

(5) 炭塵爆発を生起する主なる生起因子は、炭塵中に含有される揮発分であると断定することが可能である。

附記一本実験は文部省科学研究費の援助を受けて行つたもので、実験補佐の龜石正之君、鹿毛博司君、倉崎喜雄君に謝意を表わす。

文 献

- 1) 吉田・長田：火薬協会誌 9, 133 (昭 24).
- 2) Gray: J. C. S. I. 49, 432~37T (1930).
- 3) Hartmann: U. S. Bur. mines rept. investigations. 44 pp, 3722 (1943).
- 4) 正田強：火薬協会誌 9, 121 (昭 24).
- 5) Garner: Trans. Farad. Soc. 26, 590 (1930).

A Consideration on the Coal Dust Explosion

By Ginziro Yoshida and Hideyo Osada

(1) The smaller the grain size of coal dusts, the more inflammable the coal dusts are.

(2) The metals (Pt, Cu, or Fe) accelerate the explosion of coal dusts, acting as the positive catalysts.

(3) The center of explosion is formed above the energy source and then propagates downward.

(4) When the coal dusts ignite, the pressure rises gradually at first, and then keeps a constant value for a while. After then, the center of explosion is formed and explosion occurs. From the results above mentioned, the mechanism of coal dust explosion might be considered as follows:—At first the coal dusts decompose by the energy of ignition source, and evolve the inflammable volatile matters which mix with the air and form the explosive mixture. Then the center of explosion is formed with the accumulation of their reaction energies and by the help of radiation energies of the ignition source. At last the chain reaction follows the explosion and the flame propagates toward the cloud of concentrated coal dusts.

(The Kyusyu Colledge of Technology)

工業用導火線の燃焼速度理論

(昭和 24 年 11 月 5 日 受理)

日 野 熊 雄

(日本化薬厚狭作業所)

摘 要

固体火薬の燃焼速度と圧力の関係式を明にし、更に粉体火薬の燃焼速度と假比重との関係を導出した。一方工業用導火線が大気中では定常燃焼をする事実を基として側面からの噴出ガス量、末端からの噴出ガス量、全ガス量と線長との関係式を導出し、式中の係数の実験的決定法を述べた。更に粉体火薬の燃焼速度式とガス噴出量の式から導火線の定常燃焼速度式を導いた。次に導火線側面を完全に填塞した場合の加速燃焼速度式を導き、線長と全燃焼秒時の関係式を求め圧力指数の決定法を明にした。かくして従来理論的解析の全く行はれていない導火線の燃焼に関する理論を明にした。

I. 固体火薬の燃焼速度とガス圧力の関係式

従来火薬類の燃焼速度は、ガス圧力の函数として表すことが実用上重要であつたので、実験的及び理論的にこの関係が研究されてきた。その研究發達の説明は省略して現在までの結果を總括すると、先ず實驗的に燃焼速度 v はガス圧力 p の n 乗函数として表された。即ち

$$v_s = a_1 p^n \dots\dots\dots (1)$$

その後實驗が進むと直線二項式

$$v_s = a_2 + b_2 p \dots\dots\dots (2)$$

が實驗的に確められた。次にガス分子運動論反應速度論の考察と實驗から比例式

$$v_s = b_1 p \dots\dots\dots (3)$$

が提出された。以上の諸式は、ガス圧力が數 100 氣壓以上數 1,000 氣壓に對して認められて來たが、數 10 氣壓から數氣壓の低ガス圧力範圍に於ける火薬の實用が主となつて來ると、理論的にも實驗的にも (3) の比例式は成立たないことが判つて來た。筆者は之等の事情を考察して一般の二項式

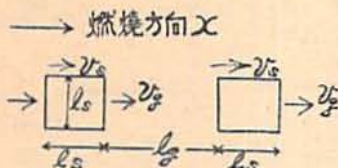
$$v_s = a_3 p^n + b_3 p \dots\dots\dots (4)$$

を提出し (1945 年) 實驗的にも理論的にも低壓高壓の廣範圍に亘つて (4) 式が今迄の處最も合理的なることを明にした。然し問題を高壓に限る時は (3) の比例式が便利で、低壓のみを取扱う時は (1) の n 乗式又は (2) の直線式が便利である。以下本研究に於ては低壓のみを取扱うから便宜上 $v_s = a_1 p^n$ 式を用いることとする。

II. 粉體火薬の燃焼速度と假比重の関係式

今假比重 $\Delta = 1$ の粉狀火薬が一邊の長さ l_s の固體立方形の火薬粒と長さ l_g の空間から成つて居ると考

圖 1



える。燃焼方向 1 cm 内の固體粒子層の数を M とすれば

$$M(l_g + l_s) = 1 \text{ cm}$$

固體粒子の直線分解速度を v_s とし、空間内のガス速度を v_g とすれば

$$\frac{M(l_g + l_s)}{v} = M \frac{l_g}{v_g} + M \frac{l_s}{v_s} = t$$

今粒子を粉碎し、その一邊を $\frac{1}{m}$ にし $\frac{1}{m^3}$ ケに

分割すると l_s は l_s/m となるが、粒子總数は m^3 倍となり、燃焼方向の粒子の 1 cm 當りの数は mM となるから結局 t 従て v は變らない。

次に假比重を Δ_0 から $q^3 \Delta_0$ にすると x 方向の固體層の總和は $Mq l_s$ となるが、ガス層の總和は $Mq \times \frac{l_g}{q} = M l_g$ である。 $\Delta_0 = 1$, $\Delta = \Delta_0 q^3$ とすれば

$$t = qM \frac{l_g}{q} \frac{1}{v_g} + qM \frac{l_s}{v_s} = Mq \left(\frac{l_g}{v_g} \frac{1}{q} + \frac{l_s}{v_s} \right) \\ = M \Delta^{\frac{1}{3}} \left(\frac{l_g}{v_g} \cdot \frac{1}{\Delta^{\frac{1}{3}}} + \frac{l_s}{v_s} \right) = \frac{M l_g}{v_g} + \frac{M l_s}{v_s} \Delta^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{又は } v = \frac{1}{t} = \frac{v_g v_s}{M(l_g v_s + l_s v_g \Delta^{\frac{1}{3}})}$$

$$\text{一方 } Mq \frac{l_g}{q} + Mq l_s = 1$$

$$\text{即ち } l_g = \frac{1}{M} - q l_s$$

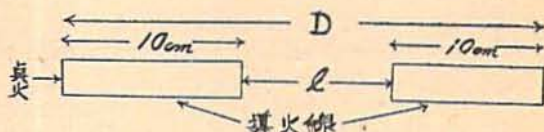
之を用い v 式に代入して

$$v = \frac{v_g v_s}{v_s + M l_s (v_g - v_s) \Delta^{\frac{1}{3}}}$$

固體粒子の眞比重を S とすれば $S l_s^3 M^3 = \Delta_0 = 1$ であるから $M l_s = S^{-\frac{1}{3}}$ 即ち

$$v = \frac{v_g v_s}{v_s + (v_g - v_s) \Delta^{\frac{1}{3}} S^{-\frac{1}{3}}} \dots\dots\dots (5)$$

圖 2



v_g と v_s の相對的數値を得るために圖 2 の如く 2 本の導火線の間を第一の導火線からのガスで傳火させるに l が 15 cm 以上となると第二の導火線は點火しないが l が 10 cm の時は全距離 L が 25.4 秒で燃焼する。一方導火線のみ 20 cm ある時は 25 秒で燃焼するから少くともガス速度は $v_g = 25 \text{ cm/sec}$ である。一方導火線の燃焼速度は $v_s = 0.9 \text{ cm/sec}$ であるから導火線内に於けるガス速度は固體粒子自體の直線燃焼速度 v_s より遙に大である。黑色火薬に於て $S = 1.8 \text{ g/cm}^3$ とすると上例で $v_s = 0.75 \text{ cm/sec}$ となる。従て v_g に對し v_s を無視しても誤差は 3% である。即ち $v_g \gg v_s$ 従て (5) 式は實用上

$$v = v_s \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (6)$$

R. Schwab は粉體火薬の爆轟に於ては $v_g - v_s < 0$ と考へて全く別の $v \sim \Delta$ 函数形を導いている。さて (6) 式は假比重が少し増加しても燃焼速度は餘り減少しな

いことを示している。一方 I の (1) 式から $v_s = a_1 p^n$ であるから

$$v = a_1 p^n \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (7)$$

一般的には

$$v = (a_2 p^n + b_2 p) \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (8)$$

火薬の特徴数と v の関係を考察するには a_2, b_2 を燃焼温度の函数として表す必要がある。筆者の考察によると低圧に於てはガス分子衝突は激しくなるから、火薬の燃焼は主として高温ガスからの放射に依る活性化に基く。このエネルギー傳達は $p^n T^h$ に比例する。ガス放射を爲すものは CO_2 と H_2O で n, h の値は次の如くである。

A. Schwab: Der industrielle Wärmeübergang (1940)

$$\text{CO}_2: \quad n = \frac{1}{3} \quad h = 3.5$$

$$\text{H}_2\text{O}: \quad n = \frac{4}{5} \quad h = 3$$

一方高圧に於てはガス分子衝突が激しく、この中エネルギー E 以上のガス分子の衝突が火薬の分解に有効と考え得るから、燃焼速度は主として $e^{-\frac{E}{RT}} p$ に比例する。但し e は自然対数の底である。即ち一般的には

$$v = (aT^h p^n + b e^{-\frac{E}{RT}} p) \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (9)$$

となるのである。

III. 導火線の定常燃焼

吉田銀次郎氏の實驗によると導火線長 L と全燃焼秒時 T の關係は

$$T = a + bL \dots \dots \dots (10)$$

に依り表されるが a は b に比して極めて小である。即ち實際問題としては第一近似としては導火線は開放空氣中に於ては終始一定速度でその全長に亘つ燃焼するものとして基礎計算を行つてよい。

導火線の點火點から燃焼の進んだ距離を x とすると管末の抵抗は x に比例して大となるからガスの管末からの流出量は單位時間當りに一般熱力學式から

$$G_1 = \varphi_1 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2gk}{k+1}} \frac{F_1}{\sqrt{RT}} p \dots \dots \dots (11)$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_0}{1+bx} \dots \dots \dots (12)$$

但し φ_1 = ガス噴出の摩擦係数, k = ガスの比熱比, g = 重力加速度, F_1 = ガス噴出斷面積, T = ガス温度, R = ガス定数, p = ガス壓力, $\varphi_0 = x$ が 0 のときの φ_1

である。一方單位長當りの側面噴出有效面積を q とすれば、燃焼面が x に進んだ時の有效噴出面積は管内徑を D とすれば

$$\frac{\pi D^2}{4} + qx$$

従て

$$\varphi_1 F_1 = \varphi_0 \frac{\frac{\pi D^2}{4} + qx}{1+bx} \dots \dots \dots (13)$$

定常燃焼に於ては (13) 式の値が x に無關係とならねばならぬから、定常燃焼條件として次式が成立する。

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{q}{b} \dots \dots \dots (14)$$

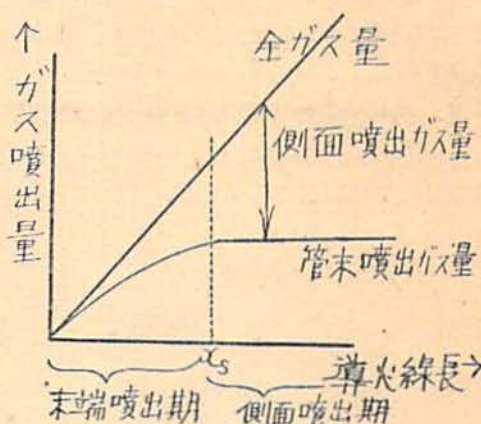
x 小の間は (13) 式に於て

$$\varphi_1 F_1 = \varphi_0 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) = \varphi_0 F \dots \dots \dots (15)$$

但し F = 管内斷面積、即ちガスは殆ど管末から噴出する。 x が大になるに従つて、管末へのガス抵抗が大となり、 x が或値 x_s になれば側面からのガス噴出量 G_s は單位時間に火薬の燃焼により發生するガス量 G_0 と等しくなつてもはやガスはすべて側面から噴出することになり定常燃焼が續く。圖 3 に示す如く x_s を末端噴出期と定義し、以後を側面噴出期と定義することにする。

圖 3

圖 3 導火線発生ガス量の分布



(1) 末端噴出期のガス噴出量
今

$$K = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2gk}{k+1}} \frac{1}{\sqrt{RT}} = \text{火薬定数} \dots \dots \dots (16)$$

とおくと $k=1.25$ とし $RT=f$ 火薬力とすると

$$K = \frac{20.7}{\sqrt{f}} \text{ cm/sec となる。}$$

定常燃焼に於ける単位時間當りの全噴出量 G_t は

$$G_t = (\rho_0 FK) p \quad \dots\dots\dots (17)$$

管末から出るガス量は単位時間に

$$G_s = \rho_0 F \frac{1}{1+bx} K p \quad \dots\dots\dots (18)$$

側面から出るガス量は単位時間に

$$G_{sL} = \rho_0 F \frac{bx}{1+bx} K p = \rho_0 F \frac{bx}{1+bx} K p \quad \dots\dots\dots (19)$$

従て $G_t = G_s + G_{sL}$ が成立する。

導火線長 L に対して

$$\begin{aligned} \text{全ガス量} \\ G_{tL} = (\rho_0 FK p) L \quad \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{管末ガス量} \\ G_{sL} = \int_0^L \rho_0 F \frac{1}{1+bx} K p dx \\ = (\rho_0 FK p) \left\{ L - \frac{2.303}{b} \log(1+bx) \right\} \quad (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{側面ガス量} \\ G_{sL} = \int_0^L \rho_0 F \frac{bx}{1+bx} K p dx \\ = (\rho_0 FK p) \frac{2.303}{b} \log(1+bx) \quad \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

$$\frac{G_{st}}{G_{et}} = r \text{ とすると } r+1 = \frac{G_{tL}}{G_{sL}} = \frac{0.4243 bL}{\log(1+bx)} \quad \dots\dots\dots (23)$$

r 又は $r+1$ は實測し得るから (23) 式を用いて b を決定し得る。

(2) 側面噴出期のガス噴出量

全ガス量は (1) と同じく

$$G_{tL} = (\rho_0 FK p) L \quad \dots\dots\dots (20)$$

管末ガス量は $L=x_s$ 以後は一定で

$$\begin{aligned} G_{sL} = (\rho_0 FK p) \left\{ x_s - \frac{2.303}{b} \log(1+bx_s) \right\} \\ = \text{const} \quad \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

側面ガス量は従て $L=x_s$ 以後は

$$\begin{aligned} G_{sL} = (\rho_0 FK p) L - (\rho_0 FK p) \left\{ x_s - \frac{2.303}{b} \log(1+bx_s) \right\} \\ = (\rho_0 FK p) L - \text{const} \quad \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

IV. 導火線の定常燃焼速度式

粉火薬の假比重を Δ とすると導火線単位長當りの薬量は $\frac{\pi}{4} D^2 \Delta$ 又燃焼速度を v cm/sec とすると 1 sec 内の燃焼薬量は $\frac{\pi}{4} D^2 \Delta v$, 定常燃焼に於ては之が 1 sec 内のガス噴出量 $G_t = \rho_0 FK p$ に等しい。 $F = \frac{\pi}{4} D^2$ であるから $\rho_0 K p = \Delta v$, 一方 $v = A p^n \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{2}}$ であるから $\rho_0 K p = A p^n S^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}}$

従て

$$p = \left(\frac{AS^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}}}{\rho_0 K} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

即ち

$$v = A^{\frac{1}{1-n}} (\rho_0 K)^{\frac{n}{1-n}} S^{\frac{1}{2(1-n)}} \Delta^{\frac{1}{2(1-n)}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

即ち v は薬粒に關係しない。 $K = \frac{20.7}{\sqrt{f}}$ を代入して

$$v = \{ 20.7^{-n} \rho_0^{-n} A S^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}} f^{\frac{n}{2}} \}^{\frac{1}{1-n}} \quad \dots\dots\dots (27)'$$

今 $n=0.5$ 又 $A=CT^k$ で $k=2$ とすれば $f=0.38 V_0 T$ を使用して

$$v = \frac{3 \times 10^{-2}}{\rho_0} C^2 V_0^{0.5} T^{1.5} S^{0.67} \Delta^{0.24} \quad \dots\dots\dots (27)''$$

即ち燃焼温度 T が燃焼速度を一番支配し、次に比例常数 C , 火薬の假比重 S , 摩擦係数 ρ_0 , ガスの比容積 V_0 が影響し、假比重 Δ の影響は少い。 ρ_0 は被覆内面の性質のみならず、燃焼固体残渣、及び之と被覆内面の附着性の大小に支配される。又ガス噴出量は實際の導火線では火薬ガスのみでなく被覆繊維の分解ガスをも含むからその點も考慮に入れる必要がある。この因子及び燃焼固体残渣等に關する修正は綜合修正係数 ρ_0 に含まれるものと見てよい。

V. 導火線の加速燃焼速度式及び壓力指數の決定法

導火線の側面が完全に填塞された場合には燃焼はもはや定常的ではなく加速的となる。この場合の速度式は實用上重要である。

この場合は $q=0$ であるから単位時間のガス噴出量は線長 x に於て

$$G_x = \frac{\rho_0 FK p}{1+bx} \quad \dots\dots\dots (28)$$

上式中の p も x により變化する。一方燃焼に依り生ずるガス量は

$$G_v = F A p^n \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{2}} \Delta = F A p^n S^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (29)$$

上式中の p も x により變化するが x の夫々の値に對しては (28) 式と (29) 式とは等しいから

$$\frac{\rho_0 FK p}{1+bx} = F A p^n S^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}}$$

即ち

$$p = \left(\frac{AS^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}}}{\rho_0 K} \right)^{\frac{1}{1-n}} (1+bx)^{\frac{1}{1-n}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

一方

$$\begin{aligned} v = \frac{dx}{dt} = A p^n \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{2}} \\ = (\rho_0 K)^{\frac{n}{1-n}} \left\{ AS^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}} (1+bx)^n \right\}^{\frac{1}{1-n}} \quad \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

$x=0$ に於る $v=v_0$ とすると之は側面開放 (即ち普通の状態) に於ける場合の定常燃焼速度であつて

$$v_x = v_0(1+bx)^{\frac{n}{1-n}} \dots\dots\dots (32)$$

$$n=0.5 \text{ の時は } v_x = v_0(1+bx)$$

實用上は導火線全長の全燃焼時 T_t が重要である。

$n=0.5$ の時は

$$T_t = \int_0^L \frac{dx}{v_x} = \frac{1}{v_0 b} \ln(1+bL) \\ = \frac{2.303 \log(1+bL)}{v_0 b} \dots\dots\dots (34)$$

$n=0.5$ 以外の一般の場合は

$$T_t = \int_0^L \frac{dx}{v_0(1+bx)^{\frac{n}{1-n}}} \\ = \frac{(1-n)}{(1-2n)} \frac{1}{bv_0} \left\{ (1+bL)^{\frac{1-2n}{1-n}} - 1 \right\} \dots\dots\dots (35)$$

先述の方法で b は實驗により求められるから n に

種々の値を代入して $T_t \sim L$ の實測値を満足させる n を容易に求める事が出来る。大木秀夫氏は常壓以下の黒色火薬の開放燃焼に依り n の値として 0.483, 0.195, 0.300, 0.955 を得ているが n 小の程導火線には適當である。(35) 式は n の値に依り鋭敏に變るから (35) 式により n を相當正確に求めることが出来る。

本報告に於て提出した理論式の實驗的驗證については別に報告する。(1949. 10. 27)

文 献

- 1) R. Schwab: Compt. Rend. 198 (1934) 1990.
- 2) 吉田銀次郎: 火薬協会誌 昭和18年5巻1號 p. 1.
- 3) W. Schüle: Technische Thermodynamik.
- 4) 大木秀夫: 火薬協会誌 昭和18年5巻1號 p. 21.

Theory of the Combustion Velocity of Safety Fuse.

By Kumao Hino

From theoretical considerations the following equations are derived for the total amount of gas discharged (G_{tL}), gas from the end (G_{eL}) and gas from the side (G_{sL}) of the industrial safety fuses.

$$(1) G_{tL} = (\varphi_0 EKp)L$$

$$(2) G_{eL} = (\varphi_0 FKp) \left\{ L - \frac{2.303}{b} \log(1+bL) \right\}$$

$$(3) G_{sL} = (\varphi_0 FKp) \frac{2.303}{b} \log(1+bL) \text{ where } \varphi_0 = \text{discharge coeff.}$$

F =sectional area of powder column; K =constant, characteristic of powder; p =pressure of gas in combustion; L =total length of the fuse, b =coeff. of axial flow resistance.

G_{tL} and G_{eL} can be measured experimentally from which the coeff. b can be determined by

$$(4) \frac{G_{tL}}{G_{eL}} = \frac{0.4343 bL}{\log(1+bL)}$$

The above equations can be applied to the end-discharge period where the main gas is discharged through the end of the fuse while after $L=x_s$ the lateral discharge predominates. In lateral-discharge period the value of G_{sL} is expressed by

$$(5) G_{sL} = (\varphi_0 FKp)L - (\varphi_0 FKp) \left\{ x_s - \frac{2.303}{b} \log(1+bx_s) \right\}$$

Taking into account the pressure and density dependence of combustion velocity of the powder the following equation is derived for the combustion velocity of safety fuses.

$$(6) V = \{ 20.7^{-n} \varphi_0^{-n} A S^{\frac{1}{3}} \Delta^{\frac{n-1}{3}} f^{\frac{n}{2}} \}^{\frac{2}{1-n}}$$

where A =coeff. of combustion velocity equation, S =max. density of powder, Δ =loading density of powder, and f =force of powder while V is expressed by

$$(7) V = A p n \left(\frac{S}{\Delta} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Equations above described are all applicable in stationary combustion. When lateral tamping is complete gas discharge is limited to the axial one. In this case the combustion is accelerated along the axis of the fuse and the total time of combustion T_t is as follows.

$$(8) T_t = \left(\frac{1-n}{1-2n} \right) \frac{1}{bV_0} \left\{ (1+bL)^{\frac{1-2n}{1-n}} - 1 \right\}$$

where V_0 = combustion velocity in open atmosphere.

工業爆薬の低温度に於ける実験

(昭和24年12月22日受理)

坂 本 勝 一

(旭化成延岡工場)

緒 言

當延岡工場にて液體酸素が豊富に得られるので、工業爆薬が液體酸素の低温(即ち -183°C)に於て如何なる現象を呈するかにつき就き行つた実験である。

爆薬は空間と密閉器内とに於いては猛度や殉爆を異にし、従て空間の試験である Kast や Hess の猛度計や殉爆試験が、絶對的意味を持たないことはよく知られた事實であるが、之等の試験も爆薬が空間にて先づ完爆する考えの下に行われて居る。然し以下の諸実験に依り膠質系の爆薬は空間に於いては可成り不完全な爆轟をして居る事を示して居る。

尙ニトログリセリンの低温度に於ける実験は K. K.

Andrew が S. S. (1934) に報告して居る。

低温度に於ける雷管の起爆

-183°C に冷却せる 膠質爆薬に就き実験を始めんとしたが起爆しない爲、その原因を調べた所雷管の半爆に起因して居ることが判明した。雷管が低温に於いては半爆の現象を呈すると言う事實は L. V. Clark が S. S. (1933) に報告して居るが、この現象は日本にては餘り問題とされずに液體爆薬に関する諸報告にも雷管は總て完爆すると報告されて居る。従て上の実験にて雷管の半爆の現象が解つたので、以下各社の製品に就き -183°C に冷却して行つた実験結果が表1である。

表

雷 管 製 造 所	下 向 内 管			
	A 社	B 社	C 社	D 社
半 爆 数	170	5	5	5
試験回数	200	5	5	5

以上の試験結果を見るに普通の雷管は殆ど半爆の現象を呈し、上向内管のものも多少半爆の現象を呈して居る。二重内管のもの及びアルミ雷管は變化を示して居ない。この半爆の現象は筆者には説明がつかないが興味ある問題である。

空間に於ける爆薬の爆轟

(イ) 桐は空間にて完全に爆轟すれば全部ガス化して

1

上向内管	二重内管	アルミ雷管	8 號雷管
東 京	延 岡	延 岡	延 岡
3	0	0	25
200	800	50	25

固體粒子は残らない管である。然るに桐を空間に懸垂し、その下面約 20 cm の距離に鉛板を置いて起爆するに鉛板に無數の粒子の跡を示して居る。それが NH_4NO_3 粒子であることは NH_3 臭及びチフェニルアミンによる NO_2 イオンの定性試験により知ることが出来る。即ち桐は空間の爆轟にては無數の NH_4NO_3 粒子が分解せず、其儘飛散して完全に爆轟して居ない。