

高速度写真学の研究活動

植村 恒 義

1. まえがき

爆発・破壊・放電・核融合反応などの超高速度現象の解析手段として、超高速度カメラが必要となってくるが、これらの現象の解析には毎秒数 10 万駒ないし 100 万駒以上の撮影速度が要求されるようになってきた。また 1 駒の露出時間は 100 万分の 1 秒ないし 1,000 万分の 1 秒の微少時間露出が必要となってきた。

それほど速くない高速度現象に対しては、回転プリズム方式の高速度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が毎秒 1 万駒程度が限界となっている。これ以上の撮影速度を必要とする超高速度現象の解析にはより高性能の高速度撮影装置を使用しなければならない。これらの装置としてはドラム式・回転反射鏡式・閃光光源繰返し方式・Faraday 効果や Kerr 効果を利用した電気的シャッター方式・Image Converter Tube 方式などの種々の方式が発表されている。これらの方式は解析の対象によってそれぞれ長所欠点をもつが、筆者の研究室において過去約 20 年間にわたって開発研究してきた種々の高速度写真撮影装置ならびに各分野への応用面を中心として高速度写真学の研究活動分野を簡単に紹介する。

2. 各種高速度写真撮影装置

(1) 回転プリズム式高速度カメラ

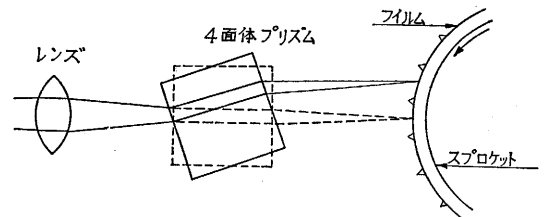
光学的調整装置として回転プリズムを使用する方式のカメラで最も広く利用されている。外国の代表的なものとして Fastax 高速度カメラ (Wollensak Opt. Co.) Kodak 高速度カメラ (Eastman Kodak. Co.) (最近 Kodak は製造を中止し、Beckman & Whitley 社で Magnafax の名前で製作されている)。Fairchild 高速度カメラ (Fairchild Camera & Instrument Corp.) Waddell カメラ (Waddell Inc.) などがある。

わが国においては戦前日立製作所により 10 面体プリズムを使用したカメラ (最高 3,000 駒/秒) が製作されていたが最近筆者の研究室の指導と助言により日立 16H 高速度カメラが製品化された。このカメラは最高撮影速度は他のいずれのカメラより速く 10,000 駒/秒の性能をもち、画面振れ少なく解像力も優秀で、試験的には 12,000 駒/秒 まで出している。オッシロ撮影装置付の型も製作している。国産の同種カメラとして島津高速度カメラ (島津製作所製、6 面体プリズム使用、最高 9,000 駒/秒) がある。

普通の映画撮影機は間歇的フィルム送り機構であるた

め、毎秒 200~300 駒以上の高速度撮影はフィルムの強度上から不可能となる。これ以上の速度を出すためにはフィルムを連続に送る必要があり、その結果露出時間中にフィルムが移動するための像のボケが生ずるので像をフィルムと同じ速度で同一方向に移動させてやる必要がある。このための光学的調整機構として最も簡単な方法は、レンズとフィルムの間に平行な 2 面をもつプリズムを挿入し、これをフィルムの速度に比例した適当な回転で回せば、近似的に像の速度とフィルムの速度を一致させる方式である。プリズム式カメラは、いずれもこの原理を用いたもので、第 1 図は 4 面体プリズム式カメラの原理を示す。正 4 面体プリズム 1 回転で 4 駒撮影されるわけで、プリズムの稜の部分の覆い (図示していない) がシャッターの役目をしており、プリズムがフィルムに正対した位置から $\pm 9^\circ$ の範囲だけ光を通過させるので、露出時間は駒数分の一さらに $1/5$ 程度となり、たとえば毎秒 10,000 駒のとき約 $1/50,000$ 秒の露出となる。

このプリズム式カメラはこの 10 年間に国産・外国製品合わせて 200 台以上国内に普及しており、工業界ならびに各研究分野で広く使用されている。

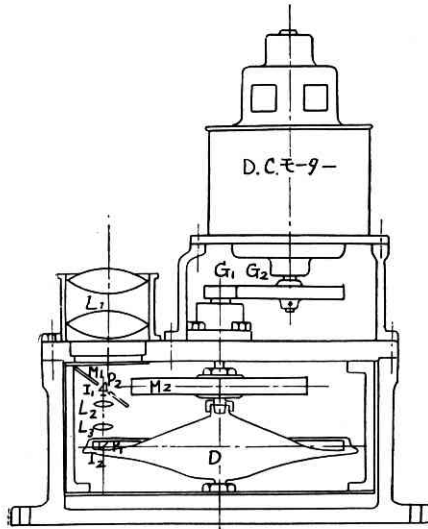


第 1 図 4 面体プリズム式カメラの原理

(2) ドラム式超高速度カメラ

プリズム式カメラのようにフィルム自体を走らす場合、フィルムの強度上毎秒 50~80 m 以上の速度は出せないで、フィルム移動用のドラムを回転し、ドラムで強度を保たせる方式を用いる。

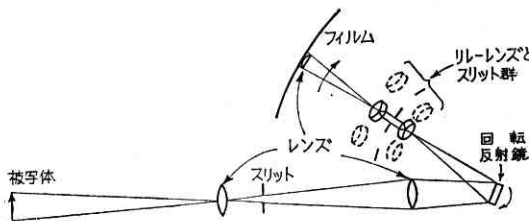
代表的なものとして、昭和の初期栖原豊太郎博士が考案製作された栖原式超高速度カメラがある。I, II, III 型まであり、それぞれ毎秒 2 万駒、4 万 5 千駒、6 万駒の撮影速度をもっている。筆者はこのカメラを進展させた方式のカメラの研究を行なった。多面体反射鏡とフィルムドラムを一体とし、可動部分の機構を極力簡略化し、より高速度の撮影を可能とする機構を考案し、M-1, M-2, M-3, M-4 型の 4 種を製作した。第 2 図は M-3 型の構造を示す。D は外径 490 mm の特殊鋼製フィルム



第 2 図 M-3 型超高速カメラの構造

ドラムで、内側にフィルムを巻き、最高移動速度は 560 m/秒 を出しうる。M₂ は 180 面体多角柱反射鏡で最高 75,000 駒/秒、16 mm 標準画面で連続 180 駒撮影できる。M-4 型は M-3 型の約 1/3 の大きさのもので、フィルムドラムの外周をそのまま 120 面体反射鏡にした点を特徴とする。ドラムは直径 170 mm のコマ状円盤で、円周の内側に 8 mm フィルムを 2 列に巻く。最高撮影速度 20 万駒/秒以上の性能をもつ。

同種のカメラとしては Beckman & Whitley 社の Dynafax カメラ (最高 25,000 駒/秒、露出時間 1~5 μ 秒連続 224 駒) や、ソ連製 F-P 22 型回転反射鏡式ドラムカメラ (最高 10 万駒/秒、8 mm フィルム使用、連続 7,600 駒) などがある。



第 3 図 回転反射鏡式カメラの原理

(3) 回転反射鏡式超高速カメラ

ドラム式カメラではフィルム・ドラムの回転強度でフィルム移動速度に限度があり、現在の材質では 500~600 m/秒 が最大である。ドラム式よりさらに撮影速度が要求される場合、回転反射鏡方式が用いられる。第 3 図はこの方式の原理を示したもので、カメラの中心部に超高速回転の反射鏡があり、第 1 レンズ系で鏡面上に第 1 実像を結ばせる。回転鏡を中心とした円周上にカメラ群を配置し、フィルムは静止のままである。反射鏡の回転により、円周上の

カメラ群につきつぎに露出を与える。

この方式による Beckman & Whitley 189 型超高速カメラは最高 430 万駒/秒の撮影速度をうることができ 1/4 円周のフィルム上に連続 25 駒撮影できる。回転鏡は空気またはヘリウムによるタービンで、最高 18,000 r. p. s. の回転をだす。反射鏡の大きさは 0.394 × 1.0 インチである。露出時間を制限するために菱形のダイヤモンド絞りを使用しており、露出時間は各駒の間の時間の約 1/3 になっている。この型では反射鏡が 25 駒分の方向に向かっている間のみ撮影が可能なので、カメラに現象を同期させる必要があり、任意の時期に起こる現象は捕捉しにくい。Beckman 192 型は連続撮影方式のもので、現象がいつ起きても駒のどれかに必ず捕捉できる。最高速度 140 万駒/秒、連続 80 駒の撮影が可能である。回転鏡は 3 面体で最高 6,000 r. p. s. 画面サイズは 17 × 25 mm である。フィルムは 35 mm、長さ 6 フィートのものを 2 列に用い、静止である。わが国には 189 型 1 台日本大学原子力研究所に輸入されており、192 型が 1962 年 3 月東京大学工学部に輸入された。

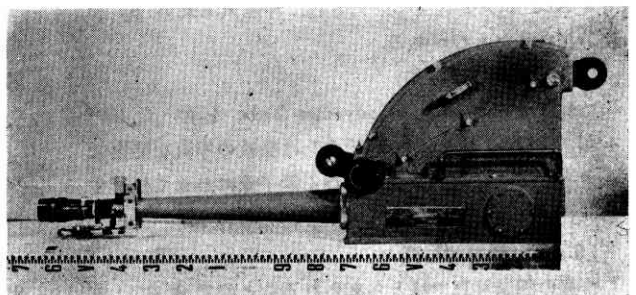
(4) 植村式 MLD-1, 2 および 3 型超高速カメラ

これらのカメラは筆者の研究室でこの数年来研究開発したもので、ドラム式と回転反射鏡式の特徴を組み合わせた新しい方式のカメラである。1 型 2 型については生産研究 Vol. 13, No. 9 (昭和 36 年 9 月号, P. 271~276), 3 型については本号別項に報告したので参照されたい。

(5) 超高速流し写真装置

第 4 図は筆者の研究室で設計開発した植村式 SP-1 型流し写真撮影装置の外観である。8 面体回転反射鏡を使用し、連続掃引方式となっており、最高毎秒 5,000 m の掃引速度をもつ。フィルム上全面にわたって明るさを一定にするための特殊絞りをもち総合明るさは f: 11~14 である。

この装置は光学的なオシログラフとして広い利用範囲があり、時間的分解能は狭いスリットを用いることにより 10⁻⁷~10⁻⁸ 秒の性能を有する。同種の装置として Beckman & Whitley 社の装置などがある。



第 4 図 植村式 SP-1 型超高速流し写真装置

(6) 瞬間写真用閃光光源

以上はいわゆる高速度映画方式の装置について述べてきたが、一枚または数枚の瞬間写真を撮る方式として閃光光源を用いる方法がある。暗視野にしてカメラを開放のまま待機し、希望の瞬間に光輝時間の極めて短い光源で照明して撮影する方法である。この光源としては、古くから電気火花による方式が用いられてきた。光輝時間を 10^{-5} ~ 10^{-7} 秒程度にできるが光量不足、超高電圧の必要などの欠点をもつ。最近ではクセノンなどの稀元素ガスを封入した閃光用放電管がめざましい発達を遂げ、電圧数kV程度で非常に明るく、しかも閃光時間が 10^{-3} ~ 10^{-6} 秒程度までのものを容易に得ることができるようになった。なお装置は非常に小型軽量にでき、閃光管の寿命も1万回以上も繰返しに耐えるので各方面で利用されはじめている。大容量の光輝時間の比較的長い閃光管は先に述べた回転反射鏡式カメラの照明光源としても使用される。電気火花を間歇的に飛ばし高速度映画的に撮影するCranz-Schardin方式やストロボ式繰返し閃光管光源を使う装置もある。

このほか閃光光源としては、水銀蒸気管や金属線の電氣的爆発を使う方式などがあるが、最近ではアルゴンガスを火薬の爆発の衝撃波によって短時間発光させる方式も現われた。

また顕微鏡高速度写真用光源としてオプティカル・メーザーを用いる方法が現われたが、太陽の集光像の1万倍以上もの照度を得ることが可能で、顕微鏡高速度写真の分野に新しい希望を与えている。

(7) 瞬間写真用電氣的シャッター

上述の瞬間写真用光源は暗室でカメラ開放で待機するため火薬の爆発現象などのそれ自体明るい閃光を発する被写体は撮影できない欠点がある。そのためにはカメラの側にFaraday効果やKerr効果利用の電氣的シャッターを用いる必要がある。Faraday効果とKerr効果を利用する二種があるが、Faradayシャッターとしては筆者の研究室で試作した装置では数 μ ~ 0.1μ 秒の露出に成功した。Kerrシャッターはミトロベンゼンなどの液体Kerr槽とADPなどの固体結晶を用いる方法があり 10^{-7} ~ 10^{-8} 秒の短時間露出を得ることができる。わが国でもADP研究委員会で研究され、沖電気工業K.K.で製品化されたものがある。

(8) 像変換管方式

これはPulse Image Converter Tubeを用いて 10^{-6} ~ 10^{-7} 秒程度の露出で1枚または数枚の写真を撮影できる方式で、光学的像をいったん電子像にかえて撮影する方式で今後発展性のある方法と考えられる。

(9) X線瞬間写真

普通の瞬間写真ではとらえられることのできない金属、木材など不透明な材質の内部状態を観察するために

は、強力なX線によって瞬間的に影写真を撮影する方法がある。従来の熱陰極型X線管では放射時間が長くX線強度も小であったが、最近電界放射型(冷陰極型)X線管の進歩により熱陰極型の10万倍の電流を瞬時に流し、 10^{-6} ~ 10^{-7} 秒の露出が可能となったので、高速被写体でも鮮明な瞬間写真を撮ることができるようになった。

3. 応用分野

筆者の研究室において各種の高速度写真装置を用いて現在までに行なってきた高速度写真の応用例を列挙すれば次のようなものがある。

捕鯨砲の銚、ロープならびに砲身の運動解析、時計脱進機構の解析、繊維機械の解析、ミシンの糸の運動、カメラ用シャッターの特性解析、火薬の爆発機構の解析、花火の運動解析、衝撃による研摩砥石の破壊、鯨用標識銚の鯨皮貫通状況、各種点火剤の発火状況、写真用シャッターのカバナーの運動、電話用ダイヤルの運動、電話機用機器の作動、金属線の電氣的爆発、写真用フラッシュの燃焼状況、爆圧による薄い鉛板の塑性変型過程、水面における飛沫発生機構、高速回転円盤の破壊機構、水滴の分裂状況、鋳物の湯流れ、接触変流機、印刷機、微分解析機の振動、流体変速機の解析、ロケット飛行状況解析、材料の衝撃試験の機構解析、爆発成形機構、電気雷管のメタン着火機構、各種点火材の発火機構、レンズ・シャッターの開閉、鼓膜の振動、楽器の弦の振動、金属の切削機構、ガラスの衝撃破壊機構、オプティカル・メーザーの発光機構、猟銃弾の飛しょう状況、スポーツのフォームの解析、水車の空洞現象、さく岩機の運動、導爆線の伝爆機構などの100テーマ以上の応用面の解析を行なってきた。

4. むすび

以上各種の高速度写真方式についてのべたが、実際に高速度写真を用いて研究を行なうにあたっては、それぞれの問題に応じ、最も適合した撮影方式を選ぶことが肝要である。一般に瞬間写真は大型で非常に鮮明な、しかも露出時間の極めて短い写真画像を得やすいが、連続の枚数に非常な制限がある。一方高速度映画は連続的に多数の駒数が撮れ、さらに映写機にかけてこれを緩速度で再現して見ることができる利点があるが、1駒の画面は小さく鮮明度も悪いので精密測定用には適しない。このように各方式によってそれぞれ長所欠点を有するので、研究対象によっては数種併用してその欠点を補い合えばいっそう有利に研究を進めることができる。

筆者の研究室では、10数種の各種高速度写真用装置が開発整備され装置自体の研究および応用分野への研究を行なっているが、わが国は最も充実した設備と内容をもっていると考えられるので、将来研究所内に高速度写真センターを設け、各分野の要望に応じて利用できる設備に発展させたいと思う。(1962年6月25日受理)