

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6727785号  
(P6727785)

(45) 発行日 令和2年7月22日 (2020.7.22)

(24) 登録日 令和2年7月3日 (2020.7.3)

(51) Int. Cl.	F 1
<b>G 0 2 B 13/04 (2006.01)</b>	G 0 2 B 13/04 D
<b>G 0 2 B 13/06 (2006.01)</b>	G 0 2 B 13/06
<b>G 0 2 B 13/18 (2006.01)</b>	G 0 2 B 13/18

請求項の数 9 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-203191 (P2015-203191)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成27年10月14日 (2015.10.14)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-76041 (P2017-76041A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成29年4月20日 (2017.4.20)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成30年10月11日 (2018.10.11)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	江口 陽介
			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	殿岡 雅仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系及びそれを有する撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側より像側へ順に配置された、複数のレンズを含む前群、開口絞り、正の屈折力の後群から構成される光学系であって、

前記前群は、正レンズと3枚以上の負レンズとを有し、

前記前群に含まれる負レンズの中で材料のアッベ数が最も小さい負レンズ  $G_n$  の材料のアッベ数を  $d$ 、前記負レンズ  $G_n$  の材料の部分分散比を  $g_F$ 、前記前群の焦点距離を  $f_f$ 、前記光学系の焦点距離を  $f$ 、前記負レンズ  $G_n$  の物体側のレンズ面の曲率半径を  $G_n R_1$ 、前記負レンズ  $G_n$  の像側のレンズ面の曲率半径を  $G_n R_2$ 、前記前群の最も物体側のレンズ面から前記後群の最も像側のレンズ面までの光軸上の距離を  $T_D$ 、前記前群に含まれる全ての負レンズの材料が有するアッベ数の平均値を  $n_a$ 、前記前群に含まれる全ての正レンズの材料が有するアッベ数の平均値を  $p_a$  として、

$$g_F + 0.00163 \times d > 0.665$$

$$d < 20.00$$

$$-0.30 < f / f_f < 0.25$$

$$2.00 < (G_n R_1 + G_n R_2) / (G_n R_1 - G_n R_2) < 8.00$$

$$18.09 \leq T_D / f < 45.00$$

$$1.77 \leq n_a / p_a < 5.00$$

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 2】

前記負レンズ  $G_n$  の焦点距離を  $f_n$  として、

$$-2.5 < f_n / f < -2.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 3】

前記後群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を  $R_1$ 、前記後群の最も像側のレンズ面の曲率半径を  $R_2$  として、

$$0.00 < |(R_1 + R_2)| / (R_1 - R_2) < 1.00$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記前群は、7 枚以下のレンズで構成されることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のうちいずれか 1 項に記載の光学系。

10

【請求項 5】

前記後群は、5 枚以下のレンズで構成されることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のうちいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 6】

半画角  $80^\circ$  における像高を  $Y_{80}$  として、

$$1.55 < Y_{80} / f < 1.80$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のうちいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 7】

20

半画角  $80^\circ$  における像高を  $Y_{80}$ 、無限遠の被写体距離での前記光学系の開放 F ナンバーを  $F_{no}$  として、

$$0.20 < f^2 / (Y_{80} \times F_{no}) < 2.50$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のうちいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 8】

請求項 1 ないし請求項 7 のうちいずれか 1 項に記載の光学系と、  
前記光学系によって形成された像を受光する撮像素子と、  
を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 9】

30

前記光学系の最大半画角を  $\max$  として、

$$85^\circ < \max < 120^\circ$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 8 に記載の撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は魚眼レンズをはじめとする光学系及びそれを有する撮像装置に関し、例えばデジタルスチルカメラ、ビデオカメラ、監視カメラ、放送用カメラ等の撮像素子を用いた撮像装置、或いは銀塩写真フィルムを用いたカメラ等の撮像装置に好適なものである。

【背景技術】

40

【0002】

近年、固体撮像素子を用いた監視カメラやビデオカメラ等の撮像装置は高機能化され、かつ装置全体が小型化されている。これらの装置に用いられる光学系は、小型であり、良好な光学性能を有することが求められている。また、1 台の撮像装置により広範囲の撮影を可能とするために、光学系の広画角化が求められている。

【0003】

全視野角  $180$  度程度の領域を特定の大きさのイメージサークル内に写しこむことができる光学系として、魚眼レンズが知られている。特許文献 1 は、開口絞りよりも物体側に正レンズと 3 枚以上の負レンズを配置することで光学性能の向上を図った魚眼レンズを開示している。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2006-17837号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

魚眼レンズでは、広画角化のために、開口絞りより物体側に配置された負レンズの屈折力を強めるため、軸上色収差や倍率色収差が発生しやすい。魚眼レンズとして用いられる光学系は、軸上色収差や倍率色収差が良好に補正されていることが求められている。

10

【0006】

特許文献1の光学系では、開口絞りより物体側に配置された負レンズの材料が適切に設定されているとはいえず、また、開口絞りより物体側の前群の屈折力が適切に設定されているとはいえないため、軸上色収差や倍率色収差が残存しやすい。

【0007】

本発明は、小型かつ広画角でありながら高い光学性能を有する光学系及びそれを有する撮像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】

【0008】

本発明の光学系は、物体側より像側へ順に配置された、複数のレンズを含む前群、開口絞り、正の屈折力の後群から構成される光学系であって、前記前群は、正レンズと3枚以上の負レンズとを有し、前記前群に含まれる負レンズの中で材料のアッベ数が最も小さい負レンズG<sub>n</sub>の材料のアッベ数を d、前記負レンズG<sub>n</sub>の材料の部分分散比を g<sub>F</sub>、前記前群の焦点距離を f<sub>f</sub>、前記光学系の焦点距離を f、前記負レンズG<sub>n</sub>の物体側のレンズ面の曲率半径を G<sub>n</sub>R<sub>1</sub>、前記負レンズG<sub>n</sub>の像側のレンズ面の曲率半径を G<sub>n</sub>R<sub>2</sub>、前記前群の最も物体側のレンズ面から前記後群の最も像側のレンズ面までの光軸上の距離を T<sub>D</sub>、前記前群に含まれる全ての負レンズの材料が有するアッベ数の平均値を  $\overline{n_a}$ 、前記前群に含まれる全ての正レンズの材料が有するアッベ数の平均値を  $\overline{p_a}$ として、

20

$$g_F > -0.00163 \times d + 0.665$$

$$d < 20.00$$

30

$$-0.30 < f / f_f < 0.25$$

$$2.00 < (G_n R_1 + G_n R_2) / (G_n R_1 - G_n R_2) < 8.00$$

$$18.09 \leq T_D / f < 45.00$$

$$1.77 \leq \overline{n_a} / \overline{p_a} < 5.00$$

なる条件式を満足することを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、小型かつ広画角でありながら高い光学性能を有する光学系を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0010】

【図1】実施例1の光学系のレンズ断面図である。

【図2】実施例1の光学系の収差図である。

【図3】実施例2の光学系のレンズ断面図である。

【図4】実施例2の光学系の収差図である。

【図5】実施例3の光学系のレンズ断面図である。

【図6】実施例3の光学系の収差図である。

【図7】実施例4の光学系のレンズ断面図である。

【図8】実施例4の光学系の収差図である。

【図9】実施例5の光学系のレンズ断面図である。

50

【図 10】実施例 5 の光学系の収差図である。

【図 11】実施例 6 の光学系のレンズ断面図である。

【図 12】実施例 6 の光学系の収差図である。

【図 13】本発明の撮像装置の要部概略図である。

【図 14】各射影方式の特徴を示す図である。

【図 15】倍率色収差の補正原理を示す図である。

【図 16】レンズに用いられる材料のアッベ数と部分分散比の関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の光学系及びそれを有する撮像装置について、添付の図面に基づいて詳細に説明する。本発明の光学系は、物体側より像側へ順に、複数のレンズを含む前群、開口絞り、正の屈折力の後群から構成される。

【0012】

図 1 は実施例 1 の光学系のレンズ断面図である。図 2 は実施例 1 の光学系の収差図である。実施例 1 は半画角  $90.20^\circ$ 、F ナンバー 2.00 程度の光学系である。図 3 は実施例 2 の光学系のレンズ断面図である。図 4 は実施例 2 の光学系の収差図である。実施例 2 は半画角  $90.20^\circ$ 、F ナンバー 2.00 程度の光学系である。図 5 は実施例 3 の光学系のレンズ断面図である。図 6 は実施例 3 の光学系の収差図である。実施例 3 は半画角  $100.00^\circ$ 、F ナンバー 2.00 程度の光学系である。

【0013】

図 7 は実施例 4 の光学系のレンズ断面図である。図 8 は実施例 4 の光学系の収差図である。実施例 4 は半画角  $93.20^\circ$ 、F ナンバー 2.80 程度の光学系である。図 9 は実施例 5 の光学系のレンズ断面図である。図 10 は実施例 5 の光学系の収差図である。実施例 5 は半画角  $97.00^\circ$ 、F ナンバー 2.40 程度の光学系である。図 11 は実施例 6 の光学系のレンズ断面図である。図 12 は実施例 6 の光学系の収差図である。実施例 6 は半画角  $90.20^\circ$ 、F ナンバー 2.00 程度の光学系である。

【0014】

図 13 は、本発明の光学系を備える監視カメラ（撮像装置）の要部概略図である。各実施例の光学系はデジタルスチルカメラ、ビデオカメラ、監視カメラ、放送用カメラ等の撮像装置に用いられる撮影レンズ系である。レンズ断面図において左方が物体側で、右方が像側である。また、レンズ断面図において、L f は前群を示しており、L r は後群を示している。S P は開口絞りである。

【0015】

G B は光学フィルター、フェースプレート、ローパスフィルター、赤外カットフィルター等に相当する光学ブロックである。I P は像面である。ビデオカメラや監視カメラの撮像光学系として本発明の光学系を使用する際には、像面 I P は C C D センサや C M O S センサといった固体撮像素子（光電変換素子）に相当する。銀塩フィルムカメラの撮像光学系として本発明の光学系を使用する際には、像面 I P はフィルム面に相当する。

【0016】

球面収差図において F n o は F ナンバーであり、g 線（波長  $435.8\text{ nm}$ ）、F 線（ $486.1\text{ nm}$ ）、C 線（ $656.3\text{ nm}$ ）、d 線（ $587.6\text{ nm}$ ）に対する球面収差を示している。非点収差図において S はサジタル像面、M はメリディオナル像面について示している。歪曲収差は d 線について示している。色収差図では g 線、F 線、C 線、d 線における倍率色収差を示している。は撮像半画角である。なお、歪曲収差に関しては、後述する立体射影方式における歪曲量として記載している。

【0017】

本発明の光学系は、 $180^\circ$  程度の画角を有しており、主に魚眼レンズとして用いることを想定している。魚眼レンズの射影方式としては、上述したように、正射影方式、等立体角射影方式、等距離射影方式、立体射影方式が知られている。ここで、射影面における像高を Y、光学系全系の焦点距離を f、半画角をとしたとき、各射影方式は以下の式で

10

20

30

40

50

表される。

(A) 正射影方式  $Y = f \times \sin$

(B) 等立体角射影方式  $Y = 2 f \times \sin ( \quad / 2 )$

(C) 等距離射影方式  $Y = f \times$

(D) 立体射影方式  $Y = 2 f \times \tan ( \quad / 2 )$

図14は、各射影方式において、半画角90°のときの像高を1として、半画角と像高の関係を模式的に表した図である。(A)正射影方式では、画面中央付近では像をそれほど圧縮せず、画面周辺において像を強く圧縮している。一方、(D)立体射影方式では、画面中央付近で像を強く圧縮し、画面周辺においては像をそれほど圧縮していない。立体射影方式では周辺領域において像の変形度合が小さいため、周辺領域でも収差の影響が目立ちやすい。それゆえ、立体射影方式に対応する光学系では、周辺領域においても高い光学性能が求められる。

10

【0018】

監視カメラでは、周辺画像も明瞭に撮影することが求められており、監視カメラに魚眼レンズを適用する際には立体射影方式が用いられることが多い。本発明の光学系は、主に魚眼レンズに用いることを想定しており、立体射影方式においても高い光学性能を得るために、歪曲収差や球面収差が良好に補正された光学系が求められる。

【0019】

本発明の光学系では、前群Lfに正レンズと少なくとも3枚の負レンズが配置されている。広画角化を実現するためには、軸外光線を前群Lfの中で物体側に配置された負レンズによって大きく屈折させる必要があり、光線を大きく屈折させるには負レンズの屈折力を強くしなければならない。ここで、少ない枚数の負レンズによって軸外光線を大きく屈折させようとすると、各負レンズの屈折力が強くなり過ぎて、歪曲収差や像面湾曲、非点収差が多く発生する。また、倍率色収差と軸上色収差をバランス良く補正することが困難になる。

20

【0020】

本発明では、前群Lfに少なくとも3枚の負レンズを配置することで、負の屈折力を分担させている。これにより、前群Lfに含まれる負レンズの屈折力を弱めることができ、歪曲収差や像面湾曲、非点収差等の発生を効果的に低減させることができる。また、倍率色収差と軸上色収差をバランス良く補正することができる。

30

【0021】

また、前群Lfに含まれる負レンズの中で、材料のアッペ数が最も小さい負レンズGnの材料のアッペ数を d、部分分散比を gF、前群Lfの焦点距離を ff、光学系の全系の焦点距離を f としたとき、各実施例の光学系は、

$$gF + 0.00163 \times d > 0.665 \dots (1)$$

$$d < 30.00 \dots (2)$$

$$-0.30 < f / ff < 0.25 \dots (3)$$

なる条件式を満足している。

【0022】

ここで、アッペ数 d、部分分散比 gF は、g 線(波長435.8nm)、F 線(486.1nm)、C 線(656.3nm)、d 線(587.6nm)に対する材料の屈折率をそれぞれ Ng、NF、NC、Nd とするとき、

$$d = (Nd - 1) / (NF - NC)$$

$$gF = (Ng - NF) / (NF - NC)$$

で表される数値である。

【0023】

倍率色収差の補正原理に関して、図15を用いて説明する。本発明の光学系では、前群Lfに含まれる負レンズに、高分散(低アッペ数)で、異常分散性の高い材料を用いることで倍率色収差を補正している。図15は、前群Lfに含まれ、高分散かつ異常分散性の高い材料を用いた負レンズと、開口絞りと、正の屈折力の後群を含む光学系における光路

40

50

を示した概略図である。

#### 【0024】

一般に、魚眼レンズのようなレトロフォーカスタイプの超広角レンズでは、像面上における像高の高い領域でd線に対してg線が光軸から離れた位置に結像する。図15に示すように、前群Lfに含まれる負レンズに、高分散かつ異常分散性の高い材料を用いることで、g線の結像位置を光軸に近づく方向に移動させることができる。これにより、g線における倍率色収差を良好に補正することができる。

#### 【0025】

図16は、縦軸に材料の部分分散比  $g_F$ 、横軸にアッペ数  $d$  をとり、レンズに用いられる材料の分布を示す図である。破線で示された直線はノーマルラインであり、レンズに用いられる多くの材料は、このノーマルラインの近傍に分布している。ノーマルラインから離れた位置に分布している材料は、異常分散性を有する材料である。図16に示すように、異常分散性を有する材料は、低分散側の領域と高分散側の領域に集中している。

#### 【0026】

負レンズ  $G_n$  の材料として条件式(1)、(2)を満足しない材料を用いると、倍率色収差を良好に補正することが困難になるため、好ましくない。

#### 【0027】

条件式(3)は、前群Lfの焦点距離  $f_f$  と光学系の全系の焦点距離  $f$  の比を規定した条件式である。条件式(3)の下限値を超えると、前群Lfの負の屈折力が強くなり過ぎて、開口絞り近傍におけるマージナル光線の発散作用が大きくなり過ぎる。その結果、後群Lrの中で開口絞り近傍に配置される正レンズの屈折力を強める必要が生じ、後群Lrの中で発生する球面収差を良好に補正することが困難になるため、好ましくない。また、球面収差を補正するために後群Lrに含まれる正レンズの枚数を増やして正の屈折力を分散させると、レンズ枚数が増加して光学系全系の大型化を招くため好ましくない。

#### 【0028】

条件式(3)の上限値を超えると、前群Lfの正の屈折力が強くなり過ぎて、開口絞り近傍におけるマージナル光線の収斂作用が大きくなり過ぎる。その結果、後群Lrに入射する光線の高さが低くなり過ぎて、前群Lfで発生する軸上色収差等の収差を良好に補正することが困難になるため、好ましくない。

#### 【0029】

各実施例では以上説明したように、条件式(1)乃至(3)を満足するように各要素を適切に設定している。これにより小型かつ広画角でありながら高い光学性能を有するズームレンズを得ることができる。

#### 【0030】

なお、各実施例において、好ましくは、条件式(1)乃至(3)の数値範囲を次のように設定するのが良い。

$$g_F + 0.00163 \times d > 0.675 \dots (1a)$$

$$d < 25.00 \dots (2a)$$

$$-0.25 < f / f_f < 0.22 \dots (3a)$$

また、さらに好ましくは、条件式(1)乃至(3)の数値範囲を次のように設定するのが良い。

$$g_F + 0.00163 \times d > 0.685 \dots (1b)$$

$$d < 20.00 \dots (2b)$$

$$-0.20 < f / f_f < 0.20 \dots (3b)$$

さらに、各実施例において、次の条件式のうち1つ以上を満足することがより好ましい。

$$-25.00 < f_n / f < -2.00 \dots (4)$$

$$1.20 < (G_n R_1 + G_n R_2) / (G_n R_1 - G_n R_2) < 8.00 \dots (5)$$

$$1.20 < n_a / p_a < 5.00 \dots (6)$$

$$0.00 \leq (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) \leq 1.00 \dots (7)$$

10

20

30

40

50

$$7.00 < TD / f < 45.00 \dots (8)$$

ここで、負レンズG<sub>n</sub>の焦点距離をf<sub>n</sub>、負レンズG<sub>n</sub>の物体側のレンズ面の曲率半径をG<sub>n</sub>R<sub>1</sub>、像側のレンズ面の曲率半径をG<sub>n</sub>R<sub>2</sub>とする。また、前群L<sub>f</sub>に含まれる全ての負レンズの材料のアッベ数の平均値をn<sub>a</sub>、前群L<sub>f</sub>に含まれる全ての正レンズの材料のアッベ数の平均値をp<sub>a</sub>とする。さらに、後群L<sub>r</sub>の最も物体側のレンズ面の曲率半径をR<sub>1</sub>、後群L<sub>r</sub>の最も像側のレンズ面の曲率半径をR<sub>2</sub>、前群L<sub>f</sub>の最も物体側のレンズ面から後群L<sub>r</sub>の最も像側のレンズ面までの光軸上の距離をTDとする。

#### 【0031】

条件式(4)は、負レンズG<sub>n</sub>の焦点距離f<sub>n</sub>と光学系の全系の焦点距離fの比を規定した条件式である。条件式(4)の下限値を超えると、負レンズG<sub>n</sub>の屈折力が弱くなり過ぎる。その結果、倍率色収差を良好に補正することが困難になるため好ましくない。条件式(4)の上限値を超えると、負レンズG<sub>n</sub>の屈折力が強くなり過ぎる。その結果、歪曲収差や像面湾曲、非点収差を良好に補正することが困難になり、また、軸上色収差が多く発生するため好ましくない。

10

#### 【0032】

条件式(5)は、負レンズG<sub>n</sub>の形状を規定した条件式である。条件式(5)は、負レンズG<sub>n</sub>が物体側に凸面を向けたメニスカス形状であることを示している。条件式(5)の下限値を超えると、負レンズG<sub>n</sub>の物体側のレンズ面の曲率半径が大きくなり過ぎる。その結果、周辺像高に結像する光線の屈折角が大きくなり過ぎて、歪曲収差や像面湾曲、非点収差が多く発生するため好ましくない。条件式(5)の上限値を超えると、負レンズG<sub>n</sub>の物体側のレンズ面の曲率半径と像側のレンズ面の曲率半径の値が近くなり過ぎる。その結果、負レンズG<sub>n</sub>の負の屈折力が弱くなり過ぎて、十分な広画角化を実現することが困難になるため好ましくない。

20

#### 【0033】

条件式(6)は、前群L<sub>f</sub>に含まれる全ての負レンズの材料のアッベ数の平均値n<sub>a</sub>と、前群L<sub>f</sub>に含まれる全ての正レンズの材料のアッベ数の平均値p<sub>a</sub>の比を規定した条件式である。条件式(6)の上限値または下限値を超えると、前群L<sub>f</sub>におけるC線とF線の色消し効果が低下し、色収差を良好に補正することが困難になるため好ましくない。

#### 【0034】

30

条件式(7)は、後群L<sub>r</sub>の最も物体側のレンズ面の曲率半径R<sub>1</sub>と、後群L<sub>r</sub>の最も像側のレンズ面の曲率半径R<sub>2</sub>を規定した条件式である。条件式(7)は、後群L<sub>r</sub>の最も物体側のレンズ面と後群L<sub>r</sub>の最も像側のレンズ面がともに凸面であることを表している。後群L<sub>r</sub>の最も物体側のレンズ面を凸面とすることで、後群L<sub>r</sub>を通過する軸上マージナル光線の高さを低くすることができる。これにより、後群L<sub>r</sub>に含まれるレンズの有効径を短くすることができ、結果としてレンズ全系の小型化を実現することができる。

#### 【0035】

また、後群L<sub>r</sub>の最も像側のレンズ面を凸面とすることで、テレセントリック性を向上させることができる。撮像素子を備える撮像装置に対して本発明の光学系を用いる際には、撮像素子の受光面に対して垂直な方向から光線を入射させることが好ましい。受光面に対する光線の入射角が大きくなると、特に周辺像高において光量が低下し、周辺光量比が小さくなり過ぎる。本発明では、後群L<sub>r</sub>の最も像側のレンズ面を凸面としてテレセントリック性を向上させることにより、周辺光量比の低下を防止している。条件式(7)の上限値や下限値を超えると、レンズ全系の小型化を実現しつつ、周辺光量比の低下を抑制することが困難であるため好ましくない。

40

#### 【0036】

条件式(8)は、光学系全系のレンズ全長TDと光学系全系の焦点距離fの比を規定した条件式である。条件式(8)の下限値を超えてレンズ全長TDを短くするためには、各レンズ面の屈折力を強める必要がある。レンズ面の屈折力を強めると諸収差が多く発生し、光学系の光学性能の低下を招くため好ましくない。また、条件式(8)の上限値を超え

50

てレンズ全長TDが長くなると、光学系全系の大型化を招くため好ましくない。

#### 【0037】

なお、好ましくは、条件式(4)乃至(8)の数値範囲を次のように設定するのが良い

。

$$-20.00 < f_n / f < -3.00 \dots (4a)$$

$$1.50 < (G_n R_1 + G_n R_2) / (G_n R_1 - G_n R_2) < 7.00 \dots (5a)$$

$$1.30 < n_a / p_a < 4.00 \dots (6a)$$

$$0.03 \leq |(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2)| \leq 0.80 \dots (7a)$$

$$10.00 < TD / f < 40.00 \dots (8a)$$

さらに好ましくは、条件式(4)乃至(8)の数値範囲を次のように設定するのが良い

10

。

$$-15.00 < f_n / f < -4.00 \dots (4b)$$

$$2.00 < (G_n R_1 + G_n R_2) / (G_n R_1 - G_n R_2) < 6.00 \dots (5b)$$

$$1.40 < n_a / p_a < 3.00 \dots (6b)$$

$$0.05 \leq |(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2)| \leq 0.75 \dots (7b)$$

$$12.00 < TD / f < 35.00 \dots (8b)$$

また、前群Lfは、7枚以下のレンズで構成することが好ましい。各実施例の光学系は180°程度の画角を有しており、前群Lfに含まれるレンズの有効径が大きくなりやすく、各レンズの重量も大きくなりやすい。前群Lfを7枚以下のレンズで構成することにより、前群Lf全体としての重量を効果的に低減させることができる。後群Lrは、5枚以下のレンズで構成することが好ましい。これにより、レンズ全系の小型化と軽量化を効果的に実現することができる。

20

#### 【0038】

また、各実施例の光学系において、少なくとも2枚の非球面レンズを配置することが好ましい。非球面レンズを適切に用いることにより、像面湾曲や非点収差、球面収差を良好に補正することができる。特に、後群Lrの最も像側には、像側に凸面を向けた非球面レンズを配置することが好ましい。これにより、撮像素子に対する光線入射角をテレセントリックに近づけることができ、周辺光量比の低下を抑制することができる。

#### 【0039】

さらに、本発明の光学系を、該光学系によって形成される像を受光する撮像素子を有する撮像装置に適用した際には、

30

$$85^\circ < \max < 120^\circ \dots (9)$$

$$1.55 < Y_{80} / f < 1.80 \dots (10)$$

$$0.20 < f^2 / (Y_{80} \times F_{no}) < 2.50 \dots (11)$$

なる条件式を満足することが好ましい。

#### 【0040】

ここで、光学系の最大半画角をmax、画角80°における撮像素子上の像高をY80、光学系の全系の焦点距離をf、光学系の無限遠における開放FナンバーをFnoとする。

#### 【0041】

40

条件式(9)の下限値を超えて、最大半画角maxが小さくなると、十分な広画角化を実現できなくなるため好ましくない。条件式(9)の上限値を超えて、最大半画角maxが大きくなると、各画角における情報量が低下して解像度の低下を招くため好ましくない。

#### 【0042】

条件式(10)は、半画角80°の光線が結像する像高のずれを規定する条件式である。立体射影方式では、上述したように焦点距離と半画角から像高が決定される。ここで、立体射影方式により光学系を介して被写体を結像面に結像させると、歪曲収差が発生し、像高のずれが生じる。条件式(10)の下限値を超えると、半画角80°の光線が結像する像高が理想的な像高に対して低くなり過ぎて、光軸近傍の情報が過度に圧縮されてしま

50



い、画質の低下を招くおそれがあるため好ましくない。条件式(10)の上限値を超えると、半画角80°の光線が結像する像高が理想的な像高に対して高くなり過ぎて、周辺領域の情報が過度に圧縮されてしまい、画質の低下を招くおそれがあるため好ましくない。

#### 【0043】

条件式(11)は、パンフォーカスの光学系における過焦点距離を規定する条件式である。パンフォーカスの光学系では過焦点距離の半分の距離から無限遠までのすべて被写体距離が被写界深度の範囲内に入る。合焦可能な最至近距離は、過焦点距離 $s_h$ の1/2の値になる。ここで、過焦点距離 $s_h$ は、許容錯乱円径を $\delta$ として、 $s_h = f^2 / (\delta \times Fno)$ と表される。また、許容錯乱円径 $\delta$ は、画素ピッチ $p$ に対して比例関係にあり、 $p$ と表される。さらに、撮像素子中に画素が均等に配列されているとすれば、画素ピッチ $p$ は像高 $Y$ に比例するため、過焦点距離 $s_h = f^2 / (Y \times Fno)$ となる。

#### 【0044】

条件式(11)の下限値を超えると、無限遠における開放Fナンバー $Fno$ の値が大きくなり過ぎて、十分な明るさを確保することが困難になるため好ましくない。また、光学系全系の焦点距離 $f$ が短くなり過ぎて、諸収差が多く発生するため好ましくない。条件式(11)の上限値を超えると、合焦可能な最至近距離が長くなり、撮影領域が狭くなるため好ましくない。

#### 【0045】

なお、各実施例において、好ましくは、条件式(9)乃至(11)の数値範囲を次のように設定するのが良い。

$$87^\circ < \max < 115^\circ \dots (9a)$$

$$1.59 < Y80 / f < 1.77 \dots (10a)$$

$$0.25 < f^2 / (Y80 \times Fno) < 2.00 \dots (11a)$$

また、さらに好ましくは、条件式(9)乃至(11)の数値範囲を次のように設定するのが良い。

$$89^\circ < \max < 110^\circ \dots (9b)$$

$$1.63 < Y80 / f < 1.73 \dots (10b)$$

$$0.30 < f^2 / (Y80 \times Fno) < 1.50 \dots (11b)$$

続いて、各実施例におけるレンズ構成について説明する。実施例1及び2の光学系において、前群 $L_f$ は、物体側から像側へ順に配置された、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の3枚の負レンズ、両凹形状の負レンズと両凸形状の正レンズとの接合レンズから構成される。物体側から数えて3番目に配置された負レンズの両面を非球面形状とすることで、像面湾曲を良好に補正している。また、物体側から数えて2番目に配置された負レンズが、前群 $L_f$ に含まれる負レンズの中で材料の阿ベ数が最も小さい負レンズ $G_n$ に相当する。

#### 【0046】

後群 $L_r$ は、物体側から像側へ順に配置された、両凸形状の正レンズ、両凹形状の負レンズと両凸形状の正レンズとの接合レンズ、両凸形状の正レンズから構成される。最も像側に配置された正レンズの両面を非球面形状とすることで、像面湾曲と球面収差を良好に補正している。

#### 【0047】

実施例3の光学系において、前群 $L_f$ は、物体側から像側へ順に配置された、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の3枚の負レンズ、両凹形状の負レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズと両凸形状の正レンズとの接合レンズから構成される。物体側から数えて3番目に配置された負レンズの両面を非球面形状とすることで、像面湾曲を良好に補正している。物体側から数えて5番目に配置された負レンズが、負レンズ $G_n$ に相当する。後群 $L_r$ は、物体側から像側へ順に配置された、両凸形状の正レンズ、両凸形状の正レンズと両凹形状の負レンズとの接合レンズ、両凸形状の正レンズから構成される。後群の最も物体側に配置された正レンズの両面と、最も像側に配置された正レンズの両面をそれぞれ非球面形状とすることで、像面湾曲と球面収差を良好に補正している。

## 【 0 0 4 8 】

実施例 4 の光学系において、前群 L f の構成は実施例 3 と同じである。後群 L r は、物体側から像側へ順に配置された、両凸形状の正レンズ、像側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズと両凹形状の負レンズとの接合レンズ、両凸形状の正レンズ、両凸形状の正レンズから構成される。最も物体側に配置された正レンズの両面と、最も像側に配置された正レンズの両面をそれぞれ非球面形状とすることで、像面湾曲と球面収差を良好に補正している。実施例 5 の光学系において、前群 L f 及び後群 L r の構成は実施例 3 と同じである。

## 【 0 0 4 9 】

実施例 6 の光学系において、前群 L f は、物体側から像側へ順に配置された、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の 2 枚の負レンズ、両凹形状の負レンズ、両凸形状の正レンズから構成される。物体側から数えて 3 番目に配置された負レンズの両面を非球面形状とすることで、像面湾曲を良好に補正している。物体側から数えて 2 番目に配置された負レンズが、負レンズ G n に相当する。後群 L r の構成は、実施例 1 及び 2 と同じである。

## 【 0 0 5 0 】

次に、本発明の実施例 1 乃至 6 にそれぞれ対応する数値実施例 1 乃至 6 のレンズデータを示す。各数値実施例において、i は物体側からの光学面の順序を示す。r i は第 i 番目の光学面（第 i 面）の曲率半径、d i は第 i 面と第 i + 1 面との間の間隔、n d i と d i はそれぞれ d 線に対する第 i 番目の光学部材の材料の屈折率、アッペ数を示す。

## 【 0 0 5 1 】

また K を離心率、A 4、A 6、A 8、A 10 を非球面係数、光軸からの高さ h の位置での光軸方向の変位を面頂点を基準にして x とするとき、非球面形状は、

$$x = (h^2 / r) / [1 + [1 - (1 + K)(h / r)^2]^{1/2}] + A4h^4 + A6h^6 + A8h^8 + A10h^{10}$$

で表示される。但し r は近軸曲率半径である。また「e - Z」の表示は「10<sup>-Z</sup>」を意味する。また、各実施例において、負レンズ G n に相当するレンズの材料の部分分散比 g F、負レンズ G n に相当するレンズの焦点距離 f n を合わせて表記している。

## 【 0 0 5 2 】

各実施例において、バックフォーカス（B F）は、レンズ系の最も像側の面から像面までの距離を、空気換算長により表したものである。また、各数値実施例における上述した条件式との対応を表 1 に示す。

## 【 0 0 5 3 】

[ 数値実施例 1 ]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF	fn
1	24.640	1.25	1.77250	49.6		
2	10.334	3.08				
3	13.519	1.00	1.95906	17.5	0.6598	-16.79
4	7.083	4.69				
5*	8.181	1.00	1.76802	49.2		
6*	3.330	3.00				
7	-13.041	0.60	1.59522	67.7		
8	8.521	6.87	2.00069	25.5		
9	-15.485	1.65				
10(絞り)		1.10				
11	5.634	4.46	1.49700	81.5		
12	-5.636	0.51				
13	-4.287	0.40	1.85478	24.8		
14	10.208	2.72	1.49700	81.5		

15            -6.064      0.33  
 16\*           9.089      3.52      1.55332      71.7  
 17\*           -7.138      1.46  
 18                   1.60      1.51630      64.1  
 19                   2.00

像面

非球面データ

第5面

K = -1.74182e+000    A 6= -5.36705e-005    A 8= 1.23192e-006    A10= -3.06369e-009

第6面

K = -1.16929e+000    A 4= 1.39638e-003    A 6= -1.20156e-004    A 8= -1.51135e-006    A10= 2.35477e-007

第16面

K = -1.89973e+000    A 4= -6.45750e-004    A 6= 2.02657e-005    A 8= -1.14090e-006    A10= 1.46887e-008

第17面

K = -7.98305e-001    A 4= 7.08293e-004    A 6= -1.49882e-005

各種データ

焦点距離            2.00

Fナンバー            2.00

半画角                90.20

像高                   4.00

レンズ全長          36.18

BF                     4.51

レンズ群データ

群      始面      焦点距離

前群      1      -15.00

後群      11      8.00

【 0 0 5 4 】

[ 数値実施例 2 ]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF	fn
1	25.739	1.25	1.77250	49.6		
2	11.637	3.01				
3	14.589	1.00	1.95906	17.5	0.6598	-23.55
4	8.566	4.89				
5*	8.545	1.00	1.76802	49.2		
6*	3.330	5.07				
7	-8.737	0.60	1.59522	67.7		
8	10.806	5.67	2.00069	25.5		
9	-14.548	1.87				
10(絞リ)		1.10				
11	5.558	4.86	1.49700	81.5		
12	-5.560	0.54				
13	-4.083	0.40	1.85478	24.8		
14	11.045	2.71	1.49700	81.5		
15	-6.148	1.24				
16*	9.090	3.98	1.55332	71.7		
17*	-7.140	1.46				

10

20

30

40

50

18 1.60 1.51630 64.1  
 19 2.00

像面

非球面データ

第5面

K = 3.37697e-001 A 6=-6.93664e-005 A 8= 1.99836e-006 A10=-2.02822e-008

第6面

K =-1.03997e+000 A 4= 1.46726e-003 A 6=-9.52085e-005 A 8=-1.69641e-006 A10=  
 2.26511e-007

第16面

K =-1.06802e+000 A 4=-7.50562e-004 A 6= 2.07296e-005 A 8=-1.04976e-006 A10=  
 1.28819e-008

第17面

K =-6.65735e-001 A 4= 6.16060e-004 A 6=-1.49996e-005

各種データ

焦点距離 2.00

Fナンバー 2.00

半画角 90.20

像高 4.00

レンズ全長 39.19

BF 4.51

レンズ群データ

群 始面 焦点距離

前群 1 -12.00

後群 11 8.97

【 0 0 5 5 】

[ 数値実施例 3 ]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF	fn	
1	25.195	1.20	1.80400	46.6			30
2	11.653	5.00					
3	14.557	0.70	2.00100	29.1			
4	6.859	4.19					
5*	20.501	0.50	1.80610	40.7			
6*	5.716	3.99					
7	-73.177	0.45	1.59522	67.7			
8	9.142	0.86					
9	13.936	0.45	2.10205	16.8	0.6721	-15.13	
10	7.462	10.57	2.00069	25.5			40
11	-13.962	4.64					
12(絞り)		2.56					
13*	6.320	1.94	1.49710	81.6			
14*	-17.197	0.09					
15	66.768	1.39	1.49700	81.5			
16	-5.178	0.45	1.84666	23.8			
17	16.143	2.64					
18*	13.935	3.54	1.55332	71.7			
19*	-5.438	1.20					
20		1.50	1.51630	64.1			50

21 2.24

像面

非球面データ

第5面

K = 2.00114e+000 A 4=-1.01987e-004 A 6=-5.72800e-006 A 8=-7.90180e-008 A10=  
2.62920e-009

第6面

K =-7.26641e-002 A 4=-3.63561e-004 A 6=-2.44288e-005 A 8=-2.31468e-007 A10=  
-2.01264e-009

第13面

K =-3.51840e+000 A 4= 2.29819e-003 A 6= 3.07570e-004 A 8=-3.86576e-005 A10=  
3.46968e-006

第14面

K = 4.84763e+000 A 4= 1.34834e-003 A 6= 2.43191e-004

第18面

K =-3.04798e+000 A 4=-6.21861e-004 A 6= 2.90573e-005 A 8= 1.09122e-006 A10=  
-4.37169e-008

第19面

K =-3.38885e+000 A 4=-1.03947e-003 A 6= 4.88982e-005 A 8= 2.37243e-007

各種データ

焦点距離 2.00

Fナンバー 2.00

半画角 100.00

像高 4.76

レンズ全長 45.16

BF 4.43

レンズ群データ

群 始面 焦点距離

前群 1 15.03

後群 13 9.14

【 0 0 5 6 】

[ 数値実施例 4 ]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF	fn
1	30.469	1.20	1.83481	42.7		
2	9.786	5.68				
3*	24.865	0.70	1.88202	37.2		
4*	7.378	4.35				
5	80.368	0.50	1.80400	46.6		
6	11.041	6.90				
7	-27.683	0.45	1.71300	53.9		
8	13.140	0.63				
9	16.036	0.45	1.95906	17.5	0.6598	-28.20
10	9.928	3.91	2.00069	25.5		
11	-16.600	10.80				
12(絞り)		0.47				
13*	20.010	1.14	1.49710	81.6		
14*	-20.005	0.50				
15	-14.518	1.06	1.48749	70.2		

10

20

30

40

50

16	-4.427	0.45	2.00100	29.1
17	85.011	0.55		
18	14.918	2.34	1.49700	81.5
19	-75.490	0.59		
20*	14.013	2.34	1.55332	71.7
21*	-4.798	9.98		

像面

非球面データ

第3面

K = 9.26595e-001 A 4= 1.74251e-004 A 6=-9.19603e-008 A 8=-6.18843e-009

10

第4面

K =-1.55179e+000 A 4= 3.15057e-004 A 6= 6.87929e-006

第13面

K = 1.16740e+000 A 4= 1.89852e-004 A 6= 4.36520e-004 A 8=-2.12647e-005 A10= 8.21093e-007

第14面

K =-2.35943e+000 A 4= 6.47874e-004 A 6= 5.69574e-004

第20面

K =-1.60281e+000 A 4=-1.12845e-003 A 6= 6.14929e-006 A 8= 8.93187e-007 A10=-4.26931e-008

20

第21面

K =-1.83970e+000 A 4=-1.11349e-003 A 6=-9.48115e-006 A 8= 2.37243e-007

各種データ

焦点距離 1.50

Fナンバー 2.80

半画角 93.20

像高 3.15

レンズ全長 55.00

BF 9.98

レンズ群データ

30

群 始面 焦点距離

前群 1 -78.27

後群 13 8.24

【 0 0 5 7 】

[ 数値実施例 5 ]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF	fn
1	25.144	1.20	1.80400	46.6		
2	11.653	5.21				
3	13.855	0.70	1.91082	35.3		
4	6.859	4.19				
5	73.515	0.50	1.73800	32.3		
6	5.907	2.74				
7	-19.819	0.45	1.59522	67.7		
8	9.142	1.38				
9	14.767	0.45	1.95906	17.5	0.6598	-16.22
10	7.462	4.52	2.00069	25.5		
11	-13.220	6.79				
12(絞り)		1.40				

40

50

13*	6.320	1.45	1.49710	81.6
14*	-13.855	0.10		
15	66.768	1.14	1.48749	70.2
16	-5.178	0.45	1.85478	24.8
17	23.099	3.69		
18*	13.935	3.98	1.55332	71.7
19*	-4.756	1.20		
20		1.50	1.51630	64.1
21		2.28		

像面

10

非球面データ

第13面

K = -4.32378e-001 A 4= 2.29819e-003 A 6= 3.07570e-004 A 8= 4.46609e-005 A10= -7.05731e-006

第14面

K = 2.72506e+000 A 4= 3.06342e-003 A 6= 5.10637e-004

第18面

K = -3.04798e+000 A 4= -6.21861e-004 A 6= 2.90573e-005 A 8= 1.09122e-006 A10= -3.89032e-008

第19面

20

K = -3.38885e+000 A 4= -1.43938e-003 A 6= 5.31066e-005 A 8= 2.37243e-007

各種データ

焦点距離 2.02

Fナンバー 2.40

半画角 97.00

像高 4.36

レンズ全長 40.34

BF 2.28

レンズ群データ

群 始面 焦点距離

30

前群 1 471.79

後群 13 8.23

【 0 0 5 8 】

[ 数値実施例 6 ]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	gF	fn
1	32.507	1.25	1.48749	70.2		
2	10.511	3.06				
3	15.428	1.00	1.95906	17.5	0.6598	-15.37
4	7.299	5.53				
5*	-30.857	1.00	1.72903	54.0		
6*	3.923	1.59				
7	9.089	13.77	2.00069	25.5		
8	-30.300	1.45				
9(絞り)		1.10				
10	6.330	5.69	1.49700	81.5		
11	-6.332	0.41				
12	-4.591	0.40	1.85478	24.8		
13	37.865	2.66	1.49700	81.5		

40

50

14            -6.205        0.30  
 15\*           10.007        3.12    1.55332        71.7  
 16\*           -7.135        1.46  
 17                   1.60    1.51630        64.1  
 18                   2.00

像面

非球面データ

第5面

$K = 3.99706e+000$     $A_6 = 7.54242e-007$     $A_8 = -4.06321e-007$     $A_{10} = 9.99311e-009$

第6面

$K = -3.19199e+000$     $A_4 = 2.82797e-003$     $A_6 = -9.13900e-005$     $A_8 = -4.23232e-007$     $A_{10} = 7.13283e-008$

第15面

$K = 1.04119e+000$     $A_4 = -1.28724e-003$     $A_6 = 5.41024e-005$     $A_8 = -3.15358e-006$     $A_{10} = 4.81716e-008$

第16面

$K = 5.22651e-002$     $A_4 = 1.16275e-003$     $A_6 = -1.42289e-005$

各種データ

焦点距離            2.00

Fナンバー            2.00

半画角                90.20

像高                   4.00

レンズ全長           42.33

BF                     4.51

レンズ群データ

群      始面      焦点距離

前群    1        -15.00

後群    10        8.00

【 0 0 5 9 】

【 表 1 】

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6
条件式(1)	0.688	0.688	0.699	0.688	0.688	0.688
条件式(2)	17.5	17.5	16.8	17.5	17.5	17.5
条件式(3)	-0.13	-0.17	0.13	-0.07	0.004	-0.13
条件式(4)	-8.39	-11.77	-7.56	-4.70	-8.03	-7.68
条件式(5)	3.20	3.84	3.31	4.25	3.04	2.80
条件式(6)	1.80	1.80	1.80	1.77	1.78	1.86
条件式(7)	0.12	0.12	0.08	0.15	0.14	0.06
条件式(8)	18.09	19.59	22.57	28.38	19.98	21.16
条件式(9)	90.20	90.20	100.00	91.60	97.00	90.20
条件式(10)	1.70	1.70	1.69	1.69	1.67	1.72
条件式(11)	0.59	0.59	0.59	1.27	0.50	0.58

次に、本発明の光学系を撮像光学系として用いた監視カメラ（撮像装置）の実施例について、図13を用いて説明する。図13において、20は監視カメラ本体、21は実施例



1乃至6で説明したいずれかの光学系によって構成された撮影光学系である。22はカメラ本体に内蔵され、撮影光学系21によって形成された被写体像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）である。

【0060】

このように本発明の光学系を監視カメラ等の撮像装置に適用することにより、小型かつ広画角でありながら高い光学性能を有する撮像装置を得ることができる。

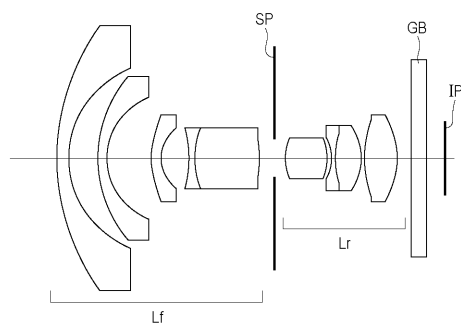
【符号の説明】

【0061】

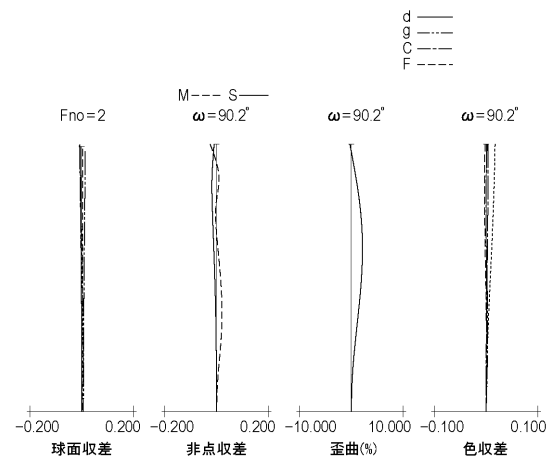
L f 前群  
L r 後群  
S P 開口絞り  
I P 像面

10

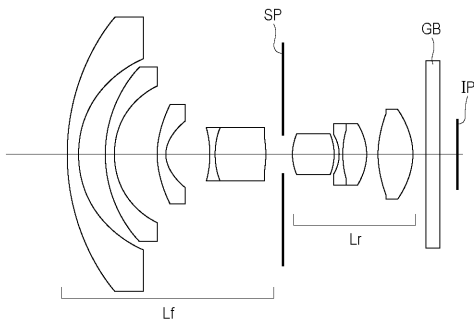
【図1】



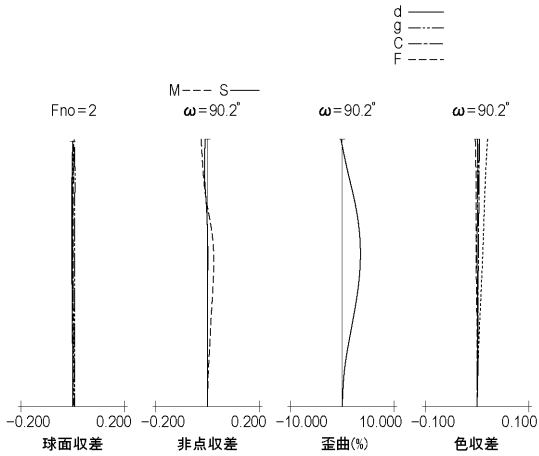
【図2】



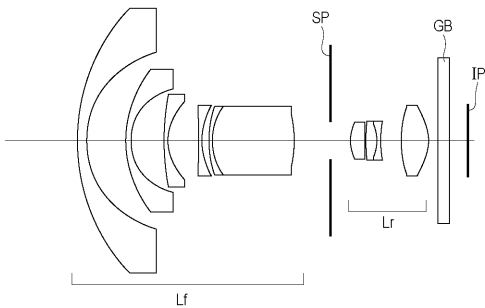
【図 3】



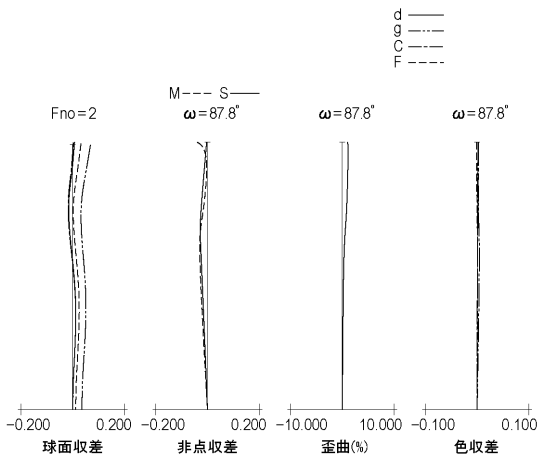
【図 4】



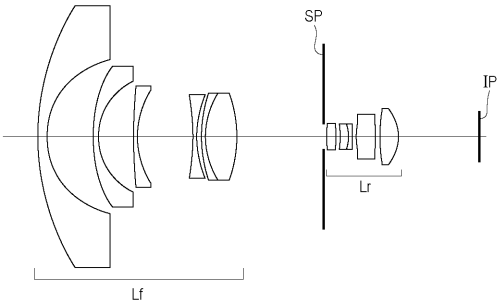
【図 5】



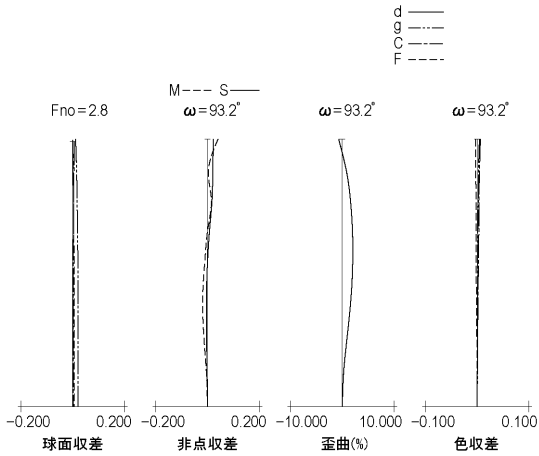
【図 6】



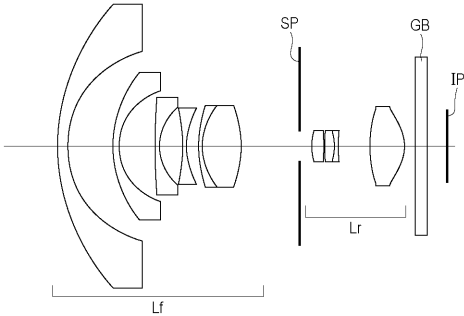
【図 7】



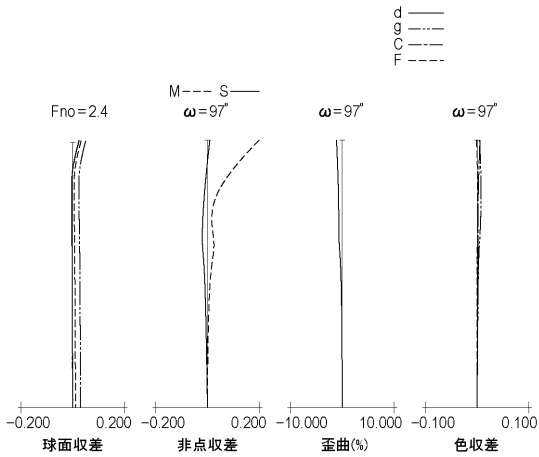
【図 8】



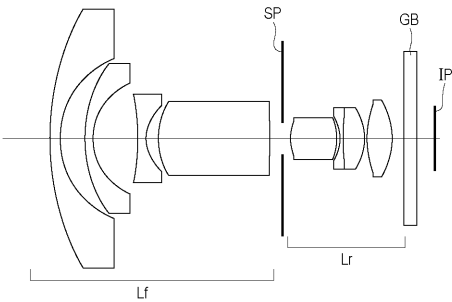
【図 9】



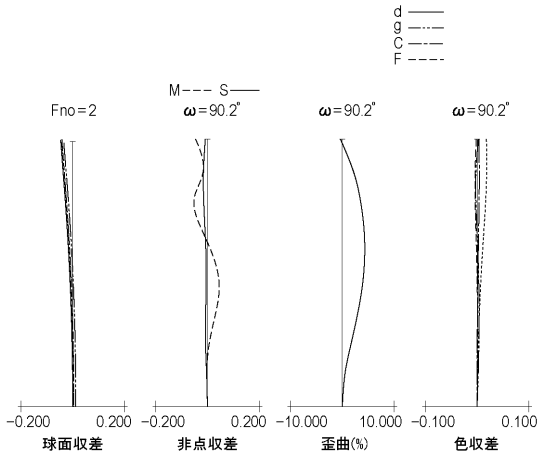
【図 10】



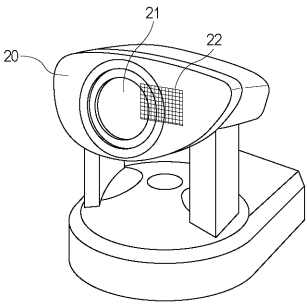
【図 1 1】



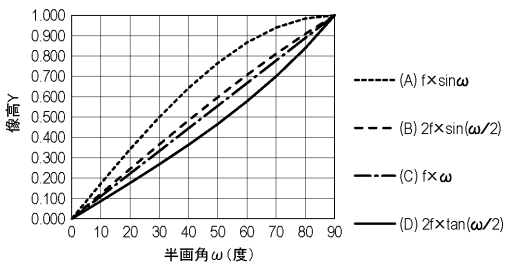
【図 1 2】



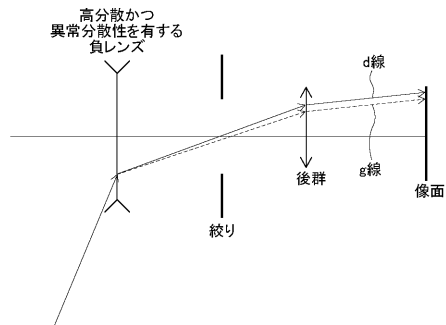
【図 1 3】



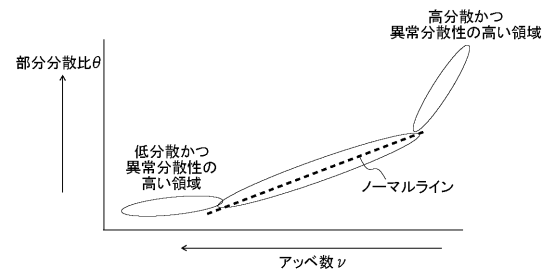
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2015-096927(JP,A)  
特開2014-041196(JP,A)  
特開2008-129403(JP,A)  
特開2011-065138(JP,A)  
特開2014-215594(JP,A)  
国際公開第2014/068860(WO,A1)  
特開2010-139766(JP,A)  
特開2011-002503(JP,A)  
特開2011-107188(JP,A)  
特開2013-003288(JP,A)  
国際公開第2014/041775(WO,A1)  
特開2014-186306(JP,A)  
特開2013-105053(JP,A)  
特開2013-050674(JP,A)  
特開2012-226042(JP,A)  
特開2011-095488(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	9/00	-	17/08
G02B	21/02	-	21/04
G02B	25/00	-	25/04