

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

# 電力設備の短絡・地絡故障場所を特定する

電力設備の中でも大きな位置を占め長大で屋外に架設されている電車線路において、飛来物や動植物の接触、あるいは構成部材の劣化による電気故障（短絡、地絡）が発生した場合には、いかに早く故障場所を発見して復旧作業に着手できるかが、運転再開までに要する時間を大きく左右します。ここでは、在来線・新幹線の交流き電回路において、故障が発生した時の電氣的な情報に基づいて故障場所を推定し早期復旧を支援するためのシステムについて、これまでの変遷と最近の開発事例を紹介いたします。



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

## はじめに

電車線路は、線路の全長にわたって屋外に敷設されているため、様々な外的要因による影響を受けます（図1）。飛来物や動植物の接触、あるいは構成部材の劣化等によって、短絡故障・地絡故障（☞参照）が電車線路に発生した場合は、故障原因を取り除き損傷箇所を復旧させるまでは運転を再開でき

ないため、時には大きな輸送障害につながる場合があります。

復旧作業のためには、作業者が復旧機材を持って故障が発生した場所（故障点）に行く必要があります。しかし、そもそも故障がどこで起きたのかが判らなければ、その場所へ行くことはできません。

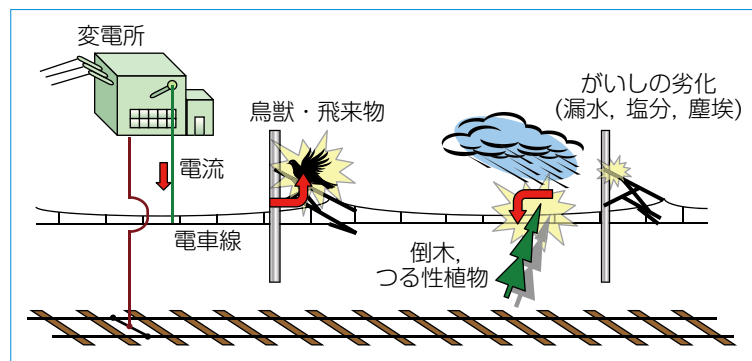


図1 電車線路に影響を及ぼす外的要因の例

## ☞ 短絡と地絡

短絡（ショート）とは、主たる電気回路を構成する二つの導体（例えばトロリー線とレール）が直接接触して導電経路を作ること。一方、地絡とは、電気回路を構成する導体のうち一つが、予期しない事由によって、大地や、本来は電気回路ではない構造物（電化柱やビーム、橋梁、駅舎等）に接触して電流が漏洩すること。どちらも電気故障であることに変わりはないが、その現象は全く異なるため、用語を使い分ける必要があります。なお、地絡は短絡に比べて電氣的に発見することが難しいうえ、地中埋設管などの設備が想定外の電流経路となって広範囲に影響を与えることもあります。

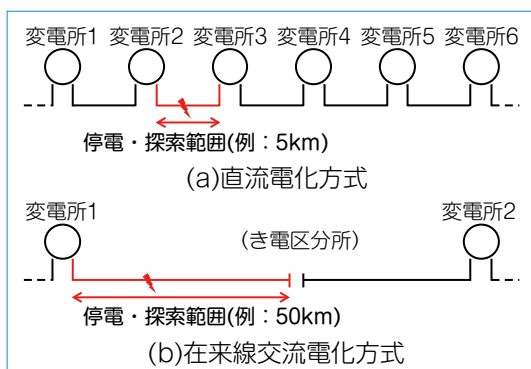


図2 電化方式による停電範囲の違い

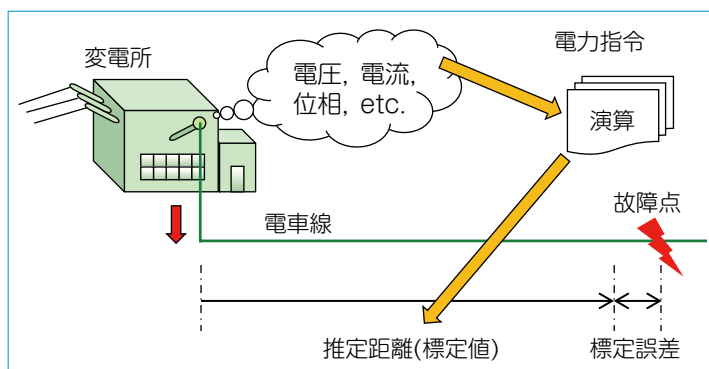


図3 故障点の標定

### 電化方式と故障点探索の関係

元々都市圏等の人口密度・輸送密度が高い地域を対象にしている直流電化方式では、変電所の間隔が1km～10km程度、最長でも20km程度であるため、故障によって停電する区間もこの範囲に限られます。また、電圧が600V～1500Vと低いため、単に架線に飛来物が引っ掛かる程度では電気的な故障に至らないことがあります。この場合、列車の乗務員や沿線市民の目撃情報によって故障点が特定されることもあります。

しかし、都市間を結ぶ長距離路線を経済的に電化するために採用された交流電化方式では、電圧を高く（在来線：20000V、新幹線：25000V）することによって、変電所間隔を長く（新幹線で20km～60km程度、在来線では30～100km程度）しています。そのため、故障によって停電する区間が長くなり、全線徒歩巡回で故障点を探し出すことは極めて困難です（図2）。また、電圧が高いため、単に架線に異物が引っ掛かるだけでも放電を起こして地絡故障となる確率が格段に高くなります。

### 故障点標定装置（ロケーター）

前記のような理由から、交流電化方式では安定輸送を実現するために、故障点標定装置（ロケーター：locator）を設置しています。

故障が発生した時の電気的な情報に基づいて、故障点の線路長さ方向の位置すなわちキロ程を推定することを「故障点標定」と呼んでいます。故障点標定装置とは、この一連の動作を自動で行うシステムです。

沿線の変電所等に計測装置を設置し、電圧などの各種電気量の計測値を電力指令へ送信します。電力指令に設置された中央装置では、複数の変電所等から送られてきた各種数値をとりまとめて解析し、キロ程へ対応付けます。この推定された故障点キロ程を「標定値」と呼びます（図3）。

国内では現在、以下の二つの方式が用いられています。

#### (a) リアクタンス計測方式

初期の交流電化方式である交流BTき電回路（※参照）に適用されている方式です。

ある均一な電線の長さを推定したいときに、その直流抵抗をテスターで測定するという方法は、多くの方が思いつくと思います。交流回路では、抵抗を複素数に拡張したインピーダンスと

#### ※ BT

吸上変圧器。（Booster Transformerの略。）トロリー線に流れる電流との相互結合によってレールに流れる電流を負き電線（NF）に吸い上げることにより、沿線通信線への誘導を低減する役割を持ちます。

いう物理量で電流の流れにくさを表します。インピーダンスの虚数分であるリアクタンスは、実数分である抵抗に比べて故障の状態の影響を受けにくく、最も基本となる故障形態では変電所から故障点までの距離におおむね比例します。したがって変電所でリアクタンスを計測して距離に換算することで故障点を標定することができます。

#### (b) 吸上電流比方式<sup>1)</sup>

現在主流の交流電化方式である交流ATき電回路に主に適用されている方式です。沿線に約10kmごとに設置する単巻変圧器（AT：Autotransformer）のレールと接続された中性点に流れる電流を計測し、電流値が大きい順に並べ替えたときの上位2箇所の電流値の比によって故障点を標定します。この方式の標定誤差は、実際に発生する故障のうち大半を占める故障モード（※参照）に対して1km以内と言われています。

### 標定精度改善の要求

上記二種類のロケーターの基本設計は、いずれも昭和40年代に行われま

#### ※ 故障モード

ここでは、どの電線の組合せが短絡したか（例えばトロリー線とレール）、あるいはどの電線が地絡したか、という意味。

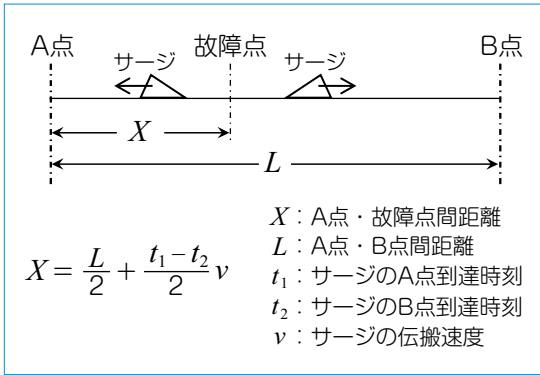


図4 サージ検知形ロケータの標定原理

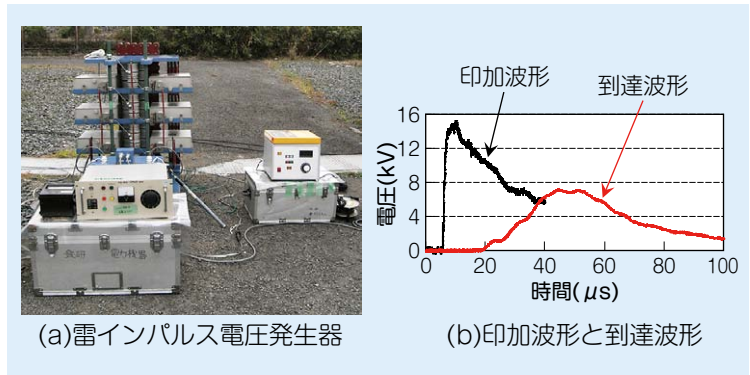


図5 サージ伝搬現象基礎測定

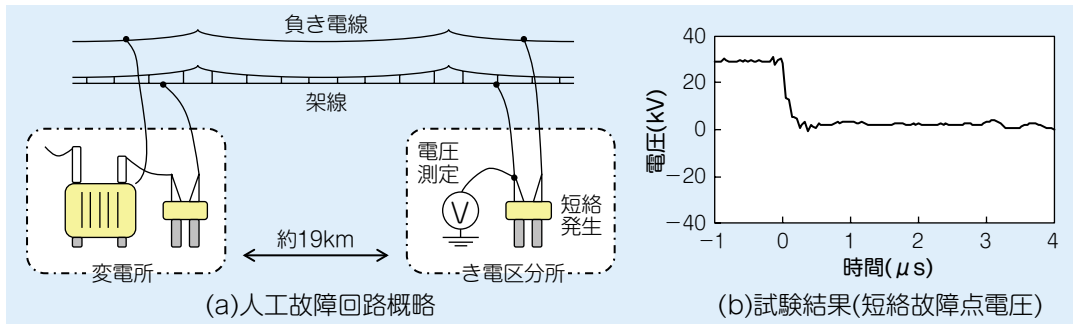


図6 実電圧人工故障試験

した。どちらも交流電化の実用化から間もない頃の開発成果としては画期的なシステムであり、現在においてもその役割を果たし続けています。

しかし、時には故障点から大幅に離れた位置を標定値として出力することがあり(誤標定)、最終的な判断は指令員の経験に依存しています。これは、基本設計当時に実現可能であったハードウェア構成と費用対効果を考慮して、データ伝送量を最小限に抑え、故障の大多数を占める故障モードに適する標定演算式だけを用いて標定計算を行う仕様にしたためです。

現在では鉄道輸送への定時性の要求が格段に高まっています。その一方で保守拠点の集約・統合により、作業者が拠点から故障点に到着するまでの所要時間は長くなっています。このため、より高精度で誤標定を生じにくいロケータが望まれるようになってきました。

そこで、鉄道総研では昨今の計測・情報処理技術の進歩を踏まえ、複数の新しい故障点標定方式の研究開発を進めています。ここではその内、「サー

ジ検知形ロケータ」と呼ばれるタイプについて概説します。

### サージ検知形ロケータ<sup>2)</sup>

交流電化方式の電車線路ではトrolley線やき電線に高い電圧が加圧されているので、故障が生じた時は放電によって急峻な電位変化、すなわちサージ電圧が生じて電車線路を伝わっていきます。その速度(サージ伝搬速度)は、電線の種類や地上からの高さ、地質、周囲環境などによって変わってきますが、速度が既知かつ一定であれば、サージ電圧到達時刻の差から故障点を標定することができます(図4)。

この方式は「サージ検知形ロケータ」と呼ばれており、電力会社の架空送電線において最初に実験されました<sup>3)</sup>。現在ではケーブル送電線の一部において実用化もされています。

しかし、電車線路は単線・複線、明かり区間(盛土、高架)・トンネル区間などの様々な条件が混在しており、電力会社送電線に比べるとはるかに不均一な回路です。その上、電車線路の途中

に様々な機器が点在しています。このため、サージの減衰や反射による波形乱れや、区間内でのサージ伝搬速度の相違などに注意を払う必要があります。

### (a) サージ伝搬現象の測定

サージ検知形ロケータを適用するには、き電回路内で故障が発生した時に、変電所およびき電区分所(SP)の両方でサージの検知が可能であることの確認が必要です。そこで、雷インパルス発生器という装置を用いて変電所からサージ電圧を電車線路に注入し、その伝搬の様子を観測しました。その結果、き電区分所へ到達したサージ電圧波形は変電所で印加した波形に比べると減衰しており、立ち上がりも緩やかになるものの、サージ電圧到達時刻の判別は十分可能でした(図5)。また、この試験を行った区間におけるサージ伝搬速度は、光速の88%~90%程度であることがわかりました。

### (b) 実電圧人工故障試験によるサージ電圧波形の測定

実際の故障発生時にサージ電圧が発生することを確かめるため、変電所の

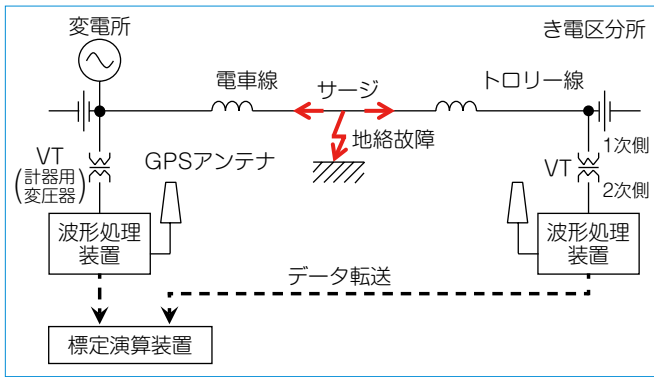


図7 サージ検知形ロケータ



図8 試作した波形処理装置

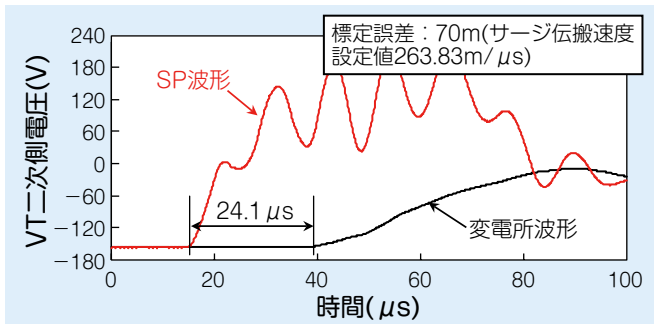


図9 人工故障試験時の記録波形と標定事例

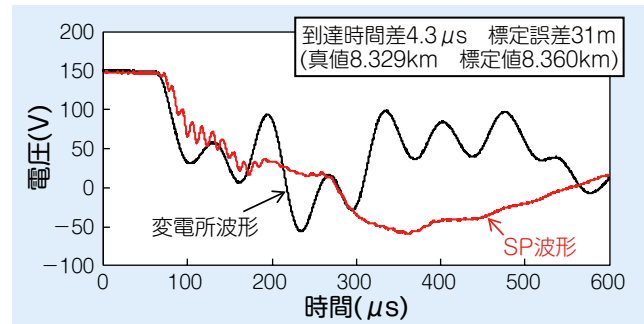


図10 実故障時の記録波形と標定事例

電源を用いた人工故障試験を行いました(図6)。その結果、き電区分所を故障点とするき電回路で測定したサージ電圧波形には、マイクロ秒オーダーの急峻な変化が生じていました。これにより、先の測定結果と合わせて、サージ検知形ロケータが交流き電回路にも適用可能であることがわかりました。

ただし、き電回路が最初から地絡・短絡回路となっている状態、例えば工事のために接地器具を取り付けたままの状態でき電開始された場合には、故障点でサージ電圧が発生しません。この場合は別の手段での標定によるバックアップが必要になります。

### (c) 試作と現地試験による標定精度検証

サージ検知形ロケータの構成概念を図7に、試作波形処理装置の外観を図8に示します。

波形処理装置は、サージ電圧波形を記録するとともにGPS時計で得られる絶対時刻を付す機能を持たせています。サンプリング周波数は10MHz、時刻同期精度は0.1μsです。この波形処理装置を変電所とSPに設置します。

次に、標定演算装置の自動標定プログラムにより変電所とSPの記録波形を解析し、サージ電圧到達時刻を特定するとともに、その到達時間差から故障点を標定します。ただし、今回は研究段階のためデータ転送のための通信線は施工せず、波形処理装置に蓄積されるサージ電圧波形データをその都度回収して標定演算装置に入力して標定動作を行うこととしました。

標定精度を検証するため、現地においてトロリー線への雷インパルス電圧の試験印加による故障模擬、および実電源人工故障による標定精度検証試験を実施しました。その結果、約19kmのき電区間において、実故障での標定誤差は100m～200m程度の見込みであることがわかりました(図9)。

次に、試作ロケータを現地に約7カ月間仮設したところ、その間に1回の実故障(蛇による地絡)が発生し、データを得ることができました(図10)。このときの標定誤差は31mでした。この1回だけの実故障データで標定誤差の大小を評価することは困

難ですが、従来比ではかなりの標定誤差低減が見込めると考えています。

### おわりに

故障点を電氣的に探索するという課題に対して、最近の研究成果の一例を紹介しました。

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) 藤江宏史：AT吸上電流比方式故障点標定システム，鉄道技術研究報告，No.1020，1976.8
- 2) 森本大観，ほか：サージ検知形交流き電回路用故障点標定装置の開発，鉄道総研報告，Vol.26，No.6，pp.11-16，2012.6
- 3) 八巻正利，ほか：人工衛星(GPS)を用いた送電線故障点標定装置の開発について，平成元年電気学会全国大会1318，1989.4