

RA2013-2

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 西日本鉄道株式会社 天神大牟田線 下大利駅～都府楼前駅間
鉄道人身障害事故

II 箱根登山鉄道株式会社 鉄道線 出山信号場～大平台駅間 列車脱線事故

平成25年 3 月 29日

本報告書の調査は、鉄道事故に関し、運輸安全委員会設置法に基づき、運輸安全委員会により、鉄道事故及び事故に伴い発生した被害の原因を究明し、事故の防止及び被害の軽減に寄与することを目的として行われたものであり、事故の責任を問うために行われたものではない。

運輸安全委員会
委員長 後藤 昇 弘

《参 考》

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「3 分 析」に用いる分析の結果を表す用語は、次のとおりとする。

- ① 断定できる場合
・・・「認められる」
- ② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」
- ③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」
- ④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

I 西日本鉄道株式会社 天神大牟田線
下大利駅～都府楼前駅間
鉄道人身障害事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：西日本鉄道株式会社

事故種類：鉄道人身障害事故

発生日時：平成23年6月17日 11時09分ごろ

発生場所：福岡県太宰府市

天神大牟田線 しもおお下大利駅～とふろうまえ都府楼前駅間（複線）

西鉄福岡（天神）駅起点12k720m付近

平成25年3月4日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長 後藤昇弘

委員 松本陽（部会長）

委員 小豆澤照男

委員 石川敏行

委員 富井規雄

委員 岡村美好

要旨

<概要>

西日本鉄道株式会社の天神大牟田線西鉄福岡（天神）駅発太宰府駅行き4両編成の下り普通第8103列車の運転士は、平成23年6月17日11時09分ごろ、下大利駅～都府楼前駅間を運行中、破裂音と同時に架線停電（春日原～朝倉街道間）したため、列車を非常ブレーキで停車させた。この際、3両目の後部付近で激しい音とともに火花（又は溶融物）が車内に飛散し、車内の後部右側にいた乗客（2歳）が腹部を負傷した。車両点検の後、11時27分に運行を再開、都府楼前駅で運転を打ち切って筑紫駅まで回送し、11時44分入庫した。入庫後、屋根の損傷が確認された。なお、列車には、乗客約30名及び乗務員2名が乗車していた。

<原因>

本事故は、列車の屋根上に設置されたパンタグラフ手動上昇用引き棒と屋根外板と

の間で発生した地絡に伴うアークにより、屋根外板及び空調ダクト上板が溶解し、高温の溶解金属が室内送風機付近を經由して客室内に飛散し、その一部が被害者に当たったものと推定され、このため被害者が火傷を負ったことにより発生したものである。

地絡については、空気ホースを屋根に固定するための硬質塩化ビニール製のブロック（クリート）表面の汚れが雨水により湿潤状態となったこと及び当該箇所付近の屋根絶縁材に生じた亀裂部や剝離部に雨水が吸収されたことにより絶縁状態が悪化したこと、並びに引き棒とゴムホース固定用クリートの間に飛来物が介在したことが重なったため、引き棒～クリート表面～屋根外板間で沿面放電が発生したものと推定され、続いて引き棒～屋根外板間のアーク放電に移行した可能性があると考えられる。

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

西日本鉄道株式会社の天神大牟田線西鉄福岡（天神）駅発太宰府駅行き4両編成の下り普通第8103列車の運転士は、平成23年6月17日（金）11時09分ごろ、下大利駅～都府楼前駅間を運行中、破裂音と同時に架線停電（春日原～朝倉街道間^{かすがぼる}）したため、列車を非常ブレーキで停車させた。この際、3両目（車両は前から数え、前後左右は列車の進行方向を基準とする。）の後部付近で激しい音とともに火花（又は熔融物）が車内に飛散し、車内の後部右側にいた乗客（2歳）が腹部を負傷した。車両点検の後、11時27分に運行を再開、都府楼前駅で運転を打ち切って筑紫駅まで回送し、11時44分入庫した。入庫後、屋根の損傷が確認された。

なお、列車には、乗客約30名及び乗務員2名が乗車していた。

1.2 鉄道事故調査の概要

1.2.1 調査組織

本事故は、1名の負傷者を生じた鉄道人身障害事故であるが、乗客が車内で負傷するような火花（又は熔融物）が車内に飛散したものと考えられることから、運輸安全委員会設置法施行規則第1条第3号の定める特に異例と認められるものとして、調査対象となった。

運輸安全委員会は、平成23年6月17日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか1名の鉄道事故調査官を指名した。

九州運輸局は、本事故調査の支援のため、職員を事故現場に派遣した。

1.2.2 調査の実施時期

平成23年 6月18日～19日	現場調査及び口述聴取
平成23年 6月20日	口述聴取
平成23年 7月9日～10日	車両調査
平成24年 2月6日～7日	車両調査

1.2.3 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

2 事実情報

2.1 運行の経過

事故に至るまでの経過は、西日本鉄道株式会社（以下「同社」という。）の天神大牟田線下り普通第8103列車（以下「本件列車」という。）の運転士（以下「本件運転士」という。）、車掌、被害者の保護者（以下「保護者」という。）の口述、及び車両に搭載された運転状況記録装置の記録によれば、概略次のとおりであった。

2.1.1 運転士等の口述

(1) 本件運転士

本件列車には、西鉄福岡（天神）駅から乗務した。引継ぎの時に、問題があったということは聞いていない。また、下大利駅（西鉄福岡（天神）駅起点11k932m、停止位置目標は12k000.6m、以下「西鉄福岡（天神）駅起点」は省略。）までの運転中も特に問題はなかった。場所によっては雨が降っている所もあったが、現場付近ではそれほどでもなく、ワイパーも動かしていなかったと思う。

下大利駅を出発し、速度80～85km/hで力行中、九州縦貫自動車道（以下「九州道」という。）の跨線橋（12k700m付近）の下を通過した際に、「パン」という乾いた音が聞こえた。ほぼ同時にモニタの警告音が鳴り、「架線電圧×」という表示を確認したため、非常ブレーキを掛けた。

本件列車の停車後、指令から、春日原～朝倉街道間で現在停電しているとの一斉連絡があった。運転室から後ろを向いて車内を確認したところ、3両目付近に煙が立ち込めているのを確認した。発煙していること、乗客を他の車両に移すことを指令に報告した後、携帯無線を持って3両目に急行した。

3両目に到着した時点では、ほとんどの乗客は故障箇所を挟むように、前後に分かれており、当該車両には4、5人が残っていた。エアコン付近から爆発音のようなものがして、火花が出たという申出を受けたので、その旨を指令に報告した。その際、ベビーカーに乗った子供（被害者）は泣いていたが、保護者は爆発音と火花に驚いて泣いているのだろうと言っていた。見たところ目に付くような外傷は確認できず、火傷をしたといった申告もなかったため、特に詳しく調べることはなかった。その後、保護者から火花が子供（被害者）にかかったという申出を受けたので、その旨も指令に報告し、万一に備えて係員の手配を依頼した。子供（被害者）が火傷を負っていたことは、（筑紫の）乗務所に帰った後で聞いた。

指令からは、乗客を前方車両に避難誘導するようにとの指示を受け、既に後方に移動していた乗客もいたが、全ての乗客に前方へ移動してもらった。

乗客の移動後、指令から制動試験及び起動試験をし、次の都府楼前駅（14k038m、停止位置目標は14k151.3m）で乗客を全員降ろすよう指示を受けた。

その後、指令からパンタグラフの確認をするよう指示を受けたので、運転室から見て、パンタグラフは上昇しているとの報告をした。次に、パンタグラフの曲損の有無と、床下機器を確認するよう指示を受けたので、車外に出て確認した。床下もパンタグラフ等も異常なかったため、その旨を指令に報告した。なお、後方2両は車掌と共に確認した。

車外から運転室へ戻る途中、指令からの問い掛けに応じ、異音がしたのは力行中であったこと、その際、モニタ表示の「架線電圧×」は確認したが、保護リレー動作は確認できなかったことを報告した。戻ってから起動試験、制動試験を実施し、異常なしと報告した。また、エアゲージの確認指示があったので、後方運転室は車掌に確認してもらい、前後とも異常なしと報告した。その後、約100mの範囲内で常用ブレーキによる試験を実施して一度停止し、問題なかったため運行を再開し、都府楼前駅まで運行した。

都府楼前駅は定位置に停車し、全ての乗客を降車させた。その後は（運転を打ち切り、）筑紫駅（21k028m）まで回送することとなり、筑紫駅まで回送電車を運転して乗務を終了した。

(2) 車掌

本件列車には西鉄福岡（天神）駅から乗務した。異常に関する引継ぎはなかった。また、下大利駅までも特に問題はなかった。

九州道の跨線橋付近、跨線橋を抜けるか抜けないかというところで、「パン」という音がした。爆竹か何かを電車が轢いたかと思い、後方を見たところ、跨線橋下の一带に白煙が舞っていた。次に、「ピー」という音（モニタの警報音）と、車両のモニタ画面に「架線電圧×」の表示を確認した。車内を振り向くと、6302号車（3両目）の車内が白煙に覆われているのを発見し、現場に急行した。現場に向かう間は、ブレーキが掛かって減速中であった。

現場には乗客が数名いた。ベビーカーの子供（被害者）と保護者がおり、子供（被害者）が泣いていたので、事情を確認したところ、保護者によると、上から火花が落ちてきたとのことであった。上を見たところ、火花が出ている箇所は確認できなかったが、とにかく車両から離れてもらうため、口頭で別の車両に移動するよう誘導した。

空調を切るため一旦車掌室に戻り、再び現場に行った。最後尾の4両目には5名程度の乗客がおり、3両目では保護者が本件運転士と話をしていたが、他の乗客の移動は終わっていた。子供（被害者）は最初泣いていたが、車掌室か

ら戻ったときには泣いていなかった。怪我をしていることは、車内では分からなかった。

車内にまだ煙が立ち込めていたので、開けられる窓を開けながら車掌室へ戻ったところ、指令から（本件運転士へ）乗客を前方に移動するようにとの指示を聞いたので、4両目にいた乗客を前方車両へと誘導した。

車掌室へ戻って指令と交信し、前方への移動の報告と、駅係員と救急車の依頼を要請し、指令からは起動試験をし、都府楼前駅で乗客を降ろすようという指示があった。その後、パンタグラフの状態を、ということだったので、自分も降車し、運転士と合流して確認したが異常はなかった。車掌室に戻り、起動試験を行い都府楼前駅まで発進すること、乗客には都府楼前駅で降りてもらうこと等を案内放送した。起動試験、ブレーキ試験の後、発車して都府楼前駅に向かった。駅に着くと駅係員と救急隊員が目の前におり、「患者はどちらですか」と聞かれたので、前方にいると伝えた。駅係員と救急隊員は前方に走っていき、保護者等と接触したところは確認した。

駅の改札口が後ろにあり、（本件列車へ）乗ってくる乗客がいたので、自分は車掌室の近くで、降りてもらうよう対応し、車内を確認した後で扉を閉めた。閉めた後に、駅係員、救急隊員、保護者及び子供（被害者）が横を歩いていった。

その後、本件列車は回送になり、筑紫駅まで乗務した。

(3) 保護者

本件列車には西鉄福岡（天神）駅から乗車した。3両目最後部右側の座席に夫婦で座り、子供2人を乗せたベビーカー2台を、向かい合わせにして自分達の前に置いた。被害者のベビーカーは、前側に置いて後ろを向けていた。向かいの席には乗客が1名座っていたが、車内はかなり空いていた。

事故発生時、「パーン」という大きな音がして目の前が光り、天井にある送風機の辺りから放射状に無数の火花が降ってきた。その直後、子供（被害者）が腹部を押さえて前屈みになり、痛いと言って泣き始めた。驚いたのを勘違いして痛いと言っているのかと思ったが、泣き叫び方は非常に激しかった。また、子供（被害者）が前屈みになったまま離れず、状況の確認はできなかった。

車内は煙が充満し、向かいの席の乗客がよく見えなくなった。列車はすぐには止まらず、車掌が来て状況を聞かれたので、爆発があり、火花が降ってきたことを伝えると、すぐに車掌は走っていき、間もなく本件列車が停止した。その際、車掌から怪我の確認はされなかった。

その後、本件運転士が一度見に来た。それと（事の）前後がはっきりしないが、車掌が戻って来て、現場から離れてと言われたので、2両目に移った。

都府楼前駅で降車すると、本件列車の最後尾付近にいた駅員が走ってきて、改札に案内された。改札を出ると、踏切の反対側に救急車があり、何本かの列車の通過を待ってから踏切を渡ってきた。

救急車に乗った後、子供（被害者）が火傷していることが分かった。5mm程度の光る金属状のものが腹部にあって、着ていたTシャツが約1cmの大きさで焼け、患部はそれよりやや小さい範囲で火傷となっていた。

2.1.2 運転状況の記録

本件列車には、運転状況を記録する運転状況記録装置が搭載されている。その作動記録によれば、本事故発生当時の本件列車の走行状況の概略は、表1のとおりであった。

表1 運転状況記録装置の記録

時刻	速度 (Km/h)	距離 (m)	力行 ノッチ	ブレーキ ノッチ	備考
11:08:38.0	0.0	0.0	1	切	下大利駅出発
11:09:25.4	91.6	667.0	4	切	
11:09:25.8	92.1	677.2	切	切	ノッチオフ
11:09:30.6	91.0	799.2	切	5	ブレーキ扱い
11:09:30.8	91.0	804.3	切	7	〃 (B7)
11:09:32.0	87.0	834.1	切	非常	〃 (非常)
11:09:54.8	0.0	1,121.2	切	非常	列車停止
11:25:54.4	0.0	1,121.2	1	切	起動試験
11:25:58.0	2.3	1,121.9	切	切	〃
11:25:59.4	1.7	1,122.7	切	3	〃
11:26:01.0	0.0	1,123.3	切	3	〃
11:27:25.4	0.0	1,123.3	1	切	ブレーキ試験
11:27:33.6	13.2	1,134.1	切	切	〃
11:27:40.0	12.0	1,156.7	切	3	〃
11:27:47.8	0.0	1,170.8	切	2	〃
11:27:50.0	0.0	1,170.8	1	切	運行再開
11:29:59.8	0.0	2,141.8	切	2	都府楼前駅着

※情報は0.2秒ごとに記録されているが、表では主な時刻の情報について記載した。
 ※備考欄以外は、運転状況記録装置の情報である。ただし、距離については停止時にリセットされるため、下大利駅出発時点からの値を積算して表示した。

なお、装置の時刻はGPSを用いて自動補正されている。また、速度及び走行距離については、車輪の空転や滑走等により実際の速度及び走行距離との誤差が内在している可能性がある。

また、運転指令と列車等との交信記録の概略は付表1のとおりであった。

なお、運転状況の記録によれば、本事故の発生時刻は、11時09分ごろであった。
 (付図1 天神大牟田線の路線図、付図2 事故現場付近の地形図、付図3 事故現

場付近の概略図、付表1 運転指令の交信記録 参照)

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

乗客1名(2歳)が腹部を負傷した。

負傷は約1センチ大でⅢ度の火傷であり、全治8週間と診断された。

2.3 鉄道施設等に関する情報

2.3.1 鉄道施設

同社の天神大牟田線は、西鉄福岡(天神)駅から大牟田駅を結ぶ営業キロ74.8kmの複線及び単線の路線であり、動力は電気(直流1,500V)、軌間は1,435mmである。なお、都府楼前駅の次の西鉄二日市駅(15k494m)からは、太宰府線(単線)が分岐している。

事故現場(12k720m付近)周辺は複線区間で、線形は平坦な直線となっており、下り列車に対しては、12k733mから半径900mの右カーブとなっている。事故現場の手前には第一御笠川橋梁があり、事故現場付近には九州道の跨線橋がある。なお、下大利駅から九州道までの間に他の跨線橋はない。

(付図1 天神大牟田線の路線図、付図3 事故現場付近の概略図 参照)

2.3.2 九州道の跨線橋

九州道の跨線橋は線路と斜めに交差しており、下り線が跨線橋と交差する範囲は、12k675.5m~12k710.2mである。

平成22年度の道路交通センサスによれば、九州道のこの区間の11時台の交通量は、道路の上り線(太宰府IC方向、下大利駅方)では小型車が1,543台、大型車が768台であり、道路の下り線(筑紫野IC方向、都府楼前駅方)では小型車が2,588台、大型車が728台であった。

跨線橋は、道路の上下線が独立して架橋されており、上下線の橋りょう間にある隙間は、下部に落下物防止フェンス、上部に落下物防止板が設置され、2重に塞がれている。

跨線橋の両側面には、落下物防止用のフェンス等が設けられている。道路の上り線側は地覆(橋の側端部にある路面より高い部分)の外側面に接するようにパネルが取り付けられており、線路上からは地覆とパネルの間に隙間が見えない状態となっている。道路の下り線側はガードレールとフェンスが設けられているが、地覆の上面とガードレール、またガードレールとフェンスの間には隙間がある。

架線直上の跨線橋下面には、桁下防護板が設置されている。これは跨線橋の桁と架線との接触を防ぐことを目的とした絶縁板であり、落下物からの防護を目的とし

たものではない。

(付図3 事故現場付近の概略図、付図4 跨線橋の状況 参照)

2.3.3 変電所及び電力管理システム

事故のあった区間の電力は、春日原変電所(9k666m)及び朝倉変電所(17k575m)から給電されており、本事故の発生時刻には、この給電区内に10本の列車が運転されていた。

両変電所には、短絡などの異常現象を検出し、電力供給を遮断するためのき電用直流高速度遮断器^{*1}(設定値は8,000A、選択率は50%。以下「54F」という。)、直流き電回路用の ΔI 形故障選択装置^{*2}(ΔI の設定値は2,600A、 Δt は100msである。以下「50F」という。)、及びき電線連絡遮断装置^{*3}(以下「連遮装置」という。)が設置されている。

両変電所の50Fには、設定値を超過する電流の増大を検知した場合に、検知前の100msから検知後の150msまで、54Fの電流値を記録する機能がある。本事故では、春日原変電所は最大5,500A、朝倉変電所は最大6,400Aの電流値を記録していた。なお、記録は検出時点を基準とした時間で記録されており、時刻の情報は記録されていない。

同社では、電力管理システムを導入しており、電力指令において、同システムの遠隔制御装置を介して各変電所の監視・計測・制御・記録が行われている。電力管理システムの記録装置には、11時09分30秒以降、春日原変電所の50F、54F、連遮装置、及び朝倉変電所の50F、連遮装置が動作して、両変電所間の電力供給を遮断したことが記録されていた。

なお、動作の情報は変電所から複数の機器を経由して記録装置に至るため、記録された時刻には処理や伝送に要する時間に相当する遅れが含まれる。なお、処理時間の合算値は約950msであり、伝送時間には待ち時間があるため時間の幅が大きく、合算値は62～2,570msである。

(付図5 き電線路図、付図6 送出電流記録 参照)

^{*1} 「き電用直流高速度遮断器」とは、回路を流れる電流が設定値(整定値ともいう。)を超えた場合等に動作し、回路を迅速に遮断できる機能を持つ直流遮断器をいい、回路図等では54Fと記される。地絡等の故障が発生するとき電流が急激に増大するが、この際の電流の増分を故障電流といい、増加開始時点($t=0$)における故障電流の増加率($\Delta I / \Delta t_{(t=0)}$)を突進率という。また、突進率が大きく、急激に増大するような電流を突進電流といい、54Fは、突進電流に対して、設定値よりも小さな電流値で動作する選択特性を有し、その比を選択率という。

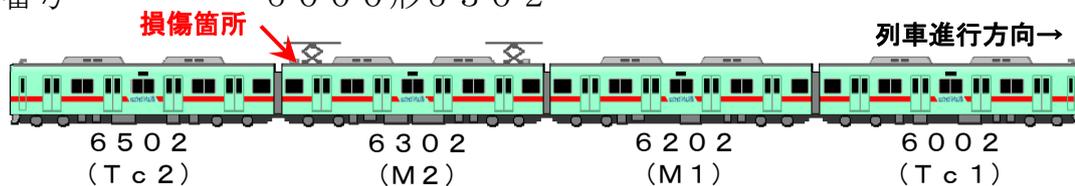
^{*2} 「 ΔI 形故障選択装置」とは、微小時間 Δt におけるき電電流の増加分 ΔI が設定値を超えた場合等に、54Fを開放する信号を出力し、回線を遮断させる装置をいう。回路図等では50Fと記される。

^{*3} 「き電線連絡遮断装置」とは、並列き電された直流き電区間において、区間両側の変電所の54Fに電気連動を設け、一方の変電所で故障を検出した場合、自動的に他方の変電所の54Fを動作させ、当該区間を停電させるための装置をいう。

2.4 車両に関する情報

2.4.1 車両の概要

車種	直流電車 (DC 1,500V)
編成両数	4両
編成定員	556名
記号番号	6000形6302



車体長	19m (連結面間距離は19.5m)
製造年	平成5年

2.4.2 定期検査等に関する情報

本件編成の直近の定期検査等の履歴は次のとおりであり、これらの検査記録に異常はなかった。

全般検査	平成19年3月1日
重要部検査	平成23年1月14日
月検査	平成23年4月14日
列車検査	平成23年6月8日

2.4.3 屋根の構造及び材料

本件列車の車体は鋼製であるが、屋根にはステンレス鋼を用いている。

損傷箇所付近の屋根構体は500mmおきに配置された鋼製の垂木(高さ55mm)に、図1のような波型に成型したステンレス板(SUS304、板厚0.6mm、以下「屋根外板」という。)を溶接した構造となっている。

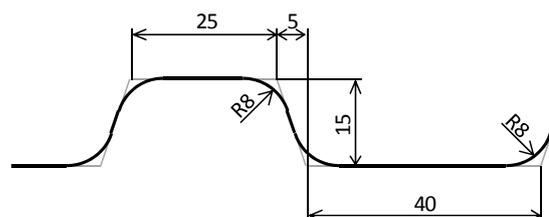


図1 屋根外板の断面形状

屋根外板の上面には難燃性絶縁材(以下「屋根絶縁材」という。)として、ブタジエン系ウレタン樹脂の屋根絶縁材(以下「屋根絶縁材A」という。)が塗布されており、屋根内面には、厚さ20mmの断熱材が接着してある。断熱材はグラスウールに樹脂を付与してマット状

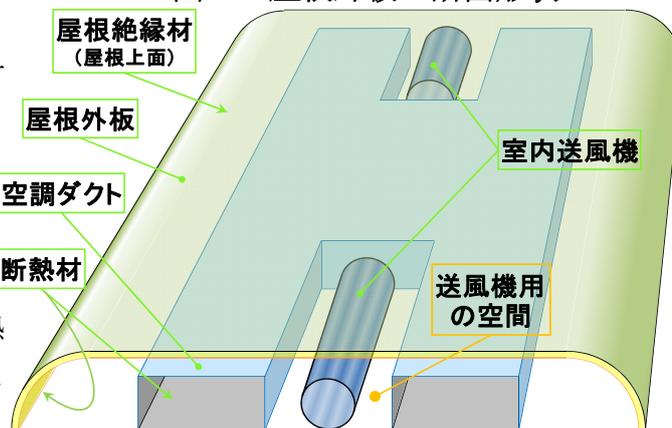


図2 天井内部の模式図

(詳細は付図7参照)

に成形したもので、表面材としてアルミ箔（70 μm）が貼り付けてある。

なお、本件列車の屋根絶縁材には、剝離や亀裂及び摩滅した箇所が見られ、補修材（アクリル樹脂系の車両屋根塗装材）を塗布して補修した箇所があった。

屋根の垂木の下には客室の天井部分が固定してあり、天井の中央部（幅1,060 mm）は空調ダクトとなっている。空調ダクトは垂木から20 mmの隙間を空けて固定してあり、アルミ製の上板（A5052P、板厚1.6 mm）は垂木に沿った曲面となっている。ダクトの下板は客室天井の化粧板を兼ねており、左右にスリット状の空調吹出口が設けてある。ダクト上板と側板の内面には厚さ3 mmの断熱材が接着してある。断熱材は耐炎繊維を用いたフェルトで、表面材としてアルミ箔（30 μm、黒色）が貼り付けてある。

また、車内送風機（ラインフローファン）が設置される箇所では、ダクト中央に送風機を収めるための空間（幅320 mm）を設けてあり、この位置ではダクトが左右に分かれ、上板も取り付けられていない。

（付図7 屋根断面図 参照）

2.4.4 パンタグラフ及び関連機器

本件列車のパンタグラフは、3両目に2基搭載されており、搭載位置は車体の前後端からそれぞれ3,000 mmの位置である。パンタグラフは、コイルばねの力によって上昇させ、空気圧により下降させる方式である。折り畳んだ状態では上部の枠にカギ型の掛金を掛けて固定してあり、掛金を外すことでパンタグラフを上昇させることができる。掛金には空気シリンダが接続され、運転席からの遠隔操作によって外すことができるほか、空気圧が得られない場合に手動で掛金を外すための引き棒が接続されている。

引き棒は長さ約1,750 mm、直径10 mmのステンレス製の丸棒で、パンタグラフ中心付近から車両端部に向けて、屋根の中央（中心高さは天井横梁上面から70 mm、屋根外板上面との間隔は49.4 mm）に設置されている。引き棒のパンタグラフ側の端部には二叉部が設けられ、これに掛金の下端部を挿入してピンによって結合し、リンクを構成している。引き棒の途中には、パンタグラフ下部にある可動部との干渉を防ぐための屈曲部と、絶縁用のがいしが設けられている。車両加圧時は、二叉部からがいしままでの間に、架線電圧（1500 V）が印加された状態となる。また、反対側の端部は環になっており、これに引き紐を結び付けてパイプを通して車両端部に降ろし、手動で操作できるようにしてある。引き棒は、掛金との接続ピンと、ピン中心から1,610 mmの位置にある引き棒受けのコロとの、2か所で支持されている。支持点の左右方向の遊びは、ピン側が2 mm、コロ側が6.7 mmである。

パンタグラフの下降用と、掛金作動用の空気シリンダへ空気を供給するため、ゴムホースが2本設置されており、ホースはパンタグラフとの接続点から、引き棒と平行に後方へ向かい、途中2か所に設置されたクリートの間で向きを変えて引き棒の上を越え、屋根の左側に設置された絶縁管継手に接続されている。

クリートは、半円形の溝を2か所設けた硬質塩化ビニール製のブロック2つで、ホースを挟み込んで固定する台であり、クリートの表面は特殊変性フタル酸樹脂塗料で、灰色に塗装されている。

損傷箇所にあるクリートは、大きさが前後50mm、左右115mm、高さ146mmで、ホースの中心線が左から30mm及び90mm、下面から121mmの位置になるように溝が設けてある。クリートの屋根への設置位置は、前後方向は中心線がパンタグラフの中心から963mm後方、引き棒の接続ピン中心からは960mm後方、左右方向は左端面が車体中央の右方25mmとなる位置であり、屋根外板の波型の底部に接着して取り付けられている。

(付図7 屋根断面図、付図8 屋根上の機器配置、付図9 引き棒関係図、付図10 隙間検討図 参照)

2.4.5 主ヒューズ及び断流器

それぞれのパンタグラフからの主回路電流は、車体前端付近の屋根上に設置された主ヒューズを経由して床下へ導かれ、床下に設置された断流器内の単位スイッチ、高速度遮断器等を経由して主制御器へと至る。

主回路に異常な電流が流れた場合は、主ヒューズ、高速度遮断器等の動作によって電流を遮断する仕組みとなっているが、本件列車の主ヒューズは動作していなかった。また、断流器内の単位スイッチ、遮断器には異常な電流が流れた痕跡はなかった。

2.4.6 モニタ装置について

本件列車の運転台には、車両の状況を表示するためのモニタ装置が搭載されているが、動作状況を記録する機能がないため、事故時のモニタ表示の状況については確認できなかった。

なお、事故後に本件列車と同形式の車両で模擬停電試験を実施したところ、運転室のパンタ下げスイッチによりパンタグラフを降下させて車両を停電させた場合、運転室の架線電圧計の電圧が降下し始めてから、モニタ装置の架線電圧低下ブザーが鳴動するまでの時間は、540～570msであった。

2.5 鉄道施設の損傷及び痕跡の状況

事故直後に春日原駅～都府楼前駅間の架線点検、春日原変電所と朝倉変電所の設備点検及び九州道の跨線橋付近の線路施設の点検が行われたが、いずれも異常は認められなかった。また、下大利駅～筑紫車庫間の本件列車走行経路に沿って、不審物（焦げた金属物等）の捜索が行われたが、何も発見できなかった。

2.6 車両の損傷及び痕跡の状況

3両目後部パンタグラフの直後にある空気ホース用クリートの直前の位置で、屋根が損傷して破口を生じており、破口付近の引き棒が溶損していた。

また、当該箇所付近の客室床面からは図3に示す3mm～8mm程度の金属片が複数発見された。

調査において、客室の天井部分を解体し、送風機、客室天井（空調ダクトの下板と側板）、屋根の破口直下のダクト上板を取り外し、確認したところ、次のような状況であった。

（付図7 屋根断面図 参照）



図3 床面から発見された金属片

2.6.1 屋根

屋根絶縁材、屋根外板、外板内面の断熱材がそれぞれ溶損、若しくは焼損し、屋根には破口を生じていた。調査時点では破口周辺の屋根上面には一部湿った部分があったが、水溜まりはなかった。

破口周辺の屋根表面は赤褐色に変色しており、それと同色の粒状の^{ざんし}残滓があった。残滓の中には金属光沢を持つもの及び金属の細粒も見られた。

クリート前端付近の屋根外板の凸部両側面に破口があり、その付近の屋根内面の断熱材は焼失していた。損傷の状況は以下のようなようであった。

(1) 右側の破口

- ① 屋根絶縁材は前後約30mm、左右約13mmの破口となっていた。
- ② 破口の前方、波型の下側のR部表面に筋が認められた。
- ③ 屋根絶縁材より屋根外板の方が広範囲に溶失していた。
- ④ 車内側から見ると、屋根外板は波型の縦板部から頭頂部にかけて、凸字形に溶失していた。
 - a 溶失範囲は、前後方向は縦板部が約43mm、頭頂部が約23mmで、左右方向は縦板部の下端付近から頭頂部の左端までの範囲であった。
 - b 破口の縁が溶存物で肉厚となっていた。
- ⑤ 車内側からは、残存した屋根絶縁材の内面の状況が見える状態であった。

- a 屋根外板の破口の縁にある溶存物に接した部分は炭化していた。
- b それ以外は薄茶色に変色した表面に煤が付着した状態となっており、著しい炭化や、欠損等は見られなかった。

(2) 左側の破口

- ① 屋根絶縁材は車体外側に向かって押し出され、前後約 20 mm、左右約 10 mm の亀裂を生じていた。
- ② 屋根絶縁材は残存していたが、屋根外板は縦板部が溶失していた。
 - a 屋根外板の溶失部の大きさは、前後約 35 mm、左右約 13 mm であった。
 - b 屋根外板の破口の縁は溶存物で肉厚となっていた。
- ③ 破口から見た屋根絶縁材の内面の状況は、右側の破口と同様であった。

(3) 屋根断熱材等

- ① 屋根断熱材は上記 2 つの破口が生じた付近（以下「屋根の破口」という。）から左側方向に向け、おおむね円形に焼失していた。
 - a 焼失範囲は直径約 110 mm で、焼失範囲の中心は破口から左にずれていた。
 - b 焼失部の左側は断熱材の下部が焦げていた。
 - c 焼失部の辺縁には金属の細粒（おおむね球形）が多数付着していた。
- ② 破口付近にある天井垂木等、屋根の骨組みは焦げていた。

(付図 1 1 屋根上の損傷状況、付図 1 2 破口の状況、付図 1 4 屋根内側の損傷状況 参照)

2.6.2 客室天井

客室天井から、送風機グリル、送風機本体、天井化粧板（化粧板とダクト下板及び側板は一体となっている）を取り外したところ、送風機周辺及び送風機のファンブレードに細い筋状の擦過痕があり、天井化粧板に固定された放送用スピーカグリルの網には直径 1～2 mm 程度の穴が複数あった。

また、屋根の破口の下にある空調ダクト上板では、下面に貼り付けられた断熱材に下向きに押されたような形の膨らみが認められたため、当該部位を固定しているリベットを撤去し、上板を取り外したところ、以下のような状況であった。

- (1) 取り外した空調ダクト上板の大きさは、前後 660 mm、左右 310 mm であり、取付位置は屋根中央で、板の後端位置が車体後端から 1,670 mm であった。
- (2) 上板は、両端 40 mm を取付面とし、屋根にリベット締結されていた。
- (3) リベット撤去後、上板の取付面が固着していたため、ドライバ等で引き剥

がして取り外した。

- (4) 空調ダクト上板は屋根の破口の左下の位置が溶損し、おおむね楕円形の破口を生じており、下面の断熱材が露出した状態となっていた。
 - (5) 溶損位置は屋根中心より左側にあり、範囲は板の後端から約347～380mm（前後約33mm）、左端から約83～141mm（左右約58mm）であった。
 - (6) 溶損部を中心として、放射状に白色の微粉末が付着しており、金属の細粒（ほぼ球形のもの又は不定形のもの）が多数付着していた。
 - (7) 溶損箇所に近い位置のリベット穴と、取付面の縁に溶着痕があった。
 - (8) 断熱材は下向きに膨らんだ形に変形していたが、破口は生じていなかった。
- (付図13 天井の損傷状況 参照)

2.6.3 引き棒

引き棒は中央付近が溶損して曲がっていた。引き棒は在姿での調査後、取り外して詳細調査を実施した。損傷の状況は、以下のとおりであった。

- (1) 屋根の破口後端付近の、クリート前面よりやや前の位置から、後方へ約80mmの範囲で、引き棒の右側面（クリートに面した側）が溶損していた。
- (2) 引き棒は溶損部を屈曲点として、くの字に曲がっており、変形後はクリート側面との離隔が約55mmとなっていた。
- (3) 溶損範囲には約50mmの間隔で凹みが2か所あり、そこから溶解した金属が後方へ流れた痕跡があった。
- (4) 前方の凹みは引き棒の右斜め上を向いており、前端部付近が最も深い、スプーン状の凹みとなっていた。また、凹み周辺は溶出物に薄く覆われていた。
- (5) 後方の凹みは右方向を向いており、前方の凹みとは異なり、前後約30mm、上下約7mm程度の範囲で浅く平坦な形状であった。また、凹みの前端付近は表面が荒れており、褐色～黒褐色に変色していた。
- (6) 前方の凹みからの溶出物は、後方の凹みの前端から約13mm前から、後方の凹みの上下に分かれて流れていた。
- (7) 引き棒と、掛金との接続ピンの接触部には、凹みと軽微な溶損があった。

(付図11 屋根上の損傷状況、付図15 引き棒の損傷状況 参照)

2.6.4 クリート

クリートは在姿での調査後、取り外して詳細調査を実施した。損傷の状況は、以下のとおりであった。

- (1) 前面左下部は屋根の破口付近を中心として扇形に色が薄くなっていたが、炭化はしていなかった。

- (2) 左側面後部には擦過痕があり、途中に炭化した箇所があった。
- ① 擦過痕はクリート後端から約9mm、下端から約56～85mmの範囲で、上下方向についていた。
 - ② 炭化箇所は幅約13mm、高さ約7mmの紡錘形^{ぼうすいけい}で、擦過痕の下端から約4～11mmの範囲にあった。
 - ③ 擦過痕の下端と、中央付近（擦過痕の下端から約15mm）には、表面を搔き寄せたような痕跡があった。
- (3) 左側面の下端から30mm程度の位置で、側面下部を横切るように、筋状に塗装が剥離し、一部炭化していた。
- (4) 筋状の塗装剥離部の下は、屋根表面と同様な赤褐色に変色していた。
- (5) 塗装剥離部の後端付近と、擦過痕の間は表面が黒変し、一部炭化していた。
- (6) 塗装剥離部の前端から下に向けて、クリートの稜線部分が炭化していた。
- (7) クリートと屋根との接着部周囲に盛られたコーキング材の付着状況は良好であり、水分等の浸入の痕跡は認められなかった。
- (8) コーキング剤の表面に、炭化した痕跡は認められなかった。
- (9) クリエートの接着部には、劣化及び熱影響は認められなかった。
- (付図16 クリート側面の損傷状況、付図17 クリート接着面の状況 参照)

2.6.5 パンタグラフ

パンタグラフ本体に、損傷は認められなかった。また、可動部のヒンジや接続導線（タワミ導帯）及び舟体の摺動部に過大な電流が流れた痕跡は認められなかった。

2.7 乗務員等に関する情報

本件運転士 男性 31歳

甲種電気車運転免許

平成18年2月23日

車掌 男性 33歳

2.8 気象に関する情報

当時の事故現場付近の天気 曇り

事故現場の南東約750mに位置する気象庁アメダス観測点（福岡県太宰府市向佐野）における、事故当時（午前11時10分）の気温は21.5℃で、東南東の風で平均風速0.8m/sであった。

また、福岡管区气象台の観測によれば、同日6時50分から12時15分までの天候は、弱い雨であった。

3 分析

3.1 発生した事象について

以下のことから、本件列車で発生した事象は、引き棒から屋根への地絡^{*4}であると推定される。

- (1) 2.3.3 に記述したように、本件列車の在線区間を給電する春日原変電所と朝倉変電所で設定値を超過する電流の増大が検出されたことから、この区間内で短絡が発生したと推定されること。
- (2) 2.5 に記述したように、事故後の設備点検により電力設備等に異常が認められなかったことから、上記変電所の給電区間内に在線した列車のいずれかで地絡が発生したと推定されること。
- (3) 2.1 に記述したように、本件列車の天井部から異音及び火花を生じると同時に架線停電となったこと、本件列車以外の列車からは異常の報告がなかったこと（付表1）から、地絡は本件列車で発生したと推定されること。
- (4) 2.4.5 に記述したように、本件列車の主回路の保護装置が動作していないことから、地絡は車両の主回路機器以外の箇所が発生したと推定されること。
- (5) 2.6.3 に記述したように、引き棒と掛金の接続部が溶損していたことから、パンタグラフから引き棒に大電流が流入したと推定されること。
- (6) 2.6.1 及び 2.6.3 に記述したように、焼損箇所の屋根外板と引き棒が溶損していたことから、屋根外板と引き棒の間にアーク放電が発生したと推定されること。

3.2 電力供給に関する分析

3.2.1 変電所における電流の遮断について

2.3.3 に記述した50Fが記録した電流値について、電流値が増大し始めた時点を目安として時間をそろえたものを、図4に示す。

両変電所とも事故直前の送出電流値は900Aであり、春日原変電所の方が朝倉変電所よりも突進率が大きく、遮断までの時間も短かった。

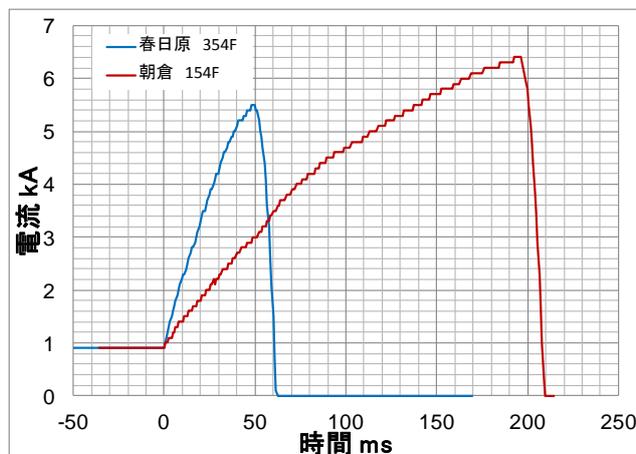


図4 事故時の電流値

^{*4} 「地絡」とは、大地に対して電位をもっている電気回路の一部が、異常状態として大地に電氣的につながることをいう。電車では車体が接地されているものとして扱われており、電気回路と車体が短絡し、電氣的につながった場合にも地絡という。

春日原変電所では21.6msで ΔI が2,600Aを超え、49.6msに5,500Aまで増大した後、遮断されており、朝倉変電所では60.0msで ΔI が2,600Aを超え、196.0msに6,400Aまで増大した後、遮断されている。

3.2.2 遮断動作の順序について

2.3.3に記述したように、春日原変電所では54Fの自動遮断（54F自体の故障電流検出による動作）が記録されていることから、まず50Fが故障電流を検出した（21.6ms頃）が、故障電流の突進率が大きかったため、54Fの選択特性によって、50Fからの指令が到達する前に自動遮断した（49.6ms）ものと推定される。

朝倉変電所では54Fの自動遮断が記録されていないことから、50Fの動作若しくは春日原変電所からの連絡遮断によって54Fが動作した（196.0ms）ものと推定される。50Fの故障電流検出は60.0ms頃であり、一方、連遮装置は春日原変電所の54F動作（49.6ms）に連動して朝倉変電所に向けて指令を発したと考えられるが、54Fがどちらの指令により動作したかは明らかにできなかった。

また、春日原変電所の連遮装置は朝倉変電所の54F動作に連動するため、これらの最後に動作したものと推定される。

3.3 地絡の発生地点に関する分析

3.3.1 変電所が検出した地絡発生の時刻について

2.3.3に記述したように、春日原及び朝倉変電所の50Fの事故電流記録には時刻情報がないが、電力管理システムには11時09分30秒以降、両変電所が故障電流を検出し、その間の架線を停電させたことが記録されている。

記録されるまでの処理時間（約950ms）及び伝送時の遅れ（62～2,570ms）を考慮すると、地絡は11時09分26.5秒～30.0秒の時刻範囲において発生したものと考えられる。

3.3.2 本件列車の位置について

2.1.2に記述した運転状況記録装置の記録から、地絡発生時刻前後の本件列車の位置や状況を解析した結果を表2に示す。

表2 地絡発生時刻前後の状況

時刻 (s)	速度 (Km/h)	距離程 (m)	状 況 等
25.6	92.1	12,675.5	先頭が九州道下に入る
25.8	92.1	12,680.6	ノッチオフ（4→切）
26.5	92.1	12,698.5	地絡発生時刻推定範囲の起点

27.0	92.1	12,711.3	先頭が九州道下を出る
27.8	91.6	12,731.8	損傷箇所が九州道下に入る
28.6	91.6	12,752.3	最後尾が九州道下に入る
29.2	91.6	12,764.4	損傷箇所が九州道下を出る
30.0	91.0	12,788.0	最後尾が九州道下を出る 地絡発生時刻推定範囲の終点
30.6	91.0	12,803.1	ブレーキ扱い(切→B7)
32.0	87.0	12,838.2	〃 (B7→非常)
54.8	0.0	13,126.5	列車停止

※各事象は全て 11 時 09 分台に発生したため、表の時刻は時分を省略し、秒以下の値を記載した。
 ※距離程は、2.1.1(1)に記述した下大利駅及び都府楼前駅の停止位置間の距離 (2,150.8 m) と、運転状況記録の駅間距離 (2,141.8 m) から、中間点の位置を補正〔位置＝記録上の位置×(2,150.8/2,141.8)〕した。

地絡発生時刻推定範囲の起点 (26.5秒) は、本件列車の先頭が九州道の跨線橋下に進入した 0.9秒後であり、終点 (30.0秒) は、ちょうど本件列車の最後尾が跨線橋下を進出した時点であることから、地絡は本件列車が九州道の跨線橋を通過中に発生したものと推定される。

3.2.1 に記述したように、地絡発生～変電所の給電遮断まで 196.0ms であること、2.4.6 に記述したように、同形式の車両では架線停電～モニタ装置反応まで 540～570ms であったことから、地絡発生～モニタ装置反応まで約 0.8 秒であったと考えられる。

また、2.1 に記述したように、本件運転士は破裂音を聞き、ほぼ同時にモニタの警告音と表示を確認してブレーキを掛けたと口述していることから、モニタ装置確認後に直ちにブレーキを掛けたとすると、地絡発生～ブレーキ扱いまでが 1 秒程度であった可能性があり、損傷箇所が跨線橋を進出した直後 (1 秒未満) に地絡が発生した可能性があると考えられる。

3.4 屋根絶縁材に関する分析

3.4.1 屋根絶縁材の使用経緯

2.4.3 に記述したように、本件列車の屋根絶縁材に、剥離や亀裂及び摩滅した箇所が見られたこと、また屋根絶縁材として一般的に用いられているポリウレタン樹脂の屋根絶縁材 (以下「屋根絶縁材 B」という。) ではなく、ブタジエン系ウレタン樹脂の屋根絶縁材 A が使用されていたことから、この材料の使用の経緯等を調査した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 屋根絶縁材 A は、6000 形車両の設計時 (平成 4 年ごろ) に車両メーカーから新製品として提案され、採用した。
- (2) 屋根絶縁材 A は平成 13 年ごろに製造が打ち切られており、それ以降に製造された車両には使用されていない。

- (3) 屋根絶縁材Aは、同社では、6000形、6050形及び7000形のそれぞれの車両に使用されている。
- (4) 平成6年ごろから、6000形及び6050形車両の屋根絶縁材に、広い範囲で膨らみや亀裂が発生したことから、これらが発生した車両については車両メーカーによる補修が実施されていた。
- (5) 車両メーカーから同社へは、施工時の下地処理が不十分であったため、屋根外板とプライマー（屋根絶縁材の下塗り層）が界面剥離し、膨らみ等を生じたとの説明があった。
- (6) 地絡の発生した車両（6302号）は車両メーカー補修の対象とならなかった。
- (7) 7000形車両では剥離等の損傷は確認されていない。

これらのことから、地絡の発生した車両の屋根絶縁材についても、経年に伴い施工不良に伴う剥離等が発生したものと推定される。

3.4.2 屋根絶縁材の詳細調査

地絡の発生した車両と同型式である6000形の6201号、6050形の6251号及び7000形車両について、屋根絶縁材に生じた亀裂の状況確認及び絶縁抵抗計を用いた絶縁抵抗測定を行った。

まず、6201号について、屋根上の亀裂の状況確認を行い、調査対象とする亀裂として、通常の検査（立位での目視検査）時に検出可能な比較的大きなもの、及び通常の検査では検出が困難な軽微なものを複数選定し、乾燥条件で測定を実施した。亀裂周辺の屋根絶縁材表面の絶縁状態は良好（抵抗値 ∞ ）であったが、開口した亀裂にプローブを差し込んだところ絶縁抵抗値の減少（0～500M Ω ）が認められ、亀裂が屋根外板まで達していると推定された。

次に湿潤状態での絶縁測定のため、亀裂の周囲にパテを盛り、水を張ったところ、数か所の亀裂に約10分程度で水位の明確な減少が認められたことから、亀裂周辺の屋根絶縁材が屋根外板から剥離し、亀裂から水分が吸収されたものと推定された。

水位減少が明瞭でない軽微な亀裂（長さ約57mm）で測定を実施したところ、亀裂周辺における屋根絶縁材表面の絶縁抵抗値の減少（0～200M Ω ）が認められた。この亀裂周辺の屋根絶縁材を調べたところ、前後約600mm、左右約150mmの範囲に剥離が認められた。

続いて6050形の6251号についても調査を行った。調査当日の天候は雨で、同車両は入庫直後のため、屋根には雨水が残っている箇所があった。亀裂を探索して、屋根外板の波型の底部に、雨水に浸かった状態となった10～20mm程度の連続していない亀裂がある箇所を認め、雨水にプローブを差し入れて測定を行ったと

ころ、絶縁不良（0MΩ）が認められた。

また、その後の調査により、7000形車両も湿潤時における絶縁状態の悪化が認められた。

これらのことから、屋根絶縁材Aは、通常の検査方法では検出が困難な軽微な亀裂であっても、亀裂の深さが屋根外板まで達するものがあり、湿潤時には絶縁状態が悪化する可能性があると考えられる。

また、2.1及び2.8に記述したように、事故前には弱い雨が降っていた区間があったこと、2.6.1に記述したように、調査時にも屋根上に湿った部分が残っていたこと、右側の破口の前方、波型の下側のR部表面に筋のようなものが認められたことから、地絡の発生した本件車両についても、事故発生時には屋根絶縁材の絶縁状態が悪化していた箇所があった可能性があると考えられる。

（付図18 屋根絶縁材の調査 参照）

3.5 車両の損傷に関する分析

3.5.1 クリート左側面の擦過痕に関する分析

2.6.4に記述したクリート左側面後端にある紡錘形の炭化部は、高温の物体との接触により生じたものと推定されるが、その上下の搔き寄せたような痕跡は、この物体が上下に動いたことにより溶解したクリート表面が搔き寄せられて生じたものと考えられる。また、痕跡の重なり状態から、最初に上部の擦過痕が生じ、次に搔き寄せ痕、最後に紡錘形の炭化部が生じたものと推定され、接触物は上方から接触し始め、上下に動いた後、炭化部に接触した状態で滞留したのものと考えられる。

3.5.2 引き棒の凹みに関する分析

2.6.3に記述したように、引き棒には2か所の凹みがある。前方の凹みはクリート前面よりやや前方、屋根の破口の後端付近にあって、深い凹みとなっていることから、屋根外板との間に発生したアーク放電によって生じたものと考えられる。

後方の凹みは浅く平坦であり、前端付近が黒変して表面が荒れていること、前方の凹みからの溶出物がこれを避けるように流れていることから、後方の凹み部分に何かが接触して局所的な放電を生じ、放電により凹みが形成されるとともに、前方の凹みからの溶出物が流れる間、しばらく接触状態が継続した可能性があると考えられる。

3.5.3 クリートと引き棒の損傷に関する分析

2.4.4 に記述したクリート及び引き棒に関する寸法等の情報から、図5のように、それぞれの損傷画像を重ね合わせたところ、クリート左側面後端の擦過痕と引き棒の後方の凹み前端付近の変色域の位置がほぼ一致していた。

前述のように、これらの損傷は何かと接触したことにより生じたものと考えられることから、引き棒とクリートが直接接触したか、これらの間に異物が介在したものと推定される

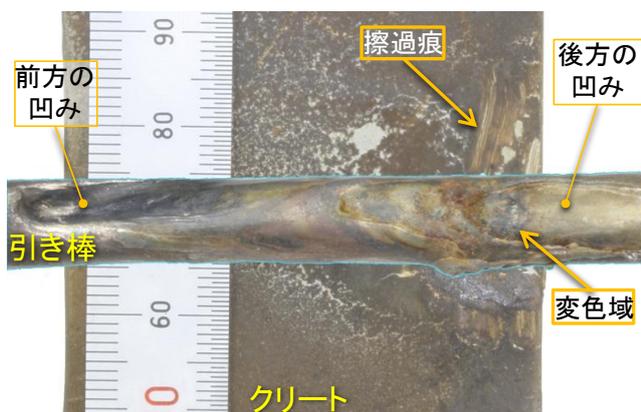


図5 損傷位置の比較

が、付図10のように、引き棒とクリートとの間隔は支持点の遊びによる左右方向の移動を考慮しても15.1mmあり、接触状態が継続することはないと考えられることから、引き棒とクリートとの間に異物が介在したことにより生じたものと考えられる。

この位置に取り付けられている部品等はないため、異物は20mm前後の隙間に挟まり得る形状の飛来物と推定されるが、形状や由来などの詳細は明らかにできなかった。

3.5.4 クリート左側面の塗装剥離に関する分析

2.6.4 に記述したように、クリートの左側面には後部の擦過痕付近から前端下部にかけ、表面の黒変、炭化及び塗装の剥離といった、局所的に高熱にさらされた痕跡が続いている。塗装剥離部の下部は赤褐色に変色していることから、表面には汚れが付着していたものと考えられる。

2.1及び2.8に記述したように、事故前には弱い雨が降っていた区間があったことから、付着した汚れが湿潤状態となることによって、クリート表面の絶縁状態が悪化し、この状態で、引き棒とクリートが異物を介して接触したことにより、図6に示す経路で沿面放電（トラッキング）が発生したものと推定される。

また、損傷が断続的であることから、沿面放電は比較的短時間で終息したと考えられ、その後、このことがトリガーとなり、引き棒と屋根外板とのアーク放電が発生した可能性があると考えられる。



図6 沿面放電経路

3.5.5 屋根の絶縁不良箇所に関する分析

沿面放電経路はクリートの左前下部の稜線を経由して屋根へと向かっているため、事故当時、この付近の屋根に絶縁不良箇所が生じていたものと推定される。

2.4.4 に記述したように、クリートは屋根表面に接着して取り付けられていること、2.6.4 に記述したように、接着部の状態は良好であり、水分の進入した痕跡等も認められなかったことから、取付部の絶縁状態は良好であったと推定される。

2.6.1 に記述したように、屋根の破口では、内部にあるステンレス製の屋根外板が溶失しているにもかかわらず、これに塗布されている屋根絶縁材に、著しい炭化や欠損等もなく残存した部分があることから、地絡による放電が屋根外板に破口を形成した際に、屋根外板と屋根絶縁材との間に熱影響を緩和するものが介在したものと推定される。また、3.4 に記述したように、本件列車と同形車両の調査において、屋根絶縁材の亀裂から屋根外板との剥離部への水分吸収を確認しており、この状態で地絡により屋根外板が高温となった場合、屋根絶縁材との間に介在する水分が断熱材や冷却剤として作用し、熱影響を緩和すると推定される。このことから、本件列車の破口部にも亀裂と剥離があり、雨水が剥離部に吸収されていたものと考えられる。

また、湿潤時には亀裂周辺の絶縁状態が悪化する場合があることから、事故当時、破口部周辺の屋根表面は絶縁状態が悪化していたものと考えられる。

3.5.6 アーク放電の経路に関する分析

アーク放電は引き棒から右向きに発し、クリートの前方で左下方向に向きを変えて右側の破口部で屋根外板に達し、破口が形成された後、左下向きに屋根内部へ進入したものと推定され、その後、天井ダクト上板の左側にある破口部まで達したものと考えられる。

これらは、以下のことから推定される。

- (1) 2.6.3 に記述したように、引き棒の右側面が溶損していたこと。
- (2) 2.6.1(1) 及び(2) に記述したように、屋根外板及び屋根絶縁材は凸部両側面の損傷が大きく、右側は破口となっていたが、左側は屋根絶縁材が残存し、内側から押されたようになっていたこと。
- (3) 2.6.1(3) に記述したように、屋根断熱材の焼失範囲の中心が破口から左にずれていたこと。
- (4) 2.6.2 に記述したように、空調ダクト上板の溶損箇所が破口の左下にあること。
- (5) 2.6.2 に記述したように、空調ダクト上板の取り外し時に固着部があり、溶損箇所に近い位置のリベット穴と、取付面の縁に溶着痕が認められたこと

から、溶着部に大電流が流れたと推定されること。

3.5.7 客室内へ落下した金属片に関する分析

アーク放電によって発生するアークの温度は数千℃～1万℃以上とされており、これにさらされた屋根外板のステンレス鋼、及び空調ダクト上板のアルミ合金は容易に溶解・沸騰し、そこから金属の蒸気や液滴が周囲に放散されたものと推定される。

2.4.3 に記述したように、車内送風機の設置箇所には、空調ダクト上板が取り付けられていないことから、放散された金属の一部がここを經由して客室内へ落下し、被害が発生したものと推定される。

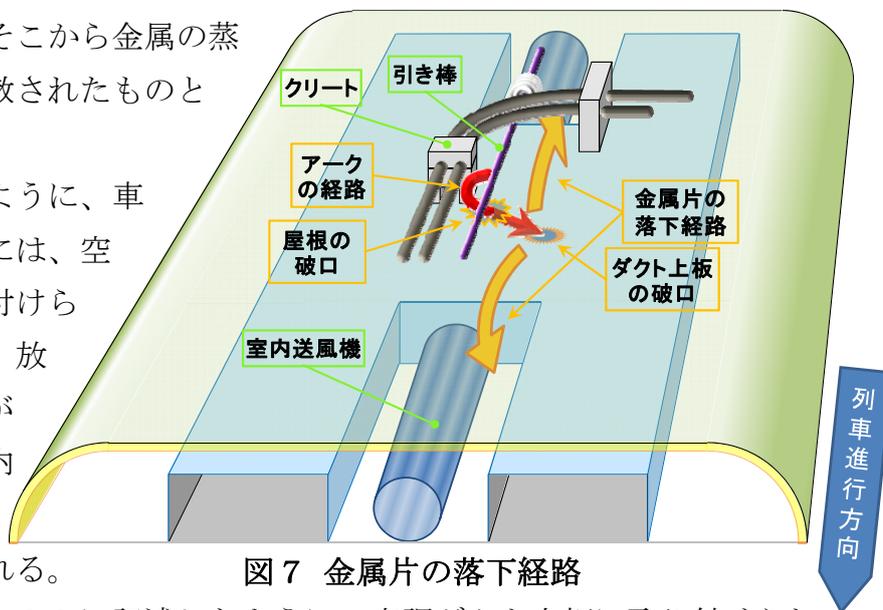


図7 金属片の落下経路

なお、2.4.3 及び 2.6.2 に記述したように、空調ダクト上板に取り付けられた断熱材は防火性能が高い素材であったことから、本事故においては生じたアークの高熱に耐え、空調ダクト上板を貫通したアーク及び金属の液滴等が空調ダクト内部に吹き込むことを防いでおり、被害の拡大を軽減した可能性があると考えられる。

3.5.8 負傷の認知に関する分析

2.1 に記述したように、本件運転士が負傷の申告はなかったと口述していること及び被害者の保護者が車掌から負傷の確認をされなかったと口述していることから、本件運転士、車掌とも、車内では被害者の負傷を確認しておらず、被害者が負傷していたことは認識していなかったものと推定される。

4 原因

本事故は、本件列車の屋根上に設置されたパンタグラフ手動上昇用引き棒と屋根外板との間で発生した地絡に伴うアークにより、屋根外板及び空調ダクト上板が溶解し、高温の溶解金属が室内送風機付近を經由して客室内に飛散し、その一部が被害者に当たったものと推定され、このため被害者が火傷を負ったことにより発生したものである。

地絡については、空気ホースを屋根に固定するための硬質塩化ビニール製のブロック（クリート）表面の汚れが雨水により湿潤状態となったこと及び当該箇所付近の屋根絶縁材に生じた亀裂部や剝離部に雨水が吸収されたことにより絶縁状態が悪化したこと、並びに引き棒とゴムホース固定用クリートの間に飛来物が介在したことが重なったため、引き棒～クリート表面～屋根外板間で沿面放電が発生したものと推定され、続いて引き棒～屋根外板間のアーク放電に移行した可能性があると考えられる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる事故防止策

本事故は飛来物による地絡が発生したことによるものと考えられるため、対策としては飛来物に対する防護が有効であると考えられるが、本事故における飛来物は20mm程度の隙間に挟まるような小さな物体である可能性が考えられることから、これを防護する対策を実施することは困難であると考えられる。

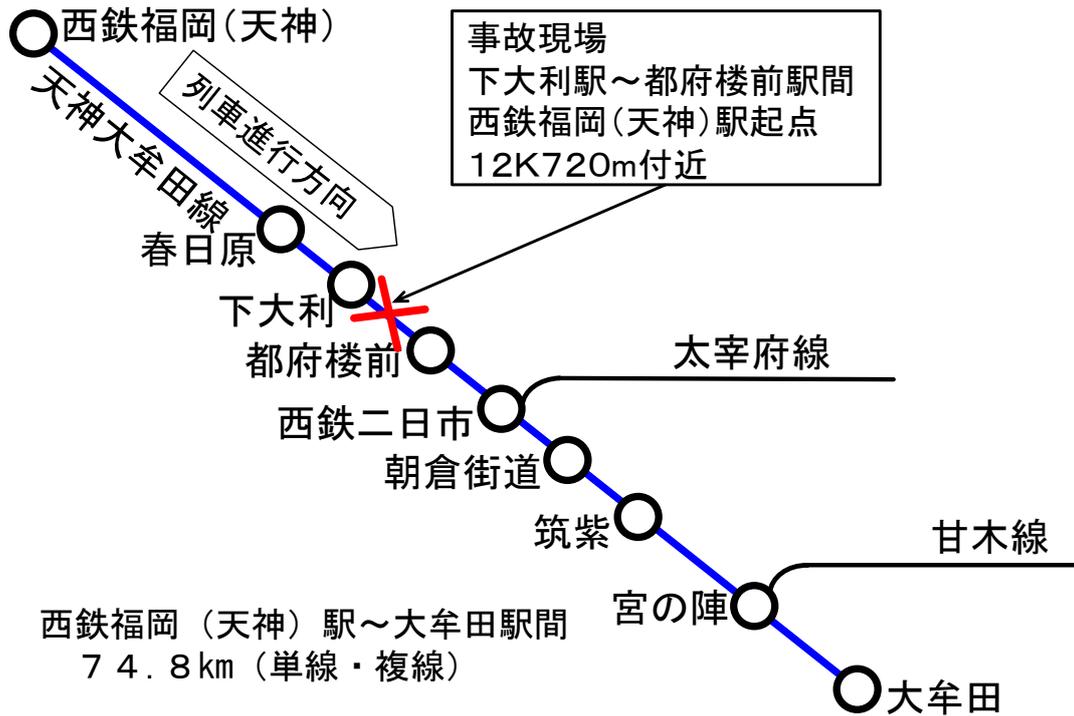
また、他の要因として屋根表面の絶縁状態の悪化が考えられるが、降雨による湿潤を防止することは不可能と考えられるため、屋根絶縁材の亀裂対策が有効であると考えられる。本件列車で使用されている屋根絶縁材は、一般的に用いられている素材（屋根絶縁材B）と異なる素材（屋根絶縁材A）であるが、通常の検査方法では検出が困難な軽微な亀裂であっても、湿潤時には絶縁状態が悪化する可能性があると考えられる。よって、特に屋根上の高電圧部近傍については通常よりも入念な検査を実施し、必要に応じて補修することが望ましい。

5.2 事業者により講じられた措置

同社は、事故後に緊急対策として、パンタグラフ周辺の高電圧部近傍の屋根絶縁材の点検と補修を実施しており、これについては、平成23年9月までに完了している。

また、当該型式の車両は平成23年度から車体更新工事が開始されており、工事に合わせて屋根絶縁材Aを屋根絶縁材Bに塗り替えている。

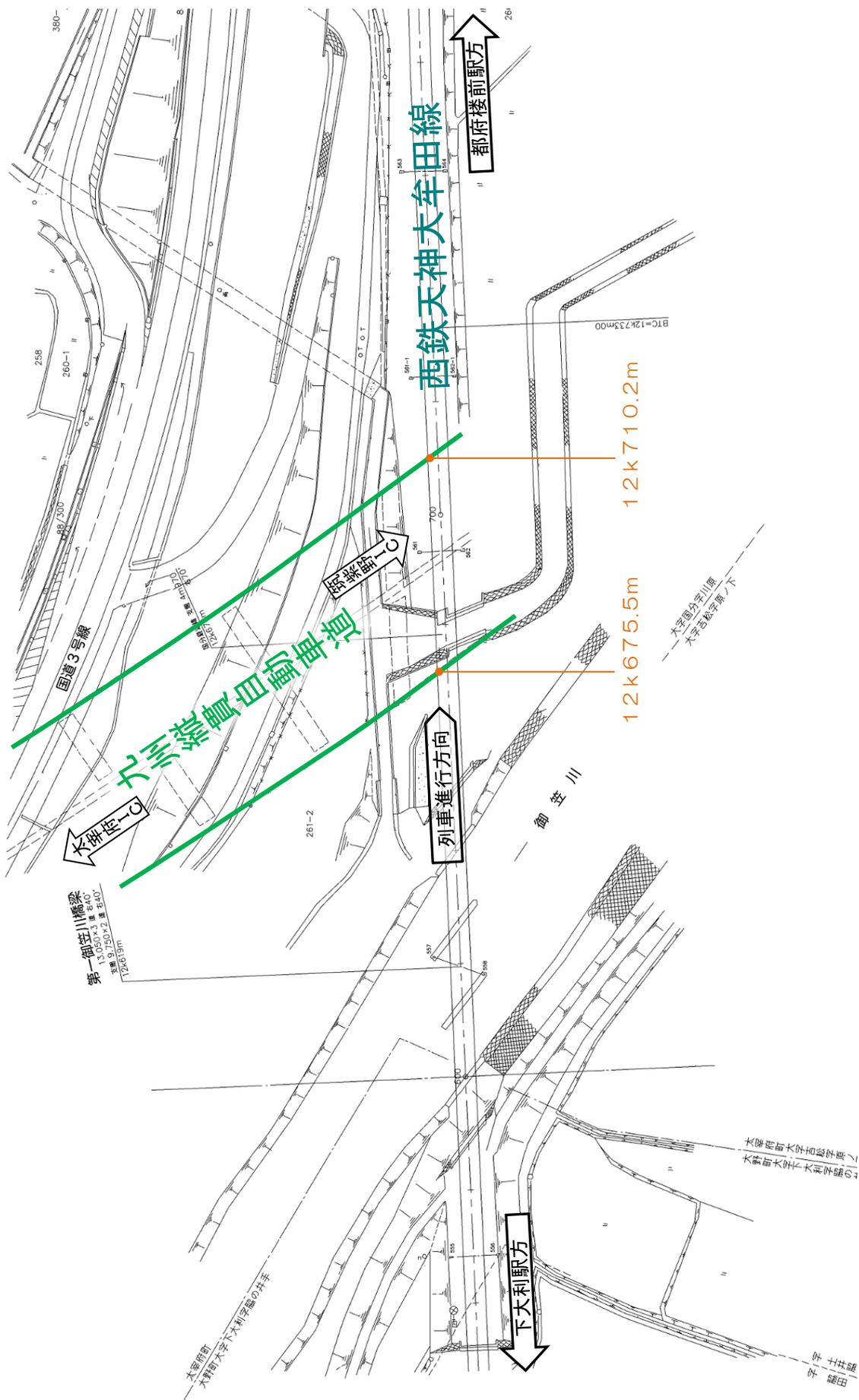
付図1 天神大牟田線の路線図



付図2 事故現場付近の地形図



付図3 事故現場付近の概略図

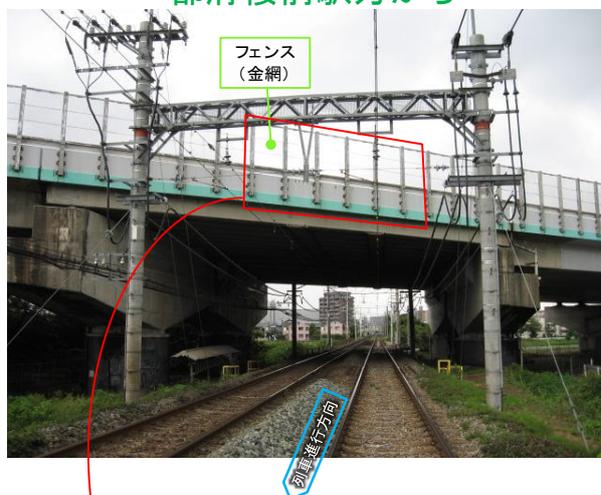


付図4 跨線橋の状況

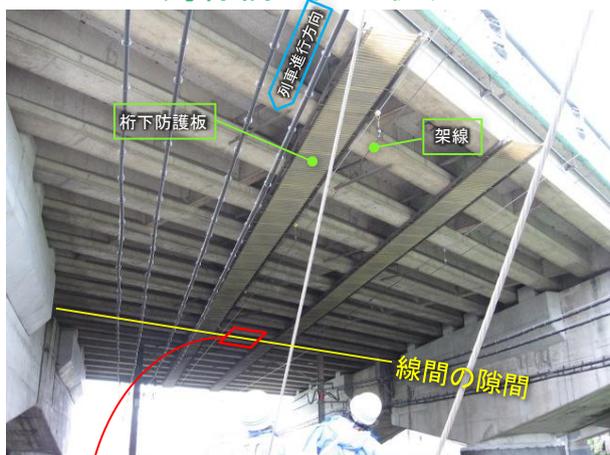
下大利駅方から



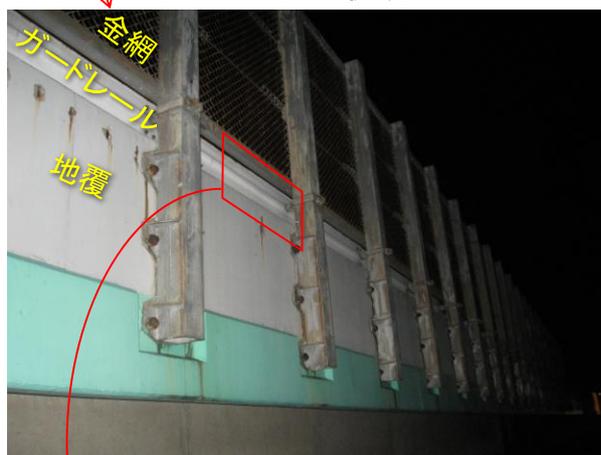
都府楼前駅方から



跨線橋下面の状況



フェンスの状況



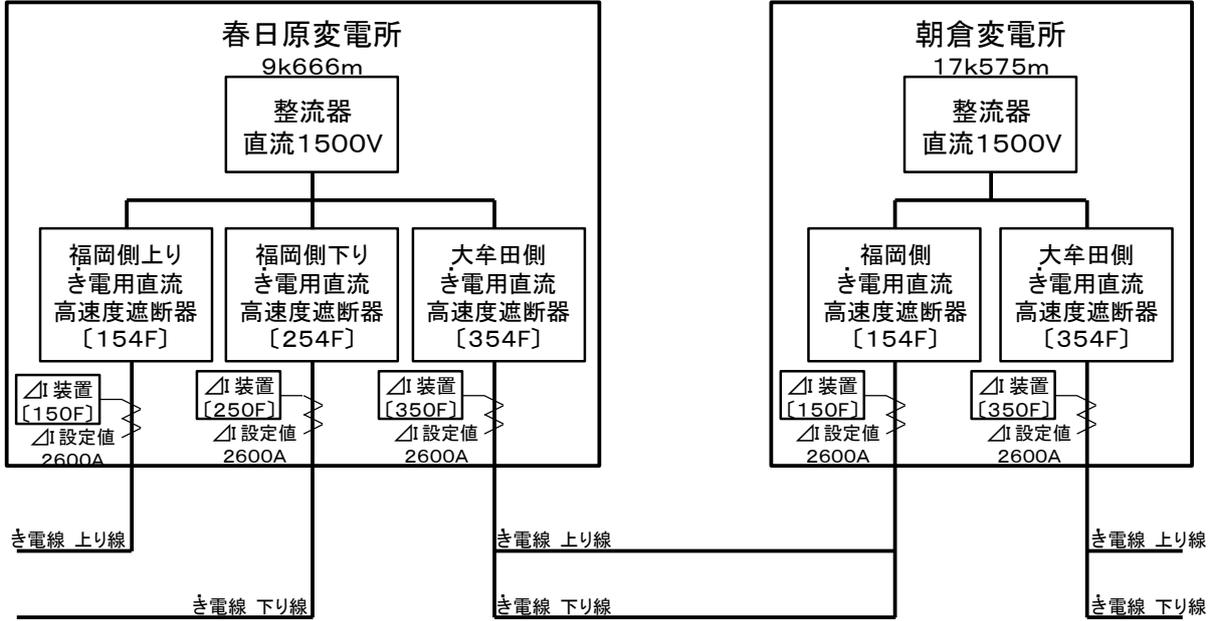
跨線橋線間の状況



ガードレールの状況

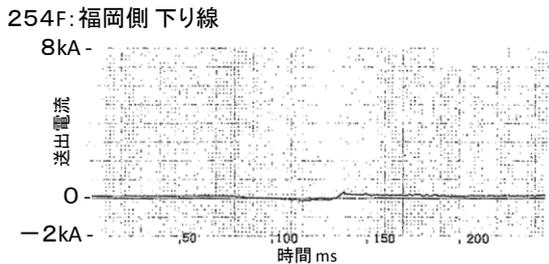
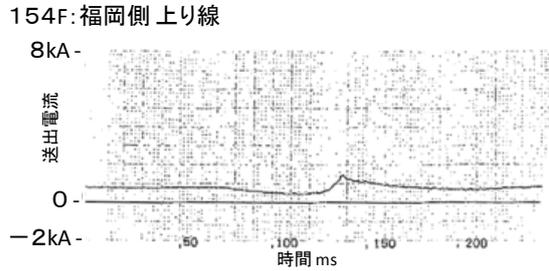
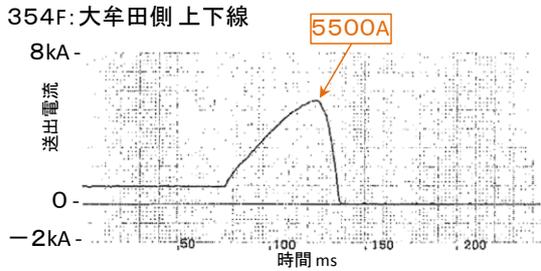


付図5 き電線路図

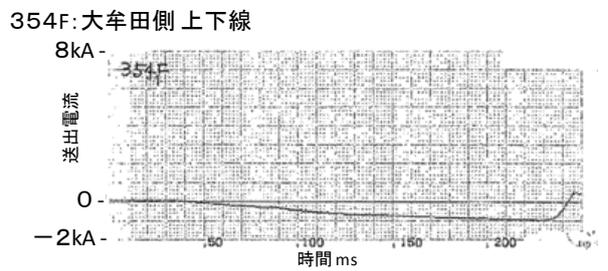
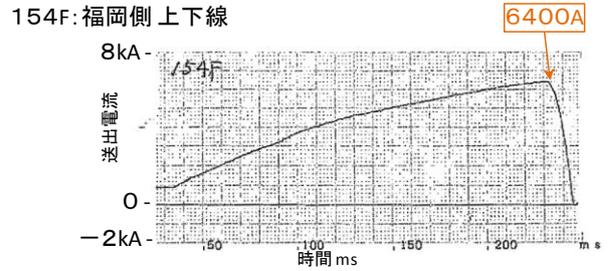


付図6 送出電流記録

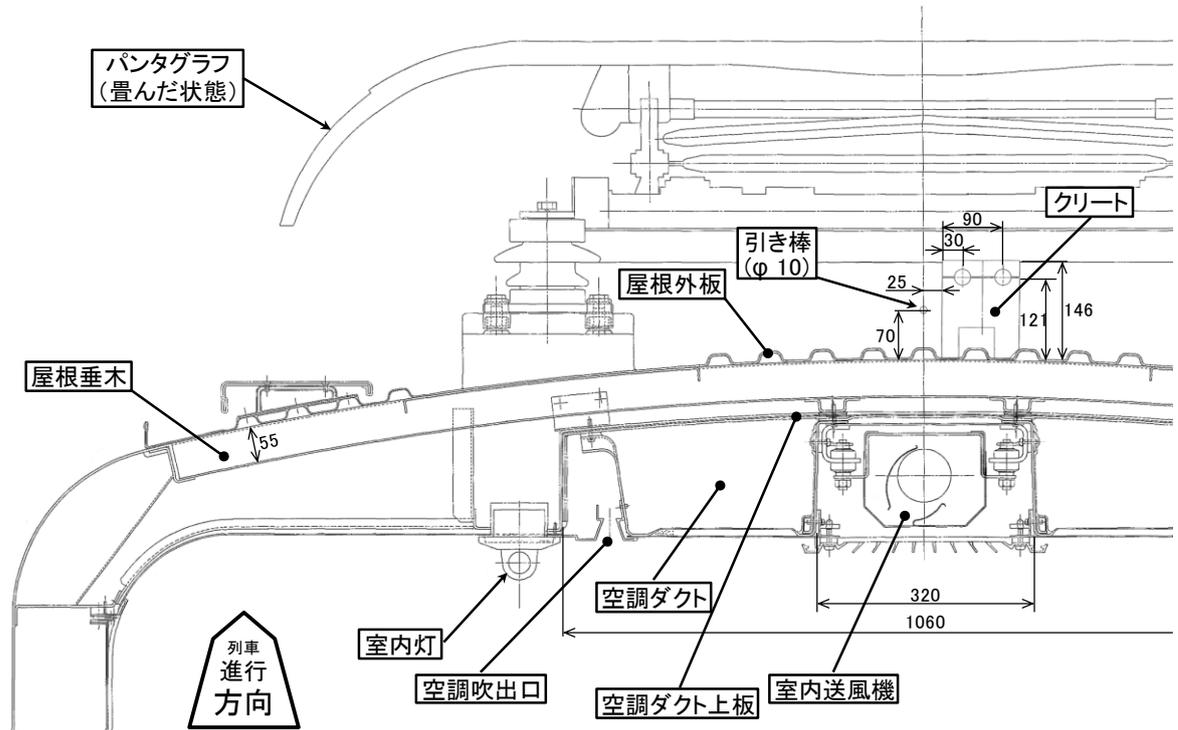
春日原変電所



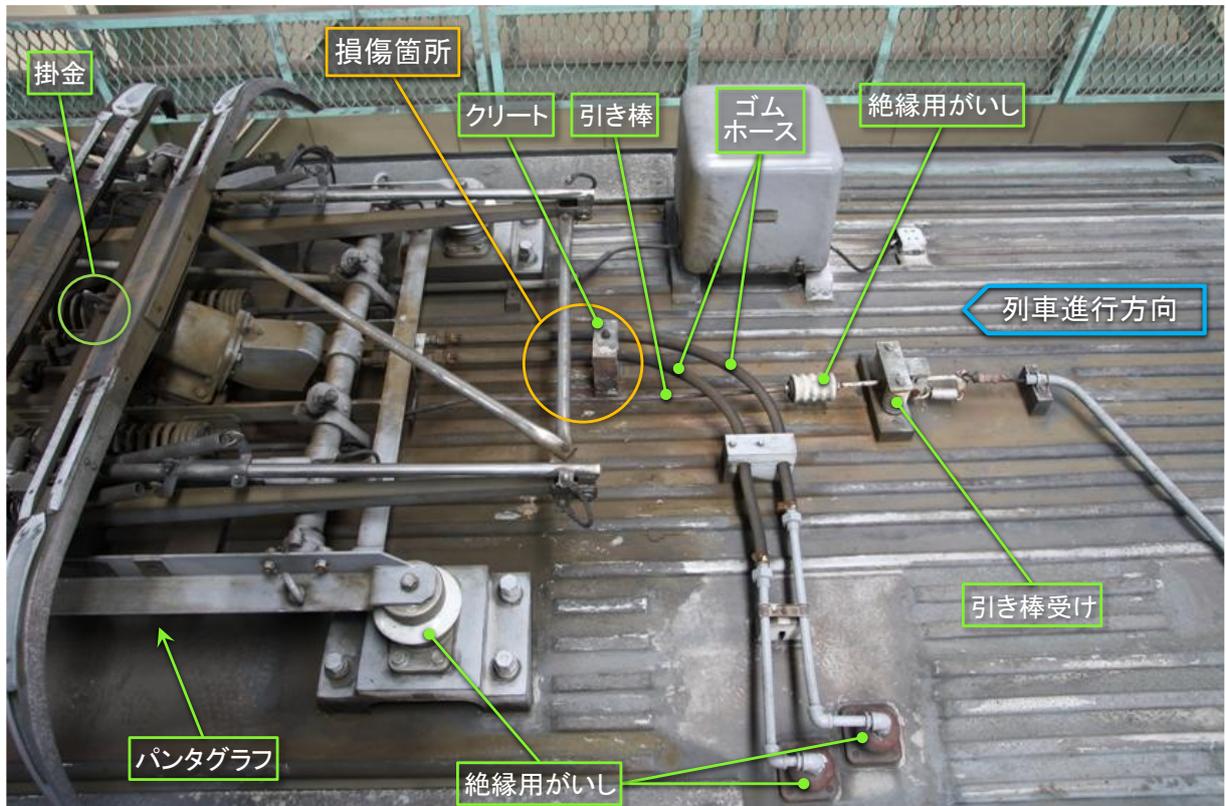
朝倉変電所



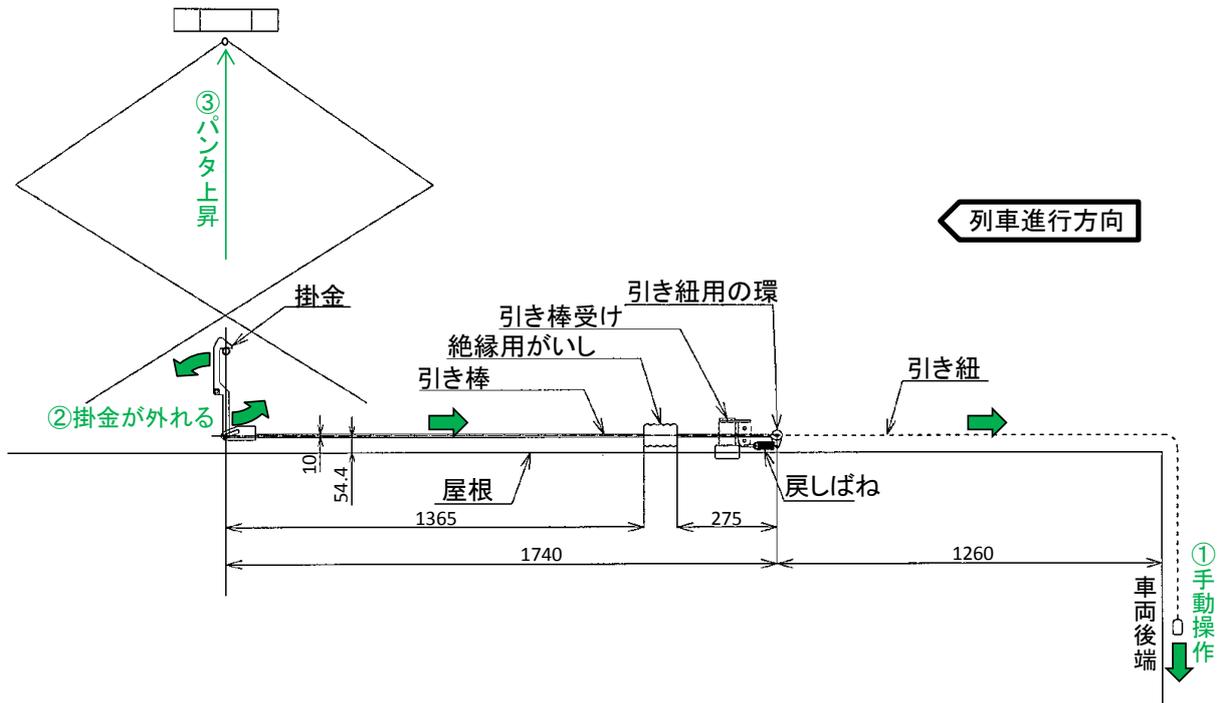
付図 7 屋根断面図



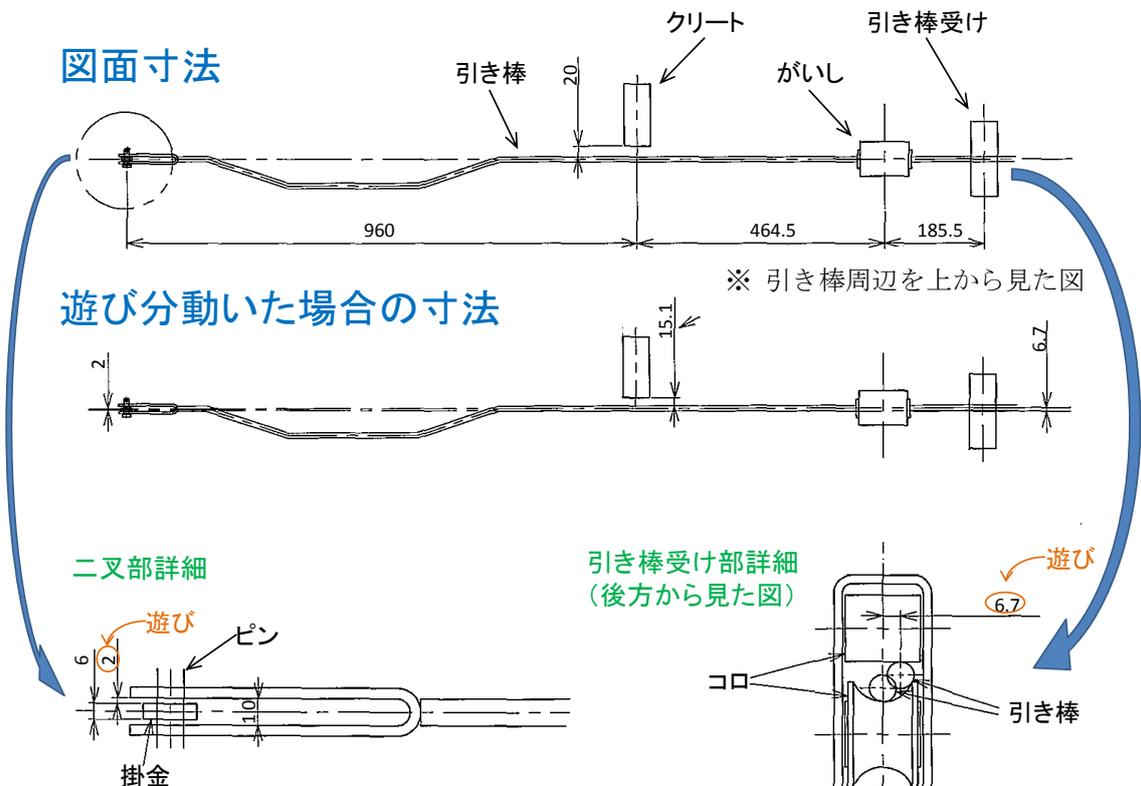
付図 8 屋根上の機器配置

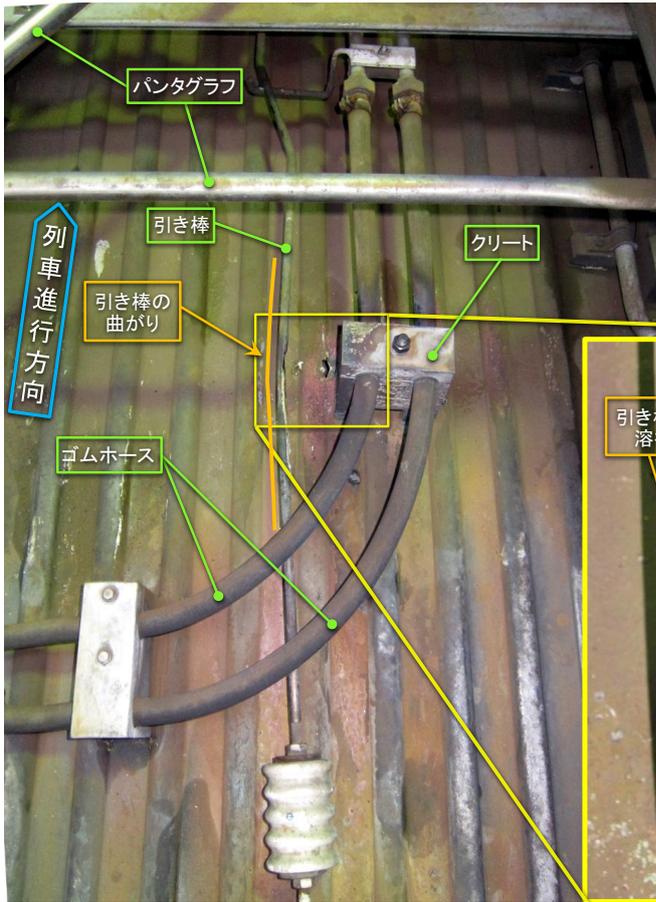


付図9 引き棒関係図

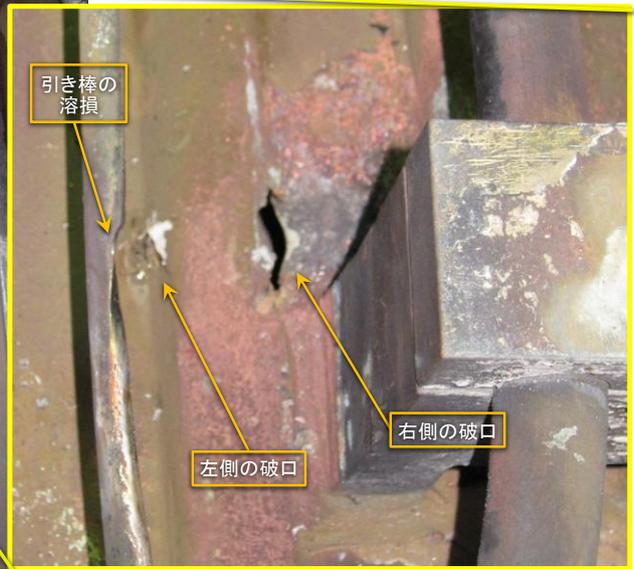


付図10 隙間検討図

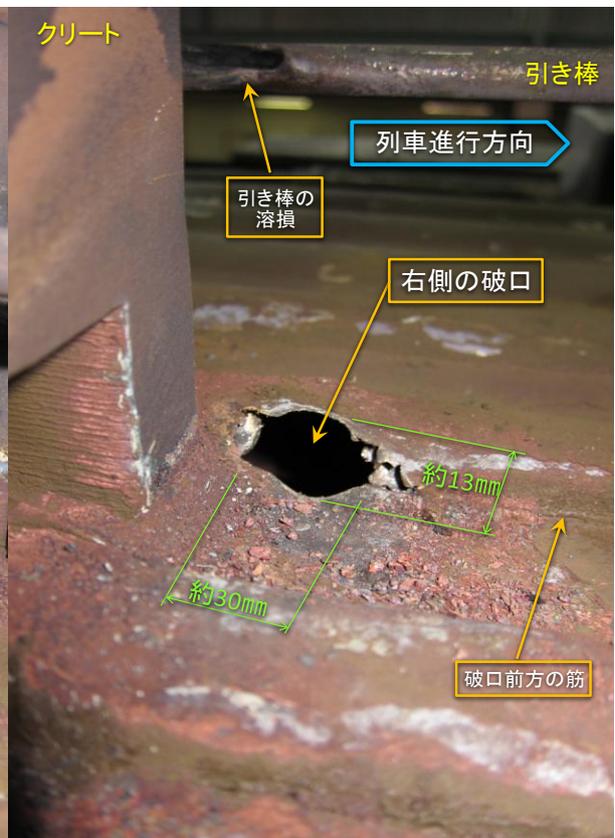




付図1 1 屋根上の損傷状況

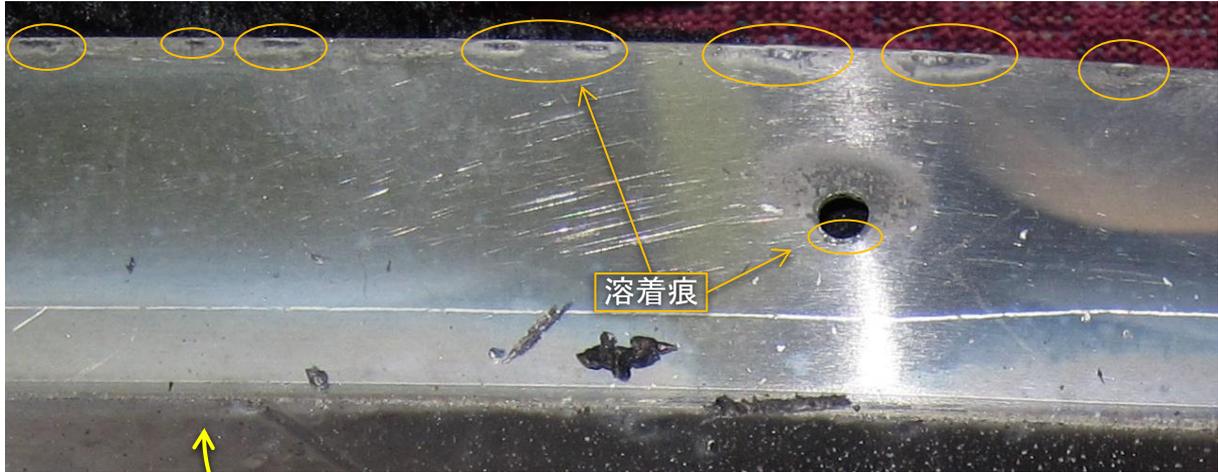


付図1 2 破口の状況

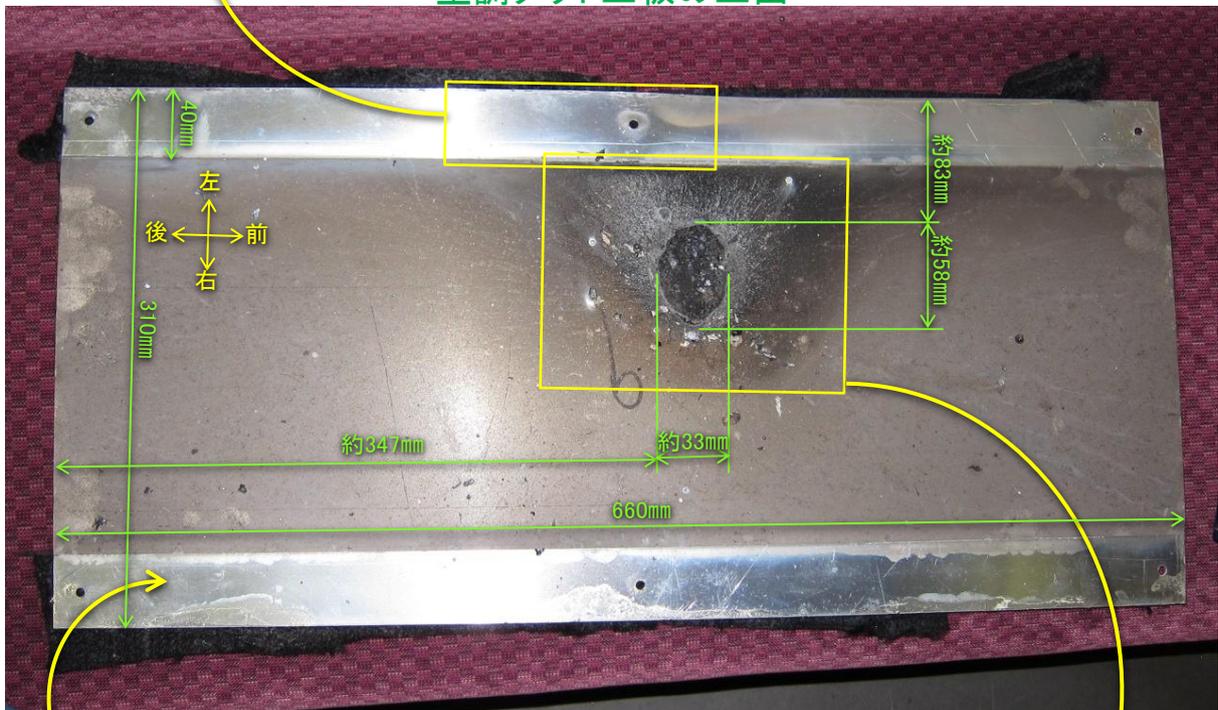


付図 1 3 天井の損傷状況

破口付近の溶着痕



空調ダクト上板の上面



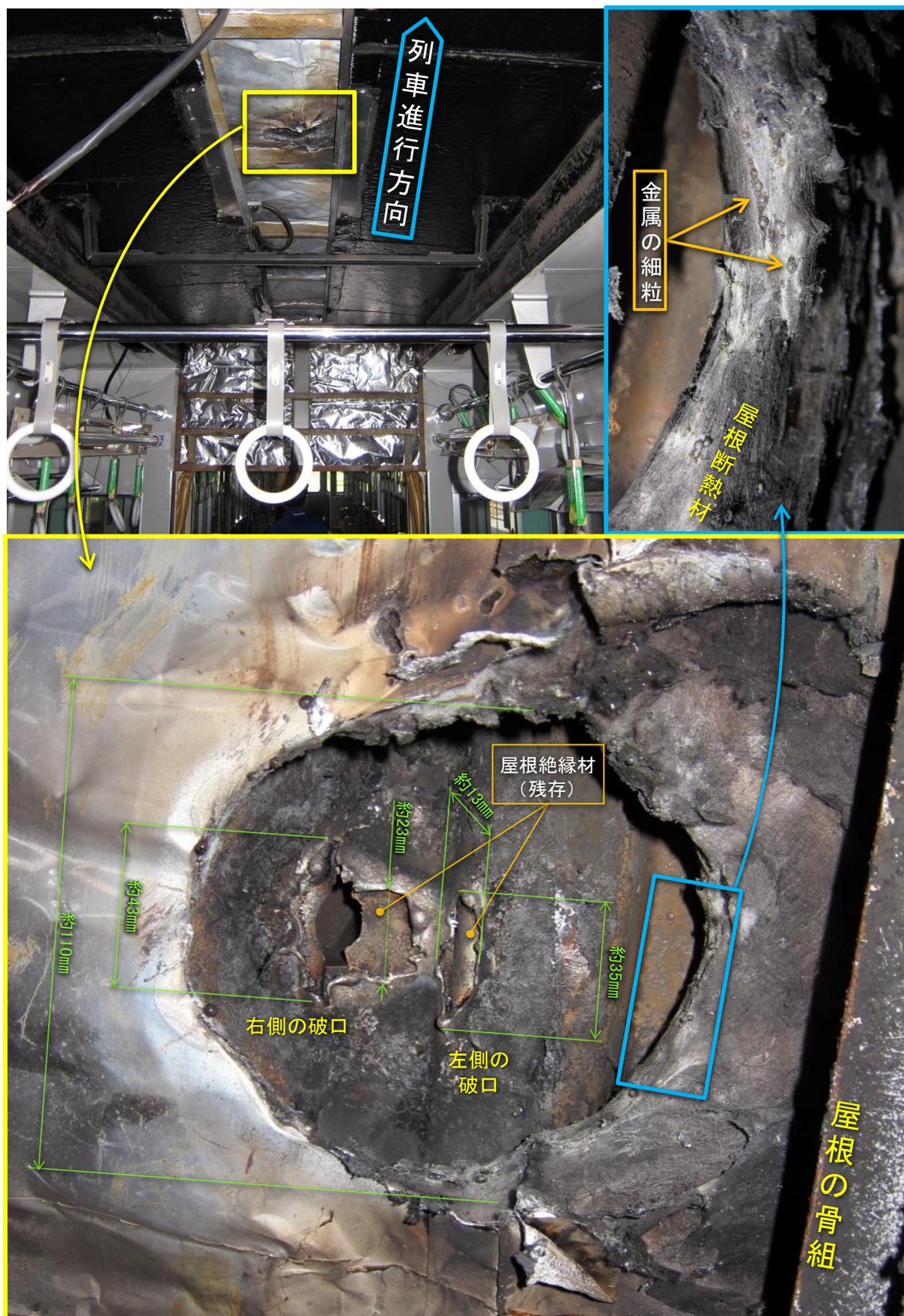
ダクト上板取り外し状況



破口の状況



付図 1 4 屋根内側の損傷状況



付図 1 5 引き棒の損傷状況

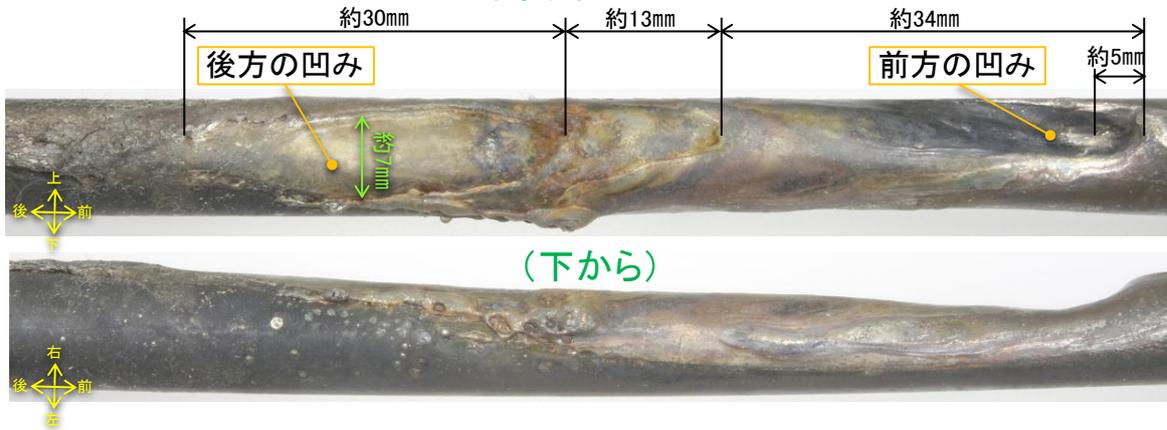
左から見た状況



右から見た状況



溶損部の状況(右から)



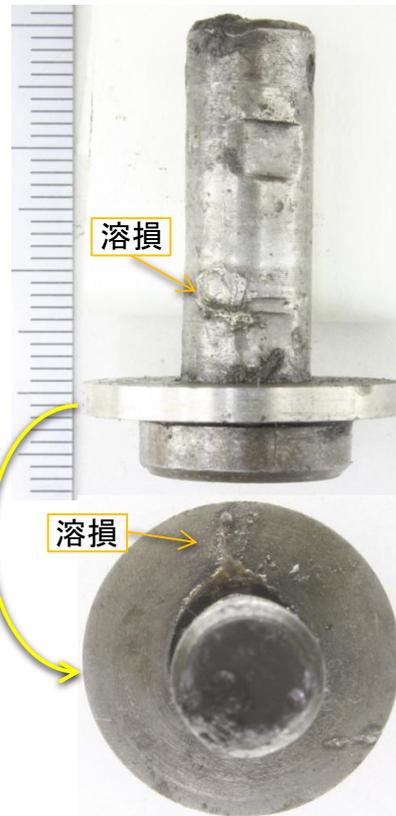
(下から)



二叉部の損傷状況



接続ピンの損傷状況



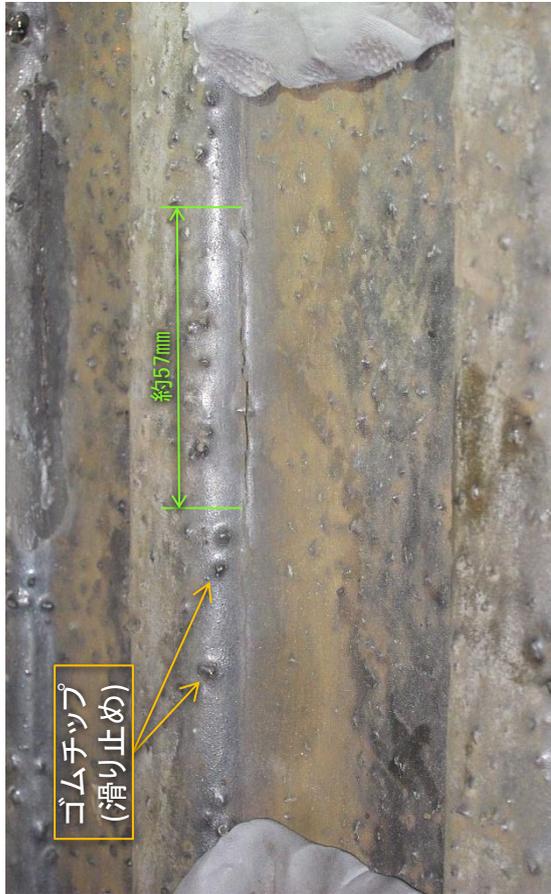
付図 1 6 クリート側面の損傷状況



付図 1 7 クリート接着面の状況



付図18 屋根絶縁材の調査
開口した亀裂(6201号)
軽微な亀裂(6201号)



湿润状態での絶縁測定



波板底部の亀裂(6251号)



付表 1 運転指令の交信記録

時刻	発信	受信	内容
11:09	電力指令	運転指令	春日原～朝倉街道で架線停電の旨連絡。
			<各列車からの列車無線が輻輳>
11:10	運転指令	全列車	緊急の場合を除き無線交信をやめ、朝倉街道～春日原間でリレー動作した列車は交信するよう指示。
11:11	本件列車	運転指令	後から2両目で発煙、乗客を移動させる旨報告。
	運転指令	本件列車	携帯無線を持って確認に行くよう指示。
11:13 ～ 11:14	本件列車	運転指令	乗客からクーラー付近から爆発音と、火花が出たとの申告があったこと、現場には煙が立ち込めていることを報告。
11:15	運転指令	本件列車	乗客を前方の車両に移動させるよう指示。
	本件列車	運転指令	火花が乗客にかかったため、係員を手配するよう要請。
11:17 ～ 11:19	運転指令	本件列車	煙が乗客に被害を及ぼす程度のものか確認。
	本件列車	運転指令	(車掌から) 現在白煙が出ているが、危害が及ぶほどではないこと、乗客の前方への移動を完了したこと及び子供に火花がかかり、一時混乱していたが、今は落ち着いていることを報告。係員か医者の手配を要請。
	運転指令	本件列車	起動試験、制動試験を実施し、試験後、都府楼前駅まで運行して全乗客を降車させるよう指示。
11:19	運転指令	二日市駅	子供に火花がかかったため都府楼前駅で降車させることを連絡。状況次第で救急車を手配するよう指示。
11:20	運転指令	本件列車	パンタグラフを確認するよう指示。
	本件列車	運転指令	パンタグラフは上がっていると報告。
11:21	運転指令	本件列車	曲損や異物挟まりの確認と床下機器の確認を指示。
	本件列車	運転指令	降車して確認する旨連絡。
11:22	運転指令	後続列車	都府楼前駅に臨時停車し、本件列車の乗客を乗せるよう指示。
11:23	運転指令	二日市駅	都府楼前駅に救急車を呼ぶよう指示。
11:24 ～ 11:25	本件列車	運転指令	パンタグラフと床下機器に異常はなかったこと、運転室に戻り試験を実施することを報告。
	運転指令	本件列車	停電発生時の状況を確認。
11:25 ～ 11:26	本件列車	運転指令	力行中、「パーン」という音と同時に「架線電圧×」を確認したこと、リレー動作等は確認できなかったことを報告。
	運転指令	本件列車	起動試験の際、刻みノッチを使用するよう指示。
	本件列車	運転指令	起動試験の結果、異常なしと報告。100m以内で常用ブレーキの試験を行うと連絡。
11:26	運転指令	本件列車	運転室、車掌室のゲージ圧確認を指示。
	本件列車	運転指令	ゲージ圧に異常ないことを報告。
11:27	運転指令	本件列車	都府楼前駅まで運行を開始するよう指示。
11:29	運転指令	本件列車	救急車は手配済みである旨連絡。
11:31	本件列車	運転指令	乗客を降車させ、出発準備完了したことを報告。