

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6239862号
(P6239862)

(45) 発行日 平成29年11月29日(2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日(2017.11.10)

(51) Int.Cl.

F 1

GO2B	7/28	(2006.01)	GO2B	7/28	N
GO2B	7/34	(2006.01)	GO2B	7/34	
GO2B	7/36	(2006.01)	GO2B	7/36	
GO3B	13/36	(2006.01)	GO3B	13/36	
HO4N	5/232	(2006.01)	HO4N	5/232	

請求項の数 17 (全 24 頁)

(21) 出願番号

特願2013-106195 (P2013-106195)

(22) 出願日

平成25年5月20日 (2013.5.20)

(65) 公開番号

特開2014-228586 (P2014-228586A)

(43) 公開日

平成26年12月8日 (2014.12.8)

審査請求日

平成28年4月26日 (2016.4.26)

(73) 特許権者 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100094112

弁理士 岡部 譲

(74) 代理人 100096943

弁理士 白井 伸一

(74) 代理人 100101498

弁理士 越智 隆夫

(74) 代理人 100107401

弁理士 高橋 誠一郎

(74) 代理人 100106183

弁理士 吉澤 弘司

(74) 代理人 100128668

弁理士 斎藤 正巳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】焦点調節装置、焦点調節方法およびプログラム、並びに撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被写体の光学像を形成する結像光学系の異なる瞳領域を通過した被写体光を光電変換して得られた画素信号を用いて前記被写体の焦点調節を行う焦点調節装置において、

前記画素信号を取得する取得手段と、

前記画素信号を用いて、前記異なる瞳領域に対応する複数の焦点検出信号を生成する信号生成手段と、

前記複数の焦点検出信号の像ずれ量に基づいて第1のデフォーカス量を検出する第1の焦点検出手段と、

前記複数の焦点検出信号から生成したリフォーカス信号のコントラスト評価値に基づいて第2のデフォーカス量を検出する第2の焦点検出手段と、

前記第1の焦点検出手段を制御し、検出した前記第1のデフォーカス量に基づいて前記結像光学系の焦点調節を行った後に、前記第2の焦点検出手段を制御し、検出した前記第2のデフォーカス量に基づいて、さらに合焦状態に焦点調節を制御する制御手段とを備えることを特徴とする焦点調節装置。

【請求項 2】

前記第1の焦点検出手段は、前記複数の焦点検出信号に第1のフィルター処理を行う第1のフィルター処理手段と、前記第1のフィルター処理された複数の焦点検出信号の第1のシフト処理を行って相關量を算出し、前記相關量に基づいて前記像ずれ量を検出する像ずれ量手段とを有し、

前記第2の焦点検出手段は、前記複数の焦点検出信号に第2のフィルター処理を行う第2のフィルター処理手段と、前記第2のフィルター処理された複数の焦点検出信号に第2のシフト処理を行って加算することでリフォーカス信号を生成し、前記リフォーカス信号のコントラスト評価値を算出する評価値手段を有し、前記コントラスト評価値からサブピクセル演算することにより第2の検出デフォーカス量を検出し、

前記第2のシフト処理のシフト範囲は、前記第1のシフト処理のシフト範囲以下であることを特徴とする請求項1に記載の焦点調節装置。

【請求項3】

前記第2のフィルター処理の通過帯域は、前記第1のフィルター処理の通過帯域より高周波帯域を含むことを特徴とする請求項2に記載の焦点検出装置。

10

【請求項4】

前記制御手段は、前記結像光学系の絞り値が所定絞り値以下の場合に、前記第2の焦点検出手段により前記第2のデフォーカス量を検出することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の焦点調節装置。

【請求項5】

前記第1の焦点検出手段は、前記複数の焦点検出信号のそれぞれに第1の画素加算処理を行い、

前記第2の焦点検出手段は、前記複数の焦点検出信号のそれぞれに第2の画素加算処理を行い、

前記第2の画素加算処理の画素加算数が、前記第1の画素加算処理の画素加算数以下であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の焦点調節装置。

20

【請求項6】

前記第1の焦点検出手段は、前記複数の焦点検出信号に光学補正処理を行う光学補正処理手段を有することを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の焦点調節装置。

【請求項7】

前記第2の焦点検出手段は、前記被写体の画像信号のコントラスト評価値に基づいて前記第2のデフォーカス量を補正することを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれか一項に記載の焦点調節装置。

【請求項8】

前記制御手段は、前記第1の焦点検出手段および第2の焦点検出手段を制御して、前記第1のデフォーカス量の検出および前記第2のデフォーカス量の検出を行い、前記第2のデフォーカス量が検出された場合は前記第2のデフォーカス量に基づいて、前記第2のデフォーカス量が検出されない場合は前記第1のデフォーカス量に基づいて、前記第2又は第1のデフォーカス量の大きさが所定値以下となるまで、前記被写体の焦点調節を行うことを特徴とする請求項1乃至7のいずれか一項に記載の焦点調節装置。

30

【請求項9】

被写体の光学像を形成する結像光学系と、

前記結像光学系の異なる瞳領域を通過した被写体光を瞳分割手段を介して受光して光電変換することで、前記異なる瞳領域を通過した被写体光に対応する画素信号を生成する撮像手段と、

前記画素信号を用いて、前記異なる瞳領域に対応する複数の焦点検出信号を生成する信号生成手段と、

前記複数の焦点検出信号の像ずれ量に基づいて第1のデフォーカス量を検出する第1の焦点検出手段と、

前記複数の焦点検出信号から生成したリフォーカス信号のコントラスト評価値に基づいて第2のデフォーカス量を検出する第2の焦点検出手段と、

前記第1の焦点検出手段を制御し、検出した前記第1のデフォーカス量に基づいて前記結像光学系の焦点調節を行った後に、前記第2の焦点検出手段を制御し、検出した前記第2のデフォーカス量に基づいて、さらに合焦状態に前記結像光学系の駆動を制御する制御

40

50

手段と

を備えることを特徴とする撮像装置。

【請求項 1 0】

前記制御手段は、前記第1の焦点検出手段および第2の焦点検出手段を制御して、前記前記第1のデフォーカス量の検出および前記第2のデフォーカス量の検出を行い、前記第2のデフォーカス量が検出された場合は前記第2のデフォーカス量に基づいて、前記第2のデフォーカス量が検出されない場合は前記第1のデフォーカス量に基づいて、前記第2又は第1のデフォーカス量の大きさが所定値以下となるまで、前記結像光学系を駆動して焦点調節を行うことを特徴とする請求項9に記載の撮像装置。

【請求項 1 1】

10

前記撮像手段は、前記結像光学系の第1の瞳部分領域を通過する光束を受光する第1の焦点検出手画素と、前記第1の瞳部分領域と異なる前記結像光学系の第2の瞳部分領域を通過する光束を受光する第2の焦点検出手画素とを有し、前記第1の焦点検出手画素と第2の焦点検出手画素は、前記結像光学系の第1の瞳部分領域と第2の瞳部分領域を合わせた瞳領域を通過する光束を受光する撮像画素を構成することを特徴とする請求項9又は10に記載の撮像装置。

【請求項 1 2】

前記結像光学系は、フォーカスレンズを含み、前記制御手段は、前記フォーカスレンズの駆動を制御することを特徴とする請求項9乃至11のいずれか一項に記載の撮像装置。

【請求項 1 3】

20

被写体の光学像を形成する結像光学系の異なる瞳領域を通過した被写体光を光電変換して得られた画素信号を用いて前記被写体の焦点調節を行う焦点調節方法において、

前記画素信号を取得する取得ステップと、

前記画素信号を用いて、前記異なる瞳領域に対応する複数の焦点検出信号を生成する信号生成ステップと、

前記複数の焦点検出信号の像ずれ量に基づいて第1のデフォーカス量を検出する第1の焦点検出ステップと、

前記複数の焦点検出信号から生成したリフォーカス信号のコントラスト評価値に基づいて第2のデフォーカス量を検出する第2の焦点検出ステップと、

前記第1の焦点検出ステップによって検出した前記第1のデフォーカス量に基づいて前記結像光学系の焦点調節を行った後に、前記第2の焦点検出ステップによって検出した前記第2のデフォーカス量に基づいて、さらに合焦状態に焦点調節を制御する制御ステップと

を備えることを特徴とする焦点検出方法。

【請求項 1 4】

被写体の光学像を形成する結像光学系の異なる瞳領域を通過した被写体光を光電変換して得られた画素信号を用いて前記被写体の焦点調節を行う焦点調節装置を制御するためのプログラムであり、

コンピュータを、

前記画素信号を取得する取得手段、

40

前記画素信号を用いて、前記異なる瞳領域に対応する複数の焦点検出信号を生成する信号生成手段、

前記複数の焦点検出信号の像ずれ量に基づいて第1のデフォーカス量を検出する第1の焦点検出手段、

前記複数の焦点検出信号から生成したリフォーカス信号のコントラスト評価値に基づいて第2のデフォーカス量を検出する第2の焦点検出手段、

前記第1の焦点検出手段を制御し、検出した前記第1のデフォーカス量に基づいて前記結像光学系の焦点調節を行った後に、前記第2の焦点検出手段を制御し、検出した前記第2のデフォーカス量に基づいて、さらに合焦状態に焦点調節を制御する制御手段

として機能させるプログラム。

50

【請求項 15】

請求項14のプログラムを記録したコンピュータが読み取り可能な記憶媒体。

【請求項 16】

コンピュータを、請求項1乃至8のいずれか一項に記載の焦点調節装置の各手段として機能させるプログラム。

【請求項 17】

コンピュータを、請求項1乃至8のいずれか一項に記載の焦点調節装置の各手段として機能させるプログラムを格納した記憶媒体。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

10

【0001】

本発明は、焦点調節装置および焦点調節方法に関し、特に結像光学系の異なる射出瞳を通過した被写体光に基づく画素信号を用いて焦点調節を行う焦点調節装置、焦点調節方法および撮像装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

撮像装置の焦点検出方法の1つに、撮像素子に形成された焦点検出画素により位相差方式の焦点検出を行う撮像面位相差方式がある。撮像面位相差方式の焦点検出においては、撮像素子に形成された焦点検出画素により、デフォーカス方向とデフォーカス量を同時に検出することが可能であり、高速に焦点調節を行うことができる。

20

【0003】

例えば、特許文献1では、1つの画素について、1つのマイクロレンズと複数に分割された光電変換部が形成されている2次元撮像素子を用いた撮像装置が開示されている。分割された光電変換部は、1つのマイクロレンズを介して撮影レンズの射出瞳の異なる領域を受光するように構成され、瞳分割を行っている。これらの分割された光電変換部（焦点検出画素）で受光したそれぞれの焦点検出信号から像ずれ量を求めて、位相差方式の焦点検出を行うことができる。また、特許文献2では、分割された光電変換部で受光した焦点検出信号を加算することにより撮像信号を生成することが開示されている。

【0004】

特許文献3では、複数の撮像画素からなる2次元撮像素子に、部分的に1対の焦点検出画素が配置された撮像装置が開示されている。そこでは、1対の焦点検出画素を、開口部を有する遮光層により、撮影レンズの射出瞳の異なる領域を通過した被写体光を受光するよう構成することで瞳分割を行っている。2次元撮像素子の大部分に配置された撮像画素で撮像信号を取得し、一部に配置された焦点検出画素の画素信号から像ずれ量を求めて、位相差方式の焦点検出を行うことができる。

30

【先行技術文献】**【特許文献】****【0005】**

【特許文献1】米国特許第4410804号

【特許文献2】特開2001-083407号公報

40

【特許文献3】特開2000-156823号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

しかしながら、撮像面位相差方式では、焦点検出を行う焦点検出画素が受光する光束と撮像画像を取得する撮像画素が受光する光束が異なるため、撮影レンズの各収差（球面収差、非点収差、コマ収差など）の焦点検出信号への影響と撮像信号への影響が異なる。そのため、焦点検出信号から算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間に差が生じるという課題がある。

【0007】

50

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、焦点検出信号から算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間の差を抑制し、高精度な焦点検出を可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明によれば、被写体の光学像を形成する結像光学系の異なる瞳領域を通過した被写体光を光電変換して得られた画素信号を用いて被写体の焦点調節を行う焦点調節装置は、画素信号を取得する取得手段と、画素信号を用いて、異なる瞳領域に対応する複数の焦点検出信号を生成する信号生成手段と、複数の焦点検出信号の像ずれ量に基づいて第1のデフォーカス量を検出する第1の焦点検出手段と、複数の焦点検出信号から生成したリフォーカス信号のコントラスト評価値に基づいて第2のデフォーカス量を検出する第2の焦点検出手段と、第1の焦点検出手段を制御し、検出した前記第1のデフォーカス量に基づいて前記結像光学系の焦点調節を行った後に、前記第2の焦点検出手段を制御し、検出した第2のデフォーカス量に基づいて、さらに合焦状態に焦点調節を制御する制御手段を備える。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、焦点検出信号から算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間に差が生じることを抑制し、高精度な、または高精度で高速な焦点検出を可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の第1の実施例に係る焦点調節装置を適用した撮像装置の概略構成図

【図2】本発明の第1の実施例における撮像装置で用いられる撮像素子の画素配列の概略図

【図3】本発明の第1の実施例における撮像装置で用いられる撮像素子の画素構成の概略平面図と概略断面図

【図4】本発明の第1の実施例における撮像装置で用いられる撮像素子の画素と瞳分割領域との対応を説明するための図

【図5】本発明の第1の実施例における撮像装置で用いられる結像光学系と撮像素子における瞳分割を説明するための図

【図6】本発明の第1の実施例における撮像装置で用いられる撮像素子からの画素信号から生成される第1の焦点検出信号および第2の焦点検出信号に基づく像のデフォーカス量と像ずれ量の関係を示す図

【図7】本発明の第1の実施例における第1の焦点検出の動作のフロ-チャートを示す図

【図8】本発明の第1の実施例における第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の瞳ずれによるシェーディングを説明するための図

【図9】本発明の第1の実施例におけるフィルター周波数帯域例

【図10】本発明の第1の実施例における第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の例

【図11】本発明の第1の実施例における光学補正処理と第1フィルター処理後の第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の例

【図12】本発明の第1の実施例における第1検出デフォーカス量と第2検出デフォーカス量の算出例

【図13】本発明の第1の実施例におけるリフォーカス処理の概略説明図

【図14】本発明の第2の実施例における第2の焦点検出処理の流れの概略図

【図15】本発明の第1の実施例における第2フィルター処理後の第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の例

【図16】本発明の第1の実施例における第2フィルター処理後の第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号をシフト加算した例

【図17】本発明の第1の実施例における第2評価値例

10

20

30

40

50

【図18】本発明の第1の実施例におけるリフオーカス可能範囲の概略説明図
 【図19】本発明の第1の実施例における焦点検出処理の流れの概略図
 【図20】本発明の第2の実施例における焦点検出処理の流れの概略図
 【図21】本発明の第3の実施例における画素配列の概略図
 【図22】本発明の第3の実施例における画素の概略平面図と概略断面図
 【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の例示的な実施の形態を、図面に基づいて詳細に説明する。

【0012】

[第1の実施例]

10

[全体構成]

図1は、本発明の第1の実施例に係る焦点調節装置を適用した撮像装置であるカメラの構成図を示す。当該撮像装置は、後述するように、結像光学系の射出瞳の瞳分割手段であるマイクロレンズを有する撮像素子を有し、撮像面位相差方式の焦点調節が可能な装置である。

同図において、101は、被写体の光学像を形成する結像光学系の先端に配置された第1のレンズ群で、光軸方向に進退可能に保持される。102は絞り兼用シャッタで、その開口径を調節することで撮影時の光量調節を行なうほか、静止画撮影時には露光秒時調節用シャッタとしての機能も備える。103は第2のレンズ群である。そして前記絞り兼用シャッタ102及び第2のレンズ群103は一体となって光軸方向に進退し、前記第1のレンズ群101の進退動作との連動により、変倍作用（ズーム機能）をなす。

20

【0013】

105は第3のレンズ群で、光軸方向の進退により、焦点調節を行なう。106は光学的ローパスフィルタで、撮影画像の偽色やモアレを軽減するための光学素子である。107は2次元CMOSフォトセンサーと周辺部からなる撮像素子であり、結像光学系の結像面に配置される。

【0014】

111はズームアクチュエータで、変倍作用を実現するために、不図示のカム筒を回動することで、第1のレンズ群111ないし第2レンズ群103を光軸方向に進退駆動して変倍操作を行なう。112は絞りシャッタアクチュエータで、撮影光量を調節する絞り兼用シャッタ102の開口径を制御すると共に、静止画撮影時の露光時間制御を行なう。114はフォーカスアクチュエータで、焦点調節を行うため、第3のレンズ群105を光軸方向に進退駆動する。

30

【0015】

115は撮影時の被写体照明用電子フラッシュで、キセノン管を用いた閃光照明装置が好適だが、連続発光するLEDを備えた照明装置を用いても良い。116はAF補助光手段で、所定の開口パターンを有したマスクの像を、投光レンズを介して被写界に投影し、暗い被写体あるいは低コントラスト被写体に対する焦点検出能力を向上させる。

【0016】

121はCPUで、カメラ本体の種々の制御を司るカメラ内CPUで、演算部、ROM、RAM、A/Dコンバータ、D/Aコンバータ、通信インターフェイス部等を有する。当該CPU121は、ROMに記憶された所定のプログラムをロードして実行することで、カメラが有する各部を駆動し、AF、撮影、画像処理と記録等の一連の動作を実行する。CPU121は、後述する画像処理部125とともに本発明の焦点調節装置を構成する手段であり、焦点調節のための信号処理および結像光学系の駆動の制御を司る。

40

【0017】

122は電子フラッシュ制御部で、撮影動作に同期して照明手段115を点灯制御する。123は補助光駆動部で、焦点検出動作に同期してAF補助光手段116を点灯制御する。124は撮像素子駆動部で、撮像素子107の撮像動作を制御するとともに、取得した画像信号をA/D変換してCPU121に送信する。125は画像処理部で、撮像素子

50

107 が生成した画像信号の変換、カラー補間、JPEG圧縮等の処理を行なう。

【0018】

126 はフォーカス駆動部で、焦点検出結果に基づいてフォーカスアクチュエータ 114 を駆動制御し、焦点調節を行うために第 3 のレンズ群（フォーカスレンズ）105 を光軸方向に進退駆動する。128 は絞りシャッタ駆動部で、絞りシャッタアクチュエータ 112 を駆動制御して絞り兼用シャッタ 102 の開口を制御する。129 はズーム駆動部で、撮影者のズーム操作に応じてズームアクチュエータ 111 を駆動する。

【0019】

131 はLCD等の表示装置で、カメラの撮影モードに関する情報、撮影前のプレビュー画像と撮影後の確認用画像、焦点検出時の合焦状態表示画像等を表示する。132 は操作スイッチ群で、電源スイッチ、レリーズ（撮影トリガ）スイッチ、ズーム操作スイッチ、撮影モード選択スイッチ等で構成される。133 は着脱可能なフラッシュメモリで、所定の記録フォーマットで記録部 134 により撮影済み画像が記録される。

【0020】

【撮像素子】

本第1の実施例の撮像装置が有する撮像素子の画素配列の概略図を図2に示す。同図は、本第1の実施例で用いられる撮像素子としての2次元CMOSセンサーの画素配列を、撮像画素の4列×4行の範囲で（焦点検出画素お配列としては8列×4行の範囲）で示している。

【0021】

本実施例では、図2に示した2列×2行の画素群 200 は、R（赤）の分光感度を有する画素 200R が図の左上の位置に、G（緑）の分光感度を有する画素 200G が右上と左下の位置に、B（青）の分光感度を有する画素 200B が右下の位置に配置されている。さらに、各画素は2列×1行に配列された第1の焦点検出画素 201 と第2の焦点検出画素 202 により構成されている。

【0022】

撮像素子 107 は、図2に示す4列×4行の撮像画素（8列×4行の焦点検出画素）を撮像面上に多数配置し、撮像画像信号および焦点検出信号の取得を可能としている。本実施例では、画素の周期 P が 4 μm、画素数 N が横 5575 列×縦 3725 行 = 約 2075 万画素、焦点検出画素の列方向周期 P_{AF} が 2 μm、焦点検出画素数 N_{AF} が横 1115 0 列×縦 3725 行 = 約 4150 万画素の撮像素子として説明を行う。

【0023】

図2に示す撮像素子の1つの画素 200G を、撮像素子の受光面側（+z 側）から見た平面図を図3（a）に示し、図3（a）の a-a 断面を -y 側から見た断面図を図3（b）に示す。

【0024】

図3に示すように、本実施例の画素 200G では、各画素の受光面側に入射光を集光するためのマイクロレンズ 305 が形成され、x 方向に N_H 分割（2分割）、y 方向に N_V 分割（1分割）された光電変換部 301 と光電変換部 302 が形成される。光電変換部 301 と光電変換部 302 が、それぞれ、第1の焦点検出画素 201 と第2の焦点検出画素 202 に対応する。

【0025】

光電変換部 301 と光電変換部 302 は、p 型層とn型層の間にイントリンシック層を挟んだ p-i-n 構造フォトダイオードとしても良いし、必要に応じて、イントリンシック層を省略し、p-n 接合フォトダイオードとしても良い。

【0026】

各画素には、マイクロレンズ 305 と、光電変換部 301 および光電変換部 302 との間に、カラーフィルター 306 が形成される。また、必要に応じて、副画素毎にカラーフィルターの分光透過率を変えても良いし、カラーフィルターを省略しても良い。

【0027】

10

20

30

40

50

図3に示した画素200Gに入射した光は、マイクロレンズ305により集光され、カラーフィルター306で分光されたのち、光電変換部301と光電変換部302で受光される。光電変換部301と光電変換部302では、光電変換により、受光量に応じて電子とホールが対生成し、空乏層で分離された後、負電荷の電子はn型層(不図示)に蓄積される。一方、ホールは定電圧源(不図示)に接続されたp型層を通じて撮像素子外部へ排出される。光電変換部301と光電変換部302のn型層(不図示)に蓄積された電子は、転送ゲートを介して、静電容量部(FD)(不図示)に転送され、電圧信号に変換されて画素信号として出力される。

【0028】

図3に示した本実施例の画素構造と瞳分割との対応関係を図4に示す。図3(a)に示した本第1の実施例の画素構造のa-a断面を+y側から見た断面図と結像光学系の射出瞳面を示す。図4では、射出瞳面の座標軸と対応を取るために、断面図のx軸とy軸を図3に対して反転させている。なお、図4において、図3と同様の部分は同じ符号を付して示す。

10

【0029】

図4に示すように、第1の焦点検出画素201の第1の瞳部分領域401は、重心が-x方向に偏心している光電変換部301の受光面と、マイクロレンズによって、概ね、共役関係になっており、第1の焦点検出画素201で受光可能な瞳領域を表している。第1の焦点検出画素201の第1の瞳部分領域401は、瞳面上で+X側に重心が偏心している。図4で、第2の焦点検出画素202の第2の瞳部分領域402は、重心が+x方向に偏心している光電変換部302の受光面と、マイクロレンズによって、概ね、共役関係になっており、第2の焦点検出画素202で受光可能な瞳領域を表している。第2の焦点検出画素202の第2の瞳部分領域402は、瞳面上で-X側に重心が偏心している。また、図4で、瞳領域400は、光電変換部301と光電変換部302(第1の焦点検出画素201と第2の焦点検出画素202)とを合わせた際の画素200G全体で受光可能な瞳領域である。

20

【0030】

本実施例の撮像素子とマイクロレンズ(瞳分割手段)による瞳分割との対応関係の概略を図5に示す。射出瞳410の第1の瞳部分領域401と第2の瞳部分領域402の異なる瞳部分領域を通過した光束は、撮像素子の各画素に、それぞれ、異なる角度で入射し、2×1分割された第1の焦点検出画素201と第2の焦点検出画素202で受光される。なお、本実施例では、瞳領域が水平方向に2つに瞳分割されている例を示しているが、必要に応じて、垂直方向に瞳分割を行っても良い。

30

【0031】

上述のように、本実施例で用いる撮像素子は、結像光学系の第1の瞳部分領域を通過する光束を受光する第1の焦点検出画素と、第1瞳部分領域と異なる結像光学系の第2の瞳部分領域を通過する光束を受光する第2の焦点検出画素を有する。また、結像光学系の第1の瞳部分領域と第2の瞳部分領域を合わせた瞳領域を通過した光束を受光する撮像画素の配列も有する。本実施例の撮像素子では、それぞれの撮像画素が第1の焦点検出画素と第2の焦点検出画素から構成されている。しかし、必要に応じて、撮像画素と第1の焦点検出画素、第2の焦点検出画素を個別の画素構成とし、撮像画素配列の一部に、第1の焦点検出画素と第2の焦点検出画素を部分的に配置する構成としても良い。

40

【0032】

本実施例では、撮像素子の各画素の第1の焦点検出画素201の受光信号を集めて第1焦点検出信号を生成し、各画素の第2の焦点検出画素202の受光信号を集めて第2の焦点検出信号を生成(信号生成手段)して焦点検出を行う。また、撮像素子の画素毎に、第1の焦点検出画素201と第2の焦点検出画素202の信号を加算することで、有効画素数Nの解像度の撮像信号(撮像画像)を生成する。

【0033】

[デフォーカス量と像ずれ量の関係]

50

次に、本実施例で用いる撮像素子により取得される第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の像ずれ量とデフォーカス量との関係について説明する。

【0034】

図6に、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号のデフォーカス量と第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号間の像ずれ量の関係を示す。撮像面500に本実施例の撮像素子(不図示)が配置され、図4、図5と同様に、結像光学系の射出瞳が、第1の瞳部分領域401と第2瞳部分領域402に2分割される。なお、図6において、図3乃至図5と同様な部分は同じ符号を付して示す。

【0035】

デフォーカス量 d は、被写体の結像位置から撮像面500までの距離を大きさ $|d|$ としたとき、被写体の結像位置が撮像面より被写体側にある前ピン状態を負 ($d < 0$)、撮像面500より被写体の反対側にある後ピン状態を正 ($d > 0$) として定義される。被写体の結像位置が撮像面500(合焦位置)にある合焦状態は $d = 0$ である。図6で、被写体601は合焦状態 ($d = 0$) の例を示しており、被写体602は前ピン状態 ($d < 0$) の例を示している。前ピン状態 ($d < 0$) と後ピン状態 ($d > 0$) を合わせて、デフォーカス状態 ($|d| > 0$) とする。

【0036】

前ピン状態 ($d < 0$) では、被写体602からの光束のうち、第1の瞳部分領域401を通過した被写体光は、一度、集光した後、光束の重心位置G1を中心として幅1に広がり、撮像面500でボケた像となる。第2の瞳部分領域402を通過した被写体光についても同様であり、重心位置G2を中心として幅2に広がったボケた像を形成する。ボケた像は、撮像素子に配列された各画素を構成する第1の焦点検出画素201(第2の焦点検出画素202)により受光され、第1の焦点検出信号(第2の焦点検出信号)が生成される。よって、第1の焦点検出信号(第2の焦点検出信号)は、撮像面500上の重心位置G1(G2)に、被写体602が幅1(2)にボケた被写体像として記録される。被写体像のボケ幅1(2)は、デフォーカス量 d の大きさ $|d|$ が増加するのに伴い、概ね、比例して増加していく。同様に、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号間の被写体像の像ずれ量 p (=光束の重心位置の差 $G1 - G2$) の大きさ $|p|$ も、デフォーカス量 d の大きさ $|d|$ が増加するのに伴い、概ね、比例して増加していく。後ピン状態 ($d > 0$) でも、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号間の被写体像の像ずれ方向が前ピン状態と反対となるが、同様である。

【0037】

したがって、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号、もしくは、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号を加算した撮像信号のデフォーカス量の大きさが増加するのに伴い、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号間の像ずれ量の大きさが増加する。

【0038】

[焦点検出]

本実施例では、上述した第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号のデフォーカス量と像ずれ量の関連性を用いて、位相差方式の第1の焦点検出と、リフオーカス原理に基づいた方式(以後、リフオーカス方式と呼ぶ)の第2の焦点検出を行う。被写体の焦点調節状態が大デフォーカス状態から小デフォーカス状態までは第1の焦点検出を行い、小デフォーカス状態から最良合焦位置近傍までは第2の焦点検出を行う。被写体の焦点調節状態の判定は、本実施例では、所定値と検出されたデフォーカス量との比較で判断する。

【0039】

[位相差方式の第1の焦点検出]

まず、本の実施例における位相差方式の第1の焦点検出について説明する。

【0040】

位相差方式の第1の焦点検出では、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号を相対的にシフトさせて信号の一致度を表す相関量(第1の評価値)を計算し、相関(信号の一致度)が良くなるシフト量から像ずれ量を検出する。撮像信号のデフォーカス量の大きさが

10

20

30

40

50

増加するのに伴い、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号間の像ずれ量の大きさが増加する関連性から、像ずれ量を第1の検出デフォーカス量に変換して焦点検出を行う。

【0041】

図7に、本第1の実施例の第1の焦点検出動作のフローチャートを示す。なお、図7の動作は、撮像素子107、画像処理部125と、それらを制御するCPU121によって実行される。

【0042】

ステップS710で、まずCPU121は、撮像素子の有効画素領域の中から焦点調節を行う焦点検出領域を設定する。次いで、CPU121は撮像素子107を制御し、焦点検出領域の第1の焦点検出画素の受光信号から第1の焦点検出信号を、また焦点検出領域の第2の焦点検出画素の受光信号から第2の焦点検出信号を取得する。

10

【0043】

ステップS720で、画像処理部125は、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号に、それぞれ、信号データ量を抑制するために列方向に3画素加算処理を行い、さらに、RGB信号を輝度Y信号にするためにベイナー(RGB)加算処理を行う。これら2つの加算処理を合わせて第1の画素加算処理とする。

【0044】

ステップS730で画像処理部125はさらに、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号に、それぞれ、シェーディング補正処理(光学補正処理)を行う。位相差方式の第1の焦点検出では、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の相関(信号の一致度)を基に、第1の検出デフォーカス量の検出を行う。瞳ずれによるシェーディングが生じると第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の相関(信号の一致度)が低下する場合がある。よって、位相差方式の第1の焦点検出では、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の相関(信号の一致度)を改善し、焦点検出性能を良好とするために、シェーディング補正処理(光学補正処理)を行うことが望ましい。

20

【0045】

ここで、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の瞳ずれによるシェーディングについて説明する。

図8に、撮像素子の周辺像高における第1の焦点検出画素201の第1の瞳部分領域401、第2の焦点検出画素202の第2の瞳部分領域402、および結像光学系の射出瞳410の関係を示す。尚、図4と同じ部分は同じ符号を付して示す。

30

【0046】

図8(a)は、結像光学系の射出瞳距離D1と撮像素子の設定瞳距離Dsが同じ場合である。この場合は、第1の瞳部分領域401と第2の瞳部分領域402により、結像光学系の射出瞳410が、概ね、均等に瞳分割される。

【0047】

これに対して、図8(b)に示した結像光学系の射出瞳距離D1が撮像素子の設定瞳距離Dsより短い場合、撮像素子の周辺像高では、結像光学系の射出瞳と撮像素子の入射瞳の瞳ずれを生じ、結像光学系の射出瞳410が、不均一に瞳分割されてしまう。同様に、図8(c)に示した結像光学系の射出瞳距離D1が撮像素子の設定瞳距離Dsより長い場合も、撮像素子の周辺像高で結像光学系の射出瞳と撮像素子の入射瞳の瞳ずれを生じ、結像光学系の射出瞳410が、不均一に瞳分割されてしまう。周辺像高で瞳分割が不均一になるのに伴い、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の強度も不均一になり、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号のいずれか一方の強度が大きくなり、他方の強度が小さくなるシェーディングが生じる。

40

【0048】

図7のステップS730で画像処理部125はシェーディング補正処理(光学補正処理)を行う。まず、焦点検出領域の像高と、撮像レンズ(結像光学系)のF値、射出瞳距離に応じて、第1の焦点検出信号の第1のシェーディング補正係数と、第2の焦点検出信号の第2のシェーディング補正係数を、それぞれ生成する。次いで、第1のシェーディング

50

補正係数を第1の焦点検出信号に乗算し、第2のシェーディング補正係数を第2の焦点検出信号に乗算して、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号のシェーディング補正処理(光学補正処理)を終了する。

【0049】

図7のステップS740では、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号に、第1のフィルター処理を行う。本実施例の第1のフィルター処理の通過帯域例を、図9に実線で示す。本実施例では、位相差方式の第1の焦点検出により、大デフォーカス状態での焦点検出を行うため、第1のフィルター処理の通過帯域は低周波帯域を含むように構成する。必要に応じて、大デフォーカス状態から小デフォーカス状態まで焦点調節を行う際に、デフォーカス状態に応じて、第1の焦点検出時の第1のフィルター処理の通過帯域を、図9に1点鎖線で示すように、より高周波帯域に調整しても良い。

10

【0050】

次に、図7のステップS750では、第1のフィルター処理後の第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号を相対的に瞳分割方向にシフトさせる第1のシフト処理を行い、信号の一一致度を表す相関量(第1の評価値)を算出する。

【0051】

第1のフィルター処理後のk番目の第1の焦点検出信号をA(k)、第2の焦点検出信号をB(k)、焦点検出領域に対応する番号kの範囲をWとする。第1のシフト処理によるシフト量をs1、シフト量s1のシフト範囲を-1として、相関量(第1の評価値)CORは、式(1)により算出される。

20

【数1】

$$COR(s_1) = \sum_{k \in W} |A(k) - B(k - s_1)|, \quad s_1 \in \Gamma_1 \quad (1)$$

【0052】

シフト量s1の第1のシフト処理により、k番目の第1の焦点検出信号A(k)とk-s1番目の第2の焦点検出信号B(k-s1)を対応させ減算し、シフト減算信号を生成する。生成されたシフト減算信号の絶対値を計算し、焦点検出領域に対応する範囲W内で番号kの和を取り、相関量(第1の評価値)COR(s1)を算出する。必要に応じて、各行毎に算出された相関量(第1の評価値)を、各シフト量毎に、複数行に渡って加算しても良い。

30

【0053】

ステップS760では、相関量(第1の評価値)から、サブピクセル演算により、相関量が最小値となる実数値のシフト量を算出して像ずれ量p1とする。像ずれ量p1に、焦点検出領域の像高と、撮像レンズ(結像光学系)のF値、射出瞳距離に応じた第1の変換係数K1をかけて、第1の検出デフォーカス量(Def1)を検出する。

【0054】

上述したように、本実施例では、位相差方式の第1の焦点検出手段により、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号に、第1のフィルター処理と第1のシフト処理を行って相関量を算出し、相関量から第1の検出デフォーカス量を検出する。

40

【0055】

本実施例の撮像素子では、焦点検出画素(第1の焦点検出画素、第2の焦点検出画素)が受光する光束と、撮像画素が受光する光束が異なる。このため、結像光学系の各収差(球面収差、非点収差、コマ収差など)の焦点検出画素への影響と撮像信号への影響が異なる。結像光学系の絞り値が小さい(明るい)と差異がより大きくなる。そのため、結像光学系の絞り値が小さい(明るい)時に、位相差方式の第1の焦点検出により算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間に差が生じる場合がある。特に、結像光学系の絞り値が所定絞り値以下の場合に、位相差方式の第1の焦点検出の焦点検出精度が低下する場合がある。なお、ここで、検出合焦位置とは、第1の検出デフォーカス量が0となる位置であり、また、撮像信号の最良合焦位置は撮像信号のMTF(Modulation Transfe

50

r Function) ピーク位置である。

【0056】

図10に、本実施例の撮像素子の周辺像高での撮像信号の最良合焦位置における第1の焦点検出信号(破線)と第2の焦点検出信号(実線)の例を示す。撮像信号の最良合焦位置であるが、結像光学系の各収差の影響により、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号の信号形状が異なる例である。図11に、シェーディング補正処理および第1のフィルター処理後の第1の焦点検出信号(破線)と第2の焦点検出信号(実線)を示す。撮像信号の最良合焦位置であるが、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号間の像すれ量 p_1 が0ではない。よって、位相差方式の第1の焦点検出により算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間に差が生じる。

10

【0057】

図12に、本実施例における位相差方式の第1の焦点検出による第1の検出デフォーカス量(破線)の例を示す。横軸は、設定デフォーカス量であり、縦軸は検出デフォーカス量である。図10に示した第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号は、図12の設定デフォーカス量0[m m]における第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号である。設定デフォーカス量0の最良合焦位置において、第1の焦点検出による第1の検出デフォーカス量が後ピン側に約50 μm オフセットしており、最良合焦位置と第1の焦点検出により算出される検出合焦位置との間に約50 μm の差異が生じていることがわかる。

【0058】

そこで、本実施例では、焦点検出信号から算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との差を抑制するため、位相差方式の第1の焦点検出に加えて、結像光学系の最良合焦位置近傍で高精度な焦点検出が可能なリフォーカス方式の第2の焦点検出を行う。これにより、高精度な焦点検出が可能となる。

20

【0059】

【リフォーカス方式の第2の焦点検出】

次に、本実施例におけるリフォーカス方式の第2の焦点検出について説明する。

【0060】

本実施例のリフォーカス方式の第2の焦点検出では、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号を相対的にシフトして加算し、シフト加算信号(リフォーカス信号)を生成する。次いで、生成されたシフト加算信号(リフォーカス信号)のコントラスト評価値を算出し、コントラスト評価値から撮像信号のMTFピーク位置を推定し、第2の検出デフォーカス量を検出する。

30

【0061】

図13は、本実施例の撮像素子により取得された第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号による1次元方向(行方向、水平方向)のリフォーカス処理を明図するための図である。同図において、図5、図6と同様の部分は同じ符号を付して示す。図13では、 i を整数として、撮像面500に配置された撮像素子の行方向 i 番目の画素の第1の焦点検出信号を A_i 、第2の焦点検出信号を B_i で模式的に表している。第1の焦点検出信号 A_i は、(図5の瞳部分領域401に対応した)主光線角度 a で i 番目の画素に入射した光束の受光信号である。第2の焦点検出信号 B_i は、(図5の瞳部分領域402に対応した)主光線角度 b で i 番目の画素に入射した光束の受光信号である。

40

【0062】

第1の焦点検出信号 A_i と第2の焦点検出信号 B_i は、光強度分布情報だけでなく、入射角度情報も有している。よって、第1の焦点検出信号 A_i を角度 a に沿って仮想結像面1310まで平行移動させ、第2の焦点検出信号 B_i を角度 b に沿って仮想結像位置1310まで平行移動させ、加算することで、仮想結像面1310でのリフォーカス信号を生成できる。第1の焦点検出信号 A_i を角度 a に沿って仮想結像面1310まで平行移動させることは、行方向に+0.5画素シフトに対応し、第2の焦点検出信号 B_i を角度 b に沿って仮想結像面1310まで平行移動させることは、行方向に-0.5画素シフトに対応する。したがって、第1の焦点検出信号 A_i と第2の焦点検出信号 B_i を相対

50

的に + 1 画素シフトさせ、 A_i と B_{i+1} を対応させて加算することで、仮想結像面 13 10 でのリフォーカス信号を生成できる。同様に、第 1 の焦点検出信号 A_i と第 2 の焦点検出信号 B_i を画素整数個分シフトさせて加算することで、整数シフト量に応じた各仮想結像面でのシフト加算信号（リフォーカス信号）を生成できる。

【 0 0 6 3 】

生成されたシフト加算信号（リフォーカス信号）のコントラスト評価値を算出し、算出されたコントラスト評価値から撮像信号の MTF ピーク位置を推定することで、リフォーカス方式の第 2 の焦点検出を行う。

【 0 0 6 4 】

図 14 に、本第 1 の実施例の第 2 の焦点検出動作のフローチャートを示す。なお、図 1 10 の動作も、撮像素子 107、画像処理部 125 およびそれらを制御する CPU 121 によって実行される。

【 0 0 6 5 】

ステップ S 1410 で、CPU 121 は、まず撮像素子の有効画素領域の中から焦点調節を行う焦点検出領域を設定する。次いで、撮像素子 107 の駆動を制御して、焦点検出信号生成手段により、焦点検出領域の第 1 の焦点検出画素の受光信号から第 1 の焦点検出信号を、また焦点検出領域の第 2 の焦点検出画素の受光信号から第 2 の焦点検出信号を取得する。

【 0 0 6 6 】

ステップ S 1420 で、第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号に、それぞれ、信号データ量を抑制するために列方向に 3 画素加算処理を行い、さらに、RGB 信号を輝度 Y 信号にするためにベイヤー（RGB）加算処理を行う。これら 2 つの加算処理を合わせて第 2 の画素加算処理とする。必要に応じて、3 画素加算処理とベイヤー（RGB）加算処理のいずれか、または、これら両方の加算処理を省略しても良い。

【 0 0 6 7 】

ステップ S 1430 では、第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号に、第 2 フィルター処理を行う。本第 1 の実施例の第 2 のフィルター処理の通過帯域例を、図 9 の破線および点線で示す。本実施例では、リフォーカス方式の第 2 の焦点検出により、小デフォーカス状態から最良合焦位置近傍まで焦点検出を行う。したがって、第 2 フィルター処理の通過帯域は、第 1 フィルター処理の通過帯域よりも、高周波帯域を含むように構成する。

【 0 0 6 8 】

必要に応じて、第 2 フィルター処理に被写体信号のエッジ抽出を行うラプラシアン型（2 階微分型）[1, -2, 1] フィルターを用いて、図 9 の点線で示すように第 2 のフィルター処理の通過帯域をより高周波帯域に構成しても良い。被写体の高周波成分を抽出して第 2 の焦点検出を行うことにより、焦点検出精度をより向上することができる。

【 0 0 6 9 】

ステップ S 1440 では、第 2 フィルター処理後の第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号を相対的に瞳分割方向にシフトさせる第 2 のシフト処理を行い、加算してシフト加算信号（リフォーカス信号）を生成する。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 1440 では、さらに、生成されたシフト加算信号からコントラスト評価値（第 2 の評価値）を算出する。

【 0 0 7 1 】

第 1 のフィルター処理後の k 番目の第 1 の焦点検出信号を $A(k)$ 、第 2 の焦点検出信号を $B(k)$ 、焦点検出領域に対応する番号 k の範囲を W とする。第 2 シフト処理によるシフト量を s_2 、シフト量 s_2 のシフト範囲を 2 として、コントラスト評価値（第 2 の評価値）RFCON は、式 (2) により算出される。

【 数 2 】

$$RFCON(s_2) = \max_{k \in W} |A(k) + B(k - s_2)|, \quad s_2 \in \Gamma 2 \quad (2)$$

10

20

30

40

50

【0072】

シフト量 s_2 の第 2 のシフト処理により、 k 番目の第 1 の焦点検出信号 $A(k)$ と $k - s_2$ 番目の第 2 の焦点検出信号 $B(k - s_2)$ を対応させて加算し、シフト加算信号を生成する。シフト加算信号の絶対値を計算し、焦点検出領域 W の範囲での最大値を取り、コントラスト評価値（第 2 の評価値） $RFCON(s_2)$ を算出する。必要に応じて、各行毎に算出されたコントラスト評価値（第 2 の評価値）を、各シフト量毎に、複数行に渡って加算しても良い。

【0073】

ステップ S1450 では、コントラスト評価値（第 2 の評価値）から、サブピクセル演算により、コントラスト評価値が最大値となる実数値のシフト量を算出してピークシフト量 p_2 とする。ピークシフト量 p_2 に、焦点検出領域の像高と、撮像レンズ（結像光学系）の F 値、射出瞳距離に応じた第 2 の変換係数 K_2 をかけて、第 2 の検出デフォーカス量（ Def_2 ）を検出する。なお、必要に応じて、第 1 の変換係数 K_1 と第 2 の変換係数 K_2 を同一の値としても良い。

10

【0074】

本発明では、リフォーカス方式の第 2 の焦点検出手段により、第 1 の焦点検出信号と前記第 2 の焦点検出信号に、第 2 のフィルター処理と第 2 のシフト処理を行い、その後加算してシフト加算信号を生成する。次いで、シフト加算信号からコントラスト評価値を算出し、コントラスト評価値から第 2 の検出デフォーカス量を検出する。

【0075】

20

本実施例の撮像素子では、図 4、図 5 に示したように、第 1 の焦点検出画素が受光する光束と第 2 の焦点検出画素が受光する光束を加算したものが、撮像画素が受光する光束となる。位相差方式の第 1 の焦点検出とは異なり、リフォーカス方式の第 2 の焦点検出では、第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号のシフト加算信号（リフォーカス信号）により焦点検出を行う。よって、第 2 の焦点検出で用いられるシフト加算信号に対応する光束と、撮像信号に対応する光束が、概ね、一致するため、結像光学系の各収差（球面収差、非点収差、コマ収差など）のシフト加算信号への影響と撮像信号への影響も、概ね、同じである。したがって、リフォーカス方式の第 2 の焦点検出により算出される検出合焦位置（第 2 の検出デフォーカス量が 0 となる位置）と撮像信号の最良合焦位置（MTF ピーク位置）が、概ね、一致するため、位相差方式の第 1 の焦点検出より高精度に焦点検出できる。

30

【0076】

図 10 に例示した本実施例の撮像素子の周辺像高での撮像信号の最良合焦位置における第 1 の焦点検出信号（破線）と第 2 の焦点検出信号（実線）に、第 2 のフィルター処理を施した後の第 1 の焦点検出信号（破線）と第 2 の焦点検出信号（実線）を図 15 に示す。また、第 2 のフィルター処理後の第 1 の焦点検出信号（破線）と第 2 の焦点検出信号（実線）を、それぞれ、相対的に -2、-1、0、1、2 シフトさせてシフト加算したシフト加算信号（リフォーカス信号）の例を図 16 に示す。シフト量の変化に伴い、シフト加算信号のピーク値が変化することがわかる。各シフト加算信号から算出されたコントラスト評価値（第 2 の評価値）の例を図 17 に示す。

40

【0077】

図 12 に、本実施例におけるリフォーカス方式の第 2 の焦点検出による第 2 の検出デフォーカス量（実線）の例を示す。横軸は、設定デフォーカス量であり、縦軸は検出デフォーカス量である。図 10 に示した第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号は、図 12 の設定デフォーカス量 0 [mm] における第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号である。設定デフォーカス量 0 の最良合焦位置において、第 2 の焦点検出による第 2 検出デフォーカス量は、第 1 の焦点検出による第 1 の検出デフォーカス量よりも小さく抑制され、高精度に焦点検出できることがわかる。したがって、本実施例では、結像光学系の設定デフォーカス量 0 の最良合焦位置近傍において、リフォーカス方式の第 2 の焦点検出の方が、位相差方式の第 1 の焦点検出より、高精度に焦点検出できる。

50

【0078】

[リフォーカス可能範囲]

一方、リフォーカス可能範囲には限界があるため、リフォーカス方式の第2の焦点検出が高精度で焦点検出できるデフォーカス量の範囲は限定される。

【0079】

図18は、本実施例におけるリフォーカス可能範囲を明図するための図である。同図において、図5および6と同様の部分は、同じ符号を付して示す。図13に示すように、許容錯乱円を F とし、結像光学系の絞り値を F とすると、絞り値 F での被写界深度は $\pm F$ である。これに対して、 $N_H \times N_V (2 \times 1)$ 分割されて狭くなった瞳部分領域401の水平方向の実効絞り値 F_{01} は、 $F_{01} = N_H F$ と暗くなる。第1の焦点検出信号毎の実効的な被写界深度は $\pm N_H F$ と N_H 倍深くなり、合焦範囲が N_H 倍に広がる。実効的な被写界深度 $\pm N_H F$ の範囲内では、第1の焦点検出信号(第2の焦点検出信号)毎に合焦した被写体像が取得されている。瞳部分領域402の水平方向の実効絞り値 F_{02} についても同様であり、 $F_{02} = N_H F$ と暗くなり、第2の焦点検出信号毎の実効的な被写界深度は $\pm N_H F$ と N_H 倍深くなる。この実効的な被写界深度の範囲内で、第2の焦点検出信号毎に合焦した被写体像が取得されている。よって、図13に示した主光線角度 a (または b)に沿って第1の焦点検出信号(または第2の焦点検出信号)を平行移動するリフォーカス処理により、撮影後に、合焦位置を再調整(リフォーカス)することができる。よって、撮影後に合焦位置を再調整(リフォーカス)できる撮像面からのデフォーカス量 d は限定されており、デフォーカス量 d のリフォーカス可能範囲は、概ね、式(3)の範囲である。10 20

【数3】

$$|d| \leq N_H F \delta \quad (3)$$

【0080】

許容錯乱円 δ は、 $\delta = 2/X$ (画素周期 X のナイキスト周波数 $1/(2X)$ の逆数)などで規定される。必要に応じて、第2画素加算処理後の第1の焦点検出信号(第2の焦点検出信号)の周期 X_{AF} ($= 6/X$: 6画素加算の場合)のナイキスト周波数 $1/(2X_{AF})$ の逆数を許容錯乱円 $\delta = 2/X_{AF}$ としても用いても良い。30

【0081】

リフォーカス方式の第2の焦点検出が高精度で焦点検出できるデフォーカス量の範囲は、概ね、式(3)の範囲に限定され、第2の焦点検出により高精度に焦点検出可能なデフォーカス範囲は、位相差方式の第1の焦点検出可能なデフォーカス範囲以下の範囲である。図6に示したように、第1の焦点検出信号と第2の焦点検出信号との水平方向の相対的なシフト量とデフォーカス量は、概ね、比例する。したがって、本発明では、リフォーカス方式の第2の焦点検出の第2のシフト処理のシフト範囲が、位相差方式の第1の焦点検出の第1のシフト処理のシフト範囲以下となるように構成する。

【0082】

また、本実施例の焦点検出では、結像光学系の大デフォーカス状態から小デフォーカス状態まで焦点調節するために第1の焦点検出を行い、結像光学系の小デフォーカス状態から最良合焦位置近傍まで焦点調節するために第2の焦点検出を行う。したがって、第2の焦点検出の第2のフィルター処理の通過帯域が、第1の焦点検出の第1のフィルター処理の通過帯域より高周波帯域を含むことが望ましい。また、第2の焦点検出の第2の画素加算処理の画素加算数が、第1の焦点検出の第1の画素加算処理の画素加算数以下であることが望ましい。40

【0083】

上述したように、結像光学系の絞り値が所定の絞り値以下の場合に、位相差方式の第1の焦点検出の焦点検出精度が低下する場合がある。したがって、必要に応じて、結像光学系の絞り値が所定の絞り値以下の場合に、位相差方式の第1の焦点検出に加えて、リフォーカス方式の第2の焦点検出により第2の検出デフォーカス量を検出し、高精度な焦点検出が可能となる。50

出を行うことが望ましい。

【0084】

本実施例では、瞳領域が水平方向に2つに瞳分割されているため、撮像信号のコントラスト評価値から水平方向のMTFピーク位置を検出することができる。必要に応じて、撮像信号の水平方向のMTFピーク位置と撮像信号のMTFピーク位置（撮像信号の水平垂直方向のMTFピーク位置の平均）との差分を補正值として保持し、第2の検出デフォーカス量を補正しても良い。

【0085】

本実施例の焦点検出動作のフローチャートを図19に示す。なお、図19の動作も、撮像素子107、画像処理部125およびそれらを制御するCPU121によって実行される。

10

本第1の実施例では、結像光学系のデフォーカス量の絶対値が第1の所定値以下になるまで位相差方式の第1の焦点検出を行ってレンズ駆動し、結像光学系の大デフォーカス状態から小デフォーカス状態まで焦点調節を行う。その後、結像光学系のデフォーカス量の絶対値が第2の所定値（<第1の所定値）以下になるまでリフォーカス方式の第2の焦点検出を行ってレンズ駆動し、結像光学系の小デフォーカス状態から最良合焦位置近傍まで焦点調節を行う。

【0086】

ステップS1900で、画像処理部125は、位相差方式による第1の焦点検出により第1の検出デフォーカス量（Def1）を検出する。この検出動作は、図7に示すフローチャートに従って画像処理部125が動作することで行われる。ステップS1901でCPU121は、第1のデフォーカス量（Def1）の大きさが第1の所定値より大きいかどうか判定する。検出された第1のデフォーカス量（Def1）の大きさ|Def1|が第1の所定値より大きい場合は、ステップS1902で、第1のデフォーカス量（Def1）に応じてレンズ駆動を行い、ステップS1900に戻る。検出された第1のデフォーカス量（Def1）の大きさ|Def1|が第1の所定値以下の場合は、ステップS1910に進む。

20

【0087】

ステップS1910で、リフォーカス方式による第2の焦点検出により第2の検出デフォーカス量（Def2）を検出する。この検出動作は、図14に示すフローチャートに従って画像処理部125が動作することで行われる。ステップS1920でCPU121は、第2のデフォーカス量（Def2）の大きさが第2の所定値より大きいかどうか判定する。検出された第2のデフォーカス量（Def2）の大きさ|Def2|が第2の所定値（<第1の所定値）より大きい場合は、ステップS1930で、第2のデフォーカス量（Def2）に応じてレンズ駆動を行い、ステップS1910に戻る。検出された第2のデフォーカス量（Def2）の大きさ|Def2|が第2の所定値以下の場合は、焦点調節動作を終了する。

30

【0088】

以上の構成により、焦点検出信号から算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間の差を抑制し、高精度な焦点検出が可能となる。なお、本実施例では撮像画素を水平方向に分割しているが、垂直方向に分割した場合でも同様に動作が可能である。

40

【0089】

[第2の実施例]

本第2の実施例の焦点検出動作のフローチャートを図20に示す。同図において、図19と同じ部分は同じ符号を付して示し、本実施例における撮像装置の構成は第1の実施例と同様であるので、ここでの説明は省略する。また、本焦点検出動作は、CPU121が、結像光学系101、撮像素子107および画像処理部125を制御することで実行される。

本実施例は、位相差方式の第1の焦点検出による第1の検出デフォーカス量の検出と、リフォーカス方式の第2の焦点検出による第2の検出デフォーカス量の検出とを並列処理

50

し、焦点検出動作の高速化を図る例である。

【0090】

図20のステップS1900で、位相差方式による第1の焦点検出により第1検出デフォーカス量(Def1)を検出する。また、並列的に、ステップ1910で、リリフォーカス方式による第2の焦点検出により第2の検出デフォーカス量(Def2)を検出する。

【0091】

ステップS2000でCPU121は、第2のシフト処理のシフト範囲内で第2の検出デフォーカス量(Def2)が検出されたかどうかを判定する。検出された場合は、CPU121は、第2の検出デフォーカス量(Def2)を第3の検出デフォーカス量(Def3)とする(S2020)。検出されなかった場合は、第1の検出デフォーカス量(Def1)を第3の検出デフォーカス量(Def3)とする(S2010)。次いで、ステップS2030でCPU121は、第3のデフォーカス量(Def3)の大きさ|Def3|が第2の所定値より大きいかどうかを判定する。大きい場合は、ステップS2040でCPU121は結像光学系101を制御して、第3のデフォーカス量(Def3)に応じてレンズ駆動を行い、ステップS1900とステップS1910に戻る。第3のデフォーカス量(Def3)の大きさ|Def3|が第2の所定値以下の場合は、焦点調節動作を終了する。

【0092】

上記以外は、第1の実施例と同様である。

【0093】

以上の構成により、焦点検出信号から算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間の差を抑制し、高精度で、なおかつ高速な焦点検出が可能となる。

【0094】

【第3の実施例】

本発明の第3の実施例における撮像素子の撮像画素と副画素の配列の概略図を図21に示す。図21は、本第3の実施例の2次元CMOSセンサー(撮像素子)の画素(撮像画素)配列を4列×4行の範囲で、副画素配列を8列×8行の範囲で示したものである。なお、図2と同様の部分は同じ符号を付して示す。また、本実施例における撮像装置の構成は、撮像素子の画素構成を除いて第1の実施例と同様であるので、ここでは撮像素子の画素構成について説明する。

【0095】

本実施例において、図21に示す2列×2行の画素群200では、R(赤)の分光感度を有する画素200Rが左上の位置に、G(緑)の分光感度を有する画素200Gが右上と左下の位置に、B(青)の分光感度を有する画素200Bが右下の位置に配置される。さらに、各画素は2列×2行に配列された副画素2101から副画素2104により構成されている。

【0096】

図21に示した4列×4行の画素(8列×8行の副画素)を面上に多数配置し、撮像画像(副画素信号)の取得を可能としている。本実施例では、画素の周期Pが4μm、画素数Nが横5575列×縦3725行=約2075万画素、副画素の周期PsuBが2μm、副画素数NsuBが横11150列×縦7450行=約8300万画素の撮像素子として説明を行う。

【0097】

図21に示した撮像素子の1つの画素200Gを、撮像素子の受光面側(+z側)から見た平面図を図22(a)に示し、図22(a)のa-a断面を-y側から見た断面図を図22(b)に示す。図22において、図3と同様の部分は同じ符号を付して示す。

【0098】

図22に示すように、本実施例の画素200Gでは、各画素の受光側に入射光を集光するためのマイクロレンズ305が形成され、x方向にN_H分割(2分割)、y方向にN_V分割(2分割)された光電変換部2201から光電変換部2204が形成される。光電変

10

20

30

40

50

換部 2201 から光電変換部 2204 が、それぞれ、副画素 2101 から副画素 2104 に対応する。

【0099】

本実施例では、撮像素子の各画素毎に、副画素 2101 から副画素 2104 の信号を加算することで、有効画素数 N の解像度の撮像信号（撮像画像）を生成する。また、各画素毎に、副画素 2101 と副画素 2103 の信号を加算して第 1 の焦点検出信号を生成し、副画素 2102 と副画素 2104 の信号を加算して第 2 の焦点検出信号を生成することができる。これらの加算処理により、水平方向の瞳分割に対応した第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号を取得でき、位相差方式の第 1 の焦点検出とリリフォーカス方式の第 2 の焦点検出を行うことができる。

10

【0100】

同様に、本実施例では、各画素毎に、副画素 2101 と副画素 2102 の信号を加算して第 1 の焦点検出信号を生成し、副画素 2103 と副画素 2104 の信号を加算して第 2 の焦点検出信号を生成することができる。これらの加算処理により、垂直方向の瞳分割に対応した第 1 の焦点検出信号と第 2 の焦点検出信号を取得でき、位相差方式の第 1 の焦点検出とリリフォーカス方式の第 2 の焦点検出を行うことができる。これにより、本実施例の撮像素子を第 1 又は第 2 の実施例における撮像装置の撮像素子として使用することができる。

【0101】

上記以外は、第 1 の実施例と同様である。

20

【0102】

以上の構成により、焦点検出信号から算出される検出合焦位置と撮像信号の最良合焦位置との間の差を抑制し、高精度な、または高感度で高速な焦点検出が可能となる。

上述した実施形態において図 7、14、19 および 20 に示した各処理は、各処理の機能を実現する為のプログラムをメモリから読み出して CPU121 が実行することによりその機能を実現させるものである。

【0103】

尚、上述した構成に限定されるものではなく、図 7、14、19 および 20 に示した各処理の全部または一部の機能を、専用のハードウェアにより実現してもよい。また、上述したメモリは、光磁気ディスク装置、フラッシュメモリ等の不揮発性のメモリや、CD-ROM 等の読み出しのみが可能な記憶媒体、RAM 以外の揮発性のメモリであってもよい。また、それらの組合せによるコンピュータ読み取り、書き込み可能な記憶媒体より構成されてもよい。

30

【0104】

また、図 7、14、19 および 20 に示した各処理の機能を実現する為のプログラムをコンピュータ読み取り可能な記憶媒体に記録して、この記憶媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより各処理を行っても良い。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。具体的には、記憶媒体から読み出されたプログラムが、コンピュータに挿入された機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書きこまれる。その後、そのプログラムの指示に基づき、その機能拡張ボードや機能拡張ユニットに備わる CPU などが実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される場合も含む。

40

【0105】

また、「コンピュータ読み取り可能な記憶媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記憶媒体」とは、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。例えば、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムが送信された場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発メモリ (RAM) も含む。

50

【0106】

また、上記プログラムは、このプログラムを記憶装置等に格納したコンピュータシステムから、伝送媒体を介して、あるいは、伝送媒体中の伝送波により他のコンピュータシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワーク（通信網）や電話回線等の通信回線（通信線）のように情報を伝送する機能を有する媒体のことをいう。

【0107】

また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現する為のものであっても良い。さらに、前述した機能をコンピュータシステムに既に記録されているプログラムとの組合せで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であっても良い。

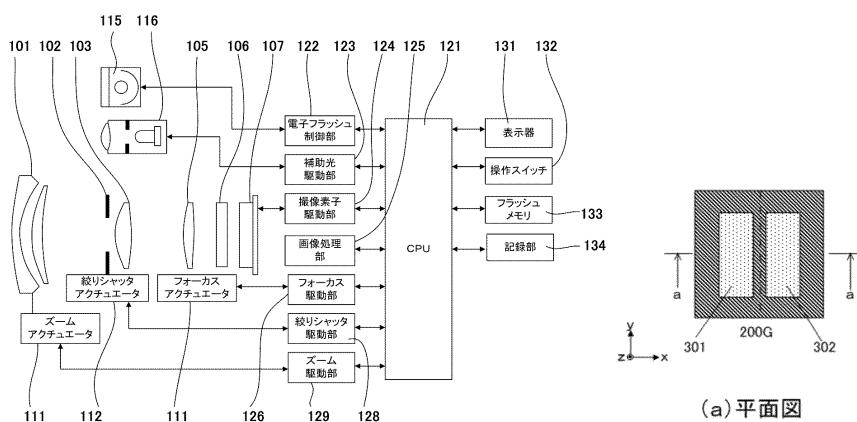
10

また、上記のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体等のプログラムプロダクトも本発明の実施形態として適用することができる。上記のプログラム、記録媒体、伝送媒体およびプログラムプロダクトは、本発明の範疇に含まれる。

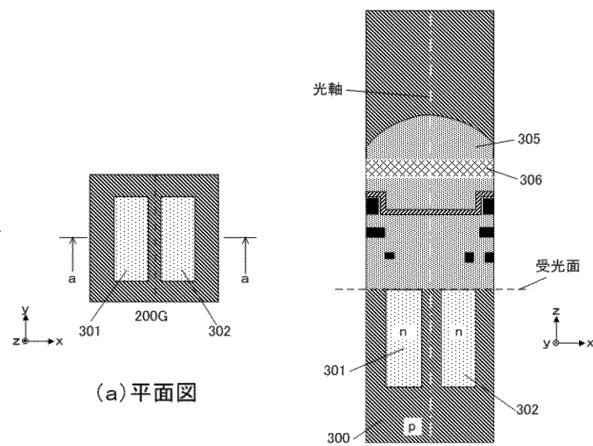
【0108】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

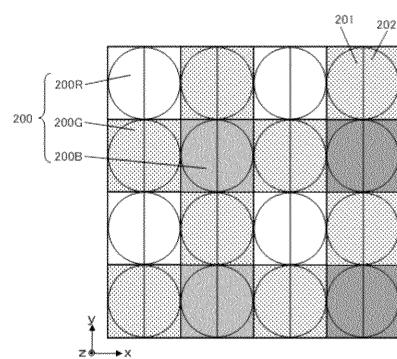
【図1】



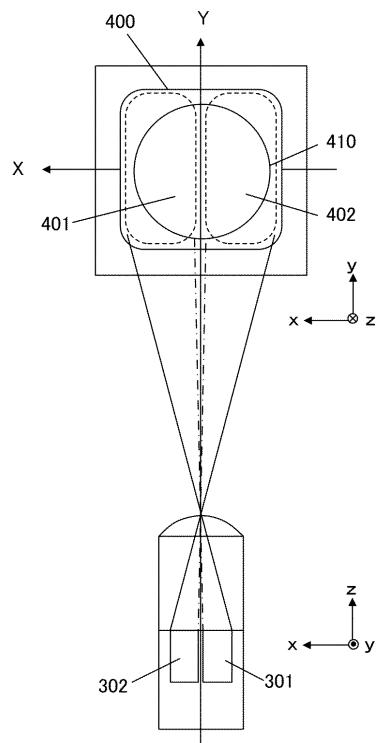
【図3】



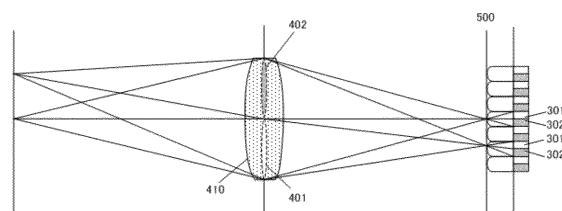
【図2】



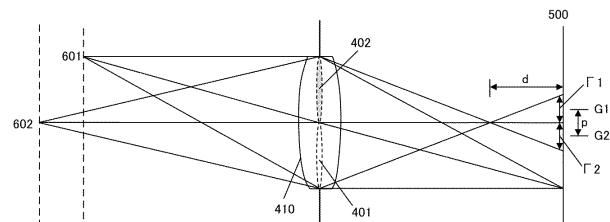
【図4】



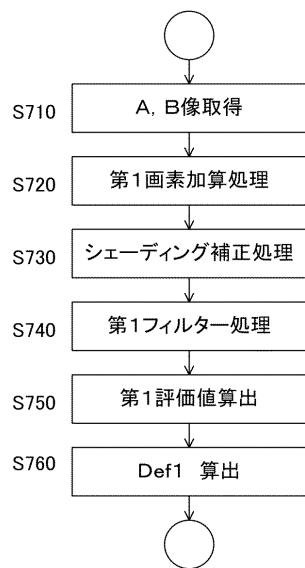
【図5】



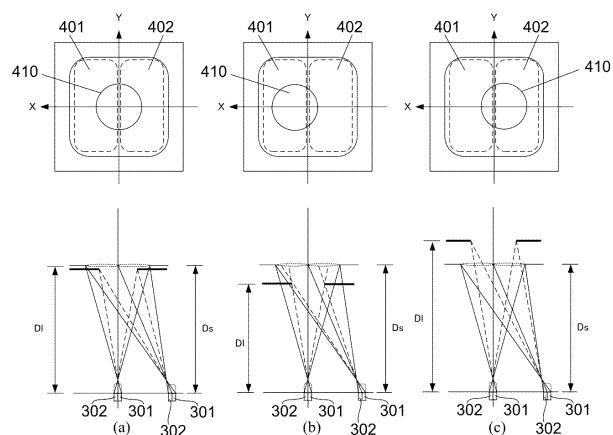
【図6】



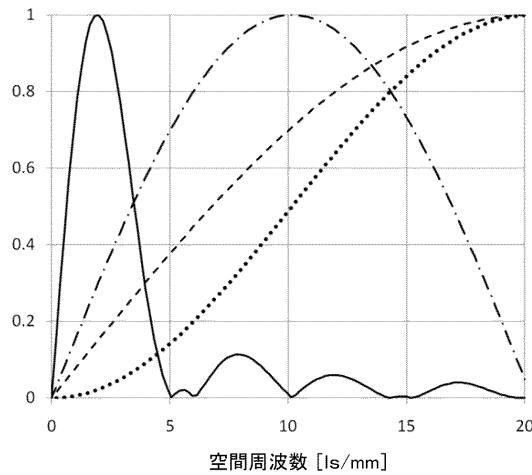
【図7】



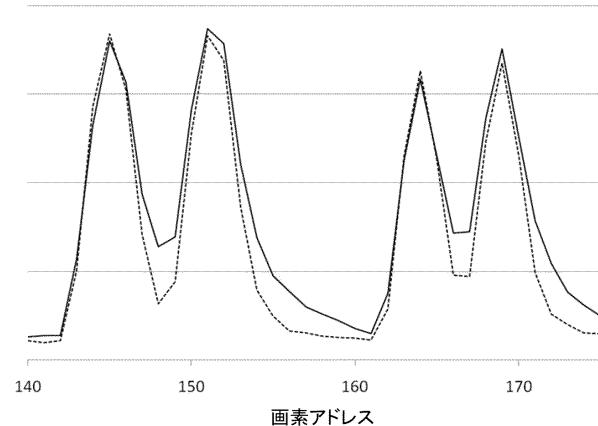
【図8】



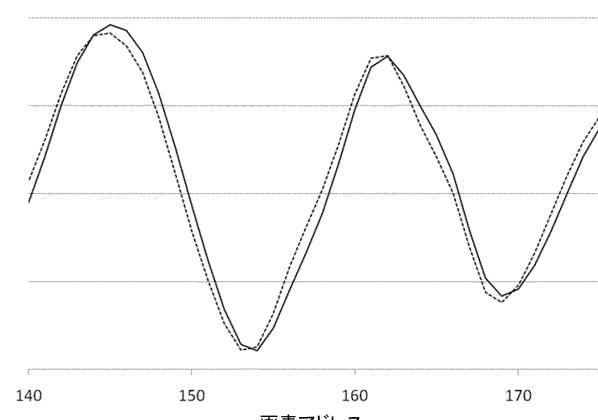
【図9】



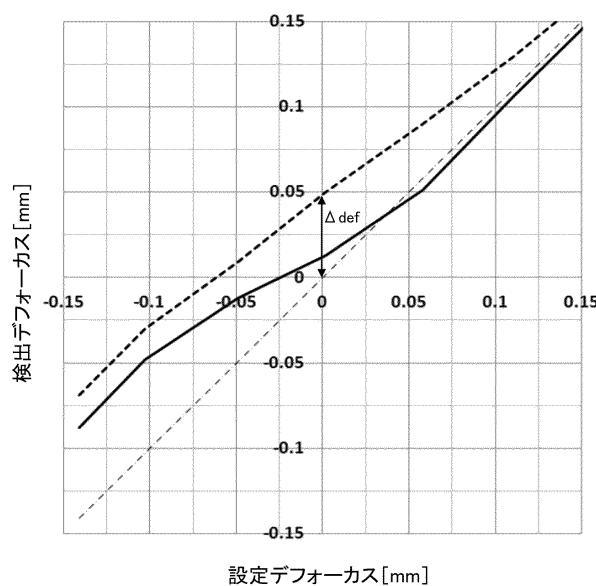
【図10】



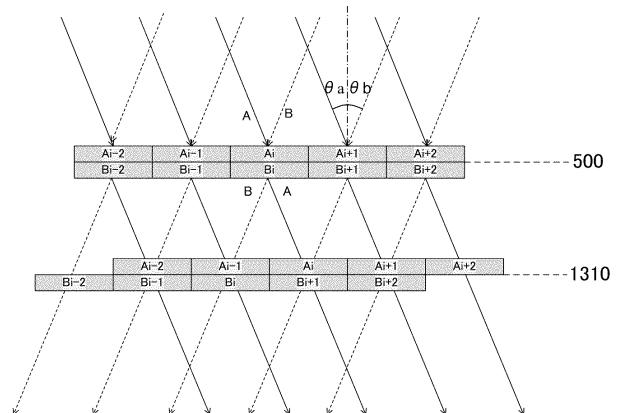
【図11】



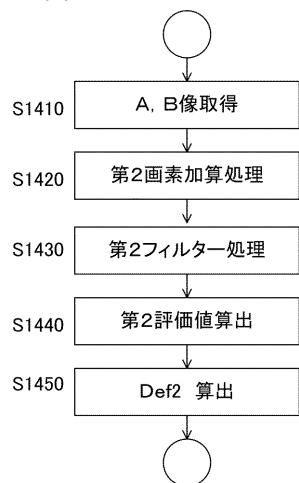
【図12】



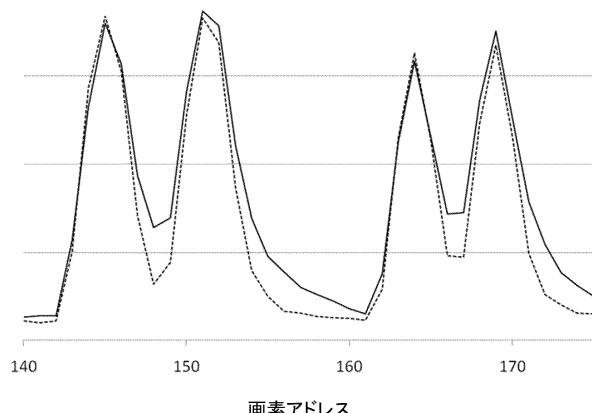
【図13】



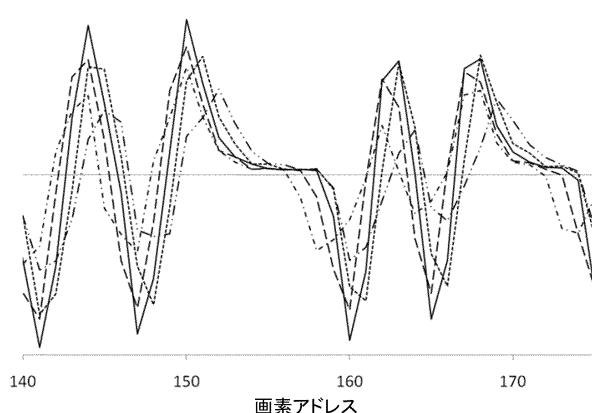
【図14】



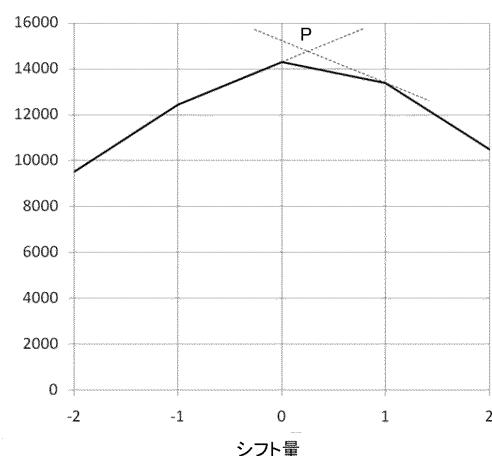
【図15】



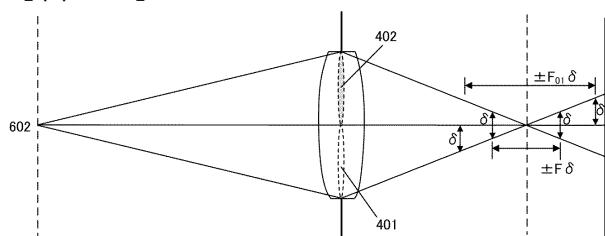
【図16】



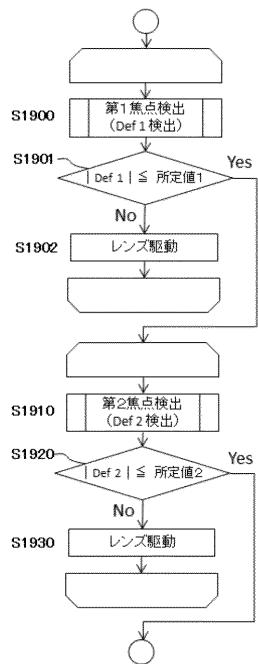
【図17】



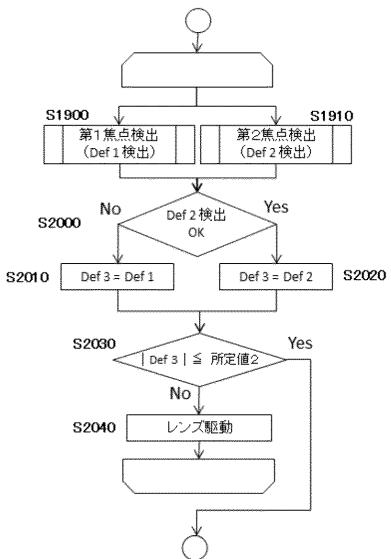
【図18】



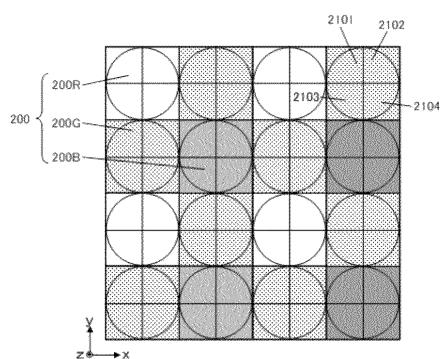
【図19】



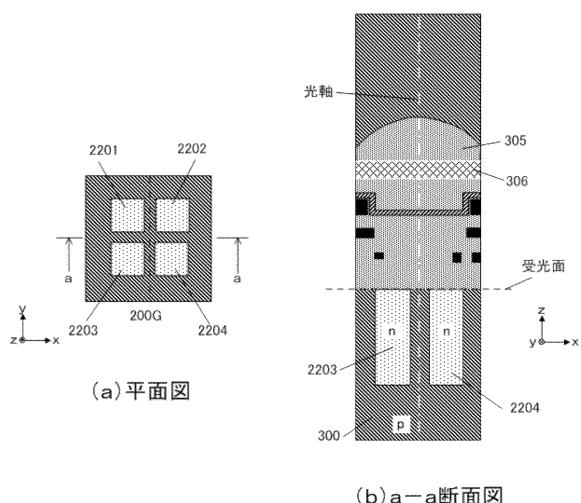
【図20】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

(74)代理人 100134393

弁理士 木村 克彦

(74)代理人 100174230

弁理士 田中 尚文

(72)発明者 福田 浩一

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

審査官 越河 勉

(56)参考文献 特開平07-333488 (JP, A)

特開2013-025246 (JP, A)

特開2008-052009 (JP, A)

特開2004-144939 (JP, A)

国際公開第2012/073728 (WO, A1)

国際公開第2013/015437 (WO, A1)

特開2007-004471 (JP, A)

特開2010-191883 (JP, A)

特開2012-242717 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B 7 / 28 - 7 / 40