

撮影速度毎秒四萬回の高速寫眞撮影機

所員	栖原豊太郎
技師	佐藤直藏
技手	龜井靜武
技手	柳澤柳吉

Abstract.

A New Ultra-Speed Kinematographic Camera Taking 40,000 Photographs per Second.

We have recently devised an extremely high-speed kinematographic camera capable of taking photographs at all speeds up to the rate of 40,000 per second. The normal speed projection, at the rate of 16 pictures per second, of the prints obtained from these original negatives gives then an apparent reduction of 2,500 times in the speed of movement of the object photographed. About 1,000 photographic impression can be taken on the film of 4 metre long in this machine. Various photographs of the motion of sound waves inside a cylindrical and an elliptic shell taken with this machine are shown.

1. 緒言

著者は先般極めて高速度の活動寫眞撮影機を考案製作した。これは約千個の寫眞を0.025秒間に撮影することが出来る機械である。本篇は此の機械の構造をこれによりて撮影した寫眞の説明である。

物體の極めて急激なる運動は吾々の眼で直接に其詳細を観ることが出来ないが、其運動の速さに相當する速さの活動寫眞撮影機で之を撮影し、其フィルムを適當なる低速度にて映寫して、運動を時間的に引延すことにより其観測を容易ならしめることが出来る。而して物體の運動が速くなればなる程此の撮影の速さも増さなければ間に合はない。著者は毎秒數百米程度の高速度で運動する

物體を撮影する目的で本機を考案したのであつて、上記の如く毎秒四萬回の割合で撮影したフィルムを普通の映寫機で毎秒約十六駒宛映寫するに、運動の時間的引延しは二千五百倍になる譯である。

現今普通に高速活動寫眞撮影機と呼ばれ居るのは其撮影速度毎秒 100 乃至 300 回程度のものである。又超高速撮影機と稱せられて居るのは毎秒 1000 乃至 6000 回程度である。更に高速のものもあるが多数の寫眞を規則正しく連続的に撮影する機械として實用の程度に達して居るものは稀であつて且つ 1000 駒程度を一度に撮る機械は未だ聞かないのである。

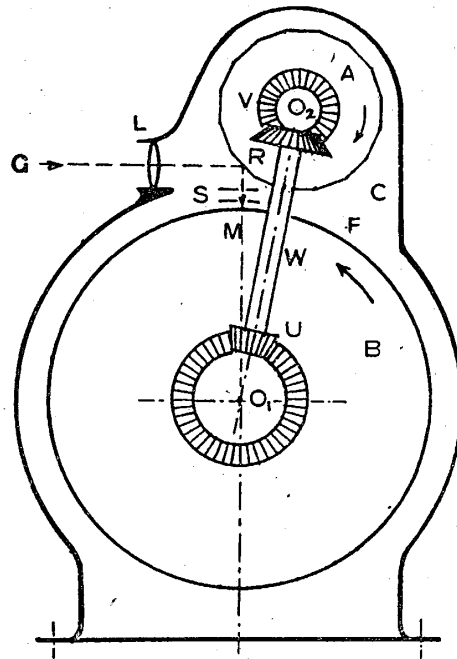
毎秒數千回以上の高速撮影の場合には普通の撮影機のように、フィルムを断續的に送ることは機構上不可能である。故に超高速の撮影ではフィルムを一定の速さで走らせながら其上に像を捕へなければならぬ。而して此の高速撮影の照明に就て二種の方法がある。

第一は電氣火花を光源とする方法である。これは一個の火花毎に一個の寫眞をフィルムに収めるのであつて、火花の時間は極めて短かい故にフィルムの速さが可なり大なる時でも明瞭なる寫眞を得ることが出来る。逆に反射鏡を使用して固定せるフィルムの上に像を捕ふることも出来る。此の方法の優れたる點は照射時間が極めて短かい事である。然し毎秒數萬回の割合で、強く且つ均整なる火花を多数に且つ引續いて正しい間隔で出すこと云ふ事は、かなり大仕掛の電氣装置を用ひても實際上甚だ困難である。火花の間隔が仲々精密には一定し難いからフィルムに撮られたる陰畫の間隔が一様にならないので、之れを映寫のため等間隔にして陽畫に焼付けたるに其映寫像は原物體と異なりたる運動をなすこととなる。其上に此の方法の最も不利とする所は被撮影物體が自身連続的に光を發する場合、例へば電弧や火藥の爆發等の場合には全く役に立たないこと云ふ點である。

第二は一定の連続光源を用ひ光の反射又は屈折を機械的に調整して像を逐次フィルムの上に捕ふる主旨のものである。此の方法は低速度にては第一の方法の如き極めて短時間の照射は出来ないが其代りに撮影の速さの増加とともに照射時間が短縮すること云ふ利益がある。且つ光源の強さは充分大きく且つ一定に保つことが出来る。又自身發光する物體の撮影には勿論此の方法に依らなければならぬのである。以下記する著者の高速撮影機は此の連続光源を使用するものであつて、第一型機は極く低速から毎秒二萬回の速さ迄、又第二型機は同じく毎秒四萬回の高速度まで撮影の出来る機械である。本篇は此の二種の撮影機の説明である。最近出来上つた第三型機は毎秒六萬回迄のものであるがこれは單に其外觀だけを圖に示した。

2. 第一型高速寫眞撮影機(舊型)の構造

第一型機は大正十五年十一月に製作の出来たもので約 600 個の寫眞を 0.03 秒間に撮影することの出来る機械である。即ち撮影の速さは毎秒二萬回の割合である。此の一型機の機能があまり良好きは思へなかつたので、其構造等を發表することは差控へて居た。然し此の機械で撮影した十數種のフィルムを大正十五年十二月六日航空談話會及昭和二年五月九日機械學會第百三十四回講演會で



第一圖 第一型撮影機 (舊型)

発表した。又昭和二年英佛獨⁽¹⁾及米⁽²⁾の諸國で発表した。

第一圖は此の構造を示す略圖である。暗函 C の内部に多角柱體の反射鏡 A があつて O_2 を軸として廻轉する。フィルム F は圓盤 B の外周に巻かれ O_2 軸と平行なる O_1 を軸として反射鏡 A と反対の方向に廻轉する。 A と B の速度は傘齒輪の裝置 UWV にて一定の比に保たれる。撮影される物體 G の像はレンズ L 及反射鏡 A の一面 R によりてフィルム F の上 M の部に出来る。

反射鏡 A が矢の方向に回轉するに M に於ける像はこれに従つて左方に移動する。此の際圓盤 B の周速が像 M の移動する速度と等しくなる様に B を廻すに、フィルムに對して像は固定して居るこゝになり、 R 反射面による G の像がフィルム上に正しく感光される。同様に R に續く各々の反射面が順次に G の像をフィルム上に感光せしめる。即ち G の活動寫眞が得られる次第である。齒輪裝置 UWV は反射鏡とフィルムとの速度の比を上記述べた關係になる様に構造されて居る。圖中 S は調整の出来る二重のスリットであつて、露出の時間を制限し且つ像の變形を防ぐために用られる。

本機の反射鏡 A は整 120 角形であつて其一回轉毎にフィルム上に 120 個の陰畫が得られる。而

(1) Kinematographic Studies in Aerodynamics. By A. Klemin. Mechanical Engineering, 50 (1928), No. 3.

(2) Kinematographische Untersuchung über die Entstehung der Luftwirbel Aufgenommen vom Tokyo Aeronautical Research Institute mit dem neuen Aufnahmeapparat von Prof. Suhara. Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt e.V., 1927, s 134.

して其最高速毎秒 170 回轉では毎秒 20,400個の割合で活動寫眞を撮ることが出来る。但しフィルム F は圓盤 B の周圍に一周り巻いてあるのみで總數約 600 個の寫眞を得るに過ぎないが、こゝでは撮影の速さを便宜上總て一秒間に於る撮影回數で表してある。撮影のとき以上の装置は圓盤の軸 O_1 に於ける調車或は直結電動機にて廻されるのである。更に長いフィルムを用ひ更に多數の寫眞を連続的に撮影するにはフィルムを圓盤 B の周圍に螺旋形に巻き付け、適當な機構で圓盤を軸方向に送ればよろしい。著者は毎秒數千回程度の撮影機に此の軸送りの構造を試み様こして居るが毎秒數萬回の撮影機となるこ實行は仲々容易でない。構造も複雑になるので上述の第一型機ではフィルムは單に一巻きに止め其代りに露出が二度重なるのを防ぐためにレンズ L の前に特殊のシャッターを装置した。本機で撮影した數例を圖に示した。第一例はアークランプを光源とし凹面反射鏡を使用して物體を背面より照射し、物體の影を撮影した場合であつて第四圖及第五圖はこれである。

第四圖は電球を玩具のピストルにて射撃し破壊する狀況を撮影したるもので、其撮影回數は毎秒 3,000 回である、圖中第一行の下端と第二行の上端との間には 31 駒を省略し、第二行の下端と第三行の上端との間には 52 駒を省略してある。電球の水平に測つた最大直徑 5.6 cm である。

第五圖は同じく電球の破壊であるが其撮影回數前圖より更に多く毎秒 12,000 回である。圖中第一行の下端と第二行の上端との間には 41 駒、又第二行と第三行との間には 102 駒を省略してある。

第二例はアークランプを光源とし凹面反射鏡を用ひ Schlieren 法にて温かき空氣の流動を撮影したる場合である。第六圖及第七圖はこれである。

第六圖は RAF 6 型エーロフオイルの附近に於ける氣流の狀況であつて、空氣は左から右へ流れて居て其風速毎秒 11 m, 其翼弦 9 cm, 迎へ角 29° である。此の寫眞は翼長 40 cm の模型の中央に於ける氣流を撮影したもので撮影速度は毎秒 2,100 回である。但し第一行の下端の次に 187 駒、第二行の下端の次に 74 駒を省略してある。第三行には翼の上面に大なる渦を起して居るこよく表はれて居る。

第七圖は二個の半圓箆を食ひ違へて連結したる小さい模型風車⁽¹⁾に對する氣流を示す。風車の各半圓翼の直徑は 6 cm, 回轉速度は毎秒 10 回, 風速毎秒 8 m, 撮影速度は毎秒 2,000 回である。而して圖中第一行下端の駒と第二行の上端の駒との間には 81 駒を省き、第二行と第三行の間には 70 駒を省いてある。此の寫眞の原フィルムを實際に映寫して見るこ翼の内外に於ける空氣の流動特に渦流の生成が極めて明瞭に分る。

第三例は物體自身が發光する場合であつて他に光源を用ひず直接に撮影する場合である。第八圖はこれを示す。

此圖は寫眞用フラッシュライト粉約 5 瓦を發火せしめた寫眞であつて撮影回數は毎秒 2,000 で

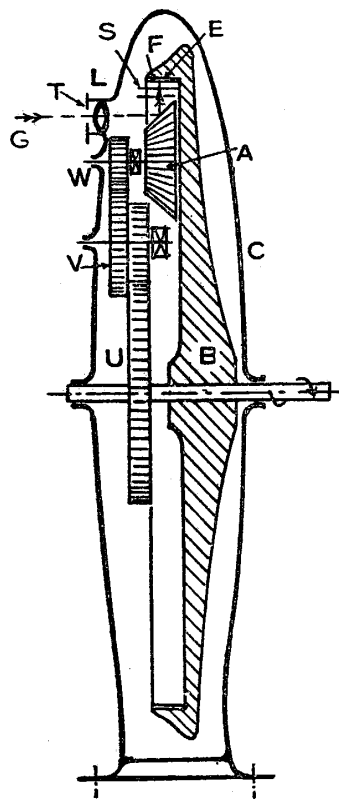
(1) The Savonius Wing Rotor. By A. Klemin, Mechanical Engineering, Vol. 47, No.11, Nov. 1925, p. 911.

ある。第一行と第二行との間に 51 駒，第二行と第三行との間に 112 駒を省いてある。火焰の進む速度等は此の寫眞から測定するここが出来た。

以上は著者の第一型撮影機で撮影したフィルムの數例であるが之れに使用したフィルムは何れ市販ものイーストマンのネガチヴであつた。

3. 第二型撮影機

第一型機より更に高速度の撮影をなすため第二型機を設計製作した。完成したのは昭和三年十月である。前の第一型機よりよほご良き寫眞が撮れる。其構造は第一型機と稍異なり第二圖の通りである。



第二圖 第二型撮影機

鑄鐵製カメラ C の内部に多角錐體の反射鏡 A があつて回轉する。フィルム F は盆形の圓盤 B の縁 E の内周に巻かれる。圓盤 B はフィルムを持つて反射鏡 A と同方向に回轉する。反射鏡 A 及圓盤 B の速度は齒輪装置 UVW にて一定の比に保たれる。撮影される物體 G の像はレンズ L 及反射鏡 A の一面によりてフィルム F の上に生ずる。今反射鏡 A が廻轉するにフィルム F 上の像は此の紙面に直角なる方向に移動する。此の際フィルム F が像の移動する速度と同じ速度で進行する様に圓盤 B を廻すに、像はフィルムに對して固定して居ることとなり、フィルムは此の像を正しく

感光する。反射鏡が廻轉するに従ひ各反射面が順次に一個づつ G の像をフィルムの上に感光せしめる。齒輪装置 UVW は、 A と B の廻轉速度を上述の関係にする様に構造されて居るのである。圖中 S は二重のスリットであつて之れを調整してフィルムの露出を制限し寫像の歪みを防ぐのである。

本機の多角錐體反射鏡は整 180 角形であつて其一回轉毎に 180 個の寫眞が得られる。而して其最高速毎秒 230 回轉では毎秒 41,400 個の割合で活動寫眞を撮るこゝが出来ゝ。但しフィルム F は圓盤の内周に一圍り巻いてあるのみであるから寫眞の總數は約 1,000 個である。撮影の際には電動機或は調車にて圓盤軸を廻轉し特別なるシャッター T で總露出時間を調整するのである。

本機で撮影したる數例を第九圖乃至第十三圖に示す。

第九圖は熱空氣の流れが直徑 15 cm の二翼プロペラで切られて居るこゝの寫眞である。其廻轉數は毎秒 14, 撮影の速度は毎秒 10,000 回である。撮影の速度が大きい割に氣流の速度が小さいので熱氣流は片々に切斷されて恰も靜止して居る様に見えて居る。

第十圖は空氣中に於ける音波の運動を Schlieren 法にて撮影したものである。これは兩端開放したる圓筒内の軸の中央に電極を置き、火花放電により生じたる音波が圓筒内面にて反射され、筒内を放射的に往復運動する狀況を撮影したものである。圓筒の内徑は 19 cm 長さ 17 cm で其撮影速度は毎秒 40,500 回である。

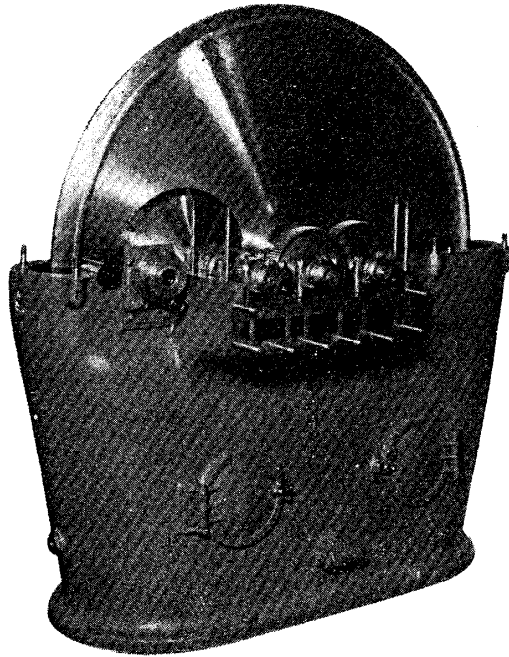
第十一圖は前と同様の装置で偏心音源から發生したる音波運動の狀況である。此の撮影速度は毎秒 30,000 回である。

第十二圖は橢圓筒内の一焦點に音源を置いた場合の音波の運動である。橢圓の大徑は 20 cm, 小徑は 12 cm, 長さ 17 cm で撮影速度は毎秒 31,500 回である。

第十三圖は同じ装置にて音源を橢圓の中心と一焦點との中間に置きたる場合の音波の運動であつて極めて面白い形を示して居る。撮影速度は毎秒 40,500 回である。

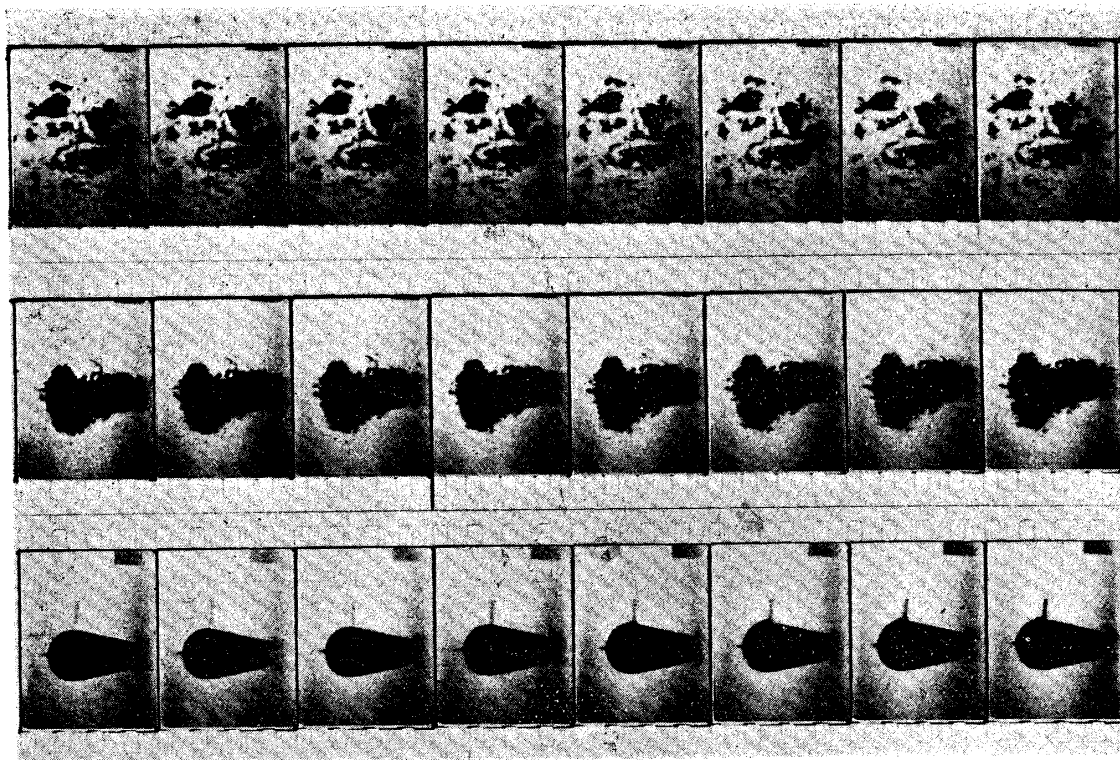
4. 結 論

上記の第二型撮影機は毎秒約 40,000 回の撮影速度を有して居る。従つて音波の如く毎秒約 340 米の速度で運動する場合にはフィルムの一の駒と次の駒との間に音波は 0.85 cm だけ進むことになる。此の程度ならば活動寫眞として先づ差支へなく映寫するこゝが出来ゝ。然し更に進んで小銃彈の如く音波に比して二倍程度の速度で進行する物體に對しては毎秒 40,000 回の撮影では不充分である。少なくとも毎秒 60,000 回以上を必要とする。著者は更に高速度の撮影機を製作中であつたが先般出來上つた。第三圖に示したのは毎秒 60,000 回程度の撮影機である。目下種々の高速運動の研究に應用を試みて居る。近く其結果を發表し得る積りである。

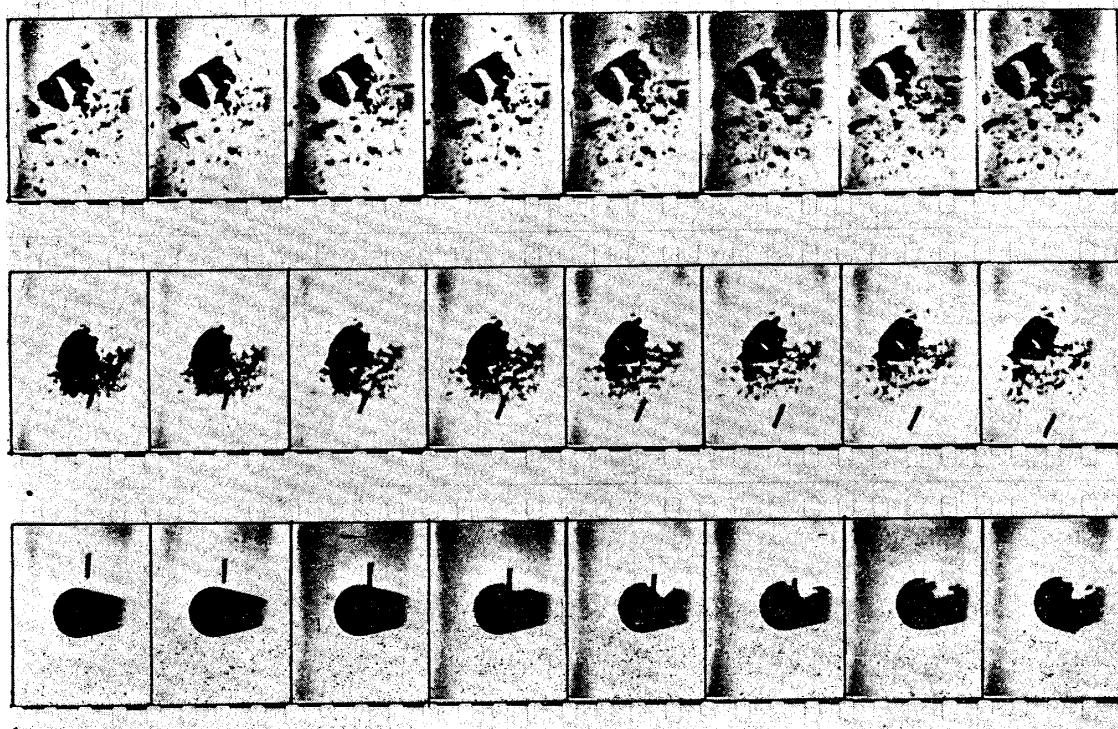


第三圖 第三型撮影機

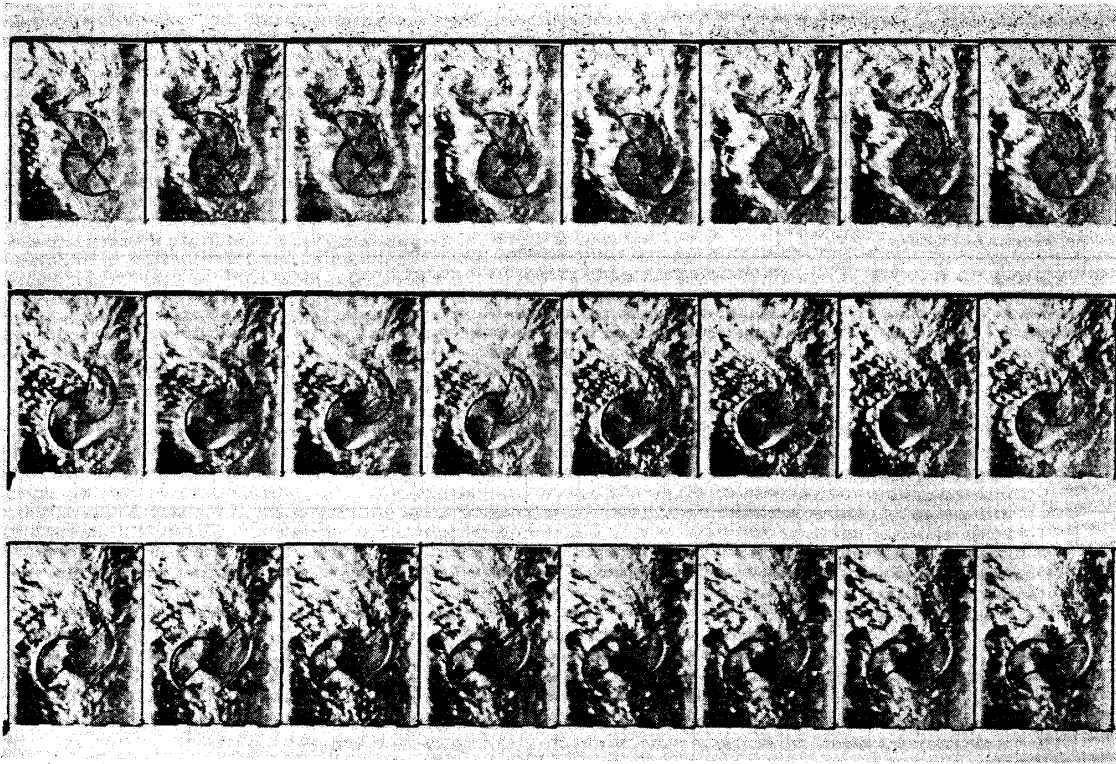
本機の設計製作及改良に關し斯波航空研究所長は終始援助を與へられたことは我々の深く感謝するところである。又航空研究所發動機部佐藤武三郎君は終始撮影實驗に従事し我々に助力した。茲に記して謝意を表する次第である。



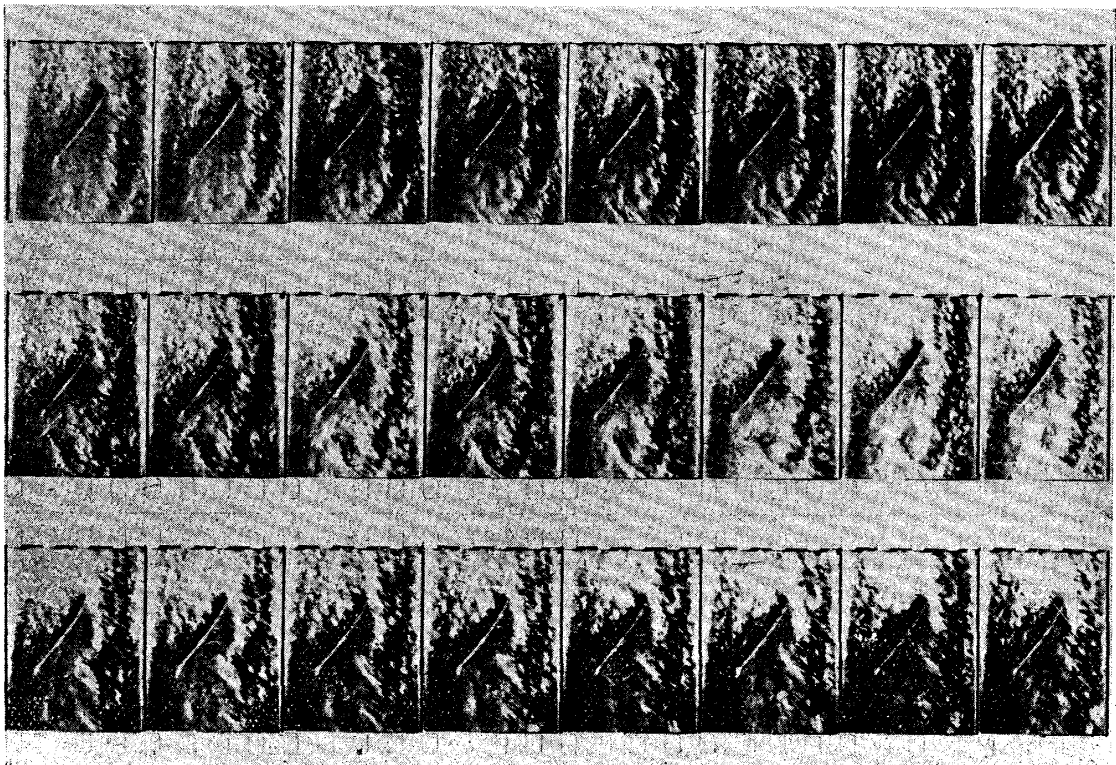
第五圖
同様なる寫眞、毎秒12,000回の割合で撮影
(舊型撮影機)



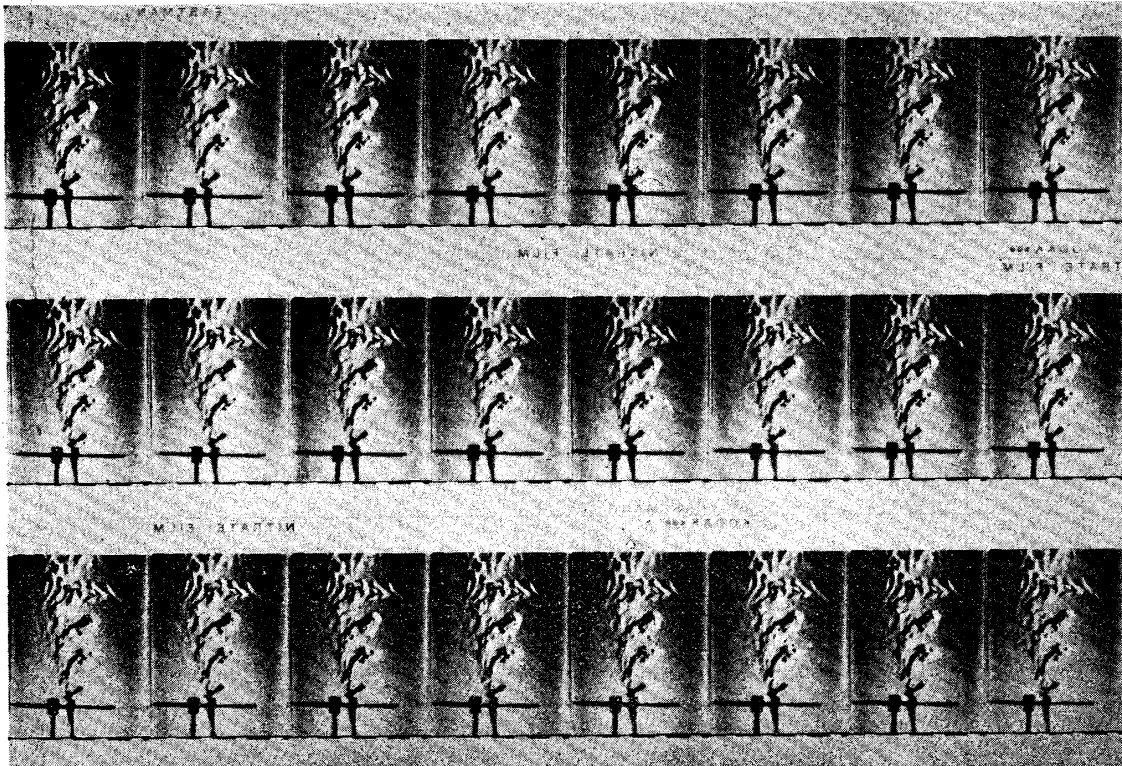
第四圖
ピストルの彈丸で貫かれる電球、毎秒3,000回の割合で撮影
(舊型撮影機)



第七圖
風車と空氣の流れ、毎秒2,000回の割合で撮影
(舊型撮影機)

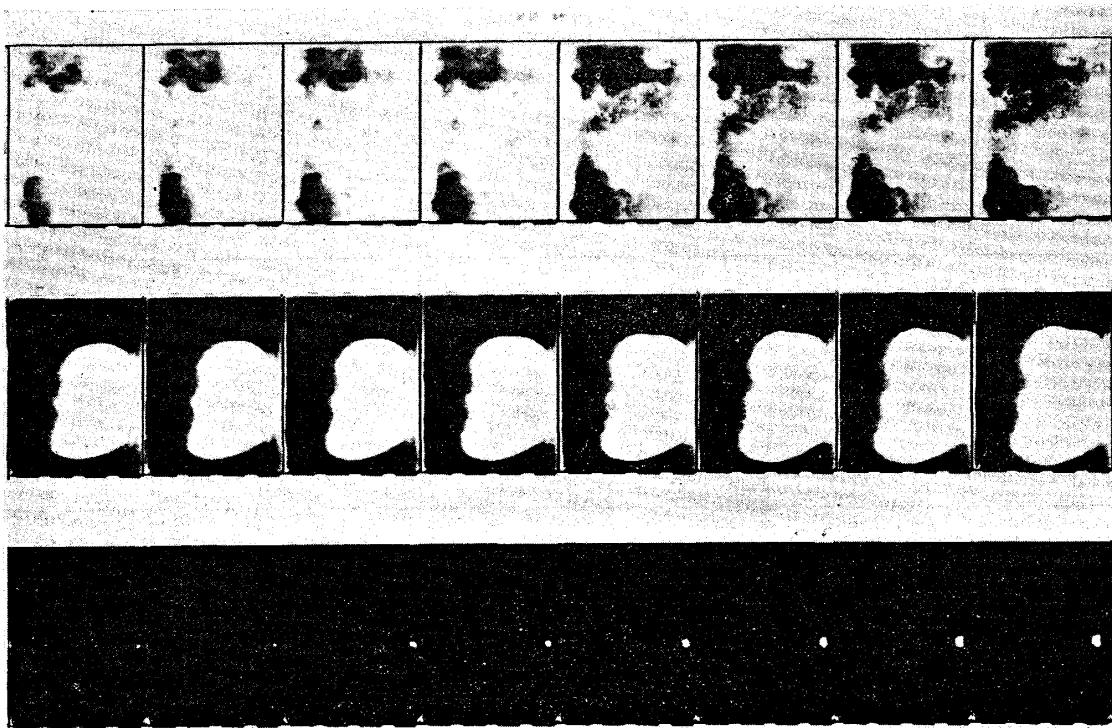


第六圖
エーロプロオイルと空氣の流れ、毎秒2,100回の割合で撮影
(舊型撮影機)



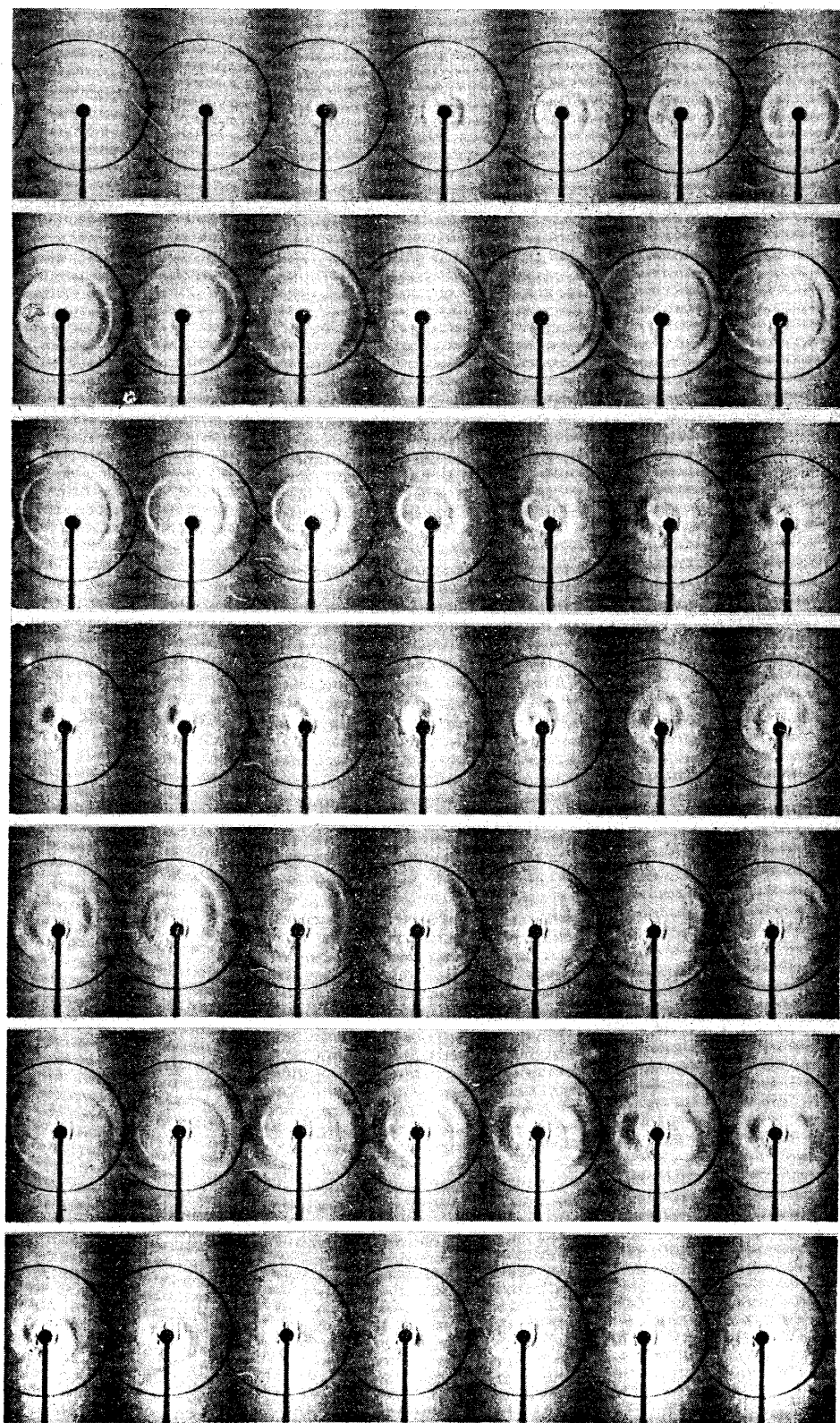
第九圖

毎秒1-四回の割合で廻轉してゐるプロペラと空氣の流れを
秒10,000回の割合で撮影

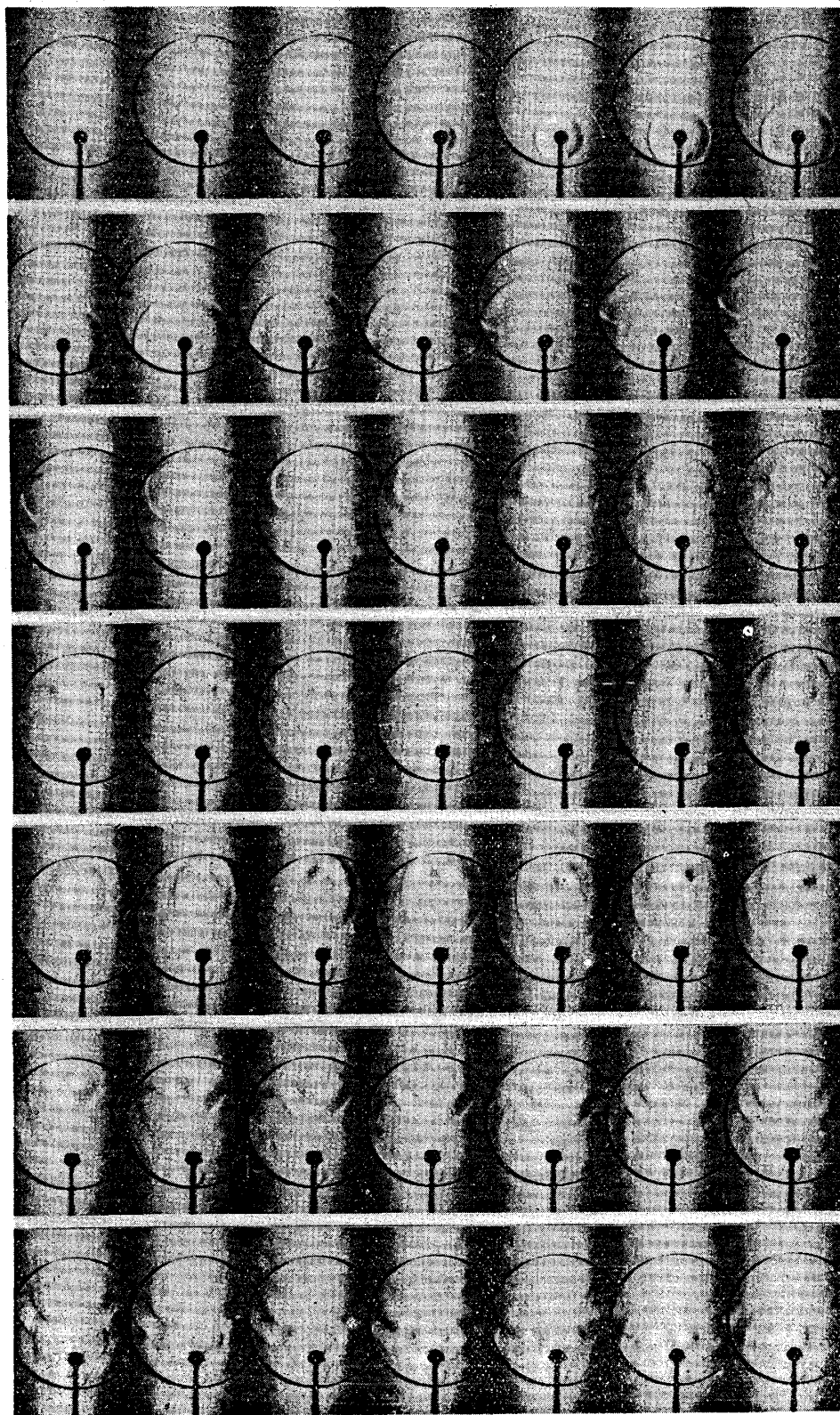


第八圖

寫眞用フラッシュライト、毎秒2,000回の割合で撮影
(舊型撮影機)



第十圖 圓筒内の音波、毎秒40,500回の割合で撮影



第十一圖 圓筒内の音波、毎秒 30,000回の割合で撮影



第十二圖 楕圓筒内の音波、毎秒31,500の割合で撮影



第十三圖 楕圓筒内の音波、毎秒40,500回の割合で撮影