{\phi l}{\phi} \leq -0.27 \quad \dots (7)$$

【0083】

条件式(7)を満たす強い負パワーの屈折面を採用することで、球面収差や軸上色収差などの軸上収差の補正が容易となる。このような強い負パワーの屈折面を採用した場合にも、その屈折面を点対称形状とすることで、コマ収差や非点収差の発生を抑えつつ、軸上収差を良好に補正することが可能になる。本実施例において、屈折面21b, 22aのパワーは $\phi l = -0.020$ 、全系のパワー $\phi = 0.037$ であり、 $\phi l / \phi = -0.552$ となるため、条件式(1)を満たす屈折面21b, 22aは条件式(7)を満足してい

10

20

30

40

50

ることがわかる。

【0084】

一方、条件式(1)を満たさない屈折面22b, 23aについては、それらのパワーは  $l = -0.04$  であり、 $l / \dots = -0.118$  となるため、条件式(7)を満足しない。このように、点対称形状ではない屈折面の負のパワーについては、条件式(7)で示す範囲よりも弱く設定することが望ましく、それにより、コマ収差の発生を抑制しつつ軸上色収差を補正することができる。

【0085】

本発明に係る光学系20について、水平画角は  $x = 30^\circ$  ( $x = -15^\circ \sim +15^\circ$ )、垂直画角は  $y = 20^\circ$  ( $y = +14^\circ \sim +34^\circ$ )、絞り値は  $F = 2.0$  である。このように、広画角でかつ明るい光学系においても、点対称形状な屈折面を採用することにより、諸収差を良好に補正することができ、高解像度化を実現することが可能になる。なお、本実施例のように、隣接する媒質との屈折率差が大きい光学面、すなわち最も物体側の光学面(空気と接する光学面)を点対称形状の屈折面とすることが望ましい。

【0086】

図10に示すように、本実施例に係る後群2が有する第4光学素子24は、屈折面である第1面24aと反射面である第2面24bとを有する反射屈折レンズである。反射面24bは、凹形状の反射面となっている。反射面24bは、上述の非球面式で定義される非球面であり、凹形状のベース球面に対して、光軸A上よりも周辺部の方が像面4とは反対側に大きく変位した形状となっている。具体的には、反射面24bについて、そのベース球面の曲率半径は  $R_m = -77.9645 \text{ mm}$ 、開口絞り3の中心点P1との光軸A上での間隔は  $L_m = 18.5623 \text{ mm}$  であり、 $|R_m| / L_m = 4.20$  となるため、条件式(2)及び(2')を満足する。

【0087】

また、本実施例では、最も物体側の光学面(屈折面21a)から反射面24bの直前の光学面(屈折面23b)までの光学部の焦点距離は  $f_f = 51.2 \text{ mm}$  であり、 $|R_m| / f_f = 1.52$  となるため、条件式(3)を満足する。また、 $f / |R_m| = 0.35$  となるため、条件式(4)を満足する。さらに、本実施例においても、図10に示すように、開口絞り3の中心点P1と入射瞳の中心点P2とが互いに近接しており、 $L_p = 1.756 \text{ mm}$ 、 $L_p / f = 0.07$  となるため、条件式(5)を満足する。

【0088】

本実施例に係る光学系20において、開口絞り3に最も近い光学面22b及び23aは負のパワー( $l = -0.004$ )を有している。開口絞り3の近傍に配置された光学面22b及び23aでは、各画角の光束の主光線が各光学面の中心付近を通過するが、各画角の光束のマージナル光線は各光学面の中心から離れた位置を通過する。よって、光学面22b及び23aに負のパワーを持たせたとしても、各画角の主光線は殆ど屈折しないため、倍率色収差の発生を抑制することができ、かつ軸上色収差を補正することができる。さらに、この構成により、開口絞り3から像面4までの距離を長くすることができ、像面4と光路との干渉を回避することが容易になる。

【0089】

表4に、本実施例に係る光学系20における、条件式(1)~(7)の値を表す。

【0090】

10

20

30

40

【表 4】

表4: 条件式(実施例2)		
条件式(1), (1') $ R  / L$	1.139 (面番号1)	1.273 (面番号2)
条件式(2), (2') $ R_m  / L_m$	4.200 (面番号5)	
条件式(3) $ R_m  / ff$	1.52 (面番号5)	
条件式(4) $f /  R_m $	0.35 (面番号5)	
条件式(5) $L_p / f$	0.07	
条件式(6) $D_c / f$	0.016 (面番号2)	
条件式(7) $\phi l / \phi$	-0.552 (面番号2)	

10

## 【0091】

図11は、撮像素子101の撮像面4における5つの位置に対応する各画角を示す図である。画角1は、水平方向(X方向)での中心画角  $x = 0^\circ$  かつ垂直方向(Y方向)での最低画角  $y = +14^\circ$ 、すなわち撮像面4の中央下端に対応する画角である。画角2は、水平方向での中心画角  $x = 0^\circ$  かつ垂直方向での中心画角  $y = +24^\circ$ 、すなわち撮像面4の中央に対応する画角である。画角3は、水平方向での中心画角  $x = 0^\circ$  かつ垂直方向での最大画角  $y = +34^\circ$ 、すなわち撮像面4の中央上端に対応する画角である。画角4及び画角5の夫々は、水平方向の最大画角  $x = +15^\circ$  かつ垂直方向での最低画角  $y = +14^\circ$  及び最大画角  $y = +34^\circ$ 、すなわち撮像面4の右下端及び右上端に対応する画角である。

20

## 【0092】

そして、図12は、光学系20の収差図であり、図12(a)は縦収差図、図12(b)は横収差図、である。図12(a)は、C線、d線、F線、g線の夫々に対する球面収差と、d線に対する水平方向及び垂直方向における非点収差及び像面湾曲と、d線に対するディストーションと、を示している。ただし、C線は波長656.2725nmの光、d線は波長587.5618nmの光、F線は波長486.1327nmの光、g線は波長435.8343nmの光、である。また、図12(b)は、図11で示した5つの画角におけるC線、d線、F線、g線の夫々に対する横収差を示している。

30

## 【0093】

図12(a)より、C線、d線、F線、g線の各スペクトルに対して、球面収差は0.025mm以下、非点収差は0.007mm以下、像面湾曲は0.009mm以下、ディストーションは9%以下、に抑えられていることがわかる。また、図12(b)より、各画角において、横収差は0.01mm以下に抑えられていることがわかる。さらに、ビネッティングは100%であり、開口絞り3によるケラレが生じておらず、軸上から軸外にかけて明るい光学系が実現できていることがわかる。

40

## 【0094】

以上、本実施例に係る光学系20によれば、簡素かつ小型な構成でありながら、広画角にわたる高解像度化を実現することができる。特に、焦点距離が  $f = 27.0\text{mm}$  と長く、絞り値が  $F = 2.0$  と明るい構成でありながら、諸収差を良好に補正することが可能になる。

## 【0095】

## 〔実施例3〕

図13は、本発明の実施例3に係る光学系30の、光軸Aを含むYZ断面における要部

50

概略図である。本実施例に係る光学系 30 について、全系の焦点距離は  $f = 27.0 \text{ mm}$ 、水平画角は  $x = 45^\circ$  ( $x = -22.5^\circ \sim +22.5^\circ$ )、垂直画角は  $y = 30^\circ$  ( $y = +14^\circ \sim +44^\circ$ )、絞り値は  $F = 2.0$ 、である。本実施例に係る光学系 30 は、実施例 2 に係る光学系 20 とは異なり、内面反射面を有する光学素子 (反射屈折レンズ) の代わりに、表面反射面を有する光学素子 (ミラー) を採用している。

【0096】

光学系 30 において、開口絞り 3 よりも物体側の前群 1 は、物体側から順に第 1 光学素子 31 及び第 2 光学素子 32 を含み、開口絞り 3 よりも像側の後群 2 は、物体側から順に第 3 光学素子 33 及び第 4 光学素子 34 を含む。第 1 光学素子 31、第 2 光学素子 32、及び第 3 光学素子 33 はレンズであり、第 4 光学素子 34 はミラー (表面反射鏡) である。開口絞り 3 は、第 2 光学素子 32 及び第 3 光学素子 33 の接合面に設けられている。

10

【0097】

表 5 に、本実施例に係る光学系 30 の諸元値を示す。

【0098】

【表 5】

表5: 実施例3に係る光学系30の構成									
面番号 No.	面名称 面番号	面タイプ	面半径 R	面間隔 d	屈折率 Nd	アッベ数 $\nu_d$	開口絞りとの間隔 L	曲率中心位置 Dc	面のパワー $\phi_l$
1	第1光学素子 第1面 31a	非球面	25.3992	13.973	1.64769	33.8	23.5097	0.0000	0.026
2	第1光学素子 第2面 31b	球面	11.7310	9.537	1.49782	67.0	9.5370	0.3045	-0.013
3	第2光学素子 第1面 32a	球面	-52.0012	17.960	1.55332	71.7	0.0000	53.8907	-0.001
4	第2光学素子 第2面 32b	球面	-59.4388	1.000					
5	第3光学素子 第1面 33a	球面	-76.3425	-1.000					
6	第3光学素子 第2面 33b	非球面	-59.4388	-17.960	1.55332	71.7	17.9603	43.3680	0.026
7	第3光学素子 第3面 33c	球面	81.0118	-1.000			18.9603		
8	受光面	平面	$\infty$		Air				

非球面係数 (面番号1)	
係数項目	値
コーンク定数	-6.91289E-01
4次の係数	3.97193E-06
6次の係数	5.70221E-08
8次の係数	-1.05669E-11
10次の係数	3.94547E-14
12次の係数	-4.00744E-17
14次の係数	0.00000E+00
16次の係数	0.00000E+00

非球面係数 (面番号5)	
係数項目	値
コーンク定数	-9.49416E-01
4次の係数	-3.27734E-07
6次の係数	-8.65184E-10
8次の係数	-8.49632E-13
10次の係数	5.73724E-15
12次の係数	-1.36542E-17
14次の係数	3.27131E-20
16次の係数	-3.69174E-23

全系		開始面	終了面	焦点距離 (mm)	パワー	パワー比 (対全系)
最前面～反射面の手前 反射面	面番号1	面番号7		27.0	0.037	1.00
	面番号1	面番号4		51.1	0.020	0.53
	面番号5	面番号5		38.2	0.026	0.71

面間隔 (mm)	
最前面～開口絞り	23.51
最前面～入射瞳	22.67
開口絞り～入射瞳 Lp	0.84

【0099】

不図示の被写体からの光束は、第1光学素子31及び第2光学素子32を通過した後、開口絞り3の遮光部で制限される。開口絞り3の開口部を通過した光束は、第3光学素子33の第1面33a及び第2面33bを順に通過して、第4光学素子34の反射面34aで反射される。反射された光束は、再び第3光学素子33の第2面33bを通過し、第3面33cから出射して平面形状の像面4を形成する。

【0100】

本実施例に係る光学系30においては、前群1が有する第1光学素子31の第1面31a、第1光学素子31の第2面31b、及び第2光学素子32の第1面32aの3つの光学面が、条件式(1)を満足する点対称形状の屈折面となっている。

【0101】

10

20

30

40

50

具体的には、屈折面 31a について、そのベース球面の曲率半径は  $R1 = 25.3992 \text{ mm}$ 、開口絞り 3 との光軸 A 上での間隔は  $L1 = 23.5097 \text{ mm}$  であり、 $|R1|/L1 = 1.08$  となるため、条件式 (1) 及び (1') を満足する。また、屈折面 31b, 32a について、曲率半径は  $R1 = 11.7310 \text{ mm}$ 、開口絞り 3 との光軸 A 上での間隔は  $L1 = 9.5370 \text{ mm}$  であり、 $|R1|/L1 = 1.23$  となるため、条件式 (1) 及び (1') を満足する。

#### 【0102】

本実施例では、開口絞り 3 と入射瞳との光軸 A 上での間隔は  $Lp = 0.840 \text{ mm}$  であり、 $Lp/f = 0.03$  となるため、条件式 (5) を満足する。また、屈折面 31a の曲率中心と屈折面 31b, 32a の曲率中心との間隔は  $Dc = 0.3045 \text{ mm}$  であり、 $Dc/f = 0.01$  となるため、条件式 (6) を満足する。さらに、屈折面 31b, 32a のパワーは  $\phi1 = -0.013$ 、全系のパワー  $\phi = 0.037$  であり、 $\phi1/\phi = -0.345$  となるため、条件式 (7) を満たす屈折面 31b, 32a は条件式 (7) を満足している。

#### 【0103】

また、本実施例に係る第 4 光学素子 34 の反射面 34a は、凹形状の非球面である。本実施例に係る反射面 34a も、実施例 2 に係る反射面 24b と同様に、上述の非球面式で定義され、凹形状のベース球面に対して、光軸 A 上よりも周辺部の方が像面 4 とは反対側に大きく変位した形状となっている。

#### 【0104】

具体的には、反射面 34a について、そのベース球面の曲率半径は  $Rm = -76.3425 \text{ mm}$ 、開口絞り 3 との光軸 A 上での間隔は  $Lm = 18.9603 \text{ mm}$  であり、 $|Rm|/Lm = 4.03$  となるため、条件式 (2) 及び (2') を満足する。また、本実施例では、最も物体側の光学面 (屈折面 31a) から反射面 34a の直前の光学面 (屈折面 33b) までの光学部の焦点距離は  $ff = 51.1 \text{ mm}$  であり、 $|Rm|/ff = 1.49$  となるため、条件式 (3) を満足する。さらに、 $f/|Rm| = 0.35$  となるため、条件式 (4) を満足する。

#### 【0105】

表 6 に、本実施例に係る光学系 30 における、条件式 (1) ~ (5) の値を表す。

#### 【0106】

#### 【表 6】

表6: 条件式(実施例3)		
条件式(1), (1') $ R /L1$	1.080 (面番号1)	1.230 (面番号2)
条件式(2), (2') $ Rm /Lm$	4.026 (面番号5)	
条件式(3) $ Rm /ff$	1.49 (面番号5)	
条件式(4) $f/ Rm $	0.35 (面番号5)	
条件式(5) $Lp/f$	0.03	
条件式(6) $Dc/f$	0.011 (面番号2)	
条件式(7) $\phi1/\phi$	-0.345 (面番号2)	

#### 【0107】

図 14 は、光学系 30 の収差図であり、図 14 (a) 及び図 14 (b) の夫々は、図 12 と同様に光学系 30 の縦収差及び横収差を示している。図 14 (a) より、C 線, d 線

、F線、g線の各スペクトルに対して、球面収差は0.03mm以下、非点収差は0.02mm以下、像面湾曲は0.04mm以下、に抑えられていることがわかる。また、図14(b)より、各画角において、横収差は0.01mm以下に抑えられていることがわかる。

【0108】

[実施例4]

図15は、本発明の実施例4に係る光学系40の、光軸Aを含むYZ断面における要部概略図である。本実施例に係る光学系40について、全系の焦点距離は $f = 28.5\text{ mm}$ 、水平画角は $x = 50^\circ$  ( $x = -25^\circ \sim +25^\circ$ )、垂直画角は $y = 38^\circ$  ( $y = +15^\circ \sim +53^\circ$ )、絞り値は $F = 2.0$ 、である。本実施例に係る光学系40は、実施例2に係る光学系20とは異なり、開口絞り3が反射面に設けられており、前群1の光軸Aに対して後群2の光軸Arが傾くように構成されている。

10

【0109】

光学系40において、開口絞り3よりも物体側の前群1は、物体側から順に第1光学素子41、第2光学素子42、及び第3光学素子43を含む。また、開口絞り3よりも像側の後群2は、物体側から順に第3光学素子43、第4光学素子44、第5光学素子45、及び第6光学素子46を含んでいる。すなわち、本実施例では、第3光学素子43の一部を前群1と後群2とで共有している。

【0110】

第1光学素子41は、物体側に凸面を向けたメニスカスレンズであり、非球面である第1面41aと球面である第2面41bとを有する。第2光学素子42は、物体側に凸面を向けたメニスカスレンズであり、何れも球面である第1面42a及び第2面42bを有する。第3光学素子43は、物体側に向かって凸形状の第1面43a、平面である第2面43b、像側に向かって凸形状の球面である第3面43c、及び非球面である第3面43d、の4つの光学面を有するレンズである。

20

【0111】

第3光学素子43において、第1面43a及び第2面43bの面頂点は前群1の光軸A上に位置しており、第3面43c及び第4面43dの面頂点は後群2の光軸Ar上に位置している。開口絞り3は、第3光学素子43の第2面43bに設けられており、開口絞り3の開口部は反射面、開口絞り3の遮光部は非反射面（低反射面）となっている。

30

【0112】

第4光学素子44は、像側に凸面を向けたメニスカスレンズであり、何れも球面である第1面44a及び第2面44bを有する。第5光学素子45は、屈折面である第1面45aと反射面である第2面45bとを有する反射屈折レンズであり、第1面45aは像側に向かって凸形状の球面、第2面45bは凹形状の非球面である。また、第6光学素子46は、何れもパワーを持たない第1面46a及び第2面46bを有するカバーガラスである。

【0113】

表7に、本実施例に係る光学系40の諸元値を示す。

【0114】

40

【表 7】

表7:実施例41に係る光学系40の構成													
面番 No.	面名称 面番	面タイプ	曲率半径 R (mm)	水平座標 X (mm)	垂直座標 Y (mm)	光軸座標 Z (mm)	水平輪回角 $\alpha$ (deg)	垂直輪回角 $\beta$ (deg)	傾折角 $\gamma$ (deg)	屈折率 Nd	アッベ数 vd	開口絞りとの距離 Lo	曲率中心位置 面のパワー d0
1	第1光学素子 第1面 41a	非球面	33.7031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.78470	28.3	28.587	0.023
2	第2光学素子 第1面 42a	球面	105.0791	0.000	0.000	17.254	0.000	0.000	0.000	1.75520	27.8	12.334	0.000
3	第3光学素子 第1面 43a	球面	15.3768	0.000	0.000	19.154	0.000	0.000	0.000	1.60625	83.7	10.434	-0.010
4	第3光学素子 第2面 43b	平面	$\infty$	0.000	0.000	29.587	-20.000	0.000	0.000	1.60625	83.7	0.000	
5	第3光学素子 第3面 43c	球面	-123.0968	0.000	7.427	20.736	-40.000	0.000	0.000	2.00270	19.3	11.555	-0.003
6	第4光学素子 第1面 44a	球面	-142.3386	0.000	10.411	17.180	-40.000	0.000	0.000	1.58998	88.3	16.196	0.003
7	第5光学素子 第1面 45a	非球面	95.5397	0.000	14.067	12.108	-40.000	0.000	0.000	1.58998	88.3	22.818	
8	第4光学素子 第2面 44b	球面	-142.3386	0.000	10.411	17.180	-40.000	0.000	0.000	2.00270	19.3	16.196	
9	第4光学素子 第3面 44c	球面	-123.0968	0.000	7.427	20.736	-40.000	0.000	0.000	1.60625	83.7	11.555	
10	第3光学素子 第4面 43d	非球面	-5.4348	0.000	0.999	28.396	-40.000	0.000	0.000	Air			
11	第6光学素子 第1面 46a	平面	$\infty$	0.000	0.835	28.473	-40.000	0.000	0.000	1.51633	64.1		
12	第6光学素子 第2面 46b	平面	$\infty$	0.000	0.814	28.656	-40.000	0.000	0.000	Air			
13	像平面	平面	$\infty$	0.000	-0.039	29.622	-40.000	0.000	0.000				

非球面係数 (面番号1)	
係数項目	値
コーニンク定数	K -0.08667E-01
4次の係数	A 2.49632E-06
6次の係数	B 8.76449E-10
8次の係数	C -2.17506E-13
10次の係数	D 1.5947E-15
12次の係数	E -1.68124E-18
14次の係数	F 0.00000E+00
16次の係数	G 0.00000E+00

非球面係数 (面番号7)	
係数項目	値
コーニンク定数	K 5.36385E-00
4次の係数	A -1.43147E-08
6次の係数	B 2.34874E-10
8次の係数	C -7.35635E-13
10次の係数	D 2.78555E-16
12次の係数	E -1.9790E-18
14次の係数	F 0.00000E+00
16次の係数	G 0.00000E+00

非球面係数 (面番号10)	
係数項目	値
コーニンク定数	K -2.77506E+02
4次の係数	A -6.95701E-06
6次の係数	B 1.32196E-08
8次の係数	C -5.53814E-12
10次の係数	D 2.48397E-15
12次の係数	E 0.00000E+00
14次の係数	F 0.00000E+00
16次の係数	G 0.00000E+00

全系	開始面	終了面	焦点距離 (mm)	パワー	パワー比 (対全系)
	面番号1	面番号10	28.5	0.035	1.00
	最前面～反射面の手前	面番号6	62.2	0.016	0.46
	反射面	面番号7	48.3	0.021	0.59

面間隔 (mm)	
最前面～開口絞り	29.59
最前面～入射瞳	27.72
開口絞り～入射瞳 L <sub>p</sub>	1.87

【0115】

不図示の物体からの光束は、第1光学素子41及び第2光学素子42を通過し、第3光学素子43の第1面43aを透過して、第3光学素子43の第2面43bに設けられた開口絞り3に入射する。開口絞り3の開口部で反射した光束は、第3光学素子43の第3面43c、第4光学素子44の第1面44a、第4光学素子44の第2面44b、及び第5光学素子45の第1面45aを順に透過した後、第5光学素子45の第2面45bで反射される。そして、反射された光束は、再び第5光学素子45の第1面45a、第4光学素子44の第2面44b、及び第4光学素子44の第1面44aを順に透過し、第3光学素子43の第4面43dから出射し、第6の光学素子46を介して平面形状の像面4を形成する。

【0116】

このように、光学系40によれば、開口絞り3の開口部を反射面とし、前群1の光軸Aに対して後群2を偏心(チルトやシフト)させることにより、像面4の位置も偏心させることができる。よって、光学系40を撮像装置や投影装置に適用する際に、撮像素子や表示素子を光軸Aに対して偏心させることができ、夫々の光路との干渉を回避しつつ、配置

10

20

30

40

50

の自由度を高めること可能になる。

【0117】

本実施例に係る光学系40においては、前群1が有する第1光学素子41の第1面41a、第2光学素子42の第2面42b、及び第3光学素子43の第1面43aの3つの光学面が、条件式(1)を満足する点対称形状の屈折面となっている。

【0118】

具体的には、屈折面41aについて、そのベース球面の曲率半径は $R1 = 33.703$  mm、開口絞り3との光軸A上での間隔は $L1 = 29.587$  mmであり、 $|R1|/L1 = 1.14$ となるため、条件式(1)及び(1')を満足する。また、屈折面42b、43aについて、曲率半径は $R1 = 15.3768$  mm、開口絞り3との光軸A上での間隔は $L1 = 10.434$  mmであり、 $|R1|/L1 = 1.47$ となるため、条件式(1)を満足する。

10

【0119】

本実施例では、開口絞り3と入射瞳との光軸A上での間隔は $Lp = 1.868$  mmであり、 $Lp/f = 0.07$ となるため、条件式(5)を満足する。また、屈折面41aの曲率中心と屈折面42b、43aの曲率中心との間隔は $Dc = 0.827$  mmであり、 $Dc/f = 0.03$ となるため、条件式(6)を満足する。さらに、屈折面42b、43aのパワーは $1 = -0.010$ 、全系のパワー $= 0.035$ であり、 $1/ = -0.276$ となるため、条件式(1)を満たす屈折面42b、43aは条件式(7)を満足している。

20

【0120】

上述したように、本実施例に係る第5光学素子45の第2面45bは、凹形状の反射面であり、かつ上述の非球面式で定義される非球面である。反射面45bについて、そのベース球面の曲率半径は $Rm = 96.540$  mm、開口絞り3との光軸Ar上での間隔は $Lm = 22.818$  mmであり、 $|Rm|/Lm = 4.23$ となるため、条件式(2)及び(2')を満足する。また、本実施例では、最も物体側の屈折面41aから後群2で最も強いパワーを有する反射面45bの直前の屈折面44bまでの光学部の焦点距離は $ff = 62.2$  mmであり、 $|Rm|/ff = 1.50$ となるため、条件式(3)を満足する。さらに、 $f/|Rm| = 0.30$ となるため、条件式(4)を満足する。

【0121】

表8に、本実施例に係る光学系40における、条件式(1)～(7)の値を表す。

30

【0122】

【表 8】

表8: 条件式(実施例4)		
条件式(1) $ R  / L$	1139 (面番号1)	1.474 (面番号3)
条件式(1') $ R  / L$	1139 (面番号1)	
条件式(2), (2') $ R_m  / L_m$	4.231 (面番号7)	
条件式(3) $ R_m  / f$	1.50 (面番号7)	
条件式(4) $f /  R_m $	0.30 (面番号7)	
条件式(5) $L_p / f$	0.07	
条件式(6) $D_c / f$	0.029 (面番号3)	
条件式(7) $\phi_l / \phi$	-0.276 (面番号3)	

10

## 【0123】

20

図16は、光学系40の収差図であり、図16(a)及び図16(b)の夫々は、光学系40の縦収差及び横収差を示している。図16(a)より、C線、d線、F線、g線の各スペクトルに対して、球面収差、非点収差、及び像面湾曲が良好に補正されていることがわかる。また、図16(b)より、各画角における横収差も良好に補正されていることがわかる。

## 【0124】

## [ 実施例5 ]

図17は、本発明の実施例5に係る光学系50の、光軸Aを含むYZ断面における要部概略図である。本実施例に係る光学系50について、水平断面内では、全系の焦点距離は  $f = 15.7 \text{ mm}$ 、画角は  $x = 50^\circ$  ( $x = -25^\circ \sim +25^\circ$ )、絞り値は  $F = 1.2$ 、である。また、垂直断面内では、全系の焦点距離は  $f = 16.0 \text{ mm}$ 、画角は  $y = 34.5^\circ$  ( $y = +8^\circ \sim +42.5^\circ$ )、絞り値は  $F = 3.4$ 、である。本実施例に係る光学系50は、他の実施例に係る光学系とは異なり、開口絞り3よりも像側に配置された全反射面及び偏心面を有する。

30

## 【0125】

光学系50において、開口絞り3よりも物体側の前群1は、物体側から順に第1光学素子51、第2光学素子52、及び第3光学素子53を含む。また、開口絞り3よりも像側の後群2は、物体側から順に第4光学素子54、第5光学素子55、第6光学素子56、及び第7光学素子57を含んでいる。

## 【0126】

40

第1光学素子51は、両凸レンズであり、非球面である第1面51aと球面である第2面51bとを有する。第2光学素子52は、両凹レンズであり、何れも球面である第1面52a及び第2面52bを有する。第3光学素子53は、物体側に凸面を向けたメニスカスレンズであり、何れも球面である第1面53a及び第2面53bを有する。

## 【0127】

第4光学素子54は、両凸レンズであり、何れも球面である第1面54a及び第2面54bを有する。開口絞り3は、第4光学素子54の第1面54aに設けられている。第5光学素子55は、球面である第1面55a、平面である第2面55b、及び非球面形状の反射面である第3面55c、の3つの光学面を有するレンズである。第6光学素子56は、両凸レンズであり、何れも球面である第1面56a及び第2面56bを有する。また、

50

第7光学素子57は、何れもパワーを持たない第1面57a及び第2面57bを有するカバーガラスである。

【0128】

なお、光学系50において、物体側から順に第1光学素子51の第1面51aから第5光学素子55の第2面55bまでの光学面は、光軸A上に配置されており、その他の面は光軸Aと交わらない位置に配置されている。そして、第5光学素子55の第2面55bから第7光学素子57の第2面57bまでの光学面は、夫々の中心（面頂点）が光軸A上からずれた偏心面である。例えば、第2面55b及び第3面55cの夫々は、X軸周りに $-25.36^{\circ}$ の傾きを有するチルト偏心面であり、さらに第3面55cは、垂直断面内においてシフト偏心している。

10

【0129】

このように、光学系50によれば、光軸Aに対して偏心した光学素子を採用することで、実施例4と同様に像面4の位置も偏心させることができるため、撮像素子や表示素子の光路との干渉を回避しつつ、配置の自由度を高めること可能になる。

【0130】

表9に、本実施例に係る光学系50の諸元値を示す。

【0131】

【表 9】

表9: 実施例5に係る光学系50の構成														
面番号	面名称	符号	面タイプ	曲率半径 R (mm)	水平座標 X (mm)	垂直座標 Z (mm)	光軸傾斜 α (deg)	水平軸回転 θ (deg)	垂直軸回転 φ (deg)	光軸回転 γ (deg)	屈折率	アベ数	開口絞りとの距離 L (mm)	面中心位置 面のパワー φ <sub>1</sub>
1	第1光学素子第1面	51a	非球面	∞	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.80810	22.8	17.300	0.0000	0.073
2	第1光学素子第2面	51b	球面	-46.8030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.92119	23.96	3.600	53.4010	-0.002
3	第2光学素子第1面	52a	球面	8.5436	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.74950	35.28	2.600	2.946	-0.020
4	第2光学素子第2面	52b	球面	19.6271	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.83481	42.73	0.000		
5	第4光学素子第1面	54a	球面	-8.0887	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.00100	13.40	6.500	4.585	-0.021
6	第5光学素子第1面	55a	平面	∞	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.00100	13.40	8.300		
7	第5光学素子第2面	55b	非球面	43.4215	0.000	-5.606	0.000	-25.360	0.000	2.00100	13.40	18.300		
8	第5光学素子第3面	55c	平面	∞	0.000	0.000	0.000	-25.360	0.000	2.00100	13.40	8.500		
9	第6光学素子第1面	56a	球面	192.7345	0.000	11.651	0.000	-30.080	0.000	1.84686	23.78	18.205		
10	第6光学素子第2面	56b	球面	-57.7762	0.000	10.347	0.000	-30.080	0.000	1.84686	23.78	20.510		
11	第7光学素子第1面	57a	平面	∞	0.000	8.882	0.000	-44.250	0.000	1.51633	64.1			
12	第7光学素子第2面	57b	平面	∞	0.000	8.333	0.000	-44.250	0.000	1.51633	64.1			
13	像面	4	平面	∞	0.000	7.701	0.000	-44.250	0.000	0.000				

非球面係数 (面番号1)	
係数項目	値
コーニンク変数	0.00000E+00
4次の係数	1.16811E-06
6次の係数	6.95497E-10
8次の係数	8.94365E-11
10次の係数	-5.02686E-13
12次の係数	1.95227E-15
14次の係数	0.00000E+00
16次の係数	0.00000E+00

非球面係数 (面番号7)	
係数項目	値
コーニンク変数	0.00000E+00
4次の係数	4.01749E-06
6次の係数	-1.40324E-08
8次の係数	2.31039E-11
10次の係数	-2.04063E-14
12次の係数	7.22469E-18
14次の係数	0.00000E+00
16次の係数	0.00000E+00

全系				
開始面		終了面	焦点距離 (mm)	パワー
面番号1		面番号10	15.7	0.064
面番号1		面番号6	62.4	0.016
面番号7		面番号7	21.7	0.046
面番号7		面番号7		0.72

面間隔 (mm)	
最前面～開口絞り	17.30
最前面～入射瞳	15.37
開口絞り～入射瞳 L <sub>p</sub>	1.93
物体側点対称レンズ面～開口絞り D1	3.00
像側点対称レンズ面～開口絞り D2	-1.59

【0132】

不図示の物体からの光束は、第1光学素子51、第2光学素子52、及び第3光学素子53を順に透過して、第4光学素子54の第1面54aに設けられた開口絞り3により制限される。開口絞り3の開口部を透過した光束は、第4光学素子54の第2面54b及び第5光学素子55の第1面55aを順に透過した後、第5光学素子55の第2面55bで全反射し、進行方向を大きく変えて第5光学素子55の第3面55cに入射する。第5光学素子55の第3面55cで反射された光束は、第5光学素子55の第2面55b、第6光学素子56の第1面56a、及び第6光学素子56の第2面56bを順に透過し、第7光学素子57を介して平面形状の像面4を形成する。

【0133】

本実施例に係る光学系50においては、前群1が有する第1光学素子51の第1面51a、第4光学素子54の第2面54b、及び第5光学素子55の第1面55aの3つの光学面が、条件式(1)を満足する点対称形状の屈折面となっている。

【0134】

10

20

30

40

50

具体的には、屈折面 5 1 a について、そのベース球面の曲率半径は  $R 1 = 20.298$  mm、開口絞り 3 との光軸 A 上での間隔は  $L 1 = 17.300$  mm であり、 $|R 1| / L 1 = 1.17$  となるため、条件式 (1) 及び (1') を満足する。また、屈折面 5 4 b, 5 5 a について、曲率半径は  $R 1 = -8.087$  mm、開口絞り 3 との光軸 A 上での間隔は  $L 1 = 6.500$  mm であり、 $|R 1| / L 1 = 1.24$  となるため、条件式 (1) 及び (1') を満足する。

#### 【0135】

また、開口絞り 3 と入射瞳との光軸 A 上での間隔は  $L p = 1.93$  mm であり、焦点距離  $f = 15.7$  mm で正規化すると、 $L p / f = 0.12$  となるため、条件式 (5) を満足する。さらに、屈折面 5 4 b, 5 5 a のパワーは  $\phi = -0.021$ 、全系のパワー  $\phi_{tot} = 0.064$  であり、 $\phi / \phi_{tot} = -0.323$  となるため、条件式 (1) を満たす屈折面 5 4 b, 5 5 a は条件式 (7) を満足している。

10

#### 【0136】

なお、本実施例のように、前群 1 及び後群 2 の夫々が条件式 (1) を満足する屈折面を有する構成を採ることにより、球面収差及び軸上色収差の両方を良好に補正することができる。このとき、上述したように、各屈折面の曲率中心が開口絞り 3 の近傍に位置するように構成することが望ましい。さらに、前群 1 における屈折面の曲率中心と後群 2 における屈折面の曲率中心とが、開口面 3 に対して互いに反対側に位置するように構成することが望ましい。具体的には、本実施例のように、物体側に向かって凸形状の屈折面を前群 1 に配置し、物体側に向かって凹形状の屈折面を後群 2 に配置することが望ましい。

20

#### 【0137】

そして、前群 1 に含まれる屈折面の曲率中心と開口絞り 3 との間隔を  $D 1$  (mm)、後群 2 に含まれる屈折面の曲率中心と開口絞り 3 との間隔を  $D 2$  (mm)、とするとき、以下の条件式 (8) を満足することが望ましい。ただし、ここでの「間隔」は、「光路に沿った距離」を示しており、光路に沿って像側に向かうときに正、物体側に向かうときに負、となるものとする。

#### 【0138】

#### 【数 1 1】

$$-0.2 \leq \frac{D1 + D2}{f} \leq 0.2 \quad \dots (8)$$

30

#### 【0139】

条件式 (8) を満足することにより、前群 1 及び後群 2 の夫々が有する屈折面の曲率中心が、開口絞り 3 から等距離に近い位置に配置されることになるため、コマ収差の発生を抑制しつつ、非点収差を良好に補正することができる。本実施例では、前群 1 の屈折面 5 1 a の曲率中心から開口絞り 3 までの距離は  $D 1 = 3.00$  mm、後群 2 の屈折面 5 4 b の曲率中心から開口絞り 3 までの距離は  $D 2 = -1.59$  mm であり、 $(D 1 + D 2) / f = 0.09$  となるため、条件式 (8) を満足する。

#### 【0140】

図 18 は、本実施例に係る光学系 50 のうち、第 4 光学素子 5 4 及び第 5 光学素子 5 5 のみを抽出して示したものである。図 18 に示すように、第 5 光学素子 5 5 は、物体側に向かって凸形状の球面と平面とを含む平凸レンズのうち、他の光学素子と重なる部分及び有効光束が通過しない不要な部分 (破線) がカットされたものである。

40

#### 【0141】

第 4 光学素子 5 4 の第 1 面 5 4 a、第 5 光学素子 5 5 の第 1 面 5 5 a 及び第 2 面 5 5 b の夫々の面頂点は、光軸 A 上に配置されているが、第 5 光学素子 5 5 の第 3 面 5 5 c の面頂点 P 5 は、光軸 A に対して偏心している。そこで、開口絞り 3 と第 2 面 5 5 b との光軸 A 上での間隔を  $L a$  とし、第 3 面 5 5 c における面頂点 P 5 を通る法線 A r 上での、第 2 面 5 5 b と第 3 面 5 5 c との間隔を  $L b$  とするとき、開口絞り 3 と第 3 面 5 5 c との間隔を  $L m = L a + L b$  と定義する。このとき、 $L a = 8.500$  mm、 $L b = 9.800$  mm

50

mであるため、 $L_m = 18.300 \text{ mm}$ となる。

【0142】

そして、第3面55cのベース球面の曲率半径は $R_m = 43.422 \text{ mm}$ であり、 $|R_m| / L_m = 2.37$ となるため、条件式(2)を満足する。また、本実施例では、最も物体側の屈折面51aから後群2で最も強いパワーを有する反射面55cの直前の屈折面55bまでの光学部の焦点距離は $f_f = 62.4 \text{ mm}$ であり、 $|R_m| / f_f = 0.70$ となるため、条件式(3)を満足する。さらに、全系の焦点距離 $f = 15.7 \text{ mm}$ であり、 $f / |R_m| = 0.36$ となるため、条件式(4)を満足する。

【0143】

表10に、本実施例に係る光学系50における、条件式(1)～(5)、(7)、(8)の値を表す。

【0144】

【表10】

表10: 条件式(実施例5)		
条件式(1), (1') $ R  / L$	1173 (面番号1)	1.244 (面番号5)
条件式(2), (2') $ R_m  / L_m$	2.373 (面番号7)	
条件式(3) $ R_m  / f_f$	0.70 (面番号7)	
条件式(4) $f /  R_m $	0.36 (面番号7)	
条件式(5) $L_p / f$	0.12	
条件式(7) $\phi_l / \phi$	-0.323 (面番号5)	
条件式(8) $(D1+D2) / f$	0.09 (面番号1, 5)	

【0145】

上述したように、本実施例に係る光学系50においては、第5光学素子55の第2面55bを光軸Aに対して傾けて配置し、それよりも像側の光学面を垂直断面内において偏心させることで、像面4の位置も垂直断面内において偏心させている。そこで、本実施例では、開口絞り3に楕円形状の開口部を設け、その開口部の長軸が水平断面内に平行となり、かつ開口部の短軸が垂直断面内に平行となるように構成している。すなわち、開口部の長軸が水平方向に一致し、開口部の短軸が垂直方向に一致するように、開口絞り3を配置している。

【0146】

これにより、開口絞り3から後群2において最も強いパワーを有する反射面55cまでの光路を短くしつつ、第5光学素子55の第2面55bで反射した光線の光路が第5光学素子55の第1面55aと干渉しないようにすることができる。開口絞り3から反射面55cまでの光路が長くなると、反射面55cから像面4までの光路が短くなり、像面4の配置が難しくなる。具体的に、本実施例に係る開口絞り3には、水平方向の長軸の長さが $7.6 \text{ mm}$ 、垂直方向の短軸の長さが $3.0 \text{ mm}$ である楕円形状の開口部が設けられている。

【0147】

図19は、光学系50の収差図であり、図19(a)及び図19(b)の夫々は、光学系50の縦収差及び横収差を示している。図19(a)より、C線、d線、F線、g線の各スペクトルに対して、球面収差、非点収差、及び像面湾曲が良好に補正されていることがわかる。また、図19(b)より、各画角における横収差も良好に補正されていること

がわかる。

【0148】

以上、本発明の好ましい実施形態及び実施例について説明したが、本発明はこれらの実施形態及び実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の組合せ、変形及び変更が可能である。

【0149】

上述したように、各実施例における光学系を、そのまま投影装置に適用することができる。その場合、撮像装置における物体側（縮小側）と像側（拡大側）とが反転して光路が逆向きになり、前群1が後群、後2が前群となり、各光学素子の入射面が出射面、出射面が入射面となる。すなわち、物体側に配置された表示素子の表示面（縮小面）に表示される画像を、光学系により像側に配置されたスクリーン等の投影面（拡大面）に投影（結像）させる構成を採ることができる。

10

【0150】

なお、投影光学系においても、撮像光学系と同様に、各実施例における各条件式を満足することが望ましい。このとき、条件式（5）について、撮像光学系における開口絞りの入射瞳（拡大側瞳）は、投影光学系における開口絞りの射出瞳（縮小側瞳）に対応する。

【0151】

〔車載カメラシステム〕

図20は、本実施形態に係る車載カメラ610及びそれを備える車載カメラシステム（運転支援装置）600の構成図である。車載カメラシステム600は、自動車等の車両に設置され、車載カメラ610により取得した車両の周囲の画像情報に基づいて、車両の運転を支援するための装置である。図21は、車載カメラシステム600を備える車両700の概略図である。図21においては、車載カメラ610の撮像範囲650を車両700の前方に設定した場合を示しているが、撮像範囲650を車両700の後方に設定してもよい。

20

【0152】

図20に示すように、車載カメラシステム600は、車載カメラ610と、車両情報取得装置620と、制御装置（ECU：エレクトロニックコントロールユニット）630と、警報装置640と、を備える。また、車載カメラ610は、撮像部601と、画像処理部602と、視差算出部603と、距離算出部604と、衝突判定部605と、を備えている。撮像部601は、上述した何れかの実施例に係る光学系と、撮像面位相差センサと、を有する。なお、本実施形態に係る撮像面位相差センサ及び画像処理部602は、例えば、図9に示した実施例2に係る撮像装置100が備える撮像素子101及び処理部103に対応する。

30

【0153】

図22は、本実施形態に係る車載カメラシステム600の動作例を示すフローチャートである。以下、このフローチャートに沿って、車載カメラシステム600の動作を説明する。

【0154】

まず、ステップS1では、撮像部601を用いて車両の周囲の対象物（被写体）を撮像し、複数の画像データ（視差画像データ）を取得する。

40

【0155】

また、ステップS2では、車両情報取得装置620から車両情報の取得を行う。車両情報とは、車両の車速、ヨーレート、舵角などを含む情報である。

【0156】

ステップS3では、撮像部601により取得された複数の画像データに対して、画像処理部602により画像処理を行う。具体的には、画像データにおけるエッジの量や方向、濃度値などの特徴量を解析する画像特徴解析を行う。ここで、画像特徴解析は、複数の画像データの夫々に対して行ってもよいし、複数の画像データのうち一部の画像データのみに対して行ってもよい。

50

## 【0157】

ステップS4では、撮像部601により取得された複数の画像データ間の視差（像ズレ）情報を、視差算出部603によって算出する。視差情報の算出方法としては、SSDA法や面積相関法などの既知の方法を用いることができるため、本実施形態では説明を省略する。なお、ステップS2、S3、S4は、上記の順番に処理を行ってもよいし、互いに並列して処理を行ってもよい。

## 【0158】

ステップS5では、撮像部601により撮像した対象物までの距離情報を、距離算出部604によって算出する。距離情報は、視差算出部603により算出された視差情報と、撮像部601の内部パラメータ及び外部パラメータと、に基づいて算出することができる。なお、ここでの距離情報とは、対象物までの距離、デフォーカス量、像ズレ量、などの対象物との相対位置に関する情報のことであり、画像内における対象物の距離値を直接的に表すものでも、距離値に対応する情報を間接的に表すものでもよい。

## 【0159】

そして、ステップS6では、距離算出部604により算出された距離情報が予め設定された設定距離の範囲内に含まれるか否かの判定を、衝突判定部605によって行う。これにより、車両の周囲の設定距離内に障害物が存在するか否かを判定し、車両と障害物との衝突可能性を判定することができる。衝突判定部605は、設定距離内に障害物が存在する場合は衝突可能性ありと判定し（ステップS7）、設定距離内に障害物が存在しない場合は衝突可能性なしと判定する（ステップS8）。

## 【0160】

次に、衝突判定部605は、衝突可能性ありと判定した場合（ステップS7）、その判定結果を制御装置630や警報装置640に対して通知する。このとき、制御装置630は、衝突判定部605での判定結果に基づいて車両を制御し、警報装置640は、衝突判定部605での判定結果に基づいて警報を発する。

## 【0161】

例えば、制御装置630は、車両に対して、ブレーキをかける、アクセルを戻す、各輪に制動力を発生させる制御信号を生成してエンジンやモータの出力を抑制する、などの制御を行う。また、警報装置640は、車両のユーザ（運転者）に対して、音等の警報を鳴らす、カーナビゲーションシステムなどの画面に警報情報を表示する、シートベルトやステアリングに振動を与える、などの警告を行う。

## 【0162】

以上、本実施形態に係る車載カメラシステム600によれば、上記の処理により、効果的に障害物の検知を行うことができ、車両と障害物との衝突を回避することが可能になる。特に、上述した各実施例に係る光学系を車載カメラシステム600に適用することで、車載カメラ610の全体を小型化して配置自由度を高めつつ、広画角にわたって高精度な障害物の検知及び衝突判定を行うことが可能になる。

## 【0163】

ここで、本実施形態では、車載カメラ610が撮像面位相差センサを有する撮像部601を1つのみ備える構成について説明したが、これに限られず、車載カメラ610として撮像部を2つ備えるステレオカメラを採用してもよい。この場合、撮像面位相差センサを用いなくても、同期させた2つの撮像部の夫々によって画像データを同時に取得し、その2つの画像データを用いることで、上述したものと同様の処理を行うことができる。ただし、2つの撮像部による撮像時間の差異が既知であれば、2つの撮像部を同期させなくてもよい。

## 【0164】

なお、距離情報の算出については、様々な実施形態が考えられる。一例として、撮像部601が有する撮像素子として、二次元アレイ状に規則的に配列された複数の画素部を有する瞳分割型の撮像素子を採用した場合について説明する。瞳分割型の撮像素子において、1つの画素部は、マイクロレンズと複数の光電変換部とから構成され、光学系の瞳にお

10

20

30

40

50

ける異なる領域を通過する一対の光束を受光し、対をなす画像データを各光電変換部から出力することができる。

#### 【 0 1 6 5 】

そして、対をなす画像データ間の相関演算によって各領域の像ずれ量が算出され、距離算出部 6 0 4 により像ずれ量の分布を表す像ずれマップデータが算出される。あるいは、距離算出部 6 0 4 は、その像ずれ量をさらにデフォーカス量に換算し、デフォーカス量の分布（撮像画像の 2 次元平面上の分布）を表すデフォーカスマップデータを生成してもよい。また、距離算出部 6 0 4 は、デフォーカス量から変換される対象物までの距離の距離マップデータを取得してもよい。

#### 【 0 1 6 6 】

上述したように、各実施例に係る光学系の垂直画角は、光軸 A に対して片側にのみ設定されている。よって、各実施例に係る光学系を車載カメラ 6 1 0 に適用し、その車載カメラ 6 1 0 を車両に設置する場合は、光学系の光軸 A が水平方向に対して非平行となるように配置することが望ましい。例えば、図 1 に示した実施例 1 に係る光学系 1 0 を採用する場合、光軸 A を水平方向（Z 方向）に対して上側に傾け、垂直画角の中心が水平方向に近づくように配置すればよい。あるいは、光学系 1 0 を X 軸周りに 1 8 0 ° 回転（上下反転）させてから、光軸 A が水平方向に対して下側に傾くように配置してもよい。これにより、車載カメラ 6 1 0 の撮像範囲を適切に設定することができる。

#### 【 0 1 6 7 】

ただし、上述したように、光学系においては、軸上での光学性能が最も高く、それに対して周辺画角での光学性能は低下するため、注目する撮像対象物からの光が光学系における軸上付近を通過するように配置することがより好ましい。例えば、車載カメラ 6 1 0 によって道路上の標識や障害物などに注目する必要がある場合は、水平方向に対して上側（空側）よりも下側（地面側）の画角での光学性能を高めることが好ましい。このとき、実施例 1 に係る光学系 1 0 を採用する場合、上述したように光学系 1 0 を一旦上下反転させてから、光軸 A を水平方向に対して下側に傾け、光軸 A の近傍の画角が下側を向くように配置すればよい。

#### 【 0 1 6 8 】

なお、本実施形態では、車載カメラシステム 6 0 0 を運転支援（衝突被害軽減）に適用したが、これに限られず、車載カメラシステム 6 0 0 をクルーズコントロール（全車速追従機能付を含む）や自動運転などに適用してもよい。また、車載カメラシステム 6 0 0 は、自車両等の車両に限らず、例えば、船舶、航空機あるいは産業用ロボットなどの移動体（移動装置）に適用することができる。また、本実施形態に係る車載カメラ 6 1 0、移動体に限らず、高度道路交通システム（ITS）等、広く物体認識を利用する機器に適用することができる。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 1 6 9 】

- 1 前群
- 2 後群
- 3 開口絞り
- 4 像面
- 1 0 光学系
- 1 1 a 屈折面
- 1 2 b 反射面

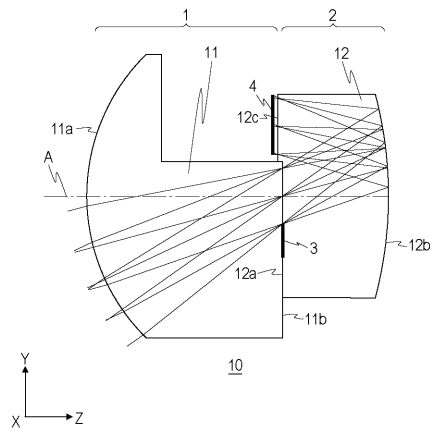
10

20

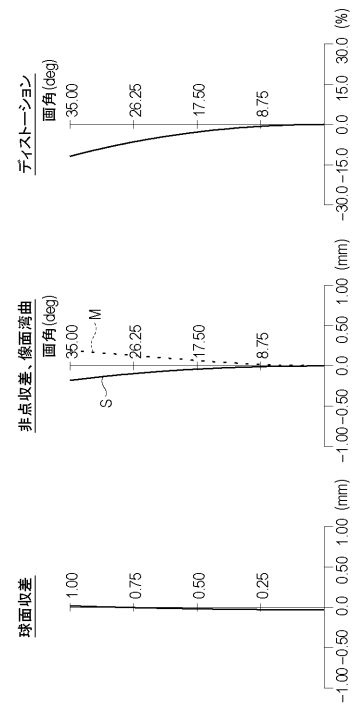
30

40

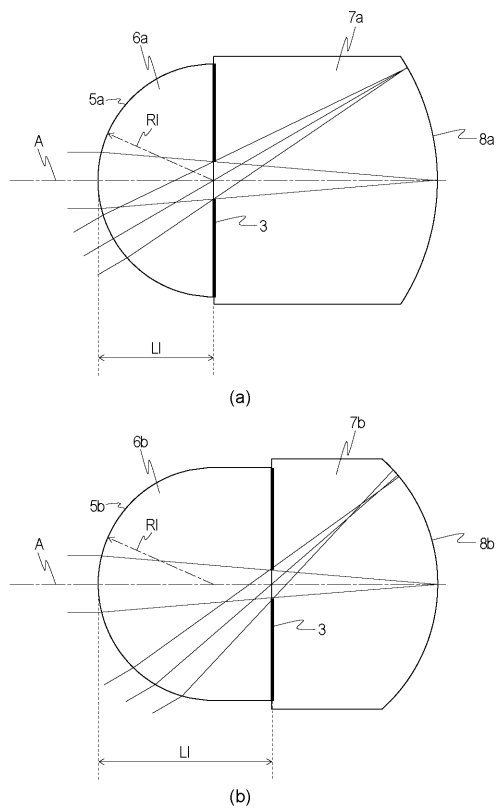
【図 1】



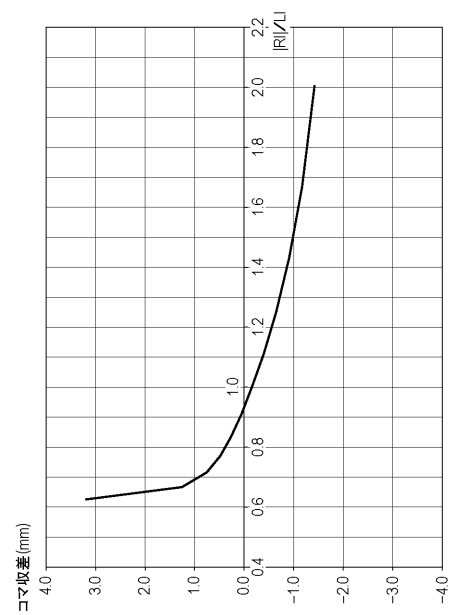
【図 2】



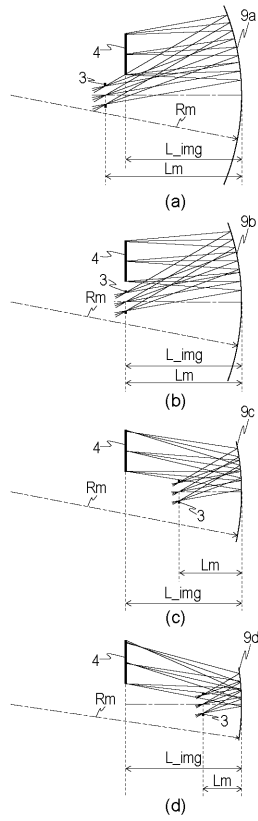
【図 3】



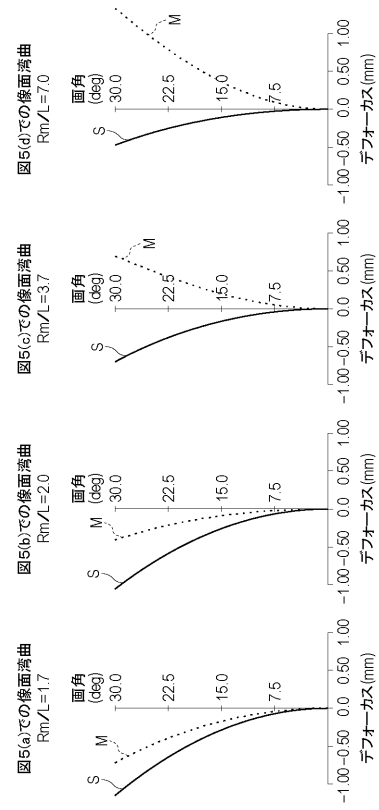
【図 4】



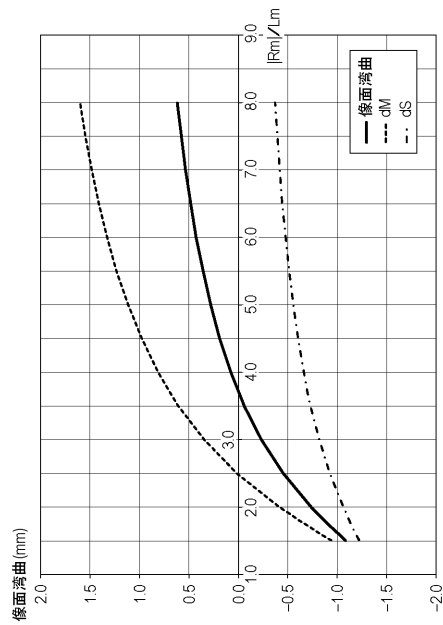
【図 5】



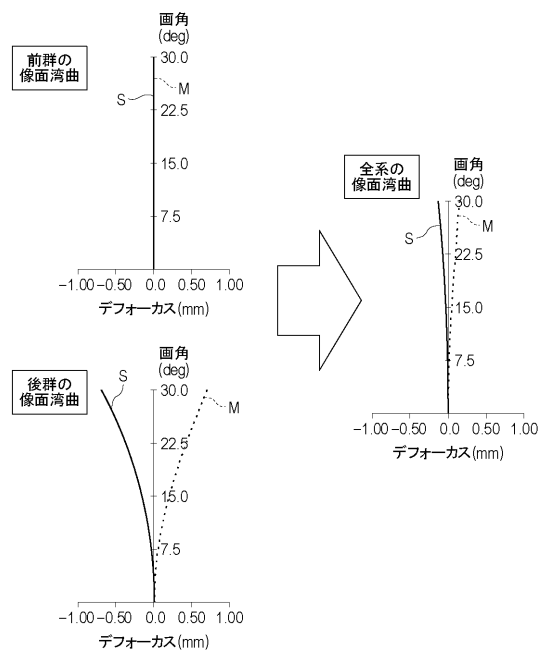
【図 6】



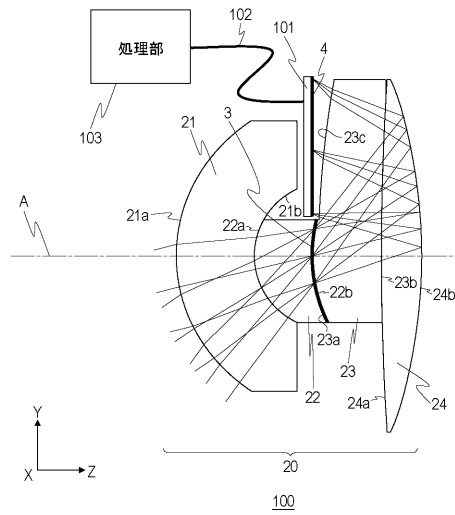
【図 7】



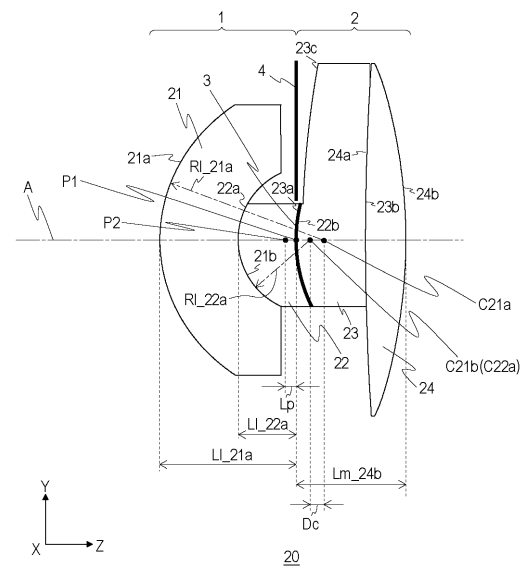
【図 8】



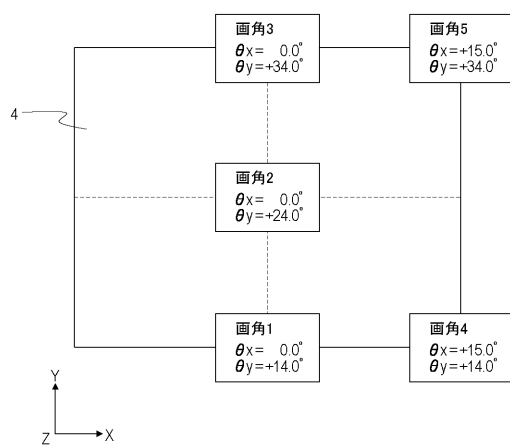
【図 9】



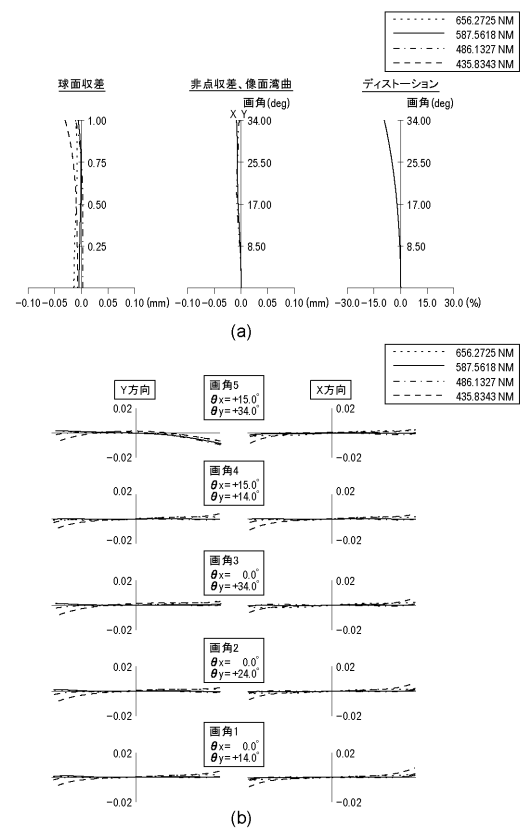
【図 10】



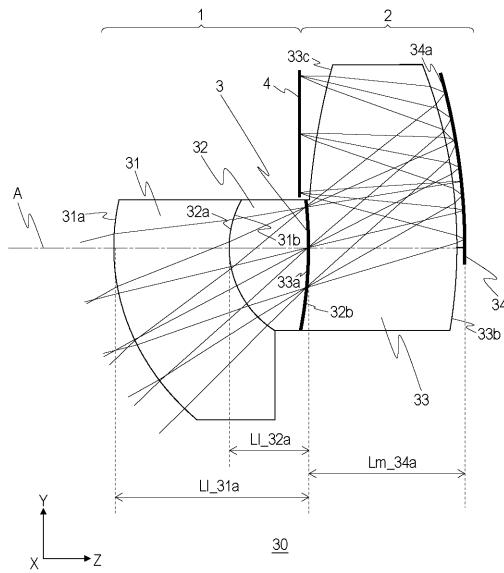
【図 11】



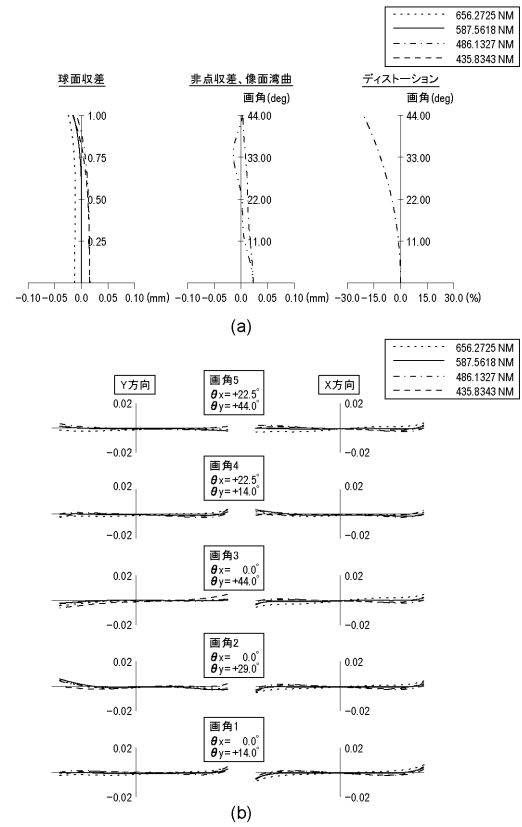
【図 12】



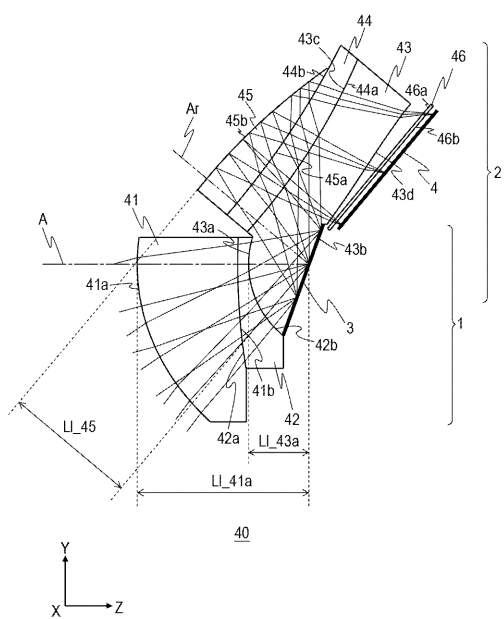
【図 13】



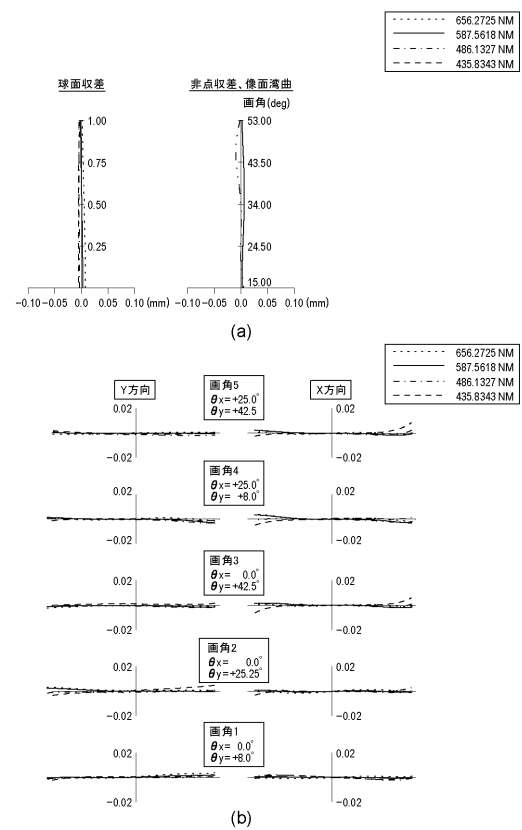
【図 14】



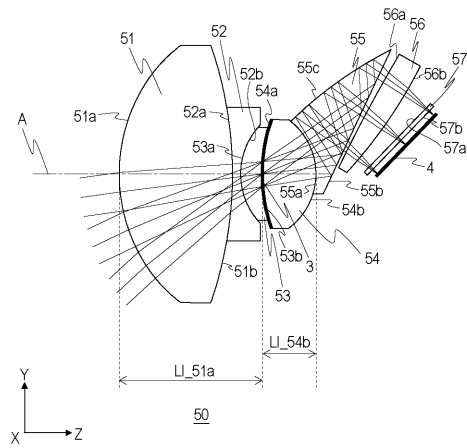
【図 15】



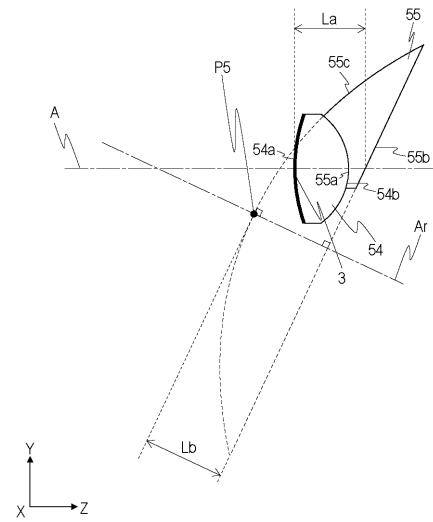
【図 16】



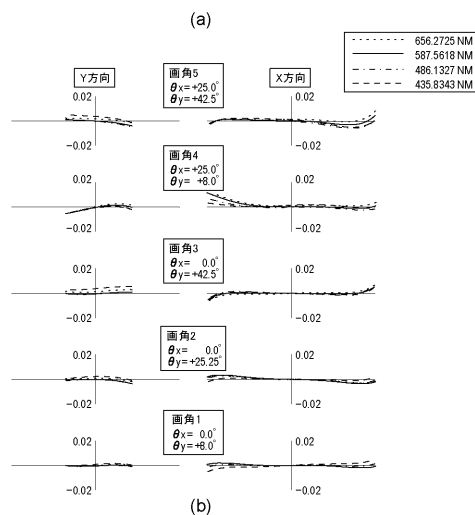
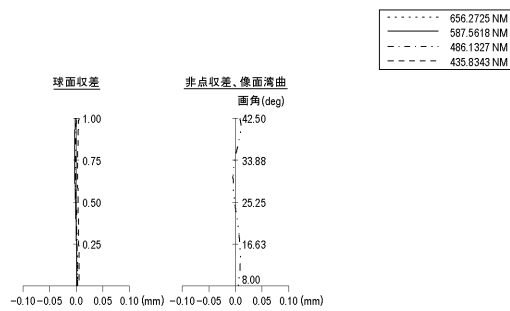
【図 17】



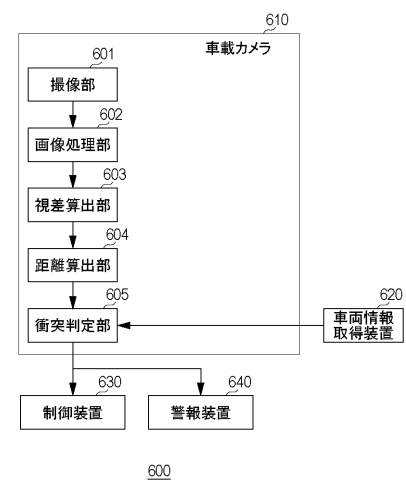
【図 18】



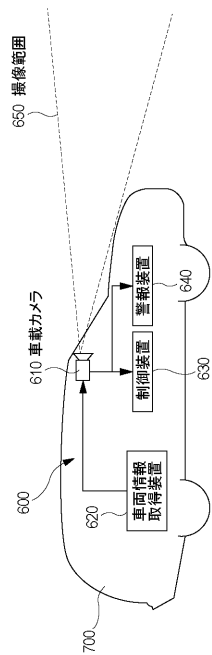
【図 19】



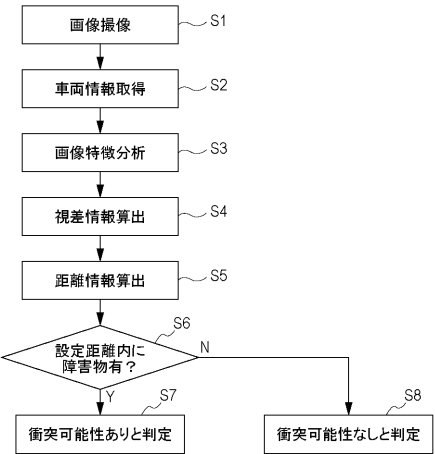
【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 2 B 13/18 (2006.01) H 0 4 N 5/225  
G 0 2 B 13/18

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
G 0 2 B 1 7 / 0 8  
G 0 2 B 1 3 / 1 8