

# Lens Shutter 機構の理論的・実験的解析

(第 1 報)

—Vario type shutter に就いて—

市 川 誠 \*

(信州大学工学部機械工学教室)

## 1 序 言

各種の光学実験、及び、camera を始めとする一般光学器械に於いて、shutter の果す役割の重大なる事は云うまでもない。然し、称呼時間通りの正しい露出時間を有する shutter は極めて稀な現状である。この事実は、各方面で指摘され問題となつているが、その機構の複雑さと、瞬間露出の性質の解明が困難なために、容易に改良されないでいる。

筆者は、既に、この問題に関して、一般に使用されている数種の shutter<sup>\*\*\*</sup> に就いて、その称呼露出時間と、実際有効露出時間との相違を数量的に求めて報告したが<sup>(1)</sup>、本報告では、shutter を構成する各部の運動を解析して、摩擦等を考えない理想的な状態に於ける計算のみによる理論的結果と、実際使用状態に於ける実験結果とを比較検討した。

特に、現在、一般に使用されている lens shutter は、所謂 return shutter であつて、他の plane shutter 等と異り、露出羽根及びそれを動かす lever が往復運動をするために、極度の高速は得られないものであるが、この研究により、shutter の性能を支配する諸因、及び各部の運動状態が解析されたので、将来、正確、且つ、高速 shutter 設計製作<sup>(2)</sup>の一助ともなれば幸甚とする所である。

尙、本報告は、lens shutter の代表的な型式の中、Vario type に就いての結果である。他の型式に就いては順次解析を進め、その結果を得て報告したい。

## 2 機構と動作

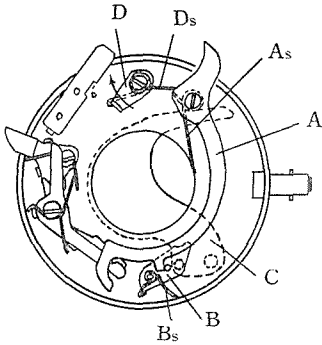
第1図は、Vario type shutter の全体図である。A が起動桿、B が操作桿、C が露出羽根、D が高速用ばね操作桿、<sup>\*\*\*</sup>  $A_s, B_s, D_s$  が夫々の機能源となるばねである。D<sub>s</sub> の一端は lever-A に、他端は lever-D に接して、高速露出を行う場合に、速度調節環により lever-D を矢印の方向に引く事により、lever-A に対して、A<sub>s</sub> の動作を補助

\* 信州大学助手

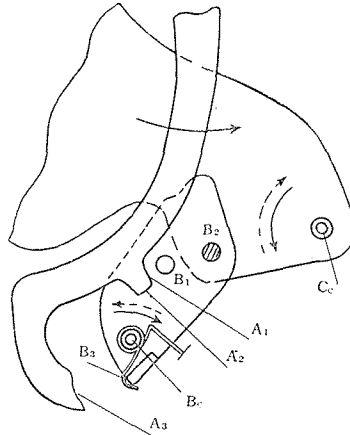
\*\* 特別の断りない場合、以後、lens shutter を単に shutter と呼ぶ。

\*\*\* これらの名称は繁雑であり、且つ、統一性、一般性がないので、以後 lever-A, lever-B, lever-C, lever-D と呼ぶ。<sup>(3)</sup>

する。



第1図



第2図

第2図は、 lever-B を中心とする拡大図である。 lever-A が起動して矢印の方向に回転すると、  $A_1$  部が lever-B の突起部  $B_1$  に衝突し、両面が滑り接触をしながら lever-B、従つて、 pin joint  $B_2$  を介して、 lever-C を夫々  $B_c$ 、  $C_c$  を回転中心として、実線で示す矢印の方向に回転させる。

$A_1$  部の接触が終ると、  $A_2$  部の接触が始るが、この間は、機構上、 lever-B、 lever-C は停止状態にある。

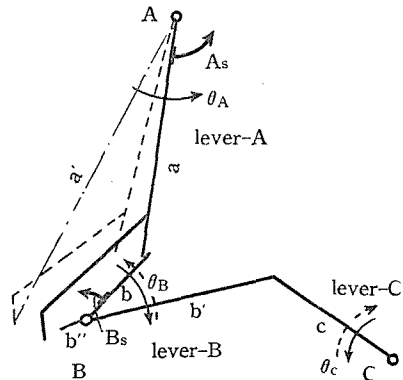
次に、  $A_2$  部と  $B_1$  部との接触を終ると、  $B_s$  はね力によつて、 lever-B は lever-C を伴い元の位置へ戻るわけであるが、この場合、 lever-A の先端  $A_3$  部の速度が、 lever-B の先端  $B_3$  部に比して非常に大きいので、途中  $A_3$  部が  $B_3$  部に追衝突する事になり、 lever-B、従つて、 lever-C はこれにより加速される。

### 3 運動の理論的解析

#### A 運動行程

運動を解析するために、機構を簡単な図で示すと第3図の如くなり、その動作の進行を次の各行程に分ける。

1. lever-A が起動して、 lever-B に衝突する。(予備行程)
2. 衝突。これを完全非弾性衝突と考える。
3. lever-A に押されて、 lever-B、従つて、 lever-C も運動を始めて、機構上の最終点で停止する。(開放行程)
4. lever-A が停止している lever-B の面



第3図

を滑る。(全開行程)

5. lever-A が lever-B との接触を終り、元の位置へ戻る。と同時に、lever-B もそのばね力によって、lever-C を伴い元の位置へ戻る。(閉鎖行程)

然し、この場合、lever-A の先端が lever-B の先端に追衝突<sup>\*</sup>するので、この行程は、更に、次の4段階に分けられる。

- lever-B が lever-C を伴って、そのばね力により元の位置へ戻る運動。
- lever-B を lever-A が追跡する。
- この追衝突も、完全非弾性衝突と考える。
- lever-A が、lever-B、従って、lever-C を伴って、元の位置へ戻る。

### B 各部品の定数、及び運動の境界条件

各部品の定数を第1表、及び、第2表に示す。第1表中の慣性能率は、図式解法により求めたもので、第2表中のばね定数は計算より求めたもので、括弧内は使用状態に於ける実測値である。

第 1 表

	慣性能率 (gr.-cm <sup>2</sup> )	平均長 (cm)	備 考
lever-A	$I_A=7.61$ ( $I'_A=10.65$ )	$a=3.391$ (衝突時) 3.431 (開放行程) 3.470 (全開行程) $a'=3.850$ (閉鎖行程)	○材質：黄銅，比重 8.5 として計算 ○慣性能率括弧内は実験のため隣青銅薄片を附した時の値
lever-B	$I_B=0.076$	$b=0.283$ (衝突時) 0.299 (開放行程) 閉鎖行程 $b'=0.532$ (一定) $b''=0.278$ (閉鎖行程)	○材質：黄銅
lever-C	$I_C=0.98$	$c=0.503$ (一定)	○厚さ 0.08mm 発条鋼板，比重 7.8 として計算

第 2 表

ばね名	ばね定数 ( $\frac{\text{gr.-cm}}{\text{rad}}$ )	備 考			
		線 径 (mm)	巻 数	外 径 (mm)	
$A_s$	$K_A=131.78$ (650)	0.46	2	3.70	○ピアノ線 $E=20000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ として計算 ○外径は線の中心径
$B_s$	$K_B=2.26$ (9.3)	0.16	3	2.72	
$D_s$	$K_D=511.30$ (860)	0.55	1	4.00	

又、各 lever の運動の境界値を第3表に示す。これは第1表、各 lever の平均長と共に、夫々の運動位置を投影器で拡大して描き、図上で求めたものである。尚、これらの値は、機構による拘束を考えず、ばねの平衡位置を基準とし、それを 0 rad. とし、起算したものである。

\* この現象は、閉鎖行程を加速するのみでなく、はね返りによる、再露出の悪影響を防ぐためである。

第 3 表

	称 呼	lever-A ( $\theta_A$ )	lever-B ( $\theta_B$ )	lever-C ( $\theta_C$ )
予 備 行 程	25	1.0385~1.0102		
	50	0.6807~0.6524		
	100	0.9338~0.9055		
開 放 行 程	25	1.0102~0.9503	1.5708~2.1119	0~0.5672
	50	0.6524~0.5925		
	100	0.9055~0.8456		
全 開 行 程	25	0.9503~0.9215	2.1119	0.5672
	50	0.5925~0.5637		
	100	0.8456~0.8168		
閉 鎖 行 程	25	0.9215~0.8492	2.1119~1.5708	0.5672~0
	50	0.5637~0.4914		
	100	0.8168~0.7445		

註 称呼時間は  $\frac{1}{25}$ ,  $\frac{1}{50}$ ,  $\frac{1}{100}$  (sec.) と記すべきであるが簡略した。

C 各行程の運動

1, 予備行程

lever-A が起動して, lever-B に衝突するまでの運動方程式は, 第3図より次の如くなる。第3図に於いて, lever-A に就いて, 点線は起動位置, 実線は衝突位置である。

$$I_A \frac{d^2 \theta_A}{dt^2} + K_A \theta_A = 0 \dots\dots\dots(1)$$

但し,  $I_A$ .....lever-A の慣性能率  
 $K_A$ ..... $A_S$  のばね常数

(1)式は

$$\frac{d^2 \theta_A}{dt^2} + \frac{K_A}{I_A} \theta_A = 0 \dots\dots\dots(2)$$

となり, 一般に

$$\theta_A = A \cos nt + B \sin nt \dots\dots\dots(3)$$

但し,  $A, B$  は任意常数。  $n = \sqrt{\frac{K_A}{I_A}}$  から, その解が得られる。

即ち, (3)式に第1表, 及び, 第2表より各数値を代入し, 機構上から初期条件, 第3

\* 称呼  $\frac{1}{50}$ ,  $\frac{1}{100}$  の場合は  $(K_A + K_D)$  となる。

\*\* 実際計算の場合には  $n = \sqrt{\frac{K_A}{I_A}} g$  但し  $g = 980 \text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}$

表から境界条件が得られるので、この行程の運動状態が求められる。

尙、この行程最後の瞬間に於ける lever-A の速度は (3) 式より次の如くなる。

$$\frac{d\theta_A}{dt} = -An \sin nt + Bn \cos nt \dots\dots\dots(4)$$

2. 衝突

機構上より完全非弾性衝突と考えられる。これによつて、各 lever の衝突後の速度を求めるのであるが、そのために、lever-A、及び、lever-B、lever-C の慣性能率及びその回転中心から衝突点までの平均長より、夫々の力学的質量を求めて、その衝突点に集中するものと考え、衝突点に於ける仮想質量は次の如くなる。(第3図参照)

$$M_A = \frac{I_A}{a^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$M_{BC} = \frac{I_B + 2 I_C \frac{b'^2}{c^2}}{b^2} \dots\dots\dots(6)$$

故に、衝突直前の lever-A、lever-B の衝突点の速度を  $V_A$ 、 $V_B$  とすれば

$$V_A = a \frac{d\theta_A}{dt} \dots\dots\dots(7) \quad V_B = b \frac{d\theta_B}{dt} \dots\dots\dots(8)$$

となり、衝突直後の衝突点の共通速度は次の如くなる。

$$V_{AB} = \frac{M_A V_A + M_{BC} V_B}{M_A + M_{BC}} \dots\dots\dots(9)$$

上式に於いて、 $V_A$  は (4)、及び、(7) 式から得られ、又、機構上から、衝突直前に lever-B は停止しているので、 $d\theta_B/dt = 0$ 、従つて、(8)式から、 $V_B = 0$  となる。故に衝突直後の両 lever の速度は次の如くなる。

$$\frac{d\theta_A}{dt} = \frac{V_{AB}}{a} = \frac{M_A}{M_A + M_{BC}} \cdot \frac{d\theta_A}{dt} \dots\dots\dots(10)$$

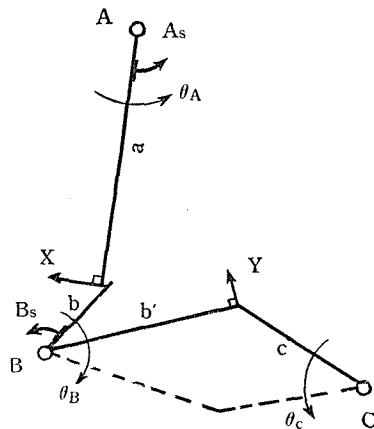
$$\frac{d\theta_B}{dt} = \frac{V_{AB}}{b} = \frac{M_A}{M_A + M_{BC}} \cdot \frac{a}{b} \sin \angle BX \cdot \frac{d\theta_A}{dt} \dots\dots\dots(11)$$

3. 開放行程

この行程では、第4図に示すように、lever-A が lever-B、lever-C を伴つて回転運動するので、lever-A に対しては、lever-B との接触点に X、lever-B に対しては、lever-C との接触点に Y の反力が働くものと考えられるから、各 lever に就いて、次の如き運動方程式が成立する。

$$I_A \frac{d^2 \theta_A}{dt^2} + K_A \theta_A - aX = 0 \dots\dots\dots(12)$$

$$I_B \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + bX \sin \angle BX - K_B \theta_B - 2b'Y = 0 \dots\dots\dots(13)$$



第4図

\* 第4図参照

$$I_C \frac{d^2 \theta_C}{dt^2} + CY \sin \angle CY = 0 \dots\dots\dots (14)$$

上の三式から  $X, Y$  を消去すると,

$$I_B \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + \frac{b}{a} \sin \angle BX \left( I_A \frac{d^2 \theta_A}{dt^2} + K_A \theta_A \right) - K_B \theta_B + \frac{2b'I_C}{c \sin \angle CY} \cdot \frac{d^2 \theta_C}{dt^2} = 0 \dots\dots (15)$$

然し、上式は、 $\theta_A, \theta_B, \theta_C$  を含んでいるので、このままでは解けない。故に、 $\theta_A, \theta_C$  を  $\theta_B$  に関するものに置換する必要があるので、次の如き計算によつてその関係を求めた。

第5図に於いて、

$$\theta_A = \frac{b}{a \sin \angle BX} \theta_B \dots\dots\dots (16)$$

$$\theta_C = \frac{b'}{c} \sin \angle CY \theta_B \dots\dots\dots (17)$$

又、第5図(a)に於いて、 $AB=l$  を lever-A, lever-B の回転中心距離とすると、 $a$  も殆んど変化しないから一定と考えられるので、

$$\tan \theta_B = \frac{a \sin \theta_A}{l - a \cos \theta_A}$$

$$\frac{l}{a} = \lambda \text{ とすると、}$$

$$\tan \theta_B = \frac{\sin \theta_A}{\lambda - \cos \theta_A}$$

$t$  に就いて微分し整理すると、

$$\frac{d\theta_B}{dt} = \frac{\lambda \cos \theta_A - 1}{\lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_A + 1} \cdot \frac{d\theta_A}{dt} \dots\dots\dots (18)$$

再び微分すると、

$$\frac{d^2 \theta_B}{dt^2} = \frac{\lambda \sin \theta_A (1 - \lambda^2)}{(\lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_A + 1)^2} \cdot \left( \frac{d\theta_A}{dt} \right)^2 + \frac{\lambda \cos \theta_A - 1}{\lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_A + 1} \cdot \frac{d^2 \theta_A}{dt^2} \dots\dots\dots (19)$$

(18)式を(19)式へ代入して整理すると、

$$\frac{d^2 \theta_A}{dt^2} = \frac{\lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_A + 1}{\lambda \cos \theta_A - 1} \cdot \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} - \frac{\lambda \sin \theta_A (1 - \lambda^2) (\lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_A + 1)}{(\lambda \cos \theta_A - 1)^3} \cdot \left( \frac{d\theta_B}{dt} \right)^2 \dots\dots\dots (20)$$

(b)図に於いては、(a)図と同様にして得られるから、(18)式の  $\theta_B$  を  $\theta_C$  に、 $\theta_A$  を  $\theta_B$  に置き換えると、

$$\frac{d^2 \theta_C}{dt^2} = \frac{\lambda' \cos \theta_B - 1}{\lambda'^2 - 2\lambda' \cos \theta_B + 1} \cdot \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + \frac{\lambda' \sin \theta_B (1 - \lambda'^2)}{(\lambda'^2 - 2\lambda' \cos \theta_B + 1)^2} \cdot \left( \frac{d\theta_B}{dt} \right)^2 \dots\dots\dots (21)$$

但し、 $\lambda' = \frac{l'}{b'}$

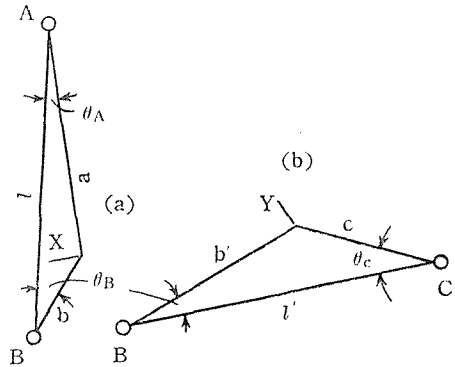
今、簡単のために、(20)、(16)、(21)式を次の如く置く、

$$\frac{d^2 \theta_A}{dt^2} = P \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} - Q \left( \frac{d\theta_B}{dt} \right)^2 \dots\dots\dots (20')$$

$$\theta_A = R \theta_B \dots\dots\dots (16')$$

$$\frac{d^2 \theta_C}{dt^2} = S \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + T \left( \frac{d\theta_B}{dt} \right)^2 \dots\dots\dots (21')$$

$\angle BX, \theta_A, \theta_B, \lambda, \lambda'$  は実際の運動図、及び第1表、第3表より得られるので、 $P, Q, R, S, T$  は容易に決定される。



第5図

上述の (20)', (16)', (21)'式を(15)式へ代入して整理すると,

$$\begin{aligned} & \left( I_B + \frac{b}{a} \sin \angle BX \cdot P I_A + \frac{2b'S}{c \sin \angle CY} I_C \right) \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} \\ & + \left( \frac{2b'T}{c \sin \angle CY} I_C - \frac{b}{a} \sin \angle BX \cdot Q I_A \right) \left( \frac{d\theta_B}{dt} \right)^2 + \left( \frac{b}{a} \sin \angle BX \cdot R K_A - K_B \right) \theta_B = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (22)$$

上式は非線型微分方程式で精密には解けないが、各数値を代入して計算してみると、第2項の係数が非常に小さいので、近似的に、

$$\alpha \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} - \beta \theta_B = 0 \quad \dots\dots\dots (23)$$

となり、一般に、次の如くなり、その解が得られる。

$$\theta_B = A e^{nt} + B e^{-nt} \quad \dots\dots\dots (24)$$

但し、 $A, B$  は任意常数。 $n = \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}$ \*

(24)式を、機構上、及び、(11)式より得られる初期条件と、第3表の境界条件によつて解くと、本行程に於ける lever-B の運動状態と、その所要時間が求められ、更に、(16)、(17)式から lever-A, lever-C の運動状態も知る事が出来る。

又、開放行程終了の瞬間に於いて、

$$\frac{d\theta_B}{dt} = A n e^{nt} - B n e^{-nt} \quad \dots\dots\dots (25)$$

従つて、(18)式より

$$\frac{d\theta_A}{dt} = \frac{\lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_A + 1}{\lambda \cos \theta_A - 1} \cdot \frac{d\theta_B}{dt} \quad \dots\dots\dots (26)$$

4. 全開行程

lever-A のみの運動に関するので、予備行程と同じく(1)式がそのまま当て嵌る。唯、この場合には、初期条件として、(20)式の初速度を有する事と、境界条件が異つている。

又、後述する閉鎖行程に於いても、lever-B に追衝突するまでの運動は、本行程の延長であるから、追衝突時の境界条件を満足するものから、その所要時間、従つて、追衝突直前の速度が得られる。

5. 閉鎖行程

a. lever-B が lever-C を伴い、 $B_s$  ばねにより元の位置へ戻る運動

lever-B, lever-C の運動となるので、(第4図参照、点線は、開放終了、全開、閉鎖開始の位置を示す。)各 lever に就いて、次の如き運動方程式が成立する。

$$I_B \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + K_B \theta_B - 2b' Y = 0 \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$I_C \frac{d^2 \theta_C}{dt^2} + C Y \sin \angle CY = 0 \quad \dots\dots\dots (28)$$

(27)、(28)式から  $Y$  を消去すると、

$$I_B \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + K_B \theta_B + \frac{2b' I_C}{c \sin \angle CY} \cdot \frac{d^2 \theta_C}{dt^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (29)$$

(29)式へ(21)'式を代入すると

\* (3)式参照

$$\left(I_B + \frac{2b'S}{c \sin \angle CY} I_C\right) \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + \frac{2b'T}{c \sin \angle CY} I_C \left(\frac{d\theta_B}{dt}\right)^2 + K_B \theta_B = 0 \dots\dots\dots (30)$$

③0式に各数値を代入して計算すると、②式と同様に、近似的に次の如くなり、①式と同様にして解く事が出来る。

$$\alpha' \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + \beta' \theta_B = 0 \dots\dots\dots (31)$$

b. lever-A が lever-B に追衝突するまで

既に述べた如く、lever-A は全開行程の延長であるから、追衝突点の境界条件を決定する事が第一要件である。

それがために、一応、追衝突点を、lever-B の本行程開始時に於ける衝突点にとり、それを境界条件として、lever-A の運動を解析した。そして、これに要した時間内に、lever-B の衝突点の移動距離を③1式の解析結果から調べた。

その結果、lever-B の衝突点の移動距離は、lever-A のそれに比して非常に僅かで、殆んど無視出来る程度であつた。

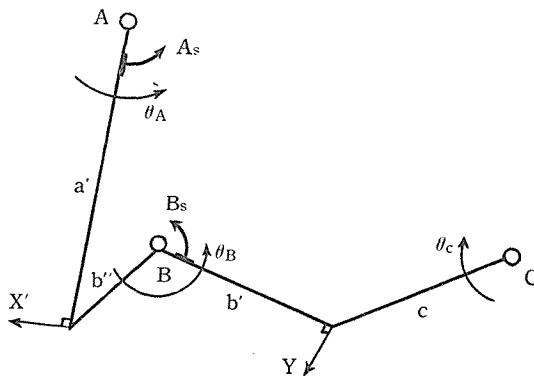
従つて、上に述べた境界条件<sup>\*</sup>に基いて、追衝突までの時間、追衝突直前の両 lever の速度等を求めた。

c. 追 衝 突

完全非弾性衝突と考え、開放行程に入る衝突と同様にして、衝突点に於ける仮想質量を求め、衝突直前の速度から、衝突直後の速度を求めた。開放行程の場合と異なる点は、lever-A と lever-B の長さが変化している事と、lever-B が速度を有して居る事である

d. lever-A が再び lever-B, lever-C を伴つて元位置へ戻る運動

第6図に示す如く、各 lever に就いて、夫々、次の如き運動方程式が成立する。



第6図

$$I_A \frac{d^2 \theta_A}{dt^2} + K_A \theta_A - a' X' = 0 \dots\dots\dots (32)$$

$$I_B \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + K_B \theta_B + b'' X' \sin \angle BX' - 2b' Y = 0 \dots\dots\dots (33)$$

$$I_C \frac{d^2 \theta_C}{dt^2} + C Y \sin \angle CY = 0 \dots\dots\dots (34)$$

上の三式より  $X', Y$  を消去すると、

\* これは第3表に於いて lever-A に就き閉鎖開始後、0.0312 rad. の位置である。



$$I_B \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + \frac{b''}{a'} \sin \angle BX' (I_A \frac{d^2 \theta_A}{dt^2} + K_A \theta_A) + K_B \theta_B + \frac{2b' I_C}{c \sin \angle CY} \cdot \frac{d^2 \theta_C}{dt^2} = 0 \quad \dots\dots (35)$$

又、(20)', (16)' と同様に計算によると、

$$\frac{d^2 \theta_A}{dt^2} = P' \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} - Q' \left( \frac{d\theta_B}{dt} \right)^2 \quad \dots\dots (36)$$

$$\theta_A = R' \theta_B \quad \dots\dots (37)$$

となるので、上の二式と(21)'式から(35)式は

$$\begin{aligned} & \left( I_B + \frac{b''}{a'} \sin \angle BX' \cdot P' I_A + \frac{2b' S}{c \sin \angle CY} I_C \right) \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} \\ & + \left( \frac{2b' T}{c \sin \angle CY} I_C - \frac{b''}{a'} \sin \angle BX' \cdot Q' I_A \right) \left( \frac{d\theta_B}{dt} \right)^2 \\ & + \left( \frac{b''}{a'} \sin \angle BX' \cdot R' K_A + K_B \right) \theta_B = 0 \quad \dots\dots (38) \end{aligned}$$

(38)式も、各数値を代入した結果、近似的に

$$\alpha'' \frac{d^2 \theta_B}{dt^2} + \beta'' \theta_B = 0 \quad \dots\dots (39)$$

となり、(1)式及び、(31)式と同様の手順で解が得られる。即ち、初期条件として、追衝突直後の速度、境界条件は第3表に示す通りである。

**D. 理論的結果**

各行程に於ける運動方程式を、夫々の条件に従つて解いて、各 lever の運動状態を求めると、各行程に要する時間は第4表の如くなる。

第 4 表

×10<sup>-3</sup> sec.

		予備行程	開放行程	全開行程	閉鎖行程	全所要時間
1/25	I	1.8	18.9	1.3	19.2 (0.9+18.3)	41.2
	II	0.8	9.0	0.6	9.0 (0.4+ 8.6)	19.4
	III	2.1	18.5	1.5	18.5 (1.0+17.5)	40.6
	IV	1.0	8.6	0.7	8.8 (0.4+ 8.4)	19.1
1/50	I	1.0	12.3	0.8	13.4 (0.5+12.9)	27.5
	II	0.7	7.2	0.5	7.8 (0.3+ 7.5)	16.2
	III	1.2	11.9	0.9	13.0 (0.6+12.4)	27.0
	IV	0.8	7.1	0.6	7.6 (0.3+ 7.3)	16.1
1/100	I	0.9	11.7	0.7	12.9 (0.4+12.5)	26.2
	II	0.6	7.0	0.4	7.6 (0.3+ 7.3)	15.6
	III	1.0	11.4	0.8	12.4 (0.5+11.9)	25.6
	IV	0.7	6.8	0.5	7.4 (0.3+ 7.1)	15.4

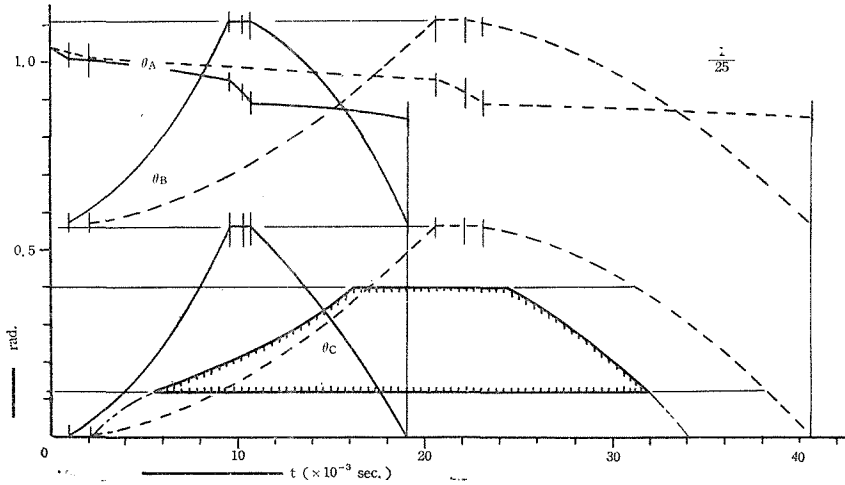
本表中の第1欄は、第1表、第2表に於いて、

I : 各部品 of 理論値のみで計算を進めた結果。

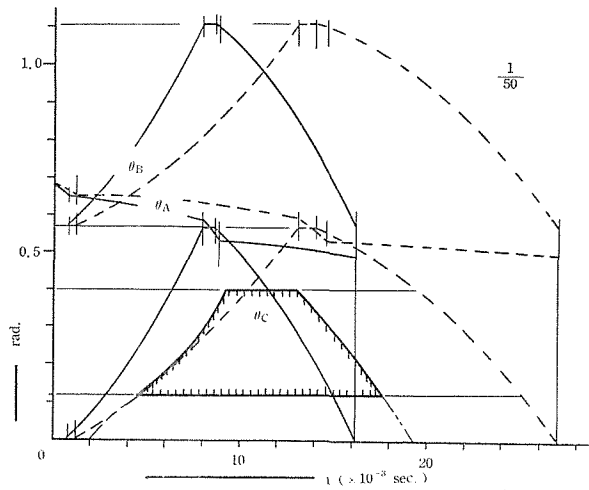
II : ばね常数のみ実測より求めて、計算を進めた結果。これは実験中に、ばねが相当拘束を受けている事に気がついたからである。

Ⅲ：実験のため、燐青銅薄片を lever-A に附したので、その慣性能率に基いて計算した結果。

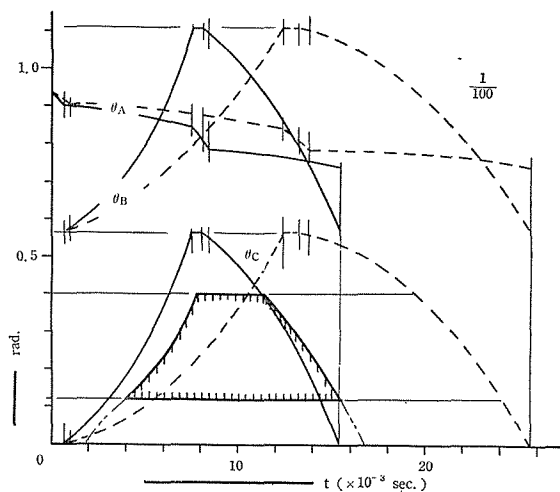
Ⅳ：Ⅲに就き、ばね常数のみ実測より求めて、計算した結果。  
を示すものである。



第7図



第8図



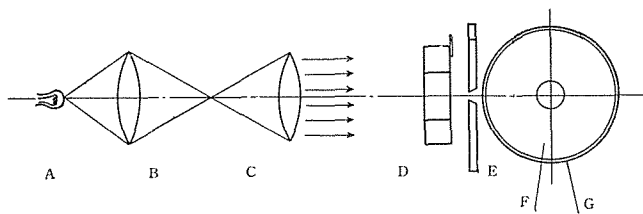
第9図

又、各 lever の運動状態を  
図示すると、第7図( $1/25$ ),  
第8図( $1/50$ ), 第9図( $1/100$ )  
となるが、これらは実験の結果  
と比較する関係上、上述の  
Ⅲ, Ⅳの場合について、Ⅲを  
点線、Ⅳを実線で表した。尚  
 $\theta_B$  に就いては、第3表からも  
解るように、1 rad. 小さい  
値で表してある。

#### 4 運動の実験的解析

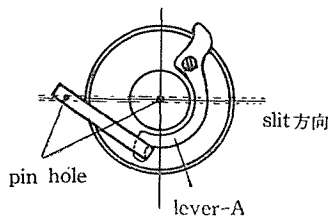
##### A 実験装置

実験装置の大略を第10図に  
示す。A は  
100 V, 500W  
特殊電球の光  
源、B, C は  
condenser  
lens, D は実  
験に使用した  
shutter, E は

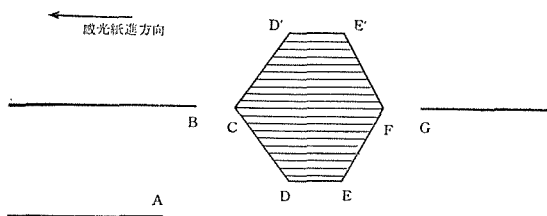


第10図

slit, F は synchronous motor で駆動される drum で、これに捲かれた感光紙 G の周速度は 447mm/sec であつた。又、特に、第11図の如く、shutter の lever-A には pin hole を有する磷青銅の薄片を附し、その pin hole と lever-C の重なりの中心 (shutter 中心) にあけた pin hole を結ぶ線が slit を通り、且つ、装置全体の光軸と一致するようにした。



第11図



第12図

##### B 記録、及び、実験結果

この実験によると、lever-A、及び、lever-C の運動は第12図の如く感光紙に記録される。

即ち、実写中に就いて、

A : lever-A の起動点

B : lever-C の開放開始点

C : lever-C の光学的開放開始点

D : lever-C の光学的開放終了点 (全開開始点)

E : lever-C の光学的全開終了点 (閉鎖開始点)

F : lever-C の光学的閉鎖終了点

G : lever-C の閉鎖終了点

であるから、夫々、感光紙進行方向の長さを測り、進行速度からその時間を求めた。その結果を第5表に示す。

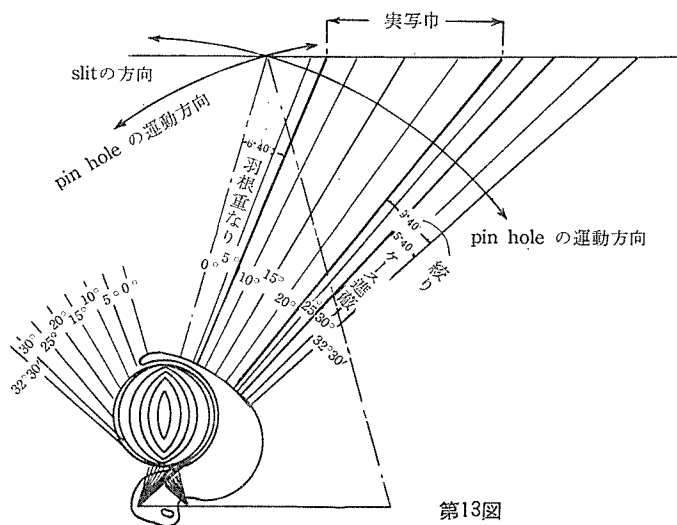
第 5 表

$\times 10^{-3}$  sec.

	A~B	B~C	C~D (D')	D(D')~ E(E')	E(E')~F	F~G	全所要時間
$\frac{1}{25}$	2.3	3.2	10.8	8.2	7.6	2.0	34.1
$\frac{1}{50}$	2.2	2.7	4.4	3.9	4.5	1.5	19.2
$\frac{1}{100}$	1.8	2.2	3.8	3.5	4.1	1.3	16.7

又、開放、及び、閉鎖行程の途中の運動状態は、進行方向にそつて、C~D(D'), E(E')~F 間を細分し、その各点を通り、進行方向に直角の長さから求められるのを、第7, 8, 9図斜線の影を施した部分に示した。これによると、lever-C の実際の運動状態が解る。

然し、第12図の記録は、光学的なために、実際の lever-C の運動を全部示していない



第13図

ので、lever-C の重なり、shutter case、及び、絞りにより遮蔽される部分は第13図の如き実際図を作つて求めた。

## 5 結 論

理論的、及び、実験的解析結果を比較すると、第7、8、9図に見られる通りであるが、実写巾を基準とした各行程所要時間は第6表の如くなる。

第6表

×10<sup>-3</sup> sec.

		予備行程	開放行程	全開行程	閉鎖行程	開放～閉鎖
1/25	Ⅲ	2.1	8.1	13.8	7.2	29.1
	Ⅳ	1.0	4.4	5.4	3.9	13.7
	E	2.3	10.8	8.1	7.6	26.5
1/50	Ⅲ	1.2	5.7	9.2	5.7	20.6
	Ⅳ	0.8	3.6	5.2	3.5	12.3
	E	2.2	4.5	3.8	4.6	12.9
1/100	Ⅲ	1.0	5.0	8.9	4.8	18.7
	Ⅳ	0.7	3.3	5.0	3.2	11.5
	E	1.8	3.8	3.5	4.3	11.6

備考 第1欄Eは実験結果。

それによると、純粹の理論的結果（Ⅲ，図では点線）と実験結果とは大分違つているが、ばね常数のみ実測して計算した結果（Ⅳ，図では実線）とは、非常に接近している。

これは、ばねの影響の大きい事を示すもので、既に述べた如く、ばねは何れも、狭い場所に、無理に、悪い状態に取付けられているので、他部品との接触により拘束を受けて、その全長に亘つて作動せず、実際に、それだけの力を有しているわけで、第2表の実測によるばね常数（括弧内）が何れも非常に大きな値を示している事から容易に理解出来る。

従つて、ばねを正しく作動する状態に置く事を前提とするならば、ばね力が強大なため、摩擦等の影響は僅かなので、所望の露出時間を有する shutter の設計・製作は、比較的容易なものとなる。

さて、第7図では実験結果の方が大きく、第8、9図では小さくなつて居るが、一般常識からすれば、摩擦・機構のガタ等のため、実験結果の方が大きくなると考えられるが、この場合は、ばねの不安定、衝突現象の複雑さ等が斯様な結果となつたものと思われる。即ち、ばねの不安定という点では、ばねの作動中に拘束条件が変化したり、平衡点の異なるばねの組合せ等の影響、衝突現象は、理論的には完全非弾性衝突と考えたが、実際には必ずしもそう断定し難い点がある。これは、予備行程が、実験結果では、何れも時間軸に対して凸になつて居る事からも想像できる。

又、lever-A の慣性能率変化による影響は、第4表に示す如く、予備・全開の如き

普通運動行程では、慣性能率が大きい為、多く時間を要しているが、反面、開放・閉鎖の如き衝突のある行程では、衝突質量が大きく、衝突後の速度も大きくなるので、その所要時間を短縮している。従つて、この場合、全行程としてはその影響は僅かである。

要するに、shutter の性能を左右する最大のものは、ばねであるから、ばねを正しく作り、正しく作動させる事が、shutter 機構を理論づけ、その性能を向上させる最大要件である。その材料学的問題は一応措くとしても、好条件に設計・製作・作動されるばねは、耐久性に於いても好結果をもたらすであろう。

最後に、筆者は、現在の shutter も、その組立過程に於いて、ばね単独、及び、取付けられたばねに対する実測・検査等を厳格に実施する事を希望する。そうして shutter 規格もその許容範囲をもつと小さくすべきであり、斯くする事によつて、shutter の性能は飛躍的に向上するであろう。

本報告を終るに当り、種々、御指導を賜つた本学教官各位、並びに、資料の提供等に便宜を与えて下さつた清水製作所桜井氏に、紙上をかりて深謝すると共に、本研究は、昭和29年度文部省助成研究費による、瞬間露出機構の改良研究の一部である事を附記する。

### 参 考 文 献

- (1) 筆 者 信州大学工学部研究報告 (第2号 昭28)
- (2) 筆 者 精密機械学会講演会予稿 (昭30.5)
- (3) 大 原 写真工業 (第5巻, 第5号 昭29)
- (4) 西 田 機械学会論文集 (第15巻, 第50号 昭24)

**Summary****THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF  
THE LENS SHUTTER MECHANISM (1st Report)**

—ON THE VARIO TYPE SHUTTER—

Makoto ICHIKAWA\*

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

On the Vario type shutter which is a type of the lens shutters, I analysed the motion of its mechanism, theoretically and experimentally. And I proposed the data to design and making of this type shutter.

Namely, I parted the motion into 4 strokes:

1. preliminary stroke.
2. opening stroke.
3. full opened stroke.
4. shutting stroke.

Then, I made the equations of the motion in each strokes, and solved them only calculation without friction loss, by moment of inertia, spring constant of parts, and the initial and boundary condition of the motions.

I compared the above-mentioned result with the photographic record, was gotten by the ray passed through the shutter in real condition.

---

\* Assistant of Shinshu University