

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-86017

(P2009-86017A)

(43) 公開日 平成21年4月23日(2009.4.23)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)
<b>GO2F</b>	<b>1/13</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2F	1/13	505	2H002
<b>HO4N</b>	<b>5/232</b>	<b>(2006.01)</b>	HO4N	5/232	A	2H011
<b>HO4N</b>	<b>5/225</b>	<b>(2006.01)</b>	HO4N	5/225	D	2H051
<b>HO4N</b>	<b>5/335</b>	<b>(2006.01)</b>	HO4N	5/335	V	2H088
<b>GO2B</b>	<b>3/14</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B	3/14		5C024

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-252191 (P2007-252191)  
 (22) 出願日 平成19年9月27日 (2007.9.27)

(71) 出願人 000006633  
 京セラ株式会社  
 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地  
 (72) 発明者 大原 直人  
 東京都世田谷区玉川台2丁目14番9号  
 京セラ株式会社東京用賀事業所内  
 (72) 発明者 林 佑介  
 東京都世田谷区玉川台2丁目14番9号  
 京セラ株式会社東京用賀事業所内  
 (72) 発明者 杉田 丈也  
 東京都世田谷区玉川台2丁目14番9号  
 京セラ株式会社東京用賀事業所内

Fターム(参考) 2H002 CC21  
 2H011 CA12  
 2H051 FA01 FA60 GB02  
 最終頁に続く

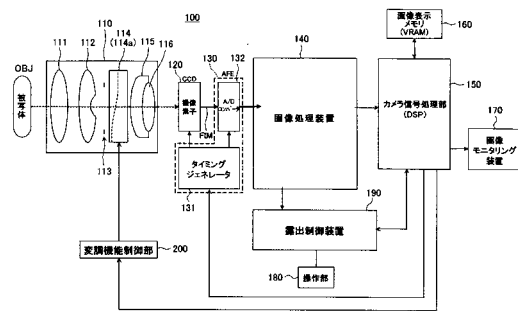
(54) 【発明の名称】 撮像装置および撮像方法

(57) 【要約】

【課題】 深度拡張光学系を用いた撮像装置において、焦点深度外の距離の被写体にもピントを合わせることが可能とする。

【解決手段】 結像レンズによる撮像素子120の受光面への結像の波面を变形させる機能を有する光波面変調素子112と結像の波面の变形状態を変えられる可変光波面変調素子114を備えた光学系110と、光学系110を通過した被写体像を撮像する撮像素子120と、撮像素子120と、画像処理装置140と、を有し、可変光波面変調素子114は、変調機能制御部200により光波面変調機能をコントロールしてボケ画像復元を行なう。更に、様々な被写体距離に応じた光波面変調状態に光波面変調機能のコントロールを行なうことによって、より広い距離範囲の被写体に対応すると共に、未知の距離の被写体に対するオートフォーカスにも応用する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光波面変調素子を含む深度拡張光学系と、  
 該深度拡張光学系に組み込まれ、光波面の変調状態を可変とする可変光波面変調素子と、  
 該可変光波面変調素子の光波面変調をコントロールする制御部と、  
 前記深度拡張光学系を介した像を光電変換する撮像素子と、  
 該撮像素子からの画像信号に対して所定の処理を施す画像信号処理部と、を備えて、  
 前記光波面変調素子によってぼかされたピントを前記可変光波面変調素子によって復元する撮像装置。

## 【請求項 2】

前記可変光波面変調素子は、複数種類の被写体距離に対応して前記復元を行なう前記光波面変調状態を切り替えることが可能で、撮影モードもしくは被写体距離設定によって前記光波面変調状態を切り替える請求項 1 に記載の撮像装置。

## 【請求項 3】

前記可変光波面変調素子は、任意の被写体距離に対応して前記復元を行なう前記光波面変調状態を任意に変化させることが可能で、該光波面変調状態を変化させることによってオートフォーカスを行なう請求項 1 に記載の撮像装置。

## 【請求項 4】

前記深度拡張光学系において、前記可変光波面変調素子は絞りに隣接する構成とした請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の撮像装置。

## 【請求項 5】

前記可変光波面変調素子自体が絞りの機能も有することを特徴とした請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の撮像装置。

## 【請求項 6】

前記深度拡張光学系において、近軸焦点距離が不変であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の撮像装置。

## 【請求項 7】

前記深度拡張光学系において、球面収差が最低 1 つ以上の変極点を持つことを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載の撮像光学系。

## 【請求項 8】

光波面変調素子を含む深度拡張光学系を通過した被写体像を撮像素子で撮像する撮像方法であって、  
 前記深度拡張光学系の光路に配置され、光波面の変調状態を可変とする可変光波面変調素子をコントロールして前記光波面変調素子によってぼかされたピント（or低下させられたコントラスト）を復元する撮像方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、撮像素子を用い、光学系を備えたデジタルスチルカメラや携帯電話搭載カメラ、携帯情報端末搭載カメラ、画像検査装置、自動制御用産業カメラ等の撮像装置および撮像装置に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年急峻に発展を遂げている情報のデジタル化に相俟って映像分野においてもその対応が著しい。

## 【0003】

特に、デジタルカメラに象徴されるように撮像面は従来のフィルムに変わって固体撮像素子である CCD (Charge Coupled Device), CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサが使用されているのが大半である。

10

20

30

40

50

## 【0004】

このように、撮像素子にCCDやCMOSセンサを使った撮像レンズ装置は、被写体の映像を光学系により光学的に取り込んで、撮像素子により電気信号として抽出するものであり、デジタルスチルカメラの他、ビデオカメラ、デジタルビデオユニット、パーソナルコンピュータ、携帯電話機、携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistant）、画像検査装置、自動制御用産業カメラ等に用いられている。

## 【0005】

図27は、一般的な撮像レンズ装置の構成および光束状態を模式的に示す図である。

## 【0006】

この撮像レンズ装置1は、光学系2とCCDやCMOSセンサ等の撮像素子3とを有する。

10

## 【0007】

光学系は、物体側レンズ21、22、絞り23、および結像レンズ24を物体側（OBS）から撮像素子3側に向かって順に配置されている。

## 【0008】

撮像レンズ装置1においては、図27に示すように、ベストフォーカス面を撮像素子面上に合致させている。

## 【0009】

図28（A）～（C）は、撮像レンズ装置1の撮像素子3の受光面でのスポット像を示している。

20

## 【0010】

また、位相板（Wavefront Coding optical element）により光束を規則的に分散し、デジタル処理により復元させ被写界深度の深い画像撮影を可能にする等の撮像装置が提案されている（たとえば非特許文献1、2、特許文献1～5参照）。

## 【0011】

また、伝達関数を用いたフィルタ処理を行うデジタルカメラの自動露出制御システムが提案されている（たとえば特許文献6参照）。

【非特許文献1】“Wavefront Coding;jointly optimized optical and digital imaging systems”,Edward R.Dowski,Jr.,Robert H.Cormack,Scott D.Sarama.

30

【非特許文献2】“Wavefront Coding;A modern method of achieving high performance and/or low cost imaging systems”,Edward R.Dowski,Jr.,Gregory E.Johnson.

【特許文献1】USP6,021,005

【特許文献2】USP6,642,504

【特許文献3】USP6,525,302

【特許文献4】USP6,069,738

【特許文献5】特開2003-235794号公報

【特許文献6】特開2004-153497号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

40

## 【0012】

上述した各文献にて提案された撮像装置においては、その全ては通常光学系に上述の位相板を挿入した場合のPSF（Point-Spread-Function）が一定になっていることが前提であり、PSFが変化した場合は、その後のカーネルを用いたコンボリューションにより、被写界深度の深い画像を実現することは極めて難しい。

## 【0013】

したがって、単焦点でのレンズではともかく、ズーム系やAF系などのレンズでは、その光学設計の精度の高さやそれに伴うコストアップが原因となり採用するには大きな問題を抱えている。

## 【0014】

50

換言すれば、従来の撮像装置においては、適正なコンボリューション演算を行うことができず、ワイド (Wide) 時やテレ (Tele) 時のスポット (SPOT) 像のズレを引き起こす非点収差、コマ収差、ズーム色収差等の各収差を無くす光学設計が要求される。

【0015】

しかしながら、これらの収差を無くす光学設計は光学設計の難易度を増し、設計工数の増大、コスト増大、レンズの大型化の問題を引き起こす。

【0016】

また、上述した各文献に開示された装置においては、たとえば暗所における撮影で、信号処理によって画像を復元する際、ノイズも同時に増幅してしまう。

10

【0017】

したがって、たとえば上述した位相板等の光波面変調素子とその後の信号処理を用いるような、光学系と信号処理を含めた光学システムでは、暗所での撮影を行う場合、ノイズが増幅してしまい、復元画像に影響を与えてしまうという不利益がある。

【0018】

さらに、深度拡張光学系では、その名が示すとおり被写体の奥行き感によるボケを減少、あるいは喪失させている。一般的な写真撮影において、意図的に背景にボケを生じさせる事で被写体のクローズアップを図る手法もあり、こういった用途には、深度拡張光学系は向かない。

【0019】

複数のカメラを持つことなく、用途に応じて深度の異なる撮影を行いたい場合、F値の明暗によって従来は行ってきたが、F値を暗くした光学系は、シャッター速度の低下やノイズの増加などにつながり、望ましくない。

20

【0020】

本発明の目的は、深度拡張光学系に光波面変調の制御が可能な液体レンズや液晶レンズを加えてぼけ復元に用いることで、通常光学系より被写界深度の深い映像を得たり、焦点ぼけをコントロールして深度拡張光学系の場合より奥行き感のある映像を得たりすることができる撮像装置および撮像方法を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明の第1の観点の撮像装置は、光波面変調素子を含む深度拡張光学系と、そこに組み込まれて光波面の変調状態を可変とする可変光波面変調素子と、その可変光波面変調素子の光波面変調をコントロールする制御部と、深度拡張光学系を介した像を光電変換する撮像素子と、その出力の画像信号に対して所定の処理を施す画像信号処理部と、を備えて、光波面変調素子によってぼかされたピント (or低下させられたコントラスト) を可変光波面変調素子によって復元する。

30

【0022】

好適には、可変光波面変調素子は複数種類の被写体距離に対応して光波面変調状態を切り替えて復元を行なうことが可能で、撮影モードもしくは被写体距離設定によって光波面変調状態を切り替える。

40

【0023】

好適には、可変光波面変調素子は任意の被写体距離に対応して光波面変調状態を任意に変化させて復元を行なうことが可能で、光波面変調状態を連続的に変化させることによってオートフォーカスを行なうことができる。

【0024】

更に好適には、可変光波面変調素子は絞りに隣接する構成とする。

【0025】

また、好適には、可変光波面変調素子自体が絞りの機能も有する。

【0026】

更に好適には、深度拡張光学系において、近軸焦点距離が不変となっている。

50

## 【0027】

更に好適には、深度拡張光学系において、球面収差が最低1つ以上の変極点を持っている。

## 【0028】

本発明の第2の観点は、

光波面変調素子を含む深度拡張光学系を通過した被写体像を撮像素子で撮像する撮像方法であって、深度拡張光学系の光路に配置され、光波面の変調状態を可変とする可変光波面変調素子をコントロールして光波面変調素子によってぼかされたピント（or低下させられたコントラスト）を復元する撮像方法である。

## 【発明の効果】

10

## 【0029】

本発明によれば、深度拡張光学系に光波面変調の制御が可能な液体レンズや液晶レンズを加えてぼけ復元に用いることで、通常光学系より被写界深度の深い映像を得たり、焦点ぼけをコントロールして深度拡張光学系の場合より奥行き感のある映像を得たりすることができる利点がある。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0030】

以下、本発明の実施形態を添付図面に関連付けて説明する。

## 【0031】

図1は、本発明に係る撮像装置の一実施形態を示すブロック構成図である。

20

## 【0032】

本実施形態に係る撮像装置100は、光学系110、撮像素子120、アナログフロントエンド部(AFE)130、画像処理装置140、カメラ信号処理部150、画像表示メモリ160、画像モニタリング装置170、操作部180、露出制御装置190、および変調機能制御部200を有している。

## 【0033】

光学系110は、被写体物体OBJを撮影した像を撮像素子120に供給する。

## 【0034】

光学系110は、たとえば物体側OBJSから順に配置された第1レンズ111と、撮像素子120の受光面への結像の波面を变形させる、たとえば3次元的曲面を有する位相板(Cubic Phase Plate)からなる光波面変調素子(波面形成用光学素子:Wavefront Coding Optical Element)により形成される第2レンズ112、絞り113、可変光波面変調素子114、第3レンズ115、および第4レンズ116を有する。

30

## 【0035】

第3レンズ115および第4レンズ116は接合され、撮像素子120に結像させるための結像レンズとして機能する。

## 【0036】

可変光波面変調素子114は光波面変調素子112によりぼかされたピント(or低下させられたコントラスト)を復元するように変調機能制御部200により光波面変調機能をコントロールされる。

40

## 【0037】

図2(A)および(B)は、本実施形態に係る可変光波面変調素子の構成例および機能を説明するための図である。

## 【0038】

可変光波面変調素子114は、図2(A)、(B)に示すように、たとえば液晶素子114aにより構成することが可能である。

## 【0039】

この液晶素子114aは、素子に与える電圧を切り替えることで、光線の集光状態を変化させることができる。

50

## 【 0 0 4 0 】

たとえば、変調機能制御部 2 0 0 により電圧が印加されると、図 2 ( A ) に示すように、液晶素子 1 1 4 a には光波面変調機能が発現し、変調機能制御部 2 0 0 により光波面の変調状態が制御され、光波面変調素子 1 1 2 によりぼかされたピント ( or 低下させられたコントラスト ) は復元する。

## 【 0 0 4 1 】

一方、変調機能制御部 2 0 0 により電圧印加が停止 ( あるいは発現状態より低レベルに設定 ) されると、図 2 ( B ) に示すように、液晶素子 1 1 4 a は光波面変調機能が非発現状態に制御され、光学系 1 1 0 が複数焦点状態となる。

## 【 0 0 4 2 】

撮像装置 1 2 0 は、光学系 1 1 0 で取り込んだ像が結像され、結像 1 次画像情報を電気信号の 1 次画像信号 F I M として、アナログフロントエンド部 1 3 0 を介して画像処理装置 1 4 0 に出力する C C D や C M O S センサからなる。

## 【 0 0 4 3 】

図 1 においては、撮像素子 1 2 0 を一例として C C D として記載している。

## 【 0 0 4 4 】

アナログフロントエンド部 1 3 0 は、タイミングジェネレータ 1 3 1、アナログ/デジタル ( A / D ) コンバータ 1 3 2 と、を有する。

## 【 0 0 4 5 】

タイミングジェネレータ 1 3 1 では、撮像素子 1 2 0 の C C D の駆動タイミングを生成しており、A / D コンバータ 1 3 2 は、C C D から入力されるアナログ信号をデジタル信号に変換し、画像処理装置 1 4 0 に出力する。

## 【 0 0 4 6 】

画像処理部の一部を構成する画像処理装置 1 4 0 は、前段の A F E 1 3 0 からくる撮像画像のデジタル信号を入力し、後段のカメラ信号処理部 ( D S P ) 1 5 0 に渡す。

## 【 0 0 4 7 】

画像処理装置 1 4 0 の処理については後でさらに詳述する。

## 【 0 0 4 8 】

カメラ信号処理部 ( D S P ) 1 5 0 は、カラー補間、ホワイトバランス、Y C b C r 変換処理、圧縮、ファイリング等の処理を行い、メモリ 1 6 0 への格納や画像モニタリング装置 1 7 0 への画像表示等を行う。画像モニタリング装置 1 7 0 は、カメラ信号処理部 1 5 0 の制御の下、カラー出力あるいは白黒出力が可能である。

## 【 0 0 4 9 】

カメラ信号処理部 1 5 0 は、露出制御装置 1 9 0 と変調機能制御部 2 0 0 との協働により、変調機能制御部 2 0 0 による光波面変調機能 ( 逆光波面変調機能 ) の発現、非発現とフィルタ ( カーネル ) の適用の切り替えとのリンク、カラー出力あるいは白黒出力の切り替えとのリンク、色収差補正機能の切り替えとのリンク制御等を行う。

## 【 0 0 5 0 】

露出制御装置 1 9 0 は、露出制御を行うとともに、操作部 1 8 0 などの操作入力を持ち、それらの入力に応じて、システム全体の動作を決定し、A F E 1 3 0、画像処理装置 1 4 0、D S P 1 5 0 等を制御し、システム全体の調停制御を司るものである。

## 【 0 0 5 1 】

変調機能制御部 2 0 0 は、カメラ信号処理部 1 5 0 の指示に応じて可変光波面変調素子 1 1 4 光波面変調機能の発現、光波面の変調状態を電圧により制御する。

## 【 0 0 5 2 】

以下、本実施形態の光学系、画像処理装置の構成および機能について具体的に説明する。

## 【 0 0 5 3 】

なお、本実施形態においては、可変光波面変調素子を用いた場合について説明したが、本発明の可変光波面変調素子としては、波面を変形させるものであればどのようなもので

10

20

30

40

50

もよく、厚みが増える光学素子（たとえば、上述の3次の位相板）、屈折率が変化する光学素子（たとえば屈折率分布型波面変調レンズ）、レンズ表面へのコーティングにより厚み、屈折率が変化する光学素子（たとえば、波面変調ハイブリッドレンズ）、光の位相分布を変調可能な液晶素子（たとえば、液晶空間光波面変調素子）等の可変光波面変調素子であればよい。

【0054】

また、本実施形態においては、光波面変調素子である位相板を用いて規則的に分散した画像を形成する場合について説明したが、通常の光学系として用いるレンズで光波面変調素子と同様に規則的に分散した画像を形成できるものを選択した場合には、光波面変調素子を用いずに光学系のみで実現することができる。この際は、後述する位相板に起因する分散に対応するのではなく、光学系に起因する分散に対応することとなる。

10

【0055】

位相板は、光学系により収束される光束を規則正しく分散する光学レンズである。この位相板を挿入することにより、撮像素子120上ではピントのどこにも合わない画像を実現する。

【0056】

換言すれば、光波面変調素子によって深度の深い光束（像形成の中心的役割を成す）とフレア（ボケ部分）を形成している。

【0057】

この規則的に分散した画像をデジタル処理により、光学系110や110Aを移動させずにピントの合った画像に復元する手段を波面収差制御光学系システム、あるいは深度拡張光学系システム（DEOS: Depth Expansion Optical system）という。

20

【0058】

ここで、DEOSの基本原理について説明する。

【0059】

図3に示すように、被写体の画像fがDEOS光学系Hに入ることにより、g画像が生成される。

【0060】

これは、次のような式で表される。

30

【0061】

(数1)

$$g = H * f$$

ただし、\*はコンボリューションを表す。

【0062】

生成された画像から被写体を求めるためには、次の処理を要する。

【0063】

(数2)

$$f = H^{-1} * g$$

ここで、Hに関するカーネルサイズと演算係数について説明する。

40

【0064】

ズームポジションを $ZP_n$ 、 $ZP_{n-1}$ ・・・とする。また、それぞれのH関数を $H_n$ 、 $H_{n-1}$ 、・・・とする。

【0065】

各々のスポット像が異なるため、各々のH関数は、次のようになる。

【数 3】

$$H_n = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \end{pmatrix}$$

$$H_{n-1} = \begin{pmatrix} a' & b' & c' \\ d' & e' & f' \\ g' & h' & i' \end{pmatrix}$$

【 0 0 6 6 】

この行列の行数および / または列数の違いをカーネルサイズ、各々の数字を演算係数とする。

【 0 0 6 7 】

ここで、各々の H 関数はメモリに格納しておいても構わないし、PSF を物体距離の関数としておき、物体距離によって計算し、H 関数を算出することによって任意の物体距離に対して最適なフィルタを作るように設定できるようにしても構わない。また、H 関数を物体距離の関数として、物体距離によって H 関数を直接求めても構わない。

【 0 0 6 8 】

本実施形態においては、図 1 に示すように、光学系 1 1 0 に応じた変換係数を取得して、取得した変換係数を光学的に実現させるように変調機能制御部 2 0 0 により可変光波面変調素子 1 1 4 の光波面変調機能をコントロールして分散のない像を生成するように構成している。

【 0 0 6 9 】

なお、本実施形態において、分散とは、上述したように、光波面変調素子 1 1 2 を挿入することにより、撮像素子 1 2 0 上ではピントのどこにも合わない画像を形成し、深度の深い光束（像形成の中心的役割を成す）とフレアー（ボケ部分）を形成する現象をいい、像が分散してボケ部分を形成する振る舞いから収差と同様の意味合いが含まれる。したがって、本実施形態においては、収差として説明する場合もある。

【 0 0 7 0 】

ところで、DEOS によって被写界深度拡張を行なった場合でも、無限遠から非常に近くまでの全ての被写体が深度内に納まるほどに拡張することは非常に困難である。そこで前述の任意の被写体距離に対して最適となるようなフィルタを複数種類作っておき、その中から主要被写体の距離に適したフィルタを用いて復元処理を行なうことによって、主要被写体を中心に遠近両側に深度を拡張した画を得ることができる。本発明では、このフィルタを光学的に実現する様に可変光波面変調素子 1 1 4 の形状をコントロールすることで同様の効果を得ることになる。撮像装置の機能によって、無限遠モード（風景モード）やマクロ撮影モードといったような主要被写体の距離がある程度特定されるモードを備えているものは、その距離に応じた可変光波面変調素子 1 1 4 の形状制御パターンを用意してモードに応じて使い分けるものとする。また、撮像装置にはマニュアルフォーカスモード的な使い方を想定して、被写体距離を設定することができるような機能を備えているものがある。その場合も設定距離に応じた最適な可変光波面変調素子 1 1 4 の形状に切り替えることによって、それぞれに最適な画を得ることが可能となる。

【 0 0 7 1 】

しかしながら、前述の様なモードが設定されていない一般的な撮影を行なう場合には、主要被写体がどのような距離に存在するかは定まっているわけではないので、撮影前に主要被写体の距離を知り得ることはできず、最適な可変光波面変調素子 1 1 4 の形状（復元フィルタに相当）を選択・決定することはできない。可変光波面変調素子 1 1 4 の任意の形状を常に用いるという方法もあるが、その場合には結果的に主要被写体が拡張した深度内に納まっていれば良いが、納まっていなければ折角の深度拡張も意味を成さないものになってしまう。そのため、任意の被写体距離に対して最適となるような可変光波面変調素

10

20

30

40

50



子 1 1 4 の形状を複数種類用意しておき、順次変化させながら連続して画を取り込んでいく、被写体距離（もしくは最適な可変光波面変調素子 1 1 4 の形状）の検知を行なっていく、所謂オートフォーカス的な手法が有効である。具体的には、通常光学系の撮像装置の山登り方式のオートフォーカスの様に取り込んだ画のコントラスト値（高周波成分の積算値）を評価値として、それが最大となるような条件のもとで撮影された画をピントが最適なものとする。

【 0 0 7 2 】

図 4 に示したフローを用いながら処理の流れについて説明を行なう。まず、可変光波面変調素子 1 1 4 に変調をかけない状態を初期値として、光学系 1 1 0 を介して画像を取り込む。取り込んだ画のコントラスト値（高周波成分の積算値）をメモリしておき、変調機能制御部 2 0 0 によって、可変光波面変調素子 1 1 4 の光波面変調量を変えて、また光学系 1 1 0 を介して画像を取り込む。取り込んだ画のコントラスト値とメモリしてあるコントラスト値を比較する。以上の処理を繰り返し、コントラスト値がピークとなる可変光波面変調素子 1 1 4 の光波面変調量を検出したら、その光波面変調量の条件が最も被写体にピントが合っている状態として、処理を終了する。

10

【 0 0 7 3 】

このように通常光学系を用いた撮像装置で行なうオートフォーカスの場合と、処理の流れ自体は同様であるが、大きく異なるのは機構的に駆動する部分が無いことであり、これによって、耐久性、耐衝撃性といった面でメリットがある。

【 0 0 7 4 】

深度拡張を行なっているために、条件を変えながら画を取り込むポイント数が大幅に少なくて済むということがある。通常光学系の撮像装置では、レンズ位置を細かく変えながら画を取り込み、評価をしていかなければ、評価値がピークとなるレンズ位置（ピント位置）を捉えることができず、ピントの甘い画となってしまう。しかしながら、上述の本発明の手法では、深度を拡張しているため、可変光波面変調素子 1 1 4 の形状が対応する被写体距離を細かく刻む必要は無く、被写体は深度内に納まることになる。この画を取り込むポイント数が大幅に少なくて済むということは、処理の量が少なくて済み、ひいては処理の高速化と同時に消費電力の削減にもつながる。

20

【 0 0 7 5 】

本発明の深度拡張光学系においては、光波面変調素子と絞りとの位置関係によって各像高の光束が光波面変調素子を通過する位置が異なってしまう、位相が変化してしまうため、適切な画像を復元することが困難になる場合がある。

30

【 0 0 7 6 】

光波面変調素子に対して絞りが近い場合に比べて、絞りが遠くなると対角像高の主光線と軸上の主光線が光波面変調面の異なった場所を通過することになる。それによって光波面変調面を通過した光線が成すスポット形状は、絞りが光波面変調面に近い場合に比べて離れている場合は乱れ、スポット形状が乱れると画像を復元する際に困難となる。

【 0 0 7 7 】

以上のことから、本発明における深度拡張光学系の絞り 1 1 3 の位置は光波面変調素子 1 1 2 か可変光波面変調素子 1 1 4 のいずれかに近接していることが好ましい。そうすることによってスポット形状が乱れず、画像復元を確実に行うことができるようになる。

40

【 0 0 7 8 】

可変光波面変調素子 1 1 4 は、例えば液晶レンズのような、端部に光の通過を制限するための絞り機能を有し、中央部は光を透過させると同時に光波面変調機能を有するものを用いることで、相変調素子と絞りが近接（一致）する構成を実現可能である。よって像高による通過光束の位置の違いが無く、スポット形状に乱れが無く、位相が変化しない光学系が実現可能となる。

【 0 0 7 9 】

また、本発明で示すように光波面変調素子 1 1 2 と併せて可変光波面変調素子 1 1 4 を用いて光波面変調状態を変化させる方法を採用すると、光波面変調のための光学的なパワーを

50

光波面変調素子 1 1 2 と可変光波面変調素子 1 1 4 とに分散させることができる。光波面変調素子 1 1 2 の方に主たるパワーを配分することによって、可変光波面変調素子 1 1 4 の形状を変化させる量も小さくて済む。これは、比較的パワーの小さい液晶レンズの様な可変光波面変調素子も適用可能となることを意味している。

【 0 0 8 0 】

( 変化量が小さいことは省電力 )

また、パワーが小さいということは、近軸焦点距離を不変とすることができ、可変光波面変調素子 1 1 4 の形状変化に伴って焦点距離 ( 画角 ) が変化してしまうのを防ぐことができる。

【 0 0 8 1 】

更に、本実施形態における光学系に関して、光波面変調面を有する光学系の特徴としては、球面収差が中央部分から周辺部分にかけて、少なくとも 1 つの変曲点を持った形状とすることで、物体距離に応じた O T F の変化を小さくしながら、光波面変調面の波面変調量を調整することでピント位置を調整することが可能となる。

【 0 0 8 2 】

図 5 及び 6 は球面収差と位相面形状について説明したものである。

【 0 0 8 3 】

球面収差において変曲点を持たない光波面変調を備えた光学系においては、物体距離に応じた O T F の変化を小さくするためには、図 6 . 1 に示すような従来の一般的な光学系より、図 6 . 2 に示すようにスポット像を大きくせざるを得ない。具体的詳細には図 5 に示すように中心から周辺に向かってピント位置が近距離側へシフトしている。これを球面収差の図にすると図 6 . 2 のようになる。さらにこの状態で絞りに隣接した非球面形状は図 5 の type 1 のようになっており、変曲点をもつと図 5 の type 2 のようになる。このように周辺のピントが近距離に合うような球面収差カーブとした場合、遠距離にピントが合うようにするには球面収差が左右反転するほどまでに大きく光波面を変調しなくてはならない。それに対して、図 6 . 3 のように変曲点を持った場合、中心から中域にかけては近距離にピントがあっているが、周辺部では遠距離側にピントがあっている。変曲点を持つことによって中心部から周辺部にかけていずれかの位置が遠距離側、近距離側にピントがあっていることになる。これを球面収差とディフォーカスの関係で示すと、通常光学系を用いた場合を示す図 8 に対して、図 7 で示される変曲点を有する場合は遠近のバランスがとれた状態となっていることが判る。変曲点を持たば遠距離から近距離までピントが合っている箇所がある為、図 9 のようにバランスを調整するだけで遠距離側、近距離側に寄せることができる。

【 0 0 8 4 】

つまり、本発明では図 7 に示すような変曲点を持つ光学系を用いることで、図 8 に示すような通常光学系を用いる場合に比べて M T F ( O T F ) の変化を小さくすることができる。更には、図 9 に示すように光波面の変調状態を変更 ( 可変光波面変調素子 1 1 4 を制御 ) して M T F のピーク位置をずらして ( 図 9 の場合は遠側にシフト ) 、より被写体の距離に適した撮像を行なうことが可能である。

【 0 0 8 5 】

また、可変光波面変調素子 1 1 4 の復元機能を画像処理装置 1 4 0 における画像処理によっても持ち、両方の復元機能を併せて用いることにより、より自由度の高い復元処理を実現できる。以下に、画像処理装置 1 4 0 の構成および処理について説明する。

【 0 0 8 6 】

画像処理装置 1 4 0 は、図 1 0 に示すように、生 ( R A W ) バッファメモリ 1 4 1 、コンポリューション演算器 1 4 2 、記憶手段としてのカーネルデータ格納 R O M 1 4 3 、およびコンポリューション制御部 1 4 4 を有する。

【 0 0 8 7 】

コンポリューション制御部 1 4 4 は、コンポリューション処理のオンオフ、画面サイズ、カーネルデータの入れ替え等の制御を行い、露出制御装置 1 9 0 により制御される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 8 】

また、カーネルデータ格納ROM 143には、図11に示すように予め用意されたそれぞれの光学系のPSFにより算出されたコンボリューション用のカーネルデータが格納されており、露出制御装置190によって露出設定時に決まる露出情報を取得し、コンボリューション制御部144を通じてカーネルデータを選択制御する。

## 【 0 0 8 9 】

なお、露出情報には、絞り情報が含まれる。

## 【 0 0 9 0 】

また、図11の例では、カーネルデータAは絞り情報としてのFナンバ(2.8)、カーネルデータBはFナンバ(4)、カーネルデータCはFナンバ(5.6)に対応したデータとなっている。

10

## 【 0 0 9 1 】

図11の例のように、絞り情報に応じたフィルタ処理を行うのは以下の理由による。

## 【 0 0 9 2 】

絞りを絞って撮影を行う場合、絞りによって光波面変調素子が覆われてしまい、位相が変化してしまうため、適切な画像を復元することが困難となる。

## 【 0 0 9 3 】

そこで、本実施形態においては、本例のように、露出情報中の絞り情報に応じたフィルタ処理を行うことによって適切な画像復元を実現している。

## 【 0 0 9 4 】

図12は、露出制御装置190の露出情報(絞り情報を含む)により切り替え処理のフローチャートである。

20

## 【 0 0 9 5 】

まず、露出情報(RP)が検出されコンボリューション制御部144に供給される(ST101)。

## 【 0 0 9 6 】

コンボリューション制御部144においては、露出情報RPから、カーネルサイズ、数値演係数がレジスタにセットされる(ST102)。

## 【 0 0 9 7 】

そして、撮像素子120で撮像され、AFE130を介して二次元コンボリューション演算部142に入力された画像データに対して、レジスタに格納されたデータに基づいてコンボリューション演算が行われ、演算され変換されたデータがカメラ信号処理部150に転送される(ST103)。

30

## 【 0 0 9 8 】

コンボリューション演算は下記の式で表される。

## 【 数 4 】

$$B_{(i,j)} = \sum_{l=-n}^{+n} \sum_{k=-n}^{+n} f_{(k,l)} * A_{(i+k,j+l)}$$

40

## 【 0 0 9 9 】

ただし、fはフィルタ(filter)カーネルを示している(ここでは計算を容易にするために180度回転済みのものを使用している)。

## 【 0 1 0 0 】

また、Aは元画像、Bはフィルタリングされた画像(ボケ復元画像)を示している。

## 【 0 1 0 1 】

この式から分かる通り、fを画像に重ねて各タップ同士の積和した結果をその重ねた中心座標の値とすることである。

## 【 0 1 0 2 】

上述したように、コンボリューション処理は画像処理装置140で行われる。撮像素子

50

120からの画素データは式4に従いコンボリユージョン処理される。

【0103】

画像処理装置140は、はじめに光波面変調素子によるボケを光波面変調素子によるボケ復元フィルタを用いて、換言すれば、カーネルデータ格納ROM143から光波面変調素子によるボケ復元用のフィルタ係数を読み込み、このフィルタ係数により復元処理を行う。

【0104】

すると処理後は光波面変調素子によるボケは改善される。

【0105】

以下に画像処理装置140の信号処理部とカーネルデータ格納ROMについてさらに具体的な例について説明する。

【0106】

図13は、信号処理部とカーネルデータ格納ROMについての第1の構成例を示す図である。なお、簡単化のためにAFE等は省略している。

【0107】

図13の例は露出情報に応じたフィルタカーネルを予め用意した場合のブロック図である。

【0108】

露出設定時に決まる露出情報を取得し、コンボリユージョン制御部144を通じてカーネルデータを選択制御する。2次元コンボリユージョン演算部142においては、カーネルデータを用いてコンボリユージョン処理を施す。

【0109】

図14は、信号処理部とカーネルデータ格納ROMについての第2の構成例を示す図である。なお、簡単化のためにAFE等は省略している。

【0110】

図14の例は、信号処理部の最初にノイズ低減フィルタ処理のステップを有し、フィルタカーネルデータとして露出情報に応じたノイズ低減フィルタ処理ST1を予め用意した場合のブロック図である。

【0111】

露出設定時に決まる露出情報を取得し、コンボリユージョン制御部144を通じてカーネルデータを選択制御する。

【0112】

2次元コンボリユージョン演算部142においては、前記ノイズ低減フィルタST1を施した後、カラーコンバージョン処理ST2によって色空間を変換、その後カーネルデータを用いてコンボリユージョン処理ST3を施す。

【0113】

再度ノイズ処理ST4を行い、カラーコンバージョン処理ST5によって元の色空間に戻す。カラーコンバージョン処理は、たとえばYCbCr変換が挙げられるが、他の変換でも構わない。

【0114】

なお、再度のノイズ処理ST4は省略することも可能である。

【0115】

図15は、信号処理部とカーネルデータ格納ROMについての第3の構成例を示す図である。なお、簡単化のためにAFE等は省略している。

【0116】

図15の例は、露出情報に応じたOTF復元フィルタを予め用意した場合のブロック図である。

【0117】

露出設定時に決まる露出情報を取得し、コンボリユージョン制御部144を通じてカーネルデータを選択制御する。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 8 】

2次元コンボリューション演算部142は、ノイズ低減処理ST11、カラーコンバージョン処理ST12の後に、前記OTF復元フィルタを用いてコンボリューション処理ST13を施す。

## 【 0 1 1 9 】

再度ノイズ処理ST14を行い、カラーコンバージョン処理ST15によって元の色空間に戻す。カラーコンバージョン処理は、たとえばYCbCr変換が挙げられるが、他の変換でも構わない。

## 【 0 1 2 0 】

なお、ノイズ低減処理ST11、ST14は、いずれか一方のみでもよい。

10

## 【 0 1 2 1 】

図16は、信号処理部とカーネルデータ格納ROMについての第4の構成例を示す図である。なお、簡単化のためにAFE等は省略している。

## 【 0 1 2 2 】

図16の例は、ノイズ低減フィルタ処理のステップを有し、フィルタカーネルデータとして露出情報に応じたノイズ低減フィルタを予め用意した場合のブロック図である。

## 【 0 1 2 3 】

なお、再度のノイズ処理ST4は省略することも可能である。

## 【 0 1 2 4 】

露出設定時に決まる露出情報を取得し、コンボリューション制御部144を通じてカーネルデータを選択制御する。

20

## 【 0 1 2 5 】

2次元コンボリューション演算部142においては、ノイズ低減フィルタ処理ST21を施した後、カラーコンバージョン処理ST22によって色空間を変換、その後カーネルデータを用いてコンボリューション処理ST23を施す。

## 【 0 1 2 6 】

再度、露出情報に応じたノイズ処理ST24を行い、カラーコンバージョン処理ST25によって元の色空間に戻す。カラーコンバージョン処理は、たとえばYCbCr変換が挙げられるが、他の変換でも構わない。

## 【 0 1 2 7 】

なお、ノイズ低減処理ST21は省略することも可能である。

30

## 【 0 1 2 8 】

以上は露出情報のみに応じて2次元コンボリューション演算部142においてフィルタ処理を行う例を説明したが、たとえば被写体距離情報、ズーム情報、あるいは撮影モード情報と露出情報とを組み合わせることにより適した演算係数の抽出、あるいは演算を行うことが可能となる。

## 【 0 1 2 9 】

図17は、被写体距離情報と露出情報とを組み合わせる画像処理装置の構成例を示す図である。

## 【 0 1 3 0 】

図12は、撮像素子120からの被写体分散画像信号より分散のない画像信号を生成するが画像処理装置300の構成例を示している。

40

## 【 0 1 3 1 】

画像処理装置300は、図17に示すように、コンボリューション装置301、カーネル・数値演算係数格納レジスタ302、および画像処理演算プロセッサ303を有する。

## 【 0 1 3 2 】

この画像処理装置300においては、物体概略距離情報検出装置400から読み出した被写体の物体距離の概略距離に関する情報および露出情報を得た画像処理演算プロセッサ303では、その物体離位置に対して適正な演算で用いる、カーネルサイズやその演算係数をカーネル、数値算係数格納レジスタ302に格納し、その値を用いて演算するコンボ

50

リューション装置 301 にて適正な演算を行い、画像を復元する。

【0133】

上述のように、光波面変調機能を備えた撮像装置の場合、所定の焦点距離範囲内であればその範囲内に関し画像処理によって適正な収差のない画像信号を生成できるが、所定の焦点距離範囲外の場合には、画像処理の補正に限度があるため、前記範囲外の被写体のみ収差のある画像信号となってしまう。

【0134】

また一方、所定の狭い範囲内に収差が生じない画像処理を施すことにより、所定の狭い範囲外の画像にぼけ味を出すことも可能になる。

【0135】

本例においては、主被写体までの距離を、距離検出センサを含む物体概略距離情報検出装置 400 により検出し、検出した距離に応じて異なる画像補正の処理を行うことにより構成されている。

【0136】

上記の画像処理はコンポリューション演算により行うが、これを実現するには、たとえばコンポリューション演算の演算係数を共通で 1 種類記憶しておき、焦点距離に応じて補正係数を予め記憶しておき、この補正係数を用いて演算係数を補正し、補正した演算係数で適性なコンポリューション演算を行う構成をとることができる。

【0137】

この構成の他にも、以下の構成を採用することが可能である。

【0138】

焦点距離に応じて、カーネルサイズやコンポリューションの演算係数自体を予め記憶しておき、これら記憶したカーネルサイズや演算係数でコンポリューション演算を行う構成、焦点距離に応じた演算係数を関数として予め記憶しておき、焦点距離によりこの関数より演算係数を求め、計算した演算係数でコンポリューション演算を行う構成等、を採用することが可能である。

【0139】

図 17 の構成に対応付けると次のような構成をとることができる。

【0140】

変換係数記憶手段としてのレジスタ 302 に被写体距離に応じて少なくとも位相板 113 に起因する収差に対応した変換係数を少なくとも 2 以上予め記憶する。画像処理演算プロセッサ 303 が、被写体距離情報生成手段としての物体概略距離情報検出装置 400 により生成された情報に基づき、レジスタ 302 から被写体までの距離に応じた変換係数を選択する係数選択手段として機能する。

【0141】

そして、変換手段としてのコンポリューション装置 301 が、係数選択手段としての画像処理演算プロセッサ 303 で選択された変換係数によって、画像信号の変換を行う。

【0142】

または、前述したように、変換係数演算手段としての画像処理演算プロセッサ 303 が、被写体距離情報生成手段としての物体概略距離情報検出装置 400 により生成された情報に基づき変換係数を演算し、レジスタ 302 に格納する。

【0143】

そして、変換手段としてのコンポリューション装置 301 が、変換係数演算手段としての画像処理演算プロセッサ 303 で得られレジスタ 302 に格納された変換係数によって、画像信号の変換を行う。

【0144】

または、補正值記憶手段としてのレジスタ 302 にズーム光学系 110 のズーム位置またはズーム量に応じた少なくとも 1 以上の補正值を予め記憶する。この補正值には、被写体収差像のカーネルサイズを含まれる。

【0145】

10

20

30

40

50

第2変換係数記憶手段としても機能するレジスタ302に、位相板113に起因する収差に対応した変換係数を予め記憶する。

【0146】

そして、被写体距離情報生成手段としての物体概略距離情報検出装置400により生成された距離情報に基づき、補正值選択手段としての画像処理演算プロセッサ303が、補正值記憶手段としてのレジスタ302から被写体までの距離に応じた補正值を選択する。

【0147】

変換手段としてのコンボリューション装置301が、第2変換係数記憶手段としてのレジスタ302から得られた変換係数と、補正值選択手段としての画像処理演算プロセッサ303により選択された補正值とに基づいて画像信号の変換を行う。

10

【0148】

図18に、露出情報と、物体距離情報と、撮影モードとを用いた場合のフィルタの構成例を示す。

【0149】

この例では、物体距離情報と撮影モード情報で2次元的な情報を形成し、露出情報が奥行きのような情報を形成している。

【0150】

図19は、撮影モード情報と露出情報とを組み合わせる画像処理装置の構成例を示す図である。

【0151】

20

図19は、撮像素子120からの被写体分散画像信号より分散のない画像信号を生成する画像処理装置300Bの構成例を示している。

【0152】

画像処理装置300Bは、図17と同様に、コンボリューション装置301、記憶手段としてのカーネル・数値演算係数格納レジスタ302、および画像処理演算プロセッサ303を有する。

【0153】

この画像処理装置300Bにおいては、物体概略距離情報検出装置500から読み出した被写体の物体距離の概略距離に関する情報および露出情報を得た画像処理演算プロセッサ303では、その物体離位置に対して適正な演算で用いる、カーネルサイズやその演算係数をカーネル、数値算係数格納レジスタ302に格納し、その値を用いて演算するコンボリューション装置301にて適正な演算を行い、画像を復元する。

30

【0154】

この場合も上述のように、光波面変調機能を備えた撮像装置の場合、所定の焦点距離範囲内であればその範囲内に関し画像処理によって適正な収差のない画像信号を生成できるが、所定の焦点距離範囲外の場合には、画像処理の補正に限度があるため、前記範囲外の被写体のみ収差のある画像信号となってしまふ。

【0155】

また一方、所定の狭い範囲内に収差が生じない画像処理を施すことにより、所定の狭い範囲外の画像にぼけ味を出すことも可能になる。

40

【0156】

本例においては、主被写体までの距離を、距離検出センサを含む物体概略距離情報検出装置500により検出し、検出した距離に応じて異なる画像補正の処理を行うことにより構成されている。

【0157】

上記の画像処理はコンボリューション演算により行うが、これを実現するには、コンボリューション演算の演算係数を共通で1種類記憶しておき、物体距離に応じて補正係数を予め記憶しておき、この補正係数を用いて演算係数を補正し、補正した演算係数で適性なコンボリューション演算を行う構成、物体距離に応じた演算係数を関数として予め記憶しておき、焦点距離によりこの関数より演算係数を求め、計算した演算係数でコンボリュ

50

ション演算を行う構成、物体距離に応じて、カーネルサイズやコンボリューションの演算係数自体を予め記憶しておき、これら記憶したカーネルサイズや演算係数でコンボリューション演算を行う構成等、を採用することが可能である。

【0158】

本実施形態においては、上述したように、DSCのモード設定（ポートレイト、無限遠（風景）、マクロ）に応じて画像処理を変更する。

【0159】

図19の構成に対応付けると次のような構成をとることができる。

【0160】

前述したように、変換係数演算手段としての画像処理演算プロセッサ303を通して操作部180の撮影モード設定部600により設定される各撮影モードに応じて異なる変換係数を変換係数記憶手段としてのレジスタ302に格納する。

10

【0161】

画像処理演算プロセッサ303が、撮影モード設定部600の操作スイッチ601により設定された撮影モードに応じて、被写体距離情報生成手段としての物体概略距離情報検出装置500により生成された情報に基づき、変換係数記憶手段としてのレジスタ302から変換係数を抽出する。このとき、たとえば画像処理演算プロセッサ303が変換係数抽出手段として機能する。

【0162】

そして、変換手段としてのコンボリューション装置301が、レジスタ302に格納された変換係数によって、画像信号の撮影モードに応じた変換処理を行う。

20

【0163】

また、図1のカーネルデータ格納ROMに関しても、光学倍率、Fナンバーやそれぞれのカーネルのサイズ、値に対して用いられるものとは限らない。また用意するカーネルデータの数についても3個とは限らない。

【0164】

図18のように3次元、さらには4次元以上とすることで格納量が多くなるが、種々の条件を考慮してより適したものを選択することができるようになる。情報としては、上述した露出情報、物体距離情報、撮像モード情報等であればよい。

【0165】

なお、上述のように、光波面変調素子を有する撮像装置の場合、所定の焦点距離範囲内であればその範囲内に関し画像処理によって適正な収差のない画像信号を生成できるが、所定の焦点距離範囲外の場合には、画像処理の補正に限度があるため、前記範囲外の被写体のみ収差のある画像信号となってしまう。

30

【0166】

また一方、所定の狭い範囲内に収差が生じない画像処理を施すことにより、所定の狭い範囲外の画像にぼけ味を出すことも可能になる。

【0167】

本実施形態においては、DEOSを採用し、高精細な画質を得ることが可能で、しかも、光学系を単純化でき、コスト低減を図ることが可能となっている。

40

【0168】

以下、この特徴について説明する。

【0169】

図20(A)～(C)は、撮像素子120の受光面でのスポット像を示している。

【0170】

図20(A)は焦点が0.2mmずれた場合(Defocus = 0.2mm)、図20(B)が合焦点の場合(Best focus)、図20(C)が焦点が-0.2mmずれた場合(Defocus = -0.2mm)の各スポット像を示している。

【0171】

図20(A)～(C)からもわかるように、本実施形態に係る撮像装置100において

50



は、光波面変調機能によって深度の深い光束（像形成の中心的役割を成す）とフレアー（ボケ部分）が形成される。

【0172】

このように、本実施形態の撮像装置100において形成された1次画像FIMは、深度が非常に深い光束条件にしている。

【0173】

図21(A)、(B)は、本実施形態に係る撮像レンズ装置により形成される1次画像の変調伝達関数(MTF: Modulation Transfer Function)について説明するための図であって、図21(A)は撮像レンズ装置の撮像素子の受光面でのスポット像を示す図で、図21(B)が空間周波数に対するMTF特性を示している

10

【0174】

本実施形態においては、高精細な最終画像は後段の、たとえばデジタルシグナルプロセッサ(Digital Signal Processor)からなる画像処理装置140の補正処理に任せるため、図21(A)、(B)に示すように、1次画像のMTFは本質的に低い値になっている。

【0175】

画像処理装置140は、上述したように、撮像素子120による1次画像FIMを受けて、1次画像の空間周波数におけるMTFをいわゆる持ち上げる所定の補正処理等を実施して高精細な最終画像FNIMを形成する。

20

【0176】

画像処理装置140のMTF補正処理は、たとえば図22の曲線Aで示すように、本質的に低い値になっている1次画像のMTFを、空間周波数をパラメータとしてエッジ強調、クロマ強調等の後処理にて、図22中曲線Bで示す特性に近づく（達する）ような補正を行う。

【0177】

図22中曲線Bで示す特性は、たとえば本実施形態のように、光波面変調機能を発現させずに波面を変形させない場合に得られる特性である。

【0178】

なお、本実施形態における全ての補正は、空間周波数のパラメータによる。

30

【0179】

本実施形態においては、図22に示すように、光学的に得られる空間周波数に対するMTF特性曲線Aに対して、最終的に実現したいMTF特性曲線Bを達成するためには、それぞれの空間周波数に対し、エッジ強調等の強弱を付け、元の画像（1次画像）に対して補正をかける。

【0180】

たとえば、図22のMTF特性の場合、空間周波数に対するエッジ強調の曲線は、図23に示すようになる。

【0181】

すなわち、空間周波数の所定帯域内における低周波数側および高周波数側でエッジ強調を弱くし、中間周波数領域においてエッジ強調を強くして補正を行うことにより、所望のMTF特性曲線Bを仮想的に実現する。

40

【0182】

このように、実施形態に係る撮像装置100は、基本的に、1次画像を形成する光学系110および撮像素子120と、1次画像を高精細な最終画像に形成する画像処理装置140からなり、光学系システムの中に、光波面変調機能の発現、非発現を切り替え可能な光学素子を新たに設けるか、光波面変調機能を有する光学系に光波面変調機能を相殺可能な逆光波面変調素子を設けることにより、結像の波面を変形（変調）し、そのような波面をCCDやCMOSセンサからなる撮像素子120の撮像面（受光面）に結像させ、その結像1次画像を、画像処理装置140を通して高精細画像を得る画像形成システムである

50

。

## 【0183】

本実施形態では、撮像素子120による1次画像は深度が非常に深い光束条件にしている。そのために、1次画像のMTFは本質的に低い値になっており、そのMTFの補正を画像処理装置140で行う。

## 【0184】

ここで、本実施形態における撮像装置100における結像のプロセスを、波動光学的に考察する。

## 【0185】

物点の1点から発散された球面波は結像光学系を通過後、収斂波となる。そのとき、結像光学系が理想光学系でなければ収差が発生する。波面は球面でなく複雑な形状となる。

## 【0186】

幾何光学と波動光学の間を取り持つのが波面光学であり、波面の現象を取り扱う場合に便利である。

## 【0187】

結像面における波動光学的MTFを扱うとき、結像光学系の射出瞳位置における波面情報が重要となる。

## 【0188】

MTFの計算は結像点における波動光学的強度分布のフーリエ変換で求まる。その波動光学的強度分布は波動光学的振幅分布を2乗して得られるが、その波動光学的振幅分布は射出瞳における瞳関数のフーリエ変換から求まる。

## 【0189】

さらにその瞳関数はまさに射出瞳位置における波面情報（波面収差）そのものからであることから、その光学系110を通して波面収差が厳密に数値計算できればMTFが計算できることになる。

## 【0190】

したがって、所定の手法によって射出瞳位置での波面情報に手を加えれば、任意に結像面におけるMTF値は変更可能である。

## 【0191】

本実施形態においても、波面の形状変化を波面形成用光学素子で行うのが主であるが、まさにphase（位相、光線に沿った光路長）に増減を設けて目的の波面形成を行っている。

## 【0192】

そして、目的の波面形成を行えば、射出瞳からの射出光束は、図20(A)～(C)に示す幾何光学的なスポット像からわかるように、光線の密な部分と疎の部分から形成される。

## 【0193】

この光束状態のMTFは空間周波数の低いところでは低い値を示し、空間周波数の高いところまでは何とか解像力は維持している特徴を示している。

## 【0194】

すなわち、この低いMTF値（または、幾何光学的にはこのようなスポット像の状態）であれば、エリアジングの現象を発生させないことになる。

## 【0195】

つまり、ローパスフィルタが必要ないのである。

## 【0196】

そして、後段のDSP等からなる画像処理装置140でMTF値を低くしている原因のフレアー的画像を除去すれば良いのである。それによってMTF値は著しく向上する。

## 【0197】

次に、本実施形態および従来光学系のMTFのレスポンスについて考察する。

## 【0198】

10  
20  
30  
40  
50

図 2 4 は、従来の光学系の場合において物体が焦点位置にあるときと焦点位置から外れたときの M T F のレスポンス（応答）を示す図である。

【 0 1 9 9 】

図 2 5 は、光波面変調素子を有する本実施形態の光学系の場合において物体が焦点位置にあるときと焦点位置から外れたときの M T F のレスポンスを示す図である。

【 0 2 0 0 】

また、図 2 6 は、本実施形態に係る撮像装置のデータ復元後の M T F のレスポンスを示す図である。

【 0 2 0 1 】

図からもわかるように、光波面変調素子を有する光学系の場合、物体が焦点位置から外れた場合でも M T F のレスポンスの変化が光波面変調素子を挿入していない光学径よりも少なくなる。

10

【 0 2 0 2 】

この光学系によって結像された画像を、コンボリューションフィルタによる処理によって、M T F のレスポンスが向上する。

【 0 2 0 3 】

以上説明したように、本実施形態によれば光波面変調機能を含む光学系 1 1 0 と、光学系 1 1 0 を通過した被写体像を撮像する撮像素子 1 2 0 と、撮像素子 1 2 0 からの被写体の画像信号に対して所定の処理を施す画像処理装置 1 4 0 と、を有し、光学系 1 1 0 に、光波面変調素子 1 1 2 と可変光波面変調素子 1 1 4 を配置し、光学系 1 1 0 は、可変光波面変調素子 1 1 4 が、変調機能制御部 2 0 0 により光波面変調機能が制御されて光波面変調素子 1 1 2 によって広い距離範囲で均一に発生させた焦点ボケの復元が行なわれる。

20

【 0 2 0 4 】

したがって、以下の効果を得ることができる。

【 0 2 0 5 】

フォーカス調整は D E O S 技術を用いることから広い距離範囲にピントの合った復元画像を提供できる。特に監視カメラのような電子画像機器システムには最適な光学システムと言える。

【 0 2 0 6 】

また、拡張した深度でもカバーできない距離に被写体がある場合でも、可変光波面変調素子の変調状態を変化させながら山登りオートフォーカスの処理を行なうことによって、ピントの合った画像を得ることができる。

30

【 0 2 0 7 】

また、画像処理装置 1 4 0 において、露出制御装置 1 9 0 からの露出情報に応じて光学的伝達関数（O T F）に対してフィルタ処理を行うことから、光学系を簡単化でき、コスト低減を図ることができ、しかもノイズの影響が小さい復元画像を得ることができる利点がある。

【 0 2 0 8 】

また、コンボリューション演算時に用いるカーネルサイズやその数値演算で用いられる係数を可変とし、操作部 1 8 0 等の入力により知り、適性となるカーネルサイズや上述した係数を対応させることにより、倍率やディフォーカス範囲を気にすることなくレンズ設計ができ、かつ精度の高いコンボリューションによる画像復元が可能となる利点がある。

40

【 0 2 0 9 】

また、難度が高く、高価でかつ大型化した光学レンズを必要とせずに、かつ、レンズを駆動させること無く、撮影したい物体に対してピントが合い、背景はぼかすといった、いわゆる自然な画像を得ることができる利点がある。

【 0 2 1 0 】

そして、本実施形態に係る撮像装置 1 0 0 は、デジタルカメラやカムコーダー等の民生機器の小型、軽量、コストを考慮されたズームレンズの D E O S に使用することが可能である。

50

## 【0211】

また、本実施形態においては、結像レンズ112による撮像素子120の受光面への結像の波面を変形させる波面形成用光学素子を有する撮像レンズ系と、撮像素子120による1次画像FIMを受けて、1次画像の空間周波数におけるMTFをいわゆる持ち上げる所定の補正処理等を施して高精細な最終画像FNLMを形成する画像処理装置140とを有することから、高精細な画質を得ることが可能となるという利点がある。また、光学系110の構成を簡単化でき、製造が容易となり、コスト低減を図ることができる。

## 【0212】

ところで、CCDやCMOSセンサを撮像素子として用いた場合、画素ピッチから決まる解像力限界が存在し、光学系の解像力がその限界解像力以上であるとエリアジングのような現象が発生し、最終画像に悪影響を及ぼすことは周知の事実である。

10

## 【0213】

画質向上のため、可能な限りコントラストを上げることが望ましいが、そのことは高性能なレンズ系を必要とする。

## 【0214】

しかし、上述したように、CCDやCMOSセンサを撮像素子として用いた場合、エリアジングが発生する。

## 【0215】

現在、エリアジングの発生を避けるため、撮像レンズ装置では、一軸結晶系からなるローパスフィルタを併用し、エリアジングの現象の発生を避けている。

20

## 【0216】

このようにローパスフィルタを併用することは、原理的に正しいが、ローパスフィルタそのものが結晶でできているため、高価であり、管理が大変である。また、光学系に使用することは光学系をより複雑にしているという不利益がある。

## 【0217】

以上のように、時代の趨勢でますます高精細の画質が求められているにもかかわらず、高精細な画像を形成するためには、従来の撮像レンズ装置では光学系を複雑にしなければならない。複雑にすれば、製造が困難になったりし、また高価なローパスフィルタを利用したりするとコストアップにつながる。

## 【0218】

しかし、本実施形態によれば、ローパスフィルタを用いなくとも、エリアジングの現象の発生を避けることができ、高精細な画質を得ることができる。

30

## 【0219】

なお、本実施形態において、光学系の波面形成用光学素子を絞りより物体側レンズよりに配置した例を示したが、絞りと同一あるいは絞りより結像レンズ側に配置しても前記と同様の作用効果を得ることができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0220】

【図1】本発明に係る撮像装置の一実施形態を示すブロック構成図である。

【図2】本実施形態に係る可変光波面変調素子の構成例および機能を説明するための図である。

40

【図3】DEOSの原理を説明するための図である。

【図4】可変光波面変調素子を用いたオートフォーカスの処理フローの例を示す図である。

【図5】球面収差と位相面形状について説明するための図である。

【図6】ピント位置をアパーチャー径によって変化させた光波面形状の球面収差の違いを説明する図である。

【図7】光波面変調フォーカスに適した球面収差とMTFのデフォーカスの例を示す図である。

【図8】通常光学系の球面収差とデフォーカスの例を示す図である。

50

【図 9】光波面を変調して遠側にフォーカスを併せた場合の球面収差と M T F でフォーカスの例を示す図である。

【図 10】可変光波面変調素子と画像処理による復元機能を併せ持ったブロック構成図である。

【図 11】カーネルデータ R O M の格納データの他例 ( F ナンバ ) を示す図である。

【図 12】露出制御装置の光学系設定処理の概要を示すフローチャートである。

【図 13】信号処理部とカーネルデータ格納 R O M についての第 1 の構成例を示す図である。

【図 14】信号処理部とカーネルデータ格納 R O M についての第 2 の構成例を示す図である。

【図 15】信号処理部とカーネルデータ格納 R O M についての第 3 の構成例を示す図である。

【図 16】信号処理部とカーネルデータ格納 R O M についての第 4 の構成例を示す図である。

【図 17】被写体距離情報と露出情報とを組み合わせる画像処理装置の構成例を示す図である。

【図 18】露出情報と、物体距離情報と、ズーム情報とを用いた場合のフィルタの構成例を示す図である。

【図 19】撮影モード情報と露出情報とを組み合わせる画像処理装置の構成例を示す図である。

【図 20】本実施形態に係る撮像素子の受光面でのスポット像を示す図であって、( A ) は焦点が 0 . 2 m m ずれた場合 ( D e f o c u s = 0 . 2 m m )、( B ) は合焦点の場合 ( B e s t f o c u s )、( C ) は焦点が - 0 . 2 m m ずれた場合 ( D e f o c u s = - 0 . 2 m m ) の各スポット像を示す図である。

【図 21】本実施形態に係る撮像素子により形成される 1 次画像の M T F について説明するための図であって、( A ) は撮像レンズ装置の撮像素子の受光面でのスポット像を示す図で、( B ) が空間周波数に対する M T F 特性を示す図である。

【図 22】本実施形態に係る画像処理装置における M T F 補正処理を説明するための図である。

【図 23】本実施形態に係る画像処理装置における M T F 補正処理を具体的に説明するための図である。

【図 24】従来の光学系の場合において物体が焦点位置にあるときと焦点位置から外れたときの M T F のレスポンス ( 応答 ) を示す図である。

【図 25】光波面変調素子を有する本実施形態の光学系の場合において物体が焦点位置にあるときと焦点位置から外れたときの M T F のレスポンスを示す図である。

【図 26】本実施形態に係る撮像装置のデータ復元後の M T F のレスポンスを示す図である。

【図 27】一般的な撮像レンズ装置の構成および光束状態を模式的に示す図である。

【図 28】図 27 の撮像レンズ装置の撮像素子の受光面でのスポット像を示す図であって、( A ) は焦点が 0 . 2 m m ずれた場合 ( D e f o c u s = 0 . 2 m m )、( B ) が合焦点の場合 ( B e s t f o c u s )、( C ) が焦点が - 0 . 2 m m ずれた場合 ( D e f o c u s = - 0 . 2 m m ) の各スポット像を示す図である。

【符号の説明】

【 0 2 2 1 】

1 0 0 . . . 撮像装置、 1 1 0 . . . 光学系、 1 2 0 . . . 撮像素子、 1 3 0 . . . アナログフロントエンド部 ( A F E )、 1 4 0 . . . 画像処理装置、 1 5 0 . . . カメラ信号処理部、 1 8 0 . . . 操作部、 1 9 0 . . . 露出制御装置、 2 0 0 . . . 変調機能制御部、 1 1 1 . . . 第 1 レンズ、 1 1 2 . . . 第 2 レンズ、 光波面変調素子、 1 1 3 . . . 絞り、 1 1 4 . . . 可変光波面変調素子、 1 1 4 a . . . 光波面変調機能を発現可能な液晶素子、 1 1 5 . . . 第 3 レンズ、 1 1 6 . . . 第 4 レンズ、 1 4 2 . . . コンポリュー

10

20

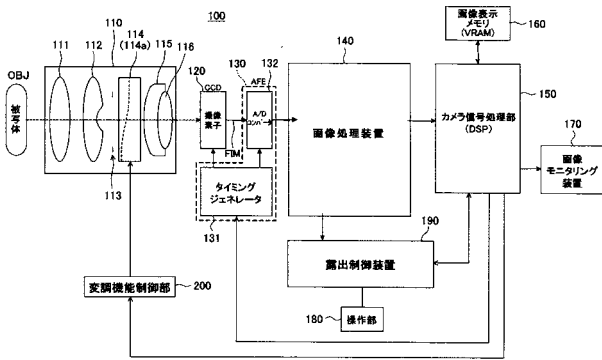
30

40

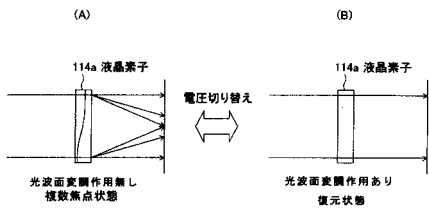
50

ション演算器、143・・・カーネルデータROM、144・・・コンボリューション制御部。

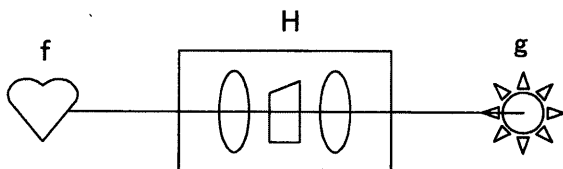
【図1】



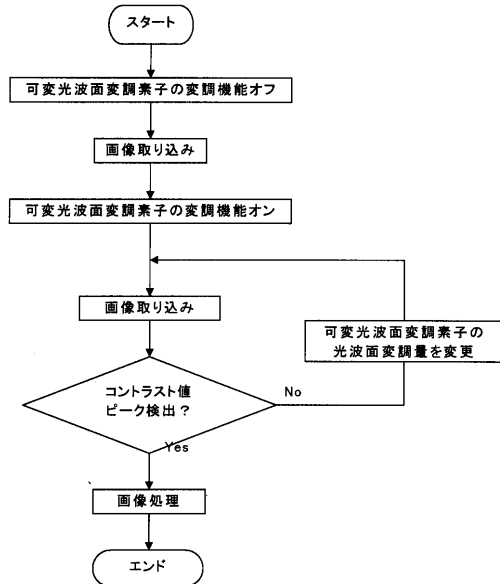
【図2】



【図3】

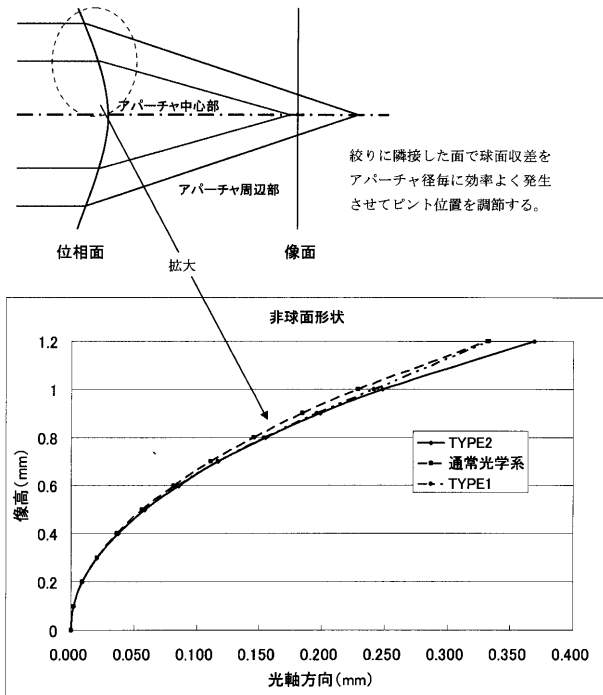


【図4】

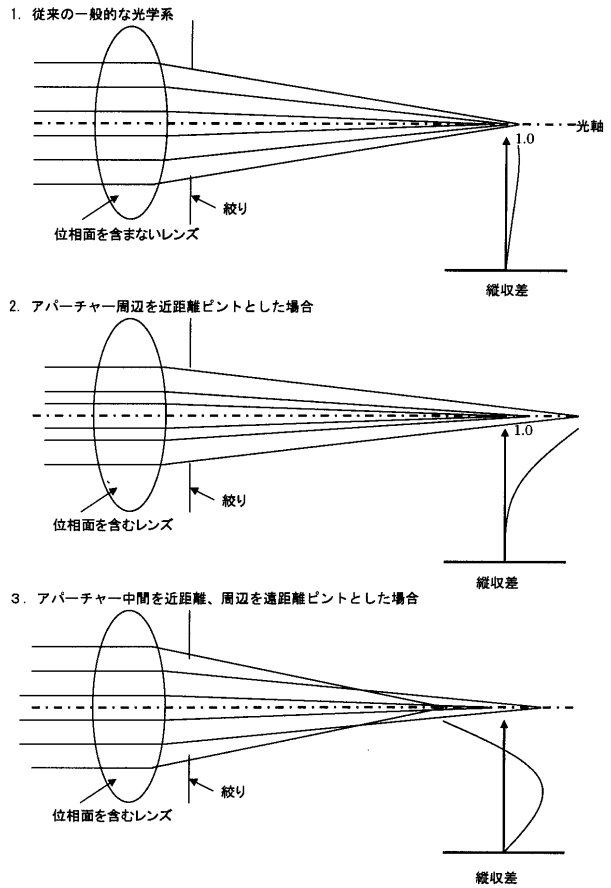


可変光波面変調素子制御によるオートフォーカスフロ

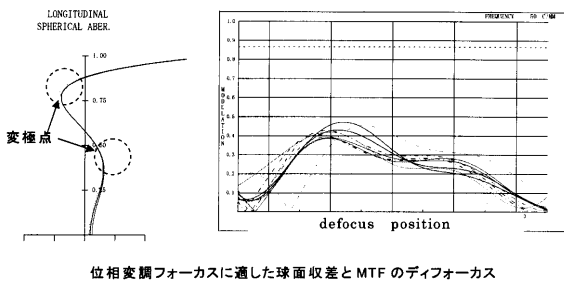
【図5】



【図6】

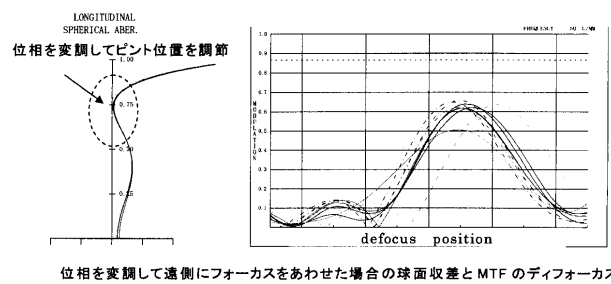


【図7】



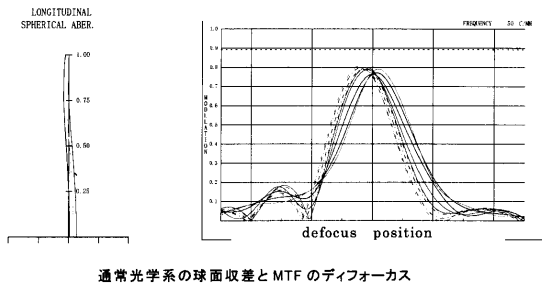
位相変調フォーカスに適した球面収差とMTFのデフォーカス

【図9】



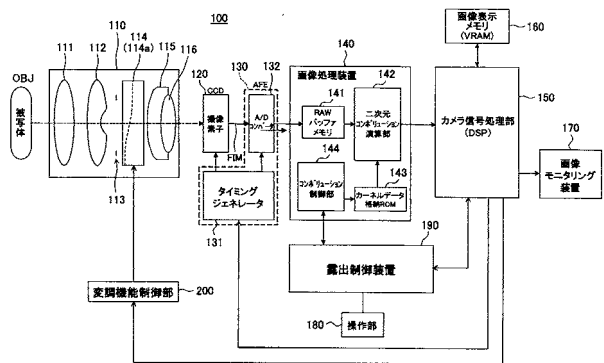
位相を変調して遠側にフォーカスをあわせた場合の球面収差とMTFのデフォーカス

【図8】



通常光学系の球面収差とMTFのデフォーカス

【図10】



【図11】

カーネルテーブル例

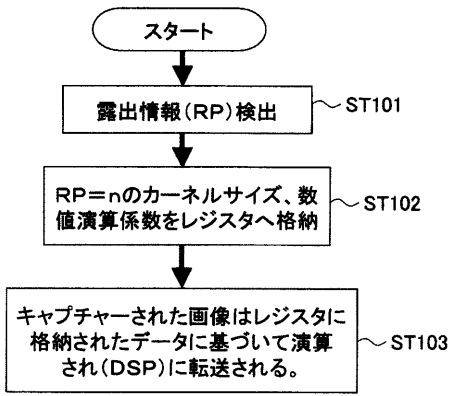
絞り	F2.8	F4	F5.6
カーネル	A	B	C

$$A = \begin{pmatrix} & a & b & \\ & c & d & \end{pmatrix}$$

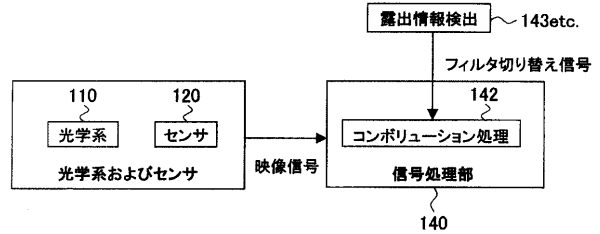
$$B = \begin{pmatrix} a' & b' & c' \\ d' & e' & f' \\ g' & h' & i' \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} a' & b' & c' & d' \\ e' & f' & g' & h' \\ i' & j' & k' & l' \\ m' & n' & o' & p' \end{pmatrix}$$

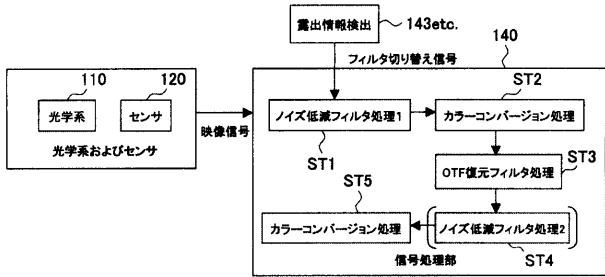
【図12】



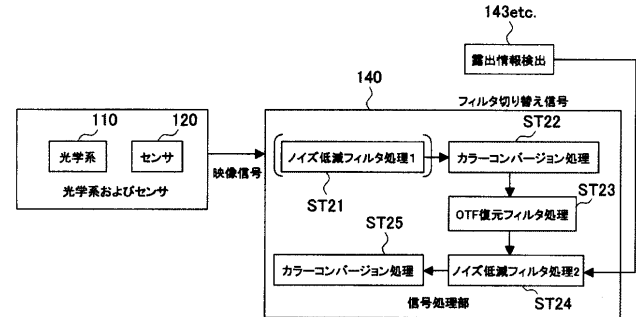
【図13】



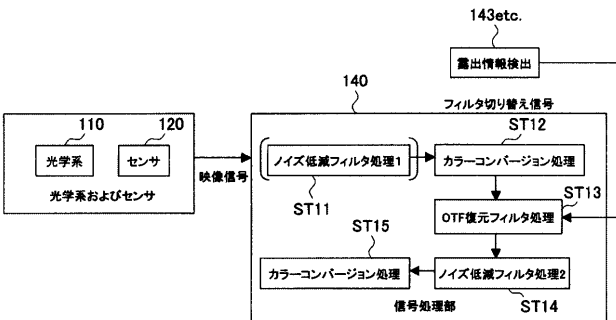
【図14】



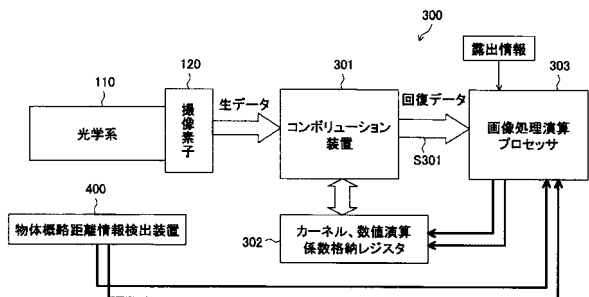
【図16】



【図15】

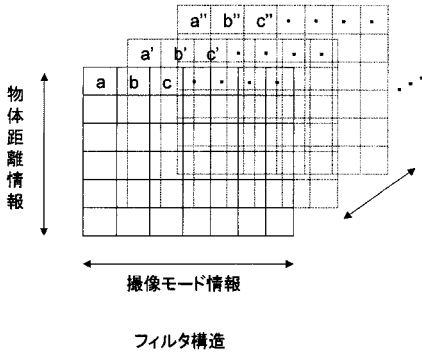


【図17】

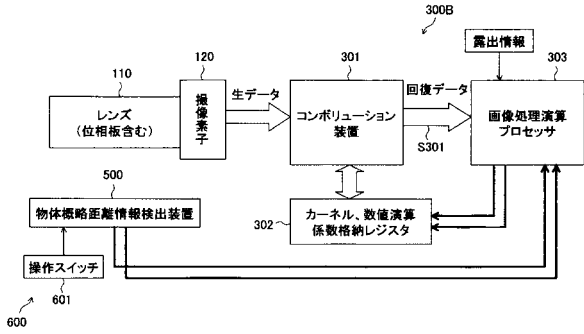




【図18】



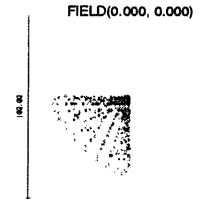
【図19】



【図20】

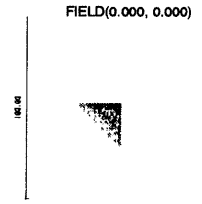
(A)

Defocus=-0.2mm



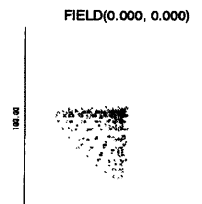
(B)

Best focus



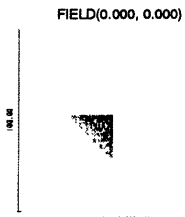
(C)

Defocus=-0.2mm

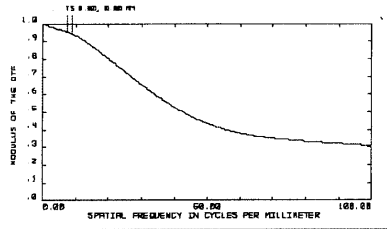


【図21】

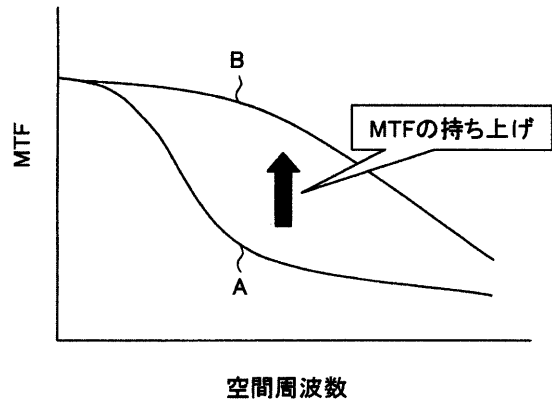
(A)



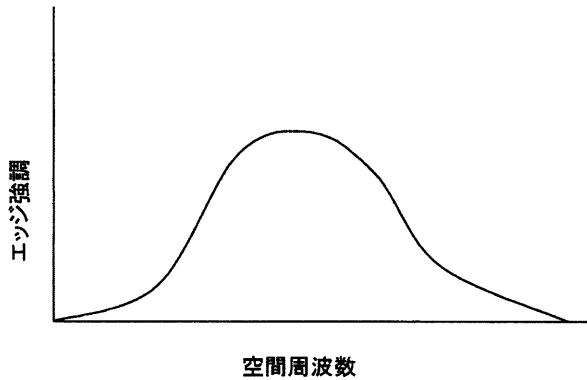
(B)



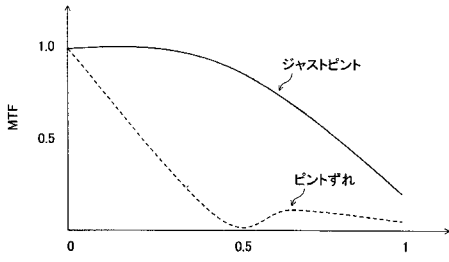
【図22】



【図23】

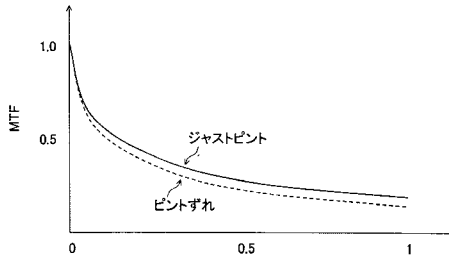


【 図 2 4 】



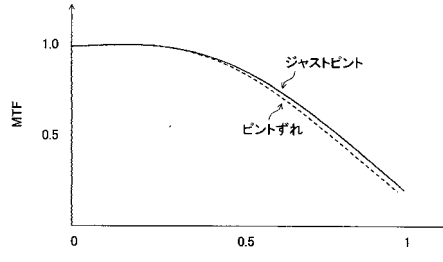
周波数(1p/mm)  
ただし、ナイキスト周波数で正規化

【 図 2 5 】



周波数(1p/mm)  
ただし、ナイキスト周波数で正規化

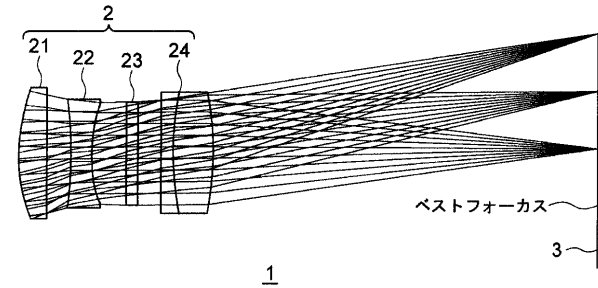
【 図 2 6 】



周波数(1p/mm)  
ただし、ナイキスト周波数で正規化

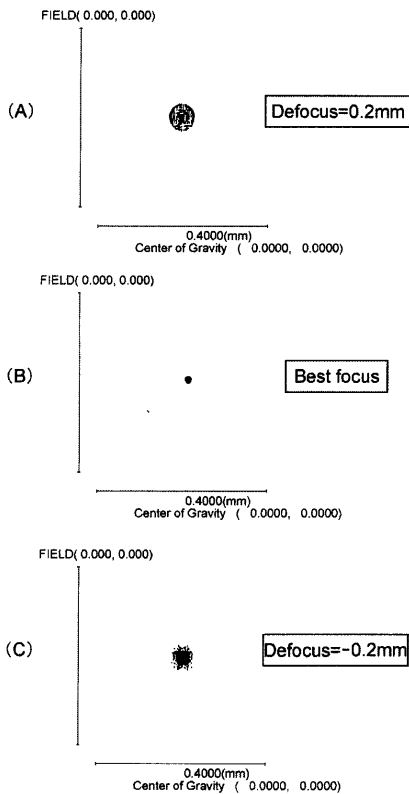
【 図 2 7 】

従来の光学系による光束状態



【 図 2 8 】

従来型光学系のスポット像



---

 フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I			テーマコード(参考)		
<b>G 0 3 B 13/36 (2006.01)</b>	G 0 3 B	3/00	A	5 C 1 2 2		
<b>G 0 2 B 7/09 (2006.01)</b>	G 0 2 B	7/11	P			
<b>G 0 3 B 7/095 (2006.01)</b>	G 0 3 B	7/095				

Fターム(参考) 2H088 EA38 EA42 GA02 HA10 MA01  
 5C024 AX01 CX03 EX34 EX35 EX51 GY01 GY31  
 5C122 DA01 EA22 EA53 EA54 EA55 FB02 FB03 FB07 FB10 FC01  
 FC02 FD01 FD10 FF05 FF06 HB01 HB06 HB07 HB09 HB10