

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1977

爆発及び爆ごう抑止器の実用化に

関する研究(第1報)

— 2 及び 4 インチ管中における火炎伝播の阻止 —

林 年 宏

労働省産業安全研究所

爆発及び爆ごう抑止器の実用化に

関する研究 (第1報)

— 2 及び 4 インチ管中における火炎伝播の阻止 —

林 年 宏*

Research on Flame and Detonation Arresters (First Report)

— Quenching of Acetylene-Air and Propane-Air Flames in 2- and 4-inch Pipes —

by Toshihiro HAYASHI*

It has been recommended that any pipeline in which an ignition of explosive gas mixture may arise should be equipped with flame arresters in order to arrest flames in their earlier stage of development so that the wide spread of explosion effect could be avoided. Although, in fact, available informations are not yet satisfactory for the design of arresters. The author has reported on quenching of flames by wire gauzes and others in 1-inch pipes. But, as flame behaviours depend largely on geometric dimensions of the pipe in which flames travel, quenching behaviours in pipes with larger diameters should also be considered to differ from those in smaller ones. Effects of several factors on flame quenching in 2- and 4-inch pipes are studied in this report.

Experiments are carried with stoichiometric mixtures of acetylene-air and propane-air. Each test enclosure is composed of ignition chamber, whose diameter and length are varied, and a protected chamber. An arrester housing containing quenching elements (wire gauzes or sintered metals) is set between those two chambers. Premixed mixture of a desired pressure is ignited in the ignition chamber and then it is observed if an explosion occurs in the protected chamber. Increasing the initial gas pressure by step, a minimum pressure, beyond which flames always pass through the quenching element, is determined and this pressure is used as a measure to evaluate a quenching ability of the element under test.

Propane flames are far more easily quenched than those of acetylene, and the transition to detonation should be taken into account for the latter flames. Effects of the following factors on flame quenching are discussed: the length and diameter of the ignition chamber, mesh size and thickness of quenching element, spacing distance of wire gauze layers, and the distance between a ignitor and quenching gauzes. It is also shown that whether ends of chambers are opened to atmosphere affects largely on flame quenching behaviours.

* 化学研究部 Chemical Engineering Research Division

1. 緒 言

固体細隙における消炎現象については幾つかの研究がなされているが、これらは実験の規模も小さく、また、平行平板細隙や円筒状細管などの比較的単純な消炎モデルを対象としており、細隙の大きさや奥行、断面形状などの影響については有益な知見を与えているが、金網や焼結金属などの消炎素子についての実用的なデータは余り得られていない。従って、ある条件下(ガスの種類・濃度・圧力、爆発空間の形状・寸法など)の爆発火炎を消炎するにはどのような特性(細隙の大きさ、厚さなど)の消炎素子を用いればよいか、あるいは逆に、ある消炎素子を用いればどの程度の爆発火炎の伝播を阻止できるか、という問いに対して明確な答を出すことは極めて困難であり、火炎防止器の実用化に当っては種々の条件下における実験データの蓄積が必要である。

筆者は既に1インチ管中における火炎伝播の阻止について幾つかの報告を行ってきたが^{1)~4)}、火炎伝播の様相が管径にかなり影響されることが知られており、大口径管中での消炎挙動についても確認する必要があるため、本報では主として2および4インチ管中での消炎(爆発の阻止を含む)について検討した。消炎素子としては、実用性が高いと考えられる金網と焼結金属を対象とし、アセチレン-空気炎と、比較的消炎されやすいプロパン-空気炎について実験した。なお、従来は密閉管中での挙動を調べてきたが、本報では爆発管の一部が大気開放されている場合についても実験した。

本報では特に、種々の条件下でのデータを求めることを目的としたので、実験内容は必ずしも系統的ではないが、各種条件下でそのまま利用できるデータが得られたほか、消炎に影響する因子について、二、三の新しい知見を示すことができた。

2. 実 験

2.1 実験装置(爆発管)

爆発管は図1に示すように点火側、引火側およびこの両者の間に取付ける消炎素子のハウジングからなる。管は配管用炭素鋼管を用い、点火側は呼び径1、

2および4インチの三種類で、管端から消炎素子表面までの距離 L (点火側管長という)は約13cmから最大約4.5mまで変化させた。引火側は1インチ管で、管長は(消炎素子の厚さや素子の補強方法などにより多少の差はあるが)約1.25mで一定とした。管はすべて水平に保持して実験した。なお、点火側には点火器や火炎速度測定用のイオン・ギャップを取付けるためのネジ穴が数ヶ所加工されている。

ハウジングは消炎素子を固定するために用い、図2は一定の間隔をおいて重ね合せた金網層を多孔板で補強する場合を示す^{*)}。消炎素子から押えグランドまでが図の順序でハウジング中に組込まれる。金網を密着

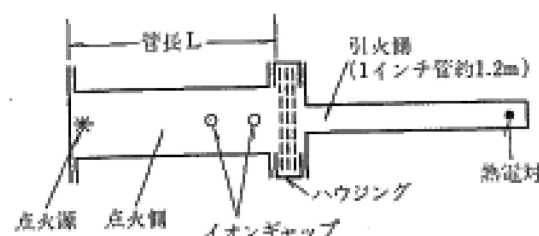


図1 爆発管概略図

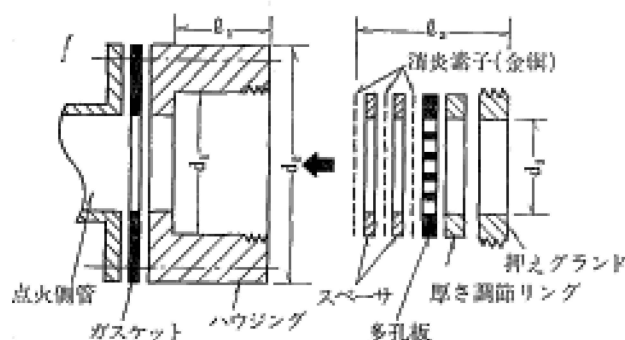


図2 ハウジング及び消炎素子固定法

表1 ハウジング各部寸法(図2参照)

ハウジングの呼び径 ^{*)}	$d_1^{**2)}$	$d_2^{**3)}$	$d_3^{**4)}$
1インチ	41 mm	95 mm	28 mm
2	66	130	53
4	131	200	105

^{*)} 点火側管の呼び径と同じ。

^{**) 2)} 消炎素子、スペーサ、多孔板、厚さ調節リングの外径は $d_1-1(\text{mm})$ である。

³⁾ 点火側管フランジの外径に同じ。

⁴⁾ 点火側管の内径にほぼ等しい。

^{*)} 次の2.2でも述べるように、スペーサと多孔板を同時に用いることはないが、それぞれの場合を図示する簡便さをさけるためにこのような図とした。

して重ねる場合および焼結金属を用いる場合にはスペーサは除かれ、間隔において金網を重ねる場合には多孔板が除かれる。消炎素子の厚さや多孔板の有無による差異は厚さ調節リングを変えて調節し、それぞれのハウジングについて l_1 と l_2 が等しくなるように組込んだ。ハウジング各部の寸法を表1に示す。

2.2 消炎素子およびその補強

金網はステンレス鋼製平織のもので、メッシュ数は60, 80 および 100 である。焼結金属はステンレス鋼製(SUSと示す)と青銅製(BCと示す)のものをを用い、濾過径は前者が100および120 μ (ミクロン)、後者は10, 40, 70, 100, 120 μ の五種類である。これらの仕様の詳細については、金網は参考文献4)、焼結金属は同1)を参照されたい。供試素子はすべて円板状で、その外径は表1の注に示した。なお、焼結金属は厚さ2, 3, 6および10mmのものをを用い、これらを適時組合せて所望の厚さとした。

金網の重ね合せに際しては、隣り合う金網の素線の方法が相互に約45度をなすように配慮した。また、金網を重ね合せるときの間隔を離隔距離と呼ぶこととし、 t (単位はmm)と略記することがある。

2および4インチ管の場合には消炎素子の補強が必要であり、さもないと爆発圧力により、金網の場合は変形してハウジングの固定部分から脱落し、焼結金属の場合には亀裂や破損を生じて有意な結果が得難い。補強には多孔板あるいはピアノ線を用いた。

多孔板は鋼製円板に直径10mmの孔を幾何学的に対称となるようにあけたもので、2インチ管用のものは厚さ8mm、孔数12、4インチ管用のものは厚さ10mm、孔数52である。なお、このほかに、2インチ管の場合に限って孔径16mm、孔数3という多孔板を一部の試験で用いた。

間隔において金網を重ねる場合に個々の金網を多孔板で補強することは实际的でないので、図3に示すような、二分したスペーサとピアノ線とを組合せたものをそれぞれの金網のしろ(引火側寄り)におき、スペーサと補強の両方の目的を果させた。なお、隣り合うピアノ線は相互に直角をなすように重ね合せた。

消炎素子とその補強方法は実験結果の中にそれぞれ明記するが、補強用多孔板は「多孔板10 ϕ ×52」「多孔板16 ϕ ×3」のように略記し、ピアノ線で補強した場合は離隔距離とピアノ線径は同じであるから、離隔

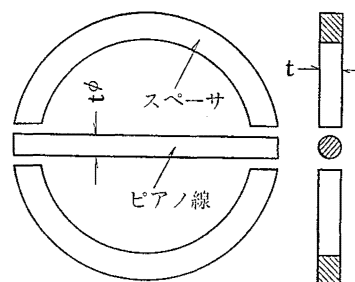


図3 金網の補強を兼ねたスペーサ(t は離隔距離)距離(t)のみを示す。

2.3 実験ガス

実験ガスは8%アセチレン空気および4.3%プロパン空気である。アセチレンは消炎が困難なガスであり、プロパンは多くの炭化水素類や溶剤蒸気を代表する消炎挙動を示すとされている。ガス濃度はそれぞれ最も消炎しにくいと考えられる値である。

アセチレンは市販ボンベ入りの溶解アセチレンを、プロパンは液化プロパン(99%以上)を、それぞれ分圧方式により空気と混合し、干渉計式ガス検定器により濃度をチェック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

密閉条件下での実験^{*2}に際しては、供試消炎素子を組込んだあと爆発管内部を真空とし、予混合ガスを所定の圧力(初圧という)まで満したのち、点火側管内のガスに点火し、引火側に火炎が生ずる(引火する)か否かを観察した。点火はニクロム線ヒータにより、点火位置は管端である(図1)。引火の有無の判定は主として熱電対の出力によった。初圧を-500mmHgから100mmHg(大気圧をゼロとし、それ以上は0.1kg/cm²)刻みで初圧を上げ、最初に引火するときの初圧を最低引火初圧(M.P.F.T.と略す)と定義し、この値を消炎素子の消炎能力の尺度とした^{*3}。

一部の試験は爆発管の管端を大気に開放した状態で行なった。これには点火側・引火側両管端を開放する

^{*2} 特に断わらない限り、実験は爆発管を密閉して行なったものである。

^{*3} 消炎素子直前の火炎速度も測定した。大まかに見れば混合ガスの初圧の高いほど火炎速度も大となるが、ある初圧 P_1 と P_2 ($P_1 > P_2$, P_1 で引火, P_2 では引火しない)で P_1 のときの火炎速度のほうが小さいという結果が得られる場合も多いので、消炎能力の尺度としては火炎速度ではなく初圧を用いた。M.P.F.T.はMinimum Pressure for Flame Transmissionの意である。なお、実験結果の図中ではM.P.F.T.はすべてkg/cm²(ゲージ圧)で示した。

場合と、引火側管端のみを開放する場合とがある。ただし、点火側管端を完全に開放すると点火時のガス組成の変動するおそれがあるので、あらかじめ管端フランジ間に厚さ 0.1 mm のビニルシートをはさんでおき、点火時にビニルシートが管端を覆っている状態をもって大気開放状態に擬した。引火側については、管端フランジに取付けた M18 の盲ネジを点火直前に取外して大気開放とした。管端開放の実験は火炎伝播に伴う未燃ガスの予圧縮のない状態を想定したものであるが、両端開放、引火端開放でのテストのあと、引続き初圧が大気圧で両端閉鎖の場合についても実験した。また、この種の実験では点火位置の影響についても調べたが、その際には、点火位置を管の中心軸上とするために電極部が長い特殊な点火プラグを用い、電気スパークにより点火した。

なお、点火側管中における火炎速度の変化をイオン・ギャップ法²⁾により測定したが、プロパン-空気炎の場合には有効な測定はできなかった。アセチレンの場合については、必要に応じ実験結果の中に速度測定値を記した。

3. 実験結果および考察

3.1 点火側管径の影響

爆発火炎が伝播する管の形状・寸法が消炎にどう影響するかを知ることは、単に火炎防止器の設計のみならず、配管系統それ自体の設計にも有用である。ここではアセチレン-空気炎について、消炎素子を一定として点火側の管長・管径および離隔距離を変化させて実験したが、図 4 は管径の影響を示す結果の例である。管径の大なる方が M.P.F.T. が小さい(消炎にくい)と言えそうであるが、図の曲線の形状が一定のパターンをとらないことに留意せねばならない。これは、管径のほかに管長や離隔距離が同時に消炎挙動に影響することを示唆するものであり、後述するようにプロパン-空気炎ではまた別の結果が得られている。一般的に言えば、管中の火炎伝播の様相が消炎挙動を支配するのであるから、管径が火炎伝播に及ぼす影響が問題である。例えば管長が比較的小さければ、点火側管中で混合ガスが反応し終えるに要する時間は短かく、火炎は背後から強い膨張波を押される。この際には管壁への熱損失を考慮せねばならぬので、管径の大

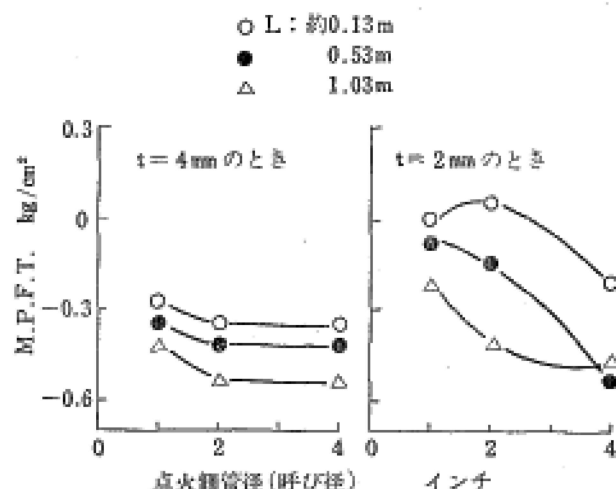


図 4 点火側管の径と最低引火初圧の関係
(アセチレン-空気炎, 100 メッシュ金網 10 枚)

なるほど消炎素子で奪われるべき熱量が大となり、消炎しにくい。一方、管長が大ききときは火炎は次第に加速されて伝播するが、加速の度合は管径の小なるほど著しいとされており、火炎速度の大なるほど消炎しにくいという理論も提示されているので、上記とは逆の挙動が予測される。

図からは離隔距離の効果も示されるが、一、二の例外を除けば離隔距離の大きい方が消炎しにくいことがわかり、これは既報⁵⁾の結果と一致している。

3.2 点火側管長の影響

図 5 および 6 はアセチレン-空気炎の場合に管長(L)が消炎に及ぼす影響を示す例である。1 インチ管

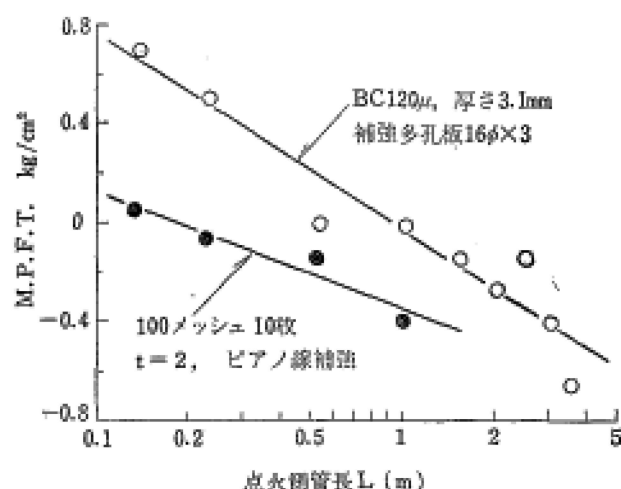


図 5 2 インチ管中におけるアセチレン-空気炎についての管長と最低引火初圧の関係

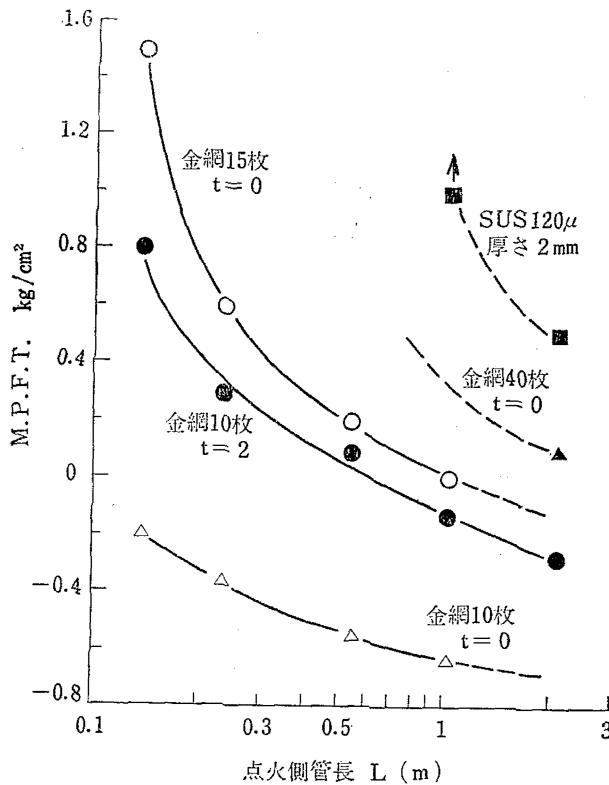


図6 4インチ管中におけるアセチレン-空気炎についての、管長と最低引火初圧の関係
(●は焼結金属, 他は100メッシュ金網;
離隔距離 $t=2$ mm の場合はピアノ線で, その他の場合は $10\phi \times 52$ の多孔板で補強)

中では L の増すにつれて M.P.F.T. が段階的に減ずることが示されており⁵⁾, 図でもこの傾向が見られるが, 図5では両者の関係を片対数図上で直線で近似させた。なお, $L=3.5$ の結果だけは爆ごうに転移したときのものである。4インチ管での結果も同様のパターンを示すが, $L=0.13$ の M.P.F.T. が急激に大となる傾向があるので両者の関係は曲線で近似させた。火炎速度の大なるほど引火しやすいという考え方は消炎に関する半理論的説明であるが, アセチレンのように燃焼速度の大きいガスは火炎が伝播するにつれて速度を増すので, 管長の大なるほど引火しやすいという実験結果は理解しやすい。しかし, 燃焼速度が小さいプロパン-空気炎の場合は, 後述するように管長の影響は顕著ではなかった。

なお, これらの図の実験の範囲では爆発圧力による消炎素子の変形は殆んど無いが, 有っても極く僅かである。実用上の支障は見られなかった。

3.3 金網の枚数および焼結金属の濾過径の効果

図7は金網枚数と消炎能力の関係を示すものである。図の実験条件下では爆ごうへの転移は見られず, 引火したときの金網直前の火炎速度は $220 \sim 620$ m/s の範囲にあったが, 火炎速度と引火しやすさの間には殆んど相関はなかった。図によれば金網の枚数を増す効果は目開きの小さい金網ほど大きく, この結果は爆発空間の形状・寸法にはよらないようである⁴⁾⁶⁾。

焼結金属の目の粗さは濾過径で代表され, 濾過径の減ずるほど消炎能力が勝ることに疑問の余地はないが, それはあくまでも焼結金属に機械的損傷がない場合のことである。補強が十分でないと, たとえ焼結金属自体に消炎能力があっても, 破れて穴があれば引火してしまう。従来結果によると, 多孔板で補強する際にはひとつの孔の直径が 10 mm 以下であれば, 初圧 1 kg/cm² 程度までの爆発火炎に対しては補強の目的が果せるとみてよい。図8は補強板の孔径を 16 mm とし, 焼結金属の機械的損傷について確認することも目的として, 濾過径と M.P.F.T. の関係を混合ガスの初圧 0.5 kg/cm² までについて調べた結果である。殆んどの場合に何らかの損傷が見られ図のような結果となったが, 補強が適切であれば右下りのなめらかな曲線となることが予測される。

消炎素子の厚さが同じであっても, 目の粗さ (焼結金属の濾過径, 金網の目開き) によって圧力波の伝播に対する抵抗の度合いが異なる。アセチレン-空気のような燃焼速度の大きいガスでは, 火炎の伝播につれて前

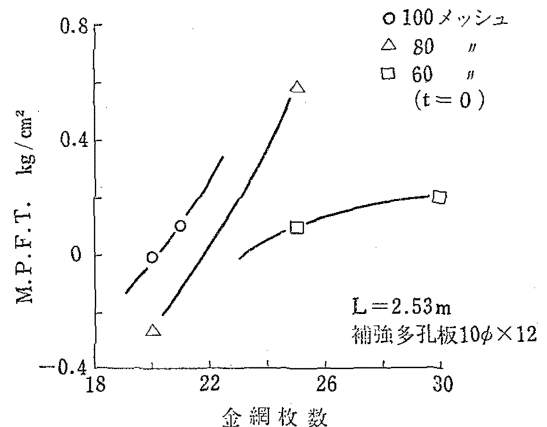


図7 2インチ管中における爆ごう転移前のアセチレン-空気炎についての金網枚数と最低引火初圧の関係

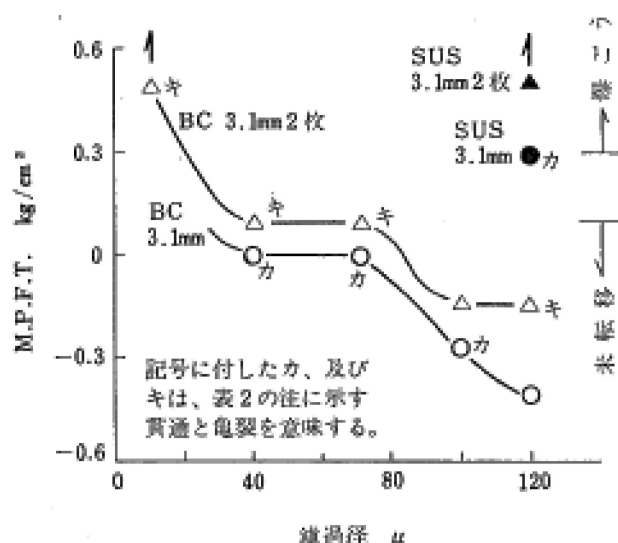


図8 2インチ管中におけるアセチレン-空気炎についての焼結金属の濾過径と最低引火初圧の関係
($L=3.03\text{m}$, 補強多孔板 $16\phi\times 3$)

方へ送り出される圧縮波が次第に強くなることが知られているが、素子の抵抗が小さければ圧力は容易に引火側へ伝わるので、火炎が素子に達したときの素子前後の未燃ガスの圧力差は小さい。一方、素子の抵抗が大きければ素子前後に圧力差を生じ、素子手前（点火側寄り）の未燃ガスの圧力は素子の抵抗が小さい場合よりも高くなる。つまり、初期条件は同じであっても、圧力伝播に対する素子の抵抗の度合によって素子直前の爆発の強さが異なり、抵抗が大きいときは実際上初圧が高い状態での爆発が生じたことになり、爆発圧力は高く、相対的には消炎しにくくなる。これと同時に、抵抗が大きければ引火側への爆発圧力の逃散も少なく、素子に加わる圧力が大きくなるため素子は損傷を受けやすくなる。こうした効果が重なって、図8のような「濾過径が小さくても、消炎能力は必ずしも大きくない」という結果になるものと思われる。

金網の場合には、素子表面積のうち固体（針金）の占める割合が比較的小さいために抵抗も小さく、本報の実験全体を通じて、変形することはあっても著しい損傷は受けなかった。また、図8では初圧が 0.1kg/cm^2 以下では爆ごうへの転移はないが、火炎速度（約 $500\sim 1,000\text{m/s}$ ）から見て転移直前の状態にあると考えられ、爆ごうあるいは爆ごうへの転移直前の場合に特に消炎素子の損傷が著しいとみられる。ちなみに、 L が約 2.5m で、爆ごうへ転移するには管長が不足の

場合には、BC 100μ 厚さ 3.1mm の焼結金属に対する M.P.F.T. は 0.5kg/cm^2 であるが、このときには素子の変形は殆んど見られなかった。いずれにせよ、実用上の火炎防止器では消炎素子の補強方法は重要な課題である。

なお、爆ごうに転移する直前の状態にある火炎については、その伝播速度が初圧とともに増加することがわかり、同じ消炎素子については、素子直前の火炎速度の大きなるほど引火しやすいことが示された。

3.4 2インチ管中における爆ごうの阻止

2インチ管中を伝播するアセチレン-空気炎は（初圧にもよるが） $3\sim 3.5\text{m}$ の距離を伝播すれば爆ごうへ転移してしまう。プロパン-空気炎およびアセチレンでも4インチ管の場合には比較的転移しにくい。爆ごうへの転移が容易に生ずるような条件下では、爆ごうへの転移を前提として火炎の阻止を考えておかなければならない。

図9は金網についての結果である。重ね合せた金網の一部は爆ごうを弱める（中断させる）役割を果し、残りの金網が弱められた火炎を消滅させるというメカニズムにより爆ごうの阻止が可能であるが²⁾、前節までの結果との比較により爆ごうの阻止に要する金網枚数の方が格段に多いことに留意したい。図では枚数と M.P.F.T. の関係を直線で近似させたが、爆ごうの場合にも初圧の高いほど引火しやすいと考えてよい。金

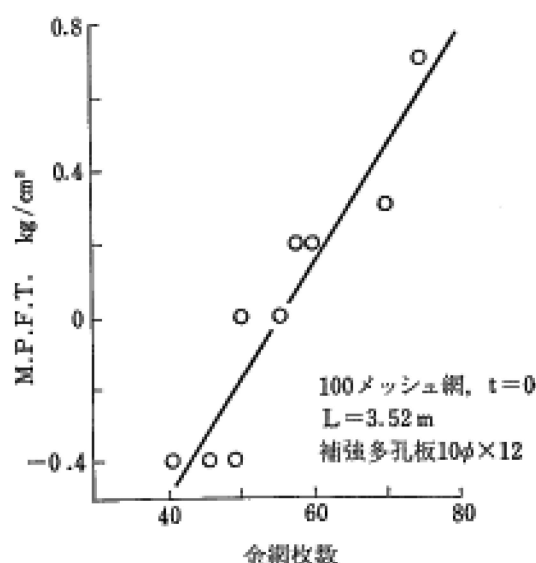


図9 2インチ管中におけるアセチレン-空気炎の爆ごうについての金網枚数と最低引火初圧の関係

網直前の火炎速度（この場合は爆速）は初圧に殆んど影響されず、引火時の爆速は平均 2,100 m/s と測定された。なお、消炎素子の種類や厚さが異なっても爆速は変化しないと考えてよい。

焼結金属を消炎素子とし、多孔板の孔径を 16 mm としたときの結果を表 2 に示す。図 8 の場合と同様、素子の損傷が原因で引火することが多く、補強板の選択が重要であることがわかる。

図 10 には焼結金属を 10φ×12 の多孔板で補強した場合の素子の厚さの効果を示す。図の実験の範囲では素子には僅かの変形あるいは亀裂を生じたが、それらが引火の原因になったと見られる例はなく、爆ごうに対しても補強用多孔板の孔径は 10 mm 以下でよいと思われる。

図からは濾過径の小なるほど厚さを増す効果の著しいことがわかるが、これは金網の場合に目開きの小さい金網ほど枚数を増す効果が大きいという結果が得られたのと同じ意味である。図には素子が一枚のときの結果（白ヌキのマーク）のほか、厚さ 2 mm のものを重ねた場合、6 mm のものと 2 mm のものを重ねた場合についても示した。例えば $T=4$ の▲は BC 100 μ 厚さ 2 mm のものを 2 枚重ねて全体の厚さを 4 mm としたときの、また $T=8$ の□は BC 70 μ の 6 mm と 2 mm のものを（前者を点火側寄りに）重ね合せたときの結果である。Egerton ら⁷⁾は、焼結金属を重ね合せても

表 2 2 インチ管中におけるアセチレン-空気の爆ごうについての、焼結金属(厚さ 3.1 mm)の濾過径と最低引火初圧の関係
($L=3.52$ m, 補強多孔板 16φ×3)

材 質	濾過径 (μ)	M. P. F. T. * (kg/cm^2 又は mmHg)	素子の変 形など**
青 銅 (B C)	120	-500	変 形
	100	-200	貫 通
	70	-300	破 裂
	40	0.3	"
	10	0	貫 通
ステンレス鋼 (S U S)	120	0.3	変 形
	100	0.5以上	亀 裂

* ゼロ以上は kg/cm^2 , 他は mmHg

** 圧力を受けた素子は、まず引火側へ凸にふくらむ変形を示し、この変形が大きければ亀裂を生じ、更には破裂して星形の破裂口を生ずるが、場合によっては剪断によって貫通し、補強多孔板の孔と同じ径の孔がスッポリとあくことがある。

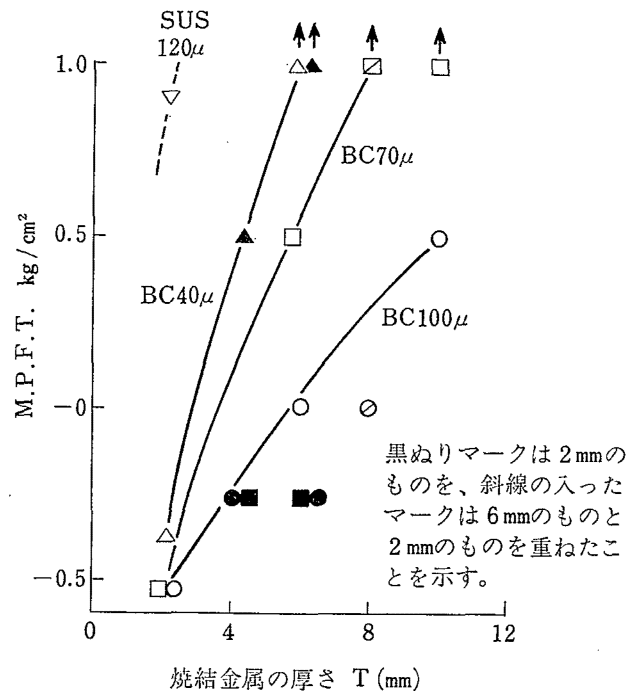


図 10 2 インチ管中におけるアセチレン-空気の爆ごうについての、焼結金属の厚さと最低引火初圧の関係
($L=3.52$ m, 補強多孔板 10φ×12)

消炎能力は必ずしも向上しないことを示しており、こうした挙動を示す理由は明確ではないが、図でも 100 および 70 μ (BC) の場合に同様な結果が得られており、濾過径の大きいものの重ね合せの効果には疑問がある。特に、厚さ 2 mm のものを引火側寄りに追加しても消炎能力の向上は期待できない。濾過径が小さい場合には、薄いものを重ねても厚さが同じであれば同程度の消炎効果が期待できそうであるが、実用上は一枚の素子で必要な厚さが得られるようにすべきである。

3.5 大気開放時の消炎挙動

火炎防止器が取り付けられる系の状態は二つに大別できる。ひとつは系が密閉されている場合（系内の圧力が高いこともある）であって、前節までの実験はこの場合に相当する。もうひとつは系の一部が大気に開放されている場合（当然系内の圧力は大気圧）であり、このようなケースは実際上の装置にかなり多いと思われる。本節では、爆発管の一部が大気に開放されている場合を中心に、初圧が大気圧のときの消炎挙動について検討した。

表 3 にはアセチレン-空気炎の消炎に及ぼす点火位

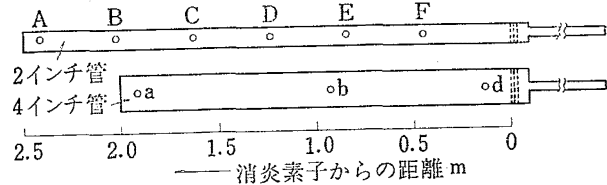
置の影響を示す。1 インチ管では点火位置が金網から遠いほど引火しやすいことがわかっているが⁹⁾、2 および 4 インチ管でも同様の結果であり、燃焼速度の大きい混合ガスでは、一般にこのような関係が成立すると考えられる。一方プロパン-空気炎については、点火側の管径・管長と金網の種類・枚数を広範囲に変えて実験したところ、点火位置の影響を比較できるケース 10 例のうち、点火位置が金網から遠いほど引火しやすいと判断できたのは 4 例しかなく、アセチレンの場合のような明確な結果は得られなかった。一般に、燃焼速度が大きいガスでは火炎は伝播距離を増すにつれて加速し強い火炎となるが、プロパンのように燃焼速度が小さいガスでは、火炎がある距離を伝播した時点で火炎背後（点火源側）に冷却によるガスの収縮が起り、このため先へ進もうとする火炎を背後から引戻す動きが生ずる。この結果、火炎速度は必ずしも伝播距離とともに増加せず、長い管中よりも、長さとの比が大きくないズングリした容器中での爆発の方がむしろ強くなることがあり、また、管長が一定である程度長い場合には、管端よりもむしろ金網近くで点火したときの方が火炎が強くなり、引火しやすいという結果になることが考えられる。

表 3 からはまた、点火位置を一定としたときの管端の開放状態と消炎しやすいの関係を知ることができる。両端開放、引火側管端のみ開放、密閉という三つの管端条件について比較すると、比較できるケースについては「両端開放のときに最も引火しにくく、密閉状態のときに最も引火しやすい」と結論された。この結果は管中の火炎伝播の一般の様相から次のように説明される。点火側管端が開放されていると、燃焼生成ガスは開口部から大気中に放出されるため火炎を背後から押す推進力が働かず、また、管端での反射がないため火炎前方へ送り出される圧縮波も弱くなる。つまり、点火端開放は管中の火炎伝播のうち最も弱い火炎を生ずるケースで、火炎の加速も少なく、消炎は容易である。他方、引火側管端が開放されているか否かは火炎前方の未燃ガスが圧縮される度合に影響を与え、金網直前の未燃ガスの圧力の高いほど金網にぶつかる火炎は強くなるので、引火側管端開放時の方が消炎しやすいと考えられる。

ところで、管径が 2 インチと 4 インチでは管長が約 50 cm 異なり、金網と点火位置の相対的關係も同じではないが、表の 60 メッシュ金網と BC 120 μ 焼結金属

表 3 点火位置が消炎に及ぼす影響（金網及び焼結青銅）

（アセチレン-空気、初圧は大気圧、 $t=0$ 、2 インチは 10 $\phi \times 12$ 、4 インチは 10 $\phi \times 52$ の多孔板で補強）



側火 管径 管長	メッシュ 数又 は濾過 径*	枚数 又は 厚さ*	点火 位置	消炎(○)と引火(●) の別		
				両管端 開放	引火側 管端のみ 開放	密閉管
2インチ 2.5 m	60メッシュ	20枚	B C ~ F	○ ○	○ ○	● ○
		10	C D E, F	○ ○ ○	● ○ ○	● ● ○
		7	C F	● ○	● ○	● —
		5	F	●	●	●
	80	6	A	●	●	●
	100	6	C F	○ ○	● ○	● —
		5	E, F	●	●	●
	B C 120 μ	2 mm	A, C F	○ ○	● ○	● —
	B C 100 μ	2 mm	A, F	○	○	—
	4インチ 2 m	60メッシュ	10枚	b d	○ ○	● ○
7			b, d	○	●	●
5			a, d	●	●	●
B C 120 μ		2 mm	a, b d	○ ○	● ○	● —

* 焼結青銅(BC)の場合を示す。

の場合について各々比較してみると、管径の差は殆んどないことがわかる。管中の火炎伝播はふつう管径の影響を受けるとされているが、初圧が大気圧で、管長がほぼ等しければ、2 インチと 4 インチでは管径による消炎挙動の差は大きくないと予測される。

図 11 は、プロパン-空気炎の消炎に要する金網枚数を（三種の管端条件について）点火側管長に対してプロットしたものである。前述したとおり、プロパン炎

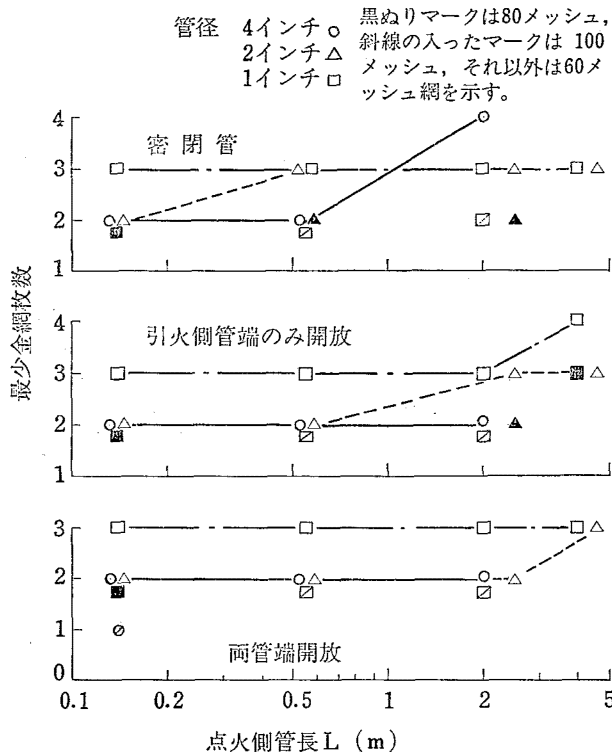


図 11 消炎に要する最少金網枚数と点火側管長の関係

(プロパン-空気, 初圧は大気圧, $t=0$, 2インチは10
 $\phi \times 12$, 4インチは10 $\phi \times 52$ の多孔板で補強)

の場合は点火位置の影響は明確ではないが、この図は実験したうちで最も引火しやすい点火位置についての結果である。図から直接には読み取りにくい、管端条件の影響を比較できるケースが10例あり、そのうち8例が「点火位置が同じであれば、密閉状態のときに最も引火しやすく、両端開放のときに最も引火しにくい」という仮説を支持した。この結果と、先のアセチレンについての考察を併せて考えると、密閉管中で消炎能力を確認された消炎素子であれば、点火側あるいは引火側開放の同じ管中での火炎を阻止できると考えられる。図11の金網は60メッシュが主であるが、メッシュ数が大きく(目開きは小さく)なればより少ない枚数で消炎できるであろうことは当然考えられ、幾つかの場合についてそうした例を示した。

点火側の管径と管長の影響については、管径の小なるほどまた管長の大なるほど消炎に要する金網枚数が増すようである、このことは、管径が小、管長の大なるほど火炎が加速され、火炎速度の大なるほど引火しやすいという説明に一致はするが、60メッシュ網についてそれぞれの管端条件毎に比較すれば、管径や管長が異なることによる必要な金網枚数の差は僅か1～

2枚であり、管の形状・寸法の影響について一般的に結論することは(プロパンについては)必ずしも適切ではないように思える。

4. 結 言

径の異なる三種類の爆発管中において、当量濃度のアセチレン-空気およびプロパン-空気混合ガスの火炎伝播を金網または焼結金属によって阻止することについて実験した。火炎防止器の設計およびテストに利用できると考えられる主な結果は次のとおりである。

- 1) 長さ1m以下の密閉管中におけるアセチレン炎については管径の大なるほど消炎が困難であることが示されたが、管長が増すと爆ごうへの転移などの現象が生ずるので、管径の影響のみについて一般的な結論を示すことはできない。初圧が大気圧で管長が2m程度のときは、2インチと4インチ管では管径による差は見られなかった。大気圧下のプロパン炎については管径の小なるほど消炎しにくいという傾向が見られたが、管径による差は極く僅かであった。
- 2) アセチレン炎では管長の大なるほど引火しやすいと考えてよい。2インチ管では管長が3～3.5mを越すと爆ごうへ転移し、転移後の火炎の伝播阻止はより困難となる。大気圧下のプロパン炎については、実験の範囲(管長の最大は4.5m)では管長の影響は殆んどなく、いずれも60メッシュ金網2～4枚で火炎は阻止された。
- 3) 消炎素子の空隙(濾過径、目開き)の小さいほど消炎能力は大きい、空隙の大きいものは厚さ(枚数)を増すことによる消炎能力の増加割合は小さい。焼結金属の場合には、薄いものを重ね合せても消炎能力の向上を期待できないことがある。金網を重ねる場合には、枚数が同じであっても離隔距離の大なるほど消炎能力は低下するとみられる。
- 4) 管長が一定であれば、アセチレン炎では金網から遠い位置で点火される方が消炎しにくい。プロパン炎では点火位置の影響は明白ではなく、燃焼速度の小さいガスでは管の長さや径によって異なる挙動を示すと解される。
- 5) いずれのガスについても爆発管の管端条件が消炎に影響し、両端開放、引火端開放、両端閉鎖の順で消炎が困難となる。なお、他の条件が同じであれ

ば、アセチレン炎の方がプロパン炎よりもはるかに
消炎しにくい。

- 6) 消炎素子の補強方法が重要となる場合がある。多孔板による補強に際しては、多孔板のひとつの孔径を10mm以下とすることが奨められ、初圧1kg/cm²程度までの爆発（爆ごうを含む）に対して素子の著しい損傷は防ぎ得ると考えてよい。

（昭和52年3月31日受理）

参 考 文 献

- 1) 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 RR-21-1 (1972)
- 2)~5) 林, “同上(第2報)~(第5報)”, RR-23-3 (1974), RR-23-5 (1975), RR-24-5 (1976), RR-24-6 (1976)
- 6) 林, “微少空間における爆発火炎の金網による阻止”, 産業安全研究所技術資料 TN-76-4 (1976)
- 7) A. C. Egerton *et al.*, “Sintered metals as flame traps”, 4th Symposium on Combustion, p.689, Williams and Wilkins (1953)

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-76-9

昭和52年6月10日 発行

発行所 労働省産業安全研究所
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

郵便番号 108