

静止写真による工業用電気雷管爆発の研究

(昭和32年5月11日 受理)

水島容二郎

(東京工業試験所第7部)

はしがき

工業用雷管はダイナマイト等の起爆に必須のもので大量に消費されているが、その爆発機構等については従来直接的の解明がなく推測に止まっていた。簡単な写真撮影装置を主として使用してその爆発状況を撮影することにより爆発機構について若干の知見を得ることができたので発表する。従来雷管の爆発写真は2, 3の発表例があるが何れも短焦点レンズによるものらしく、只一塊の火焰像が得られているのみで何等構造が認められていない。

尚本実験は多くは静止写真に止まるので撮影されたものは時間的に重なつたものであるから解釈の際はその事を常に念頭に置く必要がある。

実験経過と検討

使用雷管は6号瞬発電気雷管を主として導火線用雷管を一部使用した。爆発は常に完全暗室になし得る地下室で行つた。長さ10m 直径2m のヒューム管を主体にした隧道であつて実験者が内部にあつて最大薬量10gまで爆発実験可能である。観測測定位置より爆発方向を撮影したものを図1に示す。

この隧道の遠い端又は中途で雷管を水平鉄棒に吊り下げ、ピントを合わせ撮影直ちに消灯そのまま爆発させて再び撮影する。主として使用したのは望遠レンズ

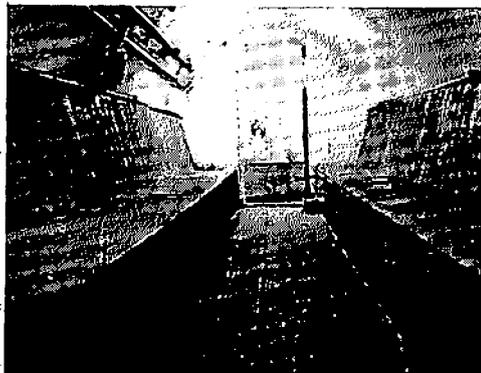


図 1

($f=600\text{mm}$ $F=5$ 色消2枚玉)。ミラーボックス及びライカ型カメラを手製で組立結合した写真機で、暗黒時にはタイムで使用する。

暗視野に於て延電爆発の際自発光を撮影するに、その間の発光体の移動は当然撮影されるが、本体の位置の移動について検討するために長さ15cmのペントリット導線線を附して(図2)爆発させると図3となる。

雷管脚線及び導線線の本体は、発光時間内は移動していないのが判る。今後示す多くの写真に於ても脚線の位置が動いていないことを認めることが出来る。

次に雷管の脚線を頭部で90°に曲げて(図4)爆発させると図5が得られる。中央部に雷管が裂けている様子が強い強い発光部を背景として表われ、カラー写真では黄色である。その外側は弱い放射状光芒が点对称的に拡がっている。カラー写真では赤色である。水平位置より30°下向きにすると(図6)光輝部と弱い放射状光芒が分離して来る(図7)。

更に30°直立すると(図8, 9)光輝は略2部に区別でき、放射状光芒は中央部が稍暗い。尚管体の破壊状況が判然としている。少くも上部光輝発光時間には管体上部の裂片部は大して移動していないが管体中央部と下部の裂片は、該当部分の発光前に既に速く離れているか、又は移動中であつて写らないことがこれ迄の写真より結論される。図10, 11は垂直位置であるので管体破片がレンズを傷つけるのを恐れてメタアクリル防護板を使用したので稍ピントが悪いが、3部に区別でき縦方向に暗い割目がある。上部と中部にはその強い光輝の外に放射状でない弱いガス状発光が認められる。

図12, 13は管底を手前へ曲げたもので管底部は暗く全体の光輝はここを頂点とした凹形で其の外管底方向に1本の光芒とそれを取巻く傘状の小光芒塊が認められる。これは凹形管底辺の飛行方向である。上部中部の光輝は遮ぎられて僅かに透過して見えている。従つて下部光芒形成自体又は時間に別かも判らぬが、光芒

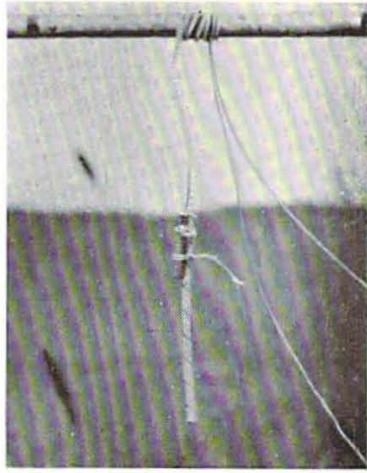


図 2



図 3

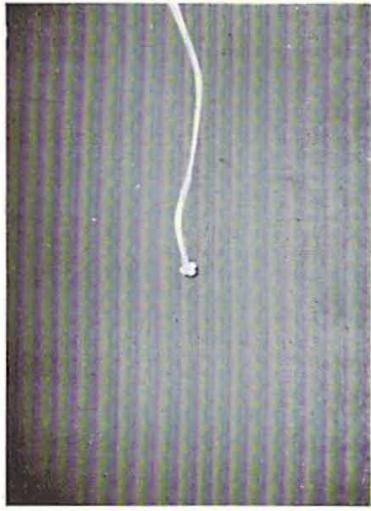


図 4

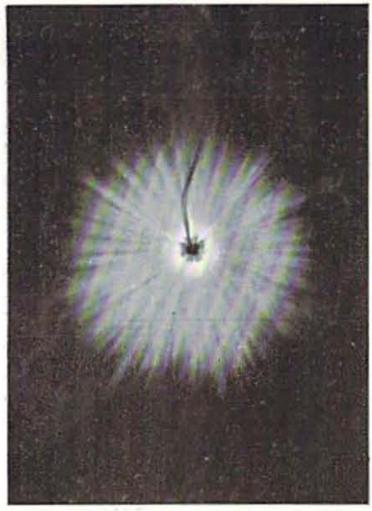


図 5

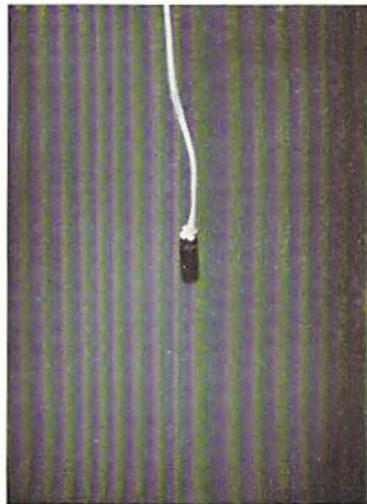


図 6



図 7

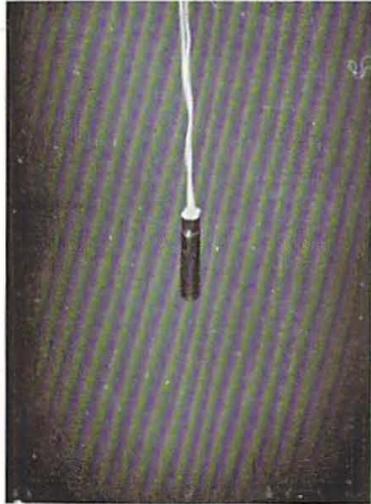


図 8



図 9



図 10



図 14

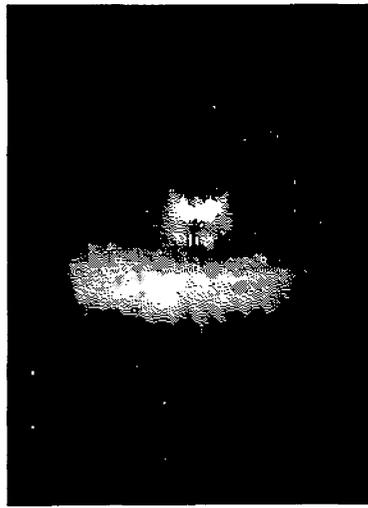


図 11

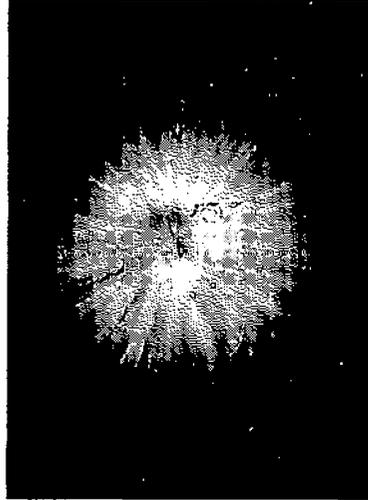


図 15

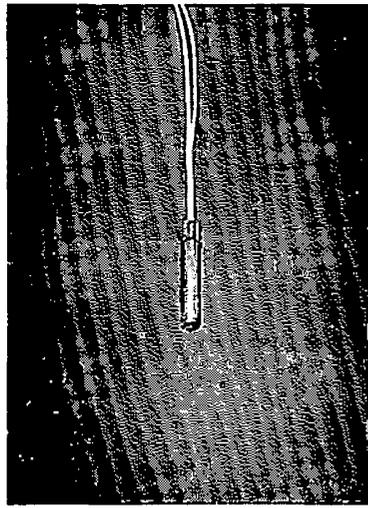


図 12

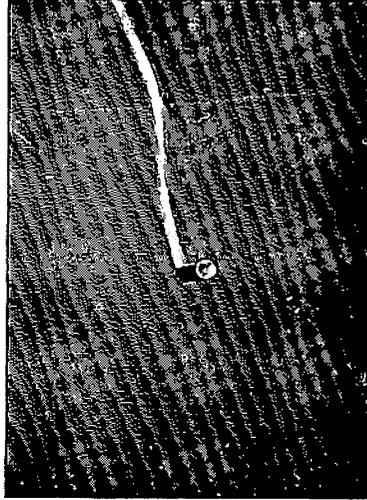


図 16

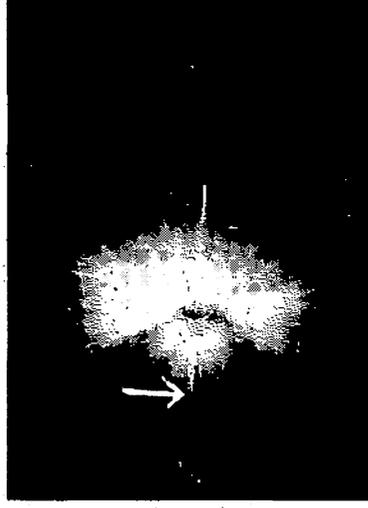


図 13

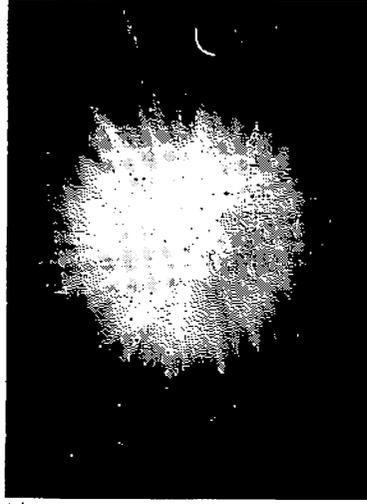


図 17



図 18



図 21

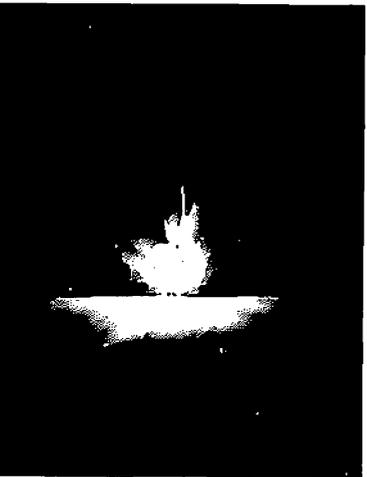


図 19

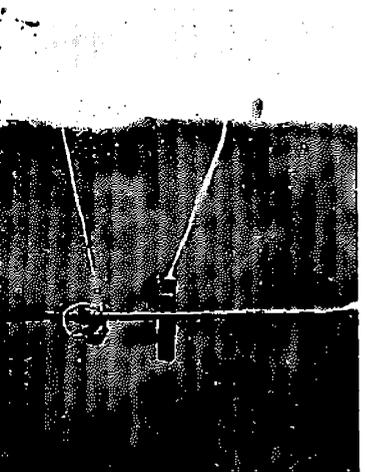


図 22

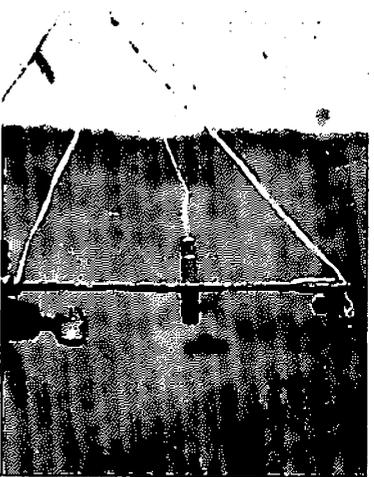


図 20

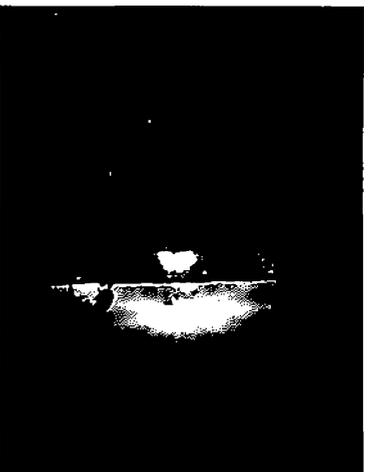


図 23

部分が露出している透明体があるわけである。

更に図15、16は水平より30°下向きであるが放射状電管は既に殆んど円状で中央部は粗面。上部中部の半環は全く見えない。

図16、17は殆んど正面に近いが、管壁破片の直撃を避けるために、斜方向を穿ちた。且保護板を用いているのでピントはよくないが、略略等に放射状に光芒が拡散している。各半管は中心より外辺まで連続している。恰も明るい楕円状の固体粒子が直線的に飛散しているかの如くである。ここでも亦中心近くは暗い輪

状部分が認められる。これは管底方向の引出体が蒸気収束となると考えられる説明がつく。

以上の発光部は略3部に区別できることが判るが、その内、何れか自発光でなく、放射によるものがある否かを確かめるために図18→23に電管を、夫々の深さまで厚2mm 鋼板の穿孔に通し、燃発した所を示すから何れも自発光であること、及び固体粒子があるとこれに沿つて繊維の増大が認められる。

これらでは発火は連続によるので、点火圧→起爆薬→添装薬の順に反応が進行することは明であるが、そ



図 24



図 27



図 25

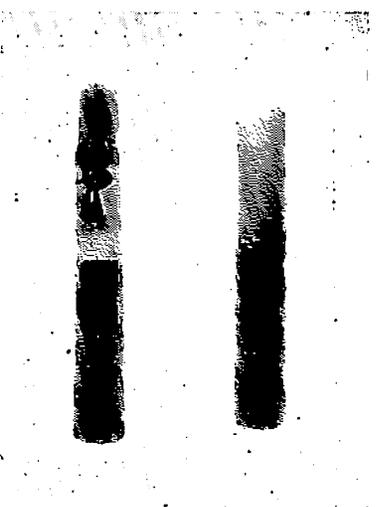


図 28

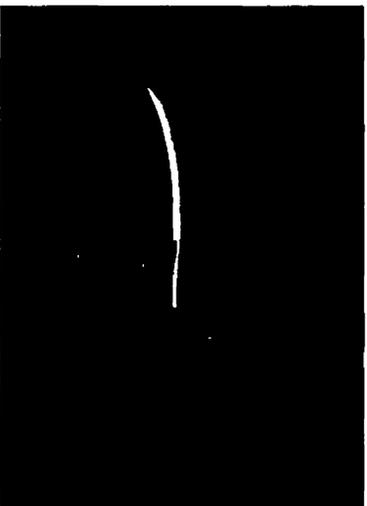


図 26



図 29

うでないときにも同じ火花像を与えるか否かを確かめるために図24、25の如く二本並べて有脚の銅管とした所、右側は産生通りの像を与えるが、左側の無脚雷管は全く異なり不規則の像を示す。尚この際銅線がはね上げられているのが認められるが、これは発火時の第2の発火は稍遅れることより起きている。

再火線を使用する6号工業用雷管の爆発(図26、27)の如くであり発火は3部で分離してないことが認められる。これはその構造と関係があると考えられる。

電気雷管の構造は周知の如く、点火玉、起爆薬、添装

薬よりなっているが、再火線用雷管の点火玉を大きく、これを純銅製の真鍮管に作り、材料純度、40KV、1cmA、5min、Alumun 厚0.7mm、長さ1.5cm、富士X線フィルム100番、D72現像の条件を得たもので火花部は火線の存在のため特にX線を妨げることが判る。次に図29を得景を明るくして爆発させると、自発火の部はポイント状に固いが、X線の真と比較すると、発火部は、点火玉及びその上方、起爆薬の上部分付近、添装薬の側方空間が発火していることが判る。

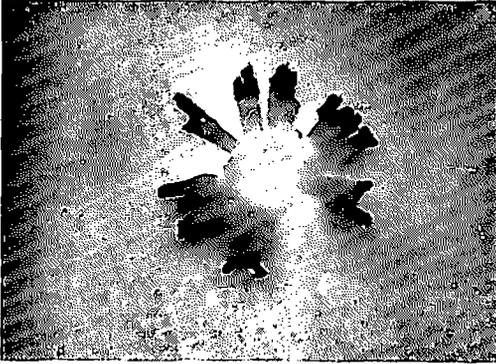


図 30

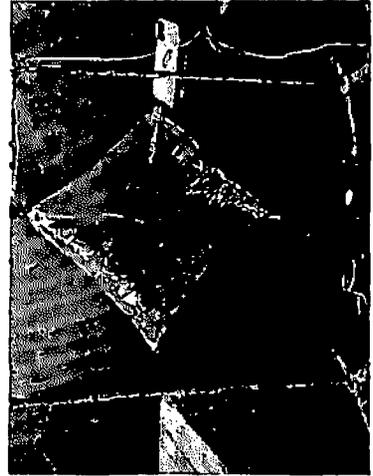


図 33

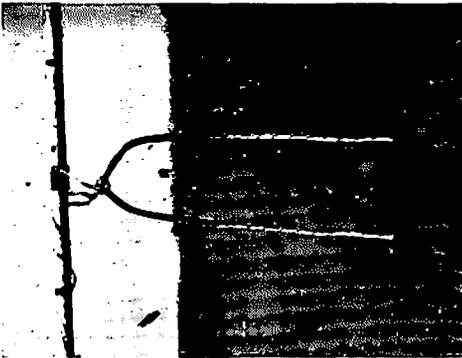


図 31



図 34

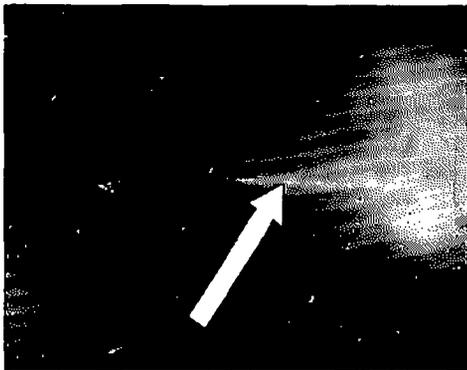


図 32

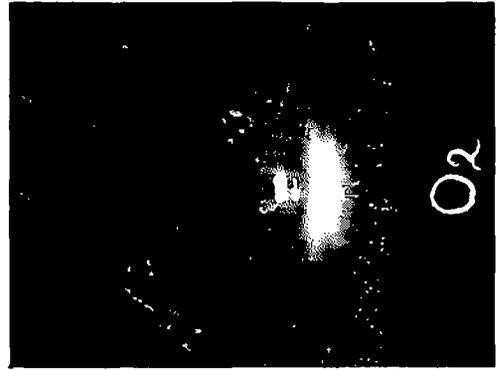


図 35

以上の結果を総合して考えるに

(1) 上部の光は点火玉に起因する。発着時期が添装薬の爆発より遅れていることは、図4に見えるが図17には表われないことである。銅管体の割目から光っている。点火玉であるから爆轟よりは燃焼的と推測される。導火線雷管でこの部分が認められないことも説明できる。

(2) 中部の光は起爆薬より発する。管体の割目より光かっていることは(1)と同じであるが、主に起爆薬の上面附近が強く発光している。雷管は初燃焼をするから、塩素との混合物も同様と考えれば、(3)とは異なり管体内部で強く光るのが撮影されることが説明できる。導火線雷管ではこの部分が判然としていないが、X線写真に表われたように、構

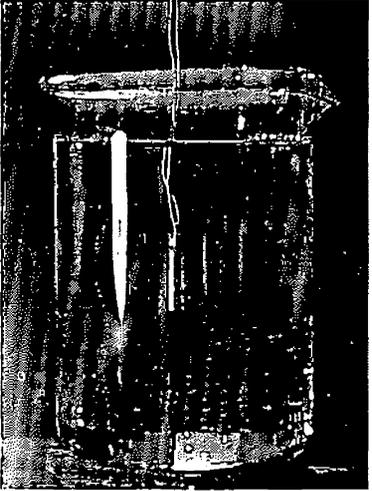


図 39



図 38



図 37

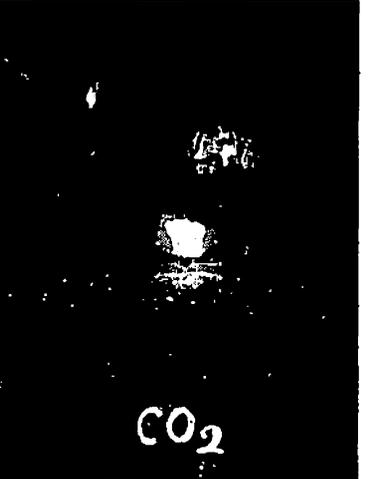


図 36

63



図 42

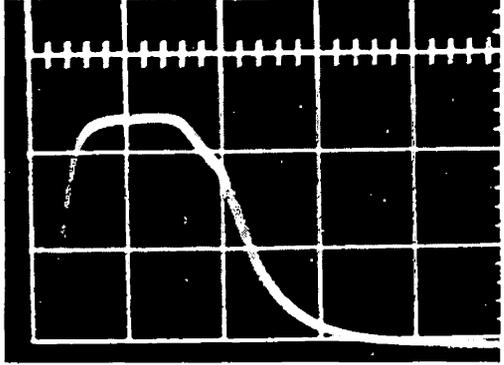


図 41

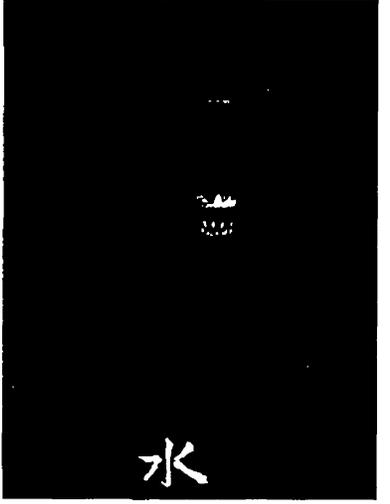


図 40

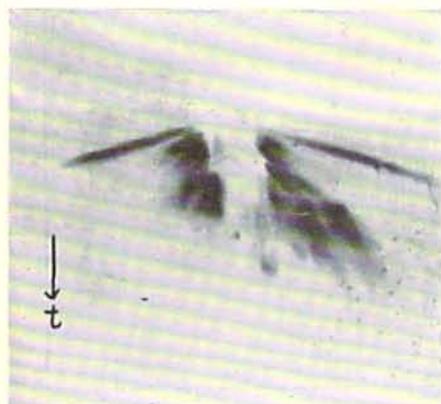


図 43



図 44

造的にも添装薬と位置を区別し難い。

(3) 下部の光は、添装薬によるので雷管の形は全く表われず、割目も見えず、周囲の空間に放射状に光芒がある。従つて銅管体の破壊後の発光である。これは又図5, 30に示すように残留する管体破片の位置と関係が認められ、従つてこれは管体破片の高速度飛行と密接な関係を持つ衝撃波の発光と認められる²⁾。注意すべき点は、時間的に重畳していること、自発光でないものは、丁度都合よく明るいもの前になければ存在が不明である等である。

此の推測乃至結論を更に確めるために次の実験を行った。まず空中で衝撃波乃至 Schwaden (高温高压の爆発生成ガスの高速流動) が発光を伴い得るか否かを見るために 図31の如く長さ 30cm 程度の2本の導爆線を1本の雷管で同時に爆発させると図32の如く中央部に光輝が見られる。導爆線の始端部に近い空間が発光しない理由は判然としなない。

次に図33の如くセロハンで空気枕の如き袋を作り内部に空気を入れて爆発させると図34の如くこれまで得られたものと変りないが、 O_2 , CO_2 , H_2 , Ar を夫々充填して爆発させると夫々図35~38の如くなり O_2 は空中の場合と大差なく比熱の大きい多原子分子 CO_2 中では下部光は弱く、高温で容易に崩壊する、 H_2 中では CO_2 と同様に弱く、一原子分子の Ar 中では著しく強い。以上の場合を通じて上部中部光は不変である。更に図39の如くピーカー内の水中に置くと図40の如く下部光は全く認められない。水中の衝撃波が発光しないことは既に知られている。上部中部光はこの場合も不変である。これらの実験により上部中部光は燃焼、下部光は衝撃波によることは確実となつた。

次に時間的経過を知るためにマツダ光電子増倍管

MS-9S の各中間電極に安定化した低インピータンスの 90V を加え出力を $10k\Omega$ の抵抗に通じ、その電圧降下を、単掃引シンクロスコープとして動作するよう切換調整した Tektronix Type-535 (相城市 DC~8Mc) の垂直入力端子へ導入すると図41のオッシュログラムが得られる。横の一目盛は $10\mu\text{sec}$ 縦の一目盛は 250c.p. に相当する。これはオプティカルベンチと電気試験所検定ランプにより校正した。

これで発光強度経過時間は判るが、空間的発光順序が不明であるから当部設計の回転ドラムカメラ (内円径長 45cm 12,000rpm) に $f=210\text{mm}$ $F=4.5$ のレンズを附して 35mm フィルム上に撮影すると図42~43を得た。雷管の軸に平行な方向と、直角方向よりスリットを用いて得たものである。各部の時間的経過は前記結論と一致している。

添装薬部の発光の側方への進行速度として 5,100m/s が得られる。

次に発光の性質を更に知るためにスペクトルを撮影した。使用分光器は当部設計のもので底辺 12cm SF_2 60° プリズム 3ヶ及カメラレンズに Xenar $f=400$ $F=3.5$ を使用した大型のもので、得られた写真は図44に示す。波長スケールは附してないが右方が赤紫左端は青緑色に相当する。写真の上部光は雷管の上部光中部光は雷管の中部光下部光は雷管の下部光である。

上部と中部光は連続スペクトルのみであり従つてここでは固体の熱輻射と考えられる。この場合 R. U. Wood³⁾ の認めた水銀は表われず固体の発光なることを示している。下部光は強い NaD 線を含んでいて、気体の発光と考えてよい。しかも D線は幅が拡大しているが、これは高温高压の場合ローレンツ効果と不

ラー効果等のために現われるので衝撃波による発光スペクトルとして説明する外はない。又トリル、ペントリットの空気燃焼スペクトルを撮影したがこれはCaO帯、NaD線よりなり連続スペクトルはあるとしても弱く、NaDは明瞭に2本に分離できるので雷管のそれとは全く異なる。

最後にペントリット導爆線に対する起爆試験を行った。上部発光部に相当する所、及び下部発光部に相当する所に直角に導爆線端面を接して且その雷管部分以外より起爆されぬよう厚い鉛板で防護して置いて起爆すると上部は起爆せず下部は起爆する。

総 括

工業用瞬発電気雷管の爆発光を主に静止望遠写真により又X線写真、回転ドラム写真、分光写真をも利用しその爆発機構を検討した。その結果発光の空間配置、時間的關係、起源、起爆力との關係が明になつ

た。即ちまず通電により点火玉が発火燃焼し次に起爆薬の面が燃焼ついで爆轟にうつり、添装薬が起爆する。その後添装薬部の管体が破壊し、その破片が高速で飛行しつつ発光する。殆んど同時に光吸収の強いガス状物質がこれに伴う。つぎに起爆薬部特にその上部及び点火玉部の管体が裂け長く発光が外より見える。この部は起爆力がない。それらの光輝の全発光継続時間、空間的大きさ等も明になつた。

文 献

- 1) J. E. Dolan J. App. Chem 5 215 (1955).
- 2) 衝撃波により気体が発光する例は
H. Muraour Rev. Optique 20 149 (1941).
H. Muraour Mém. Art. France 23 867 (49).
M. Birk Mém. Poudres 36 129 (1954).
H. E. Petschek J. Appl. Phys. 26 83 (1955).
- 3) R. W. Wood Proc. Roy. Soc. A 159 249 (1936).

Studies of Explosions of Industrial Electric Detonators by Still Camera

by Yojiro Mizushima

The explosions of detonators have been studied mainly by simple telephotographs. In spite of the simplicity of the apparatus used, much knowledge was obtained.

Since previous photographs of explosion of electric detonators did not show any structure owing to their shortness of focal length of objective, I used here the one of long focal length namely 600mm and of F. 5, and projected images on films mounted in a Leica.

Changing the tilt angle between the axis of detonator and the axis of objective, I was able to observe the cubic structure of the explosion flame of the detonator. Effects of the surrounding atmosphere on the brightness of explosion flame were also photographed substituting air by oxygen, carbon dioxide, argon, hydrogen and water. Results are as follows:—

Three parts are observed in one explo-

sion flame. The upper and middle parts appear later than does the lower part.

Since the upper and middle part are not affected by the kind of surrounding gases even by water, and show continuous spectra, they are due to self-combustion of solid. The lower part have appearances of radiation pencils of light, and its brightness increases greatly in argon, much reduced in carbon dioxide, and utterly quenched in water. This fact shows the light is due to the shock waves.

Only this part (booster charge) of detonator can initiate detonating fuse whose end is attached to the surface of detonator perpendicularly to its axis.

Duration of light emitted is ca. 30 μ sec. and its max. intensity reaches several hundreds of candle powers and its spectrum consists of continuous band and Na line much broadened.