

JAN. 1978

RIIS-RR-26-4

UDC 662.61 : 534.222

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-26-4

管中の平面爆ごう波を起爆源とする
球面爆ごう波の生成

松 井 英 憲

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

管中の平面爆ごう波を起爆源とする 球面爆ごう波の生成*

松井英憲**

Direct Initiation of Spherical Gaseous Detonations Initiated by a Planar Detonation in the Tube

by Hidenori Matsui

The present paper describes some results for the critical energy for direct initiation of spherical detonations in acetylene-air, fuel ($H_2, CH_4, C_2H_2, C_2H_4, C_3H_8$ individual)-oxygen and fuel (H_2, C_2H_4, C_3H_8 individual)-oxygen-nitrogen systems initiated by a planar detonation from a linear tube into the larger volume of the same explosive gas.

The critical diameter for direct initiation at atmospheric pressure was determined by extrapolation of the experimental relation between critical initial pressure for direct initiation and the tube diameter. The energies for direct initiation were calculated from the critical diameter data and the detonation properties using simple initiation model.

The results lie between 10^{-3} and 10^4 joules within the whole experimented gas systems and compositions. Comparisons with existing data from exploding wire and electrical spark indicate that the present results are more than one order smaller than those of exploding wire or electric spark. This may arise from the fact that the critical energies using exploding wire or electric spark is not based on the effective energy but on the total stored energy ($E_T=1/2 CV^2$). However, the present data show a good agreement with the results obtained from detonator based on the chemical energy. This suggests that the energy transfer mechanism for these two types of igniter is almost same.

For hydrocarbon mixtures it is indicated that the critical energy takes on minimum value that are widely displaced from the stoichiometric composition for combustion to CO_2 and H_2O ; instead they are fairly close to composition corresponding to combustion to CO and H_2O .

Minimum critical initiation energy for direct initiation of spherical detonation in fuel-air mixtures without acetylene are estimated at above 10^4 joules.

* 日本化学会第36春季年会 (Apr. 1977) において一部発表

** 化学研究部 Chemical Engineering Research Division

1. 緒 言

解放空間において、大量の可燃性ガス雲 (unconfined vapor cloud) が形成されているところへ、強い衝撃波を伴った点火源を与えてやれば、可燃性ガス雲は、点火源から直接に爆ごう波となって周囲へ伝播しうる¹⁻³⁾。この場合点火源から波面が球状に広がっていくので、これを球面ガス爆ごう波 (spherical gaseous detonation) と呼んでいる。爆ごう波を直接に起しうるような強い衝撃波を生ずる点火源としては、強力な電気スパーク、火薬類の爆発、超音速での物体の衝突、管中の爆ごう波の打ち込みなどがある。この場合、点火源は定常な爆ごう波における衝撃波より強い衝撃波を生ずる必要があるから、爆ごうの直接起爆には、限界のエネルギー (critical direct initiation energy) と限界のエネルギー密度 (critical power) が存在する⁴⁻⁵⁾。直接起爆限界エネルギーは、可燃性ガスの爆ごうし易さを評価する上で重要であり、従来多くの研究者によって種々の方法で測定がなされている⁶⁻⁹⁾。しかしながらお互いの結果には測定方法によって大きな差が見られる。これは直接起爆の過程が点火源から生ずる衝撃波の気体力学的流れ過程と化学反応過程に依存しているため、点火源の種類や特性、形状などによって大きく影響されるからである¹⁰⁾。また得られたデータは、多くの場合燃料～酸素混合ガスについてのものであり、實際上必要な燃料～空気混合ガスについてのデータはほとんど見当らない。これは燃料～空気混合ガスでは直接起爆限界エネルギーは

かなり大きく、定量的に測定することが難しいためである。

本研究では、管中の平面爆ごう波を点火源として用い、広い空間でのアセチレン～空気；エチレン～酸素、～窒素；プロパン～酸素、～窒素；水素～酸素、～窒素；メタン～酸素混合ガスを直接に起爆させることによって、爆ごう波が直接に生ずる限界の管径から気体力学的に起爆限界エネルギーを算定することを試みた。この方法では、比較的容易に球面爆ごう波を直接に起させることができ、点火源が起爆される広い空間のガスと同じ組成の一次元平面爆ごう波であるから、その特性が一定であるという利点がある。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。実験に使用した起爆用の爆ごう波管は、主として長さ 300cm の一般にガス管と呼ばれる呼び径 2 インチ (内径 5.3cm) の配管用炭素鋼管を用いた。これを長さ 20.8cm の 8 インチ拡大管 (内径 20.5cm) にフランジで接続した。この場合、爆ごう波管と拡大管の内径の比が約 4 倍あれば、拡大管の管壁の影響は無視しうる¹¹⁾。これは直接起爆の可否は、点火源近傍だけの過程に依存するからである。この爆ごう波管と拡大管へ、分圧法によってあらかじめ調整した混合ガスを導入し、爆ごう波管の管端においてニクロム線ヒータで着火した。爆ごう波管内では、中に挿入してある金属スパイラル線の効果で火炎は乱され、直ちに一次元の平面爆ごう波へ転移する。これを拡大管中へ打ち込み、拡大管中での波

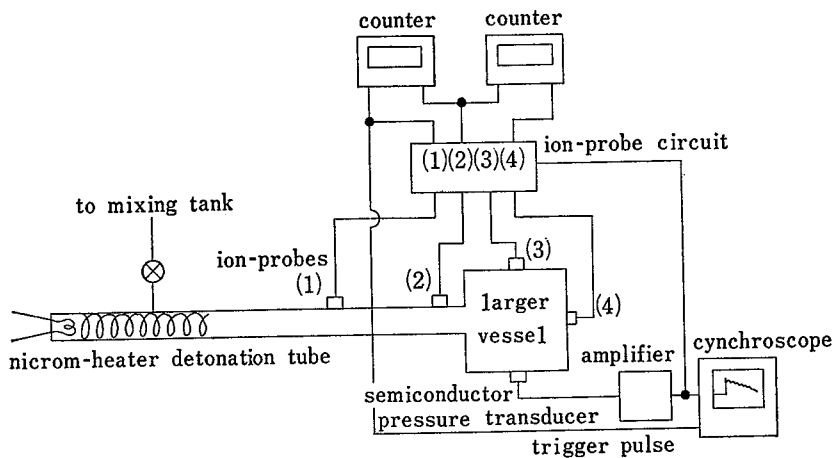


Fig. 1 Schematic of the apparatus
実験装置の概略

面速度、波面圧力を測定して、拡大管中で爆ごう波が生ずる限界の初圧を各混合ガスについて測定した。ガスの濃度は光干渉計型ガス濃度計で検定した。アセチレン～空気混合ガスの数種のガス濃度については、爆ごう波管の管径が1インチ（内径 2.76 cm）、1/2インチ（内径 1.61 cm）の場合についても同じく直接起爆の限界初圧を測定し、爆ごう波管の管径と起爆限界初圧の関係を求めた。次いでこの関係を大気圧まで外挿し、大気圧における起爆限界管径を求め、この値を使って拡大管中での球面ガス爆ごう波の起爆限界エネルギーを気体力学的に算定した。

波面速度の測定は、管壁に取り付けたイオンプローブによって火炎の到達を検知し、この出力をユニバーサルカウンタの時間間隔測定機構へ入力して各プローブ間の平均波面速度を測定した。拡大管での波面圧力は半導体型圧力変換器で測定した。なお実験は隔離された耐爆室内のピット中で行った。

3. 起爆限界エネルギーの算定

各混合ガスについて、大気圧において爆ごう波管中の平面爆ごう波によって拡大管中のガスを直接起爆させる限界の管径 ($d_{cr.}$) データをエネルギーに変換するために以下のモデルを仮定した¹⁰⁾。この時の状況を **Photo. 1**, **Fig. 2** に示す。

管中の平面ガス爆ごう波が管端から出る時に、広い空間の未燃ガスへ与えるエネルギーは、広い空間の未燃ガスと管端から噴出する燃焼生成ガスの接合面によってなされる仕事で評価される。すなわち

$$E = \int_0^t P \cdot U \cdot A dt, \quad A = A(t)$$

ここで P は波面圧力、 U は粒子速度、 A は接合面の面積を表わす。限界条件下では、広い空間での爆ごう波は常に管の中心軸上、管端から管径の距離だけ進んだ位置で生成することが実験的に観測されている。(Photo. 1 参照) これは管中の平面爆ごう波は管端を過ぎると急に広い空間へ出るため、管の半径方向を管端のエッジから管の中心軸へ向って音速 c で進む希薄波によって減衰させられる。ここで通常は爆速 D が音速 c の約2倍であるから希薄波が管端エッジから管軸まで到達した時には、管端から出た爆ごう波の先端は丁度管の半径の2倍、すなわち管径の距離だけ進んでいることになる。この時最初管端にあった燃焼生成ガス粒

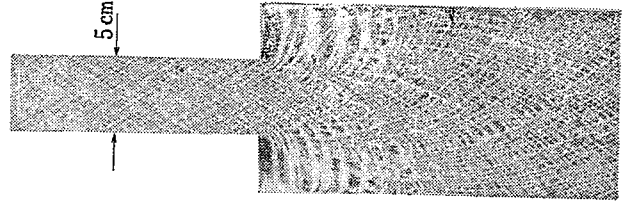


Photo. 1 Still photograph of $2C_2H_2+3O_2$ detonation in a flat channel at 30 mmHg initial pressure
拡大平管中における爆ごう波生成静止写真

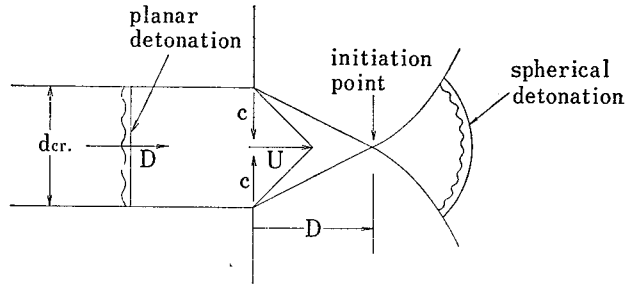


Fig. 2 Schematic diagram of model for initiation of spherical detonation fired by a planar detonation
管中の平面爆ごう波による球面爆ごう波の直接起爆モデル

子は U だけ進んで広い空間の未燃ガスに対してエネルギーを与えることになる。つまり希薄波が管の中心軸へ到達するまでに管端から放出されたエネルギーのみが起爆に有効に働くものと考えることができる。すなわち $t = d_{cr.}/2c$ となる。ここで P は P_{C-J} , U は U_{C-J} で与えられる。添字 $C-J$ は Chapman-Jouguet 爆ごう波に相当する値であることを示す。任意の時間 t において、管軸付近の平面爆ごう波の未減衰面積 A は、 $A = \pi r^2 = \pi (ct)^2$ で示される。従って妥当と思われる有効な起爆限界エネルギーは以下ようになる。

$$E = \int_0^{d_{cr.}/2c} P_{C-J} \cdot U_{C-J} \cdot \pi (ct)^2 dt \\ = \frac{\pi \cdot P_{C-J} \cdot U_{C-J}}{24c} \cdot d_{cr.}^3 \quad (1)$$

この式によって起爆限界管径 $d_{cr.}$ を等価のエネルギーへ変換することができる。

4. 実験結果および考察

4.1 直接起爆限界条件の判定

拡大管中のガスが爆ごう波管からの平面爆ごう波に

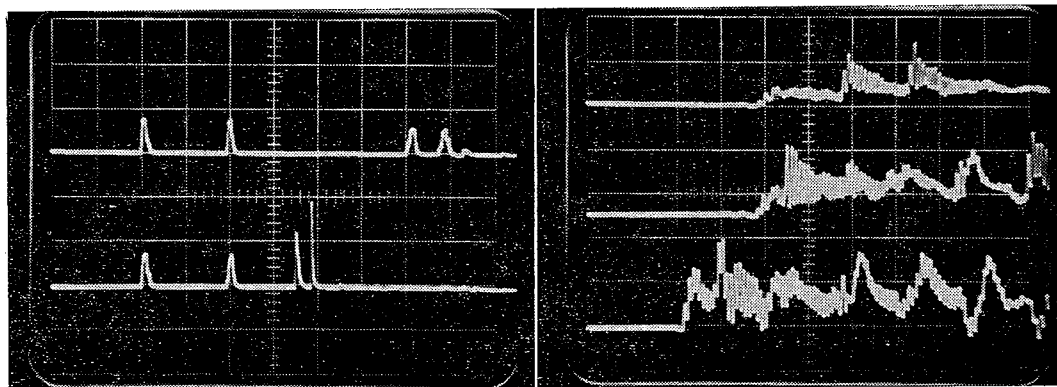
Table 1 Variation of wave velocity when acetylene-air mixtures in the 8" larger vessel are fired by a planar detonation in the 2" tube
 2" 爆ごう波管中の爆ごう波を 8" 拡大管へ打ち込んだ時の平均波面速度変化 (アセチレン~空気)

Acetylene concentration [vol. %]	Critical condition			Sub-critical condition		
	Initial pressure [kg/cm ² abs.]	Deto. vel. in 2" tube [m/s]	Deto. vel. in 8" vessel	Initial pressure [kg/cm ² abs.]	Deto. vel. in 2" tube [m/s]	Flame vel. in 8" vessel [m/s]
7.0	4.8	1882	1548	4.7	1876	548
7.7	3.0	1899	1553	2.9	1900	557
8.8	2.1	1949	1505	2.0	1946	564
9.6	1.8	1965	1588	1.7	1964	564
10.8	1.6	1987	1686	1.5	1984	545
12.5	1.5	2017	1697	1.4	2013	410
14.5	1.6	2052	1663	1.5	2047	424
16.4	1.8	2052	1591	1.7	2038	407
19.0	3.0	2014	1602	2.9	2003	387

よって直接に起爆されたか、あるいは爆燃であったかは、爆ごう波管端から拡大管の管端までの平均波面速度から容易に判定することができる。Table 1 にアセチレン~空気混合ガスの種々濃度について、2インチ爆ごう波管中の平面爆ごう波を8インチ拡大管へ打ち込んだ時の平均波面速度変化を示す。この表から分かるように、拡大管中の平均波面速度は、拡大管内において爆ごうが生じた場合には、爆ごう波管中の平面爆ごう波速度の約80%に減速するのみであるが、爆ごうが生じなかった場合には、約20~30%にまで減衰してしまう。イオンプローブの出力波形の例を Photo. 2-a に示す。上の波形は拡大管で爆ごうが生じなかつ

た場合を示しており、下の波形は拡大管で爆ごうが直接に起爆された場合を示している。

管壁に取り付けた圧力変換器の出力波形の例を Photo. 2-b に示した。一番上の波形は拡大管で爆ごうが生じなかった場合で、この時は相当の時間遅れの後にゆるやかな圧力上昇を示し、その後反射衝撃波によるやや高い圧力ピークが見られる。中の波形は、上の波形と同様の位置で最初の小さな圧力上昇の後に急激な圧力の立ち上がりが見られる。これは拡大管の先端からの反射衝撃波によって拡大管中で爆ごうが生じたものであり、直接起爆ではない。一番下の波形は、最初からすどく高い圧力上昇が見られ、この場合は



(a)
 100 μs/div., 10 V/div.

(b)
 100 μs/div., 20 kg/cm²/div.

Photo. 2 Synchroscopic records of ion-probes and semiconductor pressure trasducer for C₂H₂ 14.5% in air
 イオンプローブおよび半導体圧力変換器の出力波形の例

拡大管で直接に起爆されたものとみることができる。

4.2 爆ごう波管の管径と起爆限界初圧の関係

燃料～酸素混合ガスについては、爆ごう波管の管径を球面ガス爆ごう波の直接起爆限界初圧との間には、両者を対数プロットすると直線関係が得られることが確かめられている¹¹⁾。ここでは同様の関係が燃料～空気混合ガスの場合にも得られるかどうかを確認するために、空気中のアセチレン濃度8.8%および12.5%について、爆ごう波管の管径を1インチ(内径 2.76cm)および1/2インチ(内径 1.61cm)に変化させた時の起爆限界初圧を測定した。これらの結果および文献¹¹⁾の結果をあわせて Fig. 3 に示す。これらの結果からアセチレン～空気混合ガスの場合も、燃料～酸素混合ガスの場合と全く同様の関係を示すことが確かめられた。すなわち、爆ごう波管の管径 d と起爆限界初圧 P_{cr} の間には、

$$P_{cr} = K \cdot d^{-0.91} \quad (2)$$

の関係が得られる。ここで P_{cr} の単位を [kg/cm² abs.], d の単位を [cm] に取ると、 K は爆ごう波管の管径が 1cm の時の起爆限界初圧を示す。つまり K

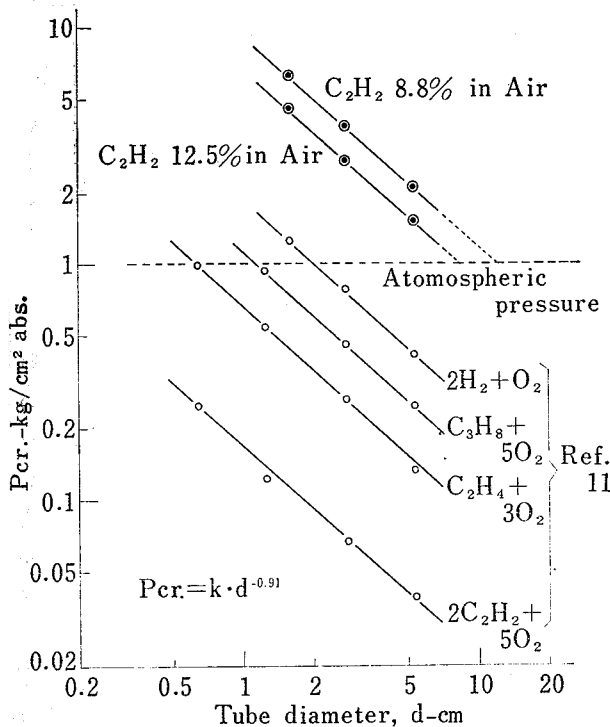


Fig. 3 Critical initial pressure for direct initiation with detonation tube diameter for various gas mixtures
爆ごう波管の管径と起爆限界初圧の関係

はそれぞれのガスの種類や濃度によって決まる爆ごう波の起り易さを示す定数となる。従って一組の P_{cr} と d の関係さえ測定できれば、任意の初圧における起爆限界管径 d_{cr} を求めることができるし、任意の管径の爆ごう波管による起爆限界初圧 P_{cr} を決定することもできる。

4.3 2インチ爆ごう波管による起爆限界初圧

アセチレン～空気混合ガスおよびアセチレン、エチレン、プロパン、水素、メタンと酸素との混合ガスの種々濃度について、2インチの爆ごう波管内での平面爆ごう波を、同じガス濃度の8インチの拡大管へ初圧を変化させて打ち込み、8インチ拡大管内で爆ごうが直接に起爆される最低の初圧を測定した。アセチレン～空気混合ガスについての結果は Table 1 に示したが燃料～酸素混合ガスの結果は Fig. 4 に示す。

これらの結果から分るように、最も低い初圧で爆ごうが生ずるのはアセチレン～酸素混合ガスであり、次いでエチレン～酸素、プロパン～酸素、水素～酸素、メタン～酸素、アセチレン～空気混合ガスの順序で起

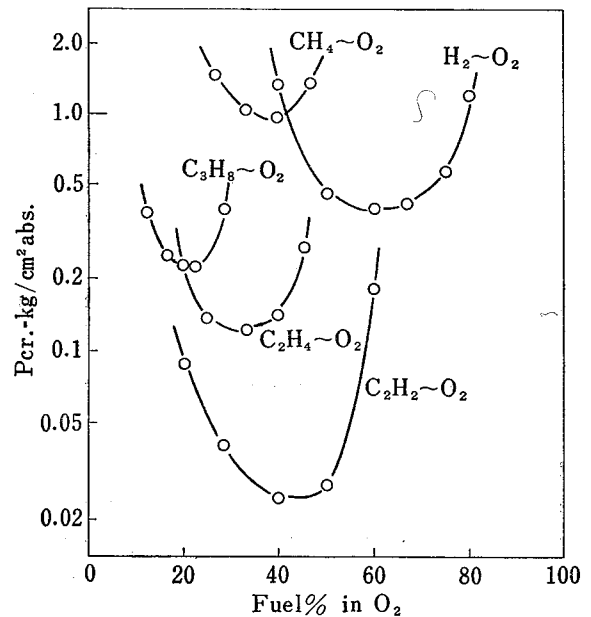


Fig. 4 Critical initial pressure for direct initiation with fuel composition in oxygen when mixtures in the 8" larger vessel are fired by a planar detonation in the 2" tube
2" 爆ごう波管中の爆ごう波を8" 拡大管へ打ち込んだときのガス組成と起爆限界初圧の関係

爆限界初圧の最低値は大きくなる。いずれのガスも起爆限界初圧はガス濃度に対してU字形の曲線となり、両端で急な立ち上りを示す。

4.4 大気圧における起爆限界管径

安全工学的データーとして起爆限界エネルギーを問題にする場合、大気圧におけるデーターが標準となる。ここでは4.3の実験結果 (Table 1 および Fig. 4)

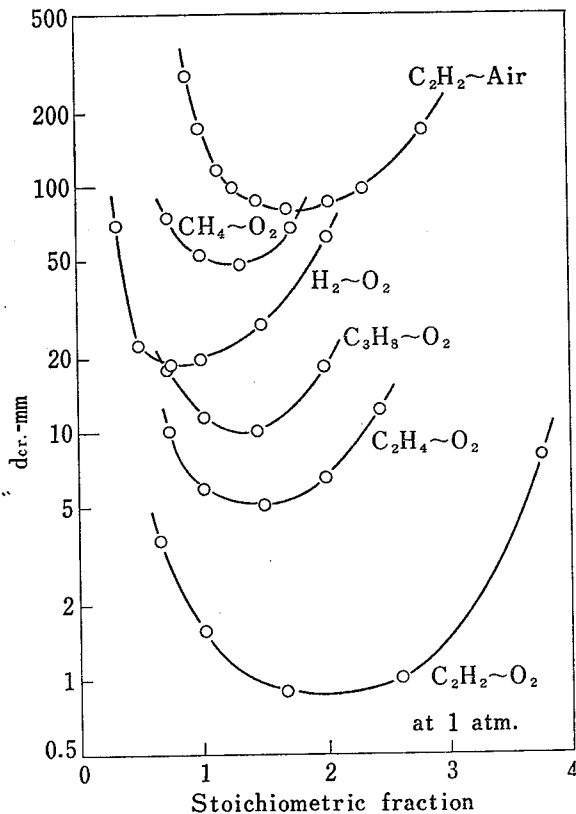


Fig. 5 Critical tube diameter for direct initiation with fuel composition at atmospheric pressure
 ガス組成に対する大気圧における起爆限界管径

から(2)式を使って、初圧を大気圧とした時の各混合ガスの起爆限界管径を求めた。各混合ガスについて、化学量論比* (stoichiometric fraction) に対する大気圧における起爆限界管径 (d_{cr}) を対数で表示した結果を Fig. 5 に示す。

ここでアセチレン~空気混合ガスとアセチレン~酸素混合ガスの場合を比較してみると、 d_{cr} の最小値は前者の方が後者より約 100 倍ほど大きい。このことから可燃性ガスは酸素中においては、空気中の場合に

* Stoichiometric fraction = (% fuel / % O₂) / (% fuel / % O₂) at stoich. ; stoichiometric combustion to CO₂ and H₂O

較べて格段に爆ごうを生じ易い事が分る。その他の燃料・酸素混合ガスの場合、アセチレン~酸素とアセチレン~空気混合ガスの場合の中間の d_{cr} 値を示した。

これらの結果は実際上次の様な場合に適用することができる。例えば大きな容器または解放空間にアセチレン~空気混合ガスが大気圧で存在するとき、それに接続する配管の径を約 8cm 以下にしておけば、たとえ配管中を爆ごう波が進んで来て、広い空間のガスへ打ち込まれても、そのガスは爆ごうし得ないことを示唆している。燃料~空気混合ガスの場合、径の大きな容器内や解放空間中では、火炎の加速は起りにくいで、直接に爆ごうが生成されない限り火炎から爆ごうへと転移する可能性は少ない。

この種の実験として、燃料~空気系の混合ガスについて、管中の爆ごう波によって広い空間での爆ごう発生可否について試験した報告¹²⁻¹³⁾があるが、起爆限界管径はアセチレン以外のガスでは、50~60cm になると推定されている¹³⁾。

もう一つの応用例は、爆ごう抑止器に対するものである。管中の爆ごう波による広い空間での球面爆ごう波の直接起爆の問題は、管中の平面爆ごう波を主体に考えれば、管路の急な拡大による爆ごう波の中断もしくは減衰と見ることが出来る。従って起爆限界管径以下の管路の爆ごう波は管路を適当に拡大してやることによって通常の火炎にまで減衰させると云える。この現象を利用した爆ごう抑止器が実際に利用されている¹⁴⁾。

4.5 ガス組成と起爆限界エネルギー

実験を行った各ガス濃度について、初圧大気圧における爆ごうパラメータ (Chapman-Jouguet 条件における爆速、圧力、粒子速度、音速など) をコンピュータを用いて計算した。計算によって求めた爆ごうパラメータと、大気圧における起爆限界管径のデーターを(1)式に代入して、各ガス濃度における起爆限界エネルギーを求めた。結果を Fig. 6, 7 に示す。化学量論組成における夫々の混合ガスの球面爆ごう波の直接起爆限界エネルギーは、2C₂H₂+5O₂: 1.8mJ, C₂H₄+3O₂: 92mJ, C₃H₈+5O₂: 0.74J, 2H₂+O₂: 2.0J, CH₄+2O₂: 39J, 空気中のアセチレン7.7%: 1,150J となった。この内、空気中のアセチレン7.7%の値は、雷管を用いて得られた Freiwald らの結果⁷⁾である

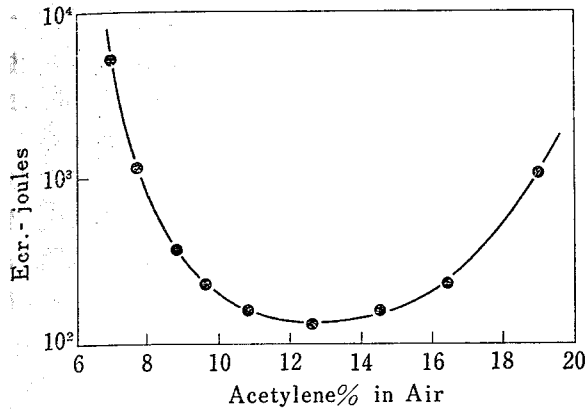


Fig. 6 Critical energy for direct initiation with acetylene composition in air at atmospheric pressure
アセチレン～空気混合ガスの大気圧における起爆限界エネルギー

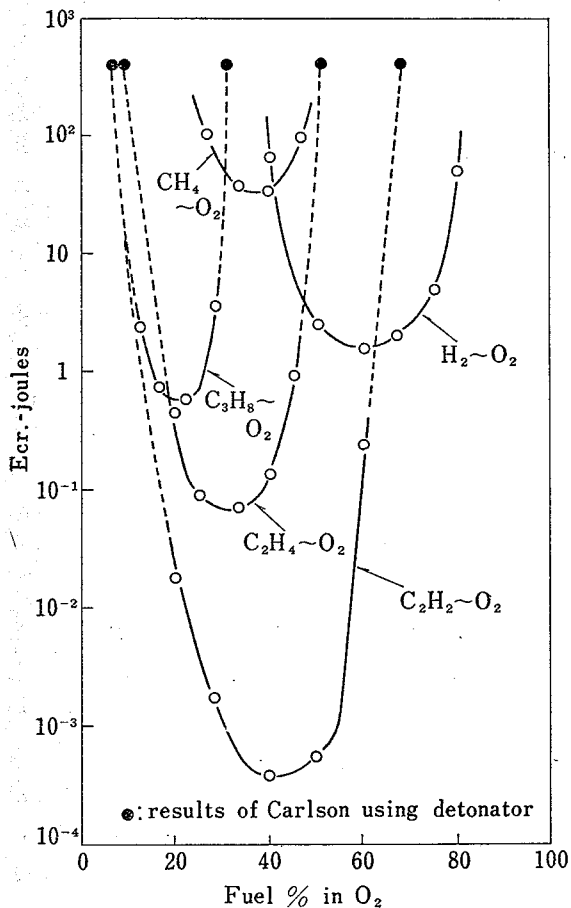


Fig. 7 Critical energy for direct initiation with fuel composition in oxygen at atmospheric pressure
燃料～酸素混合ガスの大気圧における起爆限界エネルギー

10^3 J とほぼ一致する。また $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ 混合ガスの結果は、円筒面爆ごう波 (Cylindrical detonation) における、イクスプローデイングワイヤによる起爆限界エネルギーの測定値 1.7J/cm^{15} に匹敵するものとみなしうる。

従来、イクスプローデイングワイヤによって測定された球面爆ごう波の直接起爆限界エネルギー^{6,9)} は、本実験結果と比較して約 1桁大きい。これはそれらの実験においては、真に起爆に有効に使われたエネルギーを測定したものではなく、当初コンデンサに貯えられていた全エネルギーから限界エネルギーを決定して

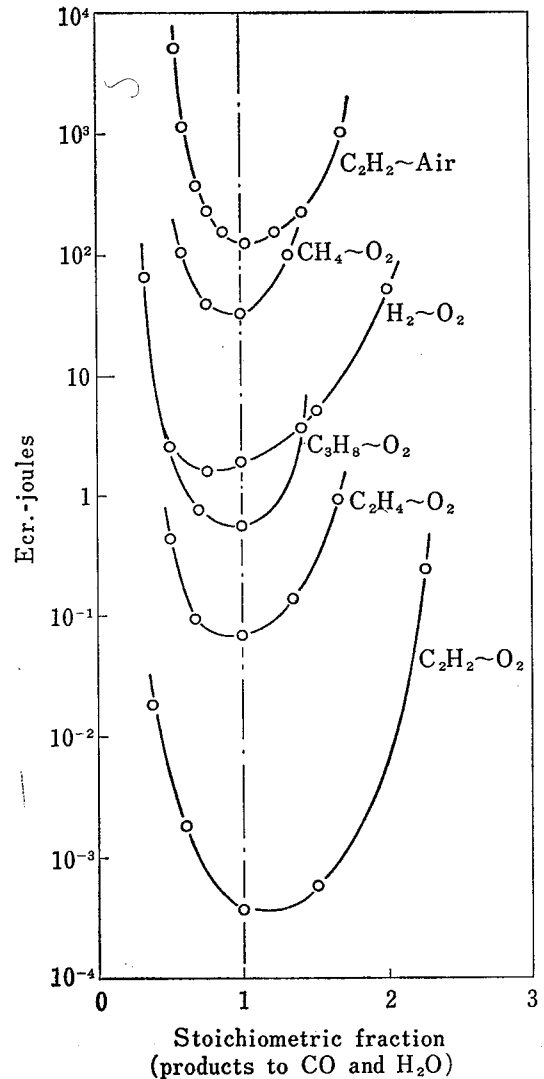


Fig. 8 Critical energy for direct initiation with fuel composition plotted as stoichiometric fraction of products to CO and H₂O
生成ガスが CO と H₂O になる燃料組成分割に対する起爆限界エネルギー

いるからである。

一方、火薬を起爆源に用いて起爆限界エネルギーを測定した結果は、本実験結果と良い一致を示すことが推定される。雷管（化学エネルギー 400J）を用いて得られた Carlson の結果⁹⁾を Fig. 7 に同時に示した。これは火薬の爆発から生ずる爆風によって起爆した時の起爆機構が、爆ごう波管からの爆風による起爆機構と類似なものであることを示唆している。

Fig. 6, 7 から分るように、各混合ガスにおいて、起爆限界エネルギーの最小値は、水素の場合を除いて化学量論組成より燃料過剰側に存在する。この濃度は爆ごう生成ガスが CO と H₂O となる混合組成* に一致していることが明らかとなった。この事を示すために、爆ごう生成ガスが CO と H₂O になる濃度を 1 として他の組成を分割した数値に対して起爆限界エネルギーをプロットした結果を Fig. 8 に示す。この図から炭化水素-酸素または空気混合ガスでは、生成ガスが CO と H₂O となる不完全燃焼組成で直接起爆限界エネルギーが最小になることが分る。

4.6 直接起爆に及ぼす窒素添加量の影響

Fig. 8 に示したように、最小の直接起爆限界エネルギーを与える燃料と酸素の混合比が判明したので、こ

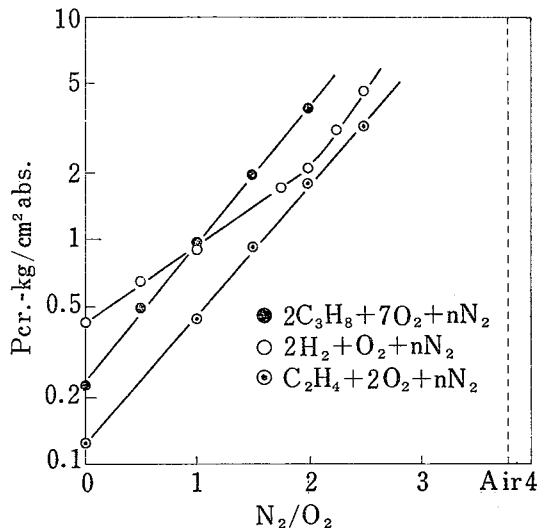


Fig. 9 Influence of nitrogen dilution on critical initial pressure for direct initiation by planar detonation in the 2" tube
2"管中の爆ごう波打ち込みによる起爆限界初圧に及ぼす窒素添加量の影響

* 例えば、 $2C_2H_2+3O_2 \rightarrow 4CO+2H_2O$, $C_2H_4+2O_2 \rightarrow 2CO+2H_2O$, $2C_3H_8+7O_2 \rightarrow 6CO+8H_2O$, $2CH_4+3O_2 \rightarrow 2CO+4H_2O$

の組成の燃料-酸素混合ガスに窒素を徐々に添加してゆき、2インチ管中の爆ごう波の打ち込みによる起爆限界初圧を測定した。これは従来火薬による起爆法以外で、燃料-空気系の球面爆ごう波の直接起爆を行った例がないので、窒素の添加量を空気の組成にまで外挿することによって、燃料-空気混合ガスの起爆限界エネルギーを推定しようとするものである。実験はエチレン、プロパンおよび水素の3種のガスについて行った。結果を Fig. 9 に示す。

エチレンとプロパンでは窒素添加量 (N₂/O₂) の増加に対して起爆限界初圧は、指数函数的に高くなることが分る。エチレンで空気の組成にまで窒素添加量を外挿すると2インチ管による起爆限界初圧は、約 18 kg/cm²abs. になることが推定される。

水素ではエチレンやプロパンとはやや様子が異なる。最初は、窒素添加量の増加と共に起爆限界初圧は、エチレンやプロパンの場合より緩やかに高まり、N₂/O₂ が2を越えると急激に高くなり始める。これは、窒素添加量が水素の反応性に複雑な影響を与えるためと考えられる。

4.7 燃料-空気系の球面爆ごう波の直接起爆限界条件の推定

推定される空気中のエチレン、プロパンおよび水素の起爆限界初圧から更に、(2)式を用いて大気圧における起爆限界管径を推定すると、いずれのガスの場合も 1m 以上になる。これから(1)式を用いて起爆限界エネルギーを推計してみると 10⁵J 以上になる。

エチレンについて、火薬による空間爆ごう（球面爆ごう）の発生実験¹³⁾を行った例がある。この時の着火源は6号電気雷管+PETN による中心点火であった。この実験で、エチレン-空気系の混合ガスを確実に空間爆ごうさせるには、少なくとも PETN 10g 必要という結果を得ている。この薬量を化学エネルギーに換算すると約 0.6×10⁵J に相当する。水素-空気系については、PETN 2g 以上必要だという報告¹⁶⁾もあるが、管中の爆ごう波打ち込みの場合の起爆限界管径と、起爆限界火薬量との間には一定の相関があることが予測される。

大気圧付近のエチレン-空気混合ガスにおける2インチの起爆用爆ごう波管において、火炎が拡大管に入る直前で爆ごうへ転移する場合が見られた。この場合転移した直後の爆ごう波はオーバーシュート (over

driven とも云う) と呼ばれる現象を示し、爆ごう波面の温度、圧力は、定常な爆ごう波のそれに較べて過大な値になっている。この爆ごう波が広い空間の未燃ガスへ打ち込まれた時は、そのエネルギーも過大であるため、広い空間のガスが直接に起爆される場合があった。この事は安全上注目すべき現象である。

5. 結 言

アセチレン、エチレン、プロパン、水素およびメタン～酸素系；アセチレン～空気系およびエチレン、プロパン、水素～酸素～窒素系について、管中の平面爆ごう波による球面ガス爆ごう波の直接起爆モデルを仮定し、起爆限界管径のデータから起爆限界エネルギーを算定した。この結果、種々混合ガスの種類および濃度に対して、 10^{-3} ～ 10^4 J にわたる起爆限界エネルギーが得られた。

炭化水素ガス濃度に対する起爆限界エネルギーの最小値は、完全燃焼組成であるところの化学量論組成付近ではなく、燃焼生成ガスが CO と H₂O になる不完全燃焼組成に存在することが実証された。

得られた結果を従来得られている他の測定法による結果と比較すると、電気スパークやイクスプローディングワイヤ法による結果より 1 桁以上小さくなった。これは起爆機構の相異や、従来の方法が起爆に有効に使われたエネルギーとしてではなく、最初にコンデンサに貯えられていた全エネルギー ($1/2 CV^2$) で評価しているためである。

一方、火薬を使って起爆した場合の火薬量から得られた起爆限界エネルギー値は、本実験結果と良い一致を示すことが推定された。これは火薬の爆発から生ずる爆風によって起爆した時の起爆機構が、爆ごう波管からの爆風による起爆機構と類似なものであることを示唆している。

アセチレンを除く他の燃料～空気混合ガスの大気圧下での起爆限界エネルギーは 10^4 ～ 15^5 J 以上になるこ

とが推定された。

(昭和52年11月4日 受理)

文 献

- 1) N. Manson, F. Ferrie, Fourth Symposium (International) on Combustion, Williams and Wilkins, p.486 (1953)
- 2) H. Freiwald, H. Ude, Z. Elec. Chem., 59, p.910 (1955)
- 3) I. B. Zeldovich, S. M. Kogarko, N. N. Simov, Soviet Phys. Tech. Phys., 1, p.1689 (1956)
- 4) J. H. Lee, R. Knistautas, C. M. Guirao, Fifteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, p.53 (1975)
- 5) R. Knistautas, J. H. Lee, Combustion and Flame 27, p.221 (1976)
- 6) E. L. Litchfield, M. H. Hay, D. R. Forshey. Ninth Symposium (International) on Combustion, Academic Press, p.282 (1963)
- 7) H. Freiwald, H. W. Koch, Ninth Symposium (International) on Combustion, Academic Press, p.275 (1963)
- 8) G. G. Bach, R. Knystantas, J. H. Lee, Thirteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, p.1097 (1971)
- 9) G. A. Carlson, Combustion and Flame, 21, p.383 (1973)
- 10) J. H. Lee, H. Matsui, Combustion and Flame, 28, p.61 (1977)
- 11) 松井, 産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-22-2, (1973)
- 12) I. Ginsburgh, W. L. Bulkley, Chem. Eng. Progr., 59, p.82 (1963) 抄訳, 安全工学, 3, No. 2, p.137 (1964)
- 13) 塩田, 赤羽, 加藤, 松田, 工火誌, 31, No. 5, p.310 (1970)
- 14) P. A. Cabbage, The Gas Council Research Communication G. C. 63, (1959)
- 15) J. H. Lee, K. Ramamurthi, Combustion and Flame, 27, p.331 (1976)
- 16) L. H. Cassutt, A. R. S. Journal, 31, p.1122 (1961)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-26-4

昭和53年1月20日 発行

発行所 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番1号

電話 (03) 453-8441 番(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 662.61 : 534.222

管中の平面爆ごう波を起爆源とする球面爆ごう波の生成

松井英憲

産業安全研究所研究報告

RIIS-RR-26-4, 1~9 (1978)

アセチレン~空気系; アセチレン, エチレン, プロパン, 水素およびメタン~酸素系およびエチレン, プロパン, 水素~酸素~窒素系の混合ガスについて, 管中の平面爆ごう波による球面ガス爆ごう波の直接起爆モデルを仮定し, 起爆限界管径のデータから起爆限界エネルギーを算定した。この結果, 種々ガスの種類および濃度に対して, 10^{-3} ~ 10^4 Jにわたる起爆限界エネルギーが得られた。得られた結果と従来得られている他の測定法による結果との比較検討がなされた。

炭化水素ガス濃度に対する起爆限界エネルギーの最小値は, 燃焼生成ガスがCOとH₂Oになる不完全燃焼組成に存在することが実証された。

(図9, 表1, 写真2, 参16)



UDC 662.61 : 534.222

Direct Initiation of Spherical Gaseous Detonations Initiated by a Planar Detonation in the Tube

by H. Matsui

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety RIIS-RR-26-4, 1~9 (1978)

The present paper describes some results for the critical energy for direct initiation of spherical detonations in C₂H₂-air; H₂, CH₄, C₂H₄, C₃H₈-oxygen and H₂, C₂H₄, C₃H₈-oxygen-nitrogen systems initiated by a planar detonation from a linear tube into the larger volume of the same explosive gas.

Critical diameter for direct initiation at atmospheric pressure was determined by extrapolation of the experimental relation between critical initial pressure and the tube diameter. The energies for direct initiation were calculated from the critical diameter data and the detonation properties using simple initiation model.

(9 figures, 1 table, 2 photographs, 16 references)

