カメラの自動化とエレクトロニクス

——カメラの露出制御の自動化の経緯——

滝 島 芳 之*
Yoshiyuki TAKISHIMA

Key Words: Camera Electronics, Exposure Control, Electronic Camera

1. はじめに

今日ある銀塩写真の生みの親は、フランス人のジャック・マンデ・ダゲールにより、1839年ごろに完成させられたというのが定説になっている。しかし、写真術を完成させるために用いられたカメラの歴史は以外に古く、ピンホールカメラの原理は、すでに5世紀には中国の墨子によって発見されていたようである。また、今日のカメラの原形であるカメラオブスキュラはアラビアの学者であるイバン・アル・ハイザムが10世紀ごろに日食を観測するのに用いたのが初めであるらしい。

カメラは、その後、精密機械技術と光学技術の連携により、日進月歩の進歩を遂げてきたわけである。そして、1963年にアメリカのポラロイド社が、当時としては画期的な電子シャッタ付きカメラ「Polaroid Automatic 100」を発売するまではエレクトロニクスとはあまり関係のないところで発展してきたのである。

本稿では、カメラエレクトロニクスのうち、特に露出制御を中心にその発展の経緯を述べることにする。

2. カメラの構成

カメラの理解を助けるために、カメラがどのように構成され、その電子化がどこまで行われているか見てみよう。

図1はカメラの構成の概略を示したものである。A：撮影レンズで、被写体からくる光線を集め、フィルム面上に結像させるためのものであ

る。B：カメラの本体であり、カメラオブスキュラ（暗室の意）の語源からもわかるように、フィルムなどに光が入らないようにしたり、各種のユニットをしっかりと固定したりするための暗箱である。C：フィルムの給送装置で、最近ではモータによる自動巻上げ、巻きもどしを行っているカメラも多くなった。D：ファインダ光学系で、撮影画面とほぼ同視野であり、光学距離計との連動を考慮した設計がなされている。E：露出を制御するための絞りで、一般には薄い羽根を何枚か重ねて、大きさの調整できる穴を作って光量を可変する。F：露出を制御するためのシャッタで、絞りが口径の大きさを光量を制御するのにに対しシャッタは時間でそれを制御する。G：焦点調節機構で、三角測量によるものやぼけを検出するものなどがある。H：感光材料で、これはフィルムが一般的であり、フィルム上に感光材料を塗布して光の強弱や色を記録するわけである。I：ストロボ（ストロボは本来はストロボリサーチ社の商標である）は太陽光に近い光源として、室内や逆光撮影の補助光として好んで用いられるようになって

図1 カメラの構成の概略

* キヤノン(株)カメラ第4開発部 (〒213 川崎市高津区下野毛 770)。

た。J: ストロボと同じく、カメラの附属の一つで、フィルムの自動巻上げ機である。これは単なる巻上げ機から、秒間 10 数こまの高速で巻き上げるものまである。

3. 露出制御にみるカメラ自動化の歴史

カメラの電子化のうちで、古くから注目されていたものに、露出の制御がある。露出を決定するためのファクタとしては、フィルムの感度や設定した絞り値、またはシャッタースピードなどの情報と被写体輝度がある。このうち、被写体輝度はエレクトロニクスの力なしに測ることは困難であるためか、この自動化は古くから関心が持たれていた。図 2 はすでに 1929 年にイギリスにおいて出願された引伸し機に関する自動露出制御装置を示したものであり、今日の電子シャッターと思想的に類似した発明である。

カメラに最初に電気回路が内蔵されたのは

図 2 引伸し機の自動露出制御装置

図 3 セレン光電池の原理図

1935 年に発売された「Contax III」である。これは電気回路というには、あまりに単純でセレン (Se) 光電池に電流計をつけたものにほかならない (図 3)。その後、1938 年には、この電流計指針と絞り羽根を連動させた、いわゆる EE (エレクトリック・アイ) カメラがコダック社より「Super Kodak 620」の名称で発売されている。この Se 光電池は履歴現象などに問題があるため、そのほとんどが硫化カドミウム (CdS) セルにおき代わってきた (図 4)。

さて、カメラに本格的に電子シャッターを採用しようという考えはいつごろ生まれたかという、これは日本の田中善太郎氏が 1954 年に特許出願したものが最初であるが、これはアイディアで終わってしまい商品化はされなかった (図 5)。今日の電子化カメラの契機となったのは、前述の「Polaroid Automatic 100」であり、以後、多くのカメラメーカーが電子化を積極的に導入してきたわけである。

ここでは電子シャッターの基本原理の理解を助け

図 4 CdS を用いた EE 機構

図 5 いちばん古い電子シャッター (田中善太郎)

るために、この「Polaroid Automatic 100」をベースに電子シャッタの構造を述べてみる(図6)。シャッタ羽根には先幕と後幕があり、先幕は露光を開始するためのものであり、後幕はそれをしゃ光するためのものである。図ではシャッタ羽根がチャージされた状態(チャージ部材は省略)を示している。ここでシャッタボタンが押されると、先幕をクランプしていた部材が外れ、先幕はばね2の力によって動き、露光が開始されるのである。

図6 電子シャッタの基本原理 (Polaroid)

図7 トランジスタを用いた電子シャッタの基本 (デッケル)

る。これと同時に、積分コンデンサをショートしていたトリガスイッチ(S_2)が開くので、積分コンデンサには、CdSを通して電荷がチャージされるのである。このチャージアップに要する時間は被写体輝度の関数であり、明るい場合には高速になるわけである。そして、積分コンデンサの端子電圧が、シュミットトリガ回路のしきい(閾)値に達すると、回路が反転し、これまで後幕を保持していた電磁石はオフとなって、後幕はばね1の力で引かれ、露光が終了するわけである。

実は、特許的にみると、このようにトランジスタを使ったアイディアは、すでに1956年にドイツのデッケル社より特許出願されており、トランジスタが発明された1948年からわずか10年にも満たないころの発明であったわけである(図7)。

このように、カメラを電子化することにより、部品点数が削減できたり、信頼性が向上するなどの反面、すべてが回路内で処理されてしまうと、現にシャッタが何分の1秒で切れるのかも使用者にはわからなくなってしまい、おうおうにして、手振れなどを起こす原因にもなるわけである。そのため、漸次改良が加えられ、バッテリーチェッカや手振れ警告回路などを内蔵した電子シャッタ付きカメラなどが市販されるようになったのである。図8は、これらの回路を内蔵した精工舎の電子シャッタ「Seiko ES」の例を示したもので、ほかにコパルなどからもはん用の電子シャッタが発売されだした。このようにカメラの電子化は機能が増大するにつれ、回路は複雑化の一途をたどるのであるが、困ったことには、多くのカメラメーカーには多くの精密機械技術者や光学技術者はいるが、電子技術者の絶対数が不足していたのである。

しかし、幸いなことには半導体集積回路技術の進歩と半導体メーカーの助けにより、カメラの電子化は更に押し進めることができたのである。回路を小形化しようという思想は、すでに1952年ごろには、イギリス人のデューマによって発表されていたが、これが実用化されだしたのは1961年ごろである。そして、カメラの場合も、その恩恵に浴し前述のシュミットトリガ回路などは2mm角にも満たない超小形のチップに収められ、発売されるにいたったのである(図9)。

さて、これまで、カメラの受光素子としては、Se 光電池や CdS セルが一般的に用いられてきたが、実は、これらの素子には問題がないわけではなかった。すなわち、これらの素子は使いがって

は良いが、直線性や応答特性は満足のいくものではなかったのである。その点、シリコンフォトダイオード (SPD) はダイナミックレンジも広く、応答特性に優れていることも以前から知られていたが、SPD の出力があまりにも小さいことと、分光感度特性が視感度から離れているなどの理由で実用化が遅れていたのである。ところが、入力インピーダンスの高い電界効果トランジスタ (FET) の開発と、プレーナ技術の完成により、これらの問題も解決され、いよいよ SPD も実用化されるにいたったのである (図 10)。図 11 は「Fujica ST-701」に使われた例を示したもので、製品としては初期のものである。

図 8 手振れ警告回路をもった電子シャッター (精工舎)

図 9 IC 化された電子シャッター (フィリップス)

図 10 SPD の原理図

図 11 SPD を使った露出計 (Fujica ST-701)

SPD を効率よく使うためには、やはり IC のお世話になるのが手っ取り早い。SPD とモノリシック IC の組合せで、比較的初期に考えられたのが図 12 に示す、フィリップス社の「IC 390」である。この回路では FET が使われていないが、入力インピーダンスを高めるために、ダーリントン接続が用いられている。

さて、これまで外部測光の電子シャッターについて話を進めてきたが、電子化の波は当然のことながら、撮影レンズを通して測光を行う、いわゆる TTL カメラにも押し寄せてきたのである。ところが、困ったことには、TTL カメラ（その多くは 1 眼レフである）では、撮影開始の直前に、受光素子を撮影光路からどけなければならないのである (図 13)。もちろん、シャッター幕やフィルム面の反射光を直接積分する方式の測光法もなくはないが、その回路はこれまで述べてきたものとあまり変わらないので解説は省略する。

さて、TTL 測光の場合に結論から言えば、撮影開始の直前に、これまで受光素子に入っていた情報を、何らかの形で記憶しておかなければならないということである。その記憶についての比較的古い特許を図 14 に示し、参考までに、完成されたコンデンサ記憶の具体例を図 15 に示す。

さて、コンデンサ記憶も、ここまでくれば製品として少しもそんな色のないものができるわけであるが、コンデンサ記憶の場合、長い時間記憶を保持しておくような使い方には不向きである。ま

図 12 SPD を使用した電子シャッターの例 (IC 390)

(a) 記憶が必要な方式

(b) フィルム面反射光測定方式

図 13 TTL カメラの受光素子の位置

た、回路をすべてアナログ的に処理することも、システムの発展を考える上では困難である。そのようなわけで、カメラの電子回路も、飛躍を遂げ

図 14 記憶式電子シャッターの基本特許 (旭光学)

なければならない時期に差し掛かってきたのである。

4. カメラの電子化はここまできた

電子化カメラは時代の脚光を浴び、電子シャッター付きであるという理由で購買心をそそった時代もあった。しかし、一方では電子シャッター付きカメラは高価であったり、仕様の面でも今一步という状態であったことも否めなかった。そして、そんなとき、ふたたびセンセーションを巻き起こして登場したのが、ポラロイド社から 1973 年に発売された「SX-70」である。このカメラは即時現像カメラの欠点であった廃棄物を全く出さないばかりか、内部のシーケンス制御をすべて電子的に行った画期的なものであった (図 16)。

内容を理解するために、簡単に内部構造に触れてみると、このカメラは 3 個のモジュールからなり、トランジスタの数に直すと、約 400 素子で構成されている。モータ制御モジュールはミラーの上下動や出来上がった印画の送り出しなどを行

図 15 記憶式電子シャッターの例 (キヤノン)

図 16 Polaroid SX-70 の構成

図 17 モータ制御モジュール

い、回路はリニア IC と PNP トランジスタにより構成されている。そして、これは露出制御部よりのわずかな信号でモータをオン・オフできるようになっている (図 17)。PNP トランジスタはダイナミックブレーキ用で、停止信号が出てから、わずか数回転でモータを停止できるのである。露出制御モジュールは、これまで述べた電子シャッター機能のほかに、各種のシーケンス制御を行うもので、ミラーの振動吸収の待ち時間を作ったり、フラッシュの同調時間を作るなどの機能も合わせ持っている (図 18)。

フラッシュ制御モジュールは単にバルブを発火させるだけでなく、バルブの装着の有無や、バルブの良品の検出も行っている。また、安全対策として、バルブの電極が溶着してしまったときに、大電流が流れたり、チップ内温度が上昇したりするので、それを検出して、自動的に電流をしゃ断するようなことも行っている (図 19)。

このほかにも「SX-70」では、機能の一部を単に電子回路に置き換えたのではなく、システムチ

図 18 露出制御モジュール

図 19 フラッシュ制御モジュール

図 20 高度な電子化を行ったカメラ (Canon A-1)

現在、カメラには、そのほとんどが、カスタム IC を搭載している。もちろん、はん用のマイクロプロセッサも使えなくはないが、周辺 IC が増えたり、電源問題などから、今一步というところであった。しかし、最近、8ビットの A/D 変換器、タイマ、LCD ドライバなどを内蔵したはん用のマイクロプロセッサも市販されるようになったので、カメラに、これらが搭載される日も遠くはないかもしれない。

銀塩写真と非銀塩写真の大きな違いは、解像力が非銀塩写真に比べて現段階で格段に優れていることである。これは CCD の絵素数が歩どまりの関係から、あまり多くできないためであり、やが

ては半導体技術の進歩が、これを解決してくれることであろう。

では、現状の非銀塩写真が不満足なものであるかといえば、そうではなく、テレビで見ると、VTR の静止画像に比べて優れているし、ハードコピーにしても、十分実用になるぐらいの水準に達しているのである。

そのうえ、非銀塩写真は

(1) 即時性がある、(2) 画像の合成や色調のコントロールが可能である、(3) 電話回線を利用して電送もできる、(4) 消却可能である、(5) 一枚あたりのコストが安い、(6) 保存性がよい、(7) 家庭のテレビディスプレイ、マイコンなどとのホームエレクトロニクスとの結合が考えられる、など、多くの優れたメリットがあるため、近い将来、銀塩カメラの一部は、この種の電子化カメラに置き換わるかもしれない。

6. おわりに

以上カメラの電子化の歩みについて述べてきたわけであるが、カメラは当初エレクトロニクスとは全く無縁のところから出発したが、現在では、カメラの中核はエレクトロニクスが支配するまでになってしまった。

そして、カメラメーカー間の競争は、電子化の度合を競うことから脱皮し、エレクトロニクスをいかにうまく取り入れたシステム設計が行えるかにかかってきた。

また、一方、「MAVICA」のような純電子カメ

図 22 非銀塩カメラ (Sony)

ラも出現し、カメラメーカーがどう取り組むか問題になるであろう。

このような中で、10 年後のカメラがどのようなになっていくか、予想するのは困難であるが、いずれにしてもカメラとエレクトロニクスの関係はますます密接なものとなっていく、われわれの想像を越えたカメラが生まれてくることを期待して筆をおきたい。

(原稿受付 昭和 57 年 5 月 10 日)

参考文献

- (a) 滝島, 写真工業 (53 年 4 月) より連載, カメラエレクトロニクス入門.
- (b) 滝島, カメラエレクトロニクス入門心得帖, (昭 57-8), オーム社.
- (c) Murphy, H. and Steffe, W., *IEEE Int. Solid-State CKTS Conf., Ses. XIV* (1973).
- (d) B.P. (イギリス) 344 900; J.P. (日本) 昭 32-7989; D.P. (ドイツ) 1095 107.

労働生産性の国際比較調査

日本生産性本部ではこのほど先進 6 箇国の労働生産性の国際比較調査結果を発表した。

それによると、伸び率では欧米諸国をしのいでいるものの、労働生産性の水準値では及ばないという実態が明らかになった。

すなわち、全産業労働生産性の水準はわが国の 100 に対して、アメリカは 157、西ドイツは 139 と大きく日本を上回っており、とくにわが国は農林水産、建設業などの立ち遅れがめだっている。

この調査研究は日本生産性本部が財団法人産業研究所の委託をうけて実施したもので、1973 年以降の日

本、アメリカ、西ドイツなど先進 6 箇国の付加価値ベースの労働生産性を調査したものである。

そこで日本がアメリカをはっきり上回っているのは、鉄鋼 (アメリカは日本の 66%), 自動車 (同 99%) の 2 業種だけで、日本が激しく追いつけているが、電気、精密、一般の各機械は、まだアメリカが 5~28% 高い水準にある。

一方、衣服、紙・パルプ、非鉄などの分野では 10 年前の 1970 年時点と比べ、日米格差はむしろ拡大している。

〔服部 敏夫〕