

電気の流れ方で車両を検知する

寺田 夏樹

信号通信技術研究部(信号 主任研究員)



てらだ なつき

はじめに

鉄道では、列車を運転する運転士に対して信号機を使って列車が進んでよいかどうかを指示したり、進んでよい場合にどのくらいの速度で進んでよいかを指示したりして、列車同士が衝突や追突をしないようにしています。万が一列車が指示された速度を超過した場合や赤信号の箇所を進んだりした場合には強制的に列車を止めることもします。また、分岐器を通過している途中で分岐器の開通方向が変わると脱線の恐れがあるため、列車が分岐器を通過する際には転てつ機が動作しないようにしています。このような制御が行われているからこそ、鉄道が安全・安定輸送を実現できるのです。

このような制御を行うために、線路を一定の区間ごとに区切って、その区間に車両が存在するかどうかを検知しています。先ほどの信号機や転てつ機の制御はこの検知結果に基づいて行っており、車両を検知することが列車を安全

に運行するために非常に重要な役割を担っています。車両を検知する方法にはいくつかありますが、現在の鉄道で主に使われているのはレールに電気を流し、車両により電気の流れ方が変わることを利用して車両を検知する方法です。この方法は軌道（レール）を電気回路の一部として使っていることから軌道回路と呼ばれます。本記事では軌道回路の仕組みやそれを支えている各種技術を紹介します。

軌道回路の原理

図1の上図に示すように車両を検知する区間の片端のレールの間に電圧をかけてレールに電流を流します。もし車両が存在しなければ、電流はもう片端に届くので電球をつなげば点灯することになります。しかし図1の下図のように車両が存在する場合には、車輪や車輪をつなぐ車軸が鉄でできているため車軸に電流が流れます。この場合の車軸の電気抵抗は非常に小さいため、ほとんどの電流は車軸に流れてしまい、もう片端には電流は届かなくなるため、電球は消えてしまいます。つまり電球が消えると車両がこの区間に存在することが分かります。これが軌道回路の原理です。

実際の軌道回路では電球の代わりにリレーや電子回路で構成された受信器を使って車両の有無を検知しています。区間の長さは短いものでは数十mですが、一般的な駅中間では1~2km、長いものでは5~6kmにも達します。また、電流の種類も条件に合わせて様々なものがあり、直流や数十Hz~数十kHzの交流を使用しています。直流は非電化区間でのみ使用されています。交流でもっともシンプルなのが商用周波数(50Hzまたは60Hz)を用いたものです。交流電化区間などでは電車を動かすための帰線電流も同時に流れているため、商用周波数ではうまく動作しないのでその半分の周波数(25Hzまたは30Hz)などが広く使用されています。一方、新幹線などでは数百Hz~数千Hzの信号を使っています。

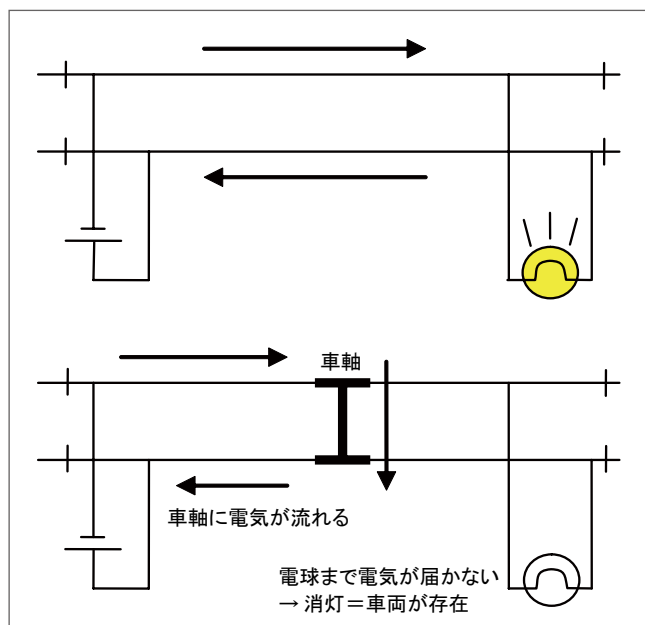


図1 軌道回路のしくみ

軌道回路電流を流すための工夫

レールを電気回路の一部として使うのが軌道回路であると述べました、もしレールが折れたらどうなるでしょうか？この状況をレール破断と呼んでいます、この場合も電流が流れなくなります。すると軌道回路の受信器から見れば列車が存在するのと同じことになります。つまり軌道回路の一部であるレールに障害が発生した場合であっても、その区間に列車が入らないような安全側の制御をすることができます。

軌道回路が確実に機能しなければ安定した列車の運行は維持できません。そのため軌道回路を適切に維持管理することが非常に大切です。

軌道回路の電流を安定して流すために、レールに様々な工夫をしています。例えば、レールの継ぎ目では軌道回路の電流が流れやすいように銅線でレールをつないでいます(図2)。これをレールボンドと呼んでいます。図2では酸化して真っ黒になっていますが、取りつけたときには真新しい銅の状態です。また、区間の両端では電流が外側のレールに流れないように樹脂などで作られた電流を流さない部品をレールの間に挟んで、区間境界のレールを絶縁しています(図3)。図3ではレールの間に部品が挟んでありますが、それ以外にもレールを固定するボルトや板(継目板と

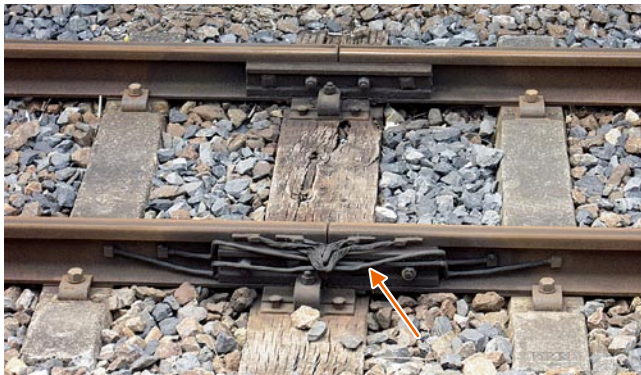


図2 レールボンド



図3 レール絶縁

呼びます)によって2本のレールが電気的につながらないように、樹脂製の部品が内部で使用されています。

また、レールを支えるレール締結装置も軌道回路から見た場合に非常に重要な要素になります。最近ではレールを支える部材として鉄筋コンクリート製のマクラギやスラブと呼ばれるコンクリート製の道床が広く使用されています。コンクリートは電気を流さないように思われるかもしれませんが、実はコンクリートは絶縁体とは言えず微弱な電気を流すことができます。もしマクラギなどに電流が流れると軌道回路の電流は遠くまで流れません。そのため、レールからコンクリートに電流が流れ出さないようにする必要があります。

このような箇所ではレールとマクラギあるいはスラブとの間に軌道パッドと呼ばれるゴム製の部材を挿入して電気的に絶縁しています。

帰線電流と軌道回路電流を同時に流すには

電化区間では別の記事でも説明されているように、電車を動かすための帰線電流もレールを流れます。車両からレールに流れた帰線電流は軌道回路をまたがって変電所まで流れていく必要があります。ところが図1のような構成のままではレール絶縁があるために帰線電流を流すことができません。帰線電流も軌道回路の電流も同時に流すためには図4や図5のような構成にします。図4では片側のレールにだけ帰線電流が流れることから単軌条式と呼んでいます。図5では両側のレールに帰線電流が流れることから複軌条式と呼んでいます。

単軌条式では片側のレールにだけレール絶縁を挿入してあります。受信器はレールに比べて電流が流れにくいので、絶縁を挿入してあるレールには帰線電流はほとんど流れません。一方、軌道回路の電流は送信器からレールを経由して受信器に流れ、回路を構成します。

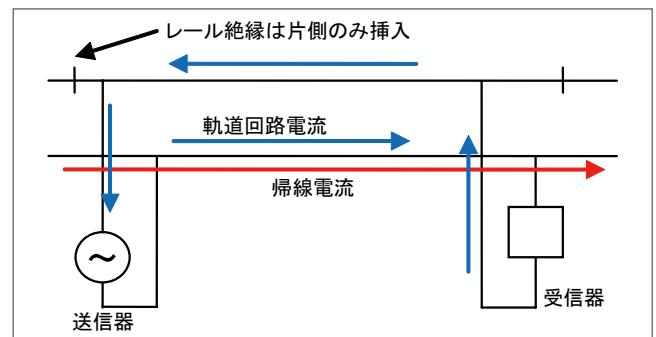


図4 単軌条式軌道回路

図4と図5を比べると分かるように単軌条式の方が構造は単純です。しかし帰線電流に対するレールの電気抵抗は、レール2本を使って流す複軌条式の方がレール1本を使って流す単軌条式のおよそ半分になるため、車両に電気を供給する観点では複軌条式の方が有利になります。これらの理由から電化区間における軌道回路の構成は複軌条式が主流で、単軌条式は駅構内の一部のみで使用されています。

図5(a)において、点線で囲まれた箇所がありますが、これが示すのはインピーダンスボンドと呼ばれる一種のトランス(変圧器)です。トランスとは1対のコイルから構成され、片方のコイルに交流電流が流れるともう片方のコイルに電流が誘起されるものです。インピーダンスボンドでは片方のコイルはレール、片方は軌道回路の送信器あるいは

受信器に接続されています。レールに接続されるコイルの真ん中をもう一つのインピーダンスボンドと接続します。図5(b)に軌道回路電流の流れ方を示します。左側の送信器に接続されているインピーダンスボンドでは、送信器から流れてきた電流はトランスの作用で両側のレールに違う向きで同じ大きさの電流として伝わります。1点に流れ込む電流の和は0であるというキルヒホッフの法則から、真ん中からもう一つのインピーダンスボンドの方には流れていきません。右側の受信器が接続されているインピーダンスボンドでは軌道回路の電流によって受信器に接続されているコイルに電流が誘起されます。2本のレールに流れる軌道回路の電流は逆向きであるため、こちらでも2本レールの電流がちょうど打ち消しあうのでさらに右側には流れていきません。

一方、帰線電流の流れ方を図5(c)に示します。帰線電流はインピーダンスボンドでちょうど半分ずつ左右のレールに分かれて流れていきます。図5(c)の左側から流れてきた電流はインピーダンスボンドで半分に分かれ、右側のインピーダンスボンドで元に戻ります。右側のインピーダンスボンドでは左右のレールに同じだけの帰線電流が流れていれば受信器には伝わりません。これによって帰線電流と軌道回路電流を同時に流すことが可能になります。

実際のインピーダンスボンドは図6のような形をしていてレールの脇に設置されています。図7にレールとの実際の接続例と電流が流れる経路を示します。レールとインピーダンスボンドをつなぐケーブルにはレールに流れるのと同じ大電流が流れるため、確実に電流を流し、なおかつ振動などでケーブルが1本外れても大丈夫なように、通常は2本以上で接続しており、首都圏など長大編成の列車が頻繁に走るような箇所ではレールとインピーダンスボンドをつなぐのに4本ものケーブルを使ったりしています。

また、変電所がある箇所では変電所とレールが直接接続されているのではなく、図6の2つのインピーダンスボンドを結んでいる線を変電所の側へ接続しています。

なお、高度な軌道回路ではさらに電気的な工夫をしてレール絶縁やインピーダンスボンドを不要にしたものもあります。レール絶縁がないのでこのような軌道回路を無絶縁軌道回路と呼んでいます。レール絶縁は車両の振動に対する弱点箇所です。レールから絶縁をなくすことは線路の弱点を減らすことができ、線路の保守の観点から有利です。

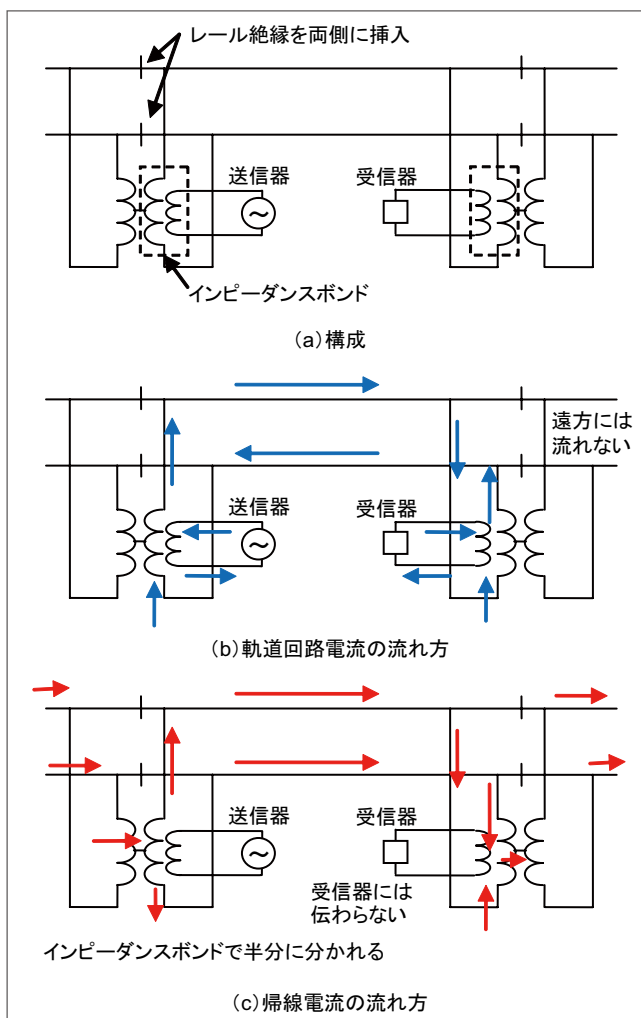


図5 複軌条式軌道回路



図6 インピーダンスボンド

また、インピーダンスボンドは設置場所が必要で、重量も大きいので、インピーダンスボンドを減らすことによる利点も大きいといえます。ただし、受信器の仕組みが複雑であるため、線区的环境を考慮して導入されています。

帰線電流による軌道回路への妨害

先に説明したインピーダンスボンドの機能は理想的な場合を前提にしています。実際には帰線電流は必ずしも左右均等には流れません。そうすると左右のレールに流れる電車電流の差は完全には打ち消せないで、その差が受信器に伝わります。仮に電車から軌道回路の電流と同じ周波数の電流が発生すれば、それにより軌道回路の受信器に妨害電流が流れ、誤動作する可能性があります。

従来の抵抗制御の車両ではあまり問題にはなりませんでした。近年は車両のモータを制御するのにVVVF制御が導入されています。VVVF制御の車両では半導体素子のON-OFFによりモータを制御していますが、このON-OFFの仕方によっては軌道回路と同じ周波数の電流が発生してしまいます。この電流が大きい場合には車両が軌道回路上に存在するのにも関わらず、これを検知できないことが懸念されます。

現在では、新しい形式の車両を製作する際には、車両から発生する電流によって軌道回路が誤動作をしないように、車両からレールに流れていく電流を調べて、問題がないことを確認しています。

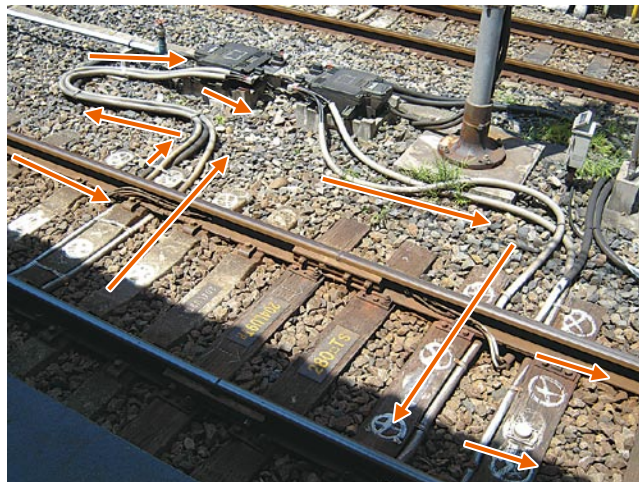


図7 インピーダンスボンド付近の帰線電流の流れ

また、軌道回路の方でも車両から発生する妨害に対して誤動作をしたりしないように軌道回路の電流に工夫をしています。

おわりに

電気の流れ方の変化をとらえることで車両を検知する軌道回路について紹介しました。現在の鉄道の安全・安定輸送を支えている軌道回路ですが、送受信器の他、送受信器に電源を供給するための配線、運行管理システム等に対して車両の検知結果を伝えるための電線が必要であり、設備が広範囲に分散していることから設備の保守に手間がかかるなどの課題があることも事実です。また軌道回路だけでは車両の詳細な位置を検出することができないため、高度な運行制御のためには制約になることもあります。そのためATACSなど、車上で連続的な位置検知を行い、その情報に基づいて列車制御を行うシステムが研究されています。

しかしながら軌道回路は仕組みが簡易であり、ある区間内での車両の有無の確実な検知を低コストで実現することが可能です。また、レール破断を検知する機能も有しています。そのためこれからも当分の間は軌道回路が広く利用されていくであろうと考えられます。RRR