

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第6991808号

(P6991808)

(45)発行日 令和4年2月3日(2022.2.3)

(24)登録日 令和3年12月10日(2021.12.10)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 13/00 (2006.01)

G 0 2 B 13/00

G 0 2 B 13/02 (2006.01)

G 0 2 B 13/02

G 0 2 B 13/04 (2006.01)

G 0 2 B 13/04

D

G 0 2 B 13/18 (2006.01)

G 0 2 B 13/18

請求項の数 9 (全20頁)

(21)出願番号 特願2017-180873(P2017-180873)

(22)出願日 平成29年9月21日(2017.9.21)

(65)公開番号 特開2019-56780(P2019-56780A)

(43)公開日 平成31年4月11日(2019.4.11)

審査請求日 令和2年9月11日(2020.9.11)

(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 100110412

弁理士 藤元 亮輔

(74)代理人 100104628

弁理士 水本 敦也

(74)代理人 100121614

弁理士 平山 倫也

(72)発明者 伊藤 聖

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

(72)発明者 古賀 悠修

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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学系及び撮像装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

径方向において光軸から離れるにしたがって透過率が減少する第1の領域を含む光学素子を有する光学系であって、

前記第1の領域における透過率の変化のしかたは、入射光の波長によって異なり、

前記光学素子の有効径を r_a 、前記第1の領域において、透過率が最大値の0.9倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_1 、透過率が最大値の0.5倍となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_2 、透過率が最大値の0.1倍となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_3 とすると、波長650nm、波長550nm、及び波長450nmの夫々に対して

$$0.6 \leq r_2 / r_a \leq 0.9$$

$$0.1 \leq (r_3 - r_1) / r_a$$

なる条件式を満たし、

前記第1の領域において、波長650nmに対する透過率が最大値の0.5倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_{2R} 、波長550nmに対する透過率が最大値の0.5倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_{2G} 、波長450nmに対する透過率が最大値の0.5倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_{2B} とすると、

$$r_{2G} / r_a \leq r_{2R} / r_a$$

$$r_{2G} / r_a \leq r_{2B} / r_a$$

なる条件式の何れかを満たすことを特徴とする光学系。

【請求項 2】

前記光学素子は、前記第 1 の領域よりも前記光軸に近く、かつ波長 650 nm、波長 550 nm、及び波長 450 nm の夫々に対する透過率が一定である第 2 の領域を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 3】

前記第 1 の領域における波長 650 nm、波長 550 nm、及び波長 450 nm の夫々に対する透過率は、径方向において前記光軸から離れるにしたがって不連続に減少することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

無限遠にフォーカスしたときの、前記光学系の焦点距離を f 、開放 F 値を Fno とするとき、

$$8\text{ mm} \leq f / Fno \leq 70\text{ mm}$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 5】

無限遠にフォーカスしたときの、前記光学系の焦点距離を f 、開放 F 値を Fno とするとき、

$$10\text{ mm} \leq f / Fno \leq 65\text{ mm}$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 6】

前記光学系の半画角を θ とするとき、

$$9^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 7】

前記光学素子は、光軸方向において絞りと同じ位置に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記光学素子は、光軸方向において絞りとは異なる位置に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 の何れか一項に記載の光学系と、該光学系からの光を受光する受光素子とを有す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、光学素子を有する光学系に関し、特に銀塩フィルム用カメラ、デジタルスチルカメラ、ビデオカメラ、TVカメラ等の撮像装置に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

一般に、撮影レンズ系の光学性能は合焦物体の結像性能で評価される。しかしながら、撮影レンズ系の用途によっては、焦点外れ像（前ボケ、後ボケ）の見え方が撮影レンズ系の光学性能にとって重要な評価指標になる場合がある。

【0003】

焦点外れ像を好ましく見せるための手法として、アポダイゼーションフィルターを備えた光学系が特許文献 1 に開示されている。特許文献 1 では、光軸から光軸と垂直な方向に離れるにしたがって次第に透過率が減少し、その径方向の透過率分布形状が略ガウス分布になるように構成されたアポダイゼーションフィルターを用いている。これにより、撮像光束内に強度分布を付加し、焦点外れ像の見え方を好ましくしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

【文献】特開平 0 9 - 2 3 6 7 4 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

一般的に、広角から中望遠の撮影レンズ系においては、軸外光束のサジタルハ口が画像周辺部における焦点外れ像の強度ムラを引き起こす。このため、アポダイゼーションフィルターにより光束に透過率分布を与え、効果的にサジタルハ口を除去することによって、軸外光束における焦点外れ像の見え方を改善することが可能となる。その際に、光量の低下を抑制しつつ効果的にサジタルハ口を除去することが、アポダイゼーションフィルターの性能として求められる。

10

【 0 0 0 6 】

しかしながら、特許文献 1 に開示された従来技術では、アポダイゼーションフィルターの透過率分布にガウス分布型を採用しているため、光束中心付近の、サジタルハ口を引き起こす光線以外の光線に対しても透過率を下げてしまっている。

【 0 0 0 7 】

また、広角から中望遠の撮影レンズ系においては、画像中心部における後ボケの輪郭が緑色に色づいてしまう課題があり、こちらも焦点外れ像の見え方を悪化させる要因となっている。

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明の目的は、焦点外れ像の光量の低下を抑制しつつ、焦点外れ像の見え方（色ムラと強度ムラ）を改善させた撮影レンズ系及び撮像装置を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明の一側面としての光学系は、径方向において光軸から離れるにしたがって透過率が減少する第 1 の領域を含む光学素子を有する光学系であって、前記第 1 の領域における透過率の変化のしかたは、入射光の波長によって異なり、前記光学素子の有効径を r_a 、前記第 1 の領域において、透過率が最大値の 0.9 倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_1 、透過率が最大値の 0.5 倍となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_2 、透過率が最大値の 0.1 倍となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_3 とするとき、波長 650 nm、波長 550 nm、及び波長 450 nm の夫々に対して $0.6 \leq r_2 / r_a \leq 0.9$ および $0.1 \leq (r_3 - r_1) / r_a \leq 0.5$ なる条件式を満たし、前記第 1 の領域において、波長 650 nm に対する透過率が最大値の 0.5 倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_{2R} 、波長 550 nm に対する透過率が最大値の 0.5 倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_{2G} 、波長 450 nm に対する透過率が最大値の 0.5 倍の値となる位置の径方向における前記光軸からの距離を r_{2B} とするとき、 $r_{2G} / r_a \leq r_{2R} / r_a$ および $r_{2G} / r_a \leq r_{2B} / r_a$ なる条件式の何れかを満たす。

30

【 0 0 1 0 】

また、本発明の他の側面としての撮像装置は、前記光学系と、該光学系からの光を受光する受光素子とを有する。

40

【 0 0 1 1 】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

本発明によれば、軸上光束及び軸外光束に対して光量の低下が抑制された良好な焦点外れ像が得られ、軸上画角における後ボケの色ムラが改善された光学系及び撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

50

【図 1】本発明の透過率分布素子と一般的なアボダイゼーション素子の透過率分布。

【図 2】実施例 1 のレンズ断面図。

【図 3】実施例 1 の撮影レンズ系が形成する焦点外れ像の強度分布。

【図 4】実施例 1 の透過率分布素子が有する透過率分布。

【図 5】実施例 1 の透過率分布素子によって制御された焦点外れ像の強度分布。

【図 6】実施例 2 のレンズ断面図。

【図 7】実施例 2 の透過率分布素子が有する透過率分布。

【図 8】実施例 2 の透過率分布素子が有する透過率分布の分光特性。

【図 9】実施例 2 の透過率分布素子によって制御された焦点外れ像の強度分布。

【図 10】実施例 3 のレンズ断面図。

【図 11】実施例 3 の撮影レンズ系が形成する焦点外れ像の強度分布。

【図 12】実施例 3 の透過率分布素子が有する透過率分布。

【図 13】実施例 3 の透過率分布素子によって制御された焦点外れ像の強度分布。

【図 14】実施例 4 のレンズ断面図。

【図 15】実施例 4 の撮影レンズ系が形成する焦点外れ像の強度分布。

【図 16】実施例 4 の透過率分布素子が有する透過率分布。

【図 17】実施例 4 の透過率分布素子によって制御された焦点外れ像の強度分布。

【図 18】各実施例の撮影レンズ系を有する撮像装置。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0015】

本発明の撮影レンズ系（光学系）は、立体被写体の撮影時に焦点外れ像を制御することのできる撮影レンズ系である。

【0016】

ここで、立体被写体とは光軸方向の距離が異なる複数の部分からなる被写体のことであり、特に撮影時に撮影レンズ系の焦点面から被写界深度以上離れた点を持つ被写体のことである。このとき、結像面には焦点外れ像が形成され、焦点外れ像の直径が撮影レンズ系のイメージサークル半径に対して約 1 ~ 2 % より大きくなると、焦点外れ像として認識できるようになる。

【0017】

ここで、イメージサークルとはレンズの有効径内を通った光線が結像する円である。実施例の光学系をデジタルスチルカメラやビデオカメラの撮影レンズ系として使用する際には、結像面は CCD センサや CMOS センサ等の半導体撮像素子（光電変換素子）の撮像面に相当する。また、実施例の光学系を銀塩カメラ用の撮影レンズ系として使用する際には、結像面はフィルム面に相当する。なお、前述のイメージサークル半径は、撮像装置においては撮像面及びフィルム面の最大像高としてもよい。

【0018】

焦点外れ像を「制御する」とは、アボダイゼーション効果を奏する光学素子（透過率分布素子）によって各画角の光束に対して透過率分布を与え、透過率分布素子がない場合と比較して、焦点外れ像の光量分布を変化させることである。外周部で光量が大きい焦点外れ像は輪郭が強くなり好ましくないとされているため、焦点外れ像の周辺部の透過率を中央部より低くすると良い。以下では、透過率分布素子が有する透過率分布は中心対称であり、中央部より周辺部で透過率が小さい場合を仮定して説明する。

【0019】

本発明の撮影レンズ系は、絞りを有し、透過率分布素子を少なくとも 1 つ有することを特徴とする。

【0020】

ここで、透過率分布素子とはレンズの径方向に対して透過率分布を有する光学素子を意味し、透明ガラス平板やレンズ面に所定の透過率分布を有するように吸収物質や反射物質を

10

20

30

40

50

蒸着したり、感光材料を塗布して所定の濃度となるように露光したりすることで得られる。また、光吸収を有する物質（NDガラス）で作成された凹レンズを使用してもよい。また、エレクトロクロミック材料等を利用して透過率分布を可変としてもよい。

【0021】

焦点外れ像を改良する従来の方法として、図1の(b)で示されるような径方向の透過率分布がガウス分布型となる透過率分布素子を絞り近傍に配置した撮影レンズ系が知られている。絞り近傍に透過率分布素子を配置することで、焦点外れ像の強度ムラを引き起こす原因となっているサジタルハ口を除去することが可能となり、焦点外れ像を好ましく見せることができる。

【0022】

しかしながら、ガウス分布型の透過率分布では、焦点外れ像の強度ムラとは関係のない中心付近を通過する光線に対しても透過率の減少効果を与えてしまい、焦点外れ像の光量の低下とそれに伴う焦点外れ像の大きさの減少が避けられない。

【0023】

そこで、本発明は図1の(a)で示されるような透過率分布を有する光学素子を用いることで、光束の中心付近の光量低下を抑制しつつ、焦点外れ像の見え方を改良している。

【0024】

また、一般的な撮影レンズ系では軸外光束に口径食が見られる。ここで口径食とは光束の一部がケラレることを意味しており、ビネッティングとも呼ばれる。口径食のある撮影レンズ系では、軸上光束と軸外光束で絞りを通過する領域が一致しないために、透過率分布素子によって得られる効果が画角によって異なってしまう。

【0025】

一般には、軸外光束は軸上光束より絞りの狭い範囲を通過するため、軸上光束に合わせた透過率分布とした場合は軸外光束ではその透過率分布の影響を得られない。また、絞りから離れた位置に透過率分布素子を配置した場合は軸外光束の中心が光軸から離れてしまうため、中心対称な透過率分布では軸外光束の透過率が非対称となってしまう。

【0026】

そこで本発明では、絞りより物体側へ離れた位置と絞りより像側へ離れた位置では軸外光束の形状が上下反転したような関係になることに着目した。絞りの前後に少なくとも1つの透過率分布素子を配置することで、軸外光束の瞳透過率分布を等価的に中心対称に近づけることが可能となる。これにより、軸外画角における焦点外れ像の改良効果を重視する場合は、透過率分布を有する光学素子を絞り前後に配置することで軸外光束に対しても有効にアポダイゼーション効果を得ている。

【0027】

本発明の撮影レンズ系（光学系）は、絞りと、アポダイゼーション効果を奏する光学素子とを有する。光学素子の透過率は、光軸から径方向に離れるにしたがって減少し、透過率は入射光の波長によって異なる。

【0028】

光学系の有効径を r_a 、光学素子において透過率が最大値の0.9倍の値となる位置の径方向における光軸からの距離を r_1 、光学素子において透過率が最大値の0.5倍となる位置の径方向における光軸からの距離を r_2 、光学素子において透過率が最大値の0.1倍となる位置の径方向における光軸からの距離を r_3 とするとき、

$$0.6 \leq r_2 / r_a \leq 0.9 \quad (1)$$

$$0.1 \leq (r_3 - r_1) / r_a \leq 0.5 \quad (2)$$

なる条件式を満たすことを特徴とする。

【0029】

周辺部で光量が大きいエッジの効いた焦点外れ像を改良するには、光束の周辺部での透過率を光束の中央部よりも低くする必要がある。この条件を満たさない場合、光束の周辺部での光量が光束の中央部より強まり、よりエッジの効いた汚い焦点外れ像となってしまう。このため、透過率分布素子が有する透過率は周辺部において中心から径方向に離れるに

10

20

30

40

50

従って減少することが好ましい。

【0030】

周辺部が色づいた焦点外れ像を改良するには、波長によって径方向の透過率分布の形状を変化させる必要がある。この条件を満たさない場合、例えば赤、緑、青の波長によって焦点外れ像の大きさが異なり、焦点外れ像の輪郭が色づいてしまい焦点外れ像の見え方が悪化する。赤、緑、青のそれぞれの波長域の光だけを吸収する物質を所望の割合で透過率分布素子の吸収物質として用いることで、透過率に分光特性を持たせることができる。さらに、光軸から径方向の距離によって前記吸収物質の割合を変化させることで、波長によって径方向の透過率分布の形状が異なる透過率分布素子を製作することが可能である。また、誘電体や金属の薄膜を用いた多層膜の場合は、多層膜の構成を光軸から径方向の距離で異なるようにすることで、同様に波長によって径方向の透過率分布の形状が異なる透過率分布素子を製作可能である。

10

【0031】

条件式(1)及び(2)は透過率分布素子が有する透過率分布の形状に関する式である。中心から一定の範囲では透過率を落とさないことでレンズ系が取り込む光量を増やすことができる。なお、光束の中央部においては、一定の範囲で透過率が一定であっても構わない。また、エレクトロクロミック材料を用いた透過率分布素子を使用した場合、透過率が滑らかに変化するような分布を作成することは難しく、段階的に透過率を変えてもよい。

【0032】

条件式(1)の下限値を下回ると透過率が最大透過率の5割未満となる領域が広くなりすぎる。これにより焦点外れ像の強度ムラを引き起こすサジタルハロ成分以外の光線も除去してしまい、焦点外れ像の光量が低くなりすぎるため好ましくない。条件式(1)の上限値を上回ると透過率が最大透過率の5割未満となる領域が狭くなりすぎる。これにより透過率分布素子による焦点外れ像を改良する効果が低減してしまい、エッジの効いた焦点外れ像となってしまうため好ましくない。

20

【0033】

条件式(2)の下限値を下回ると透過率が最大透過率の9割から1割へ変化する領域の幅が狭くなりすぎる。これにより径方向の透過率分布が急峻に変化することになり、焦点外れ像の輪郭の強度をなだらかに変化させることが難しくなってしまう、焦点外れ像の見え方を改善させる効果が低減してしまうので好ましくない。

30

【0034】

本発明の撮影レンズ系は、赤、緑、青の3色の波長に対して、前記分布形状が下記の条件式(3)を満たすことを特徴とする。

$$r_{2G}/r_a < r_{2R}/r_a \quad \text{または} \quad r_{2G}/r_a < r_{2B}/r_a \quad (3)$$

ただし、 r_{2R} を赤色の波長に対する透過率が最大透過率の5割となる距離、 r_{2G} を緑色の波長に対する透過率が最大透過率の5割となる距離、 r_{2B} を青色の波長に対する透過率が最大透過率の5割となる距離とする。つまり、 r_{2R} は光学素子において赤色の波長に対する透過率が最大値の0.5倍の値となる位置の径方向における光軸からの距離、 r_{2G} は光学素子において緑色の波長に対する透過率が最大値の0.5倍の値となる位置の径方向における光軸からの距離、 r_{2B} は光学素子において青色の波長に対する透過率が最大値の0.5倍の値となる位置の径方向における光軸からの距離である。

40

【0035】

一般的に、広角から中望遠の撮影レンズ系においては、画像中心部付近の焦点外れ像は輪郭が緑色に色づいてしまう。これは緑色の波長の光線によって形成される焦点外れ像の大きさが赤色や青色に比べ大きくなるためであり、この課題を解決するためには、緑色の波長に対する径方向の透過率分布形状の幅を他の色の波長と比較して狭くする必要がある。

【0036】

無限遠にフォーカスした際に、前記撮影レンズ系の焦点距離を f 、開放F値を F_{no} とし、下記の条件式(4)を満たすことが好ましい。

$$8\text{ mm} \leq f / F_{no} \leq 70\text{ mm} \quad (4)$$

50

条件式(4)は撮影レンズの入射瞳径に関する式である。条件式(4)の下限値を下回ると撮像面上での1つ1つの焦点外れ像が占める領域が小さくなりすぎる。このとき焦点外れ像に与える透過率分布が撮像面上であまりにも小さくなるため、透過率分布素子による焦点外れ像を改良する効果が低減する。そもそも焦点外れ像が小さいために汚い焦点外れ像が撮影時に問題となりにくい。条件式(4)の上限値を上回ると焦点外れ像が大きくなり、撮像面上での1つ1つの焦点外れ像が占める領域が大きくなりすぎる。エッジの効いた焦点外れ像は撮影レンズ系の収差に対応して形成されるが、条件式(4)の上限値を上回るような大きい焦点外れ像では収差が焦点外れ像の光量分布に与える影響が小さくなるため、汚い焦点外れ像が撮影時に問題となりにくい。条件式(4)はさらに好ましくは次の(4a)のように設定するのが良い。

$$10\text{ mm} \leq f / F \leq 65\text{ mm} \quad (4a)$$

前記撮影レンズの半画角は以下の条件式(5)を満たすことが好ましい。

$$9^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \quad (5)$$

条件式(5)は撮影レンズの半画角に関する式である。エッジの効いた焦点外れ像は撮影レンズ系の収差に対応して形成されるが、条件式(5)の下限値を下回るような撮影レンズ系では焦点外れ像の光量分布を悪化させる収差を設計で抑えやすい。そのため、そもそも汚い焦点外れ像が生じにくく、透過率分布素子の効果が低減する。なお、条件式(5)の下限値を満たす場合は、撮影レンズのパスによる背景圧縮効果のために、背景に小さい点状または細い線状の光源や被写体が生じやすい。このような被写体は焦点外れ像の輪郭が目立ちやすく、透過率分布素子の効果がより有効である。条件式(5)の上限値を上回ると、軸外光束における口径食がひどくなる。このとき軸上光束及び軸外光束に焦点外れ像の改良効果を同時に与えることが困難になるため、好ましくない。

【0037】

各実施例の撮影レンズ系1は図2、図6、図10、図14に示されている。図中の11は軸上光束、12は最軸外光束に対応している。軸外光束とは光軸外に結像する光束のことであり、その中で撮像面の最端部に結像する光束のことを最軸外光束と呼ぶ。図中では光軸より下側から撮影レンズ系に入射する光束を代表的に示している。 L_i (i は自然数)はレンズ群、SPは絞り、IPは像面、F1またはF2は透過率分布素子である。

【0038】

各実施例の撮影レンズ系において透過率分布素子に透過率分布が付与されていない構成での、撮像面に形成される赤、緑、青の波長の焦点外れ像の強度分布は図3、図11、図15に示されている。図中の21は緑色の波長(550nm)の光線の軸上画角における焦点外れ像の強度分布、22は赤色の波長(650nm)の光線の軸上画角における焦点外れ像の強度分布、23は青色の波長(450nm)の光線の軸上画角における焦点外れ像の強度分布である。 $I(r)$ は位置 r での強度、 I_0 は主光線が撮像面に入射する位置での強度を表している。前記焦点外れ像の強度分布はメリジオナル面に垂直で主光線の入射位置を通る断面において評価した。

【0039】

各実施例の撮影レンズ系において透過率分布素子に透過率分布が付与された構成での、撮像面に形成される赤、緑、青の波長の焦点外れ像の強度分布は図5、図9、図13、図17に示されている。

【0040】

各実施例の透過率分布素子が有する透過率分布は図4、図7、図12、図16に示されている。図中の31は緑色の波長(550nm)に対する透過率分布、32は赤色の波長(650nm)に対する透過率分布、33は青色の波長(450nm)に対する透過率分布である。 $T(r)$ は位置 r での透過率、 T_0 は最大透過率を表している。

【0041】

次に本発明の各実施例について詳細に説明する。

【実施例1】

【0042】

10

20

30

40

50

図 2 は実施例 1 の撮影レンズ系の断面図である。絞り位置に透過率分布素子 F 1 が配置されている。この透過率分布素子 F 1 によって、軸上光束 1 1 から最軸外光束 1 2 までのあらゆる画角の光束に対して瞳強度分布を与え、焦点外れ像の見え方を改善している。

【 0 0 4 3 】

図 3 は透過率分布素子に透過率分布が付与されていない構成での、撮像面に形成される軸上画角の焦点外れ像の強度分布を示している。実施例 1 における焦点外れ像は、撮影レンズ系の焦点距離を f としたとき、撮像面から $50f$ 離れた位置に合焦させた状態において撮像面から $235f$ 離れた物体の焦点外れ像である。図 3 から明らかなように緑色の波長の焦点外れ像の大きさが赤色、青色に比べて大きくなっている。また、各波長の強度分布は分布の端で強度が増している。

10

【 0 0 4 4 】

この焦点外れ像の色ムラと強度ムラを改善するため、実施例 1 の透過率分布素子 F 1 に図 4 の透過率分布を与えた。

【 0 0 4 5 】

図 5 は透過率分布素子 F 1 に図 4 の透過率分布が付与された構成での、撮像面に形成される軸上画角の焦点外れ像の強度分布を示している。図 5 からわかるように強度分布の大きさが各波長で等しくなっており、分布の端での強度も緩やかに減少している。その際、中心付近の強度の低下は起こっていない。

【 0 0 4 6 】

よって、実施例 1 の透過率分布素子 F 1 により、光量の低下を抑制しつつ、周辺部が色づいたエッジの効いた焦点外れ像を周辺部の色づきがなく強度が緩やかに減少する良好な焦点外れ像に改善している。

20

【 実施例 2 】

【 0 0 4 7 】

図 6 は実施例 2 の撮影レンズ系の断面図である。絞りより物体側に透過率分布素子 F 1 が、絞りより像側に透過率分布素子 F 2 が配置されている。その際、軸外光束の瞳透過率分布を等価的に中心対称に近づけるため、軸外光束の形状が中心対称に近い 2 面に透過率分布素子 F 1 , F 2 を配置した。前記透過率分布素子は曲率を持ったレンズ面に透過率分布を有する構成とした。前記透過率分布素子 F 1 及び F 2 によって、軸上光束 1 1 から最軸外光束 1 2 までのあらゆる画角の光束に対して瞳強度分布を与え、焦点外れ像の見え方を改善している。

30

【 0 0 4 8 】

焦点外れ像の色ムラと強度ムラを改善するため、実施例 2 の透過率分布素子 F 1 と透過率分布素子 F 2 に図 7 の透過率分布を与えた。

【 0 0 4 9 】

図 8 は光軸から径方向の距離が有効径 r_a の 5 割となる位置での前記透過率分布の分光特性を示している。透過率分布素子を、5 層構成の多層膜とすることで、径方向の距離が有効径 r_a の 5 割となる位置にて各波長 () の透過率が図 7 の関係を満足する分光特性を実現できている。

【 0 0 5 0 】

40

図 9 は透過率分布素子 F 1 と透過率分布素子 F 2 に図 7 の透過率分布が付与された構成での、撮像面に形成される軸上画角の焦点外れ像の強度分布を示している。図 9 からわかるように強度分布の大きさが各波長で等しくなっており、分布の端での強度も緩やかに減少している。その際、中心付近の強度の低下は起こっていない。

【 0 0 5 1 】

よって、実施例 2 の透過率分布素子 F 1 と透過率分布素子 F 2 により、光量の低下を抑制しつつ、周辺部が色づいたエッジの効いた焦点外れ像を周辺部の色づきがなく強度が緩やかに減少する良好な焦点外れ像に改善している。

【 実施例 3 】

【 0 0 5 2 】

50

図 10 は実施例 3 の撮影レンズ系の断面図である。絞りより像側に透過率分布素子 F 1 が配置されている。この透過率分布素子 F 1 によって、軸上光束 11 から最軸外光束 12 までのあらゆる画角の光束に対して瞳強度分布を与え、焦点外れ像の見え方を改善している。

【0053】

図 11 は透過率分布素子に透過率分布が付与されていない構成での、撮像面に形成される軸上画角の焦点外れ像の強度分布を示している。実施例 3 における焦点外れ像は、撮影レンズ系の焦点距離を f としたとき、撮像面から $50f$ 離れた位置に合焦させた状態において撮像面から $90f$ 離れた物体の焦点外れ像である。図 11 から明らかなように緑色と赤色の波長の焦点外れ像の大きさが青色に比べて大きくなっている。また、各波長の強度分布は分布の端で強度が増している。

10

【0054】

この焦点外れ像の色ムラと強度ムラを改善するため、実施例 3 の透過率分布素子 F 1 に図 12 の透過率分布を与えた。

【0055】

図 13 は透過率分布素子 F 1 に図 12 の透過率分布が付与された構成での、撮像面に形成される軸上画角の焦点外れ像の強度分布を示している。図 13 からわかるように強度分布の大きさが各波長で等しくなっており、分布の端での強度も緩やかに減少している。その際、中心付近の強度の低下は起こっていない。

【0056】

よって、実施例 3 の透過率分布素子 F 1 により、光量の低下を抑制しつつ、周辺部が色づいたエッジの効いた焦点外れ像を周辺部の色づきがなく強度が緩やかに減少する良好な焦点外れ像に改善している。

20

【実施例 4】

【0057】

図 14 は実施例 4 の撮影レンズ系の断面図である。絞りより物体側に透過率分布素子 F 1 が、絞りより像側に透過率分布素子 F 2 が配置されている。その際、軸外光束の瞳透過率分布を等価的に中心対称に近づけるため、軸外光束の形状が中心対称に近い 2 面に配置した。前記透過率分布素子は曲率を持ったレンズ面に透過率分布を有する構成とした。前記透過率分布素子 F 1 及び F 2 によって、軸上光束 11 から最軸外光束 12 までのあらゆる画角の光束に対して瞳強度分布を与え、焦点外れ像の見え方を改善している。

30

【0058】

図 15 は透過率分布素子に透過率分布が付与されていない構成での、撮像面に形成される軸上画角の焦点外れ像の強度分布を示している。実施例 4 における焦点外れ像は、撮影レンズ系の焦点距離を f としたとき、撮像面から $16f$ 離れた位置に合焦させた状態において撮像面から無限遠離れた物体の焦点外れ像である。図 15 から明らかなように緑色の波長の焦点外れ像の大きさが赤色、青色に比べて大きくなっている。また、各波長の強度分布は分布の端で強度が増している。

【0059】

この焦点外れ像の色ムラと強度ムラを改善するため、実施例 4 の透過率分布素子 F 1 と透過率分布素子 F 2 に図 16 の透過率分布を与えた。

40

【0060】

図 17 は透過率分布素子 F 1 と透過率分布素子 F 2 に図 16 の透過率分布が付与された構成での、撮像面に形成される軸上画角の焦点外れ像の強度分布を示している。図 17 からわかるように強度分布の大きさが各波長で等しくなっており、分布の端での強度も緩やかに減少している。その際、中心付近の強度の低下は起こっていない。

【0061】

よって、実施例 4 の透過率分布素子 F 1 と透過率分布素子 F 2 により、光量の低下を抑制しつつ、周辺部が色づいたエッジの効いた焦点外れ像を周辺部の色づきがなく強度が緩やかに減少する良好な焦点外れ像に改善している。

【0062】

50

上記の各実施例では、赤、緑、青の波長として650、550、450 nmの波長を用いて説明したが、同様の考え方を他の波長の組合せ（例えば、656.3、587.6、486.1、435.8の組合せなど）にも適用可能である。

【0063】

以下に本発明の実施例1乃至4に対応する数値実施例1乃至4を示す。各数値実施例において、 r は物体側より第 i 番目の面の曲率半径（mm）、 d は物体側より第 i 番目と第 $i+1$ 番目の軸上の面間隔（mm）、 n_d と v_d は第 i 番目の光学部材の屈折率とアッペ数である。焦点距離 f （mm）、Fナンバー F_{no} 、画角（度）はそれぞれ無限遠物体に焦点を合わせた時の値である。BFはバックフォーカスであり、レンズ全長は第1面から像面までの距離を表す。また、非球面は面番号の後に、*の符号を付加して表している。

10

【0064】

【数1】

$$X(h) = \frac{h^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)(h/r)^2}} + A4h^4 + A6h^6 + A8h^8 + A10h^{10}$$

20

【0065】

なる式で表している。また、「 $e \pm Z$ 」の表示は「 $10 \pm Z$ 」を意味する。

[数値実施例1]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	n_d	v_d	有効径
1		2.00			42.78
2	57.520	5.50	1.77250	49.6	38.04
3	395.282	2.80			36.09
4	-1.60				33.81
5	25.921	5.00	1.83481	42.7	31.97
6	43.002	1.20			29.70
7	59.016	2.00	1.64769	33.8	29.56
8	17.697	9.00			25.24
9(絞り)		0.00			24.55
10		0.50	1.51633	64.1	24.55
11		6.00			24.55
12	-19.448	2.00	1.80518	25.4	24.15
13	280.464	6.50	1.75700	47.8	28.14
14	-37.481	0.20			29.83
15	-74.530	4.50	1.88300	40.8	30.67
16	-30.712	-0.80			31.22
17		1.00			30.14
18	124.396	3.00	1.80400	46.6	29.66
19	-111.454	0.00			30.02
20		0.00			30.32
21		(可変)			30.32

30

像面

各種データ

ズーム比 1.00

40

50

焦点距離 52.43
 Fナンバー 1.49
 画角 22.42
 像高 21.64
 レンズ全長 88.51
 BF 39.71
 d21 39.71
 入射瞳位置 30.97
 射出瞳位置 -33.10
 前側主点位置 45.65
 後側主点位置 -12.71
 ズームレンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	52.43	48.80	45.65	-12.71

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
-----	----	------

1	1	86.53
2	5	68.99
3	7	-39.78
4	10	0.00
5	12	-22.52
6	13	44.06
7	15	56.44
8	18	73.53

[数値実施例 2]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1		2.00			42.78
2	57.520	5.50	1.77250	49.6	38.04
3	395.282	2.80			36.09
4		-1.60			33.81
5	25.921	5.00	1.83481	42.7	31.97
6	43.002	1.20			29.70
7	59.016	2.00	1.64769	33.8	29.56
8	17.697	9.00			25.24
9(絞り)		6.50			24.55
10	-19.448	2.00	1.80518	25.4	24.15
11	280.464	6.50	1.75700	47.8	28.14
12	-37.481	0.20			29.83
13	-74.530	4.50	1.88300	40.8	30.67
14	-30.712	-0.80			31.22
15		1.00			30.14
16	124.396	3.00	1.80400	46.6	29.66
17	-111.454	0.00			30.02
18		0.00			30.32
19		(可変)			30.32

像面

各種データ

ズーム比 1.00

10

20

30

40

50

焦点距離 52.50
 Fナンバー 1.49
 画角 22.40
 像高 21.64
 レンズ全長 88.49
 BF 39.69
 d19 39.69

入射瞳位置 30.97
 射出瞳位置 -33.78
 前側主点位置 45.96
 後側主点位置 -12.81

10

ズームレンズ群データ

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	52.50	48.80	45.96	-12.81

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
-----	----	------

1	1	86.53
2	5	68.99
3	7	-39.78
4	10	-22.52
5	11	44.06
6	13	56.44
7	16	73.53

20

[数値実施例 3]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	106.149	9.00	1.48749	70.2	67.53
2	-290.997	0.50			66.86
3	51.244	9.50	1.49700	81.5	59.18
4	231.499	3.00			57.79
5	-630.036	3.50	1.83400	37.2	57.25
6	93.250	2.50			53.57
7	60.005	8.00	1.49700	81.5	52.05
8	-624.746	0.50			51.23
9	29.265	3.20	1.71736	29.5	42.22
10	24.308	12.50			37.88
11(絞り)		(可変)			35.40
12	-2278.322	4.50	1.84666	23.9	33.80
13	-55.787	2.00	1.72000	50.2	33.04
14	41.821	4.00			29.79
15		0.50	1.51633	64.1	29.50
16		0.00			29.42
17		(可変)			29.42
18	-30.566	2.50	1.74077	27.8	25.98
19	196.247	8.50	1.77250	49.6	28.59
20	-39.608	0.50			31.93
21	106.631	6.00	1.83400	37.2	35.15
22	-195.173	(可変)			35.74

30

40

像面

50

各種データ

ズーム比 1.00
 焦点距離 133.12
 Fナンバー 2.06
 画角 9.23
 像高 21.64
 レンズ全長 154.90
 BF 54.23
 d11 2.28
 d17 17.69
 d22 54.23
 入射瞳位置 74.83
 射出瞳位置 -89.01
 前側主点位置 84.24
 後側主点位置 -78.89
 ズームレンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	93.89	52.20	-8.11	-44.04
2	12	-65.39	11.00	3.68	-4.24
3	18	82.08	17.50	17.56	10.42

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	160.74
2	3	130.14
3	5	-97.18
4	7	110.58
5	9	-273.90
6	12	67.48
7	13	-32.92
8	15	0.00
9	18	-35.53
10	19	43.34
11	21	83.44

[数値実施例 4]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1		1.50			54.03
2	79.773	2.00	1.60311	60.6	46.37
3	28.865	8.00			39.23
4	117.212	4.00	1.77250	49.6	37.77
5	-212.879	(可変)			36.80
6	84.814	1.50	1.48749	70.2	24.71
7	19.679	10.00			21.16
8	22.595	3.50	1.91082	35.3	14.46
9	-45.147	1.00	1.73800	32.3	13.37
10	26.917	3.50			12.87
11(絞り)		(可変)			12.80
12	111.141	1.50	1.72916	54.7	12.69
13	-73.101	(可変)			12.63

14	-13.184	1.50	1.74000	28.3	12.65
15	-132.829	4.50	1.69680	55.5	15.15
16	-17.844	0.80			17.62
17*	-53.671	3.20	1.58313	59.4	19.54
18	-18.948	0.00			20.58
19		(可変)			22.26

像面

非球面データ

第17面

K = 0.00000e+000 A 4=-2.50000e-005 A 6= 4.20000e-008 A 8=-6.00000e-010 A10= 2.00000e-012

10

各種データ

ズーム比 1.00
 焦点距離 28.50
 Fナンバー 2.85
 画角 37.20
 像高 21.64
 レンズ全長 99.00
 BF 38.00
 d 5 7.00
 d11 4.00
 d13 3.50
 d19 38.00
 入射瞳位置 28.63
 射出瞳位置 -29.20
 前側主点位置 45.04
 後側主点位置 9.50
 ズームレンズ群データ

群	始面	焦点距離	レンズ構成	前側主点位置	後側主点位置
1	1	-528.68	15.50	-39.98	-57.63
2	6	374.88	19.50	48.86	38.18
3	12	60.69	1.50	0.53	-0.35
4	14	61.47	10.00	17.07	15.27

30

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	-76.12
2	4	98.37
3	6	-52.96
4	8	16.95
5	9	-22.72
6	12	60.69
7	14	-19.88
8	15	29.12
9	17	48.58

40

以下の表1及び2に数値実施例1～4の透過率分布素子に付与した透過率分布形状に対する各条件式の数値を示す。なお、表2における条件式(5)の数値の単位は度(°)である。

【0066】

【表 1】

	実施例 1			実施例 2			実施例 3			実施例 4		
条件式	赤	緑	青	赤	緑	青	赤	緑	青	赤	緑	青
r_2/r_a	0.653	0.600	0.653	0.678	0.630	0.698	0.840	0.779	0.788	0.819	0.800	0.819
$(r_3-r_1)/r_a$	0.190	0.176	0.190	0.126	0.114	0.126	0.132	0.122	0.124	0.112	0.110	0.112

【 0 0 6 7 】

【表 2】

条件式	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4
(4)	35.19	35.23	64.62	10.00
(5)	22.42	22.40	9.23	37.20

10

【 0 0 6 8 】

最後に本発明の撮像装置の実施例について述べる。図 18 は、本実施例の撮像装置（デジタルスチルカメラ）100 の概略図である。撮像装置 100 は、カメラ本体 90 と、上述した実施例の撮影レンズ（光学系）1 と、撮影レンズ 1 によって形成される像を光電変換する受光素子（撮像素子）92 を備える。

20

【 0 0 6 9 】

本実施形態の撮像装置 100 は、高い光学性能を有する撮影レンズ 1 によって形成された高品位な画像を得ることができる。

【 0 0 7 0 】

なお、受光素子 92 としては、CCD センサや CMOS センサ等の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氣的に補正することにより、出力画像を高画質化することもできる。

【 0 0 7 1 】

なお、上述した各実施例の撮影レンズは、図 18 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、望遠鏡等の種々の光学機器に適用することができる。

30

【 0 0 7 2 】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【 0 0 7 3 】

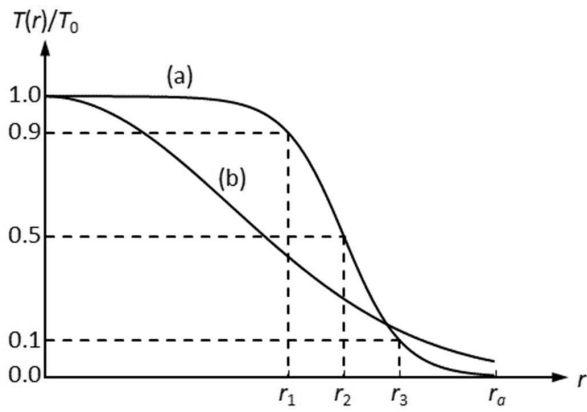
S P 絞り、

F 1、F 2 透過率分布素子、

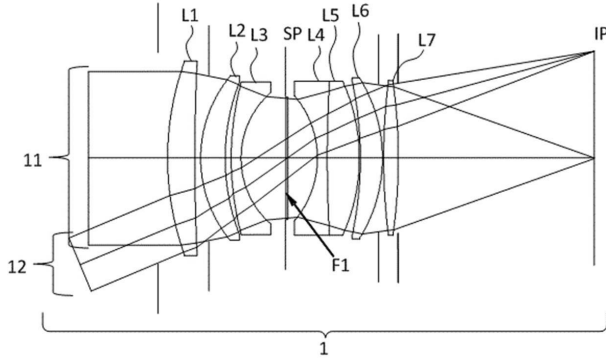
40

【図面】

【図 1】

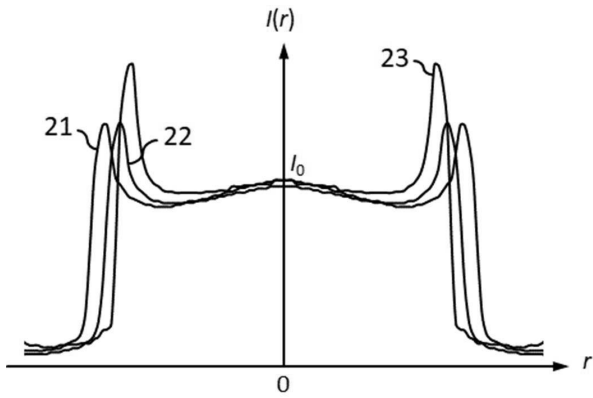


【図 2】

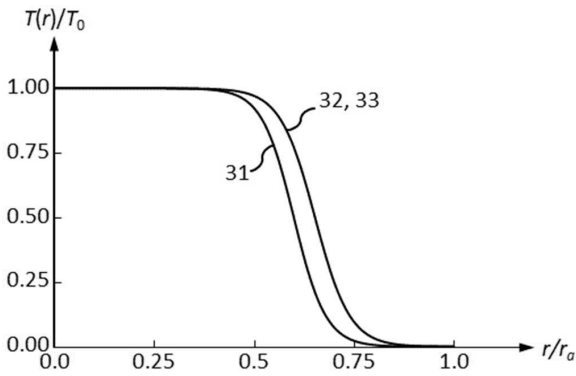


10

【図 3】



【図 4】



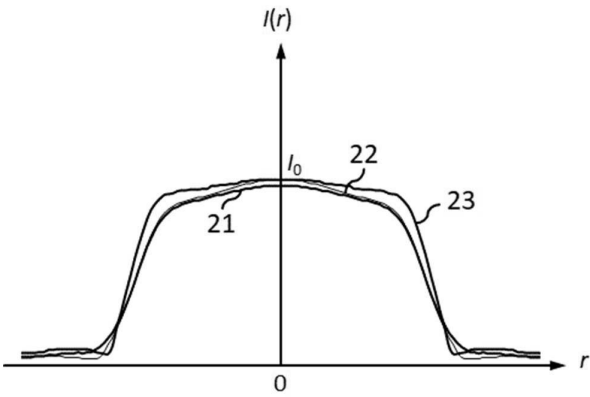
20

30

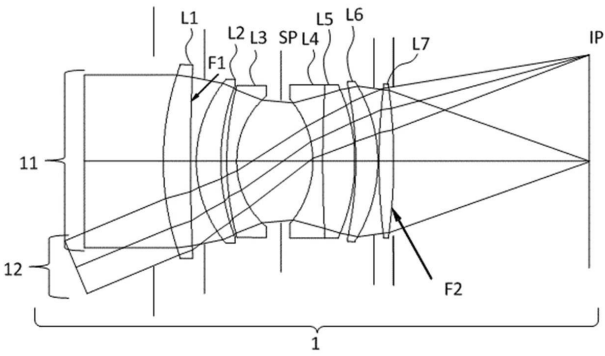
40

50

【図 5】

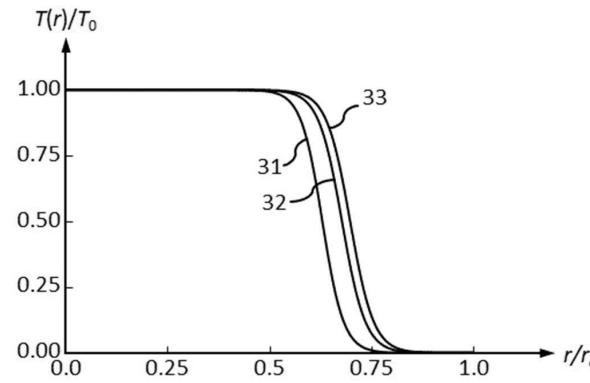


【図 6】

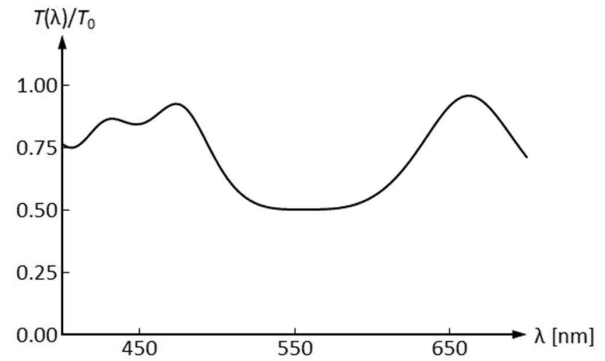


10

【図 7】

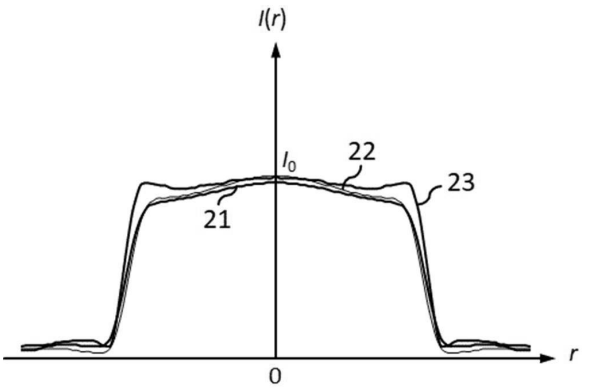


【図 8】

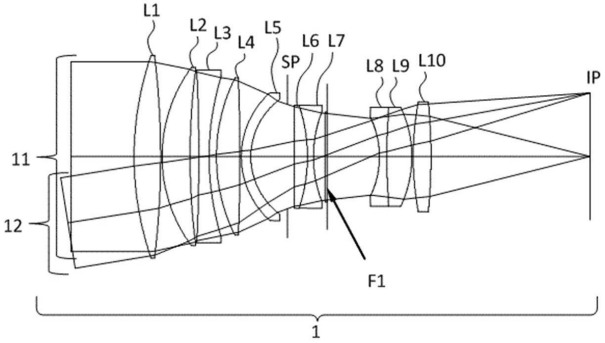


20

【図 9】



【図 10】

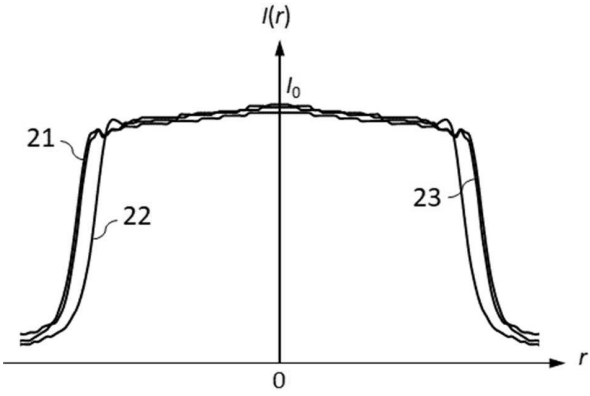


30

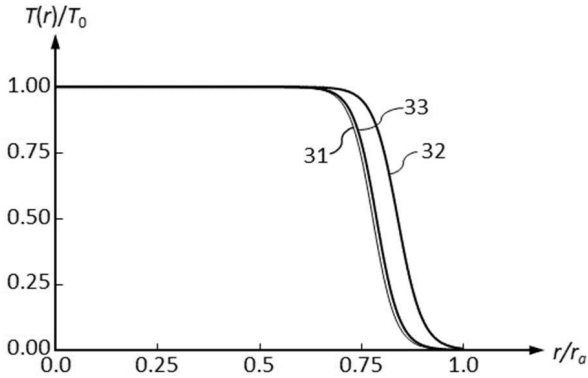
40

50

【図 1 1】

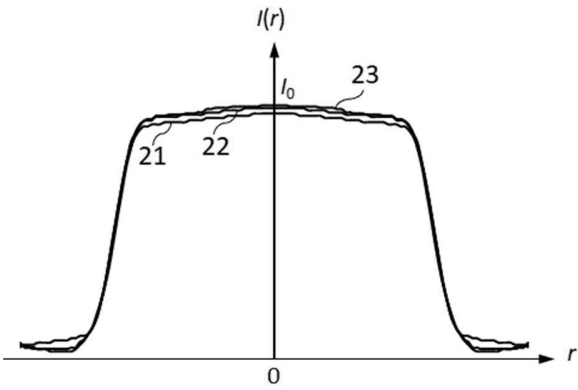


【図 1 2】

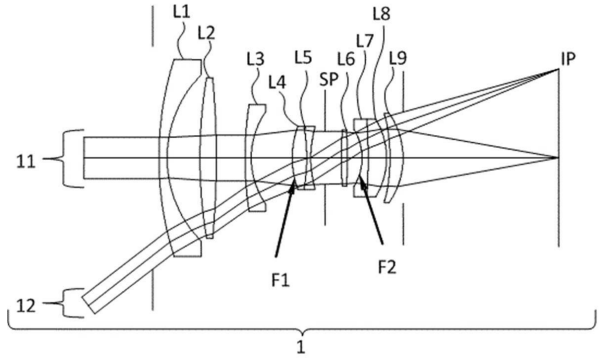


10

【図 1 3】

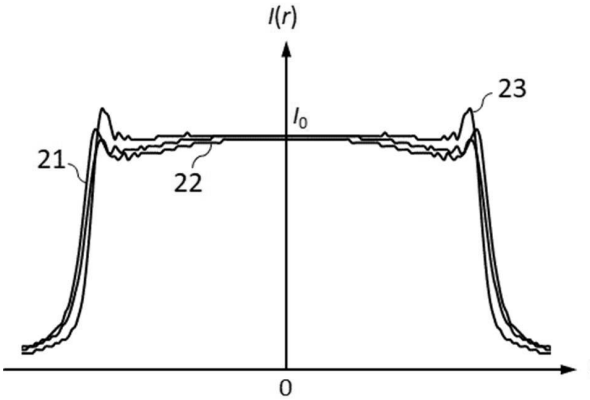


【図 1 4】

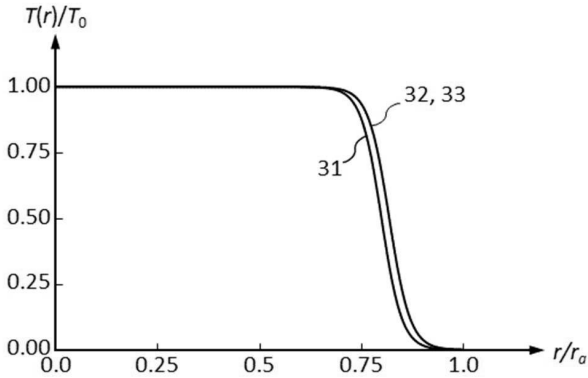


20

【図 1 5】



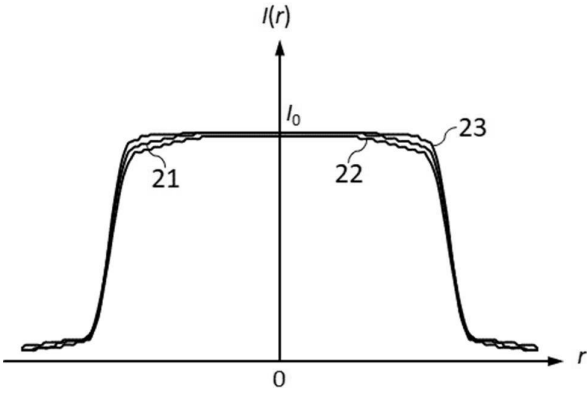
【図 1 6】



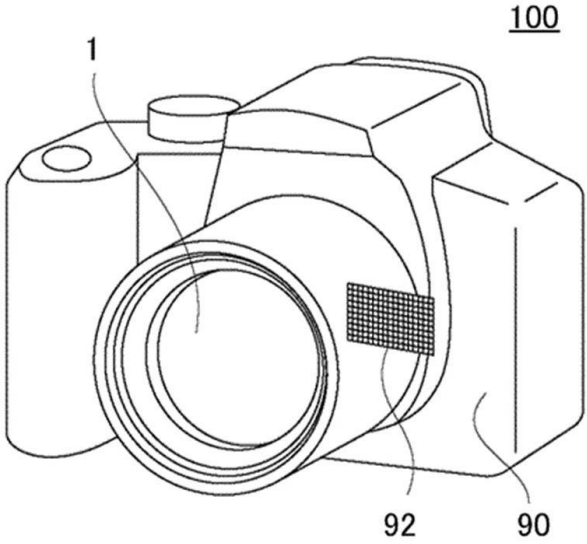
30

40

【図 17】



【図 18】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 岡田 弘

(56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 1 4 5 8 6 2 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 9 / 0 0 - 1 7 / 0 8

G 0 2 B 2 1 / 0 2 - 2 1 / 0 4

G 0 2 B 2 5 / 0 0 - 2 5 / 0 4

H 0 4 N 9 / 1 2 - 9 / 3 1

G 0 2 B 5 / 0 0 - 5 / 1 3 6

G 0 2 B 2 7 / 0 0 - 3 0 / 6 0

G 0 3 B 1 1 / 0 0 - 1 1 / 0 6