(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3573575号
(P3573575)
(45)発行日　平成16年10月6日(2004.10.6)　(24)登録日　平成16年7月9日(2004.7.9)

(51)Int.Cl.[7]	F I
G02B 13/00	G02B 13/00
G02B 9/00	G02B 9/00
G02B 13/18	G02B 13/18

請求項の数 13　(全 56 頁)

(21)出願番号　特願平8-252238
(22)出願日　平成8年9月4日(1996.9.4)
(65)公開番号　特開平10-78543
(43)公開日　平成10年3月24日(1998.3.24)
審査請求日　平成14年8月19日(2002.8.19)

(73)特許権者　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　オリンパス光学工業株式会社内

審査官　吉野　公夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学系

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

媒質中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を少なくとも有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布の傾きが各波長毎に異なるとき、下記条件（１）を満足することを特徴とする光学系。

（１）　$\Delta\theta_{gF}<0.5$

ただし$\Delta\theta_{gF}$は下記式（ｂ）にて与えられる定数である。

$\Delta\theta_{gF}=|\theta_{gF}(e)-\theta_{gF}(0)|$　（ｂ）

ここで$\theta_{gF}(e)$および$\theta_{gF}(0)$は、半径ｒの点での部分分散比を下記式（ｃ）にて表わした時の、夫々ラジアル型屈折率分布レンズの有効径（ｒ＝ｅ）および光軸上（ｒ＝０）における部分分散比である。

$\theta_{gF}(r)=|n_g(r)-n_F(r)|/|n_F(r)-n_C(r)|$　（ｃ）

ただし、$n_g(r)$，$n_F(r)$，$n_C(r)$は夫々半径ｒの点でのｇ線、Ｆ線、Ｃ線に対する屈折率である。

【請求項２】

ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布の傾きが各波長毎に異なるとき、下記条件（３）を満足することを特徴とする請求項１の光学系。

（３）　$-0.5<1/V_1(g)<0.5$

【請求項３】

ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布の傾きが各波長毎に異なるとき、下記の条件（５）を満足することを特徴とする請求項１の光学系。
（５）　　$-1<1/\nu_{egF}<1$
【請求項４】
少なくとも１面が非球面であるレンズを少なくとも１枚有する光学系を備えたことを特徴とするテレビ電話。
【請求項５】
光学系が単焦点であることを特徴とする請求項４のテレビ電話。
【請求項６】
光学系が物体側より順に負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とする請求項５のテレビ電話。
【請求項７】
光学系が物体側より順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とする請求項６のテレビ電話。
【請求項８】
光学系中に少なくとも１枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とする請求項５、６、７のテレビ電話。
【請求項９】
少なくとも１面が非球面であるレンズを少なくとも１枚有する光学系を備えたことを特徴とする情報入力装置。
【請求項１０】
光学系が単焦点であることを特徴とする請求項９の情報入力装置。
【請求項１１】
光学系が物体側より順に負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とする請求項１０の情報入力装置。
【請求項１２】
光学系が物体側より順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とする請求項１１の情報入力装置。
【請求項１３】
光学系中に少なくとも１枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とする請求項１０、１１、１２の情報入力装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、主として白色または多波長の光源の下で用いる光学系に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
媒質中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は、均質レンズと比較して収差補正の自由度が大であることから、光学系を構成するレンズ枚数の削減や結像性能の向上に効果的である。特に色収差の補正に優れた特徴を持つため、カメラや顕微鏡等の白色または多波長の光源下で用いる光学系中にこのラジアル型屈折率分布レンズを用いた従来例が数多く知られている。
【０００３】
しかし、このようなラジアル型屈折率分布レンズを用いた従来例の多くは、１次スペクトルつまりｄ線、Ｆ線、Ｃ線の３波長の補正についてしか考慮されておらず、２次スペクトル、つまりｇ線も含めた４波長の補正については考慮されていない。
【０００４】
顕微鏡やビデオカメラ、銀塩カメラ等の光学系においては、ｇ線程度の短波長域も含めた広い波長域での色収差を補正することが強く求められている。
【０００５】

ラジアル型屈折率分布レンズを用いた光学系で、ｇ線について記載された従来例として、特開平１－２２３４０８号公報、特開平１－２４６５１７号公報に記載された光学系が知られている。

【０００６】

しかし、これら従来例は、媒質で発生するｄ線とｇ線の２波長の色収差についての補正が記述されているのみで、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線の４波長については考慮されていない。

【０００７】

また、特開平５－９３８５２号公報には、ｇ線についての記載があるラジアル型屈折率分布レンズの開示がなされているが、これは歪曲収差を補正するためのフィルターであって屈折力がほぼ０であり各種光学系に適用して色収差を良好に補正することは困難である。

【０００８】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、白色又は多波長の光源の下で用いられる光学系で、ｇ線をも含めて色収差が良好に補正された光学系を提供することにある。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

本発明の光学系は、媒質中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を用いたもので、このラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（１）を満足することを特徴としている。

【００１０】

（１）　$\Delta\theta_{gF}<0.5$

ただし、$\Delta\theta_{gF}$は、次の式（ｂ）にて表わされる値である。

【００１１】

$\Delta\theta_{gF}=|\theta_{gF}(e)-\theta_{gF}(0)|$　　（ｂ）

上記式（ｂ）において、$\theta_{gF}(e)$、$\theta_{gF}(0)$は夫々ラジアル型屈折率分布レンズの有効径（ｒ＝ｅ）および光軸上（ｒ＝０）での部分分散比を表わすもので、下記式（ｃ）で与えられる。

【００１２】

$\theta_{gF}(r)=|n_g(r)-n_F(r)|/|n_F(r)-n_C(r)|$　　（ｃ）

ただし、$n_g(r)$、$n_F(r)$、$n_C(r)$はそれぞれ半径ｒの点でのｇ線、Ｆ線、Ｃ線の屈折率である。

【００１３】

上記の条件（１）は、広い波長域で用いる光学系で発生する色収差を良好に補正するための条件であって、この条件（１）を満足することにより広い波長域での色収差を補正し得る。

【００１４】

ラジアル型屈折率分布レンズは、媒質中に光軸から半径方向に軸対称な屈折率分布を持ち、面での屈折に加えてレンズの媒質中で光線を屈折させることが可能である。そのため、均質レンズに比較して収差補正の自由度が大で、特に色収差の補正に優れた能力を持っている。そのため、媒質と面とで発生する色収差を考慮しつつラジアル型屈折率分布レンズ単体でｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線の４波長の色収差を良好に補正することを考える。

【００１５】

まず、ラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折率分布を２乗式で近似すると下記の式（ａ）にて表わされる。

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

【００１６】

ただし、ｒは光軸から半径方向への距離、$n_{\lambda}(r)$ はある波長λの距離ｒの点での屈折率を表わし、例えばn_{d}（ｒ）は半径ｒにおけるｄ線の屈折率、$N_{i\lambda}$は波長λの２ｉ次の屈折率分布係数を表わし例えばN_{1d}はｄ線に対する２次の屈折率分布係数を表わす。

【００１７】

図４１は、屈折率分布の一例を示す図で、縦軸は屈折率、横軸は光軸からの距離で、曲線ｄ、Ｆ、Ｃ、ｇは夫々ｒに対するｄ線、Ｆ線、Ｃ線、ｇ線の屈折率変化を示している。又図中ｅはレンズの有効径、Δn_{λ}は、ある波長の光軸上と有効径での屈折率差である。また、屈折率分布の傾き（各曲線の傾き）は、光軸からレンズ周辺部へ向かっての屈折率の変化の度合いを表わしており、この傾きが各波長毎に異なることは、屈折率分布を表わす式（ａ）における２次の屈折率分布係数N_{1}　が各波長毎に異なる値を持つことを意味する。つまりN_{1d}、N_{1C}、N_{1F}、N_{1g}が夫々異なる値を持つことを意味している。したがって仮りに屈折率分布の傾きが各波長毎に一致していれば波長間の媒質の焦点距離は一致し、色収差は発生しない。しかし実際の屈折率分布素材の作製上、通常屈折率分布の傾きは各波長毎に異なり、それらを一致させることは困難である。

【００１８】

本発明は、屈折率分布レンズの屈折率分布の傾きが各波長毎に異なっていても、ラジアル型屈折率分布レンズが前記条件（１）を満足するようにして、色収差を許容できる範囲に補正し得るようにしたものである。

【００１９】

ここで、２次スペクトルを良好に補正するための条件を述べる。ラジアル型屈折率分布レンズをレンズ単体で、あるいは光学系中に用いて、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線の４波長を良好に補正するためには、各波長毎の屈折率分布の傾きが大きく異ならないことが必要である。例えば図４２に示すようにｄ線、Ｃ線、Ｆ線に対するｇ線の屈折率変化が大きく異なると、ｇ線の焦点距離がｄ線、Ｃ線、Ｆ線の焦点距離と大きく異なり、２次スペクトルを良好に補正することが困難になる。そのため、２次スペクトルの補正のためには、各波長毎の屈折率分布が極端に異ならないようにする必要がある。つまり前記条件（１）を満足する必要がある。

【００２０】

前記式（ｃ）に示すようにθ_{gF}（ｒ）　は、Ｆ線とＣ線の屈折率差である主分散に対するｇ線の屈折率の度合いを示すもので、このθ_{gF}（ｒ）　の値が光軸上と周辺部とで大きく異ならないようにすれば、ｇ線の屈折率分布の傾きのみが他の波長に対し極端に異なることはなく、２次スペクトルを良好に補正することが出来る。そのために設けたのが条件（１）である。

【００２１】

もし条件（１）を満足しないと２次スペクトルを良好に補正することが困難になる。また、実際の屈折率分布素材の作製上、通常は屈折率分布の傾きは、各波長毎に異なるが、条件（１）を満足すれば、２次スペクトルを良好に補正することが可能になる。このように、この条件（１）は、２次スペクトルを補正するための必要条件であり、この条件を満足するラジアル型屈折率分布レンズは、レンズ単体あるいは光学系中に適用して色収差を良

好に補正することが出来る。

【００２２】

また、１次の軸上色収差つまりｄ線、Ｃ線、Ｆ線の色収差ＰＡＣは、下記式（ｄ）にて表わされる。

【００２３】

$$PAC = K(\phi_S / V_0 + \phi_m / V_1) \quad (d)$$

ただし、Ｋは軸上光線の光線高および最終近軸光線角度に依存する定数、V_i は２ｉ次の屈折率分布係数に対応する分数を表わす値で、V_0 は下記式（ｅ）で与えられ、V_1 は下記式（ｆ）のｉ＝１の場合に与えられる。又ϕ_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、ϕ_m はｄ線におけるラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折力であり、式（ｇ）にて近似される。

【００２４】

$$V_0 = (N_{0d} - 1) / (N_{0F} - N_{0C}) \quad (e)$$

$$V_i = N_{id} / (N_{iF} - N_{iC}) \quad (i = 1, 2, 3, \cdots) \quad (f)$$

$$\phi_m = -2 N_{1d} t_G \quad (g)$$

ただし、t_G はラジアル型屈折率分布レンズの厚さである。

【００２５】

式（ｄ）より明らかなように、媒質で発生する色収差を表わすＰＡＣにおいて第２項の分母のV_1 の値を適当に選ぶことにより、発生する収差を所望の値にすることが出来る。

【００２６】

ここで１次スペクトルつまりｄ線、Ｃ線、Ｆ線の３波長の色収差を補正するための条件を考えると、ラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２）を満足することが望ましい。

【００２７】

（２） $-0.5 < 1/V_1 < 0.5$

この条件（２）を満足すると１次の色収差を良好に補正することが可能である。もし、条件（２）の上限の０．５を超えると収差が補正不足になる。又条件（２）の下限の－０．５を超えると色収差が補正過剰になる。

【００２８】

次にｄ線、ｇ線、Ｆ線の３波長の色収差ＰＡＣ（ｇ）を補正することを考える。この色収差ＰＡＣ（ｇ）を下記のように表わすことにする。

【００２９】

$$PAC(g) = K(\phi_S / V_0(g) + \phi_m / V_1(g)) \quad (d-1)$$

ただし、V_i（ｇ）は２ｉ次の屈折率分布係数に対するｇ線を考慮した分散を表わす値で、V_0（ｇ）は下記式（ｅ－１）で与えられ、V_1（ｇ）は下記式（ｆ－１）のｉ＝１の場合に与えられる。

【００３０】

$$V_o(g) = (N_{0d} - 1) / (N_{0g} - N_{0F}) \quad (e-1)$$

$$V_i(g) = N_{id} / (N_{ig} - N_{iF}) \quad (f-1)$$

ここで、式（ｄ－１）より、ｄ線、Ｆ線、ｇ線の３波長の色収差を補正するためには、下記条件（３）を満足することが望ましい。

【００３１】

（３） $-0.5 < 1/V_1(g) < 0.5$

この条件（３）を満足すればｄ線、Ｆ線、ｇ線の３波長の色収差を良好に補正することが可能である。もし、条件（３）の上限の０．５を超えると色収差が補正不足になり、下限の－０．５を超えると色収差が補正過剰になる。

【００３２】

また前述のように各波長毎の屈折率分布の傾きが同じであれば、媒質で発生する色収差はほぼ０になる。しかし実際の屈折率分布素材の作製上、屈折率分布の傾きは、各波長毎に異なり、つまり２ｉ次の分布係数の値は異なりこれを一致させることは困難である。しかし、前記条件（２）を満足すれば、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線の３波長の色収差の補正が可能であ

り、又条件（３）を満足すれば、ｄ線、Ｆ線、ｇ線の３波長の色収差を補正することが可能になる。そのため、条件（２）と条件（３）を満足すれば、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線の４波長の色収差を良好に補正することが可能になる。

【００３３】

また、色収差を良好に補正するためには、式（ｄ）および式（ｄ－１）より明らかなように、ラジアル型屈折率分布レンズの面と媒質の屈折力を考慮する必要がある。

【００３４】

ここでラジアル型屈折率分布レンズと色収差が等しくなるような分散特性を持つ仮想ガラスを想定する。

【００３５】

仮想ガラスとラジアル型屈折率分布レンズとは、下記式（ｈ－１）、（ｈ－２）を満足するものとする。

【００３６】

$$\phi/\nu_{eFC} = \phi_S/V_0 + \phi_m/V_1 \quad (h-1)$$

$$\phi/\nu_{egF} = \phi_S/V_0(g) + \phi_m/V_1(g) \quad (h-2)$$

ただし、ν_{eFC}、ν_{egF}は、仮想ガラスの分散特性を表わす式（ｉ－１）、（ｉ－２）で与えられる。また$\phi = \phi_m + \phi_S$である。

【００３７】

$$\nu_{eFC} = (n_{ed}-1)/(n_{eF}-n_{eC}) \quad (i-1)$$

$$\nu_{egF} = (n_{ed}-1)/(n_{eg}-n_{eF}) \quad (i-2)$$

ただし、n_{ed}、n_{eC}、n_{eF}、n_{eg}は、夫々仮想ガラスのｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線における仮想屈折率である。

【００３８】

上記式（ｈ－１）、（ｈ－２）より仮想ガラスの分散特性ν_{eFC}およびν_{egF}を算出すると下記の式（ｊ－１）、（ｊ－２）が得られる。

$$\nu_{eFC} = V_0 V_1 / [(V_0 - V_1)a + V_1] \quad (j-1)$$

$$\nu_{egF} = V_0(g) \cdot V_1(g) / [(V_0(g) - V_1(g))a + V_1(g)] \quad (j-2)$$

ただし、ａは媒質の屈折力比を表し、下記式（ｋ）にて表わされる。

【００３９】

$$a = \phi_m/(\phi_S + \phi_m) \quad (k)$$

上記式（ｊ－１）、（ｊ－２）より、仮想ガラスの分散特性は、ラジアル型屈折率分布レンズの面と媒質の屈折力が考慮される。

【００４０】

まず、上記式（ｊ－１）より、ラジアル型屈折率分布レンズによりｄ線、Ｃ線、Ｆ線の３波長を良好に補正するためには、下記条件（４）を満足することが望ましい。

【００４１】

（４）　$-1 < 1/\nu_{eFC} < 1$

この条件（４）を満足すれば、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線の３波長の色収差を良好に補正することが可能である。もし条件（４）の下限値の－１を超えると色収差が補正過剰になる。また上限値の１を超えると色収差が補正不足になる。

【００４２】

同様に、式（ｊ－２）より、ラジアル型屈折率分布レンズにおいてｄ線、Ｆ線、ｇ線の３波長を良好に補正するためには下記条件（５）を満足することが望ましい。

【００４３】

（５）　$-1 < 1/\nu_{egF} < 1$

この条件（５）を満足すれば、ｄ線、Ｆ線、ｇ線の３波長の色収差を良好に補正することが出来る。もし、条件（５）の下限値の－１を超えると色収差が補正過剰になり、又上限値の１を超えると色収差が補正不足になる。

【００４４】
また、条件（４）と条件（５）とを同時に満足すれば、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線の４波長の色収差を良好に補正することが出来る。
【００４５】
また、ｇ線よりも更に短い波長域での色収差を補正する必要がある場合には、ｇ線の係数の代りに収差補正上必要とされる最も短い波長の係数を用いて、これを本発明の前記の条件にあてはめればよく、これにより必要とする波長域での色収差を補正することが出来る。又このことは、Ｃ線よりもさらに長い波長域での色収差の補正を行なう場合においても同様の手段を用いることが可能である。
【００４６】
上記のように、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線の４波長の色収差を補正するためには、条件（１）を満足することが望ましいが、この条件（１）の代りに下記条件（１－１）を満足すれば一層望ましい。
【００４７】
（１－１）　$\Delta\theta_{gF}$＜０．２
また、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線の３波長の色収差を良好に補正するためには、前記のように条件（２）を満足することが望ましいが、条件（２）の代りに条件（２－１）を満足すれば一層望ましい。
【００４８】
（２－１）　－０．１５＜$1/V_1$＜０．０６
更に、より高精細な画像が要求される場合には、条件（２）や（２－１）の代りに下記条件（２－２）を満足することが望ましい。
【００４９】
（２－２）　－０．１＜$1/V_1$＜０．０５
また、前記のように、ｄ線、Ｆ線、ｇ線、の３波長の色収差を補正するためには条件（３）を満足することが好ましいが、この条件（３）の代りに下記条件（３－１）を満足すれば更に望ましい。
【００５０】
（３－１）　－０．１＜$1/V_1$（ｇ）＜０．０５
また高精細な画像が要求される場合には、条件（３）又は（３－１）の代りに下記条件（３－２）を満足することが望ましい。
【００５１】
（３－２）　－０．０６＜$1/V_1$（ｇ）＜０．０４５
また、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線の色収差を補正するための条件である条件（４）の代りに下記条件（４－１）を満足すれば一層好ましい。
【００５２】
（４－１）　－０．５＜$1/\nu_{eFC}$＜０．５
また、より高精細な画像が要求される場合には、条件（４）又は（４－１）の代りに下記条件（４－２）を満足することが望ましい。
【００５３】
（４－２）　－０．１＜$1/\nu_{eFC}$＜０．１
またｄ線、Ｆ線、ｇ線の３波長の色収差を良好に補正するための条件（５）の代りに下記条件（５－１）を満足すれば、前記３波長の色収差の補正にとって一層好ましい。
【００５４】
（５－１）　－０．５＜$1/\nu_{egF}$＜０．５
また、より高精細な画像が要求される場合には、条件（５）又は（５－１）の代りに下記条件（５－２）を満足することが望ましい。
【００５５】
（５－２）　－０．１＜$1/\nu_{egF}$＜０．１
本発明の光学系を、単焦点のレンズ系に適用する場合には、まず色収差の補正にとって必

要である条件（１）を満足することが望ましい。又本発明の光学系を単焦点の光学系に比較して色収差の補正の難しい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色収差を補正するためには、条件（１）および条件（２）あるいは条件（２）および条件（３）を満足することが望ましい。

【００５６】

また、上述の各種条件を満足するラジアル型屈折率分布レンズを単体で用いることも可能であり、複数の光学素子からなる光学系中に用いることも可能である。

【００５７】

またコストを重要視する場合には、光学系中にはラジアル型屈折率分布レンズを１枚のみ用いることが望ましい。

【００５８】

また、本発明の光学系は、銀塩カメラ、ビデオカメラ、内視鏡、撮像装置、顕微鏡、像伝送光学系、測定器、テレビ電話、情報入力機器等の光学系として用いることが出来る。

【００５９】

また、本発明の光学系で用いるラジアル型屈折率分布レンズは、その屈折率分布素材が持つ媒質の屈折率変化を式（ａ）にて示す二乗式で近似しているが、式（ａ）以外の式で表わされる屈折率分布素材の場合も、これを式（ａ）で近似して本発明の光学系に適用することが可能である。

【００６０】

また、本発明は特許請求の範囲の各請求項に記載されたものに限定されず、実質的に各請求項に記載された構成を満足していればよい。

【００６１】

【発明の実施の形態】

次に本発明の光学系の実施の形態を下記各実施例をもとに説明する。

実施例１

焦点距離ｆ＝200，Ｆナンバー＝2.8

r_1 ＝∞（絞り）　　d_1 ＝1.0000

r_2 ＝-539.3855　　d_2 ＝30.0000　n_1（屈折率分布レンズ）

r_3 ＝-435.1991　　d_3 ＝196.1227

r_4 ＝∞（像）

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.70000 ,	-7.8900×10^{-5},	5.4463×10^{-10}
C線	656.27,	1.69533 ,	-7.8922×10^{-5},	5.4521×10^{-10}
F線	486.13,	1.71089 ,	-7.8845×10^{-5},	5.4647×10^{-10}
g線	435.84,	1.71972 ,	-7.8796×10^{-5},	5.4187×10^{-10}

$\Delta\theta_{gF}=1.7\times10^{-4}$, $1/V_1=-1.0\times10^{-3}$, $1/V_1(g)=-6.0\times10^{-4}$

$\nu_{eFC}=5.0\times10^{-4}$, $\nu_{egF}=2.0\times10^{-4}$, 有効径ｅ＝36.86，$\Delta_{nd}=0.106$

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 1.0\times10^{-3}$$

【００６２】

実施例２

ｆ＝200，Ｆナンバー＝5.6

r_1 ＝∞（絞り）　d_1 ＝30.0000　n_1（屈折率分布レンズ）

r_2 ＝∞　d_2 ＝191.2873

r_3 ＝∞（像）

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.70000，	-8.4514×10^{-5},	6.5243×10^{-10}
C線	656.27,	1.69533，	-8.4509×10^{-5},	6.5605×10^{-10}
F線	486.13,	1.71089，	-8.4534×10^{-5},	6.5624×10^{-10}
g線	435.84,	1.71972，	-8.4542×10^{-5},	6.4780×10^{-10}

$\Delta\theta_{gF}=7.0\times10^{-5}$, $1/V_1=3.0\times10^{-4}$, $1/V_1(g)=1.0\times10^{-4}$

$\nu_{eFC}=3.0\times10^{-4}$, $\nu_{egF}=1.0\times10^{-4}$, 有効径ｅ＝18.78，$\Delta_{nd}$＝0.03

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 8.1\times10^{-5}$$

【００６３】

実施例３

ｆ＝200，Ｆナンバー＝3.5，2ω＝12.3°

r_1 ＝92.1037　d_1 ＝23.8235　n_1（屈折率分布レンズ）

r_2 ＝74.8597　d_2 ＝5.1710

r_3 ＝45.9880　d_3 ＝15.6257　n_2 ＝1.83400　ν_2 ＝37.17

r_4 ＝36.5604　d_4 ＝18.9259

r_5 ＝∞（絞り）　d_5 ＝0.6255

r_6 ＝218.9472　d_6 ＝7.4011　n_3 ＝1.60342　ν_3 ＝38.01

r_7 ＝-725.0040　d_7 ＝124.6556

r_8 ＝∞（像）

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.65000，	-8.0403×10^{-5},	-1.5195×10^{-9}
C線	656.27,	1.64512，	-8.0826×10^{-5},	-1.5479×10^{-9}
F線	486.13,	1.66138，	-7.9385×10^{-5},	-1.4948×10^{-9}
g線	435.84,	1.67083，	-7.8549×10^{-5},	-1.4037×10^{-9}

$\Delta\theta_{gF}=4.3\times10^{-3}$, $1/V_1=-1.7\times10^{-2}$, $1/V_1(g)=-1.0\times10^{-2}$

$\nu_{eFC}=-4.9\times10^{-2}$, $\nu_{egF}=-2.8\times10^{-2}$, 有効径ｅ＝33.56，$\Delta_{nd}$＝0.092

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = -1.9 \times 10^{-3}$$

【００６４】

実施例４

f＝0.77，Ｆナンバー＝4.7，２ω＝113.3°，物体距離９mm

r_1 ＝∞	d_1 ＝0.3200	n_1 ＝1.51633	ν_1 ＝64.15
r_2 ＝0.4025	d_2 ＝0.2229		
r_3 ＝∞	d_3 ＝0.6556	n_2 ＝1.84666	ν_2 ＝23.78
r_4 ＝-0.9538	d_4 ＝0.1230		
r_5 ＝∞（絞り）	d_5 ＝0.6316		
r_6 ＝2.1852	d_6 ＝0.8955	n_3（屈折率分布レンズ）	
r_7 ＝-3.2816	d_7 ＝0.3800		
r_8 ＝∞	d_8 ＝0.7500	n_4 ＝1.53172	ν_4 ＝48.91
r_9 ＝∞	d_9 ＝0.0048		
r_{10}＝∞（像）			

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2	n_3
d線	587.56,	1.65000，	-1.5405×10^{-1},	1.5784×10^{-1},	2.9179×10^{-2}
C線	656.27,	1.64512，	-1.5400×10^{-1},	1.5784×10^{-1},	2.9179×10^{-2}
F線	486.13,	1.66138，	-1.5418×10^{-1},	1.5784×10^{-1},	2.9179×10^{-2}
g線	435.84,	1.67088，	-1.5430×10^{-1},	1.5784×10^{-1},	2.9179×10^{-2}

$\Delta\theta_{gF}$＝4.0×10^{-4}，$1/V_1$ ＝1.2×10^{-3}，$1/V_1(g)$＝8.0×10^{-4}

ν_{eFC} ＝1.7×10^{-2}，ν_{egF} ＝9.6×10^{-3}，$1/\nu_p$ ＝4.2×10^{-2}

有効径e＝0.66，Δ_{nd}＝0.035

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 3.2 \times 10^{-2}$$

【００６５】

実施例５

ｆ＝0.59，Ｆナンバー＝3.4，２ω＝113.2°，物体距離９mm

r_1 ＝∞　　d_1 ＝0.3200　　n_1 ＝1.48749　　ν_1 ＝70.21

r_2 ＝0.7618　　d_2 ＝0.3792

r_3 ＝∞（絞り）　　d_3 ＝0.0300

r_4 ＝∞　　d_4 ＝0.8916　　n_2（屈折率分布レンズ）

r_5 ＝-0.6460　　d_5 ＝0.3569

r_6 ＝∞　　d_6 ＝0.7600　　n_3 ＝1.51633　　ν_3 ＝64.15

r_7 ＝∞　　d_7 ＝-0.0075

r_8 ＝∞（像）

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.69680，	-3.5000×10^{-1},	3.5660×10^{-1},	1.4540
C線	656.27,	1.69297，	-3.5583×10^{-1},	3.6254×10^{-1},	1.4782
F線	486.13,	1.70552，	-3.3639×10^{-1},	3.4273×10^{-1},	1.3975
g線	435.84,	1.71234，	-3.4033×10^{-1},	7.9916×10^{-1},	-1.3650

$\Delta\theta_{gF}=1.8\times10^{-1}$, $1/V_1=-5.6\times10^{-2}$, $1/V_1(g)=1.1\times10^{-2}$

$\nu_{eFC}=-8.9\times10^{-3}$, $\nu_{egF}=1.0\times10^{-2}$, 有効径ｅ＝0.42, $\Delta_{nd}=0.042$

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 1.9\times10^{-2}$$

【００６６】

実施例６

倍率＝１，ＮＡ＝0.073，像高＝0.98，物体距離４．９ｍｍ

r_1 ＝10.2360　　d_1 ＝21.3300　n_1 ＝1.62004　　ν_1 ＝36.26

r_2 ＝∞　　d_2 ＝3.2080　n_2 （屈折率分布レンズ）

r_3 ＝∞　　d_3 ＝1.6240

r_4 ＝∞　　d_4 ＝3.2080　n_3 （屈折率分布レンズ）

r_5 ＝∞　　d_5 ＝21.3300　n_4 ＝1.62004　　ν_4 ＝36.26

r_6 ＝-10.2360　　d_6 ＝4.8999

r_7 ＝∞（像）

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1
d線	587.56,	1.66400，	-7.5000×10^{-3}
C線	656.27,	1.65879，	-7.4966×10^{-3}
F線	486.13,	1.67617，	-7.5080×10^{-3}
g線	435.84,	1.68636，	-7.4906×10^{-3}

$\Delta\theta_{gF}$＝1.5 $\times10^{-3}$，$1/V_1$ ＝1.5 $\times10^{-3}$，$1/V_1(g)$＝-2.3×10^{-3}

ν_{eFC} ＝1.5 $\times10^{-3}$，ν_{egF} ＝-2.3×10^{-3}，有効径ｅ＝1.32，Δ_{nd}＝0.013

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 0$$

【００６７】

実施例７

f＝4.83～8.29～14.38，Ｆナンバー＝2.8 ～3.0 ～3.9

2ω＝70.2° ～42.5° ～24.8°

r_1 ＝26.2532	d_1 ＝2.6000	n_1 ＝1.77250	ν_1 ＝49.60	
r_2 ＝76.0387	d_2 ＝D_1 （可変）			
r_3 ＝10.9651	d_3 ＝1.0000	n_2 ＝1.84666	ν_2 ＝23.78	
r_4 ＝5.1833	d_4 ＝4.2692			
r_5 ＝-18.5991	d_5 ＝1.0000	n_3 ＝1.48749	ν_3 ＝70.21	
r_6 ＝6.0022	d_6 ＝2.4000	n_4 ＝1.84666	ν_4 ＝23.78	
r_7 ＝13.6560	d_7 ＝D_2 （可変）			
r_8 ＝∞（絞り）	d_8 ＝D_3 （可変）			
r_9 ＝23.3185	d_9 ＝15.9260	n_5 （屈折率分布レンズ）		
r_{10}＝-20.2536	d_{10}＝D_4 （可変）			
r_{11}＝∞	d_{11}＝4.2200	n_6 ＝1.61700	ν_6 ＝62.80	
r_{12}＝∞	d_{12}＝1.0000			
r_{13}＝∞	d_{13}＝0.8000	n_7 ＝1.51633	ν_7 ＝64.15	
r_{14}＝∞	d_{14}＝1.1931			
r_{15}＝∞（像）				

f	4.83	8.29	14.38
D_1	1.00000	7.38243	10.82331
D_2	11.82334	5.44086	2.0000
D_3	6.39368	4.48772	1.00000
D_4	4.93186	6.83784	10.32555

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.75000 ,	-1.5595×10^{-3},	3.3947×10^{-6}
C線	656.27,	1.74550 ,	-1.5698×10^{-3},	3.3930×10^{-6}
F線	486.13,	1.76050 ,	-1.5356×10^{-3},	3.3963×10^{-6}
g線	435.84,	1.76876 ,	-1.5112×10^{-3},	3.1693×10^{-6}

$\Delta\theta_{gF}$＝1.8×10^{-3}，$1/V_1$ ＝-2.2×10^{-2}，$1/V_1(g)$＝-1.6×10^{-2}

ν_{eFC} ＝2.5×10^{-3}，ν_{egF} ＝-1.0×10^{-4}，有効径e＝4.73，Δ_{nd}＝0.033

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 1.7 \times 10^{-3}$$

【００６８】

実施例８

ｆ＝0.65，Ｆナンバー＝4.25，２ω＝113°，物体距離９mm

r_1 ＝∞	d_1 ＝0.3200	n_1 ＝1.51633	ν_1 ＝64.15	
r_2 ＝0.4397	d_2 ＝0.1672			
r_3 ＝∞	d_3 ＝0.7894	n_2 （屈折率分布レンズ）		
r_4 ＝∞（絞り）	d_4 ＝0.2910			
r_5 ＝2.1800	d_5 ＝0.5912	n_3 ＝1.88300	ν_3 ＝40.78	
r_6 ＝-1.2158	d_6 ＝0.3800			
r_7 ＝∞	d_7 ＝0.7500	n_4 ＝1.53172	ν_4 ＝48.91	
r_8 ＝∞	d_8 ＝0.0060			
r_9 ＝∞（像）				

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.65200 ,	-5.4253×10^{-1},	6.6408×10^{-1},	1.0097
C線	656.27,	1.64616 ,	-5.3145×10^{-1},	6.5052×10^{-1},	9.8907×10^{-1}
F線	486.13,	1.66562 ,	-5.6836×10^{-1},	6.9570×10^{-1},	1.0578
g線	435.84,	1.67733 ,	-5.9247×10^{-1},	7.2632×10^{-1},	1.1002

$\Delta\theta_{gF}$＝1.1 $\times10^{-2}$，$1/V_1$ ＝6.8 $\times10^{-2}$，$1/V_1(g)$＝4.4 $\times10^{-2}$

ν_{eFC} ＝6.8 $\times10^{-2}$，ν_{egF} ＝4.4 $\times10^{-2}$，有効径ｅ＝0.33，Δ_{nd}＝0.05

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 2.7\times10^{-3}$$

【００６９】

実施例９

$f=2.74$, Ｆナンバー$=2.8$, $2\omega=68.1°$

$r_1=3.0226$	$d_1=1.7507$	n_1	（屈折率分布レンズ）
$r_2=1.4700$	$d_2=1.6154$		
$r_3=\infty$（絞り）	$d_3=1.1572$		
$r_4=3.7806$	$d_4=2.4588$	$n_2=1.69680$	$\nu_2=55.53$
$r_5=-2.2830$（非球面）	$d_5=0.7143$		
$r_6=\infty$	$d_6=0.7500$	$n_3=1.48749$	$\nu_3=70.21$
$r_7=\infty$	$d_7=1.1839$		
$r_8=\infty$（像）			

非球面係数

$K=0$, $A_4=3.1652\times10^{-2}$, $A_6=5.4023\times10^{-5}$, $A_8=5.2354\times10^{-4}$

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.60000,	-8.0063×10^{-3},	-2.4555×10^{-3}
C線	656.27,	1.59400,	-7.7381×10^{-3},	-2.3621×10^{-3}
F線	486.13,	1.61400,	-8.5860×10^{-3},	-2.6962×10^{-3}
g線	435.84,	1.62646,	-8.8951×10^{-3},	-2.9391×10^{-3}

$\Delta\theta_{gF}=2.9\times10^{-2}$, $1/V_1=1.1\times10^{-1}$, $1/V_1(g)=3.9\times10^{-2}$

$\nu_{eFC}=2.2\times10^{-2}$, $\nu_{egF}=1.8\times10^{-2}$, 有効径$e=2.22$, $\Delta_{nd}=0.99$

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id}\, e^{2i} = -6.0\times10^{-2}$$

【００７０】

実施例１０

f＝3.5，Fナンバー＝2.8，2ω＝53.5°

r_1 ＝∞　　d_1 ＝0.9995　　n_1 （屈折率分布レンズ）

r_2 ＝∞　　d_2 ＝2.4180

r_3 ＝∞（絞り）　　d_3 ＝1.9120

r_4 ＝5.7262（非球面）　d_4 ＝2.1687　　n_2 ＝1.49241　　ν_2 ＝57.66

r_5 ＝-2.0588（非球面）　d_5 ＝1.1430

r_6 ＝∞　　d_6 ＝0.7500　　n_3 ＝1.48749　　ν_3 ＝70.21

r_7 ＝∞　　d_7 ＝1.1699

r_8 ＝∞（像）

非球面係数

（第４面）K＝0，A_4 ＝-4.0591 $\times10^{-2}$，A_6 ＝1.7649$\times10^{-2}$

A_8 ＝-2.9442 $\times10^{-3}$

（第５面）K＝0，A_4 ＝1.2889$\times10^{-2}$，A_6 ＝-3.2348 $\times10^{-3}$

A_8 ＝2.0091$\times10^{-3}$

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.60000，	-6.1989 $\times10^{-3}$,	-1.0393 $\times10^{-3}$
C線	656.27,	1.59400，	-5.9922 $\times10^{-3}$,	-1.0046 $\times10^{-3}$
F線	486.13,	1.61400，	-6.6810 $\times10^{-3}$,	-1.1201 $\times10^{-3}$
g線	435.84,	1.62646，	-7.1807 $\times10^{-3}$,	-1.2024 $\times10^{-3}$

$\Delta\theta_{gF}$＝2.6 $\times10^{-2}$，$1/V_1$ ＝1.1 $\times10^{-1}$，$1/V_1(g)$＝8.1 $\times10^{-2}$

ν_{eFC} ＝1.1 $\times10^{-1}$，ν_{egF} ＝8.1 $\times10^{-2}$，有効径e＝1.98，Δ_{nd}＝0.04

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = -1.6 \times 10^{-2}$$

【００７１】

実施例１１

ｆ＝0.96，Ｆナンバー＝4.25，２ω＝112.9°，物体距離９mm

r_1 ＝∞　　d_1 ＝0.3000　　n_1 ＝1.51633　　ν_1 ＝64.15

r_2 ＝∞　　d_2 ＝0.1500

r_3 ＝-1.7433　　d_3 ＝2.3691　　n_2 （屈折率分布レンズ）

r_4 ＝-0.9326　　d_4 ＝0.3800

r_5 ＝∞　　d_5 ＝0.7500　　n_3 ＝1.53172　　ν_3 ＝48.91

r_6 ＝∞　　d_6 ＝0.0023

r_7 ＝∞（像）

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.57000 ,	-1.8143×10^{-1},	9.8792×10^{-2},	-1.8066×10^{-1}
C線	656.27,	1.56715 ,	-1.7983×10^{-1},	9.7920×10^{-2},	-1.7907×10^{-1}
F線	486.13,	1.57665 ,	-1.8517×10^{-1},	1.0083×10^{-1},	-1.8438×10^{-1}
g線	435.84,	1.58176 ,	-1.8795×10^{-1},	1.0115×10^{-1},	-1.8621×10^{-1}

$\Delta\theta_{gF}$＝1.0 $\times10^{-2}$，$1/V_1$ ＝2.9 $\times10^{-2}$，$1/V_1(g)$＝1.5 $\times10^{-2}$

ν_{eFC} ＝2.6 $\times10^{-2}$，ν_{egF} ＝1.4 $\times10^{-2}$，有効径ｅ＝0.65，Δ_{nd}＝0.06

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 4.0\times10^{-3}$$

【００７２】

実施例１２

倍率＝10，ＮＡ＝0.25，動作距離ＷＤ＝11.5，像高ＩＨ＝11㎜

r_1 ＝∞（絞り）　　d_1 ＝11.5000

r_2 ＝∞　　d_2 ＝26.7629　　n_1（屈折率分布レンズ１）

r_3 ＝31.5066　　d_3 ＝2.7789

r_4 ＝17.9547　　d_4 ＝7.1016　　n_2（屈折率分布レンズ２）

r_5 ＝13.6359

屈折率分布レンズ１

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.65000 ,	-1.5739×10^{-3},	4.9004×10^{-6},	-6.6825×10^{-9}
C線	656.27,	1.64512 ,	-1.5542×10^{-3},	4.9004×10^{-6},	-6.6825×10^{-9}
F線	486.13,	1.66138 ,	-1.6200×10^{-3},	4.9004×10^{-6},	-6.6825×10^{-9}
g線	435.84,	1.67083 ,	-1.6604×10^{-3},	4.9004×10^{-6},	-6.6825×10^{-9}

$\Delta\theta_{gF}=6.0\times10^{-4}$，$1/V_1=-4.1\times10^{-3}$，$1/V_1(g)=-2.9\times10^{-3}$

$\nu_{eFC}=-1.8\times10^{-2}$，$\nu_{egF}=-1.1\times10^{-2}$，有効径ｅ＝4.9，$\Delta_{nd}=0.028$

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = -1.0\times10^{-4}$$

屈折率分布レンズ２

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.65000 ,	-1.1724×10^{-3},	-2.5995×10^{-7},	3.5117×10^{-9}
C線	656.27,	1.64512 ,	-1.1736×10^{-3},	-2.5985×10^{-7},	3.5187×10^{-9}
F線	486.13,	1.66138 ,	-1.1688×10^{-3},	-2.6014×10^{-7},	3.4926×10^{-9}
g線	435.84,	1.67083 ,	-1.1654×10^{-3},	-2.6050×10^{-7},	3.4704×10^{-9}

$\Delta\theta_{gF}=2.5\times10^{-3}$，$1/V_1=4.2\times10^{-2}$，$1/V_1(g)=2.6\times10^{-2}$

$\nu_{eFC}=6.0\times10^{-2}$，$\nu_{egF}=3.7\times10^{-2}$，有効径ｅ＝5.1，$\Delta_{nd}=0.038$

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 3.2\times10^{-3}$$

【００７３】

実施例１３

倍率＝20，ＮＡ＝0.4，動作距離ＷＤ＝2.92，像高ＩＨ＝11㎜

r_1 ＝∞（絞り）　　d_1 ＝2.9234

r_2 ＝-7.0050　　d_2 ＝14.0168　n_1（屈折率分布レンズ１）

r_3 ＝-21.7010　　d_3 ＝21.7593

r_4 ＝38.5480　　d_4 ＝4.5512　n_2（屈折率分布レンズ２）

r_5 ＝17.2541

屈折率分布レンズ１

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.65000，	-4.8005×10^{-3},	-3.4095×10^{-6}
C線	656.27,	1.64512，	-4.7988×10^{-3},	-3.4509×10^{-6}
F線	486.13,	1.66138，	-4.8026×10^{-3},	-3.4578×10^{-6}
g線	435.84,	1.67083，	-4.8021×10^{-3},	-3.5223×10^{-6}

$\Delta\theta_{gF}=1.9\times10^{-3}$，$1/V_1=8.0\times10^{-4}$，$1/V_1(g)=-1.0\times10^{-4}$

$\nu_{eFC}=-2.0\times10^{-2}$，$\nu_{egF}=-1.3\times10^{-2}$，有効径ｅ＝4.7，$\Delta_{nd}$＝0.089

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = -1.1\times10^{-3}$$

屈折率分布レンズ２

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.65000，	-1.6941×10^{-3},	7.0683×10^{-6}
C線	656.27,	1.64512，	-1.6794×10^{-3},	7.1329×10^{-6}
F線	486.13,	1.66138，	-1.7326×10^{-3},	7.2042×10^{-6}
g線	435.84,	1.67083，	-1.7696×10^{-3},	7.3600×10^{-6}

$\Delta\theta_{gF}=4.4\times10^{-3}$，$1/V_1=3.1\times10^{-2}$，$1/V_1(g)=2.2\times10^{-2}$

$\nu_{eFC}=6.7\times10^{-3}$，$\nu_{egF}=-6.4\times10^{-3}$，有効径ｅ＝3.99，$\Delta_{nd}$＝0.025

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 1.8\times10^{-3}$$

【００７４】

実施例１４

倍率＝40，ＮＡ＝0.64，動作距離ＷＤ＝0.61，像高ＩＨ＝11㎜

r_1 ＝-3.2794　　d_1 ＝2.4788　　n_1 ＝1.49700　　ν_1 ＝81.61

r_2 ＝-2.1531　　d_2 ＝0.0500

r_3 ＝-6.8320　　d_3 ＝18.1895　　n_2 （屈折率分布レンズ）

r_4 ＝-14.6361　　d_4 ＝13.3407

r_5 ＝12.8668　　d_5 ＝12.1630　　n_3 ＝1.88300　　ν_3 ＝40.78

r_6 ＝6.2581

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.65000 ,	-1.7589×10^{-3},	-2.7403×10^{-6},	-5.6429×10^{-9}
C線	656.27,	1.64512 ,	-1.7725×10^{-3},	-2.7968×10^{-6},	-5.7091×10^{-9}
F線	486.13,	1.66138 ,	-1.7270×10^{-3},	-2.6173×10^{-6},	-5.4950×10^{-9}
g線	435.84,	1.67083 ,	-1.7011×10^{-3},	-2.5096×10^{-6},	-4.6903×10^{-9}

$\Delta\theta_{gF}$＝5.0 $\times10^{-4}$，$1/V_1$ ＝-2.6×10^{-2}，$1/V_1(g)$＝-1.5×10^{-2}

ν_{eFC} ＝-2.2×10^{-1}，ν_{egF} ＝-1.3×10^{-1}，有効径ｅ＝6.06，Δ_{nd}＝0.069

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = -4.0\times10^{-3}$$

【００７５】

実施例１５

倍率＝4，ＮＡ＝0.11，動作距離ＷＤ＝26，像高ＩＨ＝11㎜

r_1 ＝∞　　d_1 ＝0.1700　　n_1＝1.52100　　ν_1＝56.02

r_2 ＝∞　　d_2 ＝26.0000

r_3 ＝132.5540　　d_3 ＝6.7259　　n_2 （屈折率分布レンズ）

r_4 ＝22.4861　　d_4 ＝5.3177

r_5 ＝-62.2104　　d_5 ＝7.2321　　n_3 ＝1.43875　　ν_3 ＝94.97

r_6 ＝-12.0698

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.65000，	-9.6284×10^{-4},	1.1792×10^{-5},	5.7019×10^{-9}
C線	656.27,	1.64512，	-9.6436×10^{-4},	1.1804×10^{-5},	5.7076×10^{-9}
F線	486.13,	1.66138，	-9.5930×10^{-4},	1.1764×10^{-5},	5.6886×10^{-9}
g線	435.84,	1.67083，	-9.5292×10^{-4},	1.1708×10^{-5},	5.6043×10^{-9}

$\Delta\theta_{gF}$＝4.7×10^{-3}，$1/V_1$ ＝-5.3×10^{-3}，$1/V_1(g)$＝-6.6×10^{-3}

ν_{eFC} ＝6.1×10^{-2}，ν_{egF} ＝3.9×10^{-2}，有効径ｅ＝5.51，Δ_{nd}＝0.018

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 1.1\times10^{-2}$$

【００７６】

実施例１６

$f=4.8$，Ｆナンバー$=2.8$，$2\omega=46.4°$

$r_1=6.9451$（非球面）　$d_1=3.0000$　$n_1=1.52542$　$\nu_1=55.78$

$r_2=\infty$（反射面）　$d_2=2.5026$　$n_2=1.52542$　$\nu_2=55.78$

$r_3=\infty$（絞り）　$d_3=0.1000$

$r_4=\infty$　$d_4=17.5594$　n_3（屈折率分布レンズ）

$r_5=\infty$　$d_5=0.7500$　$n_4=1.48749$　$\nu_4=70.21$

$r_6=\infty$　$d_6=1.1898$

$r_7=\infty$（像）

非球面係数

$K=-1.5748$，$A_4=1.5864\times10^{-3}$，$A_6=1.3706\times10^{-5}$

$A_8=-1.9519\times10^{-4}$，$A_{10}=3.3178\times10^{-5}$

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1
d線	587.56,	1.66400 ,	-7.5000×10^{-3}
C線	656.27,	1.65879 ,	-7.4966×10^{-3}
F線	486.13,	1.67617 ,	-7.5080×10^{-3}
g線	435.84,	1.68636 ,	-7.4906×10^{-3}

$\Delta\theta_{gF}=6.3\times10^{-3}$，$1/V_1=1.5\times10^{-3}$，$1/V_1(g)=-2.3\times10^{-3}$

$\nu_{eFC}=1.5\times10^{-3}$，$\nu_{egF}=-2.3\times10^{-3}$，有効径ｅ$=2.14$，$\Delta_{nd}=0.034$

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id}\, e^{2i}=0$$

【００７７】

実施例１７

f＝3.1，Fナンバー＝2.8，2ω＝65.4°

r_1 ＝∞（絞り）　d_1 ＝0.1000

r_2 ＝∞　d_2 ＝4.6740　n_1（屈折率分布レンズ）

r_3 ＝-3.7203　d_3 ＝1.9817

r_4 ＝7000.0000　d_4 ＝0.0010　n_2 ＝1.0 ×10^3　ν_2 ＝-3.45

r_5 ＝∞　d_5 ＝0.5000　n_3 ＝1.45851　ν_3 ＝66.75

r_6 ＝∞　d_6 ＝0.7500　n_4 ＝1.53172　ν_4 ＝48.91

r_7 ＝∞　d_7 ＝0.0032

r_8 ＝∞（像）

回折光学素子の非球面項

（第４面）K＝0，A_4 ＝-2.1097 ×10^{-5}，A_6 ＝5.0147×10^{-6}

A_8 ＝-3.0443 ×10^{-7}，A_{10}＝-1.3365 ×10^{-8}

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2	N_3
d線	587.56,	1.70000，	-1.4314 ×10^{-2},	-7.4587 ×10^{-4},	3.4977×10^{-4}
C線	656.27,	1.69580，	-1.4176 ×10^{-2},	-7.4587 ×10^{-4},	3.4977×10^{-4}
F線	486.13,	1.70980，	-1.4636 ×10^{-2},	-7.4587 ×10^{-4},	3.4977×10^{-4}
g線	435.84,	1.71757，	-1.4899 ×10^{-2},	-7.4587 ×10^{-4},	3.4977×10^{-4}

$\Delta\theta_{gF}$＝3.0 ×10^{-3}，$1/V_1$ ＝3.2 ×10^{-2}，$1/V_1(g)$＝1.8 ×10^{-2}

ν_{eFC} ＝2.5 ×10^{-2}，ν_{egF} ＝1.4 ×10^{-2}，有効径e＝1.86，Δ_{nd}＝0.044

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 5.6 \times 10^{-3}$$

【００７８】

実施例１８

f＝3.4，Fナンバー＝2.5，2ω＝59.8°

r_1 ＝2.7792　　d_1 ＝1.9911　　n_1 （屈折率分布レンズ）

r_2 ＝2.0705　　d_2 ＝1.8771

r_3 ＝∞（絞り）　　d_3 ＝1.1110

r_4 ＝13.5558　　d_4 ＝2.8020　　n_2 ＝1.79952　　ν_2 ＝42.24

r_5 ＝-2.3302（非球面）　d_5 ＝0.9255

r_6 ＝∞　　d_6 ＝0.7500　　n_3 ＝1.48749　　ν_3 ＝70.21

r_7 ＝∞　　d_7 ＝1.1676

r_8 ＝∞（像）

非球面係数

$K=0$，$A_4=1.6094\times10^{-2}$，$A_6=-1.4276\times10^{-3}$，$A_8=6.3419\times^{-4}$

屈折率分布レンズ

	WL	N_0	N_1	N_2
d線	587.56,	1.50000，	2.9522×10^{-3},	8.9433×10^{-4}
C線	656.27,	1.49400，	3.0407×10^{-3},	9.2116×10^{-4}
F線	486.13,	1.51400，	2.7455×10^{-3},	8.3172×10^{-4}
g線	435.84,	1.52756，	2.4308×10^{-3},	7.4093×10^{-4}

$\Delta\theta_{gF}=1.3\times10^{-1}$，$1/V_1=-1.0\times10^{-1}$，$1/V_1(g)=-1.1\times10^{-1}$

$\nu_{eFC}=1.8\times10^{-2}$，$\nu_{egF}=5.7\times10^{-3}$，有効径e＝2.48，$\Delta_{nd}=0.052$

$$\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} = 3.4\times10^{-2}$$

【００７９】

実施例１９

$f=3.4$，Ｆナンバー$=2.8$，$2\omega=60.4°$

$r_1=3.9329$	$d_1=2.1359$	$n_1=1.58423$	$\nu_1=30.49$
$r_2=1.9115$	$d_2=0$	$n_2=1.0\times10^3$	$\nu_2=-3.45$
$r_3=1.9114$	$d_3=1.5050$		
$r_4=\infty$（絞り）	$d_4=1.3716$		
$r_5=4.6967$	$d_5=3.3378$	$n_3=1.69680$	$\nu_3=55.53$
$r_6=-2.9928$（非球面）	$d_6=1.8296$		
$r_7=\infty$	$d_7=0.7500$	$n_4=1.48749$	$\nu_4=70.21$
$r_8=\infty$	$d_8=1.2084$		
$r_9=\infty$（像）			

回折光学素子の非球面項

（第３面）$K=0$，$A_4=9.1010\times10^{-6}$，$A_6=-6.4422\times10^{-6}$

非球面係数

$K=0$，$A_4=1.1402\times10^{-2}$，$A_6=-9.8667\times10^{-5}$，$A_8=1.5019\times10^{-4}$

ただしr_1，r_2，・・・はレンズ各面の曲率半径、d_1，d_2，・・・は各レンズの肉厚およびレンズ間隔、n_1，n_2，・・・は各レンズの屈折率、ν_1，ν_2，・・・はレンズのアッベ数である。

【００８０】

上記実施例のうち、実施例１は図１に示す構成の光学系で、凹面を物体側に向けた正の屈折力を持つメニスカス形状のラジアル型屈折率分布レンズ１枚よりなる光学系である。この実施例１の光学系は、画角が狭く焦点距離の長い光学系である。このような構成の光学系は、特に軸上色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いたことにより軸上色収差を良好に補正している。また、実施例１の光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズが条件（１）を満足しており、これによって、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線、ｇ線の４波長の色収差が良好に補正されている。また、この光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズが正の屈折力を持っており、色収差の良好に補正された単レンズである。

【００８１】

この正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズよりなる実施例１の光学系は、様々な光学系に適用可能である。例えば、この実施例１の光学系は、銀塩カメラやビデオカメラの光学系に適用することができる。又複数のレンズにて構成された光学系中に適用することも可能である。

【００８２】

この実施例１の光学系の収差状況は、図２０に示す通りであって、レンズ枚数が１枚であるにもかかわらず軸上色収差が良好に補正されている。

【００８３】

実施例２は、図２に示す構成の光学系で両平面形状の正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズ１枚にて構成されている。この実施例２は、実施例１と同様に画角が狭く焦点距離の長い光学系である。このような光学系は、特に軸上色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより、軸上色収差を良好に補正している。また、ラジアル型屈折率分布レンズを両平面の形状にしたことにより、研磨が容易になり、偏心や加工コストの点で有利である。

【００８４】

この実施例２の光学系は、銀塩カメラやビデオカメラの光学系に適用することが可能である。また複数のレンズにて構成されている光学系中に適用することも可能である。

【００８５】

実施例２の収差状況は、図２１に示す通りであってレンズ枚数が１枚であるにもかかわらず軸上色収差が良好に補正されている。

【００８６】

実施例３は、図３に示す構成で、物体側より順に正レンズ、負レンズ、正レンズの３枚のレンズにて構成されたトリプレットの光学系である。つまり物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状のレンズの第１レンズと、凹面を像側に向けたメニスカス形状のレンズの第２レンズと、両凸形状のレンズの第３レンズにて構成されている。また、絞りは、第２レンズと第３レンズの間に設けられている。

【００８７】

この実施例３は、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて、特に軸上色収差を良好に補正している。つまり最も物体側の第１レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【００８８】

この実施例３は、画角の狭い望遠レンズであり、特に軸上色収差の補正の困難なレンズ系であるが、前記ラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより軸上色収差を良好に補正している。

【００８９】

この実施例は、銀塩カメラ、ビデオカメラ等の光学系として用いることが可能である。

【００９０】

実施例３の収差状況は、図２２に示す通りである。

【００９１】

実施例４は、図４に示す構成で、物体側より順に、負レンズ、正レンズ、正レンズの３枚構成のレトロフォーカスタイプの光学系である。又絞りは、正レンズと正レンズの間に配置されている。つまり実施例４は、物体側より順に平凹形状のレンズである第１レンズと、平凸形状であって主として倍率の色収差を補正する作用を持つ第２レンズと、絞りと、両凸形状で主として結像作用を有する第３レンズとにて構成されており、第３レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。又最も像側の平行平面板はカバーガラスである。

【００９２】

この実施例の光学系は、画角が広く、内視鏡対物レンズやビデオカメラ用レンズ等に用いられる。この実施例の光学系は、画角が広いので、特に倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いて、この倍率の色収差を良好に補正している。

【００９３】

この実施例４のような構成の光学系の場合、特に絞りより像側の正レンズ（第３レンズ）で発生するコマ収差の補正が困難であるが、実施例４ではこの正レンズをラジアル型屈折率分布レンズにして、このレンズに光軸から半径方向に行くにしたがって屈折率が小さくなるような特性を持たせて面で発生するコマ収差を良好に補正している。つまりラジアル型屈折率分布レンズの媒質に正の屈折力を持たせてコマ収差を良好に補正している。又、ラジアル型屈折率分布レンズをこのような構成にすれば、コマ収差の補正に加えて歪曲収差の補正も可能になる。

【００９４】

また、ラジアル型屈折率分布レンズの媒質にてコマ収差を良好に補正するためには、下記の条件（６）を満足することが望ましい。

【００９５】

$$(6) \qquad -0.1 < \sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i} < 0.2$$

ただしｅは最大有効径である。

【００９６】
もし、条件（６）の下限値の－０．１を超えると、コマ収差が補正不足になり、上限値の０．２を超えるとコマ収差が補正過剰になる。
【００９７】
又、コマ収差を一層良好に補正するためには、条件（６）の代りに下記条件（６－１）を満足することが望ましい。
【００９８】

$$(6-1) \qquad 0<\sum_{i=2}^{n} N_{id} e^{2i}<0.1$$

条件（６）と同様に、条件（６－１）の下限値の０を超えるとコマ収差が補正不足になり又上限値の０．１を超えるとコマ収差が補正過剰になる。
【００９９】
実施例４のように、比較的広角な光学系において、倍率の色収差を良好に補正するためには、絞りよりも物体側に、下記条件（７）を満足する正レンズを用いることが望ましい。
【０１００】
（７）　０．０２２＜１／ν_p
ただし、ν_p　は絞りよりも物体側の正レンズのアッベ数である。
【０１０１】
もし条件（７）を満足しないと倍率の色収差が補正不足になる。尚、実施例４における第３レンズが上記正レンズである。
【０１０２】
また、倍率の色収差を一層良好に補正するためには、条件（７）に代えて下記条件（７－１）を満足することが望ましい。
【０１０３】
（７－１）　０．０２８＜１／ν_p
もし条件（７－１）を満足しないと倍率の色収差が補正不足になる。
【０１０４】
また、より広角な光学系を達成するためには、前記条件（７）又は条件（７－１）の代りに下記条件（７－２）を満足することが望ましい。
【０１０５】
（７－２）　０．０３３＜１／ν_p
また、最も物体側のレンズの物体側の面を平面にすれば、この面にゴミ等の異物が付着するのを防止する効果がある。
【０１０６】
このように、この実施例４は、ラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより、広い画角で、小型でレンズ枚数の少ない光学系になし得るので、携帯テレビ電話や携帯情報入力装置の画像取込み装置の光学系に適用することが効果的である。これら装置は、画像表示部、バッテリー、演算装置、メモリー等を具えていてしかも携帯性を良くする必要がある。そのためこれら装置に用いられる光学系は、極めて小型であることが望まれる。又これら装置に用いられる光学系は、さらに高い光学性能が要求される。このように小型で高い光学性能を要求される光学系は、収差補正の自由度の少ない均質球面系で達成するのは困難であるが、この実施例はラジアル型屈折率分布レンズを用いて前記要求を十分に満たすようにしたものである。
【０１０７】
また、光学系中に、特定の波長成分をカットするような機能を持たせることが可能であり、ラジアル型屈折率分布レンズにこの機能を持たせることが可能である。例えば、撮像面に赤外線波長域で高い感度を持つＣＣＤ等の撮像素子を用いた場合、赤外線波長部分をカットする機能を持たせることが望ましい。
【０１０８】

また、レンズの平面部や平板の平面部に特定波長をカットする干渉膜を設けることも可能である。例えば、この実施例の第２レンズの物体側の面に干渉膜を設けることが可能である。また、絞りは薄板で作製することが可能である。

【０１０９】

また、ラジアル型屈折率分布レンズの面形状を両凸形状にすれば、両面に屈折力を分散させ諸収差の発生量を小さくすることが出来る。

【０１１０】

この実施例４の収差状況は、図２３に示す通りである。

【０１１１】

実施例５は、図５に示すように、物体側から順に、負レンズと正レンズの２枚にて構成されたレトロフォーカスタイプの光学系である。又絞りは負レンズと正レンズの間に配置されている。つまりこの実施例の光学系は、物体側より順に、平凹レンズで画角を広げる作用を持つ第１レンズと、絞りと、平凸レンズで結像作用を有する第２レンズより構成されており、第２レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【０１１２】

この実施例５は、画角が広い光学系であり、内視鏡対物レンズやビデオカメラ用レンズ等に用いられる。この実施例の光学系は、画角が広いために、特に倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いてこれを良好に補正している。このラジアル型屈折率分布レンズは、平凸形状であって一方の面が平面であり、したがって製作性が良く、製作コストが安価になり、安価な光学系を達成し得た。

【０１１３】

また、ラジアル型屈折率分布レンズが正の屈折力を有するのでペッツバール和を補正する作用も有している。

【０１１４】

この実施例５の収差状況は、図２４に示す通りである。

【０１１５】

実施例６は、図６に示す構成で、物体側より順に、正レンズ、正レンズ、正レンズ、正レンズの４枚の正レンズにて構成された像伝送光学系である。つまり物体側より順に、凸平形状の第１レンズと、両平面形状の第２レンズと、両平面形状の第３レンズと、平凸形状の第４レンズとよりなる。そして、第２レンズと第３レンズとがラジアル型屈折率分布レンズであり、このラジアル型屈折率分布レンズにより特に軸上色収差を良好に補正している。

【０１１６】

この実施例は、硬性鏡リレー光学系等のほぼ等倍結像を要する光学系に用い得るものである。また前群の第１レンズと第２レンズおよび後群の第３レンズと第４レンズとが夫々接着又は密着され、光学系中の空気接触面を減らすことにより透過率を向上させている。また、前群と後群とをほぼ対称なレンズ構成にして、特に倍率色収差、コマ収差、歪曲収差等の軸外収差を良好に補正している。

【０１１７】

この実施例の光学系は、１回リレーの光学系であるが、光軸上に複数の光学系を配置して複数回リレーするリレー光学系とすることが出来る。又これらリレー光学系と対物光学系や接眼光学系とを組合わせて用いることが出来る。

【０１１８】

この実施例のごとく、色収差を更に良好に補正するためには、下記条件（２－３）を満足することが望ましい。

【０１１９】

（２－３）　　－０．０５＜１／V_1　＜０．０３

この条件（２－３）を満足すれば、ｄ線、Ｃ線、Ｆ線、の３波長の軸上色収差を良好に補正することが可能である。条件（２－３）の上限値の０．０３を超えると軸上色収差が補正不足になり、下限値の－０．０５を超えると軸上色収差が補正過剰になる。

【０１２０】
また、より高精細な画像が要求される場合には、条件（２－３）に加えて下記条件（２－４）を満足することが望ましい。
【０１２１】
（２－４）　　－０．０２＜１／Ｖ$_1$　＜０．０１
また、色収差を一層良好に補正するためには、下記条件（３－３）を満足することが望ましい。
【０１２２】
（３－３）　　－０．０３＜１／Ｖ$_1$（ｇ）＜０．０２
上記条件（３－３）を満足すれば、ｄ線、Ｆ線、ｇ線の３波長の軸上色収差を良好に補正することが可能になる。この条件（３－３）の上限値の０．０２を超えると軸上色収差が補正不足になり、又下限値の－０．０３を超えると軸上色収差が補正過剰になる。
【０１２３】
又、１／Ｖ$_1$（ｇ）が下記条件（４－３）を満足すれば一層望ましい。
【０１２４】
（４－３）　　－０．０２＜１／Ｖ$_1$（ｇ）＜０．０１
この実施例６の収差状況は、図２５に示すとうりである。
【０１２５】
実施例７は、図７に示す通りの構成で、正のレンズ群と負のレンズ群と正のレンズ群よりなる３群構成のズームレンズである。この実施例はラジアル型屈折率分布レンズを用いて、特に軸上色収差が良好に補正されたズームレンズを構成したものである。つまり、正の第１レズ群は、変倍時固定であり軸上および軸外光束を第２レンズ群に収束させ入射させ、第２レンズ群と第３レンズ群は、変倍時可動であって、変倍作用と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。
【０１２６】
また各レンズ群の構成は、第１レンズ群が物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズ１枚にて構成され、第２レンズ群が物体側より順に、負レンズと負レンズと正レンズの３枚のレンズにて構成され、そのうちの２番目の負レンズと正レンズとは接合されて接合レンズをなし、第３レンズ群は、ラジアル型屈折率分布レンズ１枚にて構成されている。この第３レンズ群は、主として結像作用を有しているために軸上色収差の発生量が大になる傾向があり、この軸上色収差をラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより良好に補正している。
【０１２７】
本発明のラジアル型屈折率分布レンズを、この実施例のようなズームレンズに用いる場合、条件（１）と条件（２）とを同時に満足することが望ましい。
【０１２８】
通常、ズーム光学系は、ズーミングの際の収差変動を小さくするために各レンズ群単独で収差が良好に補正されていることが望ましい。そのため、色収差についても各レンズ群単独で１次スペクトルと２次スペクトルが良好に補正されていることが望まれる。したがって、ラジアル型屈折率分布レンズをズーム光学系に用いる場合には、条件（１）と条件（２）とを同時に満足することが好ましい。また条件（２）と条件（３）を同時に満足しても同様の効果が得られる。また光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを１枚だけ設ける場合は、条件（１）を満足することが望ましい。
【０１２９】
この実施例７の収差状況は、図２６、図２７、図２８に示す通りである。
【０１３０】
実施例８は、図８に示すように物体側より順に負レンズ、正レンズ、正レンズの３枚のレンズよりなり、正レンズと正レンズの間に絞りが配置されたレトロフォーカスタイプの光学系である。つまり、この光学系は、物体側より順に、平凹形状で画角を広くする作用を有する第１レンズと、両面平面形状で主として第１レンズで発生する倍率の色収差を補正

する作用を有する第２レンズと、両凸形状で主として結像作用を有する第３レンズとよりなる光学系である。そして第２レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【０１３１】

この実施例８の光学系は、画角が広く内視鏡対物レンズやビデオカメラ等に用いることの出来る光学系である。この光学系は、画角が大であるので、倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いてこの倍率の色収差を良好に補正している。

【０１３２】

又、ラジアル型屈折率分布レンズは、両平面の形状であり製作性やコストの低減にとって好ましい。

【０１３３】

この実施例では、ラジアル型屈折率分布レンズを絞りより物体側に用いており、これにより倍率の色収差を補正するためには、下記条件（２－５）を満足することが望ましい。

【０１３４】

（２－５）　　０．０２＜１／V_1　＜０．５

もし条件（２－５）の下限値の０．０２を超えると倍率の色収差が補正不足になり、上限値の０．５を超えると倍率色収差が補正過剰になる。

【０１３５】

又この実施例のように絞りより物体側にラジアル型屈折率分布レンズを配置して倍率の色収差を一層良好に補正するためには、下記条件（２－６）を満足することが望ましい。

【０１３６】

（２－６）　　０．０１５＜１／V_1　＜０．１

もし、条件（２－６）の下限値の０．０１５を超えると倍率の色収差が補正不足になり、上限値の０．１を超えると倍率の色収差が補正過剰になる。

【０１３７】

また、屈折率分布レンズの素材作製の容易さを考えると１／V_1　は、０．０８以下であることが好ましい。

【０１３８】

また、レンズの耐久性が問題になる場合は、全てガラスにて構成することが望ましい。

【０１３９】

この実施例８の収差状況は、図２９に示す通りである。

【０１４０】

実施例９は、図９に示す構成のもので、負レンズと正レンズの２枚のレンズよりなり、両レンズ間に絞りが配置された光学系で、レトロフォーカスタイプの光学系である。

【０１４１】

この実施例は、画角の広い光学系で、内視鏡対物レンズやビデオカメラ等に用いられる。この実施例は、画角が広いため倍率の色収差の補正が困難であるが第１レンズのラジアル型屈折率分布レンズにより良好に補正している。

【０１４２】

また、ラジアル型屈折率分布レンズである第１レンズを凹面を絞り側に向けたメニスカス形状にしたので軸外収差が良好に補正されている。

【０１４３】

また、絞りよりも像側の第２レンズには非球面を用いており、この非球面により画角が広い場合に問題になる軸外収差特にコマ収差を良好に補正している。この非球面は、光軸から周辺に行くにしたがって正の屈折力が弱くなるような形状であり、これにより、歪曲収差も良好に補正している。また両面非球面にすることも可能であり、それにより偏心に強い構成にすることが出来る。

【０１４４】

本発明の光学系で用いる非球面の形状は、次の式にて表わすことが出来る。

$$x=\frac{y^2/r}{1+\sqrt{1-(1+K)(y/r)^2}}+\sum_{i=1}^{n}A_{2i}y^{2i}$$

【０１４５】
上記式は、ｘ軸を光軸方向にとり、ｙ軸を光軸と直角方向にとったもので、ｒは光軸上の曲率半径、Ｋ、A_{2i}は非球面係数である。
【０１４６】
この実施例は、非球面を用いることにより、画角が広く小型でレンズ枚数が少なく、色収差やコマ収差等の諸収差を良好に補正した光学系になし得たもので、したがって携帯テレビ電話や携帯情報入力装置の画像取込み装置の光学系に適用すれば効果的である。携帯テレビ電話等の装置は、画像表示部やバッテリー、演算装置、メモリー等を装置内に備えており、しかも携帯性を良くするために用いる光学系は、レンズ枚数の少ない小型なものが要求される。しかも光学性能としては、高い性能が求められ収差も良好に補正されていなければならない。これら要求は収差補正の自由度の少ない均質球面系では困難である。しかし非球面を用いたこの実施例の光学系は、これら要求を満足するもので、携帯テレビ電話その他の装置の光学系として用いれば効果的である。
【０１４７】
この実施例９の収差状況は図３０に示す通りである。
【０１４８】
実施例１０は、図１０に示す通りの構成で、物体側より順に、負レンズと正レンズとよりなるレトロフォーカスタイプの光学系で、絞りは負レンズと正レンズの間に配置されている。つまり物体側より順に、両平面の形状で、画角を広くする作用を有する第１レンズと絞りと両凸形状で主として結像作用を有する第２レンズとにて構成された光学系で、第１レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。
【０１４９】
この実施例１０は、画角が広く、内視鏡対物光学系やビデオカメラ用光学系等に用いられる。この光学系は、広い画角のため、特に倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いて、倍率の色収差を良好に補正している。
【０１５０】
この実施例１０の収差状況は、図３１に示す通りである。
【０１５１】
実施例１１は、図１１に示す通りラジアル型屈折率分布レンズ１枚にて構成されている。つまり凹面を物体側に向けたメニスカス形状のラジアル型屈折率分布レンズよりなり、絞りはラジアル型屈折率分布レンズの物体側面より像側へ０．９４７１ｍｍの位置に設けられている。又ラジアル型屈折率分布レンズは、媒質が正の屈折力を持っている。
【０１５２】
この光学系は、画角が広く内視鏡対物光学系やビデオカメラ用光学系等に用いられる。
【０１５３】
この実施例の光学系も、画角が広いため倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズにより倍率の色収差が良好に補正されている。又絞りをラジアル型屈折率分布レンズ内部に配置したことにより、媒質の屈折力の対称性を良くして軸外収差を良好に補正している。
【０１５４】
この実施例において最も物体側に配置した平板ガラスは、カバーガラスである。
【０１５５】
また、物体側の凹面又は像側の凸面で発生する倍率の色収差を絞りよりも物体側の媒質で補正するために前記の条件（２－５）を満足するようにしている。

【０１５６】
また、ラジアル型屈折率分布レンズの面で発生する色収差を小さくするためには、V_0の値を３０以上にすることが望ましく、V_0　が４０以上であれば一層望ましい。
【０１５７】
また、ペッツバール和の補正を考慮するとラジアル型屈折率分布レンズの光軸上の屈折率N_0　は、１．５５以上であることが望ましい。また、より良好に補正するには１．６以上が望ましい。特に広画角の光学系を達成するためには、ラジアル型屈折率分布レンズの光軸上の屈折率N_0　は、１．６５以上であることが望ましい。
【０１５８】
この実施例１１の収差状況は、図３２に示す通りである。
【０１５９】
実施例１２は、図１２に示すように、物体側より順に、正レンズと正レンズの２枚にて構成されている。つまり物体側より順に、平凹形状の第１レンズと、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第２レンズとよりなり、第１レンズ、第２レンズ共にラジアル型屈折率分布レンズである。
【０１６０】
この実施例１２は、本発明を顕微鏡対物光学系に適用した例であって、特に軸上色収差の補正が困難である顕微鏡対物光学系において、ラジアル型屈折率分布レンズを用いてこの収差を良好に補正したものである。
【０１６１】
この実施例を透過率やフレアーの防止を重要視する光学系に適用する場合には、ラジアル型屈折率分布レンズの厚さを５０ｍｍ以下にすることが望ましい。更に厚さを３０ｍｍ以下にすれば一層望ましい。又この実施例は、第２レンズを条件（２－５）を満足するようにして主として倍率の色収差を良好に補正している。
【０１６２】
この実施例は、光学系よりの射出光束が平行光束になる無限遠設計の対物レンズであり、光学系自体では結像しない。したがって例えば図４３に示すような構成で下記データーを有する結像レンズと組合わせて用いられる。

$r_1=68.7540$	$d_1=7.7320$	$n_1=1.48700$	$\nu_1=70.20$
$r_2=-37.5670$	$d_2=3.4740$	$n_2=1.80600$	$\nu_2=40.90$
$r_3=-102.8470$	$d_3=0.6970$		
$r_4=84.3090$	$d_4=6.0230$	$n_3=1.83400$	$\nu_3=37.10$
$r_5=-50.7100$	$d_5=3.0290$	$n_4=1.64400$	$\nu_4=40.80$
$r_6=40.6610$			

この実施例と図４３に示す結像レンズとを間隔１２０ｍｍを設けて組合わせた時の収差状況は図３３に示す通りである。尚上記間隔は、５０～１７０ｍｍの間の１２０ｍｍ以外の値にしてもよく、その場合も収差状況は図３３に示すものとほぼ同じである。
【０１６３】
実施例１３は、図１３に示す通り、物体側より順に、正レンズと負レンズの２枚のレンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の第１レンズと、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第２レンズより構成され、第１レンズ、第２レンズ共にラジアル型屈折率分布レンズである。
【０１６４】
この実施例の光学系も、本発明の光学系を顕微鏡対物光学系に適用したものであり、実施例１２と同様に、ラジアル型屈折率分布レンズにより軸上色収差を良好に補正している。又ラジアル型屈折率分布レンズの媒質に正の屈折力を持たせ、面の形状を負レンズの形状にすることによってペッツバール和を良好に補正している。

【０１６５】
この実施例１３の収差状況は、図３４に示す通りである。
【０１６６】
実施例１４は、図１４に示すように、物体側より順に、正レンズと正レンズと負レンズの３枚のレンズにて構成している。つまり凹面を物体側へ向けたメニスカス形状の第１レンズと、凹面を物体側へ向けたメニスカス形状の第２レンズと、凹面を像側へ向けたメニスカス形状の第３レンズとよりなり、第２レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。このようにラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより顕微鏡対物レンズにて補正の困難である軸上色収差を良好に補正している。また第１レンズを凹面を物体側に向けたメニスカス形状にすることにより特に球面収差を良好に補正している。
【０１６７】
この実施例１４の収差状況は、図３５に示す通りである。
【０１６８】
実施例１５は、図１５に示す通りで、物体側より順に、負レンズと正レンズの２枚のレンズにて構成した。つまり物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第１レンズと、凹面を物体側へ向けたメニスカス形状の第２レンズとよりなり、第１レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。
【０１６９】
この実施例１５の光学系も、顕微鏡対物光学系に適用したもので、レンズ枚数が２枚であり、又ラジアル型屈折率分布レンズが１枚であるにも拘らず諸収差が良好に補正されている。特に顕微鏡対物光学系は、軸上色収差の補正が困難であるが、第１レンズにラジアル型屈折率分布レンズを用いて軸上色収差を良好に補正している。
【０１７０】
この実施例１５の収差状況は、図３６に示す通りである。
【０１７１】
前記実施例１３、１４、１５の光学系も実施例１２と同様無限遠設計の光学系である。したがって、例えば図４３に示すような結像レンズと組合わせて用いられる。これら実施例１３、１４、１５の光学系の収差図も、図４３に示す結像レンズを間隔を１２０ｍｍ設けて組合わせた時のものであるが、５０ｍｍ～１７０ｍｍの間で１２０ｍｍ以外の値でもよい。又１２０ｍｍ以外の場合においても、収差状況はほぼ同様である。
【０１７２】
実施例１６は、図１６に示す通りで、物体側より順に、負レンズと正レンズの２枚のレンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、反射面を含む凹平形状の第１レンズと、両平面のラジアル型屈折率分布レンズの第２レンズとにて構成されている。また絞りは、第１レンズと第２レンズの間に設けられており、最も像側の平行平面板は、カバーガラスである。
【０１７３】
実施例１６は、内視鏡対物レンズやビデオカメラ等の光学系に用い得るものである。又光学系中に反射面を設けたので光学系をコンパクトになし得、又第１レンズの像側の面とラジアル型屈折率分布レンズとを接着して組立を容易になし得る。またラジアル型屈折率分布レンズを他の光学素子と接着するようにしてあるので、ラジアル型屈折率分布レンズの接合面を砂擦り状態のまま用いることが出来、ラジアル型屈折率分布レンズの加工工程を簡素化出来る。
【０１７４】
この実施例１６の収差状況は、図３７に示す通りである。
【０１７５】
実施例１７は図１７に示すように、物体側より順に、正レンズと正レンズの２枚のレンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、ラジアル型屈折率分布レンズの第１レンズと、回折型光学素子の第２レンズとにて構成されており絞りは第１レンズの物体側に配置してある。このようにラジアル型屈折率分布レンズと回折型光学素子とにより諸収差を

良好に補正した光学系である。

【０１７６】

回折型光学素子は、文献「ＳＰＩＥ」第１２６巻４６頁～（１９７７年）に記載されているように非常に高い仮想的な屈折率を持つレンズと等価であって、したがって、前記実施例のデーター中には、発生する収差をも含めて光学的に等価なレンズとして曲率半径、肉厚、屈折率、アッベ数、非球面係数の夫々の値を示してある。

【０１７７】

この実施例の光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズの第１レンズが主として結像作用を有し、回折型光学素子の第２レンズにより、主として倍率の色収差の補正を行なっている。

【０１７８】

この実施例１７は、レンズ枚数の少ない広角な光学系で、回折型光学素子を絞りよりも像側に配置して特に倍率の色収差を良好に補正している。又この回折型光学素子は、正の屈折力を持ち、ラジアル型屈折率分布レンズよりも像側に配置してラジアル型屈折率分布レンズの凸面で発生する倍率の色収差を補正している。

【０１７９】

この実施例の光学系は、内視鏡の対物レンズやビデオカメラ用光学系等に用いられるものである。回折型光学素子を用いたことにより、画角が広く小型でレンズ枚数が少なく色収差やコマ収差等諸収差が良好に補正されており携帯テレビ電話や携帯情報入力装置に用いれば効果的である。

【０１８０】

この実施例１７の収差状況は、図３８に示す通りである。

【０１８１】

実施例１８は、図１８に示すもので、物体側より順に負レンズと正レンズの２枚のレンズにて構成されており、絞りは負レンズと正レンズの間に設けられている。つまりこの光学系は、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第１レンズと絞りと両凸形状の第２レンズとより構成され、第１レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。この光学系は、第１レンズが主として画角を広げる作用をもち、第２レンズは主として結像作用を有している。

【０１８２】

この実施例では、絞りより物体側に色収差の発生量の少ない負の屈折力のラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより特にレンズ系全系で発生する倍率の色収差を良好に補正している。又この第１レンズをメニスカス形状にしたことにより軸外収差を良好に補正している。特に第１レンズを凹面を絞り側に向けたメニスカス形状のレンズにして軸外収差の発生量を小さくしている。また第２レンズを両凸レンズにして屈折力を両面に分配して収差の発生量を小にした。

【０１８３】

この実施例１８の収差状況は、図３９に示す通りである。

【０１８４】

実施例１９は、図１９に示す通り物体側より順に、負レンズと正レンズの２枚のレンズにて構成されている。つまり像側に凹面に向けたメニスカス形状で主として画角を広げる作用を有する第１レンズと絞りと両凸形状で主として結像作用を有する第２レンズとにて構成された光学系である。

【０１８５】

この実施例は、実施例１８と類似する構成の実施例で、ラジアル型屈折率分布レンズに代えて回折型光学素子を用いて諸収差を良好に補正している。

【０１８６】

この実施例は、絞りを挟んで負、正の非対称な屈折率配置であり、軸外収差の補正が困難であるが、絞りより物体側に回折型光学素子を用いることにより、特に倍率の色収差を良好に補正している。また第２レンズの正レンズに非球面を用いて光軸から半径方向に行く

にしたがって正の屈折力が弱くなるような形状にして、特にコマ収差、歪曲収差を良好に補正している。また、第１レンズの負レンズを凹面を絞り側に向けたメニスカス形状にして、特に軸外収差の発生を小さくした。また第２レンズを両凸形状にして屈折力を両面に分配して諸収差の発生量を小さくしている。また、回折型光学素子を第１レンズの絞側に向けて凹にした面に形成することにより、軸上光束と軸外光束が回折型光学素子に入射する時の入射角の差を小さくして回折効率が向上するようにしている。

【０１８７】

この実施例１９の収差状況は、図４０に示す通りである。

【０１８８】

本発明の光学系は、銀塩カメラ、ビデオカメラ等の光学系として用いられる。図４４乃至図５０は、本発明の光学系を各種装置に適用した状態を示す図である。

【０１８９】

図４４は、本発明の光学系を銀塩カメラに適用した時の概略図であって、図において１が本発明の光学系である。

【０１９０】

図４５は、本発明の光学系を顕微鏡に適用した時の概略図であって、図において１が本発明の光学系を適用した対物レンズである。又２は結像レンズが内装されている鏡筒部、３は接眼レンズである。

【０１９１】

図４６は、本発明の光学系を内視鏡に適用した時の概略図であって、１が本発明の光学系を用いた先端部の対物光学系である。

【０１９２】

図４７は、本発明の光学系を硬性鏡に適用した時の概略図であって、１が本発明の光学系を用いた先端部の対物光学系である。

【０１９３】

図４８は、本発明の光学系をビデオカメラに適用した時の概略図であって、１が本発明の光学系を用いた対物レンズ部である。

【０１９４】

図４９は、本発明の光学系を携帯テレビ電話に適用した時の概略図で、図中１が本発明の光学系を用いた対物レンズ部である。又４は送受信のためのアンテナ、５は表示装置、６は各種スイッチである。

【０１９５】

図５０は、本発明の光学系を携帯情報入力装置に適用した時の概略図であって、１が本発明の光学系を用いた対物レンズ部である。又７は情報の送受信のためのアンテナ、８は表示装置、９は各種スイッチ部である。

【０１９６】

本発明において、前記特許請求の範囲に記載のものの他、次の各項に記載するものも本発明の目的を達成し得る。

【０１９７】

（１）媒質中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を有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布の傾きが各波長毎に異なるとき、下記条件（３）を満足することを特徴とする光学系。

（３）　　$-0.5<1/V_1(g)<0.5$

【０１９８】

（２）媒質中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を有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布の傾きが各波長毎に異なるとき、下記の条件（５）を満足することを特徴とする光学系。

（５）　　$-1<1/\nu_{egF}<1$

【０１９９】

（３）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２枚有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの少なくとも一つが下記条件（２－４）を満足することを特徴とする光学系。

（２－４）　０．０２＜１／V_1　＜０．５

【０２００】

（４）物体側より順に、第１レンズ、第２レンズ、第３レンズの三つのレンズよりなり前記第２レンズが、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であり、前記第１レンズが凹面を物体に向けたメニスカス形状のレンズであることを特徴とする光学系。

【０２０１】

（５）物体側より順に、メニスカス形状のレンズ１枚よりなる負の屈折力の第１群と、正の屈折力の第２群とよりなり前記第１群のメニスカス形状のレンズが光軸から半径方向に屈折率分布を持つラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とする光学系。

【０２０２】

（６）少なくとも１面の反射面を有する光学素子と、媒質中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とを有することを特徴とする光学系。

【０２０３】

（７）媒質中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を少なくとも１枚有する光学系を備えたことを特徴とするテレビ電話。

【０２０４】

（８）媒質中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を少なくとも１枚有する光学系を備えたことを特徴とする情報入力装置。

【０２０５】

（９）少なくとも１面が非球面であるレンズを少なくとも１枚有する光学系を備えたことを特徴とするテレビ電話。

【０２０６】

（１０）少なくとも１面が非球面であるレンズを少なくとも１枚有する光学系を備えたことを特徴とする情報入力装置。

【０２０７】

（１１）回折光学素子を少なくとも１枚有する光学系を備えたテレビ電話。

【０２０８】

（１２）回折光学素子を少なくとも１枚有する光学系を備えた情報入力装置。

【０２０９】

（１３）物体側より順に、負レンズと正レンズよりなる前群と、少なくとも１枚の正レンズを有する後群とよりなり、前記正レンズが下記条件（７）を満足することを特徴とする光学系。

（７）　０．０２２＜１／ν_p

【０２１０】

（１４）絞りより物体側に負の屈折力の回折光学素子を有することを特徴とする光学系。

【０２１１】

（１５）特許請求の範囲の請求項１、２又は３にあるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）に記載されている光学系で、前記少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズの光軸上のアッベ数が周辺のアッベ数よりも大であることを特徴とする光学系。

【０２１２】

（１６）前記の（７）に記載されたテレビ電話で、光学系が少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズの光軸上のアッベ数が周辺部のアッベ数よりも大であることを特徴とするテレビ電話。

【０２１３】

（１７）前記の（８）に記載された情報入力装置で、光学系が少なくとも１枚のラジアル

型屈折率分布レンズの光軸上のアッベ数が周辺部のアッベ数よりも大であることを特徴とする情報入力装置。

【０２１４】

（１８）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）に記載されたもので、単焦点であることを特徴とする光学系。

【０２１５】

（１９）前記の（７）、（９）又は（１１）に記載されたテレビ電話で、光学系が単焦点であることを特徴とするテレビ電話。

【０２１６】

（２０）前記の（８）、（１０）又は（１２）に記載された情報入力装置で、光学系が単焦点であることを特徴とする情報入力装置。

【０２１７】

（２１）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）に記載された光学系で、ラジアル型屈折率分布レンズが１枚のみ用いられていることを特徴とする光学系。

【０２１８】

（２２）前記の（７）、（９）、（１１）、（１６）又は（１９）に記載されたテレビ電話で、光学系がラジアル型屈折率分布レンズを１枚のみ用たことを特徴とするテレビ電話。

【０２１９】

（２３）前記の（８）、（１０）、（１２）、（１７）又は（２０）に記載された情報入力装置で、光学系がラジアル型屈折率分布レンズを１枚のみ用たことを特徴とする情報入力装置。

【０２２０】

（２４）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）又は（１３）に記載されてたもので、回折光学素子を少なくとも１枚有することを特徴とする光学系。

【０２２１】

（２５）前記の（７）又は（９）に記載さたテレビ電話で、光学系が回折光学素子を少なくとも１枚有することを特徴とするテレビ電話。

【０２２２】

（２６）前記の（８）又は（１０）に記載された情報入力装置で、光学系が回折光学素子を少なくとも１枚有することを特徴とする情報入力装置。

【０２２３】

（２７）特許請求の範囲の請求項１又は２あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）に記載された光学系で、物体側より負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とする光学系。

【０２２４】

（２８）前記の（７）、（９）又は（１１）に記載されたテレビ電話で、前記光学系が物体側より順に負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とするテレビ電話。

【０２２５】

（２９）前記（８）、（１０）又は（１２）に記載された情報入力装置で、前記光学系が物体側より順に負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とする情報入力装置。

【０２２６】

（３０）前記の（２７）の項に記載された光学系で、前群が物体側より順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とする光学系。

【０２２７】

（３１）前記の（２８）の項に記載されたテレビ電話で、前記光学系の前群が物体側より

順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とするテレビ電話。
【０２２８】
（３２）前記の（２９）の項に記載された情報入力装置で、前記光学系の前群が物体側より順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とする情報入力装置。
【０２２９】
（３３）前記の（２７）の項に記載された光学系で、後群が正レンズ１枚で構成されたことを特徴とする光学系。
【０２３０】
（３４）前記の（２８）の項に記載されたテレビ電話で、前記光学系の後群が正レンズ１枚で構成されたことを特徴とするテレビ電話。
【０２３１】
（３５）前記の（２９）の項に記載された情報入力装置で、前記光学系の後群が正レンズ１枚で構成されたことを特徴とする情報入力装置。
【０２３２】
（３６）前記の（２７）の項に記載された光学系で、前群が負レンズ１枚で構成されたことを特徴とする光学系。
【０２３３】
（３７）前記の（２８）の項に記載されたテレビ電話で、前記光学系の前群が負レンズ１枚で構成されたことを特徴とするテレビ電話。
【０２３４】
（３８）前記の（２９）の項に記載された情報入力装置で、前記光学系の前群が負レンズ１枚で構成されたことを特徴とする情報入力装置。
【０２３５】
（３９）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）に記載された光学系で、少なくとも１面が非球面であるレンズを少なくとも１枚含むことを特徴とする光学系。
【０２３６】
（４０）前記の（７）又は（１１）に記載されたテレビ電話で、前記光学系が少なくとも１面が非球面であるレンズを少なくとも１枚含むことを特徴とするテレビ電話。
【０２３７】
（４１）前記の（８）又は（１２）に記載された情報入力装置で、前記光学系が少なくとも１面が非球面であるレンズを少なくとも１枚含むことを特徴とする情報入力装置。
【０２３８】
（４２）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）に記載された光学系で、少なくとも１枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とする光学系。
【０２３９】
（４３）前記の（７）、（９）又は（１１）に記載されたテレビ電話で、光学系中に少なくとも１枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とするテレビ電話。
【０２４０】
（４４）前記の（８）、（１０）又は（１２）に記載された情報入力装置で、前記光学系中に１枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とする情報入力装置。
【０２４１】
（４５）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のレンズが特定の波長成分をカットする機能を有することを特徴とする光学系。
【０２４２】
（４６）前記の（７）、（９）又は（１１）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少

なくとも１枚のレンズが特定の波長成分をカットする機能を有することを特徴とするテレビ電話。

【０２４３】

（４７）前記の（８）、（１０）又は（１２）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のレンズが特定の波長成分をカットする機能を有することを特徴とする情報入力装置。

【０２４４】

（４８）特許請求の範囲の請求項１又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系で、少なくとも片側の面が平面形状であるレンズを少なくとも１枚含むことを特徴とする光学系。

【０２４５】

（４９）前記の（７）、（９）又は（１１）の項に記載するテレビ電話で、光学系中少なくとも片側の面が平面形状であるレンズを少なくとも１枚含むことを特徴とするテレビ電話。

【０２４６】

（５０）前記の（８）、（１０）又は（１２）の項に記載する情報入力装置で、光学系中少なくとも片側の面が平面形状であるレンズを少なくとも１枚含むことを特徴とする情報入力装置。

【０２４７】

（５１）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズの媒質が正の屈折力を持つことを特徴とする光学系。

【０２４８】

（５２）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズの媒質が正の屈折力を持つことを特徴とするテレビ電話。

【０２４９】

（５３）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズの媒質が正の屈折力を持つことを特徴とする情報入力装置。

【０２５０】

（５４）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１つのラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布が下記式（ａ）にて表わされることを特徴とする光学系。

$$n_{\lambda}(r) = \sum_{i=0}^{\infty} N_{i\lambda}\, r^{2i} \qquad (a)$$

【０２５１】

（５５）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、少なくとも１つのラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布が下記式（ａ）にて表わされることを特徴とするテレビ電話。

$$n_{\lambda}(r) = \sum_{i=0}^{\infty} N_{i\lambda}\, r^{2i} \qquad (a)$$

【０２５２】

（５６）前記の（７）の項に記載する情報入力装置で、少なくとも１つのラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布が下記式（ａ）にて表わされることを特徴とする情報入力装置。

$$n_{\lambda}(r) = \sum_{i=0}^{\infty} N_{i\lambda}\, r^{2i} \qquad (a)$$

【０２５３】

（５７）特許請求の範囲の請求項２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４

）、（５）又は（６）に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（１）を満足することを特徴とする光学系。
（１）　$\Delta\theta_{gF}$＜０．５
【０２５４】
（５８）前記の（７）に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（１）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（１）　$\Delta\theta_{gF}$＜０．５
【０２５５】
（５９）前記の（８）に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（１）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（１）　$\Delta\theta_{gF}$＜０．５
【０２５６】
（６０）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２）を満足することを特徴とする光学系。
（２）　$-0.5<1/V_1<0.5$
【０２５７】
（６１）前記の（７）に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（２）　$-0.5<1/V_1<0.5$
【０２５８】
（６２）前記の（８）に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（２）　$-0.5<1/V_1<0.5$
【０２５９】
（６３）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（３）を満足することを特徴とする光学系。
（３）　$-0.5<1/V_1(g)<0.5$
【０２６０】
（６４）前記の（７）に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（３）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（３）　$-0.5<1/V_1(g)<0.5$
【０２６１】
（６５）前記の（８）に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（３）を満足することを特徴とする光学系。
（３）　$-0.5<1/V_1(g)<0.5$
【０２６２】
（６６）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４）を満足することを特徴とする光学系。
（４）　$-1<1/\nu_{eFC}<1$
【０２６３】
（６７）前記の（７）に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（４）　$-1<1/\nu_{eFC}<1$
【０２６４】
（６８）前記の（８）に記載する情報入力装置で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（４）　$-1<1/\nu_{eFC}<1$

【０２６５】
（６９）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（５）を満足することを特徴とする光学系。
（５）　$-1<1/\nu_{egF}<1$
【０２６６】
（７０）前記の（７）に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（５）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（５）　$-1<1/\nu_{egF}<1$
【０２６７】
（７１）前記の（８）に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（５）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（５）　$-1<1/\nu_{egF}<1$
【０２６８】
（７２）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（１－１）を満足することを特徴とする光学系。
（１－１）　$\Delta\theta_{gF}<0.2$
【０２６９】
（７３）前記の（７）に記載するテレビ電話で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（１－１）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（１－１）　$\Delta\theta_{gF}<0.2$
【０２７０】
（７４）前記の（８）に記載する情報入力装置で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（１－１）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（１－１）　$\Delta\theta_{gF}<0.2$
【０２７１】
（７５）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－１）を満足することを特徴とする光学系。
（２－１）　$-0.15<1/V_1<0.06$
【０２７２】
（７６）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－１）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（２－１）　$-0.15<1/V_1<0.06$
【０２７３】
（７７）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－１）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（２－１）　$-0.15<1/V_1<0.06$
【０２７４】
（７８）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（３－１）を満足することを特徴とする光学系。
（３－１）　$-0.1<1/V_1\ (g)\ <0.05$
【０２７５】
（７９）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（３－１）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（３－１）　$-0.1<1/V_1\ (g)\ <0.05$
【０２７６】

（８０）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（３－１）を満足することを特徴とする情報入力装置。

（３－１）　$-0.1<1/V_1\ (g)<0.05$

【０２７７】

（８１）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４－１）を満足することを特徴とする光学系。

（４－１）　$-0.5<1/\nu_{eFC}<0.5$

【０２７８】

（８２）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４－１）を満足することを特徴とするテレビ電話。

（４－１）　$-0.5<1/\nu_{eFC}<0.5$

【０２７９】

（８３）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４－１）を満足することを特徴とする情報入力装置。

（４－１）　$-0.5<1/\nu_{eFC}<0.5$

【０２８０】

（８４）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（５－１）を満足することを特徴とする光学系。

（５－１）　$-0.5<1/\nu_{egF}<0.5$

【０２８１】

（８５）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（５－１）を満足することを特徴とするテレビ電話。

（５－１）　$-0.5<1/\nu_{egF}<0.5$

【０２８２】

（８６）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（５－１）を満足することを特徴とする情報入力装置。

（５－１）　$-0.5<1/\nu_{egF}<0.5$

【０２８３】

（８７）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（６）を満足することを特徴とする光学系。

$$-0.1<\sum_{i=2}^{n}N_{id}e^{2i}<0.2$$

【０２８４】

（８８）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（６）を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$-0.1<\sum_{i=2}^{n}N_{id}e^{2i}<0.2$$

【０２８５】

（８９）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（６）を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$-0.1<\sum_{i=2}^{n}N_{id}e^{2i}<0.2$$

【０２８６】
（９０）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（６－１）を満足することを特徴とする光学系。

$$-0.1<\sum_{i=2}^{n}N_{id}e^{2i}<0.2$$

【０２８７】
（９１）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（６－１）を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$-0.1<\sum_{i=2}^{n}N_{id}e^{2i}<0.2$$

【０２８８】
（９２）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（６－１）を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$-0.1<\sum_{i=2}^{n}N_{id}e^{2i}<0.2$$

【０２８９】
（９３）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、前群の正レンズが下記条件（７）を満足することを特徴とする光学系。
（７）　０．０２２＜１／ν_p
【０２９０】
（９４）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の前群の正レンズが下記条件（７）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（７）　０．０２２＜１／ν_p
【０２９１】
（９５）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の前群の正レンズが下記条件（７）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（７）　０．０２２＜１／ν_p
【０２９２】
（９６）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、前群の正レンズが下記条件（７－１）を満足することを特徴とする光学系。
（７－１）　０．０２８＜１／ν_p
【０２９３】
（９７）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の前群の正レンズが下記条件（７－１）を満足することを特徴とするテレビ電話。
（７－１）　０．０２８＜１／ν_p
【０２９４】
（９８）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の前群の正レンズが下記条件（７－１）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（７－１）　０．０２８＜１／ν_p
【０２９５】

（９９）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－３）を満足することを特徴とする光学系。

（２－３）　　－０．０５＜１／V_1　＜０．０３

【０２９６】

（１００）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－３）を満足することを特徴とするテレビ電話。

（２－３）　　－０．０５＜１／V_1　＜０．０３

【０２９７】

（１０１）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－３）を満足することを特徴とする情報入力装置。

（２－３）　　－０．０５＜１／V_1　＜０．０３

【０２９８】

（１０２）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４－３）を満足することを特徴とする光学系。

（４－３）　　－０．０３＜１／V_1（ｇ）＜０．０２

【０２９９】

（１０３）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４－３）を満足することを特徴とするテレビ電話。

（４－３）　　－０．０３＜１／V_1（ｇ）＜０．０２

【０３００】

（１０４）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（４－３）を満足することを特徴とする情報入力装置。

（４－３）　　－０．０３＜１／V_1（ｇ）＜０．０２

【０３０１】

（１０５）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－４）を満足することを特徴とする光学系。

（２－４）　　０．０２＜１／V_1　＜０．５

【０３０２】

（１０６）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－４）を満足することを特徴とするテレビ電話。

（２－４）　　０．０２＜１／V_1　＜０．５

【０３０３】

（１０７）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－４）を満足することを特徴とする情報入力装置。

（２－４）　　０．０２＜１／V_1　＜０．５

【０３０４】

（１０８）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）又は（６）の項に記載する光学系で、少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－５）を満足することを特徴とする光学系。

（２－５）　　０．０１５＜１／V_1（ｇ）＜０．１

【０３０５】

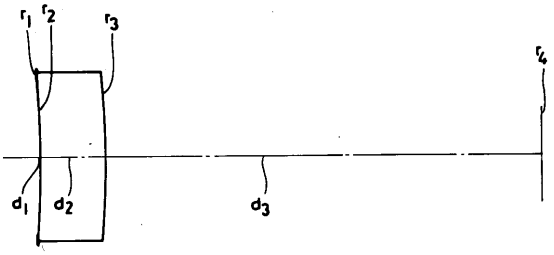
（１０９）前記の（７）の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－５）を満足することを特徴とするテレビ電話。

（２－５）　　０．０１５＜１／V_1（ｇ）＜０．１

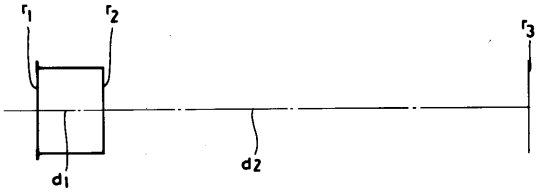
【０３０６】
（１１０）前記の（８）の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも１枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件（２－５）を満足することを特徴とする情報入力装置。
（２－５）　０．０１５＜１／V_1（ｇ）＜０．１
【０３０７】
（１１１）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする銀塩カメラ。
【０３０８】
（１１２）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系を用いたことを特徴とするビデオカメラ。
【０３０９】
（１１３）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする内視鏡。
【０３１０】
（１１４）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）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。
【０３１１】
（１１５）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする顕微鏡。
【０３１２】
（１１６）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする像伝送光学系。
【０３１３】
（１１７）特許請求の範囲の請求項１、２又は３あるいは前記の（１）、（２）、（３）、（４）、（５）、（６）、（１３）又は（１４）の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする測定器。
【０３１４】
【発明の効果】
本発明の光学系は、ラジアル型屈折率分布の又媒質での各波長毎の屈折率の変化を適切な値にすることにより色収差を極めて良好に補正している。
【図面の簡単な説明】
【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】本発明の実施例１３の断面図
【図１４】本発明の実施例１４の断面図
【図１５】本発明の実施例１５の断面図
【図１６】本発明の実施例１６の断面図
【図１７】本発明の実施例１７の断面図
【図１８】本発明の実施例１８の断面図
【図１９】本発明の実施例１９の断面図
【図２０】本発明の実施例１の収差曲線図
【図２１】本発明の実施例２の収差曲線図
【図２２】本発明の実施例３の収差曲線図
【図２３】本発明の実施例４の収差曲線図
【図２４】本発明の実施例５の収差曲線図
【図２５】本発明の実施例６の収差曲線図
【図２６】本発明の実施例７のワイド端における収差曲線図
【図２７】本発明の実施例７の中間焦点距離における収差曲線図
【図２８】本発明の実施例７のテレ端における収差曲線図
【図２９】本発明の実施例８の収差曲線図
【図３０】本発明の実施例９の収差曲線図
【図３１】本発明の実施例１０の収差曲線図
【図３２】本発明の実施例１１の収差曲線図
【図３３】本発明の実施例１２の収差曲線図
【図３４】本発明の実施例１３の収差曲線図
【図３５】本発明の実施例１４の収差曲線図
【図３６】本発明の実施例１５の収差曲線図
【図３７】本発明の実施例１６の収差曲線図
【図３８】本発明の実施例１７の収差曲線図
【図３９】本発明の実施例１８の収差曲線図
【図４０】本発明の実施例１９の収差曲線図
【図４１】屈折率分布の一例を示す図
【図４２】屈折率分布の他の例を示す図
【図４３】結像レンズの一例を示す図
【図４４】本発明の光学系を適用した銀塩カメラの概略図
【図４５】本発明の光学系を適用した顕微鏡の概略図
【図４６】本発明の光学系を適用した内視鏡の概略図
【図４７】本発明の光学系を適用した硬性鏡の概略図
【図４８】本発明の光学系を適用したビデオカメラの概略図
【図４９】本発明の光学系を適用した携帯テレビ電話の概略図
【図５０】本発明の光学系を適用した携帯情報入力装置の概略図である

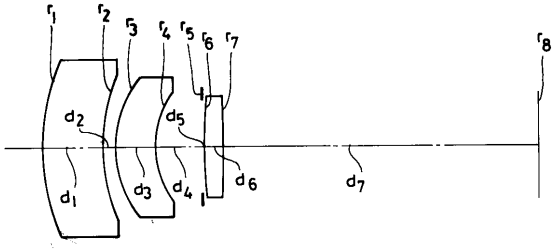
【図１】



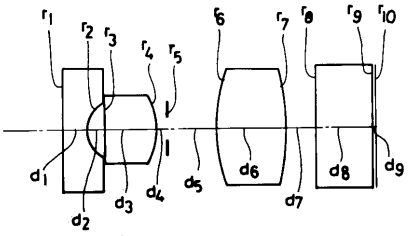
【図２】



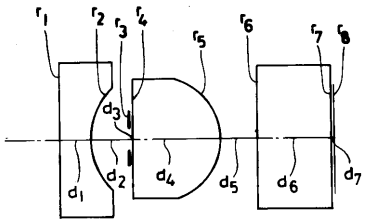
【図３】



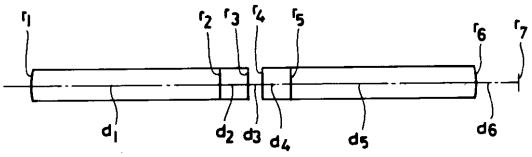
【図４】



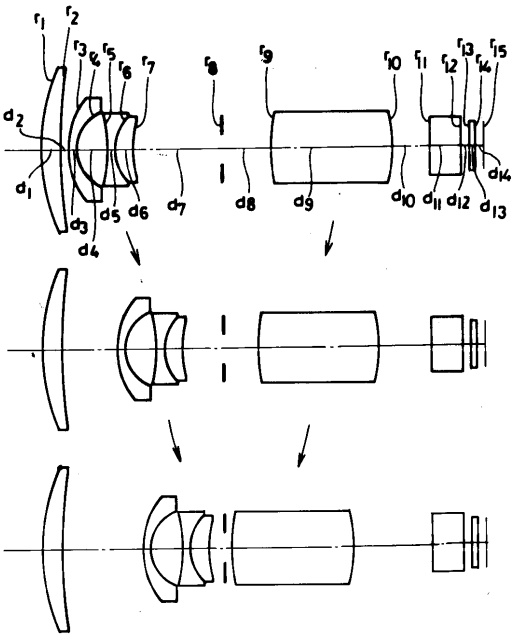
【図５】



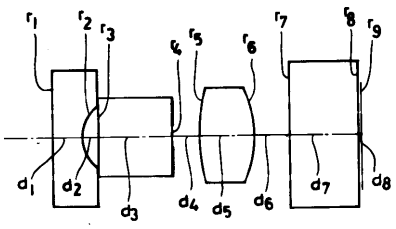
【図６】



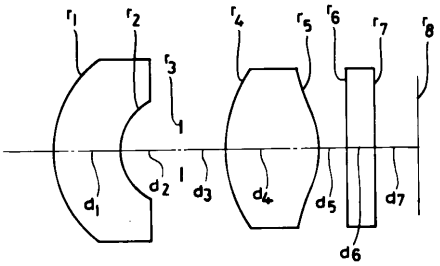
【図７】



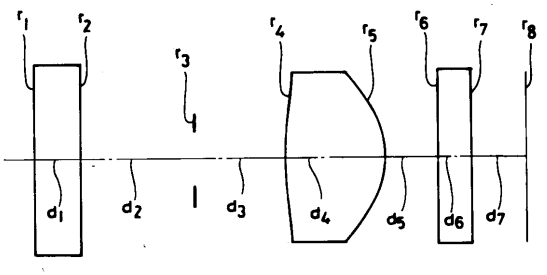
【図８】



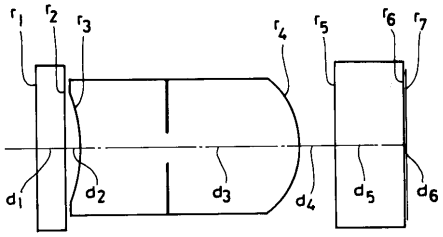
【図９】



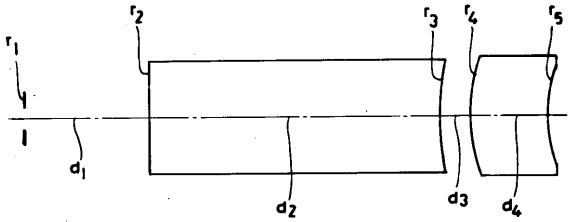
【図１０】



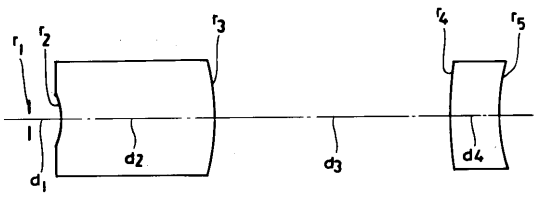
【図１１】



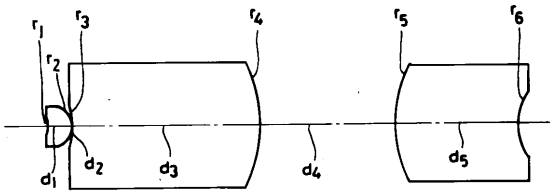
【図１２】



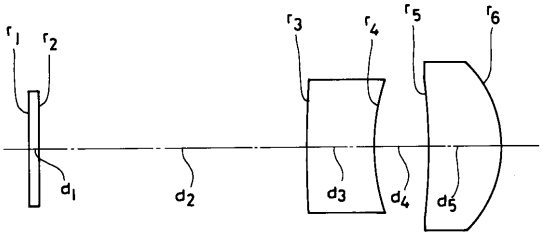
【図１３】



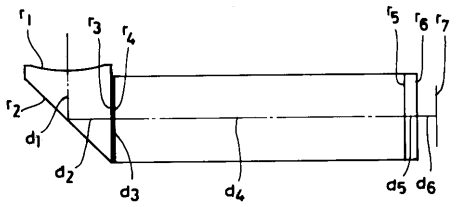
【図１４】



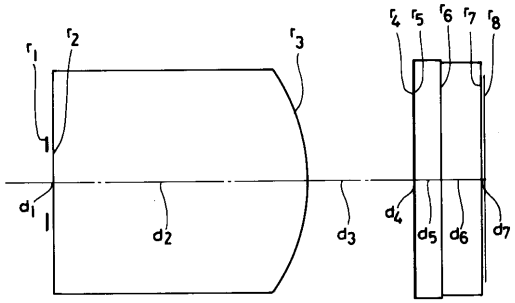
【図１５】



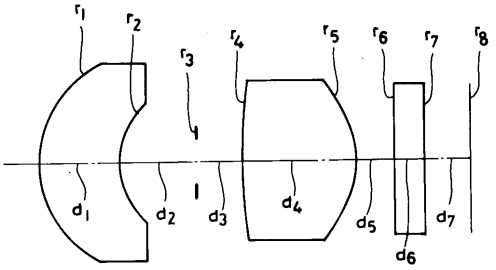
【図１６】



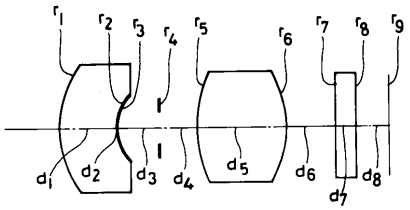
【図１７】



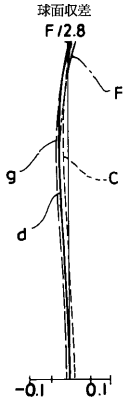
【図１８】



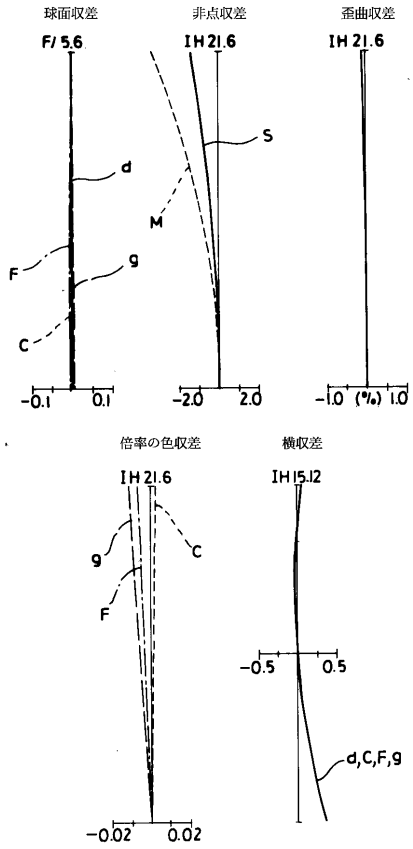
【図１９】



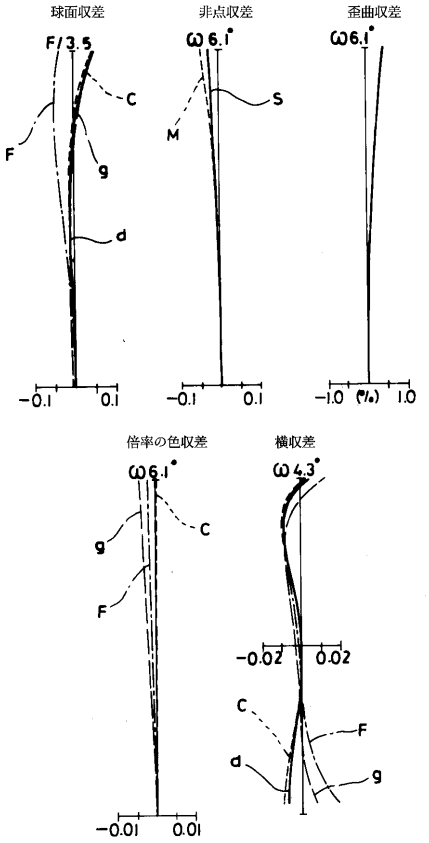
【図２０】



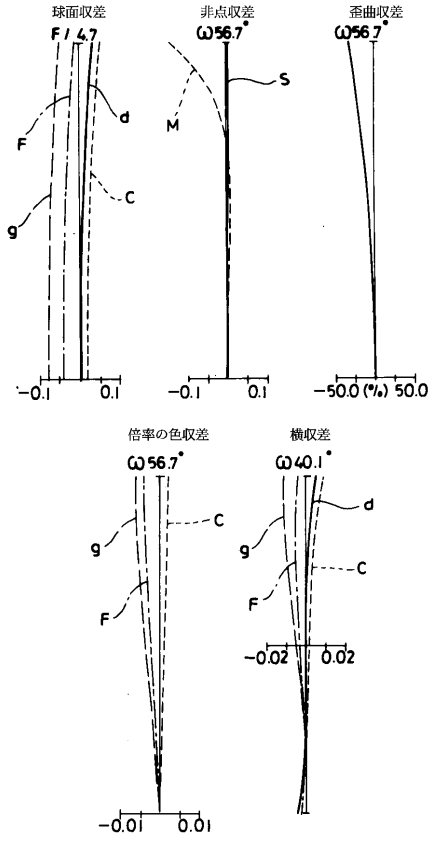
【図２１】



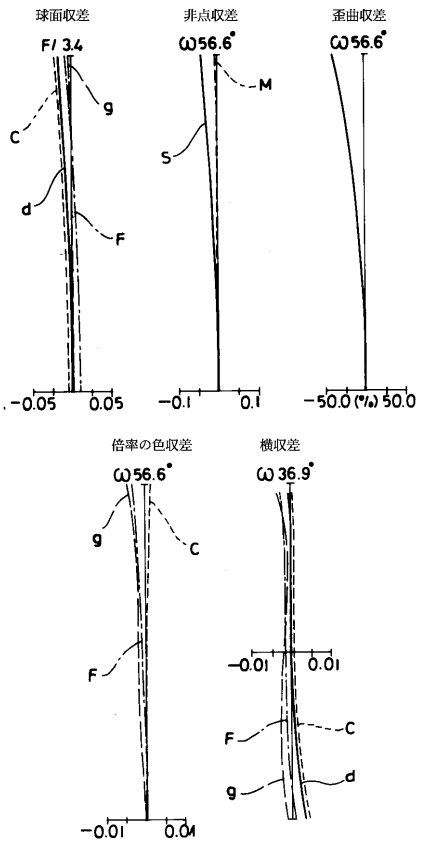
【図２２】



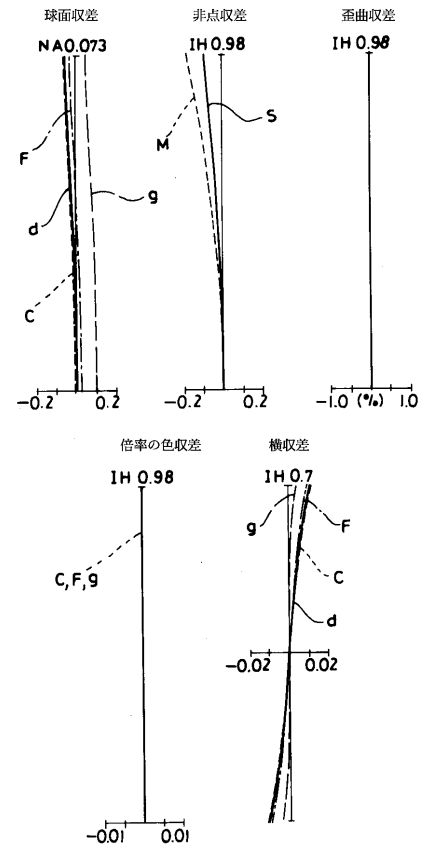
【図２３】



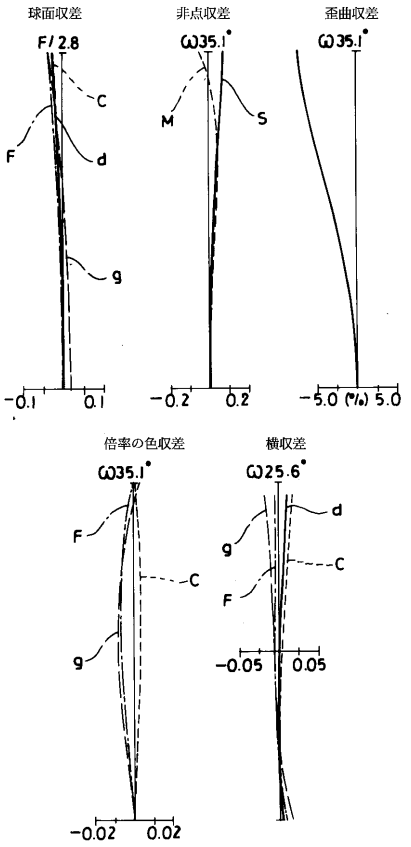
【図２４】



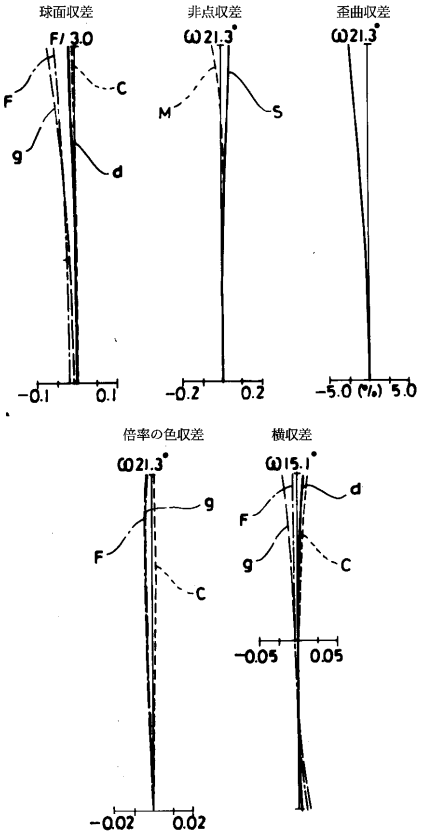
【図２５】



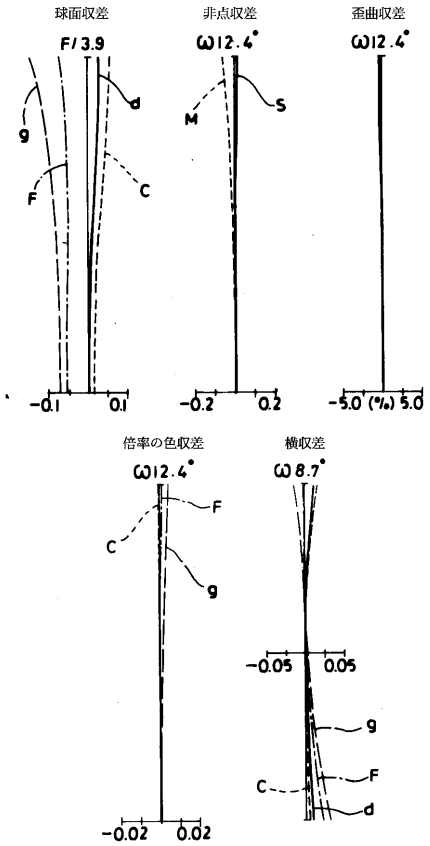
【図２６】



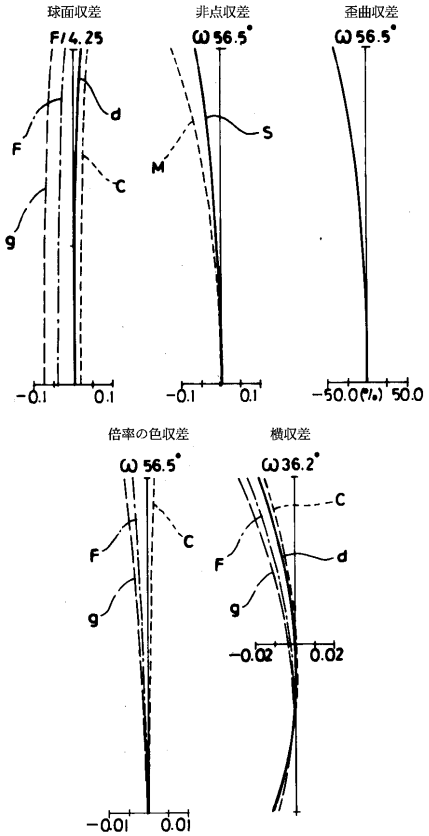
【図２７】



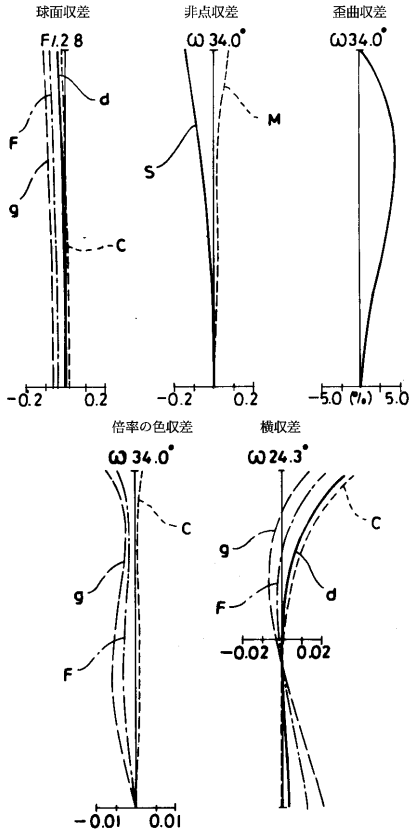
【図２８】



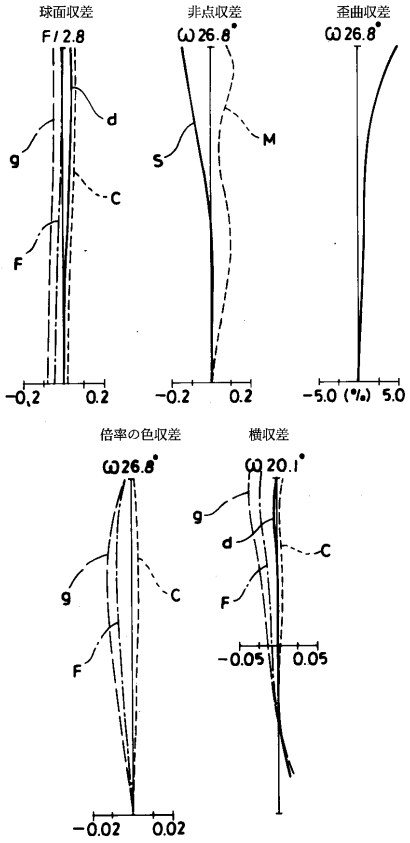
【図２９】



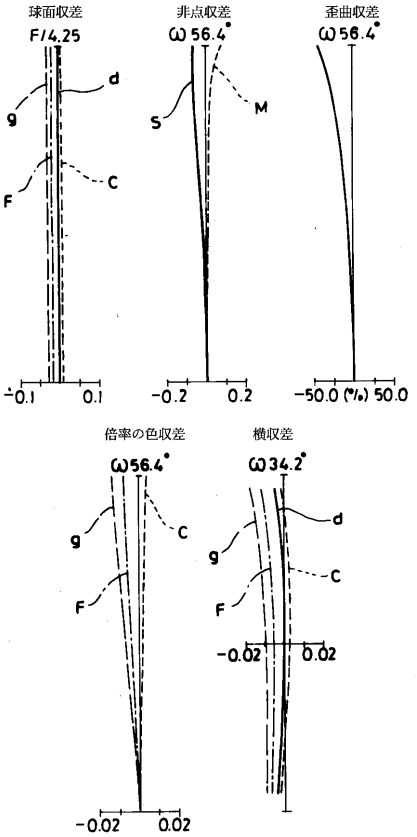
【図３０】



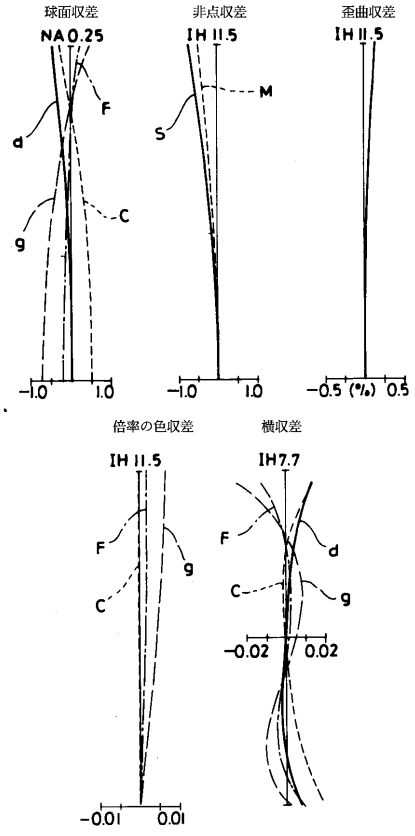
【図３１】



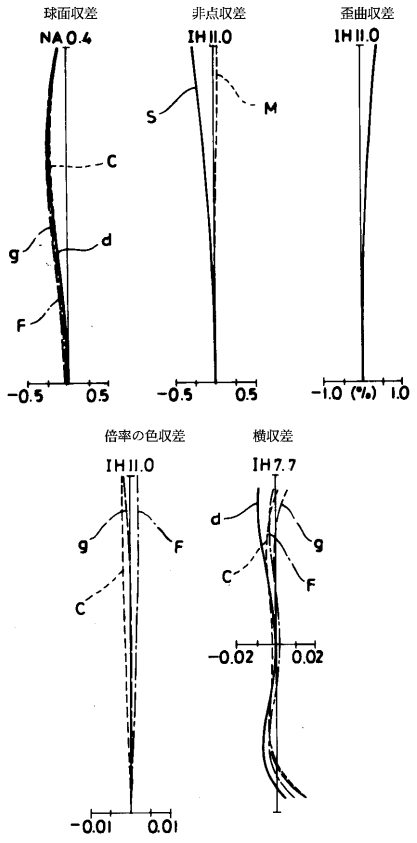
【図３２】



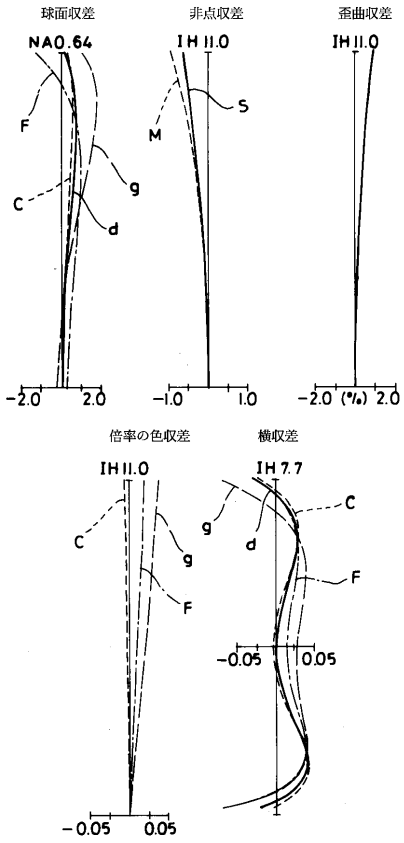
【図３３】



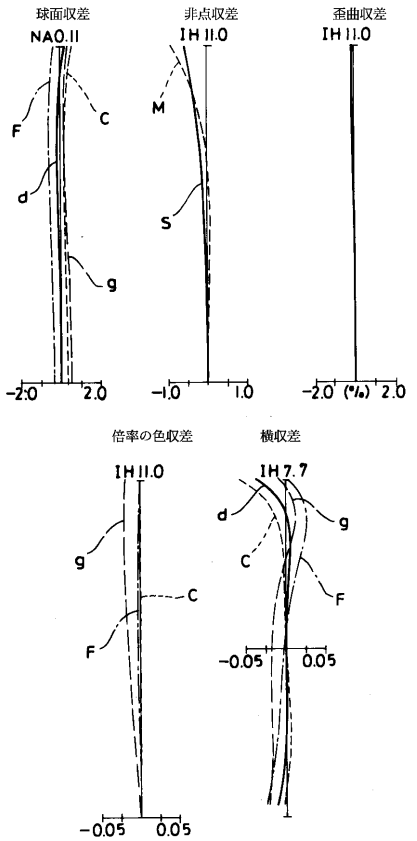
【図３４】



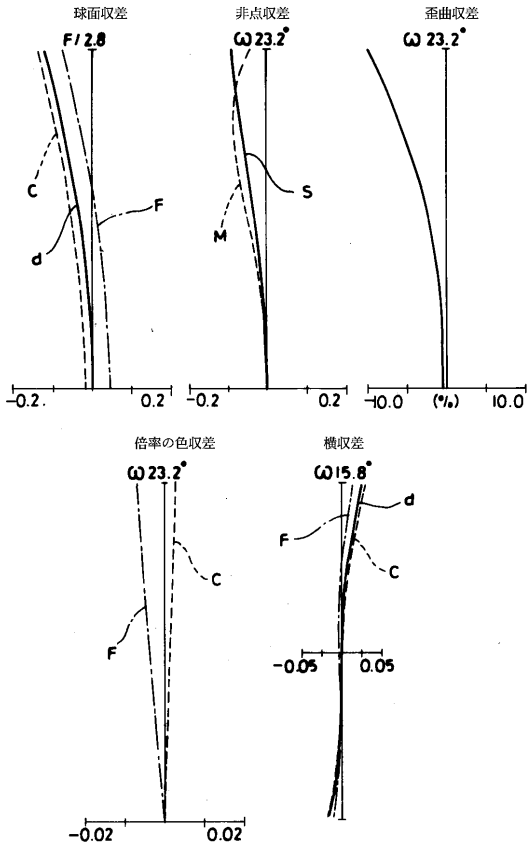
【図３５】



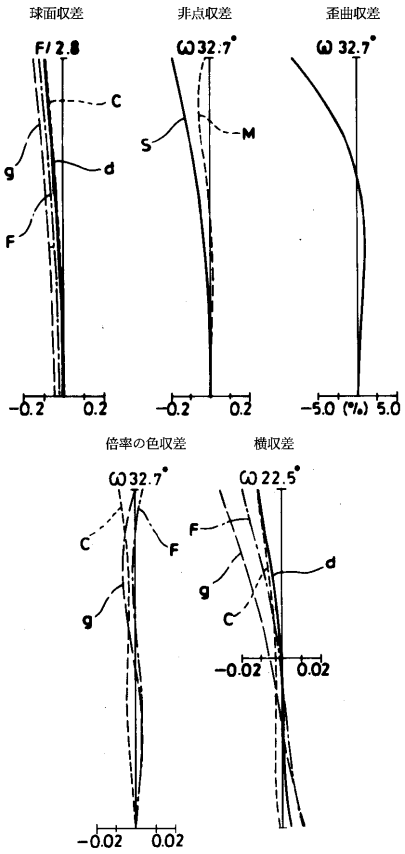
【図３６】



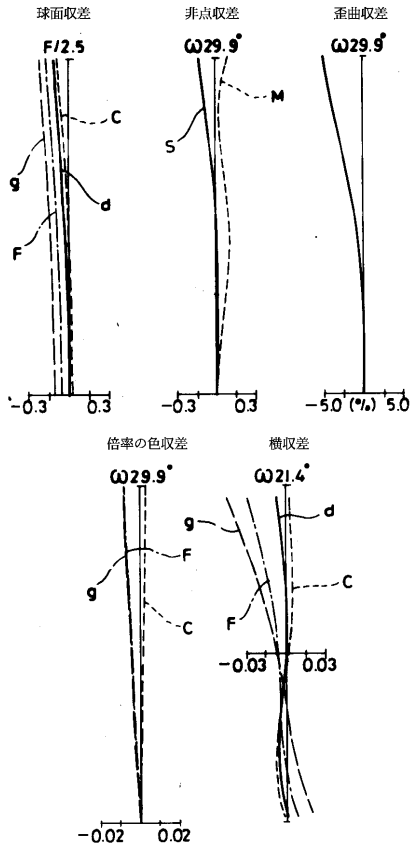
【図３７】



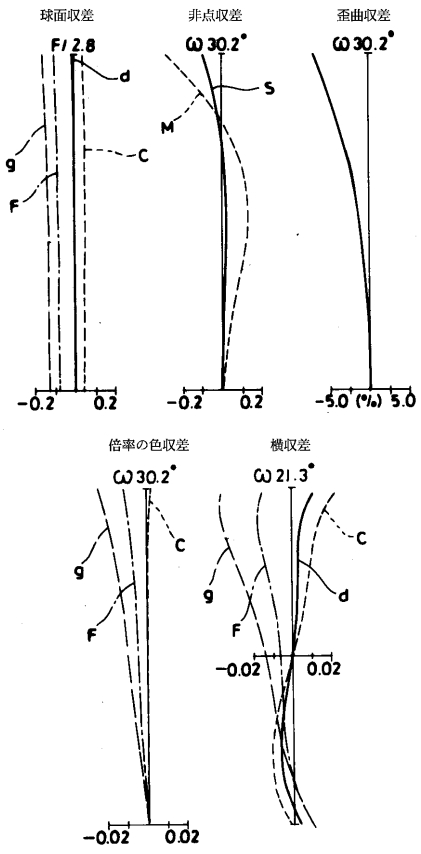
【図３８】



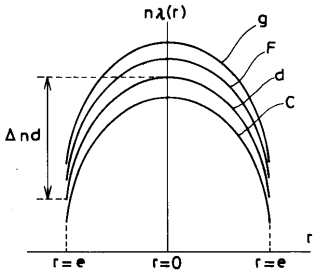
【図３９】



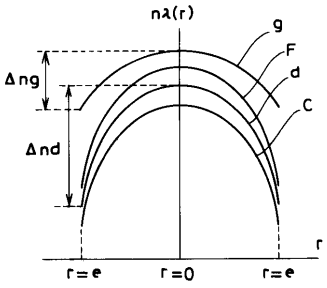
【図４０】



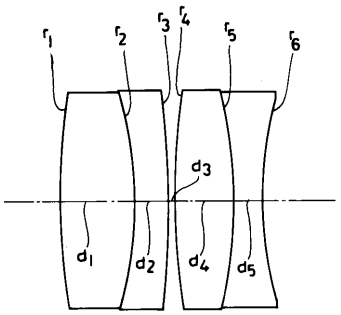
【図４１】



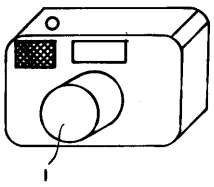
【図４２】



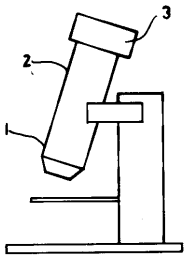
【図４３】



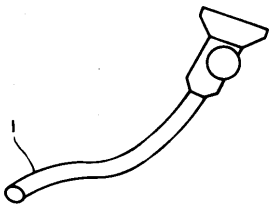
【図４４】



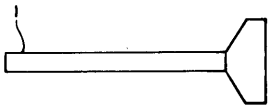
【図４５】



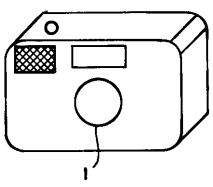
【図４６】



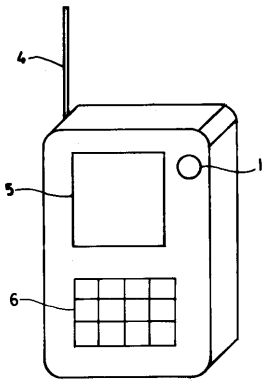
【図４７】



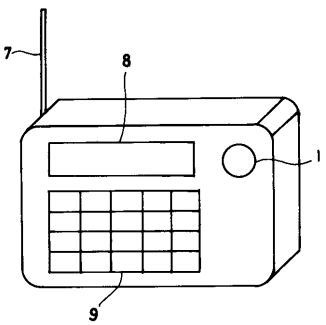
【図４８】



【図４９】



【図５０】



フロントページの続き

(56)参考文献　特開平０１－２２３４０８（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３３７３４８（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０９３８５２（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－２４６５１７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G02B 13/00
G02B 9/00