

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5871743号
(P5871743)

(45) 発行日 平成28年3月1日(2016.3.1)

(24) 登録日 平成28年1月22日(2016.1.22)

(51) Int.Cl.

F 1

GO2B 13/00	(2006.01)	GO2B 13/00
GO3B 21/00	(2006.01)	GO3B 21/00
GO3B 21/14	(2006.01)	GO3B 21/14

E
D

請求項の数 20 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2012-169755 (P2012-169755)
(22) 出願日	平成24年7月31日 (2012.7.31)
(65) 公開番号	特開2014-29392 (P2014-29392A)
(43) 公開日	平成26年2月13日 (2014.2.13)
審査請求日	平成27年7月9日 (2015.7.9)

早期審査対象出願

(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人	100126240 弁理士 阿部 琢磨
(74) 代理人	100124442 弁理士 黒岩 創吾
(72) 発明者	猪子 和宏 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 森内 正明	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】結像光学系、及びそれを用いた投射型画像表示装置、撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

拡大側結像面と中間像とを共役にする正の屈折力を有する第1光学系と、前記中間像と縮小側結像面とを共役にする正の屈折力を有する第2光学系とからなり、

前記第1光学系の焦点距離を f_F 、前記第2光学系の焦点距離を f_R とするとき、

$0.0 < f_F / f_R \leq 0.28$

を満足し、

前記第2光学系の最も拡大側に位置するレンズが負レンズであることを特徴とする結像光学系。

【請求項 2】

10

前記負レンズの焦点距離を f_1 、前記第2光学系の焦点距離を f_R とするとき、

$-5.00 < f_1 / f_R < -0.05$

を満足することを特徴とする請求項1に記載の結像光学系。

【請求項 3】

前記負レンズの焦点距離を f_1 、前記第1光学系と前記第2光学系からなる全系の焦点距離を f とするとき、

$-2.00 < f_1 / |f| < 0.0$

を満足することを特徴とする請求項1又は2に記載の結像光学系。

【請求項 4】

前記負レンズの焦点距離を f_1 、前記第1光学系の焦点距離を f_F とするとき、

20

$$-12.0 < f_1 / f_F < 0.0$$

を満足することを特徴とする請求項1乃至3いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項5】

前記負レンズの拡大側の面は縮小側に凸形状であり、

前記負レンズの拡大側の面の曲率半径を r 、前記第1光学系と前記第2光学系からなる全系の焦点距離を f とするとき、

$$-3.0 < r / |f| < -0.1$$

を満足することを特徴とする請求項1乃至4いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項6】

前記負レンズの拡大側の面は縮小側に凸形状であり、

10

前記負レンズの拡大側の面の曲率半径を r 、前記負レンズの屈折率を n 、前記第2光学系において最も大きい面間隔を挟んで拡大側に配置されたレンズあるいはレンズ群の焦点距離を $f_R 1$ とするとき、

$$-1.5 < r / \{ f_R 1 (n - 1) \} < -0.5$$

を満足することを特徴とする請求項1乃至5いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項7】

前記第2光学系の一部をフォーカス群として移動させることで合焦を行うことを特徴とする請求項1乃至6いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項8】

前記フォーカス群の焦点距離を f_f 、前記第1光学系と前記第2光学系からなる全系の焦点距離を f とするとき、

$$1 < |f_f| / |f| < 200$$

を満足することを特徴とする請求項7に記載の結像光学系。

【請求項9】

前記フォーカス群は、前記第2光学系の最も小さい径のレンズを含むことを特徴とする請求項7又は8に記載の結像光学系。

【請求項10】

前記フォーカス群は、無限遠から至近への合焦に際して、縮小側から拡大側に移動することを特徴とする請求項7乃至9いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項11】

30

ズーミングのために、前記第1光学系と前記第2光学系の各々で、少なくとも1つのレンズが移動することを特徴とする請求項1乃至10いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項12】

前記負レンズの拡大側の面には軸外光束の主光線が光軸に近づきながら入射することを特徴とする請求項1乃至11いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項13】

前記負レンズの縮小側に正レンズを有し、

前記負レンズと隣り合う位置に前記正レンズが配置されることを特徴とする請求項1乃至12いずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項14】

40

前記正レンズは、縮小側に凸形状を有するメニスカスレンズであることを特徴とする請求項13に記載の結像光学系。

【請求項15】

前記負レンズの焦点距離を f_1 、前記正レンズの焦点距離を f_2 とするとき、

$$-1.00 < f_1 / f_2 < -0.05$$

を満足することを特徴とする請求項13または14に記載の結像光学系。

【請求項16】

前記結像光学系は、光変調素子からの光を被投射面に投射することにより、画像を投射する投射光学系であることを特徴とする請求項1乃至15いずれか一項に記載の結像光学系。

50

【請求項 17】

光変調素子と、

請求項 16 に記載の結像光学系を有することを特徴とする投射型画像表示装置。

【請求項 18】

前記投射光学系は、投射画像を移動させるため、該投射光学系の光軸に垂直な方向の成分を持つ方向に移動させることができ、

前記投射光学系の移動方向は、前記投射された画像の移動方向とは反対の方向であることを特徴とする請求項 17 に記載の投射型画像表示装置。

【請求項 19】

前記結像光学系は、物体からの光を撮像素子に結像する撮像光学系であることを特徴とする請求項 1 乃至 15 のいずれか一項に記載の結像光学系。 10

【請求項 20】

撮像素子と、

請求項 19 に記載の結像光学系を有することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、撮像レンズやプロジェクター投射レンズなどの結像光学系に関し、特に画角の広い広角レンズに好適な結像レンズに関するものである。 20

【背景技術】**【0002】**

従来、カメラであれば雄大な風景写真を撮影する場合、プロジェクターであればより近い距離で大画面を投射したい場合などには、広い画角を持った広角レンズが用いられている。一般的に、一眼レフカメラや色合成系を有したプロジェクターなど、縮小側結像面から該縮小側結像面に最も近いレンズ端までの距離が長い装置において用いられる広角レンズには、所謂レトロフォーカスタイルのレンズユニットが用いられる。レトロフォーカスタイルとは、絞りよりも拡大側結像面に強い負の屈折力のレンズを配置したレンズユニットである。以下、縮小側結像面側を縮小側、拡大側結像面側を拡大側と記す。

【0003】

しかし、レトロフォーカスタイルのレンズユニットは、広角になればなるほど拡大側のレンズ径が大きくなってしまう。この問題を解決するべく特許文献 1 および特許文献 2 の発明が提案されている。 30

【0004】

特許文献 1 は、物体の中間像をレンズユニット内で形成し、これを像面に再結像する光学系である。ここで混乱を避けるために本明細書では以後、レンズユニット内において中間像が形成されるレンズ内共役点を境に拡大側のレンズユニットを第 1 レンズユニット、縮小側のレンズユニットを第 2 レンズユニットと記す。

【0005】

特許文献 1 のレンズユニットの第 1 レンズユニットは、縮小光学系で物体の縮小像を中間像として形成する。第 2 レンズユニットは、中間像を像面（撮像素子の撮像面）に結像するリレー系となっている。これにより、第 1 レンズユニットのバックフォーカスを短縮し、第 1 レンズユニットの拡大側のレンズ径を小型化している。 40

【0006】

特許文献 2 のレンズユニットは、プロジェクター用の投射レンズであり、光変調素子の像を中間像として形成し、それを拡大して被投射面に投射している。これも、特許文献 1 と同様に第 1 レンズユニットの拡大側のレンズ径を小型化している。

【0007】

特許文献 3 は、広角レンズではないが、中間像を形成する露光装置の投影光学系を開示している。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平04-356008号公報

【特許文献2】特開2005-157153号公報

【特許文献3】特開2001-23887号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、特許文献1のレンズユニットは、所謂、魚眼レンズであり、最終像面において歪曲収差が大きく残存してしまうので、歪曲収差が十分に補正されている必要がある一般的な写真撮影用の広角レンズやプロジェクター用の投射レンズとしては適していない。10

【0010】

一方、特許文献2のレンズユニットは、歪曲収差は補正されているが、レンズ内共役点を境に配置された第1、第2レンズユニットにおいて独立して収差補正がなされているため、拡大側のレンズ径は小型になっているものの、全長が長くなってしまう。すなわち、特許文献1、2はいずれも、歪曲収差の補正と光軸方向の小型化を両立できていない。

【0011】

そこで本発明は、中間像を形成する結像光学系において、歪曲収差を十分に補正しつつも、小型化された結像光学系を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するために、本発明の結像光学系は、

拡大側結像面と中間像を共役にする正の屈折力を有する第1光学系と、前記中間像と縮小側結像面を共役にする正の屈折力を有する第2光学系とからなり、

前記第1光学系の焦点距離を f_F 、前記第2光学系の焦点距離を f_R とするとき、

$$0.0 < f_F / f_R \leq 0.28$$

を満足し、

前記第2光学系の最も拡大側に位置するレンズが負レンズであることを特徴とする。

【0013】

なお、上記結像光学系が一体に設けられた又は取り外し可能に装着される投射型画像表示装置、又は、撮像装置も本発明の他の一側面を構成する。30

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、中間像を形成する結像光学系において、歪曲収差を十分に補正しつつ、小型化された結像光学系、それを用いた投射型画像表示装置、及び撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の第1実施例で示す光学系の断面図

【図2】本発明の第1実施例で示す光学系の縦収差図

40

【図3】本発明の第1実施例で示す光学系内の共役点における縦収差図

【図4】本発明の第1実施例で示す光学系を投射型画像表示装置に用いた場合の断面図

【図5】本発明の第2実施例で示す光学系の断面図

【図6】本発明の第2実施例で示す光学系の縦収差図

【図7】本発明の第3実施例で示す光学系の断面図

【図8】本発明の第3実施例で示す光学系の縦収差図

【図9】本発明の第4実施例で示す光学系の断面図

【図10】本発明の第4実施例で示す光学系の縦収差図

【図11】本発明の第5実施例で示す光学系の断面図

【図12】本発明の第5実施例で示す光学系の縦収差図

50

【発明を実施するための形態】

【0016】

(実施例1)

図1は、本発明の実施例1の結像レンズ(結像光学系)を含む構成の断面図である。これは、主にプロジェクター用(投射型画像表示装置用)に設計された投射光学系である。そして、液晶パネル5(光変調素子)によって変調された光を不図示のスクリーン(被投射面)に投射する広角レンズである。図1の紙面左側が拡大側、紙面右側が縮小側であり、図1の広角レンズは、拡大側より順に、第1レンズユニット1(第1光学系)、第2レンズユニット2(第2光学系)を有する。スクリーン面が拡大側結像面、液晶パネル5が縮小側結像面である。

10

【0017】

本実施例の広角レンズは、全部で20枚のレンズが使用されている。最も縮小側のレンズL20と液晶パネル5との間には、屈折力を持たないプリズムガラス4が配置されている。プリズムガラス4は、プロジェクターにおいて色合成などの用途で必要となる。

【0018】

図1の一点鎖線は、広角レンズの光軸である。光軸上のレンズ内共役点3(中間像点)は、第10レンズL10と第11レンズL11の間に位置している。レンズ内共役点3を境に、第1レンズL1から第10レンズL10までが第1レンズユニット1、第11レンズL11から最終レンズL20までが第2レンズユニット2である。

【0019】

20

第1レンズユニット1は、スクリーン(拡大側結像面)とレンズ内共役点3とを共役な関係とし、第2レンズユニット2は、レンズ内共役点3と液晶パネル5(縮小側結像面)とを共役な関係としている。液晶パネル5を基準とすれば、第1レンズユニット1と第2レンズユニット2は、液晶パネル5とスクリーンとを共役な関係としているので、拡大側結像面は拡大側共役面と言い換えることができる。逆に、スクリーンを基準とすれば、縮小側結像面は縮小側共役面と言い換えることができる。

【0020】

本実施例の数値実施例を下記数値実施例1に記載した。面番号は拡大側より順に各レンズの面に付した番号であり、Rは各レンズ面の曲率半径、dは面間隔、 n_d 、 v_d は、ガラス材料のd線(587.56nm)に対する屈折率およびアッベ数である。面番号の右側に*(アスタリスク)が付記されているレンズ面は、以下の関数に従った非球面形状であることを示し、数値実施例にその係数を示している。yはレンズ面の面頂点を基準としたときの径方向の座標、xはレンズ面の面頂点を基準としたときの光軸方向の座標を示す。物体距離は無限遠方である。

30

$$x = (y^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + K)(y^2 / R^2)\}^{1/2}] + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10} + E y^{12} + F y^{14}$$

なお、以下の数値実施例において、広角レンズ全系の焦点距離を絶対値|f|で示している。これは、レンズユニット内で共役点を形成するため、最終像面における像は正立像になる。このため、全系の焦点距離が定義によっては負の値になる場合がある。しかし、全系の屈折力は正なので、絶対値で焦点距離を表わした。これは、他の実施例に関しても同様である。

40

【0021】

(数値実施例1)

$$|f| = 6.90 = 62.2^\circ \quad F/3.0 \quad \text{有効像円径} \quad 26.2$$

面番号	R	d	nd	vd
OBJ				
1*	63.814	3.92	1.820	42.7
2*	13.659	4.35		
3	16.654	3.61	1.772	49.5

50

4	8.111	5.77						
5	1050.049	1.00	1.805	25.4				
6	13.303	1.48						
7	31.609	1.87	1.772	49.5				
8	-295.242	0.50						
9	31.218	13.76	1.772	49.5				
10	-15.179	0.62						
11	139.551	1.49	1.696	55.5				
12	-15.540	1.24	1.805	25.4				
13	10.662	3.23	1.563	60.6				10
14	-26.383	17.09						
15	38.949	4.50	1.805	25.4				
16	-107.135	0.29						
17	18.445	6.02	1.805	25.4				
18	40.195	19.01						
19	-11.729	1.50	1.834	37.1				
20	-166.339	2.55						
21	-26.706	3.98	1.805	25.4				
22	-20.649	0.50						
23	-77.267	5.00	1.834	37.1				20
24	-20.071	0.50						
25	64.062	2.16	1.834	37.1				
26	2887.146	0.50						
27	25.054	2.97	1.805	25.4				
28	46.969	20.16						
29	-13.250	2.00	1.487	70.2				
30	-10.532	1.87						
31	-10.068	2.26	1.805	25.4				
32	25.857	6.75	1.651	58.5				
33	-27.304	1.27						30
34	-213.988	5.78	1.487	70.2				
35	-29.328	0.50						
36*	-625.000	10.00	1.755	51.1				
37*	-22.190	2.00						
38		30.00	1.516	64.1				
39		19.00	1.805	25.4				
40								
IMG								

面番号	K	A	B	C	D	E	F	40
1 0	6.371e-005	-2.364e-007	5.192e-010	-3.710e-013	-3.717e-016	9.1204e-019		
2 0	1.631e-005	2.296e-007	-5.662e-009	5.797e-012	1.637e-013	-6.2823e-016		
16								
36 0	-2.317e-005	-4.911e-009	6.517e-011	-1.291e-013	-2.623e-016	7.3652e-019		
37 0	1.296e-006	-1.537e-008	8.563e-011	-1.961e-013	2.242e-016	-1.5633e-019		

【 0 0 2 2 】

本実施例の広角レンズの結像性能を示した縦収差図を図 2 に示す。紙面左側からそれぞ

50

れ、球面収差、非点収差、歪曲収差図を示している。球面収差において、実線はd線(587.56nm)、破線はF線(486.13nm)、点線はC線(656.27nm)の収差を示している。横軸のスケールはデフォーカス量であり、-0.15~+0.15 [mm]である。非点収差図において、実線がサジタル像面、点線がメリジオナル像面の像面湾曲を示している。横軸は球面収差と同じである。歪曲収差においては、横軸のスケールが-0.5~+0.5 [%]で示されている。

【0023】

図2に示すとおり、歪曲収差が良好に補正されていることがわかる。さらに、球面収差と非点収差に関しても良好に補正されている。

【0024】

本実施例の広角レンズは、レンズ内共役点3において球面収差、像面湾曲、歪曲収差をあえて残存させている。図3は、本実施例のレンズ内共役点3における縦収差図であり、見方は図2と同じであるが、スケールが異なる。球面収差、非点収差は、横軸のスケールが、-1.0~+1.0 [mm]になっており、歪曲収差は-5.0~+5.0 [%]である。図3から、レンズ内共役点3において大きな像面湾曲、歪曲収差が残存していることが分かる。逆に軸上色収差に関しては過補正になっていることが分かる。

【0025】

リレーレンズユニットである第2レンズユニット2の最も拡大側のレンズを負レンズにすることで、この残存している収差と逆向きの収差を発生させることで収差をキャンセルし、最終像面においては図2に示す良好な結像性能を達成している。また、レンズ内共役点3において像面湾曲、歪曲収差を敢えて残存させることで、第1レンズユニット1において収差補正のためのレンズを設ける必要がないので、少ないレンズ枚数とすることがができる。また、光軸方向の小型化を可能とする。

【0026】

さらに、第1レンズユニット1において、特に負の歪曲収差を残存させることで、歪曲収差を補正するためにレンズ径(レンズの直径)を大きくする必要がないので、拡大側のレンズ径の大幅な小径化を達成することができる。また、最も縮小側のレンズ面と液晶パネル5との間隔を短縮することができる。

【0027】

上記のとおり、本実施例の広角レンズは、第2レンズユニット2によって、レンズ内共役点3に形成された中間像の収差の補正を行う。このとき、広角になればなるほど、負の歪曲収差が大きく発生し、特に高い像高になるほど図3に示したように高次の負の歪曲収差が発生する。よって、第2レンズユニット2は、正の歪曲収差を強く発生させなければならない。

【0028】

そこで本発明の結像レンズは、より広角となっても、あるいは、高い像高においても上記効果を得るために、第2レンズユニット2の最もレンズ内共役点3側(拡大側)の負レンズの拡大側の第1屈折面sfに強い負の屈折力を有する面を配した。この強い負の屈折力を有する面は、第1レンズユニット1で大きく内側に曲げられた光線を大きく外側に曲げる(はね上げる)作用があり、特に高い像高の光線に対しては、強く外側に曲げる作用があるので、高次の正の歪曲収差を発生させることができる。

【0029】

つまり、物体の中間像を形成する正の屈折力を有する第1光学系と、中間像を像面に結像する正の屈折力を有する第2光学系とからなる。そして、第2光学系の最も拡大側に位置するレンズが負レンズであることで、歪曲収差を十分に補正しつつも、小型化された結像レンズを提供することができる。

【0030】

また、本実施例の広角レンズは、第1レンズユニット1の焦点距離をfF、第2レンズユニット2の焦点距離をfRとするとき、

$$0.0 < fF / fR < 0.8 \quad \dots \quad (A1)$$

を満足する。

【0031】

より好ましくは、条件式(A1)に代えて、

$$0.0 < f_F / f_R < 0.5 \quad \dots \quad (A2)$$

を満足するとよい。

【0032】

ここで、上記第1屈折面 s_f は、下式のいずれかを満足するのが好ましい。

$$\begin{aligned} -5.00 &< f_1 / f_R < -0.05 & \dots & (1a) \\ -2.00 &< f_1 / |f| < 0.0 & \dots & (2a) \\ -1.20 &< f_1 / f_F < 0.0 & \dots & (3a) \\ -3.0 &< r / |f| < -0.1 & \dots & (4a) \\ -1.5 &< r / \{ f_R 1 (n-1) \} < -0.5 & \dots & (5a) \end{aligned}$$

【0033】

式1aは、第2レンズユニット2の最も拡大側に配置された負レンズ L_{11} の焦点距離 f_1 と、第2レンズユニット2の焦点距離 f_R の比である。

【0034】

式2aは、上記焦点距離 f_1 と広角レンズの全系（第1レンズユニット1と第2レンズユニット2からなる全系）の焦点距離 f の比である。

【0035】

式3aは、上記焦点距離 f_1 と第1レンズユニット1の焦点距離 f_F の比である。

【0036】

式4aは、第2レンズユニット2の最も拡大側に配置された負レンズ L_{11} の拡大側の第1屈折面 s_f の曲率半径 r と広角レンズ全系の焦点距離 f の比である。

【0037】

式5aは、第2レンズユニット2の第1屈折面 s_f の屈折力 $r / (n-1)$ と第2レンズユニットの第1群の焦点距離 $f_R 1$ の比である。ここで、第2レンズユニット2の第1群とは、第2レンズユニット2において最も大きいレンズ面間隔を挟んで拡大側に配置されたレンズあるいはレンズ群である。

【0038】

式1aから式5aまでの数値範囲において、下限値を下回る、あるいは、上限値を上回ってしまうと歪曲収差を高次まで含めて適正に補正できない。

【0039】

上記式1a～式5aに代えて、下式のいずれかを満足することが好ましい。

$$\begin{aligned} -3.00 &< f_1 / f_R < -0.10 & \dots & (1b) \\ -1.00 &< f_1 / |f| < -1.0 & \dots & (2b) \\ -9.0 &< f_1 / f_F < -2.0 & \dots & (3b) \\ -2.0 &< r / |f| < -0.5 & \dots & (4b) \\ -1.4 &< r / \{ f_R 1 (n-1) \} < -0.6 & \dots & (5b) \end{aligned}$$

各実施例における上記数値の値は、条件式数値表にまとめて記載した。

【0040】

さらに好ましくは、軸外の主光線が光軸に近づきながら第1屈折面 s_f に入射するように設定されていると良い。これによって、より効果的に高次の正の歪曲収差を発生させるとともに、第2レンズユニット2の拡大側のレンズの径が大きくなってしまうことを抑制することができる。

【0041】

さらに、第1屈折面 s_f を有する負レンズ L_{11} の縮小側に、他の負レンズを挟まずに、正レンズ L_{12} を配置し、正レンズ L_{12} が縮小側に凸形状を有するメニスカスレンズであるとよい。これにより、第1屈折面 s_f で発生させた歪曲収差を残存させつつ、発散した光線を収束させる方向に戻すことができる。

【0042】

10

20

30

40

50

さらに好ましくは、特に広角度合いの大きい結像レンズにおいて（実施例 1 から実施例 3）、屈折面 s_f を有する負レンズ L_{11} の焦点距離を f_1 、正レンズ L_{12} の焦点距離を f_2 とするとき、式 6 a を満足するのがよい。

$$-1.00 < f_1 / f_2 < -0.05 \quad \dots \quad (6a)$$

【0043】

さらに好ましくは式 6 a に代えて、式 6 b を満足するのがよい。

$$-0.80 < f_1 / f_2 < -0.10 \quad \dots \quad (6b)$$

【0044】

式 6 a、式 6 b において上限値を上回ると負レンズ L_{11} の焦点距離に対する正レンズ L_{12} の焦点距離が大きくなりすぎる（負レンズに対する正レンズの屈折力が弱まる）ため、正レンズ L_{12} の光線を収束させる効果が得られない。一方で、式 6 a、式 6 b において下限値を下回ると、負レンズ L_{11} で意図的に発生させた歪曲収差の効果が得られない。

10

【0045】

各実施例における上記数値の値は、条件式数値表にまとめて記載した。

【0046】

さらに好ましくは、収差補正効果がより得られるので、屈折面 s_f を有する負レンズ L_{11} の縮小側の面と正レンズ L_{12} の拡大側の面の間隔が空気間隔であるとよい。即ち、負レンズ L_{11} と正レンズ L_{12} が隣り合うことが好ましい。

20

【0047】

さらに好ましくは、第 2 レンズユニット 2 は、できるだけ等倍に近い倍率であることが好ましい。なぜなら、等倍であれば、絞り、あるいは実質的に絞りとして機能するレンズのコバ部の拡大側、縮小側で軸外主光線の通り方が対象になるため、コマ収差、像面湾曲などの軸外収差の補正が容易になるからである。

【0048】

また本実施例においては、第 1 レンズユニット 1 に 3 枚のレンズ L_6 、 L_7 、 L_8 を接合した接合レンズ S_{L1} を配置している。2 回結像するレンズユニットでは、軸上色収差が 1 回のみ結像するレンズユニットと比べると大きく発生する。これを解決するために、上記のとおり拡大側から順に正、負、正の 3 枚接合レンズを用いることは、軸上色収差を低減する上で非常に効果的である。

30

【0049】

本実施例のように第 1 レンズユニットに 3 枚接合レンズを用いる場合は、負レンズ L_7 を高分散ガラス、正レンズ L_6 、 L_8 を低分散ガラスとするのがよい。接合レンズ S_{L1} において、負レンズ L_7 のガラス材料に正レンズ L_6 、 L_8 よりも低いアッペ数（高い分散）のガラス材料が用いられている。これにより、軸上色収差を良好に低減することができる。

【0050】

図 4 は、本実施例の広角レンズを投射型画像表示装置の投射レンズ P_L として用いた場合において、スクリーンに投射される投射像 47（投射画像）をシフト（移動）させる際の説明図である。投射型画像表示装置は、スクリーンに投射された投射像 47 の投射位置を動かすために、投射レンズ P_L を投射レンズの光軸と垂直な成分をもつ方向に移動させる駆動手段（不図示）を有する。スクリーンに投射される投射像 47 をシフトさせるためには、第 1 レンズユニット 1 または第 2 レンズユニット 2 を単独で移動させるのではなく、レンズ系全体をシフトさせる。また、投射レンズ P_L の移動方向は、投射像の移動方向とは反対の方向である。これにより、適切に投射像をシフトさせることができる。これは、液晶パネル 46（光変調素子）のシフト方向を、投射像 47 のシフト方向と同じにすると言い換えることもできる。

40

【0051】

（実施例 2）

図 5 は本発明の第 2 の実施例の広角レンズの構成断面図である。一眼レフカメラなどの

50

撮像装置の撮像レンズ（撮像光学系）としての使用を想定した設計になっている。第1レンズユニット1は、第1レンズL1から第11レンズL11で構成されており、第2レンズユニット2は、第12レンズL12から最終レンズL20で構成されている。実施例2において実施例1の負レンズL11に相当するレンズは、レンズL12である。

【0052】

図2の紙面左側が拡大側、紙面右側が縮小側であり、図2の広角レンズは、拡大側より順に、第1レンズユニット1（第1光学系）、第2レンズユニット2（第2光学系）を有する。物体面が拡大側結像面、像面が縮小側結像面である。

【0053】

撮像装置は撮像素子を有し、撮像装置における像面とは、被写体（物体）からの光を広角レンズを介して受光し、該受光した光を光電変換することにより画像を生成する撮像素子の撮像面である。

【0054】

第1レンズユニット1は、物体面とレンズ内共役点3とを共役な関係とし、第2レンズユニット2は、レンズ内共役点3と撮像素子とを共役な関係としている。

【0055】

また、撮像装置のバックフォーカスの領域は、実施例1と異なり、跳ね上げミラーの可動領域であり、プリズムガラスは配置されない。数値実施例2に本実施例の数値実施例を記載する。物体距離は無限遠方である。

【0056】

実施例2の撮像レンズも、実施例1において記載した条件式（A1）を満足し、第2レンズユニットの最も拡大側に位置するレンズを負レンズとすることで、歪曲収差を十分に補正しつつも、小型化された撮像レンズを提供することができる。

【0057】

さらに、実施例2の撮像レンズも、実施例1に記載したより好ましい条件式を満足することで、実施例1の各条件式において記載した効果と同様の効果を得ることができる。

【0058】

（数値実施例2）

| f | = 10 = 65.2° F/3.0 有効像円径 43.28

	R	d	nd	vd
--	---	---	----	----

OBJ

1*	82.062	6.54	1.820	42.7
2*	25.431	8.37		
3	34.122	6.50	1.834	42.7
4	9.881	7.99		
5	-281.802	1.65	1.583	59.3
6	21.303	1.72		
7	141.145	6.25	1.805	25.4
8	-51.360	5.59		
9	-53.433	3.62	1.696	55.5
10	-15.998	0.50		
11	62.078	3.46	1.677	55.3
12	-13.466	1.65	1.805	25.4
13	15.441	3.88	1.563	60.6
14	-29.361	13.34		
15	29.411	8.28	1.696	55.5
16	-47.572	0.20		
17	15.310	7.16	1.808	22.7
18	117.677	1.14		
19	-96.471	4.69	1.805	25.4

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

本実施例の結像性能を示した縦収差図を図 6 に図示する。実施例 1 と同様に、非常に広角ながら高性能が達成できている。

〔 0 0 6 0 〕

(实施例 3)

図7は本発明の第3の実施例の広角レンズの構成断面図である。本実施例は画角を少し抑えた代わりにFナンバーを明るくし、バックフォーカスを長くした構成となっている。数値実施例3に本実施例の数値実施例を記載する。物体距離は無限遠方である。

【 0 0 6 1 】

実施例3において実施例1における負レンズL11に相当するレンズは、レンズL9である。

【 0 0 6 2 】

実施例3の広角レンズも、実施例1において記載した条件式(A1)を満足し、第2レンズユニットの最も拡大側に位置するレンズを負レンズとして、歪曲収差を十分に補正しつつも、小型化された撮像レンズを提供することができる。

【 0 0 6 3 】

さらに、実施例3の広角レンズも、実施例1に記載したより好ましい条件式を満足することで、実施例1の各条件式において記載した効果と同様の効果を得ることができる。

【 0 0 6 4 】

(数值实施例 3)

| f | = 12.4 mm = 37.2 ° F/2.0 有効像円径 18.8 mm

R d nd vd

OBJ

1*	23.948	4.85	1.693	53.2		
2*	7.010	3.30				
3	13.156	2.21	1.805	25.4		
4	24.194	1.38				
5	-227.645	6.00	1.688	31.0		
6	10.261	4.33	1.788	47.3		
7	-18.411	9.56				
8	-11.847	1.48	1.805	25.4		
9	708.273	1.90				10
10	-22.312	3.73	1.772	49.5		
11	-12.013	0.50				
12	-81.905	3.83	1.772	49.5		
13	-22.103	0.50				
14	55.880	3.97	1.696	55.5		
15	-69.760	35.78				
16	-13.289	7.00	1.772	49.5		
17	-19.179	1.23				
18	-67.392	5.14	1.696	55.5		
19	-29.305	0.50				20
20	26.402	6.13	1.834	42.7		
21	78.428	28.29				
22	-12.813	4.78	1.805	25.4		
23	107.016	0.85				
24	-53.535	3.24	1.805	25.4		
25	29.655	7.80	1.487	70.2		
26	-9.547	1.10	1.755	27.5		
27	-17.122	0.50				
28	-80.069	4.88	1.595	67.7		
29	-17.861	2.49				30
30	46.209	3.72	1.808	22.7		
31	-148.016	1.50				
32		31.74	1.516	64.1		
33		7.50	1.516	64.1		
34		19.50	1.805	25.4		
35						
IMG						

面番号	K	A	B	C	D	E	
1	-5.609e+000	3.441e-005	-3.798e-007	9.898e-010	-6.188e-012	1.010e-014	40
2	-4.544e-001	8.402e-005	-1.196e-007	-1.241e-008	4.265e-010	-9.531e-012	

【0065】

本実施例の結像性能を示した縦収差図を図8に図示する。

【0066】

本実施例においては第2レンズユニットに3枚接合のレンズSL2を配置している。この3枚接合レンズSL2は、低分散の負レンズを高分散の正レンズで挟んだ構成になっており、強い色消し効果を有している。さらには、3枚接合レンズSL2は、拡大側から順に、両側凹面の負レンズ、両側凸面の正レンズ、拡大側に凹面を向けた負メニスカスレンズで構成されていることが好ましい。

【0067】

(実施例4)

図9は本発明の第4実施例の広角レンズの構成断面図である。実施例1と異なる点は、第2レンズユニット2の拡大側から6つめの第6レンズ91をフォーカスレンズとして移動させて合焦を行っている点である。第6レンズ91は、弱い負の屈折力を持ち、遠方から至近に合焦する際に縮小側から拡大側に光軸に沿って移動する。合焦を行うために移動するフォーカスレンズは、単レンズであってもよいし、複数のレンズを有するレンズ群(フォーカス群)であってもよい。

【0068】

数値実施例4に本実施例の数値実施例を記載する。面間隔の数値にzが付けられているものは、物体距離が変化するのに応じて面間隔が変化することを示している。数値実施例の最後に物体距離の変化したときの面間隔の数値が記載されている。 10

【0069】

実施例4において実施例1の負レンズL11に相当するレンズは、レンズL11である。 11

【0070】

実施例4の広角レンズも、実施例1において記載した条件式(A1)を満足し、第2レンズユニットの最も拡大側に位置するレンズを負レンズとすることで、歪曲収差を十分に補正しつつも、小型化された撮像レンズを提供することができる。 12

【0071】

さらに、実施例4の広角レンズも、実施例1に記載したより好ましい条件式を満足することで、実施例1の各条件式において記載した効果と同様の効果を得ることができる。 13

【0072】

(数値実施例4)

|f|=6.89 = 62.1° F/3.0 有効像円径 26.2

	R	d	nd	vd
OBJ		667.00z		
1*	83.035	3.33	1.768	49.2
2*	13.997	4.90		
3	18.992	3.23	1.799	29.8
4	8.723	5.55		
5	-237.318	1.01	1.784	26.2
6	14.347	1.41		
7	41.907	1.70	1.772	49.5
8	-726.137	0.50		
9	28.677	12.60	1.772	49.5
10	-15.734	1.56		
11	79.794	1.61	1.696	55.5
12	-10.728	1.00	1.805	25.4
13	10.306	1.94	1.563	60.6
14	-34.894	11.00		
15	-184.875	2.53	1.799	29.8
16	-28.022	0.20		
17	20.765	4.02	1.805	25.4
18	390.472	7.06		
19		9.19		
20	-12.985	1.50	1.805	25.4
21	-99.493	5.10		
22	-17.029	5.07	1.805	25.4
23	-15.357	0.50		

20

30

40

50

24	457.856	6.09	1.772	49.5		
25	-35.370	1.52				
26	944.629	2.95	1.805	25.4		
27	-75.396	0.50				
28	62.959	3.27	1.805	25.4		
29	1070.925	23.01				
30		3.66z				
31	-87.951	1.00	1.487	70.2		
32	-162.164	7.82z				
33	-12.686	2.36	1.799	29.8		10
34	39.274	5.46	1.772	49.5		
35	-31.754	0.50				
36	67.885	7.51	1.496	81.5		
37	-32.069	0.50				
38*	-625.000	7.32	1.677	54.8		
39*	-22.773	2.00				
40		30.00	1.516	64.1		
41		19.00	1.805	25.4		
42						
IMG						20

面番号	K	A	B	C	D	E	F
1	0	6.893e-005	-2.472e-007	5.381e-010	-3.802e-013	-4.379e-016	7.3562e-019
2	0	1.807e-006	3.830e-007	-5.955e-009	3.466e-012	1.604e-013	-5.7934e-016
38	0	-1.890e-005	-1.774e-008	2.406e-011	-2.501e-014	7.008e-017	0
39	0	7.924e-006	-2.017e-008	7.022e-011	-1.408e-013	3.292e-016	0

	至近	中間	遠方	
OBJ	667.00	400.00	1000.00	
d30	3.66	9.39	0.85	
d32	7.82	2.10	10.64	

【 0 0 7 3 】

本実施例のように非常に広角なレンズでは、被写体距離（物体距離）、投射レンズの場合は投射距離に応じて光線の通り方が大きく変化するため合焦（フォーカシング）に伴う諸収差の変動が問題となる。収差の変動をできるだけ抑えて合焦するためには、複数のレンズユニットを合焦の際に動かす所謂フローティングを行わなければならないが、それでも収差の変動を抑えきれないという課題があった。

【 0 0 7 4 】

本発明のレンズ内共役点3を形成するタイプのレンズにおける合焦を検討したところ、第1レンズユニット全体または第2レンズユニット全体を移動させる方法は収差変動が大きかった。このタイプのレンズは、第1レンズユニット1、第2レンズユニット2で互いに逆方向に収差を発生させ、収差補正を行っているため、各々が個別に移動すると収差の変動が抑えられない。一方、第1レンズユニット1は、レトロフォーカスタイルのレンズユニットなので、上述のフローティングと呼ばれる複数群を同時移動させる方法を用いることで収差変動をある程度抑えられる。しかし、歪曲収差は変動してしまうので、本発明の課題である歪曲収差の十分な補正が行えない。

【 0 0 7 5 】

よって、本実施例のように、第2レンズユニット2の一部のレンズを移動させて合焦を行う方法は、効果的に歪曲収差を含む収差の変動が抑えられ。特に第2レンズユニット2において、全像高の光線の高さが最も低くなる付近で弱い屈折力を有するレンズを移動させることができが好ましい。これは、光線の高さが低い位置のレンズを移動させることで、移動に伴う軸外諸収差の変動が抑えられるからである。これにより像面湾曲や歪曲収差の変動をほぼゼロまで抑えることができた。即ち、第2レンズユニット2の一部のレンズを移動させて合焦を行うことで、合焦に伴う収差変動を大きく改善することができた。

【0076】

ここで、フォーカスレンズ（複数枚の場合はフォーカスレンズ群全系）の焦点距離を f_f としたとき、下式を満足すると良い。

$$1 < |f_f| / f < 200 \quad \dots (7a)$$

式7aは、より好ましくは下式を満足するとよい。

$$20 < |f_f| / f < 100 \quad \dots (7b)$$

【0077】

式7a、式7bにおいて、数値範囲の下限を下回ると、フォーカスレンズの屈折力が強くなるため収差変動が抑えにくくなる。上限を超えると逆に屈折力が弱くなるため、合焦時の移動量が大きくなり、レンズの大型化を招いてしまう。本実施例におけるフォーカスレンズの焦点距離 f は、-394.8 [mm]であり、 $|f_f| / f = 57.3$ である。

【0078】

本実施例の結像性能を示した縦収差図を図10に図示する。至近から遠方まで全ての収差変動が極小に抑えられていることがわかる。本実施例においては、単一のフォーカスレンズを移動させる例を説明したが、これに限らず、複数のレンズからなるフォーカスレンズ群を動かしてもよい。この場合、本実施例における説明のフォーカスレンズをフォーカスレンズ群とすれば、本実施例と同様の効果を得ることができる。

【0079】

（実施例5）

図11は本発明の第5実施例の広角レンズの構成断面図である。本実施例において実施例3と異なる点は、ズームレンズであって、ズーミングの際に互いの間隔を変えながら移動するレンズ群が5つある、所謂、5群構成とした点である。本実施例では、ズーミングのためには、第1レンズ群B1と第5レンズ群B5は固定であり、ズーミングのために移動する第2レンズ群B2、第3レンズ群B3、第4レンズ群B4を有する。

【0080】

数値実施例5に本実施例の数値実施例を記載する。面間隔に z を付記されているものはズームに応じて変化する間隔であり、数値実施例の最後にズームに応じた面間隔の数値が記載されている

実施例5において実施例1の負レンズL11に相当するレンズは、レンズL9である。

【0081】

実施例5の広角レンズも、実施例1において記載した条件式（A1）を満足し、第2レンズユニットの最も拡大側に位置するレンズを負レンズとして、歪曲収差を十分に補正しつつも、小型化された撮像レンズを提供することができる。

【0082】

さらに、実施例5の広角レンズも、実施例1に記載したより好ましい条件式を満足することで、実施例1の各条件式において記載した効果と同様の効果を得ることができる。

【0083】

（数値実施例5）

$|f| = 12.5 \sim 13.9 \quad = 37 \sim 34^\circ \quad F/2.0 \sim 2.1 \quad$ 有効像円径 18.8

R d nd vd

OBJ

1* 11.731 2.38 1.677 54.8

10

20

30

40

50

2*	6.147	5.37				
3	16.570	5.21	1.799	29.8		
4	130.697	1.42				
5	-39.422	6.00	1.612	37.0		
6	11.401	5.65	1.772	49.5		
7	-28.798	2.24z				
8		1.47				
9		4.47				
10	-9.175	1.86	1.698	30.1		
11	-236.127	1.49				10
12	-28.694	4.52	1.772	49.5		
13	-11.784	0.50				
14	-150.946	4.33	1.772	49.5		
15	-23.677	1.63z				
16	44.020	4.01	1.696	55.5		
17	-154.312	12.60				
18		15.55				
19		8.78				
20	-12.964	6.30	1.805	25.4		
21	-20.184	0.50				20
22	-79.437	6.31	1.772	49.5		
23	-26.803	5.84z				
24	25.089	5.79	1.733	51.4		
25	94.021	11.28				
26		11.15				
27	-17.106	4.02	1.805	25.4		
28	39.895	1.07				
29	-51.285	6.30	1.799	29.8		
30	23.544	7.78	1.487	70.2		
31	-10.252	1.60	1.761	26.5		30
32	-16.281	3.53				
33	-576.999	5.72	1.595	67.7		
34	-21.736	0.50z				
35	33.403	2.85	1.808	22.7		
36	73.744	3.00				
37		31.74	1.516	64.1		
38		7.50	1.516	64.1		
39		19.50	1.805	25.4		
40						
IMG						40

面番号	K	A	B	C	D	E
1	-2.685e+000	-2.336e-005	-1.960e-007	3.509e-009	-2.113e-011	4.005e-0
14						
2	-7.281e-001	-1.890e-004	-4.630e-010	-1.110e-009	7.618e-011	-9.632e-
013						

	広角端	望遠端	
d 7	2.24	4.27	
d15	1.63	0.50	50

d23	5.84	0.50
d34	0.50	4.93

【 0 0 8 4 】

本発明のレンズ内共役点3を形成するレンズタイプでは、実施例4でも述べたとおり、レンズ内共役点3の前後の光学系で収差が相殺関係にある。このため、変倍に際して一方の光学系のみ移動させると収差のバランスが変化するため、収差変動が大きくなる。このため、本実施例では第2レンズ群B2と第3レンズ群B3を同時に移動させることで収差のバランスを維持しているのである。さらに第3レンズ群B3を移動させているのは、第3レンズ群B3に変倍に伴う像面位置の変動を抑える機能を持たせているためで、変倍の機能は主に第2レンズ群B2、第4レンズ群B4が行っている。 10

【 0 0 8 5 】

本実施例の結像性能を示した縦収差図を図12に図示する。変倍しても基本的な像性能は維持されていることが分かる。

【 0 0 8 6 】

最後に以上のすべての実施例の数値条件式の値を記載する。条件式6に関して、実施例4と実施例5は広角度合いが小さいため記載していない。

【 0 0 8 7 】

【表1】

(条件式数値表)

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	
					広角端	望遠端
全系の焦点距離 $ f $	6.9	10	12.4	6.89	12.5	13.9
第1レンズユニットの焦点距離 ff	6.09	4.43	15.20	5.28	15.63	16.5
第2レンズユニットの焦点距離 fR	46.3	16.1	217.5	113.4	117.5	112.6
第2レンズユニット 第1レンズの 焦点距離 fR_g1	-15.1	-19.2	-116	-18.5	-73.3	-73.3
第2レンズユニット 第1群の 焦点距離 fR_b1	18.5	13.5	25.7	19.0	24.7	23.8
第2レンズユニット 第1面の曲率半径 r	-11.7	-13.4	-13.3	-13.0	-13.0	-13.0
第2レンズユニット 第1レンズの屈折率 n	1.834	1.738	1.773	1.805	1.805	1.805
(条件式1) ff_g1/f	-2.190	-1.916	-9.357	-2.692	-5.861	-5.271
(条件式2) ff_g1/fF	-2.480	-4.329	-7.634	-3.509	-4.689	-4.440
(条件式3) ff_g1/fR	-0.327	-1.191	-0.533	-0.164	-0.623	-0.650
(条件式4) r/f	-1.700	-1.343	-1.072	-1.885	-1.037	-0.933
(条件式5) $r/fR_b1(n-1)$	-0.759	-1.351	-0.669	-0.849	-0.652	-0.676
(条件式6) fR_g1/fR_g2	-0.174	-0.247	-1.65	-0.227	-1.48	-1.48
(条件式7) $ ffo/f $				57.3		
(条件式A) ff/fR	0.13	0.28	0.070	0.047	0.13	0.15

【0088】

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

【符号の説明】

【0089】

- 1 第1レンズユニット
- 2 第2レンズユニット
- 3 レンズ内共役点
- L 1 1 負レンズ

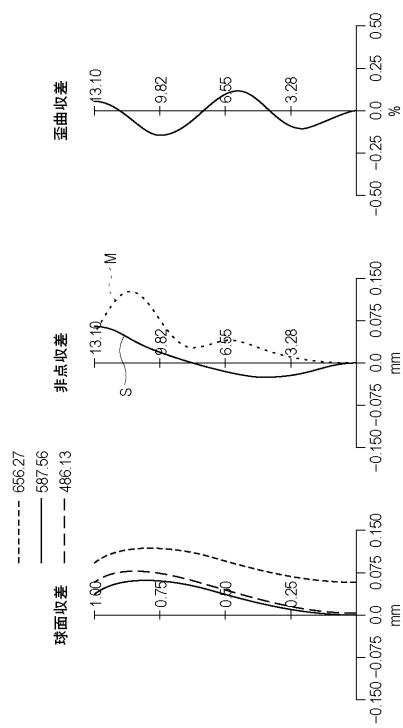
10

20

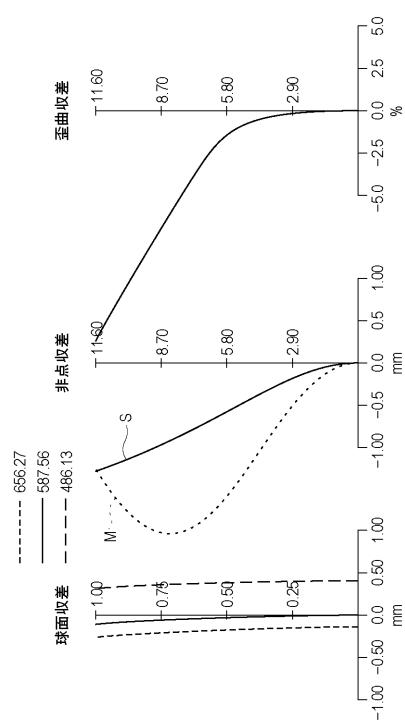
30

40

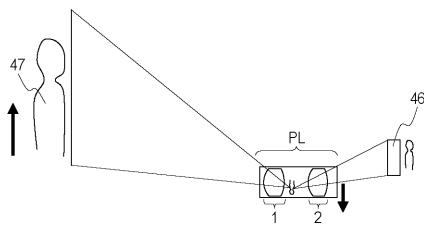
【図2】



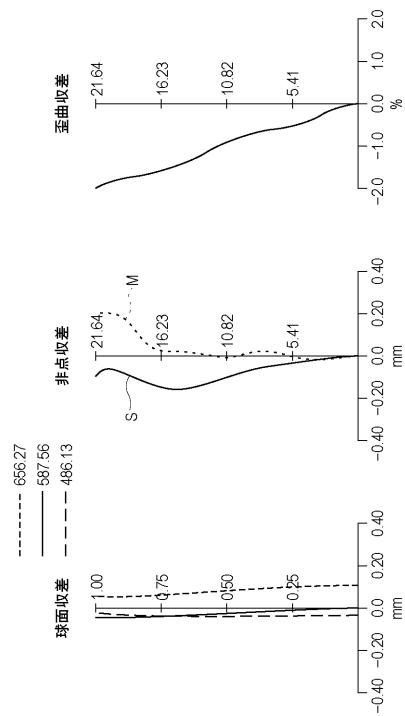
【図3】



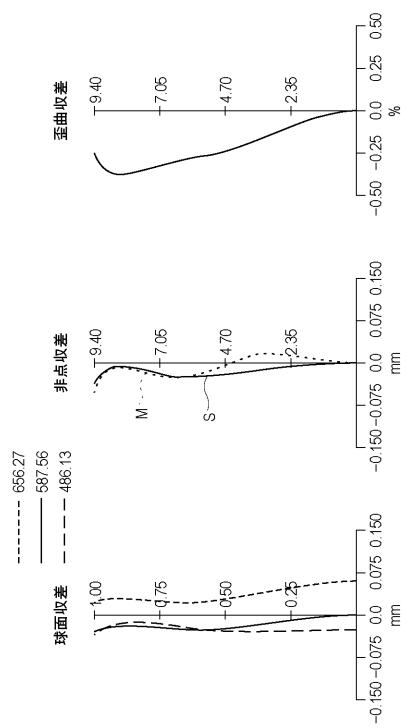
【図4】



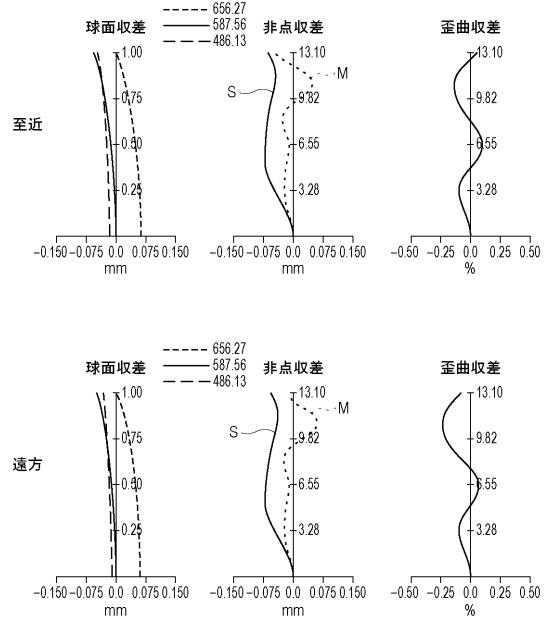
【図6】



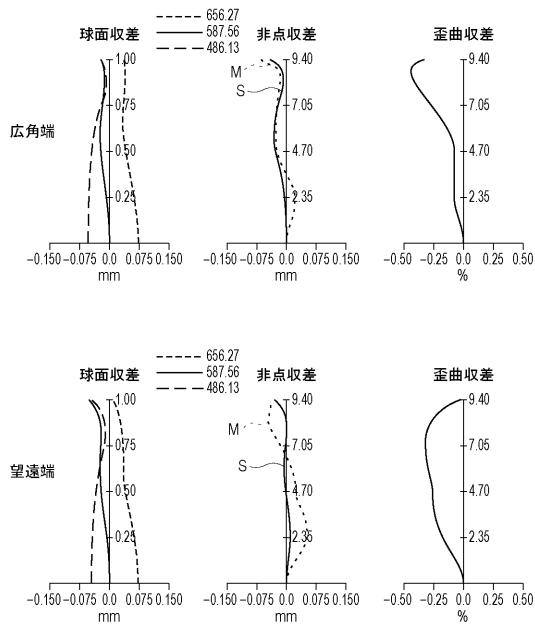
【図 8】



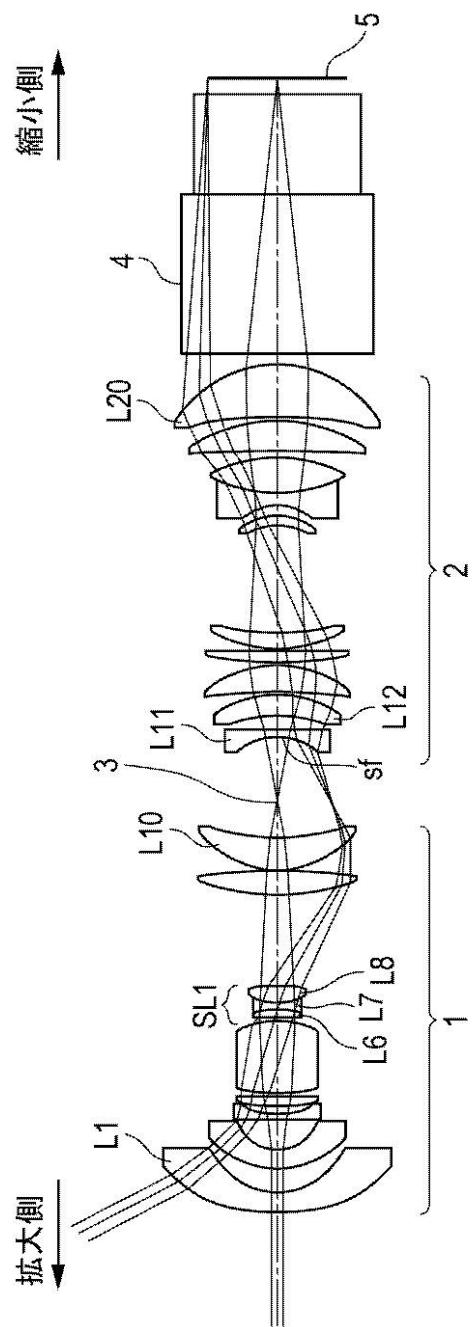
【図 10】



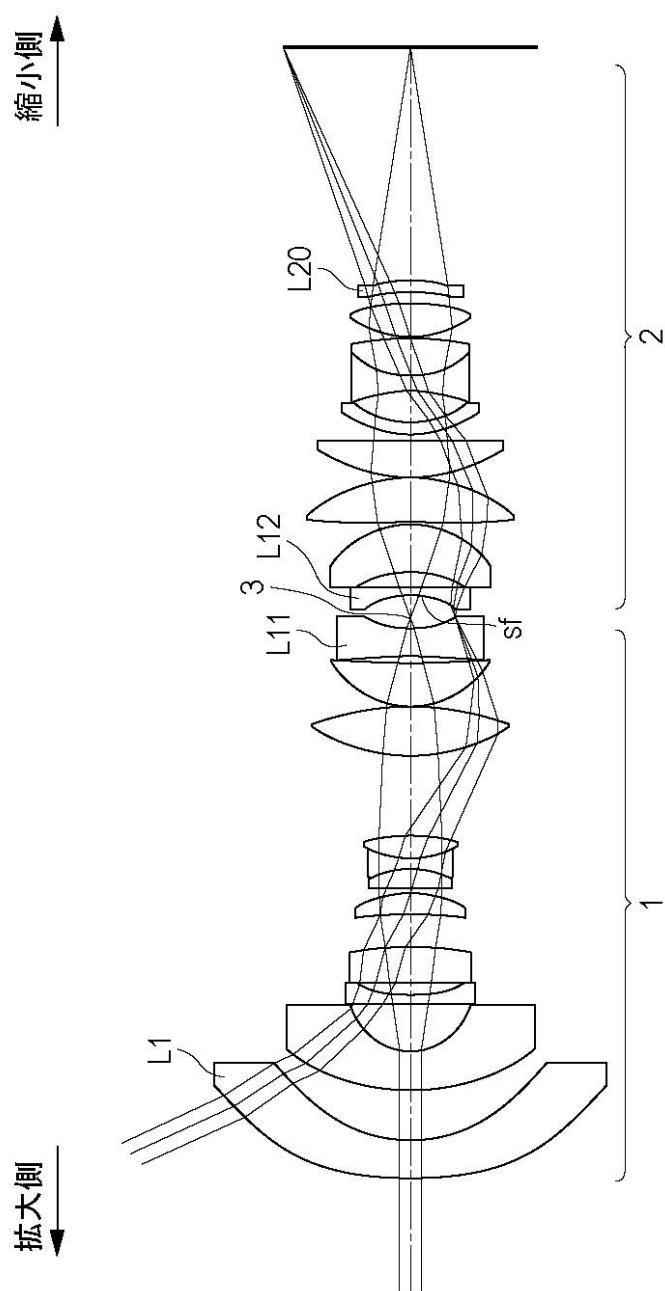
【図 12】



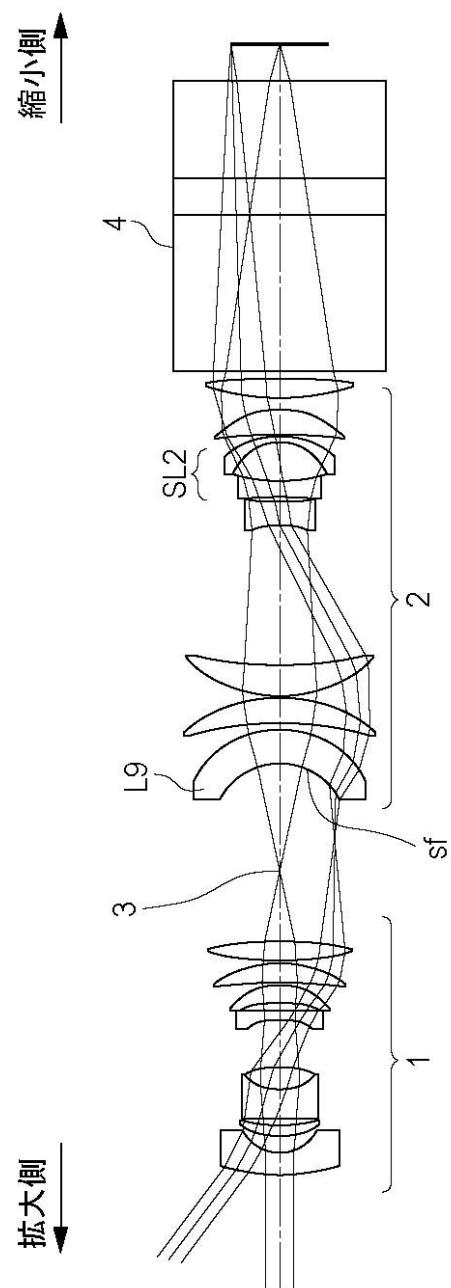
【図1】



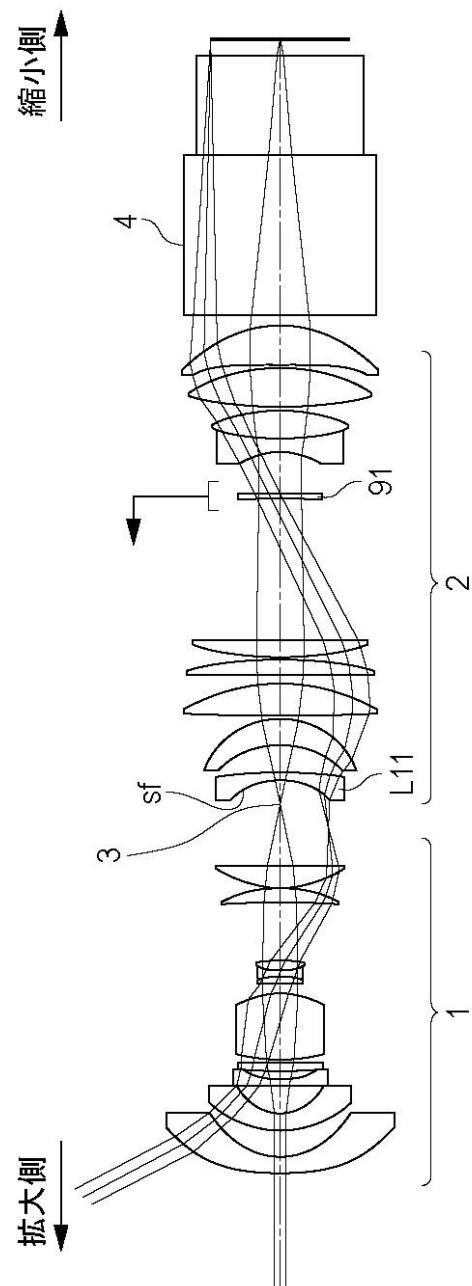
【図5】



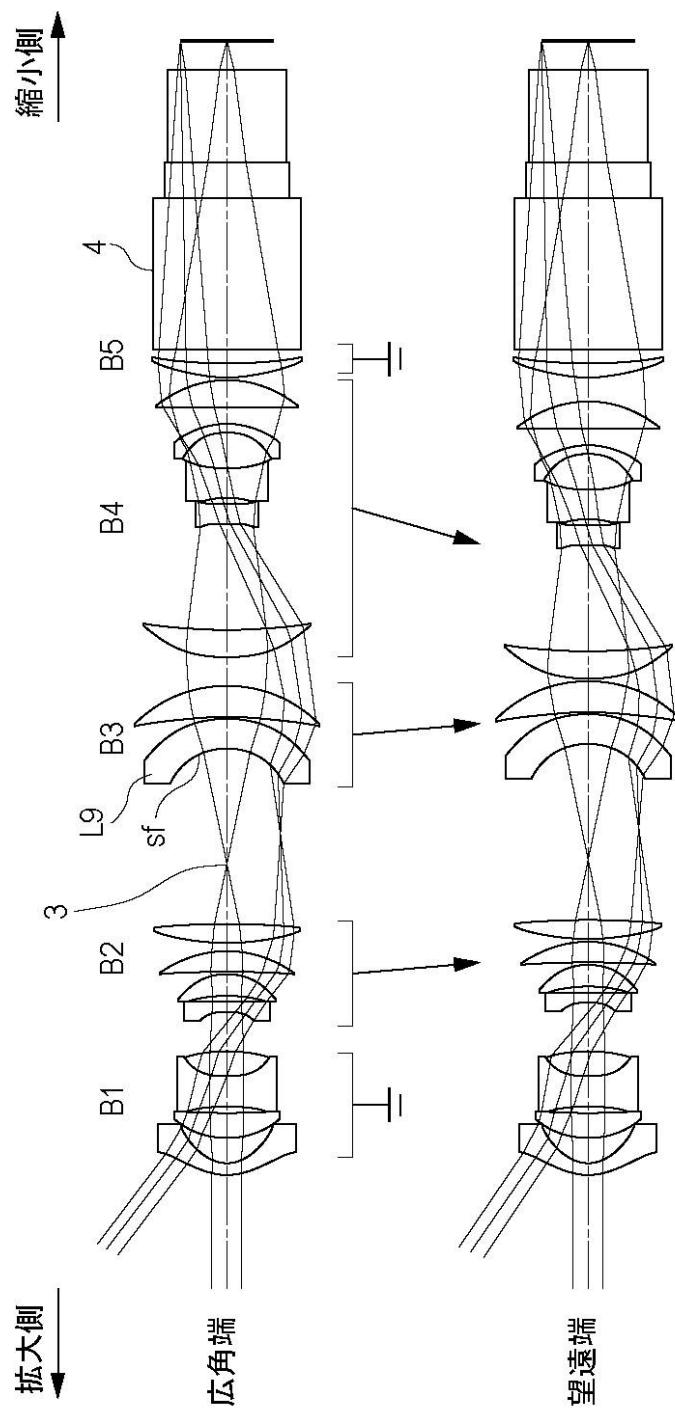
【図7】



【図9】



【図11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2006-512595(JP, A)
米国特許出願公開第2005/0259330(US, A1)
特開昭63-276012(JP, A)
米国特許出願公開第2008/0198451(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 02 B	9 / 0 0	-	1 7 / 0 8
G 02 B	2 1 / 0 2	-	2 1 / 0 4
G 02 B	2 5 / 0 0	-	2 5 / 0 4
G 03 B	2 1 / 0 0	-	2 1 / 1 0
G 03 B	2 1 / 1 2	-	2 1 / 1 3
G 03 B	2 1 / 1 3 4	-	2 1 / 3 0