

FEB. 1976

RIIS-RR-24-6

UDC 614.838

# 産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-24-6

火炎防止器に関する研究

(第5報)

—金網の消炎能力に影響する因子(2)—

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5報)

## —金網の消炎能力に影響する因子 (2)\*—

林 年 宏\*\*

### Interruption of Explosions by Flame Arresters (5th Report)

#### —Factors Affecting on Flame Quenchings by Wire Gauzes (2)—

by Toshihiro HAYASHI\*\*

As flame arresters are safety barriers to minimize the development of flames after explosions started in closed systems, their failures are deadly, and their performances should have been verified through field tests, if possible, or at least equi-scale explosion tests.

This report describes about several factors affecting on quenchings of acetylene-air flames by wire gauzes. Those results obtained may be of use for the development of methods of design and test of flame arresters, including those equipped in systems unsuitable for on-site tests.

Experiments are carried out in horizontal 1-inch enclosed tube of various length. Each explosion tube is composed of an ignition chamber, in which the premixed mixture is ignited through an electric discharge, and a protected chamber in which an explosion occurs when gauzes under tests fail to quench flames (Fig.1). Nominal mesh numbers of gauzes range between 60 and 120. Two kinds of initial gas pressure are used as quenching ability indices of gauzes. One is Limiting Safe Pressure (L. S. P.), at pressures lower than which no flame transmit through gauzes. The other is Minimum Pressure of Flame Transmission (M. P. F. T.), the lowest pressure at which a flame begins to transmit when initial pressure is gradually elevated. Thus, the higher those pressures are, the more easily flames are quenched. Main results are as follows ;

- 1) It is found most difficult to quench flames of the mixtures containing acetylene of about 1.1 times of the stoichiometric concentration.
- 2) L. S. P. increase with decreasing a spacing distance between neighbouring gauzes in pack, but beyond a certain spacing distance, it has no effect on flame quenching (Figs. 3, 4 and 5). The result shows that one can obtain some safety margin by decreasing the spacing distance.
- 3) As the length of the protected chamber, which is assumed as the space to be protected from explosion flames in actual equipment, increases, flames become more easily quenched (Fig. 6). Then the result of tests with a shorter protected chamber could be applied, on safe side, to the same flame

\* 本報告の一部は第6回安全工学国内シンポジウム (Nov. 1975) において発表した。

\*\* 化学研究部 Chemical Engineering Research Division

arrester with a longer protected chamber.

4) Flames transmit more easily through gauzes with the increase of either the relative distance between an ignition source and gauzes, or the length of ignition chamber in case of the far end ignition (Figs. 7, 8 and 9). The result shows that, first of all, flame arresters should be equipped as nearer as possible to potential sources of ignition.

## 1. 緒 言

固体細隙における消炎現象を利用した火炎防止器の実用化に際しては、経なければならぬふたつの段階がある。ひとつは目的にかなう火炎防止器の設計であり、他はその安全性の確認である。設計段階では強度・圧損なども考慮せねばならぬが、その主体はむしろ適切な消炎素子の寸法（細隙の大きさおよび素子の厚さ）の決定である。細隙を有する素子の消炎能力はたとえば次の方法により評価することができる。ひとつは消炎理論と実験結果の一致にもとづき Palmer が提唱した方法で、管中を伝播する火炎が阻止されるか否かはその火炎が消炎素子に接近する速度が素子の寸法特性から算出される限界値以下かどうかによって決まるといふ考え方である。パラメータは火炎（伝播）速度のみであるから、実際の配管等における火炎速度の推定がもし可能であれば、一般的応用性という点から極めて有用な方法である。第二の方法は、火炎防止器を必要とする個々の条件下において種々の寸法特性の消炎素子について実験し、その結果として火炎を阻止しうる（限界の）寸法特性を求めるといふやり方であり、相当量の実験を必要とし、かつ汎用性には欠けるが、ある特定の条件下に対する消炎素子の設計法としては確実であり、次にのべる安全性の確認をも併せて行なうことができる。これらの方法とは別に、いわゆる経験的に安全であるという根拠に立った設計方法が考えられ、現実にこの方法により設計している例も少なくないように思えるが、適切な方法とはいえない。

火炎防止器は爆発被害抑制のための安全装置であり、その性格上失敗は許されぬ。従って、設計上いかに安全率をとった火炎防止器でも、実際の爆発火炎に対する安全性を確認せずに実用に供することはできない。一般的にいえば、安全性の確認とは、火炎防止器を必要とする装置等において生じうる最悪の条件下においてその火炎防止器が有効か否かを判定することであるが、このための試験の方法や回数、結果の再現性等を考慮に入れば、単に Yes か No かの判定では充分でなく、なんらかの形で安全率をみこまねばならない。このためにはふたつの方法がとりうる。ひとつは、ある量（消炎素子の細隙寸法や厚さなど）をある程度連続的にかえて消炎のための限界値を求めこれを基に判断する方法であり、他は、実際に生じうるより更に苛

酷な条件下での試験により安全性を証明する方法である。

本報では、前報<sup>1)</sup>にひき続き市販の金網を用いて、アセチレン-空気の爆発火炎に対する挙動をしらべ、ガス濃度、点火源の位置、爆発管の長さ、金網を重ねる間隔などが消炎にどう影響するかを明らかにした。この結果は、特別の条件下に対する消炎素子の設計に利用できることは勿論であるが、火炎防止器設置の際の具体的方法を示唆するものであり、更に、どのような実験にもとづけば安全な火炎防止器を設計しうるか、また、その安全性はどうすれば確認できるかといった疑問に対する解答にもなると考える。

## 2. 実 験

### 2.1 実験装置

爆発容器の基本構造は前報と同じであり、点火側 (Ignition chamber) および引火側 (Protected chamber) からなり、いずれも 1 インチ管 (内径約 28 mm) で、この間に金網が固定される。容器の寸法 (管長) および金網の補強方法は実験項目毎に異なるので、実験結果の項でそれぞれの場合について略図で示す。

### 2.2 供試金網

供試金網は前報に用いたものと同じステンレス製平織金網で、60, 80, 100 および 120 メッシュの四種類である。金網の寸法仕様については前報を参照されたい。

### 2.3 実験ガス

実験にはアセチレン-空気混合ガスを用い、アセチレン濃度 (vol. %) は、ガス濃度の影響に関する実験では 4~16%、その他の実験では 8~12% とした。アセチレンは市販ボンペ入りのものを分圧方式により大気条件の空気と混合し、干渉計式ガス検定器 (0~20% 用、有効室長 20mm) により濃度を測定したのち実験に供した。

### 2.4 実験の手順および消炎能力の尺度

毎回の実験の手順は前報と同じで、水平に設置した爆発容器内を真空とし、あらかじめ混合したガスを所定の初圧にまで満したのち点火する。引火の有無の判

定は引火側に挿入した熱電対の出力によった。

前報では金網の消火能力を非引火初圧 (Limiting Safe Pressure, L. S. P. と略すことがある) により比較したが、本報ではこのほかに新たな尺度として最低引火初圧 (Minimum Pressure of Flame Transmission, M. P. F. T. と略すことがある) を導入した。L. S. P. は、初圧をあげていったん引火させたのちに初圧を下げていったり求めた引火しない最大圧力である。L. S. P. の最少刻みは 0.1 または 0.05 kg/cm<sup>2</sup> (減圧下では 100 または 50 mmHg) で、非引火確認の回数は連続 3 回 (ガス濃度の影響に関する実験では 5 回) とした。

爆発管長を変化させる実験では、いったん引火させれば引火側爆発により金網が受ける影響は管長によりそれぞれ異なると考えねばならず、この場合 L. S. P. を求めても同一条件で消炎能力を比較したことにはならない。このような場合には、初圧を -500 mmHg から 100 (特に必要なときは 50) mmHg ごとに上昇させ、初圧 0 (大気圧) でも引火しないときはさらに 0.1 (または 0.05) kg/cm<sup>2</sup> ずつ上昇させて最初に引火する初圧を求め、これを M. P. F. T. と定義した。

なお、L. S. P. および M. P. F. T. は減圧下では mmHg 単位で求めたが、実験結果はすべて kg/cm<sup>2</sup> で図示した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 ガス濃度の影響

アセチレン濃度が消炎の難易に及ぼす影響について確認するため、100 メッシュ金網 1~6 枚を密着してアト・ランダムに重ねた場合について Fig.1 の爆発容器を用いて実験した。容器の全長および引火側管長は一定とした。点火側管長は金網の枚数によりわずかつ異なるが約 21 mm である。金網は、点火側を粗金

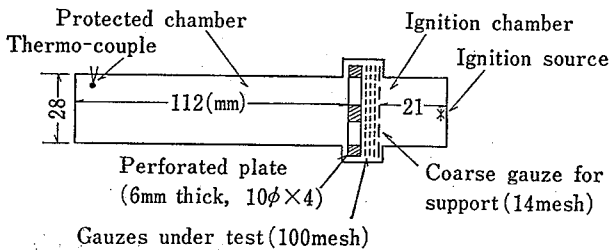


Fig.1 Explosion vessel for study of effect of gas concentration on flame quenching  
ガス濃度の影響についての実験用爆発容器

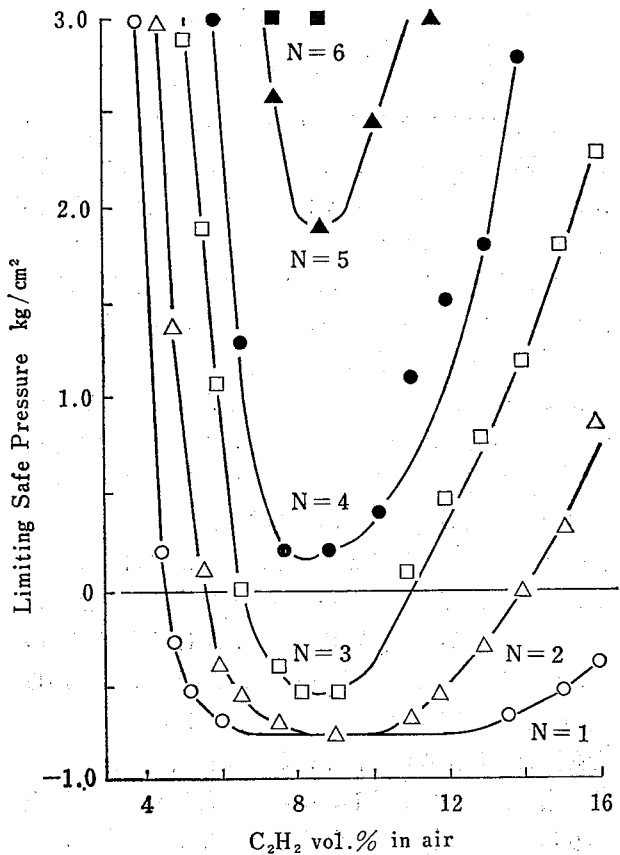


Fig.2 Effect of acetylene content on flame quenching (N: Number of gauzes in pack)  
アセチレン濃度と金網の消炎能力 (L. S. P.) の関係 (N は枚数)

網 (14メッシュ、目開き 1.45mm) で、引火側を多孔板 (径 10 mm の孔 4ヶ) でそれぞれ補強し、ガス濃度をかえて L. S. P. を求めた。金網の重ね方が影響するので同濃度、同一枚数について 3~5 回の実験を行ない、そのうちの最低の L. S. P. を採った。結果を Fig.2 に示すが、金網枚数の如何を問わず 8~9% で L. S. P. が最も低く、前報における水素-空気混合ガスの場合と同様に当量濃度 (アセチレン 7.7%) よりやや高め濃度で最も消炎しにくいことがわかる。この濃度からはずれるにつれて L. S. P. は高くなるが、爆発下限界に近づくほうが L. S. P. の上昇率はより大きい。こうした傾向は容器の形状・寸法に影響されないとはいえぬが、特に他の根拠がなければアセチレン-空気炎を対象とする火災防止器の安全性のテストには 8~9% の混合ガスを用いてもよいと考えられる。

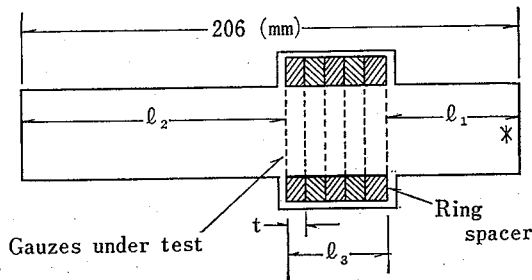
なお、図からは金網枚数の増すほど L. S. P. の増加率が大きくなるのがわかり、実験の範囲では金網 6 枚

により初圧 3 kg/cm<sup>2</sup> までのあらゆる火炎を阻止することができた。

### 3.2 金網の離隔距離の効果

金網を密着して重ねる場合(特に枚数が多いと), 同じ枚数であっても L. S. P. はかなりバラツクが, これは網目の重なり方が均一でないことによると考えられる。同じ枚数で多数回の実験をくり返せば, そのうちの最低値は L. S. P. のいわば真の値(に近い)とみなすこともできるが, これを求めるのは容易ではない。いま金網を一定の間隔  $t$  をおいて重ねるとすれば, 隣り合う金網の網目の相対的な重なり方の影響は  $t$  の大なるほど減ずるのであるから,  $t$  と L. S. P. の関係から  $t \rightarrow 0$  の極限值として密着時の L. S. P. を予測できるかもしれない。

また, 金網を離して重ねれば隣り合う金網間にひとつの爆発空間が形成されるから, もしこの空間が充分に大きければ金網を何枚重ねても全体としての消炎能力はその金網の1枚の消炎能力のみに依存することが予想される。しかし, いま仮りに1枚目(最も点火源に近い)の金網で消炎されずに, 1枚目と2枚目の間に火炎が生じたとすると, 火炎が2枚目を通過しようとするための推進力のひとつである火炎背後の圧力(背圧)は1枚目の金網をぬけて点火源側へ放散され, それに応じて火炎は進みにくくなる。このような挙動が重ねた金網全体の消炎能力にどう影響するかも併せて検討した。



$$l_3 \approx (N-1)t$$

$N$ : Number of gauzes in pack

Fig. 3 Explosion vessel for study of effect of spacing distance between gauzes on flame quenching  
金網の離隔距離の影響についての実験用爆発容器

爆発容器は Fig. 3 に示すもので, 金網は厚さ  $t$ , 内径 28mm のリング状スペーサにより等しい離隔距離をおいて重ねる。実験では点火側管長  $l_1$ , 離隔距離  $t$

および金網枚数  $N$  を変数とし, 初圧は 1 kg/cm<sup>2</sup> までとした。金網のメッシュもかえたが, 金網の厚さ  $T_0$  は 0.16~0.28mm であるから爆発空間の大きさに対する影響は無視できる。また  $l_2$  は次式で与えられるが,

$$l_2 = 206 - \{l_1 + NT_0 + (N-1)t\} \quad (\text{mm})$$

(ただし,  $l_2 \geq 116$ )

$l_2$  は  $l_1$  または  $t$  に比して充分大きいので, 引火側管長が消炎に著しくは影響しないものとして結果を考察した。 $t$  の最小値は 0.4 で, 以下 2, 4, …… とした。

なお, この実験では金網は補強しなかったが, 前報の結果から金網の多少の変形は消炎能力に影響しないことがわかっており, また火炎が爆ごう波として伝播しなければ金網前後に極端な勾配は生じないので圧力差による変形はわずかと予想され, 更に, 多孔板を用いるときのように開孔部に局部的に圧力が集中することもないので, 補強なしでもよいと考えた。事実, L. S. P. を求めたあとの金網の変形は(最も引火側の1枚を除けば)ほとんど見られなかった。

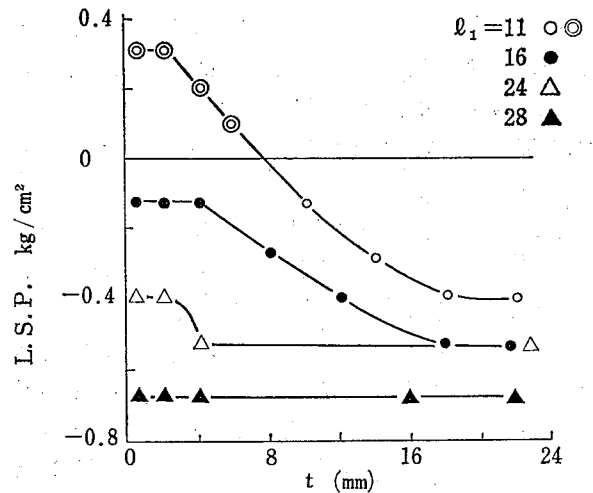


Fig. 4 Effect of spacing distance ( $t$ ) on Limiting Safe Pressure, for two gauzes of 60 mesh, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 12% (◎: flames quenched when protected chamber opened to atmosphere)  
金網の離隔距離が消炎能力 (L. S. P.) におよぼす影響

Fig. 4 に 60 メッシュ網 2 枚のときの結果を示す。 $l_1$  の増すほど L. S. P. の減ることのほか,  $t$  の影響が(特に L. S. P. の高くなる条件下で) 著しいことおよび,  $t$  がある限度をこせば L. S. P. が一定値に達することが明らかである。

ところで, Fig. 3 で  $l_1 = 11$ , 枚数 1 としたときの

L. S. P. は  $-400\text{mmHg}$  であることがわかっているが、これと金網2枚,  $l_1=11, t=10$  のときの L. S. P. を比べてみよう。初圧が  $-400\text{mmHg}$  より高ければ2枚重ねてもその1枚目は消炎に役立たないであろう。この結果1, 2枚目間で爆発が生ずれば,  $t=10$  であるから  $l_1=11$  の空間で生ずると同じ程度の強さの爆発とみなせ, 従って火炎は2枚目の金網も通過するかに思える。しかし, 金網2枚のときの L. S. P. は  $-100\text{mmHg}$  であって  $-400\text{mmHg}$  より充分高い圧力である。これは, 先にのべた火炎の背圧が1枚目の金網をぬけて後方(点火側)へ放散されることによると考えられる。つまり, 金網1枚のときは点火端閉鎖の火炎伝播に相当し, 金網が2枚の場合に1枚目と2枚目の間に生じて2枚目の金網に向う火炎は, いわば点火端開放の管中での火炎伝播に近いものとみなせ, 後者の方が「弱い火炎」となるはずであるから, L. S. P. は高くなる。ここでは点火側空間と2枚の金網間の空間の大きさがほぼ同じ場合を例にとって考察し, 2枚重ねても金網1枚の場合と同じ消炎能力しか示さないのではないかという予測は誤りであったことを示した。この結果は, たとえ離隔距離が大きくても金網の枚数を増せば消炎能力は増すであろうことを示唆しており, このことは実験的に確認された(後出 Fig. 5)。

次に, 引火側が大気に開放された場合の挙動を Fig. 4 の結果(密閉容器中)と比較してみる。 $l_1$  と  $t$  のそれぞれの組合せについて, 引火側に直径  $16\text{mm}$  の開口をもうけて大気に開放して実験したところ, Fig. 4 で  $L. S. P. > 0$  となる  $l_1$  と  $t$  (◎印) においてはいずれも引火せず,  $L. S. P. < 0$  となる  $l_1$  と  $t$  ではすべて引火した。これは, 密閉容器中で初圧を大気圧としたテストにより, 引火側開放時にその金網により消炎できるか否かを判定できることを示唆している\*1。

Fig. 5 には種々の条件における離隔距離  $t$  の効果を示す。図の A は金網枚数を, B は  $l_1$  およびメッシュ数をそれぞれ変えた場合の結果である。図 C は  $t$  を実用上とられるより充分大きい値まで変えたときの結果である。これらの結果から, 金網のメッシュ数, 枚数および  $l_1$  にかかわりなく,  $t$  の増すほど L. S. P. が

\*1 容器の長さを変えた他の実験でも同様の結果がえられた。点火側空間が小さいか, あるいは引火側と点火側の管長の比が充分大きくて, 引火側が予圧縮されにくいならば, このことは成立するとみられる。つまり, 初圧が大気圧のときを考えれば, 引火側が充分大きいことと大気に開放されていることはほぼ同義である。

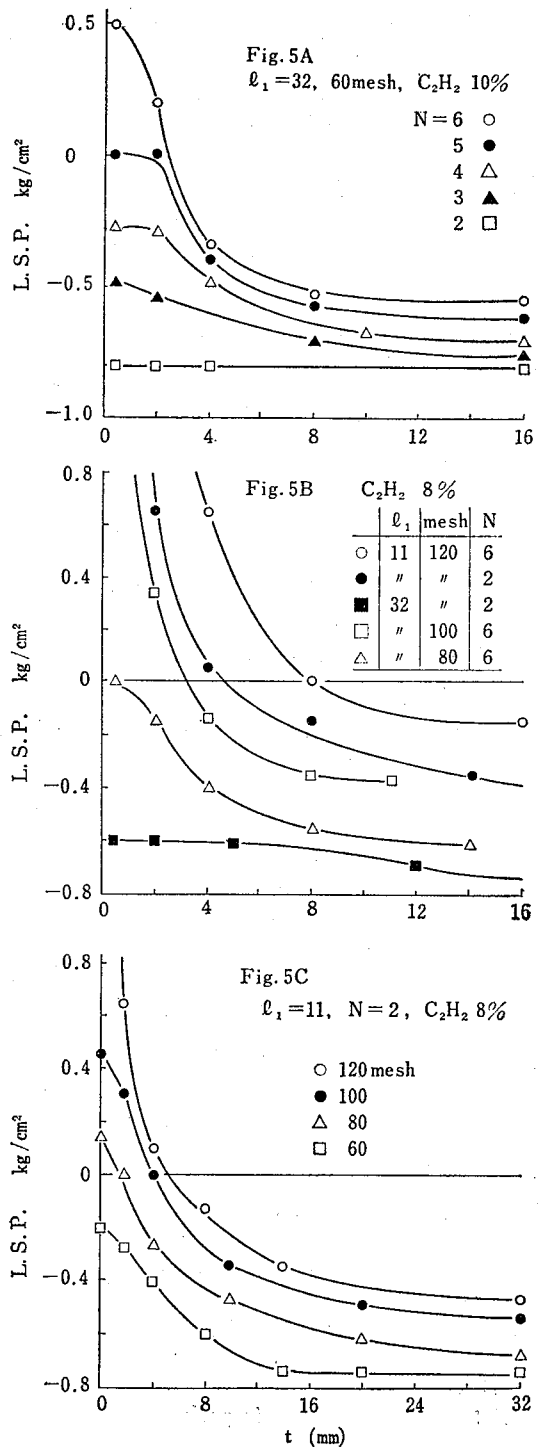


Fig. 5 Effect of spacing distance ( $t$ ) on Limiting Safe Pressure for various conditions (N: Number of gauzes in pack) 金網の離隔距離が消炎能力 (L. S. P.) におよぼす影響

減じ, その減少度は  $t$  の小さいほどまた L. S. P. の高いほど大きいことが明らかである。図では  $t=0.4$  と

2でL.S.P.の等しくなる例が示されているが、二、三の場合には $t=2$ に対するL.S.P.の方がやや高くなる事が観察された。これは、 $t$ が2以下では金網を離したとはいえまだ隣り合う金網の目の重なり方の影響が残るためとみられ、金網を密着させた場合と同様のバラツキが(その程度は小さいが)生ずることを意味すると解される。従って $t \rightarrow 0$ により密着時のL.S.P.を予測することはできないが、 $t=4$ のときのL.S.P.は常に $t=2$ のときの値より低く、 $t > 4$ ではL.S.P.は $t$ とともに減ずるとみてよい。また、 $t \geq 4$ では同じ枚数についてのL.S.P.のバラツキはわずかであると推測される。

金網を重ね合せれば消炎能力の増すことは従来からわかっており、密着させた場合については前報で定量的に扱う方法を示したが、どのような重ね方が最も効果的かについてはまったく知られていなかった。上述のとおり、同一金網枚数では離隔距離の小なるほど消炎しやすいこと、また金網のメッシュ・枚数の大なるほど離隔距離の影響が著るしいことが示された。これらの結果は、「ある間隔で重ねた金網で火炎を阻止できるとすれば、金網枚数はそのまま離隔距離を減ずることにより消炎能力に安全度を見込むことができる」あるいは「火炎防止器のテストに際して金網の離隔距離を設計値より充分大きくしてテストすれば、その消炎能力を安全側で確認したことになる」ことを意味し、実用上有効に利用できる。

### 3.3 引火側管長の効果

管中を伝播する火炎には圧縮波が先行する。圧縮された未燃ガス中を伝わる火炎は初圧が高い条件下の火炎に相応し、消炎はより困難である。未燃ガスの圧縮度が火炎前方の空間の大きさに依存するとすれば、(いま管径は一定であるから)引火側管長が消炎に影響するであろう。本節ではこれらの関係をしらべた。

実験にはFig.6の容器を用い、点火側は一定とし引火側管長を2mまで変化させて最低引火初圧(M.P.F.T.)を求めた。初圧の刻みは100mmHgまたは $0.1 \text{ kg/cm}^2$ である。結果をFig.6に示す。図から明らかのように、 $l_2$ の増すにつれてM.P.F.T.は高くなり、 $l_2$ が充分長ければM.P.F.T.は一定となる。すなわち、金網に火炎が接近するときの未燃ガスの圧縮度は、 $l_2$ が小さいほど大きく(従って引火しやすく)、 $l_2$ が増せば未燃ガスが圧縮されにくくなる。引

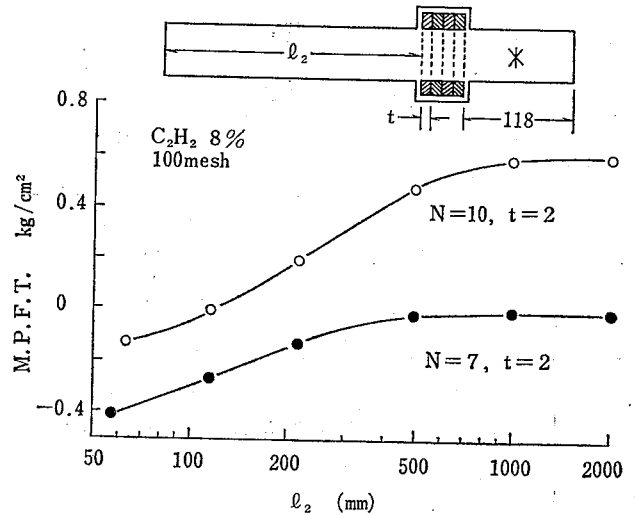


Fig.6 Effect of length of protected chamber on Minimum Pressure of Flame Transmission ( $N$ : Number of gauzes in pack) 引火側管長が消炎能力(M.P.F.T.)におよぼす影響

火側空間が充分大きければもはや予圧縮の影響は無視できるほど小さくなる。つまり、点火側の爆発による圧力上昇は無視でき、未燃ガスの圧力は最初の設定初圧と同じであるとみなせることを意味する\*1。

この結果は、実際の装置を用いて火炎防止器の安全性をテストする場合に応用できる。本報でいう引火側は、実際の装置では爆発火炎から保護されるべき部分に相当するが、この部分が充分な強度を有しなかったり、形状・寸法が大きすぎるなどの理由で爆発テストが困難なことも多い。このような場合、実際よりも充分短かい(一般的に、空間の大きさが充分に小さければよいと考えられるが)管を仮りに引火側としてテストを行ない、このテストに耐えるものであれば引火側をより長く(あるいは大きく)した場合に(余裕をもって)安全であるとみなしうる。爆発火炎から保護されるべき空間が大きなタンクや長い配管系である場合のテストも、このようにして実施可能となる\*2。

### 3.4 点火位置と消炎の難易

本節では点火位置の影響についてしらべた。実験容

\*1 引火側と点火側の管長の比が充分大きければこのことが成立する。たとえば、初圧が大気圧のときを考えると、引火側空間が充分大きいということは引火側が大気に開放されていることと同義である。

\*2 点火側に相当する部分は、実際の装置では爆発が生じうるとみなされる部分であるから、当然それ相応の設計がなされているはずであって、この部分を爆発テストに利用できない理由は見あたらない。



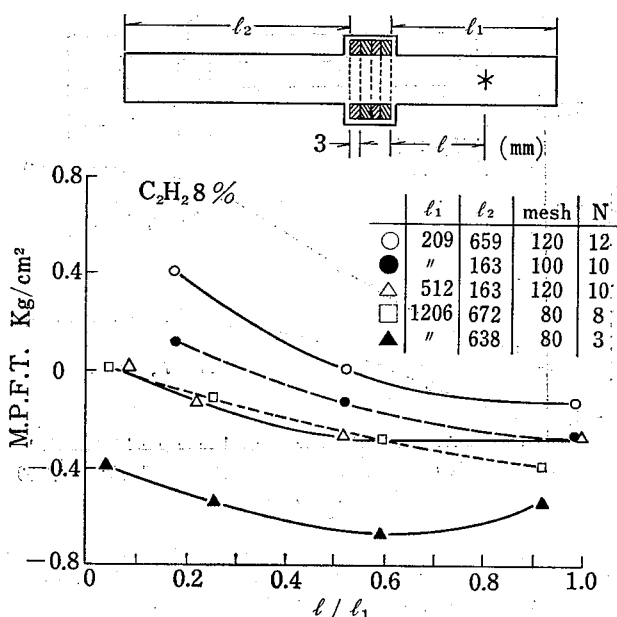


Fig.7 Effect of ignition position on Minimum Pressure of Flame Transmission  
点火位置と消炎能力 (M. P. F. T.) の関係

器を Fig. 7 に示す。金網の離隔距離はすべて 3mm とし、 $l_1, l_2$ , 金網の種類と枚数の種々の組合せについて、点火側管中の点火位置を変えて点火位置と最低引火初圧の関係を求めた。初圧の刻みは 100mmHg または 0.1 kg/cm<sup>2</sup> である。結果は Fig. 7 に示すが、図の横軸は点火位置から最初の金網までの距離  $l$  と点火側管長  $l_1$  の比で、 $l/l_1=0.5$  とは点火側管端と最初の金網の丁度中間で点火したことを意味する。図からは点火位置が金網から遠いほど消炎しにくいことがわかるが、これは次のように説明される。

管端点火の場合には、火炎は次第に加速され、一般に伝播距離の大きいほど伝播速度を増しつつ金網に達する。金網は加速された火炎を消滅させ、更に、熱い燃焼生成ガスを冷却せねばならないため、この場合に最も heavy duty を負うことになり、従って最低引火初圧は低くなる。逆に、金網の近くで点火されると、火炎は金網と点火側管端の両方へ向って同時に伝播する。金網へ向う火炎は伝播距離が短かいため加速されず、その消炎はより容易である。管端へ向う火炎の燃焼生成物が二次的に金網に到来するが、その冷却は火炎の消滅よりも容易であるので、結果として最低引火初圧は高くなる。点火位置が中間部にあるときは、上記ふたつの場合の複合した挙動を想定すれば結果が理解されよう。なお、図の一番下の曲線は、管端点火のほうが中間部点火のときより消炎が容易であることを

示しているが、これは、点火側管長が大きく、かつ混合ガスの初圧が低い場合の火炎伝播の特殊性を考え併せれば理解できる。すなわち、こうした条件下では火炎は最初加速されるが、伝播速度が相対的に小さいため燃焼後の空間では生成物の冷却効果のほうが支配的であり、火炎の背圧が減じ、伝播途上の火炎を後方へひきもどす現象が生ずる。管長および初圧がこうした条件にあるときは、中間部で生じた火炎は管端へ向う火炎の燃焼生成物が膨張している間に金網へ向うことができるので、より安定した火炎として金網に達し、管端点火の場合より消炎は困難となる。

本節の結果から導かれる実用上有用な結論は、一般的に次のように示される。

- 1) 火炎防止器の設置位置は、点火源となるおそれのある部分に近いほうが望ましい。
- 2) 金網と点火源の距離を  $l$  として消炎能力を確認した金網は、 $l > l'$  となるような距離  $l'$  にある点火源から伝播してくる火炎を安全に消炎できる。あるいは、もし金網と点火源の距離  $l'$  がわかっていれば、そこに用いる火炎防止器の消炎能力は  $l > l'$  となるような距離  $l$  に点火源を仮にもうけてのテストにより安全側で確認できる。

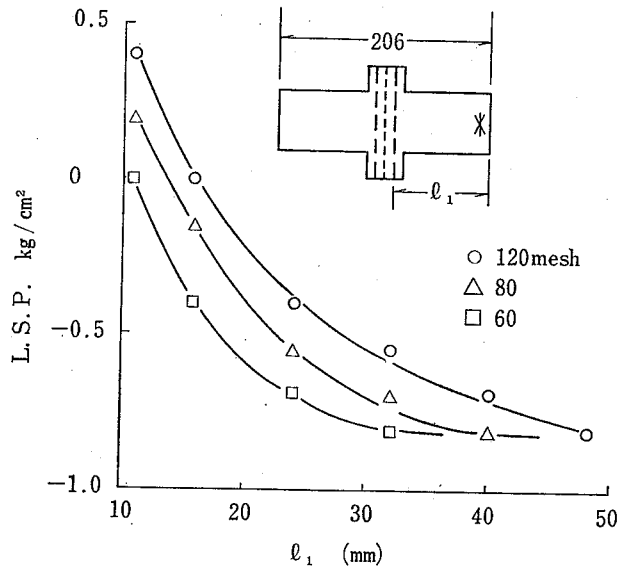
### 3.5 点火側管長の影響

前節までに論じたことから、点火側管長を増せば（管端点火を考えれば）その間を伝播する火炎が加速される結果、消炎がより困難となることが予測されるが、本節では管長が消炎にどの程度影響するかを実験的に確認した\*3。

Fig. 8 は点火側管長が 50mm 以下のときの実験容器と結果である。管全長は一定とし、供試金網(1枚)は両側を14メッシュ網で補強した。点火側管長の変化は小さいので消炎能力の尺度は非引火初圧 (L. S. P.) とし、100mmHg または 0.1 kg/cm<sup>2</sup> 刻みでこれを求めた。120と100メッシュは同じ結果を与えた。実験の範囲では点火側管長  $l_1$  とし L. S. P. の関係は単純であり、これは次のように説明される。

点火端開放の管中における火炎伝播については、点火後の火炎の速度はある距離までは一定であること（これを uniform movement といい、この現象が生ずるためには火炎面の形状が一定であることが必要で

\*3 点火側管長を増すことは、点火側空間の大きさを増すことと同義ではない。点火側空間の大きさ(容積)の影響をしらべようとすれば、形状についての因子が含まれるためより複雑となる。

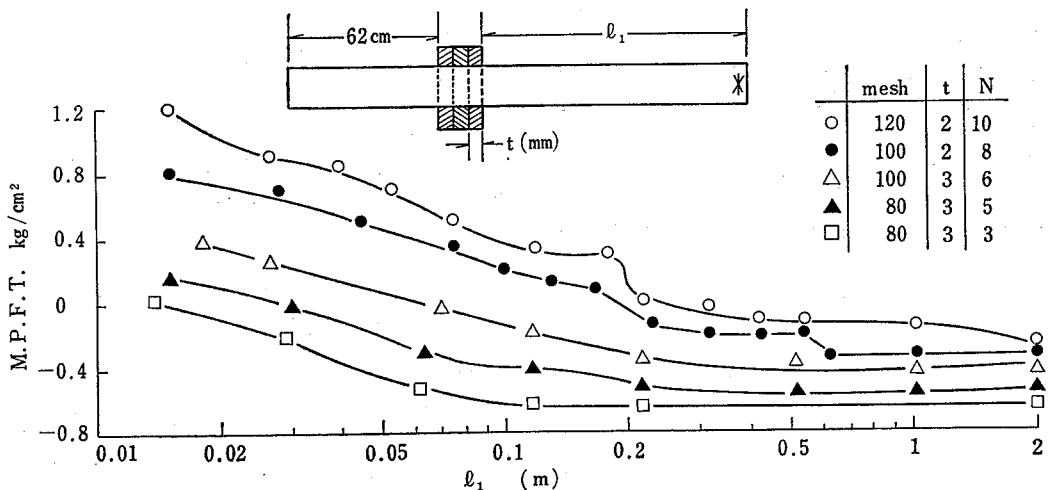


**Fig. 8** Effect of length of ignition chamber on quenching ability of one wire gauze supported with 14 mesh gauzes ( $C_2H_2$  12%)  
 点火側管長と L. S. P. の関係 (金網1枚)

ある) が知られている。点火端が閉鎖されている場合にも同様な現象が見られることを筆者は別の実験で確かめているが、アセチレン-空気系で管径1インチのときには、点火源から1m以内に障害物がなければ約60cmの間は火炎は一定速度で伝播する。Fig. 8では管長  $l_1$  は5cm以下であるから、たとえ点火源と金網の距離が短いとしても、この間で火炎速度に著しい変化があるとは考えにくく、むしろ火炎は uniform movement で伝播するとみられる。この仮定に従えば

$l_1$  が異なっても火炎速度は変わらないから、火炎速度が消炎を支配する因子であるとする考え方では  $l_1$  により L. S. P. が変化することは説明できない。ところで、管長と管径の比があまり大きくない場合であって、かつ火炎速度が一定であるとすれば、これは管中の火炎伝播というよりむしろ単純な形状の容器中でいわゆる爆発 (短時間で反応が終了する) と同じと解される。この種の爆発では容器が大きいほど単位時間あたり放出されるエネルギー量は大きい。いま金網が火炎の消滅と熱ガスの冷却を遂行したときに消滅したことになるのであれば、火炎の消滅の過程はさきに述べたことから  $l_1$  によらないとみなせるが、冷却すべき熱ガス量は  $l_1$  とともに増すので、全体として消炎能力は点火側の管長に影響されることになる。

点火側管長  $l_1$  が長くなると  $l_1$  と消炎能力の関係は単純ではない。Fig. 9は  $l_1$  を2mまで変化させたときの実験容器と結果である。引火側は一定とし、金網のメッシュ、枚数、離隔距離をかえて、50mmHg または  $0.05 \text{ kg/cm}^2$  刻みで最低引火初圧 (M. P. F. T.) を求めた。図の各曲線は実験値に忠実に描いたものであるが、大まかにみれば  $l_1$  の増すほど M. P. F. T. は減るが、その減少のしかたはむしろ段階的であるとみられる。 $l_1$  が20cm付近にひとつの段差がみられるが、これはここで火炎伝播の様相が変わることを示唆している。密閉端点火で60cmまでは一定速度で伝播する例を先に示したが、火炎前方に障害物があれば (火炎がある程度の距離を伝播したあとでは) 火炎面が乱され、この結果速度を増すことはよく知られてい



**Fig. 9** Effect of length of ignition chamber on Minimum Pressure of Flame Transmission ( $C_2H_2$  8%)  
 点火側管長と M. P. F. T. の関係

るところであり、金網層が存在する条件下では 20 cm 付近で最初の火炎の加速が生ずることもありうる。実験では火炎速度は測定しなかったが、 $l_1$  がさらに増したときは、火炎速度が連続的に変化するというより、間けつ的な加速をくり返しつつ伝播するというプロセスの方が従来の知見からみてありうるように思える。なお、実験では  $l_1$  の最大値を約 2 m としたが、これはアセチレン 8% において爆ごうに転移しない限界の管長である。 $l_1$  がさらに増せば、火炎は爆ごう波として金網に向うことになり、M. P. F. T. はさらに低くなるであろう。爆ごうに転移する条件では火炎の状態は管長によらず一定とみなせるので、 $l_1$  をいくら増しても M. P. F. T. は一定値を保持することになるはずであるが、この実験での金網の重ね方では爆ごう波面の圧力により金網が変形するので有意な M. P. F. T. を定められなかった。

本節の結果は「ある点火側管長でのテストにより、それより短い管長のときの消炎能力を安全側で確認できる」と示すことができ、これは実際の火炎防止器のテストに利用できよう。

#### 4. 結 言

固体細隙における消炎現象を利用した火炎防止器に関する研究の一環として、金網によるアセチレン-空気爆発火炎の阻止についてしらべた。実験には 1 インチ管を用い、点火側で生じた火炎が金網をぬけて引火側に伝わるかどうかを観察した。金網の消炎能力は、密閉系において初圧を次第に上げていったときに最初に引火する初圧（最低引火初圧）または引火しない最大の初圧（非引火初圧）と比較したが、これらの圧力の高いほど引火しにくいことを示す。金網を用いた火炎防止器の設計および安全性確認テストに利用できる主な結果は次のとおりである。

1) 最も引火しやすいアセチレン濃度は 8.5% 付近

である。従来の知見と併せれば、火炎防止器のテストに用いるガス濃度は当量値よりやや高目（当量値の約 1.1 倍）とすればよいであろう。

- 2) 金網枚数と消炎効果の関係はすでにわかっているが、枚数が同じであれば金網の重ね合せ間隔 ( $t$ ) を増すほど引火しやすい。この結果を用いれば、間隔で安全率をとることができる。
- 3) 引火側管長 ( $l_2$ ) の増すほど消炎は容易になり、引火側空間が充分大きくなればその大きさはもはや消炎に影響しない。この結果は、ある  $l_2$  でのテストによりそれより引火側管長が長いときの消炎能力を確認できることを意味し、引火側（爆発から保護されるべき空間）が大きいタンクや長い配管系であって実際に爆発テストを行ない難いときに、この部分を仮りに短い配管でおきかえてテストしてもよいことを示している。
- 4) 点火位置と金網との距離 ( $l$ ) が大きいほど消炎は困難である。従って、火炎防止器は点火源になるべく近いほうが好ましく、また、ある距離  $l$  について消炎能力をテストした金網は、 $l > l'$  なる距離  $l'$  にある点火源からの火炎をより安全に消炎できる。
- 5) 管端点火の場合には、点火側管長 ( $l_1$ ) の大なるほど引火しやすい。この結果を利用すれば、管長  $l_1$  でのテストにより、 $l_1 > l_1'$  なる管長  $l_1'$  の場合の消炎能力を安全側で確認することができる。

(昭和 50 年 12 月 8 日 受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 林, “火炎防止器に関する研究 (第 4 報)——金網の消炎能力に影響する因子 (1)——”, 産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-24-5 (1975)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-24-6

---

昭和51年2月20日

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 614.838

火炎防止器に関する研究 (第5報)  
——金網の消炎能力に影響する因子 (2)——

林 年宏

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-24-6, 1~10 (1976)

金網を消炎素子とする火炎防止器の設計および試験の方法に関するデータをえるため、60~120 メッシュのステンレス金網を重ねた場合の消炎能力に影響する因子について検討した。実験は1インチ管中でのアセチレン-空気の爆発火炎について行ない、混合ガスの濃度、金網を重ね合せるときの離隔距離、爆発の生ずる側の管長および点火位置、爆発火炎から保護されるべき空間の大きさなどが、金網による消炎におよぼす影響について明らかにした。これらの結果は、爆発実験にもとづく火炎防止器の設計に際しての安全率のとり方や、実際の装置を用いての火炎防止器の試験が不可能なときの試験の方法を考える際に有用となろう。

(図 9, 参 1)



UDC 614.838

Interruption of Explosions by Flame Arresters (5th Report)  
——Factors Affecting on Flame Quenching by Wire Gauzes (2)——

by T. Hayashi

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety, RIIS-RR-24-6, 1~10 (1976)

Flame quenching abilities of packed wire gauzes of stainless steel (nominal mesh 60 to 120) were studied with acetylene-air flames in 1-inch tubes of various lengths. Effects of such factors on flame quenching as acetylene content of the mixture, spacing distance between gauzes, the length of ignition chamber, relative positions of ignition to gauzes, and the length of the chamber to be protected from flames were determined. Discussions were also made on applications of these results to the development of methods of design and field test of flame arresters composed of wire gauzes as quenching elements.

(9 figures, 1 reference)

