

令和4年度電気技術研修会資料

高圧ケーブルの劣化診断について

一般社団法人 中部電気管理技術者協会
技術保安委員会

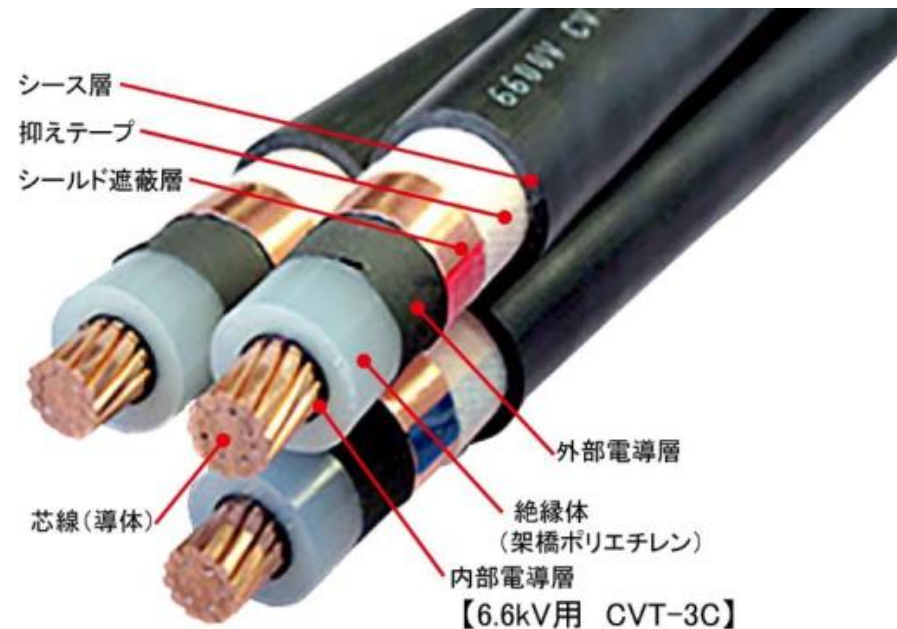
1. はじめに

- 高圧ケーブルは重要な場所に使用されるもので、故障すれば大規模停電につながる可能性も高い。
- 通称「出迎え方式」の場合では、波及事故に直結する可能性も。
- 高圧ケーブルが故障した場合にはその復旧も困難で、結果的に停電期間が長期に渡る恐れも。
- そんな中、近年高圧ケーブルの故障が多数報告されている。中には更新推奨時期に満たないものも多く含まれ、行政からも注意喚起が行われてる。
- 高圧ケーブルの診断技術の向上・保守管理手法の高度化は急務である。

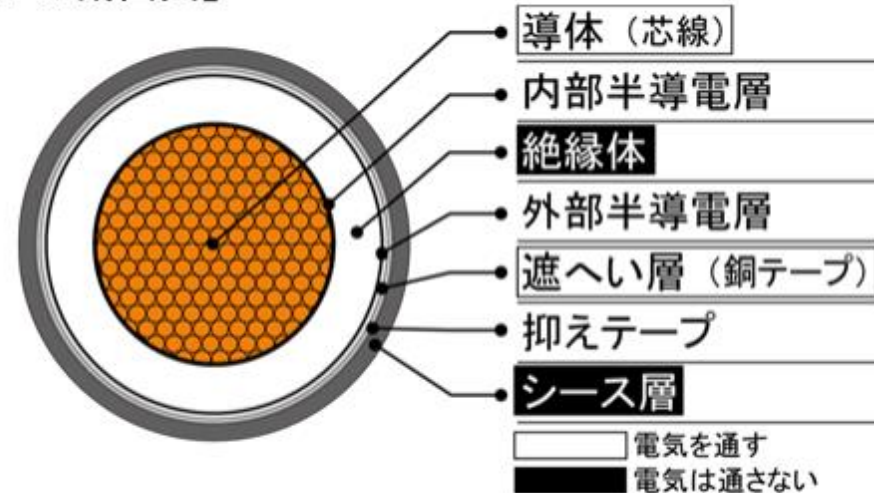
2. 高圧ケーブルについて

2.1 高圧ケーブルの構造

- 高圧ケーブルは一般的にはCV(T)。架橋ポリエチレン絶縁・ビニルシースケーブルの略称(Tは3本よりあわせ)
 - 絶縁体：電気的な保護
 - シース：外圧や腐食からの保護
- 絶縁体とシースの間には遮蔽層。絶縁通常A種接地が施される。
- 絶縁体は概ね**5mm以下**。つまり、**充電部と接地との距離が5mm以下**。非常にタイトな構造。



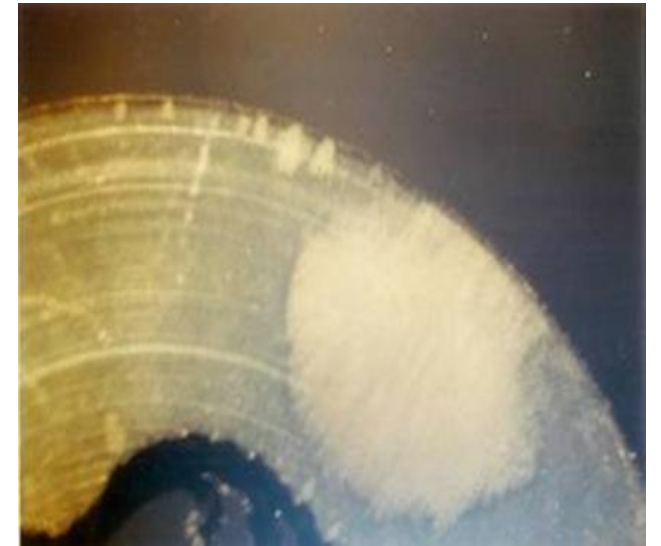
【CVケーブル断面図】



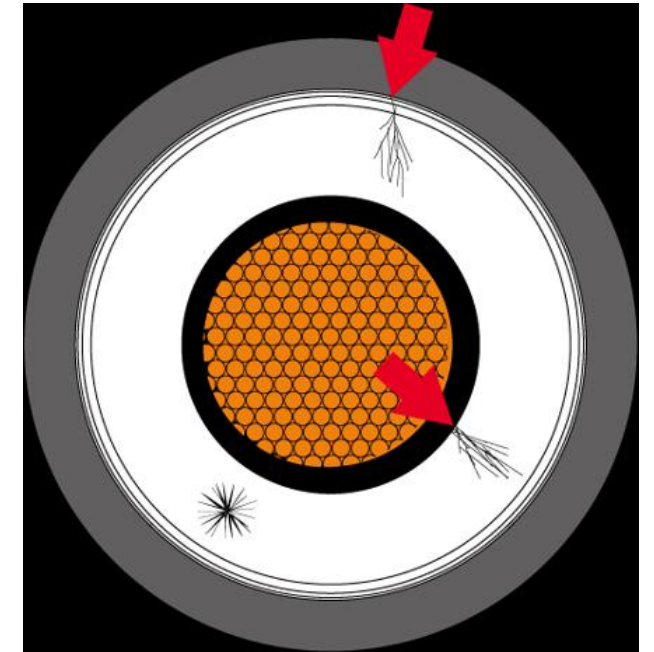
2. 高圧ケーブルについて

2.2 高圧ケーブルの故障

- 架橋ポリエチレンは非常に優秀。
電気的特性・耐熱性に優れている。
軽量で可とう性もよく、耐久性も十分。
半導電層で覆うことで耐食性も向上。
- しかし、水分や紫外線には脆弱。
水分が付着すると電界の影響も加わり亀裂が発生。
(通称「**水トリー**」)
非常に薄いため微少な異常が故障に直結。
- CVケーブルの故障の主は**水トリー**。



(a) 水トリー



(b) イメージ図

3. 高圧ケーブルの診断

3.1 水トリーの特徴

(1) 高圧ケーブルの絶縁体に求められる絶縁抵抗値

- 高圧受電設備規定より

判定目安は5,000Vで5,000MΩ、10,000Vで10,000MΩ

1,000Vメガでは重大な欠陥がないかの確認程度しかできない。

高圧受電設備規定による判定目安

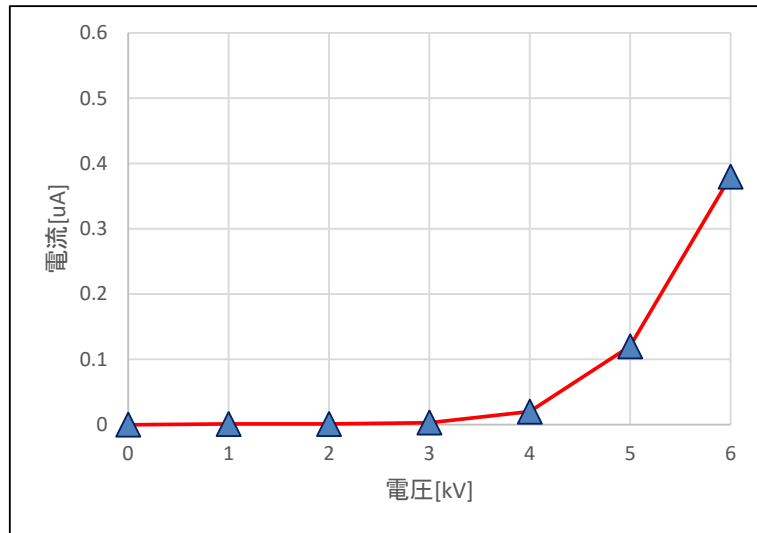
ケーブル部位	測定電圧[V]	絶縁抵抗値[MΩ]	判定	ケーブル部位	測定電圧[V]	絶縁抵抗値[MΩ]	判定
絶縁体(Rc)	5,000	5,000以上	良	絶縁体(Rc)	10,000	10,000以上	良
		500以上～5,000未満	要注意			1,000以上～10,000未満	要注意
		500未満	不良			1,000未満	不良
シース(Rc)	500 or 250	1以上	良	シース(Rc)	500 or 250	1以上	良
		1未満	不良			1未満	不良

3. 高圧ケーブルの診断

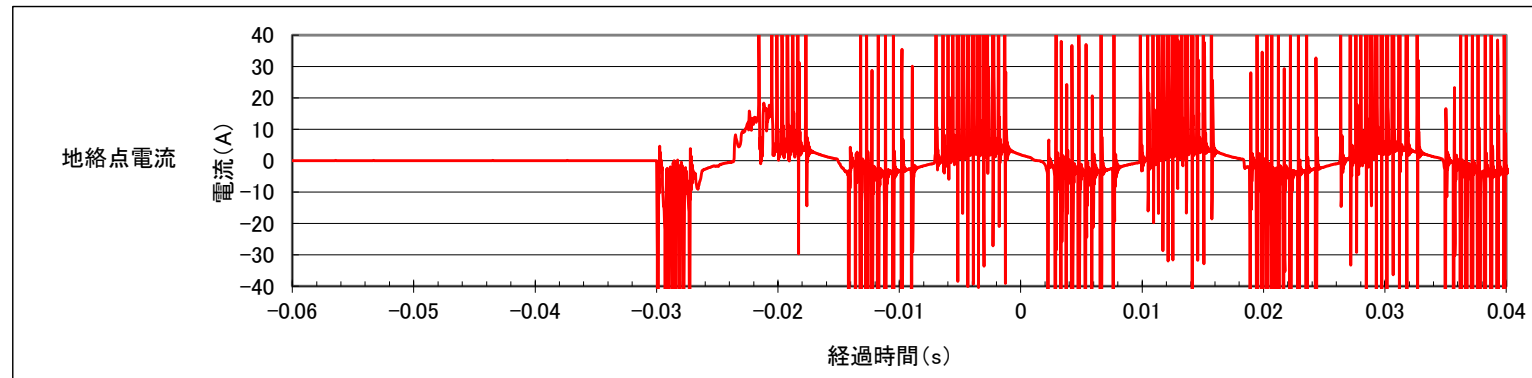
3.1 水トリーの特徴

(2) 水トリーの電気的特性

- 遮蔽層から導体まで到達した水トリーを「橋絡水トリー」と呼ぶ。
橋絡してもただちに絶縁が破壊されるわけではない。
- 橋絡水トリーは、ギャップに見られるような非線形特性を示す。
以下のようなV-I特性を示す。絶縁抵抗値での管理は事実上困難。



(a) 試作した水トリーモデルのV-I特性



(b) 絶縁破壊した水トリーモデルに流れる電流

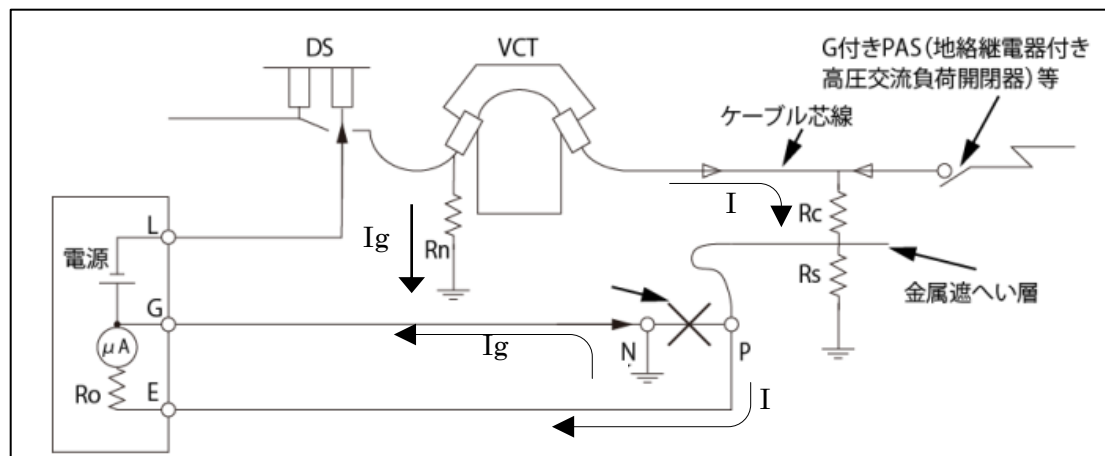
3. 高圧ケーブルの診断

3.2 診断手法

G端子方式による直流漏れ電流測定法

(1) G端子接地方式とは

- 遮蔽層の接地を取り外し、導体と遮蔽層の間に電圧を印加。
測定対象を高圧ケーブルの絶縁体 R_c のみに。
- 取り外した接地をG端子に接続。
他の機器の絶縁抵抗 R_n を経由して流れる電流はG端子でバイパスし除外。



G端子接地方式による測定回路例

3. 高圧ケーブルの診断

3.2 診断手法

(2) 直流漏れ電流測定法の評価項目

①測定電圧

- 第1ステップ電圧で規定時間測定し劣化の兆候が無ければ第2ステップ

②評価項目

- 4項目の評価項目

①測定電圧

測定電圧		測定時間
第1ステップ	第2ステップ	
6kV	10kV	5~10分

②評価項目

(a) 漏れ電流値[μA] : 電圧印加時間の最終電流値

(ただし、ケーブル互長が1kmを超える場合はkm単位換算すること。)

(b) 成極比 = $\frac{\text{電圧印加1分後の電流}}{\text{電圧印加後規定時間の電流}}$

(c) 弱点比 = $\frac{\text{第1ステップ電圧の絶縁抵抗値}}{\text{第2ステップ電圧の絶縁抵抗値}}$

(d) キック現象 : 電流-時間特性上の電流の急激な変動

3. 高圧ケーブルの診断

3.2 診断手法

(2) 直流漏れ電流測定法の評価項目

③判定の目安

- 漏れ電流値が0.1 μ A以上であるもの
- 漏れ電流が時間とともに増加するもの
- 漏れ電流チャートでキック現象が見られるもの
- 印加電圧を上げると漏れ電流値が急増するもの。

直流漏れ電流測定法における判定基準例

項目	良好		要注意
漏れ電流値	0.1 μ A未満	0.1 μ A以上～1.0 μ A未満	1.0 μ A以上
成極比	1.5以上	1.0超過～1.5未満	1.0以下
弱点比	1.0以下	1.0超過～2.0以下	2.0超過
キック現象	現象なし		現象あり

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(1) 測定準備

- 接地端子を外す時はサイズの合ったドライバーで。
 - ケーブルブラケットの接地端子は真鍮製が殆ど。
 - 非常に柔らかいため、無理をすればネジ溝を潰すことも。
- 外した接地線は確実にG端子と接続。
 - 試験回路に接地を設けることで放電回路を構築し感電防止。
 - 測定上の問題だけでなく、事故防止の観点からも確実に。



ケーブルブラケット

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(2) シース絶縁抵抗測定

• 測定の目的は2つ。

①高圧ケーブルの外傷の有無の確認

- 竣工時であれば数百M Ω は有している。
- 1M Ω 未滿ともなれば外傷がある可能性大。
ただし、ケーブル端末部の汚損の可能性も。

②G端子方式の測定精度

- 測定器の内部抵抗 \gg シース絶縁抵抗でなければ測定精度が保てない。
100倍あれば精度は99%となるため十分。
- 内部抵抗は機種毎に確認必要
※ムサシインテック DI-11Nは10k Ω 。
シース絶縁抵抗は100倍の1M Ω あればOK。

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(3) 測定電圧

- 運転時に加わる電圧を整理し、どこまでのリスクを診断するか決定する。
- (a)と(b)は比較的長い時間継続するため、絶縁破壊のリスク大。
- 第1ステップ：6kV
第2ステップ：10kV
これらは理想的な電圧値と言える。
- ちなみに竣工検査は20.7kVで、(d)までフォローできている。

<運転時に絶縁体に加わる電圧値>

(a) 通常運転時の常規対地電圧

$$6.9 / \sqrt{3} \doteq 4.0 \text{ [kV]} \quad \text{波高値：約} 5.7 \text{ [kV]}$$

継続時間：常時

(b) 同一バンク内で一線地絡故障が発生した場合の対地電圧

$$6.9 \text{ [kV]} \quad \text{波高値：約} 9.8 \text{ [kV]}$$

継続時間：0.3s～1.0[s]

(c) 開閉器や遮断器の開閉により発生する開閉サージ

常規対地電圧の2～3倍程度 約11～16[kV]

継続時間：数十[ms]

(d) 落雷による雷過電圧

LAの制限電圧 約20 [kV]

継続時間：数百[μs]

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(4) 測定開始・電圧の印加

- いきなりステップ電圧を印加するのは危険

橋絡水トリーは非線形特性をもつため、電圧によっては大きな電流が流れる。
短絡電流が流れれば、そのジュール熱により絶縁破壊を起こすことも。

- 電圧を徐々に印加し、V-I特性の変化点の有無を確認。

一般に、水トリーが無ければ漏れ電流1nA以下。

橋絡水トリーがあれば、概ね0.1 μ A以上流れる。

電圧を徐々に、もしくは段階的に印加し、漏れ電流の変化を確認。

- 電圧上昇時にはケーブルの静電容量に応じた充電電流が流れる。

電圧上昇時には、上昇させた分の充電電流が流れる。 $Q=CV$

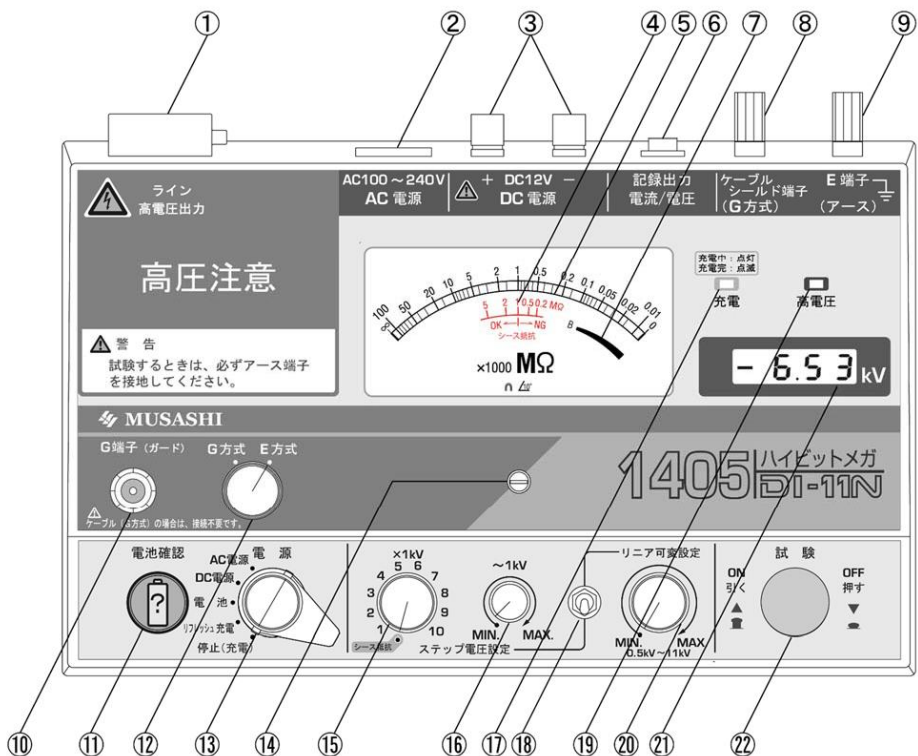
充電電流は、時間と共に収まる。

充電電流収束後に残っている電流が漏れ電流。

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(4) 測定開始・電圧の印加



＜ステップ電圧設定を使った電圧設定手順＞

- ⑮のダイヤルを1kVに合わせます。
- ⑳の試験ボタンを引き、電圧を出力します。
- ㉑の表示が-1kVと表示されていることを確認します。
- ⑤の絶縁抵抗計の針が一気に右に振れます。その後、ゆっくり左に戻ってきます。
- ⑤の絶縁抵抗計の針が一番左に戻ったことを確認します。
(戻らない・振動するといった場合には試験中断)
- ⑮のダイヤルを2kVに合わせます。
- 第1ステップ電圧である6kVになるまでこれらを繰り返します。
- 6kVに到達したら、㉑の試験ボタンを押し、電圧を0Vにします。
- 記録計を設定し㉑の試験ボタンを引き、第1ステップ電圧での漏れ電流測定を開始します。

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(5) 漏れ電流の記録・診断

- ステップ電圧を印加しても問題が無いことが確認できたら、0Vの状態から一気にその電圧を加え、5～10分程度の間電流値の推移をレコーダで記録する。
- 記録した電流波形よりケーブルの診断を行う。

< 診断チェックポイント >

(a) 漏れ電流値 [μA] : 電圧印加時間の最終電流値

- この値が $0.1 \mu A$ 以上であれば、橋絡水トリーが発生している可能性大。
- ただし、ケーブル端末部の汚損や湿潤の可能性もあるため注意。

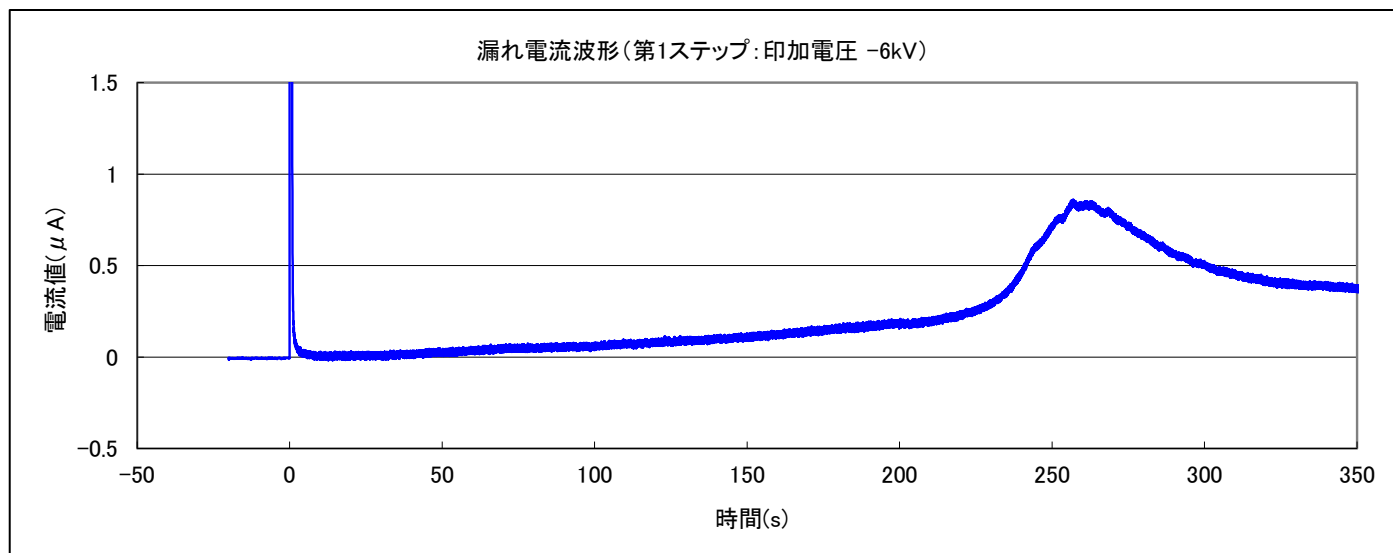
3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

< 診断チェックポイント >

$$(b) \text{成極比} = \frac{\text{電圧印加1分後の電流}}{\text{電圧印加後規定時間の電流}}$$

- 水トリーがある場合、徐々に漏れ電流が増加することも（漸増現象）
- 成極比は、定義に拘るよりも漸増の有無を判断することが大事。



< 漏れ電流値 >

- 1分値 : 0.03μA
- 最大値 : 0.80μA
- 5分値 : 0.50μA

漸増現象が確認された漏れ電流波形

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

< 診断チェックポイント >

$$(c) \text{弱点比} = \frac{\text{第1ステップ電圧の絶縁抵抗値}}{\text{第2ステップ電圧の絶縁抵抗値}}$$

- 対象が絶縁抵抗値であるため、詳細な評価には不向き。

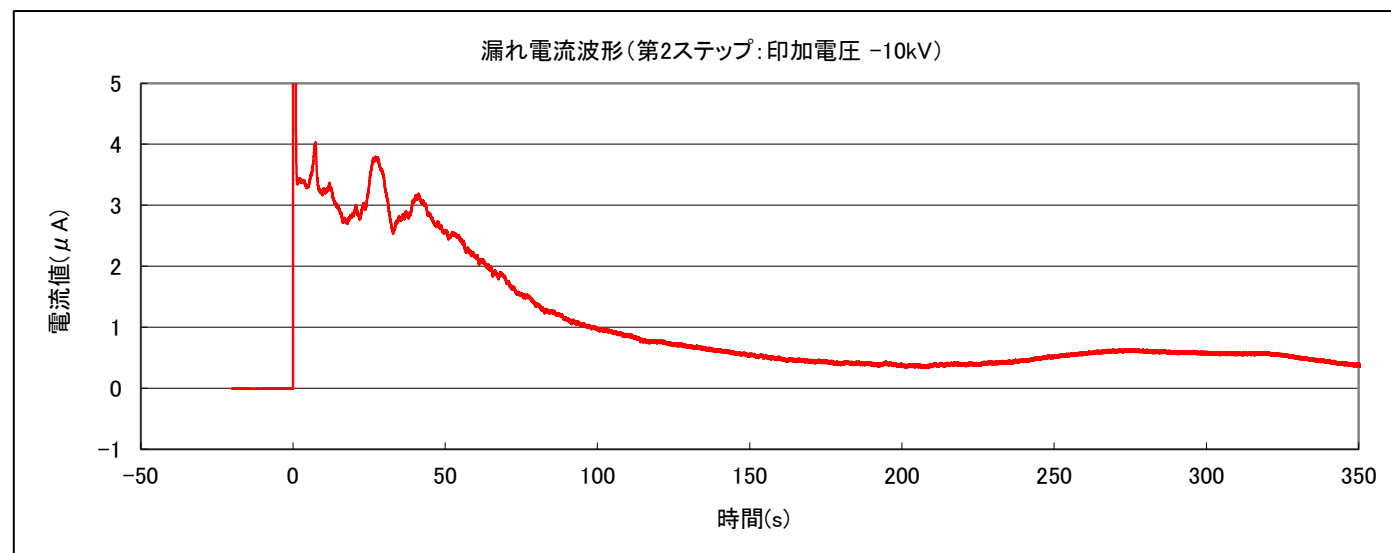
3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

< 診断チェックポイント >

(d)キック現象：電流－時間特性上の電流の急激な変動

- キック現象は電圧上昇時に確認できることも。その場合はその時点で判定否としてもよい。
- 大きなキック現象が確認できた場合は、時間経過を確認するまでもなく判定否でよい。
- 漸増現象後に現れることも。



キック現象が確認された漏れ電流波形

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(6) 測定終了後

- 測定終了後は必ず放電を。

測定器は内部に放電抵抗があるものが多い。SW切れば自動的に放電を。

しかし、放電には時間がかかる場合も。SW切り後しばらくはそのままに。

最終的には直流検電をすることが理想。電荷の放電が可能な検電器もあり。

- 放電時は必ず放電抵抗内蔵の放電棒で。

パチッと音が鳴れば、その衝撃がそのまま水トリートメントに影響することもある。

- G端子が正しく接地と接続されていることも確認。

測定回路に接地が無ければ、放電が正しく行われない場合も。

- 感電防止だけでなく、ケーブル保護の観点でも確実な放電を。

3. 高圧ケーブルの診断

3.3 直流漏れ電流測定における注意事項・留意事項

(7) まとめ

- 直流漏れ電流測定法で大事なものは、**10kVまでに $0.1 \mu A$ 以上流れるポイントが無いかをチェック**すること。
評価項目毎の判断よりも、**V-I特性の変化の確認**を。
- **絶縁破壊は要注意、しかし低い電圧では診断できない可能性も。**
水トリーにおける直流破壊電圧と商用周波数破壊電圧の比(DC/AC)は2~4倍。
使用中の高圧ケーブルであれば、**8kV程度までは絶縁破壊のリスクは低い。**
8kV未満での測定は故障寸前の異変しか確認できない可能性も。
- 絶縁破壊防止のためには**垂下特性の大きい測定器の選択**も。
絶縁破壊の要因は**測定器の出力電流で発生するジュール熱**。
ただし、垂下特性が大きいと条件によっては測定電圧が安定しない可能性も。
漏れ電流に合わせ、印加電圧も記録できるとよい。

4. 高圧ケーブルの管理について

水トリーは水分の混入により発生します。水分はいつ混入するのか？
過去には製造時での混入が主であったが、現在はかなり減っている様子。
我々が管理できる内容は？

(1) 端末部の経年劣化

- シースが経年劣化で縮まり隙間ができる（シュリンクバック現象）
CVよりEM-ECT（エコケーブル）の方が発生しやすい様子。
- オゾンによりテープ類が変形して隙間ができる。

<チェックポイント>

- 端末部の目視点検、放電雑音測定の実施。ストレスコーン最下部を注視。
- 柱上のケーブル端末は双眼鏡等を使って定期的に監視を。テープが解けているようなケースは要注意。

4. 高圧ケーブルの管理について

(2) 外傷

- 施工時に傷つけてしまっていた。
擦れ、引っ掛け、管路に異物…等
- 強い曲げによるストレス。
EM-CETは許容曲げ半径が大きいので要注意
- その他外圧
掘削、異物の衝突…等

<チェックポイント>

- 定期的なシース絶縁抵抗測定を。できればこの項目だけでも毎年実施を。

4. 高圧ケーブルの管理について

(3) 流通経路

- 高圧ケーブルは、基本的にはメーカーにて両端に防水キャップが自己融着テープで固定された状態で出荷される。

商社等が長尺で購入し、注文に応じて切断・販売されることも。

どのような場所でどのくらいの期間保管されていたか。

切断部はテープ処理を行う事が一般的なようだが、その効果は不明。

<チェックポイント>

- 高圧ケーブル納入時に防水キャップが自己融着テープで固定されているか確認を。

4. 高圧ケーブルの管理について

(4) 竣工時のケーブル断面からの混入

- 施工において防水キャップは非常に邪魔になる。
配管通線時には大きな障害となるため取り外して施工されるケースはかなり多い。
配管やハンドホール内には水が充満している可能性が非常に高い。
水の中に断面処理がされていない高圧ケーブルを挿入すれば…？
- 端末施工時は無防備。
雨天時に屋外で施工ともなれば水分の混入は避けられない。
屋内であっても、衣服その他が濡れた作業員が施工すれば混入の可能性も。

<チェックポイント>

- 高圧ケーブル布設時には先端に防水キャップが取り付けられているか。
- 通線前に電線管にウエス等を通して使って浸水チェックを。
- 雨天時の工事は要注意。雨水だけでなく湿気にも。可能であれば延期を。

4. 高圧ケーブルの管理について

(5) まとめ

- 水分の混入は、現在では施工中が一番高いように思われる。
- しかし、これらはやむを得ないケースも多い。
- 更新等では施工時間も限られており、**施工完了を最優先されるケース**も。
- 施工時にはこれら状況をしっかりチェックし、**水分の混入の可能性があると判断された場合には、その後のケーブル故障のリスク高としてケーブル診断を強化する**といった管理をすることが大切。

<まとめ>

- 高圧ケーブルは非常に重要な部分に使用されている。
故障すれば大規模停電に
波及事故につながる可能性大
- 高圧ケーブルは非常にタイトな構造である。
絶縁体の厚みが5mm以下で、微少な異変が故障につながる恐れあり
- 主要な診断法方法はG端子接地方式による直流漏れ電流測定
水トリーは非線形特性を持つため、絶縁抵抗の管理では不十分

<まとめ>

- 直流漏れ電流測定で確認すべきは、電圧-電流特性の変化点の有無
水トリーがなければ、漏れ電流は1nA以下
橋絡水トリーがあれば、漏れ電流は0.1 μ A以上
0~10kVの間で、漏れ電流が0.1 μ Aを超えるようなポイントが無いか調査
規定電圧印加で5~10分電流の推移を確認、キックや変動は無いか
ケーブル末端の汚損や異常、シース絶縁抵抗の低下は誤判断の要因に
- 測定での高電圧印加は絶縁破壊の恐れも
電圧は電流計を見ながら少しずつ上昇させる
電圧上昇→充電電流発生→時間と共に減少→漏れ電流0に→電圧上昇→
大きな漏れ電流・キックの発生が確認されたら判定否で測定終了
垂下特性の大きな測定器の採用を

<まとめ>

- 水分の侵入防止管理も

 - 定期点検では端末部の異変の有無を目視で確認

 - 年次点検ではシース絶縁抵抗測定にて外傷のチェックを

- 水分の侵入は施工中も可能性あり

 - 施工完了まで断面の防水キャップは外さない

 - 施工時の天候・湿度は要注意

 - やむを得ずタフな環境で施工をした場合には、その後の管理の強化を

ご静聴ありがとうございました。