

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-211475

(P2017-211475A)

(43) 公開日 平成29年11月30日(2017.11.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 25/00 (2006.01)	G02B 25/00 A	2H087
G02B 3/08 (2006.01)	G02B 3/08	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2016-104109 (P2016-104109)	(71) 出願人	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
(22) 出願日	平成28年5月25日 (2016.5.25)	(74) 代理人	100086818 弁理士 高梨 幸雄
		(72) 発明者	和田 健 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
		Fターム(参考)	2H087 KA23 LA11 PA03 PA04 PA17 PB03 PB04 QA02 QA07 QA13 QA17 QA21 QA22 QA25 QA34 QA41 QA42 QA45 QA46 RA05 RA12 RA13

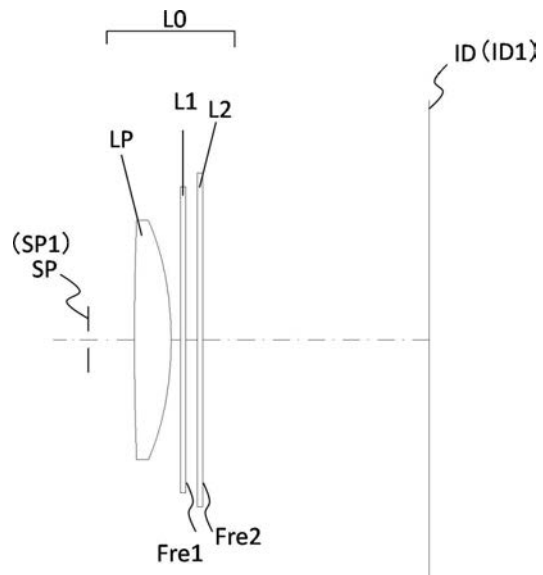
(54) 【発明の名称】 観察光学系及びそれを有する観察装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 画像表示素子に表示される映像を、装置全体の小型化を図りつつ、広視野でありながら高品位で高い光学性能で観察することが容易な、例えばヘッドマウントディスプレイ等の画像表示装置に搭載される場合に好適な観察光学系を提供する。

【解決手段】 画像表示面 I D に表示された画像を観察するための観察光学系 L O であって、観察面 S P 側から画像表示面 I D 側へ順に、正の屈折力の第 1 レンズと、少なくとも 1 つのフレネルレンズとを有すること。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

画像表示面に表示された画像を観察するための観察光学系であって、観察面側から画像表示面側へ順に、正の屈折力の第 1 レンズと、少なくとも 1 つのフレネルレンズとを有することを特徴とする観察光学系。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つのフレネルレンズは、中心から周辺に向かって輪帯ピッチが小さくなるフレネルレンズを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の観察光学系。

【請求項 3】

前記フレネルレンズの各輪帯における壁面高さを H 、全系の焦点距離を f とするとき、
 $0.001 < H/f < 0.010$
 なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の観察光学系。

10

【請求項 4】

前記第 1 レンズの焦点距離を f_1 、全系の焦点距離を f とするとき、
 $0.75 < f_1/f < 4.00$
 なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の観察光学系。

【請求項 5】

前記フレネルレンズの輪帯ピッチを P 、前記フレネルレンズの各輪帯における壁面高さを H とするとき、

20

$$1.00 < P/H < 5.00$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の観察光学系。

【請求項 6】

前記第 1 レンズの観察面側のレンズ面の曲率半径を R_1 、前記第 1 レンズの画像表示面側のレンズ面の曲率半径を R_2 とするとき、

$$0.0 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 1.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の観察光学系。

【請求項 7】

前記第 1 レンズの前記画像表示面側のレンズ面から最も観察面側に配置されているフレネルレンズの観察面側のレンズ面までの光軸上の距離を L 、全系の焦点距離を f とするとき、

30

$$0.001 < L/f < 0.080$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の観察光学系。

【請求項 8】

観察面側から画像表示面側へ順に配置された正の屈折力の第 1 フレネルレンズ、正の屈折力の第 2 フレネルレンズ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 項に記載の観察光学系。

40

【請求項 9】

観察面側から画像表示面側へ順に配置された正の屈折力の第 1 フレネルレンズ、負の屈折力の第 2 フレネルレンズ、正の屈折力の第 3 フレネルレンズ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 項に記載の観察光学系。

【請求項 10】

観察面側から画像表示面側へ順に配置された負の屈折力の第 1 フレネルレンズ、正の屈折力の第 2 フレネルレンズ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 項に記載の観察光学系。

【請求項 11】

観察面側から画像表示面側へ順に配置された正の屈折力の第 1 フレネルレンズ、負の屈

50

折力の第2フレネルレンズ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項に記載の観察光学系。

【請求項12】

前記第1レンズの画像表示面側に負の屈折力の第2レンズを有し、前記少なくとも1つのフレネルレンズは、前記第2レンズの画像表示面側に配置された正の屈折力の第1フレネルレンズより構成されることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の観察光学系。

【請求項13】

請求項1乃至12のいずれか1項に記載の観察光学系と、画像を表示する画像表示素子を有することを特徴とする観察装置。

10

【請求項14】

アイレリーフ10mmにおける観察半視野角の最大値を（度）とするとき、
 $50.0^\circ < \text{観察半視野角} < 70.0^\circ$
 なる条件式を満足することを特徴とする請求項13に記載の観察装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像表示素子に表示された画像を観察する観察装置に好適な観察光学系に関する。

【背景技術】

20

【0002】

ヘッドマウントディスプレイ等の観察装置においては、高い臨場感が求められるため、広視野角でありながら高い光学性能を有する観察光学系を備えることが望ましい。さらに、観察光学系の軽量化が求められている。従来、フレネルレンズを用いて軽量化を図った観察光学系が知られている（特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平7-244246号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一般に、広視野角の観察光学系においては、レンズ素子に対して光線が広い角度で入射するため、フレネルレンズの各輪帯の壁面で不要光が発生し、画質が低下しやすくなる。また、観察面側にフレネルレンズを配置すると、フレネルレンズにゴミが付着したり、キズが付いたりして、画質が低下しやすくなる。

【0005】

本発明は、広視野角でありながら高い光学性能を有する軽量の観察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】

40

【0006】

本発明の観察光学系は、画像表示面に表示された画像を観察するための観察光学系であって、観察面側から画像表示面側へ順に、正の屈折力のレンズと、少なくとも1つのフレネルレンズとを有することを特徴としている。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、広視野角でありながら高い光学性能を有する軽量の観察光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

50

【図 1】本発明の実施例 1 の観察光学系のレンズ断面図

【図 2】(A)、(B) 本発明の実施例 1 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図

【図 3】本発明の実施例 2 の観察光学系のレンズ断面図

【図 4】(A)、(B) 本発明の実施例 2 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図

【図 5】本発明の実施例 3 の観察光学系のレンズ断面図

【図 6】(A)、(B) 本発明の実施例 3 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図

【図 7】本発明の実施例 4 の観察光学系のレンズ断面図

【図 8】(A)、(B) 本発明の実施例 4 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図

【図 9】本発明の実施例 5 の観察光学系のレンズ断面図

【図 10】(A)、(B) 本発明の実施例 5 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図

【図 11】本発明に係るフレネルレンズによる照明解析の説明図

【図 12】本発明に係る観察視野画像の説明図

【図 13】本発明に係るフレネルレンズの説明図

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に、本発明の好ましい実施形態を添付の図面に基づいて詳細に説明する。本発明の観察光学系は、画像表示面に表示された画像を観察するための光学系である。観察光学系は、観察面側から画像表示面側へ順に正の屈折力の第 1 レンズと、少なくとも 1 つのフレネルレンズを有している。そして少なくとも 1 つのフレネルレンズは、輪帯ピッチが中心（光軸上）から周辺に行くに従って小さくなるフレネルレンズを含む。

【0010】

図 1 は本発明の実施例 1 の観察光学系を有する観察装置のレンズ断面図である。図 2 (A)、(B) は本発明の実施例 1 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図である。図 3 は本発明の実施例 2 の観察光学系を有する観察装置のレンズ断面図である。図 4 (A)、(B) は本発明の実施例 2 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図である。

【0011】

図 5 は本発明の実施例 3 の観察光学系を有する観察装置のレンズ断面図である。図 6 (A)、(B) は本発明の実施例 3 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図である。図 7 は本発明の実施例 4 の観察光学系を有する観察装置のレンズ断面図である。図 8 (A)、(B) は本発明の実施例 4 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図である。

【0012】

図 9 は本発明の実施例 5 の観察光学系を有する観察装置のレンズ断面図である。図 10 (A)、(B) は本発明の実施例 5 の観察光学系のアイレリーフ 10 mm とアイレリーフ 20 mm における縦収差図である。図 11 (A)、(B)、(C) は本発明の観察光学系におけるフレネルレンズの各輪帯における壁面高さによる照明解析の説明図である。図 12 (A)、(B) は 0.3 mm ピッチのフレネルレンズによる観察視野画像の説明図である。図 13 (A)、(B)、(C) は本発明に係るフレネルレンズの説明図である。

【0013】

レンズ断面図において、L0 は観察光学系であり、正の屈折力の第 1 レンズ（正レンズ）LP と少なくとも 1 つのフレネルレンズを有する。ここで第 1 レンズ LP はレンズ面が曲率を有した曲面であり、該曲面で屈折作用をするレンズであって、フレネルレンズは含まれない。ID は画像表示面であり、例えば液晶表示素子 ID1 が配置される。SP は観察面であり、観察者の瞳が位置する。観察面 SP には絞り SP1 が配置される場合もある

10

20

30

40

50

。

【0014】

各実施例のレンズ断面図において、アイレリーフは、光軸上における、アイポイントと最も観察側のレンズ面の間隔を表す。なお、収差の評価については、画像表示面から光線を飛ばした観察面側での収差と、観察面側から光線を飛ばして画像表示面上での収差は一对一で対応するため、便宜上、画像表示面上での収差を評価している。また、各実施例の開口絞り径は、人間の瞳径の一例として3.5mmに設定している。

【0015】

各実施例に係る観察光学系は正の屈折力の第1レンズLPと1枚以上のフレネルレンズを有する。フレネルレンズは、図13に示すように、曲率半径rのレンズ面を同心円状の複数の輪帯に分割した形状を有する。また、フレネルレンズは、断面形状が鋸歯型のプリズムFPを同心円状に並べた形状を有する。各輪帯を構成するプリズムFPは、レンズ面（光屈折面、格子面）の角度が互いに異なる。またフレネルレンズの輪帯ピッチPは中心（光軸上）から周辺に向かって小さくなっている。Hは各輪帯の壁面高さである。

10

【0016】

後述する数値データにおいて、フレネルレンズ面Freにおける曲率半径rは図13(A)に示すレンズ面の曲率半径rに相当する。フレネルレンズ面の焦点距離を求める際のパラメータの1つは通常のレンズの焦点距離を求めるのと同様に曲率半径rを用いている。フレネルレンズの焦点距離fと板厚（中心厚）、有効寸法（有効径）w、v等は図13(B)、(C)に示すとおりである。後述する条件式におけるフレネルレンズ面Freの曲率半径はフレネルレンズとする前のレンズ面の曲率半径rを用いている。

20

【0017】

各実施例の観察光学系では、最も観察面SP側に正の屈折力の第1レンズLPを配置することで、フレネルレンズの各輪帯の壁面に対する見込み角度を小さく設定している。またフレネルレンズの輪帯ピッチ（格子ピッチ）については、光軸から離れた周辺部に比べて中心部は輪帯ピッチが大きくなるようにすることで、中心視野領域における回折フレアの影響を少なくしている。これによって、広視野でありながら、軽量且つ高い光学性能を有した観察光学系を得ている。

【0018】

各実施例において好ましくは次の条件式のうち1つ以上を満足するのが良い。少なくとも1つのフレネルレンズの各輪帯における壁面高さをHとする。全系（観察光学系L0）の焦点距離をfとする。正の屈折力の第1レンズLPの焦点距離をf1とする。少なくとも1つのフレネルレンズの輪帯ピッチをP、フレネルレンズの各輪帯における壁面高さをHとする。

30

【0019】

第1レンズLPの観察面側のレンズ面の曲率半径をR1、画像表示面側のレンズ面の曲率半径をR2とする。第1レンズLPの画像表示素子側の面から最も観察面側に配置されているフレネルレンズの観察面側の面までの光軸上の距離をLとする。このとき次の条件式のうち1つ以上を満足するのが良い。

【0020】

$$0.001 < H / f < 0.010 \quad \dots (1)$$

$$0.75 < f1 / f < 4.00 \quad \dots (2)$$

$$1.00 < P / H < 5.00 \quad \dots (3)$$

$$0.0 < (R1 + R2) / (R1 - R2) < 1.0 \quad \dots (4)$$

$$0.001 < L / f < 0.080 \quad \dots (5)$$

40

【0021】

また観察光学系と、画像情報を表示する画像表示素子を有し、観察光学系によって拡大された画像表示素子の画像情報を、観察光学系を介して観察面側から観察する観察装置においては、次の条件式を満足するのが良い。アイレリーフ10mmにおける観察半視野角の最大値を（度）とする。このとき次の条件式を満足するのが良い。

50

$$50.0^\circ < \quad < 70.0^\circ \quad \dots (6)$$

【0022】

次に前述の各条件式の技術的意味について説明する。条件式(1)は、フレネルレンズの各輪帯における壁面高さHと全系の焦点距離fとの比を規定している。条件式(1)の下限を超えると各輪帯の壁面高さが低くなってフレネルレンズの周辺部における輪帯ピッチが狭くなるため好ましくない。

【0023】

上限を超えると、各輪帯の壁面高さが高くなることで見込み角度が大きくなって観察に際して各輪帯の壁面段差等を認識してしまうため好ましくない。さらに望ましくは、条件式(1)の数値範囲を条件式(1a)とすることで、より高い光学性能を有した観察装置を実現することが容易となる。

$$0.002 < H/f < 0.009 \quad \dots (1a)$$

【0024】

条件式(2)は、全系の焦点距離に対する正の屈折力の第1レンズLPの焦点距離の比を規定している。条件式(2)の下限を超えて第1レンズLPの屈折力が強くなりすぎると光学性能が低下してくる。逆に上限を超えて第1レンズLPの屈折力が弱くなりすぎると、特に周辺視野光束について全光束に対する各輪帯の壁面が占める領域が大きくなり各輪帯の壁面段差を認識するようになるため好ましくない。さらに望ましくは、条件式(2)の数値範囲を条件式(2a)とすることで、より高い光学性能を有した観察装置を実現することが容易となる。

$$0.85 < f_1/f < 3.00 \quad \dots (2a)$$

【0025】

条件式(3)は回折フレアの影響に関する。条件式(3)はフレネルレンズの周辺部の輪帯ピッチの最小ピッチPに関する。条件式(3)は、フレネルレンズの輪帯ピッチと各輪帯の壁面高さの比を規定している。条件式(3)の下限を超えて輪帯ピッチが狭くなりすぎると回折影響が大きくなる。逆に上限を超えて輪帯ピッチが大きくなりすぎるとフレネルレンズを採用することによる軽量効果が少なくなってくる。さらに望ましくは、条件式(3)の数値範囲を条件式(3a)とすることで、より高い光学性能を有した観察装置を実現することが容易となる。

$$1.00 < P/H < 3.00 \quad \dots (3a)$$

【0026】

条件式(4)は、第1レンズLPのシェイプファクター(レンズ形状)を規定している。条件式(4)の下限を下まわると、両凸形状のようになり観察面である眼の位置に対してコンセントリックな形状から乖離することで非点収差が増大する。逆に上限を超えると、画像表示素子面ID側のレンズ面の屈折力が強くなりすぎて眼の位置がずれたとき光学性能が大きく低下してくる。さらに望ましくは、条件式(4)の数値範囲を次の如く設定すると、高い光学性能を有した観察装置を実現することが容易となる。

$$0.50 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 0.85 \quad \dots (4a)$$

【0027】

条件式(5)は、第1レンズLPの画像表示面ID側のレンズ面から最も観察面SP側に配置される第1のフレネルレンズL1の観察面SP側の面までの距離を規定している。条件式(5)の下限を超えると物理的干渉が発生してくるので良くない。上限を超えると、観察光学系L0全体が大型化してしまっていて全体の軽量化が困難になる。さらに望ましくは、条件式(5)の数値範囲を条件式(5a)とすることで、より高い光学性能を有した観察装置を実現することが容易となる。

$$0.002 < L/f < 0.075 \quad \dots (5a)$$

【0028】

本発明の観察装置は、上記記載の観察光学系L0と、画像情報を表示する画像表示素子IDを有し、観察光学系L0によって拡大された画像表示素子の画像情報を観察光学系を介して観察する。

10

20

30

40

50

【0029】

条件式(6)はこのような観察装置において好ましい構成に関する。条件式(6)は、図1における開口絞りSP、つまり観察面SPの位置に対して入射する主光線の角度の最大値を規定している。条件式(6)の下限を超えると視野角が狭くなって臨場感を感じることが少なくなり、かつフレネル構造体に起因して良好なる観察ができなくなることも少ない。

【0030】

逆に上限値を超えると、臨場感を感じる視野角としても飽和してくる。更にフレネルレンズの各輪帯の角度がつきすぎて高い光学性能を維持することが困難になる。さらに望ましくは、条件式(6)の数値範囲を条件式(6a)とすることで、より高い光学性能を有した観察装置を実現することが容易となる。

$$52.0^\circ < \theta < 63.0^\circ \quad \dots (6a)$$

【0031】

各実施例において、フレネルレンズの少なくとも1面は、非球面形状とするのが良く、これによれば収差補正を効率よく行うことが容易となる。またフレネルレンズは、観察面SP側および画像表示面ID側の両面に屈折力を有するのが良い。これによれば、より効率的にフレネルレンズの屈折力を配置することができる、もしくはフレネル面の屈折力を分担するなどによって回折フレア等に対する影響を低減することが容易となる。

【0032】

[実施例1]

以下、図1を参照して本発明の実施例1の観察光学系L0について説明する。実施例1の観察光学系L0は、観察側より順に正の屈折力の第1レンズLP、正の屈折力の第1フレネルレンズL1、正の屈折力の第2フレネルレンズL2から構成されている。実施例1の観察光学系L0は半視野角55°の広視野角である。

【0033】

本実施例で用いているフレネルレンズに関しては観察側SPから配置される順に、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズと定義する。第1レンズLPは非球面形状のレンズ面を有した屈折レンズであり、主に球面収差を補正している。平板樹脂で構成されるフレネルレンズに比して重量比率が高い第1レンズLPについては、周辺視野光束の入射高さが低い位置に配していることにより、全系の重量の増大を防いでいる。

【0034】

本実施例では第1レンズLPは樹脂材料を用いているが特にこの限りでなく、硝子を用いても良い。第1レンズLPによって、後続のフレネルレンズの各輪帯の壁面に対する見込み角度を抑制しており、次にその理由を説明する。

【0035】

図11は2枚のフレネルレンズL1、L2のみで構成された光学系における照明解析の説明図である。図11(A)によると、順に面光源Sa、開口絞りSP、正の屈折力の第1フレネルレンズL1、正の屈折力の第2フレネルレンズL2および被照射面Scにて構成されている。この場合、開口絞りSPの位置が眼の位置(観察位置)SPに相当する。

【0036】

一般にフレネルレンズの各輪帯の壁面部は光束の無効領域となる。このため、特に観察側に配置された第1フレネルレンズL1については各輪帯の壁面高さがある値を超えて大きくなると、無効光束の領域が大きくなって照度段差等の観察の際に違和感を覚えることが懸念される。

【0037】

図11(B)は、観察側の第1フレネルレンズL1の各輪帯の壁面高さを1mmとしたときの被照射面Sbにおける照明解析結果例を示している。図11(B)では、各輪帯の壁面の無効領域を占める光束が抜けて損失となることにより暗くなって観察される。

【0038】

図11(C)は、第1フレネルレンズL1と第2フレネルレンズL2の各輪帯にそれぞれ

10

20

30

40

50

れ同じ壁面高さ 0.13 mm を設定したときの被照射面 S_b における照明解析結果を示している。第1フレネルレンズ L_1 に比して第2フレネルレンズ L_2 の各輪帯の壁面高さ影響の方が光束損失・段差認識に対して有利、つまり分布がなめらかであることがわかる。これは、正の屈折力を有する第1フレネルレンズ L_1 の光学作用によって周辺視野光束について各輪帯の壁面との相対角度が小さくなることに起因する。

【0039】

実施例1の例では正の屈折力の第1フレネルレンズ L_1 の画像表示面 ID 側をフレネル面 Fre_1 としている。また正の屈折力の第2フレネルレンズ L_2 の画像表示面 ID 側をフレネル面 Fre_2 としている。フレネル面 Fre_1 とフレネル面 Fre_2 を画像表示面 ID 側に凸を向けた形状とすることで、フレネル面への光線の入射角度の増大を抑制し、主に像面湾曲と非点収差の発生を抑えている。

10

【0040】

最も観察面 SP 側に配置された第1フレネルレンズ L_1 については、観察側を平面とし、画像表示素子 ID 側面に正の屈折力を持つ面を有しており、当該面は所謂フレネル構造を有している。このようなフレネルレンズを採用することで一般的な屈折レンズを用いた場合に比して中心肉厚を薄く設計できるため、全体の軽量化が容易となる。

【0041】

一般にフレネルレンズは、輪帯ピッチが等ピッチまたは等サグタイプのものが知られている。いずれも一般的な球面形状について、光軸中心から周辺に向かって一定のピッチまたはサグ（壁面高さ）となると輪帯が順次更新されていく。

20

【0042】

本実施例におけるフレネルレンズのフレネル構造面は壁面高さが一定の値になると次輪帯に更新されるタイプとしている。このような壁面高さ H が一定のタイプとすることで、光軸から離れた周辺視野領域に比べ、中心付近領域の輪帯の格子ピッチを大きく設定している。

【0043】

輪帯のピッチが小さくなると、一般に知られている「回折方程式」から回折分離角（幅）が大きくなりフレア影響が無視できなくなる。このため、重視すべき中心視野領域の結像性能に寄与する光束が通過する光軸近傍領域については、輪帯幅を大きく確保する狙いがある。

30

【0044】

例として、図12はフレネルレンズの輪帯ピッチが等ピッチ 0.3 mm のフレネルレンズによる中心視野 0° における画像シミュレーションを実施した結果を原画像と比較して示している。実使用に対して誇張評価ではあるが狭い輪帯ピッチをもつフレネル構造の場合、回折角度が大きくなることに起因して点像強度分布が広がってしまい、その畳み込み積分となる画像として「F」文字のボケが大きくなることがわかる。

【0045】

そこで各実施例では中心輪帯については数 mm ($3 \text{ mm} \sim 6 \text{ mm}$) レベルの輪帯幅を持たせている。なお本実施例ではフレネルレンズの各輪帯の壁面高さ一定としているがこの限りでなく、後述する条件式の数値範囲を逸脱しない範囲にて輪帯毎に高さを微調整したりしても良い。また本実施例におけるフレネル面の各輪帯の形状は曲面形状としている。所望の視覚性能が許容できる範囲によっては、フレネル面の輪帯形状を直線として近似しても良い。以上の説明は後述する各実施例においても同様である。

40

【0046】

実施例1では、フレネルレンズの各輪帯の壁面高さ H を $H = 0.15 \text{ mm}$ としており、全系焦点距離 $f = 53.2 \text{ mm}$ の比である条件式(1)は条件式(1) = 0.0028 である。そして最小の輪帯ピッチ P は $P = 0.21 \text{ mm}$ であり、条件式(3)の値は条件式(3) = 1.40 である。これによって、回折フレアの影響を低減している。

【0047】

また観察面 SP 側に配置した第1レンズ L_P の屈折力については、条件式(2) = $2.$

50

34となるような屈折力を持たせて特に広視野領域の光束を光軸に対して沿うようにしてフレネルレンズの各輪帯の壁面に対して張る角度を小さくしている。これによって、各輪帯の壁面の段差等の影響を低減している。さらに条件式(5) = 0.038として観察装置全体の小型軽量を実現している。

【0048】

[実施例2]

以下、図3を参照して、本発明の実施例2の観察光学系L0について説明する。実施例2の観察光学系L0は、観察側より順に、正の屈折力の第1レンズLP、正の屈折力の第1フレネルレンズL1、負の屈折力の第2フレネルレンズL2、正の屈折力の第3フレネルレンズL3から構成されている。実施例2の観察光学系L0は半視野角として60°と

10

【0049】

第1レンズLPは非球面形状のレンズ面を有した屈折レンズであり、主に球面収差を補正している。正の屈折力の第1フレネルレンズL1のフレネル面Fre1と第3フレネルレンズL3のフレネル面Fre3を画像表示面ID1側としており、これらの面を開口絞りSP1に対してコンセントリックな形状とすることで非点収差の発生を軽減している。さらに実施例2では、負の屈折力の第2フレネルレンズL2を配することにより、主に倍率色収差を良好に補正している。

【0050】

実施例2では、フレネルレンズの各輪帯の壁面高さHを $H = 0.2\text{ mm}$ としており、全系の焦点距離の比である条件式(1)の値は条件式(1) = 0.0043である。輪帯ピッチPは $P = 0.29\text{ mm}$ であり、条件式(3)の値は条件式(3) = 1.45であり、これにより回折フレア影響を低減している。

20

【0051】

第1レンズLPの屈折力については、条件式(2) = 1.75となるような屈折力を持たせて特に広視野領域の光束を、光軸を沿うようにしてフレネルレンズの各輪帯の壁面に対して張る角度を小さくしている。これによって、フレネルレンズの各輪帯の壁面による視認低下の影響を低減している。さらに条件式(5) = 0.027として観察光学系L0全体の小型軽量化を実現している。その他については、実施例1と同じである。

【0052】

[実施例3]

以下、図5を参照して、本発明の実施例3による観察光学系L0について説明する。実施例3の観察光学系L0は、観察側より順に、正の屈折力の第1レンズLP、負の屈折力の第1フレネルレンズL1、正の屈折力の第2フレネルレンズL2から構成されている。第1レンズLPは非球面形状のレンズ面を有した屈折レンズであり、主に球面収差を補正している。さらに、負の屈折力の第1フレネルレンズL1のフレネル面Fre1を観察面SP側、正の屈折力の第2フレネルレンズL2のフレネル面Fre2を画像表示面ID側としている。

30

【0053】

フレネル面Fre1とフレネル面Fre2を開口絞りSPに対してコンセントリックな形状とすることで、フレネル面への光線入射角度を抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えることができる。また、負の屈折力の第1フレネルレンズL1を配することで、倍率色収差を良好に補正している。

40

【0054】

実施例3では、フレネルレンズの各輪帯の壁面高さHを $H = 0.25\text{ mm}$ としており、全系の焦点距離の比である条件式(1)の値は、条件式(1) = 0.0046である。輪帯ピッチPは $P = 0.27\text{ mm}$ であり、条件式(3)の値は条件式(3) = 1.08として、回折フレア影響を低減している。

【0055】

第1レンズLPの屈折力については、条件式(2) = 0.94となるような屈折力を持

50

たせて特に広視野領域の光束を光軸に沿うようにしてフレネルレンズの各輪帯の壁面に対して張る角度を小さくしている。これによって、各輪帯の壁面の段差による視認低下の影響を低減している。さらに条件式(5) = 0.003として観察光学系L0全体の小型軽量化を実現している。その他については、実施例1と同じである。

【0056】

[実施例4]

以下、図7を参照して、本発明の実施例4による観察光学系L0について説明する。実施例4の観察光学系L0は、観察側より順に、正の屈折力の第1レンズLP、正の屈折力の第1フレネルレンズL1、負の屈折力の第2フレネルレンズL2から構成されている。

【0057】

第1レンズLPは非球面形状のレンズ面を有した屈折レンズであり、主に球面収差を補正している。正の屈折力の第1フレネルレンズL1のフレネル面Fre1は画像表示面ID側、および第2フレネルレンズL2のフレネル面Fre2を観察面SP側としている。これらの面を開口絞りSP1に対してコンセンリックな形状とすることで非点収差の発生を軽減している。また、負の屈折力の第2フレネルレンズL2を配すことで、倍率色差を良好に補正している。

【0058】

実施例4では、フレネルレンズの各輪帯の壁面高さHを $H = 0.40\text{ mm}$ としており、全系の焦点距離の比である条件式(1)の値は、条件式(1) = 0.0080である。輪帯ピッチPは $P = 0.96\text{ mm}$ であり、条件式(3)の値は条件式(3) = 2.40として、回折フレア影響を低減している。

【0059】

第1レンズLPの屈折力については、条件式(2) = 1.32となるような屈折力を持たせて特に広視野領域の光束を光軸に沿うようにしてフレネルレンズの各輪帯の壁面に対して張る角度を小さくしている。これによって、各輪帯の壁面の段差による視認低下の影響を低減している。さらに条件式(5) = 0.003として観察光学系L0全体の小型軽量化を実現している。その他については、実施例1と同じである。

【0060】

[実施例5]

以下、図9を参照して、本発明の実施例5による観察光学系L0について説明する。実施例5の観察光学系は、観察側より順に、正の屈折力の第1レンズLP、負の屈折力の第2レンズLN、正の屈折力の第1フレネルレンズL1から構成されている。

【0061】

本実施例では少なくとも1つのフレネルレンズは第2レンズLNの画像表示面ID側に配置されている。第1レンズLPは非球面形状を有した屈折レンズであり、主に球面収差を補正している。さらに正の屈折力の第1フレネルレンズL1のフレネル面Fre1を画像表示面ID側としている。フレネル面Fre1を開口絞りSP1に対してコンセンリックな形状とすることで、フレネル面への光線入射角度を抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えることができる。

【0062】

実施例5では、壁面高さ $H = 0.2\text{ mm}$ としており、全系焦点距離の比である条件式(1) = 0.0037、および $P = 0.52\text{ mm}$ により条件式(3) = 2.60として、回折フレア影響を低減している。

【0063】

また眼側に配置した第1レンズLPの屈折力については、条件式(2) = 1.07となるような屈折力を持たせて特に広視野領域の光束を寝かせて各輪帯の壁面に対して張る角度を小さくすることができ壁面の段差による視認等の影響を低減している。さらに条件式(5) = 0.073として観察装置の小型軽量効果を実現している。その他については、実施例1と同じである。

【0064】

10

20

30

40

50

次に、各実施例における数値データを以下に示す。数値データにおいて i は観察面からの面の順序を示し、 r_i は第 i 番目の光学面の曲率半径、 d_i は第 i 面と第 $i + 1$ 面との間のレンズ肉厚および空気間隔、 n_i はそれぞれ d 線に対する第 i 番目の光学部材の屈折率およびアッペ数を表す。また、非球面に記載されている、 K, A_4, A_6, A_8, A_{10} などは非球面係数である。非球面形状は光軸からの高さ h の位置での光軸方向の変位を、面頂点を基準にして x とするとき以下の式で定義される。

【0065】

$$x = (h^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + k)(h / R)^2\}^{1/2}] + A_4 h^4 + A_6 h^6 + A_8 h^8 + A_{10} h^{10}$$

ただし、ここで R は曲率半径である。フレネル面は非球面効果を有する理想的な薄肉状態を表しており、実形状としては、表記した中心厚 d 内でフレネル形状とする。フレネル面は面番号の右隣に *Fre と表記している。

【0066】

各数値データの面番号において 1 は観察面（絞り）、像面は画像表示面に相当している。数値データ 1、3、4 において面番号 2、3 は第 1 レンズ LP、面番号 4、5 は第 1 フレネルレンズ、面番号 6、7 は第 2 フレネルレンズに相当している。数値データ 2 において面番号 2、3 は第 1 レンズ LP、面番号 4、5 は第 1 フレネルレンズ、面番号 6、7 は第 2 フレネルレンズ、面番号 8、9 は第 3 フレネルレンズに相当している。数値データ 5 において面番号 2、3 は第 1 レンズ LP、面番号 4、5 は第 2 レンズ NP、面番号 6、7 は第 1 フレネルレンズに相当している。

【0067】

レンズ全長は観察面 SP 側の第 1 レンズ面から画像表示面 ID までの距離である。BF は最終レンズ面から画像表示面 IP までの距離である。また前述した数値データに基づくパラメータと各条件式との関係を表 1 に示す。

【0068】

(数値データ 1)
単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	径
1(絞り)		(可変)			3.50
2*	410.761	8.00	1.54000	56.0	49.00
3*	-80.000	2.00			49.00
4		1.20	1.53200	56.0	63.00
5*Fre	-90.000	2.49			63.00
6		1.20	1.49000	58.0	69.00
7*Fre	-90.000	(可変)			69.00

像面

非球面データ

第2面

$$K = 0.00000e+000 \quad A_4 = -3.66700e-006 \quad A_6 = 9.11471e-009 \quad A_8 = -7.83777e-012 \quad A_{10} = 1.57785e-015$$

第3面

$$K = 0.00000e+000 \quad A_4 = -9.84117e-007 \quad A_6 = -9.13282e-010 \quad A_8 = 5.73799e-013$$

第5面

$$K = 0.00000e+000 \quad A_4 = -3.30573e-007 \quad A_6 = -3.98357e-010 \quad A_8 = -9.37008e-013$$

10

20

30

40

50

第7面

K = 0.00000e+000 A 4= 1.22105e-006 A 6= 1.98445e-009 A 8=-8.98292e-014

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離 53.20 53.20
 Fナンバー 15.20 15.20
 半画角(度) 55.00 45.00
 像高 48.51 40.84
 レンズ全長 74.13 84.13
 BF 49.24 49.24

10

d 1 10.00 20.00
 d 7 49.24 49.24

入射瞳位置 0.00 0.00
 射出瞳位置 -30.05 -60.90
 前側主点位置 17.50 27.50
 後側主点位置 -3.96 -3.96

20

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		0.00	0.00	-0.00
2	2	53.20	14.89	7.50	-3.96

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	124.71
2	4	169.17
3	6	183.67

30

【 0 0 6 9 】

(数値データ 2)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	d	径
1(絞り)		(可変)			3.50
2*	273.504	8.00	1.77250	49.6	48.00
3*	-79.442	1.26			48.00
4	1000.000	1.50	1.49000	58.0	62.00
5*Fre	-79.821	1.21			62.00
6*Fre	-1500.000	1.00	1.64000	23.5	66.00
7		3.00			66.00
8	-1100.000	1.20	1.49000	58.0	70.00
9*Fre	-112.282	(可変)			70.00

40

像面

非球面データ

50

第2面

K = 0.00000e+000 A 4=-3.06549e-006 A 6= 8.19002e-009 A 8=-7.48943e-012 A10=
1.57785e-015

第3面

K = 0.00000e+000 A 4=-7.50418e-007 A 6=-5.41742e-010 A 8= 8.09511e-013

第5面

K = 0.00000e+000 A 4=-2.72628e-008 A 6=-2.86482e-010 A 8=-9.40282e-013

10

第6面

K = 0.00000e+000 A 4=0.00000e+000 A 6=0.00000e+000 A 8=0.00000e+000

第9面

K = 0.00000e+000 A 4= 1.22105e-006 A 6= 1.98445e-009 A 8=-8.98292e-014

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離	46.02	46.02
Fナンバー	13.15	13.15
半画角(度)	60.00	46.50
像高	44.89	36.34
レンズ全長	66.52	76.52
BF	39.34	39.34

20

d 1	10.00	20.00
d 9	39.34	39.34

入射瞳位置	0.00	0.00
射出瞳位置	-31.28	-66.61
前側主点位置	16.03	26.03
後側主点位置	-6.68	-6.68

30

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		0.00	0.00	-0.00
2	2	46.02	17.17	6.03	-6.68

単レンズデータ

40

レンズ	始面	焦点距離
1	1	80.49
2	4	150.93
3	6	-2343.74
4	8	255.09

【 0 0 7 0 】

(数値データ 3)

単位 mm

50

面データ

面番号	r	d	nd	d	径
1(絞り)		(可変)			3.50
2*	174.994	12.50	1.69680	55.5	50.00
3*	-43.000	0.15			50.00
4*Fre	-108.134	1.00	1.63400	23.9	65.00
5		2.12			65.00
6		1.00	1.53156	55.8	70.00
7*Fre	-110.000	(可変)			70.00

像面

10

非球面データ

第2面

K = 0.00000e+000 A 4=-1.88861e-006 A 6= 5.15277e-009 A 8=-7.63508e-012 A10= 1.57785e-015

第3面

K = 0.00000e+000 A 4= 2.84163e-006 A 6=-6.10903e-009 A 8= 1.58033e-011 A10=-1.42660e-014

20

第4面

K = 0.00000e+000 A 4=-1.80555e-005 A 6= 3.04687e-008 A 8=-1.57283e-011 A10= 2.52068e-017

第7面

K = 0.00000e+000 A 4=-1.97280e-005 A 6= 2.69617e-008 A 8=-1.15047e-011

各種データ

ズーム比 1.00

30

焦点距離	54.10	54.10
Fナンバー	15.46	15.46
半画角(度)	55.00	45.00
像高	49.94	41.58
レンズ全長	76.55	86.55
BF	49.79	49.79

d 1	10.00	20.00
d 7	49.79	49.79

40

入射瞳位置	0.00	0.00
射出瞳位置	-28.80	-57.65
前側主点位置	16.86	26.86
後側主点位置	-4.31	-4.31

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		0.00	0.00	-0.00
2	2	54.10	16.77	6.86	-4.31

50

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	50.73
2	4	-170.56
3	6	206.94

【 0 0 7 1 】

(数値データ 4)

単位 mm

10

面データ

面番号	r	d	nd	d	径
1(絞り)		(可変)			3.50
2*	174.000	12.50	1.53156	55.8	50.00
3*	-43.044	0.15			50.00
4	973.437	1.50	1.53156	55.8	62.00
5*Fre	-65.861	2.78			62.00
6*Fre	-149.437	1.50	1.63400	23.9	70.00
7	-1503.437	(可変)			70.00

像面

20

非球面データ

第2面

K = 0.00000e+000 A 4=-5.92944e-006 A 6= 1.70481e-008 A 8=-1.31727e-011 A10=
1.57785e-015

第3面

K = 0.00000e+000 A 4= 2.84163e-006 A 6=-6.10903e-009 A 8= 1.58033e-011 A10=
-1.42660e-014

30

第5面

K = 0.00000e+000 A 4=-1.88496e-005 A 6= 3.35376e-008 A 8=-1.28073e-011

第6面

K = 0.00000e+000 A 4=-1.46446e-005 A 6= 2.85863e-008 A 8=-1.46135e-011 A10=
5.11813e-016

各種データ

ズーム比 1.00

40

焦点距離	50.16	50.16
Fナンバー	14.33	14.33
半画角(度)	60.00	46.50
像高	45.69	38.71
レンズ全長	72.30	82.30
BF	43.87	43.87
d 1	10.00	20.00
d 7	43.87	43.87

50

入射瞳位置	0.00	0.00
射出瞳位置	-31.59	-63.92
前側主点位置	16.82	26.82
後側主点位置	-6.28	-6.28

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		0.00	0.00	-0.00
2	2	50.16	18.43	6.82	-6.28

10

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	66.24
2	4	116.11
3	6	-261.83

【 0 0 7 2 】

(数値データ 5)

単位 mm

20

面データ

面番号	r	d	nd	d	径
1(絞り)		(可変)			3.50
2*	490.000	10.44	1.69680	55.5	50.00
3*	-43.097	0.15			50.94
4*	-146.950	2.80	1.58313	59.4	54.00
5	-6548.479	1.00			58.95
6		1.20	1.53110	55.9	60.74
7*Fre	-100.0	50.54			61.70

像面

30

非球面データ

第2面

K = 0.00000e+000 A 4= 1.10891e-006 A 6=-1.49354e-010 A 8= 3.04055e-012 A10=-1.62972e-015

第3面

K = 0.00000e+000 A 4= 9.19803e-006 A 6=-1.34719e-008 A 8= 1.86282e-011 A10=-8.06902e-015

40

第4面

K = 0.00000e+000 A 4= 7.43384e-006 A 6=-1.27112e-008 A 8= 1.39752e-011 A10=-7.38289e-015

第7面

K = 0.00000e+000 A 4=-7.91050e-007 A 6= 2.18770e-009 A 8=-1.59410e-012

各種データ

ズーム比 1.00

50

焦点距離 53.75 53.75
 Fナンバー 15.36 15.36
 半画角(度) 60.00 46.50
 像高 51.24 41.56
 レンズ全長 76.13 86.13
 BF 50.54 50.54

d 1 10.00 20.00

入射瞳位置 0.00 0.00
 射出瞳位置 -37.62 -81.93
 前側主点位置 16.77 26.77
 後側主点位置 -3.20 -3.20

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		0.00	0.00	-0.00
2	2	53.75	14.44	6.77	-3.20

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	57.31
2	4	-257.83
3	6	188.29

20

【0073】

【表1】

表1

	条件式					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
実施例1	0.0028	2.34	1.40	0.67	0.038	55
実施例2	0.0043	1.75	1.45	0.55	0.027	60
実施例3	0.0046	0.94	1.08	0.61	0.003	55
実施例4	0.0080	1.32	2.40	0.60	0.003	55
実施例5	0.0037	1.07	2.60	0.84	0.073	60

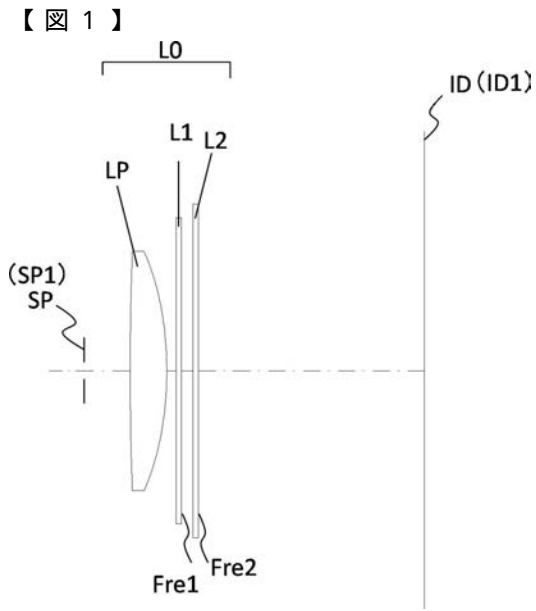
30

【符号の説明】

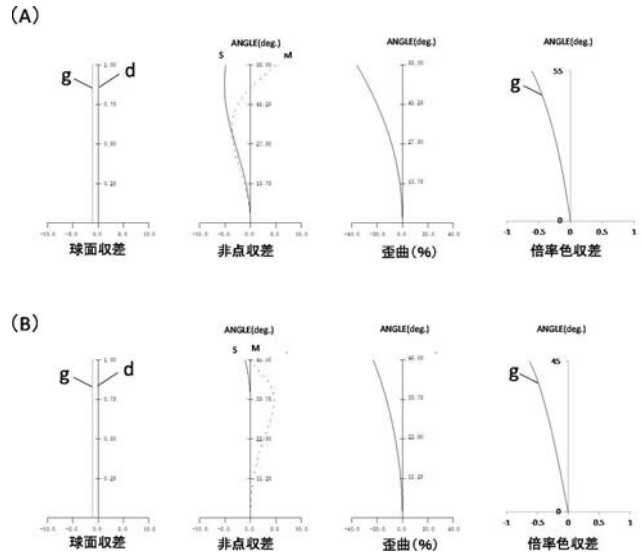
【0074】

L0 観察光学系 LP 正の屈折力の第1レンズ L1 第1フレネルレンズ
 L2 第2フレネルレンズ SP 観察面 ID 画像表示面

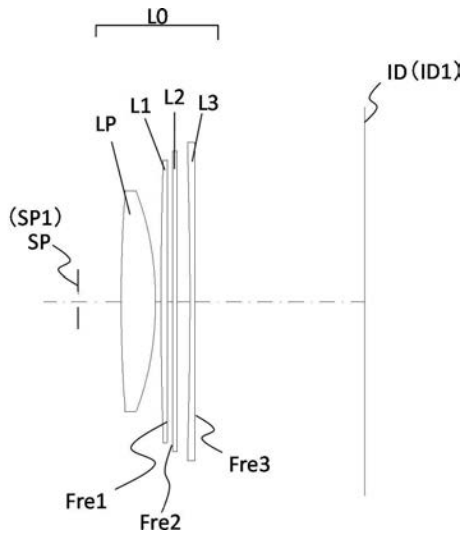
40



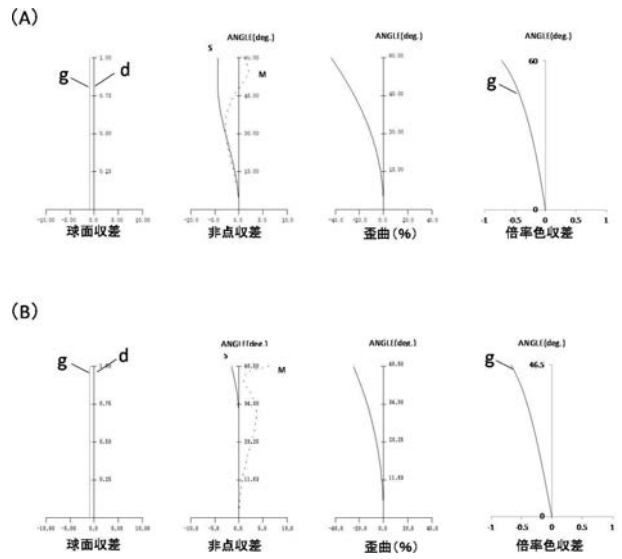
【 図 2 】



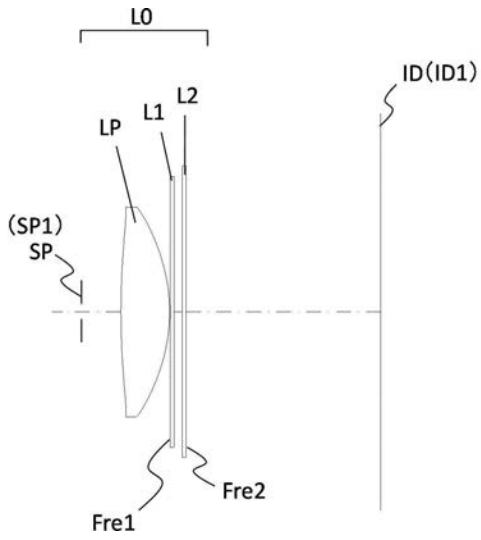
【 図 3 】



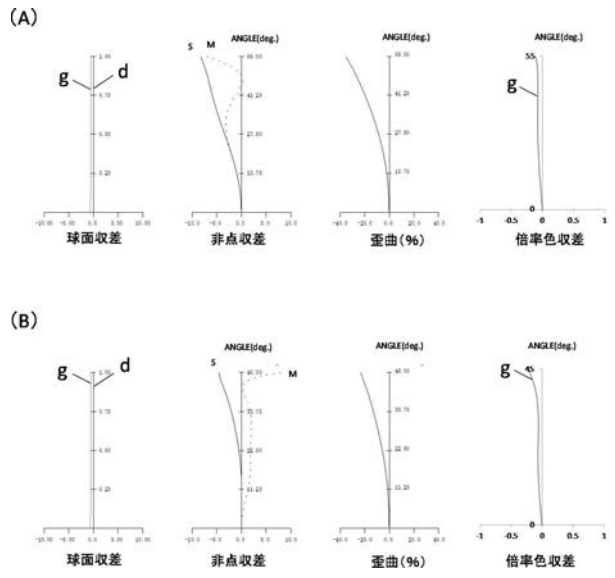
【 図 4 】



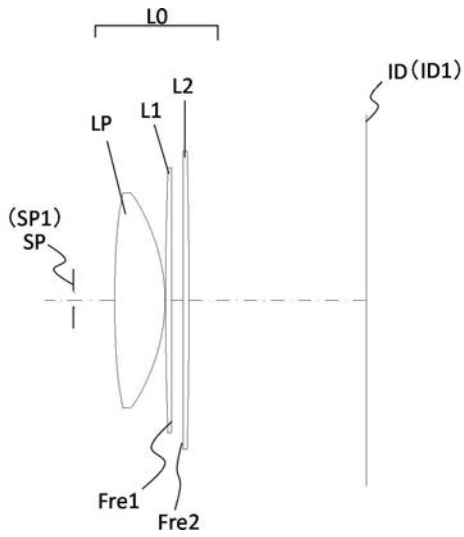
【 図 5 】



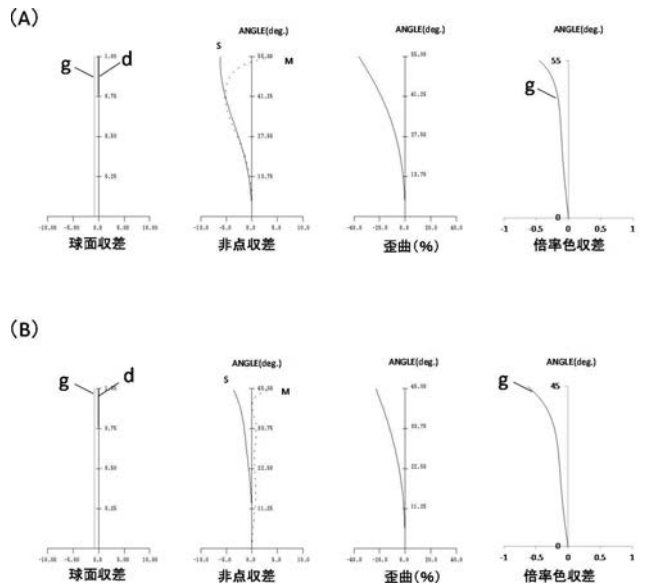
【 図 6 】



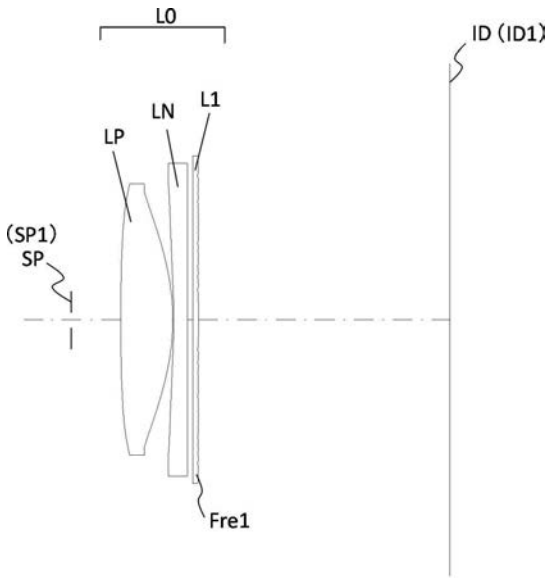
【 図 7 】



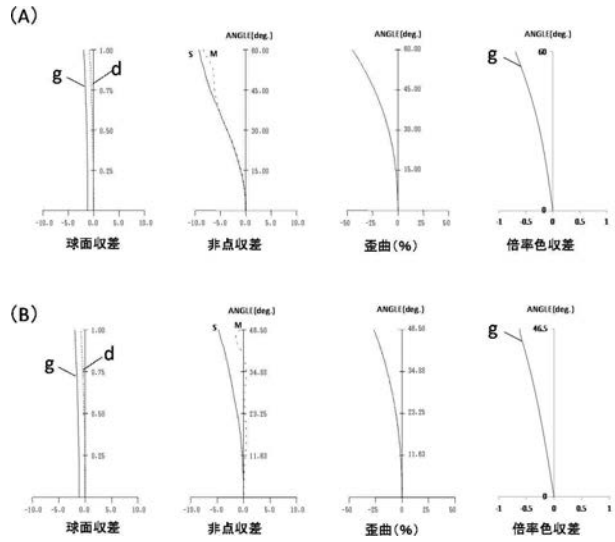
【 図 8 】



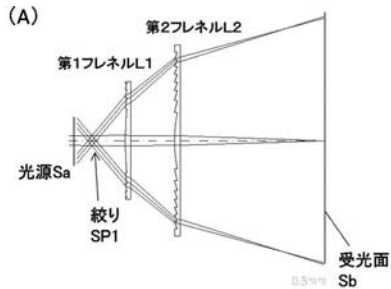
【 図 9 】



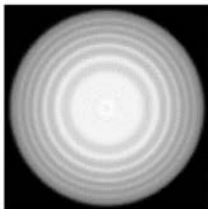
【 図 10 】



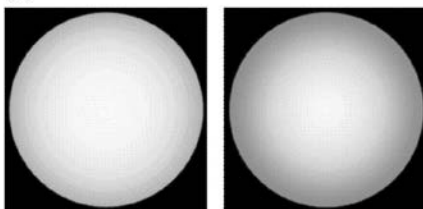
【 図 11 】



(B) フレネルサグ(壁面の高さH)1mm



(C)

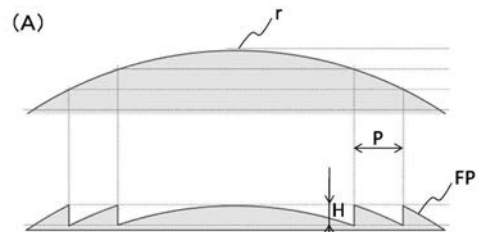


第1フレネルのみサグ0.13mm 第2フレネルのみサグ0.13mm

【 図 12 】

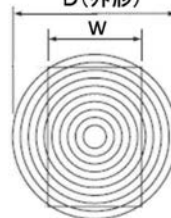


【 図 13 】



平凸レンズ(上)を厚みが一定のフレネルレンズ(下)となるように分割した場合の断面図

(B)



(C)

