

車両から変電所までの電気の流れ

重枝 秀紀

電力技術研究部(き電) 主任研究員



しげだ ひでのり

はじめに

変電所から鉄道車両に送られた電気は、車両を動かす働きをした後、再び変電所に戻ります。鉄車輪と鉄レールを用いる標準的な鉄道の場合、電気は基本的に車輪からレールを経由して変電所に戻ることにになります。車両を支持・案内するためのレールを電気の戻り道として用いることで、非常にシンプルかつ経済的なシステムになっています。

しかしながら、地面の近くに敷設されるレールに電気を流すことは、様々な問題を引き起こす要因にもなります。時には、レールから大地に向けて電流が流れ出し、鉄道以外の設備にも影響が及ぶ可能性があります。このため、問題を未然に防ぎ、また影響を最小限に抑えるための対策が定められ、施工されています。

ここでは、車両から変電所までの電気の流れを中心に、それに関わる問題と対策を紹介します。

帰線の構成

車両から変電所までの電気の戻り道を、“帰線路”または“帰線”と呼びます。上で述べたように、車輪とレール

を用いる鉄道では、レールが帰線の基本要素です。したがって、車両がどこにいても変電所まで電気を戻せるよう、レールには連続した導電性が求められます。

レールの継目箇所においては、継目を溶接するか、レールボンド(図1)を用いてレール同士を電氣的に接続することが必要です。また、レールは信号機を制御するために車両の有無を検知する軌道回路の主要な構成要素としても用いられており、車両を検知する区間を限定するため、レールの途中で電氣的な絶縁部を設ける場合があります。そのような場合に、軌道回路の電気信号は通さず、かつ、帰線の電流は確実に流すための設備としてインピーダンスボンド(図2)が用いられています。

一方、後で述べますが、主に交流電気鉄道では長距離に渡ってレールに帰線電流を流すことが好ましくないため、レールと並行に電線を敷設して所々でレールと接続し、帰線とする場合があります。この帰線は、変電所から車両に電気を供給するための(正)き電線に対し、“負き電線”と呼ばれることもあります。

ゴムタイヤで走行するモノレールや新交通システム等の



図1 レールボンド



図2 インピーダンスボンド

ような鉄道ではレールを帰線にすることができないので、電気を送るための設備とともに電気に戻すための設備が必要です。跨座式モノレールの例を図3に示します。車両下の軌道桁をはさんで両側にプラスとマイナスの電車線があり、集電装置を介して車両とつながっています。

帰線に関する問題—電食—

直流電気鉄道の帰線に関する問題として、“電食”があります。電食とは、金属表面から周囲の電解質へ電流が流出するときに金属が腐食する現象をいい、金属でできた構造物から大地に向けて長期間に渡り電流が流れ出ると、その流出点において構造物が徐々にやせ細ったり、穴があいたりします。

図4は鉄道における電食発生の様子を模式的に表したものです。車両からの電流が帰線であるレールに流れると、レールが持つ電気抵抗によって車両と変電所の方に電位差が生じ、大地（電位ゼロ）に対して車両側がプラス、変電所側がマイナスの電位となります。レールは大地に対して電気的な絶縁を考慮して敷設されますが、どうしても大地への電気の“漏れ”が生じます。結果として、帰線の電流の一部が車両の近くでレールから大地に流れ出し、変電所

の近くで大地からレールに戻るという経路で流れることとなります。この場合、金属構造物であるレールが電食の対象となりますが、電流の流出点は車両とともに移動するため、通常であればレールを敷設してから交換するまでの間に電食が問題となることはありません。ただし、レールと大地との間に周囲と比べて特に電気が漏れやすい箇所があると、車両の位置とは無関係にその箇所が電流の流出点となるため、レールが電食の影響を受けて著しく腐食する可能性があります。

一方、レールから大地に流出した漏れ電流は、大地の中で流れやすい経路をたどって変電所に向かいます。図4のように地中に水道管等の金属管が埋設されていると、漏れ電流の一部は金属管に流れ込み、変電所に近い所で大地を経由してレールへと戻ります。この金属管から大地への電流流出点は一定の場所となることが多く、その場合は金属管が電食の影響を受けることになります。これが、電食に関する最大の問題といえます。

電食の被害を防止するために鉄道側で考慮すべきことは、主に次の2点です。

- ①レールと大地との間の漏れを少なくする
 - ②車両と変電所との間の電位差を小さくする
- ①については、レールを敷設する道床や枕木をコンクリート等の絶縁の良いものにするほか、道床の排水を良くして水が溜まらないようにすることなどが挙げられます。特に、常に水の溜まりやすい箇所ではレールも電食の影響を受けるおそれがあり、注意が必要です。②については、国が定める技術基準によって、レール継目箇所の抵抗値や埋設金属管が近接する区間のレールに生じる電位差等に対して基準が設けられています。また、変電所を増設して変電所間

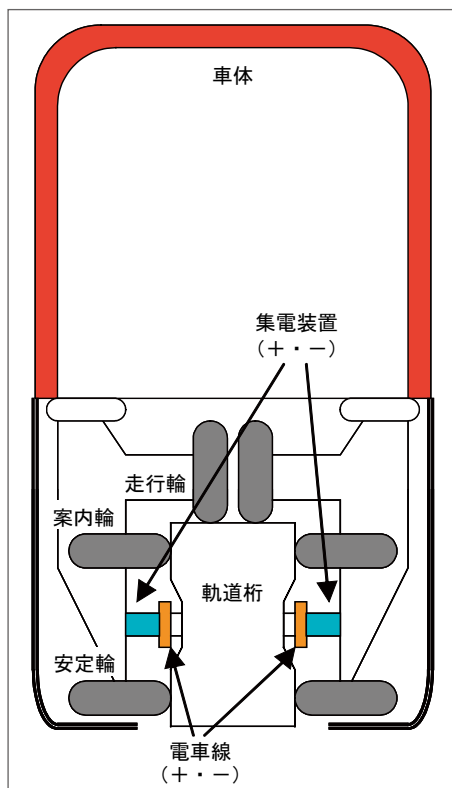


図3 モノレールの電車線設備

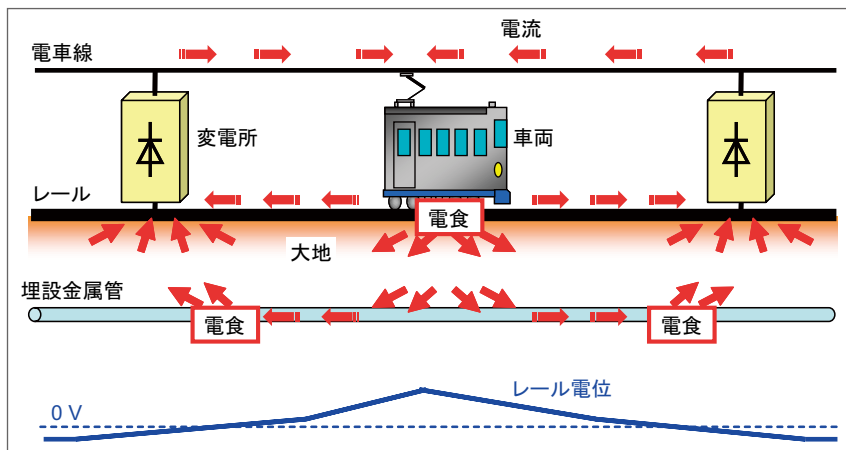


図4 電食発生の仕組み

隔を縮小することも有効です。

一方、地中の金属管を管理する側では、管の表面を絶縁性の良いもので覆う、管の途中に絶縁部を設ける等の対策を行うほか、電食が生じやすいと想定される箇所では図5のような排流設備を設けて、金属管に流れる漏れ電流を

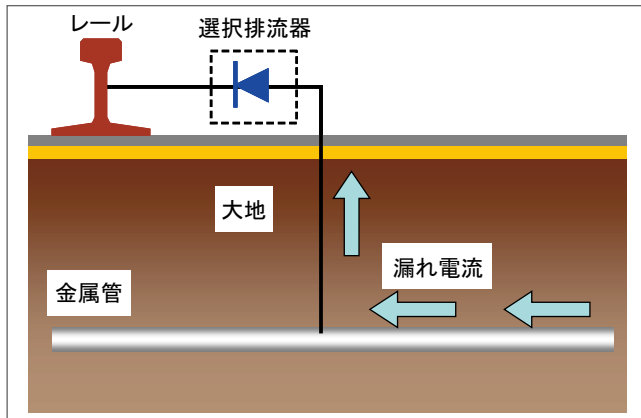


図5 排流設備の例(選択排流法)

レールに戻しています。図5では、レールから金属管への電流の流入を阻止する装置(選択排流器)が設けられており、選択排流法と呼ばれています。

帰線に関する問題—誘導障害—

交流の電圧・電流は極性が常に反転を繰り返すため、交流電気鉄道に起因する電食の問題はありません。しかしながら、充電部と他の金属構造物との間の静電誘導作用、あるいは車両の負荷電流による電磁誘導作用によって、鉄道に並行して近接する電線等に電圧が誘起されます。特に、通信線のような使用する電圧が低い設備では、誘起される電圧の影響が相対的に大きくなるため、通信障害等が生じる可能性があります。このように、交流設備からの誘導作用によって他の設備に障害が発生するような事象を誘導障害といいます。ここでは、電磁誘導に起因する誘導障害について述べます。

通信線等への誘導は、変電所から車両に電気を送るき電

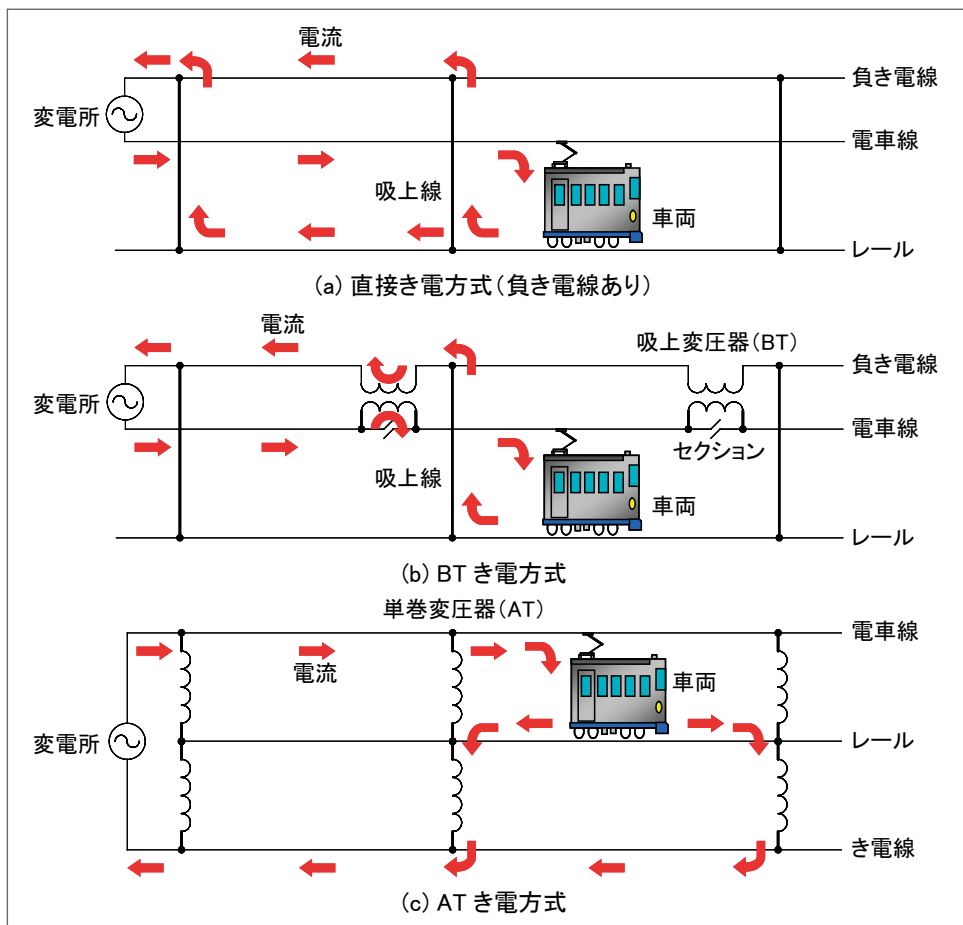


図6 交流き電方式

線および電車線（以下、電車線等と表します）と、車両から変電所に電気を戻す帰線の双方が作用します。電車線等と帰線に流れる電流の向き（位相）は逆ですので、両者の電流値が等しければ通信線等に生じる誘導電圧が相殺され、誘導障害は起きにくくなります。しかし、帰線がレールの場合は帰線電流の一部が大地に流出し、レールとは異なる経路で変電所に向けて戻るため、結果として電車線等の電流値と帰線であるレールの電流値に差が生じて、誘導障害が起きやすい状態になります。したがって、交流電気鉄道ではレールを大地から絶縁して敷設するとともに、極力レールを用いずに変電所に電気を戻すことが重要です。

図6 (a) は、冒頭の「帰線の構成」で紹介した負き電線を設けた直接き電方式を示したものです。電車線等の近くに架設した負き電線は、電車線等からの誘導を受けて変電所に電気を戻す方向に作用するため、帰線の電流の何割かは負き電線を経由することが期待されます。しかし、残りの電流は引き続きレールに流れるため、これだけでは誘導軽減の効果が不十分な場合が多く、国内では吸上変圧器 (Booster Transformer : BT) を用いたBTき電方式 (図6 (b)) や、単巻変圧器 (Auto-Transformer : AT) を用いたATき電方式 (図6 (c)) を主に採用しています。

両者に共通する点は、変圧器が持つ強い電磁結合を利用して、帰線の電流を積極的に負き電線 (ATき電方式ではき電線) に吸い上げることにあります。BTき電方式における吸上線の標準的な間隔は約4kmであり¹⁾、レールに電流が流れる区間を限定することによって、通信線等に対する誘導軽減効果が期待されます。一方、ATき電方式におけるATの標準的な間隔は約10kmであり¹⁾、BTき電方式より間隔は広がりますが、レールの電流は車両を中心に両側のATで吸い上げられるため、レール電流による通信線等への誘導の影響が相殺される効果も期待されます。

なお、BTき電方式、ATき電方式については、本誌の「変電所から車両までの電気の流れ」にも紹介がありますので、そちらもあわせてご覧下さい。

交流電気鉄道では電食の問題はありませんが、上で述べたようにレールから大地に流出する漏れ電流が誘導障害の要因になるため、レールは基本的に大地から絶縁して敷設されています。ただし、直流の場合と比較して交流は変電所間隔が長いいため、新幹線のように負荷電流が大きい場合には、レールを絶縁することによって大地に対するレールの電位が大きく上昇する可能性があります。このため、新

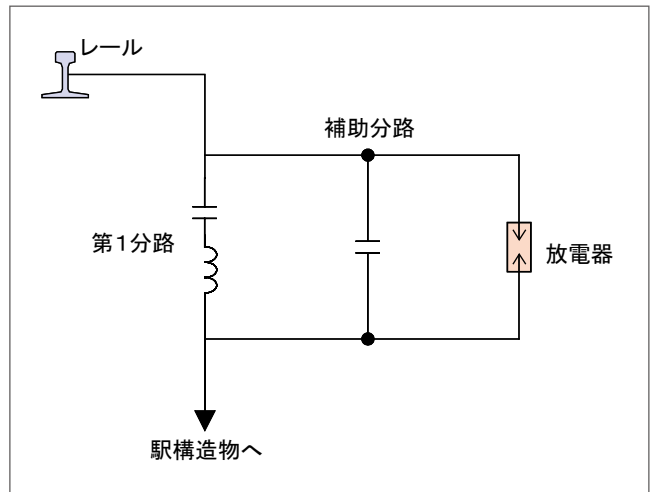


図7 レール電位抑制装置

幹線の駅においてはレールを駅構造物に接続し、レール上の車両とホーム上の旅客との電位差を解消して安全を確保しています。直流電気鉄道が近くにある場合には、直流の漏れ電流が接地を介して交流側のレールに流入する可能性があるため、図7のようなレール電位抑制装置を介してレールを駅構造物に接続し、直流電流の流入を阻止しています。

なお、交流における誘導障害対策を紹介してきましたが、直流においても整流器の出力には交流成分が含まれており、同様に誘導障害が生じる可能性があります。このため、直流の変電所では必要に応じてき電回路に流れ出る交流成分を抑制する設備を設けたり、整流器のパルス数を増やして出力に含まれる交流成分を低減させたりするなどして、誘導障害対策を行っています。

おわりに

以上、車両から変電所までの電気の流れについて概説しました。直流・交流にかかわらず帰線の基本はレールであり、目には見えなくともレールには大きな電流が流れていることをご理解いただければ幸いです。RRR

文献

- 1) 電気学会 電気鉄道における教育調査専門委員会編：最新 電気鉄道工学，コロナ社，2000年