

# 鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

- |   |            |      |                             |
|---|------------|------|-----------------------------|
| I | 長崎電気軌道株式会社 | 桜町支線 | 諏訪神社前停留場～公会堂前停留場間<br>車両脱線事故 |
|---|------------|------|-----------------------------|
- II 流鉄株式会社 流山線 幸谷駅～小金城趾駅間  
踏切障害事故
- III 九州旅客鉄道株式会社 豊肥線 赤水駅構内  
列車脱線事故

平成28年11月24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 長崎電気軌道株式会社 桜町支線  
諏訪神社前停留場～公会堂前停留場間  
車両脱線事故

# 鉄道事故調査報告書

軌道経営者名：長崎電気軌道株式会社

事故種類：車両脱線事故

発生日時：平成27年10月11日 21時29分ごろ

発生場所：長崎県長崎市

桜町支線 諏訪神社前停留場～公会堂前停留場間（複線）

長崎駅前停留場起点 0k921m付近

平成28年10月31日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長	中橋和博
委員	松本陽（部会長）
委員	横山茂
委員	石川敏行
委員	富井規雄
委員	岡村美好

## 要旨

### <概要>

長崎電気軌道株式会社の螢茶屋停留場発赤迫停留場行き1両編成の第375号車は、平成27年10月11日、諏訪神社前停留場を定刻（21時27分）に出発した。運転士は、長崎駅前停留場方に向けて公会堂前交差点の分岐器を右曲線となる分岐線側に通過中、車両が進行方向とは異なる方へ向いたので、ブレーキ操作により車両を停止させた。運転士が降車して確認したところ、車両は、後台車の全2軸がレールの左に脱線していた。車両には乗客4名、運転士1名が乗車していたが、死傷者はなかった。また、事故現場は道路（併用軌道箇所）の交差点内であったが、脱線した車両は、脱線前及び脱線後において自動車等と接触や衝突はしなかった。

## <原因>

本事故は、電車が、右曲線となる分岐器内を後台車第1軸の右車輪背面と、ダイヤモンドクロッシング内のガードレールの機能を持つ部位の側面とを接触させながら走行していた際に、同車輪背面が同部位に乗り上がって左に脱線し、その後、同軸左車輪が左レールに乗り上がって左に脱線し、続いて後台車第2軸も左に脱線したことにより発生したものと考えられる。

後台車第1軸の右車輪が脱線したことについては、曲線半径の非常に小さい曲線に存在するダイヤモンドクロッシング内で、同車輪の輪重の減少と背面横圧の増加が発生し、内軌側の車輪背面からの脱線に対する脱線係数が大きくなったと考えられるとともに、脱線に対する限界脱線係数が小さくなり、脱線係数が限界脱線係数を超える状態になったことによるものと考えられる。

右車輪の輪重が減少し、右車輪の背面横圧が増加したことは、電車が脱線開始点付近を走行した速度が高かったこと、脱線開始点の手前におけるバックゲージやフランジウェー幅の車両進行方向での変化が大きかったことが影響している可能性が考えられる。また、電車の駆動方式が片軸駆動で電動機が車軸の外側に装架されている吊り掛け駆動方式であることから、後台車第1軸の軸重が同第2軸に比較して小さく、力行することにより更に小さくなった可能性があり、このことが影響した可能性も考えられる。

限界脱線係数が小さくなったことは、本事故発生時において、車輪及びガードレールへの塗油状態の変化等により脱線開始点付近での車輪背面とガードレール間の摩擦係数が大きくなったこと、付近のガードレールの摩耗によってガードレールと車輪背面間の接触角度が減少していたことが影響している可能性があると考えられる。

# 目 次

1	鉄道事故調査の経過	
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	
2.1	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	3
2.1.3	監視カメラの記録動画に関する情報	4
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	4
2.3	軌道施設及び車両の損傷に関する情報	4
2.4	軌道施設に関する情報	4
2.4.1	概要	4
2.4.2	事故現場付近の軌道に関する情報	5
2.4.3	軌道の定期検査に関する情報	7
2.4.4	事故現場付近の軌道変位の状況	8
2.4.5	事故現場付近の軌道の形状の状況	8
2.4.6	レール等への塗油の状況	9
2.5	車両に関する情報	10
2.5.1	概要	10
2.5.2	車両の管理状況に関する情報	11
2.5.3	車輪への塗油の状況	14
2.6	乗務員に関する情報	14
2.7	運転の取扱い等に関する情報	14
2.8	通過車両数に関する情報	14
2.9	事故現場及び車両における脱線の痕跡に関する情報	15
2.10	本件交差点で本事故以前に発生した車両脱線事故に関する情報	16
2.10.1	平成19年5月19日に発生した車両脱線事故	16
2.10.2	平成19年5月24日に発生した車両脱線事故	16
2.11	乗客の避難・誘導等に関する情報	17
2.12	気象に関する情報	18

3	分 析	
3.1	脱線地点に関する分析	18
3.2	脱線時の走行速度に関する分析	19
3.3	脱線時の時刻に関する分析	20
3.4	運転に関する分析	20
3.5	軌道変位に関する分析	21
3.6	軌道の形状に関する分析	22
3.7	車両に関する分析	22
3.8	レール等及び車輪への塗油に関する分析	23
3.9	車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧に関する分析	24
3.9.1	輪重に関する分析	24
3.9.2	横圧に関する分析	25
3.9.3	脱線の発生に関する分析	27
3.9.4	脱線の原因に関する分析	29
3.10	本件分岐器で過去に発生した車両脱線事故との関連性に関する分析	30
3.11	乗客の避難・誘導等に関する分析	30
3.12	気象に関する分析	30
4	結 論	
4.1	分析の要約	31
4.2	原因	33
5	再発防止策	
5.1	必要と考えられる再発防止策	34
5.2	事故後に同社が講じた措置	35
5.3	参考事項	36



## 添付資料

付図 1	長崎電気軌道の路線略図 .....	37
付図 2	事故現場付近の地形図 .....	37
付図 3	事故現場の略図 .....	38
付図 4	事故現場の脱線の痕跡 .....	39
付図 5	車両損傷の状況 .....	40
付図 6	事故現場付近の軌道変位の状況 .....	41
付図 7	事故現場付近の軌道の断面形状 .....	43
付図 8	本件電車の車輪の断面形状 .....	44
付図 9	車輪・軌道間に作用する輪重及び横圧のイメージ .....	45
写真 1	事故現場の状況 .....	46
写真 2	本件電車の脱線の状況 .....	46
写真 3	本件電車の脱線の痕跡 .....	47
付属資料	輪重、横圧、脱線係数の推定計算結果 .....	48

# 1 鉄道事故調査の経過

## 1.1 鉄道事故の概要

長崎電気軌道株式会社の螢茶屋停留場発赤迫停留場行き<sup>あかさこ</sup>1両編成の第375号車は、平成27年10月11日（日）、諏訪神社前停留場を定刻（21時27分）に出発した。運転士は、長崎駅前停留場方に向けて公会堂前交差点の分岐器を右曲線となる分岐線側に通過中、車両が進行方向とは異なる方へ向いたので、ブレーキ操作により車両を停止させた。運転士が降車して確認したところ、車両は、後台車（前後左右は進行方向を基準とする。）の全2軸がレールの左に脱線していた。車両には乗客4名、運転士1名が乗車していたが、死傷者はなかった。また、事故現場は道路（併用軌道箇所）の交差点内であったが、脱線した車両は、脱線前及び脱線後において自動車等と接触や衝突はしなかった。

## 1.2 鉄道事故調査の概要

### 1.2.1 調査組織

本事故は、軌道事故等報告規則第1条第1項第2号の「車両脱線事故」に該当し、かつ、同一箇所でも2度以上繰り返し車両脱線事故が発生した事態であることから、運輸安全委員会は、「運輸安全委員会設置法施行規則第1条第5号の事故及び第2条第7号の事態を定める告示」の第1条第2号に定める「特に異例と認められるもの」として、調査対象とした。

運輸安全委員会は、平成27年10月12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、職員を現場等に派遣した。

### 1.2.2 調査の実施時期

平成27年10月12日	現場調査及び口述聴取
平成27年10月13日	現場調査

### 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、長崎電気軌道株式会社（以下「同社」という。）蛸茶屋停留場発赤迫停留場行き第375号車（以下「本件電車」という。）の運転士（以下「本件運転士」という。）の口述によれば、概略次のとおりであった。

事故当日は、13時40分ごろに出勤して14時12分に点呼を受け、3号系統上り14時22分に蛸茶屋停留場発の電車に乗務した。

その後、3号系統上り20時37分発の浦上車庫前停留場から本件電車に乗務し、赤迫停留場に向かった後、折り返し3号系統下りで蛸茶屋停留場に向い、さらに、折り返し3号系統上り蛸茶屋停留場21時23分30秒発の本件電車に乗務した。なお、本件電車は、本事故発生まで引継ぎを含め異状はなかった。

その後、諏訪神社前停留場を定刻（21時27分）に発車した後、蛸茶屋支線と桜町支線が分岐する公会堂前交差点（以下「本件交差点」という。）の第1停止線の手前（諏訪神社前停留場方）に停止した。本件交差点の進路選別表示機に右進行進路を示す黄色の「曲」文字灯が点灯したのを確認して前進し、第2停止線の手前に停止した。その時の交通信号機は赤色の停止信号を現示していた。

その後、本件交差点の軌道信号機の黄色の右矢印、交通信号機に付随する電車用交通信号の黄色の右矢印が点灯し、軌道信号機、交通信号機の現示及び公会堂前1号分岐器（蛸茶屋支線上り線から桜町支線上り線に至る部分）（以下「本件分岐器」という。）が分岐線側（桜町支線側）に開通していることを確認して発車した。

直接制御器を1ノッチ、2ノッチまで投入し、本件分岐器を速度約12km/h（本件電車に速度計は付いていないため体感速度である。）で力行中、桜町支線上り線と蛸茶屋支線下り線が平面交差するダイヤモンドクロッシング\*1（以下「本件ダイヤモンドクロッシング」という。）を過ぎた付近で、体が本来の進行方向とは違う方向に回転する感覚を覚え、すぐに空気ブレーキを最大まで掛け、停止した。

その直後、電車内が停電した。降車して点検すると後台車全2軸が左側に脱線し、パンタグラフがトロリー線から外れていた。

車内に戻り、乗客4名に死傷者がいないことを確認し、携帯電話で同社の安全推進係に連絡を取ろうとしたが繋がらなかったため、公会堂前停留場（以下「本件停留場」という。）の賑橋停留場方（4・5号系統）まで走っていき、停留場社内電話で安全推進係に連絡を取り、状況を報告した。また、その際に前後に見えていた他の電車が止まっていることを確認した。

---

\*1 「ダイヤモンドクロッシング」とは、2つの軌道が平面交差しているものをいう。

その後、現場に到着していた警察と共に乗客の降車及び安全な場所までの移動を誘導し、自分は本件電車内に戻り、同社の社員の到着を待った。

なお、走行速度について、過去の同社の研修会における指導内容等から、本件交差点の上り線は10km/h以下の速度で進行する必要があることを認識していたが、本事故発生時の走行速度は、おおよそ指導された速度くらいであろうという意識であった。

(付図1 長崎電気軌道の路線略図、付図2 事故現場付近の地形図、付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡、写真1 事故現場の状況、写真2 本件電車の脱線の状況 参照)

### 2.1.2 運転状況の記録

本件電車には、GPS (Global Positioning System) を用いた測位により得られた時刻や速度等の記録機能を有するドライブレコーダーが搭載されていた。(以下、それらの記録を「ドライブレコーダー記録」という。)

本事故発生時の本件電車のドライブレコーダー記録は、表1のとおりであった。

なお、本件電車には運転状況記録装置は搭載されておらず、運転状況記録装置の記録により本事故発生時の時刻や速度を確認することはできなかった。また、本件電車には速度計は搭載されておらず、本件運転士が走行中の電車の速度を確認する装置はなかった。

表1 本事故発生時の本件電車のドライブレコーダー記録

時刻 (平成27年10月11日)		速度 km/h
から	まで	
21:28:57	21:28:58	0
21:28:58	21:28:59	2
21:28:59	21:29:00	5
21:29:00	21:29:01	8
21:29:01	21:29:02	9
21:29:02	21:29:03	10
21:29:03	21:29:04	10
21:29:04	21:29:05	12
21:29:05	21:29:06	12
21:29:06	21:29:07	13
21:29:07	21:29:08	14
21:29:08	21:29:09	14
21:29:09	21:29:10	13
21:29:10	21:29:11	12
21:29:11	21:29:12	10
21:29:12	21:29:13	6
21:29:13	21:29:14	3
21:29:14	21:29:15	3
21:29:15	21:29:16	3
21:29:16	21:29:17	1
21:29:17	21:29:18	0

### 2.1.3 監視カメラの記録動画に関する情報

本件交差点には、同社により本件停留場の状況を確認するための監視カメラが取り付けられており、本事故を含む本件交差点を通過する車両の状況が動画（以下「監視カメラ動画」という。）で残されていた。

## 2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし。

## 2.3 軌道施設及び車両の損傷に関する情報

本件ダイヤモンドクロッシング付近の軌道ブロック\*2及びアスファルト舗装（以下「軌道ブロック等」という。）が損傷した。

また、本件電車の主な損傷状況は、次のとおりであった。

### (1) 屋根上の機器

#### ① 集電装置の曲損及び擦過痕

### (2) 床下の機器

#### ① ブレーキ配管の折損

#### ② 車体側横ハリの擦過痕

#### ③ 主電動機配線の断線・継手外れ

#### ④ センターピンの曲損

(付図5 車両損傷の状況 参照)

## 2.4 軌道施設に関する情報

### 2.4.1 概要

桜町支線は、長崎駅前停留場と公会堂前停留場間を結ぶ複線の路線であり、軌間は1,435mm、動力は電気（DC600V）である。

軌道施設の概要は図1のとおりである。本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングは、蛍茶屋支線上り線から桜町支線上り線及び桜町支線下り線から蛍茶屋支線下り線に分岐する「公会堂前1号分岐器」のうち、蛍茶屋支線上り線から桜町支線上り線に至る部分である。「公会堂前1号分岐器」は、片開き分岐器2組（うち、1組が本件分岐器）と蛍茶屋支線下り線と平面交差するダイヤモンドクロッシング1組（本件ダイヤモンドクロッシング）で構成されている。蛍茶屋支線上り線からは、同線起点の西浜町停留場方に至る線路が基準線、桜町支線上り線に至る線路が右方向への分岐線となっている。

---

\*2 「軌道ブロック」とは、併用軌道や踏切など軌道と道路が併設されている箇所を用いるレールが敷設されるコンクリートブロックをいう。

なお、「公会堂前三方分岐」は、道路上（併用軌道箇所）に敷設されており、本件分岐器のトングレー先端におけるキロ程は長崎駅前停留場起点0k933mである。

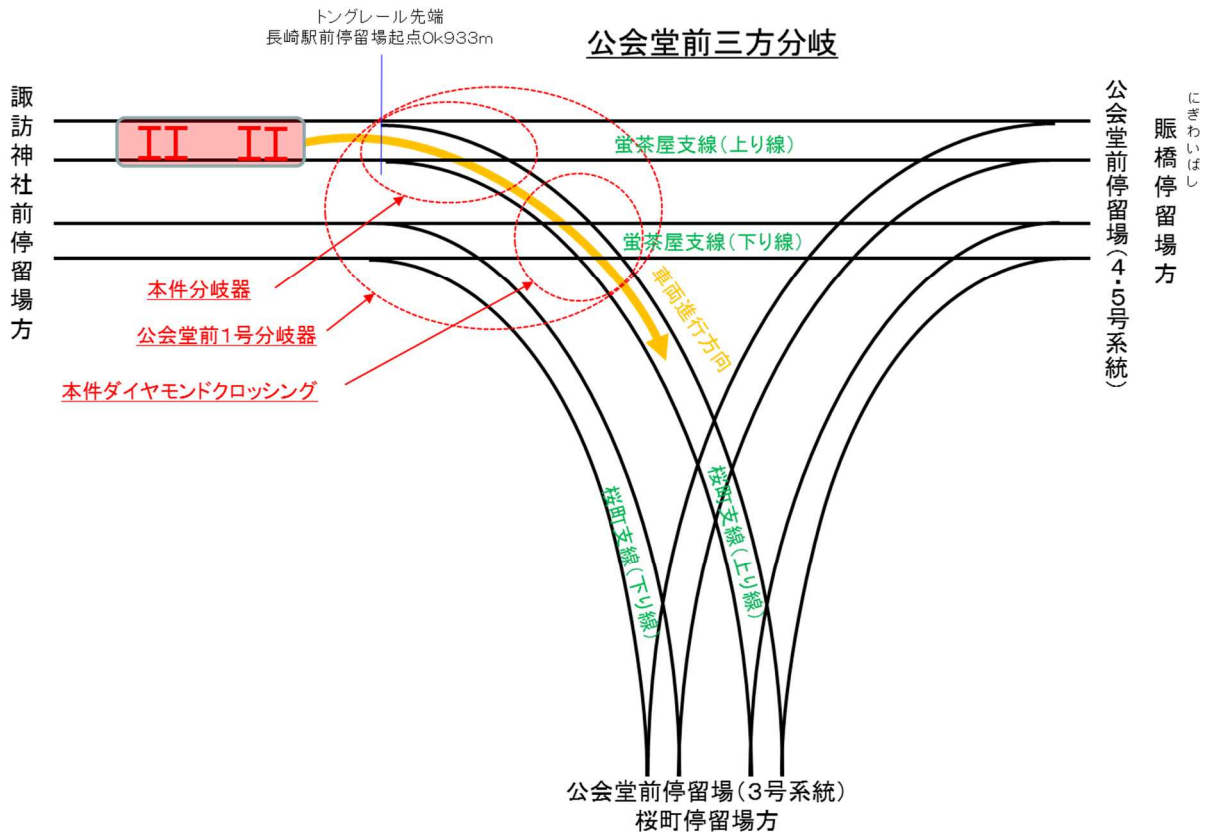


図1 軌道施設の概要

(付図1 長崎電気軌道の路線略図、付図3 事故現場の略図、写真1 事故現場の状況 参照)

## 2.4.2 事故現場付近の軌道に関する情報

### (1) 軌道線形に関する情報

本件分岐器は蛸茶屋支線上り線の基準線方向に約2.9%の下り勾配となる区間に敷設されており、第2停止線からトングレー先端までは約1.5mである。トングレー先端の手前約1.0mから同先端の前方約3.7m（以下、本報告書においては、レール方向の距離はトングレー先端からの内軌に沿って測定される距離をいい、本事故時の本件電車の進行方向を正とし、同先端からの距離がx mの地点を表す場合にはx m地点と表す。）までの間は半径45.0m（以下、本報告書において示す曲線半径の値は、内軌の曲線半径とする。）、3.7～5.5m地点付近までの間は半径35.0m、5.5～30.0m地点付近までの間は半径20.0mの右複心曲線となるよ

うに設計されている。本件分岐器の分岐線のスラック\*<sup>3</sup>及びカント\*<sup>4</sup>の設計値は各々6mm、0mmである。ただし、カントについては基準線方向に下りとなる道路勾配に応じて敷設されているため、分岐線においては、本件ダイヤモンドクロッシング付近で約2mmの逆カント（外軌よりも内軌が2mm高くなる状態）になる。

## (2) 軌道構造に関する情報

本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシング付近の軌道構造は接続軌道\*<sup>5</sup>であり、レールは40kgNレールが使用されている。なお、クロッシングは高マンガン鋼鋳鋼品で、溝付き構造によりガードレールの機能を持たせる設計（以下、ガードレールやクロッシング内のガードレールの機能を持つ部位を「ガード部」という。）となっている。

本件ダイヤモンドクロッシングは、両端に位置する2組のエンドクロッシング（ノーズレール及びウイングレールで構成される一般的な形のクロッシング）と、間にある2組のK字クロッシング（へ形レール、ノーズレール及びガードレールで構成される特殊な形のクロッシング）から構成されている。

本件分岐器の後端と本件ダイヤモンドクロッシングの前端は、内軌は直接、外軌は約1.5mのレールを介して接続される構成となっており、内軌側については、本件分岐器の右主レールに沿って敷設されているガードレールと、本件ダイヤモンドクロッシングのガード部も接続されている。

なお、ガード部の基本寸法は、走行する車両の車輪内面間距離にフランジ厚さを加えた寸法よりもバックゲージ\*<sup>6</sup>が大きくなるように設計されており、内軌側については全延長に渡って内軌側車輪をガード部で案内する構造となっている。

また、クロッシング部のフランジウェー\*<sup>7</sup>については、前後端がレールから30mmの深さとなっており、中心部に向かって300mmのスロープ状に底部が上昇し23mmの深さとなるように設計されている。

同社によると、本件ダイヤモンドクロッシングは、平成19年12月に交換され、事故当日までに、約7年10か月使用しているということであった。

### (付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡 参照)

\*3 「スラック」とは、曲線を円滑に走行するために、軌間を所定の大きさよりも広げていることをいう。

\*4 「カント」とは、曲線を走行する際の遠心力が走行安全性及び乗り心地に対して影響することを低減するように設定された、曲線外側のレールと内側のレールとの高低差をいう。

\*5 「接続軌道」とは、コンクリート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。

\*6 ここでいう「バックゲージ」とは、左レール右側面とガード部右側面との距離のことである。路面電車の分岐器付近等の急曲線部では、内軌側車輪背面がガード部側面に接触しながら走行することで、内軌側車輪をガード部が案内することが一般的である。

\*7 「フランジウェー」とは、近接したレールの間を車輪フランジが通る場合のレール頭部間の空間をいう。

### 2.4.3 軌道の定期検査に関する情報

同社では、「軌道運転規則」に基づき、「実施細則として同社が九州運輸局長に届け出ている「軌道整備心得」（以下「軌道整備心得」という。）によって「線路検査基準」を定めており、軌道変位については1年に1回検査することとしていた。

同社では、これに基づき、線路方向に10m間隔で軌道変位（軌間変位、水準変位、高低変位及び通り変位 ※高低変位及び通り変位については10m弦での測定）を測定（以下「一般区間軌道変位測定」という。）している。さらに、分岐器区間については分岐器各部位で軌道変位（軌間変位、バックゲージ、水準変位、高低変位及び通り変位 ※高低変位及び通り変位については各部位間の距離を弦長とした測定）を測定（以下「分岐器軌道変位測定」という。）している。また、軌道整備心得に示された軌道変位の許容値\*8（以下「許容値」という。）は、表2のとおりである。同社から提出された、事故現場付近の一般区間軌道変位測定記録（①軌間変位、水準変位：平成27年6月9日実施 ②高低変位、通り変位：同年6月29日実施）及び分岐器軌道変位測定記録（①軌間変位、水準変位、バックゲージ：平成27年7月29日実施 ②高低変位、通り変位：同年8月5日実施）によると、許容値を超える軌道変位は、一般区間軌道変位測定においてクロッシング部である9.2m地点付近の軌間変位が-4mmであり、許容値の-3mmを1mm下回っていた。また、分岐器軌道変位測定においてクロッシング部である8.1m地点付近のバックゲージが1,393mmであり、許容値の1,394mmを1mm下回っていた。なお、これらの箇所については、同社により緊急性がないと判断され補修等は行われていなかった。

また、同社から提出された本件分岐器の機能や材料を点検（平成26年11月6日実施）した結果には、リードレール及びガードレールの摩耗状況、フランジウェー幅が経過観察を要する程度であったことが記録されていた。

表2 軌道変位許容値

(単位：mm)

項目	最小	最大	適用範囲
軌間（本件分岐器においてスラックを考慮した値）	1,438 (-3)	1,446 (+5)	クロッシング部
	1,437 (-4)	1,448 (+7)	クロッシング部以外
水準	-6	+6	

\*8 軌道変位の「許容値」とは、軌道整備心得に示された値で、この値の範囲内の変位については整正しなくともよいとされるものをいう。



高低*	- 7	+ 7	
通り*	- 5	+ 5	直線部
	- 8	+ 8	曲線部
バックゲージ	1, 3 9 4	1, 4 0 2	分岐器クロッシング部鼻端軌条（ノーズレール）

※高低及び通りは10m弦の長さにおける変位置。

(付図6 事故現場付近の軌道変位の状況 参照)

#### 2.4.4 事故現場付近の軌道変位の状況

本事故発生後に、本件分岐器付近における軌間変位、バックゲージ、水準変位、高低変位及び通り変位（高低変位及び通り変位については2m弦での測定）を、0.5m間隔で測定した。測定結果は以下のとおりである。なお、2.9に後述するとおり、本事故によると見られる車輪の乗り上がり痕跡から推定される脱線開始点は、12.2m地点付近の本件ダイヤモンドクロッシング内にあった。

- (1) 脱線開始点付近において、軌間変位、バックゲージ、水準変位については、2.4.3に記述した事故の直近の軌道変位測定結果と大きな差異はなかった。
- (2) 脱線開始点手前の8.3m地点付近から11.3m地点付近の約3.0m間でバックゲージが1,393mmから1,400mmまで7mm拡大し、同時に軌間変位とバックゲージから算定したフランジウェー幅は52mmから41mmまで11mm縮小していた。
- (3) 本件電車の軸距（1.4m）を考慮し、1.5m平面性変位<sup>\*9</sup>を水準変位から算定すると、脱線開始点に近い10.3m地点付近で5mm（後軸と比較して前軸の左車輪が低くなる状態）となった。なお、平面性変位については、同社は許容値を設定していなかった。
- (4) 高低変位及び通り変位は、2m弦による測定値と曲率の設計値から得られる2m弦の設計値を比較すると、測定値は設計値に近い値であった。

(付図6 事故現場付近の軌道変位の状況 参照)

#### 2.4.5 事故現場付近の軌道の形状の状況

同社により、本事故後に、本件脱線開始点付近におけるレール及びガード部の形状を測定した。

\*9 「平面性変位」とは、レールの長さ方向の2点間の水準変位の差をいい、平面に対する軌道のねじれ状態を表す。2点間の距離が1.5mであれば1.5m平面性変位という。なお、本文中では、左前方が下がる向きにねじれている場合の平面性変位をプラス側としている。

2.9に後述する脱線が開始した痕跡が確認される地点付近において、外軌については、頭頂面の垂直方向の摩耗が最大約4mmあったが、側面はほとんど摩耗していなかった。内軌については、11.5m地点付近でレール部分の頭頂面の垂直方向の摩耗が約3mm、側面は45°方向の摩耗が約4mmであった。これらの摩耗量は軌道整備心得に示された基準値（15mm）より小さかった。また、同地点付近のガード部は、頭頂面の摩耗はほとんどないが、側面については、摩耗による傾斜角度（以下「摩耗角度」という。）が、新品では垂直（90°）であるのに対して、付図7に示すように約80°になる程度に摩耗しており、側面上部での摩耗量は水平方向に約6mmであった。さらに、軌間線（レール頭頂面から14mm下の位置）でのフランジウェー幅は約41mmで設計値（40mm）より約1mm広がっていた。フランジウェー底部には、レール側とガード部側にそれぞれ車輪フランジ先端が接触して走行したことによると考えられる溝状の摩耗が見られ、摩耗した深さは、レール側が約4mm、ガード側が約3mmであった。なお、11.5m地点付近の内軌ガード部のレール継目の目違い\*10はほぼなかった。

さらに、2.9に後述する脱線が開始した痕跡が確認される地点の手前において、本件ダイヤモンドクロッシング内でのガード部となるノーズレール先端付近で摩耗が発生しており、この部分ではフランジウェー幅が設計値の40mmに対して約15mm広がっていた（図2）。

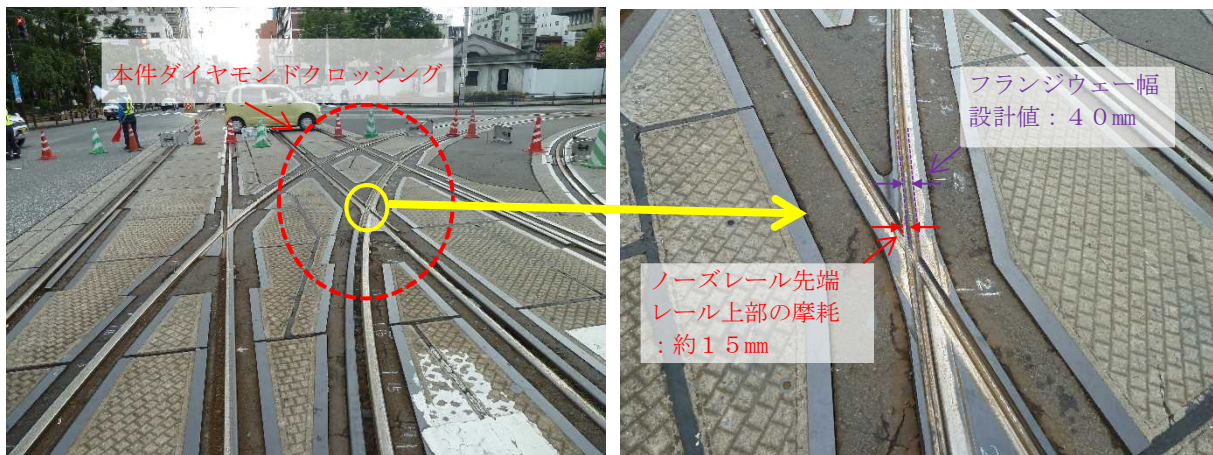


図2 本件ダイヤモンドクロッシング内のノーズレール先端付近

（付図4 事故現場の脱線の痕跡、付図7 事故現場付近の軌道の断面形状 参照）

#### 2.4.6 レール等への塗油の状況

同社によると、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングについては、人力

\*10 「レール継目の目違い」とは、レール継目をはさんだ両側レール端部の左右方向の段差をいう。車輪衝撃により衝撃的な横圧や輪重の原因となる。

によりガード部に2回/日の塗油を行うこととしており、本事故発生当日においても、11時30分ごろ及び14時00分ごろに塗油を行っていた。

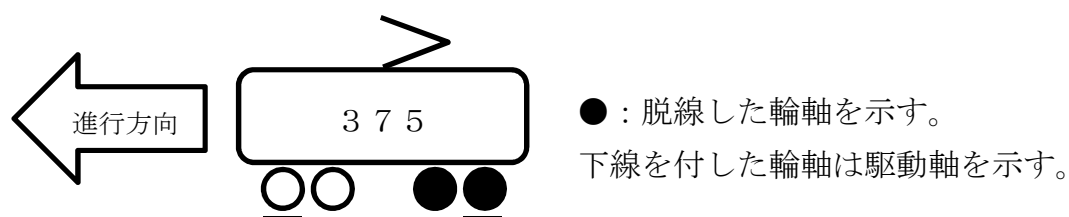
ただし、本事故の現場調査時においては、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングに十分な油が付着している状況にはなかった。

(付図4 事故現場の脱線の痕跡 参照)

## 2.5 車両に関する情報

### 2.5.1 概要

同社によると、本件電車の編成と主要諸元は次のとおりであるとのことであった。



・車種	直流電車 (DC600V)
・編成両数	1両
・空車重量	15.0t <sup>*11</sup>
・軸距	1.4m
・台車中心間距離	5.4m
・最大けん引力	11.0kN
・主電動機制御方式	直接制御式
・台車型式	NS-17 (ボルスタ付き)
・駆動方式	片軸駆動、吊り掛け駆動方式 (台車内の片方の軸のみを、吊り掛け式支持装置を介して電動機で駆動する方式であり、かつ、電動機が車軸の外側に装架されている外吊り掛け駆動方式である。以下、このような駆動方式を「片軸外吊り掛け駆動方式」という。)
・製造年月	昭和37年9月

本件電車の各諸元の値は、同社が保有する他の車両の各値と大きな差異はなかった。

本件電車の駆動方式は、前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸（1軸目及び4軸目に主電動機を配置している）となっている片軸外吊り掛け駆動方式（図3

\*11 [単位換算] 1t=1000kg(重量)、1kg(重量) : 1kgf、1kgf : 9.8N

参照) であり、同様の電車は同社が保有する75両のうち14両存在する。75両のうち56両は、前台車の第2軸及び後台車の第1軸が駆動軸の片軸外吊り掛け駆動方式、5両は前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸の直角カルダンユニバーサル継手方式である。

なお、2.10で後述する、本件交差点で過去に発生した2件の車両脱線事故と本事故を合わせた3件の車両脱線事故の全てが片軸外吊り掛け駆動方式の車両で発生している。さらに、そのうち2件が、前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸となっている片軸外吊り掛け駆動方式の車両である。

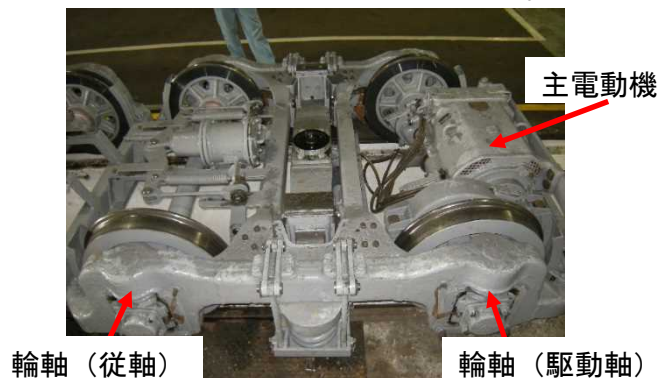


図3 片軸外吊り掛け駆動方式の台車

## 2.5.2 車両の管理状況に関する情報

### (1) 輪軸、車輪及び踏面形状

本件電車の輪軸各部の寸法について、同社から提出された本事故前直近の全般検査(8年を超えない期間ごとの検査、平成27年10月3日実施)結果の記録、本事故後の測定(平成27年10月12日実施)結果の記録及び‘実施細則として同社が九州運輸局長に届け出ている「車両整備心得」’(以下「車両整備心得」という。)に基づく「車両検査限度表」に定められた許容範囲\*12は、表3のとおりであった。なお、同社は、本事故前直近の全般検査以外に、重要部検査(4年を超えない期間ごとの検査、平成24年10月4日実施)、三月検査(3か月を超えない期間ごとの検査、平成27年8月17日実施)でも本件電車の輪軸各部の寸法について測定している。

各寸法について、本事故後に測定した車輪内面間距離は前台車第1軸、前台車第2軸及び後台車第1軸については、許容範囲を0.5~1.0mm下回っていたが、他は許容範囲内であった。

さらに、本事故後に測定した同軸各車輪の断面測定によるとフランジ角は左右車輪とも設計値とほぼ同等の約68°であった。また、本事故後の調査

\*12 同社における輪軸各部の寸法の「許容範囲」とは、管理対象の測定値がこの値の範囲内であれば直ちに修正しなくともよいとされているものである。

で表面粗さ及び台車の状態には、特に異状は認められなかった。

なお、本事故前直近の全般検査時に車輪は新品のものと交換されており、全般検査から本事故までの本件電車の走行距離は592kmであった。また、その間、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングの箇所を本件電車は19回通過していた。

表3 輪軸各部寸法の測定値

(単位：mm)

	全般検査	本事故後
前台車 第1軸	1,366.0 左：24.5 右：24.5 左：22.0 右：22.0	1,365.5 左：25.5 右：25.5 左：22.0 右：22.0
前台車 第2軸	1,366.0 左：24.5 右：24.5 左：22.0 右：22.0	1,365.0 左：25.5 右：25.0 左：22.0 右：22.5
後台車 第1軸	1,366.0 左：24.5 右：24.5 左：22.0 右：22.0	1,365.0 左：26.0 右：25.5 左：22.0 右：22.0
後台車 第2軸	1,366.0 左：24.5 右：24.5 左：22.0 右：22.0	1,366.0 左：25.5 右：25.5 左：22.0 右：22.0

※上段：車輪内面間距離（1,366：1,366～1,368）、

中段：フランジ厚さ（25：16～32）、

下段：フランジ高さ（22：22～33）、

（ ）内の数値は、標準値：許容範囲

※左は進行方向左車輪、右は進行方向右車輪を指す。

(付図8 本件電車の車輪の断面形状 参照)

(2) 静止輪重

本件電車の静止輪重について、同社から提出された本事故前直近の全般検査（平成27年10月3日実施）記録及び本事故後の測定（平成27年10月12日実施）結果記録は表4のとおりであった。

なお、同社は、本事故前直近の全般検査以外にも、重要部検査（平成24年10月4日実施）でも本件電車の静止輪重について測定している。

表4 静止輪重の測定値

	全般検査	本事故後
前台車 第1軸	左：22.5 右：24.0 3% 46.5	左：20.4 右：20.1 1% 40.5
前台車 第2軸	左：17.5 右：18.1 2% 35.6	左：15.3 右：15.3 0% 30.6
後台車 第1軸	左：17.6 右：16.5 3% 34.1	左：15.5 右：13.6 7% 29.1
後台車 第2軸	左：21.5 右：22.4 2% 43.9	左：18.9 右：21.2 6% 40.1

※上段：静止輪重（kN）、中段：静止輪重比、下段：軸重（kN）

※左は進行方向左車輪、右は進行方向右車輪を指す。

本事故前直近の全般検査で測定した静止輪重比（1軸の輪軸に対し、片側の車輪の輪重をその軸の平均輪重で除した値、100%との差の絶対値で表す。）は、脱線した後台車の第1軸で3%右側（内軌側）が小さい状態であり、第2軸で2%左側（外軌側）が小さい状態であった。また、左右車輪の合計値である軸重は、従軸である前台車第2軸及び後台車第1軸が駆動軸である前台車第1軸及び後台車第2軸より小さかった。

なお、静止輪重比について、同社は、「急曲線における低速走行時の脱線防止策について」<sup>\*13</sup>の運用について（平成12年10月26日付け鉄保第149号、鉄施第154号）に基づき20%を基準値として管理を行っており、測定値と基準値を比較すると、全て基準値以内であった。

また、同社によると、全般検査から本事故後の測定までの経過日数が少ないにもかかわらず測定した静止輪重値に差があるのは、簡易的な方法で測定したものであることから誤差を多く含んでいる可能性があるためとのことであった。

\*13 「急曲線における低速走行時の脱線防止策について」とは、2000年3月8日に発生した帝都高速度交通営団（現 東京地下鉄株式会社）日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故を受け、急曲線における低速走行時の脱線防止策について鉄軌道事業者を指導した鉄道局長通達である。

### 2.5.3 車輪への塗油の状況

同社によると、車輪（フランジの表側及び車輪背面）への塗油は行っていないとのことであった。

### 2.6 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 56歳

乙種電気車運転免許

昭和58年5月30日

### 2.7 運転の取扱い等に関する情報

同社では、‘実施細則として同社が九州運輸局長に届け出ている「運転取扱心得」’（以下「運転取扱心得」という。）において、本件分岐器進入時の運転方法及び運転速度について以下のように定められていた。

- (1) 自動転てつ器の設置箇所を通過するときには、停止線で一旦停止し、信号機の進行信号とポイントの開通を確認してから進行する。
- (2) ポイントを対向<sup>\*14</sup>で通過するときの運転速度は15km/h以下とする。また、半径40m以下の曲線での運転速度は15km/h以下とする。

さらに、同社では、2.10に後述する本件分岐器で過去に発生した車両脱線事故に対する再発防止対策として、本件交差点上り側の曲線通過速度を「可能な限り速度変化のない運転に努め、進行速度は10km/h以下を厳守する。」とし、運転士への指導を行っていた。

なお、本件交差点の交通信号機に付随する電車用交通信号の本事故における進路方向（右折を示す矢印）の現示時間は、13秒又は10秒である。

同社によると、本件交差点は他の交差点と比べ幅員が広いため、電車の速度によっては通過に時間を要して円滑な道路交通に支障をきたす可能性があると考えているということであった。

（付図3 事故現場の略図 参照）

### 2.8 通過車両数に関する情報

本件分岐器の分岐線側を対向で通過する電車本数は、本事故当時の基本ダイヤでは、平日167本/日、土曜日157本/日、日曜日・祝日156本/日である。本事故発生当日の本件電車である第375号車については、本事故発生までに3回通過した後、4回目の通過時に脱線した。

---

\*14 「対向」とは、分岐器の前端側から後端側への向きであり、本件分岐器では諏訪神社前停留場から桜町停留場への向きである。

## 2.9 事故現場及び車両における脱線の痕跡に関する情報

- (1) 本事故後、本件電車は前部を進行方向の右に向けて停止し、後台車全2軸が左に脱線していた。脱線していない前台車については、前台車第1軸の右車輪が本件分岐器のトングレーール先端から約28.6m離れた地点、脱線した後台車については、後台車第1軸の右車輪が同約28.1m離れた地点で停止していた。
- (2) 11.5m地点付近の本件ダイヤモンドクロッシング内の右側K字クロッシングの前端ガード部には右車輪背面が強く接触し乗り上がったと考えられる痕跡が見られた。(以下、11.5m地点付近を「乗り上がり開始点」という。)
- (3) 12.2m地点付近の本件ダイヤモンドクロッシング内の右側K字クロッシングのガード部には右車輪フランジが左に乗り上がる痕跡が見られ、(以下、12.2m地点付近を「脱線開始点」という。)更に軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第1軸の右車輪が走行した痕跡が連続的に存在していた。
- (4) 12.6m地点付近の本件ダイヤモンドクロッシング内の右側K字クロッシングのガード部には右車輪フランジが左に乗り上がる痕跡が見られ、更に軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第2軸の右車輪が走行した痕跡が連続的に存在していた。
- (5) 12.2m地点付近の本件ダイヤモンドクロッシング内の左側K字クロッシングのへ形レールには左車輪フランジが左に乗り上がる痕跡が見られ、更に軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第1軸の左車輪が走行した痕跡が連続的に存在していた。
- (6) 12.8m地点付近の本件ダイヤモンドクロッシング内の左側K字クロッシングの終点方ノーズレールには左車輪フランジが左に乗り上がる痕跡が見られ、更に軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第2軸の左車輪が走行した痕跡が連続的に存在していた。
- (7) 本件電車後台車の全車輪のフランジ先端部には、脱線後に軌道ブロック等の上を走行したことによるとみられる痕跡があった。また、後台車第1軸右車輪背面及び後台車第1軸左車輪のフランジの表側には、ガード部及びレールに乗り上がったことによるとみられる痕跡があった。
- (8) 同社から提供された本事故時の監視カメラ動画による、第2停止線を出発してから脱線及び停止をするまでの本件電車の状況は、ほぼ上記の脱線の痕跡から推定される脱線状況のとおりであった。

(付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡、写真2 本件電車の脱



線の状況、写真3 本件電車の脱線の痕跡 参照)

## 2.10 本件交差点で本事故以前に発生した車両脱線事故に関する情報

### 2.10.1 平成19年5月19日に発生した車両脱線事故

平成19年5月19日の18時50分ごろ、本件分岐器中の右曲線部を長崎駅前停留場方に向けて通過中の蛍茶屋停留場発赤迫停留場行き1両編成の第201号車の前台車全2軸が左に脱線する事故（以下「1回目事故」という。）が発生した。事故現場付近における当時の天気は晴れであった。また、走行速度は約10～15 km/hであった。事故現場での電車の営業運転（桜町支線上り線）は、事故発生の翌日（同月20日）の朝（始発）に再開された。

事故の原因について、同社は、同月8日及び10日にリードレールの交換等を含む補修工事を実施した際に、本件分岐器のリードレール及びクロッシングの線形形状が不適切であったこと、並びにガードレール終端部が右車輪背面から横圧を受けた際に左に変位したために、ガードレール終端部に右への段差が生じ、右車輪背面が段差に衝突したことにより、変動横圧<sup>\*15</sup>（ここでは、衝撃的な背面横圧）が発生して脱線係数が大きくなったことで、前台車第1軸の右車輪の背面がクロッシングのガード部に乗り上がったものと判断した。

同社は、事故後に本件分岐器の線形を整正するため、ガードレール終端部とそれに接続するクロッシングの溶接及び同クロッシングの肉盛溶接等の緊急補修（同月19日、22日及び23日）を実施した。

なお、1回目事故の脱線が開始した点と推定される箇所は、2.9に記述した本件電車の後台車第1軸の脱線開始点と推定される箇所の約3.6 m手前であった。

### 2.10.2 平成19年5月24日に発生した車両脱線事故

平成19年5月24日の21時30分ごろ、本件分岐器中の右曲線部を長崎駅前停留場方に向けて通過中の蛍茶屋停留場発赤迫停留場行き1両編成の第375号車の後台車全2軸が左に脱線する事故（以下「2回目事故」という。）が発生した。事故現場付近における当時の天気は晴れ又は曇りであった。また、走行速度は約12 km/hであった。

事故の原因は、本件分岐器中の右曲線部において、2回目事故の電車の後台車第1軸の右車輪背面を本件分岐器のガードレール等の右側面に接触させながら走行していた際に、同側面に右凸部が存在したことにより、変動横圧（ここでは、衝撃的な背面横圧）が発生して脱線係数が大きくなったとともに、同側面が粗い状態に

---

\*15 「変動横圧」とは、通り変位による車体左右振動による慣性力である「通り変位横圧」やレール継目部での左右振動による衝撃力である「継目部衝撃横圧」のことである。

あったことから右車輪背面と同側面の間の摩擦係数が大きくなっていたことにより、限界脱線係数が低下したため、同軸右車輪の背面がクロッシングのガード部に乗り上がった後、同軸左車輪が左レールに乗り上がって同軸が左に脱線し、続いて第2軸も左に脱線したことによるものと考えられた。

同側面に右凸部が存在したこと及び同側面が粗い状態にあったことについては、1回目事故後の緊急補修において実施された肉盛溶接及び研磨作業の仕上がり状態が不適切であったことによるものと考えられた。

なお、2回目事故の脱線が開始した点の痕跡が見られた箇所は、前述した1回目事故より約0.5 m前方であり、本件電車の後台車第1軸による同様の痕跡が見られた箇所の約3.1 m手前であった。

同社は2回目事故の後、本件分岐器に対してガードレール等の交換及びガードレール終端付近が左に大きく変位することを防止するための金具の取付け等の措置を講じ、本件分岐器における走行試験を実施して安全を確認した後、平成19年7月19日に桜町支線での営業運転を再開した。

また、同社は1回目事故及び2回目事故の再発防止策として、「レールアーク溶接手順書」及び「軌道保守工事標準仕様書」を新たに作成し、これらを基本に軌道工事をより安全・確実に実施していく体制を整えた。さらに、車輪・レール間の摩擦力が過度に上昇しないための対策として、従来1日1回であった公会堂前1号分岐器のガード部への塗油を、1日2回に増加し実施することとした。加えて、2.7に記述したように、本件交差点上り側の曲線通過速度を10 km/h以下と定め、運転士への指導を行っていた。

このように、本件交差点で過去に発生した車両脱線事故は、本事故と同一の曲線内における極めて近い位置で発生しており、本事故は3回目の車両脱線事故となる。

なお、2回目事故について、航空・鉄道事故調査委員会（現：運輸安全委員会）は鉄道事故調査報告書（RA2008-7、平成20年7月25日）を公表した。

（付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡 参照）

## 2.1.1 乗客の避難・誘導等に関する情報

2.1.1に記述した本件運転士の口述及び同社から提供された資料によると、本事故発生後から本件電車の乗客の避難・誘導を行うまでの時系列は、概略表5のとおりであった。

表5 本事故発生後から乗客の避難・誘導を行うまでの時系列

時刻	本事故発生後の乗客の避難・誘導に関する情報
21:29ごろ (本事故発生)	・本件運転士は、降車して、本件電車が脱線していることを確認。その後車内に戻る。
21:30ごろ	・本件運転士は、乗客のけが等の状況の把握（けが人はいなかった）。 ・本件運転士は、携帯電話で同社の安全推進係に連絡を取ろうとしたがつながらなかったため、本件停留場の停留場社内電話で安全推進係に連絡を取り、状況（本件電車が脱線していること、けが人はいないこと）を報告。同時に、前後に見えていた他の電車が止まっていることを確認。 ・警察が本事故現場に到着。
21:55ごろ	・同社の安全推進係が本事故現場に到着、本事故現場の写真撮影等を開始。
22:00ごろ	・本件運転士は、警察と共に乗客の降車及び安全な場所までの移動を誘導。

## 2.12 気象に関する情報

本事故現場の最寄りの長崎地方気象台の記録によれば、前日の降水は記録されておらず、当日は、1時00分～2時00分に2.5mmの降水があったが、午後からは降水はなかった。

# 3 分析

## 3.1 脱線地点に関する分析

2.9(2)、(3)及び(5)に記述したように、11.5mから12.2m地点付近にかけて右側ガード部（内軌）に後台車第1軸の右車輪が左に背面側から乗り上がり脱線した痕跡が見られ、12.2m地点付近でレール（外軌）に後台車第1軸の左車輪が左に脱線した痕跡が見られた。内外軌とも、これより手前に脱線の痕跡はないことから、12.2m地点付近が脱線開始点と考えられる。なお、内外軌の後台車第1軸の左右輪の脱線開始点はほぼ同じ位置であるが、脱線時後台車第1軸は曲線を通過していたため正のアタック角<sup>\*16</sup>が発生していたと考えられ、そのため右車輪（内軌側）が左車輪（外軌側）よりもやや前方に位置した状態で走行していたものと考えられる。よってレール等の痕跡は左右がほぼ同位置であるが、脱線は右車輪が先に脱線し、続いて左車輪が脱線したものと考えられる。

さらに、2.9(4)及び(6)に記述したように、12.6m地点付近の右側ガード部（内軌）に後台車第2軸の右車輪の脱線が開始した点と考えられる痕跡が見られ、12.8m地点付近のノーズレール（外軌）に後台車第2軸の左車輪の脱線が開始した点と考えられる痕跡が見られた。これにより、後台車第1軸が脱線した直後に後台

\*16 「アタック角」とは、車輪とレールとの相対ヨー角（上下軸まわりの回転角）のことである。なお、曲線を走行する車輪とレールについては、外軌側車輪がレールに向かって進むときの角度を正にとる。

車第2軸が続けて脱線したと考えられる。

以上により、本件電車は、後台車第1軸の右車輪背面が12.2m地点付近において、ガード部を左に脱線（以下、このような脱線を「内軌側背面脱線」という。）し、直後に後台車第1軸の左車輪が左に脱線し、続けて後台車第2軸の左右車輪がそれぞれ左に脱線したものと考えられる。

### 3.2 脱線時の走行速度に関する分析

2.1.2に記述した本事故時のドライブレコーダー記録から算定される地点ごとの速度は図4のとおりである。

これによると、2.9に記述した脱線開始点付近を後台車第1軸が通過したときは、力行中で、速度は約13km/hであったと考えられる。

これは、2.1.1で記述した運転士の口述による速度とほぼ一致する。

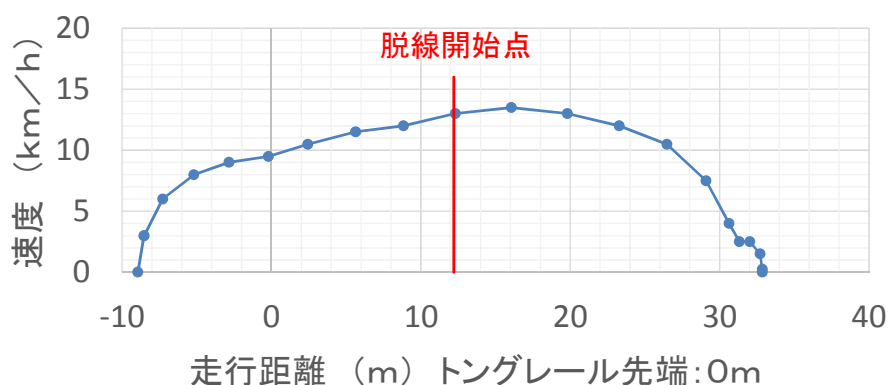


図4 本件電車の地点ごとの走行速度

さらに、2.1.3に記述した監視カメラ動画より、平成27年10月10日の本件交差点を通過した電車（114本）と本件電車の第2停止線から脱線開始点と考えられる位置までの通過時間を算定すると、図5のとおりであった。

これによると、本件電車の通過時間は、115本の電車のうち2番目に短い時間であった。動画からの通過時間と脱線開始点における速度の関係は、読み値における車種ごとの寸法による誤差、発車からの加速状況等により異なるため、一概に比例はしないが、おおむね本件電車は他の電車と比較して速度が高めであったと考えられる。

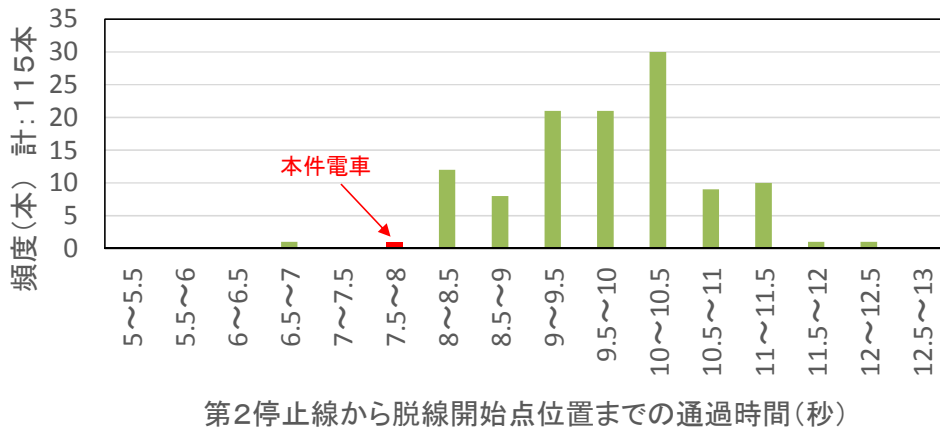


図5 本件電車と他の電車の本件分岐器付近通過時間の比較

### 3.3 脱線時の時刻に関する分析

2.1.2に記述した本件電車のドライブレコーダー記録から、3.2に記述した方法と同じ分析を行い、本件電車の地点ごとの時刻を算定すると、2.9に記述した脱線開始点付近において、本件電車は21時29分06秒ごろ脱線したものと考えられる。

本事故発生時における本件停留場の桜町停留場方（3号系統）発車時刻の定刻が21時29分30秒であることから、これは2.1.1で記述した運転士の口述による時刻とほぼ一致する。

### 3.4 運転に関する分析

2.1.1に記述した本件運転士の口述及び3.2に記述した脱線時の走行速度から、事故現場付近における本件運転士の運転については、運転の手順等は、2.7に記述した運転取扱心得に基づく運転方法とほぼ合致していたが、運転速度は、2.7に記述した1回目事故及び2回目事故に対する再発防止対策として同社が本件交差点上り側の曲線通過速度として指導していた運転速度（10km/h以下）を約3km/h超過していたと考えられる。また、3.2に記述したように本事故時は力行中であったと考えられる。

同社により指導していた運転速度を超過していたこと及び力行中であったことは、3km/h程度の速度超過や力行のタイミングは、運転士の少しの運転操作の差異で発生することが影響し、本件運転士が、指導されている運転速度以内での運転及び可能な限り速度変化のない運転を確実に行うことが難しかった可能性があると考えられる。

また、2.7の後段に記述したように、本件交差点は電車用交通信号の現示時間と電車の運転速度の状況によっては、円滑な道路交通に支障をきたす可能性があると考えられ、このことに運転士が気をとられ運転操作に影響する可能性があると考えられる。よって、電車用交通信号の現示時間の長さの適否について、今後、関係者間で検

討することが望ましい。

いずれにしろ、本件分岐器内での脱線を防止するためには、速度の超過を防ぐことが重要であることから、同社は、2.7に記述した本件交差点内での運転に関する指導を同社の運転士に対して継続して行い、引き続き速度遵守などの運転方法に関する指導内容を徹底させることが望ましい。なお、力行の影響については、3.7において後述する。

### 3.5 軌道変位に関する分析

脱線開始点付近における軌道変位に関する分析は以下のとおりである。

- (1) 2.4.4に記述したように、脱線開始点付近において、本事故発生後に測定された軌間変位、バックゲージ、水準変位については、2.4.3に記述した直前の軌道変位測定結果と大きな差異はなく、本事故発生直前に軌道変位の急激な変化はなかったものと考えられる。
- (2) 2.4.3及び2.4.4に記述したように、脱線開始点付近の軌道変位については、僅かに許容値を超過する軌道変位はあったが、大きく許容値を逸脱する変位はなかった。これにより、脱線に直接至るような大きな軌道変位はなかったものと考えられる。
- (3) 本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングのバックゲージは、2.9に記述する最初に脱線したと考えられる後台車第1軸における、2.5.2(1)に記述する、全般検査時の車軸の車輪内面間距離と左車輪フランジ厚さの和である1,390.5mmより大きい状態であり、車両走行時は、内軌側車輪背面とガード部が接触し、右側車輪背面がガード部で案内されながら走行する状態であったと考えられる。
- (4) 本事故は、3.1に記述したように、右側車輪背面が内軌側ガード部に乗り上がり脱線したものである。また、上記(3)に記述したように、本事故発生時は、右側車輪背面がガード部で案内されながら走行していた。さらに、2.4.4に記述したように、脱線開始点手前でバックゲージが7mm及びフランジウェー幅が11mm変化しており、その変化量は、2.4.3で記述した軌道変位の許容値の内、左右方向の変化量を表す通り変位の許容値が $\pm 8$ mmであることと比較すると、比較的大きかった可能性が考えられる。これにより、車輪を案内するガード部の急激な変化により車輪への衝撃やアタック角の変動が発生することで、横圧の変動が発生し、脱線に影響した可能性が考えられる。

このように、バックゲージ及びフランジウェー幅が比較的大きく変化していたのは、2.4.5に記述したように、脱線開始点手前の本件ダイヤモンドク

ロッシング内のガード部となるノーズレール先端付近が大きく（レール上部で約15mm）摩耗していること等が影響しているものと考えられる。なお、ノーズレール先端付近が大きく摩耗したのは、ノーズレール先端と右側車輪背面との接触が繰り返されたことによる可能性があると考えられる。

このような軌道変位が発生したことは、本事故発生箇所が、2.4.2に記述したように最小曲線半径20.0mの複心曲線中に敷設されている分岐器及びダイヤモンドクロッシングであり、一般的な軌道構造と比較して、摩耗や変形に起因する軌道変位などの軌道の不整が発生しやすい構造であることも影響していると考えられる。

なお、2.4.3に記述したように、同社は一般区間の軌道変位測定のうち高低変位及び通り変位について10m弦での測定を10m間隔で行っていた。一般に高低変位及び通り変位の測定は測定弦長の1/2以下の間隔以下で測定する必要がある、同社の場合は測定間隔を5m以下とする必要がある。よって、本事故に直接関与はしていなかったが、同社が一般区間の軌道変位測定を10m間隔で行っていることは、測定間隔が広すぎると考えられるため是正することが望ましい。

### 3.6 軌道の形状に関する分析

2.4.5に記述したように、脱線開始点付近の軌道の形状は基準値を超過する摩耗はなかったことから、大きな異状はなかったものと考えられる。ただし、3.1に記述したように本事故の脱線開始点が内軌のガード部と考えられることから、脱線開始点付近の摩耗角度が約80°であったことが、脱線に影響した可能性があると考えられる。摩耗角度の脱線への影響については、3.9で後述する。

ガード部が摩耗したのは、2.4.2(2)に記述したように、本件ダイヤモンドクロッシングは、平成19年12月に交換し、本事故発生当日までに、約7年10か月使用していることからガード部に背面横圧が繰り返し作用することで摩耗が進行したものと考えられる。なお、ガード部の摩耗はガード部又は車輪背面への塗油により、ある程度の抑制ができる可能性があると考えられる。

### 3.7 車両に関する分析

2.5.1及び2.5.2に記述したように、本件電車の各諸元の値は、同社が保有する本事故と同様に本件分岐器を通過した車両の各値と大きな差異はなく、また、本件電車の輪軸各部の寸法、静止輪重等の測定値に大きな異状は認められなかったことから、本事故発生当日において本件電車に脱線の要因となる異状はなかったものと考えられる。

ただし、2.5.1に記述したように、本事故を含め過去3件の車両脱線事故の全て

の車両が片軸外吊り掛け駆動方式の車両において発生している。また、片軸外吊り掛け駆動方式の電車は、主電動機の重量が直接かからない従軸の軸重が小さくなる特徴があること、力行時に駆動トルクによって生ずるモーメントが台車枠を介して従軸の軸重が小さくなる方向に作用することから、走行時に従軸の軸重が小さくなる。曲線部において乗り上がり脱線が発生するのは、ほとんどが前軸であることから、従軸が前軸となった場合に脱線が発生しやすい傾向にあると言える。

以上により、片軸外吊り掛け駆動方式の車両は、国内の路面電車で使用されている車両としては一般的な構造であり、同社でも多数使用されているが、その特徴から、平行カルダンユニバーサル継手方式などの車両と比較すると、従軸の軸重が小さくなり、特に力行時にその傾向が強まる可能性があると考えられる。

さらに、車両形式ごとに軸重への影響が異なる可能性も考えられる。本事故は2回目事故と同じ車両（第375号車）で発生しており、この車両は前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸となっている片軸外吊り掛け駆動方式の車両である。今回、本件電車の諸元において、他車両との明らかな差異はなく、脱線に影響を与える要因を見いだすことはできなかったが、本件電車の駆動方式の差や車両の個体差が脱線に影響を与えた可能性が考えられるため、同社が同車両形式の電車を使用する場合は、特に留意することが望ましい。

なお、本事故に直接関与はしていなかったが、同社による静止輪重比の算定方法は、本来1軸の輪軸に対し、片側の車輪の輪重をその軸の平均輪重で除した値とするべきところを、1軸の輪軸に対し、両側の車輪の輪重差をその軸の平均輪重で除した値としており、本来の値の2倍の値となる方法で管理を行っていた。これは、算定方法としては間違いであるが、安全側の管理を行っていたと言える。

同社が算定方法を是正することは必要であるが、3.9.1(1)で後述するように、静止輪重比は脱線の発生に影響を与えるため、同社においては、2.5.1(2)に記述した現在20%を基準値としているところを、10%に改め、管理レベルとして今まで通りの管理を行っていくことが望ましい。

### 3.8 レール等及び車輪への塗油に関する分析

レール等及び車輪への塗油について、2.4.6に記述したように、ガード部には、本事故発生当日において11時30分ごろ及び14時00分ごろに塗油を行っていたが、本事故発生時においては十分な油が付着している状況にはなかった可能性があると考えられる。また、2.5.3に記述したように、本事故発生時において、車輪への塗油は行っていなかった。

これにより、本事故発生時には、車輪とレール及びガード部が接触している箇所における摩擦係数が、十分な塗油が行われている状態と比較して大きかった可能性



があると考えられる。

なお、ガード部への塗油が行われていたにもかかわらず付着が見られなかったのは、塗油が人力であるため油の付着箇所及び量にばらつきが出ること、油の種類、量及び塗油してからの経過時間等が関与し、複数の車両が通過することにより付着した油が減少すること等による可能性があると考えられる。

### 3.9 車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧に関する分析

本事故発生時に本件電車の後台車第1軸で作用していた輪重及び横圧について分析を行った。分析は走行速度や車輪・軌道間の摩擦などについて、本事故時の状況を基に、脱線に至った輪重及び横圧の増減及び脱線に至る可能性について考察を行った。

考察は、付図9に示す車輪・軌道間に作用する輪重・横圧のイメージを基に行った。ここで、本事故は、3.5(3)で記述したように、内軌側車輪背面とガード部が接触し案内する状態で走行していたと考えられ、さらに、3.1で記述したように、後台車第1軸の右車輪背面がガード部を左に乗り上がり脱線した内軌側背面脱線と考えられるため、脱線に関与する輪重及び横圧については、内軌側輪重と内軌側背面横圧とを考える。また、比較して考察を行うためここでは外軌で車輪フランジが案内されている場合についても検討の対象とした。

(付図9 車輪・軌道間に作用する輪重及び横圧のイメージ、付属資料 輪重、横圧、脱線係数の推定計算結果 参照)

#### 3.9.1 輪重に関する分析

本事故時における本件電車に作用したと考えられる輪重は、静止輪重<sup>\*17</sup>、カント輪重<sup>\*18</sup>及び遠心輪重<sup>\*19</sup>の各成分と考えられ、式1で表される。また、それぞれの成分は以下のものであったと考えられる。

$$\text{輪重} = \text{静止輪重} + \text{カント輪重} + \text{遠心輪重} \quad \dots \text{式1}$$

##### (1) 静止輪重

2.5.2(2)に記述したように、後台車第1軸における本事故前直近の全般検査で測定した静止輪重は内軌側の右車輪では16.5kN、外軌側の左車輪では約17.6kNであり、右車輪は左右車輪の平均よりも約3%小さかった。

また、本事故後に測定した静止輪重は内軌側の右車輪では13.6kN、外軌側の左車輪では約15.5kNであり、右車輪は左右車輪の平均よりも約7%

\*17 「静止輪重」とは、直線でカントのない区間で静止状態にて鉛直方向に作用する輪重のことである。

\*18 「カント輪重」とは、静的輪重の曲線部でのカントによる輪重の増減分のことを指す。

\*19 「遠心輪重」とは、静的輪重の曲線部での遠心力による輪重の増減分のことを指す。

小さかった。これにより、本事故時の停止状態においても内軌側の輪重は、外軌側に比較して小さい状態であった可能性が考えられる。

## (2) カント輪重

2.4.2(1)に記述したように、脱線開始点付近のカントについては、約2mmの逆カントであったと考えられる。この影響により内軌側輪重は小さくなる傾向にあったと考えられる。ただし、逆カント量は約2mmと小さかったことから、ほとんど影響はなかったと考えられる。

## (3) 遠心輪重

本事故発生時は、3.2に記述したように、約13km/hで走行していたと考えられ、外軌方向への遠心力は走行速度に応じ大きくなるため、内軌側輪重は走行速度が高くなるに応じて小さくなり、外軌側輪重は走行速度が高くなるに応じて大きくなる傾向にあったと考えられる。

以上により、本事故の脱線開始点付近は、2.4.2(1)に記述したように、曲線半径は20.0mであり、非常に小さい曲線半径の区間であることから、本事故時の内軌側輪重は走行速度が高くなるに応じて小さくなり、外軌側輪重は走行速度が高くなるに応じて大きくなる傾向にあったと考えられる。

### 3.9.2 横圧に関する分析

本事故は内軌側背面脱線と考えられるため、脱線を検討する対象として作用する横圧は、ガード部に作用する内軌側背面横圧であり、これは、式2で表すとおり、転向横圧\*20、後軸の操舵モーメントそうだによる横圧\*21、カント横圧\*22、遠心横圧\*23及び変動横圧の合計値であると考えられる。

また、比較して考察を行う外軌で車輪フランジが案内されている場合については、脱線を検討する対象として作用する横圧は外軌側横圧であり、これは、内軌側背面脱線と同じく、式3で表すとおり、転向横圧、後軸の操舵モーメントによる横圧、カント横圧、遠心横圧及び変動横圧の合計値であると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{内軌側背面横圧} &= \text{転向横圧} + \text{後軸の操舵モーメントによる横圧} \\ &+ \text{カント横圧} + \text{遠心横圧} + \text{変動横圧} \end{aligned} \quad \dots \text{式2}$$

※ガード部で内軌側の車輪背面を案内する場合

\*20 「転向横圧」とは、輪軸、台車が曲線を通過するときの転向力による横圧のことを指す。

\*21 「後軸の操舵モーメントによる横圧」とは、台車が曲線を通過するときの後軸に発生する縦クリープ力により発生するモーメントにより前軸に発生する横圧のことを指す。

\*22 「カント横圧」とは、曲線部でのカントによる横圧の増減分のことを指す。

\*23 「遠心横圧」とは、曲線部での遠心力による横圧の増減分のことを指す。

外軌側横圧＝転向横圧＋後軸の操舵モーメントによる横圧

…式3

＋カント横圧＋遠心横圧＋変動横圧

※外軌で外軌側の車輪フランジを案内する場合

(1) 転向横圧

転向横圧は、内軌側の車輪・レール間の摩擦係数及び輪重に応じて大きくなると考えられる。車輪・レール間の摩擦係数は、走行している軌道の曲率や車輪・レール接触位置の表面の状態等により決定され、内軌側の輪重は3.9.1(3)で記述したように速度に応じて小さくなる。これにより、転向横圧は走行速度が高くなるに応じて小さくなると考えられる。

(2) 後軸の操舵モーメントによる横圧

後軸の操舵モーメントによる横圧は、後軸における内外軌の車輪・レール間の摩擦係数及び輪重の増加に応じて大きくなると考えられる。また、後軸に発生したモーメントによる前軸への影響であることから、軌間及び軸距が発生する横圧の大きさに影響する。走行速度の影響は少ないと考えられる。

(3) カント横圧

2.4.2(1)に記述したように、脱線開始点付近のカントについては、約2mmの逆カントであったと考えられる。この影響によりカント横圧は大きくなる傾向にあったと考えられる。ただし、逆カント量は約2mmと小さかったことから、ほとんど影響はなかったと考えられる。

(4) 遠心横圧

本事故発生時は、3.2に記述したように、約13km/hで走行していたと考えられ、外軌方向への遠心力は走行速度に応じ大きくなるため、遠心横圧は走行速度が高くなるに応じて大きくなる傾向にあったと考えられる。

(5) 変動横圧

変動横圧は、走行中の通り変位やレール継目部不整による振動により発生するが、それらにより発生する振動は走行速度が高くなるに応じて大きくなるため、変動横圧も走行速度が高くなるに応じて大きくなる傾向にあったと考えられる。

また、3.5(4)に記述したような脱線に至るような通り変位やレール継目部の不整がある場合、一般的に横圧全体に占める変動横圧の割合は大きくなる。

以上により、本事故の脱線開始点付近は、2.4.2(1)に記述したように、曲線半径は20.0mであり、非常に小さい曲線半径の区間であることから、転向横圧は速度が高くなるに応じて小さくなり、遠心横圧及び変動横圧が走行速度に応じて大き

くなっていたと考えられる。一般的に横圧が走行速度に応じて変化する傾向は、轉向横圧よりも遠心横圧及び変動横圧が走行速度に応じて大きくなる傾向の方が強い  
ため、それらの合計値となる内軌側背面横圧は、走行速度が高くなるに応じて大きくなる傾向にあったと考えられる。また、比較して考察を行う外軌側車輪フランジが案内されている場合の外軌側横圧についても同等の傾向にあったと考えられる。

### 3.9.3 脱線の発生に関する分析

脱線が発生する状態を評価する指標である推定脱線係数比<sup>\*24</sup>は、限界脱線係数<sup>\*25</sup>と推定脱線係数から式4により求めることができる。

$$\text{推定脱線係数比} = \frac{\text{限界脱線係数}}{\text{推定脱線係数}} \quad \dots\text{式4}$$

ここで、推定脱線係数比とは脱線に対する安全率を示す指標であり、分子である限界脱線係数が大きいほど、分母である推定脱線係数が小さいほど大きくなり、安全性が高くなる性質を持つ。推定脱線係数比は、1.0以上であれば乗り上がり脱線に対する一定水準の余裕が確保されていると考えられる。

付属資料として、脱線発生地点における、推定脱線係数、限界脱線係数、推定脱線係数比等を試算したものを示す。なお、車両、軌道等に関する各パラメータのうち数値の特定できないものについては推定値を用いているが、これによれば各パラメータの影響度合いを把握することができる。

#### (1) 推定脱線係数

推定される内軌側背面脱線に対しての脱線係数（以下「内軌側背面脱線係数」という。）は、3.9.1及び3.9.2で記述した輪重及び横圧から式5により算定する。なお、外軌側の脱線係数は式6により算定する。

$$\text{内軌側背面脱線係数} = \frac{\text{内軌側背面横圧}}{\text{内軌側輪重}} \quad \dots\text{式5}$$

$$\text{外軌側脱線係数} = \frac{\text{外軌側横圧}}{\text{外軌側輪重}} \quad \dots\text{式6}$$

これにより、内軌側背面脱線係数では、分子となる内軌側背面横圧は、

\*24 「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防止対策として、脱線防止ガード等の設置を机上で検討する際に用いられる評価指標のことである。

\*25 「限界脱線係数」とは、車輪がレールに乗り上がって脱線が始まる限界の状態のときの脱線係数のことである。

3.9.2に記述したように、走行速度が高くなるに応じて大きくなり、分母となる内軌側輪重は、3.9.1に記述したように、走行速度が高くなるに応じて小さくなる。一方、外軌側脱線係数では、分子となる外軌側横圧は、3.9.2に記述したように、走行速度が高くなるに応じて大きくなり、分母となる外軌側輪重も、3.9.1に記述したように、走行速度が高くなるに応じて大きくなる。

よって、外軌で車輪フランジが案内されている場合の外軌側脱線係数に比較して、内軌側背面脱線係数は走行速度の影響が大きいと考えられる。

## (2) 限界脱線係数

限界脱線係数は、アタック角や車輪とレールの接触角度及び摩擦係数等を用いて、車輪がレールに乗り上がって脱線が始まる限界の状態のときの脱線係数を求めた値である。

限界脱線係数は、アタック角が大きくなるに応じて低下する。本事故の脱線開始点付近は、2.4.2(1)に記述したように、曲線半径は20.0mであり、非常に小さい曲線半径の区間である。これにより、本事故発生時のアタック角は、一般的な普通鉄道等の場合と比較して大きかったと考えられる。

また、限界脱線係数は、車輪とレール接触部における摩擦係数が大きくなるに応じて低下する。本事故の脱線開始点付近では、3.12に後述するように、本事故発生当時の事故現場付近のレール及びガード部等は乾燥状態であった可能性が考えられること、また、3.8に記述したように車輪背面及びガード部の塗油の状態はガード部に塗油は行っていたが、十分でなかった可能性があると考えられること等より、車輪背面とガード部接触部における摩擦係数は、湿潤状態や十分な塗油が行われている状態と比較して大きかった可能性が考えられる。

さらに、限界脱線係数は、車輪とレールの接触角が小さくなるに応じて低下する。内軌の車輪背面からの乗り上がり脱線に対しては車輪・レール接触角度はガード部の摩耗角度と考えられ、本事故の脱線開始点付近では、3.6に記述したように約80°と新品の状態である90°よりも小さくなっていた。これにより、車輪とレールの接触角はガード部において新品に近い状態よりは小さくなっていた可能性があると考えられる。

以上により、本事故時の限界脱線係数は、急曲線通過によるアタック角の増加によって低下する箇所において、レール・車輪間の接触角が新品に近い状態より小さくなっており、さらに、塗油が十分でなかったためレール・車輪の接触点での摩擦係数が増加し、更に小さくなっていた可能性があると考えられる。

#### 3.9.4 脱線の原因に関する分析

本件電車の後台車第1軸の脱線には、以下の(1)～(5)の要因が関与し、それらが複合したことにより発生した可能性があると考えられる。

- (1) 3.5(4)に記述したように、脱線開始点の手前でバックゲージやフランジウェー幅が急激に変化していることで、内軌側背面横圧に衝撃的な変動が発生し、内軌側背面脱線係数が大きくなったことが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。
- (2) 3.9.3(2)に記述したように、本事故発生時に脱線開始点付近でガード部の摩耗角度は約 $80^{\circ}$ と新品の状態である $90^{\circ}$ よりも小さくなっていた。これにより内軌側背面脱線に対する限界脱線係数が小さくなったことが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。
- (3) 3.9.3(2)に記述したように、本事故発生時に脱線開始点付近の車輪背面とガード部との接触点における摩擦係数は、湿潤状態や十分な塗油が行われている状態と比較して大きかった可能性が考えられる。これにより内軌側背面脱線に対する限界脱線係数が小さくなったことが脱線に影響していた可能性があると考えられる。
- (4) 3.9.1及び3.9.2に記述したように、本件電車は、本事故発生時に脱線開始点付近を約 $13\text{ km/h}$ で走行しており、速度に応じて内軌側輪重は小さくなり、内軌側背面横圧は大きくなっていたと考えられる。これらにより内軌側背面脱線係数が大きくなったことが脱線の発生に影響していた可能性が考えられる。

また、本事故の脱線の形態である内軌側背面脱線においては、3.9.3(1)に記述したように、一般的な外軌側からの脱線と比較して速度の影響が大きかった可能性があると考えられる。

- (5) 上記の外、路面電車としては特別なものではないが、2.4.2(1)に記述したように、本事故箇所は曲線半径は $20.0\text{ m}$ であり、非常に小さい曲線半径の区間であったこと、2.5.2(2)に記述したように、後台車第1軸が従軸であったため軸重が比較的小さく、力行時には更に減少することが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。

したがって、本事故箇所における抜本的な脱線事故再発防止のために、曲線半径がより大きくなるような線形改良を検討することが望ましい。

さらに、本事故に対して再発防止策とする必要のある因子ではないが、2.5.2(2)及び3.9.1(1)に記述したように、静止輪重比は基準値以内であるが内軌側の輪重が、外軌側の輪重と比較して小さい状態であったことが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。

### 3.10 本件分岐器で過去に発生した車両脱線事故との関連性に関する分析

2.10に記述したように、1回目事故及び2回目事故はいずれも、軌道を補修した際の仕上がり状態が不適切であったことが、主な原因であったと考えられる。

これに対して、本事故の原因は、3.9.4に記述したように、走行速度、車輪背面とガード部接触部における摩擦係数、ガード部の摩耗角度、バックゲージ等の軌道変位の影響が要因となり、それらが複合したことにより発生した可能性が考えられる。

一方、脱線の状況は、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシング内の同じ曲線区間で右車輪の背面がガード部に乗り上がり脱線したという点で共通している。

これにより、本事故は、1回目事故及び2回目事故で見られたような、軌道を補修した際の仕上がり状態の不適切さはなかったものの、レール等の経年劣化により軌道変位が進み、1回目事故及び2回目事故と同様に著大な背面横圧が発生する状況になっていたものと考えられる。

さらに、3.9.4に記述したように、軌道変位による要因以外にも、走行速度、車輪背面とガード部接触部における摩擦係数、ガード部の摩耗角度の影響があること、本事故の脱線開始点付近は、2.4.2(1)に記述したように、曲線半径は20.0mであり、非常に小さい曲線半径の区間であることから、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシング内の曲線区間は、車両走行時に脱線が発生しやすい傾向であったと考えられる。

なお、5.3に後述するとおり、本事故調査中の平成28年6月2日に、本事故とほぼ同じ箇所、再度車両脱線事故が発生した。この車両脱線事故に関しては現在調査中であり、本事故との関連性についても分析中である。

### 3.11 乗客の避難・誘導等に関する分析

本事故後の乗客の避難・誘導等に関しては、2.2に記述したように負傷等の発生もなく、2.1.1に記述した本件運転士の口述並びに2.1.1に表5で示した乗客の避難の誘導までの時系列の情報から、事故発生後の同社の関係者の措置に問題はなかったものと考えられる。

### 3.12 気象に関する分析

2.1.2に記述したように、事故当日の降水量は2.5mmと僅かであり、事故発生当時の事故現場付近の天気は晴れで、降水はなかったことから、脱線に直接関与するような気象状況ではなかったものと考えられる。なお、気象状況からレール及びガード部等は乾燥状態であった可能性が考えられる。

## 4 結 論

### 4.1 分析の要約

3.1～3.12に記述した分析を要約すると、それぞれ概略以下のとおりである。

#### (1) 脱線地点

本件電車は、後台車第1軸の右車輪背面が12.2m地点付近において、ガード部を左に脱線し、直後に後台車第1軸の左車輪が左に脱線し、続けて後台車第2軸の左右車輪がそれぞれ左に脱線したものと考えられる。

(3.1) <sup>\*26</sup>

#### (2) 脱線時の走行速度

脱線開始点付近を後台車第1軸が通過したときは、力行中で、速度は約13km/hであったと考えられる。また、本件電車は他の電車と比較して速度が高めであったと考えられる。(3.2)

#### (3) 脱線時の時刻

脱線開始点付近において、本件電車は21時29分06秒ごろ脱線したものと考えられる。(3.3)

#### (4) 運転

本件電車の速度については、同社により指導していた運転速度10km/hを約3km/h超過しており、かつ力行中であったと考えられる。これは、3km/h程度の速度超過や力行のタイミングは、運転士の少しの運転操作の差異で発生することなどが影響した可能性があると考えられる。

また、本件交差点は電車用交通信号の現示時間と電車の運転速度の状況によっては、円滑な道路交通に支障をきたす可能性があると考えられる。よって、電車用交通信号の現示時間の長さの適否について、今後、関係者間で検討することが望ましい。

いずれにしろ、本件分岐器内での脱線を防止するためには、速度の超過を防ぐことが重要であることから、同社は、本件交差点内での運転に関する指導を同社の運転士に対して継続して行い、引き続き速度遵守などの運転方法に関する指導内容を徹底させることが望ましい。(3.4)

#### (5) 軌道変位

脱線開始点付近における軌道変位は、バックゲージ及びフランジウェー幅が比較的大きく変化していた。これには、脱線開始点手前の本件ダイヤモンドクロッシング内のガード部となるノーズレール先端付近が大きく（レール

---

\*26 本項の各文章末尾に記載した数字は、当該記述に関連する3.分析の主な項番号を示す。



上部で約15mm) 摩耗していること等が影響しているものと考えられる。なお、ノーズレール先端付近が大きく摩耗したのは、ノーズレール先端と右側車輪背面との接触が繰り返されたことによる可能性があると考えられる。

このような軌道変位が発生したことは、本事故発生箇所が、最小曲線半径20.0mの複心曲線中に敷設されている分岐器及びダイヤモンドクロッシングであり、一般的な軌道構造と比較して、摩耗や変形に起因する軌道変位などの軌道の不整が発生しやすい構造であることも影響していると考えられる。(3.5)

(6) 軌道の形状

脱線開始点付近のガード部の摩耗角度が約80°であったことが、脱線に影響した可能性があると考えられる。(3.6)

(7) 車両

本件電車は、本事故発生当日において脱線の要因となる異状はなかったものと考えられる。

ただし、本件電車の駆動方式である片軸外吊り掛け駆動方式の車両は、国内の路面電車で使用されている車両としては一般的な構造であり、同社でも多数使用されているが、その特徴から、平行カルダンユニバーサル継手方式などの車両と比較すると、従軸の軸重が小さくなり、特に力行時にその傾向が強まる可能性があると考えられる。(3.7)

(8) レール等及び車輪への塗油

本事故発生時には、車輪とレール及びガード部が接触している箇所における摩擦係数が、十分な塗油が行われている状態と比較して大きかった可能性があると考えられる。(3.8)

(9) 車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧

車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧を分析した結果、本件電車の後台車第1軸の脱線には、以下の①～⑤の要因が関与し、それらが複合したことにより発生した可能性があると考えられる。(3.9)

① 脱線開始点の手前でバックゲージやフランジウェー幅が急激に変化していることで、内軌側背面横圧に衝撃的な変動が発生し、内軌側背面脱線係数が大きくなったことが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。

② 本事故発生時に脱線開始点付近でガード部の摩耗角度は約80°と新品の状態である90°よりも小さくなっていた。これにより内軌側背面脱線に対する限界脱線係数が小さくなったことが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。

- ③ 本事故発生時に脱線開始点付近の車輪背面とガード部との接触点における摩擦係数は、湿潤状態や十分な塗油が行われている状態と比較して大きかった可能性が考えられる。これにより内軌側背面脱線に対する限界脱線係数が小さくなったことが脱線に影響していた可能性があると考えられる。
- ④ 本件電車は、本事故発生時に脱線開始点付近を約13km/hで走行しており、速度に応じて内軌側輪重は小さくなり、内軌側背面横圧は大きくなっていったと考えられる。これらにより内軌側背面脱線係数が大きくなったことが脱線の発生に影響していた可能性が考えられる。
- ⑤ 上記の外、路面電車としては特別なものではないが、本事故箇所の曲線半径は20.0mであり、非常に小さい曲線半径の区間であったこと、本件電車の駆動方式が片軸外吊り掛け駆動方式であったことから、後台車第1軸が従軸であったため軸重が比較的小さく、力行時には更に減少することが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。
- (10) 本件分岐器で過去に発生した車両脱線事故との関連性  
1回目事故及び2回目事故はいずれも、軌道を補修した際の仕上がり状態が不適切であったことが、主な原因であったと考えられる。  
これに対して、本事故の原因は、走行速度、車輪背面とガード部接触部における摩擦係数、ガード部の摩耗角度、バックゲージ等の軌道変位の影響が要因となり、それらが複合したことにより発生した可能性が考えられる。  
(3.10)
- (11) 乗客の避難・誘導等  
本事故後の乗客の避難・誘導等に関しては、負傷等の発生もなく、事故発生後の同社の関係者の措置に問題はなかったものと考えられる。(3.11)
- (12) 気象  
事故発生当時の事故現場付近の天気は晴れで、降水はなかったことから、脱線に直接関与するような気象状況ではなかったものと考えられる。なお、気象状況からレール及びガード部等は乾燥状態であった可能性が考えられる。  
(3.12)

#### 4.2 原因

本事故は、電車が、右曲線となる分岐器内を後台車第1軸の右車輪背面と、ダイヤモンドクロッシング内のガードレールの機能を持つ部位の側面とを接触させながら走行していた際に、同車輪背面が同部位に乗り上がって左に脱線し、その後、同軸左車輪が左レールに乗り上がって左に脱線し、続いて後台車第2軸も左に脱線したことにより発生したものと考えられる。

後台車第1軸の右車輪が脱線したことについては、曲線半径の非常に小さい曲線に存在するダイヤモンドクロッシング内で、同車輪の輪重の減少と背面横圧の増加が発生し、内軌側の車輪背面からの脱線に対する脱線係数が大きくなったと考えられるとともに、脱線に対する限界脱線係数が小さくなり、脱線係数が限界脱線係数を超える状態になったことによるものと考えられる。

右車輪の輪重が減少し、右車輪の背面横圧が増加したことは、電車が脱線開始点付近を走行した速度が高かったこと、脱線開始点の手前におけるバックゲージやフランジウェー幅の車両進行方向での変化が大きかったことが影響している可能性が考えられる。また、電車の駆動方式が片軸駆動で電動機が車軸の外側に装架されている吊り掛け駆動方式であることから、後台車第1軸の軸重が同第2軸に比較して小さく、力行することにより更に小さくなった可能性があり、このことが影響した可能性も考えられる。

限界脱線係数が小さくなったことは、本事故発生時において、車輪及びガードレールへの塗油状態の変化等により脱線開始点付近での車輪背面とガードレール間の摩擦係数が大きくなったこと、付近のガードレールの摩耗によってガードレールと車輪背面間の接触角度が減少していたことが影響している可能性があると考えられる。

## 5 再発防止策

### 5.1 必要と考えられる再発防止策

本事故は、内軌側車輪背面がガード部に接触し走行している状態で、内軌側背面脱線係数が限界脱線係数を超過し、乗り上がり脱線に至った可能性があると考えられる。よって、再発防止策として、以下のような方策により、内軌側背面脱線係数を下げること及び限界脱線係数を上げることが必要であると考えられる。

#### (1) バックゲージや軌間等の管理

軌道変位による車輪背面横圧の上昇を抑制するために、バックゲージや軌間等の管理により、早めの軌道の整正や材料交換を行うこと。

#### (2) ガード部摩耗等の管理

ガード部の摩耗角度が小さくなることにより限界脱線係数が低下する。よって、摩耗角度を考慮しつつガード部の摩耗量管理を行うこと。

#### (3) 車輪・ガード部間の摩擦係数の抑制

車輪とガード部の摩擦力を低下することにより、内軌側背面脱線に対する限界脱線係数の上昇が期待できるため、車輪背面及びガード部への塗油等により摩擦係数を抑制し、摩擦力が過度に上昇しないようにすること。

#### (4) 速度の抑制

内軌側背面脱線係数は、走行速度が高くなるに応じて内軌側輪重が減少し内軌側背面横圧が増加するため、速度による影響が大きい。よって可能な限り速度を抑制すること。また、可能な限り速度変化のない運転に努めること。

なお、5.3に後述するとおり、本事故調査中の平成28年6月2日に、本事故とほぼ同じ箇所、再度車両脱線事故が発生した。この事故については現在調査中であるが、上記の方策については一定程度実施されていたと考えられるため、本事故と異なる要素が当該事故の原因に含まれる可能性が考えられる。

本事故箇所では、平成19年から平成28年6月までに計4回の脱線事故が発生している。脱線原因の詳細はそれぞれ異なっているが、本事故箇所が半径20.0mと非常に小さい曲線半径を持つ分岐器内であることが、事故の発生の背景にあると考えられる。これは、軌道法で許されている半径の範囲内ではあるが、当該箇所における脱線事故の抜本的な再発防止を図るために、曲線半径がより大きくなるように線形改良を行うことを検討することが望ましい。

#### 5.2 事故後に同社が講じた措置

同社は、平成27年10月13日、国土交通省九州運輸局からの警告を受け、本事故の原因及び対策を記した改善報告書を平成28年2月23日に九州運輸局に提出した。

同社による事故防止の対策は以下のとおりである。

公会堂前1号分岐器及び3号分岐器（3号系統に関するもの）について、

- (1) 曲線箇所のレールとガードレールの交換及びクロッシング摩耗箇所の肉盛溶接による形状補正。
- (2) 曲線箇所のガードレール開き防止金具の取付け。
- (3) 肉盛溶接箇所の経過観察（月1回）。
- (4) 線路塗油材をマシン油から潤滑性グリースに変更。
- (5) 内軌クロッシングバック側と車輪フランジ背面との接触面の摩耗管理について、管理値を設定し管理を行う。
- (6) 全クロッシング、蛍茶屋支線上り線から桜町支線上り線に至るルートの曲線レールとガードレールの交換、開き防止金具の取付け。

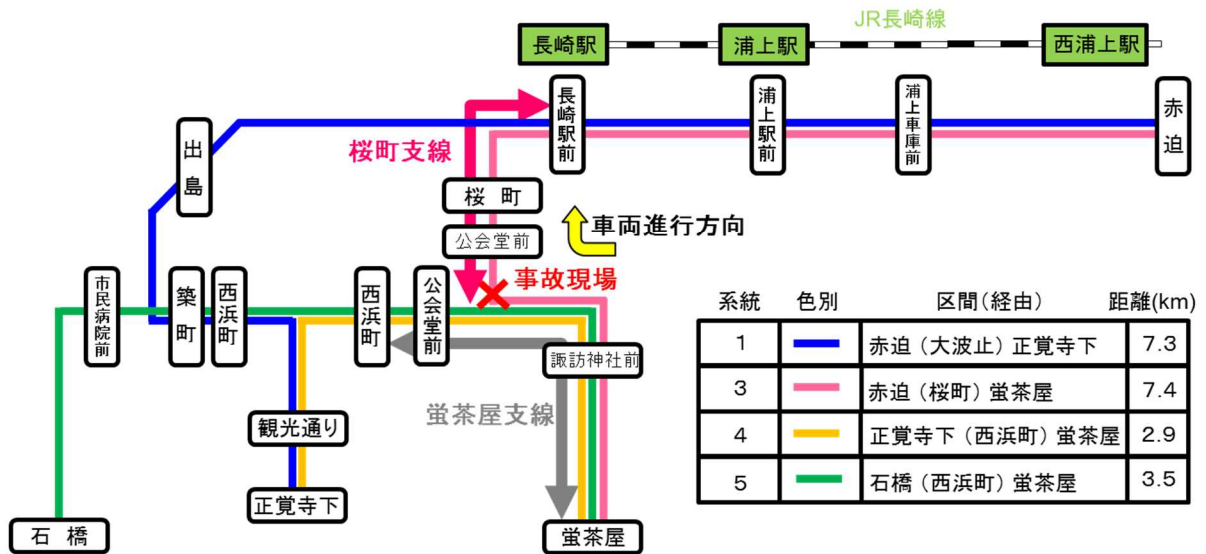
同社は、上記(1)及び(2)完了後の平成28年2月29日に、本事故現場と反対方向である桜町支線下り線から蛍茶屋支線下り線に至るルートを、制限速度5km/h以下として営業運転を再開した。また、このルートに本事故現場である蛍茶屋支線上り線から桜町支線上り線に至るルートを含め、上記(6)完了後の平成28年5月23日に、制限速度を10km/h未満として営業運転を再開した。

### 5.3 参考事項

平成28年6月2日に、本事故とほぼ同じ箇所で、再度車両脱線事故が発生した。運輸安全委員会は、この事故を調査対象としたことから、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、調査を実施している。

# 付図1 長崎電気軌道の路線略図

桜町支線 長崎駅前停留場～公会堂前停留場間0.9km(複線)

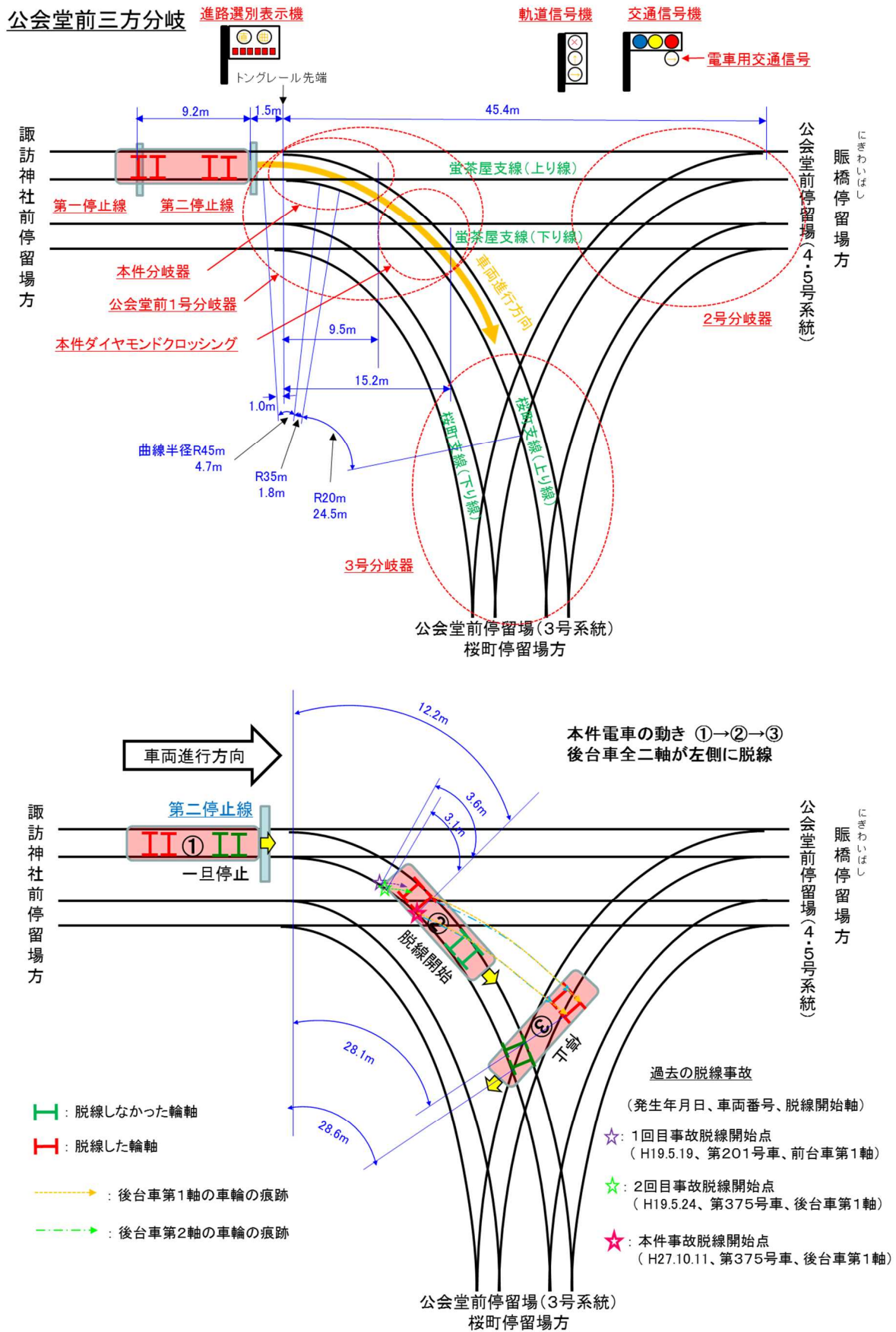


# 付図2 事故現場付近の地形図

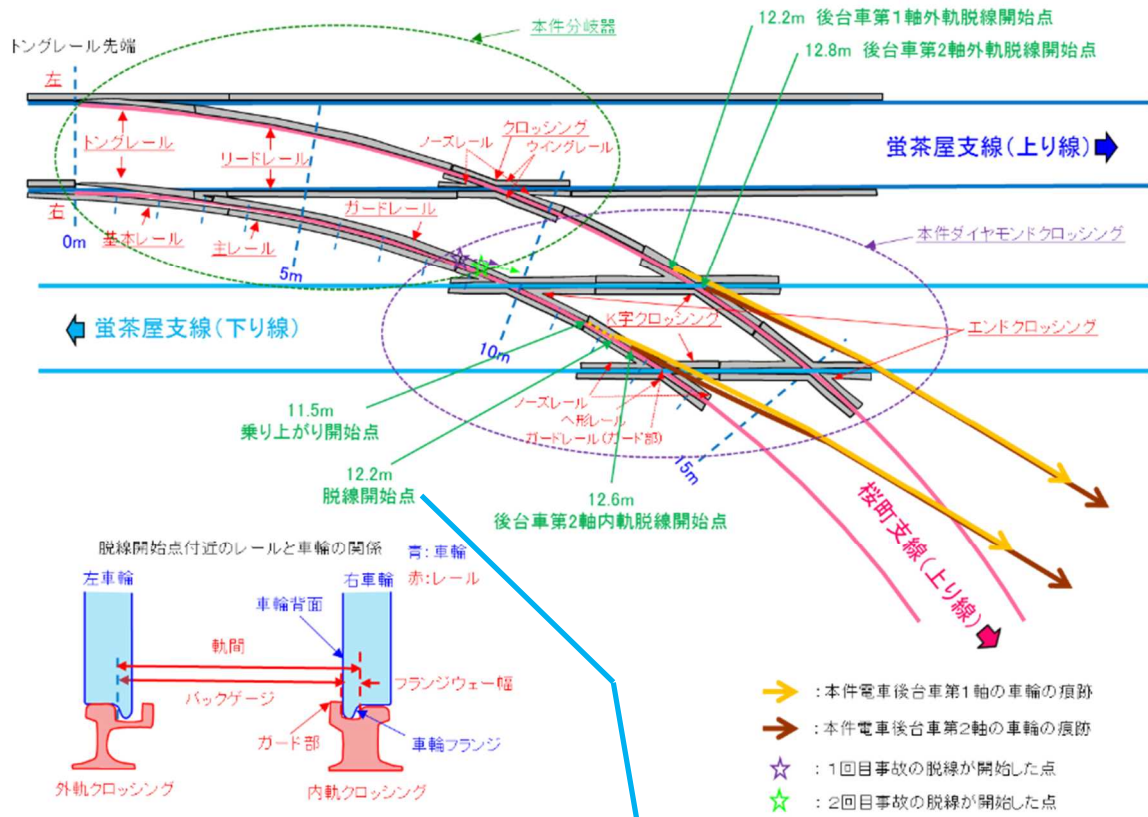


この図は、国土地理院の地理院地図(電子国土Web)を使用して作成

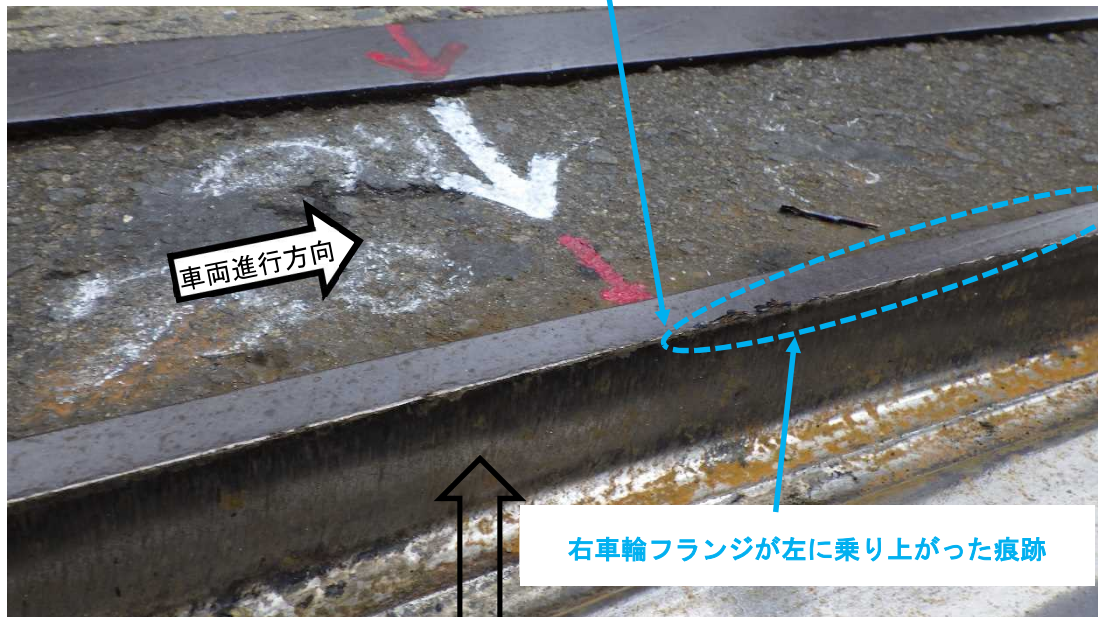
# 付図3 事故現場の略図



# 付図4 事故現場の脱線の痕跡



12.2m地点付近（脱線開始点）

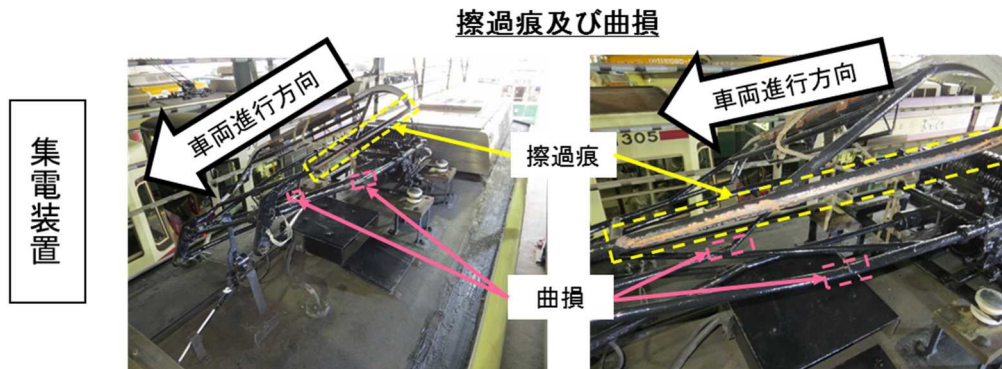


※脱線開始点付近において、車輪背面とガード部が接触する面に十分な油が付着している状況にはなかった。

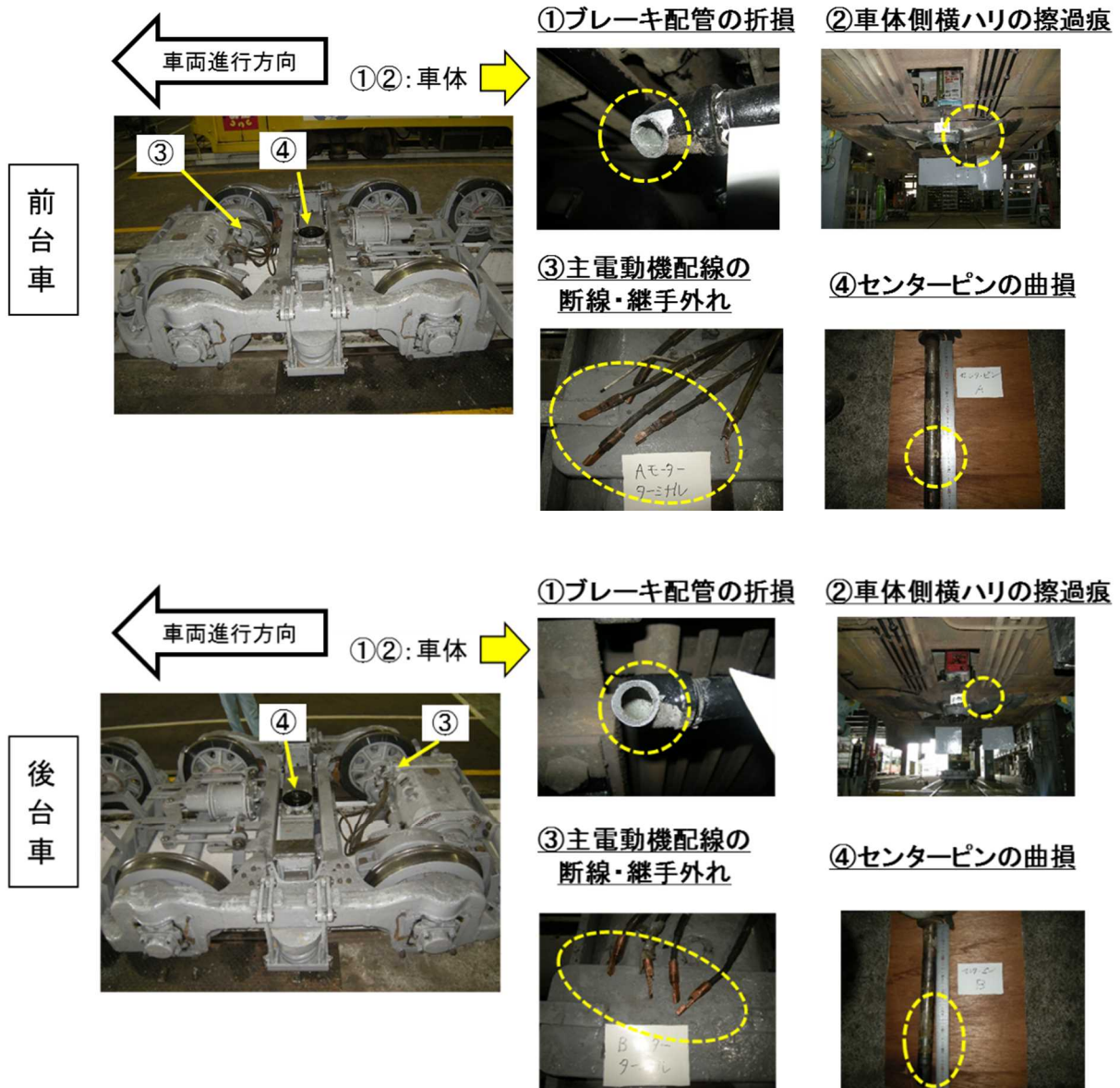


## 付図5 車両損傷の状況

### 屋根上機器



### 床下機器



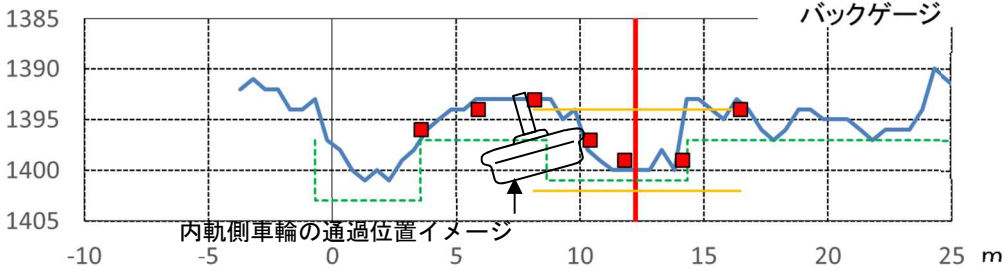
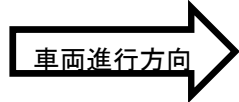
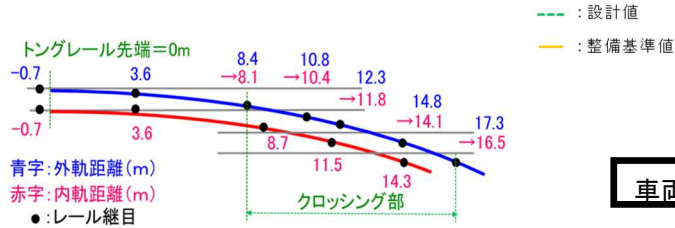
# 付図6 事故現場付近の軌道変位の状況（その1）

【本件事故前測定軌道変位】

- ✕：一般区間軌道変位測定  
平成27年6月9日測定
- ：分岐器軌道変位測定  
平成27年7月29日測定

【本件事故後測定軌道変位】

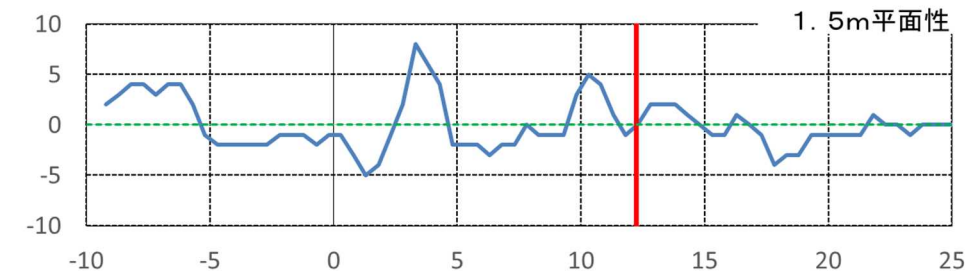
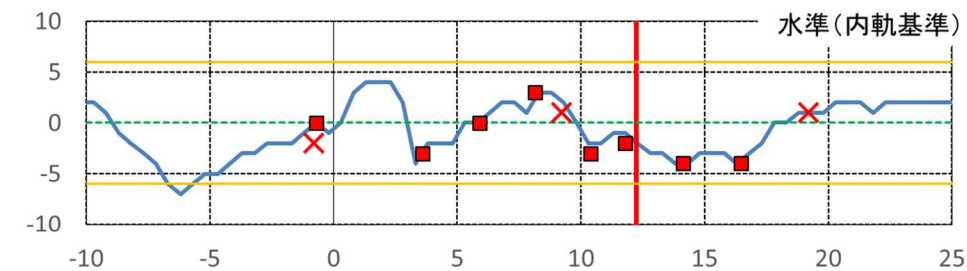
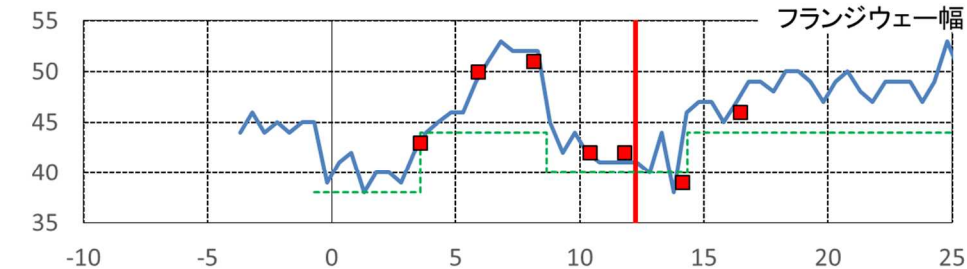
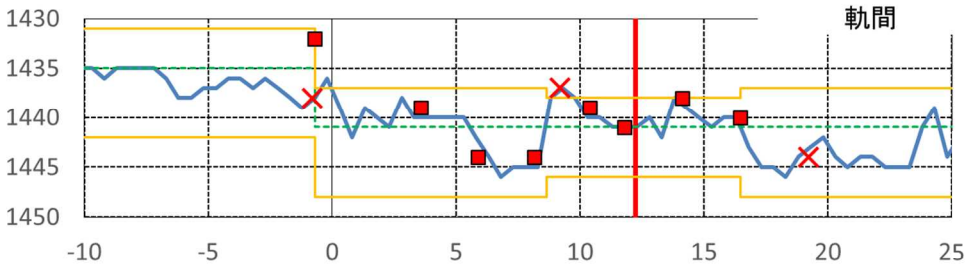
- ：平成27年10月12日  
平成27年10月16日  
平成27年10月26日測定
- ：レール継目



右ガードレール  
※左レールを  
基準とした  
位置

↑  
フランジ  
ウェー幅

↓  
右レール  
※左レールを  
基準とした  
位置



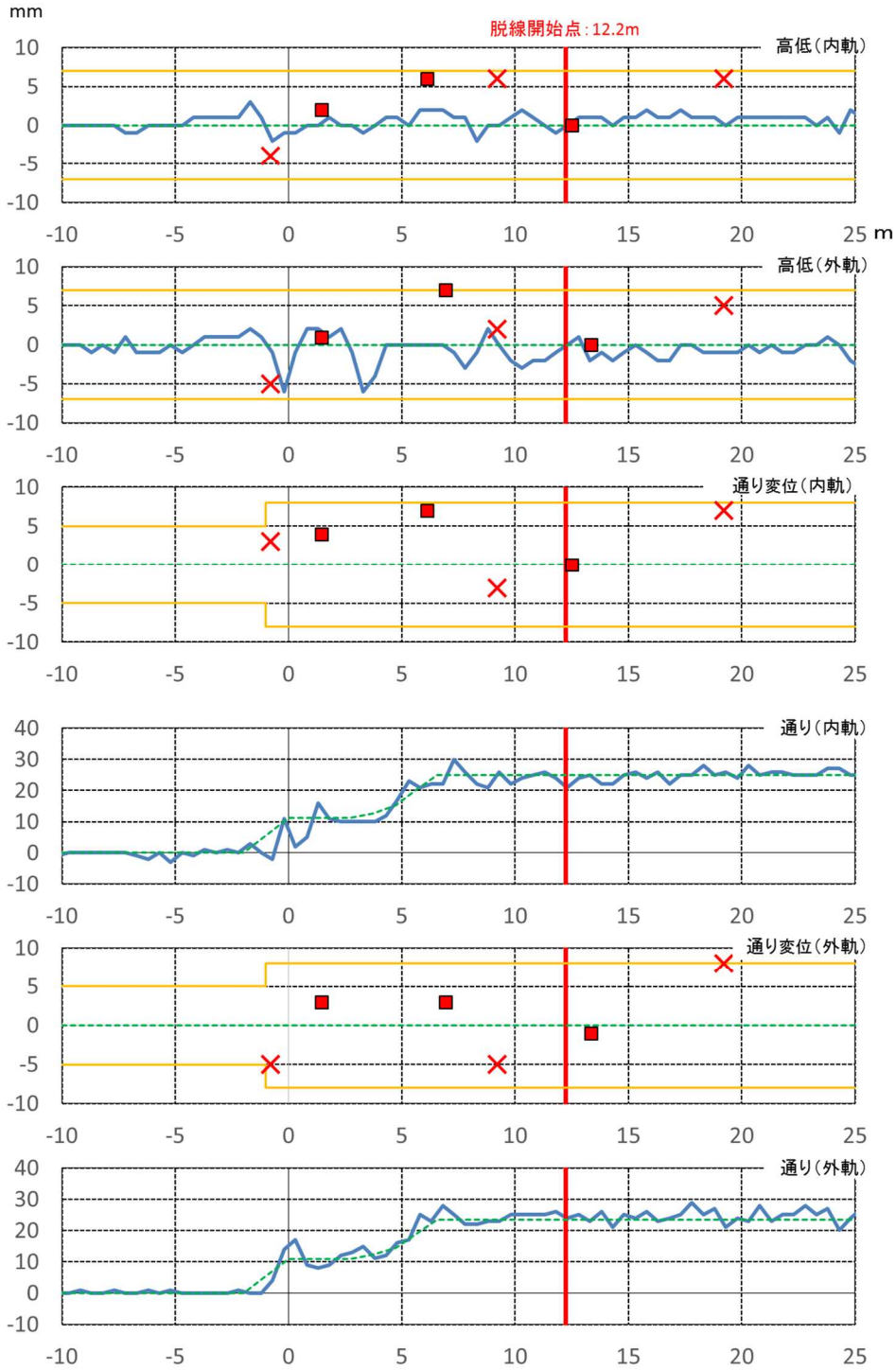
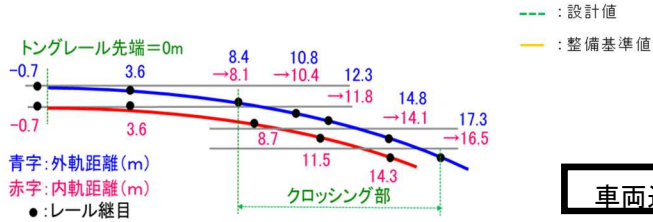
# 付図6 事故現場付近の軌道変位の状況 (その2)

【本件事故前測定軌道変位】

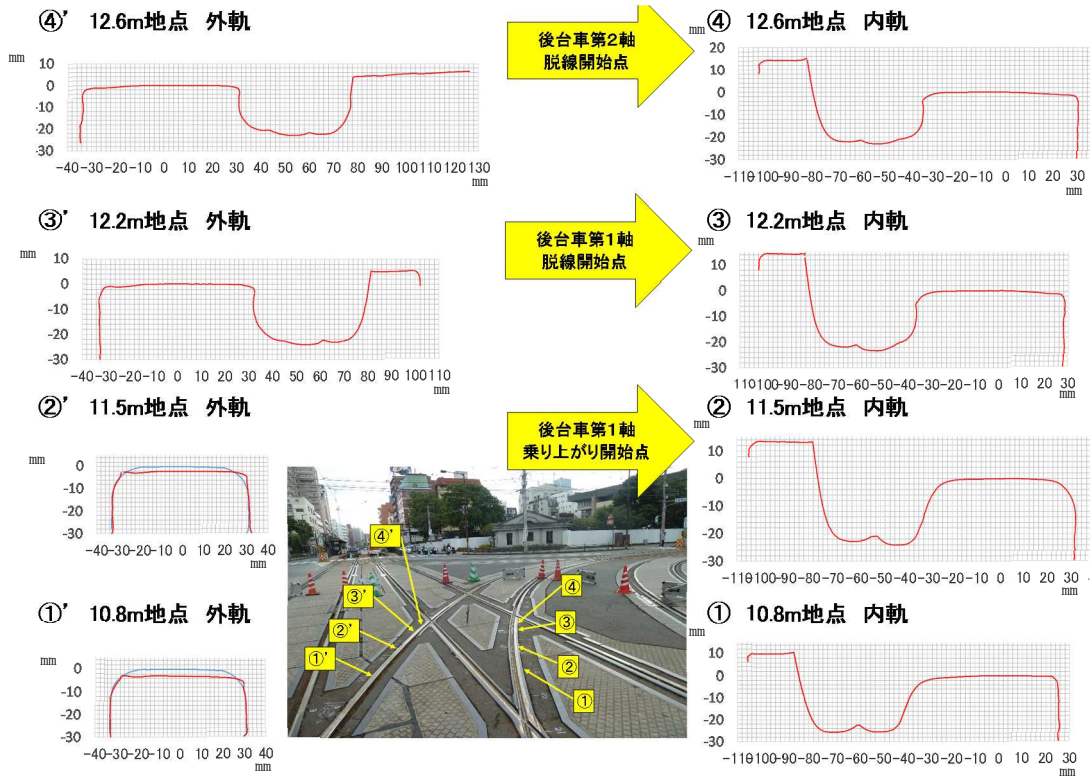
- ✖ : 一般区間軌道変位測定  
平成27年6月29日測定
- : 分岐器軌道変位測定  
平成27年8月5日測定

【本件事故後測定軌道変位】

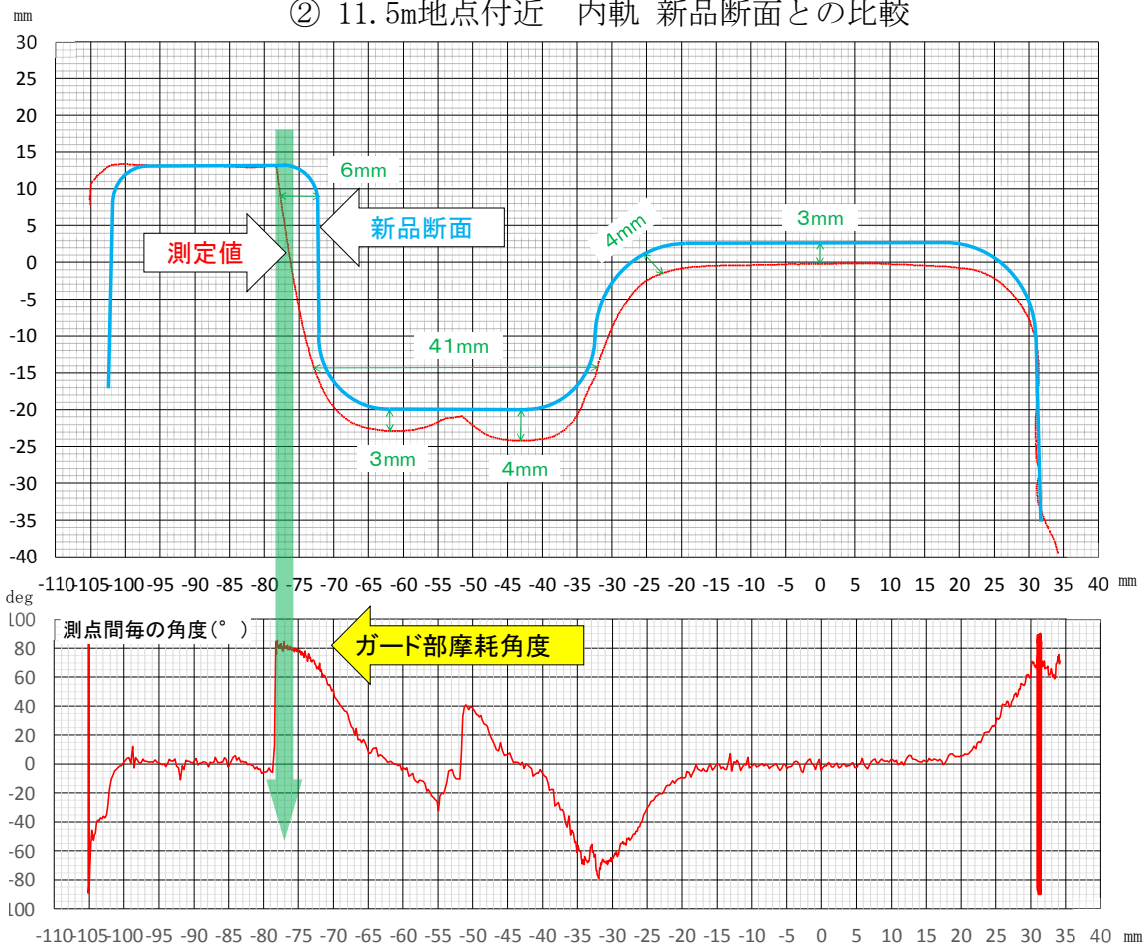
- : 平成27年10月12日
- : 平成27年10月15日
- : 平成27年10月26日測定



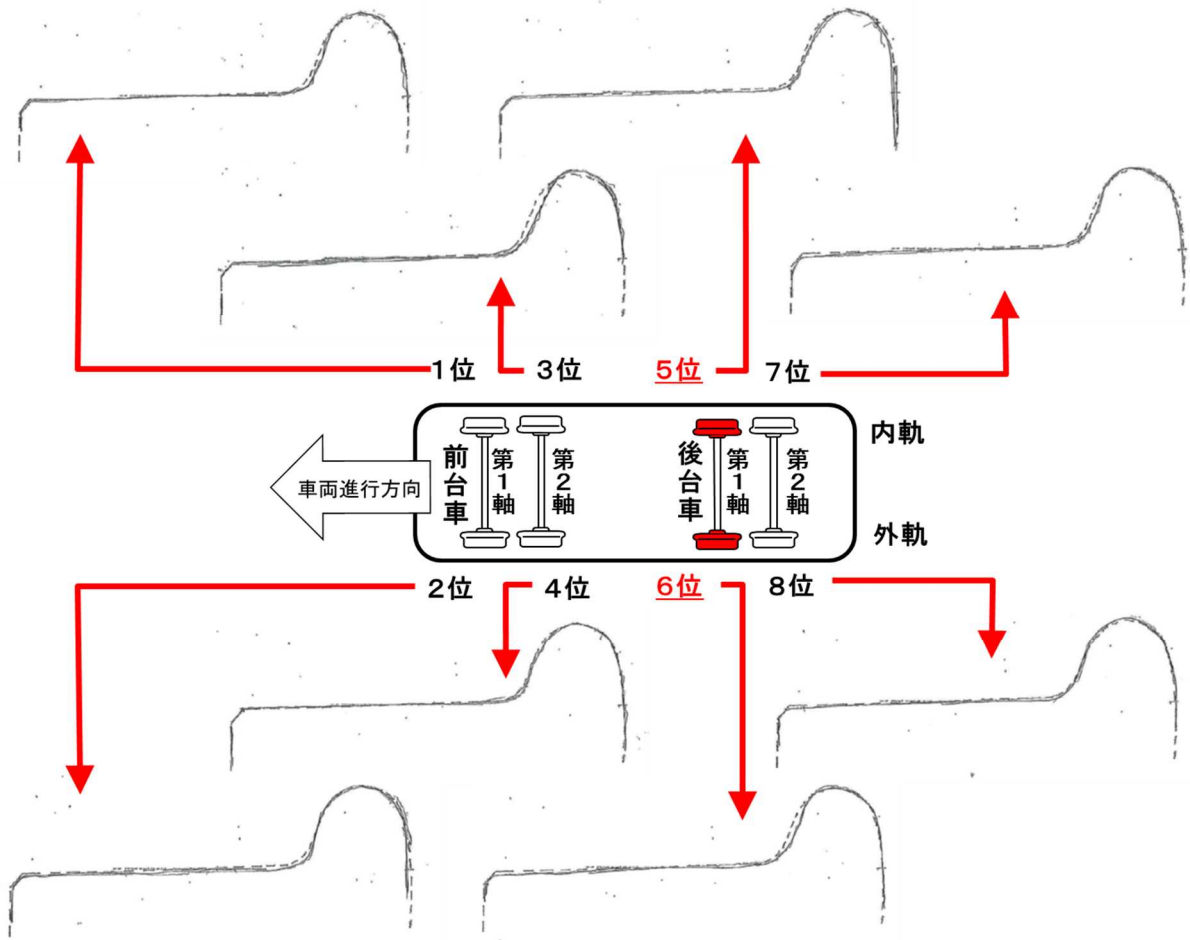
# 付図7 事故現場付近の軌道の断面形状



## ② 11.5m地点付近 内軌 新品断面との比較



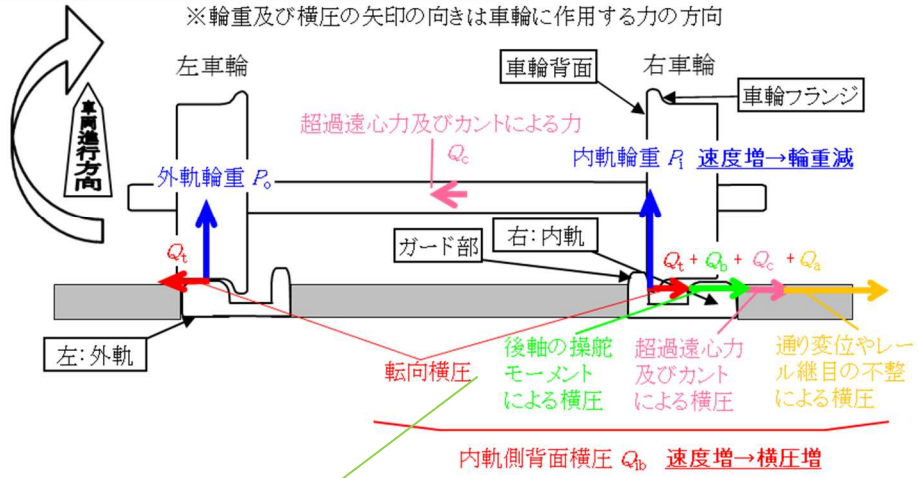
付図8 本件電車の車輪の断面形状



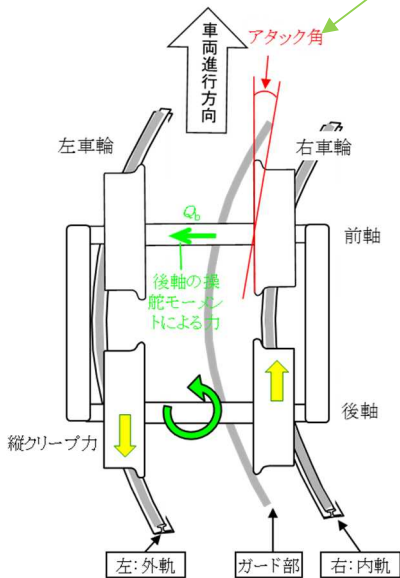
付図9 車輪・軌道間に作用する輪重及び横圧のイメージ

**ガード部で車輪背面が誘導されている場合**

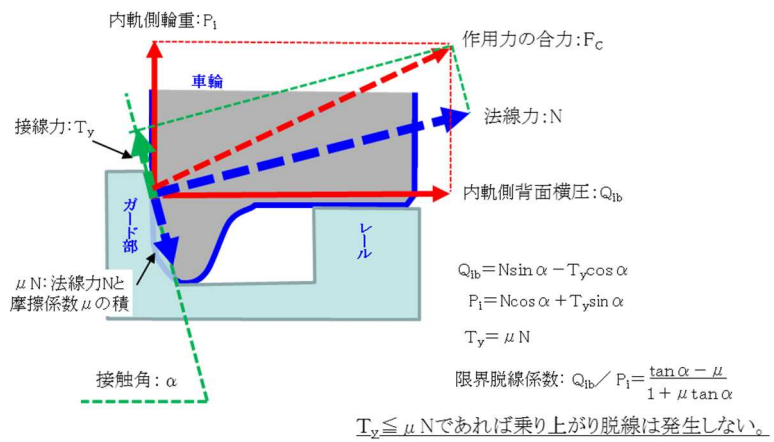
※輪重及び横圧の矢印の向きは車輪に作用する力の方向



台車が曲線を通過するときの後軸に発生する縦クリープ力により発生するモーメントによりが前軸に発生する横圧



**内軌背面脱線における限界脱線係数の場合の車輪に作用する力**



**(参考) 外軌で車輪フランジが誘導されている場合**



写真1 事故現場の状況

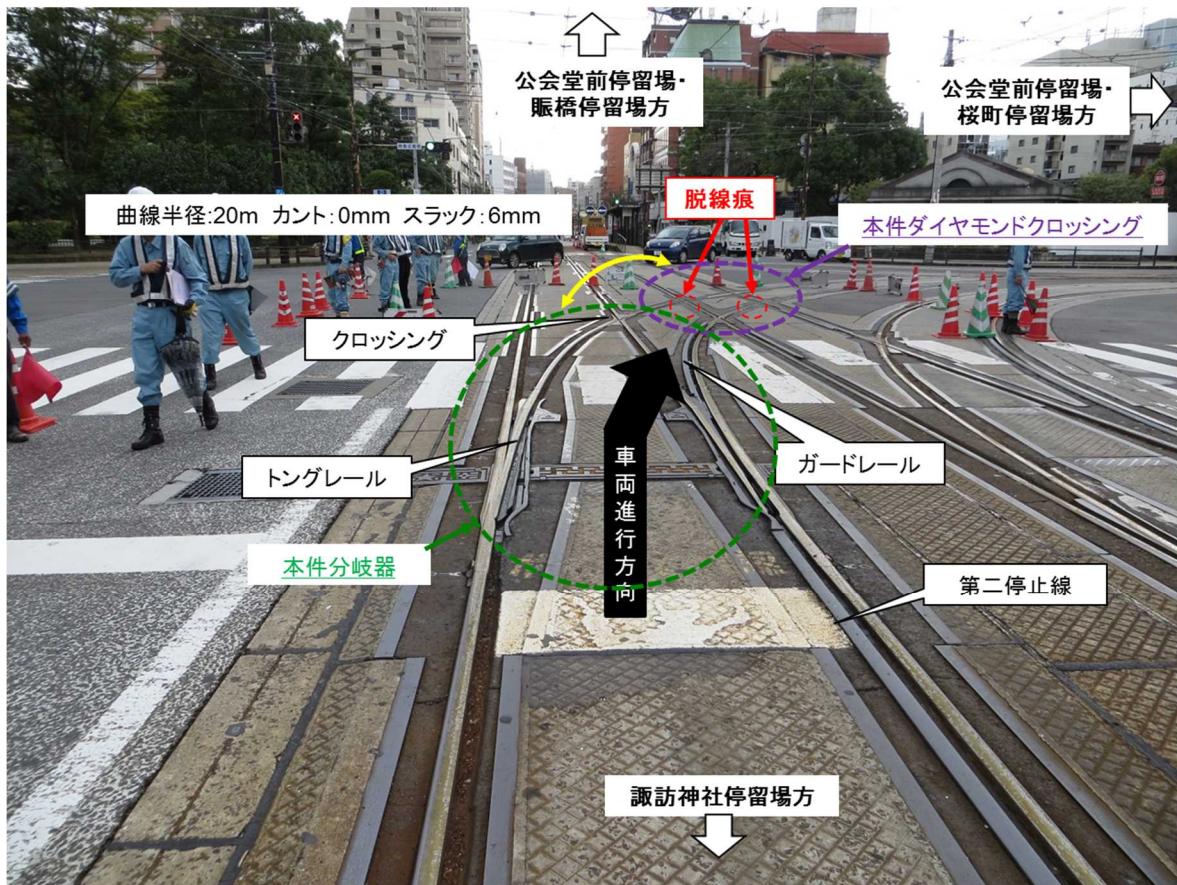


写真2 本件電車の脱線の状況

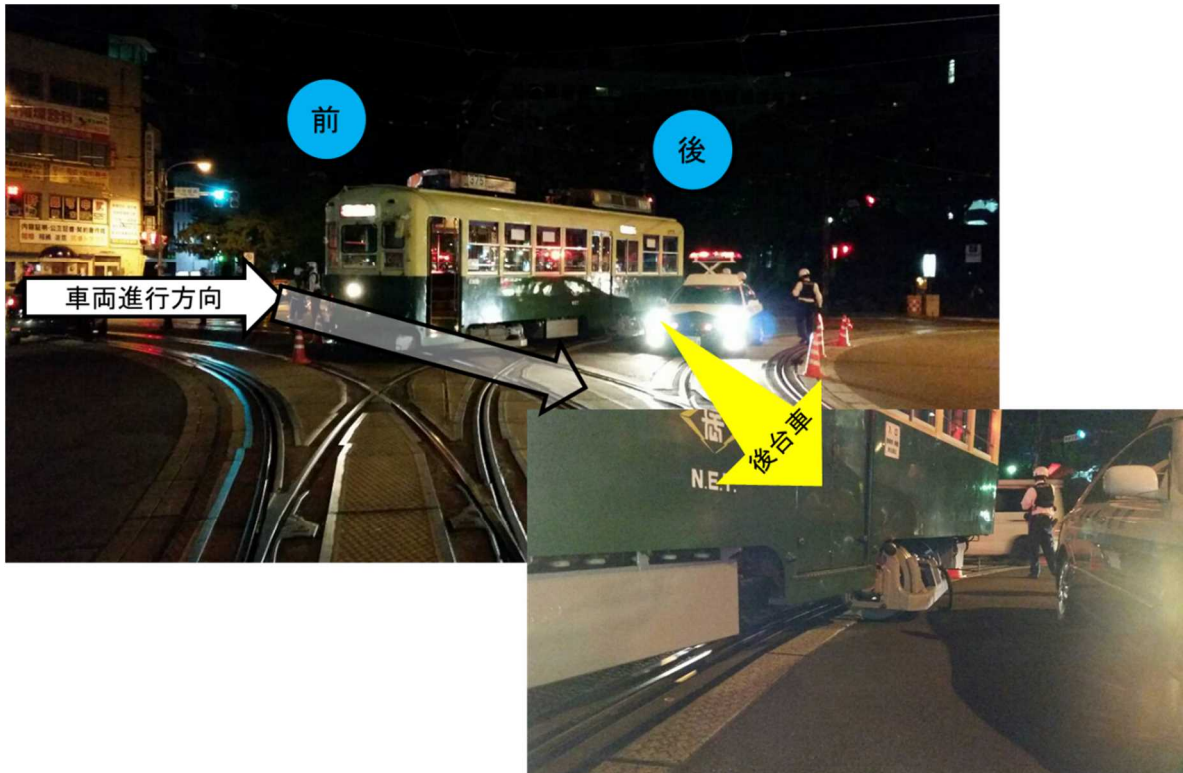
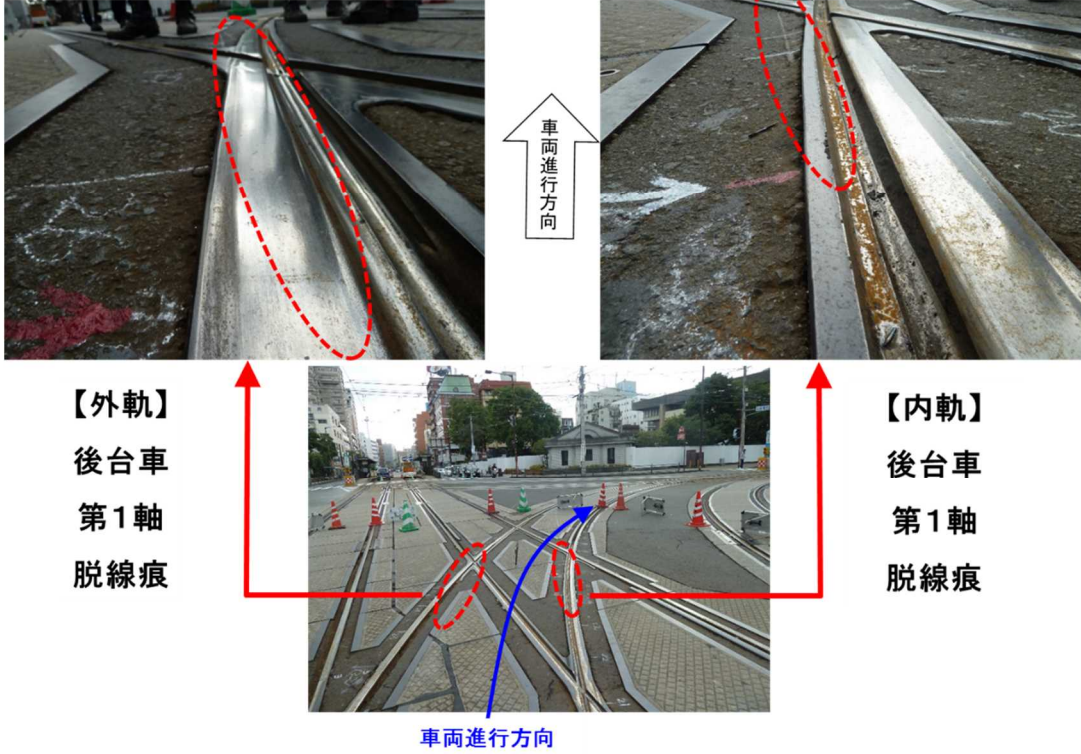
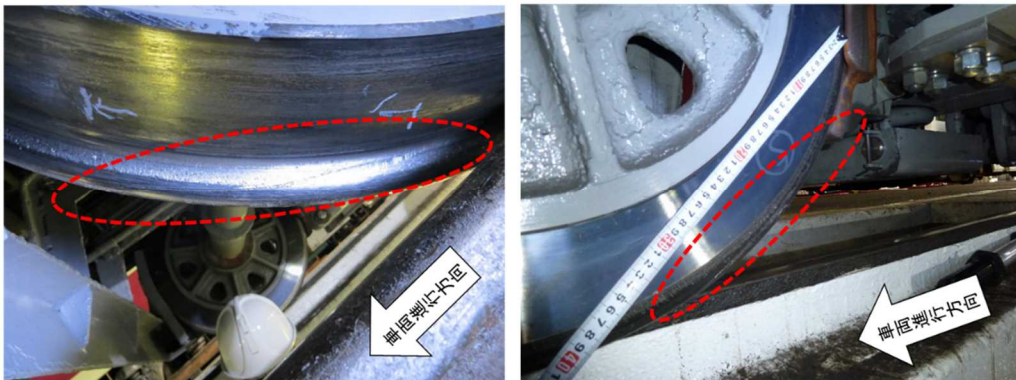


写真3 本件電車の脱線の痕跡

レール



車輪

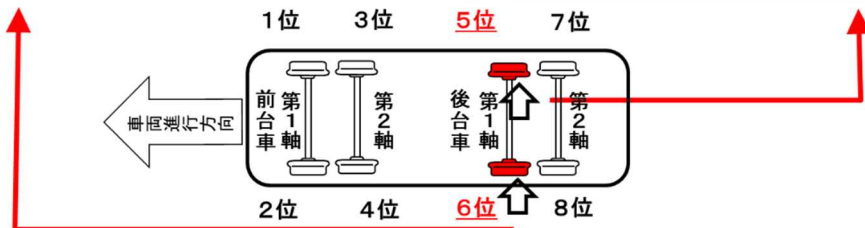


6位(後台車第1軸左:外軌側)

5位(後台車第1軸右:内軌側)

車輪フランジ脱線痕

車輪背面脱線痕





## 輪重、横圧、脱線係数の推定計算結果

「3.9 車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧に関する分析」では、本事故発生時に本件電車の後台車第1軸に作用していた輪重及び横圧について、本事故時の状況を基に、脱線に至った輪重及び横圧の増減及び脱線に至る可能性について分析を行った。

ここでは、分析の参考とすることを目的に、本事故発生時に本件電車の後台車第1軸で作用していた輪重及び横圧の値について、主に参考文献<sup>1)</sup>に示されている推定脱線係数比算定式の手法（以下「算定式」という。）を用い推定を行った。

なお、今回の算定においては、レール・車輪の摩擦係数や軌道変位等による変動横圧など不確定な要素が多く、また、各パラメータも明確でない場合は概略値を入力としている。このため、今回算定した推定値は実際の現象との間に誤差を含む可能性があるが、各パラメータの感度を確認し、参考として用いることができるものと考えられる。なお、以下に示す数値においては「約」を省略している。

### 1. 推定値の算定方法

輪重、横圧、推定脱線係数、限界脱線係数、推定脱線係数比の算定式は、以下のとおりである。

$$P_o = \frac{W_o}{2} \left[ \left( \gamma + \frac{V^2}{gR} \cdot \frac{C}{G} \right) + \frac{H_G^*}{G/2} \cdot \left( \frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \right] \quad P_i = \frac{W_o}{2} \left[ \left( (2-\gamma) + \frac{V^2}{gR} \cdot \frac{C}{G} \right) - \frac{H_G^*}{G/2} \cdot \left( \frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \right]$$

$$Q_{ib} = Q_i + Q_b + Q_c + Q_a \quad (\text{参考}) \quad Q_o = Q_i + Q_b + Q_c + Q_a$$

$$Q_i = Q_i \quad Q_i = \kappa P_i \quad Q_c = W_o \left( \frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right)$$

$$Q_b = \frac{\mu \cdot \min(P_{2i}, P_{2o}) \cdot G'}{2a} \quad Q_a = \varepsilon \left( \frac{2500}{R} + 4 \right) \frac{3.6V}{100}$$

$$(Q/P)_o = Q_o / P_o \quad (Q/P)_{ib} = Q_{ib} / P_i$$

$$\phi = \frac{a}{R} + \frac{\delta}{2a} \quad \mu_e = \mu \frac{27.0 \times \phi}{\left\{ \mu^{1.5} + (27.0 \times \phi)^{1.5} \right\}^{2/3}}$$

$$(Q/P)_{cri} = \frac{\tan \alpha - \mu_e}{1 + \mu_e \tan \alpha}$$

$$\text{推定脱線係数比} = \frac{\text{限界脱線係数}}{\text{推定脱線係数}}$$

ただし、

- $P_o$  : 外軌側輪重定常分 [kN] ,  $P_i$  : 内軌側輪重定常分 [kN] ,  $W_o$  : 静的軸重[kN]  
 $\gamma$  : 外軌側車輪の静止輪重比 ,  $G$  : 軌間[m] ,  $R$  : 軌道中心線における曲線半径[m]  
 $V$  : 速度[m/s] ,  $C$  : カント[m] ,  $g$  : 重力加速度 [9.8m/s<sup>2</sup>] ,  $H_G^*$  : 車両有効重心高さ[m]  
 $Q_i$  : 内軌側横圧 [kN] ,  $Q_{ib}$  : 内軌側背面横圧 (ガード部で案内している場合) [kN]  
 $Q_o$  : 外軌側横圧 (外軌で案内している場合) [kN]  
 $Q_t$  : 転向横圧 [kN] ,  $Q_c$  : カント横圧及び遠心横圧[kN]  
 $Q_b$  : 後軸の操舵モーメントによる横圧[kN]  
 $Q_a$  : 変動横圧 (ここでは、継目部衝撃横圧) [kN]  
 $K$  : 内軌側横圧/輪重比 ,  $P_{2i}$  : 後軸の内軌側輪重 [kN] ,  $P_{2o}$  : 後軸の外軌側輪重 [kN]  
 $\mu$  : 車輪とレール接触部における摩擦係数  
 $2a$  : 軸距 [1.4m] ,  $G'$  : 左右レールの中心間隔 [1.5m]  
 $\varepsilon$  : 変動横圧 (継目部衝撃横圧) の有効割合[%]  
 $(Q/P)_{ib}$  : 内軌側背面脱線係数 ,  $(Q/P)_o$  : 外軌側脱線係数  
 $P_i$  : 内軌側輪重 [kN] ,  $P_o$  : 外軌側輪重 [kN]  
 $Q_{ib}$  : 内軌側背面横圧 [kN] ,  $Q_o$  : 外軌側横圧 [kN]  
 $(Q/P)_{cri}$  : 限界脱線係数 ,  $\alpha$  : 車輪フランジ角 (車輪とレールの接触角) [rad]  
 $\mu_o$  : 等価摩擦係数 ,  $\phi$  : アタック角 [rad]  
 $\delta$  : 前軸及び後軸位置における横動遊間 (左右合計) の平均 [m]

## 2. 各パラメータの設定

本事故発生時における車両・軌道間に作用する輪重及び横圧を推定し、その結果を用いて「推定脱線係数」を算定し、さらに、限界脱線係数と比較することで「推定脱線係数比」を求め、脱線に対する余裕度について考察した。入力した各パラメータの設定値は表1に示すとおりである。

表1 各パラメータ

項目		値	単位
前軸	左・外軌	16.55	kN
	右・内軌	15.05	kN
	静的軸重	31.60	kN
	外軌側車輪の静止輪重比	1.047	
後軸	左・外軌	20.20	kN
	右・内軌	21.80	kN
	静的軸重	42.00	kN
	外軌側車輪の静止輪重比	0.962	
軌間		1.435	m
重心高さ		1.4	m
有効重心高さ		1.75	m
軌道中心線における曲線半径		20.7	m
速度		13	km/h
カント		-0.002	m
内軌側横圧輪重比=車輪・レール摩擦係数		0.3	
車輪・レール接触角		80	°
軸距		1.4	m
横動遊間		0.0165	m
アタック角		2.61	deg
変動横圧(継目部衝撃横圧)の有効割合		100%	

### 3. 推定値の算定結果

表1に示す各パラメータ値を用いて、内軌側車輪の背面からの乗り上がり脱線に関する値を算定した結果、以下のとおりであった。

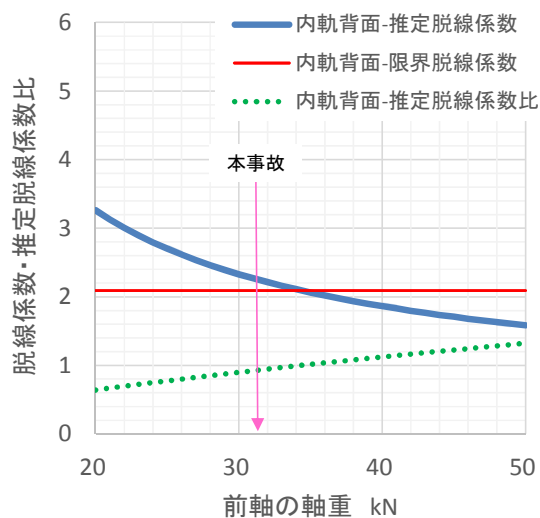
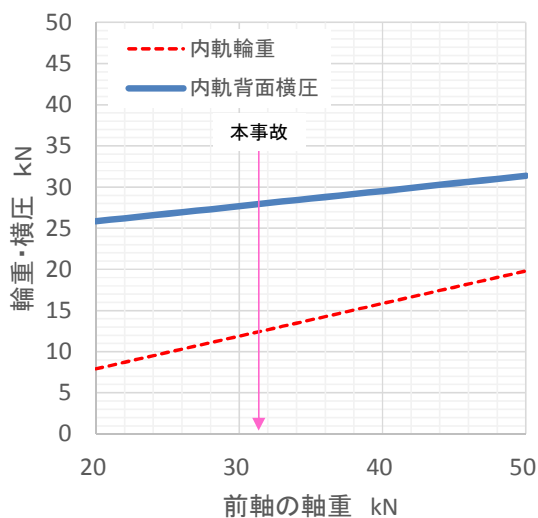
・内軌側輪重	= 12.5 kN
内訳	静止輪重： 15.05 kN
	カント輪重： - 0.05 kN
	遠心輪重： - 2.48 kN
・内軌側背面横圧	= 28.0 kN
内訳	轉向横圧： 3.76 kN
	後軸の操舵モーメントによる横圧： 5.93 kN
	カント横圧： 0.04 kN
	遠心横圧： 2.03 kN
	変動横圧： 16.22 kN
・内軌側背面推定脱線係数	= 2.23
・内軌側背面限界脱線係数	= 2.09
・内軌側背面推定脱線係数比	= 0.94

これによれば、内軌側車輪背面の推定脱線係数比が1を若干下回ることから、表1の条件は、本事故で想定される脱線現象が発生する境界付近であった可能性があると考えられる。

### 4. 各パラメータの影響度

表1示す各パラメータのうち、前軸の軸重、曲線半径、運転速度、車輪・レール間の摩擦係数を変化させた場合の内軌側車輪のフランジ背面からの乗り上がり脱線に対する影響度について考察を行った。なお、変化させるパラメータ以外は、表1の値を固定値として用いている。結果は以下のとおりである。

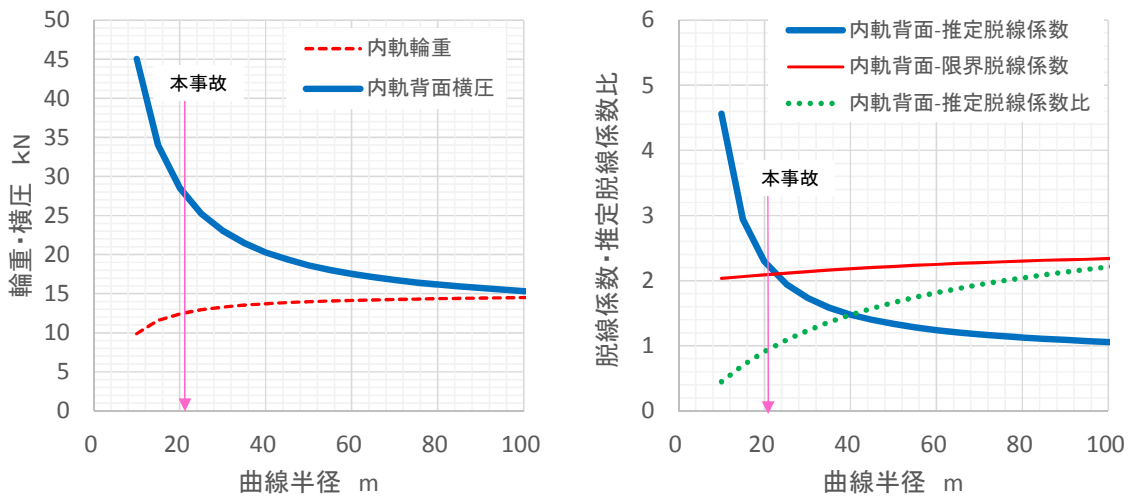
#### (1) 前軸の軸重



前軸の軸重の増加により、推定脱線係数が減少する。3.9.4(5)に記述したように、本件電車の後台車第1軸は従軸であるため、軸重がやや小さかったことも脱線に影響している可能性があると考えられる。

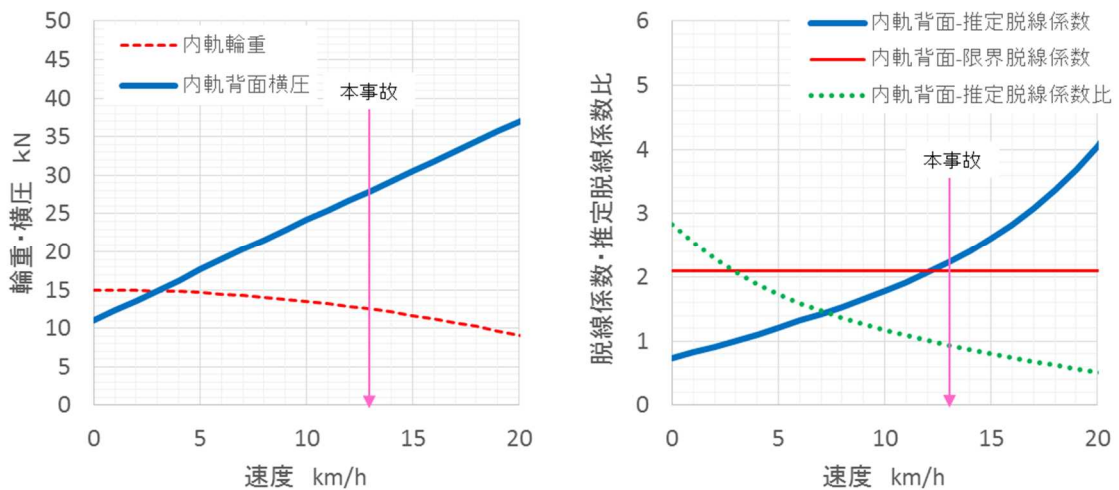
また、3.7に記述したように本件電車の駆動方式は片軸外吊り掛け駆動方式であり、力行時に駆動トルクによって生ずるモーメントが台車枠を介して従軸である前軸の軸重が小さくなる方向に作用することから、走行時に前軸の軸重が小さくなる傾向にあることが脱線に影響している可能性があると考えられる。

## (2) 曲線半径



曲線半径は、輪重・横圧及びアタック角の変化による限界脱線係数が増減するため影響が大きい。本事故の発生は路面電車特有の急曲線であったことが大きく影響していると考えられる。

## (3) 速度

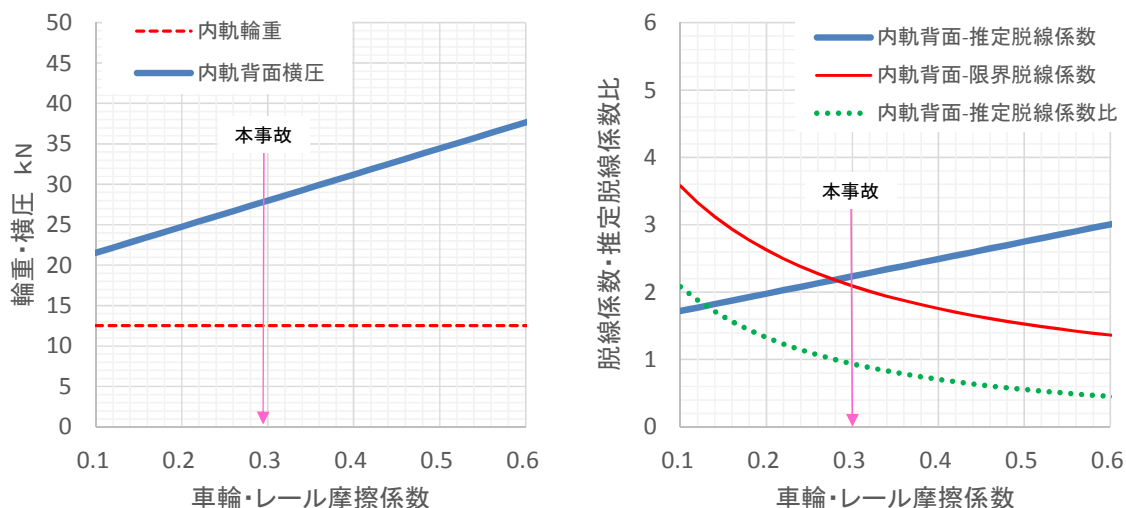


速度の増加により、内軌背面横圧が増加し、同時に内軌側輪重が減少するため、内軌の車輪背面に対しての脱線係数は増加する。よって、速度の影響

は大きいと考えられる。

今回の算定結果からは、推定脱線係数比が1.0を超えるのは約12 km/h以下の速度の場合となった。また、普通鉄道における判断基準としている1.2を超えるのは、約9 km/h以下の速度の場合となった。

#### (4) 車輪・レール間の摩擦係数



車輪背面とガード部の摩擦係数の増加により限界脱線係数が減少する。また、車輪・レール間の摩擦係数の増加により、転向横圧及び後軸の操舵モーメントによる横圧が増加する。よって、車輪・レール間の摩擦係数の増減は推定脱線係数比に大きく影響していると考えられる。これにより、レール、ガード部及び車輪背面への塗油により、摩擦係数を低減することは、乗り上がり脱線防止に効果が高いと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修 土木関係技術基準調査研究会編：解説 鉄道に関する技術基準（土木編），日本鉄道施設協会，2002. 3