

超高速高精度AFの開発

Ultraspeed, Highly Precise Autofocus

北島 達敏* 大内田 茂** 菊池 宏弥***
Tatsutoshi KITAJIMA Shigeru OOHCHIDA Kouya KIKUTI

要 旨

デジタルカメラで各社10倍以上の高倍率ズーム化が進む中で、特に望遠領域において従来のコントラスト方式ではAF時間が遅いことが問題となっている。そこで、全ズーム領域に対応して、かつ、動いている被写体に対しても高速にAFするために二次元のエリアセンサーを用いた測距ユニットを、レーザー溶着による自動組み立て装置とともに開発した。この測距ユニットを2011年2月発売のデジタルカメラCX5に搭載し、AF時間は前機種CX4に比べ最大1/2の短縮を実現したので報告する。

ABSTRACT

The latest digital camera has more than 10 times optical zoom magnification. However, there is a problem that the AF speed is slow in the telephoto side in particular under conventional contrast method.

Therefore, we have developed the distance measuring unit (AF unit) using the two-dimensional area sensor. It can precisely measure the distance of a subject moving fast in all optical zoom domains.

We have also developed the automatic assembling equipment using LTW (Laser Transmission Welding) for it.

This AF unit was included in digital camera CX5 released in February, 2011. Regarding AF time, at maximum, it became two times faster than the previous model CX4.

* パーソナルマルチメディアカンパニー プロダクト推進室

Product Business Office, Personal MultiMedia Products Company

** グループ技術開発本部 デバイスマジュール技術開発センター

Device and Module Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

*** リコー光学株式会社 特機事業推進室

Special Equipment Business Department, Ricoh Optical Industries Co., Ltd.

1. はじめに

1-1 背景と目的

近年、コンパクトデジタルカメラの光学ズーム倍率は、各社10倍を超えており、これにより、被写体の距離によらず自由な構図での撮影が楽しめている。

一方、デジタルカメラで広く採用されているコントラストAF方式では、高倍率ズーム時には被写界深度は狭く、より広い範囲でピント探索のためにレンズを動かすことから、AF時間が遅い問題が生じる。Fig.1は近年のカメラのAF時間であり、ズーム位置Wideでも0.2秒、特にTeleで0.4秒を超え、一瞬のシーンを捉えるのには不十分であった。(CX4, A, B, C社)

さらに、望遠により被写体に寄った(拡大した)シーンであったり、また、動きの激しい被写体では、測距エリア内でのコントラストが低かったり、また、AF途中でのコントラスト変化が激しかったりとAF誤差の懸念もある。

このような場合でも、コントラストAF方式ではない測距装置を持っていれば、短時間に合焦制御可能である。

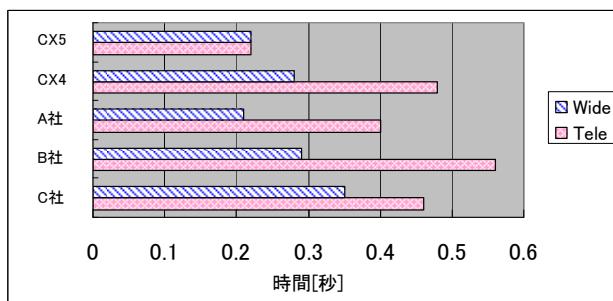


Fig.1 AF time.

1-2 実現方法

コントラストAF以外では、過去には左右対の1次元のラインセンサを配置し、その左右像の相対位置差(視差)を求める三角測距原理による測距装置を搭載しているものもあった。

Fig.2は撮影画角に対してラインセンサによる測距視野を重ねたものである。

ラインセンサを複数のエリアに分けて複数点を測距するものである。各エリアの長さは、左右の像データのマッチング比較を行う上で、最低数十画素のライン長が必要であり、撮影画角の水平方向に対してエリア数を多くとれない。さらに、Fig.2のTele撮影画角ではエリア数が少なくなってしまう。

また、横長のエリア内に主要被写体(本例では人物)と背景が混在することも多く、背景のコントラストが高い場合は、その影響が測距誤差の要因となる。

さらに、主レンズで撮影する至近距離の被写体も測距するために、ラインセンサの視野を主レンズの光軸方向にあわせて若干下向きに傾けてカメラに搭載しているため、遠距離側の被写体を正しく測距できないこともあった。

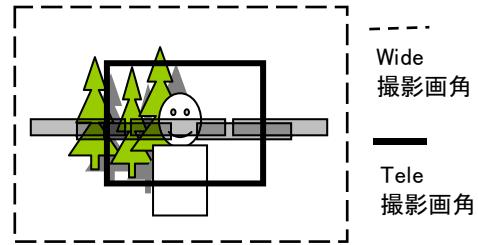


Fig.2 Line sensor area.

以上から、ズーム位置によらず、またダイナミックに動く被写体であっても、十分な測距点を確保して、高速に捕捉・合焦制御を行うために、エリアセンサによる測距ユニット(AFユニット)を開発した。

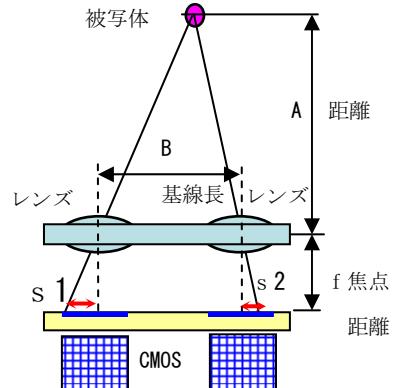


Fig.3 Area sensor system.

$$S = B \times f / A \quad \dots \dots \dots \text{式1}$$

S: 視差 (s1+s2)

エリアセンサによる三角測距の視差をFig.3に示す。距離Aの被写体は、左右センサ上で基線長Bと水平な線上（エピポーラ線）に距離 $1/A$ と比例する視差S（式1）をもって結像する。Sは式1の通りである。エリアセンサ内の各場所において、左右像の一致する場所を像マッチングで探索して視差Sを求めてことで、エリアセンサ内の任意位置での測距結果Aを得ることができる。

Fig.4は試作したエリアセンサによる距離画像データである。左右のVGAセンサ内を 8×8 画素の微小ブロックごとに測距できるので、遠近被写体が混在するシーンでも正しく測距できるメリットがある。

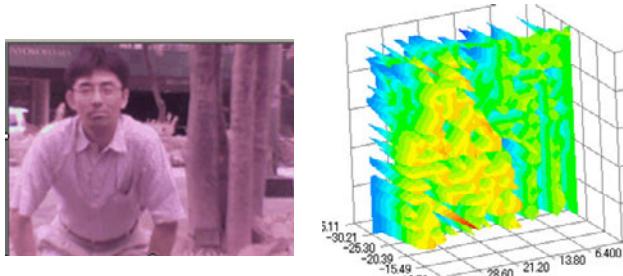


Fig.4 Distance image.

Table 1 Specification of AF unit.

	ラインセンサ 方式	エリアセンサ 方式
センサ画素数（片ch.）	224	VGA (640×480)
センサピッチ p [μm]	7	2.25
基線長[mm]	5.566	6.72
焦点距離[mm]	10.7	3.56
B・f 積[mm ²]	32.1	23.9
AF視野角[度]	10.8	22.8
測距分解能 (B・f /p)	4.586	10.26

Table 1に、過去にリコーカメラで搭載した1次元のラインセンサのAFユニットと今回開発したエリアセンサによるAFユニットの諸元を比較する。

今回開発したエリアセンサは、ユニットサイズの実寸からなるB・f 積は25%小さいが、センサピッチを7 μmから2.25 μmにすることで、測距分解能B・f /pは、約2倍となる小型高精度AFユニットといえる。

Fig.5は、AFユニット画角内の中央、周辺四隅の縦縞チャートと、中央45度に傾けた縞チャートに対して距離Lを変えて測定した測距特性である。前述の通り $1/L$ に比例した特性になる。基線長B、焦点距離 f の設計値による理論値と主にオフセット方向の差があるが、Fig.6のようにオフセット調整をした場合、測距精度は $\Delta 1/L = \pm 0.03$ の直線性である。

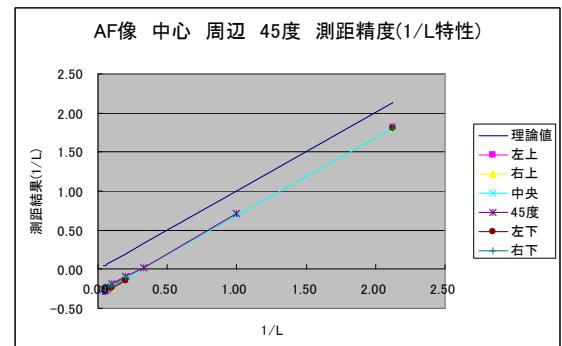


Fig.5 Distance characteristic.

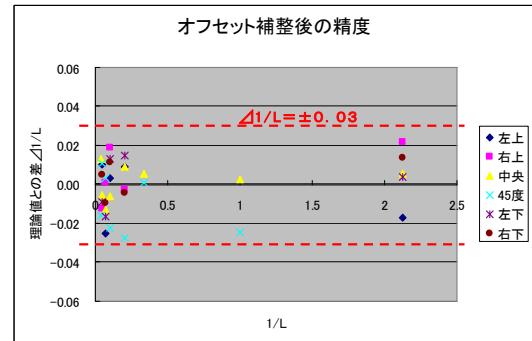


Fig.6 Distance precision.

2. 開発技術

2-1 構成

Fig.7にAFユニットの構成図を示す。

また、Fig.8が実際の外観である。

開発要素は、AFレンズ、AFフォルダーとAFセンサ、及び、それらの自動組立装置である。

また、これらを制御する合焦制御ソフトも開発を行った。

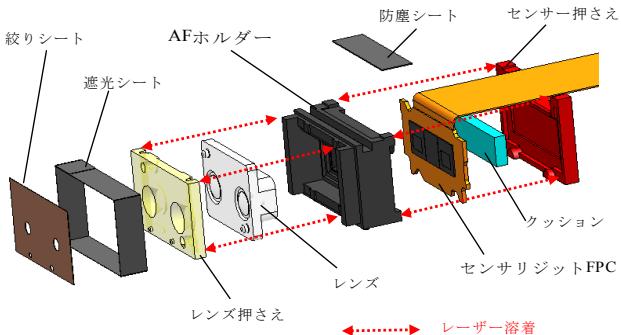


Fig.7 Construction of AF unit.

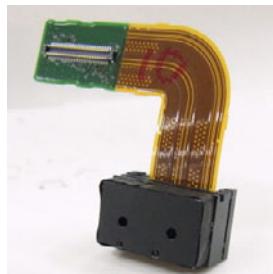


Fig.8 AF unit.

2-2 AFレンズ

近距離から無限遠まで測距するためにレンズ中央、周辺でデフォーカスに対してブロードなMTF特性を得るように設計した。

2-3 AFフォルダー

フォルダー枠内面やセンサの保護ガラス面からの反射による光線分析により極力フレアーを防止した。

2-4 AFセンサ

センサは、専用で新規のセンサを開発する場合、投資には数億円、期間で1~2年が必要となるが、本センサでは、携帯電話用などで市場流通量も多い汎用品のVGAセンサを採用した。

また、前述の通り、測距データ処理上では左右センサの水平画素ラインはエピポーラ線として互いに水平であることが重要であり、その精度は画素ピッチの1/100以下が必要である。このため、VGAセンサを個片としてではなく、Fig.9の通りにセンサウェハ上で、連

結したままでダイシングして左右センサの水平度を確保した。

尚、センサはWCSP (Wafer Level Chip Size Package) 技術で、TSV工法 (Through Silicon Via) でセンサ裏面にソルダーボールで電極が引き出されているものを採用し、ワイヤーボンディング等のパッケージ化は不要で、そのままリジットフレキに既存のリフロー工程で実装する方法とした。

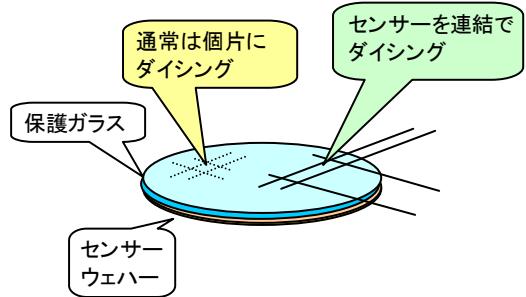


Fig.9 VGA sensor wafer.

2-5 自動組立装置

AF枠フォルダーに対して、AFレンズとAFセンサを、X並進、Y並進、及び回転方向の位置を調整して組み立てする。

前述の通り、三角測距はエピポーラ線上の左右像の相対位置差を求めるものであるが、特にFig.10のように、AFセンサとAFレンズが回転方向にずれた場合、左右センサ像におけるエピポーラ線は $\angle Y$ だけずれる。 $\angle Y$ 情報は正しくセット装置（カメラ等）に記憶され、視差演算時の左右像の相対位置を求める際に使用される必要がある。ユニットを調整して組み立てる際も、また、一旦完成した後の衝撃、使用環境中に対してもエピポーラ線がずれると、正しく測距できなくなるので、 $\angle Y$ は安定している必要がある。本ユニットにおいても許容ずれ量は約 $1 \mu m$ に抑える必要がある。

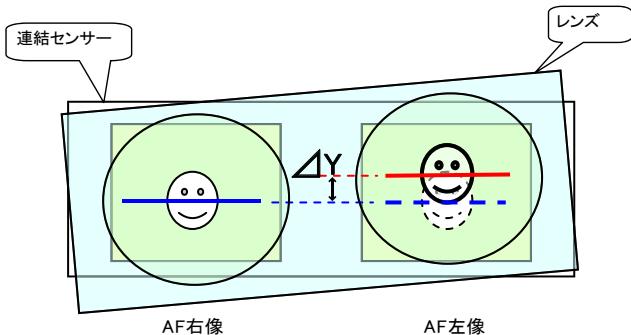


Fig.10 Rotation error.

組み立て装置の目標を以下として、部品装填・セット、位置調整、組み立ての完全自動化を行った。

- ① 製造後もAFレンズとAFセンサの位置関係が変わらない十分な固定強度を実現する。
- ② 短い製造タクト時間で位置調整、組み立てをする。

固定方法に関して、接着方式を用いると、接着剤の硬化時の $10\mu\text{m}$ 程度の変化やまた接着剤の塗布量管理が大きな課題であった。そのためレーザー溶着方式を採用した。

位置調整したAFレンズとセンサ位置を保持した状態でFig. 7の赤破線の箇所をレーザー溶着した。

尚、 ΔY は、組み立て装置でメカニカル的には、数画素ラインずれまで追い込み、製造装置自体には過度な要求調整精度にならないようにしている。1ライン以下のサブピクセルラインずれ量は、セット装置（カメラ）にAFユニットを搭載した後にチャートを用いて測定し、セット装置の不揮発性メモリに保存記憶している。

2-6 視差算出

AFセンサに対する露光制御をし、撮像したAF左右像に対して、以下の処理を繰り返して行う。

- ① テクスチャーブロック検出（基準画像）
- ② テクスチャーブロックの視差算出（比較画像）
- ③ 視差の信頼性評価

①テクスチャーブロック検出

視差は二次元ブロックの相関性をもとに行うため、十分なコントラスト差を持つブロック（テクスチャーブロック）を探す必要がある。視差はエピポーラ線に沿って水平な方向に探索するので、その方向にできるだけ垂直なテクスチャー（コントラスト差）をもつ画像位置を優先して検出している。このテクスチャー検出を数画素間隔で細かく行っており、これにより、被写体のほぼ同じ部位でも垂直成分の多いテクスチャー位置を優先して視差演算対象の基準ブロックに設定できている。Fig.11のように左右センサで基準とする方の画像（基準画像）内でこれを行う。

②テクスチャーブロックの視差算出

基準画像内で検出したテクスチャーブロックを基準ブロックとして、他方の比較画像内で、 ΔY だけずらしたエピポーラ線上に比較ブロックを設定し、二次元ブロック内の相関値を出しながら、Fig.11のように矢印の範囲内でその極小位置を探索する。その極小位置が視差量となる。相関値は式2のZSAD（Zero-mean Sum Of Absolute Difference）手法を用いた。

$$R_{ZSAD} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} |(I(i, j) - \bar{I}) - (C(i, j) - \bar{C})| \quad \text{式2}$$

N : ブロックサイズ ($N \times N$)

I : 基準画像画素位置

C : 比較画像画素位置

Fig.11の背景の木の部分や、他の画像位置でも検出したテクスチャーブロックでも同じ処理をして、画面内の各所での視差を求める。

式2のZSADの処理は、CX5では、カメラ内の画像処理エンジンSmooth Imaging Engine IV内のSIMD構造の1024個の演算プロセサーで実施している。

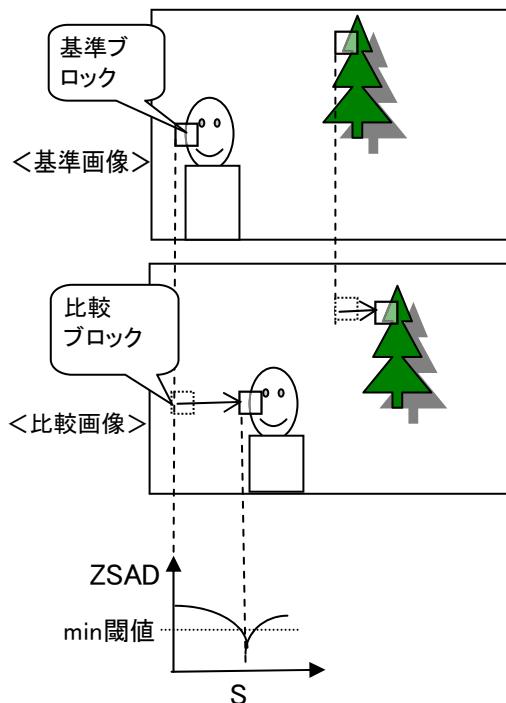


Fig.11 Parallax calculation.

③視差の信頼性評価

視差の信頼性に関しては、Fig.11のZSADによるマッチング特性の極小値に対して、min値の閾値を設けている。

これにより相関度が低く、極小値がmin値以上の方は信頼性がないとして排除できる。

外界の光源でフレアーやがあった場合も、左右像での相関度が落ちるので、信頼性閾値によって誤測距を排除できる。

信頼性のパラメータはmin値以外にも、既知の苦手被写体である例えば縦テクスチャーの繰り返しパターンなどにも対応できるように複数の信頼性パラメータを持たせている。

2-7 高速AF

AFユニットを2011年2月10日発売の光学ズーム10.7倍のCX5に搭載した。

以下の合焦制御で高速化を行っている。

①常時測距

シャッターカップルを押される前にも、常時測距（1秒間に約15回）を行い、シャッターカップルをオンされた際には、その直前で既に算出済みの測距結果を採用する。

②高速HBAF（ハイブリットAF）

測距結果に応じた距離付近の所定数のフォーカス位置のコントラストをサンプリングし、最もコントラストの高いレンズ位置を求め、フォーカスレンズをその位置に駆動する。

③一気押しAF

シャッターカップルを第二スイッチまで一気押しされた場合は、広角～中望遠領域なら、測距結果に応じたフォーカスレンズ位置に駆動して撮影する。（一気押しAF）

ハイブリットAF（HBAF）において、従来のコントラストAFのように撮影最至近から無限遠の距離範囲を全てピント探索することはせず、測距で得た被写体距離付近のみをコントラストAFしている。また、取得するコントラスト値に対して新たなデータ補間、ピーク位置検出方法を開発し、コントラスト値のサンプリング数をズーム領域によらず一定数に抑えて、約0.2秒の一定時間でHBAFを行っている。これにより外部AFをもたない前機種CX4に比べ約1/2のAF時間を実現している。（Fig.1）

また、Fig.12のように、撮影レンズの被写体深度（ピントがあって見える範囲）がズーム広角側で広いことを利用し、測距性能がその距離深度範囲内であるズーム領域においては、一気押しされた場合は、HBAFを行わず、測距結果のフォーカス位置で撮影を行う。

この場合シャッターカップルを押し込んでから撮影されるまでは約0.1秒である。

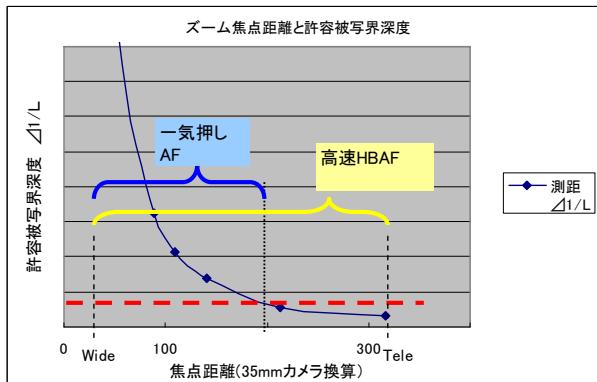


Fig.12 Depth of field and fast AF system.

3. まとめ

AFの高速化について、Table 2で各方式の特徴を考察する。

コントラストAFでは、撮像素子のフレームレートの高速化やまたフォーカス駆動機構の高速化が主要技術である。

また、撮影用撮像素子の中の一部の受光部を位相差用にする方式も実現化されている。

Table 2 Comparison of AF method.

【方式比較】					
	・3D情報によるカメラの進化。 ・3Dセンサーと他の装置への応用。				
方式概要	一眼レフ	コンパクトカメラ コントラスト方式	ミラーレス一眼	撮影像素子埋込 センサー	リコーエリア 測距センサー
AF時間 ※1	専用位相差ユニット ○ 0.3~0.4秒	コントラスト方式 × 0.3秒~0.7秒	高速コントラスト方式 ○ 0.25秒~0.5秒 (レンズにより最速0.1秒)	撮影像素子埋込センサー ○ 0.3~0.5秒	外部測距方式 ◎ 0.1秒~0.23秒
測距点	○ 約20~50点	△ 約10点	△ 約20点	△ 中央部のみ	◎ 1200点 (VGA全面)
カメラサイズ への影響	×	◎	△	◎	○

※1 AF時間は、広角(f28mm程度)から×10倍ズーム程度の距離シーン平均
測定条件は、リコー測定方式による。

今回開発したエリアセンサによるAFユニットは、今後、後段の視差演算処理部を全てハードウェア化することによりVGA全面で1200点の測距演算を数msで得ることも可能である。この点においてAF時間、測距点、及び、小型化において発展性もあり最もバランスのとれたものと考えている。また、他のAF方式同様に撮像素子のフレームレートやメカの高速化がさらに進めば、

AF距離情報とともにさらにアドバンテージを得ることができる。

測距以外に関しても、本AFユニットによりカメラとして三次元情報を得て、AF、AE、AWBへのインテリジェント化を進めたり、また、3Dセンサとしてのカメラ以外への用途も考えられる。

最後に、AFユニットの開発からCX5に搭載するまでにあたり、社内外の多くの方々にご指導、ご支援を賜りましたことに深く感謝いたします。