

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-240464  
(P2004-240464A)

(43) 公開日 平成16年8月26日(2004.8.26)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO2B 15/167	GO2B 15/167	2H087
GO2B 3/00	GO2B 3/00	B
GO2B 13/04	GO2B 13/04	D
GO2B 15/16	GO2B 15/16	
GO2B 15/20	GO2B 15/20	

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願2004-154220 (P2004-154220)  
 (22) 出願日 平成16年5月25日(2004.5.25)  
 (62) 分割の表示 特願平9-159328の分割  
 原出願日 平成9年6月3日(1997.6.3)

(71) 出願人 000000376  
 オリンパス株式会社  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号  
 (74) 代理人 100075867  
 弁理士 向 寛二  
 (72) 発明者 永岡 利之  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号  
 オリ  
 ンパス株式会社内

最終頁に続く

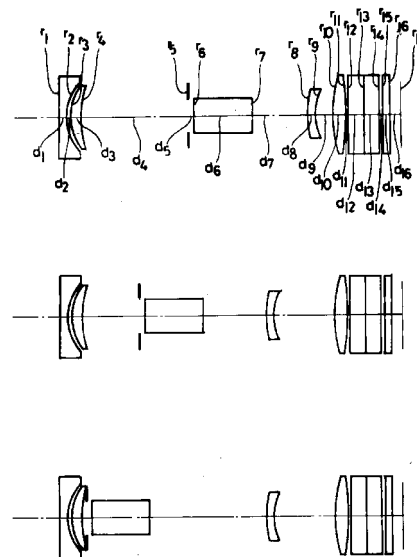
(54) 【発明の名称】 光学系

(57) 【要約】

【課題】 レンズ枚数が少なく小型で低コストの光学系を提供する。

【解決手段】 負の第1レンズ群と正の第2レンズ群と負の第3レンズ群と正の第4レンズ群とにて構成した。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

物体側より順に、負の屈折力の第 1 レンズ群と、正の屈折力の第 2 レンズ群と、負の屈折力の第 3 レンズ群と、正の屈折力の第 4 レンズ群とよりなることを特徴とする光学系。

## 【請求項 2】

物体側より順に、負の屈折力の第 1 レンズ群と、正の屈折力の第 2 レンズ群と、正の屈折力の第 3 レンズ群とよりなることを特徴とする光学系。

## 【請求項 3】

複数のレンズ群にて構成された光学系で、光学系中に少なくとも 1 枚の媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを含み、前記屈折率分布レンズを有するレンズ群が主として変倍のために移動し該レンズ群と共に明るさ絞りが光軸上を移動することを特徴とする光学系。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、各種光学システムにおいて用いられる光学系に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

一般に、ズーム光学系は、基準状態における収差補正に加えて変倍中の収差変動を小さくするため各レンズ群で発生する収差は各レンズ群単独で補正されていることが望ましい。そのために各レンズ群は、通常複数枚のレンズで構成される。

20

## 【0003】

近年、各種光学システムに用いられるズーム光学系は、小型化および低コスト化が強く求められている。ズーム光学系の小型化を達成するために、近軸的には変倍作用を有するレンズ群の屈折力を強くして変倍時におけるこのレンズ群の移動量を小さくすればよい。しかし、レンズ群の屈折力を強くすると収差発生量が大になり、収差を補正して収差発生量を少なくするためには、レンズの枚数を増やさなければならない。このようにレンズ枚数を多くすると、光学系の小型化および低コスト化を達成し得なくなる。このような悪循環のために、ズーム光学系を均質レンズ系にて構成する場合、小型化、低コスト化には限界がある。

30

## 【0004】

そのため、ズーム光学系を一層小型にするために、媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを用いることが知られている。

## 【0005】

このラジアル型屈折率分布レンズは、媒質に屈折率分布を持つため、均質レンズと比較して収差補正の自由度が大である。特に媒質にも屈折率を持つことにより、ペッツバール和と色収差の補正に優れた特徴を有している。

## 【0006】

光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いた従来例として、例えば、特開昭 6 1 - 2 3 1 5 1 7 号公報の実施例 5 , 6 のレンズ系、特開昭 6 1 - 2 4 8 0 1 5 号公報の実施例 2 のレンズ系、特開平 2 - 7 9 0 1 3 号公報の実施例 3 のレンズ系等が知られている。しかし、これらズーム光学系は、いずれもズーム比が 3 程度のズーム光学系で、ラジアル型屈折率分布レンズを用いたにも拘らずレンズ枚数が 9 枚 ~ 1 3 枚で、レンズ枚数の多い光学系である。

40

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

本発明は、レンズ枚数が少ない小型で安価なズーム光学系を提供するものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

50

本発明の光学系は、物体側から順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、負の屈折力の第3レンズ群と正の屈折力の第4レンズ群とよりなり、第2レンズ群中にレンズ媒質に屈折率分布を少なくとも1枚用いたことを特徴とする。又本発明の光学系は、第2レンズ群を光軸に沿って移動させることにより変倍を行なう光学系である。

【0009】

ラジアル型屈折率分布レンズは、レンズ媒質に屈折力を持つため、均質レンズに比べ収差補正の自由度が大である。又、ズーム光学系は、一般に各レンズ群単独で諸収差を補正するために、一般に各レンズ群を夫々複数のレンズにて構成する。このようなズーム光学系において低コスト化を達成するために各レンズ群のレンズ枚数を削減すると、各レンズ群にて発生する収差量が大きくなり、良好な結像性能を得ることが困難になる。そこでズーム光学系にラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより、均質レンズに比べて少ないレンズ枚数にてレンズ系を構成することが可能であり小型で低コストのズーム光学系を実現し得る。

10

【0010】

又、小型で低コストのズーム光学系を実現するためには、変倍に寄与するレンズ群に少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズを設けることが望ましい。

【0011】

ズーム光学系の小型化を達成するために、変倍に寄与するレンズ群の屈折力を強くした場合、特に、発生量が屈折力に大きく依存する色収差とペッツバール和の補正が困難になる。これらの収差は、非球面を用いても補正することが出来ず、均質レンズ系の場合、レンズの枚数を増やすことにより補正しなければならない。これらの色収差、ペッツバール和を補正するためには、これら収差の補正に優れているラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも1枚レンズ群中に含むようにすることが望ましい。特にズーム光学系の変倍に寄与するレンズ群にラジアル型屈折率分布レンズを用いれば、レンズ系の小型化を達成するためにこのレンズ群の屈折力を強くしてもレンズ枚数を増やすことなしにペッツバール和と色収差を良好に補正し得る。例えば、負正負正の4群ズーム光学系において、主として変倍作用を行なう第2レンズ群にラジアル型屈折率分布レンズを用いることが望ましい。

20

【0012】

以上の理由から、本発明の光学系は前述のような構成にした。

30

【0013】

又、本発明の他の光学系は、物体側より順に、負の屈折力を持つ第1レンズ群と、正の屈折力を持つ第2レンズ群と、正の屈折力を持つ第3レンズ群とにて構成され、主として第2レンズ群を光軸に沿って移動させることにより変倍作用を行なうズーム光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズを用いたことを特徴とする。

【0014】

この本発明のズーム光学系も小型で低コストのレンズ系になし得たものである。

【0015】

この負正正の3群ズーム光学系である本発明の光学系も、主として変倍に寄与する第2レンズ群に少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズを用いることが望ましい。

40

【0016】

通常、均質レンズの場合、屈折力と硝種が決まればペッツバール和と色収差の発生量が決まる。しかし、ラジアル型屈折率分布レンズは、前述のように各パラメータをコントロールすることによってこれら収差の発生量を所望の値にすることが可能である。

【0017】

ズーム光学系にラジアル型屈折率分布レンズを用い、各パラメータをコントロールすることにより収差の発生量を所望の値にすることが出来る。

【0018】

ラジアル型屈折率分布レンズ媒質の屈折率分布を二乗式にて近似すると次の式(a)

50

にて表わされる。

$$\text{式 (a)} \quad n_{\lambda}(r) = \sum_{i=0}^{\infty} N_{i\lambda} r^{2i}$$

ただし、 $r$  は光軸から半径方向への距離、 $n_{\lambda}(r)$  は距離  $r$  の点での波長  $\lambda$  に対する屈折率、 $N_{i\lambda}$  は波長  $\lambda$  に対する  $2i$  次の屈折率分布係数である。

【0019】

また、1 次の軸上色収差つまり  $d$  線、 $C$  線、 $F$  線の色収差  $PAC$  およびペッツパール和  $PTZ$  は式 (b)、(c) で表わされる。

10

【0020】

$$PAC = K \left( \frac{s}{V_{0d}} + \frac{m}{V_{1d}} \right) \quad (\text{b})$$

$$PTZ = \frac{s}{N_{0d}} + \frac{m}{N_{0d}^2} \quad (\text{c})$$

ここで、 $K$  は軸上光線の光線高および最終面の光線角度に依存する定数、 $V_{0d}$  はラジアル型屈折率分布レンズの光軸上の  $d$  線におけるアッペ数、 $V_{id}$  は  $2i$  次の屈折率分布係数  $N_{2i}$  に対応する分散を表わす値、 $s$  はラジアル型屈折率分布レンズの  $d$  線における薄肉の面の屈折力、 $m$  はラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折力で、 $V_{0d}$ 、 $V_{id}$ 、 $m$  は夫々下記式 (d)、(e)、(f) にて与えられる。

20

【0021】

$$V_{0d} = (N_{0d} - 1) / (N_{0F} - N_{0C}) \quad (\text{d})$$

$$V_{id} = N_{id} / (N_{iF} - N_{iC}) \quad (i = 1, 2, 3 \dots) \quad (\text{e})$$

$$m = 2 N_{1d} t_g \quad (\text{f})$$

ただし、 $t_g$  はラジアル型屈折率分布レンズのレンズ厚である。

【0022】

式 (b)、式 (c) から明らかなように、夫々の式において媒質の屈折力が寄与する第2項の値を適切な値に設定することにより、所望の色収差とペッツパール和をラジアル型屈折率分布レンズ単体で得ることができる。例えば、媒質の屈折力が極端に小さければ、式 (b)、(c) の第2項はほぼ0になり、前記の色収差とペッツパール和の補正効果を有することは難しい。

30

【0023】

前記構成の本発明の光学系において、ラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (1) を満足することが望ましい。

【0024】

$$(1) \quad 0.01 < |N_{1d} \cdot t_g| < 1$$

この条件 (1) を満足すれば、色収差およびペッツパール和を良好に補正することが可能になる。もし条件 (1) の下限値の 0.01 を超えると媒質の屈折力が弱くなり、色収差およびペッツパール和を良好に補正することが困難になる。また上限値の 1 を超えると色収差およびペッツパール和が補正過剰になる。

40

【0025】

又、色収差およびペッツパール和をより良好に補正するためには、条件 (1) の代りに下記条件 (1-1) を満足することが望ましい。

【0026】

$$(1-1) \quad 0.02 < |N_{1d} \cdot t_g| < 0.2$$

また、式 (f) からラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折力を大きくするためには、2 次の分散係数  $N_{1d}$  を大きくするかつまり光軸上と周辺との屈折率分布差  $n$  を大きくするか、あるいは、レンズ厚を大にすればよい。しかし、ラジアル型屈折率分布レンズ素材を実際に作製するにあたって、 $n$  を大きくするにはある程度の限界がある。また、例えばイオン交換法やゾルゲル法によって屈折率分布素材を形成する場合、 $n$  を大きく

50

するためには屈折率分布付与のための時間が長くなり、素材のコスト高等の問題が生ずる。そのために、ラジアル型屈折率分布レンズの  $n$  を極端に大きくすることは出来ない。

【0027】

本発明の光学系において、ラジアル型屈折率分布レンズにより色収差やペッツパール和を効果的に補正するためには、レンズ厚  $t_G$  が下記条件(2)を満足することが望ましい。

$$\text{式(2)} \quad 0.05 < t_G / \sqrt{f_W \cdot f_T} < 2$$

【0028】

ただし、 $f_W$ 、 $f_T$  は夫々ワイド端およびテレ端での全系の焦点距離である。

10

【0029】

条件(2)を満足すれば、 $n$  を極端に大きくしなくとも色収差やペッツパール和を補正するのに十分な屈折力を媒質に与えることができる。もし条件(2)の下限の0.05を超えると色収差やペッツパール和が補正不足になる。又上限の2を超えるとこれら収差が補正過剰になり好ましくない。

【0030】

また、条件(2)の代りに下記条件(2-1)を満足すればより好ましい。

$$\text{式(2-1)} \quad 0.1 < t_G / \sqrt{f_W \cdot f_T} < 1.5$$

【0031】

また、下記条件(2-2)を満足すれば一層望ましい。

$$\text{式(2-2)} \quad 0.3 < t_G / \sqrt{f_W \cdot f_T} < 1$$

20

【0032】

本発明の他の第3の構成は、複数のレンズ群よりなる光学系で、光学系中の少なくとも1枚のレンズが媒質に屈折率分布を有する屈折率分布レンズであり、屈折率分布レンズを1枚有するレンズ群が主として変倍のために光軸上を移動しこの移動するレンズ群と共に明るさ絞りが光軸上を移動することを特徴とする。ズーム光学系において変倍の際に移動するレンズ群に屈折率分布レンズを用いる場合、この可動の屈折率分布レンズと明るさ絞りとを一体に光軸上を移動させるようにすることが望ましい。このような構成にすれば、屈折率分布レンズに入射する軸外光線の光線高は、ズーム状態に関係なくほぼ一定になり、全状態において収差を良好に補正することが可能になる。

30

【0033】

もし、屈折率分布レンズと明るさ絞りとが一体に光軸上を移動しないと、特にコマ収差等の軸外収差を広角端から望遠端までのすべての状態において良好に補正することは困難になる。

【0034】

又、屈折率分布レンズと明るさ絞りとを光軸上を一体に移動させるようにすれば、収差補正上のメリットに加えて、低コスト化の点でもメリットを有する。それは、明るさ絞りの近傍の軸外光線高は、比較的low屈折率分布レンズのレンズ径を小さくできる。屈折率分布レンズのレンズ径が小さければ、屈折率分布レンズ素子の作製費用が安くなり、低コストな光学系を達成することが可能になる。又、屈折率分布レンズが可動でない場合も、明るさ絞りの近傍に屈折率分布レンズを配置すれば光学系の低コスト化にとって有効である。

40

【0035】

このように、明るさ絞りの近傍に屈折率分布レンズを配置する場合、ラジアル型屈折率分布レンズに限らずアキシアル型屈折率分布レンズや非球面レンズでもよい。また、屈折率分布レンズと絞りととは同じ鏡枠部材に組込んで光軸上を移動させることが可能である。又屈折率分布レンズと絞りとを別の鏡枠部材に組込んで夫々光軸上を移動させてもよい。

50

## 【0036】

また、ラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折力の符号（正、負の符号）は、ラジアル型屈折率分布レンズを用いるレンズ群の屈折力の符号と同じ符号であることが望ましい。このようにすれば、特にベッツパール和の補正にとって有利である。

## 【0037】

ラジアル型屈折率分布レンズは、式(c)より明らかなように、式の第2項の分母に二乗が掛かっている。そのため、同じ屈折力を有する均質レンズと比べて発生するベッツパール和を小さくできる。そのため、レンズ群の屈折力と同じ符号を持つ屈折力を媒質に持たせることが望ましい。特に、主として変倍に寄与するレンズ群に屈折率分布レンズを用いる場合、光学系を小型化し得るので望ましい。例えば、前記構成の光学系である、物体側より順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、それ以降のレンズ群とにて構成される光学系で、第2レンズ群が主として変倍作用を持つ光学系において、第2レンズ群にラジアル型屈折率分布レンズを用いる場合、媒質の屈折力は正の屈折力を持つことが望ましい。

10

## 【0038】

また、負正負正の4群ズーム光学系あるいは負正正の3群ズーム光学系において第2レンズ群が主として変倍作用を持つ場合第2レンズ群以外のレンズ群を可動群として変倍時における像面位置の補正を行なうようにすることが好ましい。

## 【0039】

又、変倍作用を持つレンズ群が二つ以上ある光学系の場合は、変倍作用を持つレンズ群のうちいずれかのレンズ群にラジアル型屈折率分布レンズを用いれば小型化および低コスト化を達成できる。例えば、正の屈折力の第1レンズ群と負の屈折力の第2レンズ群と、正の屈折力の第3レンズ群とそれ以降のレンズ群にて構成され、第2レンズ群と第3レンズ群とが変倍作用を有するレンズ群である変倍光学系の場合、第2レンズ群と第3レンズ群のいずれかのレンズ群があるいは第2レンズ群と第3レンズ群の両方のレンズ群にラジアル型屈折率分布レンズを用いれば、光学系の小型化、低コスト化を達成し得る。

20

## 【0040】

又、本発明の各構成のズーム光学系において、これら光学系に用いるラジアル型屈折率分布レンズは、少なくとも1面が平面であることが、平面研磨が球面研磨よりも安価であるので望ましい。又ラジアル型屈折率分布レンズが両面平面形状であれば低コストを達成する上で一層好ましい。

30

## 【0041】

また、CCD等の撮像素子を用いる光学系は、画像周辺部での光量の不足を防止するために像面への軸外光線の入射角を小さくすることが望ましい。このように像面への軸外光線の入射角を小にするためには、光学系の最も像側のレンズは正レンズ又は正の接合レンズにすることが好ましい。

## 【0042】

また、光学系を少ないレンズ枚数で小型で低コストにするためには、複数のレンズ群にて構成されたレンズ系の最も像側のレンズを正レンズにし、この正レンズの物体側にラジアル型屈折率分布レンズを配置した構成にすることが望ましい。このような構成の光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズを含むレンズ群が光軸上を移動するとき、ラジアル型屈折率分布レンズからの光束を最も像側の正レンズにより像面に収束させることが可能になり少ないレンズ枚数でズーム光学系を構成できる。

40

## 【0043】

また、ある程度のバックフォーカスを必要とする光学系において、小型化と低コスト化を達成するためには、複数のレンズ群にて構成されたレンズ系で、最も像側のレンズを正レンズとして、この正レンズの物体側に負レンズを配置し、この負レンズの物体側にラジアル型屈折率分布レンズを配置した構成のレンズ群を含むものにすることが望ましい。このレンズ系の負レンズは主としてバックフォーカスを長くする作用を有している。

## 【0044】

50

また本発明の第3の構成である複数のレンズ群にて構成するズーム光学系において最も物体側の第1レンズ群は、変倍時固定であることが望ましい。このように第1レンズ群を固定にすれば、鏡枠構成上外部からの衝撃や圧力に対する強度を増大させ得る。もし、この第1レンズ群が可動であると、外部からの衝撃や圧力によって鏡枠の可動機構が破損するおそれがある。

【0045】

また、複数のレンズ群よりなるズーム光学系は、収差補正上最も像側のレンズ群を変倍の際に固定にすることが望ましい。この最も像側のレンズ群は、主として結像作用を有するために、このレンズ群を固定にすれば変倍の際の収差変動を小さく抑えることが出来る。

10

【0046】

又、本発明の各構成のズーム光学系において、光学系中に用いるラジアル型屈折率分布レンズにより色収差を十分良好に補正するためには、下記の条件(3)を満足することが望ましい。

【0047】

$$(3) \quad 1 / V_{1d} < 0.15$$

もし、条件(3)を満足しないと色収差が補正不足になる。

【0048】

また、条件(3)の変りに下記条件(3-1)を満足することがより好ましい。

【0049】

$$(3-1) \quad -0.1 < 1 / V_{1d} < 0.1$$

もし、条件(3-1)の上限の0.1を超えると色収差が補正不足になる。また下限の-0.1を超えると色収差が補正過剰になる。

20

【0050】

また、条件(3-1)の代りに下記条件(3-2)を満足すれば一層望ましい。

【0051】

$$(3-2) \quad -0.02 < 1 / V_{1d} < 0.02$$

また、特に高精細な画質を必要とする光学系として用いる場合は、下記条件(3-3)を満足することが望ましい。

【0052】

$$(3-3) \quad -0.01 < 1 / V_{1d} < 0.01$$

以上述べた本発明の光学系は、銀塩カメラ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、内視鏡、撮像装置、測定器等の光学系として用いられる。

30

【0053】

ラジアル型屈折率分布レンズを例えばイオン交換法やゾルゲル法にて作製する場合、屈折率分布の高精度な制御は容易ではなく、レンズ外周部の屈折率分布が設計値から外れることがある。この屈折率分布が設計値より外れた素材は、外れ量を外径の加工により補正することにより良品レンズとして使用することが可能である。例えばレンズ素材の外周部を除去するか、樹脂等の透明部材を付加することにより外れ量を補正すれば比較的容易に良品を得ることが可能である。また絞りを設けることにより光束が外周部を通らないようにして遮蔽することも可能である。

40

【0054】

又、前述のようにラジアル型屈折率分布レンズは、媒質で発生する色収差を所望の値にコントロールすることができるので、これを用いて色収差の少ないプリズム光学系を達成し得る。

【0055】

通常、ガラスにプリズム作用を持たせ光軸を屈折させる場合、屈折面における波長による屈折率の違いにより色収差が発生する。そこでラジアル型屈折率分布レンズを用いてプリズム光学系を構成すれば、媒質で発生する色収差を所望の値にすることによりプリズム光学系全体の色収差を良好に補正することが可能である。この場合、プリズム光学系に

50

て用いるラジアル型屈折率分布レンズは、低コストを達成するため1枚のみであることが望ましい。

【0056】

また、各種光学システムの小型化に伴い光学系に用いられるレンズの径も微小化する傾向にある。しかしレンズの径が小さくなると複数のレンズを精度良く組立てることが困難になる。特にレンズの直径が10mm以下のレンズを高い精度で組立てることは容易ではない。したがって光学系のレンズ枚数が少ないことが望まれ、そのためにも屈折率分布レンズを用いることが好ましい。屈折率分布レンズを用いることにより均質レンズよりも少ないレンズ枚数にて光学性能の良好な光学系を得ることが可能であり、したがってレンズの組立ても容易になる。また、屈折率分布レンズは、レンズが厚くなる傾向があり、そのためコバ厚も比較的厚くなり、レンズの保持や高精度な組立てが容易になる。

10

【0057】

屈折率分布レンズは、レンズの直径が10mm以下のレンズに用いることが効果的であり、レンズの直径が5mm以下のレンズに用いれば一層効果的である。しかし、屈折率分布レンズは、製作性を考えた場合、レンズの直径が0.1mm以上であることが望ましく、直径が極端に小さくなるとレンズの保持や加工が困難になる。そのためより望ましくは、屈折率分布レンズの直径は0.2mm以上であることが望ましい。

【0058】

また、ラジアル型屈折率分布レンズの径が小さい場合素材作製のためのコストが低くなり、この点からも望ましい。

20

【0059】

又、近年CCD等の撮像素子の高密度化に伴って撮像素子の径が小さくなる傾向にある。そのため、撮像素子を用いた光学系においても屈折率分布レンズを用いることが望ましい。特に、CCD等の撮像素子のサイズが画面对角長で1/2インチ(像高4mm)以下の光学系に屈折率分布レンズを用いることが効果的である。また、より望ましくは、CCD等の撮像素子サイズが画面对角長で1/3インチ(像高3mm)以下の光学素子の光学系に屈折率分布レンズを用いることが効果的である。

【0060】

また、本発明の光学系で用いる屈折率分布素材は、式(a)にて表わされる二乗式にて近似している。しかし、式(a)以外の式にて表わされる屈折率分布素材の場合も、式(a)にて近似して本発明の光学系にて適用することは可能である。

30

【0061】

また、本発明は、特許請求の範囲に記載するものに限らず、特許請求の範囲に記載する構成を実質上満足するものであればよい。

【発明の効果】

【0062】

本発明の光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズを効果的に配置することにより少ないレンズ枚数の小型な光学系で、良好な光学性能になし得た。特にズーム光学系においては、変倍に寄与するレンズ群にラジアル型屈折率分布レンズを用いて小型で高性能な光学系を実現するようにした。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0063】

次に本発明の光学系の実施の形態を図示する実施例にもとずき説明する。

【0064】

本発明の各実施例は、図1乃至図11に示す構成で下記データを有する光学系である。

実施例1

$f = 6.56 \sim 10.78 \sim 18.91$  , Fナンバー = 3.6 ~ 4.7 ~ 6.2

$2 = 60.4^\circ \sim 36^\circ \sim 20^\circ$

$r_1 =$   $d_1 = 0.8000$   $n_1 = 1.81600$   $\gamma_1 = 46.62$

50

$r_2 = 5.6195$	$d_2 = 0.4788$			
$r_3 = 6.1295$	$d_3 = 0.9983$	$n_2 = 1.84666$	$t_2 = 23.78$	
$r_4 = 11.5281$	$d_4 = D_1$ (可変)			
$r_5 =$ (絞り)	$d_5 = 0.5000$			
$r_6 =$	$d_6 = 5.9864$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)		
$r_7 =$	$d_7 = D_2$ (可変)			
$r_8 = 11.6948$	$d_8 = 0.8000$	$n_4 = 1.74077$	$t_4 = 27.79$	
$r_9 = 5.7435$	$d_9 = D_3$ (可変)			
$r_{10} = 15.2627$	$d_{10} = 1.4009$	$n_5 = 1.88300$	$t_5 = 40.76$	
$r_{11} = -26.2228$	$d_{11} = 0.1993$			10
$r_{12} =$	$d_{12} = 1.6000$	$n_6 = 1.51633$	$t_6 = 64.14$	
$r_{13} =$	$d_{13} = 1.6000$	$n_7 = 1.51633$	$t_7 = 64.14$	
$r_{14} =$	$d_{14} = 0.4000$			
$r_{15} =$	$d_{15} = 0.7500$	$n_8 = 1.51633$	$t_8 = 64.14$	
$r_{16} =$	$d_{16} = 1.1255$			
$r_{17} =$ (像)				
$f$ 6.56	10.78	18.91		
$D_1$ 11.06493	5.95704	0.50000		
$D_2$ 5.81906	6.47619	11.96499		
$D_3$ 1.82166	6.33050	6.36121		20
屈折率分布レンズ				
波長	$N_0$	$N_1$		
d線	1.65000	$-9.2600 \times 10^{-3}$		
C線	1.64512	$-9.2557 \times 10^{-3}$		
F線	1.66138	$-9.2700 \times 10^{-3}$		
実施例 2				
$f = 6.68 \sim 10.93 \sim 19.39$ , Fナンバー = 2.4 ~ 3.1 ~ 4.2				
$2\theta = 60^\circ \sim 36^\circ \sim 19.8^\circ$				
$r_1 = -361.5471$	$d_1 = 1.0000$	$n_1 = 1.81600$	$t_1 = 46.62$	
$r_2 = 7.0279$	$d_2 = 0.8270$			30
$r_3 = 7.6415$	$d_3 = 2.4141$	$n_2 = 1.84666$	$t_2 = 23.78$	
$r_4 = 12.9691$	$d_4 = D_1$ (可変)			
$r_5 =$ (絞り)	$d_5 = 0.5000$			
$r_6 =$	$d_6 = 4.7683$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)		
$r_7 =$	$d_7 = D_2$ (可変)			
$r_8 = 11.9747$	$d_8 = 0.9999$	$n_4 = 1.84666$	$t_4 = 23.78$	
$r_9 = 6.5959$	$d_9 = D_3$ (可変)			
$r_{10} = 21.3761$	$d_{10} = 1.8432$	$n_5 = 1.88300$	$t_5 = 40.76$	
$r_{11} = -21.3051$	$d_{11} = 1.0000$			
$r_{12} =$	$d_{12} = 1.6000$	$n_6 = 1.51633$	$t_6 = 64.14$	40
$r_{13} =$	$d_{13} = 1.6000$	$n_7 = 1.51633$	$t_7 = 64.14$	
$r_{14} =$	$d_{14} = 1.0000$			
$r_{15} =$	$d_{15} = 0.7500$	$n_8 = 1.51633$	$t_8 = 64.14$	
$r_{16} =$	$d_{16} = 1.1681$			
$r_{17} =$ (像)				
$f$ 6.68	10.93	19.39		
$D_1$ 14.87539	8.67516	2.00000		
$D_2$ 7.18816	8.25510	15.35672		
$D_3$ 0.95504	6.09207	5.68683		
屈折率分布レンズ				

波長	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.75000	$-9.4769 \times 10^{-3}$	$4.7643 \times 10^{-6}$
C 線	1.74250	$-9.4684 \times 10^{-3}$	$4.7643 \times 10^{-6}$
F 線	1.76750	$-9.4968 \times 10^{-3}$	$4.7643 \times 10^{-6}$

## 実施例 3

$f = 6.58 \sim 10.05 \sim 18.18$  , F ナンバー = 3.8 ~ 4.0 ~ 4.8

$2 = 59.8^\circ \sim 36.2^\circ \sim 20^\circ$

$r_1 = 16.8604$        $d_1 = 2.1134$        $n_1 = 1.83481$        $1 = 42.72$

$r_2 = -391.7314$        $d_2 = D_1$  ( 可変 )

$r_3 = 103.5216$        $d_3 = 1.0000$        $n_2 = 1.61800$        $2 = 63.33$       10

$r_4 = 6.9508$        $d_4 = 1.4921$

$r_5 = -7.4105$        $d_5 = 1.0000$        $n_3 = 1.72916$        $3 = 54.68$

$r_6 = -68.1757$        $d_6 = D_2$  ( 可変 )

$r_7 =$  ( 絞リ )       $d_7 = 1.0000$

$r_8 = 87.3294$        $d_8 = 5.8926$        $n_4$  ( 屈折率分布レンズ )

$r_9 =$        $d_9 = 4.0561$

$r_{10} = 12.5839$        $d_{10} = 1.0000$        $n_5 = 1.84666$        $5 = 23.78$

$r_{11} = 8.5354$        $d_{11} = 5.1373$

$r_{12} = 13.2633$        $d_{12} = 1.2214$        $n_6 = 1.83481$        $6 = 42.72$

$r_{13} = 136.3787$        $d_{13} = D_3$  ( 可変 )      20

$r_{14} =$        $d_{14} = 1.8000$        $n_7 = 1.61700$        $7 = 62.80$

$r_{15} =$        $d_{15} = 0.2000$

$r_{16} =$        $d_{16} = 0.7500$        $n_8 = 1.51633$        $8 = 64.14$

$r_{17} =$        $d_{17} = 1.1715$

$r_{18} =$  ( 像 )

$f$       6.58      10.05      18.18

$D_1$       1.06245      2.85460      3.49323

$D_2$       10.72360      6.43554      0.50000

$D_3$       0.49996      2.33703      8.32438

## 屈折率分布レンズ

30

波長	$N_0$	$N_1$
d 線	1.65000	$-9.2600 \times 10^{-3}$
C 線	1.64512	$-9.2557 \times 10^{-3}$
F 線	1.66138	$-9.2700 \times 10^{-3}$

## 実施例 4

$f = 6.12 \sim 10.37 \sim 17.41$  , F ナンバー = 3.1 ~ 3.3 ~ 3.4

$2 = 64^\circ \sim 37.8^\circ \sim 22.8^\circ$

$r_1 = 21.5966$        $d_1 = 2.4811$        $n_1 = 1.84666$        $1 = 23.78$

$r_2 = 83.9279$        $d_2 = D_1$  ( 可変 )

$r_3 = 2148.0415$        $d_3 = 0.7999$        $n_2 = 1.77250$        $2 = 49.60$       40

$r_4 = 7.7737$        $d_4 = D_2$  ( 可変 )

$r_5 =$  ( 絞リ )       $d_5 = 1.0000$

$r_6 =$        $d_6 = 7.0573$        $n_3$  ( 屈折率分布レンズ )

$r_7 =$        $d_7 = D_3$  ( 可変 )

$r_8 = 25.3819$        $d_8 = 0.7999$        $n_4 = 1.84666$        $4 = 23.78$

$r_9 = 6.9348$        $d_9 = D_4$  ( 可変 )

$r_{10} = 160.7405$        $d_{10} = 2.0020$        $n_5 = 1.84666$        $5 = 23.78$

$r_{11} = -9.8318$        $d_{11} = D_5$  ( 可変 )

$r_{12} =$        $d_{12} = 1.6000$        $n_6 = 1.51633$        $6 = 64.14$

$r_{13} =$        $d_{13} = 1.6000$        $n_7 = 1.51633$        $7 = 64.14$       50

$r_{14} =$		$d_{14} = 1.5000$			
$r_{15} =$		$d_{15} = 0.7500$	$n_8 = 1.51633$	$\theta_8 = 64.14$	
$r_{16} =$		$d_{16} = 1.1568$			
$r_{17} =$	( 像 )				
$f$	6.12	10.37	17.41		
$D_1$	1.89674	6.02579	9.83419		
$D_2$	15.19674	7.32933	1.00000		
$D_3$	2.27608	0.14807	0.42202		
$D_4$	0.92932	3.69229	5.15328		
$D_5$	0.19982	3.32183	4.12121		10

## 屈折率分布レンズ

波長	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.65000	$-9.2600 \times 10^{-3}$	$1.0785 \times 10^{-5}$
C 線	1.64512	$-9.2557 \times 10^{-3}$	$1.0780 \times 10^{-5}$
F 線	1.66138	$-9.2700 \times 10^{-3}$	$1.0796 \times 10^{-5}$
g 線	1.67083	$-9.2518 \times 10^{-3}$	$1.1185 \times 10^{-5}$

## 実施例 5

$f = 4.75 \sim 8.67 \sim 13.94$  , F ナンバー = 2.7 ~ 3.8 ~ 4.8

$2\theta = 71^\circ \sim 40.5^\circ \sim 24.2^\circ$

$r_1 = 295.4949$	$d_1 = 1.6000$	$n_1 = 1.84666$	$\theta_1 = 23.78$	20
$r_2 = -33.3209$	$d_2 = 0.2000$			
$r_3 = -61.1954$	$d_3 = 0.8000$	$n_2 = 1.61800$	$\theta_2 = 46.62$	
$r_4 = 5.4615$	$d_4 = 2.0212$			
$r_5 = 6.3586$	$d_5 = 1.6000$	$n_3 = 1.84666$	$\theta_3 = 23.78$	
$r_6 = 7.8635$	$d_6 = D_1$ ( 可変 )			
$r_7 =$	$d_7 = 6.9390$	$n_4$ ( 屈折率分布レンズ )		
$r_8 =$	$d_8 = D_2$ ( 可変 )			
$r_9 = 6.7708$	$d_9 = 0.7997$	$n_5 = 1.84666$	$\theta_5 = 23.78$	
$r_{10} = 4.5573$	$d_{10} = D_3$ ( 可変 )			
$r_{11} = 26.7807$	$d_{11} = 1.8000$	$n_6 = 1.81600$	$\theta_6 = 46.62$	30
$r_{12} = -11.9170$	$d_{12} = 0.1999$			
$r_{13} =$	$d_{13} = 1.6000$	$n_7 = 1.51633$	$\theta_7 = 64.14$	
$r_{14} =$	$d_{14} = 1.6000$	$n_8 = 1.51633$	$\theta_8 = 64.14$	
$r_{15} =$	$d_{15} = 0.4000$			
$r_{16} =$	$d_{16} = 0.7500$	$n_9 = 1.51633$	$\theta_9 = 64.14$	
$r_{17} =$	$d_{17} = 1.1419$			
$r_{18} =$	( 像 )			
$f$	4.75	8.67	13.94	
$D_1$	11.45422	5.39034	1.00000	
$D_2$	3.98909	5.04270	11.13732	40
$D_3$	2.20490	7.18586	5.47117	

## 屈折率分布レンズ

波長	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.80000	$-8.3994 \times 10^{-3}$	$6.9866 \times 10^{-6}$
C 線	1.79200	$-8.3821 \times 10^{-3}$	$6.9866 \times 10^{-6}$
F 線	1.81867	$-8.4397 \times 10^{-3}$	$6.9866 \times 10^{-6}$
g 線	1.83483	$-8.4356 \times 10^{-3}$	$6.9866 \times 10^{-6}$
e 線	1.80630	$-8.4145 \times 10^{-3}$	$6.9866 \times 10^{-6}$

## 実施例 6

$f = 4.22 \sim 7.46 \sim 11.59$  , F ナンバー = 3.5 ~ 3.7 ~ 3.9

50

$$2 = 59.2^\circ \sim 32.6^\circ \sim 21^\circ$$

$$r_1 = -83.2538 \quad d_1 = 0.9563 \quad n_1 = 1.72916 \quad 1 = 54.68$$

$$r_2 = 13.7980 \quad d_2 = D_1 \text{ (可変)}$$

$$r_3 = \text{(絞リ)} \quad d_3 = 1.0000$$

$$r_4 = 8.2784 \quad d_4 = 6.1835 \quad n_2 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_5 = 3.7725 \quad d_5 = 3.4709$$

$$r_6 = 9.3241 \quad d_6 = 1.5000 \quad n_3 = 1.72916 \quad 3 = 54.68$$

$$r_7 = -21.8979 \quad d_7 = D_2 \text{ (可変)}$$

$$r_8 = \quad d_8 = 1.8000 \quad n_4 = 1.61700 \quad 4 = 62.80$$

$$r_9 = \quad d_9 = 0.2000$$

$$r_{10} = \quad d_{10} = 0.7500 \quad n_5 = 1.51633 \quad 5 = 64.14$$

$$r_{11} = \quad d_{11} = 1.2424$$

$$r_{12} = \text{(像)}$$

$$f \quad 4.22 \quad 7.46 \quad 11.5$$

$$D_1 \quad 23.99294 \quad 7.93421 \quad 0.50000$$

$$D_2 \quad 1.00000 \quad 2.93580 \quad 5.39558$$

#### 屈折率分布レンズ

$$\text{波長} \quad N_0 \quad N_1$$

$$d \text{線} \quad 1.65000 \quad -9.2600 \times 10^{-3}$$

$$C \text{線} \quad 1.64512 \quad -9.2557 \times 10^{-3}$$

$$F \text{線} \quad 1.66138 \quad -9.2700 \times 10^{-3}$$

#### 実施例 7

$$f = 7.82 \sim 10.73 \sim 23.55, \text{ F ナンバー} = 2.6 \sim 3.2 \sim 5.0$$

$$2 = 45.8^\circ \sim 23^\circ \sim 15^\circ$$

$$r_1 = -87.9283 \quad d_1 = 1.0110 \quad n_1 = 1.88300 \quad 1 = 40.76$$

$$r_2 = 8.5547 \quad d_2 = 0.3932$$

$$r_3 = 8.7336 \quad d_3 = 3.9684 \quad n_2 = 1.68893 \quad 2 = 31.08$$

$$r_4 = 94.0338 \quad d_4 = D_1 \text{ (可変)}$$

$$r_5 = \text{(絞リ)} \quad d_5 = 1.0502$$

$$r_6 = \quad d_6 = 11.8703 \quad n_3 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_7 = 5.0684 \quad d_7 = D_2 \text{ (可変)}$$

$$r_8 = 21.3858 \quad d_8 = 2.4007 \quad n_4 = 1.60300 \quad 4 = 65.44$$

$$r_9 = -19.6447 \quad d_9 = D_3 \text{ (可変)}$$

$$r_{10} = \quad d_{10} = 2.0200 \quad n_5 = 1.51633 \quad 5 = 64.14$$

$$r_{11} = \quad d_{11} = 1.6000 \quad n_6 = 1.51633 \quad 6 = 64.14$$

$$r_{12} = \quad d_{12} = 1.6000$$

$$r_{13} = \quad d_{13} = 0.7500 \quad n_7 = 1.51633 \quad 7 = 64.14$$

$$r_{14} = \quad d_{14} = 1.1586$$

$$r_{15} = \text{(像)}$$

$$f \quad 7.82 \quad 10.78 \quad 23.55$$

$$D_1 \quad 20.16326 \quad 15.52315 \quad 2.07349$$

$$D_2 \quad 2.42907 \quad 8.51751 \quad 21.98237$$

$$D_3 \quad 1.61275 \quad 0.19996 \quad 0.19997$$

#### 屈折率分布レンズ

$$\text{波長} \quad N_0 \quad N_1 \quad N_2$$

$$d \text{線} \quad 1.58000 \quad -6.0000 \times 10^{-3} \quad 2.0040 \times 10^{-5}$$

$$C \text{線} \quad 1.57652 \quad -5.9775 \times 10^{-3} \quad 1.9965 \times 10^{-5}$$

$$F \text{線} \quad 1.58812 \quad -6.0525 \times 10^{-3} \quad 2.0216 \times 10^{-5}$$

#### 実施例 8

$$f = 6.55 \sim 11 \sim 19.46, \text{ F ナンバー} = 3.6 \sim 4.8 \sim 6.4$$

10

20

30

40

50

$$2 = 60.4^\circ \sim 35.6^\circ \sim 14.1^\circ$$

$r_1 = 40.9080$	$d_1 = 0.7999$	$n_1 = 1.69680$	$t_1 = 55.53$
$r_2 = 5.7662$	$d_2 = 1.4033$		
$r_3 = 6.1102$	$d_3 = 1.2293$	$n_2 = 1.84666$	$t_2 = 23.78$
$r_4 = 7.3191$	$d_4 = D_1$ (可変)		
$r_5 =$ (絞り)	$d_5 = 0.5000$		
$r_6 = 10.7147$	$d_6 = 1.2317$	$n_3 = 1.77250$	$t_3 = 49.60$
$r_7 = -202.6535$	$d_7 = 2.7200$		
$r_8 = 15.4248$	$d_8 = 1.6245$	$n_4 = 1.88300$	$t_4 = 40.76$
$r_9 = -7.0963$	$d_9 = 0.1988$		
$r_{10} = -6.0819$	$d_{10} = 0.8000$	$n_5 = 1.84666$	$t_5 = 23.78$
$r_{11} = 59.2972$	$d_{11} = D_2$ (可変)		
$r_{12} = 15.5725$	$d_{12} = 0.8000$	$n_6 = 1.54814$	$t_6 = 45.78$
$r_{13} = 5.7769$	$d_{13} = D_3$ (可変)		
$r_{14} = 13.2623$	$d_{14} = 1.9556$	$n_7 = 1.88300$	$t_7 = 40.76$
$r_{15} = -40.0039$	$d_{15} = 0.1998$		
$r_{16} =$	$d_{16} = 1.6000$	$n_8 = 1.51633$	$t_8 = 64.14$
$r_{17} =$	$d_{17} = 1.6000$	$n_9 = 1.51633$	$t_9 = 64.14$
$r_{18} =$	$d_{18} = 0.4000$		
$r_{19} =$	$d_{19} = 0.7500$	$n_{10} = 1.51633$	$t_{10} = 64.14$
$r_{20} =$	$d_{20} = 1.1663$		
$r_{21} =$ (像)			
$f = 6.55$	$11$	$19.46$	
$D_1 = 11.53674$	$5.96880$	$0.50000$	
$D_2 = 2.09559$	$2.70333$	$7.71887$	
$D_3 = 2.60453$	$7.57840$	$8.04678$	

10

20

## 実施例 9

$$f = 7.52, F \text{ ナンバー} = 2.9, 2 = 59^\circ$$

$r_1 =$ (絞り)	$d_1 = 0.5000$		
$r_2 = -4.2544$	$d_2 = 3.3444$	$n_1$ (屈折率分布レンズ)	
$r_3 = -8.1332$	$d_3 = 3.0948$		
$r_4 = 10.1395$	$d_4 = 3.9600$	$n_2 = 1.80610$	$t_2 = 40.92$
$r_5 = -4.6038$	$d_5 = 0.7983$	$n_3 = 1.84666$	$t_3 = 23.78$
$r_6 = -25.3258$	$d_6 = 2.4766$		
$r_7 =$	$d_7 = 1.6000$	$n_4 = 1.51633$	$t_4 = 64.14$
$r_8 =$	$d_8 = 1.6000$	$n_5 = 1.51633$	$t_5 = 64.14$
$r_9 =$	$d_9 = 0.5000$		
$r_{10} =$	$d_{10} = 0.7500$	$n_6 = 1.48749$	$t_6 = 70.23$
$r_{11} =$	$d_{11} = 1.1912$		

30

40

## 屈折率分布レンズ

波長	$N_0$	$N_1$
d 線	1.65000	$-9.2600 \times 10^{-3}$
C 線	1.64487	$-9.2558 \times 10^{-3}$
F 線	1.66197	$-9.2699 \times 10^{-3}$

## 実施例 10

$r_1 =$ (絞り)	$d_1 = 15.0000$	$n_1$ (屈折率分布レンズ)
$r_2 =$	$d_2 = 0.0925$	
$r_3 =$ (像)		

## 屈折率分布レンズ

50

波長	$N_0$	$N_1$
d 線	1.67800	$-9.0245 \times 10^{-3}$
C 線	1.67265	$-9.0959 \times 10^{-3}$
F 線	1.69049	$-8.8577 \times 10^{-3}$

## 実施例 1 1

$f = 4.89 \sim 8.63 \sim 20.4$ , F ナンバー = 3.2 ~ 4.1 ~ 6.6

$2 = 76.6^\circ \sim 44.4^\circ \sim 19.2^\circ$

$r_1 = 17.8104$        $d_1 = 2.6456$        $n_1 = 1.74100$        $1 = 52.64$

$r_2 = 6.7693$        $d_2 = 2.5884$

$r_3 = 330.8548$        $d_3 = 0.8000$        $n_2 = 1.60300$        $2 = 65.44$       10

$r_4 = 8.6751$        $d_4 = 0.7126$

$r_5 = 8.4625$        $d_5 = 1.6000$        $n_3 = 1.84666$        $3 = 23.78$

$r_6 = 16.3699$        $d_6 = D_1$  ( 可変 )

$r_7 =$  ( 絞リ )       $d_7 = 0.5000$

$r_8 =$        $d_8 = 5.4448$        $n_4$  ( 屈折率分布レンズ )

$r_9 = -40.2775$        $d_9 = D_2$  ( 可変 )

$r_{10} = 7.1860$        $d_{10} = 2.8854$        $n_5 = 1.78472$        $5 = 25.68$

$r_{11} = 4.5503$        $d_{11} = D_3$  ( 可変 )

$r_{12} = 29.4393$        $d_{12} = 2.0000$        $n_6 = 1.69680$        $6 = 55.53$

$r_{13} = -12.3722$        $d_{13} = 0.2000$       20

$r_{14} =$        $d_{14} = 1.6000$        $n_7 = 1.51633$        $7 = 64.14$

$r_{15} =$        $d_{15} = 1.6000$        $n_8 = 1.51633$        $8 = 64.14$

$r_{16} =$        $d_{16} = 0.4000$

$r_{17} =$        $d_{17} = 0.7500$        $n_9 = 1.51633$        $9 = 64.14$

$r_{18} =$        $d_{18} = 1.1493$

$r_{19} =$  ( 像 )

$f$       4.89      8.63      20.4

$D_1$       17.65743      8.86991      1.00000

$D_2$       4.75469      6.19762      16.16667

$D_3$       2.00000      5.65005      9.32004      30

## 屈折率分布レンズ

波長	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	1.70000	$-6.2418 \times 10^{-3}$	$-1.1880 \times 10^{-5}$
C 線	1.69475	$-6.2588 \times 10^{-3}$	$-1.1912 \times 10^{-5}$
F 線	1.71225	$-6.2021 \times 10^{-3}$	$-1.1804 \times 10^{-5}$
g 線	1.72241	$-6.1441 \times 10^{-3}$	$-1.1589 \times 10^{-5}$

ただし  $r_1, r_2, \dots$  はレンズ各面の曲率半径、 $d_1, d_2, \dots$  は各レンズの肉厚およびレンズ間隔、 $n_1, n_2, \dots$  は各レンズの屈折率、 $1, 2, \dots$  は各レンズのアッペ数である。

## 【 0 0 6 5 】

40

実施例 1 は、図 1 に示す構成の光学系で、物体側より順に、負の屈折力の第 1 群と、正の屈折力の第 2 群と、負の屈折力の第 3 群と、正の屈折力の第 4 群とより構成されたズーム光学系である。又第 4 群以降に配置されている平行平板はローパスフィルターや赤外カットフィルター等の各種フィルターおよび撮像素子のカバーガラスである。

## 【 0 0 6 6 】

この実施例において、第 1 群は、変倍時に固定であり、軸上光束および軸外光束を第 2 群へ導く作用を有し、第 2 群は変倍時に可動であり、主として変倍作用を有し、第 3 群は変倍時に可動であり主として変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有し、第 4 群は変倍時に固定であって第 3 群からの光束を結像する作用を有する。

## 【 0 0 6 7 】

50

以上のように、この実施例 1 は、負正負正の 4 群ズーム光学系で、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより小型で低コストの光学系を達成し得た。また、ラジアル型屈折率分布レンズを変倍作用を有する第 2 群に用いることによりこの第 2 群の屈折力を強くして光学系を小型化したにも拘らず諸収差を良好に補正することが可能になった。またラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより第 2 群を 1 枚のレンズにて構成することが可能になり、低コストの光学系になし得た。

【0068】

また、本発明の光学系は、第 3 群である負レンズを光軸に沿って移動させて至近距離物点へのフォーカシングを行なうことが出来る。また第 1 群を光軸に沿って移動させてもフォーカシングを行なうことができる。

10

【0069】

また、第 1 群は主として倍率の色収差や歪曲収差等の軸外収差を良好に補正するために、物体側より順に、負レンズと正レンズにて構成している。また、第 1 群を変倍の際に固定させることにより外部からの衝撃や圧力に対する強度を増すような鏡枠構成にすることが可能である。

【0070】

また、最も像側のレンズ群（第 4 群）を変倍の際固定として変倍に伴う収差の変動を小さく抑えることを可能にした。

【0071】

また、この実施例 1 の光学系は、絞りを第 2 群の物体側に配置し、変倍の際に絞りを第 2 群と一体に移動させるようにして変倍の際の収差変動が小さくなるようにした。したがって、第 2 群であるラジアル型屈折率分布レンズと絞りとが一体に移動するために、ラジアル型屈折率分布レンズの径を小さくすることができ低コストになし得る。又このラジアル型屈折率分布レンズの像側の第 3 群と第 4 群を負レンズ（第 3 群）および正レンズ（第 4 群）にて構成した。つまりラジアル型屈折率分布レンズの像側が物体側より順に負レンズと正レンズにて構成して少ないレンズ枚数にて光学系を構成し得るようにした。つまり、画角を広げる作用を有する第 1 群より像側のレンズ構成を正レンズ、負レンズ、正レンズのトリプレット構成にし、少ないレンズ枚数で諸収差を効果的に補正し得るようにした。又最も像側のレンズを正レンズにしたことにより、軸外光線を光軸とほぼ平行に像面へ入射させることが出来る。また、屈折率分布レンズ以外のレンズを全て均質球面レンズにて構成して光学系の偏芯による悪影響が少なく（偏芯に強く）また低コストになし得る構成になっている。又ラジアル型屈折率分布レンズの両面を平面にしこれによっても低コスト化を達成した。

20

30

【0072】

この実施例 1 の収差状況は、図 14、図 15、図 16 に示す通りである。

【0073】

実施例 2 は、図 2 に示す構成で、物体側より順に、変倍時固定の負の屈折力の第 1 群と、変倍時可動で正の屈折力の第 2 群と、変倍時可動で負の屈折力の第 3 群と、変倍時固定で正の屈折力の第 4 群とにて構成されたズーム光学系であり、第 2 群にラジアル型屈折率分布レンズを用いている。つまり実施例 2 は負正負正の 4 群構成の光学系であって、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて小型で低コストになし得たものである。

40

【0074】

また実施例 2 の各群の作用は実施例 1 とほぼ同様であるが、実施例 1 よりも F ナンバーを小にし明るい光学系にした。そのため特に第 2 群で発生する球面収差が大になる傾向を有するが、この群にラジアル型屈折率分布レンズを用いて球面収差を良好に補正するようにした。この正の屈折力の第 2 群は、負の球面収差

が大になる傾向があるが、屈折率分布レンズの 4 次の分布係数  $N_{2\lambda}$  を正の値

【0075】

にして媒質で正の球面収差を発生させて球面収差が良好に補正されるようにした。

50

## 【0076】

実施例3は、図3に示す通りの構成で、物体側より順に、正の屈折力の第1群と、負の屈折力の第2群と、正の屈折力の第3群とより構成されたズーム光学系である。

## 【0077】

この光学系の各群のうち、第1群は変倍時固定で第2群へ軸上および軸外光束を導く作用を有し、第2群および第3群は、変倍時可動で変倍作用を有すると共に両群の間隔を変化させることにより変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有している。

## 【0078】

この実施例3は正負正の3群ズーム光学系であり、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて小型化と低コスト化を達成したものである。

10

## 【0079】

又この実施例3は、正のレンズ群を先行させたズーム光学系であるが、主として変倍作用を有する第3群にラジアル型屈折率分布レンズを用いてこの群の屈折力を強くして小型化を達成したにも拘らず、諸収差が良好に補正されている。また、第1群は正レンズ1枚にて、第2群は負レンズ2枚にて、第3群は正レンズと負レンズと正レンズの3枚のレンズにて夫々構成し、第3群の最も物体側のレンズをラジアル型屈折率分布レンズにした。又絞りは第3群の物体側に配置し、第3群と絞りとを一体に可動させて、ラジアル型屈折率分布レンズの径を小さくしてコストを低減させている。又第3群の負レンズを光軸に沿って移動させて至近距離物点へのフォーカシングを行なうようにしてある。又第3群の最も物体側の正レンズを可動にしても至近距離物点へのフォーカシングが可能である。また第3群のラジアル型屈折率分布レンズの像側を物体側より順に負レンズと正レンズとにて構成することにより、少ないレンズ枚数にて良好な性能を有する光学系にした。また、ラジアル型屈折率分布レンズ以外のレンズは、すべて均質球面レンズにて構成し、偏芯に強くしたがって低コスト化を達成し得るようにした。又ラジアル型屈折率分布レンズの両面を平面にして低コストにした。

20

## 【0080】

実施例4は、図4に示す構成の光学系であって、物体側より順に、正の屈折力の第1群と、負の屈折力の第2群と、正の屈折力の第3群と、負の屈折力の第4群と、正の屈折力の第5群とにて構成されたズーム光学系である。

## 【0081】

この光学系において、第1群は、変倍時固定であり軸上および軸外光束を導く作用を有し、第2群と第3群とは変倍時可動であって主として変倍作用を有しており、第4群は主として変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有しており、第5群は、第4群よりの光束を像面に結像する作用を有している。この実施例は、正負正負正の5群ズーム光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて小型化と低コスト化を達成したものである。

30

## 【0082】

この実施例4は、正群先行のズーム光学系であるが、主として変倍作用を有する第3群にラジアル型屈折率分布レンズを用いてこの群の屈折力を強くして小型化を達成したもので、このように第3群の屈折力を強くしたにも拘らず、諸収差が良好に補正されている。また各群1枚のレンズにて構成した。

40

## 【0083】

又、絞りは第3群の物体側に配置し、この絞りを第3群と一体に移動するようにして変倍の際の収差変動を少なくしている。また、絞りとラジアル型屈折率分布レンズとが一体に移動するようにしたのでラジアル型屈折率分布レンズの径を小さくすることが可能であり、低コストになし得た。又、ラジアル型屈折率分布レンズの像側の第4群を負レンズ1枚、第5群を正レンズ1枚にて構成し、つまりラジアル型屈折率分布レンズの像側が負レンズと正レンズのみにて構成され、これにより小型化を達成するようにした。

## 【0084】

又、実施例4の光学系は、第4群を光軸に沿って移動させて至近距離物点へのフォーカシングを行なうようにしている。また第5群の正レンズにより至近距離物点へのフォー

50

カシングを行なうことも可能である。

【0085】

又この実施例はラジアル型屈折率分布レンズ以外はすべて均質球面レンズであり、光学系が偏芯に強くしたがって低コストにし得る。また、ラジアル型屈折率分布レンズの両面は平面であり、これによっても低コストになし得たものである。

【0086】

実施例5は、図5に示す構成の光学系で、物体側より順に、負の屈折力の第1群と、正の屈折力の第2群と、負の屈折力の第3群と、正の屈折力の第4群とにて構成されたズーム光学系である。

【0087】

この光学系において、第1群は、変倍時固定であって軸上光束および軸外光束を第2群へ導く作用を有し、第2群は変倍時可動であり主として変倍作用を有し、第3群は変倍時可動であって主として変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有し、第4群は変倍時固定で、第3群からの光束を結像する作用を有する。このように本発明は負正負正の4群ズーム光学系で、光学系中にラジアル型レンズを用いて小型で低コストにした。

【0088】

この実施例5は、実施例1に比べて第1群の構成枚数を3枚に増やすことによって広い画角の光学系にした。またラジアル型屈折率分布レンズを変倍作用を有する第2群に用いてこの第2群の屈折力を強くして光学系の小型化を達成すると共に諸収差を良好に補正するようにした。またラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより第2群を1枚のレンズで構成し得るようにした。

【0089】

この実施例5において、第1群は主として倍率の色収差や歪曲収差等の軸外収差を良好に補正するために、物体側より順に、正レンズと負レンズと正レンズとにて構成されている。明るさ絞りは第2群であるラジアル型屈折率分布レンズのほぼ中央部に仮想的に設けてあり、したがって第2群と一体に移動し変倍の際の収差の変動を小さくすることができる。更に絞りが第2群と一体に移動するために第2群であるラジアル型屈折率分布レンズの径を小さくして低コストになし得る。尚図においてSが仮想絞りである。

【0090】

このようにラジアル型屈折率分布レンズ内に明るさ絞りを仮想的に設ける場合、実際の絞り機構は、屈折率分布レンズの物体側と像側の両方に設けることが望ましい。このようにすれば、光束を均一に絞り込むことができ、画面内の明るさのむらを減小させることができ、又絞り込みによる解像力の向上が可能である。

【0091】

図13は、屈折率分布レンズの両側に絞り機構を設けた時の光束の状態を示す図である。図中GLが屈折率分布レンズ、AXは光軸、 $L_1$ は軸外主光線、 $L_2$ は上側従属光線、 $L_3$ は下側従属光線、 $S_1$ は物体側の絞り機構、 $S_2$ は像側の絞り機構、 $S_3$ は仮想絞りである。

【0092】

図13(A)は、屈折率分布レンズの物体側に絞り機構 $S_1$ を配置した場合を示している。この場合、上側従属光線 $L_2$ はレンズGLのP点で制限されるため光束は主光線 $L_1$ に対して上側従属光線 $L_2$ と下側従属光線 $L_3$ が非対称になる。そのため絞り機構 $S_1$ を絞り込むと下側従属光線 $L_3$ から絞られることになり非対称な絞り込みが生ずる。この非対称な絞り込みは、画角によりその程度が変わるために、絞り込んだ時に画面内で明るさのむらや解像のむらが生ずる。これを解消するためには、図13(B)に示すように、屈折率分布レンズGLの物体側と像側の両方に絞り機構を設けて、仮想的な明るさ絞りがレンズ内部に設けられたような構成にすることが望ましい。この場合、上側従属光線 $L_2$ は絞り機構 $S_2$ にて制限され又下側従属光線 $L_3$ は絞り機構 $S_1$ により制限される。そのため二つの絞り機構 $S_1$ と $S_2$ とを絞り込めば図13(C)に示すように上側従属光線と下側従属光線とが主光線 $L_1$ に対して対称に絞り込まれて、あたかもレンズ内部の仮想絞り $S_3$

10

20

30

40

50

が絞られたように作用する。

【0093】

以上の理由から、実施例5のようにレンズ内に仮想絞りのある光学系の場合、その物体側と像側の両方に絞り機構を設けることが望ましい。

【0094】

実施例6は、図6に示す構成で、物体側より順に、負の屈折力の第1群と、正の屈折力の第2群とで構成されたズーム光学系である。第1群と第2群は変倍時可動であって、両群の間隔を変えることにより変倍に伴う像面位置のずれを補正するようにしている。このように、実施例6は負正の2群ズーム光学系で、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて小型化および低コスト化を達成した。この実施例は、負レンズ群先行のズーム光学系であるが主として変倍作用を有する第2群にラジアル型屈折率分布レンズを用いて、この第2群の屈折力を強くして光学系の小型化を達成すると共に諸収差を良好に補正した。

10

【0095】

又明るさ絞りは第2群の物体側に配置し、第2群と一体に移動させて変倍の際の収差の変動を小さくし得るようにした。絞りをラジアル型屈折率分布レンズと一体に移動させるようにしたことにより、この屈折率分布レンズの径を小にすることができ低コストになし得る。また屈折率分布レンズの像側を正レンズ1枚にて構成し、つまり第2群をラジアル型屈折率分布レンズと正レンズとにて構成することにより少ないレンズ枚数にて光学系を構成するようにした。また屈折率分布レンズ以外は全て均質球面レンズにて構成して偏

20

【0096】

又ラジアル型屈折率分布レンズを負レンズの形状にして特にペッツバール和と色収差の補正を行ない、又その像側の面を凹面にしてバックフォーカスを長くした。

【0097】

又、この実施例の光学系は、第2群の最も像側の正レンズを光軸に沿って移動させることにより至近距離物体へのフォーカシングを行なうようになっている。

【0098】

実施例7は図7に示す通りの構成であって、物体側より順に、負の屈折力の第1群と、正の屈折力の第2群と、正の屈折力の第3群にて構成された3群ズーム光学系である。

30

【0099】

この実施例において、第1群は変倍時固定で軸上光束および軸外光束を第2群へ導く作用を有し、第2群は変倍時に可動であって主として変倍作用を有し、第3群は主として変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有している。この実施例は負正正の3群ズーム光学系で、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて小型で低コストの光学系を達成し得たものである。

【0100】

この実施例は負の群が先行するズーム光学系であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを主として変倍作用を有する第2群に用いてこの群の屈折力を強くして小型化を達成したにも拘らず諸収差を良好に補正することを可能にした。又明るさ絞りを第2群である屈折率分布レンズの物体側に配置しそして絞りと第2群とが一体に可動であるので変倍の際の収差変動を小にすることができ、又ラジアル型屈折率分布レンズの径を小さくでき小型化を達成し得る。また屈折率分布レンズの像側のレンズつまり第3群を正レンズ1枚にて構成し、光学系全体が少ないレンズ枚数にて構成されている。更に屈折率分布レンズ以外は全て均質球面レンズにて構成して偏芯に強く低コストな光学系になっている。又ラジアル型屈折率分布レンズの片面を平面にしてコスト低減をはかっている。

40

【0101】

この実施例の光学系は、第3群を光軸に沿って移動させてフォーカシングを行なう。

【0102】

実施例8は、図8に示すように物体側より順に、負の屈折力の第1群と、正の屈折力

50

の第2群と、負の屈折力の第3群と、正の屈折力の第4群とで構成された4群ズーム光学系である。

【0103】

この実施例の光学系は、第1群が変倍時固定で軸上および軸外光束を第2群へ導く作用を有し、第2群が変倍時可動であり主として変倍作用を有し、第3群が変倍時可動であって主として変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有し、第4群が変倍時固定で第3群からの光束を結像する作用を有している。つまりこの実施例8は実施例1と同じ負正負正の4群ズーム光学系である。しかし光学系のすべてのレンズが均質レンズである点で異なっている。

【0104】

又この光学系は、第1群が主として倍率の色収差や歪曲収差等の軸外収差を良好に補正するために物体側より順に、負レンズと正レンズにて構成されている。また第1群は、変倍の際に固定であるので、外部からの衝撃や圧力に対する強度を増大させた鏡枠構成にすることができる。また最も像側のレンズ群である第4群が変倍の際に固定であるので変倍に伴う収差の変動を小さく抑えることが可能である。また、明るさ絞りが第2群の物体側に配置され第2群と一体に移動するようにして変倍の際の収差変動を小さくすることを可能にした。

【0105】

この実施例は、第3群を光軸に沿って移動させて至近距離物体へのフォーカシングを行なう。また、第1群あるいは第4群が光軸上を移動するようにしてフォーカシングを行なうこともできる。又第2群中の少なくとも1枚のレンズを移動させてもフォーカシングを行なうことができる。

【0106】

実施例9は図9に示すように物体側より順に、正の屈折力の第1群と正の屈折力の第2群とよりなる単焦点の光学系で、第1群はラジアル型屈折率分布レンズの正レンズ1枚、第2群は負レンズと正レンズとを接合した接合レンズよりなる。この実施例はラジアル型屈折率分布レンズと正の接合レンズの少ないレンズに拘らず高い結像性能を有している。また明るさ絞りは最も物体側に設けた。このようにラジアル型屈折率分布レンズの近傍に絞りを設けることにより屈折率分布レンズの径を小さくしてコストの低減をはかっている。

【0107】

また、この実施例では、ラジアル型屈折率分布レンズの面の形状を負レンズの形状にし色収差とベッツパル和を良好に補正している。またこの屈折率分布レンズを物体側に凹面を向けたメニスカス形状にして球面収差を良好に補正するようにしている。この屈折率分布レンズは絞り側に凹面を向けたメニスカス形状として特にコマ収差などの軸外収差も良好に補正し得るようにした。

【0108】

実施例10は、図10に示すようにラジアル型屈折率分布レンズ1枚よりなるプリズム光学系である。図10の(A)は面 $r_1$ と屈折率分布レンズの媒質の光軸 $A X_2$ とを光学系の光軸 $A X_1$ に対し偏芯させたものである。この実施例の光学系は、図示するような形状を偏芯させたラジアル型屈折率分布レンズ1枚にて光学系の光軸 $A X_1$ に対し斜め $27^\circ$ 方向の光束を光学系の面 $r_2$ 近傍に結像させる。

【0109】

通常の光学ガラスでは、図示するような形状の場合第1面 $r_1$ におけるプリズム作用によりこの面で色収差が発生するが、この実施例ではラジアル型屈折率分布レンズにより色収差が補正されている。この場合、色収差を補正するためには、条件(3)を満足することが望ましい。この条件(3)を満足しないと色収差が補正不足になる。

【0110】

この実施例10の光学系は、条件(3)を満足するようにしてあり、前記のように色収差が補正されている。

10

20

30

40

50

## 【0111】

図10の(A)に示すものは、第1面を光学系の光軸に対し偏芯させたものであるが、面のみあるいは媒質のみを偏芯させても同様のプリズム光学系を構成することができる。

## 【0112】

図10(B)は媒質の光軸 $AX_2$ を光学系の光軸 $AX_1$ に対して偏芯させたものである。図において $L_1$ は光学系の光軸 $AX_1$ 上に入射する軸外主光線、 $L_2$ 、 $L_3$ は夫々従属光線である。この図に示すように、媒質の光軸 $AX_2$ を光学系の光軸に対して偏芯させることによってプリズム光学系を達成し得る。

## 【0113】

図10(B)のラジアル型屈折率分布レンズは、図10(C)に示すようにラジアル型屈折率分布レンズの斜線部分のみを取り出したもので、これによって図10(B)の光学系が得られる。

## 【0114】

又、少なくとも1枚のレンズが、媒質に屈折率分布を有する屈折率分布レンズである光学系であり、屈折率分布レンズの一方の面あるいは屈折率分布レンズの媒質の光軸が光学系の光軸に対して偏芯している場合には、色収差を補正するために条件(3)を満足することが望ましい。

## 【0115】

実施例11は、図11に示すように、物体側より順に、負の屈折力の第1群と、正の屈折力の第2群と、負の屈折力の第3群と、正の屈折力の第4群とで構成されたズーム光学系である。また光学系の像側つまり第4群の像側に配置されている平行平板は、ローパスフィルターや赤外カットフィルター等の各種フィルターおよび撮像素子のカバーガラスである。

## 【0116】

この実施例の光学系は、第1群と第2群が変倍時に可動であって主として変倍作用を有しており、第3群が変倍時に可動であって主として変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有しており、第4群が変倍時に固定であって第3群からの光束を結像する作用を有している。

## 【0117】

このように、実施例11は負正負正のズーム光学系であって、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて小型化と低コスト化を達成したものである。また、ラジアル型屈折率分布レンズを変倍作用を有する第2群に用いてこの群の屈折力を強くして小型化を達成したにも拘らず諸収差を良好に補正することができる。又、ラジアル型屈折率分布レンズを用いて第2群を1枚のレンズにて構成して低コストにしている。

## 【0118】

又、第1群は主として倍率の色収差や歪曲収差等の軸外収差を良好に補正するために、物体側より順に、負レンズと負レンズと正レンズにて構成している。又最も像側のレンズ群つまり第4群は変倍時に固定であり、これにより変倍に伴う収差変動を抑えることができる。また明るさ絞りは第2群の物体側に配置し、第2群と絞りとを一体に移動させるようにして変倍時の収差変動を小さくしている。又ラジアル型屈折率分布レンズを絞りと一体に移動することによりラジアル型屈折率分布レンズの径を小にして低コストにし得る。また屈折率分布レンズ(第2群)の像側は物体側より順に負レンズ(第3群)と正レンズ(第4群)にて構成して少ないレンズにてレンズ系を構成するようにした。又、これにより第1群よりも像側の第2群、第3群、第4群が全体として正レンズ、負レンズ、正レンズのトリプレットの構成になり、少ないレンズ枚数にて諸収差を効率的に補正し得るようになっている。また最も像側のレンズを正レンズにして軸外光線が光軸に対しほぼ平行に像面へ入射させることが可能になる。またラジアル型屈折率分布レンズ以外のレンズは全て均質球面レンズであり、偏芯に強く又低コスト化にとって有効である。

## 【0119】

10

20

30

40

50

実施例 12 は図 12 に示す通りで、ラジアル型屈折率分布レンズの外周部分が設計値より外れた場合の補正方法を示すものである。図 12 の (A) において A X は光軸、G L はラジアル型屈折率分布レンズ、L<sub>11</sub> は光軸近傍の開口比が小さい軸上光束、L<sub>12</sub> は光軸から離れた開口比の大きい軸上光束である。

【0120】

この図 12 (A) に示す屈折率分布レンズ G L は、外周の屈折率分布が良品分布から外れており軸上光線が図示するような状況になっている。これにより、図 17 (A) に示すように開口比の大きい部分での球面収差の発生量が急速に大になっている。

【0121】

図 12 (B) は屈折率分布レンズの周辺部分を加工して球面収差の補正を行なった例である。この周辺部の加工により球面収差は図 17 (B) のように補正される。

【0122】

又図 12 (C) に示すように周辺部にガラスやプラスチック等の透明な光学材料 T を付加することにより補正することも可能である。この例により球面収差は図 17 (C) のように補正できる。

【0123】

以上述べた本発明の光学系は、特許請求の範囲に記載する発明のほか次の各項に記載する光学系も発明の目的を達成し得るものである。

【0124】

(1) 特許請求の範囲の請求項 1 に記載する光学系で、第 1 レンズ群が変倍の際固定であることを特徴とする光学系。

【0125】

(2) 特許請求の範囲の請求項 1 に記載する光学系で、第 2 レンズ群が媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚含むことを特徴とする光学系。

【0126】

(3) 特許請求の範囲の請求項 1 に記載する光学系で第 4 レンズ群が変倍の際固定であることを特徴とする光学系。

【0127】

(4) 特許請求の範囲の請求項 1 に記載する光学系で、媒質に光軸から半径方向に屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚含み、下記条件 (1) を満足することを特徴とする光学系。

【0128】

$$(1) \quad 0.01 < |N_{1d} \times t_G| < 1$$

(5) 特許請求の範囲の請求項 1 に記載する光学系で、媒質に光軸から半径方向に屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚含み、下記条件 (2) を満足することを特徴とする光学系。

$$(2) \quad 0.05 < t_G / \sqrt{f_W \cdot f_T} < 2$$

【0129】

(6) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する光学系で、第 1 レンズ群が変倍の際に固定であり、少なくとも 1 枚の負レンズと正レンズとにて構成されていることを特徴とする光学系。

【0130】

(7) 特許請求の範囲の請求項 2 に記載する光学系で、媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚含むことを特徴とする光学系。

【0131】

(8) 特許請求の範囲の請求項 3 に記載する光学系で、物体側より順に、負のレンズ群と正のレンズ群とのみにて構成されたことを特徴とする光学系。

【0132】

(9) 特許請求の範囲の請求項 3 に記載する光学系で、最も物体側のレンズ群が変倍の

際に固定であることを特徴とする光学系。

【0133】

(10) 特許請求の範囲の請求項3に記載する光学系で、少なくとも一つの屈折率分布レンズが媒質に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、下記条件(1)を満足することを特徴とする光学系。

【0134】

$$(1) \quad 0.01 < |N_{1d} \times t_G| < 1$$

(11) 特許請求の範囲の請求項3に記載する光学系で、少なくとも一つの屈折率分布レンズが媒質に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズで、下記条件(2)を満足することを特徴とする光学系。

$$(2) \quad 0.05 < t_G / \sqrt{f_W \cdot f_T} < 2$$

10

【0135】

(12) 複数のレンズ群よりなり、少なくとも一つのレンズ群が光軸上を移動して変倍を行なう光学系で、光学系中の少なくとも一枚のレンズが媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズであり、前記屈折率分布レンズが両端面が平面である形状であることを特徴とする光学系。

【0136】

(13) 前記の(12)の項に記載する光学系で、変倍に際し移動するレンズ群中に屈折率分布レンズを含み、前記の屈折率分布レンズを含むレンズ群と明るさ絞りとが一体に移動するように構成されたことを特徴とする光学系。

20

【0137】

(14) 前記の(12)の項に記載する光学系で、下記条件(3)を満足することを特徴とする光学系。

【0138】

$$(3) \quad 1 / V_{1d} < 0.15$$

(15) 前記の(12)の項に記載する光学系で、少なくとも一つの屈折率分布レンズが媒質に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、下記条件(1)を満足することを特徴とする光学系。

$$(1) \quad 0.01 < |N_{1d} \times t_G| < 1$$

30

(16) 前記の(12)の項に記載する光学系で、屈折率分布レンズの少なくとも一つが媒質に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型レンズで下記条件(2)を満足することを特徴とする光学系。

$$(2) \quad 0.05 < t_G / \sqrt{f_W \cdot f_T} < 2$$

【0139】

(17) 複数のレンズ群よりなり、少なくとも一つのレンズが媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズであり、この屈折率分布レンズの像側に物体側より順に負レンズと正レンズとを有することを特徴とする光学系。

【0140】

(18) 前記の(17)の項に記載する光学系で、少なくとも一つのレンズ群が光軸上を移動することにより変倍を行なうことを特徴とする光学系。

40

【0141】

(19) 前記の(18)の項に記載する光学系で、屈折率分布レンズが媒質に正の屈折力を持ち、前記正レンズと負レンズが均質球面レンズであることを特徴とする光学系。

【0142】

(20) 前記の(18)の項に記載する光学系で、屈折率分布レンズの少なくとも一面が平面形状であることを特徴とする光学系。

【0143】

(21) 複数のレンズ群よりなり、少なくとも一枚のレンズが媒質に屈折率の分布を有

50

する屈折率分布レンズであり、屈折率分布レンズの像側が正レンズ 1 枚のみからなることを特徴とする光学系。

【0144】

(22) 前記の(21)の項に記載する光学系で、少なくとも一つのレンズ群が光軸上を移動することにより変倍を行なうことを特徴とする光学系。

【0145】

(23) 光学系中に媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを少なくとも 1 枚含み、屈折率分布レンズの物体側と像側に絞り機構が設けられていることを特徴とする光学系。

【0146】

(24) 前記の(23)の項に記載する光学系で、少なくとも一つの屈折率分布レンズが媒質に光軸から半径方向に向かって屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、下記条件(1)を満足することを特徴とする光学系。

【0147】

$$(1) \quad 0.01 < |N_{1d} \times t_G| < 1$$

(25) 前記の(23)の項に記載する光学系で、少なくとも一つの屈折率分布レンズが媒質に光軸から半径方向に向かって屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、下記条件(2)を満足することを特徴とする光学系。

$$(2) \quad 0.05 < t_G / \sqrt{f_W \cdot f_T} < 2$$

【0148】

(26) 前記の(23)の項に記載する光学系で、下記条件(3)を満足することを特徴とする光学系。

【0149】

$$(3) \quad 1 / V_{1d} < 0.15$$

(27) 媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを含み、屈折率分布レンズの外周部を加工して外周部の屈折率分布による結像性能の劣化を補正した光学系。

【0150】

(28) 前記の(27)の項に記載する光学系で、屈折率分布レンズの外周部を除去加工したことを特徴とする光学系。

【0151】

(29) 前記の(27)の項に記載する光学系で、屈折率分布レンズの外周部を透明な光学部材を付加したことを特徴とする光学系。

【0152】

(30) レンズ系中に少なくとも 1 枚の媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを含み、前記屈折率分布レンズの少なくとも一方の面が偏芯していることを特徴とする光学系。

【0153】

(31) 前記の(30)の項に記載する光学系で、下記条件(3)を満足することを特徴とする光学系。

【0154】

$$(3) \quad 1 / V_{1d} < 0.15$$

(32) 少なくとも 1 枚のレンズが媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズで、この屈折率分布レンズの媒質の光軸が光学系の光軸に対して偏芯していることを特徴とする光学系。

【0155】

(33) 前記の(32)の項に記載する光学系で、下記条件(3)を満足することを特徴とする光学系。

【0156】

$$(3) \quad 1 / V_{1d} < 0.15$$

10

20

30

40

50

(34) 物体側より順に、正の屈折力の第1群と、負の屈折力の第2群と、正の屈折力の第3群と、負の屈折力の第4群と、正の屈折力の第5群とよりなり、少なくとも1枚の媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを用いたことを特徴とする光学系。

【0157】

(35) 前記の(34)の項に記載する光学系で、媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを少なくとも1枚含むことを特徴とする光学系。

【0158】

(36) 前記の(34)の項に記載する光学系で、すべての群が3枚以下のレンズにて構成されていることを特徴とする光学系。

【0159】

(37) 前記の(35)の項に記載する光学系で、すべての群が2枚以下のレンズにて構成されていることを特徴とする光学系。

【0160】

(38) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(12)、(17)、(21)、(23)、(27)、(30)、(32)又は(34)の項に記載する光学系で、画面の有効対角長が1/2インチ以下の撮像素子を用いていることを特徴とする光学系。

【0161】

(39) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(12)、(17)、(21)、(23)、(27)、(30)、(32)又は(34)の項に記載する光学系で、画面の有効対角長が1/3インチ以下の撮像素子を備えたことを特徴とする光学系。

【0162】

(40) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(12)、(17)、(21)、(23)、(27)、(30)、(32)又は(34)の項に記載する光学系で、媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを少なくとも1枚含み、該屈折率分布レンズの直径が0.1mm以上10mm以下であることを特徴とする光学系。

【0163】

(41) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(12)、(17)、(21)、(23)、(27)、(30)、(32)又は(34)の項に記載する光学系で、媒質に屈折率の分布を有する屈折率分布レンズを1枚含み、該屈折率分布レンズの直径が0.2mm以上5mm以下であることを特徴とする光学系。

【0164】

(42) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(12)、(17)、(21)、(23)、(27)、(30)、(32)又は(34)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする撮像装置。

【図面の簡単な説明】

【0165】

【図1】本発明の実施例1の断面図

【図2】本発明の実施例2の断面図

【図3】本発明の実施例3の断面図

【図4】本発明の実施例4の断面図

【図5】本発明の実施例5の断面図

【図6】本発明の実施例6の断面図

【図7】本発明の実施例7の断面図

【図8】本発明の実施例8の断面図

【図9】本発明の実施例9の断面図

【図10】本発明の実施例10の断面図

【図11】本発明の実施例11の断面図

【図12】本発明の実施例12の断面図

【図13】屈折率分布レンズの前後に絞りを配置した時の光線の状況を示す図

【図14】本発明の実施例1の広角端における収差曲線図

10

20

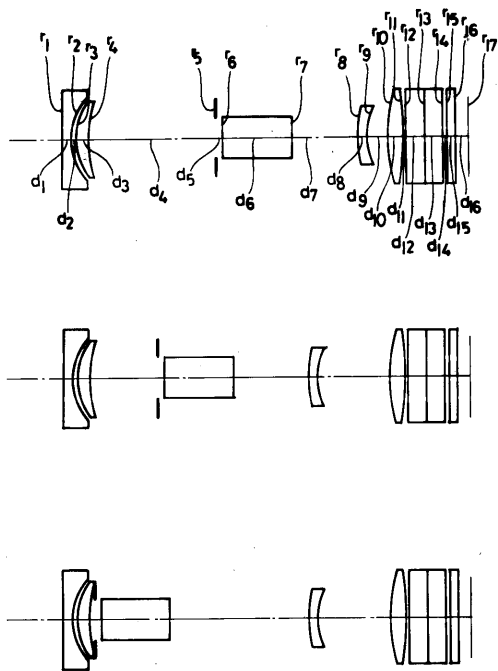
30

40

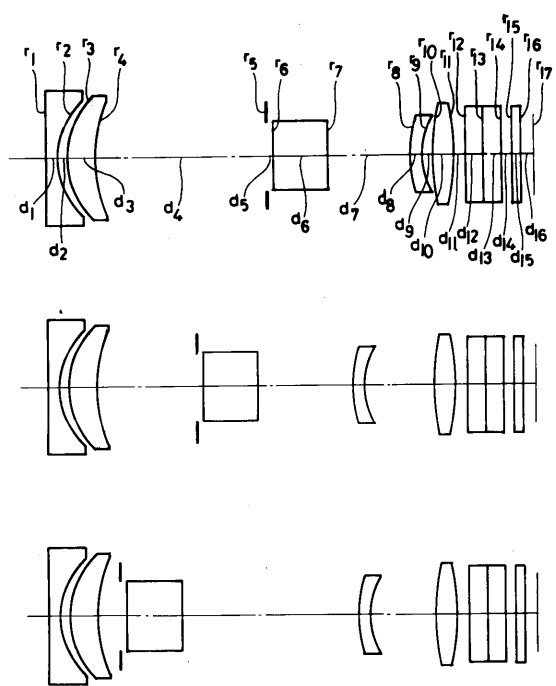
50

- 【図15】本発明の実施例1の中間焦点距離における収差曲線図
- 【図16】本発明の実施例1の望遠端における収差曲線図
- 【図17】本発明の実施例12の収差の概要を示す図である。

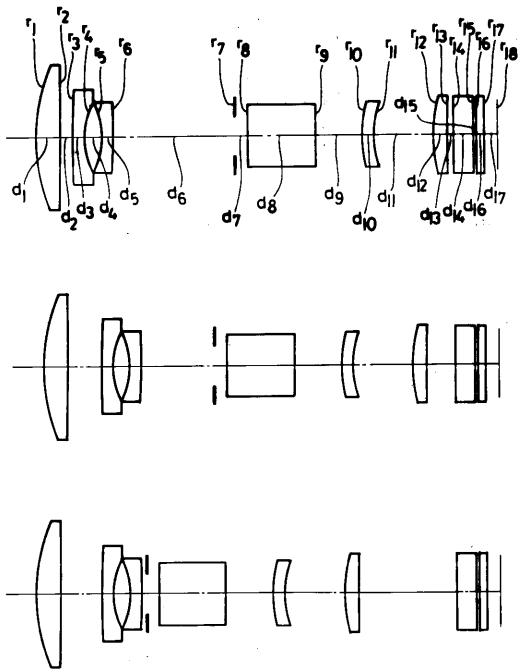
【図1】



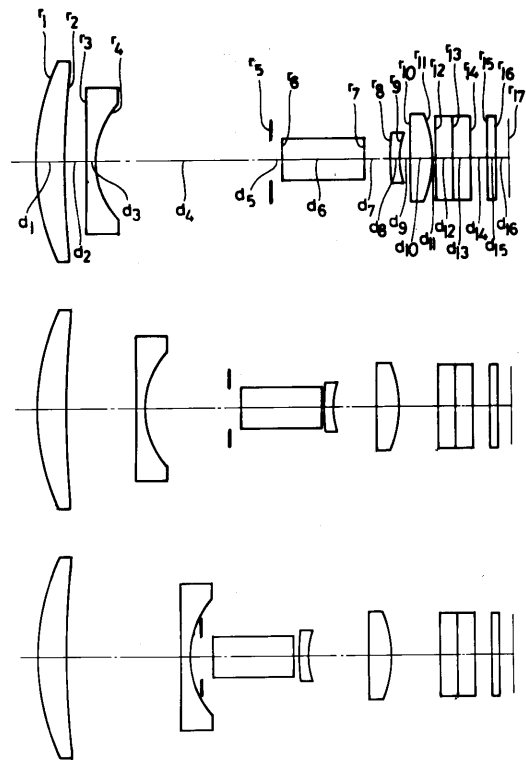
【図2】



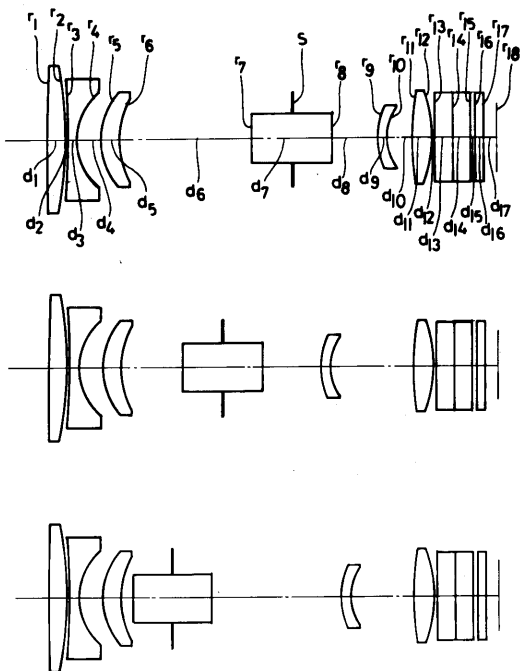
【 図 3 】



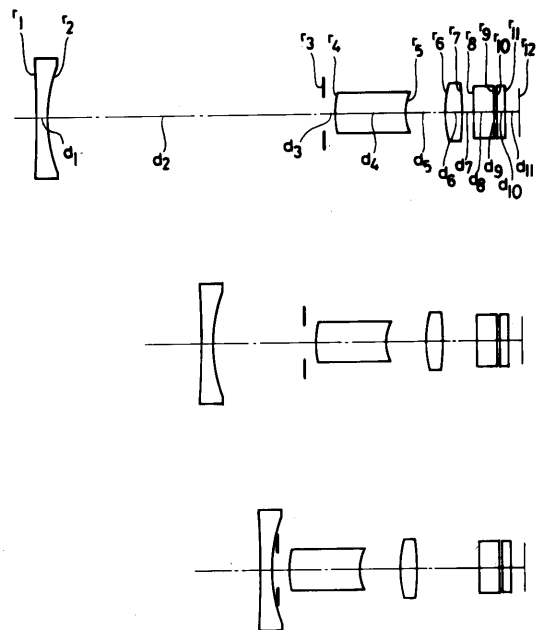
【 図 4 】



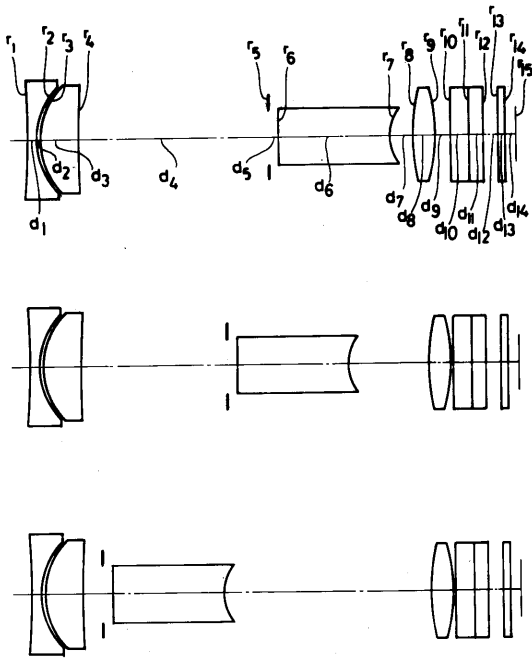
【 図 5 】



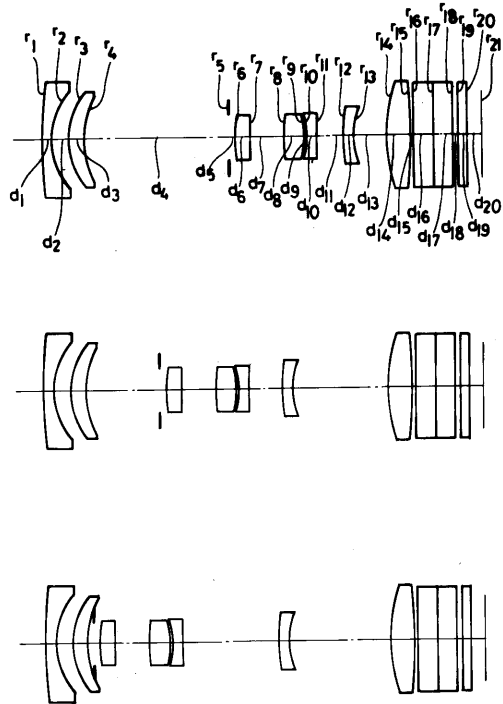
【 図 6 】



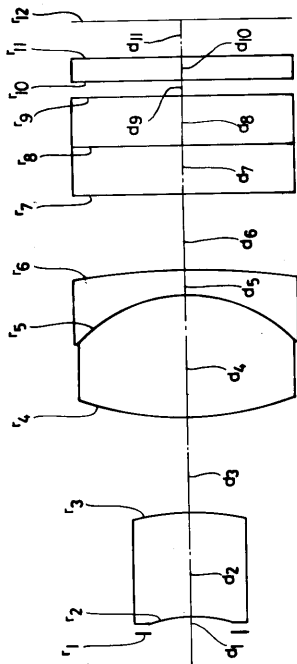
【 図 7 】



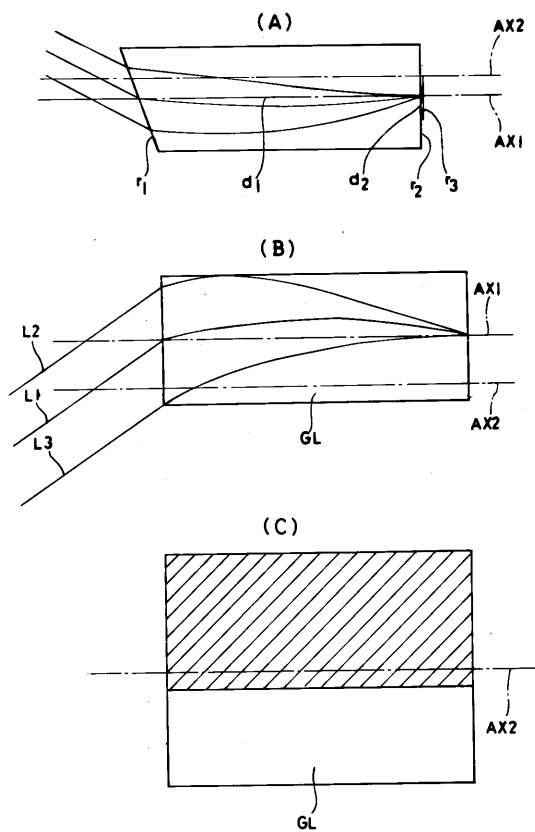
【 図 8 】



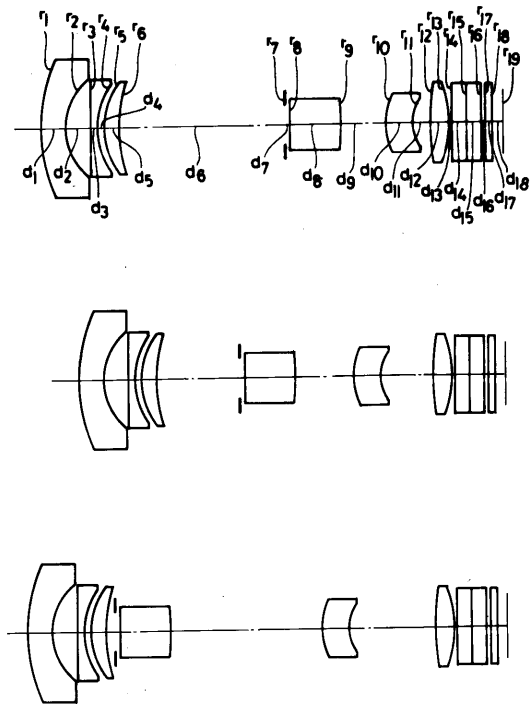
【 図 9 】



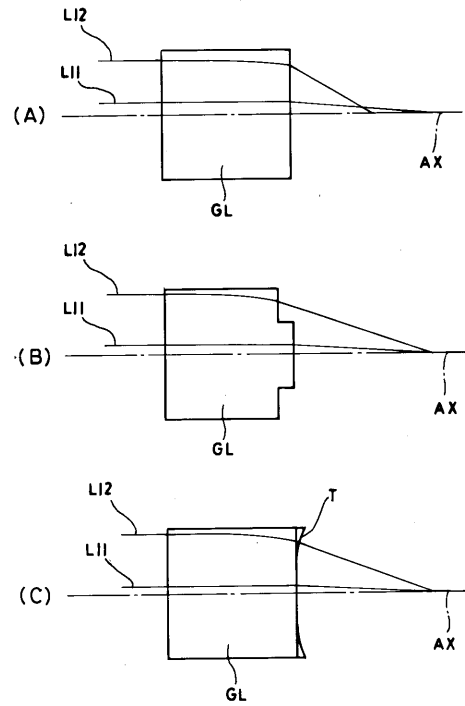
【 図 10 】



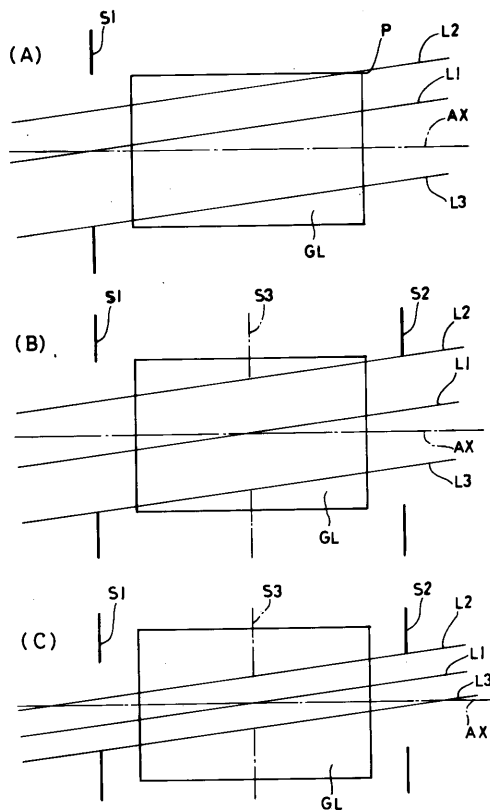
【 図 1 1 】



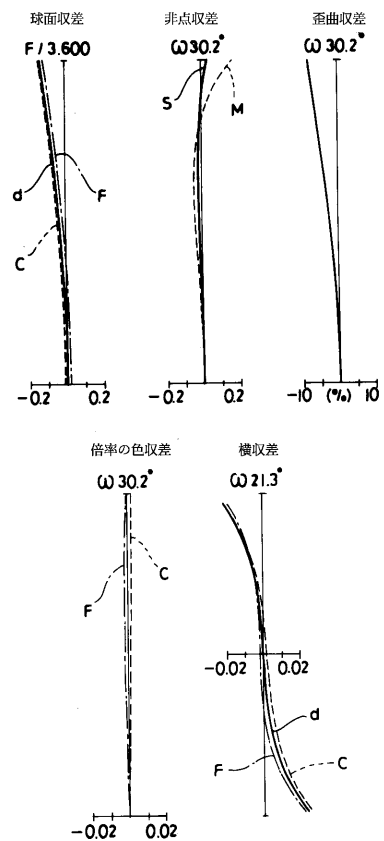
【 図 1 2 】



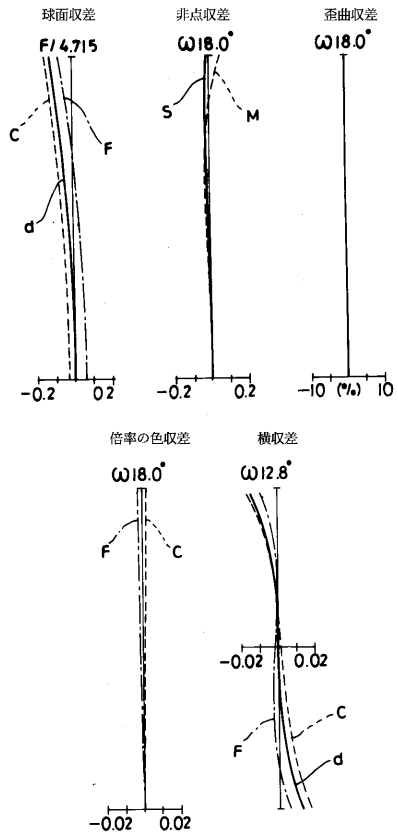
【 図 1 3 】



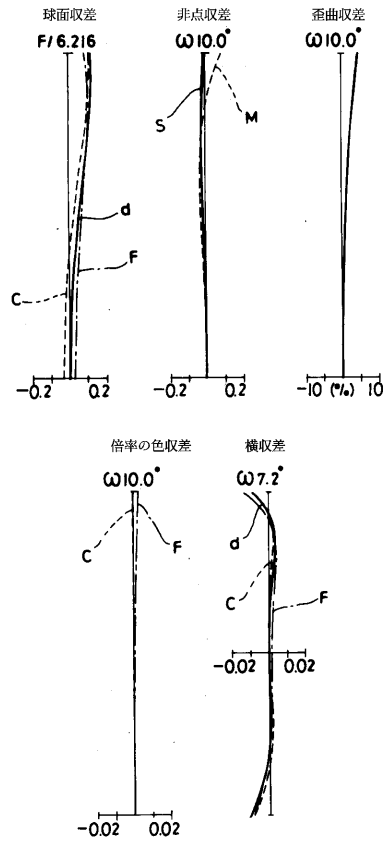
【 図 1 4 】



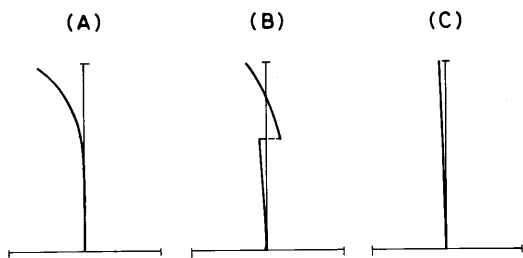
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



## 【手続補正書】

【提出日】平成16年6月16日(2004.6.16)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側より順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、負の屈折力の第3レンズ群と、正の屈折力の第4レンズ群とよりなり、前記第1レンズ群が、物体側から順に、1枚の負レンズと1枚の正レンズのみからなることを特徴とする光学系。

【請求項2】

物体側より順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、負の屈折力の第3レンズ群と、正の屈折力の第4レンズ群とよりなり、明るさ絞りが前記第2レンズ群の物体側に配置され、前記第2レンズ群と一体に移動することを特徴とする光学系。

【請求項3】

物体側より順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、負の屈折力の第3レンズ群と、正の屈折力の第4レンズ群とよりなり、前記第3レンズ群は、フォーカシングのために、光軸に沿って移動することを特徴とする光学系。

【請求項4】

物体側より順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、負の屈折力の第3レンズ群と、正の屈折力の第4レンズ群とよりなり、前記第1レンズ群は変倍時固定であり、フォーカシングのために、光軸に沿って移動することを特徴とする光学系。

【請求項5】

物体側より順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、負の屈折力の第3レンズ群と、正の屈折力の第4レンズ群とよりなり、前記第4レンズ群は変倍時固定であり、フォーカシングのために、光軸に沿って移動することを特徴とする光学系。

【請求項6】

前記第3レンズ群が1枚のレンズのみからなることを特徴とする請求項1、2、3、4、又は5の光学系。

【請求項7】

前記第4レンズ群が1枚のレンズのみからなることを特徴とする請求項1、2、3、4、又は5の光学系。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

本発明の光学系は、物体側から順に、負の屈折力の第1レンズ群と、正の屈折力の第2レンズ群と、負の屈折力の第3レンズ群と正の屈折力の第4レンズ群とよりなり、第2レンズ群中に媒質に屈折率分布を有するレンズを少なくとも1枚用いたことを特徴とする。又本発明の光学系は、第2レンズ群を光軸に沿って移動させることにより変倍を行なう光学系である。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0071

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【 0 0 7 1 】

また、この実施例 1 の光学系は、絞りを第 2 群の物体側に配置し、変倍の際に絞りを第 2 群と一体に移動させるようにして変倍の際の収差変動が小さくなるようにした。したがって、第 2 群であるラジアル型屈折率分布レンズと絞りとが一体に移動するために、ラジアル型屈折率分布レンズの径を小さくすることができ低コストになし得る。又このラジアル型屈折率分布レンズの像側の第 3 群と第 4 群を負レンズ（第 3 群）および正レンズ（第 4 群）にて構成した。つまりラジアル型屈折率分布レンズの像側を物体側より順に負レンズと正レンズとにて構成して少ないレンズ枚数にて光学系を構成し得るようにした。つまり、画角を広げる作用を有する第 1 群より像側のレンズ構成を正レンズ、負レンズ、正レンズのトリプレット構成にし、少ないレンズ枚数で諸収差を効果的に補正し得るようにした。又最も像側のレンズを正レンズにしたことにより、軸外光線を光軸とほぼ平行に像面へ入射させることが出来る。また、屈折率分布レンズ以外のレンズを全て均質球面レンズにて構成して光学系の偏芯による悪影響が少なく（偏芯に強く）また低コストになし得る構成になっている。又ラジアル型屈折率分布レンズの両面を平面にしこれによっても低コスト化を達成した。

---

フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA02 KA03 LA03 MA12 MA14 MA15 MA18 PA02 PA03 PA04  
PA05 PA06 PA07 PA17 PA18 PB03 PB04 PB05 PB06 PB07  
QA02 QA03 QA06 QA07 QA12 QA14 QA17 QA18 QA19 QA21  
QA22 QA25 QA26 QA32 QA34 QA37 QA41 QA42 QA45 QA46  
RA22 RA23 RA36 RA43 RA44 SA07 SA09 SA13 SA14 SA16  
SA17 SA19 SA24 SA26 SA30 SA32 SA43 SA47 SA49 SA53  
SA55 SA62 SA63 SA64 SA65 SA66 SA72 SA75 SB02 SB03  
SB04 SB12 SB13 SB14 SB22 SB24 SB32 UA01