

— 論 文 —

雷観測用回轉寫眞機の試作

石川 晴 治 高 木 増 美

I. 前 書 き

雷光写真から雷放電の機構を明らかにしようとする試みは既に前世紀の終り写真術が漸く進歩してハロゲン化銀乾板法が実用期に入り一般に廣く使われ出した時代からあり、例えば Weber や Hoffert⁽¹⁾ は 1890 年頃写真機を左右に振りながら雷光を撮影し一つの雷光が三つの閃光より成つて居る場合のある事を認めた。その後更に進んで雷光の幹や枝の成長方向やその速度をもつと的確に調べようとする試みは Boys の写真機や Walter の写真機を生み出すに至つたが、⁽²⁾ 特に Boys は回轉円板へ 2 箇の写真レンズを中心対称的に取り付け雷光の成長を調べるのに便利な型式を案出しその手動式のものを 1900 年に試作し更にずっと後になつて固定レンズ円筒フィルム回轉式のものを造り出した。⁽³⁾ この円板型の所謂 Boys Camera は Zeiss の Tessar レンズの発明に先立つ事 2 年に試作されたのであるが彼はこの試作機を用いてその後 26 年の間雷光写真を撮影しようと試みて居たが 1926 年に到るも満足な結果は得られなかつた。然し遂に 1928 年の初夏に到つて観測地点を適地へ移す事によつて彼が最初目論んで居たよりずっと低い回轉速度—720 r.p.m.—で明瞭な雷光写真を撮影する事に成功した。⁽⁴⁾ この 28 年間の無駄は彼も指摘して居る様に観測地点の選択が如何にこの種観測にとつて重要であるかを示すと同時に、彼はそれについては何も言及しては居ないが彼の回轉写真機が如何に能率の悪いものであるかを如実に物語つて居る。従つて新しく回轉写真機を設計する場合にはこの点を充分考慮に入れて設計しなければならない。⁽⁵⁾ この Boys の 2 種類の写真機はその後 Schonland 一派等により受け継がれ更に改良され⁽⁶⁾ 写真術の進歩と相俟つて雷放電の微細構造の決定に役立った。而して彼一派の 20 年に近い雷光の研究は雄大なる天然の放電を取扱つて居る点で独歩完壁に近いと云われて居るものであつて最早回轉写真機に依る雷光の観測からは何等新しい事実は生れて来ない様に見えるけれども、一方において雷放電の構造も放電の條件が

変化すると多少変化する場合のある事は McEachron によつて明らかにされ⁽⁷⁾ Schonland もこれを認めざるを得なくなつた⁽⁸⁾ 様な事実もあるので氣象が海幸的である本邦において空電源としての雷放電を再び見直す事は充分再考に値すると云わなければならない。以上の様な視点から我々は本邦における雷災防止委員会の経験⁽⁹⁾ 等を考慮に入れて能率のよい回轉写真機を目標に設計を進め意に充たない所は多いが第 1 号機を試作したのでその設計について述べる次第である。

II. 設 計 方 針

1. 光学系の明るさ 写真機へ取り附けるレンズの口径比は Schonland の報告⁽⁶⁾ によると 1/6.3 で一應充分であるばかりでなく歸閃にすぐ続く第 1 成分閃光の場合には却つてこれでも明過ぎ 1/16 位の方がよい事もある⁽¹⁰⁾ が然しこれは何処迄も歸閃に関連のある場合についての事であつて、一度この問題から離れて先駆閃等閃光輝度の弱い部分の撮影と云う事になると矢張り写真レンズは成る可く明るいものを用いないと充分でない事は Schonland の階段先駆閃の写真が Tessar 1/6.3 レンズで Kodack Super Speed フィルムを用いても撮影条件のよい近雷光の場合しかうつつて居ない事⁽⁵⁾⁽⁶⁾ から明らかなである。従つて我々の試作機においても出来る限り口径比の大きくしかも解像力のそれ程悪くない写真レンズを使用する事にしたが例えば口径比 1/1.4 の様に明るいレンズを用いる時は後述する様に光学系の調整が厳格になるから従來の型式の回轉写真機へ簡単に交換レンズを取り附ける事は再考を要する。⁽¹¹⁾ 然し兎に角大口径比レンズと最近本邦においても実用期に入つて來た超高感光度のフィルムを組合せて使用すればレンズの増透膜の実用化と相俟つて 10 年前の写真術の 10 倍程度の感光度を得る事は可能である。然るに大口径比の写真レンズはその明るさを得る爲に他の性能は適当に押えてあるので焦点距離にしても大体 50 mm 位のものに限られて了うし又焦点面とレンズの間隔の精度もやかましいものになり高速回轉写真機を設計する上の大きな障害となる

事は避け難い所である。今これ等の点を少しく立入つて考えて見るに写真機を無限遠の物体に焦点を合せた時フィルム面の占むべき位置の許容誤差を Δb とすると

$$|\Delta b| \leq \delta \phi q$$

であらわされる。此処に δ は許容不鮮明度 (映像円の許し得る最大直径), ϕ は瞳倍率, q は絞り番号である。写真レンズは普通対称に近いので $\phi \approx 1$ として大体差支えなく又 δ の値は使用フィルムの対角線の長さを d とすると $\delta = d \times 10^{-3}$ にとるのが常識であるが理論的にはネガフィルム膜中の銀粒子の平均直径に取るべきであるので $\delta = 20 \mu$ とし Δb の値を求めて見ると第1表の様になる。この表から明らかな事は例えば焦点距離 50 mm 口径比 1/1.4 のレンズを用いる様なフィルム円筒型写真機は実用にならない事であつて円筒の直径

第1表 レンズの絞りとレンズフィルム

距離の許容誤差

絞り数	1.4	2.0	2.8	3.5	4	5.6	6.3
$\Delta b (\mu)$	28	40	56	70	80	112	126

を Schonland 等が行つた様に⁽⁸⁾⁽¹¹⁾ 600 mm にしても焦点の合う範囲はライカ判視野の長さ 36 mm の中央 16 mm の部分に過ぎず従つてレンズの持つ画角の半ば以上をすてる結果となる(第2表参照)。

第2表 大口径比レンズ^{a)}を用いた時

回轉円筒型写真機の画角

回轉円筒の直径	焦点の合う幅	焦点の合う画角
200 mm	9.6 mm	11°
400	13.6	15° 30'
600	16.4	18° 40'

^{a)} 使用レンズ口径比 1/1.4, 焦点距離 50 mm

又円筒の径を大きくすれば焦点の合う画角は増すけれども円筒を像速度 30~40 m/s に相当する回轉速度で回轉した場合慣性モーメントが大きくなるので円筒の偏心とか動的釣合等の爲に生ずる円筒面の径方向の振れの幅を 30 μ 以下に押える事は相当困難な事となる。従つて Schonland がやつた様に⁽¹¹⁾ 円筒型のものに 1/0.8 $f=50$ mm の様なレンズを装備する事はあまり上策とは云えない様に見える。同様な事は円板型のものについても云えるのであつて像速度を 30~40 m/s にあげる爲には円板の径を相当大きくして大径ベアリングを用いなければならないが内径が 100 mm を

越える様なボールベアリングでは nd 値^{*}には未だゆとりがあつても偏心や軸振れ等が禁止で大体 20 μ 程度あるのでこれを毎分千回轉以上で回した時振幅を 30 μ 以下に押える事はこれ亦甚だ困難な事と云わなければならない。これを要するに大口径比レンズを用いた回轉写真機においてはレンズと感光膜面の間に相対速度の有る様な構造のものは焦点外れを生じ易いから避けた方がよい事が結論される。⁽⁵⁾ 又焦点距離の長い大口径比レンズの製作困難な事も又像を走らせる爲の光学系をレンズと感光膜面の間に装置する事を困難にするのであつて、例えばレンズ焦点面間に角錐回轉鏡を置く様な方式⁽⁶⁾ にしようとする空間が狭いので必然的に回轉鏡の大きさは小さくなり高速回轉により起る振動の爲の焦点外れは小さくする事が出来るがレンズから来る光束を充分集約的に利用すると云う点から云うと折角大口径比レンズを用いた意義を失う事になる。

2. 露出用シャッター 口径比 1/6.3 位のレンズならば雷光の夜間撮影を行う場合写真機を開放して置いて雷放電の來のを待つてこれを閉じればよいが大口径比レンズを使用する様になると夜間撮影でも写真機の開放時間が少し長い時には視角外に起る雷光の爲にフィルムは感光してカブリを生ずるので開放時間はあまり長く出来ない。殊に先駆閃の様に輝度の弱い部分の撮影となるとフィルムのカブリが感光像を消し易い⁽⁶⁾ ので大体 1 分間隔位で駒を送る必要があると思われる。従つて撮影操作の便から云つても何等かの形式のシャッターを必要とする様になる。又雷光の晝間撮影を可能ならしめる爲にも自動操作のシャッター⁽⁸⁾ が必要であるがこの場合雷光又は先駆放電電波のいずれかを受けて電磁リレによつて機械シャッターを駆動する方法を取ると時間の遅れの少い Compur シャッターを用いてもその値は電磁リレのそれと合せると大体数 ms 程度になり第1先駆の持続時間と大略等しく従つて晝間撮影は可能となるが第1先駆閃を撮影する事は出来ない事になる。このシャッターの時間の遅れを更に小さくする方法としてはケル槽等が考えられるがシャッター装置がもう大となり雷の移動観測に甚だ不便なものになつて了うので現実性は少いと云わねばならぬ。従つて我々の試作機ではシャッターの操作を遠隔中央操作にする事に止め自動化は次の試作機の時別に考える事とした。

3. 感光膜面上の像移動速度 無限遠に焦点を合せ

* 軸受外輪の内径を d (mm), 軸受(ボールベアリング)の回轉数を n (r.p.m.) とすると乾油の潤滑をした場合大略 $nd < 450,000$ が其の軸受を使用しうるか否かを判定する目安となる。

た時その像が感光膜面上を走る速度が大きい程写真機の分解能は向上し、従つて雷光の進む方向やその速度をより正確に測定する事が出来るわけである。然し一方感光膜上の一点に入る光量は像の移動速度と共に逆に減少するから原板上の閃光感光像は次第に淡くなり、遂には周囲のカブリと区別がつかぬ様になるし、又閃光の像の各部分が写真機の1回轉以上に延ばされるので互に重り合つて了い写真の測定を困難にする恐れがある。⁽⁶⁾ 従つて像の速度を毎秒数百米としても歸閃の様に輝度の高い部分は写るが⁽⁹⁾ 先駆閃の様な輝度の低い部分は写らなくなつて了う。故に像の移動速度は視測の目標を何処に置くかによつて定むべきであつて我々の様に雷光と雷電波の對應を目標にし雷光の暗い部分も撮影したい場合には大体 30~40 m/s 位の像速度で充分である様に思われるが大口径比レンズを用いる事を考へ入れて一應 70 m/s 位を目標とする事にした。

4. 視界の廣さ 回轉写真機の視界が狭いとそれは雷光撮影の際決定的な欠点となる事は既に述べた所であるが、我々の試作機もこの点に留意し極力その視界の廣さを拡げる様に心掛け許されれば四方八方の方角へ雷光が現われても必ずこれを捕足出来る様にした。

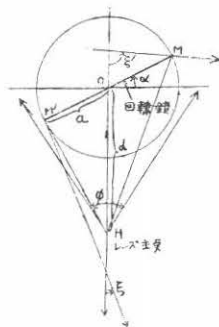
III. 回轉鏡式寫眞機

以上述べた所から明らかな様に雷光の微細構造を捕える爲に大口径比レンズを用いると半ば必然的にレンズ及び感光膜は固定、走像光学系はレンズ前方に置かざるを得なくなる。そこで我々は写真記録部分としてシャッター機構がフォーカルプレーン式で難点はあるが取り敢えず大口径比レンズを装備したライカ判写真機をそのまま用い、走像光学系としては軽量で回轉速度をあげ易い柱狀多面鏡をえらび、これを写真レンズ直前で毎分 3000~5000 回轉し無限遠に焦点を合せた時の走像速度を 40~70 m/s に保つ様にする事にした。この様な回轉多面鏡を用いればその重量を軽く頑丈なものを作る事はさして困難でなく鏡の直径を 200 mm 程度に押える事が出来れば軸受として精度の極めて高い研磨盤用小型ボールベアリングを用いる事が出来従つて nd 値が小さくなるので回轉数を充分あげる事が可能になり、又これを駆動する電動機も小型のものですむので回轉系全体の動的釣合も取り易く従つて不要な振動による像の焦点外れを無害の限度内に止める事が出来る。この様な方式は歴史的には Walter カメラ⁽²⁾⁽³⁾ の変種と見做す事が出来るが写真機の視界の方位角が刻々変化するので雷光の現われた方向と写真

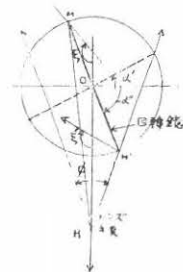
像との對應をつけたり又閃光像の歪から例えば歸閃の様な速いストリーマの進む速さを測定するにはあまり適當でない。以下この写真機の機構について述べる。

1. 回轉鏡の大きさ 鏡の大きさは成るべく大きくその刻々の位置において出来る限り写真機のレンズの視界を全部覆う様にした方が像の輝度は大きくなるわけであるが鏡面反射を受けた像が充分せん鋭である爲には鏡面の曲率半径を少くとも 4 km 以上にしなければならぬが、この様な四角形平面鏡を研磨する事は中々技術的にむづかしいので一面の大きさは研磨技術上あまり大きくする事は出来ない。又これ等のものを以つて多面鏡を組立てる時その径は一面の幅に比例して増大するからこれを高速回轉する点から云つて矢張りあまり大きくする事は出来なくなる。面数は後で述べる様に 12 面迄考えれば充分であり又この様な 12 面鏡を小型高速電動機で回轉する必要上その直径を約 250 mm 以下に押えなければならぬので従つて一面の鏡の幅は 60 mm 位のものになる。更にこの一面の長さも後でわかる様に記録部に仰角をつける事からきまつて来るがこれも大体 60 mm あれば充分で結局一面の大きさは 60×60 mm 程度のものとなる。この程度の大きさの平面鏡であれば素材を光学ガラスに限らず例えば不銹鋼を用いても精度の高い平面研磨が不可能ではない様であるのでガラス表面をアルミ蒸着した弱い表面鏡を用いねばならない欠点をさけ更に回轉鏡の強度をあげ且つその重量を節する事が出来る。

2. 視界 1 箇の記録用写真機で覆う事の出来る有効方位角の範囲は比較的狭いのでこの様な方式で視野を拡げて行く爲には回轉鏡の面数と記録用写真機の台数を増すより方法はない。そこで先ず一面回轉鏡による一つの記録用写真機の視界方位角と鏡の回轉角との関



第1図(A)
一面回轉鏡(レンズの画角が常に鏡面を含む場合)



第1図(B)
一面回轉鏡(レンズの画角から鏡面が外へ出る事の有る場合)

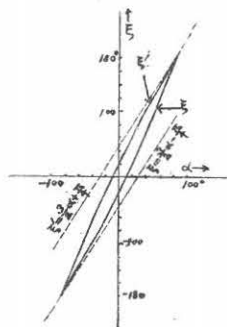
係を求めて見る。第1図Aは記録用写真機の画角 ϕ が回轉鏡を常に含む場合で鏡の回轉角を α の様に正面向きの位置から測つて、鏡の回轉中心 O とレンズの前主点 H を結ぶ方向と鏡の両端で反射されてレンズに入る入射光線のなす角を ξ, ξ' とするとこれ等は

$$\xi = \frac{3}{2}\alpha - \frac{\pi}{4} - \text{tg}^{-1}\left\{k \text{ctg}\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\pi}{4}\right)\right\}$$

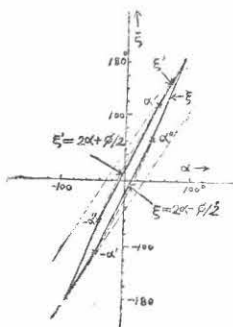
$$\xi' = \frac{3}{2}\alpha + \frac{\pi}{4} - \text{tg}^{-1}\left\{k \text{ctg}\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right\}$$

$$k = (d-a)/(d+a)$$

で與えられる。但し $2a$ は鏡の幅 d は回轉中心 O とレンズ主点 H の距離である。第2図Aはその結果を示すもので二つの破線は直線 $\xi = 3\alpha/2 \mp \pi/4$ を示す。 ξ, ξ' の二つの曲線は二直線の間にはさまれ原点を対称



第2図(A)
レンズの画角で遮られる事のない一面回轉鏡の回轉角と視界方位角の関係

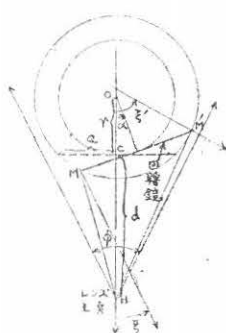


第2図(B)
レンズの画角で遮られる様な位置にある一面回轉鏡の回轉角と視界方位角の関係

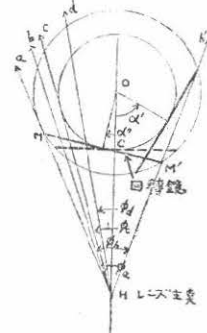
中心とする閉曲線を構成しその両尖端は $\alpha = \pm\pi/2$, $\xi = \xi' = \pm\pi$ となる。視界を廣くする爲には出来る丈この閉曲線で囲まれる帯域の幅を大きくすればよくその爲には $k = (d-a)/(d+a)$ を成るべく小さくすればよろしい。然し実際には $d=a$ とすればレンズの前端は回轉鏡の両端に接触して丁うので鏡の幅を厚くし鏡とレンズの距離を小さくする事も自ら限度がある。次に第1図(B)の様に回轉鏡がレンズ画角の外に出る程レンズと鏡の距離を近附けた場合を考えると鏡端が將にレンズ画角から外れようとして居る場合に相当する回轉角を第1図(B)の様に α', α'' とすると例えば ξ' は $-\alpha'' < \alpha < \alpha'$ の間で鏡はレンズ画角に依つて遮られて丁うからレンズへの画角端の入射光は常に一定である故反射鏡への入射光の方位角は鏡の回轉角を

$\Delta\alpha$ とすると $2\Delta\alpha$ 丈変化するから第2図(B)に示す様に破線で示してある $-\alpha'' \sim \alpha'$ に相当する閉曲線の上側の部分がレンズの画角を ϕ とすると $\xi' = 2\alpha + \phi/2$ の直線で置きかえられる。 ξ の方も同様 $-\alpha' < \alpha < \alpha''$ の部分が $\xi = 2\alpha - \phi/2$ でおきかえられるので結局第2図(A)の閉曲線の胴が二本の $\xi = 2\alpha$ なる平行直線で切り削られたものになる。この様にレンズの画角が回轉鏡全部を覆わない程レンズと鏡の距離を近附けると反射鏡への入射光視界それ丈狭くなる事は明かであるが、両平行線間隔は α 方向に常に $\phi/2$ 、 ξ 方向に ϕ で一定となるのでレンズ鏡間隔を充分縮めた時の視界は主として記録用写真機のレンズの性能で定まる事がわかる。

3. 回轉多面鏡による視界 話を一歩進めて今度は回轉多面鏡による視界を求めて見る爲に多面鏡の一面丈を取り出して第3図(A)の様にレンズの画角が常に鏡を含む場合を考える。



第3図(A)
多面回轉鏡(レンズの画角が常に鏡面を含む場合)



第3図(B)
多面回轉鏡(レンズの画角が鏡面を遮る事の有る場合)

この場合も一面回轉鏡の時と同様正面に來た鏡面の位置から測つた鏡の回轉角を α 、その鏡の位置における鏡の両端で反射して來る入射光の方向と回轉中心とレンズの主点を連ねる方向との間の方位角を ξ, ξ' とすると

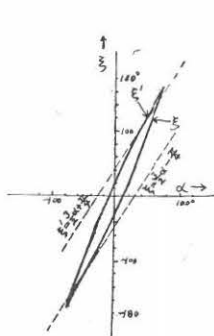
$$\xi = \frac{3}{2}\alpha - \frac{\pi}{4} - \text{tg}^{-1}\left\{K \text{ctg}\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\pi}{4}\right)\right\}$$

$$\xi' = \frac{3}{2}\alpha + \frac{\pi}{4} - \text{tg}^{-1}\left\{K \text{ctg}\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right\}$$

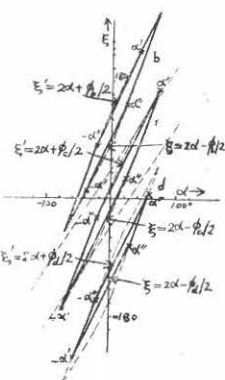
$$K = \frac{d+r-a-r(1+\sin\alpha)/\cos\alpha}{d+r+a-r(1-\sin\alpha)/\cos\alpha}$$

で與えられる。但し d は鏡面中心 C からレンズの前主点 H 迄の距離、 r は鏡の中心 C の回轉半径、 $2a$ は一

面の鏡の幅である。この場合前と異つて K が常数でなく α の函数となるが大体の視界方位角の変化する有様は一面回轉鏡の場合と同じで K の小さい程視界方位角閉曲線に囲まれる帯の幅は廣くなるが K が常数でない爲曲線の両端は $\xi = \frac{3}{2}\alpha \mp \frac{\pi}{4}$ なる直線から大分外れて来る様になる(第4図A)。



第4図(A)
レンズの画角が常に回轉鏡を含む位置における回轉角と視界方位角の関係

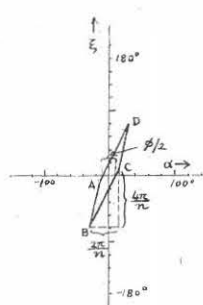


第4図(B)
レンズの画角が回轉鏡面を遮る位置における回轉角と視界方位角の関係

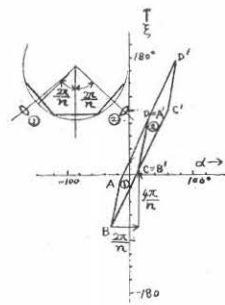
次に第3図(B)の様にレンズの画角 ϕ が回轉鏡を一部分遮る場合例えば画角が ϕ_b の様な相対的關係位置にある時に ξ について考えれば $-\alpha'' < \alpha < \alpha'$ の間はレンズの画角端一杯に入る入射光の方向はレンズに対し不変であるのでこれに対応する入射光線の方位角は鏡の回轉角の増加を $\Delta\alpha$ とすると $\Delta\xi = 2\Delta\alpha$ 丈変化することは一面回轉鏡の時と同様であつて第4図(B)の様に ξ の曲線は $-\alpha'' \sim \alpha'$ の間、 ξ の方は $-\alpha' \sim \alpha''$ の間が夫々 $\xi' = 2\alpha + \phi/2$, $\xi = 2\alpha - \phi/2$ の2本の平行線で削り取られ且つ2平行線間の α 方向の間隔は $\phi/2$ となり記録用写真機の画角 ϕ により定まる一定値を取る様になる。而して第3図(B)に示す様にレンズの画角が次第に $\phi_b, \phi_c, \phi_d \dots$ の如く狭くなつて来ると——この変化は ϕ 一定でレンズと回轉鏡間の距離を矩縮して行く場合と相似たものである——視界の方位角と回轉角の關係を示す閉曲線を削り取つて行く2本の平行線の間隔は次第に $\phi_b/2 \dots \phi_d/2 \dots$ の様に狭くなり第4図(B)に示す様に b, c, d の順に閉曲線は疑似平行四辺形に変形されて行く。この事はレンズの画角を一定に保つてレンズ鏡間距離を縮めて行つても同じ事でこの場合は元になる閉曲線帯の幅が次第に増加して行くので2本の平行線でその胴を削り取つて行

つてもその平行線の間隔は常に一定 $\phi/2$ に保たれるのである。この性質は多数の鏡面と写真機を用いて視界を拡げて行く上に大変便利な性質であつて我々の試作機においてもこれを利用する事とした。

4. 記録用写真機の配置法 次に一つの回轉多面鏡の周囲に記録用写真機を配置する方式を調べて見よう。レンズと鏡の間隔を充分つめて視界方位曲線を平行四辺形に近いものとする第5図に示す様に n 面鏡の場合 \vec{AD}, \vec{BC} の α 方向に測つた間隔はレンズ画角の $1/2$ に等しく一定で又その α 方向の成分は $2\pi/n$, ξ 方向の成分は $4\pi/n$ であるから第6図の様に2箇の

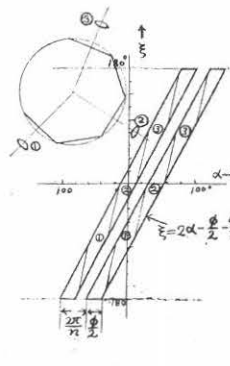


第5図
視界方位平行四辺形の性質

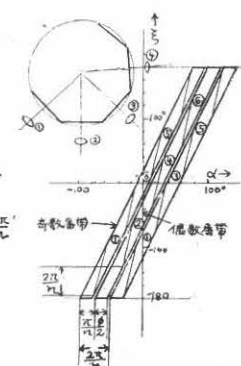


第6図
視界方位平行四辺形と写真機の一側置き排列

レンズを互に一面置きに配置し平行四辺形を回轉角 α の方へ $2\pi/n$, ξ の方へ $4\pi/n$ 丈移動させれば新しい四辺形が四辺形 $ABCD$ の丁度 \vec{AD} 方向への延長の位置 $A'B'C'D'$ を占める様にする事が出来る。従つて一般に多面鏡の周囲に一面置きに写真機多数配置すればこれ等の光学系によつて生ずる視界は回轉鏡の面数を n , 写真レンズの画角を ϕ とすると第7図の様に一定の間隔 $2\pi/n$ を置いた一定幅 $\phi/2$ を持つた一群の帯



第7図
一面置き配置法により生ずる視界帯



第8図
全面配置法により生ずる視界帯

域で示されその傾きは $\delta=2\alpha$ で與えられる。但し図における各平行四辺形の番号はそれに相對する記録用写真機の視界方位範囲を示す爲のものである。次に記録用写真機を第8図の様に回轉の各面毎に配置すると夫々奇数番目同士偶数番目同士の写真機は正に一面置き配置になつて居るのでこの場合は視界方位図は互に一つおきになつた2組の帯からなつて居る事がわかる。第8図のグラフはこの様子を示したもので各平行四辺形につけた番号は相對應する記録用写真機の番号を表わす。帯は一つおきに奇数帯、偶数帯がならび帯の α 方向の幅は $\phi/2$ 相隣る帯の間の間隔は π/n である事及び相隣る帯にぞくする相隣る写真機に對應する平行四辺形は互に δ 方向に $2\pi/n$ 丈ずれて居る事は容易に証明する事が出来る。従つて以上の事実から回轉鏡の面数を増して行けば帯の幅はレンズの面角 ϕ の $1/2$ で一定で又帯の列ぶピッチは一面置き配置なら $2\pi/n$ 、全面配置なら π/n で與えられるから次第に帯の間隔は狭くなつて盲帯の幅を減じ遂には盲帯が消失する様になる筈でレンズの面角を ϕ とすれば盲帯を消すのに必要な回轉鏡の面数 n は

$$n \geq 2\pi/\phi$$

で與えられる。但し一面置き配置の場合には2組の同様な多面鏡光学系を用い鏡の回轉の位相を互に π/n 丈ずらせて同期回轉を行つて一つの回轉鏡による盲帯を他の一つの回轉鏡の視界帯で覆う様にするものとする。

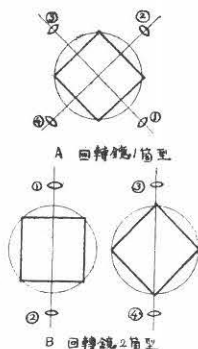
以上の理論をライカ判の各種交換レンズについて当てはめ各に必要な回轉鏡の面数を求めて見ると第3表の様になり所謂廣角レンズを用いれば8面、標準レ

第3表 ライカ交換レンズと必要な鏡面数

焦点距離	縦方向有効面角	鏡面数
35 mm	50°	7.2→8
40	43	8.4→9
45	38	9.5→10
50	35	10.3→11

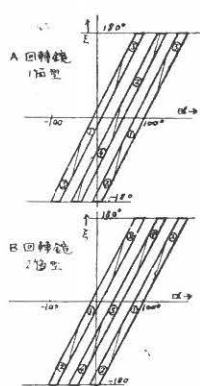
ンズを用いると12面を要する事がわかる。但しこの際鏡の帯は充分廣くとり鏡をレンズに近附けて一面の鏡による視界方位図が平行四辺形に近くなる様にすべき事は論を待たない。

5. 四面鏡回轉写真機 我々は最も簡単な場合として四面鏡の回轉写真機を試作したのでこれについて述べ度い。第9図(A)は1箇の四面鏡、(B)は2箇の四面鏡を $\pi/4$ 丈位相差をつけて回轉する型式を示すものでその視界方位帯の並ぶ様子は相方共同じであるが



第9図
四面鏡型回轉写真機
の二型式

(レンズ面角 $\phi=40^\circ$)
(A) 回轉鏡1箇型
(B) 回轉鏡2箇型

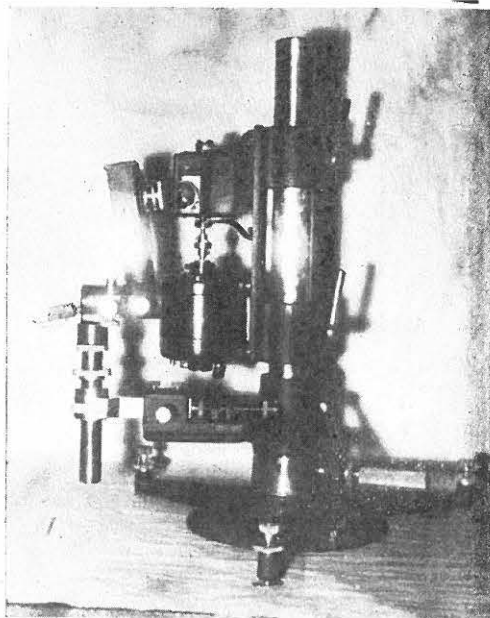


第10図
四面型回轉鏡写真機
の視界方位

(A) 回轉鏡1箇型
(B) 回轉鏡2箇型

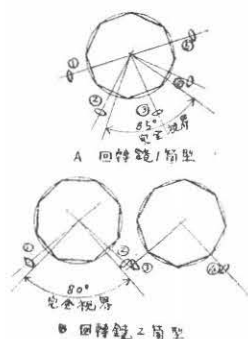
(A)の場合は1,3の写真機に對應する平行四辺形と2,4の写真機に對應するそれとの間に δ 方向に $\pi/2$ 丈ずれが有るのに対し(B)の場合は δ 方向の互にずれがない所丈が異つて居る。この事があるので回轉鏡1箇の型式のものは鏡面数を増して行つた場合同じ視角を得るのに鏡2箇型より記録用写真機を1箇丈多く必要とする様になる。第10図(A), (B)は夫々第9図(A), (B)の配置に對應する視界方位角帯を示す。

写真は我々の試作した四面鏡回轉写真機で鏡の幅は60mm一面に依る視界は今迄述べた平行四辺形型になつて居ること云う迄もない。回轉鏡の径は85mm

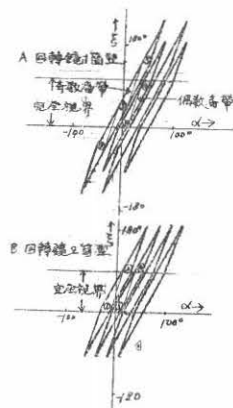


程度であつて軸を鉛直にし36ワットの直流直列式電動機の軸へ直結してある。鏡の強度から常用回転速度は3000 r.p.m. であるが短時間ならば5000 r.p.m. 迄出し得る。この鏡の周囲にライカ判小型写真機を枠を介して可変腕へ逆向きに取り付け20~40°位仰角を取り得る様にしてある。写真機は試作第1号機であるので目下の所1箇しかつてなく視界方位は帯でなく $\pi/2$ おきの平行四辺形であるが然し寫眞機の眞後の方位 $\pm 50^\circ$ の範囲内に雷光が現われれば回転数3000 r.p.m. のとき相隣る平行四辺形は5 ms 毎に前記方位角の方向へ現われるので持続時間の比較的最長い第1先駆閃はその1部が大体2箇所程度捕足される事になる。従つて本試作機の様な簡単な構造のものであつてもその目的と使い方によつては相当有効に使えるものと思われる。又走像速度は3,000 r.p.m. で40 m/s となり先駆閃を分析するに充分な速さを備えて居る。シャッターは今の所手動であるが将来は遠隔操作が出来る様にする考である。又支柱はクランプをゆるめて装置全体がその周囲に速かに回転出来る様にし速寫の便を計つた。

6. 八面鏡回転寫眞機 この場合回転の直径は一面の幅を60 mm とすると160 mm 位となりこの程度の大きさなら鉛直型電動機軸へ軸受け無しに直結して乗せる事も出来るので釣合さえ注意して作れば位相制禦を除いて回転の問題は割合簡単になる。第11図は四面鏡の時と同様に回転鏡1及び2箇型のものの記録



第11図
八面型回転鏡写真
機の二つの型式
(レンズ $\phi=40^\circ$)
(A) 回転鏡1箇型
(B) 回転鏡2箇型



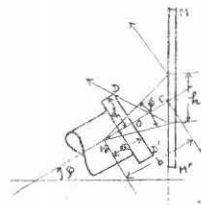
第12図
八面型回転鏡写真機
の視界方位
(A) 回転鏡1箇型
(B) 回転鏡2箇型

用寫眞機の配置及びその完全視界の方向を示す。同図(A)は回転鏡を1箇としたため第12図(A)に示す様に奇数番号の寫眞機による帯と偶数番号のそれによる帯とは互に $\pi/8$ ずつずれて居るので例えば図の場合の様に偶数番帯を2箇の平行四辺形で構成させると奇数番帯は3箇の平行四辺形を用いないと有効に完全

視界を広げる事が出来ない。従つて回転鏡を2箇使用する場合に比べて写真機は1箇丈多く必要となる。尙既に述べた様に面数が8では不充分であるのでレンズの画角を $\phi=40^\circ$ とすると α 方向の幅20°の視界帯の中間へ幅2.5°の盲帯がはさまる事になり、完全な連続視界を作らないが盲帯の幅は視界帯の約13%に過ぎないからこれは實際上無視して差支えない事は例えば鏡の回転速度を3000 r.p.m. とした時 $t=0$ 即ち写真機の眞後の方向において明視野が1.11 ms 盲視野が0.14 ms と交互に現われるので持続時間が100 μ s 程度の閃光は大体何処かで捕足出来る事からも了解できよう。この様に狭い盲帯の部分が無視すればこの光学系の連続完全視界は第11図(A)の様に大体85°位になる。次に2箇の八面鏡を使用した第11図(B)の場合には2箇の回転鏡に配置した2対の写真機をそれぞれ同じ方向を向けて固定し回転鏡丈 $\pi/8$ 位相をずらしてあるので、その視界帯は第12図(B)に示す通り α 方向に移ることなく写真機は2対ですみその完全視界は大体80°位となる事は第11図(B)に示した通りである。

尙面数を更に12に増すと既に論じた様に盲帯は消失し相隣る帯域が画角 $\phi=40^\circ$ のレンズを用いると帯幅20°の25%程度互に重り合い一帯域に注目するとその両端が夫々2.5°ずつ隣と重り中央の15°が一重になつて居る様なものとなるがその他は大体八面鏡の場合と同じであるので詳細は省略するが、どの場合でも寫眞機の台数を増して行けば360°全体を視界で覆う事は可能である。

7. 寫眞機の仰角 鏡面が丁度寫眞機の正面に来ると寫眞機自身により視界が遮られる事については前に一寸触れて置いたがこれを逃れるには写真機に仰角を與えるか又は回転鏡を角錐形にするより仕方がない。然るに雷放電は地上に大きな尖つた導体があるとその第1先駆閃は階段状でなくなつて了うと云われて居るので⁽⁷⁾⁽⁸⁾ これ等の点を再検討して見る爲には出来る丈閃光の雲端に近い部分を撮影する必要がある様に思われるので唯鏡影を避けると云うよりむしろ積極的に仰角を取つた方がよい様に思われる。従つてこの目的の爲には仰角が或程度任意に変えられる型の方が便利であるので我々は写真機に仰角を與える方式を採用した。この場合勿論最小仰角は鏡影を避ける所できまるが最大仰角は



第13図
写真機の仰角

むしろ鏡の回轉軸方向の長さを定める目安を与える。
第13図において最小仰角を φ とすると

$$\{d^2 + (b-a)^2\} \sin^2 \xi + 2b(b-a) \sin \frac{\phi}{2} \sin \xi + b^2 \sin^2 \frac{\phi}{2} - d^2 = 0$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \left(\xi + \frac{\phi}{2} \right)$$

より φ を求める事が出来る。此処に a はレンズの前主点から影を作る機体部迄の光軸上の間隔、 b はレンズの前主点から鏡迄の光軸上の距離、 d は影を作る機体部の高さ、 ϕ はレンズの垂直画角である。この様に写真機に最小仰角を与えた時写真機には

$$\varphi_1 = \varphi - \frac{\phi}{2} = \frac{1}{2} \left(\xi - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\varphi_2 = \varphi + \frac{\phi}{2} = \frac{1}{2} \left(\xi + \frac{3}{2} \phi \right) \quad \varphi_2 - \varphi_1 = \phi \text{ (一定)}$$

の範囲が写ることになる。又この時必要な平面鏡の高さ h は

$$h = b \sin \frac{\phi}{2} \left\{ \frac{1}{\cos(\varphi - \phi/2)} + \frac{1}{\cos(\varphi + \phi/2)} \right\}$$

で與えられる。これ等の式を用いて実際の設計について使用レンズをセレン $F1/1.9$ $f=50$ mm として計算して見ると $b=60$ mm 位のとき $\varphi=25^\circ$ $\varphi_1=11^\circ$, 38° ($\phi=27^\circ$) $h=40$ mm が得られる。従つて仰角の最低値は約 30° 位でこの時垂直視界は $17^\circ \sim 43^\circ$ 位となるが最大仰角は垂直視界を $40^\circ \sim 70^\circ$ に押えると仰角は 55° 位になるので、必要な仰角の調整範囲は $25^\circ \sim 55^\circ$ にしておけば充分である。この時必要な平面鏡の高さは仰角 55° の場合から定まり大体 60 mm となる(III, 1参照)。第4表は仰角の最大値とそれに必要な平面鏡の高さを示したものである。

第4表 最大仰角と鏡の高さ^{a)}

写真機の仰角	平面鏡の高さ
55°	62mm
50	51
45	44
35	37
25	33

^{a)} 使用レンズ垂直画角 $\phi=27^\circ$
 $b=60$ mm, $(b-a)=40$ mm

IV. 結 び

以上述べた所をまとめて見ると明るい八方にらみの高速 Boys Camera が柱状多面回轉鏡と小型写真機を組合せる事によつて得られる事が云える。すなわちこの方式だと記録用写真機は静止して居るので充分明るいレンズを使用する事が出来又回轉部分は割合大型

になつても軽量であるので 5000 r.p.m. 位の回轉速度を與える事はそんなに困難でなく、これは走像速度に直して 70 m/s 位となり電光の微細構造を調べるのに適当して居る様に思われる。又回轉多面鏡の面数を 12 迄増せば画角 40° のレンズを用いる時視界は全方向に連続して盲点は消失するので 12 面鏡に 12 箇の写真機を配すれば 360° いずれの方向にも常に眼が開いて居るものが得られる。又八面鏡の場合になると盲帯が 13 % 程残るが実用上は大した不便を感じない様に思われる。故に実際には八面鏡と 8 箇の写真機の組合せが試作の点からも実用の点からも手頃であろう。又この方式の Boys Camera は写真機が静止して居るので露出用シャッタを装備する事も比較的容易でありこれを自動化すれば雷の畫間撮影も或程度手軽に出来よう。

V. 謝 辭

我々の新型 Boys Camera は未だ基礎設計の域を完全には脱して居ない状態にあるが此処迄考を進めて來るのに既に当所所長金原教授や東大本多教授、平田教授、薮沼教授をはじめ十数人の方々から色々な点で御教示を頂いた、此処に厚く謝意を表明する次第である。

引用文献

- (1) H. H. Hoffert: Proc. Phys. Soc., **10**, 176 (1890).
L. Weber: Berichte der Königl. Akad. Berlin, 781 (1889).
- (2) C. V. Boys: Nature, **118**, 749 (1926).
B. Walter: Phys. Z. S., **3**, 163 (1902). Ann. der Phys., **11**, 393 (1903).
- (3) C. v. Boys: Nature, **124**, 54 (1929).
- (4) C. V. Boys: Nature, **122**, 310 (1928).
- (5) 吉田: 学振第9特別委員会第1分科会研究報告 (昭17).
- (6) B. F. J. Schonland, D. J. Malan and H. Collens: Proc. Roy. Soc., A, **152**, 595 (1935).
- (7) K. B. McEachron: J. Frank. Inst., **227**, 149 (1939).
- (8) B. F. J. Schonland and J. S. Elder: J. Frank. Inst., **231**, 39 (1941).
- (9) 雷災防止第9特別委員会: 雷の研究, 電氣書院, 61, 110 (昭25).
- (10) D. J. Malan and H. Collens: Proc. Roy. Soc. A, **162**, 175 (1937).
- (11) D. J. Malan and B. F. J. Schonland: Proc. Roy. Soc. A, **191**, 485 (1947).