

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

避雷器の劣化予兆を捉える

変電所の電力設備や電車線路に雷などの異常な高電圧が侵入することを防ぐための装置として、「避雷器」があります。これは密閉された静止機器であるため、劣化の予兆を外部から観察することができません。そこで、劣化予兆を電気的特性の変化から知る必要があります。



森本 大観
Hiroaki Morimoto
電力技術研究部
き電研究室
副主任研究員
【専門分野】 き電回路一般

避雷器とは

変電所などから需要地点まで延びる架線や配電線は、当然ながら屋外に設置されており、そのほとんどは電化柱などで支持されて高所に張られています。屋外の高い場所に電線路が敷設されている場合には、そこに雷が落ちる可能性があります。雷を受けた電線には、通常の使用状態に比べると比較にならないほど高い電圧が発生し、接続されている機器を壊してしまうことがあります。そこで、雷の高い電圧を大地に逃がす「避雷器」を設けて、雷から機器を守ります。

実際には、避雷器を置く目的がもう一つあります。スイッチ（開閉器）を入切するときには、スイッチの内部で火花が発生します。この電気火花は、電気接点の間の短い距離を飛ぶ小さな雷と見なすこともできます。高い電圧を扱う電力分野の開閉器において、この電気火花の電圧が無視できないほど高くなる場合があります。これを開閉サージ（☞参照）と呼んでいます。通常、電力設備は開閉サージに耐えるように設計・製作されますが、むやみに耐力を上げると非常に大型で高価なものに

なってしまうため、高い電圧の機器では開閉サージを避雷器で吸収するようにして総合的に経済性を確保しています。当然ながら、避雷器は使用期間を通じて開閉サージで劣化しないように設計されています。

避雷器の構造

避雷器は雷や開閉サージといった異常電圧だけを大地に逃がすべきものであり、通常正常な範囲の電圧まで大地に逃がしてしまっては困ります。そこで、通常の使用状態の電圧では絶縁体と同じように電流を流さず、高い電圧のときだけ電流を流すという機能が求められます。このような性質を「非直線抵抗特性」と呼びます。

現在用いられている電力用避雷器のほとんどは「酸化亜鉛形ギャップレス

☞ 開閉サージ

スイッチの入切に伴って電気回路に突然の変化が発生したとき、電荷（あるまとまった数の電子の集まり）が電線中を光速に近い速度で玉突き的に移動して生じる進行波。物理現象として同一ではないが水撃作用（ウォーターハンマー）に類似する現象。

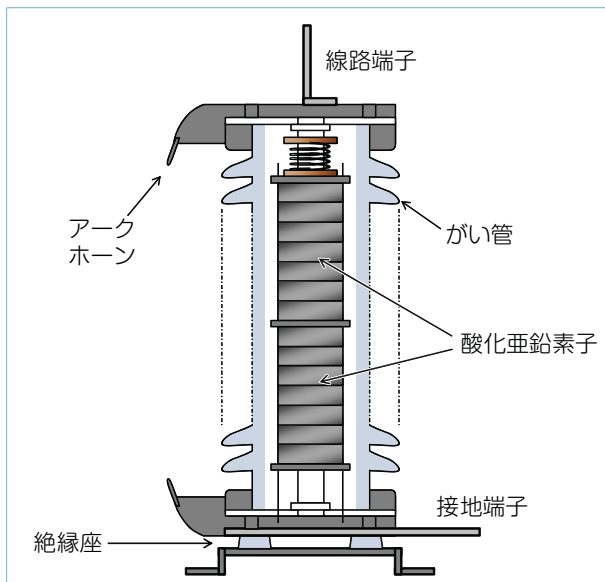


図1 酸化亜鉛形ギャップレス避雷器の構造

避雷器」という形式のものです。これは図1のように、「酸化亜鉛素子」(※参照)を絶縁のためのがい管(碍管)に気密収納した構造となっています。酸化亜鉛素子は世界に誇る日本生まれの技術で、きわめて優れた非直線抵抗特性を示します¹⁾。

以下ではこの酸化亜鉛形ギャップレス避雷器のうち、新幹線変電所に設置されているき電用避雷器(図2)に絞って話を進めます。

避雷器の劣化

避雷器が劣化する原因は様々ですが、次の二つが多くを占めると考えられています。

①設置環境に起因する劣化

避雷器は屋外に設置されている場合が多く、直射日光や温度変化、降水な

※ 酸化亜鉛素子

酸化亜鉛(ZnO)を主成分とする金属酸化物粉末の混合物を焼き固めた焼結体。金属酸化物の結晶接触界面に生じる半導体作用により、低い電圧では電流がほとんど流れず、高い電圧では急激に電流が流れ易くなる性質(非直線抵抗特性)を有します。

どに晒されます。部材の腐食や経年劣化によってがい管の気密が損なわれると、水分や腐食性気体が侵入して内部の酸化亜鉛素子を劣化させ、破損に至ると考えられています。

②電氣的劣化

避雷器内部の酸化亜鉛素子が雷のエネルギーを吸収すると、素子の電氣特性が初期状態から若干変化します。特性変化が極端に進行すると、通常の使用範囲の電圧でも漏れ電流が流れるようになってしまいます。この特性劣化は非可逆であり、酸化亜鉛素子が吸収したエネルギーの累積量に関係すると言われてはいますが、劣化プロセスは明らかになっていません。

現状の避雷器の劣化管理方法とその問題点

酸化亜鉛避雷器は密閉構造で可動部分もないため、錆やがい管損傷などの明らかな不良を除いて、外観から劣化を判断することは不可能です。このため、避雷器の劣化を知るためには電氣的な特性の変化を捉える必要があります。

しかし、避雷器の状態をリアルタイ



図2 新幹線き電用避雷器

ムで監視する装置は現在設けられていません。このため、避雷器が劣化していく過程の諸現象を知ることができず、破損した避雷器が電氣的にショート状態となって変電所がき電停止となり、現地点検でようやく避雷器破損が発見されるに留まっています。

現在、現場では次の二つの方法で避雷器の劣化管理をしています。

①カウンターおよび放電電流記録装置の取付

新幹線き電用避雷器には、避雷器の接地線に放電回数を数えるカウンターや磁性体(磁鋼片)あるいは金属箔を用いた放電電流記録装置が併設されており、雷電流の通過回数と電流を積算して規定限度に達したら避雷器を寿命とみなして交換しています。

ただし、避雷器が接続される回線の条件とカウンターの組み合わせによっては、避雷器の寿命に影響しない程度の開閉サージを頻繁に計数してしまう

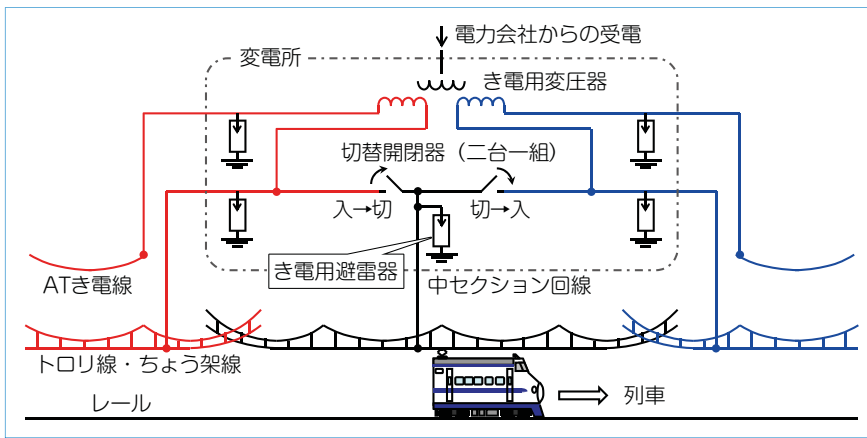


図3 新幹線変電所の概略構成とき電用避雷器の配置

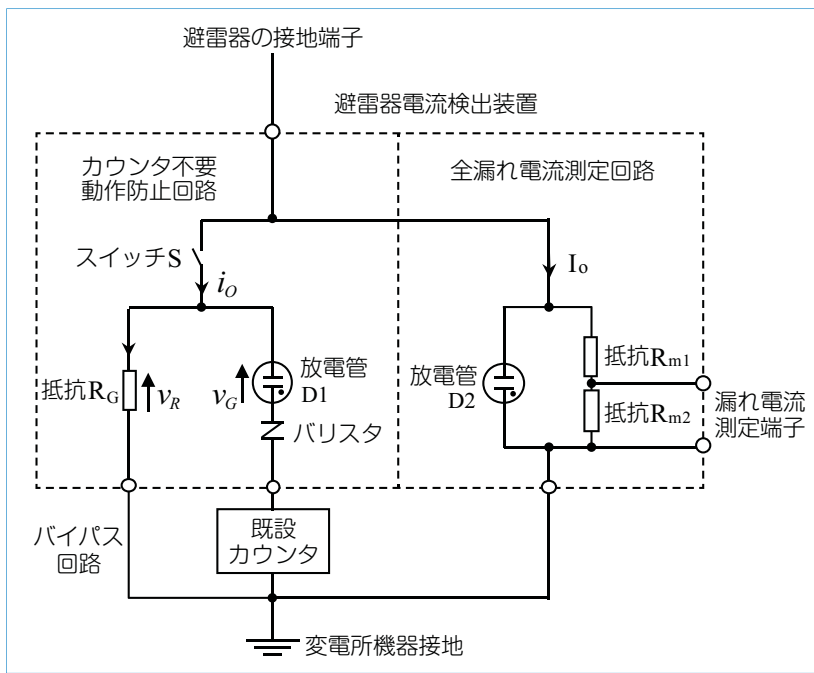


図4 避雷器電流検出装置の構成

場合があります。この現象は、新幹線の変電所およびき電区分所に付帯する切替セクション(図3)の、中セクション回線に接続された避雷器で特に顕著であることが知られています。この場合、カウンターの計数值から本当の雷の回数を知ることができず、現場での保守管理を難しくしています。

②全漏れ電流測定

通常使用状態において避雷器に流れる漏れ電流を測定します。具体的には、避雷器の接地端子を変電所の機器接地に接続している電線に、クランプ式電

流センサを取り付けて電流値を記録します。避雷器の漏れ電流の全成分を一括して測定することから、「全漏れ電流測定」と呼ばれています。

この方法は一見確実に見えますが、測定結果が避雷器にかかっている電圧の変化に直接影響されるほか、後述するように避雷器の漏れ電流には特性劣化に関係しない成分が多く含まれているため、特性劣化にかかわる電流成分の変化を認識することは困難です。

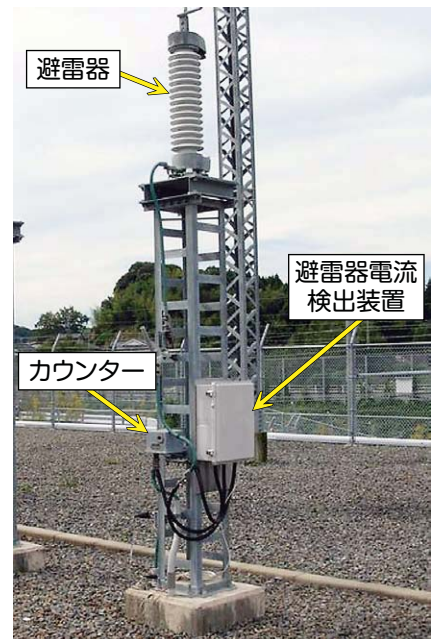


図5 避雷器電流検出装置の長期仮設試験

避雷器電流検出装置の試作

鉄道総研では、避雷器のカウンターの動作を適正化するとともに、正確な避雷器漏れ電流波形の測定を可能とする装置を考案・試作しました(図4)²⁾。

この装置は、避雷器の寿命に影響しない程度の開閉サージを変電所機器接地へ逃がしてカウンターに流さないようにするバイパス回路と、避雷器漏れ電流を安全に測定するための分路抵抗で構成されており、避雷器とカウンターの間に追加設置することを想定しています。

試作した避雷器電流検出装置を新幹線変電所に仮設した様子を図5に示します。従来は開閉サージで毎月2回程度動作していたカウンターが、試作装置を仮設した4ヶ月間では1回も動作しませんでした。

一方、実験室内で試作装置に様々な模擬雷電流を通電する実験を行い、避雷器の寿命に影響するレベルの大きな雷電流に対しては、カウンターが従来どおりの計数を行うことを確認しています。

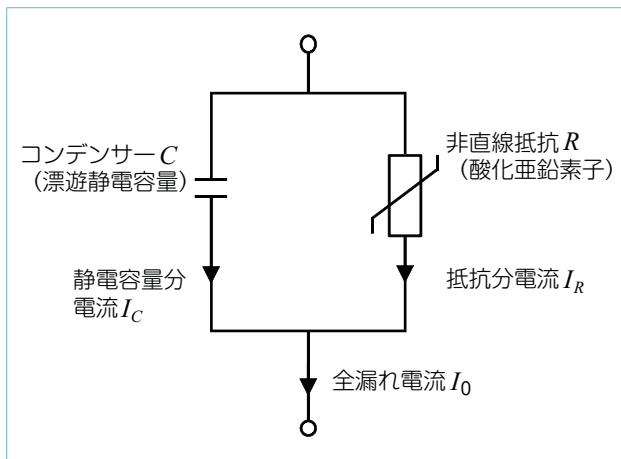


図6 酸化亜鉛形避雷器の等価回路

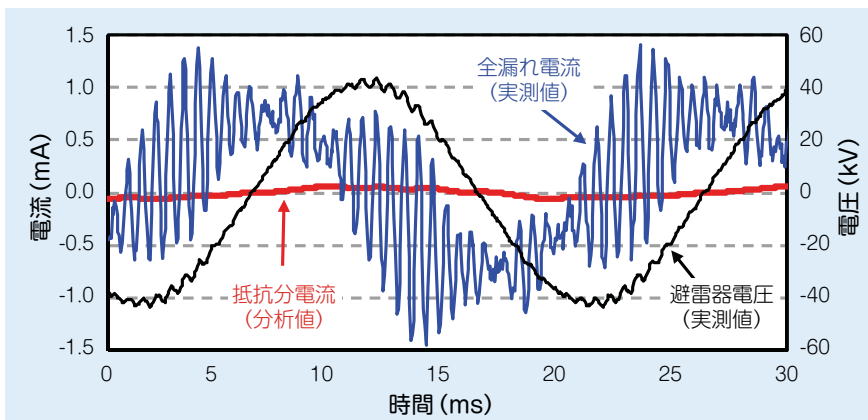


図7 避雷器電圧と漏れ電流の測定例

以上から、この装置によってカウンターの計数値は雷の影響のみを表すようになり、適正な管理が可能になると考えられます。

劣化にかかわる電流成分の分離測定方法

避雷器の漏れ電流は、特性劣化に関係する成分と、特性劣化にあまり関係しない成分に分けられると言われています。

前者は、避雷器本来の特性である非直線抵抗成分に電流を流すと電圧と電流の積で発熱が生じることに対応し、「抵抗分電流」と呼びます。一方、後者は、避雷器がその構造上コンデンサーのように見えることに起因しており、「静電容量分電流」と呼ばれます(図6)。

ある正弦波電圧を抵抗とコンデンサーに印加した時、抵抗分電流と静電容量分電流には90度の位相差が生じます。すなわち、漏れ電流に加えて避雷器に印加されている電圧を同時測定し、両者の波形を関連させて分析することにより、電圧と同じ位相をもつ抵抗分電流と、電圧に対して90度進みの位相をもつ静電容量分電流を、別々に分離測定することができるようになります。

新幹線変電所のき電電圧には、新幹線列車に起因する高調波電圧(☞参照)

☞ 高調波

電圧や電流の基本となる周波数(基本波周波数、ここでは電力会社の周波数50Hzまたは60Hz)に対し、2以上の整数倍の周波数の成分。

が多く含まれています。コンデンサーは高い周波数を通過させやすいため、列車の有無で静電容量分電流が著しく変動します。

図7は新幹線変電所において、営業列車走行中に避雷器漏れ電流を測定した結果です。全漏れ電流には列車が発生する高調波の影響が強く表れていますが、分析の結果、抵抗分漏れ電流はわずかしか含まれておらず、避雷器の特性が正常であることを示しています。

おわりに

抵抗分電流と静電容量分電流を分離して測定することで、全漏れ電流測定に比べて高い信頼度で避雷器の劣化を判定できる可能性があります。

しかし現時点では残念ながら、劣化判定基準を得ることは極めて困難です。その理由には、調査母数が少ないこと、使用に伴う特性変化の傾向が明らかになっていないこと、避雷器のリアルタイム監視を行わなければ破損プロセスの途上にあるサンプルが得られないことなどが挙げられます。

今後も様々な測定を通じて、地道なデータの積み重ねと慎重な分析が必要であると考えています。

最後に、現地試験にご協力頂いた関係各位に謝意を示します。[RRR]

文献

- 1) 電気学会：第2回 でんきの礎、2009.5
- 2) 安喰浩司、森本大観、赤木雅陽、日野政巳、阿武大輔、内沼夏織：新幹線き電用避雷器における避雷器電流検出装置の試験結果、平成22年電気学会全国大会、No.5-503、2010.3