

## (12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2012年6月14日(14.06.2012)

(10) 国際公開番号

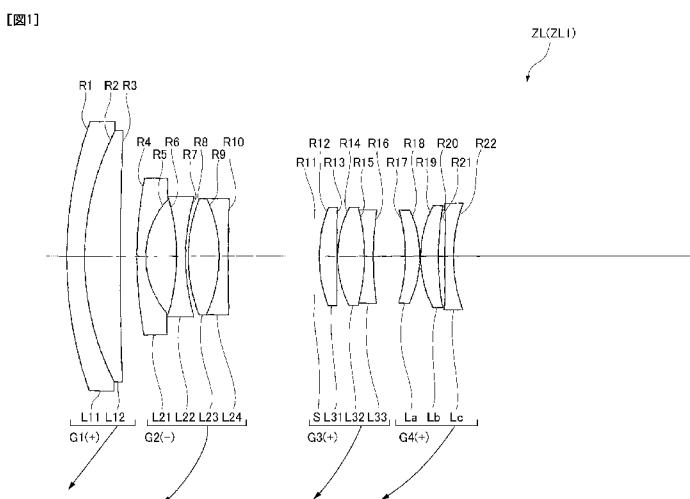
WO 2012/077278 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 15/20 (2006.01) G02B 13/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/006279
- (22) 国際出願日: 2011年11月10日(10.11.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2010-272909 2010年12月7日(07.12.2010) JP  
特願 2011-043447 2011年3月1日(01.03.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 佐藤 治夫(SATO, Haruo) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 田中 一政(TANAKA, Issei) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大西 正悟(OHNISHI, Shogo); 〒1700013 東京都豊島区東池袋3-20-3、東池袋SSビル1階 大西国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), エジプト (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ZOOM LENS, IMAGING DEVICE, AND METHOD FOR PRODUCING ZOOM LENS

(54) 発明の名称: ズームレンズ、撮像装置及びズームレンズの製造方法



(57) Abstract: The present invention has, in order from the object side along the optical axis: a first lens group (G1) having a positive refractive power; a second lens group (G2) having a negative refractive power; a third lens group (G3) having a positive refractive power; and a fourth lens group (G4) having a positive refractive power. The power is varied by changing the air gap between each lens group. The fourth lens group (G4) has, in order from the object side along the optical axis: a first positive lens component (La); a second positive lens component (Lb) that has a convex surface facing the object side; and a negative lens component (Lc). The following conditional formula is satisfied:  $0.00 < (Rb_2 - Rb_1) / (Rb_2 + Rb_1) < 1.00$ , where Rb<sub>2</sub> is the radius of curvature of the surface on the image side of the second positive lens component (Lb) configuring the fourth lens group (G4), and Rb<sub>1</sub> is the radius of curvature of the surface on the object side of the second positive lens component (Lb) configuring the fourth lens group (G4).

(57) 要約:

[続葉有]



## 添付公開書類:

- 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

---

光軸に沿って物体側より順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群（G1）と、負の屈折力を有する第2レンズ群（G2）と、正の屈折力を有する第3レンズ群（G3）と、正の屈折力を有する第4レンズ群（G4）とを有し、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行い、第4レンズ群（G4）は、光軸に沿って物体側より順に並んだ、第1の正レンズ成分（L<sub>a</sub>）と、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分（L<sub>b</sub>）と、負レンズ成分（L<sub>c</sub>）とを有し、以下の条件式を満足する。 $0.00 < \frac{(R_{b2} - R_{b1})}{(R_{b2} + R_{b1})} < 1.00$  但し、R<sub>b2</sub>：第4レンズ群（G4）を構成する第2の正レンズ成分（L<sub>b</sub>）の像側の面の曲率半径、R<sub>b1</sub>：第4レンズ群（G4）を構成する第2の正レンズ成分（L<sub>b</sub>）の物体側の面の曲率半径。

## 明細書

### 発明の名称：

### ズームレンズ、撮像装置及びズームレンズの製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、ズームレンズ、撮像装置及びズームレンズの製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、小型化されたズームレンズが提案されている（例えば、特許文献1を参照）。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開平3-75712号公報

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、従来のズームレンズは小型化の点で不十分であった。そこで、小型化と高性能化を目指すために各群の屈折力を上げると、収差補正のために逆にレンズ構成が複雑になって構成枚数が増え、目的に反して大型化する傾向があった。

[0005] 本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、小型で、構成枚数が少なく、高性能で、諸収差の少ないズームレンズ、撮像装置及びズームレンズの製造方法を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0006] 第1観点のズームレンズは、光軸に沿って物体側より順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群とを有し、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行い、前記第4レンズ群は、光軸

に沿って物体側より順に並んだ、第1の正レンズ成分と、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分と、負レンズ成分とを有し、以下の条件式を満足する。

$$[0007] \quad 0.00 < (R_{b2} - R_{b1}) / (R_{b2} + R_{b1}) < 1.00$$

但し、

$R_{b2}$ ：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の像側の面の曲率半径、

$R_{b1}$ ：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の物体側の面の曲率半径。

[0008] ここで、レンズ成分とは、単レンズ、または、複数枚のレンズが貼り合わされた接合レンズを示す。

[0009] 第2観点の撮像装置（例えば、実施形態におけるミラーレスカメラ1）は、第1観点のズームレンズを備える。

[0010] 第3観点のズームレンズの製造方法は、光軸に沿って物体側より順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群とを有するズームレンズの製造方法であって、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行い、前記第4レンズ群は、光軸に沿って物体側より順に並んだ、第1の正レンズ成分と、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分と、負レンズ成分とを有し、以下の条件式を満足する。

$$[0011] \quad 0.00 < (R_{b2} - R_{b1}) / (R_{b2} + R_{b1}) < 1.00$$

但し、

$R_{b2}$ ：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の像側の面の曲率半径、

$R_{b1}$ ：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の物体側の面の曲率半径。

## 発明の効果

[0012] 本発明によれば、小型で、構成枚数が少なく、高性能で、諸収差の少ない

ズームレンズ、撮像装置及びズームレンズの製造方法を提供することができる。

## 図面の簡単な説明

[0013] [図1]第1実施例に係るズームレンズの構成及び広角端状態（W）から望遠端状態（T）までのズーム軌道を示す図である。

[図2]第1実施例に係るズームレンズの諸収差図であり、（a）は広角端状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、（b）は中間焦点距離状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、（c）は望遠端状態における撮影距離無限遠での諸収差図である。

[図3]第1実施例に係るズームレンズの構成を示す断面図であって、入射した光線が第1番目のゴースト発生面と第2番目のゴースト発生面で反射する様子の一例を説明する図である。

[図4]第2実施例に係るズームレンズの構成及び広角端状態（W）から望遠端状態（T）までのズーム軌道を示す図である。

[図5]第2実施例に係るズームレンズの諸収差図であり、（a）は広角端状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、（b）は中間焦点距離状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、（c）は望遠端状態における撮影距離無限遠での諸収差図である。

[図6]第3実施例に係るズームレンズの構成及び広角端状態（W）から望遠端状態（T）までのズーム軌道を示す図である。

[図7]第3実施例に係るズームレンズの諸収差図であり、（a）は広角端状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、（b）は中間焦点距離状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、（c）は望遠端状態における撮影距離無限遠での諸収差図である。

[図8]本実施形態に係るカメラの構成を示す略断面図である。

[図9]本実施形態に係るズームレンズの製造方法を説明するためのフローチャートである。

[図10]反射防止膜の層構造の一例を示す説明図である。

[図11]反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

[図12]変形例に係る反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

[図13]変形例に係る反射防止膜の分光特性の入射角度依存性を示すグラフである。

[図14]従来技術で作成した反射防止膜の、分光特性を示すグラフである。

[図15]従来技術で作成した反射防止膜の、分光特性の入射角度依存性を示すグラフである。

## 発明を実施するための形態

[0014] 以下、実施形態について、図面を参照しながら説明する。本実施形態に係るズームレンズZLは、図1に示すように、光軸に沿って物体側より順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G4とを有し、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行い、第4レンズ群G4は、光軸に沿って物体側より順に並んだ、第1の正レンズ成分L<sub>a</sub>と、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>と、負レンズ成分L<sub>c</sub>とを有し、以下の条件式(1)を満足する。

[0015]  $0.00 < (R_{b2} - R_{b1}) / (R_{b2} + R_{b1}) < 1.00 \cdots (1)$   
但し、

R<sub>b2</sub>：第4レンズ群G4を構成する物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>の像側の面の曲率半径、

R<sub>b1</sub>：第4レンズ群G4を構成する物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>の物体側の面の曲率半径。

[0016] 本発明は、正負正正の少なくとも4群を有する多群ズームレンズの小型化に対する有効策を考察したものである。特に、本発明で着目したのは、第4レンズ群G4の構成である。第4レンズ群G4は、正正負の単純な構成で、射出瞳を著しく短くすること無しに、バックフォーカスを短小化し、全長を小型化することに成功した。また、この構成をとることで、高性能化も両立させることが可能である。また、収差補正に最適な形状、焦点距離等を最適

な値にすることにより、本発明をより効果的なものにすることが可能である。

- [0017] 条件式(1)は、第4レンズ群G4中の物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分Lbの形状因子(qファクター)の逆数である。この条件式(1)は、上限値である1.00を境に1.00より大きくなると、レンズの形状が物体側に凸面を向けた平凸形状から両凸形状に変化する。すなわち、1.00を超えると、大きくレンズの形状が変わることが分かる。また、条件式(1)の下限値が0.00を下回ると、すなわちマイナスに転じると、像側に凸面を向けたレンズ形状となり、全く異なる形状になる。このように、条件式(1)は、第4レンズ群G4中の物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分Lbの形状を決定する条件である。
- [0018] 条件式(1)の上限値を上回る場合、前記の通り、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分Lbの形状が、最適なメニスカス形状から外れ、物体側に凸面を向けた平凸形状から両凸形状に変化する。このため、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分Lbの屈折力が増し、結果的に負レンズ成分Lcの屈折力も増加させ、高次の収差の発生を誘導し、コマ収差、像面湾曲が悪化するので好ましくない。また、組み立て時の敏感度も増し、製造難易度も増すので好ましくない。
- [0019] 条件式(1)の上限値を0.90とすることにより、良好なコマ収差、像面湾曲の補正が可能になる。条件式(1)の上限値を0.88とすることにより、良好なコマ収差、像面湾曲の補正が可能になる。条件式(1)の上限値を0.80とすることにより、良好なコマ収差、像面湾曲の補正が可能になる。
- [0020] 条件式(1)の上限値を0.70とすることにより、より良好なコマ収差、像面湾曲の補正が可能になる。条件式(1)の上限値を0.65とすることにより、より良好なコマ収差、像面湾曲の補正が可能になる。条件式(1)の上限値を0.60とすることにより、より良好なコマ収差、像面湾曲の補正が可能になり、本実施形態の効果を最大限に發揮できる。

- [0021] 一方、条件式（1）の下限値を下回る場合、前記の通り、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分 $L_b$ の形状が、最適なメニスカス形状から外れ、像側に凸面を向けたメニスカス形状に変化する。この場合も良好な収差補正を阻害する。特に、球面収差、像面湾曲、非点収差が悪化することとなり好ましくない。
- [0022] 条件式（1）の下限値を0.05とすることにより、諸収差が良好に補正できる。条件式（1）の下限値を0.10とすることにより、諸収差が良好に補正できる。条件式（1）の下限値を0.15とすることにより、諸収差が良好に補正できる。
- [0023] 条件式（1）の下限値を0.19とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（1）の下限値を0.20とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（1）の下限値を0.25とすることにより、諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。
- [0024] 本実施形態に係るズームレンズZLは、第1レンズ群G1および第2レンズ群G2における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ（図1では、第1レンズ群G1の正メニスカスレンズL12における像面側のレンズ面（面番号3）と、第2レンズ群G2の負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面（面番号4）が相当）、この反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含んでいる。このように構成すれば、本実施形態に係るズームレンズZLは、物体からの光が光学面で反射されて生じるゴーストやフレアを低減することができ、高い結像性能を達成することができる。
- [0025] 本実施形態に係るズームレンズZLにおいて、前記反射防止膜は多層膜であり、ウェットプロセスを用いて形成された層は、多層膜を構成する層のうち最も表面の層であることが好ましい。このように構成すれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより少なくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。
- [0026] 本実施形態に係るズームレンズZLは、ウェットプロセスを用いて形成さ

れた層の d 線（波長587.6nm）における屈折率を  $n_d$  としたとき、屈折率  $n_d$  が 1.30 以下であることが好ましい。このように構成すれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより少なくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。

- [0027] 本実施形態に係るズームレンズ ZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた光学面は、第1レンズ群 G1 および第2レンズ群 G2 における光学面のうち少なくとも 1 面であり、当該光学面は、（第3レンズ群 G3 が有する）開口絞り S から見て凹形状の面であることが好ましい。開口絞り S から見て凹形状のレンズ面ではゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。
- [0028] 本実施形態に係るズームレンズ ZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた開口絞り S から見て凹形状のレンズ面は、第1レンズ群 G1 および第2レンズ群 G2 に含まれる少なくとも 1 つのレンズの、像面側のレンズ面であることが好ましい。開口絞り S から見て凹形状のレンズ面にゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。
- [0029] 本実施形態に係るズームレンズ ZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた開口絞り S から見て凹形状のレンズ面は、第1レンズ群 G1 および第2レンズ群 G2 に含まれる少なくとも 1 つのレンズの、物体側のレンズ面であることが好ましい。開口絞り S から見て凹形状のレンズ面にゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。
- [0030] 本実施形態に係るズームレンズ ZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた光学面は、第1レンズ群 G1 および第2レンズ群 G2 における光学面のうち少なくとも 1 面であり、当該光学面は、物体から見て凹形状の面であることが好ましい。物体から見て凹形状のレンズ面ではゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

- [0031] 本実施形態に係るズームレンズZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた物体から見て凹形状のレンズ面は、第1レンズ群G1の物体側から数えて2番目に位置するレンズの、像面側のレンズ面であることが好ましい。物体から見て凹形状のレンズ面にゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。
- [0032] 本実施形態に係るズームレンズZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた物体から見て凹形状のレンズ面は、第2レンズ群G2の物体側から数えて2番目に位置するレンズの、物体側のレンズ面であることが好ましい。物体から見て凹形状のレンズ面にゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。
- [0033] 本実施形態に係るズームレンズZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた物体から見て凹形状のレンズ面は、第2レンズ群G2の物体側から数えて3番目に位置するレンズの、像面側のレンズ面であることが好ましい。物体から見て凹形状のレンズ面にゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。
- [0034] 本実施形態に係るズームレンズZLにおいて、前記反射防止膜が設けられた物体から見て凹形状のレンズ面は、第2レンズ群G2の物体側から数えて4番目に位置するレンズの、物体側のレンズ面であることが好ましい。物体から見て凹形状のレンズ面にゴーストが発生し易いため、このような面に反射防止膜を形成することでゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。
- [0035] なお、本実施形態に係るズームレンズZLにおいて、前記反射防止膜は、ウェットプロセスに限らず、ドライプロセス等により形成しても良い。この際、反射防止膜は屈折率が1.30以下となる層を少なくとも1層含むようにすることが好ましい。反射防止膜が、屈折率が1.30以下となる層を少

なくとも1層含むようにすることで、反射防止膜をドライプロセス等で形成しても、ウェットプロセスを用いた場合と同様の効果を得ることができる。なおこの時、屈折率が1.30以下になる層は、多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることが好ましい。

[0036] 本実施形態のズームレンズZLでは、第4レンズ群G4を構成する負レンズ成分Lcの焦点距離をFcとし、第4レンズ群の焦点距離をF4としたとき、以下の条件式(2)を満足することが好ましい。

$$0.45 < (-Fc) / F4 < 3.00 \quad \dots (2)$$

[0038] 条件式(2)は第4レンズ群G4中の負レンズ成分Lcの焦点距離(絶対値)、言い換えれば負レンズ成分Lcの屈折力を規定する条件である。

[0039] 条件式(2)の上限値を上回る場合、負レンズ成分Lcの焦点距離(絶対値)が、第4レンズ群G4の焦点距離に比較して大きくなる。すなわち、負レンズ成分Lcが有する負の屈折力が弱くなることを意味する。この場合、小型化に不利であり、後玉径の増大を招く。無理に小型化進めれば、像面湾曲の悪化、変倍によるコマ収差の変動が増すので好ましくない。

[0040] 条件式(2)の上限値を2.50とすることにより、諸収差が良好に補正できる。条件式(2)の上限値を2.20とすることにより、諸収差が良好に補正できる。

[0041] 条件式(2)の上限値を2.00とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式(2)の上限値を1.90とすることにより、諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。

[0042] 一方、条件式(2)の下限値を下回る場合、負レンズ成分Lcの焦点距離(絶対値)が第4レンズ群G4の焦点距離に比較して小さくなる、すなわち、負レンズ成分Lcが有する負の屈折力が強くなることを意味する。この場合、球面収差、像面湾曲、上方コマ収差の画角による変位、変倍による変動が増すので好ましくない。

[0043] 条件式(2)の下限値を0.50とすることにより、諸収差が良好に補正できる。条件式(2)の下限値を0.74とすることにより、諸収差が良好

に補正できる。

- [0044] 条件式（2）の下限値を0.80とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（2）の下限値を0.90とすることにより、諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。
- [0045] 本実施形態のズームレンズZLでは、第4レンズ群G4を構成する第1の正レンズ成分L<sub>a</sub>と物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>との合成の焦点距離をF<sub>a b</sub>とし、第4レンズ群G4の焦点距離をF4としたとき、以下の条件式（3）を満足することが好ましい。
- [0046]  $0.10 < F_{a b} / F4 < 2.00 \cdots (3)$
- [0047] 条件式（3）は第4レンズ群G4中の正レンズ成分L<sub>a</sub>と物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>との合成の焦点距離、言い換えれば合成の屈折力を規定する条件である。
- [0048] 条件式（3）の上限値を上回る場合、第1の正レンズ成分L<sub>a</sub>と物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>との合成の焦点距離が、第4レンズ群G4の焦点距離に比較して大きくなる。すなわち、合成の屈折力が弱くなることを意味する。この場合、球面収差補正が悪化し、また小型化にも不利となり、結果的に大型化するので好ましくない。
- [0049] 条件式（3）の上限値を1.80とすることにより、球面収差等の諸収差が良好に補正できる。条件式（3）の上限値を1.50とすることにより、球面収差等の諸収差が良好に補正できる。
- [0050] 条件式（3）の上限値を1.00とすることにより、球面収差等の諸収差がより良好に補正できる。条件式（3）の上限値を0.80とすることにより、球面収差等の諸収差がより良好に補正できる。条件式（3）の上限値を0.70とすることにより、球面収差等の諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。
- [0051] 一方、条件式（3）の下限値を下回る場合、第1の正レンズ成分L<sub>a</sub>と物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>との合成の焦点距離が、第4レンズ群G4の焦点距離に比較して小さくなる。すなわち、合成の屈折力が強

くなることを意味する。結果的に、望遠側の球面収差、上方コマ収差の画角による変位、変倍による変動、像面湾曲の変化が増すので好ましくない。

- [0052] 条件式（3）の下限値を0.20とすることにより、コマ収差等の諸収差が良好に補正できる。条件式（3）の下限値を0.30とすることにより、コマ収差等の諸収差が良好に補正できる。
- [0053] 条件式（3）の下限値を0.40とすることにより、コマ収差等の諸収差がより良好に補正できる。条件式（3）の下限値を0.45とすることにより、コマ収差等の諸収差がより良好に補正できる。条件式（3）の下限値を0.50とすることにより、コマ収差等の諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。
- [0054] 本実施形態のズームレンズZLでは、第2レンズ群G2の焦点距離をF2とし、無限遠合焦時における全系の広角端状態における焦点距離をFwとしたとき、以下の条件式（4）を満足することが好ましい。
- [0055]  $0.30 < (-F2) / Fw < 2.00 \dots (4)$
- [0056] 条件式（4）は、第2レンズ群G2の焦点距離、言い換えれば屈折力を規定する条件である。
- [0057] 条件式（4）の上限値を上回る場合、第2レンズ群G2の焦点距離が大きくなる。すなわち、第2レンズ群G2の屈折力が弱くなることを意味する。この場合、全長が大きくなり、小型化に不利となる。また、収差補正上、同様の変倍比を確保した場合、倍率色収差、像面湾曲の変倍による変動が増すので好ましくない。
- [0058] 条件式（4）の上限値を1.80とすることにより、諸収差が良好に補正できる。条件式（4）の上限値を1.50とすることにより、諸収差が良好に補正できる。
- [0059] 条件式（4）の上限値を1.00とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（4）の上限値を0.80とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（4）の上限値を0.70とすることにより、諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。

- [0060] 一方、条件式（4）の下限値を下回る場合、第2レンズ群G2の焦点距離が小さくなる。すなわち、第2レンズ群G2の屈折力が強くなることを意味する。この場合、特に望遠側の球面色収差、コマ収差の変倍による変動が悪化するので好ましくない。
- [0061] 条件式（4）の下限値を0.40とすることにより、諸収差が良好に補正できる。条件式（4）の下限値を0.50とすることにより、諸収差が良好に補正できる。
- [0062] 条件式（4）の下限値を0.52とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（4）の下限値を0.58とすることにより、諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。
- [0063] 本実施形態のズームレンズZLでは、第4レンズ群G4を構成する負レンズ成分Lcのd線（波長587.6nm）におけるアッベ数をνdcとしたとき、以下の条件式（5）を満足することが好ましい。
- [0064]  $45 < \nu_{dc} < 85 \cdots (5)$
- [0065] 条件式（5）は、第4レンズ群G4中の負レンズ成分Lcのアッベ数を規定する条件である。
- [0066] 条件式（5）の上限値を上回る場合、負レンズ成分Lcのアッベ数が低分散になり、倍率色収差の補正が悪化するので好ましくない。
- [0067] 条件式（5）の上限値を75とすることにより、色収差が良好に補正できる。条件式（5）の上限値を73とすることにより、色収差が良好に補正できる。
- [0068] 条件式（5）の上限値を70とすることにより、色収差がより良好に補正できる。条件式（5）の上限値を68とすることにより、色収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。
- [0069] 一方、条件式（5）の下限値を下回る場合、負レンズ成分であるLcのアッベ数が高分散になり、やはり倍率色収差、特に倍率色収差の2次分散が悪化するので好ましくない。
- [0070] 条件式（5）の下限値を50とすることにより、色収差が良好に補正でき

る。条件式（5）の下限値を5.2とすることにより、色収差が良好に補正できる。

[0071] 条件式（5）の下限値を5.4とすることにより、色収差がより良好に補正できる。条件式（5）の下限値を5.8とすることにより、色収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。

[0072] 本実施形態のズームレンズZLでは、無限遠合焦時における全系の広角端状態のバックフォーカスをBfwとし、無限遠合焦時における全系の広角端状態の焦点距離をFwとしたとき、以下の条件式（6）を満足することが好ましい。

$$0.5 < B_{fw} / F_w < 2.0 \quad \dots (6)$$

[0074] 条件式（6）は、広角端状態におけるバックフォーカスを規定する条件である。

[0075] 条件式（6）の上限値を上回る場合、バックフォーカスが著しく長くなり、小型化に反するので好ましくない。また、収差補正上、このような構造をとる場合、各群をゆるい屈折力で使用するため、像面湾曲の変動が発生しやすいので好ましくない。

[0076] 条件式（6）の上限値を1.8とすることにより、諸収差が良好に補正できる。条件式（6）の上限値を1.7とすることにより、諸収差が良好に補正できる。

[0077] 条件式（6）の上限値を1.6とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（6）の上限値を1.5とすることにより、諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。

[0078] 一方、条件式（6）の下限値を下回る場合、バックフォーカスが著しく短くなり、射出瞳までの距離も短くなるので、デジタルカメラ等に用いる光学系としては好ましくない。また、収差補正上、このような構造をとる場合、各群を強い屈折力で使用するため、コマ収差、像面湾曲の変動が発生しやすいので好ましくない。

[0079] 条件式（6）の下限値を0.6とすることにより、諸収差が良好に補正で

きる。条件式（6）の下限値を0.8とすることにより、諸収差が良好に補正できる。

[0080] 条件式（6）の下限値を1.0とすることにより、諸収差がより良好に補正できる。条件式（6）の下限値を1.4とすることにより、諸収差がより良好に補正でき、本実施形態の効果を最大限に発揮できる。

[0081] 本実施形態のズームレンズZLにおいて、第4レンズ群G4は、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。この構成により、良好なコマ収差、歪曲収差の補正を実現することができる。

[0082] より好ましくは、本実施形態のズームレンズZLにおいて、第4レンズ群G4を構成する負レンズ成分Lcが、少なくとも1面の非球面を有することが好ましい。この構成により、良好なコマ収差、歪曲収差の補正を実現することができる。

[0083] 本実施形態のズームレンズZLにおいて、近距離物体への合焦は、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を光軸上で移動させることにより行われることが好ましい。この構成により、近距離収差変動、特に像面湾曲とコマ収差の変動を小さくできるので好ましい。

[0084] 図8に、上述のズームレンズZLを備えた撮像装置として、レンズ交換式の所謂ミラーレスカメラ1（以後、単にカメラと記す）の略断面図を示す。このカメラ1において、不図示の物体（被写体）からの光は、撮影レンズ2（本実施形態に係るズームレンズZL）で集光されて、不図示のOLPF（optical low pass filter：光学ローパスフィルタ）を介して撮像部3の撮像面上に物体（被写体）像を形成する。そして、撮像部3に設けられた光電変換素子により物体（被写体）像が光電変換され、物体（被写体）の画像が生成される。この画像は、カメラ1に設けられたEVF（Electronic view finder：電子ビューファインダ）4に表示される。これにより、撮影者は、EVF4を介して物体（被写体）像を観察することができる。

[0085] また、撮影者によって不図示のレリーズボタンが押されると、撮像部3により光電変換された画像が不図示のメモリに記憶される。このようにして、

撮影者は本カメラ1による被写体の撮影を行うことができる。

- [0086] なお、カメラ1は、撮影レンズ2（ズームレンズZL）を着脱可能に保持するものでも良く、撮影レンズ2（ズームレンズZL）と一体に成形されるものでも良い。
- [0087] ここでは、撮影レンズ2（ズームレンズZL）を備えた撮像装置として、ミラーレスカメラの例を挙げたが、これに限定されるものではなく、例えば、カメラ本体にクイックリターンミラーを有しファインダー光学系を介して物体（被写体）像を観察する一眼レフタイプのカメラであってもよい。
- [0088] 本カメラ1に撮影レンズ2として搭載した本実施形態に係るズームレンズZLは、後述の各実施例からも分かるように、その特徴的なレンズ構成によって、球面収差、像面湾曲、非点収差及びコマ収差が少なく、大画角を包括する超広角レンズを実現している。従って、本カメラ1は、球面収差、像面湾曲、非点収差及びコマ収差が少なく、大画角を包括して広角撮影可能な撮像装置を実現することができる。
- [0089] 続いて、図9を参照しながら、上記構成のズームレンズZLの製造方法について概説する。まず、鏡筒内に第1レンズ群G1～第4レンズ群G4を組み込む（ステップS10）。この組み込みステップにおいて、第1レンズ群G1は正の屈折力を持つように、第2レンズ群G2は負の屈折力を持つように、第3レンズ群G3は正の屈折力を持つように、第4レンズ群G4は正の屈折力を持つように、各レンズを配置する。なお、第4レンズ群G4は、光軸に沿って物体側より順に、第1の正レンズ成分L<sub>a</sub>と、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L<sub>b</sub>と、負レンズ成分L<sub>c</sub>とが配置されるように構成する（ステップS20）。
- [0090] ここで、本実施形態におけるレンズ配置の一例を挙げると、第1レンズ群G1として、光軸に沿って物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL<sub>11</sub>と正メニスカスレンズL<sub>12</sub>との接合によりなる接合正レンズを配置し、第2レンズ群G2として、光軸に沿って物体側から順に、物体側に凸面を向けて像側に非球面を有する負メニスカス非球面レンズL<sub>21</sub>

と、両凹レンズL 2 2と、両凸レンズL 2 3と両凹レンズL 2 4との接合によりなる接合正レンズとを配置し、第3レンズ群G 3として、光軸に沿って物体側から順に、開口絞りSと、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1と、両凸レンズL 3 2と両凹レンズL 3 3との接合によりなる接合正レンズとを配置し、第4レンズ群G 4として、光軸に沿って物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ（請求項の第1の正レンズ成分に相当）L aと、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ（請求項の第2の正レンズ成分に相当）L bと、物体側に非球面を有する負レンズL c（請求項の負レンズ成分に相当）とを配置する（図1参照）。

[0091] 続いて、広角端状態から望遠端状態まで変倍する際に、各レンズ群の間の空気間隔が可変するように（すなわち、第1レンズ群G 1と第2レンズ群G 2との間隔が変化し、第2レンズ群G 2と第3レンズ群G 3との間隔が変化し、第3レンズ群G 3と第4レンズ群G 4との間隔が変化するように）配置する（ステップS 3 0）。

[0092] そして、第4レンズ群G 4を構成する物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L bの像側の面の曲率半径をR b 2とし、第4レンズ群G 4を構成する物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分L bの物体側の面の曲率半径をR b 1としたとき、以下の条件式（1）を満足するように配置する（ステップS 4 0）。

$$0.00 < (R b 2 - R b 1) / (R b 2 + R b 1) < 1.00 \cdots (1)$$

[0094] 以上のような本実施形態に係る製造方法によれば、小型で、構成枚数が少なく、高性能で、諸収差の少ないズームレンズZ Lを得ることができる。

## 実施例

[0095] 以下、本実施形態に係る各実施例について、図面に基づいて説明する。以下に、表1～表3を示すが、これらは第1実施例～第3実施例における各諸元の表である。

[0096] 表中の〔面データ〕において、面番号は光線の進行する方向に沿った物体側からのレンズ面の順序を、Rは各レンズ面の曲率半径を、Dは各光学面か

ら次の光学面（又は像面）までの光軸上の距離である面間隔を、 $n_d$  は d 線（波長587.6nm）に対する屈折率を、 $\nu_d$  はレンズの材質の d 線に対するアッベ数を、（可変）は可変面間隔を、（絞り S）は開口絞り S を示す。なお、曲率半径 R の欄の「∞」は平面を示す。また、空気の屈折率（d 線）1.00000 の記載は省略する。

[0097] 表中の〔非球面データ〕には、〔面データ〕に示した非球面について、その形状を次式（a）で示す。ここで、y は光軸に垂直な方向の高さを、X(y) は高さ y における光軸方向の変位量（サグ量）を、r は基準球面の曲率半径（近軸曲率半径）を、κ は円錐定数を、A\_n は第 n 次の非球面係数を示す。なお、「E-n」は「×10^-n」を示し、例えば「1.234E-05」は「1.234×10^-5」を示す。

$$\begin{aligned} X(y) = & (y^2/r) / [1 + \{1 - \kappa (y^2/r^2)\}^{1/2}] \\ & + A_4 \times y^4 + A_6 \times y^6 + A_8 \times y^8 + A_{10} \times y^{10} \dots (a) \end{aligned}$$

[0099] 表中の〔各種データ〕において、f は焦点距離を、FN○は F ナンバーを、ω は半画角（単位：度）を、Y は像高を、TL はレンズ全長を、Σd はズームレンズ ZL の最も物体側のレンズ面から最も像側のレンズ面までの光軸上の距離を、BF はバックフォーカスを示す。

[0100] 表中の〔各群間隔データ〕において、無限遠、中間合焦点及び近距離物点での広角端状態、中間焦点距離状態及び望遠端状態の各状態における、Di (但し、i は整数) は第 i 面と第 (i+1) 面の可変間隔を示す。

[0101] 表中の〔ズームレンズ群データ〕において、G は群番号、群初面は各群の最も物体側の面番号を、群焦点距離は各群の焦点距離を示す。

[0102] 表中の〔条件式〕において、上記の条件式（1）～（6）に対応する値を示す。

[0103] 以下、全ての諸元値において、掲載されている焦点距離 f、曲率半径 R、面間隔 D、その他の長さ等は、特記のない場合一般に「mm」が使われるが、光学系は比例拡大又は比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、これに限られるものではない。また、単位は「mm」に限定されることなく、

他の適当な単位を用いることが可能である。

[0104] ここまで表の説明は全ての実施例において共通であり、以下の説明を省略する。

[0105] (第1実施例)

第1実施例について、図1～図3及び表1を用いて説明する。図1は、第1実施例に係るズームレンズZL (ZL1) の構成及び広角端状態 (W) から望遠端状態 (T) までのズーム軌道を示す。第1実施例に係るズームレンズZL1は、図1に示すように、光軸に沿って物体側から順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G4とを有し、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行う。

[0106] 第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と正メニスカスレンズL12との接合によりなる接合正レンズから構成されている。

[0107] 第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凸面を向けて像側に非球面を有する負メニスカス非球面レンズL21と、両凹レンズL22と、両凸レンズL23と両凹レンズL24との接合によりなる接合正レンズとから構成されている。

[0108] 第3レンズ群G3は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、開口絞りSと、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL31と、両凸レンズL32と両凹レンズL33との接合によりなる接合正レンズとから構成されている。

[0109] 第4レンズ群G4は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL a (請求項の第1の正レンズ成分に相当)と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL b (請求項の第2の正レンズ成分に相当)と、物体側に非球面を有する負レンズL c (請求項の負レンズ成分に相当)とから構成されている。

[0110] 本第1実施例では、第1レンズ群G1の正メニスカスレンズL12における像面側のレンズ面と、第2レンズ群G2の負メニスカスレンズL21にお

ける物体側のレンズ面に後述する反射防止膜が形成されている。

[0111] 以下の表1に、第1実施例における各諸元の値を示す。表1における面番号1～22は、図1に示す曲率半径R1～R22の各レンズ面に対応している。第1実施例では、第5面と、第21面とが非球面形状に形成されている。

[0112] (表1)

[面データ]

面番号 物面	R	D	n d	v d
	∞			
1	44.9802	2.0000	1.846660	23.78
2	30.6800	4.0000	1.755000	52.29
3	335.7161	D3(可変)		
4	46.5048	1.0000	1.816000	46.63
*5	9.6609	3.5000		
6	-23.7772	1.0000	1.816000	46.63
7	23.5386	0.3000		
8	17.5556	3.5000	1.850260	32.35
9	-15.6449	1.0000	1.755000	52.29
10	228.0043	D10(可変)		
11	(絞りS)	0.5280		
12	15.3232	2.0000	1.516800	64.12
13	1154.3277	0.0660		
14	12.4462	3.0000	1.497820	82.56
15	-21.9705	1.0000	1.850260	32.35
16	39.0608	D16(可変)		
17	-18.6716	1.6000	1.518230	58.89
18	-12.8073	0.1000		
19	12.4847	2.0000	1.516800	64.12

20	34.3216	0.7000		
*21	60.0000	1.0000	1.516800	64.12
22	17.7163	BF		
像面	$\infty$			

## [非球面データ]

## 第5面

$\kappa = 0.5803, A4=6.81360E-05, A6=2.12992E-06, A8=-3.60026E-08, A10=8.02177E-10$

## 第21面

$\kappa = -0.1939E+03, A4=-1.53238E-04, A6=-3.21406E-06, A8=8.44333E-09, A10=2.91566E-10$

## [各種データ]

ズーム比 2.88649

	広角端	中間焦点距離	望遠端
f =	18.5	~ 35.0 ~	53.4
FN0 =	4.11	~ 5.31 ~	5.88
$\omega$ =	39.18	~ 21.77 ~	14.48
Y =	14.25	~ 14.25 ~	14.25
T L =	70.49	~ 83.12 ~	96.38
$\Sigma d$ =	43.38	~ 43.57 ~	48.55
B F =	27.12	~ 39.56 ~	47.83

## [各群間隔データ]

## 無限遠

	広角端	中間焦点距離	望遠端
F	18.50000	35.00000	53.40000

D O	0.0000	0.0000	0.0000
D 3	1.86981	9.44802	17.40524
D 10	9.61764	3.41218	0.90752
D 16	3.59458	2.41127	1.94774
B F	27.11574	39.55664	47.82965

## 中間合焦点

	広角端	中間焦点距離	望遠端
$\beta$	-0.02500	-0.02500	-0.02500
D O	710.9542	1351.7958	2057.7118
D 3	1.50616	9.18238	17.14278
D 10	9.98129	3.67783	1.16997
D 16	3.59458	2.41127	1.94774
B F	27.11574	39.55664	47.82965

## 近距離

	広角端	中間焦点距離	望遠端
$\beta$	-0.06015	-0.11196	-0.16377
D O	279.5082	266.8779	253.6159
D 3	1.00333	8.28255	15.75211
D 10	10.48412	4.57766	2.56065
D 16	3.59458	2.41127	1.94774
B F	27.11574	39.55664	47.82965

## [ズームレンズ群データ]

群番号	群初面	群焦点距離
G 1	1	72.597
G 2	4	-11.880

G 3	12	24.107
G 4	17	41.578

## [条件式]

条件式(1) :  $(R_b2 - R_b1) / (R_b2 + R_b1) = 0.4$   
67

条件式(2) :  $(-F_c) / F_4 = 1.131$

条件式(3) :  $F_{ab} / F_4 = 0.548$

条件式(4) :  $(-F_2) / F_w = 0.643$

条件式(5) :  $\nu_{dc} = 64.12$

条件式(6) :  $B_{fw} / F_w = 1.466$

[0113] 表1に示す諸元の表から、本実施例に係るズームレンズZL1では、上記条件式(1)～(6)を全て満たすことが分かる。

[0114] 図2は、第1実施例に係るズームレンズZL1の諸収差図であり、(a)は広角端状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、(b)は中間焦点距離状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、(c)は望遠端状態における撮影距離無限遠での諸収差図である。

[0115] 各収差図において、FN0はFナンバーを、Yは像高を、ωは半画角を、dはd線（波長587.6nm）を、gはg線（波長435.8nm）を示す。なお、非点収差図において、実線はサジタル像面を、破線はメリジオナル像面を示す。また、コマ収差図において、実線はメリジオナルコマを示す。以上の収差図の説明は、他の実施例においても同様とし、その説明を省略する。

[0116] 各収差図から明らかなように、第1実施例では、広角端状態から望遠端状態までの各焦点距離状態において、球面収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差等を含め、諸収差が良好に補正されていることが分かる。

[0117] 図3は、第1実施例のズームレンズZLにおいて、物体側から入射した光線BMによりゴーストが発生する状態を示している。図3において、物体側からの光線BMが図示のようにズームレンズZLに入射すると、負メニスカ

レンズL21における物体側（すなわち曲率半径R4）のレンズ面（第1番目のゴースト発生面であり、その面番号は4）で反射し、その反射光は正メニスカスレンズL12における像側（すなわち曲率半径R3）のレンズ面（第2番目のゴースト発生面であり、その面番号は3）で再度反射して像面Iに到達し、ゴーストを発生させてしまう。なお、第1番目のゴースト発生面（面番号4）は開口絞りSから見て凹形状のレンズ面であり、第2番目のゴースト発生面（面番号3）は開口絞りSから見て凹形状のレンズ面である。このような面に、より広い波長範囲で広入射角に対応した反射防止膜を形成することで、ゴーストを効果的に低減することができる。

[0118] (第2実施例)

第2実施例について、図4、図5及び表2を用いて説明する。図4は、第2実施例に係るズームレンズZL（ZL2）の構成及び広角端状態（W）から望遠端状態（T）までのズーム軌道を示す。第2実施例に係るズームレンズZL2は、図4に示すように、光軸に沿って物体側から順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G4とを有し、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行う。

[0119] 第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と正メニスカスレンズL12との接合によりなる接合正レンズから構成されている。

[0120] 第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凸面を向けて像側に非球面を有する負メニスカス非球面レンズL21と、両凹レンズL22と、両凸レンズL23と両凹レンズL24との接合によりなる接合正レンズとから構成されている。

[0121] 第3レンズ群G3は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、開口絞りSと、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL31と、両凸レンズL32と両凹レンズL33との接合によりなる接合正レンズとから構成されている。

[0122] 第4レンズ群G4は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凹面

を向けた正メニスカスレンズL a（請求項の第1の正レンズ成分に相当）と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL b（請求項の第2の正レンズ成分に相当）と、物体側に非球面を有する負レンズL c（請求項の負レンズ成分に相当）とから構成されている。

- [0123] 本第2実施例では、第2レンズ群G 2の負メニスカスレンズL 2 1における像面側のレンズ面と、第2レンズ群G 2の両凹レンズL 2 2における物体側のレンズ面に後述する反射防止膜が形成されている。
- [0124] 以下の表2に、第2実施例における各諸元の値を示す。表2における面番号1～22は、図4に示す曲率半径R 1～R 22の各光学面に対応している。第2実施例では、第5面と、第21面とが非球面形状に形成されている。
- [0125] (表2)

[面データ]

面番号 物面	R	D	n d	v d
	∞			
1	45.2359	1.5000	1.846660	23.78
2	30.6944	4.3000	1.755000	52.29
3	356.9766	D3(可変)		
4	72.4189	1.0000	1.816000	46.63
* 5	10.5122	3.3000		
6	-43.1510	1.0000	1.816000	46.63
7	19.0384	0.5000		
8	15.5655	3.5000	1.850260	32.35
9	-17.5410	1.0000	1.755000	52.29
10	51.2872	D10(可変)		
11	(絞りS)	0.5280		
12	13.6167	2.0000	1.618000	63.38
13	43.7716	0.0660		
14	12.6174	3.0000	1.497820	82.56

15	-20.2019	1.0000	1.850260	32.35
16	47.9127	D16(可変)		
17	-16.8042	1.6000	1.516800	64.12
18	-12.4769	0.1000		
19	11.3233	2.0000	1.516800	64.12
20	34.3216	0.6000		
*21	60.0000	1.0000	1.589130	61.18
22	17.6665	BF		
像面		$\infty$		

## [非球面データ]

## 第5面

$\kappa = 0.5490, A4=6.23785E-05, A6=8.93712E-07, A8=-3.43635E-09, A10=1.85114E-10$

## 第21面

$\kappa = -0.1427E+03, A4=-1.88342E-04, A6=-3.20208E-06, A8=4.51585E-08, A10=-4.69074E-10$

## [各種データ]

ズーム比 2.88649

	広角端	中間焦点距離	望遠端
f =	18.5	~ 35.0	~ 53.4
FNO =	4.14	~ 5.40	~ 5.91
$\omega$ =	39.11	~ 21.78	~ 14.49
Y =	14.25	~ 14.25	~ 14.25
$\Sigma d$ =	43.70	~ 44.02	~ 48.91
B F =	27.18	~ 39.59	~ 47.88

## [各群間隔データ]

## 無限遠

	広角端	中間焦点距離	望遠端
F	18.50000	35.00000	53.40004
D O	0.0000	0.0000	0.0000
D 3	1.86219	9.49618	17.40987
D 10	10.30074	4.10170	1.59094
D 16	3.54090	2.42404	1.91149
B F	27.18454	39.58976	47.88886

## 中間合焦点

	広角端	中間焦点距離	望遠端
$\beta$	-0.02500	-0.02500	-0.02500
D O	710.8471	1351.5236	2057.5486
D 3	1.49854	9.22985	17.14723
D 10	10.66439	4.36803	1.85358
D 16	3.54090	2.42404	1.91149
B F	27.18454	39.58976	47.88886

## 近距離

	広角端	中間焦点距離	望遠端
$\beta$	-0.06021	-0.11204	-0.16390
D O	279.1176	266.3943	253.2048
D 3	0.99492	8.32697	15.75439
D 10	11.16801	5.27090	3.24642
D 16	3.54090	2.42404	1.91149
B F	27.18454	39.58976	47.88886

## [ズームレンズ群データ]

群番号	群初面	群焦点距離
G 1	1	72.597
G 2	4	-11.880
G 3	12	24.107
G 4	17	41.578

## [条件式]

- 条件式 (1) :  $(R_b 2 - R_b 1) / (R_b 2 + R_b 1) = 0.5$   
 0.4
- 条件式 (2) :  $(-F_c) / F_4 = 1.031$
- 条件式 (3) :  $F_{ab} / F_4 = 0.538$
- 条件式 (4) :  $(-F_2) / F_w = 0.642$
- 条件式 (5) :  $\nu_{dc} = 61.18$
- 条件式 (6) :  $B_{fw} / F_w = 1.469$

[0126] 表2に示す諸元の表から、本実施例に係るズームレンズZL2では、上記条件式(1)～(6)を全て満たすことが分かる。

[0127] 図5は、第2実施例に係るズームレンズZL2の諸収差図であり、(a)は広角端状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、(b)は中間焦点距離状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、(c)は望遠端状態における撮影距離無限遠での諸収差図である。各収差図から明らかなように、第2実施例では、広角端状態から望遠端状態までの各焦点距離状態において、球面収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差等を含め、諸収差が良好に補正されていることが分かる。

[0128] (第3実施例)

第3実施例について、図6、図7及び表3を用いて説明する。図6は、第3実施例に係るズームレンズZL(ZL3)の構成及び広角端状態(W)から望遠端状態(T)までのズーム軌道を示す。第3実施例に係るズームレン

ズ $Z$  L 3は、図6に示すように、光軸に沿って物体側から順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群G 1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G 2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G 3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G 4とを有し、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行う。

- [0129] 第1レンズ群G 1は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 1 1と正レンズL 1 2との接合によりなる接合正レンズから構成されている。
- [0130] 第2レンズ群G 2は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凸面を向けて像側に非球面を有する負メニスカス非球面レンズL 2 1と、両凹レンズL 2 2と、両凸レンズL 2 3と、両凹レンズL 2 4とから構成されている。
- [0131] 第3レンズ群G 3は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、開口絞りSと、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1と、両凸レンズL 3 2と両凹レンズL 3 3との接合によりなる接合正レンズとから構成されている。
- [0132] 第4レンズ群G 4は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 4 1と負メニスカスレンズL 4 2との接合によりなる接合正レンズL a（請求項の第1の正レンズ成分に相当）と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ（請求項の第2の正レンズ成分に相当）L bと、物体側に非球面を有する負レンズL c（請求項の負レンズ成分に相当）とから構成されている。
- [0133] 本第3実施例では、第1レンズ群G 1の正レンズL 1 2における像面側のレンズ面と、第2レンズ群G 2の両凸レンズL 2 3における像面側のレンズ面と両凹レンズL 2 4における物体側のレンズ面とに後述する反射防止膜が形成されている。
- [0134] 以下の表3に、第3実施例における各諸元の値を示す。表3における面番号1～24は、図6に示す曲率半径R 1～R 24の各光学面に対応している。第3実施例では、第5面と、第23面とが非球面形状に形成されている。
- [0135] (表3)

## [面データ]

面番号	R	D	n d	v d
物面	$\infty$			
1	53.1301	2.0000	1.846660	23.78
2	34.4788	4.0000	1.755000	52.29
3	-1592.1864	D3(可変)		
4	130.1252	1.0000	1.816000	46.63
* 5	11.5930	3.0000		
6	-40.3914	1.0000	1.816000	46.63
7	17.5015	0.5000		
8	14.9985	3.0000	1.850260	32.35
9	-19.3436	0.2000		
10	-21.6269	1.0000	1.755000	52.29
11	42.8910	D11(可変)		
12	(絞り S)	0.5280		
13	13.7052	2.0000	1.516800	64.12
14	132.6864	0.0660		
15	12.2707	3.0000	1.497820	82.56
16	-22.2725	1.0000	1.850260	32.35
17	35.8394	D17(可変)		
18	-84.5308	2.0000	1.755000	52.29
19	-19.7674	1.0000	1.518230	58.89
20	-45.5513	0.1000		
21	13.3653	2.0000	1.516800	64.12
22	28.4375	1.0000		
*23	60.0000	1.0000	1.516800	64.12
24	22.2132	BF		
像面	$\infty$			

## [非球面データ]

## 第5面

$\kappa = 0.6824, A4=7.45410E-05, A6=7.51234E-07, A8=-1.55086E-08, A10=5.32599E-10$

## 第23面

$\kappa = -0.1946E+03, A4=-1.37031E-04, A6=-4.64625E-06, A8=5.56028E-08, A10=-5.34034E-10$

## [各種データ]

ズーム比 2.88649

	広角端	中間焦点距離	望遠端
f =	18.5	~ 35.0	~ 53.4
FNO =	4.10	~ 5.25	~ 5.88
$\omega$ =	39.11	~ 21.75	~ 14.37
Y =	14.25	~ 14.25	~ 14.25
T L =	72.00	~ 84.50	~ 97.90
$\Sigma d$ =	45.75	~ 45.75	~ 50.93
B F =	26.25	~ 38.75	~ 46.97

## [各群間隔データ]

無限遠

	広角端	中間焦点距離	望遠端
F	18.50000	35.00001	53.40000
D O	0.0000	0.0000	0.0000
D 3	2.27464	9.77066	17.81007
D 11	10.81496	4.60011	2.10484
D 17	3.26792	1.98675	1.62109

B F	26.25337	38.74673	46.96728
-----	----------	----------	----------

### 中間合焦点

	広角端	中間焦点距離	望遠端
$\beta$	-0.03333	-0.03333	-0.03333
D O	525.5011	1001.6009	1523.4126
D 3	1.79090	9.41851	17.46100
D 11	11.29870	4.95226	2.45391
D 17	3.26792	1.98675	1.62109
B F	26.25337	38.74673	46.96728

### 近距離

	広角端	中間焦点距離	望遠端
$\beta$	-0.07215	-0.13404	-0.19485
D O	227.9951	215.5017	202.1027
D 3	1.23868	8.38733	15.85927
D 11	11.85092	5.98343	4.05564
D 17	3.26792	1.98675	1.62109
B F	26.25337	38.74673	46.96728

### [ズームレンズ群データ]

群番号	群初面	群焦点距離
G 1	1	72.597
G 2	4	-11.880
G 3	13	24.107
G 4	18	41.578

### [条件式]

$$\text{条件式 (1)} : (R_b2 - R_b1) / (R_b2 + R_b1) = 0.3 \\ 61$$

$$\text{条件式 (2)} : (-F_c) / F_4 = 1.656$$

$$\text{条件式 (3)} : F_{ab} / F_4 = 0.658$$

$$\text{条件式 (4)} : (-F_2) / F_w = 0.642$$

$$\text{条件式 (5)} : \nu_{dc} = 64.12$$

$$\text{条件式 (6)} : B_{fw} / F_w = 1.419$$

[0136] 表3に示す諸元の表から、本実施例に係るズームレンズZL3では、上記条件式(1)～(6)を全て満たすことが分かる。

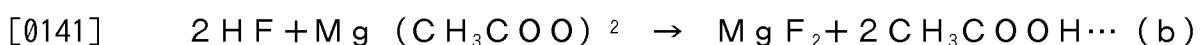
[0137] 図7は、第3実施例に係るズームレンズZL3の諸収差図であり、(a)は広角端状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、(b)は中間焦点距離状態における撮影距離無限遠での諸収差図であり、(c)は望遠端状態における撮影距離無限遠での諸収差図である。各収差図から明らかなように、第3実施例では、広角端状態から望遠端状態までの各焦点距離状態において、球面収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差等を含め、諸収差が良好に補正されていることが分かる。

[0138] 次に、実施形態に係るズームレンズに用いられる反射防止膜（多層広帯域反射防止膜とも言う）について説明する。図10は、反射防止膜の膜構成の一例を示す図である。この反射防止膜101は7層からなり、レンズ等の光学部材102の光学面に形成される。第1層101aは真空蒸着法で蒸着された酸化アルミニウムで形成されている。また、この第1層101aの上に更に真空蒸着法で蒸着された酸化チタンと酸化ジルコニウムの混合物からなる第2層101bが形成される。さらに、この第2層101bの上に真空蒸着法で蒸着された酸化アルミニウムからなる第3層101cが形成され、この第3層101cの上に真空蒸着法で蒸着された酸化チタンと酸化ジルコニウムの混合物からなる第4層101dが形成される。またさらに、この第4層101dの上に真空蒸着法で蒸着された酸化アルミニウムからなる第5層101eが形成され、この第5層101eの上に真空蒸着法で蒸着された酸

化チタンと酸化ジルコニウムの混合物からなる第6層101fが形成される。

[0139] そして、このようにして形成された第6層101fの上に、ウェットプロセスによりフッ化マグネシウムとシリカの混合物からなる第7層101gが形成されて本実施形態の反射防止膜101が形成される。第7層101gの形成には、ウェットプロセスの一一種であるゾルーゲル法を用いている。ゾルーゲル法とは、原料を混合することにより得られたゾルを、加水分解・重縮合反応などにより流動性のないゲルとし、このゲルを加熱・分解して生成物を得る方法であり、光学薄膜の作製においては、光学部材の光学面上に光学薄膜材料ゾルを塗布し、乾燥固化によりゲル膜とすることで膜を生成することができる。なお、ウェットプロセスとして、ゾルーゲル法に限らず、ゲル状態を経ないで固体膜を得る方法を用いるようにしてもよい。

[0140] このように、この反射防止膜101の第1層101a～第6層101fまではドライプロセスである電子ビーム蒸着により形成され、最上層である第7層101gは、フッ酸／酢酸マグネシウム法で調製したゾル液を用いるウェットプロセスにより以下の手順で形成されている。まず、予めレンズ成膜面（上述の光学部材102の光学面）に真空蒸着装置を用いて第1層101aとなる酸化アルミニウム層、第2層101bとなる酸化チタン－酸化ジルコニウム混合層、第3層101cとなる酸化アルミニウム層、第4層101dとなる酸化チタン－酸化ジルコニウム混合層、第5層101eとなる酸化アルミニウム層、第6層101fとなる酸化チタン－酸化ジルコニウム混合層を順に形成する。そして、蒸着装置より光学部材102を取り出した後、フッ酸／酢酸マグネシウム法により調製したゾル液にシリコンアルコキシドを加えたものをスピンドルコート法により塗布することにより、第7層101gとなるフッ化マグネシウムとシリカの混合物からなる層を形成する。フッ酸／酢酸マグネシウム法によって調製される際の反応式を以下の式（b）に示す。



- [0142] この成膜に用いたゾル液は、原料混合後、オートクレーブで140°C、24時間高温加圧熟成処理を施した後、成膜に用いられる。この光学部材102は、第7層101gの成膜終了後、大気中で160°C、1時間加熱処理して完成される。このようなゾルゲル法を用いることにより、大きさが数nmから数十nmの粒子が空隙を残して堆積することにより第7層101gが形成される。
- [0143] このようにして形成された反射防止膜101を有する光学部材の光学的性能について図11に示す分光特性を用いて説明する。
- [0144] 本実施形態に係る反射防止膜を有する光学部材（レンズ）は、以下の表4に示す条件で形成されている。ここで表4は、基準波長をλとし、基板の屈折率（光学部材）が1.62、1.74及び1.85について反射防止膜101の各層101a（第1層）～101g（第7層）の光学膜厚をそれぞれ求めたものである。なお、表4では、酸化アルミニウムをAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、酸化チタンと酸化ジルコニウム混合物をZrO<sub>2</sub>+TiO<sub>2</sub>、フッ化マグネシウムとシリカの混合物をMgF<sub>2</sub>+SiO<sub>2</sub>とそれぞれ表している。
- [0145] 図11は、表4において基準波長λを550nmとして反射防止膜101の各層の光学膜厚を設計した光学部材に光線が垂直入射する時の分光特性を表している。
- [0146] 図11から、基準波長λを550nmで設計した反射防止膜101を有する光学部材は、光線の波長が420nm～720nmの全域で反射率を0.2%以下に抑えられることが分かる。また、表4において基準波長λをd線（波長587.6nm）として各光学膜厚を設計した反射防止膜101を有する光学部材でも、その分光特性にはほとんど影響せず、図11に示す基準波長λが550nmの場合とほぼ同等の分光特性を有することが分かっている。
- [0147] （表4）

	物質 媒質	屈折率	光学膜厚	光学膜厚	光学膜厚
	空気	1.00			
第7層	MgF <sub>2</sub> +SiO <sub>2</sub>	1.26	0.268λ	0.271λ	0.269λ

第6層	ZrO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub>	2.12	0.057λ	0.054λ	0.059λ
第5層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.65	0.171λ	0.178λ	0.162λ
第4層	ZrO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub>	2.12	0.127λ	0.13λ	0.158λ
第3層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.65	0.122λ	0.107λ	0.08λ
第2層	ZrO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub>	2.12	0.059λ	0.075λ	0.105λ
第1層	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.65	0.257λ	0.03λ	0.03λ
基板の屈折率		1.62		1.74	1.85

[0148] 次に、本反射防止膜の変形例について説明する。この反射防止膜は5層からなり、表4と同様、以下の表5で示される条件で基準波長λに対する各層の光学膜厚が設計される。本変形例では、第5層の形成に前述のゾルーゲル法を用いている。

[0149] 図12は、表5において、基板の屈折率が1.52及び基準波長λを550nmとして各光学膜厚を設計した反射防止膜を有する光学部材に光線が垂直入射する時の分光特性を示している。図12から本変形例の反射防止膜は、光線の波長が420nm～720nmの全域で反射率が0.2%以下に抑えられることが分かる。なお、表5において基準波長λをd線（波長587.6nm）として各光学膜厚を設計した反射防止膜を有する光学部材でも、その分光特性にはほとんど影響せず、図12に示す分光特性とほぼ同等の特性を有することが分かっている。

[0150] 図13は、図12に示す分光特性を有する光学部材への光線の入射角が30度、45度、60度の場合の分光特性をそれぞれ示す。なお、図12、図13には表5に示す基板の屈折率が1.46の反射防止膜を有する光学部材の分光特性が図示されていないが、基板の屈折率が1.52とほぼ同等の分光特性を有していることは言うまでもない。

[0151] (表5)

	物質	屈折率	光学膜厚	光学膜厚
媒質	空気	1.00		
第5層	MgF <sub>2</sub> +SiO <sub>2</sub>	1.26	0.275λ	0.269λ

第4層	$ZrO_2 + TiO_2$	2.12	0.045 $\lambda$	0.043 $\lambda$
第3層	$Al_2O_3$	1.65	0.212 $\lambda$	0.217 $\lambda$
第2層	$ZrO_2 + TiO_2$	2.12	0.077 $\lambda$	0.066 $\lambda$
第1層	$Al_2O_3$	1.65	0.288 $\lambda$	0.290 $\lambda$
基板の屈折率			1.46	1.52

[0152] また比較のため、図14に、従来の真空蒸着法などのドライプロセスのみで成膜した反射防止膜の一例を示す。図14は、表5と同じ基板の屈折率1.52に以下の表6で示される条件で構成される反射防止膜を設計した光学部材に光線が垂直入射する時の分光特性を示す。また、図15は、図14に示す分光特性を有する光学部材への光線の入射角が30度、45度、60度の場合の分光特性をそれぞれ示す。

[0153] (表6)

	物質	屈折率	光学膜厚
媒質	空気	1.00	
第7層	$MgF_2$	1.39	0.243 $\lambda$
第6層	$ZrO_2 + TiO_2$	2.12	0.119 $\lambda$
第5層	$Al_2O_3$	1.65	0.057 $\lambda$
第4層	$ZrO_2 + TiO_2$	2.12	0.220 $\lambda$
第3層	$Al_2O_3$	1.65	0.064 $\lambda$
第2層	$ZrO_2 + TiO_2$	2.12	0.057 $\lambda$
第1層	$Al_2O_3$	1.65	0.193 $\lambda$
基板の屈折率			1.52

[0154] 図11～図13で示される本実施形態に係る反射防止膜を有する光学部材の分光特性を、図14および図15で示される従来例の分光特性と比較すると、本反射防止膜はいずれの入射角においてもより低い反射率を有し、しかもより広い帯域で低い反射率を有することが良く分かる。

[0155] 次に、本願の第1実施例から第3実施例に、上記表4に示す反射防止膜を適用した例について説明する。

- [0156] 第1実施例のズームレンズZLにおいて、第1レンズ群G1の正メニスカスレンズL12の屈折率は、表1に示すように、 $n_d = 1.755000$ であり、第2レンズ群G2の負メニスカスレンズL21の屈折率は、 $n_d = 1.816000$ であるため、正メニスカスレンズL12における像面側のレンズ面に基板の屈折率が1.74に対応する反射防止膜101（表4参照）を用い、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜（表4参照）を用いることで各レンズ面からの反射光を少なくでき、ゴーストやフレアを低減することができる。
- [0157] 第2実施例のズームレンズZLにおいて、第2レンズ群G2の負メニスカスレンズL21の屈折率は、表2に示すように、 $n_d = 1.816000$ であり、第2レンズ群G2の両凹レンズL22の屈折率は、 $n_d = 1.816000$ であるため、負メニスカスレンズL21における像面側のレンズ面に基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜101（表4参照）を用い、両凹レンズL22における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜（表4参照）を用いることで各レンズ面からの反射光を少なくでき、ゴーストやフレアを低減することができる。
- [0158] 第3実施例のズームレンズZLにおいて、第1レンズ群G1の正レンズL12の屈折率は、表3に示すように、 $n_d = 1.755000$ であり、第2レンズ群G2の両凸レンズL23の屈折率は、 $n_d = 1.850260$ であり、第2レンズ群G2の両凹レンズL24の屈折率は $n_d = 1.755000$ であるため、正レンズL12における像面側のレンズ面に基板の屈折率が1.74に対応する反射防止膜101（表4参照）を用い、両凸レンズL23における像面側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜（表4参照）を用い、両凹レンズL24における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.74に対応する反射防止膜（表4参照）を用いることで各レンズ面からの反射光を少なくでき、ゴーストやフレアを低減することができる。
- [0159] 以上の各実施例によれば、広角端の包括角 $2\omega = 78.2^\circ$ を超える、F4

～5．6程度の口径を有し、比較的小型で前玉径が小さく、高性能で球面収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差等が良好に補正され、ゴーストやフレアをより低減させたズームレンズが実現できる。なお、上記の各実施例は、本実施形態に係るズームレンズの一具体例を示しているものであり、本実施形態に係るズームレンズはこれらに限定されるものではない。

- [0160] 上述の実施形態において、以下に記載の内容は、光学性能を損なわない範囲で適宜採用可能である。
  - [0161] 各実施例では、ズームレンズとして4群構成を示したが、5群、6群等の他の群構成にも適用可能である。また、最も物体側にレンズまたはレンズ群を追加した構成や、最も像側にレンズまたはレンズ群を追加した構成でも構わない。ここで、レンズ群とは、変倍時に変化する空気間隔で分離された、少なくとも1枚のレンズを有する部分を示す。
  - [0162] 本実施形態においては、単独または複数のレンズ群、または部分レンズ群を光軸方向に移動させて、無限遠物体から近距離物体への合焦を行う合焦レンズ群としてもよい。この合焦レンズ群は、オートフォーカスにも適用でき、オートフォーカス用の（超音波モーター等を用いた）モーター駆動にも適している。特に、第2レンズ群を合焦レンズ群とするのが好ましい。
  - [0163] 本実施形態において、レンズ群または部分レンズ群を光軸に垂直な方向に振動させ、または光軸を含む面内方向に回転移動（揺動）させて、手ブレによって生じる像ブレを補正する防振レンズ群としてもよい。特に、第3レンズ群の少なくとも一部を防振レンズ群とするのが好ましい。
  - [0164] 本実施形態において、レンズ面は、球面または平面で形成されても、非球面で形成されても構わない。レンズ面が球面または平面の場合、レンズ加工及び組立調整が容易になり、加工及び組立調整の誤差による光学性能の劣化を防げるので好ましい。また、レンズ面が非球面の場合、非球面は、研削加工による非球面、ガラスを型で非球面形状に形成したガラスマールド非球面、ガラスの表面に樹脂を非球面形状に形成した複合型非球面のいずれの非球面でも構わない。また、レンズ面は回折面としてもよく、レンズを屈折率分

布型レンズ（G R I Nレンズ）あるいはプラスチックレンズとしてもよい。

[0165] 本実施形態において、開口絞りは第3レンズ群近傍に配置されるのが好ましいが、開口絞りとしての部材を設けずにレンズ枠でその役割を代用してもよい。

[0166] 本実施形態において、各レンズ面には、フレアやゴーストを軽減して高コントラストの高い光学性能を達成するために、広い波長域で高い透過率を有する反射防止膜を施してもよい。

[0167] 以上説明したように、本発明によれば、小型でフィルター系が小さく、構成枚数が少なく、高性能で、像面湾曲、コマ収差、球面収差及び非点収差が少なく、ゴーストやフレアをより低減させたズームレンズ、撮像装置及びズームレンズの製造方法を提供することができる。

[0168] なお、本発明を分かりやすくするために、実施形態の構成要件を付して説明したが、本発明がこれに限定されるものではないことは言うまでもない。

### 符号の説明

[0169] Z L (Z L 1～Z L 3) ズームレンズ

G 1 第1レンズ群

G 2 第2レンズ群

G 3 第3レンズ群

G 4 第4レンズ群

L a 第1の正レンズ成分

L b 物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分

L c 負レンズ成分

S 開口絞り

1 ミラーレスカメラ（撮像装置）

2 撮影レンズ（ズームレンズ）

| 像面

101 反射防止膜

101a 第1層

## 請求の範囲

[請求項1] 光軸に沿って物体側より順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群とを有し、各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行い、

前記第4レンズ群は、光軸に沿って物体側より順に並んだ、第1の正レンズ成分と、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分と、負レンズ成分とを有し、以下の条件式を満足することを特徴とするズームレンズ。

$$0.00 < (R_{b2} - R_{b1}) / (R_{b2} + R_{b1}) < 1.00$$

但し、

$R_{b2}$ ：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の像側の面の曲率半径、

$R_{b1}$ ：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の物体側の面の曲率半径。

[請求項2] 前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、

前記反射防止膜は、ウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含む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] 前記第4レンズ群を構成する前記負レンズ成分の焦点距離を $F_c$ とし、前記第4レンズ群の焦点距離を $F_4$ としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする請求項1または2に記載のズームレンズ。

$$0.45 < (-F_c) / F_4 < 3.00$$

[請求項4] 前記第4レンズ群を構成する前記第1の正レンズ成分と前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分との合成の焦点距離を $F_{ab}$ とし、前記第4レンズ群の焦点距離を $F_4$ としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載のズームレンズ。

$$0.10 < F_{ab} / F_4 < 2.00$$

[請求項5] 前記第2レンズ群の焦点距離をF<sub>2</sub>とし、無限遠合焦時における全系の広角端状態における焦点距離をF<sub>w</sub>としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載のズームレンズ。

$$0.30 < (-F_2) / F_w < 2.00$$

[請求項6] 前記第4レンズ群を構成する前記負レンズ成分のアッベ数をν<sub>d c</sub>としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載のズームレンズ。

$$45 < \nu_{dc} < 85$$

[請求項7] 無限遠合焦時における全系の広角端状態のバックフォーカスをB<sub>f w</sub>とし、無限遠合焦時における全系の広角端状態の焦点距離をF<sub>w</sub>としたとき、以下の条件式を満足することを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載のズームレンズ。

$$0.5 < B_{fw} / F_w < 2.0$$

[請求項8] 前記第4レンズ群は、少なくとも1面の非球面を有することを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載のズームレンズ。

[請求項9] 前記第4レンズ群を構成する前記負レンズ成分は、少なくとも1面の非球面を有することを特徴とする請求項1～8のいずれか一項に記載のズームレンズ。

[請求項10] 前記ズームレンズの近距離物体への合焦は、負の屈折力を有する前記第2レンズ群を光軸上で移動させることにより行うことを特徴とする請求項1～9のいずれか一項に記載のズームレンズ。

[請求項11] 前記反射防止膜は多層膜であり、  
前記ウェットプロセスを用いて形成された層は、前記多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることを特徴とする請求項2～10のいずれか一項に記載のズームレンズ。

[請求項12] 前記ウェットプロセスを用いて形成された層のd線における屈折率

を  $n_d$  としたとき、  $n_d$  は 1.30 以下であることを特徴とする請求項 2～11 のいずれか一項に記載のズームレンズ。

- [請求項13] 前記第3レンズ群は、開口絞りを有し、  
前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、前記開口絞りから見て凹形状の面であることを特徴とする請求項 2～12 のいずれか一項に記載のズームレンズ。
- [請求項14] 前記開口絞りから見て凹形状のレンズ面は、前記第1レンズ群および前記第2レンズ群に含まれる少なくとも1つのレンズの、像面側のレンズ面であることを特徴とする請求項 13 に記載のズームレンズ。
- [請求項15] 前記開口絞りから見て凹形状のレンズ面は、前記第1レンズ群および前記第2レンズ群に含まれる少なくとも1つのレンズの、物体側のレンズ面であることを特徴とする請求項 13 に記載のズームレンズ。
- [請求項16] 前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、物体から見て凹形状の面であることを特徴とする請求項 2～12 のいずれか一項に記載のズームレンズ。
- [請求項17] 前記物体から見て凹形状のレンズ面は、前記第1レンズ群の物体側から数えて2番目に位置するレンズの、像面側のレンズ面であることを特徴とする請求項 16 に記載のズームレンズ。
- [請求項18] 前記物体から見て凹形状のレンズ面は、前記第2レンズ群の物体側から数えて2番目に位置するレンズの、物体側のレンズ面であることを特徴とする請求項 16 に記載のズームレンズ。
- [請求項19] 前記物体から見て凹形状のレンズ面は、前記第2レンズ群の物体側から数えて3番目に位置するレンズの、像面側のレンズ面であることを特徴とする請求項 16 に記載のズームレンズ。
- [請求項20] 前記物体から見て凹形状のレンズ面は、前記第2レンズ群の物体側から数えて4番目に位置するレンズの、物体側のレンズ面であることを特徴とする請求項 16 に記載のズームレンズ。
- [請求項21] 請求項 1～20 のいずれか一項に記載のズームレンズを備えたこと

を特徴とする撮像装置。

[請求項22] 光軸に沿って物体側より順に並んだ、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群とを有するズームレンズの製造方法であって、

各レンズ群の空気間隔を変化させて変倍を行い、

前記第4レンズ群は、光軸に沿って物体側より順に並んだ、第1の正レンズ成分と、物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分と、負レンズ成分とを有し、

以下の条件式を満足するように、レンズ鏡筒内に各レンズを組み込むことを特徴とするズームレンズの製造方法。

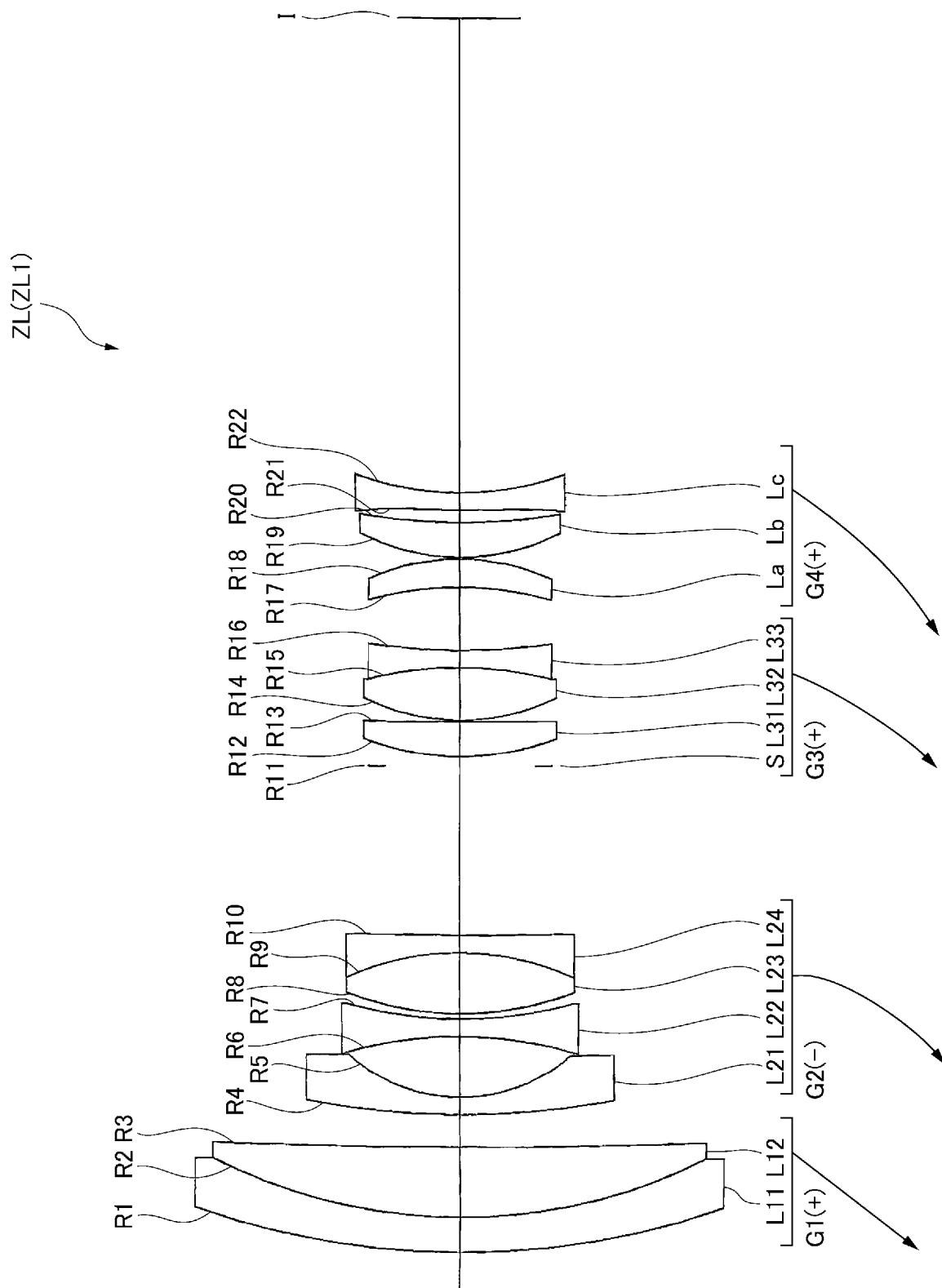
$$0.00 < (R_b2 - R_b1) / (R_b2 + R_b1) < 1.00$$

但し、

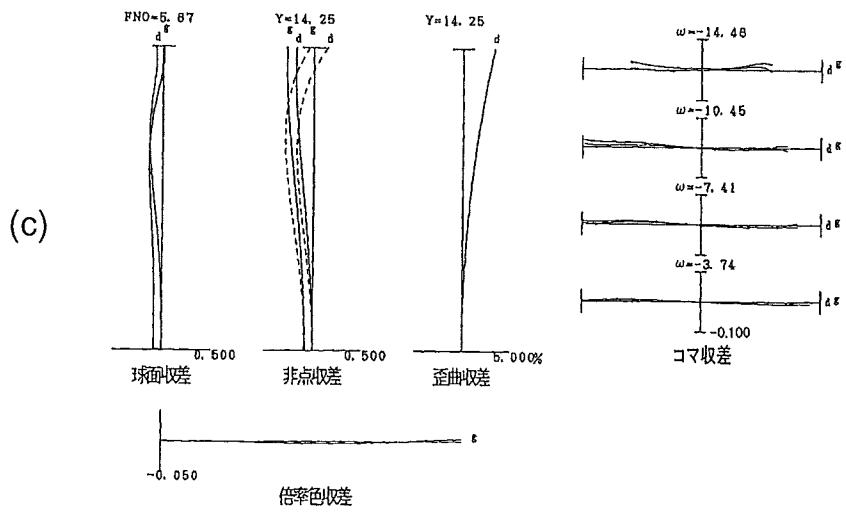
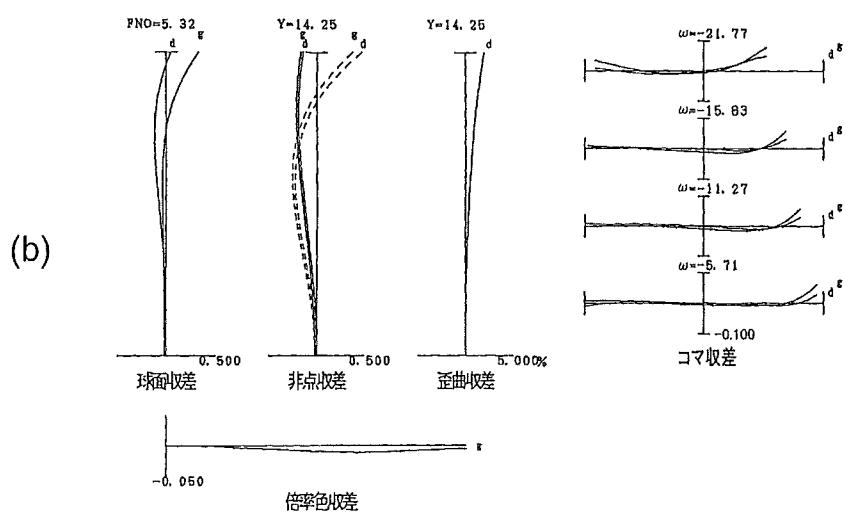
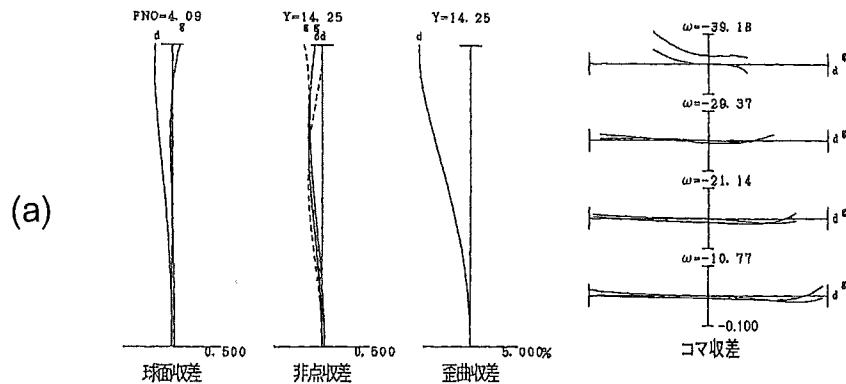
R<sub>b</sub>2：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の像側の面の曲率半径、

R<sub>b</sub>1：前記第4レンズ群を構成する前記物体側に凸面を向けた第2の正レンズ成分の物体側の面の曲率半径。

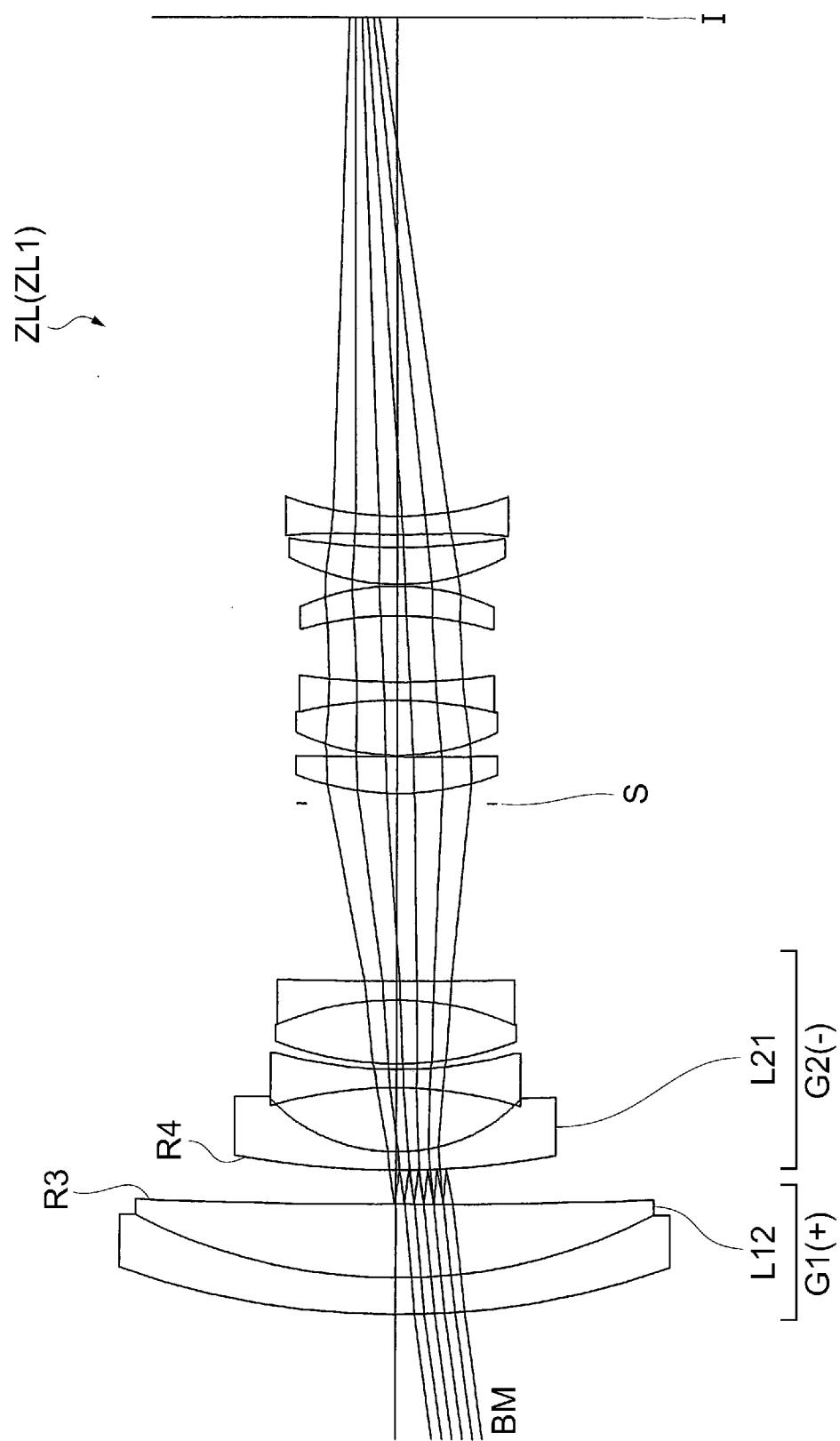
[図1]



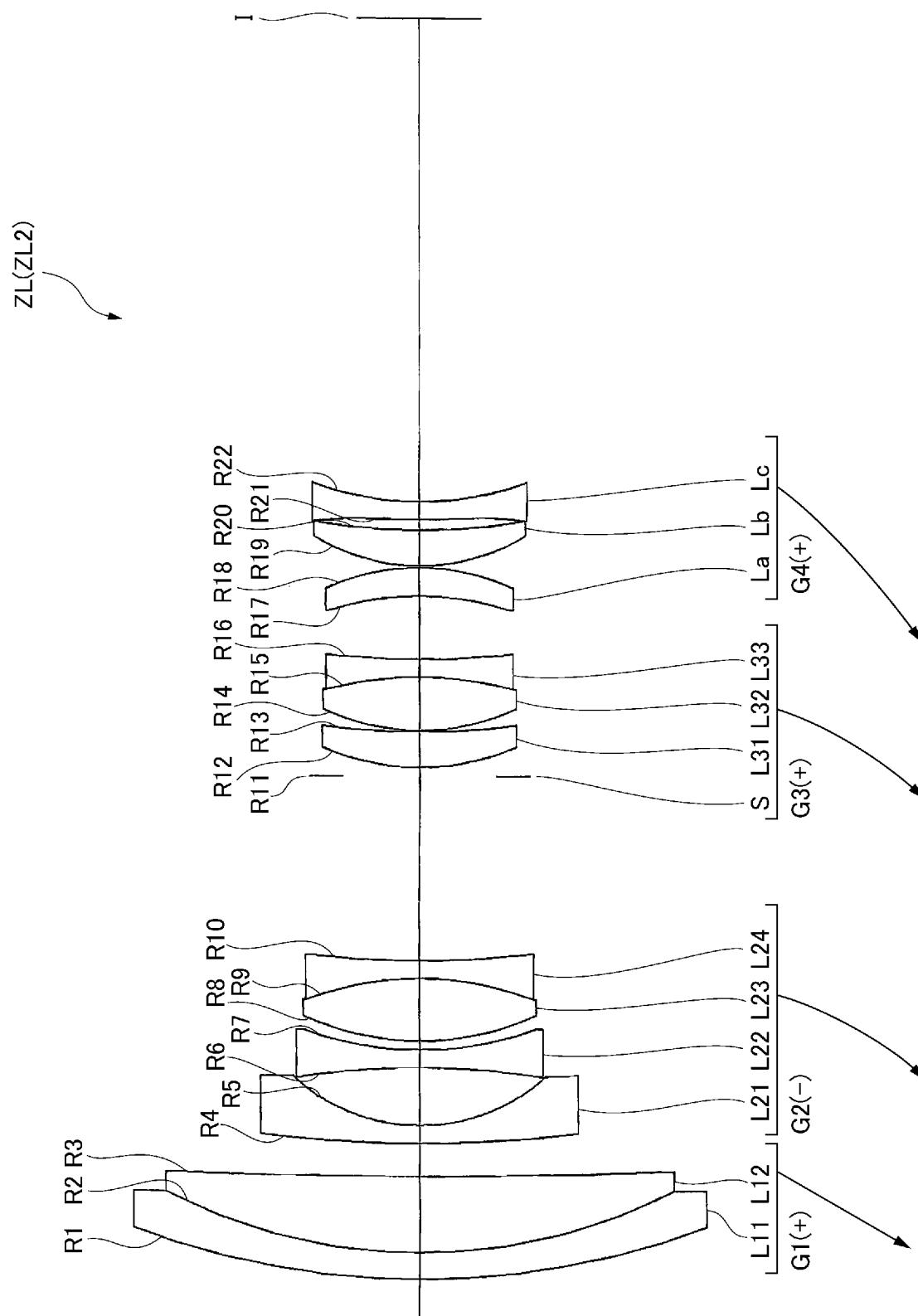
[図2]



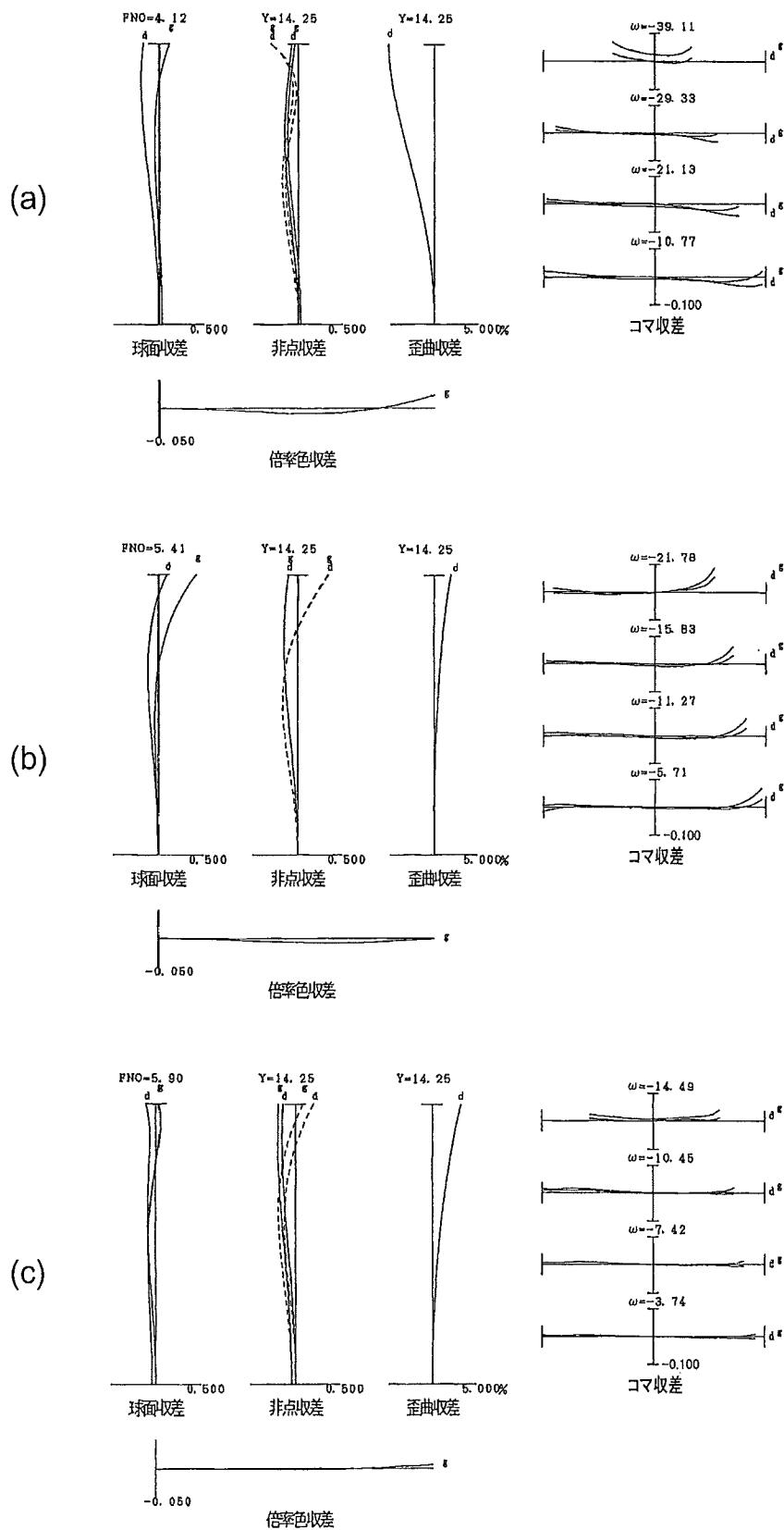
[図3]



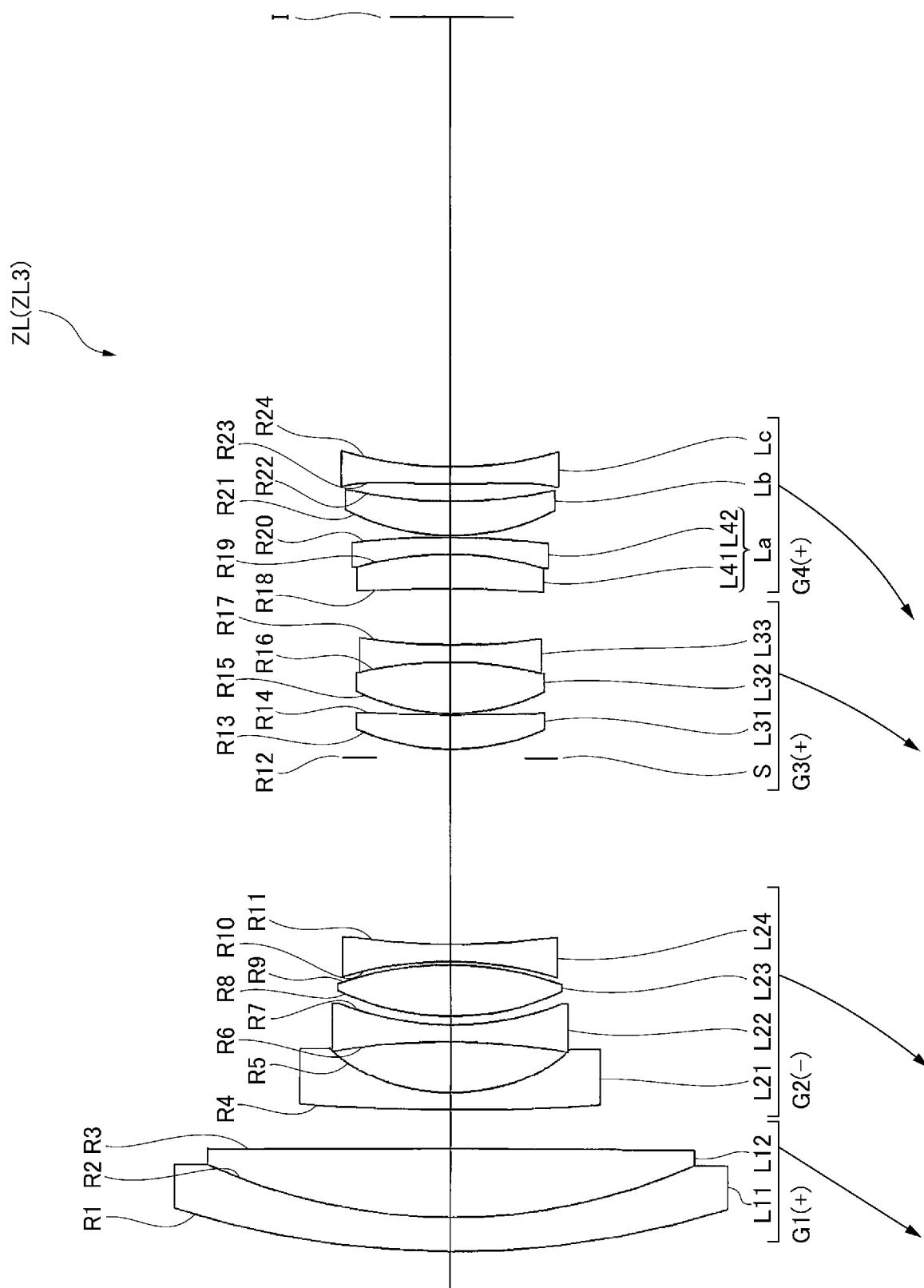
[図4]



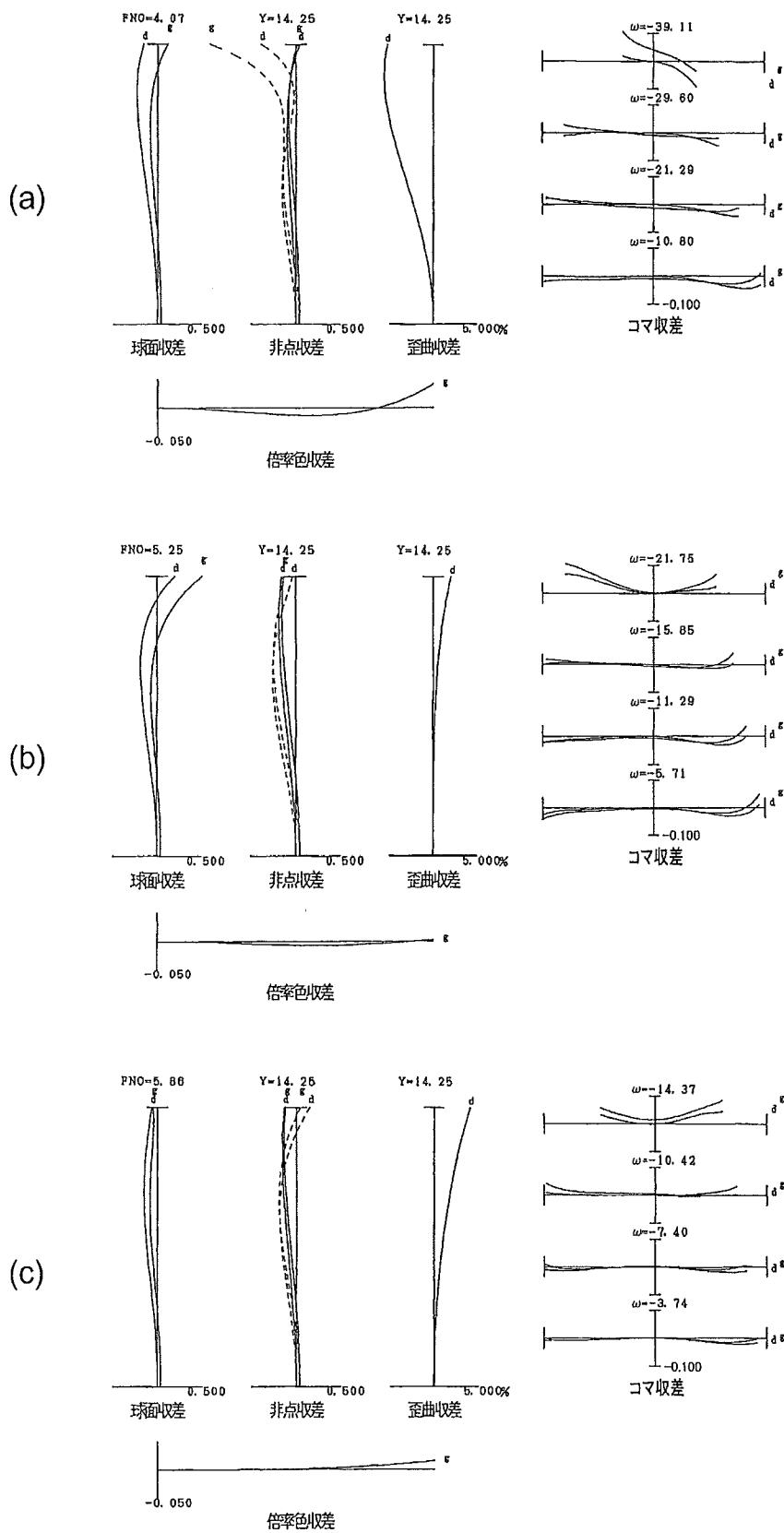
[図5]



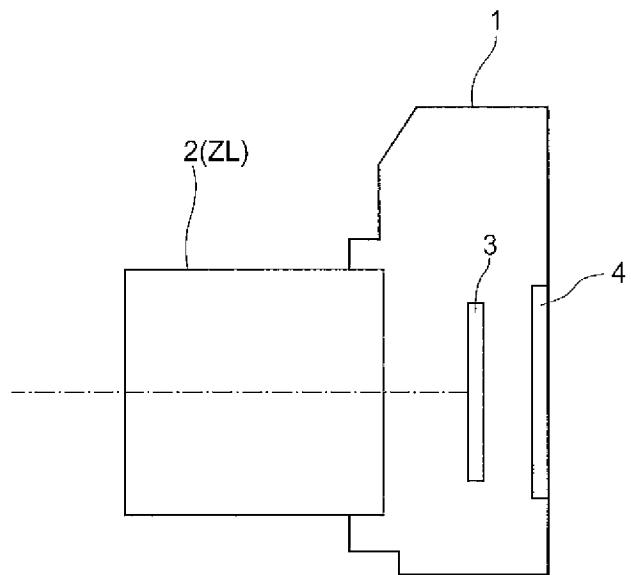
[図6]



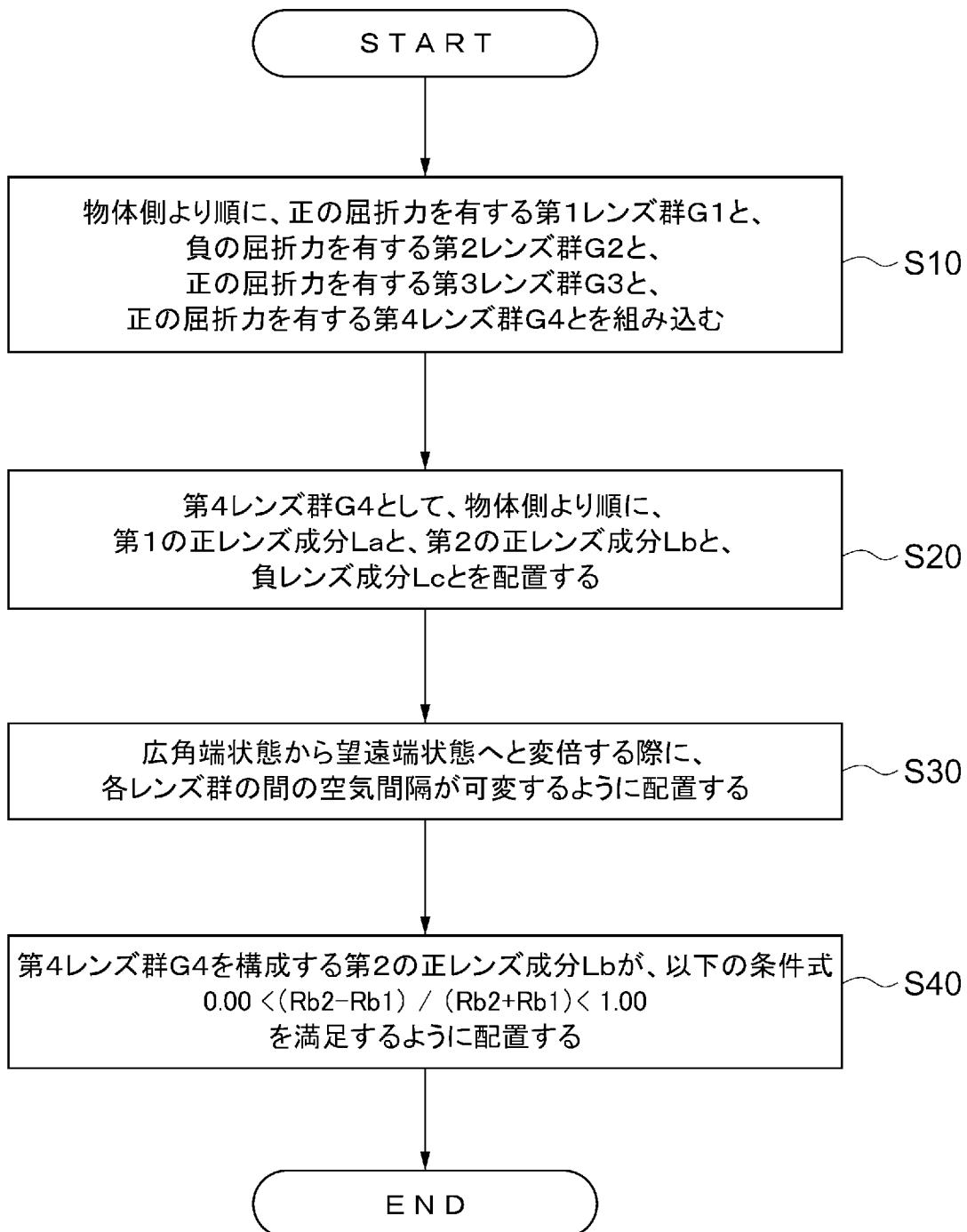
[図7]



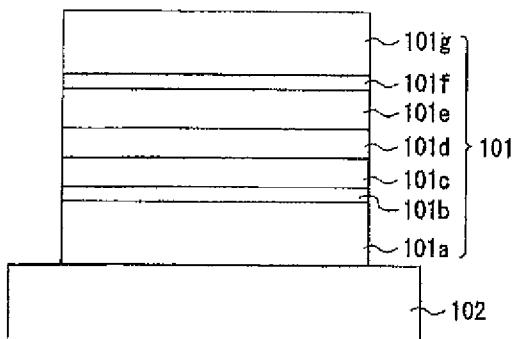
[図8]



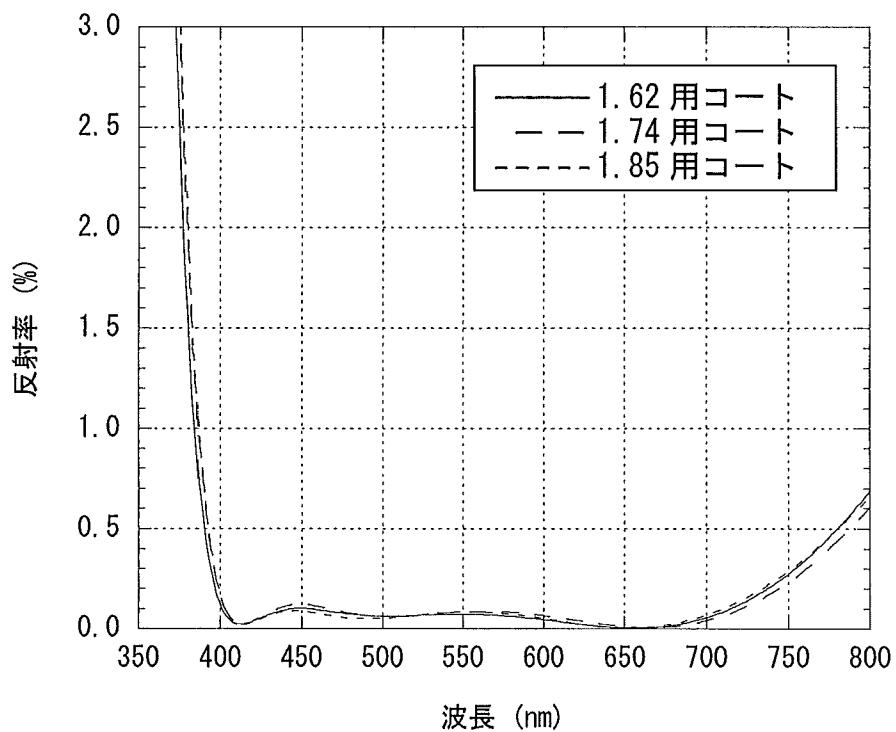
[図9]



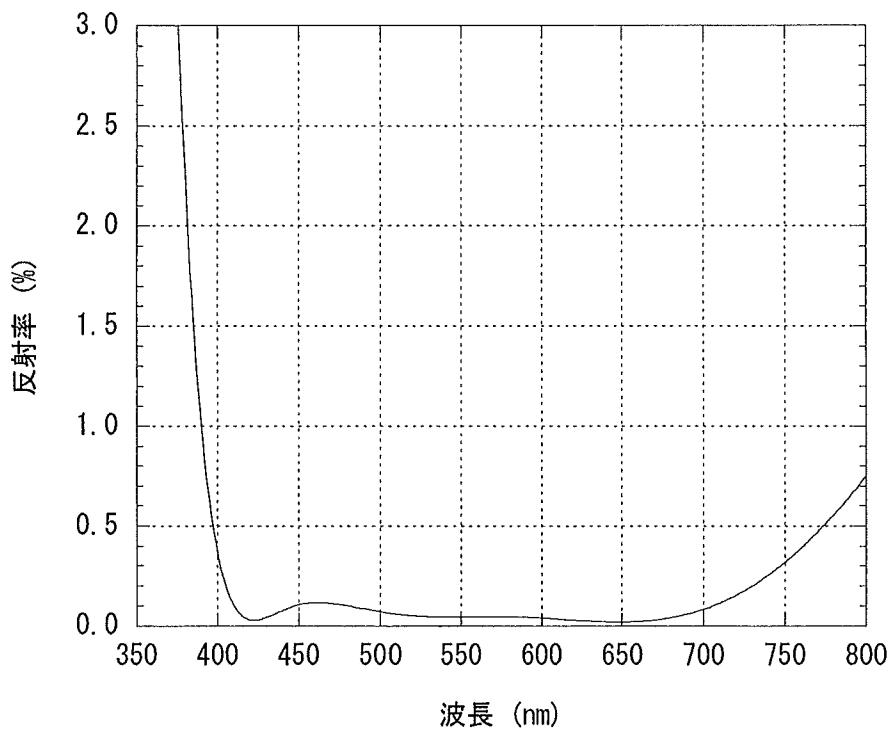
[図10]



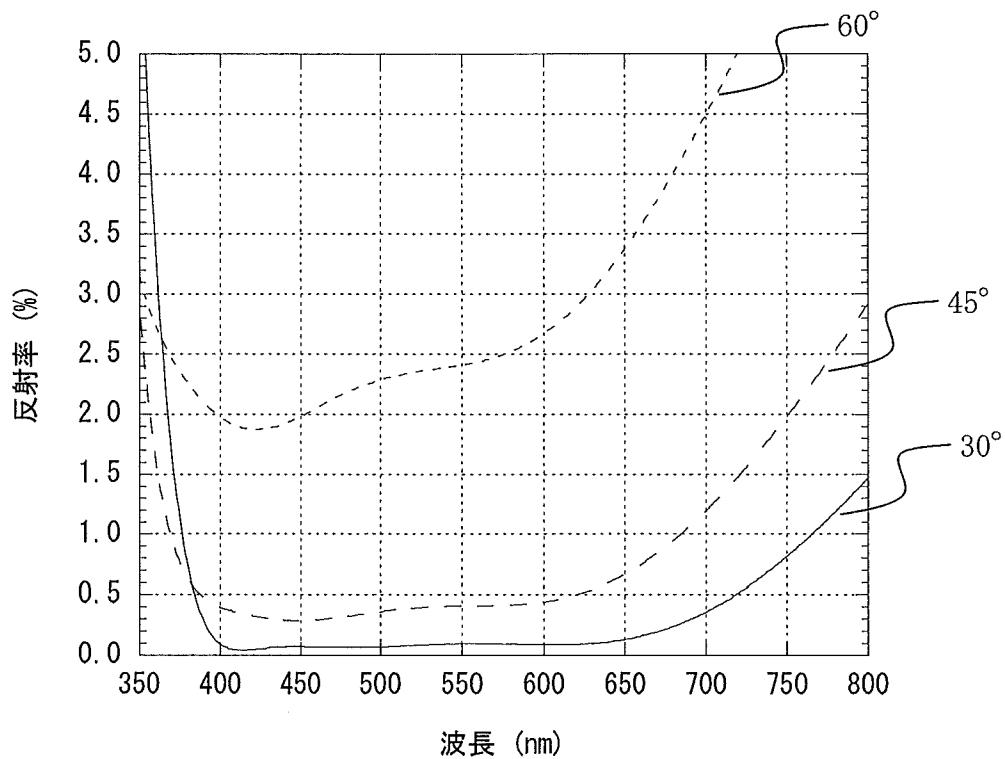
[図11]



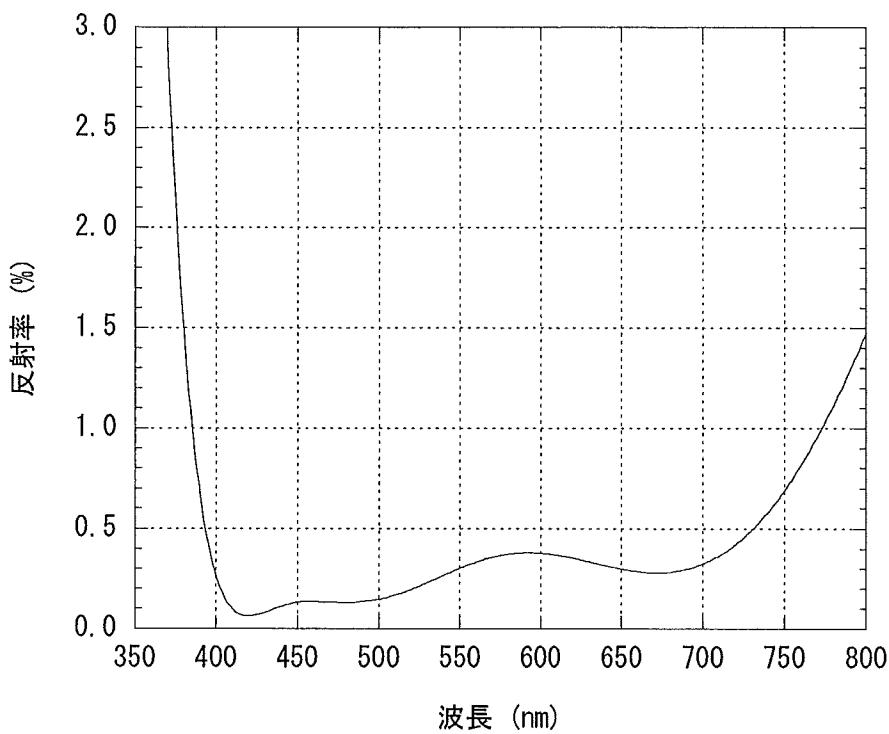
[図12]



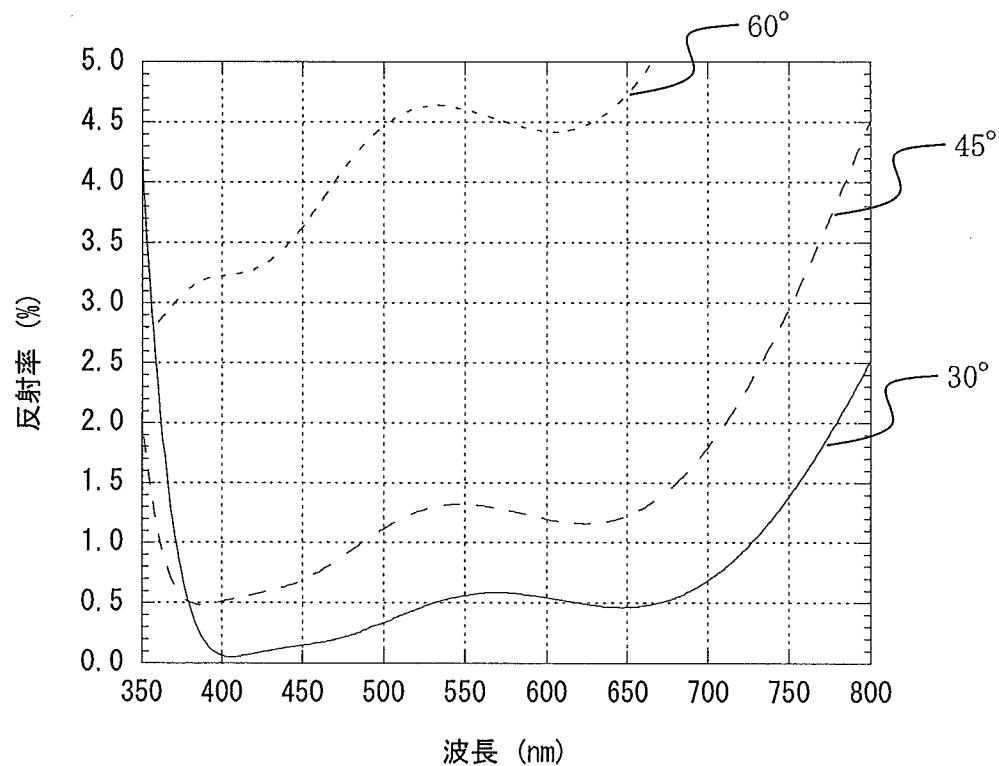
[図13]



[図14]



[図15]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/006279

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
*G02B15/20 (2006.01) i, G02B13/18 (2006.01) i*

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
*G02B15/20, G02B13/18*

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2012  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 60-60617 A (Asahi Optical Co., Ltd.), 08 April 1985 (08.04.1985), entire text; all drawings; particularly, examples 1 to 2 & US 4740063 A	1, 3-9, 21-22 2, 10-20
X	JP 6-300967 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 28 October 1994 (28.10.1994), entire text; all drawings; particularly, examples 1, 2, 5 (Family: none)	1, 3-5, 7-9, 21-22 2, 10-20 6
Y	JP 2010-271362 A (Nikon Corp.), 02 December 2010 (02.12.2010), entire text; all drawings; particularly, claims 1 to 4, 14; paragraphs [0022], [0027] to [0030] (Family: none)	2, 11-20

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
*07 February, 2012 (07.02.12)*

Date of mailing of the international search report  
*14 February, 2012 (14.02.12)*

Name and mailing address of the ISA/  
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2011/006279

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-233585 A (Nikon Corp.), 02 October 2008 (02.10.2008), entire text; all drawings; particularly, claims 1 to 6, 14; paragraphs [0024] to [0028], [0032], [0036] to [0039] (Family: none)	2,11-20
Y	JP 2006-106191 A (Nikon Corp.), 20 April 2006 (20.04.2006), entire text; all drawings; particularly, claims 1, 16 & US 2006/0072213 A1 & US 7253965 B2 & EP 1643293 A1 & JP 4635688 B2	10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2011/006279

In claims 1 and 22, there is a passage of "having—, and a fourth lens group," about the group configuration of zoom lens groups, and the passage indicates that the zoom lenses can include a discretionary lens group other than the first to the fourth lens groups.

Furthermore, there is a passage of "having—, and a negative lens component," about the lens configuration of the fourth lens group, and the passage indicates that the fourth lens group can include a discretionary lens component other than the first positive lens component, the second positive lens component, and the negative lens component.

The feature disclosed in the meaning of PCT Article 5, however, is merely the zoom lenses configured of the first to the fourth lens groups in the description, and furthermore, the fourth lens group is merely the group configured of the first positive lens component, the second positive lens component and the negative lens component, and the inventions in claims 1 and 22 are not sufficiently supported in the meaning of PCT Article 6.

The equivalent observation is made on the claims depending on claim 1.

Consequently, this international search was conducted within a scope that is supported and disclosed by the description, namely, on the zoom lenses, which are specifically disclosed in the description, and have the lens groups configured of the first to the fourth lens groups, said fourth lens group being configured of the first positive lens component, the second positive lens component, and the negative lens component.

## A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int.Cl. G02B15/20(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int.Cl. G02B15/20, G02B13/18

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2012年
日本国実用新案登録公報	1996-2012年
日本国登録実用新案公報	1994-2012年

## 国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 60-60617 A (旭光学工業株式会社) 1985.04.08, 全文、全図、特に、実施例 1-2 & US 4740063 A	1, 3-9, 21-22
Y		2, 10-20
X	JP 6-300967 A (オリンパス光学工業株式会社) 1994.10.28, 全文、全図、特に、実施例 1, 2, 5 (ファミリーなし)	1, 3-5, 7-9, 21-22
Y		2, 10-20
A		6

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日  07.02.2012	国際調査報告の発送日  14.02.2012
国際調査機関の名称及びあて先  日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許序審査官(権限のある職員)  森内 正明 電話番号 03-3581-1101 内線 3271 2V 9222

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2010-271362 A (株式会社ニコン) 2010.12.02, 全文、全図、特に、請求項 1-4, 14、段落[0022]、[0027]-[0030] (ファミリーなし)	2, 11-20
Y	JP 2008-233585 A (株式会社ニコン) 2008.10.02, 全文、全図、特に、請求項 1-6, 14、段落[0024]-[0028]、[0032]、[0036]-[0039] (ファミリーなし)	2, 11-20
Y	JP 2006-106191 A (株式会社ニコン) 2006.04.20, 全文、全図、特に、請求項 1, 16 & US 2006/0072213 A1 & US 7253965 B2 & EP 1643293 A1 & JP 4635688 B2	10

請求項1、22には、「ズームレンズのレンズ群の群構成に関する「・・・第4レンズ群とを有し、」という記載があり、前記記載では、ズームレンズは、第1レンズ群から第4レンズ群以外の任意のレンズ群を含みうる記載となっている。

また、第4レンズ群のレンズ構成に関する「・・・負レンズ成分とを有し、」という記載があり、前記記載では、第4レンズ群は、第1の正レンズ成分、第2の正レンズ成分、負レンズ成分以外の任意のレンズ成分を含みうる記載となっている。

しかしながら、PCT第5条の意味において開示されているのは、明細書に記載された、第1レンズ群から第4レンズ群から構成されたズームレンズのみであり、また、第4レンズ群は、第1の正レンズ成分、第2の正レンズ成分、負レンズ成分から構成されたもののみであり、請求項1、22に係る発明は、PCT第6条の意味での裏付けを欠いている。

また、請求項1に従属する請求項についても、同様である。

よって、調査は、明細書に裏付けられ、開示されている範囲、すなわち、明細書に具体的に記載されている、レンズ群の群構成が、第1レンズ群から第4レンズ群から構成されたズームレンズであって、第4レンズ群が、第1の正レンズ成分、第2の正レンズ成分、負レンズ成分から構成されたものについて行った。