(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2004-239962
(P2004-239962A)
(43)公開日　平成16年8月26日(2004.8.26)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
G03B 5/00	G03B 5/00	H	5C022
H04N 5/232	G03B 5/00	J	
	G03B 5/00	K	
	H04N 5/232	Z	

審査請求 未請求　請求項の数 14　ＯＬ　（全 32 頁）

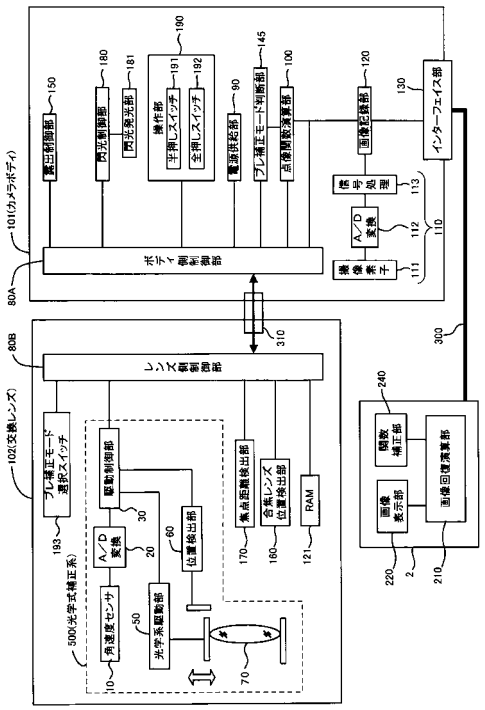
(21)出願番号　特願2003-26098(P2003-26098)
(22)出願日　平成15年2月3日(2003.2.3)

(71)出願人　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(74)代理人　100092576
弁理士　鎌田　久男
(72)発明者　小野　佳子
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社ニコン内
(72)発明者　富田　博之
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社ニコン内
(72)発明者　臼井　一利
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社ニコン内

Ｆターム(参考)　5C022 AA13　AB55　AC42　AC51

(54)【発明の名称】ブレ補正カメラシステム、ブレ補正カメラ、画像回復装置及びブレ補正プログラム

(57)【要約】
【課題】光学式ブレ補正によるブレ補正が狙い通りに行われない場合も含めて、常にブレ補正効果が高く、確実に像ブレを補正することができるブレ補正カメラシステム、ブレ補正カメラ、画像回復装置及びブレ補正プログラムを提供する。
【解決手段】ブレ補正制御部３０によるブレ補正レンズ７０の駆動目標位置と位置検出部６０から出力されるブレ補正レンズ７０の実駆動位置との差を制御位置誤差としてＲＡＭ１２１に保存し、カメラボディ１０１へ送信する。撮像部１１０により撮像された画像に対して制御位置誤差を加味した画像処理による画像回復を行い像ブレを補正する。
【選択図】　図１６



【特許請求の範囲】
【請求項１】
像ブレを補正するブレ補正光学系と、
振動を検出して振動信号を出力する振動検出部と、
前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部と、
前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部と、
前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部と、
前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部と、
前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部と、
前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部と、
前記撮像部により撮像された画像に対して前記制御位置誤差を加味した画像処理による画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部と、
を備えるブレ補正カメラシステム。
【請求項２】
請求項１に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、
点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、
前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部と、
を備え、
前記画像回復演算部は、前記関数補正部による補正後の前記点像分布関数で処理することにより画像回復を行うこと、
を特徴とするブレ補正カメラシステム。
【請求項３】
請求項１に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、
点像分布関数を演算する点像分布関数演算部を備え、
前記点像分布関数は、前記基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算され、
前記画像回復演算部は、前記点像分布関数で処理することにより画像回復を行うこと、
を特徴とするブレ補正カメラシステム。
【請求項４】
請求項１から請求項３までのいずれか１項に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、
前記振動検出部と、前記ブレ補正光学系と、前記撮像部と、前記点像分布関数演算部と、前記基準値演算部と、画像を記録する画像記録部と、を備えたカメラと、
前記画像回復演算部を有し、前記カメラとは別体の装置であって、前記画像記録部により記録された画像と前記点像分布関数とを入力することにより前記画像回復を行う外部装置と、
を備えることを特徴とするブレ補正カメラシステム。
【請求項５】
請求項１から請求項３までのいずれか１項に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、
前記振動検出部と、前記ブレ補正光学系と、前記撮像部と、前記基準値演算部と、画像を記録する画像記録部と、を備えたカメラと、
前記点像分布関数演算部と、前記画像回復演算部とを有し、前記カメラとは別体の装置であって、前記画像記録部により記録された画像と前記点像分布関数とを入力することにより前記画像回復を行う外部装置と、
を備えることを特徴とするブレ補正カメラシステム。
【請求項６】
像ブレを補正するブレ補正光学系と、

振動を検出して振動信号を出力する振動検出部と、
前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部と、
前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部と、
前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部と、
前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部と、
前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部と、
画像を記録する画像記録部と、
前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部と、
画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、
前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部と、
前記補正部により補正された前記点像分布関数を前記画像記録部又は通信手段を用いて外部に出力する外部出力手段と、
を備えるブレ補正カメラ。

【請求項７】

像ブレを補正するブレ補正光学系と、
振動を検出して振動信号を出力する振動検出部と、
前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部と、
前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部と、
前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部と、
前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部と、
前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部と、
画像を記録する画像記録部と、
前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部と、
画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、
前記点像分布関数を前記画像記録部又は通信手段を用いて外部に出力する外部出力手段と、
を備え、
前記点像分布関数は、前記基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算されること、
を特徴とするブレ補正カメラ。

【請求項８】

像ブレを補正するブレ補正光学系と、
振動を検出して振動信号を出力する振動検出部と、
前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部と、
前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部と、
前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部と、
前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部と、
前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部と、
画像を記録する画像記録部と、
前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部と、

前記制御位置誤差を前記画像記録部又は通信手段を用いて外部に出力する外部出力手段と、
を備えるブレ補正カメラ。
【請求項９】
ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた点像分布関数を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力部と、
前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部と、
前記画像データに対して前記関数補正部による補正後の前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部と、
を備える画像回復装置。
【請求項１０】
ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力部と、
画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、
前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部と、
前記画像データに対して前記関数補正部による補正後の前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部と、
を備える画像回復装置。
【請求項１１】
ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び／又は、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力部と、
画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、
前記画像データに対して前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部と、
を備え、
前記点像分布関数は、前記振動信号から求まる基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算されること、
を特徴とする画像回復装置。
【請求項１２】
ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた点像分布関数を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力手順と、
前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正手順と、
前記画像データに対して前記関数補正手順による補正後の前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算手順と、
を備えるブレ補正プログラム。
【請求項１３】
ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力手順と、
画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算手順と、
前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正手順と、
前記画像データに対して前記関数補正手順による補正後の前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算手順と、
を備えるブレ補正プログラム。
【請求項１４】

ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び／又は、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力手順と、
画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算手順と、
前記画像データに対して前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算手順と、
を備え、
前記点像分布関数は、前記振動信号から求まる基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算されること、
を特徴とするブレ補正プログラム。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、手振れ等による振動を検出し、像のブレを補正するブレ補正カメラに関し、特に、光学式ブレ補正の他に、画像回復に対応したブレ補正カメラに関するものである。

【０００２】

【従来の技術】

従来から撮影時に生じる手ブレによる撮像画像の劣化を防ぐため、ブレ補正機能を付けたカメラが知られている。ブレを補正する方法として大別して以下に示す２つの手法がある。

１つ目のブレ補正手法は、角速度センサ、加速度センサなどの振動検出センサによりカメラの振動を検出して、その検出量に応じて撮影レンズや可変頂角プリズムなどの光学系を駆動してブレ補正を行う光学式ブレ補正手法である（例えば、特許文献１，２参照）。

２つ目のブレ補正手法は、撮像された画像と一時的にメモリ記憶された前画像との差分からブレ量を求め画像読み出し時にブレ補正する電子式的補正法である（例えば、特許文献３参照）。これら２つの手法は、いずれも撮影時にブレ補正をリアルタイムで行う方法である。

【０００３】

一方、上述の手法とは別のブレ補正手法であって従来から知られた技術として、劣化画像を手ブレやぼけのない画像に回復する技術が知られている。例えば、特許文献４には、撮影時のブレによる画像劣化を点像分布関数で表し、この点像分布関数に基づいてブレのない画像に回復する手法が開示されている。また、カメラにブレ検出手段のみを設けて手ブレ情報を記録し、再生時にその情報を用いて画像回復処理を行うことによりブレを補正する技術が知られている（例えば、特許文献５～７参照）。

【０００４】

ここで、画像回復処理の具体的方法について説明する。画像回復とは、ブレの情報を利用してブレた画像を処理し、ブレの少ない画像に回復するものである。

今、（ｘ，ｙ）を画面上の位置座標とし、ブレのない時の画像（以下、元画像）をｏ（ｘ，ｙ）、ブレによって劣化した画像（以下、ブレ画像）をｚ（ｘ，ｙ）、ブレによって広がった点像の情報（以下、点像関数）をｐ（ｘ，ｙ）とすると、この３つは、次の関係を満たす。

【０００５】

【数１】

$$z(x,y) = o(x,y) * p(x,y)$$

【０００６】

ここで、＊は、コンボリューション（畳み込み積分）演算を表すもので、具体的には、以下の式で表される。

【０００７】
【数２】

$$z(x,y)=\iint o(x,y)p(x-x',y-y')dx'dy'$$

【０００８】
これをフーリエ変換して空間周波数（ｕ，ｖ）領域にすると、数１，２は、以下の式のようになる。
【０００９】
【数３】

$$Z(u,v)=O(u,v)\cdot P(u,v)$$

【００１０】
ここで、Ｚ（ｕ，ｖ）、Ｏ（ｕ，ｖ）、Ｐ（ｕ，ｖ）は、それぞれｚ（ｘ，ｙ）、ｏ（ｘ，ｙ）、ｐ（ｘ，ｙ）のスペクトルである。また、数３において、Ｐ（ｕ，ｖ）は、特に空間周波数伝達関数と呼ばれている。
ここで、ブレ画像ｚ（ｘ，ｙ）に加えて、何らかの方法により点像関数ｐ（ｘ，ｙ）を知ることができれば、それぞれのスペクトルを算出し、数３を変形した以下の数４を利用することで、元画像のスペクトルＯ（ｕ，ｖ）を算出することができる。
【００１１】
【数４】

$$O(u,v)=\frac{Z(u,v)}{P(u,v)}$$

【００１２】
数４において、１／Ｐ（ｕ，ｖ）は、特に逆フィルタと呼ばれている。数４により算出したスペクトルを逆フーリエ変換すれば、元画像ｏ（ｘ，ｙ）を求めることができる。
【００１３】
図１３，図１４は、従来の画像回復を説明する図である。
ここでは、簡単のために、ブレは、図１３（ｂ）に示すように一軸（Ｘ軸）方向に一様に発生したものとする。
この点像分布関数の断面をとると、図１４（ａ）のようになる。これをフーリエ変換したものが図１４（ｂ）であり、これが図１３（ａ）に示すブレの空間周波数伝達関数である。この伝達関数で注目すべきところは、値が０となっているところが何カ所かある点である。これを逆フィルタにすると図１４（ｃ）に示すように、無限大となってしまうところが存在する。これを数４に適用すると、ある特定の空間周波数に関しては、以下に示す数５のようになってしまい、元画像のスペクトル値は不定となる。
【００１４】
【数５】

$$O(u,v)=\frac{Z(u,v)}{P(u,v)}=\frac{0}{0}=\text{不定}$$

【００１５】
伝達関数が０であるということは、ブレによって伝達されない（＝情報が失われる）周波数成分が存在するということであり、この式は、失われた周波数成分は、回復できないこ

とを示している。これは、元画像を完全に回復させることができないことを意味している。
なお、実際には、逆フィルタが無限大とならないよう、以下の式で表されるウィナーフィルタを画像回復に使用する。
【００１６】
【数６】

$$\frac{P^*(u,v)}{\left|P(u,v)\right|^2+1/c}$$ c：定数

【００１７】
図１４（ｄ）は、ウィナーフィルタをグラフにしたものである。
ウィナーフィルタにすることにより、数５のようにＯ（ｕ，ｖ）が不定となるところはなくなる。
【００１８】
【特許文献１】
特開昭６１－２４０７８０号公報
【特許文献２】
特開昭６１－２２３８１９号公報
【特許文献３】
特開昭６３－１８７８８３号公報
【特許文献４】
特開昭６２－１２７９７６号公報
【特許文献５】
特開平６－２７６５１２号公報
【特許文献６】
特開平６－３４３１５９号公報
【特許文献７】
特開平７－２２６９０５号公報
【００１９】
【発明が解決しようとする課題】
しかし、上述した従来の光学式ブレ補正及び画像回復には、以下に示す問題があった。
（光学式ブレ補正の問題）
光学式ブレ補正では、振動を検出するセンサとして一般に角速度センサが用いられている。角速度センサから検出された角速度を角度に変換するためには動作時のセンサ静止時の出力値（基準値）が必要であり、この基準値は、温度によるドリフトの影響を受けやすいことが知られている。この問題について図１５（ａ），（ｂ）を参照して詳しく説明する。
【００２０】
図１５は、ドリフト成分を含む角速度センサ出力、基準値の出力、像面でのブレ量を示す図である。
図１５（ａ）は、時間に対する角速度センサ出力値の変化を示したものであり、説明を簡単にするために正弦波で手ブレが生じている場合を想定している。図１５（ａ）において、波形ｅ０は、正弦波で手ブレが生じている時のブレセンサの出力を表している。また、波形ｅ１、ｅ２は、いずれもローパスフィルタで演算された基準値であり、波形ｅ１の遮断周波数は、波形ｅ２よりも低く設定されている。図１５（ａ）では、出力値が環境条件の影響で時間の経過とともに振動中心がずれていき、ドリフトしている。
【００２１】
図１５（ｂ）は、図１５（ａ）の角速度センサ出力と基準値とを利用してブレ補正した時

の像面ブレ量を示したものである。図１５（ｂ）中の波形ｆ０，ｆ１，ｆ２は、それぞれ図１５（ａ）中の波形ｅ０，ｅ１，ｅ２に対応し、波形ｆ０は、ブレ補正を全く行わなかったときの像面のブレ量を表している。波形ｆ１は、波形ｆ２に比較して、低い遮断周波数の基準値ｅ１を使用することにより、高い周波数成分はカットされているものの時間経過とともにブレ量が大きくなってしまっている。逆に波形ｆ２は、波形ｆ１よりも基準値の遮断周波数が高くなっているため、ｆ１よりもドリフトは小さくなっているが、手ぶれによる高周波成分を除くことができていない。このように、手ブレによる像ブレの除去とドリフトの影響を少なくすることは相反する問題であり、像ブレを十分に補正し、かつ、ドリフトの影響が少なくなるようにローパスフィルタの遮断周波数を設定することが難しい。そのため検出したブレ量には、必ず検出誤差が生じ、光学式ブレ補正を行っても得られる画像にブレが残るという問題があった。

【００２２】

また、光学式ブレ補正では、センサにより検出した振動量に応じてブレ補正レンズの駆動目標を演算し、この駆動目標にしたがってブレ補正レンズの駆動を行うが、ブレ補正レンズの実際の駆動位置が必ず駆動目標と一致するとは限らず、ブレ補正レンズの実際の駆動位置と駆動目標との間に誤差が生じる場合が多かった。この誤差が生じている場合、ブレ補正レンズが駆動目標通りに駆動されていないので、誤差量に応じた像ブレが残ってしまうという問題があった。

【００２３】

（画像回復の問題）

次に、画像回復の問題について説明する。

従来からブレ画像をウィナーフィルタを用いて回復処理することにより得られた画像は、元画像に比べ解像が向上することは知られている。しかし、Ｐ（ｕ’，ｖ’）　０となる空間周波数（ｕ’，ｖ’）では、フィルタの値が大きくなるため、画像に含まれるノイズがその空間周波数成分を含む場合、ノイズ成分を増幅してしまう。その結果、画像に不必要な縞模様を生じ画質を低下させてしまうという問題があった。この縞模様は、元のブレが小さければそれほど大きな問題にはならないが、ブレが大きい場合に顕著に現れるので問題となるケースが多かった。

【００２４】

本発明の課題は、光学式ブレ補正によるブレ補正が狙い通りに行われない場合も含めて、常にブレ補正効果が高く、確実に像ブレを補正することができるブレ補正カメラシステム、ブレ補正カメラ、画像回復装置及びブレ補正プログラムを提供することである。

【００２５】

【課題を解決するための手段】

本発明は、以下のような解決手段により、前記課題を解決する。なお、理解を容易にするために、本発明の実施形態に対応する符号を付して説明するが、これに限定されるものではない。すなわち、請求項１の発明は、像ブレを補正するブレ補正光学系（７０）と、振動を検出して振動信号を出力する振動検出部（１０）と、前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部（３１）と、前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部（５０）と、前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部（６０）と、前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部（３０，４０）と、前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部（１１０）と、前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部（４０）と、前記撮像部により撮像された画像に対して前記制御位置誤差を加味した画像処理による画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部（２１０）と、を備えるブレ補正カメラシステムである。

【００２６】

請求項２の発明は、請求項１に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、点像分布関数を

演算する点像分布関数演算部（１００）と、前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部（２４０）と、を備え、前記画像回復演算部（２１０）は、前記関数補正部による補正後の前記点像分布関数で処理することにより画像回復を行うこと、を特徴とするブレ補正カメラシステムである。

【００２７】

請求項３の発明は、請求項１に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、点像分布関数を演算する点像分布関数演算部（２１０）を備え、前記点像分布関数は、前記基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算され、前記画像回復演算部（２１０）は、前記点像分布関数で処理することにより画像回復を行うこと、を特徴とするブレ補正カメラシステムである。

【００２８】

請求項４の発明は、請求項１から請求項３までのいずれか１項に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、前記振動検出部（１０）と、前記ブレ補正光学系（７０）と、前記撮像部（１１０）と、前記点像分布関数演算部（１００）と、前記基準値演算部（３１）と、画像を記録する画像記録部（１２０）と、を備えたカメラ（１，１０１）と、前記画像回復演算部（２１０）を有し、前記カメラとは別体の装置であって、前記画像記録部により記録された画像と前記点像分布関数とを入力することにより前記画像回復を行う外部装置（２）と、を備えることを特徴とするブレ補正カメラシステムである。

【００２９】

請求項５の発明は、請求項１から請求項３までのいずれか１項に記載のブレ補正カメラシステムにおいて、前記振動検出部（１０）と、前記ブレ補正光学系（７０）と、前記撮像部（１００）と、前記基準値演算部（３１）と、画像を記録する画像記録部（１２０）と、を備えたカメラと、前記点像分布関数演算部（１００）と、前記画像回復演算部（２１０）とを有し、前記カメラとは別体の装置であって、前記画像記録部により記録された画像と前記点像分布関数とを入力することにより前記画像回復を行う外部装置と、を備えることを特徴とするブレ補正カメラシステムである。

【００３０】

請求項６の発明は、像ブレを補正するブレ補正光学系と、振動を検出して振動信号を出力する振動検出部と、前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部と、前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部と、前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部と、前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部と、前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部と、画像を記録する画像記録部と、前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部と、画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部と、前記補正部により補正された前記点像分布関数を前記画像記録部又は通信手段を用いて外部に出力する外部出力手段と、を備えるブレ補正カメラである。

【００３１】

請求項７の発明は、像ブレを補正するブレ補正光学系（７０）と、振動を検出して振動信号を出力する振動検出部（１０）と、前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部（３１）と、前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部（５０）と、前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部（６０）と、前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部（３０，４０）と、前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部（１１０）と、画像を記録する画像記録部（１２０）と、前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部（

４０）と、画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部（１００）と、前記点像分布関数を前記画像記録部又は通信手段を用いて外部に出力する外部出力手段（１２０，１３０）と、を備え、前記点像分布関数は、前記基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算されること、を特徴とするブレ補正カメラ（１）である。

【００３２】

請求項８の発明は、像ブレを補正するブレ補正光学系（７０）と、振動を検出して振動信号を出力する振動検出部（１０）と、前記振動信号の基準値を演算する基準値演算部（３１）と、前記ブレ補正光学系を駆動する駆動部（５０）と、前記ブレ補正光学系の位置を検出し位置信号を出力する位置検出部（６０）と、前記基準値、前記振動信号及び前記位置信号に基づき、前記振動による被写体像のブレを補正するように前記ブレ補正光学系の駆動を制御する制御部（３０，４０）と、前記ブレ補正光学系を含む撮影光学系により形成された像を撮像する撮像部（１１０）と、画像を記録する画像記録部（１２０）と、前記制御部による前記ブレ補正光学系の駆動目標位置と前記位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部（４０）と、前記制御位置誤差を前記画像記録部又は通信手段を用いて外部に出力する外部出力手段（１２０，１３０）と、を備えるブレ補正カメラである。

【００３３】

請求項９の発明は、ブレ補正光学系（７０）の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた点像分布関数を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力部（２１０）と、前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部（２４０）と、前記画像データに対して前記関数補正部による補正後の前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部（２４０）と、を備える画像回復装置（２）である。

【００３４】

請求項１０の発明は、ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力部と、画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正部と、前記画像データに対して前記関数補正部による補正後の前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部と、を備える画像回復装置である。

【００３５】

請求項１１の発明は、ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び／又は、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力部と、画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算部と、前記画像データに対して前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部と、を備え、前記点像分布関数は、前記振動信号から求まる基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算されること、を特徴とする画像回復装置である。

【００３６】

請求項１２の発明は、ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた点像分布関数を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力手順と、前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正手順と、前記画像データに対して前記関数補正手順による補正後の前記点像分布関数で画像処

理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算手順と、を備えるブレ補正プログラムである。

【００３７】

請求項１３の発明は、ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力手順と、画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算手順と、前記制御位置誤差を用いて前記点像分布関数を補正する関数補正手順と、前記画像データに対して前記関数補正手順による補正後の前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算手順と、を備えるブレ補正プログラムである。

【００３８】

請求項１４の発明は、ブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力される前記ブレ補正光学系の実駆動位置との差から求まる制御位置誤差、画像データ、及び／又は、前記画像データの撮像時に得られた振動信号を外部との通信及び／又は媒体を介して受け取るデータ入力手順と、画像回復演算に必要な点像分布関数を演算する点像分布関数演算手順と、前記画像データに対して前記点像分布関数で画像処理することにより画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算手順と、を備え、前記点像分布関数は、前記振動信号から求まる基準値及び前記制御位置誤差、又は、前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記基準値及び前記振動信号及び前記制御位置誤差、又は、前記制御位置誤差に基づいて演算されること、を特徴とするブレ補正プログラムである。

【００３９】

【発明の実施の形態】

以下、図面等を参照しながら、本発明の実施の形態について、さらに詳しく説明する。

（第１実施形態）

図１は、本発明によるブレ補正カメラの第１実施形態のシステム構成を示すブロック図である。

本実施形態におけるブレ補正カメラ１は、画像再生装置２と組み合わせて使用することにより、画像回復を行うことができるカメラシステムを形成している。

画像再生装置２は、ブレ補正カメラ１により撮像された画像を画像記録部１２０又はブレ補正カメラ１と再生装置とを転送ケーブルなどを用いて接続し再生するとともに、画像回復を行うことができる画像回復装置である。

ブレ補正カメラ１は、画像を電子的に撮像する所謂デジタルスチルカメラであり、光学式補正系５００を備えている。

光学式補正系５００は、角速度センサ１０，Ａ／Ｄ変換部２０，ブレ補正制御部３０，光学系駆動部５０，位置検出部６０，ブレ補正レンズ７０等を備えている。

【００４０】

角速度センサ１０は、ブレ補正カメラ１に印加された振動を角速度値で検出する振動検出部である。角速度センサ１０は、コリオリ力を利用して角速度を検出し、検出結果を電圧信号として出力する。

図１には、理解を容易にするため角速度センサ１０を１つのみ示しているが、撮影レンズの光軸に直交するＸ軸及びＸ軸に直交するＹ軸方向それぞれに対応して１つずつ設けられており、ブレ補正カメラ１の振動を２次元において検出する。なお、角速度センサ１０は、電源供給部９０より電源が供給されている間のみ角速度の検出が可能となっている。

【００４１】

Ａ／Ｄ変換部２０は、アナログ信号をデジタル信号に変換する変換器であり、角速度センサ１０からの振動信号をアナログ信号からデジタル信号に変換し、ブレ補正制御部３０へ伝える。

【００４２】

ブレ補正制御部３０は、角速度センサ１０により検出された振動信号と、後述の位置検出

部６０により検出されたブレ補正レンズ７０の位置情報とから、ブレ補正レンズ７０を駆動するための駆動信号を演算し、光学系駆動部５０に駆動信号を出力する部分である。また、ブレ補正制御部３０は、後述する誤差（制御位置誤差）を出力する制御位置誤差出力部としても機能する。
ブレ補正制御部３０には、基準値演算部３１が含まれている（図２参照）。基準値演算部３１は、角速度センサ１０から得られた振動信号の基準値を演算する部分であり、本実施形態では、デジタルローパスフィルタ（ＬＰＦ）を使用し、ＬＰＦの出力を基準値としている。
ブレ補正制御部３０による制御動作の詳細については、後に説明する。
【００４３】
光学系駆動部５０は、ブレ補正制御部３０から出力された駆動信号を基に、ブレ補正レンズ７０を駆動するアクチュエータである。
位置検出部６０は、ブレ補正するためにブレ補正レンズ７０のＸ軸方向及びＹ軸方向の位置を検出する位置検出部であり、位置検出部６０の出力（位置信号）は、Ａ／Ｄ変換器（不図示）を経由してブレ補正制御部３０に送信される。
【００４４】
ブレ補正レンズ７０は、カメラの撮影光学系の一部であり、撮影光学系の光軸と略直交する平面内を動くことができる単レンズ、又は、複数枚のレンズより構成されるレンズ群からなるブレ補正光学系である。ブレ補正レンズ７０は、光学系駆動部５０によって光軸と略直交する方向に駆動され、撮影光学系の光軸を偏向させる。
写真等の像のブレは、手ブレ等のカメラに加えられる振動により、露光中に結像面の像が動いてしまうことにより発生する。本実施形態におけるブレ補正カメラ１では、角速度センサ１０により、ブレ補正カメラ１に加えられた振動を検出することができる。そして、ブレ補正カメラ１に加えられた振動が検出されれば、その振動による結像面の像の動きを知ることができるので、結像面上の像の動きを抑えるようにブレ補正レンズ７０を駆動し、結像面上の像の動き、すなわち像ブレを補正することができる。
【００４５】
ブレ補正カメラ１は、上述の光学式補正系５００の他に、制御部８０，電源供給部９０，点像関数演算部１００，関数補正部１０５，撮像部１１０，画像記録部１２０，インターフェイス部１３０，画像回復判断部１４０，露出制御部１５０，合焦レンズ位置検出部１６０，焦点距離検出部１７０，閃光制御部１８０，操作部１９０等を備えている。
【００４６】
制御部８０は、ブレ補正カメラ１の動作全体を制御する制御部であり、ブレ補正制御部３０、点像関数演算部１００、露出制御部１５０、合焦レンズ位置検出部１６０、焦点距離検出部１７０、閃光制御部１８０などを制御する各種制御演算など行う。
【００４７】
電源供給部９０は、不図示の半押タイマがＯＮの間は、角速度センサ１０を始めとするカメラ内で電源が必要とされるところに電源を供給し続ける部分である。また、半押しタイマがＯＦＦとなっているときは、電源の供給は停止する。したがって、カメラの半押しタイマがＯＮの間のみ、角速度センサ１０によるカメラの振動検出が可能となる。
【００４８】
点像関数演算部１００は、ブレ補正制御部３０、露出制御部１５０、合焦レンズ位置検出部１６０、焦点距離検出部１７０などから得られた各種情報に基づき露光中の点像関数（点像分布関数）を演算する点像分布関数演算部である。
ブレ補正レンズ７０による光学式ブレ補正が完全であれば点像関数は１点となるが、実際には、光学式ブレ補正は、完全でないため、点像関数は１点にはならない。つまり、ブレ補正レンズ７０によって補正しきれない像ブレ（ブレ補正残差）が残る。ここで算出する点像関数は、ブレ補正レンズ７０で補正しきれずに結像面に残ったブレ補正残差を、後に画像処理によりさらにブレ補正するときに使用するものである。
関数補正部１０５は、位置検出部６０から得られるブレ補正レンズ７０の位置信号を用い

て点像関数を補正する部分である。より具体的には、位置信号を利用して駆動目標位置と位置信号（実駆動位置）との差である制御位置誤差により点像関数の補正を行う。

【００４９】

撮像部１１０は、撮像素子１１１，Ａ／Ｄ変換部１１２，信号処理部１１３等を備え、撮影光学系により結像面に結像した像を撮像し、画像記録部１２０へ画像データを出力する部分である。

撮像素子１１１は、撮影光学系により結像面に結像した被写体像を受光し、アナログ信号の画像データに変換する素子である。

Ａ／Ｄ変換部１１２は、アナログ画像をデジタル画像に変換する変換器である。

信号処理部１１３は、Ａ／Ｄ変換部１１２によりデジタル信号に変換された画像データを処理する部分である。

【００５０】

画像記録部１２０は、撮像部１１０により撮像した画像、点像関数演算部１００により演算された点像関数、各種画像回復処理に必要な各種情報（パラメータ）などをそれぞれ画像に対応づけて記録保存する部分である。これら点像関数、各種情報などは、例えば、画像ファイル内にヘッダとして埋め込んで記録してもよいし、電子透かし技術のように画像の中に直接埋め込む方法でもよい。また、画像ファイルに対応させた別ファイルを作成し、そこに情報を書き込むようにしてもよい。

【００５１】

画像記録部１２０の具体的な形態は、例えば、コンパクトフラッシュ（登録商標）、スマートメディア（登録商標）などの可動記録媒体でもよいし、画像転送を行うバッファメモリであってもよい。実施形態では、インターフェイス部１３０と画像再生装置２とを転送ケーブル３００を用いて接続し、画像記録部１２０に保存された画像、及び、画像回復処理に必要な情報を必要に応じて画像再生装置２へ転送する。

【００５２】

インターフェイス部１３０は、ブレ補正カメラ１と画像再生装置２とを接続するときなどに、転送ケーブル３００を接続する端子を備えた通信手段である。

接続ケーブル３００は、インターフェイス部１３０の接続コネクタと画像再生装置２の通信ポート（例えば、ＲＳ－２３２Ｃ、ＵＳＢ、パラレルポート、ＩＥＥＥ１３９４等）を接続するケーブルである。この接続ケーブル３００を介してブレ補正カメラ１と画像再生装置２との間でデータの送受信が行われる。

【００５３】

画像回復判断部１４０は、点像関数演算を行うか否か判断処理する部分である。画像回復判断部１４０により点像関数演算の必要性を判断するので、画像記録部１２０に保存する情報をできるだけ必要なデータだけとすることができ、無駄な演算動作やメモリ容量の軽減を図ることができる。

【００５４】

露出制御部１５０は、不図示のコマンドダイヤルなどで設定された露光時間の設定値から撮像素子への露光時間を制御する部分である。露光時間情報や露光の開始／終了のタイミング情報は、点像関数演算部１００に送信される。

【００５５】

合焦レンズ位置検出部１６０は、不図示の合焦レンズの位置を検出する部分である。合焦レンズの位置を検出することにより、点像関数の演算に必要な結像面から被写体までの距離を算出することができる。

【００５６】

焦点距離検出部１７０は、撮影光学系の撮影時のレンズ焦点距離ｆを検出する部分である。このレンズ焦点距離ｆも、点像関数の演算に必要な情報である。

閃光制御部１８０は、閃光発光部１８１の発光を制御する部分である。

【００５７】

操作部１９０は、半押しスイッチ（ＳＷ）１９１、全押しスイッチ（ＳＷ）１９２、ブレ

補正モード選択スイッチ（ＳＷ）１９３などを有している。
半押しスイッチ１９１は、不図示のレリーズボタンの半押し動作に連動してＯＮとなるスイッチである。この半押しスイッチ１９１がＯＮとなることにより、不図示の測光部による測光演算、オートフォーカス駆動などが開始される。また、半押しタイマがＯＦＦであった場合には、この半押しスイッチ１９１のＯＮに同期して半押しタイマがＯＮとなる。
【００５８】
全押しスイッチ１９２は、不図示のレリーズボタンの全押し動作に連動してＯＮとなるスイッチである。この全押しスイッチ１９２がＯＮとなることにより、図示しないシャッタ機構によるシャッタの開閉、イメージセンサによる画像の取り込みなど一連の撮影動作が行われる。
【００５９】
ブレ補正モード選択スイッチ１９３は、光学式補正動作モードと画像回復モードの組み合わせ選択を行う操作部材である。本実施形態では、ブレ補正動作モードを３モード選択可能なスイッチとし、その動作は次のようになる。
「ブレ補正ＯＦＦモード」が選択された場合、光学式補正も画像回復も行わない。すなわち、ブレ補正レンズ７０の駆動を停止し、ブレ補正動作は一切行わず、画像回復用のデータの記録保存も行わない。
「光学式補正動作モード」が選択された場合、光学式補正動作のみ行い、ブレ補正レンズ７０を駆動させて像ブレ補正動作を行うが、画像回復処理のための点像関数の演算、画像回復用のデータの記録保存等は行わない。
「画像回復動作モード」が選択された場合、光学式補正動作と画像回復のために必要な動作が行われる。光学式補正系５００から画像回復処理するために必要な画像回復用のデータは、光学式補正系５００から画像回復判断部１４０を介して点像関数演算部１００に送出される。
【００６０】
次に、画像再生装置２について説明する。
画像再生装置２は、画像回復処理を実行する画像回復演算部２１０と画像を表示する画像表示部２２０とを備えている。
本実施形態における画像再生装置２は、パソコンを利用しており、このパソコンに画像回復に必要な専用のブレ補正プログラムを含むアプリケーションソフトウェアをインストールすることにより、画像再生装置として機能させている。
なお、画像再生装置２は、パソコンを利用する場合に限らず、例えば、専用の再生装置としてもよいし、カメラの中に組み込んでもよい。
【００６１】
画像回復演算部２１０は、ブレ補正カメラ１の画像記録部１２０から送られてきた画像データと、画像データに対応する点像関数情報及び画像回復処理するための各種パラメータに基づいて、画像に含まれるブレを補正する画像回復処理を実行する部分である。
画像回復演算部２１０における画像回復処理には、数６で述べたウィナーフィルタを使用するが、これに限らず他の手法を用いてもよい。
画像表示部２２０は、撮影者が撮影した画像、又は、画像回復した後の画像を表示する部分であり、本実施形態では、パソコンのモニタ部がこの部分に相当する。
【００６２】
次に、ブレ補正制御部３０に関連する部分について、光学式ブレ補正動作の制御を含めて説明する。
図２は、光学式補正系５００におけるブレ補正制御部３０の制御動作を説明する制御ブロック図である。
まず、カメラに加えられた振動を角速度センサ１０により検出する。角速度センサ１０は、通常、コリオリ力を検出する圧電振動式角速度センサを用いる。角速度センサ１０の出力は、基準値演算部（低周波成分抽出）３１へ入力される。基準値演算部３１は、角速度センサ１０の出力よりブレの基準値を演算する部分である。通常の手振れの基準値は、角

速度センサ１０が完全に静止している状態での出力（以下、ゼロ出力）値とすればよい。しかし、このゼロ出力値は、ドリフトや温度などの環境条件で変動してしまうため、基準値を固定値とすることができない。したがって、実際に使用されている状態、つまり撮影者の手振れの信号から基準値を演算し、ゼロ出力を求めなければならない。基準値演算には、デジタルローパスフィルタ（ＬＰＦ）を用いる。

【００６３】

デジタルローパスフィルタのカットオフ周波数ｆｃは、出来るだけ低く設定する事が望ましいが、従来技術の説明においても述べた通り、カットオフ周波数ｆｃをあまり低く設定するとセンサドリフトの影響を受けやすくなる。また、逆に高く設定するとｆｃ以下の周波数成分は、光学補正されないため像ブレとして残ってしまう。後で詳しく述べるが、この光学補正されない基準値出力を基に点像関数を求め、画像回復処理を行うことにより光学補正で取りきれなかった像ブレを後処理により回復することが可能となる。

【００６４】

本実施形態では、ＬＰＦのカットオフ周波数ｆｃを、画像回復を行わない場合（光学式補正動作モード）と、画像回復を行う場合（画像回復動作モード）と、で変更することとしている。具体的には、画像回復を行わない「光学式補正動作モード」の場合、ｆｃ＝０．１Ｈｚとし、画像回復を行う「画像回復動作モード」の場合、ｆｃ＝１Ｈｚとしている。このカットオフ周波数ｆｃの詳細な説明は、後述する図４，５におけるＳ４００，Ｓ６００の説明において行う。

【００６５】

次に、基準値演算した後、角速度センサ１０からのブレ検出信号から基準値を減算したブレ検出信号を、積分部３２へ送信する。

積分部３２では、角速度の単位で表されているブレ検出信号を時間積分し、カメラのブレ角度に変換する。

目標駆動位置演算部３３では、積分部３２から送られてきたブレ角度情報に焦点距離検出部１７０からのレンズ焦点距離ｆや合焦レンズ位置検出部１６０からの被写体距離Ｄなどの情報を加味して、ブレ補正レンズ７０を駆動するための目標駆動位置情報を例えば、以下の数７により演算する。

【００６６】

【数７】

$$\theta(t) = \theta(t-1) + C \cdot \left(\omega(t) - \omega_0(t)\right)$$

【００６７】

数７中の各記号は、θ（ｔ）：目標駆動位置，ω（ｔ）：ブレ検出信号，ω_0（ｔ）：基準値，ｔ：時間（整数値）であり、Ｃは、レンズの焦点距離等の条件によって決まる定数である。

積分部３２により演算されたブレ角度情報は、目標駆動位置演算部３３へ送られ、上述のように目標駆動位置情報が演算される。

【００６８】

ブレ補正制御部３０では、公知のＰＩＤ制御等を用いて、この目標駆動位置情報に応じてブレ補正レンズ７０を動かすために目標駆動位置情報とブレ補正レンズ７０の位置検出６０からの位置情報との差をとり、光学系駆動部５０を駆動するための駆動信号を送出する。送出された駆動信号に基づいて光学系駆動部５０のコイルに電流を流すことによりブレ補正レンズ７０を光軸に直交する方向に駆動することが可能となる。

【００６９】

位置検出部６０では、ブレ補正レンズ７０の位置をモニタしており、検出されたレンズ位置信号を用いてブレ補正レンズ７０がブレ補正制御部３０によりフィードバック制御される。

また、目標駆動位置演算部３３から出力される目標駆動位置情報は、画像回復判断部１４０を介して点像関数演算部１００にも送出される。

【００７０】

次に、本実施形態におけるブレ補正カメラ１の基本動作について説明する。

図３は、ブレ補正動作を行う場合のカメラの基本動作を示すフローチャートである。

ステップ（以下、Ｓとする）２１０において、半押しスイッチ１９１がＯＮされると、Ｓ２２０へ進む。

Ｓ２２０では、ブレ補正モード選択スイッチ１９３の状態を判別する。「光学式補正動作モード」の場合Ｓ２３０の光学式補正動作フローに進み、「画像回復動作モード」の場合Ｓ２４０の光学式ブレ補正動作と画像回復処理動作とを行う画像回復処理フローへと進み、「ブレ補正ＯＦＦモード」が選択された場合Ｓ２５０へ進む。

Ｓ２５０では、「ブレ補正ＯＦＦモード」が選択されているので、上述のように、光学式補正も画像回復も行わず、ブレ補正レンズ７０の駆動を停止し、ブレ補正動作は一切行わず、画像回復用のデータの記録保存も行わない。

以下、「光学式補正動作モード」及び「画像回復動作モード」それぞれの場合のブレ補正カメラ１の動作を分けて説明する。

【００７１】

まず、「光学式補正動作モード」時のブレ補正カメラの動作について説明する。

図４は、光学式ブレ補正動作モード時のカメラの基本動作を示すフローチャートである。

Ｓ４００では、基準値演算部３１に用いられているＬＰＦ部のカットオフ周波数ｆｃをｆｃ＝０．１Ｈｚに設定する。

Ｓ４１０では、振動検出部である角速度センサ１０がＯＮとなる。

Ｓ４２０では、ロックされていたブレ補正レンズ７０のロックを解除する。

Ｓ４３０では、ブレ補正動作が開始される。ここで開始されるブレ補正とは、角速度センサ１０の出力に基づき、その像ブレを打ち消すようにブレ補正レンズ７０を光軸方向に略直交する方向に移動させて、ブレを補正する光学式ブレ補正動作である。

Ｓ４４０では、半押しタイマの状態を検出し、半押しタイマがＯＦＦならばＳ４５０へ進み、半押しタイマがＯＮならばＳ４７０へ進む。

Ｓ４５０では、ブレ補正動作を停止し、Ｓ４６０で補正レンズをロックし光学補正モード終了する。

【００７２】

Ｓ４７０では、全押しスイッチ１９２の状態を検出し、全押しスイッチ１９２がＯＮならばＳ４８０へ進み、全押しスイッチ１９２がＯＦＦならばＳ４４０へ戻る。

Ｓ４８０では、ブレ補正レンズ７０のセンタリング動作を実行後、再度ブレ補正を開始する。光学系駆動部５０により駆動されていない状態では、撮影光学系の光軸とブレ補正レンズ７０の光軸とが必ずしも一致していない。通常は、ブレ補正レンズ７０は、その可動範囲の端部に移動した状態にあることが多く、そのままブレ補正動作を行うと、駆動できない方向が生じてしまうので、このセンタリング動作によりブレ補正レンズ７０の光軸と撮影光学系の光軸とが略一致するように、ブレ補正レンズ７０を駆動する。

【００７３】

Ｓ４９０では、シャッタ開動作が行われ、撮像部１１０への露光が開始される。

Ｓ５００では、閃光（ＳＢ）発光するか否かの判断が行われ、閃光の発光を行う場合Ｓ５１０へ進み、閃光の発光を行わない場合Ｓ５２０へ進む。

Ｓ５１０では、閃光の発光が行われる。

Ｓ５２０では、シャッタが閉じられ、露出が終了する。その後、Ｓ４４０の半押しタイマ判断ルーチンへ戻る。

【００７４】

次に、「画像回復動作モード」時のブレ補正カメラの動作について説明する。

図５は、画像回復動作モード時のカメラの基本動作を示すフローチャートである。

Ｓ６００では、基準値演算部３１に用いられているＬＰＦ部のカットオフ周波数ｆｃをｆ

ｃ＝１Ｈｚに設定する。
上述した「光学式補正動作モード」時には、ｆｃ＝０．１Ｈｚとしたのに対して、この「画像回復動作モード」時には、カットオフ周波数ｆｃを上げている。このようにすることにより、「画像回復動作モード」時には、「光学式補正動作モード」時に比べて、ブレ補正カメラ１の振動の内、点像関数演算部１００により演算される点像関数に現れる成分を多くし、ブレ補正レンズ７０を駆動してブレ補正する成分を少なくすることができる。そうすることにより、ブレ補正レンズ７０を駆動する駆動量を減少させることができ、ブレ補正レンズ７０が駆動可能な範囲内で余裕を持って駆動することができる。この場合、光学式ブレ補正動作により補正されるブレ量が減少し、撮像される画像のブレ量が増加するが、この増加したブレについては、後に画像回復により補正されるので、最終的には、ブレ補正効果が高く、像ブレがない、又は、像ブレが非常に少ない画像を得ることができる。
このように、「画像回復動作モード」時には、基準値演算に使用するカットオフ周波数を「光学式補正動作モード」時に比べて高くし、ブレ補正する成分を光学式ブレ補正と画像回復とに配分することにより、「光学式補正動作モード」時に比べて、より大きな手振れであっても、適切なブレ補正を行うことができる。
【００７５】
図５におけるＳ６１０からＳ６７０までのフローは、図４におけるＳ４１０からＳ４７０までのフローにおける動作と同様なので、ここでの詳細な説明は省略する。
Ｓ６８０では、回復処理判断を行う。このＳ６８０の回復処理判断の詳細な説明は、後に図６を用いて行う。このステップにおける回復処理判断により画像回復処理が必要無いと判断された場合は、Ｓ６９０へ進み、画像回復処理が必要であると判断された場合は、Ｓ７２０へ進む。
【００７６】
Ｓ６９０では、図４におけるＳ４８０と同様に、ブレ補正レンズ７０のセンタリング動作の実行後、ブレ補正が再開される。
Ｓ７００では、シャッタ開動作が行われ、撮像部１１０への露光が開始される。
Ｓ７１０では、シャッタが閉じられ、露出が終了する。その後、Ｓ６４０の半押しタイマ判断ルーチンへ戻る。
Ｓ７２０では、図４におけるＳ４８０と同様に、ブレ補正レンズ７０のセンタリング動作の実行後、ブレ補正が再開される。
Ｓ７３０では、シャッタ開動作が行われ、撮像部１１０への露光が開始される。
Ｓ７４０では、露光期間中に点像関数演算用のデータ取得を行う。点像関数演算用のデータとしては、角速度センサ１０からの出力に基づいて演算された基準値と、位置検出部６０により得られたブレ補正レンズ７０の位置情報に基づいて演算された誤差情報とが含まれている。このＳ７４０における点像関数演算用データ取得の詳細については、後に図７を用いて説明する。
Ｓ７４５では、シャッタが閉じられ、露光が終了する。
【００７７】
Ｓ７５０では、点像関数演算用データの取得後、取得したデータを用いて点像関数の演算を行う。点像関数の演算は、取得した基準値ω_0　から基準値演算平均値ω_0　ａｖｅを減算し、これを積分、誤差角度θ（ｔ）を求め、さらに焦点距離情報ｆから像面での点像分布関数Ｘ（ｔ）を以下の数８により求める。
【００７８】
【数８】

$$X(t) = f \cdot \theta(t)$$

【００７９】
なお、テレコンバータ装着時は、テレコンバータの倍率に応じて焦点距離を変更する必要

がある。また、被写体距離情報を用いて補正を行うとさらに点像分布関数の精度は高くなる。この場合、以下の数９を用いるとよい。

【００８０】

【数９】

$$X(t) = \beta \cdot R \cdot \theta(t)$$

β：横倍率

R：被写体距離

【００８１】

これらの演算をそれぞれＸ方向、Ｙ方向について行い、それらをＸ－Ｙ平面に展開すると点像分布関数が得られる。

なお、上述の例は、点像関数演算の一例であって、点像関数の演算には、他の方法を利用してもよい。

Ｓ７５５では、Ｓ７４０において演算した点像関数を、誤差データを用いて補正する（関数補正部１０５による動作）。

ここで、誤差データを用いた点像関数の補正方法について説明する。

時間ｔの関数としてブレ補正レンズ７０の駆動目標位置をｌｃ（ｔ）、実駆動位置をｌｒ（ｔ）とすると、Ｘ軸方向及びＹ軸方向それぞれにおける制御位置誤差ｅ（ｔ）は、以下の式により与えられる（制御位置誤差出力部としての動作）。

$e_x(t) = lc_x(t) - lr_x(t)$

$e_y(t) = lc_y(t) - lr_y(t)$

これら２つの式を２次元に展開した関数をｅ（ｘ，ｙ）とすると、補正後の点像関数ｐ’（ｘ、ｙ）は、数１に示した点像関数ｐ（ｘ，ｙ）を用いて、以下の式により与えられる。

ｐ’（ｘ、ｙ）＝ｐ（ｘ，ｙ）＋ｅ（ｘ，ｙ）

点像関数を補正した後、Ｓ７６０では、画像回復処理対象画像に、ブレマークを付与する。

Ｓ７７０では、補正した点像関数をブレ情報として記録し、Ｓ６４０へ戻る。

【００８２】

次に、光学式補正系から出力されたブレ情報の処理と点像関数演算用データの取得について説明する。

図６は、ブレ検出データに基づいて点像関数演算を行うか否かを判断する画像回復判断部１４０（図５におけるＳ６８０）の詳細な動作を示すフローチャートである。

この画像回復判断部１４０の判断に基づき画像回復に必要なブレ検出データを記録するか否かが判断される。

【００８３】

Ｓ３１０では、ブレ検出量の大きさに基づき、画像回復処理の有効性を判断する。このステップでは、目標駆動位置演算結果から画像回復処理することによりブレを効果的に補正することができるか否かをブレ情報やカメラ撮影情報に基づいて画像回復可能条件範囲を予め設定しておき、その条件に基づき判断を行う。例えば、ブレ量が大きすぎる（最大限界ブレ量）と画像回復処理しても画像に縞模様が目立ち、この縞模様による画質劣化を避けることができない。また、ブレ量が小さすぎる（最小限界ブレ量）と画像回復してもその改善効果が現れない。そこで、これら限界ブレ量は、予め実験や経験により得ることにより設定しておく。

【００８４】

Ｓ３２０では、シャッタ速度（露光時間）により画像回復処理の必要性を判断する。このステップでは、シャッタ速度によりある程度ブレ量の大きさが予測され、その予測される

ブレ量により画像回復処理の必要か否かを判断する。シャッタ速度が速い場合は、たとえブレが生じても非常に小さいブレ量であり、鑑賞に堪えられる画像であると判断される。この場合のブレ量は、焦点距離とシャッタ速度の双方から求められる。光学式ブレ補正を行わない場合には、手ブレが発生するのは、（１／焦点距離）のシャッタ速度より遅い場合であると一般的にいわれている。しかし、本実施形態では、光学式ブレ補正も行っているので、例えば、以下の式を満たす場合にのみ、画像回復処理を行うようにする。

【００８５】

（Ａ／焦点距離）＜シャッタ秒時（露光時間）

ここで、上記Ａは、所定値としてもよいし、他の条件により変化する変数としてもよい。

【００８６】

Ｓ３１０，Ｓ３２０におけるシャッタ速度判断及びブレ検出量判断共に回復処理必要と判断された場合には、回復処理有りのＳ３３０の露光シーケンスとなり、図５におけるＳ７２０へ進む。

一方、Ｓ３１０，Ｓ３２０におけるシャッタ速度判断又はブレ検出量判断のいずれかにおいて回復処理不要と判断された場合には、Ｓ３４０へ進み、画像回復動作を行わない旨の警告・表示（告知）を行う。告知は、例えば、警告音であってもよいし、所定の表示を行うようにしてもよい。

Ｓ３４０を実行した後、Ｓ３５０の回復処理無しの露光シーケンスとなり、図５におけるＳ６９０へ進む。

この図６に示したように、画像回復の適否を判断することにより、画像回復処理のためのブレ情報量を軽減でき、メモリ容量の軽減を行うことができる。

【００８７】

図７は、点像関数演算用データ取得の動作（図５におけるＳ７４０）を詳細に示したフローチャートである。

本実施形態では、メモリ容量の節約等を主な目的として、図７に示す間引き処理（情報量減少部としての処理）を行っている。

露光開始後、Ｓ９１０では、カウンタをリセットする。具体的には、Ｎ＝１，Ｋ＝０とする。ここで、Ｎは、複数の基準値を区別するために付与する番号となるカウンタであり、Ｋは、時間を計るタイマとなるカウンタである。

Ｓ９２０では、最初の基準値出力であるω_0（１）　を保存する。

【００８８】

Ｓ９２５では、そのときの誤差ｅ（１）を演算して保存する。ここで、誤差とは、目標駆動位置演算部３３により演算されたブレ補正レンズ７０の駆動目標位置と、位置検出部６０から出力されるブレ補正レンズ７０の実駆動位置との差（制御位置誤差）であり、ブレ補正制御部３０により演算される。ブレ補正制御部３０では、駆動目標位置と実駆動位置との差を埋めるように駆動信号を出力しているが、ブレ補正レンズ７０が駆動目標に追従しきれない場合があり、この場合に誤差が生じる。

Ｓ９３０では、基準値出力の平均値ω_0　ａｖｅを以下の式により演算する。

【００８９】

【数１０】

$$\omega_0 ave = \{\omega_0(N) + \omega_0 ave \times (N-1)\}/N$$

【００９０】

Ｓ９４０では、カウンタの確認を行う。Ｋ＝１００であれば、Ｓ９５０へ進み、それ以外の場合には、Ｓ９７０へ進む。

Ｓ９５０では、基準値出力ω_0（Ｎ）　を保存する。

Ｓ９５５では、そのときの誤差ｅ（Ｎ）を演算して保存する。

Ｓ９６０では、Ｋ＝０としてタイマカウンタをリセットする。本実施形態では、角速度セ

ンサ１０のサンプリング周波数が１ＫＨｚであるので、０．１ｓｅｃ毎に基準値出力を保存するので、基準値出力を間引くことになる。

【００９１】

Ｓ９７０では、シャッタが閉じているか否かを確認し、シャッタが開いていればＳ９９０へ進み、シャッタが閉じていればＳ９８０へ進む。

Ｓ９８０では、最後の基準値出力ω_0（Ｎ）を保存しておく。これは、基準値出力の間引き保存によりシャッタ秒時が速い場合、基準値出力の最初のポイントしか保存されないことを避けるためである。例えば、本実施形態では、サンプリング周波数１ＫＨｚのときに０．１ｓｅｃ毎に基準値出力を保存するので、１／１０ｓｅｃよりも速いシャッタスピードでは、最初の基準値出力しか保存されておらず、点像関数が構成できなくなってしまうからである。また、このＳ９８０では、Ｓ９３０において演算した基準値出力の平均値ω_0　ａｖｅも同時に保存しておく。

Ｓ９８５では、そのときの誤差ｅ（Ｎ）を演算して保存する。

Ｓ９９０及びＳ１０００では、カウンタを進め、Ｓ９３０に戻り、基準値出力の平均値演算を行う。

【００９２】

ここで、上述の間引き処理について説明する。

本実施形態では、画像回復処理に用いる点像関数は、基準値出力を基に演算される。基準値出力は、前述の様に１Ｈｚ（画像回復を行う図５のフローの場合）のカットオフ周波数を有するＬＰＦ出力であるため、手ブレの周波数成分より低い。したがって、点像関数演算に用いるデータ数も少なくする事が可能である。点像関数演算を行う場合に、光学式補正系５００から送出されるブレ検出データの全てのデータについて点像関数を演算しようとすると、多大な演算量とメモリ容量が必要となってしまう。

【００９３】

目標位置演算結果から得られるブレ検出データの個数は、例えば、基準値演算のサンプリング周波数が１ｋＨｚの時、１秒分の基準値のデータ個数は、Ｎ＝１０００個であり、非常に多くのデータ量である。手振れの周波数は、０．１～１０Ｈｚ程度であり、手振れ振動の基準値を算出する基準値演算部３１に設けられたローパスフィルタのカットオフ周波数は、１Ｈｚ程度である。つまり、点像関数演算部には、１Ｈｚ以下の周波数が主成分となる。１Ｈｚの周波数を表すにはその１０倍程度、つまり０．１ｓｅｃ周期のデータで十分である。したがって、１ＫＨｚサンプリングのデータを１／１００までデータの間引きを行う事が可能となる。

また、基準値出力演算のためのＬＰＦのカットオフ周波数を変更する場合には、このカットオフ周波数から間引き量を変更する必要がある。

このような処理により、演算処理時間の短縮、メモリ容量等の節約を行うことができる。

【００９４】

間引き処理した後に、画像再生装置により画像回復処理するために記録媒体にブレ情報を記録したり、画像再生装置にデータを転送したりすることが行われる。本実施形態では、間引き処理により画像回復処理に必要な最低のデータ個数を記録や転送することにより、転送時間、演算処理時間の短縮、とりわけメモリ容量の節約に大きな効果を奏することができる。

【００９５】

ここで、図５のＳ７５０において行われる点像関数演算部１００の動作について説明する。

光学式補正系５００によりブレ補正を実行してもブレを補正しきれず、若干のブレが画像に残ってしまう（ブレ補正残差）という問題については、従来技術の説明において述べた。このようなブレ補正残差が発生する原因は、主に基準値によるところと、ブレ補正レンズの実際の駆動位置と駆動目標との間に生じる誤差によるところが大きい。そこで、本実施形態における点像関数演算部１００では、基準値を基に点像関数を算出し、関数補正部１０５において、この点像関数を誤差で補正する。ここで補正した点像関数は、画像回復

演算部２１０に送信される。画像回復演算部２１０は、この送信された補正後の点像関数を基に画像回復演算を行い、ブレ補正レンズ７０のブレ補正動作では補正しきれなかった像ブレを補うことにより、ブレ補正効果の高い高画質な画像を得ることができる。

【００９６】

従来の画像回復処理に用いるデータは、角速度センサ等により検出されたブレ検出データから直接点像関数を求めて画像回復を行う例がほとんどであった。しかし、先にも述べたように、このような方法では、画像のブレが大きくなってしまった場合、画像回復をしても画質が改善されないという問題があった。しかし、本実施形態によれば、光学式ブレ補正機構によりある程度ブレを補正し、そのときのブレ情報を用いて画像回復処理することにより大幅な画質改善が可能である。

【００９７】

図８及び図９は、本実施形態における画像回復を説明する図である。

本実施形態では、光学式ブレ補正機構によりブレ補正された後の画像データ及びブレ情報を用いているので、ブレ量が大きすぎることはない。この点の効果は、図１４と比較することにより明らかである。ブレが大きくなるほど伝達されない周波数成分が増え、画像の回復が難しくなる。図９（ｂ）に示す空間周波数伝達関数が０になっている点が図１４（ｂ）のそれよりも少なくなっていることがわかる。これは、伝達されない周波数成分を減らしていることになるので、画像回復を効果的に行うことができることを示している。

【００９８】

次に、画像再生装置２の動作について説明する。

図１０は、画像再生装置２の基本動作を示すフローチャートである。

画像再生装置２には、画像回復を行うためのブレ補正プログラムは、すでに画像再生装置２にインストールされているものとする。

先に示したように、本実施形態では、カメラ側の画像データは、転送ケーブル３００を介して画像再生装置２に転送される。

図１０では、既に、画像の転送が行われ、ブレ補正（画像回復処理）プログラムが立ち上がりメニュー画面表示されているものとする。

【００９９】

Ｓ２０１０では、回復処理ボタンをマウスでクリックする等により、画像回復を行うフローに入る。

Ｓ２０２０では、予めカメラ側で回復処理する対象の画像であると判断された画像には、ブレマークが付与され記録されているので、再生時において画像読み込み動作開始とともにこのブレマークが付与されている画像のみが読み出されて表示される。

【０１００】

Ｓ２０３０では、画像又は像ブレに関する各種パラメータを見ながら利用者が画像回復処理を実行する画像を選択し、表示する。

Ｓ２０４０では、選択された画像に関し、画像回復のために必要なパラメータであるブレ軌跡データ及び点像ブレをより詳細に表示する。具体的には、画像表示部（ディスプレイ）２２０上にブレ軌跡データや点像ブレなどのブレ補正カメラ１により記録された補正情報や撮影情報などを表示し、操作者が適宜ブレ軌跡データを画像表示部２２０上で直接操作することができる。

図１１及び図１２は、具体的な画像表示及び各種パラメータの操作例を示す図である。

【０１０１】

Ｓ２０５０では、画像回復を行うときの上記パラメータを任意に変更、設定する。

Ｓ２０６０では、Ｓ２０５０において設定したパラメータに従い回復処理を実行する。

Ｓ２０７０では、画像再生装置２の画像表示部２２０上に回復処理する前のブレ画像と回復処理した回復画像とを比較表示する。

Ｓ２０８０では、画像回復前のブレ画像と回復画像後の回復画像とを目視にて比較し、回復画像でよいか否か（再度画像回復を行うか否か）を判断する。回復画像でよい場合には、Ｓ２０９０へ進み、再度画像回復を行う場合には、Ｓ２０４０へ戻る。

【０１０２】
Ｓ２０８５では、回復画像及びパラメータを保存するか否かの判断を、利用者が判断して決定する。回復画像及びパラメータを保存する場合には、Ｓ２０９０へ進み、保存しない場合には終了する。
Ｓ２０９０では、回復画像及びパラメータを上書き保存するか否か利用者が判断して選択指示する。上書き保存しない場合は、Ｓ２１１０へ進み、上書き保存する場合はＳ２１００に進む。また、上書き保存する場合には、上書きされて消されるデータ（既に保存されているデータ）の選択も併せて行う。
Ｓ２１００では、原画像に対応して保存されている過去の回復画像及びパラメータ（Ｓ２０９０において上書きされる選択がされたデータ）を削除する。
Ｓ２１１０では、回復画像と、今回の画像回復処理に使用した新たなパラメータとを原画像に関連づけて保存する。
【０１０３】
図１１に示す例では、画像表示部２２０上には、回復処理する前のブレ画像と回復処理した回復画像、点像関数に関する情報とブレ軌跡データとがそれぞれ対応づけてウインドウ表示されている。このように同一画面上に比較して表示することにより、操作者が直感的にどの個所を修正すればよいかが一目にして判断することができる。
また、図１１の右下に表示されている部分には、ブレ軌跡データの操作を行うことができる表示が行われている。本実施形態では、このようにして、画像表示部２２０上に表示されているブレ軌跡データをマウスなどを用いて局所的に操作することができる。このように操作されたブレ軌跡データに基づいて再度回復処理を実行し、より詳細な比較判断をすることができる。
【０１０４】
また、本実施形態では、得られたブレ軌跡データ〔図１２（ａ）〕をマウス指示点Ｐを基準に縮小拡大することにより、図１２（ｂ）に示す画像データ操作の粗調整、図１２（ｃ）に示す微調整を行うことができる。図１２（ｃ）は、微調モードにした例であり、データ数を細かく操作することができるため、得られた回復画像のパラメータに対する評価がし易くなり、画像操作自由度を高められるとともに効率的な処理を行うことができる。
【０１０５】
従来、点像関数演算では、角速度センサなどのセンサ出力から得られた出力を直接演算に用いていたので、非常に多くの誤差要因が点像関数に含まれ、画像表示操作しても高画質な画像を得ることは困難であった。これに対し、本実施形態では、点像関数演算は、光学式ブレ補正動作によりブレ補正されたノイズ誤差の少ない出力データを用いて画像回復処理を行うので、非常に高画質の回復画像が得られる。また、ブレ軌跡データや点像データなどを、例えば、マウスなどを用いて直接画像を操作することができ、画像回復処理に用いるパラメータの画像回復に対する効果の度合いも評価し易くなり、効率的な処理作業をすることができる。
【０１０６】
このように、本実施形態では、画像に関連づけてブレ情報を記録しているため、画像再生装置２（画像閲覧ソフト）により画像を閲覧するだけでブレ情報が利用者にわかるようになっている。したがって、画像回復する前に画像とブレ情報とを利用者が関連づけする必要がなくなり、作業効率が向上する。また、画像回復が必要か否かの情報もブレマークにより表示されるため、さらに作業効率がよくなる。
【０１０７】
本実施形態によれば、ブレ補正レンズ７０の実駆動位置を検出し、駆動目標位置との差を誤差として求め、この誤差を反映した点像関数を演算するので、この点像関数を用いて画像回復を行うことにより、ブレ補正レンズ７０の駆動誤差によるブレ補正残差についても画像回復により補正することができ、ブレ補正効果を高めることができる。
【０１０８】
（第２実施形態）

第２実施形態は、撮影レンズ部分が交換可能な交換レンズタイプのカメラとした形態であり、第１実施形態と同様の機能を果たす部分には、同一の符号を付して、重複する説明を適宜省略する。
図１６は、本発明によるブレ補正カメラの第２実施形態のシステム構成を示すブロック図である。
カメラボディ１０１には、ボディ側制御部８０Ａ，電源供給部９０，点像関数演算部１００，撮像部１１０，画像記録部１２０，インターフェイス部１３０，ブレ補正モード判断部１４５，露出制御部１５０，閃光制御部１８０，操作部１９０等が設けられている。
交換レンズ１０２には、レンズ側制御部８０Ｂ，ＲＡＭ１２１，合焦レンズ位置検出部１６０，焦点距離検出部１７０，ブレ補正モード選択スイッチ１９３，光学式補正系５００等が設けられている。
また、カメラボディ１０１と交換レンズ１０２とが接続される部分には、信号伝達部３１０が設けられており、カメラボディ１０１と交換レンズ１０２との間で信号のやりとりが可能となっている。
画像再生装置２には、関数補正部２４０が設けられている。
【０１０９】
次に、本実施形態におけるカメラボディ１０１及び交換レンズ１０２の撮影時における動作について説明する。
なお、第１実施形態において説明したように、ブレ補正モード選択スイッチ１９３は、「ブレ補正ＯＦＦモード」「光学式補正動作モード」「画像回復動作モード」の３モードを選択可能なスイッチであるが、ここでは、本発明の説明に関連する「光学式補正動作モード」「画像回復動作モード」の動作についてのみ説明を行うものとする。
図１７及び図１８は、本実施形態におけるカメラボディ１０１及び交換レンズ１０２の撮影時における動作の流れについて示したフローチャートであり、通常の単写レリーズの場合のブレ補正に関する部分のみを示している。なお、図１７と図１８は、紙面の都合上、分割して示している。また、このフローにおいて、図中の左側にカメラボディ側のフロー（Ｓ３０００番台）を示し、右側に交換レンズ側のフロー（Ｓ４０００番台）を示し、これらの間を破線で結ばれた動作は、略同時点における動作であることを示すものとする。
【０１１０】
Ｓ３０１０では、交換レンズ１０２に対して電源供給部９０の電源使用を許可する。
電源使用許可を得た（Ｓ４０１０）交換レンズ１０２は、Ｓ４０２０において、角速度センサ１０及びその他の回路に電力を供給する。
Ｓ３０２０では、半押しスイッチ１９１がＯＮしているか否かを判断し、半押しスイッチ１９１がＯＮの場合にはＳ３０３０へ進み、半押しスイッチ１９１がＯＦＦの場合には、このＳ３０２０における判断を繰り返す。
【０１１１】
Ｓ３０３０では、半押しスイッチ１９１のＯＮの間に行われるブレ補正（以下、半押しブレ補正）動作の開始を指示するコマンドをレンズ側へ送信する。
半押しブレ補正開始コマンドを受信した（Ｓ４０３０）交換レンズ１０２では、Ｓ４０４０において、ブレ補正レンズ７０のロックを解除して、半押しブレ補正動作を開始する。
Ｓ３０４０では、全押しスイッチ１９２がＯＮしているか否かを判断し、全押しスイッチ１９２がＯＮの場合にはＳ３０５０へ進み、全押しスイッチ１９２がＯＦＦの場合には、Ｓ３０３０に戻り、このＳ３０４０における判断を繰り返す。
【０１１２】
Ｓ３０５０では、全押しスイッチ１９２のＯＮを受けて、露光中ブレ補正の開始を指示するコマンドをレンズ側へ送信する。
Ｓ３０６０では、露光準備、例えばミラーアップ等を行い、Ｓ３０７０において露光を開始し、Ｓ３０８０で露光を終了する。
【０１１３】
露光中ブレ補正開始コマンドを受信した（Ｓ４０５０）交換レンズ１０２では、Ｓ４０６

０において、露光中ブレ補正動作を開始する。また、このＳ４０６０において交換レンズ１０２では、この露光中ブレ補正動作を行いながら位置検出部６０によりブレ補正レンズ７０の実駆動位置を検出し、少なくとも露光開始時点から終了時点までの間、目標駆動位置との差を誤差情報（誤差データ）として、また、角速度センサ１０からの情報を振動データとしてＲＡＭ１２１へ格納し続ける。

【０１１４】

Ｓ３０９０では、ブレ補正の停止を指示するコマンド（ブレ補正停止コマンド）を交換レンズ１０２へ送信する。

ブレ補正停止コマンドを受信した（Ｓ４０７０）交換レンズ１０２では、Ｓ４０８０においてブレ補正制御を停止する。

Ｓ３１００では、露光後の処理、例えば、ミラーダウン及びチャージ等を行う。

Ｓ３１１０では、ブレ補正レンズ７０のロックを指示するブレ補正レンズロックコマンドを交換レンズ１０２へ送信する。

ブレ補正レンズロックコマンドを受信した（Ｓ４０９０）交換レンズ１０２では、Ｓ４１００においてブレ補正レンズをロックする。

【０１１５】

図１８へ進んで、Ｓ３１２０では、交換レンズ１０２に設けられたブレ補正モード選択スイッチ１９３が「光学式補正動作モード」（光学式のブレ補正のみ行う）が選択されているか、「画像回復動作モード」（光学式のブレ補正と画像回復を行う）が選択されているのかをカメラボディ１０１に設けられたブレ補正モード判断部１４５において判断する。

「画像回復動作モード」であれば、Ｓ３１３０へ進み、「光学式補正動作モード」であれば、Ｓ３１７０へ進む。

また、交換レンズ側でも、Ｓ３１２０における動作に対応して、「画像回復動作モード」であれば、Ｓ４１２０へ進み、それ以外の場合はＳ４１５０へ進む（Ｓ４１１０）。

【０１１６】

Ｓ３１３０では、先にＲＡＭ１２１へ格納した誤差データと振動データを要求するコマンドを交換レンズ１０２へ送信する。

誤差データと振動データを要求するコマンドを受信した（Ｓ４１２０）交換レンズ１０２は、Ｓ４１３０において誤差データをカメラボディ１０１へ送信する。

Ｓ４１４０では、両データの送信を完了したか否かを判断し、送信を完了した場合にはＳ４１５０へ進み、送信を完了していない場合には、Ｓ４１３０へ戻り誤差データの送信を続ける。

誤差データと振動データを受信した（Ｓ３１４０）カメラボディ１０１では、Ｓ３１５０において、両データの受信を完了したか否かを判断し、受信を完了した場合にはＳ３１６０へ進み、受信を完了していない場合には、Ｓ３１４０へ戻り両データの受信を続ける。

Ｓ３１５５では、受け取った振動データにより点像関数を演算する。

【０１１７】

Ｓ３１６０では、撮影した画像に対して誤差データ及び点像関数を関連付けて画像記録部１２０へ保存する。

Ｓ３１７０では、画像記録部１２０に撮影画像を保存する。なお、このステップの場合には、Ｓ３１６０と異なり、誤差データは保存しない。

Ｓ３１８０では、交換レンズ１０２に対して電源遮断を促進するコマンドを送信し、その後、Ｓ３１９０においてカメラボディ１０１の電源をＯＦＦして動作を終了する。

電源遮断を促進するコマンドを受信した（Ｓ４１５０）交換レンズ１０２では、Ｓ４１６０において角速度センサ１０その他の回路をＯＦＦし、動作を終了する。

【０１１８】

保存された画像データ、点像関数演算部１００により演算された点像関数、及び、誤差データは、画像再生装置２へ送信され、関数補正部２４０において、点像関数を誤差データに基づいて補正する。

その後、画像回復演算部２１０において画像回復が行われる。このとき、誤差データによ

る補正後の点像関数を用いて画像回復を行う。このようにして得られる回復画像は、ブレ補正レンズ７０の追従誤差を考慮したブレ補正が行われており、ブレ補正効果の高い画像を得ることができる。

【０１１９】

本実施形態によれば、レンズ交換可能なカメラシステムにおいて、ブレ補正レンズ７０の駆動誤差を検出し、画像回復に利用することとしたので、ブレ補正レンズの駆動特性が交換レンズ毎に異なっている場合において、いずれの交換レンズを使用しても最良のブレ補正効果を得ることができる。

【０１２０】

（変形形態）

以上説明した実施形態に限定されることなく、種々の変形や変更が可能であって、それらも本発明の均等の範囲内である。

（１）各実施形態において、ブレ補正カメラ１と画像再生装置２とを転送ケーブル３００を介して接続し、データの送受信を行う例を示したが、これに限らず、例えば、ブレ補正カメラ１により撮影された画像とその画像に対応する点像関数やその他の画像回復処理に必要なパラメータ及び撮影情報などが記録された汎用の記録媒体を用いてもよい。

【０１２１】

（２）第１実施形態において、データの間引き処理を行い、データ量を減少させる例を示したが、これに限らず、データの間引きを行わずに、基準値の演算・保存、及び、誤差の演算・保存を行ってもよい。

【０１２２】

（３）第１実施形態において、画像回復を行うか否かに応じてＬＰＦのカットオフ周波数を変更する例を示したが、これに限らず、画像回復を行うか否かに応じてＬＰＦのカットオフ周波数を変更しなくてもよい。

【０１２３】

（４）各実施形態において、角速度センサ１０からの出力を用いた基準値又は振動データにより点像関数を演算し、これを誤差情報により補正する例を示したが、これに限らず、例えば、基準値と振動データ両方から関数を演算して補正するようにしてもよい。

また、基準値と振動データのいずれか一方、又は、両方と誤差情報により点像関数を求め、点像関数の補正を行うことなく画像回復を行うようにしてもよい。さらに、角速度センサ１０の出力を全く用いずに、誤差情報のみから点像関数を演算するようにしてもよい。この誤差情報のみから点像関数を演算する場合は、基準値や振動データは、格納しておいたり、通信で渡したりする必要がなくなるので、作業効率の向上、及び、作業時間の短縮を図ることができる。

【０１２４】

（５）各実施形態において、点像関数演算部１００は、カメラ１，カメラボディ１０１に備わっている例を示したが、これに限らず、例えば、点像関数演算部を画像再生装置に備えてもよい。同様に、第２実施形態において、関数補正部２４０は、画像再生装置に設けられている例を示したが、これに限らず、例えば、関数補正部をカメラ，カメラボディに設けてもよい。このように、制御位置誤差に関する情報を利用する形態としては、複数の組み合わせが実施可能である。この組み合わせ例を、以下の表１に示す。

【０１２５】

【表１】

No.	カメラ・カメラボディ	画像再生装置	備考
1	点像関数演算部 関数補正部 画像回復演算部		
2	点像関数演算部(誤差を反映) 画像回復演算部		
3	点像関数演算部(誤差のみによる演算) 画像回復演算部		
4	点像関数演算部 関数補正部	画像回復演算部	第1実施形態に対応
5	点像関数演算部	関数補正部 画像回復演算部	第2実施形態に対応
6	点像関数演算部(誤差を反映)	画像回復演算部	
7	点像関数演算部(誤差のみによる演算)	画像回復演算部	
8		点像関数演算部 関数補正部 画像回復演算部	
9		点像関数演算部(誤差を反映) 画像回復演算部	
10		点像関数演算部(誤差のみによる演算) 画像回復演算部	

【０１２６】
表１中のＮｏ．４が第１実施形態に相当し、Ｎｏ．５が第２実施形態に相当している。表１に示すいずれの形態であっても、本発明の効果を同様に発揮することができる。
また、表１中のＮｏ．３，７，１０に示す形態によれば、上述のように基準値や振動データは、格納しておいたり、通信で渡したりする必要がなく、作業効率の向上、及び、作業時間の短縮を図ることができる。
【０１２７】
【発明の効果】
以上詳しく説明したように、本発明によれば、以下の効果を奏することができる。
（１）制御部によるブレ補正光学系の駆動目標位置と位置検出部から出力されるブレ補正光学系の実駆動位置との差を制御位置誤差として出力する制御位置誤差出力部と、撮像部により撮像された画像に対して制御位置誤差を加味した画像処理による画像回復を行い像ブレを補正する画像回復演算部とを備えるので、ブレ補正光学系の駆動制御誤差により残る像ブレを補正することができ、光学式ブレ補正によるブレ補正が狙い通りに行われない場合も含めて、常にブレ補正効果が高く、確実に像ブレを補正することができる。
【０１２８】
（２）制御位置誤差を用いて点像分布関数を補正する関数補正部を備え、画像回復演算部は、関数補正部による補正後の点像分布関数で処理することにより画像回復を行うので、ブレ補正光学系の駆動制御誤差により残る像ブレを補正することができ、光学式ブレ補正によるブレ補正が狙い通りに行われない場合も含めて、常にブレ補正効果が高く、確実に像ブレを補正することができる。
【０１２９】
（３）制御位置誤差を利用して点像分布関数を演算する点像分布関数演算部を備えるので、ブレ補正光学系の駆動制御誤差を反映した点像分布関数を演算することができる。した

がって、ブレ補正光学系の駆動制御誤差により残る像ブレを補正することができ、光学式ブレ補正によるブレ補正が狙い通りに行われない場合も含めて、常にブレ補正効果が高く、確実に像ブレを補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明によるブレ補正カメラの第１実施形態のシステム構成を示すブロック図である。

【図２】光学式補正系５００のブレ補正制御部３０の制御動作を説明する制御ブロック図である。

【図３】ブレ補正動作を行う場合のカメラの基本動作を示すフローチャートである。

【図４】光学式ブレ補正動作モード時のカメラの基本動作を示すフローチャートである。

【図５】画像回復動作モード時のカメラの基本動作を示すフローチャートである。

【図６】ブレ検出データに基づいて点像関数演算を行うか否かを判断する画像回復判断部１４０の詳細な動作を示すフローチャートである。

【図７】点像関数演算用データ取得の動作を詳細に示したフローチャートである。

【図８】本実施形態における画像回復を説明する図である。

【図９】本実施形態における画像回復を説明する図である。

【図１０】画像再生装置の基本動作を示すフローチャートである。

【図１１】具体的な画像表示及び各種パラメータの操作例を示す図である。

【図１２】具体的な画像表示及び各種パラメータの操作例を示す図である。

【図１３】従来の画像回復を説明する図である。

【図１４】従来の画像回復を説明する図である。

【図１５】ドリフト成分を含む角速度センサ出力、基準値の出力、像面でのブレ量を示す図である。

【図１６】本発明によるブレ補正カメラの第２実施形態のシステム構成を示すブロック図である。

【図１７】本実施形態におけるカメラボディ１０１及び交換レンズ１０２の撮影時における動作の流れについて示したフローチャートである。

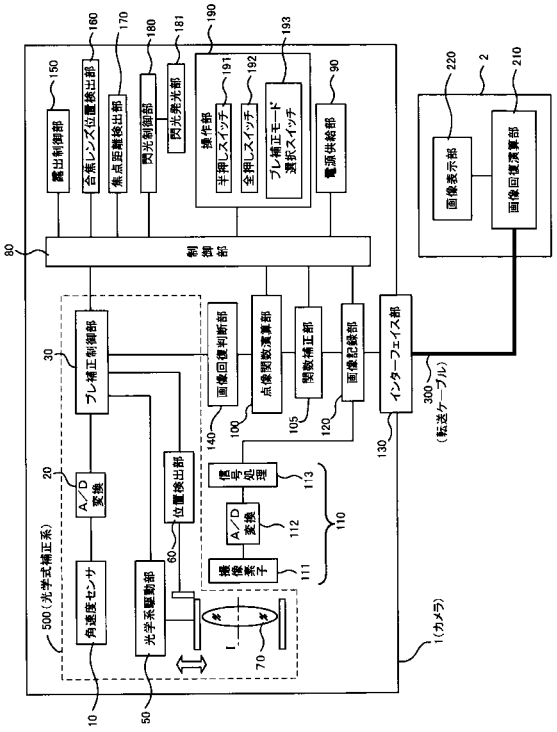
【図１８】本実施形態におけるカメラボディ１０１及び交換レンズ１０２の撮影時における動作の流れについて示したフローチャートである。

【符号の説明】

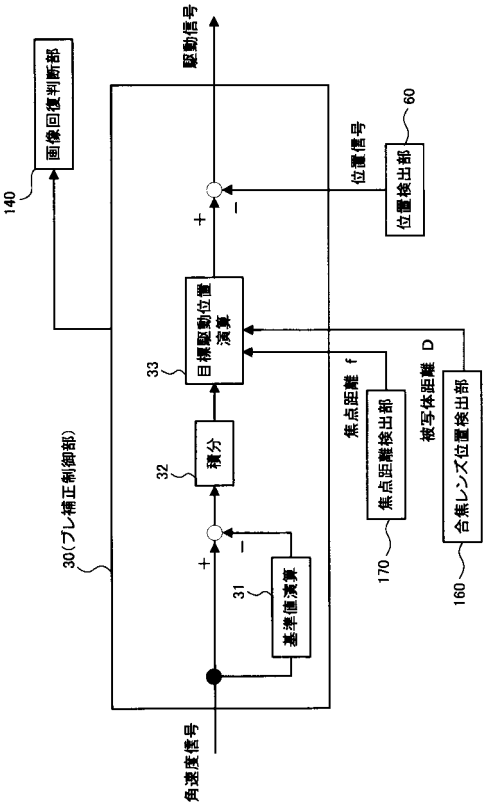
１　ブレ補正カメラ
２　画像再生装置
１０　角速度センサ
２０　Ａ／Ｄ変換部
３０　ブレ補正制御部
３１　基準値演算部
３２　積分部
３３　目標駆動位置演算部
５０　光学系駆動部
６０　位置検出部
７０　ブレ補正レンズ
８０　制御部
８０Ａ　ボディ側制御部
８０Ｂ　レンズ側制御部
９０　電源供給部
１００　点像関数演算部
１０１　カメラボディ
１０２　交換レンズ
１０５　関数補正部
１１０　撮像部

１２０　画像記録部
１２１　ＲＡＭ
１３０　インターフェイス部
１４０　画像回復判断部
１４５　ブレ補正モード判断部
１５０　露出制御部
１６０　合焦レンズ位置検出部
１７０　焦点距離検出部
１８０　閃光制御部
１９０　操作部
１９１　半押しスイッチ
１９２　全押しスイッチ
１９３　ブレ補正モード選択スイッチ
２１０　画像回復演算部
２２０　画像表示部
２４０　関数補正部
３００　接続ケーブル
５００　光学式補正系

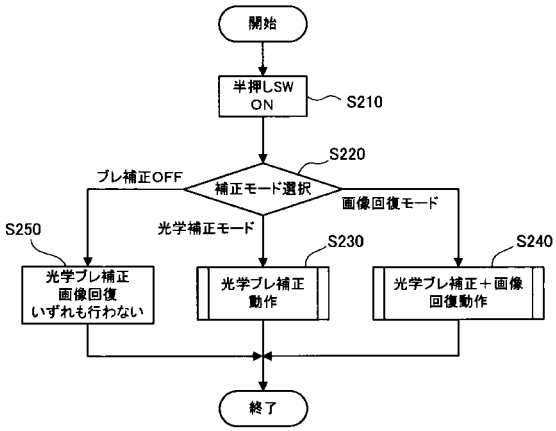
【図１】



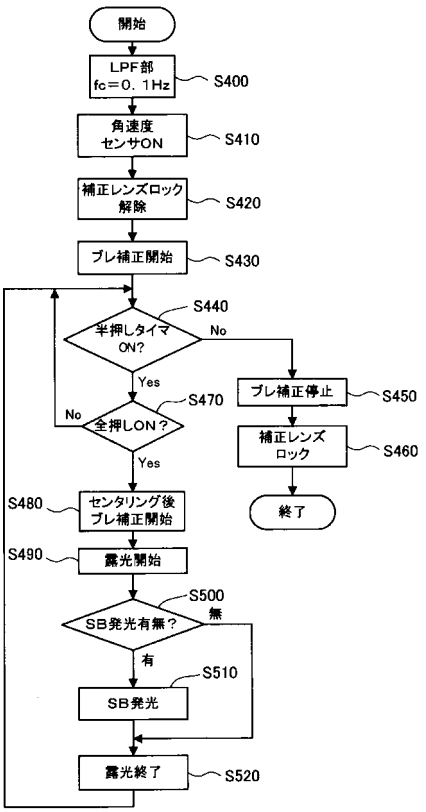
【図２】



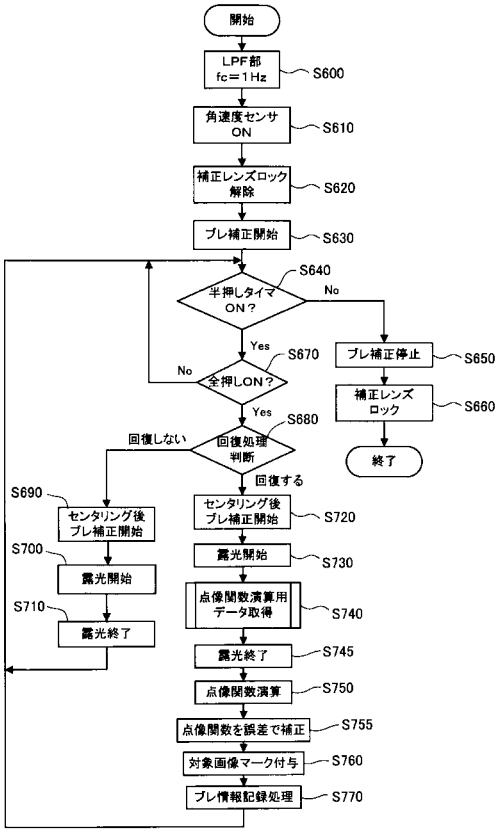
【図３】


開始
半押しSW ON
S210
S220
補正モード選択
ブレ補正OFF
光学補正モード
画像回復モード
S250
S230
S240
光学ブレ補正 画像回復 いずれも行わない
光学ブレ補正 動作
光学ブレ補正＋画像 回復動作
終了

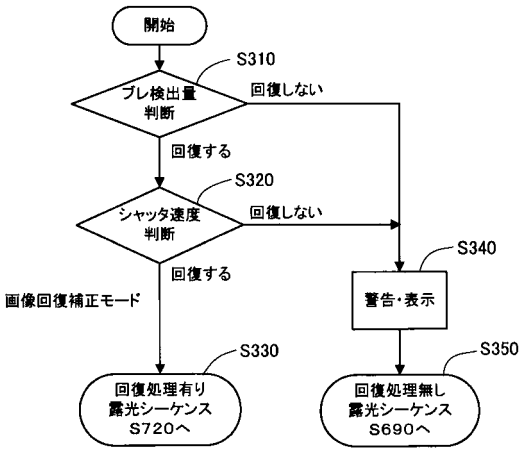
【図４】


開始
LPF部 fc=0．1Hz
S400
角速度 センサON
S410
補正レンズロック 解除
S420
ブレ補正開始
S430
S440
半押しタイマ ON?
No
Yes
ブレ補正停止
S450
S470
No
全押しON？
補正レンズ ロック
S460
Yes
終了
S480
センタリング後 ブレ補正開始
S490
露光開始
S500
無
SB発光有無？
有
S510
SB発光
露光終了
S520

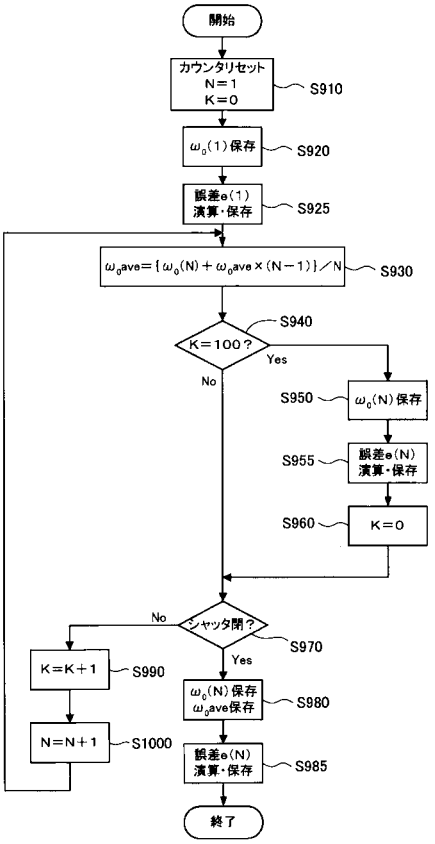
【図５】


開始
LPF部 fc=1Hz
S600
角速度センサ ON
S610
補正レンズロック 解除
S620
ブレ補正開始
S630
S640
半押しタイマ ON？
No
Yes
S670
ブレ補正停止
S650
No
全押しON？
補正レンズ ロック
S660
Yes
S680
回復処理 判断
終了
回復しない
回復する
S690
センタリング後 ブレ補正開始
S720
S700
露光開始
S730
S710
露光終了
点像関数演算用 データ取得
S740
露光終了
S745
点像関数演算
S750
点像関数を誤差で補正
S755
対象画像マーク付与
S760
ブレ情報記録処理
S770

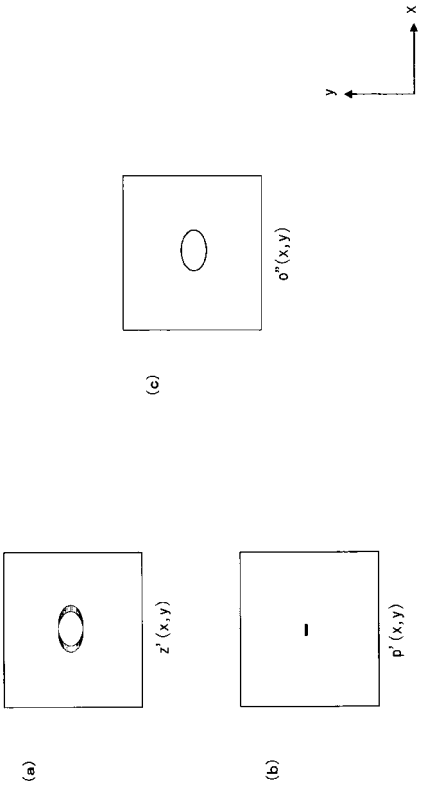
【図６】


開始
S310
ブレ検出量 判断
回復しない
回復する
S320
シャッタ速度 判断
回復しない
回復する
画像回復補正モード
S340
警告・表示
S330
回復処理有り 露光シーケンス S720へ
S350
回復処理無し 露光シーケンス S690へ

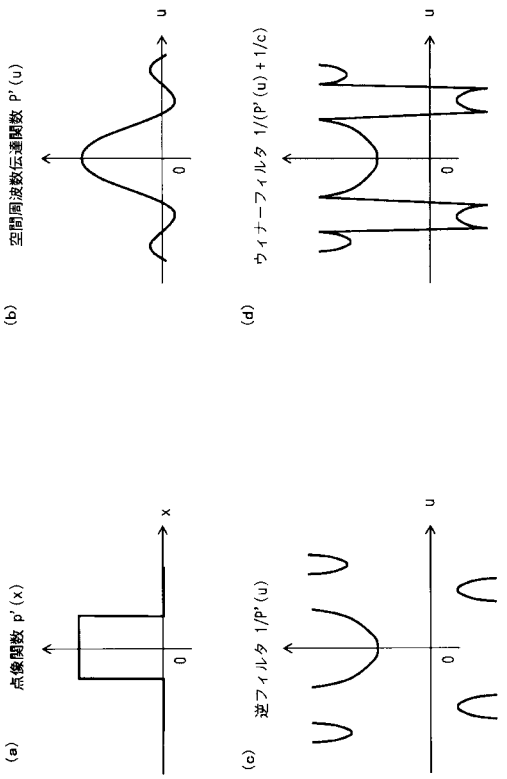
【図７】


開始
カウンタリセット N=1 K=0
S910
ω0(1)保存
S920
誤差e(1) 演算・保存
S925
ω0ave={ω0(N)+ω0ave×(N−1)}／N
S930
K=100？
S940
Yes
No
ω0(N)保存
S950
誤差e(N) 演算・保存
S955
K=0
S960
シャッタ開？
No
Yes
S970
K=K+1
S990
ω0(N)保存 ω0ave保存
S980
N=N+1
S1000
誤差e(N) 演算・保存
S985
終了

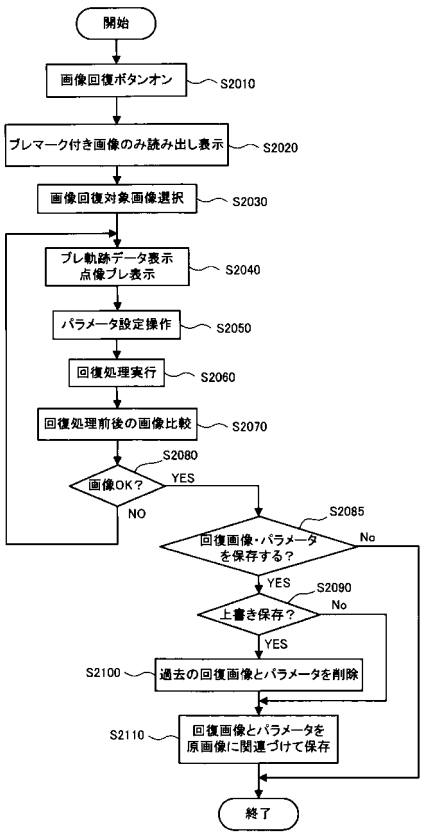
【図８】


x
y
o''(x,y)
(c)
z'(x,y)
p'(x,y)
(a)
(b)

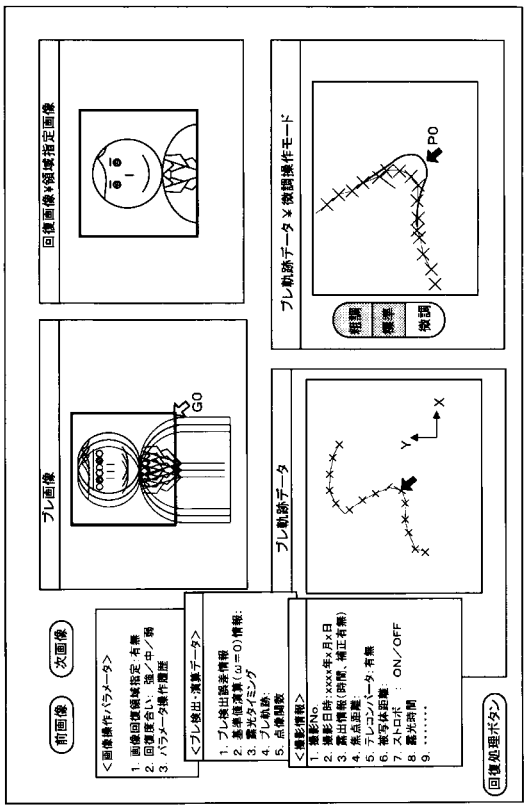
【図９】


u
空間周波数伝達関数 P'(u)
0
(b)
ウィナーフィルタ 1/(P'(u)+1/c)
(d)
x
点像関数 p'(x)
(a)
逆フィルタ 1/P'(u)
(c)

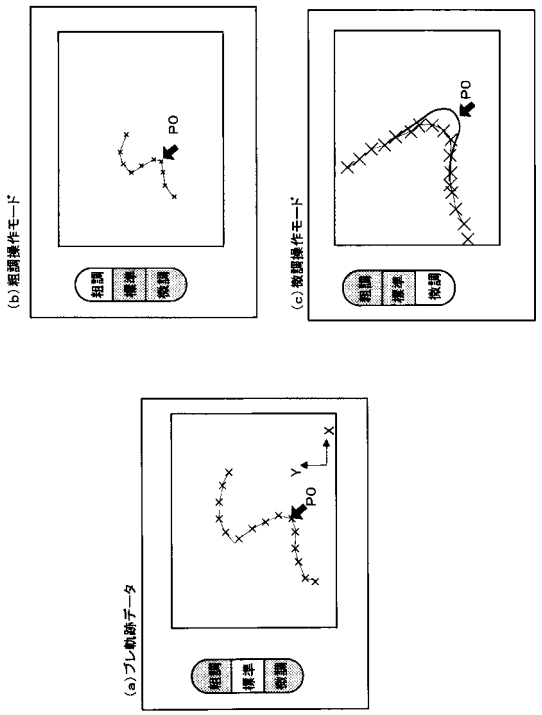
【図１０】


開始
画像回復ボタンオン
S2010
ブレマーク付き画像のみ読み出し表示
S2020
画像回復対象画像選択
S2030
ブレ軌跡データ表示 点像ブレ表示
S2040
パラメータ設定操作
S2050
回復処理実行
S2060
回復処理前後の画像比較
S2070
S2080
画像OK？
YES
NO
S2085
回復画像・パラメータを保存する？
No
YES
S2090
上書き保存？
No
YES
S2100
過去の回復画像とパラメータを削除
S2110
回復画像とパラメータを原画像に関連づけて保存
終了

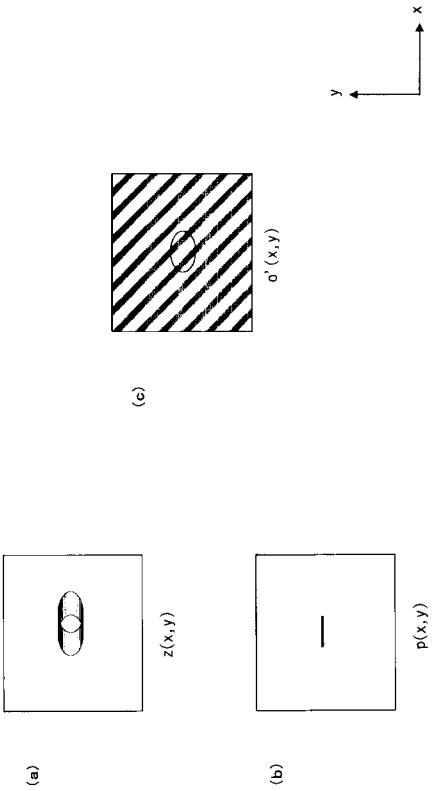
【図１１】



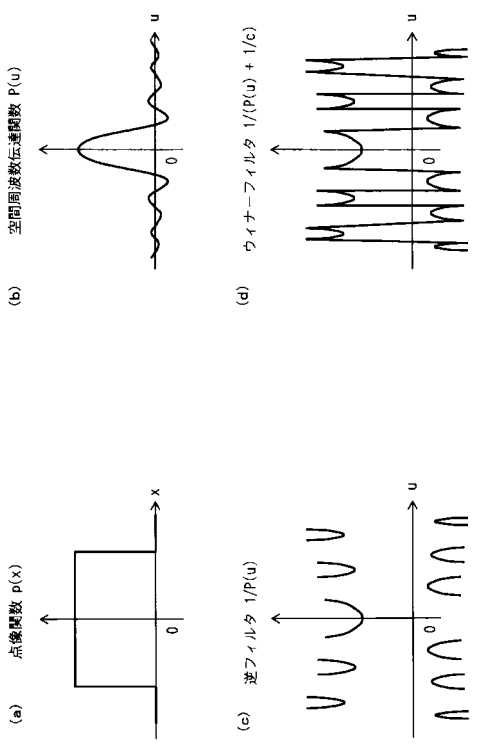
【図１２】



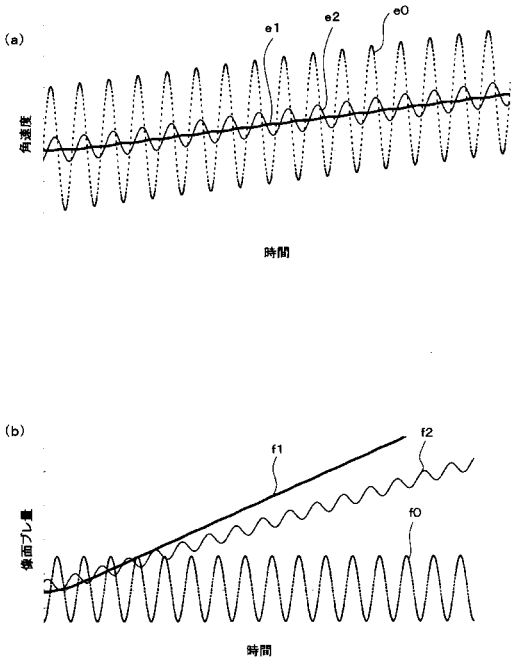
【図１３】



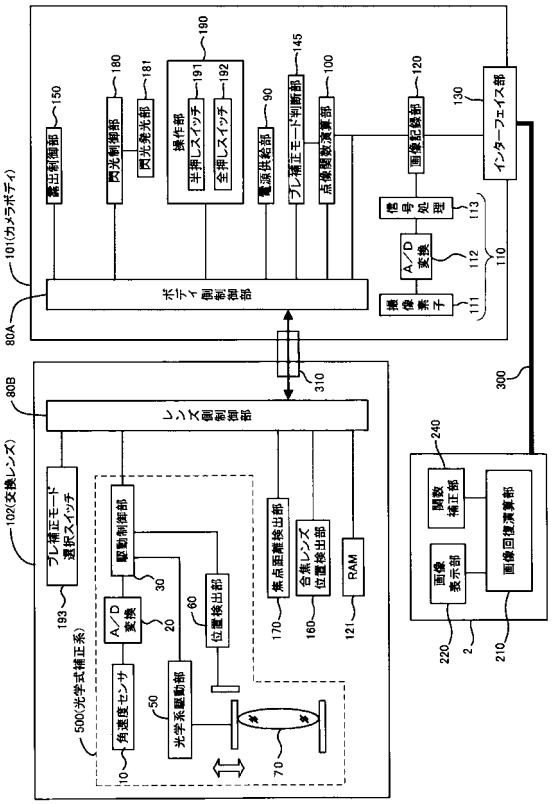
【図１４】



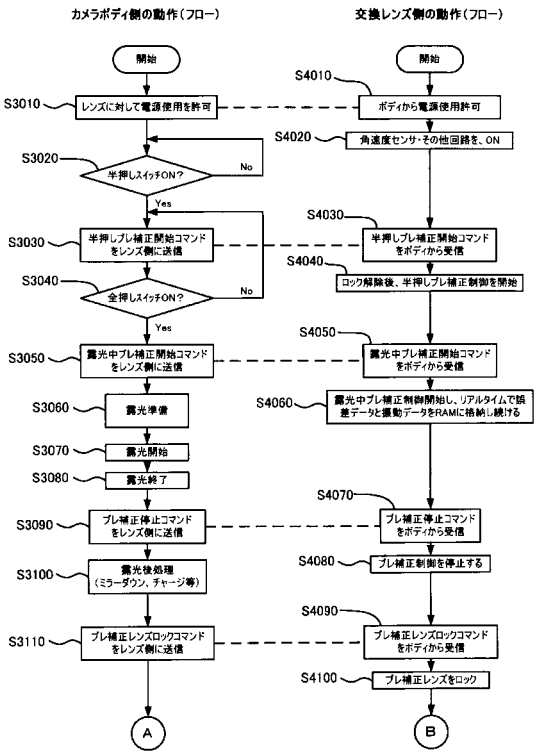
【図１５】



【図１６】



【図１７】



【図１８】

