(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3781394号
(P3781394)
(45)発行日　平成18年5月31日(2006.5.31)　(24)登録日　平成18年3月17日(2006.3.17)

(51)Int.Cl.　F I
G02B 13/00 (2006.01)　G02B 13/00

請求項の数 3　(全 34 頁)

(21)出願番号　特願平9-331603
(22)出願日　平成9年12月2日(1997.12.2)
(65)公開番号　特開平11-167061
(43)公開日　平成11年6月22日(1999.6.22)
審査請求日　平成14年12月6日(2002.12.6)

前置審査

(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　100097777
弁理士　韮澤　弘
(74)代理人　100088041
弁理士　阿部　龍吉
(74)代理人　100092495
弁理士　蛭川　昌信
(74)代理人　100095120
弁理士　内田　亘彦
(74)代理人　100095980
弁理士　菅井　英雄
(74)代理人　100094787
弁理士　青木　健二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】撮影光学系

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

最も像側に配置された負レンズと、その最も像側に配置された負レンズよりも物体側に配置され、物体側より順に配置された正レンズ、負レンズ、正レンズとからなり、前記の最も像側に配置された負レンズが以下の条件式を満足することを特徴とする撮影光学系。

$75.0 \leqq \nu_d$　・・・（１）

$0.8 \leqq SG \leqq 2.2$　・・・（２）

$n_d \leqq 1.40$

ただし、$\nu_d$，SG，$n_d$ は前記の最も像側に配置された負レンズのそれぞれアッベ数、レンズ比重（g／cm$^3$）及び屈折率である。

【請求項２】

最も像側に配置された負レンズと、その最も像側に配置された負レンズよりも物体側に配置され、物体側より順に配置された正レンズ、負レンズ、正レンズとからなり、前記の最も像側に配置された負レンズが以下の条件式を満足していることを特徴とする撮影光学系。

$75.0 \leqq \nu_d$　・・・（１）

$0.8 \leqq SG \leqq 2.2$　・・・（２）

$3 \leqq |f_1/f| \leqq 10$

ただし、$\nu_d$，SGは前記の最も像側に配置された負レンズのそれぞれアッベ数、レンズ比重（g／cm$^3$）、fは光学系の全系の焦点距離、$f_1$ は前記の最も像側に配置された

負レンズの焦点距離である。
【請求項３】
以下の条件式を満足していることを特徴とする請求項２に記載の撮影光学系。
$n_d \leqq 1.40$
ただし、$n_d$ は最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズの屈折率である。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、撮影光学系に関し、特に、写真用カメラに用いられる撮影光学系に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
近年の写真用カメラの撮影光学系、特にズーム光学系においては、高変倍比で、かつ、小型なものが求められている。高変倍比になると、収差補正上、特に色収差の変動によって性能限界が見えてくることが多い。これを改善する試みとしては、いわゆるＥＤレンズを用いる等して色収差の改善を試みてきた。
【０００３】
ＥＤレンズは、低屈折率・低分散ガラスで異常部分分散性を有しているので、従来の光学ガラスだけでは不可能とされていた２次スペクトルの除去を可能にしている。
ＥＤレンズを用いた先行技術として、特開平８－１６０２９８号、特開平４－９５９１２号、特開平３－２６０６１１号、特開平３－１５８８１６号を始め、数多くの例が知られている。
【０００４】
【発明が解決しようとする課題】
上に示した先行技術は、少ないレンズ構成で効果的にＥＤレンズを用いることにより小型なズーム光学系を得ている。また、最終レンズ群が物体側に凹面を向けた負レンズの１枚構成とすることで、レンズ沈胴時に前方にレンズ群が入り込むことができ、小型化にも有利な構成になっている。
【０００５】
しかし、それらの変倍比は何れも２倍以下であり、近年の高変倍ズーム光学系を要求するユーザーにとっては魅力のある仕様とは言えない。また、高変倍比を達成しているズーム光学系は構成枚数が多く、小型化に反し、さらにはコスト高になりがちである。
【０００６】
また、ＥＤレンズは通常の光学ガラスと比べて柔らかく傷付きやすいという特徴や、比重が大きい（３．５ｇ／ｃｍ$^3$ 以上）という特徴を有しているため、余り多く使用するとコストがかかり、光学系が重くなったりする等の点を考慮して使用する必要がある。
【０００７】
本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、色収差を大幅に改善し、高画質で構成枚数が少なく小型で軽量、低コストである撮影光学系を提供することである。
【０００８】
また、特にズーム光学系では、従来と同様のレンズ構成、レンズ枚数でありながら、変倍による色収差の変動が小さく抑えられ、特に望遠端の焦点距離が大幅に延長された撮影レンズを提供することを目的とするものである。
【０００９】
【課題を解決するための手段】
上記目的を達成する本発明の１つの撮影光学系は、最も像側に配置された負レンズと、その最も像側に配置された負レンズよりも物体側に配置され、物体側より順に配置された正レンズ、負レンズ、正レンズとからなり、前記の最も像側に配置された負レンズが以下の条件式を満足することを特徴とするものである。

$75.0 \leqq \nu_d$ ・・・（１）
$0.8 \leqq SG \leqq 2.2$ ・・・（２）
$n_d \leqq 1.40$

ただし、$\nu_d$，ＳＧ，$n_d$ は前記の最も像側に配置された負レンズのそれぞれアッベ数、レンズ比重（ｇ／ｃｍ$^3$）及び屈折率である。

【００１０】

本発明のもう１つの撮影光学系は、最も像側に配置された負レンズと、その最も像側に配置された負レンズよりも物体側に配置され、物体側より順に配置された正レンズ、負レンズ、正レンズとからなり、前記の最も像側に配置された負レンズが以下の条件式を満足していることを特徴とするものである。

$75.0 \leqq \nu_d$ ・・・（１）
$0.8 \leqq SG \leqq 2.2$ ・・・（２）
$3 \leqq |f_1 / f| \leqq 10$

ただし、$\nu_d$，ＳＧは前記の最も像側に配置された負レンズのそれぞれアッベ数、レンズ比重（ｇ／ｃｍ$^3$）、ｆは光学系の全系の焦点距離、$f_1$ は前記の最も像側に配置された負レンズの焦点距離である。

【００１３】

以下に、本発明において上記構成をとる理由と作用について説明する。

本発明の第１の撮影光学系は、最も像側に配置された負レンズと、その最も像側に配置された負レンズよりも物体側に配置され、物体側より順に配置された正レンズ、負レンズ、正レンズとを有し、前記の最も像側に配置された負レンズが以下の条件式を満足することを特徴とするものである。

$75.0 \leqq \nu_d$ ・・・（１）
$0.8 \leqq SG \leqq 2.2$ ・・・（２）

ただし、$\nu_d$，ＳＧは前記の最も像側に配置された負レンズのそれぞれアッベ数及びレンズ比重（ｇ／ｃｍ$^3$）である。

【００１４】

本発明のこの撮影光学系のように、トリプレットレンズの後方に像面側に凸面を向けた負レンズを配するようないわゆるテレフォトタイプの光学系は、これまでに数多く提案されてきた。

【００１５】

本発明では、まずこの最も像側に配置された負レンズに比重の小さなレンズを配する。一般の光学ガラスレンズの比重ＳＧ（ｇ／ｃｍ$^3$）は、２．２５以上ある。本発明では、ＳＧ≦２．２なるレンズ、例えば光学樹脂等を用いることで、光学系の軽量化、低コスト化を可能とする。また、光学樹脂等を用いれば、非球面も容易に製作が可能となり、性能向上の効果も大きくなる。つまり、中心光束と周辺光束が最も分離している最終レンズを非球面レンズとすることで、特に像面湾曲、コマ収差等の収差補正に効果的である。

【００１６】

しかし、非球面を使っても補正できない収差、つまり色収差の補正についての改善が本発明の目的とするところである。色収差の補正は、各レンズ群内で補正しておくことが理想である。本発明のような光学系の場合、前群のトリプレットレンズと後群の負レンズとが夫々に色収差の補正がなされていればよい。

【００１７】

通常、分散の異なる複数のレンズを組み合わせることで色消しされるが、上記の後群は負の単レンズであるので、それ自体が分散の小さいレンズであることが必要である。前群のトリプレットレンズは正レンズ２枚と負レンズ１枚の組み合せで十分色補正が可能である。

【００１８】

したがって、$75.0 \leqq \nu_d$ なる超低分散のレンズを最も像側に配置する負レンズに配することで、色収差の小さい撮影光学系を提供することが可能となる。

【００１９】
また、以下の条件式（７）を満足していることが好ましい。
$n_d \leqq 1.40$ ・・・（７）
ただし、$n_d$ は前記の最も像側に配置された負レンズの屈折率である。
【００２０】
上記の最も像側に配置された負レンズはフィルム面に最も近い所に位置しており、フィルム面での反射光が再度この負レンズで反射されて画面内に入り、フレアーとなって画質劣化を導く可能性がある。この反射率Ｒは、$R=[(n-n')/(n+n')]^2$ で計算され（ｎ，ｎ’は界面の前後の屈折率）、例えば屈折率$n_d=1.6$の硝材ではＲ＝５．３％であるのに対し、屈折率$n_d=1.4$の硝材ではＲ＝２．８％と約半減されることになる。
【００２１】
また、以下の条件式（８）を満足していることが好ましい。
$3 \leqq |f_1/f| \leqq 10$ ・・・（８）
ただし、ｆは光学系の全系の焦点距離、$f_1$ は前記の最も像側に配置された負レンズの焦点距離である。
【００２２】
条件式（８）の下限の３を越えると、その負レンズのパワーが強くなりすぎ、レンズの曲率が非常に強く難形状になり、製造が難しくなる他、性能への効き（感度）も大きくなり、量産化が困難となる。また、温湿度変化によるピントズレ等の影響も大きくなるので好ましくない。また、上限の１０を越えると、パワーが弱くなりすぎ、諸収差の補正効果を失ってしまう。
【００２３】
さらに、上記の最も像側に配置された負レンズとしては、例えば商品名「サイトップ（ＣＹＴＯＰ）」と呼ばれる光学樹脂を用いることができる。この樹脂は低吸湿性であので、湿度変化によるピントズレ等の影響を小さくできる。
【００２４】
本発明の第２の撮影光学系は、最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズを持つ負の屈折力の最終レンズ群を備えたズーム光学系であって、前記の負の屈折力を有する単レンズが以下の条件式を満足することを特徴とするものである。
$75.0 \leqq \nu_d$ ・・・（３）
$0.8 \leqq SG \leqq 2.2$ ・・・（４）
ただし、$\nu_d$，ＳＧは前記の最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズのそれぞれアッベ数及びレンズ比重（ｇ／ｃｍ$^3$）である。
【００２５】
本発明のような、最も像側に配置されたレンズ群、すなわち最終レンズ群が負の屈折力を有するズーム光学系としては、正・負の２群ズームレンズ、正・正・負の３群ズームレンズ、あるいは、○・正・正・負（○は正又は負）の４群ズームレンズ等が一般的である。このようなズーム光学系では、最終レンズ群が最も大きな口径であることが多く、本発明では、まずその最終レンズ群に比重の小さなレンズを配するような構成とする。前に述べたように、一般の光学ガラスレンズの比重は２．２５以上あり、本発明のようにＳＧ≦２．２なるレンズ、例えば光学樹脂等を用いることで、レンズ系の軽量化、低コスト化が可能となる。また、光学樹脂を用いれば非球面も容易に製作が可能となり、性能向上の効果も大きくなる。特に広角側での周辺性能の向上に効果的である。
【００２６】
しかし、色収差については、非球面を用いても改善はされない。特にズーム光学系の場合、色収差の補正は各レンズ群内で補正しておくことが理想である。
【００２７】
本発明のようなズーム光学系で、最終レンズ群は負の単レンズで構成されているような場合は、それ自体が分散の小さいレンズであることが必要である。したがって、７５．０≦

$\nu_d$ なる超低分散のレンズで、しかも比重の小さい、例えば光学樹脂等を最終負レンズ群に配するような構成をとった。超低分散レンズを最終負レンズ群（変倍群）に設けることで、変倍時の色収差の変動を小さく抑え、特に広角側での倍率色収差及び望遠側での軸上色収差のバランスを良好にしている。また、従来の色消しに比べて使用するレンズの枚数が少ないため、コストを低く抑えかつ光学系を軽くできるという効果も有する。

【００２８】

また、前記最終レンズ群は、物体側に凹面を向けた形状であることが好ましい。これは、最終負レンズ群の入射面が深い凹面となり、沈胴時に最終負レンズ群の前方のレンズ群が入り込むことができ、沈胴時の鏡枠構成長を短くできる効果が得られる。

【００２９】

また、以下の条件式（９）を満足していることが好ましい。

$n_d \leqq 1.40$ ・・・（９）

ただし、$n_d$ は最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズの屈折率である。

【００３０】

上記の最も像側に配置された負の屈折力の単レンズはフィルム面に最も近い所に位置しており、フィルム面での反射光が再度この最終負レンズで反射されて画面内に入り、フレアーとなって画質劣化を導く可能性がある。この反射率Ｒは、$R=[(n-n')/(n+n')]^2$ で計算され（ｎ，ｎ’は界面の前後の屈折率）、例えば屈折率$n_d=1.6$の硝材ではＲ＝５．３％であるのに対し、屈折率$n_d=1.4$の硝材ではＲ＝２．８％と約半減されることになる。

【００３１】

また、以下の条件式（１０）を満足していることが好ましい。

$1.75 \leqq \beta_{LT}/\beta_{LW}$ ・・・（１０）

ただし、$\beta_{LT}$は、前記ズーム光学系の最終負レンズ群の望遠端での横倍率、$\beta_{LW}$は前記ズーム光学系の最終負レンズ群の広角端での横倍率である。なお、最終負レンズ群が負の単レンズであれば、$\beta_{LT}$は前記ズーム光学系の最も像側に配置された負の屈折力を有する単レンズの望遠端での横倍率、$\beta_{LW}$は前記ズーム光学系の最も像側に配置された負の屈折力を有する単レンズの広角端での横倍率である。

【００３２】

この条件式は、高変倍比を達成するための条件で、下限の１．７５を越えると、変倍負担が最終負レンズ群から最終負レンズ群の前方に位置するレンズ群へ移り、変倍時の各群移動量が増大し、小型化を達成できなくなる。また、変倍比が小さくなれば、色収差の変動も小さくなり、$75.0 \leqq \nu_d$ なるレンズを用いる効果も薄れてくる。

【００３３】

さらに、上記最終レンズ群の直前に位置するレンズ群は、物体側から順に負レンズ及び正レンズの２枚で構成され、正レンズに$75.0 \leqq \nu_P$、$0.8 \leqq SG \leqq 2.2$からなるレンズを備えることが好ましい。ただし、$\nu_P$ はその正レンズのアッベ数、ＳＧはレンズ比重を示す。

【００３４】

上述したような正・負、正・正・負、○・正・正・負（○は正又は負）のような群配置のズーム光学系では、最終負レンズ群の前方に位置するレンズ群を繰り出すことによって近距離物体へのフォーカシングを行うことが一般的である。これは、可動させるレンズ群が小さいことと、繰り出し量等を小さくできるためである。したがって、この群内に比重の小さいレンズ、例えば光学樹脂等を備えることで、レンズ群が軽量化され、フォーカシング時等に機械的駆動系の負担が軽減されることになる。

【００３５】

また、光学樹脂とすることで、非球面も容易に製作が可能となり、性能向上の効果も大きくなる。特に広角側での歪曲収差や望遠側の球面収差の補正に効果的である。また、光学樹脂を正レンズとすることで、上記の最終負レンズと相まって温湿度変化によるピントズレ等の影響をキャンセルさせることが可能となる。

【００３６】
また、以下の条件式（１１）を満足していることが好ましい。
$n_d \leqq 1.40$ ・・・（１１）
ただし、$n_d$ は前記最終負レンズ群の直前に位置する正レンズの屈折率である。
【００３７】
これは、先の条件式（９）と同時に満足させることが好ましい。正レンズと負レンズを同時に低屈折率とすることで、ペッツバール和の適切な値を確保しやすくなる。
【００３８】
さらには、群内の色収差補正には条件式（１２）を満足するように、負レンズに比較的高分散なレンズを配し、正レンズを超低分散レンズにして、負レンズで発生した色収差を正レンズで補正している。
【００３９】
$40 \leqq \nu_P - \nu_n$ ・・・（１２）
ただし、$\nu_P$ は、前記最終負レンズ群の直前に位置するレンズ群中の正レンズのアッベ数、$\nu_n$ は前記最終負レンズ群の直前に位置するレンズ群中の負レンズのアッベ数である。
【００４０】
また、以下の条件式（１３）を満足することが好ましい。
$1.0 \leqq |f_F / f_R| \leqq 2.0$ ・・・（１３）
ただし、$f_R$ は前記最終負レンズ群の焦点距離、$f_F$ は前記最終負レンズ群の直前に位置するレンズ群の焦点距離である。
【００４１】
この条件式（１３）は最終負レンズ群とその直前のレンズ群のパワーを適切に設定し、所定の変倍比を効率的に得るための条件式である。この条件式の上限の２．０を越え、最終負レンズ群のパワーが強くなりすぎると、像面湾曲等の軸外収差の補正が困難となる。その下限の１．０を越え、最終負レンズ群のパワーが弱くなると、最終負レンズ群の移動量が増加し、レンズ全長の増大を導いてしまう。
【００４２】
さらに、最終負レンズ群の負レンズには、例えば商品名「サイトップ（ＣＹＴＯＰ）」と呼ばれる光学樹脂を用いることができる。この樹脂を低吸湿性であるので、湿度変化によるピントズレ等の影響を小さくできる。
【００４３】
また、各レンズ群を２枚以下のレンズで構成することが好ましい。
小型化が要求される場合、カメラ携帯時にレンズ系が沈胴することでコンパクト化を達成していることはすでに知られている。その際、各群の構成長を小さくしておくことが重要である。
【００４４】
本発明の第３の撮影光学系は、最も像側に配置された負レンズ群と、その最も像側に配置された負レンズ群よりも物体側に配置された２つの正レンズ群とを少なくとも備えたズーム光学系であって、前記負レンズ群は単レンズで構成され、以下の条件式を満足することを特徴とするものである。
$75.0 \leqq \nu_d$ ・・・（５）
ただし、$\nu_d$ は前記負レンズ群の単レンズのアッベ数である。
【００４５】
本発明のような最終レンズ群が負の屈折力を有するズーム光学系としては、正・正・負の３群ズームレンズ、あるいは、○・正・正・負の４群ズームレンズ等が一般的である。
【００４６】
ズーム光学系の場合、色収差の補正は各レンズ群内で補正しておくことが理想である。本発明のようなズーム光学系の場合、最終負レンズ群は負の単レンズで構成されているので、複数の分散の異なるレンズの組み合わせによる色消しはできない。そこで、それ自体が分散の小さいレンズであることが必要である。したがって、$75 \leqq \nu_d$ なる超低分散のレ

ンズを最終負レンズ群に配するような構成とする。超低分散レンズを最終負レンズ群に設けることで、変倍時の色収差の変動を小さく抑え、特に広角側での倍率色収差及び望遠側での軸上色収差のバランスを良好にしている。

【００４７】

また、この最終負レンズ群の負レンズは、物体側に凹面を向けた形状であることが好ましい。これは、最終負レンズ群の入射面が深い凹面となり、沈胴時に最終レンズ群の前方のレンズ群が入り込むことができ、沈胴時の鏡枠構成長を短くできる。

【００４８】

この最終負レンズ群の負レンズの屈折率は、先述したように超低屈折率であれば、フレアー防止の効果を備えることができる。また、比較的高屈折率とすれば、レンズの曲率半径が緩められ、製造が容易になり、性能への効き（感度）も小さくすることが可能となる。それぞれのレンズ系によってバランスをとればよい。

【００４９】

また、以下の条件式（１４）を満足することが好ましい。

$$1.75 \leqq \beta_{LT} / \beta_{LW} \quad \cdots (14)$$

ただし、$\beta_{LT}$はズーム光学系の最終負レンズ群の望遠端での横倍率、$\beta_{LW}$は最終負レンズ群の広角端での横倍率である。

【００５０】

この条件式は、高変倍比を達成するための条件で、下限の１．７５を越えると、変倍負担が最終負レンズ群から前記最終負レンズ群の物体側に配置された２つの正レンズ群の中、前記最終負レンズ群側に配置された正のレンズ群（以下、正の第２レンズ群とする。）へ移り、変倍時の各群移動量が増大し、小型化を達成できなくなる。また、変倍比が小さくなれば、色収差の変動も小さくなり、$75.0 \leqq \nu_d$ なるレンズを用いる効果も薄れてくる。

【００５１】

さらには、最終負レンズ群の負レンズは非球面レンズであることが好ましい。非球面とすることで性能向上の効果も大きくなる。特に広角側での周辺性能の向上に効果的である。

【００５２】

また、ＥＤレンズのようなガラスレンズを用いる際に、柔らかく加工難のため、コスト高になるということはすでに述べたが、非球面レンズとすることで成形による生産において研磨工程が省かれるため、低コスト化が達成できる。

【００５３】

さらに、正の第２レンズ群は、物体側から順に負レンズ及び正レンズの２枚で構成され、以下の条件式（１５）、（１６）を満足していることが好ましい。

【００５４】

$$75.0 \leqq \nu_P \quad \cdots (15)$$

$$40 \leqq \nu_P - \nu_N \quad \cdots (16)$$

ただし、$\nu_P$ は正の第２レンズ群中の正レンズのアッベ数、$\nu_N$ は正の第２レンズ群中の負レンズのアッベ数である。

【００５５】

群内の色収差補正には、条件式（１５）、（１６）を満足するように負レンズに比較的高分散なレンズを配し、正レンズを超低分散レンズにして、負レンズで発生した色収差を正レンズで補正している。

【００５６】

さらには、正の第２レンズ群の正レンズは、非球面レンズであることが好ましい。非球面とすることで性能向上の効果も大きくなる。特に、広角側での歪曲収差や望遠側の球面収差の補正に効果的である。

【００５７】

また、ＥＤレンズのようなガラスレンズを用いる際に、柔らかく加工難のため、コスト高になるということはすでに述べたが、非球面レンズとすることで成形による生産において

研磨工程が省かれるため、低コスト化が達成できる。

【００５８】

さらには、以下の条件式（１７）を満足することが好ましい。

$1.0 \leqq |f_2 / f_1| \leqq 2.0$ ・・・（１７）

ただし、$f_1$ は上記ズーム光学系の最終負レンズ群の焦点距離、$f_2$ は上記ズーム光学系の正の第２レンズ群の焦点距離である。

【００５９】

これは、最終負レンズ群と正の第２レンズ群のパワーを適切に設定し、所定の変倍比を効果的に得るための条件式である。条件式（１７）の上限の２．０を越え、最終負レンズ群のパワーが強くなりすぎると、像面湾曲等の軸外収差の補正が困難となる。下限の１．０を越え、最終負レンズ群のパワーが弱くなると、最終負レンズ群の移動量が増加し、レンズ全長の増大を導いてしまう。

【００６０】

また、正の第２レンズ群の正レンズは、屈折率 $n_d$ が高くなればレンズの曲率半径が緩くなり、製造がしやすくなるので好ましい。

また、最終負レンズ群の負レンズ及び正の第２レンズ群の正レンズは、光学樹脂であってもよい。

【００６１】

本発明のような正・正・負の３群ズーム光学系や、○・正・正・負の４群ズーム光学系は、一般に最終負レンズ群が最も口径の大きいレンズ群になる。したがって、そのレンズ群のレンズを光学樹脂とすることで、光学系の軽量化と低コスト化が達成できる。

【００６２】

同様に、本発明のようなズーム光学系は、近距離物体へのフォーカシングに正の第２レンズ群を移動させることが多い。したがって、正の第２レンズ群をできるだけ軽量にすると機械的駆動系の負担が軽減される。

【００６３】

また、この最終負レンズ群の負レンズ及び正の第２レンズ群の正レンズには、例えば商品名「サイトップ（ＣＹＴＯＰ）」と呼ばれる光学樹脂を用いることができる。この樹脂は低吸湿性であるので、湿度変化によるピントズレ等の影響を小さくできる。

【００６４】

また、各レンズ群を構成するレンズの枚数は２枚以下であることが好ましい。

小型化が要求される場合、カメラ携帯時にレンズ系が沈胴することでコンパクト化を達成していることはすでに知られている。その際、各群の構成長（Σｄ）を小さくしておくことが重要である。

【００６５】

本発明の第４の撮影光学系は、最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズを備え、その最も像側に配置された負の屈折力を有する単レンズが、以下の条件式を満足することを特徴とするものである。

$n_d \leqq 1.40$ ・・・（６）

ただし、$n_d$ は前記の最も像側に配置された負の屈折力を有する単レンズの屈折率である。

【００６６】

フィルムに最も近い所に位置する最終レンズに $n_d \leqq 1.40$ なる低屈折率のレンズを配することで、フィルム面での反射光が再度最終レンズで反射されて画面内に入り、フレアーとなって画質劣化を導くことを防ぐことが可能となる。

【００６７】

反射率Ｒは、$R = [(n - n')/(n + n')]^2$ で計算され（ｎ，ｎ’は界面の前後の屈折率）、例えば屈折率 $n_d = 1.6$ の硝材ではＲ＝５．３％であるのに対し、屈折率 $n_d = 1.4$ の硝材ではＲ＝２．８％と約半減されることになる。これにより反射防止コートが除去できれば、低コスト化につながるものとなる。

【００６８】
【発明の実施の形態】
以下、本発明の撮影光学系の実施例１～９について説明する。なお、実施例２～９は参考例である。
ズーム光学系の場合、特に、近年の望遠端延長による高変倍化が求められている場合においては、収差補正上、特に色収差の変動がそのズーム光学系の性能限界になるケースが多い。従来のズーム光学系を見ると、広角端から望遠端での軸上色収差の変動が大きい。
【００６９】
以下に示す本発明のズーム光学系の実施例では、７５．０≦$\nu_d$なる超低分散レンズを備えることで大幅に色収差の改善が可能となり、従来のものに対して、同変倍比であればさらなる高性能化が可能となり、あるいは望遠端焦点距離の延長化（高変倍比）が達成でき、従来と同様の光学系、構成枚数でハイスペック化が可能となった。
【００７０】
以下に、本発明の実施例を説明する。なお、各実施例の数値データは後記する。
（実施例１）
本実施例は、図１に断面図を示すように、物体側から順に、物体側に凸の正メニスカスレンズ、両凹負レンズ、絞り、両凸正レンズ、物体側に凹の負メニスカスレンズの４群４枚構成の単焦点レンズである。最終負レンズにプラスチック樹脂「サイトップ」を用いている。また、この最終負レンズの像側の面を非球面とすることで、他の収差補正にも有効となっている。
最終レンズの焦点距離はｆ’＝－２８２ｍｍと比較的弱いパワーになっている。
この実施例の収差図を図２に示す。収差図中、ＳＡは球面収差、ＡＳは非点収差、ＤＴは歪曲収差、ＣＣは倍率色収差を示す。また、ＦＩＹは像高を示す。以下、収差図において同様である。
【００７１】
（実施例２）
本実施例は、焦点距離３９．１～８７．３ｍｍの３群ズームレンズである。レンズ構成は、図３に広角端、中間状態、望遠端での断面図を示すように、物体側から順に、物体側に凸の正メニスカスレンズと負メニスカスレンズの貼り合わせレンズからなる正の第１群Ｇ１、開口絞り及び物体側に凹の負メニスカスレンズと正メニスカスレンズの２枚のレンズからなる正の第２群Ｇ２、両凹レンズの負レンズ１枚からなる第３群Ｇ３で構成され、第２群Ｇ２の正レンズの両面と第３群Ｇ３の負レンズの物体側の面に非球面を用いており、各群を物体側へ移動させることにより広角端から望遠端へと変倍する。
【００７２】
第２群Ｇ２中の正レンズ及び第３群Ｇ３の負レンズにプラスチック樹脂「サイトップ」を用いることにより、軸上色収差及び倍率色収差のバランスを良好に補正している。また、これらのレンズを非球面レンズとすることで、他の収差補正効果にも有効である。正レンズと負レンズがプラスチックレンズであるので、両レンズでの温湿度によるピントズレ等の変化をキャンセルすることもできる。
【００７３】
また、このような（正・正・負の）光学系では、近距離物点への合焦に第２群Ｇ２を移動させることが多い。そこで、第２群Ｇ２中にプラスチックレンズを備えることで軽量になり、フォーカシング移動による機械的駆動系の負担を軽減させることができる。同じく、このような（正・正・負の）光学系では、負の第３群Ｇ３が最も大きな形状を有することが多い。したがって、第３群Ｇ３の負レンズをプラスチックレンズとすることで、光学系の軽量化が達成できている。
【００７４】
この実施例の収差図を図４に示す。収差図中、（ａ）は広角端、（ｂ）は中間状態、（ｃ）は望遠端での収差図である。以下同様である。
【００７５】

（実施例３）
本実施例は、焦点距離３９．１～８７．１ｍｍの３群ズームレンズである。レンズ構成は、図５に広角端、中間状態、望遠端での断面図を示すように、物体側から順に、物体側に凸の正メニスカスレンズと負メニスカスレンズの貼り合わせレンズからなる正の第１群Ｇ１、開口絞り及び物体側に凹の負メニスカスレンズと両凸正レンズの２枚のレンズからなる正の第２群Ｇ２、両凹レンズの負レンズ１枚からなる第３群Ｇ３で構成され、第２群Ｇ２の正レンズの像側の面と第３群Ｇ３の負レンズの物体側の面に非球面を用いており、各群を物体側へ移動させることにより広角端から望遠端へと変倍する。その他が上記実施例２と同様の構成、作用である。実施例２が、第２群Ｇ２の像側に凸面を向けた正メニスカスレンズに「サイトップ」を用いているのに対して、本実施例では第２群Ｇ２中の両凸レンズに「サイトップ」を用いている。この実施例の図４と同様の収差図を図６に示す。

【００７６】
（実施例４）
本実施例は、焦点距離３９．１～１１６．４ｍｍの４群ズームレンズである。レンズ構成は、図７に広角端、中間状態、望遠端での断面図を示すように、物体側から順に、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズと物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズの２枚からなるパワーレスの第１群Ｇ１、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ及び開口絞りよりなる正の第２群Ｇ２、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズと両凸正レンズの２枚よりなる正の第３群Ｇ３、両凹レンズの負レンズ１枚からなる第４群Ｇ４で構成され、第３群Ｇ３の正レンズの像側の面と第４群Ｇ４の負レンズの物体側の面に非球面を用いており、各群を物体側へ移動させることにより広角端から望遠端へと変倍する。

【００７７】
第３群Ｇ３中の正レンズ、及び、第４群Ｇ４の負レンズにプラスチック樹脂「サイトップ」を用いることにより、軸上の色収差及び倍率の色収差等を良好に補正している。また、これらのレンズを非球面レンズとすることで、他の収差の補正効果にも有効である。正レンズと負レンズがプラスチックレンズであるので、両レンズでの温湿度によるピントズレ等の変化をキャンセルすることもできる。

【００７８】
また、このような（○・正・正・負の）光学系では、近距離物点への合焦に第３群Ｇ３を移動させることが多い。そこで、第３群Ｇ３中にプラスチックレンズを備えることで軽量になり、フォーカシング移動による機械的駆動系の負担を軽減させることができる。同じく、このような（○・正・正・負の）光学系では、負の第４群Ｇ４が最も大きな形状を有することが多い。したがって、第４群Ｇ４の負レンズをプラスチックレンズとすることで、光学系の軽量化が達成できている。この実施例の図４と同様の収差図を図８に示す。

【００７９】
（実施例５）
本実施例は、上記実施例４と同様の構成、作用であり、図示は省く。実施例４に対して、本実施例では、焦点距離３９．１～１３１．０ｍｍと、望遠端の延長が可能となった。これは、「サイトップ」の使用により、望遠端での色収差（特に軸上色収差）の改善が達成でき、望遠端の延長につながった。同様の構成でありながら、実施例４では色収差の大幅な改善により性能向上への効果が大きい。その性能向上分を望遠端の延長に当てたのが実施例５である。実施例５の色収差のレベルは、従来例のレベルよりもまだ良く、さらなる望遠端延長の可能性も持っている。この実施例の図４と同様の収差図を図９に示す。

【００８０】
（実施例６）
本実施例は、上記実施例２と同様の構成であり、図示は省く。ただし、正の第２群Ｇ２中の正レンズ、及び、負の第３群Ｇ３の負レンズには、いわゆるＥＤガラスレンズを用いている。ガラスレンズを用いることにより、温湿度の変化による性能劣化はなくなる。なお、非球面は、第２群Ｇ２の正レンズの像側の面と第３群Ｇ３の負レンズの物体側の面に用いている。

【００８１】
色収差の改善効果は実施例２、３と同様である。また、非球面レンズとすることで他収差の補正効果にも有効である。ＥＤレンズは材質が柔らかく傷が付きやすいため、加工が難しくコスト高になるが、成形レンズとすることで研磨工程が省かれ、低コスト化につながる。この実施例の図４と同様の収差図を図１０に示す。
【００８２】
（実施例７）
本実施例は、上記実施例６と同様の構成・作用であり、図示は省く。この実施例の図４と同様の収差図を図１１に示す。
【００８３】
（実施例８）
本実施例は、上記実施例４と同様の構成であり、図示は省く。ただし、正の第３群Ｇ３中の正レンズ、及び、負の第４群Ｇ４の負レンズには、いわゆるＥＤガラスレンズを用いている。ガラスレンズを用いることにより、温湿度の変化による性能劣化はなくなる。
【００８４】
色収差の改善効果は実施例４と同様である。また、非球面レンズとすることで他収差の補正効果にも有効である。ＥＤレンズは材質が柔らかく傷が付きやすいため、加工が難しくコスト高になるが、成形レンズとすることで研磨工程が省かれ、低コスト化につながる。この実施例の図４と同様の収差図を図１２に示す。
【００８５】
（実施例９）
本実施例は、上記実施例８と同様の構成・作用であり、図示は省く。この実施例の図４と同様の収差図を図１３に示す。
【００８６】
以下に、上記実施例１～９の数値データを示すが、記号は上記の外、ｆは全系焦点距離、$F_{NO}$はＦナンバー、$f_B$はバックフォーカス、$r_1$、$r_2$…は各レンズ面の曲率半径、$d_1$、$d_2$…は各レンズ面間の間隔、$n_{d1}$、$n_{d2}$…は各レンズのｄ線の屈折率、$\nu_{d1}$、$\nu_{d2}$…は各レンズのｄ線のアッベ数である。なお、非球面形状は、ｘを光の進行方向を正とした光軸とし、ｙを光軸と直行する方向にとると、下記の式にて表される。

$$x = (y^2/r)/[1+\{1-(K+1)(y/r)^2\}^{1/2}] + A_4y^4 + A_6y^6 + A_8y^8 + A_{10}y^{10}$$

ただし、ｒは近軸曲率半径、Ｋは円錐係数、$A_4$、$A_6$、$A_8$、$A_{10}$はそれぞれ４次、６次、８次、１０次の非球面係数である。
【００８７】

実施例１

$f = 33.894$

$F_{NO} = 2.890$

$f_B = 16.500$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $r_1 =$ 11.8994 | $d_1 =$ 2.7000 | $n_{d1} =$1.79952 | $\nu_{d1} =$42.22 | |
| $r_2 =$ 53.1702 | $d_2 =$ 0.9200 | | | |
| $r_3 =$ -53.2307 | $d_3 =$ 1.0000 | $n_{d2} =$1.72825 | $\nu_{d2} =$28.46 | |
| $r_4 =$ 12.1038 | $d_4 =$ 1.6000 | | | |
| $r_5 =$ ∞ (絞り) | $d_5 =$ 0.8900 | | | |
| $r_6 =$ 97.8497 | $d_6 =$ 2.3000 | $n_{d3} =$1.78590 | $\nu_{d3} =$44.19 | |
| $r_7 =$ -20.0503 | $d_7 =$ 10.6266 | | | |
| $r_8 =$ -9.7888 | $d_8 =$ 1.4000 | $n_{d4} =$1.34000 | $\nu_{d4} =$90.00 | |
| $r_9 =$ -11.2974 (非球面) | | | | |

非球面係数

第９面

$K = 0$

$A_4 = 5.9332 \times 10^{-5}$

$A_6 = -1.0847 \times 10^{-6}$

$A_8 = 1.4931 \times 10^{-8}$

$A_{10} = -7.8384 \times 10^{-11}$

。

【００８８】

実施例２

$f = 39.140 \sim 58.450 \sim 87.301$

$F_{NO} = 4.635 \sim 5.750 \sim 7.211$

$f_B = 8.833 \sim 23.430 \sim 44.253$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | 19.3675 | $d_1$ = | 3.5000 | $n_{d1}$ =1.72916 | $\nu_{d1}$ =54.68 |
| $r_2$ = | 73.3237 | $d_2$ = | 1.5000 | $n_{d2}$ =1.84666 | $\nu_{d2}$ =23.78 |
| $r_3$ = | 32.3602 | $d_3$ = | (可変) | | |
| $r_4$ = | ∞ (絞り) | $d_4$ = | 2.0000 | | |
| $r_5$ = | -11.2363 | $d_5$ = | 1.5000 | $n_{d3}$ =1.58144 | $\nu_{d3}$ =40.75 |
| $r_6$ = | -14.0144 | $d_6$ = | 0.3000 | | |
| $r_7$ = | -22.6853 (非球面) | $d_7$ = | 3.8000 | $n_{d4}$ =1.34000 | $\nu_{d4}$ =90.00 |
| $r_8$ = | -7.6659 (非球面) | $d_8$ = | (可変) | | |
| $r_9$ = | -13.3235 (非球面) | $d_9$ = | 1.8000 | $n_{d5}$ =1.34000 | $\nu_{d5}$ =90.00 |
| $r_{10}$= | 84.8594 | | | | |

ズーム間隔

| f | 39.140 | 58.450 | 87.301 |
|---|---|---|---|
| $d_3$ | 4.000 | 12.717 | 19.382 |
| $d_8$ | 17.150 | 8.420 | 1.200 |

非球面係数

第７面

K = 0

$A_4 = -4.3537 \times 10^{-4}$

$A_6 = -7.1921 \times 10^{-6}$

$A_8 = -3.9969 \times 10^{-7}$

$A_{10}$= 0

第８面

K = 0.6339

$A_4$ = 8.6200 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 6.0057 $\times 10^{-6}$

$A_8$ =-3.1004 $\times 10^{-7}$

$A_{10}$= 8.5830 $\times 10^{-9}$

第９面

K = 0.0903

$A_4$ = 5.9736 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 1.2568 $\times 10^{-6}$

$A_8$ =-1.1661 $\times 10^{-8}$

$A_{10}$= 5.3122 $\times 10^{-11}$

。

【００８９】

実施例３

$f$ ＝ 39.124 ～ 58.371 ～ 87.052

$F_{NO}$＝ 4.635 ～ 6.029 ～ 7.649

$f_B$ ＝ 9.193 ～ 24.804 ～ 45.376

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | 19.4762 | $d_1$ = 3.5000 | $n_{d1}$ =1.72916 | $\nu_{d1}$ =54.68 |
| $r_2$ = | 59.0578 | $d_2$ = 1.5000 | $n_{d2}$ =1.84666 | $\nu_{d2}$ =23.78 |
| $r_3$ = | 30.0375 | $d_3$ = (可変) | | |
| $r_4$ = | ∞ (絞り) | $d_4$ = 2.0000 | | |
| $r_5$ = | -9.5193 | $d_5$ = 1.5000 | $n_{d3}$ =1.58144 | $\nu_{d3}$ =40.75 |
| $r_6$ = | -11.7749 | $d_6$ = 0.1500 | | |
| $r_7$ = | 102.6186 | $d_7$ = 5.9290 | $n_{d4}$ =1.34000 | $\nu_{d4}$ =90.00 |
| $r_8$ = | -11.0977 (非球面) | $d_8$ = (可変) | | |
| $r_9$ = | -13.2692 (非球面) | $d_9$ = 1.8000 | $n_{d5}$ =1.34000 | $\nu_{d5}$ =90.00 |
| $r_{10}$= | 71.9123 | | | |

ズーム間隔

| | | | |
|---|---|---|---|
| $f$ | 39.124 | 58.371 | 87.052 |
| $d_3$ | 4.000 | 11.425 | 18.798 |
| $d_8$ | 15.737 | 7.673 | 1.200 |

非球面係数

第８面

$K$ = 0.3343

$A_4$ = 1.3498 $\times 10^{-4}$

$A_6$ = 1.2941 $\times 10^{-6}$

$A_8$ =-1.5128 $\times 10^{-8}$

$A_{10}$= 3.0562 $\times 10^{-10}$

第９面

K =-0.0037

$A_4$ = 7.5834 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 6.6211 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-4.4988 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 1.8402 $\times 10^{-11}$

【００９０】

実施例４

$f = 39.140 \sim 67.499 \sim 116.403$

$F_{NO} = 4.635 \sim 7.080 \sim 10.815$

$f_B = 9.655 \sim 32.507 \sim 71.009$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | -45.4813 | $d_1$ = | 1.8000 | $n_{d1}$ =1.78472 | $\nu_{d1}$ =25.68 |
| $r_2$ = | -311.6050 | $d_2$ = | 0.1500 | | |
| $r_3$ = | 19.9682 | $d_3$ = | 2.3000 | $n_{d2}$ =1.51823 | $\nu_{d2}$ =58.90 |
| $r_4$ = | 48.2005 | $d_4$ = | (可変) | | |
| $r_5$ = | 23.3727 | $d_5$ = | 2.1000 | $n_{d3}$ =1.67270 | $\nu_{d3}$ =32.10 |
| $r_6$ = | 60.2275 | $d_6$ = | 0.9000 | | |
| $r_7$ = | ∞ (絞り) | $d_7$ = | (可変) | | |
| $r_8$ = | -14.4619 | $d_8$ = | 1.6000 | $n_{d4}$ =1.78472 | $\nu_{d4}$ =25.68 |
| $r_9$ = | -19.7930 | $d_9$ = | 3.0339 | | |
| $r_{10}$= | 34.3508 | $d_{10}$= | 3.8000 | $n_{d5}$ =1.34000 | $\nu_{d5}$ =90.00 |
| $r_{11}$= | -13.9150 (非球面) | $d_{11}$= | (可変) | | |
| $r_{12}$= | -10.9613 (非球面) | $d_{12}$= | 1.9000 | $n_{d6}$ =1.34000 | $\nu_{d6}$ =90.00 |
| $r_{13}$= | 41.8056 | | | | |

ズーム間隔

| f | 39.140 | 67.499 | 116.403 |
|---|---|---|---|
| $d_4$ | 2.000 | 4.318 | 8.545 |
| $d_7$ | 3.452 | 7.369 | 10.102 |
| $d_{11}$ | 15.173 | 7.159 | 2.000 |

非球面係数

第１１面

K = 0.5394

$A_4$ = 3.5362 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 3.0893 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-3.7467 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 5.4568 $\times 10^{-12}$

第１２面

K =-1.1910

$A_4$ = 3.5362 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 3.0893 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-3.7467 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 5.4568 $\times 10^{-12}$

【００９１】

実施例５

$f$ ＝ 39.141 ～ 71.614 ～131.022

$F_{NO}$＝ 4.635 ～ 7.250 ～ 11.330

$f_B$ ＝ 9.037 ～ 35.204 ～ 81.831

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | -36.4010 | $d_1$ = | 1.8000 | $n_{d1}$ =1.78472 | $\nu_{d1}$ =25.68 |
| $r_2$ = | -77.7501 | $d_2$ = | 0.1500 | | |
| $r_3$ = | 18.3580 | $d_3$ = | 2.3000 | $n_{d2}$ =1.51823 | $\nu_{d2}$ =58.90 |
| $r_4$ = | 39.2561 | $d_4$ = | (可変) | | |
| $r_5$ = | 31.7158 | $d_5$ = | 2.1000 | $n_{d3}$ =1.67270 | $\nu_{d3}$ =32.10 |
| $r_6$ = | 86.2527 | $d_6$ = | 0.9000 | | |
| $r_7$ = | ∞ (絞り) | $d_7$ = | (可変) | | |
| $r_8$ = | -14.4644 | $d_8$ = | 1.6000 | $n_{d4}$ =1.78472 | $\nu_{d4}$ =25.68 |
| $r_9$ = | -19.0687 | $d_9$ = | 3.2501 | | |
| $r_{10}$= | 32.4916 | $d_{10}$= | 3.8000 | $n_{d5}$ =1.34000 | $\nu_{d5}$ =90.00 |
| $r_{11}$= | -15.0021 (非球面) | $d_{11}$= | (可変) | | |
| $r_{12}$= | -11.3878 (非球面) | $d_{12}$= | 1.9000 | $n_{d6}$ =1.34000 | $\nu_{d6}$ =90.00 |
| $r_{13}$= | 41.6406 | | | | |

ズーム間隔

| f | 39.141 | 71.614 | 131.022 |
|---|---|---|---|
| $d_4$ | 2.000 | 5.448 | 10.535 |
| $d_7$ | 3.783 | 7.322 | 9.099 |
| $d_{11}$ | 15.657 | 6.772 | 1.500 |

非球面係数

第１１面

K = 0.5477

$A_4$ = 1.1260 $\times 10^{-4}$

$A_6$ = 5.7306 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-7.3064 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 9.2616 $\times 10^{-11}$

第１２面

K =-1.1911

$A_4$ = 3.8644 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 2.0444 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-2.9220 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 4.5848 $\times 10^{-12}$

【００９２】

実施例６

$f$ ＝ 39.124 ～ 58.420 ～ 87.234

$F_{NO}$＝ 4.635 ～ 5.901 ～ 7.553

$f_B$ ＝ 8.987 ～ 23.463 ～ 43.907

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | 19.8064 | $d_1$ = | 3.2000 | $n_{d1}$ =1.72916 | $\nu_{d1}$ =54.68 |
| $r_2$ = | 74.5403 | $d_2$ = | 1.7000 | $n_{d2}$ =1.84666 | $\nu_{d2}$ =23.78 |
| $r_3$ = | 33.0858 | $d_3$ = | (可変) | | |
| $r_4$ = | ∞ (絞り) | $d_4$ = | 4.5975 | | |
| $r_5$ = | -7.2916 | $d_5$ = | 1.2486 | $n_{d3}$ =1.58144 | $\nu_{d3}$ =40.75 |
| $r_6$ = | -8.4523 | $d_6$ = | 0.1249 | | |
| $r_7$ = | -78.6267 | $d_7$ = | 4.6873 | $n_{d4}$ =1.43875 | $\nu_{d4}$ =94.99 |
| $r_8$ = | -12.2356 (非球面) | $d_8$ = | (可変) | | |
| $r_9$ = | -16.8756 (非球面) | $d_9$ = | 1.8000 | $n_{d5}$ =1.49700 | $\nu_{d5}$ =81.54 |
| $r_{10}$= | 379.8252 | | | | |

ズーム間隔

| | | | |
|---|---|---|---|
| $f$ | 39.124 | 58.420 | 87.234 |
| $d_3$ | 2.872 | 11.173 | 17.729 |
| $d_8$ | 16.151 | 7.942 | 1.200 |

非球面係数

第８面

K = 0.2791

$A_4$ = 6.7129 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 1.0930 $\times 10^{-6}$

$A_8$ =-1.2672 $\times 10^{-8}$

$A_{10}$= 1.6877 $\times 10^{-10}$

第９面

$K = 0.4982$

$A_4 = 3.9791 \times 10^{-5}$

$A_6 = 6.2207 \times 10^{-7}$

$A_8 = -4.6373 \times 10^{-9}$

$A_{10} = 1.8910 \times 10^{-11}$

【００９３】

実施例７

$f = 39.141 \sim 58.447 \sim 87.291$

$F_{NO} = 4.644 \sim 5.926 \sim 7.630$

$f_B = 9.214 \sim 24.159 \sim 45.286$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | 19.7631 | $d_1$ = | 3.2000 | $n_{d1}$ =1.72916 | $\nu_{d1}$ =54.68 |
| $r_2$ = | 66.7106 | $d_2$ = | 1.7000 | $n_{d2}$ =1.84666 | $\nu_{d2}$ =23.78 |
| $r_3$ = | 31.7869 | $d_3$ = | (可変) | | |
| $r_4$ = | ∞ (絞り) | $d_4$ = | 4.6152 | | |
| $r_5$ = | -7.4599 | $d_5$ = | 1.2486 | $n_{d3}$ =1.58144 | $\nu_{d3}$ =40.75 |
| $r_6$ = | -8.7908 | $d_6$ = | 0.1249 | | |
| $r_7$ = | -91.5532 | $d_7$ = | 4.7520 | $n_{d4}$ =1.43875 | $\nu_{d4}$ =94.99 |
| $r_8$ = | -11.9919 (非球面) | $d_8$ = | (可変) | | |
| $r_9$ = | -16.6576 (非球面) | $d_9$ = | 1.8000 | $n_{d5}$ =1.45600 | $\nu_{d5}$ =90.33 |
| $r_{10}$= | 173.8937 | | | | |

ズーム間隔

| | | | |
|---|---|---|---|
| f | 39.141 | 58.447 | 87.291 |
| $d_3$ | 2.872 | 11.200 | 17.803 |
| $d_8$ | 16.174 | 7.924 | 1.200 |

非球面係数

第８面

K = 0.2798

$A_4 = 7.0451 \times 10^{-5}$

$A_6 = 1.0425 \times 10^{-6}$

$A_8 = -1.2140 \times 10^{-8}$

$A_{10} = 1.8605 \times 10^{-10}$

第９面

K = 0.4987

$A_4$ = 4.2947 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 6.5596 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-5.2255 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 2.2014 $\times 10^{-11}$

【００９４】

実施例８

$f = 39.140 \sim 67.494 \sim 116.391$

$F_{NO} = 4.635 \sim 7.080 \sim 10.815$

$f_B = 8.715 \sim 31.161 \sim 69.142$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | -48.1609 | $d_1$ = | 1.8000 | $n_{d1}$ =1.78472 | $\nu_{d1}$ =25.68 |
| $r_2$ = | -1306.4491 | $d_2$ = | 0.1500 | | |
| $r_3$ = | 22.3751 | $d_3$ = | 2.3000 | $n_{d2}$ =1.51823 | $\nu_{d2}$ =58.90 |
| $r_4$ = | 75.4689 | $d_4$ = | (可変) | | |
| $r_5$ = | 24.3055 | $d_5$ = | 2.1000 | $n_{d3}$ =1.67270 | $\nu_{d3}$ =32.10 |
| $r_6$ = | 85.6262 | $d_6$ = | 0.9000 | | |
| $r_7$ = | ∞ (絞り) | $d_7$ = | (可変) | | |
| $r_8$ = | -17.3624 | $d_8$ = | 1.6000 | $n_{d4}$ =1.78472 | $\nu_{d4}$ =25.68 |
| $r_9$ = | -26.5734 | $d_9$ = | 3.7951 | | |
| $r_{10}$= | 60.0130 | $d_{10}$= | 3.8000 | $n_{d5}$ =1.45600 | $\nu_{d5}$ =90.33 |
| $r_{11}$= | -17.9309 (非球面) | $d_{11}$= | (可変) | | |
| $r_{12}$= | -13.8050 (非球面) | $d_{12}$= | 1.9000 | $n_{d6}$ =1.43875 | $\nu_{d6}$ =94.99 |
| $r_{13}$= | 59.7273 | | | | |

ズーム間隔

| f | 39.140 | 67.494 | 116.391 |
|---|---|---|---|
| $d_4$ | 2.000 | 5.220 | 10.031 |
| $d_7$ | 3.629 | 7.154 | 9.533 |
| $d_{11}$ | 15.875 | 7.413 | 2.000 |

非球面係数

第１１面

K = 0.5467

$A_4$ = 7.4795 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 2.8267 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-1.3292 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 2.0330 $\times 10^{-11}$

第１２面

K =-1.1771

$A_4$ = 2.3389 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 1.1536 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-1.0179 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 1.0519 $\times 10^{-12}$

【００９５】

実施例９

$f = 39.141 \sim 67.501 \sim 116.399$

$F_{NO} = 4.626 \sim 7.063 \sim 10.784$

$f_B = 9.655 \sim 31.684 \sim 69.271$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ = | -45.8043 | $d_1$ = | 1.8000 | $n_{d1}$ =1.78472 | $\nu_{d1}$ =25.68 |
| $r_2$ = | -13020.0000 | $d_2$ = | 0.1500 | | |
| $r_3$ = | 22.6851 | $d_3$ = | 2.3000 | $n_{d2}$ =1.51823 | $\nu_{d2}$ =58.90 |
| $r_4$ = | 100.1938 | $d_4$ = | (可変) | | |
| $r_5$ = | 25.7444 | $d_5$ = | 2.1000 | $n_{d3}$ =1.67270 | $\nu_{d3}$ =32.10 |
| $r_6$ = | 124.6226 | $d_6$ = | 0.9000 | | |
| $r_7$ = | ∞ (絞り) | $d_7$ = | (可変) | | |
| $r_8$ = | -15.5516 | $d_8$ = | 1.6000 | $n_{d4}$ =1.78472 | $\nu_{d4}$ =25.68 |
| $r_9$ = | -22.1916 | $d_9$ = | 3.5304 | | |
| $r_{10}$= | 167.7255 | $d_{10}$= | 3.8000 | $n_{d5}$ =1.49700 | $\nu_{d5}$ =81.54 |
| $r_{11}$= | -16.9846 (非球面) | $d_{11}$= | (可変) | | |
| $r_{12}$= | -14.2854 (非球面) | $d_{12}$= | 1.9000 | $n_{d6}$ =1.49700 | $\nu_{d6}$ =81.54 |
| $r_{13}$= | 87.4736 | | | | |

ズーム間隔

| f | 39.141 | 67.501 | 116.399 |
|---|---|---|---|
| $d_4$ | 2.000 | 4.635 | 9.252 |
| $d_7$ | 2.983 | 7.110 | 9.587 |
| $d_{11}$ | 15.362 | 7.213 | 2.000 |

非球面係数

第１１面

K = 0.5471

$A_4$ = 7.3179 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 3.4311 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-3.1690 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 5.2761 $\times 10^{-11}$

第１２面

K =-1.1762

$A_4$ = 1.7941 $\times 10^{-5}$

$A_6$ = 1.1873 $\times 10^{-7}$

$A_8$ =-1.2380 $\times 10^{-9}$

$A_{10}$= 2.2509 $\times 10^{-12}$

【００９６】以上の実施例１～９の前記の条件式のＳＧ、$f_1$、$\beta_{LT}$、$\beta_{LW}$、$f_F$、$f_R$の値を次の表に示す。

| | SG | $f_1$ | $\beta_{LT}$ | $\beta_{LW}$ | $f_F$ | $f_R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 実施例１ | 2.03 | -282.006 | | | | |
| 実施例２ | 2.03 | | 2.35 | 1.3 | -33.712 | 38.951 |
| 実施例３ | 2.03 | | 2.42 | 1.32 | -32.772 | 35.921 |
| 実施例４ | 2.03 | | 3.85 | 1.43 | -25.311 | 40.36 |
| 実施例５ | 2.03 | | 4.18 | 1.39 | -26.064 | 40.291 |
| 実施例６ | 3.6 | | 2.39 | 1.31 | -32.462 | 36.959 |
| 実施例７ | 3.55 | | 2.4 | 1.31 | -33.238 | 36.23 |
| 実施例８ | 3.55 | | 3.77 | 1.39 | -25.357 | 45.209 |
| 実施例９ | 3.6 | | 3.86 | 1.44 | -24.556 | 44.48 |

【００９７】

以上の本発明の撮影光学系は例えば次のように構成することができる。

〔１〕　最も像側に配置された負レンズと、その最も像側に配置された負レンズよりも物体側に配置され、物体側より順に配置された正レンズ、負レンズ、正レンズとを有し、前記の最も像側に配置された負レンズが以下の条件式を満足することを特徴とする撮影光学系。

７５．０≦$\nu_d$　　・・・（１）

０．８≦ＳＧ≦２．２　　・・・（２）

ただし、$\nu_d$，ＳＧは前記の最も像側に配置された負レンズのそれぞれアッベ数及びレンズ比重（ｇ／ｃｍ$^3$）である。

【００９８】

〔２〕　最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズを備えたズーム光学系であって、前記の負の屈折力を有する単レンズが以下の条件式を満足することを特徴とする撮影光

学系。
７５．０≦$\nu_d$ ・・・（３）
０．８≦ＳＧ≦２．２ ・・・（４）
ただし、$\nu_d$，ＳＧは前記の最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズのそれぞれアッベ数及びレンズ比重（ｇ／ｃｍ$^3$）である。
【００９９】
〔３〕 最も像側に配置された負レンズ群と、その最も像側に配置された負レンズ群よりも物体側に配置された２つの正レンズ群とを少なくとも備えたズーム光学系であって、前記負レンズ群は単レンズで構成され、以下の条件式を満足することを特徴とする撮影光学系。
７５．０≦$\nu_d$ ・・・（５）
ただし、$\nu_d$ は前記負レンズ群の単レンズのアッベ数である。
【０１００】
〔４〕 最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズを備え、その最も像側に配置された負の屈折力を有する単レンズが、以下の条件式を満足することを特徴とする撮影光学系。
$n_d$ ≦１．４０ ・・・（６）
ただし、$n_d$ は前記の最も像側に配置された負の屈折力を有する単レンズの屈折率である。
【０１０１】
〔５〕 上記〔１〕において、以下の条件式を満足していることを特徴とする撮影光学系。
$n_d$ ≦１．４０ ・・・（７）
ただし、$n_d$ は前記の最も像側に配置された負レンズの屈折率である。
【０１０２】
〔６〕 上記〔１〕において、以下の条件式を満足していることを特徴とする撮影光学系。
３≦｜$f_1$／ｆ｜≦１０ ・・・（８）
ただし、ｆは光学系の全系の焦点距離、$f_1$ は前記の最も像側に配置された負レンズの焦点距離である。
【０１０３】
〔７〕 上記〔２〕において、以下の条件式を満足していることを特徴とする撮影光学系。
$n_d$ ≦１．４０ ・・・（９）
ただし、$n_d$ は最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズの屈折率である。
【０１０４】
〔８〕 上記〔２〕又は〔３〕において、前記の最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズは、物体側に凹面を向けた形状であることを特徴とする撮影光学系。
【０１０５】
〔９〕 上記〔２〕又は〔３〕において、以下の条件式を満足していることを特徴とする撮影光学系。
１．７５≦$\beta_{LT}$／$\beta_{LW}$
ただし、$\beta_{LT}$は、最終負レンズ群の望遠端での横倍率、$\beta_{LW}$は最終負レンズ群の広角端での横倍率である。
【０１０６】
〔１０〕 上記〔２〕において、前記の最も像側に配置され負の屈折力を有する単レンズの直前に位置する群が、物体側から順に、負レンズ及び正レンズの２枚で構成され、以下の条件式を満足していることを特徴とする撮影光学系。
７５．０≦$\nu_p$
０．８≦ＳＧ≦２．２

ただし、$\nu_d$、ＳＧはそれぞれ前記正レンズのアッベ数及びレンズ比重（ｇ／ｃｍ$^3$）である。

【０１０７】

〔１１〕　上記〔３〕において、前記の最も像側に配置された負レンズ群の直前の正レンズ群は、物体側から順に、負レンズ及び正レンズの２枚で構成され、前記正レンズのアッベ数$\nu_d$が、

$$75.0 \leqq \nu_p$$

であることを特徴とした撮影光学系。

【０１０８】

〔１２〕　上記〔２〕又は〔３〕において、以下の条件式を満足していることを特徴とする撮影光学系。

$$1.0 \leqq |f_F / f_R| \leqq 2.0$$

ただし、$f_R$は前記の最も像側に配置された負レンズ群の焦点距離、$f_F$は前記の最も像側に配置された負レンズ群の直前に位置するレンズ群の焦点距離である。

【０１０９】

〔１３〕　上記〔２〕又は〔３〕において、各レンズ群を構成するレンズ枚数が２枚以下であることを特徴とする撮影光学系。

【０１１０】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明の撮影光学系によると、アッベ数た７５．０以上のレンズを撮影光学系内に適切に配することにより、ズーム光学系では、広角端から望遠端までの色収差の変動を小さくでき、性能向上の効果が得られた。さらに、その性能向上分を望遠端の焦点距離延長に当てることもできた。また、単焦点の撮影光学系にも応用することができた。これにより、レンズ系の高性能化、高変倍化、低コスト化、軽量化等の効果が得られた。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施例１の撮影光学系の断面図である。

【図２】実施例１の収差図である。

【図３】本発明の実施例２の撮影光学系の断面図である。

【図４】実施例２の収差図である。

【図５】本発明の実施例３の撮影光学系の断面図である。

【図６】実施例３の収差図である。

【図７】本発明の実施例４の撮影光学系の断面図である。

【図８】実施例４の収差図である。

【図９】実施例５の収差図である。

【図１０】実施例６の収差図である。

【図１１】実施例７の収差図である。

【図１２】実施例８の収差図である。

【図１３】実施例９の収差図である。

【符号の説明】

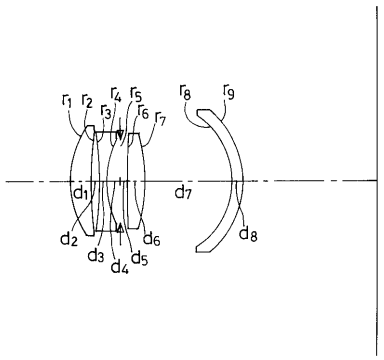
Ｇ１…第１レンズ群（物体側から数えて）

Ｇ２…第２レンズ群（物体側から数えて）

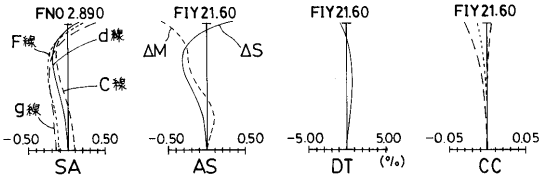
Ｇ３…第３レンズ群（物体側から数えて）

Ｇ４…第４レンズ群（物体側から数えて）

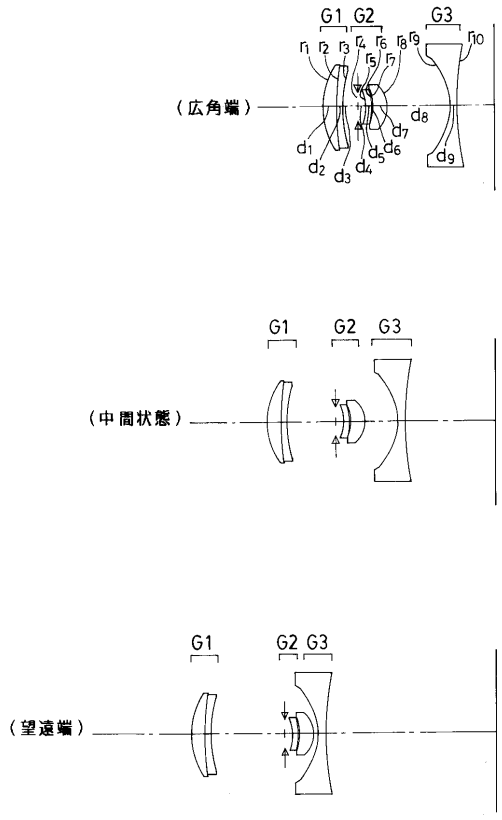
【図１】


r1 r2 r3 r4 r5 r6 r7 r8 r9
d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8

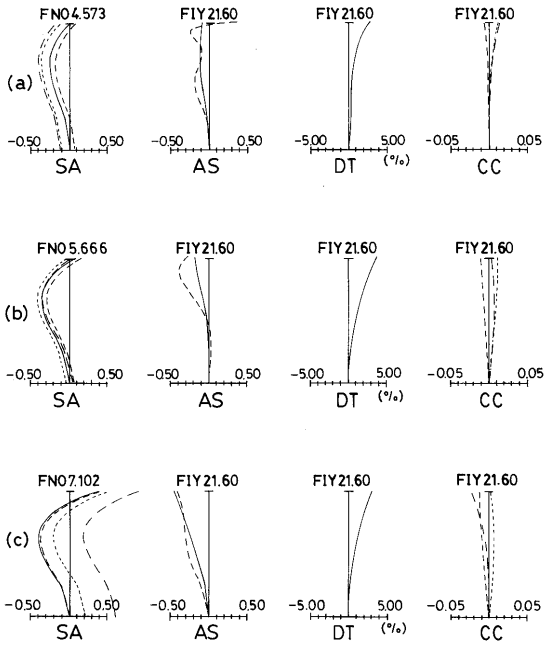
【図２】


FNO 2.890
F線
d線
C線
g線
-0.50 0.50
SA
FIY 21.60
ΔM
ΔS
-0.50 0.50
AS
FIY 21.60
-5.00 5.00
(%)
DT
FIY 21.60
-0.05 0.05
CC

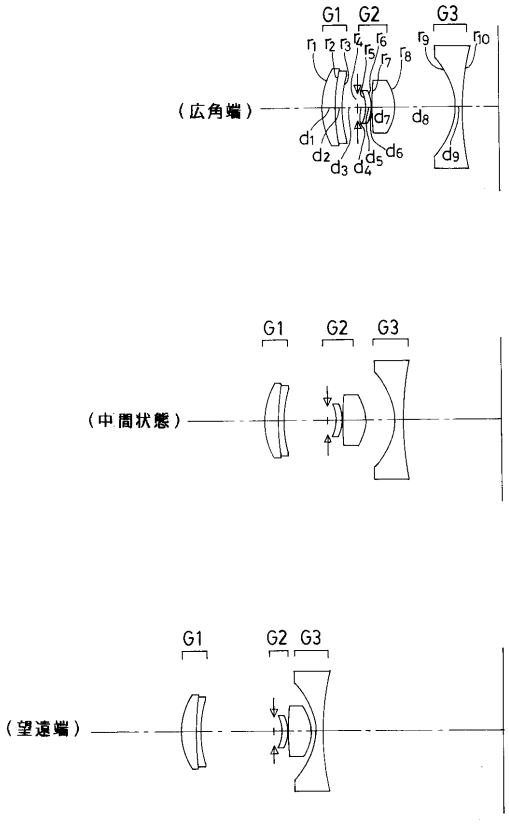
【図３】


G1 G2 G3
r1 r2 r3 r4 r5 r6 r7 r8 r9 r10
d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9
（広角端）
G1 G2 G3
（中間状態）
G1 G2 G3
（望遠端）

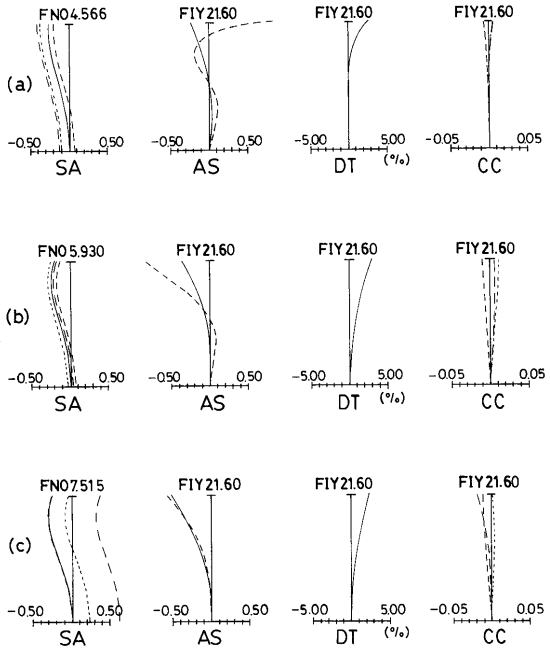
【図４】


FNO 4.573
(a)
-0.50 0.50
SA
FIY 21.60
-0.50 0.50
AS
FIY 21.60
-5.00 5.00
(%)
DT
FIY 21.60
-0.05 0.05
CC
FNO 5.666
(b)
SA
AS
DT
CC
FNO 7.102
(c)
SA
AS
DT
CC

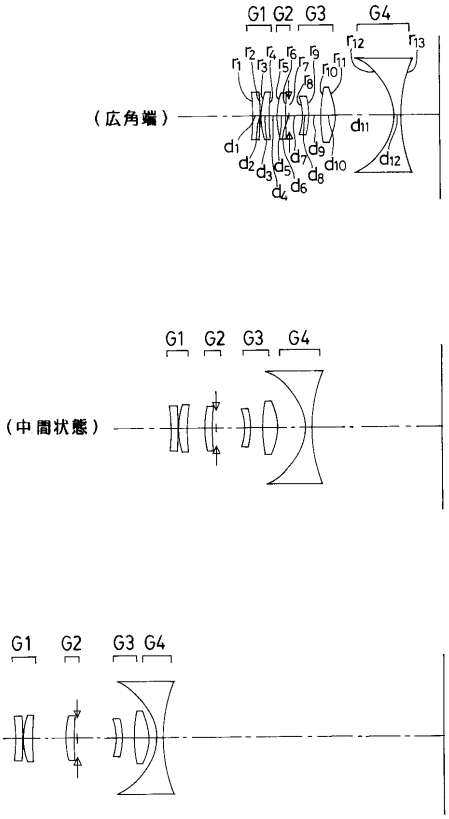
【図５】


G1 G2 G3
r1 r2 r3 r4 r5 r6 r7 r8 r9 r10
d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9
（広角端）
G1 G2 G3
（中間状態）
G1 G2 G3
（望遠端）

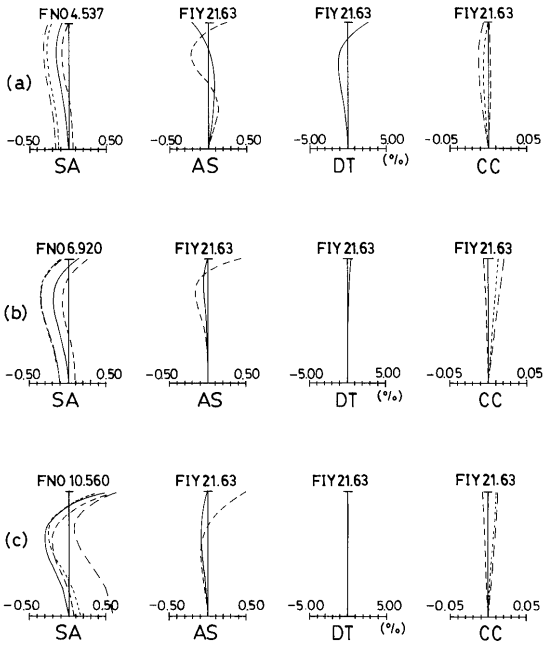
【図６】


FNO4.566
FIY21.60
FIY21.60
FIY21.60
(a)
-0.50 0.50
-0.50 0.50
-5.00 5.00 (%)
-0.05 0.05
SA
AS
DT
CC
FNO5.930
FIY21.60
FIY21.60
FIY21.60
(b)
SA
AS
DT
CC
FNO7.515
FIY21.60
FIY21.60
FIY21.60
(c)
SA
AS
DT
CC

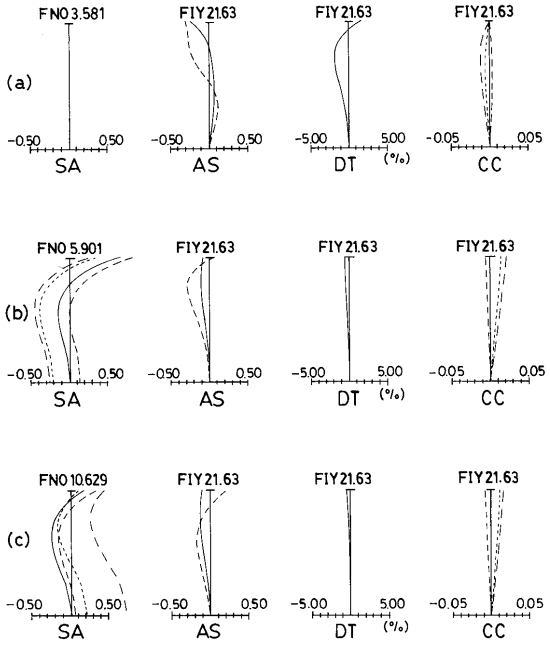
【図７】


G1 G2 G3
G4
r1 r2 r3 r4 r5 r6 r7 r8 r9 r10 r11 r12 r13
(広角端)
d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12
G1 G2 G3 G4
(中間状態)
G1 G2 G3 G4
(望遠端)

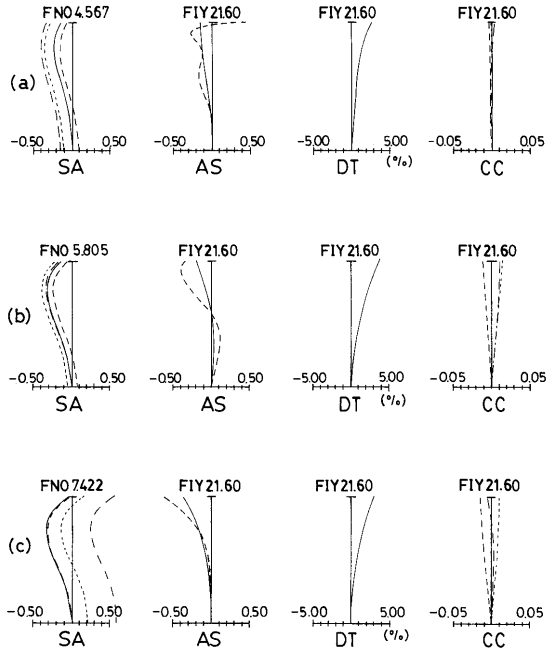
【図８】


FNO4.537
FIY21.63
FIY21.63
FIY21.63
(a)
-0.50 0.50
-0.50 0.50
-5.00 5.00 (%)
-0.05 0.05
SA
AS
DT
CC
FNO6.920
FIY21.63
FIY21.63
FIY21.63
(b)
SA
AS
DT
CC
FNO10.560
FIY21.63
FIY21.63
FIY21.63
(c)
SA
AS
DT
CC

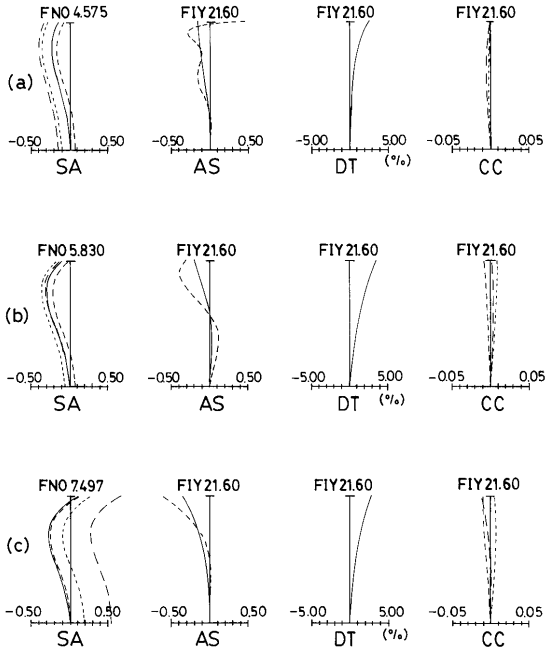
【図９】


FNO3.581
FIY21.63
FIY21.63
FIY21.63
(a)
-0.50 0.50
-0.50 0.50
-5.00 5.00 (%)
-0.05 0.05
SA
AS
DT
CC
FNO5.901
FIY21.63
FIY21.63
FIY21.63
(b)
SA
AS
DT
CC
FNO10.629
FIY21.63
FIY21.63
FIY21.63
(c)
SA
AS
DT
CC

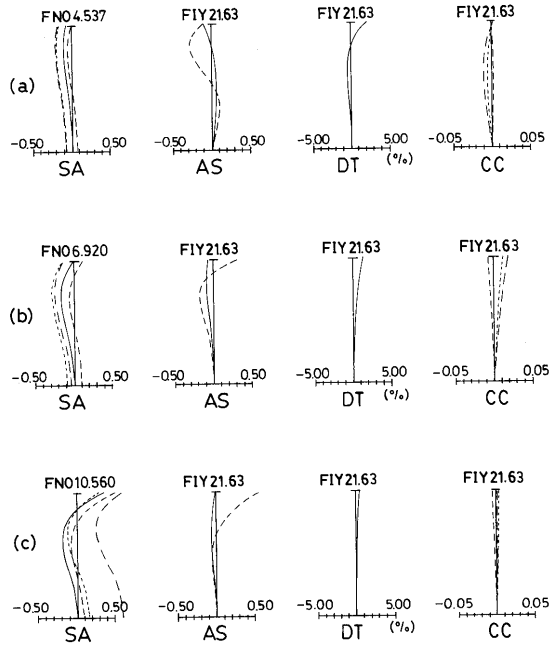
【図１０】



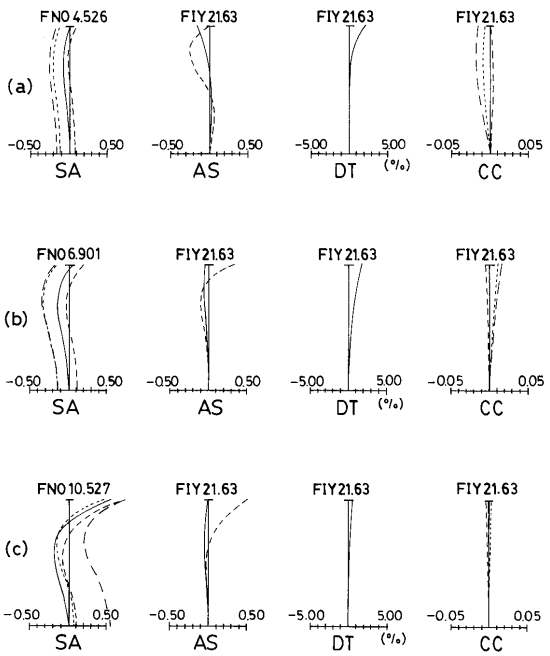

【図１１】




【図１２】




【図１３】



フロントページの続き

(74)代理人　100091971
弁理士　米澤　明
(72)発明者　清水誠二
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　森内　正明

(56)参考文献　特開平　４－　９５９１２（ＪＰ，Ａ）
特開平　５－１７３０６９（ＪＰ，Ａ）

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