

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

雷から信号設備を守る

社会の高度情報化の進展とともに、あらゆる産業分野において電子機器が広く導入され社会基盤を支えています。しかし、これら電子機器は雷に対し脆弱であり、現代社会では雷の脅威が増していると言えます。鉄道も例外ではありません。ここでは、雷から鉄道信号設備を守るための対策と研究について紹介します。



新井 英樹

Hideki Arai

信号通信技術研究部
信号研究室
主任研究員

【専門分野】 鉄道信号設備の雷害対策、運転保安装置(ATS)

高度情報化社会と雷害

現在の高度情報化社会においては、あらゆる産業分野において電子機器が広く導入され社会基盤を支えています。これら機器には、マイクロコンピュータをはじめとする高度に集積化された半導体デバイスが実装されており、また、機器が電源線と通信線の双方に接続され、機器同士がネットワーク構成となっていることが大きな特徴と言えます。これら電子化、ネットワーク化された機器により、電力・通信・ガス・水道などの社会インフラの管理、セキュリティの確保、そして各種サービスの提供が行われています。

しかし、電子機器の動作電圧は、数V程度と非常に低いため、落雷に伴い外部から侵入してくるサージ電圧・電流（瞬間的に発生する過電圧・過電流のこと）に対して極めて脆弱であり、機器の焼損や機能停止といった被害が数多く発生しています。現代社会においては、雷害の発生が重大な問題に発展する恐れがあり、雷の脅威が増していると言えます。

一方、鉄道も他の社会インフラと同様、生活基盤として必要不可欠なもの

となっています。鉄道の地上電気設備には、電車に電力を供給するための電力設備、列車の安全・安定運行を確保するための信号設備、そして輸送業務に必要な情報を伝送するための通信設備がありますが、これら設備には多機能化、小型化を図るために数多くの電子機器が用いられています。これら電気設備における雷害は、過去より輸送障害を引き起こすハザード（危険因子）の一つとして捉えられてきましたが、サービス停止に対する社会的評価が厳しくなっていること、そして列車の運行停止・遅延は、社会的な混乱を招く恐れがあることを考えると、これまで以上に雷害の発生を防ぐ必要があります。効果的な雷害対策の確立が求められています。

本稿では、現在、鉄道信号設備に施されている雷害対策の特徴と鉄道総研における信号設備の雷害対策に関する研究について紹介します。

鉄道信号設備の雷害対策

ある地点に雷が落ちると、周辺にある機器や設備にサージ電圧が発生します。つまり、電氣的なストレスがかか

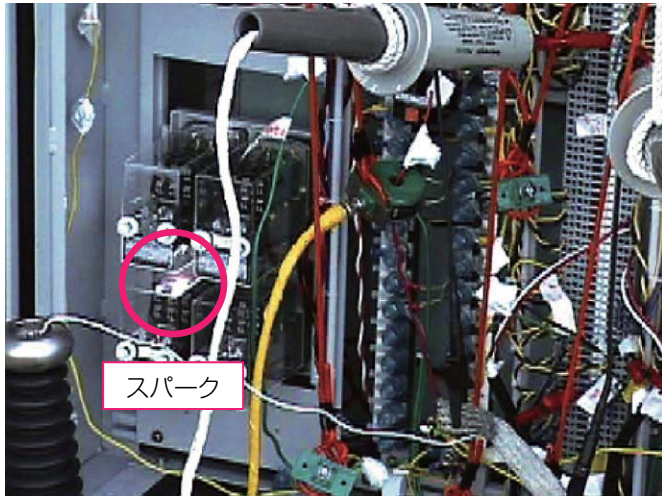


図1 絶縁破壊時のスパーク

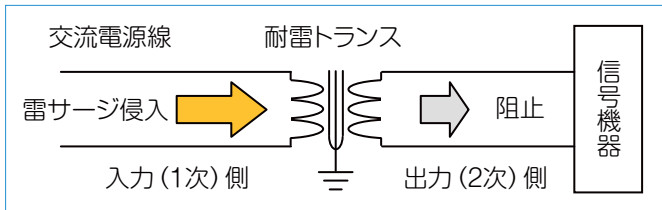


図2 雷サージ侵入阻止

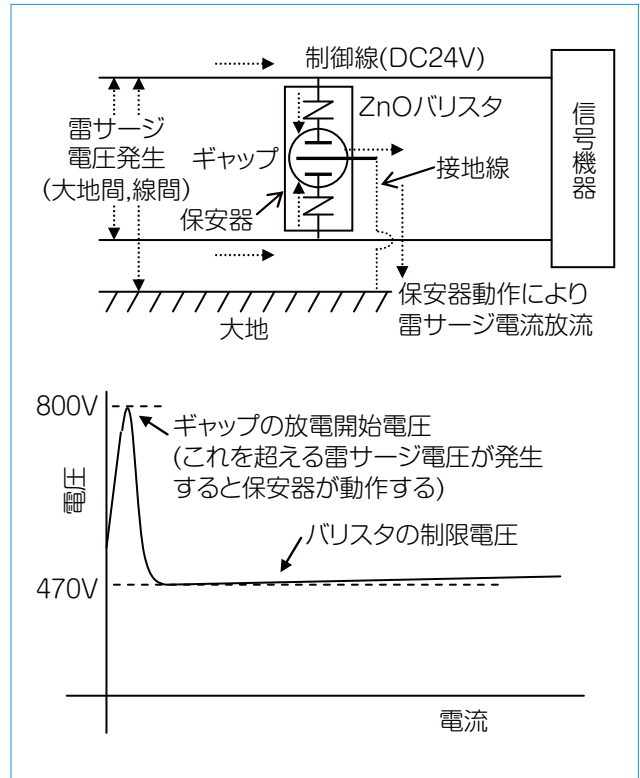


図3 雷サージ電圧の抑制

ることになります。機器がこの電氣的ストレスに耐えられなくなると、絶縁破壊を起こし、本来電気が流れてはいけな箇所にもサージ電流が流れることになります。絶縁破壊が起きた瞬間には、図1に示すようにスパーク（火花放電）を伴うこともあります。これが一般的な雷害の発生メカニズムになります。

雷害対策を設計する際には、雷害調査や観測により、雷サージ侵入経路を予測し、侵入してくる雷サージ電圧・電流レベルを想定し、守りたい機器（被保護機器）の耐サージ電圧・電流の把握を行い、その上で、①機器への雷サージ侵入をいかに阻止するか、②機器のストレスとなる雷サージ電圧をいかに抑制するか、③機器間の等電位化をいかに実現するか、ということが基本となります。また、被保護機器の機能に影響を及ぼさない雷害対策を実施することが必須となります。

上記3項目に関して、現在、信号設備に施されている代表的な雷害対策を以下に紹介します。

①耐雷トランスによる雷サージ侵入阻止

交流電源からの雷サージ侵入を阻止するために耐雷トランスと呼ばれる耐雷機器を用いています（図2）。トランスにより、物理的に回線を切り分けることで、雷サージの侵入を防ぐことができます。また、耐雷トランスは、入力側巻線と出力側巻線との間の静電シールドを接地することにより、入力回線と大地間に発生する雷サージ電圧を、1/1000以下に抑制することができ、機器の電源部を保護しています。

②保安器による雷サージ電圧抑制

信号設備の制御線の大地間、線間に発生する雷サージ電圧を抑制するために、保安器と呼ばれる耐雷機器が用いられています（図3）。保安器は、被保護機器の通常の動作電圧は感知せず、

雷サージ電圧が発生した時のみ動作し、雷サージ電流を放流させることにより、雷サージ電圧を十分低い制限電圧まで抑える機能を有しています。すなわち、通常時は開放、雷サージ電圧発生時は短絡となるスイッチの役割を持っています。雷サージ電圧を抑制した後は、自動的に復旧し、次の雷サージ侵入に備えます。

また、保安器が短絡した状態で故障すると、信号設備が誤動作する恐れがあるため、鉄道信号設備の雷害対策に用いられる保安器は、図3に示すようなギャップ式避雷素子とZnO（酸化亜鉛）バリスタと呼ばれる半導体式避雷素子の組み合わせで構成されるのが通常です。ZnOバリスタを用いることにより、続流によるギャップ式避雷素子の短絡状態が持続することを防ぐとともに、ギャップ式避雷素子を用いることにより、保安器自体の短絡故障の発生を防いでいます。

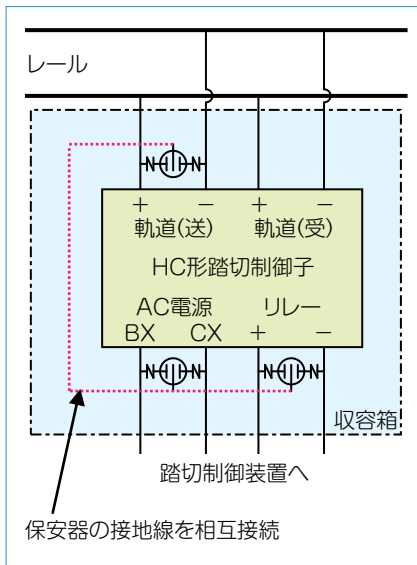


図4 機器の等電位化

③機器の等電位化

踏切制御のために列車を検知する踏切制御子と呼ばれる機器は、レール、電源線および制御線と接続されており、それぞれの回線間に電位差が生じた場合、機器がそれを負担することになります。そこで、図4に示すように、保安器の接地線を相互接続するバイパス法と呼ばれる対策により、機器の等電位化を図り、回線間に発生する雷サージ電圧から機器を保護しています。なお、図4のように、保安器の接地線を大地に接地せず、等電位化を図る手法を仮想接地と呼んでいます。

以上が、鉄道信号設備における主な雷害対策手法ですが、ここで、鉄道信号設備の役割について簡単に述べると、システム自体の安全性を確保し、列車の安全な運行を支えることとなります。また、システムの安全性は、「機

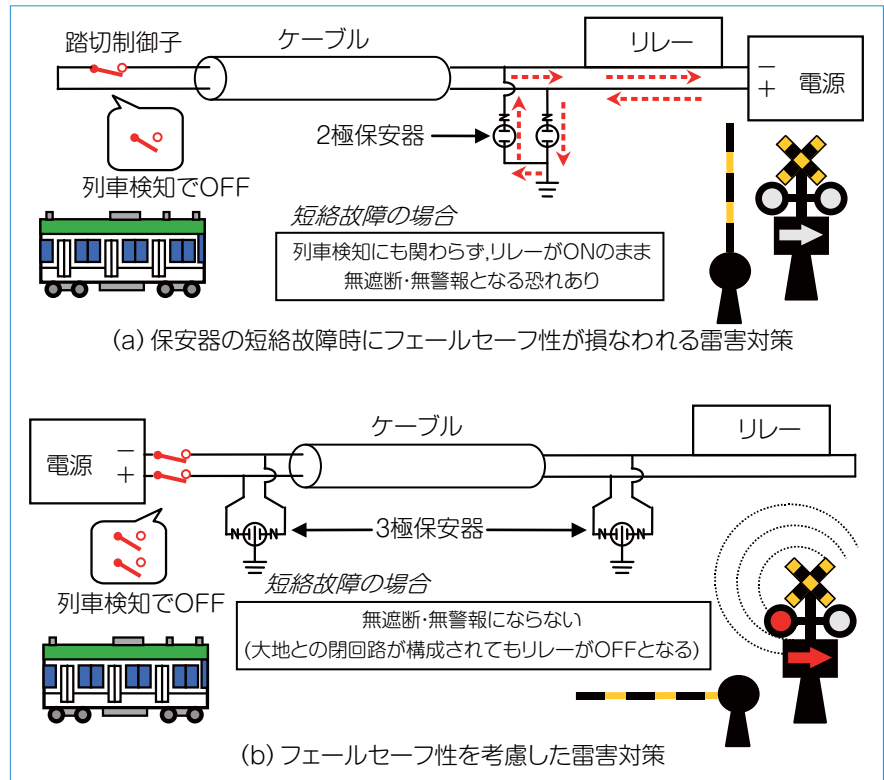


図5 雷害対策のフェールセーフ性への影響

器などに故障が発生した場合、「系全体が安全側に動作する」というフェールセーフ技術により実現されています。鉄道信号設備の雷害対策では、このフェールセーフ性に影響を与えないことが大原則となります。

例えば、雷害対策のために保安器を取り付ける場合、保安器が故障した場合でも、フェールセーフ性が損なわれないことを検討する必要があります。雷害対策による信号設備のフェールセーフ性への影響の例を図5に示します。図5(a)では、2極保安器で短絡故障が発生した場合、閉回路が構成され、踏切の無遮断につながる恐れがあります。一方、図5(b)は、保安器の短絡故障が発生した場合でも、踏切の無遮断には至らないように、リレーを動作させるための電源供給の仕方やケーブル回線の使い方について配慮し

た雷害対策と言えます。

このように、鉄道信号設備の雷害対策実施の際には、フェールセーフ性が損なわれないかを念頭に置く必要があります。この点が、他の多くの産業分野の雷害対策とは異なっており、鉄道信号設備の雷害対策の特徴と言えます。

雷害対策効果の定量的評価

ここでは、鉄道総研における信号設備の雷害対策に関する研究について紹介します¹⁾。

鉄道信号設備における効果的な雷害対策について検討するためには、これまで種々の実験やフィールド試験を実施する必要性がありました。これには時間と経費がかかるとともに、試験箇所

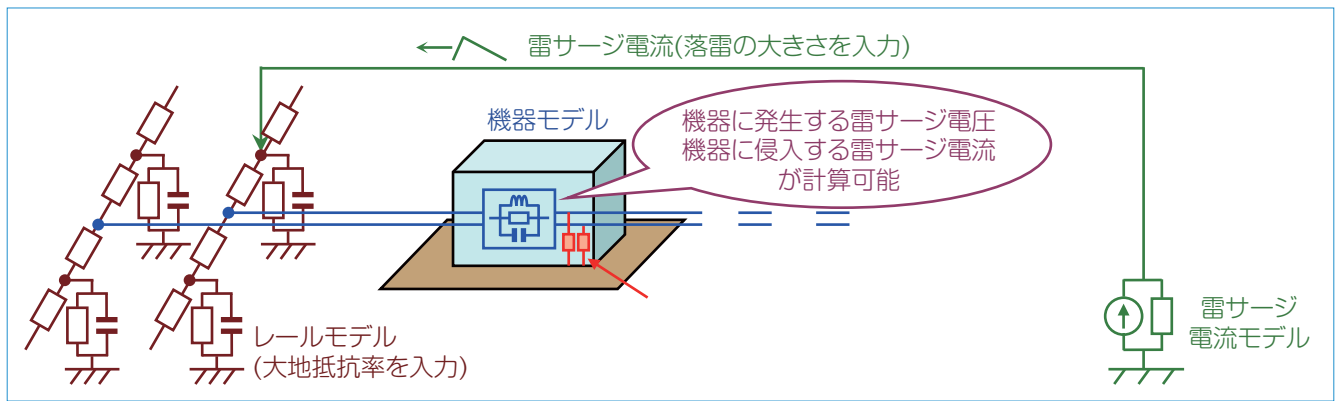


図6 信号設備の雷サージ解析モデルの概念図

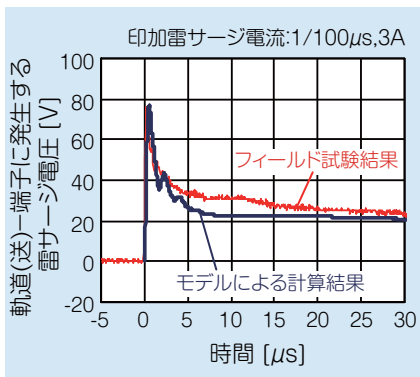


図7 計算結果とフィールド試験結果の比較

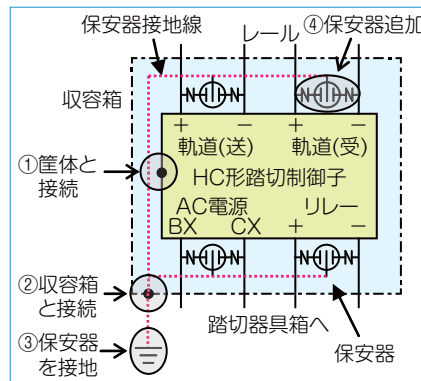


図8 提案雷害対策

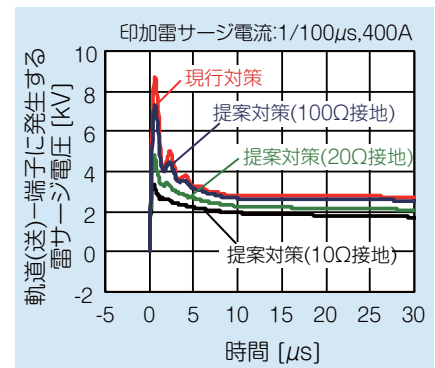


図9 シミュレーションによる雷害対策の評価

するという問題がありました。そこで、フィールド試験によらずに雷害対策効果の定量的評価を可能とするため、信号設備の中でも雷害件数の多い踏切設備を対象に、落雷に伴い発生する雷サージ電圧や侵入する雷サージ電流が計算可能な雷サージ解析モデルを検討しました。図6に示すように、雷サージ解析モデルは、主に鉄道固有の導体であるレール部分のモデルと、機器のモデルから構成されます。本モデルが、実用上十分な精度であることを確認するために、フィールド試験結果との比較を行いました。レールに対し雷サージ電流(1/100 μ s, 3A)を印加した際の踏切制御子に発生する雷サージ電圧に関して、計算結果とフィールド試験結果を比較したものを図7に示します。両者は概ね一致していることから、本モデルは妥当であると評価できます。

次に、雷サージ解析モデルを用いて、雷害対策の効果の定量的評価を行いました。JR会社における現行踏切制御子の雷害対策は、先の図4に示した通りです。特に、踏切制御子用保安器が非接地となっていることが特徴です。ここでは、図8に示すような4つの雷害対策を実施した場合の、効果について評価を行いました。

シミュレーションでは、踏切制御子用保安器を接地する際の接地抵抗値をパラメータとしました。雷サージ解析モデルによる、現行対策の計算結果と提案対策の計算結果を比較したものを図9に示します。提案対策(20 Ω 接地)の実施により、同じ大きさの落雷に対しても、踏切制御子に発生する雷サージ電圧を現行対策の約1/2にできることから、保護レベルを2倍に向上できる対策であると評価できます。

このように、雷サージ解析モデルを用いた雷害対策効果の定量的評価を可能としました。

あとがき

雷は自然現象であり、その大きさも様々です。このため、雷害を皆無にすることは非常に難しいですが、どの大きさの雷に対してまで被害を受けないようにするといった保護レベルを明確にした雷害対策を実施することは必要です。

今後も、鉄道信号設備の雷害対策の向上に資する研究を推進していく予定です。[RRR]

文献

- 1) 新井英樹, 藤田浩由, 小野雄人, 渡辺郁夫: 踏切設備の雷サージ解析モデルの構築, 鉄道総研報告, Vol.25, No.5, pp.35-40, 2011.5