

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-241794

(P2008-241794A)

(43) 公開日 平成20年10月9日(2008.10.9)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
<b>G 0 2 B 15/20 (2006.01)</b>	G 0 2 B 15/20	2 H 0 8 7
<b>G 0 2 B 13/18 (2006.01)</b>	G 0 2 B 13/18	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2007-78345 (P2007-78345)  
 (22) 出願日 平成19年3月26日 (2007. 3. 26)

(71) 出願人 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 100086818  
 弁理士 高梨 幸雄  
 (72) 発明者 田代 欣久  
 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  
 Fターム(参考) 2H087 KA01 LA01 PA05 PA19 PA20  
 PB07 PB08 QA02 QA07 QA17  
 QA21 QA25 QA34 QA41 QA45  
 QA46 RA05 RA12 RA13 RA36  
 RA42 RA43 SA14 SA16 SA19  
 SA62 SA63 SA64 SB03 SB15  
 SB16 SB22 UA01 UA06

(54) 【発明の名称】 ズームレンズ及びそれを有する撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 広画角でかつズーム比が大きく、色収差を始めとする諸収差を全ズーム域にわたって良好に補正することができ、優れた光学性能を有するズームレンズ、及びそれを有する撮像装置を得ること。

【解決手段】 物体側から像側へ順に、負、正、正の屈折力の第1、第2、第3レンズ群を有するズームレンズであって、

該第2レンズ群は複数のレンズを有し、

レンズ全系の広角端における焦点距離  $f_W$ 、望遠端における焦点距離  $f_T$ 、

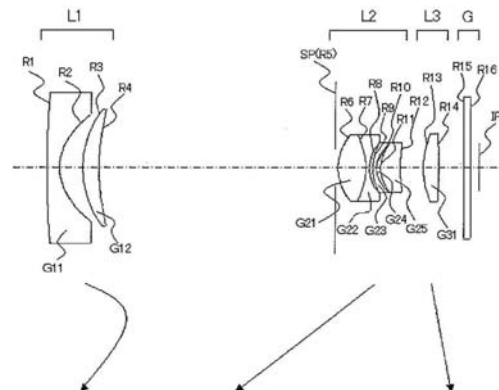
無限遠物体の合焦時の望遠端における該第2レンズ群の結像倍率  $2T$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $j$  番目のレンズの材料のアッベ数と部分分散比  $d_j$ 、  $g F_j$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $j$  番目のレンズの空気中における焦点距離  $f_j$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $k$  面の物体側と像側の屈折率  $N_k$ 、  $N_k'$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $k$  面の曲率半



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

物体側から像側へ順に、負の屈折力の第 1 レンズ群、正の屈折力の第 2 レンズ群、正の屈折力の第 3 レンズ群を有し、ズームングに際し各レンズ群の間隔が変化するズームレンズであって、

該第 2 レンズ群は複数のレンズを有し、

レンズ全系の広角端における焦点距離を  $f_W$ 、望遠端における焦点距離を  $f_T$ 、

無限遠物体の合焦時の望遠端における該第 2 レンズ群の結像倍率を  $\beta_T$ 、

該第 2 レンズ群内で物体側から数えて第  $j$  番目のレンズの材料のアッベ数と部分分散比を各々  $d_j$ 、 $g_{Fj}$ 、

該第 2 レンズ群内で物体側から数えて第  $j$  番目のレンズの空气中における焦点距離を  $f_j$ 、

該第 2 レンズ群内で物体側から数えて第  $k$  面の物体側と像側の屈折率を各々  $N_k$ 、 $N_k'$ 、

該第 2 レンズ群内で物体側から数えて第  $k$  面の曲率半径を  $R_k$  とし、

第 2 レンズ群内での各要素の和を  $\Sigma$  と表わし、

$$\left( \sum g_{Fj} \right) = \sum g_{Fj} - (-0.0168 * \sum d_j + 0.644)$$

とおくとき

$$2.1 < |\beta_T| < 3.5$$

## 【数 1】

$$-0.03 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \Sigma \{(\Delta \theta g_{Fj}) / f_j\} < 0.1$$

$$0.0 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \Sigma \{(N_k' - N_k) / (R_k * N_k * N_k')\} < 0.3$$

なる条件式を満足することを特徴とするズームレンズ。

## 【請求項 2】

開口絞りを有し、該開口絞りは開口径が広角端と望遠端において異なるように調整されていることを特徴とする請求項 1 のズームレンズ。

## 【請求項 3】

広角端と望遠端での撮像時における前記開口絞りの開口面の最大面積を各々  $S_W$ 、 $S_T$  とするとき

$$1.5 < S_T / S_W < 4.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 のズームレンズ。

## 【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項のズームレンズと、該ズームレンズによって形成された像を受光する固体撮像素子を有してい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】

本発明はスチルカメラやビデオカメラ、そしてデジタルスチルカメラ等に好適なズームレンズ及びそれを有する撮像装置に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

最近、固体撮像素子を用いたビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の撮像装置には、その高機能化及び小型化に伴い、それに用いる撮影光学系には広い撮影画角を包含した小型のズームレンズであることが求められている。

## 【0003】

10

20

30

40

50

特に高画素の撮像素子を用いた撮像装置用のズームレンズには色収差として単色収差の補正のみならず広い波長域での色収差の補正を十分に行うことが要望されている。

【0004】

又、この種の撮像装置には、レンズ最後部と撮像素子との間に、ローパスフィルターや色補正フィルターなどの各種の光学部材が配置される。この為、それに用いるズームレンズにはバックフォーカスが長いことが要求される。

【0005】

更に、カラー画像用の撮像素子を用いたカラーカメラ（カラー撮像装置）の場合には、撮像素子への入射角特性によって色のシェーディングが発生しないように像側がテレセントリックであることが要求されている。

10

【0006】

バックフォーカスが長く像側のテレセントリック特性の良いズームレンズとして、物体側から順に負の屈折力の第1レンズ群、正の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群で構成される3群ズームレンズが知られている（特許文献1、2）。

【0007】

また、この負の屈折力のレンズ群が先行する3群ズームレンズにおいて、非球面や異常分散ガラスを適切に配置することにより、優れたテレセントリック特性を確保しつつ、倍率色収差を良好に補正した3群ズームレンズが知られている（特許文献3）。

【0008】

又、このタイプの3群ズームレンズにおいて変倍比が4倍以上の高ズーム比のズームレンズが知られている（特許文献4、5）。

20

【特許文献1】特開2001-66503号公報

【特許文献2】特開2001-296475号公報

【特許文献3】特開平11-119101号公報

【特許文献4】特開平2006-208890号公報

【特許文献5】特開平2006-227197号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

近年、撮像装置（カメラ）がコンパクトであること、そしてそれに用いるズームレンズが高ズーム比であることが要望されている。これを達成する為に、非撮像時に各レンズ群の間隔を撮像状態と異なる間隔まで縮小し、カメラ本体からのレンズの突出量を少なくした所謂沈胴式を用いたズームレンズが広く用いられている。

30

【0010】

ズームレンズを構成する各レンズ群のレンズ枚数が多いと、各レンズ群の光軸上の長さが長くなる（レンズ全長が長くなる）。

【0011】

この結果、所望の沈胴長を得るのが難しくなってくる。

【0012】

そこで光学設計分野では、ズームレンズを構成する複数のレンズ面の一部を非球面形状とすることによって、全体のレンズ枚数を削減する手法が多く取られている。

40

【0013】

非球面を用いた場合、単色での結像性能に関わる収差は補正出来る。しかしながら硝材選択が支配的となる色収差を補正する事は困難である。

【0014】

特に、負の屈折力のレンズ群が先行する3群ズームレンズではレンズ枚数を増やすことなくズーム比を大きくすると、望遠端において軸上色収差の補正が困難となる。

【0015】

これに対してズームレンズ中に異常分散性のある材料より成るレンズを用いると、その異常分散効果により望遠側において色収差の発生を少なくすることができる。

50

## 【0016】

しかしながら異常分散性のある材料より成るレンズを単に光路中に設けても、高ズーム比を図りつつ、全ズーム範囲において色収差を補正し、高画質化を図るのは難しい。

## 【0017】

高ズーム比を図りつつ、全ズーム範囲にわたり色収差を良好に補正し、高い光学性能を得るには、異常部分分散材より成るレンズの光路中の位置や、そのレンズが含まれるレンズ群の構成等を適切に設定することが重要になってくる。

## 【0018】

負の屈折力のレンズ群が先行する3群ズームレンズは、レンズ群配置が非対称となるための異常部分分散材より成るレンズの使用方法は特に重要になってくる。

10

## 【0019】

本発明は、広画角でかつズーム比が大きく、色収差を始めとする諸収差を全ズーム域にわたって良好に補正することができ、優れた光学性能を有するズームレンズ、及びそれを有する撮像装置の提供を目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0020】

本発明のズームレンズは、物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群、正の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群を有し、ズーミングに際し各レンズ群の間隔が変化するズームレンズであって、

該第2レンズ群は複数のレンズを有し、

20

レンズ全系の広角端における焦点距離を  $f_W$ 、望遠端における焦点距離を  $f_T$ 、

無限遠物体の合焦時の望遠端における該第2レンズ群の結像倍率を  $2_T$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $j$  番目のレンズの材料のアップ数と部分分散比を各々  $d_j$ 、 $g_{Fj}$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $j$  番目のレンズの空気中における焦点距離を  $f_j$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $k$  面の物体側と像側の屈折率を各々  $N_k$ 、 $N_k'$ 、

該第2レンズ群内で物体側から数えて第  $k$  面の曲率半径を  $R_k$  とし、

第2レンズ群内での各要素の和を  $\Sigma$  と表わし、

30

$$\left( \Sigma g_{Fj} \right) = \Sigma g_{Fj} - (-0.0168 * \Sigma d_j + 0.644)$$

とおくとき

$$2.1 < |2_T| < 3.5 \cdots (1)$$

## 【0021】

## 【数1】

$$-0.03 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \Sigma \{(\Delta \theta g_{Fj}) / f_j\} < 0.1 \cdots (2)$$

$$0.0 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \Sigma \{(N_k' - N_k) / (R_k * N_k * N_k')\} < 0.3 \cdots (3)$$

40

## 【0022】

なる条件式を満足することを特徴としている。

## 【発明の効果】

## 【0023】

本発明によれば、広画角でかつズーム比が大きく、色収差を始めとする諸収差を全ズーム域にわたって良好に補正することができ、優れた光学性能を有するズームレンズ、及びそれを有する撮像装置が得られる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0024】

50

以下、本発明のズームレンズ及びそれを有する撮像装置の実施例について説明する。

【0025】

各実施例のズームレンズは、物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群、正の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群を有し、ズーミングに際し各レンズ群の間隔が変化するズームレンズである。

【0026】

第2レンズ群は複数のレンズを有している。

【0027】

そして第2レンズ群のレンズ構成が後述する条件式(1)~(3)を満足するように構成している。

【0028】

図1は本発明の実施例1のズームレンズの広角端(短焦点距離端)におけるレンズ断面図である。図2、図3、図4は本発明の実施例1の広角端,中間のズーム位置,望遠端(長焦点距離端)における収差図である。実施例1はズーム比7、開口比2.8~5.6程度のズームレンズである。

【0029】

図5は本発明の実施例2のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図である。図6、図7、図8は本発明の実施例2の広角端,中間のズーム位置,望遠端における収差図である。実施例2はズーム比7、開口比2.8~5.6程度のズームレンズである。

【0030】

図9は本発明の実施例3のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図である。図10、図11、図12は本発明の実施例3の広角端,中間のズーム位置,望遠端における収差図である。実施例3はズーム比8、開口比2.8~6.0程度のズームレンズである。

【0031】

図13は本発明の実施例4のズームレンズの広角端における断面図である。図14、図15、図16は本発明の実施例4の広角端,中間のズーム位置,望遠端における収差図である。実施例4はズーム比6、開口比2.8~5.6程度のズームレンズである。

【0032】

図17は本発明のズームレンズを備えるデジタルスチルカメラ(撮像装置)要部概略図である。

【0033】

各実施例のズームレンズは撮像装置に用いられる撮像レンズ系であり、各レンズ断面図において、左方が被写体(物体)側(前方)で、右方が像側(後方)である。

【0034】

レンズ断面図において、L1は負の屈折力(光学的パワー=焦点距離の逆数)の第1レンズ群、L2は正の屈折力を有する第2レンズ群、L3は正の屈折力を有する第3レンズ群である。SPは開口絞りであり、第2レンズ群L2の物体側に位置している。

【0035】

Gは光学フィルター、フェースプレート、水晶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ガラスブロックである。IPは像面であり、ビデオカメラやデジタルスチルカメラの撮像光学系として使用する際には、CCDやCMOSセンサ等の固体撮像素子(光電変換素子)の撮像面に相当する感光面が置かれる。

【0036】

収差図において、d、g、Cは各々d線、g線及びC線である。M、Sは各々メリディオナル像面及びサジタル像面であり、倍率色収差はg線及びC線によって表している。FnoはFナンバー、 $\omega$ は半画角である。

【0037】

なお、各実施例において広角端と望遠端は変倍用のレンズ群(第2レンズ群L2)が機構上光軸上移動可能な範囲の両端に位置したときのズーム位置をいう。

【0038】

10

20

30

40

50

各実施例では、広角端から望遠端へのズーム（変倍）に際してレンズ断面図に示す矢印のように移動している。

【0039】

具体的には各実施例のズームレンズでは、広角端から望遠端の変倍に際して、第1レンズ群L1が像側に凸状の軌跡で略往復移動し、第2レンズ群L2が物体側に移動し、第3レンズ群L3は像側に移動している。

【0040】

各実施例のズームレンズでは、第2レンズ群L2の移動により主たる変倍を行い、第1レンズ群L1の往復移動及び第3レンズ群L3の像側方向への移動により、変倍に伴う像面変動を補正している。

10

【0041】

開口絞りSPは開口径が、即ち開口面積が広角端と望遠端において異なるように調整手段（不図示）で調整されている。

【0042】

各実施例では第2レンズ群L2のレンズ構成が次の条件式(1)~(3)を満足するように構成している。

【0043】

レンズ全系の広角端における焦点距離を $f_W$ 、望遠端における焦点距離を $f_T$ とする。

【0044】

無限遠物体の合焦時の望遠端における第2レンズ群L2の結像倍率を $2_T$ とする。

20

【0045】

第2レンズ群L2内で物体側から数えて第j番目のレンズの材料のアッペ数と部分分散比を各々 $d_j$ 、 $g_{Fj}$ とする。

【0046】

第2レンズ群L2内で物体側から数えて第j番目のレンズの空気中における焦点距離を $f_j$  (mm)とする。

【0047】

第2レンズ群L2内で物体側から数えて第k面の物体側と像側の屈折率を各々 $N_k$ 、 $N_{k'}$ とする。

【0048】

第2レンズ群L2内で物体側から数えて第k面の曲率半径を $R_k$  (mm)とする。

30

【0049】

第2レンズ群L2内での各要素の和を $\Sigma$ と表わす。

【0050】

$$\left( \sum g_{Fj} \right) = \sum g_{Fj} - (-0.0168 * \sum d_j + 0.644)$$

とおく。このとき

$$2.1 < |2_T| < 3.5 \dots (1)$$

【0051】

【数2】

40

$$-0.03 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \Sigma \{(\Delta \theta g_{Fj}) / f_j\} < 0.1 \dots (2)$$

$$0.0 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \Sigma \{(N_{k'} - N_k) / (R_k * N_k * N_{k'})\} < 0.3 \dots (3)$$

【0052】

なる条件式の1以上を満足するようにしている。

【0053】

ここでアッペ数 $d$ 、部分分散比 $g_F$ は、次のとおりである。

50

## 【0054】

フラウンフォーファ線のg線(波長435.8nm)、F線(486.1nm)、d線(587.6nm)、C線(656.3nm)に対する材料の屈折率をそれぞれNg、NF、Nd、NCとする。

## 【0055】

このとき

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

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

である。

## 【0056】

又、gFは異常分散値であり、部分分散比gFの標準線からの差であり、

$$gF = gF - (-0.0168 * d + 0.644)$$

で表されるものである。

## 【0057】

次に前述の条件式(1)~(3)の技術的意味について説明する。

## 【0058】

条件式(1)は物体側から像側へ順に、負、正、正の屈折力のレンズ群で構成される負の屈折力のレンズ群が先行する3群ズームレンズにおいて、所望のズーム比(例えばズーム比5以上)を効果的に得るための条件式である。

## 【0059】

条件式(1)の上限を超えると第1レンズ群L1、第2群レンズ群L2の屈折力が大きくなりすぎると、各レンズ群内での収差補正のため第2レンズ群L2を少ない枚数(4又は5枚)で構成するのが困難となる。又、下限を超えると5倍以上のズーム比をもつズームレンズを得るのが困難となる。また、ズーミングに際して第3レンズ群L2の像側への移動量が大きくなり、全長が大型化するのでよくない。

## 【0060】

より好ましくは上述の条件式(1)の数値範囲を以下の範囲とするのがよい。

## 【0061】

$$2.1 < |2T| < 3.3 \dots (1a)$$

更に好ましくは上述の条件式(1a)の数値範囲を以下の範囲とするのがよい。

## 【0062】

$$2.2 < |2T| < 3.0 \dots (1b)$$

条件式(2)は、第2レンズ群L2内の各レンズの材料(硝材)がもつ異常分散性に関する条件式である。

## 【0063】

前述した式で示す異常分散値gFが正ならば標準硝材(材料)よりも部分分散比gFが大きく、負ならば標準硝材よりも部分分散比gFが小さいことを表し、その絶対値は異常分散の大きさを表す。

## 【0064】

また、硝材の屈折率は一般に短波長ほど屈折率が大きくなるが、異常分散値gFが正の硝材は異常分散値gFが負の硝材と比較して、短波長側の屈折率の変化率が大きい。

## 【0065】

ここで、高分散の硝材を負レンズ、低分散の硝材を正レンズに用いた単レンズの色消しを考える。高分散の硝材は一般に異常分散値gFが正で絶対値が大きい値をもつのに対し、低分散の硝材は一般に異常分散値gFの絶対値が小さい。このような硝材の組み合わせで1次の色消しを行うと、特に短波長側に2次スペクトル成分が残存する。残存する2次スペクトル成分の色消しを行う場合は、正レンズに異常分散値gFが正で絶対値が大きい(異常分散性が大きい)硝材(蛍石等)を用いる必要がある。

## 【0066】

10

20

30

40

50

この関係を、ズームレンズを構成する各レンズ群の関係に適用する。

【0067】

物体側から像側へ順に、負、正、正の屈折力のレンズ群で構成される負の屈折力のレンズ群が先行する3群ズームレンズの場合、第2レンズ群L2は主たる変倍レンズ群であり、開口絞り近傍に配置される。

【0068】

このため軸上色収差に支配的である。また、第2レンズ群L2は正の屈折力のレンズ群であるため、レンズ群全体として異常分散値  $g_F$  が正の異常分散性をもつようにレンズ群内のレンズを構成する。これによりズーム比を大きくした場合、課題となる短波長側における軸上色収差の補正が容易となる。

10

【0069】

つまり、第2レンズ群L2を構成する各レンズにおいて、正レンズには異常分散値  $g_F$  が正の硝材、負レンズには異常分散値  $g_F$  が負の硝材を用いるようにすればよい。

【0070】

しかし、第2レンズ群L2中の負レンズにはレンズ群内での1次の色消しと収差補正の関係上、屈折率が大きくアッペ数が小さい硝材が用いられる事が多い。一般にこの領域に存在する硝材は異常分散値  $g_F$  が正で絶対値が大きい。

【0071】

一方、第2レンズ群L2を構成する正レンズは1次の色消しのためアッペ数が大きい硝材を用いたり、ガラスモールド材を用いたりすると異常分散値  $g_F$  が負の値をもつ場合が多い。

20

【0072】

ゆえに従来、第2レンズ群L2全体としての異常分散性は悪い方向となりやすく、ズーム比を大きくすると望遠端での軸上色収差の補正が困難となっていた。

【0073】

各実施例では、条件式(2)を満たすように第2レンズ群を構成する各レンズの材料を特定することで第2レンズ群L2の各レンズの材料がもつ異常分散性を適切に配置し、望遠端における軸上色収差を良好に補正している。

【0074】

各実施例において異常分散値  $g_F$  が正で絶対値が大きい材料としてUV硬化樹脂(光学定数は(表1))、N-ポリビニルカルバゾール(光学定数は(表1))を用いている。また、異常分散値  $g_F$  が負で絶対値が大きい材料としてPMMA(Poly methyl methacrylate)に体積分率10%のITO(Indium-Tin Oxide)を分散させた材料(光学定数は(表2))を用いている。

30

【0075】

なお、ナノ微粒子を分散させた混合体の分散特性  $N(\lambda)$  は、良く知られたDurdueの式から導きだされた次式によって簡単に計算することができる。

【0076】

$$N(\lambda) = [1 + V \{N_{ITO}^2(\lambda) - 1\} + (1 - V) \{N_p^2(\lambda) - 1\}]^{1/2} \quad 40$$

ここで、 $\lambda$  は任意の波長、 $N_{ITO}$  はITOの屈折率、 $N_p$  はポリマーの屈折率、 $V$  はポリマー体積に対するITO微粒子の総体積の分率である。

【0077】

なお、各実施例で用いる材料は上記材料に限定されるものではない。

【0078】

実施例1では、後述する第2レンズ群L2を構成する第4番目(物体側から数えたレンズであり以下同様)のレンズG24に、異常分散値  $g_F$  が正で絶対値が大きいUV硬化樹脂を用いている。これによって第2レンズ群L2全体で条件式(2)を満足し、望遠端において軸上色収差を良好に補正している。

50



## 【0079】

実施例2では、後述する第2レンズ群L2を構成する第3番目のレンズG23に異常分散値  $g_F$  が負のセラミック材料、第4番目のレンズG24に異常分散値  $g_F$  が正の硝材を用いている。これにより第2レンズ群L2全体で条件式(2)を満足し、望遠端において軸上色収差を良好に補正している。

## 【0080】

実施例3では、後述する第2レンズ群L2を構成する第3番目のレンズG23に異常分散値  $g_F$  が負で絶対値が大きい、体積分率10%のITOをPMAに分散させた材料を用いている。これにより第2レンズ群L2全体で条件式(2)を満足し、望遠端において軸上色収差を良好に補正している。

10

## 【0081】

実施例4では、後述する第2レンズ群L2を構成する第4番目のレンズG24に異常分散値  $g_F$  が正で絶対値が大きいN-ポリビニルカルバゾールを用いている。これにより第2レンズ群L2全体で条件式(2)を満足し、望遠端において軸上色収差を良好に補正している。

## 【0082】

より好ましくは上述の条件式(2)の数値範囲を以下の範囲とするのがよい。

## 【0083】

## 【数3】

$$-0.026 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \sum \{(\Delta \theta g_F)_j / f_j\} < 0.05 \dots (2a)$$

20

## 【0084】

更に好ましくは上述の条件式(2a)を以下の範囲とするのがよい。

## 【0085】

## 【数4】

$$-0.023 < \sqrt{(f_W * f_T)} * \sum \{(\Delta \theta g_F)_j / f_j\} < 0.02 \dots (2b)$$

30

## 【0086】

条件式(3)は、第2レンズ群L2のもつペッツパール和に関する条件式である。

## 【0087】

1次の色消しと条件式(2)を満足するように第2レンズ群L2を通常の硝材で構成した場合、正レンズにはアッベ数が大きく、異常分散値  $g_F$  が正で絶対値が大きい硝材を用いる必要がある。

## 【0088】

しかし、一般にこのような硝材は屈折率が小さい傾向にある。第2レンズ群L2の正レンズに屈折率の小さい硝材を用いた場合、レンズ群内のペッツパール和が小さくならず像面倒れの補正が不十分となりやすい。

40

## 【0089】

各実施例では、各レンズの材料に前述のUV硬化樹脂や微粒子分散材料等を適切に用いることにより、条件式(2)と条件式(3)を両立し、良好な光学性能を得ている。

## 【0090】

条件式(3)の上限を超えると第2レンズ群L2のペッツパール和を小さくするのが不十分となり、像面倒れが悪化するのでよくない。

## 【0091】

条件式(3)の下限に近づくほど第2レンズ群L2のペッツパール和が小さくなり好ましい。しかし、下限を超えると正の屈折力の第2レンズ群L2のペッツパール和が負の方

50

向となり、このような構成は少ないレンズ枚数での実現が困難となる。

【0092】

より好ましくは上述の条件式(3)の数値範囲を以下の範囲とするのがよい。

【0093】

【数5】

$$0.0 < \sqrt{(fW * fT)} * \sum \{(Nk' - Nk) / (Rk * Nk' * Nk)\} < 0.28 \dots (3a)$$

【0094】

更に好ましくは上述の条件式(3a)を以下の範囲とするのがよい。

【0095】

【数6】

$$0.0 < \sqrt{(fW * fT)} * \sum \{(Nk' - Nk) / (Rk * Nk * Nk')\} < 0.27 \dots (3b)$$

【0096】

各実施例では、以上のように条件式(1)~(3)を満足するように、各要素を構成することによって、構成レンズ枚数が比較的少なく、広角端で所望の画角を有し、且つ所望のズーム比を有した高い光学性能のズームレンズを得ている。

【0097】

尚、条件式(1a)、(1b)、(2a)、(2b)、(3a)、(3b)の上限値を条件式(1)~(3)の上限値にしても良く、又、条件式(1a)、(1b)、(2a)、(2b)、(3a)、(3b)の下限値を条件式(1)~(3)の下限値としても良い。

【0098】

各実施例における3群ズームレンズでは、開口絞りSPの絞り径を固定したままズームを行うと、広角端から望遠端にかけてFナンバーが大きくなる。そうすると、特に画素ピッチが狭い固体撮像素子を用いた場合、望遠端において回折の影響が顕著となり高画質の画像を得るのが困難となってくる。

【0099】

そこで、ズームを行い、ズーム比を大きくした場合でも、望遠端でのFナンバーが暗くならないようにするために広角端でのFナンバーを明るくすると、少ないレンズ枚数での収差補正が困難になってくる。

【0100】

そこで各実施例において、より好ましくは広角端と望遠端において撮像時における開口絞りSPの最大絞り径が異なるように制御している。

【0101】

特に各実施例において、撮像時における開口絞りSPの開口径の最大面積が広角端に比べ望遠端で大きくなるようにしている。これによって広角端から望遠端までの広いズーム範囲で良好な光学性能を得ている。

【0102】

具体的には、広角端と望遠端での撮像時における開口絞りの開口面の最大面積を各々SW、STとする。このとき

$$1.5 < ST / SW < 4.0 \dots (4)$$

なる条件を満足するように構成すれば良い。

【0103】

条件式(4)の上限を超えた場合、開口絞りSPの絞り径の制御が過剰となり望遠端のFナンバーが明るくなりすぎ、少ないレンズ枚数での収差補正が困難となる。若しくは、

10

20

30

40

50

広角端でのFナンバーが暗くなりすぎるためよくない。下限を超えた場合、開口絞りの絞り径の制御が不足となり広角端でのFナンバーが明るくなりすぎるか、望遠端での回折の影響を緩和する効果が不十分となるためよくない。

【0104】

より好ましくは上述の条件式(4)の数値範囲を以下の範囲とするのがよい。

$$1.8 < ST / SW < 3.0 \quad \dots (4a)$$

更に好ましくは上述の条件式(4a)の数値範囲を以下の範囲とするのがよい。

$$2.0 < ST / SW < 3.0 \quad \dots (4b)$$

開口絞りの開口径の制御方法は、広角端から望遠端へのズームングに際しズームングと連動して絞り径が大きくなるように開口絞りを制御してもよい。又、ズームング途中で開口絞りを入れ替えるような機構を用いてもよい。

10

【0105】

尚、条件式(4a)、(4b)の上限値を条件式(4)の上限値としても良く、又、条件式(4a)、(4b)の下限値を条件式(4)の下限値としても良い。

【0106】

次の各実施例におけるレンズ構成の具体的な特徴について述べる。

【0107】

各実施例において、第1レンズ群L1はいずれも最も物体側のレンズ径の増大を抑えられるように、負レンズと正レンズの2つのレンズより構成している。

【0108】

具体的には第1レンズ群L1は物体側より像側へ順に、像側の面が凹面でメニスカス形状の負レンズG11、物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズG12で構成している。

20

【0109】

このような構成により少ないレンズ枚数でレンズ系全体の小型化を図りながら諸収差を良好に補正している。

【0110】

更に負レンズG11の像面の面側をレンズ中心からレンズ周辺に行くほど負の屈折力が弱くなる非球面形状としている。これにより非点収差と歪曲収差をバランスよく補正し、第1レンズ群を2枚のレンズで構成してレンズ全体のコンパクト化を図っている。

30

【0111】

尚、負レンズG11に設ける非球面は物体側のレンズ面であっても良い。この場合の非球面形状はレンズ中心からレンズ周辺に向かって徐々に曲率がきつくなる形状とすればよい。

【0112】

更に負レンズG11の両面を非球面形状としても良い。

【0113】

各実施例において、第2レンズ群は正レンズと負レンズから成る接合レンズを1以上有している。

【0114】

このうち、実施例1において第2レンズ群L2は物体側から像側へ順に、正レンズG21と負レンズG22を接合した接合レンズ、負レンズG23と正レンズG24と正レンズG25を接合した接合レンズで構成している。

40

【0115】

実施例2において第2レンズ群L2は物体側から像側へ順に、正レンズG21と負レンズG22を接合した接合レンズ、負レンズG23と正レンズG24を接合した接合レンズで構成している。

【0116】

実施例3において第2レンズ群L2は物体側から像側へ順に、正レンズG21と負レンズG22と負レンズG23を接合した接合レンズ、負レンズG24と正レンズG25を接

50

合した接合レンズで構成している。

【0117】

実施例4において第2レンズ群L2は物体側から像側へ順に、正レンズG21と負レンズG22を接合した接合レンズ、負レンズG23と正レンズG24と正レンズG25を接合した接合レンズで構成している。

【0118】

各実施例において、第2レンズ群L2はズームに伴う収差変動が起こりやすいので比較的対称なレンズ構成とすることでズーム時の収差変動を低減している。

【0119】

第2レンズ群L2中の最も物体側の正レンズG21は、第1レンズ群L1を射出した軸外光線が大きく屈折しても軸外諸収差が多く発生しないように物体側の面を凸形状にしている。

10

【0120】

また、第1レンズ群L1を発散状態で射出した軸上光束に対して球面収差の発生量を抑えるためにも正レンズG21の物体側の面を凸形状としている。

【0121】

また、各実施例において、第2レンズ群L2の最も物体側の面は軸上光線が最も高くなる面であるので、この面を非球面形状とすることで球面収差、コマ収差を良好に補正している。また、第2レンズ群L2の最も像側の面を非球面形状とすることで高次の球面収差、コマ収差を補正している。

20

【0122】

更に実施例1、2、4では負レンズG22の像側の面を実施例3では負レンズG23の像側の面を凹形状としている。

【0123】

これにより正レンズG21の物体側のレンズ面で発生するコマ収差を負レンズG22又は負レンズG23の像側のレンズ面で補正している。

【0124】

以上のような構成とすることで高ズーム比化に伴う第2レンズ群L2からの収差の発生を全ズーム域で低減している。

【0125】

また、各実施例において、第3レンズ群L3は1枚の正レンズで構成している。第3レンズ群L3は、第1レンズ群L1、第2レンズ群L2で構成されるショートズーム系の屈折力を分担し、フィールドレンズの役割を持たせている。これにより固体撮像素子を用いた撮像装置で必要な像側にテレセントリックな結像を達成している。

30

【0126】

尚、第3レンズ群L3は広角端から望遠端へのズームに際して像側に移動させているが、各実施例のズームレンズとしてはズームのためには不動としても良い。不動とすると駆動のために必要なメカ部材、アクチュエーター等が不要となる。

【0127】

また各実施例のズームレンズでは、フォーカシングを構成レンズ枚数が少ない第3レンズ群L3で行うのが良い。これによればフォーカスレンズユニットが小型化され好ましい。

40

【0128】

尚、各実施例において諸収差のうち歪曲収差は公知の電氣的な収差補正方法を用いて補正してもよい。

【0129】

以上の各実施例においては、ズームに際して3つのレンズ群を移動させていた。この代わりに、各レンズ群の間隔が変化するように2つのレンズ群（例えば第1と第2レンズ群、又は第1と第3レンズ群、又は第2と第3レンズ群）を移動させるズームタイプにも適用できる。

50

## 【 0 1 3 0 】

又、第 1 レンズ群 L 1 の物体側又は / 及び第 3 レンズ群 L 3 の像側に屈折力の小さなレンズ群を付加しても良い。

## 【 0 1 3 1 】

又、各実施例のズームレンズは、負、正、正の屈折力のレンズ群より成る 3 群構成に限定されるものではない。第 2 レンズ群を正、正のレンズ群に分割した場合、負、正、正、正の屈折力のレンズ群より成る 4 群構成や、第 2 レンズ群を正、負のレンズ群構成に分割した負、正、負、正の屈折力のレンズ群より成る 4 群構成にも適用される。

## 【 0 1 3 2 】

以上のように、各実施例では負の屈折力のレンズ群より先行するズームレンズにおいて、前述の如くレンズ群を構成することにより、ズーム比 5 以上の高ズーム比とレンズ群の渦方化を両立した高性能なズームレンズを得ている。

10

## 【 0 1 3 3 】

次に、各実施例の数値実施例を示す。

## 【 0 1 3 4 】

各数値実施例において、 $i$  は物体側からの面の順序を示し、 $R_i$  はレンズ面の曲率半径、 $D_i$  は第  $i$  面と第  $(i + 1)$  面との間の間隔、 $N_{di}$ 、 $d_i$  はそれぞれ  $d$  線を基準とした屈折率、アッペ数を示す。

## 【 0 1 3 5 】

樹脂や ITO 微粒子分散材料で形成されたレンズの  $d$  線に対する屈折率、アッペ数は別途  $NGNLm$  又は  $NGLm$ 、 $GNLm$  又は  $GLm$ 、 $(m = 1, 2, \dots)$  で示している。 $f$  は焦点距離、 $Fno$  は F ナンバー、 $\theta$  は半画角である。

20

## 【 0 1 3 6 】

また、非球面形状は、光の進行方向を正とし、 $x$  を光軸方向の面頂点からの変位量とする。 $h$  を光軸と垂直な方向の光軸からの高さ、 $R$  を近軸曲率半径とする。 $K$  を円錐定数、 $B$ 、 $D$ 、 $C$ 、 $E$  を非球面係数とする。このとき、

$$x = \frac{(h^2 / R)}{[1 + \{1 - (1 + K) * (h / R)^2\}^{1/2}]} + B * h^4 + C * h^6 + D * h^8 + E * h^{10}$$

なる式で表している。

## 【 0 1 3 7 】

なお、各非球面係数における「 $E \pm X X$ 」は「 $x 1 0 \pm X X$ 」を意味している。

30

## 【 0 1 3 8 】

また、最も像側の 2 つの面はフェースプレート等のガラスブロックである。

## 【 0 1 3 9 】

また、前述の各条件式と数値実施例との関係を (表 3)、(表 4) に示す。

(数値実施例 1)

$f=4.62 \sim 17.90 \sim 32.18$   $Fno=2.8 \sim 4.2 \sim 5.6$   $\theta = 75.4^\circ \sim 22.6^\circ \sim 12.7^\circ$

R1=	172.5327	D1=	1.80	Nd1=	1.77250	d1=	49.6	40
*R2=	7.3755	D2=	3.51					
R3=	14.6110	D3=	2.40	Nd2=	1.84666	d2=	23.8	
R4=	33.6324	D4=	可変					
R5=	(開口絞り)	D5=	0.50					
*R6=	7.0936	D6=	4.15	Nd3=	1.77250	d3=	49.6	
R7=	-10.3524	D7=	0.50	Nd4=	1.62004	d4=	36.3	
R8=	5.0559	D8=	0.60					
R9=	8.4380	D9=	0.50	Nd5=	1.84666	d5=	23.8	
R10=	4.2337	D10=	0.66	GNL1=	1.63555	GNL1=	22.7	
R11=	5.5309	D11=	2.96	Nd6=	1.73077	d7=	40.5	50

\*R12= 21.1340 D12= 可變  
 R13= 12.8890 D13= 2.40 Nd7= 1.56883 d8= 56.4  
 R14= -109.6070 D14= 可變  
 R15= D15= 1.00 Nd8= 1.51633 d9= 64.1  
 R16=

【 0 1 4 0 】

【表 1】

	焦点距離		
可變間隔	4.62	17.90	32.18
D4	35.34	5.98	1.43
D12	3.41	21.73	40.05
D14	3.68	3.18	2.68

10

【 0 1 4 1 】

非球面係數

	k	B	C	D	E
R2	-1.99784E+00	3.74169E-04	-1.50665E-06	8.86082E-09	-4.97929E-11
R6	-6.58657E-01	4.80874E-05	9.62458E-07	-6.89659E-08	1.04318E-10
R12	0.00000E+00	-9.44372E-05	-8.45980E-06	1.05385E-07	-9.92052E-08

20

( 数值实施例 2 )

f=4.63 ~ 17.93 ~ 32.10 Fno=2.8 ~ 4.2 ~ 5.6 2 =75.2 ° ~ 22.6 ° ~ 12.6 °

R1= 419.6789 D1= 2.20 Nd1= 1.88300 d1= 40.8  
 \*R2= 8.7784 D2= 3.51  
 R3= 16.6343 D3= 2.60 Nd2= 1.92286 d2= 18.9  
 R4= 37.2068 D4= 可變  
 R5= ( 開口絞リ ) D5= 0.50  
 \*R6= 7.7281 D6= 4.04 Nd3= 1.74320 d3= 49.3  
 R7= -9.1168 D7= 1.00 Nd4= 1.60342 d4= 38.0  
 R8= 4.9756 D8= 0.60  
 R9= 6.7042 D9= 0.99 Nd5= 2.08200 d5= 30.1  
 R10= 5.1504 D10= 2.59 Nd6= 1.56907 d6= 71.3  
 \*R11= 34.5373 D11= 可變  
 R12= 12.0834 D12= 2.40 Nd7= 1.48749 d7= 70.2  
 R13= -140.6995 D13= 可變  
 R14= D14= 1.00 Nd8= 1.48749 d8= 70.2  
 R15=

30

【 0 1 4 2 】

【表 2】

	焦点距離		
可變間隔	4.63	17.93	32.10
D4	35.36	5.86	1.32
D11	3.41	21.76	40.11
D13	3.74	3.24	2.74

40

【 0 1 4 3 】

50

非球面係数

	k	B	C	D	E
R2	-2.41899E+00	2.81851E-04	4.66273E-07	-3.58586E-08	2.94828E-10
R6	-6.36829E-01	9.31760E-06	4.40711E-07	-9.11687E-08	8.91057E-10
R11	0.00000E+00	-7.93907E-05	-8.55194E-06	-9.68709E-07	-5.26015E-08

(数值实施例 3)

f=4.60 ~ 19.85 ~ 37.00 Fno=2.8 ~ 4.5 ~ 6.0 2 =75.6 ° ~ 20.4 ° ~ 11.0 °

*R1=	82.0907	D1=	1.80	Nd1=	1.88300	d1=	40.8	10
*R2=	8.7663	D2=	3.51					
R3=	14.6720	D3=	2.40	Nd2=	1.92286	d2=	18.9	
R4=	26.5643	D4=	可変					
R5=	(開口絞り)	D5=	0.50					
*R6=	7.2220	D6=	4.32	Nd3=	1.77250	d3=	49.6	
R7=	-12.1128	D7=	0.50	Nd4=	1.62004	d4=	36.3	
R8=	5.2870	D8=	0.13	NGL1=	1.53218	GL1=	20.6	
R9=	4.8806	D9=	1.50					
R10=	9.5618	D10=	0.50	Nd5=	1.76182	d5=	26.5	
R11=	5.3799	D11=	3.00	Nd6=	1.73077	d7=	40.5	20
*R12=	19.6420	D12=	可変					
R13=	10.0682	D13=	2.40	Nd7=	1.48749	d8=	70.2	
R14=	-123.3061	D14=	可変					
R15=		D15=	1.00	Nd8=	1.51633	d9=	64.1	
R16=								

【 0 1 4 4 】

【表 3】

可変間隔 \ 焦点距離	焦点距離		
	4.60	19.85	37.00
D4	40.00	6.34	1.6
D12	3.71	25.38	47.05
D14	3.59	2.84	2.09

30

【 0 1 4 5 】

非球面係数

	k	B	C	D	E
R1	0.00000E+00	8.43901E-05	-5.80907E-07	1.50410E-09	-1.64079E-12
R2	-2.20328E+00	3.78697E-04	-2.31421E-07	-1.00655E-08	1.98485E-11
R6	-5.09240E-01	1.38681E-05	-5.49594E-07	3.64440E-08	-1.49066E-09
R12	0.00000E+00	3.38664E-05	-1.38573E-05	1.47566E-06	-1.01809E-07

40

(数值实施例 4)

f=4.78 ~ 15.47 ~ 28.54 Fno=2.8 ~ 4.2 ~ 5.6 2 =73.5 ° ~ 26.0 ° ~ 14.3 °

R1=	58.4423	D1=	2.00	Nd1=	1.88300	d1=	40.8
*R2=	7.5728	D2=	4.02				
R3=	15.6444	D3=	2.40	Nd2=	1.92286	d2=	18.9
R4=	31.6170	D4=	可変				

50

R5= (開口絞り) D5= 0.50  
 \*R6= 6.8542 D6= 3.91 Nd3= 1.77250 d3= 49.6  
 R7= -7.9989 D7= 0.50 Nd4= 1.62004 d4= 36.3  
 R8= 5.2283 D8= 0.80  
 R9= 15.8902 D9= 0.50 Nd5= 1.84666 d5= 23.8  
 R10= 4.6528 D10= 0.66 NGNL1= 1.69591 GNL1= 17.7  
 R11= 6.4779 D11= 2.55 Nd6= 1.73077 d7= 40.5  
 \*R12= -280.0411 D12= 可変  
 R13= 12.0652 D13= 2.40 Nd7= 1.48749 d8= 70.2  
 R14= -92.7994 D14= 可変  
 R15= D15= 1.00 Nd8= 1.51633 d9= 64.1  
 R16=

10

【 0 1 4 6 】

【 表 4 】

可変間隔 \ 焦点距離	4.78	15.47	28.54
	D4	30.06	6.42
D12	2.84	20.00	37.16
D14	3.90	2.45	1.00

20

【 0 1 4 7 】

非球面係数

	k	B	C	D	E
R2	-2.28970E+00	4.23652E-04	-1.40738E-06	-1.78684E-08	2.69061E-10
R6	-2.13968E-01	-2.07056E-04	-1.17305E-06	-2.41818E-07	1.60317E-09
R12	0.00000E+00	-1.30013E-04	1.00834E-05	-2.22118E-06	6.07154E-08

【 0 1 4 8 】

30



【表 5】

(表 1)

	UV硬化樹脂	N-ポリビニル カルバゾール
d線屈折率	1.63555	1.69591
g線屈折率	1.67532	1.75164
C線屈折率	1.62807	1.68528
F線屈折率	1.65604	1.72465
$\nu d$	22.7	17.7
$\theta g F$	0.689	0.686
$\Delta \theta g F$	0.0832	0.0717

10

(表 2)

	ITO	PMMA	ITO 10%混合体
d線屈折率	1.85712	1.49171	1.53218
g線屈折率	1.99244	1.50279	1.55869
C線屈折率	1.79794	1.48917	1.52287
F線屈折率	1.94870	1.49774	1.54876
$\nu d$	5.7	57.4	20.6
$\theta g F$	0.290	0.589	0.384
$\Delta \theta g F$	-0.344	0.0414	-0.225

20

30

【 0 1 4 9 】

【表 6】

(表 3)

		実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
f W		4.62	4.63	4.60	4.78
f T		32.18	32.10	37.00	28.54
S W		24.34	25.12	24.74	23.25
S T		57.07	56.14	59.91	46.78
G 2 1	$\theta g F$	0.552	0.553	0.552	0.552
	$\Delta \theta g F$	-0.00867	-0.00818	-0.00867	-0.00867
	f	6.080	6.268	6.489	5.398
G 2 2	$\theta g F$	0.588	0.584	0.588	0.588
	$\Delta \theta g F$	0.00492	0.00334	0.00492	0.00492
	f	-5.411	-5.196	-5.871	-5.026
G 2 3	$\theta g F$	0.621	0.583	0.384	0.621
	$\Delta \theta g F$	0.0170	-0.0105	-0.225	0.0170
	f	-10.615	-30.711	-134.218	-7.933
G 2 4	$\theta g F$	0.690	0.545	0.614	0.686
	$\Delta \theta g F$	0.0842	0.0208	0.0146	0.0717
	f	23.715	10.307	-17.027	20.675
G 2 5	$\theta g F$	0.573	-	0.573	0.573
	$\Delta \theta g F$	-0.00294	-	-0.00294	-0.00294
	f	9.490	-	9.311	8.697

(表 4)

条件式	下限	上限	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
(1)	2.1	3.5	2.57	2.58	2.73	2.21
(2)	-0.03	0.1	-0.00844	0.00503	-0.0217	-0.0186
(3)	0.0	0.3	0.180	0.263	0.114	0.220
(4)	1.5	4.0	2.34	2.23	2.42	2.01

## 【0150】

次に本発明のズームレンズを撮像光学系として用いたデジタルスチルカメラ（撮像装置）の実施例を図17を用いて説明する。

## 【0151】

図17において、20はカメラ本体、21は本発明のズームレンズによって構成された撮像光学系である。22は撮像光学系21によって形成された被写体像を受光するCCD等の撮像素子である。23は撮像素子22が受光した被写体像を記録する記録手段、24は不図示の表示素子に表示された被写体像を観察するためのファインダーである。

## 【0152】

上記表示素子は液晶パネル等によって構成され、撮像素子22上に形成された被写体像が表示される。

## 【0153】

このように本発明のズームレンズをビデオカメラ等の光学機器に適用することにより、小型で高い光学性能を有する撮像装置を実現している。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0154】

10

20

30

40

50

- 【図 1】実施例 1 のレンズ断面図
- 【図 2】実施例 1 の広角端における収差図
- 【図 3】実施例 1 の中間のズーム位置における収差図
- 【図 4】実施例 1 の望遠端における収差図
- 【図 5】実施例 2 のレンズ断面図
- 【図 6】実施例 2 の広角端における収差図
- 【図 7】実施例 2 の中間のズーム位置における収差図
- 【図 8】実施例 2 の望遠端における収差図
- 【図 9】実施例 3 のレンズ断面図
- 【図 10】実施例 3 の広角端における収差図
- 【図 11】実施例 3 の中間のズーム位置における収差図
- 【図 12】実施例 3 の望遠端における収差図
- 【図 13】実施例 4 のレンズ断面図
- 【図 14】実施例 4 の広角端における収差図
- 【図 15】実施例 4 の中間のズーム位置における収差図
- 【図 16】実施例 4 の望遠端における収差図
- 【図 17】本発明の撮像装置の要部概略図

10

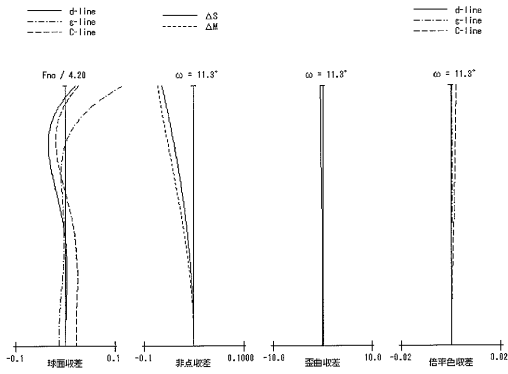
## 【符号の説明】

## 【 0 1 5 5 】

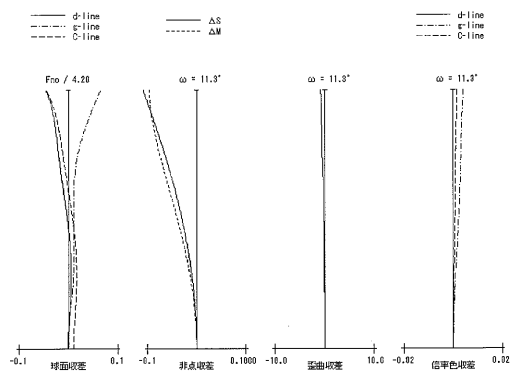
- L 1 第 1 レンズ群
- L 2 第 2 レンズ群
- L 3 第 3 レンズ群
- S P 開口絞り
- G ガラスブロック
- I P 像面
- d d 線
- g g 線
- S サジタル像面
- M メリディオナル像面

20

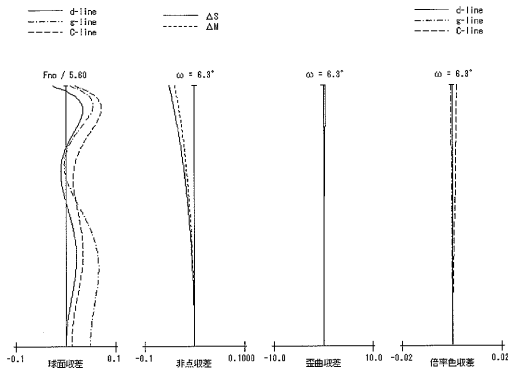
【 図 3 】



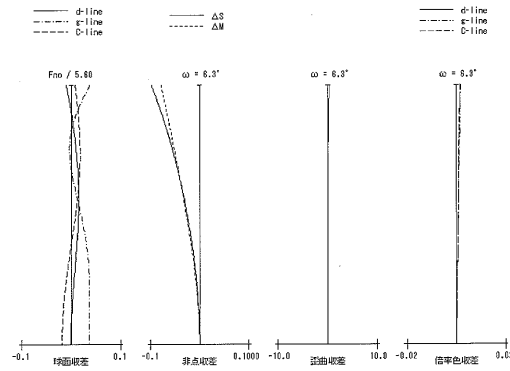
【 図 7 】



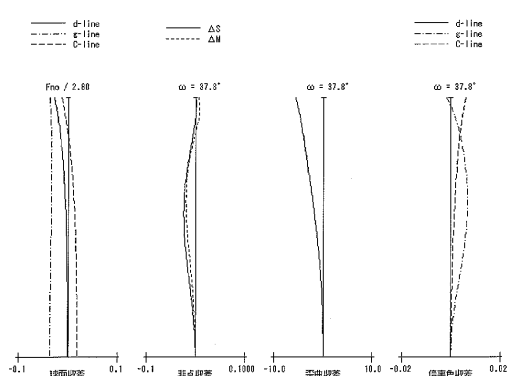
【 図 4 】



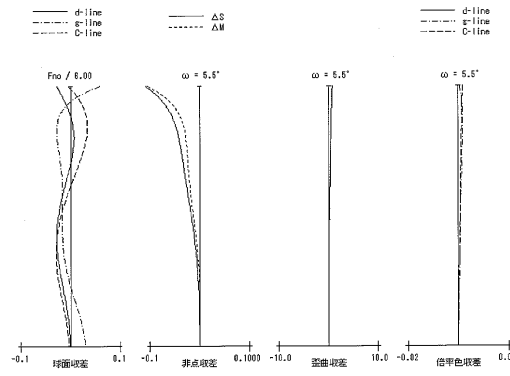
【 図 8 】



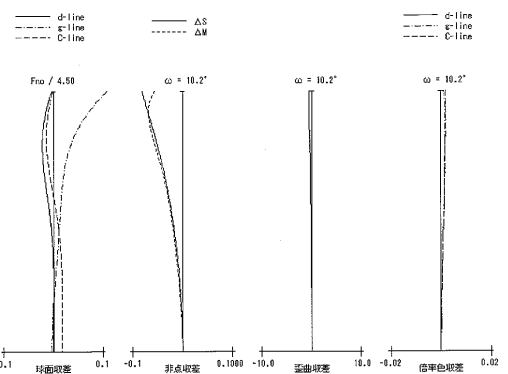
【 図 10 】



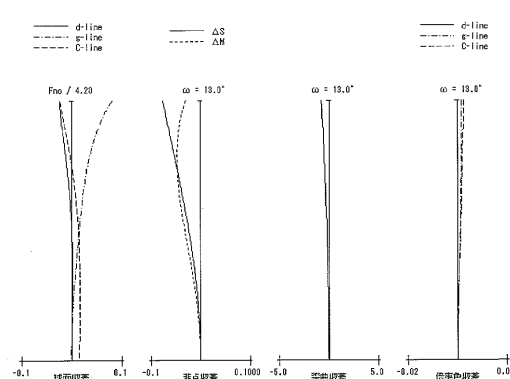
【 図 12 】



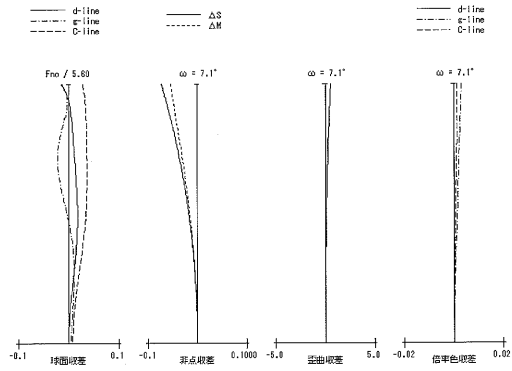
【 図 11 】



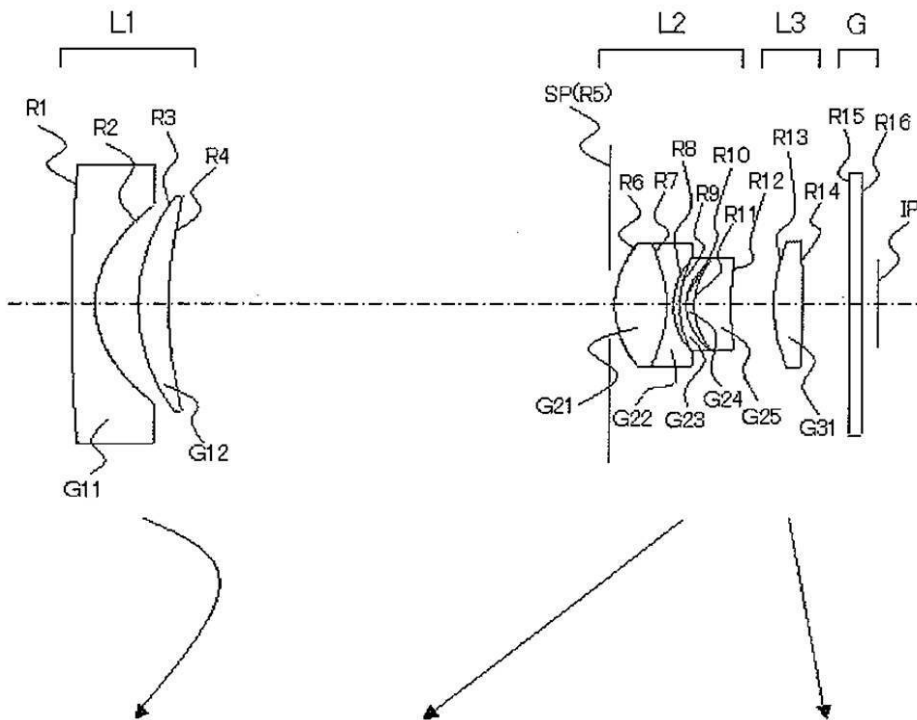
【 図 15 】



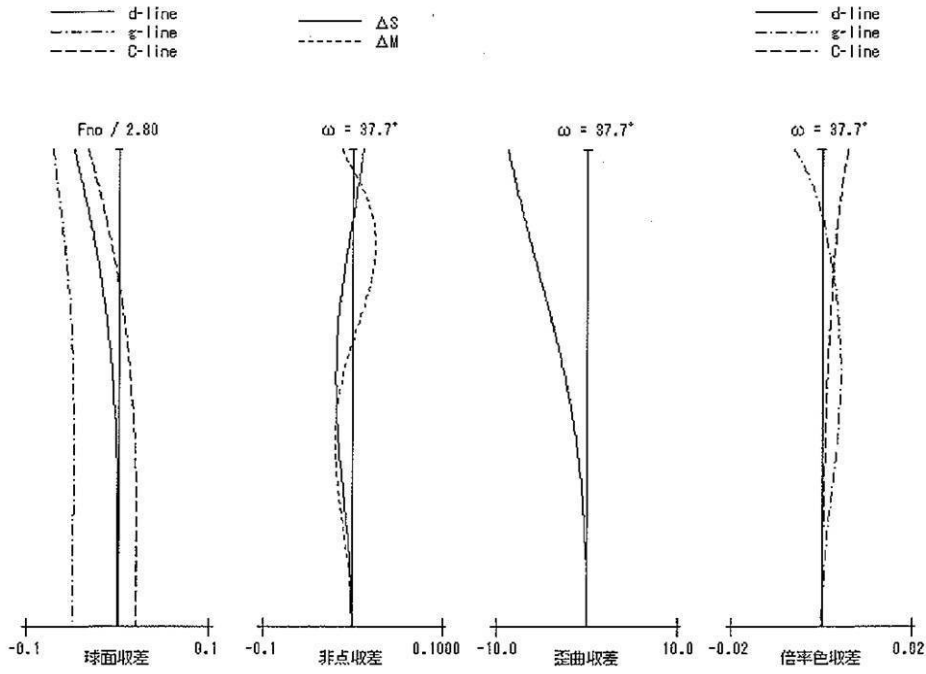
【 図 16 】



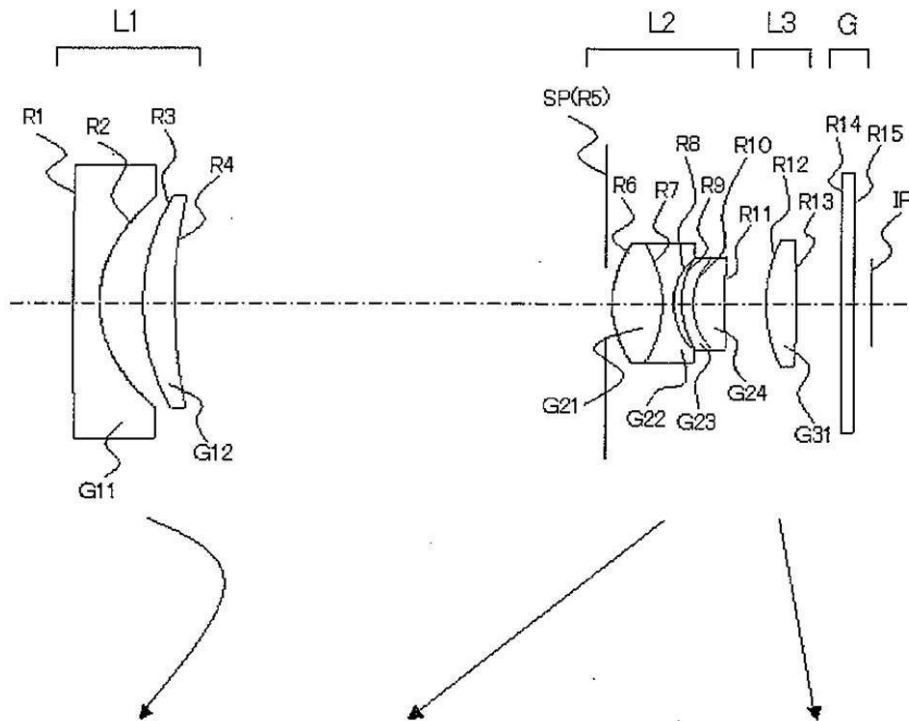
【 図 1 】



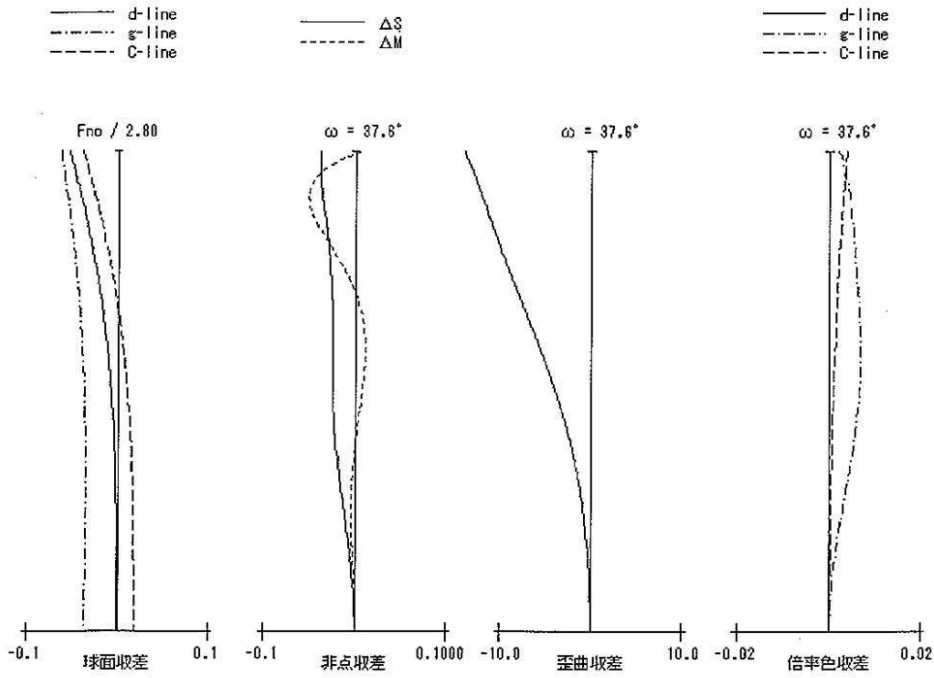
【 图 2 】



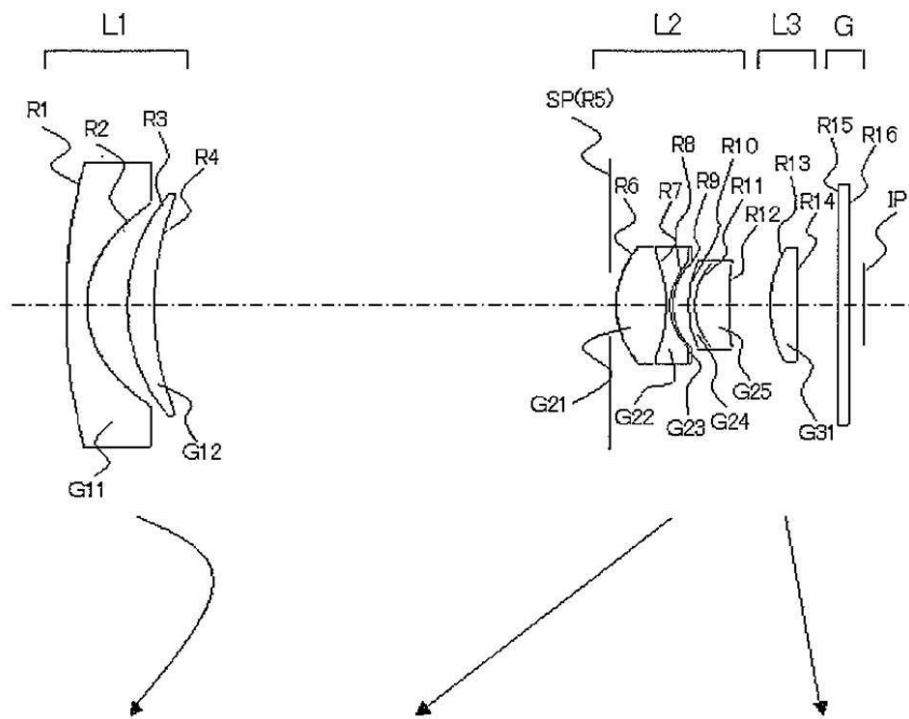
【 图 5 】



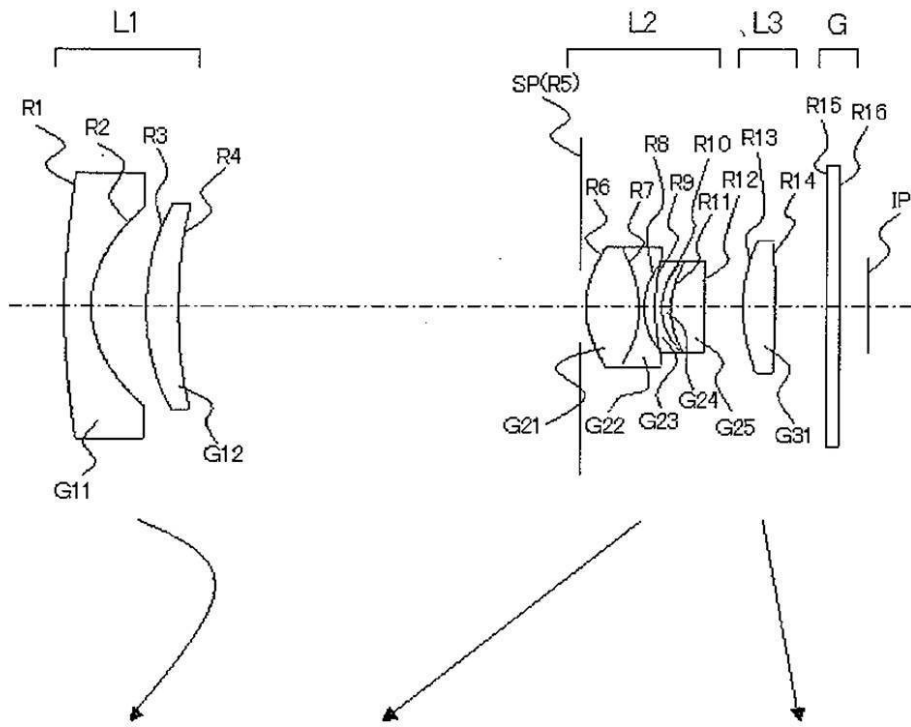
【 図 6 】



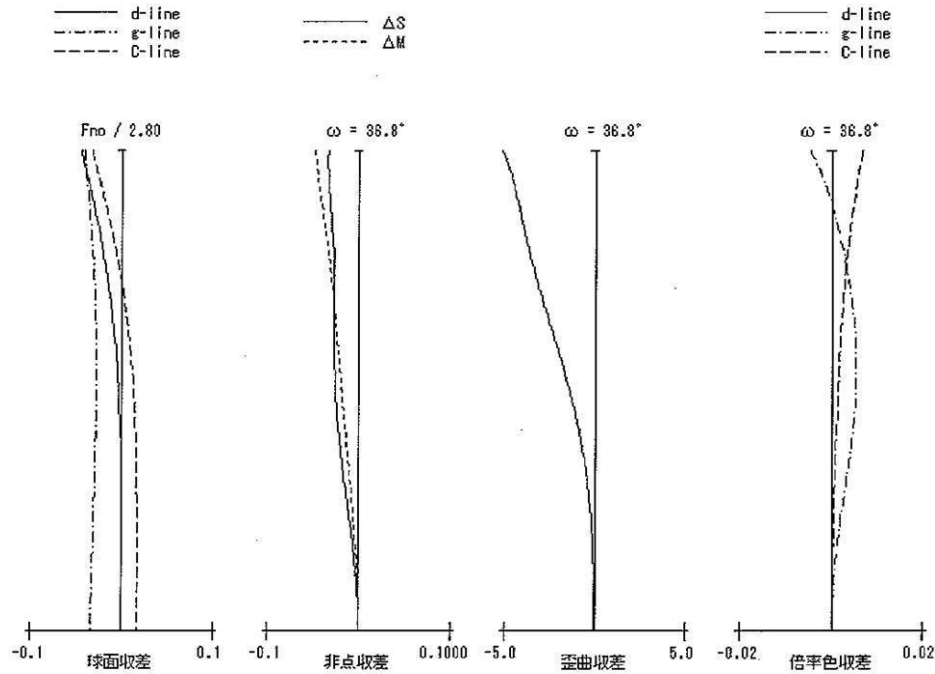
【 図 9 】



【 図 1 3 】

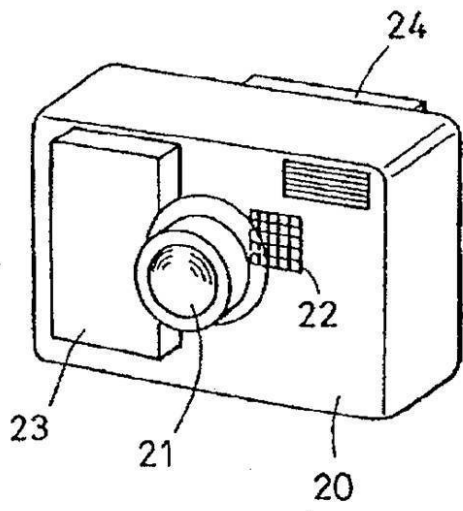


【 図 1 4 】





【図 17】



フロントページの続き

【要約の続き】

径R k等を適切に設定したこと。

【選択図】図1