

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4956102号  
(P4956102)

(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

G O 2 B 15/20 (2006.01)

G O 2 B 15/20

G O 2 B 13/18 (2006.01)

G O 2 B 13/18

請求項の数 7 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2006-243938 (P2006-243938)  
 (22) 出願日 平成18年9月8日(2006.9.8)  
 (65) 公開番号 特開2008-65124 (P2008-65124A)  
 (43) 公開日 平成20年3月21日(2008.3.21)  
 審査請求日 平成21年9月3日(2009.9.3)

(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 田代 欣久  
 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 井上 信

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撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側より像側に順に、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レンズ群より構成され、ズーミングに際し前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間隔及び前記第2レンズ群と前記第3レンズ群との間隔を変化させるズームレンズにおいて、

該第2レンズ群は、光軸に対し垂直な方向に材料の屈折率が変化する屈折率分布型レンズから構成され、

光軸から垂直な方向の距離  $h$  における波長  $\lambda$  での屈折率  $N(h)$  は、波長  $\lambda$  における  $h^0$  乗、 $h^2$  乗、 $h^4$  乗・・・の係数を  $N_{00}$ 、 $N_{10}$ 、 $N_{20}$  ... とするとき、

$$N(h) = N_{00} + N_{10} * h^2 + N_{20} * h^4 + \dots$$

で表されるものであり、該係数  $N_{00}$  に相当する  $d$  線に対する値を  $N_{00d}$  とし、該屈折率分布型レンズは、材料の屈折率が  $N_{00d}$  の薄肉均質レンズであるとしたときの屈折力を  $2s$ 、該第2レンズ群の屈折力を  $2$  とするとき

$$-1.85 < 2s / 2 < 1$$

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】

前記材料の屈折率が  $N_{00d}$  の薄肉均質レンズであるとしたときの屈折力を  $2s$ 、前記第2レンズ群の屈折力を  $2$  とするとき

$$-1.85 < 2s / 2 < 0.750$$

なる条件を満足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 3】

前記材料の屈折率が  $N00d$  の薄肉均質レンズであるとしたときの屈折力を  $2s$ 、前記第 2 レンズ群の屈折力を  $2$  とするとき

$$-1.85 < 2s / 2 < 0.5$$

なる条件を満足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 4】

前記屈折率分布型レンズは、前記係数  $N00$  に相当する  $d$ 、 $g$ 、 $C$  線に対する値を順に  $N00d$ 、 $N00g$ 、 $N00C$ 、

該係数  $N10$  に相当する  $d$ 、 $g$ 、 $C$  線に対する値を順に  $N10d$ 、 $N10g$ 、 $N10C$  とし、

これらの値に対する屈折率分布型レンズの材料のアップベ数  $V00g$ 、 $V10g$  を

$$V00g = (N00d - 1) / (N00g - N00C)$$

$$V10g = N10d / (N10g - N10C)$$

とし、該屈折率分布型レンズを材料の屈折率が  $N00d$  の薄肉均質レンズであるとしたときの屈折力を  $2s$ 、屈折率分布媒質によって生ずる屈折力を  $2m$  とするとき

$$-1.5 < (2s / V00g + 2m / V10g) / (2 / V00g) < 1$$

なる条件を満足することを特徴とする、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 5】

前記屈折率分布型レンズの中心厚を  $t2$ 、前記ズームレンズの広角端における焦点距離を  $fw$  とするとき、

$$0.1 < t2 / fw < 1$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 6】

前記屈折率分布型レンズは、少なくとも 1 面が非球面形状であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のズームレンズ。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項のズームレンズと、該ズームレンズによって形成される像を受光する光電変換素子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】

【0001】

本発明はスチルカメラやビデオカメラ、そしてデジタルスチルカメラ等に好適なズームレンズ及びそれを有する撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

最近、固体撮像素子を用いたビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の撮像装置（カメラ）には、高機能であること、そしてカメラ全体がコンパクト（小型）であることが要望されている。そしてそれに伴い、これらのカメラに用いる光学系（撮像光学系）には、レンズ枚数が少なく、小型で、しかも高い光学性能を有するズームレンズであることが求められている。

【0003】

この種のカメラには、レンズ最後部と撮像素子との間に、ローパスフィルターや色補正フィルターなどの各種の光学部材が配置される。この為、それに用いるズームレンズには、比較的バックフォーカスが長いことが要求される。

【0004】

更に、カラー画像用の撮像素子を用いたカラーカメラの場合には、色のシェーディング

を避けるため、像側がテレセントリックであることが要求されている。

【 0 0 0 5 】

バックフォーカスが長く、像側のテレセントリック特性の良いズームレンズとして、物体側より像側へ順に、負の屈折力の第 1 レンズ群、正の屈折力の第 2 レンズ群、及び正の屈折力の第 3 レンズ群より成る 3 群ズームレンズが知られている(特許文献 1、2)。

【 0 0 0 6 】

一方、レンズ内部での屈折率が一様でない材料より成る屈折率分布型レンズが知られている。

【 0 0 0 7 】

屈折率分布型レンズでは、レンズ境界面で光線が屈折する光学作用の他に、光線が屈折率分布媒質中を伝播するときに受ける光学作用が加わる。このため、屈折率が一様な材料より成る均質レンズと比べて収差補正の自由度が高いことが知られている(非特許文献 1)。

【 0 0 0 8 】

このうち、光軸(レンズ中心)から垂直方向(レンズ周辺部)にかけて材料の屈折率が分布する、所謂ラジアル型屈折率分布レンズは、ペッツパール和や色収差の補正も可能あることが知られている(非特許文献 2、3)。

【 0 0 0 9 】

負メニスカス形状で正の屈折力をもつラジアル型屈折率分布レンズをレトロフォーカス型のズームレンズに用いることで、軸外収差を良好に補正し、光学系全体のコンパクト化を図ったズームレンズが知られている(特許文献 3)。

【 0 0 1 0 】

また、光軸と垂直方向に屈折率とアッペ数が増加するような平板のラジアル型屈折率分布レンズを用いて色収差の補正を良好に行ったズームレンズが知られている(特許文献 4)。

【 0 0 1 1 】

また、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、正の屈折力の第 3 レンズ群より成り、第 2 レンズ群を 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズで構成したズームレンズが知られている(特許文献 5)。特許文献 5 では第 2 レンズ群を、凹形状でありレンズ全体で正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズを用いて、第 2 レンズ群内でのペッツパール和と色収差を補正し、光学系全体の構成レンズ枚数を削減しつつ良好な光学性能を得ている。

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 6 6 5 0 3 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 1 - 2 8 1 5 4 5 号公報

【特許文献 3】特許第 2 8 3 6 6 9 1 号公報

【特許文献 4】特開平 6 - 3 3 7 3 4 7 号公報

【特許文献 5】特開 2 0 0 4 - 2 4 0 4 6 4 号公報

【非特許文献 1】J . O p t . S o c . A m . , 6 0 , 1 4 3 6 ( 1 9 7 0 )

【非特許文献 2】A p p l . O p t . , 1 9 , 1 0 8 1 ( 1 9 8 0 )

【非特許文献 3】A p p l . O p t . , 2 1 , 9 9 3 ( 1 9 8 2 )

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 2 】

近年、カメラのコンパクト化とそれに用いるズームレンズの高倍化を両立することが行われている。このための 1 つの方法として、非撮影時に各レンズ群の間隔を撮影状態と異なる間隔まで縮小し、カメラ本体からのレンズの突出量を少なくする所謂沈胴式がある。

【 0 0 1 3 】

ズームレンズを構成する各レンズ群のレンズ枚数が多いと、各レンズ群の光軸上の長さが長くなる(レンズ全長が長くなる)。この結果、非撮影時に各レンズ群を繰り込んで所望の沈胴長が得られず、沈胴式を利用するのが難しくなってくる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 4 】

光学設計分野では、光学系を構成するレンズ面を非球面形状とすることによって、全体のレンズ枚数を削減する手法が多く取られている。

## 【 0 0 1 5 】

しかしながら非球面を用いた場合、単色での結像性能に関わる収差は補正できるものの、硝材選択が支配的となる色収差を補正することが困難となる。

## 【 0 0 1 6 】

特にズームレンズを構成する複数のレンズ群のうち、任意の1つのレンズ群を1枚のレンズで構成すると、そのレンズ群内では色収差を補正することができない。

## 【 0 0 1 7 】

以上のように、光学系全体のコンパクト化のために構成レンズ枚数を削減すると収差補正が不十分となるため、光学系のコンパクト化と高画質化を両立させる事は大変困難である。

## 【 0 0 1 8 】

特許文献3では、負メニスカス形状で正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズを用いることで光学系のコンパクト化を図っている。しかしながら、屈折率分布型レンズが球面のみで構成されているため、レンズ群を1枚で構成することが難しい。

## 【 0 0 1 9 】

特許文献4では、平板のラジアル型屈折率分布レンズを用いることで均質レンズの色収差を補正している。しかしながら屈折率分布型レンズが平板で構成されているため、この平面では単色収差の補正に用いられていないため補正効果が必ずしも十分でない。

## 【 0 0 2 0 】

特許文献5では、凹形状のラジアル型屈折率分布レンズを用いて正の屈折力をもつ第2レンズ群を1枚で構成している。

## 【 0 0 2 1 】

しかし、レンズ形状が与える負の屈折力が大きく、レンズ中心と有効径端(レンズ周辺部)での屈折率差が小さいため、収差補正に必要な屈折率分布媒質による屈折力を得るためにレンズ厚が厚くなる傾向があった。このため、沈胴式を用いるズームレンズでは沈胴長の短縮に不利となっている。

## 【 0 0 2 2 】

本発明は、全系の構成レンズ枚数が少なく、レンズ全長が短く且つ色収差を含む諸収差を良好に補正した高い光学性能を有するズームレンズ及びそれを有する撮像装置の提供を目的とする。

## 【 0 0 2 3 】

この他本発明は、ラジアル型屈折率分布レンズを用いることで、構成レンズ枚数が少なくコンパクトでありながら諸収差が良好に補正されたズームレンズの提供を目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 2 4 】

本発明のズームレンズは、物体側より像側に順に、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レンズ群より構成され、ズーミングに際し前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間隔及び前記第2レンズ群と前記第3レンズ群との間隔を変化させるズームレンズにおいて、

該第2レンズ群は、光軸に対し垂直な方向に材料の屈折率が変化する屈折率分布型レンズから構成され、

光軸から垂直な方向の距離  $h$  における波長  $\lambda$  での屈折率  $N(h)$  は、波長  $\lambda$  における  $h^0$  乗、 $h^2$  乗、 $h^4$  乗・・・の係数を  $N_{00}$ 、 $N_{10}$ 、 $N_{20}$  ... とするとき、

$$N(h) = N_{00} + N_{10} * h^2 + N_{20} * h^4 + \dots$$

で表されるものであり、該係数  $N_{00}$  に相当する  $d$  線に対する値を  $N_{00}d$  とし、該屈折率分布型レンズは、材料の屈折率が  $N_{00}d$  の薄肉均質レンズであるとしたときの屈折力を  $2s$ 、該第2レンズ群の屈折力を  $2$  とするとき

10

20

30

40

50

$-1.85 < 2s/2 < 1$   
 なる条件を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、全系の構成レンズ枚数が少なく、レンズ全長が短く且つ色収差を含む諸収差を良好に補正した高い光学性能を有するズームレンズが得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

【実施例1】

10

【0027】

以下、本発明のズームレンズ及びそれを有する撮像装置の実施例について説明する。

【0028】

図1は本発明の実施例1のズームレンズの広角端(短焦点距離端)におけるレンズ断面図、図2、図3、図4はそれぞれ実施例1のズームレンズの広角端、中間のズーム位置、望遠端(長焦点距離端)における収差図である。

【0029】

実施例1は、ズーム比2.0、開口比2.80～3.31程度のズームレンズである。

【0030】

図5は本発明の実施例2のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図、図6、図7、図8はそれぞれ実施例2のズームレンズの広角端、中間のズーム位置、望遠端における収差図である。

20

【0031】

実施例2は、ズーム比2.0、開口比2.80～3.36程度のズームレンズである。

【0032】

図9は本発明の実施例3のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図、図10、図11、図12はそれぞれ実施例3のズームレンズの広角端、中間のズーム位置、望遠端における収差図である。

【0033】

実施例3は、ズーム比2.0、開口比2.80～3.34程度のズームレンズである。

30

【0034】

図13は本発明の実施例4のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図、図14、図15、図16はそれぞれ実施例4のズームレンズの広角端、中間のズーム位置、望遠端における収差図である。

【0035】

実施例4は、ズーム比3.05、開口比2.83～4.28程度のズームレンズである。

【0036】

図17は本発明の実施例5のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図、図18、図19、図20はそれぞれ実施例5のズームレンズの広角端、中間のズーム位置、望遠端における収差図である。

40

【0037】

実施例5は、ズーム比2.8、開口比2.95～3.36程度のズームレンズである。

【0038】

図21は本発明の実施例6のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図、図22、図23、図24はそれぞれ実施例6のズームレンズの広角端、中間のズーム位置、望遠端における収差図である。

【0039】

実施例6は、ズーム比3.0、開口比2.80～4.04程度のズームレンズである。

【0040】

50

図 25 は本発明の実施例 7 のズームレンズの広角端におけるレンズ断面図、図 26、図 27、図 28 はそれぞれ実施例 7 のズームレンズの広角端、中間のズーム位置、望遠端における収差図である。

【0041】

実施例 7 は、ズーム比 4.09、開口比 2.92 ~ 4.63 程度のズームレンズである。

【0042】

図 29 は本発明のズームレンズを備えるデジタルスチルカメラ(撮像装置)の要部概略図である。

【0043】

各実施例のズームレンズは撮像装置に用いられる撮影レンズ系である。各実施例のズームレンズを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 や CMOS センサ等の固体撮像素子(光電変換素子)の撮像面に被写体像を形成する。

【0044】

各レンズ断面図において、左方が被写体(物体)側(前方)で、右方が像側(後方)である。レンズ断面図において、L1 は負の屈折力(光学的パワー=焦点距離の逆数)の第 1 レンズ群、L2 は正の屈折力の第 2 レンズ群、L3 は正の屈折力の第 3 レンズ群である。

【0045】

SP は開口絞りであり、第 2 レンズ群 L2 の物体側に位置している。IP は像面である。

【0046】

収差図において、d, g, C は各々 d 線, g 線, C 線である。

【0047】

M、S は各々メリディオナル像面、サジタル像面を表している。倍率色収差は g 線と C 線によって表している。Fno は F ナンバー、 $\omega$  は半画角である。

【0048】

尚、各実施例において広角端と望遠端は変倍用のレンズ群(第 2 レンズ群 L2 と第 3 レンズ群 L3)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。

【0049】

各実施例のズームレンズは、第 1 レンズ群 L1、第 2 レンズ群 L2、第 3 レンズ群 L3 が、ズームングに際し第 1 レンズ群と第 2 レンズ群の間隔、および第 2 レンズ群と第 3 レンズ群の間隔が変化するように移動する。別の言い方をすれば、ズームングに際して、第 1 レンズ群と第 2 レンズ群、及び第 2 レンズ群と第 3 レンズ群は互いに異なる軌跡で移動している。第 1 レンズ群と第 3 レンズ群も互いに異なる軌跡で移動していることが望ましい。

【0050】

第 2 レンズ群 L2 は、光軸から垂直方向にかけて材料の屈折率が変化する屈折率分布を有する 1 枚の屈折率分布型レンズから構成されている。

【0051】

このとき、光軸から垂直方向の距離 h における波長  $\lambda$  での屈折率  $N(h)$  は、波長  $\lambda$  における  $h^0$  乗、 $h^2$  乗、 $h^4$  乗・・・係数を  $N_{00}$ 、 $N_{10}$ 、 $N_{20}$  ... として、次のように表されるものとしている。

【0052】

$$N(h) = N_{00} + N_{10} * h^2 + N_{20} * h^4 + \dots \quad (a)$$

(a) 式の係数  $N_{00}$  に相当する d, g, C 線に対する値を順に  $N_{00d}$ ,  $N_{00g}$ ,  $N_{00C}$  とする。また、(a) 式の係数  $N_{10}$  に相当する d, g, C 線に対する値を順に  $N_{10d}$ ,  $N_{10g}$ ,  $N_{10C}$  とする。このとき、屈折率分布型レンズにおいてアッベ数と等価なアッベ数  $V_{00g}$ ,  $V_{10g}$  は次のように表される。

10

20

30

40

50

【0053】

$$V00g = (N00d - 1) / (N00g - N00C)$$

$$V10g = N10d / (N10g - N10C)$$

基準光線を d 線として、ラジアル型屈折率分布レンズを材料が屈折率 N00d の薄肉均質レンズと考えた場合の屈折力 (面の屈折力) を s とする。また、屈折率分布媒質の持つ屈折力 (媒質の屈折力) を  $m = -2 * N10d * t$  (t はレンズ厚) とする。このとき、ラジアル型屈折率分布レンズのペッツバール項 PTZ と近軸軸上色収差 PAC は、薄肉近似の下で次のように表せる。

【0054】

$$PTZ = s / N00d + m / N00^2$$

$$PAC = (s / V00g + m / V10g)$$

また、ラジアル型屈折率分布レンズの全体の屈折力は次のように表される。

【0055】

$$= s + m$$

上式を見て解るように、ラジアル型屈折率分布レンズのペッツバール項 PTZ、近軸軸上色収差 PAC は、面で生じる項と媒質で生じる項の和となっており、面と媒質の項でそれぞれ分母が異なる。ゆえに、各実施例では屈折率分布型のレンズ全体として等しい屈折力を持つ場合であっても、面の屈折力と媒質の屈折力の比率を変えることにより、レンズのペッツバール項、近軸軸上色収差がコントロールできる。

【0056】

例えば正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズの場合、媒質もつ屈折力の比率を大きくするとペッツバール項が均質レンズの場合よりも小さくできる。また、屈折率分布の 2 次の項 N10 を波長毎に制御することで、色収差をコントロールできる。

【0057】

本実施例では、N10 を波長毎に制御することで、ペッツバール和、色収差をコントロールしている。

【0058】

(a) 式の係数 N00 に相当する d 線に対する値を N00d とする。屈折率分布型レンズを材料の屈折率が N00d の薄肉均質レンズであるとしたときの屈折力を 2s とする。また、第 2 レンズ群 L2 の屈折率を 2 とする。このとき各実施例において

$$-1.85 < 2s / 2 < 1 \quad (1)$$

なる条件を満足している。

【0059】

ここで薄肉均質レンズの屈折力とは物体側と像側の面の曲率半径を各々 r1、r2、材料の屈折率を n とするとき

$$= (n - 1) * ((1 / r1) - (1 / r2))$$

で表されるものである。

【0060】

条件式 (1) は、ラジアル型屈折率分布レンズのペッツバール項を制限するための条件式である。上限を超えるとラジアル型屈折率分布レンズのペッツバール項が、均質レンズを用いた場合よりも大きな値を持つため好ましくない。

【0061】

また、下限を超えると、ラジアル型屈折率分布レンズの面で与えられる負の屈折力がより大きくなる。このときペッツバール項は均質レンズの場合より小さくできるものの、レンズ全体として正の屈折力をたせるため、屈折率分布媒質で与える正の屈折力を大きくしなければならない。屈折率分布媒質の屈折力を大きくするためには、光軸とレンズ周辺での屈折率差 (屈折率分布の大きさ) を大きくするか、レンズ厚を厚くする必要がある。

【0062】

つまり、下限を超えるとラジアル型屈折率分布レンズの屈折率分布の大きさが大きくなる、若しくは屈折率分布型レンズのコンパクト化に不利となるため好ましくない。

## 【 0 0 6 3 】

第2レンズ群L2が有するラジアル型屈折率分布レンズは、条件式(1)を満たすようにするのが良い。これによれば、屈折率分布が大きくなり過ぎたり、屈折率分布型レンズのコンパクト化を損なったりすること無く、第2レンズ群L2のもつペッツバル項を小さくすることができる。このとき、負の屈折力を持つ第1レンズ群L1と正の屈折力を持つ第3レンズ群L3の間でペッツバル項をバランスすると、光学系全体のペッツバル和を小さくすることができる。

## 【 0 0 6 4 】

条件式(1)は以下の範囲とすることで、より第2レンズ群L2のペッツバル項を小さくすることができる。

## 【 0 0 6 5 】

$$-1.85 < 2s/2 < 0.5 \dots (1a)$$

条件式(1a)は、さらに好ましくは以下の範囲とするのが良い。

## 【 0 0 6 6 】

$$-1.85 < 2s/2 < 0 \dots (1b)$$

屈折率分布型レンズを材料の屈折率がN00dの薄肉均質レンズであるとしたときの屈折力を2s、屈折率分布媒質によって生ずる屈折力を2mとする。このとき、各実施例において

$$-1.5 < (2s/V00g + 2m/V10g) / (2/V00g) < 1 \quad (2)$$

なる条件を満足している。

## 【 0 0 6 7 】

条件式(2)は、ラジアル型屈折率分布レンズで生ずる色収差を制限するための条件式である。条件式(2)の上限又は下限の範囲を超えると、ラジアル型屈折率分布レンズで生じる色収差が大きくなり、光学系全体での色消しが困難となるため好ましくない。

## 【 0 0 6 8 】

ここで、条件式(2)が正值を持つ場合は正の屈折力を持つ均質レンズと同じ方向に色収差が発生する。これに対して、負値を持つ場合、ラジアル型屈折率分布レンズは正の屈折力を持つにも関わらず通常の均質レンズと逆方向の色収差が生じる。

## 【 0 0 6 9 】

ゆえに、条件式(2)が負値を持つようなラジアル型屈折率分布レンズは均質レンズと異なった特性を示し、収差補正上有利となりうる。

## 【 0 0 7 0 】

第2レンズ群L2中の屈折率分布型レンズの中心厚をt2、ズームレンズの広角端における焦点距離をfwとする。このとき、各実施例において

$$0.1 < t2/fw < 1 \quad (3)$$

なる条件を満足している。

## 【 0 0 7 1 】

ラジアル型屈折率分布媒質で生ずる屈折力はレンズ厚に比例する。このため、レンズ厚が条件式(3)の下限を超えると、収差補正に必要な媒質の屈折力を得るための屈折率分布が大きくなり過ぎるため好ましくない。また、上限を超えると屈折率分布の大きさは小さくできるが、第2レンズ群L2の全長が均質レンズを複数枚用いた場合と変わらなくなり、ラジアル型屈折率分布レンズを用いて第2レンズ群L2の構成レンズ枚数を削減し全系のコンパクト化を図った効果が相殺されてしまう。

## 【 0 0 7 2 】

沈胴時のコンパクト化の観点から、条件式(3)は以下の範囲とすることがより好ましい。

## 【 0 0 7 3 】

$$0.1 < t2/fw < 0.7 \dots (3a)$$

条件式(3a)は、さらに以下の範囲とすることがより好ましい。

10

20

30

40

50



## 【0074】

$$0.1 < t^2 / fw < 0.5 \cdots (3b)$$

各実施例において、屈折率分布型レンズは、少なくとも1面が非球面形状である。

## 【0075】

光軸からの高さhの位置での光軸方向の面の変位を、面頂点を基準としてxとする。非球面係数をB、C、D、Eとし、近軸曲率半径をr、円錐係数をkとする。このとき非球面形状は次のように表せる。

## 【0076】

$$x = (h^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k) * (h / r)^2\}^{1/2}] + B * h^4 + C * h^6 + D * h^8 + E * h^{10} \quad (b)$$

10

ここで、(a)式のラジアル型屈折率分布における4次以上の項(N20、N30...)は、近軸的には屈折力は持たずに、均質レンズにおける非球面と同等の効果を持つことが知られている。つまり、光軸からの高さhが高くなるに従い屈折力が弱くなるような非球面形状(B<0)と、ラジアル型屈折率分布レンズでN20>0となる屈折率分布は、等価なものと考えることができる。

## 【0077】

まず、単色収差について考える。

## 【0078】

(b)式の非球面係数Bと(a)式の屈折率分布の4次の項N20が等価であるならば、ラジアル型屈折率分布レンズの面に非球面を用いることで、屈折率分布の4次の項N20と非球面形状Bを相互に置き換えることができる。ラジアル型屈折率分布レンズを球面のみで構成する場合、光学系の構成レンズ枚数を削減するため複雑な非球面効果を屈折率分布媒質のみで与えようとすると、屈折率分布の4次以上の高次項が肥大化する。このとき、ラジアル型屈折率分布レンズの動径方向(レンズ周辺方向)の屈折率分布に高次項の影響によるうねりが現れ好ましくない。そこで、各実施例ではラジアル型屈折率分布レンズに非球面を用いて屈折率分布の高次の項を非球面形状に可能な限り置き換えることによって、屈折率分布に無駄な分布がつくのを防いでいる。

20

## 【0079】

次に、色収差について考える。

均質レンズにおいて、非球面形状の面を用いて色収差を補正することは困難である。一方、ラジアル型屈折率分布レンズの場合、屈折率分布の4次以上の高次項を波長毎にコントロールすることで、波長毎に異なる非球面効果を与えることが可能となる。

30

## 【0080】

各実施例では、屈折率分布の4次の項N20を波長毎にコントロールし、球面収差やコマ収差を各波長で補正している。

また各実施例では、単色収差はできるだけ非球面形状の面で補正し、色収差は屈折率分布を制御することによって補正するように、ラジアル型屈折率分布レンズを用いている。

## 【0081】

尚、各実施例において諸収差のうち歪曲収差は、公知の電氣的な収差補正方法を用いて補正してもよい。

40

## 【0082】

各実施例は以上の様に各要素を設定する事により、特に、固体撮像素子を用いた撮影系に好適なズームレンズを得ている。

## 【0083】

特に構成レンズ枚数が少なくコンパクトで、沈胴式のズームレンズに適した、ズーム比が2~4倍程度の高い光学性能を有するズームレンズを達成している。

## 【0084】

次に各実施例の特徴について説明する。

## 【0085】

各実施例のズーム方式は、次のとおりである。

50

## 【 0 0 8 6 】

実施例 1 ~ 3、実施例 5 のズームレンズは、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 で構成されている。広角端から望遠端へのズームングに際して、第 1 レンズ群 L 1 が像側へ移動し、第 2、第 3 レンズ群 L 2、L 3 が物体側に互いに異なった軌跡で移動している。第 2、第 3 レンズ群 L 2、L 3 の移動により主な変倍を行い、第 1 レンズ群 L 1 の移動により変倍に伴う像点の移動を補償している。

## 【 0 0 8 7 】

実施例 4、実施例 6 ~ 7 のズームレンズは、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 で構成されている。広角端から望遠端へのズームングに際して、第 1 レンズ群 L 1 が像側に凸状の往復移動し、第 2、第 3 レンズ群 L 2、L 3 が物体側に互いに異なった軌跡で移動している。第 2、第 3 レンズ群 L 2、L 3 の移動により主な変倍を行い、第 1 レンズ群 L 1 の移動により変倍に伴う像点の移動を補償している。

## 【 0 0 8 8 】

次に各実施例のレンズ構成について説明する。

## 【 0 0 8 9 】

尚、レンズ形状における凸形状、凹形状、正メニスカス形状、負メニスカス形状等は光軸近傍における形状である。

## 【 0 0 9 0 】

実施例 1 は、負の屈折力の第 1 レンズ群 L 1 を物体側が凸面で負メニスカス形状の均質材料より成る均質レンズと物体側が凸面で正メニスカス形状の均質レンズで構成している。また、正の屈折力の第 2 レンズ群 L 2 を物体側が凸面の負メニスカス形状で、光軸（レンズ中心）から垂直方向（レンズ周辺）に向かうほど材料の屈折率が小さくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ 1 枚で構成している。

## 【 0 0 9 1 】

また、正の屈折力の第 3 レンズ群 L 3 を像側が凸面で正メニスカス形状の 1 枚の均質レンズで構成している。

## 【 0 0 9 2 】

また実施例 1 は、第 1 レンズ群 L 1 の物体側から数えた 1 枚目（以下「1 枚目」という）のレンズの像側の面、第 2 レンズ群 L 2 の物体側の面、第 3 レンズ群 L 3 の像側の面をそれぞれ非球面形状としている。

## 【 0 0 9 3 】

実施例 2 は、負の屈折力の第 1 レンズ群 L 1 を物体側が凸面で負メニスカス形状の均質レンズと物体側が凸面で正メニスカス形状の均質レンズで構成している。また、正の屈折力の第 2 レンズ群 L 2 を物体側が凸面の正メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が小さくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ 1 枚で構成している。また、正の屈折力の第 3 レンズ群 L 3 を像側が凸面で正メニスカス形状の 1 枚の均質レンズで構成している。

## 【 0 0 9 4 】

また実施例 2 は、第 1 レンズ群 L 1 1 枚目レンズの像側の面、第 2 レンズ群 L 2 の物体側の面、第 3 レンズ群 L 3 の像側の面をそれぞれ非球面形状としている。

## 【 0 0 9 5 】

実施例 3 は、負の屈折力の第 1 レンズ群 L 1 を物体側が凸面で負メニスカス形状の均質レンズと物体側が凸面で正メニスカス形状の均質レンズで構成している。また、正の屈折力の第 2 レンズ群 L 2 を物体側が凸面の正メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が小さくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ 1 枚で構成している。また、正の屈折力の第 3 レンズ群 L 3 を両凸形状の 1 枚の均質レンズで構成している。

## 【 0 0 9 6 】

また実施例 3 は、第 1 レンズ群 L 1 の 1 枚目レンズの像側の面、第 2 レンズ群 L 2 の物

10

20

30

40

50

体側の面、第3レンズ群L3の像側の面をそれぞれ非球面形状としている。

【0097】

実施例4は、負の屈折力の第1レンズ群L1を物体側が平面の平凹形状の均質レンズと物体側が凸面で正メニスカス形状の均質レンズで構成している。また、正の屈折力の第2レンズ群L2を物体側が凸面の負メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が小さくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。また、正の屈折力の第3レンズ群L3を両凸形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が大きくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。

【0098】

また実施例4は、第1レンズ群L1の1枚目レンズの像側の面、第2レンズ群L2の物

10

体側の面、第3レンズ群L3の像側の面をそれぞれ非球面形状としている。

【0099】

実施例5は、負の屈折力の第1レンズ群L1を両凹形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が大きくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。また、正の屈折力の第2レンズ群L2を物体側が凸面の負メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が小さくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。また、正の屈折力の第3レンズ群L3を両凸形状の1枚の均質レンズで構成している。

【0100】

また実施例5は、第1レンズ群L1の像側の面、第2レンズ群L2の物体側の面、第3

20

レンズ群L3の像側の面をそれぞれ非球面形状としている。

【0101】

実施例6は、負の屈折力の第1レンズ群L1を両凹形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が大きくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。また、正の屈折力の第2レンズ群L2を物体側が凸面の負メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が小さくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。また、正の屈折力の第3レンズ群L3を像側が凸面の正メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が大きくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。

【0102】

また実施例6は、第1～第3レンズ群L1～L3の全ての面を非球面形状としている。

30

【0103】

実施例7は、負の屈折力の第1レンズ群L1を両凹形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が大きくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。また、正の屈折力の第2レンズ群L2を物体側が凸面の負メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が小さくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。また、正の屈折力の第3レンズ群L3を像側が凸面の正メニスカス形状で、光軸から垂直方向に向かうほど屈折率が大きくなる分布のラジアル型屈折率分布レンズ1枚で構成している。

【0104】

また実施例7は、第1～第3レンズ群L1～L3の全ての面を非球面形状としている。

40

【0105】

次に、本発明の実施例1～7に対応する数値実施例1～7を示す。

【0106】

数値実施例において、 $i$ は物体側からの面の順序を示す。 $r_i$ は第 $i$ 番目のレンズ面(面)の曲率半径、 $d_i$ は第 $i$ 面と第 $(i+1)$ 面との間のレンズ肉厚および空気間隔、 $N_i$ 、 $i$ はそれぞれ第 $i$ 番目の部材の $d$ 線に対する屈折率、アッペ数を示す。

【0107】

また、 $k$ は円錐係数、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ は各々非球面係数である。非球面形状は光軸からの高さ $h$ 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

$$x = (h^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k) * (h / r)^2\}^{1/2}]$$

50

$$+ B * h^4 + C * h^6 + D * h^8 + E * h^{10}$$

で表される。但し  $r$  は近軸曲率半径である。

【0108】

又「 $e - 0x$ 」は「 $x10 - x$ 」を意味している。 $f$  は焦点距離、 $Fno$  はFナンバー、 $\theta$  は半画角を示す。

【0109】

ラジアル型の屈折率分布表現式は、レンズの動径方向距離（光軸からの高さ）を  $h$  とし、係数を  $N00$  ,  $N10$  ,  $N20$  としたとき、高さ  $h$  での屈折率  $N(h)$  を

$$N(h) = N00 + N10 * h^2 + N20 * h^4$$

として表している。

10

【0110】

各数値実施例では各係数  $N00$  ,  $N10$  ,  $N20$  を  $C$  ,  $d$  ,  $g$  線に対して各々示している。

【0111】

$GRIN$  は屈折率分布型の材料であることを示している。

【0112】

又、前述の各条件式と各実施例との関係を表 - 1、表 - 2 に示す。

【0113】

## 【数 1】

## 数值実施例 1

 $f=5.400 \sim 10.800 \quad F_{no}=2.80 \sim 3.31 \quad 2\omega=63.5^\circ \sim 34.4^\circ$ 
 $r1=30.1412 \quad d1=1.2 \quad N1=1.80238 \quad \nu d1=40$ 
 $r2=5.9612 \quad d2=1.514$ 
 $r3=8.0579 \quad d3=1.6 \quad N3=1.84666 \quad \nu d3=23.78$ 
 $r4=14.9017 \quad d4=\text{可変}$ 
 $r5=\text{絞り} \quad d5=0.7$ 
 $r6=4.8480 \quad d6=1.7 \quad N6=\text{GRIN}$ 
 $r7=3.9804 \quad d7=\text{可変}$ 
 $r8=-14.9799 \quad d8=1.2 \quad N8=1.58313 \quad \nu d8=59.39$ 
 $r9=-6.7508$ 

10

d \ f	5.40	8.10	10.80
d 4	16.0	5.394	0.176
d 7	1.5	1.357	1.385

## 非球面係数

 $r2$ 
 $k=2.92845 \quad B=1.56413E+06 \quad C=2.23999E-05 \quad D=4.66332E-07 \quad E=-2.67590E-09$ 
 $r6$ 
 $k=0 \quad B=2.26479E-03 \quad C=7.79082E-05 \quad D=1.61657E-05 \quad E=-1.19966E-06$ 
 $r9$ 
 $k=0 \quad B=1.75255E-03 \quad C=1.04661E-04 \quad D=6.89252E-06 \quad E=3.27533E-06$ 

20

## 屈折率分布係数

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.738653	1.743198	1.762047
N10	-2.835E-02	-2.829E-02	-2.796E-02
N20	1.056E-03	1.065E-03	1.120E-03

30

## 【 0 1 1 4 】

## 【数 2】

## 数值実施例 2

 $f=5.400 \sim 10.800 \quad F_{no}=2.80 \sim 3.36 \quad 2\omega=63.5^\circ \sim 34.4^\circ$ 

$r1= 35.4654 \quad d1= 1.2 \quad N1= 1.80238 \quad \nu 1d= 40$   
 $r2= 5.6062 \quad d2= 1.466$   
 $r3= 8.0110 \quad d3= 1.6 \quad N3= 1.84666 \quad \nu 3d= 23.78$   
 $r4= 16.7468 \quad d4= \text{可変}$   
 $r5= \text{絞り} \quad d5= 0.7$   
 $r6= 4.5029 \quad d6= 1.7 \quad N6= \text{GRIN}$   
 $r7= 5.0175 \quad d7= \text{可変}$   
 $r8= -19.3741 \quad d8= 1.2 \quad N8= 1.58313 \quad \nu 8d= 59.39$   
 $r9= -7.4462$

10

d \ f	5.40	8.10	10.80
d 4	15.973	5.967	1.015
d 7	1.5	1.411	1.432

## 非球面係数

r2

 $k=-3.49167 \quad B=2.18681E-03 \quad C=-4.99735E-05 \quad D=1.23521E-06 \quad E=-1.19764E-08$ 

20

r6

 $k=0 \quad B=1.47648E-03 \quad C=3.58701E-06 \quad D=1.18045E-05 \quad E=-8.57624E-07$ 

r9

 $k=0 \quad B=1.80296E-03 \quad C=9.63937E-05 \quad D=1.51433E-05 \quad E=1.89483E-06$ 

## 屈折率分布係数

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.738653	1.743198	1.762047
N10	-1.328E-02	-1.316E-02	-1.247E-02
N20	7.295E-04	7.548E-04	8.134E-04

30

## 【 0 1 1 5 】

## 【数 3】

## 数值实施例 3

 $f=5.400\sim 10.800$     $F_{no}=2.80\sim 3.34$     $2\omega=63.5^\circ\sim 34.4^\circ$ 

$r1= 29.1062$     $d1= 1.2$     $N1= 1.80238$     $\nu 1d= 40$   
 $r2= 4.7506$     $d2= 1.353$   
 $r3= 7.0697$     $d3= 1.6$     $N3= 1.84666$     $\nu 3d= 23.78$   
 $r4= 14.9710$     $d4= \text{可変}$   
 $r5= \text{絞り}$     $d5= 0.7$   
 $r6= 4.9055$     $d6= 1.7$     $N6= \text{GRIN}$   
 $r7= 8.3922$     $d7= \text{可変}$   
 $r8= 39.6754$     $d8= 1.2$     $N8= 1.58313$     $\nu 8d= 59.39$   
 $r9= -16.3339$

10

d\ f	5.40	8.10	10.80
d 4	13.854	5.536	1.373
d 7	2.088	2.111	2.129

## 非球面係数

$r2$   
 $k=-2.88739$     $B=2.86524E-03$     $C=-6.36234E-05$     $D=1.87607E-06$     $E=-2.20270E-08$   
 $r6$   
 $k=0$     $B=-2.92055E-04$     $C=-1.85976E-05$     $D=9.42679E-06$     $E=-9.00839E-07$   
 $r9$   
 $k=0$     $B=1.80119E-03$     $C=4.81675E-05$     $D=1.77900E-05$     $E=-9.45875E-07$

20

## 屈折率分布係数

係数\波長	C	d	g
N00	1.738653	1.743198	1.762047
N10	-2.551E-03	-2.405E-03	-1.443E-03
N20	-7.414E-05	-4.809E-05	-1.051E-05

30

## 【 0 1 1 6 】

## 【数 4】

## 数值実施例 4

 $f=5.337 \sim 16.297 \quad F_{no}=2.83 \sim 4.28 \quad 2\omega=63.7^\circ \sim 23.2^\circ$ 

$r1 = \infty \quad d1 = 1.2 \quad N1 = 1.80238 \quad \nu 1d = 40$   
 $r2 = 6.1321 \quad d2 = 1.5$   
 $r3 = 9.4604 \quad d3 = 1.8 \quad N3 = 1.84666 \quad \nu 3d = 23.78$   
 $r4 = 24.9166 \quad d4 = \text{可変}$   
 $r5 = \text{絞り} \quad d5 = 0.7$   
 $r6 = 6.3107 \quad d6 = 3.8 \quad N6 = \text{GRIN}_1$   
 $r7 = 5.2597 \quad d7 = \text{可変}$   
 $r8 = 7.9792 \quad d8 = 2.0 \quad N8 = \text{GRIN}_2$   
 $r9 = -76.6518$

10

d \ f	5.38	10.10	16.30
d 4	20	6.242	0.5
d 7	1.923	1.274	1.071

## 非球面係数

r2

 $k=-2.07089E+00 \quad B=8.12062E-04 \quad C=-4.99271E-06 \quad D=-4.28084E-08 \quad E=1.78353E-09$ 

20

r6

 $k=0 \quad B=-3.07065E-04 \quad C=2.82322E-06 \quad D=1.42231E-07 \quad E=-3.27878E-08$ 

r9

 $k=0 \quad B=1.66266E-03 \quad C=5.70616E-05 \quad D=2.13030E-06 \quad E=-3.24401E-08$ 

## 屈折率分布係数

GRIN\_1

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.738653	1.743198	1.762047
N10	-6.349E-03	-6.327E-03	-6.164E-03
N20	-1.253E-04	-1.263E-04	-1.233E-04

30

GRIN\_2

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.513855	1.516330	1.526214
N10	1.572E-03	1.633E-03	1.823E-03
N20	2.543E-05	3.267E-05	3.274E-05

【 0 1 1 7 】



## 【数 5】

## 数值実施例 5

 $f=5.400 \sim 10.800 \quad F_{no}=2.95 \sim 3.60 \quad 2\omega=63.5^\circ \sim 34.4^\circ$ 
 $r1 = -19.5479 \quad d1 = 1.5 \quad N1 = \text{GRIN}_1$ 
 $r2 = 2472.1931 \quad d2 = \text{可変}$ 
 $r3 = \text{絞り} \quad d3 = 0.7$ 
 $r4 = 6.8961 \quad d4 = 1.7 \quad N3 = \text{GRIN}_2$ 
 $r5 = 3.8294 \quad d5 = \text{可変}$ 
 $r6 = 35.2177 \quad d6 = 1.2 \quad N6 = 1.58313 \quad \nu_6 d = 59.39$ 
 $r7 = -15.4489$ 

10

d \ f	5.40	8.10	10.8
d 2	15	6.927	2.940
d 5	1.914	1.589	1.324

## 非球面係数

 $r2$ 
 $k=0 \quad B=-1.48201\text{E}-04 \quad C=5.84281\text{E}-06 \quad D=-2.25770\text{E}-07 \quad E=4.08536\text{E}-09$ 

20

 $r4$ 
 $k=0 \quad B=1.45111\text{E}-03 \quad C=8.62492\text{E}-05 \quad D=1.58554\text{E}-05 \quad E=-1.08958\text{E}-06$ 
 $r7$ 
 $k=0 \quad B=8.44393\text{E}-04 \quad C=-9.93653\text{E}-06 \quad D=1.08462\text{E}-05 \quad E=-5.72514\text{E}-07$ 

## 屈折率分布係数

GRIN\_1

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.836488	1.846660	1.894189
N10	7.374E-03	7.220E-03	6.443E-03
N20	-4.991E-05	-4.813E-05	-3.816E-05

30

GRIN\_2

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.738653	1.743198	1.762047
N10	-4.368E-02	-4.372E-02	-4.390E-02
N20	1.269E-03	1.271E-03	1.290E-03

## 【数 6】

## 数值実施例 6

 $f=5.400 \sim 16.200$   $F_{no}=2.80 \sim 4.04$   $2\omega=63.5^\circ \sim 23.3^\circ$ 

$r1 = -35.1034$   $d1 = 1.5$   $N1 = \text{GRIN}_1$   
 $r2 = 28.6240$   $d2 = \text{可変}$   
 $r3 = \text{絞り}$   $d3 = 0.7$   
 $r4 = 50.6490$   $d4 = 1.5$   $N3 = \text{GRIN}_2$   
 $r5 = 15.3102$   $d5 = \text{可変}$   
 $r6 = -16.3793$   $d6 = 1.5$   $N6 = \text{GRIN}_3$   
 $r7 = -9.7403$

10

d \ f	5.40	10.50	16.200
d 2	15.977	4.866	0.859
d 5	2.031	1.799	1.345

## 非球面係数

r1

 $k=0$   $B=-2.46878E-04$   $C=4.59583E-07$   $D=1.48412E-07$   $E=-3.95764E-09$ 

r2

 $k=0$   $B=-4.41520E-04$   $C=3.69496E-06$   $D=1.27669E-07$   $E=-4.84083E-09$ 

20

r4

 $k=0$   $B=-2.13701E-03$   $C=-5.26825E-05$   $D=-2.20160E-06$   $E=-9.71582E-08$ 

r5

 $k=0$   $B=-1.74769E-03$   $C=-1.89651E-05$   $D=-3.06497E-07$   $E=6.51322E-09$ 

r6

 $k=0$   $B=-1.23978E-03$   $C=-7.47984E-06$   $D=-2.93682E-07$   $E=1.90783E-08$ 

r7

 $k=0$   $B=-6.90193E-04$   $C=-4.75669E-06$   $D=3.52987E-08$   $E=-2.90124E-09$ 

30

## 屈折率分布係数

GRIN\_1

係数 \ 波長	C	D	g
N00	1.836488	1.846660	1.894189
N10	7.921E-03	7.715E-03	6.765E-03
N20	-5.443E-05	-5.143E-05	-3.698E-05

GRIN\_2

係数 \ 波長	C	D	g
N00	1.738653	1.743198	1.762047
N10	-2.565E-02	-2.570E-02	-2.597E-02
N20	7.455E-05	7.338E-05	6.701E-05

40

GRIN\_3

係数 \ 波長	C	D	g
N00	1.600079	1.603112	1.615409
N10	-1.548E-02	-1.546E-02	-1.533E-02
N20	-1.713E-04	-1.708E-04	-1.643E-04

## 【数 7】

## 数値実施例 7

$f=4.300 \sim 17.600$     $F_{no}=2.92 \sim 4.63$     $2\omega=75.7^\circ \sim 21.5^\circ$   
 $r1 = -303.9128$     $d1 = 1.8$     $N1 = GRIN\_1$   
 $r2 = 13.0891$     $d2 = \text{可変}$   
 $r3 = \text{絞り}$     $d3 = 0.7$   
 $r4 = 19.9854$     $d4 = 1.5$     $N4 = GRIN\_2$   
 $r5 = 10.1232$     $d5 = \text{可変}$   
 $r6 = -123.6928$     $d6 = 1.5$     $N6 = GRIN\_3$   
 $r7 = -11.8845$

10

d \ f	4.30	10.80	17.60
d 2	19.168	4.050	0.5
d 5	3.900	2.588	1.924

## 非球面係数

$r1$   
 $k=0$     $B=-4.09038E-04$     $C=1.64181E-05$     $D=-4.60024E-07$     $E=4.87183E-09$   
 $r2$   
 $k=0$     $B=-6.45113E-04$     $C=2.21863E-05$     $D=-8.14252E-07$     $E=1.18123E-08$   
 $r4$   
 $k=0$     $B=-2.63346E-03$     $C=-9.11355E-05$     $D=-2.87403E-06$     $E=-2.45484E-07$   
 $r5$   
 $k=0$     $B=-2.46290E-03$     $C=-5.33553E-05$     $D=-2.12480E-06$     $E=6.03764E-08$   
 $r6$   
 $k=0$     $B=-1.28435E-03$     $C=-2.94853E-05$     $D=-1.47029E-06$     $E=-1.37427E-07$   
 $r7$   
 $k=0$     $B=-6.80038E-04$     $C=-1.70519E-05$     $D=1.50457E-09$     $E=-8.58723E-08$

20

## 屈折率分布係数

## GRIN\_1

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.836488	1.846660	1.894189
N10	5.876E-03	5.671E-03	4.688E-023
N20	-5.910E-05	-5.671E-05	-4.446E-05

## GRIN\_2

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.738653	1.743198	1.762047
N10	-2.738E-02	-2.742E-02	-2.758E-02
N20	-1.796E-05	-1.829E-05	-2.275E-05

30

## GRIN\_3

係数 \ 波長	C	d	g
N00	1.600079	1.603112	1.615409
N10	-1.050E-02	-1.046E-02	-1.034E-02
N20	-1.615E-04	-1.606E-04	-1.578E-04

40

【表 1】

表 - 1

条件式	下限	上限	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
(1) $\phi 2s/\Phi 2$	-1.85	1	-0.37	0.200	0.750	-0.389
(2) $(\phi 2s/V00g + \phi 2m/V10) / (\Phi 2/V00)$	-1	1	-0.830	-0.829	-0.676	-1.124
(3) $t2/fw$	0.1	1	0.315	0.315	0.315	0.707

表 - 2

条件式	下限	上限	実施例 5	実施例 6	実施例 7
(1) $\phi 2s/\Phi 2$	-1.85	1	-1.017	-0.768	-0.744
(2) $(\phi 2s/V00g + \phi 2m/V10) / (\Phi 2/V00)$	-1	1	-0.735	-0.084	-0.351
(3) $t2/fw$	0.1	1	0.315	0.278	0.349

10

## 【0121】

次に本発明のズームレンズを撮影光学系として用いたデジタルカメラ（光学機器）の実施例を図29を用いて説明する。

## 【0122】

20

図29において、20はデジタルカメラ本体、21は上述の実施例1～7のズームレンズによって構成された撮影光学系である。22は撮影光学系21によって被写体像を受光するCCD等の撮像素子である。23は撮像素子22が受光した被写体像を記録する記録手段、24は不図示の表示素子に表示された被写体像を観察するためのファインダーである。

## 【0123】

上記表示素子は液晶パネル等によって構成され、撮像素子22上に形成された被写体像が表示される。

## 【0124】

このように本発明のズームレンズをデジタ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撮像装置を実現している。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0125】

【図1】実施例1のレンズ断面図

【図2】実施例1の広角端における収差図

【図3】実施例1の中間のズーム位置における収差図

【図4】実施例1の望遠端における収差図

【図5】実施例2のレンズ断面図

【図6】実施例2の広角端における収差図

【図7】実施例2の中間のズーム位置における収差図

40

【図8】実施例2の望遠端における収差図

【図9】実施例3のレンズ断面図

【図10】実施例3の広角端における収差図

【図11】実施例3の中間のズーム位置における収差図

【図12】実施例3の望遠端における収差図

【図13】実施例4のレンズ断面図

【図14】実施例4の広角端における収差図

【図15】実施例4の中間のズーム位置における収差図

【図16】実施例4の望遠端における収差図

【図17】実施例5のレンズ断面図

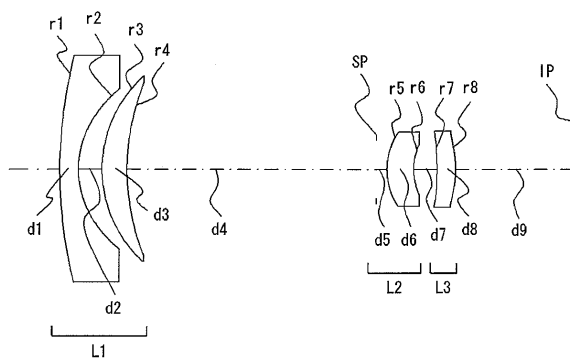
50

- 【図 18】実施例 5 の広角端における収差図  
 【図 19】実施例 5 の中間のズーム位置における収差図  
 【図 20】実施例 5 の望遠端における収差図  
 【図 21】実施例 6 のレンズ断面図  
 【図 22】実施例 6 の広角端における収差図  
 【図 23】実施例 6 の中間のズーム位置における収差図  
 【図 24】実施例 6 の望遠端における収差図  
 【図 25】実施例 7 のレンズ断面図  
 【図 26】実施例 7 の広角端における収差図  
 【図 27】実施例 7 の中間のズーム位置における収差図  
 【図 28】実施例 7 の望遠端における収差図  
 【図 29】本発明の撮像装置の要部概略図  
 【符号の説明】

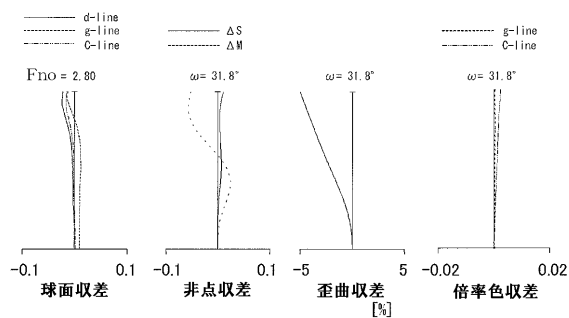
【0126】

- 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 F ナンバー 決定部材 (開口絞り)  
 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

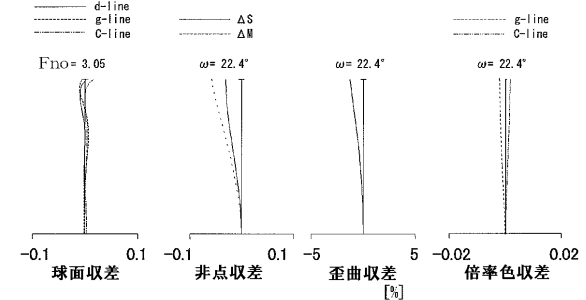
【図 1】



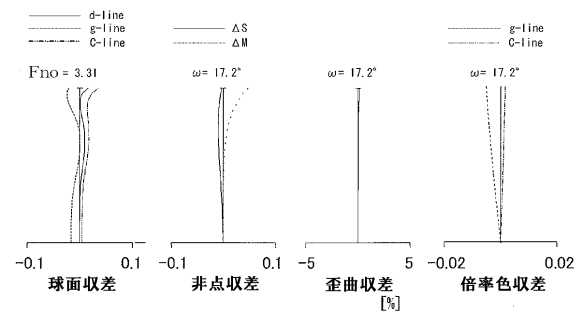
【図 2】



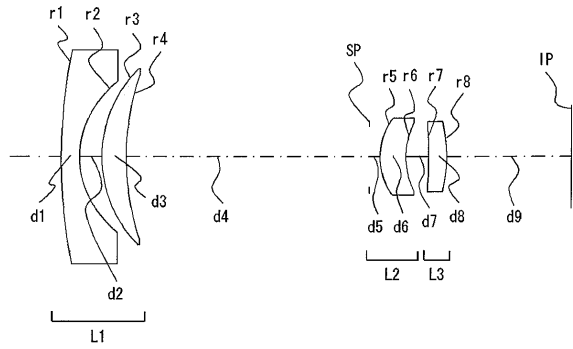
【図 3】



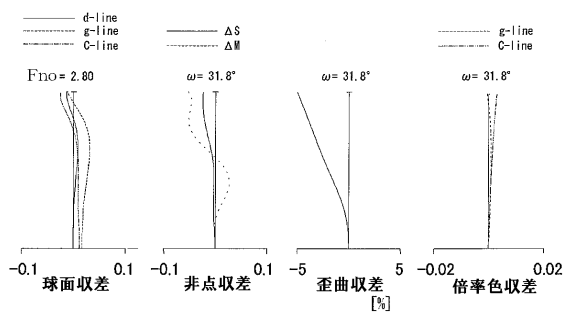
【図 4】



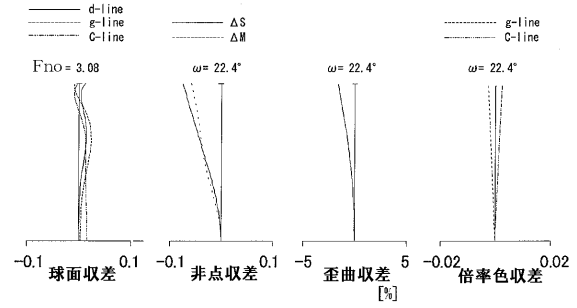
【図 5】



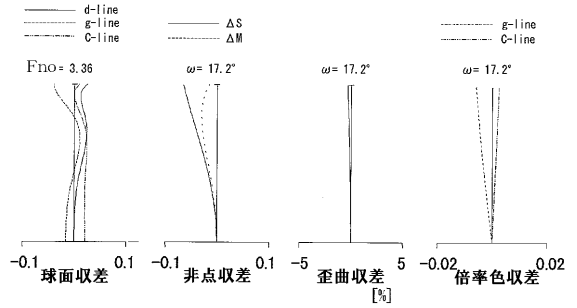
【図 6】



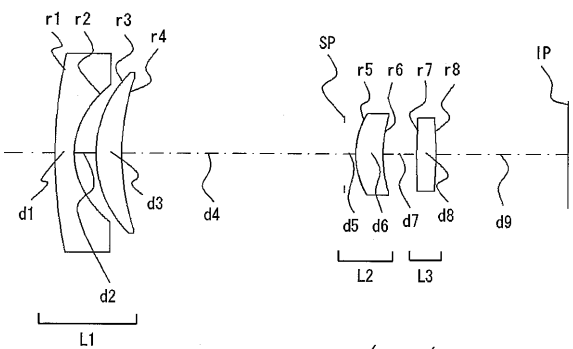
【図 7】



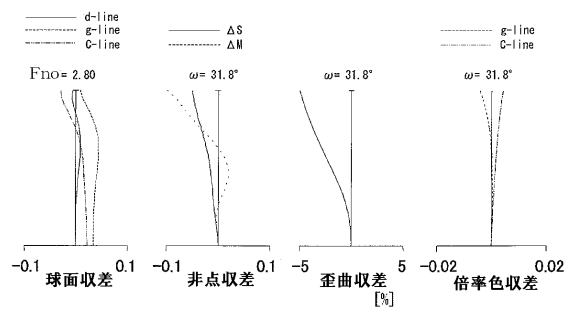
【図 8】



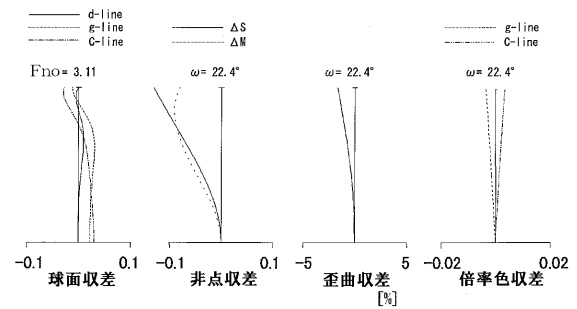
【図 9】



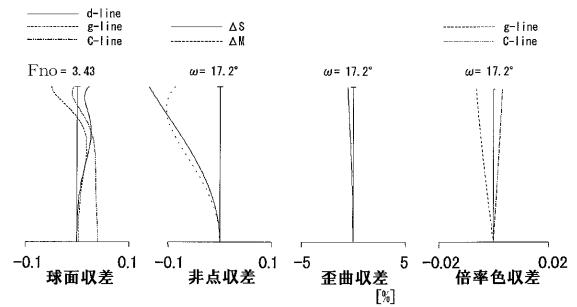
【図 10】



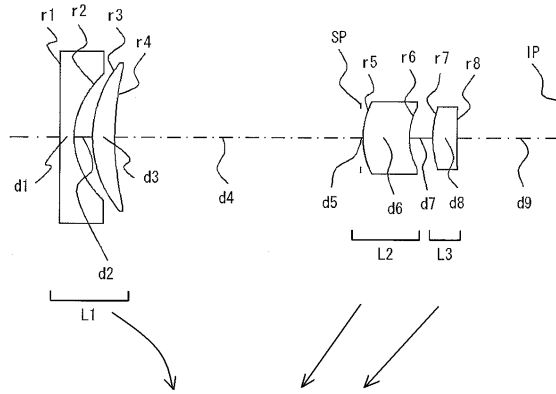
【図 11】



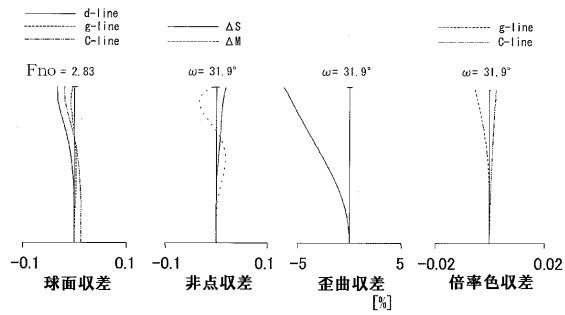
【図 12】



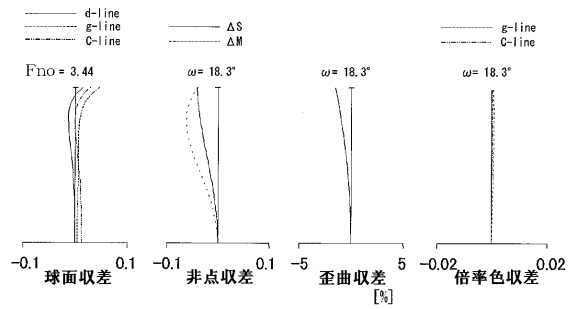
【図 13】



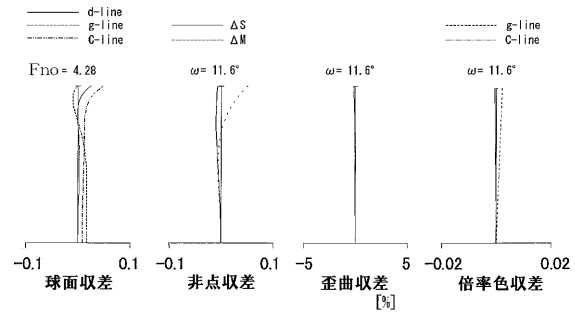
【図 14】



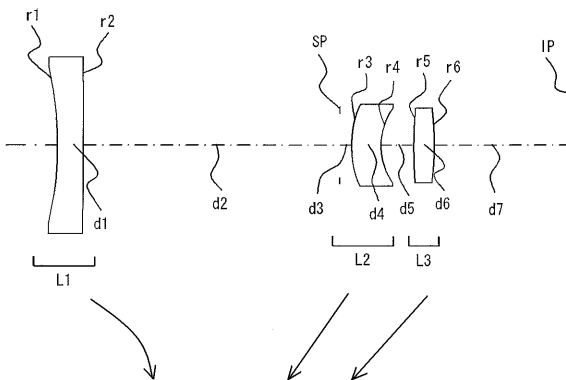
【図 15】



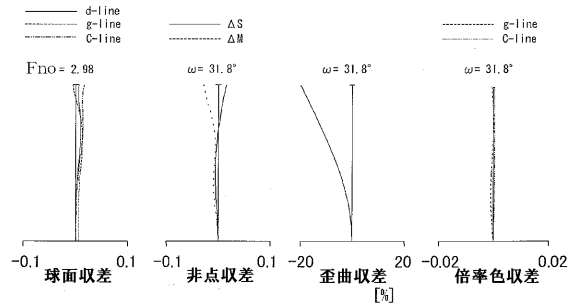
【図 16】



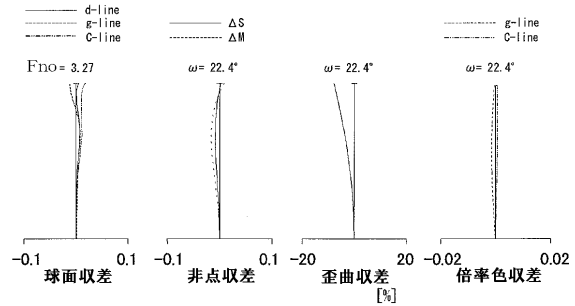
【図 17】



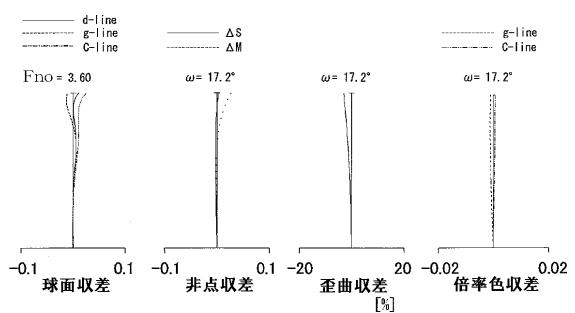
【図 18】



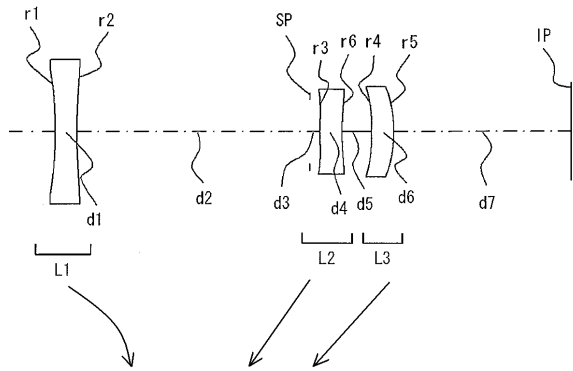
【図 19】



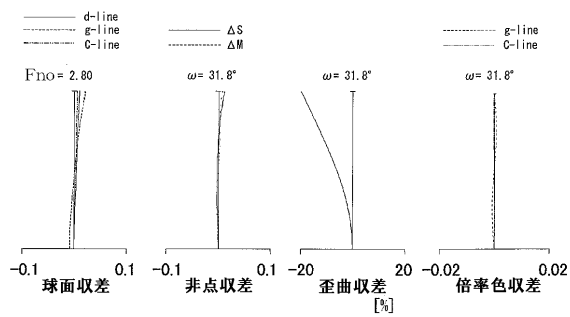
【図 20】



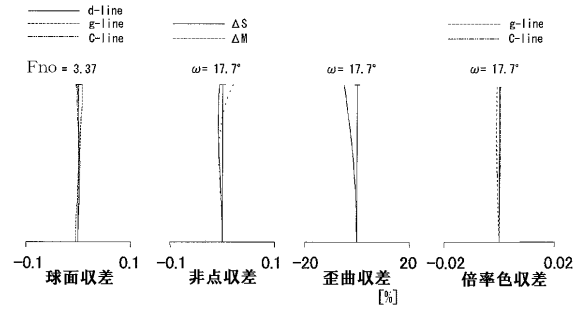
【図 2 1】



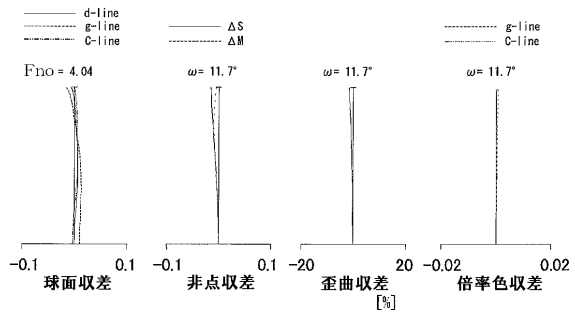
【図 2 2】



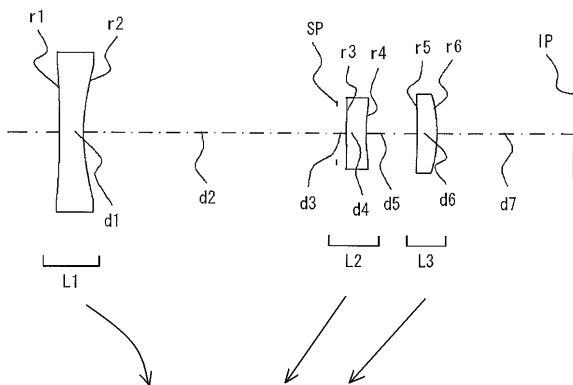
【図 2 3】



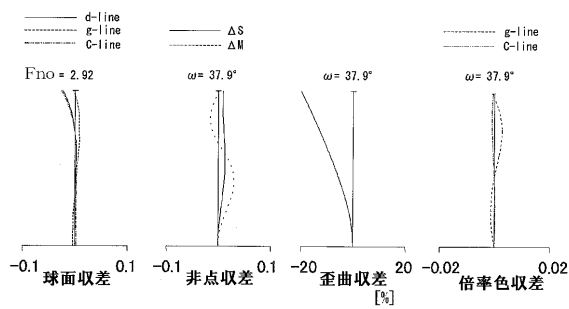
【図 2 4】



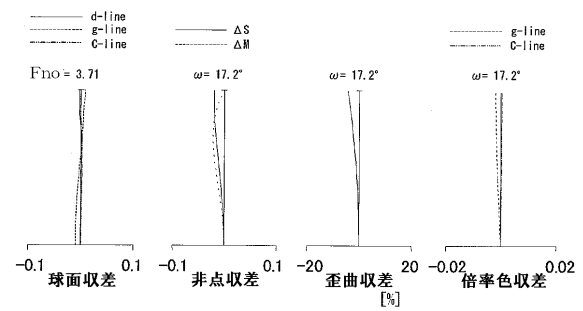
【図 2 5】



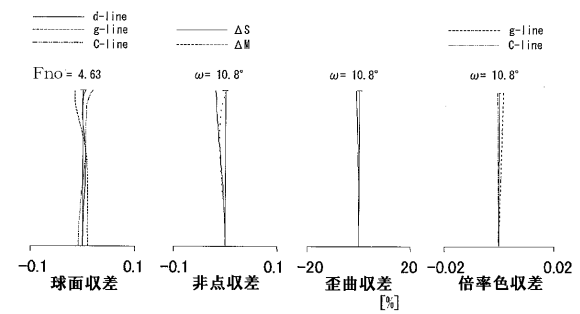
【図 2 6】



【図 2 7】

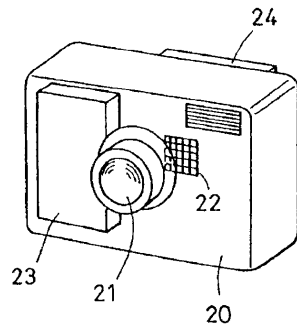


【図 2 8】





【図 29】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 0 - 3 3 3 0 3 4 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 3 0 3 7 ( J P , A )  
特開平 2 - 5 6 5 1 5 ( J P , A )  
特開昭 6 1 - 2 8 4 7 1 8 ( J P , A )  
特開昭 6 1 - 2 3 1 5 1 7 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 1 5 / 0 0 - 1 5 / 2 8