

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4857363号
(P4857363)

(45) 発行日 平成24年1月18日 (2012. 1. 18)

(24) 登録日 平成23年11月4日 (2011. 11. 4)

(51) Int. Cl.

G 0 3 B 5 / 0 0 (2006. 01)

F I

G 0 3 B 5 / 0 0

J

請求項の数 16 (全 37 頁)

(21) 出願番号	特願2009-140255 (P2009-140255)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成21年6月11日 (2009. 6. 11)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2010-286651 (P2010-286651A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成22年12月24日 (2010. 12. 24)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成23年9月6日 (2011. 9. 6)		弁理士 阿部 琢磨
早期審査対象出願		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	能登 悟郎
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		(72) 発明者	増田 晋一
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		審査官	菊岡 智代
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 像振れ補正装置および撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被写体を撮影する撮影光学系と、加速度を検出して出力する加速度検出手段とを備え、前記撮像光学系の主点は、前記撮影光学系の光軸方向の位置が第1の主点位置から第2の主点位置まで移動し、前記加速度検出手段は、前記撮影光学系の光軸方向の位置が前記第1の主点位置と前記第2の主点位置との間に配置されることを特徴とする像振れ補正装置。

【請求項 2】

前記撮像光学系による像倍率を算出する倍率算出手段を更に備え、前記加速度検出手段は、前記像倍率がおよそ0.5となる位置に配置されることを特徴とする請求項1に記載の像振れ補正装置。

【請求項 3】

前記加速度検出手段は、前記撮像光学系を構成するレンズを保持する枠部材もしくは光学系中に配置された絞り部材に配設されることを特徴とする請求項1または2に記載の像振れ補正装置。

【請求項 4】

角速度を検出して出力する角速度検出手段と、前記撮影光学系中の主点の位置を算出する算出手段と、前記角速度検出手段によって検出された角速度と、前記加速度検出手段によって検出さ

10

20

れた加速度と、前記算出手段によって算出された主点の位置に基づいて像振れ補正制御を行う制御手段とを更に備えることを特徴とする請求項 1 ないし 3 の何れか 1 項に記載の像振れ補正装置。

【請求項 5】

前記角速度検出手段の出力に基づいて、前記算出手段によって算出された主点の位置を中心とした第 1 の角速度成分を演算する第 1 の角速度演算手段と、

前記加速度検出手段の出力と前記第 1 の角速度演算手段の演算結果に基づいて、前記被写体に関する点を中心とした第 2 の角速度成分を演算し、前記主点位置に基づいて前記第 2 の角速度成分を補正する第 2 の角速度演算手段とを更に備え、

前記制御手段は、前記第 1 の角速度成分と前記補正された第 2 の角速度成分の差分に基づいて像振れ補正制御を行うことを特徴とする請求項 4 に記載の像振れ補正装置。

10

【請求項 6】

被写体を撮影する撮影光学系による像の振れを補正する像振れ補正装置であって、

前記像振れ補正装置に加わる角速度を検出して出力する角速度検出手段と、

前記撮影光学系の至近撮影時の主点位置と無限撮影時の主点位置との間に配置され、前記像振れ補正装置に加わる加速度を検出して出力する加速度検出手段と、

前記角速度検出手段の出力に基づいて、前記撮影光学系の主点中心の自転角速度成分を演算する自転角速度演算手段と、

前記加速度検出手段の出力と前記自転角速度演算手段の演算結果に基づいて、前記被写体中心の公転角速度成分を演算する公転角速度演算手段と、

20

前記自転角速度成分と前記公転角速度成分の差分に基づいて像振れ補正制御を行う制御手段とを有することを特徴とする像振れ補正装置。

【請求項 7】

前記撮影光学系の至近撮影時の主点位置と前記加速度検出手段の光軸方向の距離を X_{ba} 、前記撮影光学系の光軸と前記加速度検出手段の光軸に対して垂直方向の距離を Y_{ba} 、 $\tan(\theta_{ba}) = Y_{ba} / X_{ba}$ とし、前記撮影光学系の像倍率に応じて変化する前記加速度検出手段の出力値に含まれる誤差成分を誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ と定義したときに、

前記距離 Y_{ba} が一定とすると、前記撮影光学系の至近撮影時の主点位置と無限撮影時の主点位置との間で前記誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ の積和が最小となる距離 X_{ba} の位置近傍に前記加速度検出手段が配置されていることを特徴とする請求項 6 に記載の像振れ補正装置。

30

【請求項 8】

前記撮影光学系を有する撮像装置の撮影頻度で前記誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ を重み付けし、前記撮影光学系の至近撮影時の主点位置と無限撮影時の主点位置との間で前記重み付けされた誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ の積和が最小となる距離 X_{ba} の位置近傍に前記加速度検出手段が配置されていることを特徴とする請求項 7 に記載の像振れ補正装置。

【請求項 9】

前記像振れ補正装置の平行振れの効き量で前記誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ を重み付けし、前記撮影光学系の至近撮影時の主点位置と無限撮影時の主点位置との間で前記重み付けされた誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ の積和が最小となる距離 X_{ba} の位置近傍に前記加速度検出手段が配置されていることを特徴とする請求項 7 に記載の像振れ補正装置。

40

【請求項 10】

前記自転角速度成分と前記公転角速度成分の差分に基づいて自転公転差分値を演算する自転公転差分演算手段を更に有し、

前記制御手段は、前記自転公転差分値に基づき像振れ補正制御を行うことを特徴とする請求項 6 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の像振れ補正装置。

【請求項 11】

前記自転角速度成分に対する前記公転角速度成分の自転公転角速度比を演算する自転公転角速度比演算手段を有し、

50

前記公転角速度演算手段は、リアルタイムで演算されている自転角速度成分と前記自転公転角速度比演算手段によって演算された前記自転公転角速度比との積によって、前記公転角速度成分を推定演算することを特徴とする請求項6ないし10のいずれかに記載の像振れ補正装置。

【請求項12】

前記自転公転角速度比演算手段は、前記自転公転角速度比が所定値を超える場合は、該自転公転角速度比を規定の定数とすることを特徴とする請求項11に記載の像振れ補正装置。

【請求項13】

前記制御手段は、前記自転公転角速度比が所定の値より大きいときは、前記自転公転差分値に基づき像振れ補正制御を行い、前記自転公転角速度比が所定の値以下のときは、前記自転角速度成分に基づき像振れ補正制御を行うことを特徴とする請求項11または12に記載の像振れ補正装置。

10

【請求項14】

前記制御手段は、前記撮影光学系の像倍率が所定の値以上のときは、前記自転公転差分値に基づき像振れ補正制御を行い、前記撮影光学系の像倍率が所定の値未満のときは、前記自転角速度成分に基づき像振れ補正制御を行うことを特徴とする請求項10ないし13のいずれか1項に記載の像振れ補正装置。

【請求項15】

前記像振れ補正装置に加わる加速度のうちの光軸方向成分を検出する光軸方向加速度検出手段と、

20

前記像振れ補正装置に加わる振れのうちの光軸方向成分を補正する光軸方向振れ補正制御手段とを更に有し、

前記光軸方向振れ補正制御手段は、前記加速度のうちの光軸方向成分に基づき光軸方向振れ補正制御を行うことを特徴とする請求項6ないし14のいずれか1項に記載の像振れ補正装置。

【請求項16】

請求項1ないし15のいずれか1項に記載の像振れ補正装置を具備することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、手振れなどによる像振れを補正することで撮影画像の劣化を防止する像振れ補正装置および該像振れ補正装置を具備する撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

図23は、従来のカメラに具備される像振れ補正装置の概要を示す図である。カメラに生ずる振れは、ピッチング、ヨーイング及びローリング運動からなる3自由度の回転運動、X軸、Y軸及びZ軸方向の運動からなる3自由度の並進運動の合計6自由度を有する。現在製品化されている像振れ補正装置は、通常、ピッチング及びヨーイング運動からなる2自由度の回転運動による振れを補正する。

40

【0003】

カメラの振れは、角速度センサ130によりモニターされる。角速度センサは、通常、回転により生じる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130には、図23中、Z軸周りの回転であるピッチング振れの検出と、図23中、Y軸周りの回転であるヨーイング振れの検出と、図23中、X軸（光軸）周りの回転であるローリング振れの検出を行う3つの検出部が内蔵されている。

【0004】

手振れ等による像振れ補正を行う際には、この角速度センサ130の出力をレンズCPU106に送り、像振れ補正用の補正レンズ101の目標駆動位置を算出する。目標駆動

50

位置に補正レンズ101を駆動するために電圧ドライバ161x, 161yに指示信号を送り、電圧ドライバ161x, 161yは、この指示信号に従い、レンズ駆動部120x, 120yの駆動を行う。補正レンズ101の位置は、レンズ位置検出部110x, 110yでモニターされ、レンズCPU106にフィードバックされる。レンズCPU106では、目標駆動位置と補正レンズ101の位置から補正レンズ101の位置制御を行う。このように振れに応じて補正レンズを駆動することにより、手振れ等に起因する像振れを補正することが可能となる。

【0005】

しかし、上述した像振れ補正装置では、手振れ等の振れの検出を角速度センサ130のみで行っているため、角度振れ（回転振れ）をモニターすることはできるが、上下左右に光軸が平行に動く振れ（以下、平行振れ）はモニターすることはできない。したがって、ピッチング及びヨーイング運動からなる2自由度の運動による振れのみしか像振れ補正することができなかった。

【0006】

ここで、平行振れに起因する像振れについて、焦点距離100mmのマイクロレンズを用いて撮影を行う場合を例として説明する。このレンズを用いて無限遠の風景を撮影する場合、角速度センサ出力が 0.8 deg/s 相当であったとすると、その焦点距離より像面移動速度は約 1.40 mm/s ($= 100 \times \sin 0.8$)となる。よって、露光時間 $1/15 \text{ s}$ で撮影を行った際の角度振れに起因する像面の振れ幅は、 $93 \mu\text{m}$ ($= 1.40 \text{ mm} / 15$)になってしまう。また、上述の角度振れ以外にカメラ全体が 1.0 mm/s で鉛直方向の平行移動をしていたとすると、無限遠の撮影の場合、その撮影倍率は、ほぼ0であるため平行移動速度成分の影響を受けず、平行振れに起因する像振れは生じない。

【0007】

しかし、花などの撮影のため、接写を行う場合、その撮影倍率は非常に大きく、平行振れの影響を無視できなくなる。例えば、撮影倍率等倍 ($= 1$) で、鉛直方向の移動速度が 1 mm/s である場合、像面でも 1 mm/s の像移動速度を有していることになる。露光時間 $1/15 \text{ s}$ で撮影を行った際の像面における振れ幅は、 $67 \mu\text{m}$ となり、平行振れに起因する像振れを無視することができなくなる。

【0008】

次に、物理・工学的に、空間での物体の運動を言い表す一般的方法（モデルや数式）を説明しておく。ここでは、説明が容易な為、平面上の物体の運動を表すモデルについて、一般的な物を説明する。この場合、物体の3つの自由度を定義すれば、物体の運動や位置を一義的に定義できる。

【0009】

1つ目は、並進運動と回転運動で表現するモデルである（図24(a)(b)参照）。横軸をX軸、直交する軸をY軸とする平面の固定座標系O-X-Yにおいて、図24(a)の様に、物体の位置は、X軸方向の位置 $X(t)$ と、Y軸方向の位置 $Y(t)$ と、物体自身の回転角度 $\theta(t)$ の3自由度を規定すれば、位置が定まる。図24(b)の様に、物体の運動（速度ベクトル）は、物体上に設定した基準点（主点 O_2 ）のX軸方向並進速度 $V_x(t)$ と、Y軸方向並進速度 $V_y(t)$ と、物体上の基準点中心の回転角速度 $\omega'(t)$ の3成分で表現できる。このモデルは、もっとも一般的である。

【0010】

2つ目は、瞬間回転中心と回転半径で表現するものである（図25参照）。X-Y平面の固定座標系O-X-Yにおいて、ある瞬間、その物体が、ある点 $f(t) = (X(t), Y(t))$ を瞬間回転中心とし、回転半径 $R(t)$ で、回転速度 $\omega'(t)$ で回転しているとする。この様に、その瞬間回転中心の軌跡 $f(t)$ とその瞬間の回転速度 $\omega'(t)$ で、平面内の運動を表現できる。このモデルは、機構学のリンク機構の解析で良く用いられる。

【0011】

10

20

30

40

50

近年は、平行振れを補正するカメラが特許文献 1 や特許文献 2 に提案されており、特許文献 1 では、3 つの加速度計と、3 つの角速度センサの測定値を基に、3 次元空間でのカメラ振れ運動を、並進運動と回転運動で表現していると言える。

【0012】

また、特許文献 2 では、角度振れと平行振れを含むカメラ振れにおいて、この特許文献中の図 2 にあるように、回転中心の焦点面からの距離 n を演算している。この特許文献 2 中の数式 1 では、前半部で焦点面を回転中心とした際に生じる角度振れ量を計算し、後半部では平行移動により生じる平行振れ量を計算する。後半部の平行振れ量は、焦点面から距離 n 離れた位置での回転に置き換えて考えた補正項である。この特許文献 2 中の図 3 での回転中心の位置 n の求め方は、空間内の運動を表現するモデルとして、瞬間中心という機構学で良く用いられる考えを利用している。これは、空間内の運動は、その瞬間ではある点を中心としたある半径の回転運動であり、次の瞬間には次のある点を中心としたある半径の回転運動であるという、回転運動の連続で表現できるという考えである。よって、この特許文献 2 では、カメラ振れ運動を、瞬間中心をもつ回転運動の連続としてモデル化しているとも言える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献 1】特開平 7 - 225405 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 295027 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、特許文献 1 に記載されている手法では、像面における振れ量を求める演算量が膨大になり、演算のアルゴリズムも非常に複雑なものとなるという問題があった。また、光軸方向振れ（ピント振れ）の補正演算については触れられていない。また、特許文献 2 では、上記のように、カメラ振れ運動を、瞬間中心をもつ回転運動の連続としてモデル化しているとも言えるが、このモデルと数式の問題は、この特許文献 2 の段落番号「0047」で自ら述べているように、 F_1 、 F_2 （2 つの加速度センサに加わる力）の場合、回転中心位置 n は、 $n = 0$ となってしまう、演算を行うことができない。また、回転中心位置 n が $n = 0$ ということは、ピッチング方向又はヨーイング方向の角度に起因する振れが無いことになり、この振れを角速度センサにより検出することは不可能となる。2 つの加速度センサの出力を用いて補正量を算出することは可能であるが、その精度は低く、計算量も膨大なものになってしまうものである。また、ここでの数式では、光軸方向振れの補正演算が不可能である。

【0015】

さらには、撮影光学系主点位置の変化に伴い、後述するような補正誤差成分が加速度センサ（加速度計）から出力されるようになるが、特許文献 1 及び特許文献 2 ではそれに対応する技術開示は無い。

【0016】

（発明の目的）

本発明の目的は、角度振れと平行振れがどのような状態で混在していても、制御が破綻することのない正確な像振れ補正を可能にし、演算量を低減し、撮影光学系の主点位置の変化に伴う誤差量を最小にすることのできる像振れ補正装置および撮像装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上記目的を達成するために、本発明は、被写体を撮影する撮影光学系と、加速度を検出して出力する加速度検出手段とを備え、前記撮像光学系の主点は、前記撮影光学系の光軸方向の位置が第 1 の主点位置から第 2 の主点位置まで移動し前記加速度検出手段は、前記

10

20

30

40

50

撮影光学系の光軸方向の位置が前記第 1 の主点位置と前記第 2 の主点位置との間に配置されることを特徴とする像振れ補正装置とするものである。

また、上記目的を達成するために、本発明は、被写体を撮影する撮影光学系による像の振れを補正する像振れ補正装置であって、前記像振れ補正装置に加わる角速度を検出して出力する角速度検出手段と、前記撮影光学系の至近撮影時の主点位置と無限撮影時の主点位置との間に配置され、前記像振れ補正装置に加わる加速度を検出して出力する加速度検出手段と、前記角速度検出手段の出力に基づいて、前記撮影光学系の主点中心の自転角速度成分を演算する自転角速度演算手段と、前記加速度検出手段の出力と前記自転角速度演算手段の演算結果に基づいて、前記被写体中心の公転角速度成分を演算する公転角速度演算手段と、前記自転角速度成分と前記公転角速度成分の差分に基づいて像振れ補正制御を行う制御手段とを有する像振れ補正装置とするものである。

10

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、角度振れと平行振れがどのような状態で混在していても、制御が破綻することのない正確な像振れ補正を可能にし、演算量を低減し、撮影光学系の主点位置の変化に伴う誤差量を最小にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図 1】本発明に係る実施例 1 である撮像装置の主要部分を示す構成図である。

【図 2】実施例 1 の X Y 平面に投影されたカメラ状態の簡略図である。

20

【図 3】実施例 1 における主点位置と加速度計の位置を示す図である。

【図 4】図 3 の状態での加速度計出力の誤差比率関数を示す図である。

【図 5】無限位置での加速度計出力の誤差比率関数を示す図である。

【図 6】図 3 の状態での加速度計出力の誤差比率が最小になる位置を示す図である。

【図 7】実施例 1 の動作を示すフローチャートである。

【図 8】カメラの 3 面図とカメラ上に固定される座標系を示す図である。

【図 9】カメラの光学系のみを三次元空間に表す図である。

【図 10】主点 A の極座標系および直交座標系を表示する図である。

【図 11】X , Y , 平面と Z , X , 平面に投影した際の座標表現図である。

【図 12】X , Y , 平面に投影されたカメラ状態を示す図である。

30

【図 13】Z , X , 平面に投影されたカメラ状態を示す図である。

【図 14】時刻 $t = 0$ の初期時刻におけるカメラ初期状態図である。

【図 15】O - X Y Z 座標系でのカメラ初期状態図である。

【図 16】極座標系の基本的説明図である。

【図 17】二次元 X Y 座標系に投影したカメラ状態を示す図である。

【図 18】二次元 Z X 座標系に投影したカメラ状態を示す図である。

【図 19】実施例 2 による加速度計出力の誤差比率関数などを示す図である。

【図 20】実施例 2 による誤差比率が最小になる位置を示す図である。

【図 21】実施例 2 の変形例による誤差比率が最小になる位置を示す図である。

【図 22】実施例 3 の動作を示すフローチャートである。

40

【図 23】従来例のカメラの像振れ補正装置を示す図である。

【図 24】一般的な二次座標系での物体位置および物体速度の定義を示す図である。

【図 25】一般的な瞬間回転中心軌跡の定義を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本発明を実施するための形態は、以下の実施例 1 ないし 3 に示す通りである。

【実施例 1】

【0021】

以下の実施例では、人の手で保持されているカメラの振れ運動と、そのカメラの振れ運動の結果、像面上に発生する像振れ運動を、自転運動と公転運動で表現した運動モデルと

50

幾何光学式の融合した「自転公転振れ式」で表現する。

【0022】

本実施例は、加速度計と角速度センサの測定値と、この自転公転振れ式より、カメラ振れ運動を算出し、さらに像振れ運動を算出する像振れ補正装置である。そして、撮影レンズの一部や撮像素子の一部又は全部を、この像振れ運動の算出値を基に駆動制御することにより、像の振れを補正する。もしくは、自転公転振れ式から求められる像振れ運動の算出値を基に、撮影される画像を画像処理する事で、像の振れを補正する像振れ補正装置である。

【0023】

図1は、本発明の実施例1に係わる像振れ補正装置を具備する撮像装置（カメラシステム）の主要部分を示す構成図である。なお、前述した従来例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。

【0024】

本実施例1に係わる像振れ補正装置は、カメラボディ201に対して着脱可能な鏡筒102内に設けられており、振れ補正をピッチング（ Z_2 軸周りの回転）と、ヨーイング（ Y_2 軸周りの回転）と、 Y_2 軸方向、 Z_2 軸方向、 X_2 軸（光軸）方向の5自由度方向について行う。ただし、図1及び以下の説明においては、ピッチング回転と Y_2 軸方向の像振れ補正システムと、 X_2 軸（光軸）方向の光軸方向振れ補正システムに関して示し、ヨーイング回転と、 Z_2 軸方向の像振れ補正システムに関しては、ピッチング回転と Y_2 軸方向の像振れ補正システムと同様であるものとする。

【0025】

角速度センサ130は、鏡筒102に対してフローティング支持され、カメラボディ201（鏡筒102）に生ずる振れの角速度を検出する角速度検出部である。本実施例1に係わる角速度センサ130は、回転により生ずるコリオリ力を検出する圧電振動式角速度センサである。この角速度センサ130は、内部にピッチング、ヨーイング、ローリングの3軸回転に対し感度軸を持つ角速度センサである。角速度センサ130をフローティング支持するのは、カメラの機構動作に伴うメカ振動の影響を極力排除するためである。角速度センサ130は、検出した角速度に応じた角速度信号をフィルタ160cに出力する。

【0026】

加速度計121は、カメラボディ201（鏡筒102）に生ずる振れの加速度を検出する加速度検出部である。本実施例1に係わる加速度計121は、 X 軸、 Y 軸、 Z 軸の3方向に対し感度軸を3つ有する3軸加速度計であり、鏡筒102にフローティング支持されている。加速度計121をフローティング支持するのは、角速度センサ130の場合と同様な理由からである。また、加速度計121は、本実施例においては3軸加速度センサ（重錘体を用いた加速度センサ）であり、2軸の周波数特性は等しく高いが、残る1軸は特性が劣る。よって、光軸に直交する Y_2 軸方向と Z_2 軸方向の加速度を検出するために感度の高い2軸を用い、 X_2 軸（光軸方向）は特性の劣る1軸を合わせる。これは、像振れ補正に大きく影響する Y_2 軸方向と Z_2 軸方向の加速度を精度良く検出する為である。

【0027】

加速度計121の出力は、フィルタ160a等のローパスフィルタ（LPF）を通過した後、A/D変換され、レンズCPU106内のIS（防振）レンズ補正量演算部107へ入力される。なお、加速度計121は、ズーミング等で光軸方向に移動する移動鏡枠に取り付けてもよいが、そのときは、ズーミング後の主点位置に対する加速度計121の位置が検出できるようにする必要がある。

【0028】

また、角速度センサ130は、上述のように振動ジャイロ型であり、26KHzぐらいで振動している。したがって、同一基板にこれらを実装すると、加速度計121がその振動ノイズを拾ってしまうおそれがあるので、加速度計121と角速度センサ130とは、別々の基板に実装する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

IS レンズ駆動部 1 2 0 は、光軸 I に対して垂直な平面内 ($Y_2 Z_2$ 平面内) で像振れ用の補正レンズ 1 0 1 を駆動するための駆動力を発生する駆動部 (アクチュエータ) である。IS レンズ駆動部 1 2 0 は、電圧ドライバ 1 6 1 が出力する駆動電流によって、不図示のコイルが通電状態になると、 Y_2 軸方向の駆動力を発生して、補正レンズ 1 0 1 を駆動する。

【 0 0 3 0 】

レンズ位置検出部 1 1 0 は、光軸 I に対して垂直な平面内における補正レンズ 1 0 1 の位置を検出する光学的な位置検出部である。レンズ位置検出部 1 1 0 は、補正レンズ 1 0 1 の現在位置をモニタし、A / D 変換器を介して、補正レンズ 1 0 1 の現在位置に関する情報を IS 制御部 1 0 8 にフィードバックする。

10

【 0 0 3 1 】

レンズ CPU 1 0 6 は、鏡筒 1 0 2 側の種々の制御を行う中央処理部である。レンズ CPU 1 0 6 は、焦点距離検出部 1 6 3 が出力するパルス信号に基づいて焦点距離を演算したり、被写体距離検出部 1 6 4 が出力するパルス信号に基づいて被写体距離を演算したりする。また、レンズ CPU 1 0 6 内には、IS レンズ補正量演算部 1 0 7 と、IS 制御部 1 0 8 と、AF レンズ制御部 4 0 1 が設けられている。レンズ CPU 1 0 6 は、鏡筒 1 0 2 とカメラボディ 2 0 1 との間に設けられたレンズ接点 1 9 0 を介して、ボディ CPU 1 0 9 との間で通信が可能である。リリーススイッチ 1 9 1 の半押し ON に同期してボディ CPU 1 0 9 から像振れ補正開始コマンドが、また、半押し OFF に同期して像振れ補正停止コマンドがレンズ CPU 1 0 6 へ送られる。

20

【 0 0 3 2 】

また、レンズ CPU 1 0 6 は、鏡筒 1 0 2 に設けられている振れ補正スイッチ (SW) 1 0 3 の状態をモニタする。振れ補正スイッチ 1 0 3 が ON であれば、像振れ補正制御を行い、振れ補正スイッチ 1 0 3 が OFF であれば、ボディ CPU 1 0 9 からの像振れ補正開始コマンドは無視して振れ補正を行わない。

【 0 0 3 3 】

IS レンズ補正量演算部 1 0 7 は、フィルタ 1 6 0 a , 1 6 0 c の出力信号を、鏡筒 1 0 2 を目標位置に駆動するための目標速度情報に変換する部分である。IS レンズ補正量演算部 1 0 7 には、IS 制御部 1 0 8 と、フィルタ 1 6 0 a , 1 6 0 c と、EEPROM 1 6 2 と、焦点距離検出部 1 6 3 と、被写体距離検出部 1 6 4 とが接続されている。AF レンズ制御部 4 0 1 は、IS レンズ補正量演算部 1 0 7 からの加速度計出力値を用いて、光軸方向振れ補正を行う為の演算を行う光軸方向振れ速度演算部 4 0 2 があり、その演算結果を AF レンズ電圧ドライバ 1 7 2 へ出力する。

30

【 0 0 3 4 】

AF レンズ 1 4 0 は、超音波モータやステッピングモータを駆動源とする AF レンズ駆動部 1 4 1 により、光軸方向に駆動可能である。AF レンズ電圧ドライバ 1 7 2 は、AF レンズ駆動部 1 4 1 を駆動制御する電圧を発生する。

【 0 0 3 5 】

IS レンズ補正量演算部 1 0 7 は、角速度センサ 1 3 0 及び加速度計 1 2 1 からフィルタ 1 6 0 a , 1 6 0 c を介して出力された出力信号 (アナログ信号) を A / D 変換により量子化して取り込む。そして、焦点距離検出部 1 6 3 から得た焦点距離情報、被写体距離検出部 1 6 4 から得た被写体距離情報及び EEPROM 1 6 2 に書き込まれたレンズ固有の情報を基に、補正レンズ 1 0 1 の目標駆動速度に変換する。IS レンズ補正量演算部 1 0 7 が行う目標駆動位置への変換方法 (演算方法) については、後に詳細に説明する。IS レンズ補正量演算部 1 0 7 により演算された目標駆動速度の情報である目標速度信号は、IS 制御部 1 0 8 に出力される。

40

【 0 0 3 6 】

IS 制御部 1 0 8 は、電圧ドライバ 1 6 1 を介して IS レンズ駆動部 1 2 0 を制御し、補正レンズ 1 0 1 が目標駆動速度の情報通りに駆動されるように追従制御を行う部分であ

50

る。IS制御部108は、レンズ位置検出部110が出力する位置検出信号（アナログ信号）をデジタル信号に変換して取り込む。IS制御部108への入力部は、ISレンズ補正量演算部107の出力である補正レンズ101の目標駆動速度に変換した目標速度信号であり、また、もう一つの入力部は、レンズ位置検出部110によって得られた補正レンズ101の位置情報である。

【0037】

IS制御部108における制御は、補正レンズ101の目標駆動速度と実際の速度情報の偏差を用いて速度制御を行う。IS制御部108は、これら目標駆動速度、補正レンズ101の速度情報などに基づいて駆動信号を演算し、このデジタル駆動信号を電圧ドライバ161に出力する。

10

【0038】

または、IS制御部108における制御は、公知であるPID制御を用いても良い。補正レンズ101の目標位置情報とレンズ位置情報の偏差を用いてPID制御を行う。そして、IS制御部108は、これら目標位置情報、補正レンズ101の位置情報などに基づいて駆動信号を演算し、このデジタル駆動信号を電圧ドライバ161に出力する。

【0039】

フィルタ160a, 160cは、角速度センサ130、加速度計121の出力信号から所定の周波数成分を除去するフィルタであり、高域周波数帯域に含まれるノイズ成分及びDC成分をカットする。そして、フィルタ160a, 160cは、所定の周波数成分を除去した後の角速度信号をA/D変換した後にISレンズ補正量演算部107に出力する。

20

【0040】

電圧ドライバ161は、入力された駆動信号（駆動電圧）に応じて、ISレンズ駆動部120に電力を供給するドライバ部である。電圧ドライバ161は、駆動信号に対し、スイッチングを行い、ISレンズ駆動部120に電圧を印加し、ISレンズ駆動部120の駆動を行う。

【0041】

EEPROM162は、鏡筒102に関する種々の固有情報であるレンズデータや、被写体距離検出部164が出力するパルス信号を物理量に変換するための係数などを格納する不揮発性の記憶部である。

【0042】

30

焦点距離検出部163は、焦点距離を検出するズームエンコーダである。焦点距離検出部163は、焦点距離値に応じたパルス信号をISレンズ補正量演算部107に出力する。被写体距離検出部164は、被写体までの距離を検出するためのフォーカシングエンコーダである。被写体距離検出部164は、撮影光学系105（AFレンズ140）の位置を検出し、その位置に応じたパルス信号をISレンズ補正量演算部107に出力する。

【0043】

なお、焦点距離検出部163及び被写体距離検出部164の検出結果から、後述するように撮影光学系105の主点Aの位置を演算する。もしくは、EEPROM162に記憶されている撮影光学系105の主点Aの位置情報を読み出して、後述の制御を行う。

【0044】

40

ボディCPU109は、カメラシステム全体の種々の制御を行う中央処理部である。ボディCPU109は、リリーススイッチ191のON動作に基づいて、振れ補正開始コマンドをレンズCPU106に送信する。または、リリーススイッチ191のOFF動作に基づいて、振れ補正停止コマンドをレンズCPU106に送信する。または、その他各種の処理を行う。ボディCPU109には、リリーススイッチ191の情報が入力され、リリーススイッチ191が図示しないリリースボタンの半押し、又は、全押し動作とを検知することができる。なお、リリーススイッチ191は、図示しないリリースボタンの半押し動作を検出して、一連の撮影準備動作を開始させ、リリースボタンの全押し動作を検出して、撮影動作を開始させるスイッチである。

【0045】

50

次に、IS レンズ補正量演算部 107 の内部を詳細に説明する。

【0046】

自転角速度演算部 301 は、角速度センサ出力値をもとに、自転角速度 $\omega_{cax y}$ を演算する。角速度センサ出力値と自転角速度は一般に線形の関係にあるので、係数倍すれば求められる。

【0047】

ハイパスフィルタ部 303 は、手振れ補正に必要な周波数成分を透過するフィルタである。公転角速度演算部 304 は、ハイパスフィルタ部 303 からの入力値 $j r_{ax y} \ddot{\theta}_{ax y}$ を被写体側焦点距離 $r_{ax y}$ で除算する事で、公転角加速度 $\ddot{\theta}_{ax y}$ が得られる。さらに、この公転角加速度を時間積分する事で、制御に必要な公転角速度 $\dot{\theta}_{ax y}$ が求められる。

10

【0048】

自転公転差分振れ量演算部 305 は、後述する＜数式 15＞： $V_{dcx y} (0.2 - X_2 Y_2) - (1 +) f (\omega_{cax y} - \dot{\theta}_{ax y}) e^{j (/ 2)}$ に、読み込んだ像倍率： β 、実焦点距離値： f と、リアルタイムに演算した自転角速度 $\omega_{cax y}$ と公転角速度 $\dot{\theta}_{ax y}$ を代入することで、撮像素子 203 の撮像面の Y_2 方向の像振れ速度を演算する。この求められた像振れ速度が、目標駆動速度となる。撮像面の Z_2 方向の像振れ速度も後述する数式 16 から同様に求められるが、ここでは説明を省略する。

【0049】

理論式選択部 306 は、自転角速度に対する公転角速度の比率に応じて、補正演算に用いる式を、自転角速度と公転角速度の差分を用いる自転公転差分振れ補正の式にするか、自転角速度のみを使用した自転振れ補正の式にするか選択する。

20

【0050】

《自転公転振れ式＜数式 15＞の意味と使用方法》

本実施例 1 では、XY 平面のカメラ振れの（ピッチング角度振れと Y_2 方向の平行振れ）成分を、自転公転振れ式で表現し、その近似式＜数式 15＞で、撮像面内の Y_2 方向像振れ（撮像面縦方向像振れ）速度を求めている。なお、本発明では、「ベクトル R」の表記を「 R 」としている。一般的ベクトル表記は、 R の上に $\vec{}$ を表記するのだが、文章作成上の都合で、「 R 」としている。

【0051】

＜数式 15＞

$$V_{dcx y} (0.2 - X_2 Y_2) - (1 +) f (\omega_{cax y} - \dot{\theta}_{ax y}) e^{j (/ 2)}$$

但し、

$V_{dcx y} (0.2 - X_2 Y_2)$ ：撮像面内での像振れ速度ベクトル

：このカメラの撮影レンズの、像振れ補正時の像倍率〔（単位無し）〕

f ：このカメラの撮影レンズの、像振れ補正時の実焦点距離〔mm〕

$(1 +) f$ ：像側焦点距離〔mm〕

$\omega_{cax y}$ ：主点 A 中心の自転角度 $\theta_{cax y}$ の時間微分値で、自転角速度〔rad / 秒〕

40

$\dot{\theta}_{ax y}$ ：原点 O 中心の公転角度 $\theta_{ax y}$ の時間微分値で、公転角速度〔rad / 秒〕

$e^{j (/ 2)}$ ：極座標系表示で、ここでは $(/ 2)$ 乗である為、像振れ速度ベクトルは、 X_2 軸（光軸）から 90 度回転した方向であることを示している。

【0052】

数式 15 である XY 平面内の移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ における像振れ速度ベクトル $V_{dcx y} (0.2 - X_2 Y_2)$ の近似理論式の詳細な導出手順は後述し、ここではこの式の意味を図 2 を利用して説明する。

【0053】

図 2 は XY 平面に投影されたカメラの状態の簡略図を表している。ここではカメラの外形とレンズも表示している。カメラにはこの光学系の主点 $A_{x y}$ と、加速度計 $B_{x y}$ 、撮

50

像素子 203 の中心 C_{xy} を表示している。光学系の主点 A_{xy} に、座標系 $O_4 - X_4 Y_4$ の原点 O_4 を固定する。主点 A_{xy} が移動した際も、 X_4 軸は X 軸と平行状態を保ち、 Y_4 軸は Y 軸と平行状態を保つ様にする。座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ の原点 O_2 は主点 A_{xy} に固定され、カメラと一体的に移動する。この際、 X_2 軸はこのカメラの光軸と常に一致させる。

【0054】

原点 O_2 を中心として、 X_4 軸から X_2 軸への角度を、自転角度 c_{axy} とする。原点 O を中心として X 軸からスカラー r_{axy} への角度を、公転角度 a_{xy} とする。スカラー $r_{axy} = (1 + \quad) f / \quad$ は被写体側焦点距離である。 \quad は像倍率である。主点 A_{xy} での重力加速度ベクトル G_{xy} は、主点 A_{xy} を中心として X_4 軸から正回転（反時計回り）で、ベクトル G_{xy} までの角度を g_{xy} とする。この g_{xy} は一定値である。

10

【0055】

この近似式は、撮像面内の Y_2 方向の像振れ速度が、- 像側焦点距離 \times (自転角速度から公転角速度を引いた値) である事を意味している。また、近似しない厳密式は数式 12 である。より精度の高い像振れ補正を行う時は、この厳密式 < 数式 12 > を使用すれば良い。ここで、 $r_{axy} = (1 + \quad) f / \quad$ は、被写体側焦点距離である。

【0056】

< 数式 12 >

$$\begin{aligned} V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2) \\ = [f r'_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} \\ - f r_{axy} r'_{axy} (r_{axy} - f)^{-2}] e^{j(a_{xy} - c_{axy})} \\ + f r'_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} r_{axy} e^{j(a_{xy} + \quad / 2 - c_{axy})} \\ - (1 + \quad) f r'_{axy} e^{j(\quad / 2)} \end{aligned}$$

20

XY 平面時と同様に、 ZX 平面のカメラ振れのヨーイング角度振れと Z_2 方向の平行振れ成分を、自転公転振れ式で表現し、その近似式 < 数式 16 > で、撮像素子面内の Z_2 方向像振れ（撮像面横方向像振れ）速度を求めている。これは、上述した数式 15 と同様の意味の為、ここでは説明を割愛する。

【0057】

次に、加速度計 121 の出力に含まれる成分について説明する。式の導出手順は後ほど説明するとして、ここでは、像振れ補正に必要な項目について説明する。公転角速度 \dot{a}_{xy} を求める為に使用する、 Y_2 軸方向の加速度計出力 $A_{ccy2}(O - X_2 Y_2)$ は、数式 27 で示される。

30

【0058】

< 数式 27 >

$$\begin{aligned} A_{ccy2}(O - X_2 Y_2) \\ = j r_{axy} \ddot{a}_{xy} \quad (\text{第 3 項: 公転の加速度}) \\ + j 2 r'_{axy} \dot{a}_{xy} \quad (\text{第 4 項: コリオリ力}) \\ + j r_{baxy} (\dot{c}_{axy})^2 \sin(b_{axy} + \quad) \quad (\text{第 5 項: 自転の求心力}) \\ + j r_{baxy} \ddot{c}_{axy} \sin(b_{axy} + \quad / 2) \quad (\text{第 6 項: 自転の加速度}) \\ + j G \cdot \sin(g_{xy} - \quad) \quad (\text{第 7 項: 重力加速度成分}) \end{aligned}$$

40

この数式 27 中の第 3 項の $j r_{axy} \ddot{a}_{xy}$ は、本実施例 1 で求めたい公転角速度 \dot{a}_{xy} を求める為に必要な成分であり、第 3 項を、既知の r_{axy} で割り、積分すれば、公転角速度 \dot{a}_{xy} が求められる。第 4 項、第 5 項、第 6 項、第 7 項が、演算に必要な項であり、消去しなければ、公転角速度 \dot{a}_{xy} を求める際の誤差成分となってしまう。第 4 項 $j 2 r'_{axy} \dot{a}_{xy}$ はコリオリ力であり、カメラ光軸方向の振れが少なければ、 r'_{axy} 零となり、無視できる項である。数式 27 については後でも述べる。

50

【0059】

第5項と第6項は、加速度計121が、理想的な主点位置Aに配置できず、位置Bに配置した為、この加速度計出力 $A_{ccy2}(O-X_2Y_2)$ に含まれる誤差成分である。第5項 $j r_{baxy} (\dot{c}_{axy})^2 \sin(b_{axy} +)$ は、主点A中心に加速度計121が回転する為に発生する求心力である。 r_{baxy} と b_{axy} は加速度計121を取り付けた位置Bの座標であり、既知である。 \dot{c}_{axy} は自転角速度であり、このカメラに取り付けた角速度センサ130で計測可能な値である。よってこの第5項の値は算出可能である。

【0060】

第6項 $j r_{baxy} \ddot{c}_{axy} \sin(b_{axy} + /2)$ は、主点A中心に加速度計121が回転する際の加速度成分であり、 r_{baxy} と b_{axy} は加速度計121を取り付けた位置Bの座標であり、既知である。 \ddot{c}_{axy} は、このカメラに取り付けた角速度センサ130の値を微分すれば算出可能である。よってこの第6項の値は算出可能である。

10

【0061】

第7項の $j G \cdot \sin(g_{xy} -)$ は、重力加速度の影響であり、この近似式では定数として扱える為、回路のフィルタリング処理で、除去する事が可能である。

【0062】

光軸方向振れ補正に使用する為の、光軸である X_2 軸方向の加速度計出力 $A_{ccx2}(O-X_2Y_2)$ は、数式26で示される。

20

【0063】

< 数式26 >

$$A_{ccx2}(O-X_2Y_2) = r_{axy}'' \text{ (第1項: 光軸方向振れ)} - r_{axy} (\dot{a}_{xy})^2 \text{ (第2項: 公転の求心力)} + r_{baxy} (\dot{c}_{axy})^2 \cos(b_{axy} +) \text{ (第5項: 自転の求心力)} + r_{baxy} \ddot{c}_{axy} \cos(b_{axy} + /2) \text{ (第6項: 自転の加速度)} + G \cdot \cos(g_{xy} -) \text{ (第7項: 重力加速度成分)}$$

この数式26において、光軸方向振れ補正に必要なのは、第1項 r_{axy}'' (光軸方向の加速度)のみである。第2項、第5項、第6項、第7項は、光軸方向振れ補正に不要な成分であり、消去しなければ、光軸である X_2 軸方向の加速度 r_{axy}'' を求める際の誤差成分となってしまう。第2項、第5項、第6項、第7項は、数式27の際と同様な手法で、消去する事が可能である。数式26については後でも述べる。

30

【0064】

以上述べたように、加速度計121の出力に含まれる誤差成分は消去可能であるが、その補正演算を行うと、その演算時間分だけブレ補正動作開始が遅くなってしまい、正確なブレ補正が出来なくなる。

【0065】

そこで、以下の考え方に基いて加速度計121を鏡筒102に配設する事により、加速度計121の出力に含まれる誤差成分を最小にする事が可能になるので、その補正演算時間が不要になる事で正確な振れ補正が出来るようにしている。

40

【0066】

図3は鏡筒102の断面図であり、撮影光学系105と加速度計121、角速度センサ131の配置を説明するものである。同図において、光軸I上には撮影光学系105の主点があり、ユーザーが設定した像倍率に応じて、撮影光学系的主点は、等倍撮影時(至近撮影時として)の主点位置A1から無限撮影時($=0.0$)の主点位置A2の範囲内で光軸I上を移動する。角速度センサ131は鏡筒102の任意の位置に配設されるが、加速度計121は等倍撮影時の主点位置A1から無限撮影時の主点位置A2の間に配設されている。

【0067】

50

加速度計 1 2 1 の光軸 I 方向の位置を主点位置 A 3 とし、等倍撮影時の主点位置 A 1 からの光軸 I 方向の距離を X、光軸 I と垂直方向の距離を Y とする。よって、前述の数式 2 7 において、等倍撮影時の場合、

$$r_{bax y} = Y / \sin \theta_{bax y}$$

となる。つまり、 $\tan \theta_{bax y} = Y / X$ となる。

【 0 0 6 8 】

ここで、前述の数式 2 7 の不要項である第 5 項及び第 6 項の和を加速度計位置誤差関数 $g(\theta_{ba})$ として以下のように表す。

【 0 0 6 9 】

< 数式 3 0 >

10

$$g(\theta_{ba}) = j r_{bax y} (\theta'_{cax y})^2 \sin(\theta_{bax y} + \pi) + j r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} \sin(\theta_{bax y} + \pi/2)$$

すると、前述したように数式 2 7 の第 4 項は無視出来、また第 7 項も回路のフィルタリング処理で除去する事が可能なので、該フィルタリング処理後の加速度計 1 2 1 の出力は、第 3 項、第 5 項、第 6 項となる事から、加速度計 1 2 1 の出力に含まれる、数式 3 0 で示した加速度計位置誤差関数 $g(\theta_{ba})$ の比率を誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ とすると、誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ は以下のように表す事が出来る。

【 0 0 7 0 】

< 数式 3 1 >

20

$$f(\theta_{ba}) = \frac{r_{bax y} (\theta'_{cax y})^2 \sin(\theta_{bax y} + \pi) + r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} \sin(\theta_{bax y} + \pi/2)}{r_{axy} \ddot{\theta}_{axy} + r_{bax y} (\theta'_{cax y})^2 \sin(\theta_{bax y} + \pi) + r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} \sin(\theta_{bax y} + \pi/2)}$$

【 0 0 7 1 】

以下、加速度計 1 2 1 を撮影倍率 $\beta = 0.5$ の位置に配置したとして説明を続ける。数式 3 1 に示したうち、 $r_{a x y}$ は撮影倍率 β の関数であり、また本出願人の鋭意の研究の結果、 $\ddot{\theta}_{a x y}$ は像倍率 β と線形の関係にある事が分かっているので、数式 3 1 は以下

30

【 0 0 7 2 】

< 数式 3 2 >

$$f(\theta_{ba}) = \frac{r_{bax y} (\theta'_{cax y})^2 \sin(\theta_{bax y} + \pi) + r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} \sin(\theta_{bax y} + \pi/2)}{(1+0.5)f_{(\beta=0.5)}} \\ r_{axy(\beta=0.5)} \times \frac{(1+\beta)f}{\beta \times f_{(\beta=0.5)}} \times (\theta'_{cax y})^2_{(\beta=0.5)} \times \frac{0.5}{(1+\beta)f} + r_{bax y} (\theta'_{cax y})^2 \sin(\theta_{bax y} + \pi) + r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} \sin(\theta_{bax y} + \pi/2)$$

40

【 0 0 7 3 】

ところで、撮影姿勢や像倍率が変化しても $\theta'_{cax y}$ 、 $\ddot{\theta}_{cax y}$ はほぼ一定である事が、本出願人の鋭意の研究の結果分かっている。よって、数式 3 2 に示した誤差比率関数 $f(\theta_{ba})$ は、前記 $\theta'_{cax y}$ 、 $\ddot{\theta}_{cax y}$ の値を代入すると以下のようになる。

【 0 0 7 4 】

< 数式 3 3 >

$$f(\theta_{ba}) = \frac{-0.433 \times 10^{-6} \times \tan \theta_{ba} + 0.342}{(1 + 0.5)f_{(\beta=0.5)}} + 0.0497 \times \tan \theta_{ba} \times \frac{(1 + \beta)f}{\beta \times f_{(\beta=0.5)}} \times \frac{0.5}{(1 + \beta)f} + 0.342$$

10

【 0 0 7 5 】

ここで、この数式 3 3 中にある、撮影光学系 1 0 5 の焦点距離 f 及びその時の像倍率を求め、各像倍率における誤差比率を求めたものが図 4 (a) である。なお、図 4 (a) は、前述のように、加速度計 1 2 1 を像倍率 $= 0.5$ に配置した時のものである。

【 0 0 7 6 】

続いて、加速度計 1 2 1 を撮影光学系 1 0 5 の等倍撮影時の主点位置 A 1 から無限撮影時の主点位置 A 2 までの間に配置したそれぞれの時の誤差比率を求める。例えば加速度計 1 2 1 を等倍位置、無限位置に置いた場合の誤差比率をそれぞれ図 4 (b)、図 5 に示す。図 4 (a) (b)、図 5 に示したように求めた誤差比率の各像倍率での値を積和した結果が、加速度計 1 2 1 を各撮影倍率に配置した時にどのように変化するかを求めたものが図 6 に示したものである。図 6 に示したように、像倍率 $= 0.7$ の位置近傍に加速度計 1 2 1 を配置すると、他の撮影倍率に配置した場合に比べて誤差比率が最も小さくなる事が分かる。よって、加速度計 1 2 1 を撮影光学系 1 0 5 の像倍率 $= 0.7$ の位置近傍に配置する事によって加速度計 1 2 1 の出力に含まれる誤差成分を最小にする事が可能になるので、加速度計 1 2 1 の出力の補正演算時間が不要になる。これにより正確な振れ補正が出来るようになる。

20

【 0 0 7 7 】

《フローチャートの説明》

図 7 は、本実施例 1 における像振れ補正装置の I S レンズ補正に関する動作の流れを示すフローチャートである。以下、図 7 に沿って補正レンズ 1 0 1 の補正量演算に関する動作の説明を行う。

30

【 0 0 7 8 】

ステップ (以下、S とする) 1 0 1 0 では、振れ補正 SW 1 0 3 が ON 状態で、リリーススイッチ 1 9 1 の半押し ON によりカメラボディ 2 0 1 から補正開始コマンドが出力される。この補正開始コマンドを受け振れ補正動作を開始する。

【 0 0 7 9 】

S 1 0 2 0 では、カメラボディ 2 0 1 から振れ補正停止コマンドが出力されているか否かを判断し、出力されている場合には、S 1 4 0 0 へ進み、振れ補正動作を停止し、出力されていない場合には、S 1 0 3 0 へ進み、振れ補正動作を継続する。したがって、カメラボディ 2 0 1 から振れ補正停止コマンドが出されるまで、振れ補正動作を継続することとなる。

40

【 0 0 8 0 】

S 1 0 3 0 では、焦点距離検出部 1 6 3 から得られる数値の読込を行う。焦点距離検出部 1 6 3 の数値は、像倍率の演算に用いる。S 1 0 4 0 では、被写体距離検出部 1 6 4 から得られる数値 (絶対距離) の読込を行う。S 1 0 5 0 では、焦点距離検出部 1 6 3 の数値と被写体距離検出部 1 6 4 の数値とを基に像倍率の演算を行う。像倍率の演算は、光学系構成により固有の式となり、この像倍率演算式に基づいて演算を行う。なお、像倍率の演算は、特に式として演算する必要はなく、焦点距離と絶対距離のエンコーダポジションに対するテーブルとして記憶しておいてもよい。

50

【0081】

S1060では、角速度センサ130と加速度計121の出力の読込を行う。S1070では、S1310からの角速度センサ出力値をもとに、自転角速度 ω_{cax_y} を演算する。角速度センサ出力値と自転角速度は一般に線形の関係にあるので、係数倍すれば求められる。

【0082】

S1410ではリリーススイッチ191が全押しONとなったかどうか、すなわち不図示のリリースボタンが全部押し込まれたかの判断を行う。YESつまりカメラの露光時ならばS1420へ進み、NOつまりカメラの露光前ならばS1090に進む。S1090では、S1080からの加速度計出力値 $A_{ccy_2}(0-x_2y_2)$ をフィルタリング処理して、数式27の第7項を消去する。除去後の値を $A'_{ccy_2}(0-x_2y_2)$ とする。

10

【0083】

S1100では、S1090の出力値： $A'_{ccy_2}(0-x_2y_2)$ を被写体側焦点距離 r_{ax_y} で除算する事で、公転角加速度 $\ddot{\alpha}_{ax_y}$ が得られる。さらに、この公転角加速度を時間積分する事で、制御に必要な公転角速度 $\dot{\alpha}_{ax_y}$ が求められる。次のS1104ではS1070で求められた自転角速度に対する公転角速度の比率を演算する。次のS1106ではS1104で演算した自転公転角速度比の値を記憶する。以前の値が残っている場合は上書きして記憶し、S1110へ進む。

【0084】

20

S1420では、過去にS1106で記憶していた自転公転角速度比の値を読み出し、S1110へ進む。S1110では、S1070からの自転角速度 ω_{cax_y} とS1100からの公転角速度 $\dot{\alpha}_{ax_y}$ との比が0.1より大(所定の値より大きい)か否かを判別する。0.1より大の際はS1120へ進む。0.1以下(所定の値以下)の際はS1130へ進む。

【0085】

S1120の自転公転差分振れ補正演算では、数式15の $V_{dcx_y}(0^2-x_2y_2) - (1 + \quad) f(\omega_{cax_y} - \dot{\alpha}_{ax_y}) e^{j(\quad/2)}$ に、読み込んだ像倍率、実焦点距離値 f と、リアルタイムに演算した自転角速度値 ω_{cax_y} と、S1106で記憶した自転公転角速度比にリアルタイムに演算した自転角速度値 ω_{cax_y} を乗算して求めた推定公転角速度 $\dot{\alpha}_{ax_y}$ とを代入することで、撮像面の Y_2 方向の像振れ速度を演算する。この求められた像振れ速度が、補正目標速度となる。撮像面の Z_2 方向の像振れ速度も数式16から同様に求められるが、ここでは説明を省略する。

30

【0086】

S1130の自転振れ補正演算では、数式15に代入する公転角速度 $\dot{\alpha}_{ax_y}$ はセンサ出力から演算を行わず、定数の零とする。その為、数式15は簡単になり、 $V_{dcx_y}(0^2-x_2y_2) - (1 + \quad) f \omega_{cax_y} e^{j(\quad/2)}$ となる。この数式15に、リアルタイムのS1070からの自転角速度 ω_{cax_y} を代入すれば、リアルタイムの Y_2 方向の像振れ速度が求められる。

【0087】

40

S1140では、自転公転差分振れ補正演算(S1120)、又は、自転振れ補正演算(S1130)により得られた像振れ速度から、補正レンズ101の敏感度を考慮し、補正レンズ101を駆動するための追従制御演算を行う。このとき、補正レンズ101の現在の位置出力のモニタも同時に行う。

【0088】

S1150では、S1140における追従制御演算結果を基に補正レンズ101を駆動する電圧ドライバ161に演算結果の出力を行う。電圧ドライバ161へ演算結果の出力を行った後、S1020に戻る。

【0089】

S1300では、像倍率 β が0.15倍以上であるか否かの判断を行う。像倍率 β が0

50

．15倍以上である場合には、S1320へ進む。S1300で像倍率が0.15倍未満である場合には、S1410へ進む。

【0090】

S1320では、S1310からの X_2 軸（光軸）方向の角速度センサ出力値 $A_{ccx_2}(0-x_2y_2)$ をフィルタリング処理することにより、数式26の不要である第7項を消去し、その値を時間積分して、光軸方向振れ速度 r'_{axy} が求まる。

【0091】

S1330では、S1320からの光軸方向振れ速度 r'_{axy} をもとに、AFレンズ140を駆動するための追従制御演算を行う。S1340では、S1330における追従制御演算結果を基にAFレンズ140を駆動するAFレンズ電圧ドライバ172へ演算結果の出力を行った後、S1020に戻る。

10

【0092】

《自転公転モデル図と自転公転振れ式の詳細説明》

これから、自転公転モデル図の説明と、自転公転振れ式の説明を行う。まず、この像振れ補正装置の座標系の説明を行う。

【0093】

まずは、カメラ上に固定される移動座標系 $O_2 X_2 Y_2 Z_2$ の説明をする。カメラ振れの際には、この座標系 $O_2 X_2 Y_2 Z_2$ はカメラと一体的に振れ運動をするので、移動座標系と名づける。

【0094】

20

図8(a)の三次元の座標系図で三次元座標系の説明を行う。この座標系は直交座標系であり、図8(a)の様に、 X_2 軸と Y_2 軸と Z_2 軸が直交している。原点 O_2 を中心として Z_2 軸周りで、 $+X_2$ 軸から $+Y_2$ 軸への回転をピッチング（符号は+）とする。原点 O_2 を中心として Y_2 軸周りで、 $+Z_2$ 軸から $+X_2$ 軸への回転をヨーイング（符号は+）とする。原点 O_2 を中心として X_2 軸周りで、 $+Y_2$ 軸から $+Z_2$ 軸への回転をローリング（符号は+）とする。

【0095】

図8(d)は、図1のカメラ断面図を簡略化したカメラ側面図であり、レンズが透視状態で記載されている。図8(d)のカメラ側面図で、このカメラに固定される座標系 $O_2 X_2 Y_2 Z_2$ の説明をする。

30

【0096】

撮影光学系105の主点Aに、座標系の原点 O_2 を固定し、光軸上撮像素子方向をプラス X_2 軸とする。カメラ上方向（この図の上方向）をプラス Y_2 軸、残る方向をプラス Z_2 軸とする。 $X_2 Y_2$ 平面にカメラが投影された状態において、加速度計121の位置Bは、原点 O_2 と加速度計121の位置Bの線分長 r_{baxy} と、 X_2 軸と線分 r_{baxy} が成す角 θ_{baxy} で表現する。 O_2 軸中心で $+X_2$ 軸から $+Y_2$ 軸方向の回転方向を正とする。

【0097】

図8(b)のカメラ上面図では、 $Z_2 X_2$ 平面に投影された状態の加速度計121の位置Bが記載されている。 $Z_2 X_2$ 平面にカメラが投影された状態において、加速度計121の位置Bは、原点 O_2 と加速度計121の位置Bの線分長 r_{baxz} と、 Z_2 軸と線分 r_{baxz} が成す角 θ_{baxz} で表現する。 $+Z_2$ 軸から $+X_2$ 軸方向の回転方向を正とする。また、 X_2 軸と線分 r_{baxz} が成す角 θ_{baxz} でも表現する。 $+X_2$ 軸から $+Z_2$ 軸方向の回転方向を正とする。

40

【0098】

図8(c)のカメラ正面図では、 $Y_2 Z_2$ 平面に投影された状態の加速度計121の位置が記載されている。 $Y_2 Z_2$ 平面に投影された状態において、加速度計121の位置Bは、原点 O_2 と加速度計121の位置Bの線分長 r_{bayz} と、 Y_2 軸と線分 r_{bayz} が成す角 θ_{bayz} で表現する。 O_2 軸中心で $+Y_2$ 軸から $+Z_2$ 軸方向の回転方向を正とする。

50

【0099】

次に、被写体Sが存在する固定座標系 O_g, X_g, Y_g, Z_g の説明をする。この座標系 O_g, X_g, Y_g, Z_g は被写体と一体的の為、固定座標系と名づける。

【0100】

図9は、カメラの光学系のみを三次元空間に表した図である。点 $A = O_2$ は既に説明したこの撮影光学系105の主点Aであり、座標系 O_4, X_4, Y_4, Z_4 の原点 O_4 でもある。

【0101】

固定座標系 O_g, X_g, Y_g, Z_g の初期状態(時刻 $t = 0$)の配置を説明する。座標原点 O_g は撮影しようとしている被写体に一致させる。座標軸 $+Y_g$ は、地球の重力加速度方向の逆方向とする。残る座標軸 $+X_g$ と $+Z_g$ は任意の配置とする。点Dは、被写体Sの結像点であり、幾何光学的に、線分OAの延長上に存在する。

【0102】

図10(a)で、固定座標系 O_g, X_g, Y_g, Z_g における、主点Aの三次元的表現方法を説明する。カメラの位置を空間上に示す為、その基準となる主点Aのみ図10(a)に表示し、結像点D等の他の部分は非表示とした。主点Aを原点 O_g 基準のベクトルで表示し、ベクトル R_a とする。このベクトル R_a の長さをスカラー r_a とする。 O_g 中心で Z_g 軸からベクトル R_a への角度を ψ_a とする。ベクトル R_a と Z_g 軸を含む平面が、 XY 平面を切ってできる直線OJへの X_g 軸からの角度を θ_a とする。

【0103】

以上、ベクトル R_a は、スカラー r_a と角度 ψ_a と角度 θ_a の3つの値によって、極座標系として表現される。この3つの値がセンサ等の測定から演算可能ならば、カメラの主点Aの位置が求められる。

【0104】

《参考：直交座標系変換式》

この時、主点Aの位置を極座標系から直交座標系に変換する式は以下の式である。図10(b)は直交座標系で表示したものである。

$$X_a = r_a \sin \theta_a \times \cos \psi_a$$

$$Y_a = r_a \sin \theta_a \times \sin \psi_a$$

$$Z_a = r_a \cos \theta_a$$

(投影座標系の説明)

次にベクトル R_a を、 X_g, Y_g 平面に投影した際の座標表現と、 Z_g, X_g 平面に投影した際の座標表現を図11で説明する。図11で、移動座標系 O_4, X_4, Y_4, Z_4 の説明をする。主点Aには、移動座標系 O_4, X_4, Y_4, Z_4 も配置されている。主点Aに原点 O_4 を固定する。即ち、主点Aの移動に伴って原点 O_4 も移動する。座標軸 $+X_4$ は座標軸 $+X_g$ と常に平行に配置し、座標軸 $+Y_4$ は座標軸 $+Y_g$ と常に平行に配置する。この平行性は、主点Aが移動した際も保たれる様にする。主点Aでの重力加速度ベクトル G の方向は、座標軸 Y_g のマイナス方向である。

【0105】

X_g, Y_g 平面に投影した際の二次元座標表現を説明する。図11において、主点Aを X_g, Y_g 平面に投影した点を主点 A_{xy} とする。原点 O_g から主点 A_{xy} までの線分をスカラー r_{axy} 、原点 O_g を中心として X_g 軸からスカラー r_{axy} までの角度を θ_{axy} とする。角度 θ_{axy} は以前説明した θ_a と同一の角度である。 X_g, Y_g 平面に投影した事を明確にする為に、記号 xy を付与している。

【0106】

図12は X_g, Y_g 平面に投影されたカメラ状態を表している。ここではカメラの外形とレンズも表示している。先ほど述べた主点 A_{xy} に、座標系 $O_4 - X_4, Y_4$ の原点 O_4 を固定する。主点 A_{xy} が移動した際も、 X_4 軸は X_g 軸と平行状態を保ち、 Y_4 軸は Y_g 軸と平行状態を保つ様にする。

【0107】

10

20

30

40

50

前述した様に、座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ の原点 O_2 は主点 A_{xy} に固定され、カメラと一体的に移動する。この際、 X_2 軸はこのカメラの光軸と常に一致させる。原点 O_2 を中心として、 X_4 軸から X_2 軸へ回転させた時の角度を c_{ax_y} ($= c_a$: 完全同値) とする。主点 A_{xy} での重力加速度ベクトル G_{xy} は、主点 A_{xy} 中心として X_4 軸から正回転 (反時計回り) で、ベクトル G_{xy} までの角度を g_{xy} とする。この g_{xy} は一定値である。

【0108】

ここで、本発明で使用する用語の説明をする。本発明では、太陽と地球の運動になぞらえて、被写体の存在する原点 O_g を太陽、カメラの主点 A を地球中心に例え、角度 a_{xy} を XY 平面内の「公転角度」と呼び、角度 c_{ax_y} を XY 平面内の「自転角度」と呼ぶ。即ち、地球 (カメラ) が太陽 (被写体) の周りを周る事を公転と言い、地球 (カメラ) 自らが回転する事を自転と言う事と相似している。

10

【0109】

次に、 $Z_g X_g$ 平面にカメラを投影した際の二次元座標表現を説明する。図13は $Z_g X_g$ 平面に投影されたカメラ状態を表している。ここではカメラの外形とレンズも表示している。主点 A_{zx} に、座標系 $O_4 - Z_4 X_4$ の原点 O_4 を固定する。主点 A_{zx} が移動した際も、 Z_4 軸は Z_g 軸と平行状態を保ち、 X_4 軸は X_g 軸と平行状態を保つ様にする。

【0110】

座標系 $O_2 - Z_2 X_2$ の原点 O_2 は主点 A_{zx} に固定され、カメラと一体的に移動する。この際、 X_2 軸はこのカメラの光軸と常に一致させる。原点 O_2 を中心として、 Z_4 軸から X_2 軸へ回転させた時の角度をプサイ c_{az_x} とする。また原点 O_2 を中心として、 X_4 軸から X_2 軸へ回転させた時の角度をゼータ c_{az_x} とする。

20

【0111】

図14の三次元座標系において、時刻 $t = 0$ 時の初期時刻におけるカメラ初期状態を説明する。固定座標系 $O_g - X_g Y_g Z_g$ において、ここでは便宜的に、撮影者がファインダーや液晶表示 (LCD) の中心に撮影したい被写体 $S (t = 0)$ を一致させ、被写体 $S (t = 0)$ が光軸上にあるとして説明する。被写体 $S (t = 0)$ に原点 O_g を一致させる。幾何光学的に、この撮影光学系105の主点 A と、被写体 $S (t = 0)$ を結像する結像点 D は一直線の光軸上に存在する。主点 A の位置での重力加速度ベクトル G は、座標軸 Y_g のマイナス方向である。

30

【0112】

もし、撮影者がファインダーや液晶表示 (LCD) の中心以外のオートフォーカス (AF) フレームに撮影したい被写体 S を一致させた場合は、その被写体 S と主点 A を結ぶ線分をベクトル R_a として、モデル化しても良い。

【0113】

次に新たな固定座標系 $O - XYZ$ を設定する。この固定座標系 $O - XYZ$ の原点 O を原点 O_g に一致させ、座標軸 X をカメラの光軸と一致させる。 XY 平面内に座標軸 Y_g が存在する様に座標軸 Y の方向を設定する。座標軸 X と座標軸 Y が定まれば、座標軸 Z は一義的に定まる。

40

【0114】

図15の様に、今後、説明の便宜上、固定座標系 $O_g - X_g Y_g Z_g$ を非表示にして、固定座標系は、固定座標系 $O - XYZ$ のみ表示する。前述の座標系の定義によって、時刻 $t = 0$ の初期状態においては、重力加速度ベクトル G は、 XY 平面内に存在する。

【0115】

次に、カメラ振れと像振れの関係を示す振れ式の導出を行う。数式の表現を容易にする為、極座標系表示を用いる。また、ベクトルや角度の一階微分、二階微分を行う。そこで、極座標系の基本的説明図である図16を用いて、一般的であり、且つここで用いる数式中の記号の意味を説明する。座標系 $O - XYZ$ 上に存在する点 A の位置表現を、位置ベクトル R で示す。位置ベクトル R は時間の関数であり、 $R(t)$ とも書き表す。

50

【0116】

<数式01>

位置ベクトル：

$$\begin{aligned} R(t) &= r(t) e^{j(\theta(t))} \\ &= R \\ &= r e^{j\theta} \\ &= r \cos \theta + j r \sin \theta \end{aligned}$$

この実数項 $r \cos \theta$ がX方向成分であり、この虚数項 $j r \sin \theta$ がY方向成分である。直交座標系で表示すれば、X方向成分が、 $A_x = r \cos \theta$ で、Y方向成分が、 $A_y = r \sin \theta$ である。

10

【0117】

次に速度ベクトル $V = R'$ は、位置ベクトル R を時間 t で一階微分すると求められる。

【0118】

<数式02>

速度ベクトル：

$$\begin{aligned} V(t) &= R' \\ &= r' e^{j\theta} + r e^{j(\theta + \pi/2)} \end{aligned}$$

直交座標系で表示すれば、

$$X \text{ 方向成分が、} V_x = A'_x = r' \cos \theta - r \sin \theta$$

20

$$Y \text{ 方向成分が、} V_y = A'_y = r' \sin \theta + r \cos \theta$$

である。

【0119】

次に加速度ベクトル R'' は、速度ベクトル R' を時間 t で一階微分すると求められる。

【0120】

<数式03>

加速度ベクトル：

$$\begin{aligned} R'' &= r'' e^{j\theta} + r'^2 e^{j(\theta + \pi)} \\ &\quad + r'' e^{j(\theta + \pi/2)} + 2r' r' e^{j(\theta + \pi/2)} \end{aligned}$$

30

但し、

第1項： $r'' e^{j\theta}$ は長さ r の変化の加速度成分第2項： $r'^2 e^{j(\theta + \pi)}$ は求心力成分第3項： $r'' e^{j(\theta + \pi/2)}$ は角加速度成分第4項： $2r' r' e^{j(\theta + \pi/2)}$ はコリオリ力成分である。

【0121】

直交座標系で表示すれば、下記の数式04で求められる。

【0122】

<数式04>

X方向成分 A''_x ：

40

$$\begin{aligned} A''_x &= r'' \cos \theta - r' \sin \theta - r' \sin \theta \\ &\quad + 2r' r' \cos \theta \end{aligned}$$

Y方向成分： A''_y ：

$$\begin{aligned} A''_y &= r'' \sin \theta + r' \cos \theta + r' \cos \theta \\ &\quad + 2r' r' \sin \theta \end{aligned}$$

図17で、カメラをXY平面に投影した際の、二次元XY座標系において、本発明の理論式の説明を行う。図17で、二次元XY座標系の座標系や記号の設定も説明する。一部既に説明した内容も含めて説明する。

【0123】

固定座標系O - XY上に、被写体Sが配置されている。時刻($t = 0$)の初期状態図に

50

において記号を説明する。初期状態 ($t = 0$) では、カメラの光軸は、固定座標系 $O - X Y$ の座標軸 X と一致している。初期状態 ($t = 0$) では、被写体 S は、固定座標系 $O - X Y$ の原点 O に一致している。固定座標系 $O - X Y$ において、主点 A は、ベクトル $R_{a x y}$ で表現する。原点 O からカメラの主点 A までの線分長をスカラー $r_{a x y}$ とし、原点 O が、レンズによって結像した点を結像点 D とする。点 C は撮像素子 203 の中心点であり、初期状態 ($t = 0$) では、結像点 D は点 C に一致している。

【0124】

ある時刻 ($t = t_2$) の移動状態図において記号を説明する。主点 A に座標系 $O_4 - X_4 Y_4$ の原点 O_4 が固定され、座標軸 X_4 は常に座標軸 X と平行に保ち、座標軸 Y_4 は常に座標軸 Y と平行に保つ。主点 A に座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ の原点 O_2 が固定され、座標軸 X_2 は常にカメラの光軸方向に保つ。

10

【0125】

加速度計 121 はカメラ内部の点 B に固定され、座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ においてベクトル $R_{b a x y}$ で表現する。線分 AB の長さをスカラー $r_{b a x y}$ とし、原点 O_2 中心に座標軸 X_2 軸から線分 AB へに回転させた角度を $\theta_{b a x y}$ とする。

【0126】

原点 O の像は、レンズによって、撮像素子中心の点 C とは異なる点 D の位置に結像している。主点 A 基準の結像点 D を、ベクトル $R_{d a x y}$ で表現する。点 C 基準の点 D をベクトル $R_{d c x y}$ で表現する。点 C から点 D までの長さであるスカラー $r_{d c x y}$ は、時刻 $t = 0$ から t_2 までに、結像点 D が移動した長さである。ある時刻 t_2 において、移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ における、点 C に対する結像点 D の相対移動速度ベクトルをベクトル $V_{d c x y} (O_2 - X_2 Y_2)$ とする。

20

【0127】

固定座標系 $O - X Y$ において、原点 O 中心に座標軸 X からベクトル $R_{a x y}$ へのなす角度を自転角度 $\theta_{a x y}$ とする。移動座標系 $O_4 - X_4 Y_4$ において、原点 O_4 中心に座標軸 X_4 から座標軸 X_2 へのなす角度を、公転角度 $\theta_{c a x y}$ とする。

【0128】

ベクトル $R_{a x y}$ の時間 t による一階微分をベクトル $R'_{a x y}$ 、二階微分をベクトル $R''_{a x y}$ と表記する。ベクトル $R_{c a x y}$ も同様に、 $R'_{c a x y}$ 、 $R''_{c a x y}$ 、ベクトル $R_{d a x y}$ も同様に、 $R'_{d a x y}$ 、 $R''_{d a x y}$ 、公転角度 $\theta_{c a x y}$ も同様に、 $\theta'_{c a x y}$ 、 $\theta''_{c a x y}$ 、自転角度 $\theta_{a x y}$ も同様に、 $\theta'_{a x y}$ 、 $\theta''_{a x y}$ と表記する。

30

【0129】

ある時刻 t_2 において、移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ における点 C 基準の結像点 D の相対移動速度ベクトル $V_{d c x y} (O_2 - X_2 Y_2)$ を求める。固定座標系 $O - X Y$ における結像点 D の移動速度ベクトル $V_{d a x y} (O - X Y)$ は、下記の数式 05 にて求められる。

【0130】

< 数式 05 >

$$\begin{aligned} & V_{d a x y} (O - X Y) \\ = & R'_{d a x y} (O - X Y) \\ = & r'_{d a x y} e^{j \theta_{a x y}} + r_{d a x y} \theta'_{a x y} e^{j \theta_{a x y}} + r_{d a x y} \theta''_{a x y} e^{j \theta_{a x y}} \\ = & r'_{d a x y} e^{j \theta_{a x y}} + r_{d a x y} \theta'_{a x y} e^{j \theta_{a x y}} + r_{d a x y} \theta''_{a x y} e^{j \theta_{a x y}} \\ & \theta'_{d a x y} = \theta'_{a x y} \end{aligned}$$

40

固定座標系 $O - X Y$ における撮像素子中心 C の移動速度ベクトル $V_{c a x y} (O - X Y)$ は、下記の数式 06 にて求められる。

【0131】

< 数式 06 >

$$\begin{aligned} & V_{c a x y} (O - X Y) \\ = & R'_{c a x y} (O - X Y) \end{aligned}$$

50

$$\begin{aligned}
&= r'_{cax y} e^{j \left(\frac{cax y}{r_{cax y}} + \frac{cax y}{r_{cax y}} \right)} + r_{cax y} e^{j \left(\frac{cax y}{r_{cax y}} + \frac{cax y}{r_{cax y}} \right)} \\
&= r_{cax y} e^{j \left(\frac{cax y}{r_{cax y}} + \frac{cax y}{r_{cax y}} \right)} \\
&= 0
\end{aligned}$$

幾何光学の結像式より、数式 0 7 が導かれる。

【 0 1 3 2 】

< 数式 0 7 >

$$1/f = 1/r_{ax y} + 1/r_{dax y}$$

但し

f : この光学系の焦点距離

数式 0 7 を変形する。

10

$$\begin{aligned}
r_{dax y} &= f r_{ax y} / (r_{ax y} - f) \\
&= f r_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-1} \\
r'_{dax y} &= f r'_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-1} \\
&\quad - f r_{ax y} r'_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-2}
\end{aligned}$$

以上の式より、固定座標系 O - X Y における、点 C に対する結像点 D の相対移動速度ベクトル $V_{dcxy}(O - XY)$ は、下記の数式 0 8 により求められる。

【 0 1 3 3 】

< 数式 0 8 >

$$\begin{aligned}
V_{dcxy} &= R'_{dcxy} \\
&= V_{dxy} - V_{cxy} \\
&= (V_{dax y} + V_{ax y}) - (V_{cax y} + V_{ax y}) \\
&= V_{dax y} - V_{cax y} \\
&= r'_{dax y} e^{j \left(\frac{dax y}{r_{dax y}} + \frac{dax y}{r_{dax y}} \right)} + r_{dax y} e^{j \left(\frac{dax y}{r_{dax y}} + \frac{dax y}{r_{dax y}} \right)} \\
&\quad - r_{cax y} e^{j \left(\frac{cax y}{r_{cax y}} + \frac{cax y}{r_{cax y}} \right)} \\
&= [f r'_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-1} - f r_{ax y} r'_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-2}] \\
&\quad e^{j \left(\frac{dax y}{r_{dax y}} + \frac{dax y}{r_{dax y}} \right)} \\
&\quad + f r_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-1} e^{j \left(\frac{dax y}{r_{dax y}} + \frac{dax y}{r_{dax y}} \right)} \\
&\quad - r_{cax y} e^{j \left(\frac{cax y}{r_{cax y}} + \frac{cax y}{r_{cax y}} \right)}
\end{aligned}$$

20

スカラー $r_{cax y}$ と、スカラー $r_{ax y}(t = 0)$ の関係は、下記の数式 0 9 により求められる。

30

【 0 1 3 4 】

< 数式 0 9 >

$$\begin{aligned}
r_{cax y} &= r_{dax y}(t = 0) \\
&= f \cdot r_{ax y}(t = 0) \cdot (r_{ax y}(t = 0) - f)^{-1} \\
&= (1 + \dots) f
\end{aligned}$$

上記式の代入により、固定座標系 O - X Y における相対移動速度ベクトル $V_{dcxy}(O - XY)$ は、下記の数式 1 0 により求められる。

【 0 1 3 5 】

< 数式 1 0 >

$$\begin{aligned}
V_{dcxy}(O - XY) &= [f r'_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-1} - f r_{ax y} r'_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-2}] \\
&\quad e^{j \left(\frac{dax y}{r_{dax y}} + \frac{dax y}{r_{dax y}} \right)} \\
&\quad + f r_{ax y} (r_{ax y} - f)^{-1} e^{j \left(\frac{dax y}{r_{dax y}} + \frac{dax y}{r_{dax y}} \right)} \\
&\quad - (1 + \dots) f \cdot r_{cax y} e^{j \left(\frac{cax y}{r_{cax y}} + \frac{cax y}{r_{cax y}} \right)}
\end{aligned}$$

40

次に、固定座標系 O - X Y からカメラ上に固定されている移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ に座標変換する。それは、ベクトル $V_{dcxy}(O - XY)$ を自転角度 $(-\dots)$ 分だけ回転させればよい。よって、カメラ上に固定された移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ における、像振れ速度ベクトル $V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2)$ は、下記の数式 1 1 により求

50

められる。

【0136】

< 数式 11 >

$$\begin{aligned} & V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2) \\ = & V_{dcxy}(O - XY) e^{j(\dots caxy)} \\ = & [f r'_{axy}(r_{axy} - f)^{-1} \\ & - f r_{axy} r'_{axy}(r_{axy} - f)^{-2}] e^{j(\dots axy - caxy)} \\ & + f r_{axy}(r_{axy} - f)^{-1} \cdot axy e^{j(\dots axy + \dots / 2 - caxy)} \\ & - (1 + \dots) f \cdot \dots caxy e^{j(\dots caxy + \dots / 2 - caxy)} \end{aligned}$$

さらに整理すると、前述した数式 12 となる。この移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ における像振れ速度ベクトル $V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2)$ は、カメラの撮像面に対する相対像振れ速度であるから、実際に画像として記録される像振れ運動を厳密に表している厳密式である。この厳密式で、虚数部分すなわち座標軸 Y_2 方向成分が撮像面内でカメラの上下方向の像振れ成分である。また、数式 12 の実数部分すなわち座標軸 X_2 方向成分がカメラの光軸方向の像振れ成分であり、一般に言うところのピンボケが発生する成分である。

【0137】

撮影者の手で支持されたカメラの振れは、空間のある一点を中心とした微小な振幅の振動運動と考えられる為、厳密に求めた移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ における像振れ速度ベクトル $V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2)$ を、以下の条件で、近似式に変換する。

【0138】

ある時刻 t_2 の状態を、時刻 $t = 0$ の初期状態近傍の振動と仮定し、下記の数式 13 を求める。

【0139】

< 数式 13 >

$$\begin{aligned} & r_{axy} (1 + \dots) f / \\ \text{変形すると、} & r_{axy} - f \quad f / \\ & f \cdot r_{axy} / (r_{axy} - f) \\ = & f \cdot (1 + \dots) (f / \dots) / (f / \dots) \\ = & f \cdot (1 + \dots) \end{aligned}$$

となる。これと、 $r'_{axy} = 0$ と、 $axy + \dots / 2 - caxy \quad \dots / 2$ とを $V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2)$ に代入すると、下記の数式 14 が導かれる。

【0140】

< 数式 14 >

$$\begin{aligned} & V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2) \\ = & V_{dcxy}(O - XY) e^{j(\dots caxy)} \\ & [f \cdot \text{零}(r_{axy} - f)^{-1} \\ & - f r_{axy} \cdot \text{零}(r_{axy} - f)^{-2}] e^{j(\dots axy - caxy)} \\ & + (1 + \dots) f \cdot \dots axy e^{j(\dots / 2)} \\ & - (1 + \dots) f \cdot \dots caxy e^{j(\dots / 2)} \\ & - (1 + \dots) f (\dots caxy - \dots axy) e^{j(\dots / 2)} \end{aligned}$$

よって、 XY 平面内の移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ における像振れ速度ベクトル $V_{dcxy}(O_2 - X_2 Y_2)$ の近似理論式は、前述した数式 15 となる。数式 15 の右辺の像振れベクトルの方向を示す成分が $e^{j(\dots / 2)}$ であるから、像振れの方法は、 X_2 軸から 90 度方向の Y_2 軸方向である。 $\dots caxy$ は主点 A 中心の自転角速度、 $\dots axy$ は固定座標系原点 O を中心とした主点 A の公転角速度である。 \dots はこの光学系の撮影像倍率、 f は実焦点距離である。 $(1 + \dots) f$ とは、像側焦点距離のことである。よって、この近似式は、撮像面内の Y_2 方向の像振れ速度が、 $-$ 像側焦点距離 \times (自転角速度から公転角速度を引いた値) であることを意味している。

【0141】

図 18 で、 ZX 平面に投影した際の、二次元 ZX 座標系における、本発明の像振れ理論

10

20

30

40

50

式の説明を行う。近似条件を、手振れが初期状態位置を中心とした微小振動運動の場合、ゼータ α_{zx} 零、 γ_{azx} 零、 r_{azx} 一定値、 r'_{azx} 零、 r''_{azx} 零とする。その近似条件より、Z Y 平面内の移動座標系 $O_2 - Z_2 X_2$ における像振れ速度ベクトル $V_{dcz} (O_2 - Z_2 X_2)$ の近似理論式は、X Y 平面での近似式 $V_{dcxy} (O_2 - X_2 Y_2)$ と同様な手順で、下記の数式 16 のようになる。

【0142】

< 数式 16 >

$$V_{dcz} (O_2 - X_2 Y_2) = (1 + \gamma_{azx}) f (\gamma'_{caz} - \gamma'_{azx}) e^{j(\alpha_{zx}/2)}$$

数式 16 の右辺の像振れベクトルの方向を示す成分が $e^{j(\alpha_{zx}/2)}$ であるから、像振れの方向は、 X_2 軸から 90 度方向の Z_2 軸方向である。 γ'_{caz} は主点 A 中心の自転角速度、 γ'_{azx} は固定座標系原点 O を中心とした主点 A の公転角速度である。は この光学系の撮影像倍率、f は実焦点距離である。 $(1 + \gamma_{azx}) f$ とは、像側焦点距離のことである。よって、この近似式は、撮像素子面内の X_2 方向の像振れ速度が、- 像側焦点距離 \times (自転角速度から公転角速度を引いた値) であることを意味している。

【0143】

加速度計 121 の出力信号についても、説明する。X Y 座標平面内において、主点 A での公転角速度： $\gamma'_{axy} = (点Aでの線分 r_{axy} に直交する加速度成分) dt / r_{axy}$ である。その為には、加速度ベクトル R_a'' を測定演算すれば良い。この実施例では、加速度計 121 は点 B に固定されているため、点 B での加速度計出力から、点 A での加速度値を補正演算する必要がある。ここでは、主点 A と実際に配置されている点 B での加速度の差分値と、点 B での理論加速度値を求める。そして、像振れ制御上不要な成分 (項) を明らかにする。

【0144】

まず、固定座標系 O - X Y において、主点 A で発生している加速度ベクトル $R_a'' (O - X Y)$ は、下記の数式 17 により求められる。

【0145】

< 数式 17 >

$$R_a'' (O - X Y) = r_a'' e^{j\alpha_{xy}} \gamma'_{axy} \quad (\text{第 1 項: 長さ } r_a \text{ の変化の加速度成分}) \\ + r_{axy} (\gamma'_{axy})^2 e^{j(\alpha_{xy} + \gamma_{axy})} \quad (\text{第 2 項: 求心力成分}) \\ + r_{axy} \gamma''_{axy} e^{j(\alpha_{xy} + \gamma_{axy}/2)} \quad (\text{第 3 項: 角加速度成分}) \\ + 2 r'_{axy} \gamma'_{axy} e^{j(\alpha_{xy} + \gamma_{axy}/2)} \quad (\text{第 4 項: コリオリ力成分}) \\ + G \cdot e^{j(\gamma_{xy} - \gamma_{axy})} \quad (\text{重力 } G \text{ の加速度成分})$$

(ここで、重力 G は、加速度計 121 に対して反力として働くため、重力方向を示す角度 γ_{xy} から 180 度差し引いている。)

固定座標系 O - X Y での、主点 A に対する点 B の相対加速度ベクトル $R_{ba}'' (O - X Y)$ を求めて行く。まずは、相対位置ベクトル $R_{bax} (O - X Y)$ を下記の数式 18 により求める。

【0146】

< 数式 18 >

$$R_{bax} (O - X Y) = r_{ba} e^{j(\beta_{ax} + \gamma_{ax})}$$

数式 18 を時間 t で一階微分すると、速度ベクトルが求められる。点 A と B は同一の剛体上に固定されている為、

$r_{bax} = \text{一定値}$ で、 $r'_{bax} = \text{零}$ 、 $\beta_{bax} = \text{一定値}$ で、 $\beta'_{bax} = \text{零}$ 、 $\gamma'_{cax} = \text{自転成分 (変数) より、相対速度ベクトル } R'_{bax} (O - X Y) \text{ を下記の数式 19 により求められる。}$

【0147】

< 数式 19 >

$$R'_{bax} (O - X Y)$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
&= r'_{bax y} e^{j(bax y + cax y)} \\
&\quad + r_{bax y} \left(\begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} bax y + \begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y \right) e^{j(bax y + cax y + / 2)} \\
&= (零) e^{j bax y} \\
&\quad + r_{bax y} (零 + \begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y) e^{j(bax y + cax y + / 2)} \\
&= r_{bax y} \left(\begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y \right) e^{j(bax y + cax y + / 2)}
\end{aligned}$$

次に、加速度ベクトルを求める。固定座標系 O - X Y において、点 A に対する、点 B (加速度計位置) の相対加速度ベクトル $R_{bax y (O - X Y)}$ を下記の数式 20 により求める。

【0148】

10

< 数式 20 >

$$\begin{aligned}
&R''_{bax y (O - X Y)} \\
&= r''_{bax y} e^{j(bax y + cax y)} \\
&\quad + r_{bax y} \left(\begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} bax y + \begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y \right)^2 e^{j(bax y + cax y +)} \\
&\quad + r_{bax y} \left(\begin{matrix} '' \\ '' \end{matrix} bax y + \begin{matrix} '' \\ '' \end{matrix} cax y \right) e^{j(bax y + cax y + / 2)} \\
&\quad + 2 r'_{bax y} \left(\begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} bax y + \begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y \right) e^{j(bax y + cax y + / 2)} \\
&= (零) e^{j(bax y + cax y)} \\
&\quad + r_{bax y} (零 + \begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y)^2 e^{j(bax y + cax y +)} \\
&\quad + r_{bax y} (零 + \begin{matrix} '' \\ '' \end{matrix} cax y) e^{j(bax y + cax y + / 2)} \\
&\quad + 2 (零) \left(\begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y \right) e^{j(bax y + cax y + / 2)} \\
&= r_{bax y} \left(\begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y \right)^2 e^{j(bax y + cax y +)} \\
&\quad + r_{bax y} \left(\begin{matrix} '' \\ '' \end{matrix} cax y \right) e^{j(bax y + cax y + / 2)} \\
& (= \text{求心力} + \text{角加速度分})
\end{aligned}$$

20

この式値が、加速度計 121 が理想位置である主点 A に対して実際取付けた位置 B で在るが為の、運動ベクトル誤差分である。

【0149】

固定座標系 O - X Y での点 B の加速度 $R''_{bxy (O - X Y)}$ を、既に求めた原点 O から主点 A までと、主点 A から点 B までのベクトルの合算で表現する。まずは固定座標系 O - X Y での点 B の位置ベクトル R_{bxy} を、下記の数式 21 により主点 A 経由で表現する。

30

【0150】

< 数式 21 >

位置ベクトル：

$$\begin{aligned}
&R_{bxy (O - X Y)} \\
&= r_{bxy} e^{j bxy} \\
&= R_{axy} + R''_{bax y} \\
&= r_{axy} e^{j axy} + r_{bax y} e^{j(bax y + cax y)}
\end{aligned}$$

< 数式 22 >

40

速度ベクトル：

$$\begin{aligned}
&R_{bxy (O - X Y)} \\
&= r'_{bxy} e^{j bxy} + r_{bxy} \begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} bxy e^{j(bxy + / 2)} \\
&= R'_{axy} + R'_{bax y} \\
&= r'_{axy} e^{j axy} + r_{axy} \begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} axy e^{j(axy + / 2)} \\
&\quad + r_{bax y} \left(\begin{matrix} ' \\ ' \end{matrix} cax y \right) e^{j(bax y + cax y + / 2)}
\end{aligned}$$

< 数式 23 >

加速度ベクトル：

$$\begin{aligned}
&R''_{bxy (O - X Y)} \\
&= R''_{axy} + R''_{bax y}
\end{aligned}$$

50

$$\begin{aligned}
&= r''_{ax y} e^{j(ax y)} \\
&+ r_{ax y} \left(\dot{a}_{x y} \right)^2 e^{j(ax y + \quad)} \\
&+ r_{ax y} \ddot{a}_{x y} e^{j(ax y + \quad / 2)} \\
&+ 2 r'_{ax y} \dot{a}_{x y} e^{j(ax y + \quad / 2)} \\
&+ r_{bax y} \left(\dot{c}_{ax y} \right)^2 e^{j(bax y + cax y + \quad)} \\
&+ r_{bax y} \left(\ddot{c}_{ax y} \right) e^{j(bax y + cax y + \quad / 2)} \\
&+ G \cdot e^{j(gx y - \quad)}
\end{aligned}$$

次は、移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ での、点 B の加速度 $R''_{bx y} (O_2 - X_2 Y_2)$ を計算する。これは、算出したい加速度の大きさ（スカラー）は、被写体の存在する固定座標系 $O - X Y Z$ である。また、移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2$ に対して加速度は固定されて

10

【0151】

加速度計 121 の配置状態を詳しくのべる。点 B に 3 軸出力の加速度計 121 が配置される。移動座標系 $O_2 - X_2 Y_2 Z_2$ において、感度方向が X_2 軸と平行方向の加速度計出力 A_{ccx_2} と、感度方向が Y_2 軸と平行方向の加速度計出力 A_{ccy_2} と、感度方向が Z_2 軸と平行方向の加速度計出力 A_{ccz_2} とに加速度計の軸を設定する。ここでは $X Y$ 平面内の運動について述べている為、加速度計出力 A_{ccx_2} と加速度計出力 A_{ccy_2} について述べる。

【0152】

20

上記で求めた固定座標系 $O - X Y$ での点 B の加速度 $R''_{bx y} (O - X Y)$ を、原点 O のまま、 X_2 軸と Y_2 軸方向成分に変換して、 $R''_{bx y} (O - X_2 Y_2)$ を求めるには、カメラの自転角度 $c_{ax y}$ の逆方向に座標変換をすれば良い。よって、以下の数式 24 となる。

【0153】

< 数式 24 >

加速度計出力：

$$\begin{aligned}
&A_{cc} (O - X_2 Y_2) \\
&= R_{bx y} (O - X Y) e^{j(c_{ax y})} \\
&= r''_{ax y} e^{j(ax y - c_{ax y})} \quad (\text{第 1 項：光軸方向振れ}) \\
&+ r_{ax y} \left(\dot{a}_{x y} \right)^2 e^{j(ax y - c_{ax y} + \quad)} \quad (\text{第 2 項：公転の求心力}) \\
&+ r_{ax y} \ddot{a}_{x y} e^{j(ax y - c_{ax y} + \quad / 2)} \quad (\text{第 3 項：公転の加速度}) \\
&+ 2 r'_{ax y} \dot{a}_{x y} e^{j(ax y - c_{ax y} + \quad / 2)} \quad (\text{第 4 項：コリオリ力}) \\
&+ r_{bax y} \left(\dot{c}_{ax y} \right)^2 e^{j(bax y + c_{ax y} - c_{ax y} + \quad)} \quad (\text{第 5 項：自転の求心力}) \\
&+ r_{bax y} \left(\ddot{c}_{ax y} \right) e^{j(bax y + c_{ax y} - c_{ax y} + \quad / 2)} \quad (\text{第 6 項：自転の加速度}) \\
&+ G \cdot e^{j(gx y - c_{ax y})} \quad (\text{第 7 項：重力加速度成分})
\end{aligned}$$

30

40

近似条件を代入して、近似式を求める。公転角速度 $\dot{a}_{x y}$ と自転角速度 $\dot{c}_{ax y}$ が、零中心の微小振動 (\pm) で、 $a_{x y}$ 零、 $c_{ax y}$ 零、と限定条件をつける。また、スカラー $r_{ax y}$ は微小に変化するとして、 $r'_{ax y}$ = 有限値、 $r''_{ax y}$ = 有限値、 $b_{ax y} = \quad / 2 \pm \quad / 4$ 以内程度と仮定する。

【0154】

< 数式 25 >

加速度計出力：

$$\begin{aligned}
&A_{cc} (O - X_2 Y_2) \\
&= R''_{bx y} (O - X Y) e^{j(c_{ax y})}
\end{aligned}$$

50

$$\begin{aligned}
& r''_{ax y} e^{j(\theta_a - \theta_c)} \quad (\text{第1項：光軸方向振れ}) \\
& + r_{ax y} (\dot{\theta}_{ax y})^2 e^{j(\theta_a - \theta_c + \theta_c)} \quad (\text{第2項：公転の求心力}) \\
& + r_{ax y} \ddot{\theta}_{ax y} e^{j(\theta_a - \theta_c + \theta_c / 2)} \quad (\text{第3項：公転の加速度}) \\
& + 2 r'_{ax y} \dot{\theta}_{ax y} e^{j(\theta_a - \theta_c + \theta_c / 2)} \quad (\text{第4項：コリオリ力}) \\
& + r_{bax y} (\dot{\theta}_{cax y})^2 e^{j(\theta_{bax y} + \theta_c + \theta_c / 2)} \quad (\text{第5項：自転の求心力}) \\
& + r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} e^{j(\theta_{bax y} + \theta_c + \theta_c / 2)} \quad (\text{第6項：自転の加速度}) \\
& + G \cdot e^{j(\theta_{gxy} - \theta_c)} \quad (\text{第7項：重力加速度成分})
\end{aligned}$$

この実数部が X_2 軸方向の加速度計出力 A_{ccx2} で、虚数部が Y_2 軸方向の加速度計出力 A_{ccy2} である。上記の極座標系表示を、直行座標系表示の X_2 成分と Y_2 成分に分解する。

【0155】

<数式26>

X_2 軸方向の加速度計出力：

$$\begin{aligned}
A_{ccx2}(\theta_a - \theta_c, \theta_{ax y}, \theta_{cax y}) & \\
& + r''_{ax y} \quad (\text{第1項：光軸方向振れ}) \\
& - r_{ax y} (\dot{\theta}_{ax y})^2 \quad (\text{第2項：公転の求心力}) \\
& + r_{bax y} (\dot{\theta}_{cax y})^2 \cos(\theta_{bax y} + \theta_c) \quad (\text{第5項：自転の求心力}) \\
& + r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} \cos(\theta_{bax y} + \theta_c / 2) \quad (\text{第6項：自転の加速度}) \\
& + G \cdot \cos(\theta_{gxy} - \theta_c) \quad (\text{第7項：重力加速度成分})
\end{aligned}$$

この数式26において、光軸方向振れ補正に必要なのは、第1項 $r''_{ax y}$ のみである。第2項、第5項、第6項、第7項は、光軸方向振れ補正に不要な成分であり、消去しなければ、光軸である X_2 軸方向の加速度 $r''_{ax y}$ を求める際の誤差成分となってしまう。第2項、第5項、第6項、第7項は、次の数式27の際と同様な手法で、消去する事が可能である。

【0156】

<数式27>

Y_2 軸方向の加速度計出力：

$$\begin{aligned}
A_{ccy2}(\theta_a - \theta_c, \theta_{ax y}, \theta_{cax y}) & \\
& + j r_{ax y} \ddot{\theta}_{ax y} \quad (\text{第3項：公転の加速度}) \\
& + j 2 r'_{ax y} \dot{\theta}_{ax y} \quad (\text{第4項：コリオリ力}) \\
& + j r_{bax y} (\dot{\theta}_{cax y})^2 \sin(\theta_{bax y} + \theta_c) \quad (\text{第5項：自転の求心力}) \\
& + j r_{bax y} \ddot{\theta}_{cax y} \sin(\theta_{bax y} + \theta_c / 2) \quad (\text{第6項：自転の加速度}) \\
& + j G \cdot \sin(\theta_{gxy} - \theta_c) \quad (\text{第7項：重力加速度成分})
\end{aligned}$$

Y_2 軸方向の加速度計出力 $A_{ccy2}(\theta_a - \theta_c, \theta_{ax y}, \theta_{cax y})$ の各項の説明をする。第3項の $j r_{ax y} \ddot{\theta}_{ax y}$ は、本実施例で求めたい公転角速度 $\dot{\theta}_{ax y}$ を求める為に必要な成分であり、第3項を既知の $r_{ax y}$ で割り、積分すれば、公転角速度 $\dot{\theta}_{ax y}$ が求められる。第4項 $j 2 r'_{ax y} \dot{\theta}_{ax y}$ はコリオリ力であり、カメラ光軸方向の振れが少なければ、 $r'_{ax y}$ は零となり、無視できる項である。第5項と第6項は、加速度計121を理想的な主点位置Aに配置できず、点Bに配置した為、この加速度計出力 $A_{ccy2}(\theta_a - \theta_c, \theta_{ax y}, \theta_{cax y})$ に含まれる誤差成分である。

【0157】

第5項 $j r_{bax y} (\dot{\theta}_{cax y})^2 \sin(\theta_{bax y} + \theta_c)$ は、主点A中心に加速度計121が回転する為に発生する求心力である。 $r_{bax y}$ と $\theta_{bax y}$ は加速度計121を取り付けた点Bの座標であり、既知である。 $\dot{\theta}_{cax y}$ は自転角速度であり、このカメラに取り付けた角速度センサ130で計測可能な値である。よってこの第5項の値は算出可能である。

【0158】

10

20

30

40

50

第6項 $j r_{b a x y} \ddot{c a x y} \sin (b a x y + / 2)$ は、主点A中心に加速度計121が回転する際の加速度成分であり、 $r_{b a x y}$ と $b a x y$ は加速度計121を取り付けた点Bの座標であり、既知である。 $\ddot{c a x y}$ は、このカメラに取り付けた角速度センサ130の値を微分すれば算出可能である。よってこの第6項の値は算出可能である。

【0159】

第7項の $j G \cdot \sin (g x y -)$ は、重力加速度の影響であり、この近似式では定数として扱える為、回路のフィルタリング処理で、消去する事が可能である。

【0160】

以上の様に、 Y_2 軸方向の加速度計出力 $A_{c c y 2} (0 - x_2 y_2)$ には、本発明で求めたい公転角速度 $\dot{a x y}$ に不要な成分も含まれる。しかしながら、不要成分が最小となるような位置に加速度計121を配置することにより、補正演算無しでも必要な公転角速度 $\dot{a x y}$ を求められることが明らかとなった。

【0161】

同様に、 X_2 方向の加速度計出力 $A_{c c x 2} (0 - x_2 y_2)$ より、ほぼカメラの光軸方向振れ速度 $r'_{a x y}$ を算出したい。第1項 $r''_{a x y}$ がこの光軸方向振れ加速度に相当する。第2項、第5項、第6項、第7項は、 Y_2 軸方向の加速度計出力 $A_{c c y 2} (0 - x_2 y_2)$ で説明したのと同様の理由で、消去することが可能である。しかしながら、同様に不要成分が最小となるような位置に加速度計121を配置することにより、補正演算無しでも X_2 方向の加速度計出力 $A_{c c x 2} (0 - x_2 y_2)$ より、ほぼカメラの光軸方向振れ速度 $r'_{a x y}$ を求めることが可能である。

【0162】

この実施例1では、自転角速度に対する公転角速度の比率が0.1以下の時は、自転角速度に対して公転角速度が十分に小さい為、自転振れ補正のみを行う事で、像振れ補正演算を簡略化して、高速化、低消費電力化につながっている。

【0163】

また、不図示のリリースボタンを全部押し込んで撮影の露光を開始する場合は、過去の自転角速度に対する公転角速度の比率にリアルタイムの自転角速度を乗算する事で、リアルタイムの公転角速度を推定している。この事によって、撮影時のシャッターショックやカメラの動作振動によって、加速度計121の出力が乱れても、大きく誤った公転加速度値を使用する事が防止でき、安定した像振れ補正が可能となる。

【0164】

なお、本実施例の撮影光学系では最至近を等倍としているが、これに限定せず、本発明を適応する撮影光学系の仕様に合わせて、例えば最至近が2倍であっても、撮影像倍率が2倍から0.0倍の間で各撮影像倍率に応じた誤差比率関数の積和を求める事で、誤差成分が最小となる加速度計121の位置を求められるからである。よって、撮影光学系の最至近の撮影像倍率によらず、本実施例で説明した内容の効果が変わる事がない事は自明である。

【0165】

また、角度振れと平行振れを、自転振れと公転振れという新しい厳密なモデル化と数式化により、二つの振れ成分の状態がどのような状態であっても、制御が破綻することのない正確な像振れ補正を行うことが可能となる。また、撮影光学系の主点位置の変化に伴う誤差量が最小となるような位置に加速度計を配置しているため、撮影光学系の主点位置の変化に対応した正確な像振れ補正を行う事が可能となる。また、自転角速度と公転角速度の差分で像振れ補正を行うため、差分計算後の演算処理量が低減できる。また、自転振れと公転振れの単位が同一(例: $rad / 秒$)のため、演算が容易となる。また、撮像素子の撮像面内の像振れも、光軸方向振れも同一の数式で示すことが可能なため、像振れ補正演算と共に光軸方向振れ補正演算が同時に可能となる。

【実施例2】

【0166】

10

20

30

40

50

図 19 を用いて、実施例 2 を説明する。実施例 1 では、数式 33 を用いて各撮影像倍率における誤差比率を求め、その値を積和した結果から誤差比率が最小になる加速度計 121 の位置を求めたが、本実施例では、数式 33 を用いて各撮影像倍率における誤差比率に撮影頻度を積算して重み付けしている。

【0167】

実施例 1 で説明したように、数式 33 を用いて求めた各撮影像倍率での誤差比率関数に、本出願人の鋭意の研究の結果分かっている各撮影像倍率での撮影頻度を積算する。撮影頻度を図 19 (a) に、加速度計 121 を撮影倍率 = 0.5 に配置した時の誤差比率関数に撮影頻度を積算した結果を図 19 (b) に、それぞれ示す。図 19 (b) に示したように、求まった (誤差比率) × (撮影頻度) の各撮影像倍率での値を積和した結果が、加速度計 121 を各撮影像倍率に配置した時にどのように変化するかを求めたものが図 20 に示したものである。

【0168】

図 20 に示したように、撮影像倍率 = 0.6 近傍に加速度計 121 を配置すると、他の撮影像倍率に配置した場合に比べて誤差比率が最も小さくなる事が分かる。よって、加速度計 121 を撮影光学系 105 の撮影像倍率 = 0.6 近傍に配置する事によって加速度計 121 の出力に含まれる誤差成分を最小にする事が可能になるので、加速度計 121 の出力の補正演算時間が不要になる。これにより正確な振れ補正が出来るようになる。

【0169】

ところで、数式 33 を用いて求めた各撮影像倍率での誤差比率関数を、各撮影像倍率での平行振れの効き量で重み付けた場合を考える。(誤差比率) × (平行振れ効き量) の各撮影像倍率での値を積和した結果が、加速度計 121 を各撮影像倍率に配置した時にどのように変化するかを求めたものが図 21 に示したものである。図 21 に示したように、撮影像倍率 = 0.8 近傍に加速度計 121 を配置すると、他の撮影像倍率に配置した場合に比べて誤差比率が最も小さくなる事が分かる。よって、加速度計 121 を撮影光学系 105 の撮影像倍率 = 0.8 近傍に配置する事によって加速度計 121 の出力に含まれる誤差成分を最小にする事が可能になるので、加速度計 121 の出力の補正演算時間が不要になる。これにより正確な振れ補正が出来るようになる。

【0170】

上記説明したように、誤差比率を撮影頻度や平行振れの効き量で重み付けする事により、より撮影者のカメラの使い方に適した最小位置に加速度計 121 を配置する事が可能になる。なお、誤差比率を、撮影頻度と平行振れの効き量を乗算した値で重み付ける事によっても、同様に誤差比率が最も小さい位置に加速度計 121 を配置出来る事は言うまでもない事である。

【実施例 3】

【0171】

図 22 を用いて、実施例 3 を説明する。実施例 1 に係る図 7 と同一のフローがある為、同一のフローは、同一の記号を使用して、説明も省略する。

【0172】

図 22 の S1100 の公転角速度演算の次に、S2610 に進む。S2610 では、撮影の像倍率が 0.2 以上 (所定の値以上) かを判断する。0.2 以上の場合は S2620 に進み、0.2 未満 (所定の値未満) の場合は S1130 へ進む。S1130 では実施例 1 と同様に自転振れ補正演算を行う。

【0173】

S2620 では、自転角速度に対する公転角速度が -0.9 から +0.9 までの間 (所定値) にあるか否かを判断する。±0.9 以内ならば S1120 に進む。-0.9 未満か +0.9 を超過する場合は S2630 に進む。

【0174】

S2630 では、角速度比を 0.9 の定数 (規定の定数) に固定 (記憶) し、次の S2640 ではリアルタイムに求められている自転角速度に固定した角速度比 0.9 を乗算し

10

20

30

40

50

て、現在の公転角速度を推定演算し、次の S 1 1 2 0 に進む。S 1 1 2 0 では、実施例 1 と同様に自転公転差分振れ補正演算を行う。

【 0 1 7 5 】

この実施例 3 では、像倍率が 0 . 2 未満の時は、自転角速度に対して公転角速度が十分に小さい為、自転振れ補正のみを行う事で、像振れ補正演算を簡略化して、高速化、低消費電力化につながっている。また、自転角速度に対する公転角速度の比率が 1 を超える事はまれなことであり、この比率が $\pm 0 . 9$ を超えた場合は、定数 0 . 9 に固定することで、誤った過剰補正を防止している。

【 0 1 7 6 】

(本発明と実施例の対応)

撮影光学系 1 0 5 が本発明の撮影光学系に、角速度センサ 1 3 0 が角速度検出手段に、加速度計 1 2 1 が加速度検出手段に、それぞれ相当する。等倍撮影時の主点位置 A 1 が至近撮影時の主点位置に、無限撮影時の主点位置 A 2 が無限撮影時の主点位置に、それぞれ相当する。図 3 の X が距離 $X_{b/a}$ に、Y が距離 $Y_{b/a}$ に、 Y/X が $Y_{b/a}/X_{b/a}$ に、それぞれ相当する。自転角速度演算部 3 0 1 が、角速度検出手段の出力に基づいて、撮影光学系的主点中心の自転角速度成分を演算する自転角速度演算手段に相当する。公転角速度演算部 3 0 4 が、加速度検出手段の出力と自転角速度演算手段の演算結果に基づいて、被写体中心の公転角速度成分を演算し、主点位置算出手段により算出された主点位置に応じて、演算した公転角速度成分を補正する公転角速度演算手段に相当する。IS 制御部 1 0 8 が制御手段に相当する。自転公転差分振れ量演算部 3 0 5 が、自転角速度成分と公転角速度成分の差分に基づいて自転公転差分値を演算する自転公転差分演算手段に相当する。

【 0 1 7 7 】

EEPROM 1 6 2 が、公転角速度を補正する補正值、あるいは補正式、あるいは主点位置と加速度検出手段の相対位置情報を記憶する記憶手段に相当する。また、数式 2 7 の第 5 項が、相対位置情報から算出される相対位置と自転角速度成分とにより計算される第 1 の補正成分に相当する。また、数式 2 7 の第 6 項が、相対位置情報から算出される相対位置と自転角速度成分の微分値とにより計算される第 2 の補正成分に相当する。

【 0 1 7 8 】

また、図 3 の S 1 1 0 4 , S 1 1 0 6 , 図 1 5 の S 2 6 3 0 を実行するレンズ CPU 1 0 6 が自転公転角速度比演算手段に相当する。図 3 の S 1 3 2 0 を実行するレンズ CPU 1 0 6 が光軸方向加速度検出手段に、S 1 3 3 0 を実行するレンズ CPU 1 0 6 が光軸方向振れ補正制御手段に、それぞれ相当する。光軸方向加速度検出手段は、像振れ補正装置に加わる加速度のうちの光軸方向成分を検出する。光軸方向振れ補正手段は、像振れ補正装置に加わる振れのうちの光軸方向成分を補正する。

【 符号の説明 】

【 0 1 7 9 】

3 0 1	自転角速度演算部	
3 0 4	公転角速度演算部	
3 0 5	自転公転差分振れ量演算部	40
4 0 2	光軸方向振れ速度演算部	
$\theta'_{cax/y}$	主点 A 中心の自転角度 $\theta_{cax/y}$ の時間微分値で、自転角速度 [rad / 秒]	
$\theta'_{ax/y}$	原点 O 中心の公転角度 $\theta_{ax/y}$ の時間微分値で、公転角速度 [rad / 秒]	

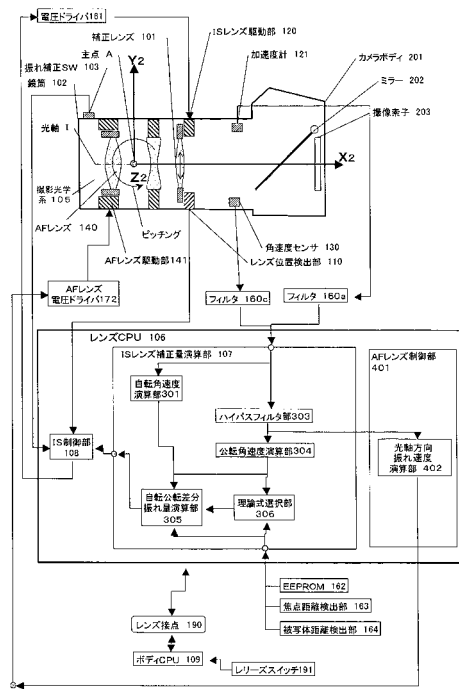
10

20

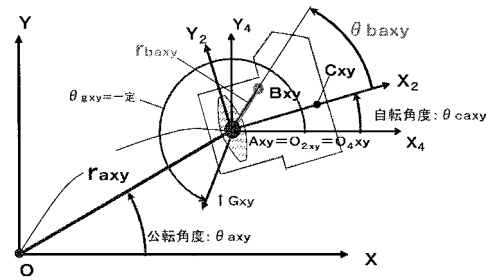
30

40

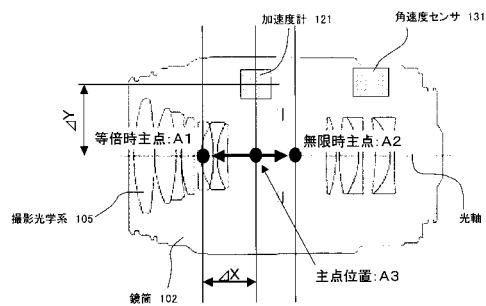
【図 1】



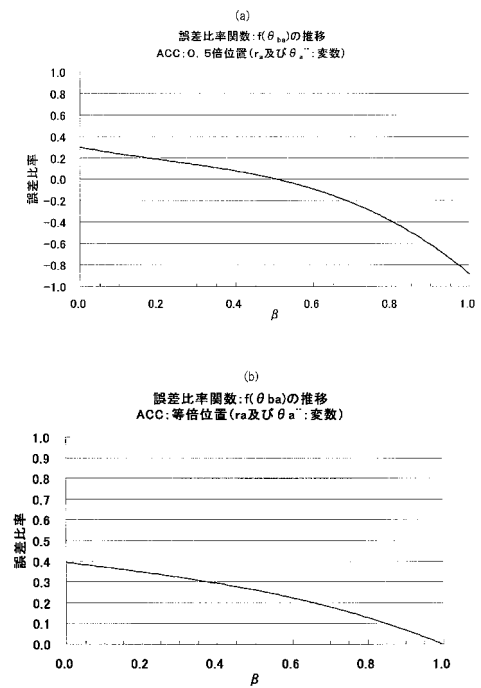
【図 2】



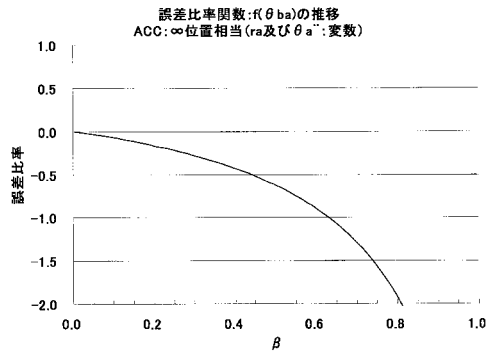
【図 3】



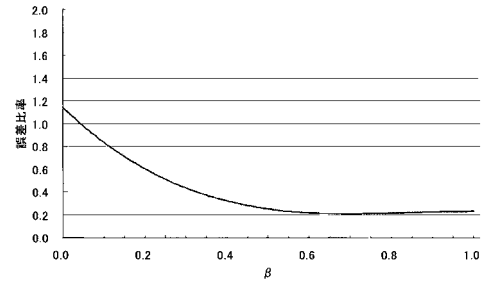
【図 4】



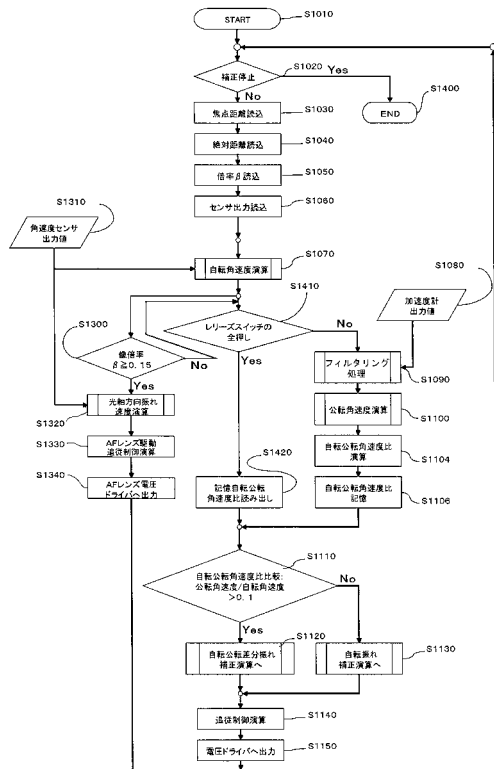
【図 5】



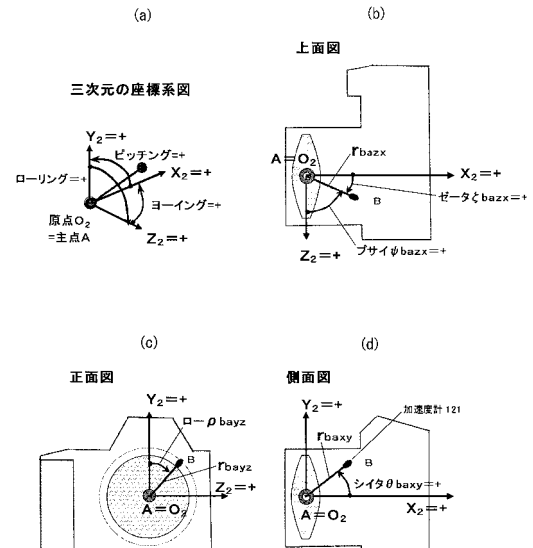
【図 6】



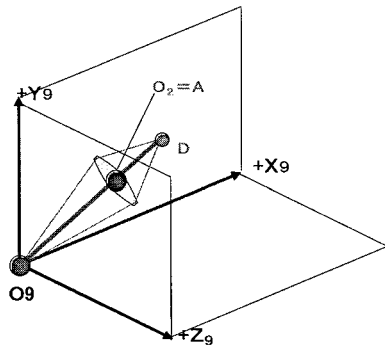
【図 7】



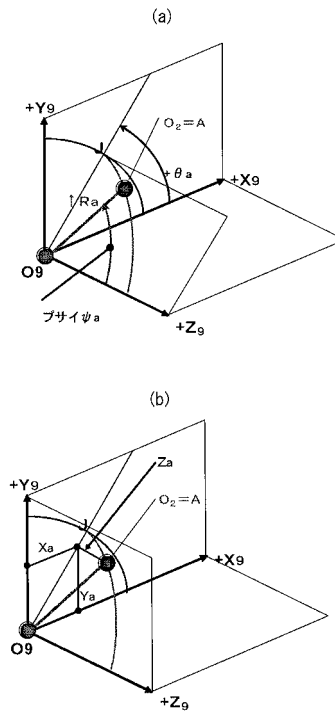
【図 8】



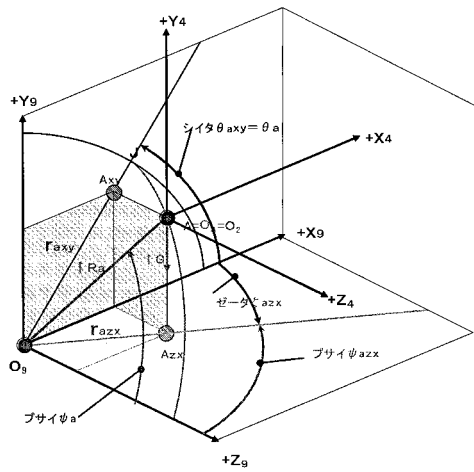
【図 9】



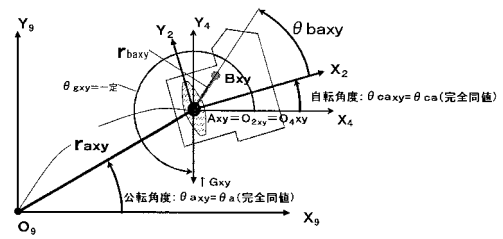
【図 10】



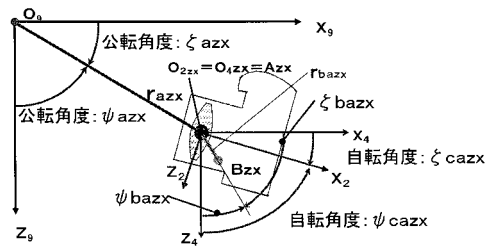
【図 11】



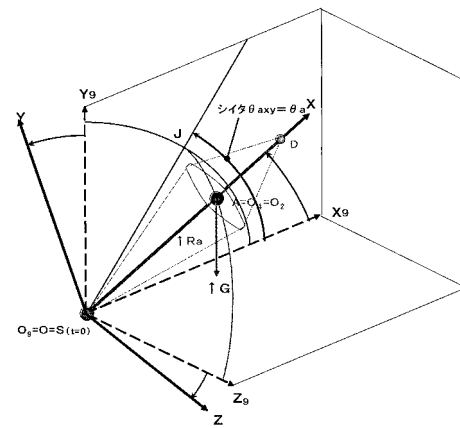
【図 12】



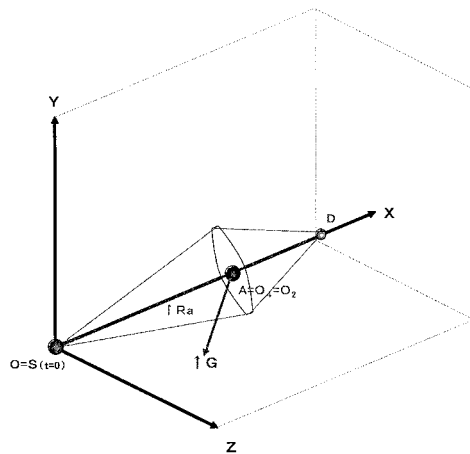
【図 13】



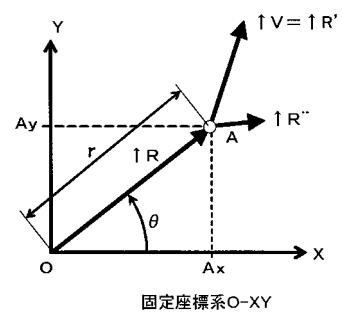
【図 14】



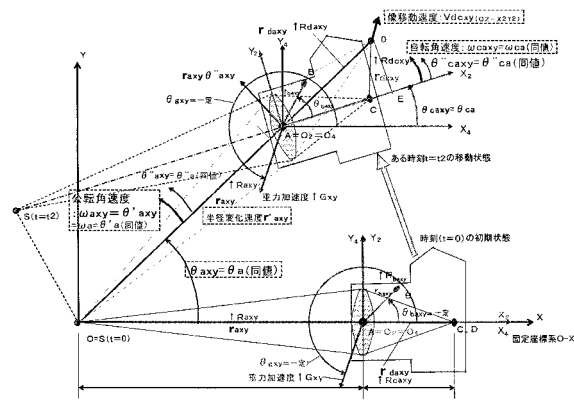
【図 15】



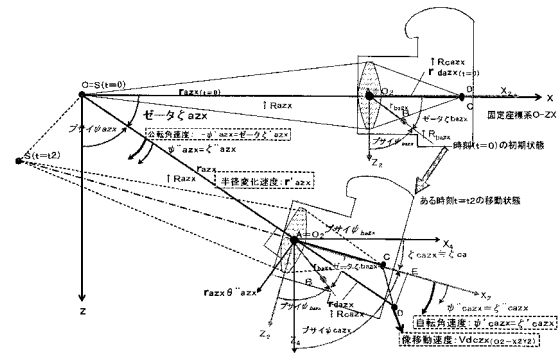
【図 16】



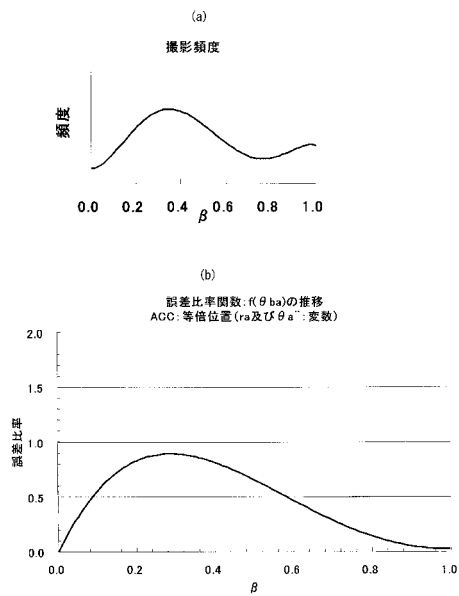
【図 17】



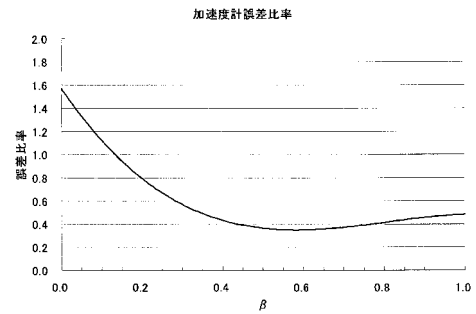
【図 18】



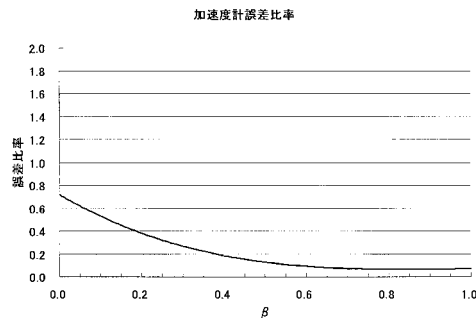
【図 19】



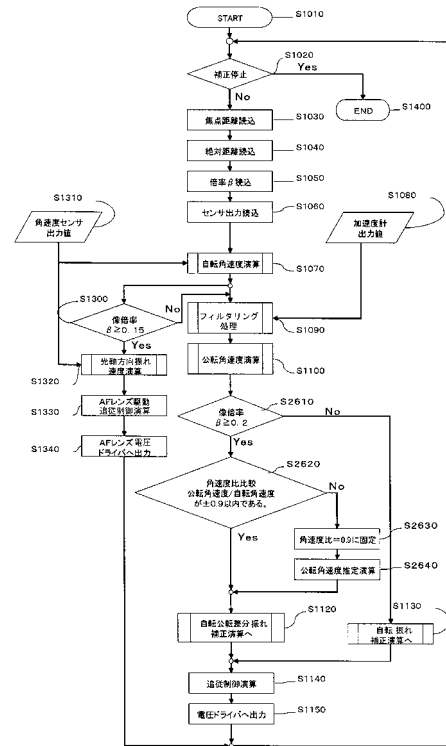
【図 20】



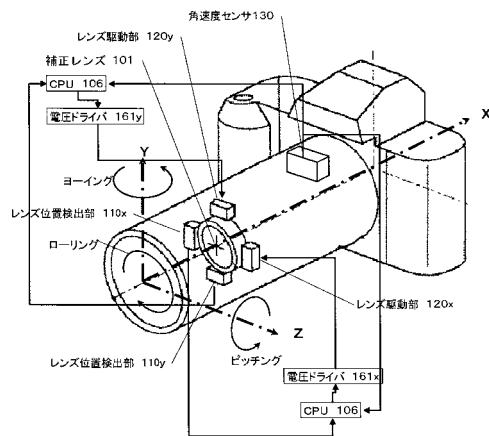
【図 2 1】



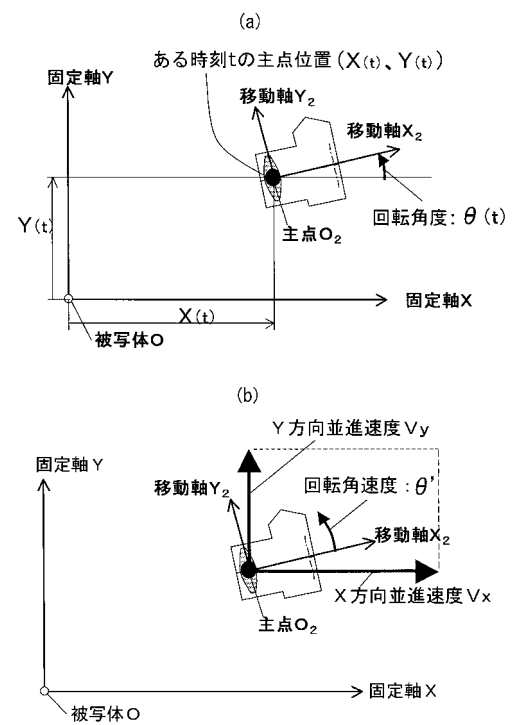
【図 2 2】



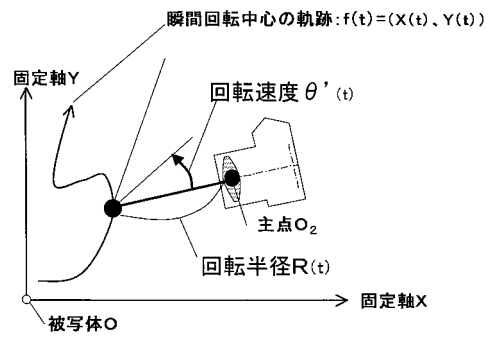
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 25】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-208691(JP,A)
特開2006-091279(JP,A)
特開2007-171786(JP,A)
特開昭62-153816(JP,A)
特開2007-034141(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G03B 5/00