

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

車両引通し線の断線を検知する

電磁自動空気ブレーキを用いた貨物列車の営業走行直前には、引通しブレーキ指令線の導通確認検査が行われています。もし断線が発見された場合には、断線箇所の特定に時間を要しダイヤに影響を与えてしまう恐れがあります。そこで、どこが断線しているかを見つけて迅速な復旧支援を行うため、断線箇所を特定する方法を提案し、その方法を織り込んだ断線箇所特定装置を開発しました。



山下 道寛
Michihiro Yamashita
車両制御技術研究部
駆動制御研究室
主任研究員
[専門分野] 電気車制御,
再粘着制御



近江 昭穂
Akio Ohmi
日本貨物鉄道(株)
ロジスティクス本部
技術開発部
試験センター長
[専門分野] 機関車・貨
車の走行安全性



矢野 健児
Kenji Yano
(株)テス 技術本部
実験開発部
部長
[専門分野] 電子機器工
作, 計測器設計製作

はじめに

貨物列車のブレーキ方式として自動空気ブレーキ方式が用いられています。列車が分離しても自動的にブレーキがかかり、電源を必要としないなどの特徴があります。ブレーキ扱い時には、機関車から編成に引き通されたブレーキ管内の圧力を減圧させることで、その減圧に応じた力で制輪子を車輪踏面に押し当て、ブレーキ作用を行わせます。しかし、長編成列車になるほどブレーキ管の減圧効果が編成後部に伝わるまでに時間を要し、後部車両ほどブレーキのかかりが遅くなります。つまり、編成全体に所定のブレーキ力が得られるまでに時間がかかります。

この課題を解決する方式として、貨車毎に電磁弁を搭載し、電磁弁を動作させることで編成貨車のブレーキ管圧力を一斉に減圧させて、ブレーキ作用を行わせる電磁自動空気ブレーキ方式があります。ブレーキノッチ扱いにより、編成貨車に引き通された指令線に電圧(DC100V)が印加されると電磁弁が動作します。この電磁自動空気ブレーキ方式は、主に高速用貨物列車で用いられています¹⁾。

電磁自動空気ブレーキを用いた貨物列車の営業走行直前には、引通しブレーキ指令線(以下、「指令線」)の導通確認検査が行われています。もし指令線に断線が発見された場合には、断線箇所の特定に数時間を要する場合もあり、ダイヤ遅延や最悪の場合には運休となります。

そこで、編成貨車の指令線に断線が無いのか、あるいはどこが断線しているかを見つけて迅速な復旧支援を行う必要があります。このことを実現するため、編成貨車の端から測定した指令線回路の合成抵抗値に基づいて、指令線の断線箇所を特定するアルゴリズムを提案し、次に、このアルゴリズムを織り込んだ可搬型の断線箇所特定装置を開発しました。この装置を使って、実貨車を用いた断線模擬試験を行った結果、理論値と測定値はほぼ一致し、断線箇所が特定できることを確認しました。

編成貨車の引通し線回路構成

貨車には、ジャンパー栓受のコネクター(図1)に接続された数本のケーブルが引き通されています。機関車の

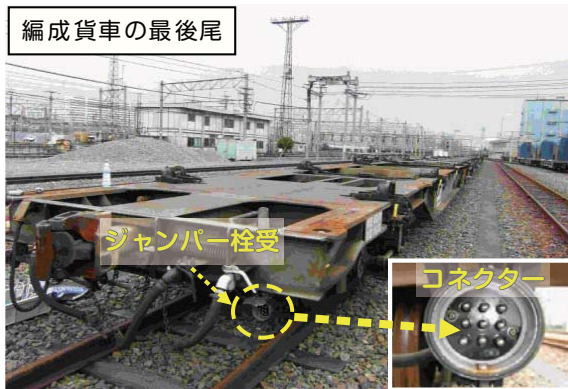


図1 編成貨車端側とジャンパー栓受け

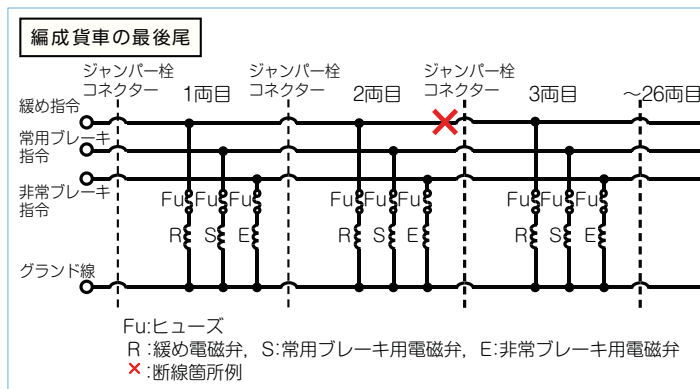


図2 編成貨車の引通し線回路構成

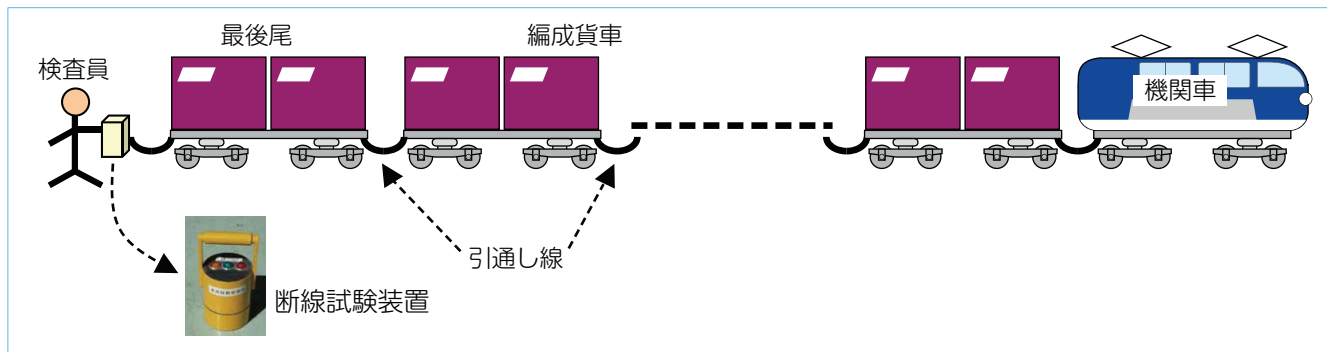


図3 編成貨車のブレーキ指令線の導通検査

ブレーキノッチ扱いは「緩め」、「常用ブレーキ」、「非常ブレーキ」があり、各ノッチに応じて電磁弁が動作します。電磁弁を動作させるための指令線（電源線）として、引通し線を利用しています。引通し線のケーブルは各ブレーキ指令用に3本、共通グランド線として1本（貨車によっては2本）用いられています。電磁弁は機関車のブレーキ指令器から指令線にDC100Vが印加されて動作します。

編成貨車の最後尾から見た回路構成を図2に示します。各指令線に対するグランド線は共通であり、各指令線とグランド線の間には、電磁弁とヒューズが挿入された回路構成となっています。断線箇所の例を図2の指令線上に×印で示します。

通常の営業走行前には、機関車が編成貨車に連結され、その直後にブレーキ指令線の導通検査が行われます（図3）。機関車のブレーキノッチを扱った際に、貨車最後尾のジャンパー

栓コネクターに指令電圧（DC100V）が検出できるかどうか、断線試験装置（図3）を用いて断線の有無を確認しています。

理論抵抗値の算出

図2の引通し線回路に基づいて、指令線の合成抵抗を算出する電気回路網モデルを図4に示します。編成内の最大貨車数は26ですが、その一部である貨車2両分を示しています。

各車両の指令線回路素子は、1貨車

の車体長分の指令線抵抗 r と電磁弁コイル抵抗 R です。貨車の端側（図4中の左側）には、抵抗測定用の電圧 E [V]と、電圧 E によって流れるコネクター間の電流 I [A]が示されます。

回路網解析（※参照）を行い、電流 I を算出し印加電圧 E との比を求めるこ

※ 回路網解析

抵抗やインダクタンス、電源などで構成される回路（網）中の各部分の電流や電圧を求めること。

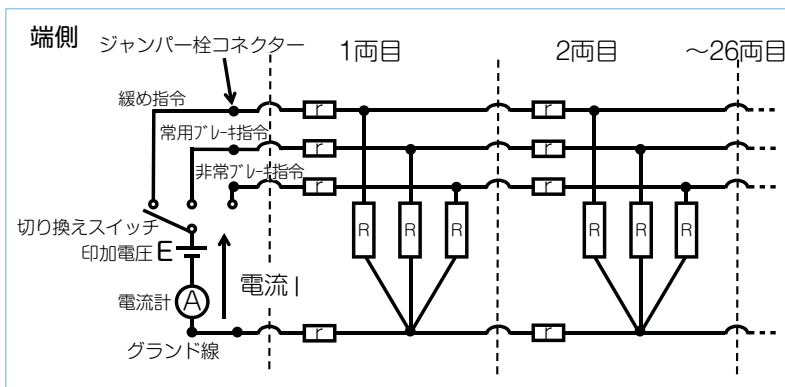


図4 指令線の電気回路網モデル

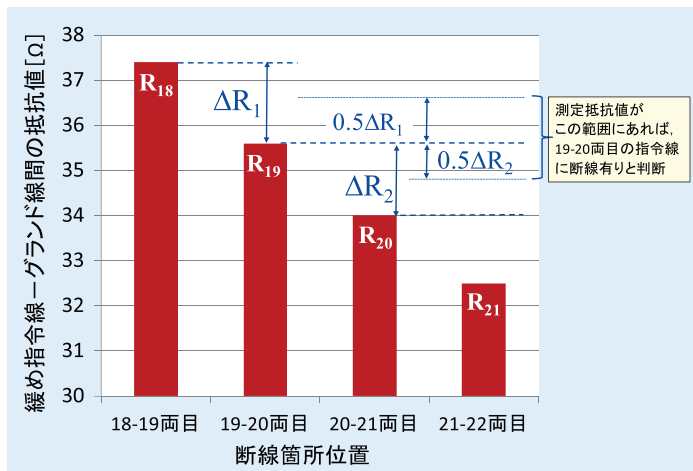


図5 理論抵抗値の計算結果例

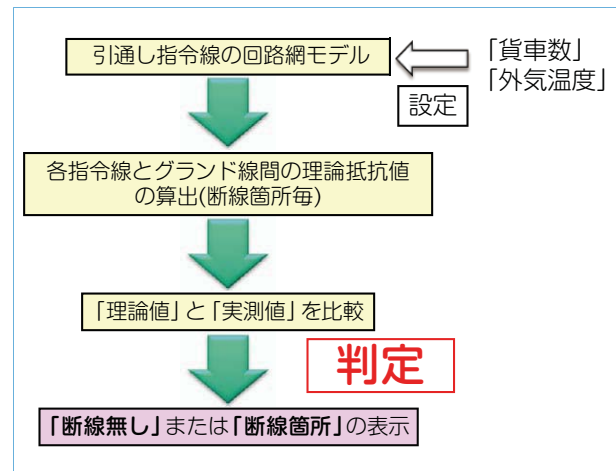


図6 断線箇所特定のプロロー

とで、指令線とグランド線との間の理論抵抗値が求められます。回路網解析に必要な閉回路方程式の数は最大78となります。そのため、最大78本の電圧方程式を解いて電流 I を求めます^{2), 3)}。

図4では緩め指令線とグランド線間の理論抵抗値の算出する場合を示していますが、切り換えスイッチで、電圧 E を印加する指令線を変えることで、常用ブレーキ指令線とグランド線間の理論抵抗値や非常ブレーキ指令線とグランド線間の理論抵抗値も求められます。

指令線とグランド線間の抵抗値 R_c [Ω] は、良く知られたオームの法則から (1) 式で求められます。

$$R_c = E / I [\Omega] \quad (1)$$

断線箇所特定方法

各指令線の断線箇所を特定するために、予め車両毎に指令線の断線が発生した場合を想定して、(1) 式で表される理論抵抗値 R_c を算出します。ここで、26両編成の場合の理論抵抗値の一部を図5に示します。車両19両目と車

両20両目の間の指令線に断線が発生した場合の指令線とグランド線との間の理論抵抗値を R_{19} とします。その前後隣り合う車両で断線が発生した時の理論抵抗値は R_{18} と R_{20} です。 R_{19} との差は $\Delta R_1 = R_{19} - R_{20}$ 、 $\Delta R_2 = R_{20} - R_{21}$ となります。そして、抵抗測定値 R_m が (2) 式の関係を満たす時、19両目と20両目の間に断線有りとは判定します。

$$R_{19} - 0.5 \cdot \Delta R_2 < R_m < R_{19} + 0.5 \cdot \Delta R_1 \quad (2)$$

これは、断線箇所毎の理論抵抗値に対し、隣り合う断線箇所での抵抗値との差である ΔR_1 と ΔR_2 を二分した値 ($0.5 \Delta R_1$ と $0.5 \Delta R_2$) を用いて、隣り合う断線箇所との判定境界域を設けて、測定抵抗値 R_m がどの境界域にあるかを判別して断線箇所を特定する方法です。後方車両での断線箇所ほど境界範囲が狭く、測定誤差などの影響を受けやすくなります。

他の車両間で断線が生じた場合も同様に判定します。ここで、提案した断線特定方法のプロローを図6に示します。

電磁弁コイル抵抗の温度特性

電磁弁コイルの温度が25℃変化すると、抵抗値が10%程度変化します。これは、電磁弁コイル抵抗値 R が実際の抵抗値に対して10%誤差があると、指令線とグランド線との間の算出抵抗値 R_c にも10%誤差が生じることを意味します。例えば、図5の理論抵抗値 R_{20} の真値は計算値に対して+10%の値とすると、算出した理論抵抗値は $R_{20} = 34 \Omega$ ですが、真値はそれよりも10%大きく37.4Ωです。これは2両分手前の車両の抵抗値 R_{18} とほぼ同じになります。よって、2両分の断線箇所誤判定となります。

国内の月別平均気温は、おおよそ-10℃～30℃の範囲です⁴⁾。断線箇所特定を正確に行うためには、理論抵抗値を計算する前に、電磁弁コイル抵抗値 R の温度補正を行うことが重要です。

断線模擬試験結果

26両編成貨車を用いて、定置にて指令線の断線を模擬した試験(断線模擬試験)を実施しました。緩め指令線で実施したその結果を図7に示します。図中の横軸は緩め指令線の模擬断線箇

所であり、縦軸は貨車端側から見た緩め指令線とグラウンド線との間の抵抗値です。

図7の結果から、回路網モデルにより算出した理論値と測定した抵抗値はほぼ一致することが確認できました。これにより、指令線とグラウンド線との間の抵抗値を測定し、理論値と比較することで、断線の有無の判定と断線箇所を特定できることが分かりました。また、他の信号線の場合も同様の結果が得られています。

数回の実編成貨車を用いた断線模擬試験では、20両目までの断線箇所を特定することができました。

21両目以降では、断線箇所位置(車両)の違いによる指令線とグラウンド線との間の抵抗値の差が小さくなります。そのため、電流センサや電圧センサ、電磁弁コイル抵抗設定値などの精度の影響で、断線箇所位置の誤特定が生じやすくなりました。この対策として、編成の逆端からも測定することで、現行営業列車で最も長い26両編成全体の断線箇所が特定できます。

引通し線の断線箇所特定装置

前節で述べた断線箇所を特定する方法を織り込んだ装置を図8に示します。装置は計測演算部とジャンパー栓コネクターから構成され、バッテリー駆動により可搬できます。質量は約5kgです。指令線への印加電圧はDC10Vとしました。

図8のジャンパー栓コネクターを図1の編成貨車の端側のジャンパー栓受に接続して使用します。

操作手順としては、図6に示したような流れとなります。まず、編成貨車数と外気温度をタッチパネル画面上で設定し、スタートボタンを押します。

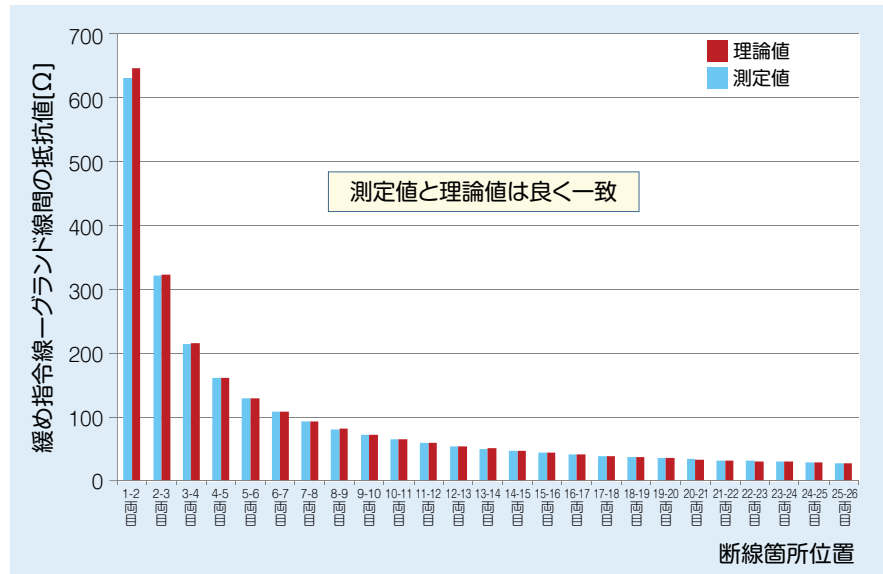


図7 引通し指令線の断線模擬試験結果



図8 断線箇所特定装置

すると自動的に理論抵抗値が演算され、測定値と比較されます。その結果、「断線無し」か「断線箇所」が表示されて、一連の動作が終了します。

断線模擬試験の結果、断線箇所の判定に要する時間は約30秒と、素早く特定できることを確認しました。

おわりに

通常は機関車が連結されてから引通しブレーキ指令線の断線検知確認を行うため、断線を確認してからの対処では大幅な遅延となってしまいます。

本装置を使用することにより、貨車の組成が終わった段階で断線試験が行えるため、万が一断線が確認された場

合でも断線箇所が特定でき、早期の対処が可能となります。

実編成貨車を用いた断線模擬試験の結果、約30秒で断線箇所を特定でき、復旧時間の大幅な短縮が期待されます。

RRR

文献

- 1) 鉄道総研他：わかりやすい鉄道技術「鉄道概論・車両編・運転編」, 鉄道総研
- 2) 大坪 昭：「電気回路」, 電気書院
- 3) 山下道寛, 近江昭穂, 矢野健児：編成貨車の引通し指令線断線箇所特定装置の開発, R&m, 2012.2
- 4) (財) 矢野恒太記念会編：「日本国勢図会2002/2003」, 財団法人矢野恒太記念会