

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第6部門第2区分
 【発行日】平成28年5月26日(2016.5.26)

【公開番号】特開2014-202806(P2014-202806A)
 【公開日】平成26年10月27日(2014.10.27)
 【年通号数】公開・登録公報2014-059
 【出願番号】特願2013-76721(P2013-76721)
 【国際特許分類】

G 0 2 B 15/16 (2006.01)

G 0 2 B 13/18 (2006.01)

【F I】

G 0 2 B 15/16

G 0 2 B 13/18

【手続補正書】

【提出日】平成28年3月24日(2016.3.24)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側から像側へ順に配置された、正の屈折力の第1レンズ群、負の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群、正の屈折力の第4レンズ群、正または負の屈折力の第5レンズ群から構成され、ズーミングに際して、前記第1レンズ群は不動で、前記第2レンズ群と前記第4レンズ群が移動し、隣り合うレンズ群の間隔が変化するズームレンズにおいて、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、負レンズG1n、正レンズ、正レンズから構成され、

前記第1レンズ群の焦点距離を f_1 、前記第3レンズ群の焦点距離を f_3 、前記負レンズG1nの物体側のレンズ面の曲率半径を R_a 、前記負レンズG1nの像側のレンズ面の曲率半径を R_b とすると、

1. $8 < f_1 / f_3 < 3.0$

− $0.2 < (R_a + R_b) / (R_a - R_b) < 1.1$

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】

前記第3レンズ群に含まれる正レンズの材料の屈折率を n_{d3i} 、アッベ数を v_{d3i} とすると、前記第3レンズ群は、

1. $1.54 < n_{d3i} < 2.00$

$55 < v_{d3i} < 100$

なる条件式を満足する正レンズを有することを特徴とする請求項1に記載のズームレンズ。

【請求項3】

広角端における全系の焦点距離を f_W 、望遠端における全系の焦点距離を f_T とすると、

1. $0 < f_3 / \sqrt{f_W \times f_T} < 3.0$

なる条件式を満足する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。

【請求項4】

前記第 3 レンズ群の物体側にズームングに際して不動の開口絞りを有し、広角端におけるレンズ全長を $T D W$ 、前記開口絞りから像面までの空気換算距離を $D S P$ とするとき、
 $0.2 < D S P / T D W < 0.7$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 5】

広角端から望遠端へのズームングにおける前記第 2 レンズ群の光軸上の移動量を $m 2$ 、広角端における全系の焦点距離を $f W$ 、望遠端における全系の焦点距離を $f T$ とするとき、

$$1.5 < |m 2| / \sqrt{(f W \times f T)} < 3.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 6】

前記第 5 レンズ群は、負の屈折力の第 1 部分群と、正の屈折力の第 2 部分群から構成され、像ぶれ補正に際して、前記第 1 部分群又は前記第 2 部分群のいずれか一方から構成される防振群が光軸に対して垂直方向の成分を持つ方向に移動し、

望遠端における前記防振群の横倍率を βa 、前記防振群より像側に位置する光学系の望遠端における横倍率を βb とするとき、

$$0.4 < |(1 - \beta a) \times \beta b| < 1.5$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 7】

前記負レンズ $G 1 n$ の焦点距離を $f 1 n$ とするとき、

$$0.8 < |f 1 n| / f 1 < 2.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 8】

前記第 3 レンズ群に含まれる正レンズの材料のアップ数を $v d 3 i$ 、部分分散比を $\theta g F 3 i$ とするとき、前記第 3 レンズ群は、

$$-0.00162 \times v d 3 i + 0.642 < \theta g F 3 i$$

なる条件式を満足する正レンズを有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 9】

ズームングに際して前記第 3 レンズ群および前記第 5 レンズ群は不動であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 10】

前記第 3 レンズ群は1 枚の正レンズより構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 11】

前記第 5 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、負の屈折力の第 1 部分群、正の屈折力の第 2 部分群から構成され、像ぶれ補正に際して前記第 1 部分群が光軸に対して垂直方向の成分を持つ方向に移動することを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載のズームレンズと、該ズームレンズによって形成された像を受光する撮像素子を有することを特徴とする撮像装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】ズームレンズ及びそれを有する撮像装置

【技術分野】

【0001】

本発明はズームレンズ及びそれを有する撮像装置に関し、例えばビデオカメラ、電子スチルカメラ、放送用カメラ、監視カメラ等のように固体撮像素子を用いた撮像装置、或いは銀塩フィルムを用いたカメラ等の撮像装置に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

近年、固体撮像素子を用いた撮像装置に用いられる撮影光学系には、レンズ全長が短く、コンパクト（小型）であること、そして高ズーム比（高変倍比）、広画角で、しかも高解像力のズームレンズであることが要望されている。これらの要求に応えるズームレンズとして、物体側に正の屈折力のレンズ群を配置したポジティブリード型のズームレンズが知られている。ポジティブリード型のズームレンズで、全体として5つのレンズ群より構成されるズームレンズが知られている（特許文献1，2）。

【0003】

特許文献1では、物体側から像側へ順に、正、負、正、正、正の屈折力の第1レンズ群乃至第5レンズ群よりなる5群構成のズームレンズにおいて、第2レンズ群と第4レンズ群でズーミングを行い、第4レンズ群でフォーカスを行っている。特許文献2では、物体側から像側へ順に、正、負、正、正、正又は負の屈折力の第1レンズ群乃至第5レンズ群よりなる5群構成のズームレンズにおいて、第2レンズ群と第4レンズ群でズーミングを行い第4レンズ群でフォーカスを行っている。

【0004】

特許文献1、2では、第2レンズ群を移動させて変倍を行い、第4レンズ群にて変倍に伴う像面変動を補正すると共に、フォーカシングを行う所謂リアフォーカスタイプの5群ズームレンズを開示している。一般にリアフォーカス式のズームレンズは第1レンズ群を移動させてフォーカスを行うズームレンズに比べて第1レンズ群の有効径が小さくなり、レンズ系全体の小型化が容易になる。また、近接撮影、特に極至近撮影が容易となる。さらに、小型軽量のレンズ群を移動させているので、レンズ群の駆動力が小さくて済み、迅速なフォーカスができる等の特徴がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2008-134334号公報

【特許文献2】特開2007-328306号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

近年、撮像装置に用いるズームレンズには、撮像装置の小型化に伴って高ズーム比で広画角、かつレンズ系全体が小型であることが強く要望されている。一般にズームレンズにおいて、所定のズーム比を確保しつつ、全系の小型化を図るためには、ズームレンズを構成する各レンズ群の屈折力を強めつつ、レンズ枚数を削減すれば良い。しかしながら、このようにしたズームレンズは、各レンズ面の屈折力の増加に伴いレンズ肉厚が増してしまい、レンズ系の短縮効果が不十分になると同時に諸収差の発生が多くなり、諸収差の良好なる補正が困難になってくる。

【0007】

ポジティブリード型のズームレンズにおいて、全系の小型化と、高ズーム比を確保しつつ全ズーム範囲にわたり高い光学性能を得るには、ズームレンズの各要素を適切に設定することが重要となってくる。例えばズームタイプ（レンズ群の数や各レンズ群の屈折力）

、各レンズ群のズーミングに伴う移動軌跡、そして各レンズ群の変倍負担やレンズ構成等を適切に設定することが重要になってくる。これらの構成が適切でないと、高ズーム比化を図る際に全系が大型化し、又、ズーミングに伴う諸収差の変動が増大し、全ズーム範囲、及び画面全体にわたり高い光学性能を得るのが大変難しくなってくる。

【0008】

本発明は、高ズーム比、広画角で、前玉有効径が小さく広角端から望遠端に至る全ズーム範囲にわたり良好なる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】

【0009】

本発明のズームレンズは、物体側から像側へ順に配置された、正の屈折力の第1レンズ群、負の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群、正の屈折力の第4レンズ群、正または負の屈折力の第5レンズ群から構成され、ズーミングに際して、前記第1レンズ群は不動で、前記第2レンズ群と前記第4レンズ群が移動し、隣り合うレンズ群の間隔が変化するズームレンズにおいて、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、負レンズG1n、正レンズ、正レンズから構成され、

前記第1レンズ群の焦点距離を f_1 、前記第3レンズ群の焦点距離を f_3 、前記負レンズG1nの物体側のレンズ面の曲率半径を R_a 、前記負レンズG1nの像側のレンズ面の曲率半径を R_b とすると、

$$1.8 < f_1 / f_3 < 3.0$$

$$-0.2 < (R_a + R_b) / (R_a - R_b) < 1.1$$

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】

【0010】

本発明によれば、全体が小型で、かつ高ズーム比でありながら、全ズーム範囲にわたり高い光学性能が容易に得られるズームレンズが得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施例1のレンズ断面図

【図2】本発明の実施例1のズームレンズの収差図

【図3】本発明の実施例1のズームレンズの0.3度像位置変化後の横収差図

【図4】本発明の実施例2のレンズ断面図

【図5】本発明の実施例2のズームレンズの収差図

【図6】本発明の実施例2のズームレンズの0.3度像位置変化後の横収差図

【図7】本発明の実施例3のレンズ断面図

【図8】本発明の実施例3のズームレンズの収差図

【図9】本発明の実施例3のズームレンズの0.3度像位置変化後の横収差図

【図10】本発明の実施例4のレンズ断面図

【図11】本発明の実施例4のズームレンズの収差図

【図12】本発明の実施例4のズームレンズの0.3度像位置変化後の横収差図

【図13】本発明の撮像装置の要部概略図

【図14】本発明の撮像装置の要部概略図

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に、本発明の好ましい実施の形態を、添付の図面に基づいて詳細に説明する。本発明のズームレンズは、物体側から像側へ順に配置された、正の屈折力（光学的パワー＝焦点距離の逆数）の第1レンズ群、負の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群、正の屈折力の第4レンズ群、正または負の屈折力の第5レンズ群から構成されている。そしてズーミングに際して、第1レンズ群は不動で、第2レンズ群と第4レンズ群が移動

し、隣り合うレンズ群の間隔が変化する。

【0013】

図1(A)、(B)、(C)、(D)は、それぞれ本発明の実施例1のズームレンズの広角端（短焦点距離端）、中間ズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端（長焦点距離端）におけるレンズ断面図である。図2(A)、(B)、(C)、(D)はそれぞれ実施例1のズームレンズの広角端、中間ズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端における収差図である。

【0014】

図3(A)、(B)はそれぞれ実施例1のズームレンズの広角端、望遠端における0.3度の像位置変化後（防振後）の横収差図である。実施例1はズーム比13.57、開口比（Fナンバー）1.80～2.80のズームレンズである。中間ズーム位置1、中間ズーム位置2は後述する数値実施例に示すとおりである。

【0015】

図4(A)、(B)、(C)、(D)は、それぞれ本発明の実施例2のズームレンズの広角端、中間ズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端におけるレンズ断面図である。図5(A)、(B)、(C)、(D)はそれぞれ実施例2のズームレンズの広角端、中間のズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端における収差図である。図6(A)、(B)はそれぞれ実施例2のズームレンズの広角端、望遠端における0.3度像位置変化後の横収差図である。実施例2はズーム比13.79、開口比1.80～2.88のズームレンズである。

【0016】

図7(A)、(B)、(C)、(D)は、それぞれ本発明の実施例3のズームレンズの広角端、中間ズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端におけるレンズ断面図である。図8(A)、(B)、(C)、(D)はそれぞれ実施例3のズームレンズの広角端、中間のズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端における収差図である。図9(A)、(B)はそれぞれ実施例3のズームレンズの広角端、望遠端における0.3度像位置変化後の横収差図である。実施例3はズーム比11.99、開口比1.80～2.88のズームレンズである。

【0017】

図10(A)、(B)、(C)、(D)は、それぞれ本発明の実施例4のズームレンズの広角端、中間ズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端におけるレンズ断面図である。図11(A)、(B)、(C)、(D)はそれぞれ実施例4のズームレンズの広角端、中間のズーム位置1、中間ズーム位置2、望遠端における収差図である。図12(A)、(B)はそれぞれ実施例4のズームレンズの広角端、望遠端における0.3度像位置変化後の横収差図である。実施例4はズーム比11.83、開口比1.80～2.88のズームレンズである。図13、図14は本発明の撮像装置の要部概略図である。

【0018】

本発明のズームレンズは、デジタルカメラ、ビデオカメラ、銀塩フィルムカメラ等の撮像装置に用いられるものである。レンズ断面図において左方が前方（物体側、拡大側）で右方が後方（像側、縮小側）である。レンズ断面図において、 i は物体側から像側への各レンズ群の順序を示し、 L_i は第 i レンズ群である。

【0019】

次に各実施例のズームレンズの特徴について説明する。各実施例のレンズ断面図において、 L_1 は正の屈折力の第1レンズ群、 L_2 は負の屈折力の第2レンズ群、 L_3 は正の屈折力の第3レンズ群、 L_4 は正の屈折力の第4レンズ群、 L_5 は正又は負の屈折力の第5レンズ群である。 SP は開放Fナンバー（ F_{no} ）光束を決定（制限）する開口絞りの作用をするFナンバー決定部材（以下「開口絞り」ともいう。）であり、第3レンズ群 L_3 の物体側に位置している。

【0020】

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

ター等に相当する光学ブロックである。I P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影光学系として使用する際にはC C DセンサやC M O Sセンサ等の撮像素子（光電変換素子）の撮像面が置かれる。又、銀塩フィルム用カメラの撮影光学系として使用する際にはフィルム面に相当する感光面が置かれている。

【0021】

収差図のうち球面収差図において実線はd線、2点鎖線はg線である。非点収差図において点線はメリディオナル像面、実線はサジタル像面である。倍率色収差はg線によって表している。横収差図において、h g tは像高であり、実線はd線のメリディオナル断面、点線はd線のサジタル断面の横収差である。F n oはFナンバー、 ω は半画角（度）である。半画角 ω は光線追跡値による値を示す。レンズ断面図において矢印は広角端から望遠端へのズーミングに際しての各レンズ群の移動軌跡を示している。ズーミングに際しては第2レンズ群L2と第4レンズ群L4が移動する。

【0022】

このとき広角端に対して望遠端において第1レンズ群と第2レンズ群の間隔が広くなる。また第2レンズ群L2と第3レンズ群L3の間隔が狭くなる。

【0023】

以下の各実施例において広角端と望遠端は変倍レンズ群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。各実施例では、広角端から望遠端へのズーミングに際して矢印のように、第2レンズ群L2を像側に移動することによって変倍を行う。また、第4レンズ群L4を物体側に凸状の軌跡で移動させることで変倍に伴う像面変動を補正している。

【0024】

また、第4レンズ群L4を光軸上移動させてフォーカシングを行うリアフォーカス式を採用している。第4レンズ群L4に関する実線の曲線4aと点線の曲線4bは、各々無限遠と近距離にフォーカスしているときの変倍に伴う像面変動を補正するための移動軌跡である。このように第4レンズ群L4を物体側へ凸状の軌跡とすることで第3レンズ群L3と第4レンズ群L4間の空間の有効利用を図り、レンズ全長（第1レンズ面から像面までの距離）の短縮化を効果的に達成している。

【0025】

又、望遠端において無限遠から近距離へフォーカスを行う場合には、矢印4cに示すように第4レンズ群L4を前方に繰り出すことで行っている。第1部分群を光軸に対して垂直方向の成分を持つように移動させて、結像位置を光軸に対して垂直方向に移動させている。即ち像ぶれの補正（手ぶれによる防振）を行っている。開口絞りS Pはズーミングに際して不動である。

【0026】

第5レンズ群L5は、負の屈折力の第1部分群と、正の屈折力の第2部分群を有している。そして第1部分群又は第2部分群のいずれか一方から構成される防振群が光軸に対して垂直方向の成分を持つ方向に移動して像ぶれの補正を行っている。具体的には、第5レンズ群L5は物体側から像側へ順に、光軸に対して垂直方向の成分を持つ方向に移動して像ぶれの補正をする負の屈折力の第1部分群と正の屈折力の第2部分群より構成されている。

【0027】

本発明は、高ズーム比を確保するために、物体側から像側へ順に、正、負、正、正の屈折力の第1乃至第4レンズ群L1～L4と第5レンズ群L5で構成している。そしてズーミングに際して第2、第4レンズ群L2、L4を移動させている。これにより高ズーム比で全系が小型のズームレンズを達成している。ズーミングに際して第3レンズ群L3および第5レンズ群L5は不動である。像ぶれ補正用の補正レンズ群を小型軽量化するために、第5レンズ群L5中に負の屈折力の第1部分群を設けている。これによって、像ぶれ補正機能を有しながらもレンズ系全体の小型化も達成している。

【0028】

各実施例において、第1レンズ群L1は、物体側から像側へ順に配置された、負レンズG1n、正レンズ、正レンズ、正レンズから構成されている。第1レンズ群L1の焦点距離を f_1 、第3レンズ群L3の焦点距離を f_3 とする。負レンズG1nの物体側のレンズ面の曲率半径を R_a 、負レンズG1nの像側のレンズ面の曲率半径を R_b とする。このとき、

$$1.8 < f_1 / f_3 < 3.0 \quad \dots (1)$$

$$-0.2 < (R_a + R_b) / (R_a - R_b) < 1.1 \quad \dots (2)$$

なる条件式を満足する。

【0029】

各実施例のズームレンズでは高ズーム比を確保し、諸収差を良好に補正するために、物体側から像側へ順に、正、負、正、正の屈折力の第1レンズ群L1乃至第4レンズ群L4と正又は負の屈折力の第5レンズ群L5より構成している。

【0030】

ズーミングに際して第1レンズ群L1を不動とすることにより、高い位置精度を保つこと、ズーミングに際してレンズ全長（第1レンズ面L1から像面までの距離）の変化を無くしている。また、ズーミングに際して可動レンズ群を少なくして機構部品の簡素化を図っている。機構部品の簡素化はゴミ等の発生を低減することができ、高い光学性能を維持したズームレンズおよびそれを用いた撮像装置を構成することが容易となる。さらに、コンバータレンズなどのアクセサリを取り付ける場合に、機構上の強度を確保するのが容易になる。

【0031】

ズーミングに際して第2レンズ群L2と第4レンズ群L4を移動させて可動レンズ群を少なくして、レンズ全系の小型化や構成の簡素化を図っている。第1レンズ群L1には、軸外光束が光軸から離れた位置を通過する。また、第1レンズ群L1の構成によりレンズ全長やレンズ径が大きく影響される。このため、全系の小型化には第1レンズ群L1のレンズ構成を適切に設定することが重要である。

【0032】

そこで各実施例において第1レンズ群L1を、物体側から像側へ順に、1枚の負レンズと3枚の正レンズにて構成している。そして各正レンズのレンズ面の曲率半径を適正な範囲として、前玉有効径の増大を極力抑えている。第1レンズ群L1をこのように構成することにより、第2レンズ群L2以降のレンズ群には広画角化のための負担をあまり負わせることなく広角側において像面湾曲と倍率色収差を良好に補正し、望遠側において球面収差およびコマ収差を良好に補正している。

【0033】

条件式(1)は、第1レンズ群L1と第3レンズ群L3の焦点距離の比を規定する。条件式(1)の上限を超えて、第3レンズ群L3の焦点距離が小さくなると、全系の小型化には有利となるが、広角側において球面収差やコマ収差を良好に抑制することが困難になる。条件式(1)の下限を超えて、第1レンズ群L1の焦点距離が小さくなると、第1レンズ群L1より軸上色収差と球面収差が多く発生し、これらの諸収差の補正が難しくなる。

【0034】

条件式(2)は、第1レンズ群L1の負レンズG1nのシェープファクターを規定している。条件式(2)の上限を超えると、第1レンズ群L1の像側主点を像側へ移動することが難しくなり、前玉有効径が大型化してくる。条件式(2)の下限を超えると、物体側のレンズ面の凹形状の曲率が大きくなりすぎ、高次の収差が多く発生する。このため、全系の小型化を図る場合に、この高次の収差の補正が困難となり、好ましくない。

【0035】

条件式(1)と条件式(2)の範囲内であれば、各レンズ面のレンズ面の曲率半径を大きくするために第1レンズ群L1や第3レンズ群L3に新たにレンズを追加する必要がなくなり、各レンズ群のレンズ枚数を少なくすることができる。この結果、全系の小型化と

高い光学性能を得るのが容易になる。

【0036】

以上のように構成することにより、球面収差、コマ収差、像面湾曲などの諸収差を良好に補正した、高ズーム比で広画角で、しかもレンズ系全体が小型のズームレンズが容易に得られる。

【0037】

各実施例において好ましくは次の条件式のうち1以上を満足するのが良い。第3レンズ群L3に含まれる正レンズの材料の屈折率を n_{d3i} 、アッペ数を v_{d3i} 、部分分散比を θ_{gF3i} とする。広角端における全系の焦点距離を f_W 、望遠端における全系の焦点距離を f_T とする。第3レンズ群L3の物体側にズーミングに際して不動の開口絞りSPを有し、広角端におけるレンズ全長をTDW、開口絞りSPから像面までの空気 $\underline{\text{換算}}$ 距離（フィルター等の平行平板を除去したときの距離）をDSPとする。

【0038】

広角端から望遠端へのズーミングにおける第2レンズ群L2の光軸上の移動量を m_2 とする。移動量 m_2 は、広角端における第2レンズ群L2の光軸上の位置と、望遠端における第2レンズ群L2の光軸上の位置の差をいうものとする。移動量 m_2 の符号は第2レンズ群L2が広角端に比べて望遠端において像側に位置するときを正とする。

【0039】

望遠端における防振群の横倍率を β_a 、望遠端における防振群より像側に位置する光学系の横倍率を β_b （防振群より像側にレンズ部がないときは横倍率 $\beta_b = 1$ とする）とする。負レンズG1nの焦点距離を f_{1n} とする。このとき、第3レンズ群L3は条件式（3）、（4）、（10）のうち、少なくとも1つを満足する正レンズG31を有する。そしてズームレンズ全体として、次の条件式のうち1以上を満足するのが良い。

【0040】

- $$\begin{aligned} 1.54 < n_{d3i} < 2.00 & \dots (3) \\ 55 < v_{d3i} < 100 & \dots (4) \\ 1.0 < f_3 / \sqrt{(f_W \times f_T)} < 3.0 & \dots (5) \\ 0.2 < DSP / TDW < 0.7 & \dots (6) \\ 1.5 < |m_2| / \sqrt{(f_W \times f_T)} < 3.0 & \dots (7) \\ 0.4 < |(1 - \beta_a) \times \beta_b| < 1.5 & \dots (8) \\ 0.8 < |f_{1n}| / f_1 < 2.0 & \dots (9) \\ -0.00162 \times v_{d3i} + 0.642 < \theta_{gF3i} & \dots (10) \end{aligned}$$

次に前述の各条件式の技術的意味について説明する。

【0041】

条件式（3）、（4）、（10）は、第3レンズ群L3を構成する1以上の正レンズのうち少なくとも1つの正レンズの材料を規定している。なお、アッペ数 v_d 、部分分散比 θ_{gF} はフラウンホーファ線のd線、F線、C線、g線における屈折率をNd、NF、NC、Ngとすると、

$$\begin{aligned} v_d &= (Nd - 1) / (NF - NC) \\ \theta_{gF} &= (Ng - NF) / (NF - NC) \end{aligned}$$

で定義される。

【0042】

各実施例では、第3レンズ群L3が条件式（3）、（4）を同時に満足する材料で構成された正レンズを有することにより、一次の色消しと、二次スペクトルを良好に補正している。各実施例では、正レンズG31が条件式（3）、（4）、（10）を満たしている。

【0043】

条件式（3）は、第3レンズ群L3の正レンズG31の材料の屈折率を規定している。条件式（3）の上限を超えると、現存する光学ガラスは屈折率が高いほど比重が大きい傾向にあるため、全系の軽量化が難しくなる。条件式（3）の下限を超えて、正レンズG3

1 の材料の屈折率が小さくなりすぎると、正レンズ G 3 1 のレンズ面の曲率を大きくしなければならない。そうすると、低次の収差係数が大きく発生し、特にコマ収差が大きくなり好ましくない。

【0044】

条件式 (4) は、第 3 レンズ群 L 3 の正レンズ G 3 1 のアッベ数を規定している。条件式 (4) は主に軸上色収差を小さく抑えるための条件である。条件式 (4) の下限を超えると、ズーミングに際して軸上色収差の変動が大きくなり、高ズーム比化を行うと、望遠側において色収差が多く発生してくるので好ましくない。更に好ましくは、第 3 レンズ群 L 3 の正レンズ G 3 1 は、条件式 (3)、(4)、(10) を全て同時に満足することが望ましい。条件式 (3)、(4)、(10) を全て同時に満足すると、一次の色消しと、二次スペクトルを良好に補正するのが容易となり、更なる高ズーム比化が容易になる。

【0045】

条件式 (5) は、第 3 レンズ群 L 3 の屈折力を規定している。条件式 (5) は主に球面収差やコマ収差等を良好に補正しつつ、広画角化を図るための条件である。条件式 (5) の上限を超えて、第 3 レンズ群 L 3 の屈折力が小さくなると、レンズ全長の短縮には有利となるが、高ズーム比化を図った際、ズーミングに際して像面湾曲の変動が増大し、これを補正することが難しくなる。条件式 (5) の下限を超えて、第 3 レンズ群 L 3 の屈折力が強くなると、広画角化を図るためには有利となるが、広角側において球面収差やコマ収差が増大し、これらの収差の補正が難しくなり、好ましくない。

【0046】

条件式 (6) は、広角端における開口絞り S P の位置を規定している。条件式 (6) の上限を超えると、開口絞り S P より像側のレンズ群の画面周辺に入射する周辺光束の光軸からの距離変化が大きくなり、周辺光束の収差を良好に補正するために、レンズ枚数を増加したり、非球面を用いること等が必要となり、好ましくない。条件式 (6) の下限を超えると、望遠端側において第 1 レンズ群 L 1 の軸外光束が光軸から離れ、第 1 レンズ群 L 1 の径方向が増大してくるので好ましくない。

【0047】

条件式 (7) は、第 2 レンズ群 L 2 のズーミングに際しての移動量を規定している。条件式 (7) は主にレンズ系全体の小型化を図るためのものである。条件式 (7) の上限を超えると、第 2 レンズ群 L 2 の移動量が大きくなりすぎて、広角端におけるレンズ全長を短くする効果が小さくなり、また第 1 レンズ群 L 1 の径方向が増大してくる。条件式 (7) の下限を超えると、第 2 レンズ群 L 2 の移動量が小さくなりすぎて、所定のズーム比を得るために、第 2 レンズ群 L 2 の屈折力を強める必要がある。

【0048】

そうすると、ズーミングに際して像面湾曲の変動が大きくなり、ズーム全域にわたって像面湾曲を良好に補正することが困難になる。

【0049】

条件式 (8) は、最終レンズ群である。第 5 レンズ群 L 5 を構成する 第 1 部分群 の像シフト敏感度を規定している。ここで、像シフト敏感度 T S とは、光軸に対して垂直方向に移動するシフト群を光軸に対して垂直方向に移動させたときのシフト群の垂直方向の移動量 ΔL とそのときの像面における結像位置の移動量 ΔI の比

$$T S = \Delta I / \Delta L$$

である。

【0050】

条件式 (8) の上限を超えて、第 1 部分群 の微小な移動に対し、像が大きくシフトすると、高い駆動制御が要求され、機構が複雑化するので好ましくない。条件式 (8) の下限を超えると、第 1 部分群 の像を所定量シフトするために必要な移動量が大きくなり、全系の小型化が困難になる。また、像を所定量シフトするために 第 1 部分群 をシフトした際の収差変動が増大してくるので良くない。像ぶれ補正のための 第 1 部分群 を小型軽量化するために、第 1 部分群 は 1 コンポーネント (単一レンズ又は接合レンズ) で構成することが

望ましい。

【0051】

条件式(9)は、第1レンズ群L1の負レンズG1nの焦点距離を第1レンズ群L1の焦点距離で規定している。条件式(9)の上限を超えて、負レンズG1nの焦点距離が大きくなると、第1レンズ群L1の像側主点を像側に移動することが困難となる。また、色収差の補正が困難となる。条件式(9)の下限を超えて、負レンズG1nの焦点距離が小さくなると、広角端において像面湾曲が大きくなり、像面湾曲の補正が難しく、高ズーム比化と全系の小型化が難しくなる。また、望遠側において軸外光束の下光線が補正不足になるのを防ぎ、同時に色収差を補正するのが困難になる。

【0052】

更に好ましくは条件式(1)乃至(9)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【0053】

- $$\begin{aligned} 1.85 < f_1 / f_3 < 2.70 & \dots (1a) \\ 0.2 < (R_a + R_b) / (R_a - R_b) \leq 1.0 & \dots (2a) \\ 1.54 < n_{d3i} < 1.8 & \dots (3a) \\ 55 < v_{d3i} < 80 & \dots (4a) \\ 1.1 < f_3 / \sqrt{(f_W \times f_T)} < 2.0 & \dots (5a) \\ 0.2 < D_{SP} / T_{DW} < 0.5 & \dots (6a) \\ 1.7 < |m_2| / \sqrt{(f_W \times f_T)} < 2.5 & \dots (7a) \\ 0.4 < |(1 - \beta_a) \times \beta_b| < 0.8 & \dots (8a) \\ 0.8 < |f_{1n}| / f_1 < 1.5 & \dots (9a) \end{aligned}$$

条件式(1a)を満たすことにより、ズームングにおけるコマ収差および像面湾曲の変動の抑制が容易になる。条件式(2a)を満たすことにより、前玉有効径の小型化を図りつつ、望遠側において球面収差およびコマ収差を良好に補正することが容易になる。条件式(3a)を満たすことにより、高ズーム比化と全系の小型化が容易になる。条件式(4a)を満たすことにより、球面収差やコマ収差の補正を良好に行いつつ、第3レンズ群L3に新たにレンズを追加する必要性が少なくなり、全系の小型化が容易になる。

【0054】

条件式(5a)を満たすことにより、第3レンズ群L3の屈折力が適切となり、高ズーム比化を図りつつコマ収差の補正が容易になる。条件式(6a)を満たすことにより、開口絞りの位置が更に適正となり、広画角化を図りつつ前玉有効径の小型化が容易になる。条件式(7a)を満たすことにより、第2レンズ群L2のズームングに際しての移動量が更に適切となり、高ズーム比化と全系の小型化が容易になる。条件式(8a)を満たすことにより、像変位を行う第1部分群のシフト敏感度がより適切になり、高い結像性能を維持しつつ像変位が容易になる。

【0055】

条件式(9a)を満たすことにより、望遠側において球面収差を良好に補正しつつ、レンズ全長を短縮するのが容易になる。好ましくは条件式(1a)～(9a)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【0056】

- $$\begin{aligned} 1.9 < f_1 / f_3 < 2.5 & \dots (1b) \\ 0.4 < (R_a + R_b) / (R_a - R_b) \leq 1.0 & \dots (2b) \\ 1.55 < n_{d3i} < 1.70 & \dots (3b) \\ 60 < v_{d3i} < 80 & \dots (4b) \\ 1.2 < f_3 / \sqrt{(f_W \times f_T)} < 1.8 & \dots (5b) \\ 0.3 < D_{SP} / T_{DW} < 0.4 & \dots (6b) \\ 1.8 < |m_2| / \sqrt{(f_W \times f_T)} < 2.4 & \dots (7b) \\ 0.5 < |(1 - \beta_a) \times \beta_b| < 0.7 & \dots (8b) \\ 0.9 < |f_{1n}| / f_1 < 1.5 & \dots (9b) \end{aligned}$$

各実施例のズームレンズでは、第1レンズ群L1および第2レンズ群L2の屈折力をあ

る程度強めることで広画角化を達成している。また、第1レンズ群L1と開口絞りSPの距離を小さくし、前玉有効径の小型化を図っている。これにより第1レンズ群L1のレンズ有効径の小型化を図っている。また、第3レンズ群L3の屈折力がある程度強めることで開口絞りSPから像面IPまでの距離を小さくしている。これによりレンズ全長の短縮を図っている。

【0057】

各実施例のズームレンズでは、広角端から望遠端に向かって第2レンズ群L2を像側に移動させ、広角端よりも望遠端において第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の間隔を広げることで変倍作用を得ている。第4レンズ群L4を物体側に移動させることで無限遠から近距離へのフォーカスを行っている。

【0058】

以上のような構成とすることで広角端および望遠端においてレンズ全長の短縮化を図りつつ、高ズーム比化を図っている。各実施例において第3レンズ群L3は少なくとも1つの非球面を有することが望ましい。広角端においてFナンバーを比較的小さくし、明るいズームレンズを得るには、第3レンズ群L3を簡素なレンズ構成にするのが良く、非球面を設けることが望ましい。実施例1乃至3では、第3レンズ群L3の正レンズG31の少なくとも一方のレンズ面を非球面形状にすることにより、正レンズG31から発生する収差を低く抑えている。

【0059】

すなわち、正レンズG31の基準球面から発生する収差とは逆の収差を非球面により発生させることにより、基準球面による収差と非球面による収差とバランスさせている。また、第3レンズ群L3を単一の正レンズG31で構成すると、レンズ構成の簡素化および全系の小型化を図ることが容易となる。

【0060】

実施例1乃至4では、第3レンズ群L3に非球面レンズを採用することにより、所定の明るさを確保しつつ、広角側において球面収差やコマ収差等を良好に補正している。実施例3、4では第2レンズ群L2に非球面レンズを採用することにより、光学性能のさらなる向上を図っている。特に広角側において像面湾曲を良好に補正している。実施例3では、第2レンズ群L2の最も物体側の負レンズにて、中心から周辺にかけて負の屈折力が弱くなる非球面形状のレンズを用いて収差を良好に補正している。

【0061】

各実施例では、第5レンズ群L5の物体側の1コンポーネント（第1部分群）を光軸に垂直方向の成分を持つように移動させる。これにより、光学系全体が振動（傾動）したときの撮影画像のぶれを補正するようにしているが、任意のレンズ群を光軸と垂直な方向に移動させて手ぶれ補正を行っても良い。

【0062】

次に本発明のズームレンズを撮影光学系として用いたカムコーダー（ビデオカメラ）の実施例を図13、デジタルスチルカメラの実施例を図14を用いて説明する。図13において、10はカメラ本体、11は実施例1乃至4に説明したいずれか1つのズームレンズによって構成された撮影光学系である。12はカメラ本体に内蔵され、撮影光学系11によって形成された被写体像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）である。

【0063】

13は液晶ディスプレイパネル等によって構成され、固体撮像素子12上に形成された被写体像を観察するためのファインダである。図14において、20はカメラ本体、21は実施例1乃至4に説明したいずれか1つのズームレンズによって構成された撮影光学系である。22はカメラ本体に内蔵され、撮影光学系21によって形成された被写体像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）である。尚、各実施例のズームレンズは投射装置（プロジェクタ）用の投射光学系として用いることもできる。

【0064】

本発明の撮像装置は、上記のいずれかのズームレンズと、歪曲収差及び／又は倍率色収差を電氣的に補正する回路とを備えるのが好ましい。このようにズームレンズを構成する際に歪曲収差を許容することのできるレンズ構成にすれば、ズームレンズのレンズ枚数の削減や小型化が容易になる。また、倍率色収差を電氣的に補正することにより、撮影画像の色にじみを軽減し、また、解像力の向上を図ることが容易になる。

次に本発明の実施例1乃至4に対応する数値実施例1乃至4を示す。数値実施例において*i*は物体からの面の順番を示す。*r_i*は物体側より順に第*i*番目の面の曲率半径、*d_i*は物体側より順に第*i*番目と第*i*+1番目間のレンズ厚及び空気間隔、*nd_i*と*vd_i*は各々物体側より順に第*i*番目の光学部材の材質の屈折率とアッペ数である。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材である。

【0065】

非球面形状は光軸方向にX軸、光軸と垂直方向にH軸、光の進行方向を正としRを近軸曲率半径、Kを円錐定数、A₄、A₆、A₈、A₁₀を各々非球面係数としたとき

【0066】

【数1】

$$X = \frac{\frac{H^2}{R}}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)\left(\frac{H}{R}\right)^2}} + A_4 H^4 + A_6 H^6 + A_8 H^8 + A_{10} H^{10}$$

【0067】

なる式で表している。*は非球面形状を有する面を意味している。「e^{-x}」は10^{-x}を意味している。BFはバックフォーカスであり、最終レンズ面から像面までの空気変換長で表している。各数値実施例のレンズデータ及びそれに基づく各条件式の計算結果を表1に示す。

【0068】

〔数値実施例1〕

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd
1	-344.066	1.50	1.84666	23.8
2	50.245	4.07	1.60311	60.6
3	-164.337	0.20		
4	49.901	2.95	1.80400	46.6
5	-700.592	0.17		
6	26.799	2.05	1.77250	49.6
7	48.404	(可変)		
8	115.929	0.70	1.88300	40.8
9	8.374	2.63		
10	-13.413	0.60	1.80000	29.8
11	14.604	1.50		
12	-15.366	0.60	1.88300	40.8
13	-34.927	0.20		
14	40.719	2.03	1.92286	18.9
15	-18.683	(可変)		
16(絞り)	∞	1.20		
17*	16.419	3.45	1.55332	71.7
18*	-21.931	(可変)		
19	12.803	0.60	1.84666	23.8

20	6.466	2.13	1.63854	55.4
21	-64.684	(可変)		
22*	35.578	1.02	1.83481	42.7
23	-46.779	0.50	1.64769	33.8
24	5.419	3.47		
25	10.055	3.23	1.51633	64.1
26	-9.717	3.00		
27	∞	1.00	1.51633	64.1
28	∞	1.00		
像面	∞			

【0069】

非球面データ

第17面

K = -6.51338e-001 A 4 = -8.42369e-005 A 6 = -2.73669e-008
 A 8 = -1.56859e-008 A10 = 3.10785e-010

第18面

K = -4.76736e+000 A 4 = -4.65862e-005 A 6 = -1.49561e-007

第22面

K = 3.24617e+001 A 4 = -2.09482e-004

各種データ

ズーム比 13.57

焦点距離	3.64	11.01	22.91	49.32
Fナンバー	1.80	2.38	2.62	2.80
半画角 (度)	36.60	11.55	5.61	2.61
像高	2.70	2.25	2.25	2.25
レンズ全長	75.25	75.25	75.25	75.25
BF	4.66	4.66	4.66	4.66

d 7	0.70	14.78	20.61	24.98
d15	25.88	11.80	5.97	1.60
d18	8.17	5.31	4.38	6.78
d21	1.04	3.90	4.83	2.43

ズームレンズ群データ

群 始面 焦点距離

1	1	36.16
2	8	-6.70
3	16	17.53
4	19	22.81
5	22	20.93

【0070】

〔数値実施例2〕

単位 mm

面 データ

面 番号	r	d	nd	v d
1	-119.285	1.50	1.90366	31.3
2	42.832	0.95		
3	59.781	4.01	1.60311	60.6
4	-102.751	0.15		
5	39.872	4.22	1.71300	53.9
6	-188.813	0.15		
7	33.362	2.56	1.69680	55.5
8	93.777	(可変)		
9	-2382.167	0.70	2.00100	29.1
10	8.456	2.14		
11	-100.789	0.60	1.91082	35.3
12	16.952	1.74		
13	-15.765	0.60	1.60060	41.4
14	-136.190	0.10		
15	30.045	1.97	2.00272	19.3
16	-26.332	(可変)		
17(絞り)	∞	1.20		
18*	10.244	3.02	1.59201	67.0
19*	-92.682	(可変)		
20	9.567	0.50	1.84666	23.8
21	4.692	2.57	1.63854	55.4
22	-111.246	(可変)		
23	35.328	0.70	1.55332	71.7
24*	5.925	2.22		
25	14.027	1.85	1.48749	70.2
26	-10.516	0.50	1.95906	17.5
27	-18.317	2.00		
28	∞	1.00	1.51633	64.1
29	∞	1.00		
像面	∞			

【 0 0 7 1 】

非球面 データ

第18面

K = 5.98255e-001 A 4=-1.21465e-004 A 6=-7.94578e-007
A 8= 3.78495e-008 A10=-3.95509e-010

第19面

K =-6.81901e+002 A 4=-4.56027e-006 A 6= 3.68274e-006

第24面

K =-4.64351e-001 A 4= 6.19195e-004

各種 データ

ズーム比 13.79

焦点距離	3.50	11.39	19.59	48.28
Fナンバー	1.80	2.45	2.46	2.88

半画角（度）	36.59	11.17	6.55	2.67
像高	2.60	2.25	2.25	2.25
レンズ全長	74.51	74.51	74.51	74.51
BF	3.66	3.66	3.66	3.66

d 8	0.70	17.70	22.80	29.03
d16	29.93	12.93	7.83	1.60
d19	4.79	3.06	2.69	4.86
d22	1.48	3.22	3.58	1.41

ズームレンズ群データ

群 始面 焦点距離

1	1	38.51
2	9	-8.26
3	17	15.75
4	20	19.84
5	23	-37.98

【0 0 7 2】

〔数値実施例 3〕

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	v d
1	∞	1.50	1.84666	23.8
2	41.344	1.80		
3	94.752	3.03	1.48749	70.2
4	-126.575	0.15		
5	46.422	2.80	1.69680	55.5
6	297.361	0.15		
7	37.804	3.27	1.83481	42.7
8	1147.293	(可変)		
9	-124.873	0.60	1.85135	40.1
10*	7.294	2.81		
11	-16.328	0.60	1.80400	46.6
12	47.325	0.20		
13	19.795	1.81	1.92286	18.9
14	-76.231	(可変)		
15(絞り)	∞	1.20		
16*	20.125	3.33	1.55332	71.7
17*	-24.740	(可変)		
18	23.545	0.60	1.84666	23.8
19	9.952	2.14	1.63854	55.4
20	-25.683	(可変)		
21*	45.164	1.16	1.88300	40.8
22	-52.263	0.60	1.67270	32.1
23	6.244	1.82		
24	7.565	3.50	1.69680	55.5
25	-428.888	3.30		
26	∞	1.00	1.51633	64.1

27 ∞ 1.00
 像面 ∞

【 0 0 7 3 】

非球面 データ

第10面

K =-1.10126e-001 A 4=-1.61117e-005

第16面

K =-2.63299e+000 A 4= 2.93548e-006 A 6=-3.06369e-009
 A 8= 1.93110e-008 A10=-2.66803e-010

第17面

K =-5.96116e+000 A 4= 1.08153e-005 A 6= 6.08640e-007

第21面

K =-7.26973e+001 A 4= 1.08789e-004

各種 データ

ズーム比 11.99

焦点距離	3.81	15.73	27.56	45.70
Fナンバー	1.80	2.48	2.69	2.88
半画角（度）	34.31	10.80	6.21	3.76
像高	2.60	3.00	3.00	3.00
レンズ全長	79.68	79.68	79.68	79.68
BF	4.96	4.96	4.96	4.96

d 8	0.70	18.05	23.28	28.24
d14	29.14	8.95	4.35	1.60
d17	8.69	5.93	3.95	4.69
d20	3.14	8.74	10.09	7.14

ズームレンズ群データ

群 始面 焦点距離

1	1	39.66
2	9	-7.87
3	15	20.60
4	18	25.40
5	21	42.15

【 0 0 7 4 】

〔数値実施例 4〕

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	v d
1	-800.000	1.50	1.90366	31.3
2	39.916	0.82		

3	45.540	4.51	1.60311	60.6
4	-166.248	0.15		
5	37.763	3.89	1.69680	55.5
6	-808.672	0.15		
7	36.152	1.96	1.69680	55.5
8	72.304	(可変)		
9	-130.913	0.70	2.00100	29.1
10	8.032	3.36		
11	-16.195	0.60	1.91082	35.3
12	18.017	0.00		
13	18.017	2.42	2.00178	19.3
14*	-23.343	(可変)		
15(絞り)	∞	1.20		
16*	14.319	2.18	1.59201	67.0
17*	-88.129	(可変)		
18	11.007	0.50	1.84666	23.8
19	6.235	2.45	1.63854	55.4
20	-42.556	(可変)		
21	11.433	0.70	1.55332	71.7
22*	4.539	2.13		
23	8.024	2.16	1.56384	60.7
24	-22.110	0.50	1.95906	17.5
25	-850.000	4.40		
26	∞	1.00	1.51633	64.1
27	∞	1.00		
像面	∞			

【0075】

非球面データ

第14面

$$K = 8.00261e-001 \quad A_4 = -5.85355e-005 \quad A_6 = -5.61599e-007$$

第16面

$$K = 5.69141e-001 \quad A_4 = 1.42937e-005 \quad A_6 = 1.76326e-006 \\ A_8 = 1.42819e-007 \quad A_{10} = -1.67455e-009$$

第17面

$$K = -8.78133e+002 \quad A_4 = 3.70614e-005 \quad A_6 = 8.23852e-006$$

第22面

$$K = -3.87586e-001 \quad A_4 = 1.40888e-004$$

各種データ

$$\text{ズーム比} \quad 11.83$$

焦点距離	3.47	11.03	28.06	41.04
Fナンバー	1.80	2.45	2.77	2.88
半画角(度)	36.85	11.53	4.58	3.14
像高	2.60	2.25	2.25	2.25
レンズ全長	75.82	75.82	75.82	75.82

BF	6.06	6.06	6.06	6.06
d 8	0.70	17.43	25.79	28.58
d14	29.58	12.85	4.49	1.70
d17	6.34	4.09	2.96	3.51
d20	1.26	3.50	4.63	4.09

ズームレンズ群データ

群 始面 焦点距離

1	1	41.70
2	9	-7.65
3	15	20.97
4	18	17.26
5	21	-97.91

【 0 0 7 6 】

【表 1】

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
f W	3.636	3.502	3.810	3.469
f T	49.318	48.280	45.697	41.039
f 1	36.158	38.515	39.658	41.702
f 2	-6.702	-8.258	-7.868	-7.654
f 3	17.531	15.754	20.601	20.973
f 4	22.808	19.840	25.402	17.261
f 5	20.927	-37.985	42.152	117.662
f 1 n	-51.681	-34.723	-48.832	-42.036
T D W	75.247	74.513	79.675	75.819
D S P	29.465	22.500	31.133	25.479
m 2	24.278	28.327	27.535	27.877

(1) f 1 / f 3	2.063	2.445	1.925	1.988
(2) (R a + R b) / (R a - R b)	0.745	0.472	1.000	0.905
(3) n d 3 i	1.55332	1.59201	1.55332	1.59201
(4) v d 3 i	71.68	67.02	71.68	67.02
(5) f 3 / √ (f W × f T)	1.309	1.212	1.561	1.758
(6) D S P / T D W	0.392	0.302	0.391	0.336
(7) m 2 / √ (f W × f T)	1.813	2.179	2.087	2.336
(8) (1 - β a) × β b	0.685	0.685	0.685	0.685
(9) f 1 n / f 1	1.429	0.902	1.231	1.008
(10) 右辺 θ g F 3 i	0.5402	0.5357	0.5402	0.5357
(10) 左辺 -0.00162 × v d 3 i + 0.642	0.526	0.533	0.526	0.533

【符号の説明】

【 0 0 7 7 】

L 1 …第 1 レンズ群 L 2 …第 2 レンズ群 L 3 …第 3 レンズ群 L 4 …第 4 レンズ群
L 5 …第 5 レンズ群 S P …絞り