DSC用センサースイング方式手ぶれ補正技術の開発

DiMAGE A1 搭載 Anti-Shake System の開発

DSC Shake Compensation through Image Sensor Swing Technology

芹　田　保　明＊　　原　　吉　宏＊　　和　田　　滋＊

Serita, Yasuaki　　Hara, Yoshihiro　　Wada, Shigeru

要旨

本「センサースイング方式手ぶれ補正システム」は、デジタルカメラ用の差別化技術として開発し、今回高画質デジタルカメラであるDiMAGE A1に搭載した。本システムは撮像素子をスイングさせて補正駆動を行う新しい方式であり、DiMAGE 7シリーズの高画質７倍ズームレンズをそのまま生かして手ぶれ補正機能搭載を実現した。又、本システム用に圧電素子を用いて新たな超音波リニアアクチュエータも開発した。高度な機構設計技術とデジタル制御技術、アクチュエータ技術によって、高画質な画像が実現できる小型で高精度のシステムを完成した。

Abstract

The anti-shake system found in the flagship DiMAGE A1 digital camera is a new camera shake compensation system that allows the full capabilities of the camera's high-quality zoom lens to be enjoyed. The Anti-Shake system uses image sensor swing technology developed specifically for digital cameras, as well as an original ultrasonic linear actuator with a piezoelectric device. Based on advanced technologies of mechanism design, digital control, and actuator design, the anti-shake system provides high-quality images in a compact and highly precise system.

1　はじめに

近年、デジタルカメラ市場では高倍率ズームレンズを搭載した製品が登場している。これらの製品はコンパクトでありながら１台で広い撮影範囲をカバーできることから、ユーザーに受け入れられ、市場でひとつのセグメントを形成している。しかし、このような高倍率ズームレンズを搭載したデジタルカメラでは、望遠側の焦点距離が200mm（135換算）を超えているため、手ぶれの影響を受けやすく、手ぶれ補正機能の搭載が要望されている。これに対し、手ぶれ補正機能を搭載した機種も製品化されてはいるが、従来は手ぶれ補正用の専用レンズによって補正を行う「光学式手ぶれ補正方式」が使用されており、小型、高画質対応の手ぶれ補正を実現することが難しかった。

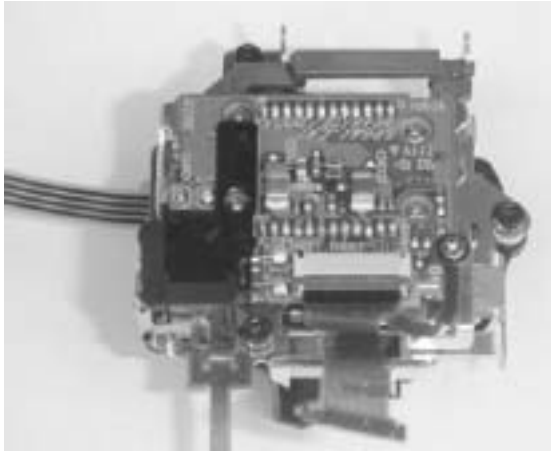

Fig.1 Sensor Swing Mechanism Unit for Anti-Shake System

本手ぶれ補正システムは、デジタルカメラ用として開発され、撮像素子をスイングさせるという独自の方式を採用して、手ぶれ補正専用レンズを必要としない小型、高画質対応の手ぶれ補正機能を実現した。本手ぶれ補正システムを高画質デジタルカメラであるDiMAGE A1に搭載し、そのレンズの持つ高画質性能をそのままに発揮する手ぶれ補正機能を達成した。

本稿では、コンパクト、かつ高性能を達成した独自の「センサースイング方式手ぶれ補正技術」について報告する。

2　センサースイング方式手ぶれ補正の原理

Fig. 2 にセンサースイング方式手ぶれ補正の原理を示す。別設の角速度センサーによりピッチ方向とヨー方向（Fig. 3）のぶれ角を検出し、このぶれ角による撮像面上でのぶれ量を算出する（Fig. 2－b）。これをうち消す方向に撮像素子を移動させて、撮像面上での結像位置が動かないようにして手ぶれを補正する（Fig. 2－c）。本手ぶれ補正システムでは手ぶれのぶれ角をピッチ、ヨー方向共に最大約±0.4度まで補正可能に対応させている。これは実際にモニター実験で、一般的なぶれの大きさ（ぶれ量）を測定した結果に基づき、十分な手ぶれ補正効果が得られる補正角として設定した。撮像面上でのぶれ量は

＊コニカミノルタテクノロジーセンター㈱　デバイス技術研究所
イメージングデバイス開発室

撮像レンズの焦点距離に比例して大きくなる。DiMAGE A1の撮像レンズのテレ端焦点距離は50.8mm（135換算：200mm）であり、最大補正角の±0.4度レベルでは撮像面上で約±0.35mmの移動量となる。この最大補正角±0.4度に対して、DiMAGE A1の撮像レンズの周辺光量特性は十分確保されており、手ぶれ補正のために撮像素子が移動しても画質面への影響はない。

センサースイング方式手ぶれ補正の利点としては以下があげられる。

① 基本的な画質の劣化を伴わずに手ぶれ補正が可能である。（高画質手ぶれ補正撮像系の実現）

② レンズ・鏡胴に手ぶれ補正ユニットを搭載しなくて良いので、撮像レンズが大きくならずに済み、レンズ・鏡胴設計での制約を無くすことができる。

③ 既存の撮像レンズに対しても、小変更で搭載できやすい。

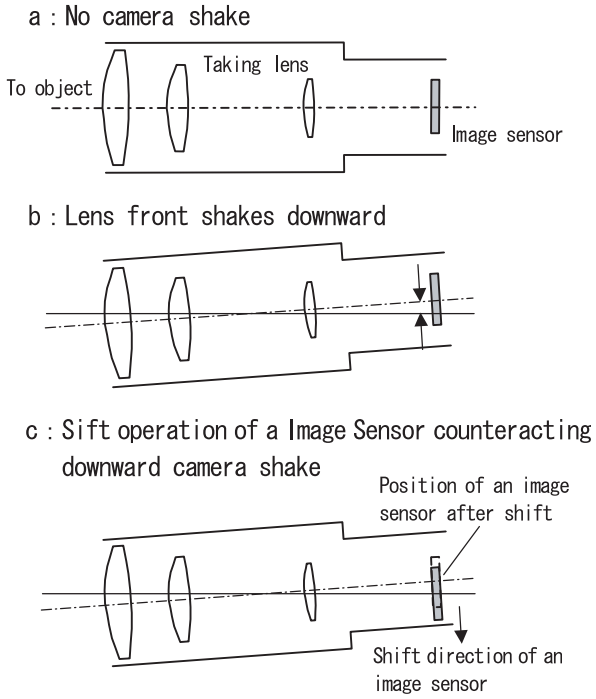

Fig.2 A Principle of Camera Shake Compensation using an Image Sensor Swing Method

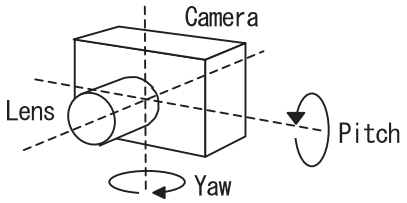

Fig.3 Direction of Camera Shake

3 手ぶれ補正システム設計

3．1 システム・ハードウエア

本手ぶれ補正システムの仕様を**Table 1** に示す。またシステムの全体構成を**Fig. 4** に示す。目標の補正性能としては、撮像画像に現れるぶれ量を手ぶれ補正なしの状態に対して1/8（$1/2^3$）以下までに抑えることとした。これはいわゆる手ぶれ限界シャッター速度より3段分遅いシャッター速度で撮影しても、手ぶれ限界シャッター速度で撮影した場合とほぼ同等の手ぶれが少ない画像が得られるレベルである。この目標補正性能を達成するために、本手ぶれ補正システムではぶれ検出部及び駆動機構の位置検出部のそれぞれで検出誤差を最小限とするように構成した。

ぶれを検出する角速度センサーとその信号処理には、増幅回路のアンプのオフセット対策やノイズを抑制する回路構成を採用した。角速度センサーの取り付けにも十分な精度を確保し、検出軸の傾きによる検出誤差が最小となる構成とした。さらに位置検出部にはPSD（Position Sensitive Device）と赤外LEDをペアで使用する方式を採用した。PSDは暗電流の小さいものを選択し、位置検出のリニアリティ誤差抑制に効果を上げている。位置検出の分解能は駆動範囲内で、使用しているCCDの画素ピッチ以下を確保するようにした。

これらのぶれ検出、位置検出のアナログ信号処理には専用のアナログ信号処理ICを開発して、回路の小型化と低コスト化を実現した。

Table 1 Sensor Swing Anti-Shake System Specifications

ぶれ検出方式	角速度センサーによる検出
補正制御方式	マイコンによるデジタルサーボ制御
補正駆動方式	X/Y 2軸超音波リニアアクチュエータ（SIDM）による駆動
駆動位置検出方式	PSDによる絶対位置検出方式
対応レンズ	焦点距離：7.2〜50.8mm （135換算:28〜200mm） 開放絞り値：F2.8〜F3.5 （DiMAGE A1搭載レンズ）
対応CCD	有効500万画素 2/3型
目標補正性能	ぶれ量を1/8以下に抑制 （レンズテレ端）
最大補正角	約±0.4度
駆動制御分解能	画素ピッチ以下
最大駆動速度	15mm/s以上
サイズ	W40mm×D40mm×H6mm （メカユニット部）

3．2　システム・制御系

本手ぶれ補正システムの制御はカメラのメインCPUとは独立した専用のマイコンで行ない、手ぶれ補正部が完結したシステム構成としている。本マイコンは手ぶれ補正の基本制御をつかさどると共にカメラ内のメインCPUとの交信により、動作モードの選択や各種データの授受を行う。手ぶれ補正の制御は、

① ぶれ検出部からの検出信号をA/D変換してデジタルデータとして取り込む。

② 上記データに所定のフィルター処理や積分処理を実行し、ぶれの方向とぶれ量を算出する。

③ 駆動部の位置検出部からの位置信号をA/D変換して取り込み、同様に撮像素子の位置（移動量）を算出する。

④ これら2つのデータから撮像素子の駆動量を算出し、アクチュエータへ駆動信号を出力する。

この制御ループをデジタルサーボで構成し、手ぶれ補正に十分な短サーボ周期を確保して手ぶれ補正を実現した。

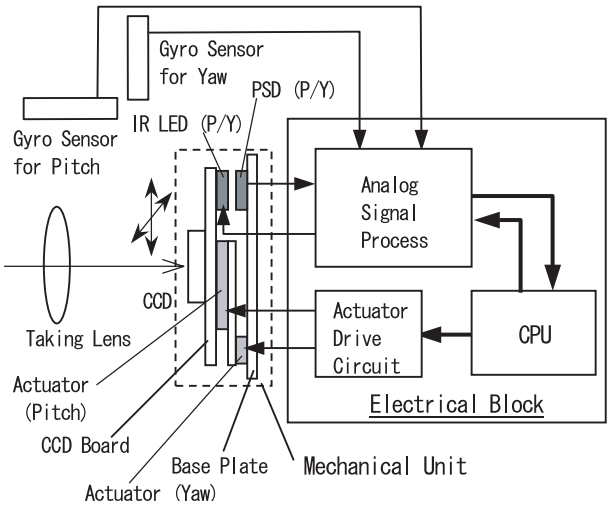

Fig.4 The System Block of Anti-Shake System

4　手ぶれ補正機構設計

4．1　機構設計の課題

本手ぶれ補正システムの最大の特徴は、撮像素子をスイングさせる機構部にある。撮像素子をスイングさせることに対する課題は、撮像素子移動の際の不必要な挙動を抑制しなければならない点である。手ぶれ補正のためには撮像素子を撮像光学系の光軸と垂直な平面上でのみ移動させることが必要であるが、実際の機構ではガタの発生等により、撮像素子が光軸方向へ傾く。また撮像素子の撮像平面上での回転方向へのガタもある。このようなガタ等による撮像素子の傾きは、直接的に撮像した画像に悪影響を与える。機構設計においてはこの課題への対応が必要である。

4．2　機構ユニット構成

4．2．1　アクチュエータ

前節に記載の課題への対応手段として、本手ぶれ補正システム用に新たに圧電素子を用いた当社独自の駆動システムであるSIDM（Smooth Impact Drive Mechanism）を開発した。SIDMは超音波駆動リニアアクチュエータをベースとした駆動システムであり、被駆動体とは摩擦結合していることから、基本的に駆動中のガタが発生しない機構を構成できる。本システムで採用したSIDMのアクチュエータ部を**Fig. 5** に示す。また**Fig. 6** [1] にはSIDMの動作原理を示す。SIDMの詳細については省略するが、以下のような特長がある。

① 移動体との摩擦結合によるガタレス駆動の実現。

② シンプルな構成のため機構自体の小型化、薄型化に適している。

③ 入力に対する応答性が速く、サーボ制御による駆動特性が良好である。

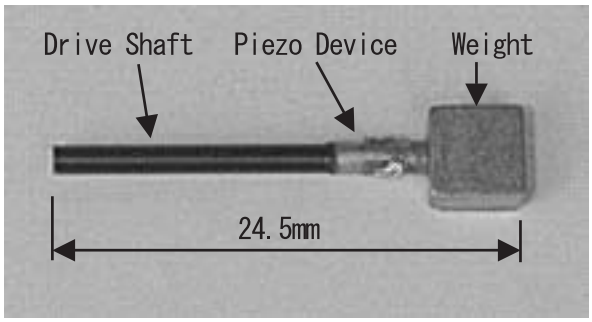

Fig.5 The Actuator Parts of SIDM

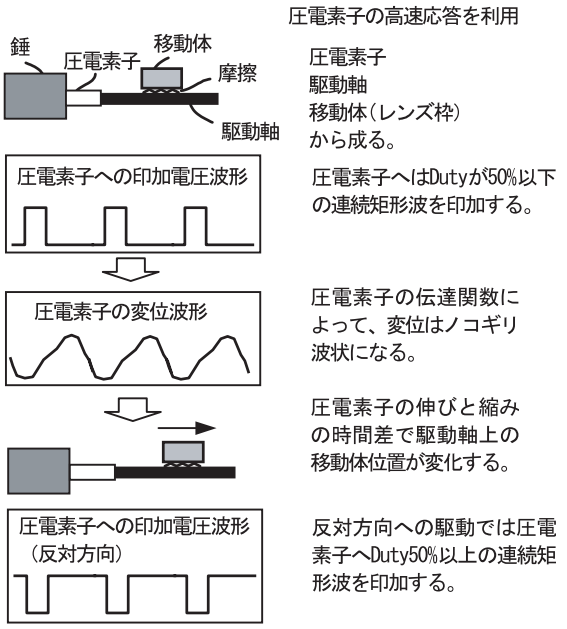

Fig.6 Principle of SIDM

4．2．2　スライダー機構

次に本手ぶれ補正システムの機構ユニットの構成を **Fig. 7** 及び **Fig. 8** に示す。機構ユニットはX/Yステージ構造とし、撮像素子は2次元方向へ自由に移動可能な構成とした。基本的な構成は以下の通りである。

・①ベース台板＋②ヨー駆動用アクチュエータ
・③スライダー
・④CCDホルダー＋⑤ピッチ駆動用アクチュエータ＋⑥CCD＋⑦CCD搭載基板（図示なし）

駆動軸の位置精度確保のキーデバイスがスライダーである。スライダーにはピッチ、ヨーの両駆動軸の軸受けを設けている。一体型の部材に2つの駆動軸受けを置くことで2軸間の相対精度（直交度や軸傾き）を高精度に維持することができる。軸受け部はV溝構造として、円柱形の駆動軸をこのV溝部で受けるようにしている。このスライダーをダイキャスト製とすることで寸法精度とともに十分な剛性を確保している。アクチュエータの駆動軸はスライダーのV溝部と、同じくV形状のキャップ部材とで挟み込まれて、完全にV溝部に接する形で駆動される。キャップ部材とV溝部は加圧スプリングで保持し、アクチュエータ駆動軸との間で摩擦結合を構成している（**Fig. 9**）。

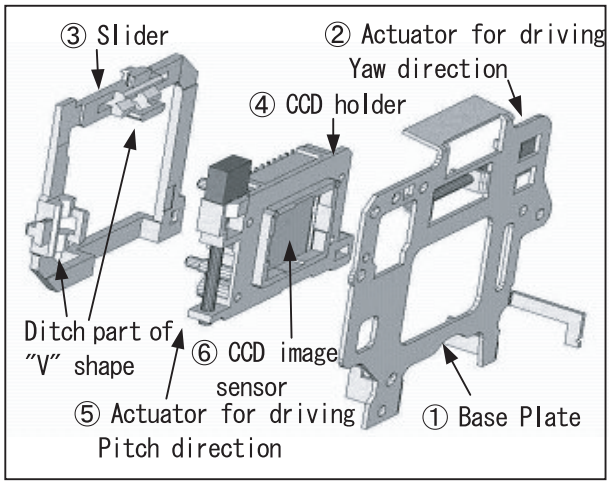

Fig.7 Construction of Mechanical Unit

SIDMによる駆動システムでは駆動軸部の摩擦力が駆動特性を大きく左右するため、駆動軸と接するスライダーのV溝部とキャップ部材の接触面には高い面精度が要求される。さらに駆動耐久性の確保も必要になる。このためスライダーV溝部の表面の面精度を数μm以下レベルとしている。また、スライダー表面への化学処理と摩擦面に対する潤滑剤の最適化により駆動耐久性対応を行っている。これにより本手ぶれ補正システムは、カメラ本体の寿命耐久に対して十分な駆動耐久性能を実現している。

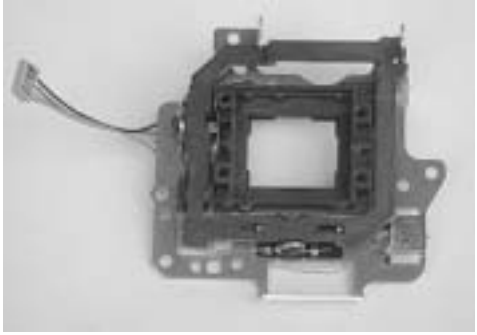

Fig.8 Mechanical Unit for a Sensor Swing System

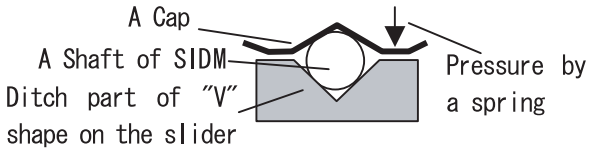

Fig.9 Construction of the Ditch part of "V" shape

4．2．3　駆動系周波数特性

SIDMは超音波駆動によるリニアアクチュエータであり、さらにサーボ制御を行うことから、機構ユニットの周波数特性は駆動性能に大きな影響を与える。本手ぶれ補正システムの駆動機構設計には、機構解析シミュレーションを活用し、アクチュエータ及び機構ユニットの共振特性設計を行ない、アクチュエータの駆動周波数と機構ユニットの共振周波数の間に十分な余裕（マージン）を確保した。

5　まとめ

以上、本手ぶれ補正システムは、高度な機構設計技術とデジタル制御技術及びアクチュエータ技術の融合によって実現できた。デジタルカメラの手ぶれ補正に対するユーザー要望はフィルムカメラの時代よりも高くなっている。特に手軽で便利なコンパクト系のデジタルカメラでは、手ぶれによる画質への影響はかなり大きい。今回の「センサースイング方式手ぶれ補正技術」はデジタルカメラに適した新しい補正機構であり、手ぶれ補正のための専用レンズ開発を必要としない本方式はDiMAGE A1だけでなく、他の機種への展開が容易で、将来にはコンパクト系デジタルカメラへの展開も可能である。今後はより多くの機種への搭載に向けて、メカニズムの小型化とシステムの低コスト化に努力したい。

●参考文献

1）吉田龍一・岡本康弘・岡田浩幸
精密工学会誌、68、4（2002）