

自動焦点カメラ

小西写真工業株式会社 百瀬 治彦

自動焦点カメラの焦点調節原理には、像鮮明度を求めるものと、被写体までの距離を求める方式に大別される。ここでは自動焦点カメラの開発動向と、世界で初めて商品化された、被写体までの距離を求める方式のコンニカ C 35 AF を例にして、その距離検出原理、自動焦点調節動作原理、自動焦点カメラの今後の課題等について述べる。

1. ま え が き

写真を撮る場合、撮影者は各シーンごとに、構図を決める、ピントを合わせる、露出を決めるという3つの操作が必要である。これらの操作は、瞬間を撮るというカメラ本来の意図から極力迅速であることが望まれる。そのため、ピントと露出の調整については自動化が要求されていた。

ここで、露出の自動化については、自動露出制御というかたちでほとんど完成され実用化しており、一方のピント合わせの自動化が、自動露出制御の発展に対して取り残された存在であった。この原因は、距離または焦点を検出するための検出器が、自動露出のための検出器に対し著しく複雑であること、レンズ制御のため大きな動力が必要であること、高い精度が要求されること、が理由であった。

ところが最近、長年の夢であったオートフォーカス (Auto Focus=AF) のために高性能な距離検出器が開発され、それを使った「コンニカ C 35 AF」(写真1) が世



写真1 コンニカ C 35 AF の外観

"Auto Focus Camera" by Haruhiko Momose (Konishiroku Photo Industry Co., Ltd., Tokyo)

界で初めて量産化に成功し、各方面より好評を得、その後、カメラ各社よりこの種の AF スチールカメラと AF 8 mm カメラが発売されるに至り、業界でもオートフォーカスカメラが一般化しつつある。

以下、自動焦点カメラの開発動向とコンニカ C 35 AF を例にとり、自動焦点制御システムについてふれる。

2. AF カメラの開発動向

自動焦点カメラを考える場合、一般の自動制御系と同様に、検出器と制御系に分けて見る必要がある。

自動焦点カメラの検出器は距離とか焦点とかを検出するものであるが、被写体までの距離や被写体のパターンコントラスト、色等が画一的でないという、検出器にとって重要な問題がある。

一方、制御系に関しては、最近のエレクトロニクスを活用すれば、ほとんど問題なくカメラに組み込むことが可能である。そのため、自動焦点カメラで最も重要視される点は検出器であり、いかなる距離、いかなる被写体に対しても適用できる検出器の開発が急務とされているのが現状である。

現在の AF カメラは発展初期のもので、分類することは困難であるが、特許出願傾向より検出方法を主体に分類すると図1のようになる。図の各種 AF 方式のカメラの主なものについて説明する。

焦点検出方式は、撮影レンズによるフィルム面相当の位置での像のコントラストが最も高い点をさがすもので、この方式でよく知られているものに、CdS 等の光導電体の非直線性を利用¹⁾したキャノン AF カメラがある。これを図2に示す。カメラのスタートボタンを押すと、撮影レンズと焦点検出レンズがフィルム側へ移動して、その途中で光導電体上の被写体像が鮮明になるにつれて像のコントラストが高くなるので、光導電体の抵抗

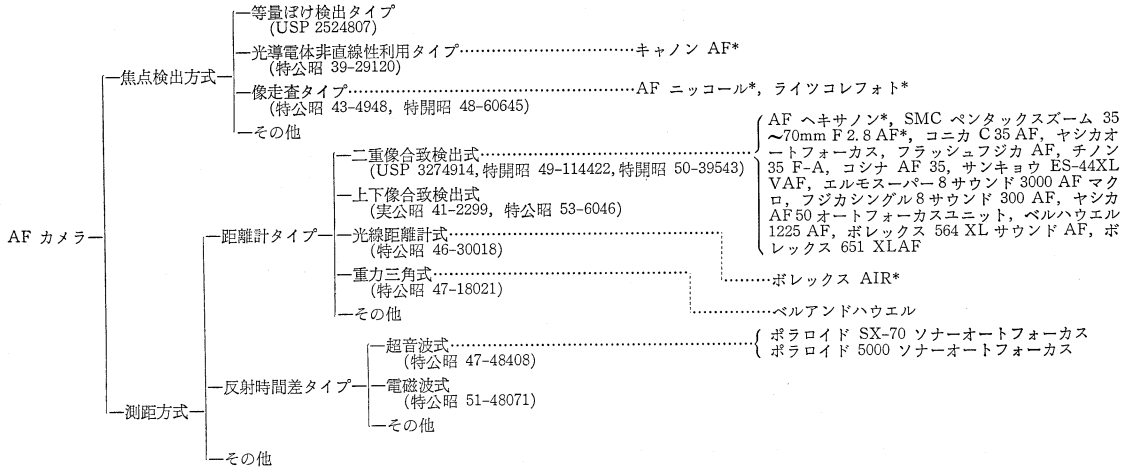


図 1 特許出願傾向より見た AF カメラの分類

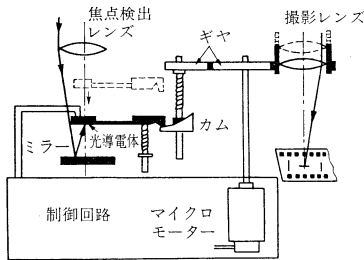
値は同図(b)のように極値を示す。この極値が合ピン点であるから、これを利用してレンズを動かしていたモーターをストップさせる。ここで光導電体を撮影レンズの光学系へ入れることも可能である。

測距方式はカメラから被写体までの距離を測り、その結果を撮影レンズの移動量に伝える方式で、昔から測量に使われている三角測量の原理を使った距離計タイプと、音、光、電波等を被写体に発射して、それが被写体

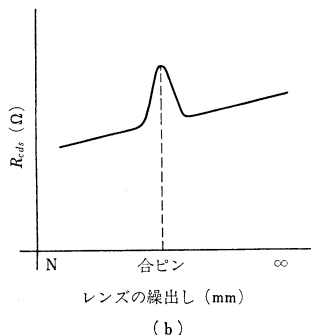
で反射して戻ってくるまでの時間を求める反射時間の差を求めるタイプのものがある。

三角測量タイプの AF カメラは距離測定のため基線長を必要とするため、近距離での精度は良いが遠距離での精度が低下するので、焦点距離の長いレンズには適さないという面もある。しかし、三角測量タイプの二重像合致検出式は検出器の構造が簡単なため、最近多くの AF カメラに使われている方式なので、コニカ C35 AF を例にとって後述する。

図3に一眼レフ AF 用の上下像合致検出式の検出原理図を示す。上下像合致検出器 FD 上にはスプリットイメ

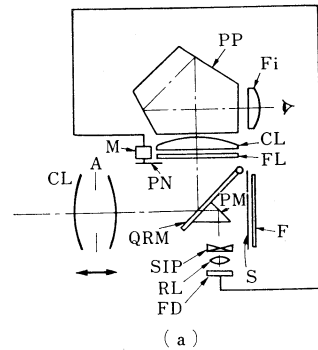


(a)

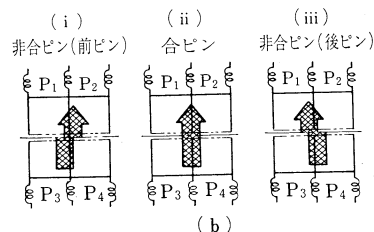


(b)

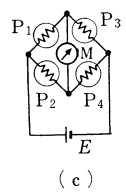
図 2 光導電体非直線性利用タイプ AF カメラの原理図 (キヤノン AF)



(a)



(b)



(c)

図 3 上下像合致検出式の検出原理図 (特公昭 53-6046)

ージプリズムにより、同図(b)のような合ピン時は上下が合致して、非合ピン時は合致しない像が形成される。この上下像の合致、非合致は同図(b)のように上下に配

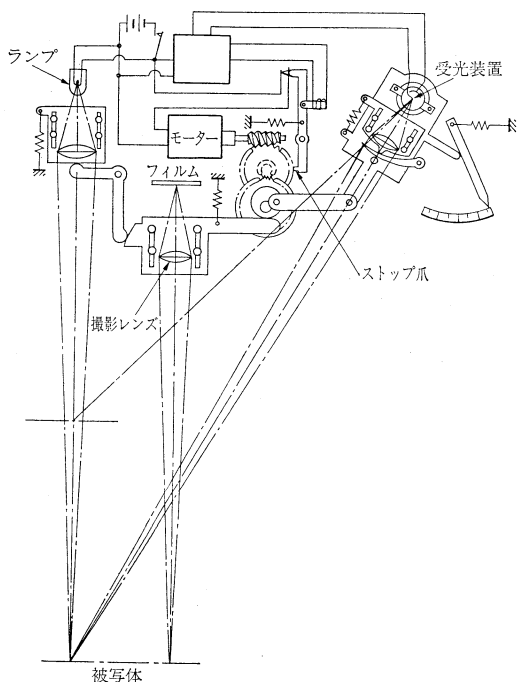


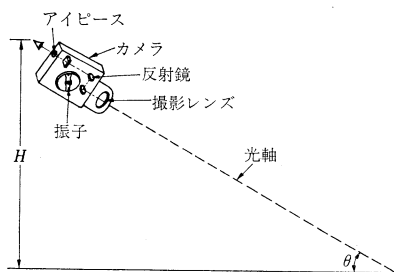
図4 光線距離計式 AF カメラの原理図 (特公昭 46-30018)

置したペアの受光素子 (同図の場合 CdS 光導電体) を同図(c)のようにブリッジ回路に組み、このブリッジのバランスを求めればよく、バランスのとれたときは合致したことを知ることができる。当然ブリッジの出力を使ってサーボモーターを働かせ、撮影レンズを前進後退させるようにした AF カメラとすることも可能である。

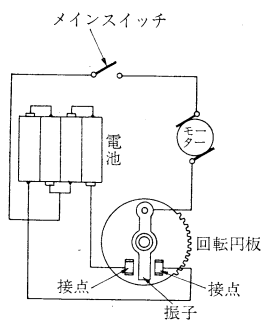
図4に光線距離計式 AF カメラの原理図を示す。これはランプから被写体に光のビームを照射し、その反射光を撮影レンズのフォーカシングと連動させて、偏角する受光装置でキャッチして撮影レンズをストップさせるものである。この方式は暗やみでも AF が可能であることが特徴で、光ビームとしては赤外線や断続光またはフラッシュ光等が使われる。

図5は重力三角式 AF カメラの原理図を示す。いまファインダーを覗いて被写体の足元を見ると、振子がある角度振れる。このとき成人の身長は一定であると仮定すれば、振れ角より被写体までの距離を求めることができるので、同図(b)(c)のように振子が電気接点に触れないときモーターがストップするようにすれば、オートフォーカスカメラとなる。この方式のカメラはベルハウエル社より製品化されたが、一度被写体の足元を見るという操作がわずらわしいためか長続きはしなかった。

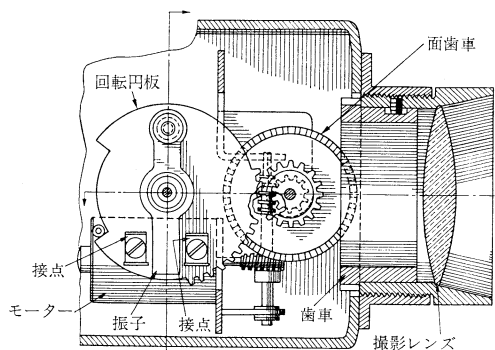
図6にポラロイド SX-70 ソナーオートフォーカスの超音波式 AF カメラの原理図を示す。シャッターをリリースすると、電音変換器から精度向上のため4つの周波



(a) 測距原理



(b) 回路図



(c) AF 構造

図5 重力三角式 AF カメラの原理図 (特公昭 47-18021)

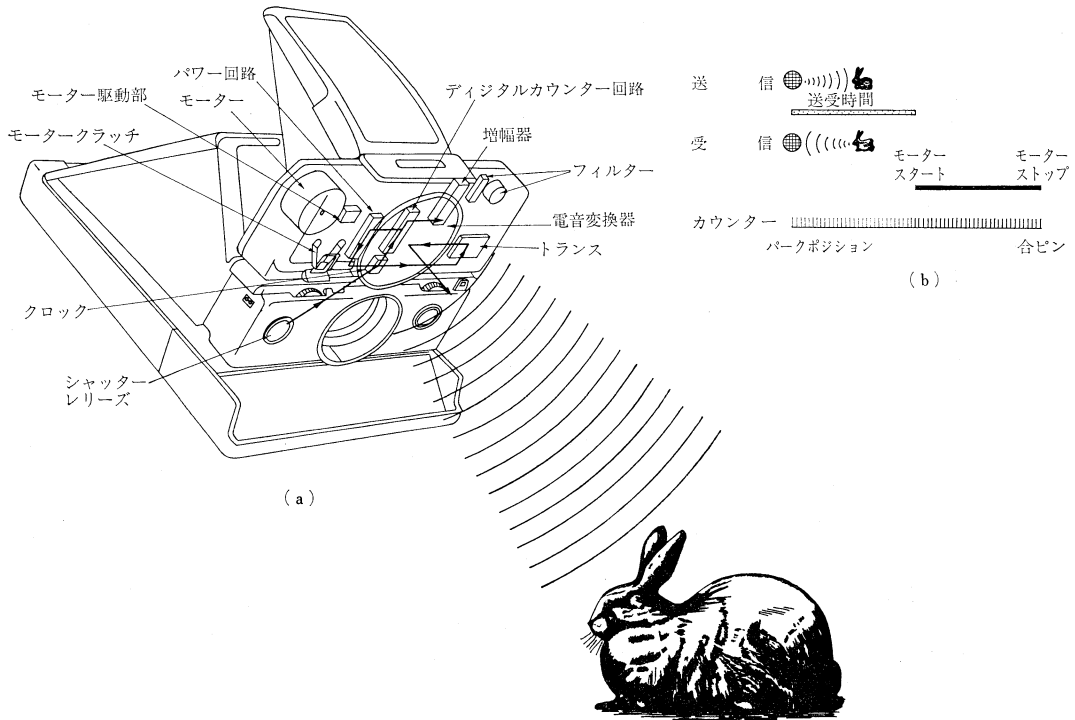


図 6 超音波式 AF カメラの原理図 (ポラロイドソナーオートフォーカス)

数の超音波 (50, 53, 57, 60 kHz) を被写体に向け送信し、カウンターがカウントを開始する。そして被写体からの反射波が電音変換器に入ると、カウンターがストップし、レンズを動かすモーターをスタートさせる。するとカウンターはモーターの回転によるパルス (最至近距離から遠くまで 128 に分割されていて、128 のパルスが出る) を累算し、カウンターが一杯になるとモーターは停止し、ピント合わせが完了する (累算器はパルスで満杯になる)。そして撮影終了後フィルムが飛び出した後、レンズは元に戻る。距離が遠いほどカウンターの作動時間が長いのでモーターは早く停止する。このカメラの特徴は、明るさやコントラストに関係なく正常作動するが、被写体を斜めから狙ったり、窓越しに撮影しようとしたとき、後ピンになったり窓ガラスにピントが合うといった不具合が生ずる場合がある。

図 1 より、一眼レフカメラでは交換レンズ使用という面から考えて焦点検出方式と上下像合致検出式が、レンズシャッターカメラでは二重像合致検出式や光線距離計式、それに超音波式が適していると思われる。

自動焦点カメラの研究は古くからカメラ各社さまざまな形で進められてきた。1963 年に焦点検出式のキャノン AF が発表され、ついに自動焦点カメラ時代到来ということで注目された。その後、AF ニッコール (日本光学)、AF ヘキサノン (小西六) の自動焦点交換レンズが発表

された。AF ニッコールも焦点検出式であった。AF ヘキサノンは 1974 年のフォトキナで発表した。この自動焦点検出原理は、現在のコニカ C 35 AF と同じ二重像合致検出式であった。そして、AF ヘキサノンの検出器と周辺回路の IC 化検討を行っている頃、1975 年 9 月タイミングよくハネウェル社より同じ検出原理の測距モジュールが開発されたので、利用することに踏み切った。

測距モジュールを使ったコニカ C 35 AF は、1977 年 11 月に他社に先がけ発売されたが、それから 1 年後、この方式によるカメラが 8mm カメラ²⁾で 3 種 (サンキョー、エルモ、フジカ)、35mm レンズシャッターカメラ³⁾⁴⁾で 3 種 (ヤシカ、フジカ、チノン) が発売された。また、これに加えポラロイド社より、超音波式の自動焦点カメラが発売されるに至り、自動焦点カメラは一般化したといえる。

次に、測距モジュールを使った AF カメラの一例としてコニカ C 35 AF についてふれる。

3. 距離検出原理

3.1 従来の光学的距離計

距離検出原理は、光学的距離計の 2 つの光学像の重なりを光電的に求める光電的二重像合致検出方式である。距離検出の原理を知る前に、従来の光学的距離計について理解を深めておくことと便利である。

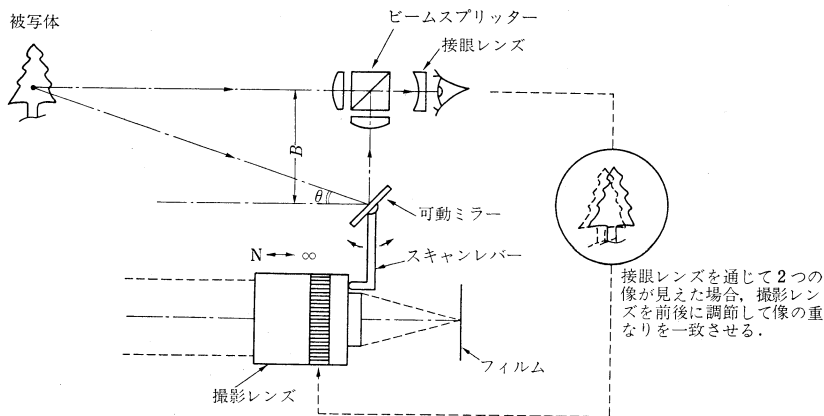


図 7 従来の光学的距離計

図 7 に従来の光学的距離計の原理図を示す。この距離計はわずかに離れて位置する 2 点 (間隔 B) より入射する 2 つの被写体像をビームスプリッターで重ね合わせて見るようになっている。カメラ使用者が焦点調節を行う場合、2 つの像が互いに重なり合うよう撮影レンズを前後に調節することにより、フィルム上に被写体像を正確に焦点合わせすることができる。

3.2 距離検出器

従来の光学的距離計で 2 つの像の合致を見分けるのは人間の目であった。しかし、いまでは測距モジュールと呼ばれる受光素子と LSI をワンチップに成形した LSI パッケージと光学系を一体化した、外形が $22.5 \times 22.5 \times 15.9 \text{ mm}$ の距離検出器で 2 つの像の合

致信号を得ている。

測距モジュールと LSI パッケージの外観を写真 2、写真 3 に示す。

図 8 に測距モジュールを使った AF 光学系原理図を示す。固定ミラーと可動ミラー側の受光素子の上には距離 R の所の被写体像が結像されているが、可動ミラーが無

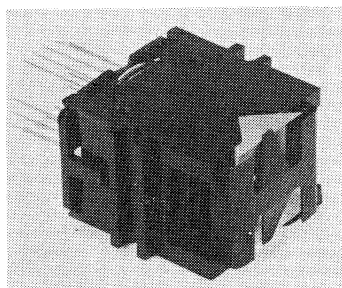


写真 2 測距モジュール外観

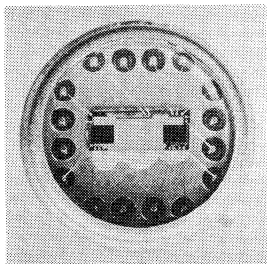


写真 4 LSI パッケージ外観

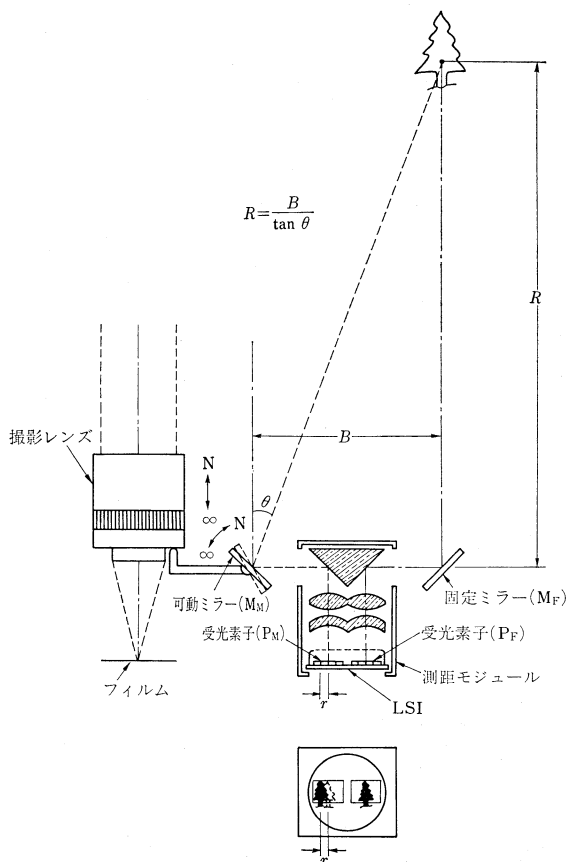


図 8 コニカ C35 AF の AF 光学系原理図

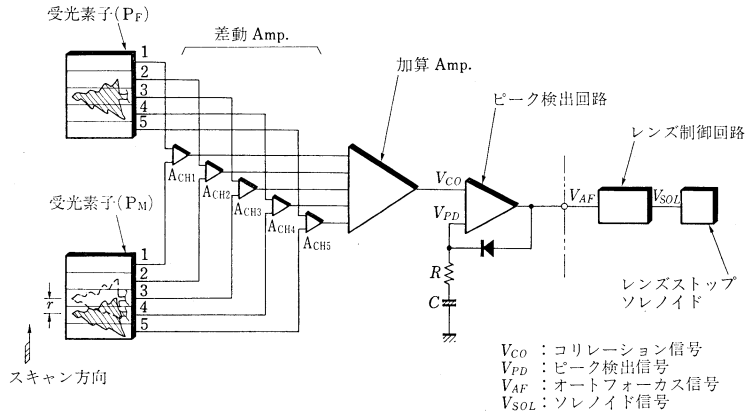


図 9 AF 回路原理図

限遠側を向いていると2つの像の位置関係は同一ではなく、可動ミラーを θ だけ振ると可動ミラー側の像は θ だけ右方に移動し、固定側の像と同じ位置関係となる。測距モジュールは、この像移動を十数ミクロンの精度で検出する能力を持っている。

測距モジュールのLSIには同時成形の2組のシリコン系のアレイ状受光素子がある。この受光素子はほぼ $0.18 \times 1.14 \text{ mm}$ の短冊状の光電素子が複数個アレイ状に形成されたものである。この2組の受光素子の上には固定ミラーと可動ミラーを通じ被写体像が作られる。

LSIのブロックダイアグラムを図9に、チップパターンを写真4に示す。

図9で、固定ミラー側の受光素子(PF)と可動ミラー側の受光素子(PM)上の2組の被写体像の位置関係が比較される。このとき、もし2組の被写体像の位置関係が一致すれば、各差動アンプの出力は最小になる。ただし、この差動アンプの出力は絶対値がとられ出力は常に正である。そして各差動アンプの出力は、加算アンプで和がとられると同時に、その出力には反転出力が現われる。したがって、各差動アンプ出力が最小の場合は加算アンプの出力は最大となる。

ここで加算アンプの出力信号のことをコリレーション信号 (Correlation Signal) V_{CO} とも呼ぶが、この最大値が2組の像の位置関係の合致を示す点である。

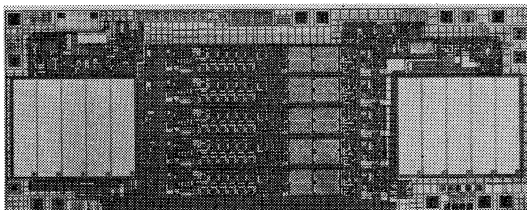


写真 4 LSI のチップパターン

以上の説明のように、コリレーション信号 V_{CO} は次のように表わされる。

$$V_{CO} = V_{CC} - G \sum_{n=1}^n \left| \log \frac{E_n'}{E_n} \right| \quad (\text{V})$$

E_n : 固定ミラー側各受光素子出力

E_n' : 可動ミラー側各受光素子出力

G : 比例定数

V_{CC} : 電源電圧

上式で2組の像の位置関係が一致した場合 $E_n = E_n'$ であるから $V_{CO} = V_{CC}$ となる。

コリレーション信号は、被写体の明るさに対しては常に一定となるようLSIの中で工夫されているが、被写体の明るさやコントラストそれにパターンにより尖鋭度が変わったり、またいくつものピークが出る場合がある。そのためコリレーション信号はピーク値検出回路でピークに応じたロジックのAF出力 V_{AF} を作る。

そして、レンズ停止信号としては最大ピーク値のロジック出力の立上り部分が利用される。このように、測距モジュールのLSIはAF出力 V_{AF} を出すまでの機能を持つが、このAF出力は外部のレンズ制御回路を通じてレンズ停止用ソレノイドに伝達される。

AF出力 V_{AF} をどのような形でレンズ制御に使うかは自由であって、スチールカメラでは撮影ごとに1回使用すればよいし、8mmカメラ等の撮影機では連続的に使われるといったことがあって、測距モジュールを使ったAFカメラにはいろいろなレンズ制御方式のものが工夫されている。

4. AF の動作原理と機構

最大ピークは、被写体が最至近距離から無限遠距離のどこにあるかわからないということ、マイナーピークと呼ばれる最大のピークより低いピークがある場合があ

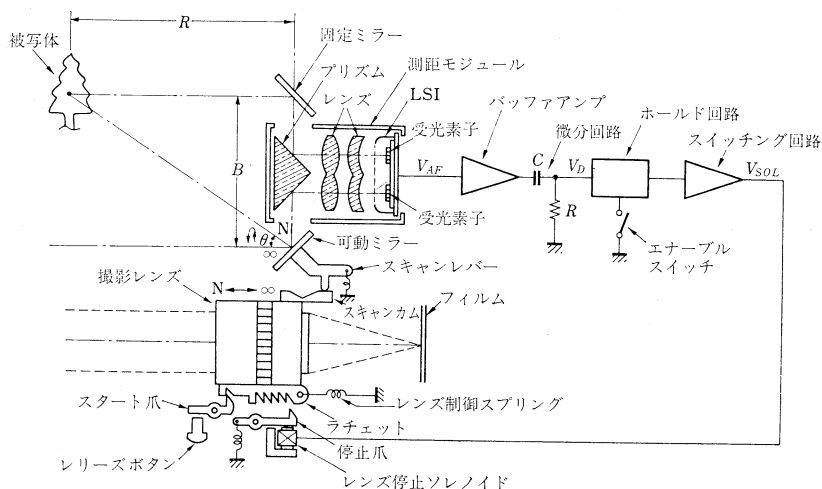


図 10 コニカ C35 AF の AF 動作原理図

て、このピークを擬似的に最大ピークとしてとらえてしまう恐れもある。これらのことを正しく知るためには、可動ミラーを最至近距離から無限遠距離までスキャンし、続いて無限遠距離から最至近距離というように往復スキャンして見ればよい。当然、往復スキャンを行えば、往きと戻りで同様なコリレーション信号を発生するが、往きのスキャンで最大ピークの存在を確認し、戻りのスキャンの最大ピークでレンズの停止信号を発生させればよい。

可動ミラーの往きのスキャンを無限側→近距離側に、戻りのスキャンを近距離側→無限側にした理由は、コリレーション信号にまったくピークがない場合、レンズは無限位置で停止するように考えたからである（内蔵され

ているストロボをポップアップするとピークがないときは無限停止とはならず 3m ストップとなる）。

図 10 に AF の動作原理図を示す。また AF 機構略図を図 11 に示す。

可動ミラーは撮影レンズと連動していて、撮影レンズの最至近距離側「N」から無限遠側「 ∞ 」への移動によりスキャンカムとスキャンレバーを通じて振られる。しかし可動ミラーは撮影レンズ $N \rightarrow \infty$ の移動に対して往復スキャンする必要があるため、スキャンカムをV形にして、撮影レンズ $N \rightarrow \infty$ の移動に対し $\infty \rightarrow N \rightarrow \infty$ のスキャンを行うようにしてある。

可動ミラーと撮影レンズの動力はレンズ制御スプリン

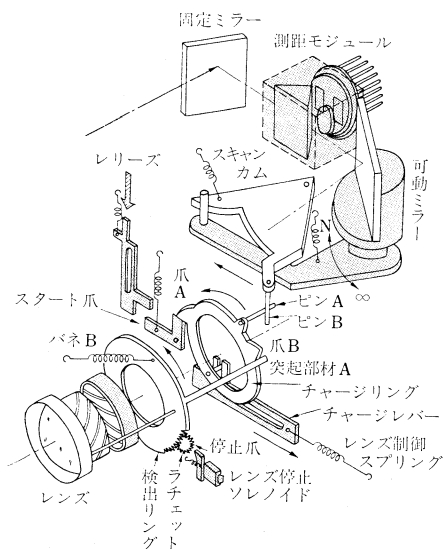


図 11 オートフォーカス機構略図

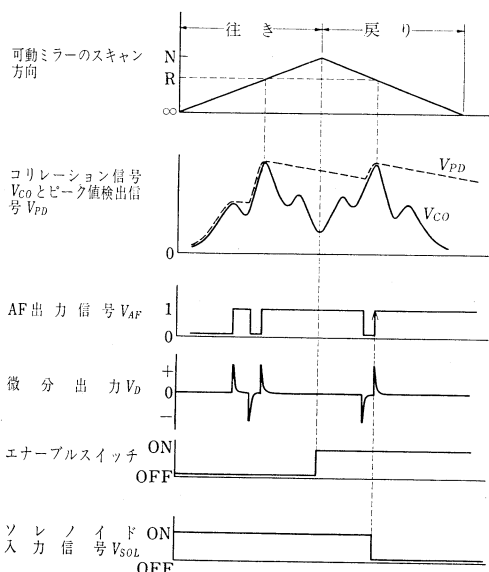


図 12 AF 回路の信号波形

グであって、フィルムが巻上げられるとシャッターがチャージされ、撮影レンズは最至近距離を越えた所まで繰出され、スタート爪によってロックされる。次にカメラを被写体に向けてリリースボタンを押すとスタート爪のロックが解かれ、撮影レンズは $N \rightarrow \infty$ 方向へ移動する。すると可動ミラーは $\infty \rightarrow N \rightarrow \infty$ 方向へスキャンするので、このときコリレーション出力は 図 12 に示すように可動ミラーの振れに対して $\infty \rightarrow N$, $N \rightarrow \infty$ の間で N に対し対称的に発生する。

そしてピーク値検出回路は、可動ミラーの $\infty \rightarrow N$ のスキャンの間で最大ピークを確認し、次に $N \rightarrow \infty$ のスキャンの間で、その最大ピークを再確認するというようにして、コリレーション信号を AF 出力信号に変換する。

AF 出力信号としては、戻りのスキャンのとき発生したものを利用すればよいが、当然、往きのスキャンの間も AF 出力信号だけを抽出する必要がある。

これは可動ミラーの往きと帰りの折返し点で ON 動作するエナメルスイッチを設け、その働きで戻りのスキャンの AF 出力信号が選択され、利用される。AF 出力はバッファアンプと CR 微分回路、ホールド回路、スイッチング回路で構成されたレンズ制御回路を通じてレンズ停止ソレノイドを OFF 動作させる。レンズ停止ソレノイドの OFF 動作で、停止爪は撮影レンズ所定の位置で止めるラチェットに飛び込む。そのため撮影レンズはフィルム上に被写体像を正しく結像させる。

もちろん、ラチェットの歯数は多いほど AF 精度が高いことはいうまでもない。コニカ C 35 AF はラチェットの歯数 $1.1\text{m} \sim \infty$ の間を 11 とした。そのため、レンズの繰出しは最至近距離から無限遠まで 11 段階に分割され制御されるが、この種のカメラでは十分な精度を保証するものである。リリースボタンを押してからレンズが停止するまでの時間は約 80ms で、この時間はレンズ停止位置精度を上げるためガバナーを使って作られるが、普通の動体撮影ではほとんど支障はない。

レンズが停止したとき、自動的にシャッターがリリースされ露出が完了する。

5. む す び

自動焦点カメラは長年の懸案であったが、その発展を阻んでいたものは、従来の技術では装置が大型化し、コストも高いため、商品化が困難であったためである。しかし現在のオプトエレクトロニクス技術は当時では考えられなかった発達を遂げ、従来試作にとどまっていた距離検出器や回路が、廉価に、かつ小型に作られるようになり、コニカ C 35 AF でその実用性が実証された。そ

のため動きがあって、笑顔がいっぱいの、自然の表情を捉えた、いわゆるカメラを意識しない写真が誰にでも撮れるようになった。これは AF カメラにより撮影者からピント調節の操作を除くことにより、撮影したい瞬間だけを狙うことに専念することができるようになったためである。

露出精度に関しては、フィルムのラチチュードによる許容範囲が広いという面があるが、ピントに関しては撮影ごとに、露出調節以上に厳しい精度で最良のピントを保証しなくてはならない。しかし、今日の AF カメラを見たとき、厳しい被写体条件では原理的な理由により、最良ピントを得ることができない場合がある。例えば、二重像合致式 AF カメラでは、次のような被写体条件の際にピント精度に誤差が生ずる場合がある。

- (1) 距離検出が光電素子によって行われるので、真暗の場合 AF 信号が出ない。
- (2) 応答限界は、被写体の明るさの他にコントラストに依存するので、白い壁のようなコントラストの低い条件では AF 信号が出ない。
- (3) スキャン方向に同一のパターンが並んでいると、最初の合致信号で AF が作動してしまう。

ここで(1)に関しては、光線を発射し、その明るさで測距する方式のものもあるが、コニカ C 35 AF は暗いためストロボを使用するので、ストロボをポップアップすると、真暗で AFI 信号が出ないとき同時にレンズが 3m にストップする構造になっていて、絞りも小絞りとなるので、ほとんど問題を生じない。(2)については、測距モジュールは肉眼で認められないほどの低コントラストも感ずるので、一般被写体ではほとんど問題が起きない。(3)については、一般被写体では発生率が低いですが、測距モジュールの原理的な問題点である。

AF カメラの今後の課題としては、前記(1)～(3)を含むあらゆる被写体条件でも完璧なピントを保証するカメラを作ることであろうかと思うが、今日の AF カメラが実用的にほとんど支障のない範囲にあることを考えた場合、完璧さを狙うあまり、メーカー本意にかたよった AF カメラを作るのではなく、現状の AF カメラを基盤として、コスト、操作および携帯性に対し、明確な思想を持ったカメラを作り、ユーザーに認められることがカメラメーカーにとって重要なことであろう。

一眼レフカメラの AF については、交換レンズを使用するためレンズのフォーカシングの重さとストロークの問題を克服しなければならないが、最近の一眼レフユーザー層の拡大から考えると、その必要性は増すであろう。それには一眼レフカメラに見合った焦点検出器の開発が望まれる。

テレビカメラの AF は現状の測距方式による AF 8 mm 撮影機の技術を使えば充分可能であるが、AF 方式が測距方式のため、焦点距離の長いレンズを使う場合、精度上の問題が起きるので、他の焦点検出手段として撮像素子の共通化利用も考えられる。

(昭和 54 年 1 月 24 日受付)

〔参 考 文 献〕

1) Dwin R. Craig: Image Sharpness Meter, Photogra-

- phic Science and Engineering, 15, 6 (1961) 337-341
2) 三協精機製作所光学事業部: サンキョウ ES-44XL VAF, 写真工業, 3 (1978) 43-45
3) ヤシカ・設計部: ヤシカオートフォーカス, 写真工業, 12 (1978) 70-74
4) 富士写真フィルム光機部技術課: フラッシュフジカ AF デート, 写真工業, 2 (1979) 70-74
5) アサヒカメラ編集部: ポラロイド SX-70 ソナーオートフォーカス, アサヒカメラ, 2 (1979) 271-278
6) 普及する自動焦点カメラ, 日経エレクトロニクス, 6-26 (1978) 165

今月の表紙

BVH-1100 タイプ“C”フォーマット

1 インチヘリカル VTR (同時再生, ダイナミックトラッキング付)

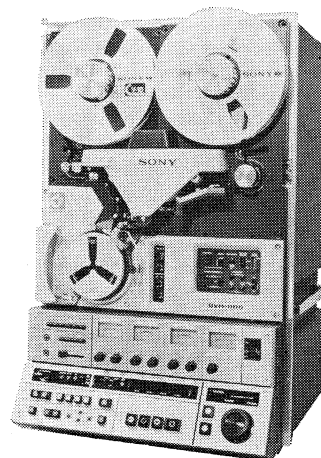
ソニー株式会社

ビデオ事業本部営業部*

1 インチビデオテープレコーダー BVH-1100 は, SMP TE より公示された公認フォーマットであるタイプ“C”フォーマットとして, すでに発売された BVH-1000 に新機能を追加して機能アップを計った, 1 インチヘリカルスキャン型 VTR です。

主な特長

- ダイナミックトラッキング機能
リバーススロー (約 1/4 倍速) から 2 倍速まで連続的にガードバンドノイズのない再生ができます。
- 同時再生機能
記録時のトラブルをチェックするためのビデオヘッドが付いていますので, 同時再生が可能です。
- 自動電子編集機能
1 台でのマニュアル編集はもちろん, BVH-1100, 2 台を使用して IN ポイント, OUT ポイント指定による自動編集ができます。



*〒243 神奈川県厚木市旭町 4-14-1
TEL (0462) 20-5932 (代表)