

鐵道事故調查報告書

I 八戸臨海鐵道株式会社 八戸臨海鐵道線
北沼駅～八戸貨物駅間 踏切障害事故

II 近畿日本鐵道株式会社 鈴鹿線 三日市駅構内 列車火災事故

平成21年10月30日

運輸安全委員会

本報告書の調査は、本件鉄道事故に関し、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」

Ⅱ 近畿日本鉄道株式会社 鈴鹿線三日市駅構内 列車火災事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：近畿日本鉄道株式会社

事故種類：列車火災事故

発生日時：平成20年8月12日 23時47分ごろ

発生場所：三重県鈴鹿市

鈴鹿線 ^{みっかいち}三日市駅構内（単線）

平成21年9月28日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長 後藤昇弘

委員 楠木行雄

委員 松本陽（部会長）

委員 中川聡子

委員 宮本昌幸

委員 富井規雄

目 次

1	鉄道事故調査の経過	1
1.1	鉄道事故の概要	1
1.2	鉄道事故調査の概要	1
1.2.1	調査組織	1
1.2.2	調査の実施時期	1
1.2.3	原因関係者からの意見聴取	1
2	事実情報	1
2.1	運行の経過	1
(1)	本件運転士	2
(2)	鈴鹿市駅の助役	3
(3)	乗客A	4
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	5
2.3	鉄道施設に関する情報	5
2.3.1	路 線	5
2.3.2	変電所	5
2.3.3	踏切道	6
2.4	車両に関する情報	6
2.4.1	車両諸元等	6
2.4.2	定期検査等に関する情報	6
2.4.3	車両に使用されている材料に関する情報	7
2.4.4	主回路装置を作動させる仕組み	7
2.4.5	主回路以外の電気回路に関する情報	8
2.4.6	単位スイッチについての情報	8
2.4.6.1	単位スイッチの構造	8
2.4.6.2	単位スイッチを構成する部品	9
2.4.6.3	フェノール樹脂に関する情報	10
2.4.7	主回路電流を遮断する仕組み	10
2.4.8	断流器箱の構造	10
2.4.9	単位スイッチの作動条件と金具に加圧される電圧の関係	11
2.4.10	本事故に至るまでの断流器箱の使用履歴に関する情報	11
2.5	鉄道施設の損傷状況	12
2.5.1	トロリ線等の損傷状況	12

2.5.2	まくら木の損傷状況	12
2.6	車両の損傷状況等	12
2.6.1	車内	12
2.6.2	断流器箱とその周辺	12
2.6.2.1	断流器箱と吊りボルト	12
2.6.2.2	車体底部	13
2.6.3	単位スイッチ	14
2.6.3.1	L1の損傷状況	14
2.6.3.2	L2の損傷状況	14
2.6.3.3	L1、L2以外の単位スイッチの損傷状況	15
2.6.4	パンタ及びその他の機器	15
2.6.4.1	パンタの損傷状況	15
2.6.4.2	その他の機器	15
2.6.5	車両の保護装置の作動状況	16
2.7	損傷物件についての調査等	16
2.7.1	吊りボルトAの破断面観察	16
2.7.2	碍子	17
2.7.2.1	絶縁性能試験	17
2.7.2.2	碍子単体の絶縁耐圧試験	17
2.7.2.3	圧縮破壊試験	17
2.7.2.4	高湿度下における絶縁性能試験	17
2.7.3	絶縁支柱	18
2.7.3.1	外観観察及び探傷試験	18
2.7.3.2	絶縁性能試験	18
2.7.3.3	曲げ試験	18
2.7.3.4	耐トラッキング性及び耐アーク性試験	18
2.7.3.5	断面観察	18
2.7.3.6	部分放電試験	19
2.7.4	吹消しコイルの製造過程についての状況等	19
2.8	車両の定期検査に関する情報	19
2.8.1	全般検査	19
2.8.1.1	断流器箱及び単位スイッチに対する検査	19
2.8.1.2	断流器箱及び単位スイッチに対する絶縁試験	20
2.8.1.3	取付金具等の締付トルク	20
2.8.1.4	過去に発見された絶縁支柱の不具合についての情報	20

2.8.2	状態・機能検査	20
2.9	鈴鹿市駅から三日市駅までの列車運転に関する情報	21
2.10	乗務員に関する情報	21
2.11	気象に関する情報	21
2.12	消火活動に関する情報	22
2.13	過去において単位スイッチ等が焼損した本事故と類似の事例	22
2.13.1	電動発電機の高速度遮断器が焼損した事例	22
2.13.2	同社の特急列車で発生した単位スイッチが焼損した事例	23
2.13.3	電気機関車の単位スイッチが焼損した事例	23
2.13.4	電動発電機の高速度遮断器が焼損した他の事例	23
3	分析	24
3.1	変電所及び車両における本事故との関連についての分析	24
3.1.1	変電所に関する分析	24
3.1.2	主回路装置の作動状況や単位スイッチの部品取付状態等に関する 分析	24
3.1.2.1	主回路装置の作動状況に関する分析	24
3.1.2.2	単位スイッチの配線取付状態に関する分析	25
3.1.2.3	単位スイッチのアークシュートの取付状態等に関する分析	25
3.2	本件列車の運転状況と変電所の記録に関する分析	25
3.2.1	異音の発生と本件変電所が4,065Aの電流値を記録した時刻 との関係	25
3.2.2	本件列車が停車した時刻とΔI装置が作動した時刻との関係	26
3.3	本事故において発生した事象に関する分析	26
3.3.1	鈴鹿市駅の助役が感じた異臭に関する分析	26
3.3.1.1	本件列車が鈴鹿市駅を出発した時点における状況	26
3.3.1.2	鈴鹿市駅の助役が地点1を通りかかった時刻に関する分析	26
3.3.1.3	本件列車が鈴鹿市第4号踏切道を通過した時刻に関する分析	27
3.3.1.4	鈴鹿市駅の助役が地点1において感じた異臭に関する分析	27
3.3.2	車内灯が点滅したことについて	28
3.3.3	電池ブレーカーの作動に関する分析	28
3.3.3.1	電池ブレーカーが「切」となった時点	28
3.3.3.2	電池ブレーカーが「切」となったことにより発生したその他の 事象	28
3.3.4	常用ブレーキの作動に関する分析	29
3.4	火災発生に至る経過についての分析	30

3.4.1	L1絶縁支柱と碍子Aの絶縁抵抗が低下した可能性	31
3.4.2	L1吹消しコイル5巻目に置き割れが生じた可能性	32
3.5	絶縁支柱の絶縁抵抗の低下に関する分析	34
3.6	碍子Aの絶縁抵抗の低下に関する分析	35
3.7	L1吹消しコイル5巻目に置き割れが生じた可能性についての分析	36
3.8	車内における火災についての分析	37
3.8.1	本事故の発生時刻についての分析	37
3.8.2	火炎の進入経路と車内における大きな火災に至るまでの経過に関する分析	38
3.9	車両の保護装置が作動しなかったことに関する分析	38
3.9.1	主回路ヒューズが飛断しなかったことに関する分析	38
3.9.2	OCRyが作動しなかったことに関する分析	39
3.10	本件変電所のΔI装置の作動に関する分析	39
3.11	被害の軽減に関する分析	40
3.11.1	乗客の避難誘導に関する分析	40
3.11.2	列車防護に関する分析	40
3.11.3	消火活動に関する分析	40
3.11.4	低圧回路のブレーカーに関する分析	41
3.11.5	異常電流の遮断方法等に関する分析	41
4	原因	42
5	参考事項	42

添付資料

付図 1	鈴鹿線路線図	44
付図 2	事故現場付近の地形図	44
付図 3	車両形式図（モ 1 0 6 2）	45
付図 4	主回路装置の配線略図	46
付図 5	主回路以外の電気回路の配線略図	47
付図 6	低圧回路のブレーカーの作動状況	47
付図 7	単位スイッチの概略図	48
付図 8	吹消しコイルの概略図	49
付図 9	断流器箱及び吊りボルトの概略図	50
付図 1 0	高圧回路と断流器箱の概略図	51
付図 1 1	鉄道施設の損傷状況	52
付図 1 2	車内等の損傷状況	53
付図 1 3	断流器箱の損傷状況	54
付図 1 4	車体底部と吊りボルト A 及び碍子の損傷状況	55
付図 1 5	空気配管の系統図	56
付図 1 6	L 1 絶縁支柱とプラス端子取付金具等の損傷状況	57
付図 1 7	L 1 吹消しコイルの損傷状況	58
付図 1 8	L 2 の損傷状況	59
付図 1 9	主回路ヒューズの内部観察と溶断特性	60
付図 2 0	吊りボルト A の破断面観察	61
付図 2 1	高湿度下における碍子の絶縁性能試験	62
付図 2 2	絶縁支柱（L 3 - 1）の断面観察	63
付図 2 3	絶縁支柱（L 3 - 1）の部分放電試験	64
付図 2 4	鈴鹿市駅から三日市駅までの試運転列車のデータ	65
付図 2 5	試運転列車より推定した本件列車のランカーブと想定される事象 （1 / 2）	66
付図 2 5	試運転列車より推定した本件列車のランカーブと想定される事象 （2 / 2）	67

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

近畿日本鉄道株式会社の鈴鹿線伊勢若松駅ひらたちょう発平田町駅行き3両編成の下り第2371列車は、平成20年8月12日（火）、ワンマン運転で鈴鹿市駅を定刻（23時43分15秒）より約30秒遅れて出発した。列車の運転士は、三日市駅に停車のためブレーキを扱ったところ、「ボン」という異音とともに車内が停電となった。三日市駅に停車し、乗客の避難誘導を行った後、2両目（車両は前から数え、前後左右は進行方向を基準とする。）の床下機器が異常に赤熱していたのを認めたため、消火器による消火活動を行ったが消えなかった。その後、車内の腰掛け等が燃焼し、消防による消火活動が行われ鎮火した。

列車には、約50名の乗客が乗車していたが、乗客及び乗務員に負傷はなかった。

1.2 鉄道事故調査の概要

1.2.1 調査組織

航空・鉄道事故調査委員会は、平成20年8月13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、運輸安全委員会は、平成21年4月1日、1名の鉄道事故調査官を追加指名した。

中部運輸局は、本事故の調査を支援するため、職員を事故現場に派遣した。

1.2.2 調査の実施時期

平成20年 8月13日～15日	現場調査、車両調査及び口述聴取
平成20年 9月18日、19日、 10月 6日、 7日	損傷部品調査
平成20年12月 3日、 4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

本事故の発生に至るまでの経過は、近畿日本鉄道株式会社（以下「同社」という。）の第2371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。）、

鈴鹿市駅に勤務していた助役（以下「鈴鹿市駅の助役」という。）及び、本件列車の3両目に乗車していた乗客（以下「乗客A」という。）の口述によれば、概略次のとおりであった。

(1) 本件運転士

本件列車は鈴鹿市駅（伊勢若松駅起点4 k 1 1 4 m、以下「伊勢若松駅起点」は省略。）を定刻（23時43分15秒）より約30秒遅れて出発し、最初は力行^{りっこう}2ノッチで加速して速度35 km/hでノッチオフした。鈴鹿市駅構内のポイントを通過後、加速標（4 k 3 2 0 m付近）で再度力行2ノッチとし、その後、力行3ノッチを保ったまま加速した。鈴鹿市第9号踏切道（5 k 4 9 2 m）の手前辺りでいつものとおり速度は78 km/hとなり、ノッチオフしてしばらく惰行運転を続けた後、三日市駅に停車するため常用ブレーキを扱った。

いつものブレーキ操作は、制動標（5 k 9 6 0 m）の約20 m手前で弱めのブレーキをかけ、制動標通過と同時に回生ブレーキが効き始めたら、更に強めのブレーキをかけるが、本事故発生時のブレーキ扱いもいつもと同様に行った。ところが、制動標においてブレーキが効き始めたのを感じた直後に「ボン」という大きな異音が発生し、車内灯が消灯して運転台も真っ暗になった。「えっ」と思ったら後ろの方からオレンジ色の光が感じられ、その後、青白い光を感じたので「おかしいな」と思ったが、常用ブレーキは効いていたので、さらに強めのブレーキをかけた。列車の速度はかなり低速となり、三日市駅（6 k 2 4 6 m）のプラットホーム（以下「ホーム」という。）に差し掛かったので、途中で停車するよりも3両ともホームに入れたほうが良いと思い、ブレーキをやや緩めにして何とか三日市駅のホームに止めようとした。このとき、防護無線発報スイッチを扱ったが反応がなく、列車が停車する前にパンタグラフ（以下「パンタ」という。）を下げるスイッチ（以下「パンタ下げSW」という。）を扱ったが、パンタは下がらなかった。その後間もなくして、三日市駅の停車位置目標（6 k 2 6 4 m）の約8 m手前に停車させた。

停車後、3両目がホームにかかっていることを確認し、本件列車左側（ホーム側）の旅客用乗降口の扉（以下「ドア」という。）を開けようとしたが、車掌スイッチを扱ってもドアは開かなかった。乗務員室に設置されている1両目左側のドアを開ける主三方コック¹を扱い、ホームに降りて1両目のドアを前から順に手で開けて乗客を降車させた。続いて2両目（以下「本件車両」という。）のドアを開けようとして近づいたところ、乗客は手でドアを開けて降りてきたので、乗客が車内のドアコックを扱ったのだろうと思った。3両目に乗

¹ ここでいう「主三方コック」とは、ドアの非常用コックのことであり、このコックを「切」とすると、ドアシリンダーに込められていた圧縮空気（制御空気）が排気され、ドアは手で開けることができる。

車していた乗客（複数）については、車内貫通路を通り本件車両のドアを経由してホームに避難誘導した。

このとき、本件車両左側の前から3番目ドア付近の床下機器（2.4.8に後述する断流器箱）がオレンジ色に赤熱しているのを認め、直ちに1両目に搭載されている消火器を持ち出して消火活動を行った。車両とホームの隙間から床下機器に向かって消火液をかけると、最初は「ブォッ」となってオレンジ色が若干黒っぽくなるものの、消火器を1本使い終わっても消えなかった。3両目から2本目の消火器を持ち出して消火活動を続けたが、やはり消えなかった。「これはあかん」と思い、事故の発生を伝えるため1両目の乗務員室に戻った。

1両目の乗務員室で、指令無線（列車無線機）により運転指令を呼び出そうとしたが、無線機の電源が入らず使えなかった。このため、自分が所持していた携帯電話を使い、塩浜列車区の出勤助役に事故の発生を伝え、消防の出動を要請した。出勤助役より、もう一度パンタ下げSWを扱うのと、3両目の乗務員室に設置されている「電池」と記されたブレーカー（以下「電池ブレーカー」という。）を切るように指示を受けたため、1両目と3両目の乗務員室で再度パンタ下げSWを扱ったがパンタは下がらなかった。また、電池ブレーカーは既に「切」となっていた。真っ暗だったのでよく分からないが、他のブレーカーもほとんどが「切」となっていたと思う。

その後、1両目前台車の第1軸に手歯止めを掛け、再びホームに戻り本件列車から降りた乗客をホームの外に誘導しているうちに消防車が到着し、鈴鹿市駅の助役も応援に駆けつけてきた。

なお、本件列車の乗務開始から事故に至るまでの間、車両に異常は認められなかった。

(2) 鈴鹿市駅の助役

本件列車は平田町駅行きの最終列車で、自分は鈴鹿市駅のホームに上がり本件列車の出発を見送ったが、このとき、本件車両に異臭などの異常はなかった。その後、鈴鹿市駅の事務室で作業をしていたところ、事務室に設置されている踏切監視装置の故障報知が鳴動するとともに、三日市第4号踏切道（6k 892m）の故障表示（赤色のランプ）が点灯したため、直ちに運転指令に電話をかけ、その状況を報告した。

さらにその後、三日市第1号踏切道（6k 320m）、同第2号踏切道（6k 436m）、同第3号踏切道（6k 712m）の故障表示も点灯したため、再度運転指令に報告したところ、「鈴鹿線が停電している」、「119番通報がされている」という話を聞いた。「これは何かが起きている」と思い、運転指令には「直ちに三日市駅に向かいます」と言って、自転車に向かうことにした。鈴鹿市駅

から400mぐらい行った‘鈴鹿市第4号踏切道（4k590m）付近の交差点’（以下「地点1」という。）で、普段その場所ではしない異臭がしたので「あれっ」と思った。その後、住宅街を走り異臭はしなくなったが、三日市駅近くの交差点（以下「地点2」という。）で再び同じ異臭がしたので、何となく嫌な予感がした。

三日市駅に着いたのは0時ごろであったと思うが、既に消防車が到着しており、ホームに上がろうとしたら本件運転士がいて、「乗客は既に車外に出ています」、「けが人はいません」という報告を受けた。

ホームに上がったところ、本件車両の周囲に煙が立ちこめており、床下機器（断流器箱）が真っ赤に焼けていたので、「これは危険だ」と思い、周囲にいた乗客をホームの外へ誘導した。ドアは開いているドアと閉まっているドアがあり、最初は本件車両の車内が激しく燃えている様子はなく、窓ガラスも割れていなかった。周囲は嫌な異臭が立ちこめており、この臭いは、地点1で感じた異臭と同じ臭いであった。乗客はパニックになっている様子はなく、冷静に行動していた。

(3) 乗客A

本件列車には伊勢若松駅から乗車して、3両目の前から1番目ドアのすぐ脇の腰掛けに座った。途中の柳^{やなぎ}駅、鈴鹿市駅まではいつもと変わらなかったが、本件列車が鈴鹿市駅を出発して三日市駅に近づいてきたとき、不意に車内灯が点滅しだったので「おっ」と思った。それからしばらくして「ボン」という異音が聞こえ、車窓の外を眺めていたところ、本件車両の真ん中辺りから火花が「バァーッ」と出てきて、車内灯が全て消え、真っ暗になった。火花はかなりの勢いで上がっており、電車の窓の真ん中辺りまで燃え上がるのが見えた。

三日市駅に停車し、間もなくしてから、本件車両に乗車していた乗客はホームに降りていたが、3両目のドアは開かなかった。3両目には自分の他に4～5人の乗客が乗っていたが、自分は本件車両に近いところにいたので、とりあえず早くホームに降りた方が良くと思い、車内貫通路を通過して本件車両のドアからホームに降りた。そのとき、本件車両の真ん中辺りの腰掛けの下付近が燃えているのが見え、臭くて変な臭いがした。ホームに降りたところ、車両の床下機器が燃えていて、本件運転士が消火活動をしていた。消火器を2本使ってもあまり効果がなく、まだ燃えているようだったので消防に連絡したほうが良いと思い、自分の携帯電話で119番通報を行った。それからしばらくして消防車が到着し、消火活動が行われて鎮火した。

なお、本事故の発生時刻は、23時47分ごろであった。

(付図1 鈴鹿線路線図、付図2 事故現場付近の地形図 参照)

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷 なし

2.3 鉄道施設に関する情報

2.3.1 路線

同社の鈴鹿線は、伊勢若松駅から平田町駅を結ぶ営業キロ8.2kmの全線単線の路線であり、動力は電気(直流1,500V)、軌間は1,435mmであり、事故現場付近の道床は砕石、まくら木は木製(木まくら木)が敷設されている。

なお、2.1(2)に記述した地点1は、事故現場(三日市駅)から東北東に約1.5km離れており、地点1と鈴鹿市第4号踏切道は、約40m離れている。

(付図2 事故現場付近の地形図 参照)

2.3.2 変電所

同社の鈴鹿線の電力は、千代崎変電所(以下「本件変電所」という。)から給電されており、本事故の発生時刻に、本件列車以外の列車は運転されていなかった。

本件変電所には、 ΔI 形故障電流検出装置²(以下「 ΔI 装置」という。)及びき電用直流高速度遮断器³が設置されており、本事故発生時に、これらの保護装置が動作した記録は次のとおりであった。

23時45分50秒 過負荷監視により4,065Aの電流値を記録
(過負荷監視の設定値は3,200A)

23時46分28秒 ΔI 装置によりき電用直流高速度遮断器が動作
(き電停止)

本件変電所では、き電線の電圧について1時間毎にその間における最大値、最小値を記録していたが、本事故発生の日においては、異常な値は記録されていなかった。

また、本事故後、同社は、本件変電所の ΔI 装置やき電用直流高速度遮断器などの各装置について調査を実施したが、異常は見られなかった。

² 「 ΔI 形故障電流検出装置」とは、微小時間 Δt におけるき電電流の増加分 ΔI が基準値を超えた場合等に、き電用直流高速度遮断器を開放する信号を出力する装置で、線区の線路条件や列車の運転本数などによって基準値が決められる。

³ 「き電用直流高速度遮断器」とは、き電回路に異常な値の電流が流れたとき、高速度で電流を遮断して機器や回路を保護する遮断器である。

2.3.3 踏切道

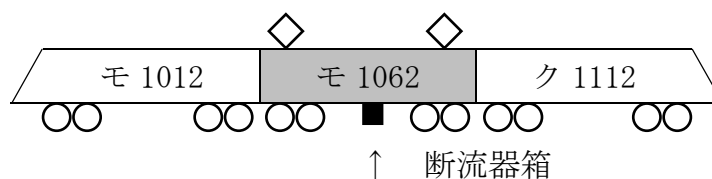
鈴鹿市駅の助役が踏切監視装置の故障表示（赤色のランプ）を認めた三日市第3号踏切道（6 k 7 1 2 m）は、下り列車が6 k 2 4 6 mに敷設されている軌道回路に進入してから15秒後に鳴動を開始し、鳴動を開始してから5分を経過しても鳴動が鳴りやまなかった場合は故障とみなし、踏切監視装置の故障報知が作動する仕組みとなっている。

2.4 車両に関する情報

2.4.1 車両諸元等

車種	直流電車（1,500V）
編成定員	530名（座席定員180名）
ブレーキ装置の種類	回生ブレーキ併用電磁直通空気式ブレーキ ⁴ 及び保安ブレーキ
制御方式	界磁位相制御 ⁵
記号番号	モ1062

← 列車進行方向



なお、以降の記述においては、上記に示す3両の車両からなる編成を「本件編成」という。

（付図3 車両形式図（モ1062） 参照）

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。

新製	昭和47年6月14日
全般検査	平成18年8月17日（検査周期は8年）
状態・機能検査	平成20年7月8日（検査周期は3ヶ月）

⁴ 「電磁直通式空気ブレーキ」は、常用ブレーキ時においては、列車に引き通された直通管の圧縮空気を、ブレーキの強さに応じて作用電磁弁や弛め電磁弁により調整してブレーキを作動させる仕組みとなっている。なお、制御電源の供給を断たれた場合は、これらの電磁弁が作動しなくなることから、常用ブレーキは正常に作動しなくなる。

⁵ 「界磁位相制御」とは、主電動機の界磁に流す電流をブレーキ時のみ界磁制御器から供給し、主電動機から架線に戻る電流を流すことにより回生ブレーキを作用させる制御方式である。

2.4.3 車両に使用されている材料に関する情報

本件車両の床、腰掛、天井等に使用されている主な材料は、以下に示すとおり、鉄道車両用材料の燃焼性規格の不燃性、難燃性又は極難燃性であり、これらはいずれも‘鉄道に関する技術上の基準を定める省令’（以下「技術基準省令」という。）に適合したものであった。

- | | |
|--------------------------------|------|
| (1) 内張り及び天井（アルミの基板にメラミン樹脂等の塗装） | 不燃性 |
| (2) 床板（厚さ1.2mmの鋼板（キーストンプレート）） | 不燃性 |
| (3) 床の上敷物（塩化ビニル樹脂） | 難燃性 |
| (4) 床板と上敷物に充填されている詰め物（エポキシ樹脂） | 極難燃性 |
| (5) 腰掛の表地（エステル／アラミド） | 難燃性 |
| (6) 腰掛の詰め物（ポリエステル） | 難燃性 |

2.4.4 主回路装置を作動させる仕組み

本件編成の主回路装置（付図4参照）は、以下のように作動する仕組みとなっている。ここでは、本件列車の鈴鹿市駅から三日市駅までのノッチ扱いを中心に、概略について記述する。

- (1) 運転台の主幹制御器⁶を力行2ノッチとすると、単位スイッチL1、L2、L5、S、L3、L4（単位スイッチについては2.4.6に後述し、以降の記述においては特別な場合を除き「L1」、「L2」などとする。）が閉じ、1両目と本件車両の主電動機及び主抵抗器は全て直列に接続され、主回路電流が流れて列車は起動する。また、主抵抗器の回路を順次短絡して抵抗値を制御するカム（以下「カム」という。）は、S1ステップ（以下「S1段」といい、以降においては、他のステップについても同様に記述する。）から回転を始め、列車は加速する。
- (2) 力行3ノッチとすると、1両目の主電動機と本件車両の主電動機は並列に接続され、再び主抵抗器が接続されて列車は加速する。
- (3) ノッチオフとすると、L3、L4が開放され、これらと並列に接続されている減流抵抗器により主回路電流が減流された後、L1、L2が開放されて主回路電流が遮断され、カムはS1段に戻る。
- (4) ブレーキハンドルを制動とすると、主回路装置の接点はブレーキモードに切り替わり、L3、L4、L5、Sが閉じて界磁制御器から界磁電流が供給

⁶ 「主幹制御器」とは、列車を力行させる際に扱うハンドルである。

される。このとき、付図4に示す506線に架線電圧以上の電圧（以下「回生電圧」という。）が加圧されるなどの回生ブレーキの作用条件が成立すると、L1、L2が閉じ、‘主電動機から架線側に戻る電流’（以下「回生電流」という。）が流れるとともに、カムはS2段に進み、列車の速度が低下するにつれてカムは次の段に進む。

- (5) 上記において、L3が閉じて3秒以内に回生電流が流れなかった場合、すべての単位スイッチが開放され、空気ブレーキが作動するとともにカムはS1段に戻る仕組みとなっている。（このような動作を、以下「回生失効」という。）

なお、これらにおいて、L1、L2は常に同時に作動する仕組みとなっている。

2.4.5 主回路以外の電気回路に関する情報

本件編成の主回路以外の電気回路（付図5参照）については、概略以下のような仕組みとなっている。

- (1) パンタから取り込んだ直流1,500Vによりサイリスタ式の電動発電機（以下「MG」という。）を作動させ、MGからの出力は、界磁制御器、車内灯、運転台の灯具などに電源として供給される。
- (2) MGを制御する電源は、蓄電池（直流100V）から電池ブレーカー等を経て供給されている。
- (3) 何らかの理由によりMGの作動が停止し、車内灯が消灯した場合、非常用として予備灯が点灯する仕組みとなっている。

なお、以下の記述においては、蓄電池による電源を「制御電源」といい、制御電源により作動する回路は、主回路などの高圧回路と区別するため、「低圧回路」という。

2.4.6 単位スイッチについての情報

2.4.6.1 単位スイッチの構造

単位スイッチ（付図7参照）は、主回路内に組み込まれ、主回路電流の「切」、「入」に用いられる。特に、大きな電流を遮断する「切」の際には、スイッチの接点間にアーク⁷が発生することから、単位スイッチはアークを吹き消すため、以下のような構造となっている。

上部を断流器箱に取り付ける金具（以下「上部取付金具」という。）により固定された2本の絶縁支柱に、プラス側（ここでは、架線側をプラス側とし、レール側を

⁷ 「アーク」とは、気中の絶縁が破壊され、電極間に加えた電圧により電流が流れる放電現象の一種であり、アークの中心温度は数千℃を超える。

マイナス側とする。)からの配線を取り付ける金具(以下「プラス端子取付金具」という。)、上部アークホーン、下部アークホーン、マイナス側からの配線等を取り付ける金具(以下「マイナス端子取付金具」という。)、シリンダー及び電磁弁が取り付けられている。

上部アークホーンには、吹消しコイル、主接触子(上)及びアーク接触子(上)が取り付けられている。

可動部は、主接触子(下)、アーク接触子(下)、戻しバネ等が取り付けられ、電磁弁の作動によって上下に可動する。

吹消しコイルの中心には鉄心を取り付けられ、鉄心に生じた磁束は、アークシュート⁸(付図9参照)に取り付けられた磁鉄板により上下のアーク接触子間に直交するように導かれる。

2.4.6.2 単位スイッチを構成する部品

同社から提出された資料等によると、単位スイッチを構成する部品は、以下のとおりとなっている。

(1) 吹消しコイル

吹消しコイルは、幅32mm、厚さ15mmの平角銅帯を内径48mmの円形つる巻き形に整形したもので、L1、L2の吹消しコイルは5巻となっている。コイル端部のプラス側はプラス端子取付金具に、マイナス側は上部アークホーンに、それぞれ皿ネジで取り付けられるとともにろう付⁹されている。

なお、以下の記述においてコイル巻の数は、プラス側から順に1巻目、2巻目とする。

(付図8 吹消しコイルの概略図 参照)

(2) 絶縁支柱

絶縁支柱は、幅28mm、厚さ6mm、長さ480mmの金属製の平角棒の芯材(以下「金属製芯材」という。)にマイカ紙を巻き、その上に2.4.6.3に後述するフェノール樹脂を含浸させた紙基材、布基材などを巻いて圧縮、過熱、成型したもので、フェノール樹脂で成型された全体の寸法は、幅34mm、厚さ12mmとなっている。(フェノール樹脂を含浸させたガラス布基材、紙基材、布基材を「プリプレグ」という。)

なお、以下の記述においては、付図7に示すように、吹消しコイルの1巻

⁸ 「アークシュート」は、自らに取り付けた磁鉄板により、吹消しコイルが作る磁束をアーク接触子まで導き、単位スイッチを開放する際に生じるアークを消滅させるためのものである。

⁹ 「ろう付」とは、金属を接合させる方法であり、接合しようとする部材(母材)よりも融点の低い「ろう(合金が用いられる)」を使い、母材自体を溶融させずに接合する方法である。

目側の絶縁支柱を「No. 1」、もう一方の絶縁支柱を「No. 2」とし、「L 1-1」、「L 1-2」などと記述する。

(3) プラス端子取付金具

プラス端子取付金具は、付図7に示すように、背面側から取り付ける金具（以下「背面取付金具」という。）により3本のボルト（W 3 / 8）によって、絶縁支柱を挟んで取り付けられている。

(4) 上部アークホーン

上部アークホーンは、2つの取付腕により絶縁支柱を挟んで取り付けられている（プラス端子取付金具による挟み方向とは直交している。）。

2.4.6.3 フェノール樹脂に関する情報

電気材料に関する文献¹⁰によると、フェノール樹脂は、熱硬化性の合成樹脂（有機化合物）で、化学的に安定していることから電気絶縁材料として用いられてきたが、表面がアークのような高温にさらされると炭化して導電性となりやすく、耐アーク性¹¹や耐トラッキング性¹²は良くないと記述されている。

2.4.7 主回路電流を遮断する仕組み

単位スイッチは、電磁弁に制御電源が加圧されると、490 kPa に調整された圧縮空気（以下「制御空気」という。）がシリンダーに供給され、ピストン棒により可動部が押し上げられて、主接触子が閉じる仕組みとなっている。制御電源の供給を断つと、シリンダー内の制御空気が排気され、ピストン棒は戻しバネの力と可動部の自重によって瞬時に下方に押し下げられる。これにより、主接触子に流れていた主回路電流は、アーク接触子からアークホーンにアークとなって導かれ、吹消しコイルによって生じる磁界により、アークを引き延ばして消滅させる仕組みとなっている。

2.4.8 断流器箱の構造

断流器箱には付図9に示すように、L 1、L 2、L 3、S、L 4、HSCB (High Speed Circuit Breaker) が取り付けられ、4本の吊りボルトによって車体に装荷されているが、単位スイッチから発生したアークが断流器箱に転移し、さらに車

¹⁰ 鳳 誠三郎著 「電気材料」 共立出版 2004年3月（改訂第4版12刷）

¹¹ 「耐アーク性」とは、絶縁材料がアークによる劣化に耐える能力をいう。

¹² 「耐トラッキング性」とは、絶縁物表面が塵埃や湿気で汚染されたときに、電圧がかかっている部分での炭化導電路（トラック）の形成し難さを表す。

体に地絡¹³するのを防ぐため、吊りボルトは、碍子（上及び下）、絶縁座及び絶縁筒により、車体とは絶縁されている。

このことから、断流器箱に敷設されている高圧回路には、‘2.4.6.2(2)に記述した絶縁支柱と、上記の吊りボルトに取り付けられた碍子等により、車体に対して二重に絶縁する方式’（以下「二重絶縁方式」という。）が採用されている。また、付図10は、高圧回路と断流器箱及び車体の電氣的な関係について示したものである。

なお、以下の記述において、吊りボルトについては付図9に示すように、前方左側を「吊りボルトA」、前方右側を「吊りボルトB」、後方右側を「吊りボルトC」、後方左側を「吊りボルトD」、という。また、吊りボルトに取り付けられている碍子については、それぞれ「碍子A」、「碍子B」、「碍子C」、「碍子D」という。

2.4.9 単位スイッチの作動条件と金具に加圧される電圧の関係

付図10に示すように、503線（L1に取り付けられているプラス端子取付金具、背面取付金具、及び取付腕を含む上部アークホーン）は、単位スイッチの作動条件にかかわらず常に架線電圧で加圧されており、504線（L2に取り付けられているプラス端子取付金具等）は、L1が閉じているときのみ架線電圧で加圧されている。

2.4.10 本事故に至るまでの断流器箱の使用履歴に関する情報

本件車両に取り付けられている断流器箱の新製から本事故に至るまでの使用履歴は、概略次のとおりであった。

- (1) 昭和44年4月 断流器箱新製（他の車両で使用）
- (2) 昭和57年9月 本件車両に取付
このとき本件編成の制御方式を界磁位相制御に変更し、L1及びL2吹消しコイルの電流容量を変更
- (3) 平成18年7月 L1、L2、L3、L4、Sの吹消しコイル（上部アークホーンを含む）、可動部一式（下部アークホーンを含む）、主接触子及びアーク接触子を新品に取替

なお、絶縁支柱については、2.8.1.4に後述するL4-1を除き、断流器箱の新製から本事故の発生に至るまでの39年間、取替えを実施した記録はなかった。

¹³ 「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。

2.5 鉄道施設の損傷状況

2.5.1 トロリ線等の損傷状況

三日市第1号柱(6k205m)直下のトロリ線及びフィードイヤー¹⁴の側面に、付図11に示すようなアーク痕が見られた。このアーク痕と、本件列車が停車した位置における後方のパンタ(以下「後パンタ」という。)との距離は、約15mであった。

なお、本事故後、同社は、鈴鹿市駅から三日市駅までのトロリ線等について、高所作業車により確認を実施したが、上記アーク痕の他に異常は見られなかった。

2.5.2 まくら木の損傷状況

鈴鹿市第11号踏切道(6k005m)付近から三日市駅ホームにかけての複数のまくら木の左レール側に、付図11に示すような焼損痕が見られた。

2.6 車両の損傷状況等

2.6.1 車内

- (1) 列車進行方向左側、前から3番目ドア付近の腰掛けが焼け、この腰掛けの座面の表地及び詰め物が焼失していた。
- (2) この腰掛け付近の内張り、天井は黒く焼け、表面の塗装が剥がれるとともに、蛍光灯カバーや冷房吹き出し口などに用いられている合成樹脂が溶け、垂れ下がっていた。
- (3) この腰掛け付近の床の上敷物が黒く焼け、詰め物の一部が焼失し、床板のキーストンプレートに幅10cm程度の穴があいていた。
- (4) 本件車両の車内に設置されている主三方コック及び各ドア脇の腰掛けの下部に設置されているドアコックは、いずれも扱われていなかった。

(付図12 車内等の損傷状況 参照)

2.6.2 断流器箱とその周辺

2.6.2.1 断流器箱と吊りボルト

- (1) L1、L2付近の鎧戸が焼け、遮熱クロス¹⁵が剥き出しになっていた。
- (2) 断流器箱の天板(厚さ1.6mmの鋼板)に穴があいていた。穴はL1、L2の上部から吊りボルトAにかけて開口し、この付近にあった鎧戸の掛け

¹⁴ 「フィードイヤー」とは、き電線からトロリ線に電気を供給するため、き電分岐線とトロリ線を接続する装置である。

¹⁵ 「遮熱クロス」とは、単位スイッチ遮断時に発生するアークが断流器箱に転移しないようにするため、鎧戸に貼り付けられた遮熱性及び絶縁性に優れた積層状のシートをいう。

金具が消失していた。

- (3) 断流器箱の内部が全体的に黒く煤け、底板および背面カバーの一部が浮き上がっていた。
- (4) 断流器箱内部に敷設されていた低圧回路の一部の配線等に溶融痕が見られた。なお、これらの多くは、いずれも車体に接地されている配線（以下「G線」という。）であった。
- (5) 吊りボルトAは、ボルト頭部の首下約8mmの位置で溶断し、吊りボルトによる断流器箱の装荷にゆがみが生じ、機器吊り金具（車体側）と碍子A（下）との間に約10mmの隙間があいていた。
- (6) 碍子A（上）は、原形を留めておらず、この碍子のものと見られる破片が、断流器箱の内部や、三日市駅構内の6k145m付近の線路上に落下していた。
- (7) 碍子A（下）は、本事故発生直後は原形を留めていたが、本件車両が車両基地に回送された後、粉々に砕けて落下した。

なお、碍子B、碍子C及び碍子Dについては、事故後、クラックなどを含め、損傷等は見られなかった。

（付図13 断流器箱の損傷状況、付図14 車体底部と吊りボルトA及び碍子の損傷状況 参照）

2.6.2.2 車体底部

- (1) 吊りボルトAが取り付けられていた機器吊り金具（車体側）は、碍子Aの車体中心部寄りの後方の部分が溶損し、幅5cm程度の穴があいていた。
- (2) 吊りボルトAの上部に敷設されていた2本の空気配管が溶損していた。断流器箱に制御空気を供給する空気配管（以下「制御配管」という。）は溶断し、長さ約15cmにわたって消失していた。ドアシリンダーに制御空気を供給する配管（以下「戸配管」という。）は、長さ3cm程度の穴があいていた。
なお、この制御配管は、パンタを下げるシリンダー（以下「パンタ下げシリンダー」という。）にも接続されている。
- (3) 溶断していた制御配管に近接する床板のキーストンプレートに穴があいていた。なお、この穴は2.6.1(3)に記述したものと同一である。
- (4) 低圧回路の配線が収められている配管は溶損して穴があき、低圧回路の配線が焼損していた。なお、低圧回路の配線焼損は、この付近を中心に数箇所にも見られた。

（付図14 車体底部と吊りボルトA及び碍子の損傷状況、付図15 空気配管の系統図 参照）

2.6.3 単位スイッチ

2.6.3.1 L1の損傷状況

断流器箱内において、最も損傷の激しかったL1については、以下のような状況であった。

- (1) プラス端子取付金具が激しく溶融し、背面取付金具とともに絶縁支柱に取り付けられている部分が消失していた。
 - (2) 吹消しコイルの5巻目が溶断し、コイル端部マイナス側と分離していた。
 - (3) 吹消しコイルの1巻目にも溶融した痕跡が見られた。
 - (4) 吹消しコイルに塗布されていた黒色の塗料が剥がれ、地肌が剥き出しになっていた。
 - (5) 絶縁支柱はプラス端子取付金具から上部アークホーン取付腕にかけて、No. 1、No. 2ともにほぼ同じ部分で消失していた。
 - (6) 主接触子、アーク接触子の通電接触面に溶融痕などの異常は見られなかった。
 - (7) パンタ側からの配線である503線の圧着端子及び取付ボルトに、溶融痕などの異常は見られなかった。
 - (8) 電磁弁に至るG線の被覆が焼損し、数10cmにわたって素線が露出していた。
 - (9) 電磁弁コイルの抵抗値に異常は見られず、電磁弁単体の動作試験においても異常は認められなかった。
 - (10) アークシュートは、絶縁板の上部が激しく焼けていたが、取付状態に異常は見られなかった。
- (付図16 L1絶縁支柱とプラス端子取付金具の損傷状況、付図17 L1吹消しコイルの損傷状況 参照)

2.6.3.2 L2の損傷状況

L1に比べ損傷の少なかったL2（付図18参照）については、以下のような状況であった。

- (1) L2-1絶縁支柱（L1側）の上部が焼損し、フェノール樹脂が剥がれていた。
- (2) 上記(1)の絶縁支柱の金属製芯材が露出し、背面取付金具からこの部分にかけて溶融痕が見られた。
- (3) 吹消しコイルの上部に溶融痕が見られ、4巻目と5巻目にブローホール¹⁶

¹⁶ 「ブローホール」とは、溶融した金属中に含まれていた空気などが冷えて固まる際にできる球状の気泡のことをいう。

が見られたが、これ以外の部分については、塗装の剥がれなどの異常は見られなかった。

- (4) その他の金具類は黒く煤けているものの、配線取付ボルト等に溶融痕などの異常は見られなかった。
- (5) 低圧回路のG線に接続される連動接点の一部に溶融痕が見られた。
- (6) アークシュートの取付状態に異常は見られなかった。
- (7) 電磁弁のコイル抵抗値に異常は見られず、電磁弁単体の動作試験においても異常は認められなかった。

2.6.3.3 L1、L2以外の単位スイッチの損傷状況

単位スイッチSに取り付けられている連動接点の一部に溶融痕が見られるものの、その他に異常は見られず、L3、L4、L5及びHSCBについても、絶縁支柱及び吹消しコイルを含め異常は見られなかった。

2.6.4 パンタ及びその他の機器

2.6.4.1 パンタの損傷状況

本件車両のパンタの損傷状況については、概略次のとおりであった。

- (1) 後パンタのすり板にアーク痕が見られた。
- (2) 前方のパンタ（以下「前パンタ」という。）については、すり板の一部に軽微なアーク痕が見られるものの、大きな損傷痕は見られなかった。
- (3) 本事故後、パンタの押し上げ力を測定したところ、同社が定めている検査基準限度以内であることが確認された。

なお、本件車両は、前パンタと後パンタの両方を常時上昇させて集電を行っている。

2.6.4.2 その他の機器

- (1) 界磁制御器の一部の配線や継電器等に、焼損痕が見られた。
- (2) 主制御器の一部の配線に、焼損痕等が見られた。
- (3) 主抵抗器に異常は見られなかった。

なお、本事故後に確認したところ、付図4に示すPB転換器は、(B)側に閉じられており、カムはS1段となっていた。

2.6.5 車両の保護装置の作動状況

(1) 主回路ヒューズ

本件車両には、パンタと主回路装置の間に通電容量600Aのヒューズ¹⁷が3本並列に接続されており、本事故後にこのヒューズを取り外して調査を実施したところ、抵抗値に異常は認められなかった。また、X線により内部の状態を確認したところ、素線に断線等の異常は見られなかった。

(付図19 主回路ヒューズの内部観察と熔断特性 参照)

(2) 主回路装置を保護する継電器の作動状況

本件車両には、主回路に1,100A以上の電流が流れた場合に作動する過電流継電器（以下「OCR_y」という。）が設置されているが、本事故後に確認したところ、このOCR_yは作動していなかった。

なお、OCR_yが作動した場合は、HSCBを開放して電流を減じた後、L1、L2を開放して電流を遮断する仕組みとなっており、乗務員室に設置されているリセットスイッチを扱わないと復帰しない仕組みとなっている。

(3) 低圧回路のブレーカーの作動状況

本事故後、3両目の乗務員室に設置されている低圧回路のブレーカーについて確認したところ、付図6に示すように、電池、制御、パンタ、直通制動などのブレーカーが「切」となっていた。

なお、これらのブレーカーの定格電流は、いずれも30Aであり、ブレーカーに定格電流以上の電流が流れた場合は、電流に応じて一定時間後に「切」となり、電流を遮断する仕組みとなっている。

2.7 損傷物件についての調査等

本事故後、同社は、損傷物件について調査や試験を実施した。主な結果は、以下のとおりである。

2.7.1 吊りボルトAの破断面観察

2.6.2.1(5)に記述した、吊りボルトAの破断面は、付図20に示すように、ブローホールが見られ、この部分以外は機械的に切断されたような様相であった。このことから、吊りボルトAは、本事故発生の前に疲労き裂により破断していた可能性も踏まえ、走査型電子顕微鏡による観察を実施した。その結果、いずれの箇所にも熔融した痕跡が見られ、疲労き裂の特徴とされるストライエーション（縞状模様）は見られなかった。

¹⁷ 本件車両の「ヒューズ」は、円筒形の容器に消弧剤とともに数十本の可溶線が封入された多素子ヒューズが使用されている。

2.7.2 碍子

2.7.2.1 絶縁性能試験

事故後においてクラック等を含む損傷の見られなかった碍子B、碍子C、碍子D及び本件車両以外の断流器箱より供出し、表面を十分に清掃した碍子（以下「碍子E」という。）について、車体に取り付けられている状態を模して金属板を挟み、両金属板間の絶縁抵抗を測定したところ、絶縁抵抗値はいずれも150MΩ以上であり、異常は見られなかった。また、交流3,000Vで1分間加圧する絶縁耐圧試験を実施したが、いずれにおいても漏れ電流等に異常な値は見られず、良好であった。

2.7.2.2 碍子単体の絶縁耐圧試験

2.7.2.1 に記述した試験において取り付けた金属板を取り外し、それぞれの碍子単体について上下間に電圧を加圧し、漏れ電流が10mAとなったときの電圧を調べた。その結果、いずれの碍子についても交流12,000V以上であり、十分な絶縁耐圧性能を有していることが確認された。なお、碍子C（上）については、表面を清掃した後、同様な試験を実施したところ、漏れ電流が10mAとなる電圧は、清掃前と比べ2倍以上となることが確認された。

2.7.2.3 圧縮破壊試験

万能試験機により、碍子Bに圧縮力を加え、碍子が破壊したときの力を測定したところ、断流器箱の重さに対して十分な強度を有していることが確認された。

2.7.2.4 高湿度下における絶縁性能試験

2.7.2.2 及び 2.7.2.3 に記述した試験においては、異常は見られなかったが、2.1.1に後述するように、本事故発生時における事故現場付近の湿度は93%であったことから、湿度が絶縁性能に与える影響について試験を実施した。その結果、交流6,000Vの電圧で1分間加圧した場合、温度30℃、湿度98%においても、漏れ電流は0.5mA以下であり、絶縁性能が大きく低下する状況には至らなかった。また、碍子Dについては、直流3,000Vにより同様の試験を実施したが、漏れ電流は0.2mA以下であった。

しかしながら、付図21に示すように、湿度80%と比べ湿度95%のときは、絶縁抵抗は10分の1以下に低下すること、表面が汚損している碍子の絶縁抵抗は、十分に清掃されている碍子Eに比べさらに低下することが確認された。

2.7.3 絶縁支柱

2.7.3.1 外観観察及び探傷試験

本事故後、大きな損傷の見られなかったL2-2、L3、L4などの絶縁支柱について、外観観察を行ったところ、プラス端子取付金具などが取り付けられる部分に、若干のキズが認められるものの、絶縁を低下させるほどの深いキズではないことが確認された。

また、L2-2、L3-2絶縁支柱について、浸透探傷試験を実施したところ、本事故による熱によりフェノール樹脂がひび割れていた箇所が認められたが、それ以外の箇所にキズやひび割れ等は認められなかった。

2.7.3.2 絶縁性能試験

L3-2絶縁支柱にアルミ箔を巻きつけ、金属製芯材とアルミ箔の間の絶縁抵抗を測定したところ、1,000MΩ以上であり、十分な絶縁抵抗を有していることが確認された。

また、交流5,400Vで1分間加圧する絶縁耐圧試験を実施したが、漏れ電流に異常な値は見られず、良好であることが確認された。

2.7.3.3 曲げ試験

日本工業規格に規定されているプラスチック材料の曲げ特性試験方法に準拠し、本件車両のL3-2絶縁支柱から製作した供試体（以下「経年品L3-2」という。）、及び、今回新たに製作した供試体（以下「新品の供試体」という。）について、曲げ強度を比較した。

その結果、経年品L3-2の曲げ強度は、新品の供試体に比べ21～36%低下していることが確認された。

2.7.3.4 耐トラッキング性及び耐アーク性試験

日本工業規格に規定されている耐トラッキング性試験及び耐アーク性試験に準拠し、経年品L3-2及び新品の供試体について試験を実施したが、いずれの試験においても新品の供試体と比較し、変わりのないことが確認された。

2.7.3.5 断面観察

L3-1絶縁支柱をプラス端子取付金具などが取り付けられていた部分を中心に数箇所を切断し、断面観察を実施した。その結果、フェノール樹脂R部のプリプレグにしわや空洞が見られる部分が確認された。

（付図22 絶縁支柱（L3-1）の断面観察 参照）

2.7.3.6 部分放電試験

部分放電測定器を使用し、2.7.3.2と同様な方法により、L3-1絶縁支柱に電極を設けて電圧を加え、その区間で部分的に放電が始まる電圧を測定した。その結果、交流1,250Vの電圧を超えると部分放電が発生することが確認された。

(付図23 絶縁支柱(L3-1)の部分放電試験 参照)

2.7.4 吹消しコイルの製造過程についての状況等

2.6.3.1(2)に記述したように5巻目が溶断していたL1吹消しコイルは、2.4.10(3)に記述したように、平成18年7月(本事故の約2年前)に新品に取り替えられていた。

同社から提出された資料によると、吹消しコイルの製造過程についての状況及び割れ(ひび割れのような状態)の発生についてのメーカーによる見解は、概略次のとおりであった。

吹消しコイルに用いる平角銅帯には、軟らかく展延性に優れた性質をもつ材料を用いており、曲げ加工は常温にて専用のコイル巻き加工機にて行い、目視によってき裂や加工傷のないことを確認している。曲げ加工の後は400~500℃による焼き鈍し^{や なま}を行い、曲げ加工によって硬化した材料を軟化させ、次に加工する際の割れの発生を防止している。2.4.6.2(1)に記述したろう付け^{ろう}の後には、目視による外観検査を実施しており、これまでにコイル部やろう付け部の製造上の瑕疵^{かし}(キズ)が原因となって使用中に破損した経験はない。

一方、金属材料に関する文献等¹⁸によると、銅の曲げ加工については、次のようにも記述されている。

常温にて冷間加工^{れいかん}された銅は、変形にともない組織がひずみ、強く硬くなり、焼き鈍しを行うことにより再び軟らかく、展延性に優れた性質となる。冷間加工された銅は、焼き鈍しが不十分な場合や、銅を腐食させるアンモニアや塩分等が付着したまま放置した場合は、使用中又は貯蔵中に、割れる場合がある。このような現象を、置き割れという。

2.8 車両の定期検査に関する情報

2.8.1 全般検査

2.8.1.1 断流器箱及び単位スイッチに対する検査

全般検査における断流器箱及び単位スイッチに対する検査は、技術基準省令に基づき、同社が定めた「技術基準(車両)」により実施され、2.4.2に記述した本件車

¹⁸ 「鉄道車両用新指導書」一車両用材料編一 日本鉄道車両機械技術協会 P.157

両の全般検査においても、異常のないことが確認されていた。

なお、断流器箱及び単位スイッチに用いられる絶縁物に対する検査項目は、「汚損及び損傷」であり、絶縁支柱については、フェノール樹脂に微細なキズがないか、目視による検査が実施されていた。

2.8.1.2 断流器箱及び単位スイッチに対する絶縁試験

断流器箱及び単位スイッチに対する絶縁試験についても、同社が定めた「技術基準（車両）」により実施され、これらは以下のとおり実施されていた。

- (1) 絶縁抵抗計のマイナス側を支柱金属部に取り付け、プラス側は水で湿らせたスポンジ等により絶縁支柱の表面を摺動させて測定し、100MΩ以下の場合には不可とする。
- (2) 単位スイッチ組立後、高圧回路と本体間に交流3,000Vを1分間加圧し、単体の絶縁性能について確認する。
- (3) 全ての単位スイッチを断流器箱に取り付けた後、高圧回路と断流器箱間に交流3,000Vを1分間加圧し、全体的な絶縁性能について確認する。

2.8.1.3 取付金具等の締付トルク

組立時の取付ボルトの締め付けは、トルクレンチを使用して実施されていた。

なお、絶縁支柱を挟んで取り付けられるプラス端子取付金具、背面取付金具の取付ボルト（W3/8×50mm、3本）は、フェノール樹脂を傷めないようにするため、W3/8ボルトの規定トルクよりも若干弱めのトルクで締め付けを実施していた。

2.8.1.4 過去に発見された絶縁支柱の不具合についての情報

同社によると、2.4.2に記述した本件車両の全般検査において、L4-1絶縁支柱にキズが発見され、代替品に取り替えられたとのことであった。

なお、この絶縁支柱は、2.8.1.2(1)に記述した絶縁抵抗測定を行わずに破棄されるとともに、キズが発見された部分の状況や調査結果などの記録は、残されていなかった。

2.8.2 状態・機能検査

2.4.2に記述した、状態・機能検査においては、概略次のとおり実施されていた。

(1) 碍子の清掃

断流器箱・主制御器・主抵抗器の吊りボルトの碍子の清掃は、碍子清掃剤（中性洗剤）を使用して行われていた。

(2) 単位スイッチの清掃

単位スイッチの清掃については、断流器箱の鎧戸、背面フサギ板、底板を取り外した状態で、洗浄液を浸した布等によりアークシュート、絶縁支柱、鉄心支え板などの清掃が行われていた。

(3) 絶縁抵抗測定

絶縁抵抗測定については、状態・機能検査における総合検査において次のとおり行われ、測定値については、いずれも異常のないことが確認されていた。

- ① 高圧回路～アース（車体）間
- ② 低圧回路～アース（車体）間
- ③ 高圧回路～低圧回路間
- ④ 高低圧機器箱～アース（車体）間

2.9 鈴鹿市駅から三日市駅までの列車運転に関する情報

本事故後、同社は、鈴鹿市駅から三日市駅間において本件編成を用いた試運転列車を運転し、運転の取り扱いについては2.1(1)に記述した本件運転士の口述をもとに行い、本事故発生時の状況について確認を行った。

その結果、以下のことが確認された。

- (1) 鈴鹿市駅（4 k 1 1 4 m）を出発してから1 2 4秒後に制動標（5 k 9 6 0 m）を通過すること。
 - (2) 制動標から三日市駅の停車位置目標の8 m手前に停車するまでの時間は3 6秒であること。
 - (3) 鈴鹿市駅を出発してから5 4秒後に鈴鹿市第4号踏切道（4 k 5 9 0 m）を通過し、この付近における列車の速度は5 7 km/hであること。
 - (4) 鈴鹿市駅から三日市駅における主回路電流の最大値は、力行3ノッチとした後における8 9 0 Aであること。
 - (5) ブレーキ時における回生電圧は、約1, 7 0 0 Vであること。
- (付図2 4 鈴鹿市駅から三日市駅までの試運転列車のデータ 参照)

2.10 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 4 5 歳

甲種電気車運転免許

昭和6 3 年 2 月 9 日

2.11 気象に関する情報

事故現場の北北東約6.9 kmに位置する気象庁四日市特別地域気象観測所（以下「四

日市観測所」という。)における8月12日23時50分の気象状況は、晴れ、気温25.2℃、湿度93%、南南東の風、平均風速0.3m/sであった。

2.1.2 消火活動に関する情報

鈴鹿市中央消防署によれば、本事故における消火活動の状況は、概略次のとおりであった。

本事故の第1報を受けた時刻は23時48分で、消防車等11台が出動し、事故現場に到着したのは23時58分であった。事故現場に到着した直後の本件車両の状況は、燃焼炎上は見られず、うっすらと白い煙が立ちこめていた。消防車からホースを3本延長し、放水の準備をしていたところ、本件車両の中央付近とホームの隙間から約1mの炎上が見られ、客室内は腰掛けから天井付近までの炎上を認めた。放水を始めようとしたところ、車内灯は消えているものの本件車両のパンタが上昇していたため、本件運転士に対して、架線が加圧されていないかどうか、2度確認を行った。その後、前から3番目のドアは炎が激しいため立ち入れず、客室の窓ガラスを割ってそこから放水した。ガラスは熱を帯びていて、衝撃を与えたら簡単に割れた。0時3分に放水を開始し、同13分に鎮圧¹⁹、同40分に鎮火²⁰し、消火活動を終了した。

2.1.3 過去において単位スイッチ等が焼損した本事故と類似の事例

過去において単位スイッチ等が焼損した事例について調査したところ、以下のような事例があった。これらはいずれも車内における火災には至っていないこと、又は発生時期から、運輸安全委員会（旧航空・鉄道事故調査委員会）の調査対象とはなっておらず、以下の記述は当該事業者（A社、B社及び同社）より提供された資料を参考とした。

2.13.1 電動発電機の高速度遮断器が焼損した事例

平成4年8月、A社が運行する11両編成の普通列車（113系電車）が途中の駅を出発した直後に架線が停電し、前から9両目の床下機器から煙が発生した。

A社が実施した調査結果によると、前から9両目の床下に設置されている電動発電機の電源を「入」、「切」する高速度遮断器（以下「MGHB」という。）の絶縁支柱（エポキシ樹脂）が焼損し、前から6両目の母線²¹ヒューズ箱に激しい放電痕があり、周辺の屋根布が焼損していた。

なお、前から9両目の車両は昭和51年9月に新製され、この事象が発生した当時の経年は18年であった。A社は当時の対策として、113系電車などの

¹⁹ 「鎮圧」とは、火災においては炎が収束した状態（再燃するおそれはある）をいう。

²⁰ 「鎮火」とは、火事を消し鎮めることであり、再燃のおそれのない状態をいう。

²¹ ここでいう「母線」とは、パンタグラフからの引き込み線を車両間で引き通している配線をいう。

MGHBの絶縁支柱を更新するとともに、母線ヒューズ箱をアーキングスタッド²²付に改良するなどの対策を行った。

2.13.2 同社の特急列車で発生した単位スイッチが焼損した事例

平成14年5月、同社の運行する特急列車が走行中、前から4両目の断流器箱から「ボン」という異音とともに白い煙が発生し、架線が停電した。

同社が実施した調査結果によると、L1絶縁支柱のプラス端子取付金具付近が本事故におけるL1絶縁支柱と同様に熔融消失し、単位スイッチP（力行時に閉じる）のアーキ接触子にも溶損痕が見られた。単位スイッチPの電磁弁内部より直径約3mmの金属製の異物が発見され、この異物が電磁弁内部に介在すると、単位スイッチPの作動が不完全となることが確認された。断流器箱には、L1と単位スイッチPの上部の天板に穴があいていたが、吊りボルト及び碍子等に異常は見られなかった。

なお、煙が発生した4両目の車両は昭和40年2月に新製され、この事象が発生した当時の経年は37年であった。

2.13.3 電気機関車の単位スイッチが焼損した事例

平成16年11月、B社の運行する貨物列車が走行中、HB表示灯（電気機関車の高速度遮断器が作動したことを知らせるランプ）が点灯したため、同列車の運転士は、途中の駅に臨時停車して点検を行ったところ、電気機関車（EF64）の機器室から発煙を認めた。

B社が実施した調査結果によると、単位スイッチK6²³（主電動機を直並列につなぎ替える接触器で、直並列段と並列最終段において閉じられる。）の絶縁支柱が焼損していた。

なお、この電気機関車（EF64）は昭和48年3月に新製され、この事象が発生した当時の経年は31年であった。

2.13.4 電動発電機の高速度遮断器が焼損した他の事例

平成18年11月、B社の運行する貨物列車が走行中、電気機関車（EF64）のHB表示灯が点灯するとともに架線が停電した。同列車は途中駅の手前に停車し、指令の指示によりパンタを下げ、架線の送電開始後、再度パンタを上昇させたところ

²² ここでいう「アーキングスタッド」とは、ヒューズが飛断する際に発生するアークを他の部分に転移させないようにするための金具をいう。

²³ 電気機関車の単位スイッチは、断流器箱ではなく枠に取り付けられ、この枠は碍子を介さずに車体に取り付けられている。

ろ、電気機関車の機器室内で異音とともに煙が発生し、前方のパンタがトロリ線に溶着した。

B社が実施した調査結果によると、MGHB（2.13.1に記述したMGHBと同一機種）の絶縁支柱が焼損していたとのことであった。

なお、この電気機関車は昭和56年7月に新製され、この事象が発生した当時の経年は25年であった。

3 分析

3.1 変電所及び車両における本事故との関連についての分析

3.1.1 変電所に関する分析

2.3.2に記述したように、

- (1) 本件変電所では、き電線の電圧について1時間ごとにその間における最大値、最小値を記録していたが、本事故発生の日においては、異常な値は記録されていなかったこと、
- (2) 本事故後、 ΔI 装置やき電用直流高速度遮断器などの各装置に異常は見られなかったこと

から、本件変電所においては本事故の要因となるような異常はなかったものと推定される。

3.1.2 主回路装置の作動状況や単位スイッチの部品取付状態等に関する分析

3.1.2.1 主回路装置の作動状況に関する分析

2.1(1)に記述したように、本件運転士は、事故の直前、力行3ノッチとして加速し、鈴鹿市第9号踏切道の手前辺りでいつものとおり速度は78km/hとなったと口述していることから、力行時においては、2.4.4(1)～(3)に記述した主回路装置を作動させる仕組みは正常に機能していたものと考えられる。

また、本件運転士は、三日市駅に停車するため常用ブレーキを扱ったとき、制動標においてブレーキが効き始めたのを感じた直後に「ボン」という異音が発生したと口述していることから、主回路装置においては、2.4.4(4)に記述した回生ブレーキの作用条件が成立し、カムはS2段まで進んだ可能性が考えられる。一方、2.6.4.2に記述したように、本事故後、PB転換器は(B)側に閉じられており、カムはS1段となっていたことから、本件列車は「ボン」という異音の直後に回生失効したのと考えられ、2.4.4(5)に記述したカムをS1段に戻す仕組みが作動したのと考えられる。

これらのことから、本件列車は「ボン」という異音が発生した直後まで、損傷の激しかったL 1をはじめとする主回路装置は、いずれも正常に作動していたと考えられ、2.4.4 に記述した主回路装置を作動させる仕組みに本事故の要因となるような異常はなかったものと推定される。

3.1.2.2 単位スイッチの配線取付状態に関する分析

- (1) 2.6.3.1(7)に記述したように、L 1については、503線の圧着端子及び取付ボルトに、溶融痕などの異常は見られなかったこと、
- (2) 2.6.3.2(4)に記述したように、L 2についても、配線取付ボルト等に溶融痕などの異常は見られなかったこと、
- (3) 2.6.3.3 に記述したように、L 1、L 2以外の単位スイッチについても異常は見られなかったこと

から、単位スイッチの配線取付ボルトには緩みによる発熱など、本事故の要因となるような異常はなかったものと推定される。

3.1.2.3 単位スイッチのアークシュートの取付状態等に関する分析

- (1) 2.6.3.1(6)に記述したように、L 1の主接触子やアーク接触子の通電接触面には、溶融痕などの異常は見られなかったこと、
- (2) 2.6.3.1(10)及び2.6.3.2(6)に記述したように、L 1、L 2のアークシュートの取付状態に、異常は見られなかったこと

から、本事故発生時においても、2.4.7 に記述した、主回路電流を遮断する仕組みは正常に作動したものと考えられ、L 1、L 2におけるアークシュートの取付状態や主接触子などにおいて、本事故の要因となるような異常はなかったものと推定される。

3.2 本件列車の運転状況と変電所の記録による分析

3.2.1 異音の発生と本件変電所が4,065Aの電流値を記録した時刻との関係

- (1) 2.1(1)に記述したように、本件運転士は鈴鹿市駅(4k114m)を定刻(23時43分15秒)より約30秒遅れて出発し、制動標(5k960m)の手前でブレーキをかけ、制動標通過と同時にブレーキが効いてきたと感じた直後に「ボン」という大きな異音が生じたことと口述していること、
- (2) 2.9(1)に記述したように、試運転列車は鈴鹿市駅を出発してから124秒後に制動標を通過していること

から、本件列車が鈴鹿市駅を定刻よりも31秒遅れた23時43分46秒に出発し、試運転列車のとおり運転されたとすると、制動標を通過する時刻は23時

45分50秒となり、2.3.2に記述した本件変電所が4,065Aの電流値を記録した時刻に一致する。このことから、「ボン」という異音が発生した時刻は、本件変電所が4,065Aの電流値を記録した23時45分50秒であったものと考えられる。

3.2.2 本件列車が停車した時刻と ΔI 装置が作動した時刻との関係

2.5.1に記述したように、三日市第1号柱(6k205m)直下のトロリ線にアーク痕が見られ、2.6.4.1(1)に記述したように、後パンタのすり板にアーク痕が見られた。これらの痕跡は、本件列車の後パンタが三日市第1号柱直下を通過したときまで架線が加圧されていたことにより生じたものと考えられる。

また、2.3.2に記述したように、本件変電所が4,065Aの電流値を記録した時刻から ΔI 装置によりき電用直流高速度遮断器が動作するまでの時間は38秒であり、一方、2.9(2)に記述したように、試運転列車は、制動標を通過してから三日市駅停車位置目標の約8m手前に停車するまでの時間は36秒であった。

これらのことから、本件列車が三日市駅停車位置目標の約8m手前に停車した時刻は、本件変電所の ΔI 装置が作動した23時46分28秒の前後であったものと考えられる。

3.3 本事故において発生した事象に関する分析

3.3.1 鈴鹿市駅の助役が感じた異臭に関する分析

3.3.1.1 本件列車が鈴鹿市駅を出発した時点における状況

2.1(2)に記述したように、鈴鹿市駅の助役は、鈴鹿市駅のホームにて本件列車の出発を見送ったが、本件車両に異臭などの異常はなかったと口述していることから、本件列車はこの時点において、異臭を放つような異常は発生していなかったものと考えられる。

3.3.1.2 鈴鹿市駅の助役が地点1を通りかかった時刻に関する分析

- (1) 2.1(2)に記述したように、鈴鹿市駅の助役は、三日市第3号踏切道などの故障表示が点灯するのを認めた後、三日市駅に向かっていること、
- (2) 2.3.3に記述したように、三日市第3号踏切道(6k712m)の警報装置は、下り列車が6k246mに進入してから15秒後に鳴動を開始し、警報を開始してから5分が経過すると踏切監視装置の故障報知が作動する仕組みとなっていること、
- (3) 3.2.2に記述したように、本件列車が三日市駅停車位置目標の約8m手前に停車した時刻は、23時46分28秒の前後であったと考えられること

から、三日市第3号踏切道の故障報知が作動した時刻は、23時52分ごろと考えられる。

その後、2.1(2)に記述したように、鈴鹿市駅の助役は、運転指令に「直ちに三日市駅に向かいます」と言って、自転車で向かうことにしたと口述していることから、鈴鹿市駅の助役が鈴鹿市駅を出た時刻は、23時52分すぎと考えられ、鈴鹿市駅の助役が地点1を通りかかった時刻は、23時53分ごろであったと考えられる。

3.3.1.3 本件列車が鈴鹿市第4号踏切道を通過した時刻に関する分析

(1) 2.1(1)に記述したように、本件運転士は鈴鹿市駅を定刻(23時43分15秒)よりも約30秒遅れて出発したと口述していること、

(2) 2.9(3)に記述したように、試運転列車は鈴鹿市駅を出発してから54秒後に鈴鹿市第4号踏切道(4k590m)を通過していること

から、本件列車が鈴鹿市駅を定刻よりも31秒遅れた23時43分46秒に出発し、試運転列車のとおり運転されたとすると、鈴鹿市第4号踏切道を通過した時刻は23時44分40秒ごろであったものと考えられる。

3.3.1.4 鈴鹿市駅の助役が地点1において感じた異臭に関する分析

2.1(2)に記述したように、鈴鹿市駅の助役が、

(1) 地点1において普段その場所ではしない異臭がした、

(2) 三日市駅に到着し、ホームに上がったところ、本件車両の周囲に異臭が立ちこめており、この臭いは地点1で感じた異臭と同じであった

と口述していることから、鈴鹿市駅の助役が地点1において感じた異臭は、事故現場(三日市駅)で発生した異臭と同一であった可能性が考えられる。

一方、

(1) 3.3.1.3に記述したように、本件列車が鈴鹿市第4号踏切道を通過した時刻は23時44分40秒ごろであったと考えられること、

(2) 3.3.1.2に記述したように、鈴鹿市駅の助役が地点1を通りかかった時刻は23時53分ごろであったと考えられること

から、本件列車が鈴鹿市第4号踏切道を通過した時刻と、鈴鹿市駅の助役が地点1を通りかかった時刻は、約8分の時間差があったものと考えられる。

また、

(1) 2.1.1に記述したように、四日市観測所における23時50分の気象状況は、南南東の風、平均風速0.3m/sであること、

(2) 2.3.1に記述したように、地点1は、事故現場から東北東に直線距離で

約1.5 km離れた場所であること

から、約8分間に、事故現場において発生した異臭が地点1まで流れてきた可能性は極めて低いと考えられ、本件列車は、鈴鹿市第4号踏切道を通じた時点において、異臭を放つような何らかの異変が発生していた可能性があると考えられる。

なお、2.3.1に記述したように、地点1と鈴鹿市第4号踏切道は約40 m離れていること、2.9(3)に記述したように、この付近における試運転列車の速度は57 km/hであること、及び3.3.1.1に記述したように、本件列車は鈴鹿市駅を出発した時点においては異臭を放つような異常は発生していなかったと考えられることから、本件列車は鈴鹿市第4号踏切道のやや手前において異変が発生し、かなり強い異臭を放つ現象が発生していた可能性があると考えられる。

3.3.2 車内灯が点滅したことについて

2.1(3)に記述したように、乗客Aは、本件列車が三日市駅に近づいてきたとき、不意に車内灯が点滅したと口述していることから、本件列車はこの時点において、制御電源などが一時的に電圧低下するなど、何らかの異変が発生していたものと考えられる。

3.3.3 電池ブレーカーの作動に関する分析

3.3.3.1 電池ブレーカーが「切」となった時点

2.6.5(3)に記述したように、本事故後、電池ブレーカーは「切」となっていたことが確認されている。一方、3.1.2.1に記述したように、本件列車は「ボン」という異音の直後に回生失効したものの、カムをS1段に戻す仕組みは正常に作動したと考えられることから、カムがS1段に戻るまでは、制御電源は正常に供給されていたものと考えられる。これらのことから、電池ブレーカーは「ボン」という異音の直後は「入」であったものの、カムがS1段に戻った後に「切」となったものと考えられる。

なお、電池ブレーカーが「切」となったのは、2.6.2.1(4)、2.6.3.1(8)及び2.6.3.2(5)に記述したように、低圧回路の配線に溶融痕が見られたことから、3.4.1(5)に後述する「ボン」という異音とともに発生した大きなアーク放電の熱により、電池ブレーカーが「切」となるような低圧回路内における短絡が発生したことによるものと考えられる。

3.3.3.2 電池ブレーカーが「切」となったことにより発生したその他の事象

付図5に示すように、防護無線機、列車無線機、予備灯及び車掌スイッチなどのドア開閉回路は、いずれも電池ブレーカーを経由して供給される制御電源に依存し

ていることから、本事故において発生した以下のような事象（括弧内はその根拠を示す。）は、いずれも、電池ブレーカーが「切」となったことによるものと考えられる。

(1) 防護無線が発報されなかったこと。

（2.1(1)に記述したように、本件運転士は「ボン」という異音が発生した後、本件列車を三日市駅のホームに停車させる前において防護無線発報スイッチを扱ったが反応がなかったと口述している。）

(2) 車掌スイッチを扱ってもドアが開かなかったこと。

（2.1(1)に記述したように、本件運転士は三日市駅に停車後、車掌スイッチを扱ってもドアが開かなかったと口述している。）

(3) 列車無線機が使用できなかったこと。

（2.1(1)に記述したように、本件運転士は事故の発生を伝えるため、指令無線（列車無線機）により運転指令を呼び出そうとしたが、無線機の電源が入らず使用できなかったと口述している。）

(4) 予備灯が点灯しなかったこと。

（2.1(1)に記述したように、本件運転士は「ボン」という異音が発生した後、車内灯が消灯し運転台も真っ暗になったと口述しており、2.1(3)に記述したように、乗客Aは「ボン」という音の後に車内灯がすべて消え、真っ暗になったと口述している。）

3.3.4 常用ブレーキの作動に関する分析

2.6.5(3)に記述したように、本事故後に確認したところ、直通制動ブレーカーは、「切」となっていた。一方、2.1(1)に記述したように、本件運転士は、車内灯が消灯した後も常用ブレーキは効いていたので、さらに強めのブレーキをかけ、三日市駅のホームに差し掛かり、途中で停車するよりも3両ともホームに入れたほうが良いと思い、ブレーキをやや緩めにして停車したと口述していることから、電池ブレーカーが「切」となった後も、常用ブレーキについては正常に作動したものと考えられる。

なお、2.4.1に記述したように、本件列車のブレーキ装置は、回生ブレーキ併用電磁直通式空気ブレーキであり、電磁直通式空気ブレーキは、制御電源の供給が断たれると、常用ブレーキについては正常に作動しなくなることから、本件列車が三日市駅に停車するまでは、直通制動ブレーカーは「入」となっていたものと考えられる。

3.4 火災発生に至る経過についての分析

(1) 本件変電所から鈴鹿線に供給された4,065Aという電流について

- ① 3.2.1 に記述したように、本件変電所は「ボン」という異音が発生した時刻に4,065Aの電流値を記録していること、
- ② 2.9(4)に記述したように、鈴鹿市駅から三日市駅までの試運転列車における主回路電流の最大値は力行3ノッチとした後における890Aであること、
- ③ 2.3.2 に記述したように、本件変電所から給電を受けている鈴鹿線においては、本事故の発生時刻に本件列車以外の列車は運転されていなかったことから、本件変電所から鈴鹿線に供給された4,065Aという電流は、本件列車のみに供給され、通常の主回路電流とは異なる異常な電流であったものと推定される。

(2) 断流器箱内部及び吊りボルトAの損傷状況と異常な電流との関係

- ① 2.6.2.1(1)に記述したように、本件車両の断流器箱はL1、L2付近の鎧戸が焼け、遮熱クロスが剥き出しになっていたこと、
- ② 2.6.3.1(1)及び(5)に記述したように、L1プラス端子取付金具が激しく溶融し、絶縁支柱はNo.1、No.2ともにプラス端子取付金具から上部アークホーン取付腕にかけて消失していたこと、
- ③ 2.6.2.1(5)～(7)に記述したように、吊りボルトAはボルト頭部の首下で溶断し、碍子Aが粉々に碎け破損していること、
- ④ 2.6.2.1(2)に記述したように、断流器箱の天板は、最も損傷していたL1を中心に穴があき、この付近にあった鎧戸の掛け金具が消失し、2.6.2.2(1)に記述したように、機器吊り金具（車体側）は溶損して穴があいていたことから、4,065Aという異常な電流は、本件車両の断流器箱及び吊りボルトAの周辺において発生した大きなアーク放電によるものと考えられ、アーク放電による熱が車内における火災発生の起点となったものと推定される。

(3) 火災発生の起点として除外できるもの

- ① 3.1.2.1 に記述したように、本件列車は「ボン」という異音が発生した直後まで、損傷の激しかったL1をはじめとする主回路装置は正常に作動していたと考えられ、2.4.4 に記述した主回路装置を作動させる仕組みに本事故の要因となるような異常はなかったものと推定されること、
- ② 3.1.2.2 に記述したように、単位スイッチの配線取付ボルトには緩みによる発熱など、本事故の要因となるような異常はなかったものと推定されること、
- ③ 3.1.2.3 に記述したように、L1、L2におけるアークシュートの取付状

態や主接触子において、本事故の要因となるような異常はなかったものと推定されること

から、主回路装置を作動させる仕組み、単位スイッチの配線取付ボルト及びアークシュートの取付状態や主接触子については、火災発生の起点として除外できるものと考えられる。

(4) その他の重要な情報

① 3.3.1.4 に記述したように、本件列車は鈴鹿市第4号踏切道のやや手前において異変が発生し、かなり強い異臭を放つ現象が発生していた可能性があると考えられること。

② 2.6.3.1(2)に記述したように、L1吹消しコイルの5巻目が溶断し、コイル端部マイナス側と分離していたこと。

上記(1)～(4)について総合的に考慮した結果、火災発生の起点については概ね次の3.4.1及び3.4.2に示す2つの可能性が考えられ、付図25に示すように、それぞれ以下に示す過程により火災に至った可能性が考えられる。

3.4.1 L1絶縁支柱と碍子Aの絶縁抵抗が低下した可能性

(1) L1絶縁支柱フェノール樹脂の絶縁抵抗が低下し、L1プラス端子取付金具から絶縁支柱金属製芯材に向けての漏電の流路が構成されるとともに、碍子Aにおいても絶縁抵抗が低下していたため、2.4.8に記述した二重絶縁方式が崩れ、L1プラス端子取付金具などから断流器箱を経て車体に至る漏電の流路が形成され、これにより断流器箱も加圧されることとなった可能性が考えられる。なお、絶縁支柱及び碍子Aの絶縁抵抗が低下したことについては、3.5及び3.6に後述する。

(2) 本件列車が鈴鹿市駅を出発後、上記(1)の漏電によりL1絶縁支柱のフェノール樹脂が発熱及び発火し、列車が鈴鹿市第4号踏切道を通じたとき、この発熱及び発火によって生じた異臭が、3.3.1.4に記述した鈴鹿市駅の助役が地点1で感じた異臭の根源となった可能性が考えられる。また、L1絶縁支柱の発熱及び発火により隣接するL2-1絶縁支柱も高熱となり、2.6.3.2(1)に記述した焼損が生じるとともに、炭化が促進してL2金属製芯材から断流器箱に向けて漏電しやすい状況となった可能性が考えられる。

(3) 三日市駅手前においてブレーキが扱われた際、L1、L2が閉じると同時にL2プラス端子取付金具から上記(2)に記述した焼損部、さらにはL2絶縁支柱金属製芯材にかけて回生電圧が加圧され、このときすでに、上記(1)に記述したように断流器箱が加圧されていたことから、回生電圧との電位差により、比較的小さなアーク放電が発生した可能性が考えられる。

(4) 上記(1)に記述したように、すでに碍子AにはL1プラス端子取付金具を経

由した架線からの漏電があったところに、ブレーキが扱われた際、上記(3)により回生失効までの短い間、L2-1絶縁支柱から断流器箱、碍子Aを経由して車体に至る地絡回路が構成され、碍子Aの絶縁が完全に破壊したため、これがトリガーとなってL1絶縁支柱から吊りボルトAに至る大きなアーク放電が発生した可能性が考えられる。なお、このように徐々に漏電が進行した後に大きなアーク放電に移行したことが地絡電流の急激な増大を和らげ、本件変電所のΔI装置の作動を遅らせた可能性が考えられる。

- (5) この大きなアーク放電による熱は周囲の空気を瞬時に加熱膨張させ、「ボン」という異音とともに大きな地絡電流が流れ、本件変電所においては4,065Aの電流値が記録されたものと考えられる。
- (6) 上記(5)のアーク放電による熱により機器吊り金具(車体側)に穴があくとともに、この付近にあった断流器箱の鎧戸の掛け金具が消失し、吊りボルトAの頭部から約60mmの離隔で敷設されていた制御配管にアークが転移し、吊りボルトAが熔断するとともに、制御配管に穴があいた可能性があると考えられる。本件編成の元空気ダメ等に蓄積されていた圧縮空気が吹き出したことにより火炎の勢いは更に増大し、この熱によって床板のキーストンプレートに穴があいたものと考えられる。なお、2.1(3)に記述したように、乗客Aは、「ボン」という異音の後、車窓の外を眺めていたところ、火花が「バァーッ」と出てきて電車の窓の真ん中あたりまで燃え上がるのが見えたことと口述している。2.6.2.1(6)に記述したように、碍子A(上)のものと思われる破片が6k145m付近の線路上に落下していたことから、碍子A(上)は、本件列車がこの付近を通過する直前において粉々に砕け、その破片が落下したのと考えられる。また、2.5.2に記述したように、鈴鹿市第11号踏切道から三日市駅ホームにかけての複数のまくら木の左レール側に焼損痕が見られたが、これらの痕跡は、断流器箱から発生した火炎により火屑等が落下したことにより生じたものと考えられる。
- (7) 2.4.9に記述したように、503線(L1プラス端子取付金具等)は、単位スイッチの作動条件にかかわらず常に架線電圧で加圧されていることから、本件列車が回生失効した後においても、本件変電所のき電用高速度直流遮断器が動作するまでの間、大きなアーク放電が持続し、これらの金具類は激しく熔融消失するとともに、3.8.2に後述する車内における大きな火災に至ったものと考えられる。

3.4.2 L1吹消しコイル5巻目に置き割れが生じた可能性

- (1) 鈴鹿市駅を出発する以前において、本件列車のL1吹消しコイル5巻目に

2.7.4 に記述した置き割れが生じていたが、主回路電流の通電には支障しない程度であったため、本事故の直前までは何らの異変も生じなかった可能性が考えられる。なお、L1 吹消しコイル5巻目に置き割れが生じた可能性については、3.7 に後述する。

- (2) 本件列車が鈴鹿市駅を出発した後、L1 吹消しコイル5巻目に生じていた置き割れは最終局面に達し、割れずに残ったわずかな部分に主回路電流が極度に集中し、ジュール熱によって溶断した可能性が考えられる。本件列車が力行3ノッチにて鈴鹿市第4号踏切道を通じた時点においては、この溶断部分における主回路電流はアークによってつながり、通電に際しては支障しなかったものと考えられる。しかしながら、アークによる熱によって吹消しコイルは極めて高温となり、L1 絶縁支柱 (No. 1、No. 2) のフェノール樹脂が焼損し、L1 の隣に設置されていたL2-1 絶縁支柱についても焼損した可能性が考えられる。なお、L1 吹消しコイルにおける高熱や、L1、L2 絶縁支柱のフェノール樹脂の焼損は、3.3.1.4 に記述した、鈴鹿市駅の助役が地点1において感じた異臭の根源となった可能性が考えられる。
- (3) 本件列車は、鈴鹿市第9号踏切道の手前でノッチオフした時点において、主回路電流は遮断され、L1 吹消しコイル5巻目溶断部におけるアークはいったん終息したものの、この部分は、この時点においてかなりの部分が消失し、断流器箱の天板 (厚さ1.6mm の鋼板) は、L1 吹消しコイルの高熱によって穴があいていた可能性もあると考えられる。また、上記(2)に記述したように、L1 絶縁支柱のフェノール樹脂は焼損していたと考えられることから、プラス端子取付金具からL1 絶縁支柱金属製芯材を介して、断流器箱が架線電圧に加圧されていた可能性が考えられる。
- (4) 三日市駅手前においてブレーキが扱われた際、L1、L2 が閉じると同時にL2 プラス端子取付金具は回生電圧で加圧されたが、上記(3)に記述したように、L1 吹消しコイル5巻目はかなりの部分が消失していたため回生電流は流れず、断流器箱に加圧されていた架線電圧と回生電圧との電位差により、L2-1 絶縁支柱焼損部において比較的小さなアーク放電が発生した可能性が考えられる。この比較的小さなアーク放電がトリガーとなり、吊りボルトA付近においては、機器吊り金具 (車体側) に機器箱取付金具 (断流器箱側) からアークが転移し、L1 プラス端子取付金具などから断流器箱を経て車体に至る大きなアーク放電に成長した可能性が考えられる。この時点において本件変電所のΔI装置が作動しなかったのは、L2における小さなアーク放電から徐々に大きなアーク放電に成長したことが関与した可能性が考えられる。

なお、以降においては、3.4.1(5)～(7)と同様な経過により、車内における火災に至ったものと考えられる。

3.5 絶縁支柱の絶縁抵抗の低下に関する分析

3.4.1(1)に記述した、L1絶縁支柱の絶縁抵抗の低下については、

- (1) 2.4.6.3に記述したように、フェノール樹脂は、表面がアークのような高温にさらされると、炭化して導電性となりやすいこと、
- (2) 2.4.6.1及び2.4.6.2に記述したように、単位スイッチは大きな電流を遮断するたびにアークが発生し、絶縁支柱は、アークが発生する部分に近接して設置されていること、
- (3) 2.4.10に記述したように、本件車両の単位スイッチの絶縁支柱は、新製後39年間使用されていたこと、
- (4) 2.1.3に記述したように、過去において単位スイッチ等が焼損した本事故と類似の事例が複数の事業者において発生しており、これらはいずれも絶縁支柱が焼損し、車両の経歴は、新製後、概ね18～30年であったこと

から、本件車両のL1絶縁支柱においても、絶縁抵抗が低下した可能性があると考えられる。

しかしながら、2.7.3に記述した絶縁支柱についての調査結果から、

- (1) 2.7.3.1に記述したように、L2-2、L3、L4などの絶縁支柱の外観観察を行ったところ、プラス端子取付金具が取り付けられる部分に若干のキズが認められるものの、絶縁を低下させるほどの深いキズではないこと、
- (2) 2.7.3.2に記述したように、L3-2絶縁支柱について絶縁抵抗を測定したところ、十分な絶縁抵抗を有していることが確認され、絶縁耐圧試験においても、漏れ電流に異常な値は見られず良好であること、
- (3) 2.7.3.4に記述したように、経年品L3-2及び新品の供試体について、耐トラッキング性試験及び耐アーク性試験を実施したが、いずれにおいても新品の供試体と比較して変わりのないこと

から、これらの絶縁支柱については、絶縁抵抗の低下の傾向は見られなかった。

なお、

- (1) 2.7.3.3に記述したように、曲げ試験において、経年品L3-2の曲げ強度は、新品の供試体に比べ21～36%の低下が確認されたこと、
- (2) 2.7.3.5に記述したように、L3-1絶縁支柱の断面観察において、フェノール樹脂R部のプリプレグにしわや空洞が見られたこと、
- (3) 2.7.3.6に記述したように、L3-1絶縁支柱に対して実施した部分放電試験において、交流1,250Vの電圧を超えると部分放電が発生することが確認

されたこと、

- (4) 2.8.1.4 に記述したように、過去には本件車両のL4-1絶縁支柱にキズが発見され、代替品に取り替えられたこと

から、これらの事実は絶縁抵抗の低下の傾向を示唆するものではあるが、上記(2)及び(3)については、新品の供試体における情報が得られなかったため、39年間の使用による絶縁抵抗の低下の傾向は、今回の調査対象としたL2-2、L3、L4絶縁支柱からは、類推することはできなかった。また、上記(4)について、同社には、キズが発見された部分の状況や絶縁抵抗値の測定結果などの記録は残されておらず、本事故調査の参考として活用されることはなかった。

したがって、本件車両と同様な絶縁支柱が用いられている車両を有する鉄道事業者は、経年等による絶縁材料の劣化状況の把握に努め、絶縁支柱が関連する本事故と類似の事象が発生した場合は、これらについての調査結果などの記録を確実に保存するとともに、鉄道事業者間でこれらの情報を互いに提供し合い、絶縁材料の適切な更新時期について検討していくことが必要であると考えられる。

3.6 罫子Aの絶縁抵抗の低下に関する分析

3.4.1(1)に記述した罫子Aの絶縁抵抗の低下については、

- (1) 付図10に示すように、罫子Aは、他の3つの罫子とともに電気回路的には並列に接続されていること、
(2) 2.6.2.1 に記述したように、罫子Aのみが粉々に碎け、他の3つの罫子は、事故後、クラックなどを含め、損傷等は見られなかったこと、
(3) 2.7.2.1～2.7.2.4 に記述した試験において、罫子A以外の罫子は、いずれも異常は見られなかったこと

から、本事故においては、罫子Aのみの絶縁抵抗が低下する状況にあったものと考えられる。そこで、一般に、罫子の絶縁抵抗低下の要因として、表面の汚損や湿度による影響、微小なクラックや焼きむらなどが関与することが知られていることから、罫子Aの絶縁抵抗が低下した可能性を探るため、以下のような分析を行った。

- (1) 表面の汚損について

2.8.2 に記述したように、本件車両は本事故の約1ヶ月前に実施された状態・機能検査において罫子の清掃が行われ、絶縁抵抗測定において異常のないことが確認されていることから、この時点で十分な清掃が行われていたならば、罫子Aは本事故に至るまでの約1か月間に付着した汚損により、絶縁抵抗が低下したこととなる。しかしながら、同様な条件下で取り付けられている罫子B、罫子C及び罫子Dも罫子Aと同程度の汚損であったと考えられることから、罫子Aのみが絶縁抵抗が低下した理由については明らかにすることはできな

かった。なお、2.7.2.2 に記述したように、碍子C（上）については、表面の汚損の状況により絶縁性能に2倍以上の差が生じることも確認された。

(2) 湿度による影響について

2.1.1 に記述したように、四日市観測所における本事故発生時の気象状況は、気温25.2℃、湿度93%であったことから、2.7.2.4 に記述したように、高湿度下における碍子C、碍子D等の絶縁性能試験を実施した。しかしながら、温度30℃、湿度98%においても、漏れ電流は0.5mA以下であり、絶縁性能が大きく低下するという状況には至らなかった。一方、この試験結果である付図2.1に示すように、湿度80%のときと比較し、湿度95%の環境下では、絶縁抵抗は10分の1以下に低下することも確認された。

(3) 微小なクラックや焼きむらについて

2.7.2.3 に記述したように、碍子Bについて実施した圧縮破壊試験においては、断流器箱の重さに対して十分な耐久性を有することが確認されていることから、碍子Aの製造時において焼きむら等、強度にアンバランスを与える状況があった可能性は考えにくく、39年間の使用により碍子の耐久性が低下した可能性についても一般的には極めて低いと考えられる。また、碍子にクラックが生じた場合は短絡状態となることが知られているが、2.6.2.1 に記述したように、碍子B、碍子C及び碍子Dにはクラックなどの損傷は見られなかった。

これらのことから、碍子B、碍子C及び碍子D等について実施した試験結果からは、碍子Aの絶縁抵抗が低下した可能性については明らかにすることはできなかった。

3.7 L1吹消しコイル5巻目に置き割れが生じた可能性についての分析

(1) 2.6.3.1(2)に記述したように、この部分が溶断しコイル端部マイナス側と分離していたこと、

(2) 3.3.1.4 に記述したように、本件列車は鈴鹿市第4号踏切道のやや手前において異変が発生し、かなり強い異臭を放つ現象が発生していた可能性があると考えられること、

(3) 2.6.3.1(4)に記述したように、L1吹消しコイルに塗布されていた黒色の塗装の大部分が剥がれ、地肌が剥き出しになっていたこと

から、この異臭は、L1吹消しコイルが異常な熱を帯びたことによるものとみて、この部分に置き割れが生じた可能性について検討を行った。なお、2.4.10(3)に記述したように、本件車両のL1吹消しコイルは、平成18年7月（本事故の2年前）に新品に取り替えられていた。

2.7.4 に記述したように、同社から提出された資料によると、吹消しコイルは、曲げ加工及びろう付けの後、目視による外観検査を実施していると記述されていること

から、本件車両のL1吹消しコイルは、本事故の2年前に製造され、この時点において実施された目視検査においては、異常は見られなかったものと考えられる。

一方、2.7.4に記述したように、金属材料に関する文献等によれば、冷間加工された銅は、焼き鈍しが不十分な場合や、銅を腐食させるアンモニアや塩分が付着したまま放置した場合は、使用中又は貯蔵中に、置き割れが生ずる場合があると記述されていることから、製造時の目視検査において異常が見られなかったとしても、目視では確認できない極めて微細なキズが存在していたならば、本事故に至るまでの2年間の使用中に、徐々にキズが進展した可能性もあると考えられる。

しかしながら、2.7.4に記述したように、置き割れについて吹消しコイルを製造したメーカーによると、コイル部やろう付け部の製造上の瑕疵（キズ）が原因となって使用中に破損した経験はないとのことであり、吹消しコイルに置き割れが生じた類似の事例などの情報が得られなかったことから、L1吹消しコイルに置き割れが生じた可能性については、明らかにすることはできなかった。

3.8 車内における火災についての分析

3.8.1 本事故の発生時刻についての分析

(1) 3.2.2に記述したように、本件列車が三日市駅停車位置目標の約8m手前に停車した時刻は、23時46分28秒の前後であったものと考えられること、

(2) 2.1(3)に記述したように、乗客Aは、

① 本件列車が三日市駅に停車し、間もなくしてから、本件車両に乗車していた乗客がホームに降り、自分は本件車両に近いところにいたので、取りあえず早くホームに降りた方が良くと思い、車内貫通路を通過してホームに降りた、

② このとき、本件車両の真ん中辺りの腰掛の下付近が燃えているのが見えた、

③ 本件運転士が消火活動を行った後、自分の携帯電話で119番通報を行ったと口述していること、

(3) 2.1.2に記述したように、鈴鹿市中央消防署によれば、本事故の第1報を受けた時刻は23時48分であったこと

から、乗客Aが三日市駅のホームに降りた時刻は23時47分ごろであったものと考えられ、この時点において、車内においては小さな火災が発生していたものと考えられる。また、上記(3)に記述した鈴鹿市中央消防署が受領した本事故の第1報は、上記(2)に記述した乗客Aによる119番通報であったものと考えられるこ

とから、乗客Aが119番通報を行った時刻は23時48分ごろであったものと考えられる。

これらのことから、本事故の発生時刻（車内において火災が発生した時刻）は23時47分ごろであったものと考えられる。

3.8.2 火炎の進入経路と車内における大きな火災に至るまでの経過に関する分析

3.4に記述したように、本事故における火災発生の起点については、概ね3.4.1又は3.4.2に記述したいずれかの可能性が考えられ、断流器箱内部及び吊りボルトAの周辺に発生したアーク放電による熱により、車内における大きな火災に至ったものと推定される。この熱は、

- (1) 2.6.1(1)に記述したように、進行左側、前から3番目ドア付近の腰掛けが焼け、この腰掛けの座面の表地、詰め物が焼失していたこと、
- (2) 2.6.1(4)に記述したように、焼損した腰掛け付近の床敷物が黒く焼け、詰め物の一部が焼失し、床板のキーストンプレートに幅10cm程度の穴があいていたこと

から、床板のキーストンプレートにあいた穴から車内に進入したものと考えられる。

2.4.3に記述したように、本件車両の内張り、天井、床、腰掛けに使用されている主な材料は、いずれも技術基準省令に適合したものであったが、アーク自体が極めて高温であること、3.4.1(6)に記述したように、吊りボルトAに近接して敷設されていた制御配管にアークが転移して穴があき、本件編成の元空気ダメ等に蓄積されていた圧縮空気が吹き出したことにより、この付近で発生した火炎の勢いはさらに増大したものと考えられることから、車内に進入した火炎が難燃性の床敷物を燃焼させ、難燃性の腰掛けの表地や詰め物に燃え移り、その後しばらくして比較的大きな火災に至ったものと考えられる。

なお、2.1.2に記述したように、鈴鹿市中央消防署によれば、事故現場に到着した（23時58分）直後には、本件車両に燃焼炎上は見られず、その後、消防車から放水の準備中に客室内における腰掛けから天井付近までの炎上を認めたとしており、放水を開始した時刻は0時3分ごろであったことから、車内において比較的大きな火災が発生したのは、0時3分の直前であったものと考えられる。

3.9 車両の保護装置が作動しなかったことに関する分析

3.9.1 主回路ヒューズが飛断しなかったことに関する分析

3.2.1に記述したように、「ボン」という異音が発生したとき、本件車両に設置されている主回路ヒューズには4,065Aの電流が流れたものと推定されるが、

2.6.5(1)に記述したように、ヒューズの抵抗値に異常は認められず、素線に断線等の異常は見られなかった。

ここで、2.6.5(1)に記述したように、主回路ヒューズは通電容量600Aのヒューズが3本並列に接続されていることから、それぞれのヒューズに4,065Aの電流が均等に流れたと仮定した場合、ヒューズ1本には1,355Aの電流が流れたことになる。その場合、付図19に示した熔断特性から、熔断するまでに1,000秒(約16分)以上の時間を要するものと考えられる。

したがって、本事故においては、主回路ヒューズは異常な電流が流れても飛断しなかったものと考えられる。

3.9.2 OCR_yが作動しなかったことに関する分析

2.6.5(2)に記述したように、主回路に異常な電流が流れたことを検知するOCR_yは作動していないことが確認されている。

この理由は、3.4.1(4)、(5)に記述したL1絶縁支柱から吊りボルトAに至るアーク放電による電流は、OCR_yを経由しない地絡電流であることから、本事故においては、OCR_yは保護装置として機能しなかったものと考えられる。

3.10 本件変電所の ΔI 装置の作動に関する分析

(1) 2.1(1)に記述したように、本件運転士は三日市駅のホームに列車が停車する前にパンタ下げSWを扱ったと口述していること、

(2) 2.5.1に記述したように、三日市第1号柱直下のトロリ線のみアーク痕が見られ、その他の箇所に異常は見られなかったこと、また、三日市第1号柱直下のアーク痕と本件列車が停車した位置における後パンタとの距離は、付図11に示すように約15mであったこと、

(3) 2.6.4.1(1)に記述したように、本件車両の後パンタのすり板にアーク痕が見られたこと

から、本件運転士がパンタ下げSWを扱ったとき、本件車両のパンタは一時的に降下した可能性が考えられる。上記(2)に記述した三日市第1号柱直下のトロリ線に見られたアーク痕、及び上記(3)に記述した後パンタのアーク痕は、後パンタがトロリ線から離線した際に生じた可能性が考えられ、一時的に離線したパンタが再びトロリ線に接触した際、微小時間 Δt における電流増加量 ΔI が基準値を超え、本件変電所の ΔI 装置の作動に関与した可能性が考えられる。

なお、2.6.5(3)に記述したように、本事故後、パンタブレーカーは、「切」となっていたことが確認されたものの、上記のように本件車両のパンタは一時的に降下した可能性が考えられることから、本件列車が三日市駅に停車するまでは「入」となってい

たものと考えられる。また、2.6.2.2(2)に記述したように、パンタ下げシリンダーに制御空気を供給する制御配管が溶断していたことから、本件運転士がパンタ下げSWを扱った時点において、十分な圧縮空気がパンタ下げシリンダーに供給されず、パンタが完全に降下せずに再び上昇した可能性が考えられる。

3.1.1 被害の軽減に関する分析

3.11.1 乗客の避難誘導に関する分析

2.1(1)に記述したように、本件運転士は「ボン」という異音を認め、本件列車を三日市駅のホームに停車させ、すみやかに乗客を降車させるとともに、応援に駆けつけた鈴鹿市駅の助役とともに乗客をホームの外に避難誘導したと口述していることから、問題なく対応したものと考えられる。

3.11.2 列車防護に関する分析

3.3.3.2(1)及び(3)に記述したように、電池ブレーカーが「切」となったことにより、防護無線が発報されず、列車無線機の電源も供給されなくなったものと考えられる。

本事故が発生した三日市駅は単線のため対向列車が進來するおそれはなかったものの、このような事故が複線区間等において発生した場合は、対向列車や隣接線の列車に支障するおそれがあることから、それらの列車に対し異常を知らせ、安全な場所に速やかに停止させる手配は、確実に行われるべきである。

したがって、鉄道事業者は、防護無線機については予備の蓄電池を搭載するとともに、通常の電源からの供給が絶たれたときは自動的に予備の蓄電池に切り替わるシステムを配備するなど、異常時における列車防護が確実に行われるようにすべきである。

3.11.3 消火活動に関する分析

2.1(1)に記述したように、本件運転士は、三日市駅に停車後、断流器箱が赤熱しているのを認め、直ちに消火器による消火活動を行ったと口述していることから、本事故における初期消火活動は遅滞なく行われたものと考えられる。また、3.8.1に記述したように、乗客Aが119番通報を行った時刻は23時48分ごろであったものと考えられ、2.1(1)に記述したように、本件運転士もほぼ同時に事故の発生を伝え、消防の出動を要請したと口述していることから、消防への通報についても遅滞はなかったものと考えられる。

なお、2.1.2に記述したように、鈴鹿市中央消防署によると、放水を始めようとしたところ、車内灯は消えているものの本件車両のパンタが上昇していたため、架

線が加圧されていないか2度確認を行ったとのことから、鈴鹿市中央消防署の消防隊員は、本件車両のパンタが上昇したままとなっている状況を見て、車両が加圧されていないことの確認を、確実に行ったものと考えられる。

したがって、本事故のような火災事故が発生した場合は、消防署など消火活動を行う者に対し、き電停止の手配が完了していることの連絡は確実に行われるべきである。

3.11.4 低圧回路のブレーカーに関する分析

3.3.3.2 に記述したように、電池ブレーカーが「切」となったことにより、防護無線が発報しなかったほか予備灯も点灯せず、車掌スイッチを扱ってもドアが開かない状況となったものと考えられる。ここで、本事故のように深夜に発生した事故においては、予備灯は乗客が安全に避難するために極めて重要であり、特に列車火災事故においては、乗客を車内に閉じ込めることのないようにする必要がある。

したがって、電池ブレーカーは極めて重要なブレーカーであり、本事故のような異常が発生した場合においても、電池ブレーカーが「切」となる事態は避けるよう、ブレーカーの容量等について、見直しを行うことが望まれる。

3.11.5 異常電流の遮断方法等に関する分析

3.10 に記述したように、本件運転士がパンタ下げSWを扱ったことにより、一時的にパンタが下がり、本件変電所の ΔI 装置の作動に参与した可能性が考えられる。もし、この時点においてパンタ下げSWを扱わなかったならば、本事故においては、さらに被害が拡大していた可能性があったものと考えられる。

3.2 に記述したように、地上側においては、本件変電所が4,065Aの電流値を記録した時点において ΔI 装置は作動しなかった。今後も本事故と同様に、電流値が瞬時に増大しない地絡事故が発生した場合は、 ΔI 装置により即時に異常を検知することは難しいものと考えられる。

一方、3.9 に記述したように、車上側においては、主回路ヒューズによって異常な電流を即時に遮断することは難しく、また、本事故のようにL1、L2においてOCRyを経由しない地絡電流が流れた場合は、OCRyによる地絡電流の検出や遮断は不可能であると考えられる。このことから、本件車両におけるL1、L2は、車両の中でも高い信頼性が要求される装置であることを認識すべきである。また、このような装置において本事故と類似の事象が発生した場合は、鉄道事業者間でこれらの情報を互いに提供し合い、再発防止策の検討に努めることが必要であると考えられる。

なお、本事故のように、車上側において異常な電流を遮断できない事態が発生し

た場合は、列車の速度が低下していないうちに速やかにパンタを下げ、異常な電流を早期に遮断することが被害の軽減に有効であると考えられるが、L 1、L 2において異変が発生した場合の検出の方法や、列車の乗務員への覚知の方法については、所用の検討を行うことが望まれる。

4 原因

本事故は、単位スイッチL 1プラス端子取付金具から断流器箱を経て吊りボルトに至る大きなアーク放電が発生し、このアーク放電による熱により床板のキーストンプレートに穴があき、この穴から車内に火炎が進入したことにより発生したものと考えられる。なお、この吊りボルトに近接して敷設されていた制御配管にアークが転移して穴があき、本件編成の元空気ダメ等に蓄積されていた圧縮空気が吹き出したことにより、この付近で発生した火炎の勢いはさらに増大したものと考えられる。

アーク放電が発生したことについては、単位スイッチL 1の絶縁支柱及び断流器箱の吊りボルトに取り付けられていた碍子の絶縁抵抗が低下したこと、又は、単位スイッチL 1の吹消しコイル5巻目に置き割れが生じたことが関与した可能性が考えられるが、いずれが関与したかについては、明らかにすることはできなかった。

5 参考事項

同社は本事故に鑑み、以下のような対策を実施することとした。

(1) 絶縁支柱の取替

単位スイッチL 1、L 2、HSCBに用いられている絶縁支柱について、新製後25年を経過したものを目安に新品に取り替える。

(2) 吊りボルト等の改良

断流器箱や高圧機器箱の吊りボルト及び碍子を、絶縁モールド形のボルトに取り替える。

(3) 断流器箱内部に絶縁シートの貼付

本件車両と同様な断流器箱を搭載する車両について、断流器箱の内側に、シリコンワニスガラスクロスを貼り付ける。

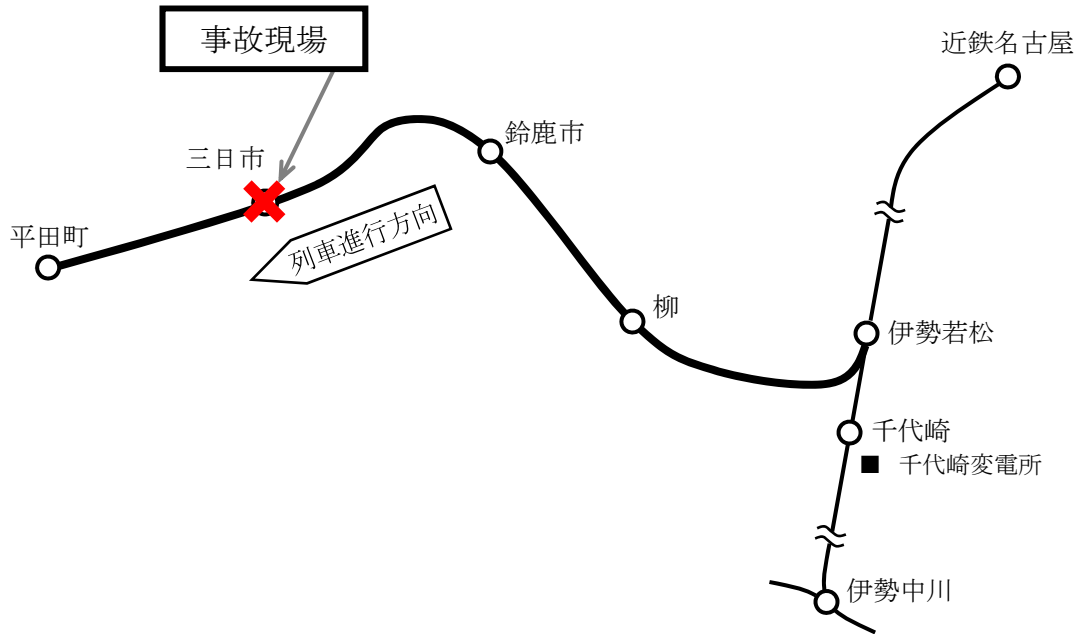
(4) 電池ブレーカーの容量の変更

電池ブレーカーと制御ブレーカーの容量（定格電流値）が同一となっている車両について、電池ブレーカーの容量を制御ブレーカーの容量よりも大きなブレーカーに変更する。

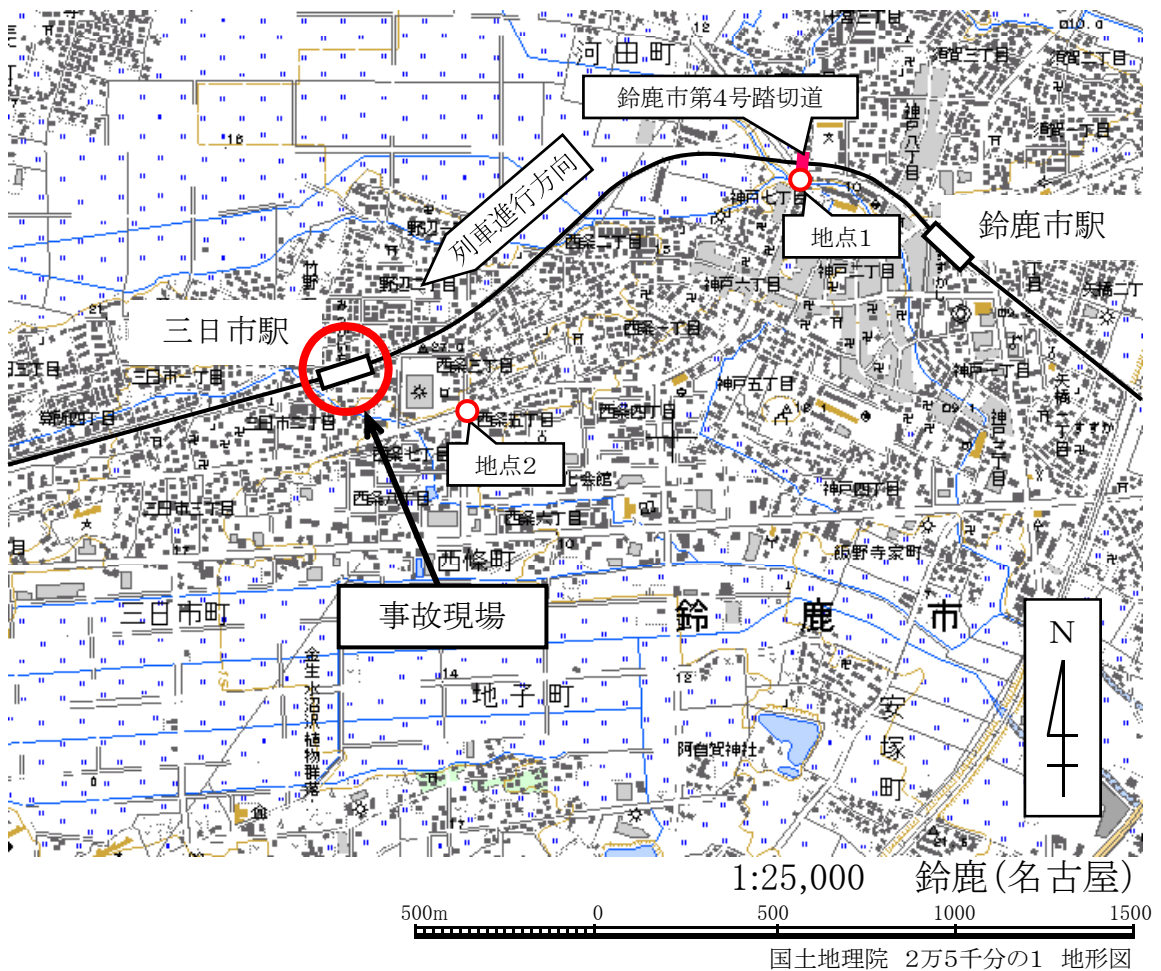
なお、同社は、平成19年度から同22年度にかけて、防護無線機に予備の蓄電池を搭載する改良工事を実施していたが、1,196台の計画に対し平成21年9月18日現在、878台の搭載を完了した。

付図1 鈴鹿線路線図

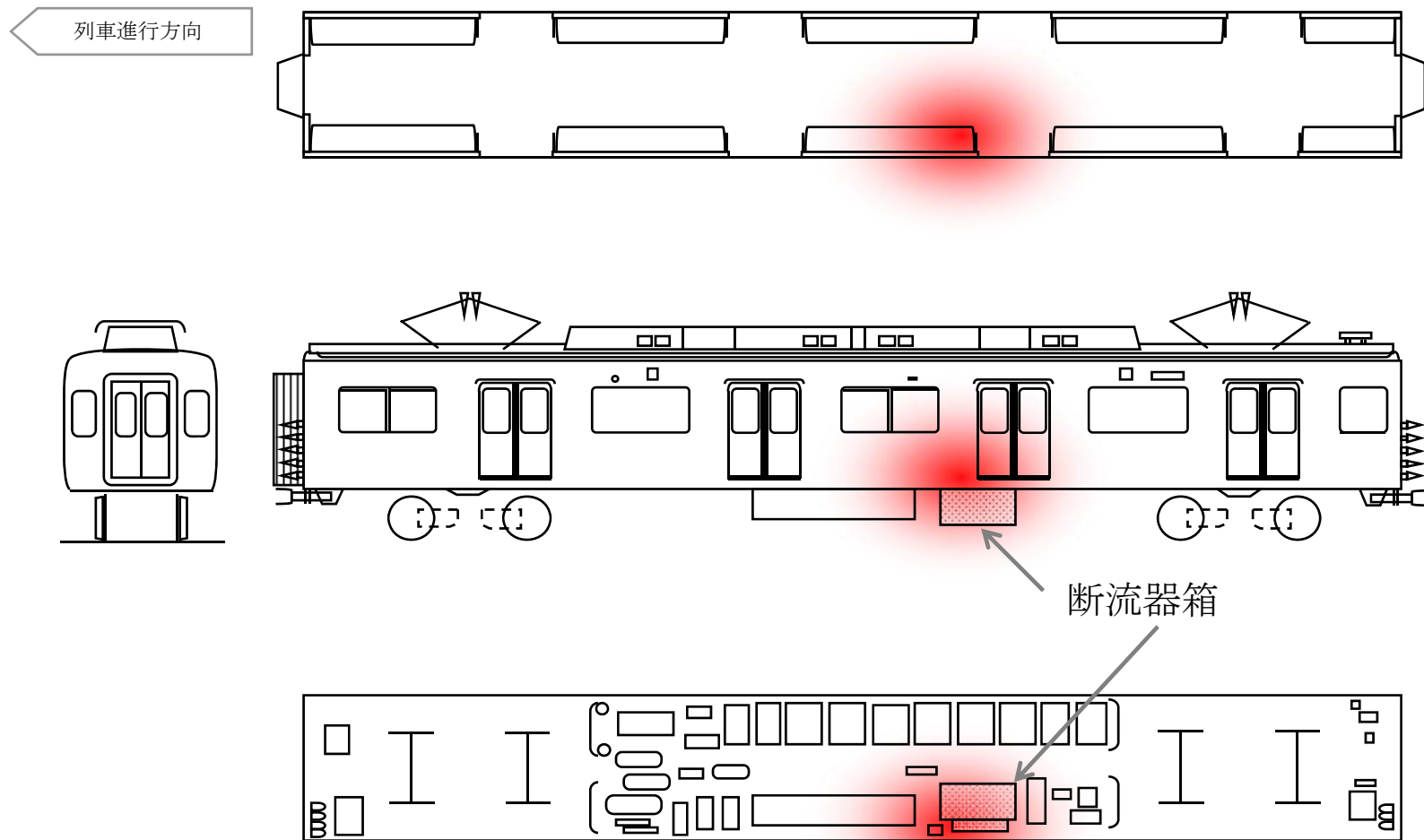
鈴鹿線 伊勢若松駅～平田町駅間 8.2 km (単線)



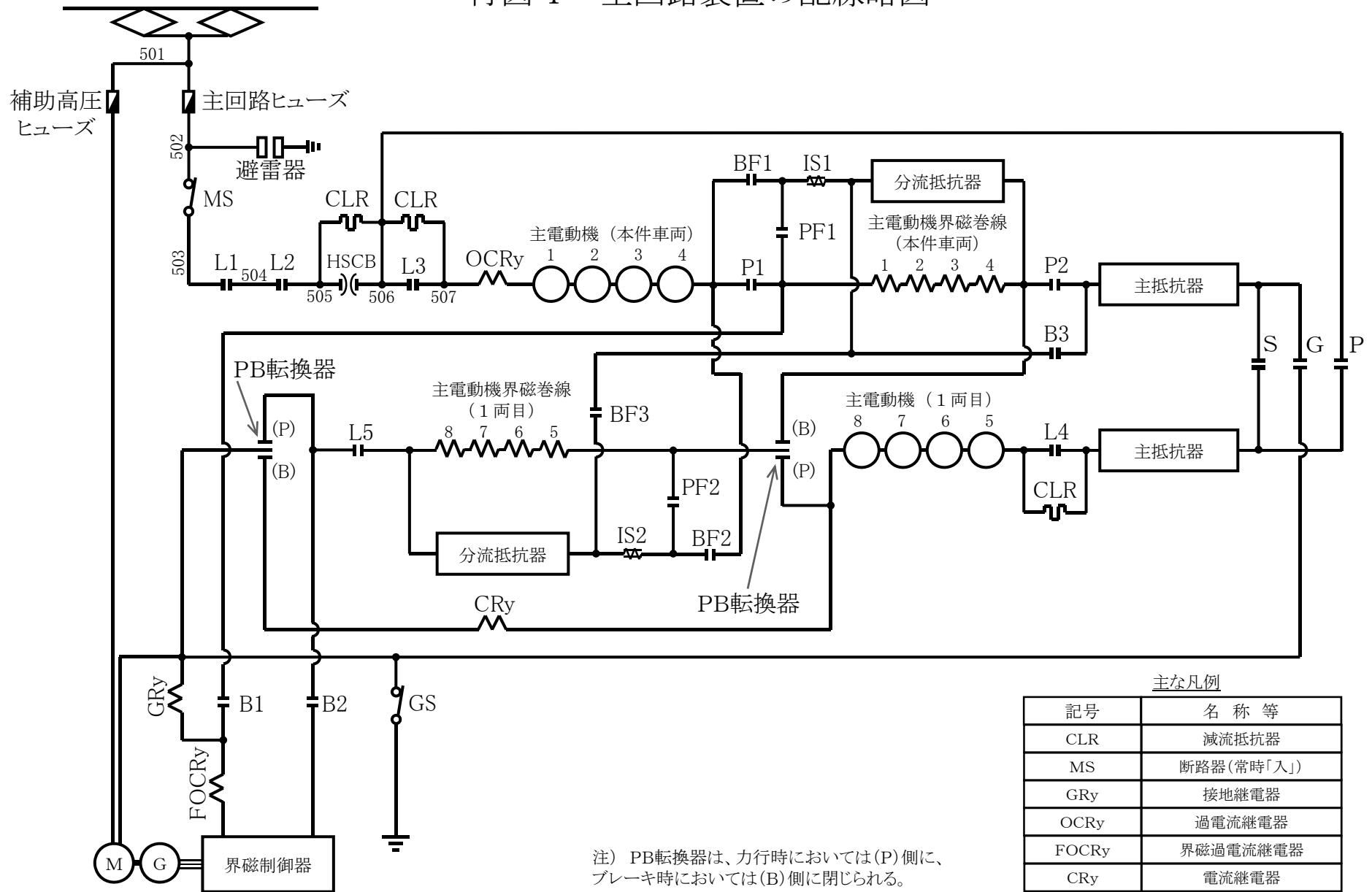
付図2 事故現場付近の地形図



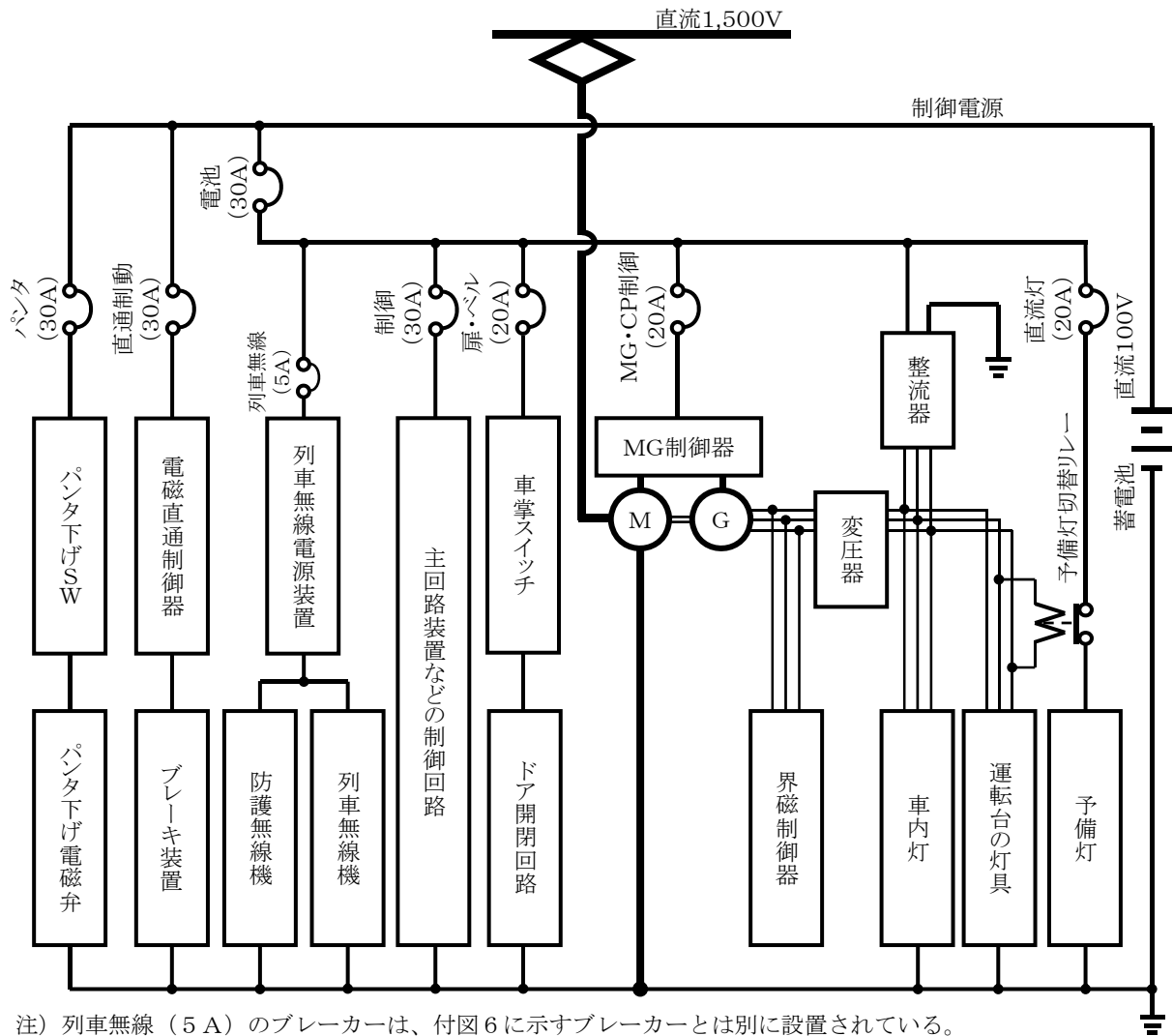
付図3 車両形式図 (モ1062)



付図4 主回路装置の配線略図



付図5 主回路以外の電気回路の配線略図

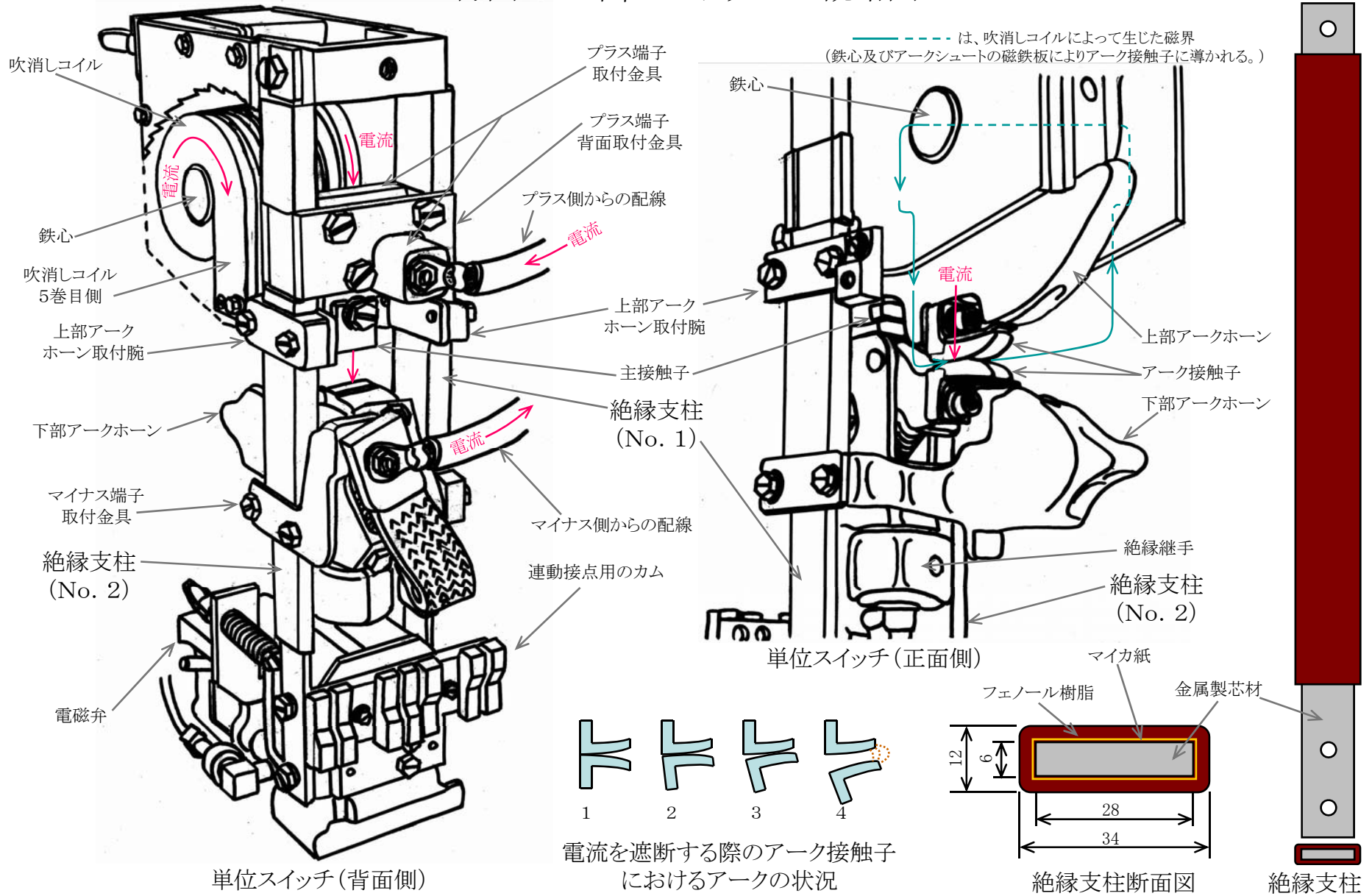


注) 列車無線 (5 A) のブレーカーは、付図6に示すブレーカーとは別に設置されている。

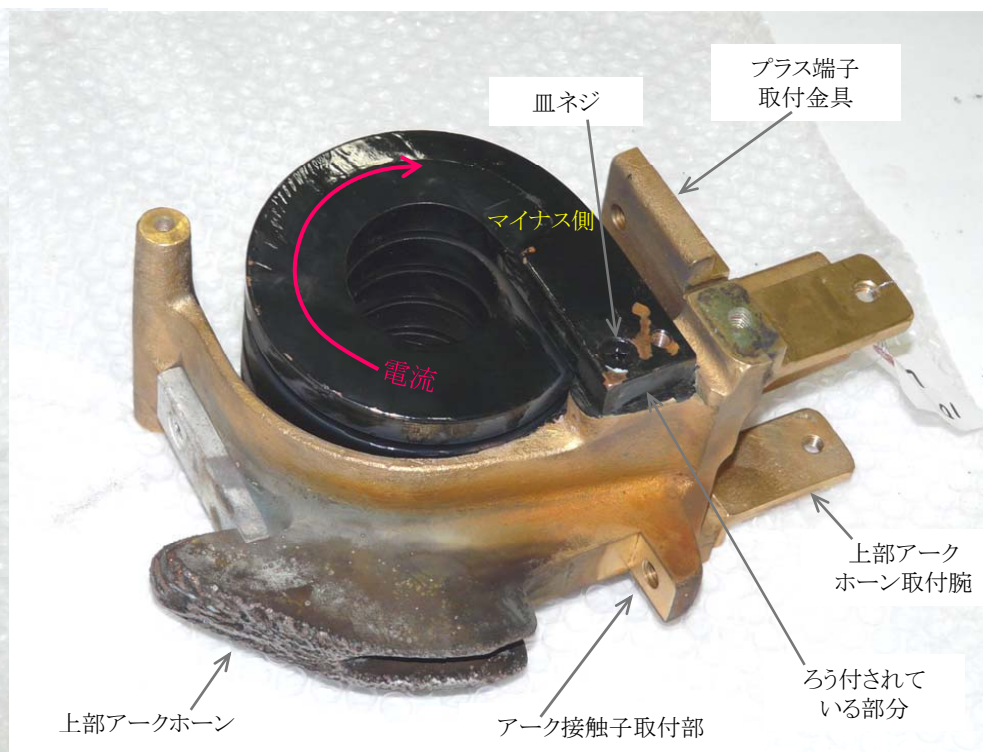
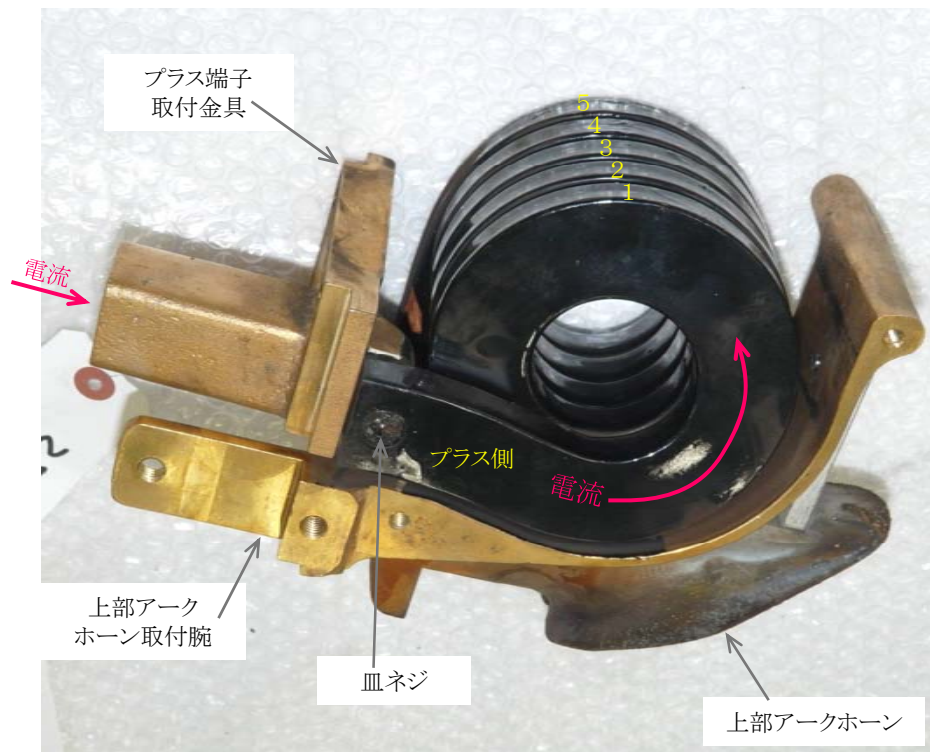
付図6 低圧回路のブレーカーの作動状況



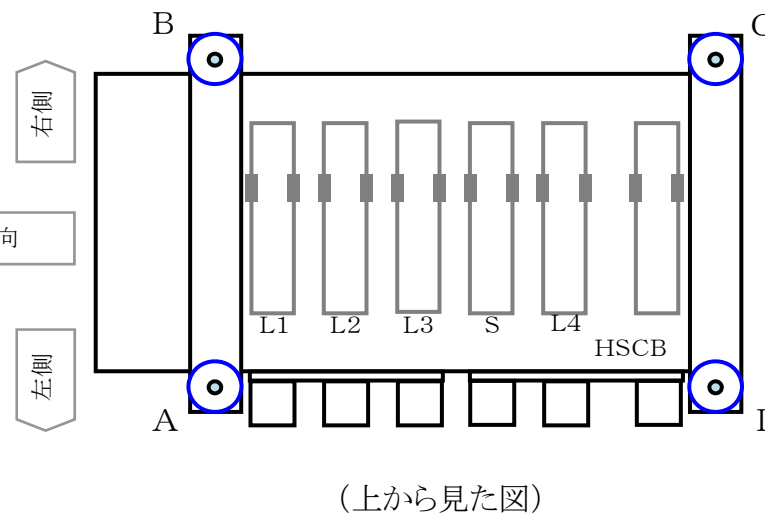
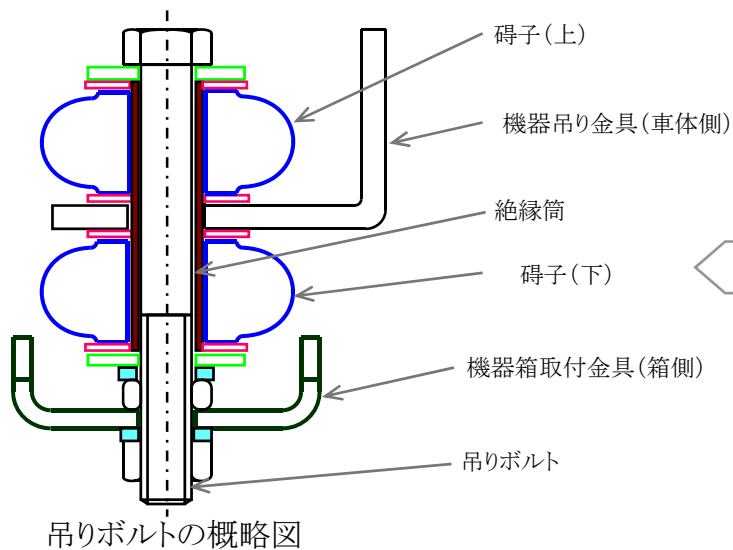
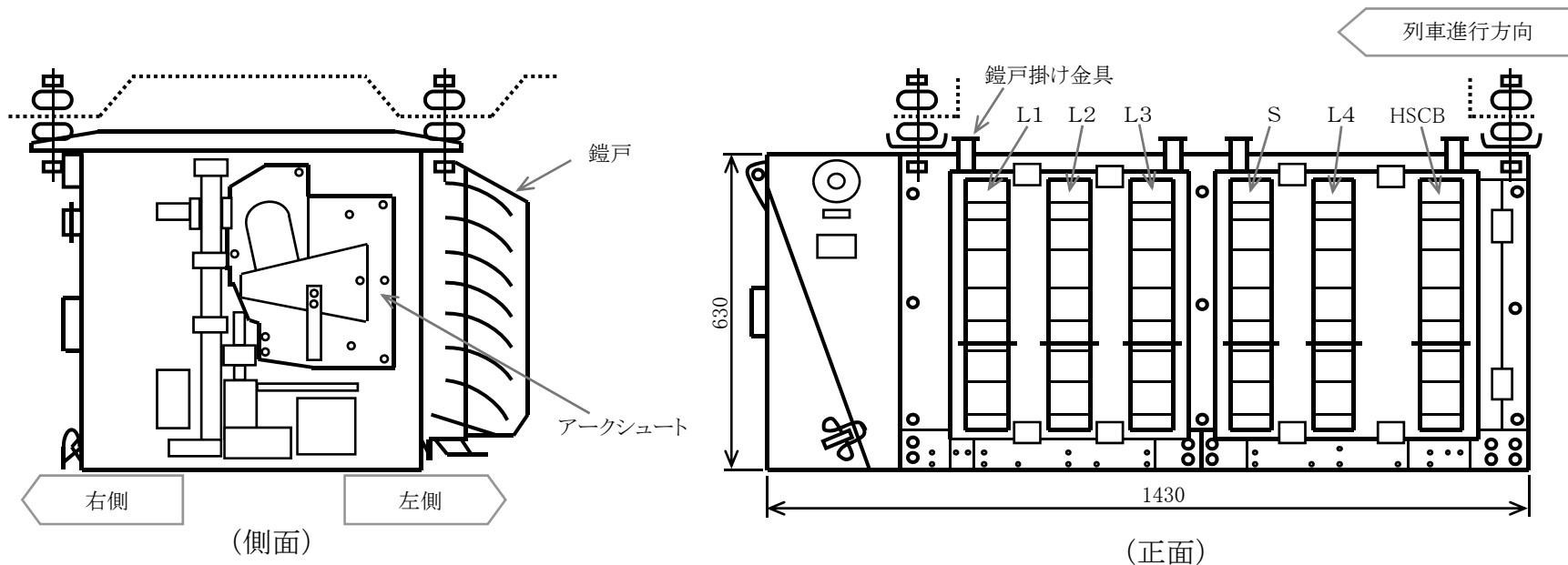
付図7 単位スイッチの概略図



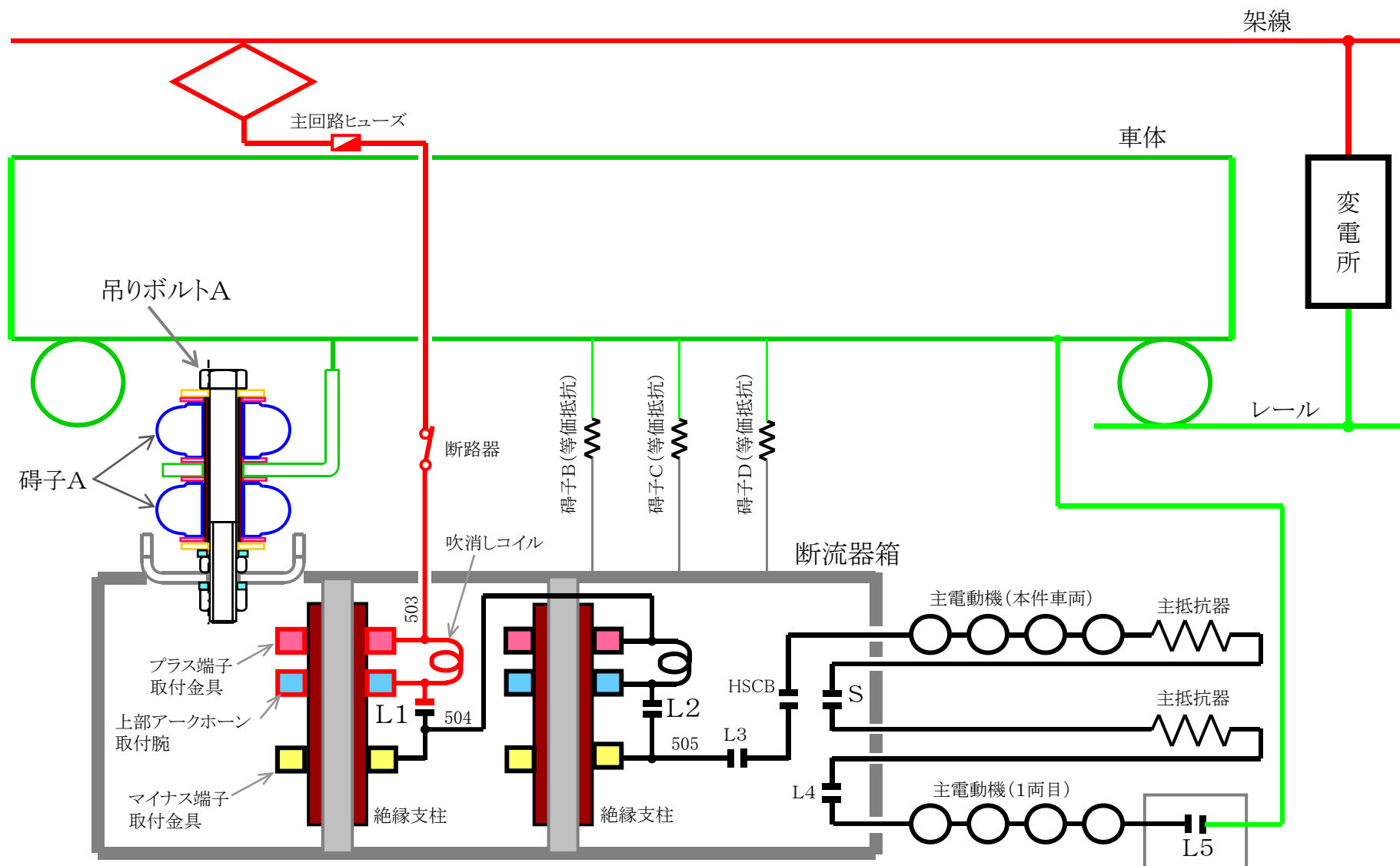
付図8 吹消しコイルの概略図



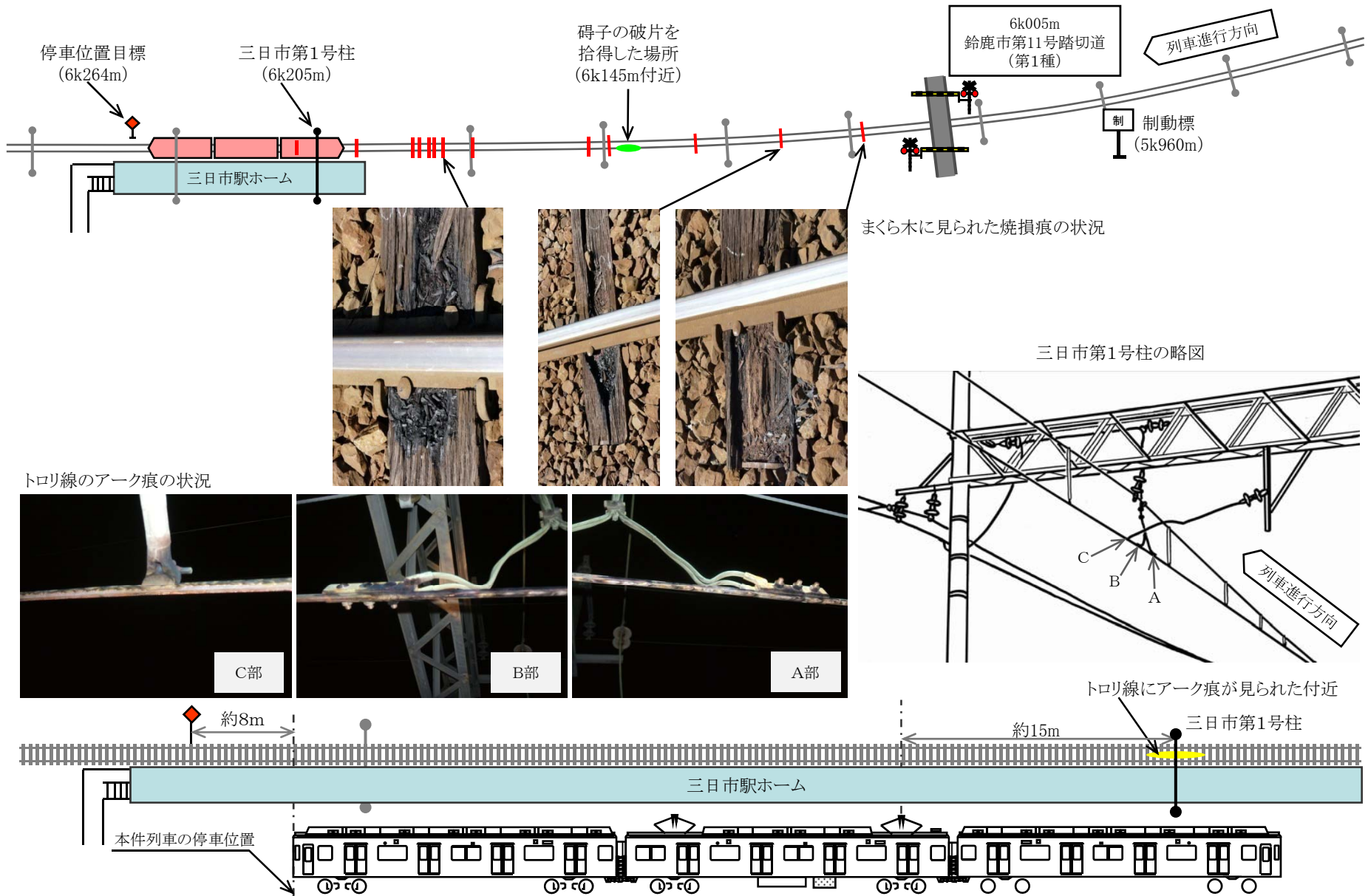
付図9 断流器箱及び吊りボルトの概略図



付図10 高圧回路と断流器箱の概略図



付図 1 1 鉄道施設の損傷状況



付図 1 2 車内等の損傷状況



本件車両の損傷状況



車内の損傷状況



腰掛け付近の損傷状況

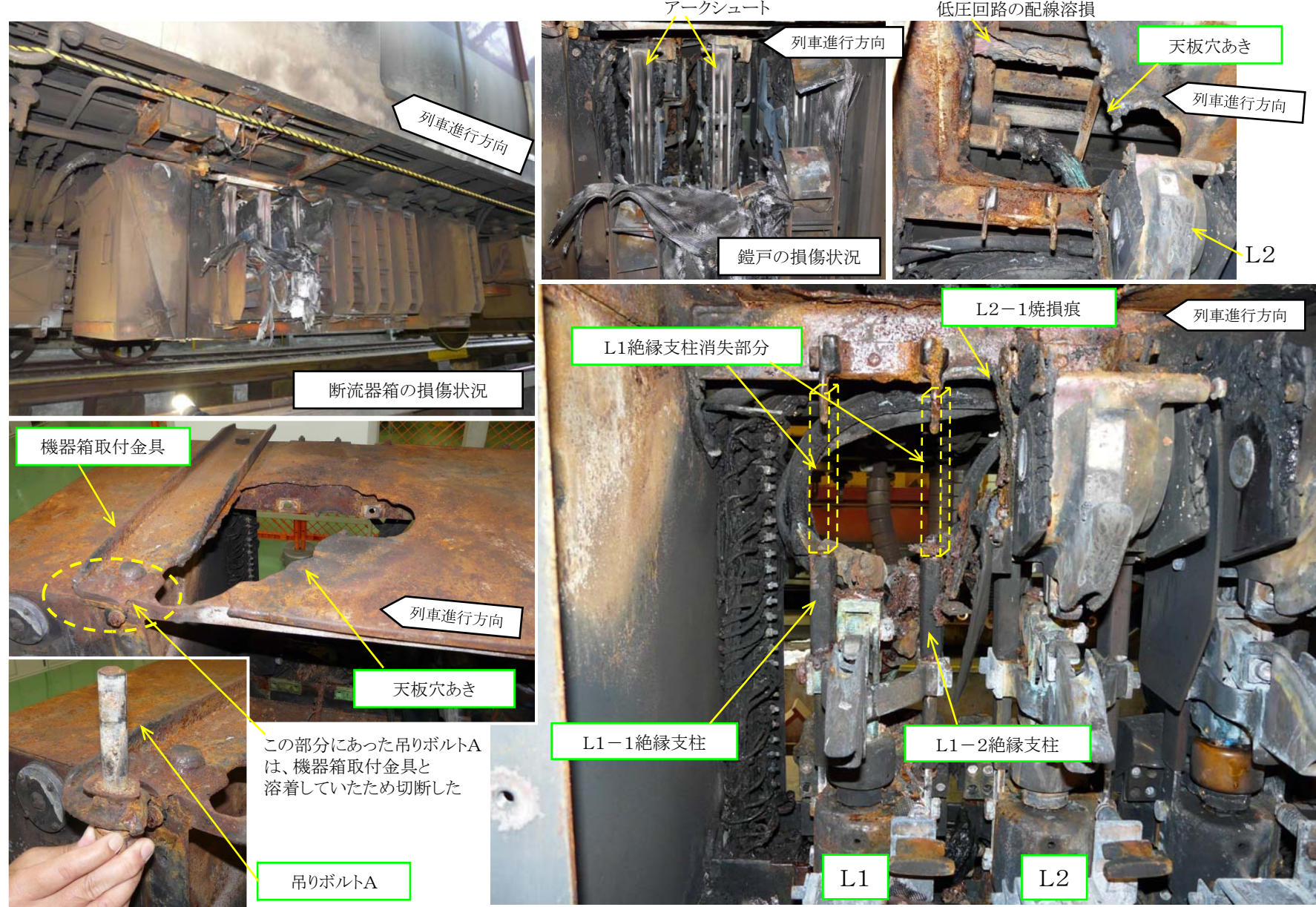


床面の損傷状況

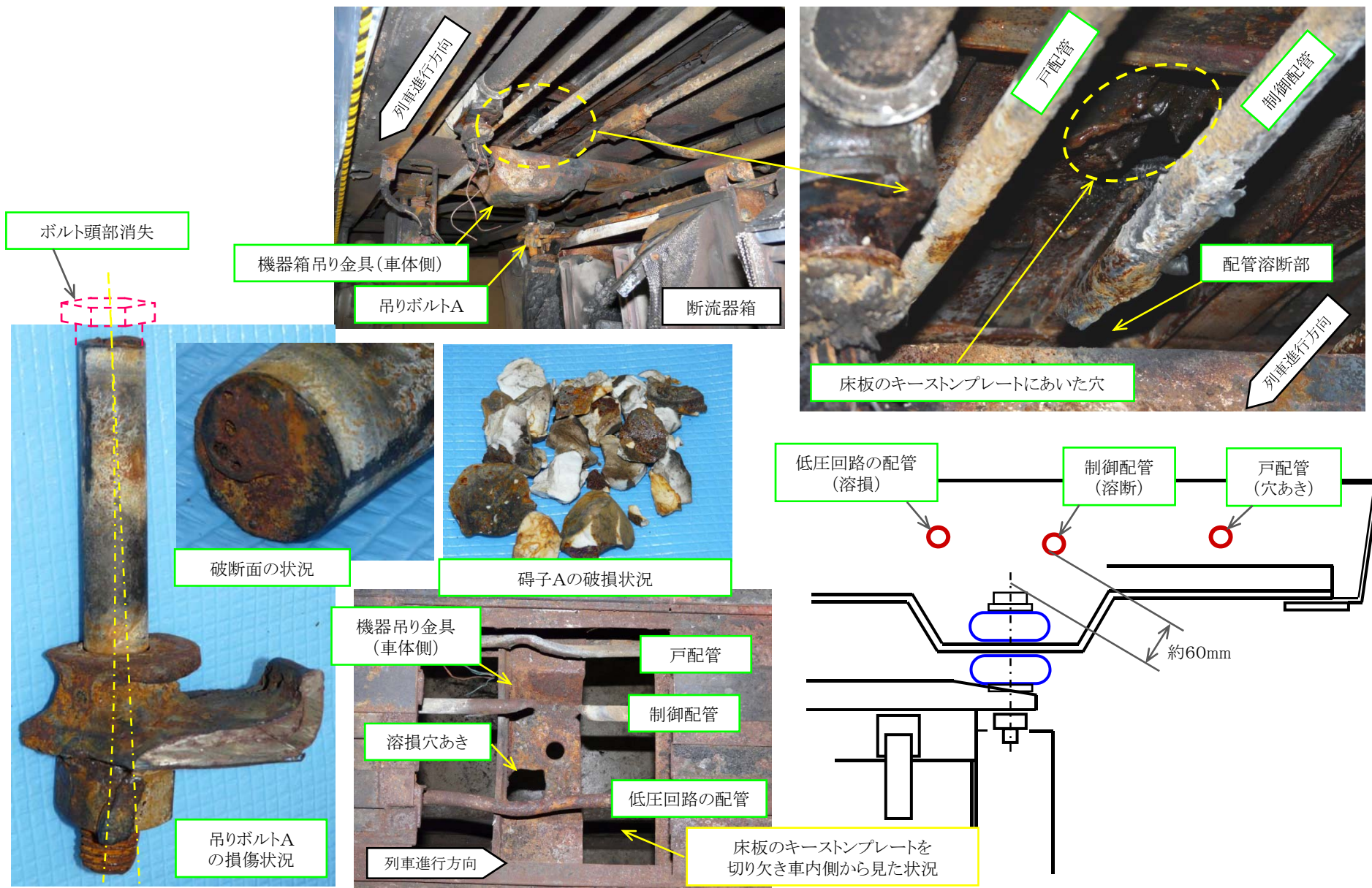


天井付近の損傷状況

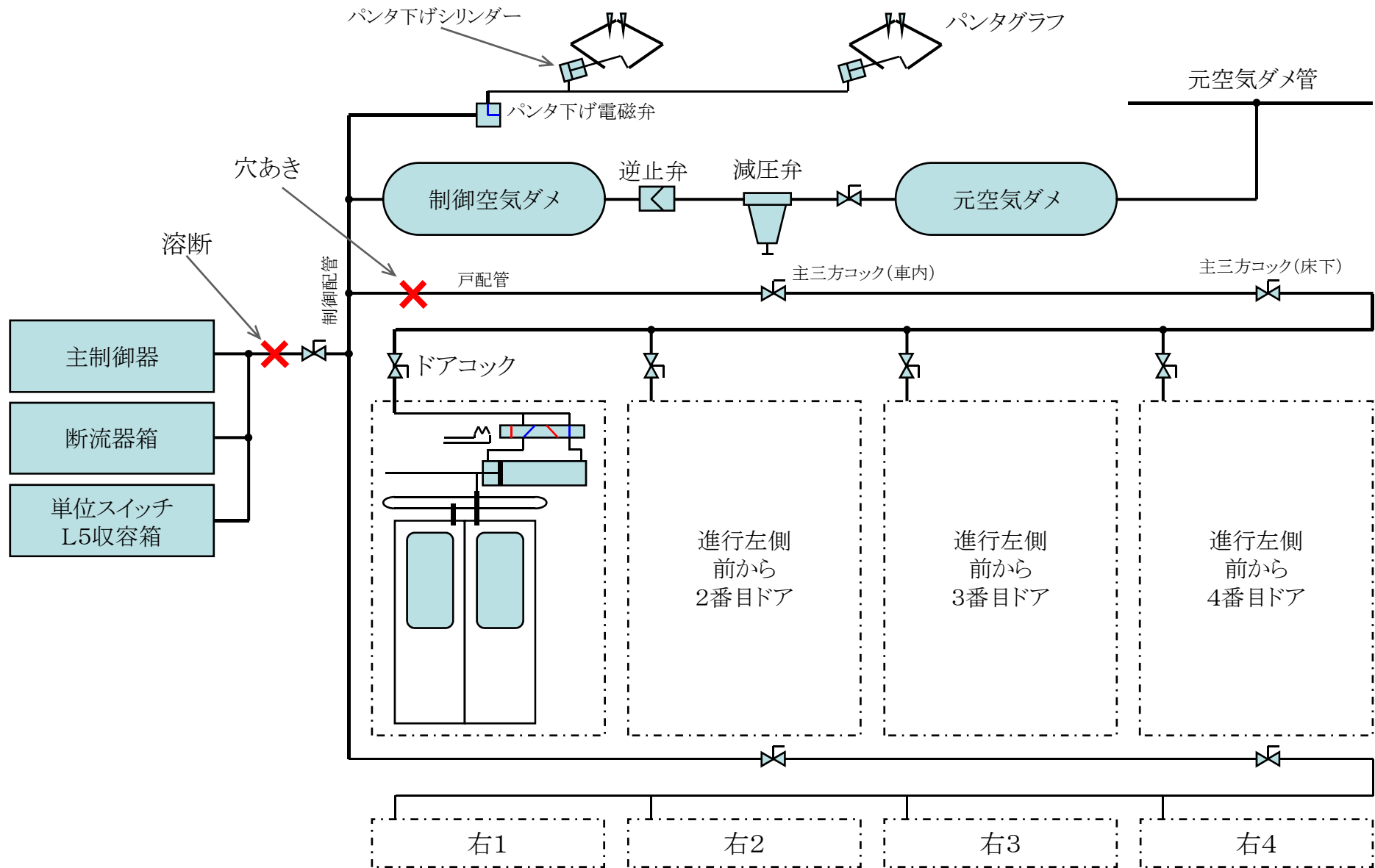
付図 1 3 断流器箱の損傷状況



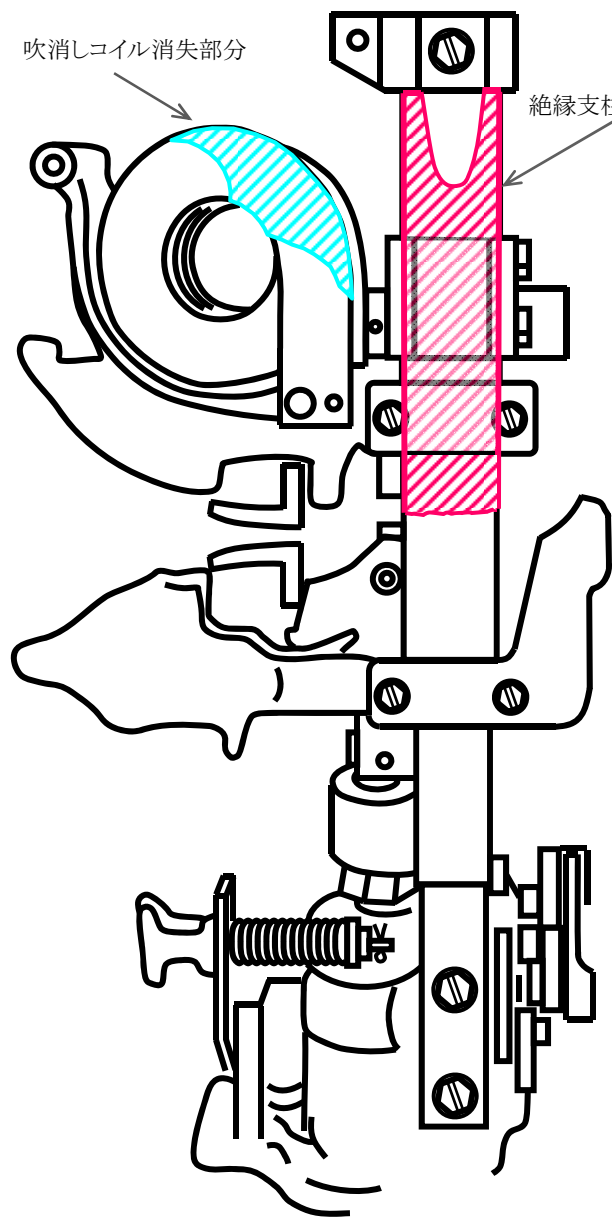
付図14 車体底部と吊りボルトA及び碍子の損傷状況



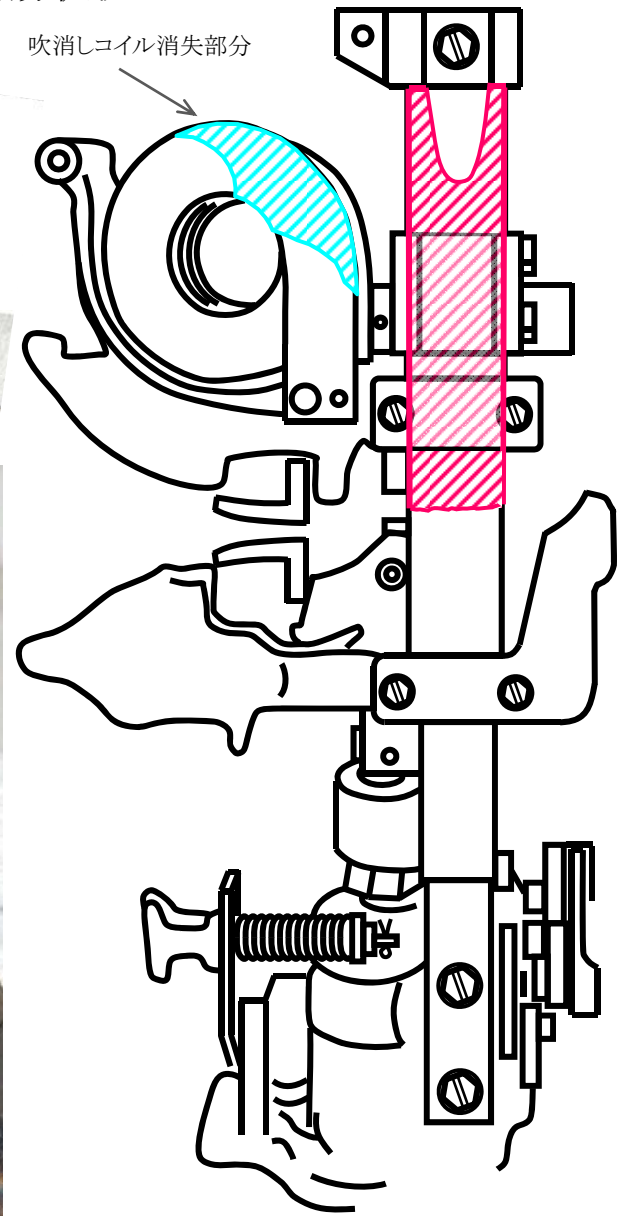
付図15 空気配管の系統図



付図16 L1絶縁支柱とプラス端子取付金具等の損傷状況



付図17 L1吹消しコイルの損傷状況

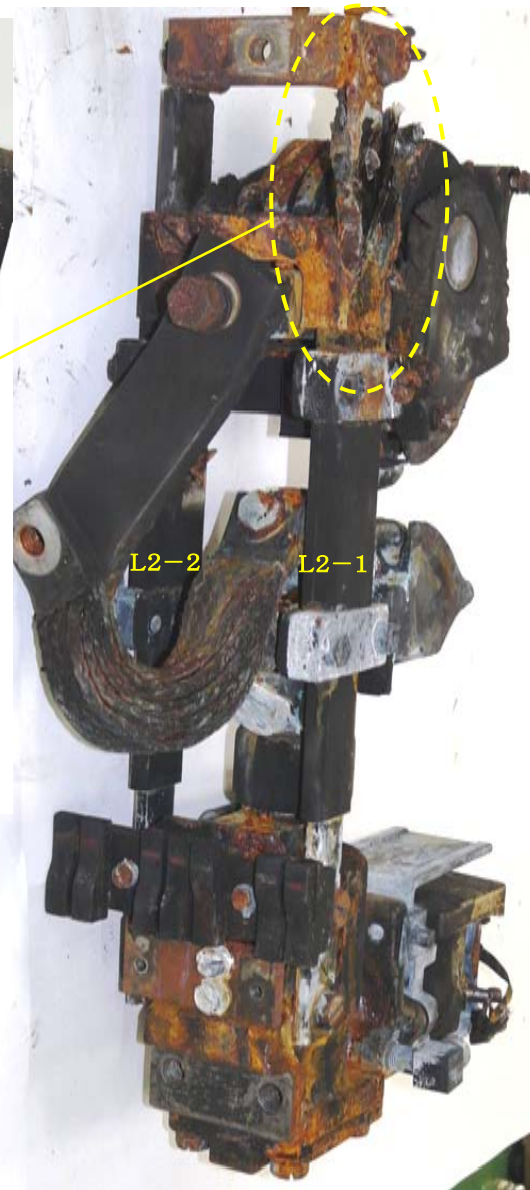


付図18 L2の損傷状況

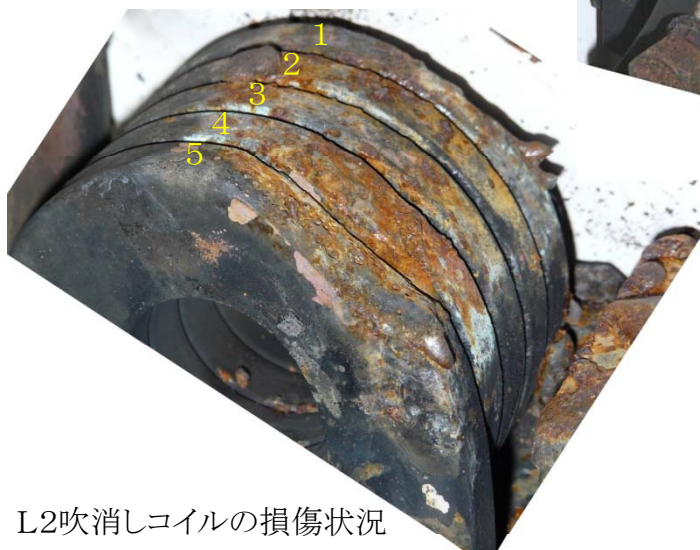
プラス端子取付金具 上部アークホーン取付腕



背面取付金具

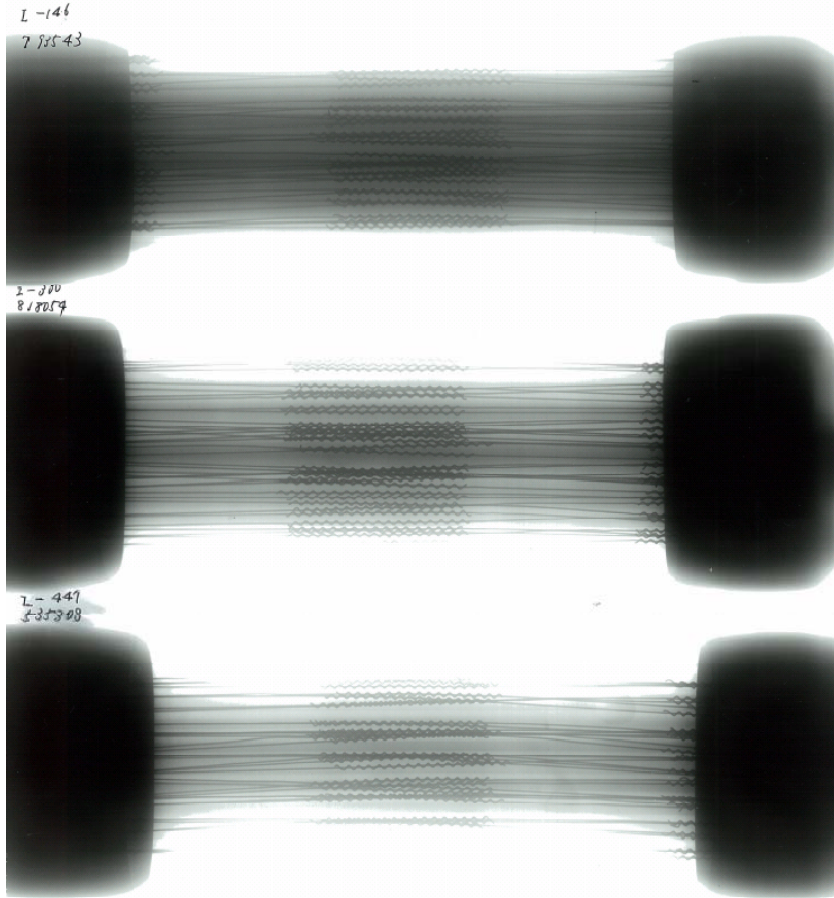


単位スイッチL2(背面側)

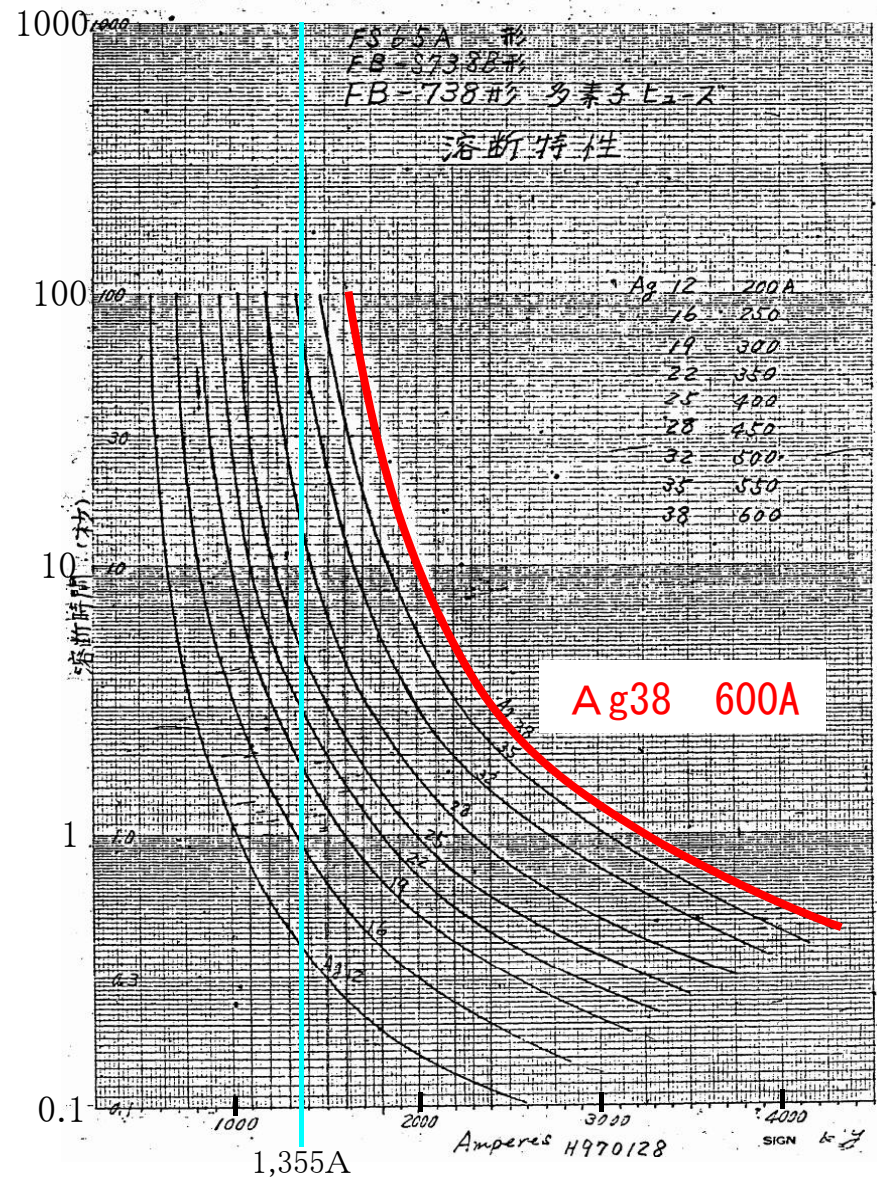


L2吹消しコイルの損傷状況

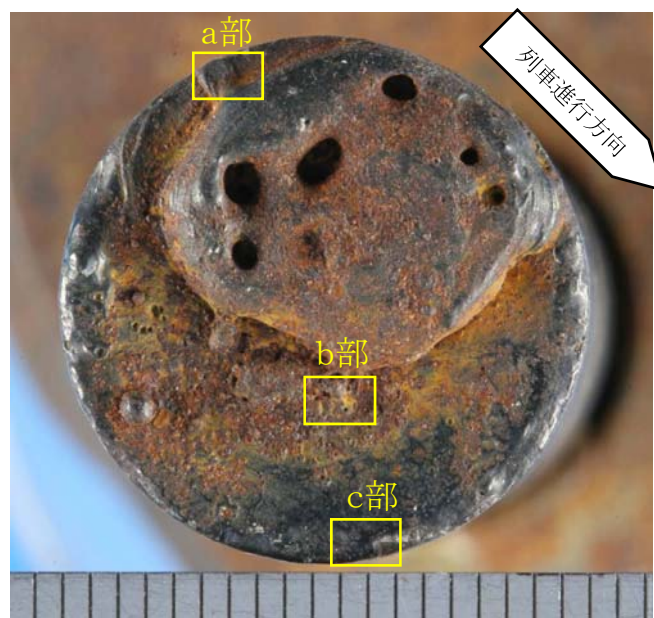
付図 19 主回路ヒューズの内部観察と溶断特性



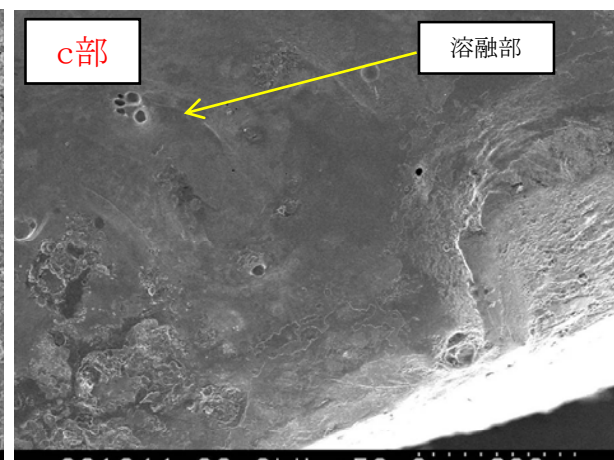
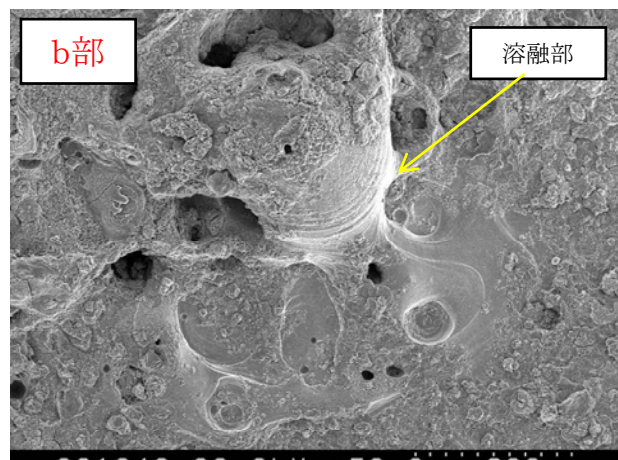
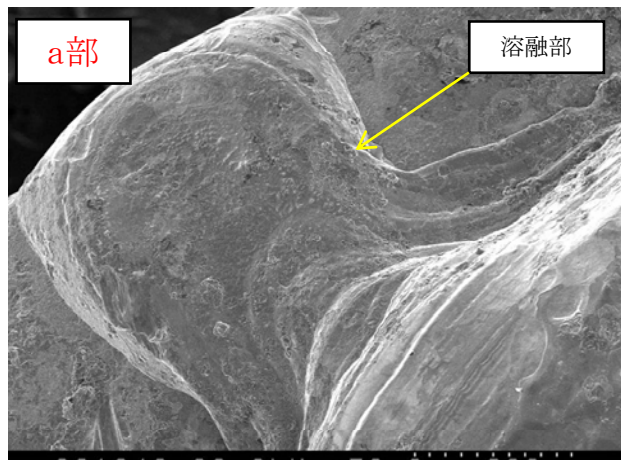
X線による内部観察



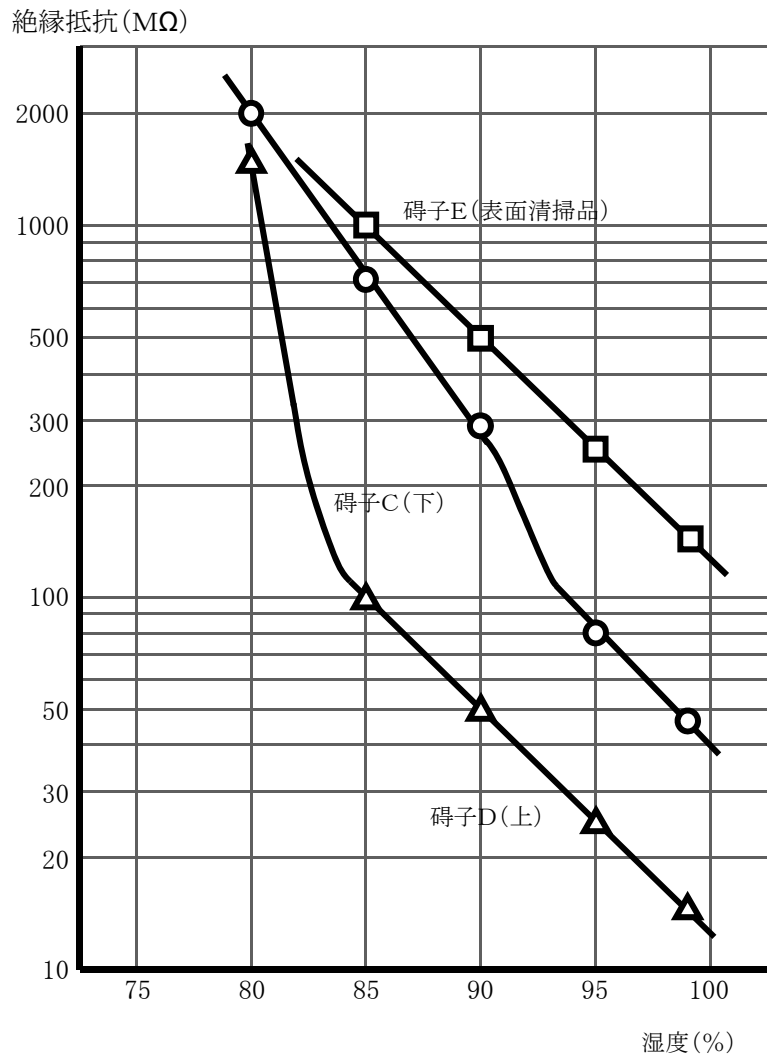
付図20 吊りボルトAの破断面観察



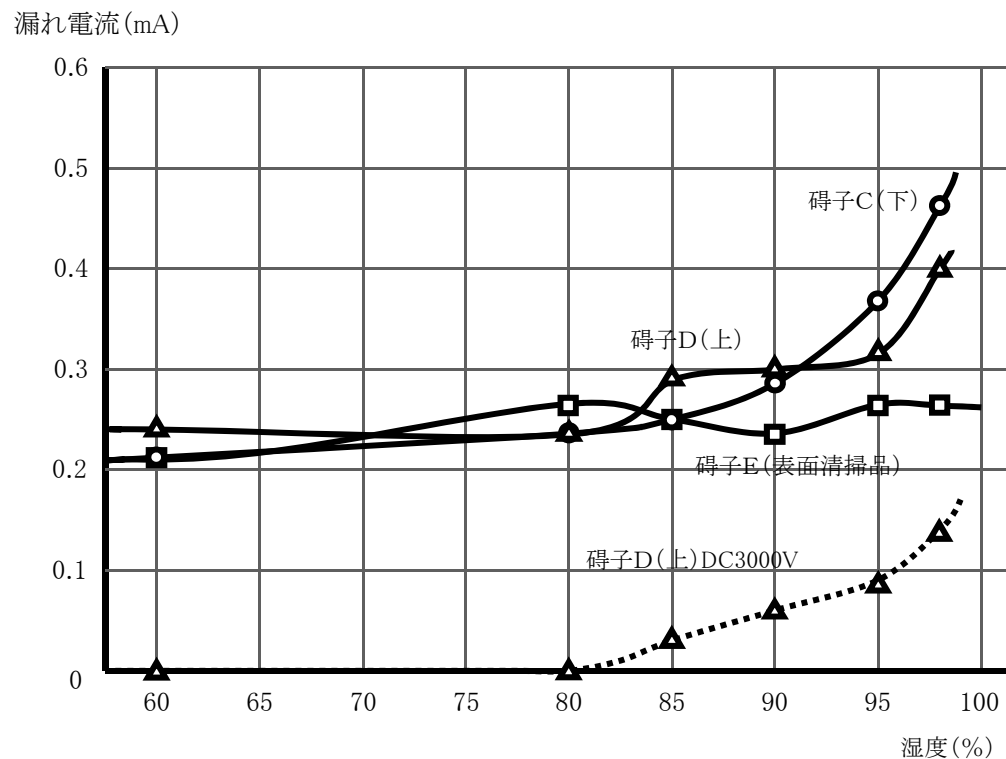
吊りボルトAの破断面



付図 2 1 高湿度下における碍子の絶縁性能試験

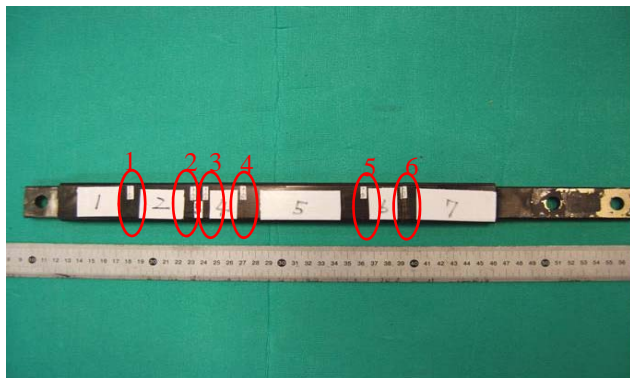


絶縁抵抗試験 1000Vメガー (試験温度30℃)

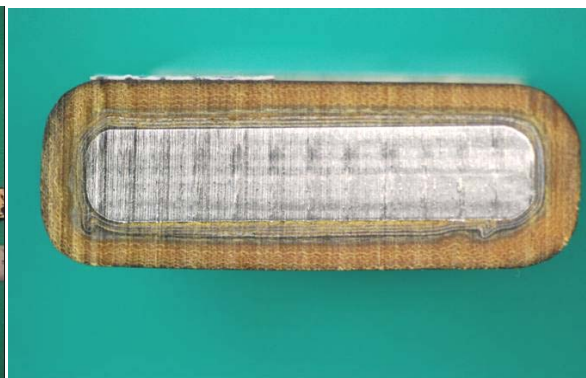


絶縁耐圧試験 AC6000V 1分間 (試験温度30℃)

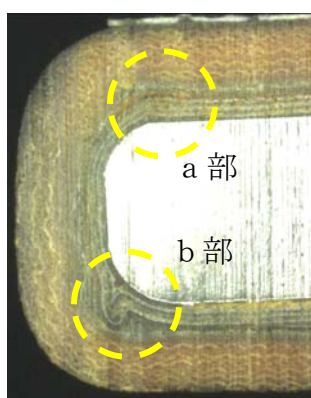
付図 2 2 絶縁支柱 (L 3 - 1) の断面観察



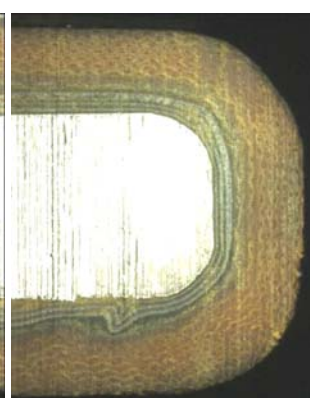
L 3 - 1 絶縁支柱



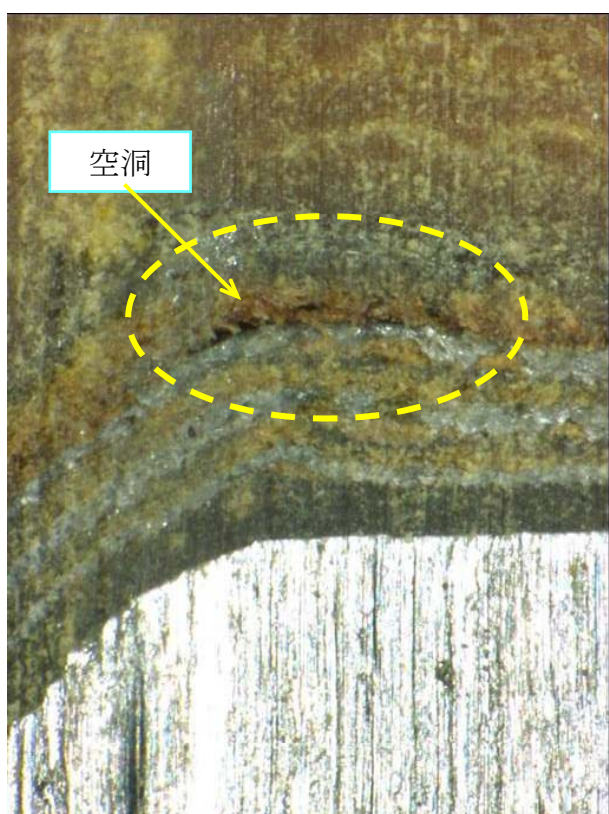
断面 1



断面 1 左側拡大



断面 1 右側拡大



断面 1 a 部拡大



断面 1 b 部拡大

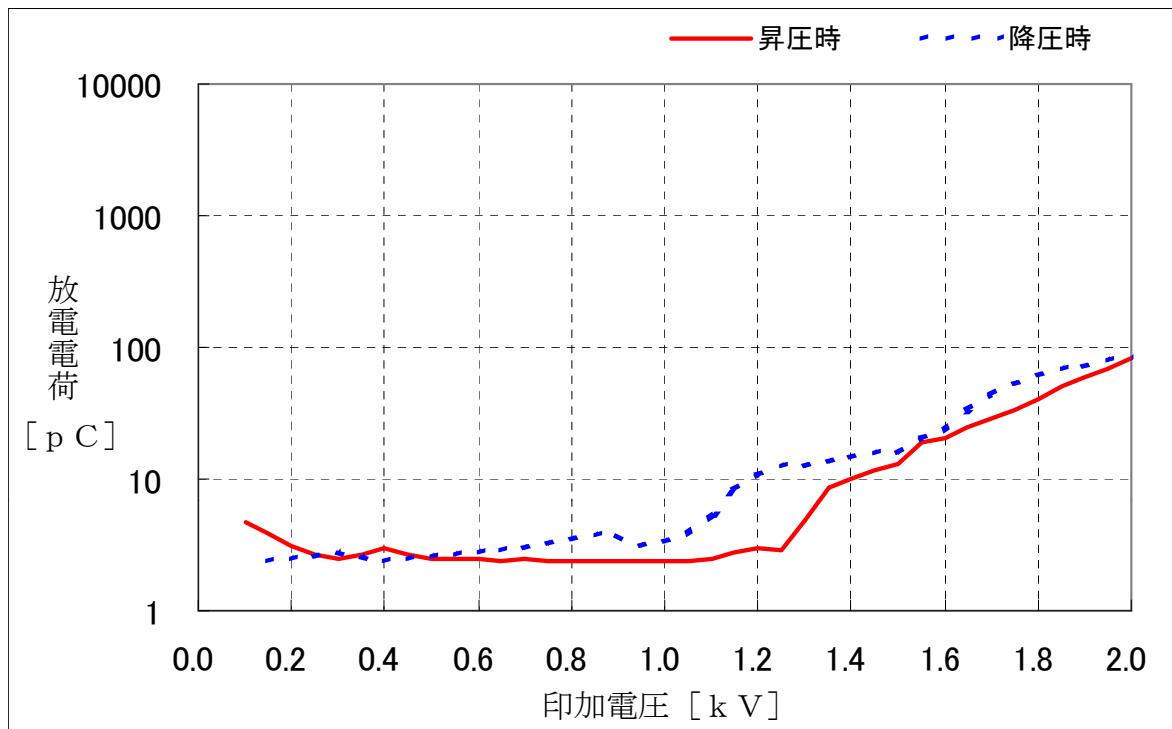
付図 2 3 絶縁支柱(L 3 - 1) の部分放電試験

供試品 絶縁支柱
L 3 - 1

試験環境
温度 23℃
湿度 50%

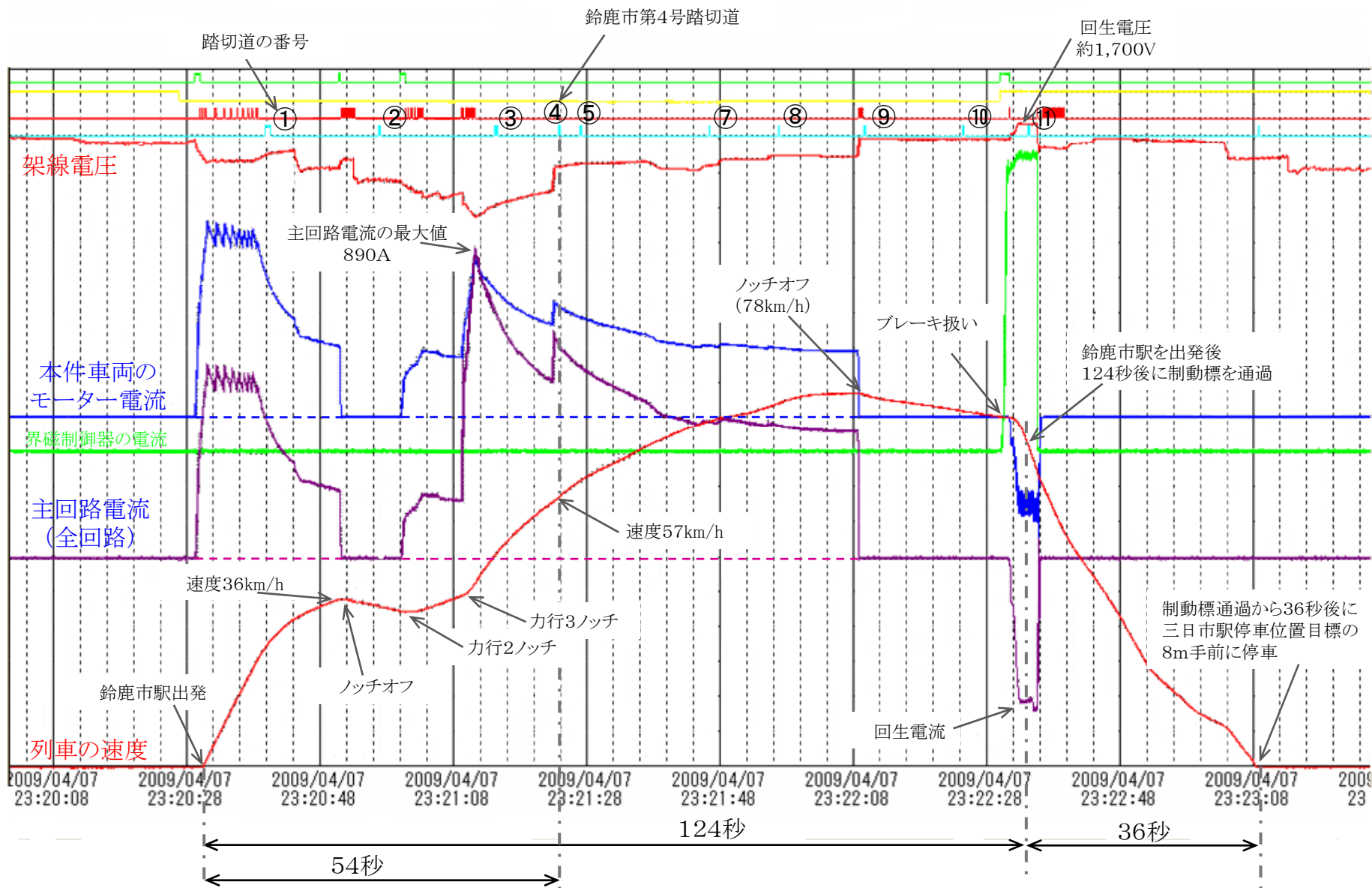


部分放電試験時の絶縁支柱の状態

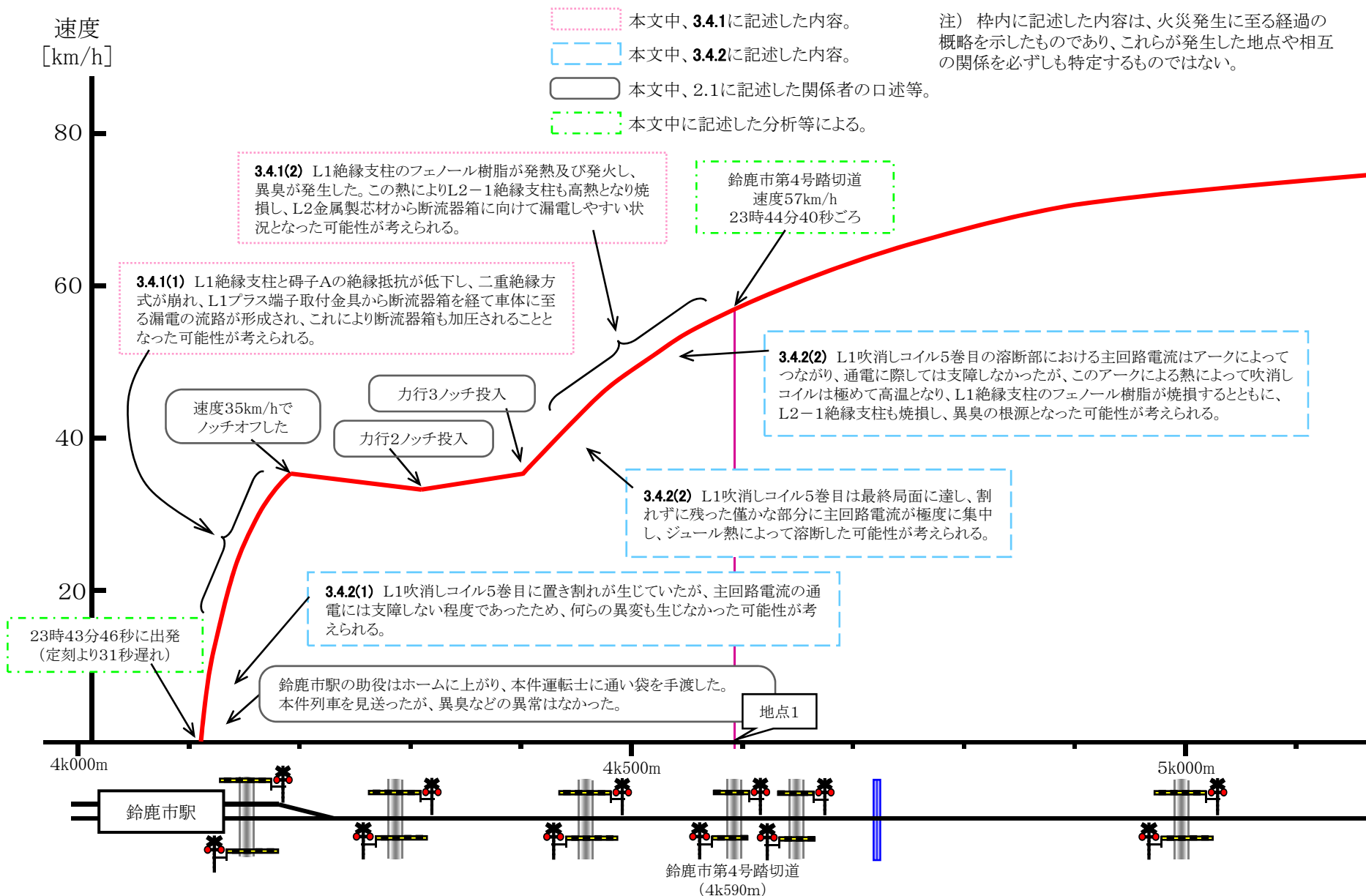


C S V (放電開始電圧) : 1, 2 5 0 V
C E V (放電消滅電圧) : 1, 0 5 0 V

付図24 鈴鹿市駅から三日市駅までの試運転列車のデータ



付図 2 5 試運転列車より推定した本件列車のランカーブと想定される事象 (1 / 2)



付図 2 5 試運転列車より推定した本件列車のランカーブと想定される事象 (2 / 2)

