

超 高 速 度 カ メ ラ に 関 す る 研 究

植 村 恒 義

ドラム式と回転反射鏡式の長所を組み合わせた新しい方式による超高速カメラを考案設計し、モデルのカメラとして毎秒 12 万駒の撮影速度、連続 200 駒の性能を有する MLD-1 型超高速カメラおよび毎秒 24 万駒の MLD-2 型カメラを完成し、現在毎秒 100 万駒以上の撮影速度の本格的カメラを製作中である。またフィルム・ドラムを軸方向に動かすことにより、連続 1,000 駒以上の撮影可能な新型カメラを計画中である。また超高速流しカメラとして、掃引速度毎秒 5,000 m 以上の SP-1 型カメラを完成した。

1. ま え が き

爆発・破壊・放電・核融合反応等の超高速現象の解析手段として高速カメラが使用される。それほど速くない現象に対しては回転プリズム方式の高速カメラが広く使用されているが、フィルムの強度より撮影速度は毎秒 1 万駒程度が限度である。これ以上の撮影速度を必要とする超高速現象の解析には他の方式を利用したカメラを使用せねばならない。撮影速度毎秒 10 万駒の割合以上の高速カメラは外国で種々販売されているが、わが国ではまだ製作されていない。

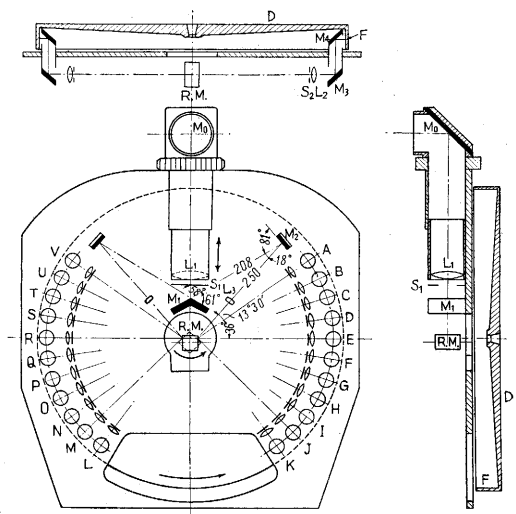
筆者は以前よりこの種の装置の必要性を感じ、研究室において M-1~M-4 型超高速カメラ^{1)~4)}の試作研究を行ってきたが、1958 年 6 月電気試験所より核融合反応の研究に使用する装置として撮影速度毎秒 10 万駒程度の高速カメラと超高速流し写真撮影装置の設計製作を依頼されたので、その目的に沿う性能の超高速カメラとして独自の考案により MLD-1 型カメラを設計し、1959 年秋、所期の性能の装置を完成することができた。

また MLD-1 型を改良し、毎秒 24 万駒の撮影速度を有する MLD-2 型カメラを 1960 年 8 月完成した。超高速流し写真撮影装置としては毎秒 1,000~5,000 m の掃引速度をもつ SP-1 型カメラを独自の考案により設計試作し 1959 年 8 月完成した。これらのカメラの試作については日立工機株式会社のひとかたならぬ協力を得て完成することができた。以下これら 3 種および現在製作中のカメラについて原理、構造および試験結果について簡単に報告する。

2. MLD-1 型超高速カメラ^{5)~9)}

(1) 原 理

MLD-1 型超高速カメラは、ドラム式超高速カメラと回転反射鏡式高速カメラの長所を互いに組み合わせ、撮影速度毎秒 12 万駒、1 駒の露出 1μ 秒以下の性能を有する装置である。その原理は第 1 図に示すとおり、装置の中心に超高速回転する 4 面体回転反射鏡 (R.



第 1 図 MLD-1 型超高速カメラの光学系構造図

M) があり、回転反射鏡を中心とした円周上におおのカメラの作用をする 20 個の第 2 レンズ群 (L_2) が配置してある。第 1 レンズ (L_1) で回転反射鏡の鏡面上に第 1 実像 (I_1) を結び、さらに反射した光束は回転反射鏡の回転により第 2 レンズ群へ次々に入射する。フィルムは回転反射鏡の回転方向に緩速度で動かされ、その結果第 2 レンズ群の 10 倍すなわち連続 200 駒の写真撮影ができる。

(2) 性能諸元

第 2 図 (口絵) は MLD-1 型超高速カメラの外観、第 3 図 (口絵) は内部構造を示す写真で、おもな性能諸元は次の通りである。

- | | |
|----------------|------------------------|
| (1) 最高撮影速度 | 12 万駒/秒以上 |
| (2) 1 駒の最少露出時間 | 0.5μ 秒 |
| (3) 明かるさ | 最大 $f:9$ |
| (4) 画面寸法 | 25×5 (mm) |
| (5) 撮影駒数 | 連続 200 駒 |
| (6) 使用フィルム | 35 mm 標準フィルム |
| (7) フィルム長さ | 1884 mm (有効長さ 1000 mm) |
| (8) 解像力 | 40 本/mm |
| (9) 撮影方式 | 群撮影方式 |

- (10) 入 力 a.c. 100 V or a.c. 200 V:
1.4 KVA
- (11) 連続掃引方式で現象とカメラを同期させる必要がなく
つねに撮影可能
- (12) 装置寸法 横 700×縦 807×高さ 865 (mm)
- (13) 装置重量 約 100 kg

(3) 特 長

この装置の特長を列挙すれば次のとおりである。

(1) 4 面体反射鏡を使用し、光学系を第1レンズ (L_1) 以後左右対称にわけることにより、連続掃引方式になっており、現象がいつ発生しても 20 個の第2レンズ群のどれかに必ず捕捉され、カメラと現象との同期の必要がなく、どんな現象でも確実にとらえることができる。

(2) 回転フィルム・ドラムと回転反射鏡を組み合わせるにより、20 個の第2レンズ群を用いて、連続 200 駒の撮影が可能である。

(3) 第2レンズ群により、4 面体回転反射鏡面の第1実像を $\frac{1}{2}$ に縮小してフィルム上に結像しているの
で、光学系の明るさは $f:9$ になり、解像力も 40 lines/mm の性能をもっている。外国のこの種のカメ
ラはいずれも $f:20\sim40$ の非常に暗いものしかなく、この点著しい特長となっている。

(4) 第2レンズ群に適当な間隔でキャップをかぶせることにより、1 駒の露出時間は長くせず最小値に保ったまま、撮影速度のみを減少させることができる。その際も連続撮影駒数は変化しないので撮影可能の時間範囲を増大させることができる。たとえば第2レンズ群 L_2 のうち1個のみを残し、他を全部遮蔽した状態で、最高回転で使用すれば毎秒 5,000 駒の撮影速度になるが、1 駒の露出時間は最小露出 1μ 秒を維持することができ、連続 390 駒の撮影が可能であるので約 1/10 秒間の現象が撮影可能となる。このように現象の時間範囲に応じて1 駒の露出時間は変化させずに撮影速度を自由に変化させることができる。この点は他に類を見ない本カメラの特長の一つである。

(5) 第1図で、カメラの頂上の反射鏡 (M_0) を任意の方向に向けることにより、撮影被写体の視野が縦長あるいは横長、また斜めの方向でも、細長い 5×25 mm の画面に有効におさめることができる。

(6) 小型軽量で移動容易で、しかも高性能である。

(7) 撮影結果を再編集すれば、映画として映写機によりスクリーン上に高速度現象を緩速度で再現して見ることも可能である。

(8) カメラの構造は4 面体回転反射鏡駆動部、光学系保持部、フィルム・ドラム部の三つのブロックに大別でき、これらをブロックごとに取りはずすことが可能で、より高性能のカメラに改良してゆくことができる。

これらの点が本カメラのほかにも類を見ない特長である。

(4) 光学系の配置および作用

この装置の光学系の配置は第1図に示す。被写体は図の正面図の前方に置かれ第1レンズ (L_1) および集光レンズ (L_3) によって回転反射鏡 (R, M) 上に第1実像を結像する。この像は中間像であり回転反射鏡で反射し第2レンズ群 (L_2) で再びフィルム上に第2実像を結像する。

光学系の作用を詳細に説明すれば被写体からの光は反射鏡 (M_0) で直角に下方へ方向を変え、第1レンズ (L_1) に入射し、さらに山形反射鏡 (M_1) で光は左右対称な二方向に分割し、再び反射鏡 (M_2) で反射して集光レンズ (L_3) を通して4 面体回転反射鏡 (R, M) の左右の反射面上に第1実像 (I_1) を結ぶ。反射鏡 (M_0) と反射鏡 (M_1) とで二面鏡を形作り、反射鏡 (M_0) は第1レンズ (L_1) の光軸を中心に回転が可能である。ゆえに反射鏡 (M_0) を回転させるのみであらゆる角度の被写体が撮影できる。集光レンズ (L_3) は光量を有効に利用し菱形絞りの露出特性を向上させる。回転反射鏡は最高 90,000 rpm の高速度で図に示された矢印の方向に回転する。光学系はさらに回転反射鏡を中心に、おのおのカメラの作用をする第2レンズ (L_2) が左右対称な位置に各 10 個合計 20 個取り付けられている。フィルム (F) は光学系の固定されている平面より一段と後方のフィルムドラム (D) の円周内側に巻きつけてあり、光束は反射鏡 (M_3) および (M_4) で反射してフィルム上に結像する。1 駒の画面寸法は 5×25 (mm) の短冊形であり、回転反射鏡が $\frac{1}{4}$ 回転すると第2レンズ (L_2) の数だけすなわち 20 駒の写真撮影が連続的に行なわれ、その間にドラム上のフィルムを 5 mm 移動させれば群撮影の方式で二重露出のおそれなく次にまた 20 駒の写真撮影ができる。この方式で連続 200 駒の写真撮影ができる。

光学的シャッター作用を形成する菱形絞りは第1レンズ (L_1) と山形反射鏡 (M_1) の間および第2レンズ (L_2) の前方に取り付けてある。菱形絞りは菱形の孔を有し、その形状を変えることにより1 駒の露出時間を、変化させることができる。ピント合わせはフィルム・ドラムのスリット部分にポジフィルムを装填し上部遮光部に取り付けてある望遠顕微鏡をのぞきつつ、第1レンズ (L_1) を上下に移動させ容易にしかも完全にできる。

この装置の特殊な使用方法として1 駒の露出時間を変え
ることなく撮影速度を変えることができる。すなわち有効な 20 個の第2レンズのうち任意の個数を等間隔にキャップで覆えば撮影間隔は長くなり撮影速度は減るが1 駒の露出時間は変わらない。そして1 個の第2レンズで得られる駒数は多くなり時間的に長い現象も撮影可能である。たとえば撮影速度毎秒 10 万駒の割合では撮影時間は 1/500 秒、1 駒の露出は 1μ 秒であるが第2レンズを1 個おきに覆うと撮影速度は毎秒 5 万駒の割合

合に減ずるが撮影時間は 1/250 秒と 2 倍に増加し 1 駒の露出は 1μ 秒が保持され鮮明な撮影ができる。

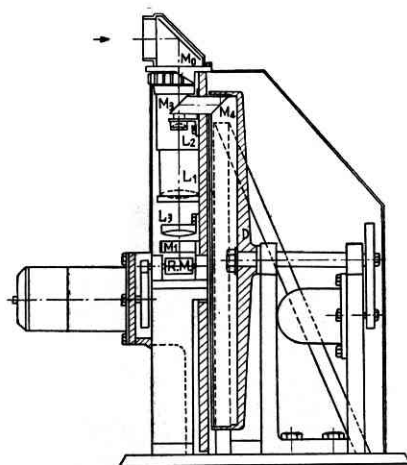
光学系諸元

光学系の諸元は次の通りである。

レ ン ズ (L_1)	F 7.7	$f=525$ (mm)
レ ン ズ (L_2)	F 3.5	$f=78$ (mm)
集光レンズ (L_3)	F 4.8	$f=185$ (mm)
4 面体回転反射鏡 (R. M)	$30 \times 50 \times 30$ (mm)	
表面反射鏡 (M_0)	$83 \times 120 \times 5$ (mm)	
山形表面反射鏡 (M_1)	$42 \times 72 \times 3$ (mm)	
表面反射鏡 (M_2)	$36 \times 60 \times 3$ (mm)	
表面反射鏡 (M_3)	$22 \times 38 \times 1.5$ (mm)	
表面反射鏡 (M_4)	$22 \times 32 \times 1.5$ (mm)	

(5) 機 構

この装置の機構は回転反射鏡駆動部、光学系保持部そしてフィルム・ドラム駆動部の 3 ブロックに大別され第



第 4 図 MLD-1 型超高速カメラの機構図

4 図に示すような構造をもっている。

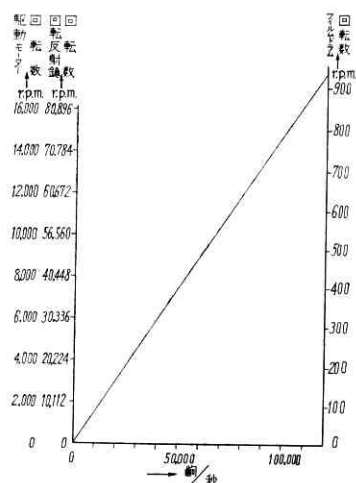
回転反射鏡駆動部は回転反射鏡駆動モータ、増速歯車および回転反射鏡よりなっている。その機構は 15,000 rpm. 単相

直巻整流子モータの回転を増速歯車で約 5 倍の 75,000 rpm, 最高 90,000 rpm に増速し回転反射鏡と一体の軸を回転させる。これは撮影速度毎秒 10 万駒に相当する。これらのおおのは回転による振動を防ぐため支持台に確実に固定してある。

光学系保持部はアルミニウム合金の厚板で製作された光学部品取付板が基となっており、反射鏡 (M_0) は反射鏡ボックスに納めて、光学部品取付板に取り付けてあり、任意の方向に向けてセットが可能である。第 1 レンズ (L_1) は円筒の中に固定してあり、その円筒自身が調節ねじによって光学部品取付板上を上下に移動でき、ピント合せに使用する。山形表面反射鏡 (M_1)、表面反射鏡 (M_2) および集光レンズ (L_3) は光学部品取付板に固定してあり、第 2 レンズ (L_2) 群も同じく光学部品取付板に固定してあるが、これはねじで前後に微動調整ができ光学系の最終調整に使用した。表面反射鏡 (M_3) および (M_4) は 1 本の筒の中に 45° の傾斜で向かい合せて固定してあり筒は光学部品取付板に固定してある。光学部品取付板は光学系取付台に取り付けてあり、強度

を増加し、振動発生を防止している。

フィルム・ドラム駆動部は単相直巻整流子モータの回転を減速歯車で 1/10 の回転数に減速しフィルム・ドラムを回転する。回転反射鏡およびフィルム・ドラムの回転数は電磁ピックアップと電子管式自動計数器の組合わせて測定され、時間分解能は 10^{-6} 秒以上の精度である。



第 5 図 撮影速度—駆動モータ回転数—フィルム・ドラム回転数

撮影速度と回転反射鏡の回転数および撮影速度とフィルム・ドラムの回転数の関係は第 5 図に示す通りである。フィルム・ドラムは内径 600 mm でその内側に 35mm 標準フィルム一巻き (約 1.9 m) を挿入する溝を有する。

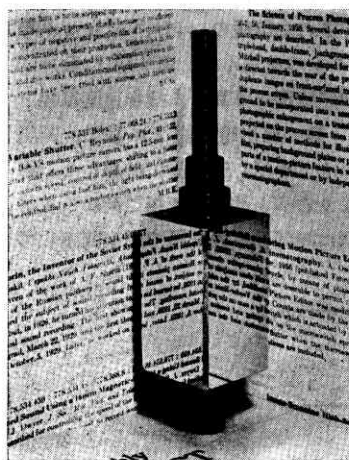
回転反射鏡

4 面体回転反射鏡は永年使用しても反射面に曇りま

たは錆の発生がなく、90,000 rpm 以上の高速回転に耐える十分な強度と良好な反射面を有し、回転が円滑に行なわれ高速回転による偏心あるいは撓みが発生したり、その取付けが悪く振動の原因となつてはならない。この装置における回転反射鏡は以上の点を考慮し、ステンレス鋼を用い、重量は約 400 g で、高速回転に対するバ

ランスを精密にとつてある。

反射面は日本光学樹脂株式会社において硬質クロムメッキを施した後、合成樹脂板のラップによる特殊鏡面仕上げを行ない、第 6 図に示したような完全な反射面を有する。この反射面の平面度は全面にわたってニュートンリング



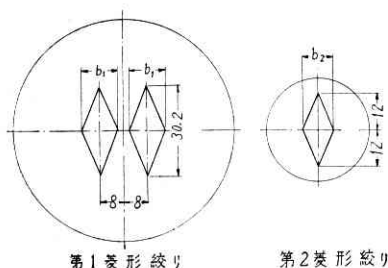
第 6 図 4 面体回転反射鏡の反射面

2 本以内の精度であり反射率は 80% 以上である。

菱形絞り

この装置では第 1 レンズ (L_1) と山形反射鏡 (M_1) の間に菱形の孔を有する絞り (S_1) が置かれ、この菱形絞

りを集光レンズ (L_1) で回転反射鏡 (R. M) と第2レンズ (L_2) の間に結像させる。この結像面に像と同形同大の菱形紋り (S_2) を置くと、 S_1 の像は回転反射鏡により回転し光束は S_2 上を横切るのでシャッタ効果を形成する。この装置には三種類の大きさの菱形紋りがあり、その菱形の孔の形状は第7図に示す。この菱形紋りを使



紋り番号	b_1 mm	b_2 mm
No. 1	12.6	10
No. 2	7.6	6
No. 3	3.8	3
No. 4		孔なし

第7図 菱形紋りの形状

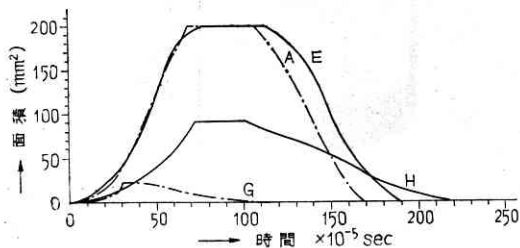
用することにより、1駒の露出時間を毎秒当たりの撮影駒数分の1のさらに1/3ないし1/20に制限することができ、高速現象を停止して撮影できる。

(6) 撮影結果

MLD-1 型超高速カメラで撮影した諸結果のうち、レンズ・シャッタの開閉状況、写真用閃光電球の閃光状況を示す。

1) レンズシャッタの開閉状況

被写体は、最近製作された国産のレンズ・シャッタで公称速度 1/1000 秒付のものを選んだ。第8図(口絵)は、レンズ・シャッタの開閉状況の写真で、撮影速度毎秒、71,840 駒の割合で、1駒の露出時間約 2μ 秒で、照明 1kW 特殊スポットライトを用い透過光で撮影した。第8図の写真は左上方より右へと進み次に第二列に入るがすべて隣り合う駒と駒は時間的に等間隔で順次開閉して



第9図 レンズシャッタの露出特性

ゆく。これによりシャッタ羽根の運動、露出特性、効率等を解析した1例を第9図に示す。

2) 写真用閃光電球の閃光状況

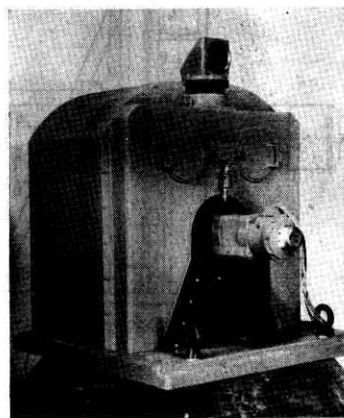
第10図(口絵)は、写真用閃光電球を被写体として選び、MLD-1 型カメラの特殊な使用方法として、第2レンズ群の1個のレンズのみ開け、他はすべてキャップで覆って撮影した。撮影速度は毎秒4,055駒の場合であるが、1駒の露出時間は約 0.9μ 秒である。これはプリズム式高速カメラの同じ撮影速度の写真に比べ、露出時間は約 1/55 であるから閃光電球中のアルミ・ワイヤの燃焼状況がよくわかる。

3. MLD-2 型超高速カメラ^{5)~9)}

MLD-2 型カメラは1型カメラの第2レンズ群 20 個を 40 個に置きかえたほか、強度的構造に改良を加えたが、他の光学系ならびに諸元は1型とほとんど同一である。4 面体反射鏡ならびにフィルムドラムの最高回転数は1型と同じであるが、第2レンズ群を2倍に増加したことにより、最高撮影速度は毎秒 24 万駒となる。

(1) 原理および性能

MLD-2 型超高速カメラは MLD-1 型と同様ドラム式カメラの利点と高速度回転反射鏡方式の特長を組み合わせた新しい方式の超高速カメラであり、その原理は第2レンズ群 20 個を 40 個に増加した以外は同一である。第11図は2型カメラの外観で、第12図(口絵)は、内部構造を示す。



第11図 MLD-2 型超高速カメラの外観

この装置の性能諸元は次の通りである。

- | | |
|---------------|-------------------------------|
| (1) 最高撮影速度 | 240,000 駒/秒 |
| (2) 1駒の最小露出時間 | 0.5μ 秒 |
| (3) 明るさ | 最大 $f:9$ |
| (4) 画面寸法 | 25×5 (mm) |
| (5) 撮影駒数 | 連続 200 駒 |
| (6) 使用フィルム | 35 mm 標準フィルム |
| (7) フィilm長さ | 1884 mm (有効長さ 1000 mm) |
| (8) 解像力 | 40 本/mm |
| (9) 撮影方式 | 群撮影 |
| (10) 入力 | a.c 100V or a.c 200V : 1.4KVA |
| (11) 装置寸法 | 横 700 × 縦 807 × 高さ 865 (mm) |
| (12) 装置重量 | 160 kg |

特 長

この装置の主な特長は MLD-1 型カメラと同様次の通りである。

- (1) 連続掃引方式で現象と撮影の同期が必要でな

い.

- (2) 被写体の方向は縦・横あるいは任意の方向であっても撮影可能.
- (3) 1 駒の露出時間を変えることなく撮影速度を変えることができる.
- (4) 装置は小型・軽量で操作が容易である.
- (5) 撮影結果を再編集すれば連続 200 駒の映画にでき映写機でスクリーン上に映写して高速現象を緩速度で再現して見るができる.

この装置は MLD-1 型と同様特殊使用法として 1 駒の露出時間を変えることなく、撮影速度を変えることができる. すなわち 40 個の第 2 レンズのうち任意の個数を等間隔にキャップで覆えば、撮影間隔は長くなり撮影速度は減るが、露出時間は変わらずそして第 2 レンズ群の 1 個で得られる駒数は多くなって時間的により長い現象も撮影可能である. たとえば撮影速度毎秒 200,000 駒の割合の時は撮影時間は 1/1000 秒で、1 駒の露出時間は 1μ 秒であるが、第 2 レンズ群を 1 個おきに覆うと、撮影速度は毎秒 100,000 駒の割合に減ずるが撮影時間は 1/500 秒と二倍に増加し 1 駒の露出時間は変わらず 1μ 秒が保たれ鮮明な撮影ができる. また第 2 レンズ群の 1 個のみを残し、他を全部キャップで遮蔽した状態で、最高回転で使用すれば毎秒 5,000 駒の撮影速度になるが、1 駒の露出時間は 1μ 秒を維持することができ連続 390 駒撮影可能であるので約 0.08 秒間の現象が撮影可能となる. さらに第 2 レンズ群を左右対称の位置の 2 個のみを使用すれば撮影速度は 2 倍の毎秒 10,000 駒となり連続 390 駒で 0.04 秒間の撮影が可能で、1 駒の露出時間は変わらず 1μ 秒を保持できる. このように現象の時間範囲に応じて 1 駒の露出時間を変化させずに撮影速度を自由に変えることができる.

(2) 撮影結果

MLD-2 型超高速カメラの撮影結果の数例を示す.

a) 導爆線の燃焼

導爆線の燃焼状況の撮影結果を、第 13 図 (口絵) に示す. 撮影速度は毎秒 205,000 駒の割合で 1 駒の露出時間は約 1.4μ sec であり燃焼状況が鮮明にわかる. 被写体は直径 5.5 mm, 長さ 150 mm で 60 mm の長さの枝を取り付け十字形にした. 導爆線の爆速は 6,350 m/sec であり、起爆用雷管は JIS 6 号電気雷管を使用して、管体に照明に使用した閃光放電管の接点を付けて、雷管の破裂により閃光し、反射光で撮影した.

b) 爆発成形の撮影

爆発成形の撮影結果を第 14 図 (口絵) に示す. 撮影速度は毎秒 142,880 駒の割合で 1 駒の露出時間は 2.3 μ sec である. 被写体はステンレス鋼板で板厚 0.8 mm, 直径 205 mm の試験材料を直径 150 mm のダイスで free forming した. 爆薬は TNT 火薬 10 g のペレットを

用い、試験材料の上方 1 m の水中に吊り下げた. 起爆用雷管は JIS 6 号電気雷管を使用し、閃光放電管により影写真で撮影した. この場合変形部の先端が裂けない場合の写真であるが、変形は静的の場合球形にふくらんでゆくと異なり、はじめ裁頭円錐形で変形してゆき、次第に裁頭部が伸びてゆく状況がよくわかる. 裁頭部の変形速度は 150~200 m/秒であることが判明した. 第 15 図 (口絵) は本カメラで爆発成形機構の撮影中の写真である.

c) 銃用雷管の点火

第 16 図 (口絵) は、シュリーレン法による銃用雷管の点火の様子を撮影したもので、撮影速度は毎秒 75,000 駒の割合である. このカメラの構造上、超高圧水銀灯の 2 点光源を使用して撮影した.

d) 大電流放電による衝撃波の伝播

第 17 図 (口絵) は、同じくシュリーレン法による電気火花の衝撃波の伝播状況を撮影した写真で、撮影速度毎秒 101,600 駒である. 電圧 15 kV, コンデンサ容量 0.1 μ F.

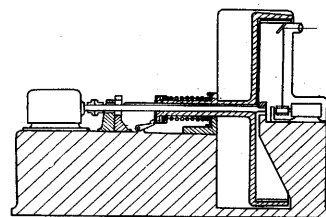
e) メタンガス中の電気雷管の爆発

第 18 図 (表紙写真) はシュリーレン法で、メタンガス中の電気雷管の爆発状況を撮影した写真で、撮影速度、毎秒 129,000 駒、1 駒の露出時間 2.5 μ 秒である. 爆発初期の火焰の大きさ、爆発波と衝撃波の分離してゆく状況等がよく判る.

(3) 毎秒 100 万駒以上の新型超高速カメラの計画^{a), b)}

前述の MLD-1 型、2 型カメラは毎秒 100 万駒以上の撮影速度を有する超高速カメラのモデルに製作したものである. 現在これらのカメラを基本として、光学系に多少の改良を加え、4 面体回転反射鏡は 16 mm×30 mm の 1 面をもち、タービン駆動とモータ駆動による一種の方式を試作中である. 回転反射鏡を MLD-2 型の 5 倍の 375,000 r.p.m. 回転させ、フィルム・ドラムも同じく 5 倍の 4,000 r.p.m. で回転させることにより、毎秒 100 万駒以上の撮影速度をもつ新型カメラを設計製作中で本年度中に完成の予定である.

なおまたフィルム・ドラムを軸方向に移動させることにより、スパイラル状に画面を群撮影して連続可能駒数を現在の 10 倍以上の 2,000 駒以上に増大させたカメラを計画中である. この点は、



第 19 図 ドラムを軸方向に移動させる新型カメラの構造概略
撮影速度 毎秒 100 万駒以上
連続駒数 2,000 駒以上

本カメラの方式においてのみ可能であり、この方式のカメラが完成すれば二重写しの恐れは絶対になく、いかなる超高速度現象をも、必ず捕捉撮影できる特長をもっている。第 19 図はこのカメラの構造の概略を示したものである。

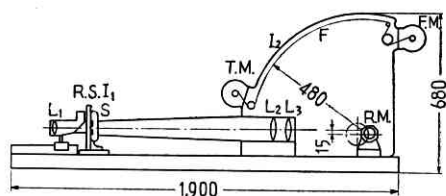
4. SP-1 型超高速度流し写真撮影装置^{10)~12)}

(1) まえがき

爆発・放電・核融合反応等の超高速度現象の解析には、超高速度映画撮影装置とともに、流し写真撮影装置が有力な解析手段として使用される。毎秒数千メートルの掃引速度をもつ超高速度流し写真撮影装置としては、外国には Beckman & Whitley の Streak Camera 等市販されているが、わが国ではまだ製作されていない。筆者は以前よりこの種の装置の必要性を感じ、実験室的な装置を試作して使用していたが、1958 年 6 月電気試験所より、核融合反応の研究に使用する装置として、毎秒 10 万駒程度の高速度映画撮影装置とともに、毎秒 1,000 ~ 5,000 m の掃引速度をもつ超高速度流し写真撮影装置の設計製作を依頼されたので、その目的に沿う性能の流し写真撮影装置を、独自の考案により設計試作し、所期の性能を有し、他に類を見ない長所をもつ SP-1 型超高速度流し写真撮影装置を完成することができた。以下この原理、構造ならびに試験結果について報告する。

(2) 原理および構造

装置の外観ならびに構造の概要をそれぞれ第 20 図(口絵)・第 21 図に示す。



第 21 図 SP-1 型超高速度流し写真撮影装置の構造

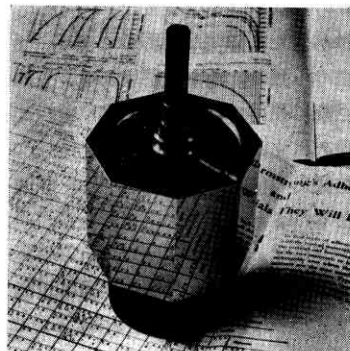
性能諸元

SP-1 型超高速度流し写真撮影装置の主な性能諸元は次の通りである。

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| (1) 連続掃引方式 | 現象と装置との同期の必要なし |
| (2) 掃引速度 | 5,000 m/sec 以上 |
| (3) 光学系の明かるさ | $f: 11 \sim 14$ |
| (4) 解像力 | 20 本/mm 以上 |
| (5) 掃引時間 | 200 μ sec 以上 |
| (6) 撮影倍率 | 1:1 ~ 1:100 |
| (7) 二枚鏡を用い任意の方向の撮影ができる | |
| (8) スリット | 0.1 ~ 1 mm |
| (9) 使用フィルム | 35 mm 標準フィルム |
| (10) 装置寸法 | 長さ 1900 × 高さ 680 × 幅 400 (mm) |
| (11) 装置重量 | 約 64 kg |

SP-1 型超高速度流し写真撮影装置は白昼操作ができ

使用が簡便で小型・軽量、そして運搬が容易なことを目標に設計製作した。この装置の原理は第 21 図に示すようにフィルムを $\frac{3}{4}$ 円周に配置しその中心部に 8 面体回転反射鏡を置き、その回転により光がフィルム上に掃引し流し写真が得られる。連続掃引方式で現象と撮影の同期を必要としないためには、つねに像はフィルム上になければならずこの装置では 8 面体回転反射鏡を使用し目的を満たした。光学系の構造は第 21 図に示すように第 1 レンズ (L_1) として、被写体の大きさ、距離に応じて 35 mm ライカ版カメラ用各種レンズ群を用い、第 1 実像 I_1 をスリット (S) 上に結び、スリット (S) より 800 mm の距離に第 2 レンズ (L_2 , 焦点距離 800 mm, $f:8$) を置き、隣接して同一焦点距離、同一明かるさの第 3 レンズ (L_3) を取り付け L_3 より 323 mm の位置に 8 面体回転反射鏡面があり、反射面を中心に約半径 480 mm の円周上に第 2 実像 I_2 を掃引記録する $\frac{3}{4}$ 円周のフィルムがある。回転反射鏡の一面で連続掃引する有効長さは 745 mm であり、第 24 図において、回転鏡を時計方向に回転させれば、第 2 実像 I_2 は A 点より掃引されて、B 点に至るが、そのとき隣接の次の反射面による第 2 実像が、A 点に同時に現われる。よって現象が何時おきても、フィルム上のいずれかの位置にかならず撮影ができる。フィルムは半径 0.48 m の円

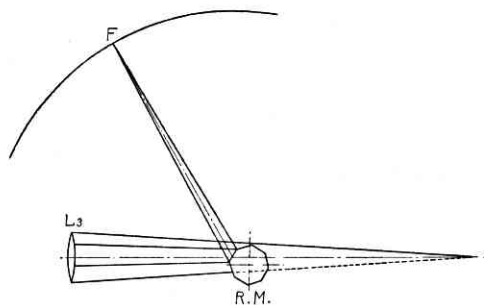


第 22 図 8 面体回転反射鏡

周に装填し回転反射面で反射した光束はそのフィルム上に結像するが、回転反射鏡は高速回転する結果流し写真となる。第 22 図は 8 面体反射鏡の外観を示す。

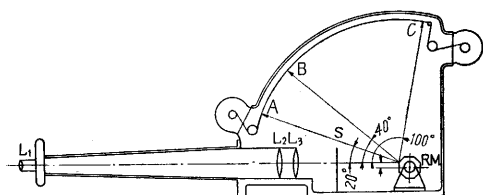
(3) 絞りの問題

回転反射鏡に入射する全光束と、回転反射鏡の一反射面によって反射される光束との関係は第 23 図に示すよ



第 23 図 回転反射鏡に入射する光束

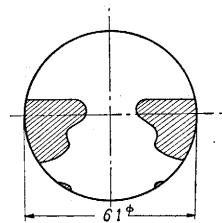
うな関係となり、全入射光束の一部分がフィルム面上に到達することになる。この反射光束は回転反射鏡の回転にともなう変化化する。第 24 図においてフィルム面上の A, B, C 点における光量は異なってくる。



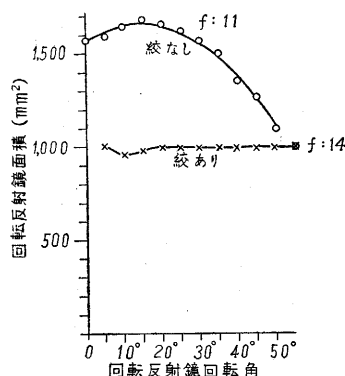
第 24 図 回転反射鏡の回転による光束位置

この問題を解決するため種々検討の結果、第 3 レンズ (L_3) と回転反射鏡 (RM) の反射面との間に適当な形状の絞り (S) を挿入することにより、フィルム上のすべての位置における光量を C 点における光量 ($f:14$) に等しくすることが可能であることを見出した。

フィルム面上の各点における明るさが等しくなるような絞りの形状を図式解法により求めた結果、第 25 図に示すような特殊な形状を得ることができた。この絞りを挿入し、フィルム面上での明るさを実測した結果、各点における明るさは等しくなっていることを確認できた。この絞りを挿入した場合としない場合の光量と回転反射鏡角度との関係を示す。



第 25 図 絞りの形状



第 26 図 絞りと光量の特性

(4) シャッター機構

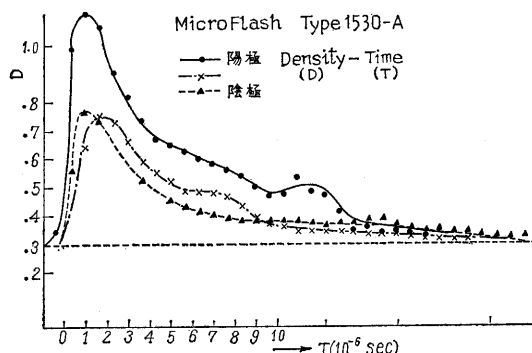
本装置の撮影時間は最高掃引速度の時約 200μ 秒なので、これ以上時間が長く続く現象の場合、二重露出となる。この二重露出を防ぐには $1/5,000$ 秒程度のシャッターが必要であり、このような高速シャッターでは開閉面積の少ないほど高速を得ることができる。この装置においてはスリットの位置でシャッターを作用させるのが一番有利である。ゆえに新たに設計製作した高速回転シャッター装置と補助的シャッターとして 35 mm ライカ型フォーカル・プレーン・シャッターの二種をスリットの位置に接近して取り付け使用する。

(5) 撮影結果

本装置による撮影結果を数例簡単に報告する。

a) マイクロ・フラッシュの閃光状況

この装置を使用して種々の閃光放電管の実際の閃光時間を撮影測定したが、その一例を示す。被写体のマイクロ・フラッシュは General Radio Co. 製の Type No. 1530 A である。まずマイクロ・フラッシュの静止像を透過光で撮影し、フィルムのみ巻き取り新しいフィルムをセットし、駆動モータ 6,000 r.p.m. フィルム上の掃引速度 3,000 m/秒、スリット 0.5 mm を用い、マイクロ・



第 28 図 マイクロ・フラッシュ解析結果

フラッシュの閃光を撮影した 1 例が、第 27 図 (口絵) である。この結果を濃度測定により発光量を解析すれば第 28 図となり有効閃光時間はピークの上部で 2μ 秒をえた。

b) プラズマ放電におけるピンチ効果の流し写真

核融合反応の研究にプラズマ放電におけるピンチ効果を用いる方法があるが、ピンチ効果の状況を解析するため超高速流し写真装置が広く用いられている。本装置で、プラズマ放電のピンチ効果の撮影結果の 1 例を、第 29 図 (口絵) に示す。撮影諸元は掃引速度 2,000 m/秒、スリット 0.5 mm、プラズマ放電は電圧 30 kV、電流 15 kA、内圧 2.5×10^{-2} mmHg である。撮影結果よりピンチの状況、放電継続時間等を正確に知ることができた。

c) Faraday 効果による超高速シャッターの撮影

筆者の研究室において研究を行なっている Faraday 効果による超高速シャッターの露出時間は、理論式および高速ブラウン管オシログラフによる電気的測定法により測定してきたが、これらの測定値と、実際の撮影結果の露出が一致するか否かをたしかめるために、本装置を用い撮影を行なった。その 1 例を第 30 図 (口絵) に示す。掃引速度 2,300 m/秒、スリット 0.5 mm, Faraday 効果による超高速シャッター装置の電圧 15 kV、コイル 10 回巻、コンデンサ $1 \mu F$ で、制動抵抗を取り除いた場合で、減衰振動を行なっており、数回露出を行なっている状況がよくわかる。最初の露出時間は 5μ 秒であ

る。

d) 電気雷管によるメタン着火

第31図(口絵)は、メタンガス中で電気雷管を爆発させ、点火状況を撮影したもので、掃引速度 205 m/sec である。

高速現象を解析する手段の一つとして、超高速度流し写真撮影装置を使用すれば以上述べたように非常に有効な成果を得ることができる。この装置の現象解析における特長は、フィルム上で濃度および現象時間の測定ができることである。この装置は“光学的な超高速度オシログラフ”と考えてよく、非常に利用範囲が広い。また高速映画撮影装置と併せ用いればその応用範囲はさらに拡大する。

5. む す び

以上最近完成した三種の超高速度カメラについてその概要を報告したが、すでに試作を含めて MLD-1 型、2 型カメラ計 4 台、SP-1 型流しカメラは計 8 台製作されており、いろいろの分野で有効に使用され始めている。

終わりにのぞみ、本研究を行なうにあたり、設計試作研究に終始協力していただいた植村研究室の文部教官伊藤寛治氏、文部技官山本芳孝氏、技術員黒河喜昭氏等に深く感謝の意を表する。なおカメラの製作にあたりひとかたならぬご協力をいただいた日立工機株式会社徳重政晴部長、嵯峨幸一課長に深く感謝するとともに、光学等その他で協力をいただいた東京光学機械株式会社、日本光学樹脂研究所、キャノン・カメラ株式会社等関係各位

に謝意を表する。

(1961 年 8 月 4 日受理)

文 献

- 1) 植村：ドラム式超高速度カメラの試作；生産研究第4巻7号(1952年)P.259~262.
- 2) 植村：ドラム式超高速度カメラの研究；生産研究第8巻8号(1956).
- 3) 植村：ドラム式超高速度カメラの研究；映画技術，91，P.37~42，1957.7.
- 4) T. UYEMURA: A Drum Type Ultra-high-speed Picture Camera; Proc. of Third International Congress on High-Speed-Photography (London) P.300~304, 1956.9.
- 5) 植村：毎秒 100 万駒以上の新型超高速度カメラの設計，第6回応用物理学関係連合講演会予稿集 P.198，1959.4.
- 6) 植村：ドラム式超高速度カメラの研究；映画技術，91，P.37~42，1959.7.
- 7) 植村：超高速度映画撮影装置(第2報)第7回応用物理学関係連合講演会予稿集 P.320，1960.4.
- 8) T. UYEMURA "A New Ultra-High-Speed Framing Camera Combining a Rotating Mirror with a Film Drum" 5th International Congress on High-Speed Photography, Preprint P.27, Washington D.C., Oct. 1960. J. of S. M. P. T. E. Vol. 70, 70, P.280~283 (1961.4.).
- 9) 植村：新型超高速度映画撮影装置(植村式 MLD-1 型)生研リーフレット，No.78，1960.
- 10) 植村：超高速度流し写真撮影装置・第7回応用物理学関係連合講演会予稿集 P.322，1960.4.
- 11) T. UYEMURA, "Ultra-High-Speed Streak Camera" Presented at the 5th International Congress on High-Speed Photography in Washington D.C Oct. 1960.
- 12) 植村：超高速度流し写真撮影装置(植村式 SP-1 型)，生研リーフレット，No.79，1960.

次 号 予 告 (10 月号)

観測ロケット特集号 — カッパ8型・9型 —

口 絵

巻頭言	観測ロケットの開発と協同	藤高 周平
	秋田におけるチーフ会議の思い出	福田 武雄
特 集	K-6Hについて	糸川 英夫
	上層における気温・風の観測結果について	前田憲一外
	K-7, 8, 9型について	糸川 英夫
	K-7, 8, 9型の空気力学(ST試験を含む)	玉木 章夫
	K-6H 7, 8, 9型の性能	広沢 暉夫
	カッパ7型, 8型, 9L型の構造強度について	森 大吉郎
	8型用ランチャー	森 大吉郎
	K-7, 8, 9型のロケットチャンバー	安藤 良夫
	SPロケットのスピン特性	板橋 宗雄
	SP150の飛しょう実験	玉木 章夫
	デジタルコンピュータによる	
	飛しょう特性計算	渡辺 勝外
	高感度受信機1	鶴・高橋外
	テレメータ用空中線	山下不二雄

DOVAPについて	牧 野 外
ドバップトランスポンダ	牧 野 外
DOVAPレーダ用ロケットアンテナ	長谷部望外
レーダによるロケット航跡標定結果	レーダ研究班
テレメータ実験結果	テレメータ研究班
ドバップ実験結果	野村 民也
加速度計	中村円生外
カッパ8型の歪計と温度計	森大吉郎外
タイマー	中村円生外
カッパ7, 8, 9型の光学的追跡について	植村恒義外
—高速飛しょう体の光学的追跡に関する研究(33~36報)—	
K-8型用電離層測定器	平尾 邦雄
カッパ8型の宇宙線測定	宮崎友喜雄
大気光観測装置	古畑 正秋
欧米の宇宙科学技術の現状	高木 昇
総務	下村潤二朗
記録	広沢 暉夫