

NOV. 1973

RIIS-RR-22-2

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-22-2

管路の拡大による気体爆轟波の中断

(第2報)

—いくつかの炭化水素・酸素爆轟波について、管路
を三次元的に拡大した場合—

松 井 英 憲

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

管路の拡大による気体爆轟波の中断 (第2報)

—いくつかの炭化水素・酸素爆轟波について管路を
三次元的に拡大した場合*—

松井英憲**

Decaying of Gaseous Detonation by Expansion (Second Report)

—Experiments on Some Fuel-Oxygen Detonations in Circular Tubes—

by Hidenori MATSUI**

When a flammable mixture is ignited within a run of pipeline, the flame is often developed into a detonation, causing a very high pressure resulting in serious damages.

If the detonation once occurs, it is difficult to interrupt it only by the use of conventional flame arresters. However, there is a fact that the detonation can be decayed into the normal combustion wave by enlarging the pipeline dimension on the way.

From this, the author reported, in the first series of this experiments, the decaying properties of the detonation in the two-dimensional flat tubes for oxy-acetylene mixtures. There had still remained some questions to be solved. The first is that how the properties would be if the detonation proceeds and expands in the three dimensions. The second is whether the detonation decaying would depend on the expansion ratio of pipeline dimension or the I. D. of the driving pipeline.

In the present report, results of the experiments on gaseous detonations are introduced with $C_2H_2-O_2$, $C_2H_4-O_2$, $C_3H_8-O_2$, H_2-O_2 and Town gas- O_2 mixtures with certain initial pressures. The detonations were driven in a run of steel pipeline which is varied from 3/8 to 2 inches in nominal diameter. The flange-jointed expanded steel pipeline is 4 inches, however 2 or 8 inches ones are also used for comparison. The wave velocities were measured by ion-probe before and after the enlargement of pipelines, to determine the effect of initial pressure on detonation decaying. Piezo electric pressure transducers were used for measuring the pressures of the wave front in some experiments.

Main conclusions obtained are as follows ;

- (1) When the detonation wave was expanded into a larger volume, the pressure of the wave front and the velocity of it suddenly were decreased and the detonation was decayed into a combustion. The difficulty of decaying for the stoichiometric oxy-fuel mixtures was in the order of $2C_2H_2+5O_2$, $C_2H_4+3O_2$, $C_3H_8+5O_2$, $2H_2+O_2$, T. G + O_2 .

* 第5回安全工学研究発表会 (Dec. 1972) において発表

** 化学研究部 Chemical Engineering Research Division

- (2) The limit of pressure of detonation decaying (P_{decay}) depends on the gas mixture and the diameter of the driving pipeline (d), and is given by the following equation.

$$P_{\text{decay}} = K \cdot d^{-0.9}, \text{ where } K \text{ is constant for each gas mixture.}$$

- (3) To obtain a complete decaying of detonation, it is required to enlarge the diameter of the pipeline at least by four times on the way. The larger the diameter of the expanded pipeline is, the slower the acceleration of the flame after decaying becomes. So the decaying distance grows longer.

1. 緒 言

爆轟 (Detonation) は、衝撃波とそれに密着して続く高速度化学反応 (燃焼波) が一体となって未反応気体中を超音速で伝播してゆく現象である^{1),2)}。燃焼が一度爆轟へ転移すれば、強い破壊力を伴って目にも止まらぬ速さで反応が伝わってゆく。特に可燃性混合ガスの存在する管路においては、いったん火炎が生ずると、燃焼が伝播してゆく間に火炎は加速され、爆轟へと発展することが考えられる。

このような危険な状況は、工場の配管設備やガス溶解設備、ガスを使用する実験室などにおいて、しばしば起こりうることである。火炎が一度爆轟へ転移してしまると、その阻止は通常の火炎防止器ではなかなか困難である。生じた爆轟波を一時通常の火炎にまで減衰させることができれば、爆轟の阻止は、より容易になるであろう。

ガス爆轟波を細い管から急に太い管へ拡大させると、爆轟波の中断が起ることは古くから知られており³⁾、このような管路拡大による爆轟の中断を利用した爆轟抑止器は、一部の可燃性ガスに限定して実用化がなされている。例えば、都市ガス・空気に対して、管路の拡大部にクリンプトリボンと呼ばれる素子を取り付けたもの⁴⁾、アセチレンの分解爆発に対して、ランツヒリングを充てんしたもの⁵⁾などがある。しかしながら、爆轟波の中断もしくは破壊の限界条件を支配する因子が何であるかについては、Soloukhin らの研究^{6),7)}があるが、いまだ、はっきりしていないのが現状である。

前報⁸⁾において、二次元的な薄い溝の中を通る爆轟波が、道幅の拡大によって、どのような特性を示すかを、低圧下のアセチレン・酸素混合ガスについて実験

を行い、その結果を報告した。そこでは、爆轟波の構造が定常、一次元ではなく、非定常で三次元であることと、これが爆轟中断の機構に大いに関連していることが明らかになった。また、中断特性は、ガスの組成と管路の拡大条件に依存することが判明した。工場等での実際の配管はパイプ状のものがほとんどである。そこで膨張を三次元にとって実験を行ってみる必要性和、アセチレン以外のガス組成ではどのようになるかという点、および、中断の難易が拡大比によるのか、管径の絶対値によるのかという疑問が残されていた。

これらの問題点を解決するために、ここでは各種内径のガス管を用いて、いくつかの炭化水素・酸素混合ガスについて、管路を三次元的に拡大した場合、すなわち管路の容積を急に増大した場合のガス爆轟波の中断特性について調べ、爆轟波を破壊する条件を、さらに詳しく探ろうとしたものである。

2. 実験装置および方法

実験に使用した爆発管には、一般にガス管と呼ばれる配管用炭素鋼鋼管を用いた。Fig.1 に示すように、細管部は長さ約2mで、大きさを呼び径1/8, 3/8, 1, および2インチの4種類に変化させた。それぞれの内径は、6.5, 12.7, 27.6, および52.9mmである。これらと呼び径4インチ (内径105.3mm)、長さ1mのガス管にフランジで接続し、管路の拡大部とした。一部の実験では、拡大部が2インチおよび8インチ (内径204.7mm) の場合についても検討した。

これらの管路には、波面速度を測定するためにイオンプローブを取り付けた。イオンプローブの回路は前報⁹⁾に示したものと同一のものである。イオンプローブには、自動車用の点火プラグ*を用いた。プローブの配置はFig.1に示す。各プローブの間隔は、管路の

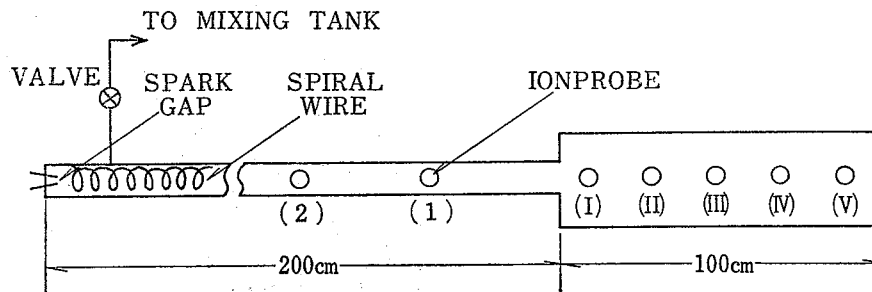


Fig. 1 Schematic of the apparatus and the arrangement of ionprobes.
爆轟管の概略とイオンプローブの配置

種類によって多少異なるが、大体 (2) と (1) の間隔は 30 cm, (1) と (I) の間隔は 40 cm, 拡大部での間隔は 20 cm である。さらに波面圧力の測定には、イオンプローブと対称の位置でピエゾ圧力変換器を用いた。これらの出力は、いずれもメモリスコープ上に記録して写真に撮り、計測を行った。

使用したガスは、市販のアセチレン、エチレン、プロパン、水素および都市ガスの5種類で、それぞれ酸素との化学量論組成の混合ガスを用いた。都市ガスは、その組成から計算して、酸素と等モルの混合ガスを用いた。都市ガスの組成例を Table 1 に示す。都市ガスの組成は、実験の間に多少の変動があり、Table 1 に示したものと厳密には一致していない。アセチレンのみ酸素との混合組成をいくつか変化させて実験を行った。これらのガスは、あらかじめ分圧によって別の混合タンク内で調製し、一昼夜以上放置して自然混合したものを用いた。ガス濃度は干渉計式ガス検定器でチェックした。

Table 1 A concentration of the major components of the town gas.
都市ガスの組成例

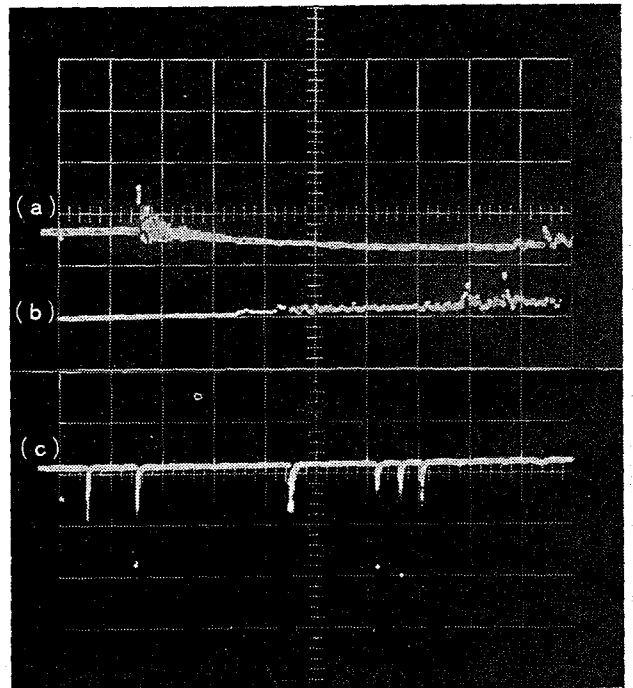
H ₂	30.8%
CO	3.0
CH ₄	36.2
C ₂ H ₄	1.8
CO ₂	4.6
O ₂	5.0
N ₂	18.6

これらの試料ガスを種々初圧において、各管路別にコンデンサーの容量放電により細管の管端で着火した。着火条件は、2.4kV, 4.7μFである。それぞれの細管部には、長さ1mほどのスパイラル線を挿入することによって火炎を乱し、点火後、直ちに爆轟へ転移するようにした。このようにして、それぞれの爆轟管およびガス組成について、管路拡大前後の波面速度変化を測定して、爆轟が中断したか否かを判定し、中断開始圧力を決定した。点火時のガスの初圧は、ガス管の強度上の制約から大気圧以下とし、大気圧よりも高い中断開始圧力は、得られた実験式から推定した。

3. 実験結果および考察

3.1 波面圧力の変化

Fig. 2 に管路拡大前後の圧力波形と、これに対応させたイオンプローブによる出力波形の例を示す。Fig. 2 の (イ) は、爆轟が中断した場合で、波形 (a), (b), は、それぞれ (a) が細管部の (1) の位置 (Fig. 1 参照), (b) が拡大部 (I) の位置におけるピエゾによる圧力波形である。波形 (c) は火炎面の到達によって立上りを示すイオンプローブの出力である。イオンプローブの取り付け位置は、(2), (1), (I)~(IV) の6カ所である。波形 (a) の急激な圧力の立上りは、(c) の2番目のイオンプローブ (1) の出力に対応しており、細管部での爆轟波の通過を示している。波形 (b) は拡大部の (I) での圧力変化を示しているが、(c) の3番目のピーク (I) の出力に示される火炎の到達にもかかわらず、圧力の急激な立上りは見られない。これは管路の急な拡大によって、爆轟波面に断熱膨張が起り、圧力と温度が急激に低下するため、燃焼の反応時間が伸びて、衝撃波と燃焼波の分離が起る。このため、爆轟波は一時中断して速度も落ち、通常の

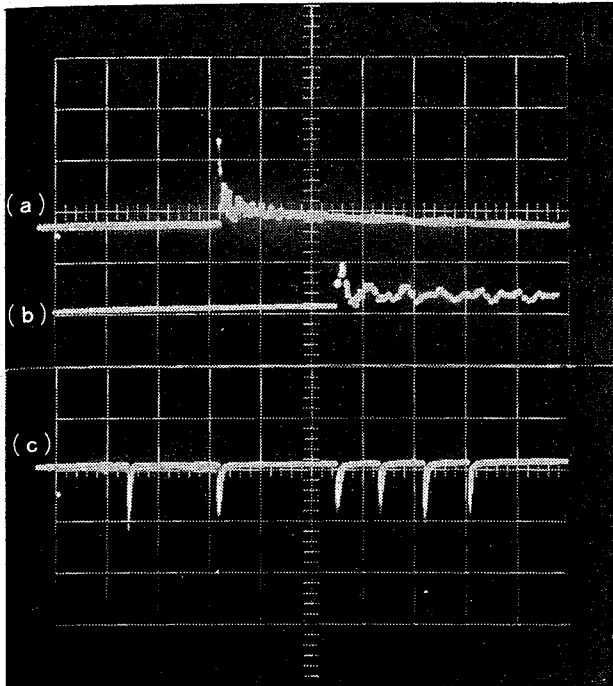


$2C_2H_2 + 5O_2, 3/8 \rightarrow 4in., P_i = 50mmHg, 0.2ms/div.$

(イ) In case of detonation decayed.

爆轟が中断した場合

* これらの点火プラグは、単にイオンギャップとして利用したものであり、点火源として使用したのではない。



2C₂H₂+5O₂, 3/8→4in., Pi=100mmHg, 0.1ms/div.
(a) In case of detonation not decayed

爆轟が中断しなかった場合

Fig. 2 Oscilloscopic records of piezo gauges and ion-probes.

ピエゾおよびイオンプローブによるメモリスコープの波形

火炎にまで減衰したことを示している。波形 (b) において、燃焼波が到達する以前に圧力のわずかな立上りが見られるが、これは火炎と分離して減衰しつつ先行する圧縮波によるものである。その後に見られている二つの圧力ピークは、爆轟の中断後、火炎が再び加速して爆轟へ再転移した際の反射衝撃波 (retonation wave) によるものと、さらにそれが拡大端で反射して再びピエゾ素子へ到達したことを示している。

Fig. 2 の (a) は、爆轟の中断が起らなかった時の (イ) と同様の波形である。このように中断が起らない場合には、管路拡大後も爆轟波による圧力の急激な立上り (波形 (b)) が (c) のイオンプローブ (I) の出力と同時に見られる。イオンプローブの出力の時間間隔は、プローブの距離の間隔に比例して現われ、波面速度は終始定常な値であることを示している。

このように管路の拡大直後の圧力波形からも、爆轟が中断したか否かを判定することができるが、本実験では、もっぱらイオンプローブによる管路拡大前後の波面速度変化の測定から、以下の方法で中断の判定を行った。

3.2 爆轟中断の判定

プローブ (1) と (I) の間の波面速度に注目し、この部分を細管での定常な爆速部と拡大部での減衰部に分割して考える。プローブ (2)~(1) から得られた細管での定常な爆速値と、(1)~(I) 間の平均波面速度から、拡大端 (0) と (I) の間の平均波面速度を計算で求めた。

計算の方法は、(1)~(0) の距離を l_1 、(0)~(I) を l_2 、波面が (1) から (I) に到るまでの時間を (τ) とすると、細管部での爆速 D は (2)~(1) の測定から得られているので (1)~(0) に要する時間が分る。 τ からこれを引くと (0)~(I) の間時が分り、 l_2 をこれで割れば (0)~(I) の平均火炎速度 v が求まるわけである。すなわち、 $v=l_2 \cdot D / (D \cdot \tau - l_1)$ となる。この速度が細管での爆速値の 1/2 以下になった場合に中断と定義した。実際には、管路の拡大比が 4 倍以上のときには、中断の判定に迷うような場合はほとんどなく、中断が起れば波面速度の減少は顕著であった。

3.3 爆轟中断開始圧力

爆轟の中断が起りうる最大の初圧を中断開始圧力と定義する。これをそれぞれのガス組成、および各管路

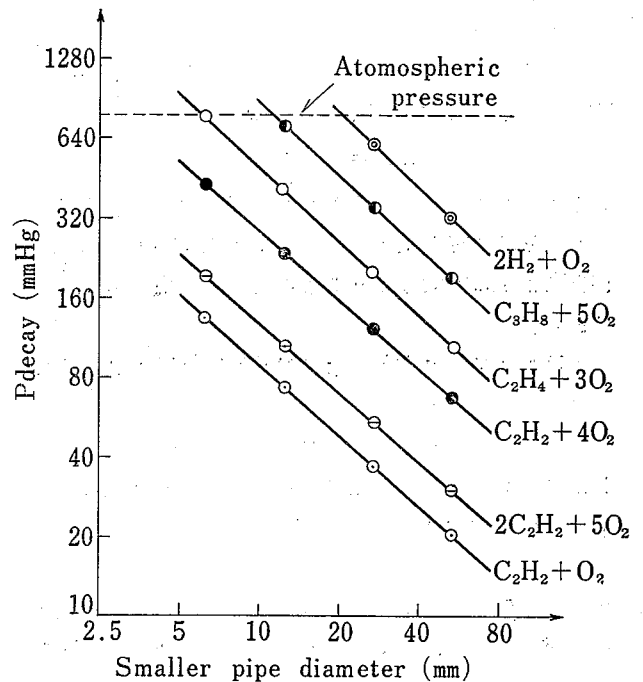


Fig. 3 Limiting initial pressure of decay with smaller pipe diameters for various gas systems (logarithmic scales.)

細管径と中断開始圧力の関係

Table 2 Limiting initial pressure of decay with different enlargements (mmHg).
各管路別中断開始圧力 (mmHg)

Enlargement (in.) Gas system	1/8→4	3/8→4	1→4	2→8	2→4
C ₂ H ₄ +3O ₂	750	410	200	100	40
C ₃ H ₈ +5O ₂	(1, 250)	700	340	185	60
2H ₂ +O ₂	(2, 120)	(1, 150)	590	310	190
T. G + O ₂	above 760	above 760	above 760	—	300

() 内は実験式からの推定値
T. G : Town gas

について求めた結果を Fig. 3 に示す。細管が 2 インチの場合のみ 8 インチ管へ拡大した結果で、他はすべて 4 インチ管へ拡大した場合の結果である。縦軸に爆轟中断開始圧力、横軸に細管部の内径をとり、いずれも対数目盛で表示している。

この図に見られるように、細管径が小さいほど中断開始圧力は高く、細管の内径と中断開始圧力の間には、いずれも直線関係があり、かつ、それぞれのガス組成に共通して、その傾きが一定であることが分る。この直線の傾きは約 -0.9 であることから、中断開始圧力は、細管の内径におおむね反比例して高くなるといえるであろう。

この関係を式に示すと次のようになる。中断開始圧力を P_{decay} 、細管の内径を d で表わすと、

$$P_{decay} = K \cdot d^{-0.9}$$

ここで、 K は各ガス組成に特有な定数である。この式から、各ガス組成について一つの実測値が求めれば、任意の管路拡大による中断開始圧力を推定することができる。

本実験では、大気圧以上の中断開始圧力を示す場合についての測定がなされていないので、これらのいくつかを、この実験式から推定してみた。C₃H₈+5O₂ の混合ガスについて、細管に 1/8 インチ管を使った場合、中断開始圧力は 1.65 気圧 (1, 250 mmHg) と推定される。2H₂+O₂ 混合ガスでは、3/8 インチ管を使えば 1.51 気圧 (1, 150 mmHg) まで、1/8 インチ管なら 2.79 気圧 (2, 120 mmHg) まで中断しうることが推定できる。

この図で、上側にあるガス組成ほど中断しやすいわけであるが、都市ガス・酸素の等モル混合ガスについては、2 インチから 8 インチに拡大した場合、中断開

始圧力が大気圧に近いことが予測され、パイプの強度上の危険性を考えて、実験を行わなかったため測定値が得られていない。しかし、1 インチから 4 インチへ拡大した場合は、大気圧でも中断が起ったので、これらの混合ガス中では最も中断しやすいことが分る。

アセチレン以外の混合ガスについての実測値、および推定値をまとめたものを Table 2 に示す。

3.4 中断開始圧力に及ぼす拡大管径の影響

細管部の大きさは一定で、拡大管の径を変えたとき、即ち管路の拡大比を変えたときに、中断開始圧力が影響を受けるかどうかについて検討した。アセチレン・酸素混合ガスについて、アセチレン濃度を変化させ、中断開始圧力との関係を各管路別に測定した結果を Fig. 4 に示す。縦軸の中断開始圧力のみ対数目盛で表示してある。ここで、3/8 インチ管から 4 インチ管へ拡大した場合と、同じ 3/8 インチ管から 2 インチ管へ拡大した場合の結果を比較してみると、両者の中断開始圧力にはほとんど差が見られないことが分る。すなわち中断の難易は管路の拡大比よりも、むしろ細管部の絶対的な大きさに依存するといえる。

1/8 インチから 4 インチへ拡大した場合と、1 インチから 4 インチへ拡大した場合の結果も同時にプロットしてあるが、この場合のデータの部分は前項の実験式から推定した値を含んでいる。いずれもアセチレン・酸素の等モル付近の混合ガスが最も中断しにくく、これよりアセチレンが濃くなると、急激に中断しやすくなることが分る。

Fig. 3 に示した細管が 2 インチの場合の中断開始圧力値は、拡大管が 8 インチであったが、これが 4 インチの場合であると、中断開始圧は Table 2 に示したよ

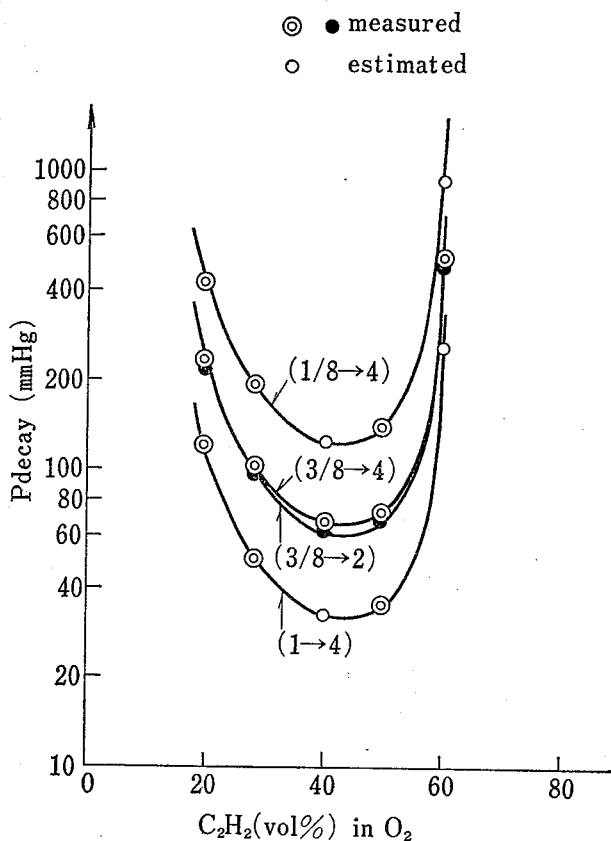


Fig. 4 Limiting initial pressure of decay with different enlargements for $C_2H_2-O_2$ mixtures. (Pressures on log scale.)

管路別アセチレン濃度と中断開始圧力の関係

うに各ガス組成共著しく低くなり、直線上に乗らない値となった。これは、2インチ管から4インチ管へ拡大した場合は、拡大比が約2倍しかなく、膨張による効果が十分でないためと思われる。またこの場合には、中断したか否かの判定も困難であった。このことから、中断に要する管路の拡大は、少なくとも4倍以上にしないと十分な効果が期待できないといえる。

3.5 波面速度変化に及ぼす圧力の影響

Table 3 および Fig. 5 にエチレン・酸素の化学量論組成混合ガスについて、管路を1/8インチから4インチへ拡大した場合、初圧を変化させたときの管路拡大前後の波面速度変化を示す。Table 3 は各プローブ間の平均波面速度を示しており、Fig. 5 は Table 3 から推定した連続的な波面速度変化を示している。Fig. 5 の方は縦軸に波面速度、横軸に拡大管の細管側の管端をゼロとして、拡大管の距離が取られている。

初圧100mmHgでは、細管部を定常な爆速で伝播してきた爆轟波は、管路の拡大後中断して波面速度が急激に低下している。その後、徐々に加速して、約1,000 m/s 位の速度になったところで再び爆轟へと発展するようである。この再転移直後は、オーバードライブして、一時過大な爆速となり、その後、再び定常な爆速で拡大管の中を伝播してゆく。初圧を200mmHg, 400 mmHg と上げてゆくと、中断後の火炎の加速は次第に速くなり、爆轟へ再転移するまでの中断距離はだんだん短くなる。初圧750mmHgまでは波面速度の急激な低下が見られるが、760mmHg では、もはや中断は起らず、管路の拡大後わずかに減速するのみで爆轟が進んでゆくことが分る。細管部での爆速は、初圧が高いほどわずかず速くなっている。他の混合ガス組成および管路でも、みな、以上と同様の傾向を示した。

3.6 波面速度変化に及ぼす細管径の影響

拡大管の大きさは一定(4インチ)にしておき、細管の径を変化させたときの波面速度変化が、管路拡大前後でどのように変わるかを検討した。Table 4 に都市ガス、水素およびプロパンの酸素との化学量論組成混合ガスの大気圧における結果を示す。

Table 3 Variation of wave velocity before and after the enlargement at different initial pressures.

波面速度変化への圧力の影響

Pi (mmHg)	Deto. velo. in smaller pipe (m/s)	Flame velo. in wider pipe (m/s)			
		0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	50~70 cm
100	2, 115	135	660	680	2, 705
200	2, 240	175	870	3, 110	2, 220
400	2, 350	215	2, 500	2, 430	2, 325
750	2, 390	290	3, 335	2, 430	—
760	2, 405	2, 320	2, 500	2, 430	2, 410

$C_2H_4 + 3 O_2$, 1/8 in. → 4 in.

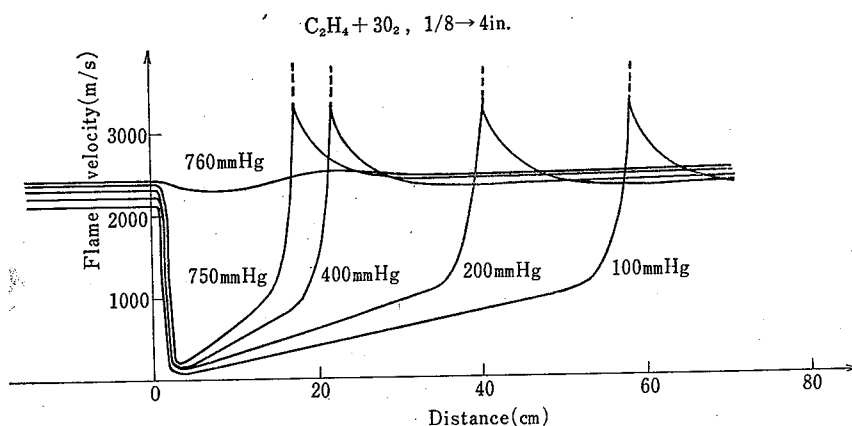


Fig. 5 The wave velocity profile before and after the enlargement at different initial pressures for stoichiometric $C_2H_4-O_2$ mixture.
管路拡大前後の波面速度変化

Table 4 Variation of wave velocity before and after the enlargements with the different diameters of smaller pipe at the atmospheric pressure.
波面速度変化への細管径の影響

(イ) $T.G+O_2$

Enlargement (in.)	Deto. velo. in smaller pipe (m/s)	Flame velo. in wider pipe (m/s)			
		0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	50~70 cm
1/8→4	2, 210	145	835	765	3, 325
3/8→4	2, 230	295	575	1, 165	3, 030
1 →4	2, 285	630	850	1, 135	2, 530
2 →4	2, 330	1, 995	2, 380	2, 300	2, 350

(ロ) $2H_2+O_2$

Enlargement (in.)	Deto. velo. in smaller pipe (m/s)	Flame velo. in wider pipe (m/s)			
		0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	50~70 cm
1/8→4	2, 710	190	1, 555	3, 145	2, 945
3/8→4	2, 790	365	800	3, 335	2, 860
1 →4	2, 880	2, 555	2, 985	2, 820	2, 860
2 →4	2, 910	2, 850	2, 915	—	—

(ハ) $C_3H_8+5O_2$

Enlargement (in.)	Deto. velo. in smaller pipe (m/s)	Flame velo. in wider pipe (m/s)			
		0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	50~70 cm
1/8→4	2, 325	200	1, 480	2, 355	2, 325
3/8→4	2, 355	1, 950	2, 410	2, 410	2, 300
1 →4	2, 380	2, 285	2, 410	2, 410	2, 380
2 →4	2, 425	2, 395	2, 440	2, 405	2, 375

Pi : Atmospheric pressure

Table 4 の (イ) に示す都市ガスの場合、細管部での爆轟速度は、管路が小さいほど低くなっている。これは管壁による抵抗が管が小さいほど大きくなるためである。管路拡大直後の波面速度は、中断が起った場合には急激な低下を示すが、この最低速度は細管が小さいほど低くなる。しかしながら、その後の火炎の加速は、細管が 1/8, 3/8, 1 インチのそれぞれの間大きな差は見られず、いずれも拡大管の 50~70 cm 付近で爆轟へ再転移している。再転移の位置は、オーバードライブによる過大な爆速値が測定されることから推定できる。2 インチから 4 インチへ拡大した場合は、もはや中断は起っていない。

Table 4 の (ロ) に示す水素の場合、細管が 1/8, 3/8 インチでは中断が起っており、拡大管の 30~50 cm の間で爆轟へ再転移している。1 インチおよび 2 インチでは中断は起っていない。Table 4 の (ハ) のプロパンになると、中断が起るのは細管が 1/8 インチの場合だけで、その他の細管径では中断は起らないことが分る。エチレンおよびアセチレンの酸素との当量組成混合ガスでは、1/8 インチの細管を用いても、大気圧では爆轟を中断させることはできない。

3.7 波面速度変化に及ぼす拡大管径の影響

細管の大きさを固定して、拡大管の大きさを変えたときの波面速度変化の相異について検討した。Table 5 は、都市ガス、水素、プロパンについて、3/8 インチから 4 インチ管へ拡大した場合と 2 インチ管へ拡大した場合の比較を行ったものである。初圧はいずれも大気圧である。

このような場合には、爆轟中断開始圧力は、両者の

間にほとんど差のないことを 3.4 ですでに示したが、管路拡大後の波面速度変化には、両者の間に相異が見られる。細管での爆速は両者とも管径が等しいので、ほとんど差がないのは当然であるが、中断が起った場合、拡大管での火炎の加速は、拡大管が 2 インチの方が 4 インチの場合よりはるかに速く、いわゆる中断距離が短くなる。これは爆轟誘導距離が、管径が小さいほど短いという従来の結果と一致している。このことは、管径が小さいほど、未燃ガス内の圧縮波の壁からの反射による影響や、壁による未燃ガスの乱れの影響が大きくなるため、爆轟へ転移しやすくなるものと考えられる。

3.8 理論爆速と実測値

一次元爆轟理論により、C-J 面 (反応完了面) での化学平衡を仮定したときの理論爆速を、それぞれのガス組成について初圧を変えて計算を行った。計算のプログラムは Gordon の方法⁹⁾を用い、当所の計算機システム FACOM 230/35 を使用して計算した。これらの計算値を Table 6 に示す。

一般に初圧が大気圧付近では、理論値と実測値は良く一致するが、初圧がそれより低くなるほど、理論値と実測値の差が大きくなるようである。これは、低圧になるほど、爆轟波の非定常性、非一次元性が実際の爆速に大きく影響してくるためと思われる。

実際の管中の爆轟速度は、壁面抵抗のために、管径によってかなり影響を受ける。都市ガス・酸素の等モル混合ガスの爆速の管径による影響を Fig. 6 に示す。初圧は 50 mmHg から大気圧までの範囲である。理論爆速値は破線で示した。この図から分るように、爆速

Table 5 Variation of wave velocity before and after the enlargements with different diameters of larger pipe at the atmospheric pressure.
波面速度変化への拡大管径の影響

Gas system	Enlargement (in.)	Deto. velo. in smaller pipe (m/s)	Flame velocity in wider pipe (m/s)			
			0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	50~70 cm
T. G + O ₂	3/8→4	2, 230	295	575	1, 165	3, 030
	3/8→2	2, 235	660	2, 040	2, 325	2, 325
2H ₂ + O ₂	3/8→4	2, 790	365	800	3, 335	2, 860
	3/8→2	2, 785	760	2, 985	2, 780	2, 740
C ₃ H ₈ + 5O ₂	3/8→4	2, 355	1, 950	2, 410	2, 410	2, 300
	3/8→2	2, 370	2, 270	2, 355	2, 380	2, 380

Pi : Atmospheric pressure

Table 6 Calculated values of detonation velocity at various initial pressures. (m/s).
種々初圧における理論爆速値 (m/s)

Pi. (mmHg)	100	200	380	760	1,520
Gas system					
$C_2H_2+O_2$	2,806	2,851	2,893	2,937	2,981
$2C_2H_2+5O_2$	2,322	2,357	2,392	2,430	2,469
$C_2H_4+3O_2$	2,284	2,317	2,347	2,380	2,414
$C_3H_8+5O_2$	2,276	2,306	2,335	2,366	2,397
$2H_2+O_2$	2,755	2,786	2,821	2,858	2,896
T. G+ O_2	2,195	2,222	2,247	2,274	2,302

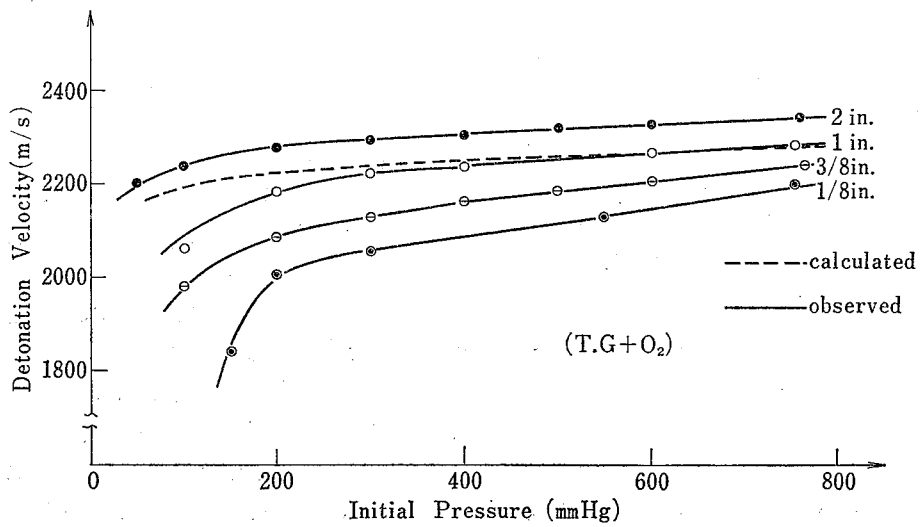


Fig. 6 Dependence of the detonation velocity on the pipe diameters for equimolar T.G- O_2 mixture.
爆轟速度の管径による影響

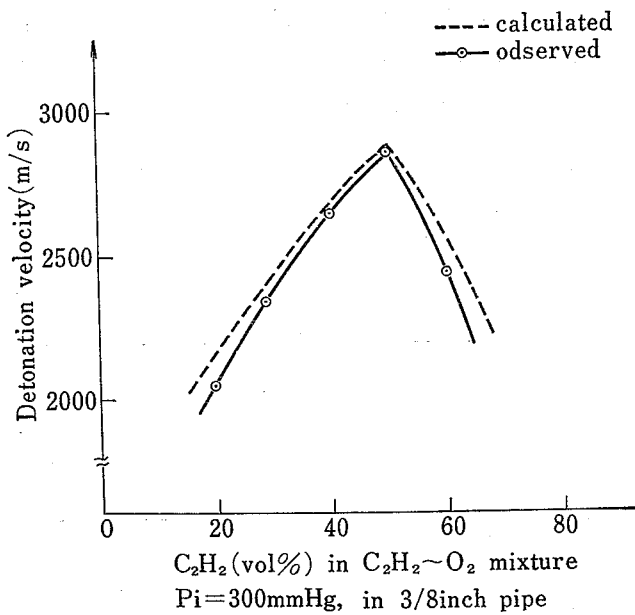


Fig. 7 Comparison of calculated (broken line) and observed detonation velocities for $C_2H_2-O_2$ mixtures.
アセチレン濃度と爆速の関係

は管径が小さいほど低くなり、初圧が低いほど、理論爆速からのずれが大きくなることが分る。他のガス組成について同様の検討を行った結果では、爆轟の中断が起りやすい組成ガスほど、爆速への管径の影響が大きいことが分った。

Fig. 7 にアセチレン濃度と爆速の関係を示す。初圧一定 (300 mmHg) で、実測値は 3/8 インチ管における値である。これによると、理論値と実測値の差は、最も中断しにくい組成であるアセチレン 50% の濃度で最も小さく、中断しやすい組成になるほど、この差が大きくなっている。このことから、爆轟の非定常性は理論値からのずれとして表われてくるのではないかと思われる。

5. 結 言

管路の容積を急に拡大した際の、爆轟波の中断特性について実験した結果、次のことが明らかになった。

- 1) 管中の気体爆轟波は、そのガス組成および初圧に応じて、管路を急に拡大することによって、一時的に中断させうる。実験に使用した量論ガス組成では、中断の難易の序例は次のようである。中断しにくいものから順に、 $2C_2H_2+5O_2$, $C_2H_4+3O_2$, $C_3H_8+5O_2$, $2H_2+O_2$, $T.G+O_2$ 。
 - 2) 爆轟中断開始圧力は、拡大比ではなく、細管の絶対径に依存する。これは次の実験式で与えられる。 $P_{decay}=K \cdot d^{-0.9}$ 、すなわち、中断開始圧力は細管径に、おおむね反比例するといえる。
 - 3) 中断に要する管路の拡大は、少なくとも4倍以上にしないと十分な効果が期待できない。拡大管が大きいほど中断後の火炎の加速も遅く、中断距離が長くなる。
- 実験はおもに酸素との当量組成混合ガスについて行

ったが、ここで注意しなければならない点は、爆轟の速度や波面圧力は化学量論組成付近の濃度で最大値を示すとは限らないということと、爆速または波面圧力が大きい混合ガスの方が、それが小さい混合ガスより中断しにくいとは一概にいえないということである。むしろ爆轟波の非定常性が最も中断に関係する要素であろうと思われる。

現在、一般に使用されている火災防止器においても、消炎素子を取付ける部分を、流量抵抗を少なくするために拡げた形のものが見られるが、このことは、本実験の結果から、爆轟を減衰させるのに有効な方法であることが確認された。ガス組成が空気との混合ガスの場合には、かなり高い圧力でも爆轟を中断させるであろうことが予測される。この爆轟中断の特性を、どのように爆轟抑止器へと応用しうるかが、今後の課題である。

(48.6.13 受理)

文 献

- 1) B. Lewis and G. von Elve, "Combustion, Flames and Expsion of Gases", (1961), Academic Press, N. Y.
- 2) 疋田, 秋田, "燃焼概論", (1971), コロナ社
- 3) P. Laffitte, Compt. rend., 179, 1394 (1924)
- 4) 難波桂芳他訳, "化学プロセスの災害防止2", 79 (1971), 共立出版
- 5) S. M. Kogarko, A. G. Lyamin, V. A. Mikhailov, Khimich. Promyshlenost, 47, 923 (1971)
- 6) R. I. Soloukhin, 工業火薬, 28, 95 (1967)
- 7) R. I. Soloukhin, K. W. Ragland, Combustion and Flame, 13, 295 (1969)
- 8) 松井, 産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-20-5 (1972)
- 9) F. J. Zelezink, S. Gordon, NASA TN D-1454 (1960)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-22-2

昭和48年11月30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(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 662.61 : 534.222

管路の拡大による気体爆轟波の中断 (第2報)

—いくつかの炭化水素・酸素爆轟波について、管路を三次元的に拡大した場合—

松井英憲

産業安全研究所報告

RIIS-RR-22-2, 1~11 (1973)

種々内径のガス管を用いて、アセチレン、エチレン、プロパン、水素および都市ガスと酸素の混合ガスについて、管路を途中で拡大した場合の爆轟波の中断特性について実験を行った。

イオンプローブ法によって管路拡大前後の波面速度変化を測定し、爆轟中断開始圧力を決定した。爆轟中断開始圧力は、ガスの組成および細管部の管径に依存することが明らかになった。

(表6, 図7, 参9)



UDC 662.61 : 534.222

Decaying of Gaseous Detonation by Expansion (Second Report)

—Experiments on Some Fuel-Oxygen Detonations in Circular Tubes—

by H. MATSUI

Research Report of Research Institute of Industrial Safety.

RIIS-RR-22-2, 1~11 (1973)

Gaseous detonations in $C_2H_2-O_2$, $C_2H_4-O_2$, $C_3H_8-O_2$, H_2-O_2 and Town Gas- O_2 systems were initiated in the narrow part of the steel pipe whose diameter was enlarged at the half way of it.

The wave velocities before and after the enlargements were measured by ion-probe method to determine the limiting initial pressure of detonation decaying.

It was found that the limiting pressure depended on the gas system and the diameter of the narrow part of the pipe.

(6 Tables, 7 Figures, 9 References)

