

レンズユニットスイング方式手ぶれ補正ユニットの開発

DiMAGE X1 手ぶれ補正技術

DiMAGE X1 Camera-Shake Compensation Technology

新谷 大* 三谷 芳史* 真島 拓士* 柴谷 一弘* 糸原 俊夫**
Shintani, Dai Mitani, Yoshifumi Mashima, Hiroshi Shibatani, Kazuhiro Itohara, Toshio

要旨

薄型コンパクトデジタルカメラDiMAGE Xシリーズの最新機種として、手ぶれ補正機構を搭載したDiMAGE X1を開発した。DiMAGE Xシリーズの特徴である、撮影時にもレンズの出ない屈曲光学系を活かし、撮影CCDを含む光学系全体を手ぶれ補正駆動するレンズユニットスイング方式を新たに開発し搭載した。ボールジョイントで支持したレンズユニットを2つのステッピングモーターで駆動し、位置検出はフォトインタラプタを使用するなど、安価な汎用デバイスで構成することにより、非常に高いコストパフォーマンスを達成した。

Abstract

The DiMAGE X1 was developed with a camera-shake compensation system designed for thin, compact digital camera bodies. This camera-shake compensation system is compact enough to be incorporated in the right-angle optical design of the non-protruding lens featured in Konica Minolta DiMAGE X series cameras. The system works by moving the lens and CCD as a unit to compensate for camera motion: while a photo-interrupter monitors camera motion, two stepping motors compensate by moving the lens/CCD unit. This design renders the system more cost-effective than CCD-shift systems.

1 はじめに

デジタルカメラに手ぶれ補正機能が搭載された製品が数機種発売されている。従来、これらの手ぶれ補正には「補正レンズシフト方式」や「CCDシフト方式」が製品化されている。コニカミノルタでも、独自の「CCDシフト方式」手ぶれ補正機能を搭載したDiMAGE Aシリーズ・Zシリーズ、 α シリーズを製品化している。屈曲光学系搭載の薄型コンパクトデジタルカメラに手ぶれ補正機能を搭載するにあたり、これらの方式ではその薄型という特徴を維持したまま搭載することは難しいと判断した。そこで、光学系は可能な限りの薄型化・小型化を達成した上で、その光学ユニットに撮影CCDを搭載した状態で、レンズユニットごと手ぶれ補正駆動するという、全く新しい発想の「レンズユニットスイング方式」を開発し、DiMAGE X1に搭載した (Fig. 1)。

以下に、その技術的側面を紹介する。

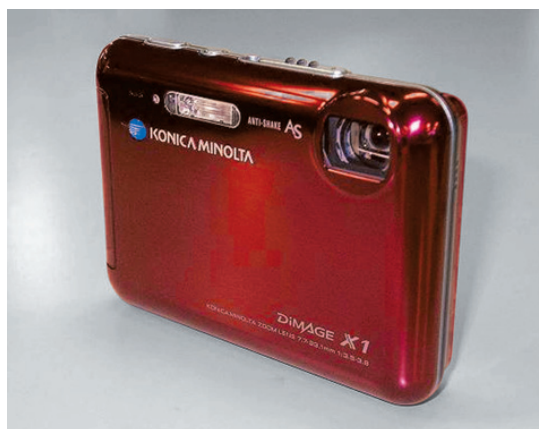


Fig.1 DiMAGE X1

2 デジタルカメラの手ぶれ補正技術動向

コンパクトデジタルカメラの画素数競争がほぼ終焉を迎え、業界では「手ぶれ補正」機能を新たな競争軸として製品化している。各社とも手ぶれ補正段数などの性能面では、ほぼ横並びといえる状況であるが、補正メカニズムにおいては各社固有の技術を展開している。しかしながら、「補正レンズシフト方式」では補正レンズの光学感度を下げる必要があり、「CCDシフト方式」ではイメー

* コニカミノルタフォトイメージング(株) カメラ事業部開発部
** コニカミノルタフォトイメージング(株) カメラ事業部生産部

ジサークルを広げなくてはならず、光学設計の自由度を奪うことになり、屈曲光学系最大の特徴である薄型化設計に注力することができなくなる。したがって、形態の異なるカメラにすべて同じ補正メカニズムを採用することは、スペース効率の面で無理がある。つまり、カメラの形態に応じた方式を発想し、技術消化することが課題となっている。

3 レンズユニットスイング方式手ぶれ補正

3.1 補正原理

手ぶれ運動によってカメラには6種類の動きが発生する。平行移動成分のXシフト・Yシフト・Zシフト、および回転成分のピッチ・ヨー・ロールの計6種類である。

これらのうちピッチおよびヨー回転が、撮影画像に与える影響として支配的なため、手ぶれ補正機構にはこの2つの回転運動を打ち消すような機能が要求される。

従来のカメラにおいて、レンズユニットはカメラ本体に対して一体的に結合（自由度0）されているので、カメラ本体の手ぶれ運動はそのままレンズユニットに伝わってしまい、撮影画像に手ぶれの影響が現れてしまうことになる。

そこでレンズユニットをカメラ本体に対して、ピッチおよびヨー回転方向に回転自在な連結機構（自由度2）で結合したうえで、2個のモータで駆動する機構を考案した。これによりカメラ本体に取り付けられた角速度センサーからの情報を基にして、カメラ本体のピッチおよびヨー回転を打ち消すようにレンズユニットの姿勢を制御できるようにした（Fig. 2）。

つまり、カメラ本体の回転をレンズユニットの逆回転で打ち消すという、極めて直接的な原理による手ぶれ補正機能を実現している。

3.2 ユニット構成

DiIMAGE X1では、縦方向屈曲光学系を採用したため、縦方向に長いレンズユニット全体をピッチおよびヨーに回転駆動することで手ぶれ補正機構を構成している。

具体的には以下のような拘束と保持から成っている。

レンズユニットをカメラに対してピッチおよびヨー方向自由に回転可能に保持することで、レンズユニットの回転以外の位置を規制する（自由度3）。これはボールジョイント（球面对偶）をユニット側面に1つ配置することで達成している（Fig. 3-1）。さらに、ボールジョイントと反対側の側面に直進ガイド（点对偶=自由度5）を1つ配置することで自由度2を実現することが可能となる（Fig. 3-2）。

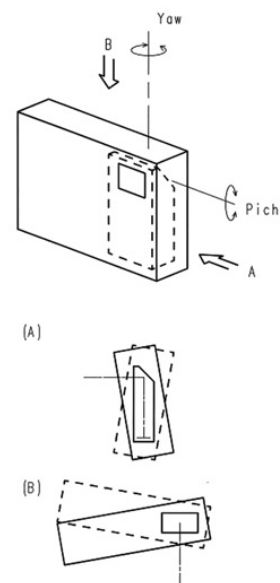


Fig.2 Camera-shake axes and the principle of the lens/CCD unit swing system

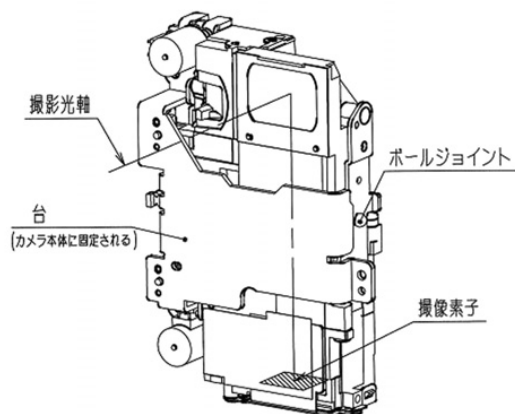


Fig. 3-1

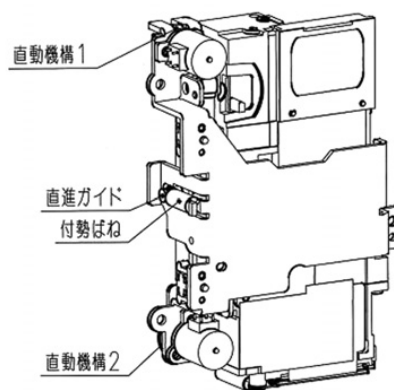


Fig. 3-2

Fig. 3 Lens unit of DiIMAGE X1

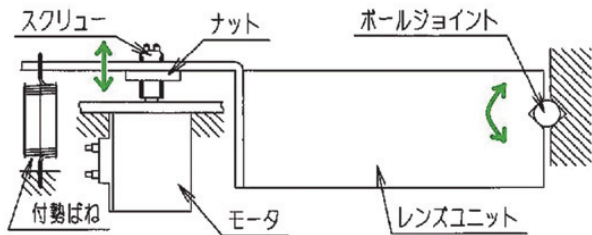


Fig.4 Cross section of the camera-shake compensation system

この状態では自由度2で動くことは可能であるが、手ぶれ補正するために、駆動力の付与と制御が必要になる。そのために、レンズユニットの上端と下端にそれぞれ1つずつ、モータのネジ送り機構からなる直動機構を配して、制御可能に保持することで実現した(Fig. 3-2)。

さらに制御信号にモータがレスポンスよく反応するためには、モータのネジ送りのナットはモータスクリューに対しミクロ的には自由度5(点对偶)で結合したうえで、レンズユニットと一体化した状態が必要不可欠であるため、付勢ばねを設けている(Fig. 4)。

製品化においては、上記各保持部の自由度をいかに理論にどおりに再現するかが重要となるが、レンズユニットという比較的重量のあるユニットを駆動するために、2つのネジ送りモータの出力を最大限に利用できるような配慮が重要である。特にボールジョイントを回転中心に動くレンズユニットを、直動のネジ送り機構で動かすため、モータスクリューとナット間にある程度のガタを設け、円滑にモータ駆動できるようにしている。また、ナットとレンズユニットとのジョイント部の部品精度は、直接的にモータスクリューとナットの駆動負荷に影響を与えるため、その精度向上を重点的課題として取り組んだ。

4 レンズユニットスイング方式手ぶれ補正制御

Fig. 5 に制御システムの構成を示す。メイン基板には、2つの角速度センサ(ピッチおよびヨー)、センサ信号を増幅処理するアナログ信号処理回路、手ぶれ補正マイコン、ステッピングモータドライバ(マイクロステップ駆動)、メインマイコンを搭載している。

レンズユニット部には、レンズユニットを姿勢制御するための2つのステッピングモータ(ネジ送りによる直動機構)と、レンズユニット姿勢の原点位置を検出するための原点位置検出センサを2つ配置している。検出センサはフォトインタラプタである。

DiMAGE X1のレンズユニットスイング方式は、ステッピングモータを用いたオープンループ制御であり、現在位置センサを省くことで、「CCDシフト方式」と比べ、システム全体の小型化とコストダウンを実現している。

また、ステッピングモータは1ステップを16分割する

マイクロステップで駆動している。

手ぶれ補正マイコンはメインマイコンからのコマンドを受けて補正制御を行う。

Fig. 6 に姿勢制御の模式図を示す。ステッピングモータ STM_A, STM_Bは、回転中心から(XA, YA), (XB, YB)の位置に配置されている。レンズユニットに係わる他の機構との配置関係においてスペース効率を上げるため、ステッピングモータは回転中心に対して非対称((XA, YA) ≠ (XB, YB))に配置している。

レンズユニットは、ステッピングモータを駆動することで、回転中心周りに微小角度領域でピッチ方向とヨー方向に近似的に独立して回転動作することが可能である。

カメラ本体

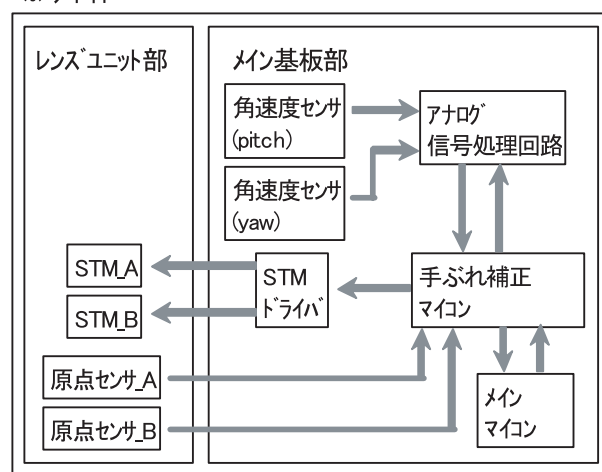


Fig.5 Diagram of the camera-shake compensation system

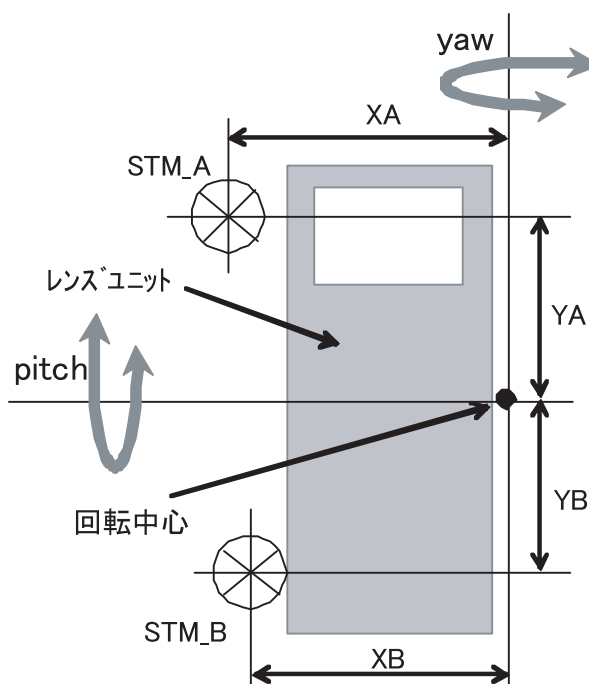


Fig.6 Schematic of the lens/CCD unit swing method

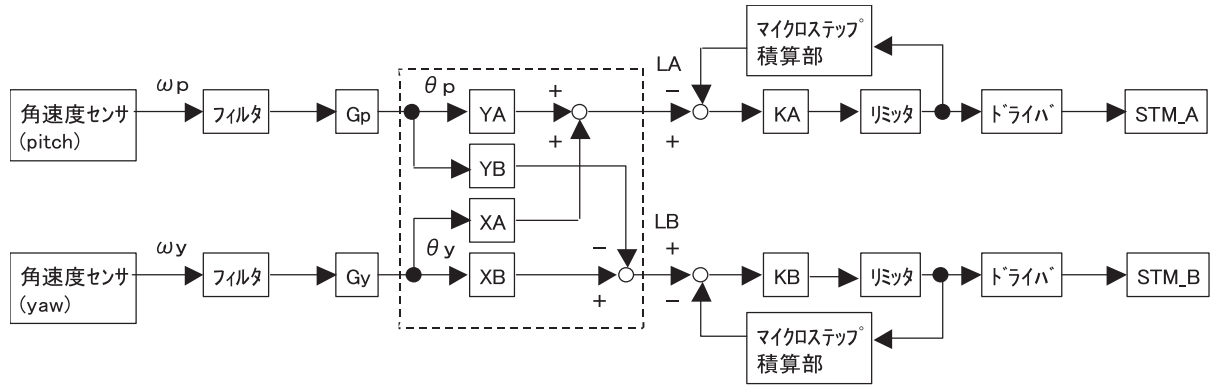


Fig.7 Block diagram of the camera-shake compensation controller

2つのステップモータを逆相駆動し、ナットを逆方向に移動させればレンズユニット姿勢はピッチ方向に変化する。

2つのステップモータを同相駆動し、ナットを同一方向に移動させればレンズユニット姿勢はヨー方向に変化する。

レンズユニット姿勢をピッチ方向に θ_p 、ヨー方向に θ_y とすると、ステップモータSTM_A、STM_Bのネジ送り量LA、LBは次式で算出できる。

$$LA = YA \cdot \tan(\theta_p \cdot \cos \theta_y) + XA \cdot \tan \theta_y \quad (式 1)$$

$$LB = -YB \cdot \tan(\theta_p \cdot \cos \theta_y) + XB \cdot \tan \theta_y \quad (式 2)$$

ここで、補正すべき手ぶれ振幅は微小角度であるため、上式で $\cos \theta \approx 1$ 、 $\tan \theta \approx \theta$ の近似を行えば、次式が得られる。

$$LA = YA \cdot \theta_p + XA \cdot \theta_y \quad (式 3)$$

$$LB = -YB \cdot \theta_p + XB \cdot \theta_y \quad (式 4)$$

手ぶれマイコンの演算効率を上げるため、制御則としては式3、4を適用している。

Fig. 7に補正制御のブロック図を示す。手ぶれ補正マイコンで制御周期毎にブロック図に示した処理が実行される。角速度センサで検出された角速度(ω_p 、 ω_y)はフィルタ処理(BPF+積分)によりレンズユニットの目標姿勢(θ_p 、 θ_y)に変換する。Gp、Gyは角速度センサ感度の個体差の調整値である。目標姿勢(θ_p 、 θ_y)には、図示されていないが、レンズユニットのダイナミックレンジを超えないようにソフトウェアリミッタをかけている。

ブロック図の点線部分は、式3、4を示しており、レンズユニットの目標姿勢(θ_p 、 θ_y)からステップモータの目標ネジ送り量(LA、LB)を算出する。ステップモータの配置位置の非対称性はここで補正される。

「レンズユニットスイング方式」はオープンループ制御であるため、現在位置はマイクロステップのステップ数を積算して推測している。ステップモータへの指令値は、目標ネジ送り量とマイクロステップ積算値を比

較して算出している。KA、KBは、クローズドループ制御のフィードバックゲインに相当する。リミッタはステップモータが脱調しないように、1サンプリングあたりの駆動ステップ数に制限をかけている。レンズユニット姿勢変化の最高速度は、このリミッタにより規制されている。

「CCDシフト方式」では、補正時のCCD移動量はレンズの焦点距離に依存する。レンズの焦点距離が長くなると補正時のCCD移動量は大きくなり、アクチュエータの必要速度も大きくなる。一方、「レンズユニットスイング方式」では、手ぶれ角度そのものを補正するため、補正時のレンズユニット移動量はレンズの焦点距離に依存しない。よって、「レンズユニットスイング方式」では、レンズユニットが高倍率化または長焦点化されたとしても、アクチュエータの必要速度は変わらない。また、焦点距離情報が必要ないので、メインマイコンと手ぶれ補正マイコン間の通信を簡略化し、手ぶれ補正マイコンの制御演算負荷も軽減できるメリットがある。

5 まとめ

以上のように、DiMAGE X1に手ぶれ補正機能を搭載することで、小型・軽量化の一途を辿り、手ぶれ発生を助長してきた薄型コンパクトデジタルカメラにおいて、劇的な撮影領域の拡大と手ぶれしないカメラを提供することができた。今後は、さらに高性能な手ぶれ補正を目指して開発を進めていきたい。

最後に、レンズユニットスイング方式手ぶれ補正機能の開発に係わり、協力していただいた方々に深く感謝すると共に、御礼申し上げます。

●参考文献

- 1) 芹田保明、原 吉宏、和田 滋
KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol. 1(2004)
- 2) 開発渉、田中義治、中村公彦、高野万滋
KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol. 2(2005)