

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5457775号
(P5457775)

(45) 発行日 平成26年4月2日 (2014.4.2)

(24) 登録日 平成26年1月17日 (2014.1.17)

(51) Int.Cl.

F I

GO 2 B 17/08 (2006.01)

GO 2 B 13/04 (2006.01)

GO 2 B 13/18 (2006.01)

GO 2 B 13/24 (2006.01)

A 6 1 B 1/00 (2006.01)

GO 2 B 17/08 A

GO 2 B 13/04 D

GO 2 B 13/18

GO 2 B 13/24

A 6 1 B 1/00 3 0 0 Y

請求項の数 8 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2009-228456 (P2009-228456)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成21年9月30日 (2009.9.30)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2011-75916 (P2011-75916A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
(43) 公開日	平成23年4月14日 (2011.4.14)	(74) 代理人	100065824
審査請求日	平成24年9月12日 (2012.9.12)		弁理士 篠原 泰司
		(74) 代理人	100104983
			弁理士 藤中 雅之
		(72) 発明者	水澤 聖幸
			東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリンパス株式会社内
		審査官	下村 一石
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

前方の物体側から順に、反射屈折光学素子を有し負の屈折力を持つ前群と、開口絞りと、正の屈折力を持つ後群とからなり、前方の物体と略側方の物体とを観察するための光学系において、

前記反射屈折光学素子は、第一レンズと該第一レンズの像側に配置された第二レンズとを接合することにより構成されていて、光軸を中心に形成された第一透過面と該第一透過面の周囲に環状に形成され像側を向いた第一反射面とを有し前記第一レンズの前方の物体側に形成された第一面と、光軸を中心に形成された第二透過面と該第二透過面の周囲に環状に形成され前方の物体側を向いた第二反射面とを有し前記第一レンズと前記第二レンズとの接合面に形成された第二面と、透過面として前記第二レンズの像側に形成された第三面と、透過面として前記第一レンズの周面に形成された第四面とを有しており、

前記接合面は、像側に凹面を向けており、

以下の条件式を満たすことを特徴とする光学系。

$$\begin{aligned} |n_{dRL1} - n_{dRL2}| &< 0.3 \\ |d_{RL1} - d_{RL2}| &< 40 \end{aligned}$$

ただし、 n_{dRL1} は前記第一レンズのd線における屈折率、 n_{dRL2} は前記第二レンズのd線における屈折率、 d_{RL1} は前記第一レンズのd線におけるアッペ数、 d_{RL2} は前記第二レンズのd線におけるアッペ数である。

【請求項 2】

以下の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。

$$1 < |r_c/h| < 1.55$$

ただし、 r_c は前記接合面の曲率半径、 h は前記接合面の有効半径である。

【請求項 3】

前記第一レンズ及び前記第二レンズが、同一の屈折力又はアッペ数を持つ硝材で形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 4】

前記第一レンズ及び前記第二レンズが、同一の硝材で形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 5】

前記前群は、負の屈折力を持つ第一レンズ群と、第二レンズ群とからなり、前記後群は、正の屈折力を持つ第三レンズ群からなっていて、

前記第一レンズ群と、前記第二レンズ群と、前記開口絞りと、前記第三レンズ群とにより、前方の物体を観察するための第一光学系が構成され、

前記第二レンズ群と、前記開口絞りと、前記第三レンズ群とにより、略側方の物体を観察するための第二光学系が構成されてい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】

前方の物体側からの光は、前記第一透過面に入射した後に、前記第二透過面を透過し、前記第三面を透過して像側へ出射され、

略側方の物体側からの光は、前記第四面に入射した後に、前記第二反射面と前記第一反射面とで順に反射され、前記第二透過面を透過し、前記第三面を透過して像側へ出射されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 7】

前記第三面は、像側に凹面を向けていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記第二レンズは、負の屈折力を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、前方の物体及び略側方の物体の同時観察を行うことができる光学系に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、略側方の物体側からの光を、内部で反射した後に、像側へ出射する構成を備えることにより、前方の物体の観察と略側方の物体の観察とを同時に行うことのできる光学系が知られている（例えば、特許文献 1，2 参照。）。なお、ここで、略側方とは、光学系自体の側方だけではなく、光学系の斜め前方や斜め後方も含むものとする。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2008 - 309859 号公報

【特許文献 2】国際公開第 2005 / 110186 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、このような光学系においては、前方の物体に対し、使用者が観察を希望する範囲は、どのような使用用途であっても大きく異なることはない。一方、略側方の物体に

10

20

30

40

50

対し、使用者が観察を希望する範囲は、その使用用途により大きく異なる。

【 0 0 0 5 】

例えば、このような光学系を、特許文献 2 のように、体内の管腔を観察する内視鏡装置に採用する場合、前方の物体側に対する観察範囲は、観察対象が上部消化管であっても下部消化管であっても、大きく異ならないことが好ましい。一方、略側方の物体に対する観察範囲は、観察対象が上部消化管であるときには、前方の物体側の観察範囲と略側方の物体側の観察範囲との間の死角が少ない方が良いため、前方寄りであることが好ましいが、観察対象が下部消化管であるときには、ひだ裏や湾曲部などが観察しやすいように、前方の物体側の観察範囲と略側方の物体側の観察範囲との間に死角が多少残っても、後方寄りであることが好ましい。

10

【 0 0 0 6 】

しかし、略側方の物体側の観察範囲、すなわち、観察画角を変更するためには、特許文献 1, 2 に記載された光学系では、光学系全体の設計変更をしなければならず、生産コストが増大するという問題があった。

【 0 0 0 7 】

また、略側方の物体側の観察画角を変更するために、光学系の設計を変更すると、前方の物体側の観察画角も変化してしまうという問題があった。

【 0 0 0 8 】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、略側方の物体側の観察範囲が異なる複数の光学系を安価に製造することを可能にした前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系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 】

上記の目的を達成するために、本発明の光学系は、前方の物体側から順に、反射屈折光学素子を有し負の屈折力を持つ前群と、開口絞りと、正の屈折力を持つ後群とからなり、前方の物体と略側方の物体とを観察するための光学系において、前記反射屈折光学素子は、第一レンズと該第一レンズの像側に配置された第二レンズとを接合することにより構成されていて、光軸を中心に形成された第一透過面と該第一透過面の周囲に環状に形成され像側を向いた第一反射面とを有し前記第一レンズの前方の物体側に形成された第一面と、光軸を中心に形成された第二透過面と該第二透過面の周囲に環状に形成され前方の物体側を向いた第二反射面とを有し前記第一レンズと前記第二レンズとの接合面に形成された第二面と、透過面として前記第二レンズの像側に形成された第三面と、透過面として前記第一レンズの周面に形成された第四面とを有しており、前記接合面は、像側に凹面を向けており、以下の条件式を満たすことを特徴とする。

30

$$\begin{aligned} |n_{d, RL1} - n_{d, RL2}| &< 0.3 \\ |d_{RL1} - d_{RL2}| &< 40 \end{aligned}$$

ただし、 $n_{d, RL1}$ は前記第一レンズの d 線における屈折率、 $n_{d, RL2}$ は前記第二レンズの d 線における屈折率、 d_{RL1} は前記第一レンズの d 線におけるアッペ数、 d_{RL2} は前記第二レンズの d 線におけるアッペ数である。

【 0 0 1 0 】

40

また、本発明の光学系は、以下の条件式を満足することが好ましい。

$$1 < |r_c / h| < 1.55$$

ただし、 r_c は前記接合面の曲率半径、 h は前記接合面の有効半径である。

【 0 0 1 1 】

また、本発明の光学系は、前記第一レンズ及び前記第二レンズが、同一の屈折力又はアッペ数を持つ硝材で形成されていることが好ましい。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の光学系は、前記第一レンズ及び前記第二レンズが、同一の硝材で形成されていることが好ましい。

【 0 0 1 3 】

50

また、本発明の光学系は、前記前群は、負の屈折力を持つ第一レンズ群と、第二レンズ群とからなり、前記後群は、正の屈折力を持つ第三レンズ群からなっていて、前記第一レンズ群と、前記第二レンズ群と、前記開口絞りと、前記第三レンズ群とにより、前方の物体を観察するための第一光学系が構成され、前記第二レンズ群と、前記開口絞りと、前記第三レンズ群とにより、略側方の物体を観察するための第二光学系が構成されていることが好ましい。

【0014】

また、本発明の光学系は、前方の物体側からの光は、前記第一透過面に入射した後に、前記第二透過面を透過し、前記第三面を透過し像側へ出射され、略側方の物体側からの光は、前記第四面に入射した後に、前記第二反射面と前記第一反射面とで順に反射され、前記第二透過面を透過し、前記第三面を透過し像側へ出射されることが好ましい。

10

また、本発明の光学系は、前記第三面は、像側に凹面を向けていることが好ましい。

また、本発明の光学系は、前記第二レンズは、負の屈折力を有することが好ましい。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、略側方の物体側の観察範囲が異なる複数の光学系を安価に製造することを可能にした前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

20

【図1】本発明の反射屈折光学素子に対し、略側方の物体側から入射する光に関する画角を示す模式図である。

【図2】実施例1に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。

【図3】実施例1に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。

30

【図4】実施例1に係る光学系が有している反射屈折光学素子の拡大図である。

【図5】実施例1に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が60°、55°、45°、30°、0°の場合の収差を示している。

【図6】実施例1に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が135°、125°、115°、105°、90°の場合の収差を示している。

40

【図7】実施例1に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が60°、55°、45°、30°、0°の場合の収差を示している。

【図8】実施例1に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の略側方の物体

50

側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 90° 、 85° 、 80° 、 70° 、 60° の場合の収差を示している。

【図9】実施例2に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。

【図10】実施例2に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。

10

【図11】実施例2に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。

【図12】実施例2に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 135° 、 125° 、 115° 、 105° 、 90° の場合の収差を示している。

20

【図13】実施例2に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。

30

【図14】実施例2に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 90° 、 85° 、 80° 、 70° 、 60° の場合の収差を示している。

【図15】実施例3に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。

40

【図16】に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。

【図17】実施例3に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。

50

【図 18】実施例 3 に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a) はメリジオナル面に関するコマ収差、(b) はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 135° 、 125° 、 115° 、 105° 、 90° の場合の収差を示している。

【図 19】実施例 3 に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a) はメリジオナル面に関するコマ収差、(b) はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。

10

【図 20】実施例 3 に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a) はメリジオナル面に関するコマ収差、(b) はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 90° 、 85° 、 80° 、 70° 、 60° の場合の収差を示している。

【発明を実施するための形態】

【0017】

20

本発明の光学系の実施例の説明に先立ち、本発明の構成による作用効果を説明する。

【0018】

本発明の光学系においては、反射屈折光学素子は、第一レンズと該第一レンズの像側に配置された第二レンズとを接合することにより構成されていて、光軸を中心に形成された第一透過面と該第一透過面の周囲に環状に形成され像側を向いた第一反射面とを有し前記第一レンズの前方の物体側に形成された第一面と、光軸を中心に形成された第二透過面と該第二透過面の周囲に環状に形成され前方の物体側を向いた第二反射面とを有し前記第一レンズと前記第二レンズとの接合面に形成された第二面と、透過面として前記第二レンズの像側に形成された第三面と、透過面として前記第一レンズの周面に形成された第四面とを有することを特徴とする。

30

【0019】

このように、本発明の光学系は、入射した光線を内部で 2 回反射する反射屈折光学素子を備えているため、前方の物体を観察しつつ、同時に、反転していない状態で略側方の物体を観察することができる。なお、反射屈折光学素子とは、光の反射作用と屈折作用とを利用する部材を意味する。

【0020】

また、本発明の光学系は、以下の条件式を満たすことを特徴とする。

$$|n_{dRL1} - n_{dRL2}| < 0.3 \quad (1)$$

$$|d_{RL1} - d_{RL2}| < 40 \quad (2)$$

ただし、 n_{dRL1} は前記第一レンズの d 線における屈折率、 n_{dRL2} は前記第二レンズの d 線における屈折率、 d_{RL1} は前記第一レンズの d 線におけるアッペ数、 d_{RL2} は前記第二レンズの d 線におけるアッペ数である。

40

【0021】

この条件式 (1) 及び (2) は、前方の物体側から入射する光線に影響を与えない範囲で、反射屈折光学素子を構成するための条件式である。本発明の光学系は、反射屈折光学素子を、この条件式 (1) 及び (2) を満足する硝材により形成された第一レンズと第二レンズとを接合して構成することにより、前方の物体側から入射する光線に大きな影響を与えずに、略側方の物体側に対する観察画角の異なる光学系を製造し得る。

【0022】

言い換えれば、製造時に、この条件式 (1) 及び (2) を満たしていれば、略側方の物

50

体に対する観察画角、すなわち、反射屈折光学素子の接合面の曲率半径が異なっているとしても、前方の物体側から入射する光線に大きな影響を与えることはない。その結果、前方の物体側に対する観察画角等が同一であって、略側方の物体に対する観察画角が異なる光学系を、光学系全体の再設計をすることなく、安価に製造することができる。

【0023】

なお、条件式(1)の上限値を超えると、接合面の曲率半径の変動による屈折力の変化が大きくなりすぎてしまい、2つの光学系のコマ収差のバランスが大きく異なってしまう。また、条件式(2)の上限値を超えると、接合面の半径の変動により発生する色収差が無視できないほど異なってしまう。

【0024】

また、本発明の光学系においては、以下の条件式を満足することを特徴とすることが好ましい。

$$1 < |r_c / h| < 1.55 \quad (3)$$

ただし、 r_c は前記接合面の曲率半径、 h は前記接合面の有効半径である。

【0025】

この条件式(3)の下限値を下回ると、接合面の曲率半径が半球を超えるため、接合できなくなる。一方、この条件式(3)の上限値を上回ると、略側方の物体に対する観察画角が 180° 以下となり、十分な観察画角が確保できなくなる。

【0026】

以下に、実施例1乃至実施例4に係る光学系について図面を参照して説明する。

【0027】

なお、光学系断面図の r_1, r_2, \dots 及び d_1, d_2, \dots において下付き文字として示した数字は、数値データにおける面番号1, 2, \dots に対応している。

【0028】

また、数値データにおいては、 s は面番号、 r は各面の曲率半径、 d は面間隔、 n_d は d 線(波長 587.56nm)における屈折率、 d は d 線におけるアッペ数、 k は円錐係数、 A_4, A_6, A_8, A_{10} は非球面係数をそれぞれ示している。

【0029】

また、数値データの非球面係数においては、 E は10のべき乗を表している。例えば、「 $E-10$ 」は、10のマイナス1乗を表している。また、各非球面形状は、数値データに記載した各非球面係数を用いて以下の式で表される。ただし、光軸に沿う方向の座標を Z 、光軸と垂直な方向の座標を Y とする。

$$Z = (Y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k) \cdot (Y / r)^2\}^{1/2}] + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} + \dots$$

【0030】

また、収差図において、メリジオナル面とは、光学系の光軸と主光線とを含む面(紙面に平行な面)、サジタル面とは、光軸を含みメリジオナル面に垂直な面(紙面に垂直な面)を意味する。本発明の光学系は、メリジオナル面に対して対称であるため、サジタル面についての収差量は、横軸について、負の値を省略している。コマ収差を示す図における、縦軸は収差量(単位 mm)、横軸は開口比($-1 \sim 1$)をそれぞれ表している。各線に対応する波長は、図中の右端に記載されている。

【0031】

また、ここで、図1を用いて、本発明の光学系の反射屈折光学素子に対し、略側方の物体側から入射する光の画角の定義について説明をしておく。図1は、本発明の反射屈折光学素子に対し、略側方の物体側から入射する光に関する画角を示す模式図である。

【0032】

反射屈折光学素子 RL の略側方の物体側を向いた面 RL_s に、略側方の物体側から入射する光 L_s の主光線と光軸 LC とが、前方の物体側でなす角度が、反射屈折光学素子 RL の略側方の物体側に対する半画角となる。

【0033】

10

20

30

40

50

また、このような反射屈折光学素子 RL の場合、略側方の物体側を向いた面 RL_s を介して、前方の物体、すなわち、光軸 LC 上に存在する物体を観察することはできない。そのため、画角には、最小画角 θ_{Min} と最大画角 θ_{Max} が存在することになる。このとき、最小画角 θ_{Min} とは、略側方の物体側を向いた面 RL_s を介して観察できる範囲のうち、最も前方の物体側の光の主光線と光軸とがなす角度 θ_{Min} のことである。一方、最大画角 θ_{Max} とは、略側方の物体側を向いた面 RL_s を介して観察できる範囲のうち、最も像側の光の主光線と光軸とがなす角度 θ_{Max} のことである。

【実施例 1】

【0034】

以下に、図 2 ~ 図 8 を用いて実施例 1 に係る 2 つの光学系、すなわち、前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した光学系と、その光学系とは反射屈折光学素子の構成のみを変更することによって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した光学系とについて、詳細に説明する。

【0035】

図 2 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a) は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b) は各レンズの面及び面間隔を示している。図 3 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a) は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b) は各レンズの面及び面間隔を示している。図 4 は、本実施例に係る光学系が有している反射屈折光学素子の拡大図である。

【0036】

図 5 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a) はメリジオナル面に関するコマ収差、(b) はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。図 6 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a) はメリジオナル面に関するコマ収差、(b) はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 135° 、 125° 、 115° 、 105° 、 90° の場合の収差を示している。図 7 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a) はメリジオナル面に関するコマ収差、(b) はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。図 8 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a) はメリジオナル面に関するコマ収差、(b) はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 90° 、 85° 、 80° 、 70° 、 60° の場合の収差を示している。

【0037】

まず、図 2 及び図 3 を用いて、2 つ光学系の構成を説明する。

【0038】

本実施例の 2 つ光学系は、いずれも、前方の物体側からの光の光軸 LC 上に、前方の物体側から順に、前群 G_f と、開口絞り S と、後群 G_r とが配置されている。なお、前群 G_f

は、第一レンズ群 G_1 と第二レンズ群 G_2 とからなり、全体として負の屈折力を持っている。一方、後群 G_r は、第三レンズ群 G_3 からなり、全体として正の屈折力を持っている。

【 0 0 3 9 】

第一レンズ群 G_1 は、像側に凹面を向けた平凹レンズであるレンズ L_1 により構成されている。

【 0 0 4 0 】

第二レンズ群 G_2 は、前方の物体側から順に、前方の物体側の面が非球面の両凹レンズであるレンズ L_{21} と、像側に凹面を向けた負のメニスカスレンズであるレンズ L_{22} と、平レンズである L_{23} とにより構成されている。なお、レンズ L_{21} の像側の面とレンズ L_{22} の前方の物体側の面とは接合されており、レンズ L_{21} とレンズ L_{22} とにより反射屈折光学素子が構成されている。また、レンズ L_{21} とレンズ L_{22} とは、同一の硝材で形成されている。

10

【 0 0 4 1 】

開口絞り S は、レンズ L_{23} の像側の面に配置されている。

【 0 0 4 2 】

第三レンズ群 G_3 は、前方の物体側から順に、像側に凸面を向けた平凸レンズであるレンズ L_{31} と、両凸レンズであるレンズ L_{32} と、両凹レンズであるレンズ L_{33} と、からなる接合レンズと、像側の面が非球面の両凸レンズであるレンズ L_{34} と、平板レンズであるレンズ L_{35} とにより構成されている。なお、レンズ L_{32} の像側の面とレンズ L_{33} の前方の物体側の面とは接合されている。

20

【 0 0 4 3 】

なお、これらのレンズの形状は、前方の物体側からの光の光軸近傍における形状である。

【 0 0 4 4 】

ここで、図 4 を用いて前方の物体と略側方の物体とを同時観察するための反射屈折光学素子について詳細に説明する。

【 0 0 4 5 】

第一レンズであるレンズ L_{21} と第二レンズであるレンズ L_{22} とを接合することにより構成された反射屈折光学素子 RL は、第一レンズの前方の物体側に形成された第一面 RLa と、レンズ L_{21} とレンズ L_{22} との接合面に形成された第二面 RLb と、レンズ L_{22} の像側に形成された第三面と、レンズ L_{21} の周面に形成された第四面 RLd とを有する。

30

【 0 0 4 6 】

第一面 RLa は、光軸を中心に形成されている第一透過面 RLa_1 と、像側を向いて第一透過面 RLa_1 の周囲に環状に形成されている第一反射面 RLa_2 とを有している。第二面 RLb は、光軸を中心に形成されている第二透過面 RLb_1 と、前方の物体側を向いて第二透過面 RLb_1 の周囲に環状に形成されている第二反射面 RLb_2 とを有している。第三面 RLc は光軸を中心とした透過面として形成されている。第四面 RLd は全面が透過面として形成されている。

【 0 0 4 7 】

なお、第一反射面 RLa_2 や第二反射面 RLb_2 は、蒸着法により形成されている。具体的には、例えば、第一透過面 RLa_1 に、第一透過面 RLa_1 と同形状のマスクをした上で、第一面 RLa 全体に対してミラーコーティングを施し、その後該マスクを剥がす。このような方法を用いれば、マスクされた部分はミラーコーティングされないため、第一反射面 RLb_2 を形成した後も、第一透過面 RLa_1 を透過面として用いることができる。

40

【 0 0 4 8 】

次に、図 2 乃至図 4 を用いて、本実施例の 2 つの光学系に入射した光の辿る経路を説明する。

【 0 0 4 9 】

本実施例の光学系に前方の物体側から入射する光 L_f は、まず、レンズ L_1 を通過する。次に、レンズ L_1 を通過した光 L_f は、反射屈折光学素子 RL の第一透過面 RLa_1 に入射

50

する。その後、第一透過面 RLa_1 に入射した光 L_f は、反射屈折光学素子 RL の第二透過面 RLb_1 を透過する。その後、第二透過面 RLb_1 を透過した光 L_f は、反射屈折光学素子 RL の第三面 RLc から出射する。そして、第三面 RLc から出射した光 L_f は、レンズ L_{23} 、開口絞り S 、レンズ $L_{31} \sim$ レンズ L_{35} を順に通過し、結像面において、観察領域の中央部に前方の物体の像を形成する。

【0050】

他方、本実施例の光学系に略側方の物体側から入射する光 L_s は、まず、反射屈折光学素子 RL の第四面 RLd に入射する。次に、第四面 RLd に入射した光 L_s は、反射屈折光学素子 RL の第二反射面 RLb_2 で反射される。次に、第二反射面 RLb_2 で反射された光 L_s は、反射屈折光学素子 RL の第一反射面 RLa_2 で反射される。次に、第一反射面 RLa_2 で反射された光 L_s は、反射屈折光学素子 RL の第二透過面 RLb_1 を透過する。その後、第二透過面 RLb_1 を透過した光 L_f は、反射屈折光学素子 RL の第三面 RLc から出射する。そして、第三面 RLc から出射した光 L_f は、レンズ L_{23} 、開口絞り S 、レンズ $L_{31} \sim$ レンズ L_{35} を順に通過し、結像面において、観察領域の中央部に形成された前方の物体の像の周囲に、環状に、略側方の物体の像を形成する。

【0051】

次に、本実施例に係る2つの光学系のうち、図2に示されている光学系、すなわち、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りにある光学系を構成しているレンズに係る数値データを示す。

【0052】

数値データ 1 - 1

単位 mm

面データ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
s	r	d	n d	d
0 (物体面)		12.3		
1		0.6	1.8830	40.8
2	1.4	0.777		
3 (非球面)	-4.39406	0.65	1.5163	64.1
4	1.975	1.6	1.5163	64.1
5	1.20974	0.832		
6	2.5			
7		0.4	1.5163	64.1
8		0		
9 (開口絞り)		0.78		
10		1.2	1.804	46.6
11	-1.93	0.1		
12	3.7633	1.3	1.7292	54.7
13	-1.75	0.35	1.8467	23.8
14	4.1	0.2		
15	3.71289	0.9	1.5163	64.1
16 (非球面)	-10.56729	0.72		
17		1.6	1.5163	64.1
18		0		
19 (像面)				

なお、面番号6に係る曲率半径は、反射屈折光学素子 RL の第四面、すなわち、レンズ L_{21} の光軸 LC を中心とした周面の曲率半径である。

【0053】

非球面データ

面番号 曲率半径 円錐係数 非球面係数

10

20

30

40

50

s	r	k	A_4	A_6	A_8	A_{10}
4	-4.39406	0	1.09E-01	-4.54E-02	1.18E-02	-1.35E-03
16	-10.56729	0	5.64E-03	1.88E-01	-3.60E-02	-5.60E-02

【 0 0 5 4 】

各種データ

F ナンバー : 5 . 3

焦点距離 (前方の物体側) : 0 . 4 6 9

レンズ全長 : 1 2 . 0 1 0 mm

バックフォーカス : 0 mm

像高

前方の物体側 : 0 . 4 7 2 mm

略側方の物体側 : 0 . 9 7 8 mm

10

【 0 0 5 5 】

半画角

前方の物体側に対する半画角 : 6 0 °

略側方の物体側に対する半画角 (最小画角 ~ 最大画角) : 9 0 ° ~ 1 3 5 °

【 0 0 5 6 】

条件式に係るデータ

条件式 (1) $| n_{dRL1} - n_{dRL2} | < 0 . 3 : 0$ 条件式 (2) $| d_{RL1} - d_{RL2} | < 4 0 : 0$ 条件式 (3) $1 < | r_c / h | < 1 . 5 5 : 1 . 2 1 1 6 5 6 4 4 2$

20

【 0 0 5 7 】

次に、本実施例に係る2つの光学系のうち、図3に示されている光学系、すなわち、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りにある光学系を構成しているレンズに係る数値データを示す。なお、非球面データ及び各種データに関しては、略側方の物体側の画角が後方寄りにある光学系と同一であるため省略する。

【 0 0 5 8 】

数値データ 1 - 2

単位 mm

面データ

30

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
s	r	d	n_d	d
0 (物体面)		12.3		
1		0.6	1.8830	40.8
2	1.4	0.777		
3 (非球面)	-4.39406	0.65	1.5163	64.1
4	2.43	1.6	1.5163	64.1
5	1.20974	0.832		
6	2.5			
7		0.4	1.5163	64.1
8		0		
9 (開口絞り)		0.78		
10		1.2	1.804	46.6
11	-1.93	0.1		
12	3.7633	1.3	1.7292	54.7
13	-1.75	0.35	1.8467	23.8
14	4.1	0.2		
15	3.71289	0.9	1.5163	64.1
16 (非球面)	-10.56729	0.72		
17		1.6	1.5163	64.1

40

50

18

0

19 (像面)

なお、面番号 6 に係る曲率半径は、反射屈折光学素子 R L の第四面、すなわち、レンズ L₂₁ の光軸 L C を中心とした周面の曲率半径である。

【0059】

半画角

前方の物体側に対する半画角：60°

略側方の物体側に対する半画角（最小画角～最大画角）：55°～90°

【0060】

条件式に係るデータ

条件式(1) $|n_{dRL1} - n_{dRL2}| < 0.3 : 0$

条件式(2) $|d_{RL1} - d_{RL2}| < 40 : 0$

条件式(3) $1 < |r_c/h| < 1.55 : 1.51875$

【0061】

以上のように、本実施例の2つの光学系は、反射屈折光学素子を構成する2枚のレンズの接合面（第二面）の曲率半径のみが異なる構成となっている。つまり、反射屈折光学素子以外のレンズについては、共通の物を使用することができるということである。

【0062】

また、反射屈折光学素子を構成する2枚のレンズは、同一の硝材を用いて形成されているため、反射屈折光学素子の第二面の曲率半径が異なっても、前方の物体側から入射する光に対しては、いずれの光学系もほぼ同様の結像性能を有している。

【0063】

そのため、本実施例の2つの光学系を製造する際には、反射屈折光学素子のみを別個に製造すれば良く、生産コストを抑えることができる。

【実施例2】

【0064】

以下に、図9～図14を用いて実施例2に係る2つの光学系、すなわち、前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した光学系と、その光学系とは反射屈折光学素子の構成のみを変更することによって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した光学系とについて、詳細に説明する。なお、本実施例の2つの光学系は、実施例1の2つの光学系と、反射屈折光学素子を構成する2枚のレンズの形状及び特性、光学系を構成するレンズの間隔のみが異なり、その他光学系に入射した光の辿る光路等は、実施例1の光学系とほぼ同じであるため、ほぼ同じ構成を有する部材には、同一の符号を付すとともに、それらについての詳細な説明は省略する。

【0065】

図9は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。図10は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a)は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b)は各レンズの面及び面間隔を示している。

【0066】

図11は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が60°、55°、45°、30°、0°の場合の収差を示している。図12は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系で

10

20

30

40

50

あって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 135° 、 125° 、 115° 、 105° 、 90° の場合の収差を示している。図13は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。図14は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 90° 、 85° 、 80° 、 70° 、 60° の場合の収差を示している。

10

【0067】

まず、図9及び図10を用いて、本実施例の2つ光学系の構成を説明する。

【0068】

本実施例の2つの光学系は、実施例1の2つの光学系と同じく、第二レンズ群 G_2 は、前方の物体側から順に、前方の物体側の面が非球面の両凹レンズであるレンズ L_{21} と、像側に凹面を向けた負のメニスカスレンズであるレンズ L_{22} と、平レンズである L_{23} とにより構成されている。また、レンズ L_{21} の像側の面とレンズ L_{22} の前方の物体側の面とは接合されており、レンズ L_{21} とレンズ L_{22} とにより反射屈折光学素子が構成されている点も同様である。しかし、レンズ L_{21} とレンズ L_{22} を形成する硝材は、実施例1の2つの光学系と異なり、異なる光学特性を持つ硝材となっている。

20

【0069】

次に、本実施例に係る2つの光学系のうち、図9に示されている光学系、すなわち、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りにある光学系を構成しているレンズに係る数値データを示す。

【0070】

30

数値データ2-1

単位 mm

面データ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
s	r	d	n _d	d
0 (物体面)		11.46		
1		0.6	1.8830	40.8
2	1.4	0.58115		
3 (非球面)	-4.57279	0.65	1.651597	58.5
4	1.97	1.659967	1.5163	64.1
5	1.29332	0.833459		
6	2.5			
7		0.4	1.5163	64.1
8		0		
9 (開口絞り)		0.78		
10		1.2	1.804	46.6
11	-1.93	0.1		
12	3.7633	1.3	1.7292	54.7
13	-1.75	0.35	1.8467	23.8
14	4.1	0.2		

40

50

15	3.71289	0.9	1.5163	64.1
16 (非球面)	-10.56729	0.746235		
17		1.6	1.5163	64.1
18		0		
19 (像面)				

なお、面番号6に係る曲率半径は、反射屈折光学素子RLの第四面、すなわち、レンズL₂₁の光軸LCを中心とした周面の曲率半径である。

【0071】

非球面データ

面番号	曲率半径	円錐係数	非球面係数				10
s	r	k	A ₄	A ₆	A ₈	A ₁₀	
4	-4.57279	0	1.03E-01	-4.00E-02	9.59E-03	-1.01E-03	
16	-10.56729	0	5.64E-03	1.88E-01	-3.60E-02	-5.60E-02	

【0072】

各種データ

Fナンバー：5.3

焦点距離（前方の物体側）：0.461

レンズ全長：11.901mm

バックフォーカス：0mm

像高

前方の物体側：0.472mm

略側方の物体側：0.978mm

【0073】

半画角

前方の物体側に対する半画角：60°

略側方の物体側に対する半画角（最小画角～最大画角）：90°～135°

【0074】

条件式に係るデータ

条件式(1) $|n_{dRL1} - n_{dRL2}| < 0.3 : 0.1353$

条件式(2) $|d_{RL1} - d_{RL2}| < 40 : 5.6$

条件式(3) $1 < |r_c/h| < 1.55 : 1.223602484$

【0075】

次に、本実施例に係る2つの光学系のうち、図10に示されている光学系、すなわち、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りにある光学系を構成しているレンズに係る数値データを示す。なお、非球面データ及び各種データに関しては、略側方の物体側の画角が後方寄りの光学系と同一であるため省略する。

【0076】

数値データ2-2

単位 mm

面データ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数	40
s	r	d	n _d	d	
0 (物体面)		11.46			
1		0.6	1.8830	40.8	
2	1.4	0.58115			
3 (非球面)	-4.57279	0.65	1.651597	58.5	
4	2.35	1.659967	1.5163	64.1	
5	1.29332	0.833459			
6	2.5				
7		0.4	1.5163	64.1	50

8		0			
9	(開口絞り)	0.78			
10		1.2	1.804	46.6	
11	-1.93	0.1			
12	3.7633	1.3	1.7292	54.7	
13	-1.75	0.35	1.8467	23.8	
14	4.1	0.2			
15	3.71289	0.9	1.5163	64.1	
16	(非球面)	-10.56729	0.746235		
17		1.6	1.5163	64.1	10
18		0			
19	(像面)				

なお、面番号 6 に係る曲率半径は、反射屈折光学素子 R L の第四面、すなわち、レンズ L₂₁ の光軸 L C を中心とした周面の曲率半径である。

【 0 0 7 7 】

半画角

前方の物体側に対する半画角： 6 0 °

略側方の物体側に対する半画角（最小画角～最大画角）： 5 5 ° ～ 9 0 °

【 0 0 7 8 】

条件式に係るデータ

条件式 (1) $| n_{d_{RL1}} - n_{d_{RL2}} | < 0.3 : 0.1353$

条件式 (2) $| d_{RL1} - d_{RL2} | < 40 : 5.6$

条件式 (3) $1 < | r_c / h | < 1.55 : 1.496815287$

【 0 0 7 9 】

以上のように、本実施例の 2 つの光学系は、実施例 1 の 2 つの光学系とは異なり、反射屈折光学素子を構成する 2 枚のレンズの光学特性が異なっているものの、その光学特性の差が条件式 (1) 及び (2) の範囲内であるため、実施例 1 の 2 つの光学系とほぼ同様の作用効果を得ることができる。

【 実施例 3 】

【 0 0 8 0 】

以下に、図 1 5 ～ 図 2 0 を用いて実施例 3 に係る 2 つの光学系、すなわち、前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した光学系と、その光学系とは反射屈折光学素子の構成のみを変更することによって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した光学系とについて、詳細に説明する。なお、本実施例の 2 つの光学系は、実施例 1、2 の 2 つの光学系と、反射屈折光学素子を構成する 2 枚のレンズの形状及び特性、光学系を構成するレンズの面間隔のみが異なり、その他光学系に入射した光の辿る光路等は、実施例 1、2 の光学系とほぼ同じであるため、ほぼ同じ構成を有する部材には、同一の符号を付すとともに、それらについての詳細な説明は省略する。

【 0 0 8 1 】

図 1 5 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a) は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b) は各レンズの面及び面間隔を示している。図 1 6 は、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の光軸に沿う断面図であり、(a) は光学系のレンズ構成及び光路を示しており、(b) は各レンズの面及び面間隔を示している。

【 0 0 8 2 】

図 1 7、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、前方の物

10

20

30

40

50

体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。図18、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りとなるように構成した場合の光学系の、略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 135° 、 125° 、 115° 、 105° 、 90° の場合の収差を示している。図19、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の前方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 60° 、 55° 、 45° 、 30° 、 0° の場合の収差を示している。図20、本実施例に係る前方の物体と略側方の物体の同時観察が可能な光学系であって、略側方の物体側の観察範囲が前方寄りとなるように構成した場合の光学系の略側方の物体側から撮像面へ向かう光線を追跡した場合の収差曲線図であり、(a)はメリジオナル面に関するコマ収差、(b)はサジタル面に関するコマ収差を示している。また、各図は、上から順に、半画角が 90° 、 85° 、 80° 、 70° 、 60° の場合の収差を示している。

【0083】

まず、図15及び図16を用いて、本実施例の2つ光学系の構成を説明する。

【0084】

本実施例の2つの光学系は、実施例1、2の2つの光学系と同じく、第二レンズ群 G_2 は、前方の物体側から順に、前方の物体側の面が非球面の両凹レンズであるレンズ L_{21} と、像側に凹面を向けた負のメニスカスレンズであるレンズ L_{22} と、平レンズである L_{23} とにより構成されている。また、レンズ L_{21} の像側の面とレンズ L_{22} の前方の物体側の面とは接合されており、レンズ L_{21} とレンズ L_{22} とにより反射屈折光学素子が構成されている点も同様である。しかし、レンズ L_{21} とレンズ L_{22} を形成する硝材は、実施例1の2つの光学系と異なり、実施例2の2つの光学系と同様に、異なる光学特性を持つ硝材となっている。

【0085】

次に、本実施例に係る2つの光学系のうち、図15に示されている光学系、すなわち、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りにある光学系を構成しているレンズに係る数値データを示す。

【0086】

数値データ3-1

単位 mm

面データ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
s	r	d	n d	d
0 (物体面)		11.01		
1		0.6	1.8830	40.8
2	1.4	0.393644		
3 (非球面)	-5.15879	0.65	1.800999	35.0
4	1.975	1.782838	1.5163	64.1
5	1.50009	0.809007		
6	2.5			
7		0.4	1.5163	64.1
8		0		
9 (開口絞り)		0.78		

10		1.2	1.804	46.6
11	-1.93	0.1		
12	3.7633	1.3	1.7292	54.7
13	-1.75	0.35	1.8467	23.8
14	4.1	0.2		
15	3.71289	0.9	1.5163	64.1
16	(非球面)	-10.56729	0.746235	
17		1.6	1.5163	64.1
18		0		
19	(像面)			

10

なお、面番号6に係る曲率半径は、反射屈折光学素子RLの第四面、すなわち、レンズL₂₁の光軸LCを中心とした周面の曲率半径である。

【0087】

非球面データ

面番号	曲率半径	円錐係数	非球面係数			
s	r	k	A ₄	A ₆	A ₈	A ₁₀
4	-5.15879	0	7.93E-02	-2.05E-02	2.20E-02	4.76E-05
16	-10.56729	0	5.64E-03	1.88E-01	-3.60E-02	-5.60E-02

【0088】

各種データ

20

各種データ

Fナンバー：5.3

焦点距離（前方の物体側）：0.463

レンズ全長：11.795mm

バックフォーカス：0mm

像高

前方の物体側：0.472mm

略側方の物体側：0.978mm

【0089】

半画角

30

前方の物体側に対する半画角：60°

略側方の物体側に対する半画角（最小画角～最大画角）：90°～135°

【0090】

条件式に係るデータ

条件式(1) $|n_{dRL1} - n_{dRL2}| < 0.3 : 0.2847$ 条件式(2) $|d_{RL1} - d_{RL2}| < 40 : 29.1$ 条件式(3) $1 < |r_c/h| < 1.55 : 1.234375$

【0091】

次に、本実施例に係る2つの光学系のうち、図16に示されている光学系、すなわち、略側方の物体側の観察範囲が後方寄りにある光学系を構成しているレンズに係る数値データを示す。なお、非球面データ及び各種データに関しては、略側方の物体側の画角が後方寄りの光学系と同一であるため省略する。

40

【0092】

数値データ3-2

単位 mm

面データ

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
s	r	d	n _d	d
0 (物体面)		11.01		
1		0.6	1.8830	40.8

50

2	1.4	0.393644		
3 (非球面)	-5.15879	0.65	1.800999	35.0
4	2.32	1.782838	1.5163	64.1
5	1.50009	0.809007		
6	2.5	2.5		
7		0.4	1.5163	64.1
8		0		
9 (開口絞り)		0.78		
10		1.2	1.804	46.6
11	-1.93	0.1		
12	3.7633	1.3	1.7292	54.7
13	-1.75	0.35	1.8467	23.8
14	4.1	0.2		
15	3.71289	0.9	1.5163	64.1
16 (非球面)	-10.56729	0.746235		
17		1.6	1.5163	64.1
18		0		
19 (像面)				

なお、面番号 6 に係る曲率半径は、反射屈折光学素子 R L の第四面、すなわち、レンズ L₂₁ の光軸 L C を中心とした周面の曲率半径である。

【0093】

半画角

前方の物体側に対する半画角：60°

略側方の物体側に対する半画角（最小画角～最大画角）：55°～90°

【0094】

条件式に係るデータ

条件式(1) $|n_{dRL1} - n_{dRL2}| < 0.3 : 0.2847$

条件式(2) $|d_{RL1} - d_{RL2}| < 40 : 29.1$

条件式(3) $1 < |r_c/h| < 1.55 : 1.487179487$

【0095】

また、本発明の光学系のレンズ群を構成するレンズは、上記各実施例により示された形状や枚数に限定されるものではなく、反射屈折光学素子を含む種々の光学系も含まれる。さらに、反射屈折光学素子も、同一又は殆ど同じ光学特性を持つ硝材で形成された3枚以上の接合レンズで構成しても良い。

【0096】

また、上記各実施例においては配置されていないが、光学系の像側に撮像素子を配置したり、光学系とその撮像素子との間にIRカットコートを施したローパスフィルターやCCDカバーガラス等を配置したりしても良い。

【0097】

また、上記各実施例においては、光学系は、3つのレンズ群により構成されているが、本発明の光学系は、これらの例に限定されるものではなく、2つのレンズ群又は4つ以上のレンズ群により構成しても良い。

【0098】

また、上記各実施例においては、反射屈折光学素子 R L の第四面 R L d は、前方の物体側の径と像側の径とが、略一致するような形状となっているが、前方の物体側の径よりも像側の径が大きい形状のものや、前方の物体側の径よりも像側の径が小さい形状のものをを用いても良い。なお、前方の物体側の径とは、第四面 R L d における最も前方の物体側の位置での、光軸に垂直な面内における径をいい、像側の径とは、第四面 R L d における最も像側の位置での、光軸に垂直な面内における径をいう。また、上記各実施例において、反射屈折光学素子 R L の第四面 R L d は、第一面 R L a と第二面 R L b との間において全

10

20

30

40

50

周面にわたって形成されているが、必ずしも、全周面にわたって形成されている必要はなく、周面の一部のみを透過面として形成しても良い。

【 0 0 9 9 】

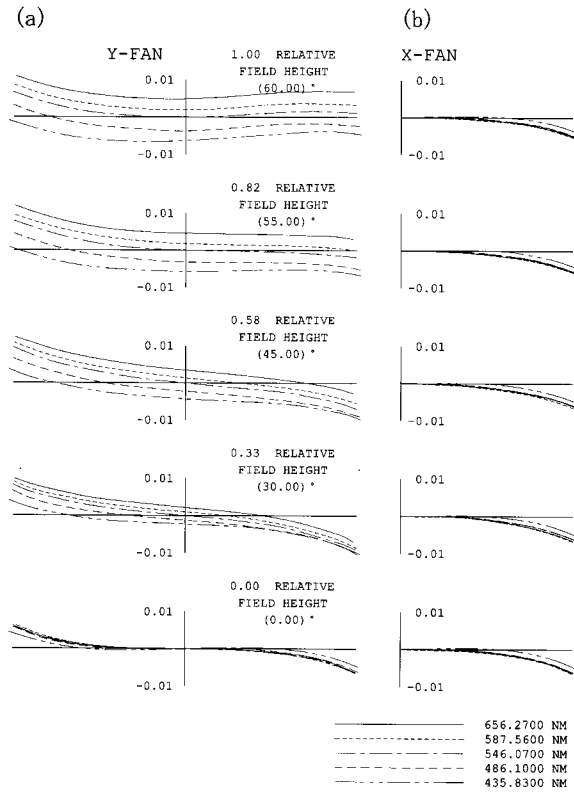
さらに、上記各実施例においては、第一反射面 RLa_2 や第二反射面 RLb_2 を、蒸着法により形成しているが、その形成方法は、上記の方法に限定されるものではない。

【 符号の説明 】

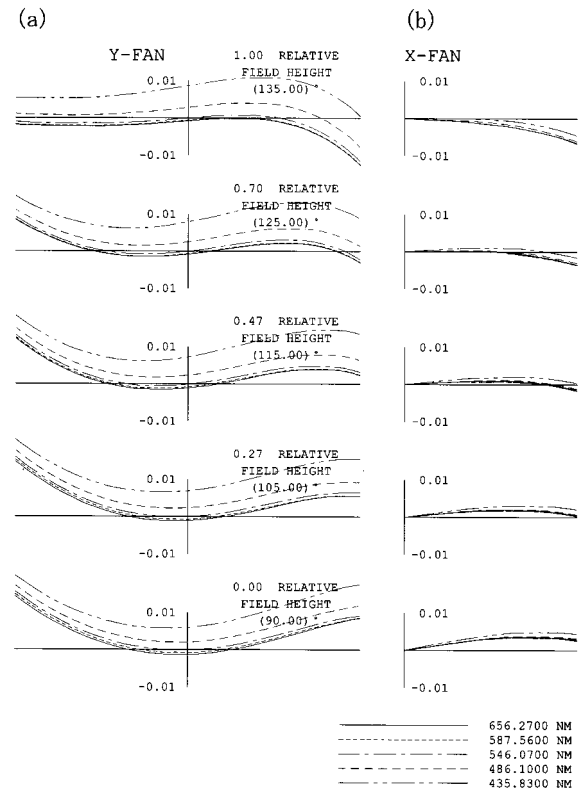
【 0 1 0 0 】

G_f	前群	
G_r	後群	
G_1	第一レンズ群	10
G_2	第二レンズ群	
G_3	第三レンズ	
LC	光軸	
L_f	反射屈折光学素子に前方の物体側から入射する光	
L_s	反射屈折光学素子に略側方の物体側から入射する光	
$L_1, L_{21}, L_{22}, L_{23}, L_{31}, L_{32}, L_{33}, L_{34}, L_{35}$	レンズ	
RL	反射屈折光学素子	
RL_s	反射屈折光学素子の略側方の物体側を向いた面	
RLa	第一面	
RLa_1	第一透過面	20
RLa_2	第一反射面	
RLb	第二面	
RLb_1	第二透過面	
RLb_2	第二反射面	
RLc	第三面	
RLd	第四面	
S	開口絞り	

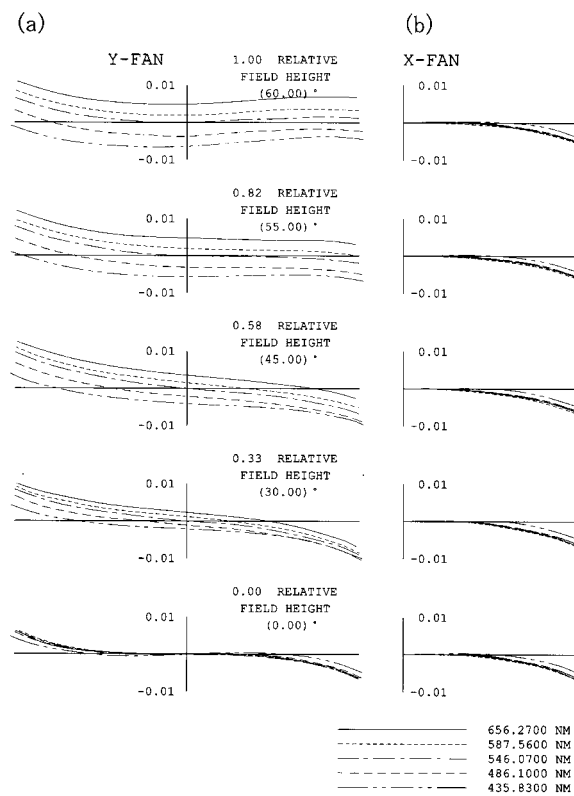
【図 5】



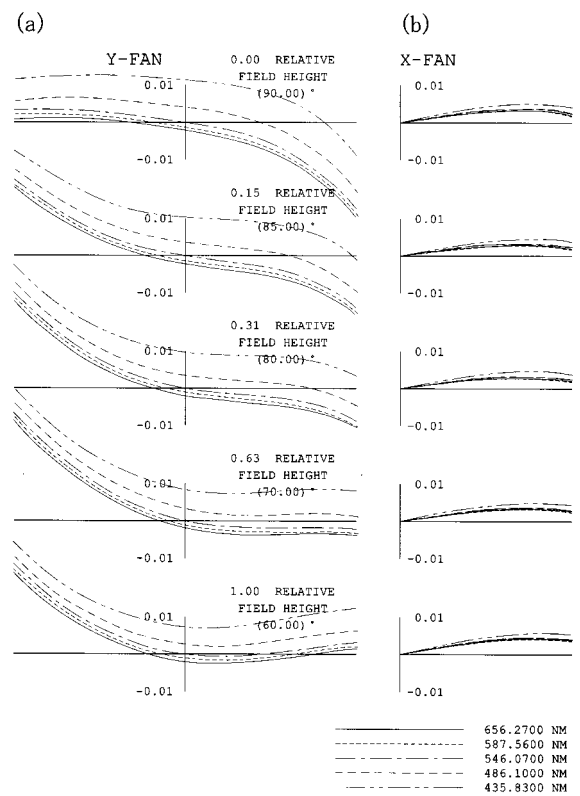
【図 6】



【図 7】

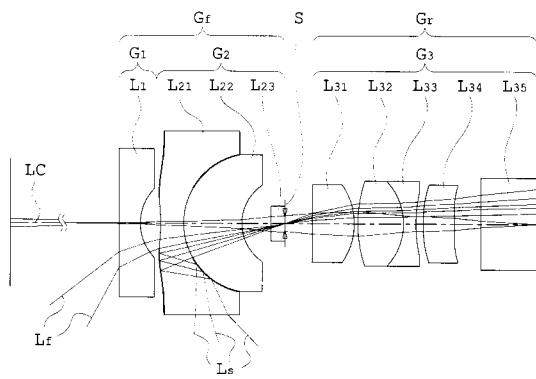


【図 8】

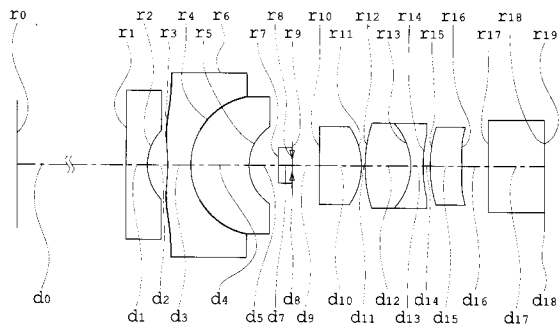


【図 9】

(a)

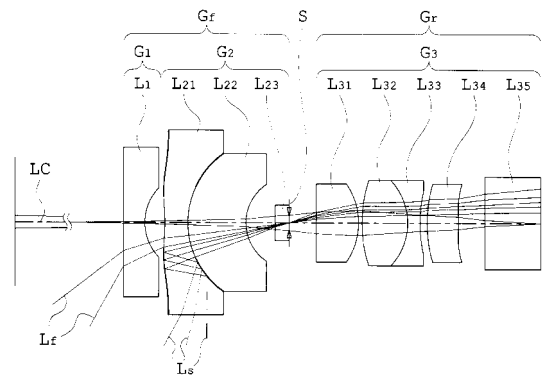


(b)

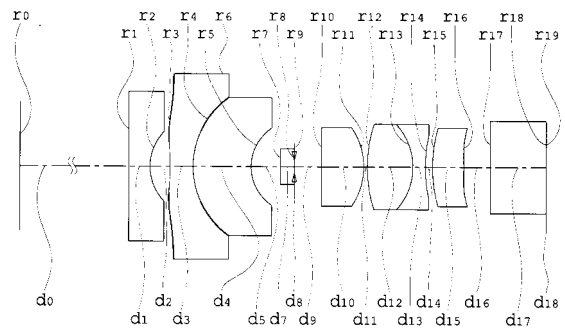


【図 10】

(a)

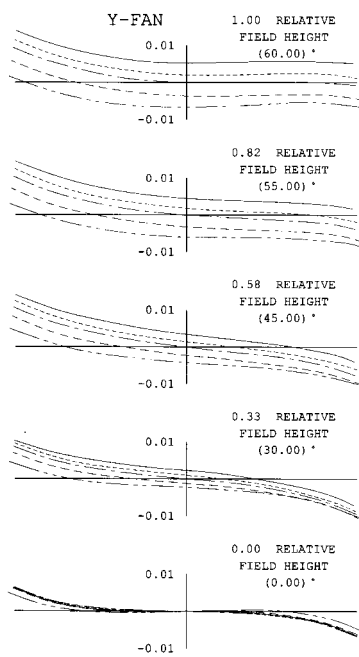


(b)

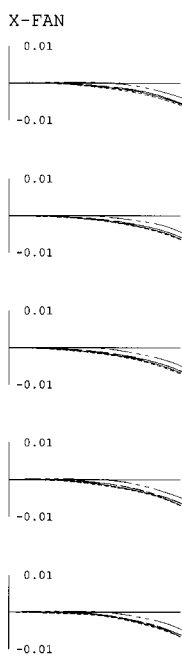


【図 11】

(a)



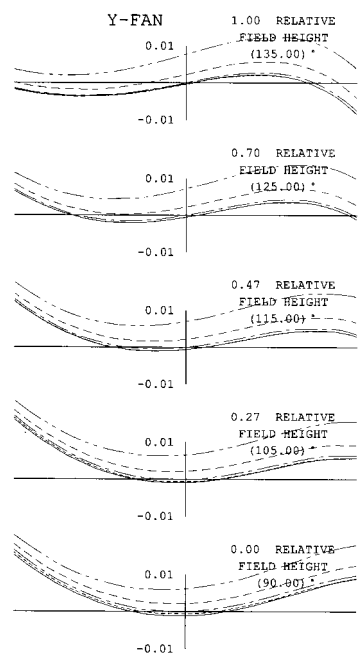
(b)



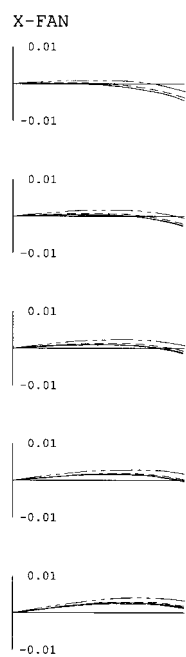
——— 656.2700 NM
 - - - - - 587.5600 NM
 ——— 546.0700 NM
 - - - - - 486.1000 NM
 - - - - - 435.8300 NM

【図 12】

(a)

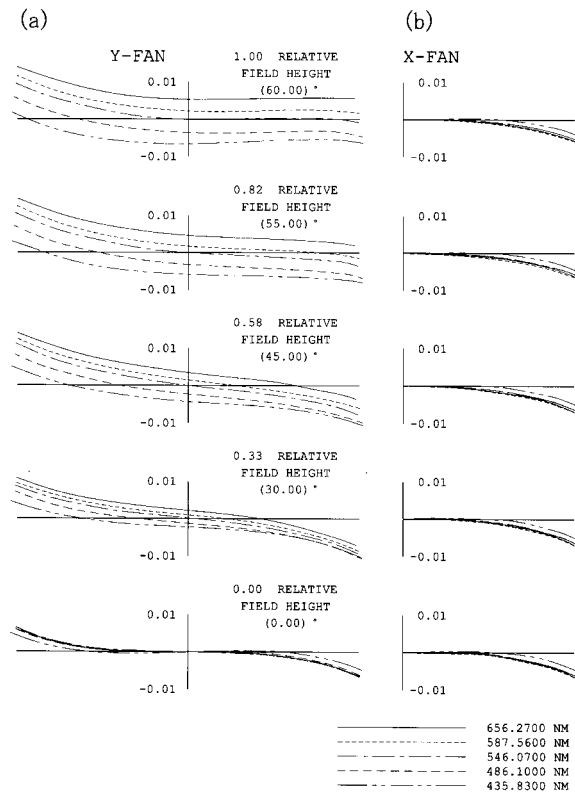


(b)

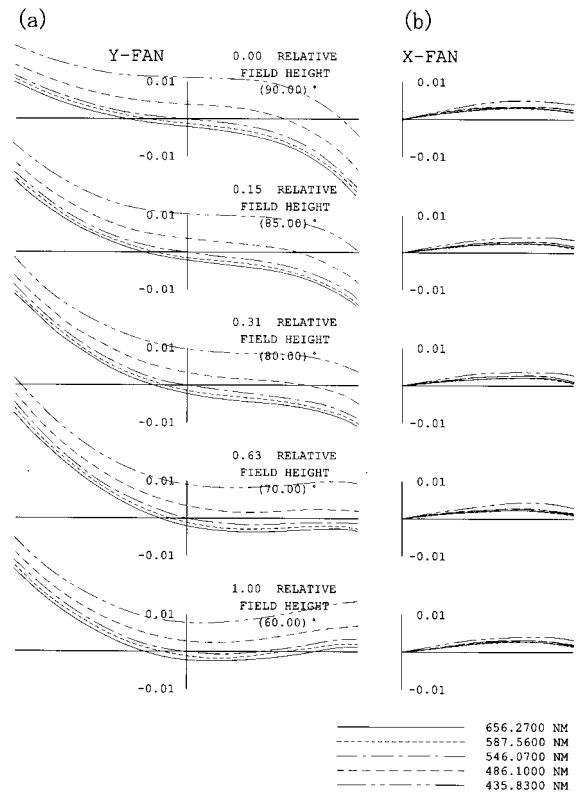


——— 656.2700 NM
 - - - - - 587.5600 NM
 ——— 546.0700 NM
 - - - - - 486.1000 NM
 - - - - - 435.8300 NM

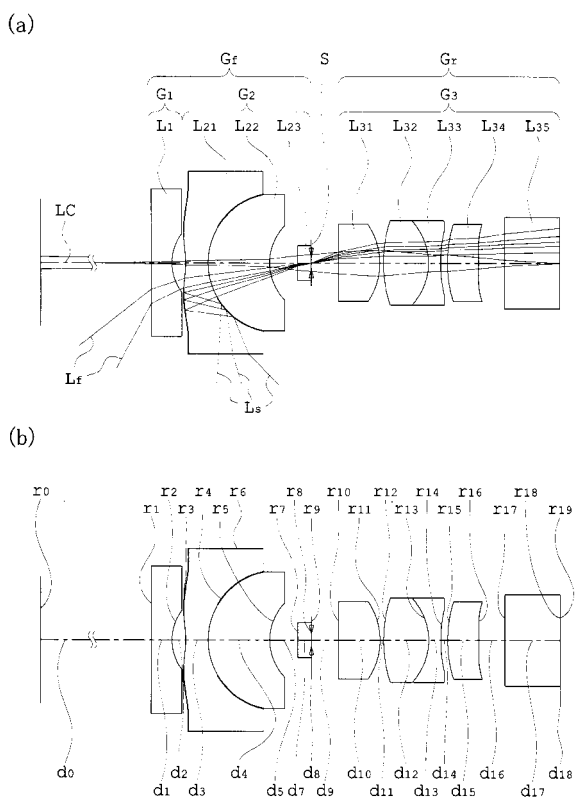
【図 13】



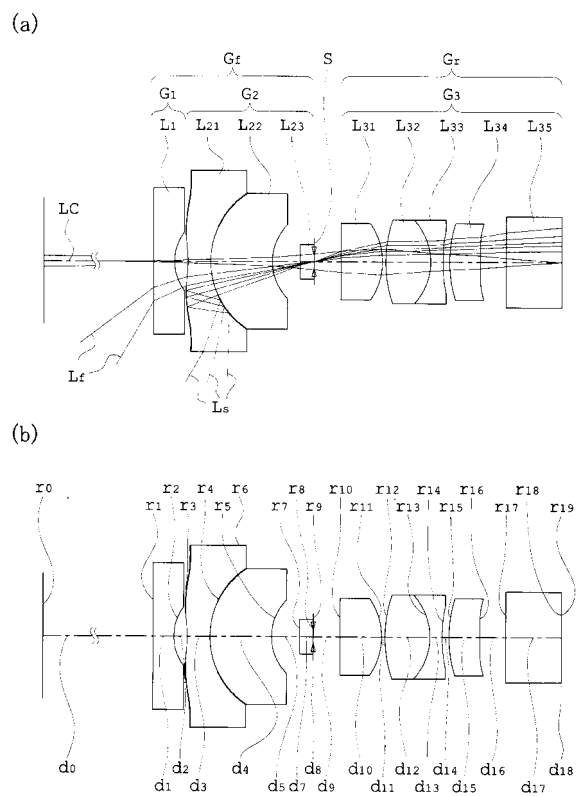
【図 14】



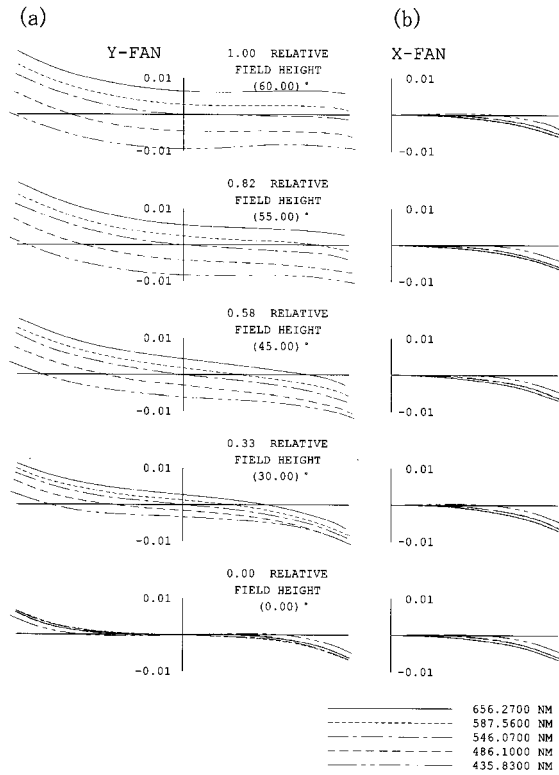
【図 15】



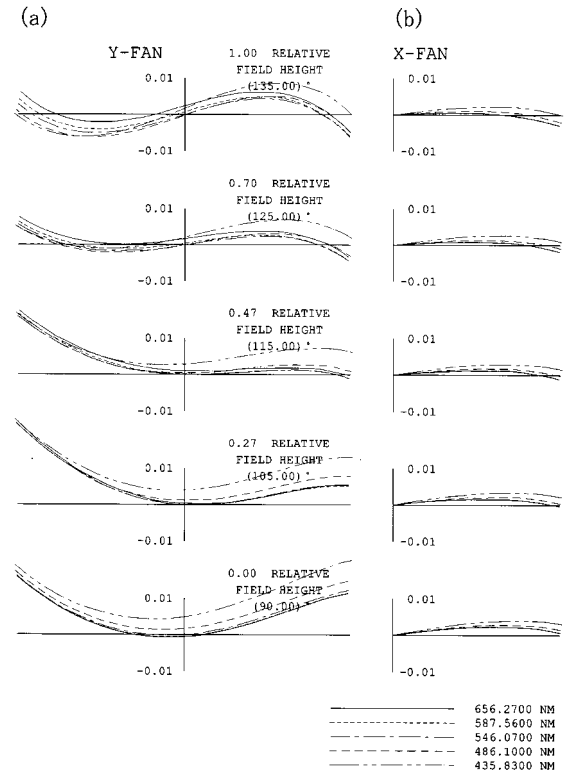
【図 16】



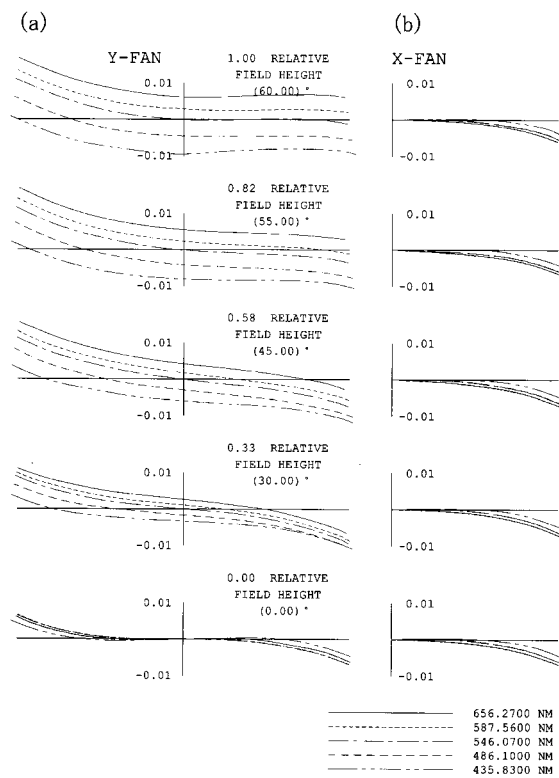
【図 17】



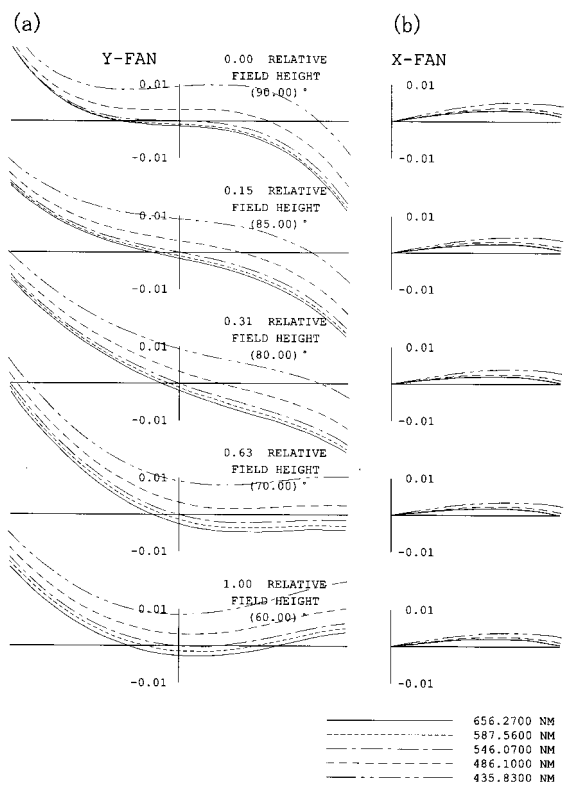
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 2 B 23/26 (2006.01) G 0 2 B 23/26 A

(56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 3 0 9 8 5 9 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 7 / 0 5 5 1 4 3 (W O , A 1)
特開 2 0 0 1 - 1 4 7 4 0 0 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 8 / 1 5 3 1 1 4 (W O , A 1)

(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