

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 架線と鉄道車両が ショートしたときの影響を軽減する

鉄道車両の車体は強<sup>じん</sup>靱性や難燃性を考慮して金属で作られています。そのため、架線が切れたり、パンタグラフに飛来物が衝突するなどしたりした場合には架線と車体がショートすることがあります。ショートによって車内の電気機器が故障するなどの影響があるうえ、ショートした車両を見つけるのに時間がかかって列車が遅延するといった影響があります。ここでは、架線と車両がショートしたときの影響を軽減するための方法として、車体～レール間の接続に関する規格や車両自身でショートを早期に検知するための研究について紹介します。



廿日出 悟  
Satoru Hatsukade  
車両制御技術研究部  
駆動制御研究室  
主任研究員



三木 真幸  
Masaki Miki  
車両制御技術研究部  
駆動制御研究室  
副主任研究員

## はじめに

多くの電気鉄道車両はパンタグラフなどの集電装置を用いて地上から電気エネルギーを取り込みます。これにより電気鉄道車両はエネルギー源の搭載が不要な分だけ車両が軽くなり、結果としてエネルギー効率が良くなるというメリットが得られます。

電気エネルギーの供給元は架線や第三軌条ですが、これらは常時数百V～数万Vの高電圧がかかっています。

一方、鉄道車両は過去の火災事故などの教訓から難燃性の材料で作ることが義務付けられており、車体はステンレスやアルミニウムで製造されることがほとんどです。金属は電気を通すので、例えば架線が切れて車体に垂れ下がる、アルミ風船が飛んできて架線と車体に接触する、といったことで架線と車体が短絡（ショート）状態になります。ショートした瞬間に車体が架線と同じ高電圧になるため、車内の電気機器が壊れるおそれがあります。なお、車内にいる乗客はこの高電圧の影響を受けません。

直流電車では屋根を絶縁する対策をしていますが、それでも絶縁の劣化や

飛来物などがあるため、ショートを完全に防ぐことはできません。そこで、ショート時の被害を軽減するために変電所が自動で送電停止する、車体と車輪を電氣的に接続して電位差を減らすなどの工夫をしています。

変電所が自動で送電停止した場合、ショートした列車を特定しないと送電再開ができません。変電所にはショートした場所を特定するロケーターという装置があるのですが、大規模な駅や車両基地など列車が多い場所では列車を特定することができません。現在は指令所からの指令で1列車ずつパンタグラフを上げてショートを再現することで列車を特定しています。そのため、大規模駅や車両基地でショートが起きると運転再開までに長時間かかってしまいます。なお、車両側では停電を検知できますが、自列車でのショートが原因と判断することは現在の車両ではできません。

## ショート時の電位差による影響とその低減

架線と車体がショートした瞬間に、車体に大電流が流れます。このとき

図1 (b) のようにさまざまな場所に電圧が発生し、数百Vにもなることがあります。この電圧によって、図2 (b) のように車内の電気回路において、異常な高電圧がかかって保護素子が破壊したり、制御回路を電流が逆流することによりリレー（継電器）が誤動作するような故障が起こります。また、これらの電圧や電流により部品が損傷するような事例も発生しています。

このような故障をできるだけ防ぐために国際規格 IEC 61991（日本の対応規格は JIS E 5051）では、車体-レール間の抵抗値や車両間を接続する配線について定めていて、例えば電気機関車では車体-レール間の抵抗値を  $50\text{m}\Omega$  以下としています。

### 車体接地の考え方

車体-レール間の電気的な接続を車体接地とよびます。国際規格で定められるように、電気機器の故障防止には車体-レール間の抵抗ができるだけ小さいことが望ましいです。

その一方で車体-レール間の抵抗が小さいと、レールに流れる電流が車体を流れる“吸い上げ”が発生し、さまざまな機器に悪影響を与えます<sup>1)</sup>。したがって車体接地では車体-レール間の抵抗値を小さくしつつ、吸い上げを防止する構成とする必要があります。文献を調べた結果、日本と欧州では車体接地に関する考え方が違っていました（図3）。日本では車体-台車枠間を絶縁するのに対し、欧州では台車枠-軸箱間を絶縁することで吸い上げを防いでいます（図3の黄色が絶縁箇所）。これはかつてパワーの大きな列車が交流電化・機関車列車が中心であった欧州と、直流電化・電車列車が中心であった日本との技術背景の違いに由来すると考えられます。このため、JIS E 5051では国際規格の一部に

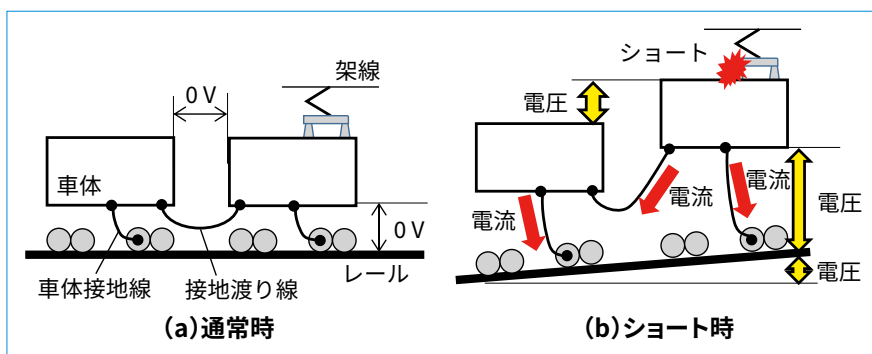


図1 ショートした瞬間に電位差が発生する場所

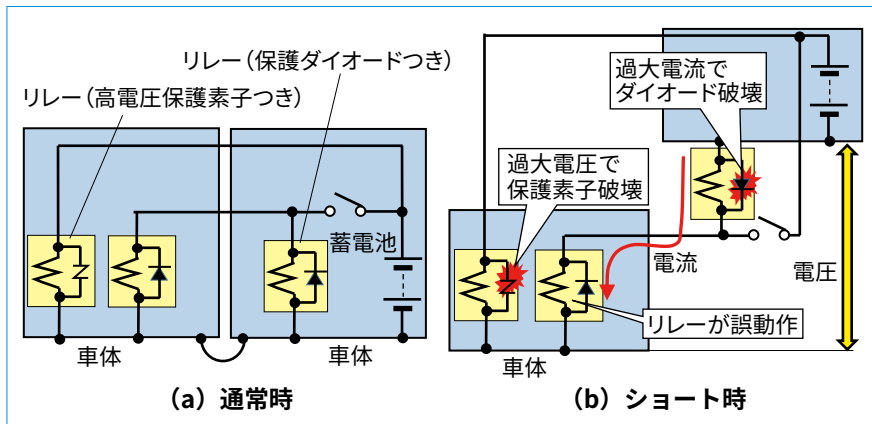


図2 電位差による悪影響

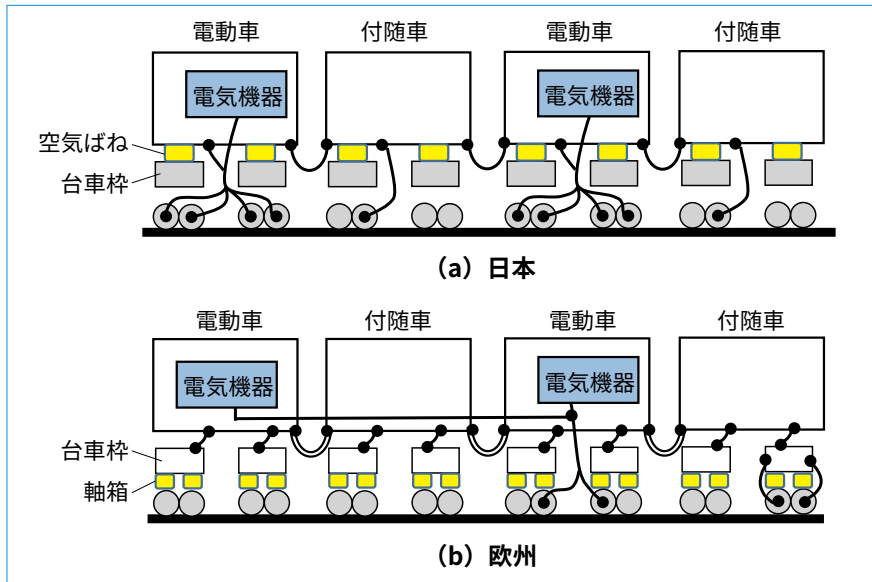


図3 車体接地における日本と欧州との違い(例)

ついて日本の実情に合うように修正されています。日本と欧州、どちらもそれぞれの背景から現在のシステムが成り立っているため、お互いの良いところを取り入れることでさらに安定したシステムになることが期待できます。

### 列車でショートを検知する

図1 (b) にみるようにショートしたときの電流は編成内のさまざまな箇所を流れてレールへ至りますが、現時点では車両では自列車でショートが発生したことを検知できません。

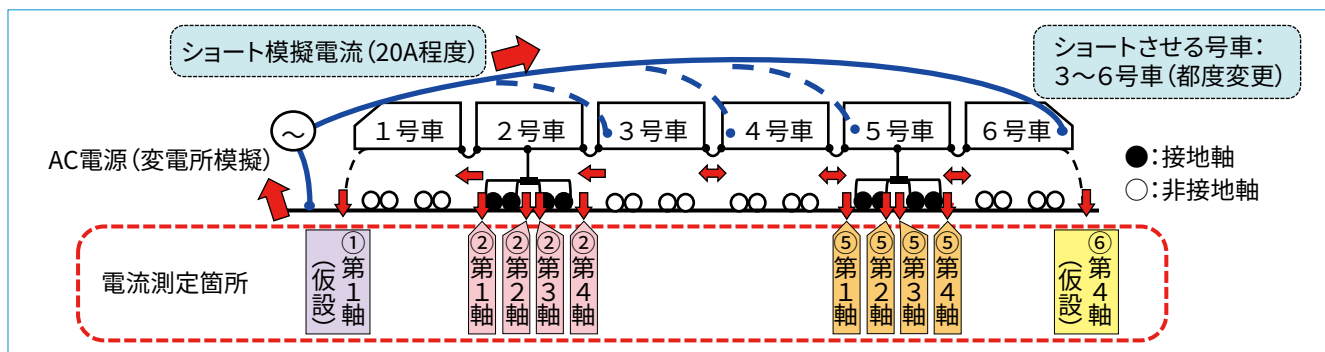


図4 ショート模擬試験

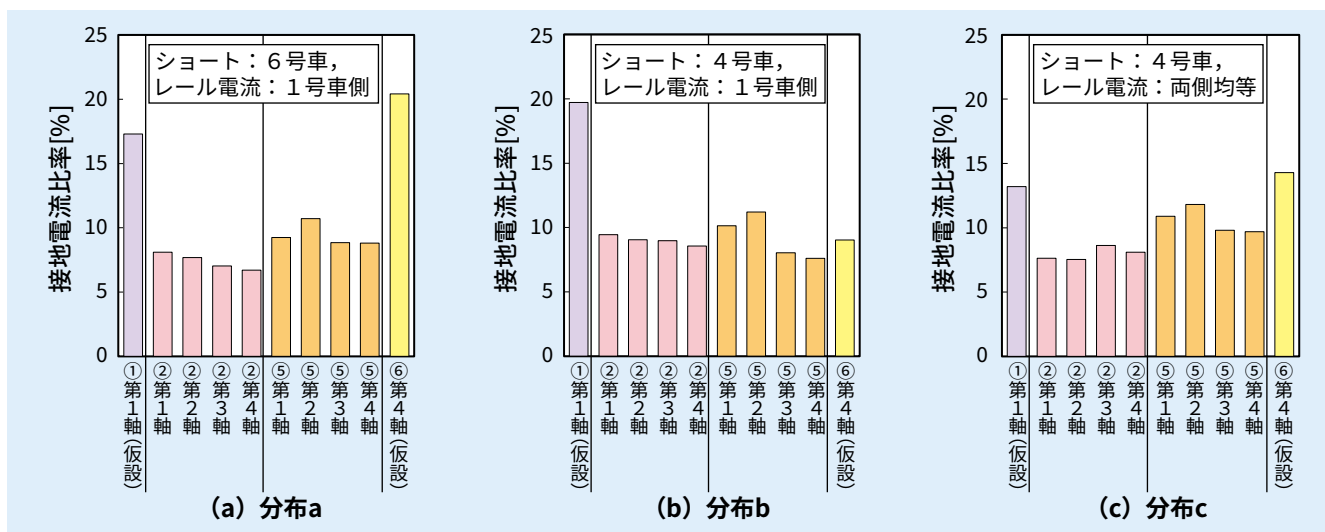


図5 ショート模擬試験から得られた接地線の電流分布

そこで、交流き電の車両を対象とし、自列車で発生した架線-車体間ショートを車上で検知する手法を開発しましたので紹介します<sup>2)</sup>。

### ショートした時の電流の流れ方

架線と車体がショートした瞬間に、変電所-架線-車体-レールの経路で電流が流れます。車両の接地線に電流がどのくらい流れるかは、(1) ショート電流の大きさ、(2) ショート電流が編成内でどのように分布するか、の2点で決まります。(1) は地上の電気回路がわかれば計算で求められます。

#### 交流き電の地上設備

ATき電の場合はAT(単巻変圧器)が、BTき電の場合はBT(吸上変圧器)および吸上線が数km間隔で設けられており、これらと列車との位置関係によりレールを流れる電流の方向が変化します。

そこで、(2)を調べるために図4のように停車している編成に、ショートさせる号車を変えながらショート模擬電流(20A程度)を流して接地線の電流分布を測定しました(図5)。試験ではさまざまな構成を検証するために、本来の接地線(2, 5号車の各軸)に加え1, 6号車に接地線を仮設しています。また、模擬試験はレールに戻った電流がすべて編成の片側(1号車側)に向かう状態ですが、走行中には地上設備(☞参照)との位置関係により列車の前後両側に分かれて流れる場合もあります。そのような条件の電流分布は測定結果(図5(a)(b))を元に推定しました(図5(c))。その結果、編成両端の接地線に電流が集中する傾向がみられ、ショートさせた号車が編成の中間付近かつレールへ流れる電流が編成の前後に均等の場合(図5(c))、電流分布が

もっとも均等となることがわかります。これは、車両とレールの抵抗を比較すると後者が相対的に大きく、ショート電流の大部分が車体を通り、最後の(編成の端の)接地線からレールに戻るためと説明できます。

### 検知システムの概要

電流分布の測定結果から、ショート時には、編成内両端の接地線へより多く流れる傾向が確認できました。具体的な分布は編成の接地回路やショートが起きた号車、さらには変電所や地上設備との位置関係に依存し、さまざまなパターンが考えられます。そのため、編成内両端の車体~接地装置間配線2箇所を監視し、少なくとも一方でしきい値を超えた場合にショートしたと判定する手法を考案しました(図6)。検知情報の活用方法には、「運転台に設けた表示灯を乗務員が確認し、

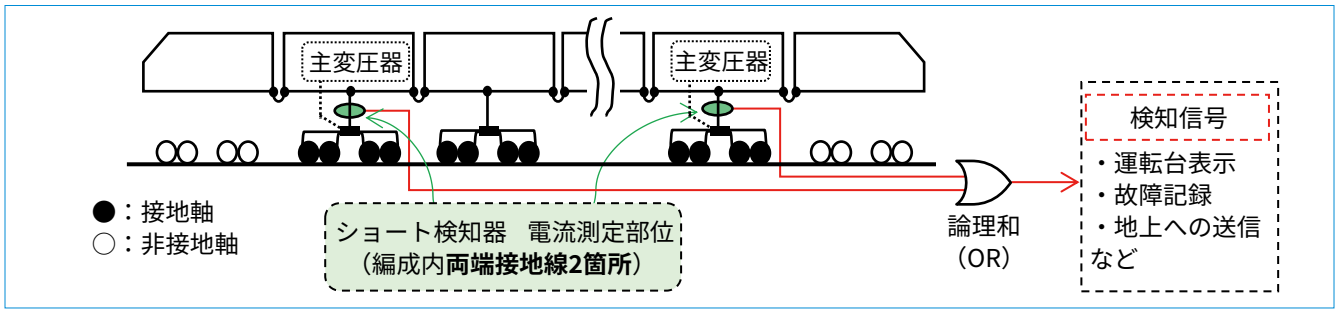


図6 ショート検知手法(例)

指令に連絡」「車両の伝送システムやモニタリング機能に統合し、無線で指令へ自動連絡」などが考えられます。

考案した手法の原理を確認するためにショート模擬試験において汎用品を用いた簡易検知器を編成端の接地線に仮設し、動作試験を行いました。その結果、検知時間が交流き電においてショート発生からき電停止までに要する時間(100 ms程度)未満であることを確認しました。実車両に適用する際の検知器の応答が同程度であれば、変電所でしゃ断される前に検知可能といえます。

### しきい値の考え方

先に述べたとおりショート電流は列車位置により変化し、さらに編成内の電流分布も図5のように変化します。一方で検知器にはショートしていない時でもパンタグラフから取り込んだ電流の一部が流れるので、検知器のしきい値は誤検知をしないような値とする必要があります。ショートしたときに検知器に流れる最小電流は、下の2条件から求められます。

- ① 列車位置を変化させたときのショート電流最小値  $I_{s,min}$  [A]
- ② 編成内の電流パターン(図5)のうち検知器に流れる電流が最小になる場合の電流割合  $a$  [%]

条件①は、列車位置が変電所からもっとも遠い場合(延長き電を考慮しなければ2変電所の中間付近)が該当します。また、条件②に該当する電流パターンは、図5(c)のように「レール

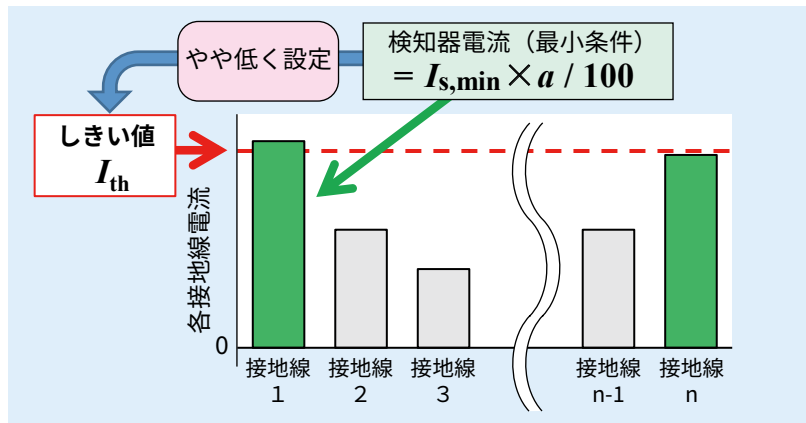


図7 検知器しきい値の設定

ルへ流れる電流が編成の前後均等」かつ「ショートした車両が編成内の中間」となる場合です。したがって、この2つの条件を組み合わせると(図7)、検知器のしきい値電流値  $I_{th}$  は検知器に流れる最小電流よりもやや低い値が適切なしきい値です。交流き電のショート電流は走行中にパンタグラフから取り込む電流の数倍以上であるため、このようなしきい値を設定することで、誤検知せずにショートだけを確実に検知することができます。

### おわりに

架線と車両がショートすることはまれではあるのですが、過去には火災事故につながったこともあり、無視できるものではありません。このようなまれなケースであっても被害が最小になるように鉄道車両は設計されています。車体とレールの接続を意味する車体接地はボンディングともよび、世界各地域における実情によってさまざまな

考え方がありますが、どれも架線とのショート時に車体に発生する電圧を低減することを意図しています。

列車でショートを検知する研究については、まだ研究が始まったばかりですが、検知方法については実用可能であることがわかりました。

これら列車の走行と直接関係が少ない電気回路については、現在でも安全第一に設計・製造されていますが、ショート検知のように輸送の安定性の面からも重要な事柄であるため、今後必要に応じて研究していきたいと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 廿日出悟：車両からレールまでの電気の流れ, RRR, Vol.66, No.10, pp.30-33, 2009
- 2) 三木真幸, 廿日出悟：車載検知器による自列車地絡検知手法の提案, 第27回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL 2020)講演論文集, 講演番号 S7-1-5, 2020