

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3832935号
(P3832935)

(45) 発行日 平成18年10月11日(2006.10.11)

(24) 登録日 平成18年7月28日(2006.7.28)

(51) Int.C1.

F 1

GO2B 15/163	(2006.01)	GO2B 15/163
GO2B 5/18	(2006.01)	GO2B 5/18
GO2B 13/18	(2006.01)	GO2B 13/18

請求項の数 2 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願平9-221058
(22) 出願日	平成9年8月1日(1997.8.1)
(65) 公開番号	特開平11-52237
(43) 公開日	平成11年2月26日(1999.2.26)
審査請求日	平成16年6月10日(2004.6.10)

(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	100075948 弁理士 日比谷 征彦
(72) 発明者	和智 史仁 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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体側から順に、負の屈折力の第1レンズ群、正の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群により構成し、広角端から望遠端へのズーミングに際して前記第1レンズ群、第2レンズ群を移動させるズームレンズにおいて、前記第1レンズ群を1枚の正レンズと1枚の負レンズで構成し、前記第1レンズ群は光軸に対して回転対称な少なくとも1枚の回折光学面を有し、前記回折光学面の位相 (h) を、

$$(h) = 2 / (C_1 \cdot h^2 + C_2 \cdot h^4 + C_3 \cdot h^6 + \dots + C_i \cdot h^{2i})$$

: 波長

C_i : 係数

h : 光軸からの高さ

10

とし、前記第1レンズ群の焦点距離をF1、広角端及び望遠端での全系の焦点距離をそれぞれFw、Ftとするとき、

$$1 \cdot 10^{-4} < |C_2 / C_1| < 1$$

$$1 \cdot 10^{-7} < |C_3 / C_1| < 1 \cdot 10^{-1}$$

$$-2.0 < F1 / (Fw \cdot Ft) ^{1/2} \leq -1.259$$

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 2】

請求項1に記載のズームレンズを有することを特徴とするカメラ。

【発明の詳細な説明】

20

【0001】**【発明の属する技術分野】**

本発明は、特に写真用やビデオカメラやデジタルカメラ等に使用され、画角が広く、良好な色収差を確保しながらも、全体としてコンパクトなネガティブリードのズームレンズに関するものである。

【0002】**【従来の技術】**

最近、ホームビデオカメラ等の小型軽量化に伴い、撮像用ズームレンズの小型化、高画質化に目覚ましい進歩が見られ、特に全長の短縮化や解像力の上昇、構成の簡略化に力が注がれている。

10

【0003】

これらの目的を達成する1つの手段として、光学系としては物体側の第1レンズ群を負の屈折力で構成し、この第2レンズ群を移動させてズーミングを行う所謂レトロフォーカス式のズームレンズが知られている。

【0004】

一般にレトロフォーカス式のズームレンズは、第1レンズ群を固定してズーミングを行うズームレンズに比べて、第2レンズ群以後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る。また、第1レンズ群でフォーカスを行えば、近接撮影時のズーミングによるフォーカス変動がない撮影が可能となり、更に簡略なレンズ群構成を採用することができる。また、第3レンズ群でフォーカスを行えば、レンズ径が小さい軽いレンズ群なので、駆動力が小さく駆動するストロークも短く、迅速な焦点合わせができる。

20

【0005】

このようなレトロフォーカス式のズームレンズとして、例えば特開平1-191820号公報、特開平3-203709号公報、特開平3-240011号公報等では、物体側から順に負の第1レンズ群、正の第2レンズ群、正の第3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1レンズ群で変倍に伴う像面変動を補正するズームレンズを開示している。このような構成によれば、前玉径も比較的に小型化でき、コンパクトなズームレンズが達成できる。

【0006】

しかしながら、近年ではCCDの素子数増加による高度の色収差補正を達成するズームレンズへの要求が大きく、良好な性能を維持しながら更なる小型化を達成することが難しくなってきている。

30

【0007】

即ち、色収差補正のためには各レンズ群の収差の発生を小さくするのに、各レンズ群を構成するレンズ枚数を多くして、各レンズの収差分担を小さくする傾向があり、小型化には逆行する。

【0008】

また、諸収差の補正とレンズ枚数の減少のためには、従来から非球面を用いることが知られている。この非球面を用いると、レンズ枚数の削減と球面では得られない収差補正効果が期待でき有効である。

40

【0009】**【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、高画質対応のレンズにおいては諸収差の除去も重要であるが、色収差の補正が重要である。非球面では色収差の補正は難しい。特に、可動群の物体側にある第1レンズ群は、色収差の発生を小さく抑えなければ、主変倍群である第2レンズ群等の移動によって色収差のズーミングに伴う変動が大きくなる傾向がある。

【0010】

そのために、従来では第1レンズ群を構成するレンズは、高分散の負レンズと低分散の正レンズをそれぞれ1枚又は2枚を使って色消しを行っている。更に、負レンズと正レンズを貼合わせることもあり、そのため第1レンズ群を構成するレンズ枚数が多くなり適當

50

ではない。

【0011】

一方、色収差の発生、変動を小さく抑える方法として、最近では回折光学面を撮像光学系に応用する提案が、例えば特開平4-213421号公報、特開平6-324262号公報等でなされている。これらの従来例は単レンズに回折光学素子を応用したものであり、色収差に対する言及はされているが、ズームレンズ特有の色収差のズーミングによる変動の除去等の考察、記載はなく、ズームレンズへの応用は行われていない。

【0012】

ズームレンズへの応用に関しては、米国特許5268790号公報に記載があり、この従来例は主変倍群である第2レンズ群又は補正群である第3レンズ群に回折光学素子を用いることを提案しており、第1レンズ群については従来通りの構成である。この構成では、第1レンズ群で発生する色収差はそのままであり、ズーミングに伴いその色収差は第2レンズ群等の変倍群の移動により、増倍或いは変動することになり効果的ではない。また、実施例として約10倍のズームレンズを記載しているが、この公報で公知としているものよりも高倍化を同一寸法で達成したとの記載があり、またレンズ枚数の減少を実行しているが、未だレンズ枚数が多く小型化には余裕がある。

【0013】

本発明の目的は、上記の従来例の欠点を改善し、高画素CCD対応の高度な色収差補正を達成すると共に、良好な性能を維持しながら更なる小型化を達成し得るズームレンズを提供することである。

【0014】

即ち、高度な色収差補正であっても構成するレンズの枚数を少なくして、かつ非球面では得られない色収差の補正を第1レンズ群、変倍部、第3レンズ群に施したズームレンズを提供することである。

【0015】

特に前玉の第1レンズ群の小型化を行い、更に広角・高変倍を確保し、機構を含めた簡略化、小型軽量化を図りながら、全ズーム域・全物体距離に渡って良好な性能・色収差を意図したレトロフォーカス式のズームレンズの提供を目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するための本発明に係るズームレンズは、物体側から順に、負の屈折力の第1レンズ群、正の屈折力の第2レンズ群、正の屈折力の第3レンズ群により構成し、広角端から望遠端へのズーミングに際して前記第1レンズ群、第2レンズ群を移動させるズームレンズにおいて、前記第1レンズ群を1枚の正レンズと1枚の負レンズで構成し、前記第1レンズ群は光軸に対して回転対称な少なくとも1枚の回折光学面を有し、前記回折光学面の位相(h)を、

$$(h) = 2 / (C_1 \cdot h^2 + C_2 \cdot h^4 + C_3 \cdot h^6 + \dots + C_i \cdot h^{2i})$$

：波長

Ci：係数

h：光軸からの高さ

とし、前記第1レンズ群の焦点距離をF1、広角端及び望遠端での全系の焦点距離をそれぞれFw、Ftとするとき、

$$1 \cdot 10^{-4} < |C_2/C_1| < 1$$

$$1 \cdot 10^{-7} < |C_3/C_1| < 1 \cdot 10^{-1}$$

$$-2.0 < F1 / (Fw \cdot Ft)^{1/2} \leq -1.259$$

なる条件を満足することを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】

図1、図3、図4は本発明の参考例のレンズ断面図、図2は実施例のレンズ断面図を示し、物体側から順にズーミング中に可動の負の屈折力の第1レンズ群L1、ズーミング中

10

20

20

30

40

50

に可動の正の屈折力の第2レンズ群L2から成る変倍群、全体で正の屈折力の第3レンズ群L3、光学フィルタ、フェースプレートFが配列されている。広角端から望遠端への変倍に際して、第2レンズ群L2を物体側に移動させると共に、第1レンズ群L1で変倍に伴う像面変動を補正するズームレンズであり、第1レンズ群L1又は第2レンズ群L2又は第3レンズ群L3の少なくとも1つのレンズ群には、光軸に対して回転対称な少なくとも1枚の回折光学面を有している。

【0018】

特に、第3レンズ群L3はズーミング中に固定或いは可動の何れの動きでもよい正又は負のレンズ群であり、距離合わせをこの第3レンズ群L3により行うことも可能である。また、第1レンズ群L1と第2レンズ群L2との間に絞りSが設けられており、特に第2レンズ群L2の近傍に配置することが好ましい。 10

【0019】

第1レンズ群L1内に回折光学面を配置し、適当に回折光学素子の位相を選択することにより、第1レンズ群L1で発生する倍率色収差、例えばd線とg線といった2波長の倍率色収差は小さく抑えられ、全体としての倍率色収差のズーミングによる変動を小さく抑えられ、しかも望遠端の軸上色収差(2次スペクトル)の幅自体は悪化しない。

【0020】

また、第2レンズ群L2内に回折光学面を配置して、適当に回折光学素子の位相を選択することにより、第2レンズ群L2で発生する倍率色収差、例えばd線とg線といった2波長の倍率色収差は小さく抑えられ、全体としての倍率色収差のズーミングによる変動を小さく抑えられ、しかも望遠端の軸上色収差(2次スペクトル)の幅自体は悪化することはない。 20

【0021】

第1レンズ群L1を構成するレンズは、高分散の負レンズと低分散の正レンズをそれぞれ1枚又は2枚を有し、更に負レンズと正レンズを貼合わせたり複数のレンズで分担して色消しを行っていたものを、回折光学素子によって色収差の補正に使うレンズ枚数が減少し、構成レンズの枚数を削減できる。また、第2レンズ群L2を構成するレンズも、低分散の負レンズと高分散の正レンズをそれぞれ2枚或いは1枚を有し、更に負レンズと正レンズを貼合わせたり、複数のレンズで分担して色消しを行っていたが、回折光学素子によって色収差の補正に使うレンズ枚数が減少し、構成レンズの枚数を削減することになる。 30

【0022】

これにより、高度な色収差補正を達成するズームレンズにおいても、良好な性能を維持しながら、更なる小型化を達成できるようになる。

【0023】

上述の実施例における非球面形状は、光軸方向にX軸、光軸と垂直方向にH軸、光の進行方向を正とし、Rを近軸曲率半径、B、C、D、E、Fをそれぞれ非球面係数としたとき、

$$X = (H^2 / R) / [1 + \{1 + (1 + K)(H / R)^2\}^{1/2}] + BH^4 + CH^6 + DH^8 + EH^{10} + FH^{12} \quad \dots (1) \quad 40$$

なる式で表している。

【0024】

回折光学面は、(h)を位相、を波長、Ciを位相を表す係数、hを光軸からの高さとすると、次式となる。

$$(h) = 2 / (C_1 \cdot h^2 + C_2 \cdot h^4 + C_3 \cdot h^6 + \dots + C_i \cdot h^{2+i}) \quad \dots (2)$$

【0025】

この(2)式において分かるることは、光軸からの距離hによって位相を調節できることである。レンズ径が大きければ大きい程、高次の係数の影響が大きくなる。本実施例で述べている民生用のズームレンズ、特にビデオ用のズームレンズにおいては小型化が進められ 50

ており、余り大きなレンズつまり h が大きいレンズはこのましくない。その上で、小さなレンズにおいても効率的に係数を生かして、有効な収差補正を達成するには、次の条件式を満足することが好ましい。

$$1 \cdot 10^{-4} < |C_{2i}/C_{1i}| < 1 \quad \dots (3)$$

$$1 \cdot 10^{-7} < |C_{3i}/C_{1i}| < 1 \cdot 10^{-1} \quad \dots (4)$$

【0026】

これらの式は前述したように、小さい径において有効に収差補正をするためのものである。これらの条件式を外れると、収差補正が難しくなるだけでなく、回折光学面を製作し難くなり、適当でない。

【0027】

具体的な第1レンズ群 L_1 の構成としては、実施例、参考例1、2のように第1レンズ群 L_1 を正レンズ、負レンズで構成し、或いは実施例4のように正レンズ、2枚の負レンズで構成し、何れかの面に回折光学面を有することである。このとき、正レンズと負レンズは貼合わせでもよい。その際に、色収差はこの貼合わせ面と共に働くで補正し、回折光学素子は正の屈折力を強める必要がある。

【0028】

具体的な第2レンズ群 L_2 の構成としては、第2レンズ群 L_2 を2枚の正レンズ、1枚の負レンズの計3枚で構成し、その前後或いは中間に少なくとも1枚の回折光学面を有するプレートを有することもできる。

【0029】

また、別な第2レンズ群 L_2 の構成としては、第2レンズ群 L_2 を正レンズ、負レンズの2枚又は負レンズ、正レンズの2枚で構成し、何れかの面に回折光学面を有することもできる。

【0030】

何れの場合も、最も物体側の面には収差補正上やむを得ない等の特別な場合を除いて、回折光学面を配置しない方がよい。回折光学素子はかなり狭い幅、例えば数 μm 或いはサブ μm のオーダの溝で構成されており、塵埃等からレンズ表面を保護するには、最も物体側に配置しない方が好ましい。

【0031】

実施例、参考例1、2において、第1レンズ群 L_1 の物体側レンズの像面側レンズ面、第2レンズ群 L_2 の最も物体側レンズ面と最も像面側レンズ面が非球面とされている。また、実施例4の第1レンズ群 L_1 の中間レンズの像面側レンズ面、第2レンズ群 L_2 の最も物体側レンズ面が非球面とされている。

【0032】

更に、回折光学面は参考例1においては第2レンズ群 L_2 の最も物体側レンズ面、実施例においては第1レンズ群 L_1 の物体側のレンズの像面側レンズ面、参考例2においては第3レンズ群 L_3 の最も物体側レンズ面、参考例3においては第2レンズ群 L_2 の最も物体側レンズ面に施されている。

【0033】

このように、第1レンズ群 L_1 内又は第2レンズ群 L_2 内又は第3レンズ群 L_3 に配置された回折光学面により、それぞれの群で発生する色収差（2次スペクトル）を共働して小さく抑え、第2レンズ群 L_2 の移動による色収差のズーミングによる変動も小さく抑えられる。この回折光学面の屈折力を強くすると、中心と周辺の鋸状のピッチの差が大きくなり製作が難しくなり、また完成品の回折効率も良くない。従って、第1レンズ群 L_1 又は第2レンズ群 L_2 又は第3レンズ群 L_3 の貼合わせ等の色消しの代りの色収差補正を回折光学面で行う場合には、屈折力は余り必要ではない。

【0034】

また、回折格子素子を有する第1レンズ群 L_1 は次の範囲にあることが好ましい。

$$-2.0 < F_1 / (F_w \cdot F_t)^{1/2} \quad -1.259 \quad \dots (6)$$

【0035】

10

20

30

40

50

ただし、 F_1 は第1レンズ群 L_1 の焦点距離、 F_w 、 F_t はそれぞれ広角端、望遠端の全系の焦点距離である。この範囲内にあれば、回折光学素子の働きを有効に引き出すことができる。この(6)式の上限値を逸脱すると、第1レンズ群 L_1 の屈折力が強過ぎて色収差を回折光学系で補正しきれなくなり、製作についても難しくなる。また、下限値を超えると回折光学素子を使用しなくとも色収差の除去は容易になる。また、所望の焦点距離のレンズを得るために特に第2レンズ群 L_2 の屈折力が強くなり、第2レンズ群 L_2 で発生する収差量が大きくなり適当でない。即ち、ベツツバール和が負に大きくなり、像面湾曲が補正過剰になる。

【0036】

一般に、回折光学面は通常の屈折により発生する色収差と反対の色収差が発生する。例えれば、従来の貼合わせ面等により色消しを行っていたレンズを除去し、レンズ枚数の削減をする場合は、その貼合わせ面で発生していた色収差分担と反対の色収差分担を有する面を回折光学面とすることがよい。かくすることにより、通常の屈折により発生する色収差と反対の色収差が回折光学面上で発生し、その方向は元々あった貼合わせ面での色収差発生方向と同じものとなり、貼合わせ等の色消しが単レンズにより可能となる。

【0037】

色収差係数（共立出版株発行、松居吉哉著「レンズ設計法」第89頁）といった視点から見ると、絞りよりも物体側の面では、軸上色収差係数 L と倍率色収差係数 T が同一符号の面に回折光学面を配置し、絞りよりも像面側の面では双方が逆符号の面に回折光学面を配置することが好ましい。

【0038】

次に、実施例の数値実施例、参考例1～3の数値参考例1～3を示す。これらの数値実施例、数値参考例において、 r_i は物体側から順に第1番目のレンズ面の曲率半径、 d_i は第1番目のレンズ厚又は空気間隔、 n_i と i はそれぞれ第1番目のレンズの屈折率とアッペ数である。

【0039】

数値参考例1

$f=3.74977$	$fno=1:2.85$	$2=63.0$	
$r1= 18.838$	$d1= 1.00$	$n1=1.77250$	$1=49.6$
* $r2= 2.842$	$d2= 1.45$		
$r3= 5.109$	$d3= 1.70$	$n2=1.80518$	$2=25.4$
$r4= 10.190$	$d4= 可変$		
$r5= 0.000$ (絞り)	$d5= 可変$		
* $r6= 4.339$ (回折面)	$d6= 3.25$	$n3=1.67790$	$3=55.3$
$r7= -8.490$	$d7= 0.13$		
$r8= -8.701$	$d8= 2.00$	$n4=1.80518$	$4=25.4$
* $r9= 26.030$	$d9= 可変$		
$r10= 31.840$	$d10= 1.10$	$n5=1.51633$	$5=64.1$
$r11=-24.514$	$d11= 1.00$		
$r12= 0.000$	$d12= 3.10$	$n6=1.51633$	$6=64.2$
$r13= 0.000$	$d13=-32.57$		
$r14= 0.000$			

【0040】

焦点距離

3.75	7.38	11.00	
$d4$	5.94	1.36	1.04
$d5$	4.78	2.89	1.00
$d9$	2.00	5.89	9.77

【0041】

非球面係数

10

20

30

40

50

2面	$r=2.84235 \cdot 10^0$	$k=-3.28517 \cdot 10^{-1}$	$B=-2.63180 \cdot 10^{-4}$
	$C=2.63180 \cdot 10^{-4}$	$D=3.67708 \cdot 10^{-5}$	$E=-4.60653 \cdot 10^{-6}$
6面	$r=4.33890 \cdot 10^0$	$k=-2.13355 \cdot 10^{-1}$	$B=-8.90957 \cdot 10^{-5}$
	$C=4.05938 \cdot 10^{-5}$	$D=-2.74445 \cdot 10^{-5}$	$E=0.00000 \cdot 10^0$
9面	$r=2.60299 \cdot 10^1$	$k=-2.32563 \cdot 10^1$	$B=4.09405 \cdot 10^{-3}$
	$C=4.25310 \cdot 10^{-4}$	$D=-3.66683 \cdot 10^{-5}$	$E=9.71881 \cdot 10^{-6}$

【0042】

位相係数

6面	$C_1=-1.38576 \cdot 10^{-3}$	$C_2=-5.51769 \cdot 10^{-5}$	$C_3=4.66871 \cdot 10^{-5}$
	$C_4=-6.04382 \cdot 10^{-6}$	$C_5=2.92159 \cdot 10^{-7}$	

10

【0043】

数值実施例

$f=3.74786$	$fno=1:2.85$	$2=63.0$	
$r1=16.518$	$d1=1.00$	$n1=1.77250$	$1=49.6$
* $r2=2.812$ (回折面)	$d2=1.52$		
$r3=5.072$	$d3=1.70$	$n2=1.80518$	$2=25.4$
$r4=9.180$	$d4=可変$		
$r5=0.000$ (絞り)	$d5=可変$		
* $r6=4.374$	$d6=3.25$	$n3=1.67790$	$3=55.3$
$r7=-8.279$	$d7=0.13$		
$r8=-8.827$	$d8=2.00$	$n4=1.80518$	$4=25.4$
* $r9=20.374$	$d9=可変$		
$r10=18.507$	$d10=1.10$	$n5=1.51633$	$5=64.1$
$r11=1586.291$	$d11=1.00$		
$r12=0.000$	$d12=3.10$	$n6=1.51633$	$6=64.2$
$r13=0.000$			

20

【0044】

焦点距離

3.75	7.37	11.00	
$d4=7.64$	2.55	2.10	
$d5=4.88$	2.94	1.00	
$d9=2.43$	6.37	10.32	

30

【0045】

非球面係数

2面	$r=2.81245 \cdot 10^0$	$k=-2.82491 \cdot 10^{-1}$	$B=-2.09075 \cdot 10^{-3}$
	$C=-2.58187 \cdot 10^{-4}$	$D=3.72765 \cdot 10^{-5}$	$E=-4.99400 \cdot 10^{-6}$
6面	$r=4.37416 \cdot 10^0$	$k=-2.03479 \cdot 10^{-1}$	$B=-2.16103 \cdot 10^{-4}$
	$C=2.32139 \cdot 10^{-5}$	$D=-2.69331 \cdot 10^{-6}$	$E=0.00000 \cdot 10^0$
9面	$r=2.03739 \cdot 10^1$	$k=-3.45356 \cdot 10^1$	$B=3.96398 \cdot 10^{-3}$
	$C=4.44621 \cdot 10^{-4}$	$D=-4.41524 \cdot 10^{-5}$	$E=8.49502 \cdot 10^{-6}$

40

【0046】

位相係数

2面	$C_1=-2.73173 \cdot 10^{-3}$	$C_2=4.79617 \cdot 10^{-4}$	$C_3=-3.11298 \cdot 10^{-5}$
	$C_4=5.39271 \cdot 10^{-7}$		

50

【0047】

数值参考例 2

$f=3.75009$	$fno=1:2.8$	$2=62.9^\circ$	
$r1=19.911$	$d1=1.00$	$n1=1.77250$	$1=49.6$
* $r2=2.924$	$d2=1.50$		
$r3=5.199$	$d3=1.70$	$n2=1.80518$	$2=25.4$

r4= 9.470	d4=可变		
r5= 0.000(絞り)	d5=可变		
* r6= 4.177	d6=3.25	n3=1.67790	3=55.3
r7= -7.319	d7=0.13		
r8= -8.095	d8=2.00	n4=1.84666	4=23.8
* r9= 23.672	d9=可变		
r10=-23.522(回折面)	d10=1.10	n5=1.51633	5=64.1
r11=-10.465	d11=1.00		
r12= 0.000	d12=3.10	n6=1.51633	6=64.2
r13= 0.000			

10

【0048】

焦点距離

3.75	7.38	11.00	
d4	6.71	1.98	1.52
d5	4.50	2.75	1.00
d9	2.20	5.96	9.71

【0049】

非球面係数

2面	r= 2.92356 · 10 ⁰	k=-2.13294 · 10 ⁻¹	B=-1.66532 · 10 ⁻³	
	C=-2.65729 · 10 ⁻⁴	D= 2.78451 · 10 ⁻⁵	E=-4.22498 · 10 ⁻⁶	20
6面	r= 4.17748 · 10 ⁰	k=-3.38936 · 10 ⁻¹	B=-1.38841 · 10 ⁻⁴	
	C= 3.51215 · 10 ⁻⁵	D=-4.26335 · 10 ⁻⁶	E= 0.00000 · 10 ⁰	
9面	r= 2.36717 · 10 ¹	k=-3.79872 · 10 ¹	B= 4.11618 · 10 ⁻³	
	C= 4.71814 · 10 ⁻⁴	D=-2.22596 · 10 ⁻⁵	E= 7.02493 · 10 ⁻⁶	

【0050】

位相係数

10面	C ₁ =-4.96638 · 10 ⁻⁴	C ₂ = 4.28021 · 10 ⁻⁴	C ₃ =-2.67732 · 10 ⁻⁵	
	C ₄ =-1.43091 · 10 ⁻⁶			

【0051】

数値参考例3

f=6.00006	fno=1:2.84	2 =54.9 °		
r1= 13.483	d1=1.20	n1=1.69680	1=55.5	
r2= 6.036	d2=2.00			
r3= 36.212	d3=1.20	n2=1.69350	2=53.2	
* r4= 7.600	d4=1.72			
r5= 9.515	d5=1.30	n3=1.80518	3=25.4	
r6= 20.705	d6=可变			
r7= 0.000(絞り)	d7=1.50			
* r8= 6.489(回折面)	d8=2.30	n4=1.58313	4=59.4	
r9=-2149.780	d9=1.32			40
r10= 24.069	d10=1.00	n5=1.69895	5=30.1	
r11= 5.466	d11=0.32			
r12= 11.081	d12=1.40	n6=1.77250	6=49.6	
r13=-116.517	d13=可变			
r14= 55.036	d14=1.50	n7=1.51633	7=64.1	
r15=-28.037	d15=1.00			
r16= 0.000	d16=4.13	n8=1.51633	8=64.2	
r17= 0.000				

【0052】

焦点距離

50

	6.00	13.92	18.00
d6	16.35	3.97	1.85
d15	5.99	15.89	20.99

【0053】

非球面係数

4面	$r = 7.60014 \cdot 10^0$	$k = -5.05839 \cdot 10^{-1}$	$B = -9.16037 \cdot 10^{-5}$
	$C = -4.12196 \cdot 10^{-6}$	$D = 0.00000 \cdot 10^0$	$E = 0.00000 \cdot 10^0$
8面	$r = 6.48883 \cdot 10^0$	$k = -7.13274 \cdot 10^{-1}$	$B = 1.19802 \cdot 10^{-4}$
	$C = -2.22194 \cdot 10^{-6}$	$D = -5.49430 \cdot 10^{-7}$	$E = 2.44790 \cdot 10^{-8}$

【0054】

位相係数

8面	$C_1 = -1.26069 \cdot 10^{-3}$	$C_2 = 4.67730 \cdot 10^{-5}$	$C_3 = -3.98604 \cdot 10^{-6}$
	$C_4 = 1.11279 \cdot 10^{-5}$		

【0055】

ここで、条件式(3)、(4)、(6)の数値実施例、数値参考例における数値を次に示す。

【0056】

	数値参考例 1	数値実施例	数値参考例 2	数値参考例 3
(3) $ C_2/C_1 $	0.040	-0.176	-0.862	-0.037
(4) $ C_3/C_1 $	-0.034	0.011	0.054	0.003
(6) $F_1 / (F_w \cdot F_t)^{1/2}$	-1.260	-1.259	-1.230	-1.217

【0057】

図5～図16は参考例1、実施例、参考例2、3の広角状態、中間状態、望遠状態の収差図を順次に示している。

【0058】

回折光学素子はホログラフィック光学素子(HOE)の製作手法であるリソグラフィック手法によって、2値的に製作した光学素子であるバイナリオプティクス(BINARY OPTIC S)で製作してもよい。この場合に更に回折効率を上げるためにキノフォームと呼ばれる鋸状の形状にしてもよい。また、これらの方で作成した型によって成形によって製造することもできる。

【0059】

回折光学面は光学面の上に施されるのであるが、そのベースは球面又は平面又は非球面でも支障はない。また、それらの光学面にプラスチック等の膜を回折光学面として添付する方法、所謂レプリカ非球面で作成してもよい。

【0060】

前述の実施例、参考例における回折光学素子の回折格子形状は、図17に示すキノフォーム形状をしている。この回折格子は基材1の表面に紫外線硬化樹脂を塗布し、この樹脂部2に波長530nmで1次回折効率が100%となるような格子厚dの回折格子3を形成している。図18はこの回折光学素子の1次回折効率の波長依存特性を示し、設計次数での回折効率は最適化した波長530nmから離れるに従って低下し、一方で設計次数近傍の次数0次、2次回折光が増大している。この設計次数以外の回折光の増加はフレアとなり、光学系の解像度の低下につながる。

【0061】

図19は図17の格子形状を用いた場合の数値参考例1の空間周波数に対するMTF(Modulation transfer function)特性を示し、低周波数領域のMTFが所望の値より低下していることが分かる。

【0062】

そこで、図20に示す積層型の回折格子により格子形状と形成することが考えられる。基材1上に紫外線硬化樹脂($nd = 1.499$ 、 $d = 54$)から成る第1の回折格子4を形成し、その上に別の紫外線硬化樹脂($nd = 1.598$ 、 $d = 28$)から成る第2の回折格子5を形成している。この材質の組み合わせでは、第1の回折格子4の格子はd

10

30

40

50

1 は $d_1 = 18.8 \mu m$ 、第 2 の回折格子 5 の格子は $d_2 = 10.5 \mu m$ としている。

【0063】

図 21 はこの構成の回折光学素子の 1 次回折効率の波長依存特性であり、この図 21 から分かるように積層構造の回折格子にすることで、設計次数の回折効率は、使用波長域全域で 95% 以上の高い回折効率を有している。図 22 はこの場合の空間周波数に対する数値参考例 1 の MTF 特性を示し、積層構造の回折格子を用いることで、低周波数の MTF は改善され、所望の MTF 特性が得られている。このように、本発明の実施例、参考例の回折光学素子として積層構造の回折格子を用いることで、光学性能は更に改善される。

【0064】

なお、前述の積層構造の回折光学素子として、材質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なども使用できるし、基材によっては第 1 の回折格子 4 を直接基材 1 に形成してもよい。また、各格子の厚さが異なる必要はなく、材料の組み合わせによっては図 23 に示すように 2 つの格子の厚みを等しくできる。この場合には、回折光学素子の表面に格子形状が形成されないので、防塵性に優れ、回折光学素子の組み立て作業性が向上し、より安価な光学系が得られる。

【0065】

【発明の効果】

以上説明したように本発明に係るズームレンズは、前玉径が小型で、画角が広く、高変倍比を確保しながら、機構を含めた簡略化、小型軽量化を図った全ズーム域、全物体距離に渡って良好な性能が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 参考例 1 のレンズ構成図である。

【図 2】 実施例のレンズ構成図である。

【図 3】 参考例 2 のレンズ構成図である。

【図 4】 参考例 3 のレンズ構成図である。

【図 5】 参考例 1 の広角状態の収差図である。

【図 6】 参考例 1 の中間状態の収差図である。

【図 7】 参考例 1 の望遠状態の収差図である。

【図 8】 実施例の広角状態の収差図である。

【図 9】 実施例の中間状態の収差図である。

【図 10】 実施例の望遠状態の収差図である。

【図 11】 参考例 2 の広角状態の収差図である。

【図 12】 参考例 2 の中間状態の収差図である。

【図 13】 参考例 2 の望遠状態の収差図である。

【図 14】 参考例 3 の広角状態の収差図である。

【図 15】 参考例 3 の中間状態の収差図である。

【図 16】 参考例 3 の望遠状態の収差図である。

【図 17】 回折光学素子の断面図である。

【図 18】 波長依存特性のグラフ図である。

【図 19】 MTF 特性のグラフ図である。

【図 20】 積層構造の回折光学素子の断面図である。

【図 21】 波長依存特性のグラフ図である。

【図 22】 MTF 特性のグラフ図である。

【図 23】 他の積層構造の回折素子の断面図である。

【符号の説明】

L 1 第 1 レンズ群

L 2 第 2 レンズ群

L 3 第 3 レンズ群

1 基材

10

20

30

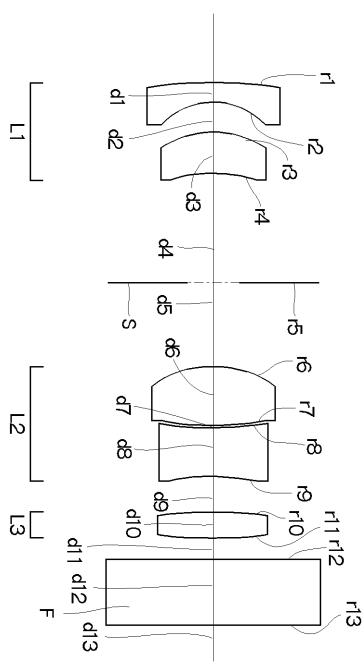
40

50

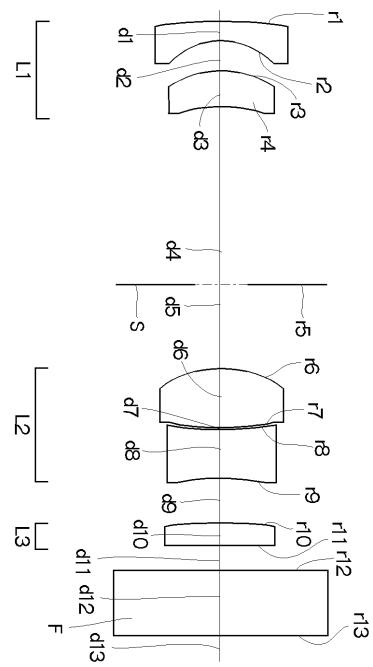
2 樹脂部

3、4、5 回折格子

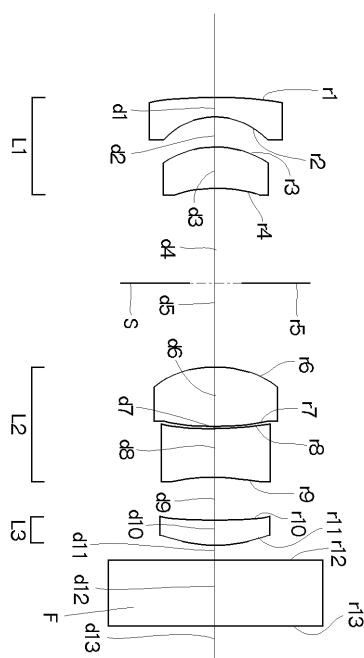
【 四 1 】



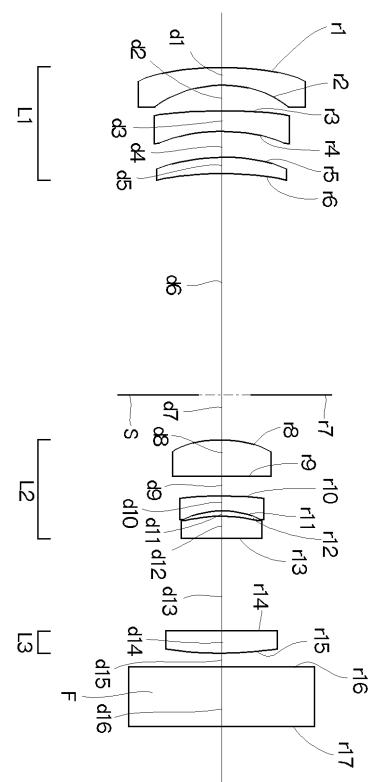
【 図 2 】



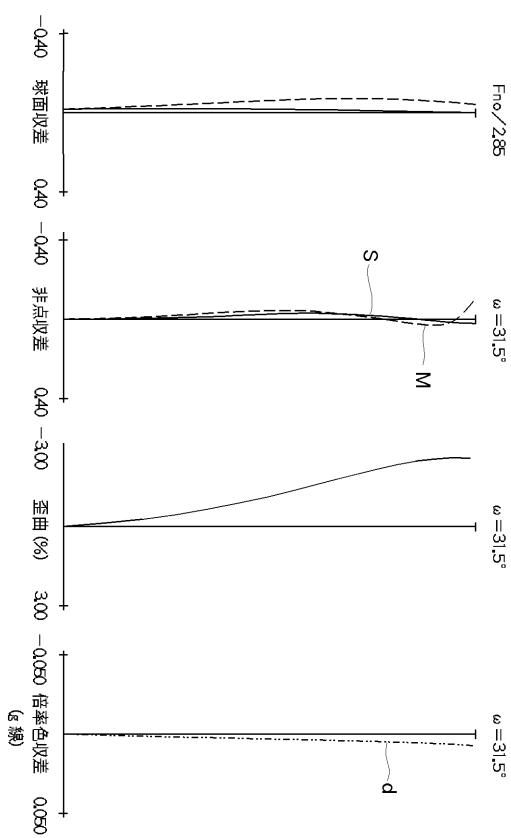
【図3】



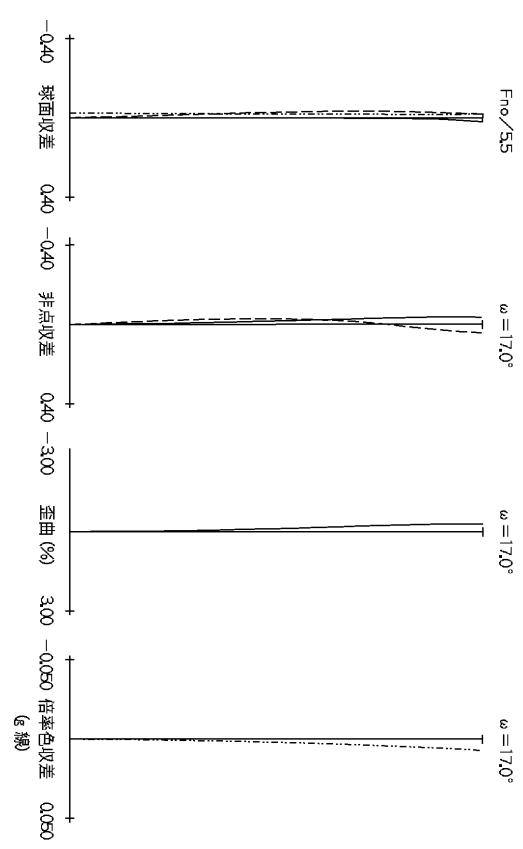
【図4】



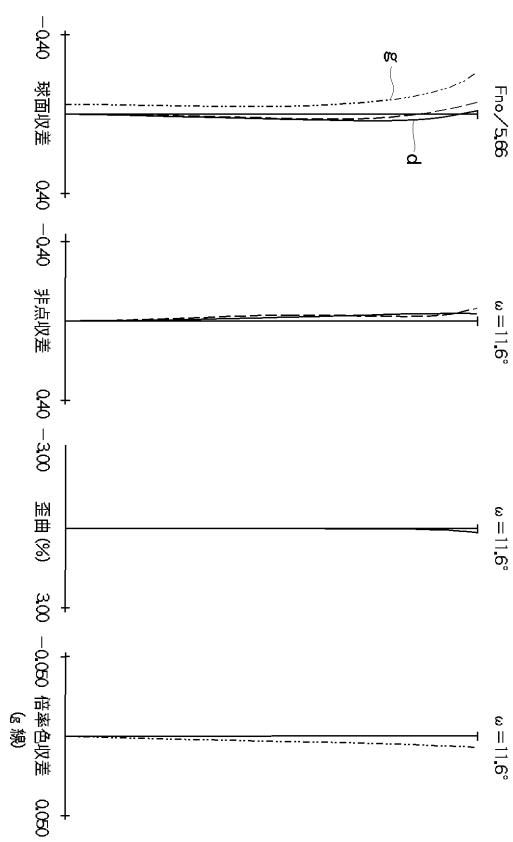
【図5】



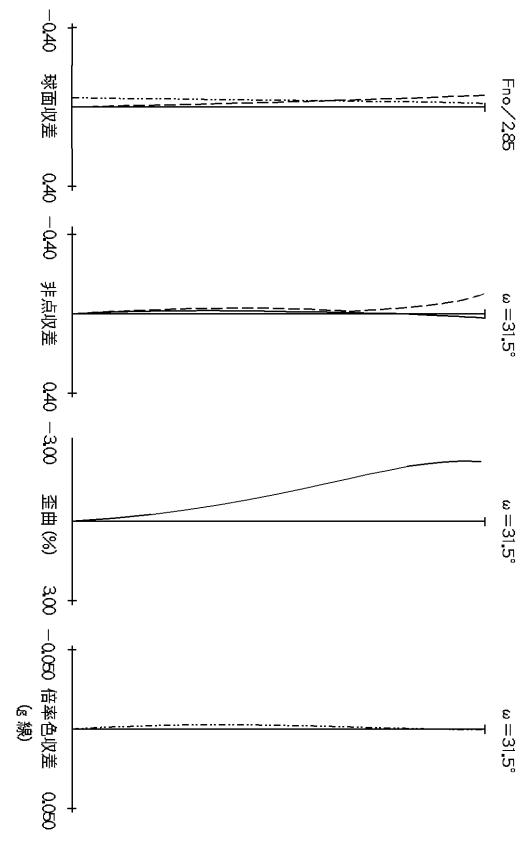
【図6】



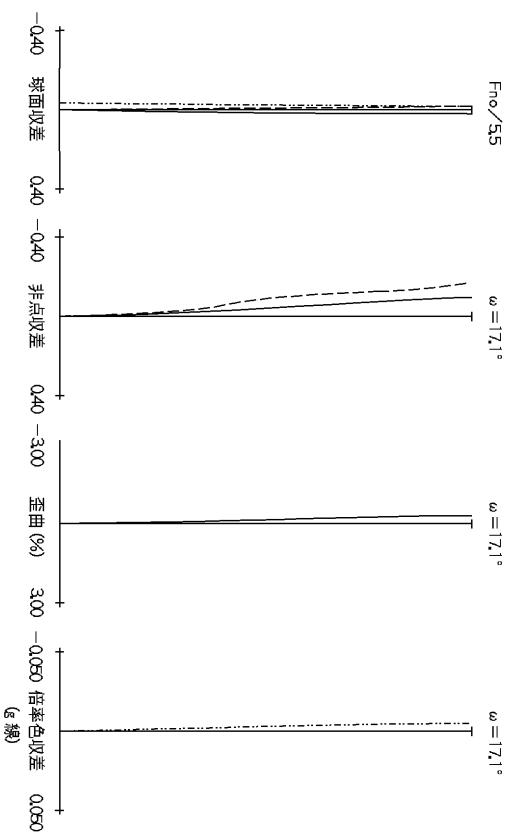
【図 7】



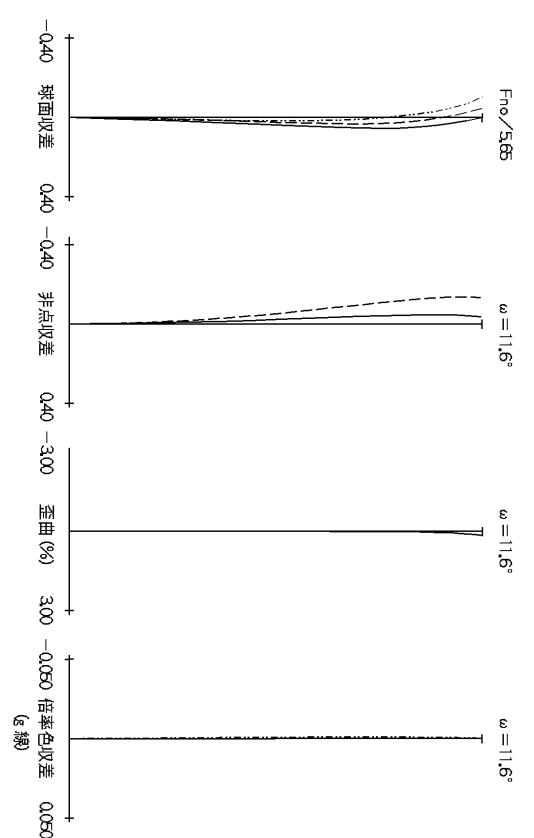
【図 8】



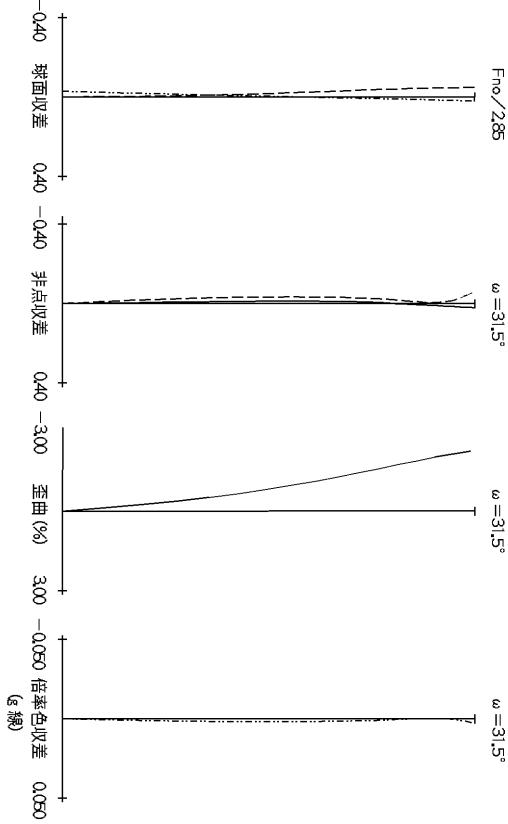
【図 9】



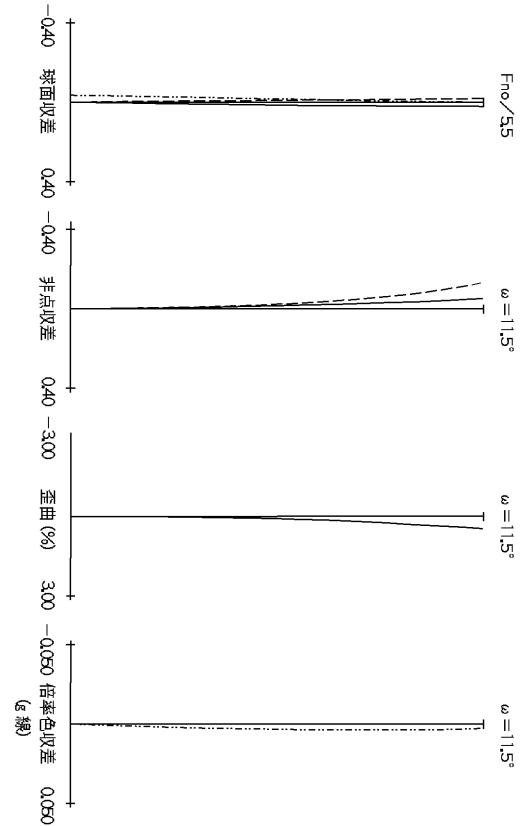
【図 10】



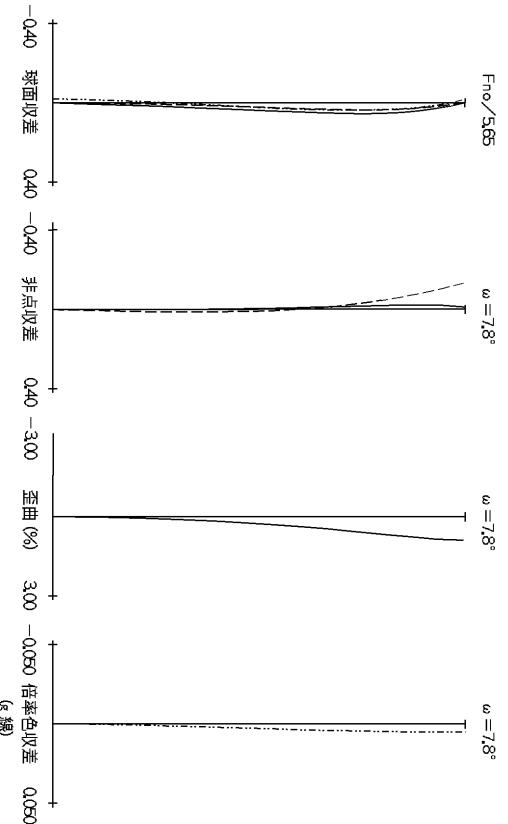
【図 1】



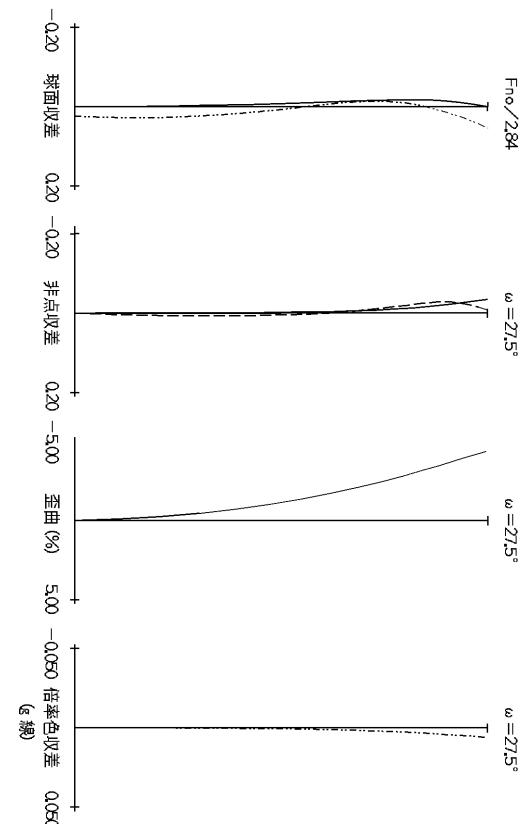
【図 1 2】



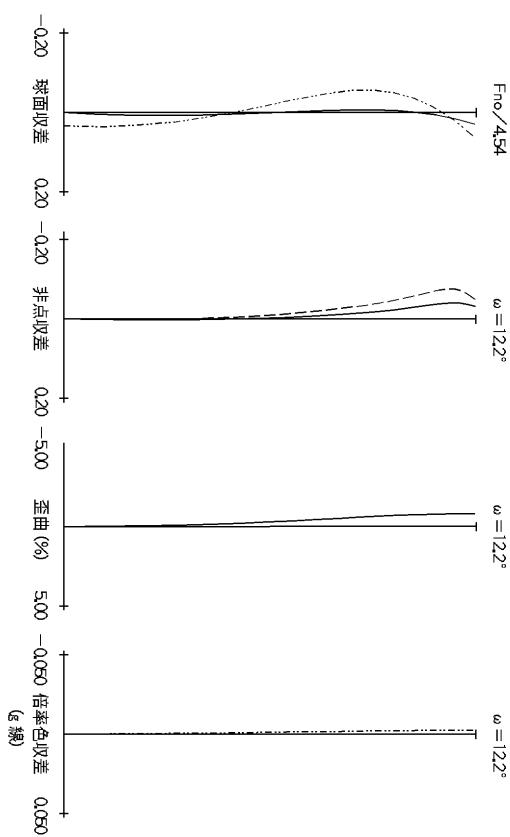
【図 1 3】



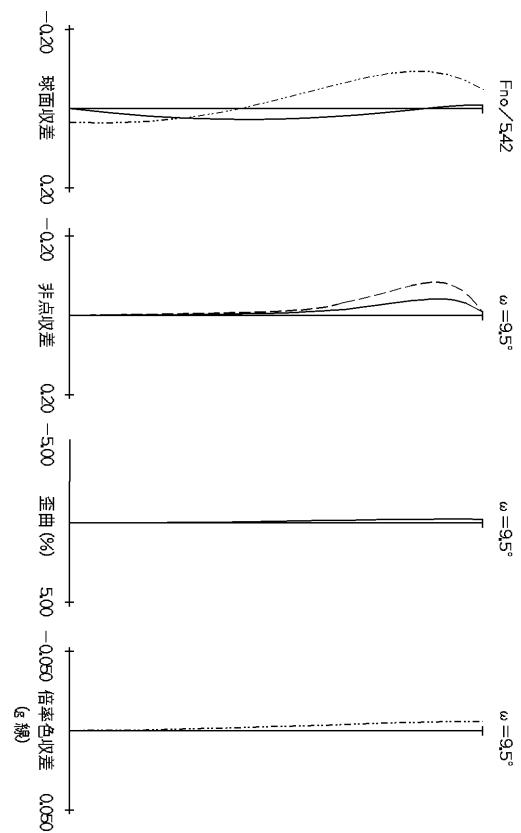
【図 1 4】



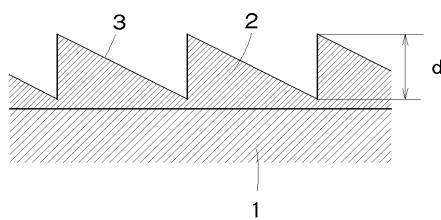
【図 15】



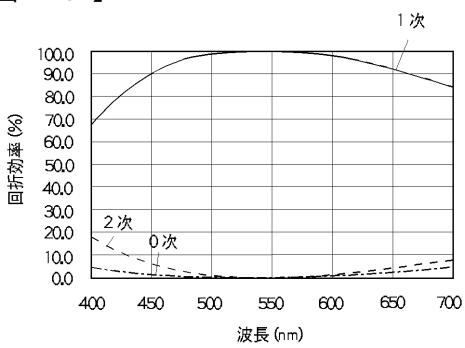
【図 16】



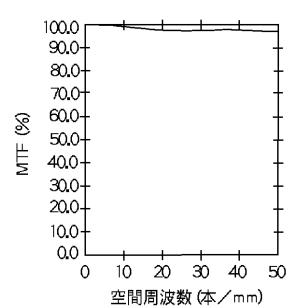
【図 17】



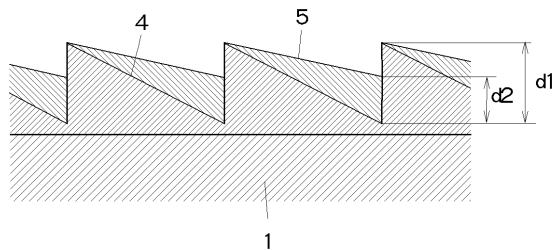
【図 18】



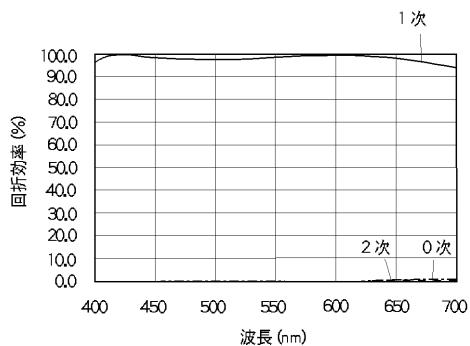
【図 19】



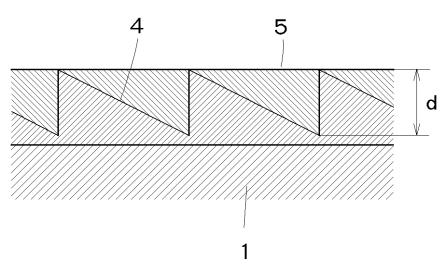
【図 20】



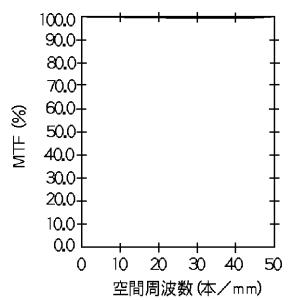
【図21】



【図23】



【図22】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平10-082953(JP,A)
特開平10-082952(JP,A)
特開平10-161022(JP,A)
特開平07-261083(JP,A)
特開平09-197273(JP,A)
特開平09-197274(JP,A)
特開平09-127322(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 15/163

G02B 5/18

G02B 13/18