

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5479206号
(P5479206)

(45) 発行日 平成26年4月23日 (2014. 4. 23)

(24) 登録日 平成26年2月21日 (2014. 2. 21)

(51) Int. Cl. F I
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 6 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2010-103612 (P2010-103612)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成22年4月28日 (2010. 4. 28)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2011-232610 (P2011-232610A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成23年11月17日 (2011. 11. 17)	(74) 代理人	100086818
審査請求日	平成25年4月15日 (2013. 4. 15)		弁理士 高梨 幸雄
		(72) 発明者	梶山 和彦
			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
		(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	片芝 悠二
			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】 反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体からの光束を集光して該物体の中間像を形成する反射屈折部と、前記中間像が形成される位置に配置されたフィールドレンズと、前記中間像を像面に結像する屈折部と、を有する反射屈折光学系であって、

前記反射屈折部は物体側から順に、物体側の面が凸形状の反射面であり、光軸付近が正の屈折力の透過部である第1の光学素子と、物体側に凹面を向けたメニスカス形状であり、像側の面が反射面であり、光軸付近が負の屈折力の透過部である第2の光学素子と、を有し、

前記第1の光学素子と前記第2の光学素子とは互いに前記反射面が対向するように配置されており、

前記物体からの光束は、前記第1の光学素子の透過部、前記第2の光学素子の反射面、前記第1の光学素子の反射面、前記第2の光学素子の透過部、を順に介して、前記フィールドレンズ側へ出射しており、

前記屈折部は複数の屈折光学素子を有し、前記第1及び第2の光学素子の材料のアッペ数のうち最も小さなアッペ数を cat、前記複数の屈折光学素子の材料のアッペ数のうち最も小さなアッペ数を dio、とすると、

$$\text{dio} < \text{cat}$$

なる条件を満足することを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項 2】

10

20

前記アッベ数 catは

$$4.5 < \text{cat}$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の反射屈折光学系。

【請求項 3】

前記アッベ数 dioは

$$\text{dio} < 4.0$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の反射屈折光学系。

【請求項 4】

前記第 2 の光学素子において、物体側の面の曲率半径を $RM2a$ 、像側の面の曲率半径を $RM2b$ 、光軸上の厚さを t 、材料の波長 587.6 nm での屈折率を Nd とし、

【数 1】

$$\frac{1}{\left(\frac{RM2b}{2}\right)} - \frac{1}{(RM2a+t)} = \frac{1}{s'}$$

$$\frac{(s'-t) \times Nd}{(Nd+1)} = R_{apl}$$

とおいたとき、

$$R_{apl} \times 0.8 < |RM2a| < R_{apl} \times 1.2$$

なる条件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 項に記載の反射屈折光学系。

【請求項 5】

前記第 1 の光学素子の反射面から前記第 2 の光学素子の反射面までの光軸上の距離を d 、前記物体が配置される位置から前記像面までの距離を L とするとき、

$$L/d < 4.5$$

なる条件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 項に記載の反射屈折光学系。

【請求項 6】

光源と、該光源からの光束により前記物体を照明する照明光学系と、前記物体の像を形成する請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の反射屈折光学系と、前記反射屈折光学系により形成された前記物体の像を光電変換する撮像素子と、該撮像素子からのデータより画像情報を生成する画像処理系と、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】

本発明は物体を拡大し、観察する際に好適な反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

現在の病理検査では、光学顕微鏡を用いて病理標本（試料）（物体）を直接、人の目で観察している。近年、病理標本を画像データとして取り込み、ディスプレイ上で観察するバーチャル顕微鏡と呼ばれるものが利用されている。バーチャル顕微鏡では病理標本の画像データをディスプレイ上で観察できるため、複数人で同時に観察することができる。またこのバーチャル顕微鏡を用いると画像データを遠方の病理医と共有して診断を仰ぐこともできるなど多くの利点がある。しかし、この方法は病理標本を撮像して画像データとして取り込むためには時間がかかるという問題があった。

【0003】

時間がかかる原因の 1 つとして、大きな撮像範囲の病理標本を顕微鏡の狭い撮像領域を用いて画像データとして取り込まねばならないことが挙げられる。顕微鏡の撮像領域が狭い場合、複数回撮像して、もしくはスキャンしながら撮像してそれらを繋げることで一枚の画像とする必要がある。従来より撮像回数を少なくして画像データを取り込む時間を短縮するために、広い撮像領域を持った光学系（撮像光学系）が求められている。

【0004】

10

20

30

40

50

この他、病理標本を観察する上で、広い撮像領域が求められていると同時に可視領域での高い解像力を持った光学系が要望されている。高い解像力を持った光学系は病理診断の用途に限らず様々な分野で要望されている。

【 0 0 0 5 】

屈折光学系より成り可視光全域に渡って収差を良好に低減した生体細胞などの観察に好適な顕微鏡対物レンズが知られている（特許文献 1）。また集積回路やフォトマスクに存在する欠陥を検査するため反射屈折光学系を用いて可視光全域に渡って高い解像力を有した広帯域顕微鏡用カタディオプトリック結像系が知られている（特許文献 2）。また、広い領域に微細なパターンを紫外線波長域の光を用いて露光して半導体素子を製造するのに好適な反射屈折結像光学系が知られている（特許文献 3）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】特公昭 6 0 - 0 3 4 7 3 7

【特許文献 2】特表 2 0 0 7 - 5 1 4 1 7 9

【特許文献 3】W O 0 0 / 3 9 6 2 3

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

特許文献 1 に開示されている顕微鏡対物レンズは、可視光全域に渡って諸収差を良好に低減しているが、観察領域の大きさが必ずしも十分でない。特許文献 2 に開示されているカタディオプトリック結像系は可視光全域に渡って諸収差を良好に低減し、高い解像力を持っているものの観察領域の大きさが必ずしも十分でない。特許文献 3 に開示されている反射屈折結像光学系は広い領域に渡って高い解像力を持っているものの、諸収差を良好に補正している波長領域が必ずしも十分でない。

20

【 0 0 0 8 】

本発明は、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正した広い撮像領域に渡って高い解像力を持つ反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明の反射屈折光学系は、物体からの光束を集光して該物体の中間像を形成する反射屈折部と、前記中間像が形成される位置に配置されたフィールドレンズと、前記中間像を像面に結像する屈折部と、を有する反射屈折光学系であって、前記反射屈折部は物体側から順に、物体側の面が凸形状の反射面であり、光軸付近が正の屈折力の透過部である第 1 の光学素子と、物体側に凹面を向けたメニスカス形状であり、像側の面が反射面であり、光軸付近が負の屈折力の透過部である第 2 の光学素子と、を有し、前記第 1 の光学素子と前記第 2 の光学素子とは互いに前記反射面が対向するように配置されており、前記物体からの光束は、前記第 1 の光学素子の透過部、前記第 2 の光学素子の反射面、前記第 1 の光学素子の反射面、前記第 2 の光学素子の透過部、を順に介して、前記フィールドレンズ側へ出射しており、前記屈折部は複数の屈折光学素子を有し、前記第 1 及び第 2 の光学素子の材料のアップベ数のうち最も小さなアップベ数を cat、前記複数の屈折光学素子の材料のアップベ数のうち最も小さなアップベ数を dio、とすると、

30

$$\text{dio} < \text{cat}$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明によれば、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正した広い観察領域に渡って高い解像力を持つ反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

50

40

【図 1】本発明の撮像装置の構成を示す概略断面図である。

【図 2】本発明の実施例 1 の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図 3】本発明の実施例 1 の反射屈折光学系の横収差図である。

【図 4】本発明の実施例 2 の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図 5】本発明の実施例 2 の反射屈折光学系の横収差図である。

【図 6】本発明の実施例 3 の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図 7】本発明の実施例 3 の反射屈折光学系の横収差図である。

【図 8】本発明の実施例 4 の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図 9】本発明の実施例 4 の反射屈折光学系の横収差図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0012】

本発明の反射屈折光学系 104 は、物体 103 からの光束を集光して物体の中間像 IM を形成する反射屈折部 CAT と、中間像 IM が形成されている位置に配置されたフィールドレンズ FL とを有している。更に中間像 IM を像面（撮像素子 105）に結像させる屈折部 DIO を有している。また本発明の撮像装置 1000 は光源手段 101 と、光源手段 101 からの光束で物体 103 を照明する照明光学系 102 と、物体 103 を結像する反射屈折光学系 104 を有する。更に反射屈折光学系 104 によって結像された物体像を光電変換する撮像素子 105 と、撮像素子 105 からのデータより画像情報を生成する画像処理系 106 とを有する。

【0013】

20

図 1 は本発明の撮像装置の要部概略図である。図 2 は本発明の反射屈折光学系の実施例 1 の要部概略図である。図 3 は本発明の反射屈折光学系の実施例 1 の横収差図である。図 4 は本発明の反射屈折光学系の実施例 2 の要部概略図である。図 5 は本発明の反射屈折光学系の実施例 2 の横収差図である。図 6 は本発明の反射屈折光学系の実施例 3 の要部概略図である。図 7 は本発明の反射屈折光学系の実施例 3 の横収差図である。図 8 は本発明の反射屈折光学系の実施例 4 の要部概略図である。図 9 は本発明の反射屈折光学系の実施例 4 の横収差図である。横収差図では試料 103 上で計算し、ミリメートル単位で示している。中心波長 587.6 nm 以外に波長 656.3 nm、波長 486.1 nm、波長 435.8 nm を示した。

【0014】

30

以下、図 1 を参照して、本発明の反射屈折光学系 104 を有する撮像装置 1000 の構成について説明する。ここで、図 1 は、本発明の撮像装置 1000 の概略断面図である。撮像装置 1000 は、光源（光源手段）101 からの光を照明光学系 102 によって集光して試料（物体）103 を均一に照明する。このとき使用する光は可視光（例えば、波長 400 nm ~ 波長 700 nm）が用いられる。反射屈折光学系 104 は、試料（物体）103 の像を撮像素子 105 上に結像する結像光学系である。撮像素子 105 で取得したデータ（画像情報）は、画像処理系 106 によって画像データを生成し、生成した画像データをディスプレイ（表示手段）107 などに表示する。画像処理系 106 では反射屈折光学系 104 で補正しきれなかった収差を補正する、または撮像位置の異なった画像データを繋げて一枚の画像データに合成するなど用途に応じた処理が行われる。

40

【0015】

本実施例の反射屈折光学系 104 は反射屈折部 CAT、フィールドレンズ FL、屈折部 DIO を有する。反射屈折光学系 104 を構成する反射屈折部 CAT は物体側から順に、物体側の面 M1a が凸形状で光軸周辺が正の屈折力の光透過部 MIT、周辺部のうち物体側の面 M1a に反射膜を施し、裏面反射部とした第 1 の光学素子 M1 を有する。

【0016】

更に物体側に凹面を向け、メニスカス形状で光軸周辺が負の屈折力の光透過部 M2T、周辺部のうち像側の面 M2b に反射膜を施し、裏面反射部とした第 2 の光学素子 M2 の少なくとも 2 つの光学素子を有している。第 1 の光学素子 M1 と第 2 の光学素子 M2 は互いに裏面反射部が対向するように配置されている。ここで第 1 の光学素子 M1 は試料（物体

50

）１０３側の面が凸形状で光軸周辺が正の屈折力の光透過部ＭＩＴ、周辺部のうち物体側の面Ｍ１ａに反射膜を施し、裏面反射部としている。

【００１７】

第２の光学素子Ｍ２には試料（物体）１０３側に凹面を向け、メニスカス形状で光軸周辺がＭ２Ｔが負の屈折力の光透過部、周辺部のうち像側の面Ｍ２ｂに反射膜を施し、裏面反射部としている。屈折部ＤＩＯは試料１０３からの光束のうち光軸近傍の光束を遮光し、撮像素子１０５に入射するのを防止する遮光板ＳＨを有している。

【００１８】

各実施例の反射屈折光学系１０４では、照明光学系１０２からの光束で照明され、試料１０３から出射した光束は第１の光学素子（マンジャンミラー）Ｍ１の中央透過部ＭＩＴを通過する。その後、第２の光学素子（マンジャンミラー）Ｍ２の屈折面Ｍ２ａに入射し、その後裏面Ｍ２ｂで反射し、反射面Ｍ２ａを通過して第１の光学素子Ｍ１の屈折面Ｍ１ｂに入射する。その後、第１の光学素子Ｍ１の裏面Ｍ１ａで反射する。そして屈折面Ｍ１ｂを通過し、第２の光学素子Ｍ２の中央透過部Ｍ２Ｔを通過して試料１０３の中間像ＩＭを形成する。中間像ＩＭはフィールドレンズＦＬを構成するレンズ内部に形成されている。中間像ＩＭは複数の屈折光学素子を含む屈折部ＤＩＯによって撮像素子１０５上に拡大結像される。撮像素子１０５に結像された試料１０３の像は画像処理系１０６によって処理されて、表示手段１０７に表示される。

【００１９】

各実施例において反射屈折部ＣＡＴを構成する第１及び第２の光学素子の材料のアップベ数のうち最も小さなアップベ数を cat とする。屈折部ＤＩＯを構成する複数の屈折光学素子の材料のアップベ数のうち最も小さなアップベ数を dio とする。このとき、

$$dio < cat \quad \cdots (1)$$

なる条件を満足している。各実施例において更に好ましくは次の条件のうち１以上を満足するのが良い。アップベ数 cat 、アップベ数 dio は

$$45 < cat \quad \cdots (2)$$

$$dio < 40 \quad \cdots (3)$$

なる条件のうち１以上を満足するのが良い。第２の光学素子Ｍ２の物体側と像側の面Ｍ２ａ、Ｍ２ｂの曲率半径を各々 $RM2a$ 、 $RM2b$ とする。第２の光学素子Ｍ２の光軸上の厚さを t とする。第２の光学素子Ｍ２の材料の波長 587.6nm での屈折率を Nd とする。そして

【００２０】

【数１】

$$\frac{1}{\left(\frac{|RM2b|}{2}\right)} - \frac{1}{(|RM2a| + t)} = \frac{1}{s'} \quad \cdots (a1)$$

$$\frac{(s' - t) \times Nd}{(Nd + 1)} = Rapl \quad \cdots (a2)$$

【００２１】

とおいたとき、

$$Rapl \times 0.8 < |RM2a| < Rapl \times 1.2 \quad \cdots (4)$$

なる条件を満足するのが良い。

【００２２】

また第１の光学素子Ｍ１の裏面反射部Ｍ１ａが形成されている面から第２の光学素子Ｍ２の裏面反射部Ｍ２ｂが形成されている面までの光軸上の距離を d とする。物体が配置される位置から像面までの距離（全長）を L とする。このとき

$$L/d < 4.5 \quad \dots (5)$$

なる条件を満足している。

【0023】

条件式(1)は可視光領域にわたり高い光学性能を得るためのものである。条件式(1)を外れると広い撮像領域に渡って高い解像力を持ちながら可視光全域にわたって諸収差を良好に補正し、高い光学性能を得るのが困難になる。

【0024】

条件式(2)、(3)は2次の色収差を良好に補正するためのものである。条件式(2)、(3)を外れると2次の色収差の補正が困難になるので良くない。

【0025】

条件式(4)は第2の光学素子M2の物体側の面M2aに強い負の屈折力を持ち、広い波長領域に渡って収差を低減するためのものである。

【0026】

ここで(a1)式は、反射面M2bに対する結像関係の式であり、物点が屈折面M2aの曲率中心にあり、像点が反射面M2bから距離S'の位置にあることを表している。(a2)式は反射面M2bから距離S'の位置にある虚像の物点に対し、屈折面M2aがアプラナティックな条件となるための曲率半径Rap1を示している。条件式(4)は屈折面M2aがアプラナティックな条件となるための曲率半径Rap1からどの程度外れて良いかを示している。条件式(4)である程度幅があるのは他の面で発生する収差とのバランスを取るためであり、第1の光学素子M1とバランスを取るためにも条件式(4)を満たすことが好ましい。

【0027】

各実施例では(a1)、(a2)、条件式(4)の3つの式を満たすことによって、以下に示すような屈折面M2aでの収差が抑えられた構成とすることができる。

- ・最初に屈折面M2aに入射する光線がほぼ0度で入射する
- ・反射面M2bによって反射された光線が屈折面M2aから射出する際、屈折面M2aの曲率半径がアプラナティックな条件となっている

各実施例において最も有効径の大きな屈折面M2aで収差を低減することにより、広い波長領域に渡って収差を低減するのを容易にしている。

【0028】

条件式(5)は全系の小型化を図るためのものである。条件式(5)を外れると全長(物体面から像面までの光軸上の距離)を短縮しながら反射屈折系としたときの光束の中抜けの割合(不使用となる光束の割合)を低く抑えるのが困難になる。

【0029】

更に好ましくは条件式(2)、(3)、(4)、(5)の数値を次の如く設定するのが良い。

【0030】

$$50 < \text{cat} \quad \dots (2a)$$

$$\text{dio} < 35 \quad \dots (3a)$$

$$R_{ap1} \times 0.8 < |R_{M2a}| < R_{ap1} \quad \dots (4a)$$

$$L/d < 4.0 \quad \dots (5a)$$

次に本発明に係る反射屈折光学系の各実施例について説明する。図2は図1の反射屈折光学系104の実施例1の要部断面図であり、図2において104Aとして示している。

【0031】

図2において104A(後述する他の実施例においては104B乃至104D)は、反射屈折光学系である。反射屈折光学系104Aは試料(物体)103の光束を集光し、所定面に中間像IMを形成する反射面と屈折面を含む反射屈折部CAT、中間像IMからの光束を集光し、後述する屈折部DIO方向へ導光するフィールドレンズ部FLを有している。更に中間像IMを撮像素子(像面)に結像する屈折面と開口絞りASを含む屈折部DIOを有する。

【 0 0 3 2 】

反射屈折部 C A T は光軸付近（光軸周辺）が光透過部で周辺部の一面に反射膜（たとえばアルミや銀等）を施して裏面反射部とした第 1、第 2 の光学素子 M 1、M 2 を有する。ここで第 1、第 2 の光学素子 M 1、M 2 は所謂マンジャンミラーと称される光学素子である。

【 0 0 3 3 】

ここで第 1 の光学素子 M 1 は試料（物体）1 0 3 側の面が凸形状で光軸周辺が正の屈折力の光透過部 M I T、周辺部のうち物体側の面 1 a に反射膜を施し、裏面反射部としている。第 2 の光学素子 M 2 は試料（物体）1 0 3 側に凹面を向け、メニスカス形状で光軸周辺 M 2 T が負の屈折力の光透過部、周辺部のうち像側の面 M 2 b に反射膜を施し裏面反射部としている。S H は遮光板であり、試料 1 0 3 からの光束のうち光軸近傍の光束を遮光し、撮像素子 1 0 5 に入射するのを防止している。遮光板 S H は開口絞り A S 又はその近傍に配置されている。

10

【 0 0 3 4 】

図 2 に示す反射屈折光学系 1 0 4 A では、照明光学系 1 0 2 からの光束で照明され、試料 1 0 3 から出射した光束は第 1 の光学素子（マンジャンミラー）M 1 の中央透過部 M I T を通過する。その後、第 2 の光学素子（マンジャンミラー）M 2 の屈折面 M 2 a に入射し、その後裏面 M 2 b で反射し、反射面 M 2 a を通過して第 1 の光学素子 M 1 の屈折面 M 1 b に入射する。その後、第 1 の光学素子 M 1 の裏面 M 1 a で反射する。そして屈折面 M 1 b を通過し、第 2 の光学素子 M 2 の中央透過部 M 2 T を通過してフィールドレンズ側へ出射し、試料 1 0 3 の中間像 I M を形成する。中間像 I M はフィールドレンズ F L を構成するレンズ内部に形成されている。中間像 I M は複数の屈折光学素子を含む屈折部 D I O によって撮像素子 1 0 5 上に拡大結像される。撮像素子 1 0 5 に結像された試料 1 0 3 の像は画像処理系 1 0 6 によって処理されて表示手段 1 0 7 に表示される。

20

【 0 0 3 5 】

本実施例では二つのマンジャンミラーより成る第 1、第 2 の光学素子 M 1、M 2 の裏面反射面 M 1 a、M 2 b を非球面形状とすることによって色収差を発生することなく球面収差を良好に補正している。また第 2 の光学素子 M 2 の屈折面 M 2 a に強い発散作用を持たせることによって以下に示すような光学効果を得ている。

【 0 0 3 6 】

・正レンズ作用の第 1 の光学素子 M 1 の中心付近の光透過部を有効径と比較して相対的に小さくすることができる

30

・反射屈折部 C A T と屈折部 D I O の軸上色収差を相殺することができるため、屈折部 D I O の凸レンズパワー（正レンズの屈折力）を強くすることができ、全長の短縮が容易になる

このとき反射屈折部 C A T の硝材を屈折部 D I O の正レンズの硝材よりも低分散のものをを用いることによって、2 次の色収差を低減することができる。

【 0 0 3 7 】

通常の屈折光学系では結像させるために正レンズのパワーを負レンズのパワーより強くしなければならない。そのため正レンズに低分散の硝材、負レンズに高分散の硝材を用いることによって色収差の補正を行っている。このとき低分散の硝材と高分散の硝材で波長に対する屈折率変化の割合が異なるため、2 次の色収差となって現れる。

40

【 0 0 3 8 】

一方、本実施例に係る反射屈折光学系 1 0 4 A では、反射屈折部 C A T の負の屈折面 M 2 a のパワー（屈折力）を大きくしても、色収差の生じない反射面 M 2 b のパワーを強くすることで結像させることができる。このため、反射屈折部 C A T の硝材に低分散の（アッペ数の大きな）硝材を用いることで、2 次の色収差を低減することができる。反射屈折部 C A T では軸外の収差補正能力が低い。このため、広い観察領域を得るため本実施例では、屈折部 D I O の一部に高分散の（アッペ数の小さな）硝材を使うことによって、軸外での色収差の補正を行い広い観察領域を得ている。このとき、中間像 M 近傍にフィールド

50

レンズFLを配置することによって、軸外の色収差を更に低減している。このとき、前述の条件式(1)を満たすことで、広い領域に渡って高い解像力を持ちながら、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正している。

【0039】

[実施例1]

本実施例では反射屈折部CATの第1の光学素子M1の反射面M1aと第2の光学素子M2の反射面M2bに集光作用を持たせている。このため、屈折部DIOのパワーを強くして全長を短くしてもペッツバル和を改善することが容易である。これはペッツバル和の効き方が反射面と屈折面で反対となるためである。また第1、第2の光学素子M1、M2の中心透過部を有効径と比較して相対的に小さくするため、2つの反射面M1a、M2bの間隔をある程度離さなければならない。このとき2つの反射面M1a、M2bの間隔dと、全長Lを前述した条件式(2)を満たすことによって、全長の短縮を図りながら中抜けの割合を低く抑えている。実施例1の反射屈折光学系において、物体側の開口数NAは0.7であって、結像倍率は4倍、試料103の物体高は20mmである。物体側103がテレセントリックに構成されており、瞳の中抜けの割合が面積比で2割以下と抑えられている。また白色光での波面収差の最悪値が100m(rms)以下に抑えられている。

10

【0040】

[実施例2]

図4は本発明の反射屈折光学系104Bの実施例2の要部断面図である。図4において図2と同じ部材には同符号を付している。実施例2の構成は実施例1と略同じである。実施例2では実施例1に比べて中間像IMがフィールドレンズFLを構成する接合レンズの接合面近傍に形成されている点が異なっている。実施例2の反射屈折光学系において、物体側の開口数NAは0.7であって、結像倍率は4倍、試料103の物体高は20mmである。実施例1と違い物体側、像側ともテレセントリックに構成されており、瞳の中抜けの割合が面積比で2割以下と抑えられている。また白色光での波面収差最悪値が50m(rms)以下に抑えられている。

20

【0041】

[実施例3]

図6は本発明の反射屈折光学系104Cの実施例3の要部断面図である。図6において図2と同じ部材には、同符号を付している。実施例3の構成は実施例1と略同じである。実施例3では実施例1に比べて中間像IMがフィールドレンズFLを構成するレンズ屈折面上に形成されている点が異なっている。実施例3の反射屈折光学系において、物体側の開口数NAは0.7であって、結像倍率は6倍、試料103の物体高は17.5mmである。物体側、像側ともテレセントリックに構成されており、瞳の中抜けの割合が面積比で2割以下と抑えられている。また白色光での波面収差最悪値が50m(rms)以下に抑えられている。

30

【0042】

[実施例4]

図8は本発明の反射屈折光学系104Dの実施例4の要部断面図である。図8において図2と同じ部材には同符号を付している。実施例4は実施例1に比べて反射屈折部CATの構成が異なっている。実施例4では反射屈折部CATを構成する第1、第2の光学素子M1、M2との間に平行平板PLを設けている点が実施例1と異なっている。試料103からの光束は平行平板PLを2回通過してフィールドレンズFL側へ出射する。

40

【0043】

本実施例では平行平板PLの中心に遮光板SHを配置することによって、光軸近傍の光束を屈折部DIOに到達する前に遮光している。このことによって、屈折部DIO内で発生する不要光を減らすことができる。また平行平板PLに傾け機構を備えることによって、組み立て時に発生するレンズ偏心によるコマ収差を調整することができる。また実施例4は実施例1に比べて中間像IMがフィールドレンズFLを構成するレンズ間に形成され

50

ている点が異なっている。実施例 4 の結像光学系において、物体側の開口数 NA は 0.7 であって、倍率は 4 倍、物体高は 20 mm である。物体側、像側ともテレセントリックに構成されており、瞳の中抜けの割合が面積比で 2 割以下と抑えられている。また白色光での波面収差最悪値が 50 m (rms) 以下に抑えられている。

【0044】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本発明は大画面をスキャンする撮像装置にもスキャンしない撮像装置にも適用可能である。

【0045】

10

以下、各実施例の数値実施例を示す。面番号は物体面（試料面）から像面まで数えた光学面の順である。 r は第 i 番目の光学面の曲率半径である。 d は第 i 番目と第 $i + 1$ 番目の間隔である（符号は物体側から像面側へ測ったときを（光が進行するときを）正、逆方向を負としている）。

【0046】

Nd 、 d は波長 587.6 nm に対する材料の屈折率とアッペ数をそれぞれ示している。非球面の形状は、以下の式に示す一般的な非球面の式で表される。以下の式において、 Z は光軸方向の座標、 c は曲率（曲率半径 r の逆数）、 h は光軸からの高さ、 k は円錐係数、 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 、 h 、 i ・・・は各々、4 次、6 次、8 次、10 次、12 次、14 次、16 次、18 次、20 次、・・・の非球面係数である。

20

【0047】

【数 2】

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{(1+k)c^2h^2}} + ah^4 + bh^6 + ch^8 + dh^{10} + eh^{12} + fh^{14} + gh^{16} + hh^{18} + ih^{20} + \dots$$

【0048】

「E-X」は「 10^{-X} 」を意味する。前述した各条件式と数値実施例との関係を表 - 1 に示す。

【0049】

30

（数値実施例 1）

cat = 58.90

dio = 27.58

L / d = 3.65

Rap1 = 146.43

面番号	r	d	Nd	d
物体面	13.39			
1	906.36	17.06	1.52	58.90
2	-3997.78	110.10		
3	-126.68	9.90	1.52	58.90
4	-177.35	-9.90	1.52	58.90
5	-126.68	-110.10		
6	-3997.78	-17.06	1.52	58.90
7	906.36	17.06	1.52	58.90
8	-3997.78	110.10		
9	-126.68	9.90	1.52	58.90
10	-177.35	10.00		
11	201.21	7.93	1.49	70.40

40

50

12	-66.18	3.03			
13	-48.21	5.11	1.76	27.58	
14	-62.18	10.24			
15	225.57	11.90	1.62	60.32	
16	-72.13	10.13			
17	-52.69	5.00	1.68	31.65	
18	-99.47	0.50			
19	87.94	11.85	1.62	60.32	
20	26624.84	26.26			
21	186.16	11.47	1.74	43.26	10
22	-153.01	21.01			
23	絞リ	70.00			
24	165.44	17.86	1.62	60.34	
25	-287.50	0.50			
26	114.40	17.33	1.74	44.86	
27	-523.65	7.90			
28	-151.69	5.00	1.63	35.31	
29	-2579.73	47.14			
30	-41.07	6.44	1.76	27.58	
31	-94.38	7.81			20
32	-50.16	15.84	1.64	46.53	
33	-36.60	8.81	1.74	44.85	
34	-72.23	10.50			
像面					

【 0 0 5 0 】

実施例 1

非球面係数

1,7面

k	0.00E+00	30
a	4.53E-09	
b	9.23E-14	
c	6.79E-18	
d	1.53E-21	
e	-2.53E-25	
f	2.28E-29	
g	-7.53E-34	

4,10面

k	0.00E+00	40
a	3.81E-09	
b	1.60E-13	
c	5.83E-18	
d	8.48E-23	
e	1.83E-26	
f	-6.46E-31	
g	3.14E-35	

22面

k	0.00E+00	50
---	----------	----

a 4.42E-07
 b 2.82E-11
 c 2.17E-14
 d -1.14E-17
 e 3.32E-21
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

25面

k 0.00E+00
 a -2.29E-07
 b 2.22E-11
 c 8.97E-15
 d -3.08E-18
 e 3.19E-22
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

10

29面

k 0.00E+00
 a 5.70E-07
 b -1.67E-10
 c -3.30E-14
 d 1.29E-17
 e -1.42E-21
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

20

30面

k 0.00E+00
 a 2.45E-06
 b 4.62E-10
 c 6.15E-13
 d -3.59E-16
 e 3.36E-19
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

30

【 0 0 5 1 】

(数值实施例 2)

cat = 7 0 . 2 4

dio = 2 5 . 4 3

L / d = 3 . 8 1

R a p l = 147.19

40

面番号	r	d	Nd	d
物体面	13.39			
1	736.61	24.08	1.49	70.24
2	-9661.75	97.67		
3	-118.31	9.38	1.49	70.24

50

4	-170.29	-9.38	1.49	70.24	
5	-118.31	-97.67			
6	-9661.75	-24.08	1.49	70.24	
7	736.61	24.08	1.49	70.24	
8	-9661.75	97.67			
9	-118.31	9.38	1.49	70.24	
10	-170.29	10.00			
11	-458.41	5.89	1.64	58.37	
12	-119.83	3.29			
13	-54.79	5.00	1.65	33.79	10
14	-998.82	11.55	1.62	60.25	
15	-54.52	0.73			
16	79.77	7.04	1.62	60.29	
17	483.74	34.05			
18	59.02	11.53	1.76	40.10	
19	109.31	0.50			
20	65.70	20.52	1.49	70.35	
21	-118.81	26.00			
22	絞リ	18.84			
23	-49.26	33.31	1.81	25.43	20
24	-79.27	0.50			
25	122.53	26.67	1.64	55.38	
26	-86.46	0.50			
27	57.90	15.51	1.49	70.35	
28	78.67	17.39			
29	-124.44	5.74	1.57	42.86	
30	58.49	15.64			
31	-147.56	8.96	1.76	47.82	
32	-75.81	11.90			
33	-59.72	8.10	1.60	38.03	30
34	272.55	9.12			
35	-178.62	19.27	1.72	34.72	
36	-68.40	0.50			
37	1362.89	16.90	1.51	60.49	
38	-142.77	10.50			

像面

【 0 0 5 2 】

実施例 2

非球面係数

40

1,7面

k	0.00E+00
a	6.72E-09
b	6.14E-14
c	2.27E-17
d	-9.74E-22
e	1.18E-25
f	-5.31E-30
g	2.75E-34

50

4,10面

k	0.00E+00
a	5.58E-09
b	2.43E-13
c	9.28E-18
d	1.61E-22
e	2.65E-26
f	-9.34E-31
g	5.28E-35

10

17面

k	0.00E+00
a	6.69E-07
b	-6.19E-11
c	3.77E-14
d	-1.71E-16
e	1.20E-19
f	0.00E+00
g	0.00E+00

20

19面

k	0.00E+00
a	9.53E-07
b	2.89E-10
c	2.54E-14
d	-5.14E-18
e	5.40E-21
f	0.00E+00
g	0.00E+00

30

26面

k	0.00E+00
a	4.94E-07
b	1.25E-11
c	2.56E-15
d	-9.15E-19
e	1.58E-22
f	0.00E+00
g	0.00E+00

40

30面

k	0.00E+00
a	1.32E-06
b	1.83E-10
c	-1.01E-13
d	-2.77E-18
e	-2.19E-21
f	0.00E+00
g	0.00E+00

50

38面

k 0.00E+00
a -6.34E-07
b 9.02E-12
c -3.52E-14
d 9.31E-18
e -1.34E-21
f 0.00E+00
g 0.00E+00

10

【 0 0 5 3 】

(数值实施例 3)

cat = 5 2 . 4 3

dio = 2 7 . 5 8

L / d = 3 . 3 3

R a p l = 157.37

面番号	r	d	Nd	d	
物体面		15.87			
1	754.25	22.79	1.52	58.90	20
2	3256.39	116.10			
3	-153.11	11.11	1.52	52.43	
4	-204.85	-11.11	1.52	52.43	
5	-153.11	-116.10			
6	3256.39	-22.79	1.52	58.90	
7	754.25	22.79	1.52	58.90	
8	3256.39	116.10			
9	-153.11	11.11	1.52	52.43	
10	-204.85	10.00			
11	122.17	5.52	1.74	44.85	30
12	339.11	3.40			
13	-68.55	5.00	1.72	29.36	
14	98.91	8.26	1.63	59.19	
15	-51.33	0.50			
16	56.66	8.68	1.67	52.17	
17	143.94	16.52			
18	59.18	15.25	1.68	51.06	
19	-110.80	1.81			
20	3064.28	5.83	1.76	27.58	
21	-292.44	20.31			40
22	絞り	17.44			
23	-37.08	6.62	1.53	50.87	
24	3195.60	3.24			
25	-523.22	14.72	1.75	34.78	
26	-62.19	0.50			
27	-2164.72	20.45	1.54	65.27	
28	-62.64	0.50			
29	70.84	18.40	1.74	44.85	
30	-646.36	9.39			
31	-208.25	5.00	1.74	28.07	50

32	74.90	15.63			
33	-66.07	7.40	1.75	30.36	
34	-53.61	15.34			
35	-42.41	5.00	1.57	63.50	
36	34891.48	9.86			
37	-60.56	5.00	1.67	33.89	
38	-1135.42	14.80			
39	-160.27	31.79	1.74	44.85	
40	-74.15	0.50			
41	478.58	18.46	1.63	59.36	10
42	-221.25	13.00			
像面					

【 0 0 5 4 】

実施例 3

非球面係数

1,7面

k	0.00E+00			
a	2.71E-09			
b	-2.26E-14			20
c	1.08E-17			
d	-6.02E-22			
e	3.69E-26			
f	-1.27E-30			
g	2.65E-35			

4,10面

k	0.00E+00			
a	3.18E-09			
b	9.29E-14			30
c	2.40E-18			
d	5.30E-23			
e	2.78E-27			
f	-6.10E-32			
g	3.89E-36			

19面

k	0.00E+00			
a	2.08E-06			
b	3.94E-10			40
c	-2.86E-13			
d	-4.35E-16			
e	4.86E-21			
f	0.00E+00			
g	0.00E+00			

23面

k	0.00E+00			
a	3.44E-07			
b	7.59E-10			50

c 2.58E-13
d -1.08E-16
e 1.59E-19
f 0.00E+00
g 0.00E+00

28面

k 0.00E+00
a 9.57E-08
b 1.47E-10
c 5.01E-14
d 9.02E-18
e 6.69E-21
f 0.00E+00
g 0.00E+00

10

34面

k 0.00E+00
a 1.16E-06
b -1.81E-11
c 8.21E-15
d 2.75E-17
e -4.75E-20
f 0.00E+00
g 0.00E+00

20

44面

k 0.00E+00
a -3.72E-07
b 2.92E-11
c -1.73E-15
d -2.06E-19
e 3.79E-23
f 0.00E+00
g 0.00E+00

30

【 0 0 5 5 】

(数值实施例 4)

cat = 5 2 . 4 3

dio = 2 7 . 5 8

40

L / d = 3 . 6 5

R a p l = 145.96

面番号	r	d	Nd	d
物体面	13.39			
1	819.00	16.40	1.49	70.24
2	-3201.41	28.35		
3		13.97	1.49	70.24
4		68.55		
5	-122.05	9.54	1.52	52.43

50

6	-172.82	-9.54	1.52	52.43	
7	-122.05	-68.55			
8		-13.97	1.49	70.24	
9		-28.35			
10	-3201.41	-16.40	1.49	70.24	
11	819.00	16.40	1.49	70.24	
12	-3201.41	28.35			
13		13.97	1.49	70.24	
14		68.55			
15	-122.05	9.54	1.52	52.43	10
16	-172.82	10.00			
17	126.58	6.22	1.74	44.85	
18	-950.12	9.32			
19	-64.86	5.00	1.68	31.36	
20	537.54	8.74	1.62	60.32	
21	-56.79	0.50			
22	82.22	7.50	1.49	70.41	
23	635.34	23.00			
24	64.84	14.27	1.69	49.87	
25	618.89	5.01	1.76	27.58	20
26	709.49	10.48			
27	-96.82	8.38	1.75	34.46	
28	-68.50	28.14			
29	絞 I	48.00			
30	-577.36	14.75	1.74	44.85	
31	-104.66	0.50			
32	116.63	19.70	1.74	44.85	
33	-222.26	0.50			
34	65.69	7.94	1.76	27.58	
35	70.78	13.16			30
36	-483.66	5.00	1.74	28.39	
37	53.97	51.45			
38	-43.90	5.00	1.62	36.83	
39	-429.14	6.13			
40	-138.53	17.04	1.74	44.50	
41	-58.87	0.50			
42	357.86	13.06	1.74	44.85	
43	-313.15	10.50			

像面

40

【 0 0 5 6 】

実施例 4

非球面係数

1,11面

k	0.00E+00
a	7.19E-09
b	-2.15E-14
c	3.31E-17
d	-2.42E-21
e	2.45E-25

50

f -1.36E-29
g 4.52E-34

6,16面

k 0.00E+00
a 5.09E-09
b 2.20E-13
c 8.31E-18
d 2.05E-22
e 1.85E-26
f -4.31E-31
g 3.56E-35

10

23面

k 0.00E+00
a 1.03E-06
b 1.79E-11
c -3.63E-14
d 3.77E-17
e 1.29E-20
f 0.00E+00
g 0.00E+00

20

26面

k 0.00E+00
a 7.92E-07
b 2.89E-10
c 1.07E-14
d -1.21E-17
e 2.23E-21
f 0.00E+00
g 0.00E+00

30

33面

k 0.00E+00
a 1.89E-07
b -4.72E-12
c -2.07E-16
d -9.83E-20
e 3.27E-23
f 0.00E+00
g 0.00E+00

40

37面

k 0.00E+00
a 2.31E-07
b -2.63E-11
c -2.63E-14
d 2.69E-17
e -9.30E-21

50

f 0.00E+00
g 0.00E+00

43面

k 0.00E+00
a -5.54E-07
b 1.02E-10
c -2.53E-14
d 8.33E-19
e 3.66E-22
f 0.00E+00
g 0.00E+00

10

【 0 0 5 7 】

【 表 1 】

表 1

条件式	実 施 例			
	1	2	3	4
(2) ν_{cat}	58.9	70.24	52.43	52.43
(3) ν_{dio}	27.58	25.43	27.58	27.58
(4) R_{apl}	146.43	147.19	157.37	145.96
$RM2a$	-126.68	-118.31	-153.11	-122.05
(5) L/d	3.65	3.81	3.33	3.65

20

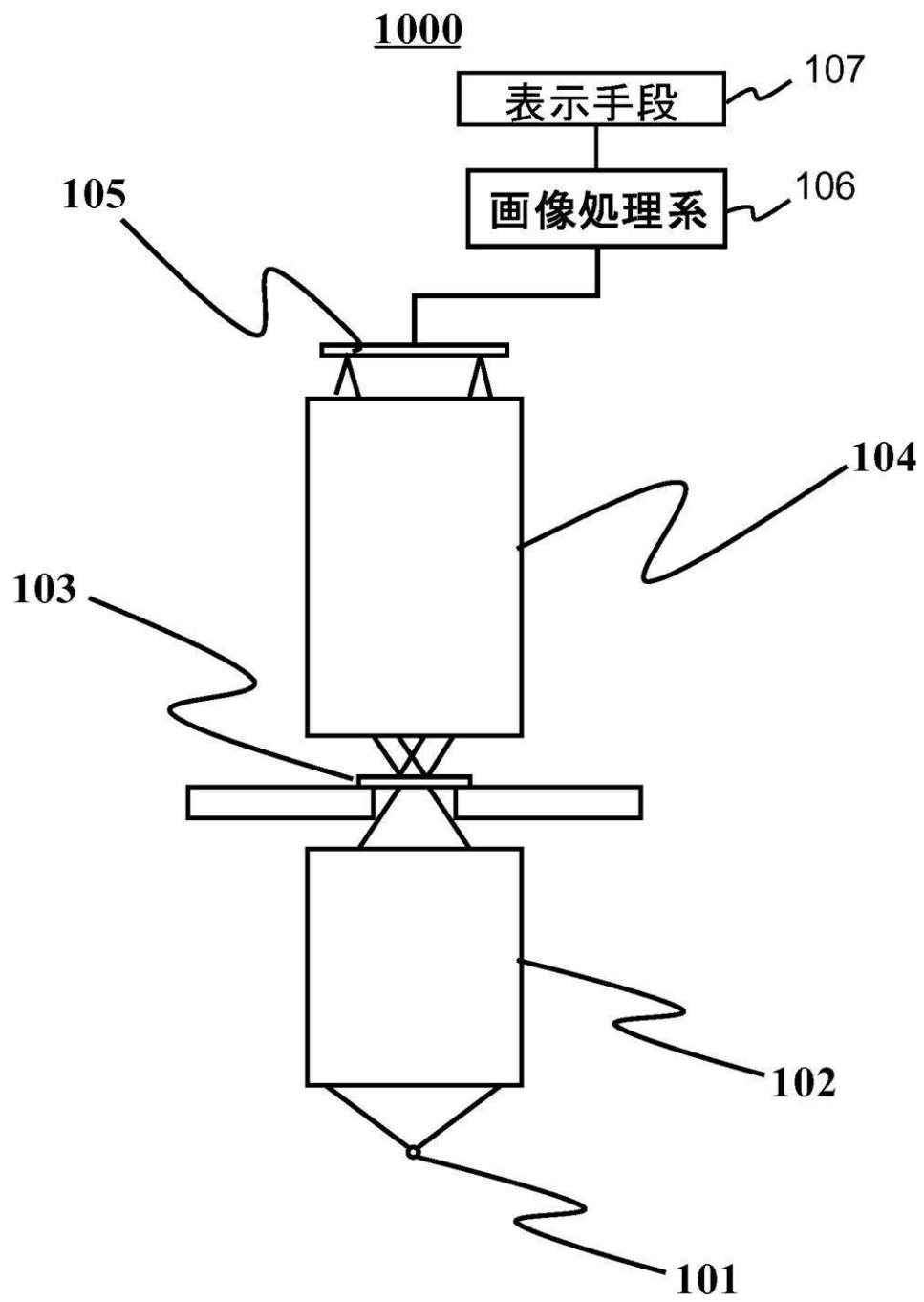
【 符号の説明 】

【 0 0 5 8 】

1 0 1 光源、 1 0 2 照明光学系、 1 0 3 試料、 1 0 4 反射屈折光学系、 1 0 5 撮像素子、 I M 中間像、 C A T 反射屈折部、 F L フィールドレンズ部、 D I O 屈折部、 M 1 第 1 の光学素子、 M 2 第 2 の光学素子

30

【図 1】



【図2】

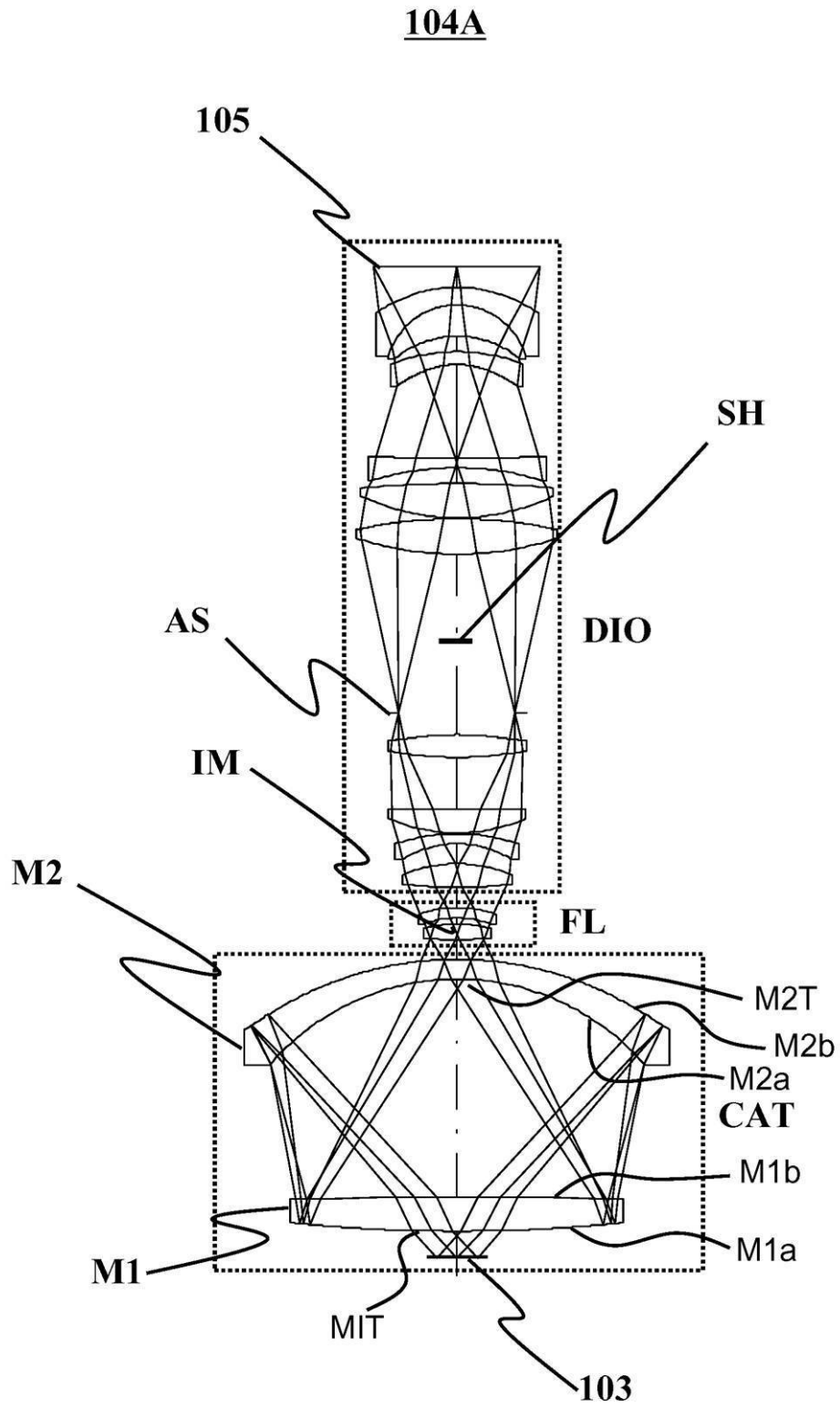
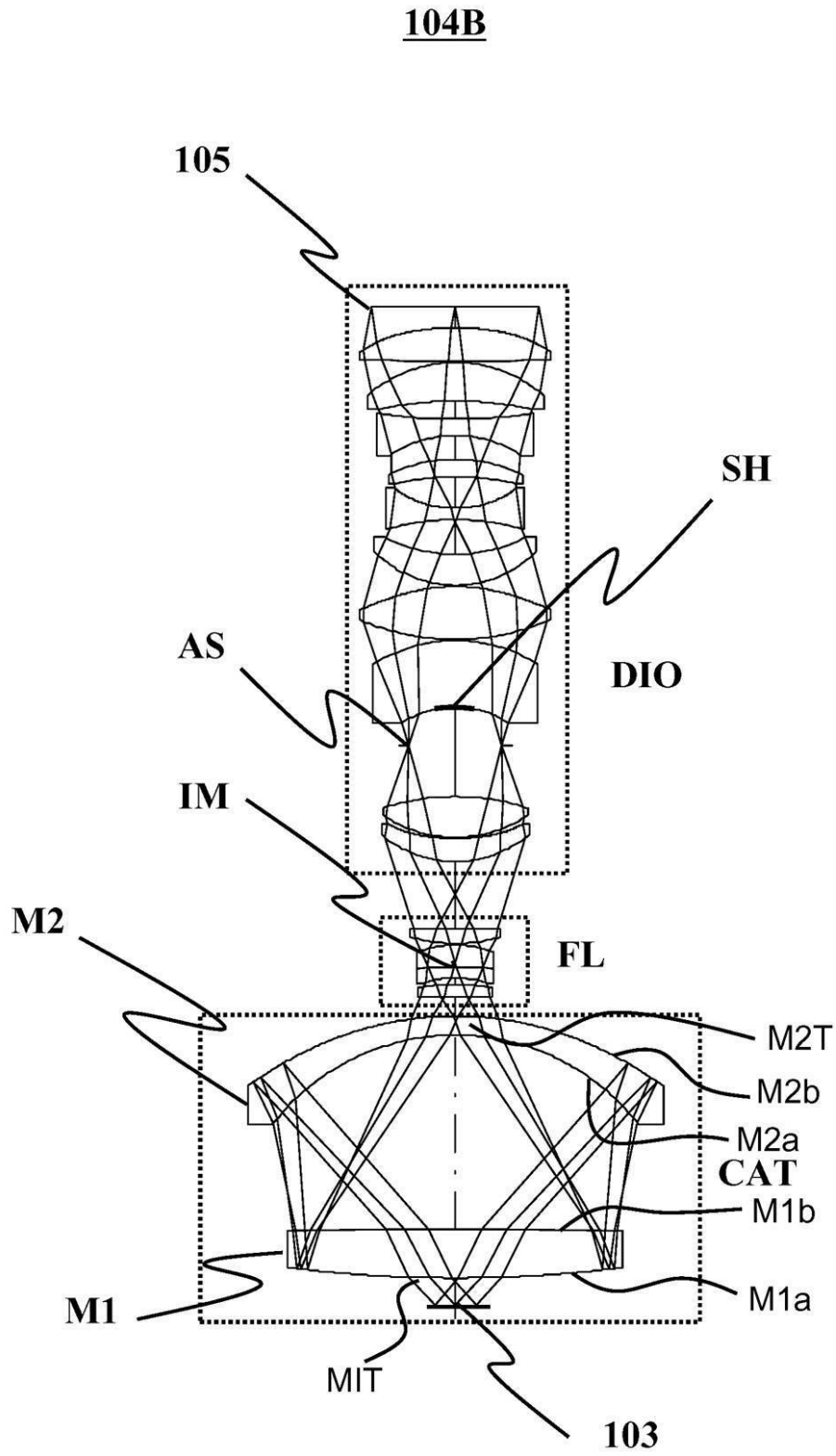
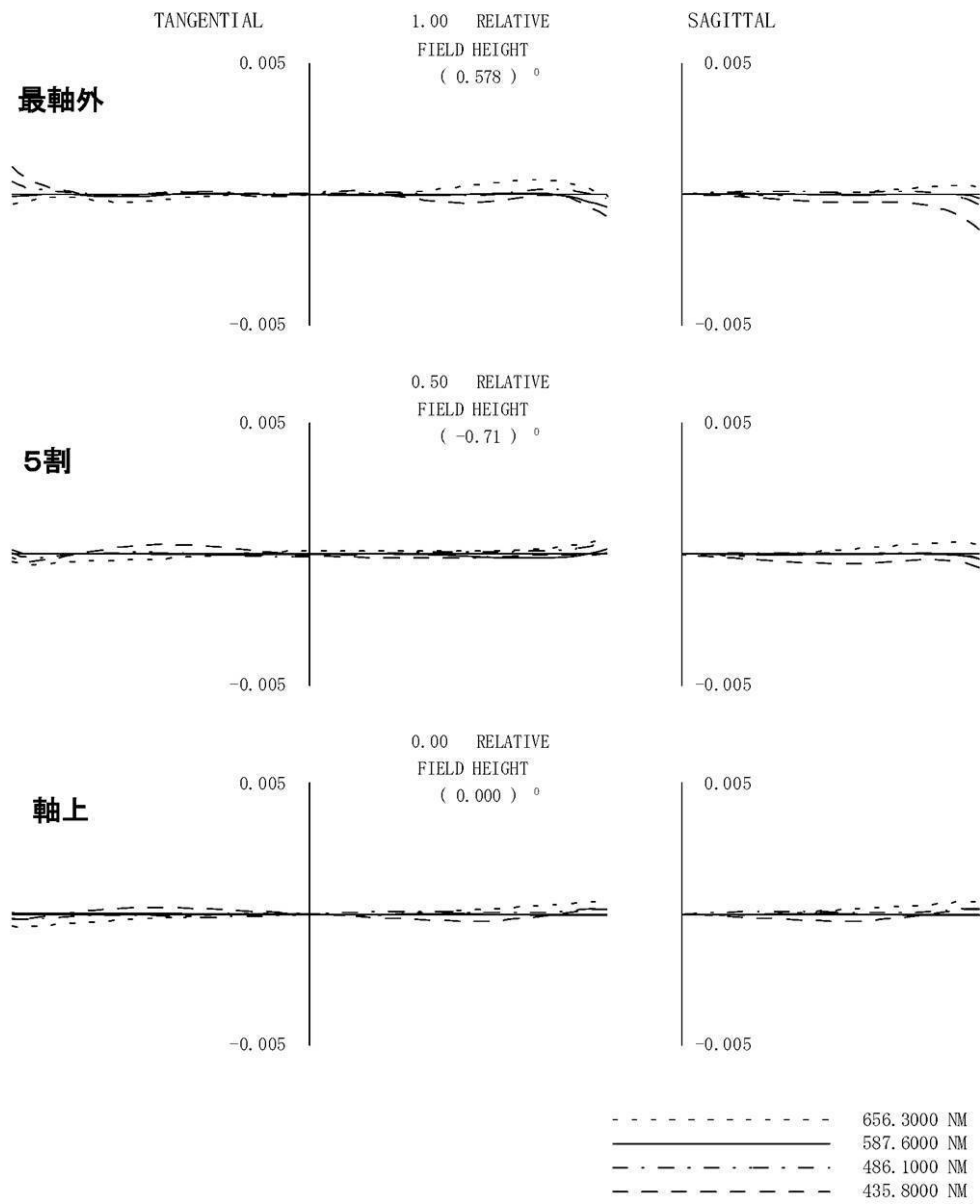


Figure 1 displays six line graphs showing wavefront aberrations in TANGENTIAL and SAGITTAL planes for three relative field heights. The rows are labeled '最軸外' (outermost), '5割' (50%), and '軸上' (on-axis). The columns are 'TANGENTIAL' and 'SAGITTAL'. Each graph plots wavefront error from -0.005 to 0.005. The top row is for 1.00 relative field height (-17.6 degrees), the middle for 0.50 (-9.98 degrees), and the bottom for 0.00 (0.000 degrees). A legend at the bottom right identifies four wavelengths: 656.3000 NM (dashed), 587.6000 NM (solid), 486.1000 NM (dash-dot), and 435.8000 NM (long dash).

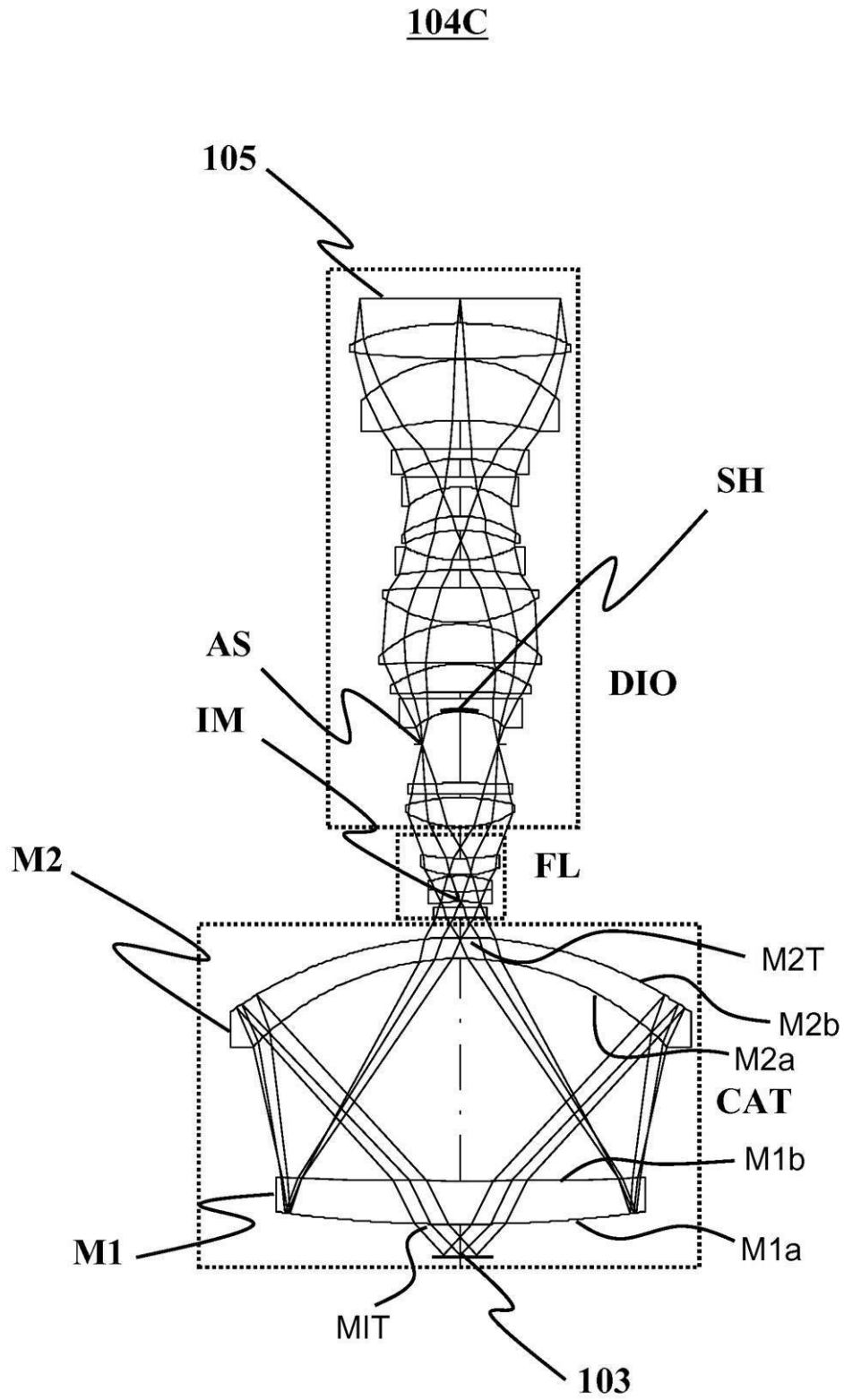
【図4】



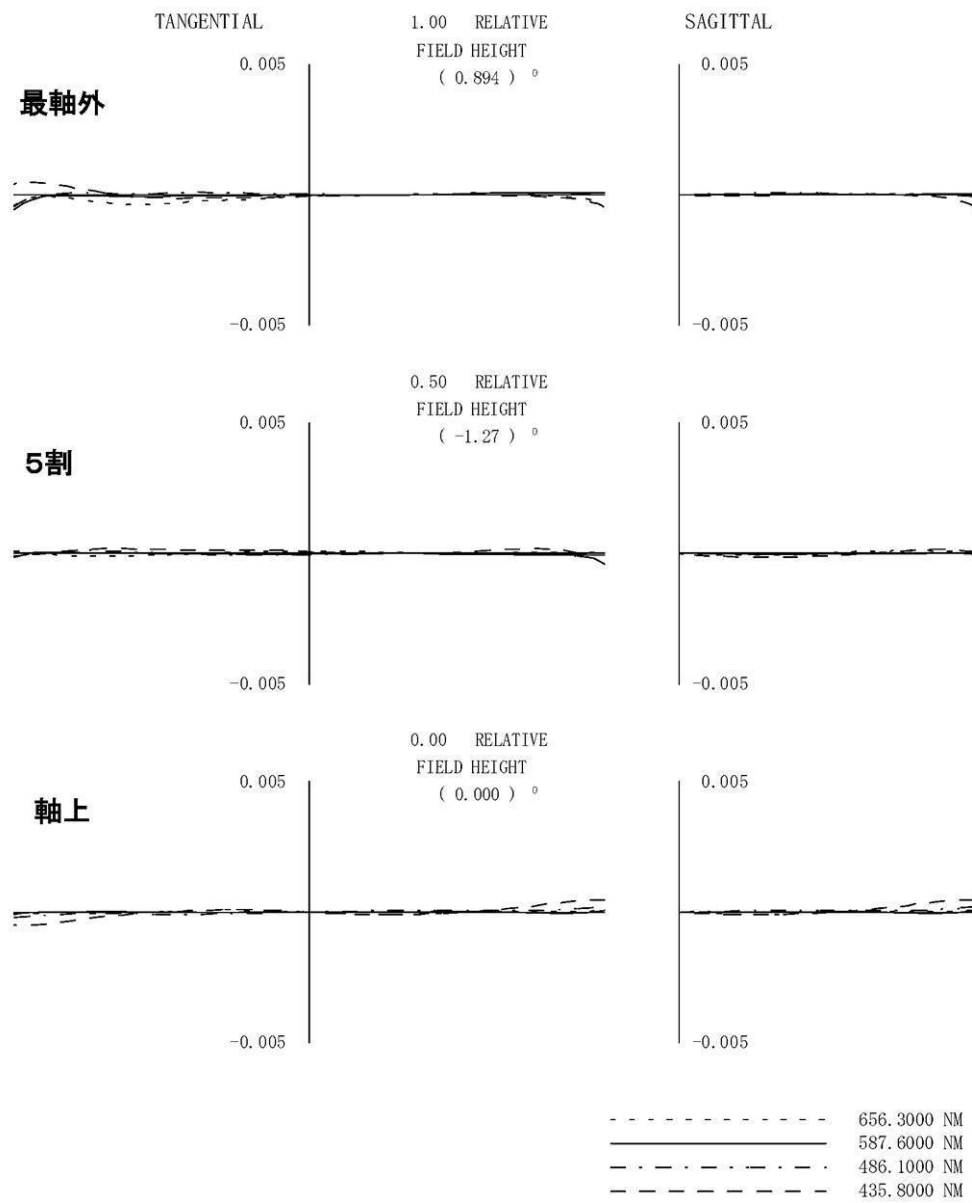
【図 5】



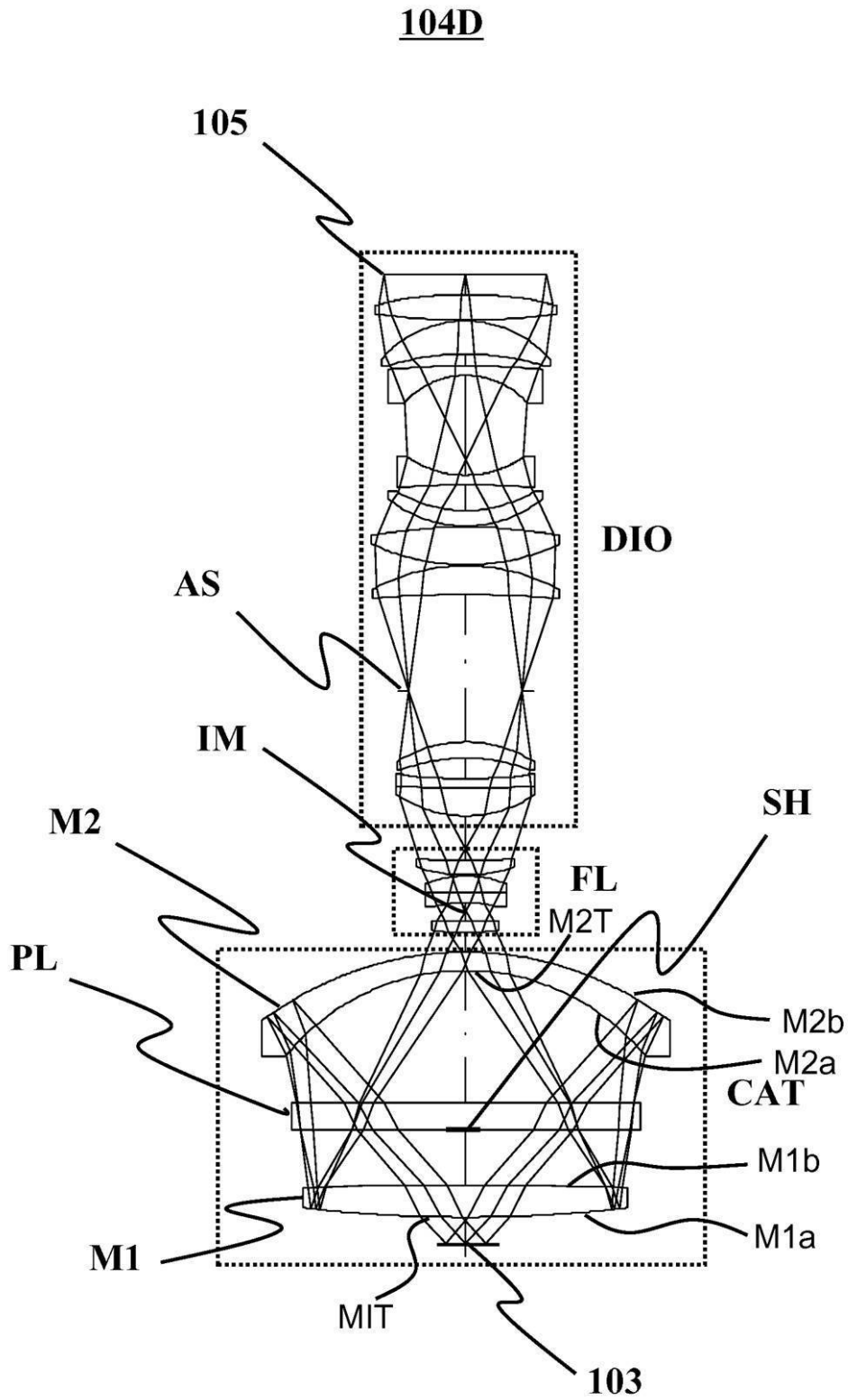
【図 6】



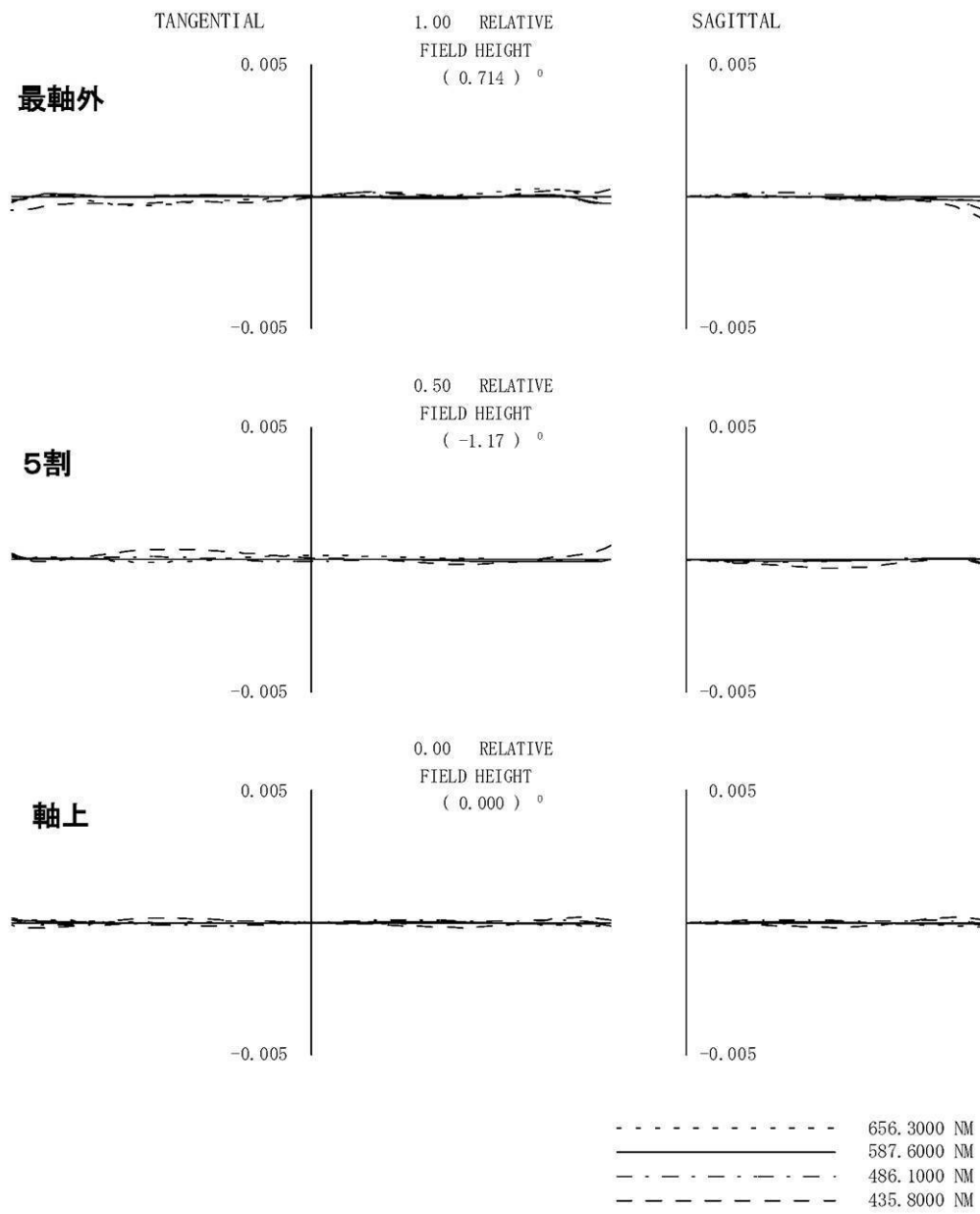
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

審査官 原田 英信

(56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 5 1 8 8 7 6 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 1 1 8 0 5 8 (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