

(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2005-292524
(P2005-292524A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int.CI.⁷**G02B 15/167**
HO4N 5/232
// **HO4N 101:00**

F 1

G02B 15/167
HO4N 5/232
HO4N 5/232
HO4N 101:00

テーマコード(参考)

2H087
5C122A
H

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号
(22) 出願日特願2004-108589 (P2004-108589)
平成16年3月31日 (2004.3.31)

(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 100067541
弁理士 岸田 正行

(74) 代理人 100087398
弁理士 水野 勝文

(74) 代理人 100104628
弁理士 水本 敦也

(74) 代理人 100108361
弁理士 小花 弘路

(72) 発明者 若園 毅
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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ズームレンズおよび撮影システム

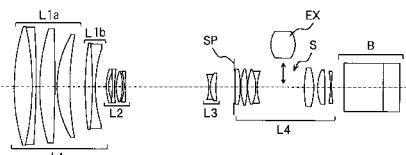
(57) 【要約】

【課題】 小型軽量で高倍率を有し、かつ高い光学性能を有するズームレンズを実現する。

【解決手段】 物体側から順に、変倍中に固定される正の光学パワーを有する第1レンズユニットL1と、変倍のために移動する第2レンズユニットL2と、変倍に伴う像面変動を補正するために移動する第3レンズユニットL3と、変倍中に固定される正の光学パワーを有する第4レンズユニットL4とを有する。第1レンズユニットは、物体側から順に、正の光学パワーを有する第1レンズサブユニットL1aと、負の光学パワーを有する第2レンズサブユニットL1bとを有する。焦点調節に際して、第1および第2レンズサブユニットのうち一方が移動し、かつ以下の条件を満たす。

$$\begin{aligned} -2.5 < f_{1b} / f_{1a} < -0.6 , \quad 0 . \\ 2 < f_1 / f_T < 0 . 8 \end{aligned}$$

但し、 f_1 は第1レンズユニットの焦点距離、 f_{1a} は第1レンズサブユニットの焦点距離、 f_{1b} は第2レンズサブユニットの焦点距離、 f_T は該ズームレンズ全



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側から順に、変倍中に固定される正の光学パワーを有する第1レンズユニットと、変倍のために移動する第2レンズユニットと、変倍に伴う像面変動を補正するために移動する第3レンズユニットと、変倍中に固定される正の光学パワーを有する第4レンズユニットとを有するズームレンズであって、

前記第1レンズユニットは、前記物体側から順に、正の光学パワーを有する第1レンズサブユニットと、負の光学パワーを有する第2レンズサブユニットとを有し、

焦点調節に際して、前記第1および第2レンズサブユニットのうち一方が移動し、かつ以下の条件を満たすことを特徴とするズームレンズ。

$$-2.5 < f_{1b} / f_{1a} < -0.6$$

$$0.2 < f_1 / f_T < 0.8$$

但し、 f_1 は前記第1レンズユニットの焦点距離、 f_{1a} は前記第1レンズサブユニットの焦点距離、 f_{1b} は前記第2レンズサブユニットの焦点距離、 f_T は該ズームレンズ全系の望遠端での焦点距離である。

【請求項 2】

さらに以下の条件を満たすことを特徴とする請求項1に記載のズームレンズ。

$$3.0 < f_T / L_d$$

$$5 < Z$$

但し、 L_d は該ズームレンズにより形成される有効画面の対角長、 Z は該ズームレンズのズーム比である。

【請求項 3】

さらに以下の条件を満たすことを特徴とする請求項1又は2に記載のズームレンズ。

$$0.3 < K < 0.95$$

但し、 K は前記第1レンズユニットの焦点距離に対する前記第1レンズサブユニットから前記第1レンズユニットの後側焦点位置までの距離の比である。

【請求項 4】

前記第1レンズサブユニットは、少なくとも2枚の正レンズエレメントと少なくとも1枚の負レンズエレメントを有し、かつ以下の条件を満たすことを特徴とする請求項1から3のいずれか1つに記載のズームレンズ。

$$a_p - a_n > 3.0$$

但し、 a_p は前記第1レンズサブユニットに含まれる前記正レンズエレメントのアッベ数の平均値、 a_n は前記第1レンズサブユニットに含まれる前記負レンズのアッベ数の平均値である。

【請求項 5】

前記第2レンズサブユニットは、少なくとも1枚の正レンズエレメントと少なくとも1枚の負レンズエレメントで構成され、かつ以下の条件を満たすことを特徴とする請求項1から4のいずれか1つに記載のズームレンズ。

$$b_n - b_p > 5$$

但し、 b_p は前記第2レンズサブユニットに含まれる前記正レンズエレメントのアッベ数の平均値、 b_n は前記第2レンズサブユニットに含まれる前記負レンズエレメントのアッベ数の平均値である。

【請求項 6】

前記第1から第4レンズエレメントと、前記第3レンズユニットおよび前記第4レンズエレメントの間に配置された絞りとからなることを特徴とする請求項1から5のいずれか1つに記載のズームレンズ。

【請求項 7】

前記第4レンズユニット内に形成された空間に対して挿脱可能な焦点距離変換光学系を有することを特徴とする請求項1から6のいずれか1つに記載のズームレンズ。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

請求項 1 から 7 のいずれか 1 つに記載のズームレンズと、
該ズームレンズが装着される撮影装置とを有することを特徴とする撮影システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、デジタルスチルカメラ、テレビカメラおよびビデオカメラ等の撮影装置に使用されるズームレンズに関するものである。

【背景技術】

【0002】

上記のようなズームレンズには、物体側から順に、焦点調節用の正の屈折力を有する第1レンズユニット、変倍用の負の屈折力を有する第2レンズユニット、変倍に伴う像面変動補正用の正又は負の屈折力を有する第3レンズユニットおよび結像用の正の屈折力を有する第4レンズユニットを有する 4 ユニット構成のズームレンズや、第3レンズユニットに像面変動補正作用と結像作用を持たせた 3 ユニット構成のズームレンズがある。

【0003】

このようなズームレンズのうち特に望遠タイプのズームレンズとして、特許文献 1 ~ 3 には、望遠端の画角 α_2 が 2.0° 以下で変倍比が 1.5 ~ 3 倍程度のものが開示されている。また、テレビカメラ用として、望遠端の画角 α_2 が 2.0° 以下で変倍比が 40 倍程度の超望遠タイプのズームレンズが開示されている。

【特許文献 1】特開平 5 - 303035 号公報 (段落 0015、図 1 等)

【特許文献 2】特開平 10 - 90599 号公報 (段落 0024 ~ 0025、図 1, 4, 7 等)

【特許文献 3】特開 2001 - 100099 号公報 (段落 0046 ~ 0049、図 27 等)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

テレビの自然番組等の撮影において、屋外で動物や鳥などを遠距離から撮影する場合には、高変倍比 (例えば、5 倍以上の高倍率で、かつ画角が 2 度以下 2/3 型 CCD 換算で焦点距離が 330 mm 以上) であり、高い光学性能を有するズームレンズが要望されている。また、このような撮影においては、カメラを肩に担いで使用する場合も多いため、より小型軽量で携帯性に優れたズームレンズが要望されている。

【0005】

ここで、4 ユニット構成のズームレンズにおいて以下の式が成り立つ。

【0006】

【数 1】

$$f_w = f_1 \times \beta_{2w} \times \beta_{3w} \times \beta_4 \quad \cdots (a-1)$$

$$f_T = f_1 \times \beta_{2T} \times \beta_{3T} \times \beta_4 \quad \cdots (a-2)$$

$$Z = f_T / f_w = \beta_{2T} / \beta_{2w} \times \beta_{3T} / \beta_{3w} \quad \cdots (a-3)$$

但し、 f_w , f_T はそれぞれ、広角端、望遠端でのズームレンズ全系の焦点距離、 f_1 は第1レンズユニットの焦点距離、 Z は変倍比、 β_{iw} , β_{iT} はそれぞれ、広角端、望遠端での第*i*レンズユニットの結像倍率、 β_4 は第4レンズユニットの結像倍率である。なお、第4レンズユニットは変倍中固定であるため、 β_4 は変倍中一定となる。

【0007】

(a-2) 式より、望遠化を実現するためには、第1レンズユニットの焦点距離 f_1 を大きくするか、第2レンズユニットから第4レンズユニットの望遠端における結像倍率 β_{2T} , β_{3T} , β_4 を大きくすればよい。

【0008】

10

20

30

40

50

しかしながら、2T, 3T, 4を大きくすると、第1レンズユニットにて発生する球面収差や軸上色収差が結像倍率の2乗に比例して拡大されるため、第1レンズユニットの焦点距離f1を大きくする方が、特に望遠端の光学性能で有利になってくる。なお、3ユニット構成のズームレンズにも、4を除けば、(a-1)～(a-3)式を適用できる。

図18には、4ユニット構成のズームレンズにおける、第1レンズユニットと第2レンズユニットの概念図を示す。この図において、L1は変倍中固定で正の屈折力を有する第1レンズユニット、L2は変倍に際して像面側に移動する第2レンズユニット、Nは第1レンズユニットL1の像点、すなわち第2レンズユニットL2の見かけの物点を示している。 f_1 、 f_2 はそれぞれ、第1および第2レンズユニットL1, L2の焦点距離、 e_{1w} , e_{1T} はそれぞれ、広角端、望遠端における第1および第2レンズユニットL1, L2の主点間隔、 m_v は第2レンズユニットL2の広角端から望遠端までの移動量である。

【0009】

高倍率化を実現するためには、(a-3)式より、第2および第3レンズユニットL2, L3の広角端、望遠端での結像倍率の比を大きくする必要がある。特に、変倍比に大きく寄与する第2レンズユニットL2の結像倍率 β 2の変化に着目すると、以下の式のようになる。

【0010】

【数2】

$$\beta_{2w} = \frac{f_2}{f_1 - e_{1w} + f_2} \quad \dots (b-1)$$

$$\beta_{2T} = \frac{f_2}{f_1 - e_{1T} + f_2} = \frac{f_2}{f_1 - e_{1w} - m_v + f_2} \quad \dots (b-2)$$

$$\frac{\beta_{2T}}{\beta_{2w}} = \frac{f_1 - e_{1w} + f_2}{f_1 - e_{1w} - m_v + f_2} \quad \dots (b-3)$$

(b-3)式より、高倍率化の条件としては、

- ・ 第1および第2レンズユニットL1, L2の焦点距離 f_1 , f_2 が小さいこと
- ・ 第2レンズユニットL2の移動量 m_v が大きいこと
- ・ 広角端での第1および第2レンズユニットL1, L2の主点間隔 e_{1w} が大きいことが挙げられる。

【0011】

しかしながら、第1レンズユニットL1の焦点距離 f_1 を小さくすると、第2レンズユニット以降のレンズユニットの結像倍率を大きくする必要があるために、球面収差や軸上色収差が増大し、光学性能が低下してしまう。また、第2レンズユニットL2の焦点距離 f_2 を小さくすると、変倍に伴う諸収差の変動が増大し、光学性能が低下してしまう。

【0012】

さらに、第2レンズユニットL2の移動量 m_v を大きくすると、該第2レンズユニットL2の移動に必要なスペースが大きくなり、レンズ全長が増大してしまう。また、第1および第2レンズユニットL1, L2の主点間隔 e_{1w} を大きくすると、高倍率化には有利であるが、広角端で第1および第2レンズユニットL1, L2間に大きなスペースが生じてしまい、レンズ全長や前玉径が増大してしまう。

【0013】

したがって、小型軽量で高倍率・高性能なズームレンズを達成するためには、仕様に応じて上記 f_1 , f_2 , m_v , e_{1w} 等のパラメータを適切な範囲に設定することが重要である。また、第1レンズユニットL1と第2レンズユニットL2の主点間隔 e_1 が高倍率化やレンズ全長・前玉径に大きく影響を与えることから、特に第1レンズユニットL1の主点位置を適切に設定することが重要となってくる。

10

20

30

40

50

【0014】

特許文献1に開示のズームレンズでは、第1レンズユニットL1の焦点距離 f_1 が60mm~900mm程度、第1および第2レンズユニットL1, L2の主点間隔 e_{1w} が450~700mm程度、第2レンズユニットL2の移動量 m_v が10~15mm程度である。また、特許文献2にて開示のズームレンズでは、第1レンズユニットL1の焦点距離 f_1 が235mm程度、第1および第2レンズユニットL1, L2の主点間隔 e_{1w} が110mm程度、第2レンズユニットL2の移動量 m_v が45mm程度である。そして、これらのズームレンズでは、(b-3)式より、ともに $f_1 - e_{1w}$ に比べて m_v が小さいため、変倍比が1.5倍~3倍程度と小さく、高倍率化の要望を満たすことができない。

10

【0015】

また、特許文献3にて開示のズームレンズでは、変倍比が40倍以上であるが、第2レンズユニットL2の移動量 m_v が100mm~120mm程度と大きいために、レンズ全長が400mm程度、前玉径が180mm程度と大型化してしまう。

【0016】

そこで本発明は、第1レンズユニットの光学配置を適切に設定することにより、小型軽量で高倍率を有し、かつ高い光学性能を有するズームレンズを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上記の目的を達成するために、1つの観点としての本発明は、物体側から順に、変倍中に固定される正の光学パワーを有する第1レンズユニットと、変倍のために移動する第2レンズユニットと、変倍に伴う像面変動を補正するために移動する第3レンズユニットと、変倍中に固定される正の光学パワーを有する第4レンズユニットとを有するズームレンズにおいて、第1レンズユニットは、物体側から順に、正の光学パワーを有する第1レンズサブユニットと、負の光学パワーを有する第2レンズサブユニットとを有する。そして、焦点調節に際して、第1および第2レンズサブユニットのうち一方が移動し、かつ以下の条件を満たすことを特徴とするズームレンズ。

【0018】

$$\begin{aligned} -2.5 < f_{1b} / f_{1a} &< -0.6 \\ 0.2 < f_1 / f_T &< 0.8 \end{aligned}$$

30

但し、 f_1 は第1レンズユニットの焦点距離、 f_{1a} は第1レンズサブユニットの焦点距離、 f_{1b} は第2レンズサブユニットの焦点距離、 f_T は該ズームレンズ全系の望遠端での焦点距離である。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、第1レンズユニットの第1レンズサブユニットおよび第2レンズサブユニットの光学パワー配置を適切に設定することにより、高倍率であっても、小型軽量で高い光学性能を有するズームレンズを実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。ここではまず、後述する図1、図5、図9および図13に示す実施例(数値例)1~4における共通事項について説明する。実施例1~4は、望遠端での画角 2α が2.0°以下で、変倍比が5倍程度以上で、広角端での口径比が3.0以下の、大口径、高倍率、高性能な望遠ズームレンズの実施例である。

40

【0021】

各実施例のズームレンズは、物体側(図中の左側)から順に、変倍中に固定される光学パワー(焦点距離の逆数)として正の屈折力を有する第1レンズユニットL1と、変倍のために移動する第2レンズユニットL2と、絞りSPと、変倍に伴う像面変動を補正する

50

ために移動する第3レンズユニットL3と、変倍中に固定される正の屈折力を有する第4レンズユニットL4により構成されている。

【0022】

ここで、第1レンズユニットL1は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1aレンズサブユニット(第1レンズサブユニット)L1aと、負の屈折力を有する第1bレンズサブユニット(第2レンズサブユニット)により構成されている。焦点調節に際しては、第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a, L1bのうち一方が移動する。

【0023】

そして、該ズームレンズは、以下の条件を満たす。

【0024】

$$-2.5 < f_{1b} / f_{1a} < -0.6 \dots (1)$$

$$0.2 < f_1 / f_T < 0.8 \dots (2)$$

但し、 f_1 は第1レンズユニットL1の焦点距離、 f_{1a} は第1aレンズサブユニットL1aの焦点距離、 f_{1b} は第1bレンズサブユニットL1bの焦点距離、 f_T は該ズームレンズ全系の望遠端での焦点距離である。

【0025】

また、以下の条件も満たすとよい。

【0026】

$$3.0 < f_T / L_d \dots (3)$$

$$5 < Z \dots (4)$$

但し、 L_d は該ズームレンズにより形成される有効画面の対角長、 Z は該ズームレンズのズーム比である。

【0027】

さらに、以下の条件を満たすとよい。

【0028】

$$0.3 < K < 0.95 \dots (5)$$

但し、 K は第1レンズユニットの焦点距離に対する第1レンズサブユニットから第1レンズユニットの後側焦点位置までの距離の比である。

【0029】

第1レンズサブユニットL1aが、少なくとも2枚の正レンズエレメントと少なくとも1枚の負レンズエレメントを有する場合には、以下の条件を満たすとよい。

【0030】

$$a_p - a_n > 3.0 \dots (6)$$

但し、 a_p は前記第1レンズサブユニットに含まれる前記正レンズエレメントのアッペ数の平均値、 a_n は第1レンズサブユニットに含まれる前記負レンズのアッペ数の平均値である。

【0031】

また、第1bレンズサブユニットL1bが、少なくとも1枚の正レンズエレメントと少なくとも1枚の負レンズエレメントで構成されている場合には、以下の条件を満たすとい。

【0032】

$$b_n - b_p > 5 \dots (7)$$

但し、 b_p は第2レンズサブユニットに含まれる正レンズエレメントのアッペ数の平均値、 b_n は第2レンズサブユニットに含まれる負レンズエレメントのアッペ数の平均値である。

【0033】

条件式(1)～(4)は、ズームレンズの小型軽量化、高倍率化および高性能化を実現するための条件を規定している。ここで、各実施例における広角端での第1レンズユニットL1の構成および配置について図17を用いて説明する。

【0034】

10

20

40

50

L1, L1a, L1b, L2 ~ L4 は前述した通りである。なお、ここでは、第2レンズユニットL2は負の屈折力を有するものとして説明する。Nは第1レンズユニットL1の像点、すなわち第2レンズユニットL2の見かけの物点を示している。第1aレンズサブユニットL1aと第1bレンズサブユニットL1bの合成焦点距離（第1レンズユニットL1の焦点距離）をf1とすれば、図18に示したズームレンズの広角端での近軸的な配置と等価である。

【0035】

図17のように、第1レンズユニットL1を、正の屈折力を有する第1aレンズサブユニットL1aと、負の屈折力を有する第1bレンズサブユニットL1bとに分割し、いわゆるテレフォト構成を探ることにより、第1レンズユニットL1の望遠比、すなわち第1レンズユニットL1の焦点距離に対する、第1aレンズサブユニットL1aから第1レンズユニットL1の後側焦点位置までの距離の比を小さくすることができる。これにより、第1および第2レンズユニットL1, L2の主点間隔e1wを広げ、高倍率化する場合でも、無駄なデッドスペースが小さくなり、高倍率化と小型軽量化を両立することができる。

【0036】

第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a, L1bの焦点距離をそれぞれf1a, f1bとし、第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a, L1bの主点間隔をe1' とし、第1bレンズサブユニットL1bの結像倍率をβ1bとし、第1レンズユニットL1の望遠比をKとすると、以下の式が成り立つ。

【0037】

【数3】

$$f1a = \frac{f1}{\beta1b} \quad \dots (c-1)$$

$$f1b = \frac{(f1a - e1') \times \beta1b}{1 - \beta1b} \quad \dots (c-2)$$

$$K = \frac{e1' + (f1a - e1') \times \beta1b}{f1} \quad \dots (c-3)$$

第1レンズユニットL1の望遠比Kの値を小さくするように第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a, L1bの焦点距離f1a, f1bを適切に設定すれば、ズームレンズの小型軽量化が達成できる。また、第1レンズユニットL1を第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a, L1bに分割したことにより、収差補正の自由度が増え、高性能化も実現できる。さらに、第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a, L1bの一方を移動させて焦点調節することにより、フォーカスレンズユニットの重量を低減し、駆動力の低減を図ることができる。

【0038】

条件式(1)は、第1aレンズサブユニットL1aの焦点距離と第1bレンズサブユニットL1bの焦点距離との比を規定する。条件式(1)式の下限値を下回ると、第1レンズユニットL1の望遠比Kが大きくなり、コンパクト化ができないため、好ましくない。

【0039】

条件式(1)の上限値を上回ると、第1レンズユニットL1の望遠比Kが小さくなりコンパクト化ができるが、(c-2)式、(c-3)式より、Kが小さくなると、第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a, L1bの焦点距離が小さくなるため、ともに屈折力が強くなりすぎる。このため、高次の収差が発生し、補正が困難となる。特に、望遠側における軸上色収差や高次の球面収差が大きくなり、他のレンズユニットで補正すること

10

20

30

40

50

も困難となる。また、第1bレンズサブユニットL1bでの負の発散性が強くなりすぎるため、第1aレンズサブユニットL1aに入射する軸外光線の高さが高くなり、周辺光量を確保するためには第1aレンズサブユニットL1aの径を大型化する必要がある。

【0040】

また、第1aレンズサブユニットL1aを移動させて焦点調節を行う場合には、該、第1aレンズサブユニットL1aは、有限距離への合焦において物体側に繰り出すため、さらに第1aレンズサブユニットL1aの有効径を大きくする必要があり、好ましくない。

【0041】

一方、第1bレンズサブユニットL1bを移動させて焦点調節を行う場合には、第1bレンズサブユニットL1bの屈折力が強くなりすぎ、焦点調節による諸収差の変動、特に望遠端での球面収差や軸上色収差の変動が大きくなり、他のレンズユニットでも補正しきれないため、好ましくない。

【0042】

なお、条件式(1)の下限値を-2.0とし、上限値を-0.7とすれば、より好ましい効果が得られる。

【0043】

条件式(2)は、望遠端の焦点距離に対する第1レンズユニットL1の焦点距離を規定する。条件式(2)の下限値を超えて第1レンズユニットL1の焦点距離を小さくすると、高倍率化には有利であるが、望遠化が困難となる。このため、望遠端での所望の焦点距離を実現するためには、変倍比を大きくするか、第2レンズユニット以降のレンズユニットの結像倍率を大きくしなければならず、全ての変倍範囲にわたって諸収差を良好に補正することが困難となり、好ましくない。

【0044】

また、条件式(2)の上限値を超えて第1レンズユニットL1の焦点距離を大きくすると、望遠化は容易であるが、第2レンズユニットL2の見かけの物点位置が遠ざかり、高倍率化のために第2レンズユニットL2の像面側への移動量が増大し、レンズ全長が長くなってしまうため、好ましくない。

【0045】

なお、条件式(2)の下限値を0.25とし、上限値を0.7とすれば、より好ましい効果が得られる。

【0046】

条件式(3)、(4)は、条件式(1)、(2)が、特に有効に適用されるズームレンズの仕様を規定している。本実施例のズームレンズは、前述したように、望遠端の画角2が2.0°以下であり、変倍比が5倍以上のズームレンズであり、条件式(3)、(4)式の下限値を下回ると、小型軽量かつ高性能であっても、十分に高倍率なズームレンズと言うことが難しくなる。

【0047】

なお、条件式(3)、(4)の上限値としては、実現可能性から考えて、いずれも200前後が好ましい。

【0048】

条件式(5)は、第1レンズユニットL1の焦点距離に対する、第1aレンズサブユニットL1aから第1レンズユニットL1の後側焦点位置までの距離の比(以下、第1レンズユニットL1の望遠比と略す)を規定するものである。条件式(5)の上限値を上回る場合、ズームレンズの小型軽量化が困難となり、下限値を下回ると、第1aおよび第1bレンズサブユニットL1a、L1bともにパワーが強くなりすぎ、高性能化が難しくなるので、好ましくない。

【0049】

条件式(6)は、望遠端での軸上色収差を良好に補正できる条件を規定している。本実施例のズームレンズは焦点距離が比較的長いため、望遠側の軸上色収差が問題となる。特に、第1レンズユニットL1の望遠比を小さくして小型軽量化を行うと、前述した(c-

1) ~ (c - 3) 式により、第1bレンズサブユニットL1bの結像倍率_{1b}が大きくなる。第1aレンズサブユニットL1aにて発生する軸上色収差は第1bレンズサブユニットL1bの結像倍率_{1b}の2乗倍されるため、第1aレンズサブユニットL1aにおいて色収差を良好に補正することが必要となる。

【0050】

特に、望遠端での画角が2.0°を下回るようなズームレンズにおいては、第1aレンズサブユニットL1aを正レンズエレメントと負レンズエレメントの1枚ずつで構成したのでは、色収差を十分補正しきれない。このため、第1aレンズサブユニットL1aに含まれる正レンズエレメントを少なくとも2枚とし、かつ分散の小さい材料を選択することにより、望遠端での軸上色収差を良好に補正できようになる。

10

【0051】

そこで、望遠端の軸上色収差の補正するため、条件式(6)は、第1aレンズサブユニットL1aに含まれる正レンズエレメントのアッペ数の平均値と負レンズエレメントのアッペ数の平均値との差の下限値を規定する。条件式(6)下限値を下回ると、望遠端において第1aレンズサブユニットL1aにて発生する軸上色収差が大きくなり、他のレンズユニットで補正することが困難となるため、好ましくない。また、色収差補正のために、レンズエレメントの枚数が増加したり、さらに第1aレンズサブユニットL1a内の各レンズエレメントの曲率が強くなつて他の収差が増大したりするばかりでなく、中心厚やコバ厚を確保するために各レンズエレメントが大きくなるため、好ましくない。さらに、第1aレンズサブユニットL1aが焦点調節の際に物体側に繰り出す場合、焦点調節による軸上色収差の変動が大きくなるため、好ましくない。

20

【0052】

条件式(7)も、望遠端での軸上色収差を良好に補正できる条件を規定している。また、第1bレンズサブユニットL1bを移動させて焦点調節を行うときに、焦点調節による望遠端での軸上色収差の変動を抑制する条件もある。より具体的には、条件式(7)は、第1bレンズサブユニットL1bに含まれる正レンズエレメントのアッペ数の平均値と、負レンズエレメントのアッペ数の平均値との差の下限値を規定している。条件式(7)の下限値を下回ると、特に望遠端において第1bレンズサブユニットL1bにて発生する軸上色収差が大きくなり、他のレンズユニットで補正することが困難となるため、好ましくない。また、色収差補正のために、レンズエレメントの枚数が増加したり、第1bレンズサブユニットL1b内の各レンズエレメントの曲率が強くなつて他の収差が増大したりするばかりでなく、中心厚やコバ厚を確保するために各レンズエレメントが大きくなるため、好ましくない。さらに第1bレンズサブユニットL1b群が焦点調節の際に物体側に繰り出す場合、焦点調節による軸上色収差の変動が大きくなるため、好ましくない。

30

【0053】

また、本実施例のズームレンズにおいて、第4レンズユニットL4内に形成された空間Sに対して、図1に示すように、焦点距離変換光学系(エクステンダ)EXを挿抜可能としてもよい。

【実施例1】

【0054】

図1は、本発明の実施例1(数値例1)であるズームレンズの広角端、フォーカス無限遠時における断面図である。また、図2~4はそれぞれ、本数値例1の広角端、中間位置f=284.4mmおよび望遠端での収差図である。なお、各収差図において、eはe線の収差を、gはg線の収差をそれぞれ示している。また、Sはサジタル像面の収差を、Mはメリディオナル像面の収差をそれぞれ示す(このことは他の数値例の収差図でも同様である)。

40

【0055】

図1において、L1は第1レンズユニットとしての正の屈折力を有するフォーカスレンズユニット(前玉レンズユニット)である。L2は第2レンズユニットとしての変倍用の負の屈折力を有するバリエータレンズユニットであり、光軸上を像面側へ単調に移動する

50

ことにより、広角端（ワイド）から望遠端（テレ）への変倍を行う。L3は第3レンズユニットとしての負の屈折力を有するコンペンセータレンズユニットであり、変倍に伴う像面変動を補正するために光軸上を物体側へ凸の軌跡を描くように非直線的に移動する。バリエータレンズユニットL2とコンペンセータレンズユニットL3とで変倍系を構成している。

【0056】

S Pは絞り、L4は第4レンズユニットとしての正の屈折力を有する固定のリレーレンズユニットである。Bは色分解プリズムや光学フィルター等を示すガラスブロックである。

【0057】

ここで、フォーカスレンズユニットL1は、物体側から順に、正の部分系（第1aレンズサブユニット）L1aおよび負の部分系（第1bレンズサブユニット）L1bで構成されており、正の部分系L1aは3枚の正レンズエレメントと、1枚の負レンズエレメントとで構成されている。また、負の部分系L1bは1枚の正レンズエレメントと1枚の負レンズエレメントとを貼り合せて構成している。

【0058】

本実施例は、望遠端の焦点距離が402mm、バリエータレンズユニットL2の広角端と望遠端との間の移動量が76.56mm、変倍比が13.4倍であり、超望遠化、高倍率化を実現している。本実施例における条件式(1)、(2)の値はそれぞれ、

$$(1) f_{1b} / f_{1a} = -1.7$$

$$(2) f_{1b} / f_T = 0.44$$

で、各条件を満たしており、小型軽量化を実現している。

【0059】

また、条件式(6)、(7)の値はそれぞれ、

$$(6) a_p - a_n = 49.31$$

$$(7) b_n - b_p = 5.79$$

であり、各条件を満たしており、望遠端での軸上色収差を良好に補正している。

【0060】

また、本実施例において、正の部分系L1aは焦点調節の際に固定であり、負の部分系L1bは焦点調節の際、光軸方向に移動する。すなわち、本実施例のズームレンズは、所謂インナーフォーカス方式を採用している。但し、正の部分系L1aにて焦点調節を行うことも可能である。

【0061】

なお、本実施例においては、像面変動の補正を行うコンペンセータレンズユニットL3は負の屈折力を有しているが、正の屈折力を有することも可能である。

【0062】

本実施例（数値例）におけるレンズ構成データを表1に示す。fはズームレンズ全系の焦点距離、FnoはFナンバー、（表にはwと記す）は半画角である。また、riは物体側からi番目のレンズ面の曲率半径、diはi番目とi+1番目のレンズ面間の間隔（空気間隔を含む）、ni、vi（表にはv_iと記す）はそれぞれ、i番目のレンズエレメントの材料の屈折率とアッベ数である。また、riにおいて、0.000はを意味する。これらの表記の意味は、後述する各数値例（表2～4）においても同じである。

【0063】

10

20

30

40

【表1】

(数値例1)

 $f = 30.0 \sim 402.0$ $Fno = 2.9 \sim 4.2$ $2w = 20.78^\circ \sim 1.57^\circ$

r1	175.581	d1	15.00	n1=1.48915	v1=70.2
r2	223.192	d2	0.00	n2=1.73429	v2=28.5
r3	229.163	d3	3.33	n3=1.49845	v3=81.5
r4	981.681	d4	3.33	n4=1.49845	v4=81.5
r5	164.377	d5	13.18	n5=1.80642	v5=35.0
r6	-1111.897	d6	1.67	n6=1.88815	v6=40.8
r7	86.027	d7	10.49	n7=1.77621	v7=49.6
r8	207.957	d8	10.75	n8=1.88815	v8=40.8
r9	229.470	d9	6.07	n9=1.81264	v9=25.4
r10	404.641	d10	2.20	n10=1.88815	v10=40.8
r11	101.356	d11	可変	n11=1.72056	v11=47.9
r12	52.380	d12	1.00	n12=1.88815	v12=40.8
r13	26.219	d13	3.99	n13=1.62286	v13=60.3
r14	94.747	d14	0.90	n14=1.49845	v14=81.5
r15	60.941	d15	1.88	n15=1.49845	v15=81.5
r16	44.759	d16	4.98	n16=1.88815	v16=40.8
r17	49.603	d17	1.58	n17=1.48915	v17=70.2
r18	31.092	d18	0.90	n18=1.50349	v18=56.4
r19	563.182	d19	可変	n19=1.88815	v19=40.8
r20	35.013	d20	0.90	n20=1.88815	v20=40.8
r21	22.129	d21	4.73	n21=1.85504	v21=23.8
r22	76.380	d22	可変	n22=1.61179	v22=46.4
r23	0.000(絞り)	d23	1.40	n23=1.51872	v23=64.2
r24	633.769	d24	4.00	n24=1.48915	v24=70.2
r25	59.963	d25	0.15	n25=1.88815	v25=40.8
r26	39.383	d26	5.85	n26=1.88815	v26=40.8
r27	62.333	d27	3.15	n27=1.88815	v27=40.8
r28	40.738	d28	6.65	n28=1.88815	v28=40.8
r29	56.644	d29	1.20	n29=1.88815	v29=40.8
r30	42.240	d30	38.43	n30=1.88815	v30=40.8
r31	77.914	d31	8.32	n31=1.48915	v31=70.2
r32	47.939	d32	2.88	n32=1.48915	v32=70.2
r33	39.440	d33	6.00	n33=1.50349	v33=56.4
r34	216.729	d34	4.33	n34=1.88815	v34=40.8
r35	55.561	d35	1.50	n35=1.88815	v35=40.8
r36	172.881	d36	32.00	n36=1.88815	v36=40.8
r37	0.000	d37	32.00	n37=1.88815	v37=40.8
r38	0.000	d38	13.20	n38=1.51872	v38=64.2
r39	0.000				

<可変間隔>

可変間隔	焦点距離		
	30.0	284.4	402.0
d11	11.36	83.46	87.92
d19	69.00	3.47	5.25
d22	15.15	8.58	2.35

【実施例2】

【0064】

図5は、本発明の実施例2（数値例2）であるズームレンズの広角端、フォーカス無限遠時における断面図である。また、図6～8はそれぞれ、本数値例2の広角端、中間位置 $f = 158.1\text{mm}$ および望遠端での収差図である。

【0065】

図5において、L1は第1レンズユニットとしての正の屈折力を有するフォーカスレンズユニット（前玉レンズユニット）である。L2は第2レンズユニットとしての変倍用の負の屈折力を有するバリエータレンズユニットであり、光軸上を像面側へ単調に移動することにより、広角端（ワイド）から望遠端（テレ）への変倍を行う。L3は負の屈折力を有するコンペンセータレンズユニットであり、変倍に伴う像面変動を補正するために光軸上を物体側へ凸の軌跡を描くように非直線的に移動する。バリエータレンズユニットL2とコンペンセータレンズユニットL3とで変倍系を構成している。10

【0066】

S Pは絞り、L4は第4レンズユニットとしての正の屈折力を有する固定のリレーレンズユニットである。Bは色分解プリズムや光学フィルター等を示すガラスブロックである。10

【0067】

ここで、フォーカスレンズユニットL1は、物体側から順に、正の部分系（第1aレンズサブユニット）L1aおよび負の部分系（第1bレンズサブユニット）L1bで構成されている。正の部分系L1aは、4枚の正レンズエレメントと、1枚の負レンズエレメントで構成されている。また、負の部分系L1bは、1枚の正レンズエレメントと1枚の負レンズエレメントを貼り合せて構成されている。20

【0068】

本実施例は、望遠端の焦点距離が500mm、バリエータレンズユニットL2の広角端と望遠端との間での移動量が60.32mm、変倍比が10倍であり、超望遠化、高倍率化を実現している。

【0069】

本実施例における条件式(1)、(2)の値は、

$$(1) f_{1b} / f_{1a} = -0.794$$

$$(2) f_1 / f_T = 0.48$$

で各条件を満たしており、小型軽量化を実現している。30

【0070】

また、条件式(6)、(7)の値は、

$$(6) a_p - a_n = 52.58$$

$$(7) b_n - b_p = 18.78$$

で各条件を満たしており、望遠端での軸上色収差を良好に補正している。

【0071】

また、本実施例において、正の部分系L1aは焦点調節の際に固定であり、負の部分系L1bは焦点調節の際、光軸方向に移動する。すなわち、本実施例のズームレンズは、所謂インナーフォーカス方式を採用している。但し、正の部分系L1aにて焦点調節を行うことも可能である。40

【0072】

なお、本実施例においては、像面変動の補正をするコンペンセータレンズユニットL3は、負の屈折力を有しているが、正の屈折力を有することも可能である。

【0073】

本実施例（数値例）におけるレンズ構成データを表2に示す。

【0074】

【表2】

(数値例2)

 $f = 50.0 \sim 500.0$ $Fno = 2.9 \sim 4.83$ $2w = 12.55^\circ \sim 1.26^\circ$

r 1	215.395	d 1	13.81	n 1=1.48915	v 1= 70.2
r 2	1103.089	d 2	7.73	n 2=1.43985	v 2= 95.0
r 3	102.446	d 3	19.58	n 3=1.72310	v 3= 29.5
r 4	1213.593	d 4	3.63	n 4=1.49845	v 4= 81.5
r 5	314.023	d 5	3.00	n 5=1.49845	v 5= 81.5
r 6	463.428	d 6	9.49	n 6=1.81264	v 6= 25.4
r 7	180.712	d 7	13.59	n 7=1.79012	v 7= 44.2
r 8	341.339	d 8	0.51	n 8=1.77621	v 8= 49.6
r 9	69.115	d 9	7.49	n 9=1.88815	v 9= 40.8
r 10	123.011	d10	13.25	n10=1.81264	v10= 25.4
r 11	238.793	d11	9.72	n11=1.88815	v11= 40.8
r 12	162.447	d12	2.20	n12=1.72056	v12= 47.9
r 13	48.957	d13	可変	n13=1.85504	v13= 23.8
r 14	105.707	d14	1.00	n14=1.49845	v14= 81.5
r 15	19.717	d15	6.29	n15=1.49845	v15= 81.5
r 16	131.707	d16	0.90	n16=1.48915	v16= 70.2
r 17	38.499	d17	6.83	n17=1.88815	v17= 40.8
r 18	42.923	d18	5.46	n18=1.88815	v18= 40.8
r 19	73.381	d19	0.36	n19=1.88815	v19= 40.8
r 20	80.334	d20	0.90	n20=1.88815	v20= 40.8
r 21	279.304	d21	可変	n21=1.88815	v21= 40.8
r 22	79.132	d22	0.90	n22=1.88815	v22= 40.8
r 23	76.300	d23	3.01	n23=1.88815	v23= 40.8
r 24	1334.828	d24	可変	n24=1.88815	v24= 40.8
r 25	0.000(絞り)	d25	1.40	n25=1.62286	v25= 66.3
r 26	31.315	d26	4.35	n26=1.62286	v26= 66.3
r 27	81.222	d27	0.15	n27=1.49845	v27= 81.5
r 28	87.921	d28	4.46	n28=1.49845	v28= 81.5
r 29	91.410	d29	0.15	n29=1.48915	v29= 70.2
r 30	53.029	d30	6.02	n30=1.48915	v30= 70.2
r 31	44.718	d31	1.20	n31=1.88815	v31= 40.8
r 32	61.660	d32	37.33	n32=1.88815	v32= 40.8
r 33	1541.306	d33	5.34	n33=1.48915	v33= 70.2
r 34	33.519	d34	0.46	n34=1.48915	v34= 70.2
r 35	11.547	d35	4.18	n35=1.50349	v35= 56.4
r 36	81.577	d36	1.20	n36=1.88815	v36= 40.8
r 37	58.329	d37	4.74	n37=1.59667	v37= 35.3
r 38	71.991	d38	5.04	n38=1.59667	v38= 35.3
r 39	21.536	d39	1.20	n39=1.88815	v39= 40.8
r 40	84.101	d40	5.59	n40=1.48915	v40= 70.2
r 41	33.627	d41	5.57	n41=1.48915	v41= 70.2
r 42	86.740	d42	3.80	n42=1.61170	v42= 46.4
r 43	0.000	d43	83.00	n43=1.61170	v43= 64.2
r 44	0.000	d44	13.20	n44=1.51872	v44= 64.2
r 45	0.000				

10

20

30

<可変間隔>

可変間隔	焦点距離		
	50.0	158.1	500.0
d13	25.00	66.22	85.32
d21	69.09	15.94	17.68
d24	10.00	21.94	1.09

40

(数値例2)

【実施例3】

【0075】

図9は、本発明の実施例3(数値例3)のズームレンズの広角端、フォーカス無限遠時における断面図である。図10~12はそれぞれ、数値例3の広角端、中間位置 $f = 183.0\text{mm}$ および望遠端での収差図である。

【0076】

50

図9において、L1は第1レンズユニットとしての正の屈折力を有するフォーカスレンズユニット（前玉レンズユニット）である。L2は第2レンズユニットとしての変倍用の負の屈折力を有するバリエータレンズユニットであり、光軸上を像面側に単調に移動することにより、広角端（ワイド）から望遠端（テレ）への変倍を行う。L3は負の屈折力を有するコンペンセータレンズユニットであり、変倍に伴う像面変動を補正するために光軸上を物体側へ凸の軌跡を描くように非直線的に移動する。バリエータレンズユニットL2とコンペンセータレンズユニットL3とで変倍系を構成している。

【0077】

S Pは絞り、L4は第4レンズユニットとしての正の屈折力を有する固定のリレーレンズユニットである。Bは色分解プリズムや光学フィルター等を示すガラスブロックである。

【0078】

ここで、フォーカスレンズユニットL1は、物体側から順に、正の部分系（第1aレンズサブユニット）L1aおよび負の部分系（第1bレンズサブユニット）L1bで構成されている。正の部分系L1aは、4枚の正レンズエレメントと、1枚の負レンズエレメントで構成されている。また、負の部分系L1bは、1枚の正レンズエレメントと1枚の負レンズエレメントを貼り合せて構成されている。

【0079】

本実施例は、望遠端の焦点距離が670mm、バリエータレンズユニットL2の広角端と望遠端との間での移動量が71.52mm、変倍比が13.4倍であり、超望遠化、高倍率化を実現している。

【0080】

本実施例における条件式(1)、(2)の値は、

$$(1) f_{1b} / f_{1a} = -0.794$$

$$(2) f_1 / f_T = 0.300$$

で各条件を満たしており、小型軽量化を実現している。

【0081】

また、条件式(6)、(7)の値は、

$$(6) a_p - a_n = 56.44$$

$$(7) b_n - b_p = 24.18$$

で各条件を満たしており、望遠端での軸上色収差を良好に補正している。

【0082】

また、本実施例において、正の部分系L1aは焦点調節の際に固定であり、負の部分系L1bは焦点調節の際、光軸方向に移動する。すなわち、本実施例のズームレンズは、所謂インナーフォーカス方式を採用している。但し、正の部分系L1aにて焦点調節を行うことも可能である。

【0083】

なお、本実施例においては、像面変動の補正をするコンペンセータレンズユニットL3は、負の屈折力を有しているが、正の屈折力を有することも可能である。

【0084】

本実施例（数値例）におけるレンズ構成データを表3に示す。

【0085】

【表3】

(数値例3)

 $f = 50.0 \sim 670.0 \quad Fno = 3.0 \sim 5.07 \quad 2w = 12.55^\circ \sim 0.94^\circ$

r 1	313.847	d 1	14.86	n 1=1.49845	v 1= 81.5
r 2	617.239	d 2	2.96	n 2=1.43985	v 2= 95.0
r 3	172.990	d 3	20.91	n 3=1.73429	v 3= 28.5
r 4	-416.954	d 4	0.00	n 4=1.49845	v 4= 81.5
r 5	416.954	d 5	3.00	n 5=1.49845	v 5= 81.5
r 6	483.977	d 6	9.91	n 6=1.81264	v 6= 25.4
r 7	423.375	d 7	11.98	n 7=1.77621	v 7= 49.6
r 8	600.777	d 8	2.17	n 8=1.77621	v 8= 49.6
r 9	84.866	d 9	12.68	n 9=1.88815	v 9= 40.8
r 10	238.031	d 10	18.75	n 10=1.81264	v 10= 25.4
r 11	367.678	d 11	1.30	n 11=1.88815	v 11= 40.8
r 12	420.866	d 12	2.20	n 12=1.77621	v 12= 49.6
r 13	97.882	d 13	可変	n 13=1.88815	v 13= 40.8
r 14	59.128	d 14	1.00	n 14=1.77621	v 14= 49.6
r 15	20.670	d 15	3.81	n 15=1.88815	v 15= 40.8
r 16	71.313	d 16	0.90	n 16=1.81264	v 16= 25.4
r 17	67.699	d 17	3.06	n 17=1.88815	v 17= 40.8
r 18	40.695	d 18	4.87	n 18=1.81264	v 18= 25.4
r 19	69.047	d 19	0.66	n 19=1.88815	v 19= 40.8
r 20	39.438	d 20	0.90	n 20=1.88815	v 20= 40.8
r 21	335.948	d 21	可変	n 21=1.72056	v 21= 47.9
r 22	57.083	d 22	0.90	n 22=1.85504	v 22= 23.8
r 23	30.020	d 23	3.34	n 23=1.85504	v 23= 23.8
r 24	99.261	d 24	可変	n 24=1.72056	v 24= 47.9
r 25	0.000(絞り)	d 25	1.40	n 25=1.62286	v 25= 60.3
r 26	177.078	d 26	6.00	n 26=1.49845	v 26= 81.5
r 27	43.661	d 27	0.20	n 27=1.43985	v 27= 95.0
r 28	53.378	d 28	7.00	n 28=1.49845	v 28= 81.5
r 29	68.123	d 29	0.20	n 29=1.43985	v 29= 95.0
r 30	67.898	d 30	8.00	n 30=1.49845	v 30= 81.5
r 31	53.926	d 31	1.20	n 31=1.88815	v 31= 40.8
r 32	163.897	d 32	37.34	n 32=1.88815	v 32= 40.8
r 33	47.200	d 33	6.00	n 33=1.49845	v 33= 81.5
r 34	98.900	d 34	0.15	n 34=1.43985	v 34= 95.0
r 35	81.148	d 35	6.00	n 35=1.81264	v 35= 25.4
r 36	187.764	d 36	1.20	n 36=1.81264	v 36= 25.4
r 37	29.535	d 37	10.00	n 37=1.81264	v 37= 25.4
r 38	112.428	d 38	1.50	n 38=1.88815	v 38= 40.8
r 39	35.052	d 39	5.15	n 39=1.81264	v 39= 25.4
r 40	59.076	d 40	3.80	n 40=1.81264	v 40= 25.4
r 41	0.000	d 41	33.00	n 41=1.61170	v 41= 64.2
r 42	0.000	d 42	13.20	n 42=1.51872	v 42= 64.2
r 43	0.000				

10

20

30

<可変間隔>

可変間隔	焦点距離		
	50.0	183.0	670.0
d13	11.36	60.32	82.88
d21	69.00	15.69	9.88
d24	15.15	19.51	2.76

40

【実施例4】

【0086】

図13は、本発明の実施例4（数値例4）のズームレンズの広角端、フォーカス無限遠時における断面図である。図14～16はそれぞれ、数値例4の広角端、中間位置 $f = 187.6 \text{ mm}$ および望遠端での収差図である。

【0087】

図13において、L1は第1レンズユニットとしての正の屈折力を有するフォーカスレ

50

ンズユニット（前玉レンズユニット）である。L 2 は第2レンズユニットとしての変倍用の負の屈折力を有するバリエータレンズユニットであり、光軸上を像面側に単調に移動することにより、広角端（ワイド）から望遠端（テレ）への変倍を行う。L 3 は負の屈折力を有するコンペンセータレンズユニットであり、変倍に伴う像面変動を補正するために光軸上を物体側へ凸の軌跡を描くように非直線的に移動する。バリエータレンズユニット L 2 とコンペンセータレンズユニット L 3 とで変倍系を構成している。

【0088】

S P は絞り、L 4 は第4レンズユニットとしての正の屈折力を有する固定のリレーレンズユニットである。B は色分解プリズムや光学フィルター等を示すガラスブロックである。

10

【0089】

ここで、フォーカスレンズユニット L 1 は、物体側から順に、正の部分系（第1aレンズサブユニット）L 1 a および負の部分系（第1bレンズサブユニット）L 1 b で構成されている。正の部分系 L 1 a は、3枚の正レンズエレメントと、1枚の負レンズエレメントで構成されている。また、負の部分系 L 1 b は、1枚の正レンズエレメントと1枚の負レンズエレメントを貼り合せて構成されている。

【0090】

本実施例は、望遠端の焦点距離が 440 mm、バリエータレンズユニット L 2 の広角端と望遠端との間での移動量が 56.08 mm、変倍比が 5.5 倍であり、超望遠化、高倍率化を実現している。

20

【0091】

本実施例における条件式(1)、(2)の値は、

$$(1) f_{1b} / f_{1a} = -0.715$$

$$(2) f_1 / f_T = 0.57$$

で各条件を満たしており、小型軽量化を実現している。

【0092】

また、条件式(6)、(7)の値は、

$$(6) a_p - a_n = 48.81$$

$$(7) b_n - b_p = 18.78$$

で各条件を満たしており、望遠端での軸上色収差を良好に補正している。

30

【0093】

また、本実施例において、正の部分系 L 1 a は焦点調節の際に固定であり、負の部分系 L 1 b は焦点調節の際、光軸方向に移動する。すなわち、本実施例のズームレンズは、所謂インナーフォーカス方式を採用している。但し、正の部分系 L 1 a にて焦点調節を行うことも可能である。

【0094】

なお、本実施例においては、像面変動の補正をするコンペンセータレンズユニット L 3 は、負の屈折力を有しているが、正の屈折力を有することも可能である。

【0095】

本実施例（数値例）におけるレンズ構成データを表4に示す。
40
て L 1 a は合焦の際固定であり、L 1 b は合焦の際、光軸方向に移動する所謂インナーフォーカス方式を採用しているが、前記 L 1 a にて合焦をおこなうことも可能である。尚、本実施例においては、像面の補正をする L 3 は負の屈折力を有しているが、正の屈折力とすることも可能である。

【0096】

【表4】
(数値例4)

$f = 80.0 \sim 440.0$ $Fno = 2.9 \sim 40$ $2\omega = 7.87^\circ \sim 1.43^\circ$

r 1	156.452	d 1	15.93	n 1	1.49845	v 1	81.5
r 2	458.893	d 2	6.91	n 2	1.43985	v 2	95.0
r 3	85.874	d 3	19.34	n 3	1.70442	v 3	30.1
r 4	1252.490	d 4	4.58	n 4	1.62286	v 4	60.3
r 5	352.923	d 5	3.00	n 5	1.81264	v 5	25.4
r 6	432.984	d 6	10.09	n 6	1.79012	v 6	44.2
r 7	92.854	d 7	12.68	n 7	1.77621	v 7	49.6
r 8	751.917	d 8	9.40	n 8	1.88815	v 8	40.8
r 9	2295.247	d 9	5.31	n 9	1.81264	v 9	25.4
r 10	167.173	d 10	2.20	n 10	1.88815	v 10	40.8
r 11	51.267	d 11	可変	n 11	1.72056	v 11	47.9
r 12	63.199	d 12	1.00	n 12	1.85504	v 12	23.5
r 13	22.785	d 13	3.07	n 13	1.49845	v 13	81.5
r 14	151.272	d 14	0.90	n 14	1.48915	v 14	70.2
r 15	49.896	d 15	6.52	n 15	1.88815	v 15	40.8
r 16	45.464	d 16	5.50	n 16	1.81264	v 16	25.4
r 17	114.373	d 17	3.07	n 17	1.77621	v 17	49.6
r 18	90.436	d 18	0.90	n 18	1.79012	v 18	44.2
r 19	199.070	d 19	可変	n 19	1.72056	v 19	47.9
r 20	107.071	d 20	0.90	n 20	1.88815	v 20	40.8
r 21	314.850	d 21	2.99	n 21	1.85504	v 21	23.5
r 22	385.266	d 22	可変	n 22	1.62286	v 22	30.1
r 23	0.000(絞り)	d 23	1.40	n 23	1.49845	v 23	81.5
r 24	590.339	d 24	4.00	n 24	1.43985	v 24	95.0
r 25	89.927	d 25	0.15	n 25	1.70442	v 25	30.1
r 26	68.064	d 26	6.88	n 26	1.62286	v 26	60.3
r 27	110.957	d 27	0.15	n 27	1.81264	v 27	25.4
r 28	65.502	d 28	8.00	n 28	1.79012	v 28	44.2
r 29	54.944	d 29	1.20	n 29	1.77621	v 29	49.6
r 30	128.166	d 30	33.00	n 30	1.88815	v 30	40.8
r 31	46.722	d 31	6.56	n 31	1.48915	v 31	70.2
r 32	69.752	d 32	0.16	n 32	1.62286	v 32	81.5
r 33	31.548	d 33	3.31	n 33	1.43985	v 33	95.0
r 34	143.101	d 34	1.20	n 34	1.70442	v 34	30.1
r 35	26.183	d 35	5.68	n 35	1.62286	v 35	60.3
r 36	95.836	d 36	6.50	n 36	1.81264	v 36	25.4
r 37	22.152	d 37	1.20	n 37	1.79012	v 37	44.2
r 38	330.287	d 38	4.46	n 38	1.77621	v 38	49.6
r 39	102.542	d 39	3.54	n 39	1.88815	v 39	40.8
r 40	39.812	d 40	5.60	n 40	1.48915	v 40	70.2
r 41	0.000	d 41	33.00	n 41	1.61170	v 41	46.4
r 42	0.000	d 42	13.20	n 42	1.51872	v 42	64.2
r 43	0.000						

10

20

30

<可変間隔>

可変間隔	焦点距離		
	80.0	187.6	440.0
d 11	21.82	57.31	77.90
d 19	70.00	14.38	18.28
d 22	5.00	25.13	0.64

40

表5に、数値例1～4の条件式(1)～(7)との対応を示す。

【0097】

【表5】
(条件対応値)

数値実施例番号	1	2	3	4
f _w	30.0	50.0	50.0	80.0
f _T	402.0	500.0	670.0	440.0
f ₁	181.42	245.29	204.90	259.67
f _{1a}	110.77	102.91	126.76	89.40
f _{1b}	-188.30	-81.73	-180.42	-63.89
L _d	φ11.0	φ11.0	φ11.0	φ11.0
v _{a p}	77.77	82.075	84.90	78.94
v _{a n}	28.46	29.50	28.46	30.13
v _{b p}	34.97	25.42	25.42	25.42
v _{b n}	40.76	44.20	49.60	44.20

数値実施例番号	1	2	3	4
条件式				
(1) f _{1b} / f _{1a}	-1.70	-0.79	-1.42	-0.72
(2) f ₁ / f _T	0.45	0.49	0.31	0.59
(3) Z	13.4x	10x	13.4x	5.5x
(4) f _T / L _d	45.46	36.55	60.91	40.0
(5) v _{a p} - v _{a n}	49.31	52.575	56.44	48.81
(6) v _{b p} - v _{b n}	5.79	18.78	24.18	18.78
(7) K	0.87	0.69	0.83	0.75

表6に前述の式(a-1)~(c-3)で使用されたパラメータの各実施例での値を示す。

【0098】

【表6】
各パラメータの数値

数値実施例番号	1	2	3	4
β _{2w}	-0.45	-0.36	-0.38	-0.44
β _{2T}	14.01	-4.20	-13.82	-2.50
β _{3w}	0.23	0.51	0.33	0.66
β _{3T}	-0.10	0.44	0.12	0.64
β ₄	-1.58	-1.11	-1.97	-1.06
e _{1w}	74.01	155.47	103.78	161.40
e _{1T}	150.56	215.79	175.29	217.48
m _v	76.56	60.32	71.52	56.08
β _{1b}	1.64	2.38	1.62	2.90
e _{1'}	37.43	55.47	57.95	47.51

なお、本実施例のズームレンズは、テレビカメラやビデオカメラ等の撮影装置に交換可能に装着される。次に、本実施例のズームレンズを撮影光学系として用いた撮影システム(テレビカメラシステム)について図19を用いて説明する。

【0099】

図19において、101は本実施例のズームレンズ、111は撮影装置としてのカメラ

、117はカメラ111にズームレンズ101を装着することにより構成される撮影システムである。

【0100】

ズームレンズ101において、102はマニュアル操作によりフォーカスレンズユニットとして光軸上を移動する前玉レンズユニット（第1レンズユニット）、103aは変倍のために光軸上を移動するバリエータレンズユニット（第2レンズユニット）、103bは変倍に伴う像面変動を補正するために光軸上を移動するコンペンセータレンズユニット（第3レンズユニット）、104は絞り、105は固定のリレーレンズユニット（第4レンズユニット）である。

【0101】

また、109は変倍時に移動するレンズユニット103a、103bの光軸上の位置をメカ的に制御し、手動によるズーム操作も可能とするカム等のズーム機構部材である。

【0102】

カメラ111において、106は光学フィルタや色分解プリズムに相当するガラスプロック、107はズームレンズ101によって形成された被写体像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の撮像素子（光電変換素子）、108はカメラ111の制御を司るCPU等のカメラコントローラである。

【0103】

116はズームレンズ101の側面に装着されるドライブユニットである。このドライブユニット116には、ズームスイッチ、絞り切換えスイッチ等、各種の操作スイッチが設けられ、ズームレンズ101とカメラマンとのインターフェースとなる。ドライブユニット116において、112は機構部材109を駆動してレンズユニット103a、103bを移動させ、変倍を行わせるズームアクチュエータ、113は絞り104を駆動する絞りアクチュエータである。さらに、115はドライブユニット116の制御を司るCPU等のドライブユニットコントローラである。

【0104】

なお、図19には、ドライブユニットが装着（外付け）されるタイプのズームレンズについて説明したが、本発明は、ドライブユニットの機能が内蔵されたタイプのズームレンズにも適用することができる。また、焦点検出を行い、フォーカスレンズユニット102の位置を制御するオートフォーカス機能を搭載してもよい。

【0105】

また、上記実施例では、レンズユニット又はレンズエレメントの屈折力について説明したが、レンズ面に貼り付ける等した回折光学素子による屈折と等価な光学パワーを有する場合にも、本発明を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図1】本発明の実施例1（数値例1）の広角端におけるレンズ断面図である。

【図2】数値例1の広角端における収差図である。

【図3】数値例1の焦点距離284.4mmにおける収差図である。

【図4】数値例1の望遠端における収差図である。

【図5】本発明の実施例2（数値例2）の広角端におけるレンズ断面図である。

【図6】数値例2の広角端における収差図である。

【図7】数値例2の焦点距離158.1mmにおける収差図である。

【図8】数値例2の望遠端における収差図である。

【図9】本発明の実施例3（数値例3）の広角端におけるレンズ断面図である。

【図10】数値例3の広角端における収差図である。

【図11】数値例3の焦点距離183.0mmにおける収差図である。

【図12】数値例3の望遠端における収差図である。

【図13】本発明の実施例4（数値例4）の広角端におけるレンズ断面図である。

【図14】数値例4の広角端における収差図である。

10

20

30

40

50

【図15】数値例4の焦点距離187.6mmにおける収差図である。

【図16】数値例4の望遠端における収差図である。

【図17】実施例の広角端における第1レンズユニットの基本構成を示す概略図である。

【図18】従来の4ユニットズームレンズにおける第1レンズユニットと第2レンズユニットの概略図である。

【図19】実施例のズームレンズを用いた撮影システムの構成を示す概略図である。

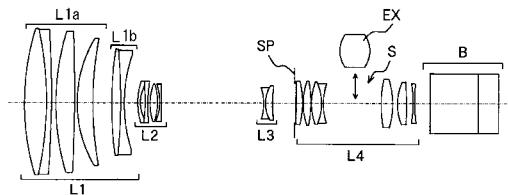
【符号の説明】

【0107】

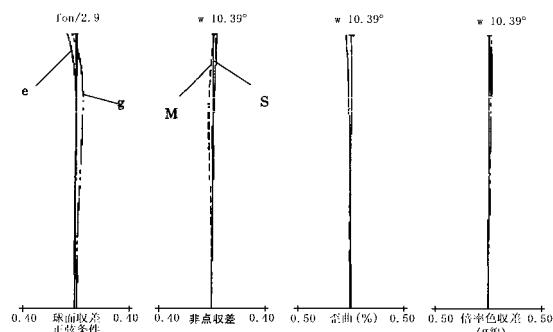
- L1 第1レンズユニット
- L2 第2レンズユニット
- L3 第3レンズユニット
- L4 第4レンズユニット
- L1a 第1aレンズサブユニット
- L1b 第1bレンズサブユニット
- SP 絞り
- B ガラスブロック

10

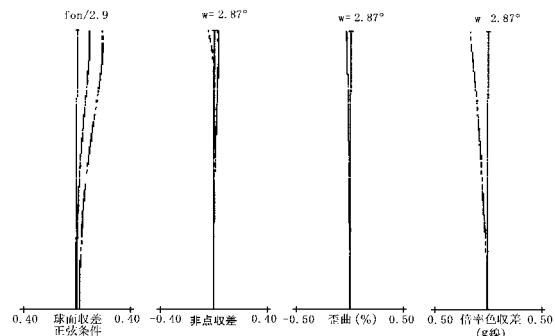
【図1】



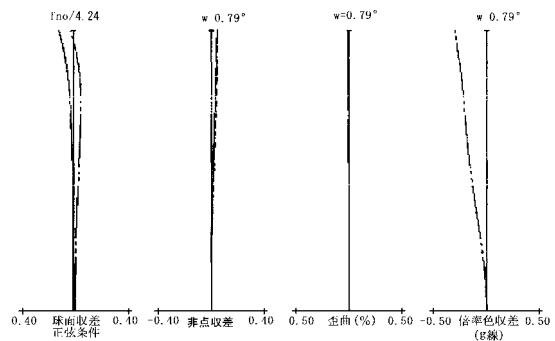
【図2】



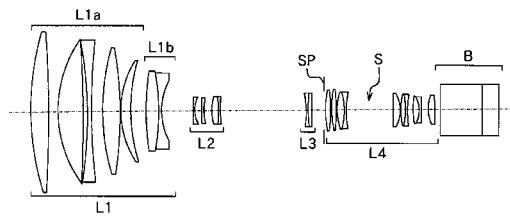
【図3】



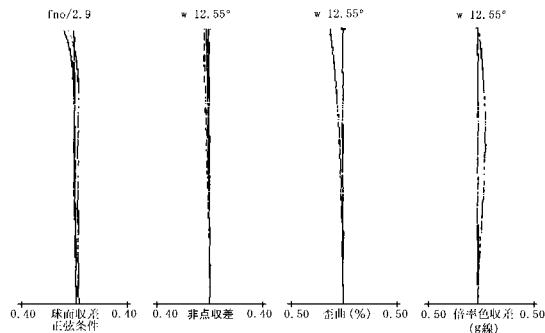
【図4】



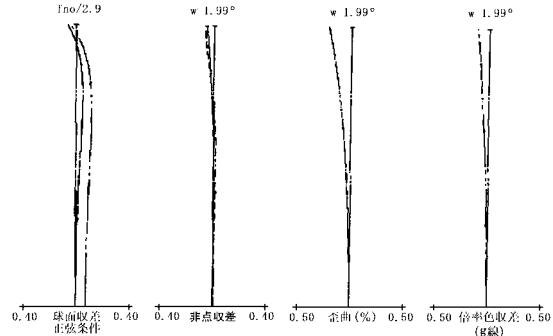
【図5】



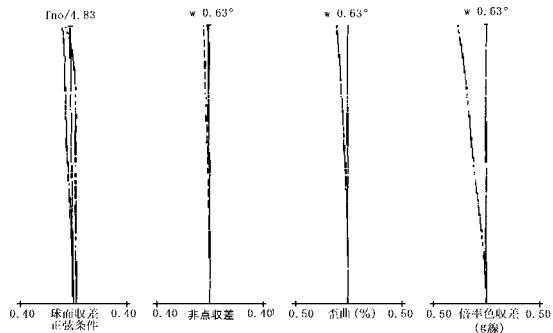
【図6】



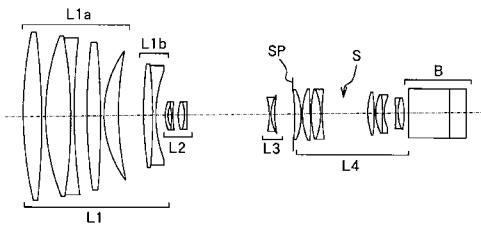
【図7】



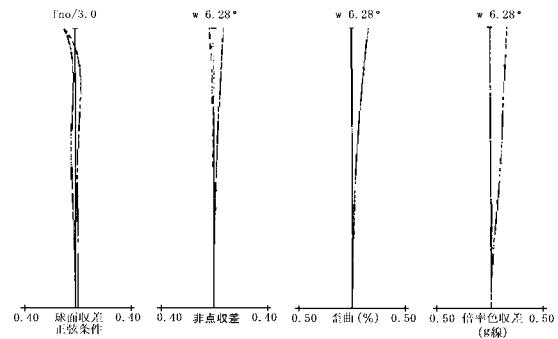
【図8】



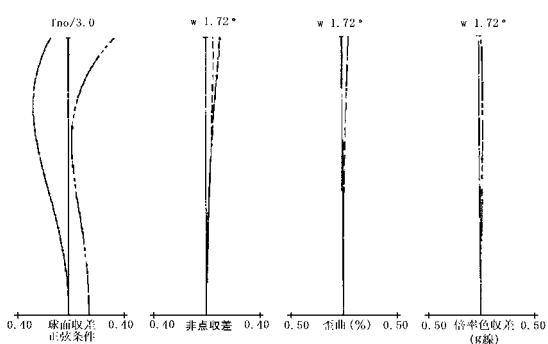
【図9】



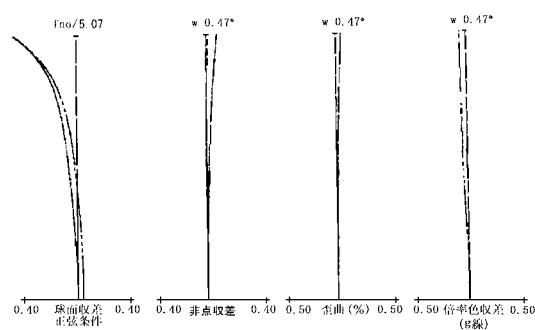
【図10】



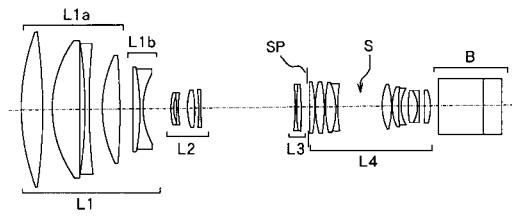
【図11】



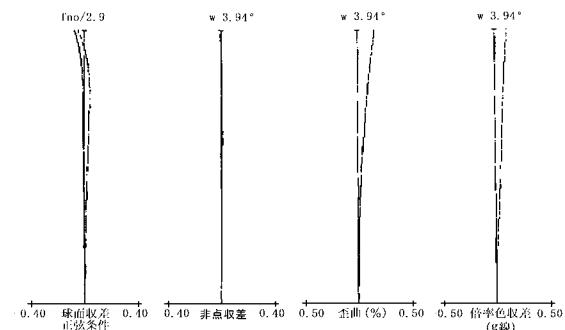
【図12】



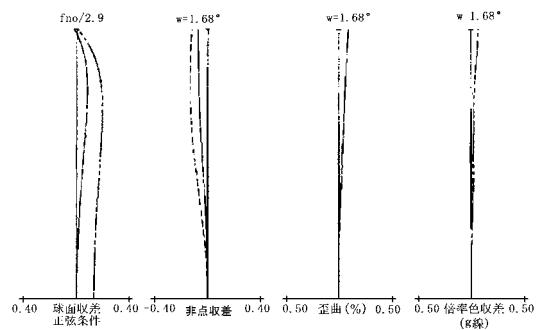
【図13】



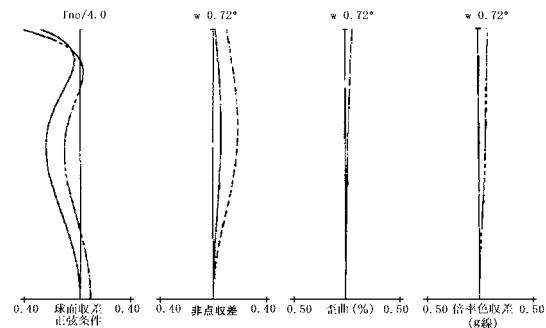
【図14】



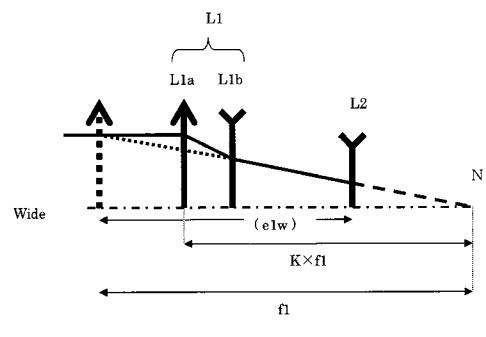
【図15】



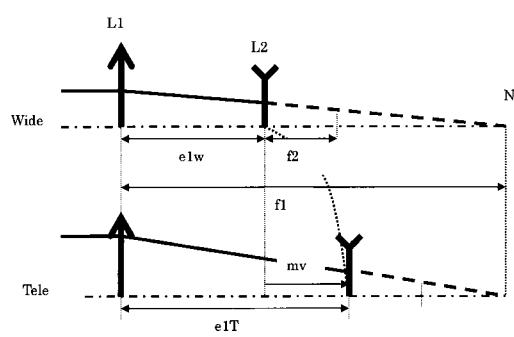
【図16】



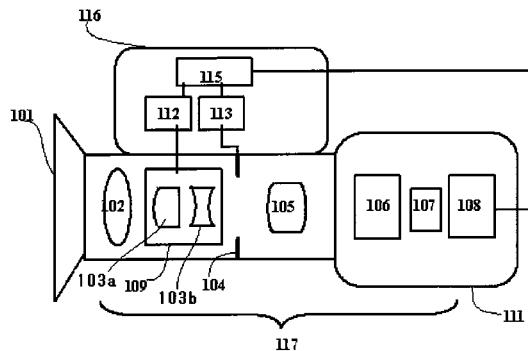
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA03 LA02 MA20 PA15 PA16 PA20 PB19 PB20 QA02 QA06
QA12 QA14 QA21 QA22 QA25 QA26 QA34 QA39 QA41 QA42
QA45 QA46 RA32 RA42 SA23 SA25 SA28 SA32 SA63 SA64
SA72 SA75 SB01 SB15 SB23 SB31
5C122 FB04 FB08 FD05 FE02 HB06 HB09 HB10

【要約の続き】

系の望遠端での焦点距離である。

【選択図】 図1