

## 波面分割技術の AF カメラへの応用\*

松村 進\*\*・鈴木 隆史\*\*\*

キヤノン(株) \*\*カメラ開発センター, \*\*\*電子映像開発センター  
〒213 川崎市高津区下野毛 770

(1983年8月9日受理)

### Application of Division of Wave Front Technique to an Electronic Focus Detection SLR Camera

Susumu MATSUMURA\*\* and Takashi SUZUKI\*\*\*

\*\* Photo Products Development Center,

\*\*\* Video & Still Video Products Development Center,  
Canon Inc., 770, Shimonoge, Takatsu-ku, Kawasaki 213

Two kinds of novel beam splitters, using division of wave front technique, have been developed for an electronic focus detection system of a SLR camera. One is the quick-return beam splitter, with a particular pattern on its surface, so as to make effective use of incident light. The other is the triple beam splitter which is made up of two beam splitters having micro aperture patterns and a mirror. Three imaging beams divided by the triple beam splitter impinge on each line sensor. The micro aperture pattern has a role of optical low pass filter. These two kinds of beam splitters are advantageous (to ordinary half mirror) because they are intrinsically achromatic and less dependent on polarization.

#### 1. はじめに

ここ数年、一眼レフカメラのファインダー光学系、測光用光学系などには物理光学的設計に基づく光学素子が用いられている。これらの光学素子は  $\mu\text{m}$  オーダー程度の細かな構造をもっているため、われわれは“微細光学素子”と総称している<sup>1)</sup>。これらの微細光学素子は微細な位相構造による拡散作用、回折作用を利用し、ファインダー系、測光系における機能向上を実現したものである。

われわれは最近話題の一眼レフカメラ用合焦検出系において有効に機能する2種類の微細光学素子を新たに開発した。これら光学素子はいずれも波面分割技術を応用したビームスプリッターである。ここではこれら光学素子について報告する。

#### 2. 合焦検出系

1981年秋に旭光学から<sup>2)</sup>、翌年春にキヤノンから合焦検出機構を備えた一眼レフカメラが発売された。いずれ

もカメラ本体内に組み込まれた像鮮鋭度検出方式<sup>3)</sup>に基づく合焦検出系により、撮影レンズによる被写体像のボケの度合いを検知し、合焦か否か、さらには撮影レンズを繰込み、繰出しいずれの方向に動かすべきかを判定する方式である。

**Fig. 1** にキヤノンから発売された合焦検出機構搭載一眼レフカメラの光学系断面図を示す。撮影レンズを通った被写体光束の一部はクイックリターンミラーにより反射され焦点板上に被写体像をつくる。残りの光束はクイックリターンミラー上に設けられた光透過部を通過し、このミラー背後に設けられた小ミラーにより反射され、カメラ本体底部に置かれた光束三分割プリズムに導かれる。ここで3分割された各光束は、プリズム下部に設けられた3列の CCD ラインセンサー上におおの被写体像を形成する。

**Fig. 2** はこの合焦検出系の展開図である。ラインセンサーは、フィルム面と光学的に等価な面、およびこれから光軸方向に前後等距離(約 0.9 mm)離れた2か所、計3列設けられている。これを撮影レンズに近いほうから、前、中、奥センサーと名づける。したがって各センサー上には像鮮鋭度(ボケ具合)のわずかな異なる

\* 第8回光学シンポジウム(1983年6月20日、東京)において講演

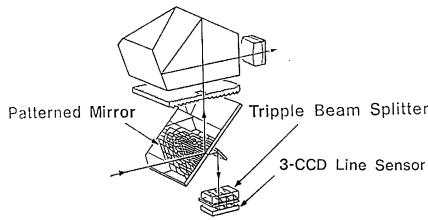


Fig. 1 Electronic focus detection optical system.

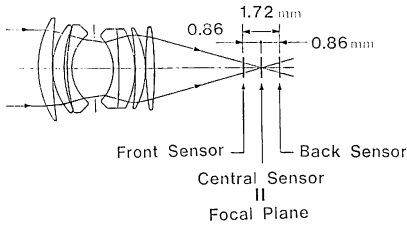


Fig. 2 Equivalent optical system.

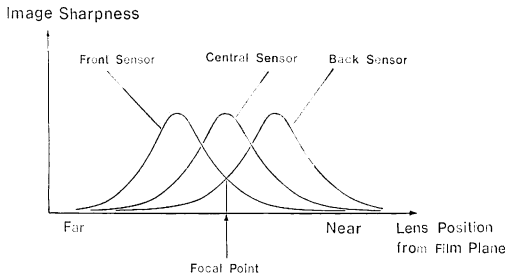


Fig. 3 Focus curves.

る被写体像が形成される。これらセンサーからの像出力信号を処理し各センサー面上での像鮮鋭度が求められる。この三つの像鮮鋭度は、撮影レンズの繰出し位置に応じて Fig. 3 のような像鮮鋭度グラフを描く。この図よりわかるように、中センサーからの像鮮鋭度が他の二つの像鮮鋭度よりも高く、かつ前、奥センサーからの像鮮鋭度が等しいところが合焦点である。

この合焦検出系において通常の誘電膜ビームスプリッターとは異なる2種類のビームスプリッターが用いられている。これらのビームスプリッターはそれぞれパターンミラー、トリプルビームスプリッターと名づけられている。いずれも Al ミラー面上に微細な光透過部パターンを有する、波面分割型のビームスプリッターである。この光透過部の占める面積比率を変えることにより透過光、反射光の光量比を変えることができるので、われわれはこのようなビームスプリッターを面積型ビームスプリッターと呼んでいる。

面積型ビームスプリッターを用いる利点は主として色

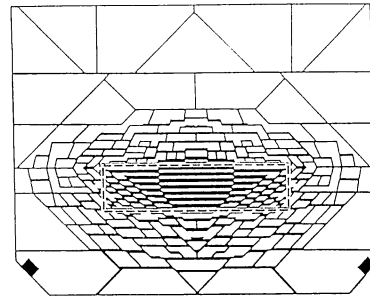


Fig. 4 Mirror pattern of "Patterned mirror."

特性、偏光特性が良好で、安価に製作できる点であるが、他方ミラー面上に存在するパターンにより像面上で不均一光量分布が発生するおそれがあり、像性能劣化の心配がある。面積型ビームスプリッターの設計においてはこれらの問題点を緩和し、システム全体の要求性能を満たすパターンの設計が重要となる。

### 3. パターンミラー

Fig. 4 にパターンミラー正面図を示す。黒線で示されている部分が光透過部であり、白地領域に Al 反射膜が蒸着されている。中央部破線で示される開口を有する遮光板がこのパターンミラー直後に設けてあり、合焦検出系へはこの開口領域内を通過した光束のみが導かれる。この領域内におけるパターンミラーの平均透過率は約 45% である。

ミラー面上のパターンにより生ずる像面上での光量分布の不均一性を小さく抑えるために、このパターンミラーにはいくつかの対策がもり込まれている。

ファインダー画面上での光量分布の不均一性を抑えるために、第一に合焦検出系への有効光束通過領域からミラー周辺部にゆくにしたがい平均反射率が漸増するようにパターンが設計されている。これにより反射率の急激な変化に起因するファインダー画面上での明るさのムラを防止し、かつミラー周辺部からファインダー系へとり込まれる光量を増加させている。通常の全面誘電膜ハーフミラーを用いた場合に比べ、パターンミラーではファインダー光量は約 1.5 倍にふえている。第二にパターンミラー全面にわたり 30% 反射率の反射膜コーティングを施すことにより均一なバイアス光成分をつくり出し、ファインダー画像の劣化を防いでいる。

またセンサー面上での光量分布の不均一性を抑制するために、合焦検出系への光透過部はラインセンサー方向に平行なストライプパターンを基本構造としている。

ところで Fig. 5 に示すように、明るい F ナンバー

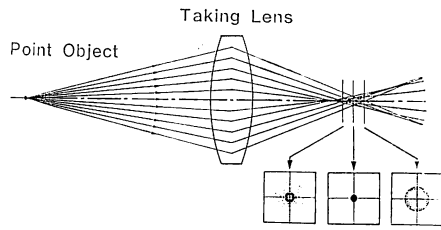


Fig. 5 Defocused point image formed by lens with spherical aberration.

の撮影レンズにおいては球面収差により合焦点から前後等距離ディフォーカスした平面でのボケ像光強度分布が等しくない。この結果合焦点において、前センサー、および奥センサーからの像鮮鋭度が等しくならず、合焦検出系の誤動作につながる。この対策としてパターンミラーに前後ボケ像強度分布の非対称性を緩和させるフィルタリング効果を与えている。すなわち、F5.6よりも明るい周辺光束に対してはストライプ状光透過部の長手方向への長さを周辺にゆくにしたがい徐々に短くし、この部分を通する周辺光束を、センサーと平行な方向へより回折、拡散させ、球面収差によるボケ像強度分布の非対称性を少なくしている。

#### 4. トリプルビームスプリッター

##### 4.1 構成

Fig. 6 にトリプルビームスプリッターの拡大図を示す。ビームスプリッター下面には 1.3 mm 間隔で3列の CCD ラインセンサーが設けられている。このトリプルビームスプリッターは二つの面積型ミラーと一つの全反射ミラーとを一体に構成したものである。第一のビームスプリッターは Al 面上に直径 45  $\mu\text{m}$  の円開口を擬似ランダムに分布させたものであり、平均透過率は約 30% である。第二のビームスプリッターは周期 40  $\mu\text{m}$  のストライプパターンが設けられた Al ミラーであり、平均透過率は 50% である。

トリプルビームスプリッターにおいて面積型ミラーを採用した理由は色特性、偏光特性が良好である点にある。3 像に光束を分割するビームスプリッターにおいては、第一のビームスプリッターは透過率 30%、反射率 70% の特性が要求され、第二のビームスプリッターは透過率、反射率ともに 50% の特性が要求される。このような 2 種類の誘電膜ビームスプリッターの色特性、偏光特性をともに良好に設計することは大変むずかしい。これに比べて面積型ビームスプリッターにおいては Al 反射膜自体の反射率は可視波長域においてほぼ一様な特

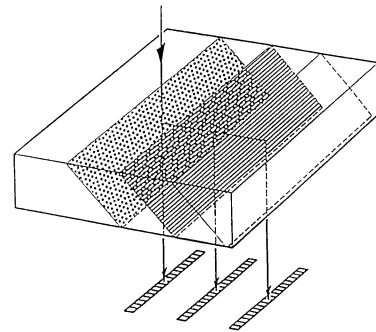


Fig. 6 "Triple beam splitter" and 3 CCD line sensors.

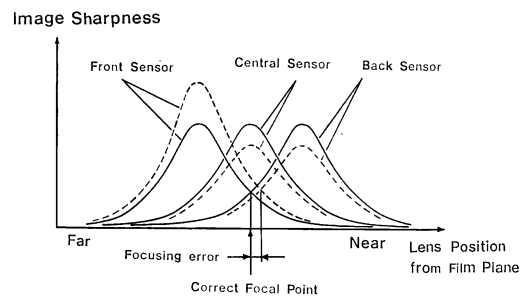


Fig. 7 Focus curves when spectral transmittances are unbalanced.

性であり、偏光特性も良好である。

3 像に分割するビームスプリッターの色特性が悪い場合、たとえば緑色光に対しては三つのセンサーに均等に光量を分割するが、赤色光に対しては前センサーに多くの光量が入射してしまい、中、奥センサーに入射する光量が減少すると、撮影レンズの繰出し位置に応じた三つの像鮮鋭度が Fig. 7 に示されるようになり、合焦点の移動が生ずる。実線は緑色光に対しての、破線は赤色光に対しての像鮮鋭度である。

このように色、偏光状態によって合焦点が移動することがないようにするため、色特性、偏光特性に対する要求はきびしい。さらにミラー面上のパターンによる 3 結像系間の MTF 特性バランス、センサー面上での光量分布の不均一性などに十分な対策をとらなければならない。この対策としてわれわれは、第二の面積型ビームスプリッター上のパターンをラインセンサー方向と平行なストライプパターンとした。これにより、第二のパターンからのラインセンサー方向における光量分布の不均一性の発生を抑え、さらにラインセンサー方向での MTF 特性低下も防止する。この後、第一の面積型ビームスプリッター上のパターンをパラメータとして、光量分布の

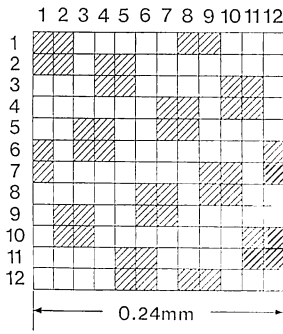


Fig. 8 Designed pattern of first beam splitter.

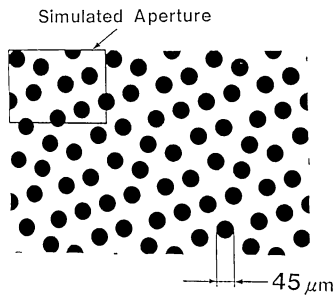


Fig. 9 Actually used pattern of first beam splitter.

均一性, MTF 特性バランスを最適に設計した.

#### 4.2 光量分布不均一性の評価

本合焦検出系において F5.6 の軸上光束がトリプルビームスプリッターの第一のビームスプリッター面上につくる光束断面形状とほぼ同等の矩形をシミュレーション開口と定める. 大きさは  $0.24 \times 0.2$  mm である. この開口によりミラーパターン面を走査しながら, この開口内に含まれる光透過部開口面積の変動を求めることにより, F5.6 の撮影レンズ光束によるセンサー面上での光量分布不均一性を評価した. この評価は計算機により行なう.

一方, このシミュレーション開口形状に近い  $0.24 \times 0.24$  mm を一つの単位パターンの大きさとし, 縦横 12 分割し, この小柄目 4 個を一つの光透過開口として Fig. 8 に示すように擬似ランダムに分布させる. このとき, 各行, 列中に同数の透過開口に相当する小柄目を存在させて, 透過光分布の不均一性を小さくさせる. こうしてできた単位パターンから, step & repeat 手法により大きなパターンを作り, これを第一のビームスプリッターのパターンとする.

Fig. 9 に実際のビームスプリッター上のパターンを示す. 黒い円形部分が光透過部で, 白地が Al ミラー面

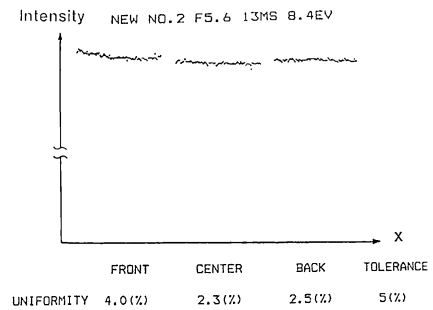


Fig. 10 Intensity fluctuations on 3 CCD line sensors (experiment).

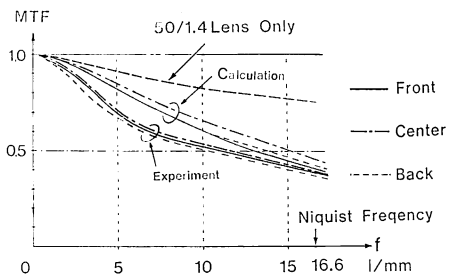


Fig. 11 Comparison between theoretical and experimental MTF curves.

である. この円形透過開口は Fig. 8 の小柄目 4 個分の面積と等しい. 円形開口としたのは NC プロッターによるパターン版下製作時間を節約するためである.

このようにして作られたパターン, およびこれを第二のストライプパターンとを重ねたパターンに対して, 先のシミュレーション開口を用いて, 透過光量分布の均一性を評価する.

一様輝度面を F5.6 の撮影レンズによりセンサー面上に投影したときの出力信号実測値を Fig. 10 に示す. いずれのセンサー面上においても光量分布の不均一性は 5% 以下である.

#### 4.3 MTF 特性バランス

トリプルビームスプリッターによる 3 結像系間の MTF 特性のバランスがくずれると, 異なる空間周波数分布をもつ被写体間において, 先の色特性不良の場合と同様な合焦点の移動が生ずる. したがって光量分布の不均一性の評価に加えて, MTF 特性が十分バランスしていることを確認する必要がある.

MTF の計算においては, 以下のモデル系を設定した.

- (1) 各ビームスプリッター面は光軸に直交して設けられている.
- (2) 各ビームスプリッター上の Al 反射面 (非開口

部)の透過率はゼロ.

(3) 各ビームスプリッター面上での結像光の位相分布は一定であり, 振幅透過率分布のみが存在する.

この系において, 瞳関数の自己相関より各センサー面上でのMTFを計算した. この結果を **Fig. 11** に示す. 図において細い線が  $\lambda=0.65\ \mu\text{m}$  の波長におけるMTF計算値である. 太い線で示されるグラフは, 実際に撮影レンズ, トリプルビームスプリッター試作品を用い, A光源により照明されたスリットの像 (line spread function) を測定し, 求めたMTFである. 空間周波数の中域において両者間にやや差があるが, 傾向としてはよく一致し, とくに3結像系間でのMTF特性のバランスが良好であることがわかる.

この合焦検出系において用いられているCCDラインセンサーは画素センサーが  $30\ \mu\text{m}$  周期に配列されたものであり, ナイキスト周波数は  $16.7\ \text{line/mm}$  となる. グラフよりわかるように, この周波数において各系でのMTF値は撮影レンズのみによるMTF値の約半分に低下している. このローパスフィルター効果によりラインセンサーにおける偽解像現象を緩和している.

## 5. おわりに

CCDラインセンサーのように, 像光量分布を離散的にサンプリングする固体撮像素子を受光器とする系においては, 波面分割型のビームスプリッターは以下の点で非常に有効である.

(1) 光量利用効率が高く, 色特性, 偏光特性が良

好.

(2) 最近のCAD技術を利用したパターン設計が可能.

(3) フォトリソグラフィ技術を利用し, 比較的安価に製作できる.

(4) パターン設計によりローパスフィルター効果が付与でき, 受光系, 信号処理系とのマッチングがよい.

本報告ではCCDラインセンサーを用いた一眼レフカメラ用合焦検出系のkey componentとして開発された, 波面分割型ビームスプリッターの特徴, 設計思想などについて記した.

本報告は1983年3月, 米国にて開催されたSPSE symposiumにて発表した内容<sup>4)</sup>の一部である.

ここで報告したビームスプリッターの開発は, TTL-AF検出機構を備えた一眼レフカメラ開発の一環として行なわれたものであり, キヤノンカメラ開発センターにおいて開発に携わった多くの方々に対してお礼を申し上げます.

## 文 献

- 1) 鈴木隆史, 松村 進, 飯塚清志, 遠藤清伸, 北岸 望: 光学, **10** (1981) 372; O plus E, No. 30 (1982) 59.
- 2) 旭光学工業(株)技術部: 写真工業, **40**, 2 (1982) 67.
- 3) 細江三弥: O plus E, No. 33 (1982) 47.
- 4) T. Suzuki and S. Matsumura: *Advanced Printing of Paper Summaries, SPSE International Symposium on Still Camera Technology* (1983) p. 9-10.