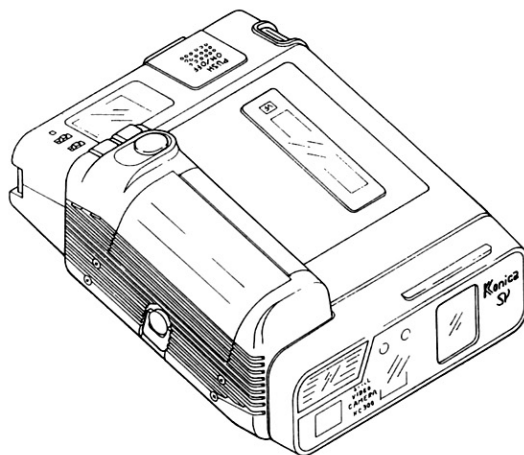


スチルビデオカメラの露出制御システム

Exposure Control System in Konica Still Video Camera KC-300

磯口成一
高山 淳
山田正志
技術研究所



Abstract:

A highly accurate exposure control system using a frame interline transfer (FIT) CCD image sensor is proposed for consumer still video cameras.

In a still video camera, a solid state image sensor, for instance a CCD, is generally used as an input device. This sensor requires highly accurate exposure control with an error margin of less than $\pm 0.2 \sim 0.3 \text{EV}$. It is difficult to achieve such accuracy at low production cost using mechanical shutter system.

In our system, an electronic shutter, which is a feature of the FIT CCD image sensor, is used instead of a mechanical shutter. The exposure error of the electronic shutter is much lower than that of mechanical shutter systems used in conventional still video cameras. Moreover, this electronic shutter can be used with flash at shutter speeds of up to about 1/500s. The accuracy of this system is much higher than that of a mechanical system, and the system has the further advantages of smaller size and lower cost compared to conventional automatic control systems.

For efficient simplicity, the iris system is constructed of an F2.8 solid aperture and an F5.6 and F11 moving aperture unit controlled by two solenoids for aperture selection. Although the system is simple and compact, it is highly accurate.

Isoguchi, Seiichi
Takayama, Jun
Yamada, Masashi
Research & Development center

1

まえがき

ビデオフロッピーディスクに静止画を記録して、テレビなどで楽しむ将来のカメラであるスチルビデオカメラは、まず報道用などのプロ用が各社から発売され、当社もKC-400を開発・発売した。

その後、カシオから民生用の1号機としてVS-101が発売され、他社も、民生用のカメラを発売するなど、スチルビデオカメラが、民生用映像機器の新しい市場を形成すると期待されている。

スチルビデオカメラには撮像素子として、CCDなどの固体撮像素子が使われているが、CCDはラチチュードが狭く、高精度の露出制御が要求される。ところが、従来の機械式シャッターでは、露出精度と小型化を両立させるのが難しく、民生用スチルビデオカメラ開発の障害になっていた。

当社では新たに開発したKC-300では、CCDの電子シャッター機能を使うことにより、機械式シャッターを不要とし、精度と小型化の問題を解決している。

ここでは、CCDの電子シャッター動作を中心に、KC-300の露出制御システムについて紹介する。

2

スチルビデオカメラ KC-300のシステム

2.1 KC-300の概略

はじめに、KC-300の概略を、Fig.1に従って説明する。

レンズと絞りを通過した被写体の光の信号は、CCDにより電気信号に変換され、ビデオ信号処理された後、FM変調され、記録アンプによりビデオフロッピーディスクに、磁気記録される。フロッピーディスクは、スピンドルモーターとサーボ回路により3600rpmで定速回転している。

また銀塩カメラと同様に、露出を決めるための測光回路と距離を測る測距回路、ストロボ回路などがあり、全体のシーケンスコントロールはメインCPUが、液晶表示とカレンダー処理はサブCPUが行っている。

なお、図中の再生ユニット (KP-300) は、KC-300と接続し、記録画像を再生するもので、KC-300からのRF信号を、FM復調し、NTSCビデオ信号として出力する。

2.2 KC-300の特徴

KC-300の特徴を、次に示す

- (1)小型 (145×114×55mm)
- 軽量 (約500 g 電池除く)
- (2)CCD電子シャッターによる高精度露出制御
- (3)逆光時・近接撮影時のストロボ自動発光機能
- (4)高速連写 (秒20コマ)

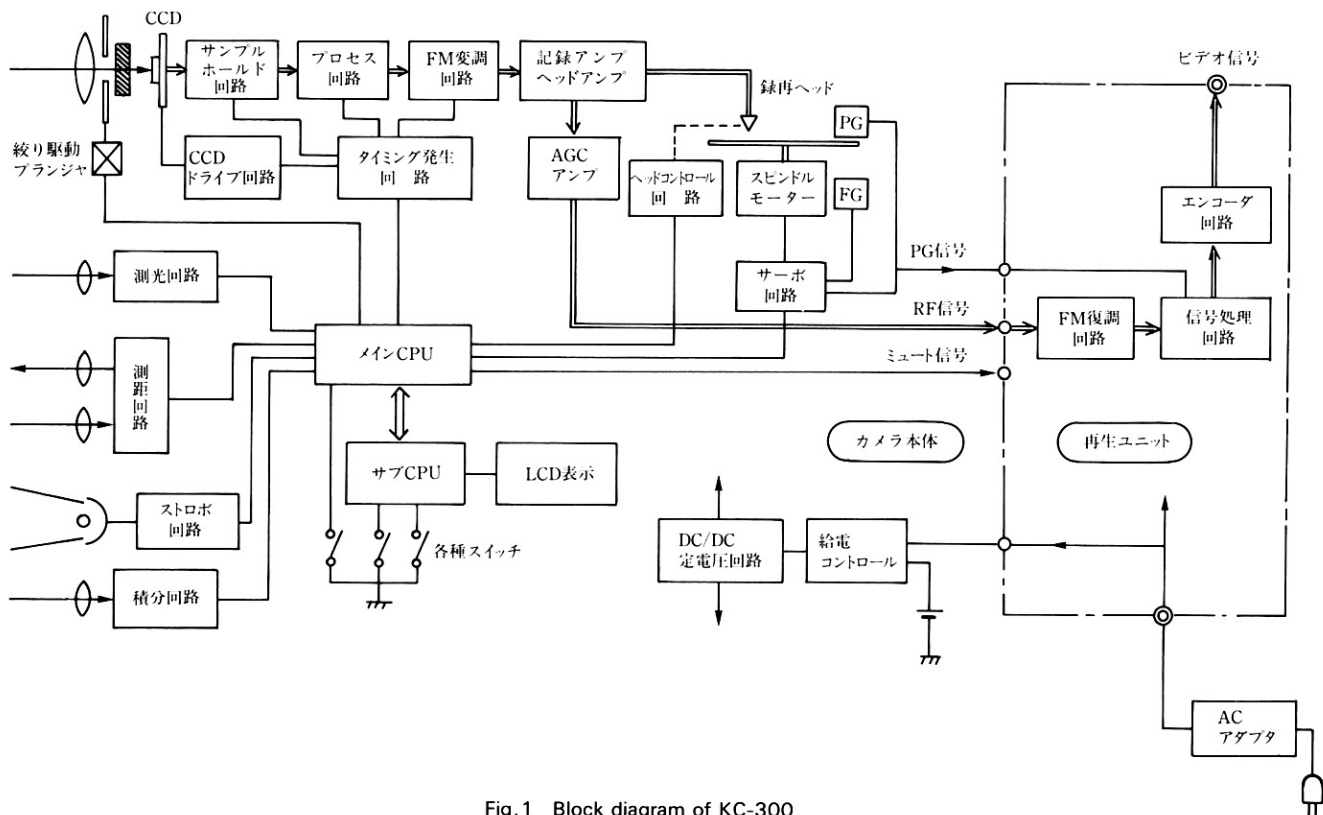


Fig. 1 Block diagram of KC-300

(5)オートデート写し込み機能

(6)再生ユニットを接続しての再生機能

3

露出制御の概略

Fig.2は、KC-300のフロントユニットで、露出制御に必要な機能をすべて含んでいる。これらについて、Fig.3に従って説明する。

赤外LEDと2分割フォトダイオードによる測距装置は、ストロボ撮影時の絞り選択のための測距信号をCPUに送り、分割測光回路は、逆光の自動判定を行うための輝度

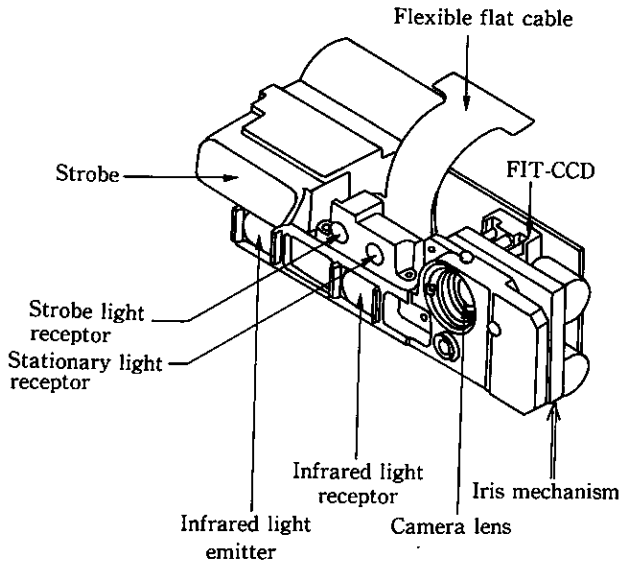


Fig.2 Schematic diagram of front unit

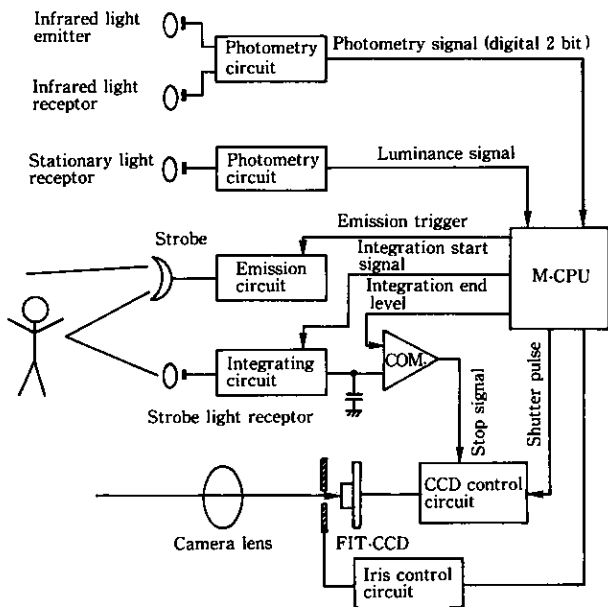


Fig.3 Block diagram of exposure control system

信号をCPUに送る。

CPUは、これらの信号を処理し、絞りとシャッター速度を決め、必要に応じてストロボを発光させる。

KC-300では、絞りとしてプランジャー駆動による小型絞り機構が、シャッターとしては、FIT-CCD (Frame Interline Transfer CCD)による電子シャッターが使われている。これらの特徴を従来技術と比較して、Table1に示す。

Table 1 Features of iris and shutter

a. Iris mechanism

Mechanism Items	Automatic iris	Iris mechanism of KC-300
Driving method	Voltage-impression type analog method	Plunger ON/OFF type digital method
Movable blade	5-6 sheets	1 sheet
Accuracy	Any F-value can be selected, but an accuracy is poor.	Only 3 kinds of F-values are selected, but an accuracy is high.
Cost	Expensive	Cheap

b. Shutter mechanism

Mechanism Items	Focal plane shutter	FIT-CCD electronic shutter
Accuracy	Dispersion caused by unstable shutter curtain speed	Dispersion of clock in control circuit
Continuous shot	10 frames per second due to shutter charge	60 frames per second theoretically
Photographing with strobe	To be controlled at strobe side. Shutter speed usable is synchronizing speed or slower speed than that.	Photographing with strobe is possible with shutter closed. To be synchronized up to about 1/500 sec.
30. Cost	31. SV.....¥15,000 SLR.....¥2,000	Down to low cost owing to improvement in yield of CCD.

4

絞り機構

Fig.4(a)は絞り機構で、F11とF5.6の穴のあいた可動羽根(斜線部)と2個の駆動レバーおよびこれらを駆動する2個のプランジャーからなる。斜線部に隠れた破線の穴は、固定羽根にあるF2.8である。

動作を説明すると、Fig.4(a)の様に、プランジャーA、B共にOFFしていると、固定羽根のF2.8の穴を可動羽根がふさぎ、絞りは閉じた状態にある。

次に、Fig.4(b)の様に、プランジャーAのみ、ONすると、駆動レバーAが動いて可動羽根を上へ逃がし、固定絞りの穴が有効になり、F2.8になる。

逆に、Fig.4(c)の様に、プランジャーBのみ、ONすると、

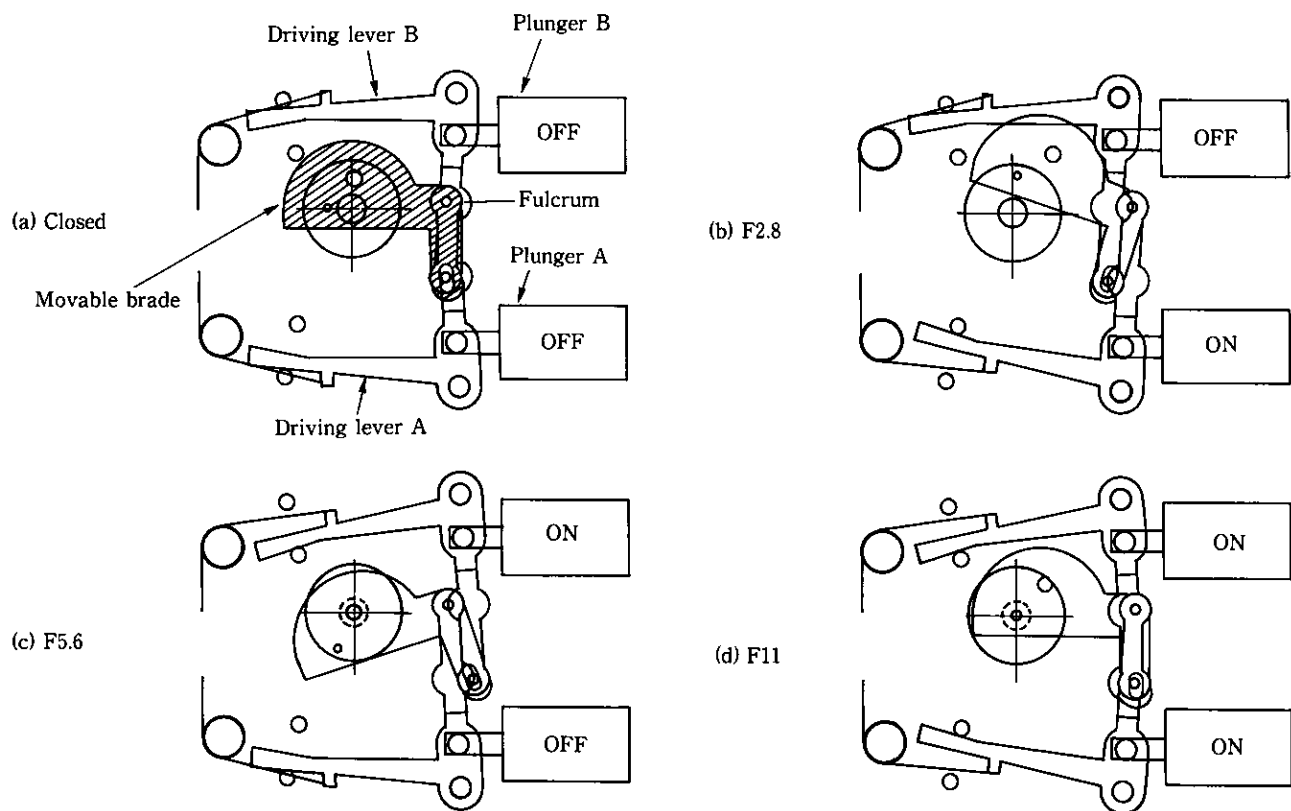


Fig. 4 Mechanism and operation of iris

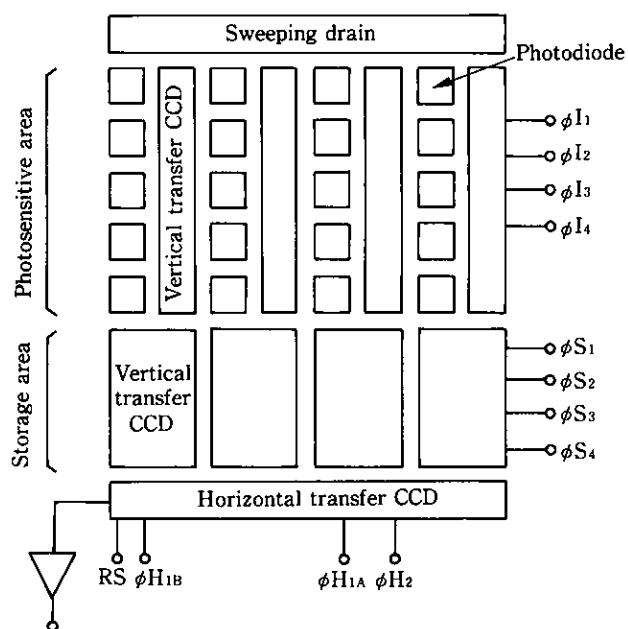


Fig. 5 Structure of FIT CCD

駆動レバーBが動いて可動羽根が下に動き、可動羽根のF5.6の穴が固定羽根のF2.8の穴に重なるため、絞りはF5.6になる。

そして、Fig.4(d)の様にプランジャーA、B共にONすると、駆動レバーA、B共に動いて可動羽根が右に動き、可動羽根のF11の穴が固定羽根のF2.8の穴に重なるため、絞りはF11になる。

以上の様に、非常に簡単な構造で、高精度の絞り値が得られると同時に小型なため、KC-300の様な斬新なデザインが可能となった。

5

FIT-CCDによる 電子シャッター機能

5.1 FIT-CCDの構造

Fig.5に示す様に、FIT-CCDは、光の信号を電荷に変えるフォトダイオードと垂直転送CCDからなる感光部、得られた電荷を蓄える蓄積部、電荷を1画素ごとに読み出すための水平転送CCD、不要な電荷を掃き出すための掃き出しドレインなどからなる。

5.2 FIT-CCDの動作

次に、電子シャッター動作を説明する。Fig.6の左から右に時間の推移をとり、各時刻におけるCCDの状態をFig.7に示す。まず、CPUからFig.3のCCD制御回路にシャッターパルスが入力される前、 $t=t_1$ において、Fig.7-(a)の様に、CCDには不要な電荷が存在する。 $t=t_2$ において、シャッターパルスが入力されると、これらの不要な電荷は、Fig.7-(b)の様に、垂直転送CCDを経て掃き出しドレインに掃き出され、フォトダイオードは空になる。これが、シャッタ

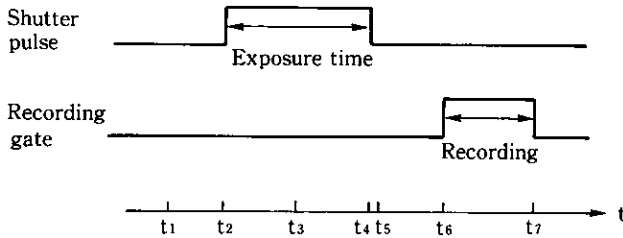


Fig.6 Timing chart of electronic shutter

ーを開いたタイミングになる。シャッターパルスが入力されている間、Fig.7-(c)の様に、フォトダイオードに信号電荷が蓄積され ($t=t_3$)、 $t=t_4$ において、シャッターパルスが、“L”になると、Fig.7-(d)の様に、信号電荷は垂直転送CCDに転送されその直後、 $t=t_5$ において、Fig.7-(e)の様に、蓄積部に転送される。これがシャッターを閉じたタイミングになる。

その後、 $t=t_6$ において、記録ゲートが開くと、水平転送CCDを経て、1画素ずつ読み出される。そして、 $t=t_7$ ですべての画素が読み出され、一連の動作が終了する。以上の様に、シャッターパルスが入力されている間が露光時間になるため、メカシャッターに比べ、高精度な露出制御が可能となる。

5.3 FIT-CCDによるストロボ撮影

銀塩カメラのストロボ撮影は、フラッシュマチック制御かオートストロボによるが、前者は精度の点で、後者はコストと大きさの点で、KC-300には適用できない。そこで、前述の電子シャッター動作を使って、ストロボ光

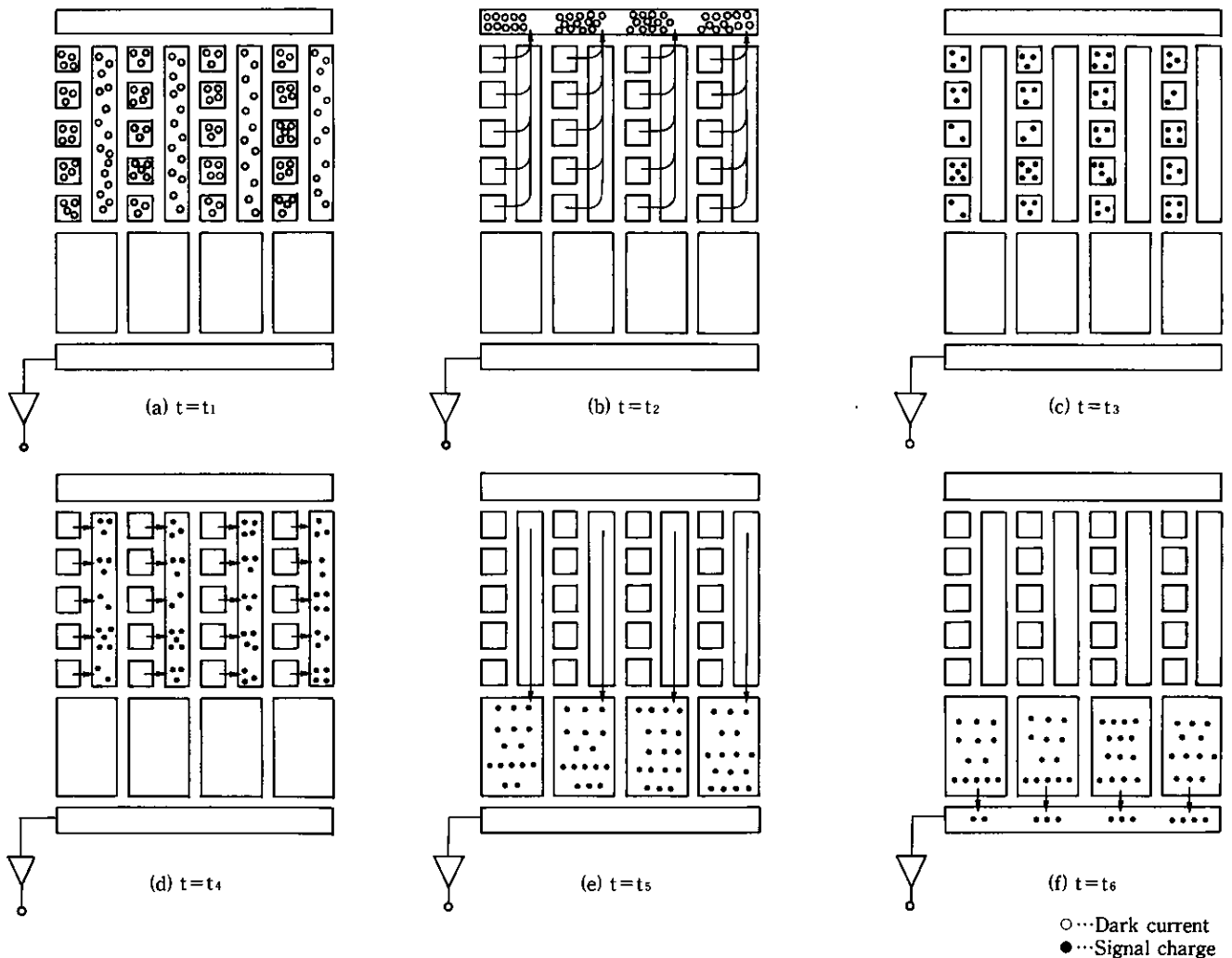


Fig.7 Operation of FIT CCD

による露光量が適正になったところで、電子シャッターを閉じることにより高精度なストロボ撮影を可能にした。これを、Fig.3 と Fig.8 に従って説明する。

Fig.3のCCD制御回路は、CPUよりストロボを発光させることを入力しておく、シャッターパルスの立ち下がり露光を終了せず、ストップ信号により、露光を終了する様に動作する。Fig.8の左から右に時間の推移をとり、詳しく説明すると、 $t=t_1$ においてシャッターパルスが入力されると、不要な電荷が掃き出され、露光が開始される。次に、定常光による露光時間（例えば、 $T_1=1/60$ 秒）が経過した $t=t_2$ において、CPUが、シャッターパルスを“L”にし、発光トリガを出力しストロボを発光させる。そして、被写体からの反射光を積分し、 $t=t_3$ において、CPUが決める積分終了レベルに達すると、コンパレータ（COM.）からストップ信号がCCD制御回路に入力され、信号電荷が転送され、露光が終了する。その後、 $t=t_4$ までストロボは、発光し続けるが、画像を形成するのに使われたのは、Fig.8の斜線の部分だけである。ここで、被写体は暗いため、 T_1 の時間の定常光による信号電荷は、 T_2 の時間のストロボ光による信号電荷に比べ少ない。

以上は、暗い場合だが、逆光の様にも明るい時でも、シャッターパルスの幅が短くなるだけで、1/500秒程度のストロボ撮影が可能である。

このように、FIT-CCDの電子シャッター機能を使えば、従来のメカシャッターでは、とうてい不可能であったストロボ撮影が可能である。

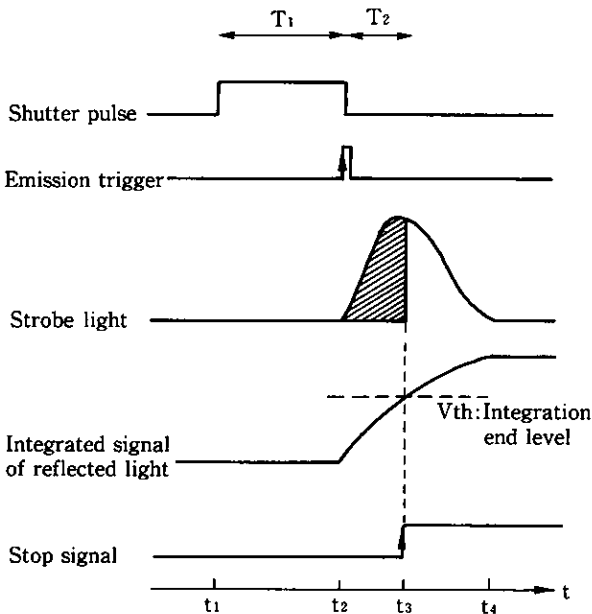


Fig.8 Timing chart of exposure with built-in strobe

6

KC-300の写真空間

横軸に被写体距離、縦軸に被写体輝度をとった平面を写真空間と呼んでいるが、KC-300がこの空間を、どのように分割し固定焦点ながら、0.5mから無限遠までの被写体を撮影可能としているかを説明する。

まず、KC-300の過焦点距離を計算すると、

レンズの焦点距離 $f = 11.727\text{mm}$

開放絞り値 $F = 2.8$

許容錯乱円 $\epsilon = 0.02\text{mm}$

過焦点距離 $X = f^2 / (F \cdot \epsilon)$

により、 $X=2.5\text{m}$ となり、この位置にレンズのピントを合わせれば、絞りが開放 ($F=2.8$) でも、1.2mから無限遠までピントが合うことになる。この1.2mというのは、次式の前側被写界深度から計算される。

$$\text{前側被写界深度 } X_n = \frac{X \cdot f^2}{f^2 + \epsilon \cdot F \cdot (X - f)}$$

また、この式により、前側被写界深度は、 $F=5.6$ で、0.8mに、 $F=11$ で、0.5mまで広がるのがわかる。これを、Fig.9に示す。

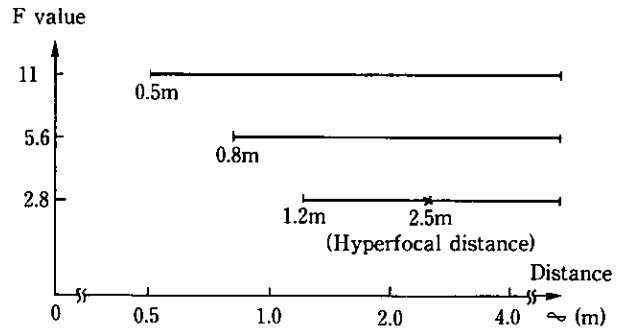


Fig.9 Depth of field at each F-stop

一方、KC-300に使われている、ガイドナンバー $G_{NO}=10$ 程度のストロボは、発光の立ち上がりが急なため、発光直後にさきほどの、電子シャッター制御を行うと、積分回路の誤差の影響が大きくなる。

そこで、ストロボ光の約50%から100%を、画像を形成するのに使う様になると、

有効光量 $G_e = (0.5 \sim 1.0) \cdot G_{NO}$

絞り値 $F = 2.8, 5.6, 11$

被写体距離 $D = G_e / F$

の関係式から、各絞りにおけるストロボ撮影範囲は、Fig.10のようになる。図の破線の部分は、積分回路の誤差の影響が出始める距離である。

以上の2点から、KC-300では写真空間を3種類の絞りとストロボのON/OFFから、Fig.11のように6分割している。

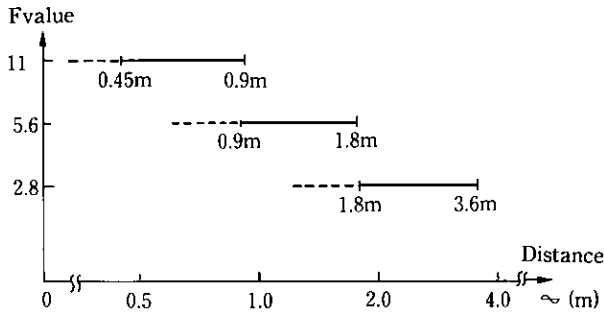


Fig. 10 Range of correct strobe exposure at each F-stop

Fig.12は、ストロボOFF時の露光プログラム線図であるが、EV14以上では絞りがF11なので、0.5mから無限遠までピントが合うことが、Fig.9からわかる。次に、EV11以上EV14未満では、F5.6なので、Fig.9から0.8mから無限遠までピントが合う。しかし、この輝度において、0.8mより近い被写体はピントが悪くなるため、F11に絞り込んでストロボを自動発光させて、被写体をシャープに写す。同様に、EV9以上EV11未満では、F2.8なので、Fig.9から1.2mから無限遠までしかピントが合わない。そこで、Fig.9の被写界深度とFig.10のストロボ撮影範囲を考慮して、0.8mから1.6mはF5.6で、0.5mから0.8mはF11で、ストロボを自動発光させる。さらに暗く、EV9未満では、距離に応じて絞りを選び、ストロボを発光させている。

このように、KC-300ではストロボを自動発光させて、固定焦点ながら、0.5mから無限遠まで撮影可能としている。

7

まとめ

以上、民生用スチルビデオカメラKC-300の露出制御システムについて概説した。小型絞り機構とFIT-CCD電子シャッター機能により、高精度な露出制御と、他社にないストロボ光制御が可能となり、小型化・軽量化が、実現された。

最後に、KC-300の開発に多くの方々へ御協力、御指導いただいたことを、深く感謝いたします。

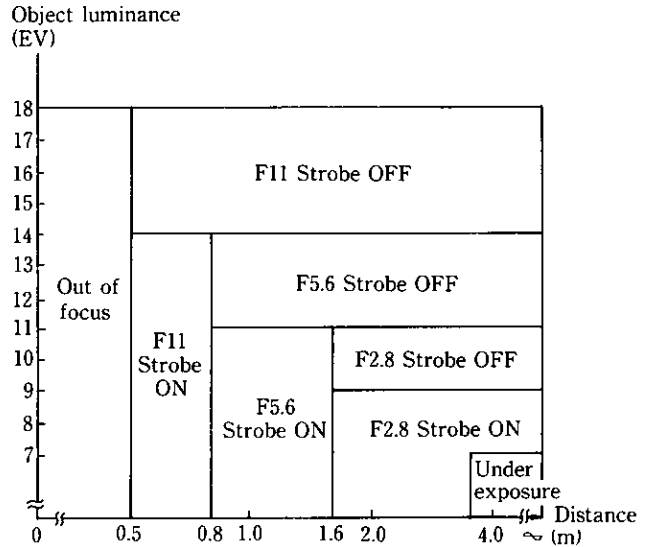


Fig. 11 Photographic space of KC-300

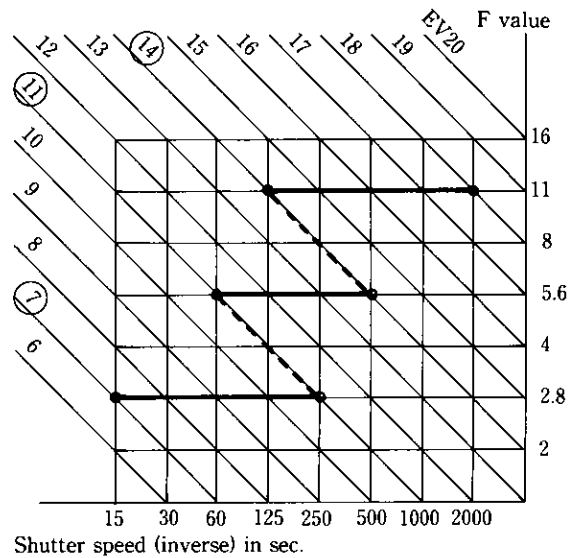


Fig. 12 Program chart of exposure control (without using built-in strobe)