

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1974

限流ヒューズの特殊防爆構造への適応性

市川 健二

田中 隆二

労働省産業安全研究所

目 次

1. ま え が き	3
2. 限流ヒューズの防爆性能に関する予備実験	3
2.1 供試限流ヒューズの仕様	3
2.1.1 限流ヒューズの構造	3
2.1.2 限流ヒューズの定格	4
2.2 限流ヒューズの気密試験	4
2.2.1 試験方法	4
2.2.2 試験結果	5
2.3 限流ヒューズの着火試験	5
2.3.1 試験方法	5
2.3.2 試験結果	5
3. 特殊防爆構造としての適応性	5
3.1 つめ物（けい砂）の効果	6
3.1.1 実験方法	6
(1) 実験用ヒューズとその特性	6
(2) 着火実験	6
3.1.2 実験結果	8
(1) けい砂の充てん厚さと着火性	8
(2) 溶断後の可溶体周辺の状態	8
3.1.3 考 察	8
3.2 筒と筒形端子の接合面の効果	9
3.2.1 実験方法	9
3.2.2 実験結果	9
3.3 限流ヒューズ外面の温度上昇	9
3.3.1 実験方法	9
3.3.2 実験結果	9

(1) ジュール熱による温度上昇.....	9
(2) アーク熱による温度上昇	10
3.4 溶断時の内部圧力に対する強度.....	10
3.4.1 実験方法.....	10
3.4.2 実験結果および考察.....	11
4. 総合考察	12
5. 結 論	12

限流ヒューズの特殊防爆構造への適応性

市 川 健 二*
田 中 隆 二*

1. ま え が き

一般に電気機器は使用中に電気火花または温度上昇を生じ、点火源としての能力を有するので、爆発性ガスが存在するおそれのある危険場所で電気機器を使用する場合は、それらが防爆構造としての性能を具備することを検定試験によって認められたものでなければならない。

電気機器が点火源として作用するのは、正常な運転中のみでなく、事故時においても同様であり、特に短絡時には点火源としての危険性が增大するのが普通である。したがって、防爆構造の電気機器においては、正常な運転中のほか、短絡時においても十分な防爆性を有するようにすることが、より高い安全性の確保という意味で好ましいといえることができる。短絡保護の目的には一般にヒューズが使用されるが、被保護機器の防爆性能の確保と向上という立場からは、限流性能のあるものが望ましい。また、ヒューズ自身を危険場所に設置しようとする場合には、ヒューズシャ断時の防爆性能の確保の立場から、同様に限流性能のあるヒューズを要求される。

ヒューズに対して適用される防爆構造としては、耐圧防爆構造または内圧防爆構造が認められているが、技術的、経済的理由により、通常はヒューズ単独でこれらの防爆構造になっているものはほとんどなく、一般には耐圧防爆構造または内圧防爆構造の分電盤の内部に共存させて使用する例などが普通である。

限流性能のあるヒューズを上記のような分電盤内に取付けることも現状では止むを得ないが、現在市販されている限流ヒューズのなかには、その構造および特性から考えて、必ずしも耐圧防爆構造または内圧防爆構造としなくとも、一般品として製作されたものがそのままかなりの防爆性能を具備していると思われる

ものが見受けられる。すなわち、本実験で使用した後述の限流ヒューズは、一般に溶断時においても気密性がよいといわれており、また温度上昇もそれほど高くはならないと予想されるためである。そこで、このような限流ヒューズの基本的構造を変えることなく、しかも防爆性能を保証しうるものができるのであれば、その活用範囲もきわめて広くなろう。限流ヒューズに対してこのような防爆構造として考えられるのは、特殊防爆構造であろう。

本文は、以上のような趣旨に基づき、特定の限流ヒューズの特殊防爆構造としての適応性を検討したものである。

2. 限流ヒューズの防爆性能に関する予備実験

限流ヒューズは可溶体の溶断時において気密性が保たれるといわれているが、もしもそうであれば、危険場所で使用しうる可能性があり、また多少気密性が悪くても、その程度によっては同様に着火防止性能が認められる場合もありうると考えられる。そこで先ず予備実験として、限流ヒューズを溶断させたときの気密性の有無と着火との関係について検討を加えた。

2.1 供試限流ヒューズの仕様

2.1.1 限流ヒューズの構造

交流 600 V 以下の電路の保護に用いる限流ヒューズの規格には、JEM-R 2040 があるが、これによると限流ヒューズの構造で気密性に関係するのは、ヒューズの内部にはこりの侵入するおそれのない構造であること、つめ物を使うものでは取扱いに当たってつめ物がもれない構造であること、などの内容である。また、材質の面では、筒の材質が磁器、合成樹脂およびこれと同等以上のものを使用すること、などの規定が気密性と関係している。

* 電気研究部

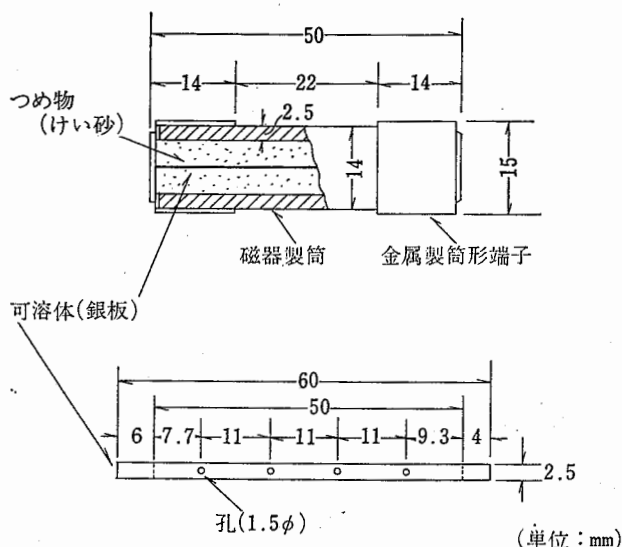


図 1 供試限流ヒューズと可溶体の構造

本実験で使用した限流ヒューズは市販のもので、JEMの規格に示された構造および材質の要件に適合するものであり、図1にその概要を示す。筒は磁器製で、長さが50mm、外径14mm、肉厚2.5mmの寸法である。筒内の可溶体は銀板製で、その長さは60mm、幅2.5mm、厚さ0.15mmの細長い形状を呈している。可溶体は両端からそれぞれ約6mmおよび4mmの長さの個所で直角に折り曲げられ、金属製の筒形端子にハンダ付けされている。

つめ物にはけい砂が筒内一ぱいに充てんされている。けい砂の粒子を標準ふるい (JIS Z 8801) で実測した結果を参考までに示すと、表1のような構成比率となっている。これによると、粒子の大きさが35メッシュ以下のものが85%以上を占めていることがわかる。

表 1 供試限流ヒューズのけい砂の粒子構成

粒子の大きさ (メッシュ)	構成比 (%)
20~30	31.6
30~35	54.1
35~40	9.6
40~45	4.2
45~50	0.5

注：標準ふるいにより測定

2.1.2 限流ヒューズの定格

使用した限流ヒューズの関係する定格を示すとつぎのとおりである。

- (1) 定格電圧：交流 500V
 - (2) 定格電流：30A
 - (3) 定格しゃ断容量：50,000A
- なお、最小溶断比* は1.6である。

2.2 限流ヒューズの気密試験

2.2.1 試験方法

限流ヒューズを図2に示すような形状および寸法の透明なプラスチック容器の底部に水平に取付け、外部から銅の通電用バーを介して電流を通ずるようにした。ヒューズ取付け後、容器の底から約1/3の深さのところまで変圧器用絶縁油を入れ、所定の電流をヒューズに通じてしゃ断試験を行なった。このとき油中に気泡が現われると、それを肉眼で観察した。

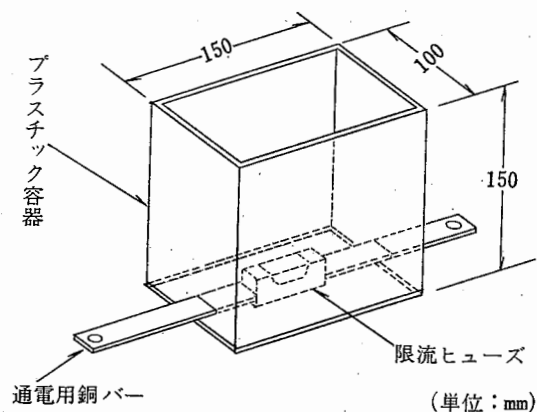


図 2 限流ヒューズの気密性試験容器への取付け

しゃ断試験用電源には150kVAの動力用の変圧器(6.6kV/200V)を使用し、その二次側に供試限流ヒューズと電流調整用マンガニン抵抗Rを直列に接続した。しゃ断電流の大きさは、60, 90, 660, 960, 1650, 2260, 3200, 5140 および 9880A の9段階とした。なお、660A 以上の場合には、しゃ断電流が大きいため、ヒューズのしゃ断が電源電圧波形の1/2サイクル以内に完了してしまう。一般にこのようなときは、しゃ断試験における電源電圧の印加位相がしゃ断特性に影響を及ぼすことが知られているので、本実験では660A以上の試験において、電源の投入にあたり投入位相を電源電圧波形の零度となるように投入位相制御装置を使用した。

* 最小溶断比 = $\frac{\text{最小溶断電流}}{\text{定格電流}}$

表 2 供試限流ヒューズの気密性および着火性

しゃ断電流 (A)	気 密 性		着 火 性	
	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目
60[2]	泡状の気泡が連続発生	良	不着火	不着火
90[3]	良	泡状の気泡が連続発生	〃	〃
660[22]	小さな気泡が数個連続発生	小さな気泡が数個連続発生	〃	〃
960[32]	良	良	〃	〃
1,650[55]	良	大きな気泡 1 個, 小さな気泡が数個発生	〃	〃
2,260[75]	良	良	〃	—
3,200[106]	大きな気泡 1 個, 小さな気泡が数個発生	良	〃	—
5,140[171]	小さな気泡が多数発生	小さな気泡が数個, 泡状の気泡が連続発生	〃	—
9,880[329]	大きな気泡が数個, 泡状の気泡が連続発生	大きな気泡が多数発生	〃	—

注：〔 〕 内は，限流ヒューズの定格電流 30 A に対する倍数を示す。

2.2.2 試験結果

表 2 に気密性に関する 2 回の予備実験の結果をまとめて示す。

全体を通して見ると，しゃ断電流の大小にかかわらず必ずしも限流ヒューズの気密性が保たれないことが判明した。すなわち，しゃ断時に磁気製の筒と金属製の筒形端子の接合部分から気泡が噴出した。気泡がこれ以外の部分から噴出することはない，また気泡以外に例えば金属溶融粒子などが噴出するような現象は観察されなかった。

気泡の噴出状態は様々で，しゃ断電流が 90 A 以下の場合には泡状の気泡が糸状に連なって出てくるが，660 A 以上の場合には 1 個～数個の気泡が連続または不連続に発生した。

しゃ断時において気泡が噴出する原因は，筒と筒形端子の接合面の密着性が不十分であるためと思われる，これは接合面に塗布されている接着剤がしゃ断時の気圧や熱の影響で一部剥離したためか，または製作時における接着剤の塗布が不完全であったためではないかと考えられる。

2.3 限流ヒューズの着火試験

2.3.1 試験方法

限流ヒューズをそのまま爆発性ガスの中でしゃ断し，着火の有無を調べてみた。円筒状のプラスチック容器内に限流ヒューズを取付け，外部から通電でき

るようにした。爆発性ガスは水素-空気混合ガス(濃度 30 vol. %) とし，しゃ断試験の条件は 2.2.1 に述べた方法と同様にした。

2.3.2 試験結果

試験結果は同じく表 2 に示すように，いずれも爆発性ガスに着火しなかった。この場合，限流ヒューズの気密性はチェックできなかったが，気密試験の結果から考えても，爆発性ガスには着火しにくいことを示しているといえよう。したがって，一般の市販の限流ヒューズの構造そのままでも，かなりの防爆性を具備しているといえることができる。

3. 特殊防爆構造としての適応性

前節に述べた予備実験の結果から，限流ヒューズの防爆性についてある程度の見通しが得られた。これらから，実際に特殊防爆構造の限流ヒューズを実用化するにはつぎのような問題点について立入った実験が必要であり，本章ではこれらに関して行なわれた実験の成果について述べる。

- つめ物(けい砂)の効果
- 筒と筒形端子の接合面の効果
- 外面の温度上昇
- 溶断時の内部圧力に対する強度

3.1 つめ物（けい砂）の効果

一般につめ物としてのけい砂は、筒の内部の可溶体周囲に一ぱい充てんされており、溶断時における限流効果に重要な役割を果たしている。一方、防爆上からみたけい砂の充てん量はどの程度必要なものであろうか。充てん量が少なければ、限流性に影響を生ずることはもちろん、防爆性も得られなくなるおそれがある。このような基本的問題を明らかにするため、ここでは充てん量を変化させて防爆上必要な量の限界を求めてみることにした。

3.1.1 実験方法

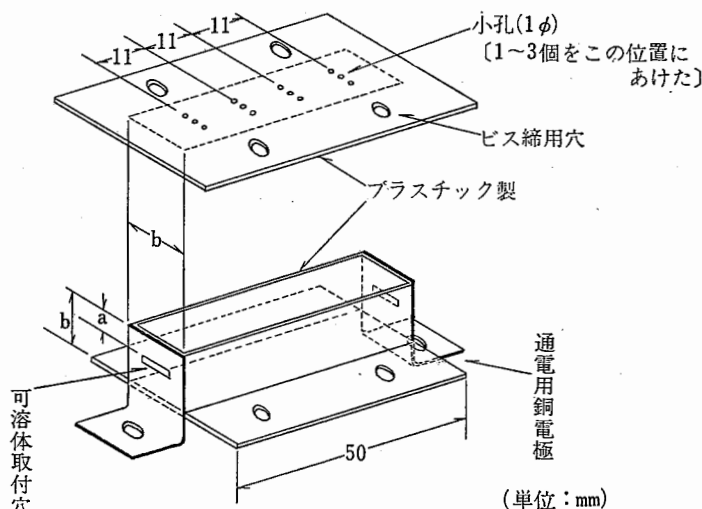
市販の限流ヒューズでは、けい砂の充てん量の加減が困難であるため、実験用ヒューズを使用して各種の実験を行なった。

(1) 実験用ヒューズとその特性

実験用ヒューズは可溶体に限流ヒューズと同一の寸法、材質のものを使用し、筒に相当する部分は図3に示す形状および寸法の透明なプラスチック製のものを5種類準備した。可溶体を同図の通電用銅電極の取付け穴に水平に固定し、その上からけい砂を充てんした。充てんの厚さは寸法 a で示される。けい砂を充てんした後、上からプラスチック製の蓋で覆い、ビスで全体を固定するようにした。なお、気密性を故意に失わせる目的で、蓋には図に示すような小孔(直径 1mm)を4列の等間隔であけておいた。小孔の位置は図1に示した可溶体の孔(直径 1.5mm)の真上の位置と対応しており、可溶体が最初に発弧するとき発生する高温ガス、粒子などが、けい砂を貫通して、これらの小孔から噴出しうるように考慮した。

以上のような実験用ヒューズと限流ヒューズがヒューズの特性からみて等価であることは当然必要である。これを確認するため、内径 9mm の限流ヒューズに相当した実験用ヒューズとして、図3における寸法 $b=9\text{mm}$ のものを選び、両者におけるしゃ断特性を水素-空気混合ガス(濃度 30vol. %)中で比較してみた。

この場合の試験回路は図4に示すとおりで、しゃ断時における電圧・電流-時間特性のほか、アークエネルギーの測定もできるように、シンクロスコープ(岩崎製 SS-5505)およびアナログ計算機(日立電子製



a (mm)	2.5	3.0	4.0	4.5	9.5
b (mm)	5.0	6.0	8.0	9.0	19.0

図3 実験用ヒューズの構造と種類

ALS-220)を接続した。

しゃ断試験の条件は、回路力率 0.15 以下、電圧 200 V、しゃ断電流 2000 A および 1250 A とし、電源の投入位相を投入位相制御装置によって電源電圧波形の零度とした。ここで、しゃ断電流を 2000 A とした理由は、試験用電源の容量によって制限されたものであり、また 1250 A としたのは、限流ヒューズしゃ断時に最大アークエネルギーを生ずる電流値がほぼこの値付近であることによるものである。

表3は実験用ヒューズと限流ヒューズのしゃ断特性を示したものであり、また図5は両者のしゃ断波形を示したものである。これらから明らかなように実験用ヒューズのしゃ断特性は限流ヒューズのそれらとほぼ同一であるとみなしてさしつかえないと考えられる。すなわち、実験用ヒューズはしゃ断特性上、限流ヒューズと等価であるといえることができる。

(2) 着火実験

実験用ヒューズを図2と同様なプラスチック容器の底部に固定し、容器内に水素-空気混合ガス(濃度 30 vol. %)を満たした後、外部からそれぞれ 2000 A または 1250 A の電流を通じ、しゃ断試験を行ない、ガスへの着火性を調べた。

けい砂の充てん厚さは、2.5, 3.0, 4.0, 4.5 および 9.5 mm と変化させた。

しゃ断試験回路および条件は、すべて上記(1)の

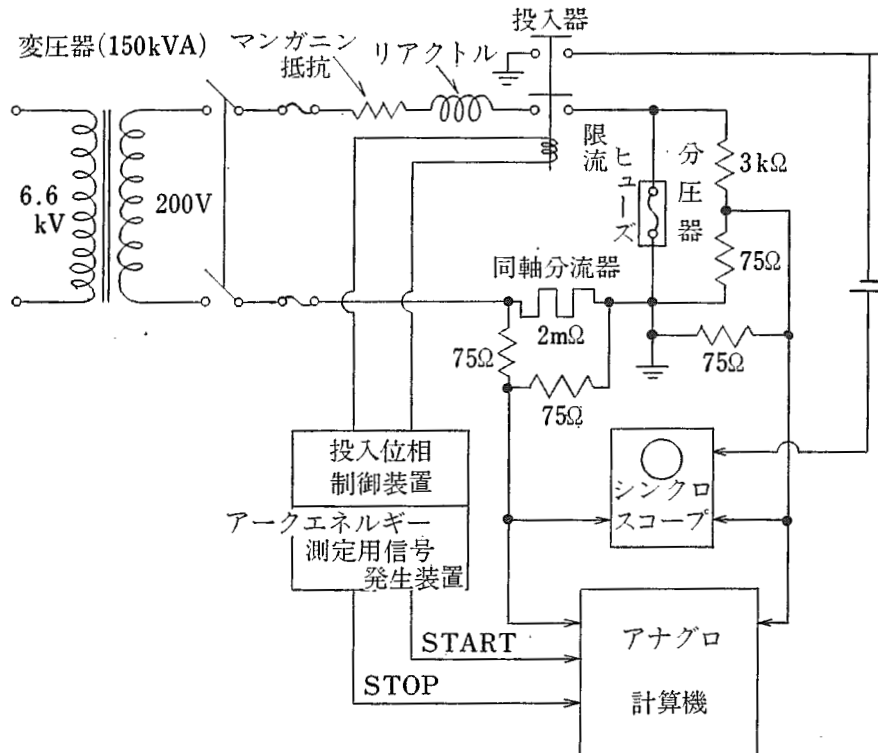
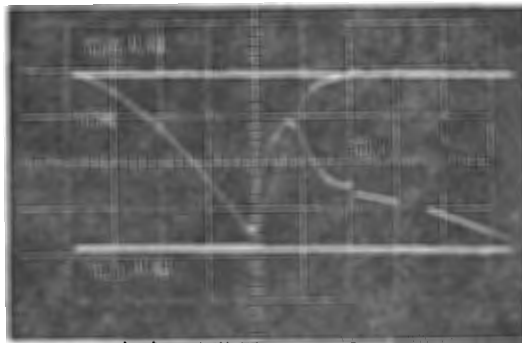
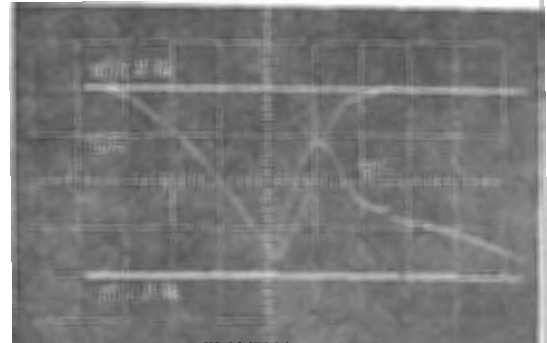


図 4 シャ断試験回路の概要



(a) 実験用ヒューズ



(b) 供試限流ヒューズ

図 5 実験用ヒューズと供試限流ヒューズのシャ断波形の比較

(電流目盛 (縦) 500 A/div (横) 1 ms/div)
(電圧目盛 (縦) 227.5 V/div (横) 1 ms/div)

表 3 実験用ヒューズと供試限流ヒューズのシャ断特性の比較

し ゃ 断 特 性	実験用ヒューズ (内径 9mm) の場合			供試限流ヒューズの場合
	プラスチック製蓋にけられた1ヶ所当りの小孔の数			
	1 個	3 個	5 個	
アークエネルギー (kW-s)	1.94±0.08	1.86±0.08	1.82±0.07	1.94±0.10
最大通過電流 (A)	1721±64	1717±41	1754±12	1713±98
溶断時間 (ms)	3.64±0.10	3.60±0.27	3.54±0.21	3.73±0.08
アーク時間 (ms)	2.12±0.20	2.18±0.04	2.38±0.13	2.25±0.10

注：シャ断電流が2000 Aの場合の比較である。

表 4 実験用ヒューズにおけるけい砂の充てん厚さと着火性

けいていん砂厚さの充 (mm)	しゃ断電流 2000 (A)				しゃ断電流 1250(A)	
	プラスチック製蓋にあげられた1ヶ所当りの小孔の数					
	1 個		3 個		3 個	
	アークエネルギー ギー (kW-s)	着火回数 の	アークエネルギー ギー (kW-s)	着火回数 の	アークエネルギー ギー (kW-s)	着火回数 の
2.5	1.92±0.07	5	—	—	—	—
3.0	2.00±0.02	1	1.84±0.08	3	2.44±0.05	3
4.0	1.76±0.05	0	1.88±0.07	1	2.64±0.05	1
4.5	1.94±0.08	0	1.86±0.08	0	2.58±0.07	0
9.5	2.02±0.04	0	1.92±0.07	0	2.44±0.05	0

注：着火の回数は、各5回の着火実験で着火した回数を示す。

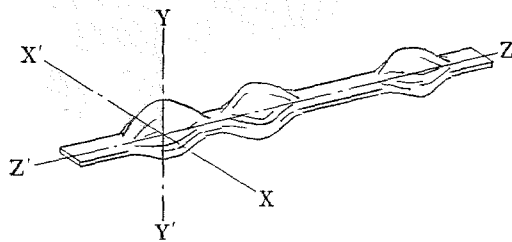
実験用ヒューズと限流ヒューズの等価性を実証するしゃ断試験の場合と同じである。

3.1.2 実験結果

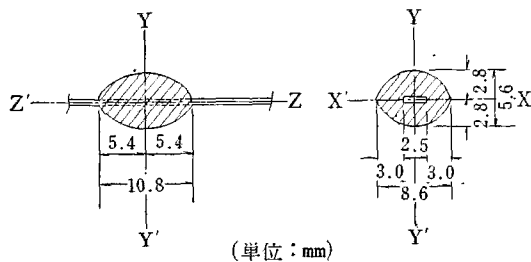
(1) けい砂の充てん厚さと着火性



(a)



(b)



(単位:mm)

(c)

図I6 溶融生成物と大きさ(最大のものの例)

表4にけい砂の充てん厚さを変えた場合のガスへの着火性を実験した結果をまとめて示す。すなわち

充てん厚さが 2.5mm…… 5 回中 5 回

とも着火

” 3.0mm…… 5 回中 3 ～ 1 回着火

” 4.0mm…… 5 回中 1 回 着火

” 4.5mm…… 5 回中いづ れも不着火

” 9.5mm ”

という結果が得られた。しかし、表4に示すとおり、充てん厚さのいかにかわらず、アークエネルギーの大きさには

ほとんど差が認められない。また同時に測定した溶断時間、その他の溶断特性にも差が認められなかったことを付言しておく。

(2) 溶断後の可溶体周辺の状態

しゃ断実験により溶断した実験用ヒューズの可溶体周辺の状態を観察してみると、可溶体の長さの方向にいくつかの溶融生成物を生ずることがわかった。これは図6に示すような形状を呈しており、これらが生ずる位置は、溶断前の可溶体にあけられていた孔の位置と一致する。したがって、孔の個所で可溶体が最初に発弧し、その金属粒子とけい砂が焼結して溶融生成物を生じたといえることができる²⁾。

なお、溶融生成物の大きさを測定した結果、図6の x 軸方向で 8.0 ± 0.5 mm、 y 軸方向で 5.4 ± 0.2 mm、 z 軸方向で 10.0 ± 0.6 mm であった。

3.1.3 考 察

溶融生成物の大きさから、けい砂の充てん厚さとガスへの着火性について検討を加えることにする。

図6(c)は溶融生成物の断面を長円形とみなして示したものである。ここで、 x 軸、 y 軸および z 軸方向の長径または短径として、実測した溶融生成物の大きさのうちの最大値を採用すると、 x 軸方向で 8.6 mm、 y 軸方向で 5.6 mm、 z 軸方向で 10.8 mm 程度となり、図示のような寸法となる。したがって、溶断時に生ずるとされる高温の金属粒子などは、少なくとも x 軸または y 軸方向において、可溶体からほぼ 3mm 四方に到達しうるものと考えなければならない。

前述のように、けい砂の充てん厚さが 2.5 mm の場

合の着火実験ではいずれも着火したが、これは溶断時に高温金属粒子がけい砂層を貫通して、ガス中に現れたためと考えられる。充てん厚さが3mmの場合でもなお着火するケースがあったが、4.5mmになるともはや着火しなくなっている。

実際の限流ヒューズでは、けい砂層の厚さは最小約3mmであるが、溶断時に金属粒子などが噴出しうるのは、筒と筒形端子の接合面からであるので、発弧点(可溶体の小孔で筒形端子に近い小孔の位置)から接合面までに至る直線距離を見掛上のけい砂層の厚さとしてとることができる。この距離は約8mmであるので、限流ヒューズによる2.2の着火実験において、いずれも不着火になったのはこのような理由によるものと考えることができる。

3.2 筒と筒形端子の接合面の効果

限流ヒューズを使用した予備実験の結果から、限流ヒューズの気密性は必ずしも十分ではなく、接合面から気泡(ガス)が噴出することが示された。しかし着火実験ではいずれも不着火となった。不着火となる要素としては、充てんしたけい砂の存在が挙げられるが、筒と筒形端子の接合面における消炎効果もある程度は存在すると考えなければならない。そこで接合面が不着火に関与するか否かを別に検討してみた。

3.2.1 実験方法

接合面の効果が全く存在しない状態で着火実験を行なうこととし、図7のように限流ヒューズの両端の筒形端子に直径1mmの小孔を1~8個ずつあけたもの

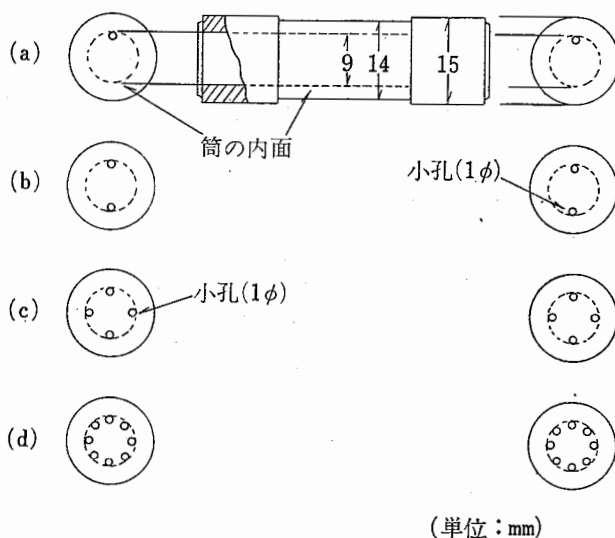


図7 筒形端子の両端面にあけた小孔の数と位置

を水素-空気混合ガス中でしゃ断した。しゃ断条件は3.1の場合と同様である。

3.2.2 実験結果

しゃ断電流が1250Aおよび2000Aのいずれの場合も、孔の数のいかにかわらず不着火であった。しかし、アークエネルギーの大きさは、孔の数が増加するほど一般にやや減少する傾向がみられた。

以上の結果から、実際の限流ヒューズの接合面は着火性にほとんど関与せず、やはりけい砂の充てんの厚さが着火性に深い関係をもつことが明らかとなった。

3.3 限流ヒューズ外面の温度上昇

以上の実験から、限流ヒューズが溶断した場合に生ずる金属粒子やガスが着火源となるおそれのないことがほぼ確認できた。しかし、正常の状態における温度上昇および溶断時における温度上昇のために着火源となるようであってはならない。そこで、限流ヒューズの外面の温度上昇を測定することにした。

正常状態において限流ヒューズが温度上昇をもたらすのは、ジュール熱によるものであり、溶断時にはさらにアーク熱による温度上昇が生ずる。

3.3.1 実験方法

限流ヒューズの筒の中央表面に素線径0.1mmの銅コンスタンタン熱電対を張付け、ジュール熱およびアーク熱による温度上昇をペンレコーダで記録した。

限流ヒューズの定格電流は30A、溶断比は1.6であるので、ジュール熱による温度上昇の測定は、最初ヒューズに30Aの電流を通じて温度が飽和した時点で通電電流を40Aに増加し、これによって再び温度が上昇し、飽和に達した時点で、さらに50Aに増加し、ヒューズが溶断した後の最高温度を記録した。

一方、アーク熱による温度上昇の測定は、図4のしゃ断試験回路により、しゃ断電流を2000A、1250A、670Aとし、ヒューズしゃ断後の最高温度上昇をそれぞれ求めた。

3.3.2 実験結果

(1) ジュール熱による温度上昇

限流ヒューズが正常時に到達すると考えられるジュール熱による外面の温度上昇特性を供試品3個について求めた結果、図8に示すような曲線が得られた。これによると、温度上昇値は通電電流が30Aで約37deg、40Aで約76degで飽和した。しかし50Aでは温度上昇が飽和する前に溶断してしまうが、最高温度上昇は

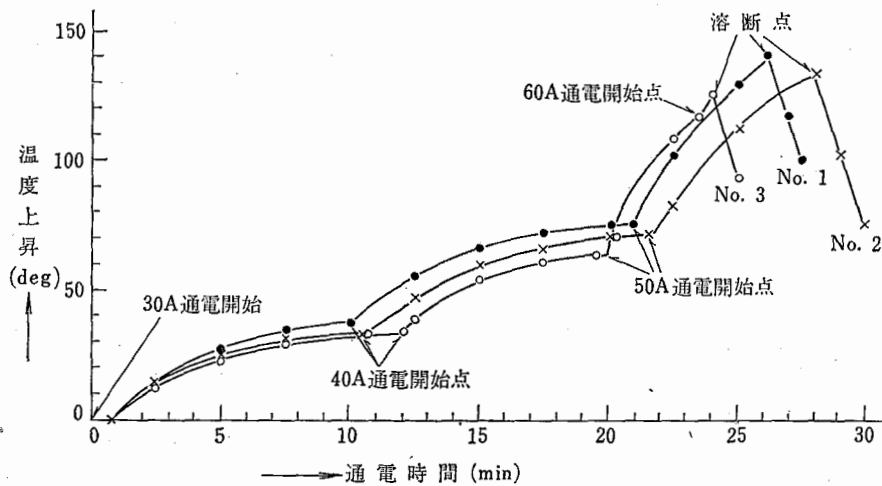


図 8 ジュール熱による供試限流ヒューズ外面の温度上昇

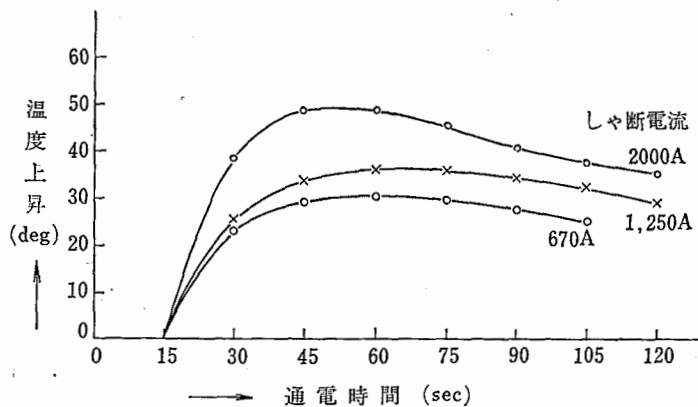


図 9 アーク熱による供試限流ヒューズ外面の温度上昇

141 deg であった。なお、図中 No. 3 の曲線は 50 A までの電流を通電し、温度が上昇する途中で電流を 60 A に増加した場合の例であるが、このような場合は、電流の増加直後に溶断し、最高温度上昇は 50 A の電流を溶断するまで流し続けた場合に達すると思われる値に比べて低いことがわかった。

(2) アーク熱による温度上昇

図 9 は限流ヒューズの溶断時におけるアーク熱による外面の温度上昇曲線を求めた例である。これによると、最高温度上昇はしゃ断後約 1 分間経過したところに生じ、その値はしゃ断電流が大きいほど高く、670 A で 30 deg, 1,250 A で 36 deg, 2,000 A で 49 deg となっている。

(1) および (2) の温度上昇の実験結果から、限流ヒューズではしゃ断時よりもむしろ、溶断するまでには至らない過電流が流れ続けた場合の温度上昇の方が高くなることが示された。しかし、実際問題としては、

(1) のような過電流が流れている場合に短絡事故が生ずると、(1) と (2) の温度上昇を加算して考えなければならない。本供試品ではそれが約 200 deg に近いといわなければならない。

危険場所において限流ヒューズを使用する場合にはこのような温度上昇が対象ガスを決定する一つの大きな要素となる。

3.4 溶断時の内部圧力に対する強度

しゃ断時に限流ヒューズの容器（筒および筒形端子）が破壊するようなことがあれば、

もはやここで考えているような限流ヒューズの防爆性は保証されない。一般に限流ヒューズは、空気中において定格しゃ断容量以内でしゃ断する限り、破壊しないものとされているが、定量的には明らかにされていない。また、爆発性ガス中でしゃ断する場合には、さらに不明である。そこで、しゃ断時に筒に生ずる最大歪および筒の破壊強度を測定し、両者の差にどの程度の差があるかを確認することにした。

3.4.1 実験方法

限流ヒューズの破壊強度は、限流ヒューズの一方の筒形端子を外して内部のけい砂および可溶体を取除いた後、外部から筒内に油圧を加えて破壊するときの油圧の大きさによって求めた。また、このときの筒の歪を測定するため、筒の中央表面にストレインゲージを張付け、円周方向および軸方向の歪を静歪測定器（共和電業製 SM-60AT）により求めるようにした。

一方、限流ヒューズしゃ断時に筒に生ずる最大歪の

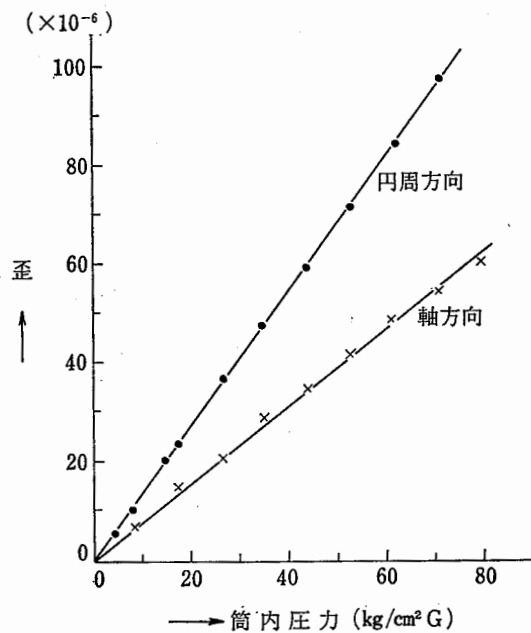


図 10 供試限流ヒューズの筒に加わる歪の大きさ測定は、筒の中央表面にストレインゲージを張付け、2000 A および 1250 A の電流でしゃ断したときの歪を動歪測定器（新興通信製 DS 6/MTY-A）および電磁オッシロ（三栄測器製 FR-301）によって求めることにより行なった。

3.4.2 実験結果および考察

限流ヒューズの内部油圧による破壊圧力の大きさを試料 5 個について測定した結果は、 $86.7 \pm 12.7 \text{ kg/cm}^2$ であった。筒の破壊状態を観察すると、破壊は筒自体では生じなく、すべて金属製筒形端子のハンダ付けの部分が亀裂を生じて起こることが判明した。

内部油圧を加えたときの筒の中央表面における歪を図 10 に示す。円周方向および軸方向とも、圧力に対する歪の大きさは直線的に変化し、円周方向の歪は軸方向のその約 1.8 倍となった。これは薄い円筒が一樣

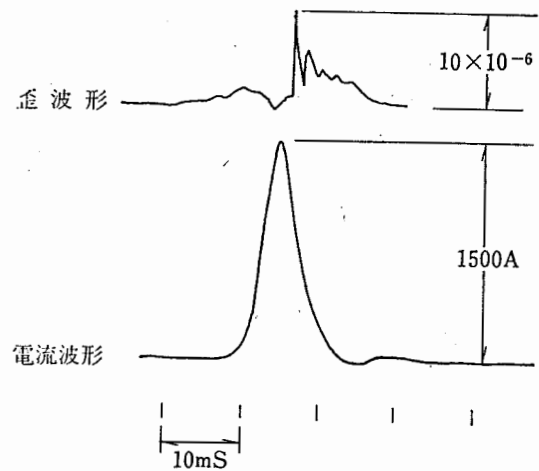


図 11 供試限流ヒューズしゃ断時の電流と筒の歪波形（しゃ断電流 1250 A）

な内圧を受けるとき、軸方向の断面に起こる内力が軸に垂直な断面に起こる内力の 2 倍に等しいという材料力学上の理論値とほぼ一致している。

また、限流ヒューズを空気中でしゃ断したときに筒に生ずる最大動歪を測定した結果を表 5 に示す。表 5 には歪のほか、しゃ断時に発生した筒内の最大圧力の換算値を図 10 を利用して求めた結果も示してある。最大圧力には大きなバラツキが認められる。この理由としては、供試限流ヒューズがしゃ断したときのアークエネルギーには大きなバラツキがないことから、しゃ断前またはしゃ断途中における気密性の大小と関係があるものと思われる。なお、図 11 にはしゃ断電流 1250 A において筒に生じた歪波形を電流波形とともに示した。これによると、最大歪は可溶体が溶断・発弧した付近で起きている。

なお、表 5 によると、しゃ断時に筒に生ずる圧力の最大値は 7 kg/cm^2 にも達するものがある。これは限流ヒューズの内部圧力による破壊圧力のほぼ 1/10 で

あり限流ヒューズは空気中でしゃ断する限り、強度はそのとき生ずる圧力には十分に耐えうる構造を有していることがほぼ確認できた。

つぎに、爆発性ガス中でしゃ断した場合について検討する。限流ヒューズが完全に気密であり筒内に爆発性ガスが入らないならば、空気中でしゃ断した場合と同様の取扱いをすることができる。しかし、気密性が十分でないものもあり、これらは爆発性ガスが筒内に侵入し、けい

表 5 供試限流ヒューズしゃ断時の筒の最大歪と筒内最大圧力

測定番号	しゃ断電流 2000(A)		しゃ断電流 1250(A)	
	最大動歪[実験値] ($\times 10^{-6}$)	最大圧力[換算値] (kg/cm^2)	最大動歪[実験値] ($\times 10^{-6}$)	最大圧力[換算値] (kg/cm^2)
1	3.12	2.33	6.95	5.20
2	2.61	1.96	2.91	2.19
3	6.75	5.05	9.32	7.00
4	5.87	4.70	5.38	4.37
5	1.76	1.30	6.60	4.94
平均	4.02 ± 2.17	3.07 ± 1.70	6.23 ± 2.34	4.74 ± 1.73

砂と混在しているとみなさなければならない。爆発性ガスとけい砂の混合物において、爆発性ガスがシャ断アークによって着火することはおそらく考えられないが、ここではけい砂が全く存在せず、筒の中が爆発性ガスのみで満たされていると仮定する。このようにすると、爆発性ガス中でシャ断したときの圧力は、爆発性ガスが筒の中で爆発したときの圧力 P_1 と、限流ヒューズを空気中でシャ断したときの圧力 P_2 との和よりは小さくなると推定される。

爆発性ガスを水素-空気の混合ガス(濃度 30 vol. %) とすると、 P_1 はつぎの実験式から計算できる³⁾。

$$P_1 = 0.55 \log V + 4.75$$

ここで、 P_1 = 筒内の初圧が 0 のときの爆発圧力
(kg/cm^2)

$$V = \text{筒の内容積} (\text{cm}^3)$$

限流ヒューズの内容積は約 2.5 cm^3 であるので、上式から計算すると、 $P_1 \approx 5.3 \text{ kg/cm}^2$ となる。また P_2 は表 5 から 7 kg/cm^2 とすると、 $P_1 + P_2 = 12.3 \text{ kg/cm}^2$ となり、これでもなお限流ヒューズの破壊圧力の約 1/6 にしか達せず、安全であることがわかる。したがって、爆発性ガスの中で限流ヒューズをシャ断しても、限流ヒューズは十分に内部圧力に耐える性能を有すると考えられる。

4. 総合考察

以上、供試品として使用した限流ヒューズについてその気密性と着火危険性、けい砂の効果、接合面の効果、温度上昇および内部圧力に対する強度を検討し、現状の構造でも防爆性をかなり有していることが確認できた。しかし、発火温度の低い爆発性ガスの存在する場所で使用する場合の温度上昇の抑制、経年劣化や信頼性などの問題点も残されており、実用化にあたってはさらに検討を要する点もある。

当面このような限流ヒューズを特殊防爆構造として採用するには、現状の構造以外に、安全性を増すためさらに筒の周囲を二重化して補強したり、端子部分を安定な樹脂で固着するなどの処理方法を講ずることが考えられる。

なお、本実験は特定の構造および特性の限流ヒューズを供試品として採用したが、これらが異なれば当然結果も異なることが予想される。限流ヒューズの種類によっては必ずしも以上のような防爆性能を保証しう

るとは限らない。

特殊防爆構造の限流ヒューズは、防爆性能上からなるべく短絡電流の小さな場所に限定した方がよい。たとえば、被保護機器の近くなどである。現状からすると、ヒューズ単独で被保護機器の近くに設置することは困難であるので、現行の関係基準には抵触するが、耐圧防爆構造または安全増防爆構造の端子箱内などに設置することが検討されてもよいのではないかと考えられる。

なお、特殊防爆構造としての限流ヒューズを実用化するにあたっては、本実験で採用した試験方法が参考になるものと思われ、これらによって不着火の確認をすべきである。

5. 結 論

定格電流 30 A、電圧 500 V、シャ断容量 5000 A のけい砂入り限流ヒューズを、回路力率 0.15 以下、電圧 200 V、シャ断電流 2000 A 以下でシャ断し、水素-空気混合ガスに着火するか否かを実験した結果、つぎのような結論が得られた。

(1) シャ断したとき、限流ヒューズの気密性は必ずしも保たれず、筒と筒形端子の接合面から気泡を噴出するが、これによって爆発性混合ガスには着火するおそれは少ない。

(2) 可溶体の周囲に充てん厚さが 4.5 mm 以上のけい砂がある場合、その周囲の爆発性混合ガスには着火を生じなかった。供試限流ヒューズでは、可溶体の発弧点と接合面間の距離が約 8 mm あるので余裕があり、溶断時に着火するおそれはない。

(3) 限流ヒューズの筒と筒形端子の接合面は、着火性に関与していない。

(4) 限流ヒューズは溶断せずに過電流が流れ続けた場合のジュール熱による温度上昇が高く、溶断時に生ずるアーク熱による温度上昇の方が低い。温度上昇はかなり高くなるので、対象ガスの発火温度の低い場合には使用を制限するか、または構造上改良を要すべきものと思われる。

(5) 限流ヒューズは機械的にはかなりの内部圧力に耐え、爆発性混合ガスの侵入を考えたシャ断時においても、その強度は十分にある。

(6) 特殊防爆構造として実用化するにあたっては、現状における構造に対して、防爆構造として改良すべ

き点がある。また使用場所に対する制限，限流ヒューズのしゃ断性能に対する配慮が必要である。

(謝辞) 本研究は，上月三郎前所長の御指導によって行なわれたものである。また，東京電機大学の荒井総明氏からは実験方法について種々御助言を頂いた。さらに，宇都宮電機(株)および富士電機製造(株)には限流ヒューズの実験に関して種々お世話を頂いた。これらの方々に感謝の意を表する次第である。

(昭和50年2月12日受付)

参考文献

- 1) JEM-R 2409 (1964) 限流ヒューズ [改訂中]
- 2) 電気学会ヒューズ専門委員会，“ヒューズの溶断時間と限流ヒューズの最大アークエネルギーについて”，電気学会技術報告(Ⅱ部)第7号，(1969)
- 3) 鶴見，林，“耐圧容器の内容積と爆発圧力の関係について”，産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-18-3 (1969)

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-74-4

昭和50年3月31日 発行

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
