(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6635998号
(P6635998)
(45)発行日　令和2年1月29日(2020.1.29)　(24)登録日　令和1年12月27日(2019.12.27)

(51)Int.Cl.			F I		
G02B	3/00	(2006.01)	G02B	3/00	
G02B	7/02	(2006.01)	G02B	7/02	B
G02B	13/00	(2006.01)	G02B	7/02	A
G02B	13/04	(2006.01)	G02B	13/00	
G02B	15/20	(2006.01)	G02B	13/04	D

請求項の数 14　(全 23 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2017-196424(P2017-196424)
(22)出願日　平成29年10月6日(2017.10.6)
(62)分割の表示　特願2015-74503(P2015-74503)の分割
原出願日　平成27年3月31日(2015.3.31)
(65)公開番号　特開2017-227938(P2017-227938A)
(43)公開日　平成29年12月28日(2017.12.28)
審査請求日　平成30年3月30日(2018.3.30)

(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　100126240
弁理士　阿部　琢磨
(74)代理人　100124442
弁理士　黒岩　創吾
(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　小西　隆

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学機器

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
光学素子と、該光学素子を保持する保持手段とを有する光学機器であって、
前記光学素子は、無機材料から成る第１のレンズと、該第１のレンズに接合された有機物から成る第２のレンズと、該第２のレンズに接合された無機材料から成る第３のレンズとを含み、
光軸を含む断面内において、前記第１のレンズの最小径をφｈ、前記第１乃至第３のレンズの各接合面のうち径が最小の接合面の径をφｃ、前記第２のレンズの最大径をφｒとするとき、
$$\phi h < \phi c \leqq \phi r$$
なる条件式を満足し、
前記第１のレンズは、前記断面内において、光学面が他の面と成す頂点を除き、内角が９０°を超える頂点を有し、
前記第１のレンズの径は、前記頂点に対して光軸方向における前記第２のレンズの側で最大径になり、前記第２のレンズとは反対の側では前記最大径よりも小さく、
前記第１のレンズの最大径は、前記径φｒ及び前記第３のレンズの最大径よりも小さく、
前記保持手段は、前記第３のレンズのみを介して前記光学素子を保持することを特徴とする光学機器。
【請求項２】

０．５＜φｈ／φｒ＜０．９８
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１に記載の光学機器。
【請求項３】
前記第２のレンズの光軸上及び前記径φｃにおける光軸方向の厚さを各々ｔｒｃ、ｔｒｅとするとき、
０．０００５＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜０．９５
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１又は２に記載の光学機器。
【請求項４】
前記第２のレンズの光軸上及び前記径φｃにおける光軸方向の厚さを各々ｔｒｃ、ｔｒｅとするとき、
１．０５＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜１０００
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項に記載の光学機器。
【請求項５】
前記第１のレンズの最大径及び前記径φｈにおける光軸方向の厚さを各々ｔｅ、ｔｈ０とするとき、
０．００５＜ｔｅ／ｔｈ０＜０．９
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の光学機器。
【請求項６】
前記頂点は、径方向において前記径φｈの位置に存在することを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項に記載の光学機器。
【請求項７】
前記第２のレンズと前記頂点との光軸方向の距離をｔｈ、前記第１のレンズの前記径φｈにおける光軸方向の厚さをｔｈ０とするとき、
０．００５＜ｔｈ／ｔｈ０＜０．９
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項に記載の光学機器。
【請求項８】
前記第１のレンズの最大径における光軸方向の厚さをｔｅ、前記第２のレンズの前記径φｃにおける光軸方向の厚さをｔｒｅ、前記第１及び第２のレンズを構成する材料のヤング率を［ＧＰａ］単位で表した無次元の数値を各々Ｅｈ、Ｅ２とするとき、
０．０１＜ｔｒｅ×ｌｏｇＥ２／（ｔｅ×ｌｏｇＥｈ）＜１０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項に記載の光学機器。
【請求項９】
前記第１のレンズの最大径における光軸方向の厚さをｔｅ、前記第２のレンズの前記径φｃにおける光軸方向の厚さをｔｒｅ、前記第１及び第２のレンズを構成する材料の線膨張係数を［１０$^{-7}$／℃］単位で表した無次元の数値を各々αｈ、α２とするとき、
０．０１＜ｔｒｅ×ｌｏｇα２／（ｔｅ×ｌｏｇαｈ）＜１０
なる条件式を満足することを特徴とする請求項１乃至８のいずれか１項に記載の光学機器。
【請求項１０】
前記各接合面は、連続な曲面であることを特徴とする請求項９に記載の光学機器。
【請求項１１】
前記第１のレンズの最大径は、前記径φｃと同じであることを特徴とする請求項１乃至１０のいずれか１項に記載の光学機器。
【請求項１２】
前記第１のレンズは、負の屈折力を有することを特徴とする請求項１乃至１１のいずれか１項に記載の光学機器。

【請求項１３】
前記第１のレンズと前記第３のレンズとは、互いに異なる符号の屈折力を有することを特徴とする請求項１乃至１２のいずれか１項に記載の光学機器。
【請求項１４】
前記光学素子からの光を受光する受光素子を有することを特徴とする請求項１乃至１３のいずれか１項に記載の光学機器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、複数の光学要素が接合された光学素子を有する光学機器に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、カメラやビデオカメラ等の光学機器に用いられる光学系（撮影光学系）として、小型軽量でかつ高い光学性能を有するものが求められている。特許文献１には、無機ガラスから成る光学要素と樹脂から成る光学要素とが接合された光学素子を採用することにより、小型化を実現しつつ色収差を良好に補正することができる光学系が記載されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２０１０－１１７４７２号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
しかしながら、特許文献１に記載の光学素子において、無機ガラス及び樹脂の線膨張係数は互いに大きく異なるため、環境温度が変化した場合、光学要素同士の接合面で大きな応力が発生して剥離や割れ等が生じる可能性がある。
【０００５】
本発明は、複数の光学要素が接合された構成でありながら、耐環境性に優れた光学素子を有する光学機器を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
上記目的を達成するための、本発明の一側面としての光学機器は、光学素子と、該光学素子を保持する保持手段とを有する光学機器であって、前記光学素子は、無機材料から成る第１のレンズと、該第１のレンズに接合された有機物から成る第２のレンズと、該第２のレンズに接合された無機材料から成る第３のレンズとを含み、光軸を含む断面内において、前記第１のレンズの最小径をφｈ、前記第１乃至第３のレンズの各接合面のうち径が最小の接合面の径をφｃ、前記第２のレンズの最大径をφｒとするとき、φｈ＜φｃ≦φｒなる条件式を満足し、前記第１のレンズは、前記断面内において、光学面が他の任意の面と成す頂点を除き、内角が９０°を超える頂点を有し、前記第１のレンズの径は、前記頂点に対して光軸方向における前記第２のレンズの側で最大径になり、前記第２のレンズとは反対の側では前記最大径よりも小さく、前記第１のレンズの最大径は、前記径φｒ及び前記第３のレンズの最大径よりも小さく、前記保持手段は、前記第３のレンズのみを介して前記光学素子を保持することを特徴とする光学機器。
【発明の効果】
【０００７】
本発明によれば、複数の光学要素が接合された構成でありながら、耐環境性に優れた光学素子を有する光学機器を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【０００８】
【図１】本発明の実施例１に係る光学素子の要部断面図

【図２】比較例に係る光学素子の要部断面図
【図３】実施例１及び比較例に係る光学素子において生じる応力を示す図
【図４】本発明の実施例２に係る光学系の無限遠物体への合焦状態における断面図
【図５】本発明の実施例３に係る光学素子の要部断面図
【図６】本発明の実施例４に係る光学系の無限遠物体への合焦状態における断面図
【図７】本発明の参考例１に係る光学素子の要部断面図
【図８】本発明の参考例２に係る光学系の無限遠物体への合焦状態における断面図
【図９】本発明の参考例３に係る光学素子の要部断面図
【図１０】本発明の実施例５に係る光学素子の要部断面図
【図１１】本発明の実施形態に係る光学機器の斜視図
【発明を実施するための形態】
【０００９】
以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、各図面は、便宜的に実際とは異なる縮尺で描かれている場合がある。また、各図面において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明を省略する。
【００１０】
図１（ａ）は、本実施形態に係る光学素子１の光軸を含む断面内における要部概略図（要部断面図）であり、図１（ｂ）は、光学素子１の端部（周辺部）を拡大した拡大図である。
【００１１】
本実施形態に係る光学素子１は、３つの光学要素が接合（一体化）されて構成されている。具体的に、光学素子１は、第１の光学要素１１と、第１の光学要素１１に接合された有機物から成る第２の光学要素１２と、第２の光学要素１２に接合された第３の光学要素１３と、を含んでいる。そして、光学素子１は、光軸を含む断面内において、第１の光学要素１１の最小径をφｈ、各接合面のうち径が最小の接合面の径（接合面の最小径）をφｃ、第２の光学要素１２の最大径をφｒ、とするとき、以下の条件式（１）を満足している。

$$\phi h < \phi c \leqq \phi r \quad \cdots\cdots (1)$$

【００１２】
本実施形態に係る光学素子１は、上記の構成により、小型化及び良好な光学性能を実現しつつ、優れた耐環境性を備えている。光学素子１について、以下に詳細に説明する。
【００１３】
本実施形態における光学要素とは、ガラス等の無機材料やプラスチック（樹脂）等の有機材料などから成り、屈折作用を有する光学部材のことを示している。なお、各光学要素を接合するための接着剤層（接合手段）や、反射防止や接着性向上のための薄膜及び塗布材料など、実質的に屈折力を有さないものについては、本実施形態に係る光学要素には含まれない。図１に示した光学素子１は、３つの光学要素から成る構成を採っているが、第１乃至第３の光学要素を含む３つ以上の光学要素が接合された構成であれば、光学要素の数はこれに限られるものではない。
【００１４】
また、本実施形態における有機物とは、樹脂材料を硬化させたものや、有機材料に無機微粒子を分散させて硬化させたもの（有機複合物）を含む。例えば、有機物として、アクリル、ポリカーボネート、ポリビニルカルバゾールや、それらの混合物、あるいはそれらと他の有機物もしくは無機物を混合させたものを採用することができる。なお、第２の光学要素１２は、互いに異なる有機物から成る複数の光学部材で構成されていてもよい。
【００１５】
光学素子１は、第１の光学要素１１及び第３の光学要素１３を形成する工程と、第１の光学要素１１の光学面上に第２の光学要素１２を形成する工程と、第２の光学要素１２及び第３の光学要素１３の光学面同士を接合する工程と、により製造することができる。このとき、第２の光学要素１２及び第３の光学要素１３は、必要に応じて不図示の接合部材

（接着剤など）を介して接合される。なお、第３の光学要素１３の光学面上に第２の光学要素１２を形成してから第１の光学要素１１に接合する方法や、予め第２の光学要素１２を形成してから第１の光学要素１１及び第３の光学要素１３の夫々に接合する方法などを採用してもよい。

【００１６】

なお、本実施形態における「光学面」とは、各光学要素において連続な曲面（曲率半径が一定の球面又は同一の定義式で定義される非球面）を有する部分を示している。また、本実施形態において、各光学要素の光学面は全て鏡面である。すなわち、各光学要素の保持等のための鏡面ではない面や、光軸を含む断面内において光軸と直交する方向（径方向）における端面などは、光学面に含まれない非光学面である。

【００１７】

本実施形態における「光学要素の径」とは、光軸を含む断面内での径方向における、各光学要素の端部同士の距離（幅）、又はその端部の位置、を示している。すなわち、第１の光学要素１１の最小径φｈは、第１の光学要素１１の径方向における端部同士の距離の最小値を示す。本実施形態において、各光学要素の径の値は、光学面の径の値以上となる。また、本実施形態における「接合面」とは、各光学要素において、接合部材の有無を問わず他の光学要素に接合されている面のことを示している。

【００１８】

本実施形態に係る光学素子１において、各光学要素の形状や材料を適切に設定することにより、小型化及び良好な光学性能を実現することができる。しかし、一般的に、有機物は、ガラス等の無機材料と比較して環境変動により変形し易い。例えば、雰囲気（空気等）の温度が常温に対して大きく変化した高低温環境下においては、有機物から成る光学要素が膨張又は収縮して、その屈折率などの光学特性が変化してしまう。また、高湿度環境下においては、吸水により有機物から成る光学要素の表面形状が変形して、その光学特性が変化してしまう。

【００１９】

このとき、有機物から成る光学要素の厚さを薄くすることにより、その表面が雰囲気に曝される面積を減らして、環境変動の影響を低減する方法も考えられる。しかし、有機物は無機ガラス等と比較して機械強度が弱いため、有機物から成る光学要素を薄く構成した場合、それを鏡筒等で保持する際に変形してしまうこと等が懸念される。

【００２０】

そこで、本実施形態に係る光学素子１は、有機物から成る第２の光学要素１２が有する２つの光学面（入射面及び出射面）の両方を、他の光学要素の光学面に接合した構成を採っている。これにより、第２の光学要素１２の光学面が雰囲気中に曝されることを防ぎ、環境変動による変形を抑制することができ、かつ、第２の光学要素１２の機械強度を保つことができる。

【００２１】

しかしながら、無機ガラス及び有機物の線膨張係数は互いに大きく異なるため、高低温環境下においては、第２の光学要素１２及び他の光学要素が不均一に膨張及び収縮してしまう。これにより、各光学要素が互いに接合されている界面（接合面）において大きな応力が発生して、各光学要素の剥離や割れ等が生じてしまう。このとき、環境温度の変化に伴い各接合面で発生する応力は、その光学要素同士の線膨張係数の差が大きいほど大きく、また、特に各光学要素の端部で顕著に発生する。

【００２２】

そこで、本実施形態に係る光学素子１は、片側の光学面が雰囲気に曝されている第１の光学要素１１のコバ部に、切欠き部（窪み部）１４を設けた構成を採っている。第１の光学要素１１に切欠き部１４を設けることにより、第１の光学要素１１の径が光軸方向において不均一になり、第１の光学要素１１の最大径と最小径とが異なる値になる。これにより、第１の光学要素１１の端部の剛性を小さくすることができ、接合面での応力の発生を抑制することが可能になる。

【００２３】
必要に応じて設けられる切欠き部としては、光軸を含む断面内において、光学面とコバ部との成す角を除き、内角θが９０°を超える頂点を有する形状を採用することができる。例えば、図１に示すようなコバ部に設けられた段付き形状や、溝や窪み（凹部）を含む溝形状、面取り形状やテーパー形状などを採用することができる。ただし、これらの形状に限らず、端部が曲面となるような面取り形状を採用してもよい。
【００２４】
なお、本実施形態に係る光学素子１を製造する際には、各光学要素の光軸方向における位置合わせ（調芯）を行う必要がある。また、調芯の際に精度良く光学要素を保持するためには、コバ部が光軸と略平行な面を有していることが望ましい。よって、光学要素１に切欠き部１４を設ける際には、光軸と略平行な領域を形成することが望ましい。
【００２５】
そして、本実施形態では、第１の光学要素１１の端部に切欠き部１４を設けることにより、条件式（１）の左辺を満たしている。これにより、光学素子１において、各光学要素が接合されている部分の端部の厚さ（剛性）を小さくすることができるため、高低温環境下における各接合面での応力の発生を抑制することが可能になる。一方、条件式（１）の左辺を満たさない場合、各光学要素が接合されている部分の端部の厚さは、切欠き部１４を設けなかった場合と略変わらないため、本発明の効果を得ることができない。
【００２６】
さらに、本実施形態に係る光学素子１は、第２の光学要素１２の端部が第１及び第３の光学要素の間からはみ出した構成を採ることにより、条件式（１）の右辺を満たしている。これにより、各光学要素の接合面が連続な曲面となるように構成することができるため、環境温度の変化時に接合面の一部分に応力が集中することを抑制することが可能になる。一方、条件式（１）の右辺を満たさない場合、径方向において径φｒよりも外側（外周部）では、片側の光学面が雰囲気に曝されている第１及び第３の光学要素が接着部材を介して互いに接合されることになる。そのため、第１及び第３の光学要素の各接合面が径φｒにおいて不連続となり、その部分に大きな応力が発生してしまう。
【００２７】
なお、第２の光学要素１２の最大径φｒは、第１の光学要素１１の外径（非光学面を含めた最大径）に一致する場合がある。また、第１又は第３の光学要素の外径よりも径φｒの方が大きい場合、各接合面のうち径が最大の接合面の径（接合面の最大径）が、第１又は第３の光学要素の外径と等しくなる場合がある。第１の光学要素１１の最小径φｈは、例えば、図１に示すような段付き形状においては最も光軸に近い段同士の距離を示し、溝形状においては溝の底部（頂点）同士の距離を示し、テーパー形状においては最も光軸に近い位置に存在する頂点同士の距離を示す。
【００２８】
ここで、本実施形態に係る光学素子１は、以下の条件式（２）を満足することが望ましい。
０．５＜φｈ／φｒ＜０．９８　　‥‥（２）
【００２９】
第１の光学要素１１について、その端部の角が欠けたり接触時に他部材を傷つけたりすることを防止するために、コバ部に微小な面取りを施す方法等が考えられる。しかし、このような目的で設けられた面取り形状では、上述したような応力の低減効果を十分に得ることができない。よって、条件式（２）の右辺を満足するように、径φｈの値を径φｒに対してある程度小さくすることが望ましい。一方で、径φｈの値を小さくし過ぎると、結像に寄与する有効光束が通過する有効領域を確保するために、各光学要素を径方向に大型化する必要が生じてしまうため、条件式（２）の左辺を満足することが望ましい。
【００３０】
さらに、以下の条件式（２ａ）～（２ｄ）を順に満たしていくことがより好ましい。
０．６＜φｈ／φｒ＜０．９６　　‥‥（２ａ）

０．６５＜φｈ／φｒ＜０．９４　　‥‥（２ｂ）
０．７＜φｈ／φｒ＜０．９３　　‥‥（２ｃ）
０．７５＜φｈ／φｒ＜０．９２　　‥‥（２ｄ）

【００３１】

また、本実施形態に係る光学素子１は、第２の光学要素１２の光軸上及び径φｃにおける光軸方向の厚さを各々ｔｒｃ、ｔｒｅとするとき、以下の条件式（３）又は（４）の何れか一方を満足することが望ましい。

０．０００５＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜０．９５　　‥‥（３）
１．０５＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜１０００　　‥‥（４）

【００３２】

高低温度環境下においては、第２の光学要素１２の光軸方向の厚さの径方向における変化量が大きいほど、各接合面で生じる応力が大きくなり易い。第２の光学要素１２が正の屈折力を有する場合は条件式（３）を、第２の光学要素１２が負の屈折力を有する場合は条件式（４）を、夫々満足することで、各接合面での応力の発生が顕著になるため、条件式（１）を満たすことによる応力低減の効果が大きくなる。

【００３３】

さらに、以下の条件式（３ａ）又は（４ａ）～（３ｄ）又は（４ｄ）を順に満たしていくことがより好ましい。

０．００１＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜０．９０　　‥‥（３ａ）
１．２＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜２０００　　‥‥（４ａ）
０．００４＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜０．８０　　‥‥（３ｂ）
１．５＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜１６００　　‥‥（４ｂ）
０．００８＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜０．６０　　‥‥（３ｃ）
１．８＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜１２００　　‥‥（４ｃ）
０．０１＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜０．５０　　‥‥（３ｄ）
２．０＜ｔｒｅ／ｔｒｃ＜１０００　　‥‥（４ｄ）

【００３４】

上述したように、高低温度環境下においては、各接合面の端部で大きな応力が発生し易いため、その応力の発生を抑制するには、切欠き部１４を設けることで第１の光学要素１１の端部（最大径）における厚さ（剛性）を小さくしすることが望ましい。一方で、第１の光学要素１１の端部における厚さを小さくし過ぎると、第１の光学要素１１の端部における剛性が弱くなり、変形や割れ等が生じることが懸念される。そこで、第１の光学要素１１の最大径及び径φｈにおける光軸方向の厚さを各々ｔｅ、ｔｈ０とするとき、以下の条件式（５）を満足するように切欠き部１４を設けることが望ましい。

０．００５＜ｔｅ／ｔｈ０＜０．９　　‥‥（５）

【００３５】

さらに、以下の条件式（５ａ）～（５ｄ）を順に満たしていくことがより好ましい。

０．０１＜ｔｅ／ｔｈ０＜０．８　　‥‥（５ａ）
０．０５＜ｔｅ／ｔｈ０＜０．７　　‥‥（５ｂ）
０．１＜ｔｅ／ｔｈ０＜０．６　　‥‥（５ｃ）
０．１５＜ｔｅ／ｔｈ０＜０．５　　‥‥（５ｄ）

【００３６】

また、本実施形態に係る光学素子１は、切欠き部１４における内角が９０°を超える頂点（径φｈの位置）と第２の光学要素１２との光軸方向の距離をｔｈとするとき、以下の条件式（６）を満足することが望ましい。

０．００５＜ｔｈ／ｔｈ０＜０．９　　‥‥（６）

【００３７】

条件式（６）の下限を下回ると、切欠き部１４が設けられた第１の光学要素１１の端部における剛性が小さくなり過ぎてしまい、変形や割れ等が生じる可能性があるため好ましくない。条件式（６）の上限を上回ると、切欠き部１４が設けられた第１の光学要素１１

の端部における剛性が大きくなり過ぎてしまい、第１の光学要素１１の歪みにより応力を逃がすことが難しくなる。

【００３８】

さらに、以下の条件式（６ａ）～（６ｄ）を順に満たしていくことがより好ましい。

０．０１＜ｔｈ／ｔｈ０＜０．８　　‥‥（６ａ）

０．０５＜ｔｈ／ｔｈ０＜０．７　　‥‥（６ｂ）

０．１＜ｔｈ／ｔｈ０＜０．６　　‥‥（６ｃ）

０．１５＜ｔｈ／ｔｈ０＜０．５　　‥‥（６ｄ）

【００３９】

また、高低温度環境下における応力の発生を抑制するには、温度変化による各光学要素の膨張及び収縮の度合いを適切に設定することが望ましい。ここで、温度変化による各光学要素の膨張及び収縮の度合いは、各光学要素の光軸方向の厚さと各々を構成する材料のヤング率との積に相関する。そこで、本実施形態に係る光学素子１は、第１及び第２の光学要素を構成する材料のヤング率を［ＧＰａ］単位で表した無次元の数値を各々Ｅｈ、Ｅ２とするとき、以下の条件式（７）を満足することが望ましい。

０．０１＜ｔｒｅ×ｌｏｇＥ２／（ｔｅ×ｌｏｇＥｈ）＜１０　　‥‥（７）

【００４０】

条件式（７）の下限を下回ると、光学素子１の端部において、温度変化による第１の光学要素１１の膨張及び収縮が第２の光学要素１２の膨張及び収縮に対して小さくなり過ぎてしまい、互いの接合面での応力を抑制することが難しくなる。条件式（７）の上限を上回ると、光学素子１の端部において、温度変化による第１の光学要素１１の膨張及び収縮が第２の光学要素１２の膨張及び収縮に対して大きくなり過ぎてしまい、第１の光学要素１１に割れ等が生じることが懸念されるため好ましくない。

【００４１】

さらに、以下の条件式（７ａ）～（７ｃ）を順に満たしていくことがより好ましい。

０．０３＜ｔｒｅ×ｌｏｇＥ２／（ｔｅ×ｌｏｇＥｈ）＜６　　‥‥（７ａ）

０．０４＜ｔｒｅ×ｌｏｇＥ２／（ｔｅ×ｌｏｇＥｈ）＜５　　‥‥（７ｂ）

０．０４＜ｔｒｅ×ｌｏｇＥ２／（ｔｅ×ｌｏｇＥｈ）＜４　　‥‥（７ｃ）

【００４２】

なお、温度変化による各光学要素の膨張及び収縮の度合いは、各光学要素の光軸方向の厚さと各々を構成する材料の線膨張係数との積にも相関するため、条件式（７）におけるヤング率を線膨張係数に置き換えて考えることができる。すなわち、本実施形態に係る光学素子１は、第１及び第２の光学要素を構成する材料の線膨張係数を［１０$^{-7}$／℃］単位で表した無次元の数値を各々αｈ、α２とするとき、以下の条件式（８）を満足することが望ましい。

０．０１＜ｔｒｅ×ｌｏｇα２／（ｔｅ×ｌｏｇαｈ）＜１０　　‥‥（８）

【００４３】

さらに、以下の条件式（８ａ）～（８ｃ）を順に満たしていくことがより好ましい。

０．０３＜ｔｒｅ×ｌｏｇα２／（ｔｅ×ｌｏｇαｈ）＜６　　‥‥（８ａ）

０．０４＜ｔｒｅ×ｌｏｇα２／（ｔｅ×ｌｏｇαｈ）＜５　　‥‥（８ｂ）

０．０４＜ｔｒｅ×ｌｏｇα２／（ｔｅ×ｌｏｇαｈ）＜４　　‥‥（８ｃ）

【００４４】

なお、本実施形態においては、第１の光学要素１１のみに切欠き部１４を設けているが、必要に応じて、第３の光学要素１３のみに切欠き部を設けたり、第１及び第３の光学要素の両方に切欠き部を設けたりしてもよい。第３の光学要素１３に切欠き部を設ける場合は、第３の光学要素１３の最小径をφｈ′とするとき、以下の条件式（１ａ）を満足するように構成すればよい。

φｈ′＜φｃ≦φｒ　　‥‥（１ａ）

【００４５】

すなわち、第１及び第３の光学要素の少なくとも一方に切欠き部を設け、条件式（１）

及び（１ａ）の少なくとも一方を満足するように構成しさえすれば、本発明の効果を得ることができる。ここで、負の屈折力を有する光学要素においては、光軸上での厚さよりも端部での厚さの方が大きくなるため、相対的に端部での剛性が大きくなる。よって、接合面における応力の発生を抑制するためには、本実施形態のように、負の屈折力を有する光学要素に切欠き部を設けることが望ましい。

【００４６】

以上、本実施形態に係る光学素子１によれば、耐環境性、小型化、及び良好な光学性能を実現することができる。次に、光学素子１の実施例について詳細に説明する。

【００４７】

［実施例１］

以下、本発明の実施例１に係る光学素子１について詳細に説明する。本実施例に係る光学素子１の構成は、上述した実施形態に係る構成と同様である。

【００４８】

本実施例において、第１の光学要素１１及び第３の光学要素１３は、無機ガラスから成り、互いに符号が異なる屈折力を有する光学要素である。第１の光学要素１１は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＴＩＨ１０から成り、負の屈折力を有している。第３の光学要素１３は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＢＳＭ１４から成り、正の屈折力を有している。また、第２の光学要素１２は、ＵＶ硬化樹脂から成り、正の屈折力を有するメニスカス形状の光学要素である。第２の光学要素１２の光軸方向の厚さは、光軸上から端部に向かって減少している。

【００４９】

第１の光学要素１１と第２の光学要素１２とは、第１の光学要素１１の最大径以内の領域で接合されており、第１の光学要素１１と第２の光学要素１２との第１の接合面の径は、第１の光学要素１１の最大径に一致する。また、第２の光学要素１２と第３の光学要素１３とは、第２の光学要素１２の最大径φｒ以内の領域で接合されており、第２の光学要素１２と第３の光学要素１３との第２の接合面の径は、第２の光学要素１２の最大径φｒに一致する。

【００５０】

このとき、第２の光学要素１２の最大径φｒよりも第１の光学要素１１の最大径の方が小さいため、接合面の最小径φｃは第１の接合面の径となる。このように、φｃ＜φｒなる条件を満たすように構成することにより、各接合面が連続な曲面となるため、第２の光学要素１２の端部において光が屈折、反射、散乱して不要光となってしまうことを抑制することができる。

【００５１】

さらに、本実施例では、負の屈折力を有する第１の光学要素１１の端部に、切欠き部１４として段付きを設けることにより、第１の光学要素１１の最小径φｈが接合面の最小径φｃよりも小さくなるように構成している。このように、φｈ＜φｃなる条件を満たすように構成することにより、第１の光学要素１１の端部の剛性を相対的に小さくすることができ、高低温環境下における各接合面での応力の発生を抑制することが可能になる。なお、第１の光学要素１１の最端面を光軸と平行な面とすることにより、第１の光学要素１１の調芯時の保持を容易にすることができる。

【００５２】

ここで、本実施例に係る光学素子１の効果を説明するために、図２に示すような比較例に係る光学素子Ｃ１について考える。比較例に係る光学素子Ｃ１は、第１の光学要素Ｃ１１に切欠き部が設けられていないという点を除いて、本実施例に係る光学素子１と同様の構成である。図２に示す通り、第１の光学要素Ｃ１１の最小径φｈは接合面の最小径φｃと等しいため、比較例に係る光学素子Ｃ１は条件式（１）を満足していない。

【００５３】

図３は、本実施例に係る第１の光学要素１１と第２の光学要素１２との接合面及び比較例に係る第１の光学要素Ｃ１１と第２の光学要素Ｃ１２との接合面における、光軸方向の応力と径方向の位置との関係を示す図である。ここでは、有限要素法を用いて、常温から

＋４０℃の温度変化が生じた際に発生する応力を算出している。図３において、実線は本実施例に対応し、破線は比較例に対応しており、応力が正の値を採る場合は引張応力を示し、負の値を採る場合は圧縮応力を示している。

【００５４】

図３に示す通り、本実施例に係る応力の値は、第１の光学要素１１の最小径φｈの前後において急に変化しており、接合面の最小径φｃにおいては比較例に係る応力の値と比較して４１％小さくなっている。これより、第１の光学要素１１に切欠き部１４を設けることで、接合面における応力の発生を抑制可能であるということがわかる。

【００５５】

［実施例２］

図４は、実施例１に係る光学素子１を有する、実施例２に係る光学系２の要部断面図である。図４において、ＩＰは像面を示し、ＯＡは光軸を示し、ＳＰは開口絞りを示し、矢印は、無限遠から近距離へのフォーカシングに際する、各レンズユニット及び開口絞りＳＰの光軸方向の移動軌跡を示している。

【００５６】

本実施例に係る光学系２は、物体側から像側へ順に配置される、正の屈折力の第１レンズユニット（レンズ群）Ｌ１、正の屈折力の第２レンズユニットＬ２、正の屈折力の第３レンズユニットＬ３、から構成される。第２レンズユニットＬ２は、実施例１に係る光学素子１を含んでおり、その光学素子１は、第２の光学要素１２の凸面が像側に向くように配置されている。光学系２において、各レンズユニットの間隔は、フォーカシングに際して変化する。

【００５７】

光学素子１において、ＵＶ硬化樹脂から成る第２の光学要素１２は異常部分分散性を有しており、そのｇ線及びＦ線に関する部分分散比θｇＦは一般的なガラス材料と比較して大きい。光学系２は、このような異常部分分散性を有する光学素子１を採用することにより、軸上色収差及び倍率色収差を良好に補正することができる。

【００５８】

また、光学素子１において、第３の光学要素１３の最大径は、第２の光学要素１２及び第１の光学要素１１の最大径よりも大きい。よって、光学系２において、鏡筒等の保持手段により光学素子１を保持（固定）する際に、第３の光学要素１３のみを介して保持することができるため、温度変化により各光学要素が膨張及び収縮した際の光学面の歪を抑制することが可能になる。

【００５９】

なお、本実施例では、第３の光学要素１３のみを介して光学素子１を保持する構成を採っているが、第１の光学要素１１及び第３の光学要素１３の少なくとも一方を介して保持する構成であれば、これに限られるものではない。本実施例に係る光学系２は、各光学面の曲率中心及び像面の中心位置が光軸上に配置された共軸系であるが、必要に応じて光学系２を非共軸系としてもよい。また、本実施例に係る光学系２は、光学素子１を１つのみ有する構成を採っているが、これに限らず、光学素子１を複数有する構成を採ってもよい。このとき、条件式（１）を満足する光学素子であれば、光学素子１の代わりにそれを採用してもよい。

【００６０】

［実施例３］

図５（ａ）は、本発明の実施例３に係る光学素子３の要部断面図であり、図５（ｂ）は、光学素子３の端部を拡大した拡大図である。本実施例に係る光学素子３は、実施例１に係る光学素子１と同様に３つの光学要素が接合されて構成されているが、各光学要素の材料及び形状は光学素子１とは異なる。

【００６１】

本実施例において、第１の光学要素３１は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＴＩＨ１から成り、物体側に凹面を向けた負のメニスカス形状の光学要素である。第３の光学要素３３は、ＯＨ

ＡＲＡ社のＳ－ＬＡＬ７から成り、正の屈折力を有する両凸形状の光学要素である。また、第２の光学要素３２は、ＰＭＭＡにＩＴＯ（Ｉｎｄｉｕｍ－Ｔｉｎ－Ｏｘｉｄｅ）微粒子を体積比１５％で分散させた混合体から成り、負の屈折力を有する両凹形状の光学要素である。なお、第２の光学要素３２の光軸方向の厚さは、光軸上から端部に向かって増加している。

【００６２】

本実施例においても、実施例１と同様に、負の屈折力を有する第１の光学要素３１の端部に切欠き部３４を設けている。なお、本実施例では、切欠き部３４として、実施例１で示したような段付き形状と溝形状とが合わさった形状を採用している。そして、本実施例に係る光学素子３は、実施例１に係る光学素子１と同様に、条件式（１）を満たしているため、接合面での応力の発生を抑制することを可能にしている。

【００６３】

［実施例４］

図６は、実施例３に係る光学素子３を有する、実施例４に係る光学系４の要部断面図である。図６中の矢印は、無限遠から近距離へのフォーカシングに際する、各レンズユニット及び開口絞りＳＰの光軸方向の移動軌跡を示している。本実施例に係る光学系４において、実施例２に係る光学系２と同等の構成については、説明を省略する。

【００６４】

本実施例に係る光学系２は、物体側から像側へ順に配置される、正の屈折力の第１レンズユニットＬ１、正の屈折力の第２レンズユニットＬ２、正の屈折力の第３レンズユニットＬ３、から構成される。第３レンズユニットＬ３は、実施例３に係る光学素子３を含んでいる。光学系４において、各レンズユニットの間隔は、フォーカシングに際して変化する。

【００６５】

光学素子３において、ＰＭＭＡ及びＩＴＯ微粒子の混合体から成る第２の光学要素３２は異常部分分散性を有しており、そのｇ線及びＦ線に関する部分分散比θｇＦは一般的なガラス材料と比較して小さい。光学系４は、このような異常部分分散性を有する光学素子３を採用することにより、軸上色収差及び倍率色収差を良好に補正することができる。

【００６６】

［参考例１］

図７（ａ）は、本発明の参考例１に係る光学素子５の要部断面図であり、図７（ｂ）は、光学素子５の端部を拡大した拡大図である。本参考例に係る光学素子５では、実施例１及び３に係る光学素子１及び３とは異なり、有機物から成る第２の光学要素５２が２つの光学部材から成る構成を採っている。

【００６７】

本参考例において、第１の光学要素５１は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＴＩＨ５３から成り、物体側に凸面を向けた負のメニスカス形状の光学要素である。第３の光学要素５３は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＦＳＬ５から成り、正の屈折力を有する両凸形状の光学要素である。そして、第２の光学要素５２は、ＵＶ硬化樹脂から成る第１の光学部材５２ａと、ＰＭＭＡにＩＴＯ微粒子を体積比１０％で分散させた混合体から成る第２の光学部材５２ｂと、の２つの光学部材で構成される。

【００６８】

また、第１の光学部材５２ａは、物体側に凸面を向けた正のメニスカス形状の光学部材であり、その光軸方向の厚さは、光軸上から端部に向かって減少している。また、第２の光学部材５２ｂは、物体側に凸面を向けた負のメニスカス形状の光学部材であり、その光軸方向の厚さは、光軸上から端部に向かって増加している。

【００６９】

本参考例においても、実施例１及び３と同様に、負の屈折力を有する第１の光学要素５１の端部に切欠き部５４を設けている。なお、本参考例では、実施例３と同様に、切欠き部５４として、段付き形状と溝形状とが合わさった形状を採用している。そして、本参考

例に係る光学素子５は、条件式（１）を満たしているため、接合面での応力の発生を抑制することを可能にしている。

【００７０】

なお、本参考例においては、第２の光学要素５２が２つの光学部材から成る構成を採っているが、必要に応じて、第２の光学要素５２が３つ以上の光学部材から成る構成を採用してもよい。また、必要に応じて、第２の光学要素５２を構成する光学部材同士の境界面に回折格子を形成してもよい。

【００７１】

［参考例２］

図８は、参考例１に係る光学素子５を有する、参考例２に係る光学系６の要部断面図である。図８において、ＦＣはフレアカット絞りを示している。図８中の矢印は、広角端から望遠端へのズーミングに際する、各レンズユニットの光軸方向の移動軌跡を示している。本参考例に係る光学系６において、実施例２及び４に係る光学系２及び４と同等の構成については、説明を省略する。

【００７２】

本参考例に係る光学系６は、物体側から像側へ順に配置される、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、正の屈折力の第３レンズユニットＬ３、正の屈折力の第４レンズユニットＬ４、から構成される。第１レンズユニットＬ１は、参考例１に係る光学素子５を含んでいる。光学系６において、ズーミングを行う際には、各レンズユニットの間隔が変化し、フォーカシングを行う際には、第４レンズユニットＬ４の光軸方向の位置が変化する。

【００７３】

光学素子５において、第２の光学要素５２は異常部分分散性を有している。ＵＶ硬化樹脂から成る第１の光学部材５２ａのｇ線及びＦ線に関する部分分散比θｇＦは、一般的なガラス材料と比較して大きい。ＰＭＭＡ及びＩＴＯ微粒子の混合体から成る第２の光学部材５２ｂのｇ線及びＦ線に関する部分分散比θｇＦは、一般的なガラス材料と比較して小さい。光学系６は、このような異常部分分散性を有する光学素子５を採用することにより、軸上色収差及び倍率色収差を良好に補正することができる。

【００７４】

また、光学素子５において、第１の光学要素５１の最大径は、第２の光学要素５２及び第３の光学要素５３の最大径よりも大きい。よって、光学系６において、鏡筒等の保持手段により光学素子５を保持する際に、第１の光学要素５１のみを介して保持することができるため、温度変化により各光学要素が膨張及び収縮した際の光学面の歪を抑制することが可能になる。なお、本参考例では、第１の光学要素５１のみを介して光学素子５を保持する構成を採っているが、第１の光学要素５１及び第３の光学要素５３の少なくとも一方を介して保持する構成であれば、これに限られるものではない。

【００７５】

［参考例３］

図９（ａ）は、本発明の参考例３に係る光学素子７の要部断面図であり、図９（ｂ）は、光学素子７の端部を拡大した拡大図である。本参考例に係る光学素子７は、実施例１に係る光学素子１と同様に３つの光学要素が接合されて構成されているが、各光学要素の材料及び形状は光学素子１とは異なる。

【００７６】

本参考例において、第１の光学要素７１は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＴＩＨ１０から成り、負の屈折力を有する両凹形状の光学要素である。第３の光学要素７３は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＢＳＭ１４から成り、正の屈折力を有する両凸形状の光学要素である。また、第２の光学要素７２は、ＵＶ硬化樹脂から成り、物体側に凹面を向けた正の屈折力を有するメニスカス形状の光学要素である。なお、第２の光学要素７２の光軸方向の厚さは、光軸上から端部に向かって減少している。

【００７７】

本参考例においても、実施例１と同様に、負の屈折力を有する第１の光学要素７１の端部に切欠き部７４を設けている。なお、本参考例では、実施例１とは異なり、切欠き部７４としてＶ溝を設けている。そして、本参考例に係る光学素子７は、実施例１に係る光学素子１と同様に、条件式（１）を満たしているため、接合面での応力の発生を抑制することを可能にしている。

【００７８】

［実施例５］

図１０（ａ）は、本発明の実施例５に係る光学素子８の要部断面図であり、図１０（ｂ）は、光学素子８の端部を拡大した拡大図である。本実施例に係る光学素子８は、実施例１に係る光学素子１と同様に３つの光学要素が接合されて構成されているが、各光学要素の材料及び形状は光学素子１とは異なる。

【００７９】

本実施例において、第１の光学要素８１は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＴＩＨ１０から成り、負の屈折力を有する両凹形状の光学要素である。第３の光学要素８３は、ＯＨＡＲＡ社のＳ－ＢＳＭ１４から成り、正の屈折力を有する両凸形状の光学要素である。また、第２の光学要素８２は、ＵＶ硬化樹脂から成り、物体側に凹面を向けた正の屈折力を有するメニスカス形状の光学要素である。なお、第２の光学要素８２の光軸方向の厚さは、光軸上から端部に向かって減少している。

【００８０】

本実施例においても、実施例１と同様に、負の屈折力を有する第１の光学要素８１の端部に切欠き部８４を設けている。なお、本実施例では、実施例１とは異なり、切欠き部８４としてテーパー形状を採用している。本実施例においては、テーパー形状のテーパー角度（光軸との成す角度）を２１度に設定している。そして、本実施例に係る光学素子８は、実施例１に係る光学素子１と同様に、条件式（１）を満たしているため、接合面での応力の発生を抑制することを可能にしている。

【００８１】

なお、上述した各実施例において、第２の光学要素の材料として、固体材料に無機酸化物（例えばTiO_2やＩＴＯなど）の微粒子を混合した材料を用いる場合は、無機酸化物の微粒子によって光が散乱してしまうことを抑制する必要がある。そのためには、微粒子の粒径を２ｎｍから５０ｎｍの範囲内に設定することが好ましい。また、固体材料に無機酸化物の微粒子を混合する際の凝集を抑制するために、分散剤等を添加してもよい。

【００８２】

ここで、固体材料（母材）に微粒子を分散させた混合体において、波長λに対する屈折率ｎ（λ）は、Ｍａｘｗｅｌｌ－Ｇａｒｎｅｔ理論に基づく関係式から導き出すことができる。具体的に、屈折率ｎ（λ）は、固体材料の比誘電率をεｍ、微粒子の比誘電率をεｐ、固体材料の体積に対する微粒子の総体積の分率をη、とするとき、以下の式（９）で定義される混合体の比誘電率εａｖに基づいて、以下の式（１０）のように表される。

【００８３】

【数１】

$$\varepsilon_{av}=\left[1+\frac{3\eta\left(\frac{\varepsilon_p-\varepsilon_m}{\varepsilon_p+2\varepsilon_m}\right)}{1-\eta\left(\frac{\varepsilon_p-\varepsilon_m}{\varepsilon_p+2\varepsilon_m}\right)}\right] \quad \cdots (9)$$

【００８４】

【数２】

$$n(\lambda)=\sqrt{\varepsilon_{av}(\lambda)} \quad \cdots (10)$$

【００８５】
表１に、上述した各実施例及び各参考例に係る光学素子についての、諸数値及び条件式（１）乃至（８）の中辺の値を示す。
【００８６】
【表１】

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	参考例1		参考例2		参考例3	実施例5
φh	32.0	32.0	29.0	29.0	31		31		32.0	32.0
φc	35.0	35.0	31.5	31.5	31		31		35.0	35.0
φr	35.8	35.8	33.0	33.0	32		32		35.8	35.8
trc	1.00	1.00	0.05	0.05	0.95	0.05	0.95	0.05	1.00	1.00
tre	0.12	0.12	1.11	1.11	0.15	0.48	0.15	0.48	0.12	0.12
th	1.75	1.75	0.84	0.84	1.08		1.08		0.86	7.13
th0	7.75	7.75	6.12	6.12	3.85		3.85		7.75	7.13
te	2.34	2.34	0.80	0.80	1.20		1.20		1.45	0.84
θ	270	270	300	300	300		300		300	111
α1	62	62	82	82	88		88		62	62
α2	720	720	946	946	720	946	720	946	720	720
α3	80	80	57	57	90		90		80	80
E1	84.9	84.9	88.4	88.4	96.0		96.0		84.9	84.9
E2	4.3	4.3	1.8	1.8	4.3	1.8	4.3	1.8	4.3	4.3
E3	102.4	102.4	111.8	111.8	62.3		62.3		102.4	102.4
φh/φr	0.89	0.89	0.88	0.88	0.97		0.97		0.89	0.89
tre/trc	0.12	0.12	22.29	22.29	0.16		0.16		0.12	0.12
te/th0	0.30	0.30	0.13	0.13	0.31		0.31		0.19	0.12
th/th0	0.23	0.23	0.14	0.14	0.28		0.28		0.11	1.00
tre×logE2/(te×logEh)	0.046	0.046	1.176	1.176	0.110	0.338	0.110	0.338	0.074	0.127
tre×logα2/(te×logαh)	0.042	0.042	1.102	1.102	0.103	0.320	0.103	0.320	0.069	0.118

【００８７】
また、表２に、各実施例及び各参考例に係る第２の光学要素の物性値を示す。
【００８８】
【表２】

	UV硬化樹脂	PMMA	ITO	ITO10%−PMMA混合物	ITO15%−PMMA混合物
Nd	1.6356	1.4917	1.8571	1.5265	1.5440
Ng	1.6753	1.5025	1.9924	1.5482	1.5713
NC	1.6281	1.4892	1.7979	1.5188	1.5338
NF	1.6560	1.4977	1.9487	1.5401	1.5614
νd	22.78	57.44	5.69	24.78	19.65
θgd	1.423	1.257	0.898	1.020	0.984
θgF	0.692	0.554	0.290	0.382	0.355
E[GPa]	4.30	1.75	−	1.75	1.75
α[10^{-7}/℃]	720	946	−	946	946
ポアソン比	0.35	0.42	−	0.42	0.42
比重[g/cm^3]	1.36	1.24	−	1.24	1.24

【００８９】
次に、上述した各実施例及び各参考例の夫々に対応する各数値実施例及び各数値参考例において、具体的な数値データを示す。ただし、各数値実施例及び各数値参考例において、ｍは光入射側から数えた面の番号を示し、ｒｍは第ｍ番目の光学面（第ｍ面）の曲率半径を示し、ｄｍは第ｍ面と第（ｍ＋１）面との間の軸上間隔（光軸上の距離）、を示す。また、ｎｄｍ及びνｄｍの夫々は第ｍ番目の光学部材のｄ線に対する屈折率及びアッベ数を示す。ここでは、フラウンホーファー線のＦ線（４８６．１ｎｍ）、ｄ線（５８７．６ｎｍ）、Ｃ線（６５６．３ｎｍ）に対する屈折率を各々ＮＦ、Ｎｄ、ＮＣとし、ｄ線に関するアッベ数νｄを以下の式（１１）のように定義する。

$$\nu d = (Nd - 1) / (NF - NC) \quad \cdots\cdots (11)$$

【００９０】
なお、各数値実施例及び各数値参考例において、非球面形状の光学面については、面番号の後に＊（アスタリスク）の符号を付加している。また、各非球面係数における「ｅ±ＸＸ」は「×１０$^{\pm XX}$」を意味している。光学面の非球面形状は、光軸方向における面頂点からの変位量をＸ、光軸方向に垂直な方向における光軸からの高さをｈ、近軸曲率半径をｒ、円錐定数をｋ、非球面係数をＢ，Ｃ，Ｄ，Ｅ…、とするとき、以下の式（１２）

により表される。

【００９１】

【数３】

$$x=\frac{h^2/r}{1+\sqrt{1-(1+k)(h/r)^2}}+Bh^4+Ch^6+Dh^8+Eh^{10}+\ldots$$

・・・（１２）

【００９２】

（数値実施例１）

面番号	r	d	nd	vd	物体側有効径	像側有効径
1	333.607	4.76	1.60311	60.6	-	38.00
2	-61.478	1.00	1.63556	22.4	38.00	35.80
3	-45.844	1.59	1.72825	28.5	35.80	35.00
4	32.360				28.40	-

【００９３】

（数値実施例２）

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	72.080	2.65	1.58313	59.4	50.00
2*	25.512	13.45			41.33
3	-96.609	2.50	1.48749	70.2	40.75
4	66.944	3.13			39.59
5	175.419	5.63	1.91082	35.3	39.68
6	-77.862	3.86			39.54
7	-44.606	2.30	1.69895	30.1	38.10
8	-178.782	0.15			38.34
9	62.257	8.11	1.59522	67.7	38.01
10	-59.637	(可変)			37.40
11	48.797	4.61	2.00100	29.1	35.03
12	9939.838	1.32			34.39
13	333.607	4.76	1.60311	60.6	32.67
14	-61.478	1.00	0.00000	0.0	31.18
15	-45.844	1.59	1.72825	28.5	30.99
16	32.360	(可変)			27.20
17(絞り)	∞	7.17			26.60
18	-21.286	1.40	1.69895	30.1	25.93
19	177.619	4.21	1.59522	67.7	28.93
20	-52.749	0.15			29.70
21	97.355	7.19	1.59522	67.7	31.37
22	-35.549	0.15			32.12
23*	-158.409	4.26	1.85400	40.4	33.44
24	-43.693	(可変)			34.50
像面	∞				

非球面データ

第2面

K=0.00000e+000 B=-1.26283e-006 C=-4.27073e-009 D= 5.04254e-012 E=-1.12945e-014

第23面

K =0.00000e+000 B=-6.35905e-006 C=-4.47403e-010 D=-4.21764e-012 E=2.36025e-015

各種データ

焦点距離 34.30

Fナンバー	1.45
画角	32.24
像高	21.64
レンズ全長	131.15
BF	39.00

物体距離	無限遠	1750	300
d10	7.06	6.32	0.80
d18	5.50	5.50	5.50
d26	39.00	39.74	45.26

【００９４】

（数値実施例３）

面番号	r	d	nd	vd	物体側有効径	像側有効径
1	-20.859	1.40	1.71736	29.5	-	26.90
2	-526.799	0.05	1.54402	19.7	31.50	33.00
3	150.060	5.37	1.69680	55.5	33.00	35.00
4	-49.018				35.00	

【００９５】

（数値実施例４）

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	55.052	1.39	1.58313	59.4	50.00
2*	25.148	13.72			42.43
3	-106.406	2.03	1.51633	64.1	42.14
4	50.816	3.68			40.61
5	113.354	6.23	1.91082	35.3	40.83
6	-89.012	7.06			40.66
7	-44.957	2.03	1.69895	30.1	37.20
8	-336.413	0.17			37.42
9	69.607	8.37	1.59522	67.7	37.46
10	-50.652	(可変)			37.88
11	43.189	5.19	2.00100	29.1	35.48
12	1039.705	0.14			34.68
13	78.829	5.45	1.59522	67.7	32.76
14	-62.807	1.54	1.85026	32.3	31.30
15	28.545	(可変)			27.08
16(絞り)	∞	7.24			26.48
17	-20.859	1.40	1.71736	29.5	25.82
18	-526.799	0.05	1.54402	19.6	28.63
19	150.060	5.37	1.69680	55.5	29.15
20	-49.018	0.15			30.23
21	122.455	6.57	1.65160	58.5	31.49
22	-37.407	0.19			32.50
23*	-82.464	3.70	1.85400	40.4	33.20
24	-40.578	(可変)			34.31
像面	∞				

非球面データ

第2面

K=0.00000e+000 B=-1.17609e-006 C=-3.67097e-009 D=4.77220e-012 E=-1.15057e-014

第24面

K=0.00000e+000 B=-6.57816e-006 C=-1.77654e-010 D=-5.21093e-012 E=4.55629e-015

各種データ

焦点距離	34.30		
Fナンバー	1.45		
画角	32.24		
像高	21.64		
レンズ全長	133.69		
BF	39.00		
物体距離	無限遠	1750	300
d10	7.10	6.36	0.80
d15	5.92	5.92	5.92
d24	39.00	39.74	45.30

【００９６】

（数値参考例１）

面番号	r	d	nd	vd	物体側有効径	像側有効径
1	64.220	1.75	1.84666	23.8	-	32.50
2	29.865	0.01	1.52144	46.6	34.50	30.90
3	29.865	0.94	1.63556	22.8	30.90	31.50
4	35.779	0.05	1.52651	24.8	31.50	31.50
5	32.261	5.30	1.48749	70.2	31.50	33.00
6	-1189.473	0.10			33.00	-

【００９７】

（数値参考例２）

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	64.220	1.75	1.84666	23.8	32.00
2	29.865	0.01	1.52144	46.6	29.84
3	29.865	0.94	1.63556	22.8	29.84
4	35.779	0.05	1.52651	24.8	29.78
5	32.261	5.30	1.48749	70.2	29.66
6	-1189.473	0.10			29.22
7	32.482	3.23	1.77250	49.6	28.20
8	140.080	(可変)			27.86
9	51.133	0.90	1.88300	40.8	16.81
10	8.275	3.81			12.93
11	-38.963	0.75	1.60738	56.8	12.89
12	21.403	1.00			12.75
13	15.132	1.84	1.92286	18.9	13.20
14	36.354	(可変)			12.92
15(絞り)	∞	(可変)			6.29
16*	7.801	2.27	1.55880	62.5	7.38
17	268.502	2.06			7.12
18	20.932	0.70	1.80610	33.3	6.94
19	7.517	0.62			6.71
20	34.492	1.46	1.56873	63.1	6.71
21	-61.306	(可変)			6.99
22	∞	(可変)			7.85
23	16.816	2.59	1.72916	54.7	9.33
24	-10.631	0.80	1.73800	32.3	9.16
25	1995.188	(可変)			9.00
像面	∞				

非球面データ

第16面

K=-4.19230e-001 B=-5.01477e-005 C=-1.48975e-006 D=1.05713e-007 E=-3.27034e-009
各種データ
ズーム比 11.59

	広角	中間	望遠
焦点距離	6.15	20.45	71.28
Fナンバー	2.88	3.62	3.44
画角	30.09	9.89	2.86
像高	3.56	3.56	3.56
レンズ全長	81.87	85.95	87.02
BF	12.65	16.24	11.72
d 8	1.68	18.58	31.68
d14	26.21	12.62	1.42
d15	7.07	2.00	2.00
d21	1.10	2.77	4.09
d22	2.99	3.56	5.93
d25	12.65	16.24	11.72

【００９８】
（数値参考例３）

面番号	r	d	nd	vd	物体側有効径	像側有効径
1	333.607	4.76	1.60311	60.6	-	38.00
2	-61.478	1.00	1.63556	22.4	38.00	35.80
3	-45.844	1.59	1.72825	28.5	35.80	35.00
4	32.360				28.40	-

【００９９】
（数値実施例５）

面番号	r	d	nd	vd	物体側有効径	像側有効径
1	333.607	4.76	1.60311	60.6	-	38.00
2	-61.478	1.00	1.63556	22.4	38.00	35.80
3	-45.844	1.59	1.72825	28.5	35.80	35.00
4	32.360				28.40	-

【０１００】
［光学機器］
図１１は、本発明の実施形態に係る光学機器としての撮像装置（デジタルスチルカメラ）の要部概略図である。本実施形態に係る撮像装置は、カメラ本体９０と、上述した各実施例のいずれかに係る光学素子を有する撮影光学系９１と、撮影光学系９１からの光を受光し、撮影光学系９１によって形成される被写体像を光電変換する受光素子（撮像素子）９２と、を備える。
【０１０１】
本実施形態に係る撮像装置によれば、上述した各実施例のいずれかに係る光学素子を採用することにより、高い光学性能を得ることができ、高画質な画像を取得することが可能になる。なお、受光素子９２としては、ＣＣＤセンサやＣＭＯＳセンサ等の固体撮像素子（電子撮像素子）を用いることができる。このとき、受光素子９２により取得された画像の歪曲収差や色収差等の諸収差を電気的に補正することにより、出力画像を高画質化することが可能になる。
【０１０２】
なお、上述した各実施例に係る光学素子は、図１１に示したデジタルスチルカメラに限らず、銀塩フィルム用カメラやビデオカメラ、望遠鏡、双眼鏡、プロジェクター、デジタル複写機等の種々の光学機器に適用することができる。
【０１０３】
以上、本発明の好ましい実施形態及び実施例について説明したが、本発明はこれらの実

施形態及び実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の組合せ、変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【０１０４】

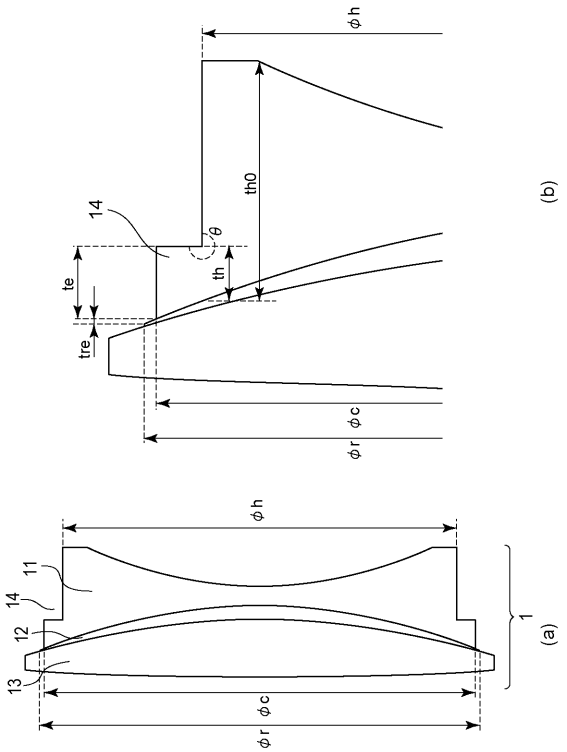
１　光学素子

１１　第１の光学要素

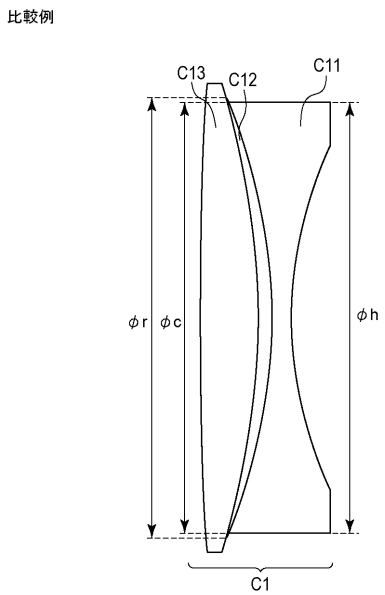
１２　第２の光学要素

１３　第３の光学要素

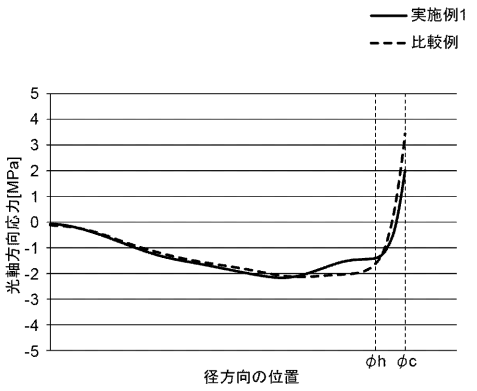
【図１】



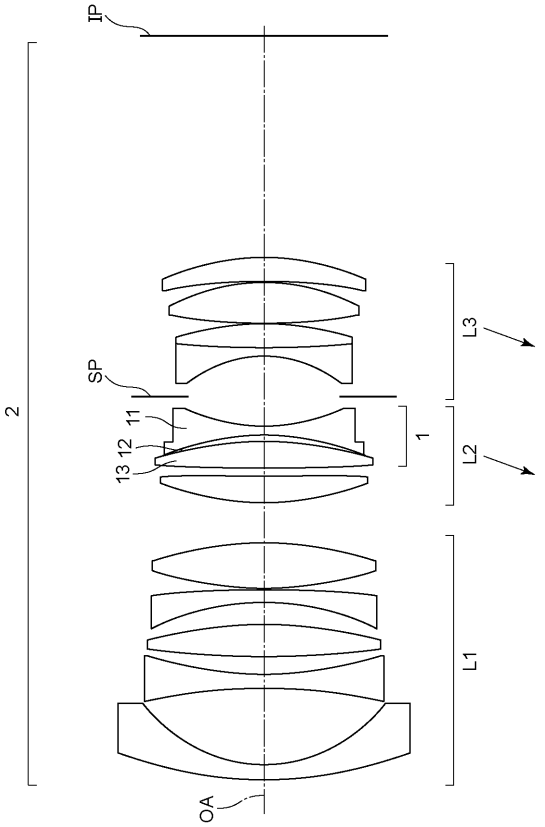
【図２】



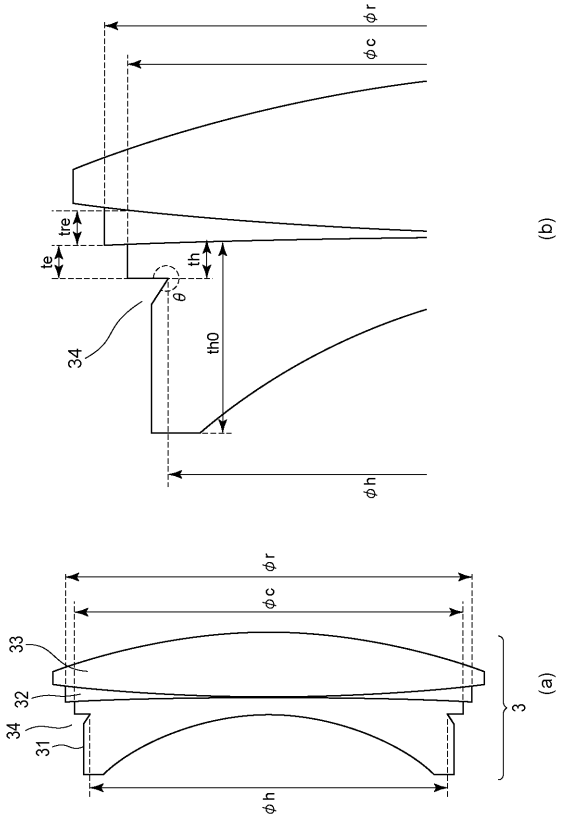
【図３】


実施例1
比較例
光軸方向応力[MPa]
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
径方向の位置
ϕh
ϕc

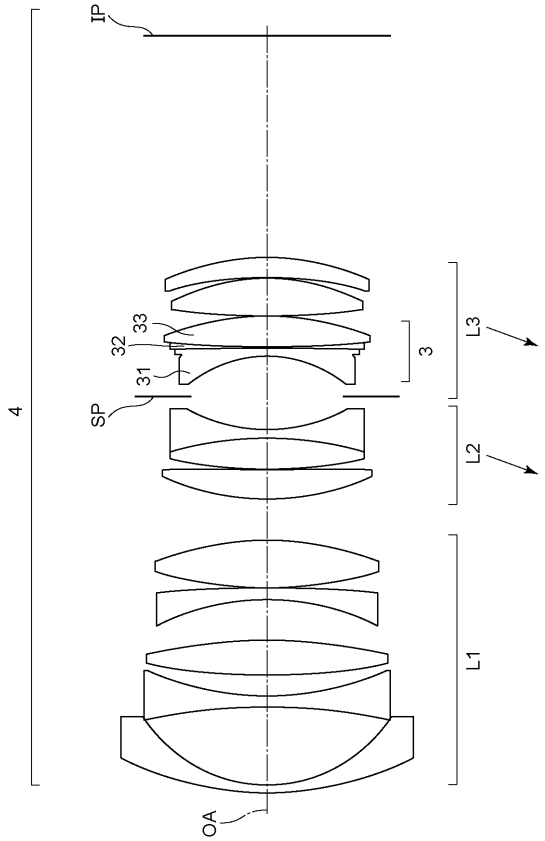
【図４】


IP
2
SP
11
12
13
1
L3
L2
L1
OA

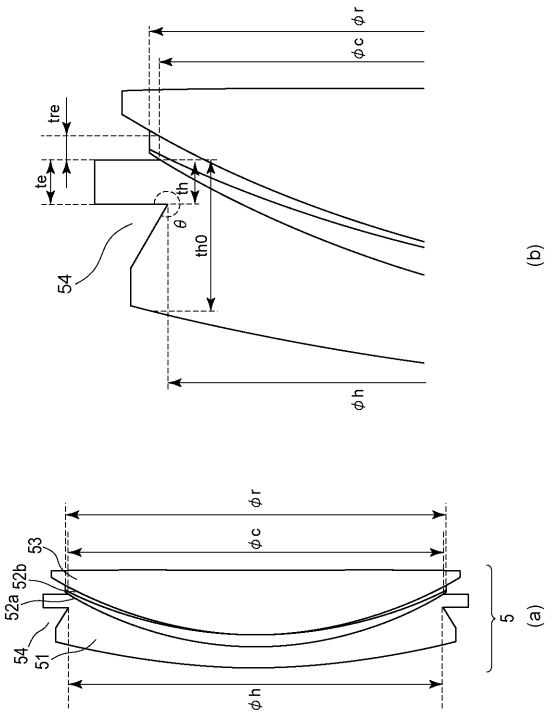
【図５】


ϕr
ϕc
tre
te
th
θ
34
th0
ϕh
(b)
ϕr
ϕc
33
32
34
31
3
ϕh
(a)

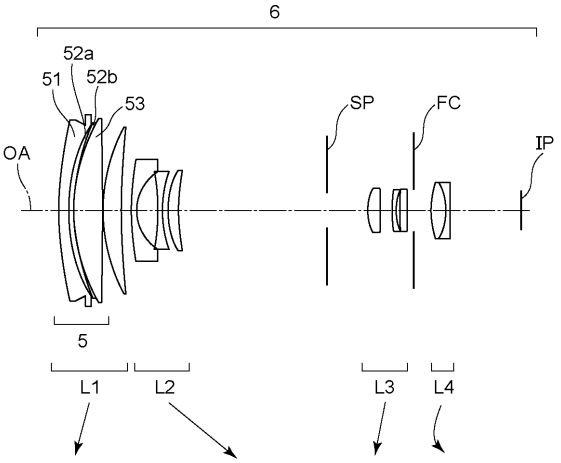
【図６】


IP
4
SP
33
32
31
3
L3
L2
L1
OA

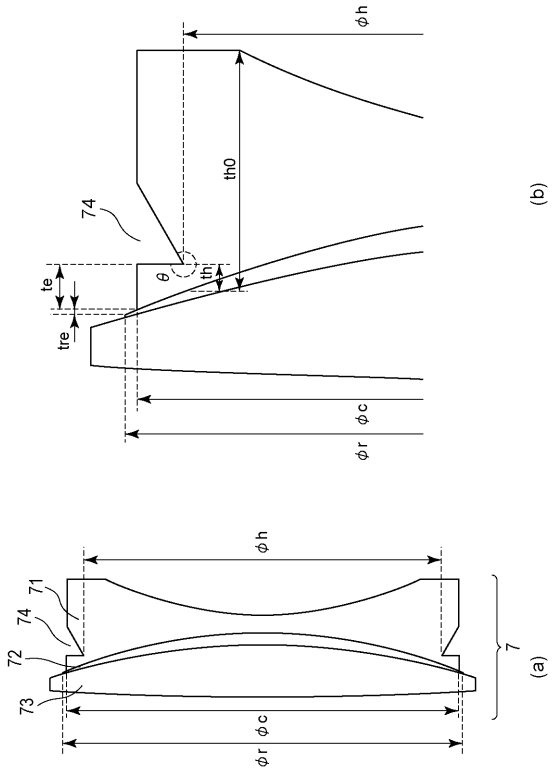
【図７】


φr
φc
tre
te
th
θ
th0
54
φh
(b)
φr
φc
53
52b
52a
54
51
φh
5
(a)

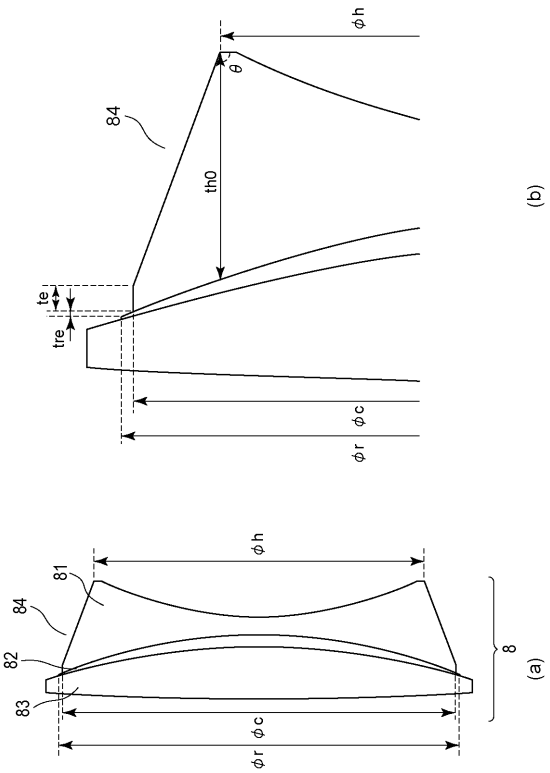
【図８】


6
52a
51
52b
53
SP
FC
IP
OA
5
L1
L2
L3
L4

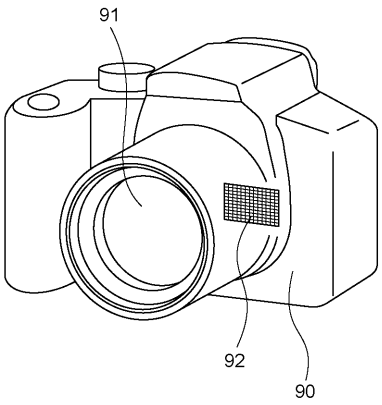
【図９】


φh
th0
74
te
tre
θ
th
φc
φr
(b)
φh
71
74
72
73
φc
φr
7
(a)

【図１０】


φh
θ
84
th0
te
tre
φc
φr
(b)
φh
81
84
82
83
φc
φr
8
(a)

【図１１】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. FI
G02B 15/20

(56)参考文献 特開２０１１－１０２９０６（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－１１２７４８（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０６６３２３４２（ＵＳ，Ｂ１）
国際公開第２０１３／１３６９７２（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ １／００ － １／０８
Ｇ０２Ｂ ３／００ － ３／１４