

雷管の爆発温度に関する研究

村門 律* 木内 文一** 横山勝太郎***

本報告では、完爆雷管及び半爆雷管の爆発熱量を断熱々量計を用いて測定した。起爆薬、添装薬の分解方程式は、爆速及び爆発熱量の計算値が実測値に一致する様にした。この様にして導かれた分解方程式に従って、完爆雷管及び半爆雷管の爆発温度を計算した。その結果、次の結論を得た。

- (1) 完爆雷管の爆発温度は、3470℃、半爆雷管Ⅱは 2422℃、Ⅲは 2267℃ であった。
- (2) DDPN が半爆となった場合、爆轟と燃焼（又は、爆燃）が共存するモデルを仮定すると、半爆現象がよく説明できた。

1. 緒言

筆者らは、以前近接発破による炭酸爆薬燃焼の原因の探求を行った際、第1孔発破の高温高压ガスによって第2孔爆薬が燃焼する場合よりも、第2孔の雷管が半爆となり、これが着火源となって同一孔の爆薬が燃焼する場合の方が多いのではないかと推測した。そこで、雷管によって爆薬が燃焼するのは、半爆雷管による石炭粉混入爆薬の場合であって、完爆雷管や石炭粉が混入しない爆薬の場合には、何故燃焼がおこらないのかを説明するための1つとして、雷管の完爆、半爆の場合の爆発温度を計算した¹⁾。

その後、雷管の半爆現象に関する研究を行い半爆雷管を任意に作り出す条件をみつけて、ジアソジニトロフェノール（以下 DDPN と略記）が半爆となった場合の、密度と爆速との関係を明らかにした²⁾。

今回は、DDPN が半爆となる条件で雷管を組み立て、爆発熱量を測定することによって、再度爆発温度の計算を試みた。この時、起爆薬、添装薬の分解方程式をどの様に推測するかが問題であるが、本報告では、爆速及び爆発熱量が、実測値によく一致する様に分解方程式をたてた。

延時薬を有する段発電気雷管の場合は、延時薬部分の取扱いが面倒なので、わかり易い瞬発電気雷管について計算した。雷管の中では、点火玉、起爆薬、添装薬が、それぞれ所定の位置で時間遅れをもって爆発するわけであるが、計算では、点火の瞬間、均一に混合

され反応するものと仮定した。

2. 雷管の爆発熱量の測定

2.1 測定方法

測定には、改良型燃研式断熱熱量計（吉田製作所）を使用した。Fig.1の様に雷管をセットし、内筒の温度上昇を測定し、次式から熱量 Q (cal/本) を算出した。

$$Q = (\text{内筒の水量} + \text{容器の水当量}) \times \text{温度上昇} \dots (1)$$

2.2 供試雷管及び爆発熱量測定結果

供試雷管の諸元及び爆発熱量測定結果を Table 1 に

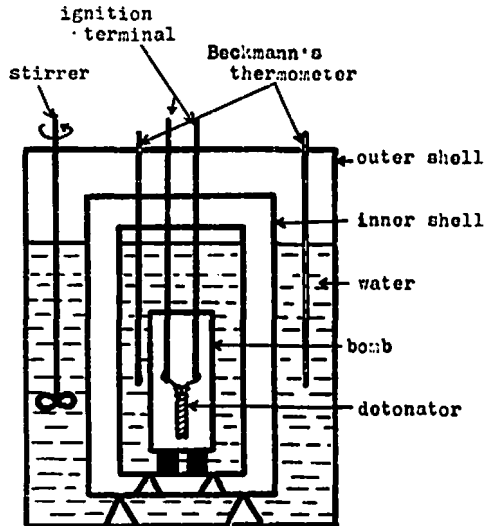


Fig. 1 Schematic representation of the adiabatic calorimeter for measuring the heat of explosion

昭和51年6月12日受理

*北海道苫山保安センター 〒068 岩見沢市二条東15丁目2番地

**北洋化学株式会社 〒073-01 砂川市豊沼町63番地

***日本化学株式会社火薬研究所 〒807 北九州市八幡西区浅川659

Table 1 Specification of detonators used for this study and the heat of explosion generated by detonators

Type of detonators		I	II	III
	shell	Fe (Cu planting)	Fe (Cu planting)	Fe (Cu planting)
Specification	fuse head	DDNP (4 mg)	DDNP (4 mg)	DDNP (4 mg)
	initiator	DDNP (0.2 g)	DDNP (0.2 g)	DDNP (0.2 g)
	base charge	pentolite/KClO ₄ *	pentolite/KClO ₄	talcous powder
	loading pressure of initiator kg/detonator	60	200	200
	loading density of initiator g/cc	0.85	1.18	1.18
Run No.	1 (cal/detonator)	742.7	163.9	140.9
	2	704.3	159.2	117.8
	3	763.2	153.7	187.0
	X	736.7	158.9	148.6
	R	59.0	10.2	69.2
Note		completely detonated	incompletely detonated	

* peotolite/KClO₄(100/10)0.4 g

示す。

Table 1 において雷管Ⅱは、添装薬の薬量及び圧搾圧力は正常の雷管と同一にし、起爆薬の圧搾圧力を200kg/本として、半爆となる様にしたものであり、雷管Ⅲは、添装薬をタルクでおきかえ、起爆薬は、同様に、200kg/本の圧力で圧搾して半爆となる様にしたものである。爆発熱量は、完爆の場合は、平均736.7 cal/本、半爆の場合、Ⅱは158.9cal/本、Ⅲは148.6cal/本であった。DDNPの管体内での爆速は、以前発表した様に、装填密度（初期密度4g/cm³）が、0.85の時3200m/s、1.18の時は、900m/sである³⁾。（爆速900m/sというのは、おかしいかもしれない、以下、便宜上爆速ということにする。）

完爆の場合、爆速が3200msであるから添装薬を正常に起爆し、従って、爆発熱量も大きい、半爆の場合は、爆速が低下し、爆発圧力も低下して、添装薬の限界起爆圧力（7～8kbar³⁾）以下となるため、添装薬を起爆することができず、爆発熱量も小さい値となる。また、ⅡとⅢを比較してみると、熱量がほとんどかわらないことから、Ⅱでは添装薬が反応していないことが証明されたと考えられる。

半爆雷管の場合（ⅡおよびⅢ）、測定後ポンペ内を洗浄すると、洗浄水が黄緑色に着色された。はっきりしたことはわからないが、DDNPの未反応物か、あるいは、DDNPの分解が不充分のため染色性のある物質を生成したものと推定される。

3. 分解方程式の推測

3.1 完爆の場合のDDNPの分解方程式の推測

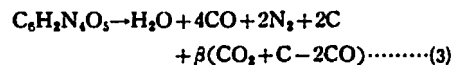
山本は⁴⁾、DDNP (C₆H₂N₄O₅) の分解方程式として次式を提示している。



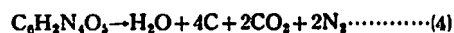
ただし、常に上の様な単純な分解を行なうものではないとしている。

特に、疋田、木原⁵⁾は、トリニトロトルエン（以下TNTと略記）、テトリル（以下Tetと略記）等遊離炭素を多量に生成する爆薬の分解方程式を推定する場合、COの解離平衡の影響が無視出来ないとして、分解方程式にβ(CO₂+C-2CO)の項を付加し、密度と爆速の実測値の関係を求めた結果、高密度になる程βが大きい方が、理論値が、実測値に一致するとしている。

そこで、この方法により、d=0.85のときの実測値D=3200m/sにあらう様にβを選び分解方程式を決定する。



上式により、爆発熱量を820cal/g⁶⁾として、疋田、木原法で計算した場合のβと爆速との関係をTable 2に示す。Table 2から、β=2の場合が、最もよく実測値に一致するので、β=2とすると、次式を得る。



上式により、爆発熱量を計算すると、254.7kcal/mol(=247.4cal/DDNP0.204g)となる。この発熱量は、後述の様に、添装薬の爆発熱量と合計した場合、Table 1に示す実測値とよく一致する。

Table 2 Relations between β and detonation velocity

β	0	1	2
$N \times 10^{-22}$	2.007	1.720	1.432
φ	4.49	5.57	7.08
$\theta \times 10^{-3}$	2.757	3.433	4.380
$Q + \mu$ (cal/ μ)	911.4	917.4	923.2
ξ	0.242	0.208	0.175
D (m/s)	4500	4000	3350

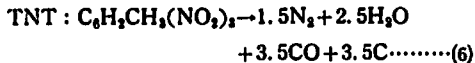
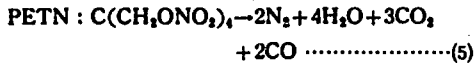
β : constant, N : number of molecules per unit mass, $\varphi = 2s_i/kT$, where s_i =the energy due to internal degrees of freedom of a molecule, k =Boltzmann's constant,

$\varphi - \theta/T = 3.4-2000/T$ for H_2
 $= 3.9-2300/T$ for N_2
 $= 3.9-2100/T$ for CO
 $= 8.0-6300/T$ for H_2O
 $= 9.8-5500/T$ for CO_2

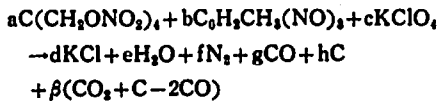
λ : molecular constant of i -th species, $q = kN\theta/2$
 Q : heat released by the reaction per gram of explosives,
 $\xi = (N/V)\{N\lambda/(Q+q)\}^{1/2}$

3.2 添装薬の分解方程式の推測

ペンスリット (以下 PETN と略記) 及び TNT の分解方程式とし、正田、木原は²⁾ 次式を提示している。

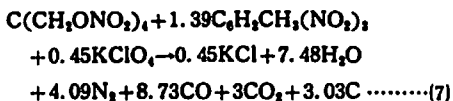


上式を基本にして、CO の解離平衡を考慮し、3.1 と同様にして分解方程式を決定する。添装薬の組成は、ペントライト (50/50): $KClO_4 = 100:10$ であるから、分解方程式を次の様に仮定する。



添装薬では、PETN: TNT: $KClO_4 = 0.455:0.455:0.09$ (重量比) だから、この比率から、 $a=1.00$, $b=1.39$, $c=0.45$ となる。また、質量保存の法則から、 $d=0.45$, $e=7.48$, $f=4.09$, $g=14.73$, $h=0.03$ となる。

この場合、 $d=1.44$ と高密度であるので、3.1 でのべた理由により、 $\beta=3$ を採用すると次式を得る。



上式により、爆発熱量を計算すると、804.04Kcal/mol (=463.2 cal/添装薬 0.4g=1158cal/g) となる。一方、爆発特徴数は、 $d=1.44$ のとき、 $P=155000$ bar, $T=3151^\circ C$, $D=6640$ m/s となる。

又木は³⁾⁾, Eyring の Curved Front Theory により雷管内の添装薬の最大爆速 D_m m/s は次式で与え

られるとした。

$$D_2 = D_1 [1/2 + \sqrt{1/4 - a_1 k_2 / R}] \dots\dots\dots(8)$$

ここで、 D_1 : 理想爆速, a_1 : 反応帯の幅, k_2 : 定数 (密閉度が極めて強い場合は、0.1, 弱い場合は、0.5) R : 添装薬の半径である。

$d=1.62$ のとき、薬径 31mm として、塩ビ管内で爆速を測定すると、7780m/s である。このとき、 D は、正田木原法により、8000m/s である。これから、 $k_2=0.45$ として、 a_1 を求めると、 $a_1=0.8$ mm である。又木³⁾⁾によると、TNT, PETN, テトリルの反応帯の幅は、それぞれ 1.6mm, 0.7mm, 1.0mm であり、テトリルとペントライトの爆発特徴数は類似しているので今、 $a_1=1$ mm, $k_2=0.2$, $R=3$ mm, $D_1=6640$ m/s とすると、(2)式から、 $D_2 \div 6200$ m/s となる。ペントライトの限界起爆圧力を 7kbar³⁾⁾ とすると、臨界起爆薬量するとき、添装薬の爆速は、 $V_0=1/1.44$, また Roth の式からコポリウム $\alpha=0.472$ として、粒子速度 W と P の関係から、1880 m/s から始まるのがわかる。又木に従って、薬長 9.7mm での爆速を求めると、6160 m/s となる。起爆薬が完爆すると添装薬の爆速は、1880 m/s 以上の爆速から始まるので DDNP が完爆した場合、添装薬の爆速は薬長 9.7mm では、充分最大爆速に達するものと考えられる。

以上のことから、(6)式は添装薬の分解方程式として妥当であると考えられる。

3.3 爆発熱量

完爆雷管の爆発熱量は、これまでの計算結果より、次の様になる。

$$(点火玉及び起爆薬の爆発熱量) + (添装薬の爆発熱量) = 247.4 + 463.2 = 710.6 \text{ cal/本} \dots\dots\dots(9)$$

上式の計算結果、710.6cal/本は、実測値 736.7/本

とよく一致する。

雷管の爆発熱量について井田¹⁰⁾の報告があるが、これによると6号の電気雷管(出采1.0g, 銅管体)で524cal/本, 6号のTet/雷采の混成雷管(Tet 0.45+出采/KClO₄ 0.4g, 鉄管体)で1032cal/本(air中)とあるが, 装薬の種類も現在の雷管とは異なるので, 直接の参考にはならない。

最近の報告としては, 工藤らは¹¹⁾, (a)起爆薬(DDNP) 0.1g, 添装薬(PETN/KClO₄, 80/20) 0.5gの雷管について1001.5cal/本(計算値867cal/本), (b)起爆薬(DDNP)0.2g, 添装薬(Tet/KClO₄, 93/7) 0.4gの雷管について814cal/本(計算値600cal/本), 又(c)起爆薬(DDNP)0.2g, 添装薬(ペントライト 50/50+KClO₄, 100/10) 0.4gの雷管について763.5cal/本(計算値595cal/本)と報告している。

以上のうち, (c)の雷管は, 本報告の供試雷管(完爆)と同じものと推察されるが, その実測値には若干の差異はあるけれども, ほぼ近似している。

4. DDNPが半爆となった場合の分解方程式の推測

DDNPが完爆した場合(Table 1の雷管I), $D=3200$ m/s, $Q=820$ cal/g¹⁰⁾である。一方, 半爆の場合(雷管III)は, $D=900$ m/s, $Q=728$ cal/g(≈ 148.6 cal/0.204g)である。両者を比較してみると, 爆速は, 半爆の場合, 完爆の場合の28%におちているが, 熱量は, 完爆の場合の89%も発生されていることがわかる。爆速の低下にともない, 反応率が低下して, 反応熱も減少すると考えられるから, 上述の現象は, 爆発熱のみを考えたのでは, 説明が困難ということになる。一般に, 爆発熱は, 燃焼熱の1/3以下とされている¹²⁾。つまり, 半爆の場合に, 上記の様に多量の熱が発生されるのは, 燃焼熱の寄与があるのではないかと考えられ, 半爆の場合, 爆轟(爆燃といった方が適当かもしれない)と燃焼が共存していると仮定すると, この現象をよく説明できる様である。

木下は¹³⁾, DDNP/Tetの混成雷管について起爆薬の燃焼から爆轟への転移機構, 起爆薬の爆轟から添装薬の爆轟への転移機構を研究し, DDNPの爆発初期に燃焼領域があり, この領域が装填密度, 薬径によって異なるとしている。

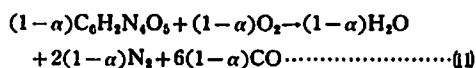
また, 今回の爆発熱量測定のとときの知見として, 半爆雷管の時は, DDNPの不充分的な反応のため, 染色性のある物質が生成したことは, 既にのべた通りである。

そこで, 模式的に, DDNPの爆轟割合を $\alpha (<1)$ とし, DDNPの α 部が爆轟し, 残りの $(1-\alpha)$ 部が

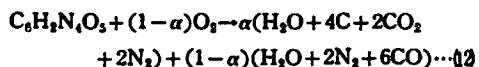
燃焼するものと仮定し, 更に



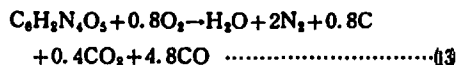
に従って, まず爆轟波が進行し



に従って燃焼波が進行するものと仮定する。この場合, 総括的な反応は次の様になる。



この(12)式により, α とDDNPの特徴数との関係を疋田, 木原法により計算によって求めた結果をTable 3に示す。実測爆速値の900m/sという値は, 添装薬界面のものであり, 平均的には, もう少し低いものと考えられるから, Table 3から $\alpha=0.2$ とするとDDNPが半爆となった場合の分解方程式として, 次式を得る。



(10)式, (11)式の反応熱を, それぞれ, Q_1, Q_2 とすると, $Q_1=11.3$ cal/DDNP 0.204g, $Q_2=174.9$ cal/DDNP 0.204gであるから, $Q_1+Q_2=186.2$ cal/本となって実測値とよく一致する。

5. 爆発温度の計算

(4), (7), (13)式が, 各物質の分解方程式として妥当と考えられるので, これらに従って, 爆発温度を計算する。

反応生成物を, Table 4に示す。

5.1 完爆雷管の場合

Table 4より, 村田の計算方法¹⁴⁾によって, 爆発熱量として実測値736.7cal/本を用いて爆発温度を計算すると次の様になる。

$$H_2O : (13.2 - 9600/T) \times 0.005281 = 0.0697 - 50.70/T$$

Table 3 Relations between α and D of the incomplete-detonated detonators

α	0.1	0.2	0.3
heat of explosion (cal/detonator)	199.9	186.2	177.1
Q (cal/g)	15.7	55.2	117.9
$N \times 10^{-21}$	1.43	2.87	4.30
φ	7.08	7.08	4.16
$\theta \times 10^{-3}$	4.38	4.38	3.71
$Q+q$ (cal/g)	26.04	75.9	144
ξ	0.037	0.066	0.093
D (m/s)	360	700	1200

Table 4 Amounts of reaction products (mole)

Type of detonator	I	II, III
H ₂ O	0.005281	0.0009714
C	0.005634	0.0007771
CO ₂	0.003672	0.0003886
N ₂	0.004302	0.0019428
CO	0.00503	0.0046627
KCl	0.00026	--

$$C : (6.87 - 1695/T) \times 0.005634 = 0.0387 - 14.17/T$$

$$CO_2 : (12.75 - 3860/T) \times 0.003672 = 0.0468 - 14.17/T$$

$$N_2 : (6.58 - 1372/T) \times 0.004302 = 0.0283 - 5.90/T$$

$$CO : (6.62 - 1350/T) \times 0.00503 = 0.0333 - 6.79/T$$

$$KCl : (13.05 - 2050/T) \times 0.00026 = 0.0034 - 0.53/T$$

$$\Sigma n\bar{C} = 0.2202 - 87.64/T = 736.7$$

$$T(0.2202 - 87.64/T) = 736.7$$

$$T = 3743.6^\circ K \approx 3470^\circ C$$

雷管の爆発温度について井田¹⁰⁾、雷管の爆発によって管体の一部は燃焼するが、管体の燃焼温度は、添装薬の爆発温度より低いので、雷管の爆発温度は、添装薬の爆発温度と考えることができる。また、Foxの実測値を紹介し、PETN($\Delta=1.63$)で4200°K、Tet($\Delta=1.62$)で3350~3650°Kとしている。

さらに、添装薬の爆発温度を検討すると、正田¹¹⁾の計算では、 $\Delta=1.6\sim 1.0$ の範囲では、PETNの爆発温度は、3300~4100°K、Tetは、2400~3200°K、TNTは、2200~2800°Kである。

すなわち、雷管の爆発温度は、添装薬種によって異なるが、以上を総合すると、2000~4000°K程度と推定されることから、上記3470°Cの値は、雷管の爆発温度としては、一応妥当な値と考えられる。

5.2 半爆雷管の場合

Table 4により、5.1と同様にして爆発温度を計算する。

$$H_2O : (13.2 - 9650/T) \times 0.009714 = 0.0128 - 9.33/T$$

$$N_2 : (6.58 - 1372/T) \times 0.0019428 = 0.128 - 2.67/T$$

$$C : (6.87 - 1695/T) \times 0.0007771 = 0.0053 - 1.32/T$$

$$CO_2(12.75 - 3860/T) \times 0.0003886 = 0.0050$$

$$-1.50/T$$

$$CO : (6.62 - 1350/T) \times 0.0046627 = 0.0309$$

$$-6.29/T$$

$$\Sigma n\bar{C} = 0.0668 - 21.11/T$$

上式より、実測爆発熱量 (Table 1) によって、半爆雷管の爆発温度を計算すると

$$148.6 \text{ cal の場合} : T = 2540^\circ K = 2267^\circ C$$

$$158.9 \text{ cal の場合} : T = 2695^\circ K = 2422^\circ C$$

となる。

以上の爆発温度の計算結果を、完爆の場合と比較するため、まとめて、Table 5 に示す。

Table 5 Explosion characteristics of detonators

Type of detonators	I	II	III
loading density of DDNP (g/cc)	0.85	1.18	1.18
equation of decomposition	(4), (7)	(3)	(3)
<i>D</i> (m/s) of DDNP	obd. 3200	900	900
	cal. 3350	700	700
heat of explosion	obd. 736.7	158.9	148.6
(cal/detonator) cal.	710.6	186.2	186.2
explosion temperature (°C) (calculated)	3470	2422	2267
Note	completely detonated	incompletely detonated	

同表により、雷管の爆発温度は、完爆の方が半爆の場合に比べて、1000~1200°C 高いことがわかる。

6. 考察

4にのべた DDNP が半爆となった時の現象について考察する。

Fig. 2 において、斜線を施した部分は、爆轟した DDNP を示している。着火時は、平面上に着火しても、雷管管径は、比較的小さいので、熱の逸散が、中心部より外側の方が速く、従って、周囲は次第に温度が下がって、反応速度が低下し、Fig. 2 の様に、中心部を爆轟波がすすむであろう。この波によって1つの爆速値が実現され、そのあとで、白く示した DDNP が燃焼していくのではないかと考えられる。

筆者らは¹²⁾、 Δ が大なる時同様のモデルを考え、燃焼過程が非常に長くなるものとした。それをもっとミクロ的にみた場合には、この様なモデルで爆轟あるいは爆燃と燃焼が共存しているのではないかと考えられる。この様に考えると、4でのべた様な、爆速の低下

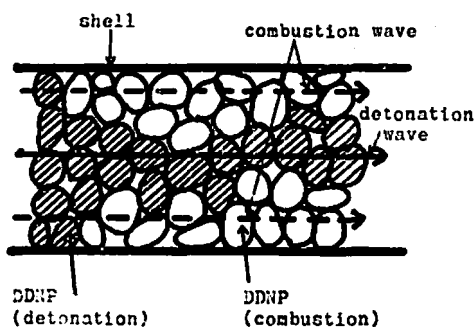


Fig. 2 Phenomenon of incomplete detonation

の割に、熱の発生が高く維持されている現象がよく説明できる様である。

この場合、爆速が低下するに従って燃焼熱の寄与が大きくなる事がわかる。従って、半爆雷管の場合、ある程度の大きさの熱の発生が、時間的にかなり長く維持されると考えられる。(この問題については、別途報告する。)

7. 結論

(1)以上の計算及び考察の結果をまとめると、Table 5を得る。同表から、完爆雷管の爆発温度は 3470℃、半爆雷管Ⅱの爆発温度は 2422℃、Ⅲの爆発温度は 2267℃であり、完爆雷管の方が、半爆雷管よりも爆発温度は 1000~1200℃ 高い。

(2)半爆の場合には、爆轟と燃焼が共存していると考えると、現象がよく説明できた。半爆雷管の爆発熱量は、爆速の低下の割には大きい、これは爆速が低下

するに従って燃焼熱の寄与が大きくなるためと考えられる。

(3)ここでは爆速の実測値に、計算値がよく一致する様に分解方程式をたてた。この分解方程式に従い熱量を計算すると、実測値とよい一致をみた。更に、これにより、雷管の爆発温度を計算し、一応妥当と考えられる値を得た。

今後は、延時薬部分の取扱いを考え、段発電気雷管の、完爆の場合の爆発温度を計算する方針である。

(本報告の一部は、工火協昭和51年度年会で発表した。)

8. 文献

- 1) 村門、木内、工火協誌、33(5) 279—289, 1972
- 2) 官川、勝原、村門、工火協年会要旨、53—54, 1972
- 3) 橋爪、佐々木、工火協誌、36(1) 34—39, 1975
- 4) 山本、工火協誌、25(1) 10—19, 1964
- 5) 疋田、木原、工火協誌、17(4) 261—269, 1956
- 6) 工火協編、工業火薬ハンドブック、508—510 (1966)、共立
- 7) 疋田、木原、工火協誌、13(2) 106—113, 1952
- 8) 又木、工火協誌、13(1) 24—28, 1951
- 9) 又木、工火協誌、13(1) 29—32, 1951
- 10) 井田、工火協誌、22(3) 126—137, 1961
- 11) 工藤、空地、吉田、工火協講演要旨
- 12) 疋田、爆薬と火工品、1965 (製造保安受験講習会テキスト)
- 13) 木下、化学関係協会連合講演要旨、11—12, 1958
- 14) 村田、工火協誌、9, (2) 65—69, 1948

Study on the explosion temperatures of detonators

by R. Murakado*, B. Kiuchi** and K. Yokoyama***

In this report, the heats of explosion of complete-detonated detonators and incomplete-detonated detonators were measured using adiabatic calorimeter.

The equations of decomposition of initiator and base charge were derived so that the calculated value of detonation velocities and heats of explosion might be nearly equal to the observed one.

Based on the above equations of decomposition, the explosion temperatures of

complete-detonated detonators and incomplete-detonated detonators were calculated.

Following results were obtained.

(1) The explosion temperature of complete-detonated detonators I, incomplete-detonated detonators II, and III amounted to 3470 2422 and 2267 °C, respectively.

(2) When DDNP was incompletely detonated, the model which detonation and combustion (or deflagration) were coexistent could well explain the phenomenon of incomplete detonation.

(*Hokkaido Kozan Hoan center, **Hokuyokayaku CO. Ltd., ***Nipponkayaku CO. Ltd.,)

ス ャ ニ

IREGEL IRECO 社の「耐水性の ANFO」

IREGEL はスラリー爆薬の一種で、あらゆる発破に使用できる。トラックから直接発破孔に入れることも、希望される寸度の袋詰にでも出荷できる。

強力で安全性、耐水性があり、頭痛がなく、信頼性経済性に優れている。

NCN 相当の袋詰の IREGEL はトレーラに貯蔵することを認められている。

E/MJ-June 1976 (岩武)

火薬の供給問題について CIL 社は新しい硝安工場を Alberta に建設することによって解決しようとしている。

最近、西カナダにおいては硝安の需要に対し供給が追いつかなくなってきた。一時的には硝安を東カナダから輸送することによって切抜けようとしている。

しかし CIL 社はもっと良い解決策をもっている。それは新しい大規模な硝安工場が 1977 年に Carlsland で稼働し始めるからである。

CIL 社は以前から資源関係の事業を推進してきているが、ここで当社の火薬の需給に対する計画をお知らせしたいと思っている。

Canadian Mining Journal June 1976 (岩武)

アルミニウムゲルの燃速及び限界直径に対する添加物の影響

アルミニウム (1 μ) と水の当量に CMC を 3%

入れてゲル化した後顆粒としたものを充填率 0.5~0.6 (1.0~1.1 g/cm³) で試験管中でニクロム線加熱により窒素中常圧~100atm で燃焼させた。結果は次の通りである。

1. 燃焼限界直径は 32mm であったのが苛性ソーダ 0.04% を加えると 15mm, フッ化カリ 3% で 8mm に減少するが塩化カリ 5% は 37mm に増大する。
2. 燃速: 20atm において 0.13g/cm³ であったのがフッ化ナトリウム 1% 添加で 0.24g/cm³ に, 100atm で 0.26g/cm³ であったのが 0.4g/cm³ に加速される。フッ化アルミニウムはやや遅らせる。
3. 燃焼効率: 密度 0.45~0.55g/cm³ で燃焼させると酸化率 50% であったのが添加剤を加えると 70% に増大する。

PH を増大させてアルミニウム粒子表面のアルミナを溶解させると燃焼性が向上することが判明した。金属フッ化物でも加水分解して PH を増大させない化合物 (例えばフッ化アルミニウム) は効果がない。

A. V. Vasilev, et al AD-A007932, March, 11 (1975) "Effect of Some Addition on the Critical Diameter and the Rate of Combustion of Mixtures of Alminum with Gelatinized Water." (横山)