

RA2018-1

# 鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 東武鉄道株式会社 東上本線 中板橋駅構内  
列車脱線事故

II 紀州鉄道株式会社 紀州鉄道線 御坊駅～学門駅間  
列車脱線事故

III 西日本旅客鉄道株式会社 岩徳線 玖珂駅～周防高森駅間  
踏切障害事故

IV 九州旅客鉄道株式会社 指宿枕崎線 坂之上駅～五位野駅間  
踏切障害事故

V 西日本旅客鉄道株式会社 山陽線 糸崎駅構内  
鉄道人身障害事故

VI 熊本電気鉄道株式会社 藤崎線 藤崎宮前～黒髪町駅間  
列車脱線事故

平成30年1月25日

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 中橋 和博

## 《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 東武鉄道株式会社 東上本線  
中板橋駅構内  
列車脱線事故

# 鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：東武鉄道株式会社

事故種類：列車脱線事故

発生日時：平成28年5月18日 12時11分ごろ

発生場所：東京都板橋区

東上本線 中板橋駅構内

平成29年12月18日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長 中橋和博

委員 奥村文直（部会長）

委員 石田弘明

委員 石川敏行

委員 岡村美好

委員 土井美和子

## 要旨

### <概要>

東武鉄道株式会社の東上本線成増駅<sup>なります</sup>発池袋駅行き10両編成の上り750列車の運転士は、平成28年5月18日、中板橋駅を定刻に発車し、力行後、同駅構内の第12号分岐器の制限速度が35km/hであるため、速度約30km/hでノッチオフし、最後部車両が同分岐器を抜けるまで惰行で運転した。

列車の運転士は、同分岐器を通過後、再力行し、加速後に、客室内に設置されている非常ボタンが扱われたことを認めたため、非常ブレーキを使用して、列車を停止させた。

その後、列車の車掌が車外の状態を確認したところ、5両目の後台車の全2軸が右に脱線していた。

列車には、乗客約400名、運転士1名及び車掌1名が乗車していたが、負傷者はいなかった。

#### <原因>

本事故は、列車の前から5両目の後台車右側側ばりに下面から側面上部に達する亀裂が生じていたため、前軸右車輪の輪重が減少して、輪重のアンバランスが拡大していたこと及び半径178mの左曲線への進入によって同車輪の横圧が増加したことにより、同車輪が右レールに乗り上がって右へ脱線したものと考えられる。

後台車前軸右車輪の輪重が減少したことについては、亀裂により側ばりの強度が低下し、当該箇所の上下荷重を分担できなくなったためと考えられる。

また、側ばりの亀裂発生の要因については、側ばり内部の補強板溶接部に溶接欠陥があった可能性が考えられるが、亀裂破面の損傷等により破面観察による詳細な評価ができなかったことから、特定することはできなかった。

# 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	2
2.1	運行の経過	2
2.1.1	乗務員の口述	2
2.1.2	運転状況の記録	4
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	4
2.3	鉄道施設等に関する情報	5
2.3.1	事故現場等に関する情報	5
2.3.2	鉄道施設に関する情報	5
2.4	車両に関する情報	9
2.4.1	車両の概要	9
2.4.2	車両の整備に関する情報	10
2.4.3	本件車両に関する情報	11
2.5	鉄道施設及び車両の損傷状況等に関する情報	22
2.5.1	鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況	22
2.5.2	車両の損傷及び痕跡等の状況	23
2.6	乗務員等に関する情報	24
2.7	気象に関する情報	24
3	分析	24
3.1	脱線地点等に関する分析	24
3.1.1	本件列車の脱線した地点について	24
3.1.2	本件台車前軸右車輪の乗り上がり地点について	25
3.2	車両に関する分析	26
3.2.1	本件車両の車体及び台車	26
3.2.2	本件亀裂と本件台車の静止輪重比について	26
3.2.3	本件亀裂の発生に関する分析	27
3.2.4	本件亀裂と定期検査の関係について	28
3.2.5	台車枠製造時の品質管理に関する分析	29

3.3	軌道に関する分析	29
3.4	本件列車の運転速度に関する分析	29
3.5	脱線の経過について	30
4	原因	31
5	再発防止策	31
5.1	必要と考えられる再発防止策	31
5.2	事故後に同社が講じた措置	32
5.3	事故後に国土交通省が講じた措置	32

## 添付資料

付図1	東上本線路線略図	33
付図2	事故現場付近の地形図	33
付図3	事故現場付近の略図	34
付図4	脱線箇所付近の略図	35
付図5	主なレールの痕跡等	36
付図6	本件亀裂発生箇所等	37
付図7	本件亀裂の状況等	38
付図8	破面の状況等	39
付図9	本件台車の車輪の状況	40



# 1 鉄道事故調査の経過

## 1.1 鉄道事故の概要

東武鉄道株式会社の東上本線<sup>なります</sup>成増駅発池袋駅行き10両編成の上り750列車の運転士は、平成28年5月18日(水)、中板橋駅を定刻に発車し、力行後、同駅構内の第12号分岐器の制限速度が35km/hであるため、速度約30km/hで<sup>りきこう</sup>ノッチオフし、最後部車両が同分岐器を抜けるまで惰行で運転した。

列車の運転士は、同分岐器を通過後、再力行し、加速後に、客室内に設置されている非常ボタンが扱われたことを認めたため、非常ブレーキを使用して、列車を停止させた。

その後、列車の車掌が車外の状態を確認したところ、5両目(以下、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。)の後台車の全2軸が右に脱線していた。

列車には、乗客約400名、運転士1名及び車掌1名が乗車していたが、負傷者はいなかった。

## 1.2 鉄道事故調査の概要

### 1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成28年5月18日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか2名の鉄道事故調査官を指名した。

関東運輸局は、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28年 5 月 18 日	現場調査、車両調査及び口述聴取
平成28年 5 月 23 日及び25日	車両調査
平成28年 5 月 29 日	台車調査

### 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

#### 2.1.1 乗務員の口述

事故に至るまでの経過は、東武鉄道株式会社（以下「同社」という。）の成増駅発池袋駅行きの上り750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。）及び車掌（以下「本件車掌」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

成増駅下り線（森林公園駅方）ホームで、同駅が終点で折り返し本件列車となる下り列車の到着後、下り列車の運転士から異状なしで引継ぎを行い、交替した。

その後、車両を引上線で折り返し、成増駅の上り線に移動させて、本件列車となり、定刻に成増駅を発車した。

ときわ台駅までは定時運行で、中板橋駅では、4番線で後続の準急の通過待ち合わせをして、準急通過後、定刻である12時11分20秒に出発した。出発時のノッチは2ノッチであった。

出発してすぐに分岐器（中板橋駅構内第12号分岐器。以下「本件分岐器」という。制限速度35km/h）があるので、速度が約30km/hになったところでノッチオフして本件列車の最後尾が本件分岐器を抜けるまで惰行し、抜けきったところに設置された指導票（速度制限の解除を示す。）を確認して、そこから3ノッチに入れて再加速した。再加速の際に、体感で通常より加速が悪いような気がしたが、運転台の計器盤上の表示灯（故障等を示す。）などは何も点灯していなかったため、脱線しているとは思わなかった。揺れや異音などもなかった。

再加速後に、客室に設置されたボタンが押されたことにより乗務員に非常を知らせるブザー（以下「非常ブザー」という。）が鳴動したので、非常ブレーキを使用して停車し、連絡マイクを使用して本件車掌に非常ブザーが操作された旨連絡するとともに、列車無線を使用して運転指令にも報告した。

本件車掌から煙が上がっていると報告があり、運転指令にその旨連絡した。

運転席の右側の窓を開けて後方を確認したところ、真っ白な煙が床下から出ており、焦げ臭いにおいがしたが、火は認められなかった。運転指令に現場まで確認に行くと報告し、下り列車の抑止手配を依頼した。

本件車掌にも連絡して、本件列車の左側に降りて向かったが、4両目まで進んだところに通行困難な場所があったので、後方の車両まで確認できず、

1両目の運転台に戻った。その時、本件車掌が車掌室（10両目の乗務員室）に戻って指令に状況を説明しているところであった。その後、本件車掌から連絡マイクで脱線しているという報告があり、本件列車の右側から車両を降りて脱線の状況を確認し、車掌室から運転指令に列車無線で報告した。

脱線状況の確認をしている時に、6両目の前寄りの車内から窓ごしに、車内の非常ボタンを押したのは自分だと男性乗客が声を掛けてくれた。

その後、10両目右側の最前部と最後部の旅客用乗降扉を手動で開扉し、客室の長椅子を使用して乗客を降車誘導した。

## (2) 本件車掌

7時26分に志木<sup>しき</sup>駅から池袋駅まで乗務し、池袋駅で本件列車となる編成の車両に乗り換えて川越市駅まで乗務し、その後、川越市駅から池袋駅へ、そして池袋駅から成増駅へ乗務し、成増駅で折り返して本件列車となった。池袋駅から成増駅まで異状はなく、引上線で折り返した際も異状はなかった。成増駅の出発時の監視中にも異状はなかった。

成増駅を定刻に発車し、中板橋駅で準急の通過待ちを行った後、定刻で発車した。

発車後、車内放送を行い、放送終了後に非常ブザーが鳴り、本件列車が停止した。

非常ボタンが押されると、押された車両の側灯が点灯する仕組みとなっており、車掌室の右側の窓から側灯が点灯している車両を確認するため外を見ると、焦げ臭いにおいと白い煙が認められ、真ん中付近の車両の高さが他より低くなっているように見えたので、運転指令に現場を見に行くと連絡した。

本件列車の左側を走って現場に向かい、状況確認したところ、5両目（以下「本件車両」という。）の後台車（以下「本件台車」という。）が脱線していた。白い煙は消えていて、車両床下から煙が出ている様子はなかった。

脱線を本件運転士に連絡したが、応答がなかったため、外に出ていると思い、列車無線を使用して運転指令に状況を報告した。

列車防護無線の発報を行い、運転指令に報告し、本件運転士に再度脱線の連絡をした。

車内放送で乗客に脱線した旨の連絡と「お待ちください」と案内した。

その後、車内の椅子を使用して乗客を車外へ避難誘導した。けが人の申告はなかった。

本件列車が停止した時刻は、中板橋駅発車から約1分後の12時12分ごろであった。

## 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装置（以下「運転状況記録装置」という。）が装備されている。同装置は、時刻、走行距離、列車速度、非常ブレーキノッチ動作等を記録する機能を有しており、その記録によれば、本事故発生時の本件列車の運転状況は、表1のとおりであった。

なお、時刻及び速度等については、実測試験等を実施して補正したものではないため、若干の誤差が内在している可能性がある。

表1 本件列車の運転状況

運転状況記録装置の情報				備 考
時 刻	速 度	中板橋駅停車位置※ <sup>1</sup> からの走行距離	操 作	本件列車の運転状況 (推定)
12時11分21秒	1.4km/h	0 m	力行2ノッチ	
12時11分40秒	31.0km/h	1 0 7 m	力行ノッチオフ	
12時11分45秒	30.9km/h	1 4 8 m		本件台車前軸が半径1 7 8 mの左曲線付近を通過
12時11分46秒	30.8km/h	1 5 2 m		本件台車前軸が半径1 7 8 mの左曲線から本件分岐器付近を通過
12時12分04秒	21.5km/h	2 9 0 m	力行3ノッチ	
12時12分18秒	28.7km/h	3 9 7 m	非常ブレーキ	
12時12分26秒	1.0km/h	4 2 6 m		本件列車停止※ <sup>2</sup>

※1 中板橋駅停車時の本件台車前軸の位置は、2 k 1 6 5 m付近である。

※2 「備考」の「本件列車停止」の時刻等の情報は、速度が0 km/hになると走行距離がリセット（0 m）されるため、停止直前の速度1.0 km/hの時の情報とした。

なお、本事故の発生時刻は、後述する3.1.1から、12時11分ごろであったと考えられる。

(付図1 東上本線路線略図、付図2 事故現場付近の地形図、付図3 事故現場付近の略図、付図4 脱線箇所付近の略図 参照)

## 2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし。

## 2.3 鉄道施設等に関する情報

### 2.3.1 事故現場等に関する情報

#### (1) 中板橋駅構内

本事故が発生した中板橋駅構内は、プラットホーム2面に4線が配線されている。

番線は、1番線が下り副1番線、2番線が下り本線、3番線が上り本線、4番線が上り副1番線となっている。

3、4番線の池袋駅方には、本件分岐器（10番片開き分岐器、下板橋駅起点2k014m～1k990.5m、以下「下板橋駅起点」は省略する。）が設置されており、上り線と接続している。基準線側は3番線に接続し、分岐線側は4番線に接続している。

本件列車は、同駅で後続列車の通過待ち合わせをするために4番線に到着し、後続列車通過後に4番線から出発した。

4番線を出発すると、本件分岐器との間には半径162mの右曲線、その先には半径178mの左曲線（以下「本件曲線」という。）がある。

#### (2) 脱線状況

本件列車の10両目の後端は、1k845m付近で停止していた。

本件台車の前軸左車輪が1k740m付近で約16cm、同台車の後軸左車輪が1k743m付近で約11cm、それぞれ上り線の左レールから右側に脱線していた。また、右車輪も上り線の右レールの右側に脱線していた。

本件曲線の脱線防止ガード付近（2k017m付近）から本件台車が停止していた1k740m付近までの範囲のまくらぎ、レール、レール締結装置等に、本件列車によるものとみられる痕跡があった。

(付図3 事故現場付近の略図、付図4 脱線箇所付近の略図、付図5 主なレールの痕跡等 参照)

### 2.3.2 鉄道施設に関する情報

#### 2.3.2.1 路線の概要

同社の東上本線の軌間は、1,067mmである。また、動力は、電気（直流1,500V）である。

(付図1 東上本線路線略図 参照)

#### 2.3.2.2 事故現場付近の線路に関する情報

(1) 事故現場付近は、バラスト軌道であり、50kgNレールが使用されている。まくらぎはPCまくらぎ及び合成まくらぎが使用されており、道床の厚さは

250mm以上である。

- (2) 4番線の線形は、2k066mから2k044mまでが半径162mの右曲線となっており、カント20mm、スラック20mmである。このうち、2k066mから2k059mまでが円曲線で、その先に15mの緩和曲線が接続している。また、その先10mの直線を挟んで、2k034mから2k019mまでが本件曲線となっており、カント5mm、スラック10mmである。本件曲線の先は、5mの直線を挟んで本件分岐器の始端（ノーズレール）に接続している。半径162mの右曲線及び本件曲線の制限速度は40km/hである。
- (3) 半径162mの右曲線及び本件曲線には、脱線防止ガードが内軌側に敷設されていた。

半径162mの右曲線の脱線防止ガードは、曲線手前の中間緩和曲線中の2k089mから、途中の絶縁継目（2k046m）を除いて、2k033.25mまで敷設されていた。また、本件曲線の脱線防止ガードは、円曲線始点の2k034mから、円曲線終端の前方5mの2k014mまで敷設されていた。

鉄道に関する技術上の基準を定める省令（平成13年国土交通省令第151号）に基づき、同社が関東運輸局長に届け出ている実施基準（以下「届出実施基準」という。）の一部である土木関係施設実施基準において、脱線防止ガードの敷設については、次のとおり規定されている。（抜粋）

（脱線防止ガードおよび脱線防止レール）

第44条 本線において、下記の各号に該当する箇所には、脱線防止ガードまたは脱線防止レールを敷設するものとする。

(1) 半径250m未満の曲線の全長

(2)～(5) (略)

2 脱線防止ガードの敷設方法は次の各号に定めるところによるものとする。

(1) 危険の大きい側の反対側レールに設けること。ただし、必要により両側レールに敷設することができる。

(2) 軌間内に85mmの輪縁路間隔を以<sup>も</sup>って敷設し、その両端は110mmの輪縁路間隔を保たせ385mm以上の長さで円滑に逡減するものとする。

(3) (略)

(4) 緩和曲線部は、緩和曲線およびその前後5mに敷設することを標準とする。

- (4) 本件分岐器の先には東上線第21号踏切道（以下「第21号踏切」という。踏切中心キロ程：1k982m、警報機及び遮断機有り）があり、接続軌道\*1が使用されている。道路部分の大きさは、線路方向の長さ\*2が13.2m、まくらぎ方向の長さ\*3が9.2mである。
- (5) 第21号踏切の先には東上線第20号踏切道（以下「第20号踏切」という。踏切中心キロ程：1k858m、警報機及び遮断機有り）があり、道路部分はプラスチック製踏切板が使用されている。道路部分の大きさは、線路方向の長さが8.2m、まくらぎ方向の長さが9.8mである。
- (6) 事故現場付近の勾配は、列車の進行方向に向かって、中板橋駅及び第21号踏切を含む2k313m～1k980mが-5%、1k980m～1k935mが0%、第20号踏切及び本件列車が停止した位置を含む1k935m～1k569mが+12.5%である。
- (7) 4番線には、2k069m付近に列車停止位置目標（以下「4番線<sup>ていもく</sup>停目」という。）が設置されている。

(付図3 事故現場付近の略図、付図4 脱線箇所付近の略図、付図5 主なレールの痕跡等 参照)

### 2.3.2.3 線路の整備に関する情報

線路の整備については、土木関係施設実施基準で定められている。

軌道変位については、軌間変位、水準変位、高低変位、通り変位及び平面性変位の検査を1年周期で行うこととされ、静的な軌道変位及び平面性の限度値等は、表2及び表3のとおりである。

表2 軌道変位限度値

(単位：mm)

種別 <small>原文ママ</small> 狂い種別	本 線	
	直 線	曲 線
軌 間	+18	-6
水 準	15	
高 低	15	
通 り	15	

- (注) 1. 軌間はレール面より14mm以内の距離におけるレール頭部間の最短距離をいう。  
 2. 高低、通りは、延長10m以内の変位とする。  
 3. 水準、通りにおいて半径1,000mを超える曲線は直線に準ずる。

\*1 「接続軌道」とは、鉄筋コンクリート製ブロックを連続的に敷設し、PC鋼棒で連結した軌道構造である。

\*2 「線路方向の長さ」とは、線路と平行方向上下線の道路幅員の平均値をいう。

\*3 「まくらぎ方向の長さ」とは、線路と直角方向の遮断機中心間隔をいう。

4. 軌間、水準、高低、通りの各値は、曲線部におけるスラック、カントおよび正<sup>せい</sup>矢量（縦曲線）は含まない。

表3 平面性限度値及び基準値

基準長 (m)	平面性狂い量 (mm)
5.0	18

(緩和曲線部における構造的な軌道面のねじれを含む)

軌道部材については、レール、道床・路盤、まくらぎ、レール締結装置及び脱線防止ガード等の検査があり、各軌道部材の損傷、摩耗等の状態について、1年周期で行うこととされている。

#### 2.3.2.4 軌道変位に関する情報

4番線停目から本件分岐器までの本事故発生前直近の軌道変位検査は、平成27年8月10日に、可搬式軌道変位計測装置により実施されており、表2及び表3に示した限度値内であった。なお、本事故発生後には、手検測により4番線停目から本件分岐器までの軌道変位測定を実施したが、表2及び表3に示した限度値内であった。

#### 2.3.2.5 軌道部材に関する情報

本事故発生前直近の主な軌道部材の定期検査は、平成27年11月20日に実施されており、各検査の記録及び検査結果に異常を示すものは見られなかった。

なお、本事故発生後の事故現場付近のまくらぎ、道床・路盤及びレール締結装置等の軌道部材についても、異常は見られなかった。

#### 2.3.2.6 4番線出発進路の信号及び本件分岐器の動作状況に関する情報

4番線からの出発進路の信号は、12時10分58秒に進行を現示したことを示す記録が信号装置等の動作状況の記録に残されていた。

また、この信号装置等の動作状況の記録には、本件分岐器が12時10分46秒に4番線から本線に向かう方向に切り替わったことを示す記録が、12時16分04秒に3番線から本線に向かう方向へ切り替わったことを示す記録が残されていた。

なお、時刻については、実測試験等を実施して補正したものではないため、若干の誤差が内在している可能性がある。



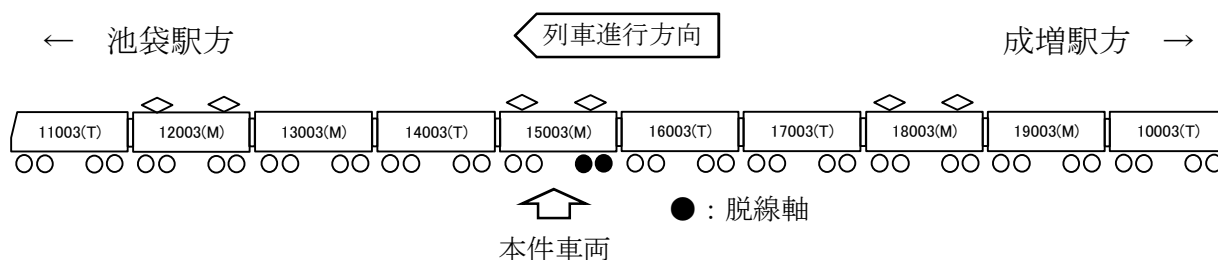
## 2.4 車両に関する情報

### 2.4.1 車両の概要

本件列車の概要を図1に示す。車両の主な諸元は次のとおりである。

車種	直流電車（1,500V）
車両形式	10000系
編成両数	10両
	本編成は、昭和60年9月に完成した8両編成の車両に、平成元年10月に完成した本件車両（15003）及び6両目の車両（16003）を平成元年10月9日に増備して、10両編成としたものである。
編成定員	1,660名（うち、座席定員564名）
台車中心間距離	13,600mm
連結器間距離	20,000mm
本件車両の空車重量	38.0t <sup>*4</sup>
本件車両の完成年月	平成元年10月 （車両使用開始時から本事故発生までの車両走行キロ4,471,498km）
本件台車の型式	TRS-81M（FS-511A：住友金属(株)の型式）
車体支持装置	ダイレクトマウント方式（空気ばね車体直結方式）
軸箱支持方式	片ミンデン式
軸距	2,200mm
車輪踏面形状	円錐踏面
車輪フランジ角度	70°
本件台車の製造年月	平成元年9月

本件列車で本件台車と同型式の台車を使用している車両は、12003、13003、18003及び19003である。



※（M）はモーター付き車両を示す。（T）はモーターが付いていない車両を示す。

図1 本件列車の概要

\*4 [単位換算] 1t（重量）：1,000kgf、1kgf：9.8N

## 2.4.2 車両の整備に関する情報

車両の整備については、届出実施基準の一部である電気車整備実施基準及び同社の社内規程である「電気車検査の手引き（限度・標準値編）」（平成14年3月制定）で定められている。車両の検査には、列車検査、月検査（状態・機能検査）、重要部検査及び全般検査等があり、検査ごとに定められた期間又は車両の走行距離によって、次のように規定されている。（抜粋）

### （列車検査）

第7条 電気車の使用状況に応じ、電車の要部に関して10日を超えない範囲で検査を行うものとする。

### （月検査）

第8条 電気車の使用状況に応じ、3月を超えない期間ごとに電気車の状態および機能について在姿状態で定期検査を行うものとする。

### （重要部検査）

第9条 電気車の使用状況に応じ、4年又は当該車両の走行距離が60万キロメートルを超えない期間ごとに、動力発生装置、走行装置、ブレーキ装置等重要な装置の主要部分について定期検査を行うものとする。

### （全般検査）

第10条 電気車の使用状況に応じ、8年を超えない期間ごとに、電気車全般について定期検査を行うものとする。

台車については、月検査で、車輪径、フランジ高さ、フランジ厚さ及びバックゲージの検査を行うこととされている。各検査項目の輪軸に関する限度又は標準値は表4のとおりである。

台車枠については、重要部検査及び全般検査で台車枠のみに分解され、図2に示す丸数字の箇所について渦電流探傷検査<sup>\*5</sup>を行うこととされている。探傷検査を行う箇所については、台車メーカーの推奨検査対象箇所、他社を含めた過去の亀裂発生事例などにに基づき、定められている。

車両の静止輪重については、重要部検査及び全般検査で輪重の測定を行い、その軸の平均輪重との差（以下「静止輪重比」という。）が10%以内となるように管理することとされている。

\*5 「渦電流探傷検査」とは、鉄鋼などの導電材料の表面付近における欠陥を検出する探傷方法であり、交流電流を流したコイルを試験体に近づけることで、試験体の表面付近に渦電流を発生させ、欠陥位置での渦電流の変化から欠陥を検出するものをいう。

表4 輪軸に関する限度又は標準値

検査項目	限度又は標準値
タイヤの厚さ	2.3mm以上（車輪径換算776mm以上）
車輪直径の差	同一輪軸 1mm以下
	同一台車 6mm以下
	同一車両 11mm以下
フランジの高さ	2.5～3.5mm
フランジの厚さ 原文ママ タイヤ中心線よりフランジ 外面までの距離	51.7～52.7mm
バックゲージ	990～994mm

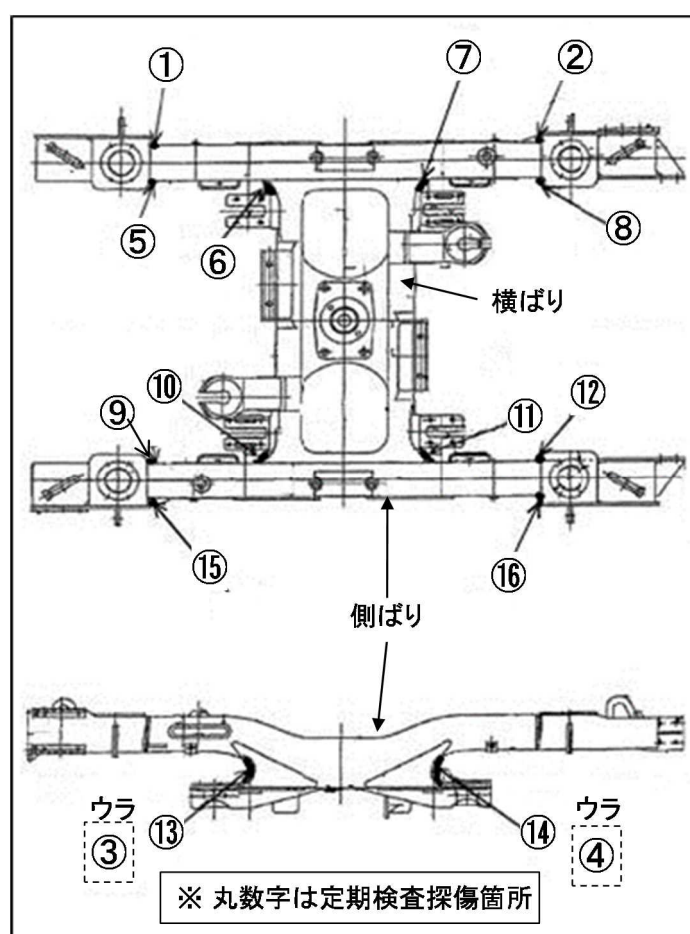


図2 台車枠探傷箇所

### 2.4.3 本件車両に関する情報

#### 2.4.3.1 検査の実施状況

本件車両の本事故発生前直近の定期検査の実施状況は、次のとおりである。

全般検査 平成21年11月16日（南栗橋車両管区川越工場）

（検査から本事故発生までの車両走行キロ 1,105,870km）

重要部検査	平成25年5月13日（南栗橋車両管区川越工場）	
	（検査から本事故発生までの車両走行キロ	530,269 km）
月検査	平成28年3月7日（森林公園検修区）	
	（検査から本事故発生までの車両走行キロ	37,704 km）
列車検査	平成28年5月16日（森林公園検修区）	
	（検査から本事故発生までの車両走行キロ	1,157 km）

#### 2.4.3.2 輪軸の状況

本件車両の輪軸については、平成27年5月9日に森林公園検修区で車輪削正が行われていた。

月検査時の輪軸の検査結果は表5のとおりであり、車輪径、フランジ高さ、フランジ厚さ及びバックゲージはいずれも表4に示す限度又は標準値内で、異常は見られなかった。

表5 月検査時の輪軸の検査結果

(単位：mm)

輪軸	前台車				後台車（本件台車）			
	前軸		後軸		前軸		後軸	
車輪位置	右	左	右	左	右	左	右	左
車輪径	836.0	836.2	836.8	837.0	836.2	836.4	837.0	837.2
フランジの高さ	28.3	28.1	27.9	27.9	28.1	27.7	28.1	27.8
フランジの厚さ	523.0	520.0	523.7	521.1	523.4	520.0	524.2	521.1
バックゲージ	991.7		991.8		991.6		991.5	

本件車両について、本事故発生後に定期検査で行われている輪軸各部の寸法測定を実施するとともに車輪の踏面形状の測定を行った。

輪軸各部の寸法測定結果については表6に示すとおりであり、車輪径、フランジ高さ、フランジ厚さ等はいずれも表4に示す限度又は標準値内で、異常は見られなかった。

また、車輪の踏面形状の測定結果については、設計形状と大きな違いは見られなかった。なお、本件台車前軸右車輪の車輪背面からフランジ先端までの距離は14.6mmであった。同車輪の踏面形状測定結果を図3に示す。

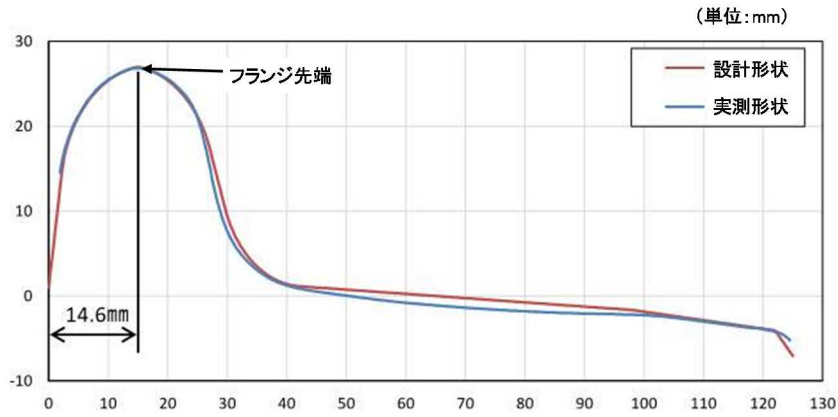


図3 本件台車前軸右車輪の踏面形状測定結果

表6 本事故発生後の本件車両の輪軸等の測定結果

(単位：mm)

輪軸	前台車				後台車 (本件台車)			
	前軸		後軸		前軸		後軸	
車輪位置	右	左	右	左	右	左	右	左
車輪径	835.6	835.5	835.8	836.0	836.4	836.5	836.1	836.4
フランジの高さ	28.3	28.2	28.2	28.3	27.9	27.8	28.0	28.1
フランジの厚さ	524.7	521.8	525.0	523.1	524.4	521.3	524.8	522.9
バックゲージ	992.2		992.2		992.4		992.5	

#### 2.4.3.3 静止輪重及び静止輪重比の状況

本事故発生前直近の重要部検査時における、本件車両の静止輪重の測定結果は表7のとおりであり、静止輪重比は管理値内（10%以内）の値であった。

なお、本事故発生後の本件台車の静止輪重については、2.4.3.4に後述するように、側ばりに亀裂があったことから、測定はできなかった。

表7 重要部検査時における静止輪重及び静止輪重比

輪軸	前台車				後台車 (本件台車)			
	前軸		後軸		前軸		後軸	
車輪位置	右	左	右	左	右	左	右	左
輪重 (kN)	45.3	49.1	51.5	44.0	48.5	49.6	51.4	46.3
静止輪重比 (%)	4.0		7.9		1.1		5.2	

#### 2.4.3.4 車体及び台車の状況

本事故発生前直近の重要部検査の結果によれば、本件車両の台車組立寸法は管理値内であり、月検査の結果にも異常は見られなかった。

また、本事故発生後に本件台車を確認したところ、台車枠右側側ばり（以下「本件側ばり」という。）に亀裂（以下「本件亀裂」という。）があったが、本件亀裂以外、軸箱支持装置及び空気ばね高さ調整装置等、車体支持装置には異常は見られなかった。

（付図6 本件亀裂発生箇所等 参照）

#### 2.4.3.5 本件台車の側ばりに関する情報

本件台車の台車枠は、主に前後車輪の間隔を維持し、車両の重量を受ける左右の側ばりと、それぞれの側ばりをつなぐ横ばりにより構成されている。

側ばりは、材質が鋼材（SM400B、板厚：12mm）で、本件側ばりの場合、コの字型にプレス成形した右側のものを「外側ばり」、同左側のものを「内側ばり」とし、二つを突き合わせて溶接し、ロの字型に組み立てたものである。断面の大きさは、本件亀裂の箇所で高さ（上下方向）180mm、幅（まくらぎ方向）180mmである。

側ばりの内部には、側ばりの強度を保つため、まくらぎ方向に補強板（以下「横リブ」という。）が溶接されていた。横リブの材質は鋼材（SS400、板厚：6mm）である。

本件側ばりの場合、横リブは、内外側ばりのそれぞれ同じ位置に8列で合計16枚が溶接されていた。横リブは、治具により位置を決めて、直線部を機械（ロボット）溶接し、端部及び曲線部を人の手により溶接して取り付ける。

台車メーカーの本件台車製作時の溶接止端部の管理基準は、外観検査基準として、アンダーカット\*6及びオーバーラップ\*7共に0.5mm以下としていた。

台車メーカーの本件台車製作時と現在の溶接部の管理基準は次のとおりである。

##### (1) 本件台車製作時

###### ① 判定基準

アンダーカット、オーバーラップ等の溶接外観上重要な項目について基準を取り決めている。

###### ② 検査方法

目視で検査（適宜スケール、隙間ゲージ等を使用）。

チョーク等で直接現品に指摘内容を書き込む。

##### (2) 現在

台車メーカーは、平成13年に管理基準の内容を以下のとおり見直し、文書化を行った。

\*6 「アンダーカット」とは、母材又は既溶接の上に溶接して生じた止端の溝（JIS Z 3001）をいう。

\*7 「オーバーラップ」とは、溶着金属が止端で母材に融合しないで重なった部分（JIS Z 3001）をいう。

#### ① 判定基準

上記(1)①に加え、定量評価が難しい箇所について、限度見本（※1）を用いた基準とする。

※1 限度見本は、目標形状、限界形状、不良形状の写真や試験片。

#### ② 検査方法

上記(1)②に加え、視認性、検査時の作業性向上のため、ショットピーニングにより表面の汚れを検査前に除去し、携帯式蛍光灯を使用して検査を実施している。

また、平成11年から、台車枠製造時においては、出荷検査時に台車枠全数について、高い応力が発生する箇所等の溶接部を対象として、超音波探傷検査を実施している。ただし、本件台車の内部補強のように、補強板を両側から隅肉溶接する箇所は対象としていない。

(付図6 本件亀裂発生箇所等、付図7 本件亀裂の状況等 参照)

### 2.4.3.6 本件亀裂に関する情報

#### (1) 本件亀裂が発生した箇所に関する情報

本件亀裂が発生した箇所は、側ばり端部の曲線部下面に横リブ2枚（以下、外側ばりの横リブを「本件外リブ」といい、内側ばりの横リブを「本件内リブ」という。）が溶接されている箇所（以下「当該箇所」という。）付近であった。本件外リブ及び本件内リブの大きさは、高さ（上下方向）170mm、幅（まくらぎ方向）65mmである。

本件台車の当該箇所と同様の他の3箇所及び本件車両の前台車の当該箇所と同様の4箇所の側ばりの部位について、磁粉探傷検査\*8を実施したが、亀裂は見られなかった。

また、本事故発生後、同社が当該箇所と同様に補強板が溶接されている台車（以下「類似構造台車」という。）2,072台車について、磁粉探傷検査を行ったが、側ばりに亀裂は見られなかった。

なお、当該箇所は、2.4.2に記述した探傷検査の対象となっていない箇所である。

#### (2) 本件亀裂の状態に関する情報

本件亀裂は、本事故発生後に森林公園検修区で確認したところ、内側ばり及び外側ばりの下面及び側面に発生していた。

外側ばりの亀裂は、下面は本件外リブの前側の溶接箇所付近で破断して、

---

\*8 「磁粉探傷検査」とは、鋼材表面の亀裂を検査するための手法であり、鋼材を磁化させることで、鋼材表面に吹き付けた鉄粉を亀裂の周りに集積させるものをいう。微小な亀裂を発見するときなどに用いられ、蛍光塗料を塗布した鉄粉を使用すると、ブラックライトを照射することで亀裂が浮かび上がる。

側面上部（約180mm）まで続いていた。また、内側ばりの亀裂は、下面は本件内リブの後ろ側の溶接箇所付近で破断して、側面上部（約180mm）まで続いていた。亀裂の開口部の大きさは、下面部の開口で最大12mm程度であった。

（付図6 本件亀裂発生箇所等、付図7 本件亀裂の状況等 参照）

#### 2.4.3.7 本件亀裂の破面及び溶接部の調査について

本件亀裂の破面の調査については、同社によると、次のとおりであった。

##### (1) 本件亀裂の破面調査

- ① 本件亀裂の破面のさびを除去した後、空気ばね側破面の本件内リブの後ろ側の溶接止端部付近にビーチマーク<sup>\*9</sup>及びラチェットマーク<sup>\*10</sup>が見られた。
- ② 本件亀裂の破面のマクロ観察から、調査のため切断した強制開口部を除き、急進破壊した様子は認められず、亀裂は全面的に疲労によって進展したと推定される。側ばり上面及び側面では破面上の凹凸が付図8（破面の状況等）に示すとおり、下方から上方に向かうとともに、大きくなっている。一般に破面の凹凸は亀裂進展速度に影響され、亀裂進展速度が速い場合に凹凸は大きくなる。

（付図6 本件亀裂発生箇所等、付図7 本件亀裂の状況等、付図8 破面の状況等 参照）

##### (2) 当該箇所の溶接部の強度評価

- ① 当該箇所の溶接部（以下「当該溶接部」という。）の設計上の強度を評価するために、静荷重試験を実施した。

静荷重試験では、最初に数値シミュレーションにより本件台車（FS511A形）と側ばり構造が類似するFS396形台車について、垂直荷重を負荷したときに応力分布が類似することを確認した上でFS396形台車を用いて実施した。両台車の応力分布等を図4に示す。同図の応力分布図中の赤丸で示した①及び当該溶接部である⑦の箇所において応力が高いことを示す。

本試験では、FS396形台車の側ばりに作業用の開口部を設けて、当該溶接部と同様部位の溶接止端部及びその近傍の応力を直接測定した。荷重は、当該溶接部の強度に対する影響が最も大きい垂直荷重を満車相当（231kN）まで負荷した。満車荷重（231kN）負荷時の応力を平均応

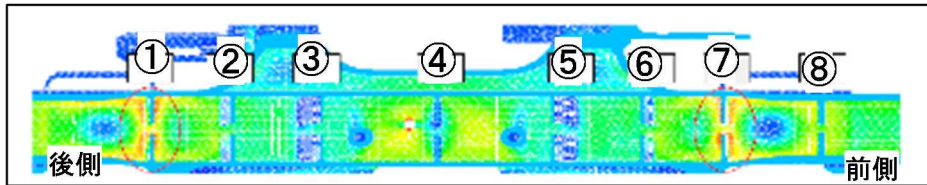
\*9 「ビーチマーク」とは、疲労亀裂が進展した痕跡をいう。

\*10 「ラチェットマーク」とは、疲労亀裂の起点部近傍に生ずる段差をいう。

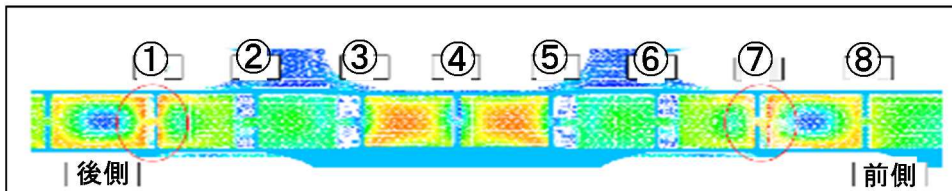


力とし、平均応力の0.3倍を変動応力としてプロットした応力限界図を図5に示す。類似した台車の測定結果であるが、各測定点とも応力限界内であることから、本件台車の亀裂の発生は設計不良によるものではないと考えられる。

本件台車(FS511A)



(FS396)



※下から見た図

(応力の凡例)

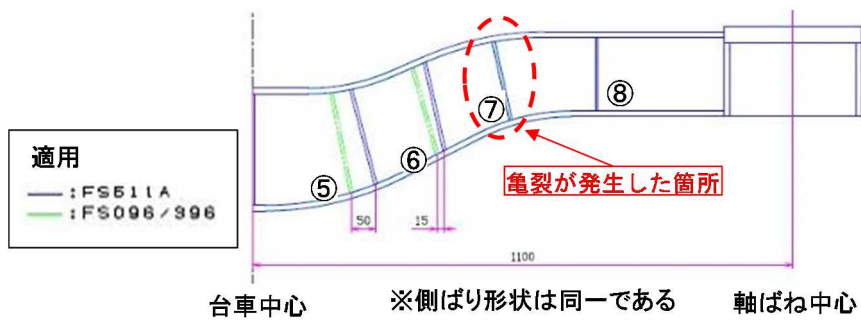
応力小



応力大



(参考図) 側ばり構造(横リブ配置)比較



※側ばり形状は同一である

※側面から見た図

図4 FS511A形台車とFS396形台車との側ばり構造と応力分布の対比

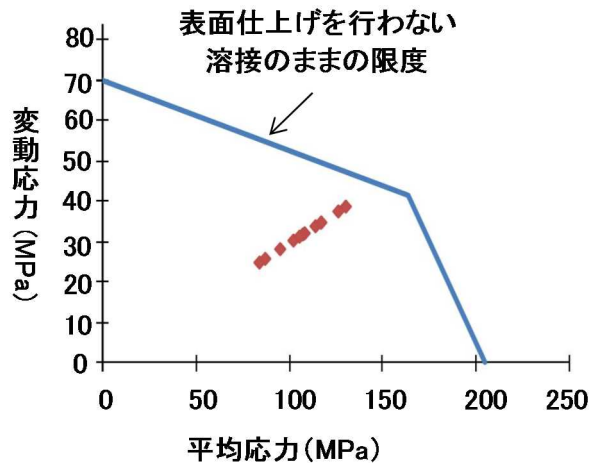


図5 FS396形台車の当該溶接部付近における垂直荷重負荷時の応力限界図

② 当該溶接部の寿命を評価するために、本件列車と同形式の列車で本線走行試験を実施した。試験区間は森林公園検修区～下板橋駅間の1往復である。同試験は、本件車両と同一の5両目の車両に水タンクを積んで積車状態とし、当該箇所に対応する箇所近傍の側ばり母材にひずみゲージを貼り付けて応力を測定した。この走行試験で得られた応力から計算した寿命は、走行距離3,000～4,000万km以上となった。

(3) 当該溶接部等の溶接状態調査

① 本件台車の溶接状況

当該溶接部の溶接状態については、破面の損傷等の影響により破面観察による詳細な評価ができなかったため、亀裂発生要因の特定には至らなかった。

そこで、当該溶接部の溶接状態を推定するために、左側側ばり前側の当該溶接部に該当する箇所について、磁粉探傷試験及び断面観察を実施した(図6-1 参照)。その結果、脱線の影響も考えられるが、図6-1に示す、断面1-1の溶接止端部(手溶接)に深さ20 $\mu$ m程度の亀裂が5mm以上にわたってつながっていることが確認された(図6-2 参照)。また、図6-1に示す、断面1-2の側ばりと溶接金属の境界部に長さ200 $\mu$ m程度の割れが見られた(図6-3 参照)。他に、台車メーカーの管理基準(0.5mm)を超える1.7mmのオーバーラップが確認された。なお、下面板を貫通する亀裂は見られなかった。

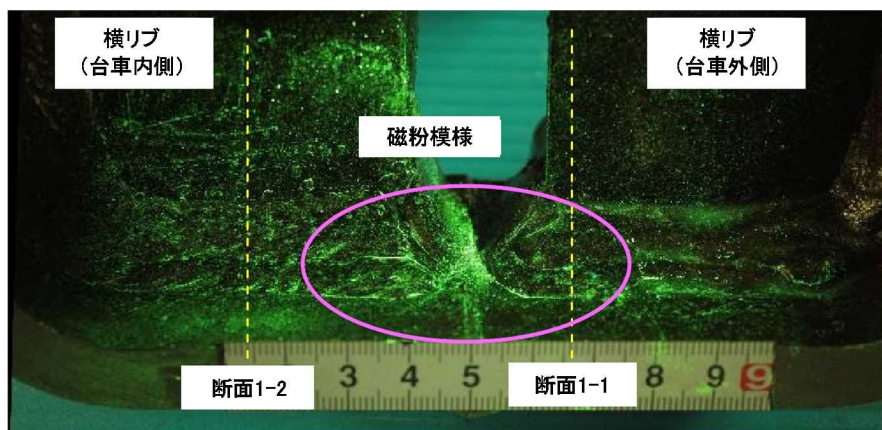
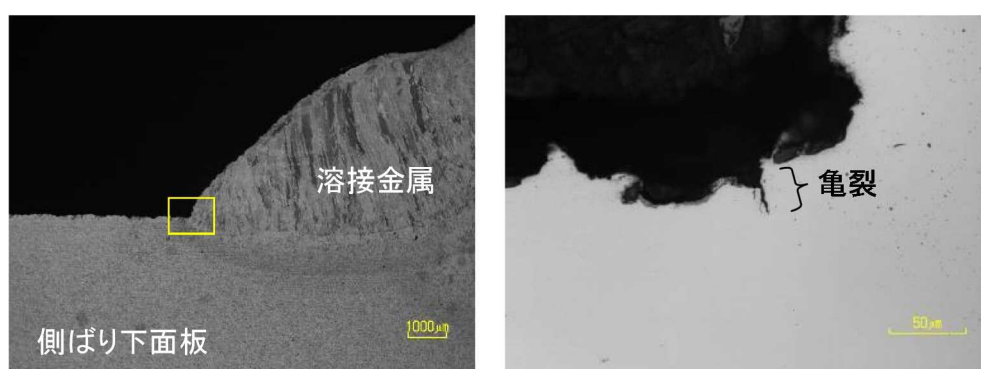


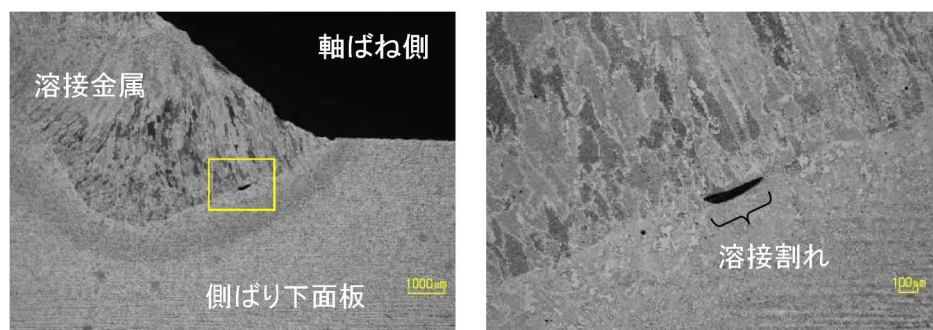
図6-1 本件台車左側側ばり前側の磁粉探傷結果（軸ばね側から撮影）



(a) 軸ばね側溶接止端部の形状

(b) (a) □部の拡大

図6-2 断面1-1の観察結果



(a) 軸ばね側溶接止端部の形状

(b) (a) □部の拡大

図6-3 断面1-2の観察結果

(※ 図は全て、同社提供の画像に一部加筆したもの)

## ② 前台車の溶接状況

製造や使用・検修履歴が同一である本件車両の前台車の当該溶接部に該当する4か所について、溶接状態を調査した。調査結果の一例として右側側ばり後ろ側の台車枠外側ばりの横リブの溶接状態は、側ばり下面板と横リブとの溶接部（手溶接）の溶接金属内に、溶接欠陥及び溶接割れが確認

された（図 7-1 参照）。走査型電子顕微鏡（SEM）による破面観察を実施したところ、溶接割れ破面には、凝固割れ時に特徴的な樹枝状模様が全面的に観察された（図 7-2 (a) 参照）。なお、下面板を貫通する亀裂は見られなかった。

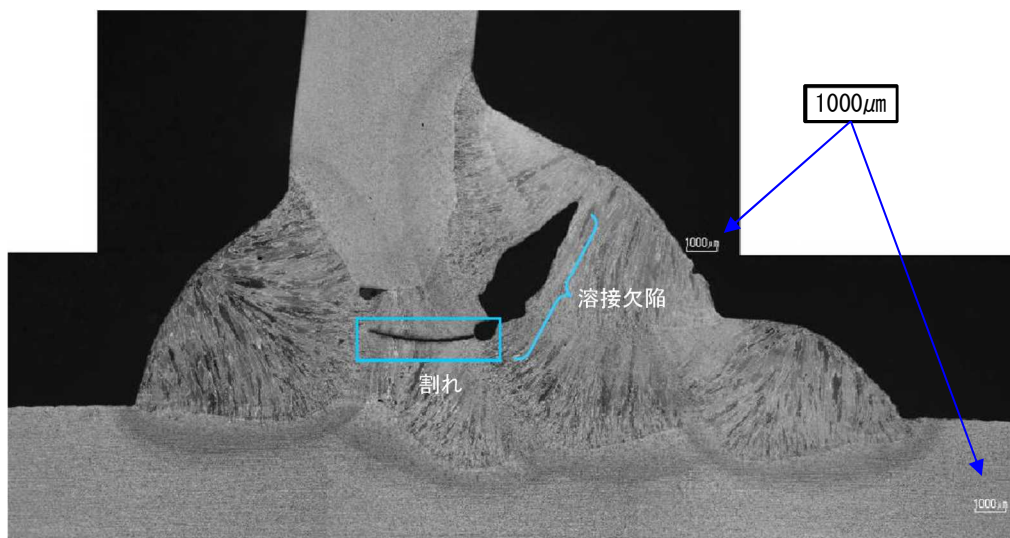
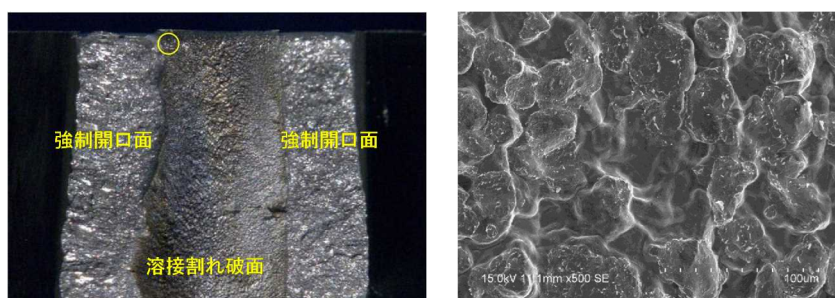


図 7-1 前台車右側側ばり後ろ側、台車枠外側ばりの横リブの溶接部の全景



(a) 開口部の溶接割れ破面 (b) (a)○部のSEM観察結果

図 7-2 図 7-1 で確認された溶接割れの破面観察結果

（※ 図は全て、同社提供の画像に一部加筆したもの）

#### (4) その他亀裂関係調査

- ① 本件亀裂近傍の側ばり母材及び横リブから材料のサンプルを取り、成分分析を実施したところ、全て J I S 規格値内であった。また、本件亀裂近傍の母材の硬度測定を行ったが、硬度不足はなかった。
- ② 外部過大外力確認のため、最近の車輪のフラットの転削状況を確認したが、異常は見られなかった。また、台車の軸ばね、ダンパ等の機能について確認を行ったが、異常は見られなかった。

#### 2.4.3.8 側ばりの亀裂と輪重等の関係について

側ばりの亀裂と輪重の関係について、同社等において‘本件台車と類似の台車を用いて、本件亀裂と同じ箇所に模擬亀裂（長さは、下面からの長さである。）を入れた台車’（以下「試験台車」という。）に空車相当の荷重を負荷する試験（以下「定置試験」という。）を行い、静止輪重比を測定した結果は、表8のとおりであった。

ただし、定置試験における亀裂長さ155mmの結果は、空車重量の7割の荷重を負荷したときに亀裂の開口量が大きくなり、試験機の安定性が得られなくなる可能性があったことから、そこで中止したため、空車重量の7割の荷重負荷時の測定結果になっている。

また、同試験では、荷重負荷時に亀裂開口量を測定しており、その結果は表8のとおりである。

その後に、亀裂長さ155mmの試験台車と亀裂のない台車の上に空車状態の仮車体を載せて、台車メーカーの建屋内の平坦かつ直線の区間でごく低速で車両を移動させて、静的な輪重を測定したところ、表8の黄色の行で示すとおり、前軸右車輪の輪重減少が大きく、静止輪重比は約51%となった。

表8 試験台車の亀裂長さ、輪重及び輪重のアンバランス等

亀裂長さ (mm)	輪 重 (kN)				輪重のアンバ ランス (%)		荷重負荷時 の亀裂開口 量 (mm)	備 考
	前軸右側	前軸左側	後軸右側	後軸左側	前 軸	後 軸		
0	41.1	40.6	40.3	41.7	0.6	1.7	0.0	定置試験結果 ※亀裂長さ155mmは空 車重量の7割の荷重
100	40.0	42.1	40.3	41.7	2.6	1.7	1.3	
130	35.0	46.9	43.3	38.6	14.5	5.7	3.3	
155	19.9	44.6	38.3	26.2	38.3	18.8	6.1	
155	19.3	60.3	44.1	31.3	51.5	17.0		構内での低速試験結果

なお、亀裂長さが155mmを超える状態での試験については、側ばりの破断のおそれがあることから行っていない。

#### 2.4.3.9 推定脱線係数比について

本件曲線における本件車両の推定脱線係数比<sup>\*11</sup>を、通常の静止輪重比の管理基準である10%と、2.4.3.8に記述した亀裂長さ155mmにおける静止輪重比51%で試算した結果は、次のとおりであった。

静止輪重比51%における推定脱線係数比は、1.0を下回っており、乗り上がり脱線に対する余裕がない結果となった。

\*11 「推定脱線係数比」とは、急曲線低速走行時の乗り上がり脱線に対する余裕についての評価指標であり、1.0以上であれば、脱線に対して一定水準の余裕が確保されていると考えられるものである。

- ① 静止輪重比を10%とした場合：2.25
- ② 静止輪重比を51%とした場合：0.94

#### 2.4.3.10 本件車両の事故歴等に関する情報

同社によると、本件車両は、記録の残っている平成7年以降、事故歴はなく、全般検査（平成21年）以降に踏切障害事故及び台車に関する故障歴はなかった。また、本件車両の改造歴もなかった。

### 2.5 鉄道施設及び車両の損傷状況等に関する情報

#### 2.5.1 鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況

鉄道施設の主な損傷及び痕跡等の状況は次のとおりであった。

##### (1) 4番線から本件分岐器までの間

- ① 本件曲線の脱線防止ガードに2k017m付近から脱線防止ガードの終端付近まで車輪が接触したとみられる痕跡があった。

本事故発生後、同社が2k017m付近の軌間及び内軌（左レール）から脱線防止ガードまでの距離を測定したところ、それぞれ1,071mm及び85mmであった。

- ② 本件曲線と本件分岐器の継目（2k014m）付近の右レールの頭頂面に車輪のフランジが走行したとみられる痕跡があった。
- ③ 本件分岐器の左側のガードレール（2k007.67m～2k012.37m、以下「本件分岐器ガード」という。）の手前2k013m付近の左レールに頭部から右側面にかけて車輪が接触したとみられる痕跡があった。
- ④ 本件分岐器ガードの前端右側に車輪が接触したとみられる痕跡があった。
- ⑤ 本件分岐器ガード右側の締結装置に車輪が接触したとみられる痕跡があった。また、この痕跡は、ガードレールの先のまくらぎから本件分岐器終端付近まで続いていた。
- ⑥ 本件分岐器ガード左側面に車輪が接触したとみられる痕跡があった。
- ⑦ 本件分岐器ガードの左側にある左主レールの右側面に車輪が接触したとみられる痕跡があった。
- ⑧ 本件分岐器のノーズレール終端部に車輪のフランジが接触したとみられる痕跡があった。
- ⑨ 本件分岐器の右ウイングレールに車輪のフランジが乗り上げたとみられる痕跡があった。
- ⑩ 本件分岐器の右リードレールの右側の締結装置、まくらぎに車輪のフ

ランジが接触したとみられる痕跡があった。

- ⑪ 本件分岐器の左ウイングレールに車輪のフランジが乗り上げたとみられる痕跡があった。
- ⑫ 1 k 9 9 3 m付近の本件分岐器の右基本レールに車輪のフランジが頭頂面に乗り上がり、右側面に接触したとみられる痕跡があった。
- ⑬ 本件分岐器の左トングレールの終端部に損傷が見られた。
- ⑭ 本件分岐器の一部のまくらぎ、フロントロッド\*<sup>12</sup>等が損傷していた。

(2) 第21号踏切から第20号踏切までの間

- ① 第21号踏切の中板橋駅方の端部には、左レール及び右レールの右側に車輪が接触したとみられる痕跡があった。また、同踏切から1 k 9 7 1 m付近までの右レールの頭頂面に擦過痕があった。
- ② 1 k 9 7 1 m付近からほとんどのまくらぎの中央部分と右レール右側のレール締結装置及びまくらぎに車輪が接触したとみられる痕跡が第20号踏切まで続いていた。
- ③ 第20号踏切には、左レール及び右レールの右側のプラスチック製の敷板部分に車輪のフランジが走行したとみられるそれぞれ二条の痕跡があった。
- ④ 第20号踏切の障害物検知装置受光器（1 k 8 7 4 m）が損傷していた。

(3) 第20号踏切から本件列車停止位置までの間

第20号踏切の先の本線部分では、1 k 8 4 8 m付近までは左レール及び右レールの右側のまくらぎ等に車輪が接触したとみられる痕跡があった。

その先は、左レールの右側のまくらぎに車輪によるとみられる痕跡があり、脱線した本件台車の左車輪付近まで続いていた。一方、右レールには、レール右側のレール締結装置に車輪が接触したとみられる痕跡があった。

また、右レール上には第20号踏切の先の本線部分からオイル状のものが漏れた痕跡が本件台車後軸右側の歯車箱付近まで続いていた。

(付図4 脱線箇所付近の略図、付図5 主なレールの痕跡等 参照)

## 2.5.2 車両の損傷及び痕跡等の状況

本件車両の主な損傷等の状況は、次のとおりであった。

(1) 本件台車関係

- ① 右側側ばりに本件亀裂があった。
- ② 前軸右車輪には、フランジ先端に多数の打痕があった。

\*12 「フロントロッド」とは、分岐器でトングレールの先端の状態を転てつ機に伝えるために、左右のトングレールを結ぶように取り付けられる機器をいう。

- ③ 前軸左車輪には、車輪踏面に多数の打痕、表裏リム面に擦傷痕があった。
- ④ 後軸右車輪には、車輪踏面に多数の打痕、裏リム面に擦傷痕があった。
- ⑤ 後軸左車輪には、車輪踏面に多数の打痕、フランジ及び裏リム面に擦傷痕があった。
- ⑥ 前軸の主電動機下部に擦傷痕があり、歯車箱の点検窓が損傷していた。
- ⑦ 後軸の主電動機下部のカバーが脱落しており、歯車箱の下部が損傷していた。

(2) 車体関係

- ① 右側面後部に擦傷痕があった。
- ② 5両目と6両目の連結部の渡り板が浮き上がっていた。

(付図9 本件台車の車輪の状況 参照)

2.6 乗務員等に関する情報

本件運転士 男性 36歳

甲種電気車運転免許

平成14年3月13日

(運転経験年数は14年2か月)

本件車掌 男性 47歳

2.7 気象に関する情報

事故発生当時の事故現場付近の天候は、晴れであった。

## 3 分析

3.1 脱線地点等に関する分析

3.1.1 本件列車の脱線した地点について

本件列車が脱線した地点は、

- (1) 2.5.1(1)②に記述したように、本件曲線と本件分岐器の継目(2k014m)付近の右レールの頭頂面に車輪のフランジが走行したとみられる痕跡があったこと、
- (2) 2.5.1(1)③に記述したように、本件分岐器ガードの手前2k013m付近の左レールに頭部から右側面にかけて車輪が接触したとみられる痕跡があったこと、
- (3) 2.5.1(1)④に記述したように、本件分岐器ガードの前端右側に車輪が接触したとみられる痕跡があったこと、



(4) 2.5.2(1)③に記述したように、本件台車前軸左車輪には、車輪の表リム面に擦傷痕があったこと

から、本件列車は、2 k 0 1 3 m付近で本件台車前軸左車輪が左レールから脱線したと考えられる。一方、右車輪は、2.3.2.2(2)に記述したように、3.1.1(1)の右レールの先にノーズレールがあることから、2.5.1(1)⑧～⑩に記述したように、ノーズレール上を走行し、右ウイングレールを越えた付近で右側へ脱線したと考えられる。

後軸については、2.5.1(1)⑥及び⑦に記述したように、本件分岐器ガード左側面と左主レールの右側面に車輪が接触したとみられる痕跡があったこと、2.5.2(1)⑤に記述したように、左車輪裏リム面に擦過痕があったことから、左車輪は本件分岐器ガードに接触しながら走行して、ガードレールの終端付近で前軸に引かれて軌間内へ脱線した可能性が考えられる。一方、2.5.1(1)⑪に記述したように、左ウイングレールに車輪のフランジが乗り上げたとみられる痕跡があったことから、後軸右車輪が乗り上げた可能性が考えられる。

なお、脱線時の時刻及び速度は、2.1.2に記述した運転状況記録装置に残されていた本件台車前軸が本件曲線から本件分岐器付近を通過した時の記録から、12時11分ごろで約31 km/hであったと考えられる。

### 3.1.2 本件台車前軸右車輪の乗り上がり地点について

3.1.1において、2 k 0 1 4 m付近の右レール頭頂面上を本件台車前軸右車輪が走行していたのは、

(1) 2.5.1(1)①に記述したように、本件曲線の脱線防止ガードに2 k 0 1 7 m付近から終端付近まで車輪が接触したとみられる痕跡があったこと、また、本事故発生後、同社が2 k 0 1 7 m付近の軌間及び左レールから脱線防止ガードまでの距離を測定したところ、それぞれ1,071 mm及び85 mmであったこと、

(2) 2.4.3.2に記述したように、本事故発生後に測定した本件台車前軸のバックゲージが992.4 mm、同軸右車輪背面からフランジ先端までの距離が14.6 mmであったこと

から、このときの車輪とレールの位置関係は図8のようになると考えられ、右車輪は、本件曲線の脱線防止ガードに接触した2 k 0 1 7 m付近から右レールに乗り上がっていったと考えられる。

なお、同車輪が右レールに乗り上がった2 k 0 1 7 m付近の速度は、2.1.2に記述した運転状況記録装置に残されていた本件台車前軸が本件曲線付近を通過した時の記録から、約31 km/hであったと考えられる。

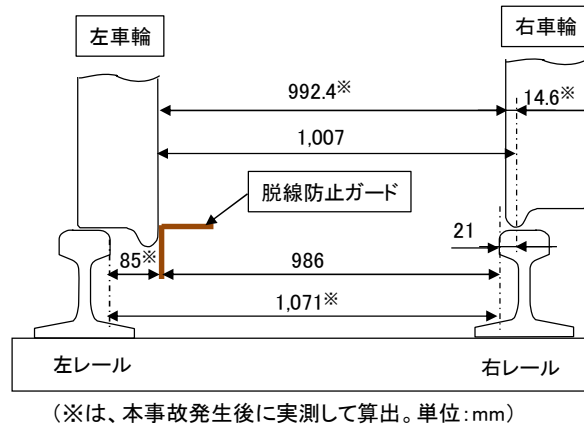


図8 2 k 0 1 7 m付近の車輪とレールの位置関係

### 3.2 車両に関する分析

#### 3.2.1 本件車両の車体及び台車

本件車両については、2.4.3.1～2.4.3.4に記述したように、本事故発生前直近に実施された定期検査の結果、車体、台車の組立寸法及び輪軸の寸法は、同社の社内規程で定められた限度又は標準値内の値であり、各部に異常は見られなかった。

一方、本事故発生後に本件車両の確認を行ったところ、2.4.3.6に記述したように、本件台車に本件亀裂があった。その他については、2.4.3.2に記述したように、輪軸の寸法を測定した結果、同社の社内規程で定められた限度又は標準値内の値であり、2.4.3.4に記述したように、本件台車の軸ばね、板ばね等に異常は見られなかった。なお、本件亀裂以外の2.5.2に記述した損傷については、本件車両が脱線後にレール等と接触した際に生じたものと考えられる。

#### 3.2.2 本件亀裂と本件台車の静止輪重比について

本件亀裂と本件台車の静止輪重比の関係については、2.4.3.8に記述したように、側ばりに模擬亀裂を入れて試験台車で行った定置試験等の結果から、亀裂長さ約155mmでは前軸右車輪の輪重減少が大きくなり、静止輪重比で同社の管理値(10%)を大きく超える約51%となり、輪重のアンバランスが拡大することが確認されたことから、本件台車も本件亀裂により前軸右車輪の輪重が減少する輪重のアンバランスが拡大していたと考えられる。

本件亀裂により、前軸右車輪の輪重減少が大きくなったことについては、亀裂により側ばりの強度が低下して、同車輪の軸ばねが伸びる方向へ変位し、上下荷重を分担できなくなっていたためと考えられる。

### 3.2.3 本件亀裂の発生に関する分析

(1) 本件亀裂は、2.4.3.7(1)に記述したように、

- ① 空気ばね側破面の本件内リブの後ろ側の溶接止端部付近にビーチマーク及びラチェットマークが見られたこと、
- ② 亀裂は全面的に疲労によって進展したと考えられ、側ばり上面及び側面では破面上の凹凸が下方から上方に向かうとともに、大きくなっていること

から、横リブと側ばり下面板との溶接止端部を起点として発生し、側ばり下面に広がった後、側ばり側面板を下方から上方に進展したと考えられる。

また、本件亀裂は全面的に疲労によって進展したと考えられ、徐々に進展速度を速めながら亀裂先端が側ばり側面上部程度にまで達した後に脱線が発生したと考えられる。

(2) 当該溶接部の強度については、2.4.3.7(2)に記述したように、

- ① 類似した台車の測定結果ではあるが、静荷重試験では、応力限界内であったこと、
- ② 本線走行試験の結果から計算した当該溶接部の寿命が3,000～4,000万km以上となったこと

から、強度設計上の問題はなかったと考えられる。

また、国が「鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準（平成14年3月）」の通達で示している、台車枠の検査マニュアル中の「側ばり部のき裂進展シミュレーション」では、「台車枠に発生する亀裂の大きさに関しては、磁粉探傷検査や浸透探傷検査などで容易に検出可能な40mm程度の亀裂が塑性変形に至るまでに拡大するには120～150万km程度の走行が必要であり、亀裂が急激には進展しないことが明らかになっている」と記載されている。

当該溶接部に強度設計上の問題がなかったと考えられることから、当該溶接部の亀裂進展速度は、同シミュレーションと同等又はそれ以下と考えられる。本件車両の前回定期検査（重要部検査）から本事故発生までの走行距離は約53万kmであることから、同検査の時点で亀裂は側ばり下面板を貫通する大きさに進展していた可能性があると考えられるが、3.2.4に後述するとおり、定期検査において貫通亀裂を発見することはできなかったと考えられ、このため、亀裂が更に進展したと考えられる。

(3) 当該溶接部の溶接状態については、2.4.3.7(3)に記述したように、

- ① 破面の損傷等の影響により破面観察による詳細な評価ができなかったため、亀裂発生の要因の特定には至らなかったが、当該溶接部の溶接状態を

推定するために、本件台車左側側ばり前側の溶接部について、磁粉探傷試験及び断面観察を実施した。その結果、溶接止端部に深さ20 $\mu$ m程度の亀裂が5mm以上にわたってつながっていることが確認されたこと、また、台車メーカーの管理基準（0.5mm）を超える1.7mmのオーバーラップ等が確認されたこと、

- ② 製造や使用・検修履歴が同一である本件車両の前台車の当該溶接部に該当する4か所について、溶接状態を調査したところ、右側側ばり後ろ側の台車枠外側ばりの横リブの溶接状態は、側ばり下面板と内部補強との溶接部の溶接金属内に、溶接欠陥及び溶接割れが確認され、走査型電子顕微鏡による破面観察を実施したところ、凝固割れ時に特徴的な樹枝状模様が全面的に観察されたこと

から、本件台車の台車枠が製造された際の溶接箇所には、上記のような状態が存在していた可能性が考えられる。

- (4) 本件亀裂の発生要因については、2.4.3.7(3)①に記述したように、本件亀裂破面の経年による損傷等により、詳細な破面観察ができなかったことから、特定することはできなかった。

しかし、2.4.3.7(1)～(3)の調査結果及び2.4.3.7(4)に記述したように、本件亀裂近傍の側ばりの母材及び横リブの材料等並びに外部過大応力についても異常は見られなかったことから、本件台車枠の本件亀裂発生要因の一つとして、溶接欠陥が影響した可能性があると考えられる。

3.2.3(2)で示したとおり、本件台車枠に強度設計上の問題はなかったと考えられる。本件台車では破面の損傷が大きく、起点部近傍の詳細観察や断面調査による分析はできなかったが、一般的に部材に欠陥や割れが存在した場合、全体的な応力が強度設計値以内であっても欠陥箇所でも局所的な応力が高まり、それが亀裂起点となって疲労亀裂が発生し進展する。本件亀裂起点部では、側ばりの母材に横リブが溶接された際、その溶接止端部に生じた欠陥が亀裂起点になった可能性があると考えられる。

### 3.2.4 本件亀裂と定期検査の関係について

2.4.3.1に記述したように、本件車両の本事故発生前直近に行われた重要部検査（平成25年5月13日）からの車両走行キロは約53万kmであったことから、3.2.3に記述したように、側ばり下面から発生した亀裂は同検査の際には既に側ばり下面を貫通した状態であった可能性が考えられる。しかし、2.4.2及び2.4.3.6(1)に記述したように、台車メーカーの推奨検査対象箇所、他社を含めた過去の亀裂発生事例などに基づき定めた定期検査時の検査対象箇所になっていなかった

たこと、また、定期検査時の亀裂長さは不明であるが、2.4.3.8に記述したように、下面からの亀裂長さ100mmでの荷重負荷時の開口量が1.3mmであることから、無負荷の状態で台車枠の渦流探傷検査を行う重要部検査時には、亀裂は表面には表れていたものの大きく開口していなかった可能性があり、亀裂を見付けることはできなかったものと考えられる。

### 3.2.5 台車枠製造時の品質管理に関する分析

台車枠製造時の品質管理については、2.4.3.5(2)に記述したように、現在は、溶接の良否判定基準等を見直して文書化し、溶接の精度向上を図っている。また、品質検査には超音波探傷が導入されている。ただし、本件亀裂が発生した当該箇所は同検査の対象外となっている。

超音波探傷検査は台車製造後の完成検査時に溶接内部の欠陥を発見するために有効な方法であるが、同検査による当該箇所の内部欠陥の評価は、当該箇所には設計上許容されている隙間が内在することから、その隙間部分と欠陥とを区別することができないため、困難であると考えられる。

また、3.2.3に記載した、本件亀裂の起点と考えられる、横リブと側ばり下面との溶接止端部については、目視検査が肝要であり、現在は限度見本等を用いて評価しているため、本件台車が製造された当時より検査精度の向上が図られているものと考えられる。

### 3.3 軌道に関する分析

軌道変位については、2.3.2.4に記述したように、本事故発生前直近の軌道変位検査及び本事故発生後の測定において、同社が定める限度値内であったこと、また、軌道部材については、2.3.2.5に記述したように、本事故発生前直近の定期検査及び本事故発生後の状態に異常は見られなかったことから、事故現場付近の軌道に異常はなかったと考えられる。なお、2.5.1に記述した損傷については、脱線した車輪等が接触した際に生じたものと考えられる。

### 3.4 本件列車の運転速度に関する分析

本件台車前軸が右レールに乗り上がった箇所付近を通過した時の本件列車の運転速度は、2.1.1(1)に記述したように、同駅を出発して速度約30km/でノッチオフして、本件列車の最後尾が本件分岐器を抜けるまで惰行運転だったと本件運転士が口述していること、3.1.2に記述したように、運転状況記録装置の記録から本件台車前軸が本件曲線付近を通過したのは約31km/hであったと考えられることから、本件曲線の通過時の本件列車の運転速度は、2.3.2.2(2)に記述した制限速度40km/h以下であった

と考えられる。

### 3.5 脱線の経過について

- (1) 本件亀裂は、3.2.3(1)に記述したように、脱線前に側ばりの側面上部程度まで達していたと考えられ、3.2.2に記述したように、前軸右車輪の輪重が減少して、同社の管理値を超える輪重のアンバランスが発生していたと考えられる。
- (2) 本件車両は、3.5(1)の状態では本件曲線に進入したため、本件台車前軸右車輪の横圧が増加して脱線係数が高くなり、3.1.2に記述したように、本件曲線の右レールに乗り上がったと考えられる。
- (3) 右レールに乗り上がった右車輪は、左車輪が本件曲線の脱線防止ガードで押さえられていたため、2.5.1(1)②に記述したように、右レール頭頂面を車輪フランジで走行していたと考えられる。一方、左車輪は、同脱線防止ガードの終端を過ぎた付近で脱線防止ガードの押さえがなくなり、3.1.1に記述したように、2k013m付近で軌間内に脱線し、本件分岐器ガードに接触し、本件分岐器内を走行して第21号踏切の接続軌道に接触したと考えられる。
- (4) 右レールの頭頂面を走行していた右車輪は、3.1.1に記述したように、左車輪が軌間内へ脱線した付近から本件分岐器のノーズレール上を走行して右ウイングレールを乗り越えて同レールの右側に脱線したと考えられる。その後、本件分岐器内を2.5.1(1)⑩に記述したように、走行後1k993m付近で右基本レールを乗り越えて、右側へ脱線し、そのまま第21号踏切の接続軌道に接触したと考えられる。

なお、本件台車の後軸については、3.1.1に記述したように、前軸に追従して、本件分岐器内で脱線したと考えられる。

- (5) 第21号踏切から先は、2.5.1(2)①に記述したように、1k971mまでは右レール頭頂面に車輪のフランジが接触した痕跡があったが、左車輪の脱線の痕跡が同踏切から見られなかったことから、左車輪は、一旦同踏切から復線した可能性が考えられる。
- (6) 2.5.1(2)②及び③に記述したように、1k971mから先は、ほとんどのまくらぎの中央部分と右レール右側のレール締結装置及びまくらぎに車輪が接触した痕跡が第20号踏切まで続いており、同踏切では、左レール及び右レール右側の敷板部分にそれぞれ二条の痕跡があったことから、本件台車4車輪が脱線していたと考えられる。
- (7) 第20号踏切からは、2.5.1(3)に記述したように、左レールの右側のまくらぎに車輪によるとみられる痕跡が本件台車の左車輪付近まで続いていたことから、左側の車輪は本件車両停止位置までまくらぎ上を走行したと考えられる。

一方、右側の車輪は、1 k 8 4 8 m付近まで、右レールの右側のまくらぎ等に車輪が接触したとみられる痕跡があったが、その先からは同レール右側のレール締結装置に接触した痕跡があったこと、右レール上にオイル状のものが本件台車後軸歯車箱まで続いていたこと及び2.5.2(1)⑦に記述したように、後軸の歯車箱が損傷していたことから、1 k 8 4 8 m付近から右レール上に同歯車箱が接触しながら走行した可能性が考えられる。なお、レール上のオイル状のものは歯車箱のオイルと考えられる。

2.1.1(2)に記述したように、本件車掌は本事故発生後に焦げ臭いにおいと白い煙が認められたと口述しているが、焦げ臭いにおいについては、前述の損傷した歯車箱から漏れたオイルが、歯車箱とレールの接触による発熱で蒸発したことにより発生したものと考えられる。また、白い煙については、本件車掌が確認した時には消えていたことから、3.5(6)及び前述したように、脱線した車輪がPCまくらぎ上やバラスト上を走行したことにより発生したものと考えられる。

## 4 原因

本事故は、列車の前から5両目の後台車右側側ばりに下面から側面上部に達する亀裂が生じていたため、前軸右車輪の輪重が減少して、輪重のアンバランスが拡大していたこと及び半径178mの左曲線への進入によって同車輪の横圧が増加したことにより、同車輪が右レールに乗り上がって右へ脱線したものと考えられる。

後台車前軸右車輪の輪重が減少したことについては、亀裂により側ばりの強度が低下し、当該箇所の上下荷重を分担できなくなったためと考えられる。

また、側ばりの亀裂発生の要因については、側ばり内部の補強板溶接部に溶接欠陥があった可能性が考えられるが、亀裂破面の損傷等により破面観察による詳細な評価ができなかったことから、特定することはできなかった。

## 5 再発防止策

### 5.1 必要と考えられる再発防止策

本件亀裂は、3.2.3及び3.2.4に記述したとおり、定期検査時に側ばり下面板を貫通していた可能性があるが、定期検査では当該箇所が検査対象となっていなかったことから発見されず、更に亀裂が進展して脱線の発生に影響するような大きさまで進展し

た可能性がある。

よって、2.4.3.7(2)図4⑦に示す、本件亀裂が発生した箇所付近の側ばり内部に補強板が溶接されている台車においては、既に行われている定期検査の台車枠探傷検査の対象にその補強板の溶接箇所を追加して、探傷検査を実施することが必要と考えられる。

## 5.2 事故後に同社が講じた措置

本事故後に同社が講じた措置は、次のとおりである。

本件台車と同一及び類似構造台車を対象に、本件亀裂発生箇所と同様の箇所を全般検査及び重要部検査時に探傷検査部位として追加した。

## 5.3 事故後に国土交通省が講じた措置

国土交通省は、平成28年10月、類似構造台車を所有する鉄軌道事業者に対し、目視等（1台車4か所）による緊急点検を指示した。点検の結果、対象台車数約11,000台車（同社含む。）に異常は見られなかった。



付図1 東上本線路線略図

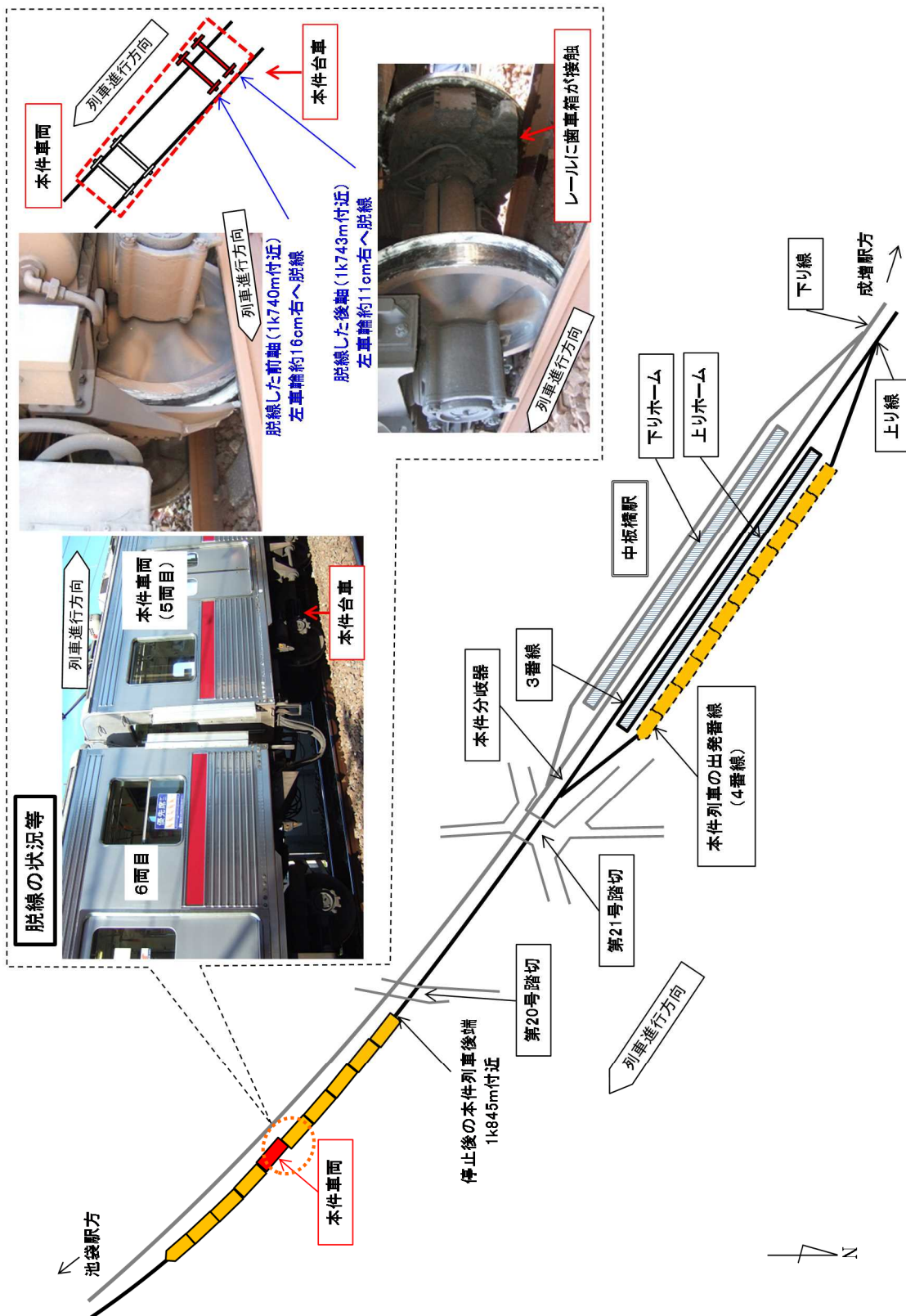


付図2 事故現場付近の地形図

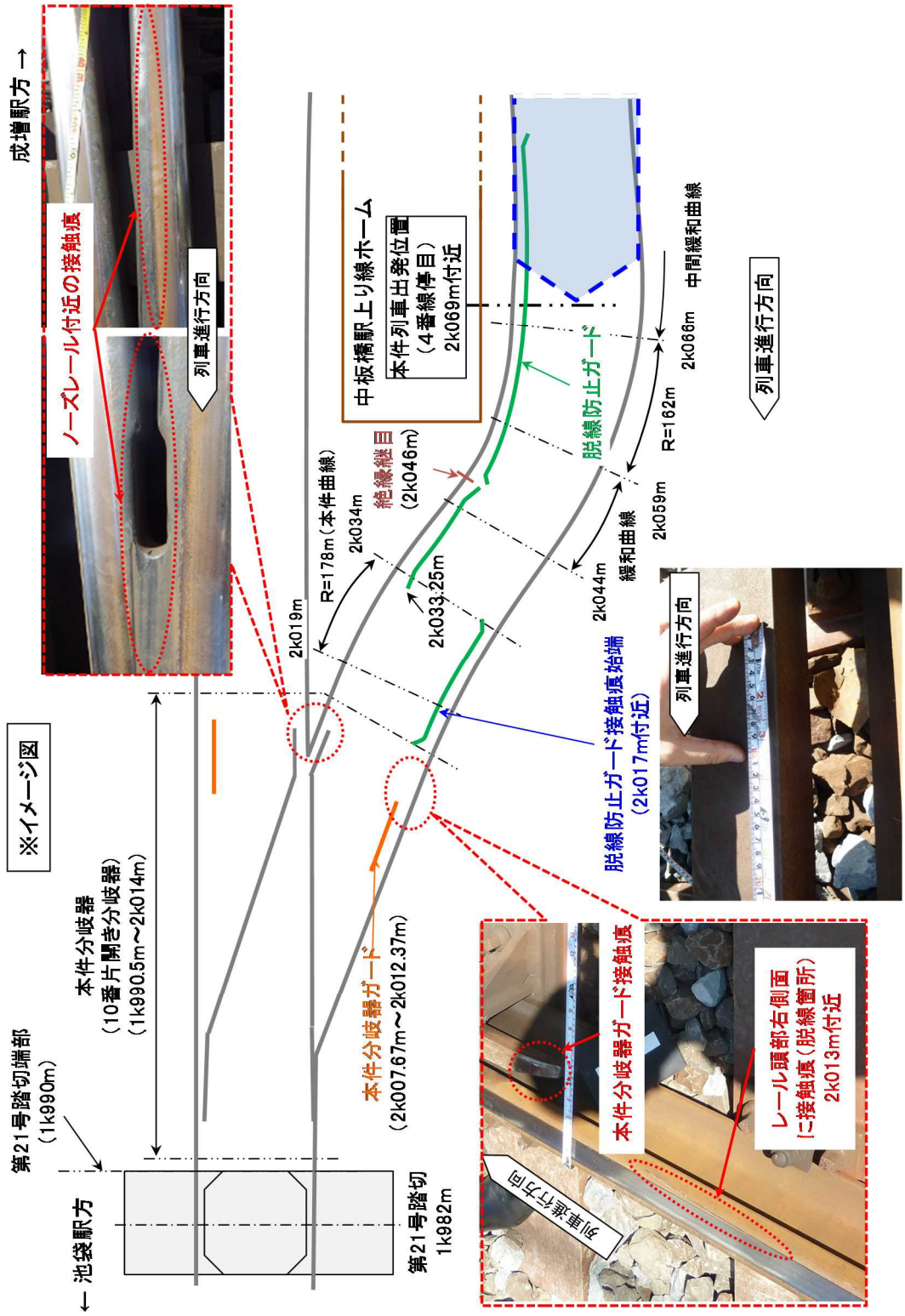


この図は、国土地理院の地理院地図(電子国土Web)を使用して作成

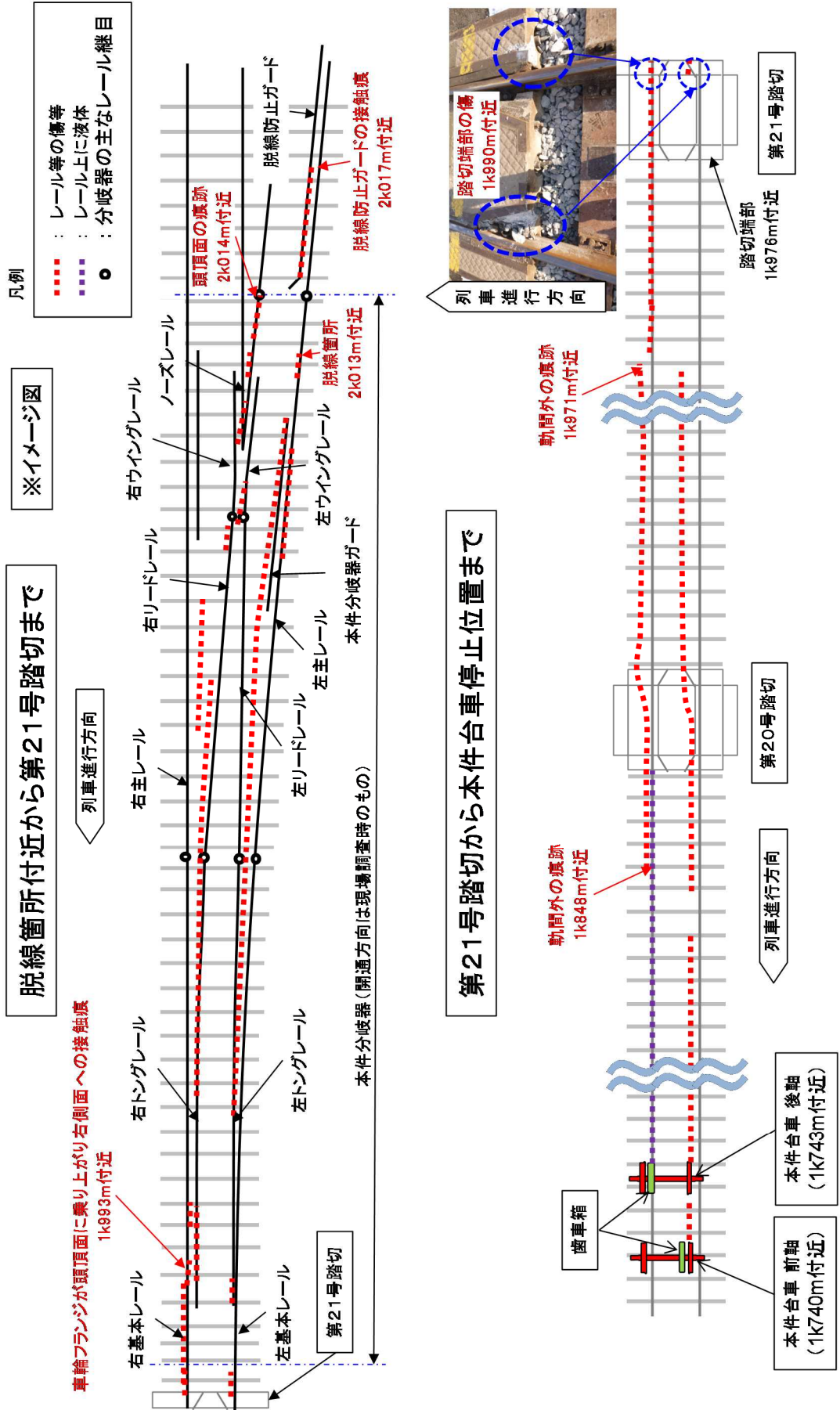
付図3 事故現場付近の略図



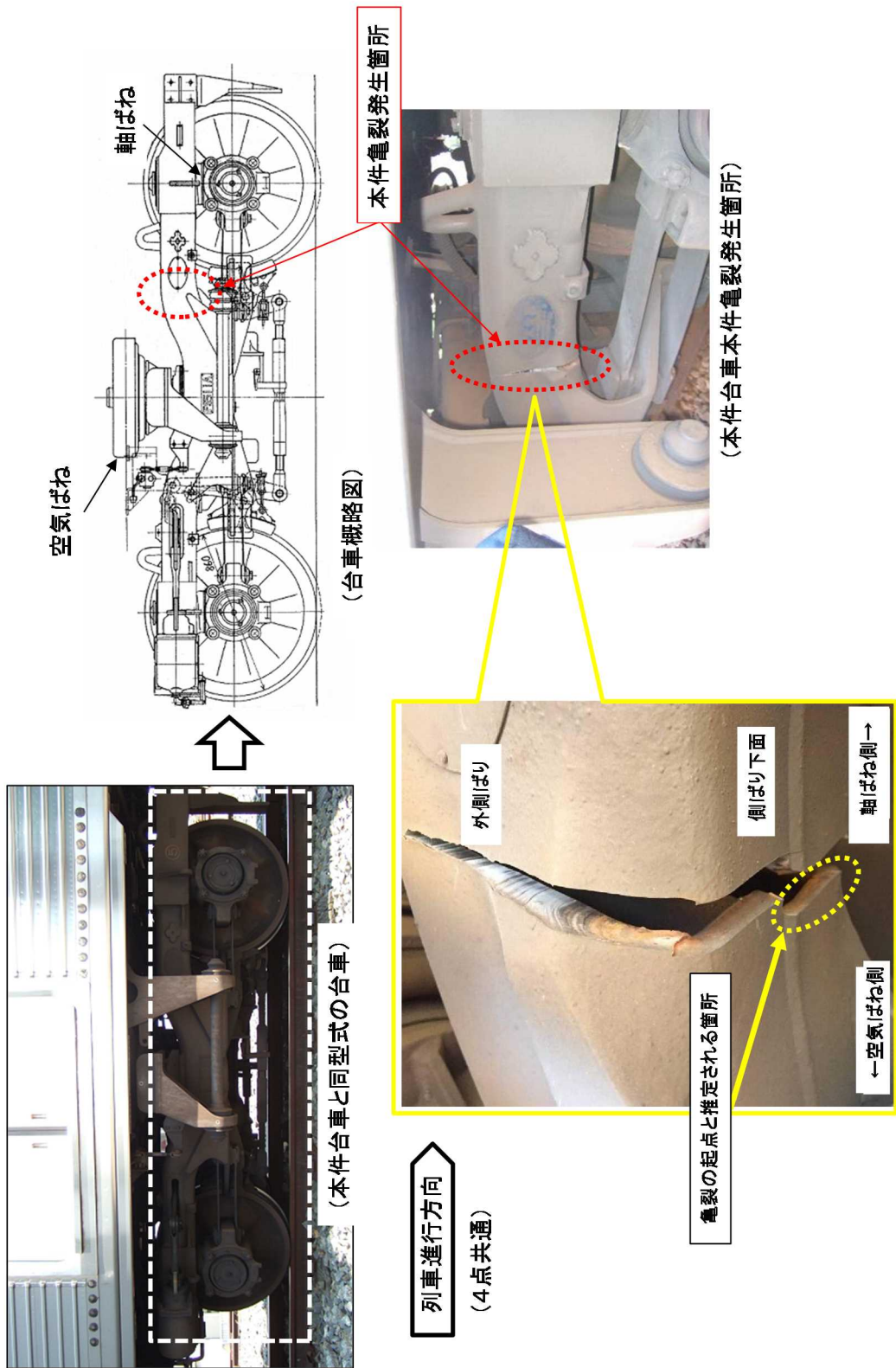
付図4 脱線箇所付近の略図



付図5 主なレールの痕跡等



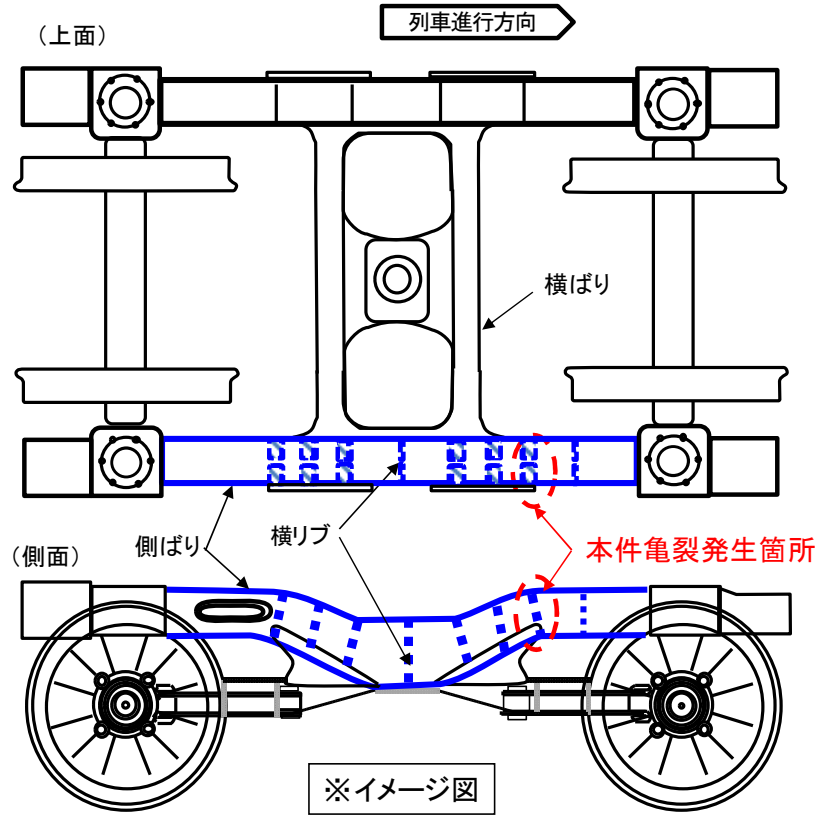
付図6 本件亀裂発生箇所等



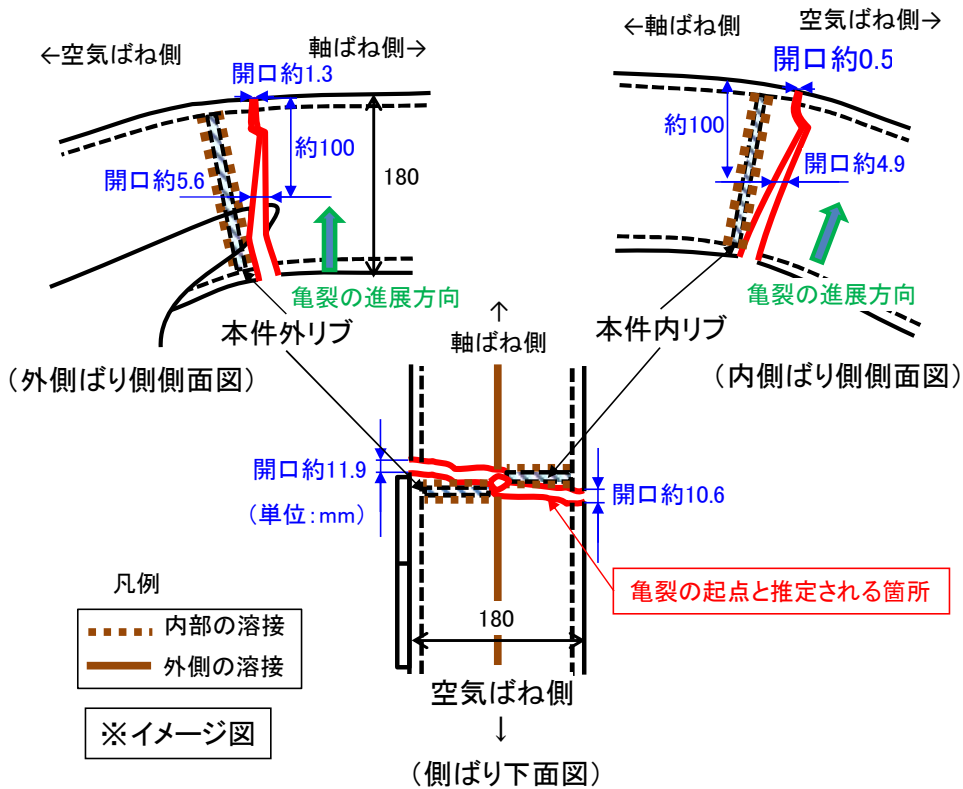
(脱線直後の本件亀裂(同社提供))

# 付図7 本件亀裂の状況等

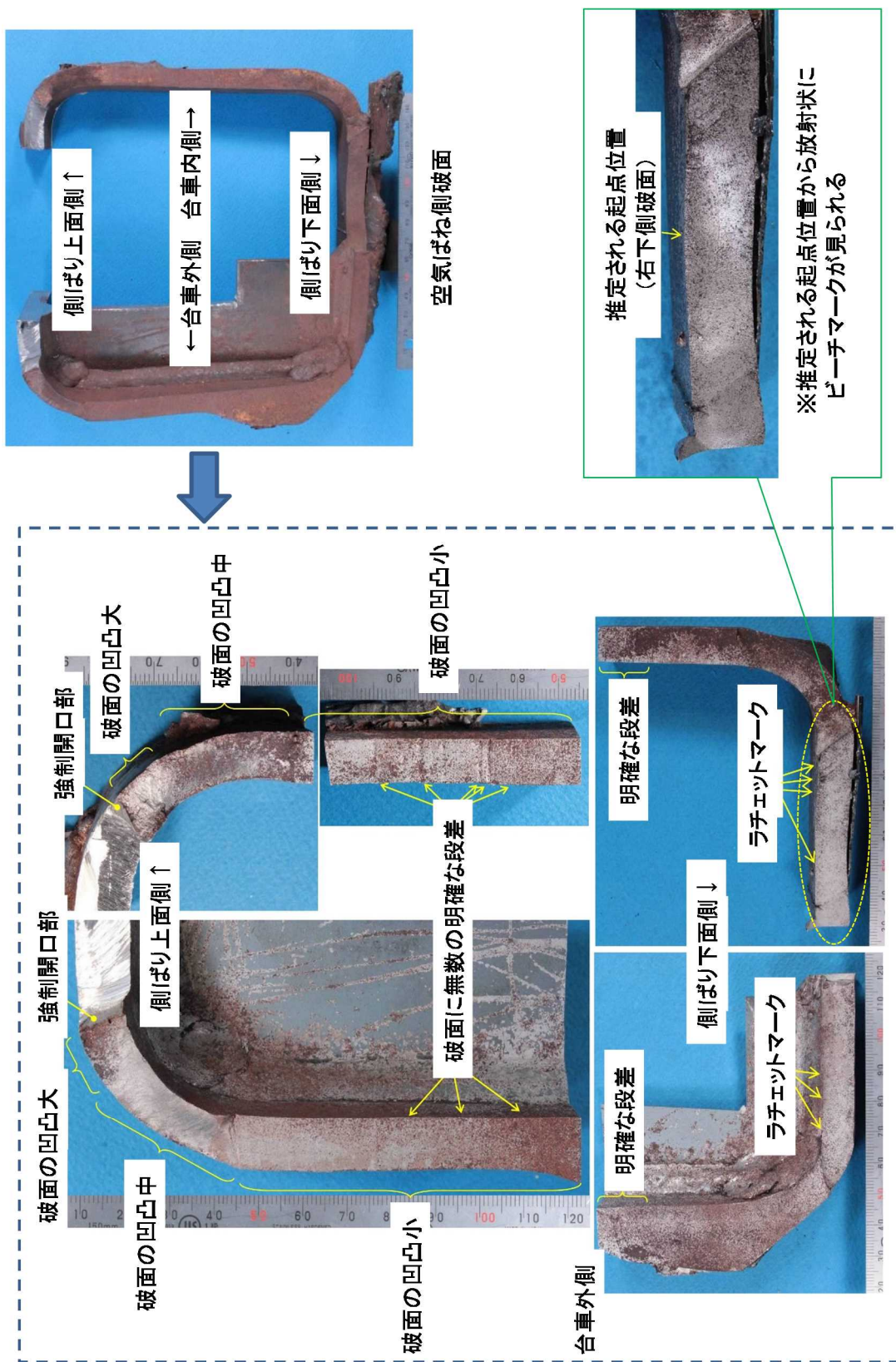
## 1) 本件側ばりの横リブの配置



## 2) 本件亀裂の状況












付図8 破面の状況等



(※ 写真は全て同社提供)

付図9 本件台車の車輪の状況

	外側面	正面	背面
前軸右車輪			
前軸左車輪			
後軸右車輪			
後軸左車輪	