

小 型 超 高 速 度

カ メ ラ の 試 作

植 村 恒 義

従来の機械的増速の代りに光學的に増速するという巧妙な工夫により、毎秒 90,000 駒という高速撮影の記録が生まれようとしている。しかも装置は小型になり、動力も少なくてすむようになった。ここにその構造の解説と研究経過について中間報告をこころみる。

1. ま え が き

超高速カメラとしては、わが國では栖原豊太郎教授の考案による回轉多面體反射鏡式超高速カメラ⁽¹⁾があり、これは I, II, III 型まであり、それぞれ毎秒 2 萬駒、4 萬 5 千駒、6 萬駒の割合の撮影速度をもっている。栖原博士がこのカメラを製作したのは、今から 20 年あまり前であるが、當時世界最優秀のカメラで、今日でもなおこの方式の超高速カメラとしては世界的水準を維持して、衝撃破壊、爆發現象等の超高速現象の研究に使用される。

ただこのカメラは非常に大きな装置で、III 型では重量 1 ton 以上もあり駆動に 100 馬力近くを必要とし、移動不可能で實用性に乏しい缺點がある。だがこれを同一構造でそのまま小型にすることは、高速回轉軸受および齒車の問題で難點があるので、筆者はこの方式のカメラで相當小型にできて、移動可能であり、しかも同一性能またはそれ以上の性能を有するものを製作する目的で研究を行つてみた。

その結果、超高速回轉部分に齒車等を使用し運動部の機構が複雑であることは超高速カメラとして非常に不利であるので、静止した擴大用レンズ系と梯形プリズムとを使用することにより、栖原式において反射鏡を齒車で増速している點を光學的な増速におき換えて、反射鏡とフィルムドラムを同心同軸で一體に回轉できる方式にすれば、可動部分の構造が非常に簡単な小型高性能のものを作りうる事がわかつた。したがつてこれの模型的な試作を行い、新型カメラの原理、構造には誤りがないことを確かめたので、本格的なカメラの設計製作を行つていたが、現在までに一應組立完了し、試運轉の段階にいたつたので、その結果を中間報告としてとりあえず簡単に報告する。

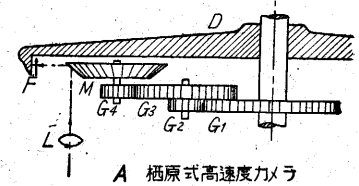
この新型カメラは構造が非常に簡単であり、最高撮影

駒数はフィルムドラムの強度のみで制限されるから、この型式のカメラのもつ性能の最高限度まで出しうるはずである。大きさは、栖原式の大體 3 分 1 で、重量は約 100 kg、駆動馬力は 10 馬力以下でよい。

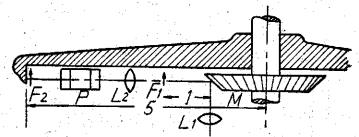
2. カメラの原理

第 1 圖は栖原式超高速カメラ [A] と新型超高速カメラ [B] の構造上の差異を原理的に示したものである。栖原式 [A] ではフィルム

ドラム D の主軸から増速齒車 G_1, G_2, G_3, G_4 を介して多面體反射鏡 M をドラムの 5 倍の速さで回轉させる。レンズ L を通つて反射鏡面で直角にまげられた光はフィルム面 E 上に像を結ぶ。反射面からフィルム迄の距離がドラム D の半径の 1/5 になつていたので、フィルムの移動速度と反射鏡の回轉



A 栖原式超高速カメラ



B 新型超高速カメラ

による像の移動速度が等しくなり、一定の露出時間の間、像はフィルム面で相對的に静止するようになつてゐる。

この栖原式カメラを現在の 1/3 の大きにした場合を考えると、多面體反射鏡の 1 面の大きさはもとのままである必要があるので、面の數 180 個が 60 個に減少する。したがつて毎秒 9 萬駒の撮影速度を出そうとすると、反射鏡は毎分 9 萬回の高速回轉をする必要があり、これは軸受、増速齒車の問題で非常に困難がある。

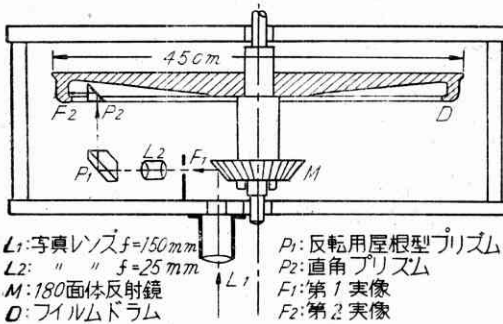
これらの難點をさけて、機構を簡単にするため新型カメラでは、反射鏡とフィルムドラムを同一軸に一體に取付け、面の數は 180 面體のままとした。第 2 圖 [B] はその原理を示す。すなわち、被寫體より出た光はレンズ L_1

第 1 圖 栖原式および新型超高速カメラの構造上の差異

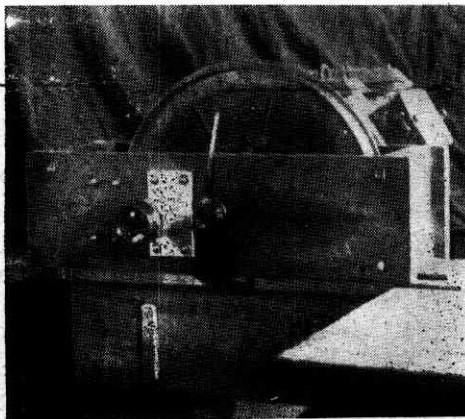
を通り、反射鏡面で直角にまげられて F_1 の位置に一たん小さな像を結ぶ。次にこの実像をレンズ L_2 で拡大してドラムのフィルム面上に第2の実像 F_2 を結ばせる。さてこのままでは反射鏡の回轉による第1実像 F_1 の移動方向と、第2実像 F_2 の移動方向は反対になるので、レンズ L_2 とフィルム面の間に梯形プリズム P を挿入して F_1, F_2 の移動方向を一致させる。今反射鏡面から第1実像 F_1 までの距離とドラムの半徑 (ドラムの回轉中心からフィルムまでの距離) との比を 1:5 とし、レンズ L_2 による実像 F_1 の拡大率を5倍にすれば、反射鏡の回轉によつて生ずる実像 F_2 の移動速度及び方向を、フィルムの移動速度および方向と一致させることができる。このようにすればフィルムドラムと反射鏡を同一軸に一體にとりつけて回轉しても、実像 F_2 はフィルム面上で絶えず相對的に静止していることになる。要するに柙原式における齒車による反射鏡の増速を新型カメラでは光學的増速におきかえ機構の簡略化を計つたものである。

2. 模型的試作カメラ⁽²⁾

上述の原理構造に誤りのないことを確めるために第1段階として模型的な新型カメラを試



第2圖 模型的試作カメラの平面断面圖 (最高毎秒 9,000 コマ)

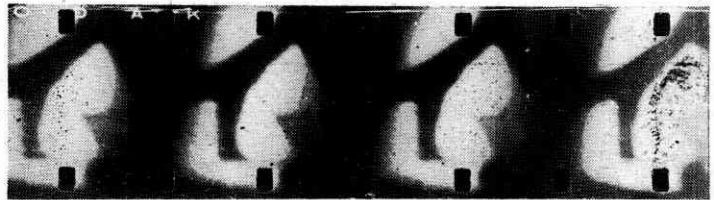


第3圖 模型的試作カメラの外観

作した。第2圖はその平面断面圖で第3圖の寫眞はその外觀を示す。

a) 構造 フィルムドラム D は外徑 45cm で、圓周の内側に長さ約 130cm の 16mm フィルムを巻きつけ1周で、映畫 16mm 用標準大さの畫面 (幅 7.6mm) を 180 駒連続に撮影できる。反射鏡 M は直徑 120mm で、圓周を 180 個の側面を有する正多角形錐體に研磨してある。1面の幅は約 2mm となる。この外 90 面體の反射鏡も製作した。これは1面の幅 4mm となり、フィルムの畫面は標準大さの倍の幅となる。反射鏡はドラムと一體に取付けられ、回轉軸は水平である。

被寫體からの光はレンズ L_1 (焦點距離 50mm f 2.0) を通り、反射鏡面で反射されて F_1 の位置に第1の実像



腕時計の脱進機構中のガンギ車の齒先とアンクル石とのかみ合状態の拡大寫眞 (毎秒 4,500 コマ, 90 面體反射鏡使用)

第3圖 模型的試作高速度カメラによる撮影

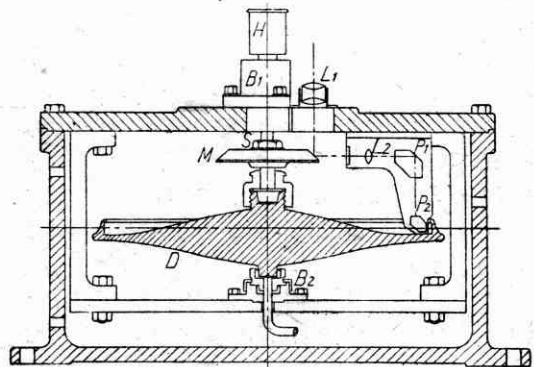
を作る。レンズ L_2 (焦點距離 25mm f 1.5) で實像 F_1 を5倍に拡大してフィルム上に實像 F_2 を作る。 L_2 とフィルムとの間には反轉用屋根型プリズム P_1 および直角プリズム P_2 を入れて光路をまげ、所要の擴大率になるようにした。

b) 性能 主軸毎分 3,000 回轉で毎秒 9,000 駒の割合の撮影速度を有する。模型的試作ではあるが、毎秒 1 萬駒程度迄の研究には充分利用できたとわかつた。

第4圖の寫眞はこのカメラによる撮影の一例である。

4. 試作高速度カメラ

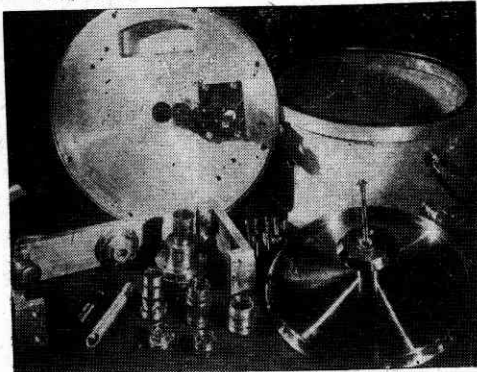
模型的試作カメラに引續いて本格的カメラの試作を行



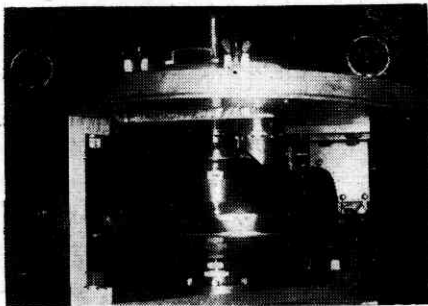
D : フィルムドラム M : 多面體反射鏡 L_1 : 寫眞レンズ
 L_2 : 小型寫眞レンズ P_1 : 直角プリズム P_2 : 屋根型プリズム
 S : シャフト B_1, B_2 : 上下軸受 H : 驅動用プーラー

第5圖 新型超高速度カメラの構造

つた。主要寸法は模型的カメラとほとんど同じであるがフィルムドラムは、回轉破壊限度近くまで廻すために特に丈夫な材質で作り、回轉部の自重なら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、回轉軸を垂直におき、ドラムおよび反射鏡を細いシャフトで上部軸受から吊した形式をとつた。第 5 圖はカメラの構造を示す。カメラの外観は口繪寫眞に見らる通りである。第 6 圖は分解した時の部品の寫眞である。第 7 圖の寫眞はカメラの内部を示す。



第 6 圖 カメラを分解した時の部品を示す



第 7 圖 新型超高速カメラの内部を示す

主要部分は次のようなものである。

a) フィルムドラム (口繪参照) 第 5 圖の D のような断面を有する圓盤で、Ni-Cr-Mo 特殊鋼製、外径 470 mm、重量約 30kg、鍛造後熱處理済、抗張力 140kg/mm² 以上、仕上精度 1/100 mm 以内である。断面の形状は彈性理論による平等引張強さの形を用いた。中心には孔はなく、上部はねぢでシャフトに連結し、下部は凸起をもう

けた。中心部に生ずる引張り應力は 43,000 r. p. m. で 125 kg/mm² となるが、基礎實驗の結果では⁽³⁾、遠心力による破壊が起る時期は中心部の引張應力が抗張力に達した時ではなく、断面全體の平均應力が抗張力に達した時であるから、實際の彈性理論による場合よりもづつと高い回轉數まで破壊しないはずで、最高回轉毎分 30,000 回で十分だじようぶと思われる。すなわちこのドラムは中心部から眞二つに割れることはないはずであるが、圓周部分はフィルムを内側に巻くため特殊な形状をしているので、この部分の應力が確實には計算できない。したがつて實際に回轉試驗を行つてみないと 30,000 r. p. m. まで安全かどうかわからない。

b) 多面體反射鏡 M 特殊工具鋼 2 種製、外径 120 mm 側面を 180 面體に研磨し、反射面として使用する。この反射面の仕上程度はカメラの解像力を左右するので、最高の研磨仕上を行う必要がある。

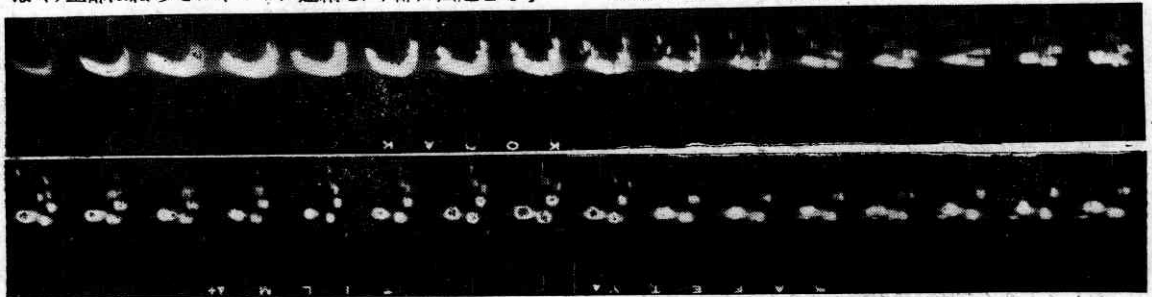
c) 光學系部品 静止擴大用レンズ系としては小型寫眞レンズ L₂ (焦點距離 25 mm, f: 1.5)、直角プリズム P₁、および反轉用屋根型プリズム P₂ を使用し。撮影用レンズ L₁ (使用目的により焦點距離 135mm, 85mm, 50mm の三個のレンズを交換使用できる) による第 1 實像を 5 倍に擴大してフィルム面に投影する。このようにしてフィルムの移動速度と像の速度とを完全に一致させる。

d) 軸受部品 上部軸受 B₁ は、30kg 餘りのドラムを細いシャフトで吊し最高毎分 30,000 回轉させる豫定であるので、シャープレス超遠心分離機の軸受部と同様な構造のものを用いた。中には徑 15 mm 單列ボールベアリング 2 個を使用する。下部軸受 B₁ はドラムの振れ止めのため、スプリングを介して軽くおさえてある。

e) カメラ本體 蓋とそれをのせるケースの 2 個に分れ、蓋の部分に上述の部品全部を取付けてある。移動に便利なように Al-Mg 合金鑄物で製作した。重量約 50 kg。

f) 驅動力 ブレー H をエンドレスベルトで驅動し回轉を與える。

g) カメラ内部の減壓 高速回轉の場合驅動に要する動力の大半は空氣抵抗によるものであるから、内部を



小型豆電球 (2.5 V 用) に交流 100 V をかけて、フィラメントを瞬間的に爆發させた場合の寫眞。影速度毎秒 36,000 コマ。

第 8 圖 新型超高速カメラによる撮影例

減壓することは非常に有利である⁽⁴⁾。このカメラを空気中で毎分 30,000 回転させると約 100 馬力を必要とするが 1 mm Hg 程度に減圧すれば、駆動動力は 10 馬力以下で済むはずである。ただ実際には高速回転軸が真空容器をつらぬくので、その部分のバックキンはなかなか難しく現在 1/10 気圧程度まで減圧できた。第 8 圖の寫眞はこの新型カメラで撮影した 1 例を示す。これは小型豆電球 (2.5V 用) に交流 100V をかけ、フィラメントが瞬間的に爆發切斷する状態を示す。撮影速度は毎秒 36,000 駒である。

フィラメントの切斷は點火後 1/5000 秒以内の非常に短時間に起つており、フィラメントは 1 個所で切れるのではなく、同時に多數の個所で分斷し小片となつて飛散している。

5. む す び

このカメラは本年 3 月末組立を完了し、目下試運転を行つているが、現在毎分 15,000 回転 (撮影速度毎秒 45,000 駒) まで試験した。軸受の潤滑、ドラムの振動等の點は別に異状なく好調に運轉した。

計畫では最高毎分 30,000 回転させ、毎秒 9 萬駒の撮影速度を出す豫定であるが、この回転数ではドラムの圓周速度は毎秒 700m 以上の高速となり、萬一破壊した場合非常に危険があるので、周圍に防禦壁を築き、徐々に回転を増して幾回も試験を繰返し、回転中の振動状態、塑性變形の量等を測定し、豫定の回転まで安全であるこ

とを確める豫定である。

なおこのカメラはカメラ内部で 5 倍に擴大する機構になつているので擴大撮影には有利であるが、縮小撮影の場合は、柵原式に比して幾分不利になるので、反射鏡と光學系を交換することにより擴大率を 2 倍程度にして、縮小撮影にも有利に使用できるカメラにする豫定である。

この試作研究は昭和 23 年 24 年度文部省科學研究費により基礎的研究を行い、昭和 25 年、26 年度東大生産技術研究所中間試験研究費によつて本格的試作を行つたものである。

終りに臨み、ひとかたならぬ御援助と御教示を賜つた東大生産技術研河村正彌先生、東大理工研曾田範宗先生に厚く御禮申上げると共に、設計製作に終始協力していただいた當研究室伊藤寛治氏に深く感謝の意を表す。なお光學系部品は日本光學工業株式会社、多面體反射鏡は黒田坂範製作所、フィルムドラムは日本特殊鋼株式会社軸受部品は巴工業株式会社、カメラケースは東京輕合金株式會社の各社の厚意により製作したものである。また組立加工に種々御援助戴いた東大理工研工作部鈴木秀夫技官に感謝する。(27.5.7)

参 考 文 献

- (1) T. Suhara: Rep. of Aeronautical Res. Inst. 5 (1930) p. 173
- (2) 植村: 應用物理學會第 4 回講演會發表 (昭和 25 年 4 月 27 日)
- (3) 植村: 機械の研究 3 (1951) p. 357
- (4) 植村: 東大理工研報告 4 (1950) No. 11~12

生産技術研究所における中間試験研究の概要

生産技術研究所では、一應基礎的な研究が終り、あるいは試験管的な研究を終えて、これらを具體的に製品化する段階にある研究、および試作から工業的生産に移す段階にある研究の中、毎年これらの中から十數題目を撰定して、これらに可成りの額の研究費を當て、中間試験研究を行つている。昭和 26 年度に行つた研究題目は次の通りである。

1. 生研式脳波記録装置の中間生産および醫療用器械の改良に関する研究 糸川 英夫
2. 新型高精度の微力解析機の試作 山内 恭彦
3. 電氣容量型歪計 池田 健
4. ガス切斷用ノズルの試作 谷 一郎
5. 位相差顯微鏡に関する研究並びに試作 久保田 廣
6. 小型超高速カメラの試作 植村 恒義
7. 高性能摩擦ポンプの試作研究 宮津 純
8. 試験臺による自動車性能の研究 平尾 收
9. 共振型材料疲勞試験機 澤井善三郎
10. 10,000 Mc. における誘電體特性および傳送回路損失測定装置の中間試作 齋藤 成文
11. ラジオアイソトープ C_{60}^{60} を有する醫療用合金の研究 加藤 正夫

12. 新方法によるアルコールの製造 友田 宜孝
13. 特殊電極を用いるマグネシウムの連續電解 江上 一郎
14. 鹽化ビニール樹脂の新可塑劑 X4 の製造研究 石井 義郎
15. 携帯用立體角投射カメラの製作とその應用研究 渡邊 要
16. 地上寫眞測量用圖化機械の改良 丸安 隆和
17. 輕量不燃書庫の試作 星野 昌一

なお、昭和 27 年度における中間試験研究題目は次の通り。

1. 微分解析機 山内恭彦
2. 起振器による構造物の振動驗測 岡本舜三
3. 衝撃波管およびその附屬装置の試作 玉木章夫
4. 自動車用流體變速機の研究 宮津 純
5. 自動制御の應用 高橋安人
6. 小型超高速カメラの試作 植村恒義
7. 24,000Mc 帯域における誘電體特性、金屬表面状態測定装置の試作とその工業化學分析への應用 齋藤成文
8. 電子管式アナログコムピューター 野村民也
9. 新方法によるアルコールの製造 友田宜孝
10. 3 種溶鑪における特殊吹精試験 森九郎
11. 放射性同位元素の研究 放射性同位元素研究會
12. セメント注入および藥液注入による地盤の團結方法の研究 丸安隆和
13. 全方向微風速計の實用化 勝田高司
14. 輕量不燃書庫の試作 星野昌一