

## 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、測定方法の等価回路による考え方、測定値の評価、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。

(2023/2/15)

### 1. 絶縁測定の方法

#### 1-1 G 端子の由来

#### 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    ② E-G 切替スイッチ    ③ 接続状態での相別測定 (new)

#### 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 (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 (地絡) 電流測定

- ① ケーブル構造とシールド電流    ② ケーブル地絡保護への適用  
③ 運用時の測定方法 (測定時の安全)    ④ 測定値の検討例    ⑤ ケーブル一三相括測定

## 1. 絶縁測定の方法

[top](#) <

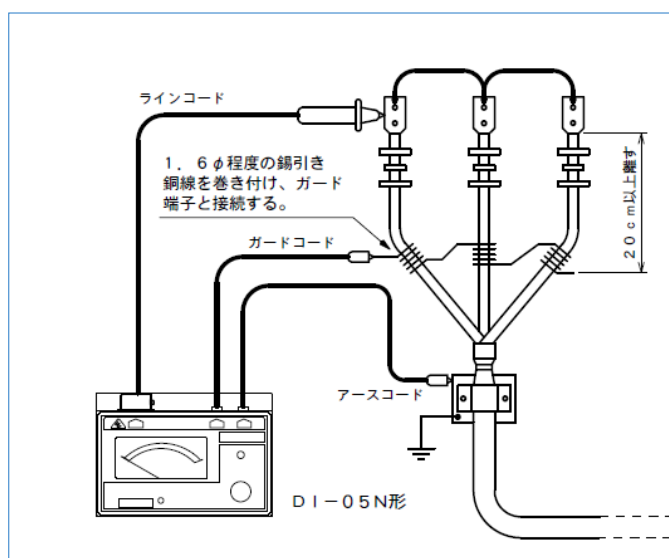
### 1-1. G 端子の由来

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付けられます。以降の記述では、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ーでも同じです。



※ 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 ( $R_c$ ) が正常であっても、端末部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。

### 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。接続されている機器がある場合は、機器を含む対地絶縁抵抗を測定する、低圧同様の方法です。以降、E 端子法と略記します。

前項の図はガード電極を使用した場合の E 端子法結線です。現在、ガード電極使用での測定を行うことはほとんどありません。ケーブル端末加工はプレハブ式となって安定し、市販のクリーナで、キュービクル内部端末部では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おそれが多い、1 号柱の端末部での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。G 端子は次項の、正しく作られた末端を持つ 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 ( $R_c$ ) と高圧機器の絶縁抵抗 ( $R_n$ ) 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。G (ギガ)  $\Omega$  での測定になるため、 $0.1M\Omega$  での良否を判断する低圧よりも影響が大きくなります。ケーブル末端ができていない (段切り) の状態では、段切り部の抵抗が影響します。

#### ※ 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絶縁低下は、各部のコンパウンドを含まないクリーナ使用の吹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、シリコンを含む水クリーナが安全・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吹き上げることで、 $1M\Omega$  が  $10M\Omega$  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  $1G\Omega$  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 線サポート部も清掃点検の効果が大きい部分です。手前がクリート、奥がレジン碍子です。サポートの使用個数が多い場合は  $100M\Omega$  以下が複数個所あると、全体が  $10M\Omega$  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。



クリートでは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。三相一括クリートでは、特に効果があります。まず、やってみる対策です。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。押さえをはずすことができれば、完全に外し、テーピングをして再取り付けすると効果的です。

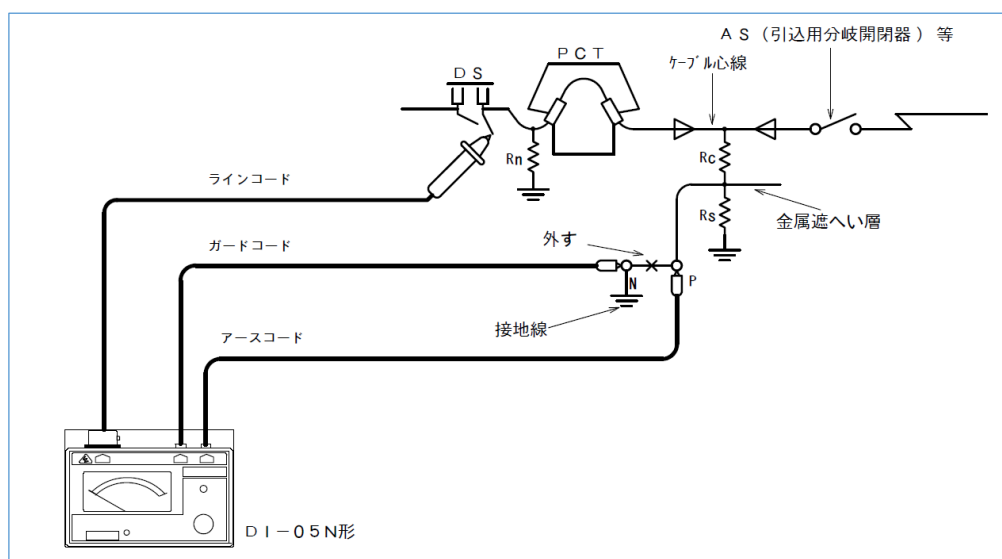
劣化は 1 号柱での高所末端処理部にも生じていると考えられますが、通常は点検不能です。対応できる範囲での清掃になります。

### 1-3 G 端子接地測定法 (G 端子法)

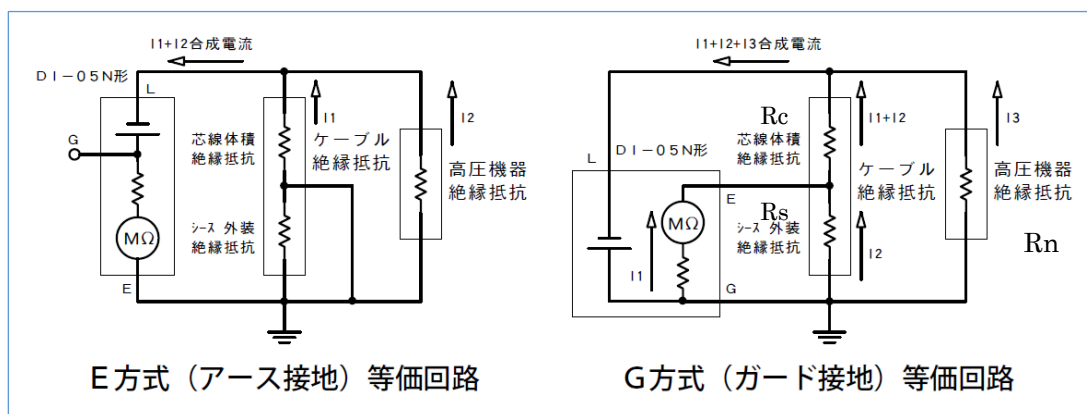
#### ① 測定回路

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、構造上の特徴を利用した測定です。芯線とアース間絶縁を、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をご参照ください。

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、アース (E) コードを解線したシールドに接続して測定します。心線とシールド間の絶縁抵抗 ( $R_c$ ) を、シースの対地絶縁抵抗 ( $R_s$ ) が大きいことを利用して、芯線と対地間に接続された高圧機器の対地絶縁抵抗 ( $R_n$ ) の影響を除外する測定法です。以下、G 端子法と略記します。DI-05 取説の図で示します。ケーブルシールドの接地線を解線し、E コードをシールドに取り付け、G コードをキュービクル



等の接地極に取り付けます。E 端子法 (E 方式) と G 端子法 (G 方式) の測定回路が、それぞれ、下記のように説明されています。



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を解線し 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  $R_s$  は

測定部 ( $M\Omega$ ) の内部抵抗と並列となる。

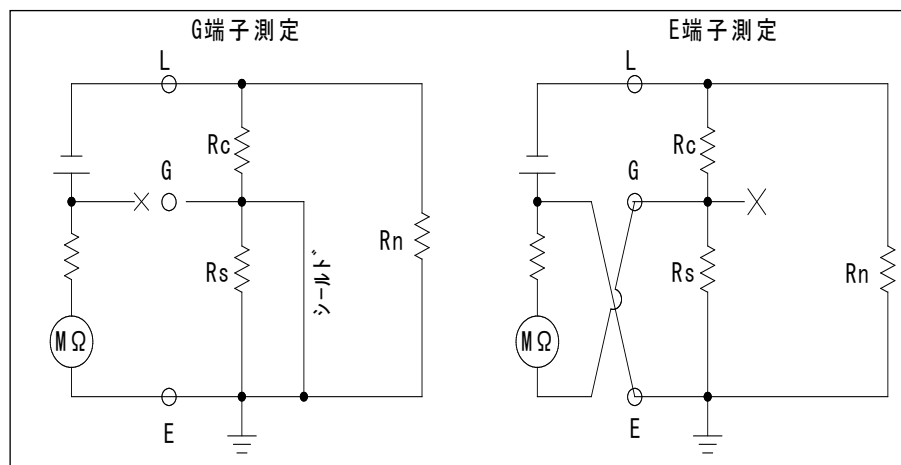
- ・ E 端子から  $R_c$  への電流  $I_1$  が流れる。
- ・ 高圧機器筐体は接地されているため、高圧機器の対地絶縁  $R_n$  による電流  $I_3$  は直流電源から直接に流れ、測定部 ( $M\Omega$ ) には流れない。
- ・  $R_s$  には電流  $I_2$  が流れる。
- ・  $R_c$  には  $I_1+I_2$  が流れる。 $R_s$  が測定部内部抵抗より十分に大きければ、 $I_1 \gg I_2$  となる。
- ・  $R_c$  に流れる電流は、 $I_1$  で近似でき、測定部 ( $M\Omega$ ) で  $R_c$  が読み取れる。

DI-05、06、11 では測定部の内部抵抗が  $10k\Omega$  であるため、シースの対地絶縁抵抗 ( $R_s$ ) が  $1M\Omega$  以上あれば、実用上は満足する測定となることも説明されています。他メーカーの機種では内部抵抗  $40k\Omega$  の場合もありますが、 $R_s > 1M\Omega$  の条件は同じとされています。

※ シース（機械的保護層）の健全性を管理するためには、G 端子取り付け前に低圧メガ（ $500V$  レンジ）で対アース間（シース）抵抗  $R_s$  を測定し数値管理すると、シースの傷発生等の劣化が分かることがあります。シース損傷で  $R_s$  がゼロでも、シールドは接地されているので、短期的には運用継続可能です。長期的には、ケーブル内部に浸水し、重大欠陥である水トリーの原因になります。水トリーは発生しても進展（貫通）するまでは CV の絶縁抵抗  $R_c$  の絶縁抵抗値では検出は困難です。簡易な検出例を 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）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。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、スイッチ切替えて G 端子法を行うことができます。取説には切替回路の記載がありませんが、測定器内部で E と G を振り替えていると考えられます。私が推測した切替回路を示します。



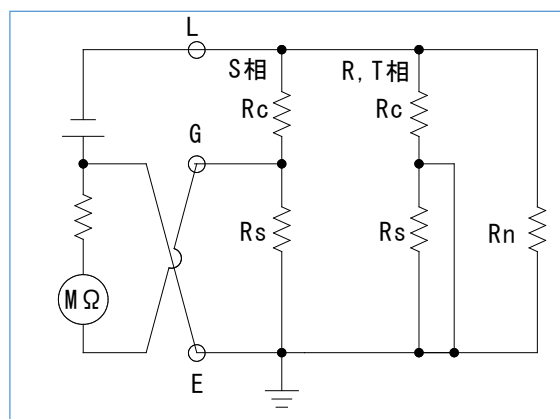
測定前にシールドアースを解線し、E と G のコードを取り付けておき、E/G 切替スイッチで E

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端子法を行います。

### 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の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測定用の結線にする（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CVの絶縁抵抗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）

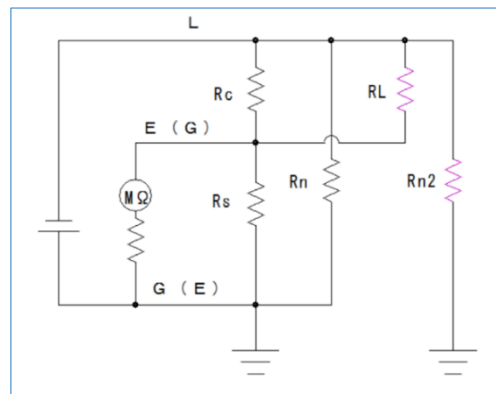
- ・測定結果例

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以下であった例を示します。G端子法が、わずかですが大きいことより、若干の効果はあると考えられます。測定電圧が高くなると、E端子法との差が小さくなっています。

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

・誤差要因

G 端子法は、想定した等価回路で、ケーブルに並列接続された高圧機器の  $R_n$  の影響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。



$R_L$  は、ケーブル末端（特に一号柱高所）の劣化による芯線とシールド間の沿面抵抗です。末端処理部の劣化により、微小の沿面電流を生じると考えられます。 $R_L$  はケーブル  $R_c$  と並列として作用するため、 $R_c$  に対して無視できない状態となると分離できず、

ケーブル絶縁の低下として検出されます。 $R_L$  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、天候により、G 端子法測定値が  $0.3G$  (雨天)  $\Leftrightarrow 5G$  以上 (晴天) と大きく変動する例もあります。

$R_{n2}$  は接地極が共通ではない高圧機器（アレスタ、VCT 等）です。 $R_n$  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 E 端子法よりも測定誤差要因が多い測定法と考えられます。G 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 端子法では判断困難として、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）

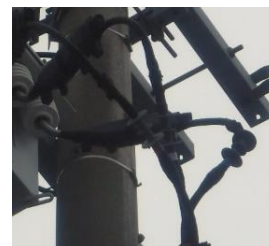
G 端子法では、 $10G\Omega$  以上で、指示値が大きく振れる場合があります。 $R_n$  が除外されるため、雨天などでの末端の沿面放電抵抗  $R_L$  の変動は E 端子法以上に影響すること、E 端子法では影響しないシース抵抗  $R_s$  が重要な要因となるため、ケーブル外装劣化と大地水分などで  $R_s$  が不安定となること等が要因であると考えられます。G 端子法測定値が大きい（電圧印荷時の電流が小さい）場合に、値の振れも大きくなると考えています。稀には、G 端子法測定値が E 端子測定値よりも小さい事例もあります。

※ 九州では取引用 VCT が 1 号柱の屋外高所取付けです。通常では点検清掃ができないケーブル末端、接続部、絶縁電線等の部分が多くなっています。1 号柱高圧ケーブル末端は高所で、直射日光と風雨にさらされています。ケーブル更新時に確認すると、末端本体（陣笠等）の硬化、テーピングの劣化・剥離、著しい場合は右図のようにボルコン突起部と考えられる金属部のテーピングからの露出もあります。雨天時等には末端部での沿面放電の原因（ $R_L$  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。



VCT 接続で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の考えで、端末加工部が大きく曲げられ、陣笠部も大きく傾いて両面ともに雨濡れしている場合等も、端末の能力が低下している恐れがあります。PAS 付属の避雷器の汚損も同様です。

端末劣化はキュービクル内部への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](#)

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

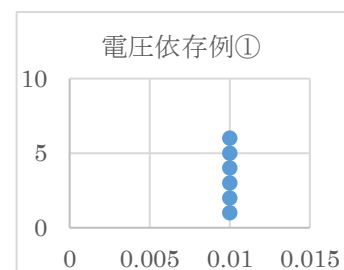
メガの試験電圧(kV)を変化させ、それぞれの電圧での対地絶縁値(GΩ)を測定します。縦軸を kV、横軸を GΩ としてグラフ化し、印荷電圧によるメガ値の変動を確認します。対地電圧の通常での波高値である DC6kV までの測定を行うことで、1 線地絡時の対地電圧波高値である DC10kV での健全性を推測します。DC10kV を実際に印加すると、ケーブルによっては、絶縁性能を急速に劣化させる場合があります。絶縁診断は対象物を劣化させないことが前提です。

※ 線間電圧 AC6600V での対地電圧は、通常は AC3810V ですが、1 線完全地絡時は線間電圧の AC6600V が対地電圧になります。それぞれの波高値は $\sqrt{2}$  倍となるため、通常 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）

印過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、同様の絶縁が保たれると考えられます。

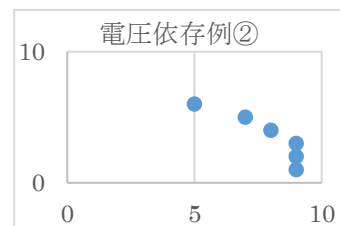
近隣で高圧配電系統の 1 線地絡事故が生じてても耐えうると想定でき、継続使用可能と考えられます。ケーブル付属部等の絶縁低下と考えられますが、原因の特定はできないため、経過観察が必要です。



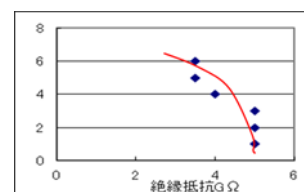


### ③ 依存性がある場合（例②）

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（対地電圧が 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。



※ 上記の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、測定時が違うだけでも、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（例えば 3kV と 6kV）を使用して測定していました。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 で電圧依存例①では 1、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、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 測定は、変曲点を通過した後であるので、確認ができにくくなります。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

シース損傷、端末テーピング部不良等でケーブル内部に浸水があると、絶縁体である CV に、危険な欠陥である水トリー発生の恐れがあります。水トリーが生じている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られます。

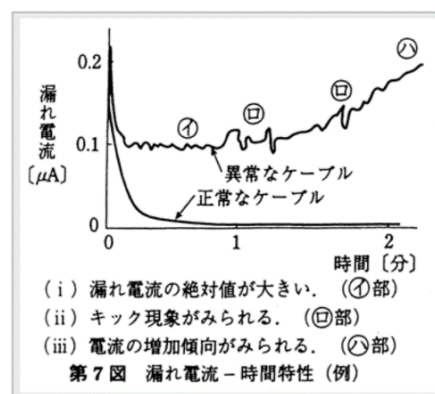
CV 部の水トリ－発生を、E 端子法で一定の試験電圧を連続して印加して、漏れ（充電）電流の変動により推測します。G 端子法でも可能とは思いますが、実施した経験はありません。

正常なケーブルと水トリ－の発生がある（異常な）ケーブルでは、漏れ電流特性は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 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。

記録計出力端子がある高圧メガ（DI-11 等）では、漏れ電流の特性線図を作成することができます。メーカー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。

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。

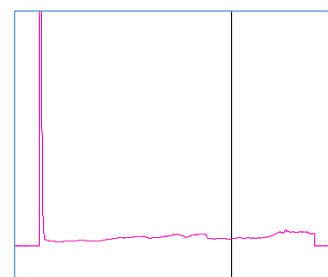
※ 使用ロガーは T&D 社の MCR-4V です。現在使用中の設定は、記録間隔 10msec、電圧レンジ 6V です。4 チャンネルですが 1 チャンネルのみの使用です。起動停止、ディスプレイの切替等、通常から、操作に慣れておく必要があります。



## ② 異常ケーブルの記録例

試験電圧 5kV 三相一括の試験で水トリ－現象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。

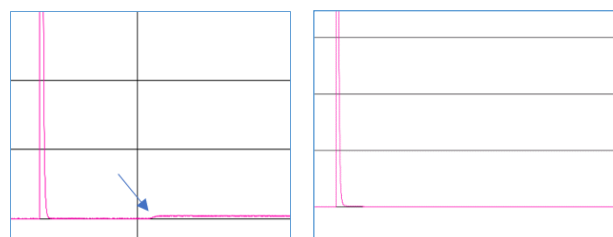
このケーブルは絶縁抵抗が晴天時に 1kV、3kV、6kV で 15MΩ と低めでしたが、電圧依存性はなく、2-3 節の印加可能電圧も 5kV 以上で正常であったため、復電を行いました。復電後のケーブルシルド一括電流も正常でしたが、直後の夜間に、SOG の G 動作でトリップしました。トリップ後の絶縁測定では三相一括 1kV-10MΩ 以上でした。再投入を試みたい絶縁値ですが、水トリ－現象が明らかであったため、復電を中止しました。水トリ－故障は不安定な「橋絡」現象であり、事故後には一定の絶縁回復がある、しかしながら、復電すると短時間後に故障状態が再発すると考えています。



ケーブル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、劣化したと考えられます。シースの損傷は高温物の接触、飛来物等で生じる重大な事故要因です。末端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。



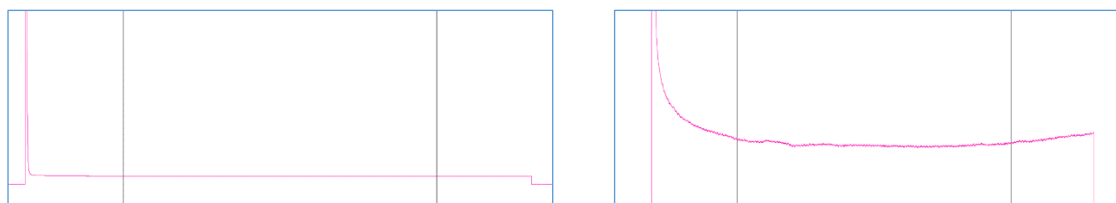
上例のように明らかな特性が現れることはほとんどありません。図左に前節②の電圧依存性があるケーブルで、試験電圧 3kV で生じた変動を示します。わずかな変動ですが、電圧依存性と併せて、絶縁に何らかの異常が生じていると考えられます。このケーブルでの事故は生じていません（事業所都合で受電設備運用停止）。



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

データログ 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、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となります。

使用中ケーブルで水トリーの発生へ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（直前に行く健全性・事故時復電の判断）

### ① 概要

印過電圧表示のあるメガを使用して、E 端子法試験で（印荷）電圧がどれくらいまで安定にかかるかを、通常は一括メガの状態で行います。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。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）

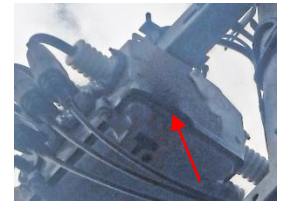
可変電圧メガでは、絶縁抵抗測定時の出力（測定対象に印加されている）電圧が表示されます。ムサシ DI-11 では、図の表示窓の測定時の指示値が出力電圧です。測定開始と同時に、表示値は設定値から、若干、又は大きく下がります。図は雨天での長時間停電後の、一括メガ状態での測定例です。E 端子法で電圧設定は 6kV、絶縁抵抗指示値は 0.01G です。電圧表示が 5.95kV（常用対地電圧の波高値以上）で安定していたため、雨天（高湿度）による影響（全体的な低下？）と判断し、受電しました。停電中に、キュービクル側ケーブル端末、LBS 等の清掃は実施していたので、若干の絶縁回復があっていた可能性はあります。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。

※ 出力電圧値はケーブル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  $15\text{M}\Omega$  でしたが、 $1.35\text{kV}$  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点検をおこないました。一号柱 VCT 切り分け時に、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  $10\text{G}\Omega$  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、気づきにくい現象です。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。配電変電所での再送電時には 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  $15\text{M}\Omega$  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。



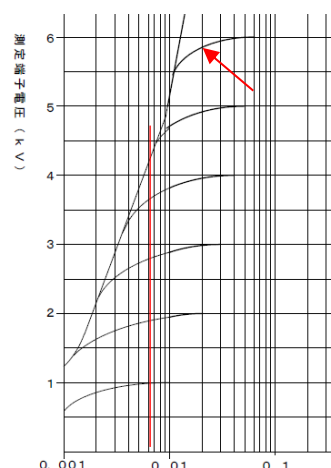
10 年未満経過の PAS での、製作不完全・パッキン変形による内部湿潤故障例が、「電気技術者協会誌 2023 年 2 月号」にも取り上げられています。同様の不良であったと考えられます。

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  $1.5\text{kV}$  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  $2.5\text{kV}$  までかかるまで回復し、順次の受電が成功した例があります。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、異常が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 本体の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 が生きていれば、絶縁不良状態である場合は 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での別電源で確保します。

### 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  $0.003\text{G}\Omega$  ( $3\text{M}\Omega$ ) であると、 $6\text{kV}$  に設定して試験すると  $2.8\text{kV}$  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  $6\text{kV}$ 、 $0.02\text{G}\Omega$ （次項の有効範囲以下）での試験電圧  $5.95\text{kV}$  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  $5.9\text{kV}$  としても測定対象の絶縁抵抗は  $0.02\text{G}$  以上であり、ケーブル単体での安全判定値（ $6\text{kV}$  で  $0.006\text{G}$  以上、漏れ電流  $1\text{mA}$  以下）は満足していることが、特性図から判断できます。 $0.006\text{G}$  では、 $5\text{kV}$  以上の設定の場合、試験電圧が概  $4.2\text{kV}$  になるも分かります。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の、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。吸湿などによる水トリートが発生しても、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  $10\text{M}\Omega$  以上です。停電後も絶縁はゼロではない（停電で回復する？）場合があります、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よる時に、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、メーカーが保証する有効測定範囲が有ります。取説では、DI-11 の  $6\text{kV}$  測定での有効範囲の下限は  $0.06\text{G}$  ( $5\text{kV}$  では  $0.05\text{G}$ ) です。例としての  $0.02\text{G}$  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。

高圧電圧で測定を行うメガには、有効範囲の下限が  $1\text{M}$  ( $0.01\text{G}$ ) である単圧メガ DI-05/06 等、他のメーカー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、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  $1\text{kV}$  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）

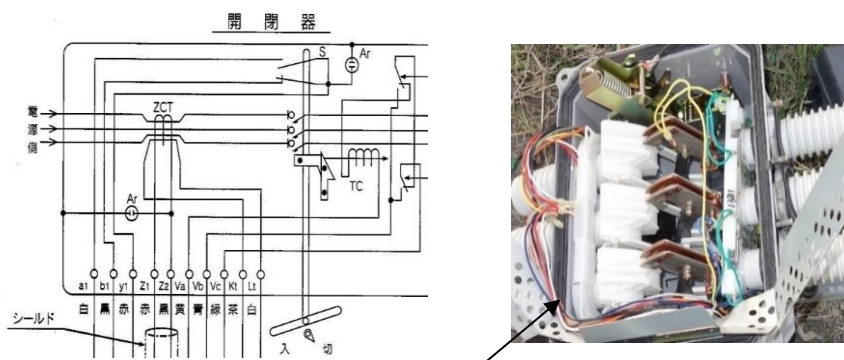
[topへ](#)

雨天時等で絶縁値の指示が低い状態で、前節①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。豪雨時等の原因不明での緊急復電した後の、簡易的な高圧活線絶縁診断としても応用しています。

### 3-1 SOG 入力電圧測定 (Z1-Z2 電圧・高圧部全体)

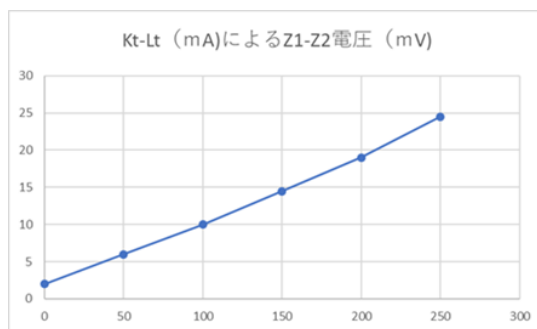
E 端子法と同様に、高圧部全体の絶縁を推測する方法です。PAS 内部には、低圧用 ELB の漏電検出用 ZCT と同様の、高圧三相一括の測定を行う ZCT があり、地絡電流による生じる  $I_o$  成分を測定しています。下図・左は PAS 内部の結線図です。下図・右は分解状態の内部です。矢印部が三相が貫通する ZCT です。内部地絡を含めて保護するため、スイッチ部より電源側にあります (ELB は負荷側)。



$I_o$  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  $I_o$  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。

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

右図は Z1-Z2 電圧が 0mV でなかった (浮いていた) 測定例です。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。低圧の絶縁監視装置と同様のものとして、Z1-Z2 電圧の連続監視を付帯し、高圧絶縁監視機能付き SOG として販売しているメーカーがあります。



方向性 SOG を持つ PAS では、地絡による零相電圧 ( $V_o$ ) 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、 $I_o$  同様に測定して、 $V_o$  を推測することができます。 $V_o$  は配電線の捻架状態で発生するため、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ー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<sub>1</sub>-Z<sub>2</sub>間電圧

地絡電流	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub> 間電圧
0.2A	20±2mV
0.4A	40±4mV

表 8 零相電圧と Y<sub>1</sub>-Z<sub>2</sub>間電圧

零相電圧	Y <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub> 間電圧
190V (5%)	60±15mV
381V (10%)	120±30mV

端子間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ーにより異なり、PAS 取説に記載されています。測定には AC の mV レンジを持つテスタを使用すれば安全です。

### 3-2 ケーブルの対地（地絡）電流測定（ケーブル単体）

#### 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、絶縁電線との最大の違いである、5 の金属（銅・アルミ等）遮蔽層であるシールドがあります。

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。

6 はシースで、電気的絶縁ではなく、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。

シールドはケーブル端末処理部で引き出されます。接地されることで、シールドは大地電位と同じになります。芯線 1 の電圧は、芯線とシールド間に負担されます。電圧による対地電流（抵抗分及び容量分）はシールド 5 に流れます。最外周のシース 6 は大地と同電位であるシールドと大地間のため、シールド接地が正常であれば、シース層での対地電流は発生しません。シールドアース線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。シース表面には誘導による電圧も発生しないため、ケーブル外部に触れても感電しません。絶縁電線との大きな違いです。

片端接地の高圧ケーブルでは、シールドアース線の電流を測定することで、絶縁体（CV）に

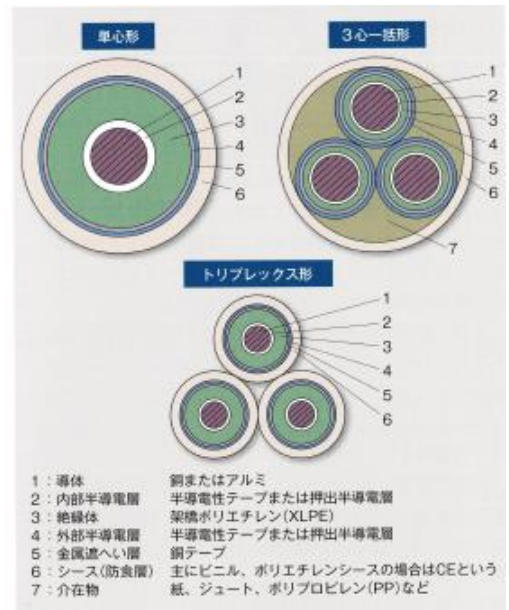


図 1 高圧 CV ケーブルの構造例<sup>2)</sup>



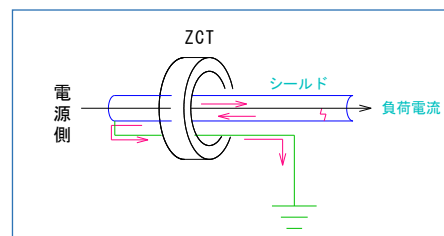
生じる対地電流の値により、劣化状態を推測することができます。一相ごとのシールドアース線電流は、CV 絶縁が健全であっても、常時 mA 単位の電流が流れています。芯線とシールド間の静電容量による  $I_c$  によると考えられ、ケーブルのサイズ、長さ等により異なります。アース線を三相一括での測定を行うと、各相の  $I_c$  がベクトル的に合成されることでキャンセルされ、抵抗分による地絡電流成分となります。ケーブルシースの外側からの、ケーブル一体での測定では、負荷電流とシールド電流が測定されます。

シールドと対地間であるシース絶縁抵抗が  $1M\Omega$  以上であることは、G 端子法での絶縁測定条件です。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。対地絶縁抵抗を通常のメガで測定し、経年変化を見ると、シースの劣化判断ができます。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、絶縁層の吸水劣化の原因となります。

※ 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は電圧を印加すると、印荷電圧はシースの対地浮遊容量でも分圧されます。運用時とは異なり、絶縁体には全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。端末が作成され、シールド線が接地されて完成した（耐圧試験目的の）ケーブルとなります。

## ② ケーブル地絡保護への適用（地絡検出用 ZCT 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。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。芯線とシールドの地絡電流 ZCT では逆方向となり、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。シールドアース線を引き戻さずに接地すると、ケーブルを含まない、地絡電流が芯線のみを流れる負荷設備（第二キュービクル等）の地絡保護となります。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。



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 からの受電ケーブルでは地絡電流は芯線又はシールド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。受電キュービクルに ZCT、第 2 キュービクルでシールドアースを行う場合も同様です。

### ③ 運用時の測定方法

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。誘導と考えられる指示が表示されることがある場合は、クランプ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。相別の測定を行うと、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、接地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。経時変動の把握が、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A種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等で、接地端子への取付けが緩むと、接触部から火花と放電音が発生します。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特徴的な測定誤差を考えて、同じ測定点での経時変動を見る必要があります。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。シールド対地抵抗測定と併せての管理で、より有効になります。



#### ※ 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です。シールドが接地されたケーブルの外皮（シース）に触れても電撃は受けません。シールドが無い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ます。外装表面には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、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。

#### ④ 測定値の検討例

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

$$133 \times 3810 / 10350 \times 1/3 \approx 16\text{mA}$$

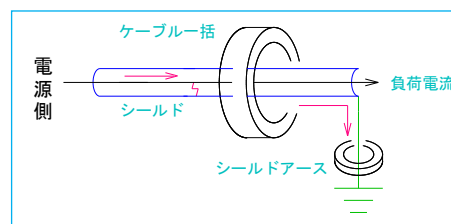
耐圧試験及び運用中ともに静電容量による電流と考えれば、納得できる値になります。三相個別のシールド電流は、もっと大きな差がある場合があります。負荷電流による芯線とシールド間の電磁誘導の影響があると考えています。

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 ケーブルを大型リークランプで三相一括測定することで、3-1 節の Z1-Z2 電圧と同様に、キュービクル等の高圧部全体の絶縁値の推定を行います。シース外体（芯線とシールドを含む）では、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の電流が併せて測定され



ます。リーククランプによる三相一括測定で、負荷電流とシールド電流それぞれの零相成分電流（ $I_o$ ）の合計値になります。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  $I_o$  が推定できます。

測定はケーブル端末から、できるだけ離れた部分で、シース外装で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。大型リーククランプを使用して、三相を一括して測定します。安全のために、測定中に指示値を読むのではなく、指示値 HOLD 位置として、キュービクル内からリーククランプを取り出して読みます。

一般的には数mA 程度の測定値が得られますが、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。継続的に測定し、変動を把握します。



[top](#) 