

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4956062号
(P4956062)

(45) 発行日 平成24年6月20日(2012.6.20)

(24) 登録日 平成24年3月23日(2012.3.23)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 13/00 (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01)G02B 13/00
G02B 13/18

請求項の数 8 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2006-164711 (P2006-164711)
 (22) 出願日 平成18年6月14日 (2006.6.14)
 (65) 公開番号 特開2007-25653 (P2007-25653A)
 (43) 公開日 平成19年2月1日 (2007.2.1)
 審査請求日 平成21年6月12日 (2009.6.12)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-175495 (P2005-175495)
 (32) 優先日 平成17年6月15日 (2005.6.15)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 小林 幹生
 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 原田 英信

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

開口絞りの物体側に配置された正の屈折力の前群と、前記開口絞りの像側に配置された正の屈折力の後群とで構成される光学系において、

前記前群は、前記開口絞り側の面が凹形状の第1負レンズと、該第1負レンズの物体側に配置された第1正レンズとを有し、前記後群は、前記開口絞り側の面が凹形状の第2負レンズと、前記第2負レンズの像側に配置された第2正レンズとを有し、前記前群と前記後群の焦点距離を f F 、 f R 、全系の焦点距離を f とするとき、

$$0.8 < f F / f < 5.0$$

$$0.4 < f R / f < 3.0$$

$$0.2 < f F / f R < 1.0$$

10

なる条件を満足すると共に、

前記光学系は、アッベ数 d 、部分分散比 g F が以下の条件を満足する固体材料で構成される屈折光学素子を有し、

$$g F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 0.755) > 0$$

$$g F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 1.011) < 0$$

前記光学系の最も物体側の屈折面から最も像側の屈折面までの距離を L 、光軸と瞳近軸光線との交点に近い側の前記屈折光学素子の屈折面から前記交点までの距離を X とすると

20

き、

$$X / L < 0.4$$

なる条件を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 2】

開口絞りの物体側に配置された正の屈折力の前群と、前記開口絞りの像側に配置された正の屈折力の後群とで構成される光学系であって、

前記前群は、前記開口絞り側の面が凹形状の第1負レンズが最も物体側に配置されたレンズ群と、前記第1負レンズの物体側に配置された第1正レンズとを有し、前記後群は、前記開口絞り側の面が凹形状の第2負レンズが最も像側に配置されたレンズ群と、前記第2負レンズの像側に配置された第2正レンズとを有し、

10

前記第1負レンズが最も物体側に配置されたレンズ群の焦点距離を f_{FS} 、前記第2負レンズが最も像側に配置されたレンズ群の焦点距離を f_{RS} 、全系の焦点距離を f とするとき、

$$f_{FS} / f < -0.7$$

$$f_{RS} / f < -0.7$$

なる条件の少なくとも一方を満足すると共に、

前記光学系は、アッベ数 d 、部分分散比 g_F が以下の条件を満足する固体材料で構成される屈折光学素子を有し、

$$g_F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 0.755) > 0$$

20

$$g_F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 1.011) < 0$$

前記光学系の最も物体側の屈折面から最も像側の屈折面までの距離を L 、光軸と瞳近軸光線との交点に近い側の前記屈折光学素子の屈折面から前記交点までの距離を X とするとき、

$$X / L < 0.4$$

なる条件を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 3】

前記前群と前記後群の焦点距離を f_{FS} 、 f_{RS} 、全系の焦点距離を f とするとき、

$$0.8 < f_{FS} / f < 5.0$$

30

$$0.4 < f_{RS} / f < 3.0$$

$$0.2 < f_{FS} / f_{RS} < 1.0$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項2の光学系。

【請求項 4】

前記第1負レンズの前記開口絞り側の面の曲率半径を R_a 、前記第2負レンズの前記開口絞り側の面の曲率半径を R_b とするとき、

$$0.1 < R_a / f < 0.5$$

$$-0.5 < R_b / f < -0.1$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項2または3の光学系。

【請求項 5】

前記第1負レンズのアッベ数 a 、前記第2負レンズのアッベ数 b は、

$$a < 40$$

$$b < 40$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項2～4いずれかの光学系。

【請求項 6】

前記固体材料の部分分散比 g_d は、

$$g_d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.500) > 0$$

40

$$g_d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.809) < 0$$

50

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 5 いずれかの光学系。

【請求項 7】

前記固体材料のアッベ数 d は、

$$d < 60$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 6 いずれかの光学系。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 いずれかの光学系と、該光学系によって形成される像を受光する光電変換素子とを有することを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、光学系及びそれを有する光学機器に関し、例えば、銀塩フィルム用カメラ、デジタルスチルカメラ、ビデオカメラ、望遠鏡、双眼鏡、プロジェクター、複写機等の光学系に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

一般にデジタルカメラやビデオカメラ、複写機等の光学機器に用いられる光学系では、レンズ全長（光学全長、物体側の第1レンズ面から像面までの長さ）を短縮し、光学系全体の小型化を図るほど該収差、特に軸上色収差及び倍率色収差などの色収差が多く発生し、光学性能が低下する傾向にある。

20

【0003】

特に開口絞りに対し略対称にレンズを配置したガウスタイプの光学系や変形ガウスタイプであるクセノタータイプ、オルソメタータイプの光学系では、比較的 F ナンバーが小さく（明るく）、かつ比較的画角が広い。このため、球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差を良好にしつつ色収差を画面全体にわたって良好に補正することが困難であった。

【0004】

このような色収差の発生を低減する方法として、光学材料に異常部分分散材料を用いる方法や光路中に回折光学素子を用いる方法が一般的によく知られている。

【0005】

広帯域の波長範囲に対して軸上色収差を補正する一方法として、低屈折低分散で異常部分分散を持つ萤石等の光学材料を使用して、残存色収差を補正した画像読取用レンズが知られている（特許文献 1）。

30

【0006】

光学材料として萤石等の異常部分分散材料は屈折率が 1.5 程度と低い。このため、中望遠レンズ以上の長焦点距離で画角変化に伴う収差変動が比較的少ない光学系にこれらの材料を用いるのは良い。しかしながらこの光学系以外の光学系に異常部分分散材料を使用することは諸収差をバランス良く補正するのが難しい。

【0007】

また、異常部分分散の光学材料を用いず、回折光学素子を用いて色収差の補正を行ったガウスタイプの光学系が知られている（特許文献 2）。

40

【0008】

また、回折光学素子に似た色収差補正作用を持つものに、比較的高分散で、かつ異常部分分散な特性を示す液体材料が知られており、それを用いた色消し光学系が提案されている（特許文献 3, 特許文献 4）。

【特許文献 1】特開 2001-337271 号公報

【特許文献 2】特開平 10-170818 号公報

【特許文献 3】米国特許第 5731907 号明細書

【特許文献 4】米国特許第 5638215 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0009】

35mm一眼レフカメラの標準レンズとして、よく用いられるガウスタイルの光学系や変形ガウスタイルであるクセノタータイプ、オルソメタータイプの光学系に、低屈折低分散の萤石等のガラスより成るレンズを使用した場合、広画角のため収差の画角変化が大きく、さらにレンズ面の屈折力を大きく変化させないと色収差が所定量以上変化しない。この為、色収差の補正と、球面収差、コマ収差、非点収差などの諸収差の補正の双方を良好に行うのが困難である。

【0010】

一方、回折光学素子は十分な色収差の補正作用があるものの、実際に用いる設計回折次数の回折光以外の不要な回折次数の回折光が発生する。

10

【0011】

特許文献3,4に開示された材料は、液体であるために、それを封止する構造が必要となり、光学材料に用いる場合、製造が難しくなる。また、温度変化により屈折率、分散などの特性が大きく変化し、耐環境性が十分でない。更に空気との界面が得られないために十分な色収差の補正作用が得難い。

【0012】

本発明は、色収差を始めとする諸収差を良好に補正することができるの提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

20

本発明の例示的な光学系は、開口絞りに対して対称、もしくは実質的に対称に複数の屈折光学素子を配置した光学系において、アッベ数 d 、部分分散比 g_F が以下の条件を満足する固体材料で構成された屈折光学素子を有することを特徴としている。

【0014】

$$g_F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 0.755) > 0 \quad (1)$$

$$g_F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 1.011) < 0 \quad (2)$$

30

更に、この固体材料は、部分分散比 g_d が以下の条件を満足することが好ましい。

$$g_d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.500) > 0 \quad (3)$$

$$g_d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.809) < 0 \quad (4)$$

更に、この固体材料は、アッベ数 d が以下の条件を満足することが好ましい。

$$d < 60 \quad (5)$$

【0015】

40

なお、本発明において、アッベ数 d 、部分分散比 g_d 、 g_F の定義は一般に用いられるものと同じであり、 g 線、 F 線、 d 線、 C 線に対する屈折率をそれぞれ N_g 、 N_F 、 N_d 、 N_C とするとき、それぞれ次式で表される。

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

$$g_d = (N_g - N_d) / (N_F - N_C)$$

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

また、「開口絞りに対して実質的に対称」の技術的範囲については、後述の実施例において明らかにする。

【発明の効果】

【0016】

50

本発明によれば、高い光学性能を有する光学系が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明の光学系及びそれを有する光学機器について説明する。

【0018】

図1は実施例1の光学系のレンズ断面図である。図2は実施例1の無限遠物体合焦時の収差図である。

【0019】

図3は実施例2の光学系のレンズ断面図である。図4は実施例2の無限遠物体合焦時の収差図である。

10

【0020】

図5は実施例3の光学系のレンズ断面図である。図6は実施例3の無限遠物体合焦時の収差図である。

【0021】

図7は実施例4の光学系のレンズ断面図である。図8は実施例4の無限遠物体合焦時の収差図である。

【0022】

図9は実施例5の光学系のレンズ断面図である。図10は実施例5の無限遠物体合焦時の収差図である。

【0023】

図11は実施例6の光学系のレンズ断面図である。図12は実施例6の無限遠物体合焦時の収差図である。

20

【0024】

図13は実施例7の光学系のレンズ断面図である。図14は実施例7の無限遠物体合焦時の収差図である。

【0025】

図15は実施例8の光学系のレンズ断面図である。図16は実施例8の無限遠物体合焦時の収差図である。

【0026】

図17は実施例9の光学系のレンズ断面図である。図18は実施例9の無限遠物体合焦時のときの収差図である。

30

【0027】

図19は実施例10の光学系のレンズ断面図である。図20は実施例10の無限遠物体合焦時のときの収差図である。

【0028】

図21は実施例11の光学系のレンズ断面図である。図22は実施例11の無限遠物体合焦時のときの収差図である。

【0029】

図23は実施例12の光学系のレンズ断面図である。図23は実施例12の無限遠物体合焦時のときの収差図である。

40

【0030】

実施例1～7は、ガウス型のレンズ系の実施例である。実施例8は、クセノター型のレンズ系の実施例である。実施例9～12は、オルソメター型のレンズ系の実施例である。

【0031】

レンズ断面図において、左方が被写体側（前方）で、右方が像側（後方）である。レンズ断面図において、OBは光学系、SPは開口絞りである。

【0032】

IPは像面であり、ビデオカメラやデジタルスチルカメラの撮影光学系として使用する際には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影光学系として使用する際にはフィルム面に相当する。

50

【0033】

収差図において、d, gは各々d線及びg線、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る。

【0034】

本発明の光学系は、デジタルカメラ・ビデオカメラ、銀塩フィルム用カメラ等の撮像装置や、望遠鏡、双眼鏡等の観察装置、複写機、プロジェクター等の機器に用いられるものである。

【0035】

本発明は、開口絞りに対して対称又は略対称に複数の屈折光学素子を配置した光学系であって、1つ以上の屈折光学素子を部分分散比の大きい(高い)固体材料(常温常圧)より構成し、それに屈折作用を持たせたことを特徴としている。

10

【0036】

特に本発明の光学系は所謂ガウス型のレンズ系や、変形ガウス型であるクセノタータイプやオルソメタータイプのレンズ系に好適なものである。

【0037】

ここでガウス型のレンズ系とは例えば開口絞りよりも物体側に、物体側から像側へ順に、メニスカス形状の正レンズを含む1以上の正レンズと、開口絞りの直前の面が凹形状の負レンズと、開口絞りよりも像側に物体側から像側へ順に、該開口絞りの直後の面が凹形状の負レンズと、メニスカス形状の正レンズを含む1以上の正レンズを有するレンズ系である。

20

【0038】

変形ガウス型のレンズ系とは、例えば開口絞りよりも物体側に、物体側から像側へ順に、メニスカス形状の正レンズを含む1以上の正レンズと、開口絞り側の面が強い凹形状の負レンズと、該開口絞りよりも像側に、物体側から像側へ、開口絞り側の面が強い凹形状の強い負レンズと、1以上の正レンズを有するレンズ系である。

【0039】

そして更に詳細に説明すると、

ガウス型のレンズ系や変形ガウス型のレンズ系とは、開口絞りの物体側に正の屈折力の前群G F、像側に正の屈折力の後群G Rを有し、該前群は正レンズと最も該開口絞り側の面R aが凹形状の負レンズを有し、

30

該後群は最も該開口絞り側の面R bが凹形状の負レンズと正レンズとを有し、

該前群と該後群の焦点距離をf F, f R、全系の焦点距離をfとするとき、

$$0.8 < f F / f < 5.0 \quad (6)$$

$$0.4 < f R / f < 3.0 \quad (7)$$

$$0.2 < f F / f R < 1.0 \quad (8)$$

を満足するレンズ系である。

【0040】

そして面R a, R bの曲率半径を各々R a, R bとするとき、

$$0.1 < R a / f < 0.5 \quad (9)$$

$$-0.5 < R b / f < -0.1 \quad (10)$$

40

なる条件を満足するレンズ系をいう。

【0041】

更に、ガウス型のレンズ系において好ましい条件式(6)～(10)の数値範囲は次の如くである。

$$1.0 < f F / f < 5.0 \quad (6a)$$

$$0.4 < f R / f < 1.0 \quad (7a)$$

$$1.0 < f F / f R < 1.0 \quad (8a)$$

$$0.2 < R a / f < 0.5 \quad (9a)$$

$$-0.5 < R b / f < -0.2 \quad (10a)$$

更に、ガウス型のレンズ系において好ましい条件式(6)～(10)の数値範囲は次の

50

如くである。

$$\begin{aligned}
 1.5 < f_F / f < 4.5 & (6b) \\
 0.5 < f_R / f < 0.95 & (7b) \\
 1.5 < f_F / f_R < 8 & (8b) \\
 0.22 < R_a / f < 0.45 & (9b) \\
 -0.46 < R_b / f < -0.22 & (10b)
 \end{aligned}$$

【0042】

一方、クセノータイプやオルソメータイプの変形ガウス型のレンズ系において好ましい条件式(6)～(8)の数値範囲は次の如くである。

$$\begin{aligned}
 0.8 < f_F / f < 4.0 & (6c) \\
 0.6 < f_R / f < 3.0 & (7c) \\
 0.2 < f_F / f_R < 5.0 & (8c)
 \end{aligned}$$

更に、変形ガウス型のレンズ系において好ましい条件式(6)～(10)の数値範囲は次の如くである。

$$\begin{aligned}
 0.9 < f_F / f < 3.0 & (6d) \\
 0.8 < f_R / f < 2.5 & (7d) \\
 0.4 < f_F / f_R < 3.0 & (8d) \\
 0.18 < R_a / f < 0.40 & (9d) \\
 -0.40 < R_b / f < -0.18 & (10d)
 \end{aligned}$$

また、実施例8～12に示す変形ガウス型のレンズ系とは、前群の一部であるレンズ群GFSの焦点距離をf_FS、後群の一部であるレンズ群GRSの焦点距離をf_RS、レンズ全系の焦点距離をfとしたとき、

$$\begin{aligned}
 f_F S / f & < -0.7 & (11) \\
 f_R S / f & < -0.7 & (12)
 \end{aligned}$$

なる条件の少なくとも一方を満足するレンズ系である。

【0043】

ここで、レンズ群GFSとは、前群中の開口絞り側の面が凹形状の負レンズが最も物体側に配置されたレンズ群である。その負レンズから開口絞りまでの間には光学成分がある場合とない場合とがある。また、レンズ群GRSとは、後群中の開口絞り側の面が凹形状の負レンズが最も像側に配置されたレンズ群である。やはり、開口絞りからその負レンズまでの間には、光学成分がある場合とない場合とがある。

【0044】

本発明は、このようなガウス型又は変形ガウス型の光学系に、部分分散比が大きい固体材料で形成した屈折光学素子（光学部材）を設けたことを特徴としている。

【0045】

尚、ここで屈折光学素子とは屈折作用でパワーが生じる、例えば屈折レンズ等を意味し、回折作用でパワーが生じる回折光学素子を含んでいない。

【0046】

また、固体材料とは、光学系を使用する状態で固体の材料を指し、製造時などの光学系を使用する前での状態は、どのような状態であっても良い。例えば、製造時には液体材料であっても、それを硬化させて固体材料としたものも、ここでいう固体材料に該当する。

【0047】

各実施例の光学系中に用いられる部分分散比が大きい屈折光学素子（光学部材）は、光入射側（前方、拡大側）と光射出側（後方、縮小側）が共に屈折面であり、このうち少なくとも一方の屈折面に屈折力があり、アッベ数をd、部分分散比をg_Fとするとき、以下の条件式(1)、(2)を満足する常温常圧で固体材料より成っている。

$$\begin{aligned}
 g_F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 \\
 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 0.755) & > 0 \\
 & (1)
 \end{aligned}$$

$$g_F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2)$$

10

20

30

40

50

$$- 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 1.011) < 0 \quad (2)$$

条件式(1), (2)を満足する固体材料より成る屈折光学素子を光学系中に用いることによって、g線からC線の広い波長帯域にわたって色収差の補正を良好に行っている。

【0048】

更に、固体材料は、以下の条件式(3), (4)をも満足することが好ましい。

$$g d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.500) > 0 \quad (3)$$

$$g d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.809) < 0 \quad (4)$$

条件式(1), (2)に加えて、又は条件式(1), (2)とは別に条件式(3), (4)を満足することによって、g線とd線間の色収差補正を行うことが容易になる。これにより、g線からC線の広い波長帯域でより緻密な色収差の補正が容易となる。

【0049】

色収差の補正の観点から、

$$d < 60 \quad (5)$$

を満足する固体材料とすることが好ましい。

【0050】

条件式(1), (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($Nd = 1.635$, $d = 22.7$, $gF = 0.69$)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(1), (2)を満足する光学材料である。尚、条件式(1), (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。

【0051】

また、一般的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を合成樹脂中に分散させた混合体がある。

【0052】

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 ($Nd = 2.2178$, $d = 13.4$), $BaTiO_3$ ($Nd = 2.4362$, $d = 11.3$)等がある。

【0053】

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(1), (2)を満足する光学材料が得られる。

【0054】

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。

【0055】

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から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。

【0056】

TiO_2 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。

【0057】

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

10

20

30

40

50

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TiO₂微粒子を分散させるホストポリマーとしてUV硬化樹脂を用いている。しかし、これに限定するものではない。

【0058】

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、波長における屈折率N()は、

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

である。

【0059】

ここで、 λ は任意の波長、 N_{TiO_2} は TiO_2 の屈折率、 N_P はポリマーの屈折率、 V はポリマー体積に対する TiO_2 微粒子の総体積の分率である。

【0060】

各実施例では、条件式(1), (2)を満足する光学材料を光学系中のレンズやレンズ表面に設けられた屈折力のある層(面)に適用している。

【0061】

そして、この光学材料で構成された屈折面を非球面形状とすれば、色の球面収差などの色収差フレアを良好に補正することができる。

【0062】

また、この光学部材と空気などの雰囲気とで界面を形成したり、比較的屈折率の低い光学材料とで界面を形成したりすれば、界面の僅かな曲率変化で色収差を比較的大きく変化させることができるとめ好ましい。

【0063】

次に部分分散比が大きい光学材料でパワーのある光学部材を光学系中に用いたときの光学系の収差補正に及ぼす作用について説明する。

【0064】

光学材料の屈折率の波長依存特性(分散特性)において、アッペ数は分散特性曲線の全体の傾きを表し、部分分散比は分散特性曲線の曲がり具合を表している。

【0065】

一般的に光学材料は、短波長側の屈折率が長波長側の屈折率よりも高く(アッペ数が正の値)、分散特性曲線は下に凸状(部分分散比が正の値)の軌跡を描き、短波長側になるほど波長の変化に対する屈折率の変化は大きくなる。そして、アッペ数の小さい分散の大きな光学材料ほど部分分散比が大きくなり、分散特性曲線は下に凸状が強まる傾向にある。

【0066】

部分分散比が大きな光学材料では、その光学材料を用いたレンズ面の色収差係数の波長依存特性曲線は、部分分散比が小さな光学材料を用いた場合に比べて短波長側でより大きな曲がりを示す。

【0067】

一方、部分分散比が小さな光学材料では、その光学材料を用いたレンズ面の色収差係数の波長依存特性曲線は波長域全体でより直線に近い形状を示す。

【0068】

硝材など一般的な光学材料の部分分散比は、アッペ数に対してほとんど直線的な変化をする。この直線的な変化から外れた特性を持つ光学材料が、異常部分分散性を示す光学材料である。異常部分分散を持つ光学材料として、一般的には分散の小さな萤石などがある。しかし、分散が小さく異常部分分散を持つ光学材料もアッペ数に対する変化はほとんど一様である。

【0069】

10

20

30

40

50

異常部分分散を持つ光学材料をパワーのあるレンズとして用いた場合、レンズ面の色収差係数の波長依存特性曲線は一般的の硝材を用いた場合と比べると、より線形性が高くなるか（部分分散比が小さい）又は、より曲がりが大きくなる（部分分散比が大きい）。

【0070】

色収差係数の波長依存特性曲線の線形性が高いという点で、回折光学素子は部分分散比が極めて小さい。回折光学素子を用いた光学系では、全波長域に渡って色収差を良好に補正できる。しかし回折と屈折では光への影響が全く異なる。一般的な光学材料は、上述の様にアッペ数は常に正の値をとり、また分散特性曲線は多かれ少なかれ下に凸状となる。

【0071】

これに対して回折光学素子では逆に長波長側の屈折率の方が短波長側の屈折率よりも高くなり、また屈折率の波長に対する変化も一様となる。したがって回折光学素子のアッペ数は -3.45 と負の値をとり、またその分散特性は直線となる。

【0072】

このような一般的な屈折材料とは全く異なる特性を活かした、回折光学素子を用いた光学系では、回折光学素子以外の部分で発生した比較的大きな色収差を回折光学素子部分でキャンセルすることにより、全波長域に渡って色収差を良好に補正することができる。

【0073】

このように、部分分散比が極めて小さな光学材料を用いて光学系全体で全波長域に渡って色収差を良好に補正できる。

【0074】

後述する各実施例では異常部分分散材料のうち一般的な硝材と比べて部分分散比が高い光学材料を用いて光学系全体で全波長域に渡って色収差を良好に補正している。

【0075】

一般的な硝材と比べて部分分散比の小さな光学材料と部分分散比の高い光学材料とをレンズに用いた場合の違いは、そのレンズ面における色収差係数の波長依存特性曲線の短波長側の曲がりが少なくなるか大きくなるかということである。

【0076】

また、この短波長側の曲がりは光学材料の分散特性の曲がりによるものである。ここで今、単純化のために d 線の屈折率とアッペ数が等しい光学材料について説明する。部分分散比が大きい材料、普通の部分分散比が普通の材料（一般的な光学材料）、そして部分分散比が小さな材料を同じパワーでレンズとして使った時の、この短波長側と長波長側の色収差係数の差をそれぞれ $N_{\text{高}}$ 、 $N_{\text{中}}$ 、 $N_{\text{低}}$ とすると、これらの関係は以下の式で表される。

$$N_{\text{高}} > N_{\text{中}} > N_{\text{低}} > 0 \quad (b)$$

【0077】

片方のレンズを異常部分分散の材料で構成した 2 枚のレンズの組み合わせから成る光学系について説明する。

【0078】

まず部分分散比が普通の材料と部分分散比が小さな材料で構成される同じパワーのレンズが 2 枚並んでいるとすると、この光学系の短波長側と長波長側の色収差係数の差は、
 $N_{\text{中}} + N_{\text{低}}$ となる。これは部分分散比の普通の材料を 2 枚用いた時と比べると、 $N_{\text{中}} - N_{\text{低}}$ だけ減っていることになる。

【0079】

つまり部分分散比が普通の材料を 2 枚用いたときに比べて色収差を減らすことができる。

【0080】

次に部分分散比が普通の材料と、部分分散比が大きな材料の組み合わせについて説明する。この光学系の短波長側と長波長側の色収差係数の差は、 $N_{\text{中}} + N_{\text{高}}$ となる。

【0081】

これは部分分散比が普通の材料を 2 枚用いた時と比べると、 $N_{\text{高}} - N_{\text{中}}$ だけ増えて

10

20

30

40

50

いる。したがって、曲がりの少ない部分分散比が小さい材料を用いた場合に、短波長側の色収差を減らすことができるとすれば、曲がりの大きい部分分散比が大きな材料を用いた場合は、逆に短波長側の色収差を増やしてしまう。しかし、これは部分分散比が大きな材料と部分分散比が小さな材料と同じパワーで用いた場合である。

【0082】

この状態で部分分散比が大きな材料を用いたレンズのパワーを正、負逆にする、つまり2枚並んでいるレンズのうち片方のレンズのパワーを正、負逆にして、そこに部分分散比が大きな材料を用いる。すると部分分散比の大きな材料を用いた場合は、部分分散比が普通の材料を2枚用いたときと比べると逆に $N_{\text{高}} - N_{\text{中}}$ だけ短波長側の収差を減らすことができる。

10

【0083】

部分分散比が普通の材料を組み合わせても、色収差係数の波長依存特性曲線の曲がり成分と傾き成分を同時に波長域全体で色収差を良好に補正することは困難である。そこで部分分散比が普通の硝材に比べて短波長側の曲がり成分を減らすことのできる部分分散比が小さな材料を適切に用いて色収差を補正することができる。しかし短波長側の色収差を減らすという観点では、部分分散比が大きな材料を部分分散比が小さな材料とは逆のパワーで用いてやれば同様なことが可能である。なお、パワーの正負が異なるということは、部分分散比が大きな材料と部分分散比が小さな材料では短波長側以外でも逆の作用をする。したがって、それとバランスを取るための光学系の他の硝材の動かし方も逆になる。

【0084】

20

このことを、高部分分散比な材料を用いた1以上の屈折光学素子G N Lとそれ以外の材料より成る1以上の屈折光学素子Gから構成されるガウスタイルのレンズ系(光学系)での色消しを例にとり説明する。

【0085】

一般に略対称系のレンズ系であるガウスタイル、クセノタータイプ、オルソメータータイプのレンズ系においては、絞り近傍に負のパワー(屈折力)を持つ屈折光学素子Gが配置されている。この屈折光学素子Gは他の比較的レンズ枚数が多い正のパワーを持つレンズの色収差を相殺する関係にあることから、屈折光学素子Gの色収差係数はレンズ全系に対し高い割合を占めている。これより屈折光学素子Gの色収差を減らすか、他の光学部材でキャンセルする事でレンズ全系の色収差を減らす事が出来る。

30

【0086】

このような略対称型のレンズ系においては、一般に屈折光学素子Gを構成する負レンズの材料を比較的高部分分散比によりに選択している。

【0087】

ここで一般的に高部分分散比な材料は同時に高分散でもあるので、屈折光学素子Gの色収差係数の波長依存特性曲線は、もとの状態よりも大きく曲がりながら全体の傾きが変化し、他の正レンズで生じる収差をキャンセルしている。

【0088】

この状態で、屈折光学素子G N Lに適当なパワーを与える。ところが、屈折光学素子G N Lをアベ数に対して一様な部分分散比を持つ一般的な光学材料で構成している場合、屈折光学素子G N Lは、屈折光学素子Gの色収差係数の波長依存特性曲線の曲がり成分と傾き成分に同時に一定の割合で寄与する。このため、そのどちらの成分も同時にキャンセルすることができない。

40

【0089】

これに対し、屈折光学素子G N Lを一般的な光学材料に比べて高部分分散比な材料で構成している場合は、屈折光学素子G N Lは主に屈折光学素子Gの色収差係数の波長依存特性曲線全体の曲がり成分に寄与するため、主に曲がり成分だけをキャンセルさせることができる。

【0090】

その結果、色収差係数の波長依存特性曲線全体の曲がり成分を屈折光学素子G N Lに、

50

傾き成分を屈折光学素子Gの他のレンズへと分配することができ、それぞれ独立に同時にキャンセルさせることができる。このため、設計の自由度が増し収差補正が容易になる。

【0091】

また屈折光学素子G N Lの材料のアッベ数の絶対値が小さい、すなわち高分散であれば、色収差を独立に補正することができる。このため、設計の自由度が増し収差補正が容易になる。

【0092】

次にこのことをレンズ面の軸上色収差係数及び倍率色収差係数を用いて説明する。

【0093】

屈折レンズの面のパワー変化を L とするとき、レンズ面での軸上色収差係数の変化 L と倍率色収差係数の変化 T は、次のように表せる。

$$\begin{array}{lll} L & / & (c) \\ T & / & (d) \end{array}$$

式(c)及び式(d)から明らかなるとおり、レンズ面のパワー変化に対する各収差係数の変化は、アッベ数の絶対値が小さい(すなわち、分散が大きい)ほど大きくなる。したがって、アッベ数の絶対値が小さい高分散材料を用いれば、必要な色収差を得るためのパワー変化量は小さくて済むことになる。

【0094】

このことは収差論上、球面収差、コマ収差や非点収差などに大きな影響を及ぼすことなく色収差をコントロールでき、色収差補正の独立性が高まることを意味する。逆に、低分散材料を用いると、必要な色収差を得るためのパワー変化量は大きくなり、それに伴って球面収差などの諸収差が大きく変化し、色収差補正の独立性が弱まることになる。したがって、光学系を構成するレンズの内、少なくとも1つのレンズ面は、高分散材料で形成された屈折レンズ面であることが収差補正上重要である。特に略対称系の光学系中では、開口絞りより物体側及び像側のそれぞれに、1つ以上の高分散材料で形成された屈折レンズ面を配置することが望ましい。

【0095】

また屈折光学素子G N Lは一般的な光学材料と組み合わせて使用するため、屈折光学素子G N Lに用いられる材料の部分分散比は一般的な光学材料とは異なることが必要ではあるが、あまりかけ離れすぎては良くない。

【0096】

あまりに一般的な光学材料とかけ離れた材料より成るレンズとして用いた場合、そのレンズ面の色収差係数の波長依存特性曲線の短波長側の曲がりが特に大きくなる。その大きな曲がりを打ち消すためには、他のレンズのパワーも強くしなければならず、結局、球面収差、コマ収差や非点収差などに大きな影響を及ぼし、収差補正上困難となる。

【0097】

つまり、屈折光学素子G N Lの材料としては、一般的な光学材料に比べて部分分散比が大きな光学材料であり、かつ一般的な光学材料と比べて部分分散比がかけ離れすぎないことも重要である。本発明で特定する以下に示す条件式(1)、(2)及び(3)、(4)は、上で説明した原理に基づいて色収差を良好に補正するためのアッベ数と部分分散比の関係を表したものである。

【0098】

なお、条件式(1)の数値範囲は、以下の範囲とすることで更に良好な色収差補正効果が期待できる。

$$g F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 0.662) > 0 \quad \dots (1a)$$

条件式(2)の数値範囲は、条件式(1)又は(1a)を満足した上で、以下の範囲とすると更に良好な色収差補正効果が期待できる。

$$g F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 0.870) < 0 \quad \dots (2a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

10

20

30

40

50

$$g F - (-1.665 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \cdot d + 0.825) < 0 \cdots (2b)$$

条件式(3)の数値範囲は、以下の範囲とすることで更に良好な色収差補正効果が期待できる。

$$g d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.513) > 0 \cdots (3a)$$

条件式(4)の数値範囲は、条件式(3)又は(3a)を満足した上で、以下の範囲とすると更に良好な色収差補正効果が期待できる。

$$g d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.620) < 0 \cdots (4a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

$$g d - (-1.687 \times 10^{-7} \cdot d^3 + 5.702 \times 10^{-5} \cdot d^2 - 6.603 \times 10^{-3} \cdot d + 1.580) < 0 \cdots (4b)$$

条件式(5)の数値範囲は、以下の範囲とすることで更に良好な色収差補正効果が期待できる。

$$d < 45 \cdots (5a)$$

更に望ましくは、以下に示す範囲とするのが良い。

$$d < 30 \cdots (5b)$$

条件式(1)から(5)を満足する光学材料としては、0から40におけるd線の屈折率の温度変化の絶対値を $|dn/dT|$ とするとき、以下の条件を満足することが好みしい。

【0099】

すなわち、

$$|dn/dT| < 2.5 \times 10^{-4} (1/ \quad) \cdots (13)$$

ここで条件式(13)の範囲をはずれると、0から40の温度範囲で良好な光学性能を維持することが困難になる。

【0100】

また、開口絞りに対し略対称型のレンズ系では、物体側のレンズ群と像側のレンズ群の対称性を利用し、軸上及び軸外の諸収差を補正する。このため、その対称性をくずさずに収差補正をすることが、収差のバランスを取る上で重要となってくる。特にクセノタータイプやオルソメータータイプのレンズ系は、広画角において使用されることが多く、軸上光線と軸外光線の収差変動が大きくなる。

【0101】

一般に、開口絞り近傍のレンズでは軸外光線の光軸からの通過位置が低い為、主に球面収差と軸上色収差に作用し、軸外収差へはあまり作用しない。

【0102】

従って、開口絞り近傍のレンズに異常分散性を持つ光学材料を用いることで、軸外収差へほとんど影響を与えるに、全系の収差をバランスよく補正することができる。

【0103】

以上のことから、略対称型のレンズ系においては、開口絞り近傍の負レンズに高分散、高部分分散な材料を用いることで色収差を良好に補正できる。

【0104】

具体的には、略対称型の光学系において、前群中の像側の面が凹形状の負レンズのアッペ数をa、後群中の物体側の面が凹形状の負レンズのアッペ数をbとするとき、以下の条件式を満足するように設定すると良好な色収差補正効果が期待できる。

$$a < 40 \cdots (14)$$

$$b < 40 \cdots (15)$$

また、略対称型の光学系では、開口絞り近傍の強い凹面によって発散性のフレアが生じやすく、凹面近傍の屈折面のパワーを強くすると、高次収差成分の補正が難しくなる。そのため、高次の収差成分が発生しやすい広画角のレンズにおいては、開口絞り近傍に配置

されたレンズのパワーを抑える必要がある。

【0105】

上述の条件式(11), (12)は、上で説明した原理に基づいて開口絞り近傍のパワーを最適に設定したものである。以下は条件式(11), (12)の更に好ましい数値範囲である。

$$f_{FS}/f < -0.8 \quad \dots (11a)$$

$$f_{RS}/f < -0.8 \quad \dots (12a)$$

以下に示す条件式(16)は、上で説明した光学原理に基づいて色収差を良好に補正するための屈折光学素子GNLの配置を特定したものである。

【0106】

光学系において最も物体側の屈折面から最も像側の屈折面までの距離をL、屈折光学素子GNLの光軸と瞳近軸光線が交わる点Pに近い側の屈折面から点Pまでの距離をXとするとき、

$$X/L < 0.4 \quad \dots (16)$$

を満足している。

【0107】

なお、瞳近軸光線とは光学系全体の焦点距離を1に正規化し、光軸に対して-45°で入射する光線の内、光学系の入射瞳と光軸との交点を通過する近軸光線である。光学系への入射角度は、光軸から測って時計回りを正、反時計回りを負とする。物体は光学系の左側にあるものとし、物体側から光学系に入射する光線は左側から右側へ進むものとする。

【0108】

これによって屈折光学素子GNLを用いて色収差の補正を効果的に行っている。

【0109】

条件式(16)の数値範囲は、以下の範囲とすると更に良好な色収差補正効果が期待できる。

$$X/L < 0.3 \quad \dots (16a)$$

また、屈折光学素子Gと屈折光学素子GNLが光軸方向に離れて配置されると、色収差係数の波長依存特性曲線全体の曲がり成分と傾き成分のキャンセル関係のバランスがくずれる。その結果、他の諸収差、例えば球面収差、非点隔差、像面湾曲等が悪化するため、光学系全体として収差補正をすることが困難となる。

【0110】

屈折光学素子GNLは、開口絞り近傍に配置されつつ、屈折光学素子Gの近傍に配置されていることが好ましい。

【0111】

条件式(17)は屈折光学素子GNLが開口絞りより物体側に配置されている場合に、条件式(18)は屈折光学素子GNLが開口絞りより像側に配置されている場合に、良好な光学性能を得る為のものである。屈折光学素子GNLが開口絞りより物体側に配置されている場合、点Pより物体側において最も強い負の屈折力を持つ屈折光学素子(接合レンズのときはG1の物体側の屈折面)から屈折光学素子GNLの屈折光学素子G1に近い方の屈折面までの距離をX1とする。屈折光学素子GNLが開口絞りより像側に配置されている場合、点Pより像側において最も強い負の屈折力を持った屈折光学素子G2の像側の屈折面から屈折光学素子GNLの屈折光学素子G2に近い方の屈折面までの距離をX2とする。そのとき、

$$X1/L < 0.2 \quad \dots (17)$$

または、

$$X2/L < 0.2 \quad \dots (18)$$

を満足している。

【0112】

又、屈折光学素子GNLの屈折力GNLが以下に示す範囲とすると、更に良好な光学性能が得られる。

10

20

30

40

50

G N L > 0

· · · (1 9)

条件式 (1) から (1 9) を満足する光学系の実施例の具体例について説明する。

【 0 1 1 3 】

ここでは、条件式 (1) から (5) 及び (1 3) を満足する材料として、UV 硬化樹脂 1 、また TiO_2 をホストポリマーである UV 硬化樹脂 2 に分散させた TiO_2 微粒子分散材料を用いている。

【 0 1 1 4 】

数値実施例 1

図 1 は数値実施例 1 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 50 mm 、 F ナンバー 1.4 のガウス型の光学系 (レンズ系) に UV 硬化樹脂 1 より成る屈折光学素子 G N L 1 を用いた例である。

【 0 1 1 5 】

図 2 は数値実施例 1 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【 0 1 1 6 】

収差図においては、 d , g は各々 d 線及び g 線、 M , S は d 線のメリディオナル像面、 d 線のサジタル像面、倍率色収差は g 線によって表わしている。 F n o は F ナンバー 、 は半画角である。

【 0 1 1 7 】

これらは、以下の収差図でも同じである。

【 0 1 1 8 】

数値実施例 1 の光学系では、開口絞り S P 近傍に UV 硬化樹脂 1 からなる屈折光学素子 G N L 1 を導入することにより、主に軸上色収差を良好に補正している。

【 0 1 1 9 】

数値実施例 2

図 3 は数値実施例 2 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 50 mm 、 F ナンバー 1.4 のガウス型の光学系に TiO_2 微粒子を UV 硬化樹脂 2 に分散させた混合体より成る屈折光学素子 (層) G N L 1 を用いた例である。 S P は開口絞りである。図 4 は数値実施例 2 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【 0 1 2 0 】

数値実施例 2 の光学系では、開口絞り S P 近傍、かつ開口絞り S P より物体側の位置に TiO_2 微粒子分散材料からなる屈折光学素子 G N L 1 を導入することにより、主に軸上色収差を良好に補正している。

【 0 1 2 1 】

数値実施例 3

図 5 は数値実施例 3 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 50 mm 、 F ナンバー 1.4 のガウス型の光学系に TiO_2 微粒子を UV 硬化樹脂 2 に分散させた混合体より成る屈折光学素子 G N L 1 を用いた例である。 S P は開口絞りである。

【 0 1 2 2 】

図 6 は数値実施例 3 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【 0 1 2 3 】

数値実施例 3 の光学系では、開口絞り S P に限りなく近傍の位置に TiO_2 微粒子の分散材料からなる屈折光学素子 (層) G M L 1 を導入することにより、主に軸上色収差を良好に補正している。

【 0 1 2 4 】

数値実施例 4

図 7 は数値実施例 4 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 50 mm 、 F ナンバー 1.4 のガウス型の光学系に TiO_2 微粒子を UV 硬化樹脂 2 に分散させた混合体より成る屈折光学素子 G N L 1 を用いた例である。 S P は開口絞りである。

【 0 1 2 5 】

図 8 は数値実施例 4 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

10

20

30

40

50

【0126】

数値実施例4の光学系では、開口絞りSPより近傍の接合レンズの張り合わせ面中にTiO₂微粒子の分散材料からなる屈折光学素子(層)GNL1を導入することにより、主に軸上色収差が良好に補正されつつ、耐環境性にも優れた光学系を得ている。

【0127】

数値実施例5

図9は数値実施例5の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離50mm、Fナンバー1.4のガウス型の光学系にTiO₂微粒子をUV硬化樹脂2に分散させた混合体より成る屈折光学素子(層)GNL1を用いた例である。また、TiO₂微粒子の分散材料で形成した屈折光学素子GNL1の空気と接する面を非球面形状としている。SPは開口絞りである。

10

【0128】

図10は数値実施例5の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0129】

数値実施例5の光学系では、開口絞りSP近傍かつ開口絞りSPより像面側の位置にTiO₂微粒子分散材料からなる屈折光学素子GNL1を導入している。そして、TiO₂微粒子の分散材料で形成された屈折光学素子(層)GNL1の空気と接する面を非球面形状とすることにより、軸外における球面収差や、他収差がバランスよく補正された光学系を得ている。

【0130】

20

数値実施例6

図11は数値実施例6の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離50mm、Fナンバー1.8のガウス型の光学系にTiO₂微粒子をUV硬化樹脂2に分散させた混合体より成る屈折光学素子GNL1を用いた例である。SPは開口絞りである。図12は数値実施例6の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0131】

数値実施例6の光学系では、開口絞りSP近傍の位置にTiO₂微粒子の分散材料からなる屈折光学素子GNL1レンズを導入することにより、主に軸上色収差を良好に補正している。

【0132】

30

数値実施例7

図13は数値実施例7の光学系のレンズ断面図であり、画像読み取り用のガウス型の光学系にTiO₂微粒子をUV硬化樹脂2に分散させた混合体より成る屈折光学素子GNL1を用いた例である。SPは開口絞りである。図14は数値実施例7の光学系の倍率-0.22Xにおける収差図である。

【0133】

数値実施例7の光学系では、開口絞りSP近傍の位置にTiO₂微粒子の分散材料からなる屈折光学素子GNL1を導入することにより、広画角の範囲において色収差を良好に補正している。

【0134】

40

数値実施例8

図15は数値実施例8の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離100mm、Fナンバー3.0の画像読み取り用のクセノター型の光学系にUV硬化樹脂1より成る屈折光学素子GNL1を用いた例である。図16は数値実施例8の光学系の光学系の倍率-0.11Xにおける収差図である。

【0135】

数値実施例8の光学系では、開口絞りSPより近傍の接合レンズの張り合わせ面中にUV硬化樹脂1からなる屈折光学素子GNL1を導入することにより、主に軸上色収差が良好に補正されつつ、耐環境性にも優れた光学系を得ている。

【0136】

50

数値実施例 9

図 17 は数値実施例 9 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 55 mm、F ナンバー 4.1 のオルソメーター型の光学系に UV 硬化樹脂 1 より成る屈折光学素子 GNL1 を用いた例である。また、屈折光学素子 GNL1 の空気と接する面を非球面形状としている。SP は開口絞りである。図 18 は数値実施例 9 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0137】

数値実施例 9 の光学系では、開口絞り SP 近傍、かつ開口絞り SP より物体側の位置に UV 硬化樹脂 1 より成る屈折光学素子 GNL1 を導入することにより、軸外における球面収差や他収差がバランスよく補正された光学系を得ている。

10

【0138】

数値実施例 10

図 19 は数値実施例 10 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 50 mm、F ナンバー 2.5 のオルソメーター型の光学系に UV 硬化樹脂 1 より成る屈折光学素子 GNL1 を用いた例である。SP は開口絞りである。図 20 は数値実施例 10 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0139】

数値実施例 10 の光学系では、開口絞り SP 近傍の接合レンズの張り合わせ面中に UV 硬化樹脂 1 より成る屈折光学素子（層）GML1 を導入することにより、主に軸上色収差が良好に補正されつつ、耐環境性にも優れた光学系を得ている。

20

【0140】

数値実施例 11

図 21 は数値実施例 11 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 50 mm、F ナンバー 2.5 のオルソメーター型の光学系に TiO₂ 微粒子を UV 硬化樹脂 2 に分散させた混合体より成る屈折光学素子 GNL1 を用いた例である。SP は開口絞りである。図 22 は数値実施例 11 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0141】

数値実施例 11 の光学系では、開口絞り SP の近傍に TiO₂ 微粒子の分散材料からなる屈折光学素子（層）GML1 を導入することにより、主に軸上色収差が良好に補正された光学系を得ている。

30

【0142】

数値実施例 12

図 23 は数値実施例 12 の光学系のレンズ断面図であり、焦点距離 100 mm、F ナンバー 4.0 のオルソメーター型の光学系に N-ポリビニルカルバゾールより成る屈折光学素子（層）GNL1 を用いた例である。SP は開口絞りである。図 24 は数値実施例 12 の光学系の無限遠物体合焦状態での収差図である。

【0143】

数値実施例 12 の光学系では、開口絞り SP 近傍の位置に N-ポリビニルカルバゾールよりなる屈折光学素子 GNL1 を導入することにより、主に軸上色収差が良好に補正された光学系を得ている。

40

【0144】

以下、数値実施例 1 から 12 の具体的な数値データを示す。各数値実施例において、i は物体側から数えた順序を示し、R_i は第 i 番目の光学面（第 i 面）の曲率半径、D_i は第 i 面と第 (i + 1) 面との間の軸上間隔、N_i、d_i はそれぞれ d 線に対する第 i 番目（樹脂や TiO₂ 微粒子分散材料で形成されたレンズ（層）は除く）の光学部材の材料の屈折率、アッペ数を示す。樹脂や TiO₂ 微粒子分散材料で形成されたレンズ GNLj の d 線に対する屈折率、アッペ数は別途 NGNLj、GNLj (j = 1, 2, ...) で示している。f は焦点距離、Fno は F ナンバー、θ は半画角である。

【0145】

また、非球面形状は、X を光軸方向の面頂点からの変位量、h を光軸と垂直な方向の光

50

軸からの高さ、 r を近軸曲率半径、 k を円錐定数、 $B, C, D, E \dots$ を各次数の非球面係数とするとき、

【0146】

【数1】

$$x(h) = \frac{(1/r) h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)(h/r)^2}} + B h^4 + C h^6 + D h^8 + E h^{10} \dots$$

【0147】

10

で表す。なお、各非球面係数における「 $E \pm XX$ 」は「 $\times 10^{\pm XX}$ 」を意味している。

【0148】

数値実施例1ではUV硬化樹脂1を単体で用いている。数値実施例2から7では TiO_2 をホストポリマーであるUV硬化樹脂2に体積分率として7%分散させた状態で用いており、 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。

【0149】

表-1は、実施例中で使用した、UV硬化樹脂1、 TiO_2 微粒子をUV硬化樹脂2に体積比率7%で混合した混合体の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す。

20

【0150】

表-2はUV硬化樹脂2、及び TiO_2 単体のd線、g線、C線及びF線に対する屈折率及びアッベ数、部分分散比を示している。

【0151】

又前述の条件式(7)、(8a)、(8b)、(9)、(10a)～(10e)と数値実施例との関係を表-3に示す。

【0152】

各収差図において、符号g、dはそれぞれg線、d線の波長を示しており、符号R、G、Bはそれぞれ620nm、546.07nm(e線)、460nmを表している。また、符号M、Sはそれぞれメリディオナル像面、サジタル像面を表している。

30

【0153】

【数2】

数值実施例1

f=51.8	Fno=1.41	2 ω =45.2°					
R1=	54.846	D1=	4.74	N1=	1.8388	ν 1=	44.3
R2=	1059.047	D2=	1.50				
R3=	30.372	D3=	3.56	N2=	1.8850	ν 2=	41.0
R4=	49.954	D4=	1.71				
R5=	132.860	D5=	4.99	N3=	1.6766	ν 3=	29.9
R6=	19.377	D6=	7.49				
R7=	∞ (絞り)	D7=	8.19				
R8=	-17.653	D8=	1.80	N4=	1.8442	ν 4=	23.5
R9=	-149.083	D9=	3.91	N5=	1.6604	ν 5=	56.8
R10=	-31.705	D10=	1.00	NGNL1=	1.6356	ν GNL1=	22.7
R11=	-26.006	D11=	0.15				
R12=	-124.728	D12=	4.66	N6=	1.8813	ν 6=	41.2
R13=	-30.469	D13=	0.15				
R14=	104.212	D14=	3.29	N7=	1.7800	ν 7=	50.0
R15=	-226.181						

10

20

【0 1 5 4】

【数3】

数值実施例2

f=51.8	Fno=1.41	2 ω =45.2°					
R1=	57.969	D1=	4.76	N1=	1.7951	ν 1=	48.3
R2=	-2707.826	D2=	1.37				
R3=	31.136	D3=	3.60	N2=	1.8850	ν 2=	41.0
R4=	53.389	D4=	1.76				
R5=	171.615	D5=	4.30	N3=	1.6636	ν 3=	30.8
R6=	18.045	D6=	1.00	NGNL1=	1.5912	ν GNL1=	31.7
R7=	20.535	D7=	7.32				
R8=	∞ (絞り)	D8=	8.09				
R9=	-18.791	D9=	2.56	N4=	1.8610	ν 4=	26.8
R10=	-355.861	D10=	4.97	N5=	1.7368	ν 5=	52.0
R11=	-28.736	D11=	0.15				
R12=	-146.911	D12=	4.43	N6=	1.8815	ν 6=	41.2
R13=	-32.915	D13=	0.15				
R14=	100.019	D14=	3.19	N7=	1.7800	ν 7=	50.0
R15=	-296.6298						

30

40

【0 1 5 5】

【数4】

数值実施例3

f=51.8 Fno=1.41 2 ω =45.2°

R1=	65.153	D1=	4.59	N1=	1.7808	ν 1=	49.9
R2=	-664.747	D2=	1.50				
R3=	32.303	D3=	3.98	N2=	1.8850	ν 2=	41.0
R4=	55.984	D4=	2.11				
R5=	303.165	D5=	5.00	N3=	1.6540	ν 3=	31.5
R6=	21.855	D6=	7.08				
R7=	∞ (絞り)	D7=	0.30				
R8=	∞	D8=	1.80	N4=	1.5168	ν 4=	64.2
R9=	∞	D9=	0.23	NGNL1=	1.5912	ν GNL1=	31.7
R10=	-471.686	D10=	6.09				
R11=	-20.113	D11=	1.97	N5=	1.8594	ν 5=	26.2
R12=	-506.924	D12=	5.83	N6=	1.7800	ν 6=	50.0
R13=	-31.008	D13=	0.15				
R14=	-147.555	D14=	4.14	N7=	1.8850	ν 7=	41.0
R15=	-34.876	D15=	0.15				
R16=	99.367	D16=	2.93	N8=	1.7800	ν 8=	50.0
R17=	-397.5776						

【0 1 5 6】

【数5】

数值実施例4

f=51.8 Fno=1.41 2 ω =45.2°

R1=	51.799	D1=	4.98	N1=	1.7800	ν 1=	50.0
R2=	1318.972	D2=	0.15				
R3=	30.962	D3=	3.67	N2=	1.8850	ν 2=	41.0
R4=	51.048	D4=	1.69				
R5=	121.190	D5=	5.00	N3=	1.6460	ν 3=	32.2
R6=	19.013	D6=	8.55				
R7=	∞ (絞り)	D7=	8.77				
R8=	-18.270	D8=	2.31	N4=	1.8573	ν 4=	25.8
R9=	-1074.998	D9=	1.00	NGNL1=	1.5912	ν GNL1=	31.7
R10=	-92.496	D10=	4.65	N5=	1.7800	ν 5=	50.0
R11=	-28.842	D11=	0.15				
R12=	-152.856	D12=	4.75	N6=	1.8285	ν 6=	45.1
R13=	-31.109	D13=	0.15				
R14=	92.675	D14=	3.40	N7=	1.7800	ν 7=	50.0
R15=	-412.0039						

【0 1 5 7】

【数6】

数值実施例5

$f=51.8 \quad Fno=1.41 \quad 2\omega=45.2^\circ$
 R1= 56.135 D1= 4.69 N1= 1.8029 $\nu 1=$ 47.5
 R2= 1342.023 D2= 1.65 N2= 1.8850 $\nu 2=$ 41.0
 R3= 32.159 D3= 4.30 N3= 1.6758 $\nu 3=$ 30.0
 R4= 50.578 D4= 1.77
 R5= 161.327 D5= 5.00
 R6= 20.743 D6= 7.27
 R7= ∞ (絞り) D7= 7.63
 R8= -17.732 D8= 1.80 N4= 1.7430 $\nu 4=$ 26.4
 R9= 747.121 D9= 3.28 N5= 1.8850 $\nu 5=$ 41.0
 R10= -51.478 D10= 1.00 NGNL1= 1.5912 $\nu GNL1=$ 31.7
 *R11= -33.947 (非球面) D11= 0.15
 R12= -178.288 D12= 4.83 N6= 1.8081 $\nu 6=$ 47.0
 R13= -28.703 D13= 0.15
 R14= 262.977 D14= 3.26 N7= 1.6200 $\nu 7=$ 60.3
 R15= -81.135

10

20

非球面係数

	k	B	C	D
第11面	-4.151E-01	3.247E-06	6.306E-10	1.553E-11

【0 1 5 8】

【数7】

数值実施例6

$f=51.8 \quad Fno=1.86 \quad 2\omega=45.2^\circ$
 R1= 46.735 D1= 3.95 N1= 1.7867 $\nu 1=$ 49.2
 R2= 497.417 D2= 2.00 N2= 1.7800 $\nu 2=$ 50.0
 R3= 24.542 D3= 3.20
 R4= 40.792 D4= 1.80
 R5= 107.730 D5= 1.00 NGNL1= 1.5912 $\nu GNL1=$ 31.7
 R6= -287.522 D6= 2.03 N3= 1.6625 $\nu 3=$ 30.9
 R7= 18.107 D7= 6.45
 R8= ∞ (絞り) D8= 6.12
 R9= -18.549 D9= 2.61 N4= 1.6760 $\nu 4=$ 30.0
 R10= -289.597 D10= 5.00 N5= 1.7960 $\nu 5=$ 48.2
 R11= -23.422 D11= 0.15
 R12= 98.275 D12= 2.94 N6= 1.7800 $\nu 6=$ 50.0
 R13= -83.594

30

40

【0 1 5 9】

【数8】

数值実施例7

倍率 $\times -0.22$ Fno=4.12 2 $\omega = 31.4^\circ$

R1=	51.609	D1=	7.31	N1=	1.8850	ν 1=	41.0	
R2=	183.194	D2=	4.54					
R3=	32.292	D3=	7.79					
R4=	398.392	D4=	2.51	N2=	1.4905	ν 2=	70.0	
R5=	21.744	D5=	1.00	N3=	1.7228	ν 3=	31.9	10
R6=	24.561	D6=	14.39	NGNL1=	1.5912	ν GNL1=	31.7	
R7=	∞ (絞り)	D7=	14.58					
R8=	-24.078	D8=	1.80	N4=	1.6673	ν 4=	30.6	
R9=	-159.886	D9=	9.69	N5=	1.7965	ν 5=	48.2	
R10=	-34.857	D10=	0.15					
R11=	-343.120	D11=	4.25	N6=	1.8850	ν 6=	41.0	
R12=	-66.076							

【0 1 6 0】

【数9】

20

数值実施例8

f=100 Fno=3.0 倍率=-0.11X 2 $\omega = 36.0^\circ$

R1=	55.721	D1=	7.59	N1=	1.8850	ν 1=	41.0	
R2=	162.194	D2=	0.15					
R3=	37.531	D3=	6.80	N2=	1.8110	ν 2=	46.7	
R4=	74.835	D4=	3.00	NGNL1=	1.6356	ν GNL1=	22.7	
R5=	212.059	D5=	8.01	N3=	1.8500	ν 3=	23.0	
R6=	23.371	D6=	10.71					30
R7=	∞ (絞り)	D7=	15.69					
R8=	-29.589	D8=	7.53	N4=	1.8500	ν 4=	23.0	
R9=	-40.187	D9=	0.15					
R10=	357.666	D10=	7.71	N5=	1.6947	ν 5=	54.4	
R11=	-60.971							

【0 1 6 1】

【数10】

数值実施例9

f=55 Fno=4.1 2 ω =65.0°
 R1= 13.933 D1= 3.73 N1= 1.8804 ν 1= 41.3
 R2= 20.353 D2= 1.80 N2= 1.8500 ν 2= 23.0
 R3= 10.495 D3= 0.70 NGNL1= 1.6356 ν GNL1= 22.7
 *R4= 12.329 (非球面) D4= 1.30
 R5= 23.673 D5= 2.33 N3= 1.4870 ν 3= 70.4
 R6= 152.792 D6= 2.70
 R7= ∞ (絞り) D7= 1.50
 R8= -38.826 D8= 2.80 N4= 1.6694 ν 4= 56.1
 R9= 20.707 D9= 3.90 N5= 1.6063 ν 5= 54.9
 R10= -22.157 D10= 1.77
 R11= -11.128 D11= 1.80 N6= 1.6158 ν 6= 35.0
 R12= -91.967 D12= 5.42 N7= 1.8508 ν 7= 43.3
 R13= -18.039

非球面係数

	k	B	C	D	20
第4面	5.385E-02	5.836E-06	4.386E-08	-1.256E-10	

【0162】

【数11】

数值実施例10

f=50 Fno=2.5 2 ω =46.8°
 R1= 25.911 D1= 3.47 N1= 1.8727 ν 1= 32.3
 R2= 61.500 D2= 0.30
 R3= 16.091 D3= 4.32 N2= 1.4870 ν 2= 70.4
 R4= 111.986 D4= 1.81 N3= 1.6511 ν 3= 31.8
 R5= 10.821 D5= 4.38
 R6= ∞ (絞り) D6= 3.92
 R7= -86.245 D7= 4.50 N4= 1.8850 ν 4= 41.0
 R8= -24.500 D8= 1.00
 R9= -13.585 D9= 1.80 N5= 1.8478 ν 5= 23.9
 R10= -46.465 D10= 0.80 NGNL1= 1.6356 ν GNL1= 22.7
 R11= -29.218 D11= 4.77 N6= 1.8850 ν 6= 41.0
 R12= -16.104

【0163】

【数12】

数值実施例11

f=50 Fno=2.5 2 ω =46.8°

R1=	26.650	D1=	3.11	N1=	1.8850	ν 1=	41.0	
R2=	49.625	D2=	1.42					
R3=	16.286	D3=	3.91	N2=	1.5982	ν 2=	61.5	
R4=	66.101	D4=	1.80	N3=	1.6091	ν 3=	35.8	
R5=	10.547	D5=	4.22					10
R6=	∞ (絞り)	D6=	3.88					
R7=	-64.934	D7=	4.00	N4=	1.8850	ν 4=	41.0	
R8=	-23.648	D8=	0.76					
R9=	-14.556	D9=	0.88	NGNL1=	1.5532	ν 5=	39.8	
R10=	-10.690	D10=	2.09	N5=	1.8672	ν GNL1=	29.5	
R11=	-59.251	D11=	5.00	N6=	1.8850	ν 6=	41.0	
R12=	-16.017							

【0164】

【数13】

20

数值実施例12

f=100 Fno=4.0 2 ω =59.2°

R1=	35.563	D1=	4.18	N1=	1.8850	ν 1=	41.0	
R2=	67.516	D2=	0.15					
R3=	30.259	D3=	3.28	N2=	1.8850	ν 2=	41.0	
R4=	33.221	D4=	1.50					
R5=	61.286	D5=	1.80	N3=	1.8500	ν 3=	23.0	
R6=	20.538	D6=	0.80	NGNL1=	1.6959	ν GNL1=	17.7	
R7=	25.113	D7=	3.76					30
R8=	59.621	D8=	1.95	N4=	1.8745	ν 4=	33.4	
R9=	114.083	D9=	6.43					
R10=	∞ (絞り)	D10=	4.30					
R11=	-91.143	D11=	3.00	N5=	1.8850	ν 5=	41.0	
R12=	-55.759	D12=	1.38					
R13=	-32.366	D13=	6.21	N6=	1.7578	ν 6=	28.9	
R14=	-137.166	D14=	4.79	N7=	1.8850	ν 7=	41.0	
R15=	-39.141							40

【0165】

【表1】

表1

	実施例1, 8~10	実施例2~7, 11	実施例12
	UV硬化樹脂1	TiO ₂ 7%-UV硬化樹脂2	N-ポリビニルカルバゾール
d線屈折率	1.63555	1.59121	1.69591
g線屈折率	1.67532	1.61854	1.75164
C線屈折率	1.62807	1.58618	1.68528
F線屈折率	1.65604	1.60484	1.72465
vd	22.7	31.7	17.7
θ gd	1.422	1.464	1.415
θ gF	0.689	0.734	0.686

10

【0166】

【表2】

表2

	UV硬化樹脂2	TiO ₂
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
vd	51.6	13.8
θ gd	1.269	1.624
θ gF	0.563	0.873

20

【0167】

30

【表3】

表3

条件式		数値実施例						
		1	2	3	4	5	6	7
(16)	XL	0.295	0.154	0.044	0.225	0.292	0.228	0.212
(17)	X1/L	---	0.111	---	---	---	0	0.037
(18)	X2/L	0.121	---	0.168	0	0.07	---	---
(19)	Φ GNL	0.00469	0.00457	0.00125	0.00584	0.00606	0.00753	0.00356
(6)	f F/f	3.46	3.36	3.63	3.17	4.22	3.32	1.84
(7)	f R/f	0.79	0.80	0.81	0.79	0.78	0.86	0.89
(8)	f F/f R	4.40	4.21	4.52	4.01	5.39	3.84	2.07
(9)	Ra/f	0.37	0.40	0.42	0.37	0.40	0.35	0.25
(10)	Rb/f	-0.34	-0.36	-0.39	-0.31	-0.34	-0.36	-0.25

条件式		数値実施例				
		8	9	10	11	12
(11)	f FS/f	-0.315	-1.871	-0.371	-0.417	-0.747
(12)	f RS/f	-1.959	-0.431	-1.199	-0.719	-0.888
(16)	X/L	0.278	0.213	0.361	0.278	0.279
(17)	X1/L	0	0.061	---	---	0.041
(18)	X2/L	---	---	0	0.067	---
(19)	ϕ GNL	0.0055	0.0103	0.0082	0.0149	0.0066
(6)	f F/f	1.493	1.005	3.668	2.686	1.737
(7)	f R/f	1.005	2.440	0.857	0.926	1.423
(8)	f F/f R	1.486	0.412	4.281	2.901	1.220
(9)	Ra/f	0.234	0.191	0.216	0.211	0.205
(10)	Rb/f	-0.296	-0.202	-0.272	-0.214	-0.324
(14)	v a	23.0	22.7	31.8	35.8	23.0
(15)	v b	23.0	35.0	23.9	29.5	28.9

【0168】

次に本発明の光学系を撮影光学系として用いたデジタルスチルカメラ（撮像装置）の実施例を図25を用いて説明する。

【0169】

図25において、20はカメラ本体、21は本発明の光学系によって構成された撮影光学系、22はカメラ本体に内蔵され、撮影光学系21によって形成された被写体像を受光するCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）、23は撮像素子22によって光電変換された被写体像に対応する情報を記録するメモリ、24は液晶ディスプレイパネル等によって構成され、固体撮像素子22上に形成された被写体像を観察するためのファインダである。

【0170】

このように本発明の光学系をデジタルスチルカメラ等の撮像素子に適用することにより、高い光学性能を有する撮像装置を実現している。

【0171】

図26はアッペ数と部分分散比gFについて、本発明の条件式(1)、(2)の範囲と、表1、表2の物質及び一般の光学ガラスとの関係を示したものである。図27はアッペ数と部分分散比gdについて、本発明の条件式(3)、(4)の範囲と、表1、表2の物質及び一般の光学ガラスとの関係を示したものである。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0172】

【図1】実施例1の光学系の光学断面図

【図2】実施例1の光学系の収差図

【図3】実施例2の光学系の光学断面図

【図4】実施例2の光学系の収差図

【図5】実施例3の光学系の光学断面図

【図6】実施例3の光学系の収差図

【図7】実施例4の光学系の光学断面図

【図8】実施例4の光学系の収差図

【図9】実施例5の光学系の光学断面図

【図10】実施例5の光学系の収差図

【図11】実施例6の光学系の光学断面図

【図12】実施例6の光学系の収差図

【図13】実施例7の光学系の光学断面図

【図14】実施例7の光学系の収差図

【図15】実施例8の光学系の光学断面図

【図16】実施例8の光学系の収差図

【図17】実施例9の光学系の光学断面図

【図18】実施例9の光学系の収差図

【図19】実施例10の光学系の光学断面図

【図20】実施例10の光学系の収差図

【図21】実施例11の光学系の光学断面図

【図22】実施例11の光学系の収差図

【図23】実施例12の光学系の光学断面図

【図24】実施例12の光学系の収差図

【図25】本発明の撮像装置の要部概略図

【図26】本発明の条件式(1),(2)の範囲を説明する図

【図27】本発明の条件式(3),(4)の範囲を説明する図

【符号の説明】

【0173】

O B 光学系

S P 縞り

I P 像面

d d線

g g線

S サジタル像面

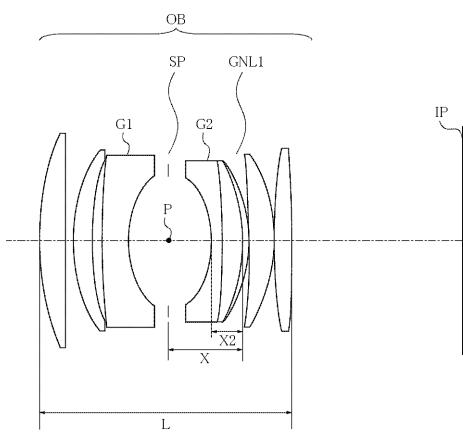
M メリディオナル像面

10

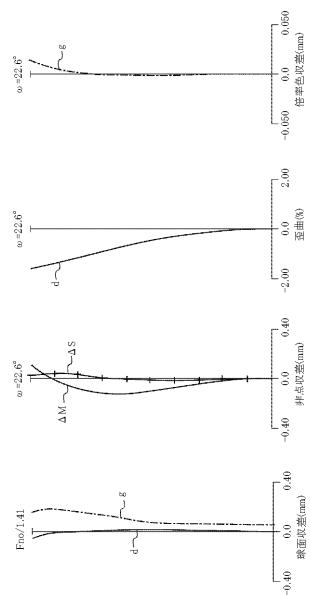
20

30

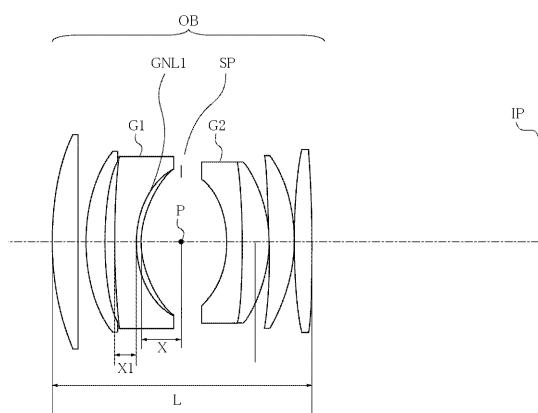
【図1】



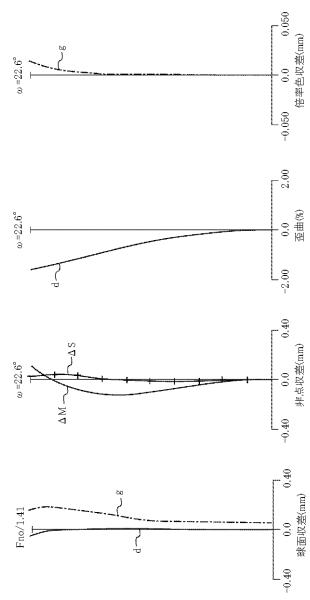
【図2】



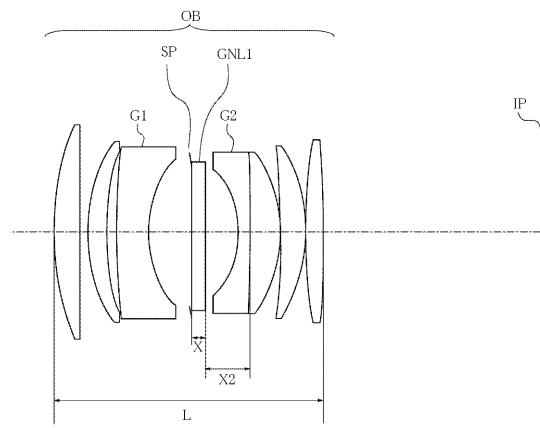
【図3】



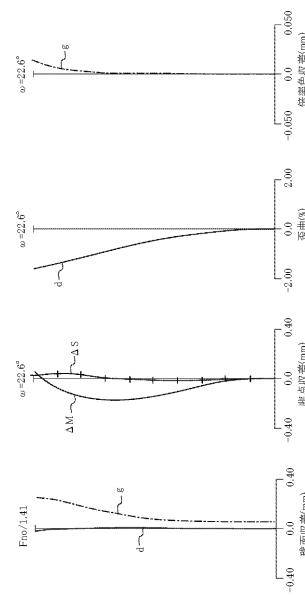
【図4】



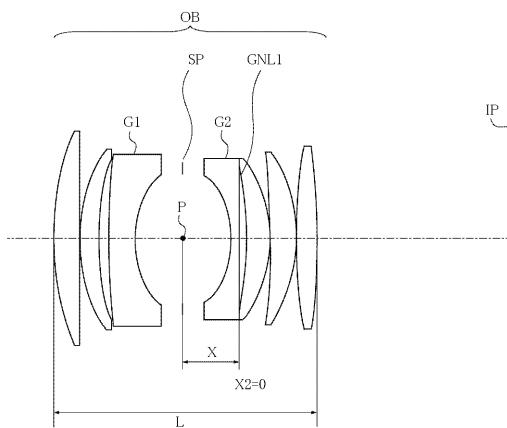
【図5】



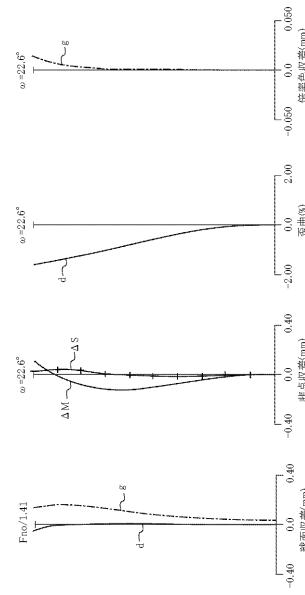
【図6】



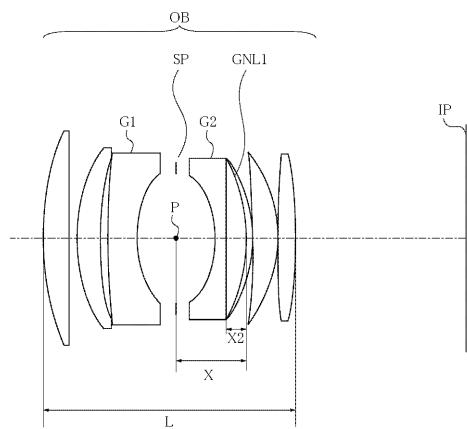
【図7】



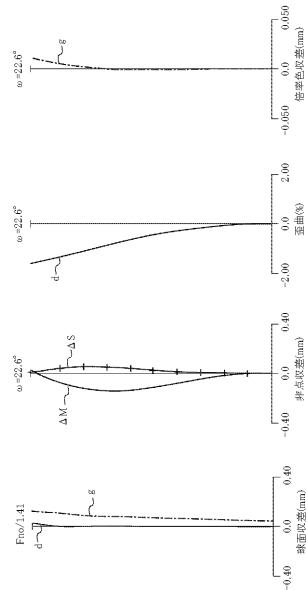
【図8】



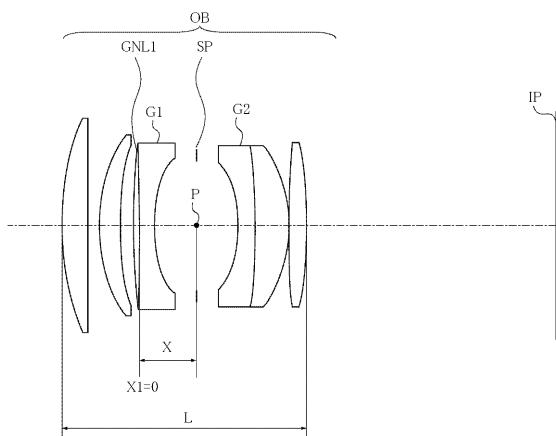
【図 9】



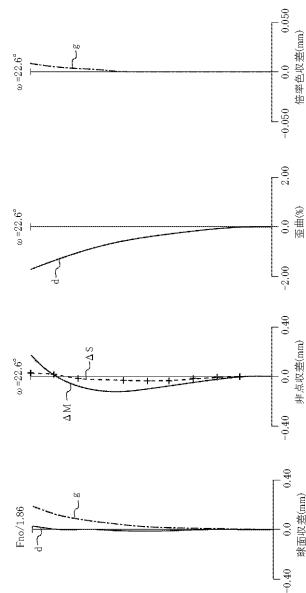
【図 10】



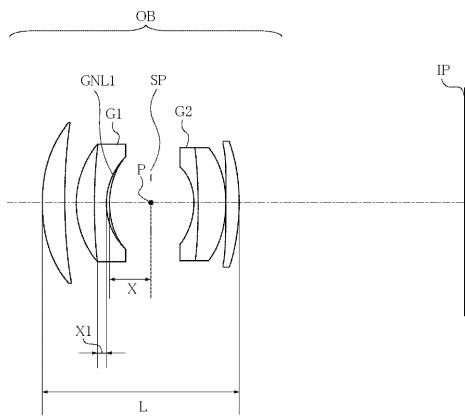
【図 11】



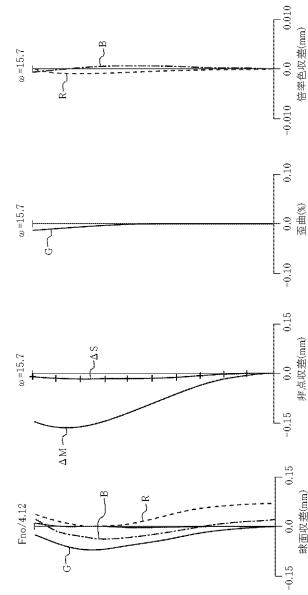
【図 12】



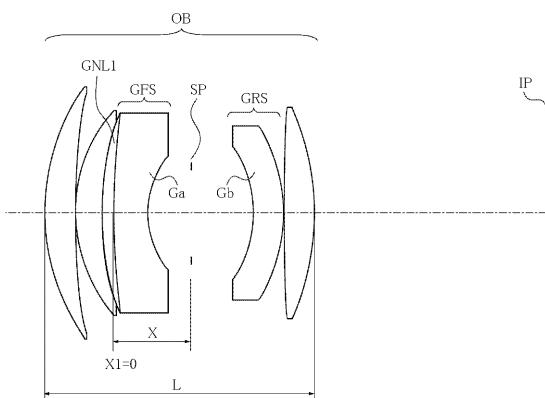
【図13】



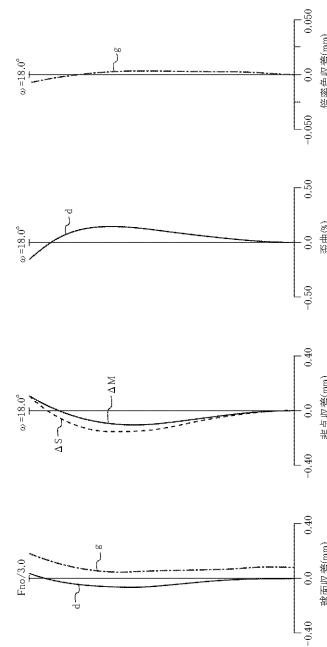
【図14】



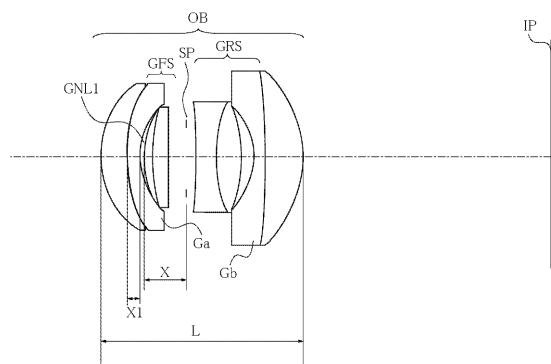
【図15】



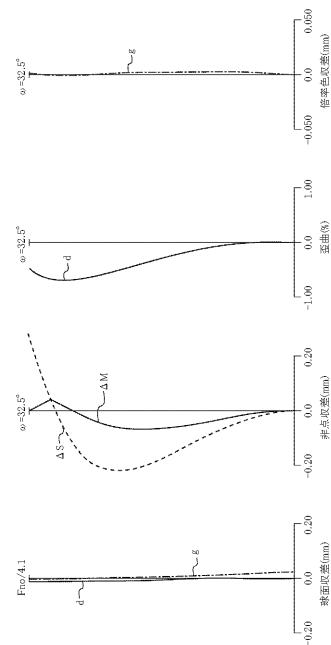
【図16】



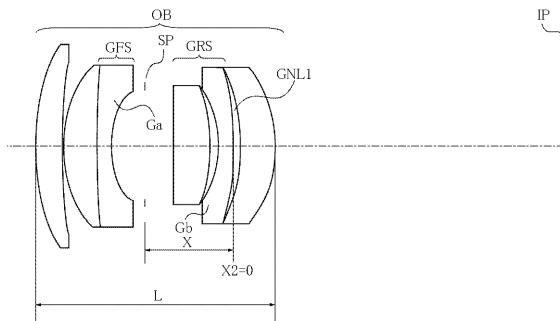
【図17】



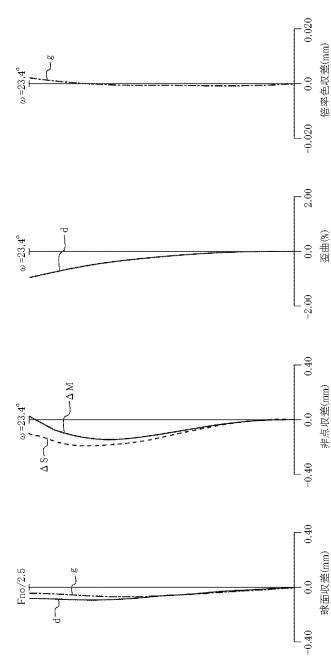
【図18】



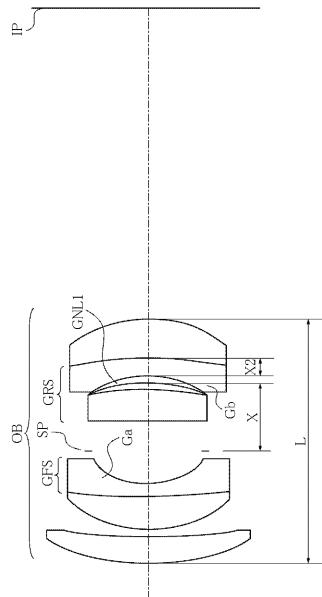
【図19】



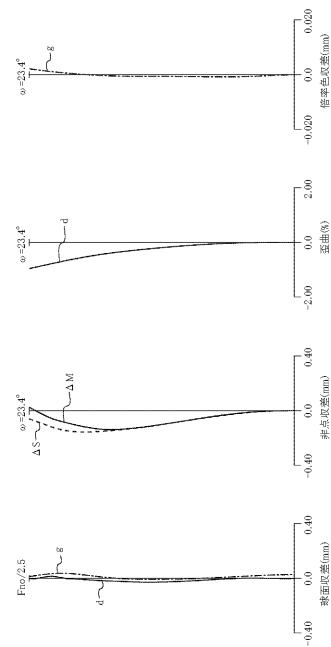
【図20】



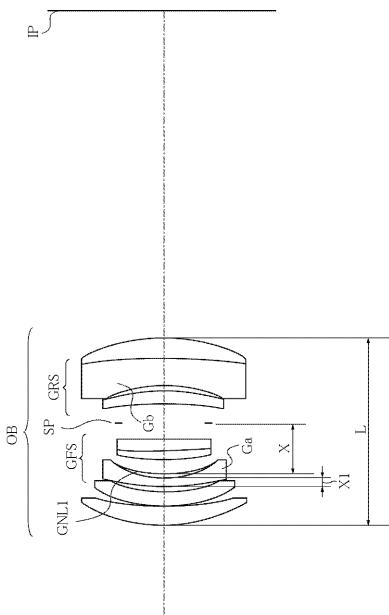
【図21】



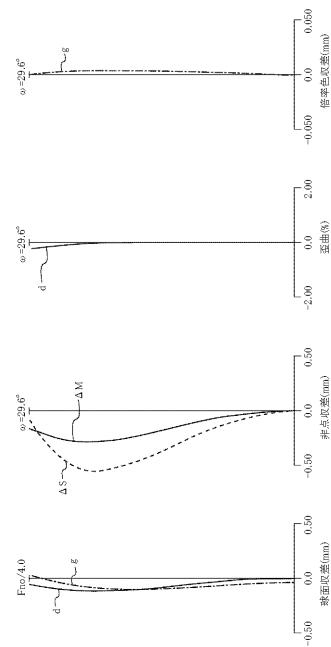
【図22】



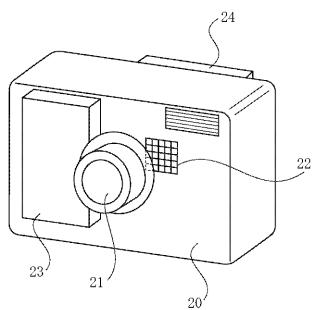
【図23】



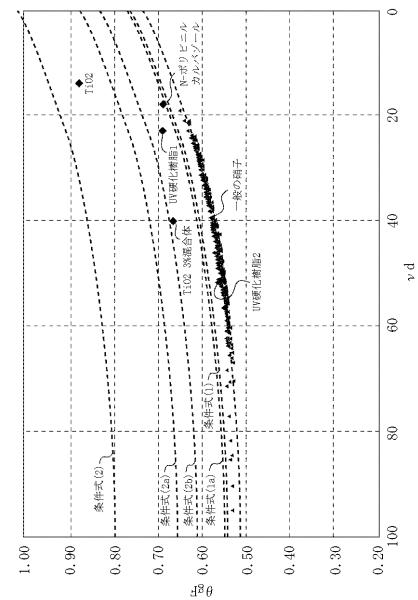
【図24】



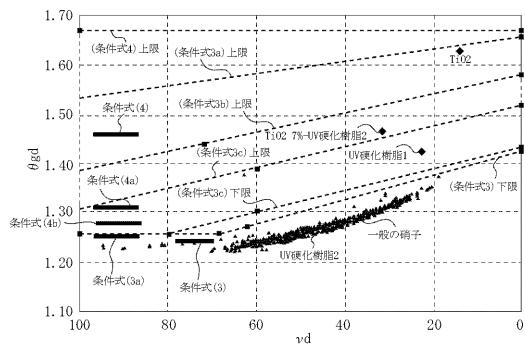
【図25】



【図26】



【図27】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭63-155102(JP,A)
特開2004-145273(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