

新幹線車両所における高調波障害の考察

宮本 修* 岡井 政彦 (東海旅客鉄道)

Troubleshooting of Overvoltage caused by Harmonics resonance in AC traction circuit

Osamu Miyamoto*, Masahiko Okai (Central Japan Railway Company)

Abstract

Overvoltage failure caused by harmonic current resonance from train converter was observed in Tokaido Shinkansen traction circuit. This paper reports the mechanism of harmonics influence upon AC traction circuit by train converter current and detail protection methods for avoiding local harmonic overvoltage.

キーワード：交流き電回路，地絡保護用放電装置，高調波共振，電力ケーブル

(Keywords: AC traction circuit, Ground fault protective discharger, Harmonics resonance, Power Cable)

1. はじめに

当社の新幹線三島車両所（以下車両所）に設備されている地絡保護用放電装置に内蔵されている CR アブソーバーの抵抗器が焼損、炭化するという障害事故が発生した。本研究では、放電装置抵抗器焼損の原因究明と再発防止のための対策を実施し、その効果の検討をおこなった。

以下に、事故の概況並びに、要因分析及対策を実施したことについて報告する。

2. 設備概況

(2.1) 地絡保護用放電装置 地絡保護用放電装置（以下 GP）は、閃絡保護地線と保護線間に設置されており、事故点の電位が放電開始電圧以上になると、地絡電流が閃絡保護地線から GP を介して保護線へ送り出され、変電所へ帰る方式となっている。この GP 動作時の電流経路と装置の内

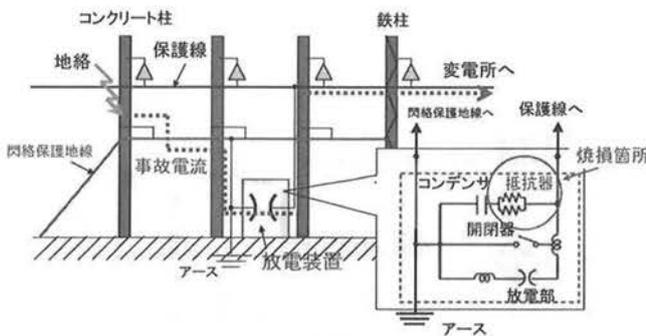


図 1. GP 動作時の電流経路と内部構成
Fig.1 Fault current root to substation

部構成を図 1 に示す。ここで、閃絡保護地線は一定区間のコンクリート柱や鉄柱などの支持物に直接添架されている。地絡事故によって支持物の電位が上昇した時に、閃絡保護地線により GP が放電動作し、事故電流は GP から保護線を通じて変電所へ返る構成となっている。

一方、パンタグラフのセクション通過や変電所の切替閉器などによる回路の内部過電圧（開閉サージ）に対する装置の放電部防護のために、GP にはコンデンサと抵抗器によるサージ吸収アブソーバーを設備している。今回の障害ではこの抵抗器が焼損したものである。

(2.2) 車両所のき電回路 車両所のき電回路構成の概略を図 2 に示す。

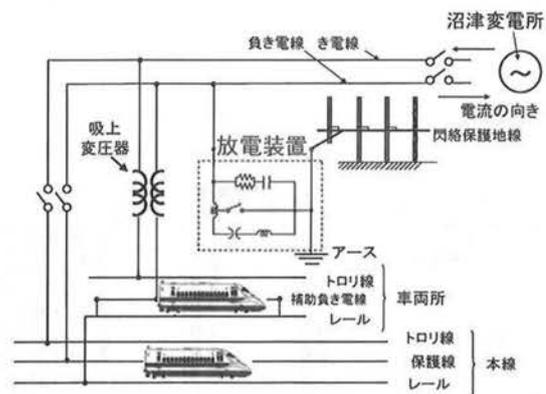


図 2. 車両所のき電回路
Fig.2 Circuit structure of power feeding

車両所構内は、昼間は本線 AT き電回路からの分岐で、また夜間には沼津変電所からの単独き電線（き電線、負き電線）によりき電を行う。これは夜間の本線停電中でも車両の入換等の車両所構内での作業を可能にするためであり、車両所のみをき電するために、単独き電線が敷設されている。また GP は、負き電線と接続され、事故電流が負き電線を通り変電所に送られる構成となっている。

3. 抵抗器焼損の原因調査

〈3・1〉 焼損時の GP 各部の状況 抵抗器が焼損した時の GP 各部（抵抗器、コンデンサ、放電部、開閉器）の状況調査をおこなった。その結果、抵抗器は 2 本とも焼損し、内部の物質が蒸発、盤内部全体に拡散し、炭化した物質は崩落していた。また、コンデンサの絶縁油の漏れはなく、静電容量、メガーの値は正常値であった。放電部、開閉器は、抵抗器の焼損による熱および蒸発した物質による変色および汚損があったものの、開閉機構などの部品には異常がなかった。

以上のことから、抵抗器の焼損は GP 自体の異常が原因ではないと推定できる。

〈3・2〉 放電装置に流れる電流測定 抵抗器に流れる電流を把握するために、損傷した抵抗器 2 本を取り替え、抵抗器への流入電流の測定をおこなった。その測定結果を図 3 に示す。図 3 より、抵抗器の定格 1.41 A に対して、最大 3.4 A（実効値 2.4 A）の電流が一時的に抵抗器に流れていることがわかる。そこで、GP に流入する電流をより詳細に調査するために、閃絡保護地線、アースおよび負き電線から GP への接続箇所（合計 3 箇所）に流れる電流を、クランプメータにより測定した。測定時間は列車本数が最も多くなる夕刻から、停電時間帯を含み、き電開始時間まで（15:50～

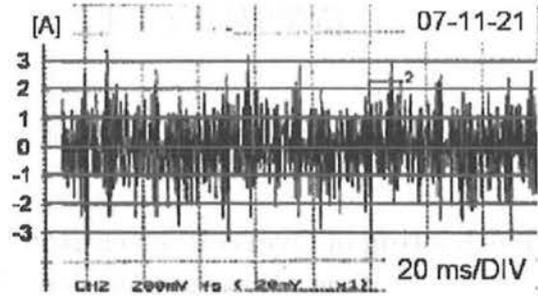


図 3. 放電装置抵抗器に流れる電流値
Fig.3 Current flowing into the GP

6:20) とした。測定結果を表 1、測定箇所の概略図を図 4 に示す。

表 1 より、アースおよび閃絡保護地線に流れる電流値の和が、負き電線に流れる電流値とほぼ等しいことから、GP にはアースおよび閃絡保護地線から電流が流入し、負き電線に帰っていくことが確認できた。さらに、アースの電流値に対して閃絡保護地線の電流値が 1.3～4.7 倍と大きいことから、GP へはアースよりも閃絡保護地線からのほうが流れ込みやすいこともわかる。また、本線・車両所が、ともに停電時（3:00～5:00）は電流が全く観測されないことから、一般電力系統からの影響ではないと言える。

〈3・3〉 放電装置抵抗器焼損の原因 以上の測定で得られた電流データの大部分は、高調波分析により 3 kHz 帯の高調波電流であることが判明した。3 kHz 帯の高調波電流は、東海道新幹線の 300 系車両以降の車両の CI（主変換装置）電流に含まれていることが知られている。そこで、三島駅での列車の停車・通過時間に対する電流変化を調査した。その結果、列車の停車・通過時間帯と GP 流入電流が増加している時間がよく一致していることが確認できた（図 5）。以上のことより、抵抗器に流れる一時的な 3kHz 帯域の過電流は、新幹線車両の PWM コンバータにより発生する高調波電流の作用であると推定した。

表 1. 電流測定結果 (08-02-01)

Table.1 Value of current flowing into the GP

時間	き電状態		放電装置電流(A)			電流比 ①:②:③
	本線	車両所	①アース	②閃絡保護装置	③負き電線	
15:50		停電中	0.9	1.9	2.5	1:2.1:2.7
15:54		停電中	1.9	2.5	4.4	1:1.3:2.3
15:57		停電中	1.3	2.2	3.1	1:1.7:2.4
16:04		停電中	1.6	7.2	8.1	1:4.5:5.1
16:07	き電中		0.6	1.9	2.5	1:3.2:4.2
18:24		停電中	0.6	1.9	2.5	1:3.2:4.2
18:39		停電中	1.9	6.3	7.5	1:3.3:3.9
18:41		き電中	0.6	1.9	2.5	1:3.2:4.2
23:45		停電中	1.9	8.8	10.3	1:4.6:5.4
0:00		停電中	0.6	1.9	2.5	1:3.2:4.2
0:28		停電中	1.9	7.5	8.8	1:3.9:4.6
1:50		停電中	0.6	1.9	2.5	1:3.2:4.2
2:02	停電中		0.6	1.9	2.5	1:3.2:4.2
3:10		停電中	0	0	0	-
5:10		き電中	0.6	1.6	1.9	1:2.7:3.2
5:45		き電中	1.9	7.5	8.8	1:3.9:4.6
6:12	き電中		0.6	2.6	3	1:4.3:5.0
6:20		き電中	1.6	7.5	8.8	1:4.7:5.5

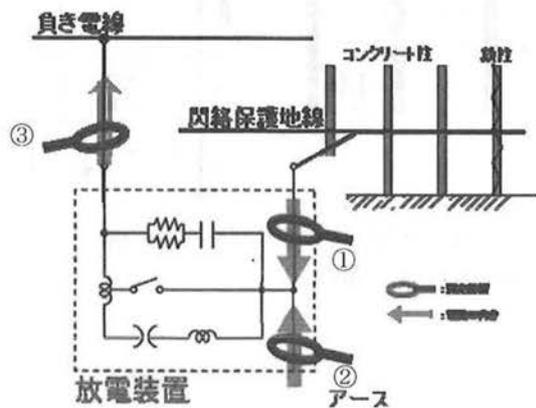


図 4. 電流測定箇所
Fig.4 Current probe point

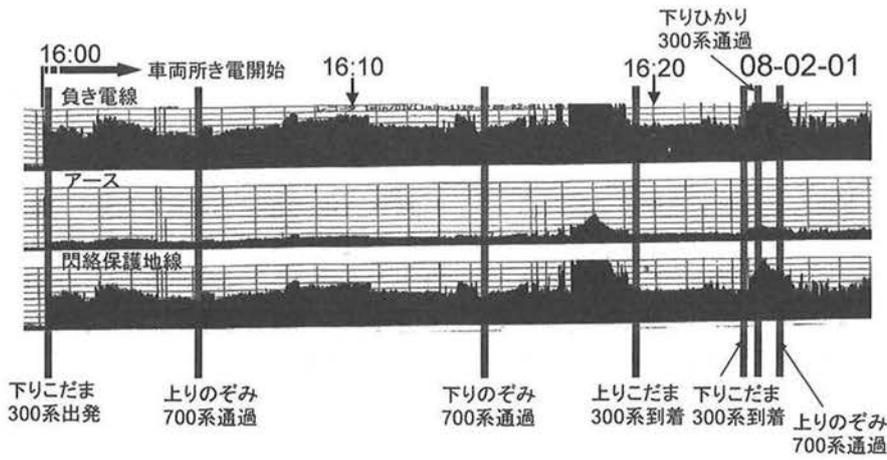


図 5. 列車停車・通過時間に対する閃絡保護地線電流の変化

Fig.5 Correlation between fault wire current and train operation conditions

4. 原因の究明

〈4・1〉 模擬回路によるシミュレーション 300 系以降の車両投入は、抵抗器焼損が発生する以前から始まっている。3 kHz 帯の高調波電流源は車両と推定したが、これを拡大する要因が電力回路側にあると思われる。そこで、三島車両所の現状の回路を模擬し、EMTP シミュレーションをおこなった。この結果、負き電線の電位に高調波成分が増幅する様子が現れた。これは、電力回路中のリアクタンスと静電容量の関係で共振作用が発生したことによると考えられる。

そこで、GP の抵抗器が焼損した平成 19 年より以前に、リアクタンスまたは静電容量を変化させた箇所の有無を調査した。その結果、平成 18 年に単独き電線に使用される同軸ケーブルが区間拡大されていたことを確認した。これにより、電力回路中の静電容量が大きくなり、3 kHz 帯で共振作用が発生したと考えられる。

そこで、同軸ケーブルによる静電容量を考慮しないでシミュレーションをおこなった結果、負き電線の電位には高調波成分の増幅は現れなかった。同軸ケーブルの静電容量を考慮した場合と、しなかった場合の EMTP シミュレシ

ョン結果を図 6 に示す。

〈4・2〉 シミュレーション結果の検証 4.1 でのシミュレーション結果が正しいことを確かめるために、同軸ケーブルを切離し、GP 各箇所を測定した。その結果、負き電線に流れる電流はおよそ 6 割低下した。これにより、3 kHz 帯での共振作用が実際に発生していることが確認できた。

〈4・3〉 高調波電流の流入経路 抵抗器に流れる電流は車両より発生した 3kHz 帯の高調波電流と判明した。しかし、この高調波電流が、なぜアースおよび閃絡保護地線から GP に流入するかについて検討する必要がある。前述したように、車両所構内では、吸上変圧器を通して車両に電気を供給し、帰線電流をレールから吸い上げている。しかし、吸上変圧器は、高周波に対しては高インピーダンスとなるため、高調波電流は、相対的に抵抗の小さいレールから大地に漏れ出す（迷走電流）割合が多くなると考えられる。これにより、閃絡保護地線およびアースに高調波電流が流れ込み、負き電線から変電所へ帰ると結論づけることができる。また、高調波電流がアースよりも閃絡保護地線に流入しやすいことの原因としては、閃絡保護地線がコンクリート柱または鉄柱に直接添架されているため、複数箇所の鉄柱や支線等がアースとして作用し、車両所構内に存在する迷走電流が流入しやすいことが原因と考えられる。

5. 対策の検討・効果

これまでの結果より、抵抗器焼損の原因は、車両からの高調波電流が同軸ケーブルによる共振により増幅し、レールから大地に迷走していることが原因だとわかった。

対策として、GP に高調波電流が流入するのを阻止することにした。これまで、GP は電流が変電所へ帰るために設けられた負き電線に接続されてあった。そのため高調波電流が GP を経由しやすい構成となっていた。そこで、GP の接

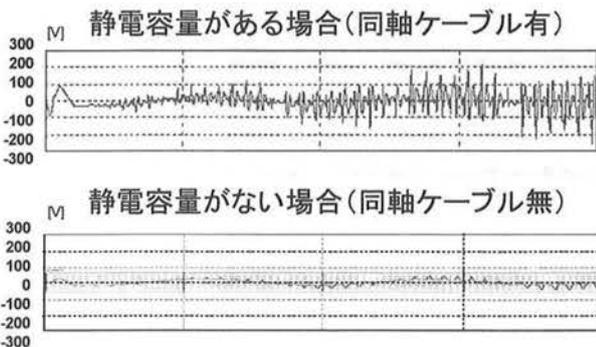


図 6. 負き電線電位の EMTP シミュレーション

Fig.6 EMTP Simulation on voltage of Negative wire

続先を負き電線から、車両基地内のレールと同電位である補助負き電線に変更すれば、大地に漏れ出した迷走電流は、GP を経由しないと考えられる。なぜなら、補助負き電線はレールと接続されているため、GP と電流の流出源(レール)が同電位となるからである。

また、複数箇所の鉄柱、支線などから閃絡保護地線への流入を防止するために、①閃絡保護地線の添架方式を直流電流阻止装置とがいしの組合せとし、鉄柱から流入する電流を阻止する、②GP のアースを残し、閃絡保護地線に繋がるすべての接地を切離し、支線および導線から流入する電流を阻止する。以上の対策の概念図を図 7 に示す。

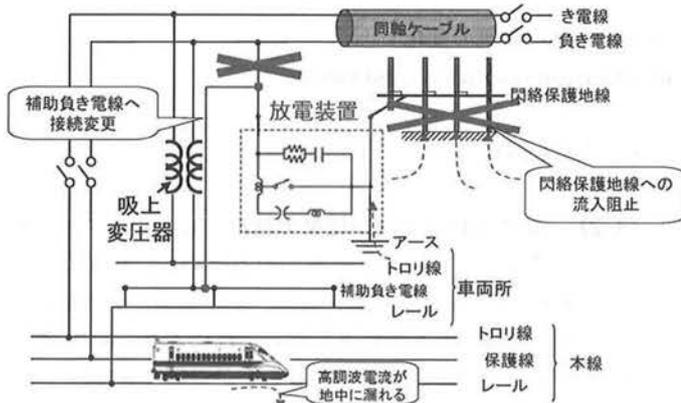


図 7. GP への流入阻止対策概念図

Fig.7 Protection against harmonic current into the GP

まず、複数箇所の支線などからの閃絡保護地線への電流の流入阻止対策を実施した。その結果、閃絡保護地線に流入する電流は大幅に減少したが、行き場を失った迷走電流が GP のアースに集中するため、アースの電流値は増加する結果となった。

次に、GP の接続の変更を実施し、電流測定をおこなった。GP の接続を負き電線から補助負き電線に変更したことにより、各部(負き電線の電流値は、補助負き電線の電流値に変更)に流れる電流は、およそ 9 分の 1 に減少した。その結果を図 8 に示す。これにより、高調波電流の GP への流入を阻止し、抵抗器に流れる電流値を定格値以内に抑えることができた。また、のぞみ号が 1 時間あたり 9 本の増発となる平成 21 年 3 月 14 日ダイヤ改正後の測定も行い、列車本数増加により GP へ流入する電流に影響がほとんどないことを確認した。

6. まとめ

本研究により、GP (放電装置) 抵抗器の焼損の原因は増設した同軸ケーブルによる高調波電流の増幅と判明した。

今後も、電力設備の新設・改良等で回路を大きく変更する場合には、高調波の電力回路への影響についても良く確認することが重要である。また、車両基地構内の設備状況をより深く把握し、より一層質の高い保全を実施して行きたい。

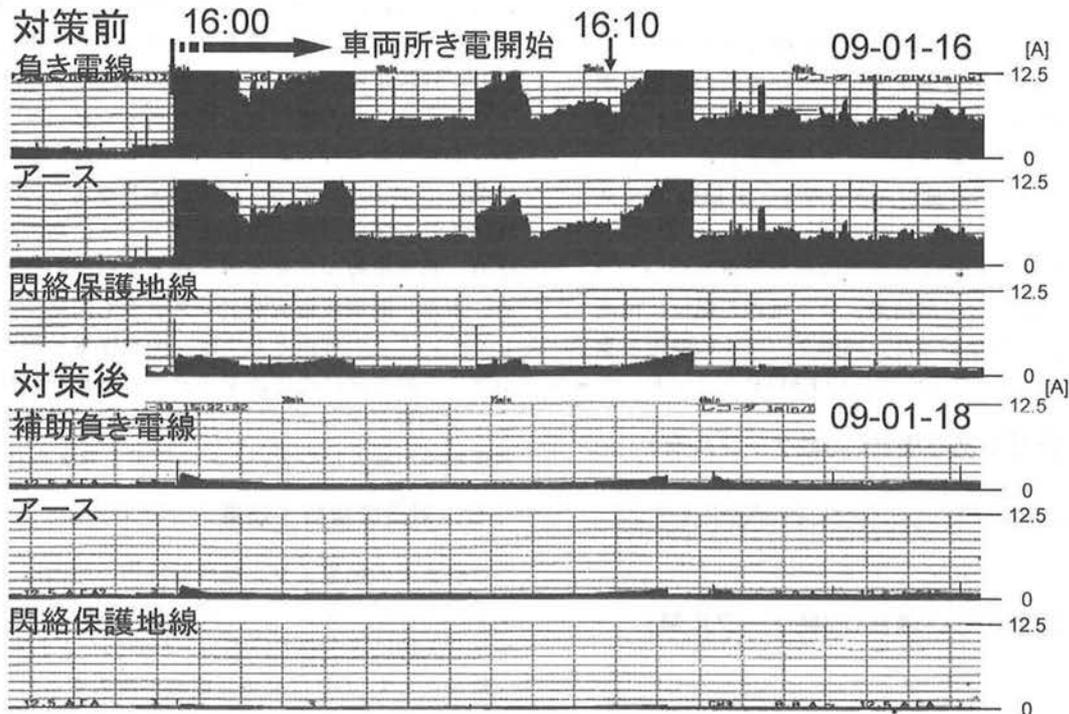


図 8. GP の接続変更の結果

Fig.8 Result of protection from harmonic current resonance of the GP circuit