

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5202025号
(P5202025)

(45) 発行日 平成25年6月5日 (2013.6.5)

(24) 登録日 平成25年2月22日 (2013.2.22)

(51) Int.Cl.	F I
GO 2 B 15/16 (2006.01)	GO 2 B 15/16
GO 2 B 13/04 (2006.01)	GO 2 B 13/04 D
GO 2 B 15/163 (2006.01)	GO 2 B 15/163
GO 2 B 13/18 (2006.01)	GO 2 B 13/18

請求項の数 9 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2008-42755 (P2008-42755)	(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
(22) 出願日	平成20年2月25日 (2008.2.25)	(74) 代理人	100086818 弁理士 高梨 幸雄
(65) 公開番号	特開2009-198960 (P2009-198960A)	(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
(43) 公開日	平成21年9月3日 (2009.9.3)		
審査請求日	平成23年2月15日 (2011.2.15)	審査官	堀井 康司
		(56) 参考文献	特開2000-147373 (JP, A) 特開2005-106902 (JP, A)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像光学系及びそれを有する撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群、フォーカスの際に移動する正の屈折力の第2レンズ群を有する撮像光学系において、

開口絞りと、
該開口絞りよりも像側に配置された1以上の接合レンズと、
該開口絞りよりも物体側に1以上の負レンズとを有し、
前記1以上の接合レンズのうち第1の接合レンズの接合面は、物体側に凹形状であり、
かつ該接合面に回折光学部を有しており、

全系の焦点距離を f 、前記1以上の接合レンズのうち第2の接合レンズの負レンズの材
料のアッペ数と、空気中における焦点距離を各々 f_{RN} 、 f_{RN} 、

該開口絞りより物体側に位置する負レンズの材料のアッペ数で最大のアッペ数を f_N 、
該回折光学部を有する第1の接合レンズにおける最も物体側の面の曲率半径と最も像側
の面の曲率半径の平均値を r_{avr} 、

該回折光学部の曲率半径を r_{DOE} 、
該開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの
部分分散比を P_{gF} 、

該開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの
材料のアッペ数を R_P とするとき

$$-0.1 < f / (f_{RN} \times f_{RN}) < -0.02$$

10

20

$$80 < f_{FN} < 97$$

$$r_{avr}/r_{DOE} < 3$$

$$-0.02 < P_{gF} - (-1.625 \times 10^{-3} \times r_{RP} + 0.642) < 0.0$$

3

なる条件式を満足すること、
を特徴とする撮像光学系。

【請求項 2】

前記 1 以上の接合レンズのうち前記開口絞りに最も近い接合レンズが前記第 2 の接合レンズであることを特徴とする請求項 1 に記載の撮像光学系。

【請求項 3】

10

前記第 1 の接合レンズと前記第 2 の接合レンズは、同じ接合レンズであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の撮像光学系。

【請求項 4】

前記回折光学部の回折成分のみによる焦点距離を f_{DOE} とするとき

$$40 < f_{DOE}/f < 200$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の撮像光学系。

【請求項 5】

物体側から像側へ順に、負の屈折力の第 1 レンズ群と、正の屈折力の第 2 レンズ群を有し、該第 1 レンズ群と第 2 レンズ群の間隔を変化させてズームを行う撮像光学系において、

20

開口絞りと、

該開口絞りよりも像側に配置された 1 以上の接合レンズと、

該開口絞りよりも物体側に 1 以上の負レンズとを有し、

前記 1 以上の接合レンズのうち第 1 の接合レンズの接合面は、物体側に凹形状であり、かつ該接合面に回折光学部を有しており、

広角端における全系の焦点距離を f_{ZW} 、

前記 1 以上の接合レンズのうち第 2 の接合レンズの負レンズの材料のアッペ数と空気中における焦点距離を各々 z_{RN} 、 f_{zRN} 、

該開口絞りより物体側に位置する負レンズの材料のアッペ数で最大アッペ数を z_{FN} 、

30

該回折光学部を有する前記第 1 の接合レンズにおける最も物体側の面の曲率半径と最も像側の曲率半径の平均値を r_{Zavr} 、

該回折光学部の曲率半径を r_{ZDOE} 、

該開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの部分分散比を P_{zgF} 、

該開口絞りより像側の正レンズで材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの材料のアッペ数を z_{RP} 、

とするとき

$$-0.1 < f_{ZW}/(z_{RN} \times f_{zRN}) < -0.02$$

$$80 < z_{FN} < 97$$

40

$$r_{Zavr}/r_{ZDOE} < 3$$

$$-0.02 < P_{zgF} - (-1.625 \times 10^{-3} \times z_{RP} + 0.642) < 0.03$$

なる条件式を満足すること、

を特徴とする撮像光学系。

【請求項 6】

前記第 1、第 2 レンズ群はズームに際して互いに独立に移動するレンズ群であることを特徴とする請求項 5 に記載の撮像光学系。

【請求項 7】

前記第 2 レンズ群の像側にズームに際して不動又は他のレンズ群と独立に移動する 1 以上のレンズ群を有していることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の撮像光学系。

50

【請求項 8】

前記回折光学部の回折成分のみによる焦点距離を f_{ZDOF} とするとき、

$$40 < f_{ZDOF} / f_{ZW} < 200$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の撮像光学系。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の撮像光学系を有してい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】

10

【0001】

本発明は撮像光学系に関し、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、デジタルスチルカメラ等の撮像装置に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

デジタルスチルカメラやフィルム用カメラ等の撮像装置のうち、一眼レフカメラに用いられる撮像光学系には、広画角でバックフォーカスが長いことが求められている。

【0003】

広画角でバックフォーカスが長い撮像光学系として、レトロフォーカスタイプの撮像光学系が知られている。このレトロフォーカスタイプの撮像光学系では、物体側に全体として負の屈折力のレンズ群を配置している。

20

【0004】

また像側には全体として正の屈折力のレンズ群を配置している。このようなレンズ構成によって広画角で長いバックフォーカスを有する撮像光学系を実現している。

【0005】

レトロフォーカス型の撮像光学系として物体側から像側へ順に負の屈折力の第 1 レンズ群と正の屈折力の第 2 レンズ群を有する単一の焦点距離のレトロフォーカス型レンズが知られている(特許文献 1、2)。

【0006】

又、レトロフォーカス型の撮像光学系として物体側から像側へ順に負の屈折力の第 1 レンズ群と正の屈折力の第 2 レンズ群を有するズームレンズが知られている(特許文献 3、4)。

30

【0007】

一般にレトロフォーカス型のズームレンズでは、レンズ構成が非対称であり、又広画角であるため、倍率色収差等の色収差が多く発生しやすい。このときの色収差を回折光学素子を用いて補正したレトロフォーカス型のズームレンズが知られている(特許文献 5)。

【特許文献 1】特開平 9 - 3 3 8 0 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 1 - 1 5 9 7 3 2 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 1 - 1 6 6 2 0 6 号公報

【特許文献 4】特開平 9 - 1 7 1 1 3 9 号公報

40

【特許文献 5】特開 2 0 0 0 - 1 4 7 3 7 3 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

一般にレトロフォーカス型の撮像光学系は、開口絞りに対して物体側に負の屈折力のレンズ群、像側に正の屈折力のレンズ群を配置した全体として非対称のレンズ構成より成っている。

【0009】

又、長いバックフォーカスを確保する為に物体側のレンズ群の負の屈折力の絶対値を大きくしている。この為、諸収差の発生量が多くなる傾向があった。

50

【 0 0 1 0 】

特にレトロフォーカス型の撮像光学系は、最も物体側の負の屈折力の第 1 レンズ群において軸外光線が光軸から比較的離れた位置を通過するため、諸収差のうち倍率色収差が多く発生しやすい。

【 0 0 1 1 】

この倍率色収差を補正する方法として、負の屈折力の第 1 レンズ群内部や、その近傍のレンズ群に高分散ガラスを使用した正レンズを配置する方法が多くとられている。

【 0 0 1 2 】

しかしながらこの正レンズだけで倍率色収差を補正しようとする、像高の高い部分(画角の大きな領域)で倍率色収差が過剰補正になってくる。

10

【 0 0 1 3 】

そこで多くのレトロフォーカス型の撮像光学系では、全画面で倍率色収差のバランスを取るために、倍率色収差を中間像高でアンダーとし、最大像高でオーバーとなるように補正している。

【 0 0 1 4 】

一方、撮像光学系の一部に回折光学素子を用いると、色収差の補正が容易になり、高い光学性能を有した撮像光学系を得るのが容易となる。

【 0 0 1 5 】

しかしながら、回折光学素子を単にレンズ系中に設けても、その位置やパワー、そして、それを含むレンズ系全体のレンズ構成等を適切に設定しないと色収差を良好に補正した高い光学性能の撮像光学系を得ることが難しい。

20

【 0 0 1 6 】

また回折光学素子を構成する回折光学部はパワーを強くすると、回折格子の格子部のピッチが細くなる。

【 0 0 1 7 】

色収差の補正を全て回折光学素子で行うとすると回折光学素子のパワーを強くする必要がある。

【 0 0 1 8 】

一般に回折格子の格子部のピッチを細かくした回折光学素子を精度よく製造するのは大変難しい。

30

【 0 0 1 9 】

このため、回折光学素子を用いて、色収差を補正する際には、回折光学部のパワーや、回折光学部を設ける位置、そしてレンズ構成等を適切に設定することが重要になってくる。

【 0 0 2 0 】

特にレトロフォーカス型の撮像光学系では、これらの要素が適切でないと色収差や球面収差の諸収差を良好に補正し、高い光学性能を得るのが難しくなってくる。

【 0 0 2 1 】

本発明は、画面内全体に渡って色収差を良好に補正し、高い光学性能を有する撮像光学系及びそれを有する撮像装置の提供を目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 2 】

本発明の撮像光学系は、物体側から像側へ順に、負の屈折力の第 1 レンズ群、フォーカスの際に移動する正の屈折力の第 2 レンズ群を有する撮像光学系において、開口絞り、該開口絞りよりも像側に配置された 1 以上の接合レンズと、該開口絞りよりも物体側に 1 以上の負レンズとを有し、前記 1 以上の接合レンズのうち第 1 の接合レンズの接合面は、物体側に凹形状であり、かつ該接合面に回折光学部を有しており、全系の焦点距離を f 、前記 1 以上の接合レンズのうち第 2 の接合レンズの負レンズの材料のアッペ数と、空気中における焦点距離を各々 f_{RN} 、 f_{RN} 、該開口絞りより物体側に位置する負レンズの材料のアッペ数で最大のアッペ数を f_{FN} 、該回折光学部を有する第 1 の接合レンズにおける最も

50

物体側の面の曲率半径と最も像側の面の曲率半径の平均値を r_{avr} 、該回折光学部の曲率半径を r_{DOE} 、該開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの部分分散比を P_{gF} 、該開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの材料のアッペ数を R_P とするとき

$$\begin{aligned} -0.1 < f / (r_{RN} \times f_{RN}) < -0.02 \\ 80 < f_{FN} < 97 \\ r_{avr} / r_{DOE} < 3 \\ -0.02 < P_{gF} - (-1.625 \times 10^{-3} \times R_P + 0.642) < 0.03 \end{aligned}$$

なる条件式を満足すること、を特徴としている。

10

【0023】

この他、本発明の撮像光学系は、物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群を有し、該第1レンズ群と第2レンズ群の間隔を変化させてズームを行う撮像光学系において、開口絞りと、該開口絞りよりも像側に配置された1以上の接合レンズと、該開口絞りよりも物体側に1以上の負レンズとを有し、前記1以上の接合レンズのうち第1の接合レンズの接合面は、物体側に凹形状であり、かつ該接合面に回折光学部を有しており、広角端における全系の焦点距離を f_{ZW} 、前記1以上の接合レンズのうち第2の接合レンズの負レンズの材料のアッペ数と空気中における焦点距離を各々 r_{ZRN} 、 f_{ZRN} 、該開口絞りより物体側に位置する負レンズの材料のアッペ数で最大アッペ数を r_{ZFN} 、該回折光学部を有する前記第1の接合レンズにおける最も物体側の面の曲率半径と最も像側の曲率半径の平均値を r_{Zavr} 、該回折光学部の曲率半径を r_{ZDOE} 、

20

該開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの部分分散比を P_{ZgF} 、該開口絞りより像側の正レンズで材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの材料のアッペ数を R_{ZP} 、とするとき

$$\begin{aligned} -0.1 < f_{ZW} / (r_{ZRN} \times f_{ZRN}) < -0.02 \\ 80 < f_{ZFN} < 97 \\ r_{Zavr} / r_{ZDOE} < 3 \\ -0.02 < P_{ZgF} - (-1.625 \times 10^{-3} \times R_{ZP} + 0.642) < 0.03 \end{aligned}$$

なる条件式を満足すること、を特徴としている。

30

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、画面内全体に渡って色収差を良好に補正し、高い光学性能を有する撮像光学系及びそれを有する撮像装置が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

以下、本発明の撮像光学系及びそれを有する撮像装置の実施例について説明する。

【0026】

本発明の撮像光学系は、物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群、正の屈折力の第2レンズ群を有する単一焦点距離のレンズ系又はズームレンズである。

【0027】

本実施例の撮像光学系のうち、単一焦点距離のレンズ系（単焦点レンズ）の実施例においては、第2レンズ群はフォーカスの際に移動するフォーカスレンズ群である。また、本実施例の撮像光学系のうち、ズームレンズタイプの撮像光学系（ズームレンズ）の実施例においては、第1レンズ群と第2レンズ群は互いの間隔を変化させて移動している。第2レンズ群の像側には必要に応じて1以上のレンズ群が配置される。

40

【0028】

図1は、本発明の撮像光学系の実施例1のレンズ断面図である。図2は実施例1の撮像光学系の物体距離1.4m(像面IPからの距離である。以下同じ)のときにおける縦収差図である。実施例1は、半画角が38.6°の広画角レンズである。

【0029】

50

図 3 は、本発明の撮像光学系の実施例 2 のレンズ断面図である。図 4 は実施例 2 の撮像光学系の物体距離 1 . 2 m のときにおける縦収差図である。実施例 2 は、半画角が 4 1 . 4 ° の広画角レンズである。

【 0 0 3 0 】

図 5 は本発明の撮像光学系の実施例 3 のレンズ断面図である。図 6 は実施例 3 の撮像光学系の物体距離 1 . 2 m のときにおける縦収差図である。実施例 3 は半画角が 4 0 . 9 ° の広画角レンズである。

【 0 0 3 1 】

図 7 は、本発明の撮像光学系の実施例 4 の広角端におけるレンズ断面図である。図 8、図 9、図 1 0 はそれぞれ実施例 4 の撮像光学系の物体距離 1 . 2 m のときの広角端、中間のズーム位置、望遠端における縦収差図である。

10

【 0 0 3 2 】

実施例 4 は、広角端において半画角が 4 1 . 6 °、望遠端において半画角が 2 4 . 7 °、ズーム比 1 . 9 のズームレンズである。

【 0 0 3 3 】

図 1 1 は、本発明の撮像光学系の実施例 5 の広角端におけるレンズ断面図である。図 1 2、図 1 3、図 1 4 はそれぞれ実施例 5 の撮像光学系の物体距離 1 . 2 m のときの広角端、中間のズーム位置、望遠端における縦収差図である。

【 0 0 3 4 】

実施例 5 は、広角端において半画角が 3 9 . 8 °、望遠端において半画角が 2 3 . 3 °、ズーム比 1 . 9 のズームレンズである。

20

【 0 0 3 5 】

図 1 5 は、本発明に係る回折光学素子の説明図である。図 1 6 は、本発明に係る回折光学素子の波長依存特性の説明図である。

【 0 0 3 6 】

図 1 7 は、本発明に係る回折光学素子の説明図である。図 1 8 は、本発明に係る回折光学素子の波長依存特性の説明図である。

【 0 0 3 7 】

図 1 9 は、本発明に係る回折光学素子の説明図である。図 2 0 は、本発明の撮像光学系を有する撮像装置の要部概略図である。

30

【 0 0 3 8 】

レンズ断面図において、L A は撮像光学系である。S P は開口絞りである。L 1 は負の屈折力の第 1 レンズ群、L 2 は正の屈折力の第 2 レンズ群、L 3 は正の屈折力の第 3 レンズ群である。L 2 R 1、L 2 R 2、L 2 R 3 は接合レンズである。

【 0 0 3 9 】

I P は像面であり、固体撮像素子（光電変換素子）の撮像面に相当している。R A は回折光学部（回折光学面）である。G 2 n 1 は負レンズである。

【 0 0 4 0 】

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、倍率色収差は g 線によって表している。f n o は F ナンバー、 θ は半画角である。

40

【 0 0 4 1 】

すべての収差図において、球面収差は 0 . 4 mm、非点収差は 0 . 4 mm、歪曲は 5 %、倍率色収差は 0 . 0 5 mm のスケールで描かれている。

【 0 0 4 2 】

尚、実施例 4 と実施例 5 においては広角端と望遠端は変倍用の第 2 レンズ群 L 2 が機構上光軸上を移動可能な範囲の両端に位置したときのズーム位置をいう。

【 0 0 4 3 】

実施例 1、2、3 のように、撮像光学系が単一の焦点距離のレンズ系のときは、次の諸条件を満足するレンズ構成より成っている。

50

【 0 0 4 4 】

開口絞りを有しており、この開口絞りよりも像側に 1 以上（好ましくは複数）の接合レンズを有している。この 1 以上の接合レンズは、接合レンズ面に回折光学部を有する接合レンズ（第 1 の接合レンズ）を含んでいる。更に、この 1 以上の接合レンズは、回折光学部を有する接合レンズ（第 1 の接合レンズ）とは異なる（別に）1 以上の接合レンズを有している（つまり、複数の接合レンズを有する）ことが好ましい。また、開口絞りよりも物体側に 1 以上の負レンズを有している。

【 0 0 4 5 】

ここで全系の焦点距離を f とする。開口絞りより像側に配置された 1 以上の接合レンズのうち一つの接合レンズ（第 2 の接合レンズ）の負レンズの材料のアップベ数と、空気中における（空気換算した）焦点距離を各々 r_{RN} 、 f_{RN} とする。開口絞りより物体側に位置する負レンズの材料のアップベ数で最大のアップベ数を f_{FN} とする。

10

【 0 0 4 6 】

回折光学部を有する接合レンズにおける最も物体側の面の曲率半径と最も像側の面の曲率半径の平均値を r_{avr} とする。回折光学部の曲率半径を r_{DOE} とする。開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの部分分散比を P_{gF} とする。

【 0 0 4 7 】

開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの材料のアップベ数を r_{RP} とする。

20

【 0 0 4 8 】

このとき

$$\begin{aligned} -0.1 &< f / (r_{RN} \times f_{RN}) < -0.02 \quad \dots (1) \\ 80 &< f_{FN} < 97 \quad \dots (2) \\ r_{avr} / r_{DOE} &< 3 \quad \dots (3) \\ -0.02 &< P_{gF} - (-1.625 \times 10^{-3} \times r_{RP} + 0.642) < 0.03 \quad \dots (4) \end{aligned}$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

【 0 0 4 9 】

そして更に好ましくは、回折光学部の回折成分のみによる焦点距離を f_{DOE} とするとき

$$40 < f_{DOE} / f < 200 \quad \dots (5)$$

30

なる条件式を満足している。

【 0 0 5 0 】

尚、ここで、開口絞りより像側に配置された 1 以上の接合レンズのうち一つの接合レンズ（第 2 の接合レンズ）が、1 以上の接合レンズのうち最も開口絞りに近い接合レンズであることが望ましい。

【 0 0 5 1 】

又、実施例 4、5 のように、撮像光学系がズームレンズのときは、次の諸条件を満足するレンズ構成より成っている。

【 0 0 5 2 】

40

開口絞りを有しており、この開口絞りよりも像側に 1 以上（好ましくは複数）の接合レンズを有している。この 1 以上の接合レンズは、接合レンズ面に回折光学部を有する接合レンズ（第 1 の接合レンズ）を含んでいる。更に、この 1 以上の接合レンズは、回折光学部を有する接合レンズ（第 1 の接合レンズ）とは異なる（別に）1 以上の接合レンズを有している（つまり、複数の接合レンズを有する）ことが好ましい。また、開口絞りよりも物体側に 1 以上の負レンズを有している。

【 0 0 5 3 】

ここで、広角端における全系の焦点距離を f_{ZW} とする。更に、開口絞りより像側に配置された 1 以上の接合レンズのうち一つの接合レンズ（第 2 の接合レンズ）の負レンズの材料のアップベ数と空気中における（空気換算した）焦点距離を各々 r_{ZRN} 、 f_{ZRN} とする。開

50

口絞りより物体側に位置する負レンズの材料のアップベ数で最大アップベ数を Z_{FN} とする。

【 0 0 5 4 】

回折光学部を有する接合レンズにおける最も物体側の面の曲率半径と最も像側の曲率半径の平均値を $r_{Z_{avr}}$ とする。回折光学部の曲率半径を r_{ZDOE} とする。開口絞りより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの部分分散比を $P_{Z_{gF}}$ とする。

【 0 0 5 5 】

開口絞りより像側の正レンズで材料の標準線との部分分散比の差が最大の正レンズの材料のアップベ数を Z_{RP} とする。このとき

$$-0.1 < f_{ZW} / (Z_{RN} \times f_{ZRN}) < -0.02 \quad \dots (6)$$

$$80 < Z_{FN} < 97 \quad \dots (7)$$

$$r_{Z_{avr}} / r_{ZDOE} < 3 \quad \dots (8)$$

$$-0.02 < P_{Z_{gF}} - (-1.625 \times 10^{-3} \times Z_{RP} + 0.642) < 0.03 \quad \dots (9)$$

なる条件式を満足している。

【 0 0 5 6 】

そして更に好ましくは、回折光学部の回折成分のみによる焦点距離を f_{ZDOE} とする。このとき

$$40 < f_{ZDOE} / f_{ZW} < 200 \quad \dots (10)$$

なる条件式を満足している。

【 0 0 5 7 】

尚、ここで、開口絞りより像側に配置された 1 以上の接合レンズのうち一つの接合レンズ（第 2 の接合レンズ）が、1 以上の接合レンズのうち最も開口絞りに近い接合レンズであることが望ましい。

【 0 0 5 8 】

尚、条件式（6）～（10）は撮像光学系がズームレンズのときに相当し、撮像光学系が単一の焦点距離のレンズ系のときの条件式（1）～（5）に対応している。

【 0 0 5 9 】

また、前述の第 1 の接合レンズと第 2 の接合レンズとは同じ接合レンズであっても良い。つまり、接合レンズの接合面が回折光学部（回折作用を持つ光学面）であって、且つ条件式（1）や（6）を満足するように構成しても良い。また、後述する本発明の具体的な実施例においては、接合レンズを複数枚持っているが、その限りでは無い。つまり、本発明は、撮像光学系が接合レンズを 1 つしか持たない場合であっても良いし、また、接合レンズを 4 つ以上持つ場合でも構わない。

【 0 0 6 0 】

次に各実施例のレンズ構成の特徴について説明する。

【 0 0 6 1 】

図 1 の実施例 1 の撮像光学系 L A は物体側から像側へ順に、負の屈折力の第 1 レンズ群 L 1、正の屈折力の第 2 レンズ群 L 2 を有する単一の焦点距離のレンズ系である。

【 0 0 6 2 】

第 1 レンズ群 L 1 はフォーカスのためには不動である。第 2 レンズ群 L 2 は無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して物体側へ移動する。

【 0 0 6 3 】

第 2 レンズ群 L 2 のレンズ間には開口絞り S P が設けられている。開口絞り S P よりも像側に配置され、像面 I P に最も近い接合レンズ L 2 R 2 の接合面 R A は回折光学面が設けられている。

【 0 0 6 4 】

実施例 1 において第 2 レンズ群 L 2 の像側にフォーカスに際して不動又は移動する 1 以上のレンズ群を有していても良い。

【 0 0 6 5 】

10

20

30

40

50

図3の実施例2の撮像光学系L Aは物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群L 1、正の屈折力の第2レンズ群L 2、開口絞りS P、正の屈折力の第3レンズ群L 3を有する単一の焦点距離のレンズ系である。

【0066】

第1レンズ群L 1はフォーカスのためには不動である。第2レンズ群L 2は無限遠物体から近距離物体へのフォーカスの際にフローティングとして物体側へ移動する。又第3レンズ群L 3も無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して物体側へ移動する。

【0067】

このとき第2レンズ群L 2と第3レンズ群L 3の間隔が減少しつつ、各々を物体側へ移動している。その際に開口絞りS Pは第3レンズ群L 3と一体に移動している。

10

【0068】

又第3レンズ群L 3の像側で、像面I Pに最も近い接合レンズL 2 R 2の接合面R Aには回折光学面が設けられている。

【0069】

実施例2において第3レンズ群L 3の像側にフォーカスに際して不動又は移動する1以上のレンズ群を有していても良い。

【0070】

図5の実施例3の撮像光学系L Aは物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群L 1、正の屈折力の第2レンズ群L 2、開口絞りS P、正の屈折力の第3レンズ群L 3を有する単一の焦点距離のレンズ系である。

20

【0071】

第1レンズ群L 1はフォーカスのためには不動である。第2レンズ群L 2は無限遠物体から近距離物体へのフォーカスの際にフローティングとして物体側へ移動する。又第3レンズ群L 3も無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して物体側へ移動する。

【0072】

このとき第2レンズ群L 2と第3レンズ群L 3の間隔が減少しつつ、各々を物体側へ移動している。その際に開口絞りS Pは第3レンズ群L 3と一体に移動している。

【0073】

開口絞りS Pより像側に1つの接合レンズL 2 R 1を有している。

【0074】

30

又第3レンズ群L 3の像側で、開口絞りS Pに最も近い接合レンズL 2 R 1の接合面R Aには回折光学面が設けられている。

【0075】

実施例3において第3レンズ群L 3の像側にフォーカスに際して不動又は移動する1以上のレンズ群を有していても良い。

【0076】

図7の実施例4の撮像光学系L Aは物体側から像側へ順に、負の屈折力の第1レンズ群L 1、正の屈折力の第2レンズ群L 2、正の屈折力の第3レンズ群L 3を有するズームレンズである。

【0077】

40

広角端（短焦点距離端）から望遠端（長焦点距離端）へのズームングに際して第1レンズ群L 1は像側に凸状の軌跡を描いて光軸上を移動し、変倍に伴う像面変動を補正する。第2レンズ群L 2は、広角端から望遠端へのズームングに際して、物体側へ移動する。

【0078】

第2レンズ群L 2のレンズ間には開口絞りS Pが設けられている。開口絞りS Pよりも像側に配置され、像面I Pに最も近い接合レンズL 2 R 3の接合面R Aに回折光学面が設けられている。

【0079】

本実施例では第2レンズ群L 2を移動させてフォーカスを行っている。

【0080】

50

第 3 レンズ群 L 3 はズーミングのためには不動の結像作用をする。

【 0 0 8 1 】

図 1 1 の実施例 5 は物体側から像側へ順に、負の屈折力の第 1 レンズ群 L 1、正の屈折力の第 2 レンズ群 L 2 を有するズームレンズである。

【 0 0 8 2 】

広角端から望遠端へのズーミングに際し、第 1 レンズ群 L 1 は像側に凸状の軌跡を描いて光軸上を移動し、変倍に伴う像面変動を補正するレンズ群である。

【 0 0 8 3 】

第 2 レンズ群 L 2 は、広角端から望遠端へのズーミングに際して、物体側へ移動し変倍を行うレンズ群である。

【 0 0 8 4 】

本実施例において第 1、第 2 レンズ群 L 1、L 2 はズーミングに際して互いに独立に移動するレンズ群である。

【 0 0 8 5 】

又第 2 レンズ群 L 2 中には開口絞り S P を有しており、開口絞り S P よりも最も像側にある接合レンズ L 2 R 3 の接合面 R A に少なくとも 1 つの回折光学面が設けられている。

【 0 0 8 6 】

尚、本実施例において第 2 レンズ群 L 2 の像側にズーミングに際して不動又は他のレンズ群と独立に移動する 1 以上のレンズ群を有していても良い。また、本実施例においては、ズームレンズ全体（第 1 レンズ群及び第 2 レンズ群）を移動させてフォーカス（合焦調整）を行っている。

【 0 0 8 7 】

尚、各実施例において第 1 レンズ群 L 1 の物体側又は最も像側のレンズ群の少なくとも一方に像側にコンバータレンズやアフォーカル系等のレンズ群を配置しても良い。

【 0 0 8 8 】

各実施例のレトロフォーカス型の撮像光学系は、負の屈折力の第 1 レンズ群 L 1 に軸外光線が光軸から比較的離れた位置を通過する。このため、第 1 レンズ群 L 1 で諸収差、特に倍率色収差が発生しやすい。

【 0 0 8 9 】

一般にこのときの諸収差を良好に補正するためには、各レンズ群のレンズ枚数を増やして設計の自由度を増加させれば良い。しかしながらレンズ枚数を増加させると、レンズ系全体が大型化し高重量となってくる。

【 0 0 9 0 】

そこで、各実施例では、開口絞り S P より像側で軸外光線の入射高が比較的高くなる位置（レンズ面）に条件式（ 3 ）、（ 8 ）を満足する回折光学部 R A を設けている。

【 0 0 9 1 】

これにより、第 1 レンズ群 L 1 で発生する諸収差、特に倍率色収差を良好に補正している。さらに回折光学部のパワーを大きくすること無くレンズ系全体の色収差を良好に補正するために、開口絞り S P より像側に正レンズと負レンズを接合させた接合レンズ L 2 R 1 を配置している。

【 0 0 9 2 】

尚、接合レンズ L 2 R 1 は開口絞り S P に最も近い像側に位置する接合レンズに相当している。

【 0 0 9 3 】

このようなレンズ構成とすることで、撮像光学系での倍率色収差の発生量を低減させている。

【 0 0 9 4 】

またこのようなレンズ構成で倍率色収差を補正すると軸上色収差が過剰補正となる傾向がある。このため、開口絞り S P より物体側に位置する負レンズの材料に条件式（ 2 ）、（ 7 ）を満足する低分散で、かつ異常分散性が高い硝材を用いている。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 5 】

開口絞り S P より物体側に位置する負レンズの材料に低分散で、かつ異常分散性が高い硝材を配置することで、補正過剰となっている軸上色収差を逆補正し、かつ倍率色収差には順補正としている。これにより、レンズ系全体として良好に色収差を補正している。

【 0 0 9 6 】

このようなレンズ構成をとることで、回折光学部のパワーを大きくすること無くレンズ系全体の色収差の補正を良好に行っている。

【 0 0 9 7 】

各実施例において、回折光学部が設けられているレンズ群のレンズ構成は次の通りである。

10

【 0 0 9 8 】

図 1 の実施例 1 において、第 2 レンズ群 L 2 の物体側から開口絞り S P までは、物体側から像側へ順に、2 つの負レンズと、正レンズより成っている。

【 0 0 9 9 】

また第 2 レンズ群 L 2 の開口絞り S P から像面までは、物体側から像側へ順に、開口絞り S P、負レンズ、正と負レンズを互いに貼り合せた接合レンズ (第 2 の接合レンズ) L 2 R 1、正レンズ、負レンズと正レンズを互いに貼り合せた接合レンズ L 2 R 2 より成っている。

【 0 1 0 0 】

回折光学部は一番像側に配置した負レンズと正レンズを互いに貼り合せた接合レンズ (第 1 の接合レンズ) L 2 R 2 の接合面 R A に形成されている。

20

【 0 1 0 1 】

図 3 の実施例 2 において、第 3 レンズ群 L 3 は物体側から像側へ順に、正レンズと負レンズを互いに貼り合せた接合レンズ (第 2 の接合レンズ) L 2 R 1、正レンズ、正レンズと正レンズを互いに貼り合せた接合レンズ L 2 R 2 より成っている。

【 0 1 0 2 】

正レンズと正レンズを互いに貼り合せた接合レンズ (第 1 の接合レンズ) L 2 R 2 の接合面 R A に回折光学部が形成されている。

【 0 1 0 3 】

図 5 の実施例 3 において第 3 レンズ群 L 3 は物体側から像側へ順に、正レンズと負レンズを互いに貼り合せた接合レンズ L 2 R 1、正レンズ、正レンズより成っている。

30

【 0 1 0 4 】

正レンズと負レンズを互いに貼り合わせた接合レンズ (第 1 の接合レンズ) (第 2 の接合レンズ) L 2 R 1 の接合面 R A に回折光学素子が形成されている。

【 0 1 0 5 】

図 7 の実施例 4 において、第 2 レンズ群 L 2 は物体側から像側へ順に、正レンズ、開口絞り S P、正レンズと負レンズを互いに貼り合せた接合レンズ (第 2 の接合レンズ) L 2 R 1、正レンズと負レンズとを貼り合わせた接合レンズ L 2 R 2 を有している。更に正レンズと正レンズを互いに貼り合せた接合レンズ L 2 R 3 を有した構成より成っている。

【 0 1 0 6 】

また、第 2 レンズ群 L 2 の一番像側に配置した接合レンズ (第 1 の接合レンズ) L 2 R 3 の接合面 R A に回折光学部が形成されている。

40

【 0 1 0 7 】

図 1 1 の実施例 5 において、第 2 レンズ群 L 2 は物体側から像側へ順に、正レンズ、開口絞り S P、正レンズと負レンズを互いに貼り合せた 2 つの接合レンズ (第 2 の接合レンズ) L 2 R 1、L 2 R 2、正レンズと正レンズを互いに貼り合せた接合レンズ L 2 R 3 より成っている。

【 0 1 0 8 】

正レンズと正レンズを互いに貼り合せた接合レンズ (第 1 の接合レンズ) L 2 R 3 の接合面 R A に回折光学部が形成されている。

50

【0109】

次に前述の各条件式の技術的意味について説明する。尚、条件式(1)～(5)は条件式(6)～(10)に対応し、技術的内容は単一の焦点距離より成るレンズ系とズームレンズより成る場合に相当している。このため対応する条件式毎に説明する。

【0110】

条件式(1)、(6)は前述したレトロフォーカス型レンズにおいて、開口絞りより像側に配置した接合レンズの負レンズの色収差補正力に関する。

【0111】

条件式(1)、(6)の上限値を超えると、接合レンズL2R1での色収差の補正力が小さくなるため、特に倍率色収差が多く残存し、回折光学部での色収差の補正分担量が増加してしまう。

10

【0112】

そうなると回折光学部のパワーを大きくしなくてはならなくなり、回折格子のピッチが細くなるため製造が困難な形状になってくる。

【0113】

一方条件式(1)、(6)の下限値を超えると接合レンズL2R1の負レンズG2n1の曲率半径が小さくなるため、諸収差の高次成分が発生しやすくなり、これらの収差の補正が困難となってしまう。

【0114】

条件式(1)、(6)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

20

【0115】

$$-0.08 < f / (r_{RN} \times f_{RN}) < -0.03 \quad \dots (1a)$$

$$-0.08 < f_{ZW} / (r_{ZRN} \times f_{ZRN}) < -0.03 \quad \dots (6a)$$

条件式(2)、(7)は開口絞りSPより物体側に位置する負レンズの材料のアップ数で最大のアップ数の値に関する。

【0116】

条件式(2)、(7)の上限値を超える材料は、光学部材として用いることが難しい。

【0117】

一方条件式(2)、(7)の下限値を超えると、高分散で、かつ異常分散性が少ない硝材を使用することとなる。このため、回折光学部で倍率色収差を補正すると補正過剰となる軸上色収差を良好に補正することが難しくなり、レンズ系全体で色収差が多く残存してしまう。

30

【0118】

もしくは回折光学部で色収差を補正できても、非常に強いパワーを回折光学部に持たせることになるので、回折格子を製造することが難しくなってくる。

【0119】

条件式(2)、(7)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0120】

$$81 < Z_{FN} < 96 \quad \dots (2a)$$

$$81 < F_{FN} < 96 \quad \dots (7a)$$

40

条件式(3)、(8)は回折光学部(回折光学面)の曲率半径の値に関する。

【0121】

条件式(3)、(8)の上限値又は下限値を超えると、どちらの場合も回折光学部に入射する光線と、その光線が入射する位置での回折光学部の面法線とのなす角度の差が大きくなる。このため、設計次数での回折光の回折効率が低下してしまう。回折効率の低下は不要回折光によるフレア発生の原因となるため良くない。即ち、回折光学面は物体側に凹面を向けるのが良い。後述する数値実施例1～4は全て回折光学面RAは物体側に凹面を向けている。

【0122】

条件式(3)、(8)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

50

【 0 1 2 3 】

$$r_{avr}/r_{DOE} < 2 \quad \dots (3a)$$

$$r_{zavr}/r_{ZDOE} < 2 \quad \dots (8a)$$

条件式(4)、(9)は開口絞りSPより像側の正レンズの材料の標準線との部分分散比の差とアップ数に関する。

【 0 1 2 4 】

条件式(4)、(9)の上限値を超えると、開口絞りSPより像側の正レンズに正の異常分散性が非常に高い材料を使用することになる。

【 0 1 2 5 】

これは倍率色収差の補正条件にとっては良い方向に向かうが、回折光学部で補正過剰となっている軸上色収差がこれによりさらに補正過剰となってしまう。

10

【 0 1 2 6 】

このため色収差をバランスよく良好に補正することが難しくなってくる。

【 0 1 2 7 】

一方条件式(4)、(9)の下限値を超えると、開口絞りSPより像側の正レンズに負の異常分散性が非常に高い材料を使用することになる。この結果、倍率色収差が悪化してくるので良くない。

【 0 1 2 8 】

また、更なる光学性能の向上のためには条件式(4)、(9)の数値範囲は次のようにすることが好ましい。

20

【 0 1 2 9 】

$$-0.02 < P_{gF} - (-1.625 \times 10^{-3} \times R_P + 0.642) < 0.025 \quad \dots (4a)$$

$$-0.02 < P_{ZgF} - (-1.625 \times 10^{-3} \times Z_{RP} + 0.642) < 0.025 \quad \dots (8a)$$

各実施例によれば、以上のように各構成要件を特定することによって、レトロフォーカス型の撮影光学系において画面内全体に渡って色収差の補正を良好に行うことができ、高画質の画像が容易に得られる。

【 0 1 3 0 】

特に、開口絞りSPより像側に回折光学部を用いることで良好な光学性能を維持すること、画面周辺になるほど発生しやすくなる倍率色収差を効果的に補正することができる。

30

【 0 1 3 1 】

条件式(5)、(10)は各実施例において更に良好なる光学性能を得るために満足すれば、好ましい条件式である。

【 0 1 3 2 】

尚、各実施例において回折光学部とは、基板(平板又はレンズ)上に設けた1以上の回折格子をいう。

【 0 1 3 3 】

又回折光学素子とは1以上の回折格子より成る回折光学部を基板(平板又はレンズ)上に設けた素子をいう。図1、図3において接合レンズL2R2が回折光学素子に相当する。図5において接合レンズL2R1が回折光学素子に相当する。又図7、図11において接合レンズL2R3が回折光学素子に相当する。

40

【 0 1 3 4 】

又回折光学部の屈折力(パワー=焦点距離の逆数) D_0 は次の如く求められる。

【 0 1 3 5 】

回折光学部の回折格子の形状を、基準波長(d線)を λ_0 、光軸からの距離をH、位相を $\phi(H)$ とし、

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

なる式で表したとき、2次項の係数 C_2 より、屈折力 D_0 は、

50

$$D = -2 \cdot C_2$$

となる。

【0136】

即ち、回折光学部の焦点距離 f_{DOE} は

$$f_{DOE} = -1 / (2 \cdot C_2)$$

で表される。

【0137】

条件式(5)、(10)は諸収差の良好な補正と回折光学部のパワーとをバランス良く保つためのものである。

【0138】

条件式(5)、(10)の上限値を超えると前記回折光学部のパワーが弱くなりすぎるため、全画面領域において色収差をバランスよく補正することが難しくなってくる。

【0139】

一方条件式(5)、(10)の下限値を超えると回折光学部のパワーが強くなり回折格子のピッチが細くなりすぎて、製造が困難になってくる。

【0140】

条件式(5)、(10)は更に好ましくは次の如く設定するのが良い。

【0141】

$$43 < f_{DOE} / f < 150 \quad \dots (5a)$$

$$43 < f_{ZDOE} / f_{ZW} < 150 \quad \dots (10a)$$

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た、高い光学性能を持った撮像光学系が得られる。

【0142】

各実施例において回折光学部には、それ自体に非球面の効果(光学作用)を持たせても良い。非球面の効果は、各実施例の回折光学部の位相の式(a)において、光軸からの距離 h の4乗の項の係数 C_4 以降の高次の項に値を持たせることによって、なされる。

【0143】

これにより、上記で述べた、色収差以外の非球面の効果に加え、回折格子による非球面の効果は、波長により異なる。このため、非球面の効果で球面収差の色差変動を補正することが容易になる。

【0144】

ここで、各実施例の撮像光学系で用いた回折光学素子の構成について説明する。

【0145】

開口絞りSPより像側に配置される回折光学素子を構成する回折光学部は、光軸に対して回転対称な回折格子より成っている。

【0146】

図15は回折光学素子1の回折光学部の一部分の拡大断面図であり、基板(透明基板)2上に1つの層よりなる回折格子(回折光学部)3を設けている。図16は、この回折光学素子1の回折効率の特性を示す図である。図16において横軸は波長を表し、縦軸は回折効率を表している。なお、回折効率は全透過光束に対する回折光の光量の割合であり、格子部3aの境界面での反射光などは説明が複雑になるのでここでは考慮していない。

【0147】

回折格子3の光学材料は、紫外線硬化樹脂(屈折率 $n_d = 1.513$ 、アッペ数 $d = 51.0$)を用い、格子部3aの格子厚 d_1 を $1.03 \mu m$ と設定し、波長 $530 nm$ 、+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 $530 nm$ である。図16中において+1次の回折光の回折効率は実線で示している。

【0148】

さらに、図16では設計次数近傍の回折次数(+1次±1次である0次と+2次)の回折効率も併記している。図から分かるように、設計次数での回折効率は設計波長近傍で最

10

20

30

40

50

も高くなり、それ以外の波長では徐々に低くなる。

【 0 1 4 9 】

この設計次数での回折効率の低下分が他の次数の回折光（不要光）となり、フレアの要因となる。また、回折光学素子を光学系中の複数箇所に使用した場合には、設計波長以外の波長での回折効率の低下は透過率の低下にもつながることになる。

【 0 1 5 0 】

次に、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について説明する。図 1 7 は積層型の回折光学素子 1 の一部拡大断面図であり、図 1 8 は図 1 7 に示す回折光学素子 1 の + 1 次の回折光の回折効率の波長依存性を表す図である。

【 0 1 5 1 】

図 1 7 の回折光学素子 1 では、基板 1 0 2 上に紫外線硬化樹脂（屈折率 $n_d = 1.499$ 、アッペ数 $\delta_d = 54$ ）からなる第 1 の回折格子 1 0 4 を形成している。更にその上に第 2 の回折格子 1 0 5（屈折率 $n_d = 1.598$ 、アッペ数 $\delta_d = 28$ ）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 1 0 4 の格子部 1 0 4 a の格子厚 d_1 は $d_1 = 13.8 \mu\text{m}$ 、第 2 の回折格子 1 0 5 の格子部 1 0 5 a の格子厚 d_2 は $d_2 = 10.5 \mu\text{m}$ としている。

【 0 1 5 2 】

図 1 8 から分かるように、積層構造の回折格子 1 0 4、1 0 5 を備えた回折光学素子 1 にすることで、設計次数の回折光において使用波長全域（ここでは可視域）で 95% 以上という高い回折効率を得ている。

【 0 1 5 3 】

なお、前述の積層構造の回折光学素子 1 としては、回折格子を構成する材料を紫外線硬化樹脂に限定するものではなく、他のプラスチック材等も使用できるし、基材によっては第 1 の層を直接基材に形成しても良い。また各格子部の格子厚が必ずしも異なる必要はなく、図 1 9 のように材料の組み合わせによっては 2 つの層 1 0 4 と 1 0 5 の格子厚を等しくしても良い。

【 0 1 5 4 】

この場合は表面に格子形状が形成されないことになるので、防塵性に優れ、回折光学素子の組立作業性を向上させることができる。更には 2 つの回折格子 1 0 4 と 1 0 5 を必ずしも密着させる必要はなく、空気層を隔てて 2 つの回折格子の層を配置しても良い。

【 0 1 5 5 】

回折光学部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非球面で作成しても良い。

【 0 1 5 6 】

回折光学部は大きな異常分散性を有することから、このように開口絞りより像側に回折光学部を設けることで、特に画面周辺における、倍率色収差の補正を効果的に行うことが出来る。

【 0 1 5 7 】

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 ）は前述した式（a）のように次式で表される。ただし m は回折次数、 λ_0 は基準波長である。

【 0 1 5 8 】

【 数 1 】

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

10

20

30

40

50

【 0 1 5 9 】

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） γ_d は、 d 、 C 、 F 線の各波長における屈折力を N_d 、 N_C 、 N_F とした時、次式で表される。

【 0 1 6 0 】

$$\gamma_d = (N_d - 1) / (N_F - N_C) > 0 \quad \dots (b)$$

一方、回折光学部のアッペ数 γ_d は d 、 C 、 F 線の各波長を λ_d 、 λ_C 、 λ_F とした時

$$\gamma_d = \gamma_d / (\lambda_F - \lambda_C) \quad \dots (c)$$

と表され、 $\gamma_d = -3.45$ となる。

【 0 1 6 1 】

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。

10

【 0 1 6 2 】

また、回折光学部の基準波長における近軸的な一時回折光（ $m = 1$ ）の屈折力 ϕ は、回折光学部の位相を表す前式（a）から2次項の係数を C_2 とした時、 $\phi = -2 \cdot C_2$ と表される。

【 0 1 6 3 】

さらに、任意波長を λ 、基準波長を λ_0 とした時、任意波長の基準波長に対する屈折力変化は、次式となる。

【 0 1 6 4 】

$$\phi' = (\lambda / \lambda_0) \times (-2 \cdot C_2) \quad \dots (d)$$

これにより、回折光学部の特徴として、前式（a）の位相係数 C_2 を変化させることにより、弱い近軸屈折力変化で大きな分散性が得られる。

20

【 0 1 6 5 】

これは色収差以外の諸収差に大きな影響を与えることなく、色収差の補正を行うことを意味している。

また位相係数 C_4 以降の高次数の係数については、回折光学部の光線入射高の変化に対する屈折力変化は非球面と類似した効果を得ることができる。

【 0 1 6 6 】

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。

【 0 1 6 7 】

30

以下に本発明の実施例1～4に対応する数値実施例1～4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_i と γ_i は第 i 番目の光学部材の屈折率とアッペ数である。 f 、 f_{no} 、 2θ はそれぞれ無限遠物体に焦点を合わせたときの全系の焦点距離、Fナンバー、画角（度）を表している。

【 0 1 6 8 】

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、 A 、 B 、 C 、 D 、 E を各々非球面係数としたとき、

【 0 1 6 9 】

【 数 2 】

40

$$X = \frac{\left(\frac{H^2}{R} \right)}{\left\{ 1 + \sqrt{1 - (1 + K) \cdot \left(\frac{H}{R} \right)^2} \right\}} + A \cdot H^2 + B \cdot H^4 + C \cdot H^6 + D \cdot H^8 + E \cdot H^{10}$$

【 0 1 7 0 】

なる式で表している。

【 0 1 7 1 】

回折光学部（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

50

。

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 - 1）に示す。

【 0 1 7 2 】

（数値実施例 1）

	$f = 27.14$	$fno = 1.85$	$2 = 77.1^\circ$		
	$r1 = 79.348$	$d1 = 2.30$	$n1 = 1.69895$	$1 = 30.13$	
	$r2 = 26.877$	$d2 = 7.70$			
	$r3 = 287.341$	$d3 = 4.00$	$n2 = 1.80610$	$2 = 40.92$	
	$r4 = -81.547$	$d4 = 5.40$			
	$r5 = 161.573$	$d5 = 1.40$	$n3 = 1.43875$	$3 = 94.99$	10
	$r6 = 16.310$	$d6 = 7.00$			
	$r7 = -22.754$	$d7 = 1.20$	$n4 = 1.49700$	$4 = 81.54$	
	$r8 = -57.407$	$d8 = 0.20$			
	$r9 = 30.096$	$d9 = 7.12$	$n5 = 1.80610$	$5 = 40.92$	
	$r10 = -54.258$	$d10 = 3.20$			
開口絞り	$r11 = 0.000$	$d11 = 3.80$			
	$r12 = -38.600$	$d12 = 1.80$	$n6 = 1.58267$	$6 = 46.40$	
非球面	$r13 = -45.345$	$d13 = 3.12$			
	$r14 = -229.998$	$d14 = 6.29$	$n7 = 1.62280$	$7 = 57.05$	
	$r15 = -17.557$	$d15 = 2.33$	$n8 = 1.80518$	$8 = 25.42$	20
	$r16 = -480.929$	$d16 = 1.10$			
非球面	$r17 = -68.236$	$d17 = 3.30$	$n9 = 1.77250$	$9 = 49.60$	
	$r18 = -23.979$	$d18 = 0.20$			
	$r19 = -44.370$	$d19 = 2.00$	$n10 = 1.77250$	$10 = 49.60$	
回折光学素子	$r20 = -50.000$	$d20 = 3.00$	$n11 = 1.77250$	$11 = 49.60$	
	$r21 = -29.310$				
非球面係数					
13面	$K = -5.551948$	$A = 0$	$B = 1.822028 \times 10^{-5}$		
	$C = -1.163476 \times 10^{-8}$	$D = 1.892872 \times 10^{-10}$	$E = 0$		30
17面	$K = -2.437060$	$A = 0$	$B = -4.919794 \times 10^{-6}$		
	$C = -6.089238 \times 10^{-8}$	$D = 1.709518 \times 10^{-10}$	$E = 0$		
位相係数					
20面	$C_2 = -2.850000 \times 10^{-4}$	$C_4 = 3.255320 \times 10^{-6}$			
	$C_6 = -2.902145 \times 10^{-8}$	$C_8 = 7.861186 \times 10^{-11}$			

【 0 1 7 3 】

（数値実施例 2）

	$f = 24.50$	$fno = 1.45$	$2 = 82.9^\circ$		
	$r1 = 75.929$	$d1 = 2.50$	$n1 = 1.74950$	$1 = 35.30$	40
	$r2 = 31.485$	$d2 = 6.83$			
	$r3 = 69.545$	$d3 = 2.00$	$n2 = 1.71300$	$2 = 53.87$	
	$r4 = 46.040$	$d4 = 4.48$			
	$r5 = 156.773$	$d5 = 4.68$	$n3 = 1.72825$	$3 = 28.46$	
	$r6 = -141.762$	$d6 = 4.35$			
	$r7 = 45.754$	$d7 = 2.00$	$n4 = 1.84666$	$4 = 23.78$	
	$r8 = 64.194$	$d8 = 1.57$	$n5 = 1.49700$	$5 = 81.54$	
	$r9 = 20.762$	$d9 = 8.30$			
フレアカット	$r10 = 0.000$	$d10 = 7.16$			
非球面	$r11 = 33.603$	$d11 = 6.16$	$n6 = 1.80400$	$6 = 46.57$	50

	r12= -81.948	d12= 0.14		
	r13= 532.934	d13= 2.00	n7= 1.71736	7= 29.50
	r14= 57.860	d14= 4.82		
開口絞り	r15= 0.000	d15= 6.97		
非球面	r16= -18.245	d16= 2.80	n8= 1.78800	8= 47.37
	r17= -15.000	d17= 4.03	n9= 1.84666	9= 23.78
非球面	r18= -45.000	d18= 1.35		
	r19= -61.980	d19= 5.50	n10= 1.60300	10= 65.44
	r20= -25.495	d20= 0.50		
	r21= -198.359	d21= 2.04	n11= 1.77250	11= 49.60
回折光学素子	r22= -70.000	d22= 3.83	n12= 1.77250	12= 49.60
	r23= -28.950			

10

非球面係数

11面	K= 0	A= 0	B= 4.819838×10^{-6}	
	C= 1.457874×10^{-8}	D= 0	E= 0	
16面	K= 0	A= 0	B= -1.471470×10^{-5}	
	C= -8.790018×10^{-8}	D= 0	E= 0	
18面	K= 0	A= 0	B= 1.340848×10^{-5}	
	C= 1.117091×10^{-8}	D= 0	E= 0	20

位相係数

22面	$C_2 = -2.5 \times 10^{-4}$	$C_4 = 1.401522 \times 10^{-7}$	$C_6 = -3.426628 \times 10^{-10}$	$C_8 = 0$
-----	-----------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------

【 0 1 7 4 】

(数値実施例3)

	f = 25.00	fno = 1.45	2	= 81.8 °	
	r1= 78.121	d1= 2.50	n1= 1.74950	1= 35.30	
	r2= 32.095	d2= 6.83			
	r3= 65.703	d3= 2.00	n2= 1.71300	2= 53.87	
	r4= 43.793	d4= 4.48			30
	r5= 131.902	d5= 4.68	n3= 1.72825	3= 28.46	
	r6= -163.186	d6= 4.35			
	r7= 42.146	d7= 2.00	n4= 1.84666	4= 23.78	
	r8= 59.274	d8= 1.57	n5= 1.49700	5= 81.54	
	r9= 20.134	d9= 8.30			
フレアカット	r10= 0.000	d10= 7.16			
非球面	r11= 35.173	d11= 6.16	n6= 1.80400	6= 46.57	
	r12= -85.566	d12= 0.14			
	r13= 416.810	d13= 2.00	n7= 1.71736	7= 29.50	
	r14= 61.735	d14= 4.82			40
開口絞り	r15= 0.000	d15= 6.97			
非球面	r16= -17.979	d16= 2.80	n8= 1.78800	8= 47.37	
回折光学素子	r17= -15.435	d17= 4.03	n9= 1.84666	9= 23.78	
非球面	r18= -44.511	d18= 1.35			
	r19= -65.915	d19= 5.50	n10= 1.60300	10= 65.44	
	r20= -25.408	d20= 0.50			
	r21= -143.210	d21= 5.87	n11= 1.77250	11= 49.60	
	r22= -28.172				

非球面係数

50

11面 $K = -2.923215 \times 10^{-2}$ $A = 0$ $B = 6.397828 \times 10^{-6}$
 $C = 1.291866 \times 10^{-8}$ $D = 1.776586 \times 10^{-11}$ $E = 0$
 16面 $K = 1.831745 \times 10^{-1}$ $A = 0$ $B = -1.465469 \times 10^{-5}$
 $C = -4.396420 \times 10^{-8}$ $D = -3.895783 \times 10^{-10}$ $E = 0$
 18面 $K = 1.866496 \times 10^{-1}$ $A = 0$ $B = 1.340848 \times 10^{-5}$
 $C = 1.362589 \times 10^{-8}$ $D = -1.731705 \times 10^{-11}$ $E = 0$
 位相係数
 17面 $C_2 = -4.5 \times 10^{-4}$ $C_4 = -4.160004 \times 10^{-7}$ $C_6 = -6.436551 \times 10^{-9}$ $C_8 = 0$

10

【 0 1 7 5 】

(数値実施例4)

 $f = 24.33 \sim 36.50 \sim 47.00$ $f_{no} = 3.4 \sim 4.0 \sim 4.7$ $2 = 83.3^\circ \sim 61.3^\circ \sim 49.4^\circ$

非球面 $r1 = 55.684$ $d1 = 1.71$ $n1 = 1.69680$ $1 = 55.53$
 $r2 = 14.818$ $d2 = 7.75$
 $r3 = -129.321$ $d3 = 1.44$ $n2 = 1.49700$ $2 = 81.54$
 $r4 = 247.169$ $d4 = 4.31$
 $r5 = 28.943$ $d5 = 2.00$ $n3 = 1.80518$ $3 = 25.42$
 $r6 = 42.588$ $d6 = 22.78$
 $r7 = 30.646$ $d7 = 2.40$ $n4 = 1.61800$ $4 = 63.33$
 $r8 = 162.705$ $d8 = 2.00$
 開口絞り $r9 = 0.000$ $d9 = 3.00$
 $r10 = 25.311$ $d10 = 7.00$ $n5 = 1.72000$ $5 = 43.69$
 $r11 = -16.000$ $d11 = 1.10$ $n6 = 1.80440$ $6 = 39.59$
 $r12 = 34.294$ $d12 = 0.34$
 $r13 = 21.159$ $d13 = 2.00$ $n7 = 1.69680$ $7 = 55.53$
 $r14 = 82.977$ $d14 = 1.43$ $n8 = 1.80518$ $8 = 25.42$
 非球面 $r15 = 19.491$ $d15 = 2.33$
 $r16 = -43.012$ $d16 = 1.50$ $n9 = 1.74950$ $9 = 35.30$
 回折光学素子 $r17 = -27.445$ $d17 = 1.00$ $n10 = 1.74950$ $10 = 35.30$
 $r18 = -21.180$ $d18 = -0.5$
 フレアカット $r19 = 0.000$ $d19 = 2.20$
 $r20 = 45.048$ $d20 = 1.55$ $n11 = 1.67790$ $11 = 55.34$
 $r21 = 48.745$

20

30

【 0 1 7 6 】

【表1】

	焦点距離	24.33	36.50	47.00
可変間隔				
d6		22.78	7.72	0.99
d17		-0.5	11.65	22.15

40

【 0 1 7 7 】

非球面係数

2面 $K = -6.005160 \times 10^{-1}$ $A = 0$ $B = 8.641561 \times 10^{-6}$
 $C = 2.010743 \times 10^{-8}$ $D = 1.155441 \times 10^{-10}$ $E = 0$
 15面 $K = 1.871816 \times 10^{-1}$ $A = 0$ $B = 1.940241 \times 10^{-5}$
 $C = -5.430970 \times 10^{-8}$ $D = -3.892404 \times 10^{-10}$ $E = 0$

位相係数

50

17面 $C_2 = -4.210025 \times 10^{-4}$ $C_4 = 1.501475 \times 10^{-6}$ $C_6 = 2.640553 \times 10^{-8}$ $C_8 = 0$

【 0 1 7 8 】

(数值实施例 5)

$f = 26.00 \sim 39.00 \sim 50.23$ $f_{no} = 3.4 \sim 4.0 \sim 4.7$ $2 = 79.5^\circ \sim 58.0^\circ \sim 46.6^\circ$

	r1= 53.305	d1= 1.71	n1= 1.67790	1= 55.34	
非球面	r2= 14.992	d2= 7.75			
	r3= -69.912	d3= 1.44	n2= 1.49700	2= 81.54	
	r4= -818.638	d4= 4.40			10
	r5= 29.683	d5= 1.98	n3= 1.80518	3= 25.42	
	r6= 43.129	d6= 22.78			
	r7= 31.681	d7= 2.40	n4= 1.60300	4= 65.44	
	r8= 166.875	d8= 2.00			
開口絞り	r9= 0.000	d9= 3.00			
	r10= 25.894	d10= 7.00	n5= 1.72000	5= 43.69	
	r11= -16.000	d11= 1.10	n6= 1.80440	6= 39.59	
	r12= 37.802	d12= 0.12			
	r13= 20.609	d13= 2.06	n7= 1.67790	7= 55.34	
	r14= 84.473	d14= 0.99	n8= 1.80518	8= 25.42	20
非球面	r15= 19.578	d15= 2.24			
	r16= -66.137	d16= 1.50	n9= 1.72047	9= 34.70	
回折光学素子	r17= -27.445	d17= 1.00	n10= 1.72047	10= 34.70	
	r18= -22.799	d18= 1.70			
	r19= 35.354	d19= 1.55	n11= 1.69680	11= 55.53	
	r20= 29.726				

【 0 1 7 9 】

【表 2】

	焦点距離	26.00	39.00	50.23
可変間隔				
d6		22.78	7.71	0.98

【 0 1 8 0 】

非球面係数

2面	$K = -7.561357 \times 10^{-1}$	$A = 0$	$B = 1.490985 \times 10^{-5}$
	$C = 3.294366 \times 10^{-8}$	$D = 1.618048 \times 10^{-10}$	$E = 0$
15面	$K = -7.416346 \times 10^{-2}$	$A = 0$	$B = 2.116973 \times 10^{-5}$
	$C = -3.040086 \times 10^{-8}$	$D = -2.361996 \times 10^{-10}$	$E = 0$

位相係数

17面 $C_2 = -3.775107 \times 10^{-4}$ $C_4 = 2.767968 \times 10^{-6}$ $C_6 = 1.050820 \times 10^{-8}$ $C_8 = 0$

【 0 1 8 1 】

【表 3】

(表-1)

条件式	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
(1) $f/(\nu_{RN} \times f_{RN})$	-0.047	-0.036	-0.034	---	---
(2) ν_{RN}	94.99	81.54	81.54	---	---
(3) f_{avr}/f_{DOE}	0.74	1.62	2.02	---	---
(4) $P_{\theta RF} = (-1.625 \times 10^{-3} \times \nu_{RF} + 0.642)$	-0.0094	-0.0094	-0.0094	---	---
(5) f_{DOE}/f	64.6	81.6	44.4	---	---
(6) $f/(\nu_{ZRN} \times f_{ZRN})$	---	---	---	-0.046	-0.047
(7) ν_{ZRN}	---	---	---	81.54	81.54
(8) f_{ZVR}/f_{ZDE}	---	---	---	1.17	1.62
(9) $P_{\theta RF} = (-1.625 \times 10^{-3} \times \nu_{RF} + 0.642)$	---	---	---	-0.0084	-0.0049
(10) f_{ZDE}/f_{ZR}	---	---	---	48.8	50.9

【0182】

図20が一眼レフカメラの要部概略図である。

10

【0183】

図20において、10は実施例1～5の撮像光学系1を有する撮像レンズである。

【0184】

撮像光学系1は保持部材である鏡筒2に保持されている。

【0185】

20はカメラ本体である。

【0186】

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。

20

【0187】

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）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。

【0188】

このように数値実施例1～5の撮像光学系をデジタルカメラ等に適用することにより、高い光学性能を有する撮影装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0189】

【図1】数値実施例1の物体距離1.4m時におけるレンズ断面図

【図2】数値実施例1の物体距離1.4m時における縦収差図

【図3】数値実施例2の物体距離1.2m時におけるレンズ断面図

【図4】数値実施例2の物体距離1.2m時における縦収差図

【図5】数値実施例3の物体距離1.2m時におけるレンズ断面図

【図6】数値実施例3の物体距離1.2m時、広角端における縦収差図

【図7】数値実施例4の物体距離1.2m時におけるレンズ断面図

【図8】数値実施例4の物体距離1.2m時、広角端における縦収差図

【図9】数値実施例4の物体距離1.2m時、中間のズーム位置における縦収差図

40

【図10】数値実施例4の物体距離1.2m時、望遠端における縦収差図

【図11】数値実施例5の物体距離1.2m時におけるレンズ断面図

【図12】数値実施例5の物体距離1.2m時、広角端における縦収差図

【図13】数値実施例5の物体距離1.2m時、中間のズーム位置における縦収差図

【図14】数値実施例5の物体距離1.2m時、望遠端における縦収差図

【図15】単層構造の回折光学素子の断面図

【図16】単層構造の回折光学素子の回折効率の説明図

【図17】積層構造の回折光学素子の断面図

【図18】構造の回折光学素子の回折効率の説明図

【図19】構造の回折光学素子の断面図

50

【図 20】本発明の撮像装置の説明図

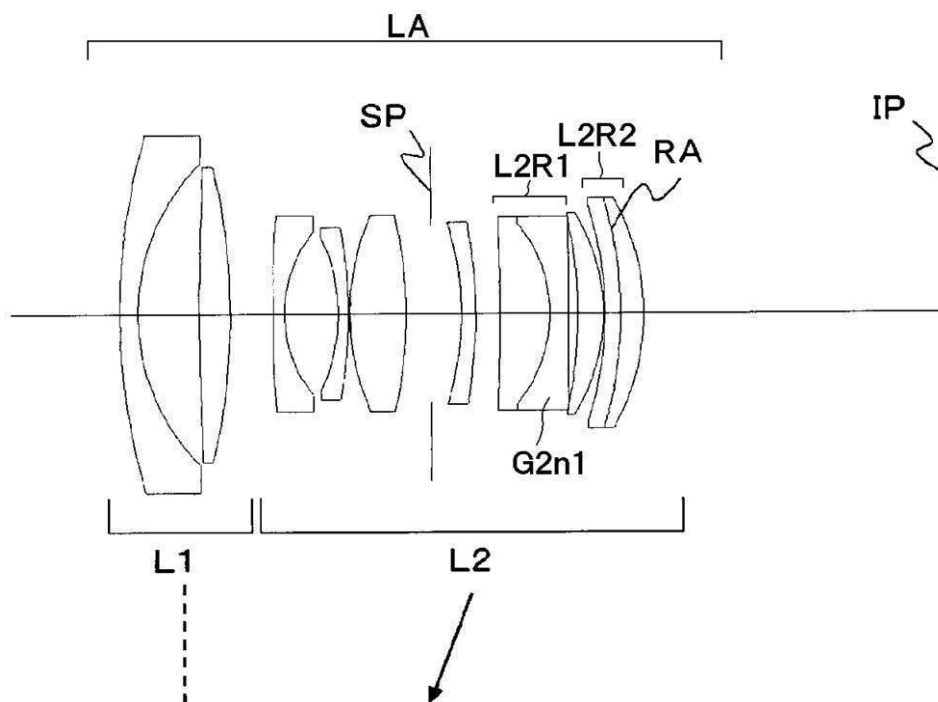
【符号の説明】

【0190】

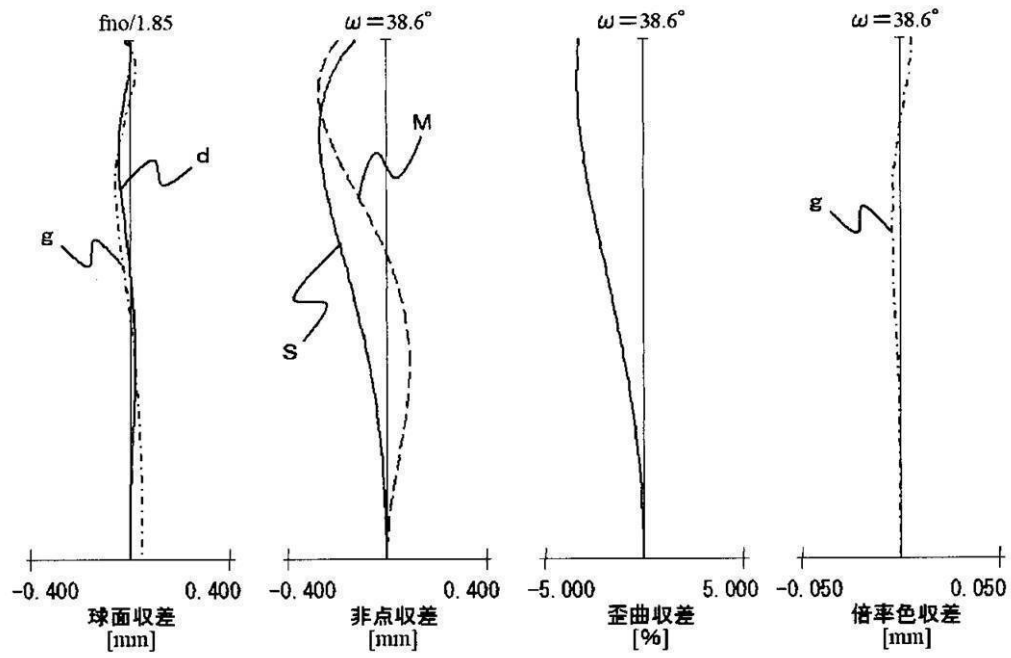
- L 1 第 1 レンズ群
- L 2 第 2 レンズ群
- L 3 第 3 レンズ群
- S P 開口絞り
- I P 像面
- S サジタル像面
- M メリディオナル像面
- d d 線
- g g 線
- 半画角

10

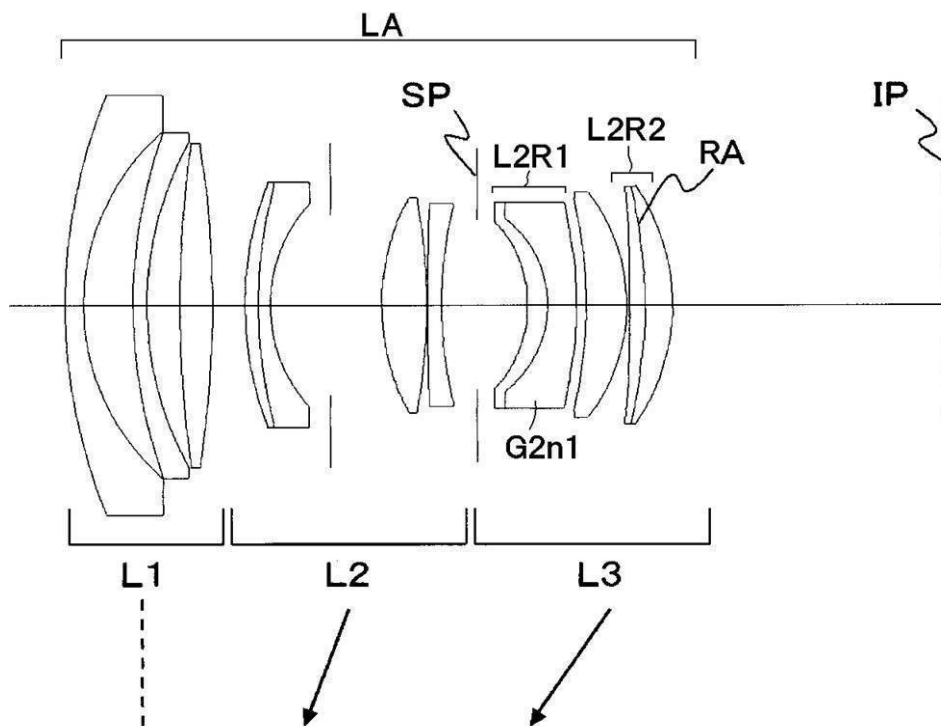
【図 1】



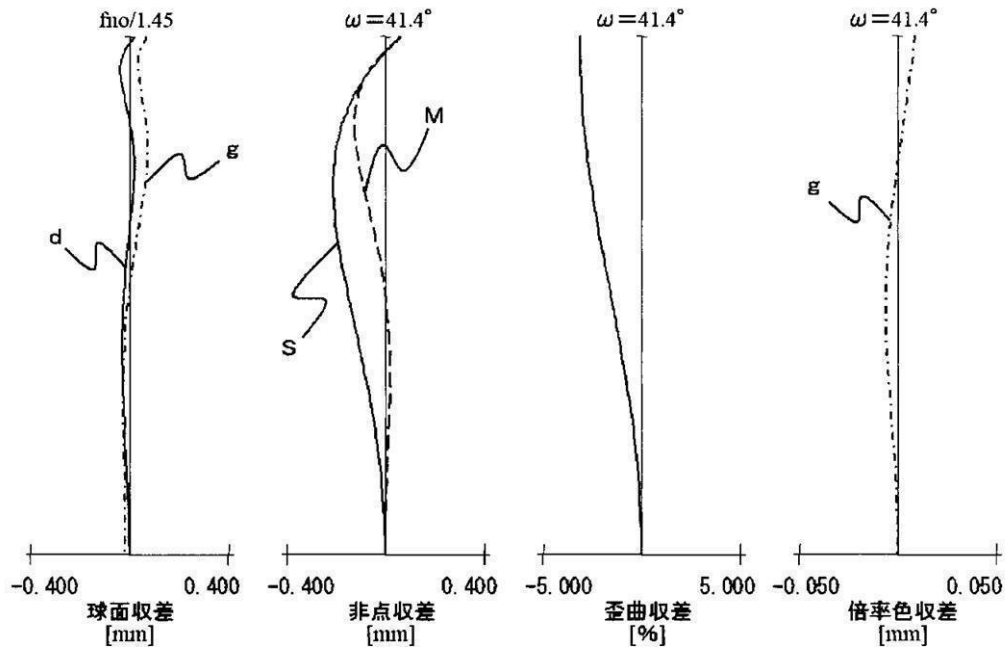
【図2】



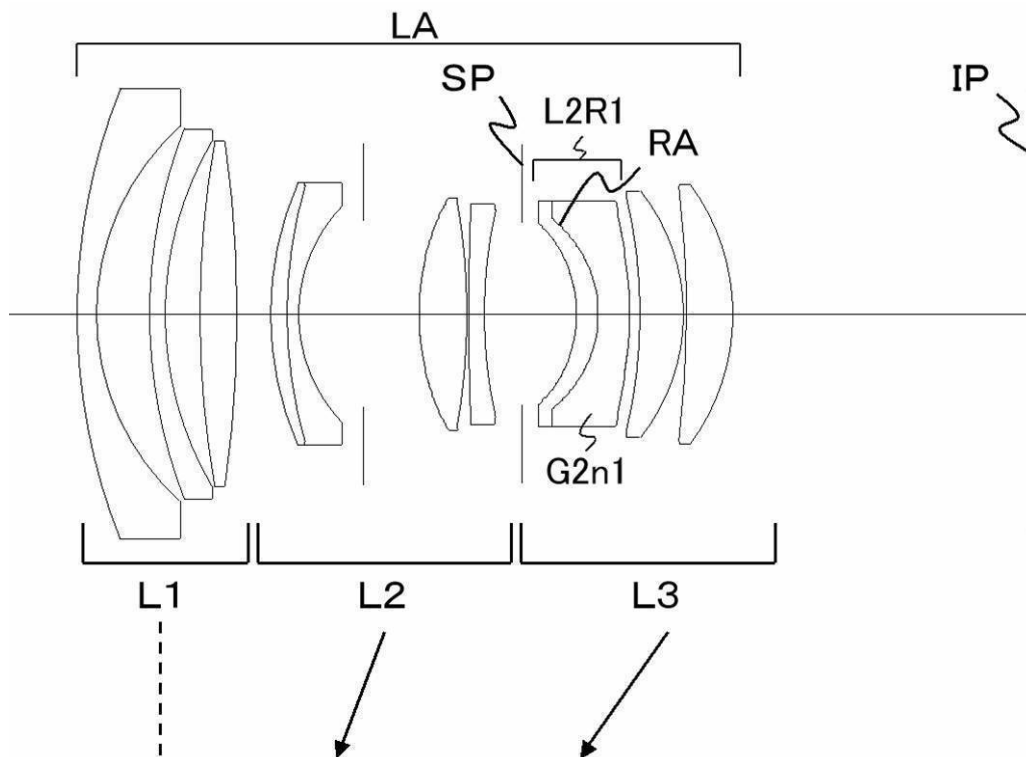
【図3】



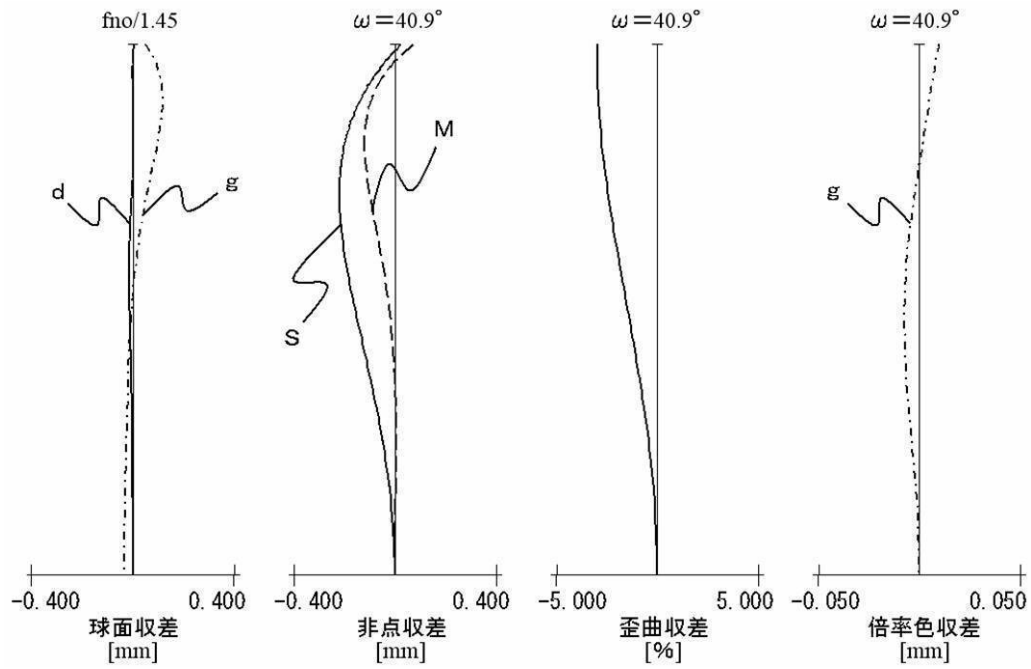
【 図 4 】



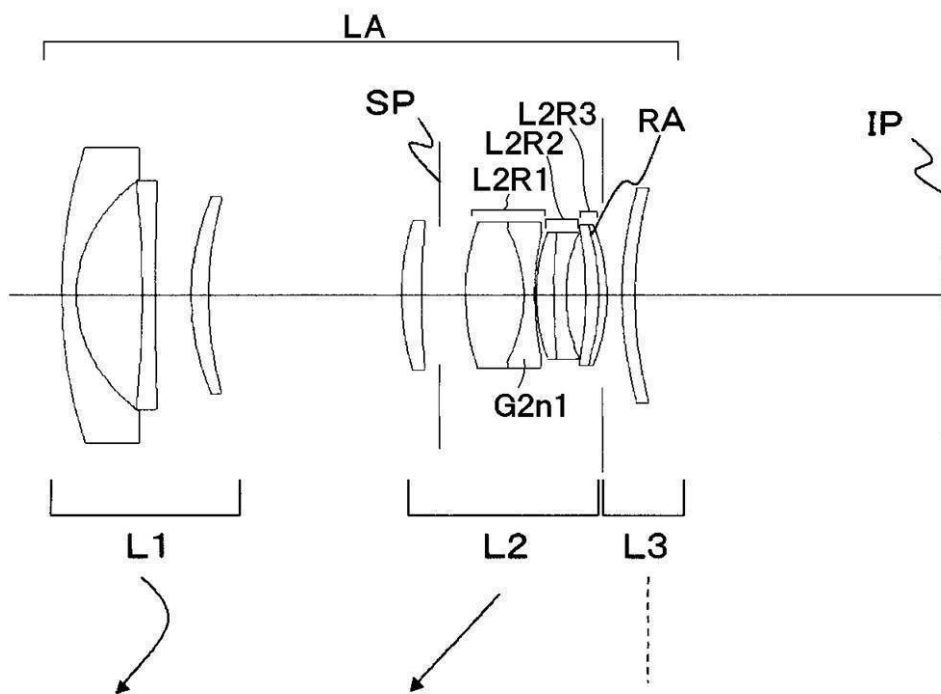
【 図 5 】



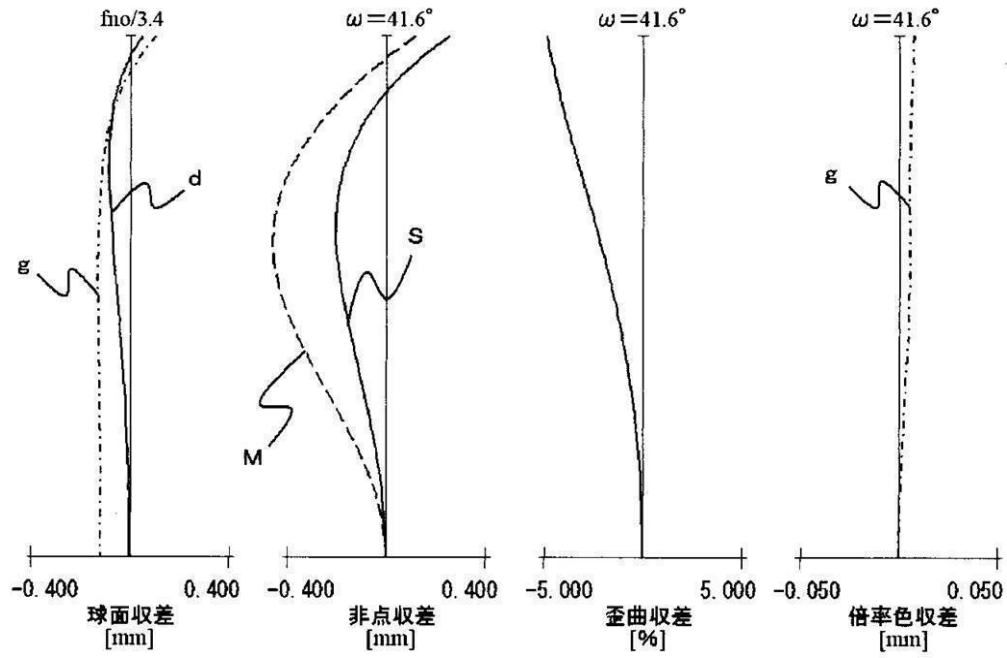
【図 6】



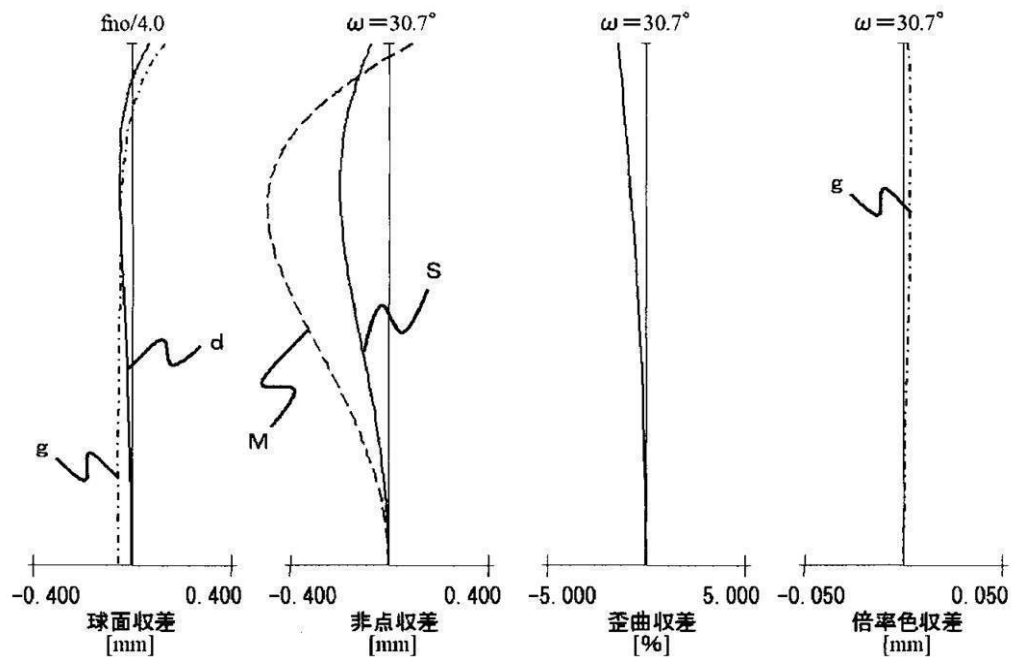
【図 7】



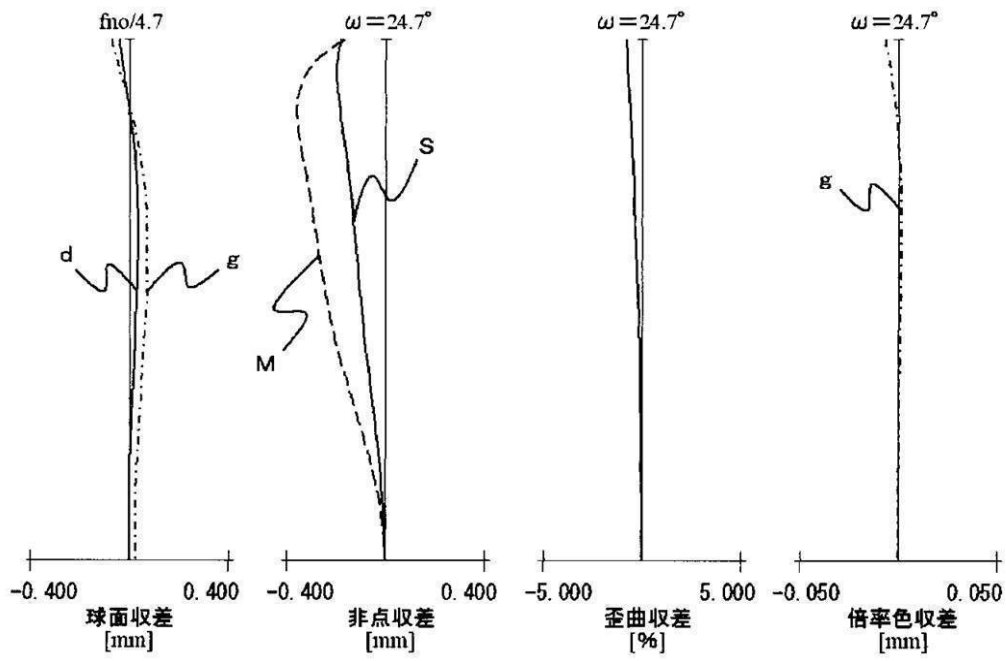
【図 8】



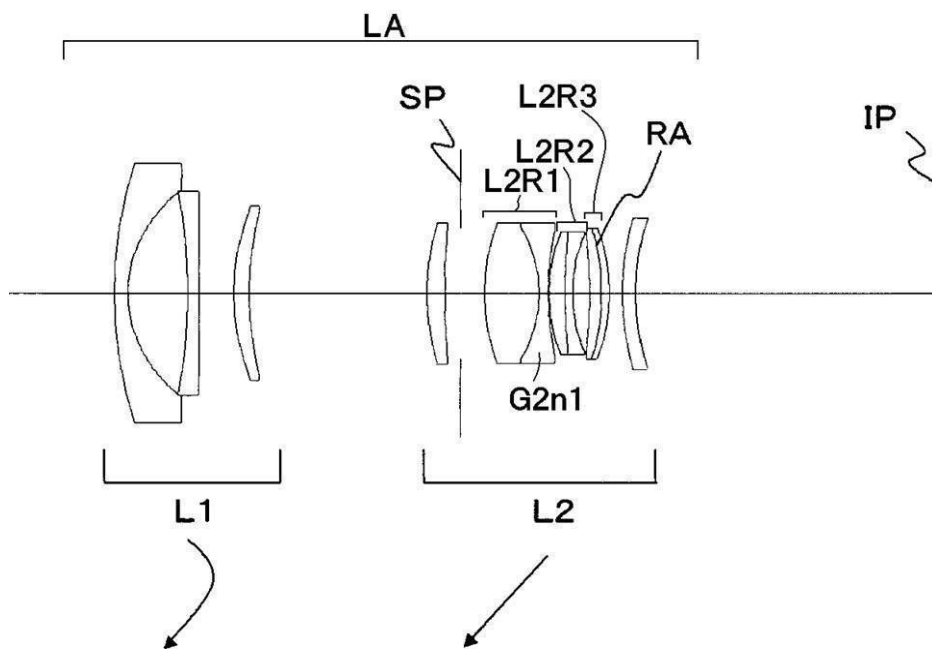
【図 9】



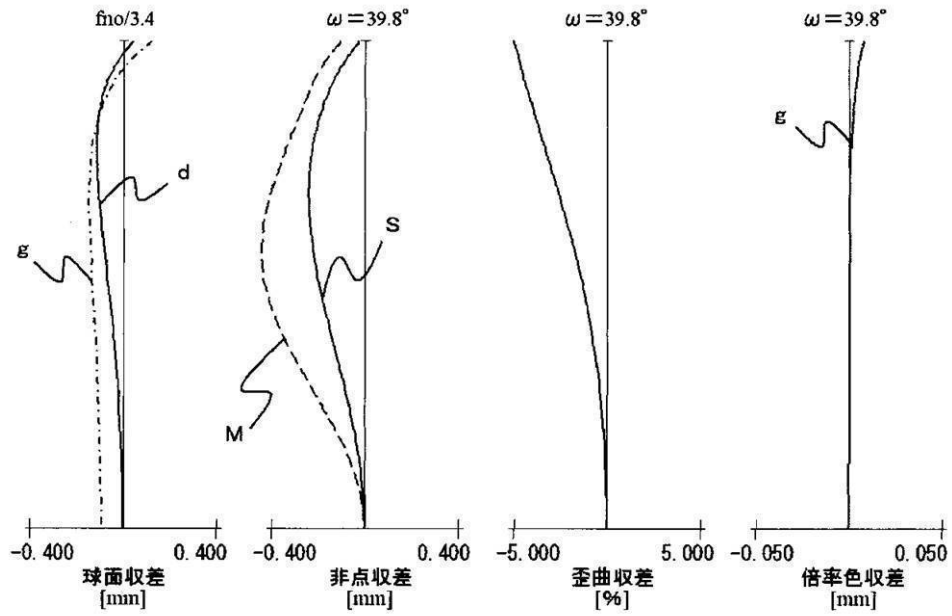
【図10】



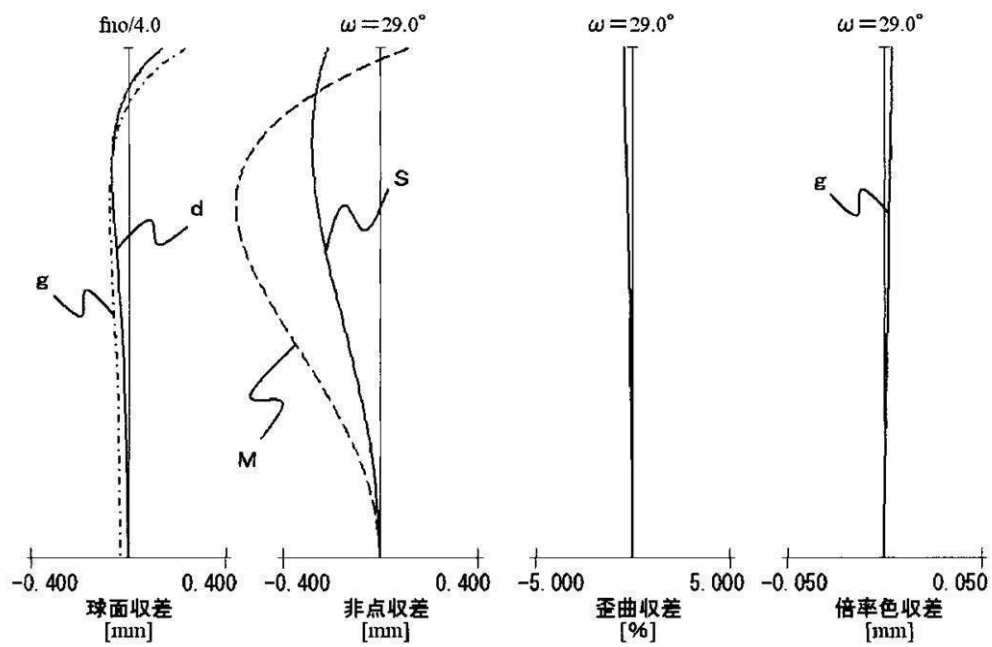
【図11】



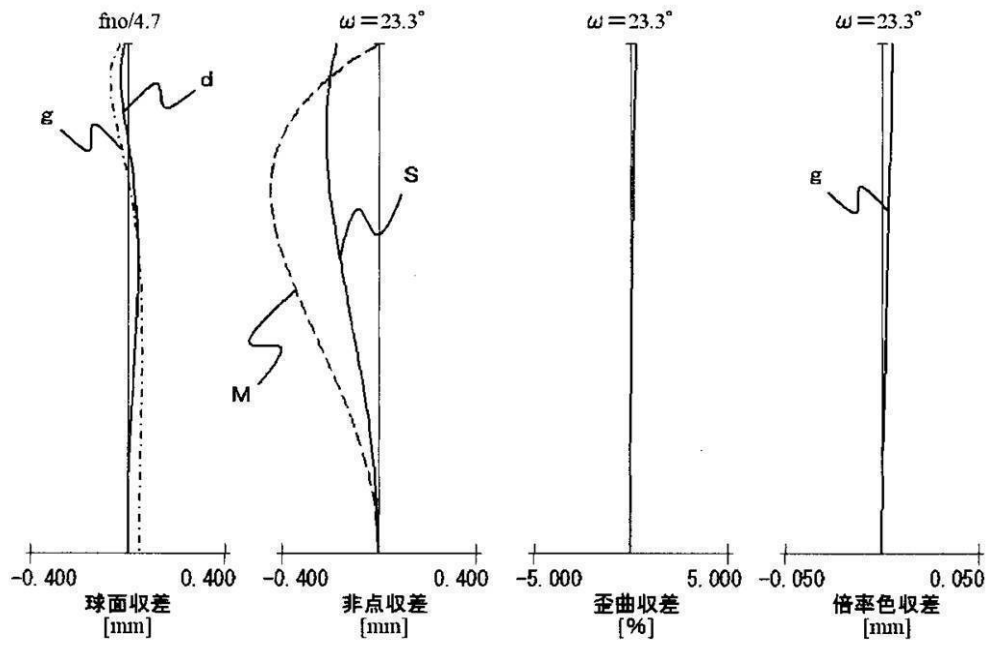
【図 1 2】



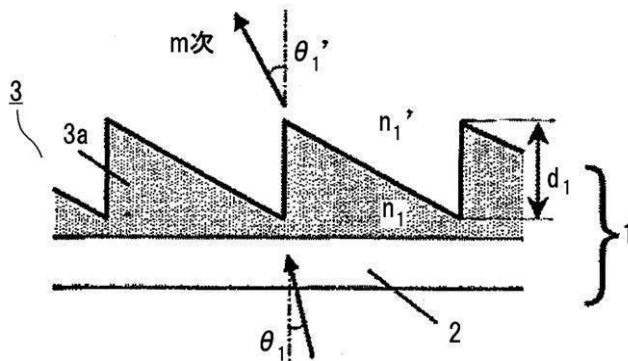
【図 1 3】



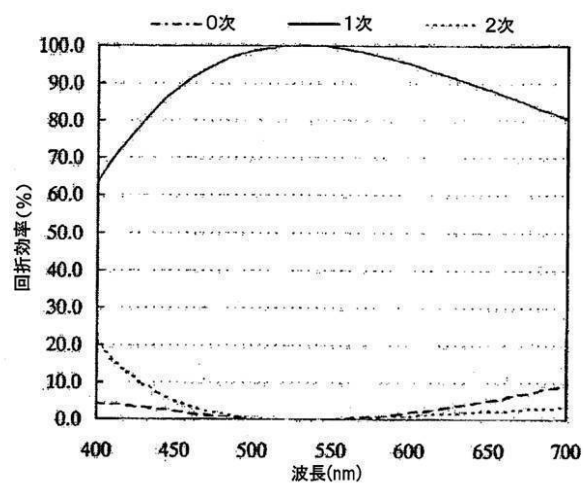
【図14】



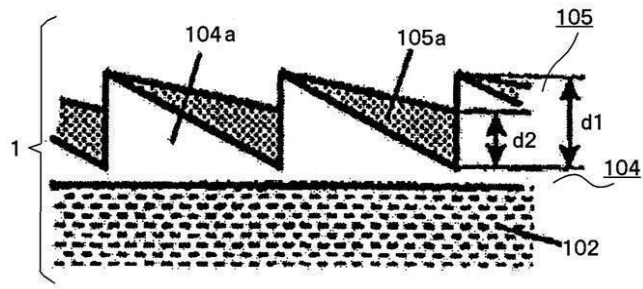
【図15】



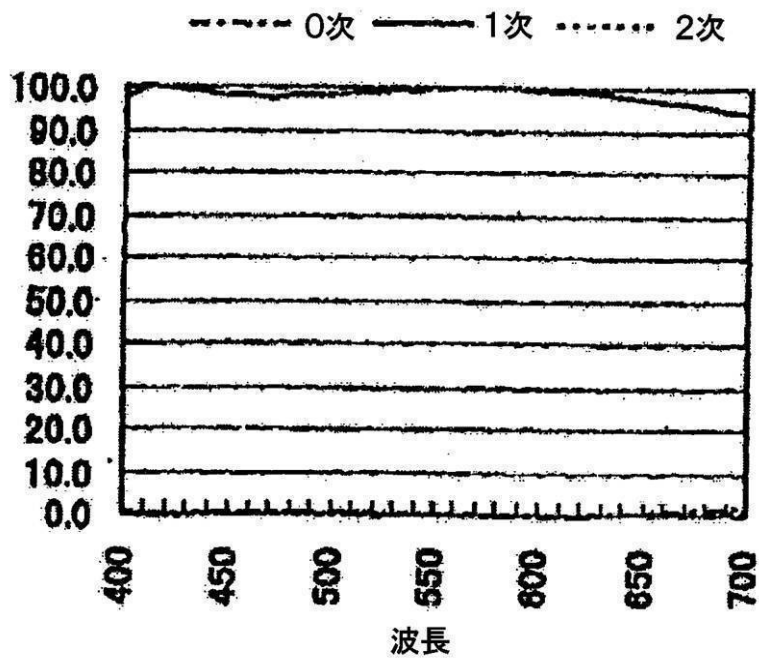
【図16】



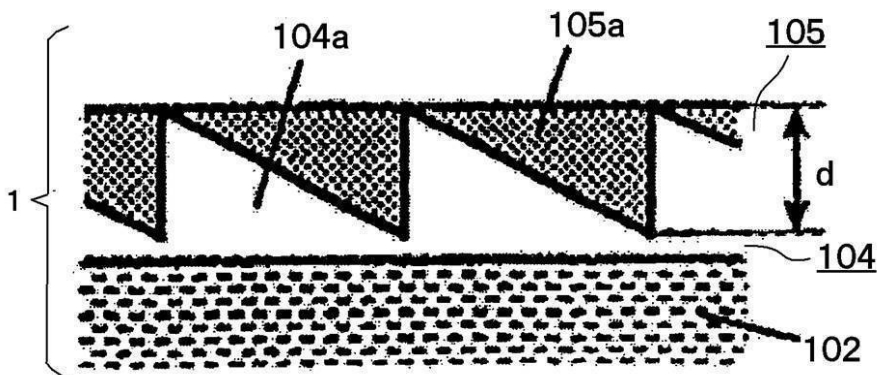
【図17】



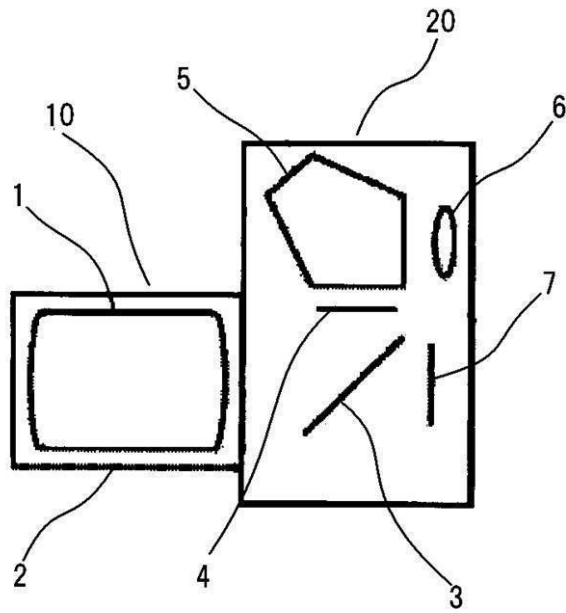
【図18】



【図19】



【図 20】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B	1 5 / 1 6
G 0 2 B	1 3 / 0 4
G 0 2 B	1 5 / 1 6 3
G 0 2 B	1 3 / 1 8