

## 調 査

1/500 秒, 1/1,000 秒! シヤッターはわれわれの感覚を絶した短い時間を刻んでゆく。日常生活の手の届く範囲で、これほどの時間量を問題にする必要はこれをおいては先ずなからう。しかし果してこれはそのまま信用すべき数字であるか? あるいは公約として、その裏に潜む一切の意味をあわせ考量すべきであるか? 見逃されやすいシヤッターの性能を今一度振り返つて見よう。

## 1 ま え が き

寫眞機用シヤッターは、感光膜に當る光の量を時間的に調節し、適當な露出を與えることを目的とする。感光劑の感度が低かつた頃は、レンズにかぶせた蓋を撮影の際手で取除けて數秒間の露出を與えるという簡単な方法でも事足りた。寫眞技術の進歩と共に、短時間の露出を適確に與える必要から、種々の構造のシヤッターが發明考案されて、現在では露出時間としては 1~1/1,000 秒の範圍にわたつてゐる。シヤッターの種類を大別すると大體次のように分れる。

- (1) 取付けシヤッター (Attaching shutter)
- (2) レンズ・シヤッター (Between-the-lens shutter)
- (3) フォーカル・プレーン・シヤッター (Focal plane shutter)

次にシヤッターとして要求される諸條件を挙げれば、

1. 効率が良いこと、2. 露出時間が表示値に對して正確なこと、3. 露出時間の變化範圍が大きいこと、4. 閉じている時遮光が完全であること、5. 露出の際カメラに振動または動搖を與えないこと、6. 姿勢差によつて機能に變化がないこと、7. 溫度差による機能變化がないこと、8. セルフタイマーを備えていること、9. フラッシュ同調裝置を有すること、10. 操作簡單で作動確實なこと、11. 耐久性があること、等々である。

これら各種のシヤッターは長年月の間に次第に改良を加えられて、徐々ではあるが着實な發達の過程をたどつてゐる。最近 10 年間の發達狀況を見るに、我が國では戦前の外國製品の模倣の域を脱していないが、米國においては戦時中の厳しい要求に迫られて相當の發達を遂げている。1940 年以前にはシヤッターに關する完成された理論體系や試験方法はどこの寫眞工業界にもなかつた

## 寫眞機用シヤッター

植 村 恒 義 (精密)

が、今次大戰中米國においては航空寫眞用カメラの必要性から、組織的な研究が行われ、レンズ・シヤッターおよびフォーカル・プレーン・シヤッターの兩者に適合する一連の理論、試験方法および裝置が確立された。

さらにシヤッターの効果、材料、構造、使用法等の研究はシヤッターの進歩をもたらしつてゐる。たとえば鋼製に較べて輕くて強度も強い Be-Al 合金製のシヤッター羽根を使用することによつて、慣性能率を減少させ、シヤッター速度を從來の 2 倍近く増加させることに成功しまた複式スリットをもつたフォーカル・プレーン・シヤッターや、多層回轉圓盤によるシヤッター等も考案された。また航空カメラ用大型シヤッターとして、よろい戸式シヤッターが實用化された。なおまた從來のシヤッターを使わない Shutterless Strip Camera なるものが考案され、航空寫眞用として非常に優秀な性能を發揮している。

以下各種シヤッターの構造、特性、試験法等について簡単に説明する。

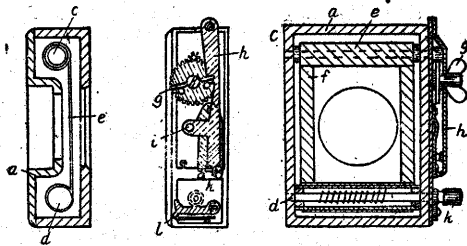
## 2 取付けシヤッター

この種のシヤッターはレンズの直前または直後に取付けて使用する。

## (a) ソルントン・シヤッター (Thornton shutter)

取付けシヤッターの代表的なもので組立暗箱カメラに用いる。第 1 圖に示すような構造をもち最も簡単なシヤッターである。黒幕 e の中央部に孔があり、ねじ g をまわして巻上げると黒幕でレンズを蔽ひ光を通さないが、止め金 h をはずすと幕が下りて、孔がレンズの前を通過する間だけ露出され、再び黒幕で蔽われるようになってゐる。下軸 d の内部にバネがあり、幕を巻上げるとこれを引下そうとする力が働く。このバネの張力をツマミ、

kで調整して露出を變化できる。普通ゴム製リリースでhを外す。



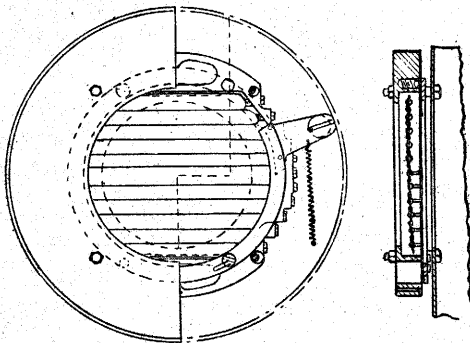
第1圖 ソレントンシャッターの構造

### (b) サイレント・シャッター (Silent shutter)

これは寫場における人物撮影専用で、音がしないのが唯一の特長で、速い瞬時露出はできない。

### (c) よろい戸式シャッター (Louvre shutter)

これは大口径レンズに用い高速度露出を行うために作られたもので、航空カメラ用として適している。第2圖はその1例で、短冊形金屬薄板を、よろい戸式に何枚も並べ、同時に各薄板を回轉させて露出を行う。



第2圖 よろい戸式シャッターの一例

## 3 レンズ・シャッター

レンズ・シャッターは2〜5枚の金屬羽根の開閉により露出を行うもので、レンズ系の中に入れて使用する。羽根の開閉にある時間を要するのでフォーカル・プレーン・シャッターほど速い露出はえられない。

この種のシャッターでは瞬時露出の外にタイム露出およびバルブ露出ができるようになっているのは周知のとおりである。

### (a) レンズ・シャッターの種類

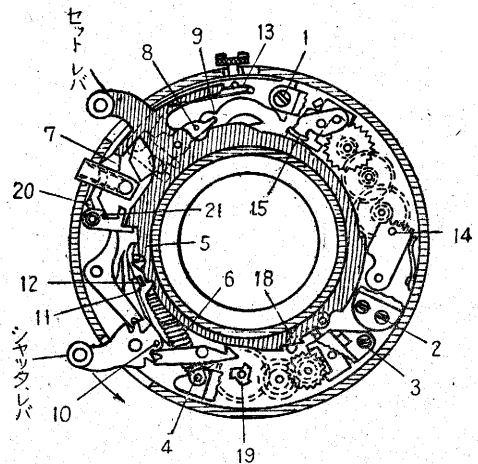
大別すると單動式 (Ever-set type) とセット・レバー式 (Preset type) に分れる。前者はシャッター・レバーを押すと、まず内部のバネにあらかじめ張力を加え、次の段階ではこの張力によって羽根を開閉させるもので、そのため作動がやや重く、またカメラぶれを起す恐れがあるので強いバネを使用できないから高速度露出はできない。しかし1回の操作で撮影が済む點は簡便である。

セット・レバー式はあらかじめセット・レバーによつ

てバネに張力をかけて、次に、シャッター・レバーでは羽根の止めを外してやるだけの動作なので、シャッターは軽く作動し、カメラぶれも少く、また強いバネを使つて高速度露出が可能になる。

### (b) レンズ・シャッターの構造

この種シャッターの構造には種々の考案があり相當複雑であるが、その代表的例としてコンパー型シャッター (Compur shutter) の構造について述べる。第3圖はその内部構造を示す。両端を1および2のネジで取付けら



第3圖 コンパー型シャッターの内部構造

れた部分が緩速度装置の齒車群で、上部にエスケープメントのアンクルをもつ。3と4のネジで取付けられた部分はセルフタイマーの齒車群で、右端にアンクルが見えている。レンズ洞の周圍をめぐり左上に伸びてセット・レバーとなつてゐるのがセット・リング5で、その前に置かれる露出調節環と組合わさつて複雑な諸動作をつかさどる。リング5は常にバネ6により引張られ反時計方向に廻ろうとするが、4の先端の凹みが噛合えば5の動きをとめる。シャッター・レバーを矢印方向に押せば4は外れて5は廻り、この間シャッターが作動するわけである。

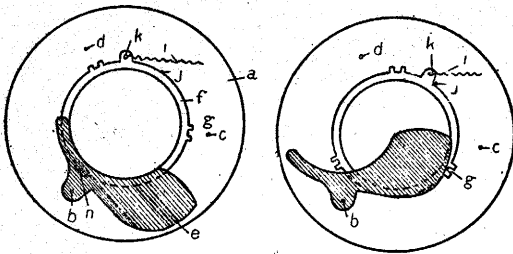
各種の露出は露出調節環のカム板の位置で決まる。第3圖は調節環をタイム露出の位置に置いた状態であつてシャッター・レバーを押すと、11を押上げ羽根開閉輪が廻つて羽根が一せいに開き、開き切つた位置で止金がかかり止る。

ふたたびレバーを押すと羽根開閉輪の止めが外れて閉じる。

バルブ露出では羽根が全開しても開閉輪に止金がかからず、従つてレバーを離すと羽根は閉じる。

1〜1/10秒までの緩速度露出は、緩速度装置で行う。扇形齒車のピン14が露出調節環の位置に応じてその動きが制限され露出を變化させる。アンクルはたえず齒車に噛合つていて緩速度を出す。1/20秒以内の瞬時露出の場合、アンクルが星型齒車から外れる、従來はこの

種のシャッターでは最高速度 1/500 秒が限度であつたが最近 Eastman Kodak 會社により 1/800 秒までの高速シャッターが完成した。第4圖は羽根開閉輪と羽根との關係を示す。



第4圖 コンパー型シャッターの羽根の作動を示す

#### 4 フォーカル・プレーン・シャッター

##### (a) 種類および特徴

これは感光面の直前即ちレンズの焦點近くに置くシャッターであつて、二つの黒幕の間に間隙を設け、これを感光面を横切つて動かし露出を與える。露出を變化させる方法には、a) 幕の間隙は一定でバネの力を變え幕速を變化させる。b) バネの力は一定にして置き、間隙の幅を變える。c) 兩者を組合せたもの等がある。

c) の型式では露出時間が非常に廣範圍にまた非常に細かに變化させることができ、1/1,000 秒内外の高速露出も容易で、レンズ・シャッターの及ぶ所ではない。またシャッターはレンズには無關係だから一眼レフのように焦點を見るカメラやレンズを自由に交換して使用する高級カメラに多く採用されている。

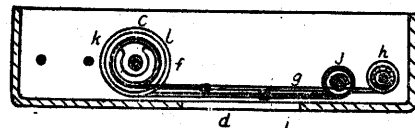
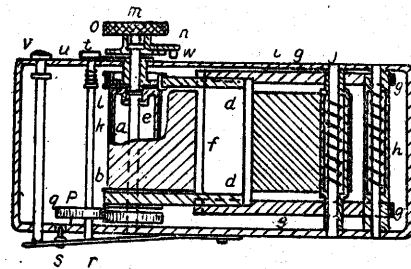
この式のシャッターでは、細隙が感光面を横切る時間が、一點の露出時間に較べてかなり長く、Contax のような小型カメラでも約 1/50 秒を要するから、その間に被寫體が移動する場合には、フォーカル・プレーン・シャッター獨特の像の歪を生ずる、すなわち像の移動方向と直角に幕が走る場合には、矩形の被寫體は菱形に歪む。又像と幕とが同一方向に走る場合は像は引伸されて寫り、像と幕が反対方向に走る場合は逆に短縮されて寫る。幕が上下に走るカメラには、Contax その他プレス・カメラおよびレフレックスのほとんど全部があり、被寫體の移動は水平方向が多いので菱形の歪が目立つ。幕が左右に走るカメラには Leica, Exakta, Reflex-Korelle 等があり、像の長さが變るだけで比較的の不愉快な感じは與えない。移動目標を追いながら撮影するいわゆる追い寫しを行えば、これらの歪をふせぐことができる。

幕は静止状態から加速されて走るから、幕間隙一定の場合には、始め露出過度で後では露出不足となる。幕が上下に走るカメラでは印畫の上部程露出不足となり、風景撮影では明るい天部が暗くなるのでかえつて好都合なこともあるが一般には望ましくない。幕が横に走る場合には左右で露出の不同を起しまずいので、Leica 等では幕

間隙が次第に廣く開きながら走るようにして補正してあるが、なかなか同一の露出にならず、特に天然色寫眞ではこの不同が非常に目立つので問題となつてゐる。

##### (b) フォーカル・プレーン・シャッターの構造

Leica 型シャッターを例として述べる。第5圖はその構造略圖で、先幕 i の巻バネ j と、後幕 f の巻バネ h



第5圖 ライカ型フォーカル・プレーンシャッターの構造

との張力を調節し、先幕の速度を速くし間隙の幅が次第に廣くなりながら走るようにする。巻上げは速度調節用ツマミ m の軸 a の下方にある齒車で行われ、a に直結する先幕の側帶軸 b, c が先ず巻上げられ、c の溝 l の端が後幕の圓筒 e から出た突起 k をさそうことによつて c と e とが一體となり、幕間隙を閉じたまま後幕も一緒に巻上げられる。o は a 軸に固定された孔のあいた板で、突起 n がツマミ m と a 軸とを接ぎこここで幕間隙の幅すなわち露出時間が決められる。シャッター鉤 v を押すと、s が外れて先ず先幕が走り、w が u の押えを蹴つて t を自由にする、はじめて e が廻り始め後幕が先幕を追つて始動される。

幕材には普通ゴム引きの黑色キヤラコか羽二重を用いるが、その布質は強度と耐久性の點で相當問題がある。またレンズを誤つて太陽に向けた時幕が焼ける危険があるので Contax では金屬製の柔軟なすだれ式幕面を用いているが、金屬なので作動が重いという難點がある。

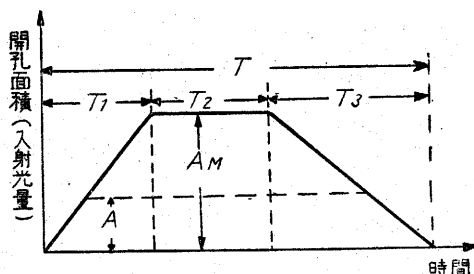
#### 5. シャッターの特性

各種シャッターはそれぞれ獨自の特性をもつてゐるが代表的なものとしてレンズ・シャッターとフォーカル・プレーン・シャッターの二者についてその特性を考察してみる。

##### (a) レンズ・シャッターの特性

第6圖はレンズ・シャッターの開孔面積(入射光量に比例する)と時間の關係を示す効率曲線である。この種

のシャッターは次の3特性をもっている。(1) 實開時間  $T$ 。開き始めから閉じ終るまでの全時間をいう。(2) 効率  $E$ 。シャッターが全開している時間  $T_2$  に通過する光量と、シャッターが開き始めてから閉じ終る迄に通過する全光量との比をいう。(3) 有効露出時間。実際にシャッターを通過する全光量を、シャッター全開として與えるに要する時間である。



第6圖 レンズ・シャッターの効率曲線

上述の定義から効率  $E$  は次式で與えられる。

$$E = \frac{\int_0^T A dt}{A_{\max} \cdot T} \quad (1)$$

効率曲線の開閉部分は實際の試験結果によるとほとんど直線的なので (1) 式は (2) 式のようになる。

$$E = 1 - (T_1 + T_3) / 2T \quad (2)$$

第6圖および上式から判るように、レンズを絞る程開閉に要する時間が全開時間に比して短くなり、効率は良くなる。

さて絞り全開  $f_0$  の時の諸量を  $E_0, T_1, T_2, A_{\max}$ 、絞り  $f$  の時の諸量を  $E_f, A$  とすれば

$$A = K/f^2, A_{\max} = K/f_0^2 \quad K: \text{常數} \quad (3)$$

故に開孔面積  $A$  の時の  $E_f$  は (2) (3) 式から

$$E_f = 1 - (T_1 + T_3) / 2T \cdot (f_0/f)^2 \quad (4)$$

したがって  $E_f = 1 - k(f_0/f)^2$   $k$ : 常數 (5)

ある絞りの時の効率を知れば (5) 式から他のいかなる絞りの効率をも計算できる。

さて一般にシャッターの露出時間のマークは絞り全開の時の有効露出時間を記入してあるので、實際の撮影に當つてこの點非常に問題となる。たとえば 1/100 秒の同一實開時間をもつ2個のシャッターの効率が夫々 50% と 100% である場合を考えると、前者は 1/200 秒とマークされ、後者は 1/100 秒とマークされる結果になる。このように効率の悪いシャッターでは、その性能が劣るにもかかわらず速い露出を與えるかの錯覺を起させ、その實開時間はマークされた露出時間よりずっと長くなるから、その値を信用して速度のある被寫體を撮るとぼけてしまう危険性がある。

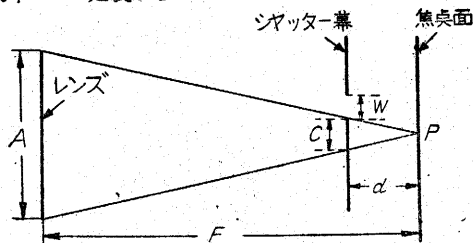
さらに問題となることは、絞りを變えると有効露出時間が變化することである。普通のカメラでは絞り全開で使用する場合は全體の 1% 程度といわれ、ほとんど大部分の場合は絞つて撮影する。絞りと効率の関係は (5) 式で判るように、絞れば絞る程シャッターの効率は良くなる

り、したがって實際の有効露出時間はマークされた露出時間より長くなり、全開時間に接近してくる。この點から考えるとマークする露出時間は絞り全開の時の有効露出時間を用いるよりも、全開時間を用いた方が實際の撮影には、より合理的であるといえよう。以上の2點は撮影の露出時間決定の際特に留意すべきことである。

#### (b) フォーカル・プレーン・シャッターの特性

フォーカル・プレーン・シャッターにおいてもレンズ・シャッターと同じく重要な特性は、實開時間、効率及び有効露出時間の3者である。これらの3者はフォーカル・プレーン・シャッターでは次のように定義される。(1) 實開時間  $T$ 。焦點面上の與えられた一點に對する全露出時間である。(2) 効率  $E$ 。シャッターが焦點面にある時露出に要する全時間と、上に定義した實開時間との比をいう。(3) 有効露出時間。レンズ全開として、實開時間に得られた露出に等しい露出を得るような時間をいう。

第7圖で  $P$  は被寫體上の1點の像、 $A$  はレンズ口径、 $F$  は焦點距離、 $d$  はシャッターから焦點面までの距離、 $W$  はシャッターの間隙幅、 $C$  はシャッターの位置における光の圓錐の徑とする。さて幅  $W$  のシャッター間隙が直径  $C$  をもつた光の圓錐を完全に横切るには  $C+W$  の距離移動せねばならぬが、シャッターが正確に焦點面内にあれば單に間隙の幅  $W$  だけ動けばよい。故に上述の効率  $E$  の定義から



第7圖 フォーカル・プレーン・シャッター・レンズ及び感光膜の關係位置

$E = W / (W + C) = W / (W + dA/F) = W / (W + d/f)$  (6) となる。ここで  $f$  はレンズの絞りである。また

$$\text{有効露出時間} = W / (W + C) \cdot T = E \cdot T \quad (7)$$

となる。これからフォーカル・プレーン・シャッターの効率はシャッター間隙の幅や絞りの大さから幾何學的に計算される。

この外フォーカル・プレーン・シャッター獨特の問題として先に 4. で述べたように、シャッター細隙の移動方向と被寫體の移動方向の組合せに基づく像の歪と、シャッター幕の加速による露出變動の二者がある。

#### 6 シャッターの試験法

各種シャッターの試験法には感光紙記録法や直讀式のものなど種々の考案があり、わが國でも各メーカーによつて色々異つた裝置が用いられている。米國では大戰中

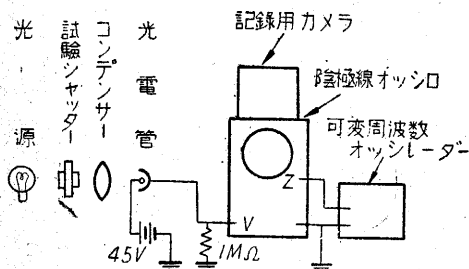
レンズ・シャッターおよびフォーカル・プレーン・シャッター用試験器が標準化され、A. S. A. 規格に加えられている。以下主たる試験法について説明する。

### (a) レンズ・シャッターの試験法

第8図 a は感光紙を用いる直接撮影法で、光源 O から来る光をコンデンサー C を通し、試験シャッター S に入れ、スリット K を通じて暗箱中の回転ドラム D 上の感光紙に投影させる。ドラムはシンクロナス・モーター等により一定回転を保たせれば、シャッターの開閉により第8図 b のような像が撮影される。この像の長さを測定することにより実開時間  $T$  と全開時間  $T_2$  を知り、有効露出時間と効率を計算で第8図 感光紙記録法によるレンズ・シャッター試験器

簡単ではあるが、一つの露出秒時に對して1回の寫眞撮影が必要であり、感光紙の消費が多く現像に時間を要するので製造工程としての検査には適しない。

第9圖は米國の A. S. A. 規格による試験器の概略を示す。光源からの光は試験シャッターを通り、コンデンサ



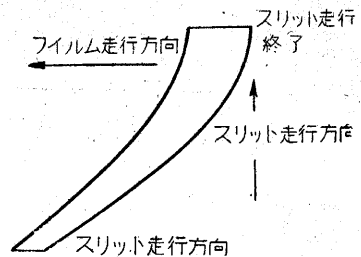
第9圖 陰極線オシログラフ式レンズシャッター試験器で光電管に入る。光電流は増幅されてブラウン管に入る。残像時間の長いスクリーン上には効率曲線そのままが點線となつて現れるが、その點はオシレーターにより一定周波数で入るからその数を数えることによつて直ちに實開時間と全開時間がわかり、効率、有効露出時間を知ることができる。この装置により  $2 \sim 1/1,000$  秒の間の露出時間が直ちにしかも正確に測定できる。またこの装置で閃光電球の特性やフラッシュ同調シャッターの性能等も研究できる。

この外我が國でも精工舎のコンデンサー充電式方法や感光紙の代りに残像の長い螢光板を用いた日本光學式、眼の残像現象を利用する小西六式等種々のものがある。

### (b) フォーカル・プレーン・シャッターの試験法

米國の A. S. A. 規格による試験法は次のようなもので

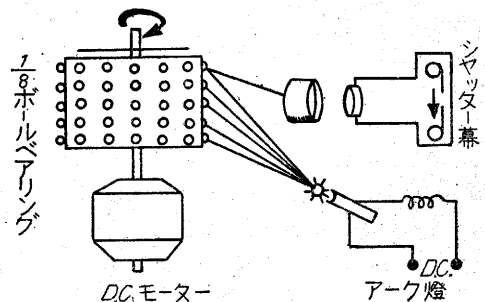
ある。ドラムの内面に幅 9 吋 長さ 16 吋のフィルムを巻きつけ、一定速度で回転させて置き、試験シャッターのスリットの走行方向がドラムの軸に平行になるようにしてスリットの像をフィルム上に投影させる。第10圖はこの記録結果で、ななめの軌跡となる。この軌跡から實開時間、効率、有効露出時間等を知ることができる。



第10圖 A. S. A規格フォーカル・プレーン・シャッター試験による記録結果

また電気ストロボスコープを使用する試験方法も米國では行われている。

第11圖は浮田氏等により試みられた方法で、シャッターを寫眞機に取付けたまゝで試験する方法である。原



第11圖 フォーカル・プレーン・シャッター試験器理はシャッター幕の運動に直交して一定速度で動く無限速の點光源を撮影して、その像のぼけから露出時間を算出するもので、點光源としては圓筒の周邊に取付けたボールベアリング用鋼球をアーク燈で照明したものを使う撮影した結果は點光源の像は線となり、長さは露出時間に比例する。この方式で測定したものは實開時間に相當するものなので有効露出時間を知るには計算をしなければならない。(1950・3・6)

### 文 献

- (1) Amrom H. Katz 「Camera Shutters」 J.O.S.A. 39 (1949) p 1-21.
- (2) 要岩「寫眞シャッター」
- (3) 山田「光學機械器具」
- (4) 遠沼「寫眞シャッターの露出時間測定器」應用物理 17 (1948) p 325-330.
- (5) 西田「レンズシャッターの構造解析」日本機械學會誌. 51 (1948) p 231.
- (6) 大原「寫眞機用レンズシャッターの秒時測定」Tech 2 (1949) p 214-216.
- (7) 「シャッター試験器について」應用物理 18 (1949) p 43.