

鉄道高圧配電線の 避雷器の劣化を検出する



赤木 雅陽
Masataka Akagi
電力技術研究部
ぎ電研究室
主任研究員



樋口 靖展
Kiyonobu Higuchi
前 電力技術研究部
ぎ電研究室
研究員

高圧配電線路の構成と保護方式

高圧配電線路の構成

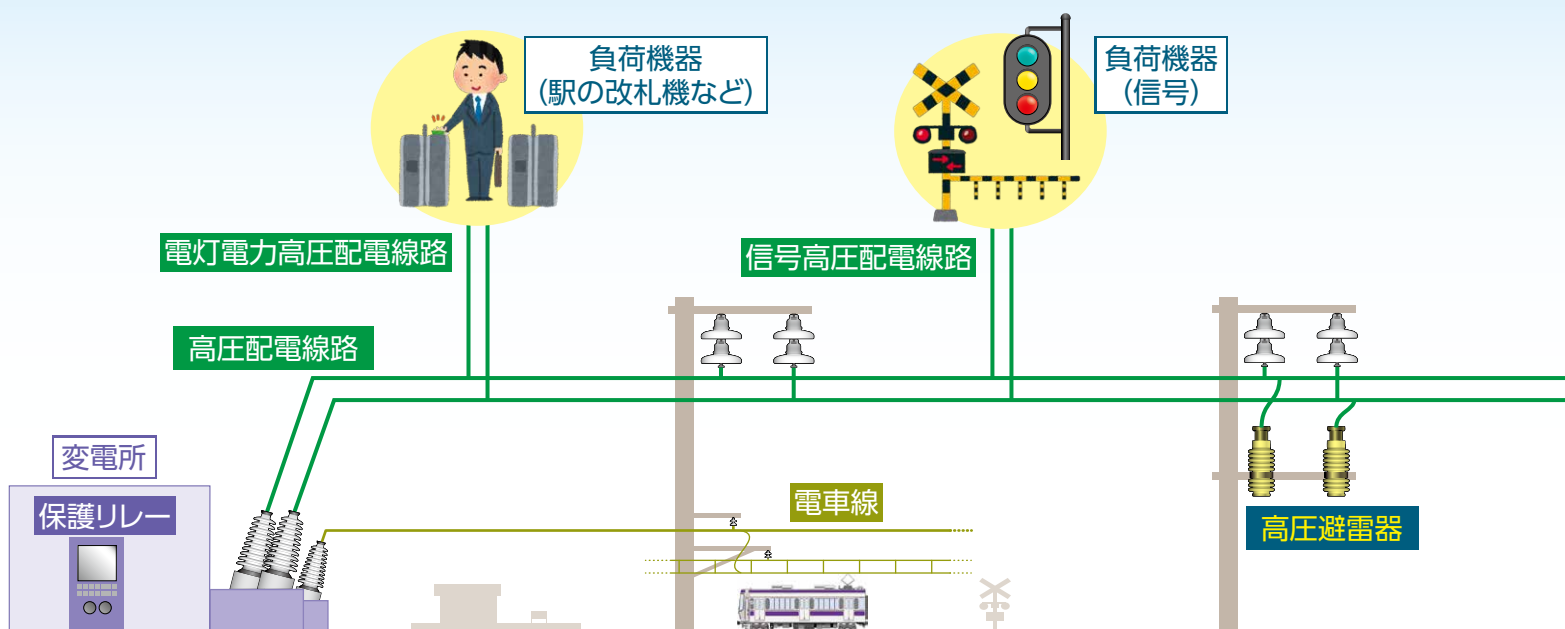
鉄道の高圧配電線路は、おもに列車の運行に直結する重要な負荷（信号保安装置や踏切保安設備など）への電力供給を担う信号高圧配電線路と、おもに駅の照明や沿線の保守設備へ電力を供給する電灯電力高圧配電線路の2種類があり、通常は交流6600Vの電気が供給されています。後者は前者の予備系としての役割も担っ

ていますが、昨今では図1に示すようにバリアフリー設備や自動改札機などの重要度が高い負荷機器も増加しており、電力安定供給の要求は高まる一方です。

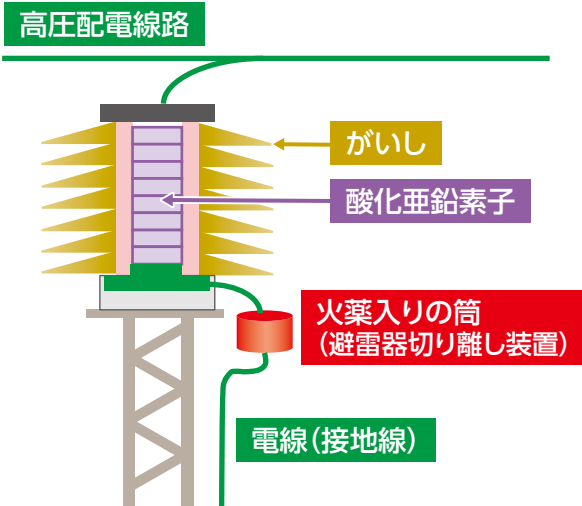
保護方式

高圧配電線路では、おもに変電所に設けられている「保護リレー[※]」が故障の検出と保護を担っています。このうち、地絡方向継電器とよばれる保護リレーは、故障発生時に生じる電流

図1 高圧配電線路の概要



(a) 高圧避雷器の断面図



(b) 高圧避雷器の設置効果

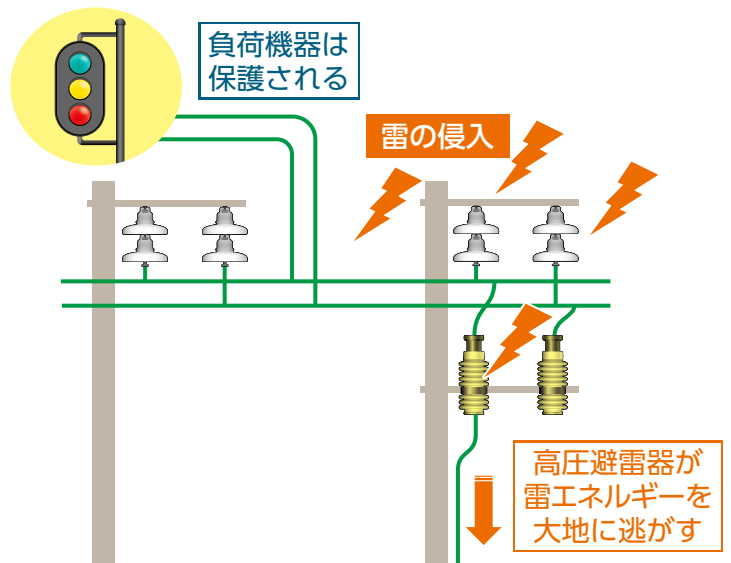


図2 高圧避雷器の断面図と高圧避雷器の設置効果

と電圧を検出し、故障の発生した回線のみ遮断器に遮断指令を出力します。遮断器は、遮断指令を受けると速やかに開放され、故障回線への送電が停止します。

今回開発したシステムの保護対象である高圧避雷器は、雷による過電圧から高圧配電線路を

保護するために設備されています。高圧避雷器は図2(a)に示すように、「酸化亜鉛素子[®]」を磁器製のがいしの中に収納したもので、雷が襲来した際には図2(b)に示すように大地に電流を逃がすことで負荷機器を保護します。また図3に実際の敷設された様子を示します。高圧避雷

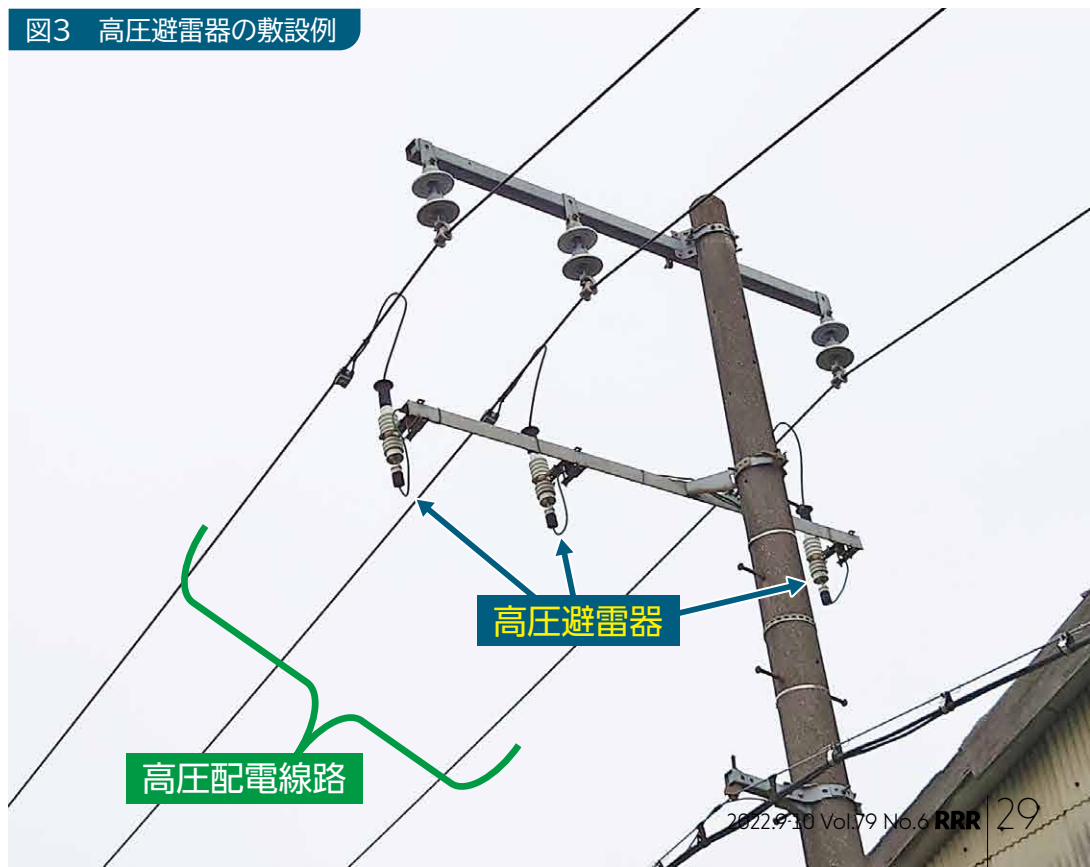
保護リレー

配電線路で発生した地絡や過熱などの異常状態を、電流センサーや温度センサーなどで検出し、変電所の遮断器に開放指令を与えることにより被害の抑制を図る装置です。

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もの。この素子は電圧が低いときは電流がほとんど流れず、電圧が高い場合は急激に電流が流れやすくなる性質 (非直線抵抗特性) を有しているため、雷のように過電圧をとまなう瞬間的なエネルギーを吸収するのに適しています。

図3 高圧避雷器の敷設例



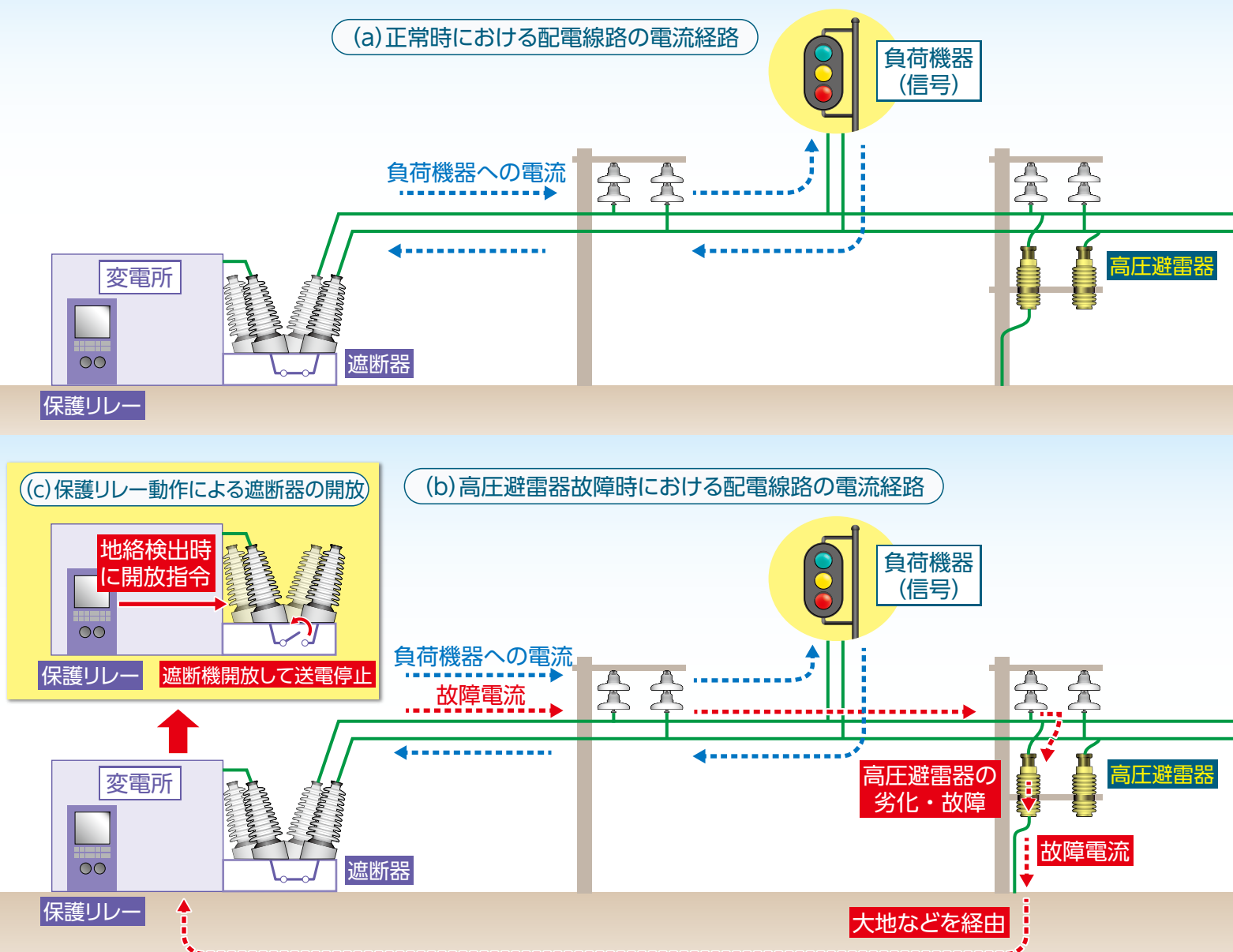
器は、正常時は図4(a)に示すように電流が流れることはありませんが、内部劣化により絶縁性能が低下した場合には図4(b)に示すように異常な故障電流が高圧避雷器内部を經由して大地に流れ、図4(c)に示すように地絡故障として保護リレーが動作し、遮断器を開放します。このままでは配電線路に電気を送れないので、高圧避雷器の劣化によって本来流れない電流が流れ続けたときには、その電流で火薬に点火して自動で電線を切り離す「避雷器切り離し装置」が国鉄時代に使われるようになりました。しかし、この装置は次に述べるように、実際の配電

線の設備条件ではうまく機能できない場合が多いという課題がありました。

高圧配電線路における故障点探索の課題

高圧避雷器の内部で生じた劣化により地絡が発生した場合には、流れる電流があまり大きくない関係で、外観上は目立った変状が認められないことが多いです。ここで、変電所に設備される保護リレーの動作時間は一般的に数秒以内です。一方、避雷器切り離し装置の動作時間は地絡電流と反比例の関係にあり、例えば1000mAの場合は保護動作に10秒程度かかるのに対し、

図4 正常時における配電線路の電流経路と高圧避雷器故障時における配電線路の電流経路



100mAの場合は保護動作に100秒程度かかります。このため、地絡電流の値が小さい場合には避雷器切り離し装置が動作する前に保護リレーが動作し遮断器が開放されてしまいます。

この状態で高圧配電線路の再送電を試みても、ふたたび保護リレーが動作してしまうほか、前

述のように避雷器切り離し装置は動作していないため、係員が巡回して目視で確認を行っても故障点を早期に発見するのは困難です。高圧配電線路の長さは数キロから数十キロに及ぶため、故障点が特定できないと停電した状態が長時間、広範囲にわたり継続してしまい、安定輸送に悪

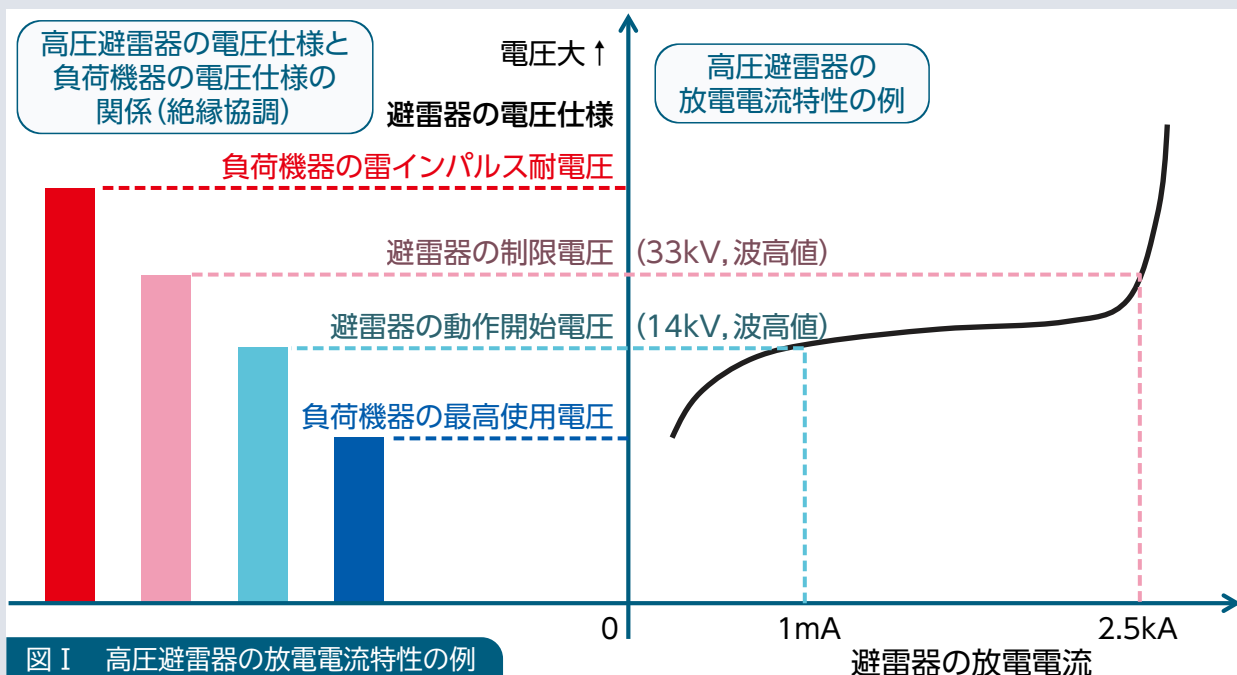
避雷器とは

避雷器とは

変電所から負荷機器まで延びる配電線路は通常屋外に設置されています。電力ケーブルを用いる場合と電線を用いる場合の2通りがありますが、後者の場合では電柱などに支持されて高さ数mの高所に張られています。屋外の高い場所に電線が施設されている箇所では、電線自体に直接雷が落ちる事例（直撃雷）と近隣の建物避雷針などに落雷した影響が電線に波及する事例（誘導雷）がありますが、配電線路では後者が多いことが知られています。雷を受けた電線には、通常の使用状態に比べ非常に高い電圧が発生し、負荷機器が損傷してしまうことがあります。雷などともなう過電圧を大地に逃がす「避雷器」を設けることで、負荷機器を守ります。

避雷器の特徴

避雷器は配電線路に雷などともなう μ 秒オーダーの一時的な過電圧（雷インパルス電圧）が侵入した際に、低抵抗で配電線路と大地の間を結ぶ（アースする）ことで過電圧を抑制し、設備を守ります。一方、配電線路の電圧が正常なレベルに戻った際には、配電線路と大地の間をふたたび絶縁状態にする必要があるため、負荷機器の最高使用電圧の範囲内における電圧では絶縁体と同じように電流を流さず、雷などともなう過電圧の場合だけ電流を流すという機能（非直線抵抗特性）を有しています。用語解説でも取り上げましたが、現在用いられている配電線路用高圧避雷器のほとんどは非直線抵抗特性に優れた「酸化亜鉛素子」を用いて構成されています。配電線路用高圧避雷器における放電電流特性の例を図I右に示しますが、雷インパルス電圧が襲来したときだけ放電電流が流れることで、瞬間的なエネルギーが高圧避雷器経由で大地に吸収されます。また、負荷機器の雷インパルス耐電圧を高圧避雷器の制限電圧より少し高く設定することで、安全を保ちつつ経済的な絶縁設計とすることができます（これを絶縁協調といいます）。一方、図I左に高圧避雷器の電圧仕様と負荷機器の電圧仕様を比較しますが、高圧避雷器の動作開始電圧は負荷機器の最高使用電圧よりも大きいことから、通常は高圧避雷器の放電電流は極わずかで



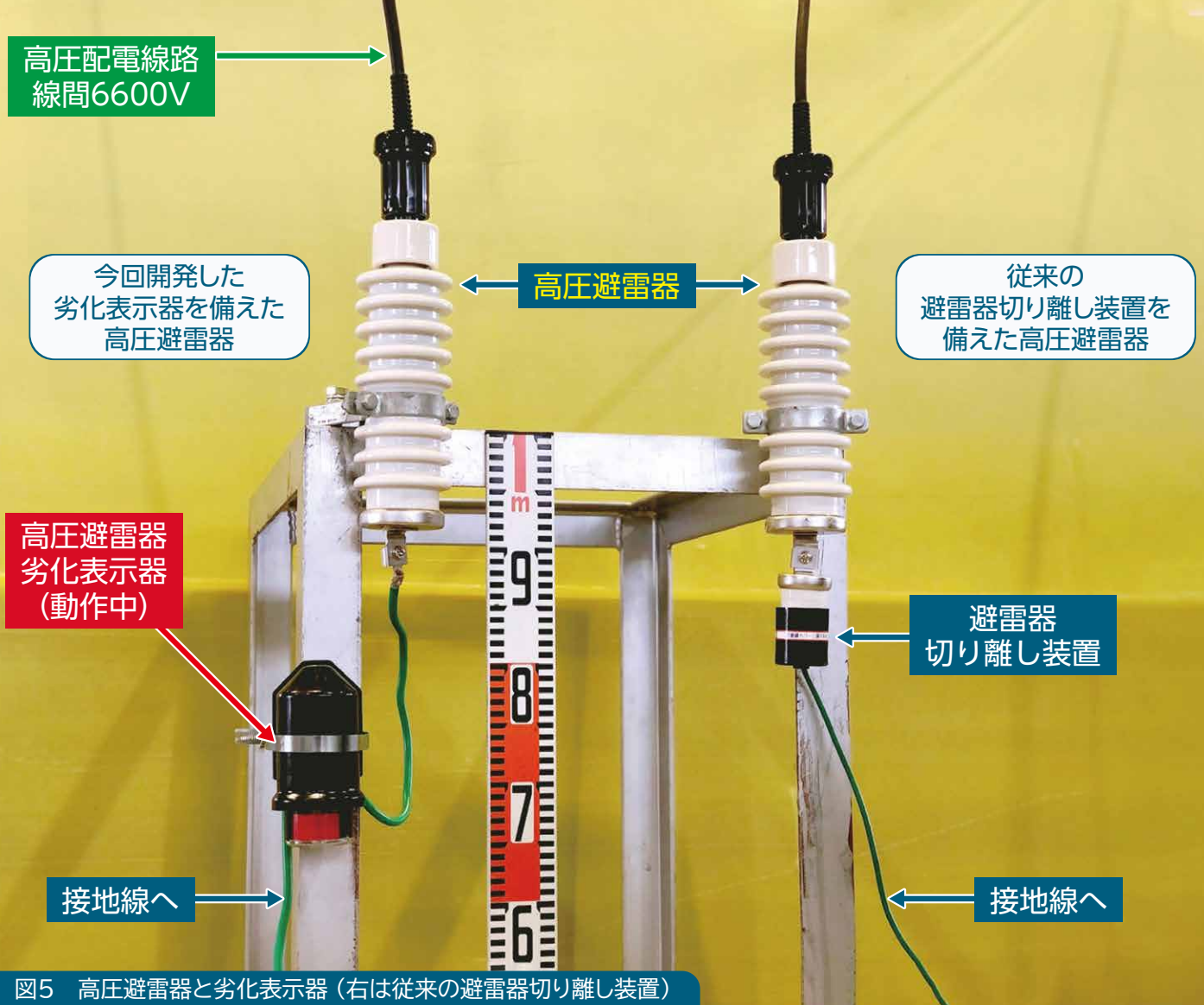


図5 高圧避雷器と劣化表示器 (右は従来の避雷器切り離し装置)

影響を及ぼすため、ダウンタイムの短縮が必要です。

加えて、高圧避雷器の劣化がより軽微な場合には地絡にともなう大きな故障電圧が生じないため、保護リレーも動作しない場合があります。この場合には供給支障は生じませんが、保全および供給信頼性向上の観点からは、高圧避雷器の内部で生じた劣化の予兆を何らかの方法で早期に把握できる方法が求められていました。

新しい避雷器劣化表示器の提案

試作器の概要

これまで述べてきた状況を鑑み、小型マイコンを導入するなど工夫を施すことで、高圧避雷

器の劣化により微小な電流が流れたことを、これまでの避雷器切り離し装置より少ない電流値で検出・表示できる新たな劣化表示器を開発しました。動作原理ですが、劣化表示器内蔵の小型マイコンがしきい値(最小動作電流)を超えた地絡電流を検出すると、一定時間(0.2秒)が経過した場合に内蔵駆動モーターに回転指令を出し、表示窓に故障表示を掲出します。また列車巡視などでの視認性を考慮し赤い蛍光色(約40mm角)としています。最小動作電流については保護リレーの動作設定値やマイコンの感度などを考慮し133mAに設定しました。これは劣化した高圧避雷器内部の絶縁抵抗に換算するとおおむね25~30kΩ(系統構成に依存)に相

表1 営業線での避雷器模擬故障試験による劣化表示器の動作検証

試験条件	抵抗値 (kΩ)	地絡電流 (mA)	劣化表示器	保護リレー
①劣化模擬抵抗	3.0	813	動作	動作
②劣化模擬高圧避雷器	10.0	229	動作	動作なし
③劣化模擬抵抗	18.8	186	動作	動作なし
④劣化模擬抵抗	23.5	150	動作	動作なし

当します。

これらの機能を可能な限り長寿命でコンパクトに実現するため、駆動電源にはリチウム一次電池を選定し、最長20年の動作を可能としました。なお、この劣化表示器にはコストや施工性を考慮して電線の切り離し機能は搭載していません。

図5に今回開発した劣化表示器を備えた高圧避雷器(左側)と、寸法比較のため従来の避雷器切り離し装置を備えた高圧避雷器(右側)を並べて示します。写真の劣化表示器は、表示窓に赤色の故障表示を掲出した状態です。

検証試験

営業線の高圧配電線路において模擬劣化試験を実施しました。模擬劣化試験では変電所から系統末端に向かい約32kmの区間を配電する系統を構成し、系統末端にて劣化模擬高圧避雷器(塩水を高圧避雷器内に注入して作成)と劣化表示器、又は劣化した高圧避雷器の絶縁抵抗を模擬した抵抗器と劣化表示器を接続しました。試験は絶縁抵抗の測定値が約10kΩとなる劣化模擬高圧避雷器、および3通りの劣化模擬抵抗器(抵抗値:3kΩ, 18.8kΩ, 23.5kΩ)の計

4通りの条件で行いました。表1に試験結果を示しますが、条件①(この条件では大きな故障電圧が発生)では劣化表示器と保護リレーが動作しており、保護リレーが動作するような故障電流・電圧となる劣化条件では保護リレーにより送電が停止する前に劣化表示器が動作することが示されました。一方、条件②~④のように保護リレーや従来の避雷器切り離し装置では検出できないような劣化では劣化表示器のみ動作しており、本劣化表示器の導入により絶縁劣化の予兆を早期に検出・表示することで送電停止を未然に防止できる可能性が示されました。

まとめ

高圧配電線路用高圧避雷器の劣化を検出・表示することができる劣化表示器を試作し、実設備における模擬劣化試験で所期の性能を発揮することを確認しました。鉄道総研では、高圧配電線路に限らず電力供給の信頼性向上に向けて、さらなる研究を行っていく予定です。

最後に、劣化表示器の試作、および現地試験にご協力いただいた関係各位に謝意を示します。

RRR

文献

1) 樋口靖展, 赤木雅陽, 森本大観: 高圧配電線路用避雷器の劣化表示手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.9, pp.47~52, 2020