

(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1)

緒言

雷管の最も重要な性能は雷管の威力であり、爆薬を起爆させるに十分な性能を持つことである。段発電気雷管に於ては、段狂いのない高度な秒時精度が更に要求されるのであるから、これらの性能を満足するものでしかもメタンに安全なる雷管を製造しなければならぬ。J. E. Dolan 氏は雷管の製造構成要因によるメタン着火性の差異を検討し、銅雷管はアルミニウム製の雷管に比較して爆発焰が小さく、又 6 号雷管は 8 号雷管に比較して爆発火焰が小さいので坑気に対して安全であると報告した。O. A. J. Gurton, I. O. Lewis²⁾ 氏等は雷管の坑気に対する安全性を向上させるために、雷管の添装薬量と起爆薬量を減少させた。H. Elsner³⁾ 氏等は雷管の添装薬に減熱剤を混入したり、圧搾圧力を大きくする事によつて安全雷管を製造した。N. Rosinski⁴⁾ 氏は雷管管体の肉厚が 0.5mm 以上ならば、坑気に対し著しく安全になると述べ、その理由として肉厚を厚くすると管体破壊のために使用される機械的なエネルギーを多く必要とし、そのために周囲の媒体と接触する爆発ガスの温度が低くなると述べ、E. Wehner⁵⁾ 氏はこれからの安全雷管として坑気に対する着火を防止するには添装薬量を大巾に減少するか、管体の肉厚を増す方法を提唱している。更に J. Norres⁶⁾ 氏は雷管の管体にゴム、合成樹脂等の雷管用安全被筒を被せ、H. A. Lewis⁷⁾ 氏は nitride steil を管体とした雷管はメタンに安全であると報告している。このように電気雷管の坑気に対する安全性は添装薬、起爆薬等の装填薬の他に管体材質、肉厚の製造要因によつても影響を受ける。

1. 管 体：材質，肉厚，表面處理
2. 添裝藥：藥種，藥量，添加物，粒度，壓搾壓
3. 起爆藥：藥種，藥量，添加物
4. 延時藥：藥種，藥量，構造，添加物
5. 点火玉及点火器：藥種

[illegible]

1. 管体材質の影響

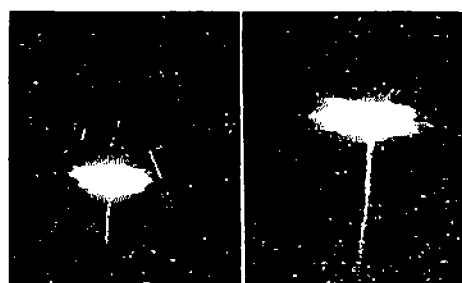
雷管のメタン試験では、雷管を鉄製容器内で発火させるので、メタンの着火源として雷管の爆発火焰、爆発に伴う管体の燃焼飛散粒子、管体破片がメタン槽壁に衝突した時に生ずる二次火花が考えられる。これらの着火源のうちメタン槽壁に起る二次火花を吸収させるために槽の内側にゴム板を貼り付け、その中で、各種管体材質の雷管を発火させた。槽内に於ける発光の時間的経過を銀—セシウム系光雷管を用いて追跡し、鉄製メタン槽内に於るそれぞれの発光特性と比較した。同時に雷管の発熱量についても測定を行なった。結果を総括し表2に示す。

昭和38年3月8日受理

* 福岡県北九州市若松区浅川 日本化薬折尾作業所

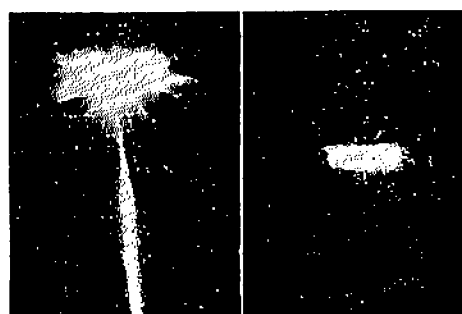
表 2. 管体材質による雷管発光特性

雷 管 の 種 類	発熱量 cal/本	(1) 爆発火焰		(2) 鉄製メタン槽 に於ける二次火花		(3) 管体破片による火花		(4) 着 火 率			
		持続時間	Peak	持続時間	Peak	一次火花	二次火花	鉄 槽 6号 17号	ゴム板槽 6号 7号		
6 号 銅 雷 管	1,190	400 μ sec	1.8V	900 μ sec	4.0V	きわめて弱い	弱 い	$\frac{2}{20}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{1}{3}$
6 号 鉄 雷 管	1,050	400~450	1.9	2,000	10.0	弱 い	強 い	$\frac{2}{20}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{3}$
6 号 アルミ雷管	2,550	1,500	7.8	3,200	38.5	強 い	きわめて強い	$\frac{20}{20}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{3}$	—
6 号 亜鉛雷管	—	400	1.7	2,000	6.0	弱 い	やや強い	$\frac{7}{10}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{0}{3}$	—
6 号プラスチック雷管	1,250	—	—	—	—	—	—	$\frac{0}{10}$	$\frac{3}{3}$	—	—



(1) Copper

(2) Iron



(3) Aluminium

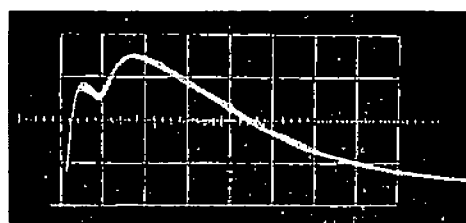
(4) Zinc

Fig. 1 Direct still photographs of explosion of No. 6 detonators with various shell materials.

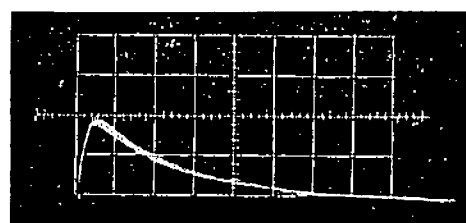
Thin-walled shell; 0.18mm, Charge; Tetryl 0.45g/D. D. N. P. 0.20g, Match-Head Type.

アルミ、亜鉛、鉄雷管は銅雷管と比較して著るしい 2 次火花を発生する。アルミ雷管の発熱量は非常に高いが鉄雷管の発熱量は銅雷管と変わらない。鉄雷管と銅雷管のメタン着火率は鉄製容器でもゴム板容器でも大差なく、鉄の二次火花は直接の着火源になり得ないと考えられる。亜鉛雷管についてはゴム板の容器では着火が起らないので、着火の原因の多くは管体破片と鉄槽の壁との二次火花に起因するものと推定される。

管体材質による雷管の爆発現象の差異を更に詳細に知るために、植村式 M. L. D-2 型高速度カメラ（撮影速度 10 万~13 万コマ/sec）を使用して観察した。本文にはその撮影例として特にアルミ雷管のシュリーレン写真を Fig. 3 に示したが、他の管体材質につい



(1) in iron chamber



(2) in rubber chamber

Fig. 2 Oscilloscope traces of the explosion luminosity and secondary spark caused by shell fragments from detonators, taken with 100 μ sec/cm. (1) in Iron chamber, (2) in Rubber chamber.

ても同一の撮影条件で観察し（写真省略）、それぞれの爆発現象を比較しその特徴を下記に要約する。

(1) シュリーレン写真に現れた銅雷管は管体の燃焼による発光も槽の壁面に於る銅の破片と鉄板の衝突による 2 次火花も非常に強く観察出来ない。

(2) 鉄雷管では 2 次火花が観察されたが発光が弱く、一方爆発による発光体（Shock wave による発光）の拡がる速度、衝撃波の分離点、型、爆発ガスの膨脹速度等はいづれも銅雷管の爆発現象と殆んど変わらない。

(3) アルミニウム雷管では Fig. 3（但し陰画）に見られる如く、管体破片の底方向の飛散に伴って燃焼が観察される。爆発後 50 μ sec 経過すると破片の先端部はメタン槽に衝突しそこでも著るしい 2 次火花を引起す。この発光時間は数 msec もある。一方横方向に方けるメタン槽側面の 2 次火花は爆発後 70 μ sec に起り、底方向の持続時間に比べてやや短かく 1 msec 以

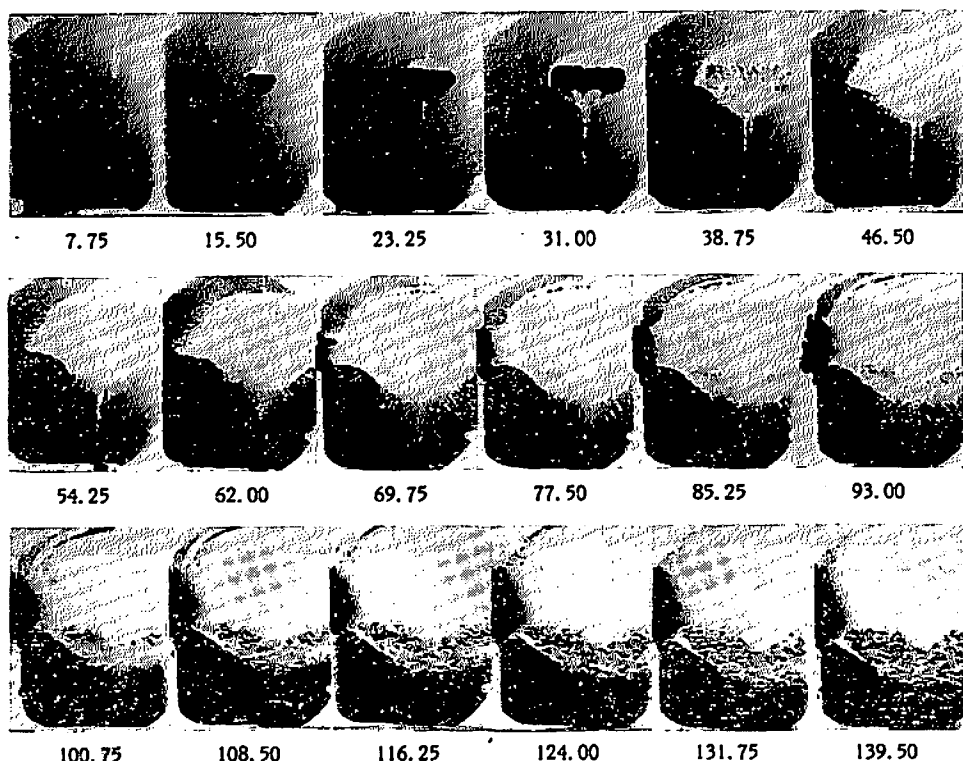


Fig. 3 The explosion phenomenon of the aluminium detonator in an iron chamber. (interval between frames; $7\mu\text{sec}$.)

上持続する。爆発火焰の発光は主に底方向に集中している。衝撃波の速度、分層、ガスの膨脹速度は銅雷管とあまり変わらないが銅雷管で見られるような明瞭なる球状発光は観察されなかった。

(4) 亜鉛管体は鉄雷管と似ており 2 次火花の密集度はアルミ雷管ほど大きくない。爆発現象は銅及び鉄雷管と同じである。

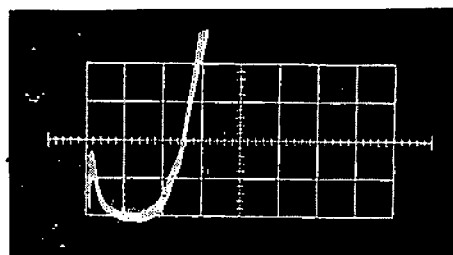
(5) 合成樹脂管体としてデルリン厚肉雷管の爆発現象を撮影したが、衝撃波による発光（銅雷管で見られる球状の発光現象）は観察されなかった。管体破片の飛散に伴う燃焼はかなり強いが、壁の衝突による 2 次発光は非常に弱い。衝撃波の型は横方向より底方向の速度が速く、衝撃波が爆発ガスと分離する前に底方向に到達する。これは管体の密閉強度が底方向に弱いことを示している。2 次火花は生じない。

次に $30 \times 30 \times 40\text{cm}$ の鉄製メタン相内にメタンガスを 9.0% 混入し、各種の雷管を発火させ、メタン燃焼の時間的変化をシンクロスコープに記録した。Fig. 4 に見られる如く、銅と鉄雷管では同じような発光の様子を示すが、アルミ及び亜鉛雷管ではメタン燃焼の発達の過程で発光が途中で弱くなる現象が見られない。

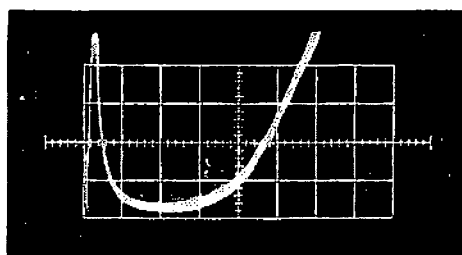
考 察

吉田、赤羽氏等⁹⁾は雷管のメタン着火率に及ぼす金属板の影響について検討した結果、軽金属の金属板では銅雷管の破片や Shock wave の衝突によって多量の 2 次火花が生じ、これが直接の着火源となり得るが、鉄板では著しい 2 次火花が生ずるにも拘らず着火源にならないと報告している。我々の実験のように金属板が鉄板で、雷管管体の材質を変えた場合にはメタンの着火源として鉄板に衝突した 2 次火花の他に管体破片自身の燃焼による高熱粒子が加わり、実験結果から見られる如く、アルミ雷管の場合には鉄板の衝突による 2 次火花の他に破片自身の燃焼粒子の燃焼温度も高く、いづれもメタンの着火源となっているが、亜鉛雷管の場合にはゴム板の容器内でメタンに着火しないことから、着火は主として鉄板と亜鉛体破片の衝突による 2 次火花によって引起されるものと推定され、軽金属と鉄板との衝突による 2 次火花は吉田⁹⁾氏等の述べた如く、きわめて危険であるものと推定される。

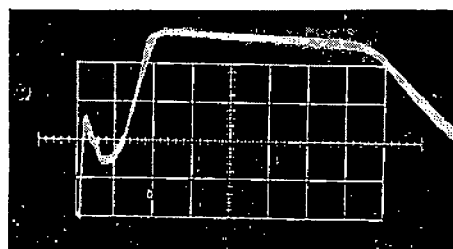
鉄雷管では 2 次火花が観察されるにも拘らず銅雷管とメタンに対する着火性が同じであることについて考察する。H. Titman 氏⁹⁾の報告によれば、鉄と鉄と



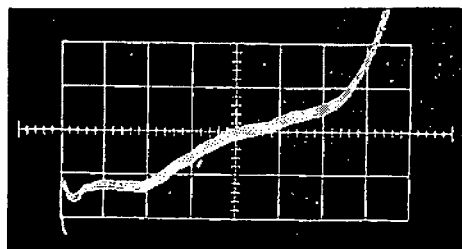
(1)



(2)

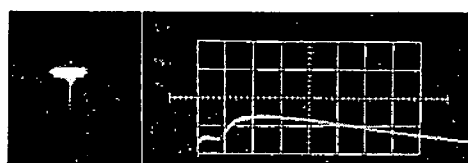


(3)

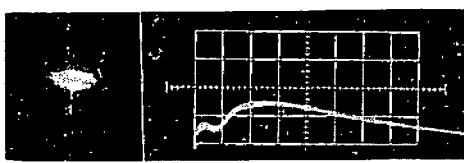


(4)

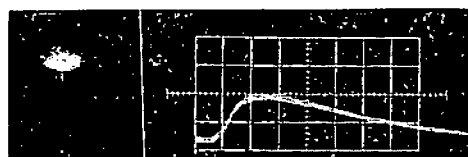
Fig. 4 Oscilloscope traces showing the ignition of 9% Methane-Air mixture by No. 6. detonator with various shell materials; (1) Copper, (2) Iron, (3) Aluminium, (4) Zinc.



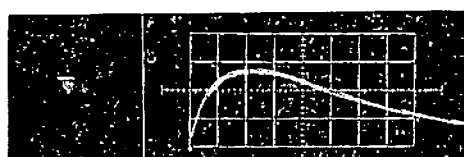
(1) 0.18 thickness, Standard detonator



(2) 0.18 thickness, 0.60g base-charge



(3) 0.25 thickness, 0.60g base-charge.



(4) 0.40 thickness, 0.60 base-charge.

Fig. 5 Oscilloscope traces of the explosion luminosities and secondary sparks caused by various thick-walled detonators in an iron camber with air, taken with $100\mu\text{sec/cm}$. Note. (1) 0.18mm thickness standard detonator with 0.45g of base charge. (2)~(4); 0.18, 0.25, and 0.40mm with 0.60g of base charge respectively

の摩擦による2次火花は緩慢なる酸化粒子であり、火花の密集度は非常に散布的であると述べている。シュリーレン写真では軽金属の場合に比較して鉄の2次火花は弱く写り、雷管の爆発熱量も銅雷管と変わらないことから管体の燃焼温度も低く、密集度も小さいものと考えられ着火の原因になり得ないであろう。このことは香月氏¹⁰⁾の結論と一致している。従つて鉄雷管のメタンに対する着火性を支配するものは銅雷管と同じ

く爆発火焰である。

2. 管体肉厚のメタン着火率に及ぼす影響 爆発火焰面積と着火率の関係

銅雷管の場合、市販されている雷管の肉厚は0.18~0.30mmのものが多く、管体の肉厚は雷管の威力にも関係し、肉厚が厚くなれば、爆発の際の御動量が大きくなると考えられるが、肉厚があまり大きくなると管体破壊のために多量のエネルギーが消費され、管体

表 3. 管体厚肉と雷管威力発熱量
 火焰面積着火率の関係

雷管の 種 類	雷管威力 (砂試験)	発 熱 量 n=2 cal/本	火焰面積 cm ²	着火率
銅 標準雷管 肉 厚 0.18m/m	砂の破砕量 95cc	1,150 1,200 } 1,175	77	4/20
厚肉雷管 (0.25m/m)	95cc	1,263 1,248 } 1,256	57	0/20
厚肉雷管 (0.30m/m)	94cc	— —	36	0/20
厚肉雷管 0.40m/m	95cc	1,288 1,310 } 1,299	12	0/20

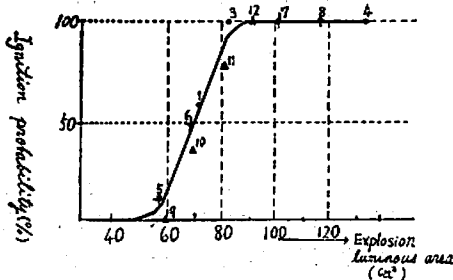


Fig. 6 Correlation between ignition probabilities of 9% Methane-Air mixture and luminous area of various thick-walled detonators.

Note. ● ; 0.18mm, ● ; 0.25mm, ▲ ; 0.30mm.

表 4. 管体内厚と威力, 火焰面積,
 着火率の関係

肉厚水準	添装薬量水準	着火率	空气中に於る 爆発火焰面積
肉 厚 0.18 mm	1. Tetryl 0.45g	0/5	46.0cm ²
	2. " 0.50g	—	—
	3. " 0.60g	3/5	80.4
	4. " 0.90g	3/5	127.0
肉 厚 0.25 mm	5. Tetryl 0.60g	1/10	56.6
	6. " 0.80g	3/6	63.2
	7. " 1.00g	3/3	102.0
	8. " 1.20g	3/3	117.4
肉 厚 0.30 mm	9. Tetryl 0.60g	0/8	—
	10. " 0.80g	3/8	69.2
	11. " 0.90g	6/8	81.9
	12. " 1.00g	8/8	87.6

起爆薬は D. D. N. P. 0.2g

破片の運動エネルギーに吸収されるため爆発火焰, 衝撃波の速度は小さくなることが予想される。この実験では肉厚を 0.18~0.40mm まで変化し, 雷管の威力, 爆発熱量, 火焰の大きさとメタン着火率の関係を求めたものである。実験結果を表3に示す。この表から判るように, 雷管の砂試験で測定した威力は肉厚によつて変化なく, 発熱量も肉厚によつてあまり変化なく, 一方雷管の爆発火焰の大きさ(静止写真で撮影したものをプランメーターで面積を測定した値)は表3に見られる如く厚肉雷管ほど小さくなり 0.40mm の厚肉雷管では 0.18mm の標準雷管の約 1/3 になる。一方光電管を用いてメタン槽壁に起る2次火花の光量と持続時間を測定した値は管体の肉厚が増すに従つて却つて大きくなる。管体の材質が同じで, 添装薬量が同一量ならば, メタン着火率は爆発火焰の大きさのみと相関性を有する。

次に肉厚の水準と同時に添装薬量の水準を肉厚に応じて夫々変化し, 着火率と爆発火焰面積の関係を追試した結果を表4に示す。着火率は火焰面積と著しい相関を示す。即ち火焰の大きさが同じであれば, 肉厚の厚い雷管は装填薬量が多くても, 薄肉雷管で装填薬量が少ない場合と同程度の着火率を示している。Tetryl/D. D. N. P 雷管では火焰面積が 78cm² 以上で 100%, 55cm² 以下で 0% の着火率を示す。このことから肉厚が厚くなれば, その中に装填する添装薬量が多くても, 火焰面積が 55cm² 以下ならば, メタンに安全な雷管を製造出来ると言える。

爆発火焰, 爆発生成ガスの分析

雷管のメタン着火率は雷管の爆発火焰の大きさとのみ相関を有することが前項の実験で明らかとなつたが肉厚を増すと火焰が小さくなる現象について爆発最終生成ガスの分析を行なうことによって更に検討を加えた。

瞬発電氣雷管を空气中と窒素ガス中で爆発し, 爆発火焰の大きさを比較し, 更に常温, 常圧の密閉容器の中で爆発し, その発生ガスをガスクロにより分析した。表5にその結果を示す。

薄肉雷管と比較して厚肉雷管は空気と N₂ ガス中に於ける爆発火焰面積の差は小さく, 同時に H₂ CO 等の可燃性物質は少なくなっている。この実験結果より爆発火焰の発光は装填薬の酸素の他に空气中の酸素にも関係するものと考えられる。C. H. Johansson¹¹⁾ 氏の報告に依れば, 爆発火焰の大部分は爆発未燃焼物質と空气中の酸素との反応による2次火焰であると言われていることから爆発の際に放出される可燃性物質が少くなれば当然火焰面積も小さくなると推定される。

表 5. 爆 発 生 成 ガ ス の 分 析

雷管の種類	①空気中の 火焰 cm ²	②窒素ガス 中の火焰 cm ²	①—②	全 発 生 ガ ス 量 [A] cc	最 終 ガ ス 分 析							
					H ₂ %	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂ O*	[O]**
厚肉雷管	33.4	13.2	20.2	548	4.4	9.0	35.5	微量	10.2	7.0	33	[+]
薄肉雷管	100.10	33.5	68.5	555	12.0	1.5	36.0	"	17.0	19.0	13~15	[-]

Tetryl 0.45g/D. D. N. P 0.20g 容器の大きさ V₀=246cc* H₂O は total gas volume よりの差** [O] は空気の酸素量の過不足を $[O_2] = \frac{100 \times \{ [O_2] A + 0.2 V_0 \}}{V_0 + A}$ より求めた。

考 察

N. Rosinski⁴⁾ 氏の報告によれば厚肉雷管がメタンに安全な理由として、爆発エネルギーが管体の破壊エネルギーに消費されるため、外部に対する熱エネルギーはそれだけ小さくなることを述べている。これを確認するために、植村式 M. L. D-2 型カメラを使用して薄肉雷管と厚肉雷管 (Tetryl 0.60g/D.D.N.P 0.2g 肉厚 0.30mm) の爆発現象を撮影し、雷管から放出される衝撃波の速度、発光持続時間、爆発ガス放出速度を測定し比較を行なったものが表 6 である。厚肉雷管の爆発によって生ずる球状発光体の持続時間は同一量の添装薬を装填した薄肉 (0.18mm) 雷管と比較して短かく、爆発後 100μsec の衝撃波速度も小さい値を示していることから、外部に放出されるエネルギーは

かなり小さくなっているものと推定される。従つて外部に対する熱エネルギーは大部分管体の破壊エネルギーと破片の運動のエネルギーに吸収されるためメタンに接触する火焰の温度は低くなり一層メタンに着火し難い状態になるものと考えられる。爆発火焰が小さくなることにより火焰と接するメタン空気混合物の空間は小さくなり、その持続時間も短かく、(前報参照) 同時にその温度も低くなることから厚肉雷管はメタンに安全となる。

井田氏¹³⁾の報告によれば、管体の肉厚を厚くしても雷管の総合的威力は変わらないと述べているが、厚肉雷管では管体破片の運動のエネルギーは増加する反面、火焰の熱的エネルギーは小さくなり雷管の威力はメタン着火率と直接の相関はないことも明らかである。

表 6. 爆 発 現 象 の 比 較

雷管の種類	爆発後 50μsec に於ける 衝撃波前面位置		自 発 光 持 続 時 間 (shock wave) μs	衝撃波とガスの分界面 μsec	爆発後 100μsec の衝撃波速度 m/sec	平 均 着火率
	底方向 cm	側面方向 cm				
薄肉 7 号 雷 管	7.4 (速度 920m/sec)	9.4 (1,083)	53	45	657	18/20
厚肉 7 号 雷 管	9.0 (871m/sec)	8.1 (1,161)	32	48	435	9/20

結 語

これまでの結果を総括すると、管体材質に関しては鉄雷管と銅雷管とでメタン着火性に差はなく、メタン槽周辺に起る鉄の火花もその密集度が小さいので直接引火の原因にはならないが、亜金風の雷管では管体の燃焼粒子や壁の衝突による次 2 火花の着火の危険性がある。

管体の肉厚による着火性は雷管の爆発火焰の大きさと相関があり同時に爆発火焰の持続時間も短かくその温度も低いと考えられるので、着火率は減少する。管体の肉厚を厚くすると、雷管の威力を弱めることなく安全な雷管を製造することが可能である。

メタン着火率に及ぼす雷管製造構成要因として本報告では管体の材質と肉厚の影響について述べたが、雷管の装填薬以外の要因としてかなり重要な因子であることが判明した。この点は装填薬の量、添加物によって支配される爆薬のメタン着火性と異なる所である。

謝 辞

本研究は東京大学工学部生産技術研究所植村研究室並に九州工業大学爆発物教室諸氏の協力を得て行なったものでありここに感謝の意を表する。またこの研究に関して、日本化薬株式会社社尾尾作業所次長木下四郎および同所研究課石川正治、空地公二、中原正二、諸氏の指導を戴いたことをあわせて感謝いたします。

文 献

- 1) 植村, 木下, 中原, 山本; 工火協誌, 23, (5) 229 (1962)
- 2) O. A. J. Gurton, I. O. Lewis; B. P. 787346 (1957)
- 3) H. Elsner, F. Habbel; D. P. 389575 (1953)
- 4) N. Rosinski; Безопасность труда Влром 3, (10) 30~31 (1959)
- 5) E. Wehner; 7th International Conference of Directors of Safety in Mines Research, Paper No. 12 (1952)
- 6) J. Norres; D. A. S. 1014902 (1957), C. Z. 8519 (1958)
- 7) H. A. Lewis; U. S. P. 18788498 (1932)
- 8) 吉田, 赤羽; 探鉱と保安, 6, (11) 13 (1960)
- 9) H. Titman, H. A. Wynn; 8th International Conference of Directors of Safety in Mines Research. Paper. No. 90 (1954)
- 10) 香月, 古閑; 探鉱と保安, 6, (3) 1 (1960)
- 11) C. H. Johansson; Explosivstoffe 9, (8) 165 (1961)
- 12) 井田一夫; 工火協誌, 22, (4) 179 (1961)

The Mechanism of the Ignition of Methane-Air Mixture by Electric Detonators. (2)

Effects of construction materials and characteristics
of an electric detonator on the incendivity to
Methane-Air mixture; (part. 1)

by K. Yamamoto and T. Isotani.*

An attempt has been made in the present paper to describe the effects of the material and thickness of detonator shell on the ignition probabilities of 9% methane-air mixture.

1) Effect of shell material. Ignition of methane-air mixture by brilliant secondary flashes from light metal shells such as Aluminium and Zinc owing to an impact on iron plates of the chamber, were probably caused by a rapid combustion of small particles from detonator shells. Secondary flash was also observed with the iron shell fragments, but it did not seem to ignite the methane-air mixture. The intensity and density of these particles were much less than that of the aluminium detonator. (observed with M. L. D. 2 type High Speed Camera.) It makes little difference in the incendivity between copper and iron detonators.

2) Effect of the wall-thickness of the shell. The still photographs of detonators with various wall-thickness (0.18—0.40 mm) indicated that the explosion flames decreased remarkably with increasing wall-thickness, and that the ignition probability related to only primary explosion luminosity. It was found from the photocell records that intensities of secondary flashes caused by spark from copper shell fragments seem to be slightly increased when the wall-thickness increased. On the other hand the velocity of shock wave and gas production may be reduced with increasing thickness of detonators. (from M. L. D. 2 High Speed Camera.)

A considerable cost reduction in the manufacture of electric detonators will be attained by further technical and constructional improvements of the shell.