

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6607426号
(P6607426)

(45) 発行日 令和1年11月20日 (2019. 11. 20)

(24) 登録日 令和1年11月1日 (2019. 11. 1)

(51) Int. Cl.	F 1
GO 2 B 13/04 (2006. 01)	GO 2 B 13/04 D
GO 2 B 13/18 (2006. 01)	GO 2 B 13/18

請求項の数 17 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2019-525067 (P2019-525067)	(73) 特許権者	314012076
(86) (22) 出願日	平成30年2月13日 (2018. 2. 13)		パナソニック IP マネジメント株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2018/004775		大阪府大阪市中央区域見2丁目1番61号
(87) 国際公開番号	W02018/230034	(74) 代理人	100106518
(87) 国際公開日	平成30年12月20日 (2018. 12. 20)		弁理士 松谷 道子
審査請求日	令和1年8月19日 (2019. 8. 19)	(74) 代理人	100132241
(31) 優先権主張番号	特願2017-115547 (P2017-115547)		弁理士 岡部 博史
(32) 優先日	平成29年6月13日 (2017. 6. 13)	(74) 代理人	100183265
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		弁理士 中谷 剣一
早期審査対象出願		(72) 発明者	松村 善夫
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
		審査官	堀井 康司
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レンズ系、カメラシステム及び撮像システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光軸に配置された矩形の撮像素子に結像するレンズ系であって、
 前記光軸に対して非対称である第1自由曲面レンズを備え、
 前記第1自由曲面レンズの自由曲面は、
 前記光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、前記光軸を通り前記撮像素子の長辺に平行な第1面との交点で、前記光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、
 前記光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、前記光軸を通り前記撮像素子の短辺に平行な第2面との交点で、前記光軸と平行な光線に対し正の屈折力を有し、
前記所定の比率は40%～80%である、
 レンズ系。

【請求項 2】

開口絞りを有し、
 前記第1自由曲面レンズは前記開口絞りより物体側に位置する、
 請求項1に記載のレンズ系。

【請求項 3】

前記開口絞りより像面側に第2自由曲面レンズを有する、
 請求項2に記載のレンズ系。

【請求項 4】

前記第2自由曲面レンズは最も像面側に配置され、物体側と像面側の両面が自由曲面で

ある、

請求項 3 に記載のレンズ系。

【請求項 5】

物体側から順に、物体側に凸形状の負のパワーを有するメニスカスである第 1 レンズ素子と、負のパワーを有する第 2 レンズ素子を有する、
請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のレンズ系。

【請求項 6】

前記第 1 自由曲面レンズは前記第 2 レンズ素子の像面側に配置され、少なくとも物体側が自由曲面である、
請求項 5 に記載のレンズ系。

10

【請求項 7】

前記光軸に対して回転対称なレンズ素子を少なくとも 3 つ以上有する、
請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のレンズ系。

【請求項 8】

以下の条件 (1) を満足する、請求項 1 に記載のレンズ系：

$$\omega_{LONG} > 60^\circ \quad \dots (1)$$

ここで、

ω_{LONG} ：撮像素子の長辺方向の最大半画角である。

【請求項 9】

以下の条件 (2) を満足する、請求項 1 に記載のレンズ系：

$$1 < D_{LSHORT} / D_{SSHORT} \quad \dots (2)$$

ここで、

D_{LSHORT} ：撮像素子の短辺方向の最大半画角と等しい画角の、撮像素子の長辺方向の入射光に対する像点と、撮像素子に垂直な入射光に対する像点との長辺方向の最大距離

D_{SSHORT} ：撮像素子の短辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との短辺方向の最大距離である。

20

【請求項 10】

以下の条件 (3) を満足する、請求項 1 に記載のレンズ系：

$$0.5 < D_{SSHORT} \times \omega_{LONG} / (D_{LLONG} \times \omega_{SHORT}) < 1 \quad \dots (3)$$

ここで、

ω_{LONG} ：撮像素子の長辺方向の最大半画角

ω_{SHORT} ：撮像素子の短辺方向の最大半画角

D_{LLONG} ：撮像素子の長辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との長辺方向の最大距離

D_{SSHORT} ：撮像素子の短辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との短辺方向の最大距離である。

30

40

【請求項 11】

以下の条件 (4) を満足する、請求項 1 に記載のレンズ系：

$$\omega_{LONG} - \omega_{SHORT} > 0 \quad \dots (4)$$

ここで、

ω_{LONG} ：撮像素子の長辺方向の最大半画角

ω_{SHORT} ：撮像素子の短辺方向の最大半画角

である。

【請求項 12】

以下の条件 (5) を満足する、請求項 1 に記載のレンズ系：

50

$$L \times F_{no.} / D_{LLONG} < 40 \quad \dots (5)$$

ここで、

L ：レンズ系の光学全長

$F_{no.}$ ：レンズ系のF値

D_{LLONG} ：撮像素子の長辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との長辺方向の最大距離

である。

【請求項13】

以下の条件(6)を満足する、請求項1に記載のレンズ系：

$$n_{FRE} < 1.7 \quad \dots (6)$$

ここで、

n_{FRE} ：第1又は第2自由曲面レンズのd線に対する屈折率

である。

【請求項14】

レンズ素子と開口絞りとをさらに有し、以下の条件(7)を満足する、請求項1に記載のレンズ系：

$$-3 \leq N_o - N_i \leq 3 \quad \dots (7)$$

ここで、

N_o ：開口絞りよりも物体側のレンズ素子（第1自由曲面レンズを含む）の枚数

N_i ：開口絞りよりも像面側のレンズ素子の枚数

である。

【請求項15】

前記レンズ系のイメージサークルが、前記撮像素子で包含されない、請求項1に記載のレンズ系。

【請求項16】

請求項1に記載のレンズ系と、

前記光軸で前記レンズ系が結像する位置に配置された矩形の前記撮像素子と、を備える

カメラシステム。

【請求項17】

請求項1に記載のレンズ系と、

前記光軸で前記レンズ系が結像する位置に配置された矩形の前記撮像素子と、

前記撮像素子が生成する画像を処理する画像処理部と、を備える、

撮像システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、レンズ系、カメラシステム及び撮像システムに関する。

【背景技術】

【0002】

中心射影方式でないレンズによって結像される像は矩形から崩れ、矩形の撮像素子を用いると、光学像と撮像素子とが重ならず使用されない感光面の領域が多くなってしまう。

【0003】

また、被写体検知・認識の観点から光軸付近の中央部の被写体を、大きく拡大して撮像素子上に結像させることが求められているが、困難であった。

【0004】

特許文献1は、長方形の画像センサによりパノラマ画像を撮像する方法を開示する。特許文献1は、魚眼対物レンズに円環レンズを用いることにより、円形画像を矩形画像にして矩形の撮像素子に結像させることを開示する。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】国際公開第03／101599号

【発明の概要】

【0006】

矩形の撮像素子の感光面の領域を有効に活用しながら、光軸付近の中央部の被写体を拡大できるレンズ系、該レンズを含むカメラシステム及び撮像システムを提供する。

【0007】

本開示のレンズ系は、光軸に配置された矩形の撮像素子に結像するレンズ系であって、光軸に対して非対称である第1自由曲面レンズを備える。第1自由曲面レンズの自由曲面は、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、光軸を通り撮像素子の長辺に平行な第1面との交点で、光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、光軸を通り撮像素子の短辺に平行な第2面との交点で、光軸と平行な光線に対し正の屈折力を有する。

10

【0008】

本開示のカメラシステムは、本開示の上記レンズ系と、光軸でレンズ系が結像する位置に配置された矩形の撮像素子と、を備える。

【0009】

本開示の撮像システムは、本開示の上記レンズ系と、光軸でレンズ系が結像する位置に配置された矩形の撮像素子と、撮像素子が生成する画像を処理する画像処理部と、を備える。

20

【0010】

本発明では、略矩形の像を結像しながら、光軸付近の中央部の被写体を拡大するレンズ系、該レンズ系を含むカメラシステム及び撮像システムを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態1に係るレンズ系の無限合焦状態を示すレンズ配置図

【図2】実施の形態2に係るレンズ系の無限合焦状態を示すレンズ配置図

【図3】実施の形態3に係るレンズ系の無限合焦状態を示すレンズ配置図

【図4】実施の形態4に係るカメラシステムの概略構成図

30

【図5】実施の形態5に係る撮像システムの概略構成図

【図6】数値実施例1に係るレンズ系の無限合焦状態の球面収差と像面湾曲を示す収差図

【図7】数値実施例1に係るレンズ系の無限合焦状態の画角と像点の関係を示す図

【図8】数値実施例2に係るレンズ系の無限合焦状態の球面収差と像面湾曲を示す収差図

【図9】数値実施例2に係るレンズ系の無限合焦状態の画角と像点の関係を示す図

【図10】数値実施例3に係るレンズ系の無限合焦状態の球面収差と像面湾曲を示す収差図

【図11】数値実施例3に係るレンズ系の無限合焦状態の画角と像点の関係を示す図

【発明を実施するための形態】

【0012】

40

以下、適宜図面を参照しながら、実施の形態を詳細に説明する。但し、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。これは、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするためである。

【0013】

なお、添付図面および以下の説明は、当業者が本開示を十分に理解するために、提供されるのであって、これらにより請求の範囲に記載の主題を限定することは意図されていない。

【0014】

(実施の形態1)

50

図1は、実施の形態1に係るレンズ系の配置図であり、無限遠合焦状態を表している。

【0015】

なお、図1の(a)はYZ断面で、図1の(b)はXZ断面で、8枚のレンズ素子を有するレンズ系111と、短辺と長辺を有する矩形の撮像素子102とを表している。X方向は撮像素子102の長辺に平行な方向、Y方向は撮像素子102の短辺方向に平行な方向、Z方向は光軸に平行な方向である。また、YZ断面は、光軸を含みY方向とZ方向に平行な平面である。XZ断面は、光軸を含みX方向とZ方向に平行な平面である。

【0016】

図1に示すように、実施の形態1に係るレンズ系111は、物体側から像面側へと順に、5枚のレンズ素子L1～L5、開口絞りA、3枚のレンズ素子L6～L8を備える。レンズ系111の結像の位置は、撮像素子102の像面となっている。図1の(b)では符号を省略している。

10

【0017】

さらに、レンズ系111を詳細に説明する。レンズ系111は、物体側から像面側へと順に、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状のレンズ素子L1と、両凹形状のレンズ素子L2と、両凹形状のレンズ素子L3と、両凸形状のレンズ素子L4と、両面が非球面で形成されて物体側に凸面を向けた正メニスカス形状のレンズ素子L5と、開口絞りAと、両凸形状のレンズ素子L6と、像面側に凸面を向けた負メニスカス形状のレンズ素子L7と、物体側に凸面を向けた正メニスカス形状のレンズ素子L8とからなる。レンズ素子L6とレンズ素子L7は接合されている。ここで、レンズ素子L1は第1レンズ素子の一例であり、レンズ素子L2は第2レンズ素子の一例である。

20

【0018】

レンズ系111において、レンズ素子L3とレンズ素子L8は、物体側と像面側の両面がXY多項式の自由曲面である。図1において、自由曲面に*印を付している。ここで、レンズ素子L3は第1自由曲面レンズの一例であり、レンズ素子L8は第2自由曲面レンズの一例である。

【0019】

レンズ素子L3の像面側の自由曲面は、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、光軸を通り撮像素子の長辺に平行なXZ面(第1面)との交点で、光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、光軸を通り撮像素子の短辺に平行なYZ面(第2面)との交点で、光軸と平行な光線に対し正の屈折力を有している。ここで、本実施の形態においては、最短像高に対する所定の比率は全ての比率が該当するので、レンズ素子L3の像面側の自由曲面は、XZ面との全ての交点で、光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、YZ面との全ての交点で、光軸と平行な光線に対し正の屈折力を有している。各レンズ素子の面データについては後述する。なお、自由曲面レンズ及び非球面レンズの面の形状はY方向の光軸近傍(頂点)での形状で表現している。

30

【0020】

(実施の形態2)

図2は、実施の形態2に係るレンズ系の配置図である。図2の(a)はYZ断面で、図2の(b)はXZ断面で、8枚のレンズ素子からなるレンズ系121と、短辺と長辺を有する矩形の撮像素子102とを表している。図2の(b)では符号を省略している。実施の形態2のレンズ系121は、実施の形態1のレンズ系111と比較して、レンズ素子の枚数、種類及び配置順が同じで、各レンズ系素子L1～L8の面データが異なる。面データの相違点については、後述する。レンズ系121において、レンズ素子L1は第1レンズ素子の一例であり、レンズ素子L2は第2レンズ素子の一例であり、レンズ素子L3は第1自由曲面レンズの一例であり、レンズ素子L8は第2自由曲面レンズの一例である。

40

【0021】

レンズ系121においても、レンズ素子L3の像面側の自由曲面は、XZ面との全ての交点で、光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、YZ面との全ての交点で、光軸と平

50

行な光線に対し正の屈折力を有している。

【0022】

(実施の形態3)

図3は、実施の形態3に係るレンズ系の配置図である。図3の(a)はYZ断面で、図3の(b)はXZ断面で、8枚のレンズ素子を有するレンズ系131と、短辺と長辺を有する矩形の撮像素子102とを表している。図3の(b)では符号を省略している。実施の形態3のレンズ系131は、実施の形態1のレンズ系111と比較して、レンズ素子の枚数が同じで、レンズ素子L2の種類及び各レンズ系素子L1～L8の面データが異なる。レンズ素子L2は、物体側に凸面を向けた負メニスカス形状である。面データの相違点については、後述する。レンズ系131において、レンズ素子L1は第1レンズ素子の一例であり、レンズ素子L2は第2レンズ素子の一例であり、レンズ素子L3は第1自由曲面レンズの一例であり、レンズ素子L8は第2自由曲面レンズの一例である。

10

【0023】

レンズ系131においても、レンズ素子L3の像面側の自由曲面は、XZ面との全ての交点で、光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、YZ面との全ての交点で、光軸と平行な光線に対し正の屈折力を有している。

【0024】

(実施の形態1～3の共通の構成)

実施の形態1～3に係るレンズ系は、複数枚のレンズ素子を有し、短辺と長辺を有する矩形の撮像素子102に結像させる。そして、レンズ系は、レンズ素子として光軸に対して回転非対称である自由曲面レンズを含み、物体側から像面側へと順に、複数枚のレンズ素子、開口絞り、複数枚のレンズ素子を備えている。この構成により、矩形に近い略矩形の像を結像することが可能となる。

20

【0025】

また、実施の形態1～3に係るレンズ系は、光軸に対して回転対称なレンズ素子を少なくとも3つ以上有する構成をしている。この構成により、自由曲面レンズの枚数を少なくし、方向による性能の偏りを小さくすることができる。さらに、実施の形態1～3に係るレンズ系は、設計時に計算時間を短縮できるという利点もある。

【0026】

実施の形態1～3に係るレンズ系を構成する自由曲面レンズの全ての自由曲面は、XZ面及びYZ面に対してそれぞれ対称な形状を有しており、自由曲面の中心を判別できるので、製造時に形状の管理がしやすくていいという利点がある。

30

【0027】

実施の形態1～3に係るレンズ系において、物体側から順に、物体側に凸形状の負のパワーを有するメニスカスであるレンズ素子L1、負のパワーを有するレンズ素子L2を有する構成をしている。この構成により、広い角度で入射する光を集めることができるので、レンズ系を広角化しやすく、負レンズを2枚連続されることでそれぞれのパワーを小さくすることができ、製造しやすい形状にすることができるという利点がある。

【0028】

実施の形態1～3に係るレンズ系は、最も像面側にある自由曲面レンズは物体側と像面側の両面が自由曲面の構成をしているので、像高の位置制御と収差低減が行いやすくなるという利点がある。

40

【0029】

実施の形態1～3に係るレンズ系は、半画角が80°以上の魚眼レンズであるので、広い画角をカバーすることができる。また、一般に魚眼レンズの場合には、撮像素子の対角付近において結像することが難しい。しかしながら、本開示に係る自由曲面レンズを用いることで、撮像素子の対角付近においても結像することが可能となる。

【0030】

例えば、実施の形態1～3に係るレンズ系のように、光軸に配置された矩形の撮像素子に結像するレンズ系は、光軸に対して非対称である第1自由曲面レンズを備える。そして

50

、第1自由曲面レンズの自由曲面は、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、光軸を通り撮像素子の長辺に平行なXZ面との交点で、光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円と、光軸を通り撮像素子の短辺に平行なYZ面との交点で、光軸と平行な光線に対し正の屈折力を有することが好ましい（以下、この構成を実施の形態の基本構成という）。ここで、最短像高に対する所定の比率は、40%～80%が好ましく、より好ましくは60%である。

【0031】

ここで、最短像高とは、撮像素子102に垂直に入射する光線による像点と、レンズ系が形成するイメージサークルの端までの像面上の距離のうち、最短のものを示す。実施の形態1～3に係るレンズ系においては、撮像素子102の短辺方向に最短像高を有する。

10

【0032】

第1自由曲面レンズのような自由曲面を有することで、光軸付近でイメージサークル中央部の像を拡大し、光軸付近に存在する被写体を大きく撮影することで高い検知・認識率へつなげることが可能となる。さらに、通常円形となる魚眼レンズのイメージサークルを特に長辺方向に拡大することが可能となる。自由曲面の屈折力が正負逆転する箇所を有することで、良好な像の拡大効果が得られる。屈折力が正負逆転する箇所は、光軸から径方向に最短像高の40%～80%（より好ましくは60%）の長さ離れたところにあることで、さらに良好な像の拡大効果が得られる。

【0033】

本実施の形態の基本構成とは異なり、第1自由曲面レンズが、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円とXZ面との交点で、光軸と平行な光線に対し負の屈折力を有し、光軸から最短像高に対する所定の比率の長さ離れた円とYZ面との交点で、光軸と平行な光線に対し正の屈折力を有する自由曲面を備えない場合、矩形の撮像素子の感光面の中央領域で像を十分に拡大できない。あるいは、レンズ素子の枚数が増加し、レンズ系の大型化を招くこととなってしまう。このような自由曲面を有するレンズを作製することは困難であったが、近年の加工・成型技術の進歩に伴い、作製できるようになってきた。

20

【0034】

例えば、実施の形態1～3に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、以下の条件（1）を満足することが好ましい。

【0035】

$$\omega_{L O N G} > 60^{\circ} \quad \cdots (1)$$

ここで、

$\omega_{L O N G}$ ：撮像素子の長辺方向の最大半画角

条件（1）は、レンズ系の半画角を規定するための条件である。条件（1）の下限を下回ると、レンズ系の画角が狭くなり、本実施の形態の基本構成を有しなくともイメージサークルが矩形に近くでき、矩形の撮像素子102の感光面の領域を有効活用しやすくなり、本願の意図と乖離してくる。また、球面収差の制御が困難となる。

【0036】

なお、更に以下の条件（1）'及び（1）''の少なくとも一つを満足することにより、前記効果をさらに奏功させることができる。

40

【0037】

$$\omega_{L O N G} > 80^{\circ} \quad \cdots (1)'$$

$$\omega_{L O N G} > 90^{\circ} \quad \cdots (1)''$$

例えば、実施の形態1～3に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、以下の条件（2）を満足することが好ましい。

【0038】

$$1 < D_{L S H O R T} / D_{S S H O R T} \quad \cdots (2)$$

ここで、

$D_{L S H O R T}$ ：撮像素子の短辺方向の最大半画角と等しい画角の、撮像素子の長辺方向の入射光に対する像点と、撮像素子に垂直な入射光に対する像点との長辺方向の最大

50

距離

D_{SSHORT} : 撮像素子の短辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との短辺方向の最大距離

条件(2)は、撮像素子の短辺方向の最大半画角の入射光に対する像点について、撮像素子の短辺方向の像高よりも、長辺方向の像高の方が長くなることを規定するための条件である。条件(2)の下限を下回ると、矩形の撮像素子102の感光面の領域の有効活用が困難になる。または、像面湾曲の制御が困難になる。

【0039】

なお、更に以下の条件(2)'及び(2)''の少なくとも一つを満足することにより、前記効果をさらに奏功させることができる。

10

【0040】

$$1. \quad 2 < D_{LSHORT} / D_{SSHORT} \cdots (2)'$$

$$1. \quad 6 < D_{LSHORT} / D_{SSHORT} \cdots (2)''$$

例えば、実施の形態1~3に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、以下の条件(3)を満足することが好ましい。

【0041】

$$0.5 < D_{SSHORT} \times \omega_{LONG} / (D_{LLONG} \times \omega_{SHORT}) < 1 \cdots (3)$$

ここで、

ω_{LONG} : 撮像素子の長辺方向の最大半画角

20

ω_{SHORT} : 撮像素子の短辺方向の最大半画角

D_{LLONG} : 撮像素子の長辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との長辺方向の最大距離

D_{SSHORT} : 撮像素子の短辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との短辺方向の最大距離

条件(3)は、撮像素子の短辺方向と長辺方向の、最大半画角と像高の比を規定するための条件である。条件(3)の下限を下回ると、短辺方向の画角が長辺方向の画角に比較して広くなりすぎ、結像性能、特に像面湾曲の制御が困難になる。あるいはイメージサークルが長辺方向に長くなりすぎ、矩形の撮像素子102の感光面の領域の有効活用が困難になる。条件(3)の上限を上回ると、長辺方向の画角が短辺方向の画角に比較して広くなりすぎ、結像性能、特に像面湾曲の制御が困難になる。あるいはイメージサークルが短辺方向に長くなりすぎ、矩形の撮像素子102の感光面の領域の有効活用が困難になる。

30

【0042】

なお、更に以下の条件(3)'及び(3)''の少なくとも一つを満足することにより、前記効果をさらに奏功させることができる。

【0043】

$$0.55 < D_{SSHORT} \times \omega_{LONG} / (D_{LLONG} \times \omega_{SHORT}) < 0.9 \cdots (3)'$$

$$0.6 < D_{SSHORT} \times \omega_{LONG} / (D_{LLONG} \times \omega_{SHORT}) < 0.8 \cdots (3)''$$

40

例えば、実施の形態1~3に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、以下の条件(4)を満足することが好ましい。

【0044】

$$\omega_{LONG} - \omega_{SHORT} > 0 \cdots (4)$$

ここで、

ω_{LONG} : 撮像素子の長辺方向の最大半画角

ω_{SHORT} : 撮像素子の短辺方向の最大半画角

条件(4)は、最大半画角について、撮像素子の長辺方向と短辺方向の差を規定する条件である。条件(4)の下限を下回ると、短辺方向の画角が長辺方向の画角に比較して等しい、あるいは大きくなってしまい、極めていびつな形状で結像してしまうことになり、

50

画角あたりの解像度が長辺方向と短辺方向で大きく変わってしまう。また、球面収差が長辺方向と短辺方向で大きく変化してしまい、制御が困難になる。

【0045】

なお、更に以下の条件（４）'を満足することにより、前記効果をさらに奏功させることができる。

【0046】

$$\omega_{LONG} - \omega_{SHORT} > 8 \quad \dots (4)'$$

例えば、実施の形態１～３に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、以下の条件（５）を満足することが好ましい。

【0047】

$$L \times Fno. / D_{LLONG} < 40 \quad \dots (5)$$

ここで、

L：レンズ系の光学全長

Fno.：レンズ系のF値

D_{LLONG} ：撮像素子の長辺方向の最大半画角の入射光に対する像点と撮像素子に垂直な入射光に対する像点との長辺方向の最大距離

条件（５）は、レンズ系の光学全長とレンズ系のF値、長辺方向の像高の関係を規定する条件である。条件（５）の上限を上回ると、レンズ系のF値、イメージサークルに対してレンズ系が肥大化しすぎ、小型化を達成できず、加えて像面湾曲の制御が困難となる。

【0048】

なお、更に以下の条件（５）'及び（５）''の少なくとも一つを満足することにより、前記効果をさらに奏功させることができる。

【0049】

$$L \times Fno. / D_{LLONG} < 30 \quad \dots (5)'$$

$$L \times Fno. / D_{LLONG} < 25 \quad \dots (5)''$$

例えば、実施の形態１～３に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、以下の条件（６）を満足することが好ましい。

【0050】

$$n_{FREE} < 1.7 \quad \dots (6)$$

ここで、

n_{FREE} ：自由曲面レンズのd線に対する屈折率

条件（６）は、自由曲面レンズのd線に対する屈折率を規定する条件である。条件（６）の上限を上回ると、自由曲面レンズの屈折率が高くなりすぎ、急激に光線を曲げることから非点収差の制御が困難になる。なお、本条件はレンズ系の中の１枚の自由曲面レンズが満足していても効果を得られるし、複数枚の自由曲面レンズが満足している場合は、さらに効果を奏功させることができる。

【0051】

なお、更に以下の条件（６）'を満足することにより、前記効果をさらに奏功させることができる。

【0052】

$$n_{FREE} < 1.6 \quad \dots (6)'$$

例えば、実施の形態１～３に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、物体と撮像素子との間に開口絞りAを有し、以下の条件（７）を満足することが好ましい。

【0053】

$$-3 \leq N_o - N_i \leq 3 \quad \dots (7)$$

ここで、

N_o ：開口絞りよりも物体側のレンズ素子の枚数

N_i ：開口絞りよりも像面側のレンズ素子の枚数

条件（７）は、開口絞りA前後のレンズ素子の枚数差を規定する条件である。条件（７

10

20

30

40

50

）の下限を下回ると、開口絞りAよりも像面側のレンズ素子の枚数が増えすぎ、レンズ系の光軸方向の大型化を招いてしまう。また、開口絞りAよりも物体側のレンズ素子の枚数が少なく、像面湾曲の制御が困難となる。条件（7）の上限を上回ると、開口絞りAよりも物体側のレンズ素子の枚数が増えすぎ、レンズ系の径方向への大型化を招いてしまう。また、開口絞りAよりも像面側のレンズ素子の枚数が少なく、球面収差の制御が困難となる。

【0054】

なお、更に以下の条件（7）'を満足することにより、前記効果をさらに奏功させることができる。

【0055】

$$-2 \leq N_o - N_i \leq 2 \quad \cdots (7)'$$

例えば、実施の形態1～3に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、物体と撮像素子102との間に開口絞りAを有し、開口絞りAより物体側に少なくとも1枚の第1自由曲面レンズを有し、開口絞りAより像面側に少なくとも1枚の第2自由曲面レンズを有することが好ましい。本構成を採ることで、長辺方向、短辺方向、対角方向、いずれの方向でも像面湾曲を小さくすることができるという利点がある。

【0056】

例えば、実施の形態1～3に係るレンズ系のように、本実施の形態の基本構成を有するレンズ系は、レンズ系のイメージサークルが撮像素子102で包含されないことが好ましい。特に、自由曲面レンズを使用したレンズ系ではイメージサークルの端付近での解像度を確保することが設計上、ものづくり上困難であるため、イメージサークルが撮像素子102で包含されないようにすることで撮像素子102上で良好な結像性能を確保することが可能となる。

【0057】

実施の形態1～3に係るレンズ系を構成している各レンズ素子は、入射光線を屈折により偏向させる屈折型レンズ素子（すなわち、異なる屈折率を有する媒質同士の界面で偏向が行われるタイプのレンズ素子）のみで構成されているが、これに限定されるものではない。例えば、回折により入射光線を偏向させる回折型レンズ素子、回折作用と屈折作用との組み合わせで入射光線を偏向させる屈折・回折ハイブリッド型レンズ素子、入射光線を媒質内の屈折率分布により偏向させる屈折率分布型レンズ素子等で、各レンズ系を構成してもよい。特に、屈折・回折ハイブリッド型レンズ素子において、屈折率の異なる媒質の界面に回折構造を形成すると、回折効率の波長依存性が改善されるので、好ましい。

【0058】

実施の形態1～3に係るレンズ系を構成している各レンズは、撮像素子102の長辺あるいは短辺に対して対称な面を有しているが、非対称な面を使用した場合でも、本実施の形態の基本構成や、各条件を満足していれば、十分な効果を得られる。

【0059】

（実施の形態4）

図4は実施の形態4に係るカメラシステムの概略構成図である。実施の形態4に係るカメラシステム100は、レンズ系111と、レンズ系111によって形成される光学像を受光して、電気的な画像信号に変換する撮像素子102と、カメラ本体103を含む。実施の形態4のレンズ系は、実施の形態1～3いずれかに係るレンズ系を用いることができる。図4は、レンズ系として実施の形態1に係るレンズ系111を用いた場合を図示している。

【0060】

実施の形態4では、実施の形態1～3いずれかに係るレンズ系を用いているので、撮像素子102に略矩形の像を結像させることができ、矩形の撮像素子102の感光面の領域を有効活用した画像を得ることができるカメラシステム100を実現することができる。

【0061】

（実施の形態5）

図5は実施の形態5に係る撮像システムの概略構成図である。実施の形態5に係る撮像システム200に用いられている撮像光学系201は、実施の形態4のカメラシステム100のように、実施の形態1～3いずれかに係るレンズ系を含んでいる。撮像光学系201で得られた画像を、画像処理部202で処理することで、さまざまなアプリケーションに応用可能な画像に変形、加工することが可能となる。なお、画像処理部202はカメラ本体103（図4参照）の内部または外部のどちらにあっても良い。

【0062】

（数値実施例1）

以下、実施の形態1に係るレンズ系111を具体的に実施した数値実施例1を説明する。なお、数値実施例1において、図や表中の長さの単位は「mm」であり、画角の単位は「°」である。また、数値実施例1において、曲率半径 r 、面間隔 d 、 d 線に対する屈折率 n_d 、 d 線に対するアッペ数 v_d を示す。非球面及び自由曲面の Z 軸に平行な面のサグ量 z はそれぞれ、数式1及び数式2で定義している。

【0063】

【数1】

$$z = \frac{h^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)(h/r)^2}} + \sum A_n h^n$$

10

20

【0064】

ここで

h ：径方向の高さ

k ：コーニック定数

A_n ： n 次の非球面係数

【0065】

【数2】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} c_j x^p y^q$$

$$j = \frac{(p + q)^2 + p + 3q}{2} + 1$$

30

【0066】

ここで

c ：頂点曲率

k ：コーニック定数

c_j ：係数

図6は、数値実施例1に係るレンズ系111の無限遠合焦状態の球面収差図及び非点収差図であり、左側から順に、撮像素子102の短辺方向の球面収差（SA）、非点収差（AST-V）、撮像素子102の長辺方向の非点収差（AST-H）、対角方向の非点収差（AST-D）を示す。球面収差の図において、横軸は球面収差を、縦軸は瞳高さを表している。そして、実線は d 線、短破線はC線、長破線はF線の特性である。非点収差の図において、横軸は非点収差を、縦軸は画角を表している。そして、実線はYZ平面（図中、 y 方向）、破線はXZ平面（図中、 x 方向）の特性である。

40

50

【0067】

なお、実施の形態1はXY多項式のx及びyの偶数項のみを使用しているので、x軸とy軸に対して対称なので対角方向の非点収差AST-Dはどの方向でも同じになる。

【0068】

図7は、数値実施例1に係るレンズ系111の無限遠合焦状態の画角と像点の関係を示した図である。図7は、光軸を原点(0, 0)として像面の第一象限において、画角の10°毎に像点をプロットしている。他の象限については、第一象限との間で、縦軸、横軸に対して線対称となるような関係を有する。通常回転対称レンズと比較して、像面の形状が拡大され、矩形の撮像素子102の感光面の領域を有効活用できていることが分かる。さらに、特にX像高方向で顕著なように、光軸付近の中央部の像が光軸から離れた周辺部の像よりも拡大できていることが分かる。

10

【0069】

数値実施例1のレンズ系111は、図1に示した実施の形態1に対応する。数値実施例1のレンズ系111の面データを表1に、各種データを表2に、第5面、第6面、第9面、第10面、第15面、および第16面の非球面・自由曲面データをそれぞれ表3、表4、表5、表6、表7および表8に示す。

【0070】

【表1】

s	面のタイプ	r	d	nd	vd
1	球面	16.180	1.000	1.72916	54.7
2	球面	5.450	3.291		
3	球面	-42.838	0.800	1.77250	49.6
4	球面	3.975	2.580		
5	XY多項式面	-5.534	2.000	1.49176	57.5
6	XY多項式面	22.705	0.400		
7	球面	16.681	1.500	1.80518	25.4
8	球面	-21.386	0.150		
9	非球面	3.354	1.700	1.49176	57.5
10	非球面	14.169	1.083		
11	平面	絞り	0.150		
12	球面	12.980	2.370	1.59522	67.7
13	球面	-3.270	0.700	1.95906	17.5
14	球面	-7.511	1.380		
15	XY多項式面	3.672	1.800	1.49176	57.5
16	XY多項式面	6.963	3.565		

20

30

40

【0071】

【表 2】

Fナンバー	2.73
垂直半画角	82°
水平半画角	92°
垂直像高@垂直半画角	1.687
水平像高@水平半画角	2.977
水平像高@垂直半画角	2.841
光学全長	24.470

10

【 0 0 7 2 】

【表 3】

s5

C1	1.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-3.70249E-04
C2	0.00000E+00	C24	2.32779E-03	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	8.62090E-02	C26	1.27010E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	-2.36648E-01	C28	-1.65516E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-3.77420E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	-6.79600E-06
C13	1.35286E-02	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	-2.00377E-05
C15	-1.43532E-02	C37	9.02054E-06	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	-3.45106E-05
C17	0.00000E+00	C39	-6.93764E-05	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-1.58142E-04
C19	0.00000E+00	C41	6.68648E-05	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-3.69648E-04
C21	0.00000E+00	C43	5.41051E-04	C65	0.00000E+00
C22	4.24027E-04	C44	0.00000E+00	C66	3.33129E-04

20

30

40

【 0 0 7 3 】

【表 4】

s6

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	6.79574E-05
C2	0.00000E+00	C24	3.72605E-03	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	3.60937E-02	C26	3.01762E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	-1.09902E-01	C28	9.09772E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-7.77248E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	1.25389E-06
C13	-1.67316E-04	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	-1.56641E-05
C15	-9.60440E-04	C37	-1.26271E-04	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	-4.94111E-05
C17	0.00000E+00	C39	-2.69927E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-5.55090E-05
C19	0.00000E+00	C41	-2.30127E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-7.32391E-05
C21	0.00000E+00	C43	-5.50409E-05	C65	0.00000E+00
C22	1.51405E-03	C44	0.00000E+00	C66	-5.89790E-06

10

20

30

【0 0 7 4】

【表 5】

s9

K	-1.00000E+00
A4	1.46543E-04
A6	8.27051E-04
A8	5.32119E-05
A10	7.88739E-07
A12	0.00000E+00
A14	0.00000E+00
A16	0.00000E+00
A18	0.00000E+00
A20	0.00000E+00

40

【0 0 7 5】

【表 6】

s10

K	0.00000E+00
A4	2.48173E-03
A6	-3.56816E-05
A8	4.54625E-04
A10	-4.02723E-05
A12	0.00000E+00
A14	0.00000E+00
A16	0.00000E+00
A18	0.00000E+00
A20	0.00000E+00

10

【 0 0 7 6 】

【表 7】

20

s15

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-4.37885E-05
C2	0.00000E+00	C24	-4.48983E-04	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	-1.35833E-02	C26	4.22990E-04	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	1.58217E-02	C28	-6.89639E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-5.73414E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	-4.23355E-06
C13	4.06591E-04	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	7.83237E-06
C15	-6.52448E-03	C37	-3.48081E-05	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	1.94777E-05
C17	0.00000E+00	C39	-1.47712E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-3.43515E-05
C19	0.00000E+00	C41	-3.39200E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	6.65521E-06
C21	0.00000E+00	C43	2.21761E-05	C65	0.00000E+00
C22	-2.00409E-04	C44	0.00000E+00	C66	-1.52826E-05

30

40

【 0 0 7 7 】

50

【表 8】

s16

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	1.55068E-06
C2	0.00000E+00	C24	2.80139E-04	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	2.27047E-02	C26	9.60494E-04	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	3.99957E-02	C28	-1.85346E-03	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-4.30563E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	6.26478E-06
C13	2.26638E-02	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	2.99932E-05
C15	-1.01597E-02	C37	-1.18934E-04	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	5.70767E-05
C17	0.00000E+00	C39	-4.08088E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-1.16918E-05
C19	0.00000E+00	C41	-6.35989E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-5.62801E-06
C21	0.00000E+00	C43	-1.36403E-04	C65	0.00000E+00
C22	8.46224E-06	C44	0.00000E+00	C66	1.05199E-05

【0078】

(数値実施例2)

図8は、数値実施例2に係るレンズ系121の無限遠合焦状態の球面収差図及び非点収差図である。また、図9は、数値実施例2に係るレンズ系121の無限遠合焦状態の画角と像点の関係を示した図である。図9に示すレンズ系121の場合も、通常の回転対称レンズに比較して、像面の形状が拡大され、矩形の撮像素子102の感光面の領域を有効活用できていることが分かる。特にX像高方向で顕著なように、光軸付近の中央部の像が光軸から離れた周辺部の像よりも拡大できていることが分かる。数値実施例2のレンズ系121は、図2に示した実施の形態2に対応する。数値実施例2のレンズ系121の面データを表9に、各種データを表10に、第5面、第6面、第9面、第10面、第15面、および第16面の非球面・自由曲面データをそれぞれ表11、表12、表13、表14、表15および表16に示す。

【0079】

10

20

30

40

【表 9】

s	面のタイプ	r	d	nd	vd
1	球面	12.146	1.000	1.72916	54.7
2	球面	6.000	3.132		
3	球面	-63.845	0.800	1.72916	54.7
4	球面	3.118	2.388		
5	XY多項式面	-4.986	2.000	1.49176	57.5
6	XY多項式面	15.806	0.429		
7	球面	17.940	1.500	1.80610	40.9
8	球面	-12.577	0.150		
9	非球面	2.800	1.700	1.49176	57.5
10	非球面	3.914	1.256		
11	平面	絞り	0.150		
12	球面	5.525	3.096	1.59522	67.7
13	球面	-3.672	0.600	1.95906	17.5
14	球面	-9.084	0.922		
15	XY多項式面	5.053	1.600	1.49176	57.5
16	XY多項式面	142.714	3.366		

10

20

【0080】

【表 10】

Fナンバー	2.62
垂直半画角	82°
水平半画角	92°
垂直像高@垂直半画角	1.689
水平像高@水平半画角	2.980
水平像高@垂直半画角	2.852
光学全長	24.090

30

【0081】

【表 1 1】

s5

C1	1.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-1.86517E-04
C2	0.00000E+00	C24	1.80561E-03	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	9.82210E-02	C26	-1.00004E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	-2.39764E-01	C28	2.52224E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-2.60552E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	-1.78179E-06
C13	1.97713E-02	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	5.50349E-06
C15	-3.46932E-03	C37	5.85414E-06	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	5.98934E-07
C17	0.00000E+00	C39	-9.46390E-05	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-1.08733E-04
C19	0.00000E+00	C41	3.40232E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-7.09955E-05
C21	0.00000E+00	C43	1.38751E-04	C65	0.00000E+00
C22	5.65340E-04	C44	0.00000E+00	C66	1.03808E-04

10

20

30

【0 0 8 2】

【表 1 2】

s6

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-3.42007E-05
C2	0.00000E+00	C24	3.24024E-03	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	4.36756E-02	C26	2.20941E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	-1.08803E-01	C28	8.02693E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-9.69054E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	6.00027E-06
C13	-1.00811E-03	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	1.56463E-05
C15	1.10290E-03	C37	-1.64068E-04	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	1.94011E-05
C17	0.00000E+00	C39	-4.22454E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	2.07297E-05
C19	0.00000E+00	C41	-4.43373E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	1.00502E-05
C21	0.00000E+00	C43	-3.51086E-04	C65	0.00000E+00
C22	1.66097E-03	C44	0.00000E+00	C66	3.26489E-06

【0 0 8 3】

【表 1 3】

s9

K	-1.00000E+00
A4	1.53994E-03
A6	1.18079E-03
A8	-1.21875E-04
A10	2.44032E-05
A12	0.00000E+00
A14	0.00000E+00
A16	0.00000E+00
A18	0.00000E+00
A20	0.00000E+00

【0 0 8 4】

【表 1 4】

s10

K	0.00000E+00
A4	4.82378E-03
A6	3.63028E-04
A8	3.22947E-04
A10	3.85786E-05
A12	0.00000E+00
A14	0.00000E+00
A16	0.00000E+00
A18	0.00000E+00
A20	0.00000E+00

10

【0 0 8 5】

【表 1 5】

s15

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-5.37771E-05
C2	0.00000E+00	C24	1.20055E-04	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	3.89778E-03	C26	8.97173E-04	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	1.91856E-02	C28	-6.94896E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-3.09721E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	-2.70980E-06
C13	4.56851E-03	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	1.77985E-05
C15	-3.09483E-03	C37	-4.00939E-05	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	4.38182E-05
C17	0.00000E+00	C39	-1.62966E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-3.20220E-05
C19	0.00000E+00	C41	-4.17055E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	7.06257E-06
C21	0.00000E+00	C43	1.81808E-04	C65	0.00000E+00
C22	-1.25804E-04	C44	0.00000E+00	C66	-1.17007E-05

20

30

40

【0 0 8 6】

【表 16】

s16

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-1.03464E-05
C2	0.00000E+00	C24	1.06866E-03	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	4.78645E-02	C26	2.08534E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	4.56322E-02	C28	-1.71143E-03	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-2.06385E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	5.44613E-06
C13	2.14463E-02	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	2.64149E-05
C15	-3.41602E-03	C37	-1.23326E-04	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	4.87517E-05
C17	0.00000E+00	C39	-3.31890E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-1.94661E-05
C19	0.00000E+00	C41	-5.05216E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-4.56261E-05
C21	0.00000E+00	C43	1.48931E-04	C65	0.00000E+00
C22	1.60593E-04	C44	0.00000E+00	C66	3.12212E-06

【0087】

(数値実施例3)

図10は、数値実施例3に係るレンズ系131の無限遠合焦状態の球面収差図及び非点収差図である。また、図11は、数値実施例3に係るレンズ系131の無限遠合焦状態の画角と像点の関係を示した図である。図11に示すレンズ系131の場合も、通常の回転対称レンズに比較して、像面の形状が拡大され、矩形の撮像素子102の感光面の領域を有効活用できていることが分かる。特にX像高方向で顕著なように、光軸付近の中央部の像が光軸から離れた周辺部の像よりも拡大できていることが分かる。数値実施例3のレンズ系131は、図3に示した実施の形態3に対応する。数値実施例3のレンズ系131の面データを表17に、各種データを表18に、第5面、第6面、第9面、第10面、第15面、および第16面の非球面・自由曲面データをそれぞれ表19、表20、表21、表22、表23、および表24に示す。

【0088】

10

20

30

40

【表 1 7】

s	面のタイプ	r	d	nd	vd
1	球面	14.553	1.000	1.72916	54.7
2	球面	6.097	2.538		
3	球面	228.080	0.800	1.72916	54.7
4	球面	2.960	2.428		
5	XY多項式面	-5.714	2.000	1.49176	57.5
6	XY多項式面	22.440	0.312		
7	球面	19.648	1.500	1.90366	31.3
8	球面	-13.743	0.150		
9	非球面	2.888	1.700	1.49176	57.5
10	非球面	5.269	1.202		
11	平面	絞り	0.150		
12	球面	4.659	1.900	1.49700	81.6
13	球面	-2.730	0.800	1.80809	22.8
14	球面	-9.560	1.131		
15	XY多項式面	4.208	1.600	1.49176	57.5
16	XY多項式面	7.311	3.513		

10

20

【0 0 8 9】

【表 1 8】

Fナンバー	2.58
垂直半画角	82°
水平半画角	92°
垂直像高@垂直半画角	1.690
水平像高@水平半画角	2.981
水平像高@垂直半画角	2.843
光学全長	22.730

30

【0 0 9 0】

【表 19】

s5

C1	1.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-2.92854E-05
C2	0.00000E+00	C24	1.74029E-03	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	7.95195E-02	C26	-1.96821E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	-2.70228E-01	C28	-1.07453E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-3.79164E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	-6.39091E-06
C13	1.90965E-02	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	-2.12702E-06
C15	-5.19095E-03	C37	2.02496E-05	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	-1.95101E-06
C17	0.00000E+00	C39	-1.25376E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-1.78867E-04
C19	0.00000E+00	C41	3.06692E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-1.61685E-04
C21	0.00000E+00	C43	2.04615E-04	C65	0.00000E+00
C22	4.44944E-04	C44	0.00000E+00	C66	5.82373E-05

【0091】

10

20

30

【表 2 0】

s6

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	6.64605E-06
C2	0.00000E+00	C24	3.38519E-03	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	5.62528E-02	C26	2.05118E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	-9.86555E-02	C28	7.52570E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-1.04079E-02	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	6.11179E-06
C13	-9.69687E-04	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	1.44670E-05
C15	1.32574E-03	C37	-1.72282E-04	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	1.13805E-05
C17	0.00000E+00	C39	-4.47705E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	7.10033E-06
C19	0.00000E+00	C41	-4.12353E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-6.07779E-06
C21	0.00000E+00	C43	-2.91674E-04	C65	0.00000E+00
C22	1.70381E-03	C44	0.00000E+00	C66	-5.44565E-06

10

20

30

【0 0 9 2】

【表 2 1】

s9

K	-1.00000E+00
A4	1.75219E-04
A6	6.17357E-04
A8	2.82727E-05
A10	1.73992E-07
A12	0.00000E+00
A14	0.00000E+00
A16	0.00000E+00
A18	0.00000E+00
A20	0.00000E+00

40

【0 0 9 3】

【表 2 2】

s10

K	0.00000E+00
A4	8.82822E-04
A6	-2.64981E-04
A8	3.28100E-04
A10	-3.61474E-05
A12	0.00000E+00
A14	0.00000E+00
A16	0.00000E+00
A18	0.00000E+00
A20	0.00000E+00

10

【0 0 9 4】

【表 2 3】

s15

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-6.75748E-05
C2	0.00000E+00	C24	-1.94783E-05	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	1.73753E-02	C26	8.51458E-04	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	2.75432E-02	C28	-7.76743E-04	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-4.24756E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	-3.98041E-06
C13	3.28055E-03	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	6.63102E-06
C15	-3.81993E-03	C37	-3.29850E-05	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	3.58460E-05
C17	0.00000E+00	C39	-1.30505E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-3.51608E-05
C19	0.00000E+00	C41	-3.82728E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	4.59428E-06
C21	0.00000E+00	C43	1.13888E-04	C65	0.00000E+00
C22	-9.08170E-05	C44	0.00000E+00	C66	-1.32062E-05

20

30

40

【0 0 9 5】

【表 2 4】

s16

C1	0.00000E+00	C23	0.00000E+00	C45	-9.39401E-05
C2	0.00000E+00	C24	8.67124E-04	C46	0.00000E+00
C3	0.00000E+00	C25	0.00000E+00	C47	0.00000E+00
C4	4.64459E-03	C26	1.82824E-03	C48	0.00000E+00
C5	0.00000E+00	C27	0.00000E+00	C49	0.00000E+00
C6	-3.91406E-03	C28	-1.98552E-03	C50	0.00000E+00
C7	0.00000E+00	C29	0.00000E+00	C51	0.00000E+00
C8	0.00000E+00	C30	0.00000E+00	C52	0.00000E+00
C9	0.00000E+00	C31	0.00000E+00	C53	0.00000E+00
C10	0.00000E+00	C32	0.00000E+00	C54	0.00000E+00
C11	-1.72470E-03	C33	0.00000E+00	C55	0.00000E+00
C12	0.00000E+00	C34	0.00000E+00	C56	6.32420E-06
C13	2.46574E-02	C35	0.00000E+00	C57	0.00000E+00
C14	0.00000E+00	C36	0.00000E+00	C58	2.50104E-05
C15	-2.55342E-03	C37	-1.39729E-04	C59	0.00000E+00
C16	0.00000E+00	C38	0.00000E+00	C60	6.37206E-05
C17	0.00000E+00	C39	-4.03490E-04	C61	0.00000E+00
C18	0.00000E+00	C40	0.00000E+00	C62	-2.58988E-05
C19	0.00000E+00	C41	-6.42035E-04	C63	0.00000E+00
C20	0.00000E+00	C42	0.00000E+00	C64	-2.25432E-05
C21	0.00000E+00	C43	-6.86474E-05	C65	0.00000E+00
C22	1.10866E-04	C44	0.00000E+00	C66	1.74677E-05

【0 0 9 6】

以下の表 2 5 に、各数値実施例のレンズ系における各条件の対応値を示す。

【0 0 9 7】

(条件の対応値)

【0 0 9 8】

【表 2 5】

	数値実施例1	数値実施例2	数値実施例3
条件(1)	92.0	92.0	92.0
条件(2)	1.684	1.689	1.682
条件(3)	0.636	0.636	0.636
条件(4)	10	10	10
条件(5)	22.438	21.177	19.672
条件(6)	1.49175	1.49175	1.49175
条件(7)	2	2	2

【産業上の利用可能性】

【0 0 9 9】

本実施に係るレンズ系は、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラ、携帯電話機器のカメラ、PDA（Personal Digital Assistance）のカメラ、監視システムにおける監視カメラ、Webカメラ、車載カメラ等に適用可能であり、特にデジタルスチルカメラシステム、デジタルビデオカメラシステムといった高画質が要求される撮影光学系に好適である。

【0100】

また、本実施に係るレンズ系は、交換レンズ装置にも備えられる。

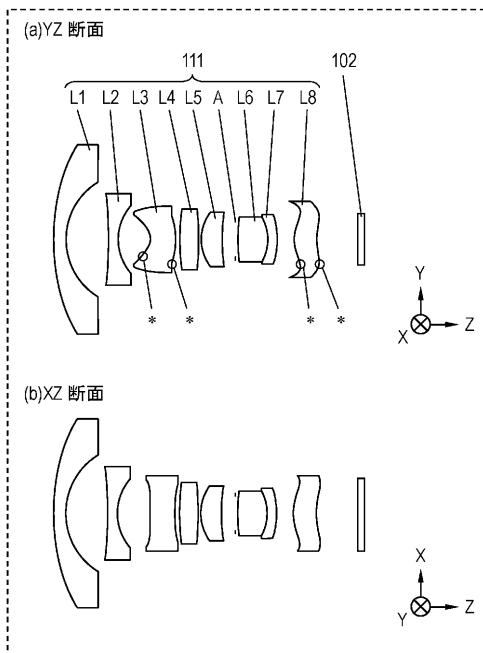
【符号の説明】

【0101】

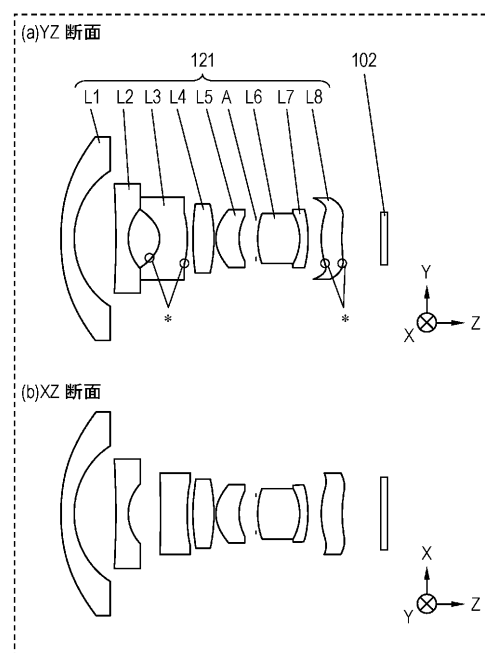
- 100 カメラシステム
- 111, 121, 131 レンズ系
- 102 撮像素子
- 103 カメラ本体
- 200 撮像システム
- 201 撮像光学系
- 202 画像処理部
- A 開口絞り
- L1～L8 レンズ素子

10

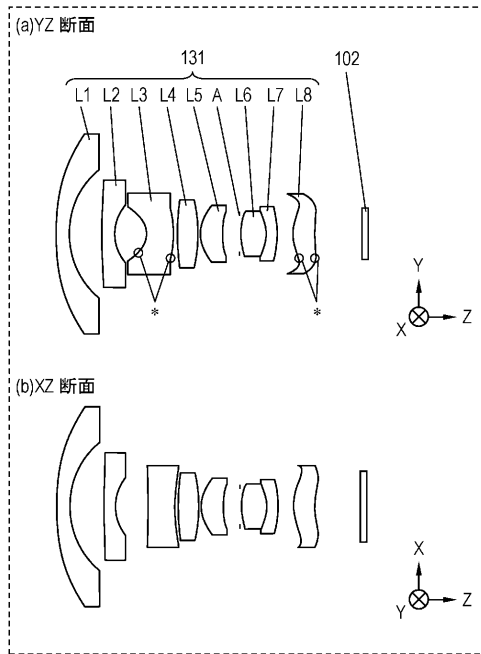
【図1】



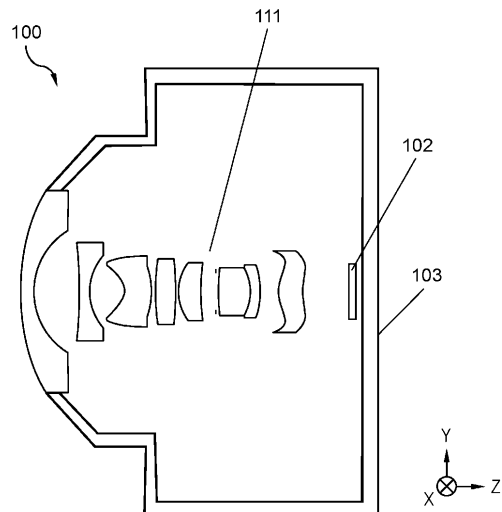
【図2】



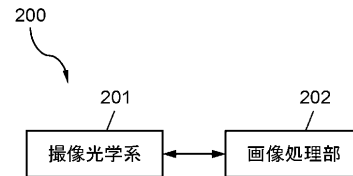
【図 3】



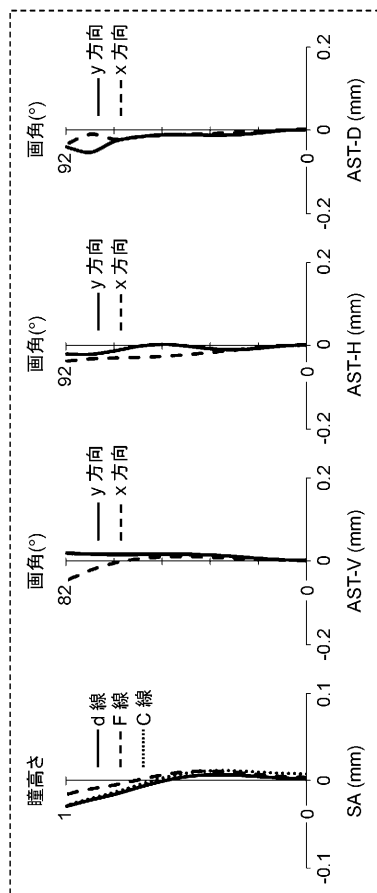
【図 4】



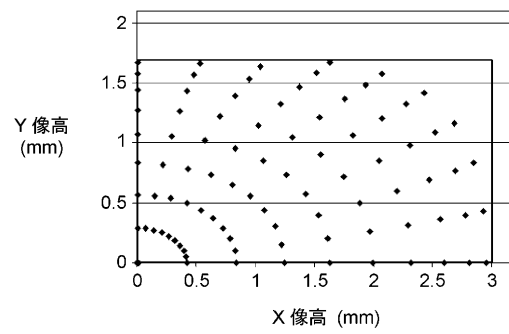
【図 5】



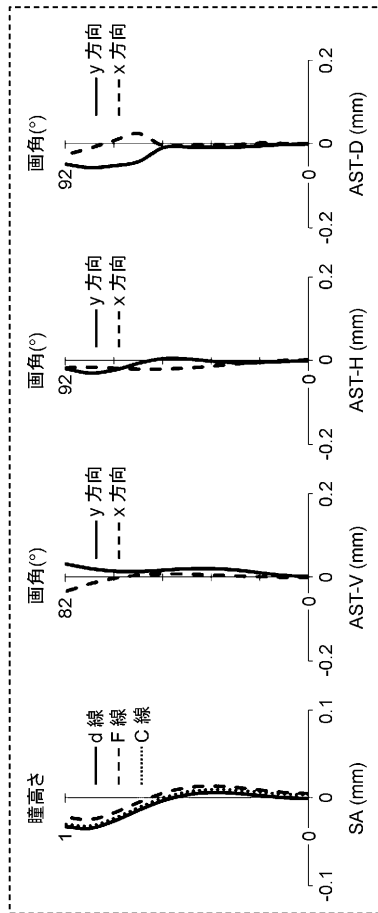
【図 6】



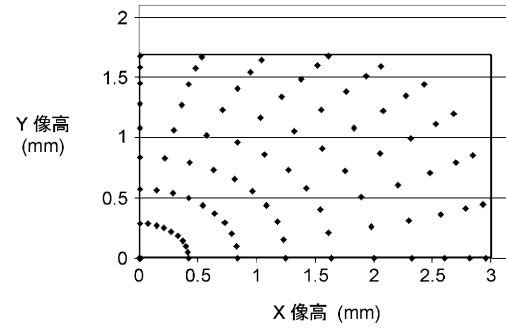
【図 7】



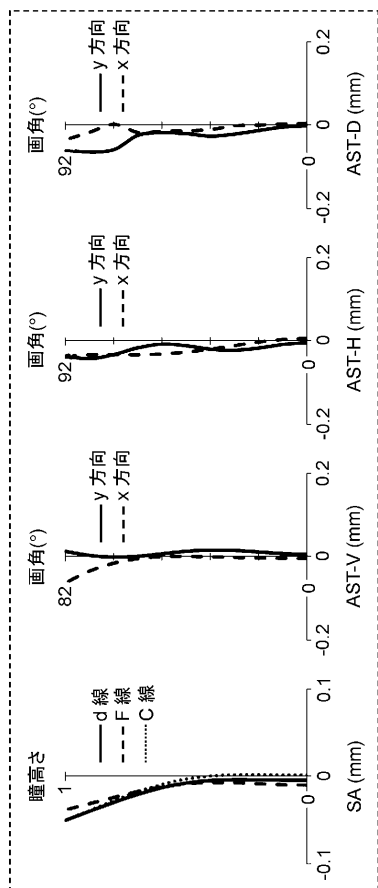
【図 8】



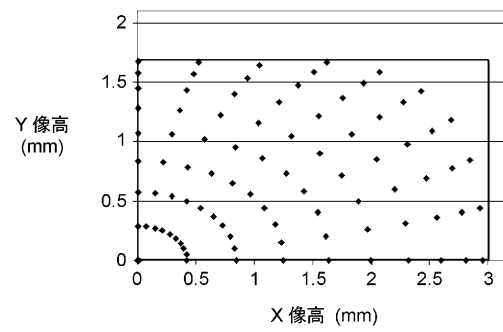
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2016-148725 (JP, A)
特開2010-276755 (JP, A)
特開2006-11093 (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