

MAR. 1975

RIIS-RR-23-5

UDC 614.838

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-23-5

火炎防止器に関する研究

(第3報)

—アセチレン-空気系爆ごうの阻止—

林 年 宏

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

火炎防止器に関する研究 (第3報)

—アセチレン-空気系爆ごうの阻止—

林 年 宏*

Interruption of Explosions by Flame Arresters (3rd Report)

—Quenching of Acetylene-Air Detonations—

by Toshihiro Hayashi*

The fact that flames are unable to pass through narrow passages has been known as quenching phenomena. This principle is applicable for the direct quenching of detonation flames, using a quenching element with a large number of passages of small diameter. The assumption can be made that the quenching of detonation flame is composed of two processes; the first is the decaying of detonation wave, which separates shock wave from a flame front, and the second process is a quenching of separated deflagration flame. Thus the quenching element should have an adequate thickness or passage diameter in order to perform above two roles. Commercial metal filters can be used as quenching elements of detonation arresters.

This report describes about quenching abilities of sintered wire gauze and sintered metal against detonation flames propagating in stationary acetylene-air mixtures (initial pressure up to $2\text{kg/cm}^2(\text{g})$, acetylene content 4~15%). Experiments are carried out in a 1-inch enclosed tube, in which quenching element is inserted with a supporting perforated plate behind. Velocities of flame propagation are measured before and after the quenching element, and also an observation is made by an aid of thermocouple whether flame passed through the element or not.

Main results are as follows;

- 1) It is found most difficult to quench flames of near-stoichiometric mixture of higher initial pressure. Detonation velocity is considered to have no substantial effect on flame transmission, because the maximum velocity is observed at 15%, which is far from the stoichiometric value.
- 2) Assuming that the quenching ability of wire gauze is evaluated by the Limiting Safe Pressure (L. S. P.), which is defined arbitrarily as a maximum pressure under which no flame pass through quenching element, L. S. P. can be related to the quantity of gauzes. But the relation between L. S. P. and flow resistance of gauze is not fully clarified.
- 3) Even when gauzes failed to quench flames, detonation wave is always decayed. An average flame velocity (v) after gauzes shows a large decrease from the detonation velocity. The velocity v is found to decrease as the initial gas pressure decreases. At the limiting pressure of flame transmission, v seems to reach a constant value independent of acetylene content and the quantity of gauzes. This makes it possible to predict L. S. P. from the relation between v and initial pressures. For various conditions, predicted L. S. P. show good agreement with those determined experimentally.

* 化学研究部 Chemical Engineering Research Division

1. 緒 言

配管等の内部で生じた爆ごう（デトネーション）の伝播阻止は、被害の拡大防止のために重要な安全上の技術であり、こうした目的に使用されるものは爆ごう抑止器（デトネーション・アレスタ）とよばれている*1。

微細な空隙中を火炎が伝播しえないことはよく知られており、この消炎現象はデトネーション・アレスタの基本原則として利用できる。細隙を有する固体消炎素子を用いるデトネーション・アレスタは構造上2種類に分けることができる。ひとつは消炎素子に直接入射する爆ごう波を阻止するもの（直接阻止法）、他は何らかの方法により爆ごう波をいったん中断させ、衝撃波から分離した火炎を消炎素子により阻止するもの（間接阻止法）である。しかし、爆ごうの直接阻止とはいってもそれはあくまでも見かけ上のことであり、実際には消炎素子の一部（爆ごう波の入射側）では爆ごう波の中断が生じ、残りの部分で中断後の火炎が消炎されるのである¹⁾から中断の過程をへることは変わらないともいえるが、直接法と間接法では消炎素子に要求される消炎能力には大きな差が生ずる。

爆ごうの伝播阻止は結局のところ爆ごう波の中断とそれに続く消炎というふたつの段階をへるのであるから、デトネーション・アレスタとしては爆ごう波を中断させる方法の検討も重要であり、筆者もすでにひとつの方法を提示した²⁾。しかし、間接阻止法で用いる消炎素子であってもその消炎能力は爆ごう波の直接入射を受けた場合について確認されていることが必要であり、本報ではもっぱら爆ごうの直接阻止について論ずる。

一定条件下の爆ごうの伝播を阻止しうるか否か（の限界）を消炎素子の細隙構造や厚さから予測することは困難であり、実験的確認にもとづく安全性の評価が必要である。多層金網による水素-空気系爆ごうの阻止についてはすでに報告した³⁾が、本報ではアセチレン-空気系の爆ごうに対する多層金網と焼結金属の消炎特性をしらべた。アセチレン-空気混合ガスは爆ごうに転移しやすく爆ごう濃度範囲も広い。また水素と同

様に消炎きょりが小さい⁴⁾ので、他のガスに比して火炎伝播の阻止が困難であると考えられるので、えられる結果も利用価値の高いものとなるであろう。

爆ごうの伝播阻止の難易を決定する因子については殆んど知られていない。本報ではアセチレン濃度と爆ごう伝播速度との関係からこれらの因子が消炎にどう影響するかを明らかにした。更に、金網により爆ごうが阻止されない場合でも爆ごう波の中断は起ることを示し、中断後の火炎伝播速度の測定から混合ガスの初圧が爆ごうの阻止に与える影響について論じた。

2. 実 験

2.1 実験装置（爆ごう管）

爆ごう管は呼び径1インチの配管用炭素鋼管からなる。Fig.1は爆ごう波の伝播速度（以下、爆速という）測定用の直管で、爆ごう転移を促進させるためのスパイラル線が挿入されており、4ヶ所にイオン・ギャップが取り付けられている。Fig.2は、消炎素子を管路に固定するためのアレスタ・ハウジングを含む爆ごう管の概略図である。ハウジングの構造などは前報¹⁾とまったく同じである。消炎素子を補強する多孔板の開口面積の影響についてはすでにわかっている^{1),3)}ので、前報で用いたうちで最も開口面積の大きい多孔板^{*2}のみを使用した。なお、Fig.2の点火端から消炎素子ま

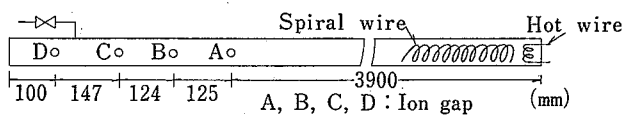


Fig.1 Detonation tube for measurement of detonation velocity

爆速測定用爆ごう管

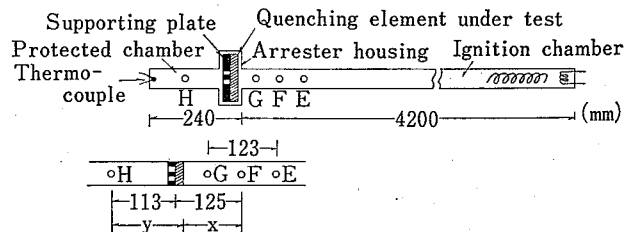


Fig.2 Detonation tube for study of detonation quenching

爆ごう阻止実験装置

*1 デトネーション・アレスタは広義の火炎防止器（フレーム・アレスタ）の一種とみなせるが、ここでは衝撃波をとみなさない火炎を対象とするものをフレーム・アレスタとよんで区別することにす。

*2 直径10mmの孔が、直径16mmの円周上に4つ均等に配置されたもの、厚さは6mm

でを点火側 (Ignition chamber), 消炎素子からあとを引火側 (Protected chamber) と呼ぶことにし, 引火側には火炎の到達を確認するための熱電対が挿入されている。

2.2 消炎素子

多層金網は前報^{1), 3)}の実験に供したと同仕様のものであり, 5層焼結したものを1枚 (1 pack) の金網と呼ぶこととする。

焼結金属は多層金網と同様にふつうフィルターとして市販されているものであって, これと同仕様のものが水素-空気の爆発火炎に対してどのような消炎特性を示すかについてはすでに検討した⁵⁾。

消炎素子の仕様を Table 1 に示す。供試品はいずれも外径 40mm の円板で, 補強用多孔板とともにアレスタ・ハウジングに組みこんで実験に供する。

Table 1 Specifications of quenching elements
消炎素子の仕様

Kind of element	Sintered wire gauze	Sintered metal
Material	Stainless steel (SUS 27)	Stainless steel (SUS 32)
Filtration diameter (when used as filters)	150 micron	120 micron
Apparent density	4 g/cm ³	4.3 g/cm ³
Thickness	1.7 mm/pack	2 mm
Note	Five plain weave wire cloths (60 mesh/inch with mesh width of 300 micron) are sintered to form one pack of gauze.	Sizes of metal powders before sintering are specified by Tyler mesh number : 20 mesh pass 24 mesh stop

2.3 実験ガス

アセチレンは市販ボンベ入りのものを用い, 分圧方式により大気条件の空気と混合した。濃度は干渉計式ガス検知器 (アセチレン 0~20 vol. % 用, 有効室長 20mm) で測定した。アセチレン濃度が20%近くなると反応後に遊離炭素を生じ実験上支障があるので, 爆速の測定は17%まで行なったが, 爆ごう阻止の実験でのアセチレン濃度は15%を上限とした。なお, 混合ガスの初圧の最高は 2 kg/cm² (ゲージ圧) までとした。

2.4 実験の手順

毎回の実験では爆ごう管中を 2mmHg (Abs.) 以下の真空とし, 予混合ガスを所定の初圧にまで満して点火する。爆速の測定には3台のカウンタを用い, A-B, B-C, C-D 各測定点間を火炎が伝播するに要する時間を, 初圧 0 (大気圧) から 0.5 kg/cm² まで 0.1 ごとに変えて測定した。

爆ごう阻止の実験では初圧の高いほど伝播阻止が困難であるとわかっているため, 一定の消炎素子について引火側に火炎の生ずる (以下, 引火するという) 初圧を求め, 次第に圧力をさげて引火しない初圧を定めた。初圧の最小刻みは大気圧以上では 0.1 kg/cm², 減圧下では 50mmHg とした。この結果, 同一の初圧で3回連続して引火しないときは, この圧力をその条件下における非引火初圧 (Limiting Safe Pressure, 以下に L.S.P. と略することがある) と定義して素子の消炎能力を比較する基準値とした。実験結果に示す L.S.P. は同一条件下で数回実験したうちの最低値を意味する。実験ではまた, Fig.2 の E-G および F-H 間を火炎が伝播するに要する時間を測定し, 金網における消炎に関連する種々の因子について考察するデータとした。

爆速の測定 (イオン・ギャップ法) および流量抵抗の測定の具体的方法は前報¹⁾ を参照されたい。

なお, 爆ごう実験はすべて密閉管中を火炎が水平に伝播するようにし, 大気条件の変動の影響は無視した。また, 初圧が高い場合の実験は清瀬実験場の配管等爆発実験施設の防護室 (鉄筋コンクリート, 壁厚 30 cm) 内で行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 アセレン濃度と爆速の関係

火炎 (爆ごう波) 面が伝播するに要する時間は A-B, B-C, C-D 間について測定したが, これらの時間から A-C, A-D, B-D 間の伝播所要時間も求まり, 各測定点間の距離から1回の実験により6ケの平均速度がえられる。初圧は6とおりに変えたのでひとつの濃度について36ケの値がえられ, これらの算術平均値をその濃度における爆速とした。Fig.3 に濃度と爆速の関係を示す。

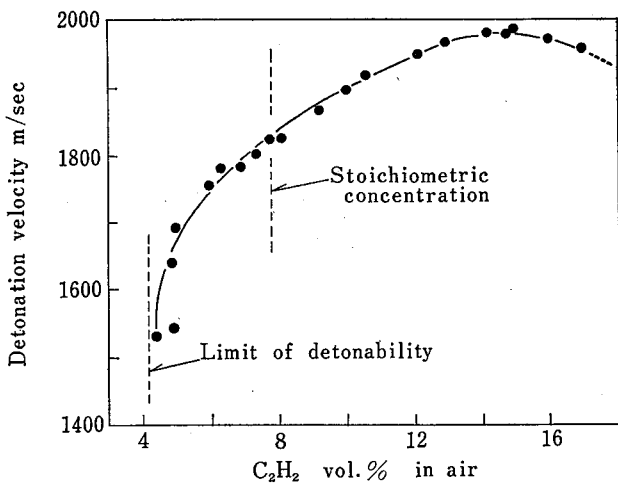


Fig. 3 Relation between gas concentration and detonation velocity
アセチレン濃度と爆速の関係

爆速の測定は、一定の距離間においてどの2点間の速度をとっても等しいときに意味をもつと解される。測定点数を多くしたのはこれを確認するためである*3。また、実験的に測定される速度がある程度の初圧の変化により影響されないことも安定な爆ごうか否かを判定するひとつの目安になるので、初圧を変えてこの点も確かめた。アセチレンが5%をこえる各濃度における爆速は36ヶの測定値間の差がおおむね数 10m/s の範囲にあり、予測どおり初圧の影響もみられなかった。しかし5%以下では初圧により（というより、そのときの火炎伝播の初期状態が異なるためといった方が正確であるが）速度は大きく変動することがあり、同初圧での測定値間の差が 100m/s をこすこともあった。これがガス濃度に起因する本質的な現象なのか、爆ごう管の長さや測定点の位置が適切でないのかなどについては疑問が残るが、ここではこの濃度域で不安定な現象があることを把握するにとどめた。従って5%以下での爆速はその定義に反するが、測定結果全体としては従来の報告値⁶⁾とよい一致を示し、15%までは濃度とともに爆速は増大した。

3.2 多層金網の消炎能力

Fig. 4 は金網を消炎素子としたときの非引火初圧 (L.S.P.) を金網枚数ごとにアセチレン濃度に対して

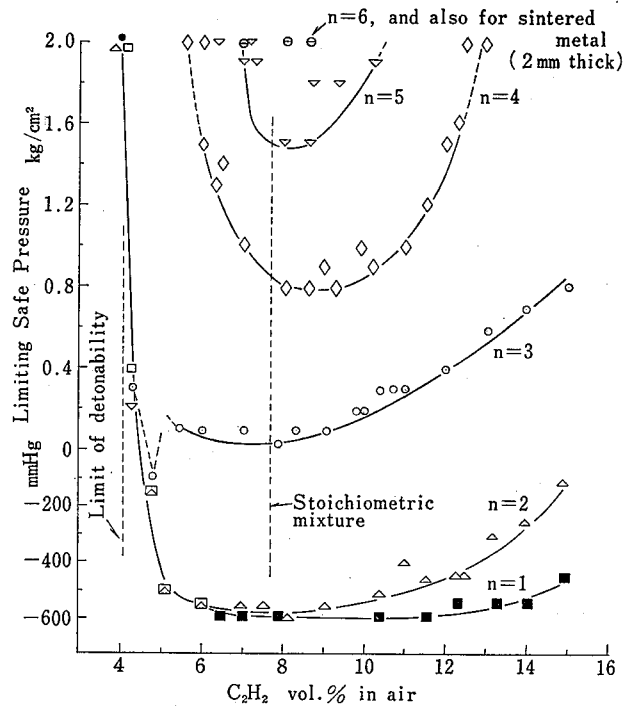


Fig. 4 Effects of gas concentration and quantity of wire gauzes on Limiting Safe Pressure (n is a quantity of gauzes piled, and solid marks mean no ignition of the mixture.)
金網の消炎能力（濃度および枚数と非引火初圧の関係）

プロットしたものである。L.S.P. は金網の消炎能力を示すから、同じ枚数では L.S.P. の低いほど引火しやすい濃度を意味するが、金網枚数をかえても L.S.P. の最低値は8%付近となり、ほぼ当量濃度 (7.72%) において爆ごうの阻止が最も困難であることがわかる。このことはまた、金網により爆ごうが阻止される過程においては（爆ごう波の中断という中間段階をへるにしても）最終的には火炎面において生ずる反応熱の奪取が金網の最も重要な役割りであろうという推測を相互に裏づけるものであり、他の条件が同じであれば初圧の高いほうが伝播を阻止しにくいという実験的事実とも一致する。

実験の範囲では爆速は15%で最大となるが、この濃度での爆ごうの阻止はむしろ容易である。ある金網枚数について L.S.P. を求める際には、ある程度予測がつくので初圧をむやみに大幅に変化させる必要はない。それ故爆速は初圧の影響を受けず、むしろある初圧での爆速がそれより高い初圧での爆速よりも大きく測定されることも多いが、それにもかかわらず初圧の高いほうが引火しやすいという事実は動かしがた

*3 測定点間距離はイオン・ギャップとして用いた点火プラグのプラスチック棒体の中心間距離としたので、管中に露出するスパーク・ギャップ部がイオン・ギャップとして作用するときの距離とは幾らか差があるかもしれないが、測定点を多くすることによりこうした誤差を相殺できると考えた。

い。これらのことから、爆速は伝播阻止には関係しない因子であると結論される*4。金網6枚の場合7~9%の濃度についてしか実験しなかったのは上述の理由による。Palmer⁷⁾は、管中を伝播する爆発火炎が金網により阻止されるか否かはガスの種類や濃度には関係なく、金網に向って進む火炎の伝播速度によってきまると述べているが、爆ごうの場合にはこの考えはあてはまらない。爆ごうか否かによって火炎の伝播機構はまったく異なるが、爆ごうの場合でも金網に入射して中断されてしまえば消炎機構は同じとみられ、また爆ごうでない火炎の伝播速度は当量濃度に近いほど大きいのがふつうであるから、金網に到るまでの火炎伝播の形態の如何を問わず最も引火しやすい条件は同じであると考えたほうが妥当なようである。

Fig.4 で金網が1枚のときの L. S. P. は、アセチレン濃度が 6.5% 以上では実験に用いた点火方法による着火限界圧力と一致した。すなわち、混合ガスに着火すれば火炎は常に爆ごう波として伝播し、金網1枚では阻止できなかった。一方、5.1% 以下では金網の枚

数による差はみられず、L. S. P. は爆ごう転移限界圧に一致した。爆ごうに転移する下限濃度は 4.2% とされているが、4.3~5.1% では比較的転移しにくく、もし転移すれば引火するが転移しなければ初圧が高くても火炎は阻止されるという結果になった。低濃度域でのこうした不安定な現象は爆速の測定に際してもみられたが、特に留意すべきことは時として異常に大きい爆速が記録されたことであって、これはいわゆるオーバー・シュートが爆速測定点間で生じたものである。Table 2 には 5.4% 以下での結果を示すが、この表の数値を比較すれば Fig.4 で金網の枚数が多いのに L. S. P. が低いという逆転の生じたことが理解されよう。アセチレン濃度 4% では加圧下でも爆ごうへの転移はみられず、初圧 2 kg/cm² においても1枚の金網により火炎伝播は阻止された。

爆ごうの阻止に必要な金網の枚数は、爆ごう波を中断させそのあとの火炎を消炎させるに十分なものでなければならない。金網枚数が1および2で L. S. P. が極めて低いのは、爆ごう波が十分に中断されず、従ってそのあとの火炎が弱められていないためである。

Table 2 Effect of abnormal detonation on flame transmission (for lean gas mixtures)

爆ごう転移限界付近における不規則性

C ₂ H ₂ %	Quantity of gauzes	Initial pressure	Detonation velocity	Flame
5.4	3	0.1 kg/cm ²	1612 m/s	Quenched
5.1	3	0.5	1694	Passed
		0.4	Not detonated	Quenched
	2	-400 mmHg -450 -500	1555 1841 Not detonated	Quenched Passed Quenched
4.8	3	-50 -100	1900 Not detonated	Passed Quenched
	2	-100 -150	1282 Not detonated	Passed Quenched
4.3	3	0.4 kg/cm ² 0.3	1909 Not detonated	Passed Quenched
	2	0.3 0.2	1363 Not detonated	Passed Quenched
	1	0.5 0.4	2029 Not detonated	Passed Quenched
4.0	1, 2 and 3	2.0	Not detonated	Quenched

*4 このことはおそらく、どのような種類の混合ガスの爆ごうについても成り立つであろう。しかし異種の混合ガスの爆ごうの阻止の難易がこれらの爆速と無関係であることを意味するものではない。

3.3 焼結金属の消炎能力

焼結金属を消炎素子とする実験はアセチレン濃度が

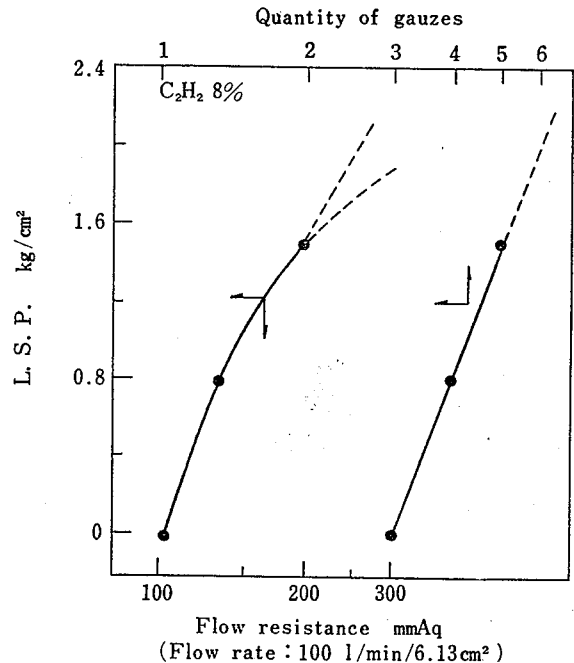


Fig.5 Relation between Limiting Safe Pressure and quantity or flow resistance of wire gauzes

非引火初圧と金網の枚数、流量抵抗の関係

7~9%, 初圧 2 kg/cm² で行なったが、いずれの濃度においても厚さ 2mm の素子により爆ごうは阻止された。

3.4 流量抵抗と非引火初圧の関係

消炎素子の流量抵抗と消炎能力の間に何らかの関係のあることが示されれば実用上便利である。Fig.5 は Fig.4 の結果から金網枚数と非引火初圧 (L.S.P.) の関係を示したものである。また、流量抵抗と L.S.P. の関係についても同図上に示した。L.S.P. はアセチレン濃度 8% の場合の値である。流量抵抗は空気流量 100l/min のときの金網前後の圧力差で、同じ枚数で金網をかえて 5 回測定したうちの最低値をとった。L.S.P. と枚数は片対数図では直線関係を示し、枚数 6 のときの L.S.P. は 2.0 kg/cm² となり、実験的にはこの初圧で引火しなかったので一応両者の関係はうなずける。しかし、流量抵抗の方は金網 3~5 枚のデータがひとつの曲線上にのるにもかかわらず、この外挿による L.S.P. は実験値より低くなった。つまり、6 枚のときの流量抵抗は約 250 mmAq であり、これに相当する L.S.P. は 1.75 kg/cm² である。一方、L.S.P. の実測値は 2.0 kg/cm² で引火なしであるから両者の差はかなり大きい。しかし、金網 4 および 5 枚 (L.S.P. では 0.8 および 1.5 kg/cm²) のプロットを図上で直線的に外挿すると L.S.P. は約 2.0 kg/cm² となる。いずれにせよ L.S.P. の有効なデータが 3 ケであるからこれ以上の論議には余り意味がない。また、爆ごう阻止の実験を行なったときのそのままの重ね合せ状態での流量抵抗と L.S.P. の比較が必要なことも明らかであるので、別の機会にあらためて検討したいと考える。次節に述べるように、消炎素子における爆ごう波の中断と素子の消炎能力の関係が明らかにされれば、爆ごう波中断特性と流量抵抗の関係をj知することは極めて重要になるからである。

なお、焼結金属 (厚さ 2mm) の流量抵抗は同条件下において約 1500 mmAq とけたはずれに大きい。仮りに流量抵抗と L.S.P. の関係を認めて Fig.5 を外挿してみれば、初圧 2 kg/cm² では到底引火しそうにないことがわかる。

3.5 多層金網による爆ごう波の中断と消炎の関係

金網により爆ごうが阻止されるという事実は、金網

に入射したあとと爆ごう波がその特性を失なり、すなわち中断することを意味する。従ってこのような金網は、たとえ爆ごうを直接阻止できないにしても爆ごう波を中断させる機能は少なくとも有するであろう。こうした観点からみれば金網は微細な径の孔を多数うがった一種の多孔板とみなすことができ、多孔板の場合には孔径の小さいほど中断効果の大きいことがすでにわかっている²⁾。ここでは爆ごう阻止の実験において引火した場合のデータをいくつか取り出して、金網による爆ごう波の中断と、これが消炎機構にどのようなかわりをもつかを考察する。結果としては中断の生ずることが示されるが、これを換言すれば、金網が爆ごうを阻止しえないときには金網からあとの未燃ガス中を伝播する火炎の形態は (短かい区間については) 爆ごう波ではないことを意味する^{*5}。

非引火初圧を求める過程で初圧をかえていくと、引火した場合に F-H 間 (Fig.2) を火炎が伝播するに要する時間 t が初圧とともに変化することがわかる。若干の例外を除けば、初圧を減ずるにつれて t が増加する、すなわち F-H 間の平均火炎速度^{*6} v_0 が減ずるという傾向を示した。いま Fig.2 の E-G 間では爆ごうであるからその爆速を D_0 とする。もし管路に金網および多孔板が存在しなければ G-H 間もこの D_0 に等しい爆速で伝播するはずであるから、速度 v_0 が D_0 に比して有意な減少を示したとすれば F-H 間において爆ごう波が一時的に中断したとみなすことがで

Table 3 Average flame velocity between points F and H, showing the decaying of detonation wave through wire gauzes even when flame passed

引火した場合の金網前後の火炎伝播速度 (爆ごう波の中断を示す例)

C ₂ H ₂ %	Initial pressure kg/cm ²	Quantity of gauzes	Detonation velocity (E-G) D ₀ m/s	Average flame velocity (F-H) v ₀ m/s
5.1	0.5	2	1621	369
6.0	0.8	3	1704	352
8.0	2.0	5	1877	484
9.0	0.7	3	1884	524
10.9	1.3	4	1931	326

*5 金網からあとの距離が十分長ければ爆ごうに再転移することは当然ありうる。

*6 F-H 間全体を爆ごう波として伝播しないとみなし、爆速という表現は用いない。

きる。このような中断は金網枚数, ガス濃度, 初圧の如何をとわず常に観察される。Table 3にはその例を示す。

金網の中断効果 (どの程度爆ごう波を弱められるかの度合, たとえば上述の v_0 を指標としてもよい) は, 同じ金網であれば重ねる枚数により異なるから, これを定量的に示すには同じ濃度と初圧での比較が必要である。本報の実験からはこうした比較に供するデータはえられないが, 金網枚数とガス濃度が一定の場合についてより興味のある, また消炎機構にも関連すると思われる知見をえたのでこれを次に示す。

一定枚数の金網に対しては必ずひとつの L. S. P. が存在する。L. S. P. より十分高い初圧の爆ごうが到来すれば容易に引火する。それは, 目のあらい金網で重ね合せ枚数の少ない場合と相対的に同じであり, このような引火の限界状態として金網が何ら中断効果を示さない場合を相定することができる。上述の表現を借りればこの限界においては $v_0 = D_0$ である。一方, L. S. P. においては見かけ上 $v_0 = 0$ と書くことができる。ところで実験上の事実として初圧の高いほど引火しやすいこともわかっている。そこで L. S. P. にごく近い初圧で v_0 がどのような値をとりうるのかを知るため初圧と金網前後の火炎速度の関係をしらべたが, F-H 間の速度 v_0 では爆ごう波として伝播する部分かなりの比率を占めるので詳細な検討には不適である。そこで, Fig.2 に示したように F-H 間を w および y の区間に2分した。F点から金網表面まで (x) は爆ごうであるからこの間の伝播速度は E-G 間の爆速 D_0

に等しいとして, 金網表面からH点までの距離 y の間における平均の火炎速度 v を求めこの値を検討の対象とした。 v の算出は次式によった。

$$v = \frac{y \times 10^3}{t_2 - t_1 \cdot x / 123} = \frac{(113 + T \cdot n) \times 10^3}{t_2 - t_1 (125 - T \cdot n) / 123}$$

ここで, v : 金網からあとの平均火炎速度 m/sec

T : 金網1枚の厚さ = 1.7 mm

n : 金網枚数

t_2 : F-H 間を火炎が伝播するに要した時間 (測定値) μ sec

t_1 : E-G 間を爆ごう波が伝播するに要した時間 (測定値) μ sec

なお, E-G 間の爆速 D_0 は次式により算出し, v と D_0 の比を R とした。

$$D_0 = (123/t_1) \times 10^3 \quad (\text{m/sec})$$

$$R = v/D_0$$

R は同濃度で初圧をかえたとき v が D_0 に対してどのような比で変化するかを知るために導入したので, 本来の意義からすれば D_0 は初圧によらない一定値でなければならない。このような条件にあう幾つかの場合について計算した結果を Fig.6 に示す。それぞれの曲線にプロットされている最低圧力より 0.1 kg/cm² または 50 mmHg だけ低い圧力がその条件下における L. S. P. である。

図から明らかのように, いずれの濃度・枚数においても金網からあとの火炎速度 v および金網前後の火炎速度の比 R は初圧の減ずるにつれて減少しており, このことは, 初圧の低いほど爆ごうの中断が容易であることを示している。しかし, もっと重要なのは各曲線の v の最低値がほぼ一定となっていることである。図の各曲線の最低初圧は, いわば引火しうる限界の圧力とみなせるが, この限界圧における v は 74~95 m/sec となり, 濃度・枚数に依存しない値とみられる。これは速度比 R についても同様である*7。このような引火限界圧力における v および R は, L. S. P. と引火限界圧力との間の圧力の刻みを小さくすればさらに小さい値をとるであろうことは容易に予測できるが, 測定される速度としては有限な値におちつくはずである。この

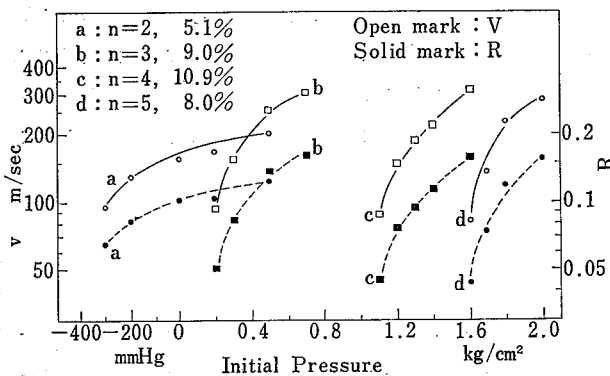


Fig.6 Effect of initial pressure on average velocity (v) of flame decayed through quenching gauzes and on the ratio (R) of v to detonation velocity (when flame passed through gauzes)

n : Quantity of gauzes piled

金網からあとの火炎速度に対する初圧の影響

*7 5.1%の場合, -300mmHgでの D_0 は 1452m/sで, 他の初圧における D_0 がいずれも約 1600 m/s であるのに比して異常に低かった。いま -300mmHgでも $D_0 = 1600$ m/s とすると $R = 0.059$ となり, 他の曲線の R に近い値となる。

Table 4 Comparison of predicted Limiting Safe Pressures to those determined experimentally
非引火初圧の実測値と予測値の比較

Quantity of Gauzes	C ₂ H ₂ %	L. S. P. kg/cm ² or mmHg	
		Experimental	Predicted
1	10.4	-500	-430
	14.0	Not ignited at -400	-500
2	7.9	-400	-500
	9.0	-550	-520
	12.3	-350	-320
	13.2	-300	-280
	13.4	-150	-150
3	14.9	-100	-50
	7.0	0.1	-50
	7.9	0.7	0.80
	9.0	0.1	0.13
	9.8	0.2	0
4	10.4	0.3	0.34
	11.0	0.5	0.46
	11.8	0.6	0.52
	8.0	0.8	0.90
4	9.0	0.9	0.94
	10.0	1.0	1.16

- Notes 1. These values of L. S. P. not always correspond to minimum L. S. P. in Fig. 4, because each value of this table is merely one of the repeated tests under same gas concentration.
2. An assumption is made that flame is able to pass through queuching gauzes onyl when its average velocity after gauzes is higher than 60 m/sec in the apparatus in Fig. 2.

速度は、いわば引火する場合の限界値と定義できる。

いま仮りに引火するときの限界速度を v_L とし、これが金網枚数や濃度に無関係な一定値であるとすれば、これを利用して他の条件下の L. S. P. を予測することができる。Fig. 6 にプロットされた計算値はいずれも単純な形状の曲線上にのっていることから、初圧との関係は比較的容易に求めうる事がわかる。つまり、引火する範囲の 2, 3 の初圧について v を測定して両者の関係がひとつの曲線で与えられるとすれば、この

曲線を v の小さい方 (Fig. 6 では左下の方) へ外挿する。この曲線と引火限界速度 v_L との交点を求めればこれが引火限界圧力であるから、それより 1 段低い圧力が L. S. P. の予測値である。Fig. 6 の 4 例では v の最低値が 74 m/sec であるから、これより低目の速度を v_L として採用することが考えられる。

Table 4 は、上述の外挿法を用い、 $v_L=60$ m/sec と仮定したときの L. S. P. の予測値と実験で確認した値とを比較したものである。Fig. 6 では初圧と v の関係が 4~5 ケのデータで示される比較的信頼性のある場合だけをとりあげたが、表の結果は初圧と v の関係が 2~4 ケしかわかっていない場合について求めたものである。データ数が 3~4 でも結局は L. S. P. に近い 2 つのデータによる外挿となったが実測値と予測値は極めてよく一致した。なお、 v_L は 74 m/sec に幾らか余裕をみて 60 m/sec と仮定したにすぎないが、表の結果のうちの v_L の最低値は 57 m/sec であった。

こうした予測法はある程度の実験を必要とするため必ずしも実用的とはいえないが、爆ごうの阻止される機構についてひとつの手がかりとなりうる。また、消炎素子からあとの火炎速度は素子による爆ごう波の中断の度合と同じ意味であるから、消炎素子の特性のうち比較的容易に測定できるもの (例えば流量抵抗) と爆ごう波中断特性とが関係づけられれば (その可能は十分あるが) 素子の消炎能力の予測は極めて容易になる。いずれにせよ、引火するか否かの限界においては発火に要するエネルギーが引火側に与えられるかどうかの問題になるわけであり、このような限界では金網の枚数やガス濃度の影響はないと考えられ、引火する限界速度 v_L の導入は必ずしも不当ではない。なお、本節で定義した v および v_L は、これを測定する距離により変わる相対的な値であることは断わるまでもない。

4. 結 言

固体細隙における消炎現象を利用して管中を伝播する爆ごう波を阻止する研究の一環として、多層金網および焼結金属を消炎素子としたときの各種濃度のアセチレン-空気混合ガスの爆ごうの直接阻止について検討した。実験は静止混合ガスについて、初圧 2 kg/cm² (G) まであげて行ない、実用性を示唆する結果をえた。また、実験結果にもとずき爆ごう阻止の難易を決

定するとみられる幾つかの因子について考察を加え、デトネーション・アレスタの構造を考える際に役立つ知見をえた。おもな結果を列挙すれば次のとおりである。

- 1) 混合ガスの爆ごう伝播速度 (爆速) はアセチレン濃度15%までは濃度とともに増加し、15%における爆速は約 1985 m/sec と測定された。
- 2) 爆ごうが金網により阻止される限界の圧力を非引火初圧 (L. S. P.) とすると、L. S. P. は金網の枚数の多いほど、また当量濃度からはずれるほど高くなり、60メッシュの金網を5層焼結したものを6枚重ねてやれば、初圧 2 kg/cm² の爆ごうでも阻止された。また厚さ 2mm の焼結ステンレス鋼 (径 120μ) の場合も初圧 2 kg/cm² で引火しなかった。
- 3) 上の2つの結果から、混合ガスの初圧と濃度が爆ごう阻止を支配する重要な因子であり、爆速は直接には関係しないことがわかった。
- 4) L. S. P. と金網枚数の間には相関が認められたが、L. S. P. と金網の流量抵抗の関係は十分に解明できなかった。しかし、金網枚数と流量抵抗の間には何らかの比例関係がある筈であり、実験方法を検討すればこれらの関係が明らかにできる見込みがえられた。
- 5) 金網により阻止されない場合でも、爆ごう波の中断の生ずることが金網前後の火炎速度の測定からわかった。金網枚数と濃度が同じなら初圧の低いほど中断の度合は大きい。また、ある一定のステップで初圧を下げていくと、金網からあとの火炎の平均伝播速度 v は次第に小さくなり、ある限界値に近づくことが観測された。この限界速度 v_L は金網枚数と濃度には依存しない一定値とみられ、ある初圧でこの v_L が測定されると、それよりワン・ステップ低い初圧ではもはや引火しないと考えてよさそうである。この仮定にもとづき、初圧と v の関係がわかっている例について L. S. P. を予測したところ、実験により確認された L. S. P. と極めてよい一致を示した。

(昭和50年2月5日受理)

参考文献

- 1) 林, “火炎防止器に関する研究 (第2報)”, 産業安全研究所研究報告 RIIS RR-23-3 (1974)
- 2) 林, “多孔板による爆ごう波の中断”, 安全工学

- 13, (6), 360 (1974)
- 3) 林, “多層金網による水素-空気系爆ごうの阻止”, 第7回安全工学研究発表会講演予稿集 p.15 (1974)
- 4) 疋田, 秋田, “燃焼概論”, コロナ社 p.190(1971)
- 5) 林, 鶴見, “火炎防止器に関する研究 (第1報)”, 産業安全研究所研究報告 RIIS RR-21-1 (1972)
- 6) 例えば,
B. Lewis and G. von Elbe, “Combustion, Flames and Explosions of Gases”, Academic Press, p.533 (1961)
D. S. Burgess et al., “Large Scale Studies of Gas Detonation”, U. S. Bureau of Mines Report of Investigation 7196 (1968) (抄訳) 高压ガス 6, (6), 38 (1969)
- 7) K. N. Palmer, “The quenching of flame by perforated sheeting and block flame arrester”, Proceedings of the Symposium on Chemical Process Hazards With Special Reference to Plant Design, The Institution of Chemical Engineers, p.51 (1960)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-23-5

昭和50年3月31日

発行 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番4号
電話 (03) 453-8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 614.838

火炎防止器に関する研究 (第3報)

—アセチレン-空気系爆ごうの阻止—

林 年宏

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-23-5, 1~9 (1975)

固体細隙における消炎現象を利用して伝播途上の爆ごう波を阻止する方法に関する研究の一環として、フィルター用多層金網および焼結金属の消炎特性について検討した。実験は1インチ管中において、初圧 2 kg/cm^2 までのアセチレン-空気混合ガス(4~15 vol. %) について行ない、爆ごう阻止に必要な消炎素子の厚さをえたほか、爆ごう阻止の難易を決定する因子は混合ガスの濃度と初圧であって爆速は関係ないことを示した。また金網で爆ごうが阻止されない場合について金網からあとの火炎速度を測定し、これにもとづき爆ごうが阻止される限界の圧力を予測する方法を示した。

(表 4, 図 6, 参 7)



UDC 614.838

Interruption of Explosions by Flame Arresters (3rd Report)

—Quenching of Acetylene-Air Detonations—

by T. Hayashi

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety RIIS-RR-23-5, 1~9 (1975)

Flame quenching abilities of sintered wire gauze and sintered metal were studied for acetylene-air detonation flames under initial pressures up to 2 kg/cm^2 (G) in 1-inch tube. It was found most difficult to quench flames of stoichiometric mixture with higher initial pressure. Detonation velocity had no effect on flame transmission. The measurement of average flame velocity after gauzes, when flame passed, proved that the velocities were nearly constant at the limiting pressure of flame transmission, being independent of either gas concentration or quantity of gauzes.

(4 tables, 6 figures, 7 references)

