

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1976

プラスチック製フランジのセーフ・ギャップに 関する研究 (第1報)

—セーフ・ギャップの消炎素子の熱伝導度に対する依存性—

鶴見平三郎

プラスチック製フランジのセーフ・ギャップに 関する研究 (第1報)

—セーフ・ギャップの消炎素子の熱伝導度に対する依存性—

鶴 見 平 三 郎*

1. ま え が き

近年消炎素子として各種の材料が用いられんとしており、特に高分子化学の画期的な進展に伴い強度的にすぐれたプラスチック材料が得られ、これを高圧ガスのボンベ¹⁾に用いようとする動きがあることからしても、小型耐圧防爆構造電気機器の容器としてプラスチック材料を金属製容器に代わるものとして使用せんとすることは、当然のことといわざるをえない。しかし、このように耐圧防爆電気機器のプラスチック容器(以下、耐圧防爆プラスチック容器という。)として用いる場合、安全工学上からみて容器フランジのギャップからの消炎の可能性が必須の要件である。すなわちプラスチック材料を用いた場合のセーフ・ギャップ内の火炎の挙動が基本とならざるをえない。

現在、セーフ・ギャップについての消炎の理論については、いまだにつきのような二つの学説にわかれている。

- a) 火炎がギャップを通過する間における heat release の balance によって消炎の可否が支配されるという理論。
- b) ギャップから外側に突出する燃焼生成物が、外側の未燃ガスを発火せしめる速度に依存するという理論であり、これは entrainment rate theory といわれている。

これらの関係を文献からみると、Grimshaw および Payman²⁾ は、鉈山用爆薬を容器の内部で爆発させ、ギャップから燃焼生成物が噴出したが、容器外部の CH₄-空気系混合ガスに着火しなかった状況について、写真撮影に成功し、この現象がフランジの材料の冷却作用によるものであり、セーフ・ギャップの消炎現象

は、本質的には、材質の熱伝導度に支配されると論じた。

しかし Staples³⁾ は、前記の見解と異なり熱に対する特性が異なる二つの材料すなわちベークライトと青銅の最大実験的セーフ・ギャップ(以下 M. E. S. G. という。)に有意な関連が認められないことをしめした。

したがって、セーフ・ギャップによるところの消炎の現象は、熱収支の理論にもとづくものであるか、あるいは、それ以外の理論に根拠を有するものであるかを解明することが必要である。

ひるがえって応用工学的にこの問題を各国の所謂、防爆構造電気機器の規格からみると、ギャップの最大許容値に対して、ソ連の規格である「工場防爆および鉈山電気設備製造規則, O A A · 684, 053-67」⁴⁾においては、金属容器とプラスチック容器のギャップの最大許容値に、それぞれ異なった値を採用している。これに反して、ドイツ連邦共和国のそれである「V D E · 0171」⁵⁾においては、このような定めをしていない。

このような観点から、燃焼学的にみてもあるいは、実用工学的な見地に立っても、最近大いに活用されんとしているプラスチック材料の実験的セーフ・ギャップの挙動を解明することが、耐圧防爆プラスチック容器の開発に関する研究の第1関門として取りあげられたものである。

2. 実 験

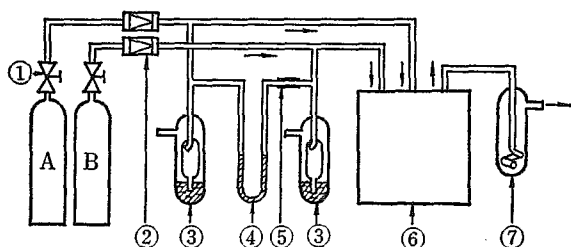
2.1 実 験 装 置

実験装置は、ガス混合部、爆発容器部およびガス濃度検定部の三部に大別することができ、その概要については、以下に述べる。この実験装置系を写真1しめ

* 化学研究部



写真1 実験装置系の外観
右側容器は、爆発容器であり、写真前面にしめす部分は上部容器である。左側装置は、Wösthoffのガス混合装置である。



- ①バルブ ⑤ノズル
②精密減圧弁 ⑥ガス混合ポンプ
③気泡器 ⑦混合容器
④U字管 ⑧ガスボンベ

図1 ガス混合部

す。

2.1.1 ガス混合部

この装置全体のスケルトンをしめすと図1のとおりであり、この図の6にしめすガス混合ポンプは、西独H. Wösthoff社製のものであって、混合ガスの各成分ガスに対応する数のピストンを組合せてあり、変速装置または、替歯車を調整することにより実験目的に応じた多成分系の混合ガスをうることができる⁶⁾。ピストンと駆動装置は、油槽中で作動し同期電動機により運転する。

なお、調整する際に各成分ガスの圧力は、各シリンダの入口で等しくなければいけない。

2.1.2 爆発容器部

この爆発容器部は、この研究における実験装置等の中心をなす部分であり、セーフ・ギャップを実測するためのものであって、容器はフランジ・サンプルのサポーターによって二室に区切られており、この研究のた

表1 爆発容器部仕様

区 分	仕 様
上 部 容 器 容 積	約* 100ml
下 部 容 器 容 積	約 4,000ml
消 炎 素 子 仕 様	2mmt×25mm×100mm

* (注) 上部容器が小容積であるのは、この研究が当面の目標として耐圧防爆容器のうち小容積のものについてのプラスチックの適用の可能性を目途としたためである。

めに労働省産業安全研究所において製作したものである。

その主要な仕様をここに掲げるとつぎの表1のとおりである。

なおこの容器のスケルトンをしめすと図2のとおりであって、H. Phillips と S. K. Shaw⁷⁾ も細部の仕様は異なるが、この種の容器を用いてM. E. S. G.を測定し、多数の報文を出している。

2.1.3 ガス濃度検定部

爆発容器の混合ガス出口部に干渉計を取り付け、混合ガスの濃度を常時モニターした。この機器の精度はプロパン空気系混合ガスに対して $\pm 1 \times 10^{-2}\%$ である。

2.2 実 験 方 法

セーフ・ギャップの測定に用いるガス濃度については、鶴見⁸⁾の前の報文にしめすとおり二つの方法があり、この研究では、上下の各容器中の試料ガスの濃度は、同一濃度のガスを用いた。

2.2.1 試料ガスの種類および濃度

この研究に用いた試料ガスは 研究目的から消炎材質によってセーフ・ギャップの差が著るしくなるように、水素およびアセチレンのような反応性が著るしいガスをさけ、プロパンを用いることとし、そのうえ、化学当量濃度より濃い濃度のものを用いることとし4.7%のプロパン-空気系混合ガスを使用した。

なお試料としたプロパンの純度は、ガスクロマトグラフにより分析した結果、つぎのとおりである。

C_3H_8	98.265%
C_2H_6	1.26%
C_3H_6	0.44%
C_4H_{10}	0.035%

空気は、ドライ・エアーを使用した。

2.2.2 消炎素子の材質

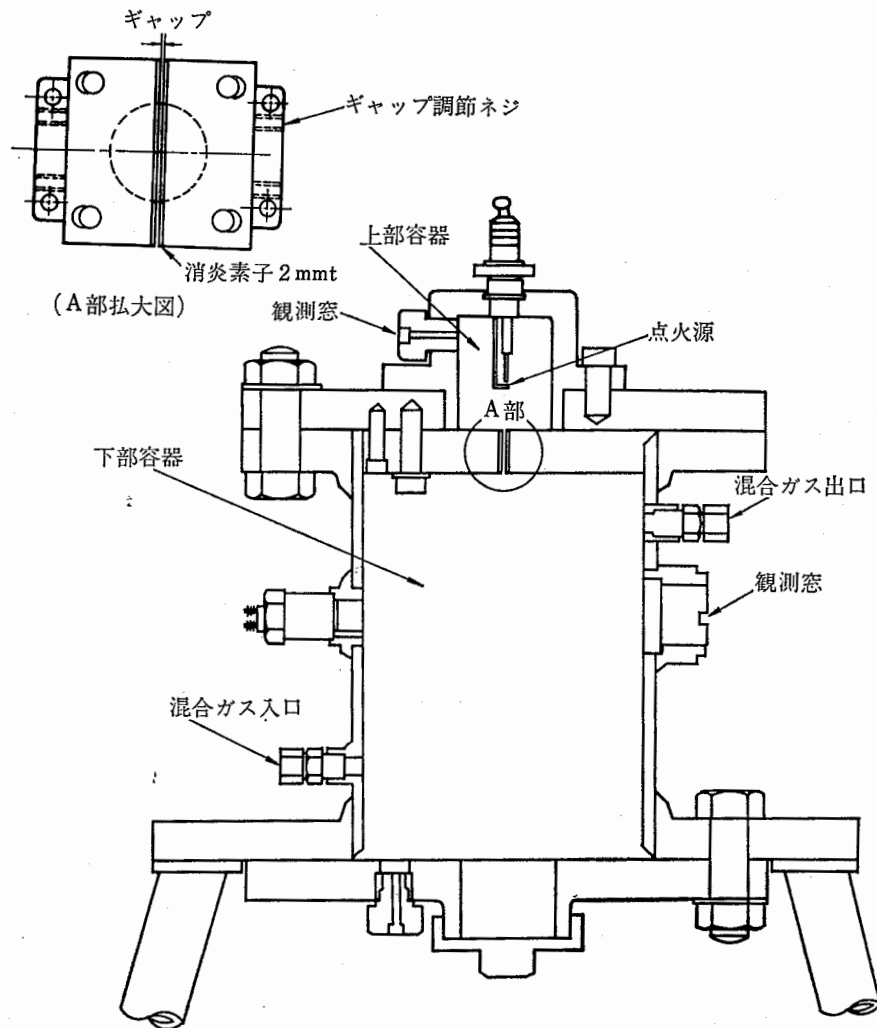


図2 爆発容器部スケルトン

消炎素子の材質としては、この研究の目的からして熱伝導度がことなる各種材料、すなわち金属およびプラスチックを用いることにした。この熱伝導度の測定値については、後述の研究結果の章を参照していただきたい。つぎにこの研究に使用した材料名をかかげる。

金属 A5056, BSBM (4:6), SS41, SUS 304

プラスチック

熱硬化性プラスチック⁹⁾

メラミン樹脂, エポキシ樹脂, ポリエステル樹脂, ジアリルフタレート樹脂, フェノール樹脂

熱可塑性プラスチック¹⁰⁾

ポリ塩化ビニル, ポリアクリロニトリル, ポ

リカーボネート, ポリアミド

以上の材料について「工場電気設備防爆指針」¹¹⁾に定める15回の爆発引火試験において、その全数を引火させたところ、熱可塑性プラスチックの全部および熱硬化性プラスチックのうちフェノール樹脂については、表面が焼損したのでこの研究報告から除くこととし、今後報告する「プラスチックのセーフ・ギャップ (第2報) および (第3報)」にその詳細をしめす。

消炎素子が表面アラサは、 $\pm 5 \times 10^{-3} \text{mm}$ である。

2.2.3 ギャップの設定および火炎伝ば方法

ギャップのインクリメントは 10^{-2}mm であり、2枚のスキマゲージを用いて設定した。火炎伝ば方法は、前記の実験容器の上部容器中心部において、点火プラグを用いて点火し、下向伝ばを行なわした。点火方法は、1次電圧 100V, 2次電圧 15kV, 放電時の

電流 20mA のネオン・トランスを用いた。

2.2.4 実験回数

各国の研究者の報文および「工場電気設備防爆指針」¹²⁾にもとづき、15回の連続実験において、その全数が、下部容器に火炎伝ばをおこさない時の設定したギャップの寸度をもってセーフ・ギャップとした。

3. 実験結果

研究は、下記のような実験条件下において行なわれた。

試料ガス濃度平均濃度 4.78%

ばらつきの範囲は $4.7^{+0.36}_{-0.20}\%$

平均室温および平均湿度は、25.59℃ および 69.32% 相対湿度

3.1 セーフ・ギャップ

IEC¹³⁾の定めるところによれば、セーフ・ギャップは、実験的に求めることとされているから、トライアル・アンド・エラの方法によってなされ、総計2千回以上の実験がなされた。

表2は、セーフ・ギャップとその値よりも大きな寸度の2測定値の実験結果を、各消炎素子材料別にしめ

表2 各消炎素子別セーフ・ギャップ実測結果

セーフ・ギャップ (mm)	実験のシーケンス															消炎素子の材質
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2.00	×	×	×	×	○											メラミン樹脂
1.99	×	×	×	×	×	○										
1.98	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
1.79	×	×	○													エポキシ樹脂
1.76	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○					
1.75	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
2.08	×	×	○													ジアリルフタレート樹脂
2.07	×	○														
2.06	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
2.09	○															ポリエステル樹脂
2.08	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○			
2.07	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
1.79	×	×	×	×	○											ステンレス鋼 SUS304
1.78	×	×	○													
1.77	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
1.82	○															炭素鋼 SS41
1.81	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○				
1.80	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
1.87	×	×	×	×	×	×	×	○								黄銅 BSBM
1.86	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○		
1.85	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
1.80	×	×	○													アルミニウム合金 A-5056
1.78	×	×	×	○												
1.77	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	

(注) ×：下部容器に非引火 ○：下部容器に引火

したものである。

3.2 熱伝導度

金属材料の消炎素子は、いずれも JIS に定める規格材を用いて製作したため、熱伝導度は SUS 304, A 5056, BSBM (4:6) および SS 41 についてそれぞれデータ・ブック¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾より引用した。素子は、熱伝導度の変化を考慮し焼入れをしていない。

プラスチック消炎素子については、純粋なレジンについて研究を実施したものではなく、実用性を考慮し主原料に各種補強剤、充てん剤、滑剤、着色剤および当然のことではあるが硬化剤を配合したコンパウンドより成型した板状のテストピースを使用したため、同じ主原料を使用したものでも各社の製品によって著しく熱伝導度の差異がみとめられたため、テストピースを同一の測定方法である Schröder 法¹⁷⁾で測定した。

表 3 各消炎素子別熱伝導度

No.	消炎素子の材質	熱伝導度 (cal/cm/sec/°C)
1	メラミン樹脂	1.33×10^{-3}
2	エポキシ樹脂	1.43×10^{-3}
3	ジアリルフタレート樹脂	1.75×10^{-3}
4	ポリエステル樹脂	2.05×10^{-3}
5	ステンレス鋼	3.90×10^{-2}
6	炭素鋼	1.25×10^{-1}
7	黄銅	1.88×10^{-1}
8	アルミニウム合金	2.70×10^{-1}

表3は、使用した材料の熱伝導度の測定結果をしめしたものである。

メラミン樹脂¹⁸⁾

フェノール変成メラミンを主要原料として各種補強材、充てん剤、滑剤、硬化剤を配合したコンパウンドにより成型した板状 (100×25×2) のテスト・ピース、UL94V-O, X 社より購入。(以下、主要原料、コンパウンドの性状、規格番号、購入会社名のみをしめす。)

エポキシ樹脂²⁰⁾

ジスフェノール型エポキシレジン、ドライ型コンパウンド、UL94V-O, Y 社製

ポリエステル樹脂²⁰⁾

不飽和ポリエステルレジン、ウェット型コンパウンド、UL94V-O, X 社製

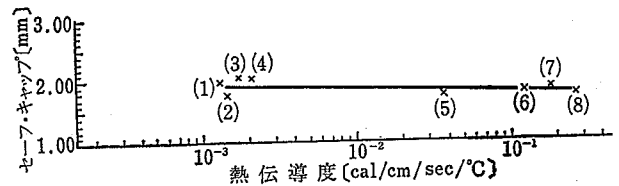


図 3 各消炎素子の実測したセーフギャップと熱伝導度との関係
* 上図中の数字は表3にしめす消炎素子のナンバーである。

ジアリルフタレート樹脂²¹⁾

ジアリルオルソフタレートレジンのプレポリマー、ドライ型コンパウンド、UL94V-O, Z 社製

フェノール樹脂^{22)*}

フェノールレジン、コンパウンド、UL94V-O, JIS K 6915, PM-HH クラス, Z 社製など

熱伝導度の単位は、各種のものが取りあげられているが、ここでは cal/cm/sec/°C に統一した。

図3は、各消炎素子ごとの熱伝導率とさきに実測したセーフ・ギャップとの関連を取りまとめたものである。

4. む す び

これまで述べてきた研究結果からみて、セーフ・ギャップの消炎素子の熱伝導度に対する依存性については、つぎの事から結論づけられる。

4.1 熱伝導度依存性

熱伝導度から研究に用いた素子を分類するとつぎの4つのグループに大別される。

Aグループ

メラミン、エポキシ 1.5×10^{-3} cal/cm/sec/°C 以下に属する素子

Bグループ

ジアリルフタレート、ポリエステル 1.5 乃至 2×10^{-3} cal/cm/sec/°C の範囲に属する素子

Cグループ

SUS 304 4×10^{-2} cal/cm/sec/°C のオーダーに属する素子

* フェノール樹脂については熱硬化性樹脂の一環として研究に使用したテスト・ピースの銘柄のみをしめたものであり、耐火炎性の詳細は「プラスチックのセーフギャップ(第3報)」を参照せられたい。

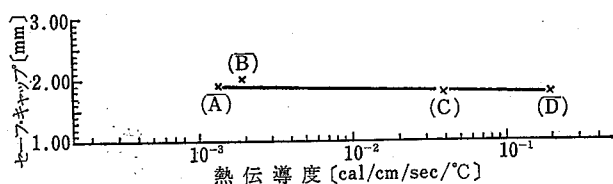


図 4 熱伝導度によるグループ別セーフ・ギャップとの関係 (その 1)

Dグループ

SS 41, BsBM, A 5056 3 乃至 1×10^{-1} cal/cm/sec/°C のオーダーに属する素子

これらの各グループのセーフ・ギャップと熱伝導度の関連を取りまとめてしめすと図 4 のとおりである。この図によれば、熱伝導度の小さい素子のセーフ・ギャップが 1×10^{-1} mm 乃至 2×10^{-1} mm 程度の極めて微小な範囲においてやや大きい目の値をしめしており、その熱伝導度の差は 10^2 のオーダーである。

このことは、セーフギャップによる消炎が、壁を通しての熱伝導によって支配されるものであるという主張に対して全く逆の結果をしめしているものといえる。

この図によれば、熱伝導度の最も大きい D グループに属する素子と熱伝導度の最も小さい A グループに属する素子とでは、その値の差は、 10^2 のオーダーであるにもかかわらず、セーフ・ギャップの差は、つぎのとおりである。

$$A_{\max} - D_{\min} = 0.21 \text{ mm}$$

$$A_{\min} - D_{\min} = -0.02 \text{ mm}$$

さらに平均値において比較するとつぎのとおりである。

$$\frac{\bar{A}}{\bar{D}} = 1.03$$

すなわち、熱伝導度の 10^2 の増加に対して、セーフ・ギャップの変動はわずかに 3% にすぎないことをしめしており、しかも熱伝導度の大きい群のものの方が減少している。

C については、全く D 群の素子と同じ挙動をしめしており、B 群については、A 群のメラミンと全く同じ挙動をしめしているから、これらをすべて総合して考えるとつぎのとおりである。この関係を図 5 にしめす。

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} = 1.09$$

この場合においても熱伝導率の小さい方のグループ

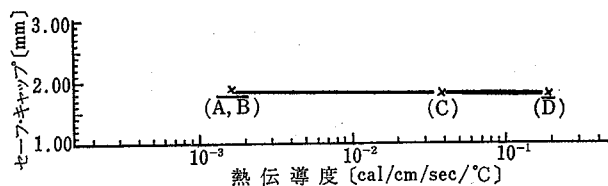


図 5 熱伝導度によるグループ別セーフ・ギャップとの関係 (その 2)

が、9% の増加をしめしている。

これらのことは、ギャップ内における消炎現象が、壁を通しての熱伝導による冷却によって支配されるものであるという主張に対して全く逆の結果をしめしているものといえよう。

したがって、ギャップ中の高温ガスの挙動は、境界層によって高温ガスと壁面との直接の接触が断されるため、壁面から熱伝導による高温ガスの冷却は、その素子の熱伝導度に支配されないものと考えても差し支えない。

ギャップ中の高温ガスの挙動について、E. D. Dainty と G. K. Brown²³⁾ は、他の気体を用いて一つのモデルを作成しているが、本報における実験結果は、このモデルをある程度裏書きしているものといえよう。

すなわち、変質した素子の表面を観察分析した結果、同氏らのいう再接触点の存在があきらかに認められた。

これらのことから、つぎのようにいえよう。

このような観点から、セーフ・ギャップの消炎素子の熱伝導度に対する依存性はないものと結論づけることが可能である。

4.2 今後の問題点

D. Müller Hillebrand²⁴⁾ は、その著書において絶縁物と金属間のセーフ・ギャップ、または絶縁物間のセーフ・ギャップに言及し、これについて系統的な研究は完成されていないけれども、火災通過の際、絶縁物の焼焦を伴うから、金属の場合よりもギャップが小さくても、外部ガスに対して火災伝ばがおけると述べている。

したがってたとえ防爆規格などにおいて、火災通過の際のフランジ表面の変化を見込んで、許容ギャップについて金属より小さな値を規定したとしても、フランジの表面に変化がおこるような材料であれば、これは時間とともに進行し、さらにシビヤなギャップを要求するから安全工学上の対策にならないことを意味

している。

このことは、実用工学上金属以外の素子たとえば、この研究におけるプラスチック消炎素子の耐火炎性の研究が、セーフ・ギャップが熱伝導率に支配されないとはいえ、如何に重要であるかを物語っているわけであり、これらについては別報にゆずる。

この研究においては、日立化成工業株式会社、台義雄氏、松下電工株式会社、小笠原文雄氏、住友ベークライト株式会社、清水正義氏 (ABC順) および上記各社のそれぞれの部門の研究者の方々より、消炎素子の選定およびその特性について御協力をえたものであり、また実施にあたっては、中央大学理工学部工業化学科学生大坪三男君および物理学科学生鈴木宏二君の協力をえたものであってここに記載し厚く謝意を表す。

(昭和51年5月20日受理)

主要参考文献

- 1) 北条英光, 压力容器としての強化プラスチック, 高圧ガス, 9, 1 (1972)
- 2) W. Bevan Whitney, Flameproof Enclosure of Electrical Apparatus, Electrical Review (1966)
- 3) i. b. i. d.
- 4) Правила изготовления взрывозащищенного у рудничного Электрооборудования, оаа・684・053-67 Гост 16311-70
- 5) VDE 0170/0171, Vorschriften für schlagwetter und explosionsgeschützte elektrische betriebsmittel (1961, 1965~1972)
- 6) A. Frans, C. Veriter, W. Nullens, L. Brasseur, Préparation de mélanges gazeux a l'aide de pompes wösthoff, Bull, Physiopath. resp., 5, 409~423 (1969)
- 7) H. Phillips and S. K. Shaw, A Statistical Evaluation of the Safe Gap, International Conference of Mine Safety Research Establishment, SMRE (1971)
- 8) 鶴見, ナフサ分解ガスのセーフ・ギャップについての研究, 労働省産業安全研究所研究報告, RR-17-2 (1968)
- 9) 村橋, 小田, 井本共編, プラスチック・ハンドブック (1970) の分類によった。
- 10) i. b. i. d.
- 11) 工場電気設備防爆指針, 172 (1974)
- 12) 工場電気設備防爆指針, 172 (1974)
- 13) IEC, Appendix to IEC Publication 79-1-Method of test for ascertainment of maximum experimental safe gap (1972) etc.
- 14) N A S 耐蝕鋼の物理的ならびに機械的性質, 日本冶金(株), 16
- 15) アルミニウムおよびアルミニウム合金の展伸材, 古河アルミニウム工業(株), 18
- 16) 実用金属および合金の物性表, 旭工機製造(株), 33
- 17) プラスチック試験ハンドブック, プラスチック標準試験方法研究会編, 267 (1969)
- 18)~22) テストピース購入各社のカタログ参照
- 23) E. D. Dainty and G. K. Brown, An Investigation of Gas Explosion Transmission Through Short Cylindrical Channels of Varying Length and Diameter, International Conference of Director of Safety in Mines Research (1965)
- 24) 蒲生朝郷訳, 防爆電気機器原論, 157~158 (1944)

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-76-1

昭和 51 年 7 月 1 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 番(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

郵便番号 108