

図 2

- | | | | |
|--|---------------------------------|----------------|-------------------------|
| B ₁ | : ネオン管電源電池 (200V) | R ₃ | : 電圧降下用抵抗器 (50kΩ) |
| B ₂ | : 点火電源電池 (6V) | R ₄ | : バイアス加減用抵抗器 (10kΩ) |
| B ₃ | : リレー電源電池 (24V) | R ₅ | : グリッド抵抗器 (100kΩ) |
| V ₁ | : サイラトロン (66GT) | R ₆ | : 延時調節用抵抗器 (50kΩ) |
| V ₂ | : パイロットネオン管 | R ₇ | : 点火電流加減用抵抗器 (10kΩ) |
| V ₃ | : 通電報知用ネオン管 | I | : 供試点火玉 |
| S ₁ , S ₂ , S ₃ | : 連動スイッチ | C ₁ | : カソードバイパスコンデンサー (10μF) |
| S ₄ , S ₅ | : リレー接点 | C ₂ | : 延時間コンデンサー (500μF) |
| S ₆ | : 高速撮影機接点 | X ₁ | : 第1リレー (高抵抗型) |
| R ₁ | : V ₂ の安定抵抗器 (100kΩ) | X ₂ | : 第2リレー |
| R ₂ | : V ₃ の安定抵抗器 (10kΩ) | | |

玉に通電するまでに僅かの時間の遅れを持たせる必要があり、又種々の撮影条件に応じて遅れの時間を調節する必要がある。これを行うのが図中 S₆, R₆, C₂ による継電器 X₁ の部分であつて、R₆ をあらかじめ調節することにより、起動スイッチ S₆ が断たれてから S₆ が閉じるまでの時間、即ち S₄ が閉じるまでの時間 (本図のものでは 0.1~4.0 秒) を自由に選ぶことが出来る。

4. 電流波形の検討

念のため上述の2種類の電流についておのおの大気中における点火玉の燃焼状況を 1.0A で比較した。(撮影速度、毎秒 2,900~3,000 コマ) その結果は表1の 1.0A の欄に*印をつけたもの (減衰電流) とつけないもの (不変電流) で表わした。この程度の減衰電流では不変電流との間に差がないことがわかつた。しかしコンデンサー式発破器を使用する爆破回路では甚だしく減衰率の高い電流で点火することもあるので、このような電流に対しては改めて検討する予定である。

III 電流変化による影響 (明視野撮影)

1. 大気中で燃焼させた場合

大気中で点火電流を 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 6.0A と変化させた場合のそれぞれの燃焼状況を毎秒 2,900~3,300 コマで撮影した。

例えば 2.0A の場合は写真第1 (a) の如きものである。写真① (第10コマ, 通電後 3.0ms) で点火玉の表面変化と同時に粉末が飛散している。②を経て、③ (第25コマ, 8.1ms) では点火玉より離れて火焔が発生している。このような現象は時々起るがその原因は不明である。④ (第29コマ, 9.4ms) に至り始めて火焔が点火玉から発生し、⑤ (第60コマ, 19.8ms) で火焔は最大となりその後次第に衰えて消失する。1.0, 1.5, 3.0, 6.0A においても時間の相違はあるがすべて同じ傾向を示している。ただ 0.7A の如く電流の弱い場合は、写真第2 (a) の如く通電後 11.6ms で点火玉が変化し始め (写真①, 第38コマ), 更に② (第42コマ, 12.8ms) でガス又は煙様のものとなりノズル

状に噴出し、③(第60コマ, 18.4ms)において始めて
 火焰が発生している。漸次火焰が拡大して(④, 第74
 コマ, 22.8ms), 更に⑤(第89コマ, 27.5ms)に至つ

て火焰最大となる。

それぞれの電流の強さによる点火玉の燃焼時間を表
 1に掲げた。又これを図示すれば図3のようになる。

表 1

点火電流 (A)	0.7		1.0				1.5		2.0		3.0		6.0	
変化開始 (t_f)	9.7	15.7	*5.2	*6.5	4.8	7.3	3.2	3.9	2.2	3.0	1.8	2.2	0.3	0.6
発火開始 (t_i)	21.3	22.2	6.5	9.0	10.0	11.0	7.4	7.8	7.8	8.1	6.4	6.9	3.9	3.8
火焰最大 (t_{max})	36.3	37.2	26.2	22.0	27.3	35.2	20.4	23.8	22.8	19.8	17.3	20.0	14.2	15.0
燃焼終了 (t_e)	51.0	65.1	41.0	33.3	41.1	48.3	40.4	35.0	36.9	34.4	27.3	31.3	26.7	30.0

[註] *減衰電流を使用した場合(他はすべて不変電流を使用)

単位: Millisecond

これらの値は5~10回の実験結果の中, 変化開始時間について上限及び下限の成績のものを選んで記載した。以下表2, 表4, 表5の場合も同様である。

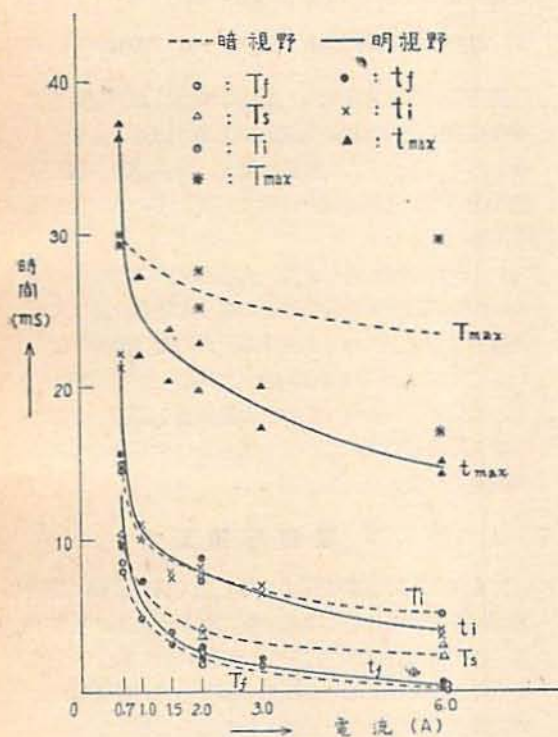


図 3

表1に示す如く電流値が増加するに従つて点火玉の
 変化開始 (t_f), 発火開始 (t_i), 火焰最大 (t_{max}), 燃焼
 終了 (t_e) の各時間がそれぞれ短くなってくる。

又写真より変化開始後の粉末飛散量は電流値の増加
 と共に多くなることが認められた。

図3より明らかなように, それぞれの曲線におい
 て, 1.5A 附近までは電流値の変化によつて時間は著
 しく変わるが, 2.0A 以上では電流の強さが時間に及

ぼす影響は少くなる。故にこのような二層点火玉の点
 火電流は2.0A 以上であることが好ましい。

2. 密閉管中で燃焼させた場合

前報¹⁾と同様に点火玉を内径6mmの透明石英ケラ
 ス管中に延時薬と共に装填し密閉状態にして, 点火電
 流を0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0Aに変化させたそれぞれ
 の場合についての燃焼状況を毎秒2,300~4,300コマ
 の速度で撮影した。

写真第3(a)は2.0Aの場合の明視野撮影の写真で
 ある。説明の都合により画面の下の石英管中の点火玉
 について述べる。写真①(第9コマ, 通電後3.2ms)
 で点火玉が変化し始め, ②(第10コマ, 3.6ms)で粉末
 が飛散し一部は塊となつて飛んでいる。③(第12コマ,
 4.4ms)において白金線附近より火焰が発生し, 一方
 塊となつて飛んだものは延時薬面に到達している。④
 (第16コマ, 6.0ms)では火焰が延時薬面に到達し, ⑤
 (第21コマ, 8.0ms)に至り火焰は最大となつてい
 る。

各電流値に対する点火玉の燃焼時間を表2に掲げ
 た。又これを図示したものが図4である。

この図に見られる通り密閉管中で燃焼させた場合も
 大気中の場合(図3)と同じような傾向になることが
 認められる。しかしながら燃焼速度が大きいからそれ
 ぞれの曲線が非常に接近している。又電流値が増加す
 る程, 各燃焼過程におけるバラツキが少くなる。例え
 ば変化開始時間は0.7Aの場合には9.7~15.5msであ
 るが, 3.0Aでは2.1~2.4msである。

3. 考 察

以上1, 2の実験結果より次のことが考えられる。

表 2

点 火 電 流 (A)	0.7		1.0		1.5		2.0		3.0	
変 化 開 始 (t_f)	9.7	15.5	6.7	8.4	3.8	4.3	3.2	3.6	2.1	2.4
発 焰 開 始 (t_i)	12.8	16.7	7.9	10.0	5.2	7.1	4.4	5.2	4.3	4.1
火焰延時薬面到達 (t_R)	13.8	17.4	9.7	10.3	6.0	7.4	6.0	5.6	4.8	4.3
火 焰 最 大 (t_{max})	17.6	19.8	11.8	12.2	8.6	9.5	8.0	8.4	7.1	6.7

単位: Millisecond.

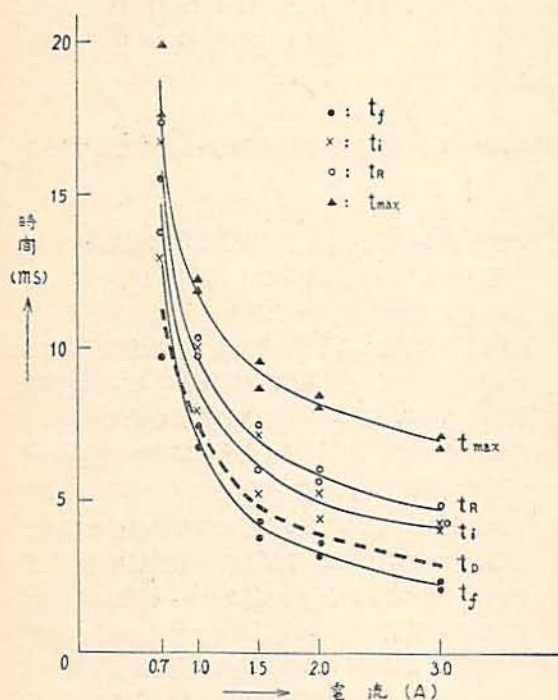


図 4

点火玉の燃焼は発破効果を左右する最初の因子であるから、その点火電流は爆破に重要な影響を及ぼすことになる。既に述べた如く 1.5A 以下の場合には点火玉の燃焼時間に及ぼす電流の影響が大きく、又同一電流においても各燃焼段階のバラツキが大きいが、2.0A 以上の場合では電流の影響が少く、又バラツキも小さい。これによつてミリ秒発破などには 2.0A 以上の電流を使用することが望ましいと考えられる。金属鉱山などの保安規則第 143 條, 2, 第 3 項及び第 144 條第 1 項 15)によれば電流は 1.0A 以上となっているが、更に正確を期するならばこの値は検討の余地がある。

IV 瞬発電気雷管による実験

以上の実験に使用したのと同じの点火玉を瞬発電気

雷管 (6号) に組立て雷管爆発秒時をオシログラフにより測定した。その結果は表 3 に示す通りで、図 4 における曲線 t_i である。

表 3

点火電流 (A)	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0
通電開始より雷管爆発迄の時間 (t_D)	10.0~	6.7~	4.0~	3.5~	2.7~
	12.0	8.0	5.4	4.3	3.1

単位: Millisecond., 試験数: 各 30 回宛

瞬発雷管の爆発時間は、前述の実験における密閉管中の点火玉での火焰延時薬面到達時間に近いと考えられるのであるが、この実験の結果、変化開始 (粉末飛散も含めて) と発焰開始の間で爆発していることが認められた。

フィルムは暗赤色の火花、火焰などには感光しにくく、特に高速度明視野撮影法のような場合は露出時間が極めて短く上にバックが明るくから更に感光しにくい。このことから明視野撮影ではとらえられない火花、火焰などがあつてこれが瞬発雷管を起爆させるとも考えられるので、この点を明らかにするために次の実験を行った。

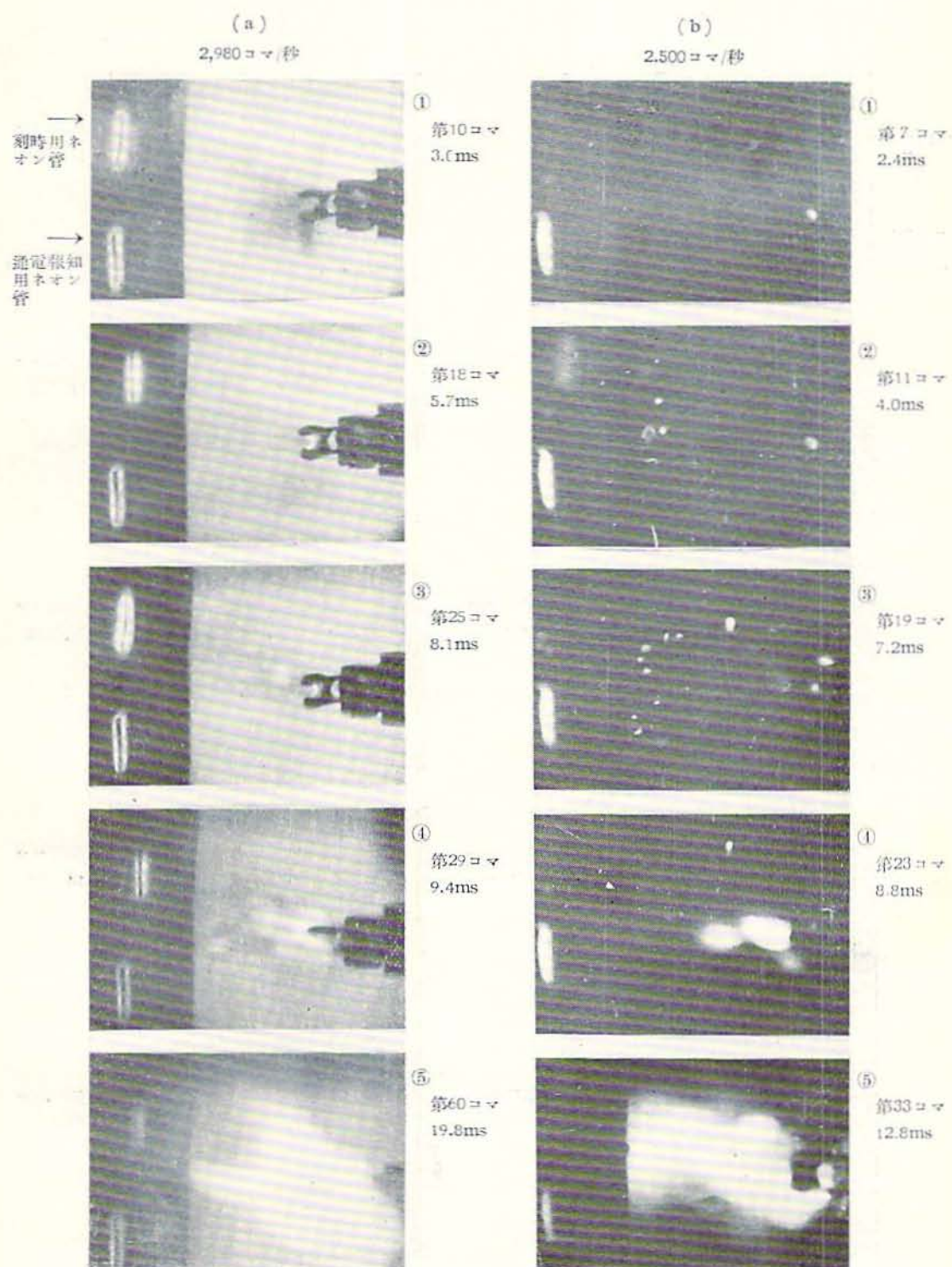
V 暗視野撮影

さきに明視野撮影を行ったのと全く同じ装置で暗視野撮影を行った。但しネオン管の光が点火玉の視野に入らない様に、点火玉とネオン管の間に衝立を立てた。なおフィルムの現像時間を長くして、感光しにくい発光体が出来るだけ画面に現われるようにした。

1. 大気中の場合

点火電流を 2.0A にした場合は写真第 1 (b) である。写真 ① (第 7 コマ, 通電後 2.4ms) で点火玉の表面が変化し、② (第 11 コマ, 4.0ms) で火の粉が飛散し始め、発焰開始までの間 ③ のように多数の火の粉が点々と飛散している。④ (第 23 コマ, 8.8ms) において始めて焰が発生する。なおここで点火玉より離れて別の温度の低い焰が発生している。(写真第 1 (a), ③ でも認められたものである。) 火焰は漸次拡がって

写真第1 2.0A



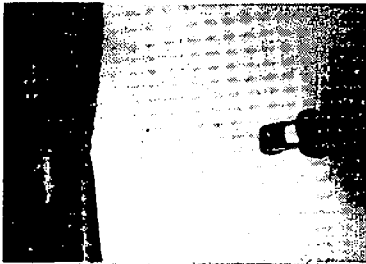
写真第2 0.7A

(a)

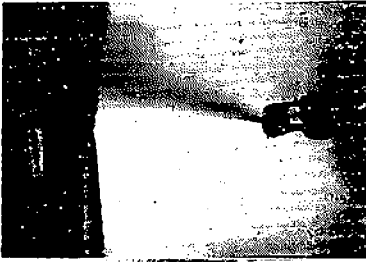
3,200コマ/秒

→ 刻時用ホ
オン管

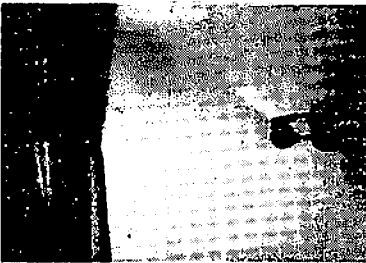
→ 通電報知
用ホ
オン
管



①
第38コマ
11.6ms



②
第42コマ
12.8ms



③
第60コマ
18.4ms



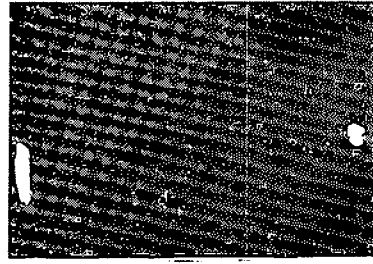
④
第74コマ
22.8ms



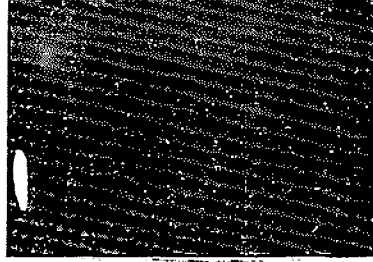
⑤
第39コマ
27.5ms

(b)

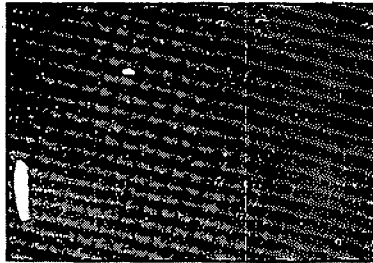
2,400コマ/秒



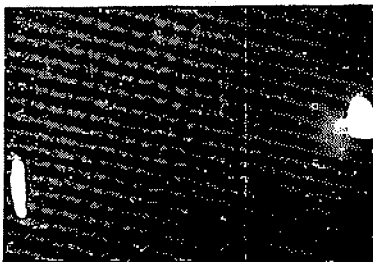
①
第20コマ
7.9ms



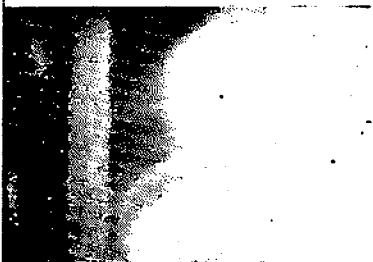
②
第26コマ
10.4ms



③
第32コマ
12.8ms



④
第37コマ
14.9ms



⑤
第72コマ
29.4ms

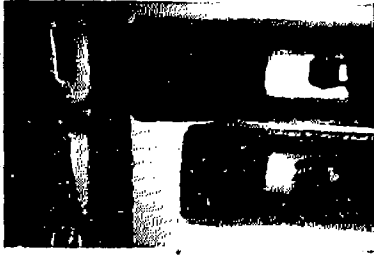
写真第3 2.0A

(a)

2,300コマ/秒

→
刻時用
ネオン管

→
通電報知
用ネオン管



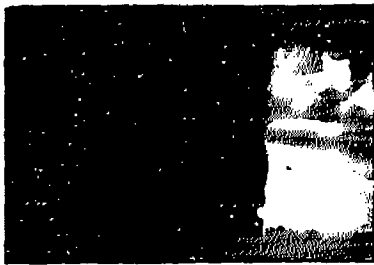
①
第9コマ
3.2ms



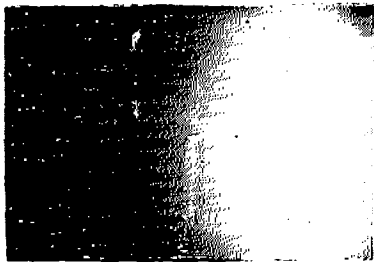
②
第10コマ
3.6ms



③
第12コマ
4.4ms



④
第16コマ
6.0ms



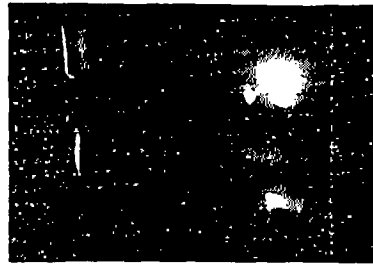
⑤
第21コマ
8.0ms

(b)

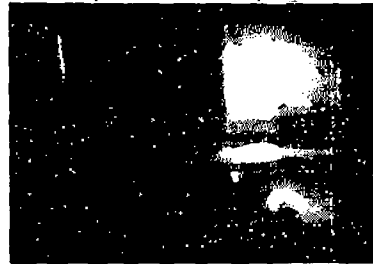
2,500コマ/秒



①
第7コマ
2.4ms



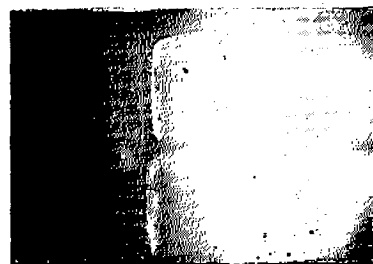
②
第10コマ
3.6ms



③
第11コマ
4.0ms



④
第12コマ
4.4ms



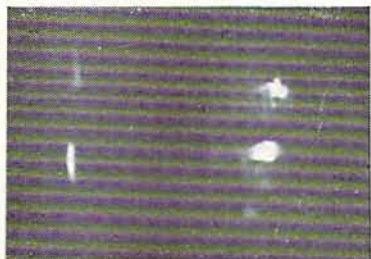
⑤
第19コマ
7.2ms

写真第4

(b₁) 3.0 A
2,500コマ/秒

(b₂) 0.7 A
2,580コマ/秒

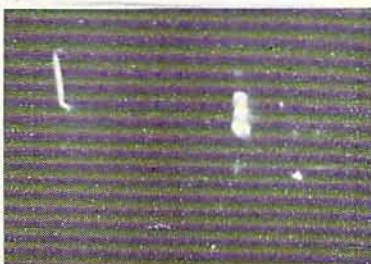
→ 刻時用ネオン管
→ 通電報知用ネオン管



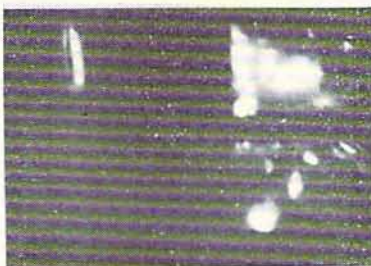
① 第4コマ
1.2ms



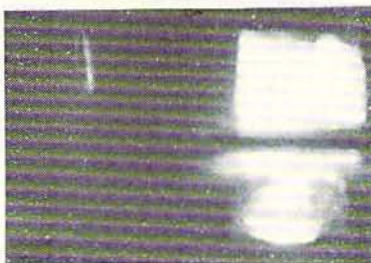
② 第6コマ
2.0ms



③ 第8コマ
2.8ms



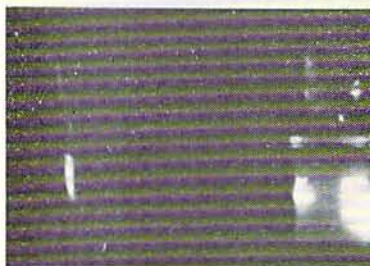
④ 第10コマ
3.6ms



⑤ 第12コマ
4.4ms



① 第27コマ
10.1ms



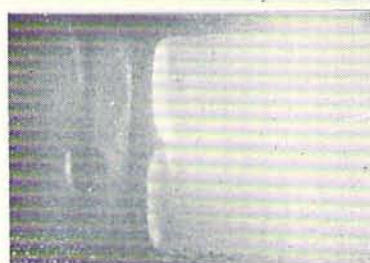
② 第28コマ
10.5ms



③ 第29コマ
10.8ms



④ 第32コマ
12.0ms



⑤ 第36コマ
13.6ms

ゆくが、⑤ (第33コマ, 12.8ms) でこの焰の周囲に明視野では認められなかつた光度の小さい焰が発生している。

0.7A の場合は写真第2 (b) であつて、写真① (第20コマ, 通電後 7.9ms) で変化開始し、② (第26コマ, 10.4ms) で火の粉が出始めている。発焰開始までの間、③ のように火の粉が飛散しているが、2.0A [写真第1 (b)] の場合に比較して大変少ない。④ (第37コマ, 14.9ms) において始めて焰が発生し、⑤ (第72コマ, 29.4ms) に至り火焰は最大となつている。なお0.7A の明視野撮影において見られたノズル状の噴流は、この場合は感光していない故、ほとんどが火の粉ではないものと考えられる。

明視野撮影では点火玉の変化開始の現象がはつきり感光しない場合があり、その時は粉末飛散を以つて変化開始 (t_f) としたが、暗視野撮影では変化開始時 (T_f) の状況が鮮明に撮影出来、なおその後火の粉の発生 (T_s) が認められた。この火の粉は明視野における飛散粉末の一部である。

暗視野における 0.7, 2.0, 6.0A の場合の燃焼時間は表4の通りである。又これらの結果を図示したものが図3、(T_f , T_s , T_i) である。

表 4

点火電流 (A)	0.7		2.0		6.0	
	7.9	8.5	2.0	2.4	0.4	0.5
変化開始 (T_f)	7.9	8.5	2.0	2.4	0.4	0.5
火の粉飛散 (T_s)	10.4	10.2	4.0	4.0	3.1	2.5
発焰開始 (T_i)	14.9	14.6	7.6	8.8	11.3	5.0
火焰最大 (T_{max})	29.4	30.0	30.4	25.2	29.6	17.0
燃焼終了 (T_e)	46.8	45.1	52.0	47.6	41.6	38.0

単位: Millisecond.

暗視野の変化開始 (T_f) は明視野の変化開始 (t_f) より早く、又明視野における発焰開始 (t_i) の前に火

の粉が飛散している。

2. 密閉管中における場合

次に点火電流 0.7, 1.0, 2.0, 3.0A の場合の密閉管中の点火玉の燃焼を、暗視野で撮影した。

2.0A の場合は写真第3 (b) である。2本のうち上方の石英管中の点火玉について説明する。写真① (第7コマ, 通電後 2.4ms) で白金線の周囲が光り、② (第10コマ, 3.6ms) で火の塊が飛散し、点火玉自身も発焰を開始している。③ (第11コマ, 4.0ms) で火の塊が延時薬面に到達し、④ (第12コマ, 4.4ms) では火焰が延時薬面に到達して、⑤ (第19コマ, 7.2ms) に至り火焰最大となつている。

3.0A の場合は写真第4 (b_1) である。側面で上方の石英管中の点火玉について述べると、写真① (第4コマ, 通電後 1.2ms) で白金線の周囲が光り、同時に火の塊が飛散している。② (第6コマ, 2.0ms) で火の塊は延時薬面に到達し、③ (第8コマ, 2.8ms) では更に多くの火の塊が延時薬面に到達して一列に並んでいる。④ (第10コマ, 3.6ms) に至つて始めて点火玉から発焰し、⑤ (第12コマ, 4.4ms) でその火焰は延時薬面に到達している。その後火焰は更に大きくなつて、6.4ms で最大となる (写真省略)。

0.7A の場合は写真第4 (b_2) であつて、同じく上方の石英管中の点火玉について述べる。写真① (第27コマ, 通電後10.1ms) で火の塊が飛散し、次に② (第28コマ, 10.5ms) で火の塊は延時薬面に到達し、同時に点火玉は発焰を開始している。③ (第29コマ, 10.8ms) では更に他の火の塊が延時薬面に達している。これに次いで④ (第32コマ, 12.0ms) で火焰が延時薬面に到達し、⑤ (第36コマ, 13.6ms) においてその火焰が最大となつている。

これらの結果をまとめれば表5の通りであつて、これを図示すれば図5のようになる。なお t_i は先に図4に掲げた瞬発雷管の爆発時の曲線 t_i と同じである。

表 5

点火電流 (A)	0.7		1.0		2.0		3.0	
	10.1	9.7	6.0	7.3	2.4	2.4	1.2	1.2
変化開始 (T_f)	10.1	9.7	6.0	7.3	2.4	2.4	1.2	1.2
火の粉, 火の塊飛散 (T_s)	10.1	10.1	7.3	7.7	3.6	3.6	1.2	1.2
火の粉, 火の塊延時薬面到達 (T_r)	10.5	10.5	7.3	8.1	4.0	4.4	2.0	2.0
発焰開始 (T_i)	10.5	10.5	7.7	7.7	3.6	4.4	3.6	3.6
火焰延時薬面到達 (T_R)	12.0	10.8	8.1	9.0	4.4	5.2	4.4	4.8
火焰最大 (T_{max})	13.6	12.8	10.7	11.6	7.2	7.6	6.4	7.6

単位: Millisecond.

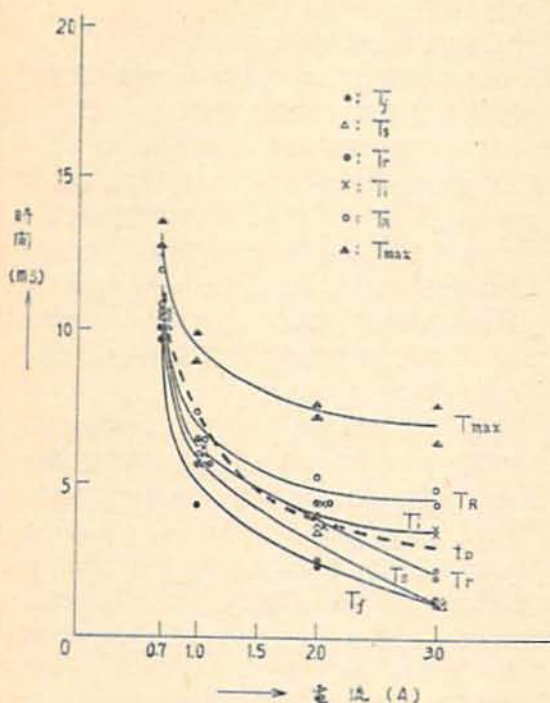


図 5

点火電流が 0.7A の場合には、雷管燃焼時間 t_D は 10.0~12.0ms (表3参照) であり、この範囲に入る点火玉の現象は、変化開始 T_f 、火の粉、火の塊飛散 T_r 、火の粉、火の塊延時薬面到達 T_r 、発火開始 T_i 、火焰延時薬面到達 T_R である。1.0A においては t_D は 6.7~8.0ms であり、この範囲に入るものは T_f 、 T_r 、 T_i 、 T_R である。2.0A では t_D は 3.5~4.3ms であり、この範囲に入るものは T_r 、 T_i 、 T_R である。3.0A では t_D は 2.7~3.1ms であり、この範囲に入るものは T_r だけである。0.7A のように点火電流が弱い時は雷管燃焼時のバラツキが大きく、又点火玉燃焼における各現象の時間的バラツキも大きいから、燃焼中の上述のいずれの段階において雷管が起爆されるかはつきりしない。1.0A、2.0A と電流が強くなるに従って t_D のバラツキは小さくなり、点火玉の各段階における燃焼時のバラツキも小さくなるので t_D の範囲に入るものは少なくなってくる。3.0A に至っては t_D は 2.7~3.1ms であり、この範囲に入る点火玉の燃焼は、火の塊が延時薬面に到着する時間 T_r のみとなっている。故にこの実験から推定すれば、3.0A においては瞬発雷管中の爆粉は点火玉の火の塊によって起爆されるものと思われる。なお 2.0A 以上では点火薬の大部分が割れて、火の塊となつて飛散する場合が多い。

3. 考 察

暗視野撮影によれば、点火玉の燃焼過程において次の発光体が認められた。

(1) 白金線周囲の燃焼

通電後白金線の周囲が高温に熱せられて、白金線の形状をなして光っている。

(2) 火の粉

飛散した粉末の一部が燃焼しているものである。

(3) 火の塊

明視野撮影では、点火玉が塊状となつて飛散する場合が往々にしてある。暗視野撮影では、この塊が燃焼しながら飛散することが認められた。

(4) 遊離して発生する焰

写真第2(a)の③及び(b)の③に見られるような、点火玉より離れて適宜のところから発生する温度の低い焰である。この焰は明視野撮影でも認められたものであるが、必ずしも常に発生するものではなく、暗視野撮影、明視野撮影共に密閉管中の写真では認められない。

(5) 点火玉から直接発生する焰

点火玉から直接発生する焰で、点火玉の燃焼の主体となるものである。なおこの焰の周囲に随伴して温度の低い焰が発生する。[写真第2(b), ⑤] これは明視野撮影では認められず、又暗視野撮影によつても密閉管中の場合は明らかでない。

瞬発雷管の爆発時から推定すれば、爆粉面を起爆するものは以上の発光体中、火の粉(2)、火の塊(3)、遊離して発生する焰(4)、点火玉から直接発生する焰(5)であると考えられる。しかし(5)の火焰の延時薬面到達時間 T_R は雷管燃焼時間 t_D より遅い場合が多いから、この焰が起爆薬層に直接役立たないこともありうるわけで、このときには(2)、(3)、(4)でも爆発することが暗視野撮影により確認された。なお(2)、(3)、(4)、(5)の発光体のうち、どれが爆粉を起爆させるかによつて爆発時間が異なるものと考えられるが、この点についての検討は後日に譲る。

要するに点火玉の燃焼による爆粉又は延時薬などの着火時間のバラツキを小さくするためには、点火玉が通電後、最初に急激な点火エネルギーを出すことが望ましい。

以上より、暗視野撮影は之を単独に使用するならば発光現象しか撮影出来ないが、明視野撮影を併用すれば発光体と非発光体との相互関係が明らかとなることがわかった。

Ⅶ 結 言

1. 火焰などの発光体の高速度撮影は、明視野撮影と暗視野撮影を併用すべきである。

2. ミリセコンド発破などには2A以上の点火電流を使用することが望ましい。

3. 電気雷管の点火玉によるバラツキをなくするためには、最初に強力な点火エネルギーを出すような点火玉がよい。

4. チニトロソレゾルシン鉛とロダン鉛・塩素酸カリの二層点火玉の燃焼は、白金線周囲の点火薬の燃焼、粉末状に飛散する点火薬の燃焼（火の粉）、塊状に割

れて飛散する点火薬の燃焼（火の塊）、点火玉から遊離して発生する小火焰、点火玉の位置より直接発生するところの燃焼の主体となる火焰、及びその外周に随伴して発生する弱い焰に区分される。

終りに藤中高速撮影機についてお世話を願った京都大学教授後藤廉平先生に謝意を表す。又撮影に協力された松木健三氏、点火玉製作を担当された日本化薬仁豊野作業所白井昭三氏に御礼申し上げる。

文 献

- 1) 山田, 津島, 若園, 藤中: 工業火薬協会誌, 第14巻, 第3冊, 183頁。

寄 書

亜塩素酸ソーダ系の熱分解

(昭和29年6月11日受理)

吉田銀次郎・長田英世

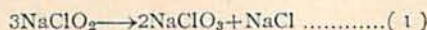
(九州工業大学 爆発物教室)

塩素酸塩の熱分解に就ては、従来多数の研究報告がある⁽¹⁾。然し乍ら、熱分解過程に於て亜塩素酸塩が、一時的にしろ生成せられるという報告はない。吾々は塩素酸塩の熱分解を追跡したところ、反応生成物中に定性的に、 ClO_2 又は亜塩素酸塩が存在することを認めた。従つて NaClO_3 の熱分解過程に、 NaClO_2 が生成するとして、 NaClO_2 の存在する温度範囲を知る目的で、常温で安定に存在する NaClO_2 を熱分解して、分解機構を定量的に追跡した。この分解過程を、熱天秤で追跡した結果を Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。170°C に於て、粉状試料は瞬間的に溶解して凝固する。この時 NaClO_2 は全くなくなる。370°C~380°C 迄は殆んど重量変化はなく、これ以上になつて始めて分解ガスを生ずる。

試料 (純度 82.9% NaClO_2) 500mg を電気炉中で、種々の温度で30分間加熱し、分解生成物中の NaCl , NaClO_2 , NaClO_3 を分析し、反応機構を決定した。

その結果 NaClO_2 は、温度によつて次の如き反応機構に従つて分解する。

(1) 170°C 迄は



(2) 170°C~420°C では

