

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1976

微少空間における爆発火炎の金網による阻止

—ガス警報器検知部への応用の検討—

林 年 宏

労働省産業安全研究所

微小空間における爆発火炎の金網による阻止

—ガス警報器検知部への応用の検討—

林 年 宏*

1. 緒 言

1815年の H. Davy の発見以来、金網の消炎能力の利用について研究がなされてきているが、金網を消炎素子とする火炎防止器（フレーム・アレスタ）の設計に際しては、可燃性ガスの種類・濃度・圧力や爆発空間の形状・寸法などのファクターを考慮に入れなければならないが、これらについては最近の報告¹⁾²⁾でも明らかにしたが、それぞれの場合に応じて金網の特性値（目開き、厚さなど）を適切に選択する必要がある。本報では、内容積が 20 cm^3 以下の微小な円筒状空間内において生じた爆発火炎の伝播を金網によって阻止することについて実験し、実際にこのような条件にあてはまると考えられる可燃性ガス警報器検知部（以下、検知部という）への応用の可能性について検討した。

検知部はガスの漏出を検出する機器であるから、ガスに対する応答性が良くなければならない。防爆構造の接触燃焼式検知部の燃焼室は、熱線をフレーム・アレスタで囲んだ構造とすることになっているが³⁾、このフレーム・アレスタが応答性の neck であることは明らかである。現在のところフレーム・アレスタとしては焼結金属を用いているが、焼結金属はその成型加工上の制約や強度的な面からどうしてもある程度（2 mm）以上の厚さを必要とし、このため（消炎能力の点では充分安全であるが）通気抵抗が大きくなり、実用上応答性に問題がなくなはない。もし金網の利用により、安全性が充分で通気抵抗の小さいフレーム・アレスタを得ることができれば、検知部本来の目的をより好ましい形で果すことができよう。

防爆電気機器の一部としての金網の使用は、従来まったく例のないことであり、基本的考え方について論議を要するところであるが、消炎能力について十分な根拠が得られ、かつ、加工時の網目の変形や外傷保護

などの技術的問題が解決されれば、ある限定された範囲内での使用は可能であると考えられる。

2. 実 験

2.1 実験装置

実験に用いた爆発容器の概略を図1に示す。容器は点火側と引火側からなり、この間に金網を固定する。点火側で生じた火炎が引火側に伝わる（引火する）か否かは熱電対の出力で判定する。なお、記述の簡便のため以下の文中において容器の寸法等を記号を用いて示すことがあるが、それぞれの意味は次のとおりである。

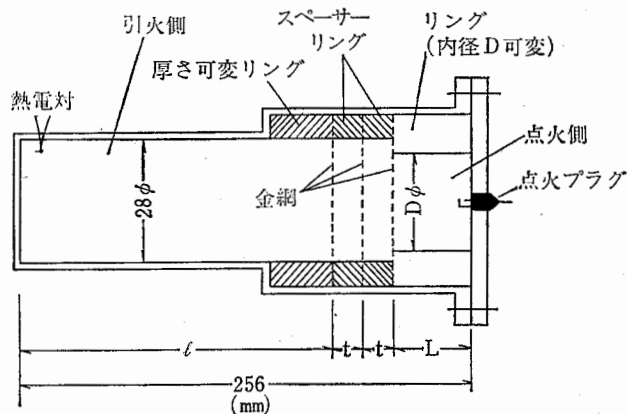


図1 爆発実験容器 (Schematic)

D : 点火側（円筒状）空間の直径。 $D=15, 19, 23, 28(\text{mm})$ の4種類。

L : 点火側空間の長さ。 $L=13\sim 33(\text{mm})$

t : 金網を重ね合せるときの金網相互間の離隔距離であるが、実際には金網間にはさむ内径 28 mm のスペーサーの厚さ。 $t=0\sim 4(\text{mm})$ であるが、主として $0.4, 2, 4$ の3種類。

* 化学研究部

N : 金網を重ね合せるときの枚数。 $N=1\sim6$

l : 引火側空間の長さ。金網の厚さを無視すれば次式で与えられる。

$$l=256-L-(N-1)t \quad (\text{mm})$$

V : 点火側空間の容積。 $V=\pi D^2 L/4000 \quad (\text{cm}^3)$

点火側は検知部燃焼室を想定している。引火側は燃焼室周辺の大気に相当するもので、本来無限の大きさを有すべきであるが、実験方法上の制約のため空間の大きさを有限とした。しかし、上述のように l は L に比して充分大きいので、容器中の混合ガス圧力が大気圧のときには引火側は大気開放と同程度とみなすこととし、また同様の理由により、 L を変化させたときの消炎挙動に対する l の影響は無視した。

2.2 供試金網

実験には市販のステンレス鋼 (SUS 316) 製平織金網を用いた。表 1 にその仕様を示す。供試金網は外径 40mm の円板として爆発容器中に取付けた。取付方法の詳細は省略するが、取付部分周辺からの火炎の逸走は生じえない構造である。

表 1 供試金網の仕様

称呼メッシュ数	目開き (mm)	厚 さ (mm)
60	0.27	0.28
80	0.20	0.24
100	0.15	0.20
120	0.13	0.16

2.3 実験ガス

実験に用いたのは、分圧方式により混合した 8% アセチレン-空気混合ガスである。アセチレンは防爆電気機器の対象となるガス・蒸気のうちで最も危険なグループに分類されており、8% という濃度は最も消炎が困難とみられる濃度である²⁾。混合ガスの圧力は最大 1kg/cm^2 (ゲージ圧。以下特に断わらない限り圧力はゲージ圧とする) までとした。

2.4 実験の手順および消炎能力の尺度

実験はすべて密閉系内で行ない、爆発容器中を真空としたのち混合ガスを所定の圧力(以下、初圧という)まで満し、点火側において電気火花により点火し、引火の有無を観察した。

金網の消炎能力の尺度としては、最低引火初圧および非引火初圧を用いた。密閉容器中では混合ガスの初圧の高いほど引火しやすいことがすでにわかっているので、ある基準圧から一定の刻みで初圧をあげて爆発テストをくり返していった最初に引火する混合ガスの初圧は金網の消炎能力の尺度となりうる。この圧力を最低引火初圧 (Minimum Pressure of Flame Transmission, 以下、M. P. F. T. と略す) と定義する。本報では、 -500mmHg から 50mmHg 刻みで昇圧し、初圧がゼロ (大気圧) でも引火しないときは更に 0.05kg/cm^2 ずつ昇圧して M. P. F. T. を求めた (低い初圧では引火しないことが明らかな場合には、初圧の基準値を -500mmHg より高くする、あるいは初圧の刻みを 100mmHg と 0.1kg/cm^2 で昇圧するという方法をとったこともあるが、同じグループの実験では M. P. F. T. の求め方は同一である)。

いったん引火したあとの金網は、M. P. F. T. より低い初圧でも引火するようになるが、更に初圧を下げていくと遂には引火しなくなる。本報では、M. P. F. T. を求めたあと引き続き (昇圧した時と同じ刻みで逆に) 降圧していった、3 回連続して引火しない初圧を求め、これを非引火初圧 (Limiting Safe Pressure, 以下、L. S. P. と略す) と定義した。

M. P. F. T. と L. S. P. のいずれをとるにせよ、これらの圧力の高いほうが引火しにくい、換言すれば、これらの圧力の高い金網が消炎の目的にかなうことは明らかであろう。なお、これらの圧力は減圧下では mmHg 単位で求めたが、実験結果はすべて kg/cm^2 で図示した。

3. 実験結果および考察

3.1 M. P. F. T. と L. S. P. の関係

これらの圧力はいずれも消炎能力の尺度であるが、L. S. P. の方が低い値をとるから、これを用いる方がより安全側で金網の消炎能力を評価できる。実験的には、M. P. F. T. を求める方が容易であるから、もし両者の関係がわかっておれば、M. P. F. T. から L. S. P. を予測することができ、実用上便利であろう。

表 2 は、種々の条件下で行なった実験のうち、M. P. F. T. と L. S. P. を比較できる 173 例について両者の差を示したものである (点火側容積 V による区分

表 2 M.P.F.T. と L.S.P. の差

V cm ³	M.P.F.T. と L.S.P. の差 (上段 kg/cm ² 下段 mmHg)		
	または 0.1 100 以内	または 0.15 150	または 0.2 200 以上
8 以下	102例	3例	0例
10	31	8	0
15	11	2	1
20	11	3	1
計	155	16	2

は便宜上のものであって、あまり意味はない。

表から明らかなように、前述の実験方法による場合には、M.P.F.T. をまず求め、これから 0.1kg/cm² または 100mmHg を減じた値を L.S.P. とみなしても、大きな間違いはないといえよう。消炎能力の尺度としてのふたつの圧力値は、このように関係づけることができるが、この研究の性格上、L.S.P. の方が消炎能力の尺度として妥当と思われるので、以下においてはすべて L.S.P. に関して論議をすすめる。

3.2 点火側空間の径の影響

点火側空間の長さを一定 ($L=13\text{mm}$) とし、径 D を変化させて L.S.P. を求めた結果の例を図 2 に示す。図からは L.S.P. に対する D の影響は認めがたく、むしろ、L.S.P. は D によってほとんど変化しないとみ

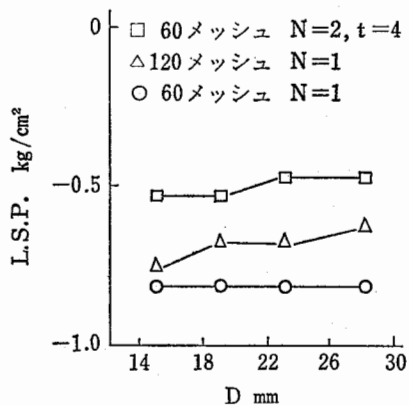


図 2 点火側空間の径の影響 ($L=13$)

なしてもよい。点火側空間の容積の大きいほうが発熱量が大きく、従って消炎するために金網において奪われるべき熱量も大であると考えれば、 D の増すにつれて右下りの曲線となるべきであるように思えるが、 D が大きければ点火側空間での燃焼が終了するまでの時

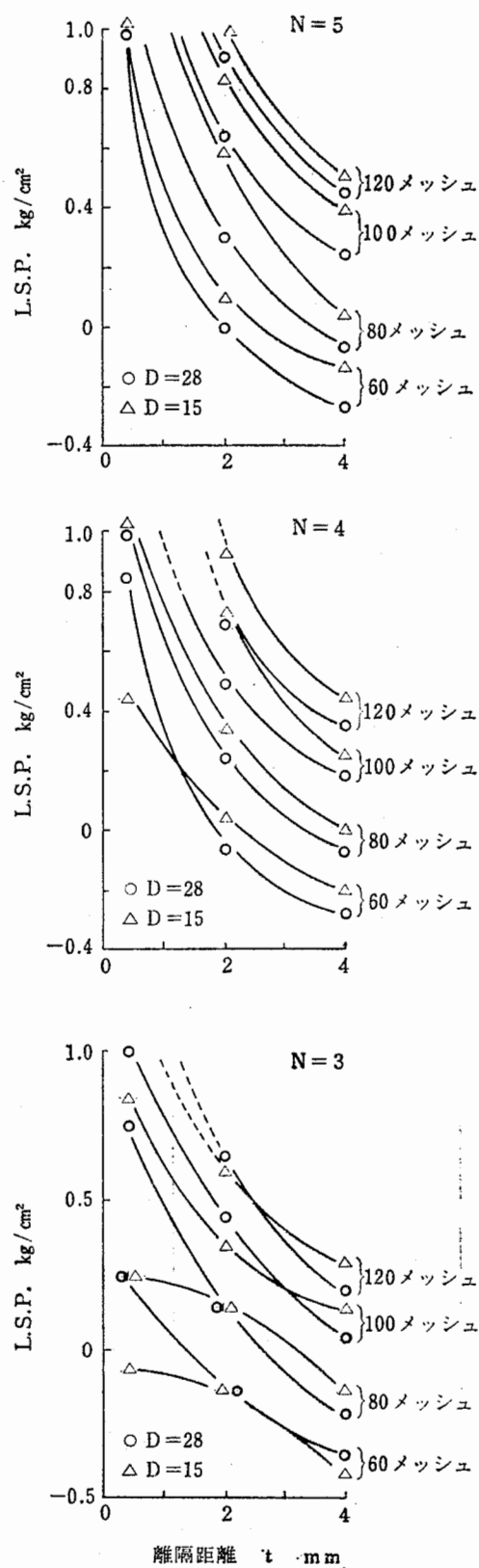


図 3 点火側空間の径および金網の離隔距離の効果 ($L=13$)

間が長くなり、この間に発生した圧力が金網をぬけて放散されるので、結果としては D が大きいほうが点火側空間で生ずる爆発は（発熱量は大きい）相対的に弱いものとなり、発熱量は小さいが短時間のうちに終了する爆発と同程度の強さになるため図のような結果になるのではないかと考えられる。ともあれ、図によれば、 $D=15\sim 28$ に対する L.S.P. は $D=15$ と $D=28$ のときの L.S.P. の間にあるので、以後 D の影響をしらべる際にはこのふたつの場合のみを対象とした。

図3は離隔距離 t を変えたときの結果である。金網枚数が増しても D の影響は余りないが、L.S.P. は t にも影響されるため、 $N=3$ や、 $N=4$ で60メッシュの場合のように、 $D=15$ と $D=28$ とに対する L.S.P. が逆転するような t が存在する（ふたつの D に対する曲線が交叉する）。そして、こうした逆転が生ずる枚数を境として、これより枚数が増せば $D=28$ に対する L.S.P. のほうが常に低くなることが明らかとなった。

3.3 金網の離隔距離の効果

点火側空間を一定として、離隔距離 t を変えた結果の例を図4に示す。同じ枚数の金網でも、 t により消炎能力が著しく異なることがわかり、この事実を利用

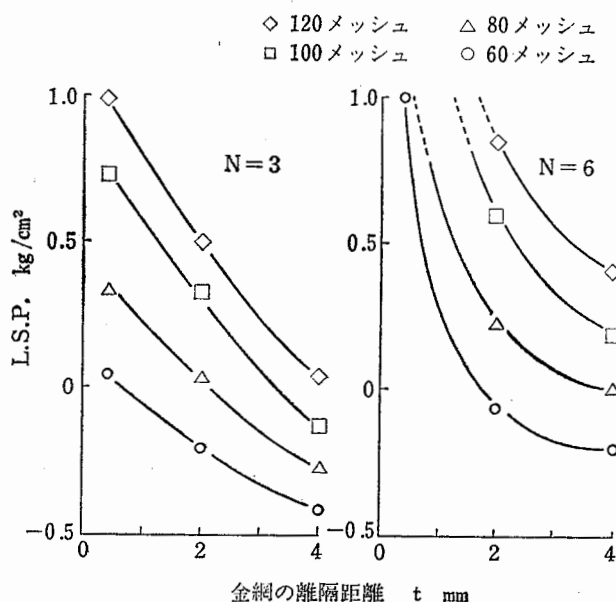


図4 金網の離隔距離の効果
($D=28$, $L=16.5$, $V=10$)

して消炎能力に対する安全度の評価が可能である（これについては後に詳述する）。図3, 4によれば、枚数の多いほど、また金網のメッシュ数の大（目開きは小）なるほど、ある一定の t の変化に対する L.S.P. の変化が大きい（つまり曲線の変化率が大きい）と言えそうである。また、 t を4から2に減ずるよりも、2から0.4に減ずるほうが、L.S.P. の増加がはるかに大きいことに留意すべきである。

3.4 金網枚数の効果

点火側空間が 10, 15 および 20 cm³ の場合について、金網のメッシュ数と離隔距離を種々に変えたときの L.S.P. と金網枚数 N の関係を図5, 6 および7に示す。

図5からは、実用上の立場から見て興味あるいくつかの結果が指摘される。60 および 80 メッシュの金網では、 t が4および2 mm のときは枚数による L.S.P. の増加はわずかであり、枚数が6を越えてもこれ以上の消炎能力の向上は期待できそうにない。しかし、 $t=0.4$ では枚数の効果が著しく、金網を1枚加えることにより L.S.P. は大きく増加する。100 および 120

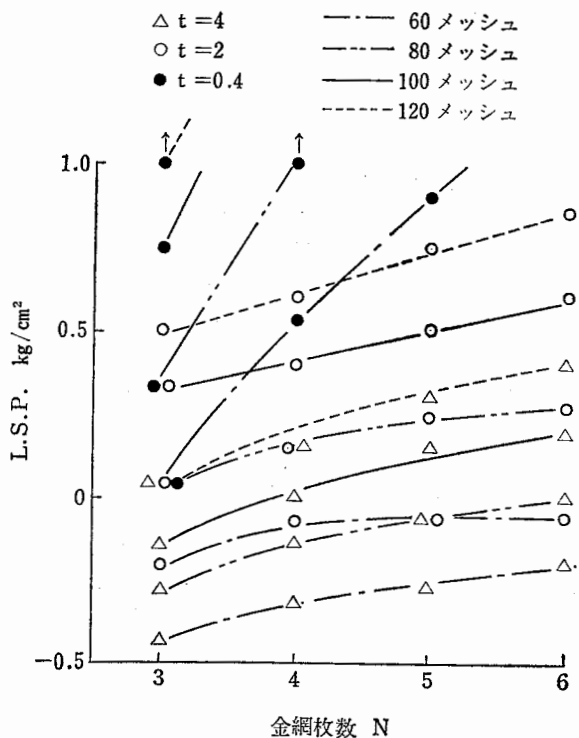


図5 金網枚数の効果
($D=28$, $L=16.5$, $V=10$)

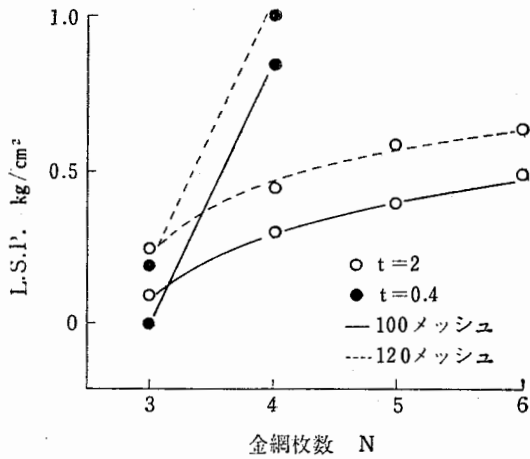


図 6 金網枚数の効果
($D=28$, $L=25$, $V=15$)

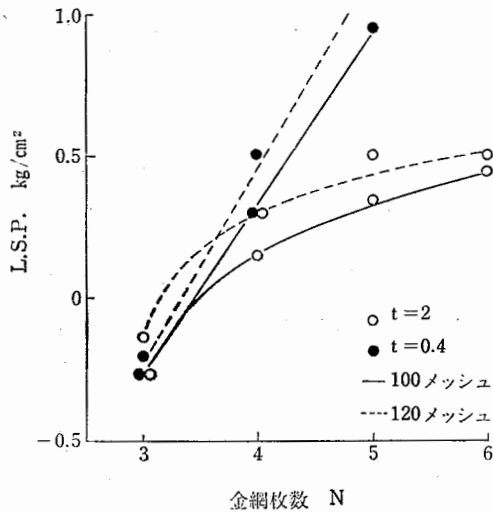


図 7 金網枚数の効果
($D=28$, $L=33$, $V=20$)

メッシュの金網では、L.S.P. は枚数とともに直線的に増加する傾向が見られ、枚数が7～8まではこの傾向が保たれるのではないと思われる。なお、 $t=0.4$ のときの L.S.P. に対する枚数の効果が粗い金網の場合より更に著しいことは、容易に予測される。

点火側空間が 15 cm^3 を越えると、60 および 80 メッシュの金網では t にかかわらず、また、100 および 120 メッシュ網でも $t=4\text{ mm}$ では、L.S.P. がゼロ以下となることが多く、実用上無意味であるため、100 および 120 メッシュで t が 2 mm 以下についてのみ結果を示した。図 6 および 7 によれば、 $t=2$ ではすでに枚数の効果は小さく、6 枚を越えても L.S.P. の増加はわずかであるとみられ、 $t=0.4$ としてよう

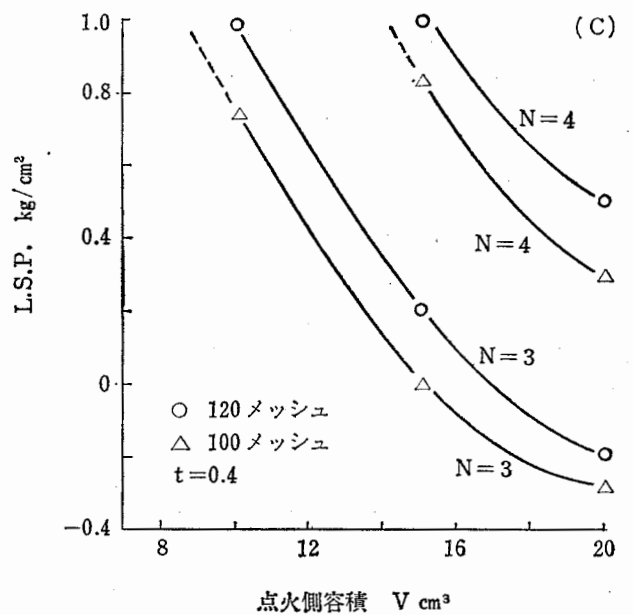
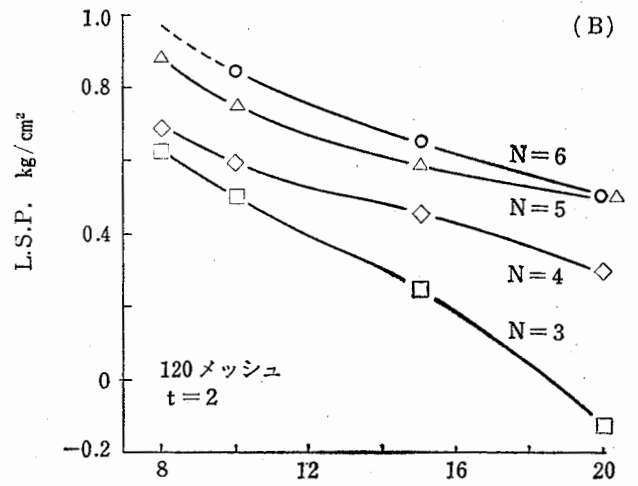
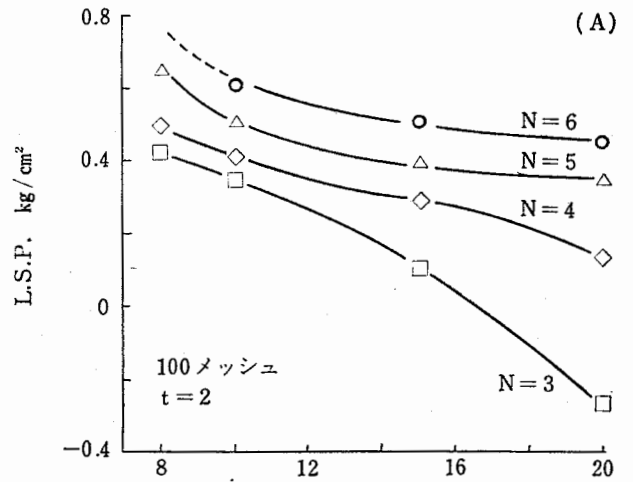


図 8 点火側容積の影響 ($D=28$)

やく L. S. P. の増加が期待できる。

3.5 点火側空間の容積の影響

いま仮りに円筒状の空間について、その容積が一定である場合を考えると、円筒の径 D と長さ L の組合せは無限であり、一方、火炎伝播の様相は L/D を主たるパラメータとして変動すると思えなければならないから、点火側空間の容積の影響を（その形状をぬきにして）一般的に論ずることはできない。しかし、 D が一定で L により容積が増減する場合の容積の影響は、それほど複雑ではないであろう。

図 8 は、すでに示した結果から、 $D=28\text{mm}$ の場合について、種々の条件下における内容積 V の影響をプロットしたものである。

V の増すにつれて L. S. P. が減ずる（消炎が困難となる）ことは予測されたとおりであるが、この関係に対する枚数 N と離隔距離 t の影響は無視できない。図 8 の (A) と (B) は、 t が同じならメッシュが異なっても変化のパターンは同じであることを示唆しているが、 N が 5 または 6 では V による L. S. P. の変化は小さく、 $N=3$ では変化の度合いが大きい。この結果は、安全度の評価に際して重要である。つまり、 V と L. S. P. の関係から、ある容積 V_1 に対して消炎能力のある金網を $V_1 > V_2$ なる容積 V_2 に対して用いることは安全ではあるが、どの程度安全かについては一律に評価できないという意味である。それは、たとえば L. S. P. と V の関係を直線に近似したとして、それら直線群の勾配の差を考えれば直ちに理解されよう。

3.6 安全度の評価について

前節では爆発の生ずる空間の大きさで安全度を評価することについて述べたが、ここではその他の因子を用いて消炎能力に安全度を見込む方法を検討する。

すでに述べた結果から、金網の枚数 N を増す、離隔距離 t を減ずる、メッシュ数を増す（目開きを減ずる）の三者のいずれの方法によっても、金網の消炎能力を増すことができそうである。 N, t およびメッシュ数のある組合せによって、ある条件下の火炎を消炎させたとすれば、 N, t およびメッシュ数を各々安全側に増減させれば最も安全度を高めることになるのは当然であるが、實際上そうした複雑な操作を行なうことは考えがたいので、三者のいずれかを変化させるとしたなどの方法が適切であるかを考察する。なお、以

下の評価法が点火側容積 V にかかわりなく適用できるとは確言できないが、現在のところ防爆構造の検知部の燃焼室の最大許容値が 10cm^3 であることを考慮に入れて、 $V=10\text{cm}^3$ の場合（図 5）について論議をすすめる。

金網の N, t またはメッシュ数を変えた時の安全度を定量的に比較するために、変化の前後の L. S. P. の増加率を用いることとする。このために、L. S. P. は絶対圧に換算（図 5 はゲージ圧表示のため、図の L. S. P. の値に 1 を加える）して計算する。いま、60 メッシュ網で、 $N=3, t=0.4$ を最初の「基準の状態」として N を変えた場合の例を次に示す。図 5 より、60 メッシュ、 $t=0.4$ に対する L. S. P. は $N=3$ で 0.05, $N=4$ で 0.55, $N=5$ で 0.9 (kg/cm^2 ゲージ圧) であるから、絶対圧換算では各々 1.05, 1.55, 1.9 (kg/cm^2) となり、 N が 3 から 4 になった時の L. S. P. の増加率は $1.55/1.05=1.48$ 、また N を 3 から 5 に増した時の増加率は $1.9/1.05=1.81$ となる。このようにして、メッシュ数と t のすべての組合せについて、 N だけを変えた時の L. S. P. の増加率を示したのが表 3 である。同様に、メッシュ数と N を一定として t による L. S. P. の増加率を計算した結果が表 4 で、表 5 は

表 3 金網の枚数 N をかえたとき L. S. P. の増加率

基準の状態		枚数 N の変化		
メッシュ数	t	3→4	3→5	3→6
60	4	1.11	1.23	1.34
	2	1.17	1.17	1.17
	0.4	1.48	1.81	2.10
80	4	1.19	1.28	1.37
	2	1.10	1.19	1.19
	0.4	1.48*	— **	—
100	4	1.16	1.33	1.39
	2	1.04	1.11	1.19
120	4	1.10	1.24	1.33
	2	1.07	1.17	1.23

注（表 4 および 5 についても同じ）

* は、変化後（この場合 $N=4$ のとき）の L. S. P. を $1\text{kg/cm}^2(\text{G})$ として計算した値。

** 変化後（この場合 $N=5$ のとき）の L. S. P. が $1\text{kg/cm}^2(\text{G})$ より充分高く、測定しなかつたため、増加率が求まらないときは一で示した。なお、100 および 120 メッシュで $t=0.4$ のときのように、増加率がすべて求まらない場合には、一の表示を略した。

表 4 離隔距離 t をかえたときの L. S. P. の増加率

基準の状態		t (mm) の変化	
メッシュ数	N	4→2	4→0.4
60	3	1.34	1.77
	4	1.41	2.35
	5	1.28	2.61
	6	1.17	—
80	3	1.44	1.85
	4	1.33	2.31*
	5	1.34	2.04
	6	1.25	—
100	3	1.56	2.03
	4	1.40	—
	5	1.30	—
	6	1.33	—
120	3	1.43	1.90*
	4	1.39	—
	5	1.35	—
	6	1.32	—

表 5 金網のメッシュ数をかえたときの L. S. P. の増加率

基準の状態		メッシュ数の変化		
N	t	60→80	60→100	60→120
3	4	1.23	1.46	1.77
	2	1.32	1.70	1.88
	0.4	1.29	1.67	1.90*
4	4	1.31	1.52	1.74
	2	1.23	1.50	1.72
	0.4	1.29	—	—
5	4	1.28	1.58	1.79
	2	1.34	1.61	1.88
6	4	1.26	1.51	1.76
	2	1.34	1.72	1.98

メッシュ数のみを変えた時の L. S. P. の増加率である。

表 3 によれば、 N を増すことによる L. S. P. の増加率はメッシュ数や t には依存しないとみられ、また、 t が 0.4 の場合を除けば、L. S. P. の増加は少ないか、あるいはほとんど増加しないと言える (図 5 参照)。

t が 2 または 4 (mm) では枚数を増しても L. S. P. はそれほど増加しないので、枚数で安全度を見込むことは危険である。検知部燃焼室のフレーム・アレスタの場合は初圧が大気圧のときの引火の有無が問題となるわけだが、ある枚数 N で L. S. P. ≥ 0 (ゲージ圧、以下同じ) となったとして、(メッシュ数と t はそのまま) 枚数を $N+1$ や $N+2$ としても必ずしも十分に安全とは言えないことになる。ただ、実際には金網は密着して重ねるであろうから、この場合には $t=0.4$ のときの結果を参考にして、例えば $N=3$ で L. S. P. ≥ 0 であれば、 $N=4$ では初圧が約 0.5 kg/cm^2 でも引火しないと予想され ($t=0.4$ の時の増加率が約 1.5 である)、この程度であれば充分安全であると言える。

次に、離隔距離 t による安全度の見込み方であるが、表 4 からは t の変化による L. S. P. の増加率が一定しないことがわかり、これは t により安全度を見込むことが (もちろん可能であるが、金網の使い方により安全度が一定しないという意味では) 適切でないことを示唆している。また検知部のフレーム・アレスタとしての消炎能力のテストの際に t を大きくとることが困難であることを考えても、この方法は実用性に欠ける。しかし、もし $t=4 \text{ mm}$ でテストができ、かつその時に L. S. P. ≥ 0 であるならば、その金網の枚数とメッシュ数はそのまま密着させれば、(t を 4 から 0.4 に減じた時の L. S. P. の増加率の最小値が 1.77 であることから) 0.7 kg/cm^2 以下の初圧では引火しないことが期待できよう。

最後に、金網のメッシュ数を変える方法であるが、これは防爆電気機器のうちの爆発等級 3 のガス・蒸気 (アセチレンなど) を対象とする耐圧防爆構造の機器のスキの設計に際してとられる方法と似ている。すなわち、この場合には、爆発テストにより引火しないスキを求め、(スキの奥行はそのまま) この 1/2 のスキを設計値とすることになっている。金網の場合には、目開きを減ずる (メッシュ数を増す) と金網の厚さ (スキの奥行に相当する) も減ずるが、全体としては消炎能力が向上するのでこれを利用することができる。表 5 によれば、 N や t が異なっても L. S. P. の増加率はほぼ一定しており、このことは、目開きを減ずることで安全度を見込む方法が最も確実であることを

示唆している。いま表中の増加率の最小値を用いて比較すると、ある枚数の 60 メッシュ網で $L.S.P. \geq 0$ になったとして、これを 80 メッシュ網に変えれば 0.2, 100 メッシュおよび 120 メッシュの金網に変えればそれぞれ 0.4 および 0.7 (kg/cm^2) の初圧でも引火しないことが期待できる。なお、60 メッシュに対して 80, 100, 120 メッシュとした時の目開きの減少はそれぞれ約 28, 44, 52% であり、目開きを約半分にすれば充分安全であると考えられる。

いま仮りに、 $L.S.P.$ が約 $0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上となるような金網を用いれば、検知部燃焼室のフレーム・アレスタとして充分安全であると仮定すると、上に述べたことから次のような安全度の見込み方が推奨できる。

- 1) N 枚の金網を密着 ($t=0.4 \text{ mm}$) させて $L.S.P. \geq 0$ である時に、枚数を $N+1$ とする。
- 2) $t=4 \text{ mm}$ の時に $L.S.P. \geq 0$ となるような金網を、(メッシュ数と枚数はそのまま) 密着して重ねる。
- 3) 60 メッシュ網で $L.S.P. \geq 0$ となる時に、枚数はそのまま、メッシュ数を 100 メッシュに変える。
- 4) 上記 3) の場合に、同様にメッシュ数を 120 メッシュに変える。

なお、1) と 3)、2) と 4) はそれぞれ大体同程度の安全度を与えるとみなしてよく、2) または 4) の方法によった方が安全度が高くなることは言をまたない。

4. 結 言

可燃性ガス警報器検知部の燃焼室のフレーム・アレスタとして金網を用いることが可能かどうかを念頭におきながら、 20 cm^3 以下の円筒状空間内で生じたアセチレン-空気の爆発火炎を金網により阻止することについて実験した。この結果、金網の種類や枚数などが

適切であれば、充分な消炎効果を期待できることがわかり、また、金網のメッシュ数、枚数、重ね方などの消炎能力に及ぼす影響が明らかとなった。しかし、金網による消炎の挙動は、爆発空間の容積のみならずその形状にも影響されるであろうし、爆発空間に対して金網の占める面積比も重要な因子であり、また、ひと口に何メッシュの金網と言っても素線径や目開きに差異のあるものが市販されているため、ある燃焼室に対してどのような金網を何枚重ねれば適切かという問いに対する具体的数値を挙げることは、本報の結果だけからは(もちろん可能ではあるが)好ましくないであろう。従って、こうした設計上の数値は個々の場合に依じて実験的根拠に基いて定めるべきであるが、その際のテストの方法および安全度の見込み方については本報の結果の利用が奨められる。

冒頭に述べたように、防爆構造の電気機器のひとつである可燃性ガス警報器検知部の、しかも防爆上重要な燃焼室のフレーム・アレスタとして金網を用いることについては種々の問題があるが、まず第一に必要なのは、金網の消炎能力を確認すること、および消炎能力を評価する方法を見出すことである。この目的の一部は本報によって達せられたものと考える。

(謝 辞)

本研究の実施に際しては、(社)産業安全研究協会・ガス警報器小委員会の助力を得た。ここに付記して謝意を表する。

(昭和51年8月2日受理)

参 考 文 献

- 1) 林：“火炎防止器に関する研究(第4報)”，産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-24-5 (1976)
- 2) 林：“同上(第5報)”，RIIS-RR-24-6 (1976)
- 3) 工場電気設備防爆指針 (ガス蒸気防爆 1974), p. 162

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-76-4

昭和 51 年 10 月 15 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