

回転プリズム形高速度カメラとその応用

Rotating Prism High Speed Camera and It's Application

嵯 峨 幸 一* 和 田 忠 三*
Kōichi Saga Chūzō Wada

内 容 梗 概

フィルムを連続送りとして光学補正を回転プリズムで行う高速度カメラの試作を行い、この種の高速度カメラで従来得られなかった撮影速度 10,000 こま/秒という高性能をうることができた。この高速度カメラの概略を述べ、若干の撮影例を掲げた。

1. 緒 言

最近物理化学および工学などのあらゆる分野において、高速度現象の最も有力な解析方法として、高速度カメラが使われるようになった。現象の中には解析能力として、毎秒数百万こまの撮影を必要とするものもあるが、ほとんどは毎秒数千〜一万こままで撮影すれば十分現象機構を知ることができる。これを満足するものは、回転プリズム形の高速度カメラで、従来発表されているものは最高毎秒 8,500 こま⁽¹⁾のカメラであった。筆者らは、それ以上の性能を目標としたカメラ⁽²⁾の試作を行いその後の改良により毎秒 10,000 こまを上まわる性能を得、市販するはこびとなったので、その概略について述べる。

2. 設 計 方 針

高速度カメラの撮影対象となる被写体は、千差万別なので、撮影速度は低速から高速まで範囲を広くして利用度を高めた。撮影した画面から現象解析を行うとき、画面が小さいとその能力が低く、大きいときは、その点はよいとしても、撮影速度が低くなり、またフィルム費用がかさむので 16 mm フィルムを使った。光学系は明るく、解像力の大きいものとし、ピント合わせを容易にし、撮影の同期を確実にした。コントローラを別個に設けカメラの動作を確実にし、運搬を容易にした。電源は 100V あるいは 200V, AC を使うことにした。

3. 各 部 の 構 造

この高速度カメラを、光学系、機械系、電気系、撮影の同期の四つに分けて述べることにする。

3.1 光 学 系

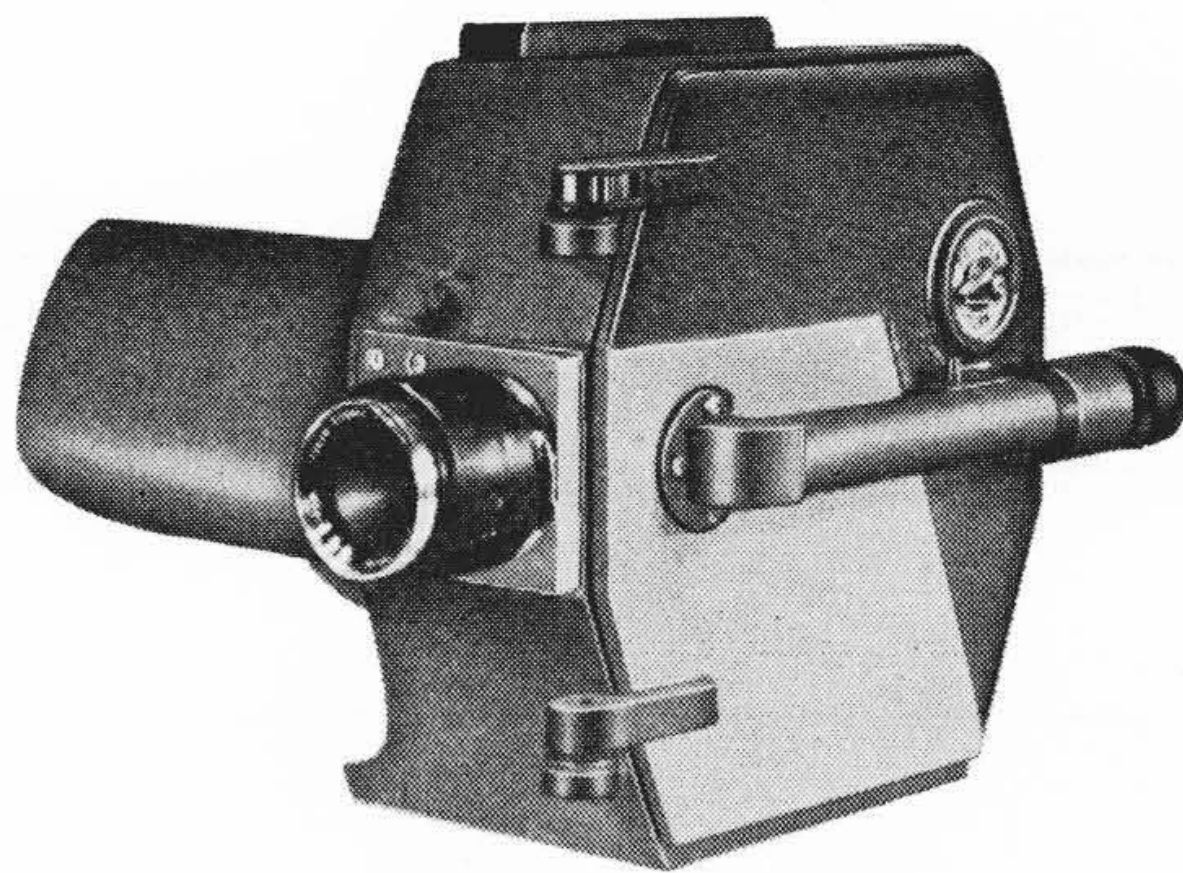
普通の撮影機では、間欠的フィルム送り機構であるため、毎秒 200~300こま以上の高速度撮影はフィルムの強度上から不可能となる⁽³⁾。それでこれ以上の高速度撮影では、フィルムを連続送りとし、光学補正として回転プリズムを、カメラレンズとフィルムの中間に入れ、像の移動をフィルムの移動に合わせて、ボケのない写真を撮るいわゆる回転プリズム形の高速度カメラが一般に用いられる。試作した高速度カメラは、4面体の回転プリズムを用いたもので第3図にそれを示す。プリズムにある入射角ではいる光は、入射角 0 度の位置に対しオフセットされるこの量を Y とすると、容易にその量は、

$$Y = T \left[\sin i - \frac{\sin 2i}{2(n^2 - \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

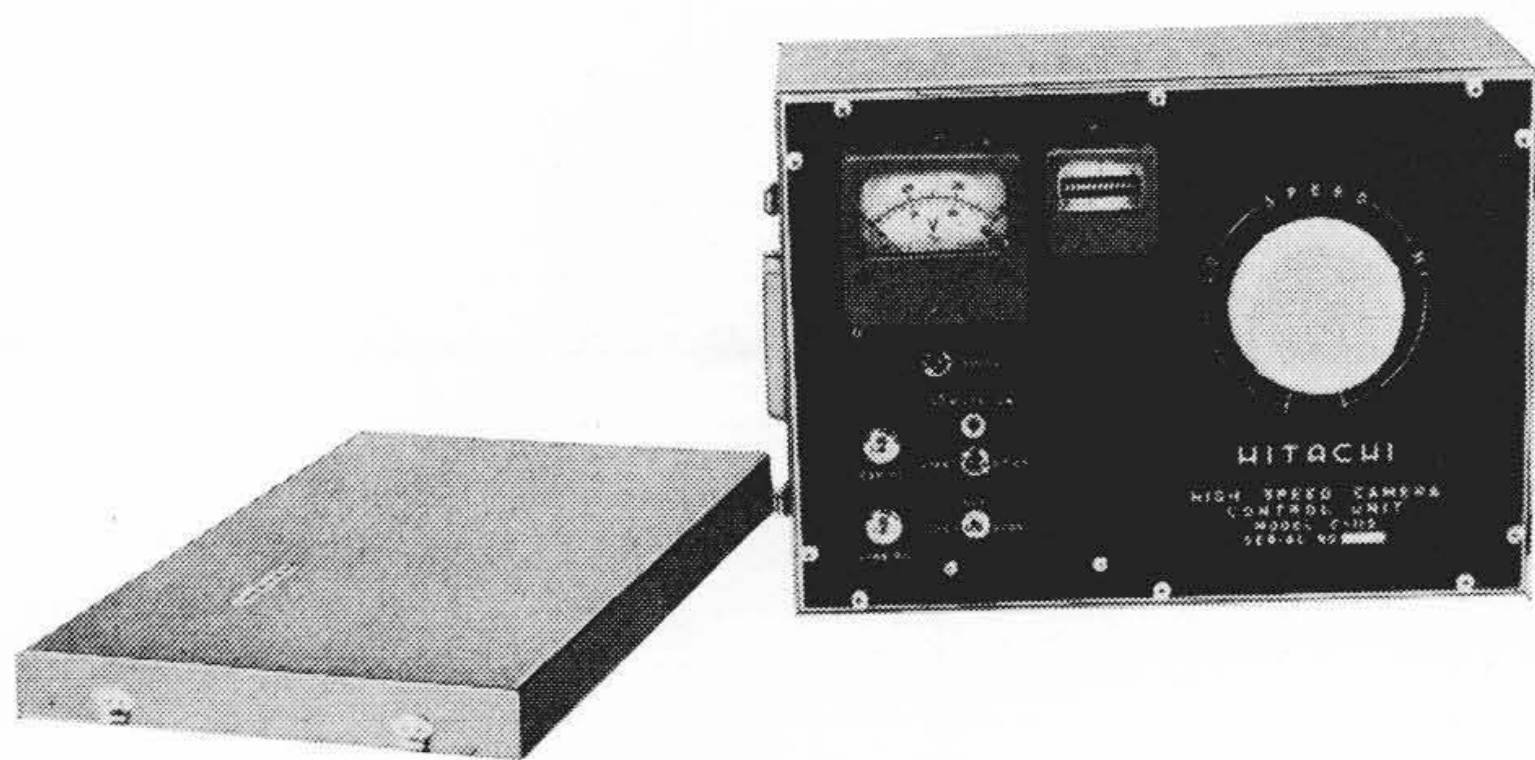
なることがわかる。またこのときの焦点距離の増加量 X は、

$$X = T \left[\frac{(n-1)}{(n^2 - \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}} - 1 + \frac{1}{n} \right]$$

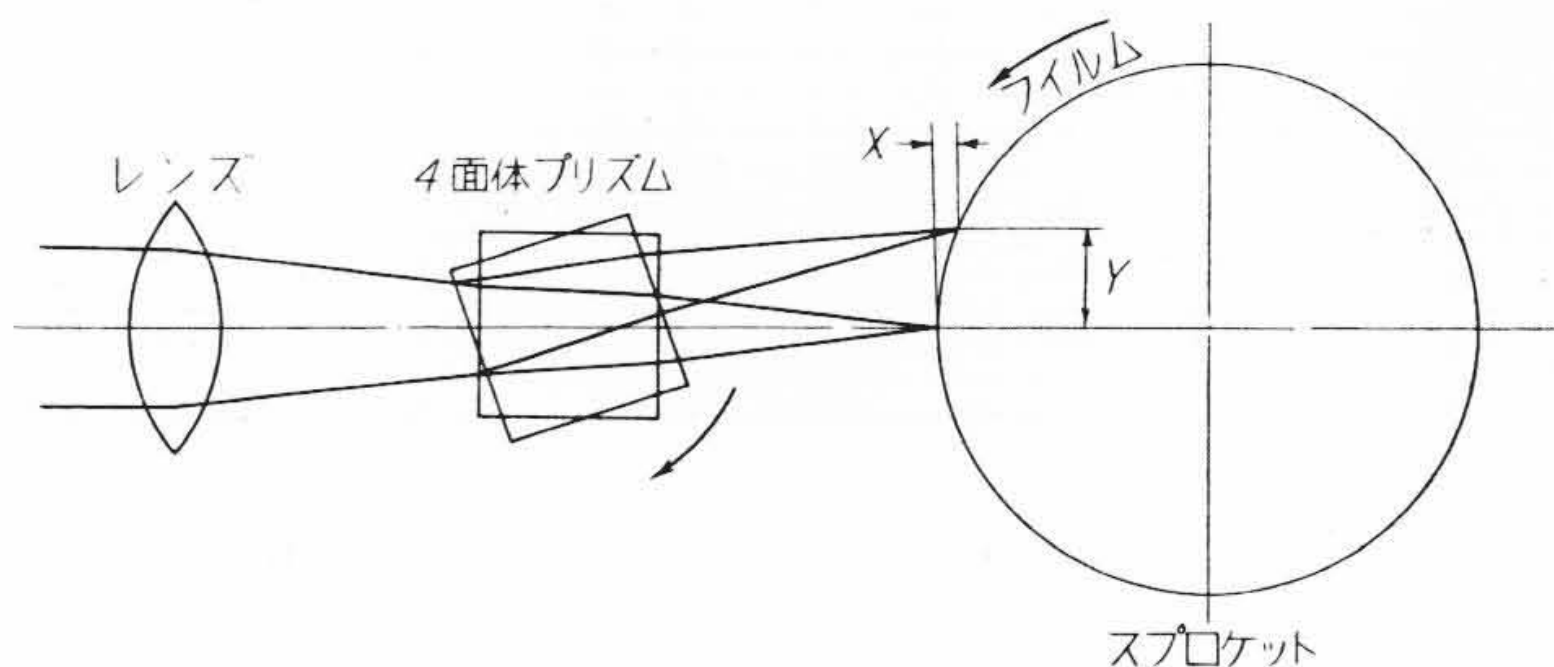
* 日立工機株式会社



第1図 高速度カメラの外観



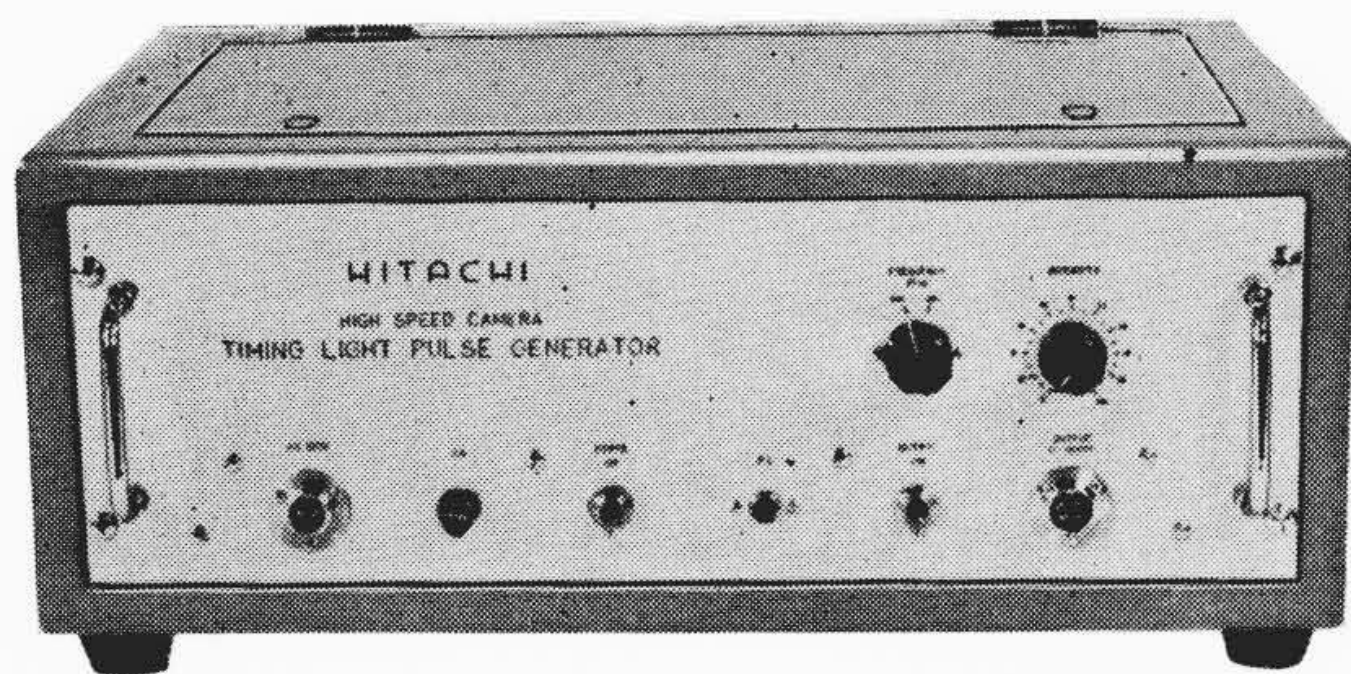
第2図 コントローラの外観



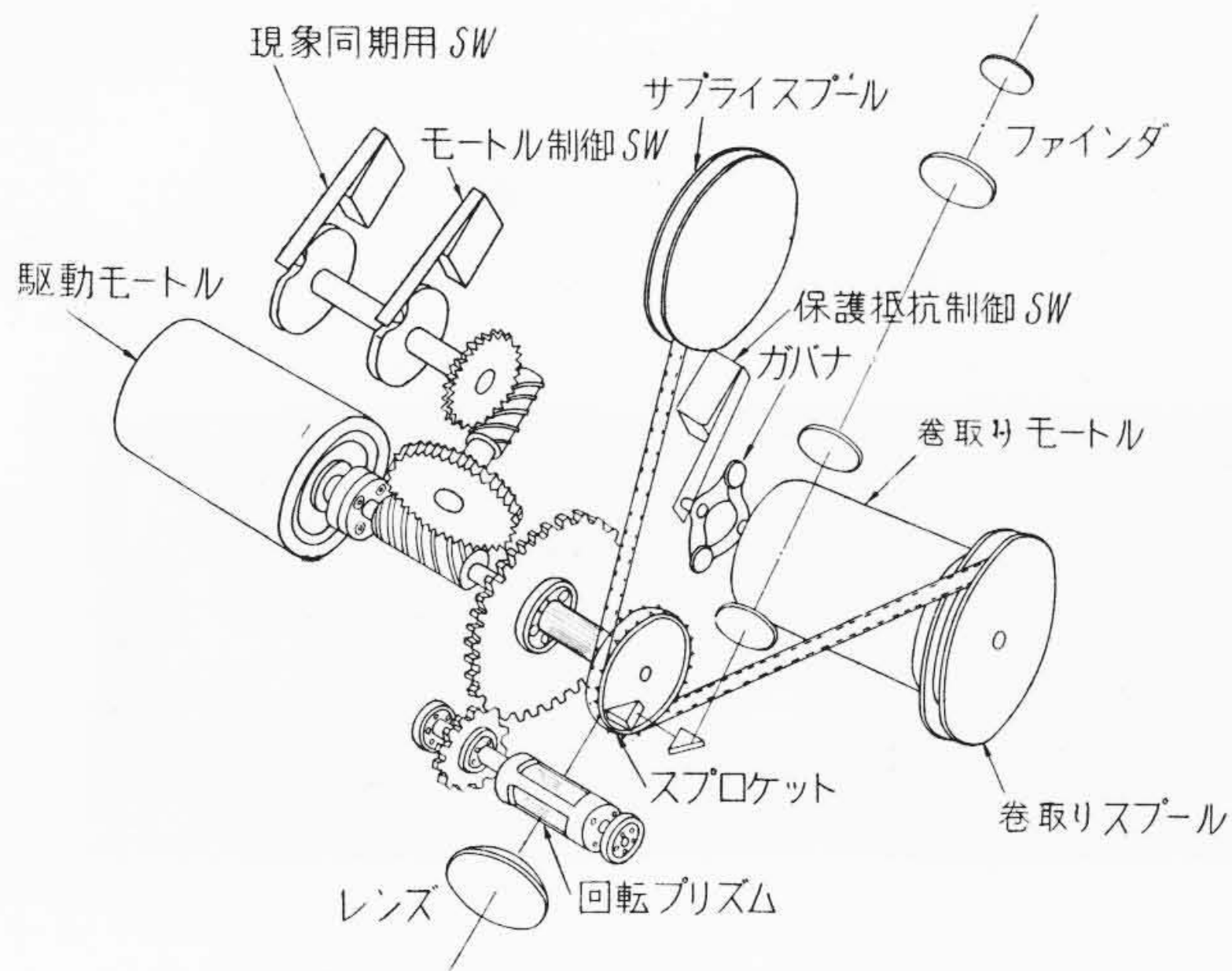
第3図 高速度カメラの原理

となる。

ここに n はプリズムの屈折率、 T はプリズムの厚み、 i は入射角を表わす。この X 、 Y によって定まる曲面にそって、フィルムを像点と等速で移動すればよい。これを近似的に満足するように、スプロケットの大きさ、スプロケットと回転プリズムを連結する歯車を選び、その誤差を最小限にして、解像力の高い設計とした。この光学系で最も注意すべきは、分散による色収差と、非点収差の増加である。それを最小限にするため低分散の光学ガラスを選ぶことはもちろんであるが、プリズムの厚さを極力小さくすることが必要である。すなわちプリズムの面を増してゆくと、その厚さが厚くなり非



第 4 図 タイミング・ライト・パルス・ジェネレータ

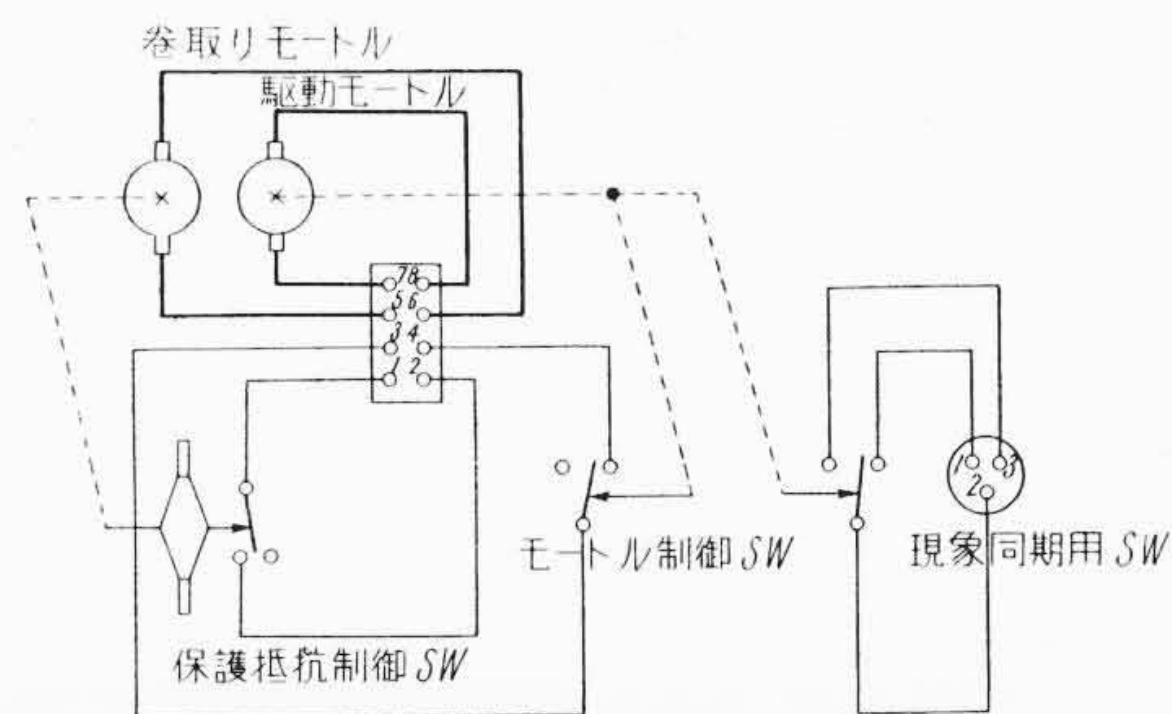
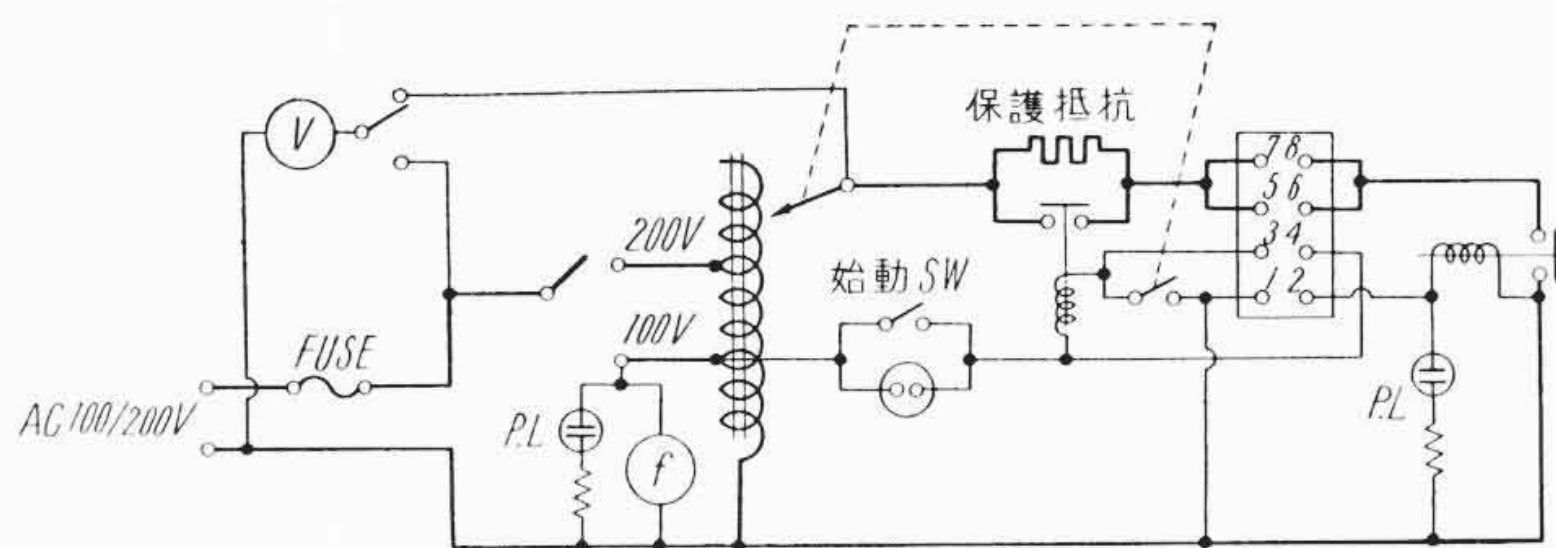


第 5 図 機 構 図

点収差が加速度的に増えて像の性質が悪くなるので、これを最小限におさえるために 4 面体とし、その厚さを約 11 mm とし、低分散、高屈折率の新種ガラスを用いた。つぎに現象の撮影視野を確実に撮影フィルム画面に入れること、すなわち視差のないファインダにすることと、鮮明な画像をうるために、フィルム上の像を裏面より直接に見えるようにし、また 9.5 の倍率をかけて、ピント合わせを確実にした構造とした。撮影されるフィルムは最初静止の状態から、大きな加速度で急速に撮影速度を高め、比較的すみやかに希望撮影速度に達する。すなわちフィルム速度は一般に変化しているわけで、ここに現象を連続に露光し撮影した場合現象の推移は知られるが、時間的な変化を定量的に知ることができない。そこでフィルムには現象のパターンとともに時間目盛を入れることが必要になってくる。そのためにこの高速度カメラでは、ネオンランプを使ってある周波数で明滅させ、この光をコンデンサレンズでフィルムの端部に露光しタイムマークを入れる構造とした。この場合タイムマークが画面に入り込んで画像を阻害しないように考慮した。ネオンランプに入れる電源は 50, あるいは 60 サイクルの商用電源、または高速度カメラ用にダイミングライトパルスジェネレータを特に設計したが、これを用いると 100, 1,000 p/s の精度の高いシャープなタイムマークをうるができる。

3.2 機 械 系

回転プリズム形の高速度カメラにおいては、限られたフィルムの長さで、静止状態から急速にフィルムの速度をあげて撮影しなければならない。また現象の撮影は最初から最後まで一定の速度で撮影されることが望ましい。これらを満足するためには、フィルムのできるだけ初めのところで所定の撮影速度にまであげることである。そのために回転部分の損失を少なくし、さらにフィルムならびに回転プリズムを駆動するモートルを強力なものに設計製作した。第 5 図にこの高速度カメラの機構図を示す。フィルムは日中つめこみになっており、サブライスプールに装着し、スプロケットを通じて、巻取スプールに巻き取られる。高速度カメラでは、フィルムの速度

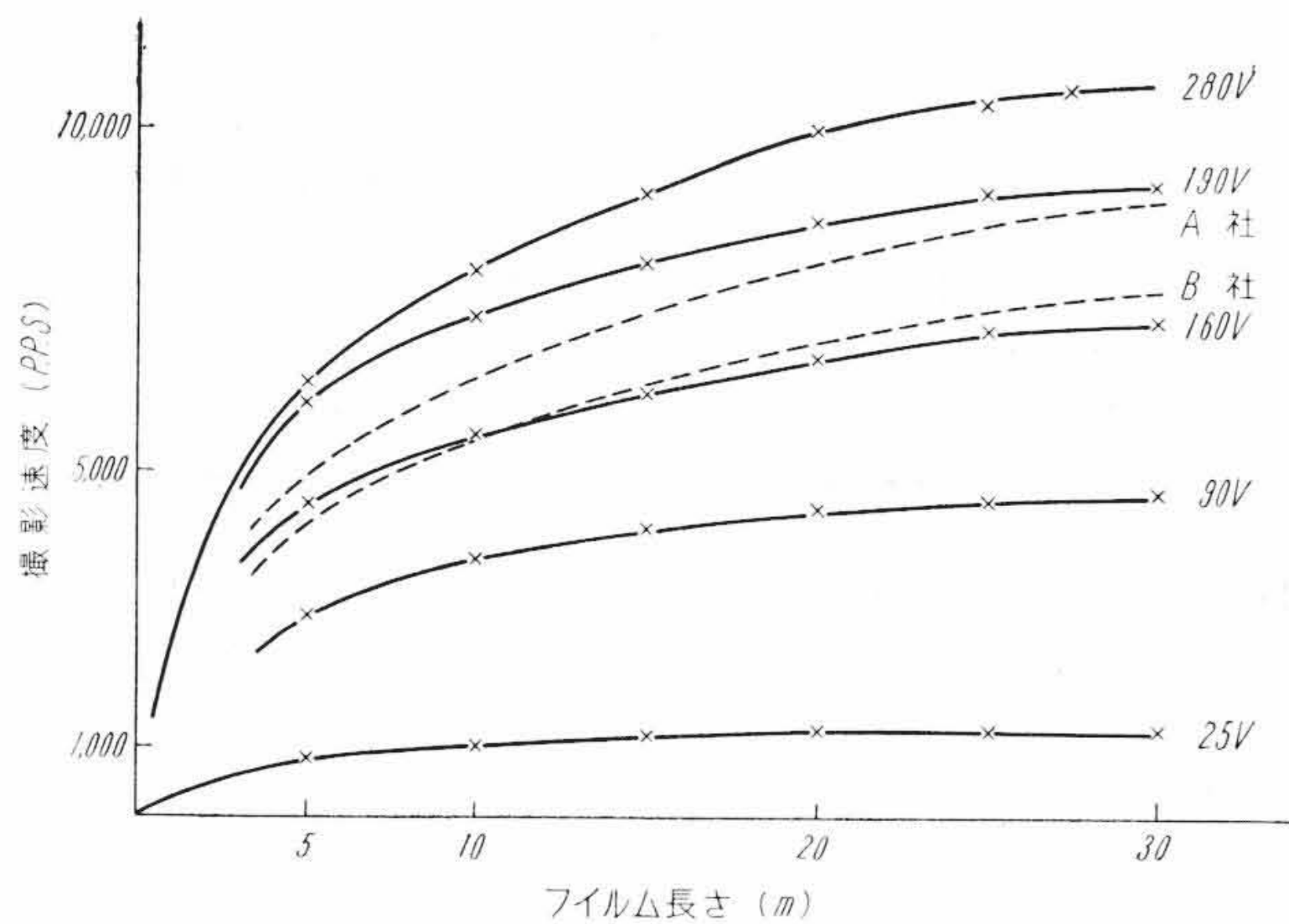

 (a) コントローラ配線図
(b) カメラ本体配線図

第 6 図 カ メ ラ 配 線 図

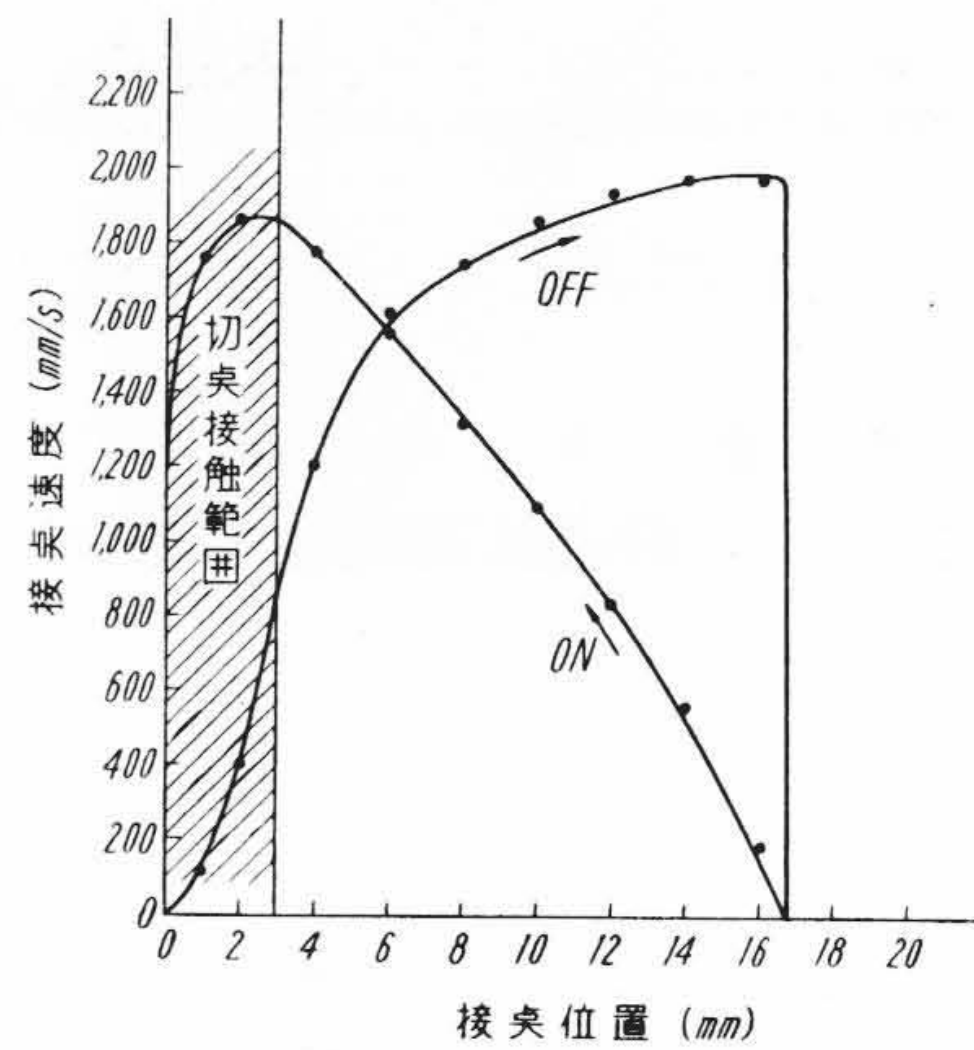
は大きく、また引張り力も大きいので、スプロケットのつめとフィルムの送り穴とは確実に噛み合せて送らなければ、フィルムが最悪のときは切断してしまう。そのために、スプロケットのつめは特殊の形状にして、しかも高精度に加工されている。またこのスプロケットの回転軸の精度も極度に上げて、高速回転に対してスムーズな振動のないものとした。次にスプロケット軸と、回転プリズム軸とはある比で、歯車で連結駆動しているが、もしプリズムが正しく回転しないならば、撮影した画像はジャンプしたものとなるので、この回転軸をささえている超精密のボールベアリングと同程度に歯車を精密加工し、振動を除去するために非常に小さい公差でプリズムを結合するなどの細心の注意を払い、高性能のカメラをうることに成功した。

3.3 電 気 系

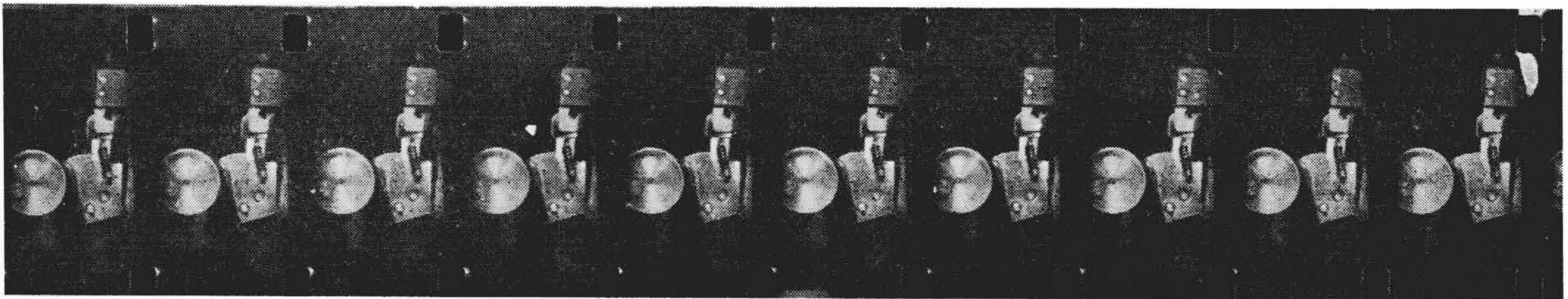
この高速度カメラでは、第 5 図より明らかなように、駆動および巻取りモートルを用いてフィルムならびに回転プリズムを駆動しているが、撮影速度を急速に上げるために、加速特性のよい、しかも高速回転に十分耐えるようにこのカメラのために設計した交流直巻整流子電動機を用いた。このモートルを付勢する電源は、コントローラに AC 100 V, あるいは AC 200 V を入れ、ある電圧に変換して、高速度カメラに印加する装置とした。高速度撮影になると、フィルムを保護することが大切になってくる。すなわち撮影が終っても、駆動、巻取りの両モートルの回転を持続させるときは、巻取りスプールに巻きとられたフィルムの端は、スプールカバーと衝突し損傷をうけるので、第 5, 6 図に示すように、フィルムの規定長さの撮影が終ると、制御スイッチにより電磁リレーを動作させて、モートルに印加した電流を遮断し、すみやかに巻取りスピールの回転を止める構造とした。しかし撮影速度を高くするとモートルの電流を切っても、電機子の慣性のため巻取りスプールは、かなりの時間高速回転を持続するので、フィルムの端はたたかれ切断する。これを防ぐためにスプールカバー部にゲートを設け、撮影が終了フィルムがスプールカバーにはいった瞬間ゲートを閉じて無端形状としてフィルムを保護する方法を用いた。撮影速度が高くなると、モートルに印加する電圧が高くなるためにフィルムを引張る力も大きくなりある値以上になると切断してしまうので、その値以下で引張り撮影速度を上げる必要がある。そのためにモートルの加速初期において、そのモートル回路に抵抗を入れ、巻取りスプールがある回転数に達したときに、抵抗をシャントして、引張り力を適当にして、



第 7 図 撮 影 特 性 線 図



第 9 図 ペンジュラムの速度



第 8 図 ス イ ッ チ の 連 動

フィルムを安全にすみやかに撮影速度を上げるくふうをした。この回転数の検出には比較的精度の高いガバナを採用した。

3.4 撮影現象の同期

この高速度カメラでは、撮影速度毎秒 10,000 こまのときその撮影時間は 30m のフィルムを使って、0.6 秒で完了する。このように短かい時間で、しかもある希望する撮影速度に達したとき現象を撮影したいとき、人の勘にたよって操作したのでは失敗することが多い。それで、高速度カメラの時間特性から、カメラ電圧いくらのときはカメラ始動後何秒でいくらの撮影速度になるかを調べて、タイマーを使ってカメラを動作させることもできるが、高速度になると電源の容量などによってもその値は変化し不正確になり、現象をフィルム内に十分入れることができない場合も起りうるので、カメラの始動後現象を起して撮影する場合は、確実に現象を捕えて撮影するために第 5 図に示したようにスプロケット軸より減速してカムを動作させ、フィルムの移動長さがカムの回転角に比例するようにして、このカムでスイッチを動作させる機構としたので、フィルムの任意の位置に現象を確実に入れることができる。また現象を先に起しておいて、ある状態に達したとき、高速度カメラを動作させたときは、現象から適当なシグナルを取出しコントローラのリモートスイッチの回路を閉じて行るか、これができないときは、この回路にタイマーを入れて必要時間に応じて動作させる方法をとることができる。

4. 性 能

高速度カメラでその良さを表わすものはいろいろあるが、撮影したフィルムを映写機でその運動を目視して変化を知るにしても、あるいは定量的な解析をするにしても鮮明な画像が必要である。これは撮影技術にもよるがすでに述べた高速度カメラ特有の原因で鮮明を表わす解像力は一般に低い。実際にこの高速度カメラで高速度撮影を行ってみると、中心部において 40 数本/ミリの値をもっており、この種の高速度カメラでは最高の値と思われる。第 7 図に示すようにフィルムの走行距離が短いうちに高い撮影速度が得られる

ことが望ましい。試作機の性能と他社のそれを併記した。これよりわかるように高速度撮影になると加速特性にかなりの差があることがわかる。使用するフィルムは価格の点で国産品が有利なので、フジフィルム、さくらフィルムで実験を行った。これらは輸入フィルムに比べ引張り強さは弱いだが、高速度カメラでの実験では 10,000 こまの撮影に耐えられることがわかった。感光度は、国産品では ASA 200 であるが増感現象により十分目的を達することができた。なお次に試作した高速度カメラの仕様をあげておく。

寸法 300×300×250 mm, 重量 15 kg, 撮影速度 500~10,000 こま/秒, 使用フィルム 16 mm×30.5 m 両孔フィルム。レンズ H-Topcor 35~135 mm, ファインダ ×9.5 回転プリズム 4 面体, コントローラ寸法および重量 210×300×430 mm, 20 kg,

5. 応 用

この高速度カメラの応用範囲は非常に広く、ここにいちいちその例を述べることは省略するが、理工学方面では、振動、爆発、放電などの現象機構の解析、さらには生物医学方面にまでおよぶのであるが、現象をいかなる速度で撮影をまずすべきか考えねばならない。

5.1 撮影速度の決定

高速度運動する被写体を適当な露出時間で撮影しないと解析が困難となる。すなわち撮影速度がおそすぎると 1 こまの露出時間が長くなり被写体はボケた像となり解析は不正確となる。また逆に撮影速度が高すぎるときはボケはなくなるが現象の一部しかはいらなかったり、時間拡大が大きすぎるため目視によるときは動きがおそすぎ運動の推移が不明確となる。いずれにしても現象の理解や解析を適格に行うためには、次の式で計算しなければならない⁽⁴⁾。

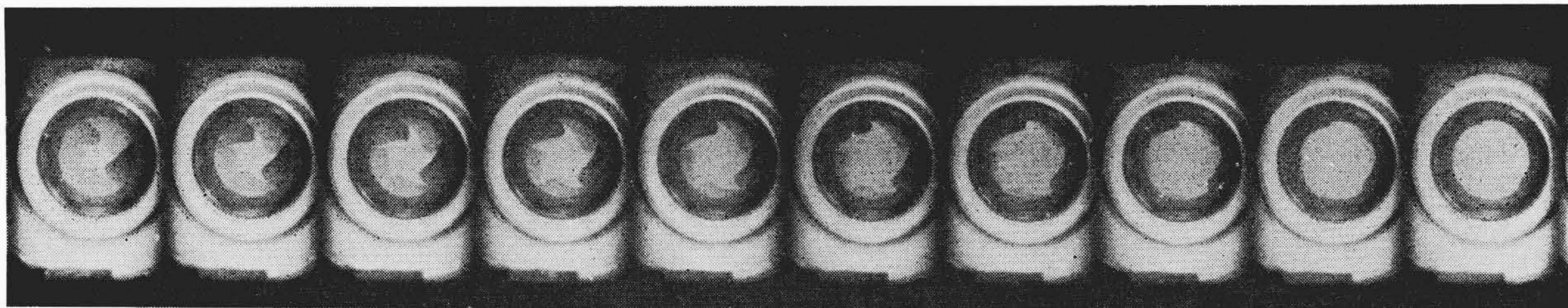
$$R = MV \cos \theta / kd$$

R : 撮影速度こま/s

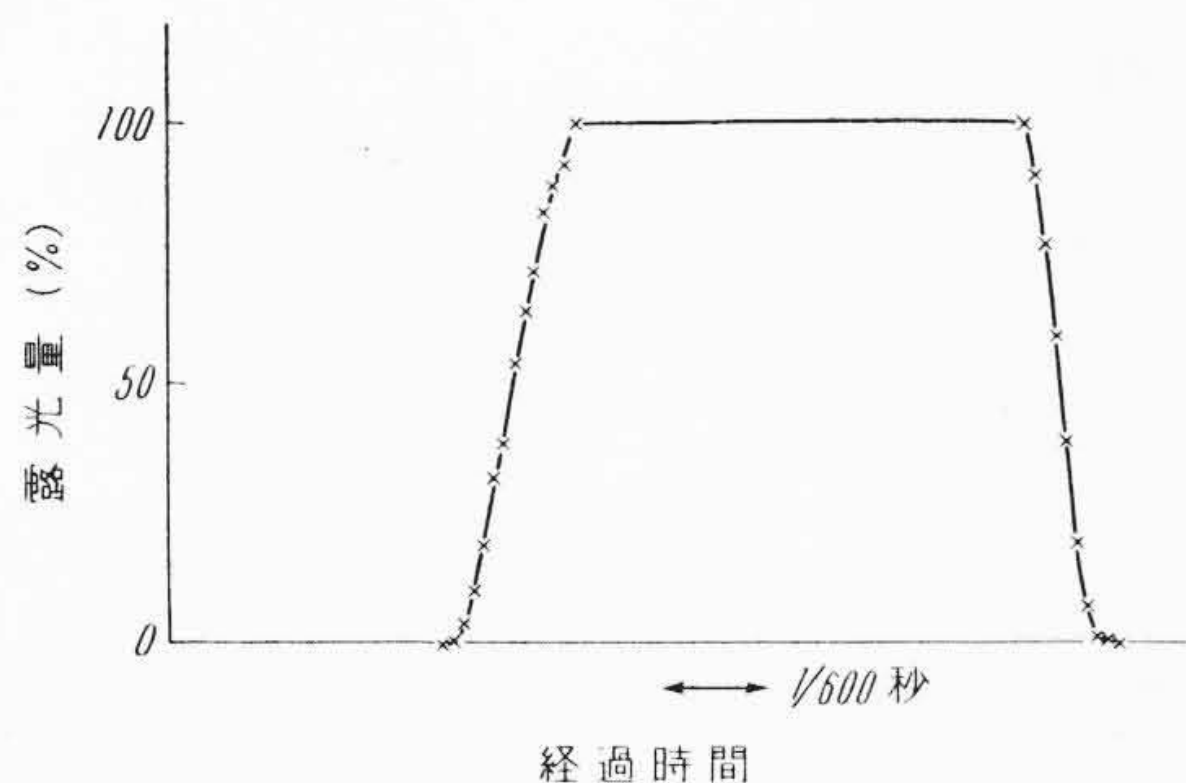
M : 倍率

V : 現象の運動速度 mm/s

θ : 現象の運動方向とフィルム面との間の角度



第 10 図 レ ン ズ シ ャ ッ タ



第 11 図 露 光 曲 線

k : シャッター定数 = 5

d : 錯乱円径 (0.02~0.05 mm)

撮影速度、フィルム感光度に合った露光を与えるために、高速度カメラ用の露出計を用いて撮影を行っているが、1kW リフレクターランプを3個準備しておけばほとんどの場合十分である。

5.2 撮 影 例

試作した高速度カメラで撮影したものについての例をあげる。

スイッチの運動

このスイッチは交流整流子電動機に用いたもので、接点のついているペンジュラムの速度が性能に大きな影響を与えるもので、

撮影した一部を第8図に示し、ペンジュラムの速度を解析した結果を第9図にかかげた。

レンズシャッター

某社のレンズシャッターの開閉運動を撮影したのが第10図である。この種のシャッターでは開閉する時間が短かく開放時間が長いものほど効率が高いのであって、解析の結果84%であり、有効露出時間は1/125秒にセットしたとき1/110秒であった。なお第11図に高速度写真によって得た露光曲線を示した。

6. 結 言

以上筆者らが試作した回転プリズム形高速度カメラの概略を述べたが、この種の高速度カメラは諸工業の近代化にともないますますその必要性が生じ、その効果を発揮するものと思う。終りにこの研究に終始ご指導をいただいた東京大学生産技術研究所植村恒義助教授ならびに関係各位に深く謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) 商用カタログ: Fairchild
- (2) 徳重, 嵯峨: 応物聯合講演予講, 第1分冊 199 (昭34-4)
- (3) 植村: 機学講習会テキスト 122 (昭34-2)
- (4) Willian, G. Hyxer, Prod. Eng. 137 (June 1956)



新 案 の 紹 介



実用新案 第 501170 号

田中榮吉・小林秀夫・館下忠夫

軸 受 の 防 塵 防 水 装 置

構 造

ゴム製の水切り5の外周部をほぼかぎ状に屈折し、その屈折部5aの先端を軸受箱3の軸方向外側に設けた環状水受け溝4に入りこませる。

水切り5の内周部から外周部にかけて薄肉部を形成する。

作用・効果

回転軸1の静止中は、水切り5の屈折部5aの先端が水受け溝4に接触する状態にあるので、外部の塵、水が球軸受側にはいるのを防ぐことができる。

回転軸1の回転中は、水切り5は遠心力により鎖線で示すように変形する。回転軸1を矢印方向から伝わってきた水は、水切り5により振り切られて飛び散る。そして上方の斜壁についた水は、斜壁から軸受箱3の外壁を点線矢印で示すように伝わり、水受け溝4により振り分けられる。このようにして、水が球軸受側にはいるのを防ぐことができる。また、回転軸1の回転中は上記のように水切り5の屈折部5aの先端は水受け溝4から離れるので、両者の間に摩擦を生じることがなく、さらに空所6の真空作用を緩和して軸受箱3内のグリースを吸い出すことを防止することができる。

