

レール絶縁破壊検出装置の開発について

孫 佳, 林 辰憲, 望月 寛, 高橋 聖, 中村英夫 (日本大学)
山本 正宣 (株) シグナルコンサルタント)

Development of Dielectric Breakdown Detection Device for Insulated Rail Joint.

Ka Son, Tatsunori Hayashi, Hiroshi Mochizuki, Sei Takahashi, Hideo Nakamura, (Nihon university),
Masanori Yamamoto (Signal consultant Co.Ltd.,)

Abstract

The state of the deterioration of the insulated rail joint is detected by leakage current measurement on the no current section between tow connection points of impedance-bonds. The 1/2 scaled mini model test set of the track circuit is constructed in the laboratory. Using the test set, the detection possibility of the deterioration of the insulated joint under the commercial frequency track circuit and the audio frequency track circuit is clarified. In this paper the dielectric breakdown detection device is discussed.

キーワード 軌道回路, 絶縁破壊検出装置, プローブ車両, 鉄道信号,

(track circuit, dielectric breakdown detection device, prove vehicle, railway signalling,)

1. はじめに

筆者らは、プローブ車両を用いた鉄道設備の保全について研究を行ってきた。その一環として、レール絶縁部の絶縁破壊や絶縁劣化の検出について検討している。これまで、軌道回路の絶縁破壊があると、破壊箇所の同定には絶縁部の部品を外して検査するなど、普及に時間を要する問題があった[1]–[3]。プローブ車両による検出では、車両先頭部に受電器を設備し、レール上の電流を常時計測することで、絶縁劣化や破壊事象を事前に検出するものである。

レールには軌道回路電流や電化区間においては帰線電流が流れる。しかし、インピーダンスボンドの打ち込み点に挟まれた区間には電流が流れない。しかし、レール絶縁部が鉄粉などにより橋絡されると、絶縁部を超えて電流が流れ、信号障害を引き起こす。橋絡事象の場合には実際に軌道回路障害を起こす前にも微小電流の漏洩が発生していると推察される。したがって、軌道回路に問題を与える前に鉄粉等による橋絡傾向を把握できれば、障害を未然に防げる可能性がある。

筆者らは、軌道回路のミニモデルを室内に構築し、インピーダンスボンド近傍の電流計測による絶縁劣化の計測可能性を検討した。軌道回路としては、商用周波数軌道回路とAF周波数軌道回路を対象にした。いずれの軌道回路においても、プローブ車両での予防保全の可能性が確認できたことを報告している[4]。本研究では、現場での簡易検出装置を検討するとともにレール破断検知との関係を述

べる。

2. 計測対象とする軌道回路

軌道回路には、図1に示すように多くの種類がある。ここでは、直流電化区間で多く用いられる商用周波軌道回路とATC信号を前提としたAF軌道回路を対象に計測特性を吟味する。また、軌道回路のアーキテクチャは、帰線電流がレールに並行して流れる複軌条軌道回路と単軌条軌道回路のそれぞれについて検討する。



図1 軌道回路の種類

Fig.1 The kinds of Track circuits.

3. 単軌条軌道回路と複軌条軌道回路

単軌条軌道回路の概念を図 2 に、そして複軌条軌道回路を図 3 に示す。複軌条軌道回路の場合には電気車の帰線電流が 2 本のレールに並行して流れるが、単軌条の場合には、絶縁が挿入されていないレールのみ流れる。一方、軌道回路電流はいずれの軌道回路においても 2 本のレールにそれぞれ向きの異なる電流が流れる。複軌条軌道回路においてプローブ車両の受電器で検出するためには、並行電流は相殺し、向きの異なる 2 本のレールの電流は加算するように受電器の検出電流を組み合わせる。この回路構成により、帰線電流の影響は左右のレールの不平衡成分のみ誘起されるだけで、軌道回路電流検知への影響は軽減できる。

一方、単軌条軌道回路においては、片側のレールにしか帰線電流は流れないため、2 つの受電器には軌道回路電流をはるかに超える帰線電流分がそのまま誘起され、このままでは計測ができない。プローブ車両では、この問題を解決するために、単軌条軌道回路区間においては、受電器出力を絶縁が挿入された側のみに切り替えることにより、帰線電流成分を阻止し、軌道回路信号電流のみを検出する。レール絶縁も同様に、軌道回路電流の打ち込み点と絶縁挿入箇所の間での電流の有無により劣化や絶縁破壊が検出できる。

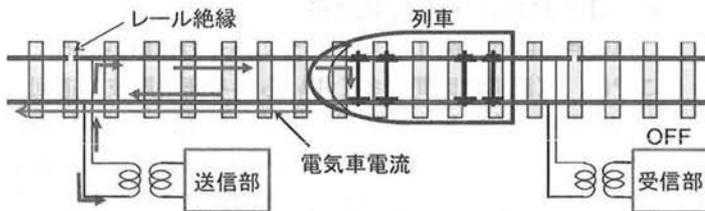


図 2 電化区間の単軌条軌道回路例

Fig.2 An Example of Single-rail Track Circuit in Electrification line.

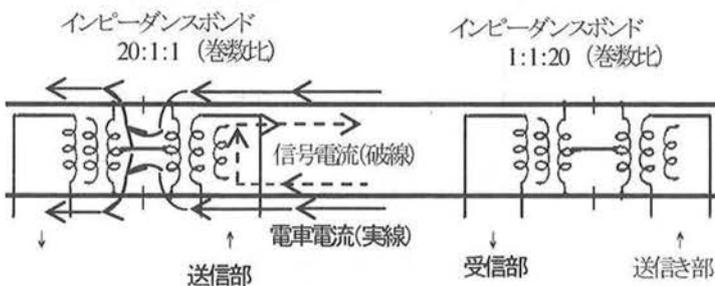


図 3 電化区間の複軌条軌道回路構成例

Fig.3 Structure of Double-rail Track Circuit in Electrification line.

4. インピーダンスボンドとレール絶縁

軌道回路境界においては、軌道回路電流は隣接軌道回路に流さないものの、帰線電流は隣接軌道回路を通して変電所に戻さねばならない。このために複軌条軌道回路で用いられるのがインピーダンスボンドである。

この軌道回路において、レール絶縁が劣化し、信号電流の漏れ電流が隣接軌道回路に流れると、正常な信号と認識されず軌道回路を落下させたり、列車が進出したときに ATC 信号電流が瞬断し、非常ブレーキが動作したりして、正常な運転を阻害する事がある。このため、このような現象を把握するための診断や保全が非常に重要である。

5. レール絶縁不良の診断

一般的な低周波数の複軌条軌道回路では、レール絶縁継目のインピーダンスが数[Ω]程度以下になると、軌道回路に影響を与える。したがって、インピーダンスが数[Ω]程度になったときに、検出することができれば、TR の不正落下の前に、絶縁不良を発見することが可能となる。

今回の絶縁劣化検知では、2 つの軌道回路境界部のレールの接続点を挟んだインピーダンスボンドの打ち込み点の間が無電流になることに着目し、その区間の電流検知によりレール絶縁不良を診断するものとする。具体的な方法を以下に説明する。

レール絶縁挿入箇所は、軌道回路境界部分であり、そこにはインピーダンスボンドが挿入されている。従って、インピーダンスボンドの打ち込み箇所と絶縁部分は通常、無信号区間となり軌道回路電流、軌道回路電流は流れない (図 4 における a-b 間)。しかし、導電性の異物介入や鉄粉によるブリッジなどにより絶縁が消化すると (絶縁不良)、無信号区間にも電流が流れるようになり。車上の受電器 (図 5) で、この電流を検出することができる。

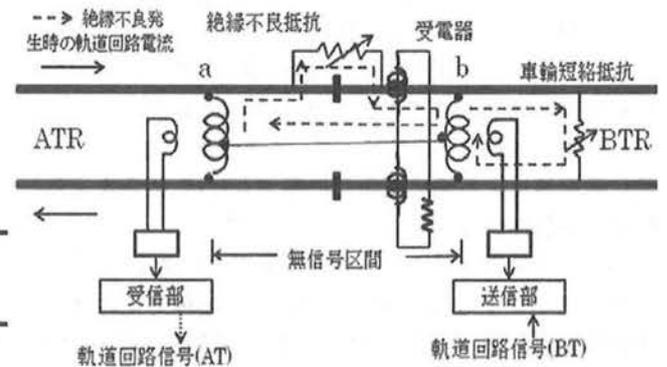


図 4 レール絶縁破壊の検出方法

Fig.4 The concept of the measurement of the insulated joint deterioration.



図 5 受電器の例

Fig.5. An example of the on-board coil.

AF 軌道回路の場合には、隣接の軌道回路の周波数を変えているので、打ち込み点内方の電流計測データを周波数分析すれば、破断の有無が検知できる。もちろん、無信号区間においても同様である。

一方、商用周波数軌道回路においては、隣接軌道回路と位相を変えることにより、隣接軌道回路電流回り込むによる危険側動作を防止している。一方、無信号区間では、本来軌道回路電流は零であるはずのところ、電流が検出されたことで、破断ありと判断できる。以上は、複軌条軌道回路を前提とした検討であり、今回引用するデータも複軌条軌道回路モデルで行ったものである。

これに対し、単軌条軌道回路の場合の計測について述べる。電化区間における単軌条軌道回路では、2本のレール電流は非対象で不平衡である。計測はレール絶縁が挿入されているレール側の受電器出力のみを用いて判断する。片側からの受電なので受電器の出力が小さくなることと反対側レールに流れる帰線電流の誘導成分を拾うことを考慮する必要がある。

6. ミニモデル軌道回路実験装置による実証

レール絶縁破壊による軌道回路障害の検出方法を確認するため、軌道回路及び関連機器の各種試験を模擬的に行うミニモデル軌道回路実験装置を試作した。その構成を図6に示す。

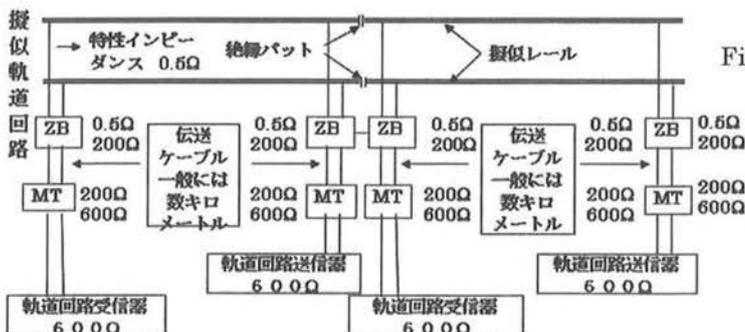


図 6 軌道回路実験装置概要図

Fig.6 Outline of test facilities of track circuit.

図中で、ZB はインピーダンスボンド、MT は整合変成器である。一般に軌道回路の特性インピーダンスは 50[Hz] または 60[Hz]の場合、1[Ω]以下でインピーダンスボンドのインピーダンスは、1次側が 0.5[Ω]、2次側が 200[Ω]となっている。200[Ω]は、現場から機器室までのケーブルの特性インピーダンスとほぼ等価である。軌道回路の送信器及び受信器の入力インピーダンスは 600[Ω]になっているので、

ケーブルと送受信器の整合を取るために整合変成器を使用する。小型車両に受電器を設置し、信号電流をこの受電器で測定する。

試験の正確性を考えてレールには JIS E 1103-1993 にて規定されている軽レールを使用した。重さは 9[kg]、頭部の幅は 25.40[mm]、車輪の間隔は 400[mm]である。一方、受電器を取り付けたトロ台車の車輪長径は 200[mm]である。

7. 実験による検出可能性の確認

無信号区間のレール上部に受電器を設置し、レール絶縁部の抵抗 Z_e を変化させたときの受信レベルを計測する。測定周波数は、商用 50Hz と 1kHz の 2 種で行った。図 7、図 8 にその結果を示す。

なお、50Hz 時の軌道回路電流は 840mA、1kHz 時の軌道回路電流は 1A とした。

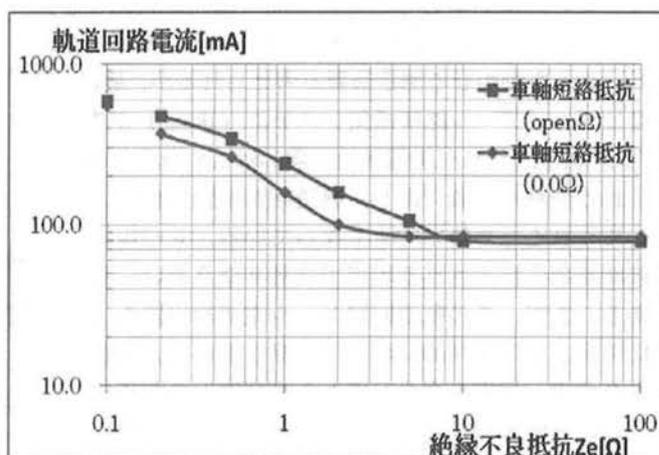


図 7 無信号区間における Z_e と受信レベル(50Hz)

Fig.7 Receiving level Vs. Z_e at no-current zone in 50Hz

図 7 から、50Hz の時には、絶縁不良抵抗 Z_e が 1Ω より小さくなると 6dB の受信レベル変化となり検出の可能性があると分かっている。

一方、図 8 に示すように、1kHz においては、列車の車軸による短絡抵抗に関係なく同一のレベルが観測され、 Z_e が 10Ω 以下であれば、15dB 以上の変化となり、50Hz 時よりも明瞭に検出できることが確認できている。

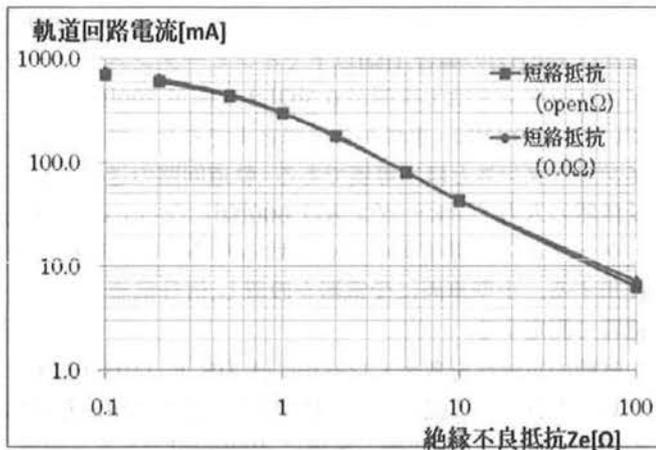


図8 無信号区間における Z_e と受信レベル(1kHz)

Fig.8 Receiving level Vs. Z_e at no-current zone in 1kHz

8. 簡易検出装置の検討とレール破断検出

以上プローブ車両によるレール絶縁劣化や絶縁破断検出の可能性について、実験結果をもとに検討してきた。一方、この問題は、プローブ車両を導入していない線区においても無視できないものであり、プローブ車両によらない簡易な検出装置の開発が望まれる。

この課題にこたえるためには、軌道回路境界におけるインピーダンスボンド打ち込み点の間の電流が検出できればよい。例えば、受電器とパソコンからなり、車輪を備えてレール上を動かせる測定装置が考えられるが、最近、株式会社ジェイアール総研電気システム (JRSEC) が商品化した、「軌道回路レール電流検出器」はこの目的をかなえてくれる便利な装置であり、軌道回路種別に自動追従してくれるため使いやすくなっている。レール絶縁破断事象に悩まされる現場では是非備えたい一品である。ただ、この軌道回路レール電流検出器を、予防保全として定期的に現場で計測するには人工がかかりすぎ、障害が発生してから早期復旧のために使う装置と位置付けることが妥当と考える。これに対し、プローブ車両は、障害に至る前兆で検出できるため予防保全が可能となる利点がある。

ところで、軌道回路障害としては、この他にレール破断やケーブル断線等によるものも多い。レール破断検出と故障箇所同定にプローブ車両が強力であることはこれまでも述べてきたが、同様に現場での有効な検知装置の開発が望まれる。この用途に対し上述した「軌道回路レール電流検出器」は必ずしも十分な機能を有しているとは言えない。これに対し、筆者らが検討している軌道回路障害検査装置は、左右のレールを車輪と車軸でまたぐため、左右のレールを短絡できる。例えば、レールボンドの脱落やレール破断等による障害発生時に、本装置を持っていき受電端から順次送電端にさかのぼっていけば、障害箇所を通過した時

に左右の受電器から電流が検出されるため、故障点の同定が容易にできる。

レール間の短絡抵抗を下げつつ軽量のツールに仕上げるなど、実用化に際しては検討が必要な項目も多いが、障害の早期復旧のためにも早期の実用化が望まれる。

9. おわりに

軌道回路の絶縁破壊や絶縁劣化を早期に検出し、信号システムの稼働率向上に資する技術として、プローブ車両技術による方法を提案してきた[3][4]。その方法は、複軌条軌道回路の場合軌道回路境界部分のインピーダンスボンド打ち込み点間の無信号区間でレール上の電流を計測するもので、絶縁が劣化すると隣接軌道回路からの回り込み電流が流れるので、そのレベルから障害に至る前に検出しようとするものである。一方、単軌条軌道回路においても絶縁が挿入されていないレール側の受電器出力をカットすることで複軌条と同様に検出できる可能性があることを示した。

本発表では、その成果を踏まえ、さらに現場で利用しやすい検出装置について検討した。簡易な方法としては、すでに商品化されている「軌道回路レール電流検出器」の利用が有効であることを示した。ただし、レール破断やレールボンド脱落等による障害の検出には、左右のレールを短絡する機能を有した装置が望まれることを明らかにした。

今後、現場での実験を実施してプローブ車両による信号システムの保全領域の拡大に向け検討を進める予定である。本研究の実施に際し、ご協力いただき多くの意見をたまわった京三製作所の関係各位に厚く御礼申し上げます。

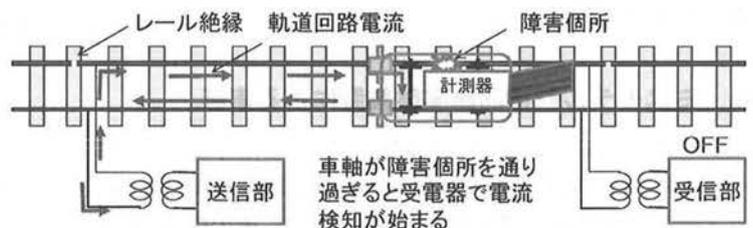


図9 軌道回路障害検査装置の概念

Fig.9 Concept of track circuit trouble inspection tool.

文献

- [1] 「最新 電気鉄道工学」電気学会 電気鉄道における教育、調査専門委員会
- [2] 「軌道回路」信号技術シリーズ No.4 信号保安協会 鉄道技術研究所 著者:坂倉 栄治
- [3] 中村英夫 “プローブ車両用信号設備計測技術の開発” JREA, VOL.50, No.9, 32734-32740(2007)
- [4] 孫, 林, 望月, 高橋, 中村, 山本 “プローブ車両による軌道回路保全に関する一検討” 電学研資, TER-10-032, LD-10-021, (2010.7)