

RA2020-5

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 埼玉新都市交通株式会社 伊奈線 加茂宮駅～鉄道博物館駅間
列車脱線事故

II 天竜浜名湖鉄道株式会社 天竜浜名湖線 西鹿島駅構内
踏切障害事故

III W I L L E R T R A I N S 株式会社 宮津線 東雲駅～丹後神崎駅間
踏切障害事故

令和2年10月29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 武田展雄

《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 埼玉新都市交通株式会社 伊奈線
加茂宮駅～鉄道博物館駅間
列車脱線事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：埼玉新都市交通株式会社

事故種類：列車脱線事故

発生日時：平成31年1月16日 11時03分ごろ

発生場所：埼玉県さいたま市

伊奈線 加茂宮駅～鉄道博物館駅間（複線）

大宮駅起点2k045m付近

令和2年9月28日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長	武田展雄
委員	奥村文直（部会長）
委員	石田弘明
委員	柿嶋美子
委員	鈴木美緒
委員	新妻実保子

要旨

<概要>

埼玉新都市交通株式会社の伊奈線内^{うちじゅく}宿駅発大宮駅行き6両編成（ワンマン運転）の上り第1052A列車は、平成31年1月16日、加茂宮駅^{かものみや}を定刻（11時01分）に出発した。列車の運転士は、加茂宮駅～鉄道博物館駅間を速度約30km/hで走行中、列車の後方から「ボン」という異音が聞こえたのち、ブレーキを使用した。

停止後、各車両の車内を通して状況を確認し、5両目の後方の貫通路から6両目を見たところ、6両目の車体前部が左へ傾き約50cmずれていた。

総合指令所からの連絡を受け到着した係員が確認したところ、6両目の車体左前部が高架橋の側壁に接触し、第1軸左のタイヤが損壊した状態で走行路から逸脱していた。また、同軸右のタイヤも破損していた。

列車には、乗客約100名、運転士1名が乗車していたが、負傷者はいなかった。

なお、本事故は、鉄製の車輪の鉄道と異なり、ゴム製のタイヤを車輪として用いた

鉄道において発生したものである。

<原因>

本事故は、本件車両の前軸左タイヤの破損によって空気圧が急激に低下し、タイヤが破損したまま走行したことにより中子が損壊し、案内輪が案内軌条の下方に外れて走行輪が走行路から逸脱したため脱線したものと推定される。

タイヤが破損したことについては、タイヤの極端な空気圧不足によってタイヤ内面と中子が接触した状態で走行したことにより、スチールベルトの素線が切れたものと推定される。

タイヤの極端な空気圧不足となったことについては、トレッド部の摩耗によりスチールベルトが露出した状態で走行したため、ベルトの素線が切れ、素線の一部がタイヤの内面にまで達することにより空気漏れが発生したためと考えられる。

タイヤのトレッド部の摩耗によりスチールベルトの露出した状態で走行したことについては、臨時検査時に主溝の深さを測定しなかったことや、列車検査時にタイヤの摩耗状態について確認することとなっていなかったため、トレッド部の主溝が摩耗によりなくなっている状況を十分に確認しないまま、運用し続けたことが要因として考えられる。

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	2
1.2.3 原因関係者からの意見聴取	2
2 事実情報	2
2.1 運行の経過	2
2.1.1 本件運転士の口述	3
2.1.2 運転状況の記録	4
2.1.3 指令における記録	8
2.1.4 駅プラットフォームの防犯カメラの映像記録	8
2.2 人の死亡、行方不明及び負傷	9
2.3 鉄道施設及び車両に関する情報	9
2.3.1 事故現場等に関する情報	9
2.3.2 鉄道施設に関する情報	11
2.3.3 車両に関する情報	14
2.4 鉄道施設及び車両の損傷、痕跡に関する情報	21
2.4.1 鉄道施設の損傷、痕跡に関する情報	21
2.4.2 車両の損傷及び痕跡等に関する情報	23
2.5 走行輪の保守管理等に関する情報	30
2.5.1 タイヤの管理に関する情報	30
2.5.2 中子の検査の状況	35
2.5.3 過去に発生したタイヤの不具合に関する情報	36
2.6 走行輪の製造及び材料調査等に関する情報	39
2.6.1 本件車両のタイヤの委託調査に関する情報	39
2.6.2 本件タイヤメーカー製造のタイヤ及び中子に関する情報	42
2.6.3 中子の製造に関する情報	43
2.6.4 本件車両の中子の材料調査に関する情報	44
2.7 乗務員に関する情報	46
2.8 運転取扱いに関する情報	46
2.8.1 同社の乗務員に係る運転取扱いに関する規程	46
2.8.2 同社の乗務員に係る異常時の取扱いに関する規程	46

2.9	気象に関する情報	47
2.10	その他の情報	47
2.10.1	軌道の線形と運転状況との関わりに関する情報	47
2.10.2	新交通システムの走行装置及び走行路に関する法令の情報	48
2.10.3	他の案内軌条式鉄道における走行輪の管理に関する情報	49
2.10.4	パンクを検知する装置に関する情報	49
2.10.5	自動車用タイヤの法令及び乗合バスに関する情報	50
3	分析	50
3.1	本事故等の発生状況に関する分析	50
3.1.1	脱線の発生場所及び発生時刻に関する分析	50
3.1.2	本件車両のNo.2タイヤの破損発生場所及び発生時刻に関する分析	51
3.1.3	本件列車が脱線したことにに関する分析	51
3.2	本件車両のNo.2タイヤが破損したことにに関する分析	53
3.2.1	タイヤの内面のカーカスコードが破断したことにに関する分析	53
3.2.2	タイヤがパンク又は極端な空気圧不足となったことにに関する分析	54
3.3	同社の走行輪の管理等に関する分析	57
3.3.1	タイヤのトレッド部の摩耗に関する分析	57
3.3.2	タイヤの内圧の管理に関する分析	58
3.4	本件列車の車両の損傷に関する分析	59
3.4.1	走行輪のその他の損傷に関する分析	59
3.4.2	その他車体の損傷に関する分析	59
3.5	運転取扱いに関する分析	60
3.6	軌道に関する分析	60
3.7	自動車と新交通システムのタイヤの点検周期等に関する分析	61
4	結論	61
4.1	分析の要約	61
4.2	原因	62
5	再発防止策	62
5.1	必要と考えられる再発防止策	62
5.2	事故後に事業者が講じた措置	63

添付資料

付図1	事故現場付近の地形図	65
-----	------------	----

付図 2	伊奈線の線路略図.....	65
付図 3	事故現場付近の線路平面図及び断面図.....	66
付図 4	事故発生時の本件車両の損傷状況.....	67
付図 5	主な軌道損傷及び部品脱落状況.....	68
付図 6	本件車両のNo.1 タイヤの損傷状況.....	69
付図 7	本件車両のNo.2 タイヤの損傷状況.....	70
付図 8	本件車両のNo.2 中子の損傷状況.....	71
付図 9	本件車両のNo.2 ホイールの損傷状況.....	72
付図 10	本件列車の各車両のタイヤ主溝の状態.....	73
付図 11	本件車両のNo.2 案内アームの歪み状況.....	74
付図 12	本件車両のNo.1 案内アームのき裂の発生状況.....	74
付図 13	本件車両の案内輪の損傷状況.....	75
付図 14	本件編成の全タイヤの主溝深さの推移.....	76
付図 15	本件編成の全タイヤのトレッド部の摩耗量.....	77
付図 16	事故現場付近の軌道の線形と列車の運転状況.....	78

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

埼玉新都市交通株式会社の伊奈線内宿^{うちじゆく}駅発大宮駅行き6両編成(ワンマン運転)の上り第1052A列車は、平成31年1月16日(水)、加茂宮^{かものみや}駅を定刻(11時01分)に出発した。列車の運転士は、加茂宮駅～鉄道博物館駅間を速度約30km/hで走行中、列車の後方から「ボン」という異音が聞こえたのち、ブレーキを使用した。

停止後、各車両の車内を通過して状況を確認し、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。)の後方の貫通路から6両目を見たところ、6両目の車体前部が左へ傾き約50cmずれていた。

総合指令所からの連絡を受け到着した係員が確認したところ、6両目の車体左前部が高架橋の側壁に接触し、第1軸左のタイヤが損壊した状態で走行路から逸脱していた。また、同軸右のタイヤも破損していた。

列車には、乗客約100名、運転士1名が乗車していたが、負傷者はいなかった。

なお、本事故は、鉄製の車輪の鉄道と異なり、ゴム製のタイヤを車輪として用いた鉄道において発生したものである。

1.2 鉄道事故調査の概要

1.2.1 調査組織

本事故は、案内軌条式鉄道の列車の6両目第1軸が走行路から逸脱したことにより、鉄道事故等報告規則(昭和62年運輸省令第8号)第3条第1項第2号に規定する「列車脱線事故」に該当し、かつ、航空法施行規則及び運輸安全委員会設置法施行規則の一部を改正する省令(令和2年国土交通省令第1号)第2条の規定による改正前の運輸安全委員会設置法施行規則(平成13年国土交通省令第124号)第2条第1項に規定するものであることから、調査対象となった。

案内軌条式鉄道とは、軌道に車両の鉛直荷重を受ける走行路と車両の走行方向を誘導する案内軌条^{*1}を有し、操向装置として案内車輪^{*2}(以下「案内輪」という。)を有する車両によって運行する輸送方式の鉄道をいう。

同社では、図1に示すように、ゴムタイヤで走行路上を走行し、走行路の両側に設けられた案内軌条(案内レール)が左右の案内輪をガイドする側方案内軌条式を採用している。

*1 「案内軌条」とは、車両の案内車輪を進行方向へ案内するレール(案内レール)をいう。

*2 「案内車輪」とは、車両を案内軌条の案内面に沿って進行方向へ案内する車輪をいう。

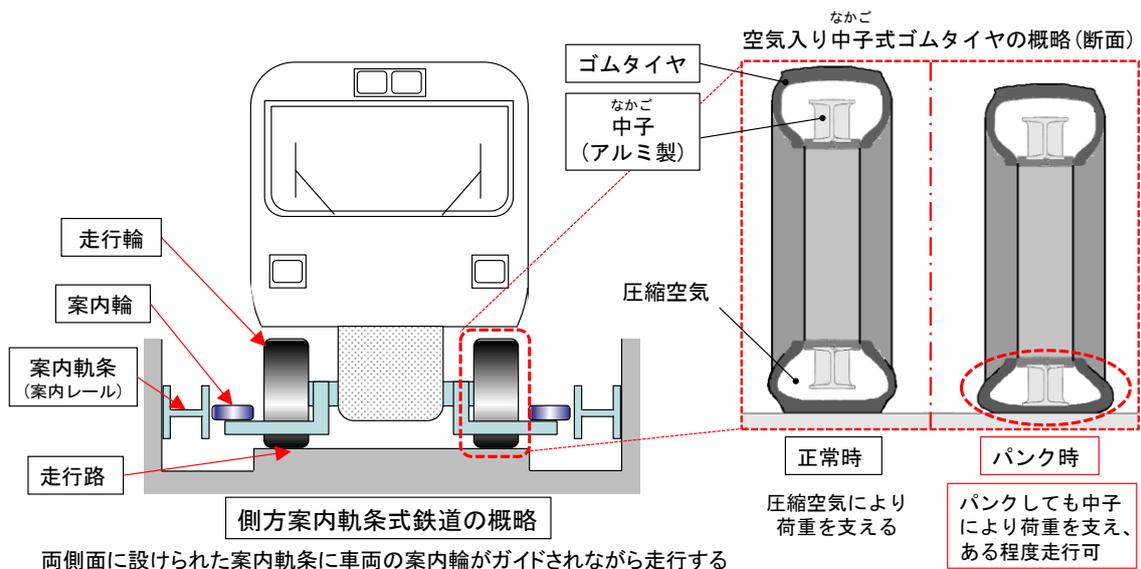


図1 伊奈線の走行方式（側方案内軌条式鉄道）及び車輪（ゴムタイヤ）の概略

運輸安全委員会は、平成31年1月16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。また、委員及び鉄道事故調査官を事故現場等に派遣した。

関東運輸局は、本事故の調査の支援のため、職員を事故現場等に派遣した。

本事故調査を行うにあたり、タイヤの破損及びパンクの要因に関する解析のため、一般社団法人 日本自動車タイヤ協会の協力を得た。

1.2.2 調査の実施時期

平成31年1月16日、17日	現場調査、口述聴取及び車両調査
平成31年1月23日及び2月6日	車両調査
平成31年2月20日～4月11日	委託調査
平成31年3月8日、18日及び4月3日、4日	車両調査
令和元年5月31日及び12月10日	車両走行輪調査

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

本事故発生までの経過は、埼玉新都市交通株式会社（以下「同社」という。）の内宿

駅発大宮駅行き6両編成の上り第1052A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。）の口述及び運転状況の記録によれば、概略次のとおりであった。

2.1.1 本件運転士の口述

事故当日は、本件列車として運行することとなる06編成（以下「本件編成」という。）の下り第927B列車に途中の丸山駅（大宮駅起点8k160m。以下「大宮駅起点」は省略する。）で乗り継ぎ、交替した運転士からは異状ない旨の報告を受けた。同駅を定刻（9時26分）に出発し、終点の内宿駅へ到着後、本件編成は内宿駅と大宮駅間を1往復したのち本件列車となった。

本件列車は、内宿駅を定刻（10時40分）に出発後、途中の加茂宮駅までは特に異状がなく、加茂宮駅を定刻（11時01分）に出発した。出発後、ATC^{*3}が40信号^{*4}現示のため、速度約40km/hまで^{りきこう}力行し、次の30信号まで惰行とブレーキで速度を調整して速度約30km/hにしたのち下り勾配と曲線を通り、上り勾配を速度約40km/hで力行中、本件列車の先頭部が上り勾配を上りきるあたりで後方から「ボン」という、これまでに聞いたことがない大きな低い音が聞こえた。その際、運転台に故障や警告表示はなかった。

異音が聞こえたのち、ブレーキを使用するのとほぼ同時に、乗客が乗務員室のドアを叩き、「運転士さん、タイヤがバースト^{*5}しています」との申告があったので、本件列車を停止させた。

直ちに総合指令所（以下「指令」という。）に、「異音を感知し乗客からタイヤがバーストしたとの申告があったので列車を停止させた。これから状況の確認に向かう。」と報告したところ、指令から、無線機を持って行くよう指示を受け、本件列車の車内を通り後方へ向かった。5両目の車内より6両目（以下「本件車両」という。）を見ると本件車両が左へ傾いて50cm程ずれており、走行路上には「空気入り中子^{なかご}式ゴムタイヤ^{*6}」（以下「タイヤ」という。）の破片が散乱しているのが見えたため、その旨を無線機で指令に報告した。

その後、1両目の運転台に戻り、「車両故障が発生し走行不能です。」と乗客へ案

*3 「ATC」とは、自動列車制御装置（Automatic Train Control）の略称であり、先行列車の位置や線路の条件に応じて連続的に指示された速度制限信号（同社では「60信号」、「40信号」、「30信号」、「20信号」、「0信号」、「×信号（無信号）」）に基づき連続して列車速度を照査して制限速度以上になると自動的にブレーキがかかり、それ以下ではブレーキを自動緩解することにより速度制御を行うシステムである。

*4 「40信号」とは、ATCにより運転する列車の運転台の車内信号現示装置に許容運転速度を示す信号として現示されるATC信号をいい、「40信号」の場合の許容運転速度は40km/hであることを示す。

*5 ここでいう「バースト」とは、空気タイヤが破裂することで、壊れる際に内部の空気が一気に吹き出す損傷をいう。

*6 「空気入り中子式ゴムタイヤ」とは、内部圧力低下時に荷重を支える補助車輪（中子）を内部に備えた空気入りゴムタイヤをいう。

内放送を行い、指令の指示を待った。そのころ、本件車両の乗客は既に前方の車両へ移動しており、乗客から大きな音がしたとの申告があった。

指令から走行は可能か聞かれたため、走行できないとの報告をした。電車線^{*7}の状態を確認するため本件車両に向かい、本件車両乗務員室の前面窓から軌道側面にある電車線を見たところ、電車線は歪んでいるようには見えなかったため、その旨を指令に報告した。1両目の運転台に戻り、運転室左側の昇降扉の窓から左側面を確認したところ、本件車両が左の側壁に接触していたので再度指令に報告した。また、乗客には「危険なので線路に下りないように」と案内放送を行った。

その後、本件列車の停止位置付近の高架下にいた鉄道博物館の職員が、「ATCの制御盤が博物館の駐車場に落下している」と高架下から運転室に向かって呼びかけていたので、その旨を指令に報告した。

指令から、き電^{*8}停止の通告及び避難誘導を開始するとの連絡があったため、1両目の運転台にある電圧計が0Vとなっているのを確認し、乗務員室前面にある非常扉を開け、避難はしごを設置して走行路へ降りた。続いて検電器^{*9}を使用して電車線の電圧が0Vであることを確認し、指令に報告したところ、係員が到着したら乗客の誘導を開始するようとの指示があったため、乗客へ前方に集まるようとの案内放送を行った。

その後、乗客の誘導を開始し、子供や高齢者を優先して降車させ、乗客の鉄道博物館駅への避難が完了した時点で指令に報告した。

本件列車には、乗客が約100名乗車していたが、負傷者はいなかった。

(付図1 事故現場付近の地形図、付図2 伊奈線の線路略図、付図3 事故現場付近の線路平面図及び断面図 参照)

2.1.2 運転状況の記録

2.1.2.1 運転状況記録装置の記録

本件列車には運転状況記録装置が設置されており、「時刻」「速度」「ノッチ位置」等が記録されていた。本事故発生前後のこれらの記録は表1に示すとおりであり、0.1秒毎に情報を記録する仕様となっている。その記録によると、ATC車上装置において無信号状態を検知し、ATCの即時停止により非常ブレーキが動作していた。

*7 「(架空)電車線」とは、車両に取り付けられた集電装置を通じて、車両に電気エネルギーを供給する電線(架線)をいう。

*8 ここでいう「き電」とは、変電所から架線を通して電車に供給する電気をいい、「き電停止」とは、変電所からの電気の供給を止めることをいう。

*9 ここでいう「検電器」とは、架線が送電状態にあるか否かを判別するために用いる電気計測器のことをいう。

また、「距離」の数値は、本事故現場の手前の停車駅である加茂宮駅からの距離を示している。なお、同装置にはタイヤの摩耗量に応じた車輪径（タイヤの直径）の補正機能及び走行距離を記録する機能はないが、本件列車のタイヤは摩耗量が多いことを鑑み、本事故発生現場付近の本件列車の位置情報の精度を高めるため、走行距離は、実際に運行した距離程に近づくよう補正した。

「時刻」については、国立研究開発法人 情報通信研究機構の公開サーバーで補正された加茂宮駅プラットホームの防犯カメラ内蔵時計をもとに補正した。

なお、速度と距離の値には、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（概略）

時刻 (hh:mm:ss)	速度 (km/h)	ATC 信号	信号 コード	ノッチ	備考	
					距離(m)	その他（キロ程は前頭車の位置）
11 :01 :37 .64	0	60	6	F2	0.0	加茂宮駅出発
11 :01 :39 .54	0.2	60	6	F3	0.0	起動開始
11 :01 :45 .84	23.6	40	5	F3	20.0	(3k180m付近)
11 :02 :10 .44	28.6	30	4	F3	250.7	(2k950m付近)
11 :02 :25 .94	27.6	30	4	B1	363.2	
11 :02 :34 .44	29.0	30	4	切	430.4	
11 :02 :41 .14	27.2	30	4	F1	482.9	
11 :02 :46 .84	28.4	30	4	F2	526.4	
11 :02 :48 .44	29.3	30	4	F2	539.1	本件車両の車体前部が傾斜した時間帯 (車内防犯カメラの記録 11:02:48.53~11:02:48.67)
∴	∴	30	4	F2	∴	
11 :02 :48 .74	29.5	30	4	F2	541.6	
11 :02 :49 .74	29.9	60	6	F2	549.8	
11 :02 :52 .24	30.5	60	6	F3	570.7	
11 :03 :07 .14	58.4	60	6	切	758.2	
11 :03 :09 .14	57.6	60	6	F1	790.3	
11 :03 :24 .84	58.2	60	6	切	1038.7	
11 :03 :27 .54	56.6	60	6	F1	1081.5	
11 :03 :34 .24	56.1	60	6	F1	1185.3	本件車両の車体前部が左へずれた時間帯 (車内防犯カメラの記録 11:03:34.27~11:03:35.53)
∴	∴	60	6	F1	∴	
11 :03 :34 .84	55.7	60	6	切	1194.6	
∴	∴	60	6	切	∴	
11 :03 :35 .54	54.7	60	6	切	1205.3	
11 :03 :36 .64	53.5	60	6	B1	1221.7	ブレーキ扱い
11 :03 :36 .94	52.8	60	6	B3	1226.0	
11 :03 :38 .04	49.8	60	6	B4	1241.6	
11 :03 :39 .44	45.2	0	1	B4	1260.0	ATC地上設備の損壊により無信号となる (非常ブレーキ動作) (1k941m付近)
11 :03 :39 .54	44.8	0	1	B5	1261.2	
11 :03 :46 .94	0	0	1	B5	1307.6	停止

※「信号コード」については運転台へのATC信号現示のコード番号を表し、6:60信号、5:40信号、4:30信号、3:20信号、2:0信号、1:×信号（無信号）を検知していることを示す。

※「ノッチ」についてはマスコンのノッチ位置を表し、Fは「力行(前進)」位置、切は「切(惰行運転)」位置、Bは「ブレーキ」位置、数値はノッチの段数を示す。

2.1.2.2 車内の防犯カメラの記録

本件列車の各車両には、車内の前後左右の映像を記録する4台の防犯カメラが設置されている。これらの防犯カメラのうち、5両目及び本件車両に設置されている防犯カメラの映像の本事故発生時刻前後の車内の様子は表2のとおりであった。

本件車両の防犯カメラには、車体前部が左へ傾斜するときの様子が記録されていた。防犯カメラの1台は後部から車内全体（表2のカメラ②）、もう1台は車体後部の左窓方向（同カメラ③）を映しており、映像では車体後部の左窓が32番待避所（2k702m）を通過して0.13秒程経った時点で車体前部の床面が一瞬下がった。

表2 本事故発生前後の防犯カメラの映像

No.	時刻	5両目の防犯カメラの映像 (カメラ①)	本件車両の防犯カメラの映像 (カメラ②)
1	11:02:48	<ul style="list-style-type: none"> ・本件車両の貫通路付近の客室床面が一瞬で少し下がる。 ・複数の乗客がほぼ同時に後方を振り向く。 	<ul style="list-style-type: none"> ・左側を映すカメラ（カメラ③）に、32番待避所*10（2k702m）が映った直後（約0.13秒後）、前方を映すカメラ（カメラ②）に一瞬縦揺れが発生する様子が映っている。
2	11:02:59	<ul style="list-style-type: none"> ・着座していた本件車両の乗客が小走りで5両目に移動してきた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・前方左に着座していた乗客が5両目に移動し始める。
3	11:03:07	<ul style="list-style-type: none"> ・本件車両の揺れが徐々に大きくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・縦揺れが徐々に大きくなる。
4	11:03:21	<ul style="list-style-type: none"> ・本件車両の複数の乗客が5両目に移動してくる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の乗客が5両目に移動し始める。
5	11:03:25	<ul style="list-style-type: none"> ・本件車両の揺れが激しくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・縦揺れが激しくなる。
6	11:03:31	<ul style="list-style-type: none"> ・本件車両の乗客のほとんどが5両目に移動する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの乗客が5両目に移動する。
7	11:03:34～ 11:03:35	<ul style="list-style-type: none"> ・5両目と本件車両間の貫通路の幌が5両目からみて貫通路の左半分程度をふさぐ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大きな横揺れが発生する。
8	11:03:47	<ul style="list-style-type: none"> ・本件列車が停止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本件列車が停止する。
9	11:03:59	<ul style="list-style-type: none"> ・本件車両の乗客が全員5両目に移動完了した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・停止するまで本件車両にとどまっていた乗客6名全員が5両目に移動した。

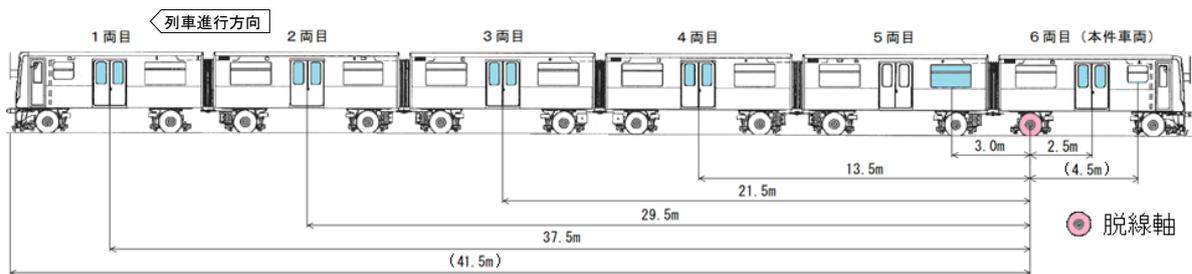
※ 時刻は2.1.2.1に記述した補正後の時刻を示す。



*10 「待避所」とは、線路保守等の係員が列車を避けるために設けている設備をいう。同社では、90m毎に待避所を設けることとしている。

本件列車の各車両の車内防犯カメラと運転状況記録の時刻を補正し、各待避所通過時刻等を含めて時系列に整理したものを表3に示す。表3における車両編成の塗色した窓が各待避所の真横となる位置を通過時間の採時箇所とし、車両編成図の数値は本件車両の第1軸（以下「前軸」という。）と塗色した窓との距離（m）を示す。ただし、表2に記述した32番待避所は、本件車両の後部窓（前軸から4.5m後方）から映している。

表3 防犯カメラ情報と運転状況記録の関係時系列



マスコン ノッチ	時刻 (hh:mm:ss)		本件車両 前軸* ₀ 程	記事
	車内カメラ	運転状況記録		
力行1	11:02:41.13	11:02:41.14	2k759m	ノッチ扱い
}	11:02:43.20		2k739.5m	1両目が32番待避所(2k702m)を通過
}	11:02:44.03		2k731.5m	2両目が32番待避所を通過
}	11:02:45.06		2k723.5m	3両目が32番待避所を通過
}	11:02:45.93		2k715.5m	4両目が32番待避所を通過
力行2	11:02:46.86	11:02:46.84	2k715m	ノッチ扱い
}	11:02:47.33		2k705m	5両目が32番待避所を通過
}	11:02:48.27		2k699.5m	本件車両が32番待避所を通過
}	11:02:48.40			車体前部床面が一瞬下がる(本件車両カメラ)
}	11:02:48.53			車体が傾き始める(5両目カメラ)
}	11:02:48.67			車体が傾き始める(本件車両カメラ) 車体傾きが最大となる(5両目カメラ)
}	11:02:48.73			車体の傾きが最大となる(本件車両カメラ)
}	11:02:50.46		2k682.5m	1両目が31番待避所(2k645m)を通過
力行3	11:02:52.20	11:02:52.24	2k670m	ノッチ扱い
切	11:03:07.13	11:03:07.14	2k482m	ノッチ扱い
力行1	11:03:09.20	11:03:09.14	2k450.5m	ノッチ扱い
切	11:03:24.86	11:03:24.84	2k202m	ノッチ扱い
力行1	11:03:27.53	11:03:27.56	2k159m	ノッチ扱い
}	11:03:33.93		2k055m	5両目が24番待避所(2k052m)を通過
}	11:03:34.27			車体前部が左にずれ始める(5両目カメラ)
}	11:03:34.40		2k049.5m	本件車両が24番待避所を通過
}	11:03:34.67			車体前部がずれている途中(5両目カメラ)
切	不明	11:03:34.84	2k046m	ノッチ扱い
}	11:03:35:53			車体前部のずれが止まる(本件車両カメラ)
ブレーキ3	不明	11:03:36.64	2k019m	ノッチ扱い
ブレーキ4	不明	11:03:38.04	1k999m	ノッチ扱い
ブレーキ5	不明	11:03:39.54	1k979.5m	ノッチ扱い
}	11:03:39.60		1k974.5m	本件車両が23番待避所(1k977m)を通過
}	11:03:46.46	11:03:46.94	1k929.5m	停止

図の塗色した窓は待避所の確認位置を示し、数値(m)は待避所通過時の確認位置と脱線軸との距離を示す

記事欄の「車体」とは、本件車両の車体のことをいう

表2のNo.1及び表3に記した32番待避所付近の状況を図2に示す。最初に本件車両に異常が発生したとみられる位置は2k690m付近であり、半径3,723

mの左曲線の5.5%の上り勾配で、ロードヒーター^{*11}区間の手前であった。

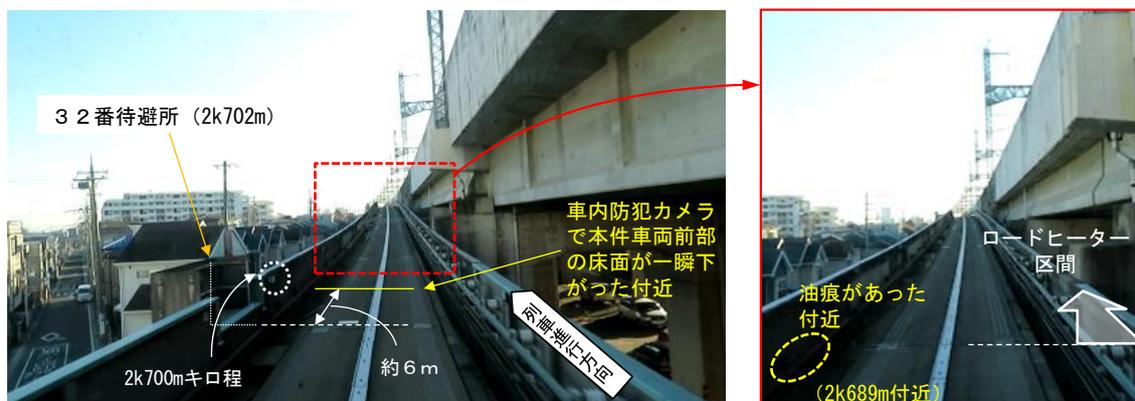


図2 32番待避所付近の状況

2.1.2.3 主変換装置の動作記録

本件列車の2両目と5両目には、動力装置に電力を供給し主電動機及び制御機器等に対する指令とその状態などを監視、制御する主変換装置が搭載されており、関係する機器の保護動作及び故障データを記録する機能を有する。

5両目の主変換装置には本事故当日、マスコンブレーキ4ノッチ、速度44.6 km/hで走行中において、11時03分に非常ブレーキが検知され、関係する保護動作が働いた記録が残っていた。本事故直近の5日間において、この記録以外の記録は残っていなかった。

2.1.3 指令における記録

指令にある伊奈線の輸送管理システムの制御卓には、本事故当日の11時03分ごろ、ATC地上装置に不具合が生じて正常に機能しなくなったことを示す「ATC重故障」が表示された。

2.1.4 駅プラットホームの防犯カメラの映像記録

伊奈線のプラットホームには、防犯カメラが設置されており、列車全体の乗降状況を映している。丸山駅のプラットホームに設置された防犯カメラの映像から、本件列車の着発時における本件編成の各車両の車体の左右の傾きが確認できた。

その映像によると、本件編成の全車両ともに若干固有の傾きが見られたが、相対的に見て著しく傾いている車両はなかった。

*11 「ロードヒーター」とは、冬期間における降雪時や凍結時のすべり止め対策として、路面に電熱線等を埋め込み温めることで、路面の凍結、積雪防止を図るものをいう。伊奈線のロードヒーター区間は、走行路のタイヤ接地面に溝が刻まれた形状となっている。

(付図1 事故現場付近の地形図、付図2 伊奈線の線路略図、付図3 事故現場付近の線路平面図及び断面図 参照)

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし。

2.3 鉄道施設及び車両に関する情報

2.3.1 事故現場等に関する情報

2.3.1.1 路線の概要

伊奈線は全線が高架式構造であり、大宮駅～丸山駅間が複線区間、丸山駅～内宿駅間が単線区間である。複線区間では東北・上越新幹線の高架橋の左右に、線路が敷設されている。

起点の大宮駅はループ状の折返しであるから、先頭車両は変わらない。終点の内宿駅での折返し時には、先頭車両と最後尾車両が入れ替わる。

(付図1 事故現場付近の地形図、付図2 伊奈線の線路略図 参照)

2.3.1.2 本件列車の停止位置及び脱線状況

本件列車は、先頭が1 k 8 8 8 m付近で停止していた。

本件車両の損傷状況は、概略次のとおりであった。

- (1) 前軸左のNo.2 走行車輪^{*12} (以下「走行輪」という。)のタイヤ及び中子^{*13}が損壊し、タイヤの破片が2 k 6 8 6 m付近から、中子の破片が2 k 4 9 4 m付近からそれぞれ、本件車両の前軸停止位置(1 k 9 3 0 m付近)までの軌道上の走行路や側溝等に散乱していた。
- (2) 前軸左の案内操向装置^{*14}であるステアリングアーム(以下「案内アーム」という。)の前部が、図3に示すように後方に屈曲し、案内輪(前)が左側の案内軌条の下にはまり込み、左側壁と接触していた。
- (3) 前軸右のNo.1 走行輪のタイヤがパンク^{*15}していた。
- (4) 車体台枠の左前隅柱下部が側壁に接触していた。
- (5) 前軸左の案内輪(後)が床下機器の機器枠と接触していた。

*12 「走行車輪」とは、車両の重量を受けながら、車軸を中心にして走行路面上を転動するものをいう。

*13 「中子」とはタイヤ内部に組み込まれた補助車輪のことをいい、タイヤの内圧が低下したとき、車両の傾斜を安全な範囲に制限するものである。タイヤの内圧が正常なときは外力を受けることはない。

*14 「案内操向装置」とは、案内車輪、案内はり(案内アーム)などにより構成され、案内軌条又は分岐軌条に沿って、走行車輪をかじ取りする装置をいう。

*15 ここでいう「パンク」とは、タイヤ内部の空気が抜けている状態をいう。

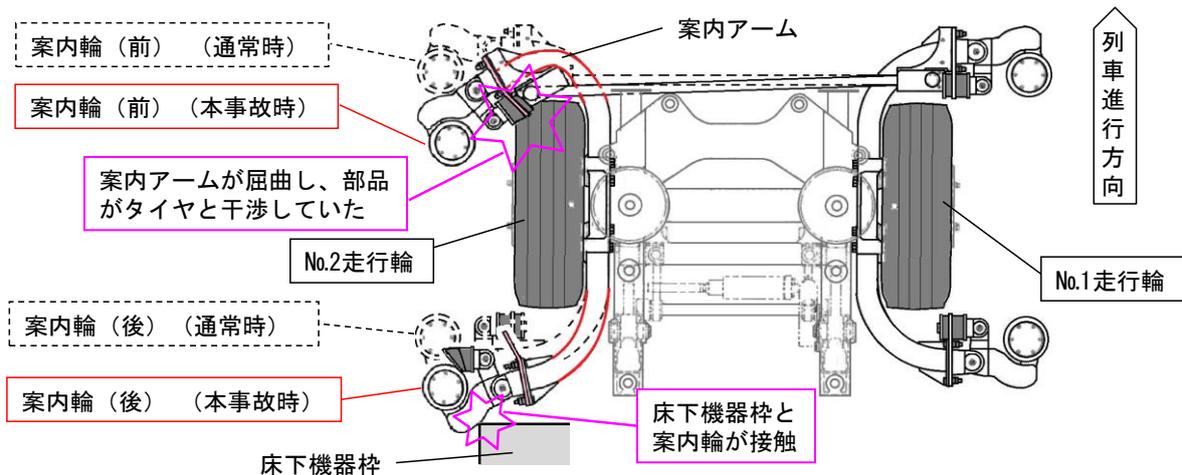
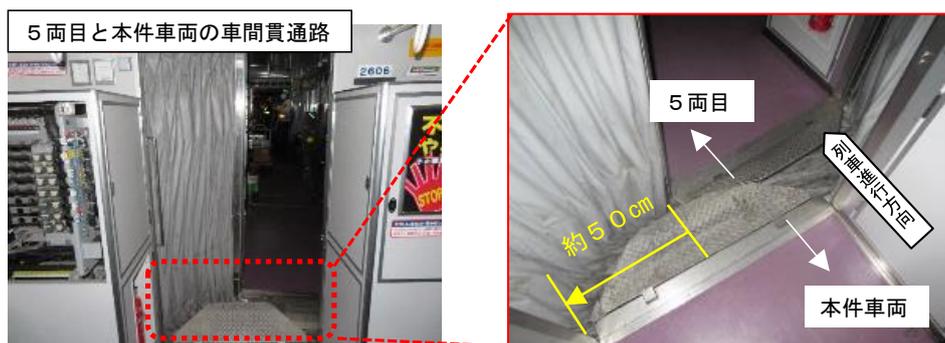


図3 本件車両前軸の案内アームの損傷状況の略図（上から見た図）

本件車両は、車体前部が左へ傾き、図4に示すように貫通路が左側に約50cmずれていた。



5両目と本件車両の車間貫通路では、本件車両の車体の前部が5両目の車体に対して左方向へ約50cm、位置がずれた状態であった

図4 車両間のずれの状況

(付図4 事故発生時の本件車両の損傷状況 参照)

2.3.1.3 本件列車が走行した軌道の状況

本事故発生後、本件列車が走行した上り線（内宿駅～本事故現場間）の軌道の状況については、同社が点検を行った結果、軌道に2.4.1で後述する損傷、脱落物以外の異物等はなく、異常はなかった。

2.3.2 鉄道施設に関する情報

2.3.2.1 鉄道施設の概要

新交通システムは、「都市モノレールの整備の促進に関する法律」（昭和47年11月17日、法律第129号）に定められている都市モノレールに準じており、鉄道の種類としては、「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）（以下「技術基準」という。）において、特殊鉄道の「案内軌条式鉄道」に分類されている。

伊奈線の軌道構造の概要を図5に示す。

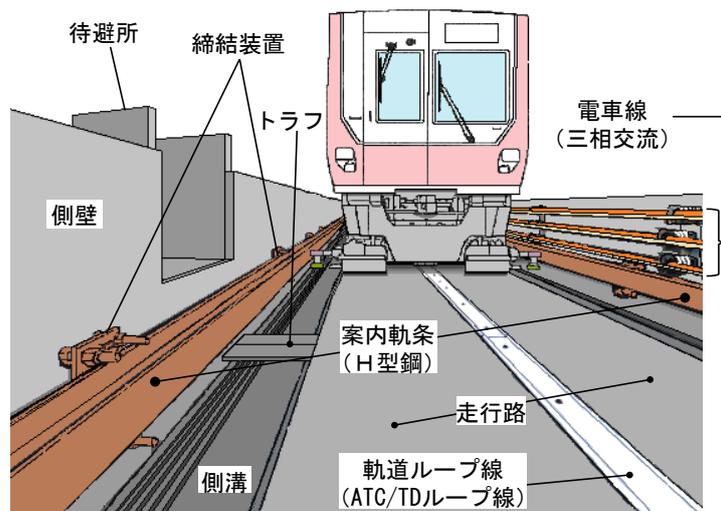


図5 伊奈線の軌道構造の概要

2.3.2.2 本事故発生場所付近の線形等に関する情報（付図1、付図3参照）

本事故発生場所付近の線形は、2 k 8 0 2 mから2 k 7 7 3 mまでが半径1 2 0 mの右曲線、2 k 7 7 3 mから2 k 7 3 1 mまでが半径8 0 mの左曲線、2 k 7 3 1 mから2 k 7 0 2 mまでが半径1 2 0 mの右曲線、2 k 7 0 2 mから2 k 6 9 4 mまでが直線であり、本件列車の停止位置（1 k 8 8 8 m）を含む2 k 6 9 4 mから1 k 5 6 0 mまでが半径3, 7 2 3 mの左曲線である。

勾配は、2 k 8 7 6 mから2 k 8 0 0 mまでが下り5 5%、2 k 8 0 0 mから2 k 6 9 6 mまでが上り4%、2 k 6 9 6 mから2 k 6 0 9 mまでが上り5 5%、2 k 6 0 9 mから2 k 3 2 0 mまでが上り4%、2 k 3 2 0 mから1 k 6 4 9 mまでが平坦である。

また、本事故現場付近の待避所の設置箇所、ロードヒーターの設置区間等は図6に示すとおりであり、2.1.2.2に記述した、3 2 番待避所の設置位置は2 k 7 0 2 mで、ロードヒーター区間及び上り5 5%勾配区間の手前であった。

なお、ロードヒーター区間は、走行路のタイヤ接地面に溝が刻まれた急勾配区間

であることから、駆動輪となるタイヤの接地部に対して、強い負荷が掛かる軌道形状となる。

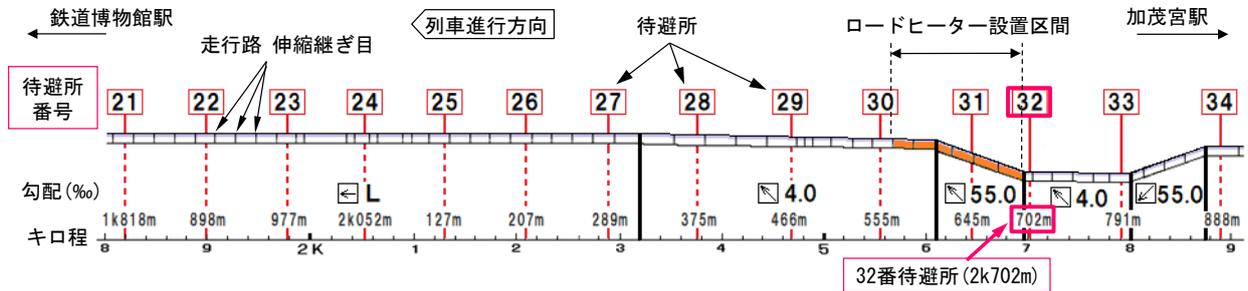


図6 本事故発生現場付近の上り線待避所設置箇所

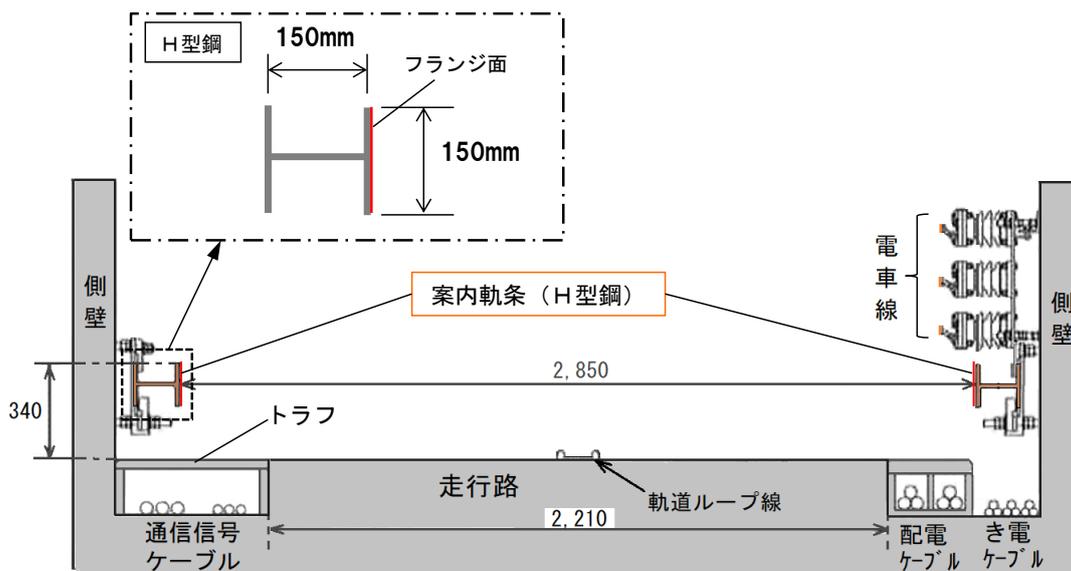
2.3.2.3 軌道に関する情報

軌道設備のうち、案内軌条は、図7に示すように150mm×150mmのH型鋼が左右両側に設置され、同H型鋼のフランジ面に車両の左右の案内輪が案内される。軌道の軌間（案内軌条フランジ面間の寸法）は2,850mmである。

また、動力は三相交流600Vで、車体側方から集電する方式であり、軌道側面に電車線を設けている。

走行路の中央には、ATC信号等を車両へ送受信する軌道ループ線が敷設されている。走行路の両端は側溝となっており、側溝には通信や信号などの各種ケーブル線類が敷設され、保線作業用者の待避所付近やケーブル線の接続位置などの側溝にはトラフ*16が敷設されている。

*16 ここでいう「トラフ」とは、側溝のケーブル等を防護するコンクリート製の蓋のことをいう。



単位：mm

案内軌条内面距離	軌道中心より 1,425 +5 -0	2,850 +10 -0
走行路と案内軌条の上端の高さ		340 ±5

図7 本件軌道の形状及び基準寸法

2.3.2.4 本件軌道の走行路の路面に関する情報

本事故発生区間は、走行路にコンクリートを使用している。

伊奈線では、走行輪のすべり止め及び摩耗防止の措置として、「走行路わだち部のコンクリートの強化」及び「樹脂モルタル塗布による補修」を実施している。

2.3.2.5 軌道の検査に関する情報

軌道に関する検査及び補修については、技術基準第3条に基づき同社が制定し、関東運輸局長に届け出ている「軌道・土木設備実施基準」により、軌道検測車による検査や、走行路や案内軌条等の状態に関する検査及び補修等を実施している。

「軌道・土木設備実施基準」には軌道検測車による検査について次のとおり定めている。

「軌道・土木設備実施基準」（抜粋）

（軌道定期検査）

第80条 軌道の定期検査は、別表-1・2の検査項目について行うものとする。

2 （略）

3 軌道定期検査の方法、基準期間。

(1) 軌道検測車による検査

軌道検測車による検査は、案内軌条の軌間、^{原文ママ}通り^{原文ママ}狂い、走行路の高低^{原文ママ}狂い等について検査をすること。

このうち、本事故現場付近における本事故発生前直近の軌道検測車による軌道の検査は、平成30年10月に実施されており、その検査の記録に異常はなかった。また、検査の結果、補修が必要とされた箇所について、2.3.2.6に後述する一部の未補修箇所を除き、補修の記録に異常はなかった。

また、列車に係員が乗車して実施する列車巡視を7日に1回、係員が徒歩により実施する徒歩巡視を3ヶ月に1回実施している。

事故現場付近における直近の列車巡視については平成31年1月14日、徒歩巡視は平成31年1月8日にそれぞれ実施しており、その記録に異常はなかった。

2.3.2.6 軌道の検査により変状が確認された箇所に関する情報

同社は軌道・土木設備実施基準に従い、軌道の検査を適正に行うための軌道定期検査指針を制定し、巡視において不良や変状があると判定した際の手順を定めている。手順には、「列車運行に支障を及ぼす恐れのある不良、変状である場合」の措置として、臨時検査による詳細な調査を行い緊急性の高い場合に補修又は使用制限を実施することとしており、「列車運行に支障を及ぼさない軽微な不良、変状である場合」の措置として、監視を行い必要により予防保全として補修を実施することとしている。

本事故発生直近の走行路の定期検査の結果、不良と判定された未補修箇所が複数あった。これについて同社は、「列車運行に支障を及ぼさない軽微な不良、変状である場合」と判断し、補修計画を立てていたとのことであった。

2.3.3 車両に関する情報

2.3.3.1 車両構造の概要

伊奈線の車両には、軌道の左右両側の案内軌条に沿って車両を誘導するための案内操向装置がある。同装置の案内輪は案内軌条に接しており、車両が走行することで回転しながら軌道の平面線形を案内操向装置に伝える。また、図8に示すように同装置のタイロッド^{*17}によって、左右の走行輪は案内軌条に沿い、進行方向に対して同一の角度に操舵される仕組みとなっている。

*17 「タイロッド」とは、左右の案内輪を接続して案内軌条に沿って左右に動く案内輪の動きを案内操向装置に伝える部品である。

曲線走行時には、案内操向装置に取り付けられた案内アームがキングピン^{*18}を支点として走行輪とともに旋回する。

走行輪はタイヤ、中子及びアルミホイール（以下「ホイール」という。）で構成され、中子とホイールとの間に緩衝材としてゴム製のリムバンドを挟んでいる。

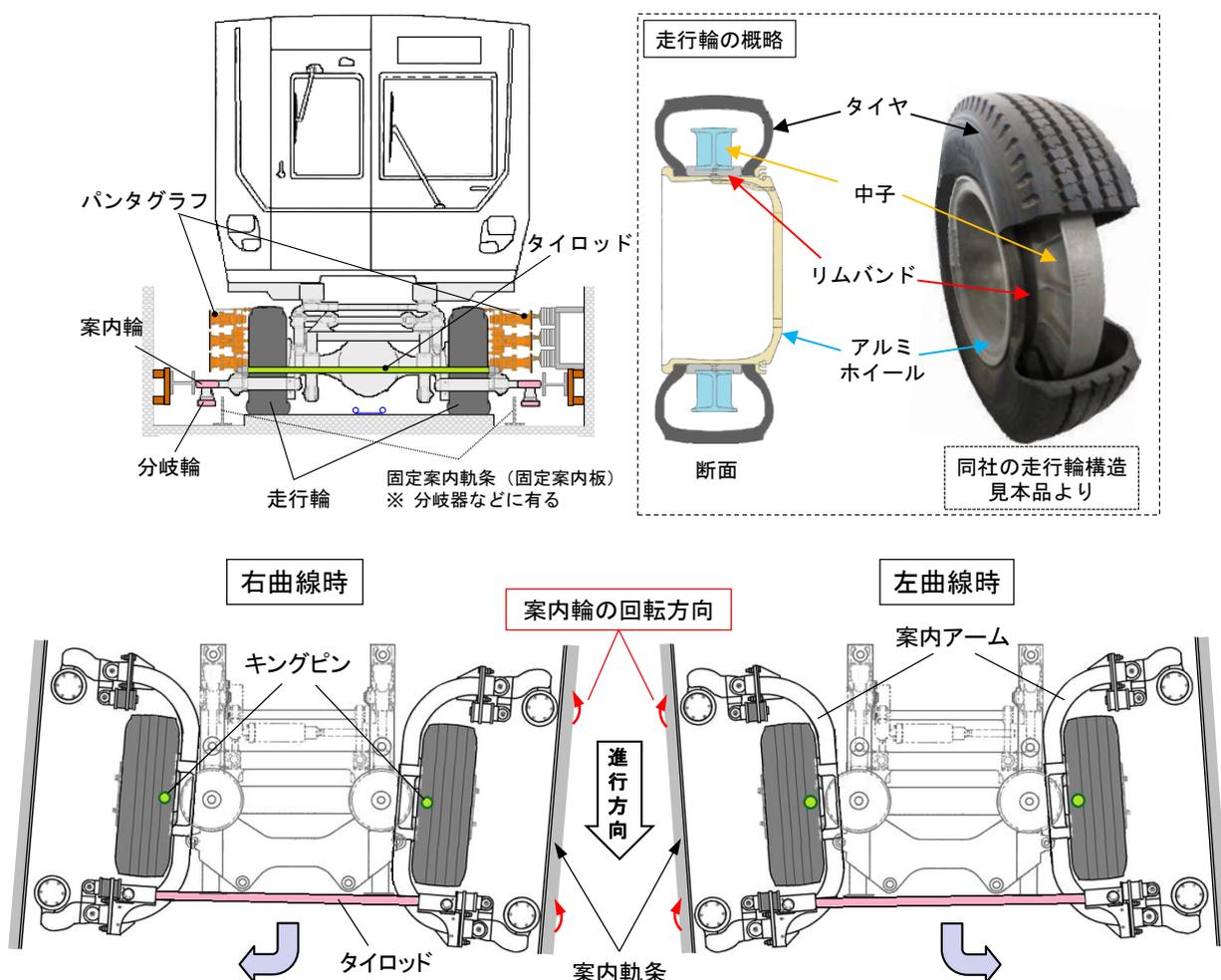


図8 本件車両及び走行輪の概要

2.3.3.2 本件車両の走行装置の概要

本件車両は、走行装置として走行輪2輪1軸のユニット台車が1車両に2台用いられている4輪車構造で、台車は車体に固定されている。走行輪は案内操向装置の案内アームと固定され、案内輪又は分岐車輪^{*19}（以下「分岐輪」という。）が案内軌条に沿って誘導されると両側の走行輪が同時に操舵する4輪ステアリング^{*20}方式を採用している。図9に本件車両の走行装置（動軸）の概要を示す。

*18 「キングピン」とは、旋回で車輪（走行輪）の向きを変えるための、鉛直線に対して傾斜した軸のことをいい、鉛直線に対する傾き角度を「キングピン傾角」という。

*19 「分岐車輪」とは、分岐器により誘導され、車両を分岐器の案内軌条に沿って進行方向へ案内する車輪をいう。

*20 ここでいう「ステアリング」とは、走行する列車又は車両の左右方向を任意に変えるための舵取り装置をいう。

なお、新品タイヤにおける空車時の案内輪上端の高さは、走行路面上306mmに設計されている。

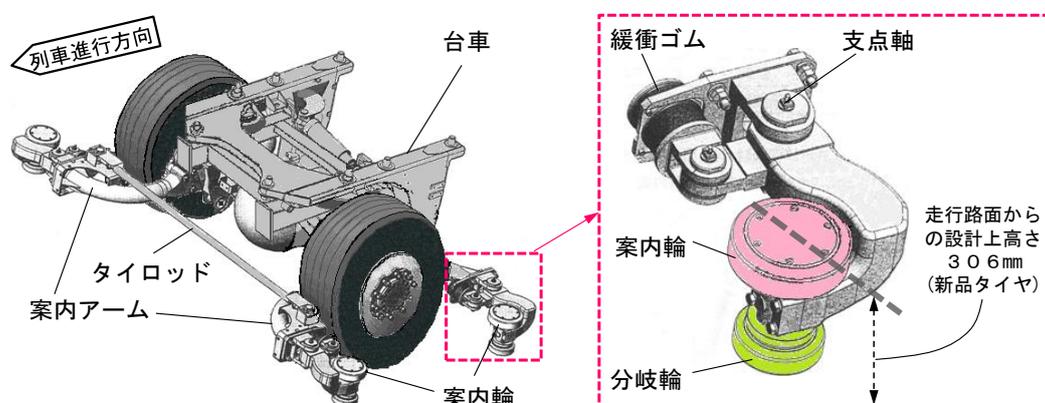


図9 本件車両の走行装置（動軸）の概要

2.3.3.3 車両の概要

本件列車の編成概要を表4に示す。車両の主な諸元は、次のとおりである。

車種	交流電車（50Hz 600V）
車両形式	2000系
編成両数	6両
編成定員	267人（座席定員111人）
編成長	48.0m
車両の空車重量	11.8 t ^{*21} （本件車両）
左右走行輪の中心間距離（輪距）	1,650mm

表4 本件列車の編成概要（06編成）

記号番号	2106 (1両目)	2206 (2両目)	2306 (3両目)	2406 (4両目)	2506 (5両目)	2606 (本件車両)
空車重量(t)	11.8	11.0	11.1	11.1	11.0	11.8
定員(座席定員)(人)	38(12)	48(22)	48(22)	48(22)	47(21)	38(12)

2.3.3.4 車両の検査等

本件列車の車両の検査等の状況については、技術基準第3条に基づき同社が制定し、関東運輸局長に届け出ている「埼玉新都市交通株式会社車両整備実施基準」（以下「車両実施基準」という。）に基づき実施されている。

本件列車の車両の検査実施日は次のとおりであり、これらの検査記録に異常は認

*21 [単位換算] 1 t = 1,000 kg (重量)、1 kg (重量) = 1 kgf、1 kgf = 9.8 N

められなかった。

新 製 平成25年12月3日

重要部検査*22 平成29年9月27日

月 検 査*23 平成30年11月20日

列車検査*24 平成31年1月14日

また、同社は車体高さについて、定期検査及び必要により臨時検査で、車体台枠四隅の端ばり下面の高さ（端りょう下面高さ）の寸法測定を実施しており、直近の検査記録によると限度基準値は満たしていた。

2.3.3.5 台車に関する情報

本件列車は全車両が電動車であり、図10に示すように、1両2軸のうち1軸が動軸となっている。本件車両の前軸は動軸である。各車両には1台の主電動機が車体床下に設置され、主電動機の動力は、推進軸及び差動歯車装置を介して動軸に伝達される。

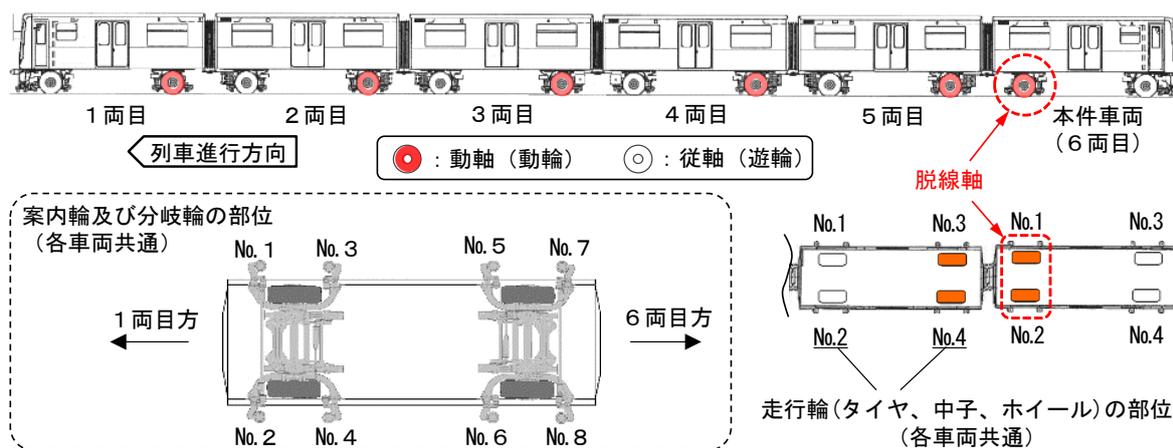


図10 本件列車の動軸・従軸及び案内輪の配置図

台車は車軸の上に懸架装置が固定され、その上に空気ばねを介して台車枠が被さり、台車枠を車体台枠に固定する構造となっている。

*22 「重要部検査」とは、「施設及び車両の定期検査に関する告示」（平成13年12月25日国土交通省告示第1786号）（以下「検査告示」という。）の「重要部検査」に該当し、4年を超えない期間毎に実施される。

*23 「月検査」とは、検査告示の「状態・機能検査」に該当し、3ヶ月を超えない期間毎に実施される。

*24 「列車検査」とは、技術基準の「列車の検査」に該当し、鉄道事業者が検査時期及び内容を定めて実施される。同社では、10日を超えない範囲で実施することと定めており、実際には8日毎に実施している。

2.3.3.6 走行輪（タイヤ、中子）に関する情報

本事故発生時、同社において、‘本件タイヤを製造した会社’（以下「本件タイヤメーカー」という。）製のタイヤを使用している車両は、全14編成84両中1編成、本件編成の2両目から本件車両までの5両のみである。また、中子はタイヤ製造会社が製造しており、タイヤと中子は同じタイヤメーカー製のものを使用することとなっている。なお、タイヤについては、管理や性能等により、基本的に同一編成に同一のタイヤメーカー製のものを使用しているが、タイヤの仕様を満たしていれば、同一編成（同一車両）に他社製のタイヤを使用しても問題ない。

本件車両のタイヤ及び中子の仕様は次のとおりである。

(1) タイヤの基本構造

本件車両のタイヤの基本的な構造、名称、機能及び寸法を図11に示す。図11において、ベルト（スチールベルト）及びカーカスは金属線等の素線を撚り合わせたコードから形成されており、本件車両のタイヤにはスチール製のコードが用いられている。なお、図11における主な寸法は、無負荷時（荷重の掛かっていない状態）の値を示す。

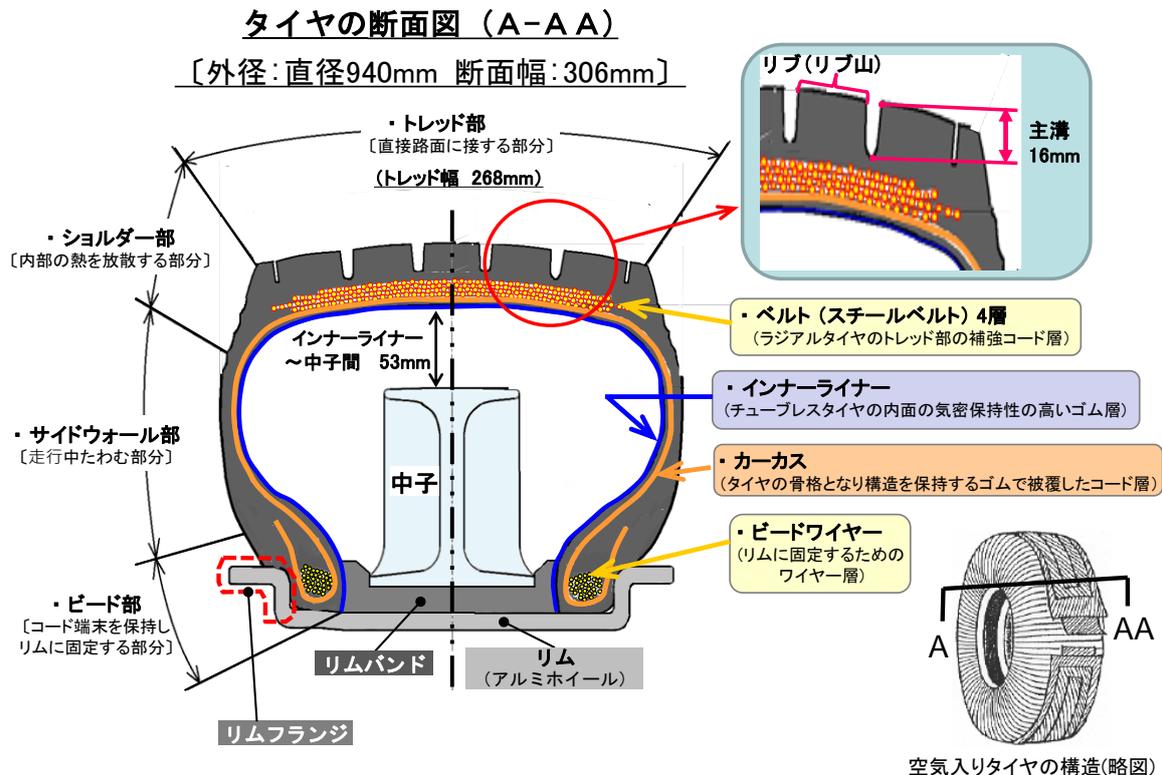


図11 本件車両のタイヤの基本構造、名称、機能及び寸法

タイヤの種類は、トラックやバスなどで一般的に用いられているものと同様の仕様となっている。なお、本件タイヤメーカーによると、同社の車両に

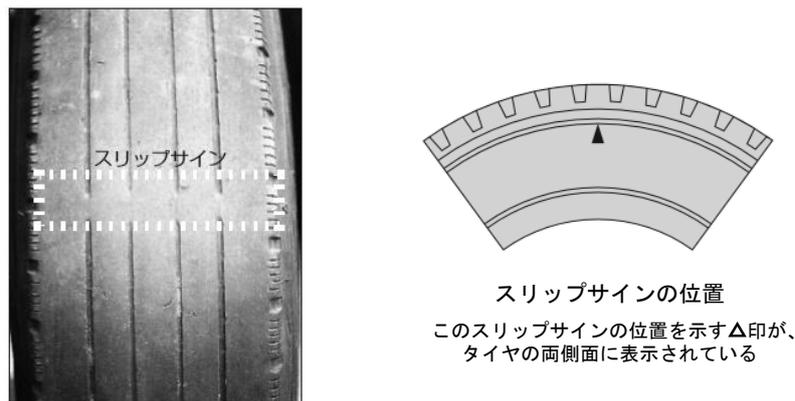
使用しているタイヤの内圧は最大1,050kPaであり、トラック・バス用よりも比較的高いことから、カーカス・ベルト・ビードの設計強度を上げているとのことである。

(2) タイヤのトレッドパターン

一般的にタイヤのトレッド部には、濡れた走行路面において滑りにくくするため、その表面に縦方向の溝（主溝）と横方向の溝（補助溝）が刻まれている。それらの溝の形状をトレッドパターンといい、タイヤの製造会社、使用用途などによってパターンが異なる。

(3) 摩耗限度表示（スリップサイン）

自動車用タイヤは、図12に示すように使用できる摩耗の限度の目安として、溝底に1.6mmのゴムの盛り上がりのある部分をいうスリップサインが複数箇所設けられている。新交通システム用のタイヤに設けられている場合もあるが、本件車両のタイヤにはスリップサインは設けられていなかった。



※日本自動車タイヤ協会（JATMA）「自動車用タイヤの選定、使用、整備基準 2018」より

図12 スリップサイン及びスリップサインの位置

(4) 中子（アルミサポーター）の構造

本件車両の中子の構造は図13に示すように、1片120°角のパーツ（Aピース、Bピース、Cピース）を3片組み合わせて1式としている。

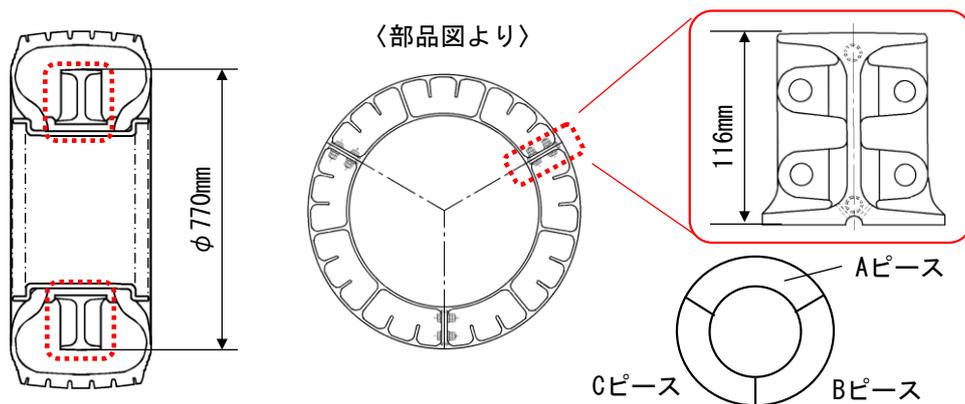


図1-3 中子の構造

(5) タイヤと中子の新製及び位置関係に関する情報

本件車両の走行輪のタイヤ、中子の新製は次のとおりであった。

- ・No.1 タイヤ 平成29年1月8日製造
- ・No.2 タイヤ 平成29年1月9日製造
- ・No.1 中子 平成23年製造
- ・No.2 中子 平成23年製造

また、本件編成と同一形式の車両に使用されるタイヤの共通仕様を表5に示す。

表5 本件編成のタイヤの共通仕様（パンク時は中子に支えられた状態）

仕様項目		仕様		
タイヤ種類		中子式 空気タイヤ		
タイヤ形式（断面幅／偏平比 リム径）		315／70 R20		
ホイールサイズ（リム径×リム幅）		20×8.50 in		
無負荷時寸法	外径基準値	940mm		
	総幅最大	326mm		
	踏面幅最大	256mm		
静荷重時寸法	通常空気圧	静荷重半径（※）	空車	445±2.5mm／2,750kg
			満車	431±2.5mm／4,500kg
		空満差	14mm以下	
	摩耗時	静荷重半径（※）	空車	435±2.5mm／2,750kg
			満車	421±2.5mm／4,500kg
	パンク時	静荷重半径	空車	30mm以下
下降量		満車	16mm以下	
重量（リム含む）		120.5kg以下		

※ 本件車両のタイヤにおける静荷重半径の許容誤差は「±3.0mm」である。

2.4 鉄道施設及び車両の損傷、痕跡に関する情報

2.4.1 鉄道施設の損傷、痕跡に関する情報

本事故後に確認された主な軌道損傷及び部品脱落の位置関係は図14に示すとおりであり、その状況について概略次のとおりであった。

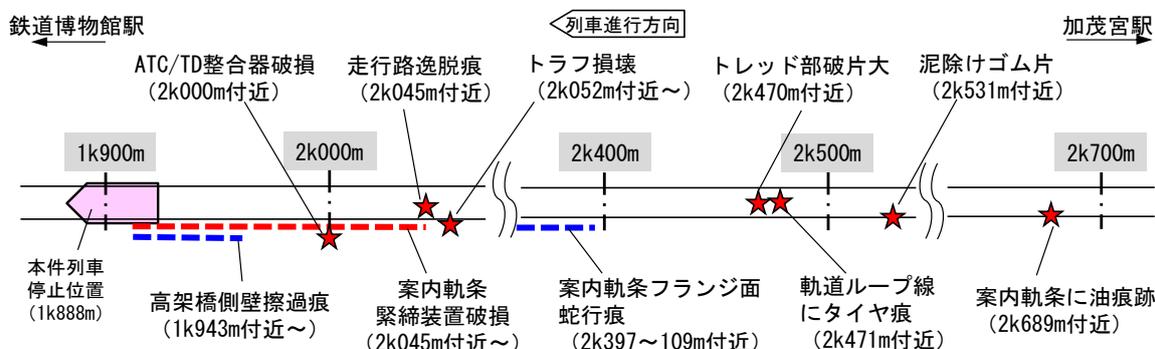


図14 主な軌道損傷及び部品脱落の位置関係

- (1) 2k689m付近の左側案内軌条に図15に示すように油が付着した痕跡があった。

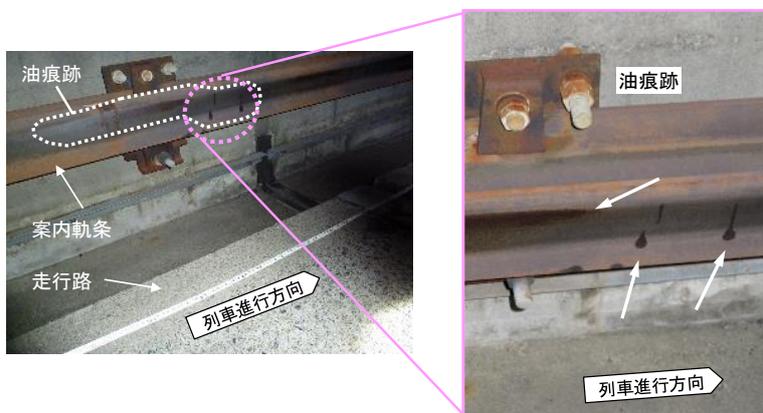


図15 案内軌条へ油が付着した痕跡

- (2) 2k531m付近の左側案内軌条の上に、2.4.2.2(3)で後述する本件車両のNo.2 走行輪の泥除けゴム欠損部が落下していた。
- (3) 2k471m付近に図16に示すように、軌道ループ線を覆うカバーにタイヤのトレッド部により付いたとみられるゴムを擦った痕跡があり、その約1m先となる2k470m付近の軌道中央にはタイヤのトレッド部の大きな破片があった。

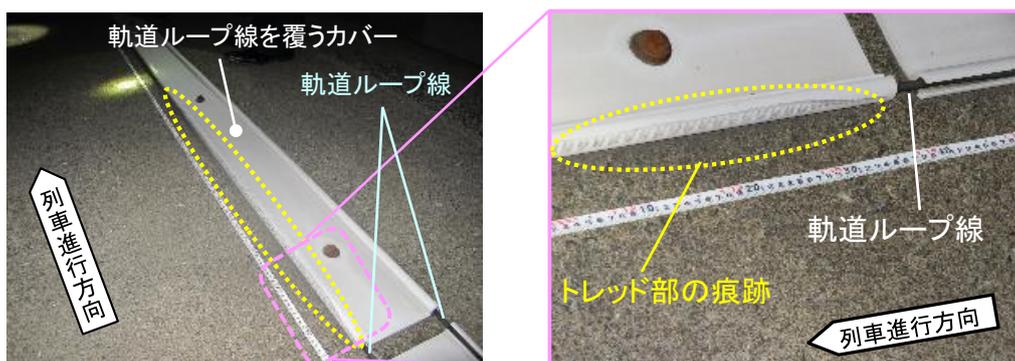


図 1 6 軌道ループ線を覆うカバーに付いたタイヤのトレッド部の痕跡

- (4) 2 k 3 9 7 m 付近から 2 k 1 0 9 m 付近までの左側案内軌条のフランジ面約 2 0 箇所、案内輪が強く衝撃したことにより生じたと思われる痕跡があった。
- (5) 2 k 0 5 2 m 付近から、左側のトラフが損壊し、側溝に残骸があった。
- (6) 2 k 0 4 5 m 付近に、図 1 7 に示すように、走行輪が走行路から逸脱した際に生じたと思われる、左方向へ寄っていく黒い線状の痕跡があった。

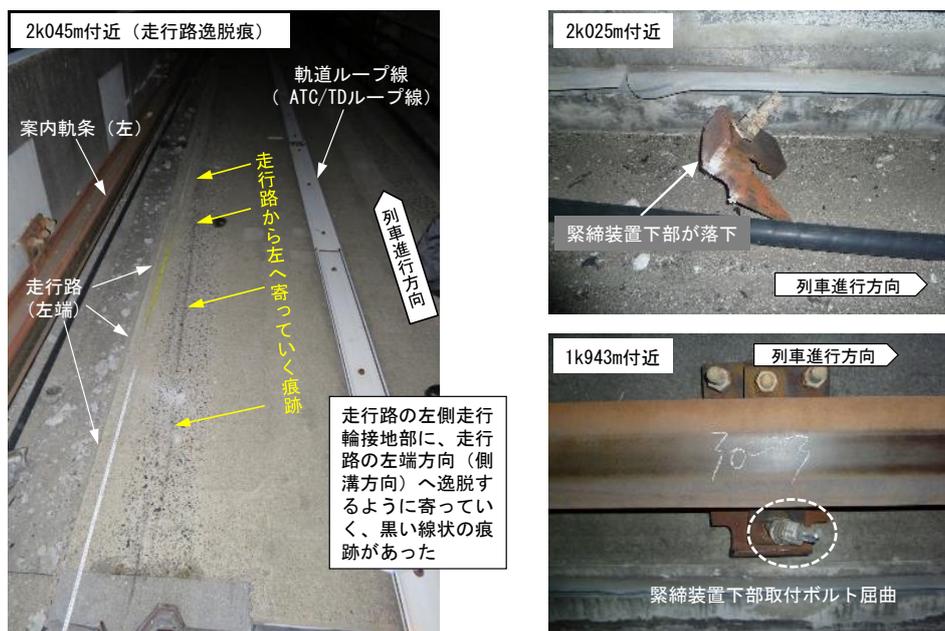


図 1 7 走行路及び案内軌条緊締装置の状況

- (7) 2 k 0 4 5 m 付近から 1 k 9 4 5 m 付近までの左側案内軌条の緊締装置が、5 1 箇所破損しており、破損箇所とほぼ同じ高さの側壁面に、擦過痕が続いていた。
- (8) 2 k 0 0 0 m 付近では図 1 8 に示すように、左側壁の上部に設置されていた A T C / T D 整合器と閉そく標識が破損し、高架下にある駐車場に落下し

ていた。整合器の^{きょうたい}筐体の列車進行方向から見て手前側上部には、車体の衝撃により生じたものとみられる衝撃痕及び歪みがあった。

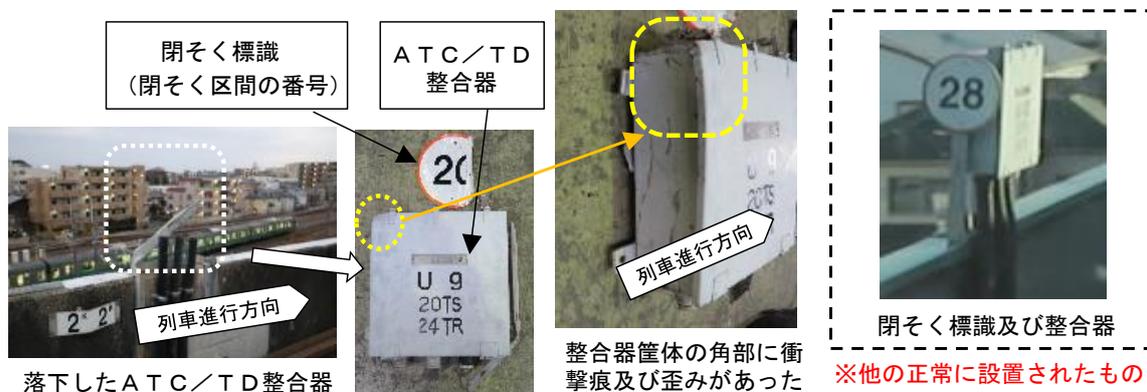


図18 落下したATC/TD整合器及び閉そく標識

- (9) 1 k 9 4 3 m付近から本件車両停止位置付近にかけて高架橋の左側の側壁の上端に、擦過痕があった。

なお、案内軌条の緊締装置下部の損傷状況等については、2 k 0 4 5 mから1 k 9 5 0 mまで緊締装置の取付ボルトに擦過痕があり、緊締装置が脱落した箇所と脱落していない箇所が混在していたが、1 k 9 5 0 m付近よりも前方の緊締装置は脱落しておらず、図17（右図）で示したように、緊締装置下側のボルトの屈曲が本件車両の停止位置（No.2 走行輪のあった1 k 9 3 0 m付近）まで続いていた。

また、タイヤの破損が発生した位置から本件列車停止位置までの上り線の高架橋下を確認したところ、交差する東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）川越線の敷地（2 k 1 0 0 m付近）及び駐車場（1 k 9 8 0 m付近）に、本事故により発生したとみられる中子の破片の一部を発見した。

（付図5 主な軌道損傷及び部品脱落状況 参照）

2.4.2 車両の損傷及び痕跡等に関する情報

2.4.2.1 本件列車各車両の走行輪の損傷及び痕跡等の状況

(1) 本件車両

① タイヤの損傷及び痕跡等の状況

a No.1 タイヤ（付図6 参照）

- ・ トレッド部には‘摩耗により主溝の残り溝がなくなった’（以下「完

摩」という。)箇所があり、左右両側の偏摩耗^{*25}、片側の偏摩耗があった。

- ・トレッド部からタイヤ内面に達する貫通傷が1箇所(約100mm×40mm)あり、その損傷部のゴム層断面には線条痕^{*26}が見られた。
- ・タイヤの内面はインナーライナーの損傷部周辺に半楕円状の損傷痕があった。

b No.2タイヤ(付図7参照)

- ・トレッド部には一部完摩箇所があり、スチールベルトの露出している箇所があった。
- ・損傷はサイド部(側面部)よりトレッド部が顕著で、トレッド部の内面はほぼ全周にわたって損傷し、トレッド部の一部は、両側から挟まれたように冠状に開口していた。
- ・トレッド部のゴム層は破れて、スチールベルト及びカーカスコードが破断し素線が切れて、トレッド部には剥離等の損傷が見られた。
- ・トレッド部の大きく剥がれた箇所は、ショルダー部付近で分離、スチールベルトのコードが長手方向の両端で破断していた。
- ・タイヤの内面はインナーライナーの一部で縞状のパターン模様が消えて見えなくなった箇所があった。
- ・ホイールに装着されていたリムバンドは複数に分断しており、リムバンドには、タイヤ内面のビード部が圧着したことにより生じたと思われるインナーライナーの縞模様が転写されていた。

c No.3タイヤ

トレッド部のショルダー部との境界付近の一部に若干偏摩耗が見られたものの、特に目立った損傷はなかった。

d No.4タイヤ

図19に示すように、トレッド部に1箇所、最も内側のリブ山列の縦方向に約47mmの傷があった。

*25 ここでいう「偏摩耗」とは、タイヤのトレッド部の接地面が局部的に摩耗、あるいは一部が円周上に片減りした状態をいう。

*26 ここでいう「線条痕」とは、タイヤが外傷を受けたときに見られるゴム層の破断面の痕跡をいう。



図 1 9 本件車両のNo.4 タイヤの損傷状況

(付図 6 本件車両のNo.1 タイヤの損傷状況、付図 7 本件車両のNo.2 タイヤの損傷状況 参照)

② 中子の損傷状況

a No.1 中子

図 2 0 に示すように一部が欠損しており、タイヤ内部に中子の破片があった。中子の欠けた箇所と内部にあった破片を組み合わせたところ、形状が一致した。欠損箇所以外に異常はみられなかった。

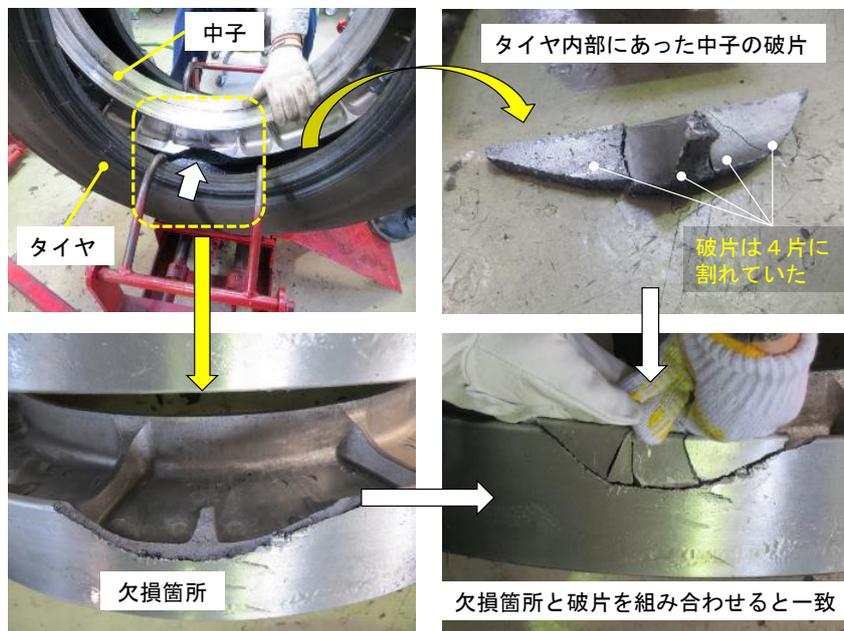


図 2 0 No.1 中子の損傷状況

b No.2 中子

中子は損壊し、大きな破片で約 3 0 0 mm、小さな破片で数mmであった。各ピースを固定していたボルト・ナットの締付け状態について、トルク

レンチにより締付力を確認したところ、締付部品の歪みや脱落によって測定不能の箇所を除き、いずれも規定トルク値で締付けられていた。

本件車両の他の中子については、異常はなかった。

(付図8 本件車両のNo.2中子の損傷状況 参照)

③ ホイールの損傷状況等

a No.1ホイール

全周にわたり、シールリングを含めて特に損傷はなく、ホイールに正常なタイヤを組み込み、空気の漏洩を確認したところ、漏洩はみられなかった。

b No.2ホイール

円周面に損傷や凹みがリム部中央付近を中心として円周上に複数箇所あり、特に‘ホイールのリム部にある空気バルブ’（以下「リムバルブ」という。）周囲に集中していた。凹みは、最大約2.9mmの箇所があり、リムバルブは、約0.05mm歪んでいた。

リムフランジに目立った傷はなかったが、一部にタイヤのゴムを擦りつけた黒色の付着物があった。

なお、ホイールに正常なタイヤを組み込み、空気の漏洩を確認したところ、リムバルブ取付部からの空気漏洩が激しく、圧縮空気を込めると同時に漏洩音が聞こえる状態であったが、Oリングなどの付属部品に異常はなかった。

本件車両の他のホイールについては、異常はなかった。

(付図9 本件車両のNo.2ホイールの損傷状況 参照)

(2) その他の車両

① 1両目車両

目立った異常や損傷はなかった。

② 2両目車両

No.1及びNo.4タイヤは、外側から4本目の主溝に完摩箇所があった。

No.3タイヤは、外側から1、3及び4本目の主溝に完摩箇所があり、4本目の主溝付近では全4層のスチールベルトのうち3層目までが露出し、上層の2層が摩滅している箇所があった。

③ 3両目車両

No.1～No.4の全てのタイヤの外側から4本目の主溝に完摩箇所があり、No.3タイヤは外側から1本目主溝にも完摩箇所があった。また、No.1タイ

ヤには局部的に偏摩耗が見られ、No.4 タイヤの完摩箇所は外観上、主溝が残っているように見える状況であった。

④ 4 両目車両

No.3 タイヤの外側から4 本目の主溝に完摩箇所があり、その縦方向に約20mmの傷があった。

⑤ 5 両目車両

No.3 及びNo.4 タイヤの外側から4 本目の主溝に完摩箇所があった。また、No.3 タイヤは外側から1 本目の主溝にも完摩箇所があり、外観上、主溝が残っているように見える状況であった。

(付図10 本件列車の各車両のタイヤ主溝の状態 参照)

2.4.2.2 本件車両の前軸（動軸）側台車の損傷及び痕跡等の状況

本件車両の前軸（動軸）側台車の分解調査を平成31年4月に実施したところ、案内操向装置及び破損したタイヤの周囲（周方向）には、本事故により生じた損傷や痕跡等が見られたが、車軸のハブ、キングピンやその他の台車取付部品に異常はなかった。損傷及び痕跡等の状況は以下のとおりであった。

(1) 案内アームの損傷及び痕跡等の状況

① No.2 案内アーム（破損したタイヤ側）

アームの前方が本事故の衝撃により大きく曲損し、アームの途中で切断したことから、切断した状態で状況を確認した。

a 車軸側取付部

案内アームの取付部の平面度は、車軸側のナックル^{*27}取付部、後部側案内輪組立取付板それぞれを測定した。全ての測定部位で基準値を超過しており、後部案内輪取付部は後ろ側へ歪んでいた。また、前側アームの切断面は、縦長の楕円状態となっていた。

また、図21に示すように、案内アーム取付ボルトのボルト穴4箇所（上側2箇所、下側2箇所）中、下側の2箇所に錆びが見られ、取付ボルト4本をナックルから取外す際、締付力が規定トルク値よりも低い状態で取り付けられていた。また、取付ボルトのねじ部、円筒部の一部に錆びが見られたが、伸びや損傷はなかった。

*27 ここでいう「ナックル」とは、車輪を支持し車体を懸架するとともに、案内アームにより走行輪の向きを変える部分をいう。



図 2 1 案内アームのナックル取付部の状況

b 案内輪取付部

No.2 案内輪の取付部は、アームと取付板及びタイロッドの取付部となるロッド受の表面塗色の大部分が剥がれ、防錆塗料（橙色）が浮き出していた。No.4 案内輪の取付板にはアームと取付板との溶接部分にき裂があり、図 2 2 に示すとおり取付板に若干の歪みがあった。

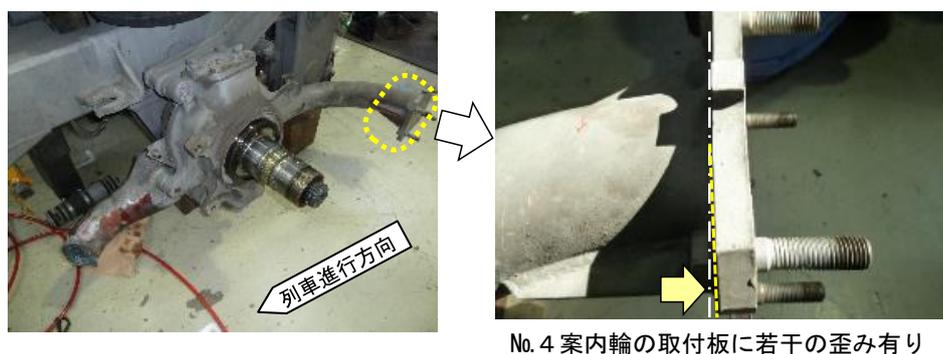


図 2 2 案内輪取付部の損傷状況

② No.1 案内アーム（パンクしたタイヤ側）

No.1 案内輪取付部のロッド受の溶接止端部及びその周囲には、き裂が複数箇所あった。

③ タイロッド

No.1 とNo.2 の案内アームを繋ぐタイロッドは、本事故後の復旧作業のためにNo.2 案内アーム側で切断したが、切断部以外に異常はなかった。

(2) 案内輪の損傷状況

① No.2 案内輪

- 案内アームとの取付面となる台座は、緩衝ゴム取付部が右へ曲損していた。

- ・案内輪受の前側の側面には、粗い面に強く擦りつけたような擦過痕が多く見られ、後ろ側の側面は、緩衝ゴムの周辺が黒ずんでおり、緩衝ゴムは押し潰されたような状態であった。
- ・案内輪の上面にある軸受を保護するふたには、上部に周回状の擦過痕があった。
- ・分岐輪には擦過痕が見られた。

② No.4 案内輪

- ・案内アームとの取付面となる台座の緩衝ゴム取付部は左方向に曲損していた。
- ・緩衝ゴムは、2つの緩衝ゴムで挟み固定していた台座から外れ、取付ピンを支点に約180°回転し、案内輪と接触した状態であった。2つの緩衝ゴムの間に隙間はなくなっていた。
- ・案内輪上面のふたは、一部に鋭利な擦過痕があった。
- ・分岐輪には擦過痕が見られた。

(3) No.2 走行輪の周囲（周方向）の状況

破損したNo.2タイヤの回転方向の周囲は、走行輪の泥除けが歪み、泥除けゴムの一部が欠損していた。

(付図1-1 本件車両のNo.2案内アームの歪み状況、付図1-2 本件車両のNo.1案内アームのき裂の発生状況、付図1-3 本件車両の案内輪の損傷状況 参照)

2.4.2.3 本件車両の前軸（動軸）側台車以外の損傷等の状況

本件車両の車体台枠には、図2-3に示すとおり、車体左前の隅柱下部に強い衝撃を受けたような打痕及び凹みと、その下には擦過痕があった。

また、床下機器枠には本事故により生じたとみられる損傷、痕跡があったが、後軸（従軸）側台車等を含め、その他車体各部に異常はなかった。



図2-3 車体床下及び車体台枠の損傷状況

2.5 走行輪の保守管理等に関する情報

2.5.1 タイヤの管理に関する情報

同社の車両実施基準によると走行輪の整備について、列車検査、月検査、重要部検査時には、保守管理を次のとおり実施することとしている。

「埼玉新都市交通株式会社車両整備実施基準」（抜粋）

別表1 列車検査整備基準

区分	列車検査
台車	3. 走行輪の取付状態及び接地長さを検査すること。

別表2 月検査整備基準

区分	月検査	検査方法
台車	走行輪 1. タイヤの偏摩耗、異常変形、異物介在、き裂、損傷の有無の検査すること。 2. タイヤの摩耗状態及び内圧を検査すること。	測定

別表3 重要部検査整備基準

区分	重要部検査	検査方法
台車	走行輪 1. タイヤの偏摩耗、異常変形、異物介在、き裂及び損傷を検査すること。 2. ホイール、サイドリング及びロックリングのき裂、損傷並びに取付状態を検査すること。 3. タイヤの摩耗、内圧を検査すること。	測定

また、同社の内規である「車両整備要領」には、2000系の月検査時及び列車検査時における走行輪の検査について、それぞれ次のように定めている。

なお、列車検査時における走行輪の検査方法は、目視であり、タイヤのトレッド部の摩耗状態は検査項目にない。

「車両整備要領」(抜粋)

月検査整備要領

区分	検査項目	検査方法	検査要領又は手順	限度又は標準
台車/ 走行輪	1 タイヤの偏摩 耗、異常変形、異 物介在、き裂、損 傷	目視 打音	1 タイヤの偏摩 耗、異常変形、異 物介在、き裂、損 傷の有無	
	2 タイヤの摩耗	目視 測定	2 タイヤの摩耗及 び限度の確認	タイヤの摩耗限 度 5mm
	3 タイヤの内圧の 確認	測定	3 タイヤの内圧の 確認	タイヤの内圧 各系式別の内 圧管理表による こと (以下、略)

列車検査整備要領

区分	検査項目	検査方法	検査要領又は手順	限度又は標準
台車	3. 走行輪の 取付状態、 接地長さ	目視	5 走行輪のき裂、損傷の 有無、取付状態の良否、 タイヤ接地長さの良否	〈参考値〉 タイヤ接地長さ (2000系) 310mm以下 ※ 接地長さは図面の 静荷重半径から算出

また、同社は、タイヤの管理について、上記に定めた整備基準や整備要領のほか、トレッド部の主溝の状態及びタイヤの内圧を検査し、タイヤ交換の長期計画を策定すること等による管理を行っている。

2.5.1.1 タイヤのトレッド部の管理

(1) タイヤの検査

タイヤのトレッド部については、月検査、重要部検査、全般検査、‘動軸タイヤと従軸タイヤを入れ替えるタイヤローテーション’ (以下「ローテーション」という。)時及び必要により臨時検査時に次の方法で良否を判断している。

① トレッド部の全4本の主溝のうち、車体外側から2本目の主溝で最も浅い部分の深さを測定し、その結果5mm以下のものは交換する。

② トレッド部の全4本の主溝のうち、完摩箇所が1箇所でもある場合には交換する。その他、必要により臨時検査時に交換する。

同社によると、①について、走行距離当たりの摩耗量のデータ管理等を行

うにあたって、偏摩耗等の異常のない場合には、4本の溝の摩耗量に大きな差がないものの、特に中央の溝（車体外側から2本目及び3本目）の摩耗速度はバラつきが最も少なく安定しているとの認識により、車体外側から2本目の主溝を測定しているとのことであった。また、どの車両においても4本の主溝のうち、両端の溝（外側から1本目及び4本目）は特に摩耗しやすいとのことである。

なお、月検査時において、タイヤは車両に取り付けられた状態で検査を行っており、留置した状態ではタイヤ接地面の状態は確認できないが、タイヤの全周検査はしないとのことである。

(2) 本件編成のタイヤのトレッド部の管理の状況

同社によれば、トレッド部の主溝の深さはタイヤ交換時、全般検査、重要部検査、月検査の各定期検査時、ローテーション時、2.5.1.2に後述するタイヤの内圧の冬季・夏季切り替え時及び必要により臨時検査時に測定しており、中古のタイヤを使用する場合には、タイヤを交換する前に、取付けるタイヤの主溝の寸法を測定してから取付けているとのことである。

本件編成は、平成29年6月14日に24本の全てのタイヤを本件タイヤメーカー製の新品に交換した。その後、平成30年5月9日にローテーションを行っている。タイヤの交換時、全般検査時及び重要部検査時には、ホイールからタイヤ及び中子を取り外しているが、ローテーションを含むその他の検査時には基本的にホイールごと交換することから取り外していない。

トレッド部の主溝の深さの測定は、平成30年11月20日の月検査時に実施しており、その検査記録によると同社が定める基準値を満たしていた。なお、平成30年9月3日には、トレッド部の摩耗により1両目のNo.1及びNo.2の2本のタイヤを交換しており、その時に取り付けたタイヤは、主溝の深さが5mmを超えている「同社が使用しているもう1社のタイヤ製造会社」

（以下「タイヤメーカーA」という。）製の中古品を使用した。同社は、中古のタイヤを検査し、主溝の深さが基準値を満たすものをこれまでも使用しており、問題が発生していなかったとのことである。

また、本件編成の走行時に異音がある旨、乗務員から申告があったため、平成31年1月7日、臨時検査でタイヤの状態を確認したところ、1両目のNo.3及びNo.4、3両目のNo.2、4両目のNo.3の合計4本のタイヤは、トレッド部のスチールベルトが露出していたため、その4本のタイヤを交換した。その時に取り付けたタイヤは、主溝の深さが5mmを超えている中古品（それらのうち1両目のNo.3及びNo.4の2本のタイヤはタイヤメーカーA製）を使用した。なお、この臨時検査では、タイヤの主溝の深さの測定を実施してお

らず、目視によりスチールベルトの露出したタイヤのみを交換したとのことである。

(3) 本件編成のタイヤのトレッド部の摩耗の状況

本件編成の全てのタイヤを新品に交換してから、本事故が発生するまでの動軸タイヤの主溝の深さの推移について表6に示す。平成30年5月9日にローテーションを行うまでの間、本件車両のNo.1タイヤはNo.3タイヤ、No.2タイヤはNo.4タイヤとしてそれぞれ使用していた。

表6 本件編成の動軸タイヤの主溝深さの推移

検査種別	年月日	交換後 累積走行 距離 (km)	タイヤの部位 (摩耗量 単位: mm)											
			1両目車両		2両目車両		3両目車両		4両目車両		5両目車両		本件車両	
			No.3	No.4	No.3	No.4	No.3	No.4	No.3	No.4	No.3	No.4	No.1	No.2
新品交換	平成29年6月14日		16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
月検査	平成29年6月20日	1,491	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
重要部検査	平成29年9月27日	9,389	13.8	14.4	14.2	14.6	14.1	14.5	14.4	14.7	14.7	14.8	14.9	14.3
月検査	平成29年12月14日	29,980	12.0	12.6	12.3	12.9	12.4	12.9	13.0	13.6	13.0	13.3	13.1	12.7
月検査	平成30年3月9日	51,874	8.0	9.7	9.6	10.2	10.0	11.0	10.6	11.5	10.0	10.6	10.8	10.0
※ローテーション	前後 平成30年5月9日	67,486	6.6	7.9	7.8	8.2	8.7	9.7	7.6	10.9	7.9	8.7	9.3	7.7
			15.5	14.8	15.5	15.7	15.7	15.6	15.7	15.6	15.7	15.6	15.2	15.6
月検査	平成30年6月5日	75,374	13.7	14.1	14.6	14.2	14.5	14.3	14.6	14.7	14.8	14.7	14.3	14.2
月検査	平成30年8月28日	102,243	9.0	9.7	10.0	11.0	10.9	11.2	10.7	11.5	10.4	11.0	10.5	10.6
月検査	平成30年11月20日	127,929	5.8	7.0	6.6	9.1	7.7	8.7	8.8	9.4	7.2	7.0	7.4	7.8
※臨時検査	平成31年1月7日	-	10.3	8.2	-	-	-	-	-	-	6.2	-	-	-
本事故発生時	平成31年1月16日	145,523	※ ローテーションは各車両ともNo.1+3、No.2+4の部位を振替え											
新品交換予定	平成31年2月8日		※ 臨時検査は交換部位のみ測定											

パンク 破損

本件編成における各タイヤのトレッド部の摩耗状況について、表6に示した本件列車のタイヤの主溝の深さの測定値、各検査間の走行距離を基とした動軸タイヤの摩耗量について表7に示す。

なお、動軸と従軸とでは動軸の方が摩耗しやすく、平均摩耗量が大きく異なるため、各検査間の走行距離千km当たりの摩耗量は全て、動軸のタイヤの平均値とした。

本件車両の走行距離千km当たりの摩耗量は、No.2タイヤが約0.111mm、No.1タイヤが約0.100mmであり、本件列車の他の車両のタイヤの摩耗量約0.078～0.131mmと比較すると、ほぼ同等であった。

表7 本件編成の動軸タイヤのトレッド部の摩耗量

検査種別	年月日	各検査間 走行距離 (km)	タイヤの部位 (摩耗量 単位: mm)												平均摩耗量 (mm)		
			1両目車両		2両目車両		3両目車両		4両目車両		5両目車両		本件車両		編成 平均	検査間 千 ³ 当り	
			No. 3	No. 4	No. 3	No. 4	No. 3	No. 4	No. 3	No. 4	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2			
月検査	平成29年6月20日	1,491	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.201
重要部検査	平成29年9月27日	7,898	1.9	1.3	1.5	1.1	1.6	1.2	1.3	1.0	1.0	0.9	0.8	1.4	1.3	0.158	
月検査	平成29年12月14日	20,591	1.8	1.8	1.9	1.7	1.7	1.6	1.4	1.1	1.7	1.5	1.8	1.6	1.6	0.079	
月検査	平成30年3月9日	21,894	4.0	2.9	2.7	2.7	2.4	1.9	2.4	2.1	3.0	2.7	2.3	2.7	2.7	0.121	
ローテーション	平成30年5月9日	15,612	1.4	1.8	1.8	2.0	1.3	1.3	3.0	0.6	2.1	1.9	1.5	2.3	1.8	0.112	
月検査	平成30年6月5日	7,888	1.8	0.7	0.9	1.5	1.2	1.3	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	1.4	1.1	0.143	
月検査	平成30年8月28日	26,869	4.7	4.4	4.6	3.2	3.6	3.1	3.9	3.2	4.4	3.7	3.8	3.6	3.9	0.143	
月検査	平成30年11月20日	25,686	3.2	2.7	3.4	1.9	3.2	2.5	1.9	2.1	3.2	4.0	3.1	2.8	2.8	0.110	
部位別の千 ³ 当り 平均摩耗量 (mm)		累積 ³ 145,523	0.131	0.109	0.118	0.099	0.105	0.091	0.105	0.078	0.114	0.109	0.100	0.111			

(4) 同社における他の車両編成のタイヤのトレッド部の状況

事故発生後、同社は、所有する全車両編成の全タイヤを対象にトレッド部の主溝及び摩耗の状態について緊急点検を実施し、その検査記録に異常はなかった。

(付図14 本件編成の全タイヤの主溝深さの推移、付図15 本件編成の全タイヤのトレッド部の摩耗量 参照)

2.5.1.2 タイヤの内圧の管理

外気温が変化するとともにタイヤの内圧も変化するため、同社ではタイヤの内圧を冬季（10月～3月）と夏季（4月～9月）に分けて管理している。タイヤの内圧を測定する時期は、年2回の冬季・夏季の内圧移行整備時（4月及び10月）、月検査、重要部検査、全般検査の定期検査時、タイヤ交換やローテーションなどの臨時検査時である。

本件編成である2000系のタイヤの内圧の管理値を表8に示す。本件編成は、直近の平成30年11月20日の月検査時に測定しており、その時の本件車両の測定値はNo.1～No.4のいずれのタイヤも1,010kPa（検査時の外気温は14℃）であり、管理値（冬季）の範囲内（989kPa～1,029kPa）であった。

表8 2000系車両のタイヤの内圧管理値（括弧内は参考値）

外気温度 (度)	タイヤ内圧±20 (kPa)		外気温度 (度)	タイヤ内圧±20 (kPa)	
	冬季	夏季		冬季	夏季
-10	931	(882)	14	1,009	960
-8	941	(892)	16	1,019	970
-6	941	(892)	18	1,019	970
-4	951	(902)	20	1,029	980
-2	960	(911)	22	(1,039)	990
0	960	(911)	24	(1,039)	990
2	970	(921)	26	(1,049)	1,000
4	980	(931)	28	(1,058)	1,009
6	980	931	30	(1,058)	1,009
8	990	941	32	(1,068)	1,019
10	1,000	951	34	(1,068)	1,029
12	1,000	951	36	(1,078)	1,029

同社によると、タイヤがパンクした場合及びタイヤの内圧が極端に低い場合にはタイヤを交換するとのことであるが、2.5.3に後述するタイヤの不具合発生時以外に交換した実績はなく、同社の内規に交換する内圧の基準値は定めておらず、車両メーカーの台車取扱説明書に記載されている「内圧690kPa以下で使用されたもの」を交換する際の参考としているとのことである。

2.5.1.3 長期計画によるタイヤの交換の状況

同社は、2.5.1に記述したように、タイヤの交換時期の長期計画を策定し、編成毎に全数交換している。具体的には各編成の検査周期や走行距離等を勘案し、年度毎の全般検査、重要部検査、月検査の各検査予定日を計画した車両定期検査計画（年間計画表）に、タイヤの交換及びローテーション予定日を組み入れ、計画的に交換している。

平成30年度の年間計画表によると、本件編成のローテーションは平成30年5月9日に計画通りに実施され、本事故発生の23日後となる平成31年2月8日にタイヤの全数新品への交換を予定していた。

また、同社によると本件タイヤメーカー製のタイヤは、同社所有の全14編成中、本件編成の1編成のみであったことから、同社が保有する本件タイヤメーカー製のタイヤの在庫に余裕がなかったとのことである。

2.5.2 中子の検査の状況

同社によれば中子の検査は、タイヤの交換時、重要部検査及び全般検査時のタイヤをホイールから取り外す作業が発生する際に、傷・損傷の有無等を目視により確

認しているとのことである。本事故前では、平成29年9月の重要部検査時に行っており、その検査結果に異常はなかった。なお、中子の交換時期については、経年や走行距離による管理は行っておらず、特に定めていないとのことである。

2.5.3 過去に発生したタイヤの不具合に関する情報

同社において過去に発生したタイヤの不具合の状況は、表9に示すとおりである。

①は運転士から空気漏洩音の申告があり添乗検査によって車体傾斜が見つかり、異常が確認された。

②は運転中、キュルキュルという異音を感知、同乗していた運転士が運転室から案内輪を確認するも異常がみられなかったため運転を継続した。駅の進入時に分岐器付近で衝撃を感知し当該車両の台車付近が振動していたことから、駅に到着後、下回りを目視にて点検するも異常がなかった。そのため駅を出発し、出発後に後方を確認すると当該車両の走行輪がガタガタと上下に揺れていたため直ちに停止し、異常が確認されたとのことであった。原因は、ハブベアリング固渋によってタイヤが回転しなくなり、当該事象が発生したとのことである。

③は月検査時、⑤、⑥は運転士からの車体傾斜の申告により実施した臨時検査時において、それぞれタイヤの空気圧が極端に低いことが確認された。

④は別の車両不具合による臨時検査時において、タイヤトレッド部に異物（釘）が刺さっているのを発見された。

なお、①～⑥の事象は、いずれも脱線には至らなかった。

また、空気圧が極端に低かった③、⑤、⑥のタイヤは、不具合発生時に取り外したタイヤの主溝の深さは測定していなかったが、不具合発生直近（3ヶ月以内）で主溝の深さを測定した検査の記録を確認したところ、いずれの寸法も12mm以上あり、同社がタイヤを交換する基準としている5mmを大きく上回っていた。

表9 同社において過去に発生したタイヤの不具合

	発生日	編成	部位	事象	不具合内容
①	2011. 11. 23	15	4両目 従軸左	パンク	ブレーキキャリパー取付ボルトが落下し、タイヤエアバルブを破損させパンクした。
②	2012. 12. 1	02	2両目 従軸右	パンク	ハブベアリングの固着によりタイヤがロックしてパンクした。
③	2013. 8. 23	05	5両目 従軸右	パンク	タイヤメーカーのエアバルブ用Oリング異種取付によるエア漏れによりパンクした。
④	2014. 2. 9	51	1両目 従軸右	釘刺さり	異物(走行路の継目に使用されていた釘)が刺さっており、パンクする恐れがあった。
⑤	2014. 2. 28	04	6両目 動軸右	パンク	異物(走行路の継目に使用されていた釘)を踏みパンクした。
⑥	2014. 3. 7	51	6両目 従軸左	パンク	異物(走行路の継目に使用されていた釘)を踏みパンクした。

※ ①、⑤のタイヤは本件タイヤメーカー製であり、②～④及び⑥はタイヤメーカーA製である。

④～⑥の不具合は、いずれも同一の異物が要因で発生したものであり、同社によると概略次のとおりであった。

(1) 原因が同一であったタイヤ不具合に関する情報

表9に示した④～⑥の不具合は、いずれのタイヤにも同様の痕跡があったことから、同一の異物によって発生したものであり、要因となった異物は図24に示すように、走行路の伸縮継目に使用しているゴム製の継目を固定するための釘(傘クギ)であった。

なお、④の車両のタイヤに異物である釘が刺さったことにより、継目から釘が抜けたため、それ以降はパンクが発生しなくなった。

また、⑤、⑥の発生時期は④の後となるが、⑤と⑥の車両が先に異物を踏んだ後に④の車両によって異物が取り除かれたものの、⑤、⑥のタイヤの空気の漏洩速度が非常にゆっくりであったため、発見が④の後となった。

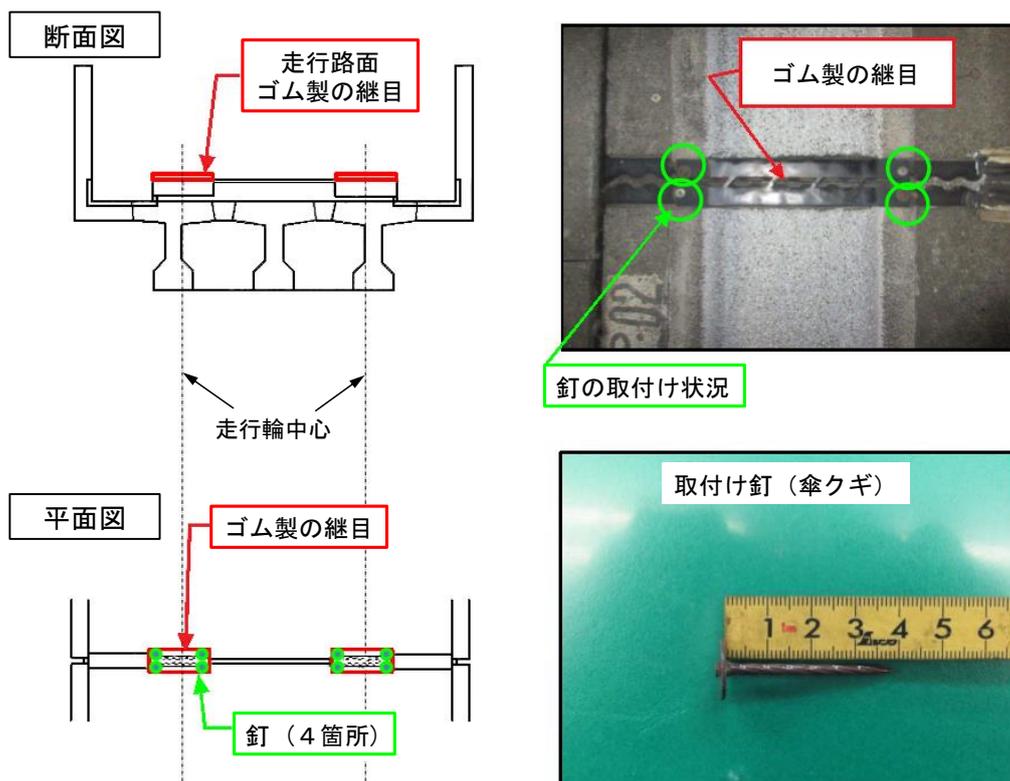


図 2 4 走行路の伸縮継目に使用しているゴム製の継目及び固定する釘

(2) (1)の不具合事象の再発防止策に関する情報

同社は表 9 に示した不具合で、④～⑥の事象発生後の対策として、図 2 5 に示すように、ゴム製の継目から釘を必要としない鉄製の継目に順次交換する工事を行うこととした。ゴム製の継目は全箇所約 1,500 箇所あったが、平成 31 年度までに約 290 箇所の工事が完了、令和 6 年度までに全箇所の工事の完了を計画しているとのことである。

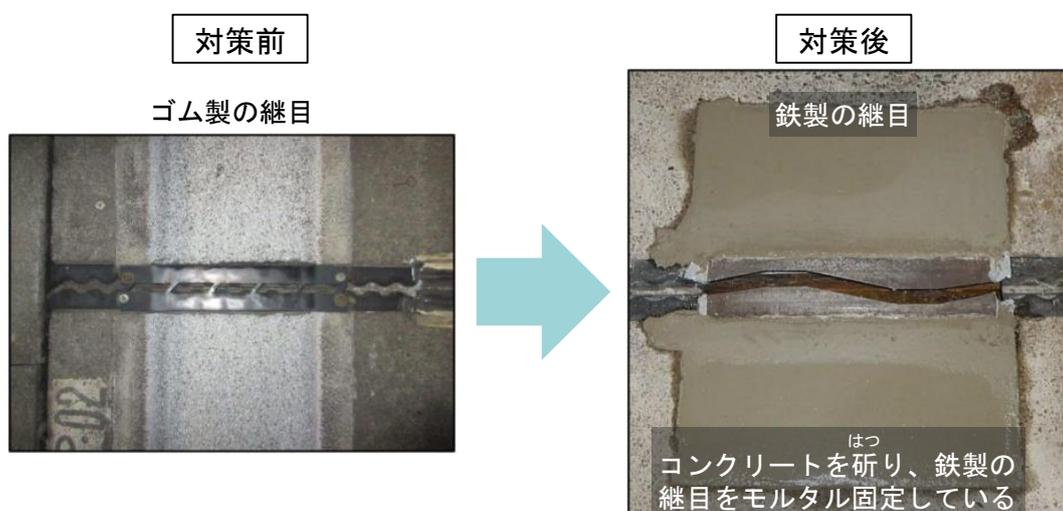


図 2 5 走行路の伸縮継目の対策前（ゴム製）と対策後（鉄製）

2.6 走行輪の製造及び材料調査等に関する情報

2.6.1 本件車両のタイヤの委託調査に関する情報

本件車両のNo.2タイヤの破損及びNo.1タイヤのパンクの発生要因を推定するため、
‘一般社団法人 日本自動車タイヤ協会’（以下「タイヤ協会」という。）へ委託調査
を依頼した。調査の結果は、次のとおりであった。

(1) No.2タイヤが破損した要因

「検査結果報告書」（抜粋）

1. 検査請求品（埼玉新都市交通伊奈線 上り1052A列車 6両 目前軸左側タイヤ）

摩耗の程度	新品溝：16.0mm、平均残溝：2.1mm、平均摩耗率：87% (完摩及び露出箇所有り)
-------	---

2. 検査結果

検査年月日	2019年3月25日
判定結果	外的要因によるひきずり*28 (パンク又は極端な空気圧不足状態で走行したことによ って生じた損傷)

3. 判定結果の説明

1) 現品の状況（当会の検査において、下記の状況を確認致しました。）

- ① 当該タイヤには、ゴム層の破れ、カーカスコードの破断、トレッド部（接地部）の剥離等の損傷が発生しています。
- ② 上記の損傷は、サイド部（側面部）よりもトレッド部（接地部）の方が顕著であり、又、内面では、ほぼ全周にわたって損傷が発生しています。
- ③ ホイールに装着されていた中子は、既にバラバラの状態になっています。
- ④ ホイールに装着されていたリムバンドも複数に分断された状態になっています。また、リムバンド両端に見られる斜めスジ状の痕跡は、タイヤビード部内面が圧着した事によってタイヤ側の模様が転写されたものであり、左右で転写位置が異なっています。なお、リムバンドは空気圧保持の役割を担っていません。
- ⑤ トレッド部（接地部）には、摩耗によるスチールベルト露出箇所が見られます。

*28 「ひきずり」とは、タイヤがパンク又は極端な空気圧不足の状態での使用により生じた損傷のことをいう。また、この初期段階の痕跡（シワ、変形、変色等）をひきずり痕跡という。ひきずりが進行すると放射状のゴム割れが生じ、ベルトとカーカスが剥離してコード層が破断することがある。

⑥ 本損傷の原因と成り得る製造上の不具合の有無について、現存している部分のゴム厚、コード並びの状態、その他を詳細に目視検査した結果、異常は見られません。

2) 判定理由（当該タイヤの損傷発生要因等に関する、当会の見解は次の通りです。）

当該タイヤ内面のほぼ全周にわたって損傷が発生している事から、当該タイヤは、何らかの原因によってパンク又は極端な空気圧不足状態で走行したものと考えられます。なお、パンク又は極端な空気圧不足となった原因は特定できませんが、一般的に次の要因が考えられます。

- ◇ 外的物体との接触による貫通傷の発生
- ◇ ホイール、エアバルブ及びバルブコアの不良
- ◇ その他

また、トレッド部（接地部）に摩耗によるスチールベルトの露出箇所が見られる事から、この部分においてバラけたスチールベルトがタイヤ内面に達し、空気漏れに至った可能性も考えられます。

なお、ホイールに装着されていたリムバンドに転写されたタイヤビード部内面の模様（位置）が左右で異なっている事から、装着時や走行時にリムバンドがずれたりめくれたりしていた事が考えられますが、元々、リムバンドは空気圧保持の役割を担っていないため、リムバンドの装着状態によって空気漏れが発生する可能性はありません。

3) その他

仮に、中子が無い状態でパンク又は極端な空気圧不足となった場合、サイド部（側面部）が潰れた状態で走行する事になるため、特にサイド部（側面部）に集中して損傷が発生する事になりますが、当該タイヤでは、サイド部（側面部）よりもトレッド部（接地部）の損傷の方が顕著な状態です。

この事から、パンク又は極端な空気圧不足となった後、しばらくは中子に支えられた状態で走行していたものの、最終的に中子の損壊に至ったと推察されます。

なお、仮に主溝が十分にあって、スチールベルトの露出していない正常なタイヤであれば、タイヤの内圧が抜けて、中子に支えられた状態となっても、トレッド部に同様の破損（破れや剥がれ等）が発生するまでに、更に走行距離を要した可能性は高いと考えられるとのことであった。

(2) No.1 タイヤがパンクした要因

「検査結果報告書」(抜粋)

1. 検査請求品(埼玉新都市交通伊奈線 上り1052A列車 6両 目前軸右側タイヤ)

摩耗の程度	新品溝: 16.0mm、平均残溝: 3.1mm、平均摩耗率: 81% (完摩箇所有り)
-------	--

2. 検査結果

検査年月日	2019年3月25日
判定結果	障害物との接触によるトレッド部の外傷(タイヤを貫通したもの)

3. 判定結果の説明

1) 現品の状況(当会の検査において、下記の状況を確認致しました。)

- ① 当該タイヤのトレッド部(接地部)にタイヤ内面に達する損傷が発生しています。また、上記損傷部のゴム層断面に線条痕が見られます。
- ② ホイールに装着されている中子の一部が、半楕円状に破損しています。また、中子の破損箇所に凹み状の傷が見られます。
- ③ タイヤ内面の損傷部周辺に半楕円状の傷が見られます。
- ④ 上記、②と③の形状等は、ほぼ一致します。
- ⑤ トレッド部(接地部)には、両肩摩耗、片側肩落ち摩耗が発生し、一部の溝が完摩しています。
- ⑥ 当該タイヤの内面には、貫通傷及びその周辺の半楕円状の傷以外に目立った損傷(ゴムの破れ等)は見られません。
- ⑦ 本損傷の原因と成り得る製造上の不具合の有無について、損傷発生部分のゴム厚、コード並びの状態、その他を詳細に目視検査した結果、異常は見られません。

2) 判定理由(当該タイヤの損傷発生要因等に関する、当会の見解は次の通りです。)

タイヤトレッド部に見られる内面に及ぶ損傷は、その破断面に線条痕が見られることから、トレッド部に障害物が接触・貫通した事により、この貫通傷からタイヤの空気が漏れ、パンク(中子で支えられている)状態での走行に至ったと考えられます。

また、中子の破損箇所には凹み状の傷が見られる事及び中子の破損形状とタイヤ内面の損傷部周辺の半楕円状の傷の形状が類似している事から、トレッド部に接触した障害物がタイヤを一気に貫通した際に、

障害物が中子に接触した衝撃等によって中子の一部が破損し、その破損部位にタイヤ内面が強く押し付けられたため、タイヤ内面の損傷部周辺の半楕円状の傷が生じたものと考えられます。

3) その他

当該タイヤの内面には、貫通傷及びその周辺の半楕円状の傷以外に目立った損傷（ゴムの破れ等）が発生していない事から、パンク（中子で支えられている）状態での走行距離は、比較的短いと推察されます。

2.6.2 本件タイヤメーカー製造のタイヤ及び中子に関する情報

2.6.2.1 タイヤの製造及び保守に関する情報

本件タイヤメーカーによれば、新交通システム用のタイヤは、製品化前の耐久性試験、製造後の個別抜取検査及び出荷時の個別性能検査を実施しているとのことである。

本件車両のNo.1、No.2タイヤについても出荷時の個別性能検査を実施しており、その検査記録に異常はなかった。

また、トレッド部の点検の推奨時期については、新交通システム事業者により使用実態が異なるため、各事業者それぞれのタイヤ交換の基準に準じているとのことである。タイヤを交換する時期について、摩耗による限度として、スリップサインが設けられたタイヤはスリップサインの一部でも露出したものを交換、スリップサインが設けられていないタイヤは全ての主溝を確認し、残り溝のなくなる前、数値として自動車用タイヤに準じた主溝の深さ1.6mmを交換する摩耗限度としており、経年では使用開始から5年での交換を推奨しているとのことである。

なお、同社については315/70R20サイズのタイヤを納入し始めた当初から、本件車両のタイヤと同一型式であるスリップサインの設けられていないタイヤを納入しており、平成22年から使用を開始していた。

2.6.2.2 本件車両のタイヤと中子との隙間寸法に関する情報

本件タイヤメーカーによれば、本件車両のタイヤトレッド部の内面と中子の外周面との隙間は、タイヤの内圧を1,050kPaに設定した状態で、空車時が16.5mm、満車時が11.5mmとなるように設計している。タイヤの内圧が減少した時、実際の測定値と縦たわみの関係から算出すると、図26に示すように、空車時が約650kPa、満車時が約770kPaの内圧で、タイヤのトレッド部の内面と中子の外周面とが接触する可能性があるとのことである。

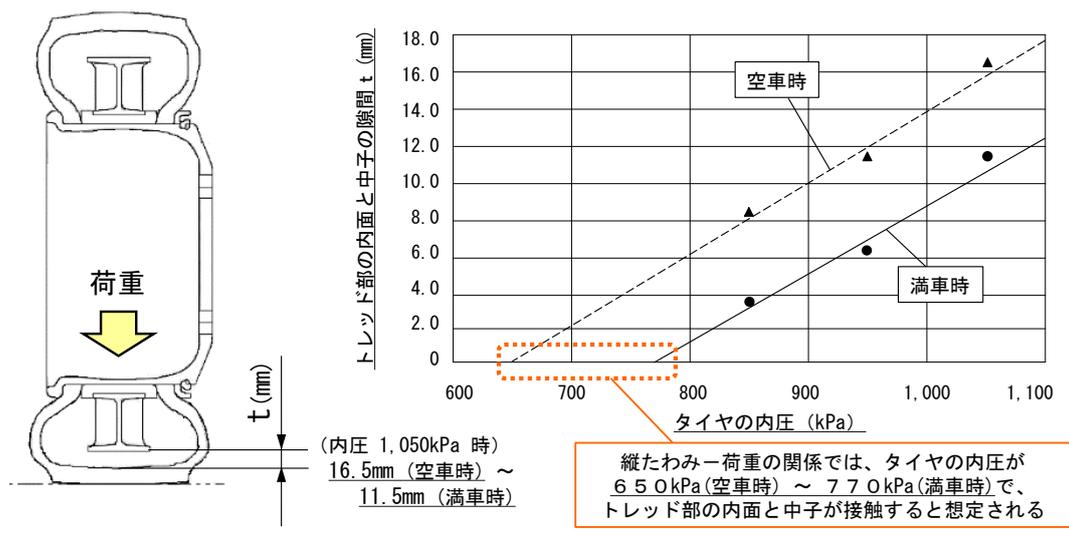


図 2.6 本件車両の荷重によるタイヤの内面と中子との隙間

また、タイヤの通常時とパンク時（空気圧 0 kPa）の静荷重負荷時の状態を図 2.7 に示す。タイヤはパンクした状態においても中子に支えられ、隙間寸法が最大となる空車時であっても設計上 16.5mm しか下がらないため、一般の自動車用のタイヤとは異なり、外観上、明らかな違いは見られない。

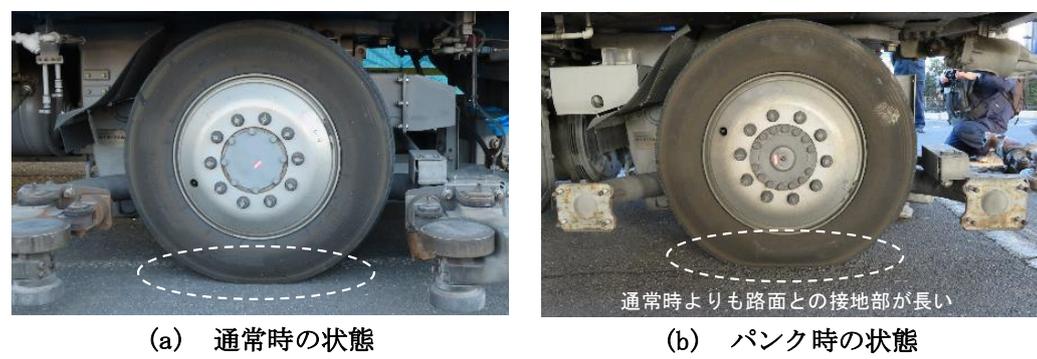


図 2.7 タイヤの通常時とパンク時の状態

2.6.3 中子の製造に関する情報

本件タイヤメーカーによると、中子の製造及び出荷にあたり、製品化前には耐久性性能試験、製造過程での材料確認及び出荷時の個別製品検査を行っているとのことである。

(1) 製品化前の耐久性性能試験

製品化前には、タイヤがパンクして中子で荷重を支えた状態を模擬して走行させるランフラット^{*29}確認（耐久性性能試験）を実施している。試験に使用した

*29 「ランフラット」とは、タイヤの空気が抜けた状態をいい、タイヤの空気が抜けた状態でもある程度走行できるタイヤをランフラットタイヤと呼ぶ。

中子は本件車両と同一形式、タイヤは本件車両の形式と異なるが本件車両のタイヤと骨格の構造が同一のものを用いている。試験結果によると、空気を抜いた状態で中子がトレッド部を介して路面に接し、速度60km/hで11.5km模擬走行させたところ、中子は破損せず、先にタイヤが破損したとのことであった。なお、中子が走行路面に直接接して使用することは想定していないとのことである。

(2) 製造過程での材料確認

製造過程では、製品とするアルミ材料の成分分析、引張試験（引張強さ、伸び）及び硬度測定（ブリネル硬さ^{*30}）を実施しており、本件車両のNo.1、No.2の中子の材料の成分分析及び機械的性質の各種試験成績書の記録に異常はなかった。

(3) 出荷時の製品検査

製品検査では外観検査、寸法測定を実施しており、本件車両のNo.1、No.2の中子の外観検査の記録に異常はなかった。

2.6.4 本件車両の中子の材料調査に関する情報

本件車両の損傷した中子と他車両の損傷していない中子の健全性を確認するため材料調査を行った。調査品は、

- a 未損品（本事故発生前のタイヤ交換において、本件列車1両目のNo.3走行輪から取り外した中子）
- b 一部損壊品（本件車両のNo.1中子）
- c 全損壊品（本件車両のNo.2中子）

の3点とした。

調査は、次の5種類について実施した。

- ① 化学成分
- ② 引張試験（引張強さ、伸び）
- ③ 硬度測定（ブリネル硬さ）
- ④ マクロ観察（大きな鑄巣^{いす}^{*31}の有無）
- ⑤ ミクロ組織観察

2.6.4.1 化学成分

中子にはアルミニウム合金鑄物が使われており、中子の材料は鑄造工程前に材料

*30 「ブリネル硬さ」とは、球形の圧子を試験材料に一定の力で押し付けて窪みを付け、窪みの直径から測定した硬さの値である。

*31 「鑄巣」とは、鑄造品の内部に発生する空洞のことをいう。

分析を納品ロット単位で実施している。本件車両のNo.1及びNo.2中子のロットは同一であり、分析成績は未損品及び一部損壊品の一部の化学成分(%)がわずかに日本産業規格「JIS H 5202(2010)「アルミニウム合金鋳物」(以下「JIS H 5202」という。)に定められた規定値外であったが、全損壊品は規定値内であった。

2.6.4.2 引張試験及び硬度測定

本件タイヤメーカーによれば、中子の製造過程でアルミニウム材料を溶湯^{ようとう}*32する際に、各ピースともに1溶湯毎に2個の試験片を作成して引張試験及び硬度測定による材料試験を実施しているとのことである。

本事故調査時の機械的性質の引張強さ及び伸びは、引張試験において、未損品の試験片2片のうち1片の伸びが「JIS H 5202」で定められた推奨値外であったものの、平均値では推奨値内であった。一部損壊品及び全損壊品は全て推奨値内であった。

同様に硬度は、ブリネル硬さ測定において、全損品の試験片2片のうち1片が5回測定中1回、参考値を外れたものの、平均では参考値を満たしていた。一部損壊品及び全損壊品は全て参考値以上であった。

2.6.4.3 マクロ観察

マクロ観察を行った結果は未損品、一部損壊品及び全損壊品のいずれも、マクロ観察用に切断した断面において、大きな鑄巣は認められなかった。しかし、一部損壊品から他の分析用試料として切り出した試験片の断面において、10mm四方形の鑄巣が認められた。

なお、材料の試験について、中子の材料であるアルミニウム合金鋳物は非鉄金属材料であるが、「JIS H 0321(1973)「非鉄金属材料の検査通則」」には、鑄巣など内部欠陥を確認することについて定めていない。

2.6.4.4 ミクロ組織観察

ミクロ組織観察を行った状況は未損品、一部損壊品、全損壊品のいずれも、大きな結晶粒など特異な点は見られなかった。

*32 「溶湯」とは、鑄造品の製作工程において、溶かした材料に圧力をかけて鑄型に流し込む際の、高温に溶かした材料のことをいう。

2.7 乗務員に関する情報

本件列車の運転士

運転士 女性 23歳

甲種電気車運転免許

平成30年3月5日

2.8 運転取扱いに関する情報

2.8.1 同社の乗務員に係る運転取扱いに関する規程

乗務員に係る運転取扱いについては、技術基準に基づき、「運転取扱心得」を制定しており、ブレーキの取扱いについて、次のとおり定めている。

「運転取扱心得」実施基準・運転編（抜粋）

第3章 運転

第2節 列車の運転

第3款 ブレーキの取扱い

（常用ブレーキ及び非常ブレーキ）

第45条 列車又は車両を停止させるときは、常用ブレーキによらなければならない。ただし、次の各号の1に該当する場合は、非常ブレーキによらなければならない。

- (1) 02信号^{*33}が現示されたとき。
- (2) 常用ブレーキで列車を停止させることができない箇所で停止信号の現示があったとき。
- (3) 急きょ停止しなければならない事態が発生したとき。

2.8.2 同社の乗務員に係る異常時の取扱いに関する規程

乗務員に係る異常時の取扱いについては、運転取扱心得に次のとおり定めている。

第6章 事故の処置

第1節 総則

（列車の停止）

第230条 事故発生のおそれがあるか、又は事故が発生して併発事故を発生するおそれがあるときは、ちゅうちよすることなく直ちに列車を停止させなければならない。

（事故発生の場合）

第231条 事故が発生した場合、運転士は応急処置をして直ちに指令長に報

*33 「02信号」とは絶対停止信号のことをいい、列車（車両）が進入してはならない区間に進入した場合や信号が受信できない場合など、即時に停止させる必要のある時に信号が現示される。

告したうえ、必要により救援を求めなければならない。

2、3 (略)

(転動防止)

第232条 運転士は、事故等のため停止し、やむを得ず運転室を離れるときは、マスコンを非常ブレーキ位置として、マスコンキーを抜き取りこれを携帯しなければならない。

(旅客の避難、誘導)

第248条 運転士は、事故等のため駅間の途中に停止し、旅客を避難、誘導する必要があるときは、その旨を指令長に報告し、その指示を受けなければならない。

2 前項の場合、指令長は避難、誘導させる区間を限定し、その区間の電車線の停電を確認し、誘導に必要な係員を配置した後、避難させてよい旨を運転士に指令するものとする。

2.9 気象に関する情報

本事故発生当時の気象状況は天候が晴れ、気象庁の記録によると気温は9.7℃であった。

2.10 その他の情報

2.10.1 軌道の線形と運転状況との関わりに関する情報

(1) 本件列車の運転の状況

2.3.2.2に記述した本事故発生場所付近の軌道の線形等の状況に、2.1.2.1に記述した運転の状況及び車輪径補正後の走行距離のデータを重ねると、本件車両のNo.2タイヤが破損した付近から停止するまで、上り55%急勾配から平坦区間にかけて約760m走行していた。

(2) 事故当日における本件編成の運転の状況

本事故発生前に、本件編成が別の上り列車として本事故発生現場付近を走行した運転の状況は、概略次のとおりであった。本件列車の4列車前であった第652A列車、1列車前であった第952A列車（本件運転士が運転）の運転の状況について、運転状況記録装置のデータを確認したところ、上り55%急勾配から平坦区間（2k320m始点）を過ぎるまでの力行時と惰行時のノッチ扱い及び速度との関係については、本件列車と比較して大きな違いはなかった。また、いずれの列車ともにATC/TD整合器（U9）通過直後における力行ノッチ扱い以降は、次駅（鉄道博物館駅）まで再力行はしておらず、惰行とブレーキ扱いのみで次駅に停車していた。

(付図 1 6 本事故付近の軌道の線形と列車の運転状況 参照)

2.10.2 新交通システムの走行装置及び走行路に関する法令の情報

新交通システムの走行装置及び走行路に関する構造は、技術基準に次のとおり規定されている。

「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」(抜粋)

(特殊鉄道)

第120条 この省令に定めるもののほか、懸垂式鉄道、跨座式鉄道、案内軌条式鉄道、無軌条電車、鋼索鉄道、浮上式鉄道その他特殊な構造を有する鉄道の施設及び車両の構造及び取扱いについては、国土交通大臣が告示で定めるところにより、この省令の規定の一部の適用を除外し、その他必要な特例を定めることができる。

国土交通大臣が定める告示である「特殊鉄道に関する技術上の基準を定める告示」(平成13年12月25日国土交通省告示第1785号)には、案内軌条式鉄道について、次のとおり定められている。

「特殊鉄道に関する技術上の基準を定める告示」(抜粋)

(趣旨)

第1条 鉄道に関する技術上の基準を定める省令第百二十条第一項に規定する鉄道の施設及び車両の構造及び取扱いについては、省令に定めるもののほか、この告示の定めるところによる。

(懸垂式鉄道及び跨座式鉄道)

第2条 懸垂式鉄道及び跨座式鉄道の走行面には、必要に応じ、車輪の滑りを防止するための措置を講じなければならない。

2、3 (略)

4 懸垂式鉄道及び跨座式鉄道の車両は、タイヤを使用する場合にあっては、空気が漏れたときにおいても走行することができるものでなければならない。

5、6 (略)

7 懸垂式鉄道及び跨座式鉄道の車体が接地されていない車両は、旅客の感電を防止することができるものでなければならない。

(案内軌条式鉄道)

第3条 案内軌条式鉄道の案内操向装置は、十分な強度を有し、かつ、車両の他の部分と接触しないものでなければならない。

2 前条第一項、第四項及び第七項の規定は、案内軌条式鉄道に準用する。

2.10.3 他の案内軌条式鉄道における走行輪の管理に関する情報

令和元年現在、案内軌条式鉄道（側方案内軌条方式）は、同社を含め8事業者9路線で運行されている。同社以外の7事業者に走行輪の管理方法等についてアンケートを行った結果の概要は次のとおりであった。

本件タイヤメーカー製のタイヤを使用しているのは4事業者であり、そのうち本件車両と同様にスリップサインのないタイヤを使用しているのは3事業者であった。

全ての事業者においてタイヤと中子は同一のメーカー製造のものを使用しており、中子の強度については、どの場所でパンクしても車両基地まで戻れる、あるいはパンクした状態で路線を1往復できるように設計しているとのことであった。

また、6事業者ではタイヤのパンクを検知する装置を導入していた。なお、同社は導入していなかった。

2.10.4 パンクを検知する装置に関する情報

パンクを検知する装置には、地上装置による検知と車上装置による検知の2種類があり、それぞれの仕組みは次のとおりである。

(1) 地上装置による検知

走行路上に検知装置を設置し、列車（車両）が検知装置を通過することにより検出する。検知装置にはロードセルが組み込まれた踏板があり、踏板に掛かる重量の変化を電気信号に変換する仕組みとなっている。

左右の走行輪が検知装置の踏板上を通過する際、ロードセルからの信号から異常を検出した場合、検知装置からの情報を指令などへ伝える。検知装置は地上設備のため、車両への設置は必要ないが、パンクを検出できるのは、列車（車両）が検知装置を通過する際のみとなる。

(2) 車上装置による検知

タイヤの内圧の低下を検出する装置であり、タイヤ内面側に圧力センサーを設置し、内圧が設定値以下になると運転士や指令などへ無線で知らせる仕組みとなっている。

走行路に装置を設置する必要はなく、一定時間の間隔で状態を監視でき、内圧が急激に低下した時には直ちに知らせるものもあるため、バーストのようなタイヤの破損の発生をいち早く知らせることができるが、一編成の全タイヤにセンサーを取付ける必要がある。

2.10.5 自動車用タイヤの法令及び乗合バスに関する情報

自動車用タイヤについては、「道路運送車両法」（昭和26年法律第185号）に基づき、国土交通省が「自動車点検基準」（昭和26年運輸省令第70号）、「道路運送車両の保安基準」（昭和26年運輸省令第67号）及び「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示」（平成14年国土交通省告示第619号）を定めており、「道路交通法」（昭和35年法律第105号）第62条によって、それらの法令等に適合しない車両の公道での運転を禁じている。

自動車点検基準では、事業用自動車、自家用貨物自動車等のタイヤの日常点検の内容について「空気圧が適切であること、異常な摩耗がないこと」と記されており、道路運送車両の保安基準の細目を定める告示にその詳細が記されている。道路運送車両法では、自動車の使用者又はこれらを運行する者は「1日1回、その運行の開始前」にその点検をしなければならないと定めている。

また、国土交通省の統計情報「バスの車両数、輸送人員及び走行キロ」によると、乗合バスの車両数と走行キロについて、平成25～29年度の5年間で1両当たりの年間走行キロは、平均約51,900km（3ヶ月当たり約13,000km）であった。

3 分 析

3.1 本事故等の発生状況に関する分析

3.1.1 脱線の発生場所及び発生時刻に関する分析

本事故は、2.4.1(6)に記述したように、走行輪が走行路から逸脱したとみられる痕跡があったことから、2k045m付近で走行輪が走行路から逸脱し、発生したものと推定される。

さらに、2.4.1(6)図17に示したように、2k045m付近で走行路面に左走行輪が左側へ逸脱した際に付いたとみられる黒い線状の痕跡があり、その痕跡から断続的に左側案内軌条の緊締装置が破損していることから、走行輪は2k045m付近で走行路から左へ逸脱したまま走行したものと推定される。黒い線状の痕は、2.4.2.1(1)③bに記述したように、本件車両のNo.2走行輪のホイールのリムフランジにタイヤのゴムを擦りつけたとみられる痕跡があったことから、タイヤの破損発生後に中子が損傷したことで直進走行の安定性を失い、リムフランジが走行路面との間にタイヤを挟みながら走行したものと考えられる。

また、2.1.2.2表2及び表3に示したように、脱線の発生時刻は本件車両と5両目との貫通幌が貫通路の左半分程度をふさいだ11時03分ごろであったと推定される。

3.1.2 本件車両のNo.2タイヤの破損発生場所及び発生時刻に関する分析

- (1) 2.1.2.2表2に記述したように、本件車両の防犯カメラの11時02分48秒の映像に、32番待避所(2k702m)が映った直後(約0.13秒後)、一瞬縦揺れが発生する様子が映り、ほぼ同時に5両目の複数の乗客が後方を振り向く様子が映っており、振り向いたのはNo.2タイヤが破損した際の音に反応したものと考えられること、
- (2) 2.1.2.2に記述したように、本件車両の前方を映すカメラの設置位置から、破損したNo.2タイヤの中心までの距離は約4.5mであること、
- (3) 2.1.2.1表1に示したように、一瞬縦揺れが発生、車体前部が傾斜した時の本件列車の速度は約29.3km/hであり、約0.13秒で約1.1m走行したと考えられること、
- (4) 2.3.2.2に記述したように、2k696mから2k609mまで55%の上り勾配区間であり、2.1.1に記述したように、本件運転士は、速度約40km/hで力行中、本件列車の先頭が上り勾配を上りきるあたりで後方から大きな低い音が聞こえたと言述していること

から、本件車両のNo.2タイヤの破損が発生した場所は、2k696m付近であり、その発生時刻は、11時02分ごろであったと推定される。

また、本件車両に一瞬縦揺れが発生し、ほぼ同時に乗客が音に反応して振り向いたものと考えられる様子が防犯カメラに映っていたことから、No.2タイヤは大きな音を発して内圧が急激に低下した破損であったと考えられる。

なお、(4)の本件運転士の口述である上り勾配を上りきる付近(前頭車が2k609m付近)は、本件車両の前軸が2k650m付近であり、タイヤが破損した位置より約45m進んだ位置であるため、本件運転士の口述は、実際と誤差があったものと考えられる。

3.1.3 本件列車が脱線したことに関する分析

- (1) No.2中子が損壊に至った経緯

本件車両のNo.2中子が破損に至った経緯については、2.4.2.1(1)①bに記述したように、トレッド部の一部が開口していたことから、No.2タイヤの破損によってタイヤのトレッド部が大きくめくれ、中子の一部が露出した状態となり、露出した中子が走行路面を接する状況で走行したため、中子が直接走行路から衝撃を受けることで欠損したものと考えられる。

また、2.4.1図14に示したように、2k470m付近にトレッド部の大きな破片があったことから、そこから逸脱痕がある2k045m付近まで400m以上の間、中子が走行路と接するような状況で走行し、2.3.2.4に記

述したように、走行路はコンクリートが使用されていることから、中子がコンクリートから直接衝撃を受けることで欠損し易い状態であったと考えられる。

(2) 案内輪が案内軌条から外れた要因

2.3.2.3図7に示したように、案内軌条の上端高さが走行路面上340±5mmでありH鋼のフランジ面の幅150mmを差し引くと、案内軌条の下端高さは190±5mmとなる。また、2.3.3.2に記述したタイヤが新品で空車の状態における案内輪の上端高さの設計値306mm及び、2.3.3.6(5)表5に示したタイヤの共通仕様をもとに算出した案内輪の上端高さについて表10に示す。タイヤのパンク時は、トレッド部が完摩した状態においても、案内輪の上端高さは261mmとなる。

表10 タイヤのパンク時、ホイール接地時の案内輪の上端高さ

	項目	寸法 (mm)
①	通常時のタイヤ半径 (タイヤ新品/空車時)	445±2.5
②	タイヤのパンク時におけるタイヤ半径 (完摩時最小値)	402.5
③	アルミホイール半径 (最大径φ560mm)	280.0
④	①と②との寸法差 (最大値)	45.0
⑤	①と③との寸法差 (設計値)	165.0
⑥	パンク時における案内輪の上端高さ (306-④)	261.0
⑦	ホイール接地時の案内輪の上端高さ (306-⑤)	141.0

しかし、本件車両において中子が損壊したように、ホイールが走行路面と直接接地し、ホイールのみで車体を支える状況となった場合、表10の⑦に示したように、案内輪の上端高さは141mmとなる。なお、片側の走行輪の損傷で左右の車軸の高さに左右差が生じ、No.2走行輪側へ傾斜することを考慮すると、図28に示すように案内輪の上端高さは141mm以下となる。

案内輪が案内軌条から外れたのは、No.2タイヤが破損し、(1)に記述したように、中子が損壊したことによってNo.2及びNo.4の案内輪上端の高さが案内軌条(左)の下端より低くなったことによるものと推定される。

(3) 走行輪が走行路から逸脱した要因

No.2タイヤが破損して中子が損壊し、左走行輪の半径が右走行輪より小さくなった状態で本件車両が左側に傾いて走行していたところ、(2)に記述したように、案内輪が案内軌条から外れたことで左側をガイドするものがなくな

り、本件車両前軸の走行輪が走行路から左方向へ逸脱したものと推定される。

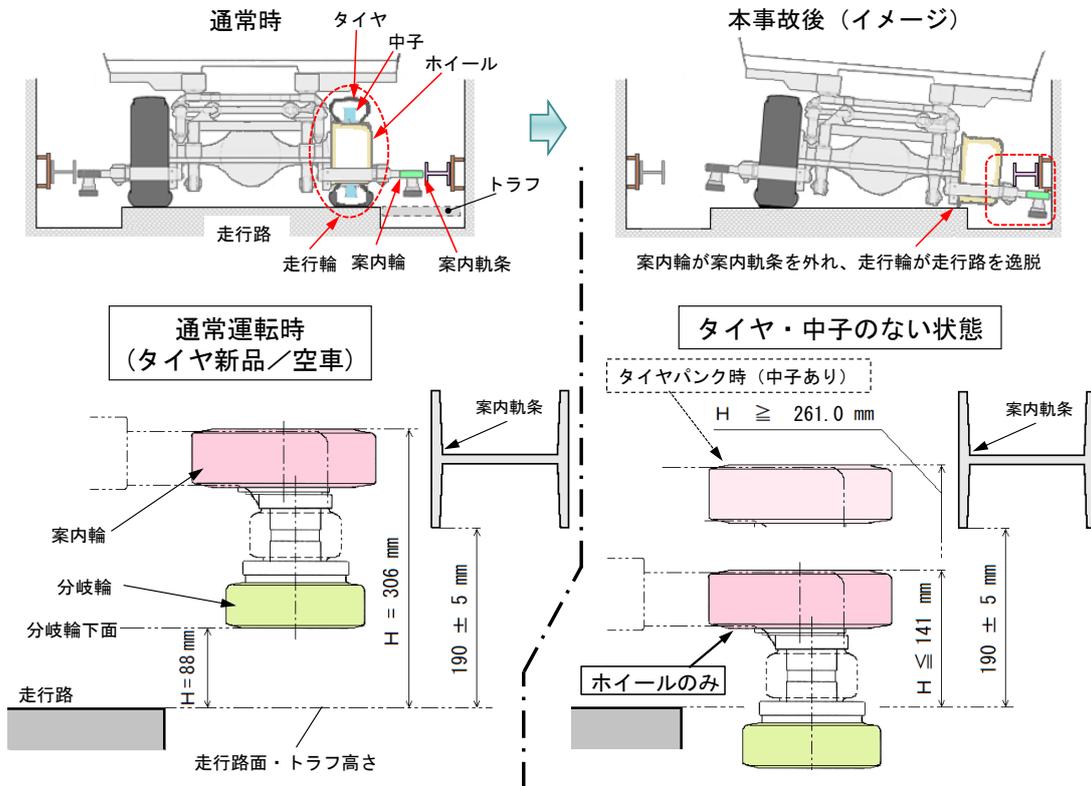


図 28 走行輪の状態による案内輪上端の高さの変化と案内軌条下端との関係

3.2 本件車両のNo.2 タイヤが破損したことに関する分析

本件車両のNo.2 タイヤが破損したことについては、2.6.1(1)に記述したタイヤ協会の「検査結果報告書」より、

- ① タイヤの内面のカーカスコードが破断した、
- ② カーカスコードの破断は、パンク又は極端な空気圧不足で使用したことにより生じたものと考えられる。

なお、No.2 タイヤは、2.5.1.1(2)に記述したように平成29年6月より使用を開始していることから約1年半の経年であり、2.6.2.1に記述したように本件タイヤメーカーの経年による交換を推奨する時期が使用開始から5年であることから、タイヤの経年は破損に影響しなかったものと考えられる。

3.2.1 タイヤの内面のカーカスコードが破断したことに関する分析

(1) タイヤ内面の損傷

- ① 走行中における軌道の異常や異物による場合、軌道に痕跡等があると考えられるが、2.3.2.5に記述したように直近の軌道の検査では異常がなく、2.3.1.3に記述したように、本事故後の検査では異常がなかったこと、

② タイヤ内部の異物がタイヤの内面を損傷させた場合、中子が異物を踏みつけるとタイヤ内面に局所的な損傷が生じるものと考えられるが、2.4.2.1(1)①bに記述したように、タイヤの内面の損傷は、全周にわたっていたこと、

③ タイヤ内圧が不足していた場合、タイヤの内面が中子と接触しながら走行すると考えられ、2.4.2.1(1)①bに記述したように、タイヤ内面は全周にわたって損傷していたこと

から、タイヤがパンクして中子がトレッド部を踏み付けて走行した、または、タイヤ内圧の低下によってタイヤの内面が中子と接触しながら走行して損傷した可能性が考えられる。

(2) タイヤの強度の限界に達する要因

タイヤの強度が限界に達することについては、

① 2.4.2.1(1)①bに記述したように、脱落した大きなトレッド部はショルダー一部で剥がれていたこと、

② 2.6.1(1)に記述したタイヤ協会の「検査結果報告書」より、タイヤがパンク又は極端な空気圧不足状態で走行したことにより生じたひきずりによる損傷であること

から、極端な空気圧不足の状態で行き続けることでタイヤが過度に変形し続けショルダー部にも負荷が掛かることに加え、中子がトレッド部を踏み付けることによりスチールベルト及びカーカスコードが損傷したことが関与したものと考えられる。

また、2.5.3に記述したように、主溝の深さ寸法が十分に残っていたと考えられるタイヤでは、極端な空気圧不足であっても破損に至っておらず、2.6.1(1)に記述したように、溝が十分にあってスチールベルトが露出していない正常なタイヤであれば、荷重が中子に支えられた状態となっても同様の破損が発生するまでに更に走行距離を要した可能性が高いと考えられることから、2.4.2.1(1)①bに記述したように、スチールベルトが露出してベルトの素線が切れて減ったような損傷があることによってトレッド部におけるタイヤの強度が下がり、トレッド部の正常なタイヤと比較して破損しやすい状況にあったものと考えられる。

3.2.2 タイヤがパンク又は極端な空気圧不足となったことに関する分析

タイヤがパンク又は極端な空気圧不足となったことについては、

(1) トレッド部に外的物体が接触し、貫通傷が発生したこと、

(2) トレッド部の露出したスチールベルトの一部がタイヤ内面に達したこと、

(3) 中子に問題があり、中子から破損したことによりタイヤの内面を損傷したこと、

(4) ホイール部品等に不良があったこと

などによりタイヤ内の空気が漏洩する可能性が考えられる。

(1) トレッド部に外的物体が接触し、貫通傷が発生する要因

トレッド部について、本件列車において本件車両よりも先に走行路を通過した1両目～5両目の車両のタイヤには2.4.2.1(2)①～⑤に記述したように、トレッド部を異物が接触したような痕跡は見られなかった。また、本件列車が本事故発生付近まで走行した走行路は、2.3.1.3に記述したように、事故発生後に軌道の状況を点検した結果、異常はなかったことから、外的物体が接触して貫通傷が発生する可能性は低いものと考えられる。

(2) タイヤのトレッド部のスチールベルトが露出した要因

① トレッド部の品質管理による要因

2.5.1.1(2)に記述したように、乗務員から走行時に異音があるとの申告を受けて実施した臨時検査において、同社はタイヤのトレッド部の摩耗が著しく、スチールベルトが露出している箇所がある部位のみタイヤの交換を行い、他の部位については主溝の残り溝の有無のみを確認して寸法測定を行っていなかった。この時点で他のトレッド部では既に残り溝のない箇所があり、2.4.2.1(2)④に記述したように、4両目のNo.3タイヤのような傷が生じて、スチールベルト露出に繋がった可能性が考えられる。

露出したスチールベルトは走行することによりベルトの素線が切れ、その一部がタイヤの内面に達する可能性が考えられる。

② トレッド部への異常な負荷による要因

a No.1タイヤのパンクが先に発生した可能性

No.1タイヤが先にパンクするとNo.2タイヤが影響を受ける可能性もあるが、2.6.1(1)及び(2)に記述したタイヤ協会の「検査結果報告書」の判定結果のとおり、No.1タイヤはパンク状態での走行距離が比較的短いと考えられるため、No.2タイヤの損傷後にNo.1タイヤがパンクしたものと考えられる。

b 車軸不具合の影響を受けた可能性

2.4.2.2に記述したように、本件車両の前軸について、ハブやキングピンなどの車軸部品には異常がなく、2.4.2.2(1)③に記述したように、案内操向装置のタイロッドに異常はなかった。なお、2.4.2.2(1)①及び②に記述したNo.1及びNo.2の案内アームの損傷については、本事故の衝撃により生じたものと考えられる。

①、②より、スチールベルトが露出したことは、トレッド部の主溝が見えなくなるまで摩耗した状態で使用していたために生じた可能性が考えられる。

(3) 中子に問題があり損傷する要因

中子に問題があるとした場合、中子から損傷すると考えられる要因及びその調査結果を図 29 に示す。

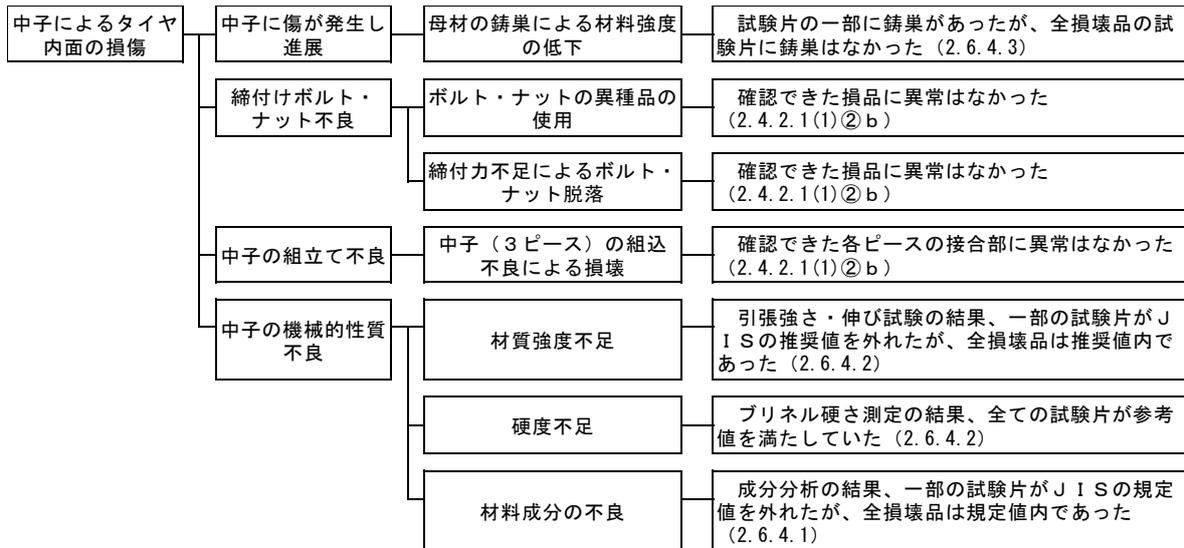


図 29 中子に問題がある場合に考えられる要因

2.6.4.2に記述したように、材料試験で未損品の中子の引張試験の伸びが「J I S H 5202」の推奨値から外れていたが、2.6.4.3に記述したように、試験片内に存在した鑄巣が主要因となったものと考えられる。また、2.6.4.1に記述したように、中子の成分分析で、一部損壊品及び未損品で J I S の規定値を外れていたが、一般的に鑄造製品は製品の形状や条件に依存し、製品個々で成分のばらつきがある。全損壊品であるNo.2 中子は、いずれの J I S の規定値、推奨値をも満たしていたことなどから、中子の機械的な性質の不具合により損壊に至った可能性は低いものと考えられる。

本事故の主要因ではないと考えられるものの、材料試験で認められた鑄巣のように内部欠陥の制御が不十分であることは、材料の機械的性質の低下につながることから、製造時に注意すべき事項であると考えられる。

(4) ホイール及びリムバルブが損傷する要因

① ホイールの円周上の損傷

ホイールの円周面については、2.4.2.1(1)③bに記述したように、リム部中央部付近に凹みが部分的に確認されたが、2.1.2.2表2に示したように、タイヤ破損後の走行で激しい縦揺れが確認されたことから、中子の損壊に

より、中子の複数の破片を踏み付けることで、ホイール円周面に損傷や凹みが生じたものと考えられる。

② リムバルブからの空気漏えい

リムバルブからの空気漏れは、2.4.2.1(1)③bに記述したように、ホイールの損傷と歪みによってリムバルブ及びその取付部にも歪みが生じたため発生したものと推定される。

(1)～(4)より、タイヤがパンク又は極端な空気圧不足となったことについては、トレッド部の露出したスチールベルトが切れ、その一部の素線がタイヤ内面に達したことによりタイヤ内の空気が漏洩したことによる可能性が考えられる。

スチールベルトが露出している箇所があったことについては、トレッド部の主溝が完摩しているような著しい摩耗箇所があったことによるものと考えられる。

3.3 同社の走行輪の管理等に関する分析

3.3.1 タイヤのトレッド部の摩耗に関する分析

(1) タイヤのトレッド部の検査時における摩耗状況

本件編成の動軸の摩耗量について、2.5.1.1(3)表7に示したように、各車両のタイヤ部位別の千km当たりの摩耗量は0.078～0.131mmの範囲であり、単純計算では2万km走行すると最大2.62mmとなる。しかし、検査間の周期で2万km以上走行した場合での摩耗量は、最大値が平成30年8月28日の月検査時の1両目No.3タイヤの4.7mm、最小値が平成29年12月14日の月検査時の4両目No.3及びNo.4タイヤの1.1mmと、部位によってばらつきがあった。

また、同社は、10日を超えない期間毎に実施している列車検査において、2.5.1に記述したように、トレッド部については確認しないため、摩耗が進んで完摩しても気付かない。

(2) トレッド部の主溝深さの測定箇所

同社では、2.5.1.1(1)に記述したように、トレッド部の主溝4本のうち外側から2本目の最も浅い箇所を測定して基準値を満たしていない場合、もしくは摩耗による完摩箇所が1箇所でもある場合にタイヤを交換することとしている。しかし、本件列車のタイヤでは2.4.2.1(2)②～⑤に記述したように、主溝の完摩箇所は外側から4本目が最も多く、偏摩耗箇所も多く見られた。また、2.5.1.1(1)に記述したように、同社による4本の主溝のうち両端の溝（外側から1本目及び4本目）が特に摩耗しやすいとの認識のとおり、測定箇所としている主溝とは別の主溝の摩耗が大きい傾向にあった。

(3) 異音等の申告があった際の臨時検査

2.5.1.1(2)に記述したように、本事故の9日前にタイヤのトレッド部の異状が原因であった臨時検査で、交換したタイヤ以外のタイヤは主溝を測定しなかったが、本件編成には2.4.2.1(2)②～⑤に記述したように、タイヤのトレッド部に主溝の完摩箇所が複数あり、スチールベルトの露出している箇所もあった。また、

- ・ 2.5.1.3に記述したように、臨時検査の約1カ月後となる2月8日にタイヤ全数の新品交換を予定しており、同社が保有する本件タイヤメーカー製のタイヤの在庫に余裕がなかったこと、
- ・ 2.5.1.1(2)に記述したように、中古のタイヤをこれまでも使用しており問題が発生していなかったこと

は、臨時検査でスチールベルトが露出しているタイヤのみ交換することで問題ないものと判断したことに関与した可能性が考えられる。

(1)～(3)より、トレッド部の状態を確認する検査周期の間に走行する距離が長いと摩耗量が大きくなり、部位によって摩耗量にばらつきがあるものの、その間に状態を確認する機会がないため摩耗が進んで完摩しても気付かない。トレッド部の状態は、走行距離及び摩耗量の状況に応じて点検周期を見直すことが望ましい。

また、トレッド部の測定する位置としている主溝よりも両端の溝で摩耗量が多い傾向にあることから、主溝を測定する検査では4本ある主溝のうちで、最も摩耗量の多い主溝を測定する必要がある。同時に、新たな摩耗量データに基づいて、定期検査でタイヤを交換する主溝深さの基準値を再検討することが望ましい。

さらに、タイヤが原因である異状の申告があった際には、編成の全てのタイヤについて、内圧の確認を行うなど、月検査に準じた検査を行うことが望ましい。

3.3.2 タイヤの内圧の管理に関する分析

2.5.1.2に記述したように、同社はタイヤの内圧測定時において、極端な空気圧不足の時にはタイヤを交換することとしているが、具体的な数値を同社の内規では定めていない。同社が参考としている車両メーカーの取扱説明書では、内圧が690kPa以下で使用されたものは交換すると記載されているものの、2.6.2.2に記述したように、本件タイヤメーカーの算出によれば、満車時には770kPa以下で中子とタイヤの内面が接触する可能性があるため、参考としている値まで内圧が低下する前に、中子とタイヤの内面との接触が起こり得る。

また、タイヤの内圧を確認する検査において、内圧が690kPaよりも高ければ770kPa以下の場合であっても、極端な空気圧不足と判断されず、空気を管理値まで充填して使用を続ける可能性がある。この場合、タイヤの内面と中子が接触した

状態で走行していた可能性が考えられることから、例えば検査で内圧が770kPaを下回ったタイヤは交換するなど、タイヤの仕様や特性に応じて適切な‘タイヤを交換する内圧の基準値’を定める必要がある。

また、2.5.3に記述したように、空気圧が極端に低かったことが月検査時まで確認されなかった事例があり、2.6.2.2に記述したように、通常時とパンク時のタイヤの外観上は目視による明確な判別が困難な場合もあると考えられるため、極端な空気圧低下を目視により早期に把握することは難しいものと考えられ、2.5.3表9の事例③、⑤、⑥では本事故と同様の結果が起き得た可能性が考えられる。

したがって、タイヤのパンクを早期に把握できるよう、パンクを検知する装置、あるいはタイヤの内圧を監視する装置を導入することが望ましい。

3.4 本件列車の車両の損傷に関する分析

3.4.1 走行輪のその他の損傷に関する分析

3.4.1.1 本件車両のNo.2タイヤが冠状に開口した要因

2.4.2.1(1)①bに記述したように、タイヤのトレッド部が冠状に開口していたことについては、2.4.2.2(2)①に記述したように、No.2案内輪の緩衝ゴム周囲が黒ずんでいたことから、No.2タイヤの内外両側のサイドウォール部がNo.2案内輪の緩衝ゴム付近と、屈曲したNo.2案内アームに挟まれる状態で走行し続けたため、生じたものと考えられる。

3.4.1.2 本件車両のNo.1中子の破損

本件車両のNo.1中子の一部が破損していたことに関して、2.3.1.2(1)に記述したように、No.2中子が損傷したことで中子の破片等が散乱していたこと、2.6.1(2)に記述したタイヤ協会の「検査結果報告書」より、障害物がタイヤを一気に貫通して中子と接触した衝撃等によって中子の一部が破損したと考えられることから、中子の破片等を踏むことによりトレッド部に貫通傷が発生し、No.1中子の外周面と衝撃したことで損傷が生じたものと考えられる。

3.4.2 その他車体の損傷に関する分析

3.4.2.1 本件車両の案内輪の損傷

本件車両のNo.2案内輪については、2.4.2.2(2)①に記述したように、取付座が右側へ曲損して案内輪受の進行方向側の側面及び上面ふたの円周上に擦過痕があり、2.4.1図17に示したように、案内軌条の緊締装置の取付ボルトの先端部に衝撃痕及び屈曲があったことから、案内輪が緊締装置のボルトと接触し、分岐輪がトラフに衝撃したため、損傷が生じたものと考えられる。

また、本件車両のNo.4案内輪については、2.4.2.2(2)②に記述したように、上面ふたに鋭利な擦過痕があり、分岐輪に擦過痕があったこと、2.4.2.2(1)①bに記述したように、案内アームの案内輪取付部が歪んでいたことから、左側の側壁及び案内軌条の緊締装置と衝突したことにより、台座から緩衝ゴムが外れて後方にずれ、側壁と案内輪との間に挟まった状態で、走行したことにより損傷したものと考えられる。

3.4.2.2 本件車両のNo.2 走行輪周囲の損傷

2.4.2.2(3)に記述したように、本件車両のNo.2 走行輪の泥除けが損傷したことについては、No.2タイヤのトレッド部が2.4.2.1(1)①bに記述したように、大きく剥がれた状態で走行し、泥除けに衝撃したために生じたものと考えられる。

3.4.2.3 本件車両の車体台枠の損傷

2.4.2.3に記述したように、本件車両の左前部の車体台枠に強い衝撃を受けた凹み及び擦過痕があったことについては、2.4.1(8)に記述したように、2k000m付近で落下したATC/TD整合器の筐体に衝撃痕があったことから整合器と衝突したことにより凹みが生じ、2.4.1(9)に記述したように、1k943m付近において左側の側壁の上端に擦過痕があったことから、擦過痕は側壁の上端と接触した状態で走行したため生じたものと考えられる。

3.5 運転取扱いに関する分析

2.10.1(1)に記述したように、本件運転士が異音を聞いてから停止するまでの間に約760mを走行したことについては、2.10.1(2)に記述したように、本件列車の運転操作及び加減速の状況は他列車の同一区間と比較して大きな違いがないことから、運転士が6両目No.2タイヤの破損に気付かなかったためと考えられる。

本事故のようなタイヤの破損が発生した場合には、脱線防止のために直ちに列車を停める必要があることから、車上でタイヤの内圧を監視する装置を導入することが望ましい。

3.6 軌道に関する分析

2.3.1.3に記述したように、事故発生後に軌道の状況を点検した結果、異常がなかったこと、2.3.2.5に記述したように、直近の軌道の巡視の記録に異常はなかったことから、本事故発生前の軌道に脱線の要因となる異常がなかったものと考えられる。

なお、2.4.1(8)に記述したように、ATC/TD整合器が落下した場所は駐車場であり、場合により高架下で傷害事故等が発生する可能性が考えられるため、高架橋上

から機器や部品等が落下する事故は、未然に防止することが必要である。

3.7 自動車と新交通システムのタイヤの点検周期等に関する分析

2.10.5に記述したように、国土交通省の統計より乗合バス1両当たりの平均走行距離は3ヶ月間で約13,000kmであるが、自動車のタイヤは法令（道路運送車両法）で1日1回、運行の開始前に摩耗の状態等を点検することが定められている。同一条件での比較はできないが、新交通システム用のタイヤは2.3.3.6(1)に記述したように、トラックやバスなどで用いられているものよりも設計強度が高いものの、タイヤの種類としては同様の仕様である。本件編成は最大で約27,000kmを走行する間、トレッド部を確認しないことがあり、乗合バスの平均走行距離と比較して長く、2.3.3.4の「月検査」の脚注に記述したように、技術基準の施設及び車両の定期点検に関する告示での「状態・機能検査」における点検の周期でトレッド部の摩耗状態を確認することとしていたことが、摩耗の発見の遅れに関与した可能性が考えられる。

4 結論

4.1 分析の要約

- (1) 本件車両の前軸左の走行輪が走行路から左側に逸脱して脱線したのは、前軸左のタイヤの破損によって空気圧が急激に低下し、アルミニウム合金鋳物の中子が露出した状態で走行を継続したことにより、中子が損壊して車体が左に傾斜し、案内輪が案内軌条から外れたことによるものと推定される。
(3.1.3) ^{*34}
- (2) 前軸左のタイヤが破損したのは、タイヤの空気圧が低下して極端な空気圧不足となり、タイヤの内面と中子が接する状態で走行していたことにより、タイヤの内面が円周上に損傷しカーカスコードが破断し、タイヤの強度が低下したことによるものと推定される。(3.2.1)
- (3) 中子が露出した状態で走行を継続したのは、本件列車の運転台の表示や運転操作に伴う走行の状態など、運転士のふだんの運転操作の感覚と大きな違いがないことから、運転士が異状に気付かなかったことが考えられる。(3.5)
- (4) タイヤの空気圧が低下し、極端な空気圧不足となったのは、タイヤのトレッド部がスチールベルトの露出に至るまで摩耗し走行することでベルトが損傷して素線が切れ、素線の一部がタイヤ内面にまで達することにより空気漏れが生じたものと推定される。(3.2.2)

*34 本項の各文章末尾に記載した数字は、当該記述に関する「3. 分析」の項目番号を示す。

- (5) タイヤのトレッド部がスチールベルトの露出に至るまで摩耗したのは、タイヤの溝の深さを測定する主溝が最も摩耗した部位ではなかった場合があり、また、その検査の周期が、走行距離に対して長期であったことから、タイヤの摩耗状態を適切な機会に確認できなかったことが考えられる。(3.3.1)
- (6) タイヤの内面と中子が接触した状態で走行したのは、タイヤの内圧を測定する検査時において、タイヤを交換する目安としている内圧の値が、満車時に中子とタイヤの内面が接触する可能性のある圧力より小さい値であったことから、タイヤの内面と中子が接触する内圧に至っても異常と判断できず、タイヤが交換されなかったことがあった可能性が考えられる。(3.3.2)

4.2 原因

本事故は、本件車両の前軸左タイヤの破損によって空気圧が急激に低下し、タイヤが破損したまま走行したことにより中子が損壊し、案内輪が案内軌条の下方に外れて走行輪が走行路から逸脱したため脱線したものと推定される。

タイヤが破損したことについては、タイヤの極端な空気圧不足によってタイヤ内面と中子が接触した状態で走行したことにより、スチールベルトの素線が切れたものと推定される。

タイヤの極端な空気圧不足となったことについては、トレッド部の摩耗によりスチールベルトが露出した状態で走行したため、ベルトの素線が切れ、素線の一部がタイヤの内面にまで達することにより空気漏れが発生したためと考えられる。

タイヤのトレッド部の摩耗によりスチールベルトの露出した状態で走行したことについては、臨時検査時に主溝の深さを測定しなかったことや、列車検査時にタイヤの摩耗状態について確認することとなっていなかったため、トレッド部の主溝が摩耗によりなくなっている状況を十分に確認しないまま、運用し続けたことが要因として考えられる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策

本事故を防止するためには、次の対策を講じる必要がある。

(1) タイヤの主溝の管理

タイヤのトレッド部がスチールベルト露出状態で走行すると、ベルトが減線し損傷がカーカスに達することで、タイヤの強度が低下することから、タイヤは走行距離と摩耗量を把握し、トレッド部の主溝の残り溝がなくなる前

に交換する必要がある。そのため、トレッド部の状況は周期の短い列車検査時など目視により確認する、若しくは、短い周期での確認が困難な場合には定期検査時における主溝の寸法測定時において全ての主溝のうち最も摩耗した溝を測定することが望ましい。

また、検査周期における走行距離とトレッド部の摩耗量の推移を把握し、タイヤの交換計画を流動的に見直すなど、走行距離を考慮した管理を行うことが望ましい。

(2) タイヤの内圧の管理

本事故におけるタイヤの破損は、極端に空気圧が低い状態でタイヤの内面と中子が接触してしばらく走行し、タイヤ内面が損傷したことが原因と推定される。タイヤの内圧は、車両メーカーの仕様の最低空気圧力ではタイヤ内面と中子外径面が接触する可能性があることから、タイヤの内圧を測定する検査では、タイヤの荷重による特性を考慮してタイヤ交換の基準となる最低空気圧をあらかじめ具体的に定め、基準に満たない場合はタイヤを交換することが望ましい。

(3) タイヤのパンクを検知する装置の導入

タイヤがパンクした場合、中子によってタイヤの潰れや車体の傾きが抑えられると、目視によって状況を把握できない場合が考えられるため、その状況を早期に把握するにはパンクの検知装置を導入することが望ましい。また、本事故はタイヤが破損したことにより中子が露出して損壊し、車体が傾斜したことで脱線したものと推定されることから、タイヤが本事故のように破損した場合は直ちに列車を止める必要があるため、車上検知によるタイヤの内圧を監視する装置を導入することが望ましい。

5.2 事故後に事業者が講じた措置

(1) 緊急対策

緊急的な対策として、次の項目を実施することとした。

- ① 乗務員は、乗務前に車両状態（傾き）を目視により確認（タイヤパンクの早期発見）することとした。

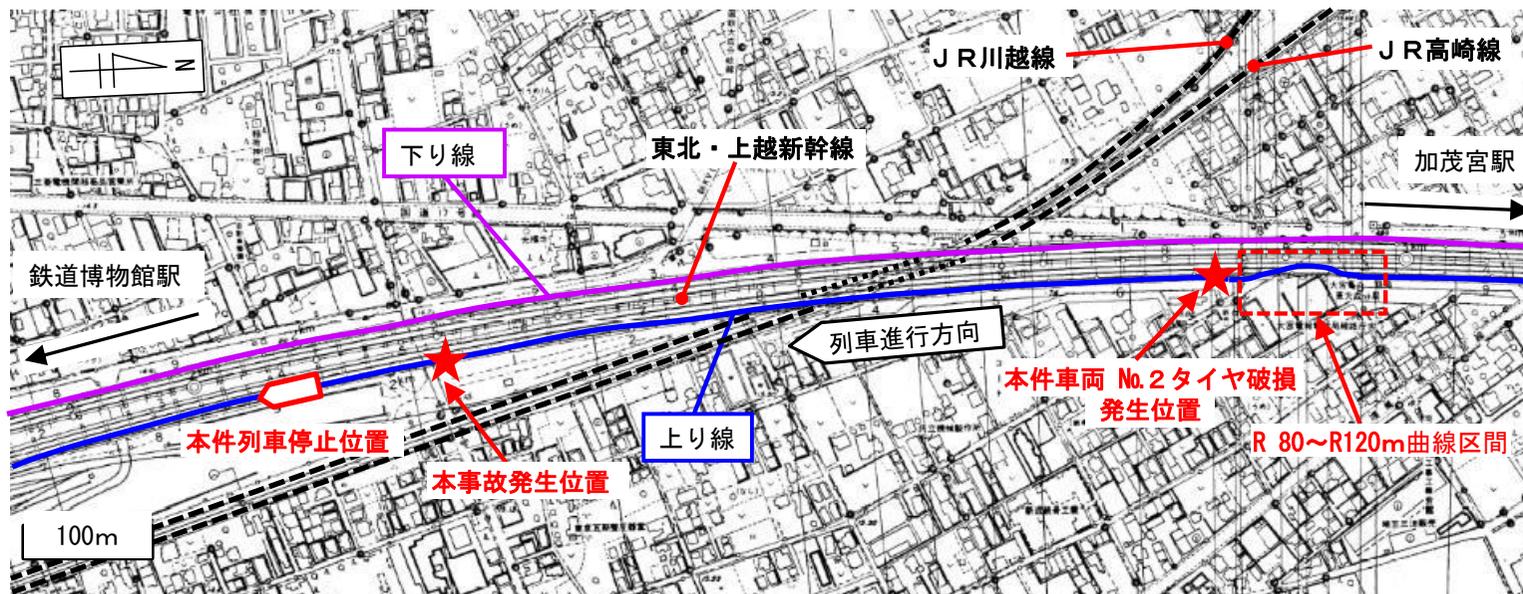
また、乗務中に異音や異常な振動、匂いがある等、いつもと違うと感じた時には直ちに列車を停めるということについて、本事故の翌日から点呼時に口頭で周知し、周知文書の掲示を行った。

- ② 列車検査時（8日毎）におけるタイヤ摩耗状態の確認

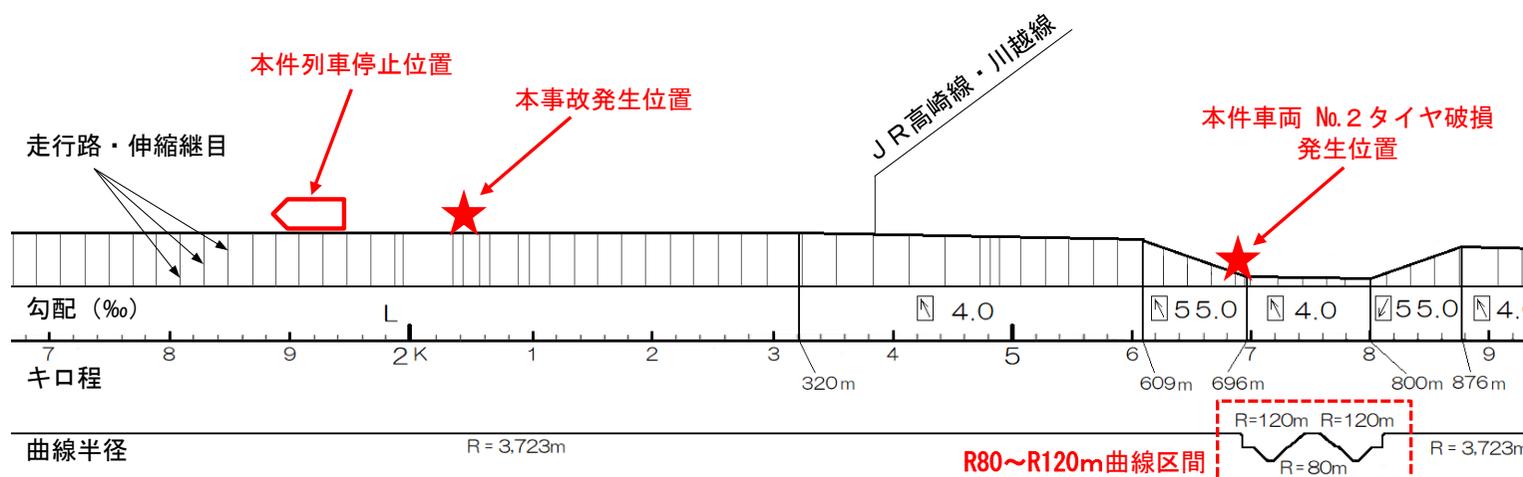
- a 確認をより細微に行うこととするほか、タイヤ変状のサンプル(写真)を、検査を行う現場に掲示し、判断が容易となるようにした。

- b 列車検査時におけるタイヤトレッド面の主溝の摩耗状況を目視により確認する方法を、定例訓練時に指導した。
- ③ ②に記述した列車検査時において偏摩耗等のタイヤの異常を認めた時は、速やかにタイヤを交換することとした。
- ④ その他、異音発生時の検査の徹底
乗務員に限らず、駅等（駅社員）においても異音を認めた際には直ちに関係箇所へ報告し、検査を行うこととした。
- (2) 車両の検査時における対策
全般検査、重要部検査、月検査時におけるタイヤトレッド面の主溝の深さの測定位置を変更し、4本の主溝全てを測定することとし、最も浅い溝と2番目に浅い溝の数値を記録することとした。（令和元年10月10日）
- (3) タイヤ交換時期の見直し
これまでタイヤの交換計画は、同社が車両の検査修繕を委託している協力会社が交換時期のみを検討会に提出し同社が承認していたが、対策後は協力会社が測定した主溝の深さ、走行距離なども併せて検討会に提出し、タイヤの交換時期を承認することとした。（令和元年7月19日）
- (4) その他の対策
同社は2020系の「24編成」に車上検知によるタイヤの内圧と温度を監視する装置を設置し、走行試験を令和元年末までに終え、令和2年2月21日から使用を開始した。
今後は、改造工事を終えた編成（他に新車1編成）を順次使用開始し、令和2年度中に全編成で使用を開始する計画である。

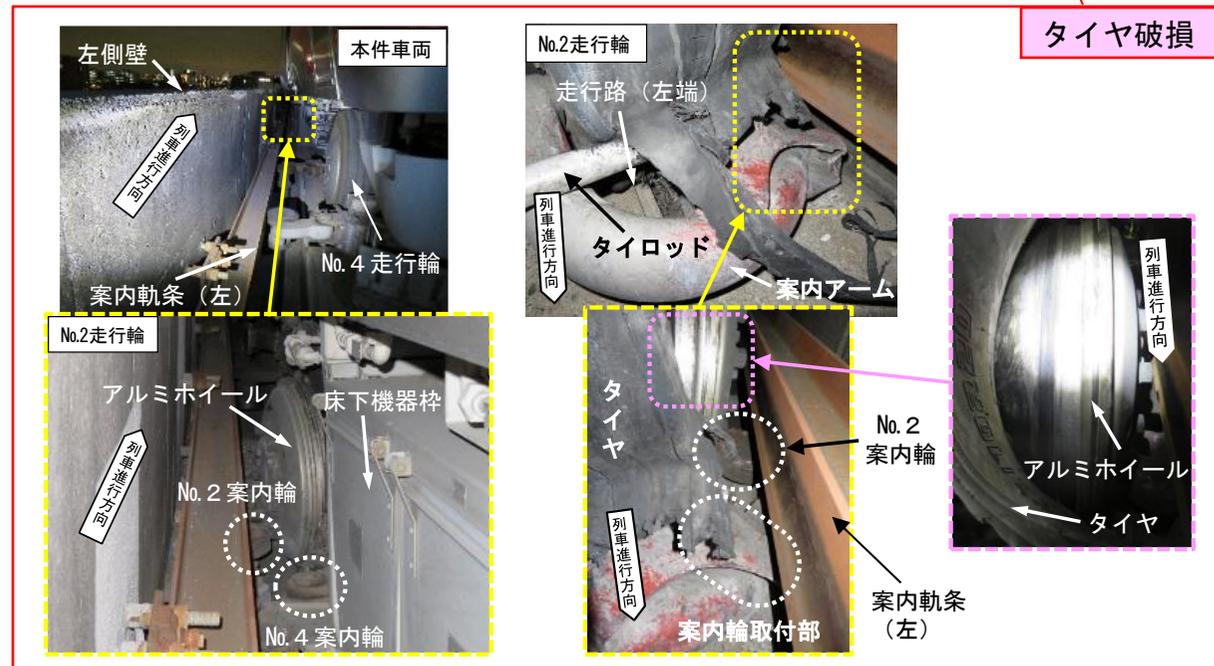
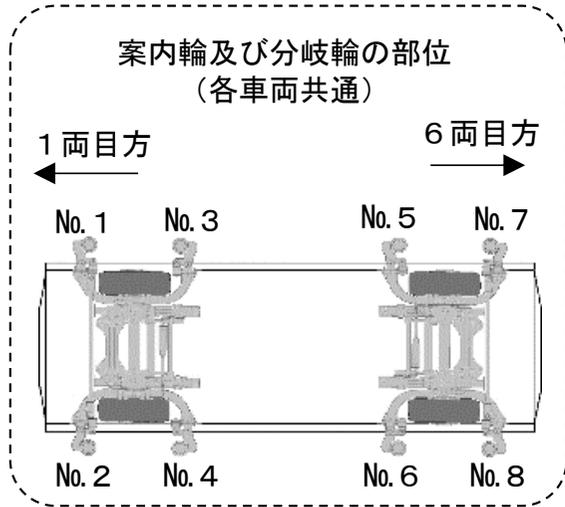
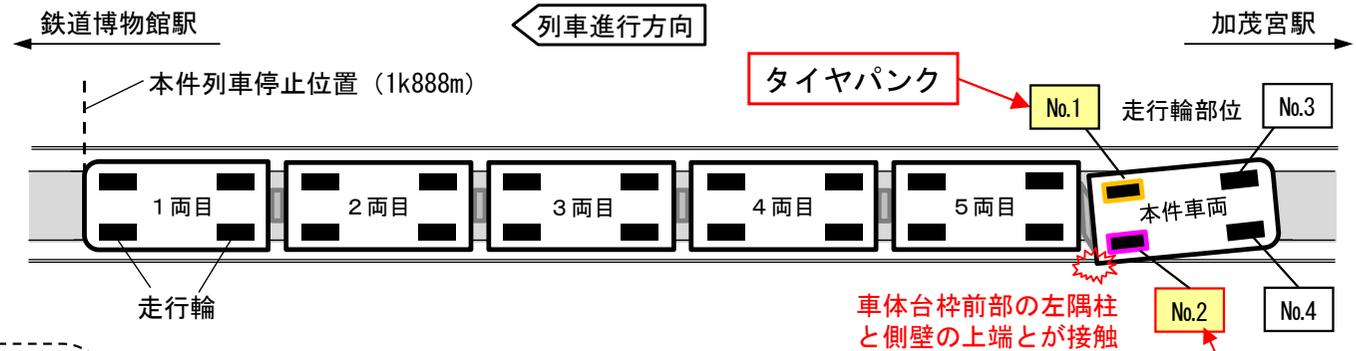
付図3 事故現場付近の線路平面図及び断面図



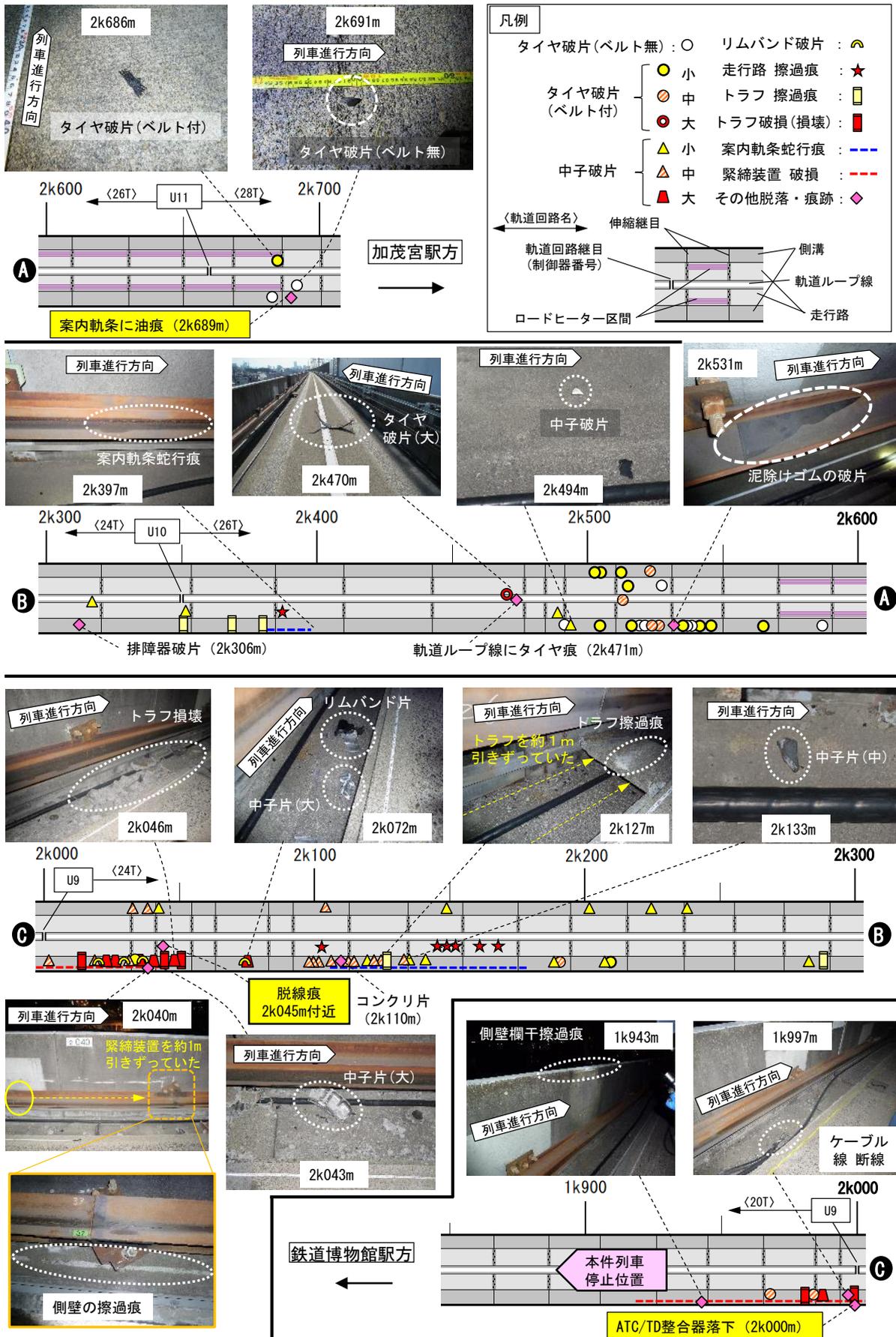
※ この図は、埼玉新都市交通株式会社線の線路平面図に色調等を加工して作成した。



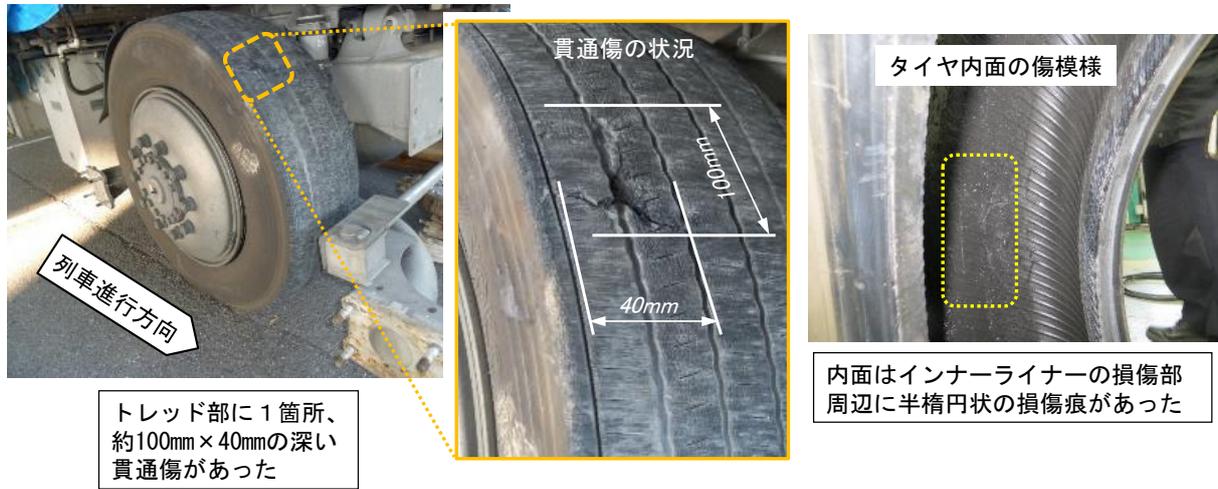
付図4 事故発生時の本件車両の損傷状況



付図5 主な軌道損傷及び部品脱落状況



付図6 本件車両のNo.1 タイヤの損傷状況



付図7 本件車両のNo.2タイヤの損傷状況



付図8 本件車両のNo.2 中子の損傷状況



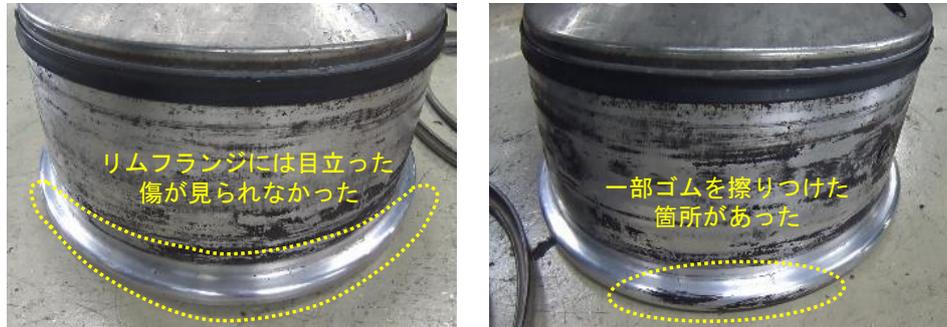
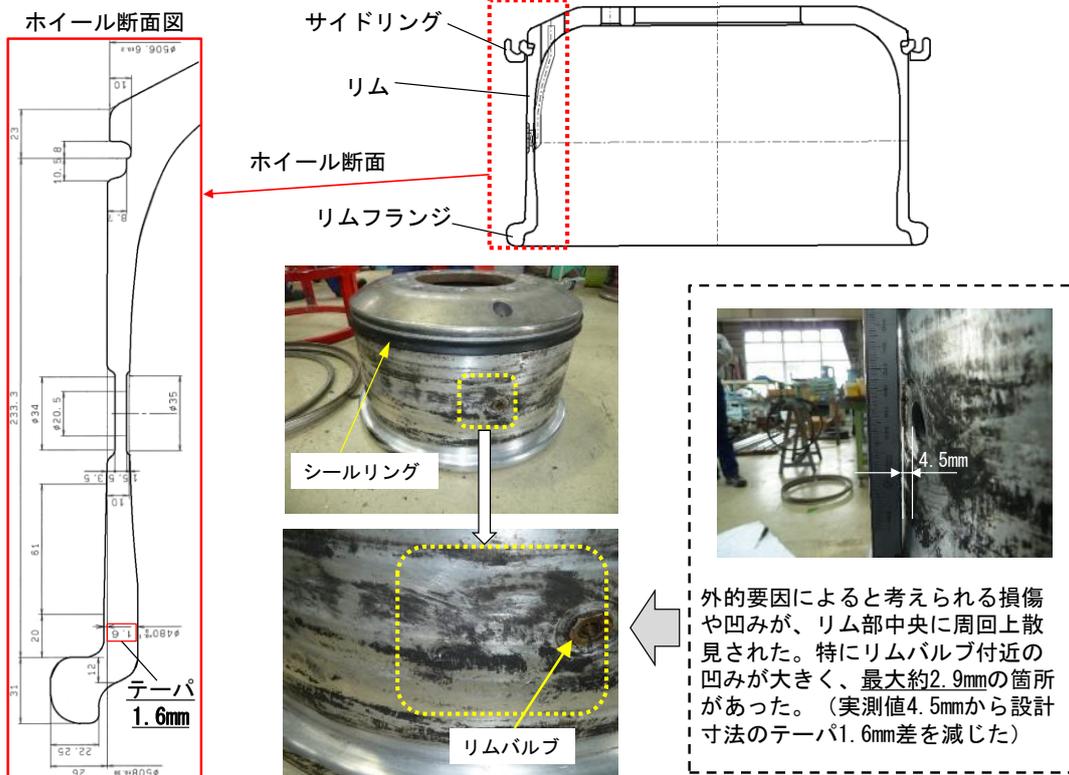
(1) 回収したNo.2 走行輪の中子破片



ボルト・ナットの締付け状態 ※ 規定トルクにて増締め確認	
No.	状況
①	問題なし
②	体破損のため、合マークから約3mm動いた
③	問題なし
④	体破損のため、合マークから約2mm動いた
⑤	問題なし
⑥	体破損により測定不能
⑦	ゆがみのため測定不能
⑧	測定不能
⑨	問題なし
⑩	測定不能
⑪	測定不能

(2) (1)の中からボルト・ナット部を取り出し締付け状況を確認した

付図9 本件車両のNo.2ホイールの損傷状況

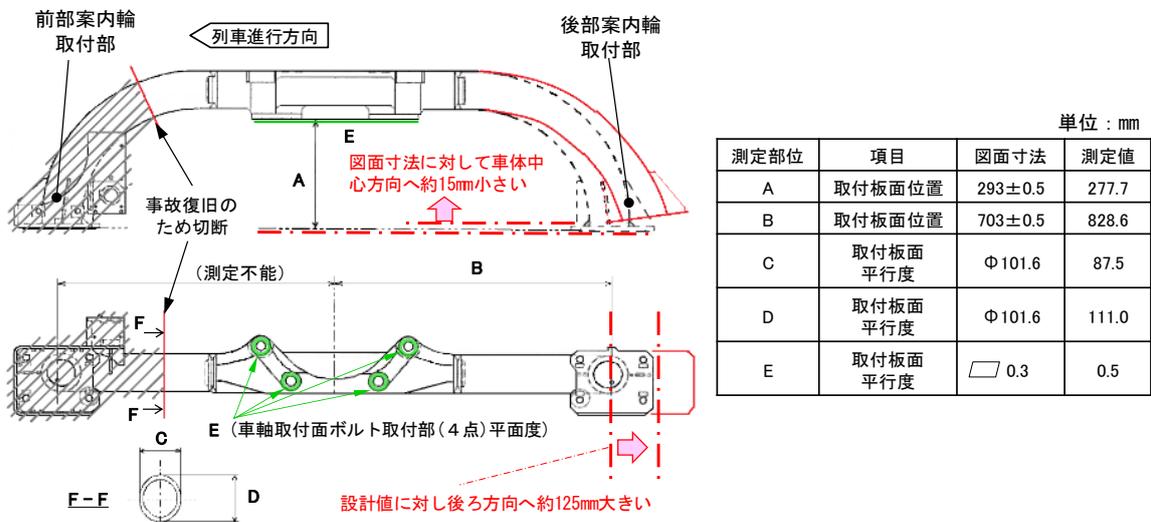


(a) ホイールの損傷状況

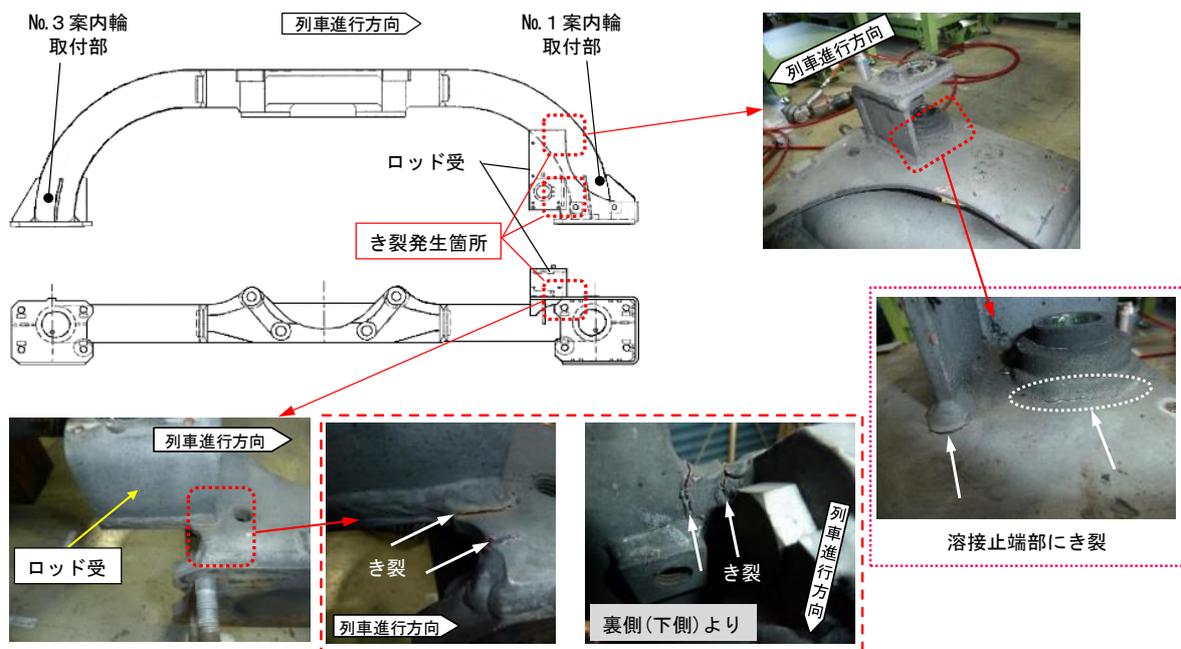


(b) リムバルブ損傷状況

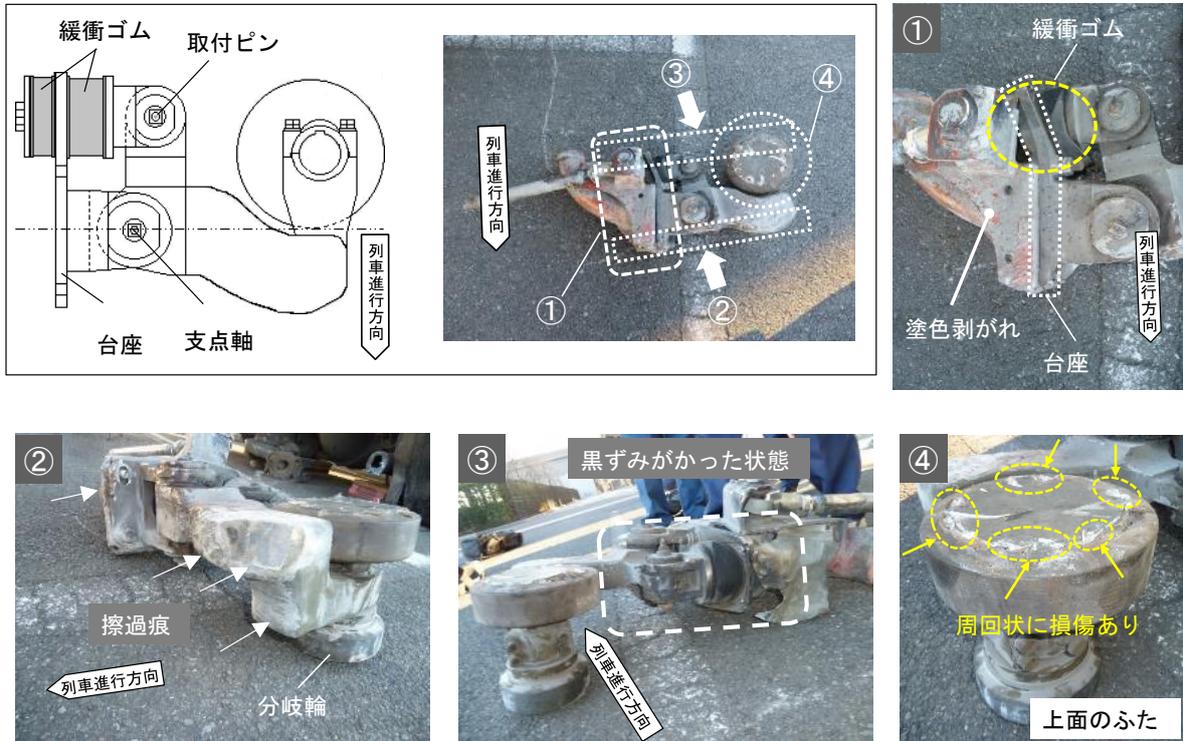
付図 1 1 本件車両のNo.2 案内アームの歪み状況



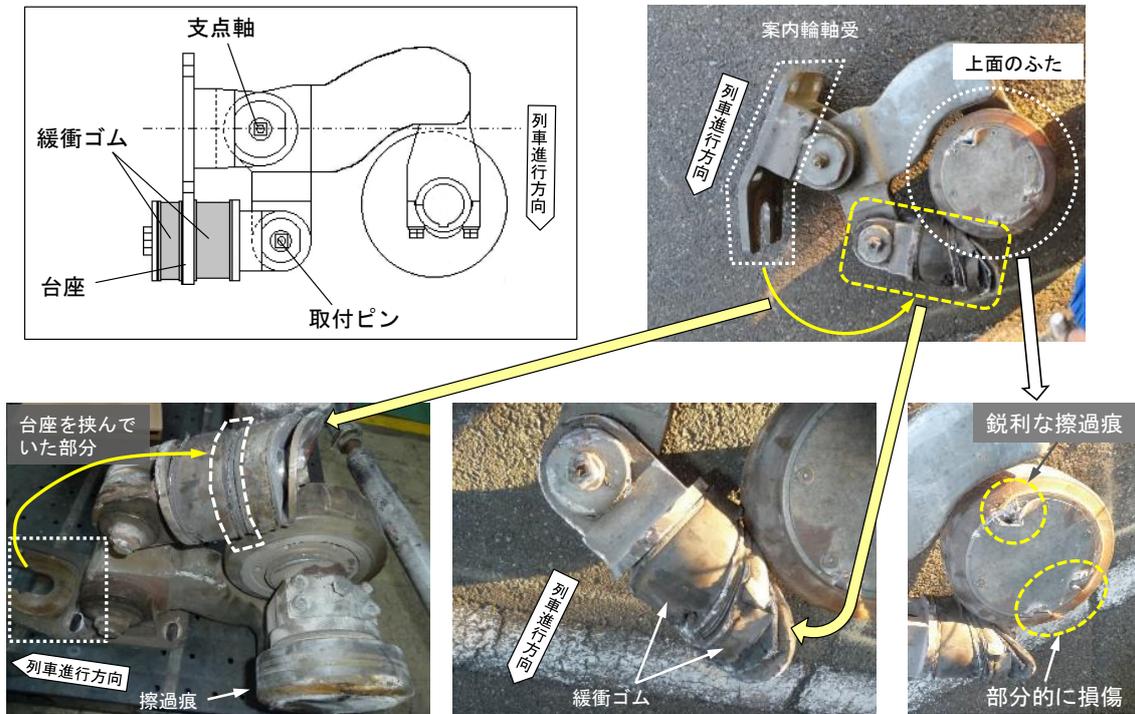
付図 1 2 本件車両のNo.1 案内アームのき裂の発生状況



付図 1 3 本件車両の案内輪の損傷状況



(1) No. 2 案内輪の損傷状況



(2) No. 4 案内輪の損傷状況

付図 1 4 本件編成の全タイヤの主溝深さの推移

◇ 走行距離 単位 : km ◇ 主溝深さ 単位 : mm

検査種別 (検査日)	交換後 累積 走行距離	1両目車両 (2106)				2両目車両 (2206)				3両目車両 (2306)				4両目車両 (2406)				5両目車両 (2506)				本件車両 (2606)			
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
新品交換 (平成29年6月14日)		16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
月検査 (平成29年6月20日)	1,491	15.7	15.7	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.8
重要部検査 (平成29年9月27日)	9,389	15.8	15.6	13.8	14.4	16.0	15.8	14.2	14.6	15.7	15.6	14.1	14.5	15.9	15.9	14.4	14.7	15.8	15.6	14.7	14.8	14.9	14.3	15.6	15.8
月検査 (平成29年12月14日)	29,980	15.8	15.7	12.0	12.6	15.8	15.8	12.3	12.9	15.8	15.8	12.4	12.9	15.8	15.8	13.0	13.6	15.8	15.8	13.0	13.3	13.1	12.7	15.7	15.8
月検査 (平成30年3月9日)	51,874	15.4	15.6	8.0	9.7	15.6	15.4	9.6	10.2	15.5	15.3	10.0	11.0	15.6	15.5	10.6	11.5	15.6	15.4	10.0	10.6	10.8	10.0	15.2	15.4
ローテーション (平成30年5月9日)	67,486	15.5	14.8	6.6	7.9	15.5	15.7	7.8	8.2	15.7	15.6	8.7	9.7	15.7	15.6	7.6	10.9	15.7	15.6	7.9	8.7	9.3	7.7	15.2	15.6
前後		6.6	7.8	15.5	14.8	7.8	8.2	15.5	15.7	8.7	9.7	15.7	15.6	7.6	10.9	15.7	15.6	7.9	8.7	15.7	15.6	15.2	15.6	9.3	7.7
月検査 (平成30年6月5日)	75,374	6.5	8.2	13.7	14.1	8.6	9.1	14.6	14.2	8.0	9.5	14.5	14.3	9.2	10.5	14.6	14.7	8.5	9.7	14.8	14.7	14.3	14.2	9.2	7.3
月検査 (平成30年8月28日)	102,243	6.2	7.7	9.0	9.7	8.4	9.3	10.0	11.0	7.6	10.0	10.9	11.2	9.4	10.0	10.7	11.5	8.6	9.5	10.4	11.0	10.5	10.6	9.1	8.6
※臨時検査 (平成30年9月3日)	-	8.5	8.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
月検査 (平成30年11月20日)	127,929	7.7	8.7	5.8	7.0	8.5	9.3	6.6	9.1	7.8	8.9	7.7	8.7	8.5	9.6	8.8	9.4	8.8	9.3	7.2	7.0	7.4	7.8	8.9	8.4
※臨時検査 (平成31年1月7日)	-	-	-	10.3	8.2	-	-	-	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.2	-	-	-	-	-
本事故発生時	145,523	※ 1両目は、No.1及びNo.2を平成30年9月3日、No.3及びNo.4を平成31年1月7日にタイヤメーカーA製の中古品に交換																							
交換計画日 (平成31年2月8日)																									

※ ローテーションは、各車両ともNo. 1⇄No. 3、No. 2⇄No. 4の部位へ走行輪の振替えを実施

※ 平成31年1月7日の臨時検査では、乗務員からの異音申告により、異常摩耗のあるタイヤ（4本）のみ交換を実施

◻ : タイヤメーカーA製の空気タイヤ

色塗 の部位 (No.) は動軸であることを示す

パンク 破損

付図15 本件編成の全タイヤのトレッド部の摩耗量

◇ 走行距離 単位：km ◇ 主溝深さ 単位：mm

検査種別 (検査日)	各検査間 走行距離	1両目車両 (2106)				2両目車両 (2206)				3両目車両 (2306)				4両目車両 (2406)				5両目車両 (2506)				本件車両 (2606)			
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4
月検査 (平成29年6月20日)	1,491	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
重要部検査 (平成29年9月27日)	7,898	(0.1)	0.1	1.9	1.3	(0.2)	0.0	1.5	1.1	0.1	0.1	1.6	1.2	(0.1)	(0.1)	1.3	1.0	0.0	0.2	1.0	0.9	0.8	1.4	0.1	0.0
月検査 (平成29年12月14日)	20,591	0.0	(0.1)	1.8	1.8	0.2	0.0	1.9	1.7	(0.1)	(0.2)	1.7	1.6	0.1	0.1	1.4	1.1	0.0	(0.2)	1.7	1.5	1.8	1.6	(0.1)	0.0
月検査 (平成30年3月9日)	21,894	0.4	0.1	4.0	2.9	0.2	0.4	2.7	2.7	0.3	0.5	2.4	1.9	0.2	0.3	2.4	2.1	0.2	0.4	3.0	2.7	2.3	2.7	0.5	0.4
ローテーション (平成30年5月9日)	15,612	(0.1)	0.8	1.4	1.8	0.1	(0.3)	1.8	2.0	(0.2)	(0.3)	1.3	1.3	(0.1)	(0.1)	3.0	0.6	(0.1)	(0.2)	2.1	1.9	1.5	2.3	0.0	(0.2)
月検査 (平成30年6月5日)	7,888	0.1	(0.4)	1.8	0.7	(0.8)	(0.9)	0.9	1.5	0.7	0.2	1.2	1.3	(1.6)	0.4	1.1	0.9	(0.6)	(1.0)	0.9	0.9	0.9	1.4	0.1	0.4
月検査 (平成30年8月28日)	26,869	0.3	0.5	4.7	4.4	0.2	(0.2)	4.6	3.2	0.4	(0.5)	3.6	3.1	(0.2)	0.5	3.9	3.2	(0.1)	0.2	4.4	3.7	3.8	3.6	0.1	(1.3)
月検査 (平成30年11月20日)	25,686	-	-	3.2	2.7	(0.1)	0.0	3.4	1.9	(0.2)	1.1	3.2	2.5	0.9	0.4	1.9	2.1	(0.2)	0.2	3.2	4.0	3.1	2.8	0.2	0.2
部位別の千 ^キ 当り 平均摩耗量	累積 ^キ 145,523	0.01	0.01	0.13	0.11	0.00	(0.01)	0.12	0.10	0.01	0.01	0.11	0.09	0.00	0.01	0.11	0.08	0.00	0.00	0.11	0.11	0.10	0.11	0.01	0.00

■ : 月検査時 (3ヶ月毎) 間で3.0mm以上4.0mm未満摩耗した数値

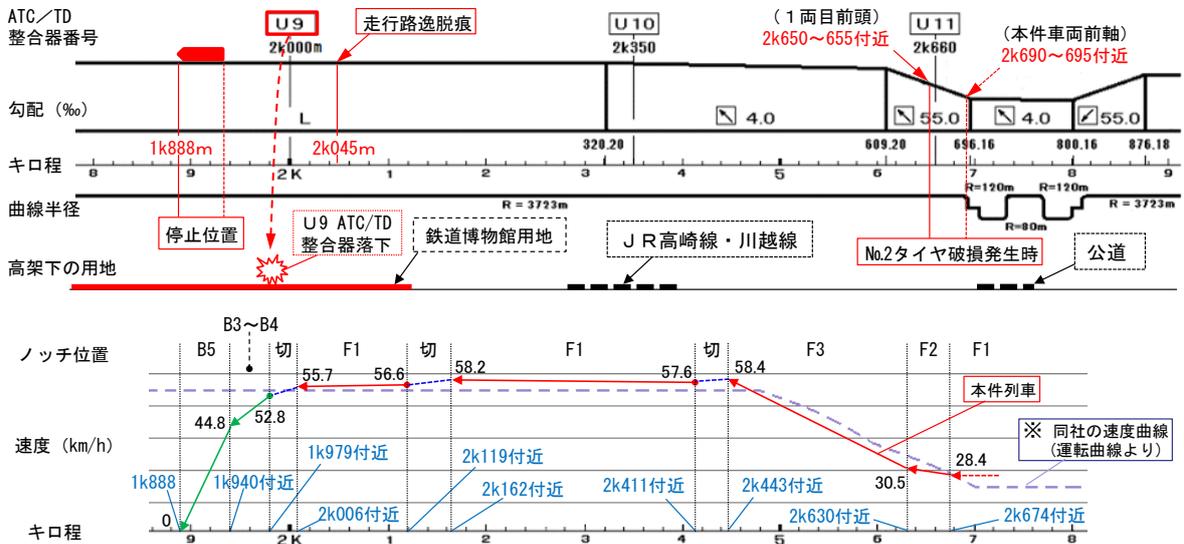
■ : 月検査時 (3ヶ月毎) 間で4.0mm以上摩耗した数値

※ カッコ内の数字は残り溝深さが前回測定時より変化なし又は増加している数値

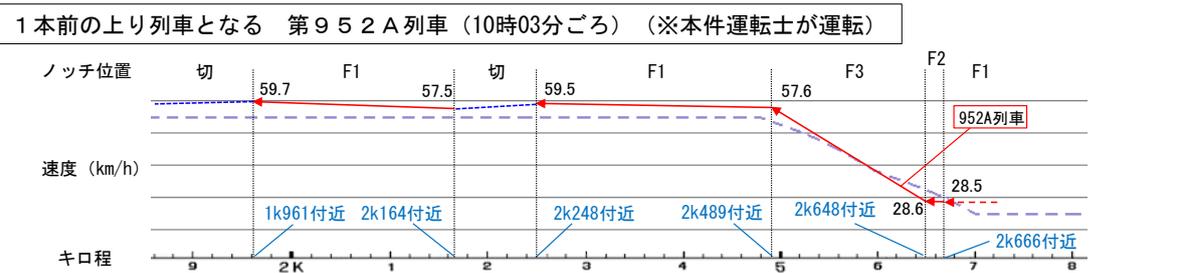
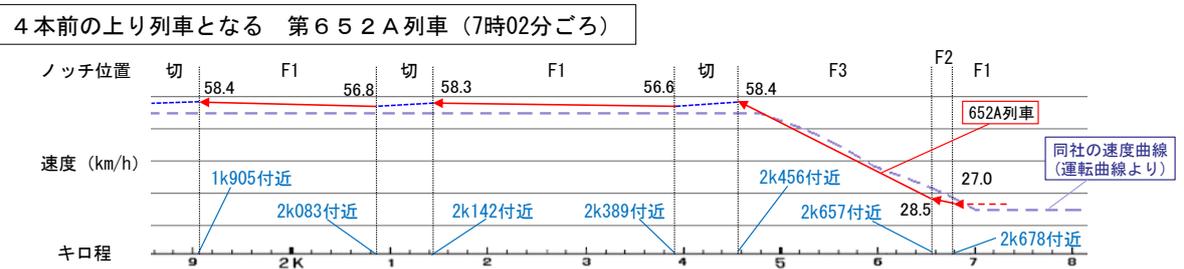
パンク 破損

色塗 の部位 (No.) は動軸であることを示す

付図 1 6 事故現場付近の軌道の線形と列車の運転状況



(1) 事故発生場所付近の軌道の線形と本件列車の運転の状況



(2) 事故当日に本件編成が走行した事故発生場所付近の軌道と運転の状況

※ 図中の運転曲線とは列車の位置、速度及び時間の状況を示す曲線をいい、本図では距離を横軸、速度を縦軸とした速度曲線を示している。曲線や勾配などの位置とともに、それに対応する制限速度等を図中に示し、運転時刻表の作成等に用いられる。