

# 電気雷管によるメタン—空気混合物の 着火に関する研究 (第三報)

(雷管のメタン着火率に及ぼす雷管製造構成要因の影響 その2)

山本 顕一郎・磯谷 隆\*

前回の報告(第2報)で我々は雷管のメタン着火率に及ぼす製造構成要因の影響として雷管体の材質及肉厚の影響について報告したが、本報告では雷管添装薬の影響について述べる。

## 1. 緒 論

雷管に使用される添装薬には普通 Tetryl, Comp' B, P. E. T. N, ヘキソゲン, T. N. T 等がある。雷管の爆発エネルギーは、大部分添装薬の爆発エネルギーにより左右され、爆轟速度の大きい添装薬を使用した雷管ほどその威力は増加する。Tetryl 及び Comp B を添装薬として使用した雷管のメタン安全度は比較的良好であることが知られているが、P. E. T. N, Hexogen のように酸素バランスが正に近い添装薬は威力が大きくなる反面、メタン安全度は悪くなる傾向が見られる。このためこの種の添装薬を使用する場合には不活性物である減熱剤を混入するが、添装薬を

極度に減らす方法がとられているが、NaF, Talc 等の減熱剤を混入することは必然的に威力の減退を伴い雷管も重要な性質である起爆能力を弱める結果となる。従って、威力を弱めることなく雷管のメタン安全度を向上させる方法がとられなければならない。

本報告では第2報と同様な実験手法を用い、雷管添装薬の薬種、薬量、添加物、粒度、圧搾圧、のメタン着火率に及ぼす影響について、雷管の発熱量、衝撃波、爆発火焰の大きさ及び発光持続時間を測定し、メタン安全度を向上させるための検討を行なったものである。

## 2. 添装薬種の影響

雷管添装薬として使用される各種の添装薬について6号雷管を試作し、雷管発熱量、回転カメラによる爆轟速度等を測定し、同時に着火率との関係を得た結果を総括し、Table 1 に示した。

Table 1 Materials and Physical Characteristics of the Base Charge of Detonators.

Base Charge*	Explosion Heat (kcal/piece)	Oxygen Balance**	Mean Detonation Velocity (m/sec)	Ignition Probability
Tetryl	960	- 1.104	7,070	5/30
Comp'B	1,167	- 0.463	7,530	8/30
Hexogen	1,214	- 0.216	-	15/30
PETN	1,388	- 0.196	8,400	28/30
T. N. T	-	- 0.766	6,930	0/30
Pentlite	1,118	- 0.452	-	8/30

Shell; Copper, wall thickness 0.18mm

Priming Charge; D. D. N. P 0.20g

\* Base Charge; weight 0.45g

\*\* Oxygen Balance; 
$$\frac{-16.00 \left( 2x + \frac{y}{2} - z \right)}{\text{mol weight}}$$

Table 1 の結果に見られる如く、添装薬の酸素バランスが正に近いものほど、雷管爆発熱量は大きく、又平均爆轟速度も大きくなり、メタン着火率はこれらの値と相関性を示している。メタン着火性の順位はペントリット>ヘキソゲン>ペントライト≒Comp'B>Tetryl>T. N. T である。

## 3. 添装薬薬量の影響

添装薬量が増加するにしたがつて雷管の総合的威力は大きくなる。3号雷管は、メタンに安全であるが、装薬量が8号雷管程度になると Comp' B-Tetryl 雷管でもメタンに着火し易くなる。銅雷管の場合について添装薬量を0から0.90gまで変化させ、着火率の関係を見ると Fig. 1 の如く、薬量が0.55g~0.60gで着火率は100%を示し、添装薬のない雷管では着火

昭和38年5月23日受理

\* 日本化薬(株)折尾作業所 北九州市若松区民川

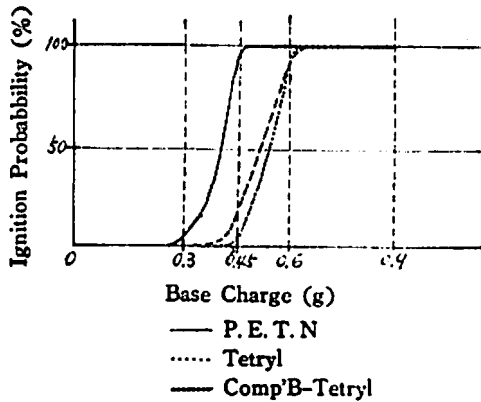


Fig. 1 Relation between Base Charge Weight and Ignition Probability of Methane-Air Mixture.

Table 2 Effects of the base charge weight on the ignition probability of Methane-Air Mixture.

Base Charge weight (g)	Explosion Heat (cal/piece)	Explosion Flame		Shock Wave Speed		Ignition Probability
		flame area (cm <sup>2</sup> )	duration (μsec)	at 50μsec (m/sec)	at the wall of chamber (m/sec)	
Tetryl 0.30g	940	37	—	—	—	0 / 30
Tetryl 0.45g	1,150	100	55.0	1,187	624m/sec	4 / 30
Tetryl Comp'B 0.45g	1,190	102	44.9	—	650 "	5 / 30
Tetryl Comp'B 0.60g	—	123	64.2	1,083	657 "	18 / 20
Tetryl Comp'B 0.90g	1,920	170	71.5	1,248	660 "	20 / 20

Shell; Copper 0.18mm thickness. Priming charge; D. D. N. P 0.20g

るまでの約 45μsec 以前の段階における発光の大きさ及持続時間について、8号雷管は6号雷管と比較してやや大きい値を示すが、衝撃波と爆発ガスが分離する時間、その後の衝撃波の拡散速度、メタン槽壁での衝撃波の投射速度は殆んど変わらない。添装薬を増すと雷管の総合的な威力は増加するが、8号雷管の場合でも衝撃波が壁面に到達する時にはその速度は約 600m/sec に減衰しており、メタン槽での着火は起らないと推定される。このことは第一報<sup>2)</sup>において8号雷管でもメタンの燃焼核は槽のほぼ中央から起っている現象からも裏付けられる。

添装薬を増加したことによる雷管のメタン着火率の増加は、爆発火焰が大きく同時に持続時間が長くなることに基因するものと考えられる。

#### 4. 添装薬添加物の影響

爆薬の坑気、炭塵に対する安全度を向上させる方法として、装薬の中に不活性微粉末<sup>3)</sup>、食塩等を含む無機塩類を混入する方法逆イオンペアー法、消火剤を含む安全被筒などがある。雷管の場合には添装薬、起爆

が全然起らない。

添装薬量を 0.45g, 0.60g, 0.90g の 3水準選り爆発火焰の静止写真と SP-1 型高速度流しカメラを使用して測定した爆発光の強さと持続時間、雷管一本の発熱量、及び M. L. D-2 型高速度シュリーレン写真で得られた (撮影速度 13万コマ/sec) 衝撃波速度等の物理的特性値と着火率の関係を比較したものが、Table 2 である。

Table 2 の結果によれば、メタン着火率は爆発静止火焰の大きさは8号雷管で 170cm<sup>2</sup> であるのに対し、6号雷管では 102cm<sup>2</sup> である。又持続時間はそれに比例して約 1.5 倍になっており、反応時間は約 1.5 倍であると考えられる。雷管から放出される衝撃波の拡散速度について観察すると、衝撃波が爆発ガスと分離す

葉に混入する添加物は雷管装薬の起爆感度、添装薬の受爆感度、威力の点から特に制約を受けやすいので上述の機能を低下させない少量の添加物を混入する必要がある。

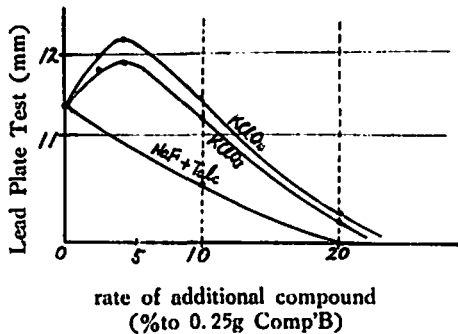
添装薬に各種の無機減熱剤を混入してその添加量と爆発火焰面積、雷管威力、爆轟速度と着火率の関係について実験を行ない、Table 3 の結果を得た。NH<sub>4</sub>ClO<sub>4</sub> を除いていづれの添加物もわずかの量でメタン着火率が減少し着火の防止は雷管においてもアルカリ・イオンを含む無機塩が有効であると言える。鉛板試験で判定した雷管の威力は KClO<sub>3</sub>, KClO<sub>4</sub> では数% 混入した場合に却って強くなり 10% 以上の場合に始めて威力が低下しはじめるのに対し、NaF, Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> 等の不活性物質ではいづれも混合比が大きくなるに従って威力は弱くなる。

添装薬に各種の添加物を混入した場合の装薬 (6.2 mmφ×100mm) の爆轟速度を掃引速度 300m/sec の回転カメラで測定し、Table 4 の結果を得た。この結果は鉛板試験の値と相関しており、不活性物質 NaF

**Table 3** Effects of the additional compound of Base Charge on the ignition probability of CH<sub>4</sub>-Air Mixture.

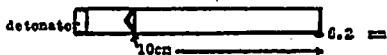
Base Charge	Additional Materials (%)	Explosion Power (Lead Plate Test)	Explosion Flame (cm <sup>2</sup> )	Ignition Probability
Comp-B, Tetryl (0.60g)	without	11.52mm	102	11/12
Comp-B, Tetryl (0.60g)	NaF-Talc 20%	10.50mm	61	0/20
Comp-B, Tetryl (0.60g)	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> 5%	10.74mm	85	0/20
Comp-B, Tetryl (0.60g)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> 5%	10.77mm	—	0/20
Comp-B, Tetryl (0.60g)	KHCO <sub>3</sub> 5%	11.54mm	86	0/20
Comp-B, Tetryl	KClO <sub>4</sub> 3%	11.78mm	76	4/20
	KClO <sub>4</sub> 5%	12.03mm	—	0/20
	KClO <sub>4</sub> 10%	11.53mm	48	0/20
Comp-B, Tetryl (0.60g)	KClO <sub>3</sub> 3%	11.76mm	—	0/20
	KClO <sub>3</sub> 5%	11.68mm	—	0/20
	KClO <sub>3</sub> 10%	11.31mm	58	0/20
	KClO <sub>3</sub> 20%	11.04mm	—	—
Comp-B, Tetryl	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> 10%	11.75mm	110	10/10

Grain size of additional compound; 80 mesh pass.  
Loading pressure; 110kg/piecc.



**Fig. 2** Effects of the additional compounds to Base Charge on Explosion Power.

**Table 4** Effect of the additional compounds on the detonation velocity in the cylindrical cartridges. (6.2mmφ, 110kg/piece) (Measured by Streak Camera.)



No.	Explosive cartridge	detonation velocity m/sec
1	Tetryl	7,070
2	Comp-B,	7,530
3	Comp-B, KClO <sub>4</sub> 3%	7,670
4	Comp-B, KClO <sub>4</sub> 5%	7,500
5	Comp-B, KClO <sub>4</sub> 20%	6,910
6	Comp-B, NaF-Talc 20%	6,930

+Talc を混入することは事実上装薬が減少したことになるが、活性物質では数%までは却って爆速が大きくなる。

#### 考 察

以上の結果から KClO<sub>4</sub>, KClO<sub>3</sub>, NaClO<sub>4</sub> 等の無機塩類を混入することは着火防止と威力の点からわずかに数%で有効であることが判明したが、着火機構においてアルカリ・イオンがどのような効果を示しているかを検討するため Fastax カメラ (撮影速度 6,000コマ/sec) を用いて着火状況を観察した結果、KClO<sub>4</sub> 10% 混入した7号雷管について、次のことが判明した。

(1) メタンの燃焼核は雷管燃発位置の近傍より発生し、その初期の発生状態は KClO<sub>4</sub> を混入しない7号雷管と変わらないが 2msec 以内に燃焼核は消失する。

(2) KClO<sub>3</sub> を 3% 混入した7号雷管は混入しない雷管に比較して Table 5 に見られる如く着火の場合の局部燃焼時間は長くなる。

更に静止写真、流しカメラによつて撮影した火焰の大きさ、持続時間も KClO<sub>4</sub> を混入することによつて小さい値を示す。(第1報参照) 従つて KClO<sub>4</sub> の効果はアルカリ・イオンの存在によつて爆発未燃性物質の酸素との2次反応が抑制され、同時にメタンの燃焼核の発達過程をも抑制されるので着火防止効果は一層強められると考えられる。

Table. 5 Effects of the additional compound (KClO<sub>4</sub>) to the Base Charge on the local combustion periods of 9% Methane-Air Mixture.

detonator	additional compound (g)	Mean Ignition Probability	Exp. No.	Local Combustion Period. (msec)
No. 7 detonator Comp'B-Tetryl 0.60g	without	20 / 20	(1) (2)	3.2msec (ignition) 5.5msec (ignition)
No. 7 detonator Comp'B-Tetryl 0.60g	KClO <sub>4</sub> 3% (18mg)	3 / 15	(3) (4)	8.8msec (ignition) — (No-ignition)
No. 7 detonator Comp'B-Tetryl 0.60g	KClO <sub>4</sub> 5% (30mg)	0 / 15	(5) (6)	— (No-ignition) — (No-ignition)

6.5×30×36cm Iron Chamber. Shell; Copper, Priming charge; 0.20g D. D. N. P.

#### 4. 添装薬粒度, 圧搾圧の影響

J. E. Dolan 氏の報告によれば<sup>4)</sup>, 雷管の装填薬の粒度が小さく, 装填密度の大きいものほどメタン着火率は減少すると述べている。添装薬の粒度を 20mesh

~60mesh の範囲のものと, 100mesh pass のものに分類し, 同時に圧搾圧力を 60kg/本, 150kg/本の 2 水準とり実験を行なった結果を Table 6 に示す。

Table. 6 Effects of Grain Size and Loading Density of the Base Charge on the Ignition Probability of CH<sub>4</sub>-Air Mixture.

Base Charge				Explosion Power (Lead Block Test) mm	Explosion Flame Area (cm <sup>2</sup> )	Ignition Probability
Primary Base Charge (1)		Secondary Base Charge (2)				
Kind (grain Size)	Loading Density (kg/piece)	Kind (grain Size)	Loading Density (kg/piece)			
Comp'B 0.25g (20~60mesh)	60kg	Tetryl 0.20g (20~60mesh)	60kg	10.37	77	23 / 26
Comp'B 0.25g (20~60mesh)	150	Tetryl 0.20g (20~60mesh)	150	11.40	69	7 / 26
Comp'B 0.25g (100mesh pass)	60	Tetryl 0.20g (100mesh pass)	60	10.48	58	0 / 26
Comp'B 0.25g (100mesh pass)	150	Tetryl 0.20g (100mesh pass)	150	11.33	57	0 / 26

Shell; Copper 0.18mm thickness. Priming Charge; D. D. N. P. 0.20g.

圧搾圧が大きく, 添装薬粒度の小さいものほど, メタン判定した雷管の威力は添装薬粒度によって変化なく, 圧搾圧力が増すに従って大きくなる。この関係は爆発火焰と異なり, 火焰面積は粒度の大きい添装薬ほど大きく, メタン着火率は増加することが判る。又圧搾圧力もメタン着火率にいくらか関係していると推定されるがその影響は粒度の影響よりはるかに小さいものと考えられる。

#### 5. 結 論

メタン着火率に及ぼす添装薬の影響は安全雷管の設計上, 最も重要な要因であり, 薬種, 薬量, 添加物, いづれも大きい影響を与える。雷管の着火性は第一報の結論と同じように雷管の威力, 衝撃波速度と直接相

関はなく, 爆発火焰の熱エネルギー (酸素バランス) とその大きさ, 持続時間と相関性を有することが判明した。即ち爆発時の雷管装薬の熱エネルギーが大きく, 爆発火焰が大きく, 持続時間の長いものほどメタン着火性は大である。雷管の威力を弱めることなく安全雷管を製造するためには, 雷管構成要因の中で最も多くのエネルギーを放出する添装薬にアルカリ・イオンを含む活性物質を混入することにより活性物質によって威力を保持しながら, 同時にアルカリ・イオンによってメタン着火の防止を計ることが可能である。

#### 6. 謝 辞

本研究を行なうに当たり, 温厚なる御指導を戴いた日本化薬株式会社火薬部長山田正幸氏, 並びに当所次長

木下四郎氏, 同所研究課長石川正治氏に厚く御礼申し上げます。

本稿の内容の一部は 37 年度工業火薬協会秋季講演会において, 又 36 年 10 月ポーランドにおいて開催された 11th International conference of directors of Safety in Mines Research. において報告いたしました。

ました。

#### Reference

- 1) H. Elsner. D. P 889575 (1953), 687660 (1951)
- 2) 植村, 木下, 中原, 山本, 工火協 23, (5) 1962
- 3) 村田勉 工火協 11, 185 (1950)
- 4) J. E. Dotan J. Appl Chem 5, 215 (1955)

### The Mechanism of the Ignition of Methane-Air Mixture by Electric Detonators. (3)

Effects of the construction materials and characteristics of the detonator on the ignition probability. (part. 2)

by K. Yamamoto and T. Isotani\*

The present paper describes an investigation of the physical and chemical characteristics affecting the ignition probability of methane-air mixture by detonating charges loaded in the detonator. Base charges of the detonator were generally composed of high explosives, such as Tetryl, PETN, Composition B, and Hexogen. The incendivity of the detonator to methane-air mixture was measured for base charges of different materials, weight, grain size, and loading densities and for their different additional compounds. Systematic variations of these factors enabled to an explanation, as described in previous reports, that the incendivity to methane-air mixture by instantaneous detonators was mainly due to the thermal energy of the explosion flame

projected from the base charge; that is, the ignition probability becomes greater with increase of the size and duration of explosion flames.

For the base charge with a small amount of various inorganic compound, the incendivities were remarkably reduced by the flame extinguishing agents of alkali ions (K, Na ion). On the other hand, the explosion power reduction caused by mixing these additional compounds was made up by increasing the oxygen balance in the base charges. In the manufacture of the detonators, It seemed that 3~5% of  $KClO_4$  was one of the most suitable material for additional compound to the base charge.