

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3720767号

(P3720767)

(45) 発行日 平成17年11月30日(2005.11.30)

(24) 登録日 平成17年9月16日(2005.9.16)

(51) Int.Cl.⁷

F I

G O 2 B 15/20

G O 2 B 15/20

G O 2 B 13/18

G O 2 B 13/18

G O 2 B 15/16

G O 2 B 15/16

請求項の数 10 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2002-16944 (P2002-16944)
 (22) 出願日 平成14年1月25日(2002.1.25)
 (65) 公開番号 特開2003-215456 (P2003-215456A)
 (43) 公開日 平成15年7月30日(2003.7.30)
 審査請求日 平成16年6月1日(2004.6.1)

(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 浜野 博之
 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 森内 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ズームレンズ及びそれを有する光学機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側より順に、正の屈折力の第1レンズ群、ズームングに際して光軸方向に移動する負の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群、ズームングに際し移動する正の屈折力の第4レンズ群の4つのレンズ群のみをレンズ群として有するズームレンズにおいて、該第2レンズ群は物体側に凸状の貼合せ面を有し、該貼合せ面に回折格子により構成される回折光学部が設けられており、該貼合せ面の曲率半径をRD、該第2レンズ群の焦点距離をf2とすると、

$$-2.5 < RD / f2 < -1.5$$

なる条件を満足することを特徴とするズームレンズ。

10

【請求項2】

前記回折光学部は互いに分散の異なる材料より成る複数の回折格子の積層構造により構成されていることを特徴とする請求項1に記載のズームレンズ。

【請求項3】

d線の波長をd、光軸からの距離をhとして、前記回折光学部によって波面に与えられる位相を、

$$(h) = 2 / d (C_2 \cdot h^2 + C_4 \cdot h^4 + \dots + C_{2 \cdot i} \cdot h^{2i})$$

で表し、前記回折光学部の有効径の1/2をH、前記第2レンズ群の焦点距離をf2とすると、

$$-0.05 < (C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4) / f2 < -0.0007$$

20

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のズームレンズ。

【請求項 4】

前記該第 1 レンズ群乃至第 4 レンズ群は全てズームングに際し移動することを特徴とする請求項 1 に記載のズームレンズ。

【請求項 5】

前記第 1 レンズ群と前記第 3 レンズ群はズームングのために移動せず、前記第 4 レンズ群はズームングに際し移動することを特徴とする請求項 1 に記載のズームレンズ。

【請求項 6】

物体側より順に、正の屈折力の第 1 レンズ群、ズームングに際し移動する負の屈折力の第 2 レンズ群、正の屈折力の第 3 レンズ群、ズームングに際し移動する正の屈折力の第 4 レンズ群の 4 つのレンズ群のみをレンズ群として有するズームレンズにおいて、

該第 2 レンズ群は、2 つの負レンズを接合した貼合せレンズを有し、該貼合せレンズの貼合せ面は、物体側に凸状で、且つ回折格子により構成される回折光学部が設けられており、該貼合せ面の曲率半径を R_D 、該第 2 レンズ群の焦点距離を f_2 とするとき、

$$-2.8 < R_D / f_2 < -1.2$$

なる条件を満足することを特徴とするズームレンズ。

【請求項 7】

d 線の波長を d 、光軸からの距離を h として、前記回折光学部によって波面に与えられる位相を、

$$(h) = 2\pi / d (C_2 \cdot h^2 + C_4 \cdot h^4 + \dots + C_{2i} \cdot h^{2i})$$

で表し、該回折光学部の有効径の $1/2$ を H 、第 2 レンズ群の焦点距離を f_2 とするとき、

$$-0.05 < (C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4) / f_2 < -0.0007$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 6 のズームレンズ。

【請求項 8】

全系の広角端と望遠端における焦点距離を f_W 、 f_T とするとき、

【数 1】

$$0.2 < |f_2 / \sqrt{f_W \cdot f_T}| < 1.5$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 9】

光電変換素子上に像を形成することを特徴とする請求項 1 から 8 いずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項のズームレンズと、該ズームレンズが形成す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】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はデジタルカメラ、ビデオカメラ、電子スチルカメラ、銀塩写真用カメラ等に好適なズームレンズ及びそれを有する光学機器の関し、特に高変倍比、大口径比を持ち、かつ良好な光学性能を維持しつつ、レンズ系全体の小型化を図ったズームレンズ及びそれを有する光学機器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

最近、デジタルカメラやビデオカメラ等の小型軽量化に伴い、それに用いる撮像用のズームレンズにおいても、レンズ全長の短縮化や前玉径の小型化、構成の簡略化等が要望され

10

20

30

40

50

ている。これらの目的を達成する一つのズームレンズとして、物体側の第1レンズ群以外のレンズ群を移動させてフォーカス（焦点合わせ）を行う、所謂リアフォーカス式のズームレンズが知られている。

【0003】

一般にリアフォーカス式のズームレンズは第1レンズ群を移動させてフォーカスを行うズームレンズに比べて第1レンズ群の有効径が小さくなり、レンズ系全体の小型化が容易になり、また近接撮影、特に極至近撮影が容易となり、さらに小型軽量のレンズ群を移動させているので、レンズ群の駆動力が小さくて済み迅速な焦点合わせが出来る等の特徴がある。

【0004】

このようなリアフォーカス式のズームレンズとして、例えば特開昭62-24213号公報や特開昭63-247316号公報では、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、正の屈折力の第3レンズ群、正の屈折力の第4レンズ群の4つのレンズ群を有し、第2レンズ群を移動させて変倍を行い、第4レンズ群を移動させて変倍に伴う像面変動の補正とフォーカスを行っている。

【0005】

ところで、カメラの非使用時（非撮影時）に収納性を高めるには、レンズ系全体を沈胴させるのが効果的である。しかしながら第2レンズ群が殆どの変倍機能を有する上記のズームタイプのズームレンズでは第1レンズ群、第2レンズ群の偏心に対する敏感度が大きすぎて沈胴には適さない。

【0006】

これに関して特開平10-62687号公報では、変倍比3倍程度のズームレンズにおいて、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、正の屈折力の第3レンズ群、正の屈折力の第4レンズ群の4つのレンズ群を有し、第1レンズ群を単レンズで構成すると共に第2、第3、第4レンズ群を移動させてズーミングを行い、第4レンズ群を移動させフォーカスを行って光学系全体を簡素化し、沈胴構造にも適したズームレンズを提案している。

【0007】

このタイプのズームレンズにおいて、レンズ系全体の小型化やレンズ枚数の削減を図ろうとすると、軸上色収差や倍率色収差が大きくなり、高画素の撮像素子を利用することで高画質が要求されるデジタルカメラやビデオカメラに適用するのが困難となってくる。

【0008】

色収差の発生を抑制する一つの方法として、近年、回折光学素子を撮像光学系に応用する提案がなされている。

【0009】

例えば特開平4-213421号公報、特開平6-324262号公報では、単レンズに回折光学素子を応用することで色収差の低減を図っている。

【0010】

また米国特許第5,268,790号では、ズームレンズを構成する第2レンズ群または第3レンズ群に回折光学素子を用いて、レンズ枚数の削減やレンズ系全体の小型化を達成している。

【0011】

また特開平11-52238号公報、特開平11-52244号公報等では、第1レンズ群に回折光学面を設けることで第1レンズ群の枚数削減を達成したズームレンズを提案している。

【0012】

更に特開平11-305126号公報では、2枚のレンズの接合面（貼合せ面）に回折光学面を設けて色収差の低減を図ったズームレンズを提案している。

【0013】

また回折光学素子を用いた光学系を撮影系として使用する場合は、可視範囲全域に渡って

10

20

30

40

50

十分な回折効率を得る必要がある。一般に単層の回折格子では設計波長以外の波長では回折効率が落ちて設計次数以外の不要回折光が色フレアの要因となる。これを考慮して特開平 9 - 1 2 7 3 2 2 号公報では、回折光学素子を構成する 3 つの回折格子の 3 種の異なる材料と 2 種の異なる格子厚を最適に選ぶことにより、可視範囲全域で高い回折効率を得ている。

【 0 0 1 4 】

【発明が解決しようとする課題】

一般にズームレンズの変倍群（変倍レンズ群）に回折光学面を導入して色収差を補正しようとした場合、回折光学面に入射する光線角度が画角や焦点距離によって大きく変化するので回折効率が変化して不要回折光が多くなってくる。特開平 1 1 - 5 2 2 3 8 号公報、特開平 1 1 - 5 2 2 4 4 号公報では、像側に凸（正の屈折力）のレンズ面に回折光学面を設けているので軸上光線と周辺光線で回折光学面に入射する角度の差が大きくて回折効率が十分に得られない。

10

【 0 0 1 5 】

また可視範囲全域で高い回折効率を得るためには、回折光学部を複数の回折格子で構成する必要があり、前後にレンズを有する貼合せ面に回折光学部を設定する必要がある。特開平 1 1 - 3 0 5 1 2 6 号公報では回折格子を貼合せ面に設けてはいるが、回折格子への光線の入射条件が変倍及び画角の変化に対して大きく変化している。

【 0 0 1 6 】

本発明は、これらの従来技術を鑑み、回折光学面を導入するレンズ群や回折光学部の設けられている面（曲面）の曲率を適切に設定し、回折光学部への入射角の変動を全ズーム域、全画角で抑制することによって不要次回折光を低減し、広角端から望遠端に至る全ズーム範囲にわたり良好なる光学性能を有するズームレンズ及びそれを有する光学機器の提供を目的とする。

20

【 0 0 1 7 】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明のズームレンズは、物体側より順に、正の屈折力の第 1 レンズ群、ズームリングに際して光軸方向に移動する負の屈折力の第 2 レンズ群、正の屈折力の第 3 レンズ群、ズームリングに際し移動する正の屈折力の第 4 レンズ群の 4 つのレンズ群のみをレンズ群として有するズームレンズにおいて、該第 2 レンズ群は物体側に凸状の貼合せ面を有し、該貼合せ面に回折格子により構成される回折光学部が設けられており、該貼合せ面の曲率半径を $R D$ 、該第 2 レンズ群の焦点距離を $f 2$ とするとき、

30

$$- 2 . 5 < R D / f 2 < - 1 . 5$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【 0 0 1 8 】

請求項 2 の発明は請求項 1 の発明において、前記回折光学部は互いに分散の異なる材料より成る複数の回折格子の積層構造により構成されていることを特徴としている。

【 0 0 1 9 】

請求項 3 の発明は請求項 1 又は 2 の発明において、 d 線の波長を d 、光軸からの距離を h として、前記回折光学部によって波面に与えられる位相を、

40

$$(h) = 2 \pi / d (C_2 \cdot h^2 + C_4 \cdot h^4 + \dots + C_{2 \cdot i} \cdot h^{2i})$$

で表し、前記回折光学部の有効径の $1/2$ を H 、前記第 2 レンズ群の焦点距離を $f 2$ とするとき、

$$- 0 . 0 5 < (C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4) / f 2 < - 0 . 0 0 0 7$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【 0 0 2 0 】

請求項 4 の発明は請求項 1 の発明において、前記該第 1 レンズ群乃至第 4 レンズ群は全てズームリングに際し移動することを特徴としている。

【 0 0 2 1 】

請求項 5 の発明は請求項 1 の発明において、前記第 1 レンズ群と前記第 3 レンズ群はズ

50

ーミングのために移動せず、前記第 4 レンズ群はズームリングに際し移動することを特徴としている。

【0022】

請求項 6 の発明のズームレンズは、物体側より順に、正の屈折力の第 1 レンズ群、ズームリングに際し移動する負の屈折力の第 2 レンズ群、正の屈折力の第 3 レンズ群、ズームリングに際し移動する正の屈折力の第 4 レンズ群の 4 つのレンズ群のみをレンズ群として有するズームレンズにおいて、

該第 2 レンズ群は、2 つの負レンズを接合した貼合せレンズを有し、該貼合せレンズの貼合せ面は、物体側に凸状で、且つ回折格子により構成される回折光学部が設けられており、該貼合せ面の曲率半径を R_D 、該第 2 レンズ群の焦点距離を f_2 とするとき、

$$-2.8 < R_D / f_2 < -1.2$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【0023】

請求項 7 の発明は請求項 6 の発明において、 d 線の波長を d 、光軸からの距離を h として、前記回折光学部によって波面に与えられる位相を、

$$(h) = 2 \pi / d (C_2 \cdot h^2 + C_4 \cdot h^4 + \dots + C_{2i} \cdot h^{2i})$$

で表し、該回折光学部の有効径の $1/2$ を H 、第 2 レンズ群の焦点距離を f_2 とするとき、

$$-0.05 < (C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4) / f_2 < -0.0007$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【0024】

請求項 8 の発明は請求項 1 から 7 のいずれか 1 項の発明において、全系の広角端と望遠端における焦点距離を f_W 、 f_T とするとき、

【数 2】

$$0.2 < |f_2 / \sqrt{f_W \cdot f_T}| < 1.5$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【0025】

請求項 9 の発明は請求項 1 から 8 のいずれか 1 項の発明において、光電変換素子上に像を形成することを特徴としている。

【0026】

請求項 10 の発明の光学機器は、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項のズームレンズと、該ズームレンズが形成する像を受光する光電変換素子とを有することを特徴としている。

【0033】

【発明の実施の形態】

以下に図面を用いて本発明のズームレンズ及び光学機器の実施形態について説明する。

【0034】

図 1 は、本発明の実施形態 1（後述の数値実施例 1 に対応）のズームレンズの要部断面図、図 2～図 4 は実施形態 1 のズームレンズの広角端、中間焦点距離、望遠端における収差図である。

【0035】

図 5 は、本発明の実施形態 2（後述の数値実施例 2 に対応）のズームレンズの要部断面図、図 6～図 8 は実施形態 2 のズームレンズの広角端、中間焦点距離、望遠端における収差図である。

【0036】

図 9 は、本発明の実施形態 3（後述の数値実施例 3 に対応）のズームレンズの要部断面図、図 10～図 12 は実施形態 3 のズームレンズの広角端、中間焦点距離、望遠端における収差図である。

10

20

30

40

50

【0037】

各実施形態のレンズ断面中、L1は正の屈折力（光学的パワー＝焦点距離の逆数）の第1レンズ群、L2は負の屈折力の第2レンズ群、L3は正の屈折力の第3レンズ群、L4は正の屈折力の第4レンズ群である。SPは開口絞りであり、第3群L3の前方に配置しており、ズーミングに際し、第3レンズ群L3と一体的に移動している。Gは色分解プリズムやフェースプレートや各種フィルター等に相当するガラスブロックである。IPは像面であり、CCDやCMOS等の固体撮像素子（光電変換素子）やフィルム等の感光材料が配置されている。

【0038】

各実施形態の収差図において、d, gはd線及びg線、M, Sはメリジオナル像面、サジタル像面、倍率色収差はg線によって表している。

10

【0039】

図1に示した実施形態1では、広角端から望遠端へのズーミングに際し、図中の矢印に示すように、変倍のために第1レンズ群L1と第3レンズ群L3を物体側へ、第2レンズ群L2を像側へ凸状の軌跡で移動させ、変倍に伴う像面変動を補正するために第4レンズ群L4を物体側に凸状の軌跡の一部を有するように移動させている。

【0040】

又、第4レンズ群L4を光軸方向に移動させてフォーカスを行うリアフォーカス式を採用している。このため、第4レンズ群L4のズーミングの際の移動軌跡は物体距離によって異なっている。図1に示す第4レンズ群L4の実線の曲線4aと点線の曲線4bは各々無限遠物体と近距離物体にフォーカスしているときの広角端から望遠端へのズーミングの際の移動軌跡を示している。曲線4a, 4bに示すように、第4レンズ群L4を広角端から望遠端へのズーミングに際して、物体側へ凸状の軌跡を有するように移動させることにより、第3レンズ群L3と第4レンズ群L4の間の空間の有効利用を図り、レンズ全長の短縮化を効果的に達成している。

20

【0041】

実施形態1において、例えば望遠端において無限遠物体から近距離物体へのフォーカスは、図1の直線4cに示すように第4レンズ群L4を前方へ繰り出すことにより行っている。

【0042】

実施形態1では、第3レンズ群L3をズーミングに際して物体側に移動させることにより第3レンズ群L3に主な変倍効果を持たせ、更に正の屈折力の第1レンズ群L1をズーミングに際して物体側へ移動させることで第2レンズ群L2にも変倍効果を持たせて第1レンズ群L1、第2レンズ群L2の屈折力をあまり大きくすることなく5倍程度の変倍比を容易に得ている。

30

【0043】

そして実施形態1では、第2レンズ群L2を、物体側から順に、負レンズG21と、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズG22との2枚のレンズからなる貼合せレンズ、物体側に屈折力の絶対値が大きい凸面を有するメニスカス形状の正レンズG23より構成し、負レンズG21と負レンズG22の物体側に凸状の貼合わせ面に、光軸に対して回転対称な位相型の回折格子で構成される回折光学部を設け、貼合せレンズを回折光学素子としている。

40

【0044】

なお、回折光学部は位相型の回折格子で構成しているので、実際には所定の厚みを持つことになるが、幾何光学的には無視できる程度の厚みなので、厚みを無視する場合には回折光学面（回折面）と呼ぶこともある。実施形態1では、球面状の貼合せ面に回折光学部を設けているが、そのベース面を非球面にすれば、更に望遠端での球面収差やコマ収差の補正が良好に行える。これは以後説明する実施形態2や3においても同様である。

【0045】

次に、図5に示した本実施形態2では、広角端から望遠端へのズーミングに際し、図5の

50

矢印に示すように、変倍のために第2レンズ群L2を像側へ、第3レンズ群L3を物体側へ移動させると共に、変倍に伴う像面変動を補正するために第4レンズ群L4を物体側に凸状の軌跡の一部を有するように移動させている。

【0046】

又、第4レンズ群L4を光軸方向に移動させてフォーカスを行うリアフォーカス式を採用している。このため、やはり第4レンズ群L4のズーミングの際の移動軌跡は物体距離によって異なっている。図5に示す第4レンズ群L4の実線の曲線4aと点線の曲線4bは各々無限遠物体と近距離物体にフォーカスしているときの広角端から望遠端へのズーミングの際の移動軌跡を示している。曲線4a、4bに示すように、第4レンズ群L4を広角端から望遠端へのズーミングに際して、物体側へ凸状の軌跡を有するように移動させることにより、第3レンズ群L3と第4レンズ群L4の間の空間の有効利用を図り、レンズ全長の短縮化を効果的に達成している。

10

【0047】

実施形態2において、例えば望遠端において無限遠物体から近距離物体へのフォーカスは、図5の直線4cに示すように第4レンズ群L4を前方へ繰り出すことにより行っている。

【0048】

実施形態2では、ズーミングのためには第1レンズ群L1を移動させず鏡筒構造の簡素化を図っている。また、第3レンズ群L3をズーミングに際して物体側に移動させることにより第3レンズ群L3に主な変倍効果を持たせている。

20

【0049】

そして実施形態2では、第2レンズ群L2を、物体側から順に、負レンズG21と、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズG22との2枚のレンズからなる貼合せレンズ、物体側に屈折力の絶対値が大きい凸面を有するメニスカス形状の正レンズG23で構成し、負レンズG21と負レンズG22の物体側に凸状の貼合わせ面(レンズ面)に、光軸に対して回転対称な位相型の回折格子で構成される回折光学部を設け、貼合せレンズを回折光学素子としている。

【0050】

図9に示した実施形態3では、広角端から望遠端へのズーミングに際し、図中の矢印に示すように、変倍のために第2レンズ群L2を像側に移動させると共に、変倍に伴う像面変動を補正するために第4レンズ群L4を物体側に凸状の軌跡の一部を有するように移動させている。

30

【0051】

また第4レンズ群L4を光軸方向に移動させてフォーカシングを行うリアフォーカス式を採用している。このため、第4レンズ群L4のズーミングの際の移動軌跡は物体距離によって異なっている。図9に示す第4レンズ群L4の実線の曲線4aと点線の曲線4bは各々無限遠物体と近距離物体にフォーカスしているときの広角端から望遠端へのズーミングの際の移動軌跡を示している。曲線4a、4bに示すように、第4レンズ群L4を広角端から望遠端へのズーミングに際して、物体側へ凸状の軌跡を有するように移動させることにより第3レンズ群L3と第4レンズ群L4間の空間の有効利用を図り、レンズ全長の短縮化を効果的に達成している。

40

【0052】

なお、実施形態3では第1レンズ群L1、第3レンズ群L3をズーム及びフォーカスの際に固定としているが、必要に応じて移動させても良い。

【0053】

実施形態3では、第2レンズ群L2を、物体側から順に、負レンズG21、像側に屈折力の絶対値が大きい凹面を有する負レンズG22、物体側に屈折力の絶対値が大きい凹面を有する負レンズG23の3枚のレンズで構成している。そして、負レンズG21と負レンズG22を貼合わせレンズとし、その物体側に凸状の貼合わせ面に、光軸に対して回転対称な位相型の回折格子で構成される回折光学部を設け、貼合せレンズを回折光学素子とし

50

ている。

【0054】

更に実施形態3では、第1レンズ群L1を負レンズと正レンズの2枚のレンズを貼り合わせて構成し、その物体側に凸状の貼合わせ面にも、光軸に対して回転対称な位相型の回折格子で構成される回折光学部を形成している。通常10倍程度のズーム比の4つのレンズ群より成る4群ズームレンズでは第1レンズ群L1は1枚の負レンズと2枚の正レンズの3枚で構成され、第2レンズ群L2は2枚の負レンズと正レンズの3枚で構成されている。これに対し、実施形態3のズームレンズでは、2つの回折光学面を使用することで、第1レンズ群L1を正、負レンズの2枚で構成し、第2レンズ群L2を負レンズのみで構成してレンズ全長の短縮化を容易にしている。また第1レンズ群L1に光学的パワー（焦点距離の逆数）の大きい回折光学面を用いたときに過剰に発生する異常分散効果を第2レンズ群L2で低減する作用もある。

10

【0055】

実施形態1, 2のように、第1レンズ群L1を1つの正レンズのみで構成しても、第2レンズ群L2の適切な面に回折光学部を設けることで、例えばd線とg線といった2波長のみの色収差を良好に補正することはできる。

【0056】

一方、実施形態3では、望遠端における2波長以外の波長に対する色収差いわゆる2次スペクトルを全可視波長範囲内で更に良好に補正するために、屈折系の色消し条件と回折系の色消し条件を最適に組み合わせている。これによって、実施形態3のズームレンズでは、特に望遠端での2次スペクトルまで含めた色収差を良好に補正して高い光学性能を得ている。

20

【0057】

第1レンズ群L1の色消しを回折光学部に分担させるには、回折光学部の光学的パワーは正の値を持つことが望ましい。回折光学部のパワーが負であると、通常の屈折光学系と発生する色収差の方向が同じになってしまい、回折光学部による色消し効果が出ず、光学系全域で十分な色収差の補正が行えない。

【0058】

次に各実施形態で用いた回折光学素子の構成について説明する。

【0059】

図13は回折光学素子1の回折光学部の一部拡大断面図であり、基板2に1つの層よりなる回折格子3を設けている。図14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14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。

30

【0060】

回折格子3の光学材料は、紫外線硬化樹脂（ $n_d = 1.513$, $d = 51.0$ ）を用い、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 $530 nm$ である。図14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。

40

【0061】

さらに、図14では設計次数近傍の回折次数（+1次±1次である0次光と+2次）の回折効率も併記している。図14から分かるように、設計次数での回折効率は設計波長近傍で最も高くなり、それ以外の波長では徐々に低くなる。

【0062】

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となり、フレアの要因となる。また、回折光学素子を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。

【0063】

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

50

する。図 15 は積層型の回折光学素子の一部拡大断面図であり、図 16 はこの回折光学素子の + 1 次の回折光の回折効率の波長依存性を表す図である。図 15 の回折光学素子では、基板 102 上に紫外線硬化樹脂（屈折率 $n_d = 1.499$ 、アッペ数 $d = 54$ ）からなる第 1 の回折格子 104 を形成し、その上に別の回折格子 105（屈折率 $n_d = 1.598$ 、アッペ数 $d = 28$ ）を形成している。この材料の組み合わせにおいて、第 1 の回折格子 104 の格子厚 d_1 は $d_1 = 13.8 \mu\text{m}$ 、第 2 の回折格子 105 の格子厚 d_2 は $d_2 = 10.5 \mu\text{m}$ としている。

【0064】

図 16 から分かるように、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が得ている。

【0065】

なお、前述の積層構造の回折光学素子としては、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。また各格子厚が必ずしも異なる必要はなく、材料の組み合わせによっては 2 つの回折格子 104 と 105 の格子部の格子厚を等しくしても良い。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 104 と 105 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。

【0066】

さて、実施形態 1 ~ 3 に示したズームレンズでは、第 2 レンズ群 L2 に入射する光束の入射角度がズーム位置や画角で変化する。そこで、実施形態 1 ~ 3 では、回折光学部を設ける面の曲率半径を適切な値とすることによって全ズーム域及び全画角で高い回折効率を得られるようにしている。

【0067】

具体的には、第 2 レンズ群 L2 の回折光学部を設けた貼合せ面の曲率半径を R_D 、第 2 レンズ群 L2 の焦点距離を f_2 とするとき、

$$-2.8 < R_D / f_2 < -1.2 \quad \cdots (1)$$

なる条件式を満足するようにしている。

【0068】

条件式 (1) の下限を超えて、貼合せ面、ひいては回折光学面の曲率が強く（大きく）なり過ぎると、特に望遠端の軸上光線に対する入射角が大きくなりすぎて回折効率が低下してしまうので良くない。逆に上限を超えて曲率が弱く（小さく）なり過ぎると広角側の画面周辺で入射角が大きくなって良くない。

【0069】

更に好ましくは条件式 (1) の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【0070】

$$-2.5 < R_D / f_2 < -1.5 \quad \cdots (1a)$$

一例として、図 17 に実施形態 1（後述する数値実施例 1）の回折光学面（貼合わせ面）における光軸からの高さ h に対する光線の入射角の変動を示す。横軸が光軸からの高さで、縦軸が入射角度である。斜線を施された領域が入射光線の分布範囲である。ズーム等で回折光学面への光線の入射角度が大きくと変動すると、回折効率が低下して色フレアーの原因となる。

【0071】

各実施形態においては、負レンズ G21 と負レンズ G22 の貼合わせ面の曲率を条件式 (1) を満足するように適切に設定することで、回折光学面への入射角の変動を ± 10 度以下に抑えている。回折効率の低下を考慮すると、回折光学面での入射角の変動は ± 15 度、望ましくは 10 度以内であることが必要である。 d 線の波長を d 、光軸からの距離を h として、前記回折光学部によって波面に与えられる位相を、

各実施形態において、回折光学面の効果を十分に発揮するには、回折光学部が透過光の波

10

20

30

40

50

面に与える位相 (h) を

$$(h) = 2 \pi / d (C_2 \cdot h^2 + C_4 \cdot h^4 + \dots + C_{2i} \cdot h^{2i})$$

但し d : 基準波長 (d 線)

h : 光軸からの距離

C_2, C_4, \dots, C_{2i} : 位相係数

で表し、回折光学部の有効径の 1/2 を H、第 2 レンズ群 L2 の焦点距離を f_2 とするとき、

$$-0.05 < (C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4) / f_2 < -0.0007 \dots (2)$$

なる条件式を満足するように回折光学部を構成する回折格子を設定している。

【0072】

条件式 (2) の上限を超えると、回折光学部による色収差補正の効果が十分に得られず広角端での g 線の倍率色収差が負の方向に大きくなるので良くない。逆に上限を超えると倍率色収差が逆の正の方向に悪化するので良くない。

【0073】

更に好ましくは、条件式 (2) の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【0074】

$$-0.04 < (C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4) / f_2 < -0.001 \dots (2a)$$

更に各実施形態においてズーム部のレンズ全長を短縮するには、全系の広角端と望遠端の焦点距離を各々 f_w, f_T 、第 2 レンズ群 L2 の焦点距離を f_2 とするとき、

【0075】

【数 3】

$$0.2 < |f_2 / \sqrt{f_w \cdot f_T}| < 1.5 \dots (3)$$

【0076】

なる条件式を満足するのが良い。

【0077】

ここで広角端と望遠端とは、変倍用のレンズ群が機構上、光軸上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。

【0078】

条件式 (3) は第 2 レンズ群 L2 の屈折力に関するものであり、ズームングに伴う収差変動を少なくしつつ、所望の変倍比を効果的に得るためのものである。下限値を超えて第 2 レンズ群 L2 の屈折力が強くなりすぎると小型化には有利になるが、望遠端で発生する球面収差やコマ収差の補正が困難になる。逆に上限値を超えると、ズームングの際の第 2 レンズ群 L2 の移動量が大きくなり過ぎてレンズ全長が長くなってしまいうので良くない。

【0079】

更に好ましくは条件式 (3) の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【0080】

【数 4】

$$0.25 < |f_2 / \sqrt{f_w \cdot f_T}| < 1.3 \dots (3a)$$

【0081】

以下に実施形態 1 ~ 3 のズームレンズの数値データに各々対応する数値実施例 1 ~ 3 を示す。各数値実施例において i は物体側からの光学面の順序を示し、 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 面との間の間隔、 N_i と i はそれぞれ d 線に対する第 i 番目の光学部材の屈折率、アッペ数を示す。f は焦点距離、Fno は F ナンバー、 ω は半画角である。

【0082】

また、数値実施例 1, 2 の最も像側の 5 つの面、数値実施例 3 の最も像側の 2 つの面は、色分解プリズム、フェースプレート、各種フィルター等に相当するガラスブロック P を構成する面である。

10

20

30

40

50

【0083】

また k を離心率、 $B, C, D, E, F \dots$ を非球面係数、光軸からの高さ h の位置での光軸方向の変位を面頂点を基準にして x とするとき、非球面形状は、

$$x = (h^2 / R) / [1 + [1 - (1 + k)(h/R)^2]^{1/2}] + Bh^4 + Ch^6 + Dh^8 + Eh^{10}$$

で表示される。但し R は曲率半径である。

【0084】

回折光学面（回折面）は前述の位相関数、

$$(h) = 2 / d (C_2 \cdot h^2 + C_4 \cdot h^4 + \dots + C_{2i} \cdot h^{2i})$$

の位相係数を与えることで表している。

10

【0085】

なお、例えば「 $e - Z$ 」の表示は「 10^{-Z} 」を意味する。

【0086】

各数値実施例における上述した条件式との対応を表1に示す。

【0087】

【外1】

数值实施例 1

$f = 7.42 \sim 34.91$ $F_{no} = 2.88 \sim 4.58$ $2\omega = 62.5^\circ \sim 14.7^\circ$			
R 1 = 29.330	D 1 = 3.40	N 1 = 1.516330	ν 1 = 64.1
R 2 = 873.438	D 2 = 可変		
R 3 = -239.405	D 3 = 0.90	N 2 = 1.834807	ν 2 = 42.7
R 4 = 30.000(回折面)	D 4 = 1.10	N 3 = 1.834807	ν 3 = 42.7
R 5 = 7.802(非球面)	D 5 = 3.40		
R 6 = 14.479	D 6 = 2.80	N 4 = 1.846660	ν 4 = 23.9
R 7 = 35.063	D 7 = 可変		
R 8 = 絞り	D 8 = 0.80		
R 9 = 9.109(非球面)	D 9 = 2.80	N 5 = 1.743300	ν 5 = 49.3
R10 = -187.156	D10 = 0.30		
R11 = 11.105	D11 = 2.40	N 6 = 1.696797	ν 6 = 55.5
R12 = 75.822	D12 = 0.70	N 7 = 1.846660	ν 7 = 23.9
R13 = 5.680	D13 = 可変		
R14 = 26.604(非球面)	D14 = 2.80	N 8 = 1.730770	ν 8 = 40.5
R15 = -8.101	D15 = 0.80	N 9 = 1.693501	ν 9 = 53.2
R16 = -64.790	D16 = 3.00		
R17 = ∞	D17 = 1.20	N10 = 1.516800	ν 10 = 64.2
R18 = ∞	D18 = 1.56	N11 = 1.552320	ν 11 = 63.4
R19 = ∞	D19 = 0.74		
R20 = ∞	D20 = 0.50	N12 = 1.556710	ν 12 = 58.6
R21 = ∞			

10

20

30

可変間隔 \ 焦点距離	7.42	23.62	34.91
D 2	1.10	15.49	20.30
D 7	31.69	7.42	3.43
D13	3.19	9.15	16.02

40

【 0 0 8 8 】

非球面係数

R5 $k=-1.90968e+00$ $B=3.26932e-4$ $C=-1.51603e-6$ $D=1.40436e-8$

$E=-8.41287e-11$

R9 $k=-1.44754e+00$ $B=1.08891e-4$ $C=-3.33866e-7$ $D=6.03963e-9$

R14 $k=-1.96997e+01$ $B=1.10185e-4$ $C=-2.35325e-6$ $D=3.18840e-8$

位相係数

10

4面 $C2=-2.709e-5$ $C4=2.602e-6$

【 0 0 8 9 】

【 外 2 】

数值实施例 2

$$f = 7.42 \sim 28.10 \quad F_{no} = 2.88 \sim 4.14 \quad 2\omega = 62.5^\circ \sim 18.2^\circ$$

R 1 =	26.413	D 1 =	3.60	N 1 =	1.516330	ν 1 =	64.1	
R 2 =	201.831	D 2 =	可変					
R 3 =	-223.490	D 3 =	0.90	N 2 =	1.834807	ν 2 =	42.7	
R 4 =	32.000(回折面)	D 4 =	1.10	N 3 =	1.834807	ν 3 =	42.7	10
R 5 =	7.756(非球面)	D 5 =	3.40					
R 6 =	14.867	D 6 =	2.70	N 4 =	1.846660	ν 4 =	23.9	
R 7 =	39.210	D 7 =	可変					
R 8 =	絞り	D 8 =	0.80					
R 9 =	9.303(非球面)	D 9 =	2.80	N 5 =	1.743300	ν 5 =	49.3	
R10 =	-115.903	D10 =	0.30					20
R11 =	10.208	D11 =	2.40	N 6 =	1.696797	ν 6 =	55.5	
R12 =	44.886	D12 =	0.70	N 7 =	1.846660	ν 7 =	23.9	
R13 =	5.465	D13 =	可変					
R14 =	20.056(非球面)	D14 =	2.80	N 8 =	1.730770	ν 8 =	40.5	
R15 =	-13.034	D15 =	0.80	N 9 =	1.693501	ν 9 =	53.2	
R16 =	-80.333	D16 =	3.00					
R17 =	∞	D17 =	1.20	N10 =	1.516800	ν 10 =	64.2	30
R18 =	∞	D18 =	1.56	N11 =	1.552320	ν 11 =	63.4	
R19 =	∞	D19 =	0.74					
R20 =	∞	D20 =	0.50	N12 =	1.556710	ν 12 =	58.6	
R21 =	∞							

【 0 0 9 0 】

可變間隔 \ 焦点距離	7.42	23.15	28.10
D 2	1.10	15.89	17.08
D 7	29.72	6.68	2.81
D13	4.96	11.40	12.99

10

非球面係数

R5 $k = -2.64927$ $B = 5.11616e-4$ $C = -5.32355e-6$ $D = 5.40717e-8$ $E = -2.74472e-10$ R9 $k = -1.73832$ $B = 1.38186e-4$ $C = -2.36879e-7$ $D = -1.46375e-8$ R14 $k = -1.69689e1$ $B = 2.25785e-4$ $C = -2.87908e-6$ $D = 2.06276e-8$

位相係数

20

4面 $C2 = -4.831e-4$ $C4 = 7.876e-6$

【 0 0 9 1 】

【 外 3 】

数值实施例 3

$$f = 4.19 \sim 41.88 \quad F_{no} = 2.05 \sim 2.47 \quad 2\omega = 56.5^\circ \sim 6.2^\circ$$

R 1 =	16.061(非球面)	D 1 =	0.70	N 1 = 1.846660	ν 1 = 23.8	
R 2 =	12.461(回折面)	D 2 =	4.80	N 2 = 1.696797	ν 2 = 55.5	
R 3 =	-119.806	D 3 =	可変			
R 4 =	25.132	D 4 =	0.60	N 3 = 1.834807	ν 3 = 42.7	10
R 5 =	7.000(回折面)	D 5 =	0.50	N 4 = 1.834807	ν 4 = 42.7	
R 6 =	5.276(非球面)	D 6 =	2.20			
R 7 =	-5.703	D 7 =	0.70	N 5 = 1.603112	ν 5 = 60.7	
R 8 =	-25.804	D 8 =	可変			
R 9 =	絞り	D 9 =	1.00			
R10 =	4.977(非球面)	D10 =	2.70	N 6 = 1.583126	ν 6 = 59.4	20
R11 =	214.075	D11 =	0.08			
R12 =	7.353	D12 =	0.55	N 7 = 1.846659	ν 7 = 23.8	
R13 =	4.533	D13 =	可変			
R14 =	8.185(非球面)	D14 =	2.40	N 8 = 1.487490	ν 8 = 70.2	
R15 =	-6.648	D15 =	0.50	N 9 = 1.846659	ν 9 = 23.8	
R16 =	-8.716	D16 =	0.75			
R17 =	∞	D17 =	3.27	N10 = 1.516330	ν 10 = 64.2	30
R18 =	∞					

【 0 0 9 2 】

可変間隔 \ 焦点距離	4.19	21.50	41.88
D 3	0.50	9.06	11.47
D 8	11.78	3.22	0.80
D13	4.60	2.36	6.41

非球面係数

R1 $k = -8.94672e-1$ $B = 1.28399e-5$ $C = 1.01309e-8$

10

R6 $k = -4.92784e-1$ $B = -1.06847e-4$ $C = 1.19484e-5$ $D = 2.88595e-7$

$E = -2.40857e-7$

R10 $k = -1.29418$ $B = 5.50069e-4$ $C = -3.90914e-6$ $D = -1.86302e-7$

$E = 2.97884e-8$

R14 $k = -2.44799$ $B = -3.98205e-4$ $C = 4.08972e-5$ $D = -2.03112e-6$

$E = -1.50444e-7$

20

位相係数

2面 $C2 = -1.062e-3$ $C4 = 1.160e-6$

4面 $C2 = 7.833e-3$ $C4 = 2.279e-4$

【0093】

【表1】

表-1

数値実施例	1	2	3
$RD/F2$	-1.936	-2.016	-1.689
$(C_2 \cdot H^2 + C_4 \cdot H^4)/F2$	-0.001266	-0.001267	-0.03065
$ f2/\sqrt{fW \cdot fT} $	0.963	1.100	0.313

30

【0094】

次に実施形態1～3に示したようなズームレンズを撮影光学系として用いたデジタルスチルカメラ（光学機器）の実施形態を図18を用いて説明する。

【0095】

40

図18において、10はカメラ本体、11は実施形態1～3で説明したいずれかのズームレンズによって構成された撮影光学系、12はカメラ本体に内蔵されたストロボ、13は外部式ファインダー、14はシャッターボタンである。

【0096】

このように本発明のズームレンズをデジタルスチルカメラ等の光学機器に適用することにより、小型で高い光学性能を有する光学機器が実現できる。

【0097】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、回折光学面を導入するレンズ群や回折光学部の設けられている面（曲面）の曲率を適切に設定し、回折光学部への入射角の変動を全ズーム

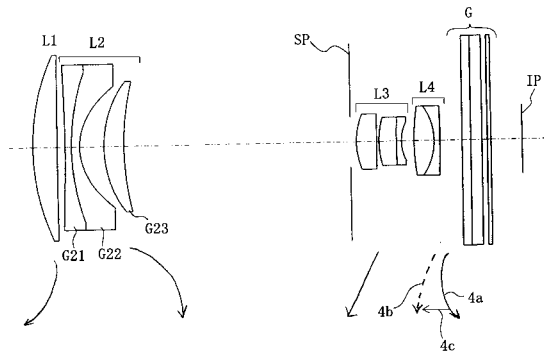
50

域、全画角で抑制することによって、不要回折光を低減し、広角端から望遠端に至る全ズーム範囲にわたり良好なる光学性能を有するズームレンズ及びそれを有する光学機器を達成することができる。

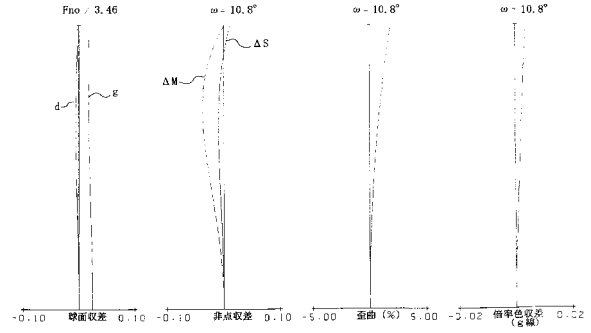
【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 本発明の実施形態 1 のズームレンズのレンズ断面図
 - 【図 2】 本発明の実施形態 1 のズームレンズの広角端における収差図
 - 【図 3】 本発明の実施形態 1 のズームレンズの中間ズーム位置における収差図
 - 【図 4】 本発明の実施形態 1 のズームレンズの望遠端における収差図
 - 【図 5】 本発明の実施形態 2 のズームレンズのレンズ断面図
 - 【図 6】 本発明の実施形態 2 のズームレンズの広角端における収差図 10
 - 【図 7】 本発明の実施形態 2 のズームレンズの中間ズーム位置における収差図
 - 【図 8】 本発明の実施形態 2 のズームレンズの望遠端における収差図
 - 【図 9】 本発明の実施形態 3 のズームレンズのレンズ断面図
 - 【図 10】 本発明の実施形態 3 のズームレンズの広角端における収差図
 - 【図 11】 本発明の実施形態 3 のズームレンズの中間ズーム位置における収差図
 - 【図 12】 本発明の実施形態 3 のズームレンズの望遠端における収差図
 - 【図 13】 単層構造の回折光学素子の説明図
 - 【図 14】 単層構造の回折光学素子の波長依存特性の説明図
 - 【図 15】 積層構造の回折光学素子の説明図
 - 【図 16】 積層構造の回折光学素子の波長依存特性の説明図 20
 - 【図 17】 実施形態 1 のズームレンズの回折光学面への光束の入射角を示す説明図
 - 【図 18】 デジタルスチルカメラの要部概略図
- 【符号の説明】
- L 1 第 1 群
 - L 2 第 2 群
 - L 3 第 3 群
 - L 4 第 4 群
 - S P 開口絞り
 - I P 像面
 - d d 線 30
 - g g 線
 - S サジタル像面
 - M メリディオナル像面
 - 画角
 - F n o F ナンバー

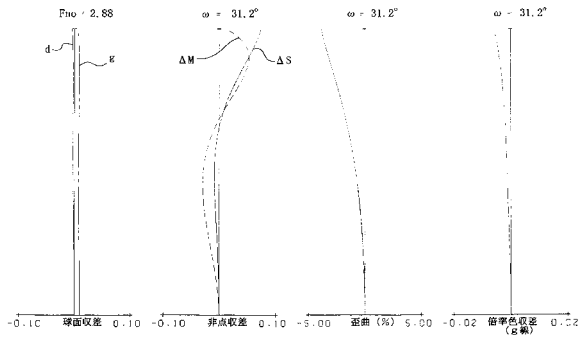
【図 1】



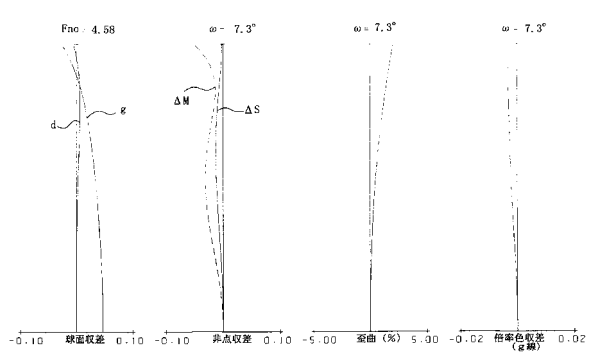
【図 3】



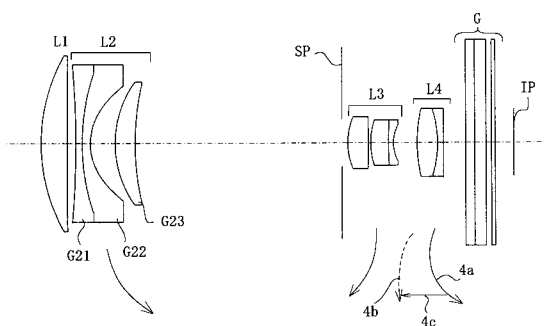
【図 2】



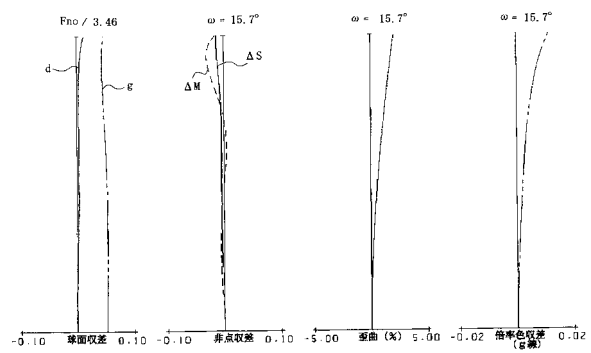
【図 4】



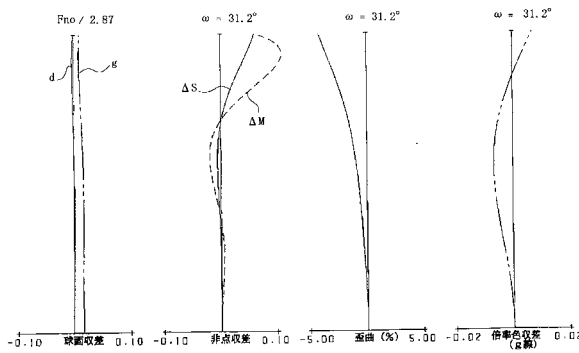
【図 5】



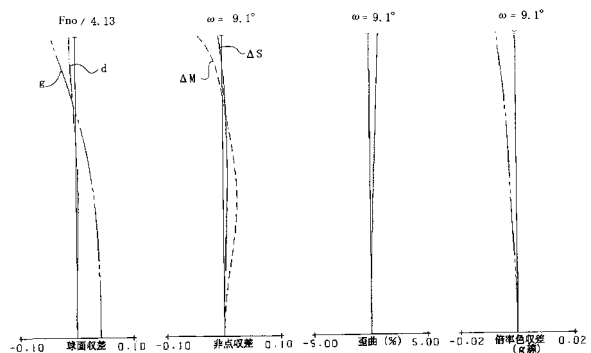
【図 7】



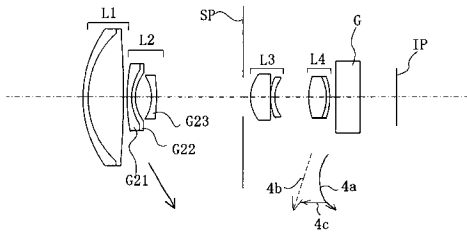
【図 6】



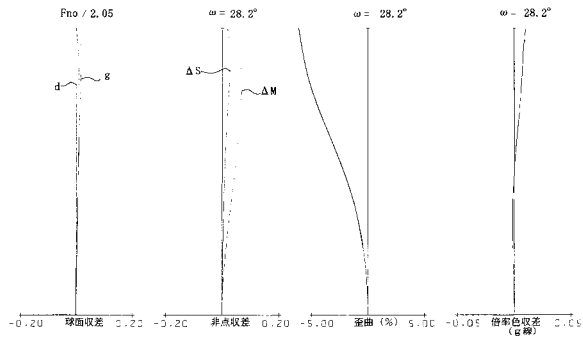
【図 8】



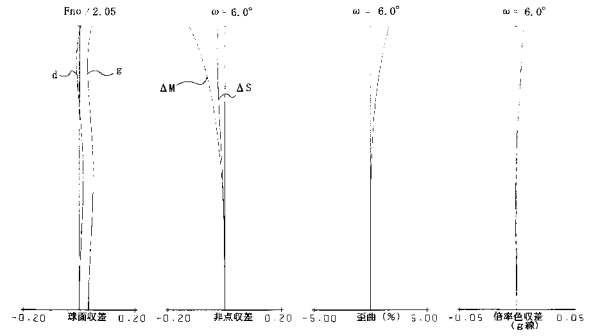
【図 9】



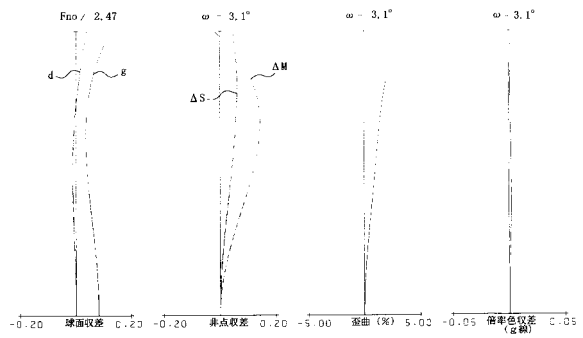
【図 10】



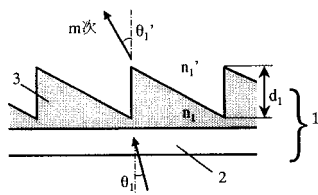
【図 11】



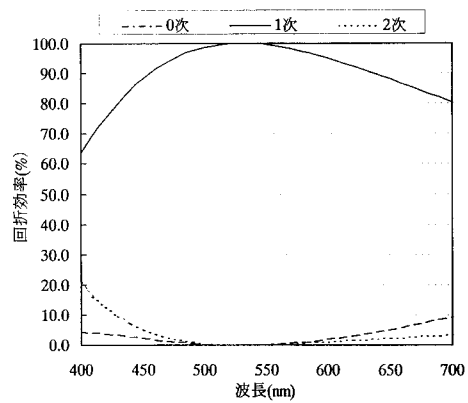
【図 12】



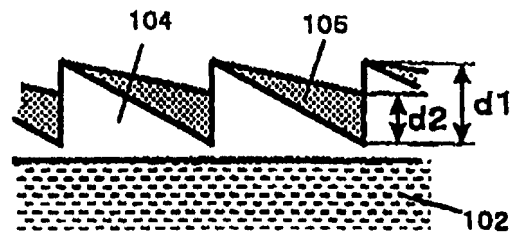
【図 13】



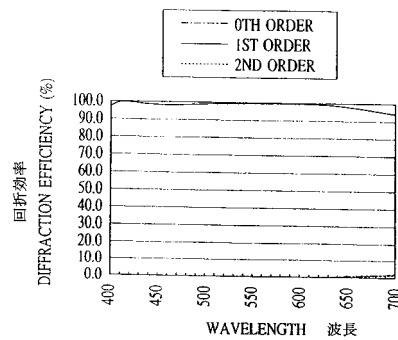
【図 14】



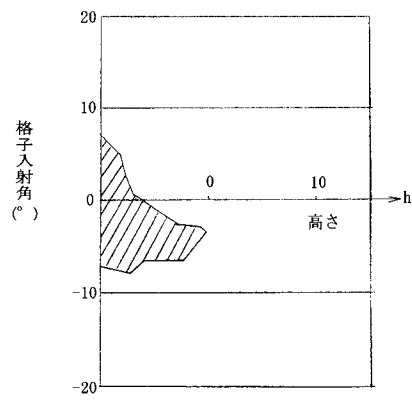
【図 15】



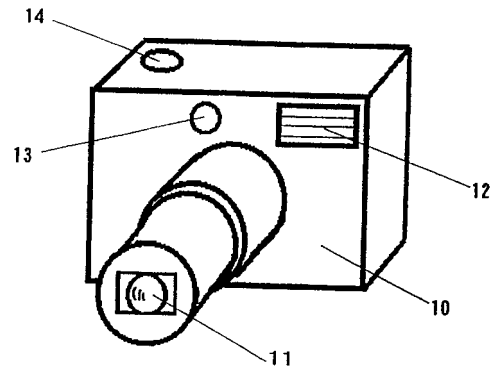
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 5 2 2 4 4 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 2 2 7 5 5 1 (J P , A)
特開平 9 - 1 2 7 3 2 2 (J P , A)
特開平 7 - 5 3 6 1 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B 名)
G02B 9/00 - 17/08
G02B 21/02 - 21/04
G02B 25/00 - 25/04