

菊花型花火(割物)の設計条件について (1)

(昭和31年8月22日 受理)

清水 武 夫

(細谷火工株式会社)

目 次

- I. 緒 言
- II. 割物の構造と設計上の問題点
- III. 試験の要領, 準備, 準備計算
- 3.1. 試験の要領
- 3.2. 供試玉の準備
- 3.3. 使用器材及び試験場の準備
- 3.4. 試験の実施
- IV. 補足実験—割薬及び星の大気中静止燃焼時間の測定
- 以上 (1)
- V. 実験結果の整理と初速及び存速に関する実用公式の誘導
- 5.1. 実験結果の整理
- 5.2. 星の空気中弾道公式
- (1) 空気中弾道常数の決定
- (2) 星の運動公式の建設
- (3) 星の飛跡の重力による歪曲
- 5.3. 星の初速
- (1) 星の存速より初速への換算公式
- (2) 初速の算出
- (3) 16mm活動写真による初速の算出と前條の算定値との比較
- 5.4. 破裂弾道 (星の初速に関する実験公式の作製)
- (1) 一般的な注意
- (2) 玉の製造誤差が初速に及ぼす影響
- (3) 環星と満星との比較
- (4) 割薬の燃焼状況の考察
- (5) 星の初速に関する実験公式
- 以上 (2)
- VI. 設計条件の検討
- 6.1. 星の空気中弾道公式の検討
- 6.2. 函数 $F_0(\tau', A_0, b)$ を $F_0(\tau', A_0, a)$ より求める方法
- 6.3. 初速公式の検討
- 6.4. 星の初速の偏差 $\Delta V/V$ と之に応ずる水平到達距離の偏差 $\Delta x_1/x_1$ との関係
- VII. 割物の設計と算例
- 7.1. 公式による計算値と実験値との比較
- 7.2. 割物の設計例
- 以上 (3)
- VIII. 結 論

I. 緒 言

花火の美しさは光, 音, 煙並びに之等に伴う色彩, 線, 運動, 量等にて構成される一種独特な緊張美ということが出来るであろう。而して暗黒の夜空を背景として瞬間に光の菊花模様を画き出す割物は最もよく花火の美しさを代表するものである。その光は強く, その運動はよくそろつて, その画く菊花弁は真直に伸び, 花卉の数はなるべく多く, 配色は適当であつて変化を伴い, 花一輪の拉りはなるべく大きいものが良い花火とされている。即ち割物の美的効果については色彩効果と併せて均斉と量と変化とが尊ばれる。但しここに注意すべきは, 花火の美しさは他の芸術に於けると同様人間の見聞や聴覚を通してその心を捉へるにあるから, 上記の要求は必ずしも物理的なものを指してい

るのではないことである。例えば物理的には光の画く運動軌跡は曲つていても視覚上真直に緊張して見えれば花火としての目的を達するのである。従つて割物の設計に当つては先づ光の運動に関する物理的条件を明かにし, 次いで視覚との関係を考慮することが必要となる。古来より花火師の努力は割物の研究に集中されてきたといつても過言ではないであろう。しかしながらその研究は物理的測定の方法を欠いていた為視覚美に直結し, その結果として「眼に見えるもの」に偏重して現在の花火が存在しているように思われる。例えば光を発する星については相当な工夫がなされているが, 之を飛ばす原動力となるべき割薬については甚だ構造が粗末である。従つて本文の第一の目的は割物の物理的な設計条件を明かにし, 人間の視覚との関係を考慮しつつ割物の改良策を探究するにある。

上記のように花火の現象はその色彩に於いて、またはその形状に於いて、時間空間的な変化が豫められる。従つて花火の製造の爲には多種類の材料を要し多様な工程を経なければならぬ。而して花火用の火薬には各種の要求に対する適応性の大きい混合火薬類が殆んど絶てに用いられている。之等に使用する原料薬品や、配合の終つた火薬類は爆発又は発火の危険防止上彼此混合を絶対に避けねばならないものがある。配合火薬の多種類に加えてこのような禁制事項が多く存在することは、花火製造上の作業管理を困難にし工業化が阻まれている最も大きな理由の一つである。即ち統計の示すところによれば我が国における花火の爆発事故は製造作業中に相当多いのが他の火薬類の事故に比較して異なる特色である。特に割物の結合の工程に於いては各種各様な火薬類が一つの玉に集中するのであり、混合を禁制された火薬が紙一重を隔てて相対面している。また作業者は之等の火薬を交互に手作業で扱われねばならない。このような異種火薬類相互の近接と工程の近接とは割物の結合作業を他の花火の玉に比して一層危険なものとする。現在実用されている割物用の火薬は速やかに改良されなくてはならない。而してこの改良策は上記の物理的な設計条件を見出すことによつて始めて完全になし得ることは論を俟たない。即ち従来の塩酸カリ系統の火薬に代つて比較的、安全な過塩酸カリ系統の火薬、または黒色火薬を実用し得るや否や、実用し得るとすればその条件如何、即ち割物安全化の方策を知るのが本文の第二の目的である。

II. 割物の構造と設計上の問題点

打揚花火を大別すれば通称ボカ玉と割物との二つの基本形式に分れる。ボカ玉は単に上空に於いて内容物を放出展開させるのが目的であるから玉皮は打揚の際に破壊されないのを度とし強度が小さく炸薬の量も玉皮を割開ければ十分な程度に少い。割物は之に反し上空に於いてなるべく大きく拡つた菊花模様を描くのが目的であるから、炸薬の威力を助ける為玉皮の強度は大であり、また炸薬の量も多い。但し実用玉にあつては基本的に上記の二形式のほかに適宜目的によつて二者の中間に位する玉をつくる場合がある。割物の最も代表的な構造を示せば図1の通りである。図に於いて知られるように玉は次の四つの主要部分から成つてゐる。玉皮A、星B、割薬C及び導火線Dが之である。玉皮は内容物を収容すると同時に割薬の効果を十分ならしめる。星は玉の炸裂と同時に着火し燃焼しな

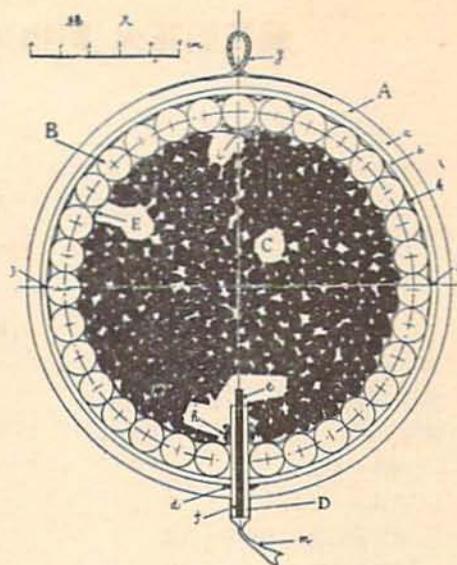


図 1

が放射状に飛びその飛跡によつて菊花模様を描く。割薬は炸薬であつて導火線Dよりの点火により玉を炸裂させ星を飛ばす原動力となる。また同時に星に着火させる役割をもつ。導火線は玉が打揚筒より発射されると同時に打揚火薬の火焰によつて外部端に点火し上空所望の位置に達するまで適当な延期秒時をもち、次いで内部割薬に点火する。

設計上の問題は二つに分れる。第一は玉の爆発によつて星にどの程度の初速が与えられるか、即ち星の初速の問題である。第二はこの与えられた初速をもつて星は大気中を飛んでどんな形を描き、何秒間に何米の距離を飛んで消えるか、即ち空気中弾道の問題である。

星の初速に関しては定性的に次のように考えられる。割薬は着火によつて燃焼を起し、玉皮の破断圧力迄圧力が上昇したとき玉は破裂し、火薬ガスの放出によつて星は加速され始める。この加速は星の前進する後面の圧力が前面より受ける空気抗力に等しくなつた点に於いて終るものと考えられる。また割薬は玉皮の破断後も燃焼を続け星が或程度前進した位置に於いて燃焼を完了するであろう。砲内弾道学より類推すれば星の初速は次の因子によつて左右されるものと考えられる。

- (1) 玉皮の破断限界圧力
- (2) 割薬の装填比重
- (3) 星の断面比重 (星の重量を星の大円の面積にて除したもつ)。

- (4) 火薬(割薬)の力
 (5) 火薬の常圧燃焼速度(即ちロピシター)
 (6) 火薬の燃焼圧力指数

等である。

玉皮の強度を増せば割薬の燃焼は高圧発生の為に完全となり、火薬の効率を大にし星の初速を増加し得るものと考えられる。玉皮はこうぞ和紙またはクワフト紙(普通にセメント空袋紙が上品として用いられる)を貼り重ねて所望の厚さとしたものであつて習慣上貼り重ねの枚数(以下貼数と称する)をもつて強度を表わす。花火師は之を寸6或は寸8等と称する。寸6というのは例えば呼称寸法5寸の玉であれば $5 \times 6 = 30$ 枚、6寸の玉であれば $6 \times 6 = 36$ 枚の貼数を意味する。即ち玉の直径に比例して貼数を増加するを要するとする「寸当」の原則が之である。玉皮が等方質よりなるものと仮定して材料強弱学の理論に従つて計算すると中空球体に於いて内圧のみが加わつた場合の抵抗量(Equivalent Stress) S_{yt} は次式で表わされる。

$$S_{yt} = \frac{m(3-m)P_0 r_i}{r_i^{n_2} r_a^{n_1} - r_a^{n_2} r_i^{n_1}} \left(\frac{r_a^{n_2}}{\alpha} r_i^{n_1-1} - \frac{r_a^{n_1}}{\beta} r_i^{n_2-1} \right) \dots\dots\dots (1)$$

但しここに

r_i : 玉皮の内半径

r_a : 玉皮の外半径

P_0 : 内圧

$$\alpha = (1+m)n_1 + 2(1-m)$$

$$\beta = (1+m)n_2 + 2(1-m)$$

$$n_1 = 1, n_2 = -2, m = \frac{1}{3}$$

今一例として(a) $r_i = 68\text{mm}$, $r_a = 76\text{mm}$ (割物五寸玉に相当)、及び(b) $r_i = 53\text{mm}$, $r_a = 61\text{mm}$ (割物四寸玉に相当)の二つの場合に於ける S_{yt}/P_0 の値を計算すると表1の如くなる。

表1 S_{yt}/P_0 の計算値

(a)		(b)	
rmm	S_{yt}/P_0	rmm	S_{yt}/P_0
68	3.15	53	2.57
70	2.96	55	2.37
72	2.79	57	2.19
74	2.63	59	2.04
76	2.49	61	1.90

以上によつて抵抗量は玉皮の内面に於いて最大であることがわかる。従つて(1)式に於いて $r = r_i$, $S_{yt} = J_2$ とおいて玉皮の破断限界内圧を表わす式が得られる。即ち P_0 をこの限界圧力とすれば

$$P_0 = \frac{J_2}{m(3-m)} \frac{r_a^{n_2} r_i^{n_1} - r_i^{n_2} r_a^{n_1}}{\alpha \beta} \dots\dots\dots (2)$$

今一例として $J_2 = 210\text{kg/cm}^2$ (こうぞ紙の抗張力) とし、玉皮の内径 r_i を 25~150mm, 玉皮の厚さ δ を 2~10mm に変化して計算し P_0 を求めこの関係を図解して一定の P_0 に応ずる所要玉皮の厚さ δ 及び内径の差に依る δ の差 $\Delta\delta$ を求めると表2の如くなる。

表2 玉皮の内径に依る所要

r_i mm	玉皮の厚さ δ mm 及び $\Delta\delta$ mm							
	20		30		40		50	
25	0.8		1.3		1.7		2.2	
50	1.7	0.9	2.5	1.2	3.4	1.7	4.3	2.1
75	2.5	0.8	3.8	1.3	5.1	1.6	6.4	2.2
100	3.3	0.8	5.0	1.2	6.7	1.7	8.6	
125	4.1	0.9	6.2	1.3	8.4			
150	5.0		7.5					

上表によれば $\Delta\delta$ の値は一定の P_0 に依つて r_i の変化に関せず大体等しい。即ち玉皮の破断内圧を一定とすれば之に依る玉皮の強度は玉の径に比例して増すべきであつて之は寸当の原則とよく一致している。以上は紙質と強度との関係について言及していないが、これは実験によつて明かにしなければならぬ。

星の真比重は1.3~1.7であつて之より大にすることも小にすることも通常の方法では困難である。星の断面比重は之によつて自然に定まる。断面比重を減れば之に附与し得る初速を増すものと考えられるが、この場合火薬ガスの推進作用が消滅すると空気抗力の為に著しく減速されることを考慮して星は設計されねばならない。

従来広く使用されていた割薬は酸化剤として塩素酸カリを用い、之に黒炭等の被酸化剤を混合したものであつて所謂灰三爆薬と称せられている。(灰三なる名称は塩素酸カリ10に対して黒炭3を混合した火薬を意味する。)安全の為塩素酸カリの配合割合を減じて硝石を加えたものもある。以上のものは何れも硫黄や赤磷の混入に対して極度に警戒を要する。即ち作業管理上の危険性を伴う。然るにも拘らずこの種火薬の賞用される理由は次の如く考えられる。

- (1) 火薬の燃焼速度が大である。従つて比較的少い玉貼数でよく効果を發揮する。
- (2) 火薬の力は黒色火薬に比して大である。
- (3) 製法が黒色火薬に比して簡易であり、圧磨等の作業を要せず、手作業にて調整したのみで強力な火薬が得られる。
- (4) 過塩素酸塩類を使用する場合に比して市場価

表 3 星の準備諸元

記号	呼称直径	色調	薬配合	d mm	r mm	p g	δ	p'	δ'	T 'sec
C_8	8mm	引	SKC	8.61	0.15	0.47	1.34	0.80	0.78	1.59
B_8	8mm	青	SKB	8.73	0.18	0.55	1.59	0.92	0.84	1.20
C_{12}	12mm	引	SKC	12.26	0.18	1.30	1.48	1.11	0.72	2.17
B_{12}	12mm	青	SKB	12.11	0.22	1.47	1.62	1.28	0.86	1.95
G_{12}	12mm	緑	SKG	12.23	0.19	1.56	1.64	1.34	0.82	2.97
F_5	5mm	輝	SBF	4.92	-	0.11	1.65	0.58	1.06	0.60

格が低廉である。

若しここに灰三燐素に代る安全な割薬を得ようとするれば夫は以上の四つの条件に於いて之と遜色のないことが望ましい。之が為には特に先ず(1)、(2)に関して他の火薬と比較検討し、また従来の割薬の製造方法に止まらず、更に進んで火薬の効果を十分發揮し得る如く割薬の構造に関し、玉の構造と相俟つて工夫すべきものと考えられる。

星の存速又は空気中弾道に関しては、夫は音速以下の抛射体の問題ではあろうが、燃焼しながら飛行することが一般と異なる特色である。従つて星の燃焼速度が重要な因子であらうことは容易に推測されるところである。またもとより一般弾道に於けるが如くその比重は弾道性に大なる影響をもつてあろう。即ち燃焼速度、比重、大きさ等が星の設計上の問題点となる。

III. 試験の要領、準備、準備計算

3.1. 試験の要領

実用可能と思われる過塩素酸カリ及び黒色火薬を用いた割薬並びに過塩素酸カリを用いた星をつくる。また比較の為従来広く使用されていた塩素酸カリを主剤とする所謂灰三燐素の割薬も準備する。之等によつて四寸玉及び五寸玉の割物を作製する。またその玉皮の強度は、和紙及びクラフト紙(セメント空袋紙)によつて貼数を異にした段階をつくる。

之等を地上破裂させ星の飛跡を定速度の回転シャッターを通して写真撮影する。また点検用として16耗活動写真機にても撮影する。この撮影された飛跡によつて星の初速と存速とを計算する。

この試験によつて得ようとする主要な関係は次の通りである。

(1) 星の初速と星の大きさ、比重、割薬の種類、玉皮の強度との関係。

(2) 星の存速乃至は空気抗力係数と星の大きさ、比重、燃焼速度との関係。

3.2. 供試玉の準備

試験に用いた星の構造を示せば図2の通りである。

撮影の終点を明確にする為には光輝の強い輝心Ⅰを用い、之に色火剤Ⅰを掛けた。Ⅰ'はⅠへの着火を確実にする為の配合であつて共粉と称する。Ⅰ'はⅠへの着火を容易にする

為の黒色火薬系の配合であつてその厚さは約0.5mmである。諸計算上はⅠ'はⅠに含め、Ⅰ'もⅠに含めた。星には相当の製造偏差を伴うから斯くするも弾道の大勢に影響しないであらう。準備した星の諸元は表3の如くである。

但し表3に於いて色調と薬配合とは $C_8 \sim G_{12}$ についてはⅠ部について、 F_5 についてはⅡ部について示してある。 F_5 は輝心であつて之単独に用いることはなく、この上にSKC、SKB、SKGを掛けて $C_8 \sim G_{12}$ が出来る。色調中「引」と称するのは燃焼に際して木炭の火の粉が尾を引くのをいう。薬配合は次の如くである。

SKC (六菊と称する引剤)

硝石	53.7%
硫黄	6.5
松炭	32.3
みじん粉	7.5

SKB (青色剤)

過塩素酸カリ	64.0%
花緑青(バリソグリン)	17.0
ロゼン系ビッチ	13.0
みじん粉	6.0

SKG (緑色剤)

過塩素酸カリ	46.0%
硝酸バリウム	32.0
ロゼン系ビッチ	16.0
みじん粉	6.0

SBF (輝剤)

硝酸バリウム	67.0%
アルミニウム(微粉)	27.0
みじん粉	6.0

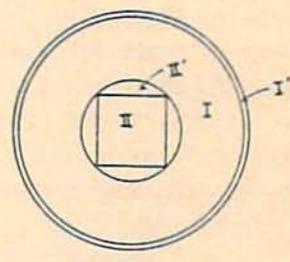


図 2

また記号は、

- d : 星の直径, 任意に採取した25個の平均値
 - σ : 星の直径の公算偏差, 直径のバラつきは大体8 σ 以内にあることを示す。
 - p : 星の重量, 100個についての平均値。
 - δ : 対応色調部 I の真比重の計算値(但し F_0 については II+II' についてのもの)
 - p' : 星の断面比重, 全重量を大円の面積で除したものでここでは g/cm^2 の単位。
 - δ' : 星の仮比重 kg/l
 - T : 星の全燃焼時間, ここでは30個について測秒器にて測定した平均値。
- 但し以上 F_0 については d 及び T は10個についての平均値を示す。

割薬の構造は、塩素酸カリ及び過塩素酸カリを主剤とするものは各成分を篩混合したものを直ちに水を加えて綿突に附着させ後天日乾燥したものであり、黒色火薬の割薬は硝石、硫黄、木炭を配合したものを木製ボールミルに仕込み磁製球を入れて18時間混和したものを同様にして綿突に附着させ天日乾燥したものである。塩素酸カリ割薬は灰三燐薬と称せられるものと大体同じ配合である。綿突に附着した完成割薬は何れも短径3~4mm, 長径5~10mm程度の粒状をなす。割薬に関する諸元は表4の如くである。

表4 割薬の準備諸元

記号	主 剤	ω/ω'	δ'	δ''	\bar{t} mm	T_0 °K	V_0 l	f dm	H_1 cm	H_2 cm
H	KClO ₃	1.313	0.583	0.556	0.49	3,550	569	0.736×10^6	50	85
S	KNO ₃	1.288	0.572	0.528	0.47	2,050	370	0.287×10^6	85	>130
P	KClO ₄	1.625	0.722	0.556	0.49	3,940	478	0.712×10^6	60	80

- H: 塩素酸カリ75%, 麻炭25%, みじん粉2% (外挿) 配合の割薬
 - S: 硝石75%, 麻炭15%, 硫黄10%, みじん粉2% (外挿) 配合の割薬
 - P: 過塩素酸カリ70%, 麻炭18%, 硫黄12%, みじん粉2% (外挿) 配合の割薬
 - ω : 割薬量であつて媒体を除いたものの重量 (kg)
 - ω' : 附着媒体としての綿突量 (kg)
 - δ' : 粉末状火薬の仮比重 (kg/l)
 - δ'' : 完成割薬の仮比重 (kg/l)
 - \bar{t} : 平均薬厚, T_0 : 爆発温度の計算値
 - V_0 : 比積の計算値, f : 火薬の力の計算値
 - H_1 : 落錠感度試験に於ける不爆点 (2kg落錠使用)
 - H_2 : 同上完爆点
- 導火線としては工業用第二種を使用した。

玉皮(図1のb)は新聞紙のものを用いた。その寸度は四寸玉にて内径105mm厚さ2.5mm, 五寸玉にて内径132mm厚さ3.0mmであつた。玉貼の種類と記号とは次の通りである。

こうぞ紙	クラフト紙
W_{16}	M_8
W_8	M_4

記号の添数字は寸当貼枚数を示す。従つて実際の貼枚数は次のようになる。

	四寸玉	五寸玉
W_{16}	$16 \times 4 = 64$ 枚	$16 \times 5 = 80$ 枚
W_8	$8 \times 4 = 32$	$8 \times 5 = 40$
M_8	$8 \times 4 = 32$	$8 \times 5 = 40$
M_4	$4 \times 4 = 16$	$4 \times 5 = 20$

作業の便宜上こうぞ紙は2枚合せ紙を用い、クラフト紙は1枚毎に貼つた。今

S_0 : 玉の寸度より計算した所要の紙の面積の理論値

S : 実際に用いた紙の総面積

とすれば、 S/S_0 の値はこうぞ紙について1.08, クラフト紙について1.17であつた。使用した糊は合せ紙用は重量比にて小麦粉1について水10, 玉貼用は小麦粉1について水3の配合でつくつたものである。後者の使用量は紙1dm²について1.89gであつた。紙の強度については引張試験の結果次の実験値が得られた。(表5)

この表に於いて-の記号は紙の繊維の方向が引張方向に対して直角なることを示し|は引張方向に平行であることを示し+は-と|とを交互に重ね合せたものである。この成績によると横の強度

表5 紙の強度試験成績

種 類	合せ紙 枚 数	繊維の 方 向	厚 さ mm	抗 張 力 kg/cm ²
1. 軍道 和紙 (水分8.8%)	1	-	0.08	150
	1		0.08	269
	5		0.45	212
	10		0.96	277
	2	+	0.16	228
2. クラフト紙 (セメント空袋紙) (水分10.6%)	10	+	0.96	246
	1	-	0.14	140
	1		0.14	289
	5		0.72	267
3. 新 開 紙 (水分10.9%)	2	+	0.28	214
	1	-	0.12	33
	1		0.12	71
	2		0.26	81
	5	+	0.67	51
10	+	1.48	55	

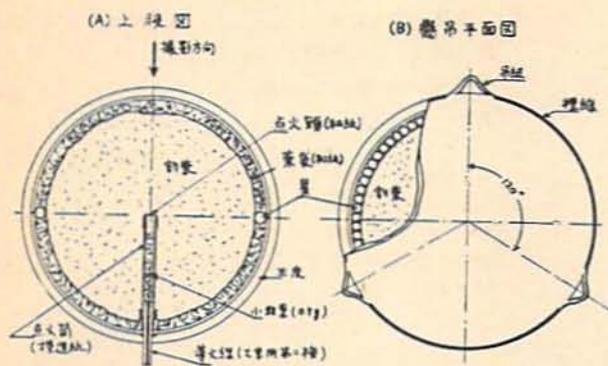


図 3

(一)は縦の強度(1)の48~55%となる。また縦横重ね合せの強度(+)は(1)と(一)の強度の和に大体等しくなる。1. 軍道紙は純こうぞ紙である。之と2. クラフト紙は大体抗張力は等しいが後者の厚さは前者の約2倍に等しいからこうぞ紙2枚に対してクラフト紙1枚が強度上匹敵することになる。

試験玉は写真撮影後に於ける解析を容易にする為に所謂環星を用いた。五寸玉についてその構造を示せば図3の通りである。

環星であるから環状に収容した星の部分以外の空積は綿実を詰めた。貼り上った玉の星の直上にあたる部分には標線を入れて実験の際現地の射面の識別を容易にした。詰物に綿実が使用してあるから割薬の装填比量の計算は概算に止まるのは已むを得ない。綿実を一定容積に入れその空積に水を注入してその量を測定し、綿実1kgの真容積は1.211なる値を得たから、割薬の装填比量は次式で表わされる。

$$d = \frac{w}{V - n v_s - 1.211(w' + w'')}$$

但し V : 玉皮内全容積 (l)

v_s : 星1個の占める容積 (l)

n : 星の数

w' : 詰物に使用した綿実の重量 (kg)

d : 装填比量 (kg/l)

以上によつて準備した試験用の玉は表6の通りである。表中の記号で例えば $D_4B_8HW_8$ は呼称寸法四寸の玉で8mmの青星を用い、II割薬を詰め寸当8枚貼(全体で $8 \times 4 = 32$ 枚)であることを示す。No.1~No.48は星の運動に関して各種の影響を知る為のものであつて総て青星を用いてあり、之に玉の大きさ、星の大きさ、割薬の種類、玉貼用の紙の種類と貼数を組合せ

てある。No.49~No.56は星の種類が存速に及ぼす影響を見ようとしたものである。特にNo.49とNo.53とは引、緑、青の三種の星を同一玉に装填したものであるから製造誤差の影響を除いて星の存速を比較することが出来る。No.57~No.60は所謂満星(普通玉)であつて星を玉皮の内側に沿つて顔間なくつめたもので図1の様式と同じものである。之は星の運動について環星と比較する為のものである。No.61~No.62は実用玉であつて試験玉と比較する為のものである。

表 6 併試玉の表

No.	記号	No.	記号	No.	記号
1	$D_4B_8HW_8$	17	$D_4B_{12}SW_8$	33	$D_5B_8PW_8$
2	$D_4B_8HW_{16}$	18	$D_4B_{12}SW_{16}$	34	$D_5B_8PW_{16}$
3	$D_4B_8HM_4$	19	$D_4B_{12}SM_4$	35	$D_5B_8PM_4$
4	$D_4B_8HM_8$	20	$D_4B_{12}SM_8$	36	$D_5B_8PM_8$
5	$D_4B_8SW_8$	21	$D_4B_{12}PW_8$	37	$D_5B_{12}HW_8$
6	$D_4B_8SW_{16}$	22	$D_4B_{12}PW_{16}$	38	$D_5B_{12}HW_{16}$
7	$D_4B_8SM_4$	23	$D_4B_{12}PM_4$	39	$D_5B_{12}HM_4$
8	$D_4B_8SM_8$	24	$D_4B_{12}PM_8$	40	$D_5B_{12}HM_8$
9	$D_4B_8PW_8$	25	$D_5B_8HW_8$	41	$D_5B_{12}SW_8$
10	$D_4B_8PW_{16}$	26	$D_5B_8HW_{16}$	42	$D_5B_{12}SW_{16}$
11	$D_4B_8PM_4$	27	$D_5B_8HM_4$	43	$D_5B_{12}SM_4$
12	$D_4B_8PM_8$	28	$D_5B_8HM_8$	44	$D_5B_{12}SM_8$
13	$D_4B_{12}HW_8$	29	$D_5B_8SW_8$	45	$D_5B_{12}PW_8$
14	$D_4B_{12}HW_{16}$	30	$D_5B_{12}SW_{16}$	46	$D_5B_{12}PW_{16}$
15	$D_4B_{12}HM_4$	31	$D_5B_8SM_4$	47	$D_5B_{12}PM_4$
16	$D_4B_{12}HM_8$	32	$D_5B_8SM_8$	48	$D_5B_{12}PM_8$
49	$D_5C_{12}G_{12}B_{12}SW_8$	55	$D_5C_8PW_8$		
50	$D_5G_{12}SW_8$	56	$D_5C_{12}PW_8$		
51	$D_5C_8SW_8$	57	$D_5B_8SW_8$ (満星)		
52	$D_5C_{12}SW_8$	58	$D_5G_{12}SW_8$ (♠)		
53	$D_5C_{12}G_{12}B_{12}PW_8$	59	$D_4B_{12}SW_8$ (♠)		
54	$D_5G_{12}PW_8$	60	$D_4B_{12}SW_8$ (♠)		
61	実用玉一引先緑紅				
62	実用玉一八重芯丁字菊				

割薬に関する量及び玉の重量等は表7の通りである。

3.3. 使用器材及び試験場の準備

使用器材は次の通りである。

(1) 写真機及び付属器械 1式

焦点距離 $f=180 \pm 1$ mm, $F=4.5$, 乾板はキャビネ判

(2) 回転シャッター 1式

同期電動機附50サイクルにて毎秒25回転、羽根の角度 60° (之が遮光角となる), 1枚羽根。

(以上写真1参照)

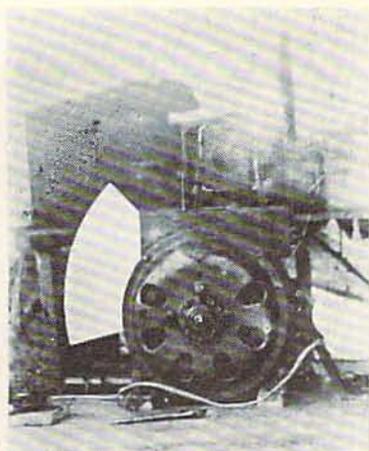


写真 1



写真 2

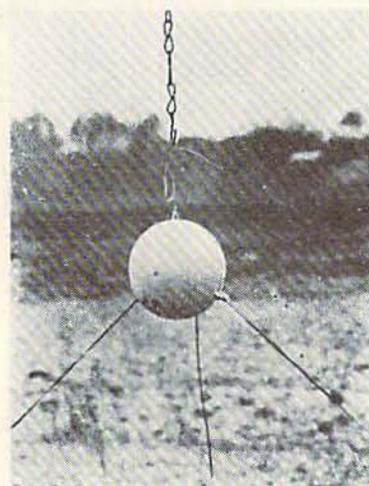


写真 3

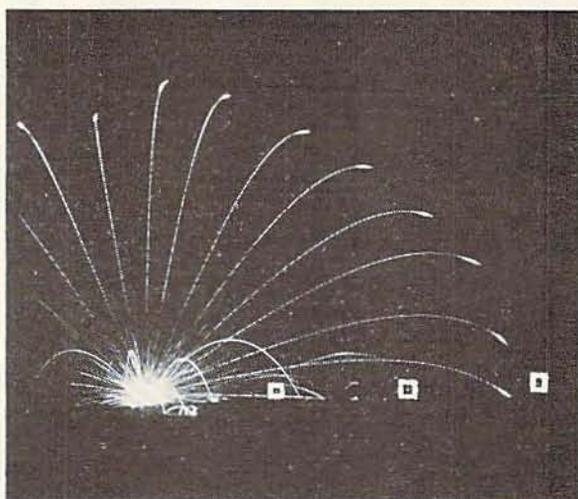


写真 4

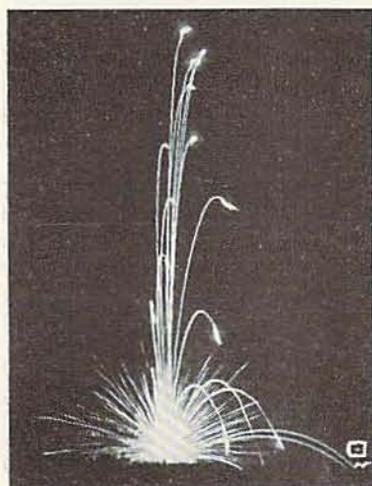


写真 5

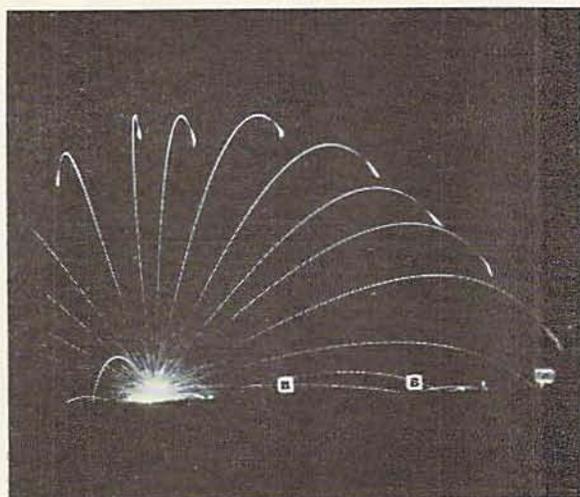


写真 6

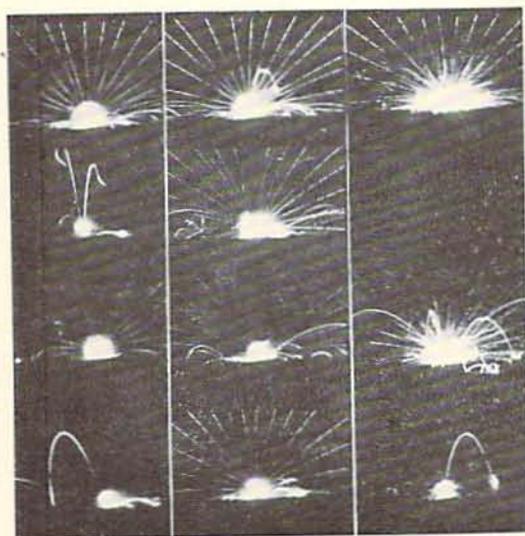


写真 7

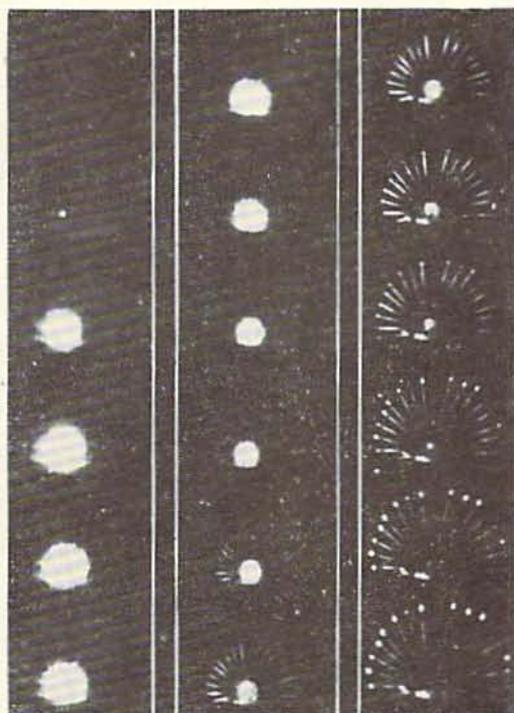
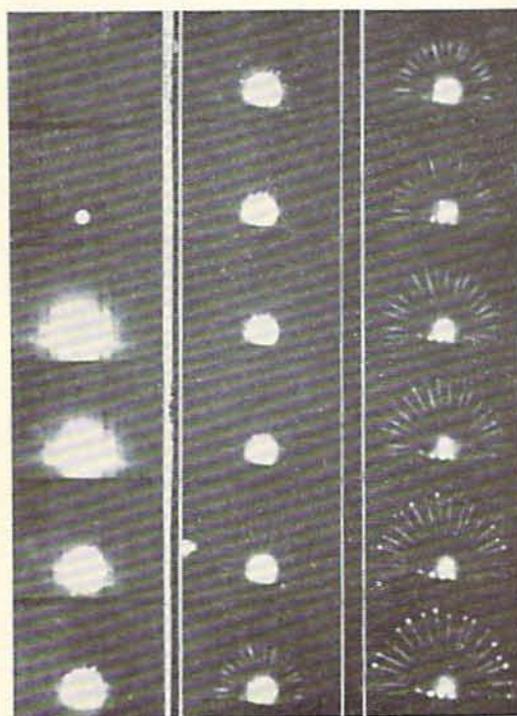
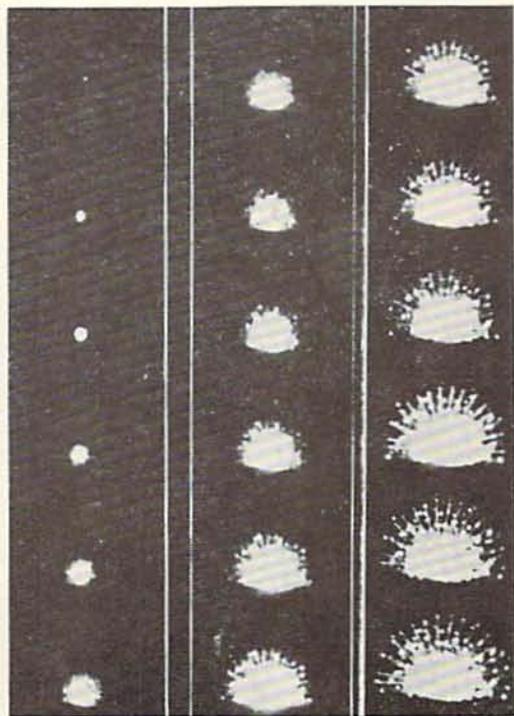
写真 8 $D_5B_{10}HW_8$ 写真 9 $D_5B_{12}SM_4$ 写真 10 $D_5B_{12}PW_8$

表7 割薬量 w , 装填比重 d , 玉の全備重量

		w kg	d kg/l	全備重量 kg
四寸玉 (D_4) No.1~No.24	H	0.107	0.272~0.287	0.480~0.585
	S	0.106	0.273~0.295	
	P	0.116	0.292~0.306	
五寸玉 (D_5) No.25~No.48	H	0.234	0.290~0.303	0.920~1.125
	S	0.232	0.283~0.306	
	P	0.256	0.308~0.328	
No. 57	S	0.275	—	1.140
No. 58	S	0.232	—	1.150
No. 59	S	0.106	—	0.600
No. 60	S	0.106	—	0.675
No. 61	—	—	—	0.970
No. 62	—	—	—	1.240

(3) 16mm 活動写真撮影機 1式

公称128コマ毎秒, 焦点距離 $f=1$ 時, $F=1.8$ フィルムは16mmコマック(100呎巻)使用, この回転数特性は図4の通りである。

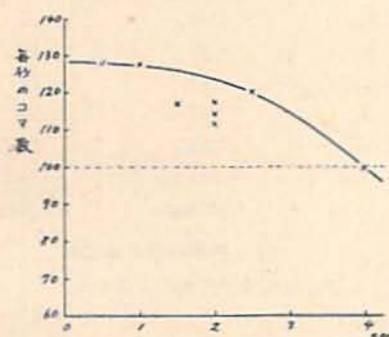


図4

撮影関係位置を示せば図5の通りである。

破裂点の設備は写真2の如くし, 写真3のようにして玉を懸吊する。而してその懸吊平面(三本の鋼索の

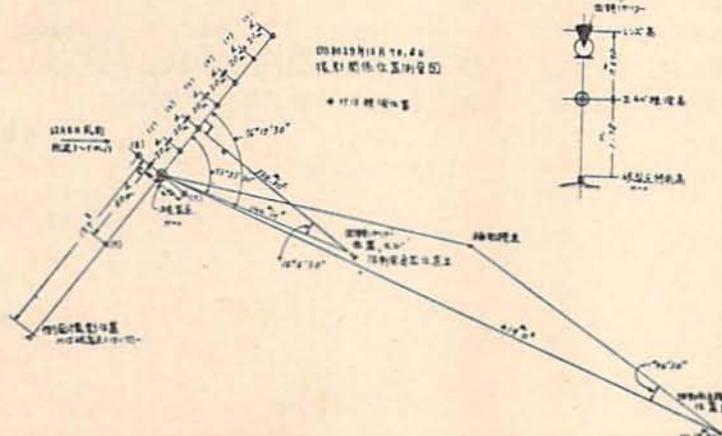


図5

引張方向を含む平面)は図5の標燈の線の方向に一致させ且重力の方向に平行させた。距離標燈は図5中括弧の番号を以て示してあるのが夫である。破裂点より20m間隔に回転シャッター位置より見て右方に6個設けた(No.1~No.6)。また補助標燈として左方60mの位置に1個(No.9)を設けた。更に側面方向よりの写真撮影の為の水準標点としてNo.7, No.8を設けた。之等の標燈は総て破裂点に懸吊された玉と同一の水準面にあるようにした。標燈及び破裂点の標尺間隔は2m 鋼製巻尺によつて補正された布製巻尺を使用して測量した。

回転シャッター附写真機のレンズ高は破裂点を含む水平面より僅かに0.64m高い位置であつたから, 距離の関係上はほぼ破裂点と同一水準高と看做してよいと思われる。写真機のレンズの関係位置は標燈No.2(40m位置)の点に於いて光学軸と標燈線と直角となるよう標点No.2にトランシットを静置して正確に定めた。而して写真機は適宜に調整して標燈No.2が光学軸に一致して撮影されるように設置された。斯様にして花火の開花した場合の大体4円が撮影される。

標燈設備としては第1日(予備実験)は豆電球を使用した。電池の寿命の関係上第2日, 第3日(本試験)には鎗燭燈を使用した。但し中央標燈No.2のみは豆電球を併用した。結果よりすれば鎗燭燈にて十分目的が達せられた。

3.4 試験の実施

第1日: 昭和29年12月6日午後9時30分より同10時に至る。予備実験, 気温 0°C , 無風, 湿度100%, 結霜を認めた。

第2日: 同上7日午後7時より同10時15分に至る。No.1~No.28迄試験, 無風, 静穏, 湿度90%, 電圧低し。

第3日: 同上8日午後6分30より同10時40分に至る。No.29~No.60を試験し, 更に前日の不発玉No.2, No.8を試験した。小雨, 風速 $3\sim 5\text{m/sec}$ 。風向は図5に示した。

東電五日市発電所にて調査した電力のサイクルは次の通りである。

	8時	11時	15時
12月6日	50	48.5	50
→ 7日	50	50	50
→ 8日	48	47.5	47

以上によつて撮影された例を示すと写真4より写真10にて示す通りである。写真4は玉No. 47について撮影した正面写真であり。回転シャッターを通じて撮影したものであるから星の飛跡は点線状をなして現われている。□で囲んであるのは標置位置であつて夫々左より20m, 40m, 60m, 80m位置を示している。即ち図5に於ける(1), (2), (3), (4)点に対応している。写真5は同じくNo. 47についての側面写真である。□で囲んであるのは側面20m位置であつて図5に於ける(7)点に対応している。写真6はNo. 54についての正面写真である。之はNo. 47と大体玉貼強度やその他の條件は同一であるが、緑星であつて(No. 47は青星)燃焼時間が相当に長い場合を示している。之等の写真に見られるように破裂点の近傍に於ける星の飛跡の切れ目は明かでない。

一般に引星C, 若くは他の星でも最初の部分は着火の為に引割がかかっているから、飛跡が火の粉の尾を引く為に回転シャッターによる切れ目は不明瞭であつた。写真7乃至写真9については後述する[S. 4の(4)参照]。

IV. 補足実験—割薬及び星の大 氣中静止燃焼時間の測定

16mm活動写真機を用いた。金網上に短冊形に切つた黒色火薬を塗つた薬紙を細長くならべ、その上に割薬又は星を約5cmの間隔にならべ、一端より点火する。順次に着火燃焼するから、之を絞りを小さくした16mm活動写真機により約1.5mの距離から撮影した。

次の二つの表に掲げた括弧内の数値は撮影速度を毎秒120コマとした場合の平均燃焼時間を示す。割薬の

表8 星の燃焼時間の測定値
(16mm活動写真機によるもの)

星の種類 及び番号	撮影コマ数	
	色光部	心部
B_3 No. 1	95	25
B_3 No. 2	97	27
B_3 No. 3	79	27
B_3 No. 4	106	16
B_3 No. 5	79	33
平均	91.2 (0.76sec)	25.6 (0.21sec)
B_{12} No. 1	184	20
B_{12} No. 2	179	22
B_{12} No. 3	187	21
B_{12} No. 4	191	21
B_{12} No. 5	182	33
平均	184.6 (1.54sec)	23.4 (0.19sec)
G_{12} No. 1	259	50
G_{12} No. 2	249	42
G_{12} No. 3	263	29
G_{12} No. 4	265	29
G_{12} No. 5	255	16
平均	257.6 (2.15sec)	33.2 (0.28sec)

表9 割薬の燃焼時間の測定値
(16mm活動写真機によるもの)

(H)	(P)	(S)
No. 1 7コマ	No. 1 44コマ	No. 1 30コマ
No. 2 26	No. 2 60	No. 2 30
No. 3 26	No. 3 73	No. 3 25
No. 4 26	No. 4 65	No. 4 30
No. 5 15	No. 5 69	No. 5 -
平均 20.2 (0.167sec)	62.2 (0.518sec)	28.8 (0.240sec)

場合は燃焼の起点と終点とが明確でなかつた為に、この測定値は相当に誤差が大きいのと思われる。

(以下次号)