

(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.Cl.⁷

G02B 15/167
H04N 5/232
// H04N 101:00

F I

G02B 15/167
H04N 5/232 A
H04N 5/232 H
H04N 101:00

テーマコード (参考)

2H087
5C122

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2004-108589 (P2004-108589)
(22) 出願日 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

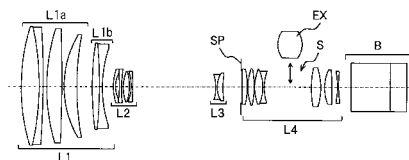
(57) 【要約】

【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。

$$-2.5 < f_{1b} / f_{1a} < -0.6, \quad 0.2 < f_1 / f_T < 0.8$$

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。

$$30 < f_T / L_d$$

$$5 < Z$$

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。

$$a_p - a_n > 30$$

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プベ数の平均値、 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プ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プベ数の平均値、 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プ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 2θ 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 2θ 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330mm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】

$$fw = f1 \times \beta2w \times \beta3w \times \beta4 \quad \cdots (a-1)$$

$$fT = f1 \times \beta2T \times \beta3T \times \beta4 \quad \cdots (a-2)$$

$$Z = fT / fw = \beta2T / \beta2w \times \beta3T / \beta3w \quad \cdots (a-3)$$

但し、 fw 、 fT 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、 $f1$ は第1レンズユニットの焦点距離、 Z は変倍比、 $\beta2w$ 、 $\beta2T$ はそれぞれ、広角端、望遠端での第2レンズユニットの結像倍率、 $\beta4$ 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、 $\beta4$ 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 $f1$ 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 $\beta2T$ 、 $\beta3T$ 、 $\beta4$ 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 f_1 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、 $(a-1) \sim (a-3)$ 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、 L_1 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、 L_2 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 L_1 の像点、すなわち第2レンズユニット L_2 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 L_1 、 L_2 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 L_1 、 L_2 の主点間隔、 mv は第2レンズユニット L_2 の広角端から望遠端までの移動量である。

10

【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 L_2 、 L_3 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 L_2 の結像倍率 β_2 の変化に着目すると、以下の式のようにになる。

【0010】

【数2】

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

20

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

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

$(b-3)$ 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 L_1 、 L_2 の焦点距離 f_1 、 f_2 が小さいこと
- ・ 第2レンズユニット L_2 の移動量 mv 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 L_1 、 L_2 の主点間隔 e_{1w} が大きいことが挙げられる。

30

【0011】

しかしながら、第1レンズユニット L_1 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 L_2 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 L_2 の移動量 mv を大きくすると、該第2レンズユニット L_2 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 L_1 、 L_2 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 L_1 、 L_2 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。

40

【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、仕様に依りて上記 f_1 、 f_2 、 mv 、 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 L_1 と第2レンズユニット L_2 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 L_1 の主点位置を適切に設定することが重要となってくる。

50

【 0 0 1 4 】

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 L 1 の焦点距離 f_1 が 6 0 0 mm ~ 9 0 0 mm 程度、第 1 および第 2 レンズユニット L 1 , L 2 の主点間隔 $e_1 w$ が 4 5 0 ~ 7 0 0 mm 程度、第 2 レンズユニット L 2 の移動量 $m v$ が 1 0 ~ 1 5 mm 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 L 1 の焦点距離 f_1 が 2 3 5 mm 程度、第 1 および第 2 レンズユニット L 1 , L 2 の主点間隔 $e_1 w$ が 1 1 0 mm 程度、第 2 レンズユニット L 2 の移動量 $m v$ が 4 5 mm 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 $f_1 - e_1 w$ 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

【 0 0 1 5 】

また、特許文献 3 にて開示のズームレンズでは、変倍比が 4 0 倍以上であるが、第 2 レンズユニット L 2 の移動量 $m v$ が 1 0 0 mm ~ 1 2 0 mm 程度と大きいために、レンズ全長が 4 0 0 mm 程度、前玉径が 1 8 0 mm 程度と大型化してしまう。

【 0 0 1 6 】

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】

【 0 0 1 7 】

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。

20

【 0 0 1 8 】

$$-2.5 < f_1 b / f_1 a < -0.6$$

$$0.2 < f_1 / f_T < 0.8$$

但し、 f_1 は第 1 レンズユニットの焦点距離、 $f_1 a$ は第 1 レンズサブユニットの焦点距離、 $f_1 b$ 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。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 9 】

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】

40

【 0 0 2 0 】

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 1 3 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 2θ 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。

【 0 0 2 1 】

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 L 1 と、変倍のために移動する第 2 レンズユニット L 2 と、絞り S P 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と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】

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

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

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】

$$30 < f_T / L_d \quad \dots (3)$$

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

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】

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

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】

$$a_p - a_n > 30 \quad \dots (6)$$

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よい。

【0032】

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

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

30

40

50

L 1 , L 1 a , L 1 b , L 2 ~ L 4 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 L 2 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 L 1 の像点、すなわち第 2 レンズユニット L 2 の見かけの物点を示している。第 1 a レンズサブユニット L 1 a と第 1 b レンズサブユニット L 1 b の合成焦点距離（第 1 レンズユニット L 1 の焦点距離）を f_1 とすると、図 1 8 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。

【 0 0 3 5 】

図 1 7 のように、第 1 レンズユニット L 1 を、正の屈折力を有する第 1 a レンズサブユニット L 1 a と、負の屈折力を有する第 1 b レンズサブユニット L 1 b とに分割し、いわゆるテレフォト構成を採ることにより、第 1 レンズユニット L 1 の望遠比、すなわち第 1 レンズユニット L 1 の焦点距離に対する、第 1 a レンズサブユニット L 1 a から第 1 レンズユニット L 1 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 L 1 , L 2 の主点間隔 e_{1w} 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。

10

【 0 0 3 6 】

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

20

【 0 0 3 7 】

【数 3】

$$f_{1a} = \frac{f_1}{\beta_{1b}} \quad \dots (c-1)$$

$$f_{1b} = \frac{(f_{1a} - e_{1'}) \times \beta_{1b}}{1 - \beta_{1b}} \quad \dots (c-2)$$

$$K = \frac{e_{1'} + (f_{1a} - e_{1'}) \times \beta_{1b}}{f_1} \quad \dots (c-3)$$

30

第 1 レンズユニット L 1 の望遠比 K の値を小さくするように第 1 a および第 1 b レンズサブユニット L 1 a , L 1 b の焦点距離 f_{1a} , f_{1b} 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 L 1 を第 1 a および第 1 b レンズサブユニット L 1 a , L 1 b 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 1 a および第 1 b レンズサブユニット L 1 a , L 1 b 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。

40

【 0 0 3 8 】

条件式 (1) は、第 1 a レンズサブユニット L 1 a の焦点距離と第 1 b レンズサブユニット L 1 b 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 L 1 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。

【 0 0 3 9 】

条件式 (1) の上限値を上回ると、第 1 レンズユニット L 1 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 1 a および第 1 b レンズサブユニット L 1 a , L 1 b 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

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ったため、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 2θ 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 -

10

20

30

40

50

1) ~ (c - 3) 式により、第 1 b レンズサブユニット L 1 b の結像倍率 β_{1b} が大きくなる。第 1 a レンズサブユニット L 1 a にて発生する軸上色収差は第 1 b レンズサブユニット L 1 b の結像倍率 β_{1b} の 2 乗倍されるため、第 1 a レンズサブユニット L 1 a 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 1 a レンズサブユニット L 1 a 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 1 a レンズサブユニット L 1 a 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 1 a レンズサブユニット L 1 a に含まれる正レンズエレメントのアップベ数の平均値と負レンズエレメントのアップベ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 1 a レンズサブユニット L 1 a 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 1 a レンズサブユニット L 1 a 内の各レンズエレメントの曲率が強くなっ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 1 a レンズサブユニット L 1 a 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 1 b レンズサブユニット L 1 b 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でもある。より具体的には、条件式 (7) は、第 1 b レンズサブユニット L 1 b に含まれる正レンズエレメントのアップベ数の平均値と、負レンズエレメントのアップベ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 1 b レンズサブユニット L 1 b 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 1 b レンズサブユニット L 1 b 内の各レンズエレメントの曲率が強くなっ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 1 b レンズサブユニット L 1 b 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 L 4 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) E X 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 $f = 284.4 \text{ mm}$ 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、L 1 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。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。L 3 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 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。

【0056】

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。

【0057】

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 1 a レンズサブユニット）L 1 a および負の部分系（第 1 b レンズサブユニット）L 1 b で構成されており、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とで構成されている。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 402 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の移動量が 76.56 mm、変倍比が 1.34 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、

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

$$(2) f_1 / f_T = 0.44$$

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、

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

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

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 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。

【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 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。

【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、F n o は F ナンバー、（表には w と記す）は半画角である。また、r i は物体側から i 番目のレンズ面の曲率半径、d i 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）、n i , i （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ペ数である。また、r i 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】

(数值例 1)

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

r 1	175.581	d 1	15.00	n 1	1.48915	v 1	70.2
r 2	223.192	d 2	0.00				
r 3	223.192	d 3	3.00	n 2	1.73429	v 2	28.5
r 4	981.681	d 4	3.00				
r 5	164.377	d 5	13.18	n 3	1.49845	v 3	81.5
r 6	-1111.397	d 6	1.67				
r 7	86.027	d 7	10.49	n 4	1.49845	v 4	81.5
r 8	207.957	d 8	10.75				
r 9	229.470	d 9	6.07	n 5	1.80642	v 5	35.0
r 10	-404.641	d 10	2.20	n 6	1.88815	v 6	40.8
r 11	101.356	d 11	可変				
r 12	52.380	d 12	1.00	n 7	1.77621	v 7	49.6
r 13	26.219	d 13	3.99				
r 14	94.747	d 14	0.90	n 8	1.88815	v 8	40.8
r 15	60.941	d 15	1.88				
r 16	44.759	d 16	4.98	n 9	1.81264	v 9	25.4
r 17	49.603	d 17	1.58				
r 18	37.092	d 18	0.90	n 10	1.88815	v 10	40.8
r 19	563.182	d 19	可変				
r 20	35.013	d 20	0.90	n 11	1.72056	v 11	47.9
r 21	22.129	d 21	4.73	n 12	1.85504	v 12	23.8
r 22	76.580	d 22	可変				
r 23	0.000 (絞り)	d 23	1.40				
r 24	633.769	d 24	4.00	n 13	1.62286	v 13	60.3
r 25	59.963	d 25	0.15				
r 26	39.383	d 26	5.85	n 14	1.49845	v 14	81.5
r 27	62.888	d 27	0.15				
r 28	40.738	d 28	6.65	n 15	1.49845	v 15	81.5
r 29	58.644	d 29	1.20	n 16	1.88815	v 16	40.8
r 30	42.240	d 30	38.43				
r 31	77.914	d 31	8.32	n 17	1.48915	v 17	70.2
r 32	47.939	d 32	2.88				
r 33	39.440	d 33	6.00	n 18	1.50349	v 18	56.4
r 34	216.729	d 34	4.33				
r 35	61.561	d 35	1.20	n 19	1.88815	v 19	40.8
r 36	172.861	d 36	3.73				
r 37	0.000	d 37	33.00	n 20	1.61170	v 20	46.4
r 38	0.000	d 38	13.20	n 21	1.51872	v 21	64.2
r 39	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】

【 0 0 6 4 】

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。

【 0 0 6 5 】

図 5 において、L 1 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。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。L 3 は負の屈折力を有するコンペンサ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 とコンペンサータレンズユニット L 3 とで変倍系を構成している。

【 0 0 6 6 】

SP 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。

【 0 0 6 7 】

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 1 a レンズサブユニット）L 1 a および負の部分系（第 1 b 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、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 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。

【 0 0 6 8 】

本実施例は、望遠端の焦点距離が 500 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 60.32 mm 、変倍比が 10 倍であり、超望遠化、高倍率化を実現している。

【 0 0 6 9 】

本実施例における条件式（1）、（2）の値は、

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

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

で各条件を満たしており、小型軽量化を実現している。

【 0 0 7 0 】

また、条件式（6）、（7）の値は、

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

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

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。

【 0 0 7 1 】

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。

【 0 0 7 2 】

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サ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。

【 0 0 7 3 】

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。

【 0 0 7 4 】

【表 2】

(数値例 2)

f = 50.0 ~ 500.0

Fno = 2.9 ~ 4.83

2w = 12.55° ~ 1.26°

r 1	215.395	d 1	13.81	n 1	1.48915	v 1	70.2
r 2	1193.089	d 2	7.73				
r 3	102.446	d 3	19.58	n 2	1.43985	v 2	95.0
r 4	1213.593	d 4	3.63				
r 5	314.023	d 5	3.00	n 3	1.72310	v 3	29.5
r 6	463.428	d 6	9.49				
r 7	180.712	d 7	13.59	n 4	1.49845	v 4	81.5
r 8	341.339	d 8	0.51				
r 9	69.115	d 9	7.49	n 5	1.49845	v 5	81.5
r 10	123.011	d 10	13.25				
r 11	238.793	d 11	9.72	n 6	1.81264	v 6	25.4
r 12	162.447	d 12	2.20	n 7	1.79012	v 7	44.2
r 13	48.957	d 13	可変				
r 14	105.707	d 14	1.00	n 8	1.77621	v 8	49.6
r 15	19.717	d 15	6.29				
r 16	191.707	d 16	0.90	n 9	1.88815	v 9	40.8
r 17	38.499	d 17	6.83				
r 18	42.933	d 18	5.46	n 10	1.81264	v 10	25.4
r 19	73.381	d 19	0.36				
r 20	80.334	d 20	0.90	n 11	1.88815	v 11	40.8
r 21	279.304	d 21	可変				
r 22	79.132	d 22	0.90	n 12	1.72056	v 12	47.9
r 23	76.300	d 23	3.01	n 13	1.85504	v 13	23.8
r 24	1334.828	d 24	可変				
r 25	0.000(絞り)	d 25	1.40				
r 26	37.935	d 26	4.35	n 14	1.62286	v 14	60.3
r 27	81.222	d 27	0.15				
r 28	57.021	d 28	4.40	n 15	1.49845	v 15	81.5
r 29	91.410	d 29	0.15				
r 30	53.023	d 30	6.02	n 16	1.48915	v 16	70.2
r 31	44.718	d 31	1.20	n 17	1.88815	v 17	40.8
r 32	61.660	d 32	37.33				
r 33	1541.306	d 33	5.34	n 18	1.48915	v 18	70.2
r 34	33.519	d 34	0.46				
r 35	41.547	d 35	4.18	n 19	1.50349	v 19	56.4
r 36	81.577	d 36	1.20	n 20	1.88815	v 20	40.8
r 37	58.529	d 37	4.74				
r 38	71.991	d 38	5.04	n 21	1.59667	v 21	35.3
r 39	21.536	d 39	1.20	n 22	1.88815	v 22	40.8
r 40	84.101	d 40	5.59				
r 41	33.627	d 41	5.57	n 23	1.48915	v 23	70.2
r 42	86.740	d 42	3.80				
r 43	0.000	d 43	33.00	n 24	1.61170	v 24	46.4
r 44	0.000	d 44	13.20	n 25	1.51872	v 25	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サ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とコンペンサータレンズユニットL3とで変倍系を構成している。

【0077】

SP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、

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

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

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、

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

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

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サ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】

10

20

30

40

【表 3】

(数値例 3)

f = 50.0 ~ 670.0 Fno = 3.0 ~ 5.07 2 ω = 12.55° ~ 0.94°

r 1	313.847	d 1	14.86	n 1	1.49845	v 1	81.5
r 2	617.239	d 2	2.96				
r 3	172.990	d 3	20.91	n 2	1.43985	v 2	95.0
r 4	416.954	d 4	0.00				
r 5	416.954	d 5	3.00	n 3	1.73429	v 3	28.5
r 6	483.977	d 6	9.91				
r 7	423.375	d 7	11.98	n 4	1.49845	v 4	81.5
r 8	600.777	d 8	2.17				
r 9	84.866	d 9	12.68	n 5	1.49845	v 5	81.5
r 10	238.031	d 10	18.75				
r 11	367.678	d 11	7.30	n 6	1.81264	v 6	25.4
r 12	420.866	d 12	2.20	n 7	1.77621	v 7	49.6
r 13	97.862	d 13	可変				
r 14	59.128	d 14	1.00	n 8	1.77621	v 8	49.6
r 15	20.670	d 15	2.81				
r 16	71.313	d 16	0.90	n 9	1.88815	v 9	40.8
r 17	67.699	d 17	5.06				
r 18	40.695	d 18	4.87	n 10	1.81264	v 10	25.4
r 19	69.047	d 19	0.66				
r 20	39.438	d 20	0.90	n 11	1.88815	v 11	40.8
r 21	335.948	d 21	可変				
r 22	57.083	d 22	0.90	n 12	1.72056	v 12	47.9
r 23	30.020	d 23	3.34	n 13	1.85504	v 13	23.8
r 24	99.261	d 24	可変				
r 25	0.000 (絞り)	d 25	1.40				
r 26	177.078	d 26	6.00	n 14	1.62286	v 14	60.3
r 27	43.661	d 27	0.20				
r 28	53.378	d 28	7.00	n 15	1.49845	v 15	81.5
r 29	168.123	d 29	0.20				
r 30	67.898	d 30	8.00	n 16	1.48915	v 16	70.2
r 31	53.526	d 31	1.20	n 17	1.88815	v 17	40.8
r 32	165.897	d 32	37.34				
r 33	47.200	d 33	6.00	n 18	1.48915	v 18	70.2
r 34	98.900	d 34	0.15				
r 35	31.148	d 35	6.00	n 19	1.51825	v 19	64.1
r 36	187.164	d 36	1.20	n 20	1.81264	v 20	25.4
r 37	25.535	d 37	10.00				
r 38	112.429	d 38	1.50	n 21	1.88815	v 21	40.8
r 39	35.052	d 39	5.15	n 22	1.81264	v 22	25.4
r 40	59.076	d 40	3.80				
r 41	0.000	d 41	33.00	n 23	1.61170	v 23	45.4
r 42	0.000	d 42	13.20	n 24	1.51872	v 24	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サ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 とコンペンサータレンズユニット L 3 とで変倍系を構成している。

【 0 0 8 8 】

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

【 0 0 8 9 】

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 1 a レンズサブユニット）L 1 a および負の部分系（第 1 b 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。

【 0 0 9 0 】

本実施例は、望遠端の焦点距離が 4 4 0 m m、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 5 6 . 0 8 m m、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

【 0 0 9 1 】

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。

【 0 0 9 2 】

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

【 0 0 9 3 】

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。

【 0 0 9 4 】

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サ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。

【 0 0 9 5 】

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。

【 0 0 9 6 】

【表 4】

(数値例 4)

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

r 1	156.452	d 1	15.93	n 1	1.49845	v 1	81.5
r 2	458.893	d 2	6.91				
r 3	85.874	d 3	19.34	n 2	1.43985	v 2	95.0
r 4	1252.490	d 4	4.58				
r 5	352.923	d 5	3.00	n 3	1.70442	v 3	30.1
r 6	432.984	d 6	10.09				
r 7	92.854	d 7	12.68	n 4	1.62286	v 4	60.3
r 8	751.917	d 8	9.40				
r 9	2295.217	d 9	5.31	n 5	1.81264	v 5	25.4
r 10	167.173	d 10	2.20	n 6	1.79012	v 6	44.2
r 11	51.267	d 11	可変				
r 12	63.199	d 12	1.00	n 7	1.77621	v 7	49.6
r 13	22.785	d 13	3.07				
r 14	151.272	d 14	0.90	n 8	1.88815	v 8	40.8
r 15	49.896	d 15	6.52				
r 16	45.464	d 16	5.50	n 9	1.81264	v 9	25.4
r 17	114.373	d 17	3.07				
r 18	90.436	d 18	0.90	n 10	1.88815	v 10	40.8
r 19	199.070	d 19	可変				
r 20	107.071	d 20	0.90	n 11	1.72056	v 11	47.9
r 21	314.850	d 21	2.99	n 12	1.85504	v 12	23.6
r 22	385.266	d 22	可変				
r 23	0.000(絞り)	d 23	1.40				
r 24	590.339	d 24	4.00	n 13	1.62286	v 13	60.3
r 25	89.927	d 25	0.15				
r 26	68.064	d 26	6.88	n 14	1.49845	v 14	81.5
r 27	110.957	d 27	0.15				
r 28	65.502	d 28	8.00	n 15	1.48915	v 15	70.2
r 29	54.944	d 29	1.20	n 16	1.88815	v 16	40.8
r 30	128.166	d 30	33.00				
r 31	46.722	d 31	6.56	n 17	1.48915	v 17	70.2
r 32	69.752	d 32	0.16				
r 33	31.548	d 33	5.31	n 18	1.50349	v 18	56.4
r 34	143.101	d 34	1.20	n 19	1.88815	v 19	40.8
r 35	26.183	d 35	5.68				
r 36	95.836	d 36	6.50	n 20	1.59667	v 20	35.3
r 37	22.152	d 37	1.20	n 21	1.88815	v 21	40.8
r 38	330.287	d 38	4.46				
r 39	102.542	d 39	3.54	n 22	1.48915	v 22	70.2
r 40	39.812	d 40	5.60				
r 41	0.000	d 41	33.00	n 23	1.61170	v 23	46.4
r 42	0.000	d 42	13.20	n 24	1.51872	v 24	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。

【 0 0 9 7 】

【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 _l	181.42	245.29	204.90	259.67
f _{la}	110.77	102.91	126.76	89.40
f _{lb}	-188.30	-81.73	-180.42	-63.89
L _d	φ11.0	φ11.0	φ11.0	φ11.0
ν _{ap}	77.77	82.075	84.90	78.94
ν _{an}	28.46	29.50	28.46	30.13
ν _{bp}	34.97	25.42	25.42	25.42
ν _{bn}	40.76	44.20	49.60	44.20

10

数値実施例番号	1	2	3	4
条件式				
(1) f _{lb} / f _{la}	-1.70	-0.79	-1.42	-0.72
(2) f _l / 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) ν _{ap} - ν _{an}	49.31	52.575	56.44	48.81
(6) ν _{bp} - ν _{bn}	5.79	18.78	24.18	18.78
(7) K	0.87	0.69	0.83	0.75

20

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。

【 0 0 9 8 】

【表 6】

各パラメータの数値

30

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 _{lw}	74.01	155.47	103.78	161.40
e _{lT}	150.56	215.79	175.29	217.48
m _v	76.56	60.32	71.52	56.08
β _{lb}	1.64	2.38	1.62	2.90
e _{l'}	37.43	55.47	57.95	47.51

40

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。

【 0 0 9 9 】

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

50

、 1 1 7 はカメラ 1 1 1 にズームレンズ 1 0 1 を装着することにより構成される撮影システムである。

【 0 1 0 0 】

ズームレンズ 1 0 1 において、 1 0 2 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）、 1 0 3 a 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）、 1 0 3 b 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）、 1 0 4 は絞り、 1 0 5 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。

【 0 1 0 1 】

また、 1 0 9 は変倍時に移動するレンズユニット 1 0 3 a , 1 0 3 b 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。

【 0 1 0 2 】

カメラ 1 1 1 において、 1 0 6 は光学フィルタや色分解プリズムに相当するガラスブロック、 1 0 7 はズームレンズ 1 0 1 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）、 1 0 8 はカメラ 1 1 1 の制御を司る CPU 等のカメラコントローラである。

【 0 1 0 3 】

1 1 6 はズームレンズ 1 0 1 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 1 1 6 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 1 0 1 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 1 1 6 において、 1 1 2 は機構部材 1 0 9 を駆動してレンズユニット 1 0 3 a , 1 0 3 b を移動させ、変倍を行わせるズームアクチュエータ、 1 1 3 は絞り 1 0 4 を駆動する絞りアクチュエータである。さらに、 1 1 5 はドライブユニット 1 1 6 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。

【 0 1 0 4 】

なお、図 1 9 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 1 0 2 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。

【 0 1 0 5 】

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】

【 0 1 0 6 】

【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 2 8 4 . 4 m m 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 1 5 8 . 1 m m 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 1 0】数値例 3 の広角端における収差図である。

【図 1 1】数値例 3 の焦点距離 1 8 3 . 0 m m における収差図である。

【図 1 2】数値例 3 の望遠端における収差図である。

【図 1 3】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 1 4】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 187.6 mm 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。

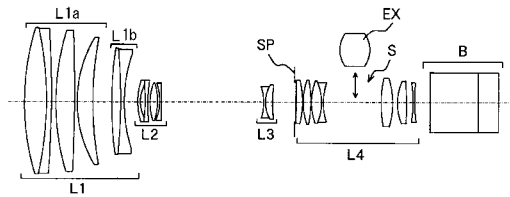
【符号の説明】

【0107】

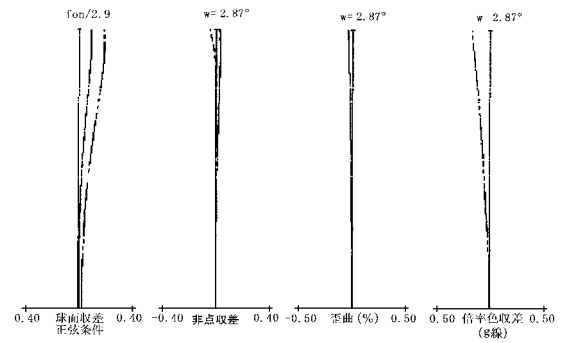
- L 1 第 1 レンズユニット
- L 2 第 2 レンズユニット
- L 3 第 3 レンズユニット
- L 4 第 4 レンズユニット
- L 1 a 第 1 a レンズサブユニット
- L 1 b 第 1 b レンズサブユニット
- S P 絞り
- B ガラスブロック

10

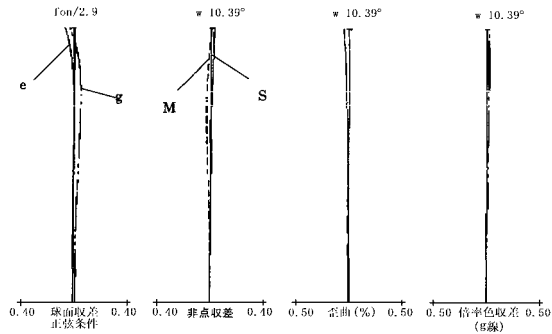
【図 1】



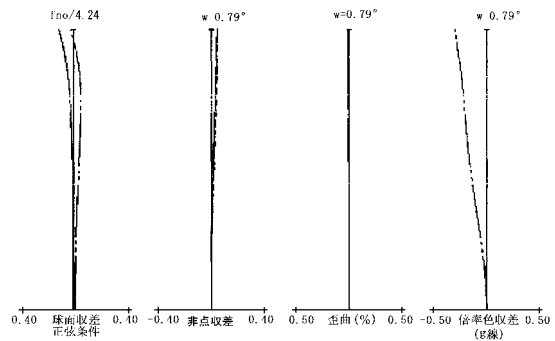
【図 3】



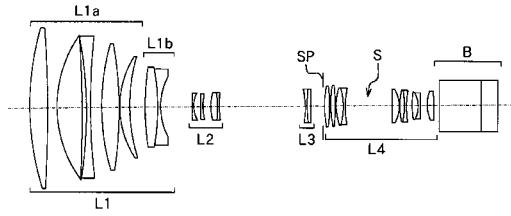
【図 2】



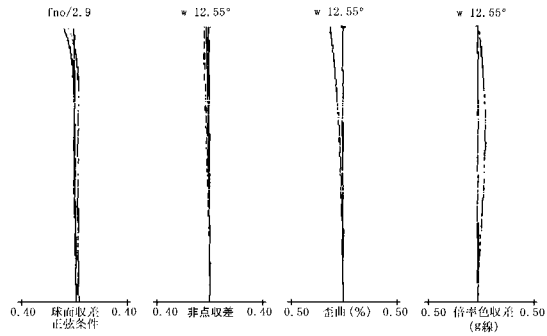
【図 4】



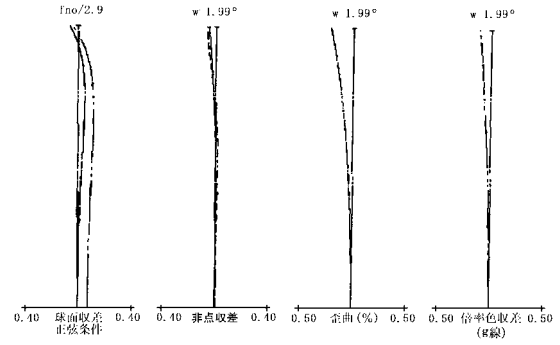
【図 5】



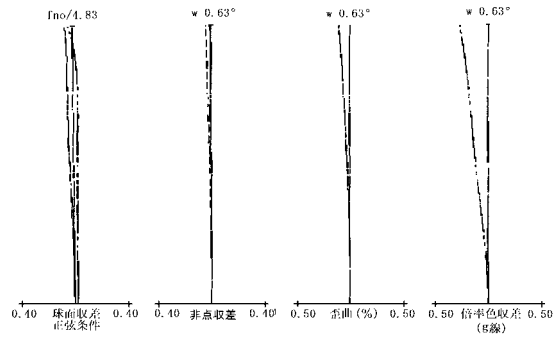
【図 6】



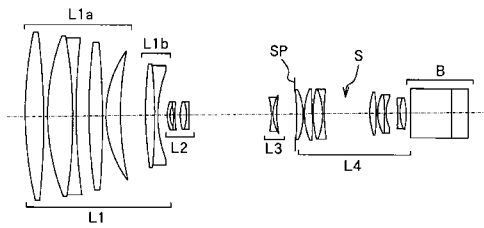
【図 7】



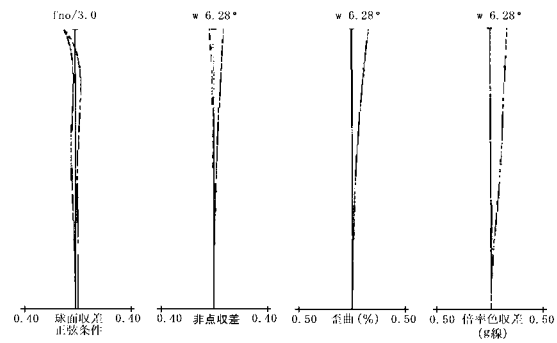
【図 8】



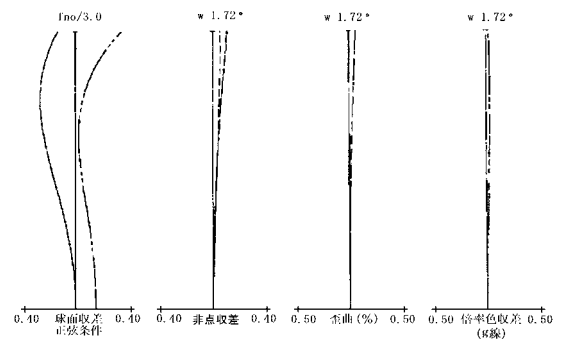
【図 9】



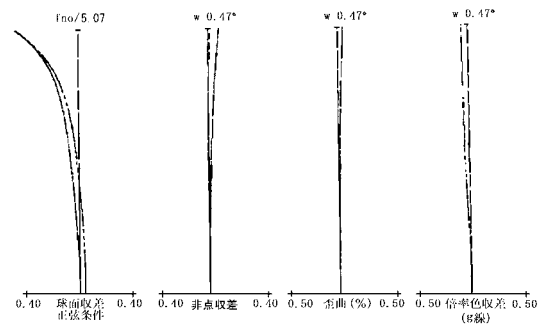
【図 10】



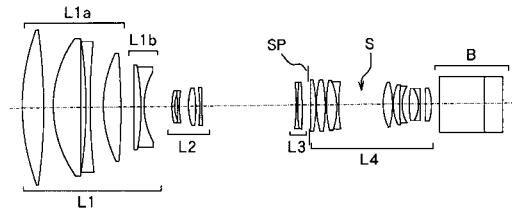
【図 11】



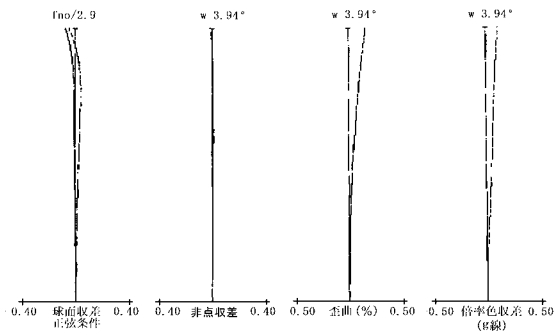
【図 12】



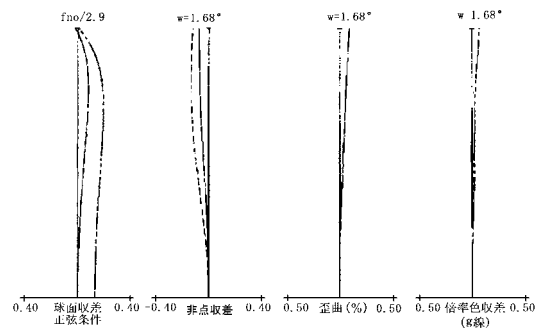
【図 13】



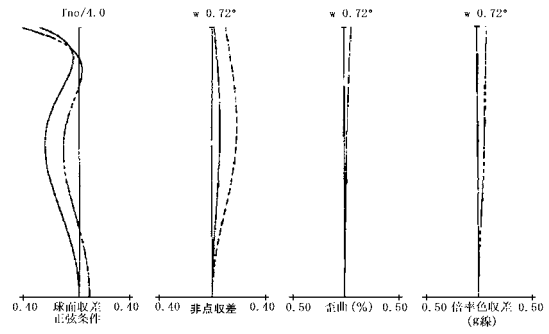
【図 14】



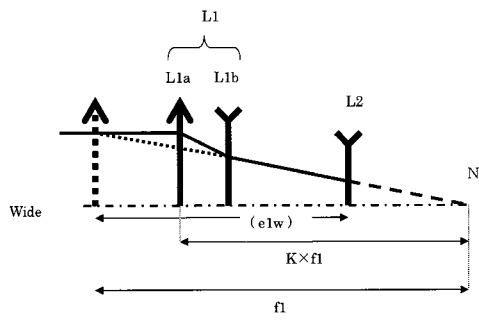
【図 15】



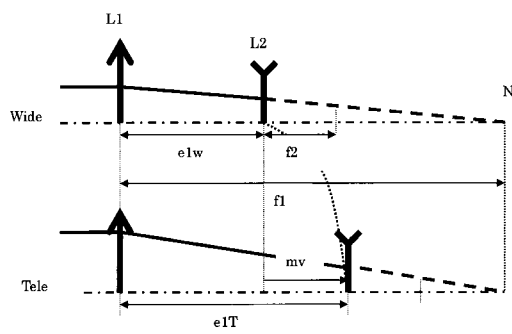
【図 16】



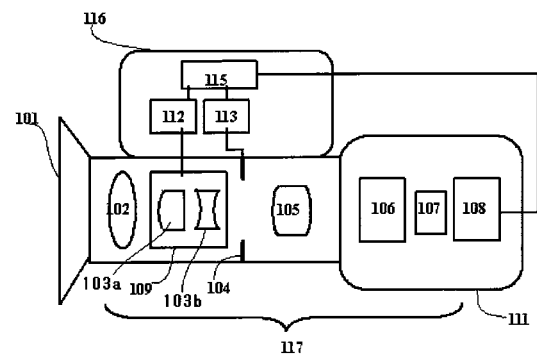
【図 17】



【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