

# エチレン爆ごう実験

塩田莞爾\*・赤羽周作\*・加藤真蔵\*・松田 正\*

## 1. まえがき

エチレングスは近代化学工業では最も多量に取扱われているものの一つであり、このガスの漏洩による爆発事故も生じている。この事故の中には爆ごうを生じたとみなされるものもある。ところがエチレンの空气中での爆ごうの特性はほとんど知られていない。この報告は、これらエチレングスの爆ごうにともなう各種の特性値について実測したので、その実測値について報告する。

またこの実験は、昭和44年度野外実験「エチレン爆ごう実験」と題して、岩手山ろくで通産省化学工業局と資源技術試験所（現公害資源研究所）との共催で行なわれた野外大型実験の基礎実験であり、野外実験の結果も一部含めて報告する。なお野外実験の詳細は、別に詳しい報告があるのでそれを参照されたい。したがって一部の項目について詳細に実験を行なうことよりも、多くの条件下でおうまかにデータを得ることを目的とした。このような事情で報告の型式を変え次の項目に大別し、それぞれについて検討までをまとめる型にした。

- (1) 鋼管中爆ごう実験
- (2) 空間爆ごう転移実験
- (3) 野外実験

## 2. 鋼管中爆ごう実験

この実験の目的は、エチレン-空気系の爆ごうの各種特性値を知ることおよび空間爆ごう転移実験の基礎データを得ることであつた。このため3インチの鋼管の一端で着火し、爆ごうに転移させた。このようにして得られたデータは、爆ごう圧力、爆ごう波伝ば速度、爆ごう誘導距離、爆ごう限界等であつた。

### 2-1 実験装置

用いた実験装置を Fig. 1 に示した。鋼管 ① の径は、出来れば工業上の実規模に近い実測値を得るためと、次の項目の空間爆ごう転移実験に出来るだけ大きな径のものを使用したいということから3インチ管を選んだ。なお、使用した鋼管の実測径は 80.4 mm で

あつた。また鋼管の素材は、普通ガス配管用のものをういたが、われわれの対象は初期条件が常圧であるので計算上の強度は充分なものと推定される。鋼管は両端フランジつきのもので、1, 2, 4, 5m のものを組合せ、全長約 12m と 27m の2系統のものについて試験した。

鋼管の出口側の一端にユニオン ② を取付けた。このユニオンは塩化ビニール膜 ③ で管を仮密閉するための媒体として用いたものである。塩化ビニール膜の厚さは 0.1 もしくは 0.2 mm で、普通は1枚、条件に応じて枚数を変えた。鋼管の他端は着火端で密閉にして用いた。

鋼管中のエチレンの濃度調整は次のようにして行なつた。まず、ブロワー ④ で鋼管中のガスを充分に新鮮な空気と置換した。ブロワーを駆動させながらエチ

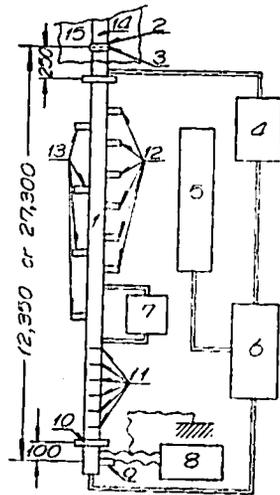


Fig. 1 Test apparatus

- |                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 1. 3 in pipe             | 9. Ignition plug    |
| 2. 3 in union            | 10. Isolator        |
| 3. P. V. C. sheet        | 11. Turbulentbar    |
| 4. Blower                | 12. Flame gauge     |
| 5. Ethylen cylinder      | 13. Pressure gauge  |
| 6. Premixing box         | 14. Decreasing pipe |
| 7. Ethylen gasmeter      | 15. P. V. C. house  |
| 8. 15 kV neontransformer |                     |

昭和45年8月28日受理

\* 公害資源研究所資源第4部 北区浮間 4-26

レンポンベ ⑤ を開き、予混合室 ⑥ にエチレンを入れる。予混合室には防爆型のかく挿用のファンがもうけてあり、あらかじめ充分空気と混合させなが鋼管に導入する。鋼管中のエチレン濃度は光干渉型濃度計により測定した。

混合ガスの着火源は、2次側電圧 15 kV のネオントランス ⑦ の出力を、着火端に取り付けた自動車用の点火プラグ ⑧ に導入した強力な電気スパーク源である。このスパーク源による測定端子への雑音信号を抑制するために、着火端と本鋼管の間に絶縁用具 ⑩ を必要とした。

鋼管本体にはおのおの 40 cm 間隔で 1/2 インチ径圧力測定用孔 ⑪ を全長にわたって備え、また同様に 40 cm 間隔で 18 mm 径火炎速度測定用孔 ⑫, ⑬ を全長にわたり備えた。各測定子の位置は実験条件により変えた。

用いた圧力変換器は、ストレンゲージ式のものと同半導体膜式のもの 2 種である。前者は主として鋼管長 12m のものに、後者は 27m のものに用いた。ストレンゲージ式ものはエンジン指圧計と線する新興通信 K. K. 製 MP 50, MP 100 および共和電業 K. K. 製 PGH 50 系統のものを主として用いた。この指圧計の固有振動数は 20~50 KHz. のもので、これより得た信号を応答周波数 2 KHz. の動歪測定器を通して電磁オシログラフに記録した。半導体ものは固有振動数約 60 KHz. であり、10 KHz. の直流増幅器を通り電磁オシログラフに記録した。電磁オシログラフの振動子は、固有振動数 2.5 もしくは 7 KHz. を用い、記録速度 100 cm/sec で記録した時間分解能はほぼ 1 ms である。

火炎伝ば速度は、シリコンフォトセルを用いた光学式火炎検出素子とイオンギャップ式火炎検出素子を用い、2点間の平均火炎伝ば速度を求めた。シリコンフォトセルのものは火炎の存在している間は信号を発生するものであるが、イオンギャップによるものは火炎到着時のみにパルス信号を発生するタイプである。後者は燃焼火炎を対象とし、ギャップ間電圧 6 V, 作動時のギャップ間抵抗値 2 MΩ として設計されたもので、イオンギャップは 5 cm 長の針金を 2 本平行に並らべ管中につき出してのものであった。このため鋼管の着火端側の火炎速度測定孔 ⑫ に用いた。これは後述するように爆ごう誘導距離を短縮させる乱し棒の働きをしたため仮乱し棒と以後名付る。

仮乱し棒の効果が確認されたので、27m 長の実験では鋼管の内部に直径方向に渡した乱し棒を取付けることにした。径 2 mm の鉄棒を直径方向に溶接し、各 20 cm 間隔で 4 m の区間にわたり設置した。乱し

棒はなるべくランダムな乱し方を与えるべくそれぞれ位置をずらした。

鋼管の出口端は、12m 長のとき必要に応じてビニール容器 ⑭ を取付けて次項の爆ごう転移実験を行なった。また 27m のさいには同じ径の鋼管を取付けて、衝げき波の感衰管 ⑮ の役目を持たせたと、爆ごうを生じた時は非常に有効に働いた。

この実験系統に用いたエチレンガスは工業用のものでエチレン 95% 以上であつた。

## 2-2 実験結果

### a) 爆ごう圧力と火炎伝ば速度

この実験の最初の目的は、エチレン-空気系で爆ごうを生じうるものかどうかを調らべることであつた。そのため最も爆ごうを生じやすい装置としてパイプ中爆ごうを選んだわけである。そして爆ごうしたか否かの判定は、得られた圧力オシログラムからその圧力の大きさと圧力波の伝ば速度およびオシログラムの型から判定した。補助的に火炎の伝ば速度からも判定した。いずれの方法を取つてもその判定は比較的容易であつた。また実験的には、ユニオン部に取付けたビニール膜の破れ方で確実に判定が可能であつた。爆ごうしたものは鋼管の内径できれいに打抜かれた形状を呈し、そうでないものは如何に強烈であつてもビニール膜の一部が引き裂かれた状態であつた (Fig. 2 参照)。

火炎伝ば速度は、各火炎測点の信号の立上り始めた時間差とあらかじめ測定しておいた各測点間の距離とから計算した平均火炎伝ば速度によつた。圧力測点間についても圧力オシログラムの立上り始めた点から同様に平均圧力伝ば速度を求めた。爆ごうしたところでは火炎と圧力による速度との間に差は認められなかつた。伝ば速度は、距離測定とさらに主として時間測定の有効桁数から 1 割程度の誤差は充分見込まれるものである。

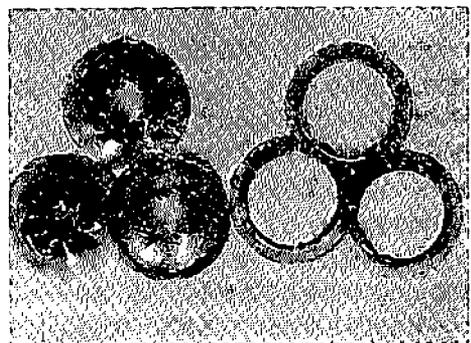


Fig. 2 Ruptur performance of P. V. C. sheet

Left : deflagration  
Right : detonation

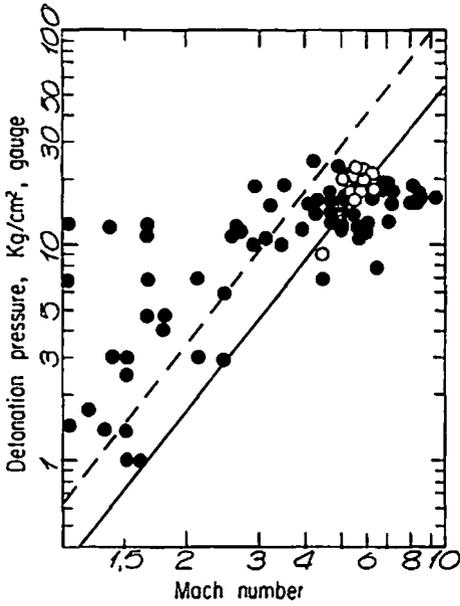


Fig. 3 Relations between detonation pressures and detonation velocities

爆ごう圧と火炎伝ば速度は個々に表記しても意味がないと思われるので、Fig. 3 に爆ごう圧力と火炎伝ば速度との関係として一括して示しておいた。このデータはすべて管長 12m の場合である。縦軸に爆ごう圧力比（実際にはゲージ圧をそのままプロットした）をとり、横軸は火炎速度をマッハ数  $M$  で表した。図中白丸は安定な定常爆ごう域での値であり、それぞれ  $16\sim 20\text{ kg/cm}^2$  および  $1,600\sim 1,900\text{ m/sec}$  であった。

b) 爆ごう誘導距離

長い管中で着火点から爆ごうに転移するまでの距離、すなわち爆ごう誘導距離は、保安上からも爆ごう性を判別する重要な数である。そしてガスの種類、組成、管径、管長、管の内壁の状態、点火源の強さ等に依存することが認められている。ある程度条件をしばつた場合、エチレン-空気系の爆ごう誘導距離がいかほどの大きさになるのか、組成変化の影響および爆ごうに至る前に爆発波を乱すことによりどれほど誘導距離を短縮しうるかについて試験した。

爆ごう誘導距離の求め方であるが、透明管を用い流しカメラで記録するという光学的方法が望ましい。われわれの実験ではこの方法は適用できなかつたし、オシログラムの爆ごう波と爆ごう反射波 (Retonation) の到着した点から求める次善の方法は、スムーズなパイプの場合適用し得るが、乱し棒をつけたものはオシログラムの解析が不可能なために利用できなかつた。各測点の距離に対してそれぞれ圧力と火炎信号の到着の時間を取り、それらの曲線の交点から求める方法を

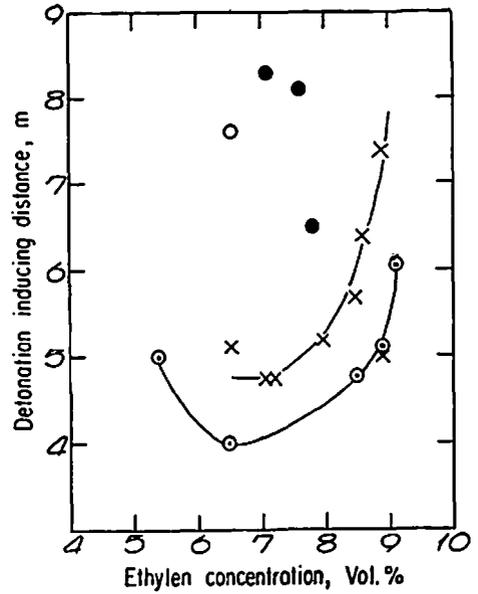


Fig. 4 The effects of ethylen concentrations on the detonation inducing distances

最終的に選んだ。爆ごう後は圧力と火炎はともに 1本の直線で、爆ごう前はそれぞれ別の直線で表わされる。

このようにして得られた爆ごう誘導距離を Fig. 4 に示す。図中黒丸は乱し棒をつけたりスムーズなパイプのものである。×印は仮乱棒を取付けた場合のエチ

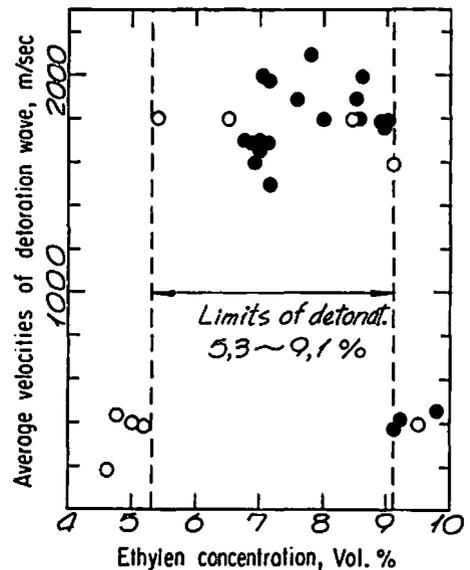


Fig. 5 Limits of detonability of ethylen air mixture

Small circle : duct length of 27 m  
dark point : duct length of 12 m

レン組成変化の影響を調べたもので、爆ごう誘導距離を短縮することは明らかに認められる。以上の2系統は管長 12m で求めた値であるが、図の一番下にプロットしたものは管長 27m で乱し棒区間 4m の場合である。仮乱し棒を取付けた場合約 5m, 乱し棒をつけた場合最短約 4m になった。

c) 爆ごう限界

燃焼限界と同様に爆ごう限界が存在することも知られている。ところがエチレン-空気系の爆ごう限界についてはほとんど知られていない。われわれの求めた爆ごう限界は電気火花で着火した場合のものである。

Fig. 5 はこの実験で求められた爆ごう限界を示したものである。種々の表示法が考えられるが、もつとも明瞭な関係を表わすものとして選んだ。図中黒丸は管長 12m によるもので、白丸は管長 27m のものである。そして推定された限界値を縦破線で示した。その数値は 5.3~9.1% であった。

2-3 実験結果の検討

a) 爆ごう圧力と平均火炎伝ば速度との関係

この実験で求められた爆ごう圧と平均火炎伝ば速度(爆ごう波伝ば速度)はせいぜい2桁程度の精度であることは前述の通りである。得られた測定値がどのような位置を占めるのか適当なパラメタがあれば、ということでの以下の検討を行なつてみた。

空気中の衝撃波の進行について(1)式なる関係が導かれている<sup>2)</sup>。

$$\Delta P/P = [2\gamma/(\gamma+1)](M^2-1) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $\Delta P$  は衝撃波前後の差圧、 $P$  は衝撃波前方の気体の圧力(絶対圧)、 $\gamma$  は気体の比熱比、 $M$  は衝撃波のマッハ数である。

また爆ごう波については(2)式の関係が導かれている<sup>3)</sup>。

$$\Delta P/P = [\gamma/(\gamma+1)](M^2-1) \dots \dots \dots (2)$$

(1)式に破線を、そして(2)式に実線をそれぞれ当てはめに画いた。安定な爆ごう域にあるとみなされるデータはすべて(2)式について表わされることが判る。ただし $\gamma$ の値はすべて空気の常温の値 1.4 を用いた。 $\gamma$ と $M$ の値の採用について多少疑点があるが、(2)式によつて爆ごう圧とマッハ数との関係を充分説明しうるものである(白丸)。実線より上の点は火炎面に先行する衝撃波を表わし、実線より下の点は爆ごうへの遷移において測定器が現象に追従出来ないことを示すと考えられる。

b) 爆ごう誘導距離について

エチレン-空気系の常圧での爆ごう誘導距離について報告されたデータは、われわれの調査した範囲では見当らなかつた。その1つの理由は、爆ごう誘導距離

があまりにも多くの条件により変動し、必ずしもある定数では表されないということに結びつけられよう。保安上の見地から、大まかにこれらの条件の間の関係を調べた報告があり<sup>4)</sup>、爆ごう誘導距離は管径、混合ガスの分子量および正常燃焼速度に関係するととして、これらの関係を図化している。これらの関係からエチレン-空気系の常圧における爆ごう誘導距離を推定してみた。ただし、この関係はガスの種類と濃度がきまると誘導距離と管径の比は一定となる。(ただし、この法則で説明出来ない実験結果も報告されている<sup>5)</sup>)。推定した値は3in管で7.6mであり、この値はFig. 4の白丸で示した。図のようにこの計算値はわれわれの実験データにほぼ一致し、文献<sup>4)</sup>による関係はある程度実用性があるものと思われる。

乱し棒をつけるとかなり爆ごう誘導距離を短くすることができ、ばらつきも少く組成変化につれてほぼ一定の傾向曲線にあてはまつた。これは管断面の直径方向に乱し棒を取付けるという乱し方が、火炎前面に再現性ある乱れを生じせしめたものと推定される。

c) 爆ごう限界

エチレン-空気系の爆ごう限界値を記載した報告は見当らずただ図示した例がある<sup>6)</sup>。この図から不正確

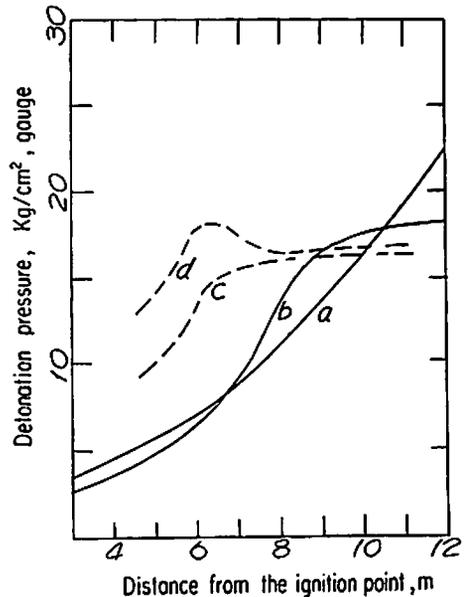


Fig. 6  
 Solid lines : without turbulentbar, duct length of 12m  
 a) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 7.60%, b) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 8.74%  
 Broken lines : with turbulentbar, duct length of 12m  
 c) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 7.09%, d) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 6.55%

ながら限界値を求めると、4~12%になる。この値はわれわれの求めた値よりも上下にかなり広い。文献には条件が明示されず推定によらざるを得ないが、管中での強力な着火源を用いたものであろう。したがって前述したように一致はせず、われわれの値は1条件下の値として意味があろう。

d) 着火点からの距離と爆ごう圧力との関係

次の節の準備として、安定な定常爆ごう波の形成という観点に立ち、着火点からの距離と爆ごう圧力との関係を求め、Fig. 6 に示した。当量に近い組成の場合は着火源から約 10m の距離で安定な爆ごうが得られる。

3. 空間爆ごう転移実験

この実験は、2 節で取扱った平面爆ごうでなく三次元の拡がりを持った容器での三次元伝ばの可能性について基礎データを得ようとしたものである。爆ごうを起させる容器はビニール布製の立方体である。爆ごう着火源は2 節で取扱った管中平面爆ごう波が主で、後には小さな空間にエネルギーを集中し得る火薬を用いた。

3-1 管中平面爆ごう波による空間爆ごうへの転移

三次元の爆ごうを起させる手段は種々考えられるが、工場等の事故で爆ごうを生じると思われるものともらしい問題設定を行なつて見た。すなわち、漏洩したガスに着火し、せまい通路を発達しながら伝ばして爆ごう波に転移する。その爆ごう波がかなり広い空間にも移り、遂に建物全体が爆ごうする。このようなモデルとして2 節の長いパイプとビニール容器との組合せを設定した。

この実験で爆ごう発生源として用いたパイプおよびそれに附属する用具および測定装置はすべて2 節で述べたものと同じである。ただしこの場合管長 12m のパイプだけについて行なつた。このパイプの先ユニオン部をビニール容器の中に入れた。ビニール容器の構造を Fig. 7 に示す。本体は鉄アングルで、大きさは 1m 立方、1.2m 立方、1.8m 立方および 1.8×1.8×3.6 m の4 種である。ビニール布は 0.1 mm 厚のものであらかじめ枠の寸法に成形した袋状のもを用い、キヤップで枠の下部に固定するようにした。混合用ファンを回転させながらエチレンガスを導入し、混合ガスを吸引管より吸引し光干渉型濃度計で濃度を測定した。ビニール袋内の爆ごうを判定する手段として2~3 箇所で圧力測定を行なつた。

実験は次のような項目に分けて行なつた。

- (1) ストレートパイプによる爆ごう波打込み。
- (2) パイプの先端に金網カバーを取付ける。
- (3) パイプの先端に拡大パイプを取付ける。

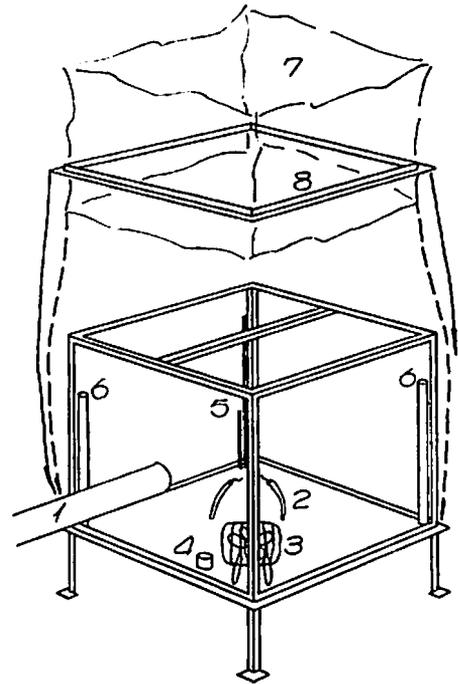


Fig. 7 Explosion vessel

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. detonation duct                                | 2. ignition cord |
| 3. fan  | 4. inlet of gas  |
| 5. tubes for the mesurement of gas concentrations |                  |
| 6. ducts for mesurement cable                     |                  |
| 7. P. V. C. sheet                                 | 8. cap           |

- (4) ビニール容器の容積を変える。
- (5) パイプ先端のビニール膜の枚数を変える。

2 項は火炎面に乱効果を与えた場合を想定した。ステンレス金網でサイズはメツシユ、目開き 3.4 mm である。金網カバーの大きさは 400 mmφ、長さ 400 mm でパイプ径の約 5 倍に相当する。3 項は爆ごう波面の拡大をねらつたもので、拡大パイプのサイズは金網と同様である。これらの取付けは、パイプ先端のユニオンを媒体として行なつた。5 項はビニール膜の枚数を 0, 1, 2, 5 枚と変えることで密閉度を変えた効果を狙つたものである。爆ごう波を壊わさないようにするという目的で、ビニール膜なしについても試験した。上記項目の上 3 個と下 2 個とは性質がことなるので、上項のいずれか 1 個と下 2 項との組合せで条件を選んだ。当量濃度に近いもので行つた。

すべてで 11 回の試験を行なつたが、いずれも空間爆ごうは生じなかつた。さらに手段別の効果の差も明らかにはならなかつた。

この種の実験として、爆ごう波打込みによる密閉容器中の爆ごう発生について試験した報告がある<sup>9)</sup>。こ

の文献からわがわがの試みを検討すると、3in 管は爆ごうは生じない管であり、40 cm の拡大パイプでは少なくとも 50% 以上の率で爆ごうを生じ得るはずである。100% の爆ごうを望むのであれば径は 20~24 in とすべきである。(そしてこの径における爆ごう誘導距離は 50~60m となる。) このような検討にもかかわらず色々の事情により、この節の実験はこれで打切られた。

### 3-2 火薬による空間爆ごうの発生

この実験では、1.2m 立方のビニール袋のみを用いた。ガスの濃度調整法、濃度測定および爆ごう判定法は 3-1 と同様である。着火源は 6号電気雷管+PETN 10g による中心点火である。本実験に先だち、空气中で同様な着火源を用いて空実験を行い、爆ごう時の圧力と比較した。エチレン濃度 7.6% で着火した結果、明らかに爆ごうを生じた。この時の爆ごう圧は 8.2, 7.5 および 7.6 kg/cm<sup>2</sup> であった。空実験のさいの圧力は 2.0, 0.8 および 1.0 kg/cm<sup>2</sup> で、インパルスからみても火薬による爆ごう圧への影響はほとんど無視しうる。各測点の立上り始めた時間から計算すると、爆ごう波の平均伝ば速度は約 2,000 m/sec であった。強裂な衝撃音を発生し、鉄枠は外側にわん曲しました混合ファンは使用不可能な程破壊した。ビニール布は細かに引き裂れて、四方にかなり遠方にまで飛び、周囲の草は茎のみを残して葉は粉々に飛散した。1 回だけの実験であったが、種々の事情によりこの実験は以後実行不可能となつた。

火薬をそして 10g という薬量を用いた理由およびこれと爆ごう波打込みとの関連性について検討しておく。エチレンではないがパイプからの爆ごう波の打込みによりアセチレン-空気系を爆ごうさせた報告がある<sup>79)</sup>。この報告によれば、ある条件下では同じような爆ごう組成範囲を与えるパイプによる爆ごう打込み径と火薬量とがあり、この点で両者を対比しうる。一般的な関係ではないかもしれないが、文献による径 20~24in を外挿すると当量の炭化水素-空気系を空間爆ごうさせるに必要な薬量 PETN 10~15g が導びかれる。水素-空気系については PETN 2g 以上必要だという報告も<sup>80)</sup>、この点から参考になるデータである。したがって、エチレン空気系を確実に空間爆ごうさせるには少なくとも PETN 10g 以上を用いればよいという指針が得られたわけで、しかもわがわがの実験で実証されたことになる。

### 4. 野外実験

野外実験の内容、結果、結論等の詳細については、まえがきで述べたように別に詳しい報告<sup>81)</sup>があるのでそれを参照されたい。ここでは概略を説明するだけに

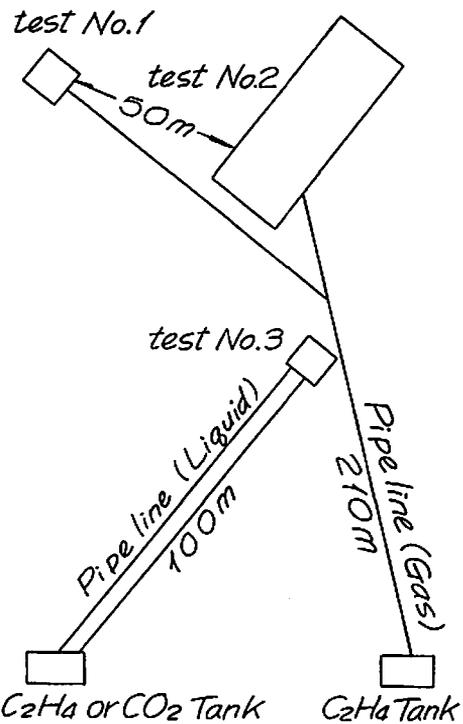


Fig. 8 Arrangement for the large scale field tests

とどめる。野外実験は昭和44年10月、岩手山ろく自衛隊岩手山演習場で、通産省化学工業局、資源技術試験所主催により、官学界、業界、自衛隊、地元各団体の協力の下で行なわれたものである。

#### 4-1 実験の内容

実験は大別して、エチレンの爆ごう実験と拡散実験に分けられる。実験設備の配置を Fig. 8 に示した。この中で実験 No. 1 と No. 2 が爆ごう実験の設備で No. 3 が拡散実験用のものである。

##### a) 爆ごう実験

実験 No. 1 と No. 2 の建屋の構造の概略を Fig. 9 に示した。建屋の容積はそれぞれ 9m<sup>3</sup> と 770m<sup>3</sup> で、約 120m 離れたエチレンローリから蒸発器およびパイプラインをへてガス状でエチレンガスをその中へ放出した。放出ノズルは 9m<sup>3</sup> のものは 1 個、他は 8 個である。エチレン濃度は建屋内の 8 もしくは 20 個の吸引口から吸引し、接触燃焼式濃度計で自記録した。着火源は、実験 No. 1 では火薬 (6号電気雷管ペントライト 20g) による中心点火で、No. 2 はパイプによる爆ごう波打込み法と火薬 (上記のものを 2 個所) である。No. 1 では濃度を変えて 2 回、No. 2 では濃度と着火源を変えて 2 回の試験を行なつた。なお、No. 2 では建屋の長手方向の 1 端で着火した (Fig. 9

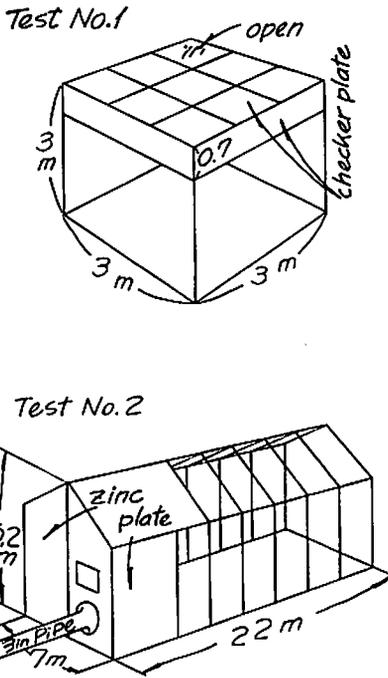


Fig. 9 Construction of houses for the detonation tests

参照)。

爆ごう実験では、建屋内のガス拡散状況および建屋内外の爆ごう現象を観測した。爆ごう現象観測には建屋内の爆ごう圧、爆ごう波伝ば速度、建屋外の衝撃波圧力、減衰効果等が含まれ、60個以上のプラストメータ、ピエゾによる測圧、ストロボ発光による速度測定方法を利用した。またこれらの観測と平行して、映画による爆ごう現象の撮影を行なった外、建屋の破壊状況、防爆壁の破損、窓ガラスの破損、飛散物の状況等についても調査した。

b) 拡散実験

拡散実験に用いた設備は、2m×2m×1m、厚さ0.2mの鉄筋コンクリート製防液堤で、底は埋房しのまま用いた。エチレンはローリーから約90mのパイプラインをへて液として放出した。測定項目は自然蒸発速度、拡散状況観測のための濃度測定、炭酸ガスによる不燃化と消火実験である。蒸発速度は液面に浮子を浮かし遠方からトランシットで観測した。濃度は爆ごう実験と同様な装置で測定点数を47個に増して測定した。実験に用いた炭酸ガスは、エチレンパイプラインに平行して附設したパイプから液状に放出させた。点火機構は防液堤真上を通るようにピアノ線を張り、それによつて空街にガソリンと布を入れた点火具を遠隔操作するものである。

4-2 実験結果と検討

a) 爆ごう実験

実験 No. 1 はエチレン平均濃度 9.4% と 5.7% で試験したが前者は爆ごうを生じ、後者は生じなかつた。(口絵写真参照)。実験 No. 2 の爆ごう波打込みの場合建屋内の平均濃度は 5.15% であつたが、パイプ中では爆ごうを起していたものの打込み位置での濃度が低下していたためか建屋内では爆ごうも爆発も生じなかつた。火薬点火による方法では 7.4% 平均濃度で明らかに爆ごうを生じた(口絵写真参照)。

このように着火源として火薬を選ぶと、適当な組成でエチレン-空気系は空間爆ごうを起し得る。爆ごう波打込みは文獻<sup>4)</sup>によればラツパ管の出口まで爆ごう波が伝ばしたとすると確実に建屋内に爆ごうを起させようような出口径を用いたはずであるが爆ごうは生じなかつた。

爆ごうしたものについては次のような結果が得られた。高速度映画とストロボを組合せて得られた衝撃波速度から計算した衝撃波の反射圧力とプラストメータにより得た値は一致した。また実験 No. 1 と No. 2 のプラストメータの計測値から、エチレン空気系の爆

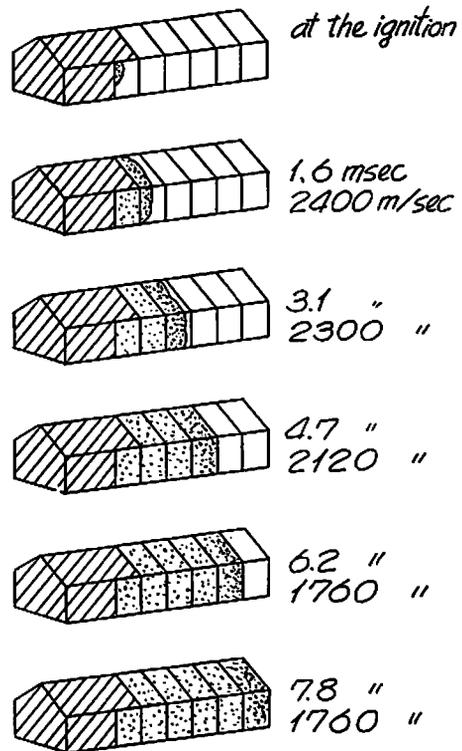


Fig. 10 Propagation of detonation in the test house filled with ethylene-air explosive gas

ごうのさいの薬量、距離、爆風圧力に関する相似則が得られた。火薬によるものと比較すると、近い距離では火薬の方が圧力は大きい、遠方では逆にガスの方が大きくなり、したがって減衰度はガスの方が小さい。

種々のコマ速度で撮影した映画は非常に良好で視覚的な種々のデータが得られた。その中で実験 No. 2 の爆ごうのさいの建屋内の初期爆ごう波の伝ば状況が観測された。これを Fig. 10 に示す。640 コマ/sec で撮影したもので、各コマ間の時間は 1.56 msec である。1 コマ目から 6 コマ目までを図示したが、2 コマ目までは爆ごう波面は曲面であるが、3 コマ目以後はほぼ平面波で、特に 4 コマ目以後は等速度で伝ばしている。この時の速度はイオンギャップ法で求めた値と一致し、1,760m/sec であつた。このようなパイプ中伝ばと同様な現象はあらかじめ推定しうることはあるが、このような大きな規模の建屋中でも同じように伝ばすることを観察し得たことは興味深い。

この外障壁等についても有用なデータを得たがここでは省略する。特に、窓ガラスは普通ガラス、合せガラス、網入強化ガラス、ポリエステルガラス等の材質のものを用いたが、実験 No. 2 のような強力な爆ごうのさいには 40m 離れたところでも細々になつて飛散するという保安上有用なデータを得た。

#### b) 拡散実験

防液堤に放出したエチレン液総放出量は 940 kg であつた。放出後の自然蒸発速度は 5.5 l/min. m<sup>2</sup> であつた。この後、液状炭酸ガスを 2 個のノズルから 38 kg/min、防液堤の面積当り 9.5 kg/min の割合で放出した時、エチレンの蒸発速度は 5.45 l/min. m<sup>2</sup> であつた。この炭酸ガスの放出はエチレンガスの不燃化を計つたものであり、この条件下では着火しなかつた。

これらの実験系を通じて、約 46 分間に渡りガス濃度計測を行なつた。風速が 5 m/sec という条件であつたため、エチレンガスを検知した範囲は風下 20m

以内であり、燃焼範囲の濃度を検知したのは数点のみであり、これも全期間に渡り平均すると最高で 0.8% 程度であつた。

炭酸ガス放出停止後着火させたが、時間の経過とともに火炎の熱を受けて次第に激しくなつた。この状態で 3 個のノズルから再び炭酸ガスを放出させて消火実験を行なつたが、消火しきれなかつた。これは炭酸ガスのパイプラインが火炎にあぶられてベーパーロックを起し放出量が激減したこと、そのために液状でなくガス状で放出したためによるものと思われる。

#### 5. あとがき

本実験は大規模なエチレン野外実験を目的としたものである。この中で特に基礎実験を中心にまとめてみた。野外実験に先だち官学業界の学識経験者よりなる実行委員会を構成した。基礎実験の実施に当つても、この実行委員会のメンバー、正田先生の外諾先生方にも御指導をいただいた。野外実験の計画、実施についても、実行委員会、官学業界、自衛隊、地元各種団体の協力により行なわれた。ここにこれらの御指導、御協力に深甚の謝意を表わします。

#### 文 献

- 1) 通産省化学工業局・資源技術試験所；昭和44年度エチレン野外実験報告，1970，pp. 106
- 2) H. W. Liepman and A. Roshko 玉田謙訳；気体力学，吉岡書店，1960，p. 68
- 3) 山崎毅六；爆発と燃焼，岩波講座現代化学 VII E，p. 5 (1956)
- 4) I. Ginsburgh and W. L. Bulkley；Chem. Eng. Progr.，59，82 (1963)
- 5) 正田強他；高压ガス，16，408 (1969)
- 6) H. H. Freytag；Handbuch der Raumexplosionen，Verlag. Chemie，1965，p. 76
- 7) H. H. Freytag；*ibid* 113
- 8) H. Freiwald and H. W. Koch；9th Sympo. on Comb. Academic Press. p. 275 (1963)
- 9) L. H. Cassutt；ARS Journal，31，1122 (1961)

## On Gaseous Detonation of Ethylene-Air Mixtures.

by K. Shiota, S. Akaba, S. Kato  
and T. Matzuda

Three types of experimental studies on the gaseous detonation of ethylene-air mixtures were carried out;

i) In the experiments on the one dimensional detonation propagating through the

duct several Characteristic parameters, eg detonation pressure, detonation velocity, detonation induction distance, limits of detonability etc, were obtained.

- ii) The initiation of detonation in the rectangular vessels (volume 1~12m<sup>3</sup>) was studied. The explosive gases in the vessels could not be detonated by the detonation propagating through the duct of the diameter of 3 inches, while it could be detonated by use of No.6 detonator plus 10g PETN.
- iii) Initiation of detonation could occur in the house filled of the explosive mixtures of which volume was 27 and 770m<sup>3</sup> respectively by use of some quantity of explosives. In these enperiments the attenuation of shook waves produced by the gaseous detonations were measured at several points.

(Government Resources Research Institute, Tokyo, Japan)

## ニュース

### 火薬ガスの噴射式削岩機をソ連が開発

ソ連からの報道によれば、ソ連の技術者は20年の研究の結果噴射式の削岩機を開発した。この削岩機は地中に食こみ、火薬ガスの噴射が岩石を粉砕し、これを削岩機とその容器の間にある空間を通じて地表に投げる。掘る方向は電波による指令で変更できる。火薬の準備量がなくなりかけると、この削岩機は最後の割当量の火薬を噴射して自ら地表へ出てくる。実験によると、岩石を1m掘るのに1秒しかかからぬという高能率で削岩作業を大いに進歩させることができる。この削岩機はトンネルや井戸を掘るのに、地質学上の試掘に、鉱山の救助作業に、パイプライン用のみぞ掘りに使用できる。

(日刊工業45.8.30) (伊藤)

### 雲があれば15分で雨が降る

レニングラードの地球物理学観測所は、これまで雲の中で起きる種々の物理現象の研究をすすめてきたが、この研究が実際の気象状況の改善に利用することが可能になりそうだという。

同研究所では数年前から、中央アジア方面で、ひょうを防ぐため、ひょうを降らせる雲に砲弾やロケ

ットを打込む方法がとられ、効果をあげてきた。この方法は完全に確立されており、現在は人工雨を確実に降らせる研究に重点がおかれている。

この方法は普通の方法では手に負えない大規模な山火事の消火を目的に研究されている。この方法は雲の上層部の過冷部分に、よう化鉛、またはよう化銀を入れたカプセルを打ちこみ、カプセルが燃えて蒸気になった時急冷して微小な結晶を作り、これが核となつて、まわりの水蒸気が氷の結晶になる事を利用している。1gのよう化銀で約1兆個の微粒子ができる。氷の結晶は落下しはじめると、まわりの水滴を吸収して、しだいに大きくなり雲の下面の暖い部分で溶けて雨になる。このカプセル打上げの人工降雨法では、打あげてから降雨まで15分位しかかからない。

昨年1年間でこの人工降雨法により10万ヘクタールの山火事を消し止める事ができたという。

レニングラードの地球物理学研究所では、この他、反対に雨や雪の降るのを阻止する方法も研究中である。 (技術ジャーナル 45.8.21) (伊藤)