

J Cヒューズをご使用いただいているお客様へ

高圧気中負荷開閉器用ヒューズの保守点検と更新のおすすめ

1. まえがき

限流ヒューズ付高圧気中負荷開閉器は、キュービクル式高圧受配電設備のPF-S形主遮断装置などに広くご使用いただいております。限流ヒューズ付高圧気中負荷開閉器に使用しています高圧限流ヒューズは、小形で大電流に対して優れた遮断性能を持つ一方、小さな電流を遮断できない・変圧器の励磁突入電流などの大きな過渡電流が繰り返し流れると、ヒューズエレメントが劣化し、ヒューズが寿命となり誤溶断から損傷することがあります。ヒューズの損傷は、ヒューズ筒の破損・外部へのアーク吹き出しにより地絡・短絡事故となることがまれにあります。

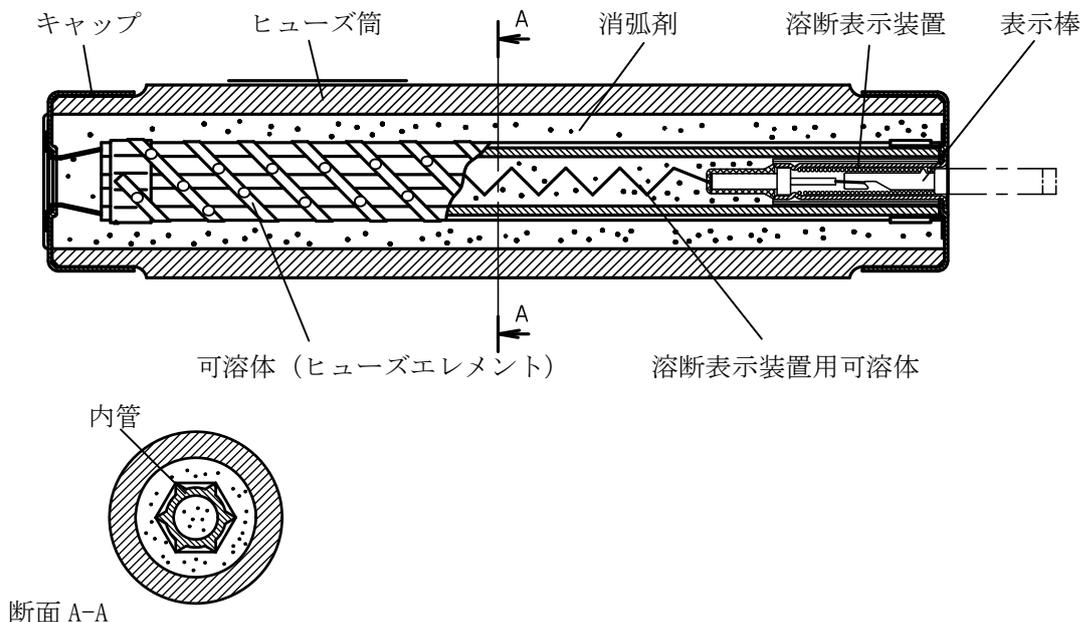
比較的大きな容量の変圧器に使用され、二次側の電動機の容量が大きく、かつその始動電流がヒューズの定格電流を超え、頻繁に始動が繰り返されるようなご使用では、ヒューズの寿命がJEMAの技術資料JEM-TR168「高圧限流ヒューズの保守点検指針」の更新推奨時期「屋内用15年」よりも短くなるケースがあります。

この資料はヒューズの構造・動作・劣化要因・更新推奨時期・保守点検について紹介し、適切な運用をしていただく一助となるように作成しました。

2. J Cヒューズの構造と動作

2.1 構造

J Cヒューズは、[図1]に示すように両端を導電性のキャップでふさがれた磁器製のヒューズ筒、その中に充填された消弧剤、内管に巻かれ両キャップ間に取り付けられた可溶体（ヒューズエレメント）、及び溶断表示装置から構成されています。また可溶体には多数の断面積を小さくした狭あい部を設けています。



[図1] J Cヒューズ内部構造

2. 2動作

J Cヒューズは、流れる電流によって可溶体がジュール発熱し、その温度が可溶体の融点に達すると溶断します。したがって、常時の電流でもかなりの温度上昇をとめない、そして電流と溶断時間との間には熱動過電流継電器のような反限時特性が得られます。可溶体が溶断するとアークを発生し、そのアークエネルギーによって、金属蒸気と電離気体は、消弧剤中に強制的に拡散され、冷却されてアーク電流が遮断されます。このアークエネルギーが小さいと十分な拡散が行われないので、一定電流以下で動作すると遮断不能となる場合があります。短絡電流のような大電流では、アークエネルギーが大きいため上記拡散が急速に行われ、その波高値に達する以前に極めて迅速に限流遮断されます。このとき、電源電圧より高いアーク電圧を発生し、これが過大となると、ヒューズが接続されている回路の絶縁が破壊されるので、可溶体の長さ方向に断面積に変化をつけ、時差発弧させてアーク電圧を抑制しています。

溶断表示装置用可溶体は、可溶体と電氣的に並列となるように接続されていますが、高抵抗の材料で構成されていますので、常時の電流のほとんどは低抵抗な純銀で構成された可溶体に流れ、可溶体が溶断すると全電流が転流して瞬時に溶断表示装置用可溶体が溶断し、ばねで押された表示棒の引止めを解きます。そして、表示棒がキャップから突出し、ヒューズが動作したことを表示します。

上記のように、限流ヒューズは、本来なら高い波高値に達するような短絡電流でも、その波高値に達する以前に極めて迅速に限流遮断して、被保護機器や回路を保護することができるという長所を有する半面、劣化による誤溶断や過負荷電流のような小さな電流では遮断不能となることがあり、また、常時の電流でもかなりの温度上昇があつて劣化し易いという短所を有していますので、この長所を生かし、短所が表面にでないよう使用する運用が必要となります。

3. ヒューズの劣化要因

ヒューズの劣化を決める要因には、外部環境によって受けるストレスで構成部品が劣化する機械的要因と、電流通電によって受けるストレスで可溶体が劣化する電氣的要因に分けられます。

3. 1 機械的要因

ヒューズの劣化を決める機械的要因は、設置場所の環境によるストレス、即ち、温度、湿度、ガス、振動、衝撃などによる影響が大きいといえます。[表1]に主な機械的ストレスと劣化要因、予測される故障について示します。

表1 機械的劣化ストレスと故障

部位	劣化ストレス	劣化要因	予測される故障	
ヒューズリンク	ヒューズ筒	温度(高温) 振動, 衝撃	枯れ, クラック, 吸湿	遮断不能
	キャップ	ガス 湿度(多湿) 開閉頻度(大)	発せい(錆), 摩耗, 腐食	接触不良 異常過熱
	キャップ接着剤	温度(高温) 湿度(多湿)	枯れ 吸湿	消弧砂の吸湿 遮断不能
	可溶体	ガス 振動, 衝撃	腐食, 摩耗	自然断線 溶断特性変化
	消弧剤	湿度(多湿)	吸湿	遮断不能
	溶断表示装置ばね	ガス 温度(高温) 湿度(多湿)	発せい(錆), 腐食, へたり	動作表示不良
	溶断表示装置用可溶体	ガス 温度(高温) 湿度(多湿)	発せい(錆), 腐食, 疲労	動作表示不良
	銘板	ガス 温度(高温) 湿度(多湿) 紫外線	汚損, 褪色, 接着剤劣化	判読不能 脱落

3. 2 電気的要因

ヒューズの劣化を決める電気的要因としては、可溶体の熱的疲労劣化、機械的疲労劣化、摩耗などがあげられます。

(1) 熱的疲労劣化

ヒューズの可溶体の許容温度を超えて負荷電流が流れると、可溶体は熱劣化を起こします。

可溶体で使用される銀は、溶融温度が 960 °C ですが、これより低い温度でも繰り返し加熱されると組織の結晶化が進み、結晶界面から亀裂が生じます。

このような状態に至ると、可溶体では表面荒れを生じ、消弧剤が可溶体に食い込んだりして、始動時の突入電流による温度上昇過程や始動完了後の温度降下過程での伸縮で溶断又は破断します。このような現象を熱疲労劣化と呼び、繰り返し通電が比較的少ない回数において発生するケースが多いものです。

(2) 機械的疲労劣化

ヒューズの可溶体は、変圧器の励磁突入電流やコンデンサの突入電流などの過電流通電及び休止が行われるたびに加熱及び冷却が繰り返されます。

可溶体が通電によって加熱されると、それに応じて熱膨張し、また、休止期間中は冷却のため収縮します。この膨張・収縮のサイクルにおいて、可溶体に応力が発生し、塑性ひずみを生じます。この過程が一定以上繰り返し反復されると、可溶体は結晶組織に変化を生じます。結晶組織は通電時間が長く、大きい電流による繰り返し通電ほど、結晶粒が粗大化し、結晶粒界に亀裂が発生します。結晶粒界の亀裂は、繰り返し通電回数の増加に伴って成長し、ついには機械的疲労破断に至り、ヒューズの誤溶断と言う現象を起こします。

繰り返し通電によるヒューズの劣化溶断は、定常の負荷電流通電中あるいは始動時の過渡的過電流通電期間中又はその直後などに発生します。このようなケースで劣化溶断した場合、小電流遮断になりヒューズが電流を遮断できずにヒューズ筒の破損・外部へのアークの吹き出しが起ることがあります。変圧器二次側に大きな

容量の電動機があり、その始動時の電流が高圧側換算で過電流になる使用方法でも繰返し通電により同様にヒューズが劣化します。

(3) 磨耗

磨耗については、電流通電の断続が激しい使われ方の場合、温度変化による可溶体の伸縮時に、消弧剤あるいは内管との間に生じることがあります。

4. 劣化診断

使用中のヒューズの劣化寿命を定期的調査し、継続使用可否の判断が可能であれば、設備の保守上非常に効果的ですが、ヒューズリンクに対しては、非破壊でその劣化状態を判定することは困難と言えます。非破壊での調査方法としては、抵抗調査及びX線調査がありますが、正確なものではありません。

4. 1 機械的要因の調査

前記第1表に示しました機械的ストレスによって生じる劣化の有無を調査する方法を以下に示します。

(1) ヒューズ筒

クラックの有無及び絶縁劣化の有無を調査します。

(2) キャップ

腐食、発せい（錆）、磨耗などによって接触面・めっき面が損傷していないか調査します。

(3) キャップ接着剤

外力を加えて緩み及びびがたつきの有無を調査します。

(4) 可溶体

腐食・磨耗の有無を調査します。（分解調査）

(5) 消弧剤

吸湿の有無を調査します。（分解調査）

(6) 溶断表示装置用ばね

表示棒が突出する方向と逆方向に押しつばね圧力を測定し、変化有無を調査します。腐食及び発せい（錆）の有無を調査します。（分解調査）

(7) 溶断表示装置用可溶体

発せい（錆）及び疲労がないか調査します。

4. 2 電氣的要因の調査

前記3. 2に示した電氣的要因によって生じる劣化の有無を調査する方法を以下に示します。

(1) 抵抗調査

ヒューズの抵抗を測定し、初期値と比較して劣化の判定を行う方法です。しかし、可溶体に亀裂が発生しても抵抗はほとんど変化しないため劣化の判定は困難です。

(2) X線調査

ヒューズの内部をX線調査（X線透視あるいはX線写真撮影）し、可溶体の破断などを調査する方法です。

(3) 溶断試験

ヒューズの溶断試験を行い、初期特性に対してどの程度変化しているかを調査する方法です。しかし、初期特

性に幅があるため、劣化判定が困難な場合が多くあります。

(4) 可溶体の金属組織調査

ヒューズの可溶体を解体して可溶体の金属組織を顕微鏡写真撮影して、劣化の程度を判定する方法です。金属組織の粗大化の程度と残りの寿命の関係は明らかではありませんが、亀裂があれば劣化がかなり進行しているといえます。

上記のようにヒューズの劣化診断には種々の方法がありますが、劣化調査は破壊調査となることが多く、調査費用がかかる割には劣化の有無の判定判定がつきにくいいため、使用后一定の年数が経過したら更新するのが保全上良い方法だといえます。

5. ヒューズの更新の検討

高圧限流ヒューズの J I S 規格 J I S C 4 6 0 4 ではヒューズが使用される負荷の過渡的な過電流を想定し [表 2] のように過渡的な過電流と時間を規定回数繰り返しても溶断してはならないと決められています。

表 2 J I S C 4 6 0 4 繰返し過電流特性

ヒューズの種類	繰返し過電流特性
G (一般用)	—
T (変圧器用)	定格電流の 10 倍の電流を 0.1 秒間通電し、これを 100 回繰り返しても溶断しないこと。
M (電動機用)	定格電流の 5 倍の電流を 10 秒間通電し、これを 10000 回繰り返しても溶断しないこと。
C (コンデンサ定格)	定格電流の 70 倍の電流を 0.002 秒間通電し、これを 100 回繰り返しても溶断しないこと。

高圧受配設備規程で、PF・S 形遮断装置では、負荷設備に高圧電動機を有しないことが定められています。

J C ヒューズは、高圧電動機への適用を考えた製品ではなく、M 定格を表示していません。

J C ヒューズは、T 定格・C 定格を表示しており上記の範囲で使用する場合は、J E M A の技術資料「J E M - T R 1 6 8」の更新推奨時期：使用開始後 1 5 年（屋内設置）が更新の目安となります。

高圧限流ヒューズの J I S 規格では、ヒューズに繰り返される過渡的な過電流は [表 2] の電流のみを考慮しています。

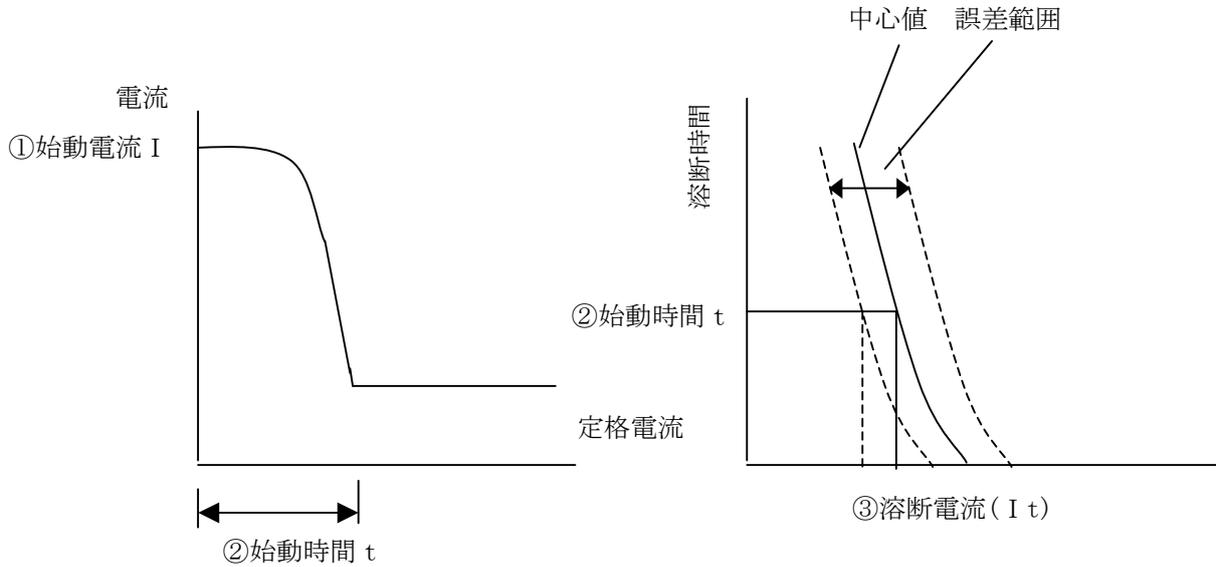
変圧器での使用で、変圧器の二次側に電動機などの始動電流が流れる負荷があり、その始動時にヒューズに流れる高圧側の電流がヒューズの T 定格を超える場合では、ヒューズは電氣的に劣化し、その影響で寿命が短くなります。

このような場合は、[図 4] に示します突入電流負荷率 S と通電繰返し回数 N の特性を表す S - N 特性で更新の目安を検討します。

S - N 特性での検討では、①負荷の始動電流 (I)、②始動時間 (t) が実測データが必要となります。

①負荷の始動電流 (I) (高圧換算)と、②始動時間 (t) で [図 3] の溶断時間電流特性から読み取った③溶断電流 (I t) の値が求められ、これによりヒューズの突入電流負荷率 (S) を下記にて計算します。

$$\text{ヒューズ突入電流負荷率 (S)} = \text{始動電流 (I)} \div \text{溶断電流 (It)}$$

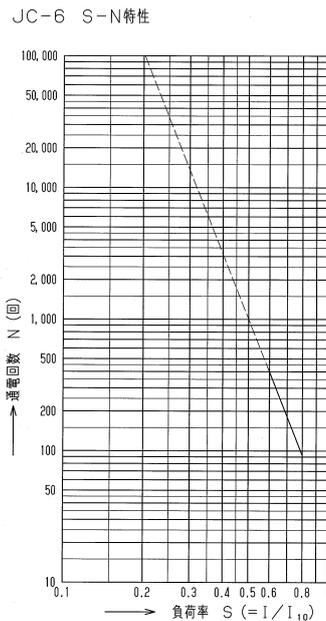


[図 2 : モータの始動特性]

[図 3 : ヒューズの溶断時間電流特性曲線]

このヒューズ突入電流負荷率(S)を基に、[図 4] S-N特性より通電回数(N)の目安を知ることが出来ます。この通電回数はヒューズに通電出来る目安の回数であり、一日に2度の始動(朝一番起動し、昼に止めて13時に再度起動といった運用)を行う場合、通電回数を2で割った日数が交換の目安となります。

[図 3] の溶断時間電流特性は、中心値で表し、JIS 規格では許容誤差範囲±20%となっています。このため、実際は突入電流負荷率(S) = 始動電流(I) ÷ 溶断電流(I_t) ですので、③溶断電流(I_t)の値で突入電流負荷率(S)は値が変わります。溶断電流(I_t)が許容誤差範囲の最小値の時に突入電流負荷率(S)が最大値になり、繰返し回数が最小になります。



[図 4 S-N特性]

以下にその例を示します。

例) ヒューズ : JC-6/75

①負荷の始動電流(I) : 148A

②始動時間(t) : 3 秒

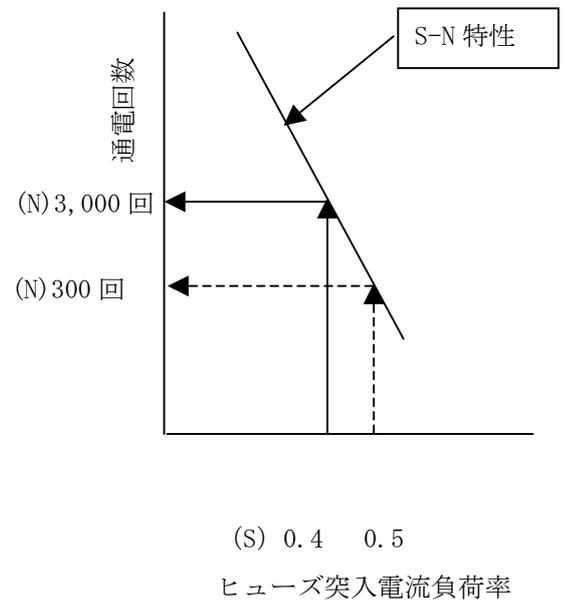
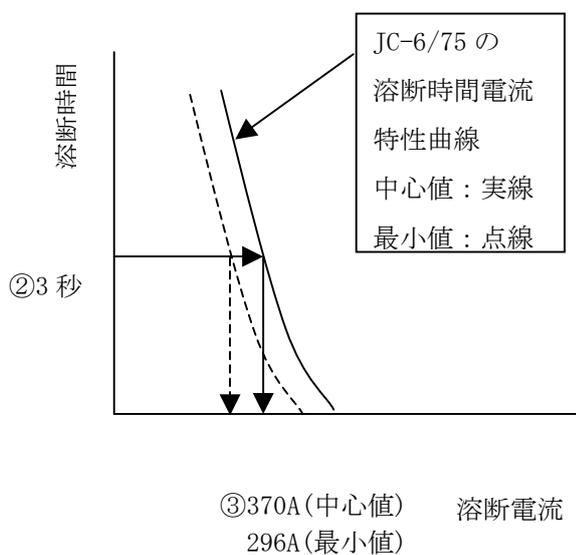
モータの規約電流 : 20A

[図 5] JC-6/75 の溶断時間電流特性曲線の始動時間 3 秒での③溶断電流は、370A となります。

ヒューズの突入電流負荷率(S) = 始動電流(I) ÷ 溶断電流(I_t)

$$(S) = 148A \div 370A = 0.4 \text{ (中心値)}$$

$$(S) = 148A \div (370A \times 0.8) = 0.5 \text{ (ヒューズの許容誤差の最小値)}$$



[図 5 : ヒューズの溶断時間電流特性曲線]

[図 6 : ヒューズの S-N 特性]

[図 6] S-N 特性から通電回数は、3,000 回(③溶断電流中心値)と読み取れます。1 日 1 回入り切りする場合は 3,000 回/365 日で約 8.2 年、1 日 2 回入り切りする場合は約 4.1 年が破断の目安となります。③溶断電流の最小値では、1,000 回と読み取れます。

1 日 1 回入り切りする場合は 1,000 回/365 日で約 2.7 年、1 日 2 回入り切りする場合は約 1.35 年が破断の目安となります。

高圧限流ヒューズは、一旦溶断すると他の保護機器 (高圧遮断器等) と異なり、再度使用ができません。また、可溶体の疲労、劣化が次第に進行した場合、回復性がなく、加えて外観 (目視) 検査等により劣化を予知することは不可能です。

また、高圧限流ヒューズの溶断特性は J I S 規格上からもばらつきが認められており、同一定格のヒューズでも使用負荷条件の影響が異なります。従って劣化の進行も相違してきます。更新の目安は保証値ではありません。

6. 保守点検

6. 1 保守点検の目的

ヒューズの保守点検は、常時異常なく通電されることを確認し、所定の性能の維持を図り、不良箇所の早期発見に努め、事故を未然に防止することが目的です。

6. 2 保守点検の種類

保守点検の種類は、表3のとおりとなります。

表3 保守点検の種類

点検の種類	説明
日常巡視点検	少なくとも1ヶ月に1回以上、無停電で点検します。
定期点検	6ヶ月～1年に1回毎に、停電して点検します。
臨時点検	ヒューズが動作したとき又はヒューズが装備されている回路・装置に異常があった場合に、停電して点検します。

6. 3 保守点検実施項目

日常巡視点検、定期点検及び臨時点検における点検項目は、表4によることを標準としています。

表4 保守点検実施項目

点検の種類	点検項目		
	外観点検	構造点検	電気的点検
日常巡視点検	○	—	—
定期点検	○	○	△
臨時点検	○	○	○

備考 ○印は実施することを示す。

△印は状況に応じて実施することを示す。

—印は実施しないことを示す。

6. 4 保守点検実施要領

保守点検の実施要領は、表5又は表6によることを標準としています。

表5 日常巡視点検の実施要領

項目	No.	点検部分	点検要領
外 観 点 検	1	ヒューズの取付状況	正常に装着されていることを点検します。
	2	ヒューズのヒューズ筒	汚損、破損、亀裂などがなく、発熱による変色・異常の発生などがなくことを点検します。
	3	ヒューズのキャップ	汚損、発せい(錆)などがなく、緩みによる異音の発生などがなくことを点検します。
	4	ヒューズの溶断表示装置	突出していないことを点検します。

備考 日常巡視点検で異常が認められた場合は、その状況に応じて、臨時点検又は定期点検で対処します。

表6 定期点検・臨時点検の実施要領

項目	No.	点検部分	点検要領
外観点検	1	ヒューズの装備状況	汚損、破損、亀裂その他各部の異常の有無を日常巡視点検と同様に点検し、異常があるものは交換します。更新時期以内のものであるかを点検し、更新時期を超えたものは交換します。
	2	ヒューズリンクの各部	
	3	ヒューズホルダの各部	
構造点検	4	ヒューズリンクの取付状況	ヒューズリンクの定格値、取付の適否を点検し、適正でないものは修正します。
	5	キャップの接着部分	目視又は外力を加えて劣化の有無を点検し、異常が認められるものは交換します。
	6	ヒューズリンクとヒューズホルダの接触部分	過熱による変色、アークの痕跡、機械的損傷・変形などの有無を点検し、異常があれば交換します。
	7	溶断表示装置	溶断表示装置の異常の有無を点検し、異常があれば交換します。
電氣的点検	8	運転状況	増設などによって負荷電流が増加したり、通電一休止の繰返しパターンが変化していないかなどを点検し、変化がある場合は適正なヒューズに交換します。
	9	ヒューズリンクの接触部間	抵抗値を検査する。 抵抗検査によってヒューズの劣化の有無の判定は困難であるが、抵抗値が大幅に変化していれば異常と見做し、交換します。

備考 臨時点検は、定期点検以外のときに停電して点検するものですので、その原因によって、表の点検事項のうちの該当箇所を重点的に点検します。

7. 参考文献及び資料

「高圧限流ヒューズの保守点検指針」TR-168 日本電機工業会 平成2年5月制定

「高圧限流ヒューズ」JIS C4604 -1988

「高圧受電設備規程」JEAC 8011-2008 日本電気協会 需要設備専門部会

以上