

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5587225号  
(P5587225)

(45) 発行日 平成26年9月10日(2014.9.10)

(24) 登録日 平成26年8月1日(2014.8.1)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>G02B 13/02</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B 13/02
<b>G02B 13/18</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B 13/18
<b>G02B 5/18</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B 5/18

早期審査対象出願

請求項の数 15 (全 47 頁)

(21) 出願番号 特願2011-51367 (P2011-51367)  
 (22) 出願日 平成23年3月9日 (2011.3.9)  
 (65) 公開番号 特開2012-189679 (P2012-189679A)  
 (43) 公開日 平成24年10月4日 (2012.10.4)  
 審査請求日 平成26年2月26日 (2014.2.26)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100086818  
 弁理士 高梨 幸雄  
 (72) 発明者 江口 眞  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ャノン株式会社内  
 審査官 小倉 宏之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】撮影光学系及びそれを有する撮像装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群、又は負の屈折力の第2レンズ群、又は負の屈折力の第3レンズ群を有し、前記第2レンズ群を移動させてフォーカシングを行う撮影光学系において、瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に少なくとも1つの回折光学素子と、少なくとも1つの固体材料からなる光学素子を有し、前記回折光学素子の回折成分のみによる焦点距離を $f_{DOE}$ 、前記固体材料からなる光学素子の焦点距離を $f_{NL}$ 、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ 、前記固体材料からなる光学素子を構成する材料の異常部分分散比を $gF_{NL}$ とするとき、

$$10 < f_{DOE} \times f_{NL} / f_1^2 < 550$$

$$0.0272 < gF_{NL} < 0.3000$$

なる条件を満足することを特徴とする撮影光学系。

## 【請求項 2】

前記固体材料からなる光学素子以外の前記第1レンズ群に含まれるレンズの材料のd線における屈折率とアッベ数を各々 $N_{d1}$ 、 $n_{d1}$ 、前記固体材料からなる光学素子以外の前記第1レンズ群に含まれる正レンズの材料のd線におけるアッベ数を $n_{d1P}$ 、前記第1レンズ群に含まれる負レンズの材料のd線におけるアッベ数を $n_{d1N}$ 、前記固体材料からなる光学素子の材料のd線におけるアッベ数を $n_{dNL}$ とするとき、

$$8.986 \times 10^{-9} \times d_1^4 - 5.469 \times 10^{-6} \times d_1^3 + 8.088 \times 10^{-4} \times d_1^2 - 4.553 \times 10^{-2} \times d_1 + 2.285 < N_{d1} < 3.384 \times 10^{-8} \times d_1^4 - 1.348 \times 10^{-5} \times d_1^3 + 1.761 \times 10^{-3} \times d_1^2 - 9.477$$

10

20

$$\begin{aligned} & \times 10^{-2} \times d_1 + 3.363 \\ 30.0 < d_{1P} & < 75.0 \\ 10.0 < d_{1N} & < 40.0 \\ 5.0 < d_{NL} & < 60.0 \end{aligned}$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 の撮影光学系。

#### 【請求項 3】

前記第 1 レンズ群は、最も広い空気間隔を隔てて、正の屈折力の第 1 a レンズ群と、正又は負の屈折力の第 1 b レンズ群から構成され、全系の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の長さを L、前記第 1 a レンズ群と前記第 1 b レンズ群との空気間隔を  $d_{1ab}$ 、前記第 1 a レンズ群の焦点距離を  $f_{1a}$ 、前記第 1 b レンズ群の焦点距離を  $f_{1b}$ 、全系の焦点距離を  $f$ 、物体距離が無限遠であるときの全系の F ナンバーを  $F_{no}$  とするとき 10

$$\begin{aligned} 0.0500 < d_{1ab} / (L \times F_{no}) & < 0.2000 \\ -1.000 < f_{1a} / f_{1b} & < 1.000 \\ 5.0 < f_{DOE} / f & < 200.0 \\ 1.0 < f_{DOE} / f_{NL} & < 40.0 \end{aligned}$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 の撮影光学系。

#### 【請求項 4】

前記第 1 レンズ群は、最も広い空気間隔を隔てて、正の屈折力の第 1 a レンズ群と、正又は負の屈折力の第 1 b レンズ群から構成され、 20

前記第 1 a レンズ群と前記第 1 b レンズ群との空気間隔を  $d_{1ab}$ 、前記第 1 a レンズ群の焦点距離を  $f_{1a}$ 、前記第 1 b レンズ群の焦点距離を  $f_{1b}$ 、全系の焦点距離を  $f$ 、物体距離が無限遠であるときの全系の F ナンバーを  $F_{no}$  とするとき、

$$\begin{aligned} 0.460 < f / (f_{1a} \times F_{no}) & < 1.000 \\ 0.0430 < \{ (f_{1b} / f_{1a}) \times d_{1ab} \} / (f \times F_{no}) & < 0.3000 \end{aligned}$$

なる条件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 項の撮影光学系。

#### 【請求項 5】

前記第 2 レンズ群の焦点距離を  $f_2$  とするとき、

$$0.50 < |f_1 / f_2| < 2.20$$

なる条件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 項の撮影光学系。 30

#### 【請求項 6】

前記第 2 レンズ群の焦点距離を  $f_2$ 、前記第 3 レンズ群の焦点距離を  $f_3$  とするとき、

$$0.10 < |f_2 / f_3| < 1.00$$

なる条件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 項の撮影光学系。

#### 【請求項 7】

前記第 2 レンズ群の焦点距離を  $f_2$ 、前記第 3 レンズ群の焦点距離を  $f_3$ 、全系の焦点距離を  $f$  とするとき、

$$\begin{aligned} 0.10 < |f_2 / f| & < 2.00 \\ 0.30 < |f_3 / f| & < 10.00 \end{aligned}$$

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 項の撮影光学系。 40

#### 【請求項 8】

前記第 1 レンズ群は、最も広い空気間隔を隔てて、正の屈折力の第 1 a レンズ群と、正又は負の屈折力の第 1 b レンズ群から構成され、前記第 1 a レンズ群は 1 つの正レンズもしくは 2 つのレンズから構成され、前記第 1 b レンズ群は 1 つの正レンズと 1 つの負レンズから構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項の撮影光学系。

#### 【請求項 9】

前記第 2 レンズ群と第 3 レンズ群との間に開口絞りを有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項の撮影光学系。

#### 【請求項 10】

前記回折光学素子の回折光学部は、2 つのレンズの接合面に形成されていることを特徴と 50

する請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項の撮影光学系。

**【請求項 1 1】**

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群の合成の屈折力は正であり、前記第 3 レンズ群は正の屈折力の第 3 1 レンズ群、負の屈折力の第 3 2 レンズ群、正の屈折力の第 3 3 レンズ群より構成され、前記第 3 2 レンズ群を光軸と直交する方向の成分を持つように移動させて撮影画像の結像位置を変位させていることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項の撮影光学系。

**【請求項 1 2】**

前記第 3 1 レンズ群、前記第 3 2 レンズ群、前記第 3 3 レンズ群の焦点距離を各々  $f_{31}$  、 $f_{32}$  、 $f_{33}$  、全系の焦点距離を  $f$  とするとき、

$$0.10 < f_{31} / f < 3.00$$

$$-0.50 < f_{32} / f < -0.05$$

$$0.05 < f_{33} / f < 0.50$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 1 の撮影光学系。

**【請求項 1 3】**

物体側から像側へ順に、正の屈折力の第 1 レンズ群、又は負の屈折力の第 2 レンズ群、又は負の屈折力の第 3 レンズ群を有し、前記第 2 レンズ群を移動させてフォーカシングを行う撮影光学系において、瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に少なくとも 1 つの回折光学素子と、少なくとも 1 つの固体材料からなる光学素子を有し、

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群の合成の屈折力は正であり、前記第 3 レンズ群は正の屈折力の第 3 1 レンズ群、負の屈折力の第 3 2 レンズ群、正の屈折力の第 3 3 レンズ群より構成され、前記第 3 2 レンズ群を光軸と直交する方向の成分を持つように移動させて撮影画像の結像位置を変位させ、

前記回折光学素子の回折成分のみによる焦点距離を  $f_{DOE}$  、前記固体材料からなる光学素子の焦点距離を  $f_{NL}$  、前記第 1 レンズ群の焦点距離を  $f_1$  、前記固体材料からなる光学素子を構成する材料の異常部分分散比を  $gF_{NL}$  とするとき、

$$10 < f_{DOE} \times f_{NL} / f_1^2 < 600$$

$$0.0272 < gF_{NL} < 0.3000$$

なる条件を満足することを特徴とする撮影光学系。

**【請求項 1 4】**

前記第 3 1 レンズ群、前記第 3 2 レンズ群、前記第 3 3 レンズ群の焦点距離を各々  $f_{31}$  、 $f_{32}$  、 $f_{33}$  、全系の焦点距離を  $f$  とするとき、

$$0.10 < f_{31} / f < 3.00$$

$$-0.50 < f_{32} / f < -0.05$$

$$0.05 < f_{33} / f < 0.50$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 3 の撮影光学系。

**【請求項 1 5】**

請求項 1 乃至 1 4 のいずれか 1 項の撮影光学系と、前記撮影光学系によって形成された像を受光する固体撮像素子とを有することを特徴とする撮像装置。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

本発明は撮影光学系及びそれを有する撮像装置に関し、特にビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、TV カメラ、監視用カメラ、銀塩フィルム用カメラ等に好適なものである。

**【背景技術】**

**【0002】**

従来、長焦点距離の撮影光学系として、物体側から像側へ順に正の屈折力の前方レンズ群と、負の屈折力の後方レンズ群より成る、所謂望遠タイプの撮影光学系（望遠レンズ）が知られている。一般的に焦点距離の長い望遠レンズでは、焦点距離が伸びるにしたがつて、諸収差のうち、特に軸上色収差及び倍率色収差等の色収差が悪化する傾向にある。

10

20

30

40

50

**【0003】**

これらの色収差を、萤石や商品名 F K 0 1 (オハラ社製) 等の異常部分分散特性を持った低分散材質を用いた正レンズと、高分散材質を用いた負レンズとを組み合わせて補正した(色消しを行った)望遠レンズが知られている(特許文献1)。特許文献1には、焦点距離 300 mm 前後で F ナンバー 4 程度の内焦式望遠レンズが開示されている。

**【0004】**

また、一般的に F ナンバー の小さい望遠レンズでは、F ナンバー が小さくなるにしたがって、諸収差のうち、特に球面収差及びコマ収差が悪化する傾向にある。これらの F ナンバー が小さい望遠レンズにおいて、球面収差やコマ収差等を補正する方法として、レンズ枚数を増やして収差補正に対する自由度を増やす方法がある。この方法によって球面収差やコマ収差を減じるようとした望遠レンズが知られている(特許文献2)。特許文献2には焦点距離 300 mm 前後で F ナンバー 2.8 程度の大口径比の内焦式望遠レンズが開示されている。

10

**【0005】**

一方、光学系の色収差を含めた諸収差を補正しつつ、レンズ重量を軽量化する方法として、レンズ面やあるいは光学系の1部に、回折作用を有する回折光学部を基板上に設けた回折光学素子を用いる方法がある。この方法によって、色収差を補正しつつレンズ全長を短縮し、ガラス材料の比重を比較的軽い材料でレンズを構成することで総合的なレンズ重量を軽量化した光学系が知られている(特許文献3)。特許文献3には焦点距離 500 mm 前後で F ナンバー 4 程度の大口径比の望遠レンズが開示されている。この特許文献3では、レンズ全長を短縮させて、更に前方レンズ群に比較的比重の軽いガラス材料を正レンズに使用することにより色収差の補正と全体の軽量化を図っている。

20

**【0006】**

また、光学系の色収差を補正する方法として、異常部分分散特性がガラス材料に比べて大きい固体材料よりなる光学素子を用いる方法がある。この方法によって、色収差を補正しつつレンズ全長を短縮し、ガラス材料の比重を比較的軽い材料でレンズを構成することで総合的なレンズ重量を軽量化した光学系が知られている(特許文献4)。特許文献4には焦点距離 300 mm 前後で F ナンバー 4 程度の望遠タイプの光学系が開示されている。この特許文献4では、前方レンズ群に異常部分分散特性の大きい固体材料を正のパワーの光学素子として使用することにより色収差の補正を行っている。

30

**【0007】**

一般に、多くの撮影レンズ(光学系)においてフォーカシングは、撮影レンズ全体を移動させたり、若しくは撮影レンズの一部のレンズ群を移動させたりして行っている。このうち焦点距離の長い望遠レンズの場合は、望遠レンズが大型となり、又、重量が重くなるため、望遠レンズ全体を移動させてフォーカスを行うのが機構的に困難である。

**【0008】**

このため、従来より、望遠レンズでは一部のレンズ群を移動させてフォーカスを行う方法が利用されている。前述した特許文献1乃至4の望遠タイプの光学系では、前方レンズ群以外の比較的小型でしかも軽量の光学系中央部分の一部のレンズ群を移動させてフォーカスを行ったインナーフォーカス式を用いている。特許文献1乃至4の望遠レンズでは何れも物体側より順に、正の屈折力の第1レンズ群、負の屈折力の第2レンズ群を有し、第2レンズ群の一部のレンズ群を光軸上を移動させてフォーカスを行っている。

40

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0009】**

**【特許文献1】**特開平9-145996号公報

**【特許文献2】**特開平8-327897号公報

**【特許文献3】**特開2006-317605号公報

**【特許文献4】**特開2006-145823号公報

**【発明の概要】**

50

**【発明が解決しようとする課題】**

**【0010】**

望遠レンズにおいて、色収差をはじめとする諸収差を良好に補正するためには、有効径の大きな正の屈折力の前群に適切なる異常部分分散性を有し、かつ低分散な光学材料を用いるのが有効である。望遠レンズにおいて、正の屈折力の前群のレンズ構成が不適切であると、全系が大型化し、また重量が増加してくる。また望遠レンズでは前群が大型で高重量となるため前群でフォーカスをせず、レンズ群中の一部の小型軽量のレンズ群でフォーカスをするインナーフォーカス方式を用いるのが高速にフォーカスするのに有効である。

**【0011】**

しかしながら前群のレンズ構成が不適切な状態でインナーフォーカス方式を採用すると、フォーカスの際に収差変動、特に色収差の変動が多くなり、これを補正するのが大変困難になってくる。

**【0012】**

本発明は、色収差を含めた諸収差の補正が容易で、しかも全系のレンズ重量の軽量化が容易な撮影光学系及びそれを有する撮像装置の提供を目的とする。この他本発明は、フォーカスが容易でしかもフォーカスの際の収差変動が少なく、高画質の画像が容易に得られる撮影光学系の提供を目的とする。

**【課題を解決するための手段】**

**【0013】**

本発明の撮影光学系は、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群、又は負の屈折力の第2レンズ群、又は負の屈折力の第3レンズ群を有し、前記第2レンズ群を移動させてフォーカシングを行う撮影光学系において、瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に少なくとも1つの回折光学素子と、少なくとも1つの固体材料からなる光学素子を有し、

前記回折光学素子の回折成分のみによる焦点距離を $f_{DOE}$ 、前記固体材料からなる光学素子の焦点距離を $f_{NL}$ 、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ 、前記固体材料からなる光学素子を構成する材料の異常部分分散比を $gF_{NL}$ とするとき、

$$10 < f_{DOE} \times f_{NL} / f_1^2 < 550$$

$$0.0272 < gF_{NL} < 0.3000$$

なる条件を満足することを特徴としている。

この他、本発明の撮影光学系は、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群、又は負の屈折力の第2レンズ群、又は負の屈折力の第3レンズ群を有し、前記第2レンズ群を移動させてフォーカシングを行う撮影光学系において、瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に少なくとも1つの回折光学素子と、少なくとも1つの固体材料からなる光学素子を有し、

前記第1レンズ群と前記第2レンズ群の合成の屈折力は正であり、前記第3レンズ群は正の屈折力の第31レンズ群、負の屈折力の第32レンズ群、正の屈折力の第33レンズ群より構成され、前記第32レンズ群を光軸と直交する方向の成分を持つように移動させて撮影画像の結像位置を変位させ、

前記回折光学素子の回折成分のみによる焦点距離を $f_{DOE}$ 、前記固体材料からなる光学素子の焦点距離を $f_{NL}$ 、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ 、前記固体材料からなる光学素子を構成する材料の異常部分分散比を $gF_{NL}$ とするとき、

$$10 < f_{DOE} \times f_{NL} / f_1^2 < 600$$

$$0.0272 < gF_{NL} < 0.3000$$

なる条件を満足することを特徴としている。

**【発明の効果】**

**【0014】**

本発明によれば色収差を含めた諸収差の補正とレンズ重量の軽量化を両立した撮影光学系及びそれを有する撮像装置を得ることができる。

**【図面の簡単な説明】**

10

20

30

40

50

## 【0015】

【図1】(A)(B) 本発明の実施例1の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図2】(A)(B) 本発明の実施例2の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図3】(A)(B) 本発明の実施例3の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図4】(A)(B) 本発明の実施例4の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図5】(A)(B) 本発明の実施例5の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図 10

【図6】(A)(B) 本発明の実施例6の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図7】(A)(B) 本発明の実施例7の撮影光学系の物体距離無限遠時におけるレンズ断面図と収差図

【図8】(A)(B) 本発明に係る回折光学素子に関する説明図

【図9】(A)(B)(C) 本発明に係る回折光学素子に関する説明図

【図10】本発明の撮像装置の説明図

【図11】本発明に係る条件式の範囲を説明する図

【図12】本発明に係る条件式の範囲を説明する図 20

【発明を実施するための形態】

## 【0016】

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。本発明の撮影光学系は、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群、又は負の屈折力の第2レンズ群、又は負の屈折力の第3レンズ群を有している。そして第2レンズ群を移動させてフォーカシングを行っている。図1(A)乃至図7(A)は、本発明の実施例1乃至7の各レンズ断面図である。また図1(B)乃至図7(B)は実施例1乃至7における撮影光学系L0の縦収差図である。図10は本発明の撮影光学系をカメラ本体に装着した一眼レフカメラシステム(撮像装置)の要部概略図である。

## 【0017】

30

各レンズ断面図において、L0は撮影光学系である。SPは開口絞りである。FPは開口径一定のフレアーカット絞りである。L1は正の屈折力の第1レンズ群、L2は第2レンズ群、L3は第3レンズ群である。第1レンズ群L1は最も広い空気間隔を隔てて正の屈折力の第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bから構成されている。第3レンズ群L3は第31レンズ群L31乃至第33レンズ群L33から構成されている。

## 【0018】

IPは像面であり、ビデオカメラやデジタルカメラの撮影光学系として使用する際には像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子(光電変換素子)の撮像面が、銀塩フィルム用カメラの撮像光学系とし使用する際にはフィルム面に相当する。DOEは回折光学素子である。 40

## 【0019】

Dは回折光学素子DOEの回折光学部(回折光学面)である。回折光学部Dより生ずる回折光のうち、本実施例で用いる回折光の回折次数mは1であり、設計波長 $\lambda_0$ はd線の波長(587.56nm)である。なお各実施例において回折光学面は1つに限らず更に追加して複数用いても良く、これによれば更に良好な光学性能が得られる。また回折光学面は球面の他、非球面をベースとしても良く、ベースの材質は光を透過するものであればガラスでなくともプラスチックでも良い。

## 【0020】

NLは固体材料からなる光学素子である。収差図において、d、gは各々d線、g線である。M、Sはメリディオナル像面、サジタル像面、倍率色収差はg線によって表してい 50

る。F<sub>n</sub>oはFナンバー、θは半画角である。すべての収差図において、球面収差は0.2mm、非点収差は0.2mm、歪曲は2%、倍率色収差は0.02mmのスケールで描かれている。

#### 【0021】

本発明の撮影光学系の特徴について説明する。従来より、大口径比の望遠レンズにおいては全体が軽量であることが要望されている。一般的に望遠レンズでは、光軸と瞳近軸光線の交わる点より物体側で、近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値が、光軸と瞳近軸光線の交わる点より像側での近軸軸上光線がレンズ面を通過する光軸からの高さの最大値よりも大きい。

#### 【0022】

多くの望遠レンズは、このようないわゆるテレフォトタイプ（望遠型）のレンズ構成をとっている。この場合、Fナンバーは最も物体側のレンズの有効径により決まる傾向がある。よって望遠レンズの中で最も像側のレンズよりも物体側のレンズであるほどレンズの有効径は大きくなっていく。このため、Fナンバーが小さければ小さい程、レンズ系全体の重量の割合は、像側のレンズよりも物体側のレンズの方が重くなりやすい。このような状況から望遠レンズの重量を軽減するには、物体側のレンズの材料を低比重材料にすると重量軽減の効果が大きくなる。

#### 【0023】

種々あるガラス材料の中で、例えば比重が2.5～3.5近傍の比較的低比重と言われているガラス材料を、例えば株式会社オハラ社製のガラス（商品名）で挙げると次のようである。低分散領域では商品名S-BSL7や商品名S-FSL5である。中分散領域では商品名S-NSL系や商品名S-TIL系である。また高分散領域では商品名S-TIM系や商品名S-TIH系、そして商品名S-NPH系である。逆に比重が3.5近傍～4.0以上となる比較的高比重なガラス材料は、商品名S-FPL系の異常部分分散特性を有するガラス材料や、商品名S-LAH系等である。低分散領域から中分散領域までは同じアッペ数でも低屈折率の材料が比較的低比重であり、高分散領域では同じ屈折率でも、より高分散の材料が比較的低比重である。

#### 【0024】

一般的に望遠レンズの物体側のレンズに使用される材料は、ペツツバール和と色収差補正の観点からある程度決まってくる。正レンズの材料には低屈折率低分散で、かつ異常部分分散特性が大きい、例えば先に挙げた商品名S-FPL系や萤石等である。また負レンズの材料には高屈折率中分散で、かつ部分分散比が小さい、例えば先に挙げた商品名S-LAH系等である。

#### 【0025】

これらのガラス材料は前述した通り比較的高比重な材料に相当する。そこでこれらのガラス材料を全て低比重な材料に置き換えることができれば望遠レンズ全体の重量の軽減効果が大きい。

#### 【0026】

しかし、正レンズに商品名S-FSL5や商品名S-BSL7等のガラス材料を使用すると、異常部分分散特性が比較的小さいため、特に短波長領域での色収差が悪化してしまう。また負レンズに商品名S-LAH系ではなく商品名S-TIH系の材料を使用すると、部分分散比が比較的大きくなってしまうため、ここでも特に短波長領域での色収差が悪化してしまう。またアッペ数を保存して商品名S-LAH系から商品名S-TIL系に置き換えるとしても、屈折率が大幅に低下してしまうため、ペツツバール和が悪化し、像面湾曲が悪化してしまう。

#### 【0027】

そこで本発明の撮影光学系では、光軸と瞳近軸光線の交わる点より物体側に回折光学素子と異常部分分散特性が比較的大きい固体材料からなる光学素子を配置し、このときどちらも正のパワーとなるようにしている。

#### 【0028】

10

20

30

40

50

これにより正レンズを萤石等の材料から商品名 S - F S L 5 等のガラス材料に置き換える際に悪化する色収差を回折光学素子により補正している。そして、負レンズを商品名 S - L A H 系等のガラス材料から商品名 S - T I H 系等のガラス材料に置き換える際に悪化する色収差、特に g 線と F 線の間の色収差を、異常部分分散特性が比較的大きい固体材料からなる光学素子により補正している。そうすることで第 1 レンズ群を構成するレンズのガラス材料全体が、比較的低比重なガラス材料で占めるようにしている。

#### 【 0 0 2 9 】

更に、多くの撮影光学系（光学系）におけるフォーカシングは、撮影光学系全体を移動させたり、もしくは撮影光学系の一部のレンズ群を移動させて行っている。このうち焦点距離が長く F ナンバーが小さい大口径比の望遠レンズの場合は、レンズ径が大型となり、又、F ナンバーの大きい望遠レンズに比べて高重量となる。このため、望遠レンズ全体を移動させてフォーカシングを行うのが機構的に困難である。10

#### 【 0 0 3 0 】

このため本発明の撮影光学系は、第 1 レンズ群に対しレンズ径が小型で、かつ軽量な第 2 レンズ群を光軸上移動させることによってフォーカシングを行い、その駆動装置が低トルクで小型なものが利用できるようにしている。また、この配置では軸外主光線が第 2 レンズ群の中心付近（光軸付近）を通過するため、第 2 レンズ群を移動させてフォーカシングを行なうことで、物体距離による軸外光線の収差変動を抑制する効果もある。また本発明の撮影光学系は第 2 レンズ群より像側に第 3 レンズ群を有している。20

#### 【 0 0 3 1 】

これは第 2 レンズ群より像側にレンズ群を有することで、軸上光線の高さが低く、かつ軸外主光線が高い位置を通過するレンズ面を配置できるため、これにより像面湾曲や倍率色収差の補正を容易にしている。以上のレンズ構成を取ることで全体として軽量で高画質な撮影光学系を達成している。20

#### 【 0 0 3 2 】

次に各実施例の撮影光学系の特徴について説明する。瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に少なくとも 1 つの回折光学素子と、少なくとも 1 つの固体材料からなる光学素子を有している。30

#### 【 0 0 3 3 】

回折光学素子の回折成分のみによる焦点距離を f D O E とする。固体材料からなる光学素子の焦点距離を f N L とする。第 1 レンズ群 L 1 の焦点距離を f 1 、固体材料からなる光学素子 N L を構成する材料の異常部分分散比を gF N L とする。30

このとき、

$$10 < f_{D O E} \times f_{N L} / f_1^2 < 600 \quad \dots (1)$$

$$0.0272 < gF_{N L} < 0.3000 \quad \dots (2)$$

なる条件を満足している。

#### 【 0 0 3 4 】

ただし異常部分分散比 gF N L は、固体材料からなる光学素子の d 線における屈折率を N d N L 、 g 線における屈折率を N g N L 、 C 線における屈折率を N c N L 、 F 線における屈折率を N F N L 、アッペ数を d とすると、次に示す式で定義されるものである。40

#### 【 0 0 3 5 】

$$d = (N_{d N L} - 1) / (N_{F N L} - N_{C N L})$$

$$gF_{N L} = (N_{g N L} - N_{F N L}) / (N_{F N L} - N_{C N L})$$

$$gF_B = (-1.665 \times 10^{-7} \times d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \times d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \times d + 0.7278)$$

$$gF_{N L} = gF_{F N L} - gF_B$$

次に前述の各条件式の技術的意味について説明する。

#### 【 0 0 3 6 】

条件式 (1) は回折光学素子 D O E と固体材料からなる光学素子 N L のパワーのバランスに関する。条件式 (1) の上限値を超えると、回折光学素子 D O E と固体材料からなる光学素子 N L の両方のパワーが弱くなるか、どちらか一方のパワーが極端に弱くなりすぎ50

てしまう。そうすると色収差の補正が不十分となるため好ましくない。

#### 【0037】

一方、条件式(1)の下限値を超えると、回折光学素子DOEと固体材料からなる光学素子NLの両方のパワーが強くなるか、どちらか一方のパワーが極端に強くなりすぎてしまう。そうすると色収差が過補正になり軸上色収差と倍率色収差のバランスが悪化するため好ましくない。条件式(1)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

#### 【0038】

$$20 < f_{DOE} \times f_{NL} / f_1^2 < 550 \quad (1a)$$

この他、条件式(1)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$10 < f_{DOE} \times f_{NL} / f_1^2 < 550 \quad (1b)$$

10

条件式(2)は固体材料からなる光学素子NLの材料の異常部分分散比に関する。

#### 【0039】

条件式(2)の上限値を超えると、固体材料からなる光学素子NLの異常部分分散比が大きくなりすぎてしまう。そうすると短波長側の色収差が過補正になってしまふため好ましくない。一方、条件式(2)の下限値を超えると、固体材料からなる光学素子NLの異常部分分散比が小さくなってしまう。そうすると短波長側の色収差の補正が不十分となるため好ましくない。条件式(2)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

#### 【0040】

$$0.0272 < gF_{NL} < 0.2500 \quad (2a)$$

20

また条件式(2a)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

#### 【0041】

$$0.0272 < gF_{NL} < 0.2000 \quad (2b)$$

条件式(2)を満足する固体材料(以下「光学材料」ともいう。)の具体例としては、例えば樹脂がある。様々な樹脂の中でも特にUV硬化樹脂( $Nd = 1.635, d = 2.7, gF = 0.69$ )やN-ポリビニルカルバゾール( $Nd = 1.696, d = 17.7, gF = 0.69$ )は条件式(2)を満足する光学材料である。尚、条件式(2)を満足する樹脂であれば、これらに限定するものではない。 $Nd$ はd線における屈折率である。dはアッペ数である。gFは部分分散比である。ここでF線における屈折率を $N_F$ 、g線における屈折率を $N_g$ 、C線における屈折率を $N_C$ とする。このときアッペ数dと部分分散比gFは次のとおりである。

$$d = (Nd - 1) / (N_F - N_C)$$

$$gF = (N_g - N_F) / (N_F - N_C)$$

30

#### 【0042】

また、一般の硝材とは異なる特性を持つ光学材料として、下記の無機酸化物ナノ微粒子(無機微粒子)を合成樹脂(透明媒体)中に分散させた混合体がある。すなわち、 $TiO_2$ ( $Nd = 2.304, d = 13.8$ )、 $Nb_2O_5$ ( $Nd = 2.367, d = 14.0$ )、 $ITO$ ( $Nd = 1.8581, d = 5.53$ )、 $Cr_2O_3$ ( $Nd = 2.2178, d = 13.4$ )等がある。更に $BaTiO_3$ ( $Nd = 2.4362, d = 11.3$ )等がある。

40

#### 【0043】

これらの無機酸化物の中では、 $TiO_2$ ( $Nd = 2.304, d = 13.8, gF = 0.87$ )微粒子を合成樹脂中に適切なる体積比で分散させた場合、上記条件式(2)を満足する光学材料が得られる。 $TiO_2$ は様々な用途で使われる材料であり、光学分野では反射防止膜などの光学薄膜を構成する蒸着用材料として用いられている。

他にも光触媒、白色顔料などとして、また $TiO_2$ 微粒子は化粧品材料として用いられている。各実施例において樹脂に分散させる $TiO_2$ 微粒子の平均径は、散乱などの影響を考えると $2nm \sim 50nm$ 程度がよく、凝集を抑えるために分散剤などを添加しても良い。

#### 【0044】

50

TiO<sub>2</sub>を分散させる媒体材料としては、ポリマーが良く、成形型等を用いて光重合成形または熱重合成形することにより高い量産性を得ることができる。また、ポリマーの光学定数の特性としても、部分分散比が比較的大きいポリマー、あるいはアッペ数が比較的小さいポリマーか、両者を満たすポリマーが良く、N-ポリビニルカルバゾール、スチレン、ポリメタクリル酸メチル(アクリル)、などが適用できる。後述する実施例ではTiO<sub>2</sub>微粒子を分散させるホストポリマーとしてUV硬化樹脂、N-ポリビニルカルバゾールを用いている。しかし、これに限定するものではない。

## 【0045】

ナノ微粒子を分散させた混合体の分散特性N( )は、良く知られたDrudeの式から導きだされた次式によって簡単に計算することができる。即ち、波長λにおける屈折率N( )は、

$$N(\lambda) = [1 + V \{ N_{TiO_2}^2(\lambda) - 1\} + (1 - V) \{ N_p^2(\lambda) - 1\}]^{1/2} \quad (A)$$

である。

## 【0046】

ここで、λは任意の波長、N<sub>TiO<sub>2</sub></sub>はTiO<sub>2</sub>の屈折率、N<sub>p</sub>はポリマーの屈折率、Vはポリマ一体積に対するTiO<sub>2</sub>微粒子の総体積の分率である。以上のような構成とすることで本発明の目的とする撮影光学系は達成されるが、更に好ましくは次に述べる条件のうち少なくとも1つを満足するのが良く、これによれば更なる軽量化の効果と高い光学性能が容易に得られる。

## 【0047】

固体材料からなる光学素子N<sub>L</sub>以外の第1レンズ群L<sub>1</sub>に含まれるレンズの材料のd線における屈折率とアッペ数を各々N<sub>d<sub>1</sub></sub>、d<sub>1</sub>とする。固体材料からなる光学素子N<sub>L</sub>以外の第1レンズ群L<sub>1</sub>に含まれる正レンズの材料のd線におけるアッペ数をd<sub>1P</sub>、第1レンズ群L<sub>1</sub>に含まれる負レンズの材料のd線におけるアッペ数をd<sub>1N</sub>とする。固体材料からなる光学素子の材料のd線におけるアッペ数をd<sub>NL</sub>とする。

## 【0048】

第1レンズ群L<sub>1</sub>は、最も広い空気間隔を隔てて、正の屈折力の第1aレンズ群と、正又は負の屈折力の第1bレンズ群から構成されている。全系の最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の長さをLとする。

第1aレンズ群L<sub>1a</sub>と第1bレンズ群L<sub>1b</sub>との空気間隔をd<sub>1ab</sub>とする。第1aレンズ群L<sub>1a</sub>の焦点距離をf<sub>1a</sub>、第1bレンズ群L<sub>1b</sub>の焦点距離をf<sub>1b</sub>とする。全系の焦点距離をfとする。物体距離が無限遠であるときの全系のFナンバーをFnoとする。

## 【0049】

第2レンズ群L<sub>2</sub>の焦点距離をf<sub>2</sub>、第3レンズ群L<sub>3</sub>の焦点距離をf<sub>3</sub>とする。第3レンズ群L<sub>3</sub>は正の屈折力の第31レンズ群L<sub>31</sub>、負の屈折力の第32レンズ群L<sub>32</sub>、正の折力の第33レンズ群L<sub>33</sub>より構成されている。第31レンズ群L<sub>31</sub>、第32レンズ群L<sub>32</sub>、第33レンズ群L<sub>33</sub>の焦点距離を各々f<sub>31</sub>、f<sub>32</sub>、f<sub>33</sub>とする。

## 【0050】

このとき、以下の条件式のうち1以上を満足するのが良い。

$$8.986 \times 10^{-9} \times d_1^4 - 5.469 \times 10^{-6} \times d_1^3 + 8.088 \times 10^{-4} \times d_1^2 - 4.553 \times 10^{-2} \times d_1 \\ + 2.285 < N_{d_1} < 3.384 \times 10^{-8} \times d_1^4 - 1.348 \times 10^{-5} \times d_1^3 \\ + 1.761 \times 10^{-3} \times d_1^2 - 9.477 \times 10^{-2} \times d_1 + 3.363 \quad \dots \quad (3)$$

$$30.0 < d_{1P} < 75.0 \quad \dots \quad (4)$$

$$10.0 < d_{1N} < 40.0 \quad \dots \quad (5)$$

$$5.0 < d_{NL} < 60.0 \quad \dots \quad (6)$$

$$0.0500 < d_{1ab} / (L \times Fno) < 0.2000 \quad \dots \quad (7)$$

$$-1.000 < f_{1a} / f_{1b} < 1.000 \quad \dots \quad (8)$$

$$5.0 < f_{DOE} / f < 200.0 \quad \dots \quad (9)$$

10

20

30

40

50

1.0 < f D O E / f N L < 40.0	• • • ( 1 0 )
0.460 < f / ( f 1 a × F n o ) < 1.000	• • • ( 1 1 )
0.0430 < { ( f 1 / f 1 a ) × d 1 a b } / ( f × F n o ) < 0.3000	• • • ( 1 2 )
0.50 <   f 1 / f 2   < 2.20	• • • ( 1 3 )
0.10 <   f 2 / f 3   < 1.00	• • • ( 1 4 )
0.10 <   f 2 / f   < 2.00	• • • ( 1 5 )
0.30 <   f 3 / f   < 10.00	• • • ( 1 6 )
0.10 < f 31 / f < 3.00	• • • ( 1 7 )
-0.50 < f 32 / f < -0.05	• • • ( 1 8 )
0.05 < f 33 / f < 0.50	• • • ( 1 9 )

10

次に前述した各条件式の技術的意味について説明する。条件式(3)は固体材料からなる光学素子以外の光学素子のうち第1レンズ群L1に含まれる光学素子材料(レンズの材料)の屈折率に関する。条件式(3)の上限値を超えると、比較的高比重の材料を選ぶことになり、全系の軽量化が難しくなる。

#### 【0051】

一方、条件式(3)の下限値を超えると、低比重ではあるが屈折率も低くなるため、ペツツバール和が悪化し、像面湾曲の補正が難しくなる。条件式(4)は固体材料からなる光学素子NL以外の光学素子のうち第1レンズ群L1に含まれる正レンズの材料のd線におけるアッベ数に関する。条件式(4)の上限値を超えると、比較的高比重の材料を選ぶことになり、全系の軽量化が難しくなる。一方、条件式(4)の下限値を超えると、軸上色収差の補正が不十分となるため好ましくない。条件式(4)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

20

#### 【0052】

$$40.0 < d_{1P} < 75.0 \quad (4a)$$

条件式(5)は第1レンズ群L1に含まれる負レンズの材料のd線におけるアッベ数に関する。条件式(5)の上限値を超えると、比較的高比重の材料を選ぶことになり、全系の軽量化が難しくなる。一方、条件式(5)の下限値を超えると、軸上色収差が過補正になるため好ましくない。条件式(5)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

30

#### 【0053】

$$15.0 < d_{1N} < 35.0 \quad (5a)$$

図12は条件式(3)、(4)、(5)の範囲を示す説明図である。条件式(6)は固体材料からなる光学素子NLの材料のd線におけるアッベ数に関する。条件式(6)の上限値もしくは下限値を超えると、光学系全体として軸上色収差と倍率色収差の補正のバランスがとりづらくなり好ましくない。条件式(6)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

30

#### 【0054】

$$10.0 < d_{NL} < 50.0 \quad (6a)$$

各実施例では第1レンズ群L1中で一番大きな空気間隔を挟んで物体側を第1aレンズ群L1a、像側を第1bレンズ群L1bと部分レンズ群に分割する。このとき第1aレンズ群L1aのパワーは正となるようにするのが好ましい。そうすると第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bの間隔を広くすればするほど第1aレンズ群L1aを通過した光線が収斂するため、第1bレンズ群L1bのレンズ有効径を小さくすることができるため好ましい。

40

#### 【0055】

また第1aレンズ群L1aのパワーが強いほど、第1aレンズ群L1aを通過した光線がより収斂するため、第1bレンズ群L1bのレンズ有効径を小さくすることができるため好ましい。しかし、一般的に特許文献2や特許文献3のような、焦点距離と比較してFナンバーが小さい従来の望遠レンズは、特許文献1のようにFナンバーが大きい望遠レン

50

ズに比べて球面収差やコマ収差が増大する。これを補正するために、第1レンズ群L1のレンズ枚数を増やして合計5枚～6枚とし、収差補正を行なっていた。

#### 【0056】

そこで単純にこのような状態から第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bの間隔を広くすると、レンズ全長が長くなってしまう。そうすると長いレンズ鏡筒が必要になり、鏡筒部分での重量の増加から総合的に見てレンズ重量が増加してしまう。

#### 【0057】

そこで、レンズ全長を維持しつつ、第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bとの間隔を広く開けるためには、レンズの枚数を削減するのが好ましい。そして、レンズ枚数を削減したことによる収差の悪化は第1レンズ群L1内に少なくとも1つの非球面を設けることで単色の収差を補正し、回折光学素子と固体材料からなる光学素子を適切なパワーとしてすることで、色収差を補正するのが良い。

10

#### 【0058】

そうすることで第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bの間隔を広く確保し、かつ第1aレンズ群L1aのパワーを強くすることで第1bレンズ群L1bのレンズ有効径を小さくできる。このため更なる軽量化が容易になるので好ましい。このためには条件式(7)乃至条件式(10)のうち1以上を満足するのが良い。条件式(7)は撮影光学系の第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bと間の空気間隔に関する。

#### 【0059】

条件式(7)の上限値を超えると、第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bの間隔が広くなり、第1レンズ群L1内の空洞部分がより増加する。また第1bレンズ群L1bが像面側に下がる(位置する)ことから第1bレンズ群L1bの有効径の縮小による重量軽減の効果が得られる。しかしそれにより第1aレンズ群L1aで発生する球面収差やコマ収差を第1bレンズ群L1bで補正することが難しくなり、レンズ全系で球面収差とコマ収差が残存してくる。

20

#### 【0060】

一方、条件式(7)の下限値を超えると、第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bの間隔が狭くなり、第1レンズ群L1中の空洞部分が少なくなる。そうすると第1レンズ群L1中に複数のレンズが詰まることになるため重量軽減の効果が得られなくなってくる。条件式(7)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

30

#### 【0061】

$$0.0700 < d_{1ab} / (L \times Fno) < 0.2000 \quad \dots \quad (7a)$$

また、条件式(7)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

#### 【0062】

$$0.0700 < d_{1ab} / (L \times Fno) < 0.1500 \quad \dots \quad (7b)$$

条件式(8)は撮影光学系の第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bのパワーに関する、第1bレンズ群L1bの有効径の縮小に関する。条件式(8)の上限値または下限値を超えると、第1bレンズ群L1bに比べて第1aレンズ群L1aのパワーが弱くなる。そうすると第1aレンズ群L1aによる光線の収斂効果が弱くなり、第1bレンズ群L1bのレンズ有効径が大きくなってしまうため好ましくない。条件式(8)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

40

#### 【0063】

$$-0.850 < f_{1a} / f_{1b} < 0.850 \quad \dots \quad (8a)$$

条件式(9)は撮影光学系の第1レンズ群L1中の回折光学素子DOEのパワーに関する。条件式(9)の上限値を超えると、回折光学素子DOEにおける回折成分のみによるパワーが弱くなってしまうため、第1レンズ群L1で発生する色収差を効果的に補正することが困難になる。

#### 【0064】

一方、条件式(9)の下限値を超えると、回折光学素子DOEにおける回折成分のみによるパワーが大きくなってしまう。そうすると回折格子のピッチを細かくする必要がある

50

。回折格子のピッチを細かくすると製造が困難になるため好ましくない。また下限値を超えて回折光学素子D O E のパワーを大きくし過ぎると、相反関係にある軸上色収差と倍率色収差のバランスがとりにくくなるため好ましくない。条件式(9)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

## 【0065】

$$7.0 < f_{D O E} / f < 150.0 \quad \dots (9a)$$

また、条件式(9a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

## 【0066】

$$7.0 < f_{D O E} / f < 100.0 \quad \dots (9b)$$

条件式(10)は回折光学素子D O E と固体材料からなる光学素子N L のパワーのバランスに関する。条件式(10)の上限値もしくは下限値を超えると、回折光学素子D O E と固体材料からなる光学素子N L のパワーのバランスが偏ってしまい、第1レンズ群L 1 で発生する色収差を効果的に補正することが困難になる。条件式(10)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。10

## 【0067】

$$1.0 < f_{D O E} / f_{N L} < 30.0 \quad \dots (10a)$$

条件式(11)は撮影光学系の第1aレンズ群L 1 a のパワーに関する。条件式(11)の上限値を超えると、第1aレンズ群L 1 a のパワーが強くなりすぎるため、第1レンズ群L 1 の重量軽減の効果が大きくなる。しかし第1aレンズ群L 1 a で発生した球面収差やコマ収差を第1bレンズ群L 1 b 以降で補正することが困難になる。20

## 【0068】

一方、条件式(11)の下限値を超えると、第1aレンズ群L 1 a のパワーが弱くなりすぎるため、第1bレンズ群L 1 b のレンズ有効径が大きくなり、第1レンズ群L 1 中のレンズ重量を軽減するのが難しくなる。条件式(11)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

## 【0069】

$$0.470 < f / (f_{1a} \times F_{no}) < 1.000 \quad \dots (11a)$$

また、条件式(11a)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

## 【0070】

$$0.470 < f / (f_{1a} \times F_{no}) < 0.700 \quad \dots (11b)$$

条件式(12)は撮影光学系の第1aレンズ群L 1 a のパワーと第1aレンズ群L 1 a と第1bレンズ群L 1 b と間の空気間隔のバランスに関する。条件式(12)の上限値を超えると、第1aレンズ群L 1 a のパワーが強くなるか、第1aレンズ群L 1 a と第1bレンズ群L 1 b の間隔が広くなる。このため、第1レンズ群L 1 の重量軽減の効果が大きくなる。しかし第1aレンズ群L 1 a で発生した球面収差やコマ収差が第1bレンズ群L 1 b 以降で補正することが困難になる。30

## 【0071】

一方、条件式(12)の下限値を超えると、第1aレンズ群L 1 a のパワーが弱くなるか、第1aレンズ群L 1 a と第1bレンズ群L 1 b の間隔が狭くなるため、第1bレンズ群L 1 b のレンズ有効径が大きくなり、また第1レンズ群L 1 中の空洞部分が少なくなる。そうすると第1レンズ群L 1 中のレンズ重量を軽減するのが難しくなる。条件式(12)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。40

## 【0072】

$$0.0450 < \{ (f_1 / f_{1a}) \times d_{1ab} \} / (f \times F_{no}) < 0.3000 \quad \dots (12a)$$

また、条件式(12a)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

## 【0073】

$$0.0450 < \{ (f_1 / f_{1a}) \times d_{1ab} \} / (f \times F_{no}) < 0.2000 \quad \dots (12b)$$

条件式(13)は撮影光学系の第1レンズ群L 1 と第2レンズ群L 2 とのパワーのバラ50

ンスに関し、特に第2レンズ群L2の有効径の縮小に関する。

**【0074】**

条件式(13)の上限値を超えると、第2レンズ群L2に比べて第1レンズ群L1のパワーが弱くなり、第1レンズ群L1による光線の収斂効果が弱くなる。このため、第2レンズ群L2のレンズ有効径が大きくなってしまうため好ましくない。

**【0075】**

一方、条件式(13)の下限値を超えると、第2レンズ群L2に比べて第1レンズ群L1のパワーが強くなり、第2レンズ群L2のレンズ有効径の縮小によるレンズ重量軽減の効果が大きくなる。しかし第1レンズ群L1で発生する球面収差やコマ収差、そして色収差が第1レンズ群L1内で補正しきれず残存してしまい、第2レンズ群L2以降でこれを補正するのが困難となる。条件式(13)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。10

**【0076】**

$$0.50 < |f_1 / f_2| < 2.00 \quad \cdots (13a)$$

また、条件式(13a)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

**【0077】**

$$0.70 < |f_1 / f_2| < 2.00 \quad \cdots (13b)$$

条件式(14)は撮影光学系の第2レンズ群L2と第3レンズ群L3とのパワーのバランスに関する。条件式(14)の上限値を超えると、第2レンズ群L2に対して第3レンズ群L3のパワーが強くなる。第3レンズ群L3のパワーが強くなりすぎると像面湾曲が大きくなってしまい、この補正が困難になる。一方、条件式(14)の下限値を超えると、第3レンズ群L3に対して第2レンズ群L2のパワーが強くなる。第2レンズ群L2のパワーが強くなりすぎると球面収差が増大してしまい、この補正が困難になる。条件式(14)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。20

**【0078】**

$$0.20 < |f_2 / f_3| < 1.00 \quad \cdots (14a)$$

また、条件式(14a)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

**【0079】**

$$0.20 < |f_2 / f_3| < 0.75 \quad \cdots (14b)$$

条件式(15)は撮影光学系の第2レンズ群L2のパワーに関する。条件式(15)の上限値を超えると、第2レンズ群L2のパワーが弱くなる。そうするとフォーカシングの際に第2レンズ群L2の移動量が増加してしまい、レンズ系が大型化してしまう。一方、条件式(15)の下限値を超えると、第2レンズ群L2のフォーカシング時の移動量は減少する。しかしながら、第2レンズ群L2で球面収差が多く発生してしまい、第1レンズ群L1や第3レンズ群L3とでバランス良く補正するのが難しくなる。条件式(15)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。30

**【0080】**

$$0.20 < |f_2 / f| < 2.00 \quad \cdots (15a)$$

また、条件式(15a)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

**【0081】**

$$0.20 < |f_2 / f| < 1.50 \quad \cdots (15b)$$

条件式(16)は撮影光学系の第3レンズ群L3のパワーに関する。条件式(16)の上限値を超えると、第3レンズ群L3のパワーが弱くなる。そうするとバックフォーカスの長さの調整を第1レンズ群L1や第2レンズ群L2の屈折力で行わなければならなくなる。この結果、第1レンズ群L1や第2レンズ群L2の収差補正の自由度が少なくなるため球面収差やコマ収差等が残存してしまる。一方、条件式(16)の下限値を超えると、第3レンズ群L3のパワーが強くなり像面湾曲や歪曲などの発生量が増え、これらの補正が困難となるため好ましくない。条件式(16)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。40

**【0082】**

$$0.50 < |f_3/f| < 10.00 \quad \dots (16a)$$

また、条件式(16a)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

### 【0083】

$$0.50 < |f_3/f| < 5.00 \quad \dots (16b)$$

更に、第1レンズ群L1中の第1aレンズ群L1aは、1つの正レンズ、もしくは2つのレンズで構成されている。また、第1bレンズ群L1bは、1つの正レンズと1つの負レンズから構成されている。このようなレンズ構成をとることで、レンズ枚数が少なく、また第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bの間隔が広くとりやすくなるため、第1レンズ群L1全体の軽量化が容易になる。そして第2レンズ群L2と第3レンズ群L3との間に開口絞りSPを配置している。10

### 【0084】

これは軸外主光線と光軸とが交わる位置が、レンズ中心付近に位置する第2レンズ群L2と第3レンズ群L3の間近傍である。このため、第2レンズ群L2と第3レンズ群L3との間に開口絞りを配置するのが好ましい。これにより開口絞りを絞った時にも画面周辺光量を適切に保つことが容易になる。そして、光路中に設ける回折光学素子DOEの回折面（回折光学面）Dは防塵性、組立作業性、機械強度を向上させるために、接合レンズ面に形成するのが好ましい。また、第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成の屈折力が正となるようにしている。

### 【0085】

そして第2レンズ群L2を通過した収斂光線を正の屈折力の第31レンズ群L31で更に収斂させており、これにより第32レンズ群L32（画像変位補正群）のレンズ有効径の小型化を容易にしている。更に正の屈折力の第33レンズ群L33を配置することにより、一定のレンズ全系の焦点距離を保ちつつ負の屈折力の第32レンズ群L32の屈折力を増大させている。これにより第32レンズ群L32の少ない偏心移動により結像面上の大きな像位置の変位（以後、偏心量と像位置変位の関係を像変位敏感度という。）を容易にしている。20

### 【0086】

条件式(17)乃至(19)は第3レンズ群L3中の各部分レンズ群のパワーを適切に設定している。これにより第32レンズ群L32を光軸と略垂直方向に移動して結像位置の変位を行う際、大きな像変位敏感度を得つつも、良好な像性能を確保している。この条件式(17)乃至(19)の数値範囲を外れるとそのバランスを保つことが困難となってくる。条件式(17)乃至(19)の数値範囲は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。30

### 【0087】

$$0.12 < f_{31}/f < 2.50 \quad \dots (17a)$$

$$-0.40 < f_{32}/f < -0.05 \quad \dots (18a)$$

$$0.07 < f_{33}/f < 0.40 \quad \dots (19a)$$

以上のように各実施例によれば画面内全体に渡って色収差を補正し、高い光学性能を持った撮像光学系が得られる。

### 【0088】

次に各実施例のレンズ構成の特徴について説明する。各レンズに付した符号のレンズは前述した各レンズに付した符号のレンズと対応している。まず各実施例で共通している構成を説明する。各実施例の撮影光学系は、最も物体側から順に正のパワーの第1レンズ群L1、又は負のパワーの第2レンズ群L2、又は負のパワーの第3レンズ群L3を有している。そして第2レンズ群L2と第3レンズ群L3の間に開口絞りSPを配置している。また第3レンズ群L3は、正のパワーの第31レンズ群L31と、負のパワーの第32レンズ群L32と正のパワーの第33レンズ群L33を有している。そして撮影光学系が振動した時の撮影画像のブレの補正（振動補償）を第32レンズ群L32を可動レンズ群（画像変位補正群）とし、矢印LTの如く光軸と直交する方向の成分を持つように移動させて行なっている。40

## 【0089】

次に各実施例における詳細な構成について説明する。ここでは条件式(2), (6)を満足する光学材料として、UV硬化樹脂1、N-ポリビニルカルバゾール、またTiO<sub>2</sub>をホストポリマーであるUV硬化樹脂に分散させたTiO<sub>2</sub>微粒子分散材料を用いている。なおTiO<sub>2</sub>微粒子を分散させるUV硬化樹脂は2種類(UV硬化樹脂1、UV硬化樹脂2)を用いている。

## 【0090】

後述する実施例1乃至7で用いている光学材料(UV硬化樹脂1、TiO<sub>2</sub>微粒子分散材料、N-ポリビニルカルバゾール)の光学定数値を表-1に、TiO<sub>2</sub>微粒子分散材料を構成するUV硬化樹脂2とTiO<sub>2</sub>の単独の光学定数値を表-2に示す。各表には、各光学材料のd線、g線、C線及びF線に対する屈折率及びアッベ数、部分分散比の値を示している。図11にこれらの光学材料と、条件式(2), (6)との関係を示す。10

## 【0091】

図1(A)の実施例1の撮影光学系L0は、第1乃至第3レンズ群L1乃至L3より成っている。第1レンズ群L1は、1つの正レンズ1枚からなる第1aレンズ群L1aと、正レンズと固体材料からなる光学素子NLと負レンズの3つの部材を接合した接合レンズ(回折光学素子DOE)からなる第1bレンズ群L1bから構成されている。

## 【0092】

ここで固体材料からなる光学素子NLは、UV硬化樹脂1(表-1)よりなるレンズ(パワー(屈折力)のある光学素子)より構成されている。そしてUV硬化樹脂1で形成された光学素子NL(層)は正の屈折力を有している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、第1bレンズ群L1bの正レンズと固体材料からなる光学素子NLとの接合面に形成されている。非球面は第1aレンズ群L1aの最も物体側のレンズ面と、第1bレンズ群L1bの最も物体側のレンズ面である。そして第2レンズ群L2は1つの負レンズから構成されている。20

## 【0093】

第3レンズ群L3は、第31乃至第33レンズ群L31乃至L33から構成されている。第31レンズ群L31は、1つの負レンズと1つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。第32レンズ群L32は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第32レンズ群L32を光軸と垂直方向の成分を持つように移動させて撮影画像の位置を変位させている。第33レンズ群L33は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズと、1つの正レンズから構成されている。30

## 【0094】

無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第2レンズ群L2を光軸上像面側へ移動させることで行なっている。

## 【0095】

図2(A)の実施例2の撮影光学系L0は、第1乃至第3レンズ群L1乃至L3より成っている。第1レンズ群L1は1つの正レンズからなる第1aレンズ群L1aと、1つの負レンズと固体材料からなる光学素子NLと1つの正レンズの3つの部材を接合した接合レンズ(回折光学素子)からなる第1bレンズ群L1bから構成されている。ここで固体材料からなる光学素子NLは、UV硬化樹脂1(表-1)よりなるレンズ(パワーのある光学素子)より構成されている。そしてUV硬化樹脂1で形成された光学素子NL(層)は正の屈折力を有している。40

## 【0096】

回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、第1bレンズ群L1bの固体材料からなる光学素子NLと正レンズとの接合面に形成されている。非球面は第1aレンズ群L1aの最も物体側のレンズ面と、第1bレンズ群L1bの最も物体側のレンズ面である。そして第2レンズ群L2は1つの正レンズから構成されている。また第2レンズ群L2の最も物体側のレンズ面は非球面形状である。第3レンズ群L3は第31乃至第33レンズ群50

L 3 1 乃至 L 3 3 より構成されている。第3 1 レンズ群 L 3 1 は、1 つの負レンズと1 つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。

#### 【0 0 9 7】

第3 2 レンズ群 L 3 2 は、1 つの正レンズと1 つの負レンズを接合した接合レンズと、1 つの負レンズから構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 を光軸と垂直方向の成分を持つように移動させて撮影画像の位置を変位させている。第3 3 レンズ群 L 3 3 は、1 つの正レンズと1 つの負レンズを接合した接合レンズと、1 つの正レンズから構成されている。また、第3 3 レンズ群 L 3 3 の像側の正レンズの物体側のレンズ面は非球面形状である。無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第2 レンズ群 L 2 を光軸上物体側へ移動させることで行なっている。

10

#### 【0 0 9 8】

図3 (A) の実施例3 の撮影光学系 L 0 は、第1 乃至第3 レンズ群 L 1 乃至 L 3 より成っている。第1 レンズ群 L 1 は、1 つの正レンズからなる第1 a レンズ群 L 1 a と、1 つの正レンズと固体材料からなる光学素子 N L と1 つの負レンズの3 つの部材を接合した接合レンズ(回折光学素子)からなる第1 b レンズ群 L 1 b から構成されている。

#### 【0 0 9 9】

ここで固体材料からなる光学素子 N L は、TiO<sub>2</sub>微粒子をUV硬化樹脂1 に体積比で20%分散させた混合体(表-1)よりなるレンズ(パワーのある光学素子)より構成されている。そしてTiO<sub>2</sub>微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)は正の屈折力を有している。回折光学素子D O E を構成する回折光学部D は、第1 b レンズ群 L 1 b の前記固体材料からなる光学素子 N L と負レンズとの接合面に形成されている。非球面は第1 a レンズ群 L 1 a の最も物体側のレンズ面と、第1 b レンズ群 L 1 b の最も物体側のレンズ面である。

20

#### 【0 1 0 0】

そして第2 レンズ群 L 2 は1 つの正レンズと1 つの負レンズを接合した接合レンズから構成されている。第3 レンズ群 L 3 は第3 1 乃至第3 3 レンズ群 L 3 1 乃至 L 3 3 から構成されている。第3 1 レンズ群 L 3 1 は、1 つの負レンズと1 つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 は、1 つの負レンズと、1 つの正レンズと1 つの負レンズを接合した接合レンズから構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 を光軸と垂直方向の成分を持つように移動させて撮影画像の位置を変位させている。

30

#### 【0 1 0 1】

第3 3 レンズ群 L 3 3 は、1 つの正レンズと1 つの負レンズを接合した接合レンズと、1 つの正レンズから構成されている。無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第2 レンズ群 L 2 を光軸上像面側へ移動させることで行なっている。図4 (A) の実施例4 の撮影光学系 L 0 は、第1 乃至第3 レンズ群 L 1 乃至 L 3 より成っている。第1 レンズ群 L 1 は1 つの正レンズからなる第1 a レンズ群 L 1 a と、1 つの正レンズと固体材料からなる光学素子 N L と1 つの負レンズの3 つの部材を接合した接合レンズ(回折光学素子)からなる第1 b レンズ群 L 1 b から構成されている。

#### 【0 1 0 2】

ここで固体材料からなる光学素子 N L は、TiO<sub>2</sub>微粒子をUV硬化樹脂2 に体積比で20%分散させた混合体(表-1)よりなるレンズ(パワーのある光学素子)から構成されている。そしてTiO<sub>2</sub>微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)は正の屈折力を有している。回折光学素子D O E を構成する回折光学部D は、第1 b レンズ群 L 1 b の前記固体材料からなる光学素子 N L と負レンズとの接合面に形成されている。非球面は第1 a レンズ群 L 1 a の最も物体側のレンズ面と、第1 b レンズ群 L 1 b の最も物体側のレンズ面である。

40

#### 【0 1 0 3】

そして第2 レンズ群 L 2 は1 つの正レンズと1 つの負レンズを接合した接合レンズから構成されている。また第2 レンズ群 L 2 の最も像側のレンズ面は非球面形状である。第3 レンズ群 L 3 は第3 1 乃至第3 3 レンズ群 L 3 1 乃至 L 3 3 から構成されている。第3 1

50

レンズ群 L 3 1 は、1つの負レンズと1つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 を光軸と垂直方向の成分を持つように移動させて撮影画像の位置を変位させている。

#### 【 0 1 0 4 】

そして第3 3 レンズ群 L 3 3 は、1つの正レンズと、1つの負レンズと1つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第2 レンズ群 L 2 を光軸上像面側へ移動させることで行なっている。

#### 【 0 1 0 5 】

図5 ( A ) の実施例5の撮影光学系 L 0 は、第1乃至第3 レンズ群 L 1 乃至 L 3 より成っている。第1 レンズ群 L 1 は第1 a レンズ群 L 1 a と第1 b レンズ群 L 1 b より成っている。第1 a レンズ群 L 1 a は、1つの正レンズと固体材料からなる光学素子 N L と1つの負レンズの3つの部材を接合した接合レンズから構成されている。第1 b レンズ群 L 1 b は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズ(回折光学素子)から構成されている。

10

#### 【 0 1 0 6 】

ここで固体材料からなる光学素子 N L は、UV 硬化樹脂1(表 - 1 )よりなるレンズ(パワーのある光学素子)から構成されている。そしてUV 硬化樹脂1で形成されたレンズ(層)は正の屈折力を有している。回折光学素子 D O E を構成する回折光学部 D は、第1 b レンズ群 L 1 b の接合レンズ面に形成されている。非球面は第1 a レンズ群 L 1 a の最も物体側のレンズ面と、第1 b レンズ群 L 1 b の最も物体側のレンズ面である。そして第2 レンズ群 L 2 は1つの負レンズから構成されている。

20

#### 【 0 1 0 7 】

第3 レンズ群 L 3 は第3 1 乃至第3 3 レンズ群 L 3 1 乃至 L 3 2 から構成されている。第3 1 レンズ群 L 3 1 は、1つの負レンズと1つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。そして第3 2 レンズ群 L 3 2 は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 を光軸と垂直方向の成分を持つように移動させて撮影画像の位置を変位させている。そして第3 3 レンズ群 L 3 3 は、2つの正レンズから構成されている。

#### 【 0 1 0 8 】

30

無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第2 レンズ群 L 2 を光軸上像面側へ移動させることで行なっている。図6 ( A ) の実施例6の撮影光学系 L 0 は、第1乃至第3 レンズ群 L 1 乃至 L 3 より成っている。第1 レンズ群 L 1 は第1 a レンズ群 L 1 a と第1 b レンズ群 L 1 b より成っている。第1 a レンズ群 L 1 a は、1つの正レンズと固体材料からなる光学素子 N L と1つの正レンズの3つの部材を接合した接合レンズ(回折光学素子)から構成されている。そして第1 b レンズ群 L 1 b は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズから構成されている。

#### 【 0 1 0 9 】

ここで固体材料からなる光学素子 N L は、N - ポリビニルカルバゾール(表 - 1 )よりなるレンズ(パワーのある光学素子)から構成されている。そしてN - ポリビニルカルバゾールで形成されたレンズ(層)は正の屈折力を有している。回折光学素子 D O E を構成する回折光学部 D は、第1 a レンズ群 L 1 a の前記固体材料からなる光学素子 N L と像側の正レンズの接合レンズ面に形成されている。非球面は第1 a レンズ群 L 1 a の最も物体側のレンズ面と、第1 b レンズ群 L 1 b の最も物体側のレンズ面である。

40

#### 【 0 1 1 0 】

そして第2 レンズ群 L 2 は1つの負レンズから構成されている。第3 レンズ群 L 3 は第3 1 乃至第3 3 レンズ群 L 3 1 乃至 L 3 3 から構成されている。第3 1 レンズ群 L 3 1 は、1つの負レンズと1つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 は、1つの正レンズと1つの負レンズ1枚を接合した接合レンズと、負レンズ1枚から構成されている。第3 2 レンズ群 L 3 2 を光軸と垂直方向の成分を持つように

50

移動させて撮影画像の位置を変位させている。

#### 【0111】

第33レンズ群L33は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズと、1つの正レンズから構成されている。無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第2レンズ群L2を光軸上像面側へ移動させることで行なっている。

#### 【0112】

図7(A)の実施例7の撮影光学系L0は、第1乃至第3レンズ群L1乃至L3より成っている。第1レンズ群L1は第1aレンズ群L1aと第1bレンズ群L1bより成っている。第1aレンズ群L1aは、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズ(回折光学素子)から構成されている。第1bレンズ群L1bは、1つの正レンズと固体材料からなる光学素子NLと1つの負レンズの3つの部材を接合した接合レンズから構成されている。

#### 【0113】

ここで固体材料からなる光学素子NLは、TiO<sub>2</sub>微粒子をUV硬化樹脂2に体積比で3%分散させた混合体(表-1)よりなるレンズ(パワーのある光学素子)から構成されている。そしてTiO<sub>2</sub>微粒子分散材料で形成されたレンズ(層)は正の屈折力を有している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、第1aレンズ群L1aの接合レンズ面に形成されている。非球面は第1aレンズ群L1aの最も物体側のレンズ面と、第1bレンズ群L1bの最も物体側のレンズ面である。

#### 【0114】

そして第2レンズ群L2は1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズから構成されている。第3レンズ群L3は第31乃至第33レンズ群L31乃至L33から構成されている。第31レンズ群L31は、1つの負レンズと1つの正レンズを接合した接合レンズから構成されている。そして第32レンズ群L32は、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第32レンズ群L32を光軸と垂直方向の成分を持つように移動させて撮影画像の位置を変位させている。

#### 【0115】

第33レンズ群L33は、1つの正レンズと、1つの正レンズと1つの負レンズを接合した接合レンズから構成されている。無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第2レンズ群L2を光軸上像面側へ移動させることで行なっている。ここで、各実施例の撮影光学系L0で用いた回折光学素子DOEの構成について説明する。撮影光学系内に配置される回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、光軸に対して回転対称な回折格子より成っている。

#### 【0116】

図8(A)は回折光学素子1を構成する回折光学部の一部分の拡大断面図である。図8(A)の回折光学素子1は基板(透明基板)2上に1つの層よりなる回折格子(回折光学部)3を設けて構成されている。尚、基板2はレンズであっても良い。図8(B)は、この回折光学素子1の回折効率の特性を示す説明図である。図8(B)において横軸は波長を表し、縦軸は回折効率を表している。なお、回折効率は全透過光束に対する回折光の光量の割合であり、格子部3aの境界面での反射光などは説明が複雑になるのでここでは考慮していない。

#### 【0117】

回折格子3の光学材料は、UV硬化樹脂(屈折率n<sub>d</sub>=1.513、アッペ数n<sub>d</sub>=51.0)を用いている。格子部3aの格子厚d<sub>1</sub>を1.03μmと設定し、波長530nm、+1次の回折光の回折効率が最も高くなるように各要素を設定している。すなわち本実施例の回折光学素子1は設計次数が+1次で、設計波長が波長530nmである。図8(B)中において+1次の回折光の回折効率は実線で示している。

#### 【0118】

更に、図8(B)では設計次数近傍の回折次数(+1次±1次である0次と+2次)の

10

20

30

40

50

回折効率も併記している。図8(B)から分かるように、設計次数での回折効率は設計波長近傍で最も高くなり、それ以外の波長では徐々に低くなる。この設計次数での回折効率の低下分が他の次の回折光(不要光)となり、フレアの要因となる。また、回折光学素子を光学系中の複数箇所に使用した場合には、設計波長以外の波長での回折効率の低下は透過率の低下にもつながることになる。

#### 【0119】

次に、異なる材料よりなる複数の回折格子を基板上に積層した積層型の回折光学素子について説明する。図9(A)は積層型の回折光学素子1の一部拡大断面図であり、図9(B)は図9(A)に示す回折光学素子1の+1次の回折光の回折効率の波長依存性を表す図である。

10

#### 【0120】

図9(A)の回折光学素子1では、基板102上にUV硬化樹脂(屈折率 $n_d = 1.499$ 、アッベ数 $d = 54$ )からなる第1の回折格子104を形成している。更にその上に第2の回折格子105(屈折率 $n_d = 1.598$ 、アッベ数 $d = 28$ )を形成している。この材料の組み合わせにおいて、第1の回折格子104の格子部104aの格子厚 $d_1$ は $d_1 = 13.8 \mu\text{m}$ 、第2の回折格子105の格子部105aの格子厚 $d_2$ は $d_2 = 10.5 \mu\text{m}$ としている。

#### 【0121】

図9(B)からも分かるように、積層構造の回折格子104、105を備えた回折光学素子1にすることで、設計次数の回折光において使用波長全域(ここでは可視域)で95%以上という高い回折効率を得ている。なお、積層構造の回折光学素子1としては、図9(C)のように材料の組み合わせによっては2つの層104と105の格子厚を等しくしても良い。この場合は空気層を隔てて2つの回折格子の層を配置しても良い。

20

#### 【0122】

回折光学部は光学面(レンズ面、基板面)の上に施されているが、そのベースとなる光学面は球面又は平面又は非球面でも良い。また、回折光学部は、それらの光学面にプラスチックなどの膜を回折光学部(回折面)として添付する方法である所謂レプリカ非球面で作成しても良い。回折格子の形状は、その2*i*次項の位相係数を $C_{2i}$ とした時、光軸からの距離Hにおける位相(H)は次式で表される。ただし $m$ は回折次数、 $\lambda_0$ は基準波長である。

30

#### 【0123】

#### 【数1】

$$\phi(H) = \left( 2\pi \frac{m}{\lambda_0} \right) \cdot \left( C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4 + C_6 \cdot H^6 + \dots + C_{2i} \cdot H^{2i} \right) \quad \dots \dots (a)$$

#### 【0124】

一般に、レンズ、プリズム等の屈折光学材料のアッベ数(分散値) $d$ は、d、C、F線の各波長における屈折力を $N_d$ 、 $N_c$ 、 $N_f$ とした時、次式で表される。

40

#### 【0125】

$$d = (N_d - 1) / (N_f - N_c) > 0 \quad \dots \dots (b)$$

一方、回折光学部のアッベ数 $d$ はd、C、F線の各波長を $d$ 、 $c$ 、 $f$ とした時

$$d = d / (f - c) \quad \dots \dots (c)$$

と表され、 $d = -3.45$ となる。これにより、任意波長における分散性は、屈折光学素子と逆作用を有する。また、回折光学部の基準波長における近軸的な一時回折光( $m = 1$ )の屈折力 $D$ は、回折光学部の位相を表す前式(a)から2次項の係数を $C_2$ とした時、 $D = -2 \cdot C_2$ と表される。

#### 【0126】

50

さらに、任意波長を  $\lambda$  、基準波長を  $\lambda_0$  とした時、任意波長の基準波長に対する屈折力変化は、次式となる。

## 【0127】

$$\frac{d}{d\lambda} = \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right) \times (-2 \cdot C_2) \quad \dots (d)$$

これにより、回折光学部の特徴として、前式(a)の位相係数  $C_2$  を変化させることにより、弱い近軸屈折力変化で大きな分散性が得られる。これは色収差以外の諸収差に大きな影響を与えることなく、色収差の補正を行うことを意味している。また位相係数  $C_4$  以降の高次数の係数については、回折光学部の光線入射高の変化に対する屈折力変化は非球面と類似した効果を得ることができる。

## 【0128】

それと同時に、光線入射高の変化に応じて基準波長に対し任意波長の屈折力変化を与えることができる。このため、倍率色収差の補正に有効である。さらに軸上光線がレンズ面を通過する際、光路中の光軸からの高さが高い位置を通過する面に回折光学素子を配置すれば、軸上色収差の補正にも有効である。

## 【0129】

以下に本発明の実施例1～7に対応する数値実施例1～7を示す。各数値実施例において、 $i$  は物体側からの面の順序を示す。 $r_i$  は物体側より第  $i$  番目の面の曲率半径、 $d_i$  は物体側より第  $i$  番目と第  $i+1$  番目の間隔、 $n_{d_i}$  と  $d_i$  は第  $i$  番目の光学部材の屈折率とアーベー数である。 $f$ 、 $fno$ 、 $A_2$  はそれぞれ無限遠物体に焦点を合わせたときの全系の焦点距離、Fナンバー、画角(度)を表している。回折光学素子(回折面)は前述(a)式の位相関数の位相係数を与えることで表している。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、Rを近軸曲率半径、kを離心率、A4、A6、A8、A10を各々非球面係数としたとき、

## 【0130】

## 【数2】

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

20

30

## 【0131】

なる式で表している。数値実施例1、2、5ではそれぞれUV硬化樹脂1を単体で用いている。また、数値実施例6ではN-ポリビニルカルバゾールを単体で用いている。数値実施例3、4及び7ではTiO<sub>2</sub>をホストポリマーに分散させた状態で用いており、TiO<sub>2</sub>微粒子分散材料の屈折率は、前述の(A)式を用いて計算した値を用いて算出している。数値実施例3ではホストポリマーとしてUV硬化樹脂1を用いており、TiO<sub>2</sub>の体積分率は20%である。数値実施例4及び7ではホストポリマーとしてUV硬化樹脂2を用いており、TiO<sub>2</sub>の体積分率はそれぞれ20%及び3%である。そして、前述の各条件式と数値実施例における諸数値との関係を(表-3)に示す。

40

## 【0132】

## (数値実施例1)

$$f = 293.50\text{mm} \quad fno = 2.91 \quad A_2 = 8.44$$

面番号	$r$	$d$	$n_d$	$d$	有効径	$gF$	比重
1(非球面)	86.799	17.42	1.48749	70.2	100.86	0.5300	2.46
2	1170.174	57.54			99.75		
3(非球面)	95.497	10.28	1.48749	70.2	62.26	0.5300	2.46
4(回折)	-163.525	0.50	1.63555	22.7	60.68	0.6890	N L
5	-139.346	2.80	1.80518	25.4	60.68	0.6161	3.37
6	-4169.808	13.00			58.22		

50

7	-3960.048	2.10	1.48749	70.2	47.96	0.5300	2.46
8	49.618	38.66			44.24		
9(絞り)		8.51			34.90		
10	122.383	1.80	1.84666	23.8	32.40	0.6205	3.54
11	37.899	7.58	1.72000	50.2	32.27	0.5521	3.86
12	-138.202	0.95			32.38		
13	133.119	4.25	1.84666	23.8	32.08	0.6205	3.54
14	-168.053	1.65	1.60311	60.6	31.65	0.5415	3.43
15	33.273	6.05			30.30		
16	-62.910	1.60	1.77250	49.6	30.44	0.5520	4.23
17	138.723	2.82			32.04		
18(フレアカット)		0.00			33.76		
19	79.073	9.30	1.61340	44.3	35.61	0.5633	2.93
20	-45.556	2.00	1.59282	68.6	36.71	0.5441	4.20
21	-281.212	3.80			38.35		
22	114.450	6.40	1.61340	44.3	41.01	0.5633	2.93
23	-164.077	8.00			41.38		
24		2.00	1.51633	64.1	41.64	0.5353	2.52
25					41.68		

20

## 非球面データ

## 第1面

$$k = -7.04052 \times 10^{-1} \quad A_4 = 1.09837 \times 10^{-7} \quad A_6 = 9.51229 \times 10^{-12}$$

$$A_8 = 1.71280 \times 10^{-16} \quad A_{10} = 4.87447 \times 10^{-20} \quad A_{12} = 4.86819 \times 10^{-23}$$

$$A_{14} = -7.52648 \times 10^{-27}$$

## 第3面

$$k = 4.45667 \quad A_4 = -9.89916 \times 10^{-7} \quad A_6 = -3.40225 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = -2.60640 \times 10^{-15} \quad A_{10} = -2.16948 \times 10^{-16} \quad A_{12} = 1.56988 \times 10^{-19}$$

$$A_{14} = -8.32594 \times 10^{-23}$$

30

## 回折光学素子位相係数データ

## 第4面(回折面)

$$C_2 = -1.10389 \times 10^{-4} \quad C_4 = 1.08361 \times 10^{-8} \quad C_6 = 7.38540 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -8.27060 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 3.92066 \times 10^{-18}$$

焦点距離	293.50
Fナンバー	2.91
画角	4.22
像高	21.64
レンズ全長	265.45
BF	56.45

40

入射瞳位置	442.85
射出瞳位置	-68.29
前側主点位置	45.83
後側主点位置	-237.04

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	133.72	88.54	29.90	-58.69

50

L1a	1	191.31	17.42	-0.93	-12.58
L1b	3	289.30	13.58	-3.42	-12.07
L2	7	-100.51	2.10	1.39	-0.02
L3	9	324.78	66.71	65.95	14.47
L31	9	115.07	17.88	11.37	-2.60
L32	13	-35.02	13.55	8.28	-2.03
L33	18	54.93	31.49	7.08	-17.74

## 単レンズデータ

レンズ 始面 焦点距離

1	1	191.31
2	3	122.04
3	4	1110.78
4	5	-179.10
5	7	-100.51
6	10	-65.48
7	11	42.07
8	13	88.30
9	14	-45.91
10	16	-55.84
11	19	48.50
12	20	-91.99
13	22	110.88
14	24	0.00

10

## 【0133】

(数値実施例2)

f= 293.50mm Fno= 2.91 2 = 8.44

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	比重	
1(非球面)	80.257	18.49	1.48749	70.2	100.86	0.5300	2.46	
2	479.585	67.00			99.20			
3(非球面)	-1230.935	2.80	1.84666	23.8	59.00	0.6205	3.54	
4	152.595	1.50	1.63555	22.7	57.42	0.6890		N L
5(回折)	214.663	4.89	1.51742	52.4	57.25	0.5564	2.46	
6	650.827	30.05			56.39			
7(非球面)	85.844	5.00	1.57135	53.0	45.87	0.5553	2.98	
8	213.266	11.06			44.63			
9(絞り)		8.51			39.43			
10	291.471	1.80	1.84666	23.8	34.68	0.6205	3.54	
11	41.386	6.23	1.72000	50.2	33.80	0.5521	3.86	
12	-432.721	0.95			33.70			
13	182.284	4.25	1.84666	23.8	33.43	0.6205	3.54	
14	-70.642	1.65	1.60311	60.6	33.19	0.5415	3.43	
15	46.279	5.54			31.54			
16	-63.470	1.60	1.77250	49.6	31.55	0.5520	4.23	
17	83.612	2.82			32.76			
18(フレアカット)		5.16			33.72			
19	149.490	9.30	1.61340	44.3	38.84	0.5633	2.93	
20	-53.659	2.00	1.59282	68.6	40.30	0.5441	4.20	
21	-125.077	3.18			41.77			

10

20

30

40

50

22(非球面)	124.989	5.22	1.61772	49.8	44.25	0.5603	3.23
23	-202.204	8.00			44.40		
24		2.00	1.51633	64.1	44.27	0.5353	2.52
25					44.25		

## 非球面データ

## 第1面

$$k = -1.33140 \quad A_4 = 3.05055 \times 10^{-7} \quad A_6 = 8.38719 \times 10^{-12}$$

$$A_8 = 7.73582 \times 10^{-15} \quad A_{10} = -2.61414 \times 10^{-18} \quad A_{12} = 6.08616 \times 10^{-22}$$

$$A_{14} = -4.38169 \times 10^{-26} \quad 10$$

## 第3面

$$k = 7.06927 \times 10^2 \quad A_4 = -4.30619 \times 10^{-7} \quad A_6 = 5.17360 \times 10^{-11}$$

$$A_8 = -2.90910 \times 10^{-13} \quad A_{10} = 4.28669 \times 10^{-16} \quad A_{12} = -3.04311 \times 10^{-19}$$

$$A_{14} = 8.60493 \times 10^{-23}$$

## 第7面

$$k = 4.86641 \quad A_4 = -9.16281 \times 10^{-7} \quad A_6 = -1.94715 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = -6.50810 \times 10^{-13} \quad 20$$

## 第22面

$$k = 4.46350 \quad A_4 = -2.61816 \times 10^{-7} \quad A_6 = 9.35868 \times 10^{-11}$$

$$A_8 = -1.36162 \times 10^{-13} \quad 20$$

## 回折光学素子位相係数データ

## 第5面(回折面)

$$C_2 = -9.42827 \times 10^{-5} \quad C_4 = -1.37064 \times 10^{-8} \quad C_6 = 5.28315 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -8.88149 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 4.19535 \times 10^{-17}$$

焦点距離 293.50

Fナンバー 2.91

画角 4.22

像高 21.64

レンズ全長 274.07

BF 65.07

入射瞳位置 355.18

射出瞳位置 -78.32

前側主点位置 47.92

後側主点位置 -228.43

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	303.72	94.68	-85.12	-134.35
L1a	1	194.77	18.49	-2.46	-14.70
L1b	3	-308.72	9.19	2.31	-3.33
L2	7	247.93	5.00	-2.11	-5.25
L3	9	-606.04	68.22	-132.96	-248.64
L31	9	660.97	16.53	11.60	-1.52
L32	13	-37.83	13.04	9.04	-0.85
L33	18	60.70	34.86	12.76	-15.54

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	194.77
2	3	-160.20
3	4	712.54
4	5	552.31
5	7	247.93
6	10	-57.16
7	11	52.75
8	13	60.60
9	14	-46.12
10	16	-46.49
11	19	65.51
12	20	-160.19
13	22	125.81
14	24	0.00

10

## 【 0 1 3 4 】

( 数値実施例 3 )

f = 195.47mm Fno = 2.05 2 = 12.64

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	比重	20
1(非球面)	74.436	20.65	1.48749	70.2	98.47	0.5300	2.46	
2	596.019	37.00			95.79			
3(非球面)	71.314	12.00	1.48749	70.2	63.70	0.5300	2.46	
4	-495.173	1.50	1.78927	17.6	60.57	0.7940		N L
5(回折)	-322.110	4.00	1.80809	22.8	60.02	0.6307	3.29	
6	264.782	3.10			56.21			
7(フレアカット)		4.50			54.84			
8	652.539	2.84	1.80809	22.8	50.56	0.6307	3.29	
9	-326.330	3.00	1.72916	54.7	49.88	0.5444	4.18	
10	49.503	25.99			45.03			30
11(絞り)		4.44			41.45			
12(非球面)	83.885	2.10	1.80809	22.8	40.24	0.6307	3.29	
13	59.752	7.20	1.77250	49.6	39.29	0.5520	4.23	
14	1544.962	2.89			38.03			
15	261.072	1.75	1.69680	55.5	36.13	0.5434	3.70	
16	58.113	4.73			34.70			
17	-79.915	4.92	1.84666	23.8	34.66	0.6191	3.50	
18	-41.626	1.80	1.54072	47.2	34.93	0.5651	2.52	
19	84.513	3.12			34.36			
20	101.663	6.54	1.78800	47.4	36.04	0.5559	4.30	40
21	-57.108	2.00	1.80809	22.8	36.54	0.6307	3.29	
22	-272.172	0.20			37.68			
23	77.436	4.74	1.80000	29.8	38.89	0.6017	3.68	
24	229.569	3.40			38.77			
25		2.20	1.51633	64.1	38.96	0.5353	2.52	
26					39.06			

非球面データ

第1面

k =  $2.74083 \times 10^{-1}$  A<sub>4</sub> =  $-7.98932 \times 10^{-8}$  A<sub>6</sub> =  $-1.80103 \times 10^{-11}$ 

50

$$A_8 = -3.45214 \times 10^{-15} \quad A_{10} = -1.93575 \times 10^{-18} \quad A_{12} = 7.25251 \times 10^{-22}$$

$$A_{14} = -2.30955 \times 10^{-25}$$

## 第3面

$$k = 7.70173 \times 10^{-1} \quad A_4 = -8.19748 \times 10^{-7} \quad A_6 = -2.86457 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = -6.31127 \times 10^{-14} \quad A_{10} = -7.04668 \times 10^{-17} \quad A_{12} = 4.05331 \times 10^{-20}$$

$$A_{14} = -1.03338 \times 10^{-23}$$

## 第12面

$$k = 1.48193 \quad A_4 = -1.01444 \times 10^{-8} \quad A_6 = -3.36115 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = 1.88115 \times 10^{-12} \quad A_{10} = -4.07555 \times 10^{-15} \quad A_{12} = 2.82620 \times 10^{-18}$$

10

## 回折光学素子位相係数データ

## 第5面(回折面)

$$C_2 = -8.71428 \times 10^{-5} \quad C_4 = 5.59826 \times 10^{-9} \quad C_6 = -1.89705 \times 10^{-11}$$

焦点距離	195.47	
Fナンバー	2.05	
画角	6.32	
像高	21.64	
レンズ全長	226.51	20
BF	59.90	

入射瞳位置 266.50

射出瞳位置 -49.47

前側主点位置 112.60

後側主点位置 -135.57

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置	
L1	1	117.46	75.14	15.86	-49.55	30
L1a	1	172.25	20.65	-1.96	-15.66	
L1b	3	278.67	17.50	-10.39	-20.73	
L2	7	-75.85	10.34	8.17	0.34	
L3	11	123.02	52.03	29.14	-11.29	
L31	11	116.71	13.74	4.05	-5.59	
L32	15	-51.63	13.20	3.79	-5.66	
L33	20	58.69	19.08	2.24	-10.24	

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離	
1	1	172.25	40
2	3	128.77	
3	4	923.84	
4	5	-185.11	
5	8	269.55	
6	9	-58.75	
7	12	-267.42	
8	13	80.29	
9	15	-107.66	
10	17	96.90	50

11	18	-51.32
12	20	47.26
13	21	-89.81
14	23	144.07
15	25	0.00

## 【 0 1 3 5 】

( 数値実施例 4 )

$$f = 390.39 \text{ mm} \quad Fno = 2.90 \quad 2 = 6.34$$

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	比重	10
1(非球面)	125.222	23.48	1.48749	70.2	134.62	0.5300	2.46	
2	2501.770	85.00			132.66			
3(非球面)	141.911	10.33	1.52249	59.8	82.46	0.5440	2.49	
4	-1255.204	2.00	1.70877	21.6	80.28	0.8170	N L	
5(回折)	-439.172	3.00	1.80809	22.8	79.91	0.6307	3.29	
6	834.723	13.51			77.38			
7	334.440	5.25	1.80809	22.8	66.63	0.6307	3.29	
8	-989.979	3.20	1.88300	40.8	65.13	0.5667	5.52	
9(非球面)	90.016	85.69			60.85			
10(絞り)		14.60			40.70			20
11	-6387.585	1.80	1.80809	22.8	37.04	0.6307	3.29	
12	60.384	8.07	1.75700	47.8	36.43	0.5565	4.08	
13	-146.918	4.62			36.87			
14	71.558	6.16	1.84666	23.9	36.86	0.6218	3.78	
15	-150.033	1.70	1.60562	43.7	36.21	0.5721	2.91	
16	34.545	6.05			33.90			
17	-99.225	1.80	1.80400	46.6	33.92	0.5571	4.76	
18	94.061	2.85			35.11			
19(非球面)	148.473	5.27	1.69895	30.1	37.06	0.6030	2.96	
20	-212.785	0.20			38.17			30
21	51.465	3.00	1.84666	23.9	40.55	0.6218	3.78	
22	38.256	8.00	1.62004	36.3	39.83	0.5879	2.69	
23	321.333	15.00			39.78			
24		2.20	1.51633	64.1	40.49	0.5353	2.52	
25					40.56			

## 非球面データ

## 第1面

$$k = -4.43167 \times 10^{-1} \quad A_4 = 1.61268 \times 10^{-8} \quad A_6 = 9.42310 \times 10^{-13}$$

$$A_8 = -6.75801 \times 10^{-17} \quad A_{10} = 8.58410 \times 10^{-21}$$

40

## 第3面

$$k = -7.08791 \quad A_4 = 1.84605 \times 10^{-7} \quad A_6 = -6.59868 \times 10^{-11}$$

$$A_8 = 1.54827 \times 10^{-14} \quad A_{10} = -3.87964 \times 10^{-18} \quad A_{12} = 3.38607 \times 10^{-22}$$

## 第9面

$$k = 1.34573 \quad A_4 = -1.80792 \times 10^{-7} \quad A_6 = -6.36440 \times 10^{-11}$$

$$A_8 = 2.27896 \times 10^{-14} \quad A_{10} = -1.62800 \times 10^{-17}$$

## 第19面

$$k = -4.32469 \quad A_4 = 2.20868 \times 10^{-7} \quad A_6 = 1.49483 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = -9.07192 \times 10^{-13} \quad A_{10} = 1.19746 \times 10^{-15}$$

50

## 回折光学素子位相係数データ

第5面(回折面)

$$C_2 = -6.06867 \times 10^{-5} \quad C_4 = 1.42322 \times 10^{-9} \quad C_6 = -8.05073 \times 10^{-13}$$

焦点距離	390.39	
Fナンバー	2.90	
画角	3.17	
像高	21.64	
レンズ全長	367.55	
BF	54.78	10

入射瞳位置	882.95
射出瞳位置	-69.46
前側主点位置	46.61
後側主点位置	-335.61

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置	
L1	1	186.88	123.81	46.00	-81.11	
L1a	1	269.53	23.48	-0.83	-16.56	20
L1b	3	389.00	15.33	-4.08	-13.53	
L2	7	-135.86	8.45	6.16	1.49	
L3	10	399.28	81.32	28.34	-38.95	
L31	10	237.90	24.47	21.26	1.09	
L32	14	-51.57	15.70	13.53	1.19	
L33	19	59.22	33.67	1.03	-25.15	

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離	
1	1	269.53	30
2	3	244.64	
3	4	803.96	
4	5	-371.81	
5	7	309.90	
6	8	-93.32	
7	11	-74.01	
8	12	57.50	
9	14	57.96	
10	15	-46.20	
11	17	-59.81	40
12	19	125.88	
13	21	-196.50	
14	22	69.29	
15	24	0.00	

【0 1 3 6】

(数値実施例5)

$$f = 584.84 \text{mm} \quad Fno = 4.12 \quad 2 = 4.24$$

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	比重	
1(非球面)	133.427	24.67	1.48749	70.2	141.95	0.5300	2.46	50

2	-1019.993	2.00	1.63555	22.7	141.03	0.6890	N L	
3	-586.946	5.80	1.80809	22.8	140.97	0.6307	3.29	
4	-1412.474	130.00			138.76			
5(非球面)	642.329	7.00	1.48749	70.2	62.09	0.5300	2.46	
6(回折)	-213.297	5.00	1.80809	22.8	60.38	0.6307	3.29	
7	-2512.873	26.05			58.44			
8	-8474.083	3.60	1.58144	40.8	44.41	0.5774	2.59	
9	90.900	49.00			42.39			
10(絞り)		7.01			31.05			
11	-803.223	2.00	1.84666	23.8	29.37	0.6205	3.54	10
12	33.607	8.17	1.61340	44.3	28.76	0.5633	2.93	
13	-65.822	1.98			28.78			
14	-78.420	3.66	1.84666	23.8	28.15	0.6205	3.54	
15	-33.715	1.65	1.60311	60.6	28.19	0.5415	3.43	
16	-199.945	2.00			28.55			
17	-70.848	1.60	1.80400	46.6	28.68	0.5571	4.76	
18	87.764	3.55			29.76			
19	75.353	5.30	1.69895	30.1	33.05	0.6030	2.96	
20	-111.716	12.85			33.58			
21	207.345	4.00	1.69895	30.1	36.45	0.6030	2.96	20
22	-5036.360	14.00			36.58			
23		2.00	1.51633	64.1	45.00	0.5353	2.52	
24					45.00			

## 非球面データ

## 第1面

$$k = 1.72083 \times 10^{-2} \quad A_4 = -2.19607 \times 10^{-8} \quad A_6 = -1.56152 \times 10^{-12}$$

$$A_8 = 1.38863 \times 10^{-16} \quad A_{10} = -3.17443 \times 10^{-20} \quad A_{12} = 1.62842 \times 10^{-24}$$

$$A_{14} = 2.03719 \times 10^{-30}$$

## 第5面

$$k = 9.37997 \times 10^1 \quad A_4 = -2.48472 \times 10^{-7} \quad A_6 = 3.84656 \times 10^{-11}$$

$$A_8 = -7.30184 \times 10^{-14} \quad A_{10} = 3.15535 \times 10^{-17} \quad A_{12} = 2.12258 \times 10^{-20}$$

$$A_{14} = -1.64997 \times 10^{-23}$$

## 回折光学素子位相係数データ

## 第6面(回折面)

$$C_2 = -1.00227 \times 10^{-4} \quad C_4 = 1.95086 \times 10^{-9} \quad C_6 = -3.95065 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 7.11598 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -3.56779 \times 10^{-18}$$

焦点距離	584.84	40
Fナンバー	4.12	
画角	2.12	
像高	21.64	
レンズ全長	414.25	
BF	91.37	

入射瞳位置 1378.03

射出瞳位置 -71.23

前側主点位置 -140.62

後側主点位置 -493.47

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	270.95	174.47	-8.71	-161.14
L1a	1	265.15	32.47	1.17	-19.96
L1b	5	-4584.37	12.00	17.06	9.54
L2	8	-154.65	3.60	2.25	-0.02
L3	10	600.52	69.77	135.57	103.87
L31	10	586.74	17.18	36.42	24.45
L32	14	-46.60	8.90	4.03	-1.69
L33	19	55.37	38.16	4.15	-30.19

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	243.75
2	2	2171.35
3	3	-1246.67
4	5	309.02
5	6	-306.43
6	8	-154.65
7	11	-38.06
8	12	37.44
9	14	67.33
10	15	-67.49
11	17	-48.54
12	19	65.14
13	21	285.01
14	23	0.00

( 0 1 3 7 )

### ( 数值实施例 6 )

f = 293.49mm Fno = 2.91 2 = 8.44

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	比重
1(非球面)	104.777	12.76	1.51742	52.4	100.86	0.5564	2.46
2	400.975	2.50	1.69591	17.7	99.70	0.6860	N L
3(回折)	1255.347	3.00	1.51742	52.4	99.58	0.5564	2.46
4	-2040.282	61.14			99.08		
5(非球面)	215.633	8.65	1.51742	52.4	61.84	0.5564	2.46
6	-135.124	2.80	1.92286	18.9	60.35	0.6495	3.58
7	-234.673	11.55			59.25		
8	731.125	2.10	1.59551	39.2	48.37	0.5803	2.63
9	55.221	34.47			45.12		
10(絞り)		8.51			36.92		
11	104.882	1.80	1.80809	22.8	34.18	0.6307	3.29
12	41.625	7.34	1.72916	54.7	33.80	0.5444	4.18
13	-202.335	0.95			33.73		
14	113.601	4.25	1.84666	23.8	33.26	0.6205	3.54
15	-116.377	1.65	1.59282	68.6	32.84	0.5441	4.20
16	38.307	5.77			30.97		
17	-85.387	1.60	1.83481	42.7	30.99	0.5642	4.73

18	63.456	2.82			31.90		
19(フレアカット)		0.00			32.59		
20	82.169	9.30	1.60342	38.0	34.16	0.5835	2.63
21	-37.813	2.00	1.59282	68.6	35.20	0.5441	4.20
22	-288.823	5.14			37.05		
23	59.214	7.67	1.43387	95.1	41.23	0.5373	3.18
24	-279.556	8.00			41.43		
25		2.00	1.51633	64.1	41.68		
26					41.71		

10

## 非球面データ

## 第1面

$$k = -1.35291 \quad A_4 = 9.07903 \times 10^{-8} \quad A_6 = -5.83046 \times 10^{-12}$$

$$A_8 = 1.03395 \times 10^{-15} \quad A_{10} = 8.95844 \times 10^{-19} \quad A_{12} = -4.71863 \times 10^{-22}$$

$$A_{14} = 6.36776 \times 10^{-26}$$

## 第5面

$$k = 6.14584 \quad A_4 = -3.78674 \times 10^{-7} \quad A_6 = 6.15984 \times 10^{-11}$$

$$A_8 = -1.03031 \times 10^{-13} \quad A_{10} = 1.40254 \times 10^{-16} \quad A_{12} = -1.05336 \times 10^{-19}$$

$$A_{14} = 3.29441 \times 10^{-23}$$

20

## 回折光学素子位相係数データ

## 第3面(回折面)

$$C_2 = -4.79606 \times 10^{-5} \quad C_4 = 5.15707 \times 10^{-9} \quad C_6 = -2.52893 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 1.19413 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -1.82457 \times 10^{-19}$$

焦点距離	293.49
Fナンバー	2.91
画角	4.22
像高	21.64
レンズ全長	262.73
BF	54.94

30

入射瞳位置	403.11
射出瞳位置	-66.55
前側主点位置	-12.40
後側主点位置	-238.55

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	133.93	90.86	34.61	-59.65
L1a	1	180.90	18.26	1.09	-10.84
L1b	5	301.02	11.45	3.35	-3.87
L2	8	-100.42	2.10	1.43	0.11
L3	10	400.43	68.81	54.32	-3.70
L31	10	107.41	17.65	10.34	-3.48
L32	14	-34.88	13.27	9.58	-0.62
L33	19	57.46	34.11	7.53	-20.10

40

## 単レンズデータ

## レンズ 始面 焦点距離

50

1	1	270.16						
2	2	802.90						
3	3	1313.31						
4	5	161.91						
5	6	-349.88						
6	8	-100.42						
7	11	-86.50						
8	12	47.95						
9	14	68.48						
10	15	-48.42						10
11	17	-43.39						
12	20	44.20						
13	21	-73.61						
14	23	113.40						
15	25	0.00						

## 【 0 1 3 8 】

( 数値実施例 7 )

$$f = 390.10 \text{mm} \quad Fno = 2.90 \quad 2 = 6.34$$

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	比重	20
1(非球面)	130.753	23.93	1.52249	59.8	134.52	0.5440	2.49	
2(回折)	-4986.263	5.50	1.92286	18.9	132.58	0.6495	3.58	
3		80.00			130.76			
4(非球面)	116.970	11.85	1.51742	52.4	78.47	0.5564	2.46	
5	-426.615	1.70	1.55324	39.8	76.19	0.6650	N L	
6	-225.276	3.00	1.74077	27.8	76.09	0.6095	3.10	
7	305.842	22.70			72.07			
8	1475.657	3.60	1.80809	22.8	58.06	0.6307	3.29	
9	-319.286	3.20	1.88300	40.8	57.30	0.5667	5.52	
10(非球面)	104.100	80.28			54.42			30
11(絞り)		5.67			40.55			
12	133.801	2.18	1.84666	23.8	39.26	0.6191	3.50	
13	59.035	8.63	1.65160	58.5	38.34	0.5425	3.73	
14	-129.184	11.59			37.60			
15	120.042	5.12	1.84666	23.8	33.66	0.6205	3.54	
16	-99.623	1.90	1.72000	50.2	33.24	0.5521	3.86	
17	37.620	4.28			31.86			
18	-249.579	1.67	1.88300	40.8	31.94	0.5667	5.52	
19	87.083	2.70			32.83			
20	71.942	5.50	1.75520	27.5	35.86	0.6103	3.15	40
21	-913.646	4.85			36.54			
22(非球面)	44.669	6.98	1.76200	40.1	40.00	0.5765	4.22	
23	913.315	1.87	1.80809	22.8	39.45	0.6307	3.29	
24	71.162	3.00			38.56			
25		2.20	1.48749	70.2	38.58	0.5300	2.46	
26					38.69			

非球面データ

第1面

$$k = 3.10997 \times 10^{-1} \quad A_4 = -1.88211 \times 10^{-8} \quad A_6 = -1.63207 \times 10^{-12}$$

$$A_8 = -8.69191 \times 10^{-17} \quad A_{1_0} = -4.64788 \times 10^{-21} \quad A_{1_2} = -2.75696 \times 10^{-24}$$

$$A_{1_4} = 2.40295 \times 10^{-28}$$

第4面

$$k = -7.21555 \times 10^{-1} \quad A_4 = -5.31484 \times 10^{-8} \quad A_6 = -2.35702 \times 10^{-11}$$

$$A_8 = -6.48716 \times 10^{-17} \quad A_{1_0} = 1.12513 \times 10^{-18} \quad A_{1_2} = 1.38670 \times 10^{-22}$$

$$A_{1_4} = -2.35317 \times 10^{-25}$$

第10面

$$k = -9.18761 \times 10^{-1} \quad A_4 = 1.66322 \times 10^{-7} \quad A_6 = -4.12914 \times 10^{-12}$$

$$A_8 = -2.47961 \times 10^{-14} \quad A_{1_0} = 9.74885 \times 10^{-17} \quad A_{1_2} = -5.30167 \times 10^{-20}$$

$$A_{1_4} = -4.77088 \times 10^{-24}$$

10

第22面

$$k = -3.74658 \times 10^{-1} \quad A_4 = -2.56192 \times 10^{-7} \quad A_6 = 1.06635 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -8.09059 \times 10^{-12} \quad A_{1_0} = 2.93722 \times 10^{-14} \quad A_{1_2} = -5.00137 \times 10^{-17}$$

$$A_{1_4} = 3.25128 \times 10^{-20}$$

## 回折光学素子位相係数データ

第2面(回折面)

$$C_2 = -2.35220 \times 10^{-5} \quad C_4 = 5.66764 \times 10^{-10} \quad C_6 = -2.51468 \times 10^{-14}$$

焦点距離	390.10
Fナンバー	2.90
画角	3.17
像高	21.64
レンズ全長	364.18
BF	60.28

20

入射瞳位置	984.84
射出瞳位置	-53.29
前側主点位置	35.02
後側主点位置	-329.82

30

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	206.69	125.98	17.72	-95.25
L1a	1	252.47	29.43	-0.15	-18.72
L1b	4	819.72	16.55	-27.85	-37.23
L2	8	-122.62	6.80	3.90	0.20
L3	11	271.30	68.13	0.06	-53.23
L31	11	125.40	16.48	9.24	-2.93
L32	15	-41.15	12.97	8.07	-1.14
L33	20	55.36	24.39	-0.01	-16.76

40

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	241.64
2	2	-7020.44
3	4	178.75
4	5	868.65
5	6	-174.70
6	8	325.12

50

7	9	-88.59
8	12	-126.48
9	13	63.33
10	15	65.00
11	16	-37.71
12	18	-72.94
13	20	88.52
14	22	61.42
15	23	-95.60
16	25	0.00

10

【0 1 3 9】

【表1】

表-1

	数値実施例1, 2, 5	数値実施例3	数値実施例4	数値実施例6	数値実施例7
	UV硬化樹脂1	TiO <sub>2</sub> 20% UV硬化樹脂1	TiO <sub>2</sub> 20% UV硬化樹脂2	N-ボリビニル カルバゾール	TiO <sub>2</sub> 3% UV硬化樹脂2
d線屈折率	1.63555	1.78927	1.70877	1.69591	1.55324
g線屈折率	1.67532	1.85809	1.75988	1.75164	1.57249
C線屈折率	1.62807	1.77777	1.70033	1.68528	1.54936
F線屈折率	1.65604	1.82254	1.7331	1.72465	1.56326
$\nu d$	22.7	17.6	21.6	17.7	39.8
$\theta gF$	0.689	0.794	0.817	0.686	0.665

表-2

	UV硬化樹脂2	TiO <sub>2</sub>
d線屈折率	1.52415	2.30377
g線屈折率	1.53706	2.45676
C線屈折率	1.52116	2.28032
F線屈折率	1.53133	2.37452
$\nu d$	51.6	13.8
$\theta gF$	0.563	0.873

20

表-3

	数値実施例1	数値実施例2	数値実施例3	数値実施例4	数値実施例5	数値実施例6	数値実施例7
条件式(1)	373	47	458	210	148	505	432
条件式(2)	0.0647	0.0647	0.1505	0.1887	0.0647	0.0429	0.0902
条件式(3)	1.48749	1.48749	1.48749	1.48749	1.48749	1.51742	1.52249
	1.48749	1.84666	1.48749	1.52249	1.80810	1.51742	1.92286
	1.80518	1.51742	1.80810	1.80810	1.48749	1.51742	1.51742
	--	--	--	--	1.80810	1.92286	1.74077
条件式(4)	70.2	70.2	70.2	70.2	70.2	52.4	59.8
	70.2	52.4	70.2	59.8	70.2	52.4	52.4
	--	--	--	--	--	52.4	--
条件式(5)	25.4	23.8	22.8	22.8	22.8	18.9	18.9
	--	--	--	--	22.8	--	27.8
条件式(6)	22.7	22.7	17.6	21.6	22.7	17.7	39.8
条件式(7)	0.0745	0.0840	0.0797	0.0797	0.0762	0.0800	0.0757
条件式(8)	0.661	-0.631	0.618	0.693	-0.058	0.601	0.308
条件式(9)	15.4	18.1	29.4	21.1	8.5	35.5	54.5
条件式(10)	3.1	6.4	5.2	9.2	2.3	12.0	24.5
条件式(11)	0.527	0.518	0.554	0.499	0.535	0.558	0.533
条件式(12)	0.0471	0.1223	0.0630	0.0521	0.0551	0.0530	0.0579
条件式(13)	1.33	1.23	1.55	1.38	1.75	1.33	1.69
条件式(14)	0.31	0.41	0.62	0.34	0.26	0.25	0.45
条件式(15)	0.34	0.84	0.39	0.35	0.26	0.34	0.31
条件式(16)	1.11	2.06	0.63	1.02	1.03	1.36	0.70
条件式(17)	0.39	2.25	0.60	0.61	1.00	0.37	0.32
条件式(18)	-0.12	-0.13	-0.26	-0.13	-0.08	-0.12	-0.11
条件式(19)	0.19	0.21	0.30	0.15	0.09	0.20	0.14

40

50

**【 0 1 4 0 】**

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

**【 0 1 4 1 】**

次に本発明の撮影光学系を撮像装置（カメラシステム）に適用した実施例を図10を用いて説明する。図10が一眼レフカメラの要部概略図である。図10において、28は実施例1～7のいずれか1つの撮影光学系21を有するレンズ鏡筒である。撮影光学系21は保持部材である鏡筒22に保持されている。29はカメラ本体である。カメラ本体29はレンズ鏡筒28からの光束を上方に反射するクイックリターンミラー23、撮影光学系21の像形成位置に配置された焦点板24、焦点板24に形成された逆像を正立像に変換するペントダハプリズム25を有している。10

**【 0 1 4 2 】**

更に、その正立像を観察するための接眼レンズ26等によって構成されている。27は感光面であり、CCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）や銀塩フィルムが配置される。撮影時にはクイックリターンミラー23が光路から退避して、感光面27上に撮影光学系21によって像が形成される。このように実施例1～7の撮影光学系を写真用カメラや、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等に適用することにより、軽量で高い光学性能を有する撮像装置を実現することができる。

**【 符号の説明 】****【 0 1 4 3 】**

L0は撮影光学系 L1は第1レンズ群 L2は第2レンズ群 L3は第3レンズ群20

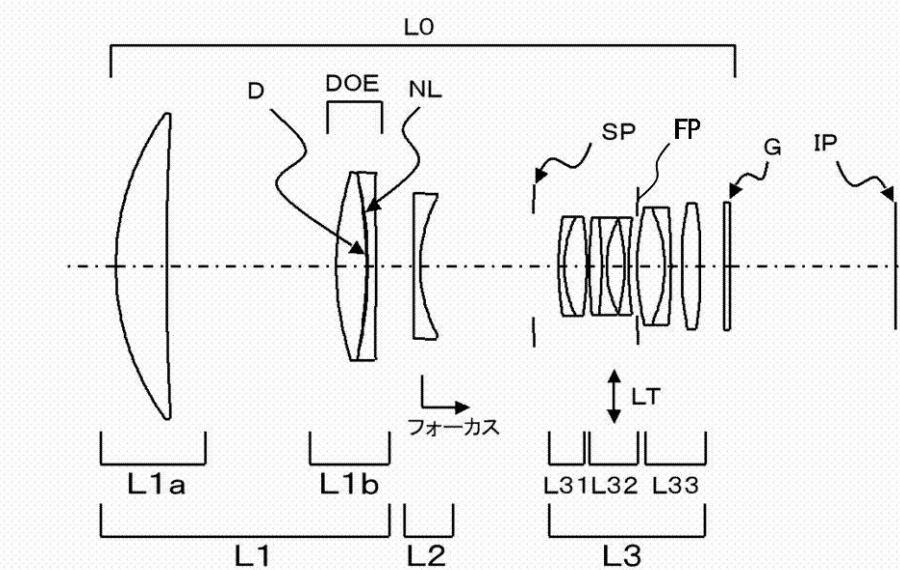
L1aは第1aレンズ群 L1bは第1bレンズ群

L31は第31レンズ群 L32は第32レンズ群 L33は第33レンズ群

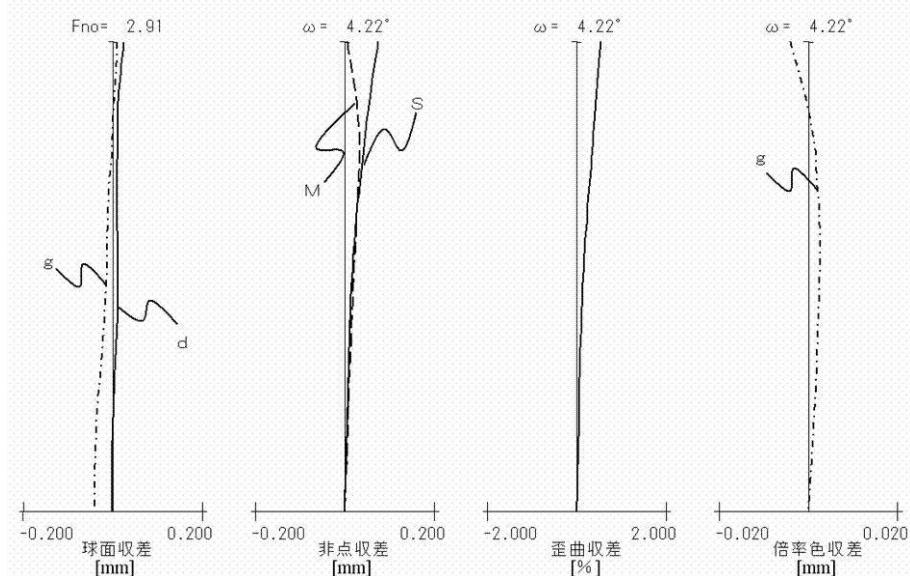
S Pは開口絞り D O Eは回折光学素子 N Lは固体材料からなる光学素子

【図1】

(A)

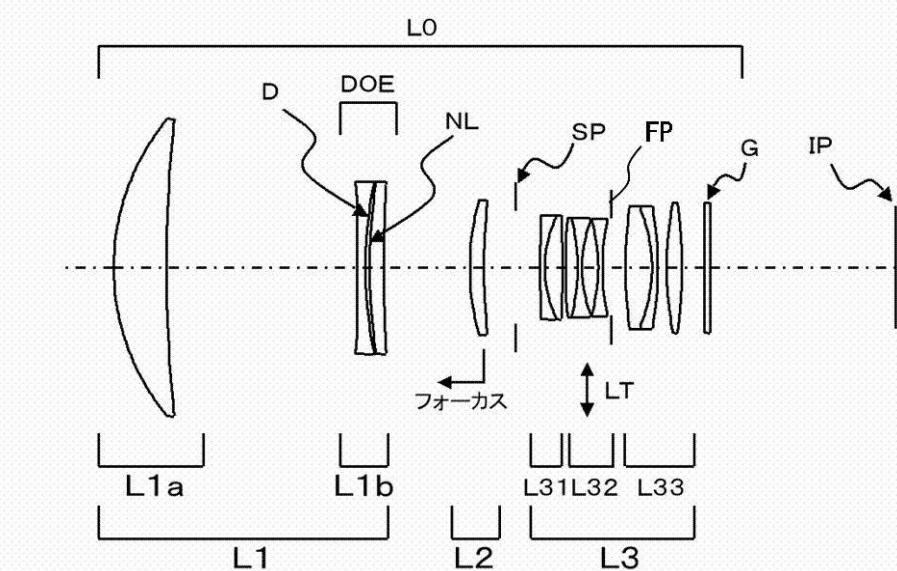


(B)

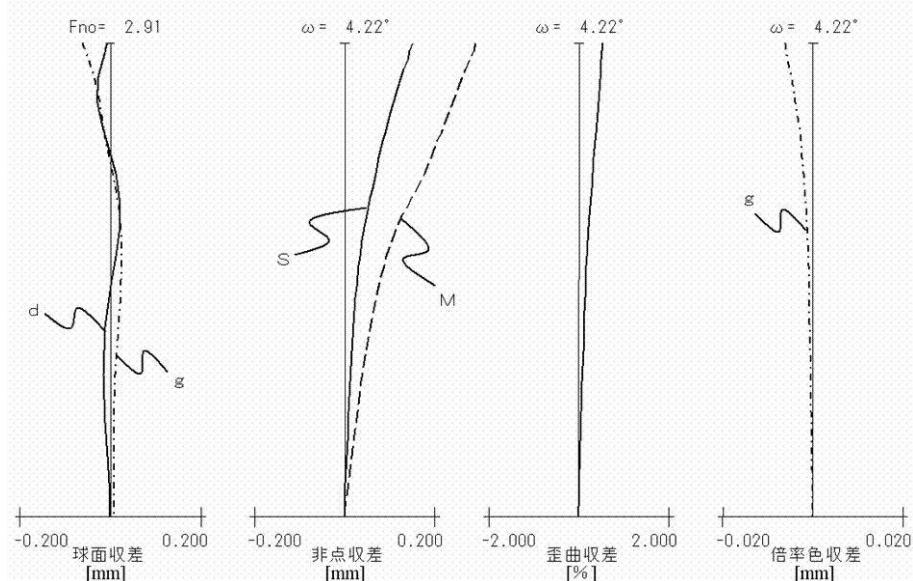


【図2】

(A)

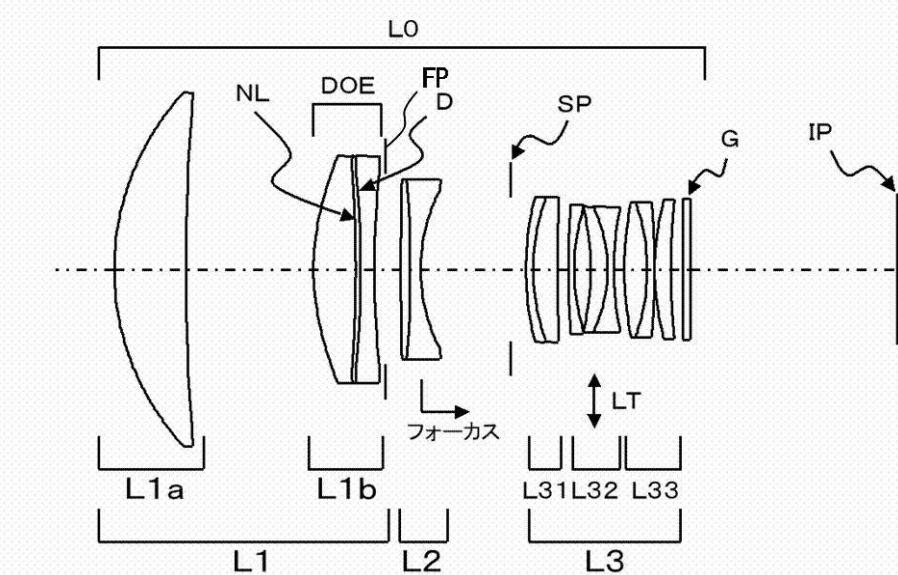


(B)

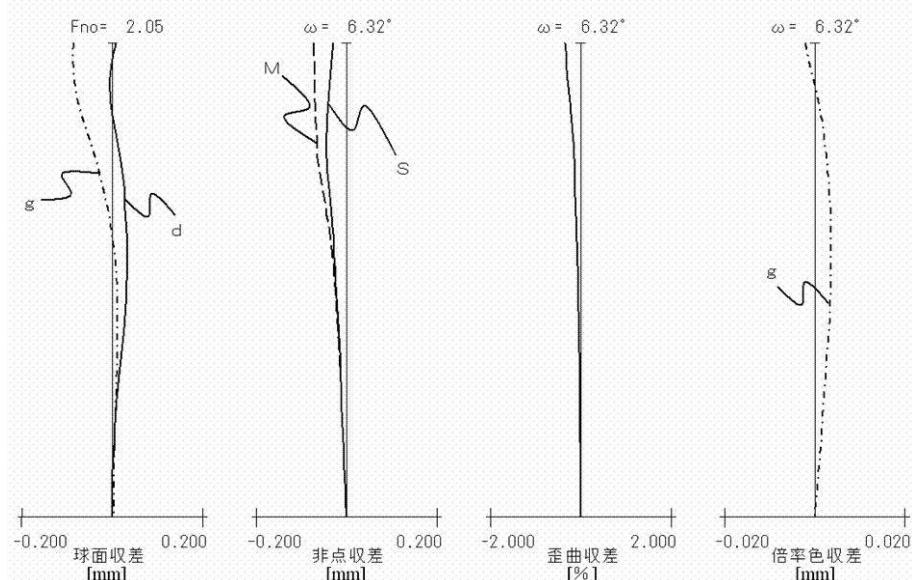


【図3】

(A)

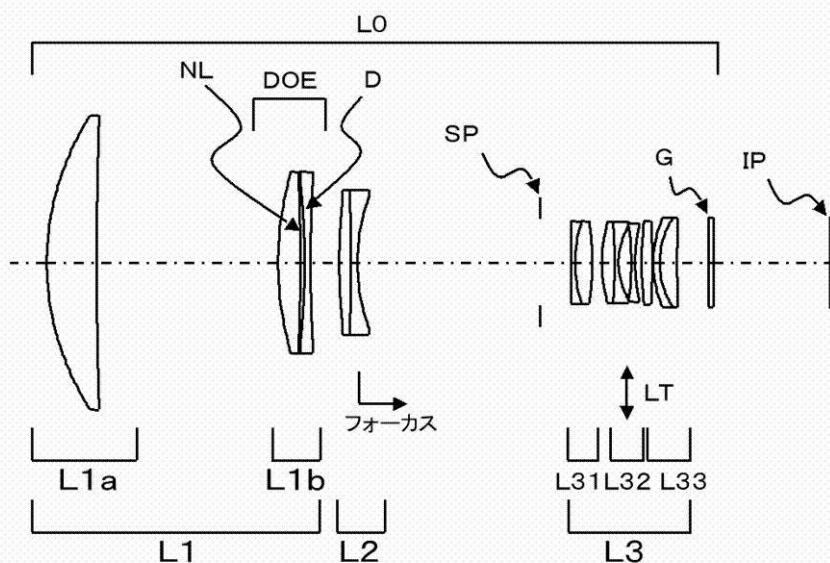


(B)

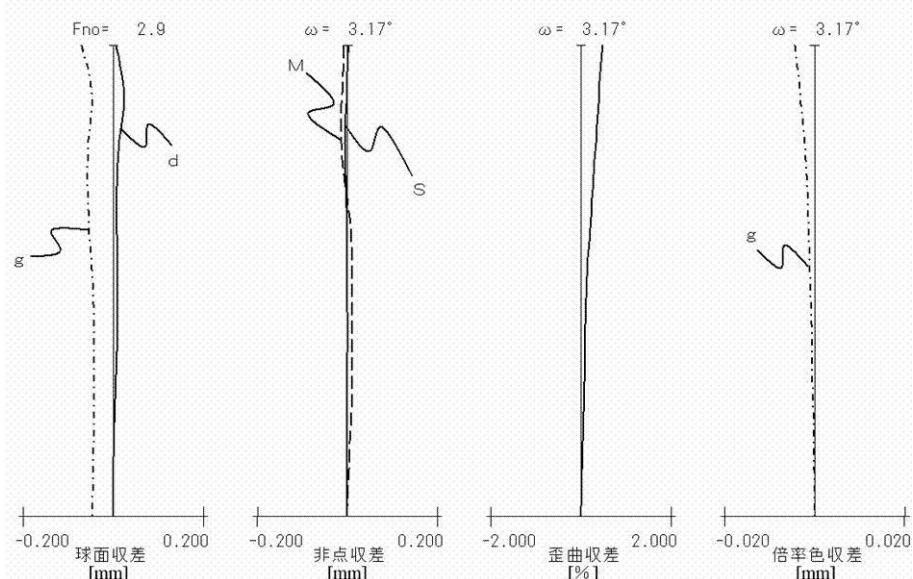


【図4】

(A)

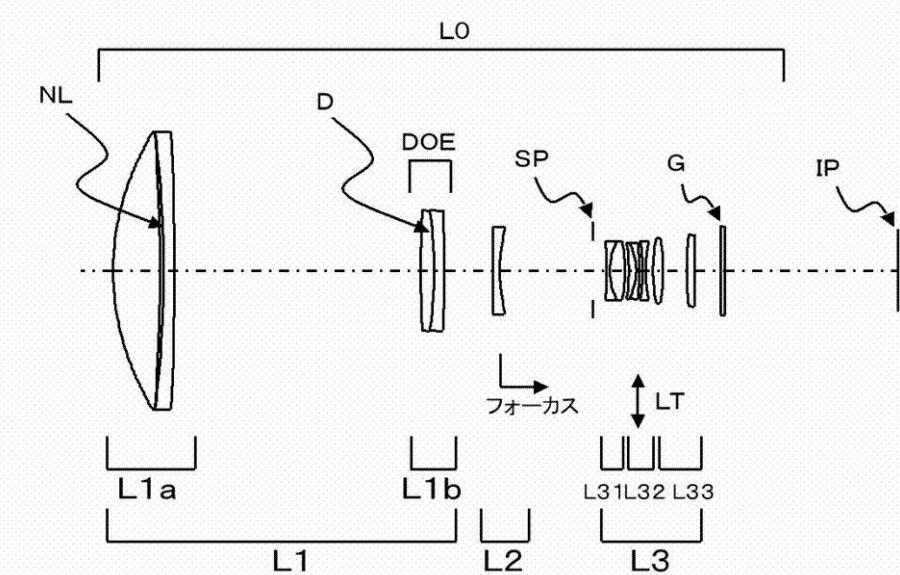


(B)

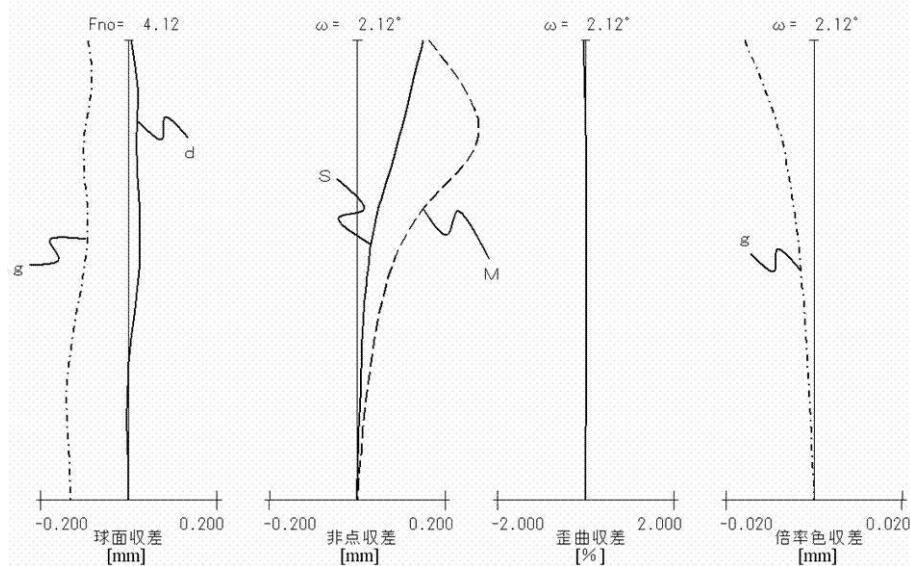


【図5】

(A)

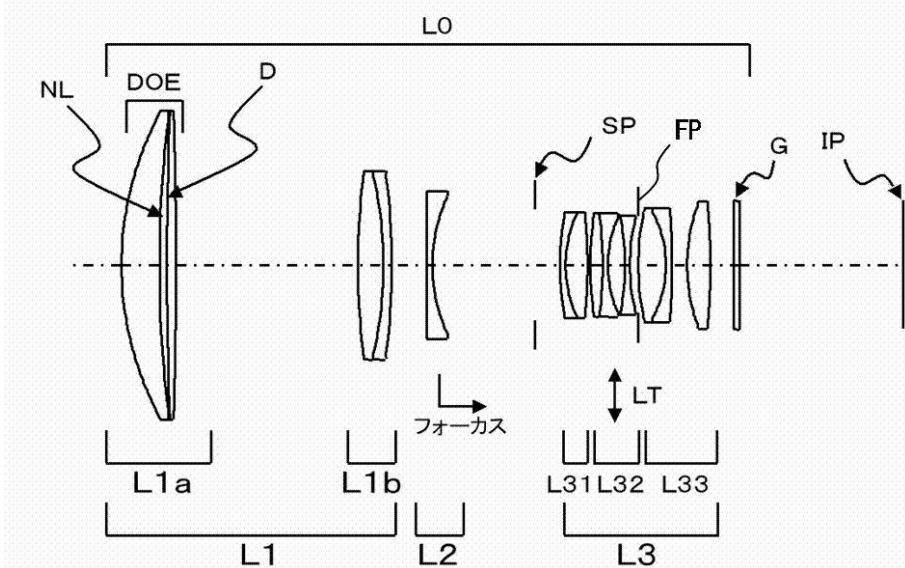


(B)

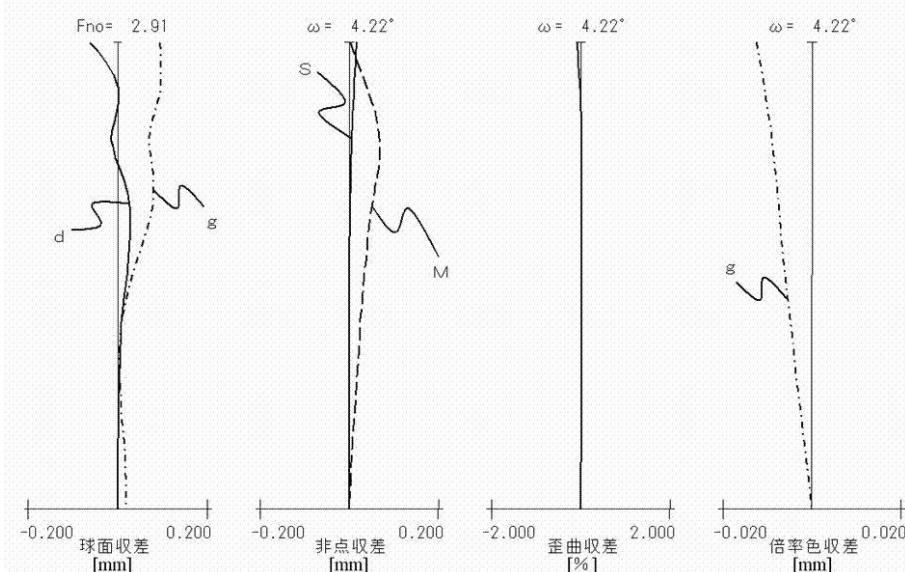


【図6】

(A)

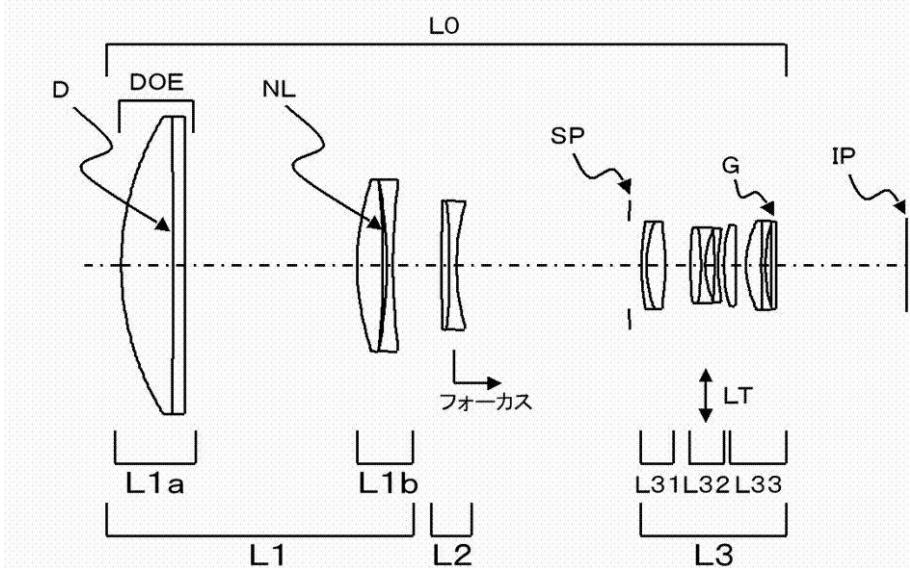


(B)

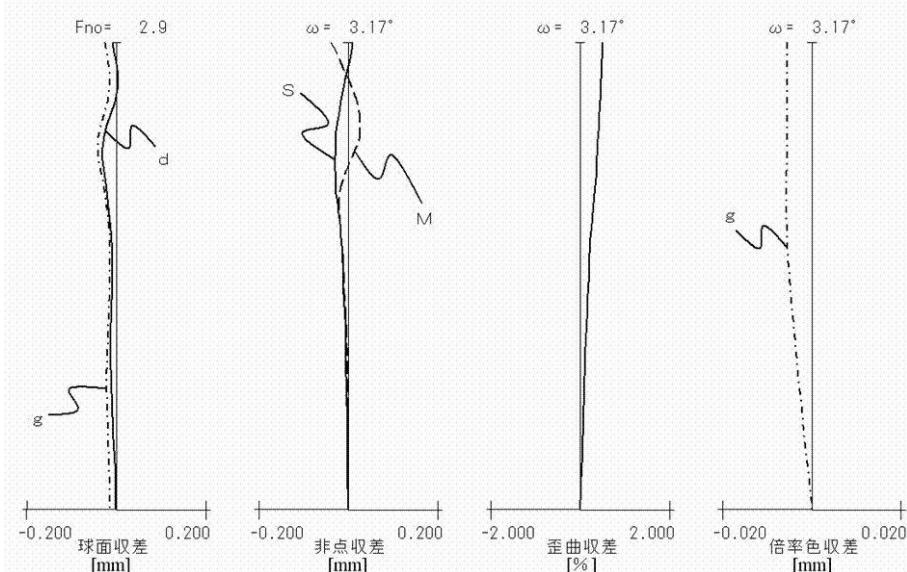


【図7】

(A)

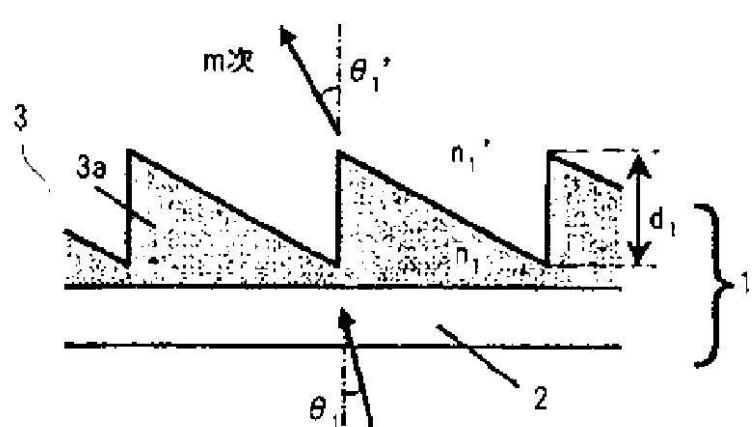


(B)

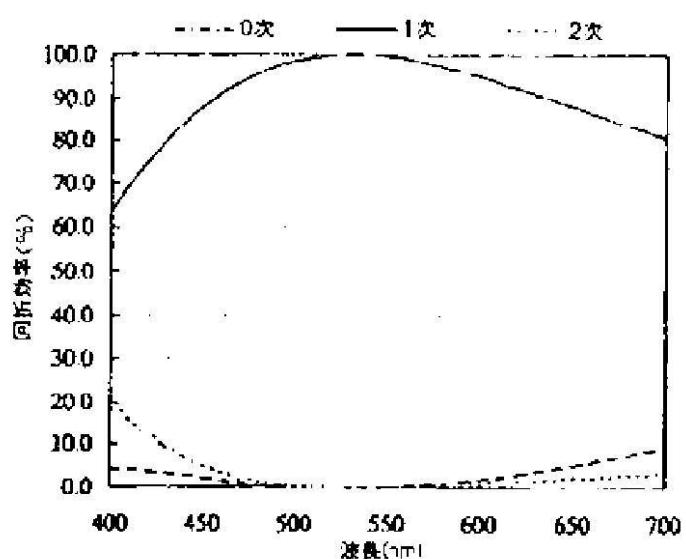


【図 8】

(A)

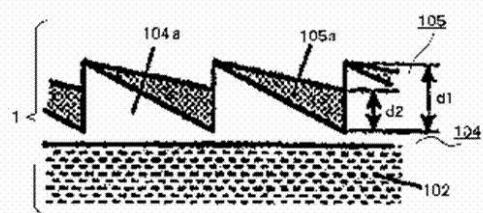


(B)

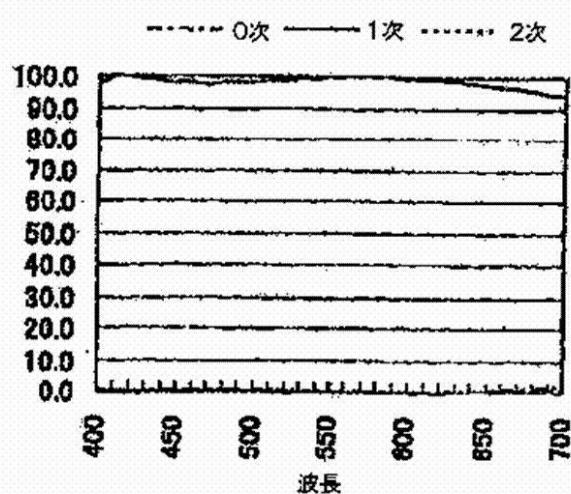


【図9】

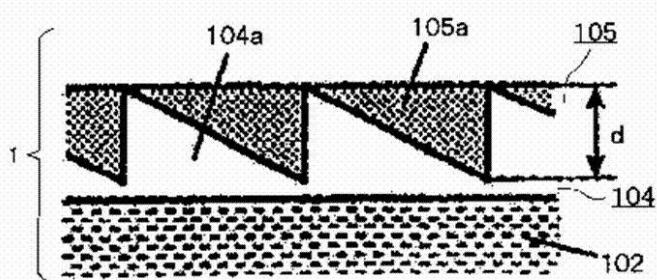
(A)



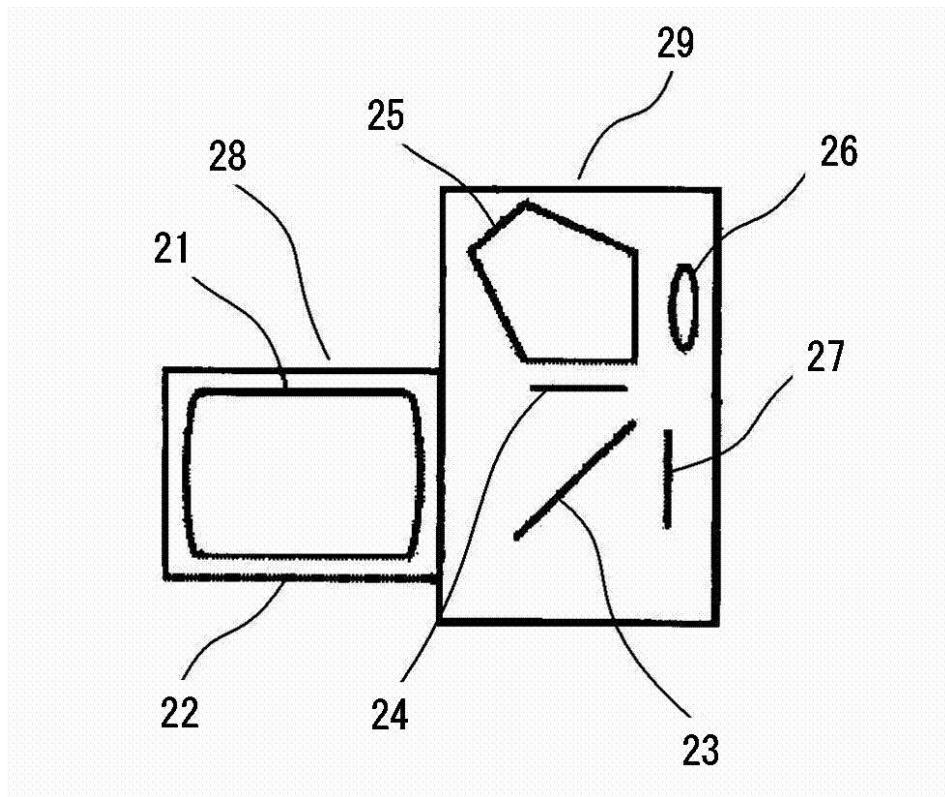
(B)



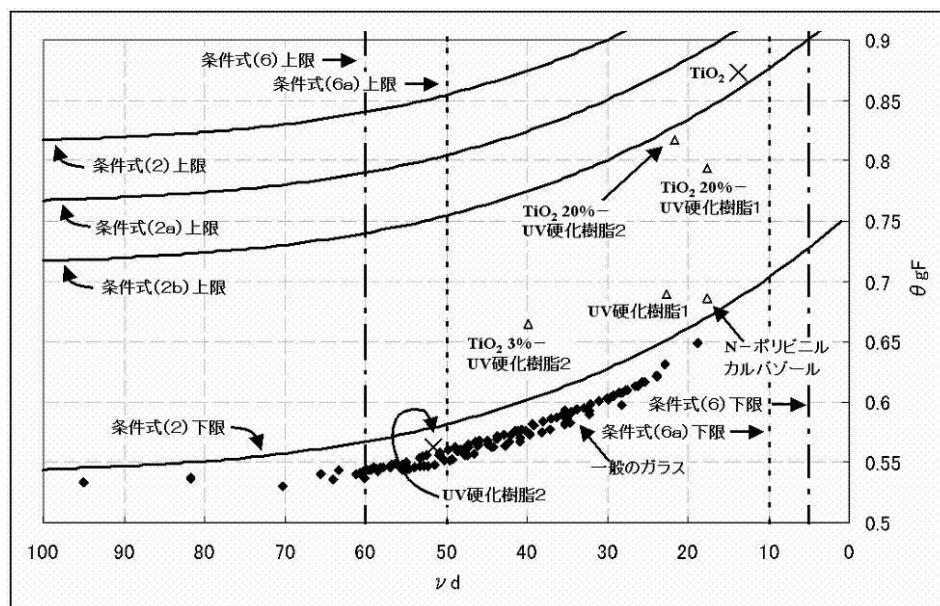
(C)



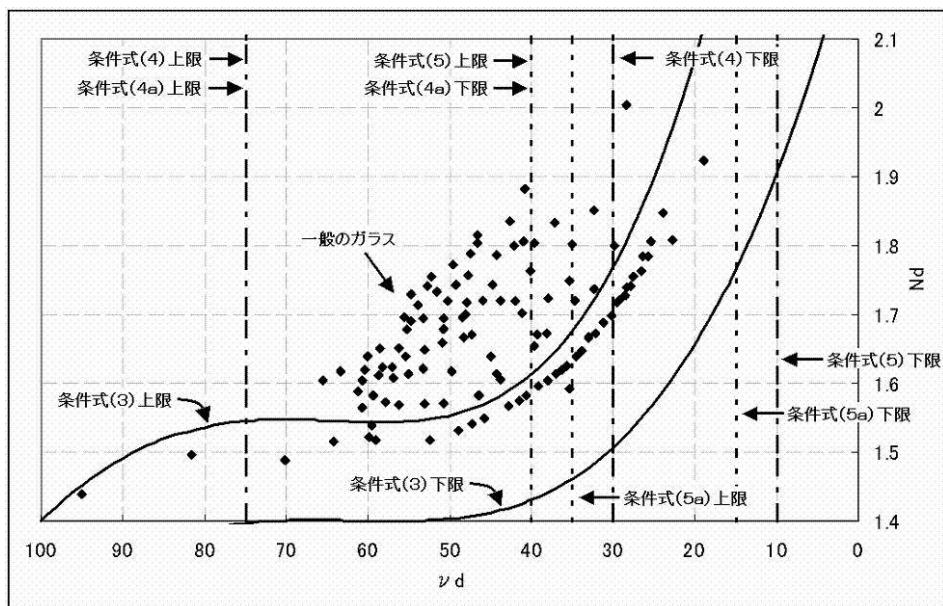
【図10】



【図11】



【図 1 2】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-002555(JP,A)  
国際公開第2011/024258(WO,A1)  
特開2000-258685(JP,A)  
特開2010-145832(JP,A)  
特開2008-096656(JP,A)  
特開2007-121440(JP,A)  
特開2008-151846(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B        9 / 0 0   -   1 7 / 0 8  
G 02 B        2 1 / 0 2   -   2 1 / 0 4  
G 02 B        2 5 / 0 0   -   2 5 / 0 4