

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5063243号
(P5063243)

(45) 発行日 平成24年10月31日(2012.10.31)

(24) 登録日 平成24年8月17日(2012.8.17)

(51) Int.Cl. F 1
G O 2 B 17/08 (2006.01) G O 2 B 17/08
G O 2 B 13/18 (2006.01) G O 2 B 13/18

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-200904 (P2007-200904)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成19年8月1日(2007.8.1)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2009-36976 (P2009-36976A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成21年2月19日(2009.2.19)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成22年6月28日(2010.6.28)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	鈴木 雅之
			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	松田 融
			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	堀井 康司
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 主焦点補正光学系及びそれを用いた反射望遠鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに分散の異なる一対のレンズを含む複合レンズを有し、該複合レンズを光軸に対して垂直な方向の成分を持つように移動可能に構成した反射望遠鏡の主焦点補正光学系において、

主鏡に近い方から2枚の単レンズの一方を石英、他方を光学ガラスで構成しており、
前記2枚の単レンズは、いずれも正の屈折力を有することを特徴とする主焦点補正光学系。

【請求項 2】

前記複合レンズを構成する一対のレンズのうち一方を、屈折率を n_d 、アッペ数を d 10
 とするとき、

1.538 n_d 1.558
 44.8 d 46.8

なる条件を満足する光学ガラスで構成したことを特徴とする請求項1に記載の主焦点補正光学系。

【請求項 3】

前記複合レンズを構成する一対のレンズのうち他方を、

1.506 n_d 1.526
 63.2 d 65.2

なる条件を満足する光学ガラスで構成したことを特徴とする請求項2に記載の主焦点補正

20

光学系。

【請求項 4】

前記複合レンズを構成する一対のレンズのうちの一方のレンズ以外に

1.538 n d 1.558

44.8 d 46.8

なる条件を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含むことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の主焦点補正光学系。

【請求項 5】

前記複合レンズを構成する一対のレンズのうちの他方のレンズ以外に

1.506 n d 1.526

63.2 d 65.2

なる条件を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含むことを特徴とする請求項 2 乃至 4 いずれか 1 項に記載の主焦点補正光学系。

【請求項 6】

前記複合レンズは、前記一対のレンズを空気層を介して近接配置して構成することを特徴とする請求項 1 乃至 5 いずれか 1 項に記載の主焦点補正光学系。

【請求項 7】

前記複合レンズの光入射面と光出射面を平面で構成することを特徴とする請求項 1 乃至 6 いずれか 1 項に記載の主焦点補正光学系。

【請求項 8】

主鏡と、請求項 1 乃至 7 いずれか 1 項に記載の主焦点補正光学系を有することを特徴とする反射望遠鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、反射望遠鏡の主鏡の収差補正のための主焦点補正光学系に関する。

【背景技術】

【0002】

天体観測において、天頂以外の観測では大気分散に起因して、星像に光の波長によるずれが生ずる。このような大気分散を補正する機能を備えた反射望遠鏡用の主焦点補正光学系が特許文献 1 に開示されている。

【0003】

特許文献 1 では、互いに分散の異なる材料で構成された一対のレンズで構成された複合レンズを移動させることにより、大気分散の補正を行っている。これにより、レンズ系全体の小型化を達成しつつ、主鏡の収差と大気分散による色収差の双方を良好に補正している。

【特許文献 1】特許第 3 0 5 7 9 4 6 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 の主焦点補正光学系を用いた反射望遠鏡の視野角は 0.5° である。近年、望遠鏡の更なるサーベイ能力の向上が望まれており、そのために主焦点補正光学系の更なる広視野化が望まれている。

【0005】

また、特許文献 1 に開示された主焦点補正光学系には、3～5種類の光学ガラスが用いられている。しかしながら、視野角を 3～4 倍に広げようとする、主焦点補正光学系を構成する各レンズの径が大型化する。特に、主鏡に近い方から 2 枚の単レンズには大きな径を必要とする。このため、この 2 枚の単レンズには、製造上の問題から、光学ガラスではなく石英が選択されることが一般的であった。

【0006】

10

20

30

40

50

発明者らの検討によると、この２枚の単レンズを両方とも石英にした場合には、可視域～近赤外域における色収差が残存するため、十分な広視野化が困難であることが分かった。

【０００７】

本発明は、色収差を良好に補正して、従来に比して視野角の大きな反射望遠鏡を実現可能な主焦点補正光学系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】

【０００８】

本発明は、互いに分散の異なる一対のレンズを含む複合レンズを有し、その複合レンズを光軸に対して垂直な方向の成分を持つように移動可能に構成した反射望遠鏡の主焦点補正光学系である。

10

【０００９】

このような主焦点補正光学系において、本発明の一例では、主鏡に近い方から２枚の単レンズの一方を石英、他方を光学ガラスで構成し、この２枚の単レンズのいずれもが正レンズであることを特徴としている。

【００１０】

また、本発明の他の例では、複合レンズに含まれる一対のレンズの一方を、屈折率を n_d 、アッペ数を d とするとき、

$$1.538 \quad n_d \quad 1.558$$

$$44.8 \quad d \quad 46.8$$

20

なる条件を満足する光学ガラスで構成したことを特徴としている。

【００１１】

なお、屈折率 n_d は d 線 (587.6 nm) に対する屈折率である。アッペ数 d は以下によって定義される。

$$d = (n_d - 1) / (n_F - n_C)$$

但し、 n_d : d 線 (587.6 nm) に対する屈折率

n_F : F 線 (486.1 nm) に対する屈折率

n_C : C 線 (656.3 nm) に対する屈折率

【発明の効果】

30

【００１２】

本発明によれば、従来よりも視野角の大きな反射望遠鏡が実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１３】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【実施例１】

【００１４】

図１は、本発明の実施例１の反射望遠鏡の要部概略図である。

【００１５】

図１において、 $M1$ は主鏡、 100 は主焦点補正光学系である。主鏡 $M1$ は、凹形状の回転双曲面である。主焦点補正光学系 100 は、主鏡 $M1$ の焦点近傍に配置され、主鏡 $M1$ によって発生する収差を補正する。天体からの光束は、図中右方から主鏡 $M1$ に入射し、主鏡 $M1$ で反射したあとに主焦点補正光学系 100 を介して結像する。

40

【００１６】

図２は、主焦点補正光学系 100 の構成をより詳細に示す図である。主焦点補正光学系 100 は、レンズ $L11 \sim L18$ を有している。 G は透過波長帯域を選択するためのフィルタを表すガラスブロックである。

【００１７】

主鏡 $M1$ に近い方から２枚の単レンズ $L11$, $L12$ は、いずれも 500 mm を超える有効径を有する非常に大きなレンズである。本発明の特徴の１つは、このレンズ $L11$

50

、 $L12$ を構成する材料を適切に設定したことにある。具体的には、一方のレンズ $L11$ を石英で構成し、他方のレンズ $L12$ を光学ガラスで構成している。このように、レンズ $L11$ 、 $L12$ を構成する材料を工夫することで、色収差を良好に補正して、視野角の大きな反射望遠鏡を実現している。なお、レンズ $L11$ 、 $L12$ 共に屈折力（パワー）の符号は正である。

【0018】

$L15$ は、大気分散を補正するための複合レンズである。不図示の移動機構で複合レンズ $L15$ を光軸と直交する方向（図の矢印方向）に移動させることにより、大気分散による色ずれを補正する。なお、複合レンズ $L15$ の移動方向は、光軸に対して直交する方向のみに限らず、光軸上の所定の点を中心として回動させても良い。すなわち、複合レンズ $L15$ を光軸に対して垂直な方向の成分を持つように移動可能に構成すれば、大気分散の補正は可能である。

10

【0019】

複合レンズ $L15$ は、屈折率が近く、互いに分散の異なる一対のレンズ $L151$ 、 $L152$ を、僅かの空気層を隔てて近接配置して構成している。具体的には、レンズ $L151$ を構成する材料の屈折率 n_d が 1.51633 、アッペ数 d が 64.2 である。レンズ $L152$ を構成する材料の屈折率 n_d が 1.54814 、アッペ数 d が 45.8 である。

【0020】

本実施例では、このように複合レンズ $L15$ を構成するレンズ $L152$ を、

20

$$1.538 \quad n_d \quad 1.558 \quad (1)$$

$$44.8 \quad d \quad 46.8 \quad (2)$$

なる条件を満足する光学ガラスで構成している。

【0021】

条件式(1)、(2)を満足する光学ガラスでレンズ $L152$ を構成することにより、複合レンズ $L15$ を光軸に対して直交する方向に移動させて大気分散の補正を行う場合に、必要な量の色収差を発生させることができる。

【0022】

また、複合レンズ $L15$ を構成するレンズ $L151$ を、

$$1.506 \quad n_d \quad 1.526 \quad (3)$$

$$63.2 \quad d \quad 65.2 \quad (4)$$

なる条件を満足する光学ガラスで構成している。

30

【0023】

条件式(3)、(4)を満足する光学ガラスでレンズ $L151$ を構成することにより、レンズ $L152$ で発生する単色収差を補正することができる。更に条件式(1)、(2)を満足する光学ガラスで構成されたレンズ $L152$ と組み合わせることで、複合レンズ $L15$ を光軸に対して直交する方向に移動させて大気分散の補正を行う場合に、必要な量の色収差を発生させている。

【0024】

また、レンズ $L151$ は物体側（主鏡側）の面が平面、レンズ $L152$ は像面側のレンズ面が平面となっている。すなわち、複合レンズ $L15$ の光入射面と光出射面は共に平面となっている。

40

【0025】

これにより、複合レンズ $L15$ を光軸に対して直交する方向に移動させたときの単色収差の変化を小さく保っている。

【0026】

次に、表1に実施例1の数値データを示す。表中、 R は曲率半径、 d は面間隔を表す。レンズ材料には、石英と2種類の光学ガラスを用いている。詳細には、石英は屈折率 n_d が 1.45846 、アッペ数 d が 67.8 、光学ガラスAは屈折率 n_d が 1.51633 、アッペ数 d が 64.2 、光学ガラスBは屈折率 n_d が 1.54814 、アッペ数

50

d が 4 5 . 8 である。

【 0 0 2 7 】

表中、大気分散補正用の複合レンズ L 1 5 には、A D C (A t m o s p h e r i c D i s p e r s i o n C o m p e n s a t o r の意) と記している。

【 0 0 2 8 】

非球面形状は、光軸方向に z 軸、光軸と垂直方向に h 軸、光の進行方向を正とし、R を近軸曲率半径、k を円錐定数、A ~ G を 4 次 ~ 1 6 次の非球面係数としたとき

【 0 0 2 9 】

【数 1】

$$z = \frac{(1/R)h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)(h/R)^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16}$$

10

【 0 0 3 0 】

なる式で表わしている。

【 0 0 3 1 】

また、f は主鏡と主焦点補正光学系の合成焦点距離、F N O は F ナンバー、 θ は半画角、 2θ は全画角 (視野角) を表す。

【 0 0 3 2 】

(表 1)

20

$$f = 19958.9 \quad FNO = 2.43 \quad 2\theta = 1.9^\circ$$

面番号	有効径	R	d	材料
1	8200.0	30000.000 (非球面)	13335.002	(主鏡)
2	970.0	1092.370	79.115	石英
3	970.0	1471.448 (非球面)	100.000	
4	879.5	814.514	94.096	光学ガラスB
5	850.5	1211.660 (非球面)	265.290	
6	705.9	14987.577 (非球面)	45.000	光学ガラスB
7	636.1	544.594	172.391	
8	635.7	-1037.525	40.000	光学ガラスA
9	648.9	-2624.444 (非球面)	100.000	
10	664.9		40.000	光学ガラスA (ADC)
11	673.3	1000.000	3.000	
12	675.0	1000.000	100.000	光学ガラスB (ADC)
13	677.9		400.299	
14	712.1	-1076.827 (非球面)	50.000	石英
15	750.5	-2289.929	30.000	
16	828.8	690.734 (非球面)	197.447	石英
17	826.6	-2341.440	187.738	
18	771.4		10.000	光学ガラスA (フィルタ)
19	769.8		50.000	
20	759.1	-2748.545 (非球面)	109.884	石英
21	751.3	-959.790	10.000	

30

40

(非球面)

面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)
1	-1.00835	0.00000	0.00000	0.00000

D (1 0 次) E (1 2 次) F (1 4 次) G (1 6 次)

50

	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
3	-3.22896	6.6052E-11	-1.1048E-16	1.0281E-21	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	-8.8648E-27	3.5872E-32	-6.5041E-38	3.7813E-44	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	10
5	-0.95945	1.7788E-11	6.1297E-18	-3.0669E-21	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	3.6607E-26	-1.9341E-31	4.3481E-37	-2.6201E-43	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
6	0.00000	1.1843E-10	-4.2951E-16	-4.3113E-21	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	20
	1.5894E-25	-1.6823E-30	7.6776E-36	-1.1866E-41	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
9	0.00000	-3.3629E-10	-5.6891E-16	2.1443E-22	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	6.9908E-26	-5.1635E-31	-1.5727E-36	2.3225E-41	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
14	0.00000	-7.7726E-10	-3.0771E-15	1.2786E-20	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	30
	-1.1774E-25	1.7348E-30	-1.3055E-35	3.8106E-41	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
16	0.00000	-4.7809E-10	1.0608E-15	-1.5397E-20	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	8.3166E-26	-5.6815E-31	2.3582E-36	-4.6811E-42	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	40
20	0.00000	2.2644E-09	-1.8848E-14	1.2763E-19	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	-1.2070E-24	1.0334E-29	-4.4522E-35	7.4863E-41	

【 0 0 3 3 】

上記数値データから明らかなように、本実施例の主焦点補正光学系は、レンズ L 1 5 2 以外にも、上述の条件式 (1) , (2) を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含んでいる。具体的には、レンズ L 1 2 , L 1 3 をこの材料で構成している。これにより、複合レンズ L 1 5 を光軸に対して直交する方向に移動させない場合に複合レンズ L 1 5 に残存する色収差を良好に補正できる。

【 0 0 3 4 】

また、本実施例の主焦点補正光学系は、レンズL 1 5 1以外にも、上述の条件式(3)、(4)を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含んでいる。具体的には、レンズL 1 4をこの材料で構成している。これにより、複合レンズL 1 5を光軸に対して直交する方向に移動させない場合に複合レンズL 1 5に残存する色収差を良好に補正できる。

【0035】

図3、4は、実施例1の反射望遠鏡の収差図である。図3が縦収差図であり、図4が横収差図である。収差図から明らかなように、本実施例の主焦点補正光学系を反射望遠鏡に用いることによって、1.9度の視野角全域にわたって良好な結像性能を有する。

【実施例2】

【0036】

10

図5は、実施例2の主焦点補正光学系の構成を示す図である。同図における主焦点補正光学系200は、図1の実施例1の主焦点補正光学系100と同様に主鏡の焦点位置の近くに配置される。

【0037】

図5において、主焦点補正光学系200は、レンズL 2 1～L 2 8を有している。Gは透過波長帯域を選択するためのフィルタを表すガラスブロックである。

【0038】

主鏡M 1に近い方から2枚のレンズL 2 1、L 2 2は、実施例1と同様に、いずれも500mmを超える有効径を有する。本実施例では、レンズL 2 1を光学ガラスで構成し、レンズL 2 2を石英で構成している。このように、本実施例でも主鏡M 1に近い方から2枚のレンズの材料を工夫することで、色収差を良好に補正して、視野角の大きな反射望遠鏡を実現している。レンズL 2 1、L 2 2共に屈折率(パワー)の符号は正である。

20

【0039】

L 2 5は、大気分散を補正するための複合レンズであり、光軸と直交する方向に移動可能である。複合レンズL 2 5は、屈折率が近く、互いに分散の異なる一対のレンズL 2 5 1、L 2 5 2を、僅かの空気間隔を隔てて配置して構成している。具体的には、レンズL 2 5 1を構成する材料の屈折率ndが1.51633、アッペ数dが64.2である。レンズL 2 5 2を構成する材料の屈折率ndが1.54814、アッペ数dが45.8である。

【0040】

30

このように本実施例のレンズL 2 5 2も、実施例1と同様に、条件式(1)、(2)を満足する材料で構成されている。これによって、実施例1と同様の効果を得ている。

【0041】

レンズL 2 5 1も、実施例1と同様に、条件式(3)、(4)を満足する材料で構成されている。これによって、実施例1と同様の効果を得ている。

【0042】

また、レンズL 2 5 1は物体側(主鏡側)の面が平面、レンズL 2 5 2は像面側のレンズ面が平面となっている。すなわち、複合レンズL 2 5の光入射面と光出射面は共に平面となっている。

【0043】

40

次に、表2に実施例2の数値データを示す。記号の意味は実施例1と同様である。レンズ材料は石英と2種類の光学ガラスである。詳細には、石英は屈折率ndが1.45846、アッペ数dが67.8、光学ガラスAは屈折率ndが1.51633、アッペ数dが64.2、光学ガラスBは屈折率ndが1.54814、アッペ数dが45.8である。

【0044】

(表2)

$f = 19524.8$ $FNO = 2.38$ $2 = 1.9^\circ$

1	8200.0	30000.000 (非球面)	13335.002 (主鏡)		
2	970.0	1833.240	72.260	光学ガラスB	
3	970.0	3367.768 (非球面)	10.000		
4	892.5	679.598	93.106	石英	
5	860.6	824.106 (非球面)	329.604		
6	710.4	73720.599 (非球面)	45.000	光学ガラスB	
7	655.9	730.893	182.334		
8	646.9	-1035.164	40.000	光学ガラスA	
9	655.6	-4281.669 (非球面)	10.000		
10	657.9		40.000	光学ガラスA (ADC)	10
11	664.3	1000.000	3.000		
12	665.9	1000.000	100.000	光学ガラスB (ADC)	
13	668.1		500.000		
14	702.0	-1486.270 (非球面)	73.254	石英	
15	745.6	-4682.392	10.000		
16	807.0	727.104 (非球面)	201.105	石英	
17	806.1	-1731.620	176.269		
18	748.7		10.000	光学ガラスA (フィルタ)	
19	747.0		50.000		
20	743.2	-1243.666 (非球面)	111.380	石英	20
21	736.3	-824.163	10.000		

(非球面)

面	k	A (4次)	B (6次)	C (8次)
1	-1.00835	0.00000	0.00000	0.00000

D (10次)	E (12次)	F (14次)	G (16次)
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

面	k	A (4次)	B (6次)	C (8次)
3	-15.02165	2.1808E-11	1.3009E-16	-1.4478E-22

D (10次)	E (12次)	F (14次)	G (16次)
-4.8157E-27	3.3280E-32	-8.6566E-38	7.9762E-44

面	k	A (4次)	B (6次)	C (8次)
5	-0.73222	7.4816E-11	-4.3973E-16	-1.7855E-21

D (10次)	E (12次)	F (14次)	G (16次)
2.8523E-26	-1.7469E-31	3.7468E-37	-1.2026E-43

面	k	A (4次)	B (6次)	C (8次)
6	0.00000	9.5582E-11	-2.7429E-16	-1.7607E-21

D (10次)	E (12次)	F (14次)	G (16次)
1.0935E-25	-1.1671E-30	5.0868E-36	-6.4398E-42

面	k	A (4次)	B (6次)	C (8次)
9	0.00000	-1.3795E-10	4.1569E-16	5.4029E-21

	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	3.6686E-26	-3.8061E-31	-6.8045E-37	1.6815E-41	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
14	0.00000	-1.8943E-09	7.7835E-15	-6.2111E-20	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	8.9982E-26	3.0721E-30	-2.7670E-35	7.7861E-41	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	10
16	0.00000	4.9017E-10	-9.4345E-15	6.2787E-20	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	-3.1845E-25	5.4220E-31	1.5115E-36	-6.8053E-42	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
20	0.00000	2.8218E-09	-4.0460E-14	5.1195E-19	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	-4.9045E-24	3.2607E-29	-1.2290E-34	1.9533E-40	20

【 0 0 4 5 】

上記数値データから明らかなように、本実施例の主焦点補正光学系は、レンズ L 2 5 2 以外にも、上述の条件式 (1) , (2) を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含んでいる。具体的には、レンズ L 2 1 , L 2 3 をこの材料で構成している。これにより、実施例 1 と同様の効果を得ている。

【 0 0 4 6 】

また、本実施例の主焦点補正光学系は、レンズ L 2 5 1 以外にも、上述の条件式 (3) , (4) を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含んでいる。具体的には、レンズ L 2 4 をこの材料で構成している。これにより、実施例 1 と同様の効果を得ている。

【 0 0 4 7 】

図 6 , 7 は、実施例 2 の反射望遠鏡の収差図である。図 6 が縦収差図であり、図 7 が横収差図である。収差図から明らかなように、本実施例の主焦点補正光学系を反射望遠鏡に用いることによって、1 . 9 度の視野角全域にわたって良好な結像性能を有する。

【 実施例 3 】

【 0 0 4 8 】

図 8 は、実施例 3 の主焦点補正光学系の構成を示す図である。同図における主焦点補正光学系 3 0 0 は、図 1 の実施例 1 の主焦点補正光学系 1 0 0 と同様に主鏡の焦点位置の近くに配置される。

【 0 0 4 9 】

図 8 において、主焦点補正光学系 3 0 0 は、レンズ L 3 1 ~ L 3 8 を有している。G は透過波長帯域を選択するためのフィルタを表すガラスブロックである。

【 0 0 5 0 】

主鏡 M 1 に近い方から 2 枚のレンズ L 3 1 , L 3 2 は、実施例 1 と同様に、いずれも 5 0 0 mm を超える有効径を有する。本実施例では、レンズ L 3 1 を光学ガラスで構成し、レンズ L 3 2 を石英で構成している。このように、本実施例でも主鏡 M 1 に近い方から 2 枚のレンズの材料を工夫することで、色収差を良好に補正して、視野角の大きな反射望遠鏡を実現している。レンズ L 3 1 の屈折力の符号は正であり、レンズ L 3 2 は屈折力の符号は負である。

【 0 0 5 1 】

L 3 5 は、大気分散を補正するための複合レンズであり、光軸と直交する方向に移動可

10

20

30

40

50

能である。複合レンズL35は、屈折率が近く、互いに分散の異なる一対のレンズL351、L352を、僅かの空気間隔を隔てて配置して構成している。具体的には、レンズL351を構成する材料の屈折率 n_d が1.51633、アッペ数 d が64.2である。レンズL352を構成する材料の屈折率 n_d が1.54814、アッペ数 d が45.8である。

【0052】

このように本実施例のレンズL352も、実施例1と同様に、条件式(1)、(2)を満足する材料で構成されている。これによって、実施例1と同様の効果を得ている。

【0053】

レンズL351も、実施例1と同様に、条件式(3)、(4)を満足する材料で構成されている。これによって、実施例1と同様の効果を得ている。

【0054】

また、レンズL351は物体側(主鏡側)の面が平面、レンズL352は像面側のレンズ面が平面となっている。すなわち、複合レンズL35の光入射面と光射出面は共に平面となっている。

【0055】

表3に実施例3の数値データを示す。記号の意味は実施例1と同様である。レンズ材料は石英と2種類の光学ガラスである。詳細には、石英は屈折率 n_d が1.45846、アッペ数 d が67.8、光学ガラスAは屈折率 n_d が1.51633、アッペ数 d が64.2、光学ガラスBは屈折率 n_d が1.54814、アッペ数 d が45.8である。

【0056】

(表3)

$$f = 19403.6 \quad FNO = 2.37 \quad 2 = 1.9^\circ$$

面番号	有効径	R	d	材料
1	8200.0	30000.000 (非球面)	13335.002	(主鏡)
2	970.0	873.348	157.175	光学ガラスA
3	970.0	3333.244 (非球面)	158.480	
4	840.5	-13212.913	50.000	石英
5	761.7	791.282 (非球面)	407.404	
6	649.3	-1754.228 (非球面)	45.000	光学ガラスB
7	635.2	1578.997	200.000	
8	637.3	-1848.843	40.000	光学ガラスA
9	646.9	-18294.701 (非球面)	17.370	
10	650.3		40.000	光学ガラスA (ADC)
11	672.4	1000.000	3.000	
12	675.2	1000.000	100.000	光学ガラスB (ADC)
13	683.6		177.657	
14	727.9	-6814.108 (非球面)	72.001	石英
15	759.4	-2478.171	10.000	
16	820.0	965.597 (非球面)	202.733	石英
17	820.1	-1423.173	177.305	
18	753.8		10.000	光学ガラスA (フィルタ)
19	751.9		50.000	
20	746.7	-1313.138 (非球面)	114.188	石英
21	737.5	-839.091	10.000	

(非球面)

面	k	A (4次)	B (6次)	C (8次)
1	-1.00835	0.00000	0.00000	0.00000

	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
3	-54.66745	1.1374E-10	-4.4860E-16	1.5269E-21	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	-5.6784E-27	1.7056E-32	-2.9347E-38	1.9993E-44	10
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
5	-0.98376	-1.8468E-11	-3.7934E-16	-2.5415E-21	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	1.7136E-26	-7.6661E-32	-5.9696E-38	7.0824E-43	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
6	0.00000	2.6517E-10	-2.3391E-16	-7.4009E-21	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	20
	2.0264E-25	-1.9829E-30	7.6322E-36	-7.1631E-42	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
9	0.00000	6.7928E-10	1.2811E-15	2.3516E-21	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	7.8333E-26	1.5698E-30	-2.5409E-35	1.0393E-40	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
14	0.00000	-2.7301E-09	1.4387E-14	-7.8855E-20	30
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	1.6854E-25	3.1944E-30	-2.9090E-35	7.8285E-41	
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
16	0.00000	1.7980E-09	-1.5000E-14	7.6734E-20	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	-2.8399E-25	3.6952E-32	3.6417E-36	-9.9395E-42	40
面	k	A (4 次)	B (6 次)	C (8 次)	
20	0.00000	2.8607E-09	-3.6761E-14	4.3135E-19	
	D (1 0 次)	E (1 2 次)	F (1 4 次)	G (1 6 次)	
	-4.2651E-24	3.1025E-29	-1.2624E-34	2.1112E-40	

【 0 0 5 7 】

上記数値データから明らかなように、本実施例の主焦点補正光学系は、レンズ L 3 5 2 以外にも、上述の条件式 (1) , (2) を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含んでいる。具体的には、レンズ L 3 3 をこの材料で構成している。これにより、実施例 1 と同様の効果を得ている。

【 0 0 5 8 】

また、本実施例の主焦点補正光学系は、レンズ L 3 5 1 以外にも、上述の条件式 (3) , (4) を満足する光学ガラスで構成されたレンズを含んでいる。具体的には、レンズ L 3 1 , L 3 4 をこの材料で構成している。これにより、実施例 1 と同様の効果を得ている。

【 0 0 5 9 】

図 9 , 1 0 は、実施例 3 の反射望遠鏡の収差図である。図 9 が縦収差図であり、図 1 0 が横収差図である。収差図から明らかなように、本実施例の主焦点補正光学系を反射望遠鏡に用いることによって、1 . 9 度の視野角全域にわたって良好な結像性能を有する。

【 0 0 6 0 】

以上述べた実施例 1 ~ 3 では、視野角 1 . 9 ° の例について説明したが、視野角はこの値に限らず実施可能である。例えば、視野角が 1 . 5 ° や 2 ° など、他の視野角についても本発明を適用することができる。

【 0 0 6 1 】

また、実施例 1 ~ 3 においては、光学ガラスとしては、光学ガラス A (屈折率 n_d が 1 . 5 1 6 3 3 、アッベ数 v_d が 6 4 . 2) と光学ガラス B (屈折率 n_d が 1 . 5 4 8 1 4 、アッベ数 v_d が 4 5 . 8) を用いているが、それらに限定されない。複合レンズを構成する 2 枚の光学ガラスは屈折率が近く、分散が異なる光学ガラスであれば適用可能である。その他のレンズについても実施例に示したガラス以外の光学ガラスを適用することが可能である。

【 0 0 6 2 】

また、上記の実施例においては、複合レンズとして、両端面が平面の複合レンズを用いて光軸に対して直交する方向に複合レンズを移動させて大気分散を補正する例を示した。しかし、これ以外の方式の複合レンズを用いても良い。例えば、特許文献 1 に記載されているように、両端面が同心球面形状である複合レンズを用いて、その曲率中心を中心として複合レンズを回転させて大気分散を補正する方式を用いてもよい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 3 】

【図 1】本発明の実施例 1 の天体望遠鏡の概略図である。

【図 2】実施例 1 の天体望遠鏡に用いられる主焦点補正光学系を示す図である。

【図 3】実施例 1 の天体望遠鏡の縦収差図である。

【図 4】実施例 1 の天体望遠鏡の横収差図である。

【図 5】実施例 2 の天体望遠鏡に用いられる主焦点補正光学系を示す図である。

【図 6】実施例 2 の天体望遠鏡の縦収差図である。

【図 7】実施例 2 の天体望遠鏡の横収差図である。

【図 8】実施例 3 の天体望遠鏡に用いられる主焦点補正光学系を示す図である。

【図 9】実施例 3 の天体望遠鏡の縦収差図である。

【図 10】実施例 3 の天体望遠鏡の横収差図である。

【符号の説明】

【 0 0 6 4 】

M 1 主鏡

1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 主焦点補正光学系

L 1 1 , L 2 1 , L 3 1 第 1 レンズ

L 1 2 , L 2 2 , L 3 2 第 2 レンズ

L 1 5 , L 2 5 , L 3 5 複合レンズ

L 1 5 1 , L 2 5 1 , L 3 5 1 複合レンズを構成する第 1 レンズ

L 1 5 2 , L 2 5 2 , L 3 5 2 複合レンズを構成する第 2 レンズ

G フィルタ

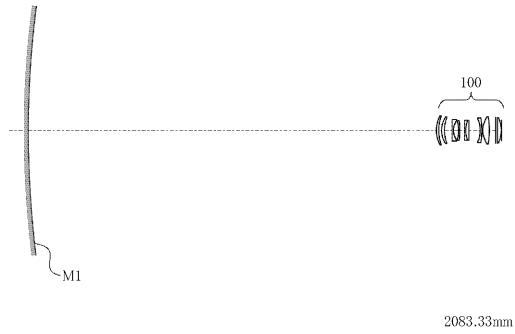
10

20

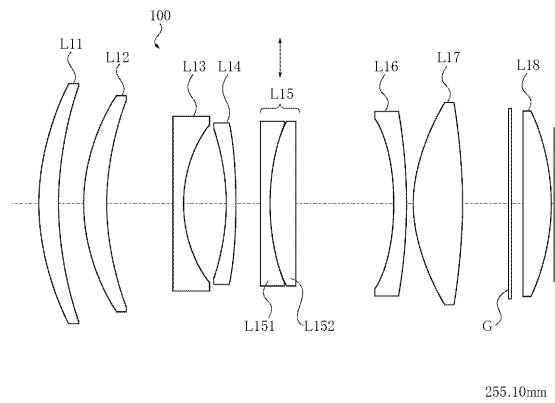
30

40

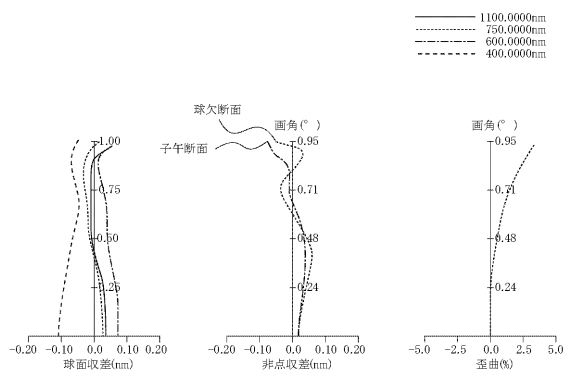
【図 1】



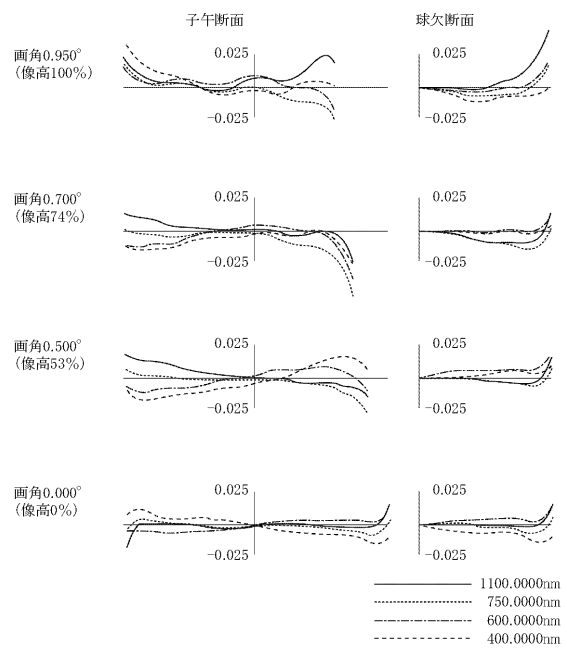
【図 2】



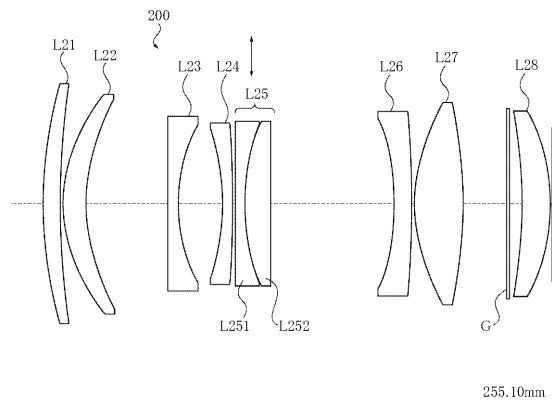
【図 3】



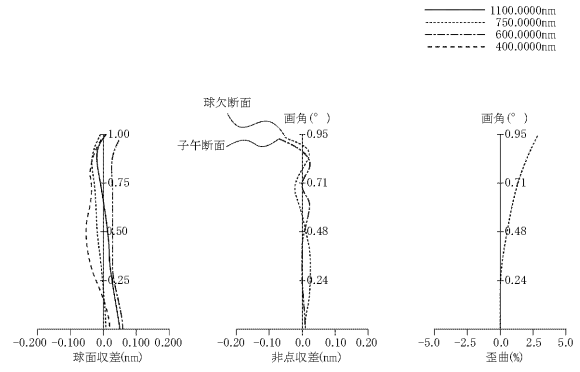
【図 4】



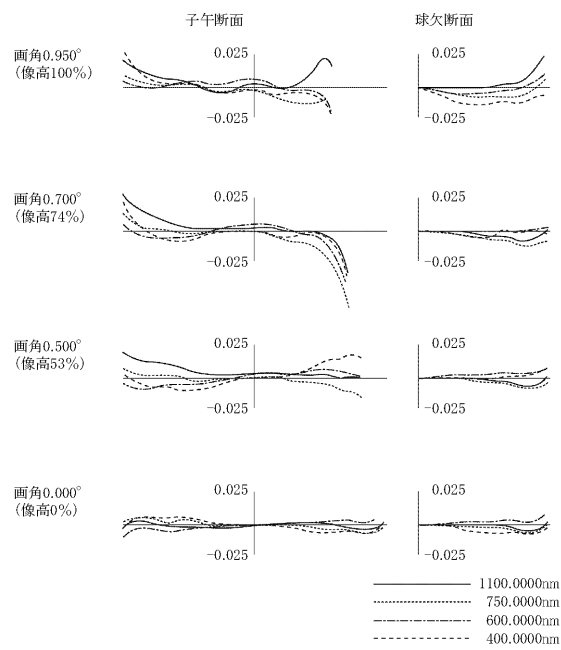
【図 5】



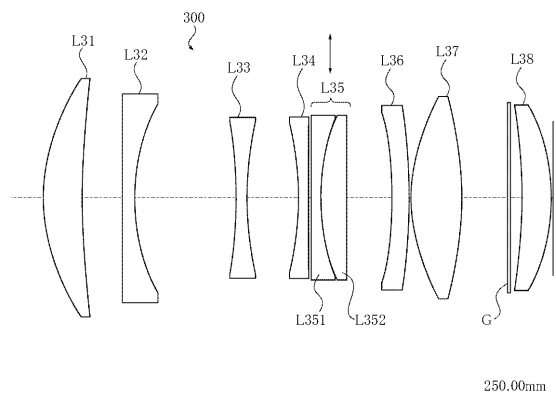
【図 6】



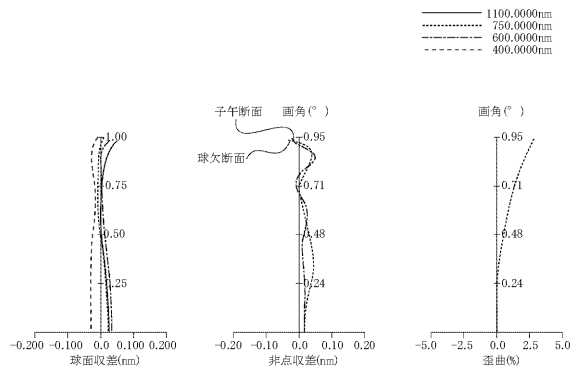
【図 7】



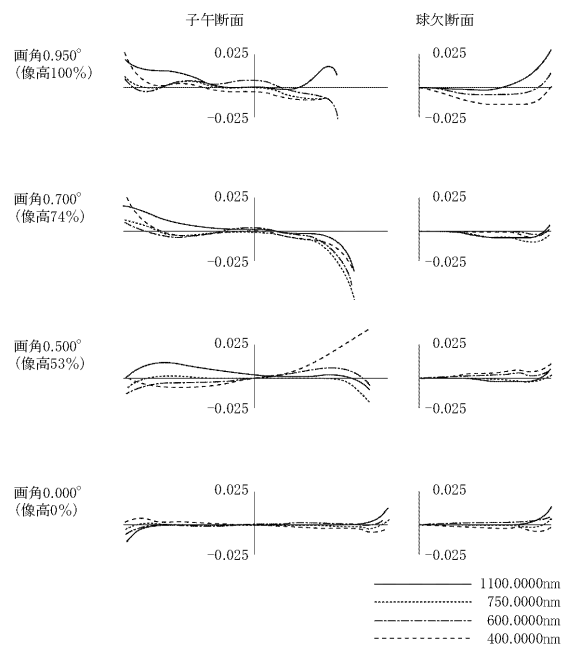
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特許第3057946(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 17/08

G02B 13/18