

# 高速度写真技術の工業界への応用

植 村 恒 義

## 1 ま え が き

高速度写真による解析研究は最近工業界の各方面において広く行われ、非常に有効であることは既に多くの実例にみられる通りであり、<sup>(1)(2)(3)</sup>とくに第二次大戦中より以後米国並に欧州においてはその発達著しいものがある<sup>(4)(5)(6)(7)</sup>。

東大生産技術研究所においても従来数種の高速度写真装置があり、この分野の研究が行われてきたが、昭和27年9月兼重所長、平田教授等の尽力により、当研究所に高速写真委員会が設置された<sup>(8)</sup>。本委員会は高速度写真関係の設備の充実をはかり、所内各部の要望にこたえとともに、かつはわが国における高速度写真研究の推進力となり、所外よりの要望にも応ぜられるような体勢を整え、当研究所の特色ある研究部門に発展させることを目的とする。27年度28年度設備の拡充を行い、活発な活動を行って成果をあげているので、現在迄に充実された当研究所の高速度写真設備並にその工業界への応用面の成果について報告する。

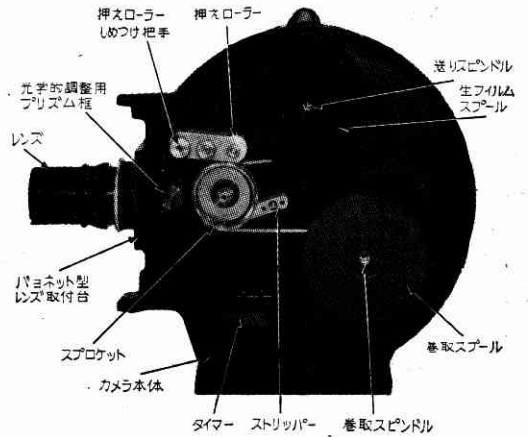
## 2 東大生産技術研究所の高速度写真設備

### (1) 16mm Fastax 高速度カメラ

このカメラは文部省科学研究費輸入機械購入費により27年末、本研究所に輸入されたもので、現在迄の約1年間に既に拾数件の研究に使用され、大いに成果をあげており(後章参照)、高速度写真装置の主力として利用されているので、この構造、性能並に附属設備についてまず紹介する。

このカメラは米国の Wollensack Optical Co. 製で米国

をはじめ欧州においても広く使用されているもので、光学的調整装置として4面体プリズムを使用し、毎秒150~7,000 駒の撮影速度を有する。重量は約11kg、大きさ28cm立方で小型携帯用にてできている。アート第1頁の写真は、このカメラの外観を示したもので、本文第1図は内部構造を示した写真である。



第1図 Fastax 高速度カメラの内部構造

附属レンズとしては次の5種を購入した。

- 35mm f/2.0 Ciné Raptor 広角レンズ 1個
- 50mm f/2.0 Ciné Raptor 標準レンズ 1個
- 101mm f/3.5 Ciné Raptor 望遠レンズ 1個
- 152mm f/4.5 Ciné Raptor 望遠レンズ 1個
- 15吋 f/5.6 Ciné Raptor 超望遠レンズ (381mm) 1個

これらのレンズを用いれば撮影現場において限定された場所でも希望の大ききで撮影可能であり、近接撮影の

表紙 16mm Fastax 高速度カメラによる焼入瞬間の沸騰状況の撮影(本文23頁参照)

口絵..... 1~8頁  
研究解説

高速度写真技術の工業界への応用...植村 恒義...9

高速度空気力学における瞬間写真...玉木 章夫...15

高速度写真撮影におけるフィルム  
の感光度と増感処理...笹井 明...19  
菊池 真一

### 研究速報

表面膜沸騰における液温の影響

(焼入歪の研究第1報)...橋 藤雄...23  
福井 資夫

鋳物の湯口と湯流れについて...千々岩健児...24

フルフルールとアミンとの反応

による界面活性剤の合成...浅原 照三...25  
富田 穰

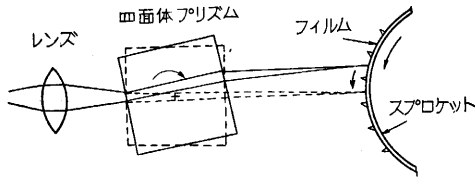
イオン交換平衡式について...山辺 武郎...27

### 生研ニュース

部外活動、筆者紹介.....28

際は附属の4個のエクステンション・チューブを用いれば拡大撮影もできる。又超遠望レンズを使用すれば相当遠距離からの撮影もできるので、爆破現象の研究等に適する。レンズの取付はバヨネット型で簡単に交換できる。

このカメラの原理は第2図に示すように、写真レンズ

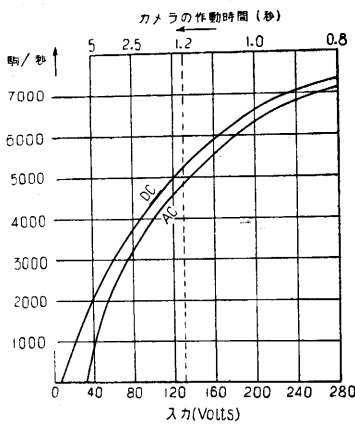


第2図 Fastax 高速度カメラの原理

とフィルムとの間で4面体プリズムを高速回転し、像をフィルムと同一速度で移動させ、露出時間中のフィルム移動による像のボケを防ぐ。

駆動は 1/4 馬力交流両用ユニバーサル・シリーズ・モーター2個を用い、1個はスプロケット及びプリズム(第1図参照)を回転し、他の1個は巻取スプールを回転させる。モーターは毎分2万回転以上で特殊なものであり、プリズムは最高撮影速度7,000駒/秒のとき毎分11万回転の超高速回転となり、きわめて高い精度の工作を要求されている。

撮影速度の調節はスライダック等でモーターに与える電圧を変化させて行うようになっており、第3図はカメ



第3図 Fastax 高速度カメラの速度特性曲線

ラの速度特性を示したもので、下横軸は入力電圧、縦軸は毎秒当りの駒数を表わす。上横軸は100呎のフィルムがカメラを通過するに要する時間を示す。フィルムはスイッチを入れると静止の状態から急激に加速され、始めの30呎あまりで所定の速度の8割に達し、あとの70呎で徐々に上昇して所定の速度になる。第3図の縦軸は各電圧に対するこの最終速度を示す。したがってフィルム100呎中、終りの20~30呎は所定の撮影速度になるが、それまでは刻々撮影速度が変化するのである。こ

のため、撮影された現象の各瞬間の正確な時間を知らうよう、フィルムの縁にタイムマークが記録されるようになってい。タイムマーク記録装置(第1図参照)は、ネオン放電管を電源交流50サイクルで点滅させ、1/100秒毎にマークが入る。なお発振器を使用すれば1/1000秒のマークも入れうる。フィルムの速度は7,000駒/秒のとき、54m/秒の高速に達し、100呎通過に要する時間はわずかに0.8秒である。

1駒の露出時間は各駒間の時間間隔のさらに1/6程度で、7,000駒/秒のとき1/35,000秒となり、多面体プリズムを用いたカメラにくらべてボケの少ない鮮明な写真を撮ることができる。ただ光量が小となるので明るいレンズ、明るい照明光源及び高感度のフィルムが必要である。

カメラの光学的明るさはプリズムが存在するためf/2のレンズを使用してもf/2.8となっている。

使用フィルムは16mm100呎巻又は50呎巻を用いるが、上述のように高速度でカメラ内部を通過するため、フィルムの孔明けの精度がやかましく、フィルムベースも伸縮しないものを用いる必要がある。やたらなフィルムを使用すると摩擦のため所定の速度がでず、膜面が傷ついたり、途中で切断してカメラの故障の原因になる。とくに可燃性のフィルムを用いると発火する危険がある。このため本研究所では、Eastman Kodak社製の高速度カメラ専用のフィルム(感度ASA100)を使用している。これは上述の要求を満たした精度の高いパーフォレーションの不燃性フィルムで、特に裏面に摩擦減少のために潤滑剤が塗附してある。

撮影速度の選び方<sup>(4)</sup>毎秒何駒の速度で撮影するかは、目的によつて種々異つてくる。撮影後普通映写機にかけスクリーンで繰速度で観察し、定性的な状態を知りたい場合は、個々の画面のかなりの不鮮明さを我慢しうるし、現象過程の概略の模様を観察にはさしつかえない。しかし多くの場合精密な測定を行い、変位曲線を求め、それより速度、加速度を知りたい要求がある。このような目的のためには、1駒の露出時間はフィルム面上での被写体の像の移動がカメラの光学系の解像力を損わないだけ充分短い必要がある。すなわちFastaxカメラの線解像力は1mmあたり50本内外であるから、1駒の有効露出時間中にフィルム面上の像の移動が0.02mmをこえなければよいことになる。いま被写体の速度をV、被写体と像との間の線縮少率をMとすれば、フィルム面上での像の移動速度はMVとなり、上述の制限を考えると露出時間との間には次の関係がある。

$$VMt \leq 0.02\text{mm} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{したがって } t \leq 0.02/VM \text{ (秒)} \dots \dots \dots (2)$$

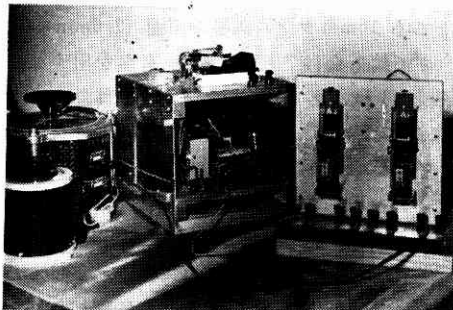
$$\text{さて撮影速度を } f \text{ 駒/秒とすれば } t = 1/5f \text{ となり、} \\ f = 10VM \dots \dots \dots (3)$$

となる。一例として捕鯨砲の撮影の場合についてのべれば、捕鯨銃の初速は大略 100m/秒であるから  $V=10^5\text{m}$  m/秒となり、砲口附近 2m の範囲をフィルムの画面 10 mm に撮影するとすれば、線縮少率  $M=1/200$  となる。したがって(3)式より、毎秒当りの駒数  $f=10 \times 1/200 \times 10^5=5,000$  となる。以上は被写体がカメラと直角方向にすなわちフィルム面と平行に移動する場合の撮影速度の決め方で、カメラとある角度をなして移動する場合は、フィルム面上での像の速度は  $MV$  より小となるのでその補正を加えた、より低い撮影速度でよい。回転運動の被写体の場合、回転角の測定には 1 回転を 100 乃至 200 駒に撮影する必要がある。このように撮影速度の決定は、被写体の移動速度によるのではなく、フィルム面上での像の速度で決定されるもので、高速度の物体でも速くにおいて縮少して撮れば、画面上での速度は大したことにならず、低い撮影速度でもよいが、拡大撮影の場合は、フィルム面上での像は予想外に大となり、速い撮影速度が必要になってくる。とくに顕微鏡的拡大撮影になるとこのことが難問題となってくる。

**映写観察の場合の時間的拡大率** 撮影したフィルムは現像後直ちに普通の映写機にかけて緩速度で再現観察ができる。たとえば毎秒 7,000 駒の速度で撮ったフィルムを毎秒 16 駒で映写すれば、440 倍の時間的拡大をして再現することになる。このように緩速度で再現しつつ観察できることはこのカメラの大きい特徴の一つで、静止の画面 1 駒 1 駒の測定では気付かないような局部的な二次元乃至三次元の変化を発見しうるものがしばしばある。

## (2) Fastax カメラ用附属設備

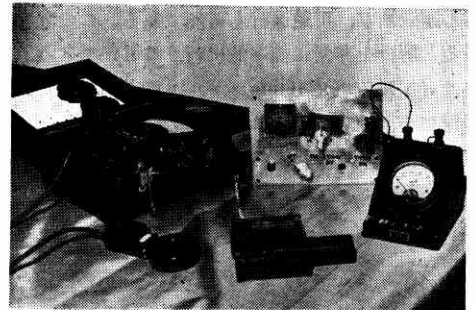
**カメラ操作用リレー装置** このカメラは非常に短時間で撮影が終るので、撮影終了とともに自動的に停止させ、また現象をカメラと同期させる装置を製作した。最高撮影速度 7,000 駒/秒のとき、100 呎のフィルムの通過する時間は前述のように 0.8 秒程度で、その内有効速度の間は 0.5 秒内外である。したがって現象の同期ならびにカメラの停止は 0.1 秒以内の精度で行う必要があるので、電話自動交換機用ロータリー・スイッチを用い、1/50 秒おきに 4 秒の間任意の瞬間に信号を何度でも取出しうるような構造にした。なお撮影速度 5,000 駒/秒



第 4 図 Fastax カメラ用リレー装置

までは始めより所定の電圧をカメラにかけて始動してよいが、5,000~7,000 駒/秒になると、始め 130 V をかけ、75 ミリ秒後に 270 V に昇圧する必要があるので、このためリレーも含め、また遠隔操作もできる装置にした。第 4 図の写真はこのリレー装置を示す。

**照明装置** としては、高感度のフィルムを使用しても露出時間が極めて短いため非常に明るいものを必要とする。Fastax カメラ撮影用として、現在強力直流アーク灯 (35mm 映写機用アーク)、高圧水銀灯、1kW レフレクター集光ランプの 3 種を使用しているが、高圧水銀灯が熱線をほとんど出さず、長時間照明しても被写体が加熱しないので、焦点をあわせたり、照度を測定したりするのに便利である。透過光で影写真を撮影する場合はそれ程照度を必要としないが、反射光で撮る場合はその 100 倍以上の照度を必要とし、毎秒 5,000~7,000 駒のとき、10 万~30 万ルクス程度の照度が必要となるので、集光性タンダステンランプを使用する場合は、撮影する間 2~3 秒の間だけ照明しないと、被写体が加熱して燃えだす恐れがある。このように反射光での撮影の場合非常に照度が要求され、所要の照度に達しているかどうかを肉眼で判定するのは不可能であるので、次にのべる照度測定装置を用いている。第 5 図の写真で、左はマツダ製の



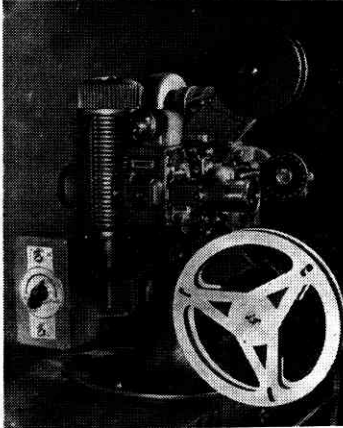
第 5 図 照度測定装置

照度計で被写体の位置で照度を測定する。右方の装置は、Fastax カメラのファインダーの覗きの位置に光電管をおき、フィルム面上に達する光量を測定するように試作した装置で、適正露出に大いに役立つ。適正露出の決定は撮影速度、レンズの絞り、被写体の照度の外に、縮少・拡大率、被写体の形状、撮影すべき個所の状態等により左右されるので、一概にきめにくく、高速度撮影技術上の難点の一つである。

**Fastax カメラ用架台** としては、35mm 映画撮影機用三脚が使用できるので、当所ではミツチエル型三脚を購入使用しているが、これは垂直軸のまわりの回転と俯仰ができるのみなので、被写体が固定の場合、カメラの微細移動ができないので、三次元の回転の外に、三次元の直線移動が可能な架台を試作し、実験室用として使用しているが、近接拡大撮影の場合に非常に便利である。

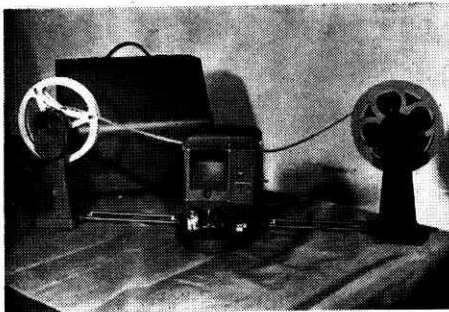
**撮影結果解析装置** 撮影したフィルムは映写機にかけ

て緩速度で定性的観察を行うだけでなく、1駒1駒の精密な測定を行い、変位曲線から速度・加速度を求める解析をすることによつて格段の効果をあげうるし、またせつかくの撮影結果も、解析測定まで行わなければあまり意味がない場合が多いので、次のような解析装置を使用している。第6図は解析用映写機 (Bell & Hawell 製)

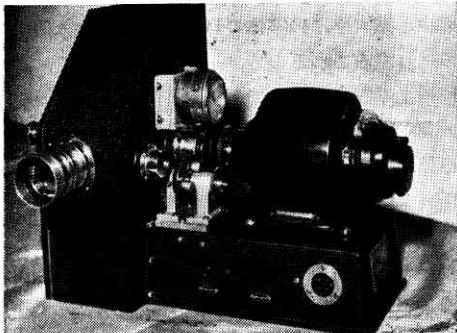


第6図 解析用映写機

で、1駒静止で映写でき、特殊防熱フィルターが入っており、静止のとき最も明るい画面となる。ハンドルをまわせば1駒送りが可能で、駒数指示装置がついている。もちろん連続映写、可逆進行も可能である。この映写機を用いると解析を非常に能率的に行うことができる。この他スライド映写機に16mmフィルム枠を附加した装置や第7図に示すようなフィルム観察器 (Bell & Hawell 製) をも併用して解析を行っている。この測定解析は高



第7図 16mmフィルム観察器 (Bell & Hawell製)



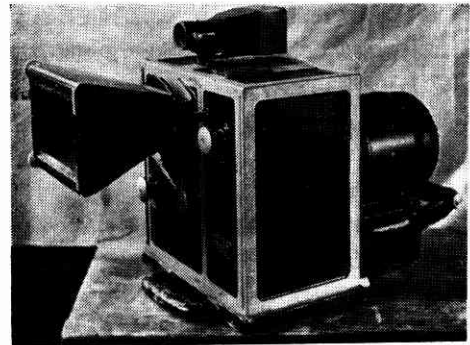
第8図 16mm 日立式高速度カメラ  
(生研で改良を加えたもの)

速度カメラによる研究中時間と人手と根気を最も要する仕事であることを知っておく必要がある。

### (3) 各種高速度カメラ

Fastax 高速度カメラの他に当研究所には同種の撮影機として次のようなものがある。

**日立式高速度カメラ** これは10面体プリズムを使用し、16mmフィルムで毎秒3,000駒迄の撮影速度を有する。第8図はその外観で、これは使用に便利なように当所において改良を加え、速度調節用ガバナー、呷指示計、速度計を附加すると共に、スプール軸に市販のスプールが直ちにつくようにし、またレンズもニッコール各種交換レンズが使用できるように改造してある。写真では85mm  $f/2.0$  レンズを附着したところである。第9図



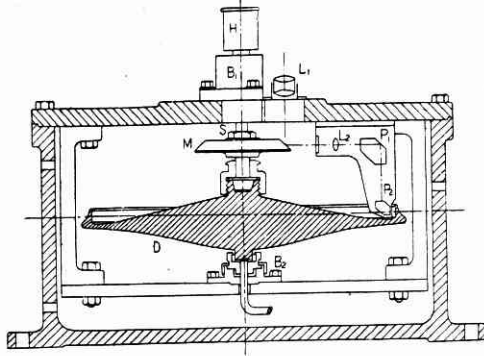
第9図 35mm Zeiss Ikon 高速度カメラ

は Zeiss Ikon 高速度カメラで、35mmフィルムを使用し、最高撮影速度1,500駒/秒である。光学的調整装置としてドラムの内面にはりつけた30面の鏡が使用されている。この他

16mm 高速度フィルム撮影機 (撮影速度、毎秒128駒)、や、16mmフィルム普通撮影機 (最高毎秒64駒)、がある。

### (4) 超高速度カメラ<sup>(9)</sup>

工業界の高速度現象は上述の毎秒数十駒から数千駒の撮影速度のカメラで大半は解明できるが、火薬の爆発、材料の破壊等の超高速度現象の研究には、毎秒数万駒以上の超高速度カメラが必要となつてくる。この種のものとしては、筆者の試作したカメラがあり、アートの第1頁の写真はこの外観を示し、第10図は内部構造を示す。現在のところ16mmフィルム標準画面(7.6mm×10mm)の大きさで最高毎秒7万駒の撮影速度を出すことができ、連続180駒撮影できる。フィルムの移動速度は毎秒530mに達しており、ドラム式超高速度カメラとしてはほぼその限界に近い速度といつてよいであろう。第10図でフィルムドラムDは図のような断面の円盤で、回転破壊限度近くまで廻らすため Ni-Cr-Mo 特殊鋼を使用した。外径470mm重量約30kgである。多面体反射鏡Mは外径120mm、側面を180面体に研磨してある。光学系としては静止拡大用レンズ系に小型写真レンズ  $L_2$

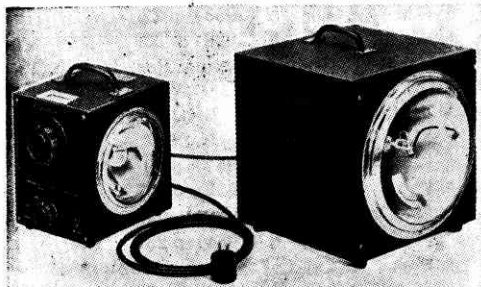


第10図 新型高速度カメラ(東大生研製)の断面図  
(焦点距離 25mm,  $f:1.8$ ), 直角プリズム  $p_1$  および反転用屋根型プリズム  $p_2$  を使用し, 撮影用レンズ  $L_1$  による第1実像を5倍に拡大してフィルム面に投影する。軸受部分は回転部の自重並びにアンバランスの影響を最小限にし, 自動調心式とするため回転軸を垂直におき, ドラム及び反射鏡を細いシャフトで上部軸受から吊す形式をとつた。駆動にはエンドレスベルトを介してプーリー H を回転させるが, 駆動に要する馬力の大半は空気抵抗によるものであるから, カメラ内部を 1mmHg 以下に減圧する構造とした。要するにフィルムドラムと反射鏡を一体として可動部分の構造を簡単にして高速回転に耐えるようにしたカメラである。アート第4頁Aの写真はこのカメラにより撮影したものである。なおこのカメラの欠点を改良し, 8mm フィルムの画面で毎秒 15 万画程度の速度をもつ新型カメラを計画中である。

また 栖原式超高速度カメラ<sup>(10)</sup> II 型(東大理工研所有 最高毎秒 45,000 画)も必要に応じて使用しうる。

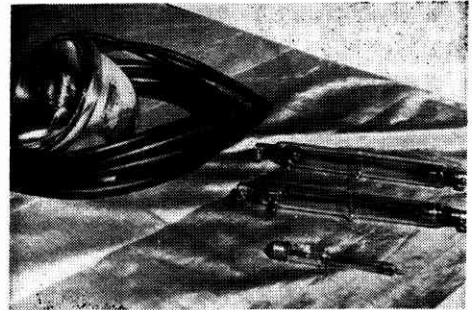
(5) 閃光放電管式瞬間写真撮影装置

**Micro Flash 装置** これは米国 General Radio Co. 製の閃光装置で最近当研究所に購入された。閃光継続時間が 1~2 マイクロ秒の極めて短いもので, 飛行弾丸や流体中の圧縮の伝播等の超高速度現象の瞬間写真撮影に適している。アート第1頁の写真は装置の外観を示したもので, 重量約 3 kg 小型携帯用にできている。左方の箱には閃光管と反射鏡を収めてあり, 右方の箱は電源部である。中央の三脚は閃光誘発用マイクである。なおこ



第 11 図 ストロボスコープ装置 (Strobolux 付き Strobotac)

の附属装置として第 11 図に示すような, 強力な閃光管をそなえた ストロボスコープ装置 (Strobolux, Strobolume 付き Strobotac) もある。また閃光継続時間 1/5,000 秒~1/10,000 秒程度の強力な閃光管瞬間写真装置もある。これは, Microflash 装置を用いる程速くない運動現象の撮影に適し, 広い利用範囲をもっている。第 12 図は各種閃光放電管で, 左の反射鏡コード付きの



第 12 図 各種の閃光放電管

ものは GE 社製で, 1/10,000 秒程度の閃光時間をもつ。右上の二本は国産(三菱電機製)で 1/100,000 秒以下の閃光時間である。右下の小さい管は上述の Microflash 装置用のもので, 1~2 マイクロ秒の閃光をだす。この他電気火花式瞬間写真装置もある。

(6) 流し写真撮影装置

直線方向の高速変化を記録する装置で, アート 5 頁の装置はその一例を示す。 $L_1$  は焦点距離 250mm  $f/3.5$  の第1レンズで被写体の実像を S の位置に作る。S は水平方向のスリットで像をスリットの幅の直線に制限する。この像を第2レンズ  $L_2$  (焦点距離 300mm,  $f/3.5$ ) でうけ, その背後の回転鏡により反射させ, フィルム F 上に第2の実像をむすばせる。鏡の回転により, F 上の像は高速度で走行し, 流し写真として記録される。これは火薬の爆速を測定するのに使用しており, アート 5 頁の写真はこの装置による撮影例である。この装置は S の位置に格子をおき Sultanoff 式超高速度写真装置<sup>(11)</sup> (毎秒数千万画内至 1 億画の撮影速度) として使用するために製作したものである。

3. 工業界への応用例

2 節にのべた各種の高速度写真設備を使用し, 最近実施した研究を列挙すれば次のとおりである。

**Fastax 高速度カメラ**を使用した研究としては,

- (1) 衝撃による研磨用砥石の破壊に関する研究<sup>(12)</sup>  
(労働省産業安全研究所よりの委託研究)
- (2) 鯨用標識鯨鯨皮貫通状況の研究<sup>(12)</sup>
- (3) 各種点火剤の発火状況の撮影<sup>(12)</sup>  
(日映科学映画製作所よりの委託研究)
- (4) 写真用シャッターの緩速度ガバナーの解析に関する研究

- (5) 捕鯨砲の弾道並にロープの運動解析に関する研究<sup>(13)</sup>
- (6) 時計の脱進機構の解析に関する研究<sup>(14)</sup>  
(シチズン時計株式会社よりの委託研究)
- (7) 工業用高速ミシン縫機構の解析研究<sup>(15)</sup>  
(東京重機工業株式会社よりの委託研究)
- (8) 紡織機の糸の高速運動の解析研究  
(鐘紡紡織試験所よりの委託研究)(本号アート2頁参照)
- (9) 電話機用ダイヤルの改良に関する研究  
(沖電気工業株式会社よりの委託研究)
- (10) 電話用自動交換機の運動解析の研究  
(日本電気株式会社よりの委託研究)
- (11) ライカ型フォーカル・プレーン・シャッターの解析研究  
(ニッカ・カメラ株式会社よりの委託研究)
- (12) 焼入時の沸騰に関する研究(橋助教授 本号アート6頁及び速報参照)

等がある。

日立式高速度カメラを使用した研究としては、捕鯨砲の研究、ミシンの研究等に用いた外

- (13) サク岩機の運動解析に関する研究  
(三菱鉱業研究所よりの委託研究)

等に使用した。

Zeiss Ikon カメラ, Filmo 高速度撮影機等は、捕鯨砲の研究に併用した外、それ程速くない現象の研究に用いている。

生研製超高速カメラについては性能向上の研究段階にあるので、現在迄にあまり利用していないが、撮影例としては、

- (14) 電気雷管用点火栓の点火機構の解析撮影  
(15) 金属線の電氣的爆発機構の撮影

等を行った。今後火薬の爆発機構、材料の破壊機構等の研究を行う予定である。

栖霞式超高速カメラ<sup>(10)</sup>(東大理工研)では、捕鯨砲模型実験、時計、シャッター、ガバナーの解析、写真用フラッシュランプの燃焼機構の解析等を行った外、

- (16) 爆圧による薄い鉛板の塑性変形過程の解析<sup>(16)</sup>  
(17) 鋼球の水面突入の際の飛沫発生機構の解析<sup>(17)</sup>

等の研究を行った。

閃光放電管並に電気火花式瞬間写真装置による研究としては10~100マイクロ秒程度の国産並に米国製のものの上述の(7)工業用ミシンの解析<sup>(18)</sup>焼入れの研究に併用した外、次のような研究を行った。

- (18) 高速回転円盤の破壊機構の解析<sup>(18)</sup>  
(19) 水滴の分裂の機構解析<sup>(19)</sup>  
(20) 鋳物の湯流れの研究(千々岩助教授, 本号速報参照)等

なお Microflash 装置は購入したばかりなので、まだ成果が出てないが、今後大いに活用する予定である。

なお流し写真装置によるものとしては、

- (2) 爆薬の爆速測定並びに爆発機構の解析の研究がある。

#### 4. むすび

以上当研究所の高速度写真設備ならびに工業界の応用例についてのべたが、このほかに非常に多くの応用分野が考えられる。実際に高速度写真を用いて研究を行うにあたっては、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つてそれぞれ長所欠点を有するので、研究対象によつては数種併用してその欠点を補い合えば一層有利に研究を進めることができる。

現在のところわが国では高速度写真関係の設備はあまりなく、当生産技術研究所はまだ不十分な点もあるが一応各種の装置が完備した唯一の機関と思われるので、所内の研究のみでなく、所外からも必要に応じて極力有効に活用されることを希望する。(1954.2.24)

#### 文 献

- (1) 植村：生産研究 1 (1949) p 48  
(2) 植村：機械の研究 4 (1952) p 87  
(3) 植村：精機学会機械学会講義会別刷 昭28年1月  
(4) W. D. Chesterman : The Photographic Study of Rapid Events, Clarendon Press, Oxford England 1951  
(5) C. H. S. Tupholme : Photography in Engineering, Chemical Pub. Co. Inc. Brooklin N. Y., U. S. A.  
(6) P. Fayolle, P. Naslin : Photographie Instantanée et Cinématographie Ultra-Rapide, 1950  
(7) H. Schardin : Jour. of Soc. Mot. Pict. & Tel. Eng. 61 (1953) p 273  
この他欧米における文献は多数あるが、Jour. of Soc. Mot. Pict. & Tel. Eng. 56 (1951) 1月号に高速度写真に関する総合的文献表がある。  
(8) 植村：生産研究 5 (1953) p 22  
(9) 植村：生産研究 4 (1952) p 259  
(10) Suhara : Rep. of Aeronaut. Rec. Inst. 5 (1930) p 173  
(11) M. Sultanoff : Res. Sci. Inst. 21 (1950) p 653, J. S. M. P. T. E. 55 (1950) p 158  
(12) 植村：生産研究 5 (1953) p 69  
(13) 植村：生産研究 5 (1953) p 197  
(14) 植村：生産研究 5 (1953) p 249  
(15) 植村：生産研究 6 (1954) p 23  
(16) 植村他：東大理工研報告 6 (1952) p 345  
(17) 植村：応用物理 18 (1949) p 72  
(18) 平田, 植村：応用物理 16 (1947)  
(19) 植村：機械の研究 3 (1951) p 357