

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5885518号  
(P5885518)

(45) 発行日 平成28年3月15日(2016.3.15)

(24) 登録日 平成28年2月19日(2016.2.19)

(51) Int.Cl. F1  
**G02B 13/02 (2006.01)**  
**G02B 13/18 (2006.01)**

G02B 13/02  
G02B 13/18

請求項の数 9 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2012-16349 (P2012-16349)  
(22) 出願日 平成24年1月30日(2012.1.30)  
(65) 公開番号 特開2013-156405 (P2013-156405A)  
(43) 公開日 平成25年8月15日(2013.8.15)  
審査請求日 平成27年1月15日(2015.1.15)

(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 薫  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
ヤノン株式会社内

審査官 堀井 康司

(56) 参考文献 国際公開第2011/024258 (W  
O, A1)

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】

開口絞りを境に物体側には、物体側より像側へ順に、フォーカスに際して不動の正の屈折力の第1レンズ群とフォーカスに際して移動する第2レンズ群が配置され、前記開口絞りの像側にはフォーカスの際に不動の第3レンズ群が配置されている撮影光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ順に、正レンズ、物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズ、接合レンズを有し、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固体材料からなるN L F光学素子を有し、

全系の焦点距離を $f$ 、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ 、無限遠物体にフォーカスしたときの全系のFナンバーを $Fno$ 、前記第1レンズ群の最も物体側のレンズ面頂点から、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面頂点までの距離を $d_{1a}$ 、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N L F光学素子の焦点距離を $f_{NLF}$ 、前記N L F光学素子の材料の部分分散比差を $g_{FNLF}$ とすると、

$$4.0 < f^2 / (f_1 \times Fno \times d_{1a}) < 10.0$$

$$20 < f_{DOE} \times f_{NLF} / f^2 < 1000$$

$$0.0272 < g_{FNLF} < 0.3000$$

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】

開口絞りを境に物体側にはフォーカスに際して不動の正の屈折力の第1レンズ群が配置

10

20

され、前記開口絞りの像側には、物体側から像側へ順に、フォーカスに際して不動の正の屈折力の第2レンズ群とフォーカスに際して移動する第3レンズ群が配置されている撮影光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ順に、正レンズ、物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズ、接合レンズを有し、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固体材料からなるNLF光学素子を有し、

全系の焦点距離を $f$ 、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ 、無限遠物体にフォーカスしたときの全系のFナンバーを $Fno$ 、前記第1レンズ群の最も物体側のレンズ面頂点から、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面頂点までの距離を $d_{1a}$ 、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NLF光学素子の焦点距離を $f_{NLF}$ 、前記NLF光学素子の材料の部分分散比差を $g_{FNLF}$ とすると、

$$4.0 < f^2 / (f_1 \times Fno \times d_{1a}) < 10.0$$

$$20 < f_{DOE} \times f_{NLF} / f^2 < 1000$$

$$0.0272 < g_{FNLF} < 0.3000$$

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3】

前記第1レンズ群を構成する物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズについて、最も物体側の空気と接するレンズ面の曲率半径を $RM1$ 、最も像側の空気と接するレンズ面の曲率半径を $RM2$ とするとき（ただし、接合レンズにより前記物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズを構成する場合は、前記接合レンズ全体で最も物体側の空気と接するレンズ面の曲率半径を $RM1$ 、前記接合レンズ全体で最も像側の空気と接するレンズ面の曲率半径を $RM2$ とする）、

$$0.01 < (RM2 - RM1) / (RM1 + RM2) < 0.70$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項1または2の撮影光学系。

#### 【請求項4】

無限遠物体にフォーカスしているときの前記第1レンズ群と前記第2レンズ群の合成焦点距離を $f_{12}$ 、全系の最も物体側のレンズ面頂点から像面までの光軸上の長さを $L$ とするとき、

$$2.0 < f^2 / (f_{12} \times L) < 10.0$$

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1レンズ群に含まれる正レンズのパワーの総和を $P_{SUM}$ 、前記第1レンズ群に含まれる負レンズのパワーの総和を $N_{SUM}$ とすると、

$$1.4 < \frac{P_{SUM}}{N_{SUM}} < 3.0$$

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。

#### 【請求項6】

最も物体側のレンズ面頂点から前記開口絞りまでの光軸上の長さを $d_{sp}$ 、全系の最も物体側のレンズ面頂点から像面までの光軸上の長さを $L$ とすると、

$$4.0 < f^2 / (d_{sp} \times L) < 15.0$$

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】

瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも像側に少なくとも1つの固体材料からなるNLR光学素子を有し、

前記NLR光学素子の焦点距離を $f_{NLR}$ 、

前記NLR光学素子を構成する材料の部分分散比差を $g_{FNLR}$ とすると、

$$-50.0 < f_{DOE} \times f_{NLR} / f^2 < -2.0$$

$$0.0272 < g_{FNLR} < 0.3000$$

なる条件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。

#### 【請求項8】

瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも像側に少なくとも1つの固体材料からなるNLR

10

20

30

40

50

光学素子を有し、

前記第 3 レンズ群は、物体側から像側へ順に配置された、第 3 1 レンズ群、防振機能を有する第 3 2 レンズ群、第 3 3 レンズ群より構成されており、前記第 1 レンズ群に含まれる各レンズと前記 N L F 光学素子をそれぞれ光学要素とし、物体側から像側へ順に数えたとき、第 i 番目 ( i = 1 , 2 ... ) の光学要素のパワーを  $\varphi_{L1i}$ 、材料の部分分散比差を  $g_{FL1i}$ 、材料のアッペ数を  $\nu_{L1i}$  とし、前記第 3 3 レンズ群に含まれるレンズと前記 N L R 光学素子をそれぞれ光学要素とし、物体側から順に数えたとき第 j 番目 ( j = 1 , 2 ... ) の光学要素のパワーを  $\varphi_{L33j}$ 、材料の部分分散比差を  $g_{FL33j}$ 、材料のアッペ数を  $\nu_{L33j}$  とし、全系のパワーを  $\varphi$  とし、 $\Sigma$  は総和を表し、n を前記第 1 レンズ群に含まれるレンズ枚数、m を前記第 3 3 レンズ群に含まれるレンズ枚数とすると、

【数 1】

$$5 \times 10^{-4} < \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \theta_{gFL1i} \times \varphi_{L1i}}{\nu_{L1i} \times \varphi} < 5 \times 10^{-3}$$

$$-5 \times 10^{-2} < \sum_{j=1}^m \frac{\Delta \theta_{gFL33j} \times \varphi_{L33j}}{\nu_{L33j} \times \varphi} < -5 \times 10^{-4}$$

なる条件を満足す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】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項の撮影光学系と該撮影光学系によって形成された像を受光する撮像部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、例えば固体撮像素子を用いたビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、TVカメラ、監視用カメラや銀塩フィルムを用いたフィルム用カメラ等に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

長焦点距離の撮影光学系として、物体側から像側へ順に、正の屈折力を有する前方レンズ群と、負の屈折力を有する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。ここで長焦点距離とは例えば有効撮像範囲の寸法に比べて長い焦点距離のことをいう。一般的に焦点距離の長い望遠レンズでは、焦点距離が延びるにしたがって、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多く発生してくる。

【0003】

これらの色収差を、蛍石や商品名 S-FPL51（オハラ社製）等の異常部分分散性を持った低分散材料を用いた正レンズと、高分散材料を用いた負レンズとを組み合わせることで補正した（色消しを行った）望遠レンズが種々提案されている（特許文献 1）。特許文献 1 では焦点距離 294mm ～ 392mm で F ナンバー 4.08 ～ 5.6 程度の望遠レンズを開示している。また 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多く発生してくる。

【0004】

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を補正するために、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ようにした望遠レンズが知られている（特許文献 2）。特許文献 2 ではレンズ枚数を増やして収差補正を行った焦点距離 294mm ～ 588mm で F ナンバー 2.88 ～ 4.08 程度の大口径比の望遠レンズを開示している。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 5 】

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一部に、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知られている。この方法によって、色収差を補正しつつレンズ全長（第1レンズ面から像面までの距離）を短縮したり、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）。

## 【 0 0 0 6 】

特許文献3では回折光学素子を用いて色収差を良好に補正した焦点距離293mm～391mmでFナンバー2.9～4.1程度の大口径比の望遠レンズを開示している。この特許文献3では、レンズ全長を短縮させて第1レンズ群のパワーが増大した分を、非球面で単色の収差補正を行い、色収差を回折光学素子で補正している。これにより諸収差の補正と全体の小型・軽量化を図っている。

10

## 【 0 0 0 7 】

また多くの撮影レンズ（光学系）において無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは、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、レンズ全体が大型となり、又、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。

20

## 【 0 0 0 8 】

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っているものが多い。このうち前方レンズ群以外の比較的小型でしかも軽量の光学系の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3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レンズ群を光軸上を像面側へ移動させてフォーカスを行っている。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 9 】

【 特許文献1 】 特開平9 - 145996号公報

30

【 特許文献2 】 特開平8 - 327897号公報

【 特許文献3 】 特開2009 - 271354号公報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 0 】

望遠レンズは一般に、焦点距離を長くするにつれてレンズ系全体が大型化してくる。このため望遠レンズにおいてはレンズ系全体の小型化を図ること、そして焦点距離を長くすることによって発生する諸収差のうち、特に色収差を良好に補正することが重要になってくる。更にフォーカシングを前方レンズ群以外の小型軽量のレンズ群で迅速に、しかも駆動装置の負担を少なくして行うことが重要になってくる。

40

## 【 0 0 1 1 】

一般に望遠レンズにおいて焦点距離が長くなるにつれて、特に正の屈折力の前方レンズ群が大型化及び高重量化してくる。このため望遠レンズにおいては正の屈折力の前方レンズ群のレンズ構成を適切に設定することが全系の小型化及び軽量化を図りつつ、かつ色収差を良好に補正し、高い光学性能を得るのに重要になってくる。前方レンズ群のレンズ構成が不適切であると全系が大型化し、諸収差が増大し高い光学性能を得るのが大変困難になる。

## 【 0 0 1 2 】

本発明は、色収差を含めた諸収差の補正が容易で、しかも全系の小型化及びレンズ重量の軽量化を図ることができる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。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0013】

本発明の撮影光学系は、開口絞りを境に物体側には、物体側より像側へ順に、フォーカスに際して不動の正の屈折力の第1レンズ群とフォーカスに際して移動する第2レンズ群が配置され、前記開口絞りの像側にはフォーカスの際に不動の第3レンズ群が配置されている撮影光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ順に、正レンズ、物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズ、接合レンズを有し、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固体材料からなるNLF光学素子を有し、

全系の焦点距離を $f$ 、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ 、無限遠物体にフォーカスしたときの全系のFナンバーを $Fno$ 、前記第1レンズ群の最も物体側のレンズ面頂点から、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面頂点までの距離を $d_{1a}$ 、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NLF光学素子の焦点距離を $f_{NLF}$ 、前記NLF光学素子の材料の部分分散比差を $g_{FNLF}$ とすると、

$$4.0 < f^2 / (f_1 \times Fno \times d_{1a}) < 10.0$$

$$20 < f_{DOE} \times f_{NLF} / f^2 < 1000$$

$$0.0272 < g_{FNLF} < 0.3000$$

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、開口絞りを境に物体側にはフォーカスに際して不動の正の屈折力の第1レンズ群が配置され、前記開口絞りの像側には、物体側から像側へ順に、フォーカスに際して不動の正の屈折力の第2レンズ群とフォーカスに際して移動する第3レンズ群が配置されている撮影光学系であって、

前記第1レンズ群は、物体側から像側へ順に、正レンズ、物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズ、接合レンズを有し、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固体材料からなるNLF光学素子を有し、

全系の焦点距離を $f$ 、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ 、無限遠物体にフォーカスしたときの全系のFナンバーを $Fno$ 、前記第1レンズ群の最も物体側のレンズ面頂点から、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面頂点までの距離を $d_{1a}$ 、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NLF光学素子の焦点距離を $f_{NLF}$ 、前記NLF光学素子の材料の部分分散比差を $g_{FNLF}$ とすると、

$$4.0 < f^2 / (f_1 \times Fno \times d_{1a}) < 10.0$$

$$20 < f_{DOE} \times f_{NLF} / f^2 < 1000$$

$$0.0272 < g_{FNLF} < 0.3000$$

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が容易で、しかも全系の小型化及びレンズ重量の軽量化を図った撮影光学系が得られる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0015】

【図1】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】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】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】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】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

【図6】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】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】実施例8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9】本発明の撮像装置の説明図

【図10】本発明に係る条件式(3)、(9)の範囲を説明する図

10

20

30

40

50

## 【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、開口絞りを境に物体側には、物体側より像側へ順に、フォーカスに際して不動の正の屈折力の第1レンズ群とフォーカスに際して移動する第2レンズ群が配置され、像側にはフォーカスの際に不動の第3レンズ群が配置されている。この他、本発明の撮影光学系は開口絞りを境に物体側にはフォーカスに際して不動の正の屈折力の第1レンズ群が配置され、像側には物体側から像側へ順に、フォーカスに際して不動の正の第2レンズ群とフォーカスに際して移動する第3レンズ群が配置されている。

## 【0017】

図1(A)乃至図8(A)は、本発明の撮影光学系の実施例1乃至実施例8のレンズ断面図である。また図1(B)乃至図8(B)は本発明の撮影光学系の実施例1乃至実施例8の縦収差図である。また図9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。

## 【0018】

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。撮影光学系L0は正の屈折力の第1レンズ群L1、第2レンズ群L2、第3レンズ群L3より構成されている。第1レンズ群L1は物体側より順に正レンズ、物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズ、そして接合レンズを有している。

## 【0019】

NLFは固体材料よりなるNLF光学素子である。第2レンズ群L2は正レンズと負レンズを接合した接合レンズを有している。又は第2レンズ群L2は正レンズと負レンズを接合した接合レンズと負レンズと正レンズとを接合した接合レンズを有している。第3レンズ群L3は正又は負の屈折力の第31レンズ群L31、光軸と直交する方向の成分を持つように移動して撮影画像の結像位置を光軸に対し垂直方向に移動させる負の屈折力の第32レンズ群L32、正の屈折力の第33レンズ群L33より構成されている。

## 【0020】

NLRは固体材料よりなるNLR光学素子である。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。Dは回折光学素子DOEの一部を構成する回折光学部(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。

## 【0021】

なお撮影光学系L0に設ける回折光学面Dは1つに限らず更に追加しても良く、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Dは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。

## 【0022】

各収差図において、d、gは順に、d線、g線である。M、Sはメリディオナル像面、サジタル像面である。倍率色収差はg線によって表している。FnoはFナンバー、 $\omega$ 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。

## 【0023】

本発明の撮影光学系は望遠レンズより成り、その特徴とするレンズ構成は次のとおりである。大口径比の望遠レンズにおける課題の1つに全系を軽量化することがある。一般的に望遠レンズにおいては、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。望遠レンズはこのようにいわゆるテレフォトタイプ(望遠タイプ)のレンズ構成をとっている。

## 【0024】

この場合、大口径（Fナンバーを小さくすること）化を効果的に達成するためには、Fナンバーを決める光束を物体側近傍のレンズ径で決めるのが良い。そうすると望遠レンズの中では物体側のレンズほど有効径が大きくなる。特にFナンバーが小さくなればなる程レンズの有効径も増大し、それに伴って外径も増大し、さらに概略その3乗で材料の重量が増す。そのため大口径比の望遠レンズほど像側より物体側のレンズの重量が増大し易い。

## 【0025】

このような状況においてレンズ系全体の重量を軽減するためには、仕様や結像性能を変えずにレンズ全長を短縮したり、第1レンズ群の構成レンズ枚数を削減したり、レンズ径を小さくすることが必要となってくる。

10

## 【0026】

そこで、本発明はこの望遠タイプのレンズ系においてレンズ系全体の重量を軽減するために、レンズ全長を短縮している。ここでレンズ全長を短縮するための一方法として、正のパワーである第1レンズ群のパワーを強めることや、第1レンズ群自体のレンズ群の厚みを薄くすることなどある。しかし、一般的に焦点距離と比較してFナンバーが小さい望遠レンズは、Fナンバーが大きい望遠レンズに比べて球面収差やコマ収差が増大してくる。

## 【0027】

従来よりFナンバーが大きい望遠レンズに比べて、Fナンバーの小さな望遠レンズでは第1レンズ群の有効径が第1レンズ群のレンズ枚数を増やすことで諸収差の補正を行っている。Fナンバーの小さな望遠レンズはFナンバーの大きな望遠レンズに比べて第1レンズ群の有効径が大きい。このためFナンバーが大きい望遠レンズのように、単に第1レンズ群のパワーを強めて、レンズ全長を短縮しようとする、Fナンバーが大きい望遠レンズよりも第1レンズ群の有効径が大きいために、第1レンズ群中の正レンズの肉厚が増大してくる。

20

## 【0028】

そのため第1レンズ群の材料の重量が増大してしまい、レンズ全長の短縮に見合った軽量化が困難となる。またレンズ枚数が多いためレンズ全長を短縮するための空気間隔が少なく、レンズ全長の短縮効果が十分でなかった。

30

## 【0029】

そこで本発明の撮影レンズでは仕様や結像性能を変えずに第1レンズ群L1のレンズ枚数を削減して第1レンズ群L1のレンズ群厚を薄くし、レンズ全長を短縮を行っている。

## 【0030】

具体的な構成として各実施例において、第1レンズ群L1は正レンズと、物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズと、接合レンズを有している。また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DOEと少なくとも1つの後述する条件式で定義する固体材料からなるNLF光学素子NLFを有している。更に瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に必要に応じて少なくとも1つの非球面を有するようにしている。

40

## 【0031】

このように第1レンズ群が非球面と回折光学素子を有することで、より物体側のレンズ群で発生する球面収差やコマ収差などの単色収差と色収差を補正できるため、レンズ枚数を削減することが容易となる。また第1レンズ群L1中の正レンズによって光束を収れんさせることでレンズ全長を短縮している。そしてメニスカス形状の正レンズを有することで、レンズ全長を短縮するための正のパワーを担うと共に、物体側のレンズ面と像側のレンズ面での曲率差を利用して球面収差やコマ収差の補正を非球面と分担している。これにより第1レンズ群のパワーと収差補正をバランスしている。

## 【0032】

また第1レンズ群L1は少なくとも1つの接合レンズを有し、これにより製造誤差によ

50

るレンズ位置敏感度を抑えつつ、第1レンズ群L1内の色収差を補正している。更に固体材料からなる光学素子を用いて、gF線間の色収差を補正している。これは第1レンズ群L1のパワーを増大させて、レンズ全長を短縮するとgF線間の色収差の補正が十分ではなくなるためである。次にこの色収差の補正のメカニズムについて述べる。

【0033】

望遠レンズにおいて、瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側では、近軸軸上光線が光軸から高い位置を通過するため、像面側よりも軸上色収差が多く発生する。また瞳近軸光線が光軸と交わる位置から物体側（又は像側）へ行けば行くほど軸外主光線がレンズの周辺部分を通過するため、倍率色収差が多く発生する。

【0034】

そのため、各実施例では瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に回折光学素子DOEを配置して、軸上色収差と倍率色収差の両方を補正している。特にCF線間の色収差の補正とgF線間の色収差の補正を行っている。

【0035】

一方、レンズ全長の短縮のために第1レンズ群L1のパワーを強めていくと、色収差、特にgF線間の色収差が増大してくる。そして第1レンズ群L1内で色収差の補正を行おうとすると、軸上色収差への効き方と倍率色収差への効き方が異なるために、回折光学素子DOEとガラスだけで軸上色収差と倍率色収差の両方のd、g、C、F線の4波長の色消しを行うことが難しくなる。特に、倍率色収差を補正しようとする、gF線間の軸上色収差が補正過剰になる。

【0036】

また軸上色収差を補正しようとする、gF線間の倍率色収差が補正不足となってくる。第1レンズ群L1のパワーを増大させて、レンズ全長を短縮するとガラスと回折光学素子DOEだけではgF線間の色収差補正が十分ではなくなるのはこの理由からである。そこで、各実施例では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つの固体材料からなるNLF光学素子NLFを有するようにしてgF線間の色収差を補正している。これにより、全体として軽量で高画質な画像が得られる撮影光学系を構成している。

【0037】

多くの撮影光学系においてフォーカシングは、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たりして行っている。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では、レンズ系が大型となり、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となる。

【0038】

そこで各実施例の撮影光学系では、第1レンズ群L1よりも像側に位置する小型軽量な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っている。これによれば、光学系全体や第1レンズ群L1全体を移動させてフォーカスすることに比して格段に小さい駆動装置でフォーカスすることが容易となる。

【0039】

また各実施例の撮影光学系は第2レンズ群L2より像側に第3レンズ群L3を配置している。第2レンズ群L2より像側に第3レンズ群L3を配置することで、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箇所にレンズ面を配置することができる。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。

【0040】

各実施例の撮影光学系L0は、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第1レンズ群L1、正又は負の屈折力の第2レンズ群L2、正又は負の屈折力の第3レンズ群L3より構成されている。第1レンズ群L1は、正レンズと物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズと、接合レンズを有している。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DOEを有している。

【0041】

10

20

30

40

50



また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つの非球面を有している。また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つの後述する条件式で定義する固体材料からなるNLF光学素子NLFを有している。第2レンズ群L2または第3レンズ群L3を光軸上を移動させてフォーカシングを行っている。

#### 【0042】

各実施例において、全系の焦点距離を $f$ 、第1レンズ群L1の焦点距離を $f_1$ とする。無限遠物体にフォーカスしたときの全系のFナンバーを $Fno$ とする。第1レンズ群L1の最も物体側のレンズ面頂点から、第1レンズ群L1の最も像側のレンズ面頂点までの距離を $d_{1a}$ とする。回折光学素子DOEの回折成分のみによる焦点距離を $f_{DOE}$ とする。NLF光学素子NLFの焦点距離を $f_{NLF}$ とする。NLF光学素子NLFの材料の部分分散比差を $g_{FNLf}$ とする。

#### 【0043】

このとき、

$$4.0 < f^2 / (f_1 \times Fno \times d_{1a}) < 10.0 \quad \dots (1)$$

$$20 < f_{DOE} \times f_{NLF} / f^2 < 1000 \quad \dots (2)$$

$$0.0272 < g_{FNLf} < 0.3000 \quad \dots (3)$$

なる条件を満足している。

#### 【0044】

ただし部分分散比差 $g_{FNLf}$ は、固体材料からなるNLF光学素子NLFのd線における屈折率を $N_{dNLF}$ 、g線における屈折率を $N_{gNLF}$ 、C線における屈折率を $N_{CNLF}$ 、F線における屈折率を $N_{FNLF}$ とする。このとき次に示す式で定義するものである。

#### 【0045】

$$d_{NLF} = (N_{dNLF} - 1) / (N_{FNLF} - N_{CNLF})$$

$$g_{FNLf} = (N_{gNLF} - N_{FNLF}) / (N_{FNLF} - N_{CNLF})$$

$$g_{FBF} = -1.665 \times 10^{-7} \times d_{NLF}^3 + 5.213 \times 10^{-5} \times d_{NLF}^2 - 5.656 \times 10^{-3} \times d_{NLF} + 0.7$$

278

$$g_{FNLf} = g_{FNLf} - g_{FBF}$$

次に前述の各条件式の技術的意味について説明する。条件式(1)は撮影光学系L0の第1レンズ群L1のパワーとレンズ群厚に関する。条件式(1)の上限値を超えると、第1レンズ群L1のパワーが強くなりすぎるかレンズ群の厚みが薄くなりすぎる。どちらもレンズ全長の短縮には効果があるが、第1レンズ群L1より発生する球面収差やコマ収差を第1レンズ群L1内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補正不足となるため好ましくない。

#### 【0046】

一方、条件式(1)の下限値を超えると、第1レンズ群L1のパワーが弱くなるか、第1レンズ群L1のレンズ群の厚みが厚くなるため、レンズ全長の短縮が難しくなる。条件式(1)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

#### 【0047】

$$4.95 < f^2 / (f_1 \times Fno \times d_{1a}) < 8.00 \quad \dots (1a)$$

条件式(2)は撮影光学系L0の瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に配置された回折光学素子と固体材料からなるNLF光学素子NLFのパワーに関する。条件式(2)の上限値(又は下限値)を超えると、回折光学素子DOEと固体材料からなるNLF光学素子NLFのどちらかのパワーが弱すぎる(又は強すぎる)、または両方のパワーが弱すぎる(又は強すぎる)ことになる。そうすると、軸上色収差と倍率色収差をバランス良く補正するのが難しくなる。特にgF線間の色収差の補正が不十分となる。条件式(2)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

#### 【0048】

$$30 < f_{DOE} \times f_{NLF} / f^2 < 800 \quad \dots (2a)$$

条件式(3)は固体材料からなるNLF光学素子NLFの部分分散比差に関する。条件式(3)の上限値を超えると、固体材料からなるNLF光学素子NLFの部分分散比差が

10

20

30

40

50

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くる。

【0049】

一方、条件式(3)の下限值を超えると、固体材料からなるNLF光学素子NLFの部分分散比差が小さくなってしまう。そうすると短波長側の色収差が補正不足になってくる。

【0050】

条件式(3)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0051】

$$0.0272 < g_{\text{FNLF}} < 0.2500 \quad (3a)$$

また条件式(3a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

10

【0052】

$$0.0272 < g_{\text{FNLF}} < 0.2000 \quad (3b)$$

図10は固体材料からなるNLF光学素子NLFの具体的な材料による光学特性の説明図である。

【0053】

条件式(3)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( $N_d = 1.635$ ,  $d = 22.7$ ,  $g_F = 0.69$ )やN-ポリビニルカルバゾール( $N_d = 1.696$ ,  $d = 17.7$ ,  $g_F = 0.69$ )は条件式(3)を満足する光学材料である。尚、条件式(3)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。

20

【0054】

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。無機酸化物ナノ微粒子の例としては、 $\text{TiO}_2$ ( $N_d = 2.304$ ,  $d = 13.8$ ),  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ( $N_d = 2.367$ ,  $d = 14.0$ )がある。その他ITO( $N_d = 1.8571$ ,  $d = 5.68$ ),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ( $N_d = 2.2178$ ,  $d = 13.4$ ),  $\text{BaTiO}_3$ ( $N_d = 2.4362$ ,  $d = 11.3$ )等がある。

【0055】

これらの無機酸化物の中では、 $\text{TiO}_2$ ( $N_d = 2.304$ ,  $d = 13.8$ ,  $g_F = 0.87$ )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(3)を満足する光学材料が得られる。 $\text{TiO}_2$ 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 $\text{TiO}_2$ 微粒子は化粧品材料として用いられている。

30

【0056】

各実施例において合成樹脂に分散させる $\text{TiO}_2$ 微粒子の平均径は、散乱などの影響を考えると $2\text{nm} \sim 50\text{nm}$ 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。また、合成樹脂の光学定数の特性としても、部分分散比が比較的大きい合成樹脂、あるいはアッペ数が比較的小さい合成樹脂か、両者を満たす合成樹脂が良く、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 $\text{TiO}_2$ 微粒子を分散させる合成樹脂として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。

40

【0057】

ナノ微粒子を分散させた混合体の分散特性 $N(\lambda)$ 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 $\lambda$ における屈折率 $N(\lambda)$ は、

$$N(\lambda) = [1 + V \{ N_{\text{TiO}_2}^2(\lambda) - 1 \} + (1 - V) \{ N_p^2(\lambda) - 1 \}]^{1/2} \quad (A)$$

)

である。ここで、 $\lambda$ は任意の波長、 $N_{\text{TiO}_2}$ は $\text{TiO}_2$ の屈折率、 $N_p$ は合成樹脂の屈折率、 $V$ は合成樹脂体積に対する $\text{TiO}_2$ 微粒子の総体積の分率である。

【0058】

50

以上のように各実施例によれば、色収差を含めた諸収差の補正が容易で、しかも全系の小型化及びレンズ重量の軽量化を図ることができる撮影光学系が得られる。

【 0 0 5 9 】

本発明の撮影レンズにおいて、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レンズ全長を短縮しつつ高い光学性能が容易に得られる。前記第 1 レンズ群を構成する物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズについて、最も物体側の空気と接するレンズ面の曲率半径を  $R M 1$ 、最も像側の空気と接するレンズ面の曲率半径を  $R M 2$  とする。

ただし、接合レンズにより物体側の面が凸でメニスカス形状の正レンズを構成する場合は、接合レンズ全体で最も物体側の空気と接するレンズ面の曲率半径を  $R M 1$ 、前記接合レンズ全体で最も像側の空気と接するレンズ面の曲率半径を  $R M 2$  とする。無限遠物体にフォーカスしているときの第 1 レンズ群  $L 1$  と第 2 レンズ群  $L 2$  の合成焦点距離を  $f_{12}$ 、全系の最も物体側のレンズ面頂点から像面までの光軸上の長さを  $L$  とする。

【 0 0 6 0 】

第 1 レンズ群  $L 1$  に含まれる正レンズのパワーの総和を  $P_{SUM}$ 、第 1 レンズ群  $L 1$  に含まれる負レンズのパワーの総和を  $N_{SUM}$  とする。最も物体側のレンズ面頂点から開口絞り  $S P$  までの光軸上の長さを  $d_{sp}$  とする。瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも像側に少なくとも 1 つの固体材料からなる  $N L R$  光学素子  $N L R$  を有する。そして、 $N L R$  光学素子  $N L R$  の焦点距離を  $f_{NLR}$  とする。 $N L R$  光学素子  $N L R$  を構成する材料の部分分散比差を  $g_{FNLR}$  とする。

【 0 0 6 1 】

第 3 レンズ群  $L 3$  は物体側から像側へ順に、第 3 1 レンズ群  $L 3 1$ 、防振機能を有する第 3 2 レンズ群  $L 3 2$ 、第 3 3 レンズ群  $L 3 3$  より構成されている。第 1 レンズ群  $L 1$  に含まれる各レンズと  $N L F$  光学素子  $N L F$  をそれぞれ光学要素とし、物体側から像側へ順に数える。

【 0 0 6 2 】

そして第  $i$  番目 ( $i = 1, 2 \dots$ ) の光学要素のパワーを  $L_{1i}$ 、材料の部分分散比差を  $g_{FL1i}$ 、材料のアッベ数を  $L_{1i}$  とする。第 3 3 レンズ群  $L 3 3$  に含まれるレンズと  $N L R$  光学素子  $N L R$  をそれぞれ光学要素とし、物体側から順に数える。このとき第  $j$  番目 ( $j = 1, 2 \dots$ ) の光学要素のパワーを  $L_{33j}$ 、材料の部分分散比差を  $g_{FL33j}$ 、材料のアッベ数を  $L_{33j}$  とし、全系のパワーを  $\Sigma$  とする。  $\Sigma$  は総和を表し、 $n$  を第 1 レンズ群  $L 1$  に含まれるレンズ枚数、 $m$  を第 3 3 レンズ群  $L 3 3$  に含まれるレンズ枚数とする。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。

【 0 0 6 3 】

$$0.01 < (R M 2 - R M 1) / (R M 1 + R M 2) < 0.70 \quad \dots (4)$$

$$2.0 < f^2 / (f_{12} \times L) < 10.0 \quad \dots (5)$$

$$1.4 < |P_{SUM} / N_{SUM}| < 3.0 \quad \dots (6)$$

$$4.0 < f^2 / (d_{sp} \times L) < 15.0 \quad \dots (7)$$

$$-50.0 < f_{DOE} \times f_{NLR} / f^2 < -2.0 \quad \dots (8)$$

$$0.0272 < g_{FNLR} < 0.3000 \quad \dots (9)$$

【 0 0 6 4 】

【数 1】

$$5 \times 10^{-4} < \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \theta_{gFL1i} \times \varphi_{L1i}}{\nu_{L1i} \times \varphi} < 5 \times 10^{-3} \quad \dots (10)$$

$$-5 \times 10^{-2} < \sum_{j=1}^m \frac{\Delta \theta_{gFL33j} \times \varphi_{L33j}}{\nu_{L33j} \times \varphi} < -5 \times 10^{-4} \quad \dots (11)$$

但し、 $N L R$  光学素子  $N L R$  を含まないときは条件式 (8)、(9) は除外する。

【 0 0 6 5 】

10

20

30

40

50

ここでパワーの総和  $\text{SUM}$  は各レンズのパワーをそれぞれ  $1, 2, 3 \dots$  とするとき、

$$\text{SUM} = 1 + 2 + 3 + \dots$$

である。

【0066】

また部分分散比差  $g_{\text{FNLR}}$  は、固体材料からなる  $\text{NLR}$  光学素子  $\text{NLR}$  の  $d$  線における屈折率を  $N_{\text{dNLR}}$ 、 $g$  線における屈折率を  $N_{\text{gNLR}}$  とする。 $C$  線における屈折率を  $N_{\text{CNLR}}$ 、 $F$  線における屈折率を  $N_{\text{FNLR}}$  とする。このとき次に示す式で定義するものである。

【0067】

$$d_{\text{NLR}} = (N_{\text{dNLR}} - 1) / (N_{\text{FNLR}} - N_{\text{CNLR}})$$

$$g_{\text{FNLR}} = (N_{\text{gNLR}} - N_{\text{FNLR}}) / (N_{\text{FNLR}} - N_{\text{CNLR}})$$

$$g_{\text{FBR}} = -1.665 \times 10^{-7} \times d_{\text{NLR}}^3 + 5.213 \times 10^{-5} \times d_{\text{NLR}}^2 - 5.656 \times 10^{-3} \times d_{\text{NLR}} + 0.7$$

278

$$g_{\text{FNLR}} = g_{\text{FNLR}} - g_{\text{FBR}}$$

また部分分散比差  $g_{\text{FL1i}}$ 、 $g_{\text{FL33j}}$  は、それぞれ  $d$  線における屈折率を  $N_{\text{dL1i}}$ 、 $N_{\text{dL33j}}$ 、 $g$  線における屈折率を  $N_{\text{gL1i}}$ 、 $N_{\text{gL33j}}$ 、 $C$  線における屈折率を  $N_{\text{CL1i}}$ 、 $N_{\text{CL33j}}$  とする。 $F$  線における屈折率を  $N_{\text{FL1i}}$ 、 $N_{\text{FL33j}}$  とする。このとき次に示す式で定義するものである。

【0068】

$$g_{\text{FL1i}} = g_{\text{FL1i}} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d_{\text{L1i}} + 0.64146)$$

$$g_{\text{FL33j}} = g_{\text{FL33j}} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d_{\text{L33j}} + 0.64146)$$

$$d_{\text{L1i}} = (N_{\text{dL1i}} - 1) / (N_{\text{FL1i}} - N_{\text{CL1i}})$$

$$d_{\text{L33j}} = (N_{\text{dL33j}} - 1) / (N_{\text{FL33j}} - N_{\text{CL33j}})$$

$$g_{\text{FL1i}} = (N_{\text{gL1i}} - N_{\text{FL1i}}) / (N_{\text{FL1i}} - N_{\text{CL1i}})$$

$$g_{\text{FL33j}} = (N_{\text{gL33j}} - N_{\text{FL33j}}) / (N_{\text{FL33j}} - N_{\text{CL33j}})$$

条件式(4)は第1レンズ群L1中のメニスカス形状の正レンズ(接合レンズの場合は接合レンズ全体としてメニスカス形状の正レンズ)のレンズ形状に関する。

【0069】

条件式(4)の上限値を超えると、メニスカス形状の正レンズの物体側のレンズ面と像側のレンズ面の曲率半径の差が大きくなりすぎる。そうするとパワーが大きくなるため、正のパワーの分担をしやすい反面、レンズへの入射光と射出光の角度差が大きくなるため収差補正が困難となり、球面収差やコマ収差が残存してくる。また下限値を超えるとメニスカス形状のレンズの物体側のレンズ面と像側のレンズ面の曲率半径の差が小さくなりすぎてしまい、収差補正が困難になる。

【0070】

条件式(4)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0071】

$$0.03 < (RM2 - RM1) / (RM1 + RM2) < 0.50 \quad \dots (4a)$$

また条件式(4a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0072】

$$0.03 < (RM2 - RM1) / (RM1 + RM2) < 0.45 \quad \dots (4b)$$

条件式(5)は第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成焦点距離に関する。条件式(5)の上限値を超えると、第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成パワーが強くなりすぎるため、レンズ全長は短縮される。しかしながら第1レンズ群L1と第2レンズ群L2より発生する球面収差とコマ収差が増大し、全系としてこれらの収差を補正するのが困難となる。また下限値を超えると第1レンズ群L1と第2レンズ群L2の合成パワーが弱くなりすぎるため、レンズ全長を短縮するのが困難になる。

【0073】

条件式(5)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0074】

10

20

30

40

50

$$2.3 < f^2 / (f_{12} \times L) < 7.0 \quad \cdots (5a)$$

条件式(6)は第1レンズ群L1中の正レンズと負レンズの合成パワーに関する。条件式(6)の上限値を超えると、第1レンズ群L1中の負レンズのパワーに比べて正レンズのパワーが大きくなりすぎる。そうすると、正レンズで発生した色収差も含めた諸収差が負レンズで補正するのが困難となる。特に色収差に関してはC F線間の色収差が残存してしまうため好ましくない。一方下限値を超えると、第1レンズ群L1中の負レンズのパワーに比べて正レンズのパワーが小さくなりすぎる。そうするとレンズ全長の短縮が困難となる。

【0075】

条件式(6)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

10

【0076】

$$1.4 < |P_{SUM} / N_{SUM}| < 2.7 \quad \cdots (6a)$$

また条件式(6a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0077】

$$1.4 < |P_{SUM} / N_{SUM}| < 2.3 \quad \cdots (6b)$$

条件式(7)は撮影光学系L0の開口径絞りSPの位置に関する。条件式(7)の上限値を超えると、開口径絞りSPが物体側へ寄りすぎる。そうすると軸上光束径が大きい位・BR>Uに開口径絞りSPを配置することになるため、絞り径が大きくなり、絞りユニットが大型化し、重量が増加してくる。

【0078】

20

一方、下限値を超えると、開口径絞りSPが像側へ寄りすぎる。そうすると軸外光束を十分に取り込もうとすると第1レンズ群のレンズ径が大きくなり、重量が増加してくる。

【0079】

条件式(7)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0080】

$$4.5 < f^2 / (d_{sp} \times L) < 13.0 \quad \cdots (7a)$$

また条件式(7a)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0081】

$$5.0 < f^2 / (d_{sp} \times L) < 12.0 \quad \cdots (7b)$$

条件式(8)は撮影光学系L0の瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも物体側に配置された回折光学素子DOEと、瞳近軸光線が光軸と交わる位置よりも像側に配置された固体材料からなるNLR光学素子NLRのパワーに関する。

30

【0082】

条件式(8)の上限値(又は下限値)を超えると、回折光学素子DOEと固体材料からなるNLR光学素子NLRのどちらかのパワーが強すぎる(又は弱すぎる)、または両方のパワーが強すぎる(又は弱すぎる)ことになる。そうすると、軸上色収差と倍率色収差をバランス良く補正するのが困難となり、特にg F線間の色収差が残存してしまう。条件式(8)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0083】

$$-30.0 < f_{DOE} \times f_{NLR} / f^2 < -3.0 \quad \cdots (8a)$$

40

条件式(9)は固体材料からなるNLR光学素子NLRの部分分散比差に関する。条件式(9)の上限値を超えると、固体材料からなるNLR光学素子NLRの部分分散比差が大きくなりすぎてしまう。そうすると、色収差の補正が困難となる。特に短波長側の色収差が過補正になってしまう。

【0084】

一方、条件式(9)の下限値を超えると、固体材料からなるNLR光学素子NLRの部分分散比差が小さくなってしまふ。そうすると色収差の補正が困難となる。特に短波長側の色収差が補正不足となってくる。

【0085】

条件式(9)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

50

【 0 0 8 6 】

$$0.0272 < g_{\text{FNLR}} < 0.2500 \quad (9a)$$

また条件式 ( 9 a ) は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【 0 0 8 7 】

$$0.0272 < g_{\text{FNLR}} < 0.2000 \quad (9b)$$

条件式 ( 9 ) を満足する固体材料の具体例としては、条件式 ( 3 ) を満足する固体材料と同様の材料であり、その光学特性を図 1 0 に示す。

【 0 0 8 8 】

条件式 ( 1 0 ) は第 1 レンズ群 L 1 の色収差の補正に関する。条件式 ( 1 0 ) の上限値又は下限値を超えると、g 線と F 線の間の軸上色収差と C 線と F 線間の軸上色収差をバランス良く補正するのが難しくなり、全体として軸上色収差が残存してしまう。条件式 ( 1 0 ) は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

10

【 0 0 8 9 】

【数 2】

$$7 \times 10^{-4} < \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \theta_{gFLi} \times \varphi_{Li}}{v_{Li} \times \varphi} < 4 \times 10^{-3} \quad \dots (10a)$$

条件式 ( 1 1 ) は第 3 3 レンズ群 L 3 3 の色収差の補正に関する。条件式 ( 1 1 ) の上限値又は下限値を超えると、g 線と F 線の間の倍率色収差と C 線と F 線間の倍率色収差をバランス良く補正するのが難しくなり、全体として倍率色収差が残存してしまう。条件式 ( 1 1 ) は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

20

【 0 0 9 0 】

【数 3】

$$-3.5 \times 10^{-2} < \sum_{j=1}^m \frac{\Delta \theta_{gFL3j} \times \varphi_{L3j}}{v_{L3j} \times \varphi} < -7.5 \times 10^{-4} \quad \dots (11a)$$

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影光学系が容易に得られる。

30

【 0 0 9 1 】

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レンズ構成を説明する。各実施例では、最も物体側から順に正のパワーの第 1 レンズ群 L 1、正又は負のパワーの第 2 レンズ群 L 2、正又は負のパワーの第 3 レンズ群 L 3 を有している。そして第 1 レンズ群 L 1 よりも像側に開口絞り S P を有している。また第 3 レンズ群 L 3 は、正又は負のパワーの第 3 1 レンズ群 L 3 1 と、負のパワーの第 3 2 レンズ群 L 3 2 と正のパワーの第 3 3 レンズ群 L 3 3 を有している。

【 0 0 9 2 】

そして撮影光学系 L 0 が振動した時の撮影画像のブレの補正 ( 振動補償 ) を第 3 2 レンズ群 L 3 2 を可動レンズ群 ( 画像変位補正群 ) とし、矢印 L T の如く光軸と直交する方向に移動させて行なっている。

40

【 0 0 9 3 】

次に、各実施例の撮影光学系 L 0 で用いた回折光学素子 D O E の構成について説明する。各実施例で用いている回折格子は従来より知られている単層又は積層型の回折格子である。即ち、撮影光学系 L 0 内に配置される回折光学素子 D O E 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。回折光学素子 D O E は基板 ( 透明基板 ) 上に 1 つの層又は複数の層を積層した回折格子 ( 回折光学部 ) D を設けている。回折格子の光学材料は、紫外線硬化樹脂 ( 屈折率  $n_d = 1.513$ 、アッペ数  $\delta_d = 51.0$  ) を用いている。

50

## 【 0 0 9 4 】

回折格子 D の格子部の格子厚を単層のときは  $1.03 \mu\text{m}$  と設定し、波長  $530 \text{ nm}$ 、  
+ 1 次の回折光の回折効率が最も高くなるようにしている。すなわち設計次数が + 1 次で  
、設計波長が波長  $530 \text{ nm}$  である。

## 【 0 0 9 5 】

この他各実施例においては、異なる材料よりなる複数の回折格子を積層した積層型の回  
折光学素子も適用可能である。積層型の回折光学素子では、基板上に、例えば紫外線硬化  
樹脂（屈折率  $n_d = 1.499$ 、アッペ数  $\nu_d = 54$ ）からなる第 1 の回折格子を形成して  
いる。更にその上に第 2 の回折格子（屈折率  $n_d = 1.598$ 、アッペ数  $\nu_d = 28$ ）を形  
成している。この材料の組み合わせにおいて、第 1 の回折格子の格子部の格子厚  $d_1$  は  $d_1$   
 $= 13.8 \mu\text{m}$ 、第 2 の回折格子の格子部の格子厚  $d_2$  は  $d_2 = 10.5 \mu\text{m}$  としている。

10

## 【 0 0 9 6 】

積層構造の回折格子を備えた回折光学素子にすることで、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。

## 【 0 0 9 7 】

各実施例において、回折光学部 D は光学面の上に施されているが、そのベースは球面又  
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で作成しても良い。回  
折格子の形状は、その  $2i$  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。

20

## 【 0 0 9 8 】

## 【数 4】

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

..... (a)

一般に、レンズ、プリズム等の屈折光学材料のアッペ数（分散値） $\nu_d$  は、 $d$ 、 $C$ 、 $F$   
線の各波長における屈折率を  $N_d$ 、 $N_C$ 、 $N_F$  とした時、次式で表される。

30

## 【 0 0 9 9 】

$$\nu_d = (N_d - 1) / (N_F - N_C) > 0 \quad \cdots (b)$$

一方、回折光学部のアッペ数  $\nu_d$  は  $d$ 、 $C$ 、 $F$  線の各波長を  $\lambda_d$ 、 $\lambda_C$ 、 $\lambda_F$  とした時

$$\nu_d = \nu_d / (N_F - N_C) \quad \cdots (c)$$

と表され、 $\nu_d = -3.45$  となる。

## 【 0 1 0 0 】

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（ $m = 1$ ）のパワー  $\phi_D$  は、回折光学部  
D の位相を表す前式（a）から 2 次項の係数を  $C_2$  とした時、 $\phi_D = -2 \cdot C_2$  と表される  
。これより回折光学素子 D O E の回折成分のみによる焦点距離  $f_{DOE}$  は

40

## 【 0 1 0 1 】

## 【数 5】

$$f_{DOE} = \frac{1}{\phi_D} = -\frac{1}{2 \cdot C_2}$$

となる。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  
パワー変化  $\phi_D'$  は、次式となる。

## 【 0 1 0 2 】

50

$$D' = ( \quad / \quad_0 ) \times ( - 2 \cdot C_2 ) \quad \cdot \cdot \cdot ( d )$$

これにより、回折光学部D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Dの光線入射高の変化に対するパワー変化は非球面と類似した効果を得ることができる。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。

【0103】

さらに本発明の撮影光学系L0のように、軸上光線がレンズ面を通過する際、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DOEを配置すれば、軸上色収差の補正にも有効である。

【0104】

次に各実施例における詳細な構成について説明する。

【0105】

[実施例1]

図1(A)の実施例1の撮影光学系L0のレンズ構成について説明する。第1レンズ群L1は3つの正レンズと1つの固体材料からなるNLFOptical素子NLFと1つの負レンズより構成されている。これらの中には接合レンズが含まれている。接合レンズは回折光学素子DOEの一部を構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、接合レンズの接合レンズ面に配置されている。接合レンズの接合面には固体材料からなるNLFOptical素子NLFが配置されている。

【0106】

条件式(4)に対応するメニスカスレンズは物体側から数えて2番目の正レンズである。第1レンズ群L1の最も物体側の正レンズと接合レンズの物体側のレンズ面は各々非球面形状である。第2レンズ群L2は正レンズと負レンズの接合レンズから構成されている。

【0107】

第3レンズ群L3を構成する第31レンズ群L31は、正レンズと負レンズを接合した2組の接合レンズから構成されている。第32レンズ群L32は、正レンズと負レンズを接合した1組の接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第32レンズ群L32は光軸に対して垂直方向の成分を持つ方向に移動して結像位置を光軸に対して垂直方向に変移する防振機能を有している。

【0108】

第33レンズ群L33は、1つの正レンズと、2組の接合レンズから構成されている。この2組の接合レンズのうち像側の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLROptical素子NLRが配置されている。また、第33レンズ群L33の最も物体側の正レンズの物体側のレンズ面と、2組の接合レンズのうち物体側の接合レンズの最も像側の面は非球面形状である。尚、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。

【0109】

[実施例2]

図2(A)の実施例2の撮影光学系L0のレンズ構成について説明する。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの固体材料からなるNLFOptical素子NLFと1つの負レンズより構成されている。これらの中には2つの接合レンズが含まれている。2つの接合レンズのうち、物体側の正レンズ同士は接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、この接合レンズの接合レンズ面に配置されている。

【0110】

また像側の、負レンズと正レンズからなる接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLFOptical素子NLFが配置されている。条件式(4)に対応するメニスカスレンズは

10

20

30

40

50



物体側から数えて３番目の正レンズである。第１レンズ群Ｌ１の接合レンズ、単レンズともに、物体側の空気に接するレンズ面は非球面形状である。第２レンズ群Ｌ２は正レンズと負レンズの接合レンズから構成されている。

【０１１１】

第３レンズ群Ｌ３を構成する第３１レンズ群Ｌ３１は、正レンズと負レンズを接合した２組の接合レンズから構成されている。第３２レンズ群Ｌ３２は、防振機能を有し、正レンズと負レンズを接合した１組の接合レンズと、１つの負レンズから構成されている。第３３レンズ群Ｌ３３は、１つの正レンズと、２組の接合レンズから構成されている。この２組の接合レンズのうち最も像側の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLR光学素子NLRが配置されている。

10

【０１１２】

また、第３３レンズ群Ｌ３３の最も物体側の正レンズの物体側のレンズ面と、２組の接合レンズのうち最も物体側の接合レンズの最も像側のレンズ面は非球面形状である。尚、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を像面側へ移動させることで行なっている。

【０１１３】

[実施例３]

図３（Ａ）の実施例３の撮影光学系Ｌ０のレンズ構成について説明する。第１レンズ群Ｌ１は４つの正レンズと１つの固体材料からなるNLF光学素子NLFと１つの負レンズで構成されている。これらの中には２つの接合レンズが含まれている。２つの接合レンズのうち、物体側の正レンズ同士の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLF光学素子NLFが配置されている。また像側の、負レンズと正レンズからなる接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、この接合レンズの接合レンズ面に配置されている。

20

【０１１４】

条件式（４）に対応するメニスカスレンズは物体側から数えて３番目の正レンズである。第１レンズ群Ｌ１の接合レンズ、単レンズともに、物体側の空気に接するレンズ面は非球面形状である。第２レンズ群Ｌ２は正レンズと負レンズの接合レンズから構成されている。

【０１１５】

第３レンズ群Ｌ３を構成する、第３１レンズ群Ｌ３１は、正レンズと負レンズを接合した２組の接合レンズから構成されている。第３２レンズ群Ｌ３２は、防振機能を有し、正レンズと負レンズを接合した１組の接合レンズと、１つの負レンズから構成されている。第３３レンズ群Ｌ３３は、１つの正レンズと、２組の接合レンズから構成されている。この２組の接合レンズのうち最も像側の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLR光学素子NLRが配置されている。また、第３３レンズ群Ｌ３３の最も物体側の正レンズの物体側面と、２組の接合レンズのうち最も物体側の接合レンズの最も像側のレンズ面は非球面形状である。尚、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を像面側へ移動させることで行なっている。

30

【０１１６】

[実施例４]

図４（Ａ）の実施例４の撮影光学系Ｌ０のレンズ構成について説明する。第１レンズ群Ｌ１は３つの正レンズと１つの固体材料からなるNLF光学素子NLFと１つの負レンズで構成されている。これらの中には１つの接合レンズが含まれている。接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、接合レンズの接合レンズ面に配置されている。更に接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLF光学素子NLFが配置されている。

40

【０１１７】

条件式（４）に対応するメニスカスレンズは物体側から数えて２番目の正レンズである。第１レンズ群Ｌ１の接合レンズ、単レンズともに、物体側の空気に接するレンズ面は非球

50

面形状である。第2レンズ群L2は正レンズと負レンズの接合レンズから構成されている。

【0118】

第3レンズ群L3を構成する第31レンズ群L31は、負レンズと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は防振機能を有し、正レンズと負レンズを接合した1組の接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。

【0119】

第33レンズ群L33は、1つの正レンズと、1つの負レンズと、2組の接合レンズから構成されている。この2組の接合レンズのうち最も像側の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNL R光学素子NL Rが配置されている。また、第33レンズ群L33の最も物体側の正レンズの物体側のレンズ面は非球面形状である。尚、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を像面側へ移動させることで行なっている。

10

【0120】

[実施例5]

図5(A)の実施例5の撮影光学系L0のレンズ構成について説明する。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの固体材料からなるNL F光学素子NL Fと1つの負レンズで構成されている。これらの中には2つの接合レンズが含まれている。物体側の正レンズ同士の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNL F光学素子NL Fが配置されている。また像側の、負レンズと正レンズからなる接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、この接合レンズの接合レンズ面に配置されている。

20

【0121】

条件式(4)に対応するメニスカスレンズは物体側から数えて最初の接合レンズと3番目の正レンズが対応している。第1レンズ群L1の接合レンズ、単レンズともに、物体側の空気に接するレンズ面は非球面形状である。第2レンズ群L2は正レンズと負レンズの接合レンズから構成されている。

【0122】

第3レンズ群L3を構成する第31レンズ群L31は、負レンズと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は防振機能を有し、正レンズと負レンズを接合した1組の接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第33レンズ群L33は、1つの正レンズと、1つの負レンズと、2組の接合レンズから構成されている。この2組の接合レンズのうち最も像側の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNL R光学素子NL Rが配置されている。

30

【0123】

第33レンズ群L33の最も物体側の正レンズの物体側のレンズ面は非球面形状である。尚、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を像面側へ移動させることで行なっている。

【0124】

[実施例6]

図6(A)の実施例6の撮影光学系L0のレンズ構成について説明する。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの固体材料からなるNL F光学素子NL Fと1つの負レンズで構成されている。これらの中には2つの接合レンズが含まれている。物体側の正レンズ同士の接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、この接合レンズの接合レンズ面に配置されている。また像側の、負レンズと正レンズからなる接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNL F光学素子NL Fが配置されている。

40

【0125】

条件式(4)に対応するメニスカスレンズは物体側から数えて3番目の正レンズが対応している。第1レンズ群L1の単レンズ(物体側から3番目の正レンズ)の物体側のレンズ

50

面は非球面形状である。第2レンズ群L2は正レンズと負レンズの接合レンズから構成されている。

【0126】

第3レンズ群L3を構成する、第31レンズ群L31は、負レンズと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、防振機能を有し正レンズと負レンズを接合した1組の接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第33レンズ群L33は、1つの正レンズと、1つの負レンズと、2組の接合レンズから構成されている。

【0127】

この2組の接合レンズのうち最も像側の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLR光学素子NLRが配置されている。また、第33レンズ群L33の正レンズの物体側のレンズ面と、負レンズの物体側のレンズ面と、2組の接合レンズのうち像側の接合レンズの最も像側のレンズ面は非球面形状である。尚、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を像面側へ移動させることで行なっている。

【0128】

[実施例7]

図7(A)の実施例7の撮影光学系L0のレンズ構成について説明する。第1レンズ群L1は4つの正レンズと1つの固体材料からなるNLF光学素子NLFと1つの負レンズで構成されている。これらの中には2つの接合レンズが含まれている。物体側の正レンズ同士の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLF光学素子NLFが配置されている。また像側の、負レンズと正レンズからなる接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、この接合レンズの接合レンズ面に配置されている。

【0129】

条件式(4)に対応するメニスカスレンズは物体側から数えて3番目の正レンズが対応している。第1レンズ群L1の接合レンズ、単レンズともに、物体側の空気に接するレンズ面は非球面形状である。第2レンズ群L2は正レンズと負レンズの接合レンズから構成されている。

【0130】

第3レンズ群L3を構成する第31レンズ群L31は、正レンズと負レンズを接合した2組の接合レンズから構成されている。第32レンズ群L32は、防振機能を有し、正レンズと負レンズを接合した1組の接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第33レンズ群L33は、1つの正レンズと、2組の接合レンズから構成されている。第33レンズ群L33の最も物体側の正レンズの物体側のレンズ面と、2組の接合レンズのうち最も物体側の接合レンズの最も像側のレンズ面は非球面形状である。本実施例はNLR光学素子NLRを有していない。

【0131】

尚、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を像面側へ移動させることで行なっている。

【0132】

[実施例8]

図8(A)の実施例8の撮影光学系L0のレンズ構成について説明する。第1レンズ群L1は3つの正レンズと1つの固体材料からなるNLF光学素子NLFと1つの負レンズで構成されている。これらの中には1つの接合レンズが含まれている。接合レンズは回折光学素子DOEを構成している。回折光学素子DOEを構成する回折光学部Dは、接合レンズの接合レンズ面に配置されている。更に接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLF光学素子NLFが配置されている。

【0133】

条件式(4)に対応するメニスカスレンズは物体側から数えて2番目の正レンズである。第1レンズ群L1の接合レンズ、単レンズともに、物体側の空気に接するレンズ面は非球

10

20

30

40

50

面形状である。第2レンズ群L2は正レンズと負レンズを接合した2組の接合レンズから構成されている。そして2組の接合レンズのうち、像側の接合レンズの最も物体側のレンズ面は非球面形状である。

#### 【0134】

第3レンズ群L3を構成する第31レンズ群L31は、負レンズと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、防振機能を有し、正レンズと負レンズを接合した1組の接合レンズと、1つの負レンズから構成されている。第33レンズ群L33は、1つの正レンズと、2組の接合レンズから構成されている。この2組の接合レンズのうち最も像側の接合レンズの接合レンズ面には固体材料からなるNLR光学素子NLRが配置されている。また、第33レンズ群L33の最も物体側の正レンズの物体側のレンズ面は非球面形状である。

10

#### 【0135】

尚、無限遠物体から近距離物体へのフォーカシングは第3レンズ群L3を像面側へ移動させることで行なっている。

#### 【0136】

以下に本発明の実施例1乃至8に対応する数値実施例1乃至8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し、 $r_i$ 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、 $n_{di}$ と $d_i$ は第 $i$ 番目の光学部材の屈折率とアッペ数である。 $gFi$ 、 $gFi$ は第 $i$ 番目の光学部材の部分分散比と部分分散比差である。焦点距離 $f$ 、Fナンバー $Fno$ 、画角 $2\omega$ (度)はそれぞれ無限遠物体に焦点を合わせたときの値である。 $BF$ はバックフォーカスであり、最終面(ガラスブロックの像側の面)から像面までの距離である。

20

#### 【0137】

各数値実施例において最も像側の2つの面はフィルター等のガラスブロックである。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、 $A4$ 、 $A6$ 、 $A8$ 、 $A10$ 、 $A12$ を各々非球面係数としたとき、

#### 【0138】

#### 【数6】

30

$$X = \frac{\left(\frac{H^2}{R}\right)}{\left\{1 + \sqrt{1 - (1 + K) \cdot \left(\frac{H}{R}\right)^2}\right\}} + A4 \cdot H^4 + A6 \cdot H^6 + A8 \cdot H^8 + A10 \cdot H^{10} + A12 \cdot H^{12}$$

なる式で表している。また例えば「 $e-Z$ 」の表示は「 $10^{-Z}$ 」を意味する。

#### 【0139】

(数値実施例1)

$f = 585.00\text{mm}$   $Fno = 4.12$   $2\omega = 4.24$

40

面番号	$r$	$d$	$nd$	$d$	有効径	$gF$	$gF$
1(非球面)	140.065	26.27	1.51633	64.1	141.99	0.53416	-0.00353
2	-692.796	0.10			140.40		
3(非球面)	93.243	13.86	1.80518	25.4	123.43	0.61655	0.01623
4	128.946	19.22			118.60		
5(非球面)	184.480	4.20	1.76182	26.5	104.04	0.61330	0.01473
6	51.430	1.80	1.63555	22.7	85.91	0.68947	0.08477 NLF
7(回折)	53.514	27.39	1.43875	94.9	85.78	0.53463	0.04681
8	-2753.616	19.24			82.41		
9	553.740	5.00	1.80809	22.8	63.26		

50

10	-255.073	4.00	1.74950	35.3	62.07		
11	73.100	51.28			55.58		
12(絞リ)		10.00			37.71		
13	285.701	2.00	1.75520	27.5	33.61		
14	56.991	5.52	1.62588	35.7	32.56		
15	-114.175	5.00			32.06		
16	135.793	5.00	1.51742	52.4	27.88		
17	-78.425	2.00	1.88300	40.8	26.40		
18	270.207	4.00			25.37		
19	41301.568	2.81	1.84666	23.8	24.72		10
20	-101.906	1.70	1.77250	49.6	24.66		
21	60.040	2.47			24.51		
22	-710.645	2.50	1.77250	49.6	24.79		
23	73.646	5.91			25.38		
24(非球面)	40.719	4.45	1.52249	59.8	29.98	0.54348 -0.00127	
25	152.850	9.51			30.06		
26	90.268	10.90	1.65412	39.7	31.67	0.57403 -0.00322	
27	-22.137	2.50	1.88300	40.8	31.54	0.56694 -0.00857	
28(非球面)	448.097	4.81			33.39		
29	-1102.426	2.00	1.63854	55.4	35.34	0.54900 -0.00286	20
30	117.543	0.10	1.70877	21.6	36.33	0.81721 0.21074 NLR	
31	65.222	7.45	1.76182	26.5	36.67	0.61330 0.01473	
32	-91.649	15.00			37.33		
33		2.00	1.51633	64.1	38.80		
34					38.92		

## 【 0 1 4 0 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

30

## 非球面データ

## 第1面

K = -2.67344e-001 A 4 = -2.99075e-008 A 6 = -3.07516e-012 A 8 = -1.95984e-016  
A10 = 1.38616e-020

## 第3面

K = 6.33596e-002 A 4 = 7.05206e-009 A 6 = 2.03582e-012 A 8 = 6.14289e-016  
A10 = -4.02103e-020 A12 = 2.62608e-023

## 第5面

K = -5.28501e-001 A 4 = -6.08638e-009 A 6 = 5.77225e-012 A 8 = 5.99011e-016  
A10 = -4.68523e-019 A12 = 7.19425e-023

40

## 第24面

K = 2.40326e+000 A 4 = -2.37222e-006 A 6 = -3.78783e-009 A 8 = 1.34349e-011  
A10 = -5.78041e-014 A12 = 4.20953e-017

## 第28面

K = -3.00129e+002 A 4 = 1.20966e-007 A 6 = -1.36320e-010 A 8 = 1.91412e-012  
A10 = -3.99213e-015 A12 = 4.00069e-018

## 第7面(回折面)

C 2 = -3.28989e-005 C 4 = -1.35044e-009 C 6 = -7.63717e-013 C 8 = -5.29402e-018

## 各種データ

50

ズーム比 1.00

焦点距離 585.00  
Fナンバー 4.12  
半画角(度) 2.12  
像高 21.64  
レンズ全長 330.00  
BF 50.00

入射瞳位置 722.76 10  
射出瞳位置 -108.14  
前側主点位置 -856.26  
後側主点位置 -535.00

#### レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	163.18	92.85	-11.95	-72.97
L2	9	-117.87	9.00	6.03	0.93
L3	12	-278.56	107.63	-11.29	-119.91
L31	12	470.61	29.52	-10.99	-33.11
L32	19	-41.29	9.48	4.31	-1.97
L33	24	78.44	58.72	10.76	-40.76

20

#### 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	228.10
2	3	356.51
3	5	-94.90
4	6	1556.08
5	7	120.00
6	9	216.70
7	10	-75.41
8	13	-94.63
9	14	61.50
10	16	96.85
11	17	-68.65
12	19	120.07
13	20	-48.68
14	22	-86.26
15	24	104.80
16	26	28.26
17	27	-23.83
18	29	-166.24
19	30	-206.89
20	31	51.07
G	33	0.00

30

40

【 0 1 4 1 】

(数値実施例2)

50

f= 585.00mm Fno= 4.12 2 = 4.24

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	gF	
1(非球面)	128.740	17.72	1.51633	64.1	141.99	0.53416	-0.00353	
2(回折)	500.000	11.30	1.51633	64.1	140.86	0.53416	-0.00353	
3	-703.077	0.10			139.85			
4(非球面)	88.842	12.51	1.80518	25.4	121.02	0.61655	0.01623	
5	114.831	17.85			116.35			
6(非球面)	175.022	4.20	1.75520	27.5	104.42	0.61020	0.01325	
7	50.186	1.80	1.63555	22.7	85.50	0.68947	0.08477	NLF
8	52.015	26.86	1.43875	94.9	85.35	0.53463	0.04681	10
9	-6780.397	19.34			82.60			
10	463.835	5.00	1.80809	22.8	63.18			
11	-238.497	4.00	1.74950	35.3	62.13			
12	74.292	51.49			55.44			
13(絞り)		10.00			35.53			
14	270.367	2.00	1.88300	40.8	31.02			
15	48.621	5.34	1.57501	41.5	29.92			
16	-101.941	5.00			29.52			
17	74.246	5.00	1.64769	33.8	25.75			
18	-57.511	2.00	1.84666	23.8	24.59			20
19	112.964	4.00			23.22			
20	-639.774	2.81	1.84666	23.8	23.09			
21	-82.065	1.70	1.77250	49.6	23.11			
22	55.119	2.67			23.12			
23	-257.505	2.50	1.77250	49.6	23.53			
24	94.925	5.00			24.36			
25(非球面)	53.684	11.03	1.60342	38.0	28.40	0.58349	0.00354	
26	-50.683	0.10			29.45			
27	-77.525	6.66	1.62588	35.7	29.34	0.58894	0.00521	
28	-23.564	2.50	1.77250	49.6	29.55	0.55234	-0.00885	30
29(非球面)	133.878	7.91			31.24			
30	120.078	12.00	1.69895	30.1	35.95	0.60302	0.01030	
31	-25.975	0.10	1.63555	22.7	36.55	0.68947	0.08477	NLR
32	-31.308	2.50	1.80518	25.4	36.76	0.61655	0.01623	
33	-85.325	15.00			38.29			
34		2.00	1.51633	64.1	39.54			
35					39.64			

# 【 0 1 4 2 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

## 非球面データ

### 第1面

K = -2.72588e-001 A 4 = -2.96581e-008 A 6 = -3.45376e-012 A 8 = -2.32349e-016  
A10 = 9.83112e-021

### 第4面

K = 6.19571e-002 A 4 = 6.16081e-009 A 6 = 2.06029e-012 A 8 = 6.25629e-016  
A10 = -4.58119e-020 A12 = 2.90121e-023

### 第6面

40

50

K = -6.57252e-001 A 4 = -8.65167e-009 A 6 = 7.75995e-012 A 8 = 1.07239e-015  
A10 = -3.81758e-019 A12 = 5.48647e-023

第25面

K = 3.51724e+000 A 4 = -2.47126e-006 A 6 = -2.04889e-011 A 8 = 3.02961e-012  
A10 = -8.44682e-015 A12 = -6.61057e-018

第29面

K = -1.01443e+001 A 4 = 1.37866e-007 A 6 = 1.79670e-009 A 8 = -9.29104e-013  
A10 = 1.04887e-014 A12 = -1.25453e-017

第2面(回折面)

C 2 = -1.70072e-005 C 4 = 6.09183e-010 C 6 = -4.23164e-014 C 8 = 5.79225e-018  
C10 = -1.26502e-022

10

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 585.00  
Fナンバー 4.12  
半画角(度) 2.12  
像高 21.64  
レンズ全長 330.00  
BF 50.00

20

入射瞳位置 754.68  
射出瞳位置 -121.10  
前側主点位置 -660.51  
後側主点位置 -535.00

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	162.06	92.33	-12.24	-72.30
L2	10	-124.88	9.00	6.28	1.17
L3	13	-305.08	107.84	-49.79	-180.59
L31	13	1168.11	29.34	-36.68	-57.52
L32	20	-38.07	9.69	3.95	-2.51
L33	25	71.46	59.81	14.73	-35.30

30

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	330.43
2	2	567.73
3	4	401.38
4	6	-94.54
5	7	1624.48
6	8	117.79
7	10	195.54
8	11	-75.17
9	14	-67.42
10	15	58.00
11	17	50.79
12	18	-44.77

40

50



13	20	110.93
14	21	-42.45
15	23	-89.51
16	25	44.99
17	27	51.64
18	28	-25.76
19	30	31.62
20	31	-241.66
21	32	-62.72
G	34	0.00

10

## 【 0 1 4 3 】

(数值实施例3)

f=585.01 mm Fno= 4.12 2 =4.24

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	gF
1(非球面)	117.574	19.70	1.51633	64.1	141.99	0.53416	-0.00353
2	319.657	0.34	1.78927	17.6	139.77	0.79406	0.18112 NLF
3	327.008	14.51	1.51633	64.1	139.70	0.53416	-0.00353
4	-1151.028	0.10			137.72		
5(非球面)	102.251	11.28	1.75520	27.5	121.78	0.61020	0.01325
6	129.217	23.10			116.72		
7(非球面)	162.202	4.20	1.80000	29.8	99.01	0.60187	0.00870
8(回折)	55.730	28.21	1.43875	94.9	85.03	0.53463	0.04681
9	-862.298	19.32			80.68		
10	390.086	5.00	1.80809	22.8	60.83		
11	-303.624	4.00	1.74950	35.3	59.52		
12	67.631	51.47			53.15		
13(絞り)		10.00			35.02		
14	395.613	4.65	1.54072	47.2	30.97		
15	-50.765	2.00	1.88300	40.8	30.40		
16	-82.186	5.00			30.08		
17	74.585	5.00	1.48749	70.2	25.79		
18	-251.279	2.00	1.88300	40.8	24.81		
19	94.273	4.00			24.37		
20	2574.482	2.81	1.84666	23.8	24.27		
21	-96.759	1.70	1.77250	49.6	24.22		
22	49.677	2.67			24.09		
23	-388.495	2.50	1.77250	49.6	24.43		
24	78.728	5.00			25.23		
25(非球面)	57.184	5.50	1.48749	70.2	29.21	0.53026	0.00244
26	-66.623	0.10			29.71		
27	619.872	8.27	1.65412	39.7	30.01	0.57403	-0.00322
28	-23.667	2.50	1.80440	39.6	30.21	0.57283	-0.00458
29(非球面)	194.974	5.54			31.89		
30	321.884	9.95	1.72825	28.5	34.32	0.60766	0.01224
31	-25.614	0.10	1.78927	17.6	34.86	0.79406	0.18112 NLR
32	-30.109	2.50	1.72916	54.7	35.18	0.54423	-0.00880
33	-97.611	15.00			36.58		
34		2.00	1.51633	64.1	38.22		

50

35

38.35

【 0 1 4 4 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

非球面データ

第1面

K = -2.41497e-001 A 4 = -2.62052e-008 A 6 = -3.00481e-012 A 8 = -3.22164e-016  
A10 = 1.57989e-021

10

第5面

K = 4.65762e-002 A 4 = -2.61332e-009 A 6 = 3.19356e-013 A 8 = 5.53183e-016  
A10 = -3.65126e-020 A12 = 1.26283e-023

第7面

K = -7.16100e-001 A 4 = -8.00366e-009 A 6 = 5.78518e-012 A 8 = 1.60502e-015  
A10 = -3.00367e-019 A12 = 2.96230e-023

第25面

K = 5.93556e+000 A 4 = -6.70976e-006 A 6 = 2.43261e-009 A 8 = -1.74055e-011  
A10 = 6.71462e-014 A12 = -1.75986e-016

第29面

K = -9.91413e+001 A 4 = -1.57799e-006 A 6 = 8.12592e-010 A 8 = -3.70759e-012  
A10 = 2.26035e-014 A12 = -3.53132e-017

20

第8面(回折面)

C 2 = -3.78006e-005 C 4 = -2.47639e-009 C 6 = -1.79197e-012 C 8 = 3.61334e-016

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 585.01

Fナンバー 4.12

半画角(度) 2.12

像高 21.64

レンズ全長 330.00

BF 50.00

30

入射瞳位置 809.38

射出瞳位置 -97.06

前側主点位置 -932.84

後側主点位置 -535.01

40

レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	165.01	101.42	-5.59	-76.59
L2	10	-114.97	9.00	6.37	1.25
L3	13	-257.25	98.79	-9.67	-107.10
L31	13	603.62	28.65	-25.56	-45.91
L32	20	-37.18	9.69	4.24	-2.24
L33	25	68.08	51.46	9.37	-32.64

単レンズデータ

50

レンズ	始面	焦点距離
1	1	348.62
2	2	17659.59
3	3	494.86
4	5	549.85
5	7	-108.02
6	8	120.44
7	10	211.96
8	11	-73.46
9	14	83.51
10	15	-155.00
11	17	118.58
12	18	-77.43
13	20	110.20
14	21	-42.28
15	23	-84.54
16	25	64.06
17	27	35.03
18	28	-26.10
19	30	32.98
20	31	-219.53
21	32	-60.66
G	34	0.00

10

20

## 【 0 1 4 5 】

( 数値実施例4 )

f= 779.00mm Fno= 5.80 2 =3.18

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	gF
1(非球面)	150.484	17.46	1.48749	70.2	134.31	0.53026	0.00244
2	1417.702	0.10			133.22		
3(非球面)	187.298	9.09	1.70154	41.2	129.15	0.57672	0.00198
4	446.327	24.88			128.03		
5(非球面)	457.099	5.50	1.72047	34.7	110.71	0.58361	-0.00167
6(回折)	90.746	0.38	1.70877	21.6	101.60	0.81721	0.21074 NLF
7	92.023	20.28	1.43875	94.9	101.55	0.53463	0.04681
8	-854.409	106.11			100.25		
9	-4722.398	4.03	1.75520	27.5	36.00		
10	-76.640	2.00	1.72342	38.0	35.35		
11	81.266	32.59			33.36		
12(絞り)		2.50			24.47		
13	135.033	1.88	1.88300	40.8	23.60		
14	33.932	4.28	1.61772	49.8	22.81		
15	-95.373	2.00			22.55		
16	116.206	2.80	1.80809	22.8	21.24		
17	-96.722	1.94	1.83481	42.7	20.70		
18	47.554	3.00			19.63		
19	-140.177	1.90	1.74100	52.6	19.30		
20	78.442	1.76			19.13		
21(非球面)	32.856	3.58	1.48749	70.2	19.35	0.53026	0.00244

30

40

50

22	75.156	12.24			18.96		
23	75.603	9.52	1.64769	33.8	22.47	0.59447	0.00769
24	-19.196	2.00	1.88300	40.8	22.71	0.56694	-0.00857
25	-79.883	5.00			23.77		
26	-35.328	2.00	1.80809	22.8	24.32	0.63070	0.02607
27	-187.997	5.00			25.82		
28	930.917	2.80	1.48749	70.2	29.34	0.53026	0.00244
29	-2064.439	0.10	1.70877	21.6	30.40	0.81721	0.21074 NLR
30	200.441	8.84	1.69895	30.1	30.66	0.60302	0.01030
31	-48.474	6.42			32.58		
32		2.20	1.51633	64.1	33.60		
33					33.76		

10

## 【 0 1 4 6 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

## 非球面データ

## 第1面

K = -2.16884e-001 A 4 = -8.30550e-009 A 6 = -5.37949e-013 A 8 = -3.31934e-017  
A10 = -9.09014e-021 A12 = -1.87542e-024

20

## 第3面

K = 1.14426e-001 A 4 = 3.69915e-009 A 6 = 2.30180e-013 A 8 = 5.59767e-017  
A10 = 9.88507e-021 A12 = 3.31149e-024

## 第5面

K = -1.79816e+001 A 4 = -3.47271e-010 A 6 = -2.79085e-013 A 8 = 1.92835e-016  
A10 = -1.10504e-019 A12 = 9.93140e-024

## 第21面

K = 1.09186e+000 A 4 = 7.26284e-007 A 6 = 2.35034e-009 A 8 = 4.31822e-012  
A10 = 2.52710e-014 A12 = -1.67867e-017

30

## 第6面(回折面)

C 2 = -1.90119e-005 C 4 = -9.07462e-011 C 6 = -4.25190e-013 C 8 = 4.27203e-016  
C10 = -1.65366e-019 C12 = 2.05095e-023

## 各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 779.00

Fナンバー 5.80

半画角(度) 1.59

像高 21.64

レンズ全長 390.00

BF 85.83

40

入射瞳位置 1421.29

射出瞳位置 -100.48

前側主点位置 -1056.95

後側主点位置 -693.17

## レンズ群データ

50

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	230.95	77.69	-5.88	-63.80
L2	9	-115.64	6.03	3.45	-0.01
L3	12	-527.12	81.74	-133.57	-279.38
L31	12	191.28	8.66	5.55	-0.63
L32	16	-38.97	9.64	5.53	-1.22
L33	21	83.74	59.69	23.05	-36.56

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離	
1	1	343.80	10
2	3	453.47	
3	5	-158.15	
4	6	8216.92	
5	7	190.59	
6	9	103.12	
7	10	-54.23	
8	13	-51.78	
9	14	41.03	
10	16	65.71	20
11	17	-37.96	
12	19	-67.63	
13	21	116.51	
14	23	24.61	
15	24	-29.07	
16	26	-54.15	
17	28	1316.53	
18	29	-257.77	
19	30	56.67	30
G	32	0.00	

## 【 0 1 4 7 】

(数値実施例5)

f= mm Fno=5.80 2 =3.18

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	gF	
1(非球面)	131.979	13.45	1.48749	70.2	134.32	0.53026	0.00244	40
2	328.720	1.54	1.69591	17.7	133.43	0.68555	0.07268	
3	415.066	4.72	1.48749	70.2	133.40	0.53026	0.00244	
4	670.392	0.10			132.47			
5(非球面)	204.497	9.76	1.66672	48.3	129.29	0.56014	-0.00316	
6	587.159	22.52			127.84			
7(非球面)	405.597	5.50	1.73800	32.3	110.70	0.59029	0.00104	
8(回折)	88.918	20.14	1.43875	94.9	101.28	0.53463	0.04681	
9	-567.163	105.25			100.50			
10	-435.806	3.99	1.75520	27.5	31.90			
11	-47.046	2.00	1.72342	38.0	31.40			50
12	58.411	32.06			29.18			
13(絞り)		2.50			22.71			
14	91.338	1.88	1.88300	40.8	22.03			

15	34.565	4.01	1.51742	52.4	21.37			
16	-70.386	2.00			21.17			
17	150.917	2.39	1.80809	22.8	24.68			
18	-111.656	1.94	1.83481	42.7	24.35			
19	47.532	2.12			23.27			
20	-144.481	1.90	1.74100	52.6	23.26			
21	97.096	1.76			23.35			
22(非球面)	32.082	3.04	1.48749	70.2	19.99	0.53026	0.00244	
23	76.925	10.93			20.20			
24	83.691	9.81	1.63980	34.5	23.34	0.59213	0.00644	10
25	-17.727	2.00	1.88300	40.8	23.61	0.56694	-0.00857	
26	-90.189	5.00			25.13			
27	-32.914	2.00	1.80809	22.8	25.96	0.63070	0.02607	
28	-60.545	5.00			27.56			
29	-273.560	2.00	1.48749	70.2	31.01	0.53026	0.00244	
30	-429.316	0.10	1.69591	17.7	31.89	0.68555	0.07268	NLR
31	115.930	9.02	1.74000	28.3	32.45	0.60742	0.01172	
32	-50.777	6.42			34.17			
33		2.20	1.51633	64.1	35.00			
34					35.13			20

## 【 0 1 4 8 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

## 非球面データ

## 第1面

K = -1.83034e-001 A 4 = -1.08632e-008 A 6 = -9.98581e-013 A 8 = -7.10141e-017  
A10 = -3.01780e-021 A12 = -5.37565e-024 A14 = 5.56342e-029

## 第5面

K = -1.90062e-001 A 4 = 1.60544e-010 A 6 = 5.45450e-013 A 8 = -2.16694e-018  
A10 = 1.86708e-020 A12 = 4.47511e-024 A14 = -2.83754e-029

## 第7面

K = -1.68339e+001 A 4 = 7.91371e-009 A 6 = -9.00747e-013 A 8 = 1.64387e-016  
A10 = -3.16993e-020 A12 = 3.44828e-024 A14 = -8.48929e-028

## 第22面

K = 9.80810e-001 A 4 = 2.46751e-006 A 6 = 1.06161e-008 A 8 = -7.35318e-011  
A10 = 6.76391e-013 A12 = -1.63553e-015

## 第8面(回折面)

C 2 = -1.64441e-005 C 4 = -1.44139e-010 C 6 = 1.20065e-014 C 8 = 8.74221e-017  
C10 = -1.96810e-020

## 各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 779.04

Fナンバー 5.80

半画角(度) 1.59

像高 21.64

レンズ全長 389.95

BF 90.92

入射瞳位置 1658.05  
 射出瞳位置 -102.29  
 前側主点位置 -704.08  
 後側主点位置 -688.12

#### レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	216.78	77.72	-2.92	-60.90
L2	10	-74.05	5.99	3.04	-0.38
L3	13	922.69	78.00	305.00	353.31
L31	13	154.12	8.38	5.03	-1.16
L32	17	-39.52	8.35	4.33	-1.28
L33	22	76.00	57.51	23.54	-33.22

10

#### 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	442.44
2	2	2254.16
3	3	2222.10
4	5	465.88
5	7	-155.46
6	8	176.85
7	10	69.53
8	11	-35.74
9	14	-63.97
10	15	45.39
11	17	79.74
12	18	-39.72
13	20	-78.11
14	22	110.44
15	24	23.76
16	25	-25.32
17	27	-92.23
18	29	-1553.28
19	30	-131.16
20	31	48.84
G	33	0.00

20

30

40

#### 【 0 1 4 9 】

( 数値実施例6 )

f= 779.00mm Fno= 5.80 2 =3.18

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	gF
1	139.205	15.19	1.48749	70.2	134.31	0.53026	0.00244
2(回折)	473.490	4.99	1.48749	70.2	133.39	0.53026	0.00244
3	972.819	0.10			132.50		
4(非球面)	200.987	6.28	1.67270	32.1	128.79	0.59905	0.00953
5	344.389	22.63			127.72		

50

6	179.959	5.50	1.73800	32.3	111.64	0.59029	0.00104	
7	76.314	1.80	1.55324	39.8	101.46	0.66403	0.08696	NLF
8	81.509	20.20	1.43875	94.9	101.37	0.53463	0.04681	
9	1235.977	103.73			99.78			
10	-2222.576	4.13	1.75520	27.5	36.00			
11	-72.042	2.00	1.72342	38.0	35.33			
12	79.505	31.65			33.23			
13(絞リ)		2.50			24.31			
14	88.185	1.88	1.88300	40.8	23.33			
15	29.408	4.81	1.51742	52.4	22.39			10
16	-77.673	2.00			22.11			
17	168.131	2.80	1.80809	22.8	20.86			
18	-73.571	1.94	1.83481	42.7	20.37			
19	46.593	2.54			19.39			
20	-190.809	1.90	1.74100	52.6	19.22			
21	90.853	1.76			19.13			
22(非球面)	32.678	3.58	1.51823	58.9	19.40	0.54608	-0.00001	
23	55.871	7.68			19.30			
24	56.402	10.11	1.64769	33.8	21.71	0.59447	0.00769	
25	-17.102	2.00	1.88300	40.8	21.84	0.56694	-0.00857	20
26	-53.983	5.00			22.89			
27(非球面)	-30.455	2.00	1.80809	22.8	23.03	0.63070	0.02607	
28	315.476	5.00			24.79			
29	1127.290	6.50	1.63980	34.5	28.76	0.59213	0.00644	
30	-46.633	0.10	1.55324	39.8	30.53	0.66403	0.08696	NLR
31	-94.836	6.44	1.63980	34.5	31.16	0.59213	0.00644	
32(非球面)	-37.216	6.42			32.86			
33		2.20	1.51633	64.1	33.89			
34					34.03			

30

## 【 0 1 5 0 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

## 非球面データ

## 第4面

K = -5.64293e-001 A 4 = -9.91818e-009 A 6 = -5.58202e-013 A 8 = -1.63077e-017  
A10 = 3.94688e-021 A12 = -5.24722e-025

## 第22面

K = 1.22852e+000 A 4 = 3.42832e-006 A 6 = 1.29147e-008 A 8 = -3.96000e-012  
A10 = 1.98086e-013 A12 = -6.44845e-017

40

## 第27面

K = 1.32604e-001 A 4 = -9.68621e-007 A 6 = -5.47105e-010 A 8 = -6.49025e-012  
A10 = -2.52564e-015

## 第32面

K = 3.81075e-001 A 4 = 2.05748e-007 A 6 = 7.66606e-010 A 8 = -4.76054e-013  
A10 = 1.17150e-015

## 第2面(回折面)

C 2 = -1.32140e-005 C 4 = 3.58697e-010 C 6 = -6.24068e-014 C 8 = 1.49334e-017  
C10 = -1.28240e-021

50



## 各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 779.00

Fナンバー 5.80

半画角(度) 1.59

像高 21.64

レンズ全長 390.00

BF 92.65

10

入射瞳位置 1390.95

射出瞳位置 -102.40

前側主点位置 -941.23

後側主点位置 -686.35

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	222.42	76.69	-3.46	-59.99
L2	10	-111.07	6.13	3.43	-0.08
L3	13	-567.69	79.16	-166.70	-338.39
L31	13	229.92	9.18	6.09	-0.63
L32	17	-38.90	9.18	4.67	-1.57
L33	22	81.99	57.04	24.49	-32.02

20

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	398.53
2	2	1886.13
3	4	705.11
4	6	-183.68
5	7	1926.51
6	8	197.83
7	10	98.51
8	11	-51.96
9	14	-50.73
10	15	41.87
11	17	63.66
12	18	-33.92
13	20	-82.82
14	22	144.29
15	24	21.42
16	25	-29.09
17	27	-34.28
18	29	70.14
19	30	-165.96
20	31	91.74
G	33	0.00

30

40

50

## 【 0 1 5 1 】

(数値実施例7)

f= 585.00mm Fno= 4.12 2 =4.24

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	gF
1(非球面)	125.329	10.31	1.51633	64.1	141.99	0.53416	-0.00353
2	213.016	1.80	1.63555	22.7	141.20	0.68947	0.08477 NLF
3	242.710	14.08	1.51633	64.1	141.11	0.53416	-0.00353
4	-1911.918	0.10			140.26		
5(非球面)	105.549	12.68	1.80518	25.4	126.26	0.61655	0.01623
6	158.228	20.89			122.60		
7(非球面)	221.218	4.20	1.76182	26.5	105.09	0.61330	0.01473
8(回折)	55.160	29.19	1.43875	94.9	88.11	0.53463	0.04681
9	-484.404	19.44			85.11		
10	352.083	5.00	1.80809	22.8	63.40		
11	-448.754	4.00	1.74950	35.3	61.94		
12	68.640	52.04			55.30		
13(絞リ)		10.00			35.96		
14	199.540	2.00	1.74950	35.3	31.52		
15	89.154	4.13	1.51742	52.4	30.69		
16	-127.966	5.00			30.12		
17	79.382	5.00	1.56732	42.8	25.93		
18	-78.937	2.00	1.88300	40.8	24.43		
19	106.020	4.00			23.16		
20	-677.279	2.81	1.84666	23.8	22.99		
21	-80.136	1.70	1.77250	49.6	23.01		
22	54.318	2.59			23.01		
23	-312.276	2.50	1.77250	49.6	23.41		
24	89.405	5.00			24.21		
25(非球面)	49.266	7.53	1.51742	52.4	28.46	0.55623	-0.00042
26	327.971	0.10			29.10		
27	65.739	12.00	1.65412	39.7	29.42	0.57403	-0.00322
28	-18.635	2.50	1.80400	46.6	29.25	0.55736	-0.00874
29(非球面)	64.125	6.34			31.06		
30	101.218	12.00	1.69895	30.1	35.45	0.60302	0.01030
31	-25.758	2.50	1.80809	22.8	36.18	0.63070	0.02607
32	-59.627	7.45			38.46		
33		2.00	1.51633	64.1	39.21		
34					39.30		

10

20

30

## 【 0 1 5 2 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

非球面データ

第1面

K = -2.26889e-001 A 4 = -2.23279e-008 A 6 = -3.67273e-012 A 8 = -6.22189e-016  
A10 = 1.96958e-020

第5面

K = 4.68384e-002 A 4 = -1.92346e-009 A 6 = 1.44792e-012 A 8 = 8.14389e-016  
A10 = -1.32355e-020 A12 = 2.53007e-023

40

50

## 第7面

K = -3.61869e-001 A 4= -1.64758e-009 A 6= 6.58165e-012 A 8= 7.84153e-016  
A10= -8.06872e-019 A12= 1.10181e-022

## 第25面

K = 5.71323e+000 A 4= -3.26073e-006 A 6= 8.23054e-010 A 8= -5.26344e-012  
A10= 7.83965e-015 A12= -2.96476e-017

## 第29面

K = -6.15197e+000 A 4= 1.12736e-006 A 6= -3.77448e-010 A 8= 2.61322e-012  
A10= -6.72831e-015 A12= 1.20238e-017

## 第8面(回折面)

C 2= -4.03619e-005 C 4= 3.81145e-009 C 6= 1.04977e-013 C 8= -3.09944e-016

10

## 各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 585.00

Fナンバー 4.12

半画角(度) 2.12

像高 21.64

レンズ全長 330.00

BF 57.12

20

入射瞳位置 755.51

射出瞳位置 -114.38

前側主点位置 -654.98

後側主点位置 -527.88

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	160.77	93.25	-5.55	-71.18
L2	10	-119.55	9.00	6.55	1.42
L3	13	-328.57	99.15	-50.33	-173.81
L31	13	1391.73	28.13	-98.42	-112.45
L32	20	-37.96	9.61	3.95	-2.44
L33	25	71.09	52.41	15.26	-28.15

30

## 単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	566.96
2	2	2676.58
3	3	418.05
4	5	355.57
5	7	-97.52
6	8	114.76
7	10	244.83
8	11	-79.17
9	14	-216.70
10	15	102.22
11	17	70.57
12	18	-50.98

40

50

13	20	107.12
14	21	-41.68
15	23	-89.73
16	25	111.02
17	27	23.52
18	28	-17.72
19	30	30.57
20	31	-58.03
G	33	0.00

10

## 【 0 1 5 3 】

( 数值实施例8 )

f= 585.02mm Fno= 4.12 2 =4.24

面番号	r	d	nd	d	有効径	gF	gF
1(非球面)	129.326	24.94	1.51742	52.4	141.99	0.55623	-0.00042
2	-1339.898	0.10			140.66		
3(非球面)	112.537	9.61	1.80518	25.4	127.92	0.61655	0.01623
4	145.043	11.77			124.64		
5(非球面)	170.834	4.20	1.75520	27.5	117.17	0.61020	0.01325
6	62.051	1.80	1.63555	22.7	100.63	0.68947	0.08477 NLF
7(回折)	64.585	29.34	1.43875	94.9	100.55	0.53463	0.04681
8	-703.982	23.39			98.54		
9(絞り)		5.00			75.07		
10	119.273	5.00	1.80809	22.8	66.05		
11	238.775	4.00	1.88300	40.8	64.12		
12	54.153	60.00			56.75		
13(非球面)	47.512	2.00	1.88300	40.8	43.07		
14	31.163	12.25	1.53172	48.8	40.69		
15	-197.723	0.50			39.52		
16	78.592	3.00	1.75520	27.5	37.21		
17	27.934	2.49	1.67270	32.1	33.62		
18	37.380	4.35			33.23		
19	492.777	2.81	1.84666	23.8	33.06		
20	-199.322	1.70	1.77250	49.6	32.78		
21	55.620	3.02			32.00		
22	-10222.496	2.50	1.77250	49.6	32.12		
23	70.505	1.99			32.55		
24(非球面)	42.265	5.91	1.51742	52.4	35.05	0.55623	-0.00042
25	110.056	6.08			34.85		
26	57.336	12.00	1.65412	39.7	35.35	0.57403	-0.00322
27	-23.153	2.50	1.88300	40.8	35.10	0.56694	-0.00857
28	188.890	13.83			36.30		
29	95.512	11.58	1.74077	27.8	42.05	0.60915	0.01264
30	-36.290	0.10	1.70877	21.6	42.09	0.81721	0.21074 NLR
31	-46.420	2.50	1.88300	40.8	42.07	0.56694	-0.00857
32	-252.061	7.72			42.63		
33		2.00	1.51633	64.1	42.70		
34					42.71		

20

30

40

50

## 【 0 1 5 4 】

ただし、ここで示す  $g_F$  の値は以下の定義によるものである。

$$g_F = g_F - (-1.61783 \times 10^{-3} \times d + 0.64146)$$

## 非球面データ

## 第1面

K = -2.94977e-001 A 4 = -3.03221e-008 A 6 = -4.24408e-012 A 8 = -5.18311e-016

A10 = 1.82510e-020

## 第3面

K = 4.33371e-002 A 4 = -4.01087e-009 A 6 = 1.04905e-012 A 8 = 1.83181e-016

A10 = 1.73973e-020 A12 = 1.20418e-023

## 第5面

K = -5.41580e-001 A 4 = -5.46427e-009 A 6 = 6.06667e-012 A 8 = 1.48079e-015

A10 = -3.64330e-019 A12 = 2.30482e-023

## 第13面

K = 8.95529e-002 A 4 = 1.69207e-007 A 6 = 2.37833e-010 A 8 = -3.68942e-013

A10 = 7.47702e-016 A12 = -3.83431e-019

## 第24面

K = 2.82995e+000 A 4 = -2.44534e-006 A 6 = -1.76512e-009 A 8 = -1.10606e-011

A10 = 3.67099e-014 A12 = -1.05591e-016

## 第7面(回折面)

C 2 = -2.24790e-005 C 4 = -8.42035e-010 C 6 = 8.71868e-013 C 8 = -2.52614e-016

## 各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 585.02

Fナンバー 4.12

半画角(度) 2.12

像高 21.64

レンズ全長 330.00

BF 50.00

入射瞳位置 159.38

射出瞳位置 -133.95

前側主点位置 -1116.13

後側主点位置 -535.02

## レンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
L1	1	158.15	81.77	1.99	-55.49
L2	9	158.32	88.25	105.00	70.77
L3	16	-63.72	86.08	-3.61	-83.69
L31	16	-92.45	5.49	5.80	2.44
L32	19	-42.94	10.03	4.80	-2.04
L33	24	80.87	54.50	11.43	-34.77
G	33		2.00	0.66	-0.66

## 単レンズデータ

レンズ 始面 焦点距離

1	1	229.27
2	3	550.96
3	5	-131.21
4	6	1950.13
5	7	136.42
6	10	289.50
7	11	-80.13
8	13	-108.80
9	14	51.59
10	16	-58.89
11	17	148.57
12	19	167.93
13	20	-56.13
14	22	-90.63
15	24	128.78
16	26	26.79
17	27	-23.23
18	29	36.88
19	30	-235.58
20	31	-64.81
G	33	0.00

10

20

## 【 0 1 5 5 】

表 1 に各実施例における固体材料からなる  $NFL$  光学素子  $NFL$  の材料の光学特性を示す。表 1 に示す通り、固体材料からなる光学素子  $NFL$  の材料は、数値実施例 1 , 2 , 7 , 8 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 5 では N - ポリビニルカルバゾールを単体で用いている。UV 硬化樹脂 2 と  $TiO_2$  の光学特性を表 2 に示す。 $TiO_2$  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。

## 【 0 1 5 6 】

30

数値実施例 3 , 4 及び 6 では  $TiO_2$  を合成樹脂に分散させた状態で用いている。数値実施例 3 では合成樹脂として UV 硬化樹脂 1 を用いており、 $TiO_2$  の体積分率は 20 % である。数値実施例 4 及び 6 では合成樹脂として UV 硬化樹脂 2 を用いており、 $TiO_2$  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。

## 【 0 1 5 7 】

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 5 8 】

【表 1】

	数値実施例1, 2, 7, 8	数値実施例3	数値実施例4	数値実施例5	数値実施例6
	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-ポリビニル 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	0.664
$\Delta \theta_{gFNLF}$	0.0652	0.1507	0.1890	0.0424	0.0893
$\Delta \theta_{gFNLR}$	0.0652	0.1507	0.1890	0.0424	0.0893
$\Delta \theta_{gFL1i}$					
$\Delta \theta_{gFL3j}$	0.0848	0.1811	0.2107	0.0727	0.0870

10

【 0 1 5 9 】

【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

【 0 1 6 0 】

【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	数値実施例8
条件式(1)	5.48	5.55	4.96	5.83	6.21	6.13	5.54	6.42
条件式(2)	69.10	139.55	682.54	356.10	112.93	120.12	96.89	126.74
条件式(3)	0.0652	0.0652	0.1507	0.1890	0.0424	0.0893	0.0652	0.0652
条件式(4)	0.161	0.128	0.116	0.409	0.671	0.263	0.200	0.126
条件式(5)	2.85	3.11	2.86	3.38	2.57	3.51	3.08	5.49
条件式(6)	1.53	1.55	1.63	1.66	1.70	1.84	1.57	1.84
条件式(7)	6.02	6.02	5.72	7.00	7.04	7.13	5.97	9.86
条件式(8)	-9.19	-20.76	-8.48	-11.17	-6.57	-10.35	—	-15.31
条件式(9)	0.189	0.065	0.151	0.189	0.042	0.089	—	0.189
条件式(10)	1.29E-03	1.59E-03	1.51E-03	3.34E-03	3.40E-03	3.10E-03	9.13E-04	1.74E-03
条件式(11)	-1.65E-02	-1.75E-03	-1.66E-02	-2.81E-02	-1.47E-02	-1.87E-02	-8.67E-04	-1.16E-02

30

次に本発明の光学系を撮像装置（カメラシステム）に適用した実施例を図9を用いて説明する。図9は一眼レフカメラの要部概略図である。

【 0 1 6 1 】

図9において、10は実施例1～8のいずれか1つの撮影光学系1を有する撮像レンズである。撮影光学系1は保持部材である鏡筒2に保持されている。20はカメラ本体である。カメラ本体は撮像レンズ10からの光束を上方に反射するクイックリターンミラー3、撮像レンズ10の像形成位置に配置された焦点板4、焦点板4に形成された逆像を正立像に変換するペンタダハプリズム5を有している。更に、その正立像を観察するための接眼レンズ6等によって構成されている。

40

【 0 1 6 2 】

7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）（撮像部）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3が光路から退避して、感光面7上に撮影レンズ10によって像が形成される。このように実施例1～8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の撮像装置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している。

50

## 【 0 1 6 3 】

尚、本実施例ではクイックリターンミラーのないミラーレスの一眼レフカメラにも同様に適用することができる。

## 【 符号の説明 】

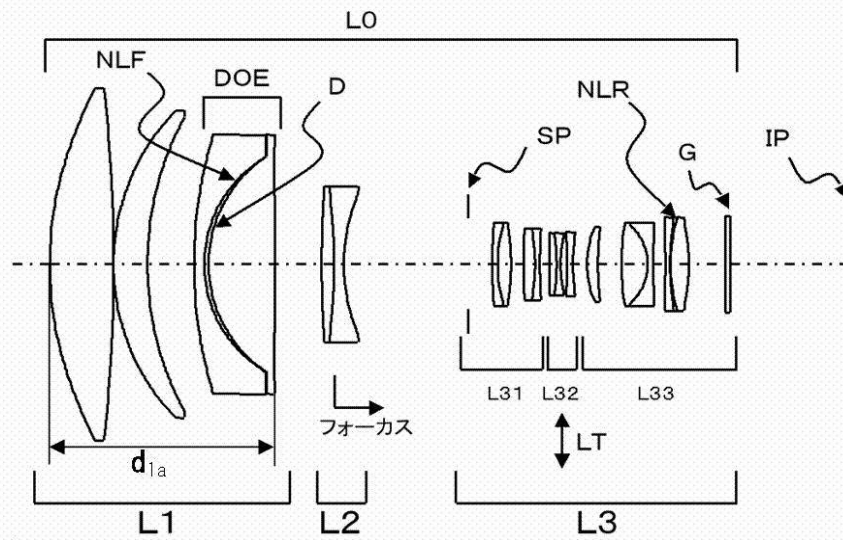
## 【 0 1 6 4 】

L 0 撮影光学系 L 1 第 1 レンズ群 L 2 第 2 レンズ群 L 3 第 3 レンズ群  
L 3 1 第 3 1 レンズ群 L 3 2 第 3 2 レンズ群 L 3 3 第 3 3 レンズ群  
D O E 回折光学素子 N L F 固体材料からなる光学素子 N L R 固体材料からなる  
光学素子

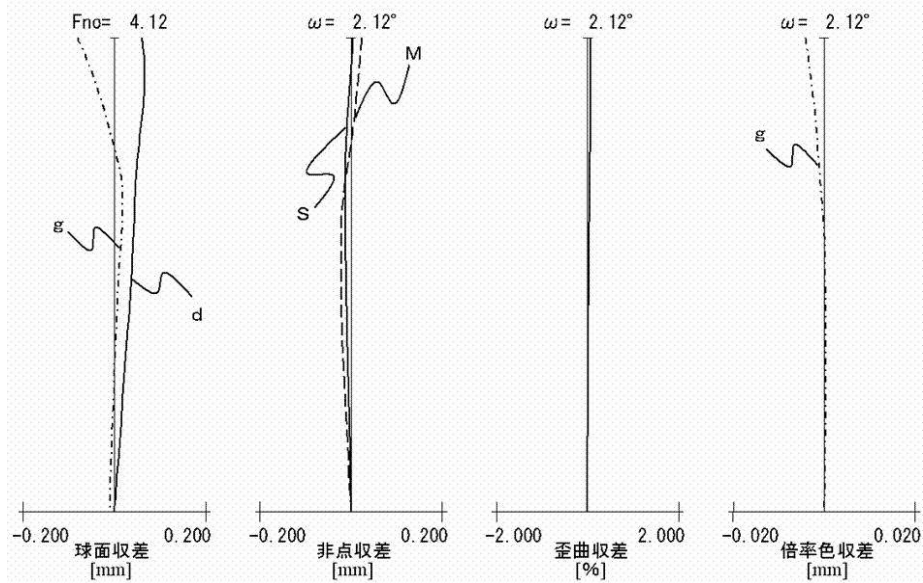


【図 1】

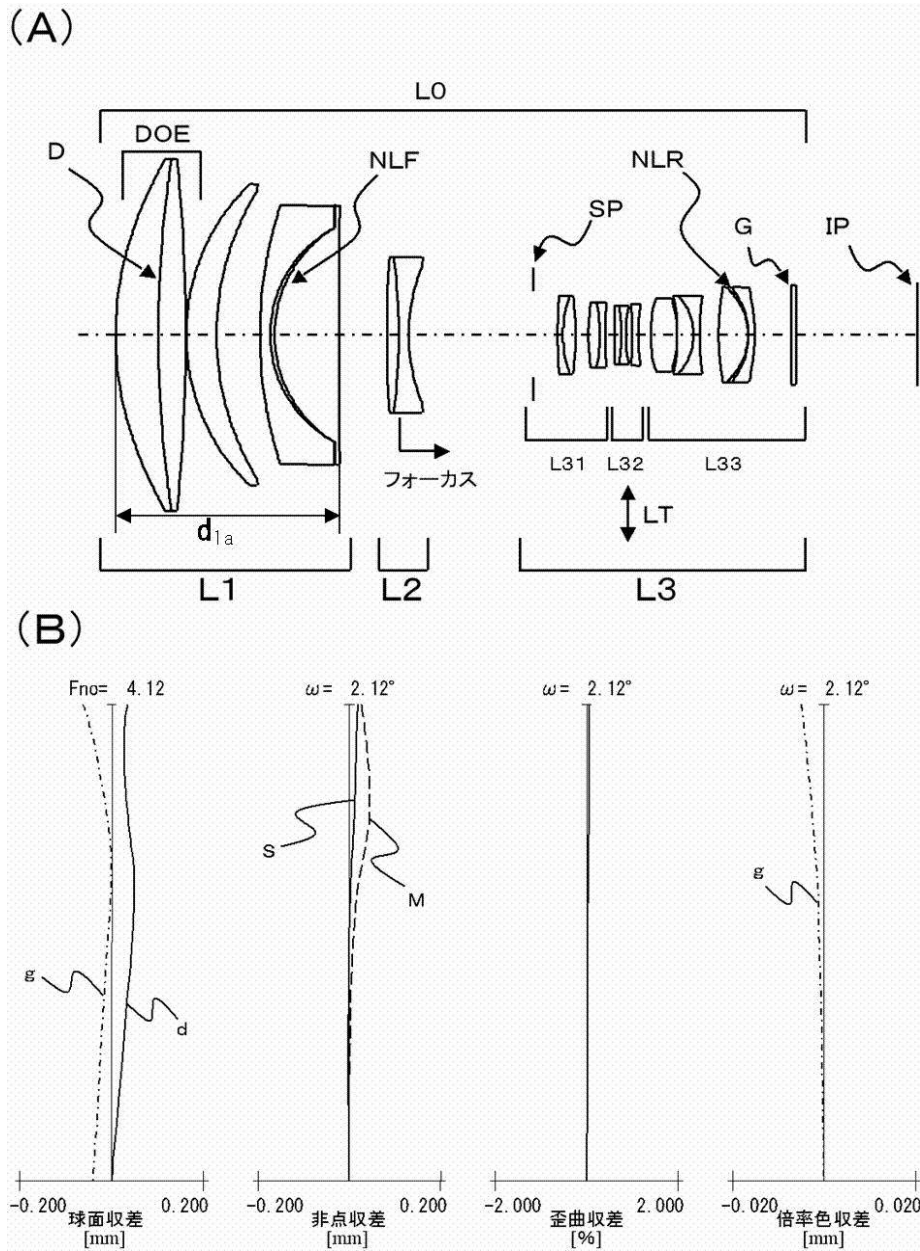
(A)



(B)

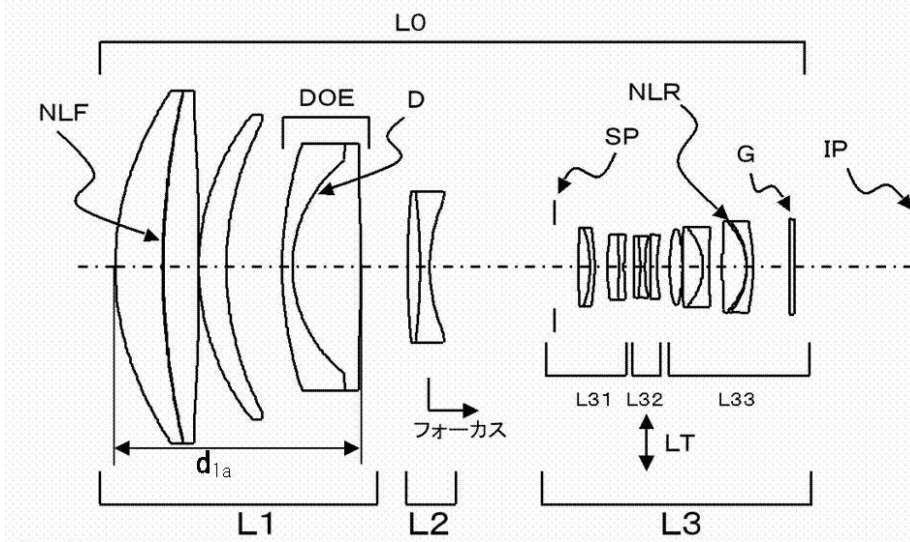


【図 2】

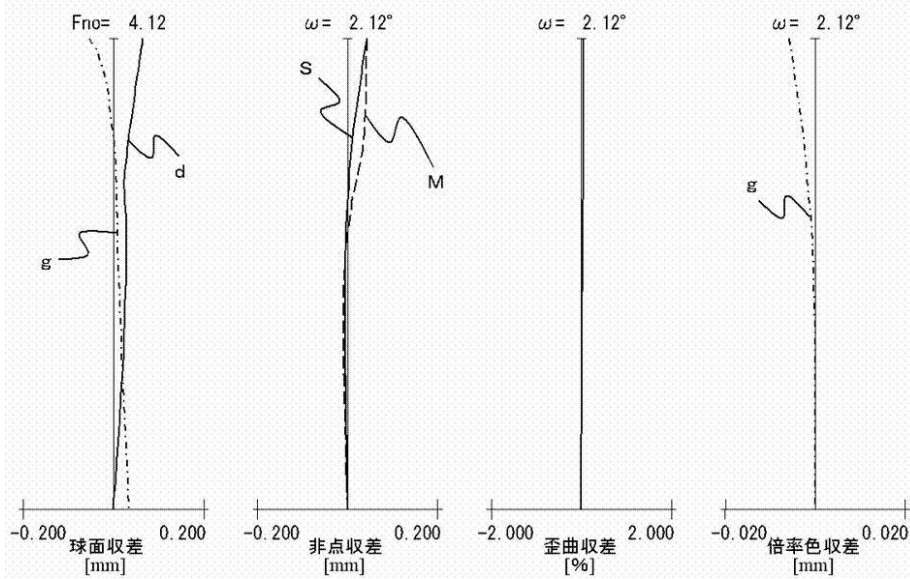


【図 3】

(A)

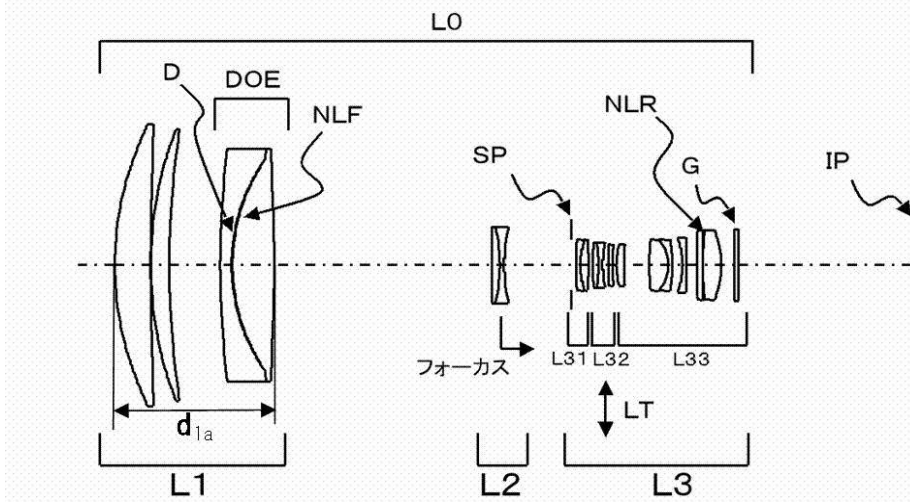


(B)

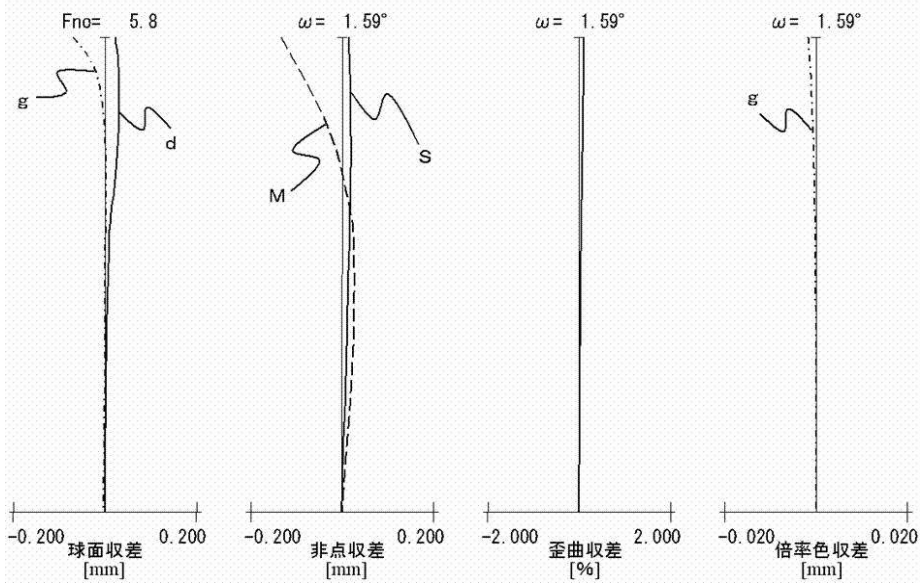


【図4】

(A)

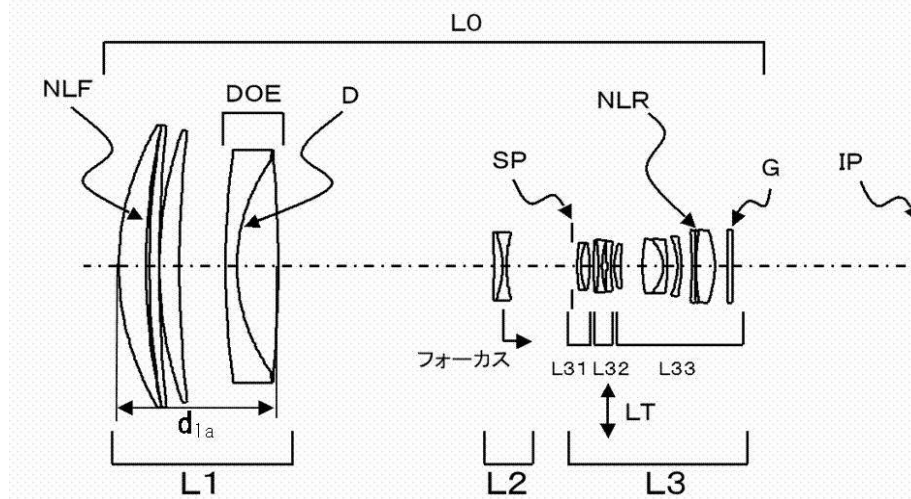


(B)

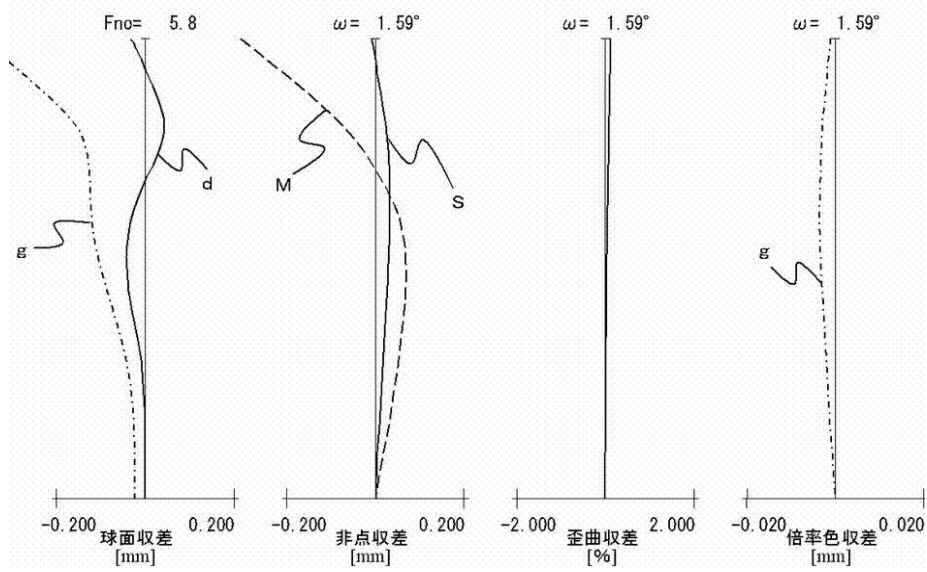


【図5】

(A)

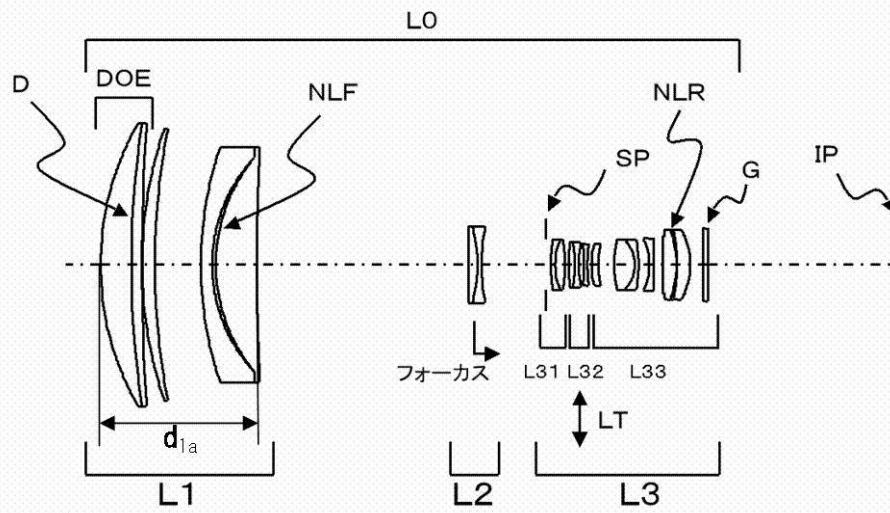


(B)

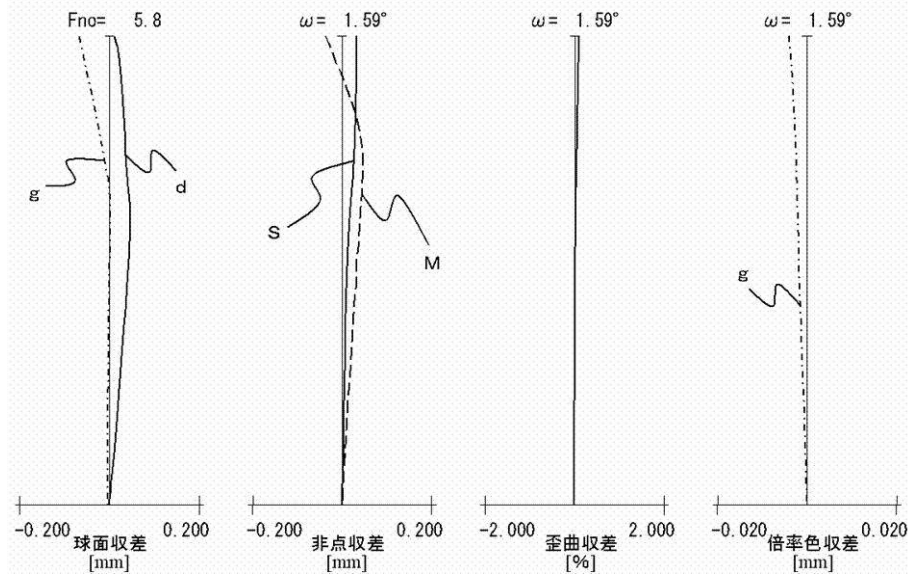


【図 6】

(A)

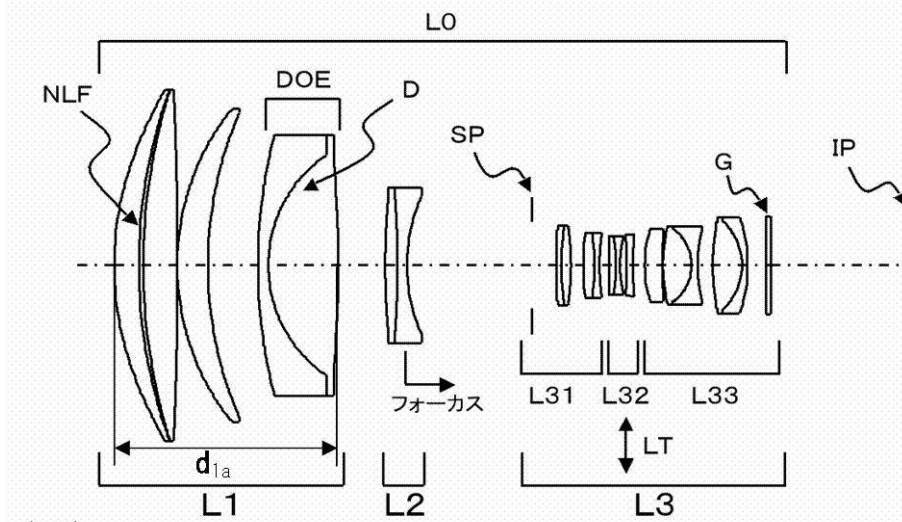


(B)

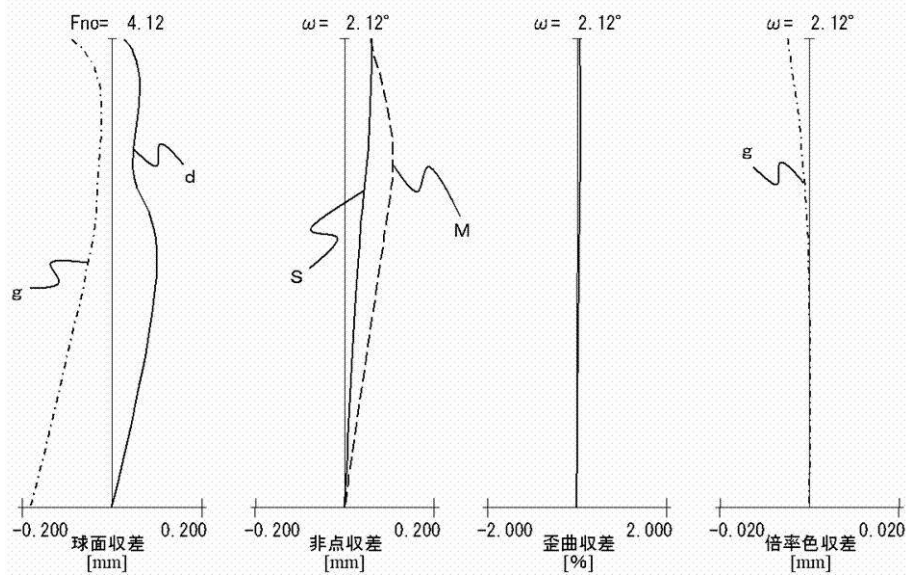


【図 7】

(A)

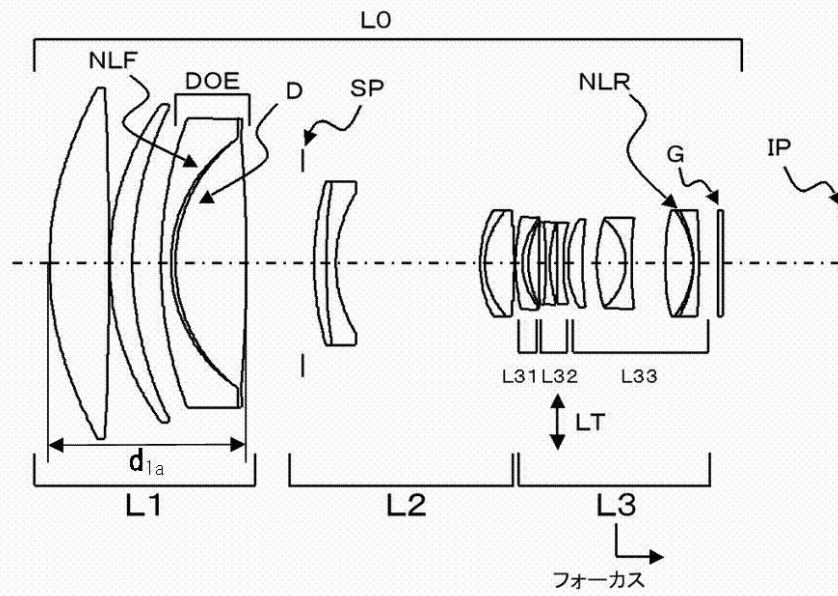


(B)

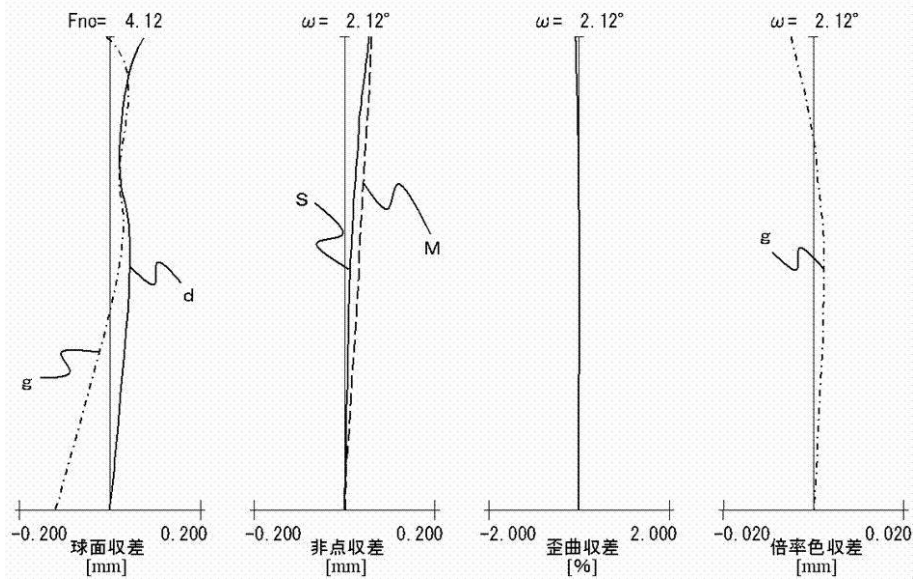


【図 8】

(A)

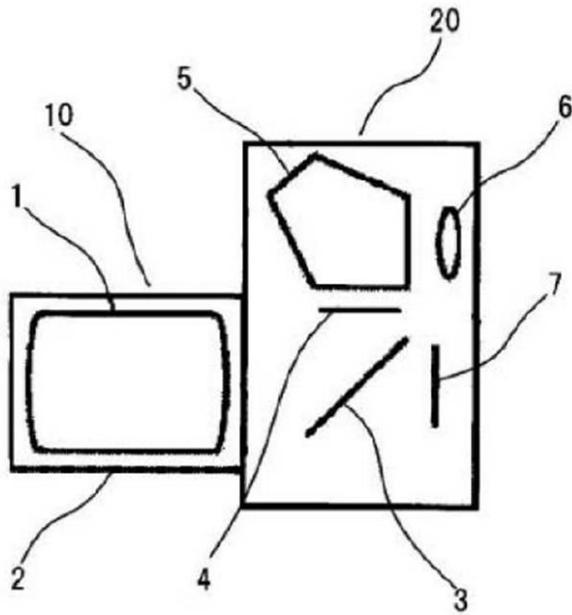


(B)

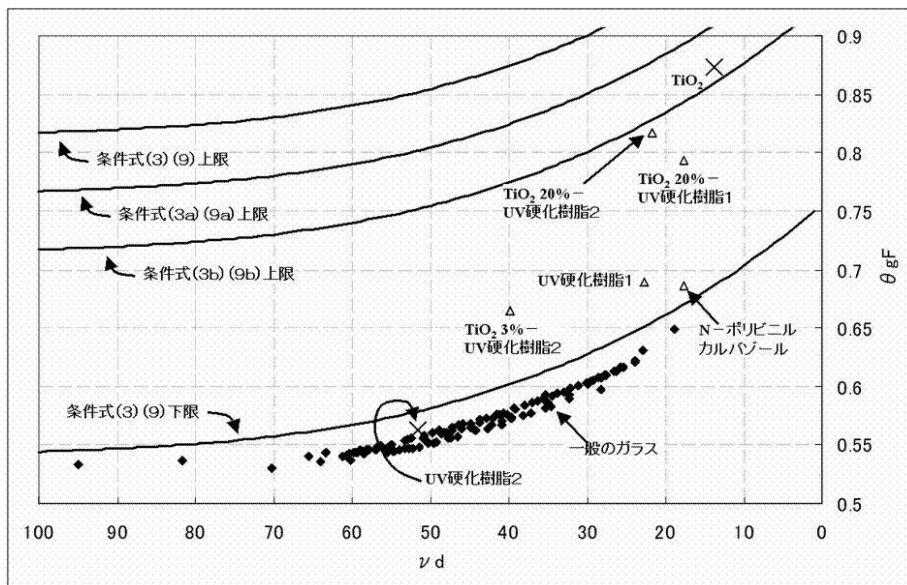




【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 2 B 9 / 0 0 - 1 7 / 0 8

G 0 2 B 2 1 / 0 2 - 2 1 / 0 4

G 0 2 B 2 5 / 0 0 - 2 5 / 0 4