

編成貨車電磁ブレーキ指令線の断線箇所特定装置の開発

車両制御技術研究部 駆動制御研究室

主任研究員 山下 道寛

1.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る。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る。ブレーキ扱い時には、機関車から編成に引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る。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る。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掛かる。

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、それらの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¹⁾がある。ブレーキノッチ扱いにより、編成貨車に引通された指令線に電圧(DC100V)が印加されると電磁弁が動作する。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、ブレーキ引通し指令線(以下「指令線」という)の導通確認検査が行われている。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があります。ダイヤ遅延や最悪の場合には運休となる。

本開発では、編成貨車の指令線に断線が無い、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ため、まず、編成貨車の端から指令線の断線箇所を特定するアルゴリズムを提案した。具体的には、編成貨車の指令線回路網モデルを構築し、指令線—グランド線間の理論抵抗値(理論電圧値)を求め、測定値と比較することで断線の有無の判定と断線が有ればその箇所を特定する。次に、このアルゴリズムを織り込んだ断線箇所特定装置を開発した。そして、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、20両目までの断線箇所が特定できることを確認した。20両目以降は編成の逆端から測定することで、営業列車で最も長い26両編成全体の断線箇所を特定できる。また、測定と判定に要する時間は約30秒と短く、本装置を用いることで復旧時間の大幅な短縮が期待できる。

2.編成貨車の引通し線回路構成

貨車には、ジャンパ栓受のコネクタ(図1)に接続された数本のケーブルが引通されている。機関車のブレーキノッチ扱いには「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する。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る。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本の場合もある)用いられている。電磁弁は機関車のブレーキ指令器から指令線にDC100Vが印加されて動作する。

編成貨車の端側からみた回路構成を図2に示す。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、電磁弁とヒューズが挿入された回路構成となっている。

貨車の中央付近には引通し線の中継するヒューズ箱があり、端子台を介して引通し線が接続されている。引通し線の断線故障としては、端子台に接続されている引通し線の圧着端子折損によるものや、ジャンパ栓コネクタの損傷によって導通不良になる場合がある。断線箇所を例を図2の指令線上に×印で示す。



図1 編成貨車端側とジャンパ栓受け

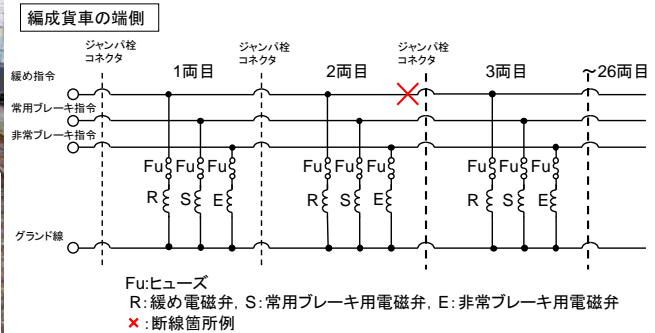


図2 編成貨車の引通し線回路構成

3. 引通し線の断線箇所特定方法

3.1 回路網解析モデル²⁾

図2の引通し線回路に基づき、実態に即した電気回路網モデルを図3に示す。編成内の最大貨車数は26であるが、その一部である貨車2両分を示す。ここで、電磁弁コイル素子の非線形性を考慮し、回路網解析では直流抵抗成分を扱うこととした。

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 である。貨車の端側(図3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間の電流 $I[A]$ が示される。

グラフ理論に基づく回路網解析を行い、電流 I を算出し印加電圧 E との比を求めることで、指令線とグラウンド線間の理論抵抗値が求められる。営業編成列車での最大貨車数は26両であり、回路網解析に必要な閉回路方程式の数は78となる。そのため、78本の電圧方程式を解いて電流 I を求める。

図3では緩め指令線とグラウンド線間の理論抵抗値を算出する場合について示しているが、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ウンド線間の理論抵抗値や非常ブレーキ指令線とグラウンド線間の理論抵抗値も求めることができる。

指令線のコネクタとグラウンドのコネクタ間に、電圧 E を印加した時の指令線とグラウンド線間の抵抗値 $R_c[\Omega]$ は(1)式で表される。

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

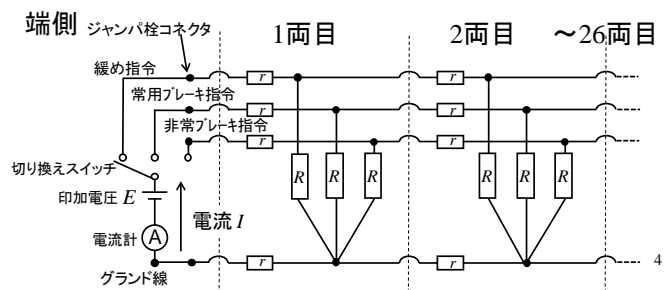


図3 指令線の電気回路網モデル(貨車2両分)

3.2 断線箇所特定方法

断線箇所特定の具体的方法を以下に述べる。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 を算出する。

ここで、26両編成の場合の理論抵抗値の一部を図4に示す。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ウンド線間の理論抵抗値を R_{19} とする。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} である。 R_{19} との差は $\Delta R_1 = R_{18} - R_{19}$ 、 $\Delta R_2 = R_{19} - R_{20}$ となる。そして、抵抗測定値 R_m が(2)式の関係式を満足する時、19両目と20両目の間に断線有り判定する。これは、断線箇所毎の理論抵抗値に対し、前後隣り合う車両で断線が発生した時の理論抵抗値との差 (ΔR_1 と ΔR_2) をそれぞれ二分して抵抗値の範囲を設け、測定抵抗値 R_m がどの範囲に入っているかで断線箇所を特定する方法である。後方車両での断線箇所ほどその範囲が狭く、抵抗値計算誤差や測定誤差等の影響を受けやすくなる。また、他の車両間で断線が生じた場合も同様に判定する。

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

ここで、提案した断線箇所特定方法のフロー図を図5に示す。

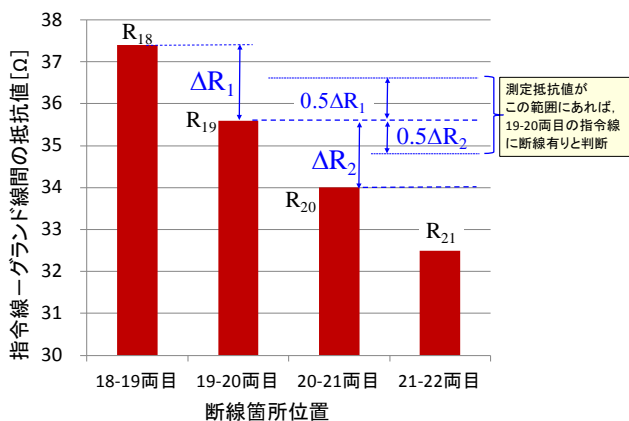


図4 理論抵抗値計算結果の例

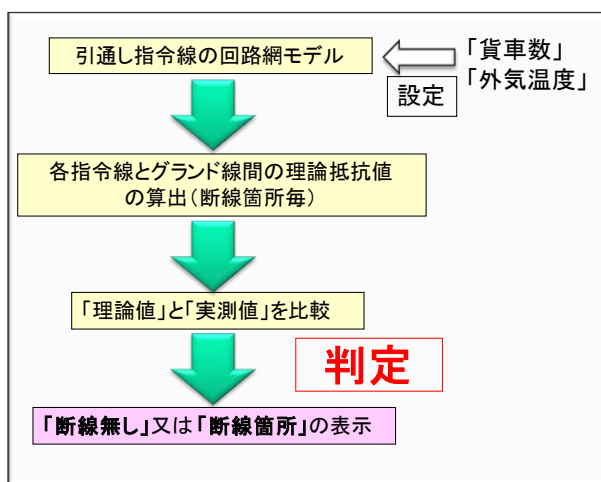


図5 断線箇所特定のフロー

4.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模擬試験を実施した。緩め指令線の模擬断線試験結果を図6に示す。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間の抵抗値である。試験中の外気温度は27~31℃であり、試験開始時における電磁弁外筒の上部の温度は31℃であった。電磁弁外筒の上部の温度は、電磁弁コイルの温度に近いと考えられる。そこで、緩め指令線とグラウンド線間の理論抵抗値は、電磁弁コイル温度を31℃として温度補正を行い算出した。

図6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た。これにより、指令線とグラウンド線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った。また、他の指令線の場合も同様の結果が得られている。

数回の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た。21両目以降では、電流センサや電圧センサ、電磁弁コイル抵抗設定値等の確度の影響で、断線箇所位置の誤特定が生じる場合があった。

これは、3.2 節で述べたように、断線箇所位置が後方車両ほど、正確に断線箇所を特定することが難しくなるためである。

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る。

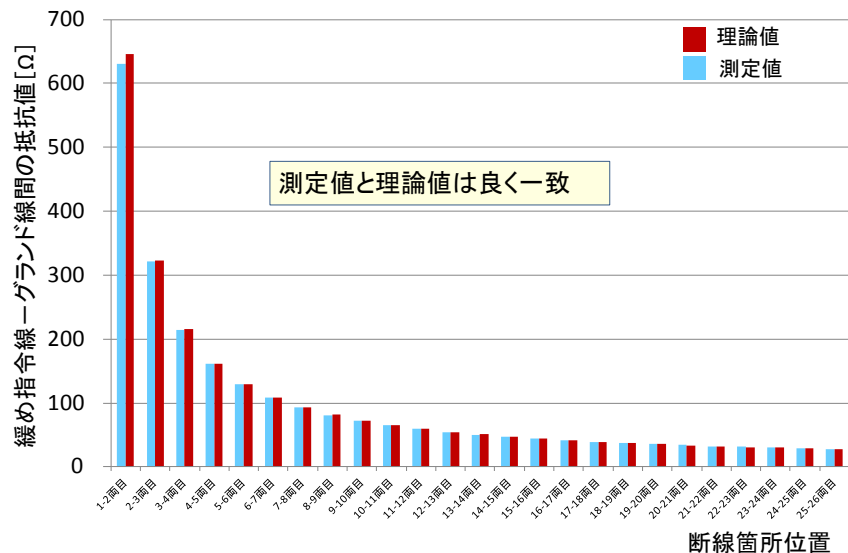


図 6 引通し指令線の断線模擬試験結果

5. 引通し線の断線箇所特定装置

3.2 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 7 に示す。装置は質量が約 5kg、計測演算部とジャンパ栓コネクタからなり、バッテリー駆動により可搬できる。指令線への印加電圧は DC10V とした。図 1 の編成貨車の端側のジャンパ栓受に、図 7 のジャンパ栓コネクタを接続して使用する。

操作手順としては、図 5 に示すような流れとなる。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す。すると自動的に理論抵抗値が演算され、測定値と比較される。その結果、「断線無し」か「断線箇所」が表示されて、一連の動作が終了する。



図 7 断線箇所特定装置（可搬型）

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た。

6. まとめ

本開発では、編成貨車の引通し線に断線が発見された場合に迅速な復旧を支援するため、回路網理論に基づき断線箇所を特定するアルゴリズムを提案した。そして、このアルゴリズムを織り込んだ断線箇所特定装置を開発した。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た。また、測定と判定に要する時間は約 30 秒と短く、20 両目までの断線箇所が特定できることを確認した。更に、現在、機関車搭載型を開発し、構内走行試験を実施した結果、可搬型と同等の断線検知性能が得られることが確認できた。本装置を用いることで復旧時間の大幅な短縮が期待できる。

最後に、本開発に多大なるご協力を頂きました J R 貨物関係各位に深謝いたします。

参考文献

- (1) 鉄道総研他：わかりやすい鉄道技術「鉄道概論・車両偏・運転編」，鉄道総研
- (2) 大坪 昭：「電気回路」，電気書院