高圧ケーブルの絶縁測定（G 端子接地測定法）

E 端子法と G 端子法、停電中及び活線での簡易絶縁診断、誤動作時を含む復電可能性判断

技術士（電気電子・総合技術監理）　　増永秀人

高圧メガによる測定方法の等価回路による考え方、測定値の評価、及び良好な値が得られない場合の対応、CV 部水トリー劣化等の簡易絶縁診断等の関連事項を、私の経験により説明します。

低圧部の絶縁（ELB 取扱）、高圧部保安に必要な OCR 整定、保安との両輪である節電については、私の電力技術ページ（http://hanasaka.life.coocan.jp/denki/）をご覧ください。

（2025/6/10）

１．絶縁測定の方法

1-1　G 端子の由来・使用法

1-2　E 端子接地測定法（E 端子法）

測定値が低い場合の原因推定、LBS 等の各部清掃

1-3　G 端子接地測定法（G 端子法）

①　測定回路（測定手順、G 端子法の成立条件 Rs＞1MΩ）

②　E-G 切替スイッチ　　③　接続状態での相別測定

1-4　E 端子法と G 端子法の測定値の違いと評価

①　G 端子法が E 端子法より十分に大きい場合

②　G 端子法と E 端子法の差が少ない場合

③　測定値指示の振れ（電柱上結合部などの不良）

2．復電前の受電可否判定試験（停電時での簡易絶縁診断）

2-1　絶縁測定値の電圧依存性（弱点比）

①　概要　　②　依存性がある場合　　③　依存性がない場合

④　弱点比との関係

2-2　漏れ電流試験（成極指数・水トリー）

①　概要　　②　異常ケーブルの記録例　　③　簡易記録、試験電圧

2-3　メガ印荷可能電圧　（直前に行う健全性判断・事故時の緊急復電判断）

①　概要（一括メガ）　　②　出力電圧降下の確認　（PAS 等の影響）

③　垂下特性　　④　測定値の有効性

3．復電後の絶縁再確認（活線での簡易絶縁診断）

3-1　SOG の入力電圧測定 (Z1-Z2 電圧・高圧部全体)

3-2　ケーブルの対地（零相）電流測定

①　ケーブル構造とシールド電流　　②　シールドアース電流の地絡保護への適用

③　運用時の測定方法（測定時の安全）　④　測定値検討例

⑤　ケーブル三相一括測定

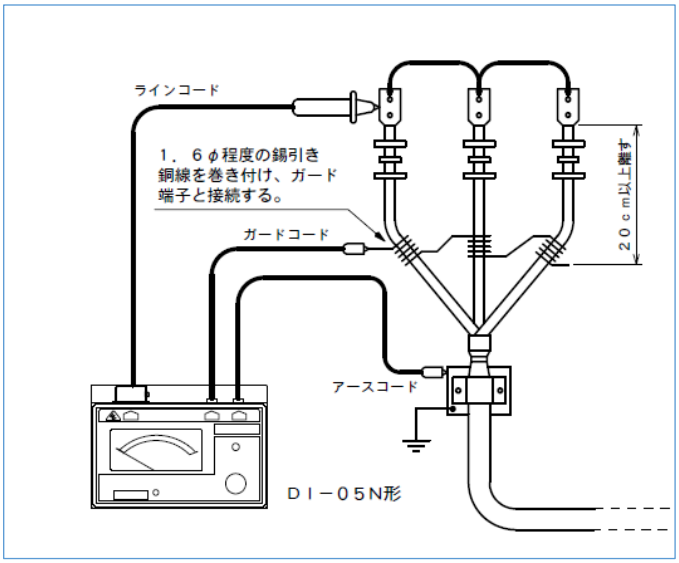
1. 絶縁測定の方法

top へ

1-1. G 端子の由来・使用法

絶縁測定に使用される高圧専用メガには G 端子があります。低圧用（または高低圧兼用）メガのとの違いです。右図は古い 1kV 高圧専用メガの例です。ライン端子（赤）とアース端子（黒）の他に、G 端子（矢印）がついています。

G 端子は、高圧ケーブルの絶縁測定時に、端末部表面汚損等により流れる沿面電流による測定誤差を防止するために、ケーブル端末に取り付けられるガード電極に使用されていたものです。ムサシ DI05（06）のガード電極使用例を取説の図で示します。ラインコードを取りつけたケーブル芯線と、アースコード間に流れる沿面電流を吸収する位置に取りつけられます。説明は、私が使用しているムサシ社製品を例としています。基本原理は他メーカでも同じです。



※　絶縁体の抵抗分対地電流には、劣化した絶縁物を抜けて流れる貫流電流と、絶縁物の表面を流れる沿面電流等の電流があります。高圧ケーブルの絶縁測定ではケーブル CV 絶縁体の絶縁（Rc）が正常であっても、端末部等に沿面電流が生じると、心線と対地間の絶縁値は低く指示されます。高圧ケーブルの測定を目的としている高圧専用メガ（ケーブルの静電容量に対応するために電源容量も大きくなっている）には G 端子があります。低圧の場合は貫流電流がほとんどで、沿面電流が問題になることはありません。低圧高圧兼用のメガで、1kV レンジがある場合にも G 端子はありません。

現在は G 端子がガード電極用に使用されることはほとんどありません。1-3 項に示す、正しく作られた端末を持つ CV ケーブルについて、ケーブル単体での絶縁を推定する G 端子接地測定法で利用されます。ケーブルに高圧機器が接続されていると、ケーブル CV の絶縁抵抗（Rc）と高圧機器の絶縁抵抗（Rn）が並列で合成され、ケーブル単体よりも低い値になります。この低減を目的として、1-3 節の G 単足測定法に使用されます。-

1-2　E 端子接地測定法（E 端子法）

アース（E）コードを接地極に接続して、ケーブル芯線と対地（CV ケーブルでは接地されたシールド）間の絶縁抵抗を測定します。低圧測定と同様の測定方法です。以降、E 端子測定法と

略記します。測定はケーブル端末が正しく加工され、シールドが接地されている状態で実施します。シールドが接地されていないと、芯線とシールド間、及びシース（ケーブル保護外皮）の対地抵抗との合計になり、意味不明の測定結果となります。端末が未完成（段切り）の状態では、段切り部の抵抗が影響します（この状態での測定は本質的に無意味です）。

前 1-1 項の図はガード電極を使用する場合です。現在は殆ど使用されません。ケーブル端末加工はプレハブ式となって安定し、キュービクル内部では市販のクリーナ清掃により沿面放電を防止することができます。汚染等による沿面電流発生の恐れが最も多い、1 号柱の高所端末部ではガード使用が実質的に不可能であることも要因と考えられます。

※　E 端子法測定値が低い場合の各部清掃

キュービクル部での測定値低下は、コンパウンドを含まないクリーナを使用しての各部拭き上げ清掃で対応しています。かつては、水 50＋アルコール 50 の水溶液が使用されてもいましたが、市販の、シリコンを含む液体クリーナが安全で効果的です。

引込部での絶縁低下の最も大きな要因は、受電用 LBS（又は DS）サポート部の汚損であると考えています。ウエスにクリーナをつけて拭き上げることで、1MΩが 10MΩ以上まで回復する場合があります。雨天等で湿度が高い場合は、ドライヤで乾燥させれば更に効果的です。

絶縁劣化部の調査は、図のように 1kV メガのプローブをサポート表面に接触させ、接地部との絶縁を測定することで行います。健全な場合は 1GΩ以上を示します。1相が極度に低い場合は汚損（劣化が大きい）と判断できます。1kV 以上で調査すると火花が出ることがあり危険です。プローブが細いとサポートに傷がつくことがあります。プローブを素手では持たないことも、安全上必要です。

KIP 線（高圧絶縁電線）サポート部も清掃点検の効果が得られます。左がクリート、右がレジン碍子です。サポートの使用個数が多い場合、100MΩ以下が複数個所あると全体が 10MΩ程度まで低下します。サポート部及び KIP 線表面の絶縁劣化・汚損による影響と考えています。固定部の締め付けを緩め、KIP 線表面を清掃し、やや緩めに締めなおす、可能であれば KIP 線をずらし、取付け位置をわずかに変えることで絶縁が回復する場合があります。押さえを完全に緩め、テーピングをして再取り付けするとより効果的です。三相一括クリートでは特に効果があります。レジン碍子は表面積が大きく、清掃の効果が大きい部分です。碍子本体に濡れるほどクリーナを吹付けて磨き上げます。絶縁が回復しても、時間経過で絶縁低下する場合が多いので、疑わしい部分を停電時に更新すれば最も効果的です。

劣化は 1 号柱での高所端末処理部にも生じていると考えられますが、通常は点検不能です。対

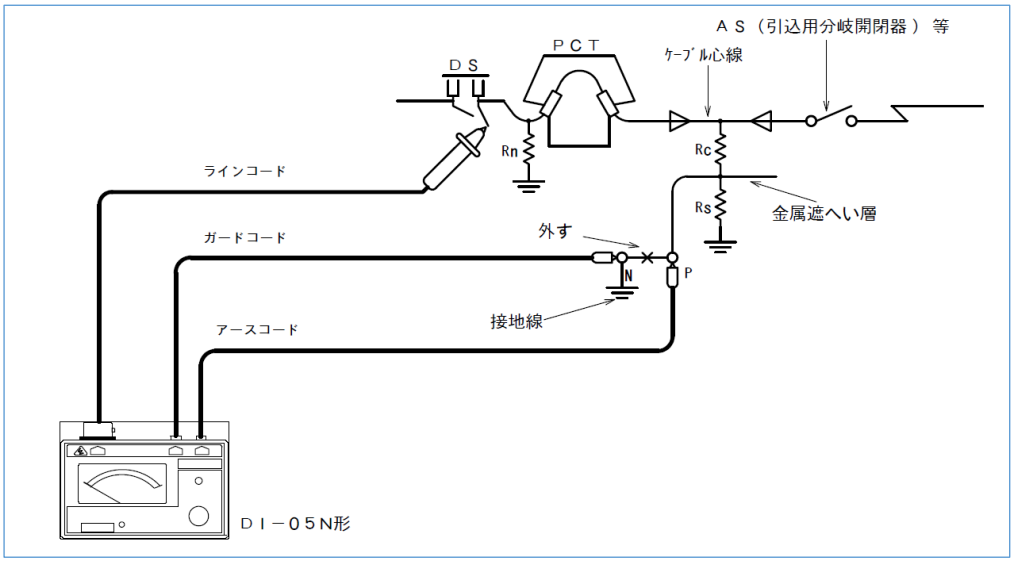
応できる範囲での清掃になります。

1-3　G 端子接地測定法（G 端子法）

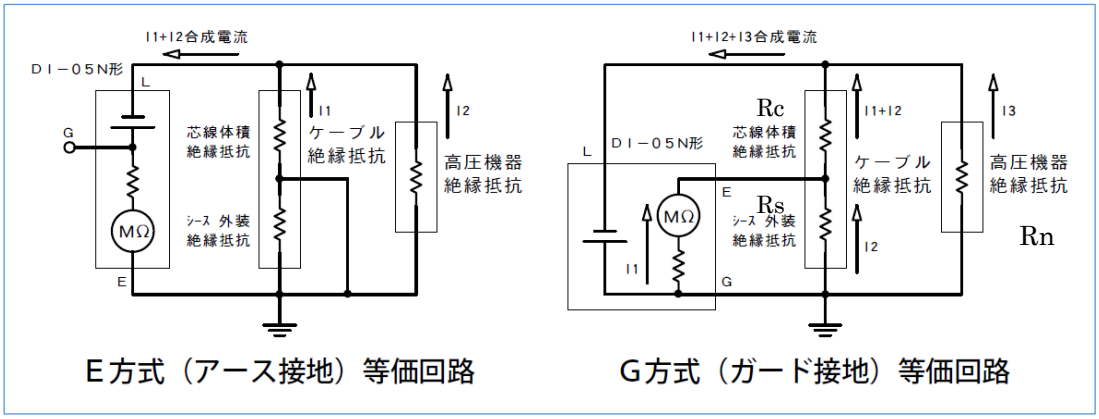
①　　測定回路（G 端子法成立条件）

E 端子法測定で必ず測定値に含まれる、芯線に接続された、筐体が接地されている高圧機器の対地絶縁抵抗（Rn）の影響を除外して考える測定法です。高圧 CV ケーブルの、接地されたシールドと外部シース層がある、ケーブル構造上の特徴を利用します。G 端子法と略記します。

芯線とアース間の絶縁を、芯線 - シールド間（CV 層）と、シールド - アース間（シース層）に分離して考えます。ケーブル構造は 3-2-①を参照ください。ケーブルシールドを接地極から解線し、ガード（G）コードを接地極に接続し、アース（E）コードを解線したシールドに接続します。試験電源に対して並列となる、心線とシールド間の絶縁抵抗（Rc）を、シースの対地絶縁抵抗（Rs）が大きいことを利用して推定します。



E 端子法と G 端子法の測定回路は、DI-05 取説で、それぞれ、下記のように説明されています。



G 端子法の測定手順は次のようになります

・ケーブルシールドの接地線を接地端子から解線し、E 端子を接続する。

・G 端子（測定用直流電源から引き出されている）を接地する。シールドの対地絶縁抵抗（シース抵抗）Rs が測定部（MΩ）の内部抵抗と並列となる。
・E 端子から Rc への電流 I1 が流れる。
・高圧機器の対地絶縁 Rn による電流 I3 は試験電源から直接流れ、測定部（MΩ）には流れない。測定値への Rn の影響が除外される。
・Rs にはシース抵抗による電流 I2 が流れる。
・Rc には I1+I2 が流れる。Rs が測定部の内部抵抗より十分に大きければ、I1＞＞I2 となる。
・Rc に流れる電流は、I1 で近似でき、測定部（MΩ）で Rc が読み取れる。

DI-05、06、11 では測定部の内部抵抗が 10ｋΩであるため、シースの対地絶縁抵抗（Rs）が 1MΩ以上あれば、実用上は満足する測定となることが説明されています。他メーカの機種では内部抵抗 40kΩの場合もありますが、Rs＞1MΩの条件は同じとされています。不足する場合の測定は無意味です。

※　Rs＞1MΩは G 端子法が適用できる基準ですが、ケーブルの機械的保護層であるシースが健全である（ケーブルが健全である）基準ではありません。シースの健全性を管理するためには、DI-11 のケーブルシース絶縁抵抗レンジのみでなく、シールドアース解線時に、低圧メガでシールドの対アース間の抵抗（シース抵抗）Rs を測定します。シースが健全な場合は一般的には 100MΩ以上です。数値管理すると、シースの傷発生等の劣化が分かることがあります。

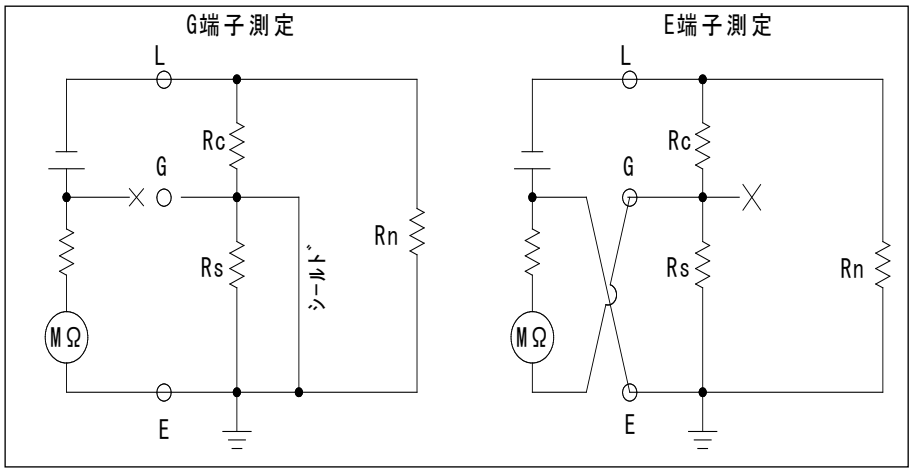
シース抵抗が 500V レンジで R 相 2G、S 相 0.28M、T 相 2G であったケーブルの引抜き点検時の写真例を右に示します。何らかの原因でケーブルシースが傷ついていたと考えられます。三相一括３ｋＶ測定で E 測定 0.2G、G 測定 100G となっています。Rs が低い（G 測定成立条件である 1M 以下である）と、G 測定の条件である I1＞＞I2 が成立しません。試験電圧に対しての測定（MΩ）部の電流 I1 が小さくなるため、G 測定値が大きくなったと考えられます。

シース損傷により Rs がゼロであっても、シールドが接地されているので、短期的にはケーブルの運用継続は可能です。長期的には、ケーブル内部に浸水し、シールドの腐蝕損傷、CV の重大欠陥である水トリーの原因になります。水トリーが発生しても進展（貫通）するまでは、CV の絶縁抵抗 Rc の値では異状検出は困難です。簡易な検出方法の例を 2-2 節に、シース損傷例を 3-2 節③項に示します。

②　E-G 切替スイッチ

ムサシ DI-11 では E コードを接地極に取りつけたまま（E 端子法での取付状態のまま）、G 端子法の測定ができるように、E/G 切替スイッチが付けられています。取説に切替回路の記載はありませんが、測定器内部で E と G を振り替えていると考えられます。ケーブルシールドを接地極から解線し、G コードを取り付ければ、スイッチ切替えで G 端子法を行うことができます。測

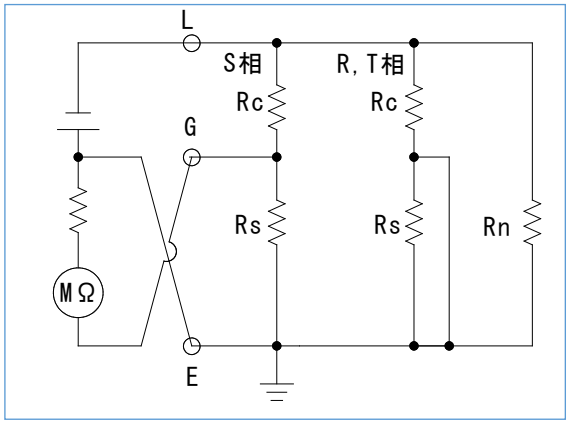
定前にシールドアースを解線し、E と G のコードを取り付けておけば、E/G 切替スイッチで E 端子法、G 端子法を流れ作業として行うことも可能です。私が推測した切替回路を示します。



私は、E 端子法が良好であれば G 端子法の必要性はないという考えで、まず E 端子法、疑問があればシールドを解線しての G 端子取り付け、スイッチ切替、G 端子法測定を行います。

③　接続状態での相別測定

G 端子法はシールドに G コードが接続されているケーブル相のみの測定を行います。シールド接地線が簡単に相別に分離できる（カシメがない等）の場合、ケーブルが接続されたままで、任意の 1 相のみの測定を行うことができます。



・測定相（例 S 相）のシールド接地線を解線し、G 測定の結線にする（G コードを接続）。

・他相（例 R・T 相）のシールド接地線は、接地極に接続している状態のままとする。

・G 位置での測定を行う。

G 測定位置でない相（R、T）の対地絶縁抵抗は、並列された高圧機器と同じとなってキャンセルされ、G 測定位置の相（S）のみが測定対象となります。受電ケーブルでの E 測定では、VCT 解線などでケーブルを分離しない限り不可能な場合がほとんどです。

1-4　E 端子法と G 端子法の測定値の違いと評価

①　G 端子法が E 端子法より十分に大きい場合

一般的には G 端子法では E 端子法よりも大きな測定値が得られます。例えば、E 端子法で 0.02G、G 端子法では 50G 等です。G 端子法の効果で、E 端子法で含まれていた、ケーブルの CV 絶縁抵抗 Rc に並列である高圧機器の対地絶縁抵抗 Rn の影響が除外されたと考えることがで

きます。ケーブル本体の絶縁は良好であると判断します。

② G 端子法と E 端子法の差が少ない場合（G 端子法の誤差要因）

・測定結果例

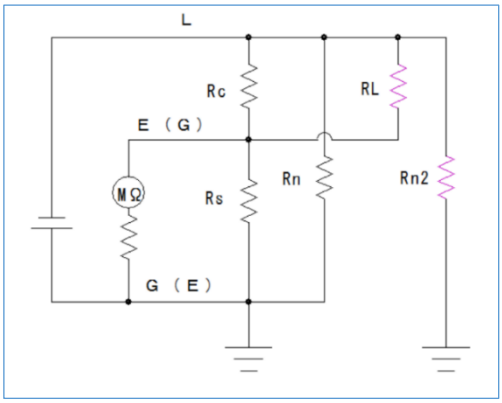
小雨、湿度 95%、工事による 4 時間停電後での E 端子法、G 端子法共に 0.1G 以下であった例です。G 端子法が、わずかですが大きいことより、若干の効果はあっていると考えられます。測定電圧が高くなると、G 端子法と E 端子法との差が小さくなる傾向があります。

試験電圧	1kV	2kV	3kV	4kV	5kV	6kV
E 端子法	0.01GΩ	0.01GΩ	0.01GΩ	0.01GΩ	0.01GΩ	0.01GΩ
G 端子法	0.06GΩ	0.05GΩ	0.04GΩ	0.03GΩ	0.03GΩ	0.03GΩ

G 端子法・E 端子法共に、測定値が前回測定と大きく変わることがあります。毎年（1 月）の停電点検時の測定です。左側が新しい年度の測定結果です。設備特性により、天候・湿度等による影響を受けていると考えられます。次項に説明します。

天候	晴れ	晴れ	晴れ	微雨	微雨
湿度	55%	70%	55%	55%	75%
E 端子法	15G	2G	25G	0.15G	0.02
G 端子法	100G	100G	-	1.8G	0.25G

・誤差要因



G 端子法は等価回路により、ケーブル絶縁 Rc に並列となる高圧機器の Rn を除去する測定法です。想定されていない要因が測定対象に含まれると、測定誤差になります。要因の例を右図に示します。

RL は、ケーブル端末（特に一号柱高所）の劣化による芯線とシールド間の抵抗です。端末処理部の劣化・湿潤により、微弱な沿面電流が生じると変動すると考えられます。ケーブル Rc と並列であるため分離できず、Rc に対して無視できない値となると、ケーブル絶縁の低下として検出されます。沿面電流に試験電圧による依存性があると考えれば、試験電圧が高いほど E 端子法と G 端子法の測定値の差が小さくなることの説明になります。毎年の停電点検で、天候等により、E 端子・G 端子法の測定値が変動する理由とも考えられます。

Rn2 は接地極が共通ではない高圧機器（アレスタ、VCT 等）です。Rn と並列ですが、接地の違いから、誤差要因となる可能性があります。

G 端子法は芯線の対地絶縁を直接測定する E 端子法よりも誤差要因多い測定法です。測定値が満足しない場合も、絶縁が劣化していると直ちに判断するのではなく、G 端子法でも判断困難として、各種の調査を行います。次節に、私が使用している判定方法をご参考として紹介します。

③　**測定値指示の振れ**（電柱上結合部などの劣化）

G 端子法測定での、10GΩ以上で、指示値が大きく振れる場合があります。Rn が除外される副作用として、前項の誤差要因の RL の変動が E 端子法以上に影響すること、シース抵抗 Rs がケーブル外装劣化と大地水分などで不安定となることで、測定部への電流変動が生じるためと考えられます。測定値が大きい（電圧印荷時の電流が小さい）場合に、値の振れも大きくなります。稀に、G 端子法測定値が E 端子測定値よりも小さい場合もあります。

※　九州では取引用 VCT が 1 号柱取付けです。通常では点検清掃ができない、屋外高所で、直射日光と風雨にさらされているケーブル端末、接続部、絶縁電線等の部分があります。端末本体（陣笠等）の硬化・変形、テーピングの劣化・剥離等が生じます。天候・湿度による測定値変動の原因であると考えられます。

ケーブル更新時に確認すると、著しい場合は、右図のように芯線を接続しているボルコン（PJ コネクタの）突起部と考えられる金属部がテーピングから露出している場合もあります。雨天時等には端末部での沿面放電の原因（RL の増加、G 端子本来の目的であるガード電極で対応するべきもの）になると考えられます。

図左は VCT 接続のためのケーブル余長を大きくとりすぎ、ケーブルの曲げ許容範囲内であればよいとして、端末部までが大きく曲げられている例です。陣笠部も傾いています。陣笠の両面ともに汚損・雨濡れしている場合等は、端末の絶縁能力が低下している恐れがあります。右図は接続部カバーの出口不良の例です。右相のテーピングが溶着しています。リーク電流による発熱があったと考えられます。PAS 付属の避雷器の汚損も同様です。双眼鏡等による日常での PAS・VCT 周りの目視点検が有効です。

キュービクル内部でも、温度上昇（リアクトル周り）・雨漏れなどでも生じます。1-2 節の、LBS、端末部などの清掃点検が必要です。

2. 復電前の受電可否判定試験（簡易絶縁診断）　top へ

E 端子法および G 端子法で良好の結果が得られなかった場合に、可変電圧高圧メガと手持ちの測定器により、私が行っている各種の方法です。測定値を複合的に判断して、復電の可否を考えます。VCT 等の付帯設備も接続のまま、E 端子法で行います。

2-1　絶縁測定値の電圧依存性（弱点比）

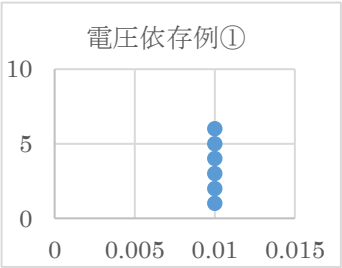
①　**概要**

メガの試験電圧(kV)を変化させ、それぞれの電圧での対地絶縁値(GΩ)を測定します。縦軸を

kV、横軸を GΩとしてグラフ化し、印荷電圧によるメガ値の変動（電圧依存性）を確認します。対地電圧の通常での波高値である DC6kV までの測定を行うことで、1 線地絡時の対地電圧波高値である DC10kV での健全性を推測します。DC10kV を実際に印加すると、ケーブルによっては、絶縁性能を急速に劣化させる場合があります。絶縁診断は対象物を劣化させないことが前提です。

※　線間電圧 AC6600V での対地電圧は、通常は AC3810V です。1 線完全地絡時は線間電圧の AC6600V が他相の対地電圧になります。波高値は√2 倍となるため、通常時 5390V、地絡時 9330V です。低圧での絶縁測定を、AC100V 系統では DC125V、AC200V 系統では DC250V で行うことと同様の考え方です。

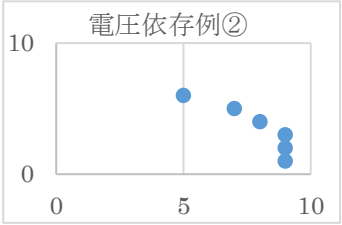
②　依存性がない場合（例①）



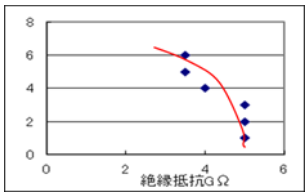
印荷電圧が高くなってもメガ値が変化しない場合です。メガ値は全ての試験電圧で 0.01GΩですが、電圧による変化はありません。グラフを延長して考えると、1 線地絡時の波高値である DC10kV でも、0.01G の絶縁が保たれると考えられます。

近隣で高圧配電系統の 1 線地絡事故が生じても耐えうると想定でき、継続使用可能と考えられます。ケーブル付属部等の絶縁低下と考えられますが、原因の特定はできないため、経過観察が必要です。

③　依存性がある場合（例②）



試験電圧 6kV で 5GΩですが、グラフは 3kV 以上で大きく曲がって（変極して）います。通常の使用（対地電圧 AC3810V）では問題ありませんが、曲線を延長して考えると、DC10kV では絶縁不良となる恐れがあります。近隣の地絡事故でメガ値ゼロの領域となり故障する場合があります。CV 絶縁の劣化が始まっている恐れもあり、例①よりも危険性が大きいと考えています。このケーブルでは、後述する漏れ電流試験でも異常と考えられる現象が認められています。



※　上例は教科書的な電圧依存性が認められた場合です。同一のケーブルでも、測定時が違うと、右図のような、乱れた形になることがほとんどです。測定結果を電圧依存性の考えで模式化すると分かりやすくなります。

④　弱点比との関係

ケーブル絶縁に異常が生じた場合には、3kV 前後に例②のように、絶縁測定値が大きく変動す

る変曲点が現れるとされています。1kV 測定のみで、絶縁良好と判断するに不安があるとされる理由の一つです。

二つの電圧で測定した絶縁抵抗値の比は弱点比と呼ばれます。かつては電圧可変メガが使用できなかったため、単レンジメガ 2 台で測定し（例えば 3kV と 6kV）、測定値の比率を弱点比としていました。3kV 付近で生じるとされる、変曲点があれば絶縁抵抗値は試験電圧により変化（依存）する、なければ変化しないという判断です。6kV と 3kV 測定で電圧依存性がない例①では 1、ある例②では 1.8 となります。現在は電圧可変メガが出回っているので、1kV 毎に測定を行えば、より詳細に電圧依存性の確認ができます。測定時間の増加もわずかであり、メガの可変電圧機能の有効活用になります。

10kV が使用できるという理由での、5kV と 10kV の 2 電圧測定は、変曲点を通過した後であるので、弱点比は小さくなって、確認ができにくくなります。また、前項③のような電圧依存性があるケーブルでの 10kV 印荷は危険です。年次点検等での絶縁測定は通常使用状態での安全性を確認するためと考えています。

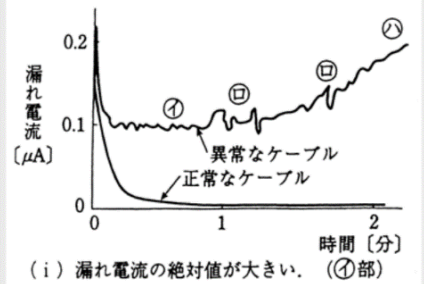
竣工試験は将来において安全に使用できることの確認であり、AC10350V を 10 分印加して耐えることが基準です。

2-2　漏れ電流試験（成極指数・水トリー）

①　概要

シースの損傷、端末テーピング部の不良等でケーブル内部に浸水があると、ケーブル絶縁体である CV に、危険な欠陥である水トリーが生じる恐れがあります。水トリーの恐れがないことの確認を行うと、他の要因（端末の一時的な濡れ等）での絶縁測定不良であると考えることができます。水トリー発生は、E 端子法で一定の試験電圧を連続して印加して、漏れ（充電）電流の変動により推測します。G 端子法でも可能とは思いますが、実施した経験はありません。

正常なケーブルと水トリーの発生がある（異常な）ケーブルででは、漏れ電流特性に右図のような違いがあるとされています（日本電気技術者協会ホームページ）。図の説明 iii の漏れ電流増加傾向の指標としては、電圧印荷後の 1 分後と 10 分(または 3 分程度)の絶縁抵抗値の比が成極指数として使用されています。



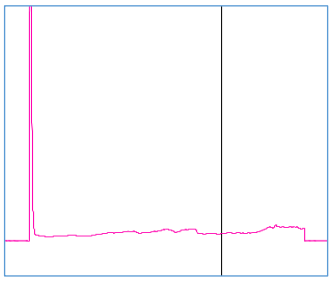
（ｉ）漏れ電流の絶対値が大きい．（㋑部）
（ii）キック現象がみられる．（㋺部）
（iii）電流の増加傾向がみられる．（㋩部）
第７図　漏れ電流－時間特性（例）

記録計出力端子がある高圧メガ（DI-11 等）では、漏れ電流の線図を作成することができます。メーカ推奨ではアナログ記録計ですが、市販の（廉価）小型デジタルロガーでも、ある程度は可能です。

記録測定状況を示します。記録計入力の取り出しは、DI-11 添付品であった標準オーディオ端子を、取説に従って加工したものです。ペン書き記録計と比較してインク詰まり等で使用できないことが無く、常時携帯可能であることより、おかしいと感じるときにはすぐに記録を作成することができます。使用ロガーは T&D 社の MCR-4V です。設定は、記録間隔 10msec、電圧レンジ 6V で使用しています。4 チャンネルですが 1 チャンネルのみの使用です。起動停止、ディスプレイの切替等、通常から、操作に慣れておくことが必要です。

② 異常ケーブルの記録例

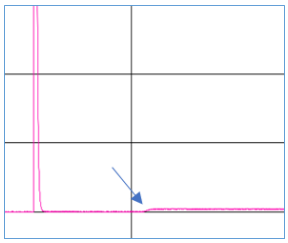
試験電圧 5kV 三相一括の試験で異常が認められた例です。続行は危険と判断して 1 分経過前に試験を終了しました。漏れ電流-時間特性の（ⅱ）から（ⅲ）の状態と考えています。

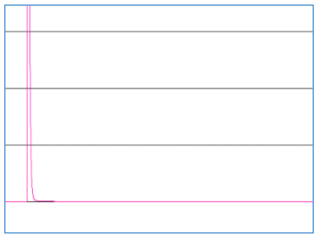


このケーブルは絶縁抵抗が晴天時に 1kV、3kV、6kV で 15MΩと低めでしたが、電圧依存性はなく、2-3 節の印加可能電圧も 5kV 以上で正常であったため、復電を行いました。復電後のケーブルシールド一括電流も正常でしたが、直後の夜間に、SOG の G 動作でトリップしました。トリップ後の絶縁測定では三相一括 1kV-10MΩ以上でした。再投入を試みたい絶縁値ですが、漏れ電流試験で水トリー現象が明らかであったため、復電を中止しました。水トリーは不安定な「橋絡」現象であり、停電後には一定の絶縁回復がある、しかしながら、復電すると短時間で故障状態が再発すると考えています。

このケーブルでは更新時の目視点検で、ケーブル 1 相のシースに、外部からの損傷が見つかりました。埋設ケーブルピットが水没していたため、ケーブル内部に水が浸入し、CV が劣化したと考えられます。シースの損傷は高温物の接触、飛来物等で生じる分かりにくい事故要因です。端末が無い低圧ケーブルでは、シース損傷部から侵入した水が芯線端子部から染み出すこともあります。

上例のように明らかな特性が現れることはほとんどありません。図左に前節②の電圧依存性があるケーブルで、試験電圧 3kV で生じた変動を示します。わずかな変動ですが、電圧依存性と併せて、絶縁に何らかの異常が生じていると考えられます。このケーブルでの事故は生じていません（事業所都合で受電設備運用停止）。



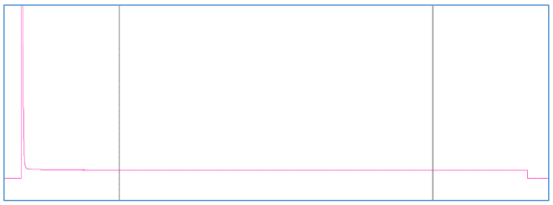


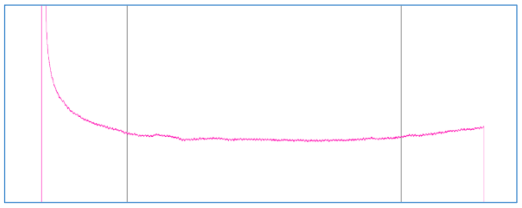
図右は、他所でのケーブル更新直後での 5kV 測定例です。変動は全くありません。提示できる

記録があれば、ケーブル更新提案の説明資料として効果があります。

※　Y 軸の拡大による検討

データロガ MCR-4V のグラフ拡大機能を使用すると、分かりやすくなる場合があります。





図左の測定結果を、「編集」「グラフの操作」で、Y 軸のみ拡大を行ったものが図右です。途中から漏れ電流に、危険な兆候である単調な増加が生じていることがわかります。E 測定値は 0.25G で、指示値の低下が認められています。

③　簡易記録、試験電圧

記録計を準備していない場合、メガ指示値を、例えば 10 秒毎に人力で読み取ることでも、電流の変動の簡易的なグラフ化が可能です。二人一組で、一人が指示を読み、他の一人が記録を行います。メガ値は漏れ電流の逆数なので、漏れ電流グラフの逆の形になります。キック現象はメガ値の急な振れにより確認できます。より簡単な判断基準としては、メガの指示値が数分間安定していることになります。

使用中ケーブルで水トリーの発生の疑いがある場合は、試験電圧と試験時間は電圧依存性試験と同様に、絶縁破壊試験にならないような注意が必要です。私は、常用対地電圧のピーク値以下とし、5kV を使用しています。

高圧用専用メガとして、5kV 又は 6kV を最大電圧とする機種が販売されています。技術基準でも DC7kV 超は特別高圧です。竣工検査等での新品 CV ケーブルは、製造方法の改良（三層一括押出等）により、製造時の水トリー欠陥は無いとされています。

2-3　メガ印荷可能電圧（直前に行う健全性・事故時復電の判断）

①　概要（一括メガ）

試験電圧表示のあるメガを使用して、E 端子法で試験（印荷）電圧が安定にかかるか範囲を、通常は一括メガの状態で実施します。復電しなければいけないが、雨天時等で、E 端子法、G 端子法共に絶縁測定値がどうしても満足できる値にならない、台風時の原因不明の G 動作トリップ等の場合に、受電を行うかどうかを判定するために、私が使用している方法です。

※　一括メガ

PAS 投入直前の安全再確認として、高圧部を全て通常状態（入り位置）として、受電設備全体の絶縁抵抗を、高圧メガで測定します。年次点検等で分割しての絶縁測定が良好であっても、必要な作業です。高圧部に、ショートアース忘れ等の地絡部が無いことの最終確認となります（シ

ョートアース取付け時には、必ず接地線を取り付けます)。必要とされる絶縁抵抗値（数十 MΩ）は天候と、管轄の電力配電所の判断で異なることがあります。コンデンサ容量による進み電流投入防止等で、VCB による系統分離しての受電が必要な場合は、一括メガ確認後に再度の切操作を行い、受電後に投入します。

測定等で三相短絡を行う場合は、できるだけ細いリード線を使用すると、取り忘れ時の被害を少なくすることができます。耐圧試験・絶縁測定での短絡も同様です。耐圧試験の場合であっても、短絡線に流れる電流は mA レベルです。

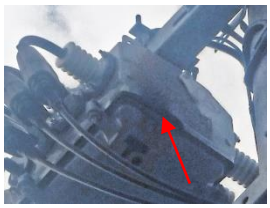
② 出力電圧降下の確認 （PAS 等の絶縁不良の影響）

可変電圧メガでは、絶縁抵抗測定中の出力（測定対象に印加されている試験電圧）が表示されます。ムサシ DI-11 では、図の表示窓の指示値が出力電圧です。測定開始と同時に、表示値は設定値から、良好であれば若干、不良であれば大きく下がります。次項の垂下特性による現象と考えられます。

図は雨天での長時間停電後の、一括メガ状態での測定例です。E 端子法で電圧設定は 6kV、絶縁抵抗指示値は 0.01G です。電圧表示が 5.95kV（常用対地電圧の波高値以上）で安定していたため、雨天（高湿度）による影響（全体的な絶縁低下？）と判断し、受電しました。停電中に、キュービクル側ケーブル端末、LBS 等の清掃は実施していたので、若干の絶縁回復があっていた可能性はあります。受電後に次節の「復電後の絶縁再確認」を行い、いずれも異常は認められませんでした。

私の経験では、6kV 設定で 4kV 以上が安定表示される場合は、絶縁抵抗値が低くとも受電可能です。3kV に設定した電圧が、測定時に大きく下がる（ほぼ印荷と同時に低下が始まる、経験値では概 2kV 未満）状態では、再度の GR 動作トリップが発生します。

※ 出力電圧値は付属機器の絶縁不良でも変化するため、事故発生時の詳細点検のきっかけとなります。キュービクル内高圧母線の小動物接触短絡と考えられる事故で、キュービクル VCB と PAS の SO 動作があった例です。引込高圧ケーブル側の対地絶縁は 15MΩでしたが、1.35kV しかかからなかったため、通常の絶縁低下ではないとの考えでの再点検をおこないました。一号柱 VCT 切り分け調査時に、PAS 二次側に噴破と考えられる状態が判明しました。ケーブル単体の絶縁は 10GΩ以上でした。異常があるはずだと考えての点検でなければ、気付きにくい故障です。SO 動作が不安定で、電力配電所 VCB 遮断動作前に PAS が開放して接触子が破損したが、内部の完全地絡は無かったと考えられます。配電変電所の再送電時には PAS は開放状態であったため、系統波及事故にはなっていません。絶縁抵抗値 15MΩのみで判断して再投入を行うと、重大事故につながったと考えられます。この事故は PAS 更新で復旧しています。

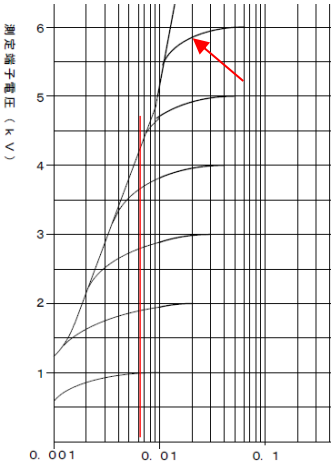


10 年未満経過の PAS での、製作不完全・パッキン変形による内部湿潤故障例が、「電気技術者協会誌 2023 年 2 月号」にも取り上げられています。同様の不良であったと考えられます。

出力電圧による判断は、高圧部の切り分けによる不良個所の判断にも適用可能です。一括メガ状態では 1.5kV しかかからず、GR 動作で受電できなかった設備が、高圧切り分け測定後に 2.5kV までかかるまで回復し、順次の受電が成功した場合もあります。部分的な受電により発熱等で絶縁が順次回復？していた可能性もあります。受電した後は、次節の「復電後の絶縁再確認」を行い、異常は認められませんでした。

※　原因にあいまいさがあるままで受電する場合は、受電時に SOG の P1-P2 電源が確立することを、LBS、MCCB 状態で確認します。GR 本体不具合と思い込んで、SOG をロックして受電することは、系統波及事故につながる危険な操作です。台風時等では、GR の外観点検後、再受電してみるという考えもあります。SOG が活きていれば、絶縁不良状態（地絡検出）での SOG 動作で再停電し、系統波及事故は防止できます。電圧確立に不安がある場合は携帯発電機などの別電源で SOG の P1-P2 電源を確保します。

③　垂下特性



前項の現象を、メガの垂下特性より考えます。メガは被試験物の絶縁破壊を防止するため、絶縁抵抗値が低い場合、試験電圧を自動的に下げる、垂下特性を持っています。DI-11 の特性図（取説、パラメータは電圧）を右図に示します。絶縁抵抗値 0.003GΩ（3MΩ）であると、6kV に設定して試験すると 2.8kV まで低下することを示しています。

前述②項での例、赤矢印の設定電圧 6kV、0.02GΩ（次項の有効範囲以下）での試験電圧 5.95kV は、垂下特性から見ると、やや高くなっています。端子電圧が 5.9kV としても測定対象の絶縁抵抗は 0.02G 以上であり、ケーブル単体での良好判定値（6kV で 0.006G-6M 以上、漏れ電流 1mA 以下）は満足していることが、特性図から判断できます。0.006G では、5kV 以上の設定の場合、試験電圧が概 4.2kV になることが分かります。前項の私の経験とも合う数値です。

DI-11 が特別高圧範囲までの電圧を使用するため、表示特性による測定下限の絶縁値を、垂下特性を利用して推定しているとも考えています。

※　垂下特性は、「測定時に、既に生じている絶縁劣化」の保護と確認はできても、「絶縁劣化傾向？」には対応できないと考えられます。吸湿などによる CV 水トリーが発生しても、欠陥は局部的で、貫通して絶縁が破壊するまでは絶縁値は 10MΩ以上です。停電後も絶縁はゼロではない

（停電で回復する？）場合があり、不安定であると考えています。絶縁抵抗値、垂下特性ではなく、漏れ電流試験等の他の診断方法による判断になります。

垂下特性があるので安全であるとして、使用中ケーブルの点検で常用対地電圧以上の試験電圧を印加することは、劣化を急速に進行させる危険があると考えています。

④　測定値の有効性

測定器特性に、メーカが保証する有効測定範囲が有ります。取説では、DI-11 の 6kV 測定での有効範囲の下限は 0.06G（5kV では 0.05G）です。例としての 0.02G は保証された測定値ではなく、参考値になります。このため「高メガ？」は下限域では使えない、という話も聞きます。

高圧範囲の電圧で測定を行うメガには、有効範囲の下限が 1M（0.01G）である単圧メガ DI-05/06 等、他のメーカを含めて各種の機種が有ります。有効測定範囲を考えて、使用目的に合わせた「高圧測定用」メガを準備しておくと、より安心な測定ができます。

低圧兼用のマルチレンジメガにも、高圧である 1kV レンジが付属していますが、本来は高圧機器単体用です。ケーブルが長くなり、充電容量が大きくなると、電源容量不足で動作不安定になります。

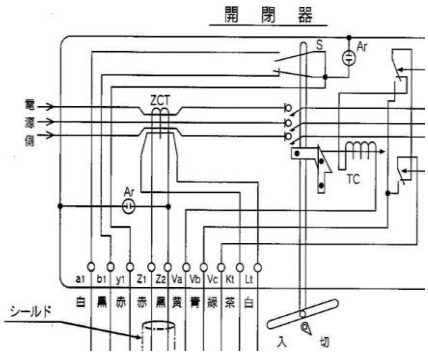
3. 復電後の絶縁再確認（簡易高圧活線絶縁診断）

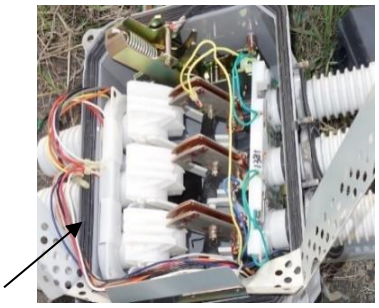
top へ

雨天時等で絶縁値の指示が低い状態で、前節の確認等で何とか受電できた場合の、受電後での再確認方法です。受電継続に支障が無いであろうことを推測します。豪雨時等での緊急復電した場合等の、簡易的な活線高圧絶縁診断としても応用できます。

3-1　SOG 入力電圧測定　(Z1-Z2 電圧・高圧部全体)

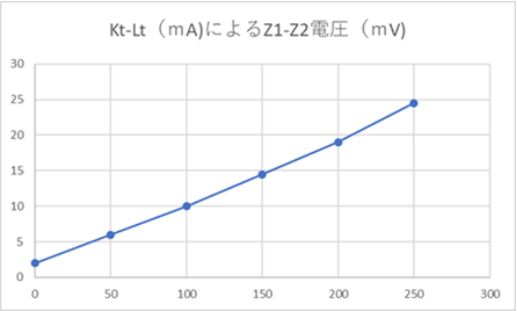
E 端子法と同様に、SOG の端子電圧で高圧部全体の絶縁を推測します。PAS 内部には、低圧用 ELB の漏電検出用 ZCT と同様の、高圧三相一括の測定を行う ZCT があり、地絡電流による生じる Io 成分を測定しています。下図・左は PAS 内部の結線図、下図・右は筐体開放時の内部です。矢印部が、三相が貫通する ZCT です。内部地絡を含めて検出するため、スイッチ部より電源側に取り付けられています（ELB は負荷側）。



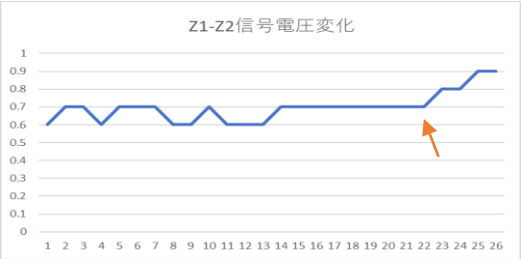


Io の検出値は電圧（交流 mV）信号として SOG の Z1-Z2 端子に入力されます。地絡電流 Io がなければ、Z1-Z2 端子間は 0mV が原則です。受電中の Z1-Z2 信号で、PAS の ZCT 以降の高圧部全体の絶縁状態を推測できます。測定は普通のデジタルテスタでも可能ですが、0.1mV 以下のレンジがあれば、より安心です。

試験状態で、SOG の Kt-Lt 間の試験電流（地絡電流相当分）を変化させると、Z1-Z2 端子間電圧が比例して変化します。トリップ動作を行う Io＝200mA に対応する信号電圧は GR メーカ毎に異なります。



右図は Io がゼロでも、Z1-Z2 電圧が、0mV に戻らなかった（浮いていた）測定例です。50mA 単位で Kt-Kt 電流を変化させ、Z1-Z2 電圧を測定しています。動作方向へのバイアスがかかっていると考えられます。PAS 及び SOG の更新で 0mV になりました。本体が更新推奨時期に達していたことと、P1-P2 の極性が逆のまま使用されていたことが原因であったと考えています。



右下図は近隣で雷被害があった設備での、Z1-Z2 電圧の毎月測定実績です。雷被害があった矢印部から単調増加の傾向が生じています。ケーブル等の受電設備に何らかの障害があったと推測できます。定期的な停電が行えない設備であるために行っていた、毎月の測定が役立つたと考えています。

低圧の絶縁監視装置と同様に、Z1-Z2 電圧の連続監視機能を付帯し、高圧絶縁監視機能付き SOG として販売しているメーカもあります。

方向性 SOG では、地絡により生じる零相電圧（Vo）が PAS 内部の ZPD で測定されます。出力は Y1-Z2（E）端子の電圧として入力されているため、Io 同様に測定することで、Vo を推測することができます。Vo は地絡によるもの以外に、受電中には配電線の捻架状態によっても発生します。配電系統切替えで変動することに注意が必要です。

Z1-Z2 と Y1-Z2 の電圧測定は、SOG の誤動作の疑いがある場合に、運用中の測定をメーカから推奨される測定です。下図に戸上社取説の数値を示します。測定例の 25mV は管理値外であることが分かります。

５．地絡検出信号はＳＯＧ制御装置のセンサ入力端子で確認でき、表７、８のような比例関係となります。

表７　地絡電流と Z_1-Z_2間電圧

地絡電流	Z_1-Z_2間電圧
0.2A	20±2mV
0.4A	40±4mV

表８　零相電圧と Y_1-Z_2間電圧

零相電圧	Y_1-Z_2間電圧
190V（５％）	60±15mV
381V（10%）	120±30mV

電圧の測定作業による PAS 誤動作はない、と説明されています。検出される電圧はメーカにより異なり、メーカの PAS 取説に記載されています。

3-2　ケーブルの対地（零相）電流測定

①　ケーブル構造とシールド電流

CV ケーブル構造を右図に示します（オーム誌、2019 年 9 月号 P.24）。中央部 1 が芯線です。3 が芯線を電気的に絶縁する CV 絶縁体層です。CV 外周には、5 の金属（銅・アルミ等）遮蔽層であるシールドがあります。絶縁電線との最大の違いです、

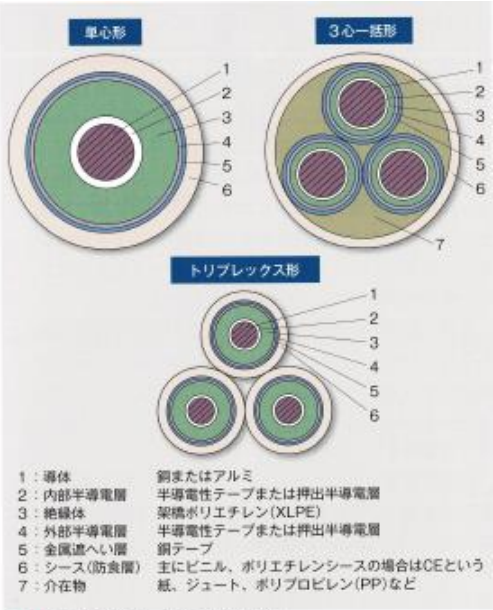


図1　高圧 CV ケーブルの構造例[2]

2 と 4 は境界面での電界集中を防ぐための半導電層です。2・3・4 の 3 層を同時に押し出し成型する（3 層一括押出）EE タイプは、3 層をテープ巻として作成する ET タイプに対して、水の影響がある場合のケーブル寿命が 10 年程度長くなるとされています。EE タイプの使用が推奨されています。端末作成時の注意が必要（皮むきに特殊工具を使用）です。

5 が絶縁層を覆う、金属テープによるシールドです。ケーブル端末処理部で引き出されて A 種接地され、大地と同じ電位になります。芯線 1 への印加電圧はシールド間にかかります。絶縁層に生じる対地電流（抵抗分及び容量分）はシールドに流れます。最外周の 6 はシースで、電気的な絶縁ではなく、外部からの機械的な保護が目的です。シールドとの間には押さえテープがあります。機械的等で劣化すると、内部に水が浸入し、ケーブル故障原因となります。最外周のシース 6 はシールドと大地間にあるため、シールド接地が正常であれば、シース層の対地電流は発生しません。シールドアース線の電流がシース電流と呼ばれていることもありますが正確ではありません。シース表面（シールドの有効範囲）には誘導による電圧は発生しないため、シース部に触れても感電しません。ケーブルの管路引込が可能です。外皮に常時の高圧電圧が発生し、サポート等で大地と離隔して設置する必要がある高圧絶縁電線（KIP）との大きな違いです。

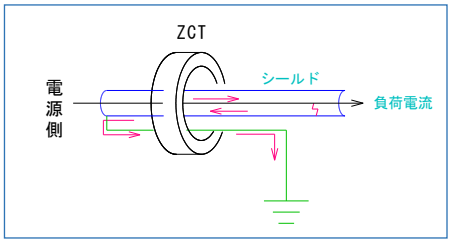
高圧ケーブルシールドは片端接地であるので、シールドアース線の電流測定で、絶縁体（CV）に生じる対地電流の値を知ることができます。絶縁体の劣化状態を推測に役立ちます。一相ごとのシールドアース線電流は、CV 絶縁が健全であっても、常時 mA 単位の電流が流れます。芯線とシールド間の静電容量により流れる Ic と考えられ、ケーブルのサイズ、長さ等により異なります。アース線を三相一括で測定すると、各相の Ic はベクトル的に合成されることでキャンセルされ、抵抗分による地絡電流成分となるので、絶縁層（CV）の絶縁劣化の指標となります。ケーブルシースの外側からの、ケーブル一体測定では、負荷電流とシールド電流が測定されます。

シールドと対地間であるシース絶縁抵抗が 1MΩ以上であることは、G 端子法での絶縁測定の

条件です。シースが劣化（機械的又は科学的要因）すると、シールドの対地絶縁は低下します。シースに外部からの傷が発生して内部に浸水すると、シールドに防水能力は無いため、絶縁層の吸水劣化（水ツリー）の原因となります。接地線を解線して、対地絶縁抵抗を通常のメガで測定し、経年変化を見ると、シースの劣化が判断できます。シールドに迷走電流等を生じる危険な二点接地状態となっていないことの確認もできます（竣工時の誤接続等）。接地線電流測定と同様に、運用中のケーブル保全のために必要です。

※　耐圧試験で、端末未作成（ケーブルが段切りのまま）、又はシールド非接地の状態で電圧を印加すると、印荷電圧は CV 層等の静電容量とシースの対地浮遊容量で分圧されます。運用時とは異なり、絶縁層には全対地電圧が印加されません。試験二次電流（シールド電流）は極めて小さくなります。端末が正しく作成され、シールド線が接地されることで、完成した（耐圧試験可能な）ケーブルとなります。

②　シールドアース電流の地絡保護への適用　（地絡検出用 ZCT での考え方）



盤用地絡リレー用の ZCT で電源側接地を例にシールドアース線電流を考えます。シールドアース線電流で CV ケーブル不良が検出されていることが分かります。

ケーブルで地絡事故が生じた場合の模式図を示します。地絡電流は赤矢印の、芯線⇒シールド⇒シールドアース線で流れます。電流の向きは芯線とシールドの地絡電流 ZCT では逆となり、打ち消しあうので検出されません。シールドアース線を ZCT 貫通部にもう一回引き戻し、通過回数を奇数回とすることで地絡電流が検出され、ケーブルが保護範囲になります。

第二キュービクル送りケーブルでの接地例を示します。緑線が三相一括のシールドアース線で、3 本のケーブルと並行して ZCT を貫通して引き戻されています。第一種電気工事士試験にも出題されていますが、アース線の引き戻し忘れが発生しがちです。

PAS からの高圧引込ケーブルでは、地絡電流は芯線（機器一括）又はシールド（途中地絡）のいずれかのみを流れるため、通過回数は 1 回です。アース線の引き戻しは不要です。第 2 キュービクルの受電部でシールド接地を行う場合も同様です。

③　運用時の測定方法（測定時の安全）

高圧用検電器でシールドアース線の無電圧を確認後、高圧用リーククランプメータを使用して測定します。誘導と考えられる現象があると、クランプ部を移動すると指示値が変化します。通常は最も少なくなる値を読みます。図は三相一括での地絡電流測定例です。相別リーク電流の測定を併せて行うと、変動が分かりやすくなる場合があります。

年次点検等の停電中に、受電中の測定を考えて、シールドアース線を可能な範囲で整形を行っておくと安全に測定ができます。通常（月次等）の点検時に、時間に余裕をもって測定の練習をしておくことが安全測定に役立ちます。経年変化の把握は、事故予防につながります。雨天中の測定は避けるべきです。日を改めての、再確認としての測定を行います。

シールドアース線の接地極への接続が不良となった場合、芯線とシールド間の静電容量による分圧でシールドに高電圧が発生します。G端子測定後の再締め付け不良で、アース線の接地端子への取付けが緩むと、火花と放電音が発生する場合があります。無電圧で安全であるとの思い込みでの、低圧用リーククランプメータの不用意な使用は危険です。

※　写真のクランプメータの現在型（2021 年末購入）は、2000mA レンジでは、20mA 以下が強制的に0表示となるようになっています。測定結果の0mAは、シールド電流20mA以下でGR動作レベルの 1/10 以下である、との評価になります。
（旧型も、私の校正結果では、20mA 以下でもそれなりの指示値が出ています）

アース線電流の継続した測定で、CV 水トリー防止等の重要な要素であるシールドの健全性確認ができます。誘導などの機器配置による定誤差を考えて、同じ測定点での経時変動を見ることが必要です。運用中にも端子緩み、シースの損傷によるシールド腐食、多点接地状態の発生等の各種の劣化が生じる恐れがあります。図は、運用中の除草作業で傷ついた CVT ケーブルシースです。シース損傷はケーブル敷設時の無理な引込、近接部の火災による傷等でも発生します。メガでのシールド対地絶縁抵抗値により併せて管理しておくと、より安全です。

※　測定時の安全・高圧近接作業

測定はほとんどの場合、充電中の高圧絶縁電線（KIP線）への近接作業になります。絶縁電線であるので、触れても感電しないとの考えは危険な間違いです。シールドが接地された部分のケーブルの外皮（シース）に触れても電撃は受けませんが、シールドが無い端末部及び KIP 線は、絶縁被覆表面での対地絶縁は空気と絶縁サポート等により維持されています。外装表面には静電容量により分圧された高電圧が出ています。右図は特別高圧

用の 20000V 検電器を 1500V 感度としての検電での作動状況です。触れると電撃（意識がなくなる程度）を受けます。絶縁効果で通電電流が少なく、重大な後遺症が少ないことが絶縁の効果です。電撃事故発生時の GR 動作もないようです。ショックで近くの露出充電部に触れる、重大な感電地絡災害の誘引となります。

※　安全衛生則 342 条は危険作業である高圧部近接作業の全てを「禁止」しているものではありません。作業者が十分な安全教育（何が危険かの知識）を受け、高圧専用の器具、保護具を使用して、安全な作業とすることを事業者に、労働者（労働基準法に基づく）はその指示に従うことを義務付けています。労働者に対する直接の罰則は規定されていません。労働安全衛生法の目的は「禁止」ではなく、「安全」な作業とするための対策を示すものです。労働安全衛生法が、禁止事項を定める労働基準法から分離独立した理由の一つです。

特に、自営である電気管理技術者は、生じる恐れがある感電危険範囲について、自主的に十分な知識を持つことが必要です。

④　測定値検討例

38sq、概 50m の CVT ケーブルでの、運用中のシールド電流測定例を、耐圧試験結果との比較で示します。計算値と実測値が極めてよく合う例です。

測定値　R 相 14mA、S 相 16mA、T 相 15mA、一括 1mA

このケーブルの耐圧試験では、3 相一括 10350V での全電流　133mA でした。

運用時の対地電圧を 3810V と考えると、1 相当たりの電流は

133×3810/10350×1/3　≒　16mA

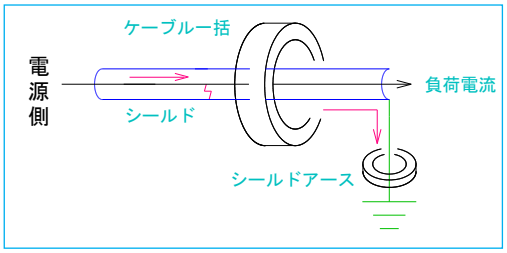
耐圧試験及び運用中ともに静電容量による電流と考えれば、納得できる値になります。三相個別のシールド電流は、もっと大きな差がある場合があります。負荷電流による芯線とシールド間の電磁誘導の影響があると考えています。

シールド電流は天候でも変動します。私の測定例では、60sq、地中部無し、概 50m、一括測定で晴れ 4mA、雨天時 13mA があります。絶縁測定では、晴れで 30G、雨天時は 0.03G と大きく変動しています。屋外部（端末部等）に何らかの不具合があると考えています。屋外端末部のテーピング劣化、垂直でない陣笠部の濡れにより生じることがあるのではと考えています。

事故発生前から継続して測定し、測定箇所および経時的な変化状況を把握しておくことが効果的です。

⑤　ケーブル三相一括測定

高圧CVケーブルを外装から、低圧用大型リーククランプを使用して三相一括測定します。測定箇所から負荷側（キュービクルなど）に向かっての負荷電流と、電源から測定箇所までに生じたシールドアース電流が三相一括されて測定されます。負荷電流とシールド電流それぞれの零相成分電流（Io）の合計値になります。3-1 節の Z1-Z2 電圧と同様に、キュービクル等を含む高圧部全体の絶縁値の推定ができます。負荷電流により生じる Io 成分は、ケーブルシールドが負荷電流により発生する磁界に対するシールド効果が無いため測定できると考えています。シールドアース線の三相一括電流が少ない場合は、測定点以降の負荷電流 Io が推定できます。キャパシタンス電流のみの場合はベクトル的に、三相の合成値はほぼゼロになります。



測定はケーブル端末から、できるだけ離れた部分で、シース外装に接触させた低圧検電器が動作しない（シールドが健全である）ことを確認して行います（自己責任）。測定例はキュービクル引込部で一括測定している例です。クランプ取付け前に、周辺部を目視観察し、ケーブル端末・コンデンサ KIP 電線等の高圧充電部の再確認を行います。近づく恐れがある場合は、高圧保護手袋等を着用します。測定中に頭部をキュービクル内に入れて指示値を読むのではなく、測定時にクランプメータを指示 HOLD 位置として、キュービクル内から取り出して数値を読みます。停電点検時等に、受電時の測定を考えて、配置を調整しておくと安全です。

高圧ケーブル 1 相毎の、負荷電流、ケーブルシールド接地線（CV 漏れ）電流の測定を行うと、受電設備運用状態の理解に役立ちます。負荷電流測定値は、CB 型の受電盤電流計よりも正確であると考えています。電流の測定は、KIP 線を高圧用クランプ使用しても可能です。1 相のシールド接地線電流は、1 号柱が直近の場合は、数mA 程度です。設備容量等により数値的に求められる基準値はありません。経年変化を見ることを目的とします。

38sq、約 60mの CVT ケーブルでの測定例を示します。ケーブル外装の 3 相一括が 5.6mA、荷電流 7.6A、シールド接地線 1 相で 25mA 、3 相一括 3.1mA です。3-1 節の SOG 入力電圧と併せての、通常から測定記録あれば、何らかの異常があったと疑われる場合の、状況検討に役立ちます。

top へ