(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2009-122514
(P2009-122514A)
(43)公開日　平成21年6月4日(2009.6.4)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G02B 13/00	(2006.01)	G02B 13/00		2H087
H04N 5/225	(2006.01)	H04N 5/225	D	5C122
G02B 13/18	(2006.01)	G02B 13/18		

審査請求 未請求　請求項の数 23　ＯＬ　（全 49 頁）

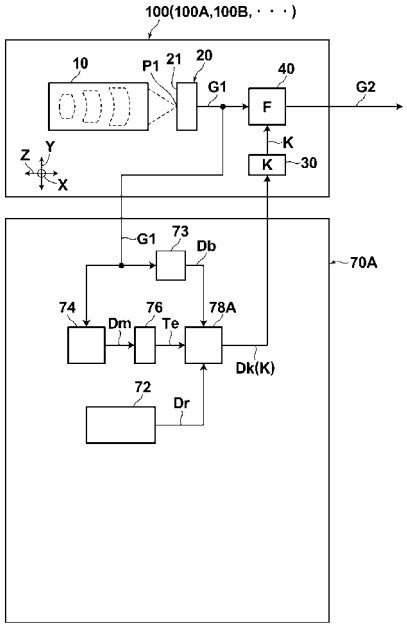
(21)出願番号　特願2007-298146 (P2007-298146)
(22)出願日　平成19年11月16日 (2007.11.16)

(71)出願人　000005430
フジノン株式会社
埼玉県さいたま市北区植竹町１丁目３２４番地
(74)代理人　100073184
弁理士　柳田　征史
(74)代理人　100090468
弁理士　佐久間　剛
(72)発明者　米山　一也
埼玉県さいたま市北区植竹町１丁目３２４番地　フジノン株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】撮像システム、この撮像システムを備えた撮像装置、携帯端末機器、車載機器、および医療機器、並びに撮像システムの製造方法

(57)【要約】
【課題】撮像システムにおいて、受光面上に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができるようにする。
【解決手段】撮像レンズ１０を通して撮像素子２０の受光面２１上へ投影される点像Ｐ１の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるときに、撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１で表される点像Ｐ１の状態に応じた復元係数Ｋを係数記憶部３０に記憶せしめる。信号処理部４０において、第１の画像データＧ１に対し、撮像レンズ１０の解像力が高いときに撮像素子２０から出力される第１の画像データと同等の第２の画像データＧ２を生成するような復元処理Ｆを、復元係数Ｋを用いて実施する。撮像レンズは、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
撮像レンズと、
多数の受光画素を２次元状に配列してなる受光面を有し、前記撮像レンズを通して前記受光面上に投影された被写体の光学像を撮像して該被写体を表す第１の画像データを出力する撮像素子と、
前記撮像レンズを通して前記受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるときに、前記撮像素子から出力される第１の画像データで表される前記点像の状態に応じた復元係数を記憶せしめられる係数記憶手段と、
前記第１の画像データに対し、前記撮像レンズの解像力が高いときに前記撮像素子から出力される第１の画像データと同等の第２の画像データを生成するような復元処理を前記復元係数を用いて実施する信号処理手段とを備え、
前記信号処理手段が、前記受光面上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小単位として前記復元処理を行うものであり、
前記撮像レンズが、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものであることを特徴とする撮像システム。
【請求項２】
前記係数記憶手段が、各撮像システム毎に、該撮像システムに対して個別に求められた復元係数が記憶されるものであることを特徴とする請求項１記載の撮像システム。
【請求項３】
前記係数記憶手段が、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する各復元係数の候補のうち、前記第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択された復元係数が記憶されるものであることを特徴とする請求項１記載の撮像システム。
【請求項４】
前記係数記憶手段が、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する複数種類の復元係数の候補のうち、前記第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択された復元係数を、該点像の状態に応じてさらに補正してなる補正済の復元係数が記憶されるものであることを特徴とする請求項１記載の撮像システム。
【請求項５】
前記復元係数を取得し前記係数記憶手段に記憶させる復元係数取得手段をさらに備えたことを特徴とする請求項１からから４のいずれか１項記載の撮像システム。
【請求項６】
前記信号処理手段が、前記受光面上に投影された点像の有効領域の全てを含む最小の画素領域を最小単位として前記復元処理を実行するものであることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項記載の撮像システム。
【請求項７】
前記信号処理手段が、前記第１の画像データの表す画像中の点像の有効領域の大きさよりも、前記第２の画像データの表す画像中における前記点像の有効領域の大きさの方を小さくするように前記復元処理を実行するものであることを特徴とする請求項１から６のいずれか１項記載の撮像システム。
【請求項８】
前記第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面が軸外曲点を有するものであることを特徴とする請求項１から７のいずれか１項記載の撮像システム。
【請求項９】
前記第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面が、該レンズ面の中心部において像側に凹面をなし周辺部において像側に凸面をなすものであることを特徴とする請求項１から８のいずれか１項記載の撮像システム。
【請求項１０】

前記第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズのレンズ面が、下記条件式（１）を満足することを特徴とする請求項８または９のいずれか１項記載の撮像システム。

０．５Ｈ＜ｈ＜Ｈ ……（１）

ただし、

Ｈ：第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面の有効半径、

ｈ：第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面の軸外曲点から光軸までの距離。

【請求項１１】

前記撮像レンズが３枚の単レンズからなるものであることを特徴とする請求項１から１０のいずれか１項記載の撮像システム。

【請求項１２】

前記第１のレンズ群が２枚の単レンズからなり、前記第２のレンズ群が１枚の単レンズからなるものであり、前記第１のレンズ群を構成する２枚の単レンズのうち物体側に位置する単レンズは、正のパワーを持ち、かつ、該単レンズの物体側のレンズ面が物体側に凸面をなすものであり、前記２枚の単レンズのうち像側に位置する単レンズは、該単レンズの像側のレンズ面が像側に凸面をなすものであることを特徴とする請求項１１記載の撮像システム。

【請求項１３】

前記撮像レンズが４枚の単レンズからなるものであることを特徴とする請求項１から１０のいずれか１項記載の撮像システム。

【請求項１４】

前記第１のレンズ群が３枚の単レンズからなり、前記第２のレンズ群が１枚の単レンズからなるものであり、前記第１のレンズ群を構成する３枚の単レンズのうち最も物体側に位置する１枚目の単レンズは、正のパワーを持ち、かつ該単レンズの物体側のレンズ面が物体側に凸面をなすものであり、前記３枚の単レンズのうち前記１枚目の単レンズと隣り合う２枚目の単レンズは、負のパワーを持ち、かつ該２枚目の単レンズの像側のレンズ面が像側に凸面をなすものであり、前記３枚の単レンズのうち最も像側に位置する３枚目の単レンズが正のパワーを持つものであることを特徴とする請求項１３記載の撮像システム。

【請求項１５】

請求項１から１４のいずれか１項記載の撮像システムを備えた撮像装置。

【請求項１６】

請求項１から１４のいずれか１項記載の撮像システムを備えた携帯端末機器。

【請求項１７】

請求項１から１４のいずれか１項記載の撮像システムを備えた車載機器。

【請求項１８】

請求項１から１４のいずれか１項記載の撮像システムを備えた医療機器。

【請求項１９】

撮像レンズと、

多数の受光画素を２次元状に配列してなる受光面を有し、前記撮像レンズを通して前記受光面上に投影された被写体の光学像を撮像して該被写体を表す第１の画像データを出力する撮像素子と、

前記撮像レンズを通して前記受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるときに、前記撮像素子から出力される第１の画像データで表される前記点像の状態に応じた復元係数を記憶せしめられた係数記憶手段と、

前記第１の画像データに対し、前記撮像レンズの解像力が高いときに前記撮像素子から出力される第１の画像データと同等の第２の画像データを生成するような復元処理を前記復元係数を用いて実施する信号処理手段とを備え、

前記信号処理手段が、前記受光面上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小単位として前記復元処理を行うものであり

、
前記撮像レンズが、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものであることを特徴とする撮像システム。
【請求項２０】
前記撮像レンズを通して前記撮像素子の受光面上へ点像を投影し、前記撮像素子から出力される第１の画像データで表される前記点像の状態に応じた復元係数を前記係数記憶手段に記憶させることを特徴とする請求項１９記載の撮像システムの製造方法。
【請求項２１】
前記復元係数は、各撮像システム毎に、該撮像システムに対して個別に求めたものであることを特徴とする請求項２０記載の撮像システムの製造方法。
【請求項２２】
前記復元係数は、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する各復元係数の候補のうち、前記第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択したものであることを特徴とする請求項２０記載の撮像システムの製造方法。
【請求項２３】
前記復元係数は、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する複数種類の復元係数の候補のうち、前記第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択した復元係数を、該点像の状態に応じてさらに補正したものであることを特徴とする請求項２０記載の撮像システムの製造方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、被写体の光学像を撮像して得られる画像データの品質を高めることができる撮像システム、この撮像システムを備えた撮像装置、携帯端末機器、車載機器、および医療機器、並びに撮像システムの製造方法に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
多数の受光画素を２次元状に配置してなる受光面を有するＣＣＤ素子やＣＭＯＳ素子等の撮像素子を用い、撮像レンズを通して受光面上に結像させた被写体の光学像を撮影する撮像システムが知られている。
【０００３】
また、このような撮像システムの１例として、被写界深度が深くなるように設計した撮像レンズを有する撮像システムを回路基板上に直接取り付けてなる車載用カメラや携帯電話用カメラ等が実用化されている（特許文献１参照）。さらに、撮像素子の受光画素数を増大させるとともに撮像レンズの解像力を高めた撮像システムを搭載してなる高性能の車載用カメラや携帯電話用カメラも知られている。このような解像度の高い画像の得られる高性能の車載用カメラや携帯電話用カメラにおいては、撮像レンズの解像力が回折限界に近い性能を持つものも知られている。
【特許文献１】特表２００７－１４７９５１号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
ところで、このような解像度の高い画像を形成可能な撮像レンズを備えた撮像システムの製造においては、製造の困難性から歩留まりを高くすることが難しい。すなわち、所定の解像度を有する画像を形成可能な画像データを生成できないために製造ラインから外されて再調整、あるいは再組立てに回される撮像システムが多く発生する虞がある。なお、製造ラインから外された撮像システムは、その原因が特定され修正が施されて所定解像度の画像を形成可能な画像データを生成できるように再生される。
【０００５】

しかしながら、撮像システムから出力される画像データの表す画像の解像度を低下させる原因は様々であり、例えば、撮像レンズを構成する個々のレンズの形状誤差（レンズの表面形状誤差、肉厚誤差、偏心誤差）、撮像レンズの組立・調整誤差（レンズのシフト誤差、チルト誤差、レンズ間の空気間隔誤差）、撮像レンズに対する撮像素子の位置決め誤差等、種々の原因が考えられる。そのため、解像度の低下原因を特定し再調整や再組立を行って、所定解像度の画像形成を可能とする高品質の画像データを生成できる撮像システムに再生するためには多大な費用が発生するという問題がある。

【０００６】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、受光面上に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができる撮像システム、この撮像システムを備えた撮像装置、携帯端末機器、車載機器、および医療機器、並びに撮像システムの製造方法を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明の第１の撮像システムは、撮像レンズと、多数の受光画素を２次元状に配列してなる受光面を有し、撮像レンズを通して前記受光面上に投影された被写体の光学像を撮像してこの被写体を表す第１の画像データを出力する撮像素子と、撮像レンズを通して受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径がこの受光面上の受光画素の３画素以上に亘る大きさであるときに、撮像素子から出力される第１の画像データで表される点像の状態に応じた復元係数を記憶せしめられる係数記憶手段と、撮像素子から出力される第１の画像データに対し、撮像レンズの解像力が高いときに撮像素子から出力される第１の画像データと同等の第２の画像データを生成するような復元処理を係数記憶手段に記憶された復元係数を用いて実施する信号処理手段とを備え、信号処理手段が、受光面上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小単位として復元処理を行うものであり、撮像レンズが、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものであることを特徴とするものである。

【０００８】

前記係数記憶手段は、各撮像システム毎に該撮像システムに対して個別に求められた復元係数を記憶せしめられるものとすることができる。

【０００９】

また、前記係数記憶手段は、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する各復元係数の候補のうち、第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択された復元係数が記憶されるものとすることもできる。

【００１０】

さらに、前記係数記憶手段は、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する複数種類の復元係数の候補のうち、第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択された復元係数を、この点像の状態に応じてさらに補正してなる補正済の復元係数が記憶されるものとすることもできる。

【００１１】

前記撮像システムは、復元係数を取得し係数記憶手段に記憶させる復元係数取得手段を備えたものとすることができる。

【００１２】

前記信号処理手段は、受光面上に投影された点像の有効領域の全てを含む最小の画素領域を最小単位として復元処理を実行するものとしてもよい。

【００１３】

前記信号処理手段は、第１の画像データの表す画像中の点像の有効領域の大きさよりも、第２の画像データの表す画像中における点像の有効領域の大きさの方を小さくするように復元処理を実行するものとすることが望ましい。

【００１４】
前記第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面は、軸外曲点を有するものとしたり、このレンズ面の中心部において像側に凹面をなし周辺部において像側に凸面をなすものとしたり、下記条件式（１）を満足するものとすることができる。
【００１５】
０．５Ｈ＜ｈ＜Ｈ ……（１）
ただし、
Ｈ：第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面の有効半径、
ｈ：第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面の軸外曲点から光軸までの距離。
【００１６】
ここで、曲点は、レンズ面上の点であって、この点における接平面が光軸Ｃ（Ｚ軸）に対して直交する場合にその点を曲点という。さらに、レンズ面上の光軸と交わる点以外の曲点を軸外曲点という。
【００１７】
前記撮像レンズは３枚の単レンズからなるものとすることができる。
【００１８】
前記第１のレンズ群を２枚の単レンズからなるものとし、第２のレンズ群を１枚の単レンズからなるものとし、第１のレンズ群を構成する２枚の単レンズのうち物体側に位置する単レンズを、正のパワーを持ち、かつ、この単レンズの物体側のレンズ面が物体側に凸面をなすものとし、２枚の単レンズのうち像側に位置する単レンズを、この単レンズの像側のレンズ面が像側に凸面をなすものとすることができる。
【００１９】
前記撮像レンズは４枚の単レンズからなるものとすることができる。
【００２０】
前記第１のレンズ群を３枚の単レンズからなるものとし、第２のレンズ群を１枚の単レンズからなるものとし、第１のレンズ群を構成する３枚の単レンズのうち最も物体側に位置する１枚目の単レンズを、正のパワーを持ち、かつ、この単レンズの物体側のレンズ面が物体側に凸面をなすものとし、３枚の単レンズのうち１枚目の単レンズと隣り合う２枚目の単レンズを、負のパワーを持ち、かつ、この２枚目の単レンズの像側のレンズ面が像側に凸面をなすものとし、３枚の単レンズのうち最も像側に位置する３枚目の単レンズを正のパワーを持つものとすることができる。
【００２１】
本発明の撮像装置は、前記撮像システムを備えたことを特徴とするものである。
【００２２】
本発明の携帯端末機器は、前記撮像システムを備えたことを特徴とするものである。
【００２３】
本発明の車載機器は、前記撮像システムを備えたことを特徴とするものである。
【００２４】
本発明の医療機器は、前記撮像システムを備えたことを特徴とするものである。
【００２５】
本発明の第２の撮像システムは、撮像レンズと、多数の受光画素を２次元状に配列してなる受光面を有し、撮像レンズを通して受光面上に投影された被写体の光学像を撮像してこの被写体を表す第１の画像データを出力する撮像素子と、撮像レンズを通して受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるときに、撮像素子から出力される第１の画像データで表される点像の状態に応じた復元係数を記憶せしめられた係数記憶手段と、第１の画像データに対し、撮像レンズの解像力が高いときに撮像素子から出力される第１の画像データと同等の第２の画像データを生成するような復元処理を復元係数を用いて実施する信号処理手段とを備え、信号処理手段が、受光面上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小

単位として復元処理を行うものであり、撮像レンズが、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものであることを特徴とするものである。

【００２６】

本発明の撮像システムの製造方法は、第２の撮像システムの製造において、撮像レンズを通して撮像素子の受光面上へ点像を投影し、その撮像素子から出力される第１の画像データで表される点像の状態に応じた復元係数を係数記憶手段に記憶させることを特徴とするものである。

【００２７】

前記復元係数は、各撮像システム毎に、その撮像システムに対して個別に求めたものとすることができる。

【００２８】

前記復元係数は、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する各復元係数の候補のうち、第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択したものとすることができる。

【００２９】

また、前記復元係数は、複数種類に分類された点像の状態それぞれに対応する複数種類の復元係数の候補のうち、第１の画像データの表す点像の状態に応じて選択した復元係数を、その点像の状態に応じてさらに補正したものとすることができる。

【００３０】

さらに、前記復元係数は、各撮像システム毎に、その撮像システムに対して個別に求めたものとすることができる。

【００３１】

前記受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径は、受光面上へ投影される点像の有効領域が最も多くの受光画素を含む方向におけるこの有効領域の径とすることができ、前記「受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるとき」は、「受光面上へ投影される点像の有効領域が最も多くの受光画素を含む方向において、この有効領域が受光画素の３画素以上に亘る大きさであるとき」とすることができる。

【００３２】

前記「点像の有効領域」は、点像を表す光強度分布におけるピーク強度の１／ｅ^{2}（約１３．５％）以上の光強度を有する領域を意味するものである。

【００３３】

また、前記「復元処理」には、特開２０００-１２３１６８号公報、段落０００２～００１６に紹介されている画像復元処理等を採用することができる。なお、復元処理の実施においては、後述する非特許文献〔鷲沢嘉一・山下幸彦著、題名「Kernel Wiener Filter」、2003 Workshop on Information-Based Induction Sciences、(IBIS2003)、Kyoto, Japan, Nov 11 -12, 2003〕の技術等を適用することができる。

【発明の効果】

【００３４】

本発明の第１撮像システムは、撮像レンズを通して受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるときに、撮像素子から出力される第１の画像データで表される点像の状態（以後、点像のボケ状態ともいう）に応じた復元係数を記憶せしめられる係数記憶手段と、第１の画像データに対し、撮像レンズの解像力が高いときに撮像素子から出力される第１の画像データと同等の第２の画像データを生成するような復元処理を前記復元係数を用いて実施する信号処理手段とを備え、信号処理手段が、受光面上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小単位として復元処理を行うものとし、撮像レンズを、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するも

のとしたので、係数記憶手段に復元係数を記憶せしめれば、この復元係数を用いた復元処理を実施することができ、これにより、受光面に投影される光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができる。

【００３５】

すなわち、従来のように、撮像システムから出力された第１の画像データの表す画像の解像度が所定のレベルに至らないときにその原因を特定し撮像レンズを再調整したり再組立する等の必要なく、単に、撮像システムで撮像された点像のボケ状態に応じた復元係数を係数記憶手段に記憶させ、この第１の画像データに対し復元処理（画像処理）を施すだけで、所定の解像度を有する画像を表す第２の画像データを得ることができるので、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができる。

【００３６】

なお、「点像の状態」を「点像のボケ状態」ともいう理由は、撮像レンズを通して受光面上に投影された点像、およびこの点像を撮像して得られる第１の画像データの表す点像は、レンズ収差の影響等によりその点像に対応する物点となる被写体に比して多少なりとも画質が劣化しているからである。すなわち、例えば被写体が解像力チャートであるとすると、撮像レンズを通して受光面上に投影される解像力チャートの像、およびこの解像力チャートの像を撮像して得られる第１の画像データの表す解像力チャートの画像の解像度は、被写体となる解像力チャートの解像度よりも低下したものとなる。なお、この「点像の状態」あるいは「点像のボケ状態」は主に点像の解像度の劣化状態を示すものである。

【００３７】

また、係数記憶手段を、各撮像システム毎にその撮像システムに対して個別に求められた復元係数が記憶されるものとすれば、より正確に復元係数を求めることができ復元処理をより正確に実行することができるので、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質をより確実に高めることができる。

【００３８】

なお、係数記憶手段を、複数種類に分類された点像のボケ状態それぞれに対応する各復元係数の候補のうち、第１の画像データの表す点像のボケ状態に応じて選択された復元係数が記憶されるものとすれば、各撮像システム毎に復元係数を個別に求める場合に比してより容易に復元係数を定めることができる。

【００３９】

ここで、係数記憶手段を、複数種類に分類された点像のボケ状態それぞれに対応する複数種類の復元係数の候補のうち、第１の画像データの表す点像のボケ状態に応じて選択された復元係数を、この点像のボケ状態に応じてさらに補正してなる補正済の復元係数が記憶されるものとすれば、各撮像システム毎に復元係数を個別に求める場合に比して、復元係数を求める際の精度低下を抑制しつつこの復元係数をより容易に取得することができる。

【００４０】

さらに、撮像システムを、復元係数を取得し係数記憶手段に記憶させる復元係数取得手段を備えたものとすれば、より確実に復元係数を取得することができる。

【００４１】

また、信号処理手段を、受光面上に投影された点像の有効領域の全てを含む最小の画素領域を最小単位として復元処理を実行するものとすれば、復元処理を実行するための演算量の増大を抑制することができ、復元処理を効率良く実施することができる。

【００４２】

また、信号処理手段を、第１の画像データの表す画像中の点像の有効領域の大きさよりも、第２の画像データの表す画像中における点像の有効領域の大きさの方を小さくするように復元処理を実行するものとすれば、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質をより確実に高めることができる。

【００４３】

また、第２のレンズ群における最も像側に位置するレンズ面を、軸外曲点を有するものとしたり、中心部において像側に凹面をなし周辺部において像側に凸面をなすものとしたり、条件式（１）である式０．５Ｈ＜ｈ＜Ｈ、を満足するものとすれば、撮像レンズのテレセントリック性をより確実に向上させることができるので、被写体を表す第１の画像データの品質をより確実に高めることができる。

【００４４】

また、撮像レンズを３枚の単レンズのみからなるものとし、さらに、第１のレンズ群を２枚の単レンズからなるものとし、第２のレンズ群を１枚の単レンズからなるものとして、第１のレンズ群を構成する２枚の単レンズのうち物体側に位置する単レンズを、正のパワーを持ち、かつ、この単レンズの物体側のレンズ面が物体側に凸面をなすものとし、２枚の単レンズのうち像側に位置する単レンズを、この単レンズの像側のレンズ面が像側に凸面をなすものとすれば、撮像レンズのテレセントリック性をより確実に向上させることができるので、被写体を表す第１の画像データの品質をより確実に高めることができる。

【００４５】

ここで、撮像レンズを４枚の単レンズのみからなるものとし、さらに、第１のレンズ群を３枚の単レンズからなるものとし、第２のレンズ群を１枚の単レンズからなるものとして、第１のレンズ群を構成する３枚の単レンズのうち最も物体側に位置する１枚目の単レンズを、正のパワーを持ち、かつこの単レンズの物体側のレンズ面が物体側に凸面をなすものとし、３枚の単レンズのうち上記１枚目の単レンズと隣り合う２枚目の単レンズを、負のパワーを持ち、かつこの２枚目の単レンズの像側のレンズ面が像側に凸面をなすものとし、３枚の単レンズのうち最も像側に位置する３枚目の単レンズを正のパワーを持つものとすれば、上記と同様に撮像レンズのテレセントリック性をより確実に向上させることができるので、被写体を表す第１の画像データの品質をより確実に高めることができる。

【００４６】

本発明の撮像装置、携帯端末機器、車載機器、医療機器それぞれは、前記撮像システムを備えているので、上記のように、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができる。

【００４７】

本発明の第２の撮像システムは、撮像レンズを通して受光面上へ投影される点像の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるときに、撮像素子から出力される第１の画像データで表される点像の状態に応じた復元係数を記憶せしめられた係数記憶手段と、第１の画像データに対し、撮像レンズの解像力が高いときに前記撮像素子から出力される第１の画像データと同等の第２の画像データを生成するような復元処理を前記復元係数を用いて実施する信号処理手段とを備え、信号処理手段を、受光面上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小単位として復元処理を行うものとし、撮像レンズを、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものとしたので、上記第１の撮像システムと同様に、復元係数を用いた復元処理の実施により、受光面に投影される光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができる。

【００４８】

本発明の撮像システムの製造方法は、第２の撮像システムの製造において、撮像レンズを通して撮像素子の受光面上へ点像を投影し、撮像素子から出力される第１の画像データで表される点像の状態に応じた復元係数を係数記憶手段に記憶させるようにしたので、第２の撮像システムを効率良く製造することができる。

【００４９】

例えば、撮像システムから出力される画像データの表す画像の解像力が製造上の都合等により所定のレベルに達しない場合であっても、画像の解像力を高める撮像システムの再生処理を従来に比して容易に実施することができる。すなわち、復元係数を係数記憶手段に記憶させた撮像システムにより、この撮像システムから出力される画像データの品質を

高める復元処理を容易に実施することができるので、画像の解像力が所定レベルに達しない撮像システムを容易に所定レベルの画像の解像力が得られるものに再生することができ、これにより撮像システムを効率良く製造することができる。

【００５０】

すなわち、復元係数を係数記憶手段に記憶させた撮像システムから出力される画像データの品質を高める復元処理を容易に実施することができるので、撮像システムを容易に再生することができ、撮像システムを効率良く製造することができる。

【００５１】

さらに、撮像システムを大量生産するものとすれば、上記撮像システムを効率良く製造するさらに大きな効果を享受することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００５２】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。図１は本発明の撮像システムの概略構成および本発明の撮像システムの製造方法を示すブロック図である。

【００５３】

＜撮像システムの構成について＞

以下、撮像システムの構成について説明する。

【００５４】

図１に示す本発明の撮像システム１００は、撮像レンズ１０と、多数の受光画素を２次元状に配列してなる受光面２１を有する撮像素子２０であって、撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された被写体の光学像Ｐ１を撮像してこの被写体を表す第１の画像データＧ１を出力する撮像素子２０と、撮像レンズ１０を通して受光面２１上へ投影される点像の有効領域の最大径が３画素以上に亘る大きさであるときに、撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１で表される点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数Ｋを記憶せしめられる係数記憶部３０と、第１の画像データＧ１に対し、撮像レンズ１０の解像力が高いときに撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１と同等の第２の画像データＧ２を生成するような復元処理Ｆを係数記憶部３０に記憶せしめられる復元係数Ｋを用いて実施する信号処理部４０とを備えている。

【００５５】

この信号処理部４０は、受光面２１上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小単位として復元処理Ｆを実行するものである。

【００５６】

撮像レンズ１０は、被写体側（物体側）から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものである。

【００５７】

ここでは、受光面２１上へ投影される点像Ｐ１の有効領域の最大径は、受光面２１上へ投影される点像Ｐ１の有効領域が最も多くの受光画素を含む方向におけるこの有効領域の径とする。

【００５８】

なお、図１中に矢印Ｚで示す方向は撮像レンズ１０の光軸方向であり、矢印Ｘ，Ｙで示す方向が受光面２１に対して平行な方向である。

【００５９】

ここで、撮像システム１００の外部に設けられた復元係数取得装置７０Ａが、撮像素子２０から出力された第１の画像データＧ１で表される点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数Ｋを取得して、この復元係数Ｋを係数記憶部３０に記憶させる。

【００６０】

この復元係数取得装置７０Ａは、撮像レンズ１０を含む光学系に全く誤差がないときの点像に関する設計データ、もしくはそれを上回る理想点像状態に関する理想点像状態デー

タのいずれかであるデータＤｒを予め記憶させた理想点像記憶部７２と、撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１の表す点像のボケ状態を解析しその解析結果を示すボケ点像状態データＤｂを取得する点像ボケ状態取得部７３と、撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された点像Ｐ１の有効領域の最大径を取得するための点像径取得部７４と、点像径取得部７４で得られた上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであるか否かを判定する判定部７６と、判定部７６により上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであると判定されたときに、点像ボケ状態取得部７３から出力されるボケ点像状態データＤｂ、および理想点像記憶部７２に記憶された設計データまたは理想点像状態データであるデータＤｒを入力し両者を用いた演算により上記第１の画像データＧ１の表す点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数Ｋを表す係数データＤｋを取得し、この係数データＤｋが表す復元係数Ｋを係数記憶部３０に記憶させる復元係数取得部７８Ａを備えている。

【００６１】

なお、本発明の撮像システムに用いられる撮像レンズは、必ずしもこの撮像レンズを通して受光面上に光学像が正しく「結像される」ものに限らず、撮像レンズを通して受光面上に光学像が正しく「結像されない」ものであっても採用できるので、本発明においては撮像レンズを通して受光面上に光学像が「投影される」ものとして説明する。「結像されない」状態とは、いわゆるボケた像と解釈されるが、例えば製造誤差に起因して本来の点像よりも広がった点像を生成される状態や、設計的な制約条件（光学系の大きさやコスト）から設計値自体が本来得たい点像よりも大きい点像しか提供できないような状況も含む。

【００６２】

また、上記のように主に点像の解像度の劣化状態を示すボケ点像状態データＤｂは、例えば、点像Ｐ１の有効領域の大きさや点像Ｐ１の受光面上における輝度分布（画像中における濃度分布）等を表すものとすることができる。

【００６３】

＜撮像システムの作用について＞

次に、上記撮像システムの作用について説明する。

【００６４】

はじめに、復元係数取得装置により復元係数を求めてこの復元係数を係数記憶部に記憶させる場合の１例について説明する。

【００６５】

撮像レンズ１０を通して受光面２１上へ投影された被写体の光学像を撮像素子２０により撮像し、撮像素子２０から出力された上記被写体を表す第１の画像データＧ１が点像ボケ状態取得部７３および点像径取得部７４へ入力される。

【００６６】

第１の画像データＧ１が入力された点像ボケ状態取得部７３は、第１の画像データＧ１の表す点像のボケ状態を解析しその解析結果を示すボケ点像状態データＤｂを出力する。

【００６７】

また、第１の画像データＧ１が入力された点像径取得部７４は、受光面２１上へ投影された点像Ｐ１の有効領域の最大径を求めこの最大径を示す径データＤｍを出力する。上記最大径を示す径データＤｍが入力された判定部７６は点像Ｐ１の有効領域の最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであるか否かを判定し、最大径が３画素以上に亘る大きさであると判定したときに信号Ｔｅを出力する。

【００６８】

この信号Ｔｅが入力された復元係数取得部７８Ａは、点像ボケ状態取得部７３から出力されたボケ点像状態データＤｂ、および予め理想点像記憶部７２に記憶された設計データまたは理想点像状態データであるデータＤｒを入力し両者を用いた演算により点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数Ｋを取得して、この復元係数Ｋを示す係数データＤｋを出力する。

【００６９】
復元係数取得部７８Ａから出力された係数データＤｋは係数記憶部３０に入力されこの係数記憶部３０に係数データＤｋの表す復元係数Ｋが記憶される。
【００７０】
なお、点像ボケ状態取得部７３および点像径取得部７４の機能を実現する例としては、後述するＤｘＯ Ｌａｂｓ社（フランス）製のＤｘＯアナライザが挙げられる。このＤｘＯアナライザによれば、撮像素子２０から出力された第１の画像データＧ１を解析することにより受光面２１上へ投影された点像Ｐ１のボケ状態（解像度の劣化状態）や有効領域の最大径を求めることができる。
【００７１】
上記のようにして係数記憶部３０に復元係数Ｋが記憶され、これにより撮像システム１００が復元処理を実行可能な状態となる。
【００７２】
＜復元処理について＞
次に、係数記憶部３０に記憶された復元係数Ｋを用い、撮像素子２０から出力された第１の画像データに対して復元処理Ｆを実行し、第１の画像データの表す画像よりも解像度の高い画像を表す第２の画像データを取得する場合について説明する。なお、以下の説明においては、主に、点像を表す第１の画像データに対して復元処理Ｆを施す場合について説明する。
【００７３】
図２（ａ）は、縦軸に光強度Ｅ、横軸に受光面上におけるＸ方向の位置を示す座標上に点像の光強度分布を示す図である。図２（ｂ）は、縦軸に受光面上のＹ方向の位置、横軸に受光面上のＸ方向の位置を示す座標上に、受光面を構成する受光画素の各画素領域（図中符号Ｒｇで示す）とこの受光面に投影された点像とを示す図、図３（ａ）は第１の画像データの表す画像中に表示される点像の画像を示す図、図３（ｂ）は第２の画像データの表す画像中に表示される点像の画像を示す図である。なお、図３（ａ）と図３（ｂ）それぞれに示す画像中の画素領域（図中符号Ｒｇ′で示す）それぞれの大きさは互に一致する。なお、受光面２１を構成する受光画素の各画素領域Ｒｇと、第１の画像データＧ１や第２の画像データＧ２が表す画像中の画素領域Ｒｇ′とが互いに対応する領域となる。
【００７４】
また、図４（ａ）は、縦軸に光強度Ｅ、横軸に受光面上におけるＸ方向の位置を示す座標上に、撮像レンズ１０の解像力が高いときに受光面２１上に投影されるであろう点像の光強度分布を示す図である。また、これは光学系如何にかかわらず理想的な点像状態を表すものとも考えて良い。図４（ｂ）は、縦軸に受光面上のＹ方向の位置、横軸に受光面上のＸ方向の位置を示す座標上に、受光面を構成する受光画素の各画素領域（図中符号Ｒｇで示す）および撮像レンズ１０の解像力が高いときに受光面２１上に投影されるであろう点像Ｐ２を示す図である。
【００７５】
撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された光学像である点像Ｐ１の有効領域Ｒ１の最大径Ｍ１は、図２（ｂ）に示すように、受光面２１を構成する受光画素の連続する３画素に亘る大きさである。また、その有効領域Ｒ１は、受光面２１上における縦方向３画素および横方向３画素からなる合計９画素に亘る領域である。すなわち、有効領域Ｒ１は、受光面２１を構成する受光画素の９画素分（３画素×３画素）を占める領域である。
【００７６】
また、図２（ａ）に示すように、点像Ｐ１の有効領域Ｒ１は、点像Ｐ１を表す光強度分布Ｈ１におけるピーク強度Ｅｐ１の１／e^2以上の光強度を有する領域である。
【００７７】
上記受光面２１上に投影された点像Ｐ１は撮像素子２０により撮像され、この点像Ｐ１を表す第１の画像データＧ１が撮像素子２０から出力される。
【００７８】

図３（ａ）に示すように、この第１の画像データＧ１が表す画像Ｚｇ１中に表示される上記点像Ｐ１に対応する画像Ｐ１′は、相変わらずその有効領域Ｒ１′が画像中において９画素分（３画素×３画素）に亘るものとして表示される。

【００７９】

次に、この画像データＧ１を入力した信号処理部４０が、第１の画像データＧ１に対し復元係数Ｋ１を用いた復元処理Ｆを実行して第２の画像データＧ２を得る。

【００８０】

図３（ａ）、（ｂ）に示すように、上記第１の画像データＧ１が表す点像の画像Ｐ１′に対応する第２の画像データＧ２が表す画像Ｚｇ２中の点像の画像Ｐ２′は、その画像Ｐ２′の有効領域Ｒ２′が上記第１の画像データＧ１の表す画像Ｚｇ１中の点像の画像Ｐ１′の有効領域Ｒ１′に比して小さくなる。したがって、画像Ｚｇ２中に表される点像の画像Ｐ２′の最大径Ｍ２′（画素領域Ｒｇ′の３画素分の領域）も画像Ｚｇ１中に表される点像の画像Ｐ１′の最大径Ｍ１′（画素領域Ｒｇ′の１画素分の領域）より小さくなる。

【００８１】

すなわち、この図３（ｂ）に示す第２の画像データＧ２の表す点像の画像Ｐ２′と、撮像レンズ１０の解像力が高いときに受光面２１上に投影されるであろう点像Ｐ２（図４参照）を撮像した撮像素子２０から出力される第１の画像データによって表される点像の画像とは同等の画像となる。

【００８２】

より具体的には、撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された有効領域Ｒ１が９画素分に亘る点像Ｐ１（図２（ａ）、（ｂ）参照）を撮像した撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１に上記復元係数Ｋを用いた復元処理Ｆを施して得られる第２の画像データＧ２の表す点像の画像Ｐ２′（図３（ｂ）参照）と、撮像レンズ１０の解像力を高くしたときに受光面２１上に投影されると予想される点像Ｐ２（有効領域Ｒ２の最大径Ｍ２が１つの画素領域Ｒｇに含まれる、図４（ａ）、（ｂ）参照）を撮像した撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１の表す点像の画像とは同等の画像となる。

【００８３】

なお、図４（ａ）、（ｂ）に示す受光面２１上の１つの画素領域Ｒｇに含まれる点像Ｐ２の有効領域Ｒ２は、上記点像Ｐ１の場合と同様に、点像Ｐ２を表す光強度分布Ｈ２におけるピーク強度Ｅｐ２の１／ｅ^{2}以上の光強度を有する領域である。ここで、点像Ｐ２の有効領域Ｒ２は１つの画素領域Ｒｇに含まれる大きさである。

【００８４】

このように、第１の画像データに復元処理を施して得られた第２の画像データの表す画像の解像度は、第１の画像データの表す画像の解像度よりも高くすることができる。

【００８５】

また、この復元処理Ｆにより、撮像レンズ１０の被写界深度を拡大したときに得られる画像と同様の画像を得ることができるので、上記復元処理は、実質的に撮像レンズ１０の被写界深度を拡大するものともいえる。

【００８６】

なお、信号処理部４０による、第１の画像データＧ１の表す点像Ｐ１の状態に応じた復元係数Ｋを用いた復元処理Ｆには、上述の特開２０００-１２３１６８号公報、段落０００２～００１６に紹介されている画像復元処理等を採用することができる。

【００８７】

上記説明では点像を撮像する場合について説明したが、撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影される被写体の光学像は、被写体を表す点像の集まりであると考えられるので、撮像する被写体がどのようなものであっても、上記第１の画像データに復元処理を施してこの第１の画像データの表す画像よりも高い解像度で画像を表す第２の画像データを生成することができる。

【００８８】

＜復元係数取得装置の変形例について＞

以下、復元係数取得装置の変形例について説明する。

【００８９】

撮像素子から出力された第１の画像データで表される点像のボケ状態に応じた復元係数Ｋ１を係数記憶部３０に記憶させる復元係数取得装置は、上記第１例の復元係数取得装置７０Ａとは異なる以下に説明する第２例の復元係数取得装置７０Ｂや第３例の復元係数取得装置７０Ｃのように構成してもよい。

【００９０】

図５は第２例の復元係数取得装置７０Ｂを示す図、図６は第３例の復元係数取得装置７０Ｃを示す図である。図７は復元係数取得装置を備えた撮像システムを示す図、図８は復元係数取得装置および係数記憶部を信号処理部に備えた撮像システムを示す図である。なお、図５～図８において上記第１例の復元係数取得装置７０Ａと同様の機能を有する構成要素については、この第１例の復元係数取得装置７０Ａの場合と同じ符号を用いて示す。

【００９１】

第２例の復元係数取得装置７０Ｂは、図５に示すように、予め複数種類に分類された点像のボケ状態それぞれに対応する各復元係数の候補Ｋ１、Ｋ２・・・を記憶させた候補係数記憶部７９と、撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１の表す点像のボケ状態を解析しその解析結果を示すボケ点像状態データＤｂを取得し後述の復元係数取得部７８Ｂへ出力する点像ボケ状態取得部７３と、撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された点像Ｐ１の有効領域の最大径を取得するための点像径取得部７４と、点像径取得部７４で得られた上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであるか否かを判定する判定部７６と、判定部７６により上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであると判定されたときに、上記復元係数の候補Ｋ１、Ｋ２・・・のうち上記ボケ点像状態データＤｂの表す点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数（例えばＫ１）を選択し、この復元係数Ｋ１を係数記憶部３０に記憶させる復元係数取得部７８Ｂとを備えている。

【００９２】

この復元係数取得装置７０Ｂは、点像径取得部７４により撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された点像Ｐ１の有効領域の最大径を取得し、この最大径を示す径データＤｍを判定部７６へ出力する。径データＤｍが入力された判定部７６は、上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであるか否かを判定し、３画素以上に亘る大きさであると判定したときに、そのことを示す信号Ｔｅを復元係数取得部７８Ｂへ出力する。信号Ｔｅが入力された復元係数取得部７８Ｂは、候補係数記憶部７９に記憶された復元係数の候補Ｋ１、Ｋ２・・・のうち上記ボケ点像状態データＤｂの表す点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数（例えばＫ１）を選択し、この復元係数Ｋ１を示す係数データＤｋを係数記憶部３０に出力し記憶させる。

【００９３】

すなわち、係数記憶部３０には、複数種類に分類された点像のボケ状態それぞれに対応する各復元係数の候補Ｋ１，Ｋ２・・・のうちから第１の画像データＧ１の表す点像のボケ状態に応じて選択された復元係数（例えばＫ１）が記憶される。

【００９４】

一方、第３例の復元係数取得装置７０Ｃは、図６に示すように、予め複数種類に分類された点像のボケ状態それぞれに対応する各復元係数の候補Ｋ１、Ｋ２・・・を記憶させた候補係数記憶部７９と、撮像レンズ１０の解像力が高いときに、この解像力の高い撮像レンズを通して受光面２１上に投影される理想的な点像についての設計データまたは理想点像状態データであるデータＤｒを予め記憶させた理想点像記憶部７２と、撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１の表す点像のボケ状態を解析しその解析結果を示すボケ点像状態データＤｂを取得し後述する復元係数取得部７８Ｃへ出力する点像ボケ状態取得部７３と、撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された点像Ｐ１の有効領域の最大径を取得するための点像径取得部７４と、点像径取得部７４で得られた上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであるか否かを判定する判定部７６とを備えている。

【００９５】
さらに、この復元係数取得装置７０Ｃは、判定部７６により上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであると判定されたときに、上記復元係数の候補Ｋ１、Ｋ２・・・のうち上記点像ボケ状態取得部７３から出力されたボケ点像状態データＤｂの表す点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数（例えばＫ１）を選択し、この復元係数Ｋ１を上記ボケ点像状態データＤｂ、および予め理想点像記憶部７２に記憶された点像の設計データまたは理想点像状態データであるデータＤｒを用いた演算により補正してなる補正済の復元係数Ｋ１′を示す係数データＤｋ（Ｋ１′）を取得して、この係数データＤｋ（Ｋ１′）が表す補正済の復元係数Ｋ１′を係数記憶部３０に記憶させる復元係数取得部７８Ｃを備えている。

【００９６】
この復元係数取得装置７０Ｃは、点像径取得部７４により撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された点像Ｐ１の有効領域の最大径を取得し、この最大径を示す径データＤｍを判定部７６へ出力する。径データＤｍが入力された判定部７６は、上記最大径が受光面２１上の３画素以上に亘る大きさであるか否かを判定し、３画素以上に亘る大きさであると判定したときに、そのことを示す信号Ｔｅを復元係数取得部７８Ｂへ出力する。信号Ｔｅが入力された復元係数取得部７８Ｂは、候補係数記憶部７９に記憶された復元係数の候補Ｋ１、Ｋ２・・・のうち上記ボケ点像状態データＤｂの表す点像Ｐ１のボケ状態に応じた復元係数（例えばＫ１）を選択し、この復元係数Ｋ１を上記ボケ点像状態データＤｂ、および予め理想点像記憶部７２に記憶された点像の設計データまたは理想点像状態データであるデータＤｒを用いた演算によりさらに補正してなる補正済の復元係数Ｋ１′を取得しこの補正済の復元係数Ｋ１′を係数記憶部３０に記憶させる。

【００９７】
すなわち、係数記憶部３０には、複数種類に分類された点像のボケ状態それぞれに対応する複数種類の復元係数の候補のうち、第１の画像データＧ１の表す点像Ｐ１のボケ状態に応じて選択された復元係数（例えばＫ１）を、上記点像のボケ状態に応じてさらに補正してなる補正済の復元係数Ｋ１′が記憶される。

【００９８】
なお、撮像システム１００は、復元係数取得装置７０Ａ、７０Ｂ、あるいは７０Ｃをその一部として備えたものとしてもよいし、復元係数取得装置７０Ａ、７０Ｂ、および７０Ｃのいずれをも備えていないものとしてもよい。

【００９９】
また、図７に示す撮像システム１００′は、復元係数取得装置７０Ａ、７０Ｂ、あるいは７０Ｃ等と同様の機能を有する復元係数取得装置７０を上記撮像システムの筐体に内蔵したものである。撮像システムをこのように構成されたものとしてもよい。

【０１００】
さらに、図８に示す撮像システム１００″は、上記のような復元係数取得装置７０および係数記憶部３０を信号処理部４０′に内蔵したものである。撮像システムをこのように構成されたものとしてもよい。

【０１０１】
＜撮像系の性能について＞
次に、上記撮像システム１００に用いられる撮像レンズ１０と撮像素子２０とから構成される撮像系の性能について説明する。

【０１０２】
図９は、横軸に撮像レンズから物点までの光軸方向の距離Ｕを対数目盛り（ｍ）で示し、縦軸に受光面上に連続して並ぶ画素領域の数（Ｎ）に対応させた長さを示す座標上に、物点を光軸方向に移動させたときに受光面上に投影されるこの物点に対応する点像の有効領域の最大径の変化を模式的に示す図である。

【０１０３】
ここでは、物点を、撮像レンズに略接する近点の位置（約０．０１ｍまで接近した位置

）から撮像レンズに対して略無限大離れた遠点の位置（約１０ｍ離れた位置）まで移動させた。

【０１０４】

図９中の系列Ａ-１、Ａ-２、Ａ-３によって示される３種類の曲線（実線）は、本発明の撮像システムの撮像レンズ１０を通して受光面２１上の互に異なる特定の領域（互に像高の異なる受光面上の特定の領域）に投影される各点像の有効領域の最大径の変化を模式的に示している。また、図９中の系列Ａｗによって示される曲線（破線）は、従来の撮像システム（例えば車載用カメラ、携帯電話用カメラ、医療機器用カメラ等）に用いられる撮像レンズを通して受光面上に投影された点像の有効領域の最大径の一般的な変化を示している。

【０１０５】

図９からわかるように、従来の撮像システムにおいては、受光面２１上に物点を投影してなる点像の有効領域の最大径は、物点の光軸方向への移動にともない１画素分の大きさから３０画素分に亘る大きさまで大きく変化する。

【０１０６】

一方、本発明の撮像システム１００が備える撮像レンズ１０を通して受光面２１上に物点を投影してなる点像の有効領域の最大径は、系列Ａ-１、Ａ-２、Ａ-３のいずれについても３画素分以上、１０画素分以下に亘る大きさである。すなわち、撮像レンズ１０から物点までの距離にかかわらず、かつ、投影される点像の受光面上における位置（例えば、受光面上の像高）にかかわらず、この受光面上における点像の有効領域の大きさの変動は少ない。さらに、Ｘ、Ｙ、Ｚ方向のいずれの位置から撮像レンズ１０を通して受光面上へ投影された点像についても、この点像の有効領域の大きさの変動は少ないとも言える。

【０１０７】

図１０は、横軸に撮像レンズから物点までの光軸方向の距離Ｕを対数目盛（ｍ）で示し、縦軸にＭＴＦ特性の値（％）を示した座標上に、物点を光軸方向に移動させたときに受光面上に投影される上記物点の光学像に関するＭＴＦ特性の値（％）の変化を模式的に示す図である。

【０１０８】

ここでは、物点を、撮像レンズに略接する近点の位置（約０．０１ｍまで接近した位置）から撮像レンズに対して略無限大離れた遠点の位置（約１０ｍ離れた位置）まで移動させた。

【０１０９】

図１０中の系列Ｂ-１、Ｂ-２、Ｂ-３によって示される本発明の撮像システムに関する３種類の曲線（実線）は、撮像レンズ１０を通して受光面上の互に異なる特定の領域（互に像高の異なる特定の領域）に投影された光学像に関するＭＴＦ特性の値（％）の変化を模式的に示している。また、図１０中の系列Ｂｗによって示される曲線（破線）は、従来の撮像システムについて、受光面上に投影された光学像に関するＭＴＦ特性の値（％）の一般的な変化を示している。

【０１１０】

図１０からわかるように、従来の撮像システムでは、受光面２１上に投影される光学像に関するＭＴＦ特性の値（％）は、０％から８０％を超える値まで大きく変化する。なお、撮像レンズ１０と物点とが接近した近点においてＭＴＦ特性の値が０％となる位置よりも撮像レンズ１０に近い領域（ＭＴＦ特性の値が０％から折り返した領域）に位置する物点については偽解像が生じている。また、撮像レンズ１０と物点とが離れた遠点においてＭＴＦ特性の値が０％となる位置よりも遠い領域（ＭＴＦ特性の値が０％から折り返した領域）に位置する物点についても偽解像が生じている。

【０１１１】

一方、本発明の撮像システム１００の備える撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影される光学像に関するＭＴＦ特性の値（％）は、系列Ｂ-１、Ｂ-２、Ｂ-３のいずれについても１０％以上６０％以下の大きさであり偽解像は生じない。すなわち、撮像レンズ

１０から物点までの距離にかかわらず、かつ、投影された光学像の受光面上における位置（像高）にかかわらず、受光面上に投影された光学像に関するＭＴＦ特性の値の変動が少なく偽解像も生じない。さらに、Ｘ，Ｙ、Ｚ方向のいずれの位置、すなわち３次元空間におけるいずれの位置から撮像レンズ１０を通して受光面上へ投影された光学像に関するＭＴＦ特性の値についても変動が少ないとも言える。

【０１１２】

上記のように、本発明の撮像システムによれば、従来のように、撮像システムから出力される第１の画像データの表す画像の解像度が所定のレベルに至らないときにその原因を特定し撮像レンズを再調整したり再組立する等のことなく、単に、点像のボケ状態に応じた復元係数を係数記憶部に記憶させてこの第１の画像データに対し復元処理を施すだけで、所定の解像度を有する画像を表す第２の画像データを得ることができるので、受光面に投影される光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができる。また、撮像システムにおける解像力の不足を容易に回復させることができるともいえる。

【０１１３】

＜撮像システムの製造方法について＞

以下、本発明の撮像システムの製造方法、すなわち、所定の復元係数が記憶されていない撮像システムに対し所定の復元係数を記憶せしめて、復元係数記憶済みの撮像システムを製造する方法について図１、５、６等を参照して説明する。

【０１１４】

この撮像システムの製造方法は、係数記憶部３０に復元係数を記憶せしめて、復元処理を実行可能な復元係数記憶済みの撮像システム１００Ａ、１００Ｂ・・・を製造するものである。

【０１１５】

なお、撮像システム１００Ａ、１００Ｂ・・・は、既に図１～図１０等を参照して説明した撮像システム１００と同等のものである。

【０１１６】

上記撮像システムの製造方法は、撮像レンズ１０と、多数の受光画素を２次元状に配列してなる受光面２１を有し、撮像レンズ１０を通して受光面２１上に投影された被写体の光学像を撮像してその被写体を表す第１の画像データＧ１を出力する撮像素子２０と、第１の画像データＧ１に対し、撮像レンズ１０の解像力が高いときに撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１と同等の第２の画像データＧ２を生成するような復元処理Ｆを受光面２１上における縦方向３画素以上および横方向３画素以上からなる合計９画素以上に亘る画素領域を最小単位として実施する信号処理部４０と、復元処理に用いる復元係数Ｋが記憶せしめらた係数記憶部３０とを備え、係数記憶部３０に記憶せしめられた復元係数Ｋを用いて復元処理を実行する撮像システム１００Ａ、１００Ｂ・・・の製造方法である。

【０１１７】

この製造方法は、撮像レンズ１０を通して受光面２１上へ点像Ｐ１を投影し、撮像素子２０から出力される第１の画像データＧ１で表される点像Ｐ１の状態に応じた復元係数Ｋを係数記憶部３０に記憶させるものである。

【０１１８】

この撮像システムの製造方法には、上記第１例の復元係数取得装置７０Ａ、第２例の復元係数取得装置７０Ｂ、あるいは第３例の復元係数取得装置７０Ｃを用いて復元係数を求めその復元係数を各撮像システム１００Ａ、１００Ｂ・・・の係数記憶部に記憶させる方法を採用することができる。

【０１１９】

以下、第１例の復元係数取得装置７０Ａ、第２例の復元係数取得装置７０Ｂ、および第３例の復元係数取得装置７０Ｃを用いた撮像システムの製造方法について具体的に説明する。なお、撮像システム１００Ａ、１００Ｂ・・・および上記第１例の復元係数取得装置７０Ａ、第２例の復元係数取得装置７０Ｂ、および第３例の復元係数取得装置Ｃの構成お

よび作用等については上述の撮像システム１００に関する内容と同様なので重複する説明は省略し、上述の撮像システム１００の説明と重複しない撮像システムの製造方法の内容について説明する。

【０１２０】

《第１例の復元係数取得装置７０Ａに対応する撮像システムの製造方法について》

各撮像システム毎に個別に求めた復元係数を撮像システムそれぞれに記憶させる「１対１」対応の製造工程においては、

(1)点像測定・画面内均一性判定、

(2)最適な復元処理を与える係数群（復元係数）の導出、

(3)最適な係数群の記録

が必要である。それぞれの機能をより詳しく解説する。

【０１２１】

(1)は各撮像レンズと撮像素子の組み合わせに於いて、結像性能（解像力）を実際に測定・判定する機能である。撮像素子から得られる電気信号（第１の画像データ）をもとにして光学点像を測定する手段としては、仏ＤｘＯ社のＤｘＯアナライザが市販されている。これは、ＤｘＯ社が提唱するＢｘＵというぼけを表現する概念を用いたもので、デジタルカメラからの出力信号から点像（光学点像、画像処理後点像いずれも）を求める事が可能である。

【０１２２】

具体的には、このＤｘＯアナライザは、ある指定されたチャート（白地に黒丸が無数に配列したチャート）を撮影して得られた画像データ（第１の画像データ）を解析することによって撮像素子の受光面上の任意の点での点像大きさを計算するものである（http://www.dxo.com/jp/image_quality/dxo_analyzer）。

【０１２３】

なお、光学点像を測定する手段は、デジタルカメラ（すなわちセンサ）からの出力信号から点像を計算できる測定手段であれば形式は問わない。

【０１２４】

一方、光学設計値通りであった場合の点像の大きさはその光学系を設計したツールにて計算できるので、この計算で得られた「設計値点像」とＤｘＯアナライザ等の測定器で測定された「測定点像」の大きさを比較することで、測定点像がどの程度設計値からずれているのかを判定することが出来る。例えば、光学部品に組み立て誤差があった場合の測定点像の大きさは、設計値点像に比べて大きくなってしまうことが大半である。また、撮像素子の受光面上に投影される点像の有効領域の形状や輝度分布は、本来、点対称な形状や分布をなすが、撮像レンズが傾いていたりその軸がずれていたりすると部分的に前ぼけ、後ぼけが生じてしまい、いわゆる「片ぼけ状態」となる。このような設計値からの逸脱を、前記「設計値点像」と「測定点像」を比較することによって求め、更に設計値通りと言えるかどうかの判定をすることが可能である。また、設計値点像にこだわらなくとも、任意に理想状態を定義して、その理想状態（「理想点像」）と「測定点像」を比較しその差異を判定することも可能である。

【０１２５】

(2)はカーネルウィーナーフィルタを基本とした復元処理を実行し、前記「測定点像」を「設計値点像」あるいは「理想点像」に近づける係数群（復元係数）を計算によって求める段階である。カーネルウィーナフィルタとは、文献（鷲沢嘉一・山下幸彦著、題名「Kernel Wiener Filter」、2003 Workshop on Information-Based Induction Sciences、(IBIS2003)、Kyoto, Japan, Nov 11 -12, 2003）で示される様に、原信号が何らかのフィルタリングを経てノイズとともに観測された場合に、ノイズの含まれた観測信号から原信号を推定する手法として広く用いられている。ここで、原信号を「撮影される物体」、フィルタリングとして「撮像レンズ＋撮像素子」、観測信号を「画像信号（第１の画像データ）」、そしてノイズを「設計値点像（あるいは理想点像）と測定点像の差異」とすると、カーネルウィーナーフィルタを適用して「撮影される物体」を推定することが出来る。

【０１２６】
実物の「撮像レンズ＋撮像素子」に一切の誤差要因がなければ撮影される物体がすなわち画像信号となっているはずであり、この復元処理を経た後では原理的には理想的な「画像信号（第２の画像データ）」が得られる。実際には、元々の(1)による測定誤差等も存在し、ノイズ成分が全て除去されずに一部が残存するが、測定点像が設計値点像あるいは理想的な点像に近づくことは確実であり、最終的な画像としての品位は向上する。
【０１２７】
具体的には何らかの誤差要因によって光学的な点像が設計値よりも大きい、あるいは結像面内で均一でないとしても復元処理によってその点像を小さく補正、あるいは結像面内で均一化することで、実用に耐えうる性能を確保することが出来る。また製造による誤差要因のみならず、設計的に低い性能（光学点像が素子ピッチに比較して大きい）を余儀なくされている光学系であるとしても、点像を補正することによって見かけ上光学性能を向上させることが出来る。この見かけ上の光学性能向上を追求すると、理論的に示される限界解像度を越えることも可能となるため、近年の画素サイズの小型化の傾向を考えると誠に有用である。
【０１２８】
ここで、限界解像度はエアリーディスクの大きさで与えられ、無収差レンズの点像強度の有効領域（ピーク強度×（１／ｅ^{2}））の半径Ｒｅ、及び強度ゼロとなる半径Ｒｃは以下の式で規定される。撮像素子として用いられる最近のＣＭＯＳ素子の画素ピッチが２．２ミクロン、１．７５ミクロンであり、今後１．４ミクロン、１．０ミクロンが主流になると予想される。例として、Ｆ２．８、波長５５０ｎｍでＲｅおよびＲｃを計算するとそれぞれ、

Ｒｅ（点像強度の有効領域の半径）＝０．８２λＦ＝０．８２×２．８×５５０×０．００１＝１．２６ミクロン（点像強度の有効領域の直径２．５２ミクロン）

Ｒｃ（点像強度ゼロとなる半径）＝１．２２λＦ＝１．２２×２．８×５５０×０．００１＝１．８８ミクロン（点像強度ゼロとなる直径３．７６ミクロン）

であり、既に画素ピッチが回折限界を越えている。
【０１２９】
回折限界は無収差を前提としているが、現実の光学系は無収差である事は無く、特に小型化・低コスト化の要請を鑑みると収差はむしろ残存しており、妥協された性能を余儀なくされている。カーネルウィーナーフィルタによる復元処理はこのような状況でも、最終的な画像としての品位を実用的な程度にまで高めることが出来る。
【０１３０】
上記の復元処理はある特定の像面上もしくはその極近傍（前ぼけ後ぼけの範囲）で実行することを想定しているが、撮影距離の変動に対応するデフォーカス方向の無数の像面群において測定点像と設計値点像の差をなくすような復元処理を考えれば焦点深度を拡大することも可能である。
【０１３１】
復元処理の実行にあたっては、キャンセルすべきノイズ成分が個々の「撮像レンズ＋撮像素子」によってまちまちであり、各「撮像レンズ＋撮像素子」の組み合わせ毎に最適な復元処理を行うことが望ましい。ただし、復元処理自体のアルゴリズムは同一で良く、そこで参照される「係数群」が最適であればよい。
【０１３２】
(3)は実際に「撮像レンズ＋撮像素子」の組に「最適な係数群」を組み合わせる段階である。その為には、何らかの記録媒体に最適な復元処理を実行するための係数群を記憶させてそれを「撮像レンズ＋撮像素子」の組に加えねばならない。従って、記録過程が必要である。
【０１３３】
このようにして、撮像系が「撮像レンズ＋撮像素子＋記録媒体」の組として用いられる事で光学的な点像が用途に適した形で補正され、最終的には良好な品位の画像を得ること

が出来る。具体的には、解像力が何らかの理由（製造公差・元々の設計値が低い）によって不満足であったとしても処理後の画像としては満足のいく解像力を達成しうる手段を提供する。また、各撮像レンズと撮像素子の組の特性に合致したような焦点深度拡大手段も提供しうる。

【０１３４】

《第２例の復元係数取得装置７０Ｂに対応する撮像システムの製造方法について》

撮像レンズ、撮像素子、信号処理回路からなる上記点像補正光学システムを製造する第二の好適な方法を記述するが、その位置づけとしては大量のデジタルカメラを安価に生産する場合を想定したものである。その製造工程においては、

(1)復元処理に用いる係数（復元係数）群のライブラリの構築

(2)点像測定・画面内均一性判定

(3)グループ単位の最適な復元処理を与える係数群のライブラリからの抽出

(4)グループ単位の最適な係数群の記録

が必要である。それぞれの機能をより詳しく解説する。

【０１３５】

(1)は予め全体の傾向を網羅できるぐらいの数量の撮像レンズ（例えば全ロットの１０分の１）を測定し、その解像度傾向（不具合傾向）をグループ分けしておく。その各々のグループに対する最適な復元処理を演算し、各グループ単位での最適な係数群を求めてライブラリを構築しておく。理想的には第１例のように「１対１」対応で係数群を当てはめれば理想的ではあるが、大量に生産をする場合やコストを抑制すべき時には適さない。そこで、本実施例のように全体をある程度グループに層別しそのグループ単位での最適解を求めたライブラリを作る。

【０１３６】

(2)は第１例の(1)と同様であるが、測定点像から上記第２例の(1)で求めたグループのどこに属するかの判定を行う。実際には上記グループ分けをするときに予め測定されたもの以外についてもグループに当てはめる（例えば全ロットの１０分の９）。

【０１３７】

(3)は上記(2)で判定されたグループの最適な係数群をライブラリから抽出する段階であり、選択された係数群が当該「撮像レンズ＋撮像素子」の組に適用される。この時、逐一個々の「撮像レンズ＋撮像素子」の組に対しての最適な係数群を求めることはしない。これによって、第１例で必要であった演算時間を短縮することが出来、大量生産を安価になし得る。

【０１３８】

(4)は第１例の(3)と同様である。

【０１３９】

《第３例の復元係数取得装置７０Ｃに対応する撮像システムの製造方法について》

撮像レンズ、撮像素子、信号処理回路からなる上記点像補正光学システムを製造する第三の好適な方法を記述するが、その位置づけとしては大量のデジタルカメラを安価に生産する場合を想定したものである。その製造工程においては、

(1)復元処理に用いる係数（復元係数）群のライブラリの構築

(2)点像測定・画面内均一性判定

(3)最適な復元処理を与える係数群のライブラリからの抽出

(4)当該係数群を部分的に修正

(5)修正された係数群の記録

が必要である。それぞれの機能をより詳しく解説する。

【０１４０】

(1)(2)(3)は第２例の(1)(2)(3)と同一。

【０１４１】

(4)は抽出された係数群を部分的に修正する過程である。係数群はある数値の配列となっているが、その一部分のみを直してある「撮像レンズ＋撮像素子」に対して必要とされ

る修正を加える。全ての係数群を最適化する上記第１例とは異なり、部分的に係数を修正するだけなので時間的に短くて済む。

【０１４２】

(5)は修正された補正済みの係数群を記録する段階であり、これによって「撮像レンズ＋撮像素子＋記録媒体」の組が構成される。

【０１４３】

上記のように、本発明の撮像システムの製造方法によって製造された撮像システムは、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を容易に高めることができる。

【０１４４】

＜各構成要素の変形例について＞

以下、撮像システムおよび撮像システムの製造方法における構成要素の変形例について説明する。

【０１４５】

また、信号処理部は、受光面上に投影された点像の有効領域の全てを含む最小の画素領域を最小単位として復元処理を実行する場合に限らず、有効領域の全てを含むが最小ではない画素領域を最小単位として復元処理を実行してもよい。

【０１４６】

さらに、信号処理部は、第１の画像データの表す画像中の点像の有効領域の大きさよりも、第２の画像データの表す画像中における点像の有効領域の大きさの方を小さくするように復元処理を実行する場合に限らず、第１の画像データの表す画像中の点像の有効領域の大きさを、第２の画像データの表す画像中における点像の有効領域の大きさ以上とするように復元処理を実行するようにしてもよい。

【０１４７】

なお、上記撮像システムを備えた本発明の撮像装置、携帯端末機器、車載機器、および医療機器等の被写界深度の深いことが要請される装置は、各装置に備えられた撮像システムの受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を上記と同様に容易に高めることができる。

【０１４８】

図２２は撮像システムを備えた車載機器が搭載された自動車を示す図である。

【０１４９】

図２２に示すように、本発明の撮像システムを備えた車載機器５０２～５０４は、自動車５０１等に搭載して使用することができる。この自動車５０１は、助手席側の側面の死角範囲を撮像するための車外カメラである車載機器５０２と、自動車１の後側の死角範囲を撮像するための車外カメラである車載機器５０３と、ルームミラーの背面に取り付けられ、ドライバーと同じ視野範囲を撮影するための車内カメラである車載機器５０４とを備えている。

【０１５０】

図２３は、撮像システムを備えた携帯端末機器である携帯電話機を示す図である。

【０１５１】

図示のように、この携帯電話機５１０は、携帯電話機の筐体５１１中に撮像システム５１２が配されたものである。

【０１５２】

図２４は、撮像システムを備えた医療機器である内視鏡装置を示す図である。

【０１５３】

図示のように、生体組織５２５を観察するこの内視鏡装置５２０は、照明光Ｌａで照明された生体組織５２５を撮像するための撮像システム５２２を内視鏡装置５２０の先端部５２１に配したものである。

【０１５４】

このように、上記のような撮像システムを備えた本発明の撮像装置、携帯端末機器、車

載機器、および医療機器は、従来より知られている撮像装置、携帯端末機器、車載機器、および医療機器が備えている従来の撮像システムとの置き換えが容易である。すなわち、従来より知られている撮像装置、携帯端末機器、車載機器、および医療機器の装置サイズや形状等を変更することなく、これらの装置が備える従来の撮像システムを本発明の撮像システムに置き換えて、本願発明の撮像装置、携帯端末機器、車載機器、および医療機器を構成することもできる。

【０１５５】

なお、本発明の撮像システムは、撮像レンズと撮像素子とが、例えばＺ方向に関しては１０ｆ以上に制限され、Ｘ、Ｙ方向に関してもある物体高までに制限された範囲内において物体空間のＸ，Ｙ，Ｚ方向のいずれの位置から受光面上に投影された点像についても、この点像の有効領域の最大径が撮像素子の受光面を形成する受光画素の３画素以上に亘る大きさとなるように構成されたものとしてもよい。

【０１５６】

また、撮像レンズは、この撮像レンズの焦点距離の１０倍以上離れたＸ，Ｙ，Ｚ方向のいずれの位置からこの撮像レンズを通して受光面上へ投影された被写体の光学像についてもこの光学像に関するＭＴＦ特性の値が正となるように構成されたものであることが望ましい。なお、「撮像レンズの焦点距離の１０倍以上離れた位置」は、「撮像レンズを構成するレンズ面のうち最も被写体側の面とこの撮像レンズの光軸とが交わる位置を基準位置とし、この基準位置から、その撮像レンズの光軸方向（Ｚ軸方向）に沿って焦点距離の１０倍以上、被写体の側へ離れた位置」を意味する。

【０１５７】

なお、この撮像システムは、撮像レンズと撮像素子とが、Ｘ，Ｙ，Ｚ方向の少なくともいずれかの方向について限定された位置から撮像レンズを通して受光面上へ投影された点像についてのみ、この点像の有効領域の最大径が受光面を形成する受光画素の３画素以上に亘る大きさとなるように構成されたものとしてもよい。このような場合には、受光面上へ投影された点像の有効領域の最大径が受光画素の３画素以上に亘る大きさとなる領域を表す第１の画像データに対してのみ復元処理を実施して第２の画像データを得るようにすることができる。

【０１５８】

また、この撮像システムは、軸対称形状からなる光学部材のみを通して受光面上に被写体の光学像が投影されるように構成したものであってもよいし、あるいは、非軸対称形状からなる光学部材を通して受光面上に被写体の光学像が投影されるように構成したものであってもよい。さらに、上記撮像レンズは、被写界深度の深いものとすることが望ましい。すなわち、被写体の移動、あるいは撮像レンズのフォーカス調整等により、被写体の光学像が受光面上に投影される状態に変化が生じても、受光面上に投影される点像のボケ状態の変化が少なくなるように撮像レンズと撮像素子とを構成することが望ましい。より具体的には、受光面上に投影される点像の有効領域の大きさ、およびコントラストの変化を少なくなるように撮像レンズと撮像素子とを構成することが望ましい。しかしながら、撮像システムは、被写界深度の深い撮像レンズを備える場合に限らず、被写界深度の浅い撮像レンズを備えるようにしてもよい。

【０１５９】

また、上記撮像システムに用いる撮像素子は、ＣＣＤ素子、あるいはＣＭＯＳ素子とすることができる。

【０１６０】

＜撮像レンズのレンズ構成および作用について＞

次に、上記撮像システム１００に用いられる実施例１～３の各撮像系の構成および作用について具体的に説明する。上記実施例１～３の各撮像系に用いられる後述の撮像レンズ１０Ａ～１０Ｃそれぞれは上述の撮像レンズ１０の実施例となるものである。

【０１６１】

なお、上記撮像レンズ１０は、被写体側（物体側）から順に、少なくとも１枚のレンズ

からなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものである。

【０１６２】

《実施例１の撮像系について》

図１１は、実施例１に係る４枚の単レンズで構成された撮像レンズ１０Ａの概略構成を示す断面図、図１２(a)～(d)は横軸に撮像レンズ１０Ａを通して被写体の像が投影される受光面の光軸方向（Ｚ軸方向）へのデフォーカス量Ｕｄ（μｍ）、縦軸にＭＴＦ特性の値（％）を示す座標上へ、上記撮像レンズに対して受光面をデフォーカスさせたときにこの受光面上へ投影される光学像のＭＴＦ特性の値（％）の変化を示す図である。ここで、受光面２１Ａのデフォーカス範囲は４００μｍである。

【０１６３】

より詳しくは、上記図１２(a)～(d)は、撮像レンズ１０Ａに対する被写体の位置を固定した状態で受光面２１Ａをデフォーカスさせたときの種々の像高に投影された光学像に関するＭＴＦ特性の値（％）の変化を示す図である。図１２(a)は２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示すものであり、図１２(ｂ)は３０本／ｍｍの空間周波数、図１２(ｃ)は４０本／ｍｍ、図１２(ｄ)は５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化それぞれを示すものである。

【０１６４】

なお、図１２に示すデフォーカス量を示す横軸Ｕｄは、値が大きくなる方向（Ｕｄの値が４００μｍに近づく方向）が撮像レンズと受光面とが離れる方向を示し、値の小さくなる方向（Ｕｄの値が０に近づく方向）は受光面と撮像レンズとが接近する方向を示している。

【０１６５】

図１１に示すように、撮像レンズ１０Ａは、光軸Ｃ（Ｚ軸）に沿って被写体側（図中矢印－Ｚ方向の側）から順に、開口絞りＳａｔ、第１の単レンズＬａ１、第２の単レンズＬａ２、第３の単レンズＬａ３、第４の単レンズＬａ４、光学部材ＧＬａ１それぞれが配列されてなるものである。なお、図１１に示すレンズ面Ｒ１、Ｒ３、Ｒ５、Ｒ７は、各単レンズＬａ１～Ｌａ４それぞれの入射側の面、レンズ面Ｒ２、Ｒ４、Ｒ６、Ｒ８は、各単レンズＬａ１～Ｌａ４それぞれの射出側の面を示している。上記撮像レンズ１０Ａを通して受光面２１Ａ上に被写体の光学像が投影される。

【０１６６】

なお、受光面２１Ａの被写体側には、撮像系の構成に応じて、カバーガラスや、ローパスフィルタまたは赤外線カットフィルタ等を配置することが好ましく、図１１ではこれらを想定した平行平板形状をなすパワーを持たない光学部材ＧＬａ１を配置した例を示している。また、開口絞りＳａｔは形状や大きさを表すものではなく光軸Ｚ上の位置を示すものである。

【０１６７】

また、図１１には、軸上光線Ｊａ１から最大画角で入射する軸外光線Ｊａ５まで像高の低い方から順に５つの光線Ｊａ１、Ｊａ２、Ｊａ３、Ｊａ４、Ｊａ５が示してある。

【０１６８】

なお、図１２(a)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔａ２０は、上記５つの光線が受光面２１Ａ上に投影される各位置での２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示している。図１２(ｂ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔａ３０は上記と同様の各位置での３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図１２(ｃ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔａ４０も上記と同様の各位置での４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図１２(ｃ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔａ５０も上記と同様の各位置での５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化をそれぞれ示している。

【０１６９】

なお、図１１に示す構成例では、第４の単レンズＬａ４と受光面２１Ａとの間に光学部

材ＧＬａ１を配置した例を示しているが、各レンズの間にローパスフィルタや特定の波長域をカットするような各種フィルタを配置してもよい。あるいは、第１の単レンズＬａ１から第４の単レンズＬａ４のいずれかのレンズのレンズ面に、各種フィルタと同様の作用を有する表面処理（コーティング）を施してもよい。

【０１７０】

この撮像レンズ１０Ａは、物体側から順に、３枚の単レンズＬａ１、Ｌａ２、Ｌａ３からなる正のパワーを持つ第１のレンズ群ＧＦａと、１枚の単レンズＬａ４からなり負のパワーを持つ第２のレンズ群ＧＲａとを有するものであり、第２のレンズ群ＧＲａにおける最も像側に位置するレンズ面Ｒ８は軸外曲点Ｑａを有するものである。

【０１７１】

なお、上述のように、曲点は、レンズ面上の点であって、この点における接平面が光軸Ｃ（Ｚ軸）に対して直交する場合にその点を曲点という。さらに、レンズ面上の光軸と交わる点以外の曲点を軸外曲点という。

【０１７２】

この撮像レンズ１０Ａは、レンズ面Ｒ８が、このレンズ面Ｒ８の中心部において像側に凹面をなし周辺部において像側に凸面をなすものである。さらに、このレンズ面Ｒ８は、下記条件式（１）を満足するものである。

【０１７３】

０．５Ｈ＜ｈ＜Ｈ ……（１）

ただし、

Ｈ：レンズ面Ｒ８の有効半径、

ｈ：レンズ面Ｒ８の軸外曲点Ｑａから光軸までの距離。

【０１７４】

なお、レンズ面Ｒ８の軸外曲点Ｑａから光軸までの距離ｈは、非球面頂点の接平面（光軸に垂直な平面）に対する接平面の傾きが０となる非球面上の点の光軸からの高さであるとも言える。

【０１７５】

さらに、この撮像レンズ１０Ａの第１のレンズ群ＧＦａを構成する３枚の単レンズＬａ１、Ｌａ２、Ｌａ３のうち最も被写体側（図中矢印－Ｚ方向の側）に位置する１枚目の単レンズＬａ１は、正のパワーを持ち、かつ、この単レンズＬａ１の被写体側のレンズ面Ｒ１が被写体側に凸面をなすものである。第１のレンズ群ＧＦａ中の１枚目の単レンズＬａ１と隣り合う２枚目の単レンズＬａ２は、負のパワーを持ち、かつ、この２枚目の単レンズＬａ２の像側（図中矢印＋Ｚ方向の側）のレンズ面Ｒ４が像側に凸面をなすものである。第１のレンズ群ＧＦａ中の最も像側に位置する３枚目の単レンズＬａ３は正のパワーを持つものである。

【０１７６】

以下、実施例１にかかる撮像レンズ１０Ａの設計データについて説明する。

【０１７７】

レンズデータおよび各種データを表１に、各非球面における非球面式の各係数を表２に、撮像レンズ１０Ａの概略仕様を表３に示す。

【表１】

実施例1 （4枚玉）

面番号	Ri	Di	Ndj	νdj
開口絞り	∞	0.119		
1*	2.070	1.110	1.47136	76.6
2*	−15.959	0.800		
3*	−2.162	0.679	1.60595	27.0
4*	−9.117	0.100		
5*	6.048	1.000	1.51007	56.2
6*	29.492	0.314		
7*	2.160	1.100	1.51007	56.2
8*	1.782	0.700		
9	∞	0.300	1.51633	64.1
10	∞	0.376		
像面	∞	0.000		

焦点距離 5.277
F値 2.8

【０１７８】

【表２】

実施例1 （4枚玉）

面番号	K	A3	A4	A5	A6
1	1.21129740	−0.02464958	0.05275897	−0.12023671	0.05100521
2	−10.00343250	−0.00475970	−0.02553074	−0.01379899	−0.01198224
3	1.55127390	−0.00118810	−0.13263220	0.10838046	0.00206148
4	−9.27863960	−0.10122820	−0.11447178	0.12665960	0.00449924
5	−50.08963290	−0.13043949	0.06749931	0.00339300	−0.01076773
6	10.02612250	−0.01717648	−0.00600583	−0.00521320	−0.00090616
7	−10.06977900	0.03412823	−0.07001306	−0.00663654	0.00200906
8	−4.22653160	0.03095479	−0.07589071	0.02710552	−0.00354984

面番号	A7	A8	A9	A10
1	0.04176113	−0.01010916	−0.04612620	0.01953189
2	0.00539686	0.01124139	−0.01613398	0.00437339
3	−0.04216384	0.00198517	0.04783041	−0.02009110
4	−0.02944682	−0.00473446	0.00920799	0.00141127
5	−0.00966040	−0.00019870	0.00284438	−0.00122221
6	−0.00162871	−0.00057243	0.00043875	−0.00004603
7	0.00239877	−0.00064428	−0.00007006	0.00007089
8	−0.00120134	0.00045058	0.00008157	−0.00003850

【０１７９】

【表３】

実施例1 F値2．8／焦点距離5．277mm 4枚構成

点像の有効領域の最大径Dmax(μm)	各画素領域の画素ピッチ毎に換算した、点像の有効領域の最大径Dmaxに対応する画素数Ngs			最短撮影距離Sk（mm）	焦点深度Sd(μm)	h：H/2
	画素ピッチPg＝2.2μm換算	画素ピッチPg＝1.85μm換算	画素ピッチPg＝1.4μm換算			
10	4.5	5.7	7.1	26 f	250	1.73:1.38
7	3.2	4.0	5.0	22 f	300	

【０１８０】

表１のレンズデータの下方に示すように、撮像レンズ１０Ａの焦点距離ｆは５．２７７

ｍｍ、Ｆ値は２．８である。

【０１８１】

表１のレンズデータにおいて、面番号は最も被写体側のレンズ面を１番目として像側に向かうに従い順次増加するｉ番目（ｉ＝１、２、３、…）の面番号を示す。なお、表１には開口絞りＳａｔと光学部材ＧＬａ１も含めて記載しており、光学部材ＧＬａ１の面番号（ｉ＝９、１０）も記載している。

【０１８２】

表１のＲｉはｉ番目（ｉ＝１、２、３、…）の面の近軸曲率半径を示し、Ｄｉはｉ（ｉ＝１、２、３、…）番目の面とｉ＋１番目の面との光軸Ｚ上の面間隔を示す。表１のＲｉは、図１における符号Ｒｉ（ｉ＝１、２、３、…）と対応している。

【０１８３】

表１のＮｄｊは最も被写体側の光学要素を１番目として像側に向かうに従い順次増加するｊ番目（ｊ＝１、２、３、…）の光学要素のｄ線（波長５８７．６ｎｍ）に対する屈折率を示し、νｄｊはｊ番目の光学要素のｄ線に対するアッベ数を示す。表１において、近軸曲率半径および面間隔の単位はｍｍであり、近軸曲率半径は被写体側に凸の場合を正、像側に凸の場合を負としている。なお、表１中の記号の意味は後述の実施例についても同様である。

【０１８４】

表１のレンズデータにおいて、非球面は面番号に＊印を付している。各非球面は下記非球面式により定義される。

【数１】

$$Z=\frac{Y^2/R}{1+(1-K\cdot Y^2/R^2)^{1/2}}+\sum_{i=3}^{20}AiY^i$$

Z：非球面深さ（高さYの非球面上の点から、非球面頂点が接する光軸に垂直な平面に下ろした垂線の長さ）

Y：高さ（光軸からの距離）

R：近軸曲率半径

K、Ai：非球面係数（i=3～20）

【０１８５】

非球面式における各非球面の各係数Ｋ、Ａ３、Ａ４、Ａ５・・・の値を表２に示す。

【０１８６】

撮像レンズ１０Ａを構成する単レンズＬａ１～Ｌａ４それぞれは、いずれも入射側および射出側のレンズ面が両方共に非球面形状をなすものである。

【０１８７】

また、表３には、実施例１の撮像系における、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘ、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘに対応する画素数（画素領域の数）Ｎｇｓ、最短撮影距離Ｓｋ、焦点深度Ｓｄの関係を示す。

【０１８８】

なお、表３中の「ｈ：Ｈ／２」の欄は、「ｈ」が光軸から上記レンズ面Ｒ８の軸外曲点までの距離を示している。また、「Ｈ／２」が、レンズ面Ｒ８の有効半径Ｈの１／２の大きさ（０．５Ｈの大きさ）を示している。ここで、レンズ面Ｒ８が、上記「０．５Ｈ＜ｈ＜Ｈ」の条件式（１）を満足するものであることがわかる。

【０１８９】

また、表３中の画素数Ｎｇｓは、点像の有効領域の最大径に対応する画素領域の数を受光面上の画素領域の各画素ピッチＰｇ（２．２μｍ、１．８５μｍ、１．４μｍ）毎に示している。ここで、画素数Ｎｇｓの値は、画素数Ｎｇｓ＝最大径Ｄｍａｘ／画素ピッチＰ

ｇの式によって求められるものである。

【０１９０】

上記点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘは、この点像の有効領域が最も多くの画素を含む方向における点像の有効領域の径であり、画素ピッチはＰｇは上記方向における画素領域（受光画素）のピッチである。

【０１９１】

最短撮影距離Ｓｋは、撮像レンズを実用に供するときの推奨値であり、所望の解像度で被写体の像を受光面上に投影可能な撮影レンズから被写体までの最短距離を示すものである。この最短距離は、撮影レンズの最も被写体側のレンズ面（ここではレンズ面Ｒ１）から被写体までの距離（撮影距離）によって表されるものである。

【０１９２】

この最短撮影距離は、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を復元処理によって高める効果が得られる撮影距離の範囲内に含まれるものである。

【０１９３】

なお、実施例１から３の撮像系において、画像データの品質を復元処理によって高める効果が得られる撮影距離の範囲は、撮影距離が０から∞（無限遠方）までの範囲であり、被写体を撮影可能な全範囲である。

【０１９４】

焦点深度Ｓｄは、撮像レンズに対する被写体の位置を固定した状態で受光面をデフォーカスさせたときに、受光面上に被写体の像を規定以上の解像度で投影可能なデフォーカスの範囲を示すものである。この焦点深度Ｓｄは、撮像レンズに対する受光面の位置を所定位置に固定した状態において被写体を所定解像度で受光面上に投影可能な撮影距離の範囲とある程度対応すると考えられる値である。すなわち焦点深度Ｓｄの値が大きくなれば、被写体を所定解像度で受光面上に投影可能な撮影距離の範囲も広がると考えられる。

【０１９５】

なお、上記非球面式の定義、および表1、表２、表３中におけるレンズデータ、各種データ、非球面式の各係数、撮像レンズの概略仕様に関する式、数値、用語等の意味するものは、後述の実施例についても同様である。

【０１９６】

表３からわかるように、実施例１の撮像系は、受光面２１Ａに投影された点像の有効領域が７μｍ以上、かつ、受光面２１Ａを構成する受光画素の画素ピッチが２．２μｍ以下であるときに点像の有効領域の最大径が３画素（３．２画素）以上に亘るものとなるように構成されている。

【０１９７】

また、最短撮影距離Ｓｋの値は、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを１０μｍとしたときには２６ｆ（約１３７ｍｍ）、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを７μｍとしたときには２２ｆ（約１１６ｍｍ）となる。

【０１９８】

撮像レンズ１０Ａの焦点深度Ｓｄの値は、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを１０μｍとしたときには２５０μｍ、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを７μｍとしたときには３００μｍとなる。

【０１９９】

上記実施例１の撮像系に関するＭＴＦ特性の値については、受光面２１Ａを撮像レンズ１０Ａに対して最も接近させたとき、すなわち図１２（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量Ｕｄの値が０のときには、空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性の値が正である。

【０２００】

また、受光面２１Ａを撮像レンズ１０Ａから遠ざけたとき、すなわち図１２（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量の値を３００μｍとしたときには、空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性の値が正である。

【０２０１】
すなわち、デフォーカス量の値が０～３００μｍの範囲内のときには、空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍにおける全てのＭＴＦ特性の値が正となる。
【０２０２】
デフォーカス量の値が３００μｍから４００μｍの範囲おいては、空間周波数３０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍにおけるＭＴＦ特性の値が０％から反転し偽解像が生じている。偽解像が生じている範囲を図中矢印Ｇｉｋで示す。
【０２０３】
ここで、受光面上に投影された被写体の像に関するＭＴＦ特性の値が０％よりも大きいときには、この像を撮像して得られた画像データは光学的に意味のある情報を持つものと言えるので、この画像データは復元処理を実施して解像度を向上できる可能性のあるものとなる。しかしながら、受光面上に投影された被写体の像に関するＭＴＦ特性の値が０％または０％から折り返されて偽解像が生じている場合には、この像を撮像して得られた画像データは光学的に意味のある情報を持たないので、このような画像データに対して復元処理を施しても画像データの品質（画像データの表す画像の解像度）を向上させることはできない。
【０２０４】
上記のようなことにより、この撮像システムによれば、受光面２１Ａと撮像レンズ１０Ａとの位置関係を固定した所定の状態で撮影距離を２２ｆ～∞の範囲へ変化させたときに、被写体を受光面２１Ａ上に投影してなる像のＭＴＦ特性を常に０％より大きな値とすることができる(偽解像が生じないようにすることができる)。
【０２０５】
すなわち、撮影距離が０～∞の範囲において受光面２１Ａ上に投影される被写体の像を意味のある像とすることができる。
【０２０６】
さらに、撮影距離を０～∞の範囲で変化させたときにこの受光面２１Ａ上に投影される点像の有効領域は、受光面２１Ａ上の３画素以上に亘る大きさとなるので、この範囲に存在する被写体を撮像して得られた画像データに対して復元処理を実施することにより画像の解像度を高めることができる。
【０２０７】
すなわち、実施例１の撮像系を通して受光面２１Ａ上に投影された撮影距離が２２ｆ～∞の範囲に存在する種々の被写体を含む像を撮像して得られた画像データは復元処理を実施するための前提条件（解像度を向上させる条件）を満足するものと言える。
【０２０８】
なお、受光面２１Ａ上に投影される点像の大きさの変動を少なく抑えることによって、復元処理をより容易に実行することができる。すなわち、例えば、受光面上に投影される像が、互に異なる種々の撮影距離に存在する被写体を含むものであっても、各被写体の像を構成する点像のボケ状態が同様であれば、どのような位置に存在する被写体を表す画像データに対してもパラメータを変更することなく復元処理を実行することができる。これにより、復元処理の演算を行う信号処理部の負担を軽減することができる。
【０２０９】
一方、常に同じパラメータを用いて復元処理を実行することを前提とする場合には、受光面上に投影される互に異なる種々の撮影距離に存在する被写体の像を構成する点像のボケ状態が同様であれば、復元処理を実施することにより、どのような位置に存在する被写体を表す画像データに対してもその被写体を表す画像の解像度を同じように高めることができる。すなわち、復元処理の実施により画像の解像度を画像全体に亘って均一に高めることができる。
【０２１０】
このように、撮像レンズ１０Ａの焦点深度を大きくするような設計を施したことにより、撮像レンズ１０Ａを通して受光面２１Ａ上に投影された撮影距離が２２ｆ～∞の範囲に

存在する種々の被写体を含む像を撮像して得られた画像データによって表される画像全体の解像度を復元処理によって高めることが可能となる。

【０２１１】

また、上記のように設計された撮像レンズ１０Ａによれば、受光面２１Ａへ入射する光のこの受光面２１Ａに対する入射角を小さくすることができる、すなわちテレセントリック性の良好な撮像レンズを得ることができる。

【０２１２】

以下、実施例２および実施例３の撮像系について説明する。なお、実施例２および実施例３の撮像系の光学特性等については、上記実施例１の撮像系の光学特性と類似しているので、詳しい説明は省略する。

【０２１３】

《実施例２の撮像系について》

図１３は、実施例２に係る３枚の単レンズからなる撮像レンズ１０Ｂの概略構成を示す断面図、図１４(a)～(d)は横軸に受光面の光軸方向（Ｚ軸方向）のデフォーカス量Ｕｄ（μｍ）、縦軸にＭＴＦ特性の値（％）を示す座標上に、上記撮像レンズに対して受光面をデフォーカスさせたときにこの受光面に投影される光学像のＭＴＦ特性の値（％）の変化を示す図である。ここで、受光面のデフォーカス範囲は４００μｍである。

【０２１４】

また、撮像レンズ１０Ｂに関する撮像系のＭＴＦ特性を示す図１４(a)～(d)は、上述の撮像レンズ１０Ａに関するＭＴＦ特性を示す図１２(a)～(d)に対応するものである。

【０２１５】

図１３に示すように、撮像レンズ１０Ｂは、光軸Ｃ（Ｚ軸）に沿って被写体側（図中矢印－Ｚ方向の側）から順に、開口絞りＳｂｔ、第１の単レンズＬｂ１、第２の単レンズＬｂ２、第３の単レンズＬｂ３、第１の光学部材ＧＬｂ１、第２の光学部材ＧＬｂ２それぞれが配列されてなるものである。なお、図１３に示すレンズ面Ｒ１、Ｒ３、Ｒ５は、各単レンズＬｂ１～Ｌｂ３それぞれの入射側の面、レンズ面Ｒ２、Ｒ４、Ｒ６は、各単レンズＬｂ１～Ｌｂ３それぞれの射出側の面を示している。上記撮像レンズ１０Ｂを通して受光面２１Ｂ上に被写体の光学像が投影される。

【０２１６】

なお、第１の光学部材ＧＬｂ１、第２の光学部材ＧＬｂ２それぞれは、平行平板からなるパワーを持たない光学部材である。

【０２１７】

第３の単レンズＬｂ３と受光面２１Ｂとの間には、パワーを持たない第１の光学部材ＧＬｂ１、および第２の光学部材ＧＬｂ２が配置されている。

【０２１８】

また、図１３には、軸上光線Ｊｂ１から最大画角で入射する軸外光線Ｊｂ５まで像高の低い方から順に５つの光線Ｊｂ１、Ｊｂ２、Ｊｂ３、Ｊｂ４、Ｊｂ５が示してある。

【０２１９】

なお、図１４(a)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｂ２０は、上記５つの光線が受光面２１Ｂ上に投影される各位置での２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示している。図１４(ｂ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｂ３０は上記と同様の各位置での３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図１４(ｃ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｂ４０も上記と同様の各位置での４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図１４(ｃ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｂ５０も上記と同様の各位置での５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化をそれぞれ示している。

【０２２０】

この撮像レンズ１０Ｂは、被写体側から順に、２枚の単レンズＬｂ１、Ｌｂ２からなる正のパワーを持つ第１のレンズ群ＧＦｂ、１枚の単レンズＬｂ３からなり負のパワーを持つ第２のレンズ群ＧＲｂとを有するものであり、第２のレンズ群ＧＲｂにおける最も像側

（図中矢印Ｚ＋方向）に位置するレンズ面Ｒ６は軸外曲点Ｑｂを有するものである。

【０２２１】

上記撮像レンズ１０Ｂは、第２のレンズ群ＧＲｂにおける最も像側に位置するレンズ面Ｒ６が、このレンズ面Ｒ６の中心部において像側に凹面をなし周辺部において像側に凸面をなすものである。さらに、このレンズ面Ｒ６は、上記条件式（１）「０．５Ｈ＜ｈ＜Ｈ」を満足するものである。

【０２２２】

さらに、第１のレンズ群ＧＦｂを構成する２枚の単レンズＬｂ１、Ｌｂ２のうち被写体側（図中矢印－Ｚ方向の側）に位置する１枚目の単レンズＬｂ１は、正のパワーを持ち、かつ、この単レンズＬｂ１の被写体側のレンズ面Ｒ１が被写体側に凸面をなすものである。第１のレンズ群ＧＦｂ中の像側に位置する２枚目の単レンズＬｂ２は、この単レンズＬｂ２の像側のレンズ面Ｒ４が像側に凸面をなすものである。

【０２２３】

以下、実施例２にかかる撮像レンズ１０Ｂの設計データについて説明する。

【０２２４】

レンズデータおよび各種データを表４に、各非球面における非球面式の各係数を表５に、撮像レンズ１０Ｂの概略仕様を表６に示す。なお、表４のＲｉと図１３における符号Ｒｉとは対応している。

【表４】

実施例2 （3枚玉）

面番号	Ri	Di	Ndj	νdj
開口絞り	∞	-0.120		
1*	1.445	0.791	1.53114	55.4
2*	-3.395	0.223		
3*	-1.560	0.764	1.63178	23.2
4*	-11.065	0.234		
5*	1.703	0.960	1.53114	55.4
6*	1.334	0.396		
7	∞	0.495	1.52000	55.0
8	∞	0.244		
像面	∞	0.000	.	

焦点距離 3.312
F値 2.7

【０２２５】

【表５】

実施例2（3枚玉）

面番号	K	A3	A4	A5	A6
3	0.12852990	0.00976249	-0.03207688	-0.16317950	0.33466830
4	0.09999990	-0.03023295	-0.20760347	-0.06072193	-0.21300370
5	0.10063060	0.07041734	-0.65685088	0.00282485	1.80528090
6	0.09999950	-0.05637836	-0.77217239	0.03211432	2.38962630
7	0.03061670	-0.14017100	-0.88195617	0.01064477	0.95719211
8	0.04380360	-0.03479559	-0.36508266	-0.01863131	0.26961061

面番号	A7	A8	A9	A10	A11
3	0.07278352	-1.00740680	-0.47470325	3.41529050	-3.16337050
4	0.05253407	0.02422838	-0.03140656	0.09130447	-0.23804840
5	0.28010794	-7.67023220	0.16190599	19.86376700	-0.50337009
6	0.00339539	-5.71596040	0.08306921	10.35335700	0.03386329
7	0.01726570	-0.80297213	-0.00067235	0.40314453	0.00388345
8	0.03974424	0.14562228	-4.22996350	24.18613900	-82.26362800

面番号	A12	A13	A14	A15	A16
3	-14.25336100	5.61940790	64.11670800	3.13869750	-154.71176000
4	0.36479431	0.92530303	0.16338034	1.31874660	-1.09966870
5	-26.23953800	-0.07354199	14.72031400	2.25487560	0.40902761
6	-11.67464600	-0.05449995	6.27414510	-0.11930784	2.16706530
7	-0.02324472	0.00733302	-0.02721805	0.00632184	-0.00035338
8	187.43373000	-300.18131000	345.61445000	-287.81496000	171.95004000

面番号	A17	A18	A19	A20
3	-1.58385650	210.54242000	-49.25468100	-105.14658000
4	0.07820894	2.68233770	-16.16748300	8.80290720
5	2.07996040	-5.56428710	-8.63704520	4.82174560
6	-0.09071725	-4.49242640	0.05916245	1.59162020
7	0.00058318	-0.00054253	-0.00431963	-0.00138795
8	-71.87173800	19.95655700	-3.30686960	0.24744736

【０２２６】

【表６】

実施例2　　F値2．7／焦点距離3．312mm　3枚構成

点像の有効領域の最大径Dmax(μm)	各画素領域の画素ピッチ毎に換算した、点像の有効領域の最大径Dmaxに対応する画素数Ngs			最短撮影距離Sk（mm）	焦点深度Sd(μm)	h：H/2
	画素ピッチPg＝2.2μm換算	画素ピッチPg＝1.85μm換算	画素ピッチPg＝1.4μm換算			
7	3.2	4.0	5.0	16 f	250	0.96 :0.865

【０２２７】

撮像レンズ１０Ｂそれぞれを構成する全ての単レンズは、いずれの単レンズも入射側および射出側のレンズ面が両方共に非球面形状をなすものである。

【０２２８】

なお、表４のレンズデータの下方に示すように、撮像レンズ１０Ｂの焦点距離ｆは３．３１２ｍｍ、Ｆ値は２．７である。

【０２２９】

なお、表４、表５、表６中におけるレンズデータ、各種データ、非球面式の各係数、撮像レンズの概略仕様に関する式、数値、用語等の意味するものは、上記実施例１における

表１、２、３それぞれと同様なのでその説明を省略する。

【０２３０】

表６からわかるように、実施例２の撮像系は、受光面２１Ｂに投影された点像の有効領域が７μｍ以上、かつ、受光面２１Ｂを構成する受光画素の画素ピッチが２，２μｍ以下であるときに点像の有効領域の最大径が３画素（３．２画素）以上に亘るものとなるように構成されている。

【０２３１】

また、最短撮影距離Ｓｋの値は、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを７μｍとしたときには１６ｆ（約５３ｍｍ）となる。

【０２３２】

この最短撮影距離は、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を復元処理によって高める効果が得られる撮影距離の範囲内に含まれるものである。

【０２３３】

撮像レンズ１０Ｂの焦点深度Ｓｄの値は、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを７μｍとしたときには２５０μｍとなる。

【０２３４】

また、この実施例２の撮像系に関するＭＴＦ特性の値は、受光面２１Ｂを撮像レンズ１０Ｂに対して最も接近させたとき、すなわち図１４（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量Ｕｄの値を０μｍとしたときには空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性の値が正である。

【０２３５】

また、受光面２１Ｂを撮像レンズ１０Ｂから遠ざけたとき、すなわち図１４（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量の値を２５０μｍとしたときには、空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性についてその値が５％以上であり、デフォーカス量の値が２５０μｍから４００μｍの範囲においては、空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性の値が０％から反転し偽解像が生じている。偽解像が生じている範囲を図中矢印Ｇｉｋで示す。

【０２３６】

なお、デフォーカス量Ｕｄの値が０μｍと２５０μｍの間（上記焦点深度の範囲内）においては、空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性の値が正である。

【０２３７】

上記のように、実施例２の撮像系によれば、比較的広いデフォーカス範囲（約２５０μｍ）においてＭＴＦ特性の値が正となる。

【０２３８】

上記のようなことにより、実施例２の撮像系によれば、受光面２１Ｂと撮像レンズ１０Ｂとの位置関係を固定した所定の状態で撮影距離を０～∞の範囲へ変化させたときに、被写体を受光面２１Ｂ上に投影してなる像のＭＴＦ特性を常に０％より大きな値とすることができる(偽解像が生じないようにすることができる)。

【０２３９】

すなわち、撮影距離が１６ｆ～∞の範囲において受光面２１Ｂ上に投影される被写体の像を意味のある像とすることができる。

【０２４０】

さらに、撮影距離を１６ｆ～∞の範囲で変化させたときにこの受光面２１Ｂ上に投影される点像の有効領域は、受光面２１Ｂ上の３画素以上に亘る大きさとなるので、この範囲に存在する被写体を撮像して得られた画像データに対して復元処理を実施することにより画像の解像度を高めることができる。すなわち、実施例２の撮像系を通して得られた撮影距離０～∞の範囲に存在する被写体を表す画像データは復元処理を実施するための前提条件（解像度を向上させる条件）を満足するものと言える。

【０２４１】

このように、撮像レンズ１０Ｂの焦点深度を大きくするような設計を施したことにより

、撮影距離が１６ｆ～∞の範囲に存在する種々の被写体の像を同時に撮像して得られた画像データによって表される画像全体の解像度を復元処理によって高めることが可能となる。

【０２４２】

なお、実施例２の撮像系を実用に供するときには撮影距離を焦点距離の１０倍（約３３ｍｍ（１０ｆ））以上に限定することが望ましく、上記のように５３ｍｍ（１６ｆ）以上に限定することがさらに望ましい。

【０２４３】

このように撮影距離を３３ｍｍ～∞の範囲に限定すれば、被写体の像を撮像して得られた画像データに対して復元処理を施して画像の解像度を高めるより大きな効果を得ることができる。さらに撮影距離を５３ｍｍ～∞の範囲に限定すれば、被写体の像を撮像して得られた画像データに対して復元処理を施して画像の解像度を高めるさらに大きな効果を期待することができる。

【０２４４】

また、上記のように設計された実施例２の撮像レンズ１０Ｂによれば、上記実施例１の場合と同様に、受光面２１Ｂへ入射する光のこの受光面２１Ｂに対する入射角を小さくすることができる、すなわちテレセントリック性の良好な撮像レンズを得ることができる。

【０２４５】

《実施例３の撮像系について》

図１５は、実施例３に係る３枚の単レンズからなる撮像レンズ１０Ｃの概略構成を示す断面図、図１６(a)～(d)は横軸に受光面の光軸方向（Ｚ軸方向）のデフォーカス量Ｕｄ（μｍ）、縦軸にＭＴＦ特性の値（％）を示す座標上に、上記撮像レンズに対して受光面をデフォーカスさせたときにこの受光面に投影される光学像のＭＴＦ特性の値（％）の変化を示す図である。ここで、受光面のデフォーカス範囲は４００μｍである。

【０２４６】

なお、撮像レンズ１０Ｃに関するＭＴＦ特性を示す図１６(a)～(d)は、上述の撮像レンズ１０Ａに関するＭＴＦ特性を示す図１２(a)～(d)に対応するものである。

【０２４７】

図１５に示すように、撮像レンズ１０Ｃは、光軸Ｃ（Ｚ軸）に沿って被写体側（図中矢印－Ｚ方向の側）から順に、開口絞りＳｃｔ、第１の単レンズＬｃ１、第２の単レンズＬｃ２、第３の単レンズＬｃ３、光学部材ＧＬｃ１それぞれが配列されてなるものである。

【０２４８】

なお、図１５に示すレンズ面Ｒ１、Ｒ３、Ｒ５は、各単レンズＬｃ１～Ｌｃ３それぞれの入射側の面、レンズ面Ｒ２、Ｒ４、Ｒ６は、各単レンズＬｃ１～Ｌｃ３それぞれの射出側の面を示している。上記撮像レンズ１０Ｃを通して受光面２１Ｃ上に被写体の光学像が投影される。

【０２４９】

光学部材ＧＬｃ１は、平行平板からなるパワーを持たない光学部材である。

【０２５０】

また、図１５には、軸上光線Ｊｃ１から最大画角で入射する軸外光線Ｊｃ５まで像高の低い方から順に５つの光線Ｊｃ１、Ｊｃ２、Ｊｃ３、Ｊｃ４、Ｊｃ５が示してある。

【０２５１】

なお、図１６(a)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｃ２０は、上記５つの光線が受光面２１Ｂ上に投影される各位置での２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示している。図１６(ｂ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｃ３０は上記と同様の各位置での３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図１６(ｃ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｃ４０も上記と同様の各位置での４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図１６(ｃ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｃ５０も上記と同様の各位置での５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化をそれぞれ示している。

【０２５２】
この撮像レンズ１０Ｃは、被写体側から順に、２枚の単レンズＬｃ１、Ｌｃ２からなる正のパワーを持つ第１のレンズ群ＧＦｃ、１枚の単レンズＬｃ３からなり負のパワーを持つ第２のレンズ群ＧＲｃとを有するものであり、第２のレンズ群ＧＲｃにおける最も像側に位置するレンズ面Ｒ６は軸外曲点Ｑｃを有するものである。
【０２５３】
上記撮像レンズ１０Ｃは、第２のレンズ群ＧＲｃにおける最も像側に位置するレンズ面Ｒ６が、このレンズ面Ｒ６の中心部において像側に凹面をなし周辺部において像側に凸面をなすものである。さらに、このレンズ面Ｒ６は、上記条件式（１）「０．５Ｈ＜ｈ＜Ｈ」を満足するものである。
【０２５４】
さらに、第１のレンズ群ＧＦｃを構成する２枚の単レンズＬｃ１、Ｌｃ２のうち被写体側に位置する１枚目の単レンズＬｃ１は、正のパワーを持ち、かつ、この単レンズＬｃ１の被写体側のレンズ面Ｒ１が被写体側に凸面をなすものである。第１のレンズ群ＧＦｃ中の像側に位置する２枚目の単レンズＬｃ２は、この単レンズＬｃ２の像側のレンズ面Ｒ４が像側に凸面をなすものである。
【０２５５】
以下、実施例３にかかる撮像レンズ１０Ｃの設計データについて説明する。
【０２５６】
レンズデータおよび各種データを表７に、各非球面における非球面式の各係数を表８に、撮像レンズ１０Ｃの概略仕様を表７に示す。なお、表７のＲｉと図１５における符号Ｒｉとは対応している。
【表７】

実施例3 （3枚玉）

面番号	Ri	Di	Ndj	νdj
開口絞り	∞	-0.120		
1*	1.445	0.791	1.53114	55.4
2*	-3.395	0.223		
3*	-1.560	0.764	1.63178	23.2
4*	-11.065	0.234		
5*	1.703	0.960	1.53114	55.4
6*	1.334	0.396		
7	∞	0.495	1.52000	55.0
8	∞	0.244		
像面	∞	0.000		

焦点距離 4.043
F値 3.5

【０２５７】

【表８】

実施例3 （3枚玉）

面番号	K	A3	A4	A5	A6
1	1.46821160	-0.02006750	-0.01716269	-0.07488272	-0.00807329
2	5.91246140	0.03858523	-0.00390848	0.00521844	0.42149785
3	2.68478870	-0.01203839	-0.03769086	-0.00672518	-0.10003112
4	-22.94585750	-0.26256773	0.06660669	-0.05308108	0.03934465
5	-4.05769940	-0.31290897	-0.02907510	0.05714552	0.02834143
6	-3.33611150	-0.11799765	-0.09043585	0.08521950	-0.00370655

面番号	A7	A8	A9	A10
1	0.20927058	-0.00396025	-0.39769240	0.03759849
2	0.16034238	-0.77511754	-1.93911820	3.57739830
3	-0.04142547	0.12137291	0.16117261	-0.24036373
4	-0.01863391	0.01654903	0.02453973	-0.01496812
5	-0.01023398	-0.00261078	0.00553029	-0.00251202
6	-0.01246110	-0.00340986	0.00410789	-0.00065698

【０２５８】

【表９】

実施例3　　F値3．5／焦点距離4．043　3枚構成

点像の有効領域の最大径Dmax(μm)	各画素領域の画素ピッチ毎に換算した、点像の有効領域の最大径Dmaxに対応する画素数Ngs			最短撮影距離Sk（mm）	焦点深度Sd(μm)	h：H/2
	画素ピッチPg＝2.2μm換算	画素ピッチPg＝1.85μm換算	画素ピッチPg＝1.4μm換算			
10	4.5	5.7	7.1	15 f	350	1.04:0.94

【０２５９】

撮像レンズ１０Ｃそれぞれを構成する全ての単レンズは、いずれの単レンズも入射側および射出側のレンズ面が両方共に非球面形状をなすものである。

【０２６０】

なお、表７のレンズデータの下方に示すように、撮像レンズ１０Ｃの焦点距離ｆは４．０４３ｍｍ、Ｆ値は３．５である。

【０２６１】

なお、表７、表８、表９中のレンズデータ、各種データ、非球面式の各係数、撮像レンズの概略仕様に関する式、数値、用語等の意味するものは、上記実施例１における表１、２、３それぞれと同様なのでその説明を省略する。

【０２６２】

表９からわかるように、実施例３の撮像系は、受光面２１Ｃに投影された点像の有効領域が１０μｍ以上、かつ、受光面２１Ｃを構成する受光画素の画素ピッチが２．２μｍ以下であるときに点像の有効領域の最大径が３画素（４．５画素）以上に亘るものとなるように構成されている。

【０２６３】

また、最短撮影距離Ｓｋの値は、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを１０μｍとしたときには１５ｆ（約６０ｍｍ）となる。

【０２６４】

この最短撮影距離は、受光面に投影された光学像を撮像して得られる画像データの品質を復元処理によって高める効果が得られる撮影距離の範囲内に含まれるものである。

【０２６５】

撮像レンズ１０Ｃの焦点深度Ｓｄの値は、点像の有効領域の最大径Ｄｍａｘを１０μｍとしたときには３５０μｍとなる。

【０２６６】
また、この実施例３の撮像系に関するＭＴＦ特性の値は、受光面２１Ｃを撮像レンズ１０Ｃに対して最も接近させたとき、すなわち図１６（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量Ｕｄの値を０μｍとしたときには、空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性の値が正である。
【０２６７】
また、受光面２１Ｃを撮像レンズ１０Ｃから遠ざけたとき、すなわち図１６（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量の値を３００μｍとしたときには空間周波数が２０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍの全てのＭＴＦ特性の値が数％以上であり、デフォーカス量の値が３００μｍから４００μｍの範囲においては、空間周波数が３０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍのＭＴＦ特性の値が０％から反転し偽解像が生じている。
【０２６８】
上記のように、実施例３の撮像系によれば、比較的広いデフォーカス範囲（約３００μｍ）においてＭＴＦ特性の値が正となる。
【０２６９】
上記のようなことにより、この撮像システムによれば、受光面２１Ｃと撮像レンズ１０Ｃとの位置関係を固定した所定の状態で、撮影距離を１５ｆ～∞の範囲で変化させたときに被写体を受光面２１Ｃ上に投影してなる像のＭＴＦ特性を常に０％より大きな値とすることができる(偽解像が生じないようにすることができる)。
【０２７０】
すなわち、撮影距離が１５ｆ～∞の範囲において受光面２１Ｃ上に投影される被写体の像を意味のある像とすることができる。
【０２７１】
さらに、撮影距離を１５ｆ～∞の範囲で変化させたときにこの受光面２１Ｃ上に投影される点像の有効領域は、受光面２１Ｃ上の３画素以上に亘る大きさとなるので、どのような位置に存在する被写体を撮像して得られた画像データであっても復元処理を実施することにより画像の解像度を高めることができる。すなわち、実施例３の撮像系を通して得られた全ての画像データは復元処理を実施するための前提条件（解像度を向上させる条件）を満足するものと言える。
【０２７２】
このように、撮像レンズ１０Ｃの焦点深度を大きくするような設計を施したことにより、撮影距離が１５ｆ～∞の範囲に存在する種々の被写体の像を同時に撮像して得られた画像データによって表される画像全体の解像度を復元処理によって高めることが可能となる。
【０２７３】
なお、上記のように撮影距離を６０ｍｍ～∞の範囲に限定することにより、被写体の像を撮像して得られた画像データに対して復元処理を施して画像の解像度を高めるより大きな効果を得ることができる。
【０２７４】
また、上記のように設計された実施例３の撮像レンズ１０Ｃは、上記実施例１の場合と同様に、受光面２１Ｃへ入射する光のこの受光面２１Ｃに対する入射角を小さくすることができる、すなわちテレセントリック性の良好な撮像レンズである。
【０２７５】
《実施例１～３にかかる撮像レンズの収差について》
図１７は撮像レンズ１０Ａに関する収差、図１８は撮像レンズ１０Ｂに関する収差、図１９は撮像レンズ１０Ｃに関する収差を示す図である。実施例１～３にかかる撮像レンズの各収差図を、図１７～図１９それぞれにおいて上から順に球面収差、非点収差、ディストーション（歪曲収差）、倍率色収差の順番で示す。
【０２７６】
各収差図には、ｅ線（波長５４６．０７ｎｍ）を基準波長とした収差を示すが、球面収

差図および倍率色収差図には、Ｆ線（波長４８６．１ｎｍ）、Ｃ線（波長６５６．３ｎｍ）についての収差も示す。ディストーションの図は、全系の焦点距離ｆ、半画角θ（変数扱い、０≦θ≦ω）を用いて、理想像高をｆ×ｔａｎθとし、それからのずれ量を示す。

【０２７７】

《比較例の撮像系について》

以下、比較例として携帯電話用カメラ等に使用される従来の撮像レンズについて説明する。

【０２７８】

図２０は比較例に係る４枚の単レンズからなる撮像レンズの概略構成を示す断面図、図２１(a)～(d)は、横軸に受光面の光軸方向（Ｚ軸方向）のデフォーカス量Ｕｄ（μｍ）、縦軸にＭＴＦ特性の値（％）を示す座標上に、上記撮像レンズに対して受光面をデフォーカスさせたときにこの受光面に投影される光学像のＭＴＦ特性の値（％）の変化を示す図である。ここで、受光面のデフォーカス範囲は４００μｍである。

【０２７９】

なお、ＭＴＦ特性を示す図２１(a)～(d)は、上述の撮像レンズ１０Ａに関するＭＴＦ特性を示す図１２(a)～(d)等に対応するものである。

【０２８０】

図２０に示すように比較例の撮像レンズ１０Ｈは、光軸Ｃ（Ｚ軸）に沿って被写体側（図中矢印－Ｚ方向の側）から順に、第１の単レンズＬｈ１、第２の単レンズＬｈ２、第３の単レンズＬｈ３、第４の単レンズＬｈ４、光学部材ＧＬｈ１それぞれが配列されてなるものである。これらの４枚の単レンズを有する撮像レンズ１０Ｈは、被写界深度が深くなるように設計されたものである。

【０２８１】

上記撮像レンズ１０Ｈを通して受光面２１Ｈ上に被写体の光学像が投影される。

【０２８２】

なお、光学部材ＧＬｈ１は、平行平板からなるパワーを持たない光学部材である。

【０２８３】

また、図２０には、軸上光線Ｊｈ１から最大画角で入射する軸外光線Ｊｈ５まで像高の低い方から順に５つの光線Ｊｈ１、Ｊｈ２、Ｊｈ３、Ｊｈ４、Ｊｈ５が示してある。

【０２８４】

なお、図２１(a)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｈ２０は、上記５つの光線が受光面２１Ｈ上に投影される各位置での２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示している。図２１(ｂ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｈ３０は上記と同様の各位置での３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図２１(ｃ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｈ４０も上記と同様の各位置での４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を、図２１(ｄ)中に記載の５本のＭＴＦ曲線Ｍｔｈ５０も上記と同様の各位置での５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化をそれぞれ示している。

【０２８５】

上記比較例の撮像系に関するＭＴＦ特性の値は、受光面を撮像レンズに接近させたとき、すなわち図２１（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量の値が概略０から１２０μｍの範囲に関し、空間周波数が３０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍのＭＴＦ特性についてその値が０％から反転し偽解像が生じた状態となっている。偽解像が生じている範囲を図中矢印Ｇｉｋで示す。

【０２８６】

また、受光面を撮像レンズから遠ざけたとき、すなわち図２１（ａ）～（ｄ）においてデフォーカス量の値が２８０μｍから４００μｍの範囲に関し、空間周波数が３０～５０Ｌｉｎｅ/ｍｍのＭＴＦ特性についてその値が０％から反転し偽解像が生じた状態となっている。偽解像が生じている範囲を図中矢印Ｇｉｋで示す。

【０２８７】

ここで、デフォーカス量Ｕｄの値が１２０μｍと２８０μｍの間（焦点深度の範囲）においてはＭＴＦ特性の値が正であり、各空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変動幅は８５％（５０Ｌｉｎｅ/ｍｍ）、９０％（４０Ｌｉｎｅ/ｍｍ）、７０％（３０Ｌｉｎｅ/ｍｍ）、４５％（２０Ｌｉｎｅ/ｍｍ）程度となっている。

【０２８８】

上記のように、比較例の撮像系によれば、比較的狭いデフォーカス範囲（約１６０μｍの範囲）のみにおいてＭＴＦ特性の値が正となり、ＭＴＦ特性の値の変動量が大きい。

【０２８９】

ＭＴＦ特性の値が０％から反転しているデフォーカスの範囲（図中矢印Ｇｉｋで示す）については、点像は偽解像されたものであり、有効領域が３画素以上に亘ると特定できるような光学的に意味のある像は得られない。

【０２９０】

すなわち、かなり限定された撮影距離の範囲においてのみＭＴＦ特性の値が正となり、すなわち受光面上に投影された被写体の像を意味のある像とすることができる。また、受光面上に投影される点像の大きさの変動量は大きい。

【０２９１】

さらに、この比較例の撮像系は、撮影距離を０～∞の範囲で変化させたときに受光面上に投影される点像の有効領域がこの受光面上の３画素以上に亘る大きさとなように構成されているわけではないので、このような撮像系を通して得られた画像データは復元処理を実施するための前提条件（解像度を向上させる条件）を満足するものではない。

【０２９２】

したがって、比較例の撮像系を通して受光面２１Ｈ上に投影された被写体の像を撮像して得られた画像データに対して復元処理を施しても、この被写体を表す画像の解像度を向上させる効果を得ることはできない。

【０２９３】

なお、上記実施例では、撮像レンズを種々の条件で限定した例を示したが、本発明の撮像システムに用いられる撮像レンズは、物体側から順に、少なくとも１枚のレンズからなる正のパワーを持つ第１のレンズ群と、少なくとも１枚のレンズからなる、最も像側に位置するレンズが負のパワーを持つ第２のレンズ群とを有するものを用いるものであり、各群を構成するレンズ枚数や形状等が限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【０２９４】

【図１】本発明の撮像システムの概略構成および撮像システムの製造方法を示すブロック図

【図２】図２（ａ）は点像の光強度分布を示す図、図２（ｂ）は受光面に投影された点像を示す図

【図３】図３（ａ）は第１の画像データの表す画像中に表示される点像の画像を示す図、図３（ｂ）は第２の画像データの表す画像中に表示される点像の画像を示す図

【図４】図４（ａ）は撮像レンズの解像力が高いときに受光面上に投影されるであろう点像の光強度分布を示す図、図４（ｂ）は受光面を構成する受光画素の各画素領域および撮像レンズの解像力が高いときに受光面に投影されるであろう点像を示す図

【図５】第２例の復元係数取得装置を示す図

【図６】第３例の復元係数取得装置を示す図

【図７】復元係数取得装置を備えた撮像システムを示す図

【図８】復元係数取得装置および係数記憶部を信号処理部に備えた撮像システムを示す図

【図９】物点を光軸方向に移動させたときに受光面上に投影されるその物点の光学像である点像の有効領域の最大径の変化を示す図

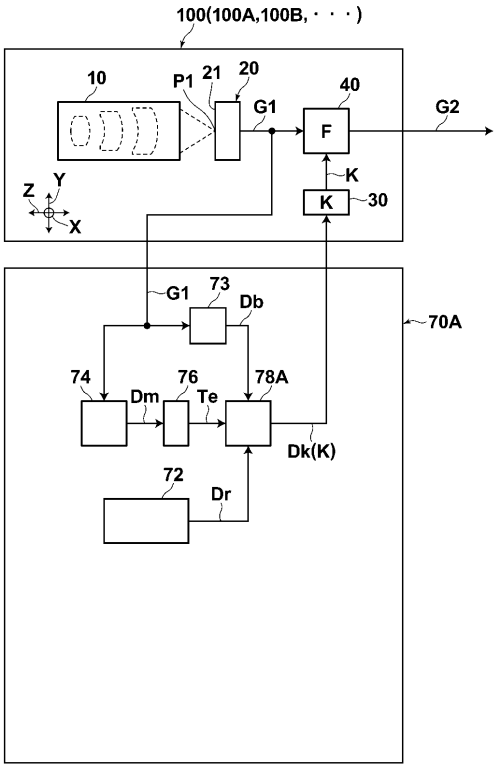
【図１０】物点を光軸方向に移動させたときに受光面上に投影されるその物点の光学像に関するＭＴＦ特性の値の変化を示す図

【図１１】実施例１の撮像系に配された撮像レンズの概略構成を示す断面図

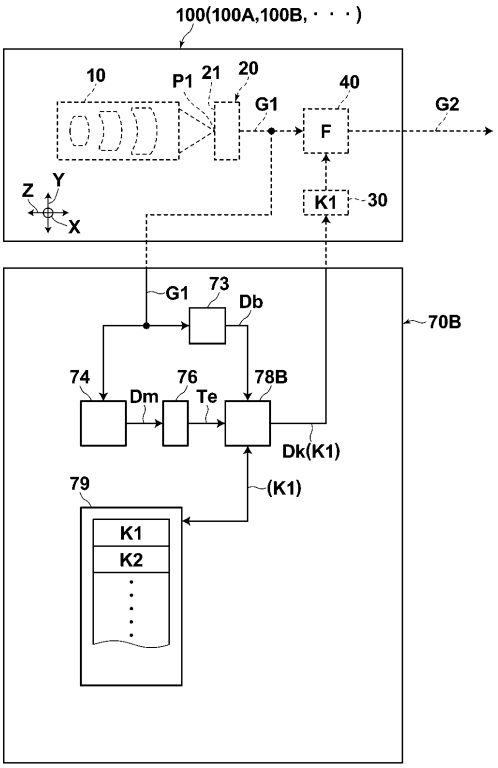
【図１２】受光面をデフォーカスさせたときのＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１２(a)は２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１２(ｂ)は３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１２(ｃ)は４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１２(ｄ)は５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図
【図１３】実施例２の撮像系に配された撮像レンズの概略構成を示す断面図
【図１４】受光面をデフォーカスさせたときのＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１４(a)は２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１４(ｂ)は３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１４(ｃ)は４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１４(ｄ)は５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図
【図１５】実施例３の撮像系に配された撮像レンズの概略構成を示す断面図
【図１６】受光面をデフォーカスさせたときのＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１６(a)は２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１６(ｂ)は３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１６(ｃ)は４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図１６(ｄ)は５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図
【図１７】実施例１の撮像レンズに関する収差を示す図
【図１８】実施例２の撮像レンズに関する収差を示す図
【図１９】実施例３の撮像レンズに関する収差を示す図
【図２０】比較例の撮像系に配された撮像レンズの概略構成を示す断面図
【図２１】受光面をデフォーカスさせたときのＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図２１(a)は２０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図２１(ｂ)は３０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図２１(ｃ)は４０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図、図２１(ｄ)は５０本／ｍｍの空間周波数におけるＭＴＦ特性の値の変化を示す図
【図２２】撮像システムを備えた車載機器が搭載されている自動車を示す図
【図２３】撮像システムを備えた携帯端末機器である携帯電話機を示す図
【図２４】撮像システムを備えた医療機器である内視鏡装置を示す図
【符号の説明】
【０２９５】
１０　撮像レンズ
２０　撮像素子
２１　受光面
３０　係数記憶部
４０　信号処理部
７０Ａ　第１例の復元係数取得装置
７０Ｂ　第２例の復元係数取得装置
７０Ｃ　第３例の復元係数取得装置
７２　理想点像記憶部
７４　点像径取得部
７６　判定部
７８　復元係数取得部
７９　候補係数記憶部
１００　撮像システム
Ｇ１　第１の画像データ
Ｇ２　第２の画像データ
Ｆ　復元処理
Ｐ１　点像
Ｋ　復元係数

Ｄｒ　　設計データ、理想点像状態データ
Ｄｂ　　ボケ点像状態データ
Ｄｋ　　係数データ

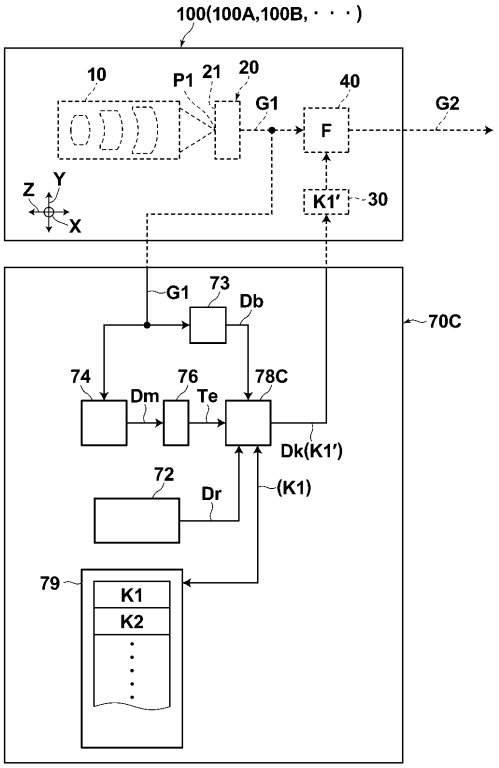
【図１】



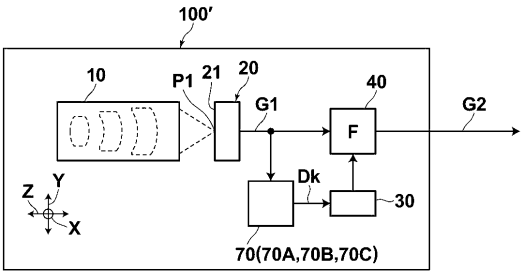
【図５】



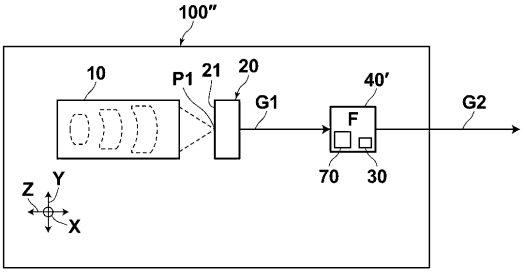
【図６】



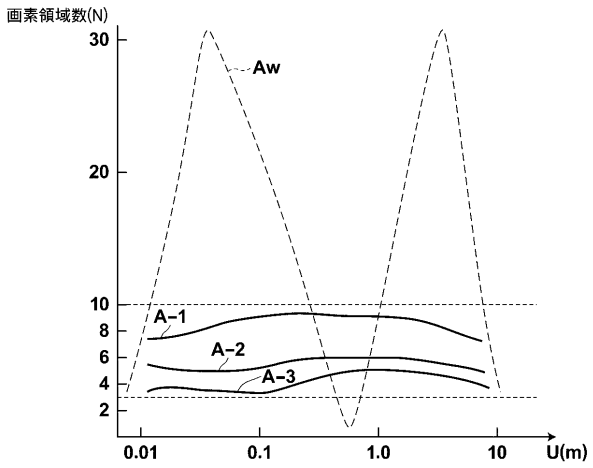
【図７】



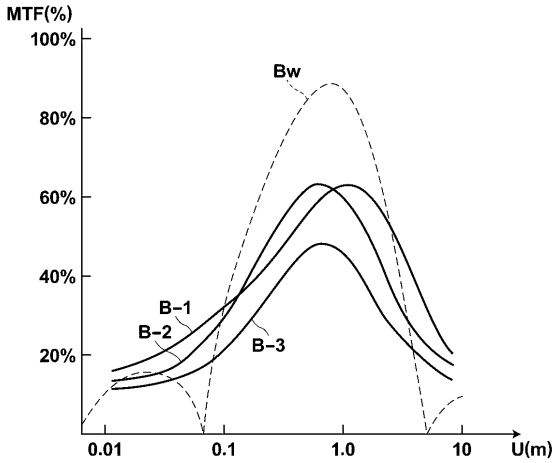
【図８】



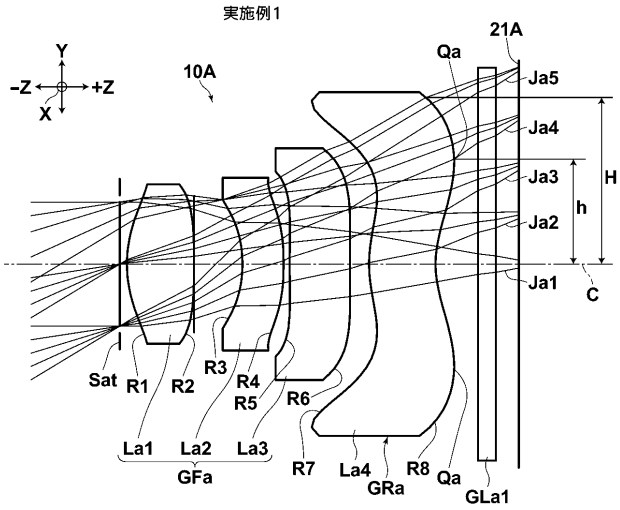
【図９】



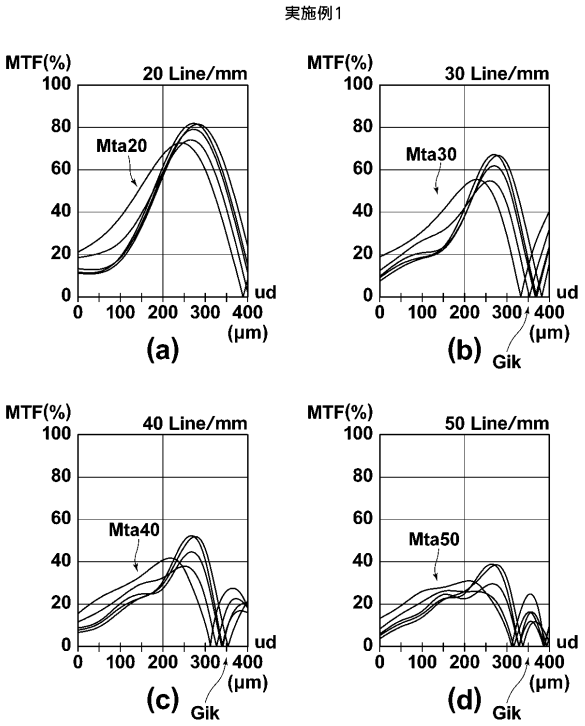
【図１０】



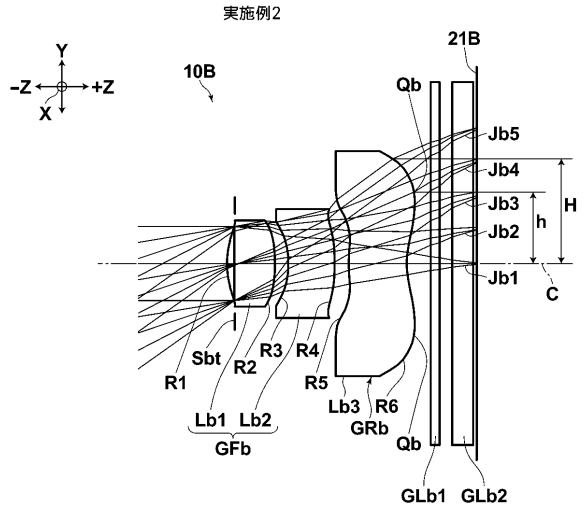
【図１１】



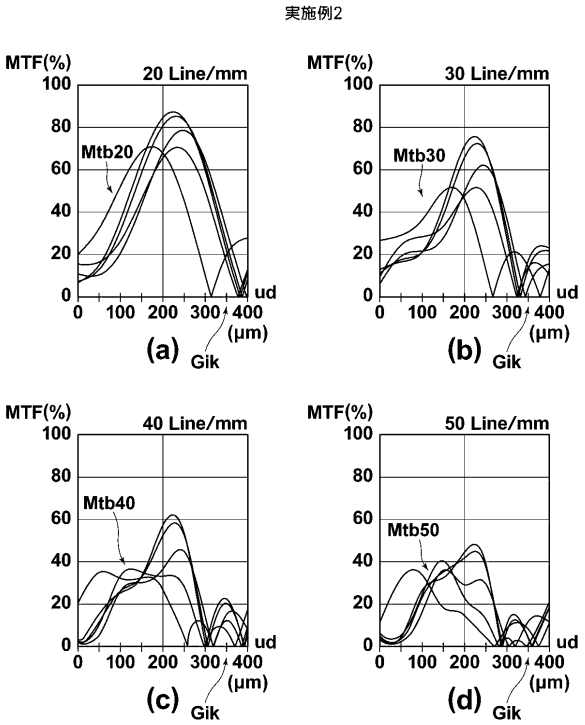
【図１２】



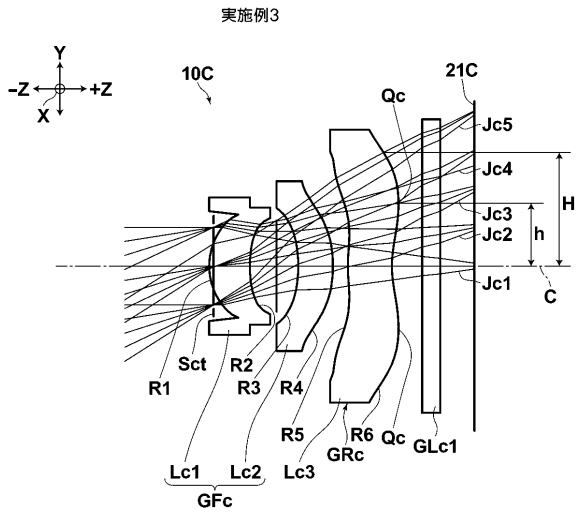
【図１３】



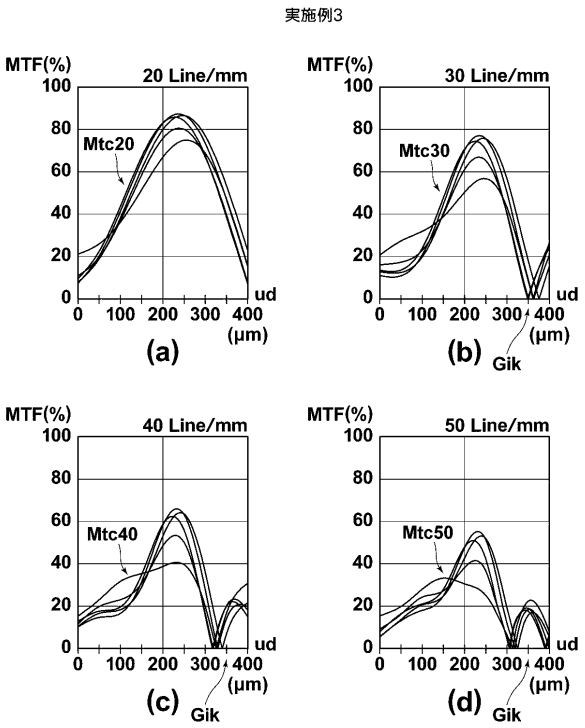
【図１４】



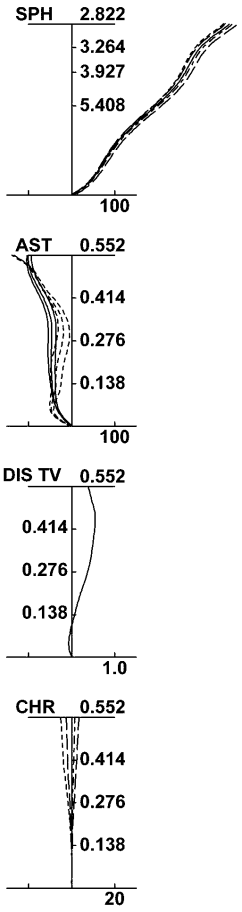
【図１５】



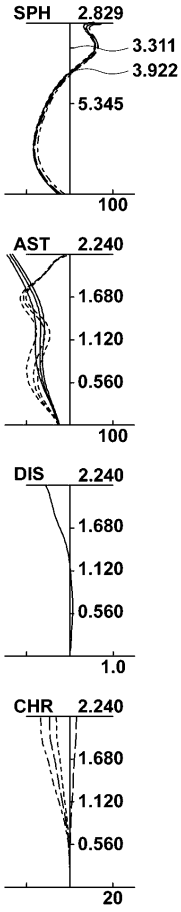
【図１６】



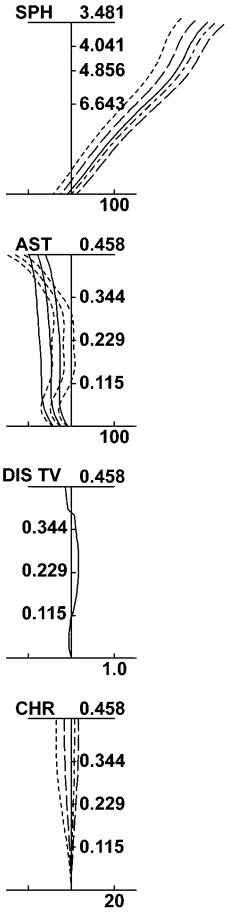
【図１７】



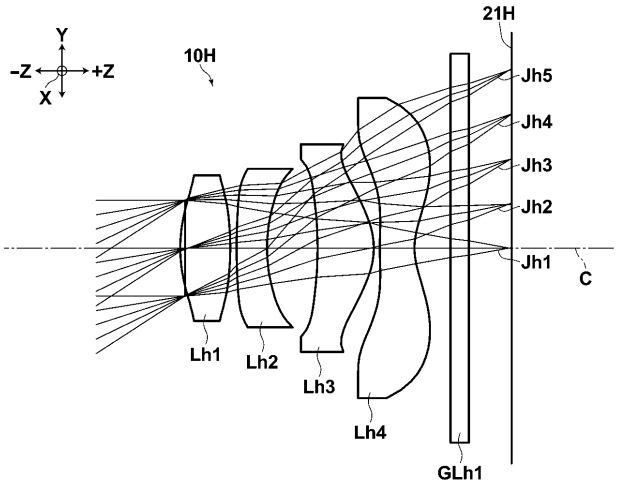
【図１８】



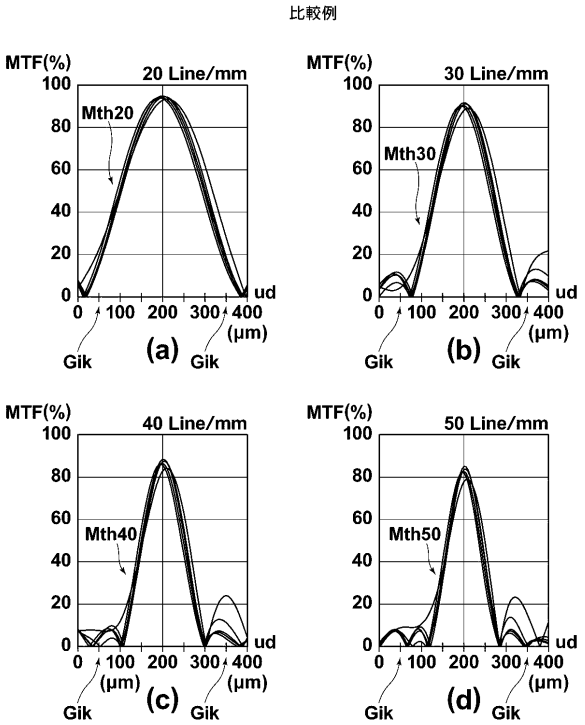
【図１９】



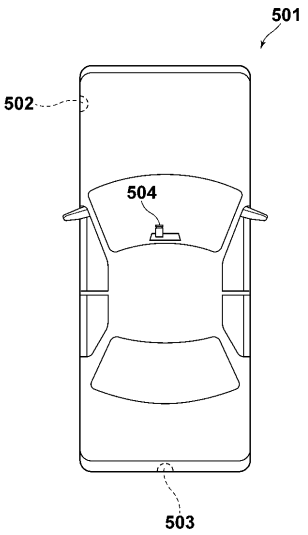
【図２０】



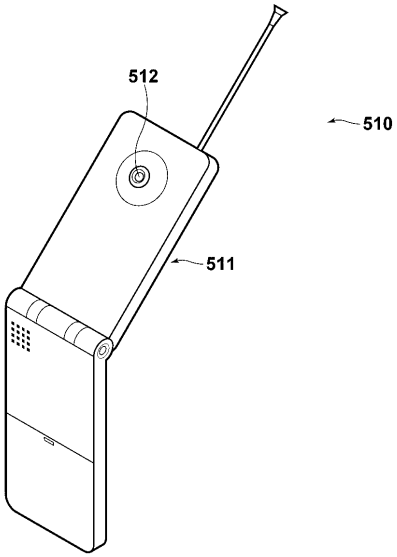
【図２１】



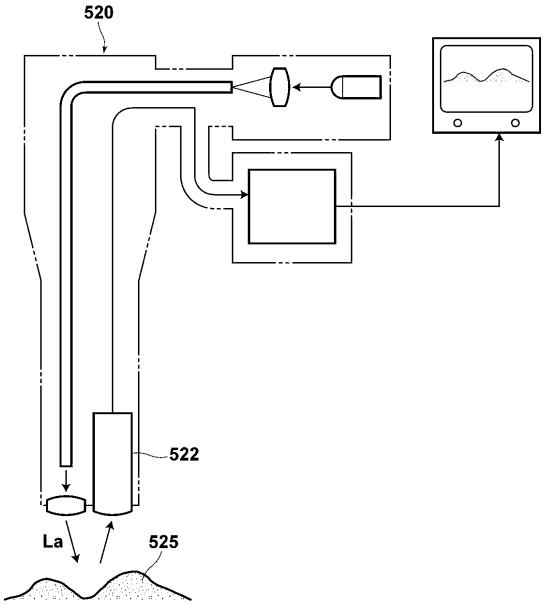
【図２２】



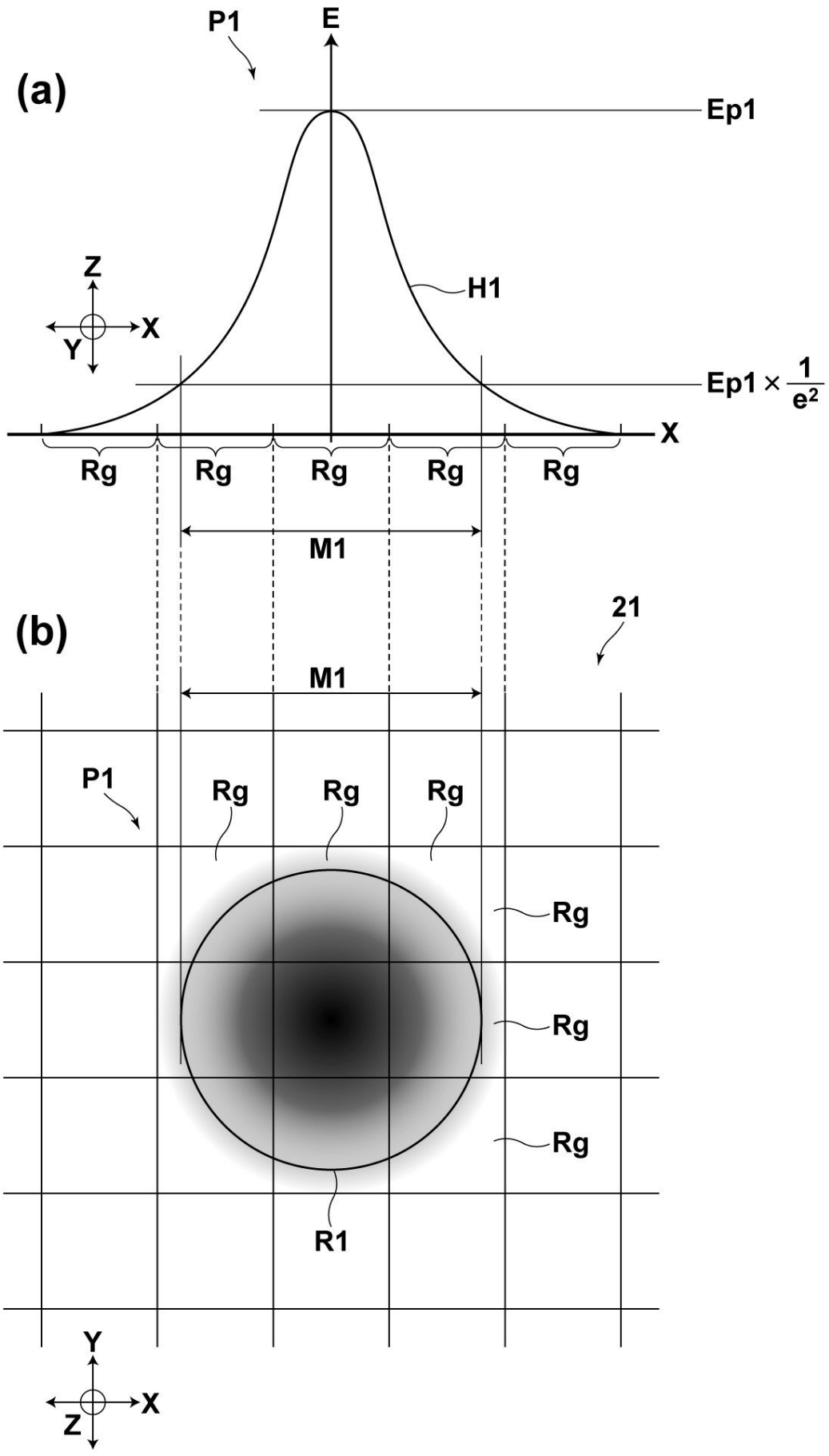
【図２３】



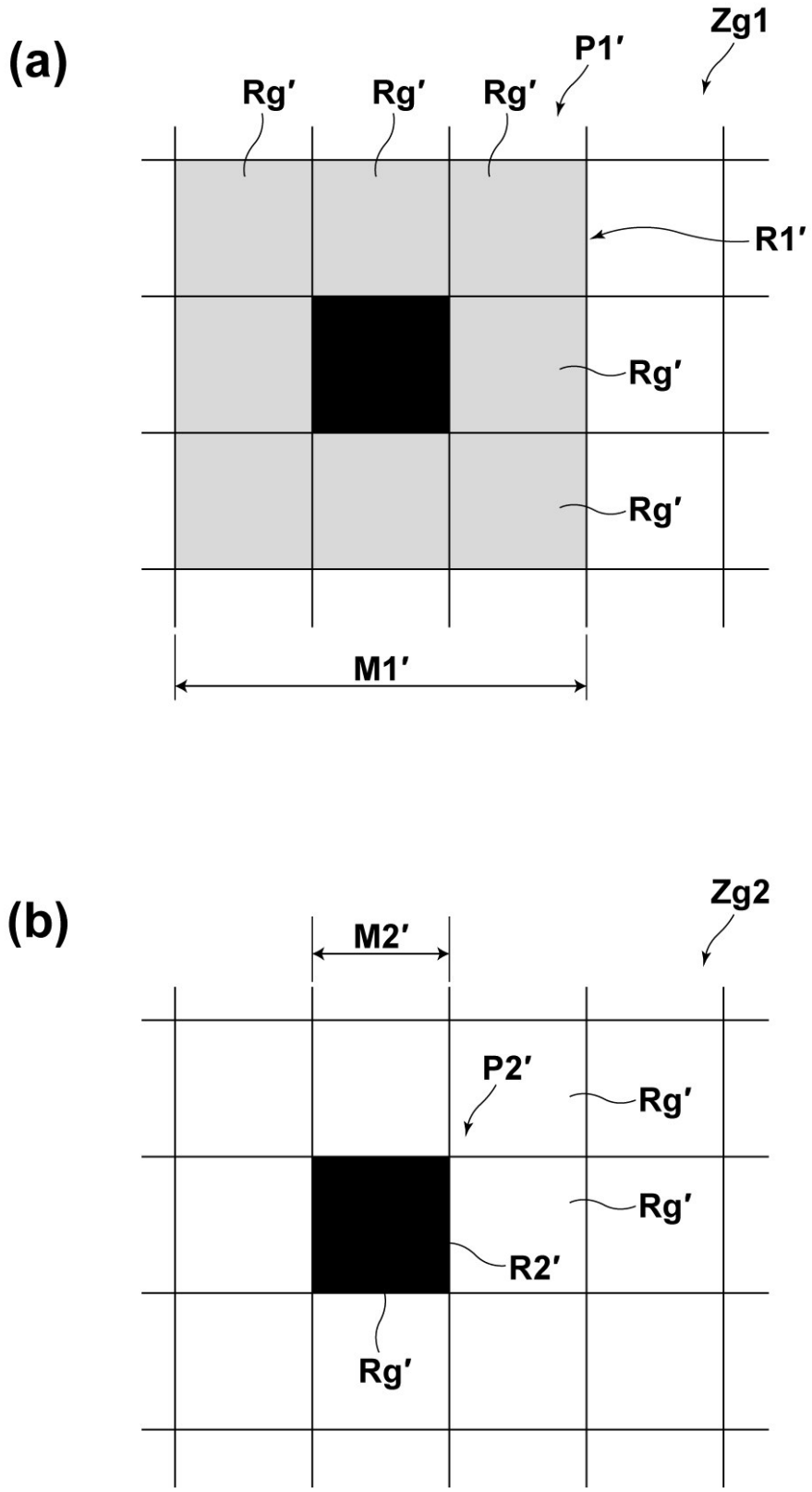
【図２４】



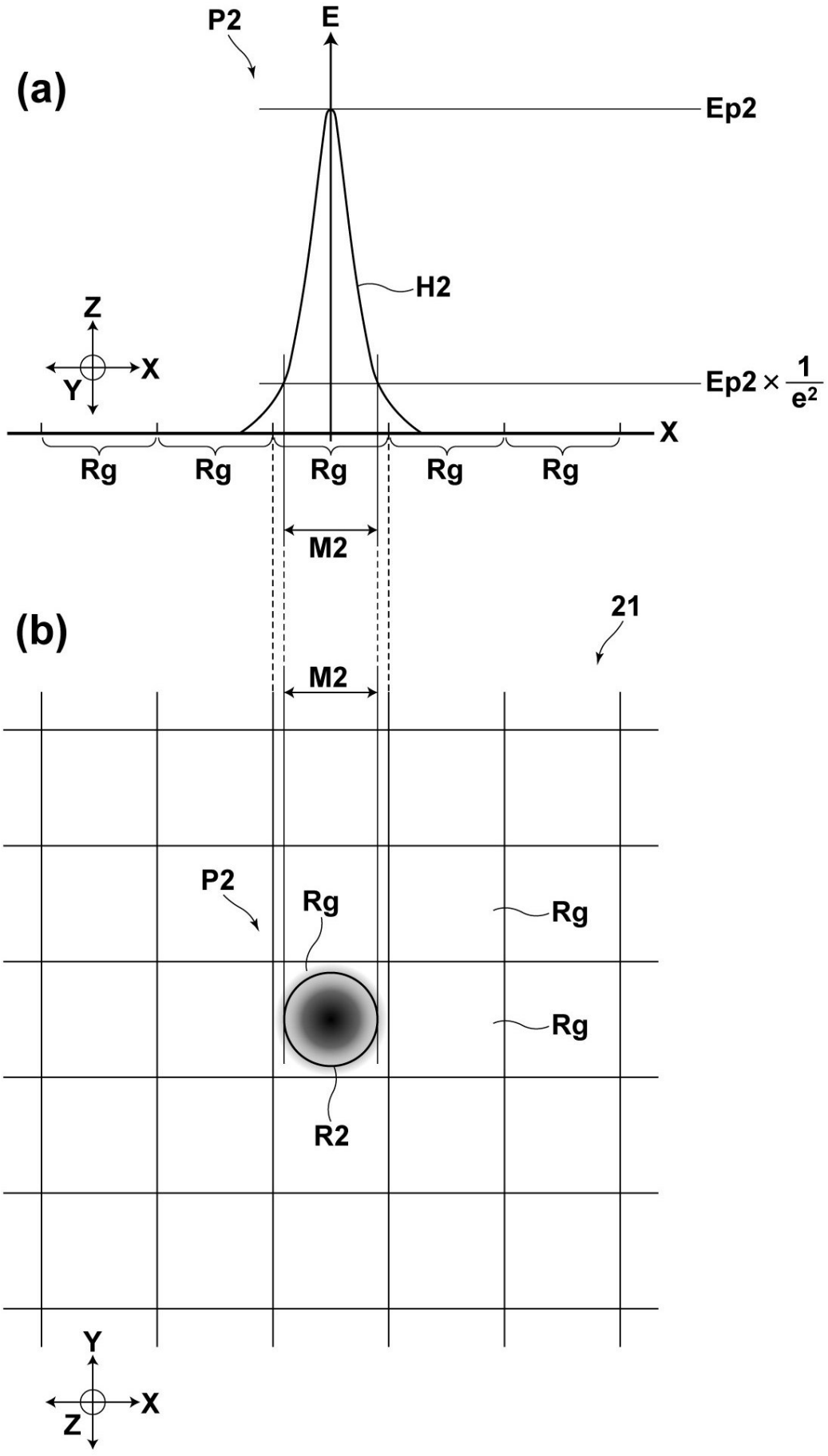
【図２】


(a)
P1
E
Ep1
H1
Z
X
Y
Ep1 × 1/e²
X
Rg
Rg
Rg
Rg
Rg
M1
(b)
21
M1
P1
Rg
Rg
Rg
Rg
Rg
Rg
R1
Y
X
Z

【図３】



【図４】



フロントページの続き

Ｆターム(参考) 2H087 KA03 LA01 NA02 PA03 PA04 PA17 PB03 PB04 QA02 QA06
QA14 QA22 QA25 QA26 QA37 QA41 QA42 QA45 QA46 RA04
RA05 RA12 RA13 RA34 RA42
5C122 DA09 DA14 DA26 EA55 FB03 FC01 FC02 GE10 HB06 HB09
HB10