

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7635192号
(P7635192)

(45)発行日 令和7年2月25日(2025.2.25)

(24)登録日 令和7年2月14日(2025.2.14)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 13/04 (2006.01)

G 0 2 B 13/06 (2006.01)

G 0 2 B 13/18 (2006.01)

G 0 2 B 13/04

G 0 2 B 13/06

G 0 2 B 13/18

請求項の数 28 (全34頁)

(21)出願番号	特願2022-187977(P2022-187977)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和4年11月25日(2022.11.25)		キヤノン株式会社
(62)分割の表示	特願2021-11189(P2021-11189)の分割		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
原出願日	令和3年1月27日(2021.1.27)	(74)代理人	100110412
(65)公開番号	特開2023-16888(P2023-16888A)		弁理士 藤元 亮輔
(43)公開日	令和5年2月2日(2023.2.2)	(74)代理人	100104628
審査請求日	令和6年1月24日(2024.1.24)		弁理士 水本 敦也
		(74)代理人	100121614
			弁理士 平山 倫也
		(72)発明者	黒川 周一
			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	高橋 真
			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】 光学系、撮像装置、車載システムおよび移動装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

拡大共役側から縮小共役側へ順に配置された、複数のレンズを有する前群と、開口絞りと、複数のレンズを有する後群とで構成される光学系であって、
像面での像高 y と半画角 θ との関係を表す前記光学系の射影特性を $y(\theta)$ 、前記光学系の最大半画角を θ_{max} 、前記光学系の焦点距離を f 、前記開口絞りから最も縮小共役側のレンズ面までの光軸上での距離を D 、最も拡大共役側のレンズ面から前記最も縮小共役側のレンズ面までの光軸上の距離を L とするとき、

【数1】

$$1 < \frac{f \times \sin \theta_{max}}{y(\theta_{max})} \leq 1.9$$

【数2】

$$0.4 \leq \frac{D}{L} \leq 0.6$$

なる条件を満足し、

前記射影特性 y () の半画角 での微分値 dy () / d が極大値を有することを特徴とする光学系。

【請求項 2】

前記微分値 dy () / d が前記極大値となる半画角を a とするとき、

【数 3】

$$0.15 \leq \frac{\theta_a}{\theta_{max}} \leq 0.35$$

10

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 3】

前記微分値 dy () / d が前記極大値となる半画角 a よりも小さく 0 よりも大きい半画角 において、

【数 4】

$$\frac{y(\theta)}{\theta} > f$$

20

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

【数 5】

$$\frac{dy(\theta)}{d\theta} = \frac{y(\theta_{max})}{\theta_{max}}$$

30

を満足する半画角を b とするとき、

【数 6】

$$0.4 \leq \frac{\theta_b}{\theta_{max}} \leq 0.6$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 5】

前記最大半画角 max において、

40

【数 7】

$$0.03 \leq \frac{\frac{dy(\theta)}{d\theta}}{f} \leq 0.15$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 6】

前記複数のレンズは、前記開口絞りよりも拡大共役側に配置された第 1 の非球面レンズ

50

を含むことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 7】

前記第 1 の非球面レンズの近軸屈折力の符号が負であることを特徴とする請求項 6 に記載の光学系。

【請求項 8】

前記第 1 の非球面レンズは、拡大共役側に凸面を向けたメニスカスレンズであることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の光学系。

【請求項 9】

前記第 1 の非球面レンズの d 線に対する屈折率を n_1 とするとき、

【数 8】

$$\frac{n_1}{1.6} \geq 1.0$$

10

なる条件を満足することを特徴とする請求項 6 から 8 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 10】

前記複数のレンズは、前記第 1 の非球面レンズよりも縮小共役側に配置された第 2 の非球面レンズを含むことを特徴とする請求項 6 から 9 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 11】

前記第 2 の非球面レンズの近軸屈折力の符号が正であることを特徴とする請求項 10 に記載の光学系。

20

【請求項 12】

前記第 2 の非球面レンズは、拡大共役側に凸面を向けたメニスカスレンズであることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の光学系。

【請求項 13】

前記第 1 の非球面レンズの d 線に対する屈折率を n_1 、前記第 2 の非球面レンズの d 線に対する屈折率を n_2 とするとき、

【数 9】

$$\frac{n_2}{n_1} > 1.0$$

30

なる条件を満足することを特徴とする請求項 10 から 12 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 14】

前記第 1 及び第 2 の非球面レンズはそれぞれ、変曲点を有する非球面を含むことを特徴とする請求項 10 から 13 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 15】

前記第 1 及び第 2 の非球面レンズのうち少なくとも一方の前記非球面は、複数の変曲点を有することを特徴とする請求項 14 に記載の光学系。

40

【請求項 16】

前記開口絞りよりも拡大共役側に配置されたレンズの合成焦点距離を f_a とするとき、

【数 10】

$$\left| \frac{f}{f_a} \right| \leq 0.9$$

50

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 1 5 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 1 7】

前記複数のレンズのうち最も縮小共役側のレンズは、近軸屈折力および周辺部での屈折力の符号がともに正であることを特徴とする請求項 1 から 1 6 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 1 8】

【数 1 1】

$$\frac{\theta_{max}}{\pi} \geq \frac{7}{18}$$

10

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 1 7 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 1 9】

請求項 1 から 1 8 のいずれか一項に記載の光学系と、

該光学系を介して物体を撮像する撮像素子とを備えることを特徴とする撮像装置。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の撮像装置と、

該撮像装置により取得される前記物体の距離情報に基づいて、車両と前記物体との衝突可能性を判定する判定部とを備えることを特徴とする車載システム。

【請求項 2 1】

20

前記車両と前記物体との衝突可能性が有ると判定された場合に、前記車両の駆動部に制動力を発生させる制御信号を出力する制御装置を備えることを特徴とする請求項 2 0 に記載の車載システム。

【請求項 2 2】

前記車両と前記物体との衝突可能性が有ると判定された場合に、前記車両のユーザに対して警告を行う警告装置を備えることを特徴とする請求項 2 0 または 2 1 に記載の車載システム。

【請求項 2 3】

前記車両と前記物体との衝突に関する情報を外部に通知する通知装置を備えることを特徴とする請求項 2 0 から 2 2 のいずれか一項に記載の車載システム。

30

【請求項 2 4】

請求項 1 9 に記載の撮像装置を備え、該撮像装置を保持して移動可能であることを特徴とする移動装置。

【請求項 2 5】

前記撮像装置によって得られた前記物体の距離情報に基づいて前記物体との衝突可能性を判定する判定部を有することを特徴とする請求項 2 4 に記載の移動装置。

【請求項 2 6】

前記物体との衝突可能性が有ると判定された場合に、移動を制御する制御信号を出力する制御部を備えることを特徴とする請求項 2 5 に記載の移動装置。

【請求項 2 7】

40

前記物体との衝突可能性が有ると判定された場合に、前記移動装置のユーザに対して警告を行う警告部を備えることを特徴とする請求項 2 4 または 2 5 に記載の移動装置。

【請求項 2 8】

前記物体との衝突に関する情報を外部に通知する通知部を備えることを特徴とする請求項 2 4 から 2 7 のいずれか一項に記載の移動装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、車載カメラ等の撮像装置に好適な光学系に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

車載カメラは、車両の周辺の画像データを取得して他車両や障害物等の視認に利用されている。主として遠後方の他車両の視認に用いられるバックミラーに代えて用いられる車載カメラには、歪曲収差が補正された、 $y = f \times \tan$ に近い射影特性を有する光学系が適している。一方、主として車両近くの広範囲を監視するために用いられる車載カメラには、 $y = f \times$ (等距離射影)、 $y = 2 f \times \sin$ (/ 2) (等立体角射影) または $y = f \times \sin$ (正射影) の魚眼レンズが適している。ただし、これらの射影特性の魚眼レンズは結像倍率が低く、バックミラーの代わりとして用いることは難しい。このため、魚眼レンズと同等の広い画角を有し、かつ中心画角領域での結像倍率が大きい光学系が求められている。

10

特許文献 1 には、正射影方式よりも中心画角領域での結像倍率が大きい射影特性を有する中心窩レンズと称される光学系が開示されている。また特許文献 2 には、最大画角が不十分な特許文献 1 の光学系に比べて、より大きな最大画角 (半画角 90°) を有する中心窩レンズとしての光学系が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【文献】特開 2 0 0 4 - 3 5 4 5 7 2 号公報

【文献】特開 2 0 0 7 - 1 5 5 9 7 6 号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、特許文献 2 の光学系の広画角化に伴って、画像データを取得するための撮像素子のサイズが大きくなり、カメラが大型化する。

【 0 0 0 5 】

本発明は、十分な画角と中心画角領域での結像倍率とを有し、小型の撮像装置を構成することができるようにした光学系等を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一側面としての光学系は、拡大共役側から縮小共役側へ順に配置された、複数のレンズを有する前群と、開口絞りと、複数のレンズを有する後群とで構成される光学系であって、像面での像高 y と半画角との関係を表す光学系の射影特性を y ()、光学系の最大半画角を θ_{max} 、光学系の焦点距離を f 、前記開口絞りから最も縮小共役側のレンズ面までの光軸上での距離を D 、最も拡大共役側のレンズ面から前記最も縮小共役側のレンズ面までの光軸上の距離を L とするとき、

30

【 0 0 0 7 】

【数 1】

$$1 < \frac{f \times \sin \theta_{max}}{y(\theta_{max})} \leq 1.9$$

40

$$0.4 \leq \frac{D}{L} \leq 0.6$$

【 0 0 0 8 】

なる条件を満足する。さらに射影特性 y () の半画角での微分値 dy () / d が極大値を有することを特徴とする。なお、上記光学系を用いた撮像装置や、該撮像装置を用いた車載システムや移動装置も、本発明の他の一側面を構成する。

50

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、十分な画角と中心画角領域での結像倍率とを有し、小型の撮像装置を構成可能な光学系を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】実施例 1 の光学系の断面図。

【図 2】実施例 1 の光学系の射影特性を示す図。

【図 3】実施例 1 の光学系の非球面の曲率を示す図。

【図 4】実施例 1 の光学系の収差図。

10

【図 5】実施例 2 の光学系の断面図。

【図 6】実施例 2 の光学系の射影特性を示す図。

【図 7】実施例 2 の光学系の非球面の曲率を示す図。

【図 8】実施例 2 の光学系の収差図。

【図 9】実施例 3 の光学系の断面図。

【図 10】実施例 3 の光学系の射影特性を示す図。

【図 11】実施例 3 の光学系の非球面の曲率を示す図。

【図 12】実施例 3 の光学系の収差図。

【図 13】実施例 4 の光学系の断面図。

【図 14】実施例 4 の光学系の射影特性を示す図。

20

【図 15】実施例 4 の光学系の非球面の曲率を示す図。

【図 16】実施例 4 の光学系の収差図。

【図 17】各実施例の光学系を用いた車載システムのブロック図。

【図 18】車載システムを搭載した車両の要部概略図。

【図 19】車載システムの動作例を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

【 0 0 1 2 】

図 1、図 5、図 9 および図 13 はそれぞれ、実施例 1、2、3 および 4 の光学系 100 (A、B、C、D) を示している。各実施例の光学系 100 は、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、車載カメラ、携帯電話用カメラ、監視カメラ、ウェアラブルカメラ、医療用カメラ等の撮像装置に好適なものである。各図において、左側が拡大共役側 (物体側) であり、右側が縮小共役側 (像側) である。各実施例の光学系 100 は、拡大共役側に位置する不図示の物体からの光束を集光させて縮小共役側の像面 300 に物体像を形成する結像 (撮像) 光学系である。像面には、CCD センサや CMOS センサ等の撮像素子の撮像面 (受光面) が配置される。ただし、各実施例の光学系は、縮小共役側に配置された液晶パネル等の空間光変調素子からの光束を拡大共役側に配置されたスクリーン等の被投射面に投射するプロジェクタの投射光学系として使用することもできる。以下の説明では、光学系が、車載カメラの撮像光学系として用いられる場合について説明する。

30

40

【 0 0 1 3 】

各実施例の光学系 100 は、拡大共役側から縮小共役側へ順に配置された、複数のレンズを有する前群 101 (A ~ D) と、開口絞り ST と、複数のレンズを有する後群 102 (A ~ D) とにより構成されている。光学系 100 と像面 300 との間には、IR カットフィルタ 201 とカバーガラス 202 が配置されている。また、必要に応じてローパスフィルタ等を追加で配置してもよい、IR カットフィルタ 201 等を省略してもよい。

【 0 0 1 4 】

また、前群 101 と開口絞り ST との間および開口絞り ST と後群 102 との間にそれぞれ、軸外光束を制限するための絞りを配置してもよい。

【実施例 1】

50

【 0 0 1 5 】

図 1 に示す実施例 1 の光学系 1 0 0 A において、前群 1 0 1 A は、4 つのレンズ L 1、L 2、L 3、L 4 により構成されている。また、後群 1 0 2 A も、4 つのレンズ L 5、L 6、L 7、L 8 により構成されている。

【 0 0 1 6 】

前群 1 0 1 A (光学系 1 0 0 A) における最も拡大共役側のレンズ L 1 は、その拡大共役側と縮小共役側の両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 1 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力 (近軸パワー) は負である。

【 0 0 1 7 】

前群 1 0 1 A における拡大共役側から 2 番目のレンズ L 2 は、その両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 2 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力は正である。

10

【 0 0 1 8 】

前群 1 0 1 A における拡大共役側から 3 番目と 4 番目のレンズ L 3、L 4 はいずれも球面レンズであり、それぞれの屈折力は負と正である。

【 0 0 1 9 】

後群 1 0 2 A における最も拡大共役側、拡大共役側から 2 番目および 3 番目のレンズ L 5、L 6、L 7 はいずれも球面レンズであり、それぞれの屈折力は負、正、負である。

【 0 0 2 0 】

後群 1 0 2 A (光学系 1 0 0 A) における最も縮小共役側のレンズ (最終レンズ) L 8 は、その両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 3 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力は正である。

20

【 0 0 2 1 】

本実施例の光学系 1 0 0 A は、接合レンズを含まず、すべて単レンズにより構成されている。車載カメラは夏場に直射日光が当たる高温 (例えば 7 0 以上の) 環境に置かれ、冬場に氷点下の低温環境に置かれる可能性があり、接合レンズでは接合されたレンズ材料間の線膨張係数の差により剥がれが生じるおそれがあるため、単レンズのみを使用している。

【 0 0 2 2 】

表 1 は、本実施例の光学系 1 0 0 A の数値例を示している。(A) はレンズ構成を示しており、f は近軸焦点距離 (以下、単に焦点距離ともいう) (mm)、F n o は F ナンバーを示している。max は最大半画角 (°) を示している。また、拡大共役側から順に第 i 面の曲率半径 r (mm)、第 i 面と第 (i + 1) 面との間隔 d (mm)、各光学部材の d 線に対する屈折率 n と d 線を基準とするアッペ数 を示している。

30

【 0 0 2 3 】

アッペ数 は、フラウンホーファ線の d 線 (5 8 7 . 6 nm)、F 線 (4 8 6 . 1 nm)、C 線 (6 5 6 . 3 nm) における屈折率を N d、N F、N C とするとき、

$$= (N d - 1) / (N F - N C) \text{ で表される。}$$

【 0 0 2 4 】

S T は開口絞りの位置を示している。左側に * が付されたる面は、以下の式 (1) により表現される非球面形状を有する。h は光軸から径方向での座標、z は光軸方向での座標 (サグ量)、r は近軸曲率半径、k は円錐定数である。z の符号は、拡大共役側から縮小共役側へ向かう方向が正である。

40

【 0 0 2 5 】

【 数 2 】

$$z = \frac{\frac{h^2}{r}}{1 + \sqrt{1 - (1 + k) \left(\frac{h}{r} \right)^2}} + \sum_{j=1}^{16} B_j h^j \quad (1)$$

50

【 0 0 2 6 】

(B) に各非球面の円錐定数 k と非球面係数 B_4 、 B_6 、 B_8 、 B_{10} 、 B_{12} 、 B_{14} 、 B_{16} を示す。「 $E \pm x$ 」は、「 $10 \pm x$ 」を意味する。特に表記していない非球面係数については全て 0 である。上述した数値例に関する説明は、後述する他の実施例においても同じである。

【 0 0 2 7 】

本実施例の光学系 100A は、光軸と最軸外主光線とがなす角度、すなわち最大半画角 θ_{max} が $\theta_{max} / 2 (= 90^\circ)$ の光学系であり、魚眼レンズと同等の最大半画角を有する。しかも本実施例の光学系 100A は、魚眼レンズに比べて、中心付近の画角領域（以下、中心画角領域という）の結像倍率が大きい光学系である。

10

【 0 0 2 8 】

図 2 (A)、(B) はそれぞれ、本実施例の光学系 100A の射影特性と解像度特性を示している。なお、図 2 (A)、(B) では、画角の単位として、 $^\circ$ (deg) を用いている。

【 0 0 2 9 】

図 2 (A) に示す射影特性 $y(\theta)$ は、半画角（光軸と入射光線とがなす角度） θ と像面 300 上での結像高さ（像高） y との関係を表している。また、図 2 (B) は、半画角 θ における微小画角変化に対する結像高さ y の変化量、すなわち射影特性 $y(\theta)$ の半画角 θ での微分値 $dy(\theta)/d\theta$ を表している。微分値 $dy(\theta)/d\theta$ は、結像高さ y における局所的な解像度に相当し、その値が大きいほど局所的な解像度が高いことを示す。また、局所的な解像度が高いことは、局所的な結像倍率が大きいことを示す。以下の説明における解像度は、この局所的な解像度を意味する。

20

【 0 0 3 0 】

本実施例の光学系 100A は、その射影特性 $y(\theta)$ が、以下の条件式 (2) を満足することを特徴とする。 f は光学系 100A の焦点距離であり、 θ_{max} は最大半画角である。

【 0 0 3 1 】

【数 3】

$$1 < \frac{f \times \sin \theta_{max}}{y(\theta_{max})} \leq 1.9 \quad (2)$$

30

【 0 0 3 2 】

本実施例の光学系 100A は、一般的な魚眼レンズの射影方式のうち中心画角領域の解像度（以下、中心解像度という）が高い正射影方式（ $y(\theta) = f \times \sin \theta$ ）のものよりも、さらに高い中心解像度を有する。条件式 (2) の値が下限を下回ると、同じ最大結像高さを有する正射影方式の魚眼レンズよりも中心解像度が低くなったり、最大結像高さが大きくなって光学系の大型化を招いたりするため、好ましくない。

【 0 0 3 3 】

式 (2) の上限を上回ると、中央付近の解像度が高くなりすぎてしまい、魚眼レンズ同等の画角を得るのが困難となる、あるいは魚眼レンズ同等の画角を得られても高画角領域で良好な光学性能を維持できなくなるため好ましくない。なお、条件式 (2) の数値範囲を以下のようにするとより好ましい。

40

【 0 0 3 4 】

【数 4】

$$1 < \frac{f \times \sin \theta_{max}}{y(\theta_{max})} \leq 1.7 \quad (2)'$$

【 0 0 3 5 】

50

また、条件式(2)の数値範囲を以下のようにするとさらに好ましい。

【0036】

【数5】

$$1 < \frac{f \times \sin \theta_{\max}}{y(\theta_{\max})} \leq 1.4 \quad (2)''$$

【0037】

ここで、魚眼レンズと同等の広画角を得るためには、最大半画角 θ_{\max} が、以下の条件式(3)を満足することが好ましい。なお、条件式(3)では、画角の単位としてラジアンを用いている。

【0038】

【数6】

$$\frac{\theta_{\max}}{\pi} \geq \frac{7}{18} \quad (3)$$

【0039】

また、以下の条件式(3)、(3)'を満足すると、より魚眼レンズに近い広画角を得ることができる。

【0040】

【数7】

$$\frac{\theta_{\max}}{\pi} \geq \frac{4}{9} \quad (3)'$$

【0041】

【数8】

$$\frac{\theta_{\max}}{\pi} \geq \frac{1}{2} \quad (3)''$$

【0042】

本実施例の光学系100Aは、中心解像度の低下を防ぐために、低画角領域において光学歪曲を抑制するように、通常の撮像用の光学系の射影特性($y = f \times \tan \theta$)に近い特性を有する。図2(B)から分かるように、低画角領域においては光軸上(画角0)の解像度よりも高い解像度が得られるようになっている。

【0043】

また、低画角領域において光学歪曲が抑制されることで撮像画像の中心付近の歪みが小さくなるため、先行車や後続車両といった他車両等の検出精度を向上させることができる。しかも、バックミラーの代わりに低画角領域の撮像画像をモニターに映す場合には、目視による自然な遠近感が得られるとともに、電子的な歪曲補正を行う必要をなくしたり補正量を小さくしたりすることができ、画質の劣化を抑えて良好な視認性を得ることができる。

【0044】

本実施例の光学系100Aでは、低画角領域では光軸上から画角の増加に伴って解像度が増加していき、高画角領域では画角の増加に伴って解像度が低下していく。このため、図2(B)に示すように、低画角領域と高画角領域との境界である半画角 α において、

10

20

30

40

50

解像度が極大値を有する。

逆に言えば、半画角 α において解像度が極大値を有するように光学系 100A を構成することで、画角の増加に伴って、低画角領域では解像度が増加し、高画角領域では解像度が低下する射影特性を実現することができる。解像度（微分値 $dy(\quad)/d(\quad)$ ）が極大値となる半画角 α は、以下の条件式（4）を満足することが好ましい。

【0045】

【数9】

$$0.15 \leq \frac{\theta_a}{\theta_{max}} \leq 0.35 \quad (4)$$

10

【0046】

条件式（4）の値が下限を下回ると、高い解像度を有する低画角領域が狭くなりすぎるため、好ましくない。また、条件式（4）の値が上限を上回ると、高い解像度を有する低画角範囲が広くなりすぎて、魚眼レンズと同等の画角を得ることが難しくなったり魚眼レンズと同等の画角を得られても高画角領域で良好な光学性能を維持することが難しくなったりするため、好ましくない。

なお、条件式（4）の数値範囲を以下のようにするとより好ましい。

【0047】

【数10】

$$0.15 \leq \frac{\theta_a}{\theta_{max}} \leq 0.30 \quad (4)'$$

20

【0048】

また、条件式（4）の数値範囲を以下のようにするとさらに好ましい。

【0049】

【数11】

$$0.16 \leq \frac{\theta_a}{\theta_{max}} \leq 0.25 \quad (4)''$$

30

【0050】

また、光軸上（画角0）を除き、解像度が極大値となる半画角 α よりも小さい半画角において、光学系 100A の射影特性 $y(\quad)$ は以下の条件式（5）を満足することが好ましい。

【0051】

【数12】

$$\frac{y(\theta)}{\theta} > f \quad (5)$$

40

【0052】

条件式（5）を満足しなければ、低画角領域の解像度が低下するため、好ましくない。ここで、光軸上を除くのは、どのような射影特性であっても原理的に $y(\quad)/\quad$ が光軸上では f と等しくなるためである。本実施例では、半画角が α よりも小さい画角領域では、 $y(\quad) = f \times \tan \quad$ であるので、条件式（5）を満足している。

【0053】

50

また、低画角領域の高解像度と魚眼レンズと同等の広画角を得るためには、

【 0 0 5 4 】

【数 1 3 】

$$\frac{dy(\theta)}{d\theta} = \frac{y(\theta_{max})}{\theta_{max}} \quad (6)$$

【 0 0 5 5 】

を満足する半画角 θ_b が以下の条件式 (7) を満足することが好ましい。

10

【 0 0 5 6 】

【数 1 4 】

$$0.4 \leq \frac{\theta_b}{\theta_{max}} \leq 0.6 \quad (7)$$

【 0 0 5 7 】

条件式 (6) の右辺は、最大結像高さ $y(\theta_{max})$ を最大半画角 θ_{max} で除した値であり、平均解像度を表す。したがって、半画角 θ_b とは、実際の解像度が平均解像度と等しくなる半画角である。平均解像度と一致する半画角 θ_b が、最大半画角の 1 / 2 近傍になるようにすることで、低画角領域の解像度と高画角領域の解像度とのバランスを良くし、魚眼レンズと同等の広画角を得ながら、低画角領域での高い解像度と良好な光学性能を得ることができる。

20

【 0 0 5 8 】

条件式 (7) の値が下限を下回ると、高い解像度を有する低画角領域が狭くなりすぎるため、好ましくない。また、条件式 (7) の値が上限を上回ると、魚眼レンズと同等の広画角を得ることが難しくなったり、魚眼レンズと同等の広画角を得られても高画角領域で良好な光学性能を維持することが難しくなったりするため、好ましくない。

【 0 0 5 9 】

なお、条件式 (7) の数値範囲を以下のようにするとより好ましい。

30

【 0 0 6 0 】

【数 1 5 】

$$0.4 \leq \frac{\theta_b}{\theta_{max}} \leq 0.5 \quad (7)'$$

【 0 0 6 1 】

一般的な魚眼レンズの射影方式のうち中心解像度が高い正射影方式では、本実施例と同じ最大半画角 θ_{max} が $\theta_{max}/2$ である場合には、最周辺画角 (最大半画角 θ_{max}) での解像度が 0 になる。しかし、車両の周辺の監視に使用される車載カメラにおいて最周辺画角の解像度が 0 では好ましくない。これに対して、本実施例の光学系 100A は、最大半画角 θ_{max} が $\theta_{max}/2$ であるときの最周辺画角においても解像度が 0 とならず、一定以上の解像度を確保できるように構成されている。具体的には、最大半画角 θ_{max} に対応する画角 (最周辺画角) での解像度 (微分値 $dy(\theta)/d\theta$) が、以下の条件式 (8) を満足することが好ましい。

40

【 0 0 6 2 】

【数 1 6 】

$$0.03 \leq \frac{\frac{dy(\theta)}{d\theta}}{f} \leq 0.15 \quad (8)$$

【 0 0 6 3 】

条件式 (8) の値が下限を下回ると、最周辺画角での解像度が低くなりすぎるため、好ましくない。また、条件式 (8) の値が上限を上回ると、最周辺画角での解像度が高くなり、高い解像度を有する画角範囲が狭くなりすぎるため、好ましくない。

10

なお、条件式 (8) の数値範囲を以下のようにするとより好ましい。

【 0 0 6 4 】

【 数 1 7 】

$$0.03 \leq \frac{\frac{dy(\theta)}{d\theta}}{f} \leq 0.12 \quad (8)'$$

【 0 0 6 5 】

また、条件式 (8) の数値範囲を以下のようにするとさらに好ましい。

20

【 0 0 6 6 】

【 数 1 8 】

$$0.03 \leq \frac{\frac{dy(\theta)}{d\theta}}{f} \leq 0.10 \quad (8)''$$

【 0 0 6 7 】

また、本実施例の光学系 1 0 0 A においては、上述したような射影特性を実現するために、開口絞り S T よりも拡大縮小側に配置された前群 1 0 1 A が第 1 の非球面レンズ L 1 を有することが好ましい。第 1 の非球面レンズ L 1 により、像面湾曲等の軸外収差を良好に補正することができる。さらに第 1 の非球面レンズ L 1 の近軸屈折力が負であることが好ましい。これにより、魚眼レンズと同等の広画角を得つつ、軸外収差をより補正し易くすることができる。

30

【 0 0 6 8 】

また、本実施例の光学系 1 0 0 A において、軸外収差をより効果的に補正するために、第 1 の非球面レンズ L 1 よりも縮小共役側に第 2 の非球面レンズ L 2 を有することが好ましい。さらに第 2 の非球面レンズ L 2 の近軸屈折力が正であることが好ましい。これにより、中心解像度を高めつつ、軸外収差をより補正し易くすることができる。

40

【 0 0 6 9 】

また、第 1 の非球面レンズ L 1 と第 2 の非球面レンズ L 2 は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズであることが好ましい。これにより、像面湾曲を補正する上で有利となる。

【 0 0 7 0 】

図 3 は、レンズ L 1 の非球面 (1 面、 2 面) とレンズ L 2 の非球面 (3 面、 4 面) の径方向位置ごとの曲率を示す。各図において破線円で囲まれた箇所は、曲率の正負が反転する変曲点 (径方向位置なので光軸を中心とした円) を示している。

【 0 0 7 1 】

50

前述したように本実施例の光学系 100A は、低画角領域においては光学歪曲を抑制して通常の撮像用の光学系の射影特性 ($y = f \times \tan$) に近い射影特性を持つ。この場合、レンズ L1、L2 のそれぞれにおいて、少なくとも 1 つの非球面が変曲点を有することで、低画角領域での射影特性を $f \times \tan$ により近づけて光学歪曲を抑制し易くなるため、好ましい。

【0072】

さらにこれらの非球面の少なくとも 1 つ (例えば 1 面と 2 面) が変曲点を複数有するようにすると、最大半画角 \max における解像度を高くし易くなるため、より好ましい。

【0073】

レンズ L1 の d 線に対する屈折率 n_1 は、以下の条件式 (9) を満足することが好ましい。

10

【0074】

【数 19】

$$\frac{n_1}{1.6} \geq 1.0 \quad (9)$$

【0075】

レンズ L1 は、その拡大共役側の面が凸面であるメニスカス形状を有するため、条件式 (9) を満足しないようにレンズ L1 の屈折率が低いと、メニスカス形状のサグ量や非球面量の増加に繋がって加工難易度が上がるため、好ましくない。また、光路長の短縮や光学系の小径化といった小型化の観点からも好ましくない。

20

【0076】

レンズ L2 の d 線に対する屈折率 n_2 は、以下の条件式 (10) を満足することが好ましい。

【0077】

【数 20】

$$\frac{n_2}{n_1} > 1.0 \quad (10)$$

30

【0078】

前述したように、レンズ L1 の近軸屈折力は負で、レンズ L2 の近軸屈折力は正である。したがって、ベッツバル和を低減するうえで、レンズ L2 の屈折率 n_2 は、レンズ L1 の屈折率 n_1 よりも大きいことが好ましい。

【0079】

また、中心解像度を高めつつ魚眼レンズと同等の画角を得るために、前群 101A の (近軸) 焦点距離 f_a は、以下の条件式 (11) を満足することが好ましい。

【0080】

【数 21】

$$\left| \frac{f}{f_a} \right| \leq 0.9 \quad (11)$$

40

【0081】

条件式 (11) の値が上限を超えると、正射影方式の魚眼レンズよりも中心解像度が低くなったり、魚眼レンズと同等の広画角を得ること又は魚眼レンズと同等の広画角を得られても高画角領域で良好な光学性能を維持することが難しくなったりするため、好ましくない。

【0082】

50

また、前群 1 0 1 A のうち最も縮小共役側のレンズ L 4 は、縮小共役側に凸面を向けたレンズであることが好ましい。高画角の軸外光束では、レンズ L 1 で大きく光束が曲げられた際にコマ収差が発生するが、このコマ収差をより良好に補正する上でレンズ L 4 を上記のようなレンズとすることが好ましい。

【 0 0 8 3 】

また、後群 1 0 2 A のうち最も縮小共役側のレンズ L 8 の屈折力は正であることが好ましい。レンズ L 8 は軸外光線高さが大きい最も縮小共役側のレンズであるので、レンズ L 8 の屈折力が正であることで、高画角領域における像面 3 0 0 に対する光線の入射角を小さくすることができる。この結果、良好な光学性能と高い中心解像度を有しつつ、魚眼レンズと同等の広画角を得易くすることができる。

10

【 0 0 8 4 】

また、レンズ L 8 を非球面レンズとすることは、像面湾曲等の軸外収差をより良好に補正する上で効果的であるため、好ましい。ただし、レンズ L 8 を非球面レンズとする場合には、高画角領域における像面 3 0 0 に対する光線の入射角を小さくする効果を維持するために、周辺部においても正の屈折力を有するような非球面レンズとすることが必要である。

【 0 0 8 5 】

また、後群 1 0 2 A において、レンズ L 8 よりも拡大共役側に配置されたレンズ L 6 とレンズ L 7 はそれぞれ、正と負の屈折力を有することが好ましい。像面 3 0 0 上に物体像を形成する光学系 1 0 0 A の全長を短縮して光学系 1 0 0 A を小型化するためには、後群 1 0 2 A 全体としての焦点距離が正となる必要がある。このため、後群 1 0 2 A に屈折力が正のレンズが必要であるが、後群 1 0 2 A を構成するすべてのレンズの屈折力が正であると、例えば後群 1 0 2 A を構成するすべてのレンズで発生する球面収差が加算される。また、コマ収差等の軸外収差については、レンズ L 8 の屈折力が正であるときには、屈折力が負のレンズを軸外光線高さが大きい位置に配置する方が軸外収差の補正上、効果的である。したがって、拡大共役側のレンズ L 6 の屈折力を正とし、縮小共役側のレンズ L 7 の屈折力を負とすることが好ましい。

20

【 0 0 8 6 】

また、レンズ L 5 については、前群 1 0 1 A の焦点距離 f_a の符号に応じて、屈折力を決めることが好ましい。本実施例では、前群 1 0 1 A の焦点距離 f_a が正であるので、レンズ L 5 の屈折力は反対に負としている。これにより、前群 1 0 1 A の残存球面収差をレンズ L 5 で補正することができ、より良好な光学性能を得易くなる。

30

【 0 0 8 7 】

また、前述したように、レンズ L 8 は高画角領域における像面 3 0 0 に対する光線の入射角を小さくする効果を有する。そこで、開口絞り S T からレンズ L 8 の縮小共役側の面までの光軸上の距離を D 、光学系 1 0 0 A の全長（レンズ L 1 の拡大共役側の面からレンズ L 8 の縮小共役側の面までの光軸上の距離）を L とするとき、以下の条件式（ 1 2 ）を満足することが好ましい。

【 0 0 8 8 】

【数 2 2】

$$0.4 \leq \frac{D}{L} \leq 0.6 \quad (12)$$

40

【 0 0 8 9 】

この条件式（ 1 2 ）を満足することで、光学系 1 0 0 A の径方向において小型化しつつ、レンズ L 8 における軸外光線高さを大きくできるため、好ましい。条件式（ 1 2 ）の値が上限を上回ると、開口絞り S T が拡大共役側に位置するためにレンズ L 8 における軸外光線高さは大きくし易いが、レンズ L 8 の径が大きくなるため、好ましくない。条件式（ 1 2 ）の値が下限を下回ると、開口絞り S T が縮小共役側に位置するためにレンズ L 8 に

50

おける軸外光線高さが大きくし難く、またレンズ L 1 の径が大きくなるため、好ましくない。

なお、条件式 (1 2) の数値範囲を以下のようにするとより好ましい。

【 0 0 9 0 】

【 数 2 3 】

$$0.4 \leq \frac{D}{L} \leq 0.5 \quad (12)'$$

【 0 0 9 1 】

図 4 は、本実施例の光学系 1 0 0 A の縦収差（球面収差、非点収差、歪曲および倍率色収差）を示す。球面収差図において、F n o は F ナンバーを示し、実線は d 線（波長 5 8 7 . 6 n m ）に対する球面収差を、二点鎖線は C 線（波長 6 5 6 . 3 n m ）に対する球面収差を、一点鎖線は F 線（ 4 8 6 . 1 n m ）の球面収差をそれぞれ示している。非点収差図において、実線 S はサジタル像面を、破線 M はメリディオナル像面を示している。非点収差図において、サジタル像面とメリディオナル像面の差が非点収差であり、個々のうねりが像面湾曲を示す。歪曲は d 線に対するものを示している。色収差図は C 線と F 線における倍率色収差を示している。 θ は半画角（°）である。球面収差図と非点収差図の横軸は $\pm 0 . 2 \text{ mm}$ 、歪曲収差図の横軸は $\pm 1 0 0 \%$ 、色収差図の横軸は $\pm 0 . 0 1 \text{ mm}$ である。これらの収差図の説明は、後述する他の実施例でも同じである。

【 0 0 9 2 】

図 4 から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 A では、球面収差、像面湾曲、非点収差および倍率色収差が良好に補正されている。一方、歪曲については、低画角領域では小さく、高画角領域では結像高さが高くなるほど大きくなっており、低画角領域では高解像度を確保するために $y = f \times \tan \theta$ に近い特性となっている。

【 0 0 9 3 】

表 2 は、本実施例（数値例）におけるパラメータの値と、上述した各条件式（ただし、条件式 (5) を除く）の値をまとめて示している。表 2 から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 A はいずれの条件式も満足している。このため、本実施例の光学系 1 0 0 A は、高い中心解像度と魚眼レンズと同等の広画角を有しつつ、良好な光学性能を有する。

【 実施例 2 】

【 0 0 9 4 】

図 5 に示す実施例 2 の光学系 1 0 0 B の基本的構成は、実施例 1 の光学系 1 0 0 A と同じであり、実施例 1 の光学系 1 0 0 A の構成要素に対応する構成要素には同一符号を付している。

【 0 0 9 5 】

前群 1 0 1 B は、4 つのレンズ L 1 ~ L 4 により構成されている。レンズ L 1 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ（第 1 の非球面レンズ）であり、近軸屈折力は負である。レンズ L 2 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ（第 2 の非球面レンズ）であり、近軸屈折力は正である。レンズ L 3、L 4 は球面レンズであり、それぞれの屈折力は負と正である。

【 0 0 9 6 】

後群 1 0 2 B は、4 つのレンズ L 5 ~ L 8 により構成されている。レンズ L 5、L 6、L 7 は球面レンズであり、それぞれの屈折力は正、正および負である。レンズ L 5 の屈折力の符号が実施例 1 と異なるのは、本実施例における前群 1 0 1 A の焦点距離 f_a の符号が実施例 1 と逆だからである。

【 0 0 9 7 】

レンズ L 8 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ（第 3 の非球面レンズ）であり、近軸屈折力は正である。また、レンズ L 8 は、実施例 1 と同様に、周辺部においても正の屈折力を有する。

【 0 0 9 8 】

表 3 は、本実施例の光学系 1 0 0 B の数値例を示している。本実施例の光学系 1 0 0 B は、最大半画角 \max が $\quad / 2$ の光学系であり、魚眼レンズと同等の最大半画角を有する。

【 0 0 9 9 】

図 6 (A)、(B) はそれぞれ、本実施例の光学系 1 0 0 B の射影特性と解像度特性を示している。これらの図から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 B は、魚眼レンズと同等の広画角を有しながら、魚眼レンズよりも中心解像度が高い光学系となっている。

【 0 1 0 0 】

図 7 は、レンズ L 1 の非球面 (1 面、2 面) とレンズ L 2 の非球面 (3 面、4 面) の径方向位置ごとの曲率を示す。本実施例では、1 面、2 面および 3 面が変曲点を有し、2 面と 3 面が変曲点を 2 つ有する。実施例 1 とは変曲点を 2 つ有する面が異なるが、得られる効果は同様である。

10

【 0 1 0 1 】

図 8 は、本実施例の光学系 1 0 0 B の縦収差を示す。この図から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 B では、球面収差、像面湾曲、非点収差および倍率色収差が良好に補正されている。一方、歪曲については、低画角領域では小さく、高画角領域では結像高さが高くなるほど大きくなっており、低画角領域では高解像度を確保するために $y = f \times \tan$ に近い特性となっている。

【 0 1 0 2 】

20

表 4 は、本実施例 (数値例) におけるパラメータの値と、上述した各条件式 (ただし、条件式 (5) を除く) の値をまとめて示している。表 4 から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 B はいずれの条件式も満足している。このため、本実施例の光学系 1 0 0 B は、高い中心解像度と魚眼レンズと同等の広画角を有しつつ、良好な光学性能を有する。

【 実施例 3 】

【 0 1 0 3 】

図 9 に示す実施例 3 の光学系 1 0 0 C は、前群 1 0 1 C が最も拡大共役側に配置されたカバーガラスレンズ G L と 3 つのレンズ L 1 ~ L 3 により構成されている点が実施例 1、2 と異なる。カバーガラスレンズ G L は、レンズ L 1 を保護するためのカバーガラスの役割を持つとともに屈折力を有するレンズでもある。このため、カバーガラスレンズ G L が無いと、光学系 1 0 0 C の光学性能が担保されない。しかし、カバーガラスレンズ G L は、これが破損したり傷が付いたりした場合に容易に交換できるように、配置誤差に対して鈍感に設計されている。

30

【 0 1 0 4 】

レンズ L 1 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 1 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力は負である。レンズ L 2 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 2 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力は正である。レンズ L 3 は球面レンズであり、屈折力は負である。

【 0 1 0 5 】

後群 1 0 2 C は、4 つのレンズ L 4 ~ L 7 で構成されている。レンズ L 4、L 5、L 6 は球面レンズであり、それぞれの屈折力は正、正および負である。最終レンズとしてのレンズ L 7 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 3 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力は正である。また、レンズ L 7 は、実施例 1、2 のレンズ L 8 と同様に周辺部においても正の屈折力を有する。

40

【 0 1 0 6 】

本実施例では、カバーガラスレンズ G L を設けたことによる光学系 1 0 0 C の全長の増加を抑えるために、前群 1 0 1 C がカバーガラスレンズ G L を含めた 4 つのレンズにより構成されている。また、実施例 1、2 とは異なり、前群 1 0 1 C のうち最も縮小共役側に配置されたレンズ L 3 の屈折力は負であるが、縮小共役側に凸面を有する点は実施例 1、2 と同様であり、コマ収差をより良好に補正する上で好ましい。

50

【 0 1 0 7 】

表 5 は、本実施例の光学系 1 0 0 C の数値例を示している。本実施例の光学系 1 0 0 C は、最大半画角 \max が $\quad / 2$ の光学系であり、魚眼レンズと同等の最大半画角を有する。

【 0 1 0 8 】

図 1 0 (A)、(B) はそれぞれ、本実施例の光学系 1 0 0 C の射影特性と解像度特性を示している。これらの図から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 C は、魚眼レンズと同等の広画角を有しながら、魚眼レンズよりも中心解像度が高い光学系となっている。

【 0 1 0 9 】

図 1 1 は、レンズ L 1 の非球面 (3 面、4 面) とレンズ L 2 の非球面 (5 面、6 面) の径方向位置ごとの曲率を示す。本実施例では、3 面、4 面および 5 面が変曲点を有し、4 面と 5 面が変曲点を 2 つ有する。実施例 1 とは変曲点を 2 つ有する面が異なるが、得られる効果は同様である。

10

【 0 1 1 0 】

図 1 2 は、本実施例の光学系 1 0 0 C の縦収差を示す。この図から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 C では、球面収差、像面湾曲、非点収差および倍率色収差が良好に補正されている。一方、歪曲については、低画角領域では小さく、高画角領域では結像高さが高くなるほど大きくなっており、低画角領域では高解像度を確保するために $y = f \times \tan$ に近い特性となっている。

【 0 1 1 1 】

20

表 6 は、本実施例 (数値例) におけるパラメータの値と、上述した各条件式 (ただし、条件式 (5) を除く) の値をまとめて示している。表 6 から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 C はいずれの条件式も満足している。このため、本実施例の光学系 1 0 0 C は、高い中心解像度と魚眼レンズと同等の広画角を有しつつ、良好な光学性能を有する。

【 実施例 4 】

【 0 1 1 2 】

図 1 3 に示す実施例 4 の光学系 1 0 0 D は、第 3 の非球面レンズを有さず、後群 1 0 2 D のうち最も縮小共役側に球面レンズ L 7 が配置されている点が、他の実施例と異なっている。

【 0 1 1 3 】

30

前群 1 0 1 D は、3 つのレンズ L 1 ~ L 3 により構成されている。レンズ L 1 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 1 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力は負である。レンズ L 2 は、両面が非球面で構成された非球面レンズ (第 2 の非球面レンズ) であり、近軸屈折力は正である。レンズ L 3 は、球面レンズであり、屈折力は正である。

【 0 1 1 4 】

後群 1 0 2 D は、4 つのレンズ L 4 ~ L 7 により構成されている。レンズ L 4 ~ L 7 は球面レンズであり、それぞれの屈折力は正、正、負および正である。本実施例では、前群 1 0 1 D を 3 つのレンズにより構成すると共に、後群 1 0 2 D に第 3 の非球面レンズの代わりに屈折力が正の球面レンズ (最終レンズ) L 7 を配置している。

【 0 1 1 5 】

40

レンズ L 7 は、球面レンズであるので、周辺部においても正の屈折力を有する。このようなレンズ L 7 を設けることは、高画角領域における像面 3 0 0 に対する光線の入射角を小さくすることができ、高い中心解像度を有しながら魚眼レンズと同等の広画角を得る上で好ましい。

【 0 1 1 6 】

また、前群 1 0 1 D のうち最も縮小共役側に配置されたレンズ L 3 は、縮小共役側に凸面を有しており、他の実施例と同様にコマ収差をより良好に補正する上で好ましい。

【 0 1 1 7 】

表 7 は、本実施例の光学系 1 0 0 D の数値例を示している。本実施例の光学系 1 0 0 D は、最大半画角 \max が $\quad / 2$ の光学系であり、魚眼レンズと同等の最大半画角を有す

50

る。

【 0 1 1 8 】

図 1 4 (A)、(B) はそれぞれ、本実施例の光学系 1 0 0 D の射影特性と解像度特性を示している。これらの図から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 D は、魚眼レンズと同等の広画角を有しながら、魚眼レンズよりも中心解像度が高い光学系となっている。

【 0 1 1 9 】

図 1 5 は、レンズ L 1 の非球面 (1 面、2 面) とレンズ L 2 の非球面 (3 面、4 面) の径方向位置ごとの曲率を示す。本実施例では、1 面、2 面および 3 面が変曲点を有し、2 面と 3 面が変曲点を 2 つ有する。実施例 1 とは変曲点を 2 つ有する面が異なるが、得られる効果は同様である。

10

【 0 1 2 0 】

図 1 6 は、本実施例の光学系 1 0 0 D の縦収差を示す。この図から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 D では、球面収差、像面湾曲、非点収差および倍率色収差が良好に補正されている。一方、歪曲についても、低画角領域では小さく、高画角領域では結像高さが高くなるほど大きくなっており、低画角領域では高解像度を確保するために $y = f \times \tan$ に近い特性となっている。

【 0 1 2 1 】

表 8 は、本実施例 (数値例) におけるパラメータの値と、上述した各条件式 (ただし、条件式 (5) を除く) の値をまとめて示している。表 8 から分かるように、本実施例の光学系 1 0 0 D はいずれの条件式も満足している。このため、本実施例の光学系 1 0 0 D は、高い中心解像度と魚眼レンズと同等の広画角を有しつつ、良好な光学性能を有する。

20

【 0 1 2 2 】

30

40

50

【表 1】

(A)

f	4.500
Fno	2.80
θ max	90.00

	面番号	近軸曲率半径 r[mm]	面間隔 d[mm]	屈折率 n	アッベ数 ν
※	1	673.216	1.500	1.639	55.18
※	2	3.891	1.910	-	-
※	3	3.800	1.500	1.851	40.10
※	4	4.102	1.520	-	-
	5	-9.056	1.000	1.516	64.14
	6	-245.041	0.570	-	-
	7	8.223	2.720	1.517	52.43
	8	-5.729	0.860	-	-
ST	9	∞	0.880	-	-
	10	-28.702	1.180	1.487	70.24
	11	-123.859	0.400	-	-
	12	9.674	2.730	1.691	54.82
	13	-4.669	0.360	-	-
	14	-3.624	1.000	1.946	17.98
	15	-8.094	0.200	-	-
※	16	19.772	2.830	1.583	59.46
※	17	-150.000	1.206	-	-
	18	∞	0.650	1.560	56.00
	19	∞	1.640	-	-
	20	∞	0.300	1.500	63.00
	21	∞	0.040	-	-

(B)

	面番号					
	1	2	3	4	16	17
r	673.216	3.891	3.800	4.102	19.772	-150.000
k	0.00000	-2.12236	-1.76657	-0.73921	0.00000	0.00000
B4	3.33010E-03	-2.66398E-03	-9.36149E-03	-1.04629E-02	-1.92717E-03	-3.80749E-03
B6	-1.25131E-04	1.10594E-03	1.91416E-04	1.30994E-03	-5.43966E-05	-4.81998E-04
B8	2.08087E-06	-1.35740E-04	2.76873E-05	-1.29304E-04	9.61424E-06	6.83424E-05
B10	-1.87333E-08	7.22769E-06	-1.72835E-06	3.20614E-05	-6.17775E-08	-4.20387E-06
B12	1.11670E-10	-1.83743E-07	2.77976E-08	-4.70351E-06	-4.26187E-09	1.38448E-07
B14	-4.14149E-13	1.85358E-09	0.00000E+00	4.45939E-07	0.00000E+00	-1.73331E-09
B16	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.83202E-08	0.00000E+00	0.00000E+00

【 0 1 2 3 】

10

20

30

40

50

【表 2】

パラメータ	値
f	4.500
$\theta \max$	1.571
θa	0.262
θb	0.664
$y(\theta \max)$	3.650
$dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta \max}$	0.433
n_1	1.639
n_2	1.851
f_a	14.431
D	9.580
L	21.160
$f \times \sin \theta \max / y(\theta \max)$	1.233
$\theta \max / \pi$	0.500
$\theta a / \theta \max$	0.167
$\theta b / \theta \max$	0.422
$(dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta \max})/f$	0.096
$n_1/1.6$	1.024
n_2/n_1	1.130
$ f/f_a $	0.312
D/L	0.453

【 0 1 2 4 】

【表 3】

(A)

f	4.867
Fno	2.80
θ max	90.00

	面番号	近軸曲率半径 r[mm]	面間隔 d[mm]	屈折率 n	アッベ数 ν
※	1	8.491	1.500	1.639	55.18
※	2	2.416	1.715	-	-
※	3	3.200	1.518	1.851	40.10
※	4	4.052	1.255	-	-
	5	-34.666	2.500	1.654	39.68
	6	9.036	0.232	-	-
	7	696.856	1.879	1.883	40.81
	8	-14.322	0.484	-	-
ST	9	∞	0.200	-	-
	10	14.748	1.894	1.583	59.37
	11	-5.566	0.200	-	-
	12	9.849	2.712	1.516	64.14
	13	-11.000	0.200	-	-
	14	-7.000	1.000	1.855	24.80
	15	16.551	0.200	-	-
※	16	7.835	3.428	1.583	59.46
※	17	-11.643	1.635	-	-
	18	∞	0.900	1.560	56.00
	19	∞	0.550	-	-
	20	∞	0.800	1.517	64.17
	21	∞	0.200	-	-

(B)

	面番号					
	1	2	3	4	16	17
r	8.491	2.416	3.200	4.052	7.835	-11.643
k	0.00000	-2.88107	-1.10652	-0.29446	-1.84211	-32.91100
B4	1.97947E-03	1.91580E-02	-6.50950E-04	-1.01493E-03	-7.77882E-04	-1.57331E-03
B6	-1.87497E-04	-1.88903E-03	1.92553E-04	4.26202E-04	2.73724E-05	-1.57782E-04
B8	5.60779E-06	6.15352E-05	-1.53464E-04	-5.16259E-04	1.23280E-06	1.27170E-05
B10	-8.06786E-08	-5.09265E-07	1.27757E-05	1.27780E-04	-9.23138E-08	-5.84745E-08
B12	4.43120E-10	-4.59904E-09	-3.08003E-07	-1.47735E-05	0.00000E+00	-1.94889E-08
B14	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.05423E-07	0.00000E+00	4.72725E-10
B16	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.23269E-08	0.00000E+00	0.00000E+00

【 0 1 2 5 】

10

20

30

40

50

【表 4】

パラメータ	値
f	4.867
θ_{\max}	1.571
θ_a	0.305
θ_b	0.722
$y(\theta_{\max})$	4.365
$dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta_{\max}}$	0.172
n_1	1.639
n_2	1.851
f_a	-10.398
D	9.833
L	20.915
$f \times \sin \theta_{\max} / y(\theta_{\max})$	1.115
θ_{\max} / π	0.500
θ_a / θ_{\max}	0.194
θ_b / θ_{\max}	0.460
$(dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta_{\max}})/f$	0.035
$n_1/1.6$	1.024
n_2/n_1	1.130
$ f/f_a $	0.468
D/L	0.470

【 0 1 2 6 】

10

20

30

40

50

【表 5】

(A)

f	4.853
Fno	2.80
θ max	90.00

	面番号	近軸曲率半径 r[mm]	面間隔 d[mm]	屈折率 n	アッペ数 ν
	1	30.000	1.000	1.703	52.38
	2	15.595	1.500	-	-
※	3	6.833	1.500	1.808	40.55
※	4	2.745	1.558	-	-
※	5	3.700	1.941	1.832	40.10
※	6	4.100	1.474	-	-
	7	-11.809	3.000	1.855	24.80
	8	-26.847	0.200	-	-
ST	9	∞	0.200	-	-
	10	7.794	1.000	1.734	51.47
	11	-12.431	0.922	-	-
	12	8.061	2.098	1.487	70.24
	13	-8.436	1.296	-	-
	14	-3.734	1.000	1.946	17.98
	15	-8.428	0.200	-	-
※	16	6.753	2.612	1.487	70.24
※	17	-50.000	0.960	-	-
	18	∞	0.800	1.516	64.14
	19	∞	0.800	-	-
	20	∞	0.500	1.516	64.14
	21	∞	0.440	-	-

(B)

	面番号					
	3	4	5	6	16	17
r	6.833	2.745	3.700	4.100	6.753	-50.000
k	0.00000	-3.91447	-1.38194	0.76082	0.00000	0.00000
B4	1.38270E-03	1.97522E-02	-2.61681E-03	-6.18885E-03	-1.65054E-03	1.40271E-03
B6	-1.66387E-04	-3.05346E-03	-8.68195E-05	-3.06588E-04	0.00000E+00	-5.75637E-04
B8	4.18076E-06	3.70321E-04	-7.05235E-05	-6.38418E-06	0.00000E+00	4.96769E-05
B10	2.63823E-08	-4.24848E-05	7.37728E-06	-1.69362E-07	0.00000E+00	-2.59682E-06
B12	-3.56383E-09	3.65067E-06	-1.79414E-07	7.19174E-07	0.00000E+00	7.89420E-08
B14	4.48054E-11	-1.85041E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.01998E-09
B16	0.00000E+00	3.96447E-09	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

【 0 1 2 7 】

10

20

30

40

50

【表 6】

パラメータ	値
f	4.853
θ_{\max}	1.57
θ_a	0.253
θ_b	0.732
$y(\theta_{\max})$	4.345
$dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta_{\max}}$	0.361
n_1	1.703
n_2	1.808
f_a	-5.880
D	9.328
L	21.500
$f \times \sin \theta_{\max} / y(\theta_{\max})$	1.117
θ_{\max} / π	0.500
θ_a / θ_{\max}	0.161
θ_b / θ_{\max}	0.466
$(dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta_{\max}})/f$	0.074
$n_1/1.6$	1.064
n_2/n_1	1.062
$ f/f_a $	0.825
D/L	0.434

【 0 1 2 8 】

10

20

30

40

50

【表 7】

(A)

f	4.780
Fno	2.80
θ max	90.00

	面番号	近軸曲率半径 r[mm]	面間隔 d[mm]	屈折率 n	アッベ数 ν
※	1	23.303	1.500	1.808	40.55
※	2	3.727	1.540	-	-
※	3	2.882	2.603	1.832	40.10
※	4	2.632	0.739	-	-
	5	6.521	0.212	-	-
	6	6.167	0.630	-	-
	7	-31.172	3.000	1.855	24.80
	8	-10.600	0.389	-	-
ST	9	∞	0.251	-	-
	10	-4.921	1.000	1.734	51.47
	11	-4.213	0.294	-	-
	12	7.278	3.026	1.487	70.24
	13	-4.202	0.236	-	-
	14	-4.157	1.013	1.946	17.98
	15	-8.397	1.644	-	-
	16	6.971	3.004	1.487	70.24
	17	98.484	0.960	-	-
	18	∞	0.800	1.516	64.14
	19	∞	0.800	-	-
	20	∞	0.500	1.516	64.14
	21	∞	0.442	-	-

(B)

	面番号			
	1	2	3	4
r	23.303	3.727	2.882	2.632
k	0.00000	-4.31960	-1.12900	-0.04272
B4	3.49264E-03	7.26236E-03	-3.42118E-03	-6.84252E-03
B6	-9.05302E-05	4.01190E-04	6.95422E-04	-3.03731E-04
B8	1.11937E-06	-3.77016E-05	-1.03037E-04	-2.63994E-04
B10	-1.31596E-08	-2.61372E-07	5.02151E-06	6.07571E-05
B12	9.03253E-11	3.66293E-08	-7.57897E-08	-5.49640E-06
B14	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
B16	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

【 0 1 2 9 】

10

20

30

40

50

【表 8】

パラメータ	値
f	4.780
θ_{\max}	1.57
θ_a	0.375
θ_b	0.759
$y(\theta_{\max})$	4.361
$dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta_{\max}}$	0.189
n_1	1.808
n_2	1.832
f_a	-22.751
D	10.468
L	21.081
$f \times \sin \theta_{\max} / y(\theta_{\max})$	1.096
θ_{\max} / π	0.500
θ_a / θ_{\max}	0.239
θ_b / θ_{\max}	0.483
$(dy(\theta)/d\theta _{\theta=\theta_{\max}})/f$	0.040
$n_1/1.6$	1.130
n_2/n_1	1.013
$ f/f_a $	0.210
D/L	0.497

【0130】

図15は、上述した各実施例の光学系を撮像光学系として用いた車載カメラ10とこれを備えた車載システム（運転支援装置）600の構成を示している。車載システム600は、自動車（車両）等の移動可能な移動体（移動装置）により保持され、車載カメラ10により取得した車両の周囲の画像情報に基づいて車両の運転（操縦）を支援するためのシステムである。

【0131】

図16は、車載システム600を備えた移動装置としての車両700を示している。図16においては、車載カメラ10の撮像範囲50を車両700の前方に設定した場合を示しているが、撮像範囲50を車両700の後方や側方などに設定してもよい。

【 0 1 3 2 】

図 1 6 に示すように、車載システム 6 0 0 は、車載カメラ 1 0 と、車両情報取得装置 2 0 と、制御装置（制御部、E C U：エレクトロニックコントロールユニット）3 0 と、警告装置（警告部）4 0 とを備える。また、車載カメラ 1 0 は、撮像部 1 と、画像処理部 2 と、視差算出部 3 と、距離取得部（取得部）4 と、衝突判定部 5 とを備えている。画像処理部 2、視差算出部 3、距離取得部 4、及び衝突判定部 5 で、処理部が構成されている。撮像部 1 は、上述した各実施例の光学系と撮像素子とを有する。

【 0 1 3 3 】

図 1 7 のフローチャートは、車載システム 6 0 0 の動作例を示す。ステップ S 1 では、撮像部 1 を用いて車両の周囲の障害物や歩行者などの対象物（被写体）を撮像し、複数の画像データ（視差画像データ）を取得する。

10

【 0 1 3 4 】

ステップ S 2 では、車両情報取得装置 2 0 により車両情報の取得を行う。車両情報とは、車両の車速、ヨーレート、舵角などを含む情報である。

【 0 1 3 5 】

ステップ S 3 では、撮像部 1 により取得された複数の画像データに対して、画像処理部 2 により画像処理を行う。具体的には、画像データにおけるエッジの量や方向、濃度値などの特徴量を解析する画像特徴解析を行う。ここで、画像特徴解析は、複数の画像データの夫々に対して行ってもよいし、複数の画像データのうち一部の画像データのみに対して行ってもよい。

20

【 0 1 3 6 】

ステップ S 4 では、撮像部 1 により取得された複数の画像データ間の視差（像ずれ）情報を、視差算出部 3 によって算出する。視差情報の算出方法としては、S S D A 法や面積相関法等の既知の方法を用いることができるため、ここでは説明を省略する。なお、ステップ S 2、S 3、S 4 は、上記の順番に行われてもよいし、互いに並列して処理を行われてもよい。

【 0 1 3 7 】

ステップ S 5 では、撮像部 1 により撮像した対象物との間隔情報を、距離取得部 4 によって取得（算出）する。距離情報は、視差算出部 3 により算出された視差情報と、撮像部 1 の内部パラメータおよび外部パラメータとに基づいて算出することができる。なお、ここでの距離情報とは、対象物との間隔、デフォーカス量、像ズレ量、などの対象物との相対位置に関する情報のことであり、画像内における対象物の距離値を直接的に表すものでも、距離値に対応する情報を間接的に表すものでもよい。

30

【 0 1 3 8 】

そして、ステップ S 6 では、車両情報取得装置 2 0 により取得された車両情報や、距離取得部 4 により算出された距離情報を用いて、対象物までの距離が予め設定された設定距離の範囲内に含まれるか否かの判定を衝突判定部 5 によって行う。これにより、車両の周囲の設定距離内に対象物が存在するか否かを判定し、車両と対象物との衝突可能性を判定することができる。衝突判定部 5 は、設定距離内に対象物が存在する場合は「衝突可能性あり」と判定し（ステップ S 7）、設定距離内に対象物が存在しない場合は「衝突可能性なし」と判定する（ステップ S 8）。

40

【 0 1 3 9 】

次に、衝突判定部 5 は、「衝突可能性あり」と判定した場合、その判定結果を制御装置 3 0 や警告装置 4 0 に対して通知（送信）する。このとき、制御装置 3 0 は、衝突判定部 5 での判定結果に基づいて車両を制御し（ステップ S 6）、警告装置 4 0 は、衝突判定部 5 での判定結果に基づいて車両のユーザ（運転者、搭乗者）への警告を行う（ステップ S 7）。なお、判定結果の通知は、制御装置 3 0 及び警告装置 4 0 の少なくとも一方に対して行えばよい。

【 0 1 4 0 】

制御装置 3 0 は、車両の駆動部（エンジンやモータ等）に対して制御信号を出力するこ

50

とで、車両の移動を制御することができる。例えば、車両においてブレーキをかける、アクセルを戻す、ハンドルを切る、各輪に制動力を発生させる制御信号を生成してエンジンやモータの出力を抑制するなどの制御を行う。また、警告装置 40 は、ユーザに対して、例えば警告音（警報）を発する、カーナビゲーションシステムなどの画面に警告情報を表示する、シートベルトやステアリングに振動を与えるなどの警告を行う。

【0141】

以上説明した車載システム 600 によれば、上記処理により、効果的に対象物の検知を行うことができ、車両と対象物との衝突を回避することが可能になる。特に、上述した各実施例の光学系を車載システム 600 に適用することで、車載カメラ 10 の全体を小型化して配置自由度を高めつつ、広画角にわたって対象物の検知および衝突判定を行うことが可能になる。

10

【0142】

なお、距離情報の算出については、様々な方法を採用得るが、例として、撮像部 1 が有する撮像素子として、二次元アレイ状に規則的に配列された複数の画素部を有する瞳分割型の撮像素子を採用した場合について説明する。瞳分割型の撮像素子において、一つの画素部は、マイクロレンズと複数の光電変換部とから構成され、光学系の瞳における異なる領域を通過する一対の光束を受光し、対をなす画像データを各光電変換部から出力することができる。

【0143】

そして、対をなす画像データ間の相関演算によって各領域の像ずれ量が算出され、距離取得部 4 により像ずれ量の分布を表す像ずれマップデータが算出される。あるいは、距離取得部 4 は、その像ずれ量をさらにデフォーカス量に換算し、デフォーカス量の分布（撮像画像の 2 次元平面上の分布）を表すデフォーカスマップデータを生成してもよい。また、距離取得部 4 は、デフォーカス量から変換される対象物との間隔の距離マップデータを取得してもよい。

20

【0144】

また、車載システム 600 や移動装置 700 は、万が一移動装置 700 が障害物に衝突した場合に、その旨を車載システムの製造元（メーカー）や移動装置の販売元（ディーラー）などに通知するための通知装置（通知部）を備えていてもよい。例えば、通知装置としては、移動装置 700 と障害物との衝突に関する情報（衝突情報）を予め設定された外部の通知先に対して電子メールなどによって送信するもの採用することができる。

30

【0145】

このように、通知装置によって衝突情報を自動通知する構成を採ることにより、衝突が生じた後に点検や修理などの対応を速やかに行うことができる。なお、衝突情報の通知先は、保険会社、医療機関、警察などや、ユーザが設定した任意のものであってもよい。また、衝突情報に限らず、各部の故障情報や消耗品の消耗情報を通知先に通知するように通知装置を構成してもよい。衝突の有無の検知については、上述した光電変換部からの出力に基づいて取得された距離情報を用いて行ってもよいし、他の検知部（センサ）によって行ってもよい。

【0146】

40

なお、車載システム 600 を運転支援（衝突被害軽減）に適用する場合について説明したが、これに限らず、車載システム 600 をクルーズコントロール（全車速追従機能付を含む）や自動運転などに適用してもよい。また、車載システム 600 は、自動車等の車両に限らず、例えば船舶や航空機、産業用ロボットなどの移動体に適用することができる。また、移動体に限らず、高度道路交通システム（ITS）等の物体認識を利用する種々の機器に適用することができる。

（その他の実施例）

以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。

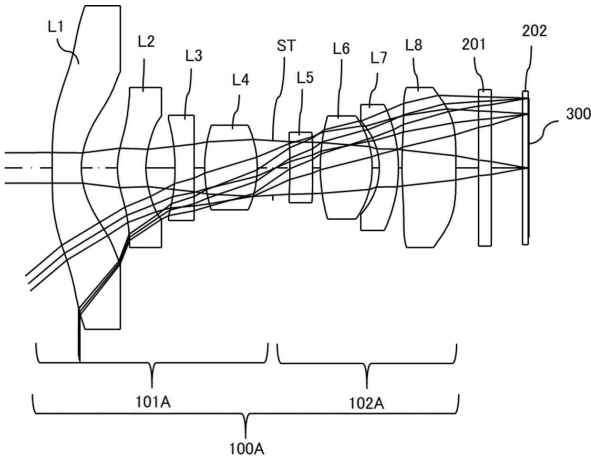
【符号の説明】

50

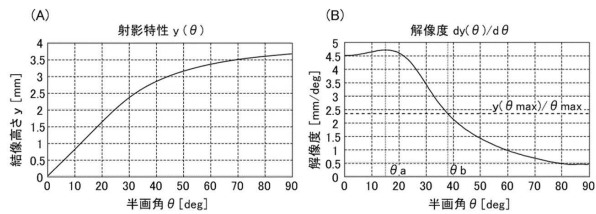
【 0 1 4 7 】
1 0 0 A ~ D 光学系
1 0 1 A ~ D 前群
1 0 2 A ~ D 後群
3 0 0 像面
S T 開口絞り

【 図面 】

【 図 1 】



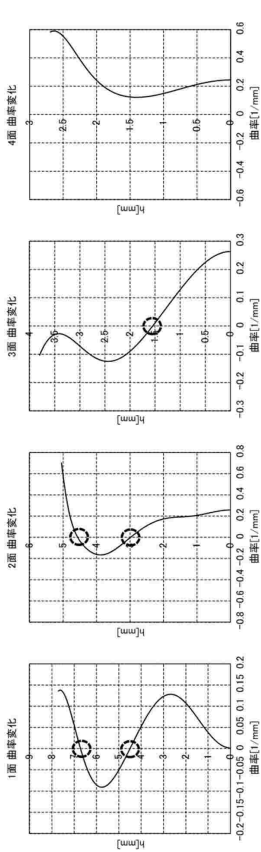
【 図 2 】



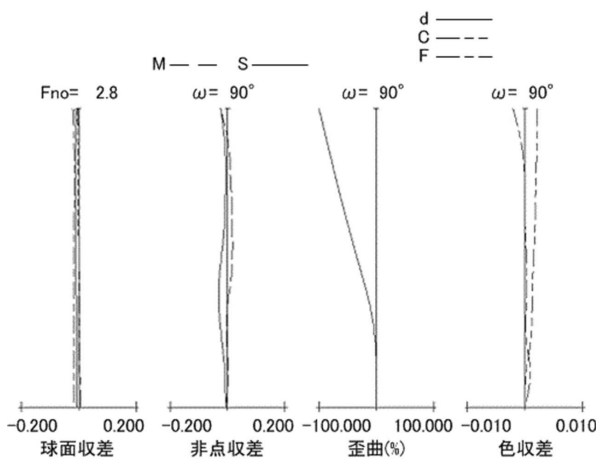
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】

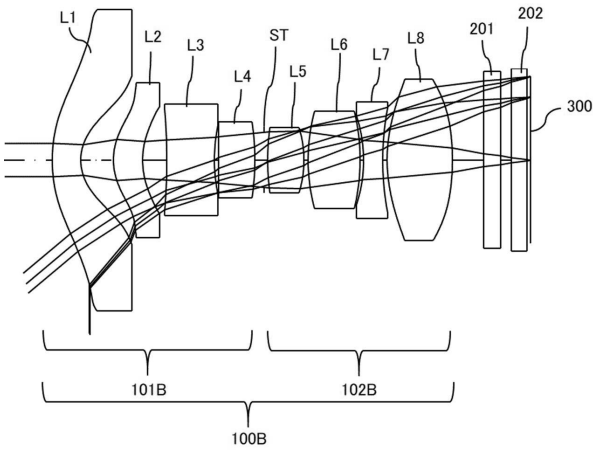


30

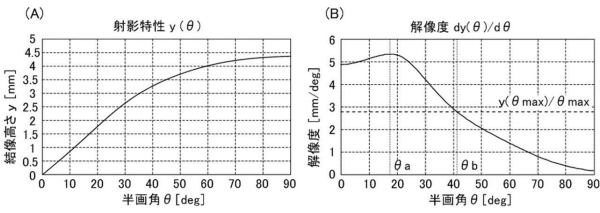
40

50

【図 5】

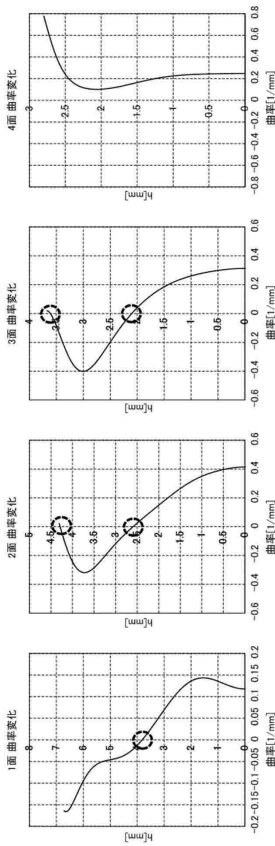


【図 6】

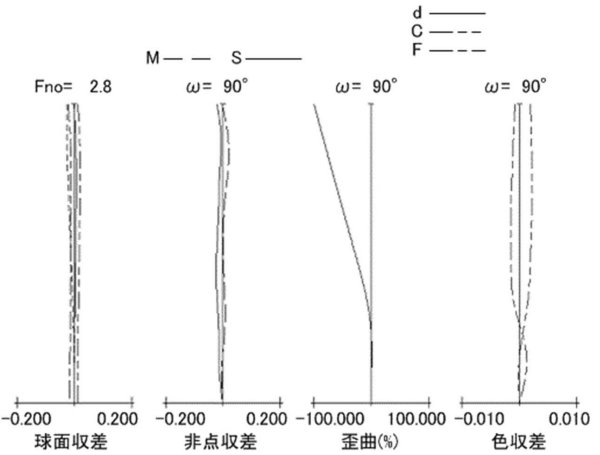


10

【図 7】



【図 8】

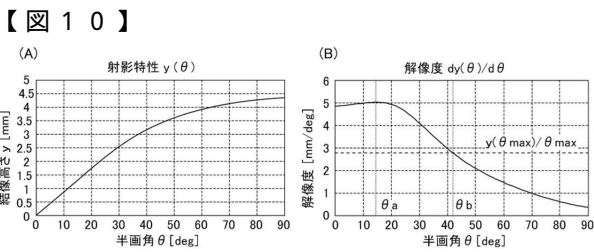
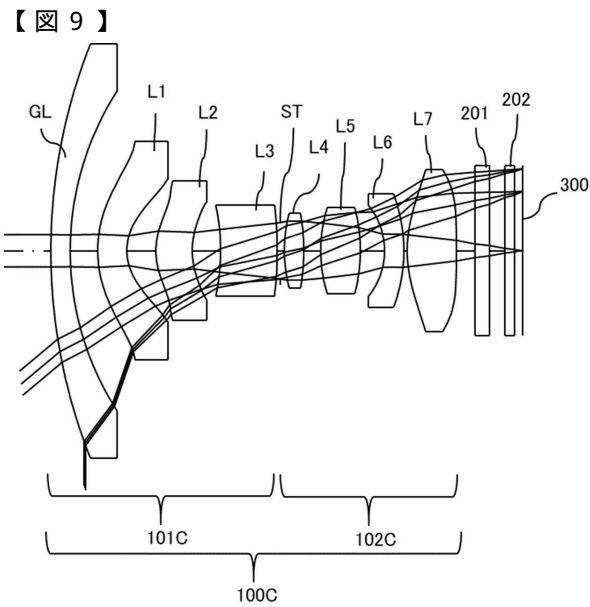


20

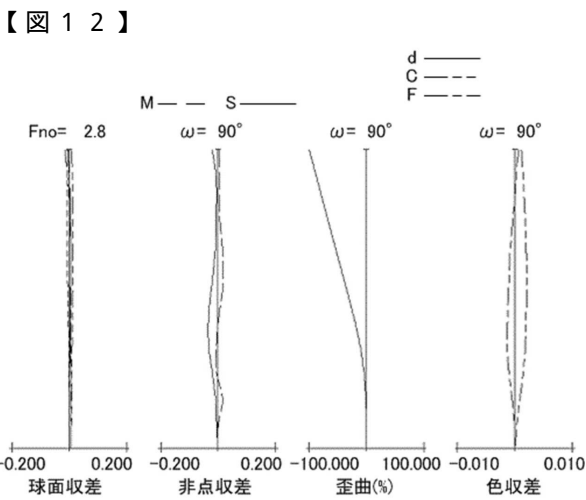
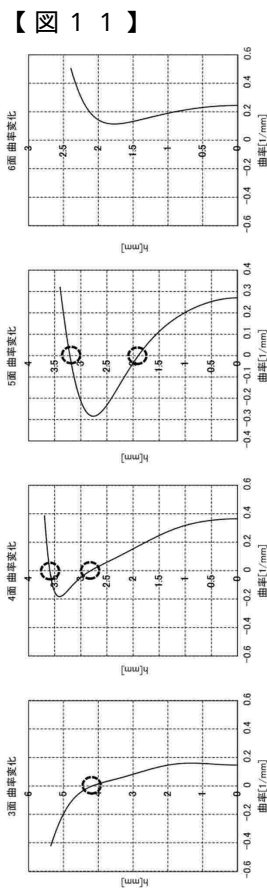
30

40

50



10



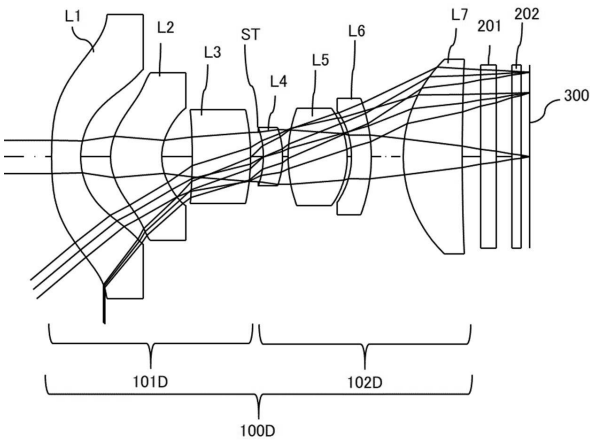
20

30

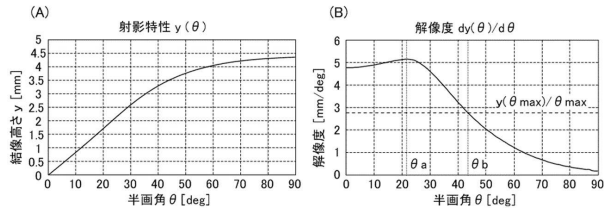
40

50

【図 13】

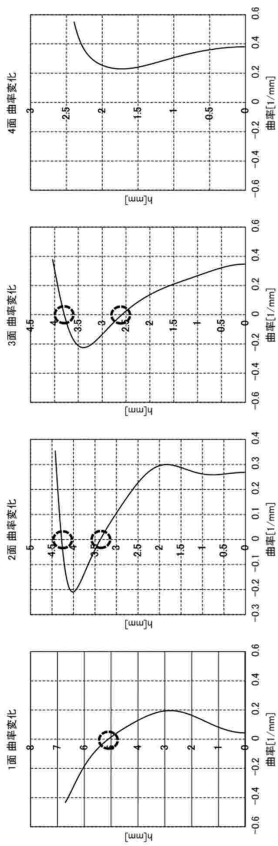


【図 14】

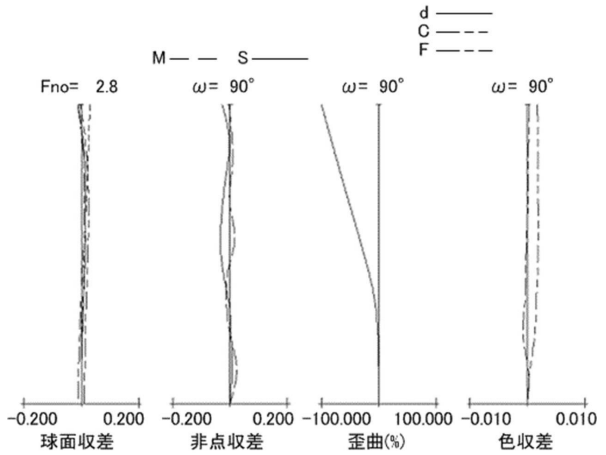


10

【図 15】



【図 16】



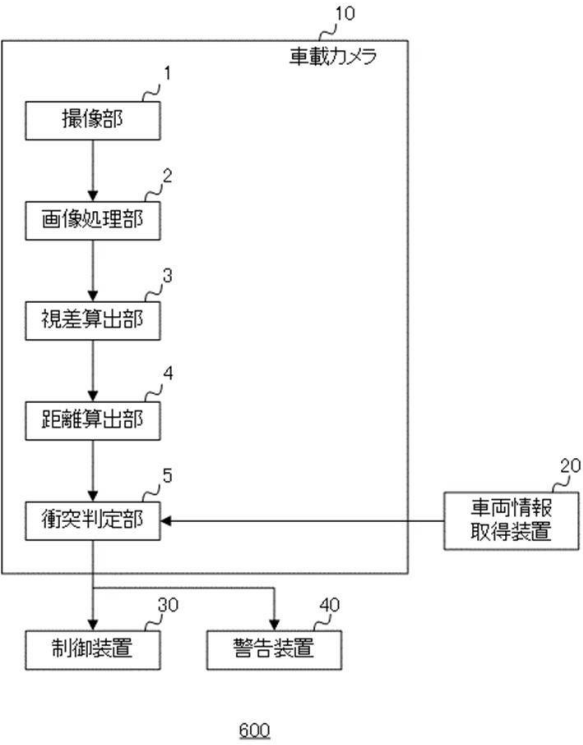
20

30

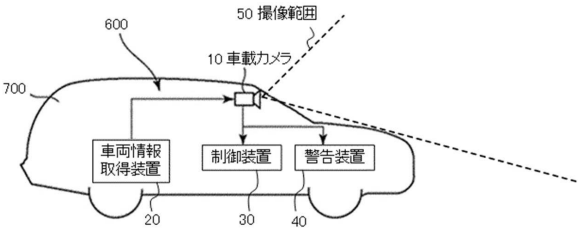
40

50

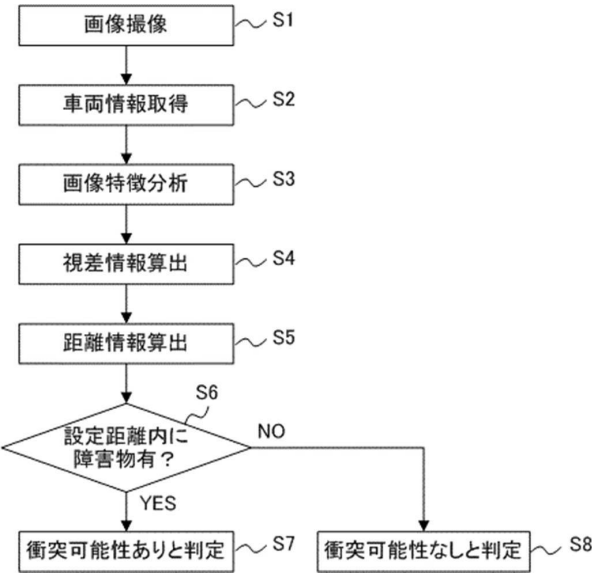
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

(72)発明者 猪子 和宏

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 森内 正明

(56)参考文献

特開2013-45089(JP,A)

特開2006-343545(JP,A)

国際公開第2016/068095(WO,A1)

特開2016-207030(JP,A)

特開2022-114766(JP,A)

特開2022-28242(JP,A)

(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