

車両からレールまでの電気の流れ

廿日出 悟

車両制御技術研究部(駆動制御 主任研究員)



はつかで さとる

はじめに

電気鉄道車両はエネルギーを地上から受け取るため、自動車や飛行機のように燃料を搭載する必要がありません。その分だけ車両が軽くなり、エネルギー効率がよくなります。電気にはプラスとマイナスの2本の電線が必要です。直流電車を例にとると、このうちプラス側は屋根に取り付けられているパンタグラフがその役割を果たしています。

では、マイナス側はどこになるのでしょうか？実は車輪がその役割を果たしており、レールへと電流を送り返しています(図1)。モノレールなど車輪がゴムタイヤの場合は別の装置を使っています。

プラス側は電圧が高いため、処置が不適切な場合には地絡事故などの大きなトラブルが発生します。過去には火災事故で多くの方が亡くなったこともありました。そのため、プラス側は絶縁を確実に取って定期的にメンテナンスをしています。しかし、マイナス側は車両のあちこちで配線している場合が多くなっています。そのせいもあってマイナス側を流れる電流が思わぬところを流れてトラブルが発生することがあります。ここでは車両の

電流(帰線電流)がレールへどのように流れていくのかを中心に解説します。

接地回路

パンタグラフから取り込んだ電流は装置を経由した後に帰線電流となります。帰線電流は最後には車輪を通じてレールに流れていきます。帰線電流が流れる回路を接地回路と呼んでいます。「接地」という言葉は地上では大地につなぐことを指しますが、車両の場合は車体と接続することと車体を接地装置などと接続することの2つの意味があるので注意が必要です。

接地回路は車体、電線、接地装置などで構成されます。それぞれの役割について説明します。

■車体

車体は車上機器にとってのアース(接地)の役割と帰線(電池に例えるとマイナス側につなぐ電線)の役割の2種類があり、機器によって異なります。

アース：アースは機器の基準電位を安定化することが主な役目であり、地上にある装置の場合は地球がその役割を

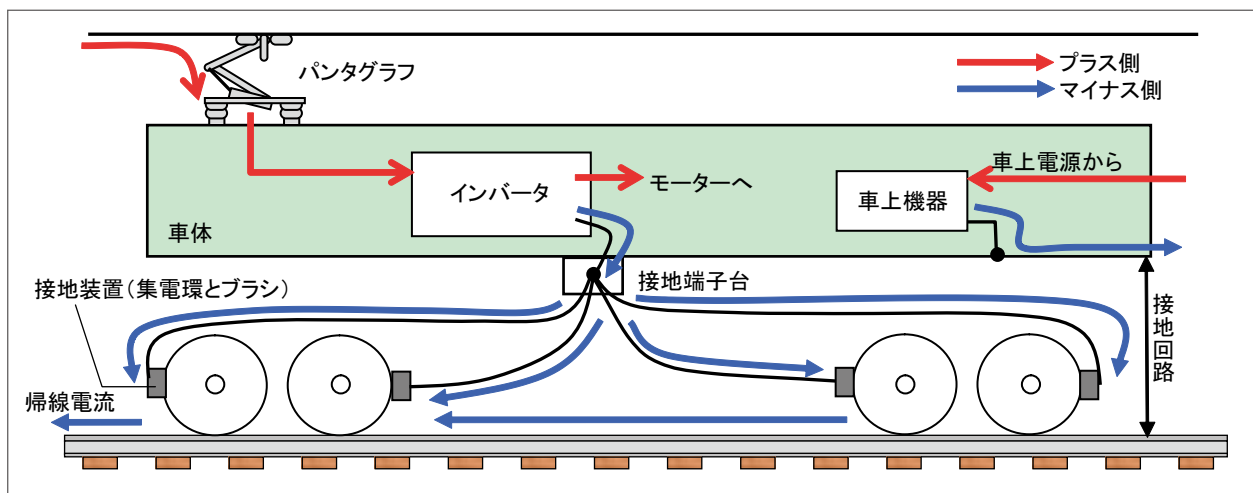


図1 車両の電流の流れ

します。電位を安定化させるためには大きな導体が必要なので、鉄道車両では車体になります。もし車体が金属でない場合、別途アースになる物体が必要です。

帰線：機器の電源線にはプラスとマイナスの2種類が必要です。電源装置（蓄電池）は複数車両に1台しかないの、プラス側は電源から電線を引いていますが、マイナス側は車体を電線の代わりに使う場合があります。

■電線

車体に流れた帰線電流は電線を通じて接地装置へと流れます。最近の車両では先にインバータなどの接地スイッチから直接電線を配線して接地装置と接続します。

■接地端子台

接地のための電線を接続するために端子台が使われます。端子台は車体に取り付けられますが、車体と電気的につながっている場合とそうでない場合で役割が異なります。

■接地装置

車体から流れてきた電流を車軸・車輪を通じてレールへと流す装置です。車軸に取り付けられた集電環という金属リングと炭素（カーボン）のできた接地ブラシからできています。車軸と一緒に回転する集電環へ接地ブラシがこすりながら接触することで電気的につながっています。

これらの部位にどのように電流が流れるかを示したのが図1になります。このように流れるのは車体や電線、レールの抵抗（電流の流れにくさ）の度合いを調整しているからです。この抵抗が絶妙にバランスを取るよう設計すると、設計したとおりに電流が流れます。

迷走電流

通常は図1に示したように電流が流れるわけですが、地上や車両の状態によってバランスが崩れると電流は意図しない流れをします。これを迷走電流と呼びます。迷走電流は図2のような原因によって発生します。

■吸い上げ

交流電車に多い現象です。交流の場合、レールが鉄でできているため表皮効果（電流が表面に集まる性質）によってレールには電流が流れにくくなります。一方、車体は表皮効果もなく、断面積も大きいことから結果としてレールよりも車体の方へ電流が流れやすくなります。

極端な場合は接地装置を通じてレールに一度流れた電流が隣の接地装置から車体へ吸い上がることがあります。結果として先頭車両の接地装置に多くの電流が集中することになります。

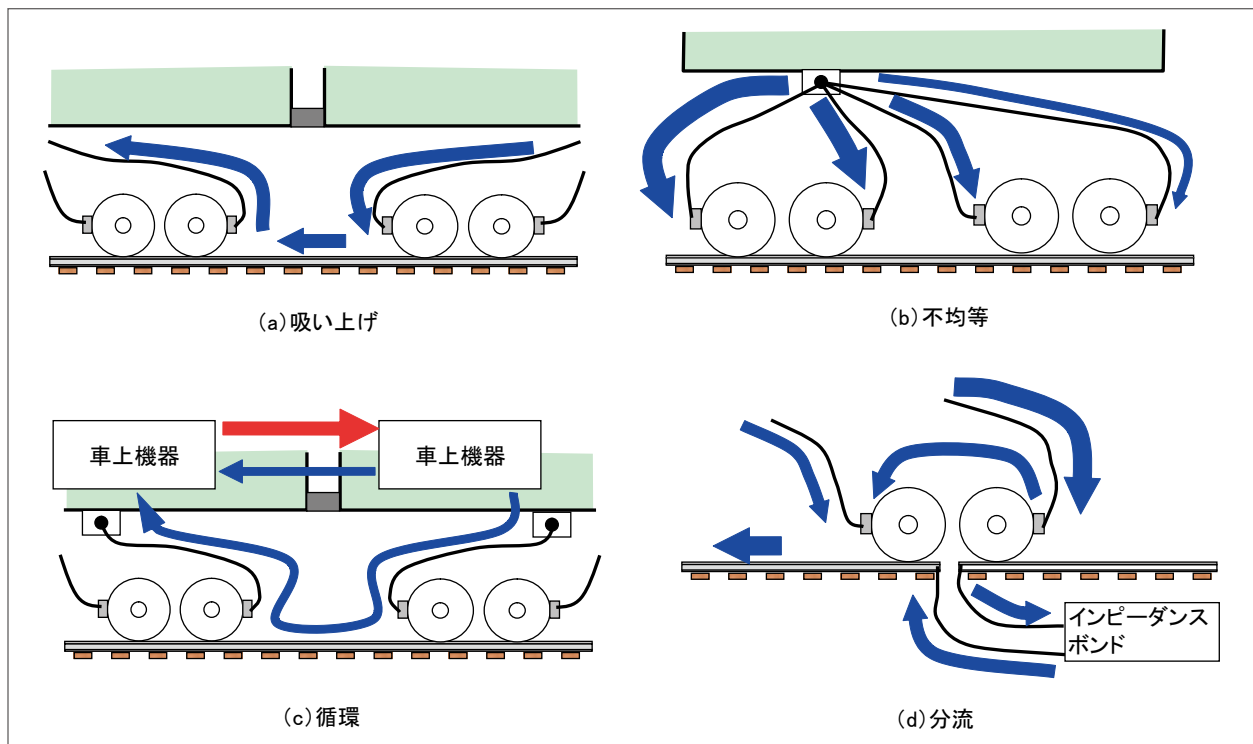


図2 迷走電流の発生原因

■不均等

通常は車両1両に車軸が4本あり、各車軸には接地装置がついています。4本ある車体～接地装置間の電線のなかでどれかが短いなどの理由で抵抗が小さくなると、その軸の接地装置に電流が集中します。

■循環

車上機器から別の機器に電気を供給する場合は供給した電流が車上機器に再び戻ります。たとえばインバータからモータへ流れた電流はすべてインバータに戻ります。機器から流れ出た電流は通常であれば配線や車体を經由して戻りますが、時にはレールを經由して戻る場合があります、これを循環と呼びます。

■分流

分岐器やインピーダンスボンドなどによってレールに継ぎ目があるとそこは電流が流れにくくなります。そのため電流は車体をう回することになります。場合によっては台車の中を電流がう回する場合があります。

迷走電流が引き起こすトラブル

迷走電流が発生すると様々なトラブルが発生します。

■接地ブラシの異常摩耗

接地ブラシに多くの電流が流れると多く摩耗します。特定の接地装置に電流が集中してしまうとそこだけ早く摩耗してしまいます。分流や吸い上げが原因であるため、先頭車両の端の接地装置のブラシが早く摩耗する場合はほとん

どです。異常に早く摩耗するときは分流も起きている可能性が高く、軸受等が既に損傷している場合もあります。

■渡り板からの火花

レールの継ぎ目を走行するときは継ぎ目の前後で電流の流れ方が変わります。特に信号装置のインピーダンスボンドは抵抗が大きいのでインピーダンスボンドをまたいだ瞬間にレールを流れていた電流の大部分が車体をう回します。そのため、車両間の貫通路にある渡り板に火花が飛ぶことがあります。最近の車両では渡り板の裏側にゴムを貼るなどの工夫をしていることもあります。しかし、車両間には渡り板以外にも貫通幌や連結器などの金属物があります。渡り板だけを絶縁しても、これらに電流がう回して金属物が発熱したり、融ける危険もあります。

■軸受損傷

軸受は回転する部分に必要な部品で回転する部分と回転しない部分からできています。軸受に電流が流れると軸受は損傷してしまい、車両は走行不能になってしまいます。軸受損傷による車両故障が多発して、かつては大問題となりました。現在ではそこまでひどくは無いものの軽い損傷が発生する例はまだ存在するようです。

迷走電流を避ける接地回路の工夫

ここまで見てきたように帰線電流が迷走電流となることによって軸受損傷などのトラブルが発生します。これらの経験を元に現在では迷走電流にならないように接地回路に

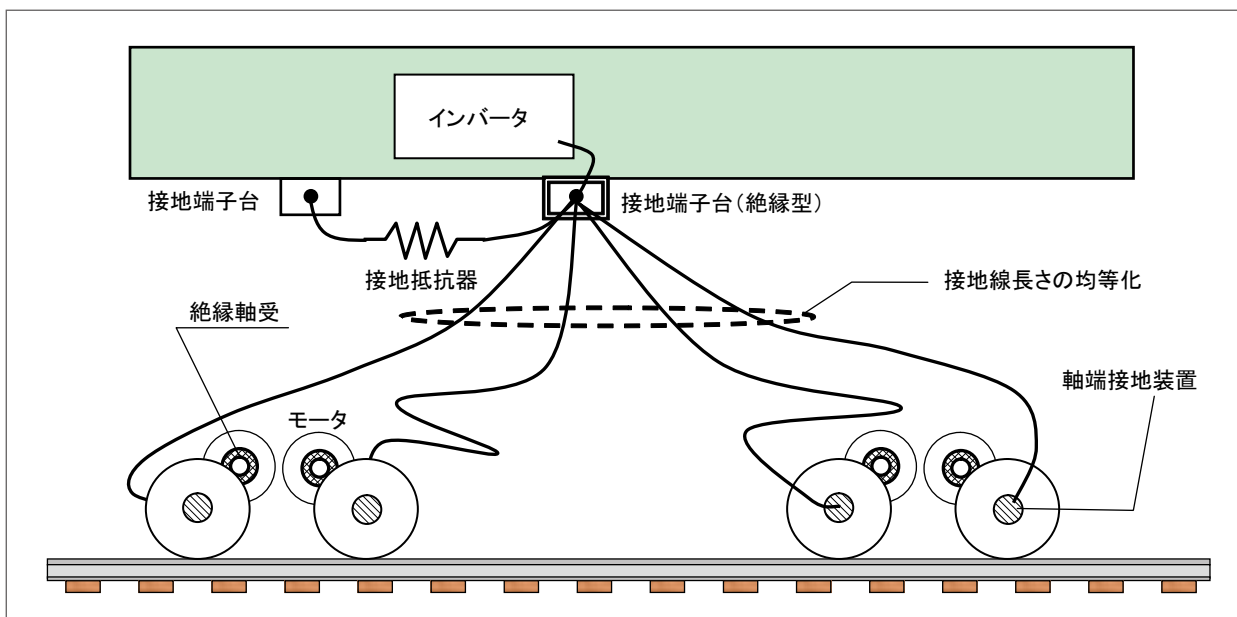


図3 迷走電流を避ける工夫

工夫が施されています。図3にみるような方法を複数組み合わせています。

■接地線長さの均等化

車両1両に車軸が4本あります。各車軸に接地装置がついていますが、各接地装置に電流が均等に流れる事が重要です。そのため、車体から接地装置までの配線長さを同じにするように配線します。すると抵抗が等しくなるので電流も等しくなります。

■軸端接地装置

日本においては歯車装置と一体となっている接地装置が一般的です。これは軸周式と呼び、車軸の表面にブラシを押し当てます。これに対し一部で使用している軸端接地装置は車軸の端面にブラシを押し当てる方式です。軸周式に比べて摩擦量が少なく、電流量も大きいことが特徴です。軸端接地装置にすることで迷走電流による被害を軽減・予防することができます。車軸端は信号や速度計などに使うための速度発電機を取付ける場所などでもあるため、軸端接地装置と速度発電機を一体化したものを鉄道総研で試作したこともあります。

■接地抵抗器

吸い上げ対策として最も効果があるのが接地抵抗器です。車体と接地装置との間に抵抗器をつなぎ、主回路機器のマイナス側を接地装置につなぎます。するとレールから電流が吸い上がろうとしても抵抗器があるので車体へは吸い上がりません。新幹線ではこの接地抵抗器が使われており、在来線でも一部使用しています。

■絶縁軸受

軸受に電流が流れる理由は帰線電流の迷走以外にもインバータとモータの組合せによる本質的な電流もあるため、接地抵抗器などの対策をただけでは軸受に流れる電流を完全になくすことはできません。軸受を保護するためには軸受そのものに絶縁を施した絶縁軸受が最適な手法です。

接地回路に関連した話題

これまで帰線電流の迷走による影響やそれに対する工夫を述べてきましたが、接地回路に関連した話題が他にもあるのでここで紹介します。

■誘導障害

ここでいう誘導障害とは車両から電流や電磁波などが発生して地上の機器に影響を与えることを指します。新車を製作したときはこの誘導障害が発生しないことを確認しますが、最近では確認に多くの時間やコストがかかっています。

特に電磁波は目に見えず、どこから発生するのかわからない場合が多いため、測定や対策が困難です。

電磁波の発生源としては機器箱と電線の2種類がありますが、多くの場合は電線に流れる電流から発生します。電流の一部が車体やレールを経由して戻るためにループ回路を形成してそこから磁界が発生すると考えられています。

ループ回路の一部に接地回路が含まれるため、接地回路に対策を施すことによって誘導障害を避ける場合もあります。原理などもまだよくわかっていないことも多いため、研究や技術開発が必要な分野となっています。

■車体電位の不安定による機器故障

迷走電流による被害を防ぐために接地抵抗器や接地線長さを等しくするわけですが、これらの対策によって車体とレールの間は電流が流れにくくなります。その場合、パンタグラフを上げた瞬間やセクションを通過した瞬間にパンタグラフの電位が急激に変化するため車体もひきずられるように電位が急激に変化します。

最初に解説したようにこのような電位の急激な変化を抑えるためにアースがあるのですが、迷走電流を防ぐ対策はアースの機能を弱めてしまいます。そのため、車上の機器が誤動作したり、最悪の場合は故障することがあります。

極端な場合は先頭車両に接地回路が存在しない場合もあり、そのような場合は車体の電位がとても不安定になるので機器の誤動作や故障が発生する可能性が高くなります。

10年ほど前に顕在化したとき以来、鉄道総研において研究を行い、その結果として開発した対策手法（新型の接地抵抗器や接地コンデンサ）も存在します。

おわりに

これらの話題は詳細を解説できないのが悩みなのですが、会合などで話をするとこっそり相談されることが多いのが実態です。対策を公開しにくいこともあり、ノウハウが共有されずに同じトラブルをくり返すことがあります。

重要なポイントは、接地回路が車体、台車、レールという普段は電気回路として意識しない物体で構成されるため、電流が設計者の意図とは違う流れ方をすることです。特にゴムなどの絶縁体であっても周波数が高いと電気を通す場合があるのがやっかいなところです。

電気は見えないのですが、流れやすいところを流れるという正直な性格もっています。トラブルが発生したら電流がどこを流れるかについて材料や電流の周波数を元に丹念に追うことで原因が解明できるはずですが。[RRR]