(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6172951号
(P6172951)

(45)発行日　平成29年8月2日(2017.8.2)　(24)登録日　平成29年7月14日(2017.7.14)

(51)Int.Cl.　　F I
G02B 13/00 (2006.01)　　G02B 13/00
G02B 13/18 (2006.01)　　G02B 13/18

請求項の数 9　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願2013-6179(P2013-6179)
(22)出願日　平成25年1月17日(2013.1.17)
(65)公開番号　特開2014-137484(P2014-137484A)
(43)公開日　平成26年7月28日(2014.7.28)
審査請求日　平成28年1月14日(2016.1.14)

(73)特許権者　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100086818
弁理士　高梨　幸雄
(72)発明者　石橋　友彦
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

審査官　小倉　宏之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学系及びそれを有する撮像装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
物体側から像側へ順に、正の屈折力の第１レンズユニット、負の屈折力の第２レンズユニット、正の屈折力のレンズユニットを有する後群、より構成される光学系であって、
前記第１レンズユニットは、該第１レンズユニットにおいて最も広い間隔を空けて配置される正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ａ及び正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ｂからなり、かつ回折面及び非球面を含み、
前記第２レンズユニットは、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して像側へ移動し、
全系の焦点距離をｆ、前記第１レンズユニット及び前記第２レンズユニットの焦点距離を各々ｆ１，ｆ２、レンズ全長をＬ、前記部分レンズ群Ｌ１ａと前記部分レンズ群Ｌ１ｂとの間隔をＬ１ａｂ、無限遠物体にフォーカスしたときの前記第１レンズユニットと前記第２レンズユニットとの合成焦点距離をｆ１２、とするとき、

$$0.30 \leqq f1 \times L / f^{2} \leqq 0.65$$
$$0.80 \leqq |f1/f2| \leqq 3.50$$
$$0.12 \leqq (L1ab/L)/(f1/f) \leqq 0.50$$
$$|f/f12| \leqq 0.36$$

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。
【請求項２】
前記部分レンズ群Ｌ１ａ及び前記部分レンズ群Ｌ１ｂの焦点距離を各々ｆ１ａ，ｆ１ｂ

とするとき、
　０．２０≦ｆ１ａ／ｆ１ｂ≦１．２０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学系。
【請求項３】
　前記部分レンズ群Ｌ１ｂは、物体側へ凸面を向けたメニスカス状の負レンズと正レンズとが接合された接合レンズからなり、該接合レンズの接合面は回折面であることを特徴とする請求項１又は２に記載の光学系。
【請求項４】
　前記回折面の焦点距離をｆｄｏｅとするとき、
　１０≦ｆｄｏｅ／ｆ≦１００
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項に記載の光学系。
【請求項５】
　前記後群は、物体側から像側へ順に、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して物体側へ移動する正の屈折力の第３レンズユニット、フォーカスに際して不動である正の屈折力の第４レンズユニット、より構成されることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の光学系。
【請求項６】
　前記後群は、フォーカスに際して不動の正の屈折力の第３レンズユニットより構成されることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の光学系。
【請求項７】
　物体側から像側へ順に、正の屈折力の第１レンズユニット、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して像側へ移動する負の屈折力の第２レンズユニット、前記フォーカスに際して物体側へ移動する正の屈折力の第３レンズユニット、フォーカスに際して不動である正の屈折力の第４レンズユニット、より構成され、
　前記第１レンズユニットは、該第１レンズユニットにおいて最も広い間隔を空けて配置される正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ａ及び正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ｂからなり、かつ回折面及び非球面を含み、
　全系の焦点距離をｆ、前記第１レンズユニット及び前記第２レンズユニットの焦点距離を各々ｆ１，ｆ２、レンズ全長をＬ、前記部分レンズ群Ｌ１ａと前記部分レンズ群Ｌ１ｂとの間隔をＬ１ａｂ、とするとき、
　０．３０≦ｆ１×Ｌ／ｆ^{2}≦０．６５
　０．８０≦｜ｆ１／ｆ２｜≦３．５０
　０．１２≦（Ｌ１ａｂ／Ｌ）／（ｆ１／ｆ）≦０．５０
なる条件式を満足することを特徴とする光学系。
【請求項８】
　前記部分レンズ群Ｌ１ａ及び前記部分レンズ群Ｌ１ｂの焦点距離を各々ｆ１ａ，ｆ１ｂとするとき、
　０．２０≦ｆ１ａ／ｆ１ｂ≦１．２０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項７に記載の光学系。
【請求項９】
　請求項１乃至８のいずれか１項の光学系と、該光学系からの光を受光する固体撮像素子と、を備えることを特徴とする撮像装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
　本発明は光学系及びそれを有する撮像装置に関し、たとえば、デジタルスチルカメラ・デジタルビデオカメラ、ＴＶカメラ、監視用カメラ、銀塩カメラ等の撮像光学系として好適なものである。
【背景技術】
【０００２】

従来、撮像装置に用いられ、撮影倍率が等倍程度までの近距離物体の撮影を主とする撮影光学系にマクロレンズ又はマイクロレンズ（以下、マクロレンズという。）がある。マクロレンズでは、無限遠物体から撮影倍率１倍又は０．５倍程度の近距離物体まで良好に撮影できるように設計されている。

【０００３】

またマクロレンズは一般的な撮影レンズと比較して、特に近距離物体において高い光学性能が得られるように設計されている。しかしながら、撮影倍率範囲を更に拡大していくとフォーカス（フォーカシング）に伴う諸収差の変動が顕著になる。特に撮影倍率が高くなると諸収差のうち負の球面収差が多く発生しやすく、また色収差やコマ収差等も多く発生しやすくなる。

【０００４】

これに対して近距離物体へのフォーカスに際しての収差変動を軽減するためにフォーカスに際して複数のレンズ群を独立に移動させる、所謂フローティング方式を採用したマクロレンズが知られている（特許文献１，２）。

【０００５】

特許文献１のマクロレンズでは物体側から像側へ順に、正の屈折力の第１レンズユニット、負の屈折力の第２レンズユニット、正の屈折力の第３レンズユニット、負の屈折力の第４レンズユニットで構成している。そして無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して、第２レンズユニットを像側へ、第３レンズユニットを物体側へ移動させている。

【０００６】

又、特許文献２の近距離撮影可能な望遠レンズでは物体側から像側へ順に、正の屈折力の第１ａレンズユニット、正の屈折力の第１ｂレンズユニット、負の屈折力の第２レンズユニット、正の屈折力の第３レンズユニットで構成している。そして無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して、第１ａレンズユニットと第３レンズユニットを移動させている。一方、光学系の色収差を含めた諸収差を補正する方法として、レンズ面の一部に回折作用を有する回折面（回折光学部）を設けた回折光学素子を用いる方法が知られている（特許文献３）。

【０００７】

特許文献３では回折光学素子を用いて色収差を良好に補正した望遠レンズを開示している。この特許文献３では、第１レンズ群のパワーを強めてレンズ全長を短縮させ、回折光学素子で色収差を、非球面でその他の諸収差を補正している。これにより諸収差の補正と全体の小型・軽量化を図っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００８】

【特許文献１】特開２０１１－１３３５７号公報

【特許文献２】特開平５－３２３１９１号公報

【特許文献３】特開２００９－２７１３５４号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

多くの撮像光学系では撮影可能な最短撮像距離が短く、しかも全系が小型であることが要望されている。全系を小型化すると各レンズのパワーが強まり、フォーカスに際する諸収差の変動が増大する。

【００１０】

本発明は、無限遠物体から近距離物体までの全物体距離においてフォーカスに伴う諸収差の変動が小さく、全物体距離において高い光学性能が容易に得られ、しかも全系の小型化が容易な光学系の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明の光学系は、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第１レンズユニット、負の屈折力の第２レンズユニット、正の屈折力のレンズユニットを有する後群、より構成される光学系であって、

前記第１レンズユニットは、該第１レンズユニットにおいて最も広い間隔を空けて配置される正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ａ及び正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ｂからなり、かつ回折面及び非球面を含み、

前記第２レンズユニットは、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して像側へ移動し、

全系の焦点距離をｆ、前記第１レンズユニット及び前記第２レンズユニットの焦点距離を各々ｆ１，ｆ２、レンズ全長をＬ、前記部分レンズ群Ｌ１ａと前記部分レンズ群Ｌ１ｂとの間隔をＬ１ａｂ、無限遠物体にフォーカスしたときの前記第１レンズユニットと前記第２レンズユニットとの合成焦点距離をｆ１２、とするとき、

$$0.30 \leqq f1 \times L / f^{2} \leqq 0.65$$

$$0.80 \leqq |f1/f2| \leqq 3.50$$

$$0.12 \leqq (L1ab/L)/(f1/f) \leqq 0.50$$

$$|f/f12| \leqq 0.36$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

この他、本発明の光学系は、物体側から像側へ順に、正の屈折力の第１レンズユニット、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して像側へ移動する負の屈折力の第２レンズユニット、前記フォーカスに際して物体側へ移動する正の屈折力の第３レンズユニット、フォーカスに際して不動である正の屈折力の第４レンズユニット、より構成され、

前記第１レンズユニットは、該第１レンズユニットにおいて最も広い間隔を空けて配置される正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ａ及び正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ｂからなり、かつ回折面及び非球面を含み、

全系の焦点距離をｆ、前記第１レンズユニット及び前記第２レンズユニットの焦点距離を各々ｆ１，ｆ２、レンズ全長をＬ、前記部分レンズ群Ｌ１ａと前記部分レンズ群Ｌ１ｂとの間隔をＬ１ａｂ、とするとき、

$$0.30 \leqq f1 \times L / f^{2} \leqq 0.65$$

$$0.80 \leqq |f1/f2| \leqq 3.50$$

$$0.12 \leqq (L1ab/L)/(f1/f) \leqq 0.50$$

なる条件式を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【００１２】

本発明によれば、無限遠物体から近距離物体までの全物体距離においてフォーカスに伴う諸収差の変動が小さく、全物体距離において高い光学性能が容易に得られ、しかも全系の小型化が容易な光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】本発明の実施例１の光学系の断面図

【図２】本発明の実施例１の光学系の収差図

【図３】本発明の実施例２の光学系の断面図

【図４】本発明の実施例２の光学系の収差図

【図５】本発明の実施例３の光学系の断面図

【図６】本発明の実施例３の光学系の収差図

【図７】本発明の撮像装置の要部概略図

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、本発明の各実施例について図面を参照しながら説明する。まず、本発明の光学系の具体的な実施例の説明に先立って、各実施例に共通する構成について説明する。各実施例の光学系は、物体側から像側へ順に正の屈折力の第１レンズユニット、負の屈折力の第

２レンズユニット、後群より構成される。

【００１５】

後群は正の屈折力の第３レンズユニットを含む。第１レンズユニットは第１レンズユニットにおいて最も広い空気間隔（レンズ間隔）を空けて配置される正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ａ及び正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ｂからなる。第１レンズユニットは１以上の回折面及び１つ以上の非球面を有する。また、無限遠物体から近距離物体へのフォーカス（フォーカシング）に際しては少なくとも第２レンズユニットが像側へ移動する。

【００１６】

ここで、レンズユニットとはフォーカス等により伴って光軸方向の移動する単レンズ若しくは複数のレンズよりなるレンズ群、又はその前後の不動の単レンズ若しくは複数のレンズよりなるレンズ群を意味する。なお、光学防振のために、光軸に対し直交する方向にシフトするレンズ群もここでいうレンズユニットに相当する。

【００１７】

図１は本発明の光学系の実施例１の無限遠物体に合焦時のレンズ断面図である。図２（Ａ），（Ｂ），（Ｃ）は実施例１の光学系において無限遠物体と撮影倍率０．５ｘ（０．５倍）の物体と撮影倍率１．０ｘの物体に合焦時の縦収差図である。図３は本発明の光学系の実施例２の無限遠物体に合焦時のレンズ断面図である。図４（Ａ），（Ｂ），（Ｃ）は実施例２の光学系において無限遠物体と撮影倍率０．５ｘの物体と撮影倍率１．０ｘの物体に合焦時の縦収差図である。

【００１８】

図５は本発明の光学系の実施例３の無限遠物体に合焦時のレンズ断面図である。図６（Ａ），（Ｂ），（Ｃ）は実施例３の光学系において無限遠物体と撮影倍率０．２５ｘの物体と撮影倍率０．５ｘの物体に合焦時の縦収差図である。図７は本発明の撮像装置の要部概略図である。レンズ断面図において左側が物体側（前方、拡大側）、右側が像側（後方、縮小側）である。ＬＯは光学系である。Ｌ１は正の屈折力の第１レンズユニット、Ｌ２は負の屈折力の第２レンズユニット、ＳＰは開口絞りである。ＬＲは後群である。

【００１９】

実施例１，２において後群ＬＲは無限遠物体から近距離物体へのフォーカスの際に物体側へ移動する正の屈折力の第３レンズユニットＬ３とフォーカスの際に不動の正の屈折力の第４レンズユニットＬ４より構成される。実施例３において後群ＬＲはフォーカスの際に不動の正の屈折力の第３レンズユニットＬ３より構成される。

【００２０】

ＩＰは像面であり、ビデオカメラやデジタルスチルカメラの撮像光学系として用いる際には像面はＣＣＤセンサやＣＭＯＳセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）の撮像面に相当する。また銀塩フィルムカメラ用として用いる際には、像面はフィルム面に相当する。球面収差図において、実線のｄはｄ線、一点鎖線のｇはｇ線を表している。非点収差図において、ΔＭはｄ線のメリディオナル像面、ΔＳはｄ線のサジタル像面を表す。また歪曲収差はｄ線によって表している。またＦｎｏはＦナンバー、ωは半画角（度）である。

【００２１】

無限遠物体から近距離物体まで結像可能な光学系では、フォーカスに際して諸収差が変動しやすい傾向にある。特に、最大結像倍率が大きくなるにつれて（撮影距離が短くなるにつれて）諸収差の変動量が大きくなる。一般的な光学系よりも近距離物体に対して高い光学性能を有するように構成されたマクロレンズにおいても、フォーカスに際して諸収差、特に球面収差が補正不足となり、また色収差が大きく変動する。

【００２２】

フォーカスに際してレンズユニットを移動させる場合、レンズユニットの駆動負荷を小さくすれば高速のフォーカスが容易になる。レンズユニットの駆動方法として、例えば、光学系の全体もしくは一部を物体側へと繰り出してフォーカスする方法がある。これらのフォーカス方法は、駆動負荷が大きいために、高速でのフォーカスが困難となりやすい。さらに、光学系全体を物体側へと繰り出すフォーカス方法は、光学系の前玉が近距離の物

体に接触する等の問題が起こりやすくなる。

【００２３】

そこで、従来、光学系中の一部のレンズユニットを駆動させてフォーカスを行うインナーフォーカス方式を採用したマクロレンズが提案されている。インナーフォーカス方式では光学系のレンズ全長が変化せず、フォーカスで駆動するレンズユニットを軽量化しやすくなる。また、複数のレンズユニットを駆動させる所謂フローティングを採用すれば、フォーカスの際に変動する諸収差を良好に補正することが容易になり、また各レンズユニットの駆動負荷を軽減することが容易となる。

【００２４】

また、一般的にフォーカスに伴う諸収差の変動、特に球面収差と色収差の変動を低減するためには第１レンズユニットにおける球面収差及び色収差の変動を低減する必要がある。従来は球面収差の変動の低減のために、複数のレンズを用い、それらに屈折力を分担させていた。また色収差の変動の低減に低分散硝材のレンズを用いていた。そのため、比較的多くのレンズ枚数が必要であり、光学系が大型化し、また軽量化することが困難であった。

【００２５】

本発明の光学系のレンズ構成は次のとおりである。物体側から像側へ順に、正の屈折力の第１レンズユニットＬ１、負の屈折力の第２レンズユニットＬ２、後群ＬＲを有する。後群ＬＲは正の屈折力の第３レンズユニットＬ３を有する。第１レンズユニットＬ１は第１レンズユニットにおいて最も広いレンズ間隔を有する正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ａ及び正の屈折力の部分レンズ群Ｌ１ｂからなる。

【００２６】

また、第１レンズユニットＬ１は少なくとも１以上の回折面及び少なくとも１以上の非球面を有する。また、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して第２レンズユニットＬ２は像面側へ移動する。

【００２７】

全系の焦点距離をｆ、第１レンズユニットＬ１と第２レンズユニットＬ２の焦点距離を各々ｆ１、ｆ２とする。レンズ全長（第１レンズ面から最終レンズ面までの長さにバックフォーカスを加えた長さ）をＬとする。部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂの間隔をＬ１ａｂとする。このとき、

$$0.30 \leqq f1 \times L / f^2 \leqq 0.65 \quad \cdots (1)$$

$$0.80 \leqq |f1/f2| \leqq 3.50 \quad \cdots (2)$$

$$0.12 \leqq (L1ab/L)/(f1/f) \leqq 0.50 \quad \cdots (3)$$

なる条件式を満足する。

【００２８】

各実施例において、第１レンズユニットＬ１は収差補正上、光学作用が異なる複数の部分レンズ群（レンズユニット）から構成されている。各実施例では第１レンズユニットＬ１を構成する複数のレンズのうち、空気間隔が最大となる箇所で部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂの２つの部分レンズ群に分けている。

【００２９】

第１レンズユニットＬ１は１以上の回折面及び１以上の非球面を有している。また、第１レンズユニットＬ１を比較的少ないレンズ枚数で構成している。複数のレンズに屈折力を分担させることで低減することができる球面収差は、非球面を用いることにより少ないレンズ枚数で低減している。また、色収差は回折面を用いることにより、少ないレンズ枚数で良好に補正している。フォーカスに伴う諸収差の変動抑制及び全系の小型軽量化は第１レンズユニットＬ１に回折面と非球面を設けることで達成している。

【００３０】

条件式（１）及び条件式（２）は、主にフォーカスに際して変動する諸収差を低減し全系の小型化を図るためのものである。条件式（１）及び条件式（２）の下限値を超えて第１レンズユニットＬ１の焦点距離ｆ１が小さくなると、球面収差等の諸収差が増大し、こ

れらの補正が困難となる。また、条件式（１）及び条件式（２）の上限値を超えて第１レンズユニットＬ１の焦点距離ｆ１が大きくなると、全系の小型化が困難となる。

【００３１】

条件式（３）は、主にフォーカスに際して変動する諸収差、特に球面収差を低減するためのものである。無限遠物体への合焦状態において、第１レンズユニットＬ１と第２レンズユニットＬ２の合成系において球面収差等の諸収差は良好な補正状態ある。この時、部分レンズ群Ｌ１ａ及び部分レンズ群Ｌ１ｂでは負の球面収差、第２レンズユニットＬ２では正の球面収差が発生しており、互いにキャンセル関係にある。

【００３２】

一方、近距離物体への合焦状態では、第２レンズユニットＬ２が像側へ移動するため、球面収差の発生量が少なくなる。この時、第１レンズユニットＬ１と第２レンズユニットＬ２の合成系における球面収差が補正不足とならないようにするには、第１レンズユニットＬ１の球面収差を正の方向へ変位させるよう構成すればよい。

【００３３】

条件式（３）の下限値を超えて部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂの間隔Ｌ１ａｂが小さくなると、フォーカスに際して第１レンズユニットＬ１の球面収差の正の方向への変位量が不足する。この結果、球面収差の変動を低減することが困難となる。また、条件式（３）の上限を超えて間隔Ｌ１ａｂが大きくなると、第１レンズユニットＬ１の構成レンズ長が大きくなり、球面収差やコマ収差等の諸収差の低減が困難となり、また全系の小型化が困難となる。

【００３４】

フォーカスに際する諸収差の変動を更に低減し、高い光学性能を有するには、条件式（１）～条件式（３）の数値範囲を以下に示す範囲とするのがよい。

【００３５】

$0.35 \leqq f1 \times L / f^2 \leqq 0.60$ ・・・（１ａ）

$0.90 \leqq |f1/f2| \leqq 3.00$ ・・・（２ａ）

$0.15 \leqq (L1ab/L)/(f1/f) \leqq 0.48$ ・・・（３ａ）

さらに望ましくは条件式（１ａ）～条件式（３ａ）の数値範囲を以下に示す範囲とするとよい。

【００３６】

$0.38 \leqq f1 \times L / f^2 \leqq 0.58$ ・・・（１ｂ）

$1.00 \leqq |f1/f2| \leqq 2.50$ ・・・（２ｂ）

$0.18 \leqq (L1ab/L)/(f1/f) \leqq 0.45$ ・・・（３ｂ）

各実施例において更に好ましくは次の条件式のうち１以上を満足するのが良い。

【００３７】

無限遠物体にフォーカスしたときの第１レンズユニットＬ１と第２レンズユニットＬ２の合成焦点距離をｆ１２とする。部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂの焦点距離を各々ｆ１ａ，ｆ１ｂとする。１以上の回折面のうち、少なくとも１つの回折面の焦点距離をｆｄｏｅとする。このとき次の条件式のうち１以上を満足するのが良い。

【００３８】

$|f/f12| \leqq 0.40$ ・・・（４）

$0.20 \leqq f1a/f1b \leqq 1.20$ ・・・（５）

$10 \leqq fdoe/f \leqq 100$ ・・・（６）

【００３９】

次に各条件式の技術的意味について説明する。条件式（４）は第１レンズユニットＬ１と第２レンズユニットＬ２の合成焦点距離に関し、主にフォーカスにおける諸収差の変動を低減するためのものである。条件式（４）の上限値を超えて第１レンズユニットＬ１と第２レンズユニットＬ２の合成焦点距離ｆ１２が小さくなると、フォーカスに際する球面収差等の諸収差の変動が大きくなる。フォーカスにおける諸収差の変動を更に低減し、高い光学性能を得るには条件式（４）の数値範囲を以下に示す範囲とするとよい。

【００４０】
｜ｆ／ｆ１２｜≦０．３６　　・・・（４ａ）
さらに望ましくは条件式（４）の数値範囲を以下に示す範囲とするとよい。
｜ｆ／ｆ１２｜≦０．３４　　・・・（４ｂ）
【００４１】
条件式（５）は、部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂの焦点距離に関し、主にフォーカスに際して変動する球面収差を良好に低減するためのものである。条件式（５）の下限値を超えて部分レンズ群Ｌ１ａの焦点距離ｆ１ａが小さくなると、部分レンズ群Ｌ１ａの負の球面収差が大きくなる。この結果、近距離物体への合焦状態において第１レンズユニットＬ１による球面収差の正方向への変位が過剰となる。
【００４２】
また、条件式（５）の上限値を超えて焦点距離ｆ１ａが大きくなると、部分レンズ群Ｌ１ａによる負の球面収差の発生が小さくなる。この結果、近距離物体への合焦状態において第１レンズユニットＬ１による球面収差を正方向へ変位するのが不足するため好ましくない。フォーカスにおける諸収差、特に球面収差の変動を低減するために、さらに望ましくは条件式（５）の数値範囲を以下に示す範囲とするとよい。
【００４３】
０．２５≦ｆ１ａ／ｆ１ｂ≦１．１２　　・・・（５ａ）
さらに望ましくは条件式（５ａ）の数値範囲を以下に示す範囲とするとよい。
０．２７≦ｆ１ａ／ｆ１ｂ≦１．０４　　・・・（５ｂ）
【００４４】
条件式（６）は光学系が有する回折面の焦点距離ｆｄｏｅに関し、主に色収差を良好に補正するためのものである。
【００４５】
条件式（６）を満足すると諸収差、特に色収差を良好に補正することが容易になる。条件式（６）の下限値を超えて焦点距離ｆｄｏｅが小さくなると、回折面の屈折力が強くなりすぎて色収差が過剰補正となる。また、回折格子のピッチが小さくなり製造が困難となる。条件式（６）の上限値を超えて焦点距離ｆｄｏｅが大きくなると、回折面の屈折力が弱くなり色収差が補正不足となる。色収差の補正の観点から、さらに望ましくは条件式（６）の数値範囲を以下に示す範囲とするとよい。
【００４６】
１２≦ｆｄｏｅ／ｆ≦９０　　・・・（６ａ）
さらに望ましくは条件式（６ａ）の数値範囲を以下のようにするとよい。
【００４７】
１４≦ｆｄｏｅ／ｆ≦８０　　・・・（６ｂ）
各実施例において部分レンズ群Ｌ１ｂは、物体側へ凸面を向けたメニスカス状の負レンズと正レンズを接合した接合レンズからなり、該接合レンズの接合レンズ面に回折面を有している。これにより、色収差の補正を容易にしている。
【００４８】
部分レンズ群Ｌ１ｂが有するメニスカス状の負レンズにより、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、第１レンズユニットＬ１の球面収差の変動を良好に低減している。また、部分レンズ群Ｌ１ｂの接合レンズの接合面に回折面を配置することにより、回折面を空気と接しないようにして耐環境性を良好に維持している。
【００４９】
さらに、部分レンズ群Ｌ１ｂに回折面を配置することで例えば逆光状態で光学系を使用する際に、回折面に不要光が入射しにくくなるようにしている。回折面における回折効率は光線入射角度に依存するため、不要光が入射すると回折作用により意図しない光線も像面に到達してしまい、ゴーストやフレアが発生することがある。このため、各実施例では不要光が入射しにくくなる部分レンズ群Ｌ１ｂに回折面を配置している。
【００５０】

各実施例において部分レンズ群Ｌ１ａは非球面を有する正の屈折力のレンズ（正レンズ）から構成するのが良い。これにより、フォーカスに際して諸収差の変動を軽減するのが容易になる。

【００５１】

部分レンズ群Ｌ１ａは最も物体側に配置されておりレンズ径も比較的大きくなる傾向にある。このため、部分レンズ群Ｌ１ａの構成レンズ枚数を少なくすることが、光学系の軽量化に効果的である。そこで、各実施例では部分レンズ群Ｌ１ａを１つの正レンズで構成している。この時、球面収差等の諸収差を補正するためには、非球面を用いることが望ましい。

【００５２】

各実施例においてフォーカスに際して、第１レンズユニットＬ１は不動であることが望ましい。これによれば、近距離物体の撮影時に光学系の前玉と被写体が接触する等の問題が起きにくくなる。実施例１，２において、第３レンズユニットＬ３は無限遠物体から近距離物体へのフォーカスに際して物体側へ移動する。これによれば、フォーカスに際して変動する像面湾曲等の諸収差を良好に低減することが容易になる。

【００５３】

次に各実施例のレンズ構成について説明する。図１の実施例１の光学系ＬＯは、物体側から像側に順に、正の屈折力の第１レンズユニットＬ１と、負の屈折力の第２レンズユニットＬ２と、開口絞りＳＰと、後群ＬＲから構成される。後群ＬＲは物体側から像側へ順に、正の屈折力の第３レンズユニットＬ３と、正の屈折力の第４レンズユニットＬ４から構成される。実施例１は例えば一眼レフカメラに好適な焦点距離１８０ｍｍ（３５ｍｍ換算、以下同じ），Ｆナンバー３．５の望遠型のマクロレンズである。

【００５４】

フォーカスに際して、第１レンズユニットＬ１及び第４レンズユニットＬ４は像面ＩＰに対して不動（固定）である。第２レンズユニットＬ２を像面側に、第３レンズユニットＬ３を物体側にそれぞれ光軸方向に移動させることで、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスを行っている。

【００５５】

第１レンズユニットＬ１は最も広い空気間隔を境に部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂより構成される。部分レンズ群Ｌ１ａは非球面を有する１つの正レンズからなる。部分レンズ群Ｌ１ｂは物体側に凸面を向けたメニスカス状の負レンズと正レンズを接合した接合レンズからなり、該接合レンズの接合レンズ面に回折面を有する。

【００５６】

第１レンズユニットＬ１及び第２レンズユニットＬ２の焦点距離ｆ１，ｆ２、光学系全系の焦点距離ｆ、レンズ全長Ｌ、部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂの間隔Ｌ１ａｂは条件式（１）乃至条件式（３）を満足する。

【００５７】

本実施例では、無限遠物体から撮影倍率１．０倍（１ｘ）（等倍）の至近距離物体まで撮影可能である。また、本実施例の光学系の各数値は、条件式（４）乃至条件式（６）を満足する。

【００５８】

本実施例では、部分レンズ群Ｌ１ａに非球面を、部分レンズ群Ｌ１ｂに回折面を用いることで第１レンズユニットＬ１の軽量化を容易にし、光学系全系の小型化・軽量化を実現している。

【００５９】

図３の実施例２の光学系ＬＯのレンズ構成は、図１の実施例１と同じである。実施例２は例えば、一眼レフカメラに好適な焦点距離１８０ｍｍ，Ｆナンバー３．６の望遠型のマクロレンズである。フォーカス方式は実施例１と同じである。

【００６０】

図５の実施例３の光学系ＬＯは、物体側から像側に順に、正の屈折力の第１レンズユニ

ットＬ１と、負の屈折力の第２レンズユニットＬ２と、開口絞りＳＰと、後群ＬＲより構成される。後群ＬＲは正の屈折力の第３レンズユニットＬ３から構成される。実施例３は３５ｍｍ一眼レフカメに好適な焦点距離１８０ｍｍ，Ｆナンバー３．５の望遠型のマクロレンズである。

【００６１】

フォーカスに際して、第１レンズユニットＬ１及び第３レンズユニットＬ３は像面ＩＰに対して不動（固定）である。第２レンズユニットＬ２を光軸方向で像面側に移動させることで、無限遠物体から近距離物体へのフォーカスを行っている。前記第１レンズユニットＬ１は最も広い空気間隔を境に部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂより構成される。

【００６２】

部分レンズ群Ｌ１ａは非球面を有する１つの正レンズ１枚からなる。部分レンズ群Ｌ１ｂは物体側に凸面を向けたメニスカス状の負レンズと正レンズを接合した接合レンズからなり、該接合レンズの接合レンズ面に回折面を有する。第１レンズユニットＬ１及び第２レンズユニットＬ２の焦点距離ｆ１，ｆ２、光学系全系の焦点距離ｆ、光学系の全長Ｌ、部分レンズ群Ｌ１ａと部分レンズ群Ｌ１ｂの間隔Ｌ１ａｂは条件式（１）乃至条件式（３）を満足する。

【００６３】

本実施例では、無限遠物体から撮影倍率０．５倍の至近距離物体まで撮影可能である。また、本実施例の光学系の各数値は、条件式（４）乃至条件式（６）を満足する。

【００６４】

本実施例では、部分レンズ群Ｌ１ａに非球面を、部分レンズ群Ｌ１ｂに回折面を用いることで第１レンズユニットＬ１の軽量化を容易にし、光学系全系の小型化・軽量化を実現している。

【００６５】

（数値例）

以下、上記実施例１乃至３に対応する数値実施例１乃至３を示す。各数値実施例において、ｉは光入射側から数えた面または光学素子の番号を示す。例えば、ｒｉはｉ番目の光学面（第ｉ面）の曲率半径である。ｄｉは、第ｉ面と第（ｉ＋１）面との間の軸上間隔である。ｒｉ及びｄｉの単位はｍｍである。ｎｉ，νｄｉはそれぞれｉ番目の光学素子の材料のｄ線に対する屈折率およびアッベ数を示す。

【００６６】

フラウンホーファー線のｇ線（波長４３５．８ｎｍ）、Ｆ線（波長４８６．１ｎｍ）、ｄ線（波長５８７．６ｎｍ）およびＣ線（波長６５６．３ｎｍ）に対する屈折率をそれぞれ、ｎｇ，ｎＦ，ｎｄ，ｎＣとして表す。ｄ線に関するアッベ数νｄと、ｇ線およびＦ線に対する部分分散比はそれぞれ以下のように定義する。

【００６７】

νｄ＝（ｎｄ－１）／（ｎＦ－ｎＣ）

θｇＦ＝（ｎｇ－ｎＦ）／（ｎＦ－ｎＣ）

各実施例では基準波長をｄ線として焦点距離等を表している。面番号の横に*を付した非球面の形状は、Ｘを光軸方向の面頂点からの変位量とし、ｈを光軸に直交する方向の光軸からの高さとし、ｒを近軸曲率半径とし、ｋを円錐定数とし、Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ，…を各次数の非球面係数とするとき、以下の式で表す。

【００６８】

【数１】

$$x(h)=\frac{(1/r)h^2}{1+\sqrt{\{1-(1+k)(h/r^2)\}}}+A_4h^4+A_6h^6+A_8h^8+A_{10}h^{10}+\cdots$$

【００６９】

面番号の横に（回折）を付した回折面の位相φは、ｍを回折光の回折次数、λ０を基準波長、Ｃｉ（ｉ＝１，２，３…）とするとき、以下の式で表す。

【００７０】
【数２】

$$\phi(h)=\left(2\pi\frac{m}{\lambda_0}\right)\left(C_2h^2+C_4h^4+C_6h^6+C_8h^8+\ldots\right)$$

【００７１】
回折面のｄ線に関するアッベ数νｄＤＯＥ及びｇ線とＦ線に関する部分分散比θｇＦＤＯＥは、ｄ線，ｇ線，Ｃ線，Ｆ線の波長を各々λｄ，λｇ，λＣ，λＦとするとき、以下の式で表される。
【００７２】
νｄＤＯＥ＝λｄ／（λＦ－λＣ）
θｇＦＤＯＥ＝（λｇ－λＦ）／（λＦ－λＣ）
これよりνｄＤＯＥ及びθｇＦＤＯＥは各々－３．４５、０．２９６となる。回折面の分散特性は負の値をとっており、一般的な光学材料の分散特性とは逆の作用を有する。また、ｇ線とＦ線の部分分散比θｇＦＤＯＥは一般的な光学材料よりも小さな値となっており、波長に対する屈折率変化の線形性が高いことを意味している。また、回折面の焦点距離ｆＤＯＥは以下の式で表される。
【００７３】
【数３】

$$fDOE=-\frac{1}{2\cdot C_2}$$

【００７４】
さらに、任意の波長λにおける回折面の焦点距離ｆＤＯＥ（λ）は以下の式で表される。
【００７５】
【数４】

$$fDOE=-\frac{1}{2\cdot C_2}\times\frac{\lambda_0}{\lambda}$$

【００７６】
「ｅ±ＸＸ」は「×１０$^{\pm XX}$」を意味する。Ｆｎｏは有効Ｆナンバーである。ωは半画角であり、単位は度である。また、前述した各条件式と数値実施例との関係を表１に示す。
【００７７】
数値実施例１（実施例１）

f=180.00 Fno= 3.50 2ω=13.70

面番号	r	d	nd	νd	有効径
1	74.723	7.76	1.71300	53.9	58.18
2*	-2053.467	20.79			57.22
3	92.378	2.00	1.85026	32.3	39.11
4(回折)	43.702	7.49	1.49700	81.5	37.21
5	-145.734	(可変)			36.41
6	308.138	1.80	1.88300	40.8	33.84
7	51.391	2.97			32.21
8	-700.120	1.60	1.77250	49.6	32.17
9	51.015	3.79	1.84666	23.8	31.74
10	171.856	(可変)			31.50
11(絞り)	∞	(可変)			29.41
12	41.919	4.85	1.71300	53.9	29.86
13	723.222	0.15			29.62
14	61.532	5.56	1.60311	60.6	29.34

15	-59.970	3.08	1.63980	34.5	28.77
16	27.348	(可変)			26.61
17	-26.209	1.99	1.48749	70.2	31.36
18	-67.120	4.49	1.80518	25.4	34.56
19	-34.935	2.12			35.72
20	36.715	3.08	1.48749	70.2	38.42
21	41.629	BF			37.86
像面	∞				

【００７８】

非球面データ

第2面

K =-7.17943e+003 A 4= 4.39799e-007 A 6=-3.86724e-011
A 8= 2.51368e-014 A10=-9.12999e-018

第4面(回折面)

C 2=-6.98385e-005 C 4=-2.91086e-008 C 6= 6.46247e-011
C 8= 1.91499e-013
C10=-3.92381e-016 C12= 1.88356e-019

各種データ

最大撮影倍率 1.00

焦点距離	180.00		
撮影倍率	∞	0.5x	1.0x
Fナンバー	3.50	4.50	5.20
半画角（度）	6.85	6.85	6.85
像高	21.64	21.64	21.64
レンズ全長	202.38	202.38	202.37
BF	52.18	52.18	52.18
d 5	1.99	16.82	31.96
d10	32.15	17.33	2.17
d11	17.22	7.96	1.80
d16	25.29	34.56	40.72

入射瞳位置	159.96
射出瞳位置	-73.08
前側主点位置	81.29
後側主点位置	-127.82

レンズユニットデータ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
1	1	75.31	38.04	9.98	-24.21
2	6	-52.04	10.16	2.50	-4.27
3	12	172.65	13.65	-29.23	-32.01
4	17	278.32	11.69	19.75	13.15

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離

1	1	101.28
2	3	-100.81
3	4	67.91
4	6	-70.08
5	8	-61.50
6	9	84.48
7	12	62.23
8	14	51.24
9	15	-28.96
10	17	-89.64
11	18	85.18
12	20	529.38

【００７９】
数値実施例２（実施例２）

f=180.00 Fno= 3.64 2ω=13.70

面番号	r	d	nd	νd	有効径
1	88.437	9.52	1.48749	70.2	55.72
2*	-163.470	25.37			54.56
3	91.212	2.00	1.71736	29.5	38.46
4(回折)	51.899	6.91	1.49700	81.5	37.04
5	-165.159	(可変)			34.65
6	-1245.733	1.80	1.77250	49.6	34.10
7	73.493	2.20			32.70
8	-827.947	1.60	1.77250	49.6	32.63
9	41.267	3.76	1.84666	23.8	31.86
10	86.802	(可変)			31.49
11(絞り)	∞	(可変)			30.72
12	42.178	4.67	1.80400	46.6	30.24
13	-1657.015	0.15			29.60
14	73.087	5.22	1.61772	49.8	28.51
15	-47.997	3.00	1.69895	30.1	27.49
16	30.761	(可変)			23.79
17	-41.358	5.31	1.80518	25.4	28.02
18	-22.842	1.60	1.74320	49.3	29.16
19	-34.261	8.49			30.53
20	-26.931	2.55	1.80610	40.9	30.59
21	-44.527	0.20			33.03
22	44.209	4.18	1.57099	50.8	36.12
23	82.571	BF			35.96
像面	∞				

【００８０】
非球面データ
第2面
K =-1.29391e+001 A 4= 3.50420e-007 A 6=-5.87683e-011
A 8= 8.99943e-015

第4面(回折面)

C 2=-5.65734e-005 C 4=-6.43203e-008 C 6= 6.34004e-011
C 8= 1.03077e-013

各種データ
最大結像倍率 1.00

焦点距離	180.00		
撮影倍率	∞	0.5x	1.0x
Fナンバー	3.64	4.60	5.80
半画角（度）	6.84	6.84	6.84
像高	21.60	21.60	21.60
レンズ全長	208.33	208.33	208.33
BF	49.99	49.99	49.99
d 5	1.92	16.06	30.21
d10	30.51	16.37	2.22
d11	15.21	6.66	1.80
d16	22.20	30.75	35.60

入射瞳位置	156.78
射出瞳位置	-66.47
前側主点位置	58.58
後側主点位置	-130.01

レンズユニットデータ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
1	1	75.07	43.79	18.09	-23.77
2	6	-48.68	9.36	3.25	-2.77
3	12	131.42	13.03	-20.87	-24.59
4	17	580.76	22.33	30.58	15.64

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	119.20
2	3	-174.86
3	4	79.59
4	6	-89.78
5	8	-50.84
6	9	89.53
7	12	51.22
8	14	47.68
9	15	-26.41
10	17	56.18
11	18	-98.08
12	20	-90.39
13	22	160.31

【００８１】
数値実施例３（実施例３）
f

=180.00 Fno= 3.50 2ω=13.70

面番号	r	d	nd	νd	有効径
1	69.984	7.88	1.61800	63.3	57.52
2*	-70059.029	21.22			56.57
3	103.633	2.00	1.90366	31.3	40.03
4(回折)	52.769	0.00			38.47
5	56.859	6.30	1.49700	81.5	38.50
6	-233.287	3.57			37.81
7	∞	(可変)			35.34
8	598.033	1.80	1.83400	37.2	34.72
9	56.879	2.41			33.38
10	254.584	1.60	1.77250	49.6	33.34
11	47.552	4.27	1.80809	22.8	32.88
12	189.967	(可変)			32.63
13(絞り)	∞	4.78			29.82
14	35.963	5.31	1.65160	58.5	29.12
15	-13759.718	1.00			28.25
16	97.866	4.90	1.62299	58.2	26.94
17	-47.669	2.02	1.63980	34.5	25.80
18	25.801	22.49			22.87
19	-22.078	1.97	1.48749	70.2	28.09
20	-41.906	3.70	1.80518	25.4	31.05
21	-28.653	3.00			32.31
22	42.672	3.81	1.48749	70.2	35.96
23	63.110	BF			35.70
像面	∞				

【００８２】

非球面データ

第2面

K =-1.51032e+008 A 4= 4.24859e-007 A 6=-2.88882e-011
A 8=-2.37944e-014 A10= 1.35924e-017

第4面(回折面)

C 2=-3.95578e-005 C 4=-3.39754e-008 C 6= 6.67252e-011
C 8= 3.24659e-013
C10=-1.25536e-015 C12= 1.40535e-018

各種データ

最大結像倍率 0.50

焦点距離	180.00		
撮影倍率	∞	0.25x	0.5x
焦点距離	180.00	180.00	180.00
Fナンバー	3.50	4.80	5.80
半画角（度）	6.85	6.85	6.86
像高	21.64	21.64	21.64
レンズ全長	198.51	198.51	198.51

BF 61.17 61.17 61.17

d 7 0.83 13.48 27.05
d12 32.47 19.81 6.24

入射瞳位置 157.74
射出瞳位置 -58.13
前側主点位置 66.15
後側主点位置-118.83

レンズユニットデータ

群	始面	焦点距離	レンズ構成長	前側主点位置	後側主点位置
1	1	92.46	40.97	6.51	-30.02
2	8	-72.15	10.09	2.11	-4.46
3	13	∞	0.00	0.00	-0.00
4	14	297.05	13.23	-54.29	-52.96
5	19	198.03	12.49	18.10	10.78

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	113.13
2	3	-122.40
3	5	92.65
4	8	-75.48
5	10	-75.95
6	11	77.45
7	14	55.06
8	16	52.13
9	17	-25.89
10	21	-98.95
11	22	100.06
12	24	254.73

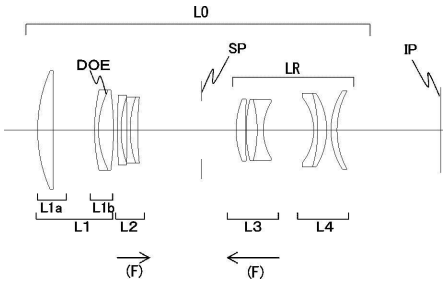
【００８３】
各数値例（各実施例）の構成において、条件式（１）乃至条件式（６）の値を以下の表に示す。
【００８４】
【表１】

条件式	実施例１	実施例２	実施例３
（１）	0.47	0.48	0.57
（２）	1.45	1.54	1.28
（３）	0.25	0.29	0.21
（４）	0.25	0.13	0.34
（５）	0.48	0.80	0.29
（６）	39.77	49.10	70.22

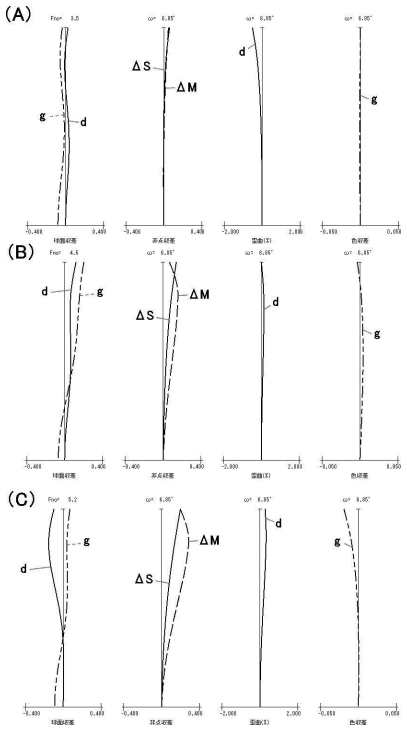
【００８５】
上記各実施例に示した光学系を撮影光学系として用いたデジタルスチルカメラ（撮像装置）の実施例を図７を用いて説明する。

【００８６】
図７において、２０はカメラ本体である。２１は実施例１乃至３で説明したいずれかの光学系によって構成された撮影光学系である。２２はカメラ本体に内蔵され、撮影光学系２１によって形成された被写体像を受光するＣＣＤセンサやＣＭＯＳセンサ等の固体撮像素子（光電変換素子）である。
【００８７】
２３は固体撮像素子２２によって光電変換された被写体像に対応する情報を記録するメモリである。２４は液晶ディスプレイパネル等によって構成され、固体撮像素子２２上に形成された被写体像を観察するためのファインダである。
【００８８】
このように実施例１乃至３で説明したいずれかの光学系をデジタルスチルカメラの撮影光学系として用いることにより、無限遠物体から近距離物体までのフォーカスに伴う諸収差の変動が小さく、小型軽量な光学系を提供することができる。
【００８９】
以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。
【符号の説明】
【００９０】
Ｌ１　第１レンズユニット　Ｌ１ａ　部分レンズ群
Ｌ１ｂ　部分レンズ群　Ｌ２　第２レンズユニット
Ｌ３　第３レンズユニット　Ｌ４　第４レンズユニット　ＳＰ　開口絞り
ＤＯＥ　回折面

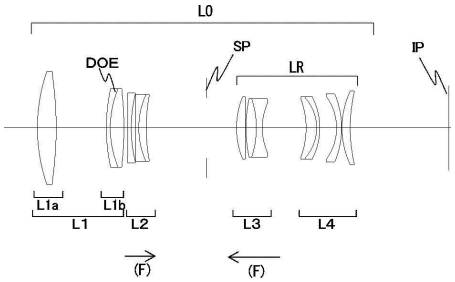
【図１】



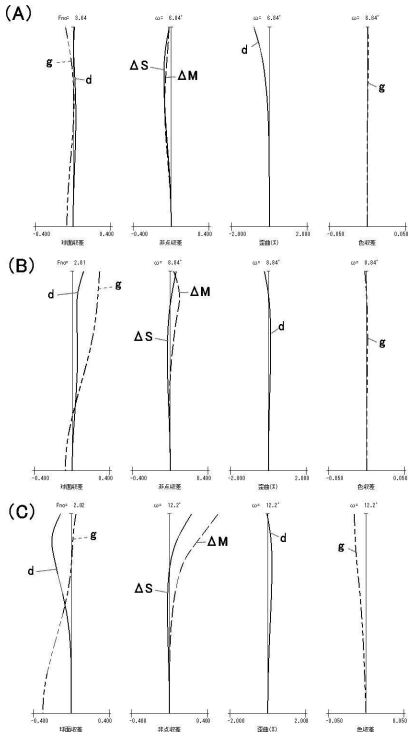
【図２】



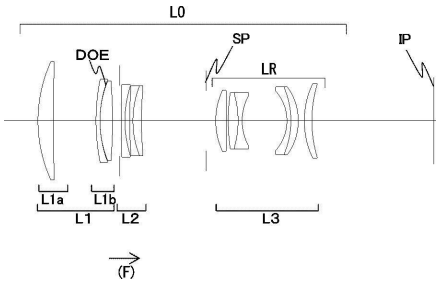
【図３】


L0
DOE
SP
LR
IP
L1a
L1b
L1
L2
L3
L4
(F)
(F)

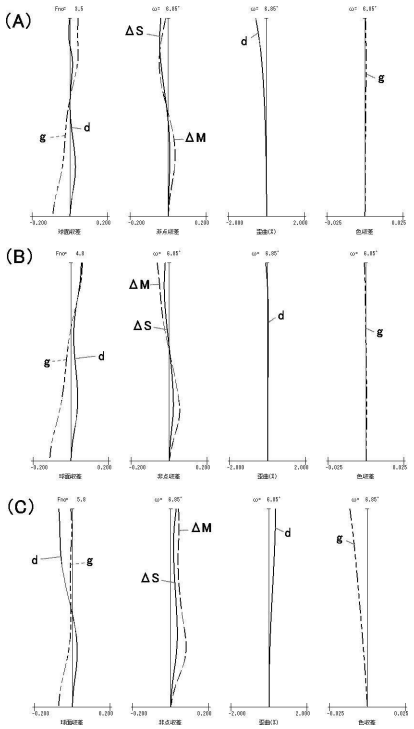
【図４】


(A)
(B)
(C)
g
d
ΔS
ΔM

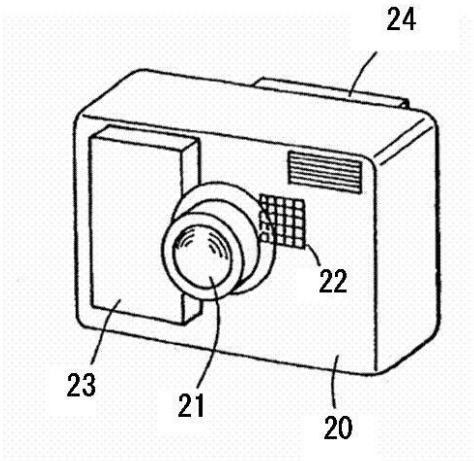
【図５】


L0
DOE
SP
LR
IP
L1a
L1b
L1
L2
L3
(F)

【図６】


(A)
(B)
(C)
g
d
ΔS
ΔM

【図７】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１２－０８８４２７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－００２９９９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－１８９６７９（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０６２２１１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ　１３／００
Ｇ０２Ｂ　１３／１８