

1605 脱線防止ガードの信号設備への影響に関する現地試験

正 [電] ○牧野 茂樹 (東海旅客鉄道) 正 [電] 石津 成一 (東海旅客鉄道)

正 [電] 田淵 学 (東海旅客鉄道) 安藤 聡 (東海旅客鉄道) 高橋 直樹 (東海旅客鉄道)

Field Test Concerning Electrical Effects of Anti-derailing Guard Rail on Signaling Equipments

Shigeki MAKINO, Seiichi ISHIZU, Manabu TABUCHI, Satoshi ANDO and Naoki TAKAHASHI
Central Japan Railway Co. 1545-33 Ohyama, Komaki City, Aichi Pref.

When anti-derailing guard rail is set up inside the gauge, due to the track circuit constant changing, the influence on the transceiving function of the ATC ground equipment and the transmit function of the ATC cab signal, etc. is assumed. Moreover, the influence on a transponder track antenna beacon inside the gauge which transmits information by electromagnetic coupling between ground and the vehicle is also concerned. Therefore, the confirmation test that used experimental guard rail was executed, and the electrical effect of anti-derailing guard rail on the signaling equipments was evaluated.

Keywords: electrical effects, anti-derailing guard rail, signaling equipments, track circuit, ATC, track antenna beacon

1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震により、上越新幹線の浦佐～長岡間を走行中のとき 325 号が、ロッキング脱線により脱線するという事象が発生した。

この事故を受け、平成 16 年 10 月 25 日に国土交通省鉄道局が設置した「新幹線脱線対策協議会」に当社も参画し、施設面、車両面で当面とり得る対策の可能性等について検討を進めてきた。具体的には、実験、解析および試験敷設を実施し、その結果に基づき、地震時の脱線・逸脱防止に有効であり、保守上においても支障のない対策を確立した¹⁾。

これに関連し、信号関係では、対策の一つとして開発された脱線防止ガード(以下「ガード」という。)の設置が、信号設備に与える物理的・電気的影響の有無について調査・検討した。その結果、実用上機能に支障するような影響が見られるものはなかった。本稿では、保守基地の模擬設備、当社の小牧研究施設、車両所構内、および本線の実設備にて実施した、ガードの軌道回路や地上子類への影響確認試験の結果について報告する。

2. 信号設備への影響に関する確認試験

ガードを軌間内に設置した場合、信号設備の機能に対して次のような影響が懸念された。

- ・軌道回路定数の変化による、ATC 地上装置の送受信機能や ATC 信号の対車上传送機能などへの影響
- ・地上-車上間の電磁的結合の変化による、トランスポンダ地上子や列車番号受信地上子などの情報伝送機能への影響

そこで、保守基地の模擬設備、当社の小牧研究施設、車両所構内、および本線の実設備に対して、実物のガードを用いた確認試験を実施し、ガード敷設時の信号設備に対する影響評価を行った。

3. 軌道回路への影響に関する試験

東海道新幹線の本線区間では、AF 軌道回路、き電区分制御軌道回路、および添線式停止制御軌道回路が使用されている。ガードの敷設に伴う、これら軌道回路への影響を確認するため、平成 17 年 9 月、保守基地構内のレールに信号周波数を印加し、ガードを仮設した際の軌道回路定数の変化を測定した。また、平成 18 年 9 月には車両所付近の ATC の実設備に約 400 m のガードを仮設し、AF 軌道回路、添線式停止制御軌道回路への影響を測定した。

3.1 軌道回路定数

ガードによる軌道回路への影響を定量的に把握するため、初めに、軌道回路の基本的なパラメタである軌道回路定数の、ガード敷設量に対する変化について測定した。

測定法は図 1 による。保守基地構内における 352 m のレールに対し、片端から信号源を模擬した正弦波を送信する。このとき、アンプ送信電圧 V_1 、標準抵抗 (R_s) 間電圧 V_2 、および送電端電圧 V_3 を測定し、3 電圧計法によりレールインピーダンス(受電端側開放時 Z_o 、短絡時 Z_s) をベクトル計算した²⁾。なお、ガードの敷設距離は 100, 200, 352 m の 3 通りとし、信号源の周波数は AF 帯および MF 帯とした。また、ガードの一般的な使用環境を勘案し、レールとガードとは電気的に絶縁、ガード同士はレールボンドにより導通した状態で測定した。

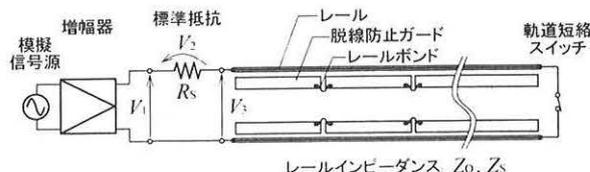


Fig.1 Measurement System

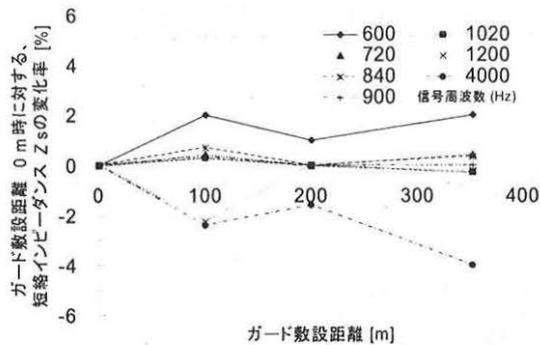


Fig.2 Change Ratio of Short-circuit Impedance Zs

ATC信号の車上受電特性を評価する上で重要なパラメータとなるのは短絡インピーダンス Zs である。そこで、本論文では、ガードの敷設距離に対する、ガードを敷設していないときを基準とした Zs の変化率について、測定結果より算出したものを示す (図 2)。この図から、Zs の増分は最大でも 2 %程度にとどまっていることが分かる。なお、本測定は 352 m のレールを用いて実施したが、仮に、軌道回路長 1 km で本測定値のような軌道の定数変化があった場合においても、短絡インピーダンスの変化率は同程度になるものと考えられる。

以上のような短絡インピーダンスの変化は、実際の設備においては軌道回路定数の常態的な変動に比べて十分小さく、ガードの影響を判断するにあたっては特に問題となる数値ではないと言える。

3.2 軌道回路受信特性および ATC 車上受電特性

本項では、車両所付近の実設備に対して実施した、軌道回路の受信特性および ATC 車上受電特性への影響確認試験について記す。

初めに、試験概要を述べる。ある軌道回路 (409 m) の全体にガードを仮設し、ガードを定位にした状態と反位にした状態とで、信号設備に対する電気的性能の変化を測定し、影響の有無を確認した。ここで、「定位」とは、ガードを垂直に立てて、脱線防止の機能を果たすようにしている状態である。また、「反位」とは、ガードを内軌側に倒した状態であり、バラスト突き固めなど、線路保守作業時を想定したものである。なお、レールとガード、およびガード同士は電気的に絶縁した状態で測定した。

次に、各種軌道回路の検証方法について説明する。

① AF 軌道回路 (ATC)

軌道回路の受信端において、レール電流・電圧、短絡電流、短絡感度、および ATC 受電器を用いた車上での信号受信レベルの測定を行った。また、信号機器室において、受信電圧や残留電圧の測定を行った。

それぞれの項目について、ガードが定位の状態と反位の状態での測定値の変化を調査した。本項では、まずガード定位の量に対する信号レベルの変化を調べ、その結果により、軌道回路長に対するレベル変化の推定を行った。図 3 に ATC 受電器による測定方法の概要図を示す。

② 添線式停止制御 (03) 軌道回路

現場にて、添線式停止制御軌道回路のレール電流、および信号機器室での受信電圧の測定を行った。また、①と同様に ATC 受電器を用いて車上での信号受信レベルの測定を行った (図 3)。それぞれの測定項目について、当該設備付近のガードが定位の状態と反位の状態でのレベル変化を調査した。

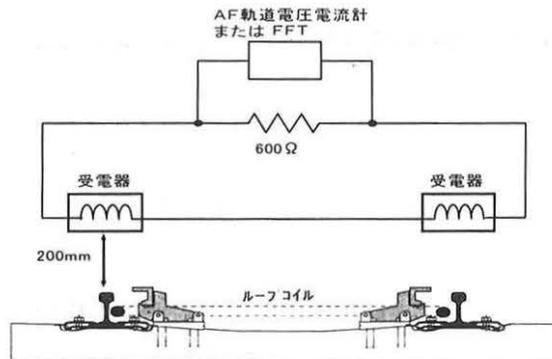


Fig.3 Vehicular Reception Measurement System

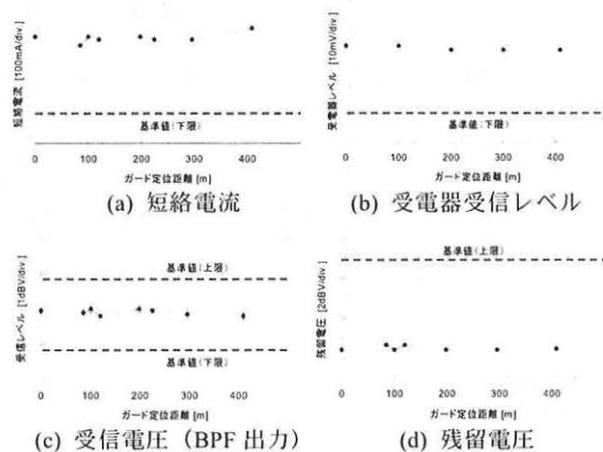


Fig.4 Measurement Results of AF Track Circuit

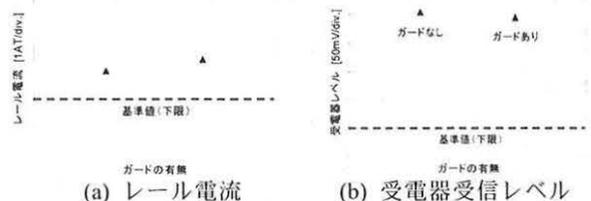


Fig.5 Measurement Results of Loop-coiled Track Circuit

①AF 軌道回路および②添線式停止制御軌道回路について、それぞれの代表的な測定結果を図 4 と図 5 に示す。なお、図 5 においては、軌道回路にガードを全く敷設していない状態を「ガードなし」、軌道回路全体のガードが定位の状態にあるときを「ガードあり」としている。

何れのグラフにおいても、若干の変化が見られるが、基準値内には十分収まっていた。これらの変化は、ガードの状態と相関性が希薄であるため、測定誤差が支配的に影響しているものと考えられる。以上より、ガードが軌道回路に与える影響は、軌道回路の常態的な変動に比して十分小さいことが実設備からも確認された。

これらのほか、不平衡電流測定、異物介入を想定したガード異常短絡試験などの、軌道回路に関係する試験や検討を実施した。それらの結果、以下の知見が得られた。

- ・軌道回路定数の変化は、通常の経時的な変動とばらつき範囲内である。
- ・ATC 受電器による受信レベルなど、信号レベルへの

影響も十分少ない。

その後、本線上のガード敷設箇所（低速、中速および高速区間）においても、ATC 地上装置での測定、および電気軌道総合試験車を用いた ATC 車上装置での測定による影響確認を実施した。その結果、ATC 軌道回路の機能に支障するような影響は見られないことを確認した。

4. 地上子類への影響に関する試験

地上子類の影響調査については、地点検知地上子、トランスポンダ地上子、車軸検知子、侵入検知コイル、MF 軌道回路受信コイル、保守用車分岐器誤進入防止地上子、および列車番号地上子（セラミック式・トランスポンダ式）の 8 種類の設備について、平成 18 年 9 月から平成 19 年度末までの間で実施した。本稿ではこれらの中から主な試験結果について述べる。なお、これらの調査は夜間保守作業時間帯における営業線の実設備、および当社の小牧研究施設の実験線等で実施している。

4.1 地点検知地上子

地点検知地上子（Y 形）は、アナログ ATC における車上での列車位置検知を目的として軌間に設置されている無電源地上子である。現在、東海道新幹線ではアナログ・デジタル両方式の混在する鳥飼以西に設置されている。

地点検知地上子—車上子間の作用には、共振現象が利用されている。そこで、試験では地上子の共振鋭度（Q 値）について確認した。図 6 に測定方法の概略を示す。地上子近傍に仮設したガードと地上子の離隔 d に対する、Q 値の変化を専用の地上子試験器を用いて測定した。

図 7 に測定結果を示す。如何なるガードの設置状態においても、基準値内に収まっていた。但し、ガードを地上子に並列設置（ $d=0$ ）した場合は Q 値の減少が確認された。

地上子の Q 値は、装置の老朽化などにより低下するものである。そのため、もともと基準値に近い状態の設備に対してガードを併設すると、基準値を下回る可能性がある。これを避けるためには、地点検知地上子の状態を事前に確認しておく必要があるが、保全上は特に問題となる数値ではないと言える。

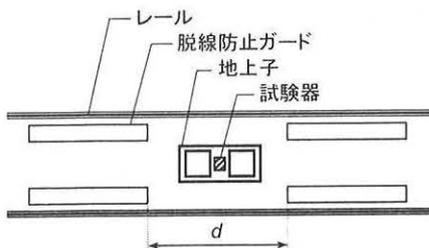


Fig.6 Measuring Procedure

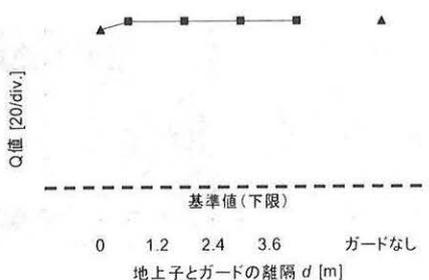


Fig.7 Measurement Result of Q-value

4.2 MF 軌道回路受信コイル

東海道新幹線におけるき電区分制御軌道回路の一部では、ATC の軌道回路（AF 軌道回路）とは独立の送受信装置で構成されている。列車検知用の信号は、き電区分所内に設けられた送受信器で生成され、AF 軌道回路に重畳して送信されている（MF 軌道回路）。このとき、MF 軌道回路と AF 軌道回路の境界が異なる箇所には、MF 軌道回路の終端に受信コイルを設置して、MF 信号を受信する無絶縁軌道回路を構成している。本項では、この MF 軌道回路受信コイルについて、ガードからの電気的影響の有無を確認した。

本線上の実設備にて、コイル近傍にガードを定位にした状態で仮設し、ガードとの離隔に対するコイルの電気的性能の変化を測定し、影響の有無を確認した。なお、ガードを「反位」とした時に、ガードとコイルとが物理的に干渉することになるため、本試験においては「定位」の状態でのみ試験を実施した。

次に、検証方法について図 8 に基づき説明する。ガード（約 1.5 m）は 4 本用い、ガードが設置されていない状態、またはガードがコイルから距離 d だけ離れた状態を設定する。それらの状態で、受信コイルの検知区間外方、内方を短絡線により短絡、または開放とし、車両の進入状態を電氣的に模擬した。このとき、き電区分所にて MF 送受信器の送信出力および受信入力のレベルをそれぞれ測定した。両項目について、ガードとコイルの位置関係による測定値の変化を調査した。

測定結果を図 9 に示す。コイルとガードとの離隔距離は、ガードの脚をマクラギ上に配置する関係から、0、0.6、1.2、2.4 m とした。送信出力のレベルについては、ガードを設置している状態ではガードの設置していない状態に比べて、 $-0.2 \sim +0.2$ dB、また、受信入力のレベルについては、同値が $-0.4 \sim +0.5$ dB となっている。これらの値は、ガードの設置状態に相関を持たずに上下変動するため、ガードの影響によるものではないと考えられる。

以上の結果より、ガードの設置に伴う MF 受信コイルへの影響は、高々 0.5 dB 以下とごく僅かなものであり、やはり問題となる数値ではないと言える。

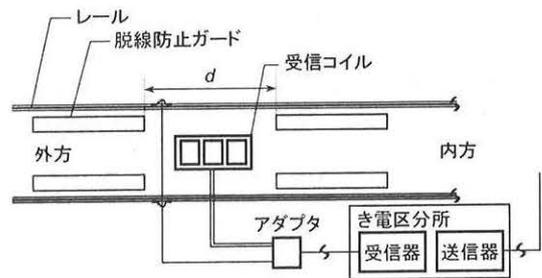


Fig.8 Measuring Procedure

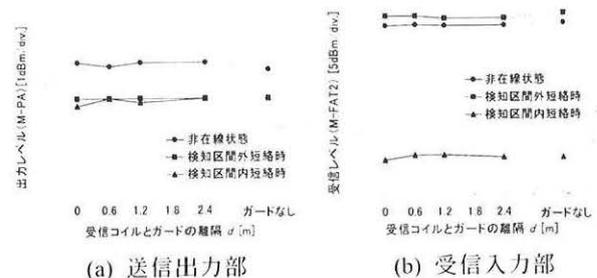


Fig.9 Measurements of Transmit and Received Signal Level

4.3 列車番号地上子（トランスポンダ式）

新幹線列車は、列車番号（列番）と呼ばれる固有の番号をそれぞれ有しており、これによって列車の運行管理が行われている。列車番号受信装置（列番装置）は、列車の運転台にある列番設定器で設定された列番情報を、車上子との電磁結合により、列番検出地点に設置した列車地上子にて読み取り、地上側の処理装置へ伝達するものである。本項では、デジタル符号伝送を用いた、トランスポンダ式の列車番号地上子について、ガードからの電磁的影響の有無を調査した。

はじめに、地上子とその周辺装置の構成について図 10 に示す。受信コイルは軌間中心のマクラギ上に設置されており、トランスポンダ車上子からの電文を受信し整合部を介して中継器へと伝送する。なお、地上-車上間は 64 kbps のモデムにより通信を行っている。

前項と同様、本線区間の実設備近傍にてガードを定位にした状態で仮設し、ガードとの離隔に対する地上子の電磁的性能の変化を測定し、影響の有無を確認した。

検証方法について、図 10 に基づき説明する。ガード（約 1.5 m）を 8 本用いて、ガードが設置されていない状態、またはガードが地上子から距離 d だけ離れた状態を設定する。このとき、中継器の照査信号の送信レベル（図中測定箇所①）と受信レベル（同②）を、中継器ユニットの測端にてスペクトラムアナライザを用いて測定した。また、専用の地上子試験器を用いて車上子からの電文送信を模擬し、やはり中継器ユニットの測端にてスペアナにより電文の受信レベル（同②）を測定した。なお、地上子試験器の設置位置は、図のように応動距離を考慮して地上子の中心（中心±0 mm）と端（中心+2500 mm）の 2 箇所にて測定した（地上子応動距離：5000 mm=地上-車上結合する範囲）。

以上の各測定項目について、コイル近傍に仮設した脱線防止ガードとコイルの位置関係による測定値の変化を調査した。

測定結果を図 11 に示す。コイルとガードとの離隔距離は、ガードの脚をマクラギ上に配置する関係から、0、1.19、3.50、5.84m とした。照査信号の送信出力レベルについては、ガードを設置している状態ではガードの設置していない状態に比べて、 $-0.16 \sim -0.08$ dB、また、受信入力レベルについては、同値が $+0.01 \sim +0.05$ dB となっている。これらの値は十分小さく、また測定値も標準値（基準値）の範囲内であり、問題ない値と判断できる。

また、ガードの有無に対する車上電文受信レベルの変化量は、地上子中心で $+0.08 \sim +0.69$ dB、端では $-0.83 \sim +1.62$ dB であった。地上子中心よりも、端の測定値で変化が大きい傾向となっている。この理由としては、地上子の中心に比べ、端の方では前後方向（レール平行方向）の移動に対する受信レベルの変化が大きいため、地

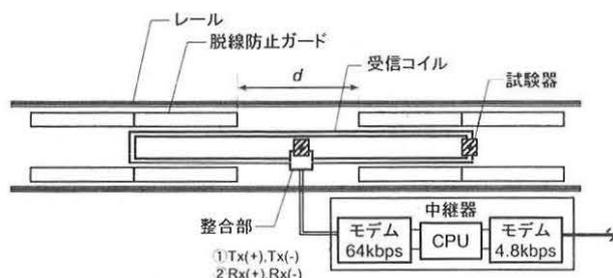


Fig.10 Measuring Procedure

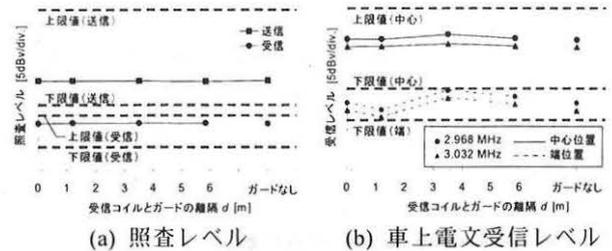


Fig.11 Measurements of Sent and Received Signal Level

上子試験器の設置位置（前後位置や傾きなど）の違いが測定値に反映されたことが考えられる。測定値としては、地上子中心では通常の車上装置からの受信レベル相当であり、また端では最小動作レベル以上であること、全ての地点において電文を受信していたことから、やはり問題ない値と判断できる。

4.4 その他の地上子類

その他の地上子類についても、4.1~4.3 項と同様、実際に被測定対象近傍にガードを仮設し、各種試験器・測定器を用いてガード設置による影響の有無を調査した。その結果、殆ど全ての場合において、ガードによる地上子類への電磁気的な影響は、十分小さいか無いものと確認された。

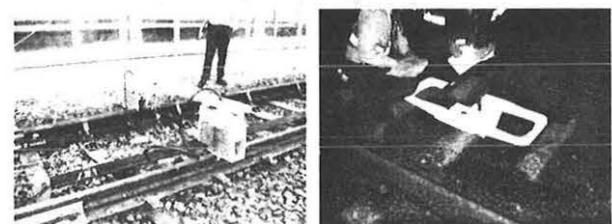
但し、代用保安方式に用いられている車軸検知子については、金属体接近による影響確認試験をメーカ工場内で実施した結果、レール方向に対してそれぞれ 300 mm 以上の離隔が必要であることが分かった。本件については、ガードの敷設区間全体に対する当該設備の支障区間の割合が極僅かであることから、ガード施工の進捗状況を踏まえながら、今後、ガード敷設に影響を及ぼさない代替装置の設置を進めることとしている。

5. まとめ

東海道新幹線の本線上に設置されている全ての信号設備について、ガード敷設による影響確認試験を平成 20 年 2 月までに実施完了した。その結果、実用上機能に支障するような影響が見られるものはなかった。最後に、測定中の状況写真を図 12 に示し、本稿の結びとする。

参考文献

- 1) 森村勉、関雅樹：新潟県中越地震後の東海道新幹線の地震対策について（投稿中）、J-Rail2009, H21.12
- 2) 高重哲夫：軌道回路のはなし（その 10）、信号保安、第 39 巻 第 8 号, pp.441-444, 1984.



(a) 車上受電特性 (b) 地点検知地上子

Fig.12 Photographs of under Measurement