

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6800611号
(P6800611)

(45) 発行日 令和2年12月16日 (2020. 12. 16)

(24) 登録日 令和2年11月27日 (2020. 11. 27)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 25/00 (2006. 01)

G O 2 B 25/00 A

G O 2 B 3/08 (2006. 01)

G O 2 B 3/08

請求項の数 32 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2016-104108 (P2016-104108)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成28年5月25日 (2016. 5. 25)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-211474 (P2017-211474A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成29年11月30日 (2017. 11. 30)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	令和1年5月14日 (2019. 5. 14)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	江部 裕基
			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	殿岡 雅仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 観察光学系及びそれを有する観察装置

(57) 【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配置された、正レンズ、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズを有し、
前記第1フレネルレンズと前記第2フレネルレンズはそれぞれ画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、
前記第1フレネルレンズの焦点距離を f_1 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき

$$1.5 < f_1 / f < 5.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする観察光学系。

10

【請求項 2】

前記第2フレネルレンズの焦点距離を f_2 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、
$$1.0 < f_2 / f < 6.0$$

なる条件式を満足する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】

前記第1フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{11} 、前記第1フレネルレンズの画像表示面側の面の曲率半径を R_{12} とするとき、
$$-1.4 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.6$$

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。

【請求項 4】

前記第 2 フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{21} 、前記第 2 フレネルレンズの画像表示面側の面の曲率半径を R_{22} とするとき、

$$-1.5 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < -0.5$$

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 の何れか一項に記載の観察光学系。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の観察光学系と、画像を表示する画像表示素子とを有することを特徴とする観察装置。

10

【請求項 6】

前記第 1 フレネルレンズの画像表示面側の面頂点から、前記第 2 フレネルレンズの観察面側の主点までの距離を d 、最も観察面側に配置されたレンズの観察面側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とするとき、

$$0.005 < d / L < 0.200$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 5 に記載の観察装置。

【請求項 7】

前記第 1 フレネルレンズの中心厚を d_1 、前記第 2 フレネルレンズの中心厚を d_2 、最も観察面側に配置されたレンズの観察側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とするとき、

$$0.01 < (d_1 + d_2) / L < 0.10$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の観察装置。

20

【請求項 8】

アイレリーフ 1.0 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面の実像高を y 、アイレリーフ 1.0 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面の理想像高を y_0 とするとき、

$$-0.3 < (y - y_0) / y_0 < -0.1$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 5 乃至 7 の何れか一項に記載の観察装置。

【請求項 9】

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配置された、正レンズ、第 1 フレネルレンズ、第 2 フレネルレンズを有し、

30

前記第 1 フレネルレンズは観察面側がフレネル面である負の屈折力のフレネルレンズであり、前記第 2 フレネルレンズは画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、

前記第 1 フレネルレンズの焦点距離を f_1 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき

$$1.5 < |f_1| / f < 5.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする観察光学系。

【請求項 10】

前記第 2 フレネルレンズの焦点距離を f_2 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、

$$3.0 < f_2 / f < 6.5$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 9 に記載の観察光学系。

40

【請求項 11】

前記第 1 フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{11} 、前記第 1 フレネルレンズの画像表示面側の面の曲率半径を R_{12} とするとき、

$$0.6 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < 1.5$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の観察光学系。

【請求項 12】

50

前記第2フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{21} 、前記第2フレネルレンズの画像表示面側の面の曲率半径を R_{22} とすると、

$$-1.5 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < -0.6$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項9乃至11の何れか一項に記載の観察光学系。

【請求項13】

請求項9乃至12の何れか一項に記載の観察光学系と、画像を表示する画像表示素子とを有することを特徴とする観察装置。

【請求項14】

前記第1フレネルレンズの画像表示面側の面頂点から、前記第2フレネルレンズの観察面側の主点までの距離を d 、最も観察面側に配置されたレンズの観察面側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とすると、

$$0.005 < d / L < 0.200$$

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。

【請求項15】

前記第1フレネルレンズの中心厚を d_1 、前記第2フレネルレンズの中心厚を d_2 、最も観察面側に配置されたレンズの観察側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とすると、

$$0.01 < (d_1 + d_2) / L < 0.15$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項13又は14に記載の観察装置。

【請求項16】

アイレリーフ10mmにおいて観察半視野角45度における画像表示面の実像高を y 、アイレリーフ10mmにおいて観察半視野角45度における画像表示面の理想像高を y_0 とすると、

$$-0.3 < (y - y_0) / y_0 < -0.1$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項13乃至15の何れか一項に記載の観察装置。

【請求項17】

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配置された、正レンズ、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズ、第3フレネルレンズを有し、

前記第1フレネルレンズと前記第3フレネルレンズはそれぞれ画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、前記第2フレネルレンズは観察面側がフレネル面である負の屈折力のフレネルレンズであり、

前記第1フレネルレンズの焦点距離を f_1 、前記観察光学系の焦点距離を f とすると、

$$1.5 < f_1 / f < 5.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする観察光学系。

【請求項18】

前記第3フレネルレンズの焦点距離を f_3 、前記観察光学系の焦点距離を f とすると、

$$1.0 < f_3 / f < 6.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項17に記載の観察光学系。

【請求項19】

前記第1フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{11} 、前記第1フレネルレンズの画像表示面側の面の曲率半径を R_{12} とすると、

$$-1.4 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.6$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項17又は18に記載の観察光学系。

【請求項20】

前記第3フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{31} 、前記第3フレネルレンズ

の画像表示面側の面の曲率半径を R_{32} とするとき、

$$-1.5 < (R_{32} + R_{31}) / (R_{32} - R_{31}) < -0.5$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 17 乃至 19 の何れか一項に記載の観察光学系。

【請求項 21】

請求項 17 乃至 20 の何れか一項に記載の観察光学系と、画像を表示する画像表示素子とを有することを特徴とする観察装置。

【請求項 22】

前記第2フレネルレンズの画像表示面側の面頂点から、前記第3フレネルレンズの観察面側の主点までの距離を d 、最も観察面側に配置されたレンズの観察面側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とするとき、

$$0.005 < d / L < 0.200$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 21 に記載の観察装置。

【請求項 23】

前記第1フレネルレンズの中心厚を d_1 、前記第3フレネルレンズの中心厚を d_3 、最も観察面側に配置されたレンズの観察側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とするとき、

$$0.01 < (d_1 + d_3) / L < 0.10$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 21 又は 22 に記載の観察装置。

【請求項 24】

アイレリーフ 1.0 mm において観察半視野角 45° における画像表示面の実像高を y 、アイレリーフ 1.0 mm において観察半視野角 45° における画像表示面の理想像高を y_0 とするとき、

$$-0.3 < (y - y_0) / y_0 < -0.1$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 21 乃至 23 の何れか一項に記載の観察装置。

【請求項 25】

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配置された、正レンズ、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズを有し、

前記第1フレネルレンズは画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、前記第2フレネルレンズは観察面側がフレネル面である負の屈折力のフレネルレンズであり、

前記第2フレネルレンズの焦点距離を f_2 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、

$$1.5 < |f_2| / f < 5.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする観察光学系。

【請求項 26】

前記第1フレネルレンズの焦点距離を f_1 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、

$$3.0 < f_1 / f < 6.5$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 25 に記載の観察光学系。

【請求項 27】

前記第2フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{21} 、前記第2フレネルレンズの画像表示面側の面の曲率半径を R_{22} とするとき、

$$0.6 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < 1.5$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 25 又は 26 に記載の観察光学系。

【請求項 28】

前記第1フレネルレンズの観察面側の面の曲率半径を R_{11} 、前記第1フレネルレンズの画像表示面側の面の曲率半径を R_{12} とするとき、

$$-1.5 < (R12 + R11) / (R12 - R11) < -0.6$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 5 乃至 2 7 の何れか一項に記載の観察光学系。

【請求項 2 9】

請求項 2 5 乃至 2 8 の何れか一項に記載の観察光学系と、画像を表示する画像表示素子とを有することを特徴とする観察装置。

【請求項 3 0】

前記第 2 フレネルレンズの観察面側の面頂点から、前記第 1 フレネルレンズの画像表示面側の主点までの距離を d 、最も観察面側に配置されたレンズの観察面側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とするとき、

$$0.005 < d / L < 0.200$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 9 に記載の観察装置。

【請求項 3 1】

前記第 1 フレネルレンズの中心厚を d_1 、前記第 2 フレネルレンズの中心厚を d_2 、最も観察面側に配置されたレンズの観察側の面頂点から前記画像表示面までの距離を L とするとき、

$$0.01 < (d_1 + d_2) / L < 0.15$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 9 又は 3 0 に記載の観察装置。

【請求項 3 2】

アイレリーフ 10 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面の実像高を y 、アイレリーフ 10 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面の理想像高を y_0 とするとき、

$$-0.3 < (y - y_0) / y_0 < -0.1$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 9 乃至 3 1 の何れか一項に記載の観察装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、液晶等の画像表示素子に表示された原画像を観察するヘッドマウントディスプレイ等に好適な観察光学系に関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

ヘッドマウントディスプレイ等の観察装置においては、観察装置に用いられる観察光学系が広視野角に対応し、高い光学性能を有することが求められている。さらに、装置全体の軽量化が求められている。特許文献 1 は、鋸歯形状を有する凹面を観察側に向けたフレネルレンズが最も眼に近い位置に配置された観察光学系を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

【特許文献 1】特開平 7 - 2 4 4 2 4 6 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

特許文献 1 の観察光学系は、フレネルレンズを 1 枚だけ用いているため、高い光学性能を得ることが難しい。広視野でありながら、高い光学性能を有し、全体が軽量の観察光学系を得るには、フレネルレンズの数や配置、形状を適切に設定する必要がある。

【0 0 0 5】

本発明は、広視野でありながら、高い光学性能を有し、小型の観察光学系及びそれを有する観察装置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】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

本発明の一側面としての観察光学系は、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配置された、正レンズ、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズを有し、前記第1フレネルレンズと前記第2フレネルレンズはそれぞれ画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、前記第1フレネルレンズの焦点距離を f_1 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、 $1.5 < f_1 / f < 5.0$ なる条件式を満足することを特徴とする。

また、本発明の他の側面としての観察光学系は、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配置された、正レンズ、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズを有し、前記第1フレネルレンズは観察面側がフレネル面である負の屈折力のフレネルレンズであり、前記第2フレネルレンズは画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、前記第1フレネルレンズの焦点距離を f_1 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、 $1.5 < |f_1| / f < 5.0$ なる条件式を満足することを特徴とする。

10

また、本発明の他の側面としての観察光学系は、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配置された、正レンズ、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズ、第3フレネルレンズを有し、前記第1フレネルレンズと前記第3フレネルレンズはそれぞれ画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、前記第2フレネルレンズは観察面側がフレネル面である負の屈折力のフレネルレンズであり、前記第1フレネルレンズの焦点距離を f_1 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、 $1.5 < f_1 / f < 5.0$ なる条件式を満足することを特徴とする。

20

また、本発明の他の側面としての観察光学系は、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配置された、正レンズ、第1フレネルレンズ、第2フレネルレンズを有し、前記第1フレネルレンズは画像表示面側がフレネル面である正の屈折力のフレネルレンズであり、前記第2フレネルレンズは観察面側がフレネル面である負の屈折力のフレネルレンズであり、前記第2フレネルレンズの焦点距離を f_2 、前記観察光学系の焦点距離を f とするとき、 $1.5 < |f_2| / f < 5.0$ なる条件式を満足することを特徴とする。

【発明の効果】

30

【 0 0 0 7 】

本発明によれば、広視野でありながら、高い光学性能を有し、小型の観察光学系及びそれを有する観察装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図1】本発明の実施例1のレンズ断面図

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

【図3】本発明の実施例2のレンズ断面図

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

40

【図5】本発明の実施例3のレンズ断面図

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

【図7】本発明の実施例4のレンズ断面図

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

【図9】本発明の実施例5のレンズ断面図

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

50

【図 1 1】(A)、(B) 正の屈折力の 2 枚のレンズにおいて、観察側面に有限の曲率をつけた際の光路図と、画像表示側面に有限の曲率をつけた際の光路図

【図 1 2】(A)、(B) 正の屈折力と負の屈折力のレンズの各々 1 枚において、負の屈折力のレンズの画像表示側面に有限の曲率をつけた際の光路図と負の屈折力のレンズの観察側面に有限の曲率をつけた際の光路図

【図 1 3】(A)、(B)、(C) 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観察光学系であって、観察光学系は、観察面側から画像表示面側へ順に第 1 フレネルレンズ、第 2 フレネルレンズを有している。観察光学系に含まれるフレネルレンズが正の屈折力のときは、フレネルレンズの画像表示面側がフレネル形状よりなる。観察光学系に含まれるフレネルレンズが負の屈折力のときは、フレネルレンズの観察面側がフレネル形状である。

【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) は本発明に係るフレネルレンズ集合体を正の屈折力の 2 枚のレンズにおいて、観察面側の面に有限の曲率をつけた際の光路図と、画像表示面側の面に有限の曲率をつけた際の光路図である。

【0013】

図 12 (A) は本発明に係るフレネルレンズ集合体を正の屈折力のレンズと負の屈折力のレンズの各々 1 枚において、負の屈折力の画像表示面側の面に有限の曲率をつけた際の光路図とである。図 12 (B) は負の屈折力のレンズの観察面側の面に有限の曲率をつけた際の光路図である。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。

【0014】

レンズ断面図において、L0 は観察光学系であり、正の屈折力のレンズ（正レンズ）LP とフレネルレンズ集合体 FL を有する。ここでレンズ 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。

【0015】

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 . 5 mm に設定している。

10

20

30

40

50

【0016】

本発明に係るフレネルレンズ集合体FLは複数のフレネルレンズを有することによって、全系の軽量化を維持しつつ、高い光学性能を得ている。

【0017】

本発明において、観察光学系L0を構成するフレネルレンズ集合体FLは、観察面SP側から画像表示面ID側へ順に第1フレネルレンズL1、第2フレネルレンズL2を有している。フレネルレンズが正の屈折力のときは、フレネルレンズの画像表示面ID側がフレネル形状よりなる。フレネルレンズが負の屈折力のときは、フレネルレンズの観察面SP側がフレネル形状である。

【0018】

各実施例においてフレネルレンズは図13(A)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領域に分割する。このとき曲率半径rの値に応じて断面形状が鋸歯型のフレネル格子(プリズム)FPのみを平面上に同心円状に並べた形状よりなっている。同心円状の複数のフレネル格子は角度が異なるか、又は同一である。またフレネル格子の格子ピッチは中心(光軸)から周辺に従って異なるか又は同一である。

【0019】

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ときのパラメータの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の曲率半径はフレネル形状とする前のレンズ面の曲率半径rを用いている。

【0020】

次に例としてフレネル集合体FLが2枚のフレネルレンズより構成され、第1フレネルレンズL1が正の屈折力を有し、第2フレネルレンズL2が正の屈折力を有する場合の光学特性について説明する。ここで、正の屈折力の第1フレネルレンズL1と正の屈折力の第2フレネルレンズL2は共に画像表示面ID側の面をフレネル形状としている。その技術的内容を図11に基づいて説明する。

【0021】

図11の光学系は、説明の便宜上、片面が平らな通常のレンズを2枚配した場合を示している。図11(A)は観察面SP側に有限の曲率をつけた場合であり、観察面SP側に凸面を向けた形になり、特に広視野の場合、レンズ面の曲率に対して光線が斜入射になりすぎて、高次の収差が多く発生する。主に非点収差、像面湾曲が増大する。

【0022】

図11(B)は画像表示面ID側に有限の曲率をつけた場合であり、画像表示面ID側に凸面を向けた形になり、曲率に対して光線が緩やかに入射する。このため、非点収差、像面湾曲を低減できる。すなわち、曲率の強い面を画像表示面ID側に配した方が、高い光学性能が得られる。便宜上、片面を平らにしたが、曲率の大きい面は画像表示面ID側になるので、画像表示面ID側の面をフレネル形状にすることによって、より軽量になる。

【0023】

次に、例としてフレネルレンズ集合体FLが2枚のフレネルレンズより構成され、第1フレネルレンズL1が正の屈折力を有し、第2フレネルレンズL2が負の屈折力を有する場合の光学特性について説明する。ここで、負の屈折力の第2フレネルレンズL2は、観察面SP側の面をフレネル形状とし、正の屈折力の第1フレネルレンズL1は、画像表示面ID側の面をフレネル形状としている。正の屈折力の第1フレネルレンズL1の画像表示面ID側をフレネル形状としている理由は、前述したのと同様である。

【0024】

負の屈折力の第2フレネルレンズL2のフレネル形状を観察面SP側の面とした技術的内容を図12(A)、(B)に基づいて説明する。図12(A)、(B)の光学系は、説

10

20

30

40

50

明の便宜上、片面が平らな通常のレンズを 2 枚配している。

【0025】

図 12 (A) は負の屈折力の第 2 フレネルレンズ L 2 の画像表示面 I D 側の面に有限の曲率をつけた場合であり、画像表示面 I D 側に凹面を向けた形になり、特に広視野の場合、曲率に対して光線が斜入射になりすぎて、高次の収差が多く発生する。主に非点収差、像面湾曲が増大する。

【0026】

図 12 (B) は負の屈折力の第 2 フレネルレンズ L 2 の観察面 S P 側の面に有限の曲率をつけた場合であり、観察面 S P 側に凹面を向けた形になるため、曲率に対して光線が緩やかに入射する。このため、主に非点収差、像面湾曲を低減できる。すなわち、曲率の強い面を観察面 S P に配した方が、より高い光学性能が得られる。

10

【0027】

便宜上、片面を平らにしたが、負の屈折力の第 2 フレネルレンズ L 2 の曲率の大きい面は観察面 S P 側になるので、観察面 S P 側の面をフレネル形状にすることによって、より軽量になる。

【0028】

以上の構成により広視野でありながら高い光学性能を有し、且つ軽量の観察光学系を達成している。

【0029】

フレネルレンズ集合体 F L が 2 枚のフレネルレンズより構成され、第 1 フレネルレンズ L 1 が負の屈折力を有し、第 2 フレネルレンズ L 2 が正の屈折力を有する場合の光学特性も前述したのと同様である。またフレネルレンズ集合体 F L が 3 枚のフレネルレンズより構成され、第 1 フレネルレンズ L 1 が正の屈折力を有し、第 2 フレネルレンズ L 2 が負の屈折力を有し、第 3 フレネルレンズ L 3 が正の屈折力を有する場合の光学特性も前述したのと同様である。

20

【0030】

次に各実施例の観察光学系 L 0 及び観察光学系 L 0 を有する観察装置について説明する。実施例 1 の観察光学系 L 0 は、観察面 S P 側より順に、正の屈折力のレンズ (正レンズ L P)、第 1 フレネルレンズ L 1、第 2 フレネルレンズ L 2 を有する。実施例 2 の観察光学系 L 0 は観察面 S P 側より順に、第 1 フレネルレンズ L 1、第 2 フレネルレンズ L 2 を有する。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。

30

【0031】

第 1 フレネルレンズ L 1 は正の屈折力を有し、第 2 フレネルレンズ L 2 は正の屈折力を有する。第 1 フレネルレンズ L 1 の焦点距離を f_1 、観察光学系 L 0 の焦点距離を f とする。第 2 フレネルレンズ L 2 の焦点距離を f_2 とする。第 1 フレネルレンズ L 1 の観察面 S P 側の面の曲率半径を R_{11} とする。第 1 フレネルレンズ L 1 の画像表示面 I P 側の面の曲率半径を R_{12} とする。第 2 フレネルレンズ L 2 の観察面側の面の曲率半径を R_{21} とする。第 2 フレネルレンズ L 2 の画像表示面側の面の曲率半径を R_{22} とする。

【0032】

実施例 1、2 の観察光学系 L 0 を有する観察装置は画像表示素子を有する。観察光学系 L 0 によって拡大された画像表示素子の画像を、観察光学系 L 0 を介して観察面 S P 側から観察する。このとき第 1 フレネルレンズ L 1 の画像表示面 I D 側の面頂点から、第 2 フレネルレンズ L 2 の観察面 S P 側の主点までの距離を d とする。最も観察面 S P 側に配置されたレンズ (実施例 1 では正レンズ L P、実施例 2 では第 1 フレネルレンズ L 1) の観察面 S P 側の面頂点から画像表示面 I D までの距離を L とする。

40

【0033】

第 1 フレネルレンズ L 1 の中心厚を d_1 、第 2 フレネルレンズ L 2 の中心厚を d_2 とする。アイレリーフ 10 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面 I D の実像高を y 、アイレリーフ 10 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面 I D の理想像高を y_0 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。

50

【0034】

$$\begin{aligned}
 1.5 < f_1 / f < 5.0 & \dots (1X) \\
 1.0 < f_2 / f < 6.0 & \dots (2X) \\
 -1.4 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.6 & \dots (3X) \\
 -1.5 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < -0.5 & \dots (4X) \\
 0.005 < d / L < 0.200 & \dots (5X) \\
 0.01 < (d_1 + d_2) / L < 0.10 & \dots (6X) \\
 -0.3 < (y - y_0) / y_0 < -0.1 & \dots (7X)
 \end{aligned}$$

【0035】

更に好ましくは条件式(1X)乃至(7X)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

10

$$\begin{aligned}
 1.8 < f_1 / f < 4.7 & \dots (1Xa) \\
 1.5 < f_2 / f < 5.8 & \dots (2Xa) \\
 -1.3 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.7 & \dots (3Xa) \\
 -1.4 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < -0.7 & \dots (4Xa) \\
 0.02 < d / L < 0.15 & \dots (5Xa) \\
 0.02 < (d_1 + d_2) / L < 0.08 & \dots (6Xa) \\
 -0.26 < (y - y_0) / y_0 < -0.12 & \dots (7Xa)
 \end{aligned}$$

【0036】

更に好ましくは条件式(1Xa)乃至(7Xa)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

20

$$\begin{aligned}
 2.0 < f_1 / f < 4.4 & \dots (1Xb) \\
 1.7 < f_2 / f < 5.6 & \dots (2Xb) \\
 -1.2 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.8 & \dots (3Xb) \\
 -1.3 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < -0.8 & \dots (4Xb) \\
 0.04 < d / L < 0.08 & \dots (5Xb) \\
 0.03 < (d_1 + d_2) / L < 0.07 & \dots (6Xb) \\
 -0.25 < (y - y_0) / y_0 < -0.15 & \dots (7Xb)
 \end{aligned}$$

【0037】

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(1X)は、第1フレネルレンズL1の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定している。条件式(1X)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、重量が増大する。

30

【0038】

条件式(2X)は、第2フレネルレンズL2の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定している。条件式(2X)の下限を超えると、第2フレネルレンズL2の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、全系の重量が増大する。

40

【0039】

条件式(3X)は、第1フレネルレンズL1の形状因子を規定している。条件式(3X)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の観察面SP側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。

【0040】

条件式(4X)は、第2フレネルレンズL2の形状因子を規定している。条件式(4X)の下限を超えると、第2フレネルレンズL2の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第2フレネルレ

50

ンズ L 2 の観察面 S P 側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。

【 0 0 4 1 】

条件式 (5 X) は、第 2 フレネルレンズ L 2 の光軸上の位置に関する。条件式 (5 X) を満足するように、第 2 フレネルレンズ L 2 の前側主点位置を適切な範囲で観察面 S P 側に隣接する第 1 フレネルレンズ L 1 に近づけることによって、軸上光線の入射高の高い位置に第 2 フレネルレンズ L 2 を配している。これによって、全系の焦点距離に対する寄与分が高まり、実質的に第 2 フレネルレンズ L 2 の屈折力を緩めることができ、主に非点収差や像面湾曲を低減している。

【 0 0 4 2 】

条件式 (5 X) の下限を超えると、レンズ全長が長くなりすぎ、画像表示面 I D が大型化するため、全系の重量が増大する。また、逆に上限を超えると、第 2 フレネルレンズ L 2 の屈折力が強すぎて、主に像面湾曲や非点収差の発生が増大する。

【 0 0 4 3 】

条件式 (6 X) は、第 1 フレネルレンズ L 1 の中心厚と第 2 フレネルレンズ L 2 の中心厚の和に関する。条件式 (6 X) の下限を超えると、第 1 フレネルレンズ L 1 の中心厚と第 2 フレネルレンズ L 2 の中心厚の一方或いは両方の厚みが薄くなりすぎて、フレネルレンズの形状が変形しやすくなり、光学性能が低下してくる。また、逆に上限を超えると、第 1 フレネルレンズ L 1 の中心厚と第 2 フレネルレンズ L 2 の中心厚の一方或いは両方の厚みが厚くなりすぎて、フレネルレンズ集合体 F L の重量が増大する。

【 0 0 4 4 】

条件式 (7 X) は、観察光学系 L 0 のアイレリーフ 1 0 m m、半視野角 4 5 度における歪曲量を規定している。条件式 (7 X) の下限を超えると、正の屈折力が強すぎるため、周辺光線を強く光軸方向に曲げることになり、主に像面湾曲と非点収差が増大する。逆に上限を超えると、正の屈折力が小さすぎるため、各レンズ位置における周辺光線の入射高さが高くなり、有効径が増すので、フレネルレンズ集合体 F L の重量が増大する。

【 0 0 4 5 】

以上の構成により、広視野でありながら、高い光学性能を有し、かつ軽量の観察光学系が得られる。

【 0 0 4 6 】

[実施例 1]

以下、図 1 を参照して、本発明の実施例の観察光学系 L 0 について説明する。実施例 1 の観察光学系 L 0 は、観察面 S P 側より順に、正レンズ L P、正の屈折力の第 1 フレネルレンズ L 1、正の屈折力の第 2 フレネルレンズ L 2 から構成されている。

【 0 0 4 7 】

正レンズ L P 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。正レンズ L P を周辺光線の入射高さの低い位置に配していることにより、重量の増大を防いでいる。正の屈折力の第 1 フレネルレンズ L 1 のフレネル面 F r e 1 と正の屈折力の第 2 フレネルレンズ L 2 のフレネル面 F r e 2 を画像表示面 I D 側としている。フレネル面 F r e 1 とフレネル面 F r e 2 を球面に換算したとき (以下同じ) の形状を画像表示面 I D 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を抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えている。

【 0 0 4 8 】

条件式 (5 X) を満足する適切な範囲で、第 2 フレネルレンズ L 2 の前側主点位置を適切な範囲で観察面 S P 側に隣接する第 1 フレネルレンズ L 1 に近づけている。これによって、軸上光線の高い位置に第 2 フレネルレンズ L 2 を配し、その結果、実質的に第 2 フレネルレンズ L 2 の屈折力を緩めて、主に像面湾曲や非点収差の発生を抑えている。

【 0 0 4 9 】

さらに、条件式 (1 X) を満足する適切な範囲で第 1 フレネルレンズ L 1 の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式 (2 X) を満足する適切な

10

20

30

40

50

範囲で第2フレネルレンズL2の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(3X)を満足するように第1フレネルレンズL1を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差の発生を抑えている。

【0050】

さらに、条件式(4X)を満足するように第2フレネルレンズL2を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(6X)を満足する適切な範囲で、第1フレネルレンズL1と第2フレネルレンズL2の厚みを薄くし、軽量化を図っている。さらに、条件式(7X)を満足するようにアイレリーフ10mm、半視野角45度における歪曲量を適切に設定することで、周辺光線の強い跳ね上げを抑制し、主に像面湾曲と非点収差の発生を抑えている。

【0051】

[実施例2]

以下、図3を参照して、本発明の実施例2による観察光学系L0について説明する。実施例2の観察光学系L0は、観察面SP側より順に、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。

【0052】

正の屈折力の第1フレネルレンズL1のフレネル面Fre1と正の屈折力の第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。フレネル面Fre1とフレネル面Fre2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を抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えている。各条件式の技術的意味は実施例1と同様である。

【0053】

条件式(5X)を満足する適切な範囲で、第2フレネルレンズL2の前側主点位置を適切な範囲で観察面SP側に隣接する第1フレネルレンズL1に近づけている。これによって、軸上光線の高い位置に第2フレネルレンズL2を配し、その結果、実質的に第2フレネルレンズL2の屈折力を緩めて、主に像面湾曲や非点収差を抑えている。

【0054】

さらに、条件式(1X)を満足する適切な範囲で第1フレネルレンズL1の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(2X)を満足する適切な範囲で第2フレネルレンズL2の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(3X)を満足するように第1フレネルレンズL1を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。

【0055】

さらに、条件式(4X)を満足するように第2フレネルレンズL2を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(6X)を満足する適切な範囲で、第1フレネルレンズL1と第2フレネルレンズL2の厚みを薄くし、軽量化を図っている。さらに、条件式(7X)を満足するようにアイレリーフ10mm、半視野角45度における歪曲量を適切に設定することで、周辺光線の強い跳ね上げを抑制し、主に像面湾曲と非点収差の発生を抑えている。

【0056】

次に実施例3の観察光学系L0は観察面SP側より順に正レンズLP、第1フレネルレンズL1、第2フレネルレンズL2、第3フレネルレンズL3を有する。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。

【0057】

第1フレネルレンズL1は、正の屈折力を有し、第2フレネルレンズL2は負の屈折力を有し、第3フレネルレンズL3は正の屈折力を有する。第1フレネルレンズL1の焦点距離を f_1 、観察光学系L0の焦点距離を f とする。第3フレネルレンズL3の焦点距離を f_3 とする。第1フレネルレンズL1の観察面SP側の面の曲率半径を R_{11} 、第1フレネルレンズL1の画像表示面ID側の面の曲率半径を R_{12} とする。第3フレネルレン

ズ L 3 の観察面 S P 側の面の曲率半径を R 3 1、第 3 フレネルレンズ L 3 の画像表示面 I D 側の面の曲率半径を R 3 2 とする。

【 0 0 5 8 】

実施例 3 の観察光学系 L 0 を有する観察装置は、画像情報を表示する画像表示素子を有する。観察光学系 L 0 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 L 0 を介して観察面 S P 側から観察する。第 1 フレネルレンズ L 1 の画像表示面 I D 側の面頂点から、第 3 フレネルレンズ L 3 の観察面 S P 側の主点までの距離を d とする。最も観察面 S P 側に配置されたレンズ (正レンズ L P) の観察面 S P 側の面頂点から画像表示面 I D までの距離を L とする。第 1 フレネルレンズ L 1 の中心厚を d 1、第 3 フレネルレンズ L 3 の中心厚を d 3 とする。

10

【 0 0 5 9 】

アイレリーフ 1 0 m m において観察半視野角 4 5 度における画像表示面 I D の実像高を y、アイレリーフ 1 0 m m において観察半視野角 4 5 度における画像表示面 I D の理想像高を y 0 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。

【 0 0 6 0 】

$$\begin{aligned} 1.5 < f_1 / f < 5.0 & \dots (1W) \\ 1.0 < f_3 / f < 6.0 & \dots (2W) \\ -1.4 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.6 & \dots (3W) \\ -1.5 < (R_{32} + R_{31}) / (R_{32} - R_{31}) < -0.5 & \dots (4W) \\ 0.005 < d / L < 0.200 & \dots (5W) \\ 0.01 < (d_1 + d_3) / L < 0.10 & \dots (6W) \\ -0.3 < (y - y_0) / y_0 < -0.1 & \dots (7W) \end{aligned}$$

20

【 0 0 6 1 】

更に好ましくは条件式 (1 W) 乃至 (7 W) の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$\begin{aligned} 1.8 < f_1 / f < 4.7 & \dots (1Wa) \\ 1.5 < f_3 / f < 5.8 & \dots (2Wa) \\ -1.3 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.7 & \dots (3Wa) \\ -1.4 < (R_{32} + R_{31}) / (R_{32} - R_{31}) < -0.7 & \dots (4Wa) \\ 0.02 < d / L < 0.15 & \dots (5Wa) \\ 0.02 < (d_1 + d_3) / L < 0.08 & \dots (6Wa) \\ -0.26 < (y - y_0) / y_0 < -0.12 & \dots (7Wa) \end{aligned}$$

30

【 0 0 6 2 】

更に好ましくは条件式 (1 W a) 乃至 (7 W a) の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$\begin{aligned} 2.0 < f_1 / f < 4.4 & \dots (1Wb) \\ 1.7 < f_3 / f < 5.6 & \dots (2Wb) \\ -1.2 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.8 & \dots (3Wb) \\ -1.3 < (R_{32} + R_{31}) / (R_{32} - R_{31}) < -0.8 & \dots (4Wb) \\ 0.04 < d / L < 0.08 & \dots (5Wb) \\ 0.03 < (d_1 + d_3) / L < 0.07 & \dots (6Wb) \\ -0.25 < (y - y_0) / y_0 < -0.15 & \dots (7Wb) \end{aligned}$$

40

【 0 0 6 3 】

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 W) は、第 1 フレネルレンズ L 1 の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定している。条件式 (1 W) の下限を超えると、第 1 フレネルレンズ L 1 の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、重量が増大する。

【 0 0 6 4 】

条件式 (2 W) は、第 3 フレネルレンズ L 3 の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定し

50

ている。条件式(2W)の下限を超えると、第3フレネルレンズL3の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、全系の重量が増大する。

【0065】

条件式(3W)は、第1フレネルレンズL1の形状因子を規定している。条件式(3W)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の観察面SP側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。

10

【0066】

条件式(4W)は、第3フレネルレンズL3の形状因子を規定している。条件式(4W)の下限を超えると、第3フレネルレンズL3の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第3フレネルレンズL3の観察面SP側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。

【0067】

条件式(5W)は、第3フレネルレンズL3の光軸上の位置に関する。条件式(5W)を満足するように、第3フレネルレンズL3の前側主点位置を適切な範囲で観察面SP側に隣接する第1フレネルレンズL1に近づけることによって、軸上光線の入射高の高い位置に第3フレネルレンズL3を配している。これによって、全系の焦点距離に対する寄与分が高まり、実質的に第3フレネルレンズL3の屈折力を緩めることができ、主に非点収差や像面湾曲の発生を低減している。

20

【0068】

条件式(5W)の下限を超えると、レンズ全長が長くなりすぎ、画像表示面IDが大型化するため、全系の重量が増大する。また、逆に上限を超えると、第3フレネルレンズL3の屈折力が強すぎて、主に像面湾曲や非点収差が増大する。

【0069】

条件式(6W)は、第1フレネルレンズL1の中心厚と第3フレネルレンズL3の中心厚の和に関する。条件式(6W)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の中心厚と第3フレネルレンズL3の中心厚の一方或いは両方の厚みが薄くなりすぎて、フレネルレンズの形状が変形しやすくなり、光学性能が低下してくる。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の中心厚と第3フレネルレンズL3の中心厚の一方或いは両方の厚みが厚くなりすぎて、フレネルレンズ集合体FLの重量が増大する。

30

【0070】

条件式(7W)は、観察光学系L0のアイレリーフ10mm、半視野角45度における歪曲量を規定している。条件式(7W)の下限を超えると、正の屈折力が強すぎるため、周辺光線を強く光軸方向に曲げることになり、主に像面湾曲と非点収差が増大する。逆に上限を超えると、正の屈折力が小さすぎるため、各レンズ位置における周辺光線の入射高が高くなり、有効径が増すので、フレネルレンズ集合体FLの重量が増大する。

40

以上の構成により、広視野でありながら、高い光学性能を有し、かつ軽量の観察光学系が得られる。

【0071】

[実施例3]

以下、図5を参照して、本発明の実施例3の観察光学系L0について説明する。実施例3の観察光学系L0は、観察面SP側より順に、正レンズ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。

【0072】

正レンズ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

50

している。正レンズ $L P$ を周辺光線の入射高さの低い位置に配していることにより、重量の増大を防いでいる。正の屈折力の第1フレネルレンズ $L 1$ のフレネル面 $F r e 1$ と第3フレネルレンズ $L 3$ のフレネル面 $F r e 3$ を画像表示面 $I D$ としている。フレネル面 $F r e 1$ とフレネル面 $F r e 3$ を画像表示面 $I D$ 側に凸を向けた形状とすることで、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の発生を抑えている。負の屈折力の第2フレネルレンズ $L 2$ 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。

【0073】

条件式(5W)を満足する適切な範囲で、第3フレネルレンズ $L 3$ の前側主点位置を適切な範囲で観察面側 $I D$ に隣接する第1フレネルレンズ $L 1$ に近づけることによって、軸上光線の高い位置に第3フレネルレンズ $L 3$ を配する。その結果、実質的に第3フレネル

10

【0074】

さらに、条件式(1W)を満足する適切な範囲で第1フレネルレンズ $L 1$ の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(2W)を満足する適切な範囲で第3フレネルレンズ $L 3$ の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(3W)を満足するように第1フレネルレンズ $L 1$ を画像表示面 $I D$ 側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。

【0075】

さらに、条件式(4W)を満足するように第3フレネルレンズ $L 3$ を画像表示面 $I D$ 側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(6W)を満足する適切な範囲で、第1フレネルレンズ $L 1$ と第3フレネルレンズ $L 3$ の厚みを薄くし、軽量化を図っている。さらに、条件式(7W)を満足するようにアイレリーフ 10 mm 、半視野角 45 度における歪曲量を適切に設定することで、周辺光線の強い跳ね上げを抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えている。

20

【0076】

実施例4の観察光学系 $L 0$ は観察面 $S P$ 側より順に、正レンズ $L P$ 、第1フレネルレンズ $L 1$ 、第2フレネルレンズ $L 2$ を有する。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。

【0077】

第1フレネルレンズ $L 1$ は負の屈折力を有し、第2フレネルレンズ $L 2$ は正の屈折力を有する。第1フレネルレンズ $L 1$ の焦点距離を $f 1$ 、観察光学系 $L 0$ の焦点距離を f とする。第2フレネルレンズ $L 2$ の焦点距離を $f 2$ とする。第1フレネルレンズ $L 1$ の観察面 $S P$ 側の面の曲率半径を $R 1 1$ 、第1フレネルレンズ $L 1$ の画像表示面 $I D$ 側の面の曲率半径を $R 1 2$ とする。第2フレネルレンズ $L 2$ の観察面 $S P$ 側の面の曲率半径を $R 2 1$ 、第2フレネルレンズ $L 2$ の画像表示面 $I D$ 側の面の曲率半径を $R 2 2$ とする。

30

【0078】

実施例4の観察光学系 $L 0$ を有する観察装置は、画像表示素子を有する。観察光学系 $L 0$ によって拡大された画像表示素子の画像を、観察光学系 $L 0$ を介して観察面 $S P$ 側から観察する。このとき第1フレネルレンズ $L 1$ の画像表示面 $I D$ 側の面頂点から、第2フレネルレンズ $L 2$ の観察面 $S P$ 側の主点までの距離を d とする。最も観察面 $S P$ 側に配置されたレンズ(正レンズ $L P$)の観察面 $S P$ 側の面頂点から画像表示面 $I D$ までの距離を L とする。

40

【0079】

第1フレネルレンズ $L 1$ の中心厚を $d 1$ 、第2フレネルレンズ $L 2$ の中心厚を $d 2$ とする。アイレリーフ 10 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面 $I D$ の実像高を y 、アイレリーフ 10 mm において観察半視野角 45 度における画像表示面 $I D$ の理想像高を $y 0$ 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。

【0080】

$$1.5 < |f 1| / f < 5.0 \quad \dots (1Y)$$

$$3.0 < f 2 / f < 6.5 \quad \dots (2Y)$$

50

$$\begin{aligned}
0.6 < (R12 + R11) / (R12 - R11) < 1.5 & \dots (3Y) \\
-1.5 < (R22 + R21) / (R22 - R21) < -0.6 & \dots (4Y) \\
0.005 < d / L < 0.200 & \dots (5Y) \\
0.01 < (d1 + d2) / L < 0.15 & \dots (6Y) \\
-0.3 < (y - y0) / y0 < -0.1 & \dots (7Y)
\end{aligned}$$

【0081】

更に好ましくは条件式(1Y)乃至(7Y)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$\begin{aligned}
2.0 < |f1| / f < 4.9 & \dots (1Ya) \\
3.4 < f2 / f < 5.6 & \dots (2Ya) \\
0.7 < (R12 + R11) / (R12 - R11) < 1.4 & \dots (3Ya) \\
-1.4 < (R22 + R21) / (R22 - R21) < -0.7 & \dots (4Ya) \\
0.01 < d / L < 0.10 & \dots (5Ya) \\
0.02 < (d1 + d2) / L < 0.10 & \dots (6Ya) \\
-0.26 < (y - y0) / y0 < -0.12 & \dots (7Ya)
\end{aligned}$$

10

【0082】

更に好ましくは条件式(1Ya)乃至(7Ya)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$\begin{aligned}
2.2 < |f1| / f < 4.8 & \dots (1Yb) \\
3.6 < f2 / f < 5.4 & \dots (2Yb) \\
0.75 < (R12 + R11) / (R12 - R11) < 1.30 & \dots (3Yb) \\
-1.3 < (R22 + R21) / (R22 - R21) < -0.8 & \dots (4Yb) \\
0.015 < d / L < 0.060 & \dots (5Yb) \\
0.025 < (d1 + d2) / L < 0.060 & \dots (6Yb) \\
-0.25 < (y - y0) / y0 < -0.19 & \dots (7Yb)
\end{aligned}$$

20

【0083】

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(1Y)は、第1フレネルレンズL1の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定している。条件式(1Y)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、重量が増大する。

30

【0084】

条件式(2Y)は、第2フレネルレンズL2の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定している。条件式(2Y)の下限を超えると、第2フレネルレンズL2の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、全系の重量が増大する。

【0085】

条件式(3Y)は、第1フレネルレンズL1の形状因子を規定している。条件式(3Y)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の観察面SP側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。

40

【0086】

条件式(4Y)は、第2フレネルレンズL2の形状因子を規定している。条件式(4Y)の下限を超えると、第2フレネルレンズL2の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第2フレネルレンズL2の観察面SP側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。

【0087】

50

条件式(5Y)は、第2フレネルレンズL2の光軸上の位置に関する。条件式(5Y)を満足するように、第2フレネルレンズL2の前側主点位置を適切な範囲で観察面SP側に隣接する第1フレネルレンズL1に近づけることによって、軸上光線の入射高の高い位置に第2フレネルレンズL2を配している。これによって、全系の焦点距離に対する寄与分が高まり、実質的に第2フレネルレンズL2の屈折力を緩めることができ、主に非点収差や像面湾曲の発生を低減している。

【0088】

条件式(5Y)の下限を超えると、レンズ全長が長くなりすぎ、画像表示面IDが大型化するため、全系の重量が増大する。また、逆に上限を超えると、第2フレネルレンズL2の屈折力が強すぎて、主に像面湾曲や非点収差の発生が増大する。

10

【0089】

条件式(6Y)は、第1フレネルレンズL1の中心厚と第2フレネルレンズL2の中心厚の和に関する。条件式(6Y)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の中心厚と第2フレネルレンズL2の中心厚の一方或いは両方の厚みが薄くなりすぎて、フレネルレンズの形状が変形しやすくなり、光学性能が低下してくる。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の中心厚と第2フレネルレンズL2の中心厚の一方或いは両方の厚みが厚くなりすぎて、フレネルレンズ集合体FLの重量が増大する。

【0090】

条件式(7Y)は、観察光学系L0のアイレリーフ10mm、半視野角45度における歪曲量を規定している。条件式(7Y)の下限を超えると、正の屈折力が強すぎるため、周辺光線を強く光軸方向に曲げることになり、主に像面湾曲と非点収差が増大する。逆に上限を超えると、正の屈折力が小さすぎるため、各レンズ位置における周辺光線の入射高が高くなり、有効径が増すので、フレネルレンズ集合体FLの重量が増大する。

20

以上の構成により、広視野でありながら、高い光学性能を有し、かつ軽量の観察光学系が得られる。

【0091】

[実施例4]

以下、図7を参照して、本発明の実施例4の観察光学系L0について説明する。実施例4の観察光学系L0は、観察面SP1側より順に、正レンズ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。

30

【0092】

正レンズL1は非球面形状の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。正レンズLPを周辺光線の入射高さの低い位置に配していることにより、重量の増大を防いでいる。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。フレネル面Fre1とフレネル面Fre2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を抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えている。

【0093】

条件式(5Y)を満足する適切な範囲で、第2フレネルレンズL2の前側主点位置を適切な範囲で観察面側IDに隣接する第1フレネルレンズL1に近づけることによって、軸上光線の高い位置に第2フレネルレンズL2を配する。その結果、実質的に第2フレネルレンズL2の屈折力を緩めて、主に像面湾曲や非点収差を抑えている。

40

【0094】

さらに、条件式(1Y)を満足する適切な範囲で第1フレネルレンズL1の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(2Y)を満足する適切な範囲で第2フレネルレンズL2の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(3Y)を満足するように第1フレネルレンズL1を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。

【0095】

50

さらに、条件式(4Y)を満足するように第2フレネルレンズL2を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(6Y)を満足する適切な範囲で、第1フレネルレンズL1と第2フレネルレンズL2の厚みを薄くし、軽量化を図っている。さらに、条件式(7Y)を満足するようにアイレリーフ10mm、半視野角45度における歪曲量を適切に設定することで、周辺光線の強い跳ね上げを抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えている。

【0096】

実施例5の観察光学系L0は観察面SP側より順に、正レンズSP、第1フレネルレンズL1、第2フレネルレンズL2を有する。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。

10

【0097】

第1フレネルレンズL1は正の屈折力を有し、第2フレネルレンズL2は負の屈折力を有する。第2フレネルレンズL2の焦点距離を f_2 、観察光学系L0の焦点距離を f とする。第1フレネルレンズL1の焦点距離を f_1 とする。第1フレネルレンズL1の観察面SP側の面の曲率半径を R_{11} 、第1フレネルレンズL1の画像表示面ID側の面の曲率半径を R_{12} とする。第2フレネルレンズL2の観察面SP側の面の曲率半径を R_{21} 、第2フレネルレンズL2の画像表示面ID側の面の曲率半径を R_{22} とする。

【0098】

実施例5の観察光学系L0を有する観察装置は、画像表示素子を有する。観察光学系L0によって拡大された画像表示素子の画像を、観察光学系L0を介して観察面SP側から観察する。このとき、第2フレネルレンズL2の観察面SP側の面頂点から、第1フレネルレンズL1の画像表示面側の主点までの距離を d とする。最も観察面SP側に配置されたレンズ(正レンズLP)の観察面SP側の面頂点から画像表示面IDまでの距離を L とする。

20

【0099】

第1フレネルレンズL1の中心厚を d_1 、第2フレネルレンズL2の中心厚を d_2 とする。アイレリーフ10mmにおいて観察半視野角45度における画像表示面IDの実像高を y 、アイレリーフ10mmにおいて観察半視野角45度における画像表示面IDの理想像高を y_0 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。

【0100】

$$\begin{aligned} 3.0 < f_1 / f < 6.5 & \dots (1Z) \\ 1.5 < |f_2| / f < 5.0 & \dots (2Z) \\ -1.5 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.6 & \dots (3Z) \\ 0.6 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < 1.5 & \dots (4Z) \\ 0.005 < d / L < 0.200 & \dots (5Z) \\ 0.01 < (d_1 + d_2) / L < 0.15 & \dots (6Z) \\ -0.3 < (y - y_0) / y_0 < -0.1 & \dots (7Z) \end{aligned}$$

30

【0101】

更に好ましくは条件式(1Z)乃至(7Z)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$\begin{aligned} 3.4 < f_1 / f < 5.6 & \dots (1Za) \\ 2.0 < |f_2| / f < 4.9 & \dots (2Za) \\ -1.4 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.7 & \dots (3Za) \\ 0.7 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < 1.4 & \dots (4Za) \\ 0.01 < d / L < 0.10 & \dots (5Za) \\ 0.02 < (d_1 + d_2) / L < 0.10 & \dots (6Za) \\ -0.26 < (y - y_0) / y_0 < -0.12 & \dots (7Za) \end{aligned}$$

40

【0102】

更に好ましくは条件式(1Za)乃至(7Za)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

$$3.6 < f_1 / f < 5.4 \dots (1Zb)$$

50

$$\begin{aligned}
 &2.2 < |f_2| / f < 4.8 && \dots (2Zb) \\
 &-1.3 < (R_{12} + R_{11}) / (R_{12} - R_{11}) < -0.8 && \dots (3Zb) \\
 &0.75 < (R_{22} + R_{21}) / (R_{22} - R_{21}) < 1.30 && \dots (4Zb) \\
 &0.015 < d / L < 0.060 && \dots (5Zb) \\
 &0.025 < (d_1 + d_2) / L < 0.060 && \dots (6Zb) \\
 &-0.25 < (y - y_0) / y_0 < -0.19 && \dots (7Zb)
 \end{aligned}$$

【0103】

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(2Z)は、第2フレネルレンズL2の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定している。条件式(1Z)は、第1フレネルレンズL1の焦点距離と全系の焦点距離の比を規定している。条件式(1Z)の下
 10 限を超えると、第1フレネルレンズL1の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、重量が増大する。

【0104】

条件式(2Z)の下限を超えると、第2フレネルレンズL2の屈折力が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、構成しているその他のレンズのレンズ枚数が少ない場合、各々の屈折力が強くなりすぎ、諸収差が増大する。逆に構成しているその他のレンズのレンズ枚数が多い場合、全系の重量が増大する。

【0105】

条件式(3Z)は、第1フレネルレンズL1の形状因子を規定している。条件式(3Z)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の観察面SP側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。

【0106】

条件式(4Z)は、第2フレネルレンズL2の形状因子を規定している。条件式(4Z)の下限を超えると、第2フレネルレンズL2の画像表示面ID側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する。また、逆に上限を超えると、第2フレネルレンズL2の観察面SP側の面の曲率が強くなりすぎ、主に像面湾曲、非点収差が増大する

【0107】

条件式(5Z)は、第1フレネルレンズL1の光軸上の位置に関する。条件式(5Z)を満足するように、第1フレネルレンズL1の前側主点位置を適切な範囲で画像表示面ID側に隣接する第2フレネルレンズL2に近づけることによって、軸上光線の入射高の高い位置に第1フレネルレンズL1を配している。これによって、全系の焦点距離に対する寄与分が高まり、実質的に第1フレネルレンズL1の屈折力を緩めることができ、主に非点収差や像面湾曲の発生を低減している。

【0108】

条件式(5Z)の下限を超えると、レンズ全長が長くなりすぎ、画像表示面IDが大型化するため、全系の重量が増大する。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の屈折力が強すぎて、主に像面湾曲や非点収差の発生が増大する。

【0109】

条件式(6Z)は、第1フレネルレンズL1の中心厚と第2フレネルレンズL2の中心厚の和に関する。条件式(6Z)の下限を超えると、第1フレネルレンズL1の中心厚と第2フレネルレンズL2の中心厚の一方或いは両方の厚みが薄くなりすぎて、フレネルレンズの形状が変形しやすくなり、光学性能が低下してくる。また、逆に上限を超えると、第1フレネルレンズL1の中心厚と第2フレネルレンズL2の中心厚の一方或いは両方の厚みが厚くなりすぎて、フレネルレンズ集合体FLの重量が増大する。

【0110】

10

20

30

40

50

条件式(7Z)は、観察光学系L0のアイレリーフ10mm、半視野角45度における歪曲量を規定している。条件式(7Z)の下限を超えると、正の屈折力が強すぎるため、周辺光線を強く光軸方向に曲げることになり、主に像面湾曲と非点収差が増大する。逆に上限を超えると、正の屈折力が小さすぎるため、各レンズ位置における周辺光線の入射高さが高くなり、有効径が増すので、フレネルレンズ集合体FLの重量が増大する。

以上の構成により、広視野でありながら、高い光学性能を有し、かつ軽量の観察光学系が得られる。

【0111】

[実施例5]

以下、図9を参照して、本発明の実施例6の観察光学系L0について説明する。実施例6の観察光学系L0は、観察面SP側より順に、正レンズ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。

【0112】

正レンズLPは非球面形状の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。正レンズLPを周辺光線の高さの低い位置に配していることにより、重量の増大を防いでいる。負の屈折力の第2フレネルレンズL2のフレネル面Fre2を観察面SP側、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Fre2とフレネル面Fre1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を抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えている。

【0113】

また、負の屈折力の第2フレネルレンズL2を配すことで、倍率色収差を良好に補正している。

条件式(5Z)を満足する適切な範囲で、第1フレネルレンズL1の前側主点位置を適切な範囲で観察面SP側に隣接する第2フレネルレンズL2に近づけている。これによって、軸上光線の高い位置に第1フレネルレンズL1を配し、その結果、実質的に第1フレネルレンズL1の屈折力を緩めて、主に像面湾曲や非点収差を抑えている。

【0114】

さらに、条件式(2Z)を満足する適切な範囲で第2フレネルレンズL2の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(1Z)を満足する適切な範囲で第1フレネルレンズL1の焦点距離を緩め、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(4Z)を満足するように第2フレネルレンズL2を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。

【0115】

さらに、条件式(3Z)を満足するように第1フレネルレンズL1を画像表示面ID側に凸形状とし、適切な範囲で強めることで、主に像面湾曲、非点収差を抑えている。さらに、条件式(6Z)を満足する適切な範囲で、第1フレネルレンズL1と第2フレネルレンズL2の厚みを薄くし、軽量化を図っている。さらに、条件式(7Z)を満足するようにアイレリーフ10mm、半視野角45度における歪曲量を適切に設定することで、周辺光線の強い跳ね上げを抑制し、主に像面湾曲と非点収差を抑えている。

【0116】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明の観察光学系はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、CRTやLCD等の画像表示面と組み合わせた際、歪曲収差量や倍率色収差量によっては電氣的な処理を画像表示面側に加えても良い。

【0117】

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、riは第i番目の光学面の曲率半径、di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、ni, vi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。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 8 】

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 とするととき以下の式で定義される。

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

【 0 1 1 9 】

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。

10

【 0 1 2 0 】

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、4、5において面番号2、3はレンズ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。また数値データ2において面番号2、3は第1フレネルレンズ、面番号4、5は第2フレネルレンズに相当している。

【 0 1 2 1 】

数値データ3において面番号2、3は正レンズ、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。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。

20

【 0 1 2 2 】

(数値データ1)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	v 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	d7			69.00
像面	∞				

30

非球面データ

第2面

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

40

第3面

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

第5面

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

第7面

50

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
画角 55.00 45.00
像高 48.51 40.84
レンズ全長(L) 64.13 64.13
BF 49.24 49.24
d 2.783

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	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 1 2 3 】

(数値データ 2)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	v d	径
1(絞り)	∞	(可変)			3.50
2	-800.000	1.50	1.53156	55.8	50.00
3*Fre	-65.000	2.71			50.00
4	800.000	2.00	1.53156	55.8	65.00
5*Fre	-65.000	d5			65.00
像面	∞				

40

非球面データ

第3面

K = 0.00000e+000 A 4=-1.47795e-005 A 6=-4.92691e-009 A 8= 6.99900e-012 A10= 1.23590e-014

50

第5面

K = 0.00000e+000 A 4= 1.53013e-005 A 6= 1.00039e-009 A 8=-9.98155e-012

各種データ

ズーム比 1.00

焦点距離	62.11	62.11
Fナンバー	17.75	17.75
画角	55.00	45.00
像高	65.32	52.22
レンズ全長(L)	66.43	66.43
BF	60.23	60.23
d	39.17	
d 1	10.00	20.00
d 5	60.23	60.23

10

入射瞳位置	0.00	0.00
射出瞳位置	-18.60	-38.83
前側主点位置	13.17	23.17
後側主点位置	-1.89	-1.89

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	62.11	6.21	3.17	-1.89

単レンズデータ

レンズ	始面	焦点距離
1	1	133.00
2	4	113.18

30

【 0 1 2 4 】

(数値データ 3)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	v 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	d9			70.00
像面	∞				

40

非球面データ

第2面

50

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

第6面

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

10

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
画角	60.00	46.50
像高	44.89	36.34
レンズ全長(L)	56.52	56.52
BF	39.34	39.34
d	3.897	
d 1	10.00	20.00
d 9	39.34	39.34

20

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	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

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

40

【 0 1 2 5 】

(数値データ 4)

単位 mm

面データ

50

面番号	r	d	nd	v 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	d7			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

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

20

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

焦点距離	54.10	54.10
Fナンバー	15.46	15.46
画角	55.00	45.00
像高	49.94	41.58
レンズ全長(L)	66.55	66.55
BF	49.79	49.79
d	2.771	
d 1	10.00	20.00
d 7	49.79	49.79

30

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

40

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

単レンズデータ

50

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

【 0 1 2 6 】

(数値データ 5)

単位 mm

面データ

10

面番号	r	d	nd	v 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	d7			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

第5面

30

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

焦点距離	50.16	50.16
Fナンバー	14.33	14.33
画角	60.00	46.50
像高	45.69	38.71
レンズ全長(L)	62.30	62.30
BF	43.87	43.87
d	1.068	
d 1	10.00	20.00
d 7	43.87	43.87

40

入射瞳位置 0.00 0.00

50

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	レンズ構成長	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

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 1 2 7 】

【表 1】

表 1

実施例	条件式						
	(1X)	(2X)	(3X)	(4X)	(5X)	(6X)	(7X)
1	3.180	3.452	-1.000	-1.000	0.043	0.037	-0.241
2	2.141	1.822	-1.177	-0.850	0.059	0.053	-0.167

実施例	条件式						
	(1W)	(2W)	(3W)	(4W)	(5W)	(6W)	(7W)
3	3.280	5.543	-0.852	-1.227	0.069	0.048	-0.243

実施例	条件式						
	(1Y)	(2Y)	(3Y)	(4Y)	(5Y)	(6Y)	(7Y)
4	3.153	3.825	1.000	-1.000	0.042	0.030	-0.233

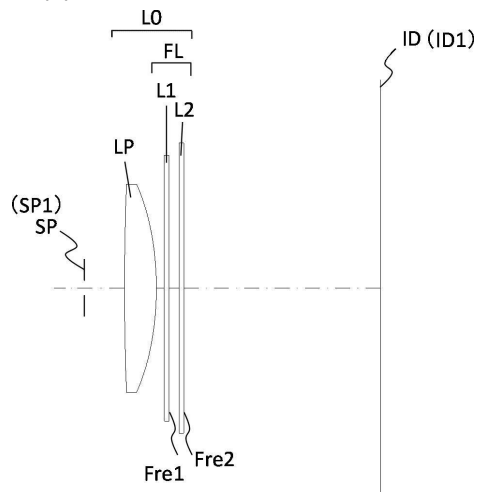
実施例	条件式						
	(1Z)	(2Z)	(3Z)	(4Z)	(5Z)	(6Z)	(7Z)
5	2.315	5.220	-0.873	1.221	0.017	0.048	-0.230

【符号の説明】

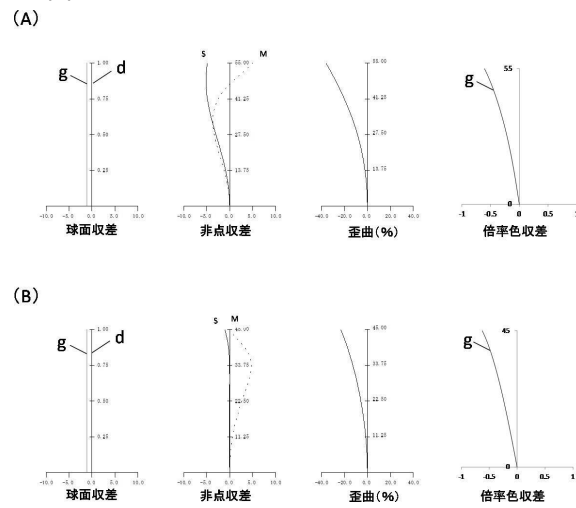
【 0 1 2 8 】

L 0 観察光学系 F L フレネルレンズ集合体 L P 正レンズ
 S P 観察面 I D 画像表示面
 L 1 第 1 フレネルレンズ L 2 第 2 フレネルレンズ
 L 3 第 3 フレネルレンズ
 F r e 1 第 1 のフレネル面
 F r e 2 第 2 のフレネル面
 F r e 3 第 3 のフレネル面

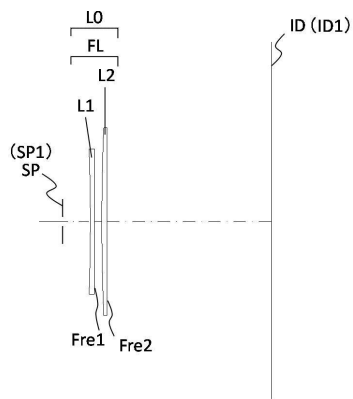
【図 1】



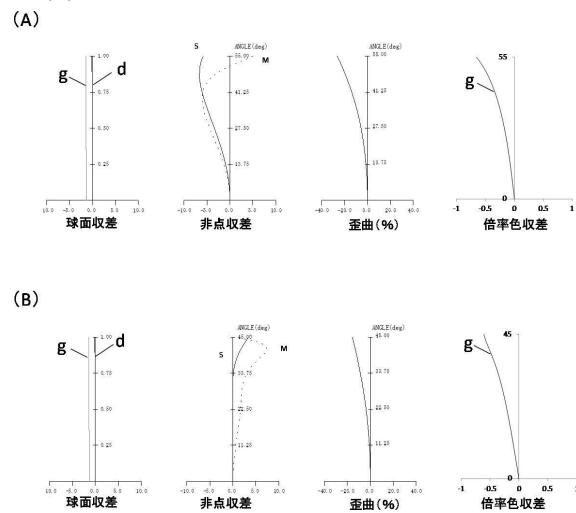
【図 2】



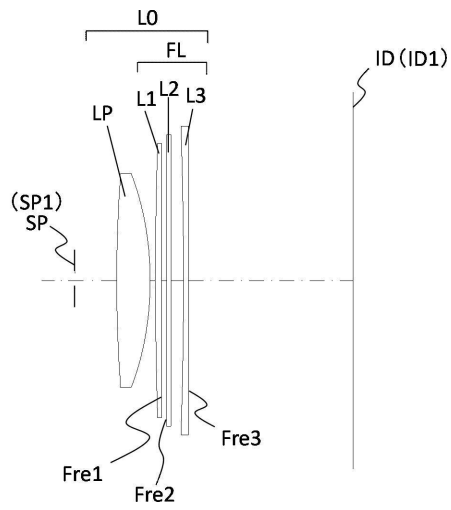
【図 3】



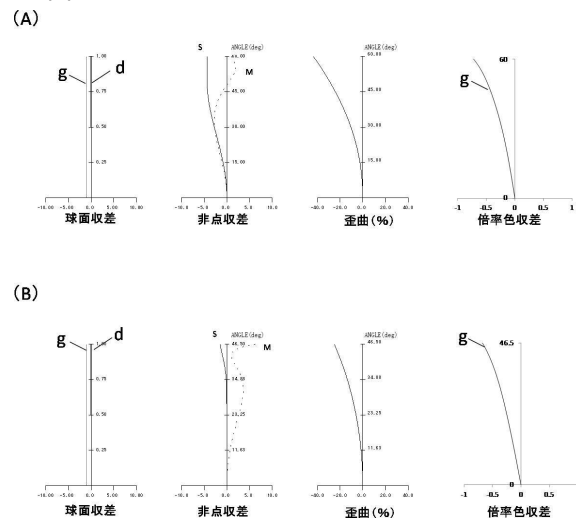
【図 4】



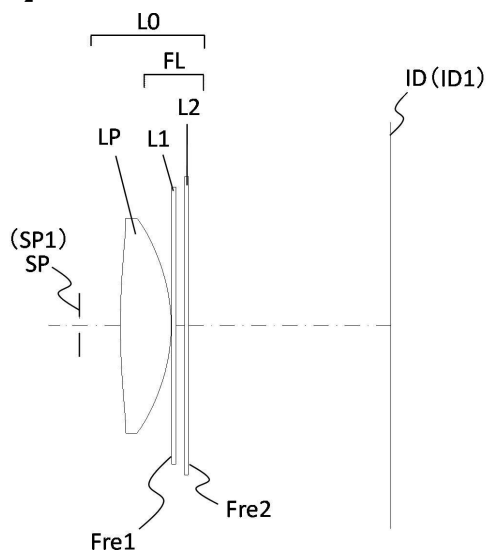
【図 5】



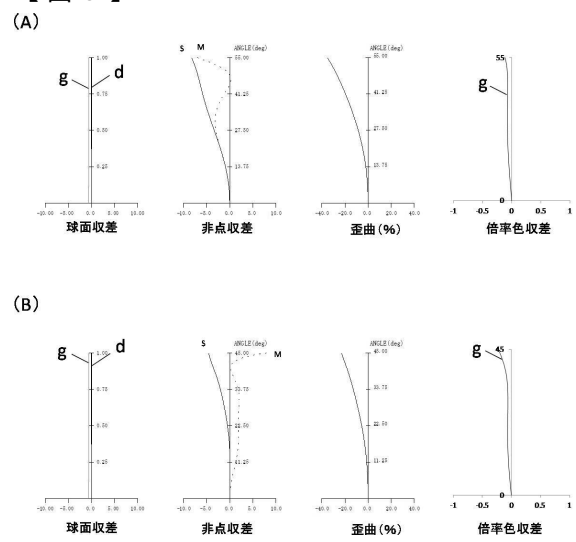
【図 6】



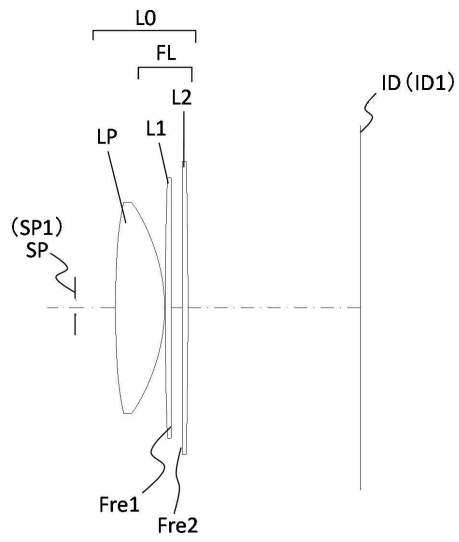
【図 7】



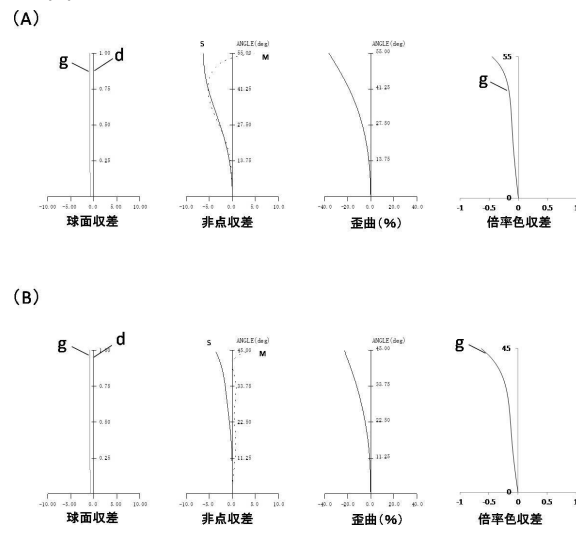
【図 8】



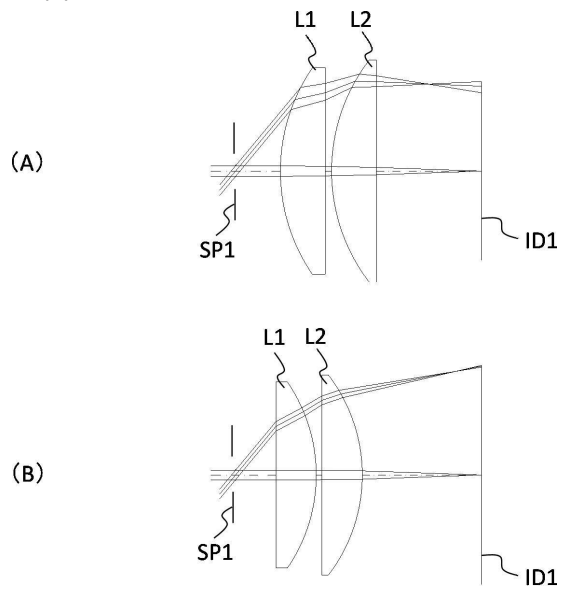
【図 9】



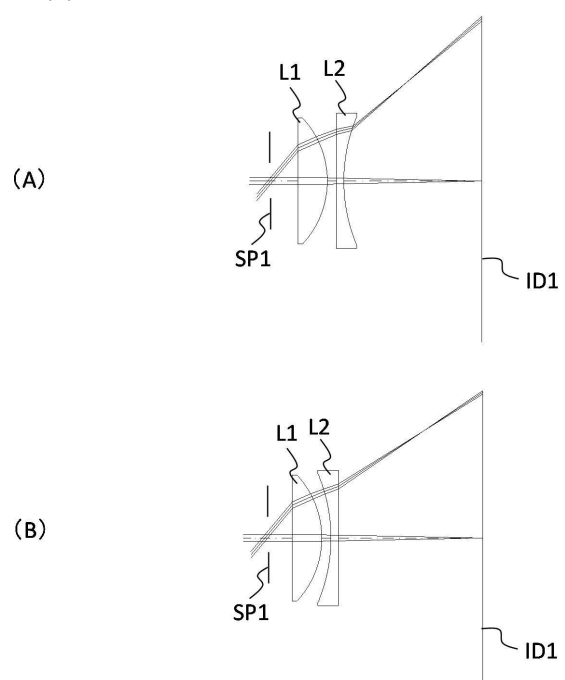
【図 10】



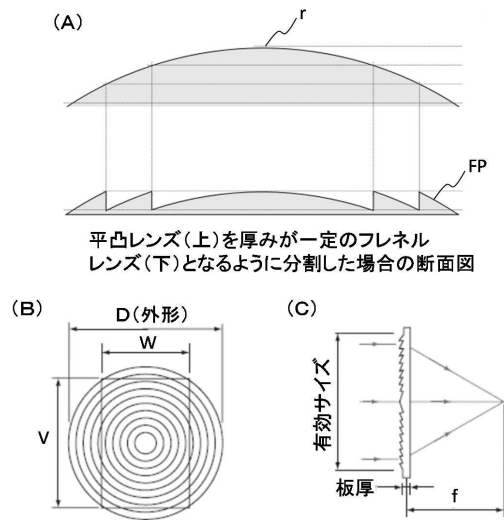
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表平06-509185(JP,A)
特表2010-507833(JP,A)
特表2013-545130(JP,A)
特開平07-244246(JP,A)
米国特許出願公開第2017/0336539(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	9/00	-	17/08
G02B	21/02	-	21/04
G02B	25/00	-	25/04