



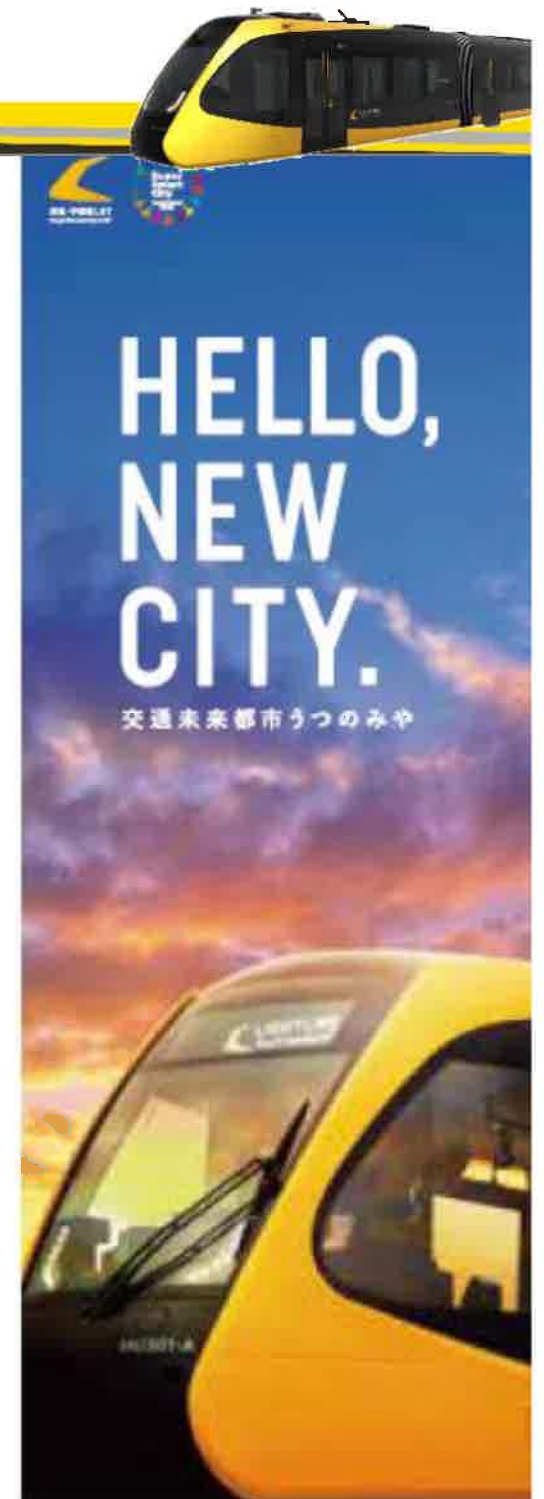
駅東側の取組状況 について

令和5年3月24日(金)
宇都宮市・芳賀町



▶ 目次

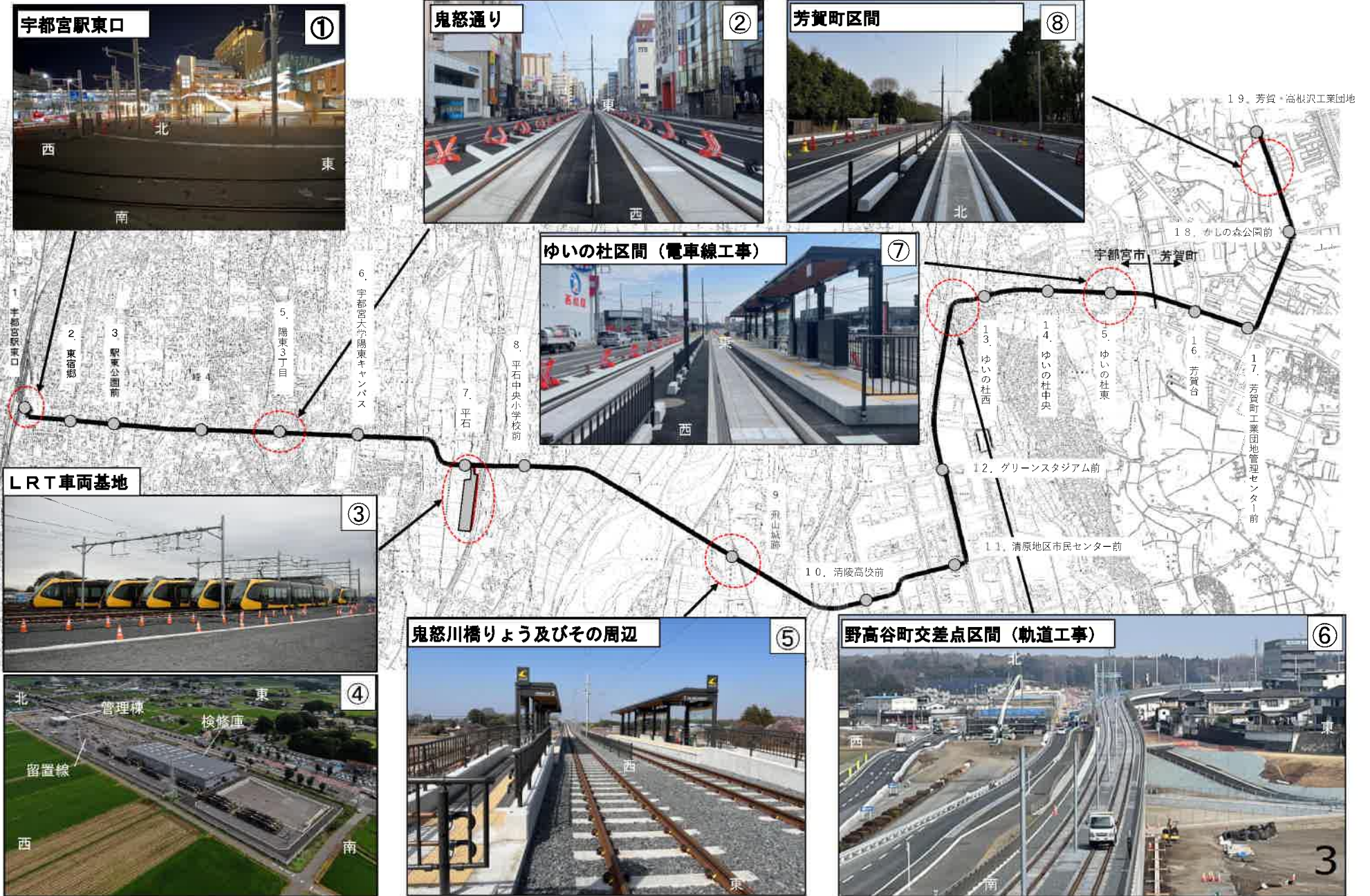
- ①東側路線図と各地区の工事の最新状況
- ②駅東口の脱線に係る対応について
- ③開業に向けたスケジュール
- ④「体験型の安全教室・乗り方教室等」について
- ⑤「LRT停留場の壁面デザイン」について



▶ ①東側路線図と各地区の工事の最新状況



- 令和5年3月には全線において、軌道施設等の工事が完了予定



▶ ② 駅東口の脱線に係る対応について



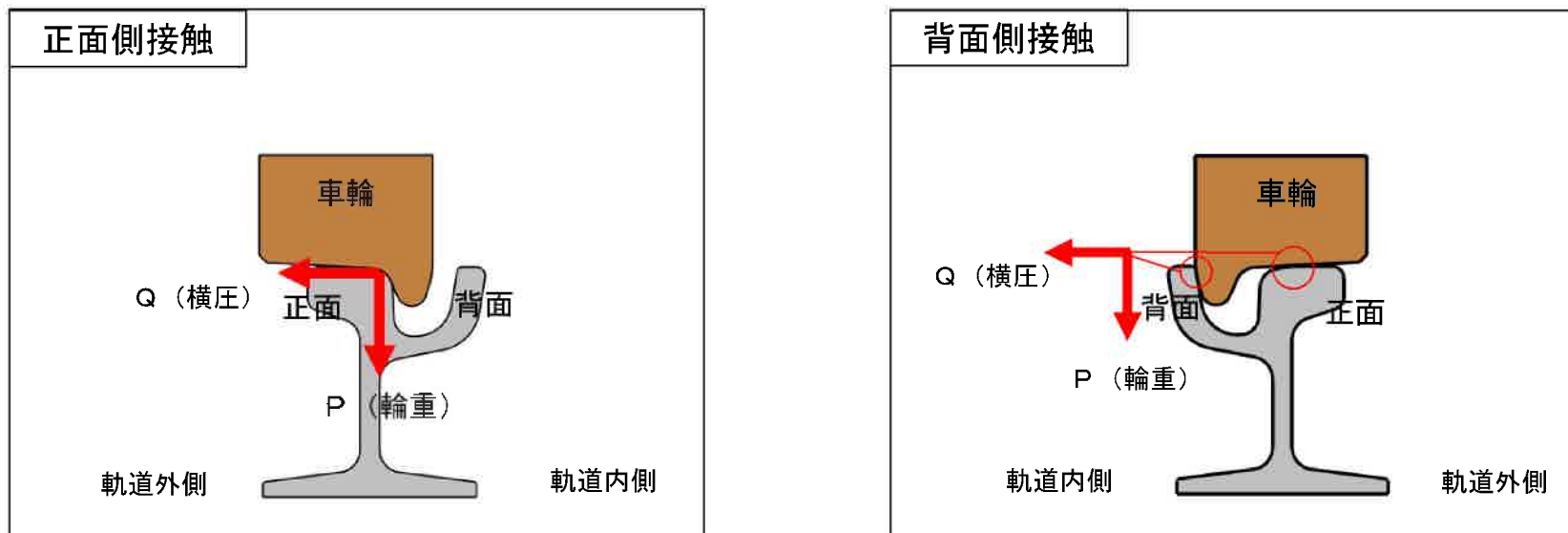
【経過】

- 令和4年11月19日 脱線事故の発生
 - ⇒ 宇都宮駅東口停留場付近において、シーサスクロッシング（分岐器）の入線試験を行っている際、緊急時に使用する走行（逆走）パターンにおいて、下り線から停留場2番線ホームに向かう曲線部で脱線が発生
- 11月22日 有識者による現地調査の実施
 - ⇒ 振動加速度計を用いた走行調査を実施（11月25日～12月2日）
- 12月16日 第1回有識者会議の開催
 - ⇒ 有識者立ち合いのもとPQ測定試験（※）等を実施（12月23日～12月26日）
 - ※ 車輪に加わる輪重（P）と横圧（Q）の測定データ（Q/P）から、脱線発生に対する安全性を確認
- 2月13日 第2回有識者会議を開催
 - ⇒ 脱線事故に関する原因究明及び再発防止等に係る考察
 - 2月17日 中間報告取りまとめ

○ 測定試験について

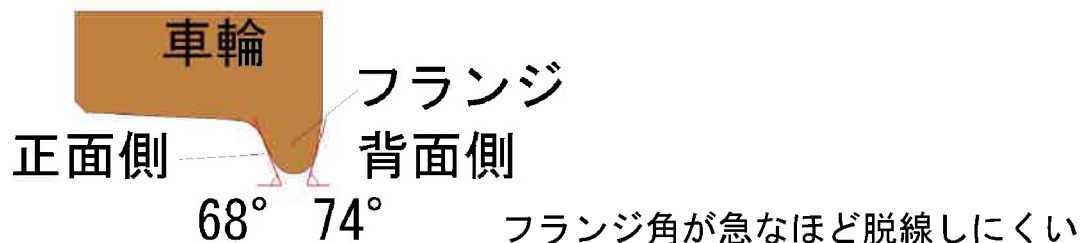
■ PQ測定試験

- ・ 車両の車輪がレールを下に押す力である「P（輪重）」と車輪がレールを横方向に押す力である「Q（横圧）」から脱線係数（ Q/P ）を求め、走行安全性の評価を行うもの。



図：横圧と輪重のイメージ

- ・ PQ測定試験については、「駅東口から平石の区間」において、安全性を確認しながら段階的に速度を上げ測定。
- ・ ただし、限界脱線係数1.25に安全率1.2を考慮した値1.04に余裕がないときは速度向上を行わない。
- ・ なお、限界脱線係数は、最初に脱線したと推定される車輪背面側（図右）ではなく、フランジ角度が小さいフランジ正面側（図左）に対して求めたもので、安全側の目安値である。
- ・ この他、小型カメラによる台車ストッパーの接触状況や車輪とレールの接触状況等を確認



○ PQ測定試験の測定速度の結果

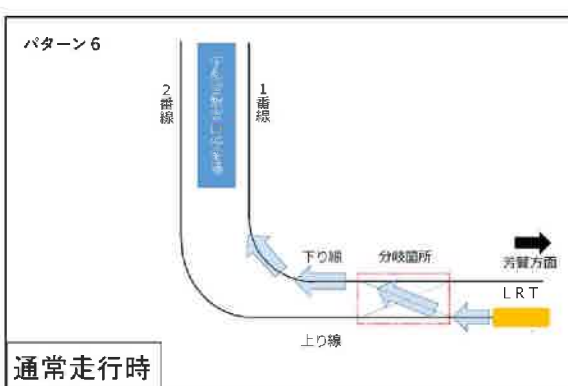
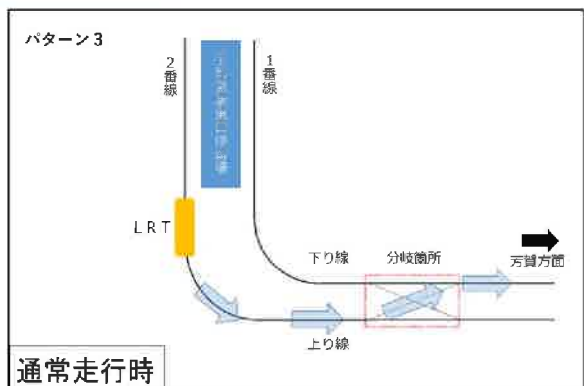
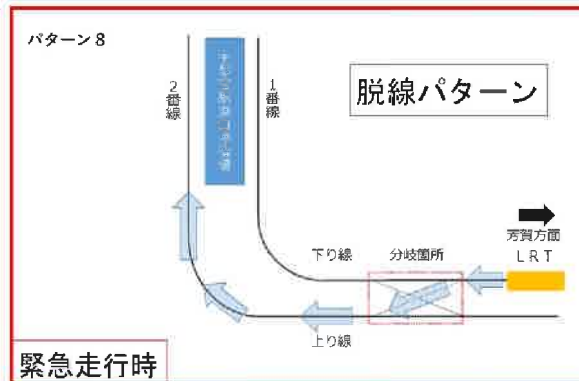
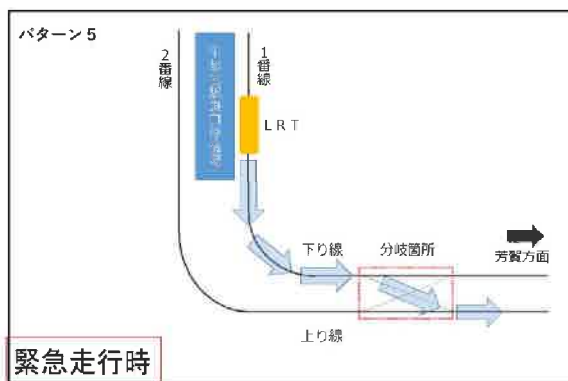
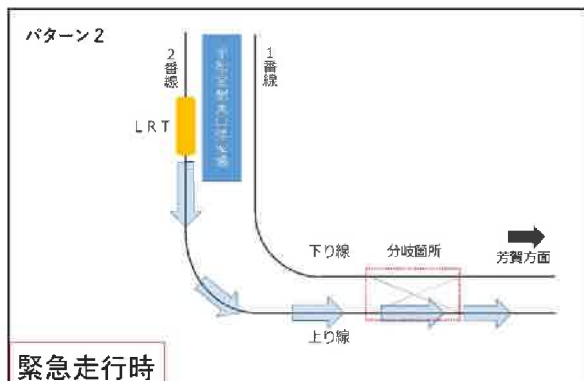
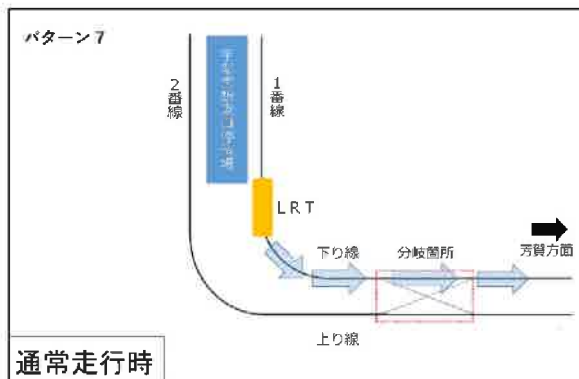
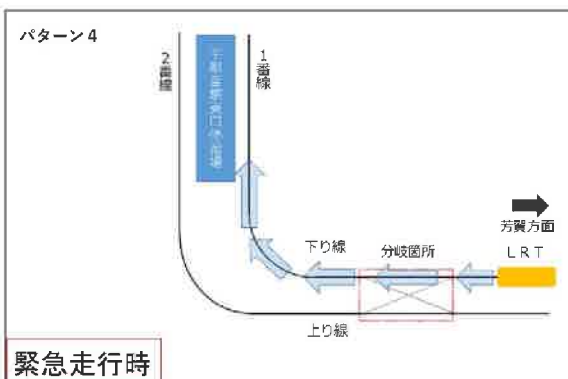
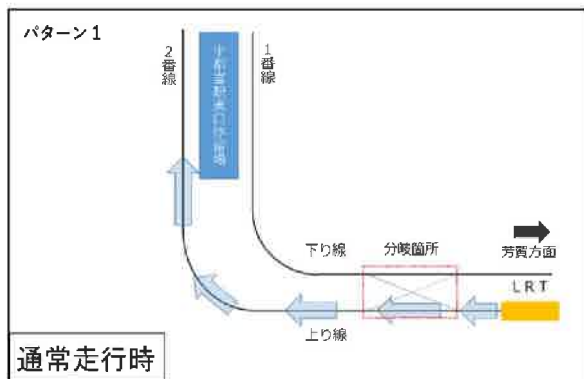
- ・ 段階的に安全性を確認した結果， 駅東口区間の速度向上については， パターン1， 4で7km/h， パターン6で7km/h， 10km/hのみ実施。
- ・ それ以外のパターンについては， 測定時に脱線係数が高かったことから速度向上は行っていない。(5km/hのみ実施)
- ・ 駅東口以外の区間については， 予定通り段階的に速度を上げながら測定を実施。

表：PQ測定試験の測定速度

	5km/h	7km/h	10km/h	15km/h	20km/h	25km/h	30km/h	35km/h	40km/h
駅東口(R25⇔分岐) パターン1~7	○	パターン 1,4,6	パターン6						
脱線ルート (分岐⇒R25) パターン8	○	—	—						
峰立体(下り50%)				○	○				
直線区間				○	○	○	○	○	○
平出立体 (R100, 下り40%)				○	○	○			
平石停留場分岐	○	○	○						
入出庫線(R30)	○	○	○						

○ 駅東口におけるPQ測定試験の確認パターン

- 駅東口におけるPQ測定試験の確認パターンは以下のとおり。
(通常走行4パターン、緊急走行4パターン 計8パターン)



○ パターン8の測定結果について

■ P Q測定試験等の結果

①脱線係数, ②横圧, ③輪重の赤線は、先頭内側車輪（内軌側）
 緑線は、先頭外側車輪（外軌側）

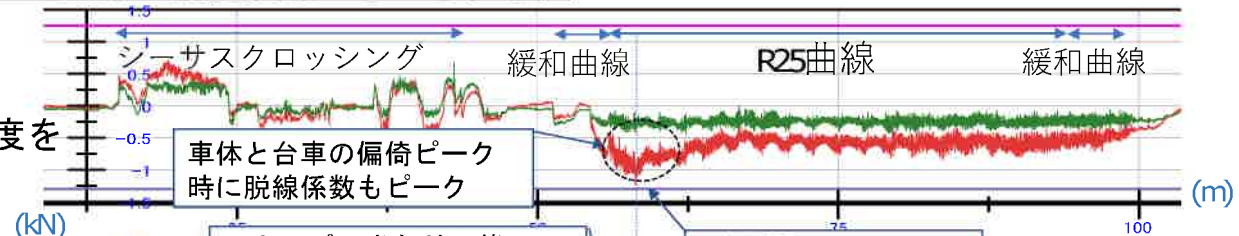
【横圧と脱線係数について】

- ・ 曲線部はR25の急曲線であることから、大きな横圧（②）が発生している。
- ・ 脱線係数（①）が高い箇所では、シーサスクロッシングから曲線に入るS字曲線走行時の車体偏倚（④）により、車体と台車間との間隙が狭まった結果、ストッパー当たりが発生し、内軌側車輪フランジ背面の横圧が高まったことが確認された。
- ・ 緩和曲線部の入口付近において、横圧の増加が見られないことから、内軌側車輪フランジ背面による案内が十分にできていない可能性がある。

※高い横圧に加えて、台車ストッパーへの強い当たりが発生しているところで、横圧及び脱線係数がピークとなっており、この強いストッパー当たりが脱線要因と考えられる。

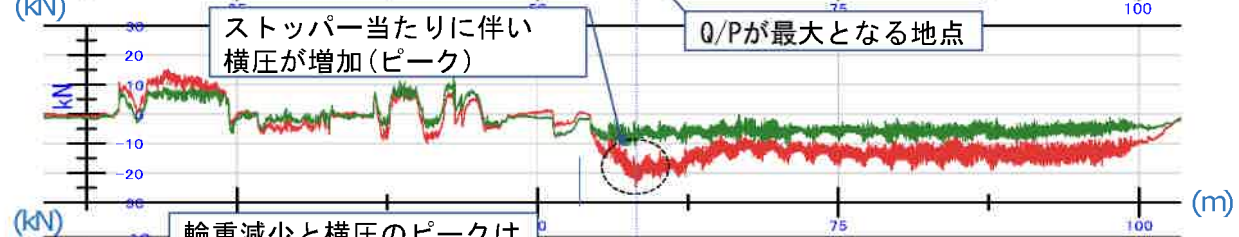
①脱線係数【Q/P】

（横圧と輪重から脱線に対する安全度を
 確認するもの）



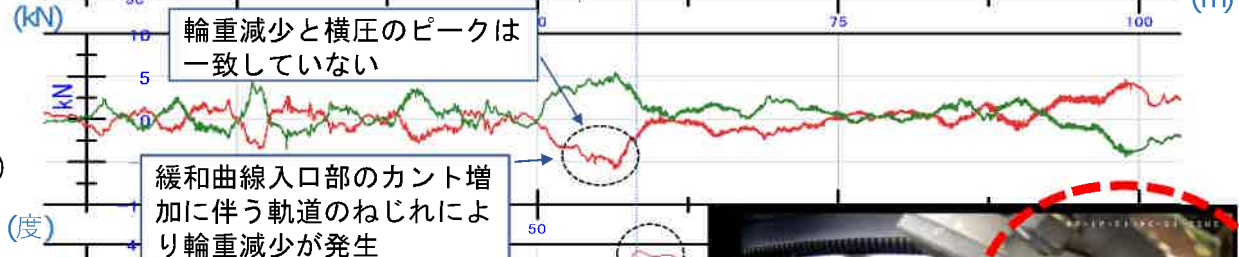
②横圧【Q】

（遠心力などにより車輪がレールを
 水平方向に押す力）



③輪重【P】

（車輪がレールを垂直方向に押す力）



④偏倚(旋回角)

（曲線での車体と台車の角度）



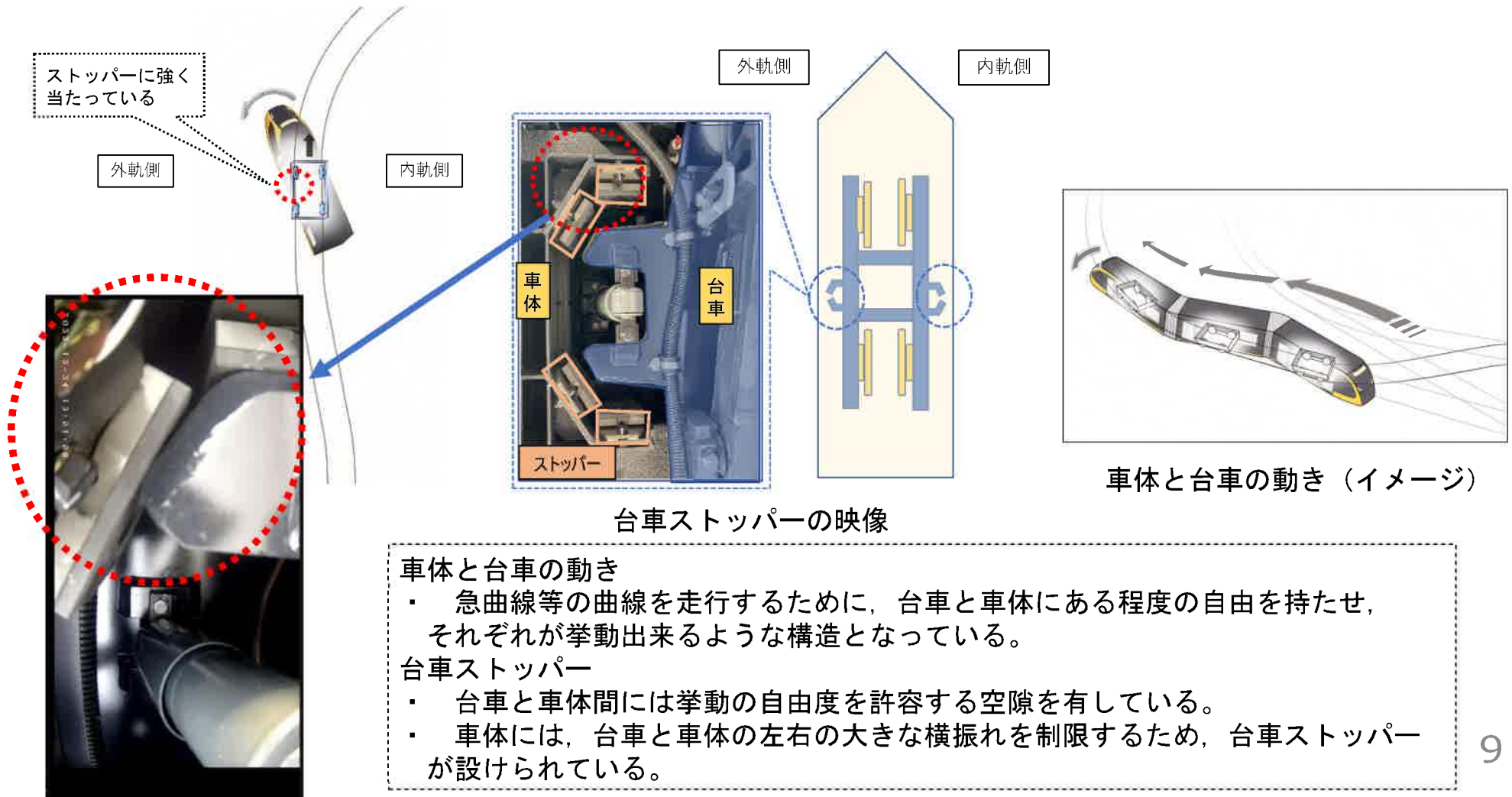
○ パターン8の測定結果について

【偏倚（旋回角）について】

- ・ 台車からの車体の偏倚は、他の走行パターンに比べ、走行経路がS字曲線となる（反向する曲線の半径や曲線間の距離が最も小さくなる）パターン8が最も大きい。

【台車ストッパーの接触状況について】

- ・ PQ測定試験時のカメラ映像により、横圧がピークとなる瞬間に車体が台車ストッパーに強く当たっていることが確認された。



車体と台車の動き

- ・ 急曲線等の曲線を走行するために、台車と車体にある程度の自由を持たせ、それぞれが挙動出来るような構造となっている。

台車ストッパー

- ・ 台車と車体間には挙動の自由度を許容する空隙を有している。
- ・ 車体には、台車と車体の左右の大きな横振れを制限するため、台車ストッパーが設けられている。

○ パターン8の測定結果について

【ドライブレコーダーの映像の解析】

- ・ シーサスクロッシングを通過後にR25の曲線に入るため、車体は左右に大きく振られることになる。車体の最大振れ幅（右最大から左最大まで）を移動するのに要する時間を解析した結果、5km/h走行時は7秒であったのに対し、脱線時の13km/h走行時は2秒であった。
- ・ 脱線時と同じ運転パターン（上記脱線係数走行試験のパターン8に相当）で5km/h走行時と、脱線時（13km/h）とを比較した結果、車体の左右の振れ幅は同等であった。この運転パターンでは台車と車体間でストッパー当たりが生じるため、偏倚量に差が出ないためと考えられる。

【右首振り最大時】



【左首振り最大時】



最大偏倚時の車体旋回時間

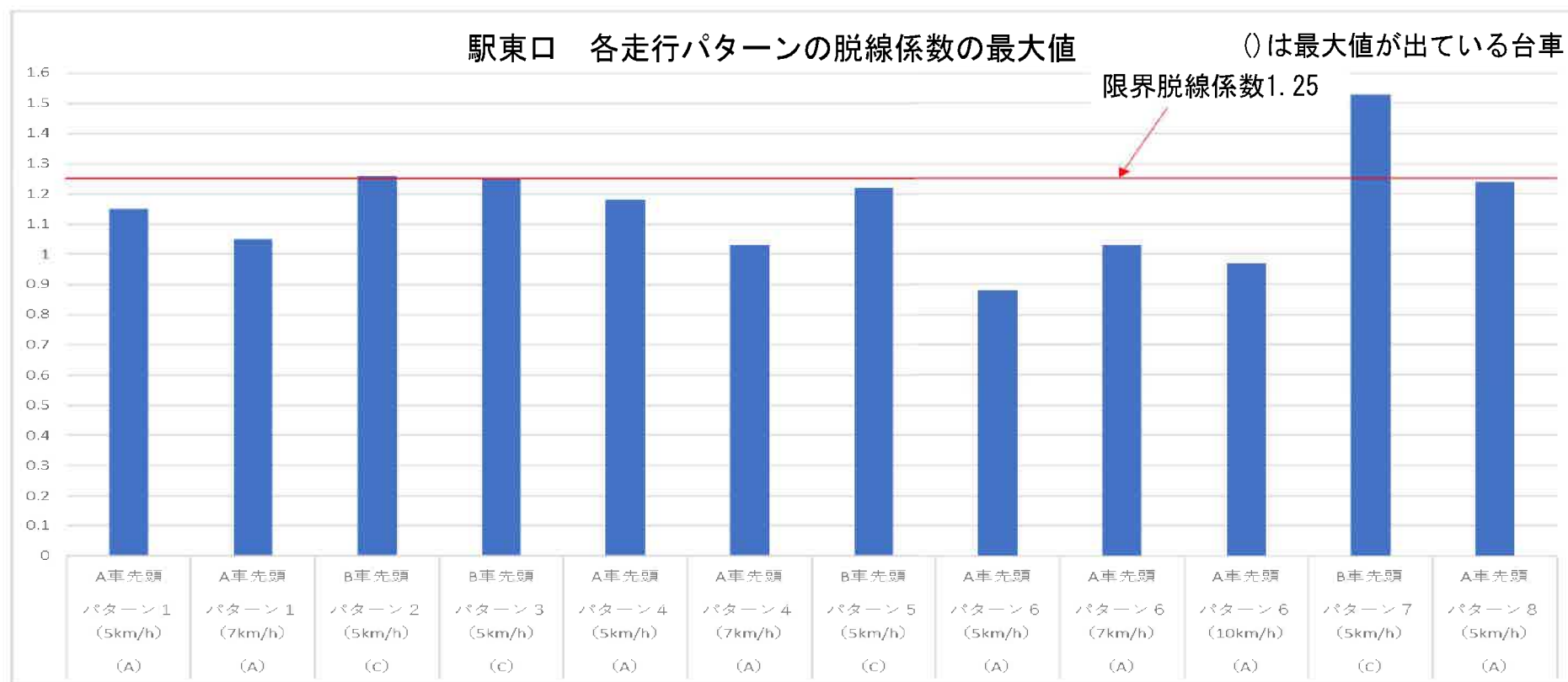
走行速度	車体の旋回時間	旋回速度
5km/h	約7秒	約0.36km/h
13km/h (脱線時)	約2秒	約1.26km/h

○ 駅東口の各走行パターンの測定結果について

■ P Q測定試験等の結果

【脱線係数について】

- ・ R25という急な曲線であることから、走行パターンや進行方向によらず、大きな横圧が発生している。
- ・ 脱線係数については、高い傾向がみられ、「パターン2, 3, 7」では、曲線入口付近で限界脱線係数1.25を超えていた。なお、今回の限界脱線係数を超えたパターンにおいて、レールと車輪の接触状況を小型カメラで確認したところ、乗り上がりは見られていない。
※ 限界脱線係数については、乗り上がり（車輪のフランジが上昇し始める）が生じるリスクを評価する際の最小の値であり、ただちに脱線が発生するものでない。
※ 加えて、パターン1～7については、台車ストッパーへの強い当たりが小型カメラ映像で確認されなかった。



【参考】

カントについて

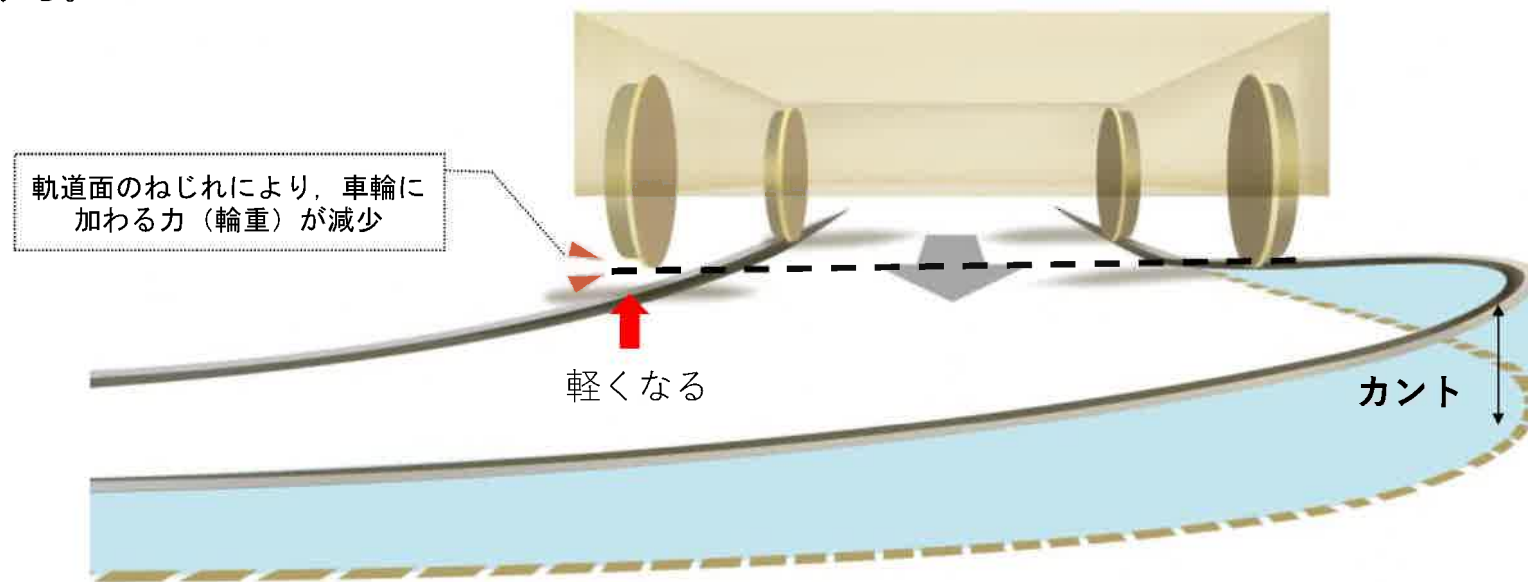
- ・ 車両が曲線部を走行する場合には外方に遠心力が働くため、車両の転倒を防ぐとともに乗り心地を良くするために外側のレールを高くするカントが設けられている。

緩和曲線について

- ・ 直線から曲線に移るとき、遠心力の変化を逡減し、車両を安全、快適に走行させるため、徐々に変化させる。

輪重減少について

- ・ 緩和曲線部におけるカント取付に伴い軌道面がねじれることにより、車輪に加わる力(輪重)が減少する。



輪重減少のメカニズム (イメージ)

【台車ストッパーの接触状況について】

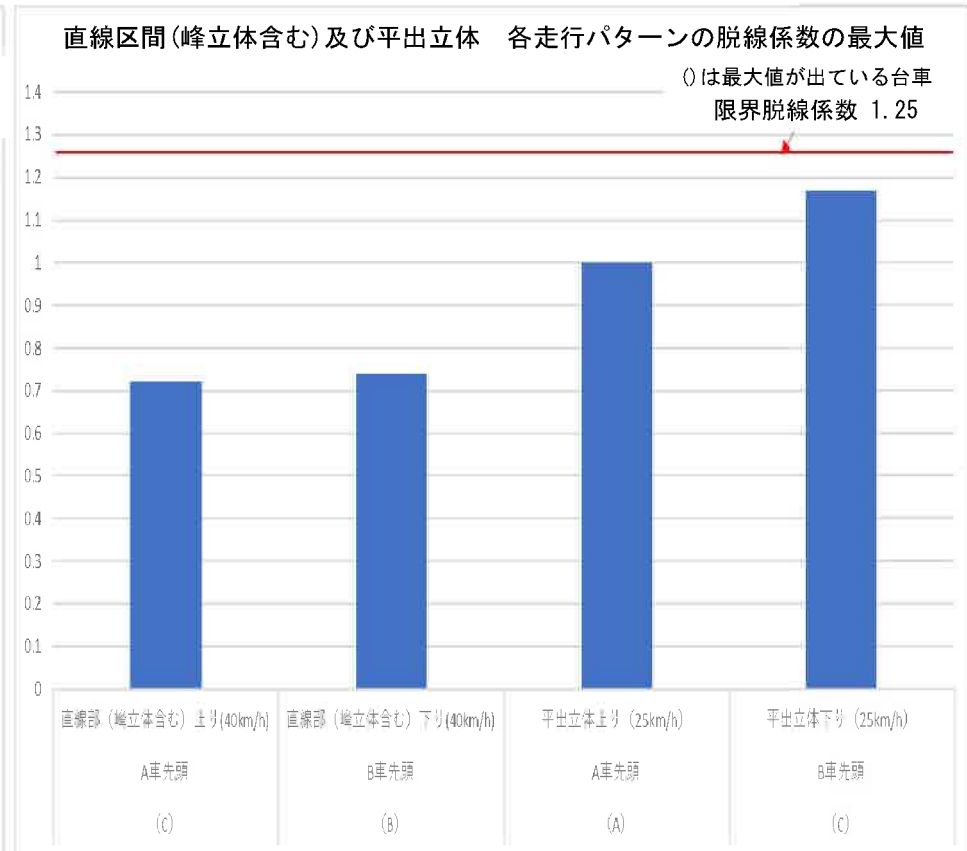
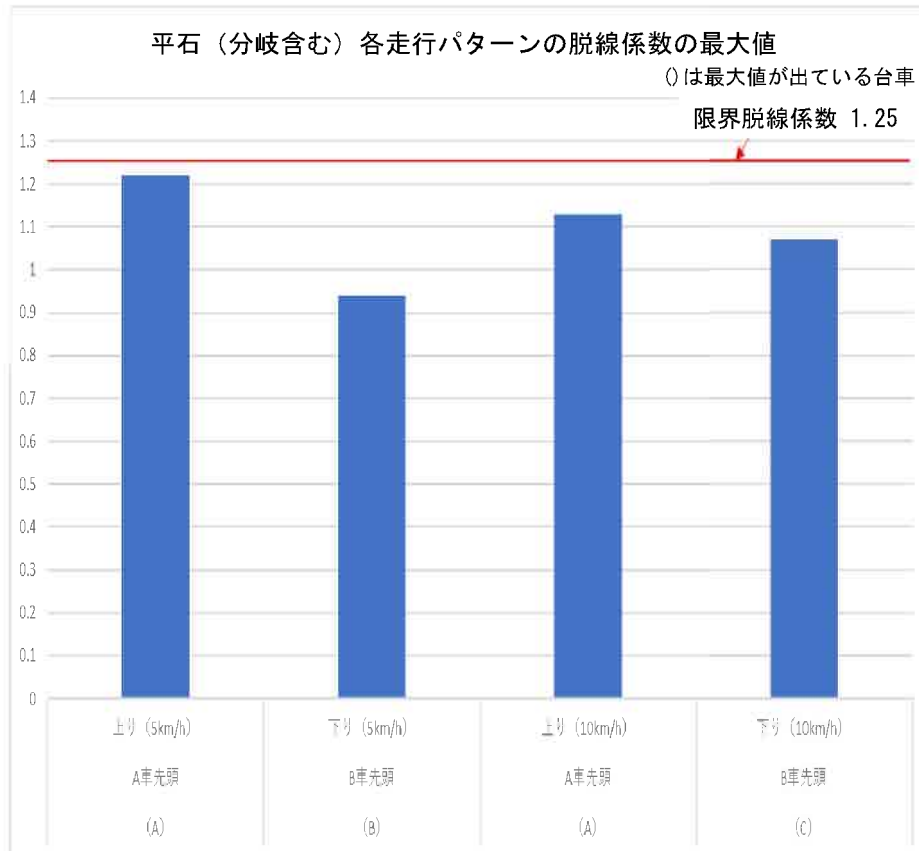
- ・ パターン1～7については、台車ストッパーへの強い当たりが小型カメラ映像で確認されなかった。

○ 駅東口以外の区間における測定結果について

■ P Q測定試験の結果

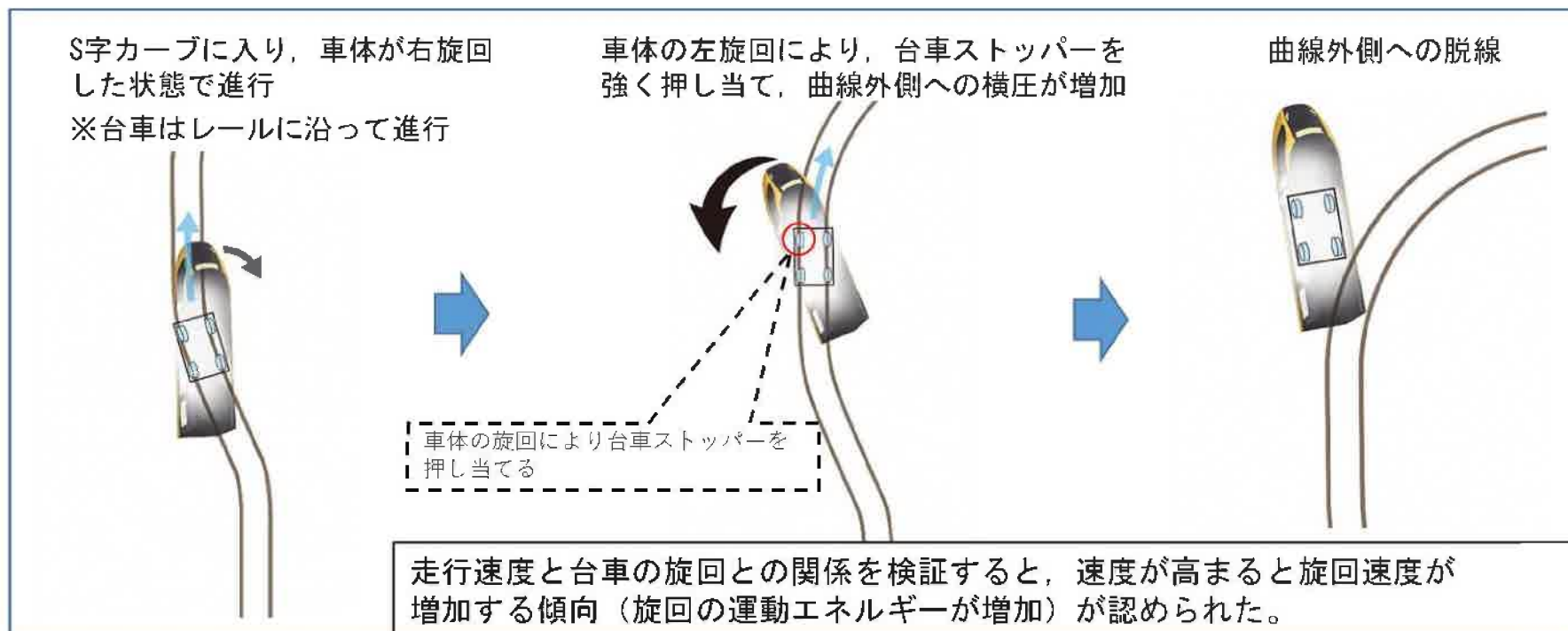
【脱線係数について】

- ・ 「平石区間 (R30, カントなし, 緩和曲線なし)」については, 5km/h, 10km/hともに, 限界脱線係数を下回っているものの, 上り, 下りとも脱線係数が高い傾向がみられ, 曲線入口で最大値となっていることが確認できた。
- ・ 「峰立体 (勾配区間)」, 「直線区間」, 「平出立体 (勾配及び曲線)」においても, 各走行速度で限界脱線係数を下回っていることが確認できた。



○ 測定結果より推察される脱線原因等について

- パターン8においては、シーサスクロッシングとR25の曲線が近接しているため、S字曲線を通過することになり、車体は台車を中心に左右に大きく振られる。これにより車体・台車間の偏倚量は大きくなり、ストッパーに当たりが生じ、ストッパー当たりの衝撃は横圧の増加につながる。
- 13km/h走行時には、速度の増加によりストッパー当たりの衝撃も増加し、車体から台車に大きな力が加わり、先頭軸内軌の背面横圧も著大となった結果、車輪が軌道を逸脱し脱線に至ったものと推定される。
- 13km/h走行時にはより強い遠心力により内軌側輪重も減少することから、これによる脱線係数の増加も脱線に影響したと推定される。
- パターン8以外の各走行パターンにおいては、台車ストッパーへの強い当たりは確認されなかったものの、急曲線であるため、走行パターンや進行方向によらず横圧が大きいことに加え、緩和曲線部の輪重減少の影響により高い脱線係数が発生したものと推定される。



○ 対策について

【脱線事故に対する対応】

- ・ シーサスクロッシング単体及びR25曲線単体の制限速度は、それぞれ15 km/hとしているが、その二つが近接し、S字曲線であるシーサスクロッシングから連続して急曲線に進入する特殊な走行パターンでは、制限速度を単体の場合より引き下げる必要がある。今回の測定結果から、その二つの近接の解消が困難な場合については、パターン8の走行速度は5 km/hとすることが望ましい。

【急曲線の脱線係数が高いことに対する対応】

- ・ 内軌側に作用している大きな横圧への対策としては、既存の施設で調整が可能な3 mm程度軌間を縮める調整を行うことで、内外軌双方に横圧を分散させることが望ましい。
- ・ 遠心力による内軌側の輪重減少を防ぐためには、曲線の通過速度を引き下げる。
また、輪重減少に起因する脱線を予防するためには、線形に起因する軌道の平面性変位を小さくする必要があり、カントを無くすか、カント量を減らすなどにより構造的な平面性変位を低減させる方法をとる必要がある。
- ・ 軌道の平面性を確保する対策を講じた後に、再度PQ測定試験を行って、安全性を確認する必要があると考えられる。

【当該区間の運行速度の設定】

- ・ パターン8以外の制限速度については、対策を講じた上で、再度PQ測定試験を行い、評価した上で、設定することが望ましい。

【摩耗防止策の検討】

- ・ なお、横圧が大きいことが確認されており、運行の状況などによっては、レールや車輪の摩耗が懸念されることから、その状況を踏まえ、必要に応じて、摩耗防止策について検討していくことが望ましい。

○ 考察を踏まえた市の対策の実施について

【急曲線の脱線係数が高いことに対する対応】

- ・ 脱線係数が高くなる要因となっている内軌側の輪重減少を抑えるため、カントを無くす工事を実施し、軌道の平面性を確保することにより、脱線係数を下げる。
- ・ また、工事にあわせ、大きな横圧の対策として、内外軌双方に横圧を分散させるよう、3mm程度軌間を縮める調整を行う。
- ・ 対策工事を実施した後に、再度PQ測定試験を行って、安全性を確認する。

【当該区間の運行速度の設定】

- ・ パターン8の制限速度については、5km/h以下とする。
- ・ パターン8以外の制限速度については、対策工事を行った上で、再度PQ測定試験を行い、評価した上で、設定する。

【摩耗防止策の検討】

- ・ 摩耗防止策の検討については、維持管理を行う中でレールや車輪の摩耗状況を確認しながら、その状況に応じて必要な検討を行っていく。

○ 対策工事の実施について

【工事内容】

- ・緩和曲線及び本曲線部のカントを無くす工事
(軌間を縮める調整を含む)

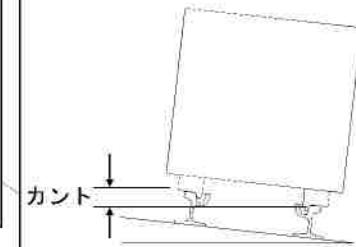
【工事予定】

- ・令和5年3月15日～ 舗装版撤去、カントを無くす工事

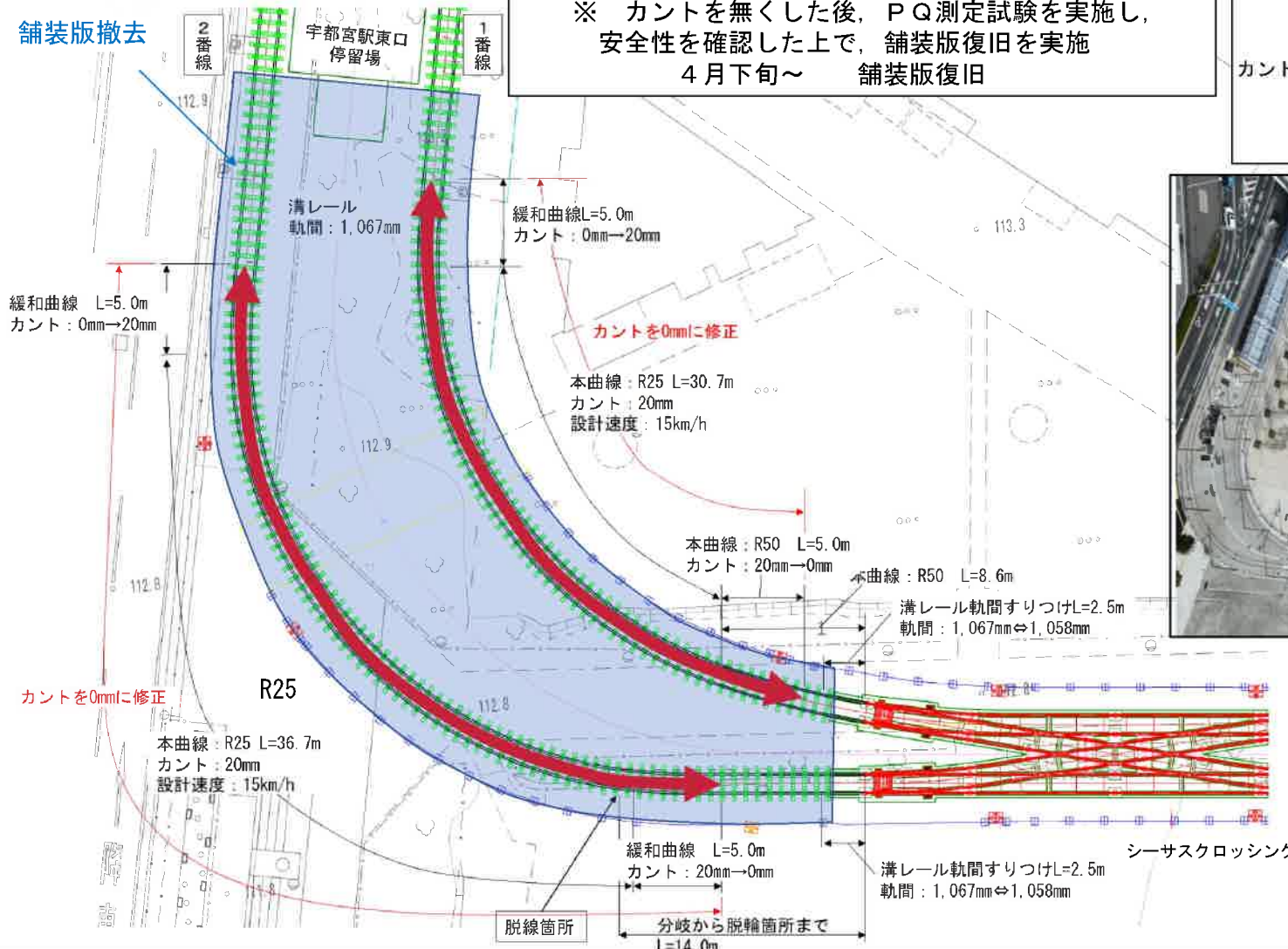
※ カントを無くした後、PQ測定試験を実施し、安全性を確認した上で、舗装版復旧を実施
4月下旬～ 舗装版復旧

カント

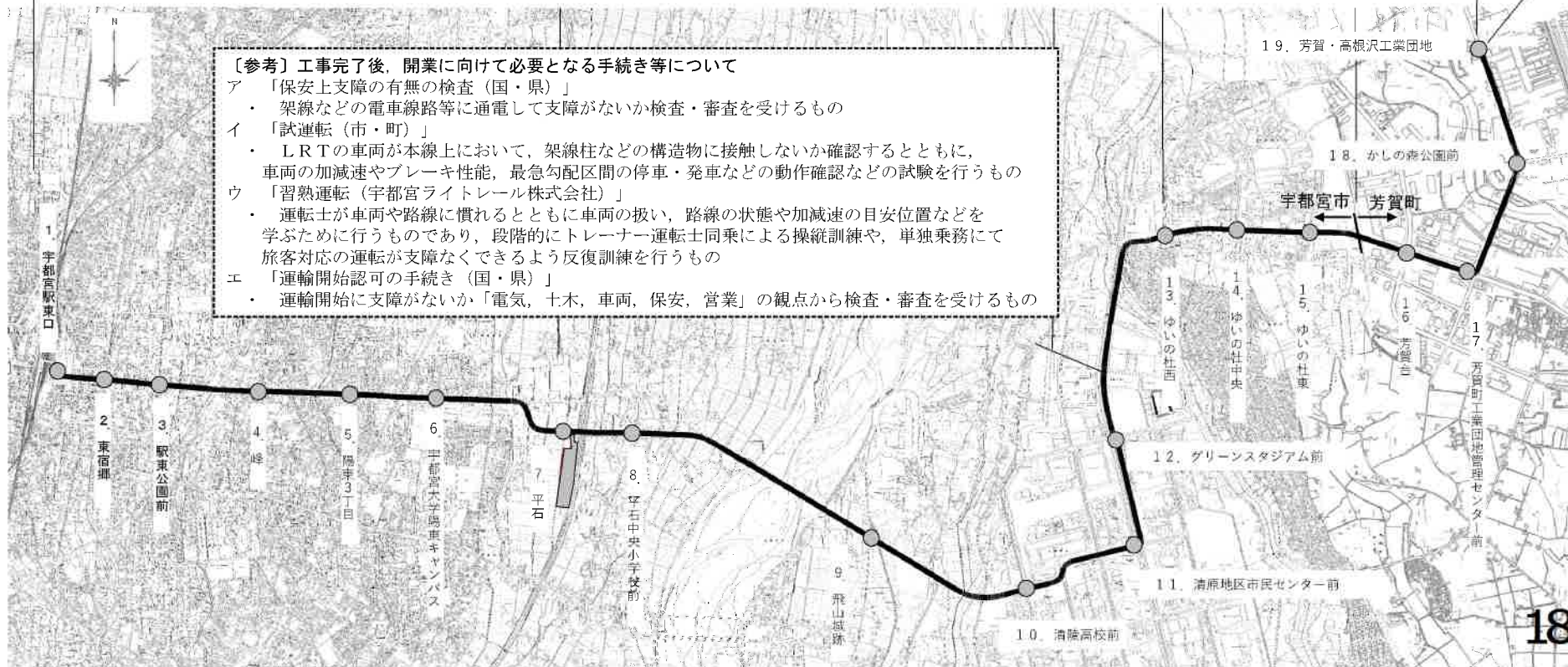
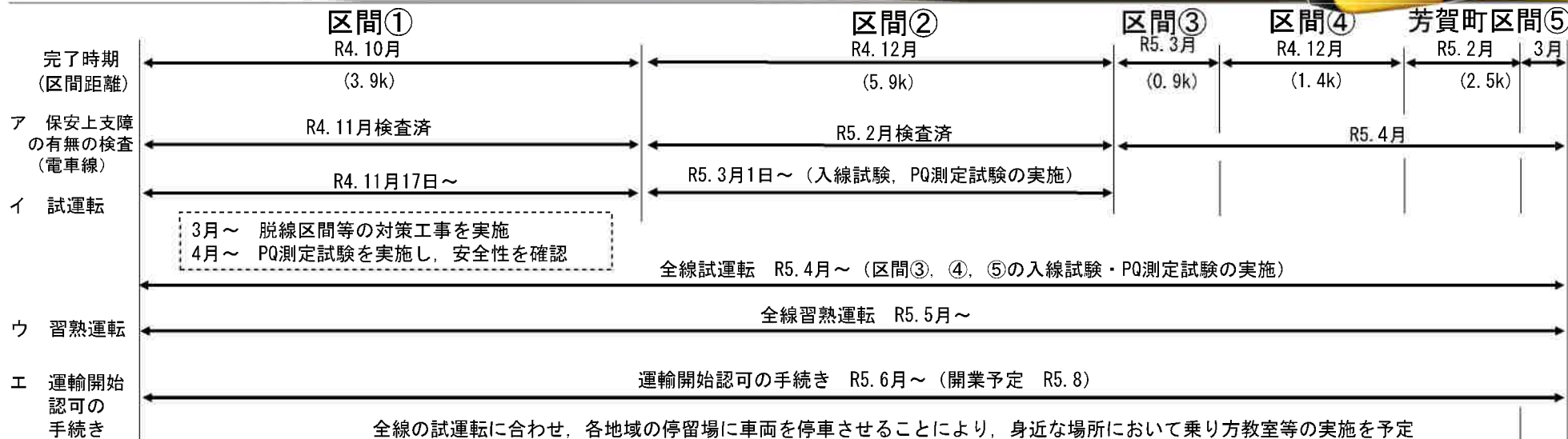
(内側と外側のレールの高低差)



舗装版撤去



▶ ③開業に向けたスケジュール



④「体験型の安全教室・乗り方教室等」について



- ・ 開業に向けて、交通ルールの周知・啓発が重要となるため、安全確認ポイントや乗り方講座などについて、実際の車両や停留場を活用した「体験型の安全教室・乗り方教室等」を実施
- ・ 平石中央小学校の全校児童を対象に、停留場や車両を活用して停留場への安全な出入りの仕方やICカードを利用した乗り方などを説明

(R5 2 28 平石中央小学校・平石停留場付近)



⇒ 今後も地域や学校等の意向を踏まえながら、交通結節点である清原工業団地トランジットセンターなどにおいて準備が整い次第、順次、実施予定

⑤「LRT停留場の壁面デザイン」について



全19停留場の壁面デザインが決定

・ 壁面デザインについては、停留場の壁面の一部にその地域の特色などを表現する取組として、「LRTデザイン部会」においてガイドラインを定め、市民・町民の参加によってデザインを選定することとした。

・ LRT沿線6地区でのワークショップを実施し、地域の特性や資源等に精通する、デザイン制作等の専門家団体である「栃木県デザイン協会」の協力を得ながら、地域の皆様とともにデザインを選定した。(各デザインは「別紙」のとおり)

(ワークショップの様子)

(デザイン例:飛山城跡)



※ 決定したデザインシートの掲出に当たり、法人・団体の皆様がスポンサーとなり、一緒に事業を作り上げる取組として、寄附を募集

【参考】ワークショップの取組経過

R2 9~12:清原

R3 6~12:平石

R3 9~12:陽東

R4 1~3:峰, 今泉

R4 8~9:芳賀

「県都 宇都宮」

宇都宮市は栃木県の政治・経済・文化の中心です。市内で採掘される大谷石は人々の暮らしに溶け込み、独特な景観を創り出しています。また、戦後より餃子専門店が数多く並び、餃子のまちとして有名なほか、国内屈指の実力派バーテンダーがそろうカクテルのまちや、世界的なジャズプレーヤーを輩出したジャズのまちとしても知られています。さらに、アジア最高位の自転車ワンデイロードレースや3人制バスケットボール「3 x 3」の国際大会も行われるなど、さまざまな魅力にあふれたまちです。



02 東宿郷

「未来へつなく確かな時間」

東宿郷のある「宿郷」は、小倉百人一首にゆかりのある「宇都宮頼綱」が念仏堂を建立したと伝わる地であり、800年の歴史を刻む地名です。現在では、歩行者・自転車専用の遊歩道が整備され、ハナミズキの開花期や紅葉の頃の景観はとても美しく絶好の散歩コースとなっています。遊歩道に面する高架橋は「スカイブリッジ」の愛称で親しまれており、シンボリックなデザインが目を引きまします。また、付近にはバーが立ち並び、美味しいカクテルや素敵な生演奏のジャズを存分に楽しめます。



03 駅東公園前



「憩う、躍動する」

「駅東公園」は、自由広場やプール、噴水などを緑道で結んだ公園です。公園内にある複合型遊具は、子どもたちに大人気。園内の「いちよう並木」は“うつのみや百景”にも選ばれ、紅葉の時期には多くの人で賑わいます。奈坪川沿いの遊歩道には、背の高いポプラ並木があり散策コースとしてお勧めです。公園東側には、日本を代表するプロバスケットボールチーム「宇都宮ブレックス」のホームアリーナがあります。また、宇都宮白楊高等学校には、インターハイで優勝経験のある馬術部があります。



04 峰



「峰に集う」

峰にある宇都宮大学のフランス式庭園は、歴史ある貴重な文化財にもなっている地域の誇りがある庭園です（大正15年完成）。豊かな自然や木々の美しさを身近に感じ取り、深呼吸できる憩いの場であり、人々が集うくつろぎの場所となっています。峰には、他にも「峰（みね）」の付く場所がたくさんあります。人々を見守ってきた鶏峯神社、未来をつくる峰小学校など、峰を探しに、峰に集い、散策してみてください。



05 陽東3丁目



「みどり育む産業の未来」

停留場周辺に立ち並ぶ住宅街の東には都市計画道路「産業通り」が軌道を横切っています。緑の街路樹が続く産業通りを中央に、東西に事業所が連なる平出工業団地は日本でも有数の内陸型工業団地です。団地の東端には緑豊かな公園もあります。また南端にある県立県央産業技術専門学校は未来を担う産業人材を養成しています。停留場北側には市立サッカー場やうつのみや百景に選出された「越戸せせらぎ通り」があり、人々に親しまれています。



06 宇都宮大学陽東キャンパス



「さくらが紡ぐ街」

宇都宮大学陽東キャンパスには、工学部、地域デザイン科学部などがあります。大学の構内は桜やイチョウ、メタセコイヤなど樹々の緑にあふれ、芝生も広がっています。キャンパスの周辺は、大型商業施設や金融機関なども立地し、暮らしの利便性を併せ持つ文教地区です。陽東さくら通りの桜並木は、かつてこの地域に工場があったシンガー日綱（日パインマシン製造）の社員によって1950年代に植樹されたもので、毎年春には桜を楽しむ多くの人々ににぎわいます。



「自然と人の営み」

鬼怒川の西側に広がる平石地区は、水はけの良い砂地で大規模な稲作が行われている水田地域です。田植えの時期のきらめく水面、秋の黄金になびく稲穂は、自然と人の営みを感じさせる美しい風景です。毎年7月第4日曜日に行われる平出雷神社の荒天祭りでは、地域住民は長さ20m以上の大竹による荒天を揉みながら参道を昇り、疫病退散・風水害除けを祈願します。



「明日へ、未来へつなぐ」

平石地区には創立100年を超える小学校が2校あります。この停留場の名称になった平石中央小学校と北の平石北小学校です。この2校の児童たちが撮影した学校や地域の写真で構成された壁面デザインが実現しました。未来は子どもたちのために、私たちが繋いでいく地域資源は大切な子どもたちのために継承されていきます。スポーツや勉学に励みながら今日も豊かな環境で子どもたちは明るく元気に日々を過ごしています。



09 飛山城跡



「浪漫の兆し」

鬼怒の清流を眼下にみた鬼怒川左岸の段丘に「飛山城跡」あり。鎌倉時代後半、芳賀高俊によって築城され、豊臣秀吉の命により破却されるまで約300年におよび芳賀氏の重要な拠点として機能した。南には富士を望み、古代の人々は「烽火」を置いた。昭和52年（1977年）国史跡に指定された先人の軌跡をたどる清原の史跡。



10 清陵高校前



「未来を育む、大地の恵み、豊かな自然」

この停留場の近くには、清原中学校、清陵高校、作新学院大学が集まる「未来を育む」学園都市、春に桜の広場で開催され、地域の人々で賑わう「清原さくら祭り」、地域を彩る色鮮やかな梨やトマト、蘭などの「大地の恵み」。5月頃になると、樹齢約100年の上籾谷のフジが、ゆったりと花房を伸ばしたくさんの花を咲かせます。夏になると黄色い花を咲かせるシモツケコウホネやオオムラサキなど、四季折々の景色が楽しめる「豊かな自然」に恵まれた地域です。



11 清原地区市民センター前



「人と自然と産業の共存」

複数の河川や街道が通る宇都宮は、古くから物流や産業の拠点として発展しました。市東部には工業団地が造成され、様々な工場・企業などが軒を連ねています。その中でも清原工業団地は内陸型としては、国内最大の規模を誇る工業団地であり、広い道路と緑豊かな並木、スポーツ施設などが充実し、人、自然、産業が共存した街並みを形成しています。



12 グリーンスタジアム前



「駆け抜ける！そして未来へ」

栃木サッカークラブのホームスタジアムとして知られる栃木県グリーンスタジアムは、サッカー・ラグビーの専用スタジアムのため選手との距離感も近く、サッカーではJリーグの試合を間近で感じられ、迫力満点の攻防が観戦できます。清原工業団地は、国内最大規模の内陸型工業団地で、広大な景色が広がります。3号緑地には、ディスクゴルフのコースや複合遊具があり、春には「桜の広場」の桜、秋には銀杏の紅葉が楽しめます。



13 ゆいの杜西



「憩いの地、新しいのに懐かしい」

「とちぎのふるさと田園風景百選認定地」に選ばれた水面と桜の美しい刈沼町のかりぬま親水公園や、いつも子どもたちの笑顔や声であふれるテクノさくら公園は、豊かな自然に恵まれた地域の憩いの地です。飛山城を築くにあたり鬼門除けとして崇敬された三嶋神社、明日を拓く産業交流拠点の産業創造プラザは地域の歴史と未来を感じさせてくれます。



14 ゆいの杜中央



「子どもの笑顔が最優先の街、ゆいの杜」

令和3（2021）年4月開校のゆいの杜小学校からは、毎日子どもたちの元気な声が聞こえてきます。色とりどりの小さな手形に、地域の子どもの豊かな感性やたくましさが見られています。地域の方々とふれあい、家族のふれあい、その中心にある地域とともにある小学校は地域の人々の大切な場所になっています。



15 ゆいの杜東



「いつだって、この街の優しさが育まれている」

ゆいの杜のシンボルとして、地域住民を包み込むように見守る雄大な一本杉。朝から子どもたちは楽しく遊び、ベンチで語り合い、テクノ一本杉公園は地域のふれあいの場として人々に愛されています。土壌に恵まれた大地には、みずみずしい梨やぶどうが実ります。広い空に朝日が昇り始めると、ゆいの杜の1日が始まります。



16 芳賀台



「自然と共に生きる街」

自然が多くこの芳賀台地区には、古く江戸時代に名主岡田八兵衛によって作られた唐桶溜池があります。鬼怒川から水を引く板戸用水を延長する導水工事を行い、用水不足に苦しんでいた農民達の窮地をすくった歴史あるため池です。現在は、農林水産省ため池100選にも選ばれており、四季折々の景色を楽しみ、冬には白鳥も飛来するため池は地域の憩いの場として親しまれています。



17 芳賀町工業団地管理センター前



「ロマンのまち」

芳賀町は、農・工・商が発展している町です。明治期、日本絵画のロマン主義を代表する画家「青木繁」が、恋人の女流画家「福田たね」（芳賀町出身）の実家で創作活動を行なうなどのゆかりがあったことから、町内には「ロマン」の名を冠した施設が数多く存在します。二人を記念した「ロマンの碑」をはじめ、町内のイベントなどで演奏される「芳賀町浪漫太鼓」の他、温泉施設や吊り橋、公園の名前などに名付けられています。



18 かの森公園前



「あたたかき集いし郷の今昔」

かの森公園では、さくら祭りが開催されるなど、移ろう季節の魅力や人々の営みを感じることができます。それらは芳賀の伝統行事にも表れており、未来に継承していきたい古(いにしえ)から続く、まちの人々の慈しみを兼ねた営みとして受け継がれています。LRTの開通により、まちの近代化と共に内外の人々にも、人のふれあいを通して、かの森公園や伝統行事がより愛されていくことを願います。



「アタラシイが始まる！うまれる！」

芳賀町と高根沢町にまたがる芳賀・高根沢工業団地は、東京から約100kmに位置し、豊かな水と緑にあふれた立地環境を活かし、自動車産業の大手企業とその関連企業を中心に、高度な技術を有する企業や研究所などが立地しています。栃木県の高度産業集積地域の中核工業団地としての役割を担うこの地から、未来へつながる「アタラシイ」が始まり、うまれています。



L R T 試運転中の脱線事故に関する原因の究明及び
再発防止策等に係る考察について
(中間報告)

令和5年2月17日

L R T 試運転中の脱線事故に関する原因の究明
及び再発防止策等に係る有識者会議

1 事故の概況について

(1) 日時

令和4年11月19日（土）午前0時30分

(2) 場所

宇都宮駅東口停留場付近 上り線 曲線部

(3) 事故概要

緊急時に使用する走行パターン（逆走）における分岐器のレールと車輪との接触状況を確認するため、図1のとおり下り線（芳賀町方面）から停留場（2番線）へ向けて速度約13km/hで入線試験を行っている際、停留場2番線に向かう曲線部において、先頭車（A車）の4輪、中間車（C車）の後方2輪が脱線した。

脱線時の状況について、1両目については、脱線後のレール上および舗装面の走行痕が残っており、先頭車輪の内軌側から脱線したことが推察される。また、2両目については、1両目の脱線後の衝撃により、脱線したことが推察される。

○ 脱線事故の概要（パターン8）

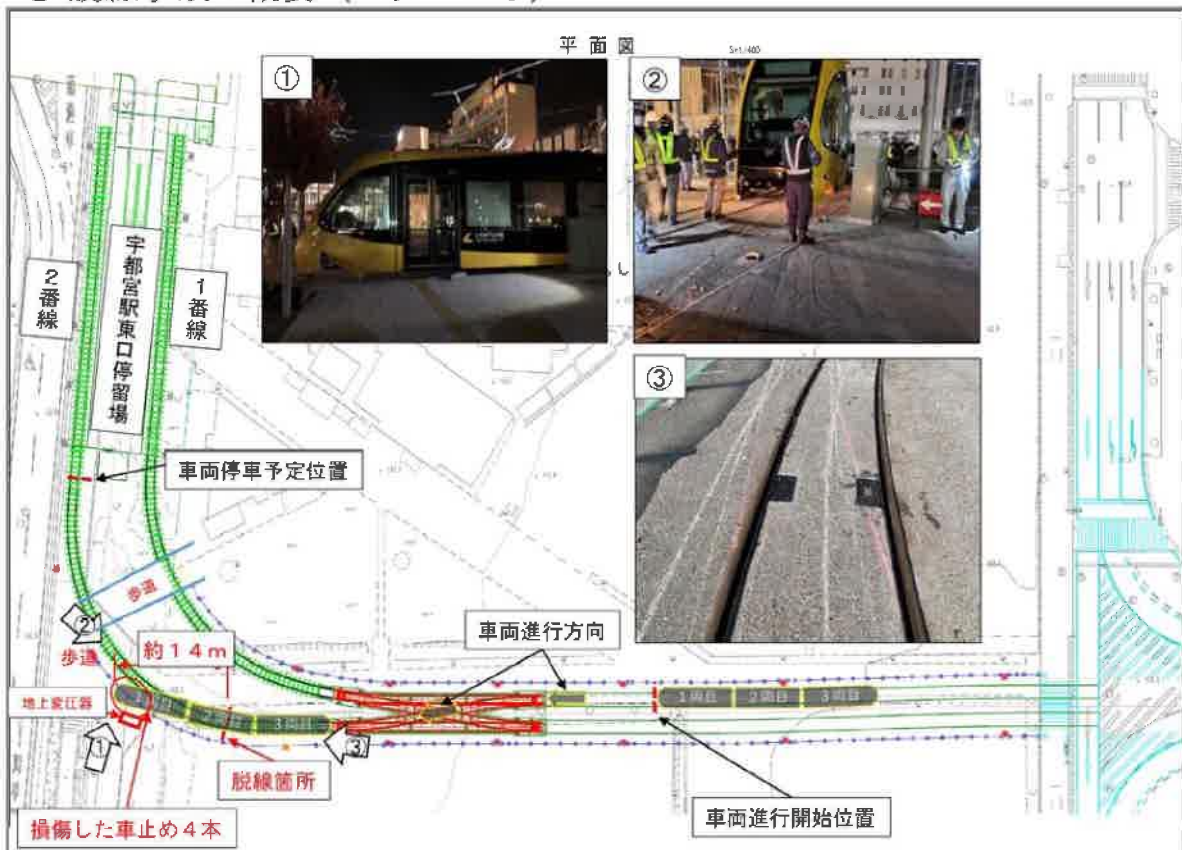
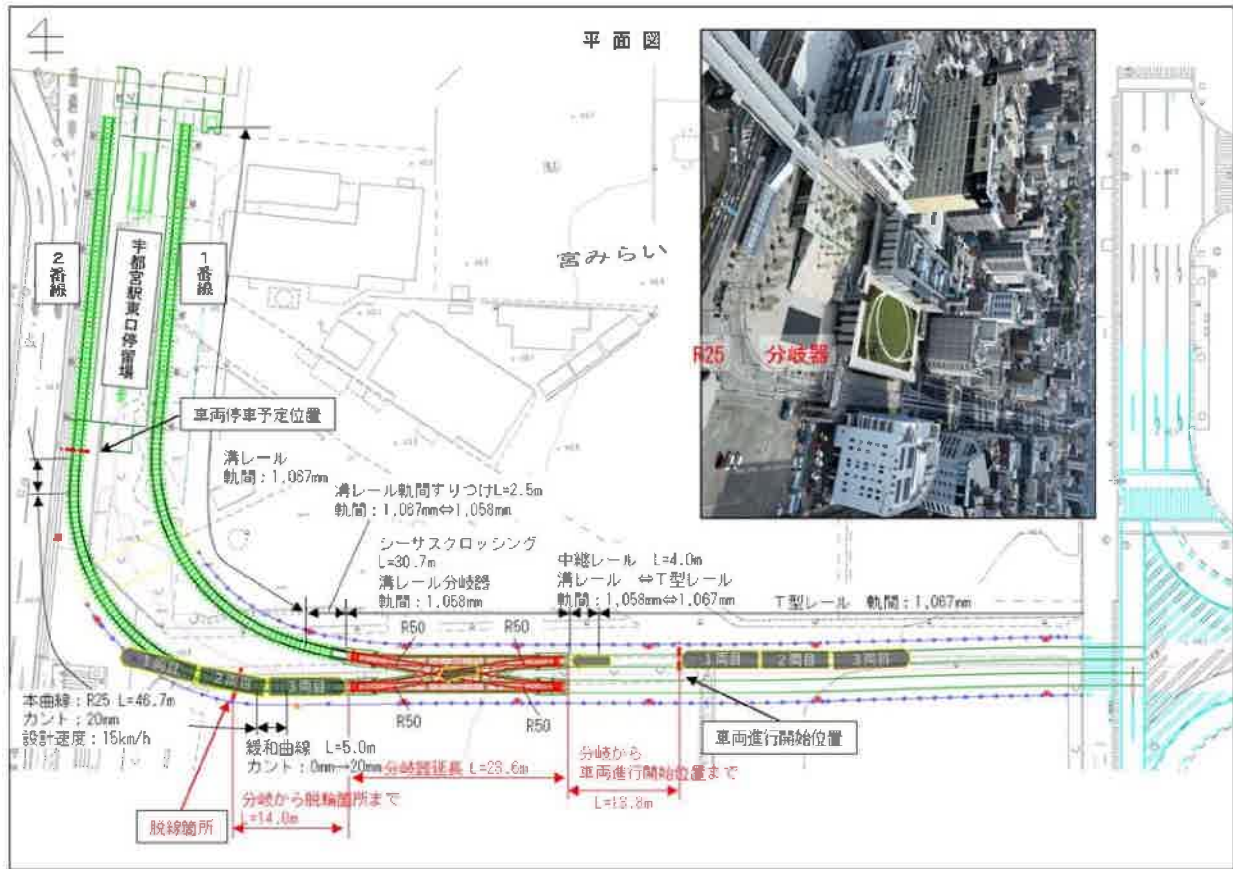


図1：事故概要

(参考) : 駅東口の設計諸元等



緩和曲線 :

- 曲線においても曲率を徐々に変化させるため、特殊な曲線を挿入する必要があり、この曲線が緩和曲線である。
- 車両が曲線部を走行する場合には外方に遠心力が働くため、これを平衡させるため、通常カントが付けられている。
- 直線から円曲線に移るとき、取り付け区間が必要となり、取り付け区間ではカントを徐々に変化させる必要がある。
- 一般的にカントは緩和曲線の中で、0mmから所定の値まで取り付けられる。

2 測定試験について

(1) PQ測定試験

図 2 のとおり車両の車輪がレールを下に押す力である「P (輪重)」と車輪がレールを横方向に押す力である「Q (横圧)」から脱線係数 (Q/P) を求め、走行安全性の評価を行うもの。



図 2 : 横圧と輪重のイメージ

- ・ PQ測定試験については、駅東口から平石の区間において、安全性を確認しながら段階的に速度を上げ測定。
- ・ ただし、限界脱線係数 1.25 に安全率 1.2 を考慮した値 1.04 に余裕がないときは速度向上を行わない。
- ・ なお、限界脱線係数は、最初に脱線したと推定される車輪背面側ではなく、フランジ角度が小さいフランジ正面側に対して求めたもので、安全側の目安値である。

(2) カメラによるモニタリング

- ・ PQ測定試験時には、図 3 のとおり台車に小型カメラを設置し、走行時における車体と台車ストッパーの接触状況や車輪とレールの接触状況等を確認。

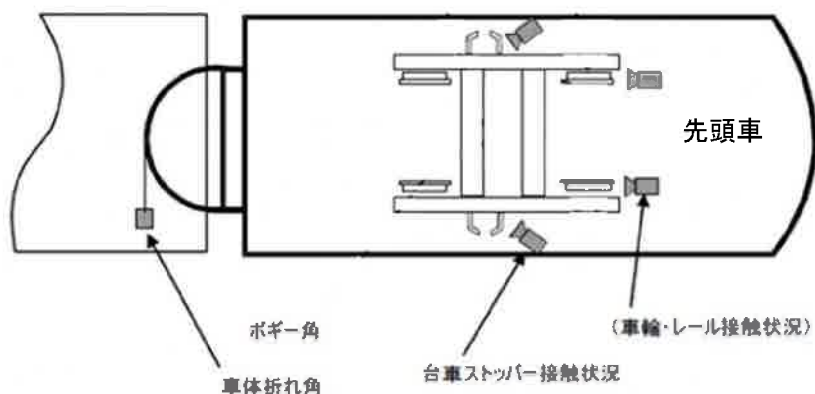


図 3 : 小型カメラ設置位置

(3) アタック角の測定

- ・ 図 4 のとおり駅東口の R 2 5 と平石の R 3 0 の急曲線で発生する横圧を分析するため、地上側にレーザー変位計を設置し、アタック角を測定することで、車輪踏面に作用する摩擦力の影響などを把握。
- ・ アタック角が、 0.6° 以上と確認されたときは、摩擦係数は飽和し最大となる。

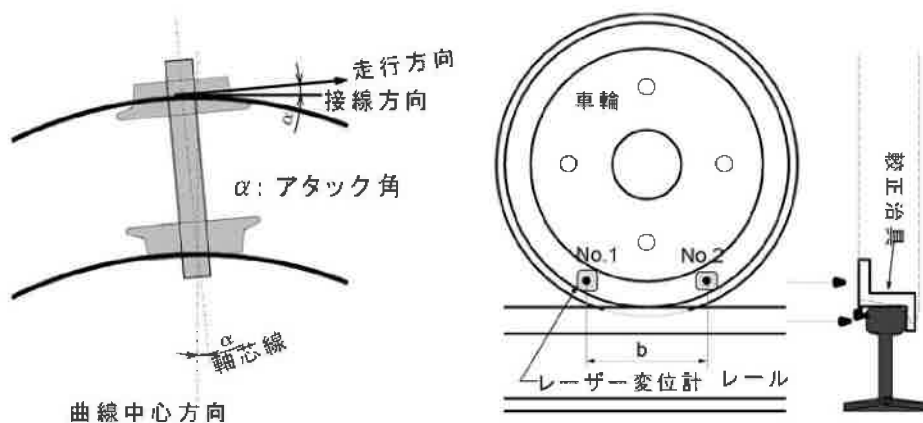


図 4 : 地上側からのアタック角測定方法

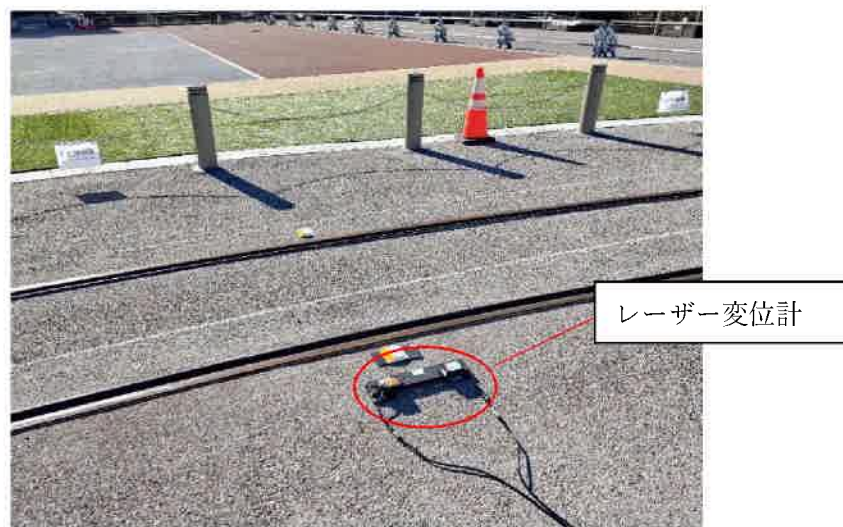


写真 1 : 脱線箇所のアタック角測定写真

3 PQ測定試験の測定速度の結果（表 1）

- ・ 段階的に安全性を確認した結果，駅東口区間の速度向上については，パターン1，4で7 km/h，パターン6で7 km/h，10 km/hのみ実施
それ以外のパターンについては，測定時に脱線係数が高かったことから速度向上は行っていない。
- ・ 駅東口以外の区間については，予定通り段階的に速度を上げながら測定を実施。

表 1 PQ 測定試験の測定速度

	5km/h	7km/h	10km/h	15km/h	20km/h	25km/h	30km/h	35km/h	40km/h
駅東(R25⇔分岐) パターン1~7	○	パターン 1,4,6	パターン6						
脱線ルート (分岐⇨R25) パターン6	○	—	—						
峰立体(下り50%)				○	○				
直線区間				○	○	○	○	○	○
平出立体 (R100, 下り40%)				○	○	○			
平石停留場分岐	○	○	○						
入出庫線(R20)	○	○	○						

（駅東口におけるPQ測定試験の確認パターン）

- ・ 駅東口におけるPQ測定試験の確認パターンは図 5 のとおり。
（通常走行4パターン，緊急走行4パターン 計8パターン）

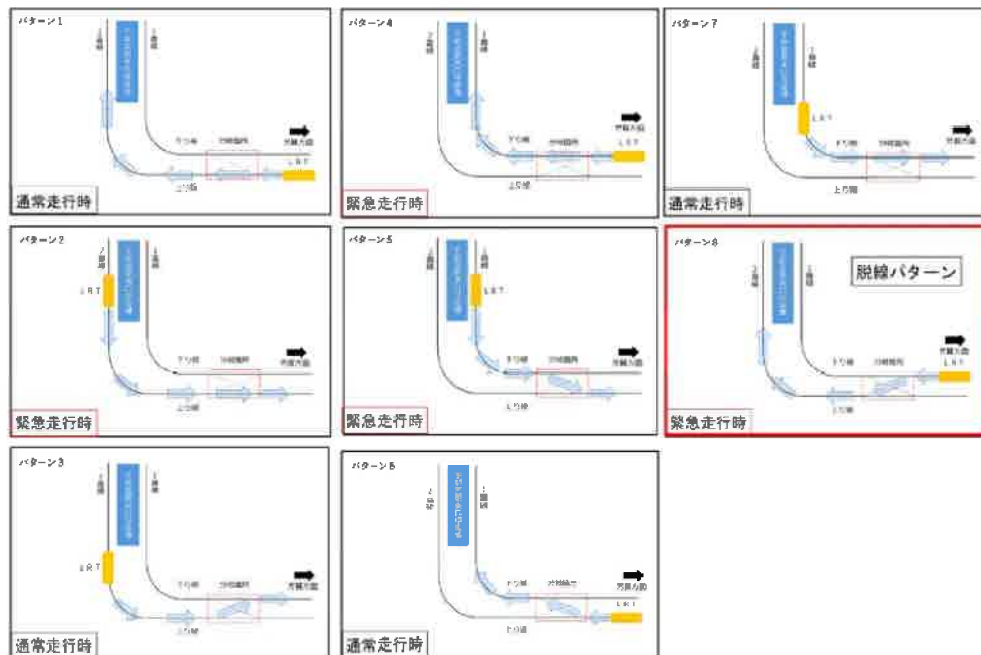


図 5 : 駅東口におけるPQ測定試験の確認パターン

4 パターン8の測定結果について

下り線から2番線に進入するパターン8（図6）の各種測定結果については以下のとおり。

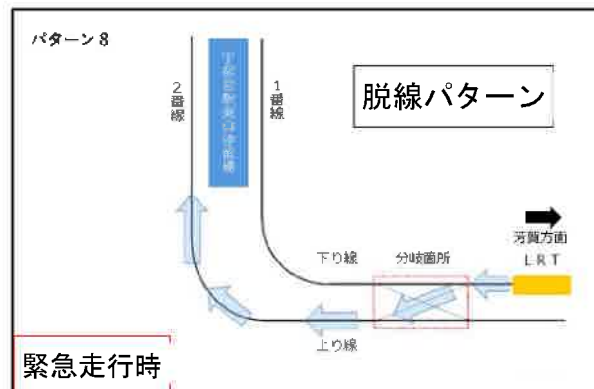


図6：パターン8の走行経路

(1) PQ測定試験等の結果

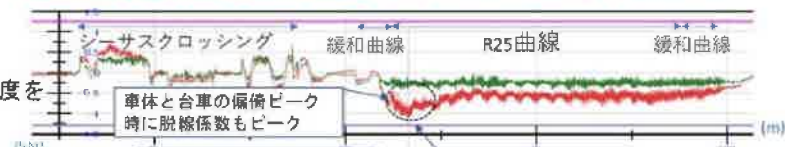
ア 横圧と脱線係数について（図7）

- ・ 曲線部はR25の急曲線であることから、大きな横圧が発生している。
- ・ 脱線係数が高い箇所では、シーサスクロッシングから曲線に入るS字曲線走行時の車体偏倚により、車体と台車間との間隙が狭まった結果、ストッパー当たりが発生し、内軌側車輪フランジ背面の横圧が高まったことが確認された。
- ・ 緩和曲線部の入口付近において、横圧の増加が見られないことから、内軌側車輪フランジ背面による案内が十分にできていない可能性がある。

①脱線係数、②横圧、③輪重の赤線は、先頭内側車輪（内軌側）、緑線は、先頭外側車輪（外軌側）

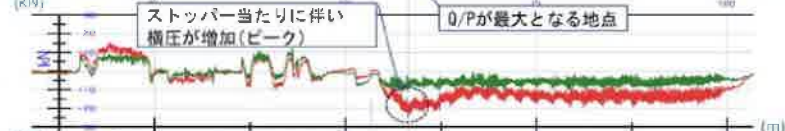
①脱線係数【Q/P】

（横圧と輪重から脱線に対する安全度を確認するもの）



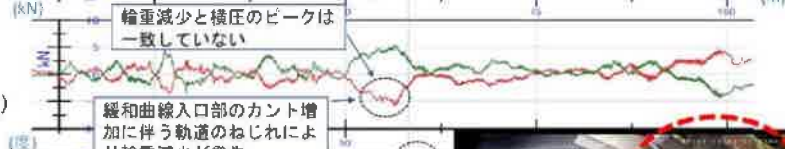
②横圧【Q】

（遠心力などにより車輪がレールを水平方向に押す力）



③輪重【P】

（車輪がレールを垂直方向に押す力）



④偏倚(旋回角)

（曲線での車体と台車の角度）

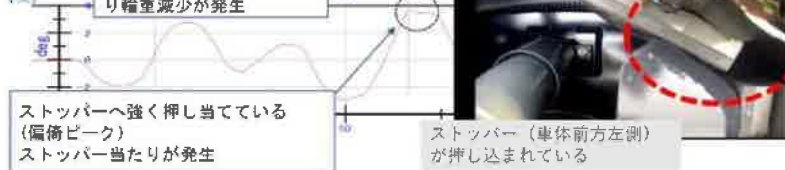


図7：パターン8測定結果（5km/h）

イ 偏倚（旋回角）について

- ・ 台車からの車体の偏倚は、他の走行パターンに比べ、走行経路がS字曲線となる(反向する曲線の半径や曲線間の距離が最も小さくなる)パターン8が最も大きい。

ウ 台車ストッパーの接触状況について（図 8）

- ・ PQ測定試験時のカメラ映像により、横圧がピークとなる瞬間に車体が台車ストッパーに強く当たっていることが確認された。

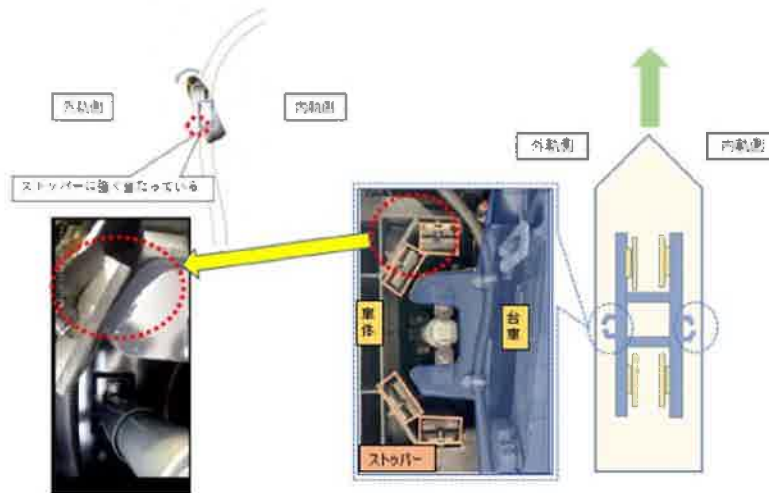


図 8 : 台車ストッパーの映像

エ アタック角の測定結果について（図 9）

- ・ 各台車先頭車輪のアタック角の測定結果は、 2° 以上であった。

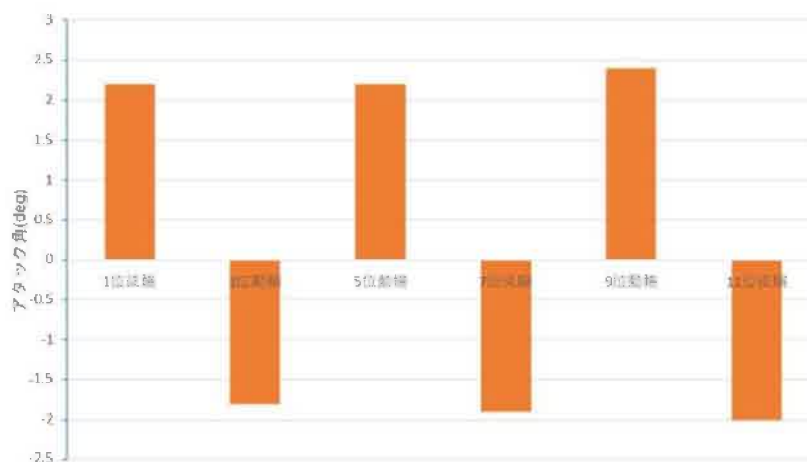


図 9 : アタック角測定データ

オ ドライブレコーダーの映像の解析 (図 10)

- ・ シーサスクロッシングを通過後にR 2 5の曲線に入るため、車体は左右に大きく振られることになる。車体の最大振れ幅（右最大から左最大まで）を移動するのに要する時間を解析した結果、5km/h 走行時は7秒であったのに対し、脱線時の13km/h 走行時は2秒であった。
- ・ 脱線時と同じ運転パターン（上記脱線係数走行試験のパターン8に相当）で5km/h 走行時と、脱線時（13km/h）とを比較した結果、車体の左右の振れ幅は同等であった。この運転パターンでは台車と車体間でストッパー当たりが生じるため、偏倚量に差が出ないためと考えられる。

【右首振り最大時】



【左首振り最大時】



最大偏倚時の車体旋回時間と旋回速度

走行速度	車体の旋回時間	旋回速度
5km/h	約7秒	約0.36km/h
13km/h (脱線時)	約2秒	約1.26km/h

図 10 : ドライブレコーダーの映像の解析

5 駅東口の各走行パターンの測定結果について

駅東口の各走行パターン（図 5）について走行試験を行い、各種測定結果については以下のとおり。

(1) PQ測定試験等の結果

ア 脱線係数について（図 11）

- ・ R25 という急な曲線であることから、走行パターンや進行方向によらず、大きな横圧が発生している。
- ・ 脱線係数については、高い傾向がみられ、「パターン 2, 3, 7」では、曲線入口付近で限界脱線係数 1.25 を超えていた。なお、今回の限界脱線係数を超えたパターンにおいて、レールと車輪の接触状況を小型カメラで確認したところ、乗り上がりは見られていない。

※ 限界脱線係数については、乗り上がり（車輪のフランジが上昇し始める）が生じるリスクを評価する際の最小の値である。

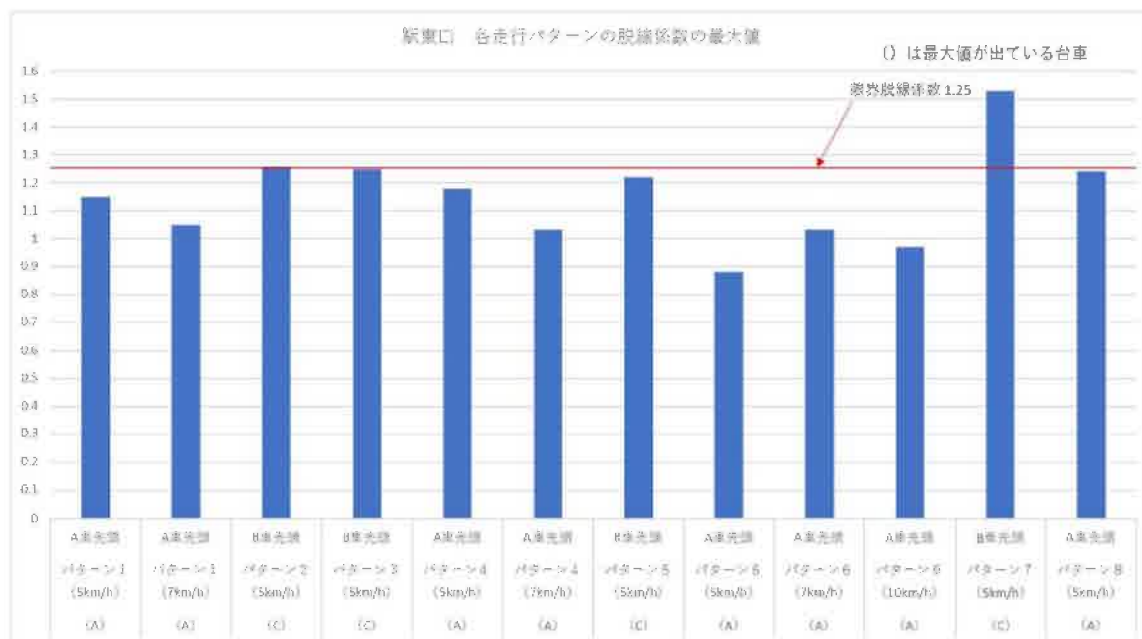


図 11 : 駅東口の各走行パターンの脱線係数の最大値

イ 輪重について

- 特に脱線係数が高いパターン7においては、図 12 のとおり緩和曲線中のカント（図 13）増大に伴う軌道のねじれにより、内軌側の輪重が減少（図 14）したことで、パターン8よりも脱線係数が高くなり、限界脱線係数を超えた。

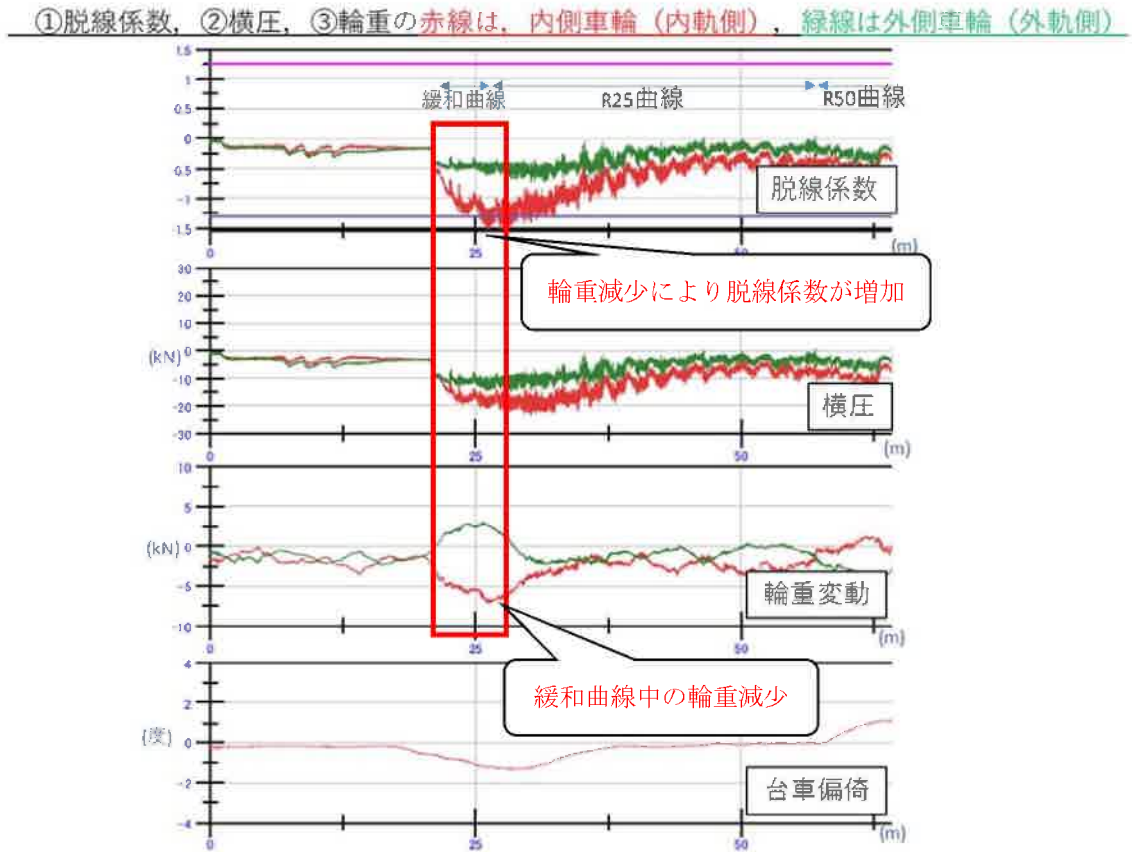


図 12 : パターン7の測定結果

- 車両が曲線部を走行する場合には外方に遠心力が働くため、車両の転倒を防ぐとともに乗り心地を良くするために外側のレールを高くするカントが設けられている。
- 直線から曲線に移るとき、遠心力の変化を漸減し、車両を安全、快適に走行させるため、徐々に変化させる

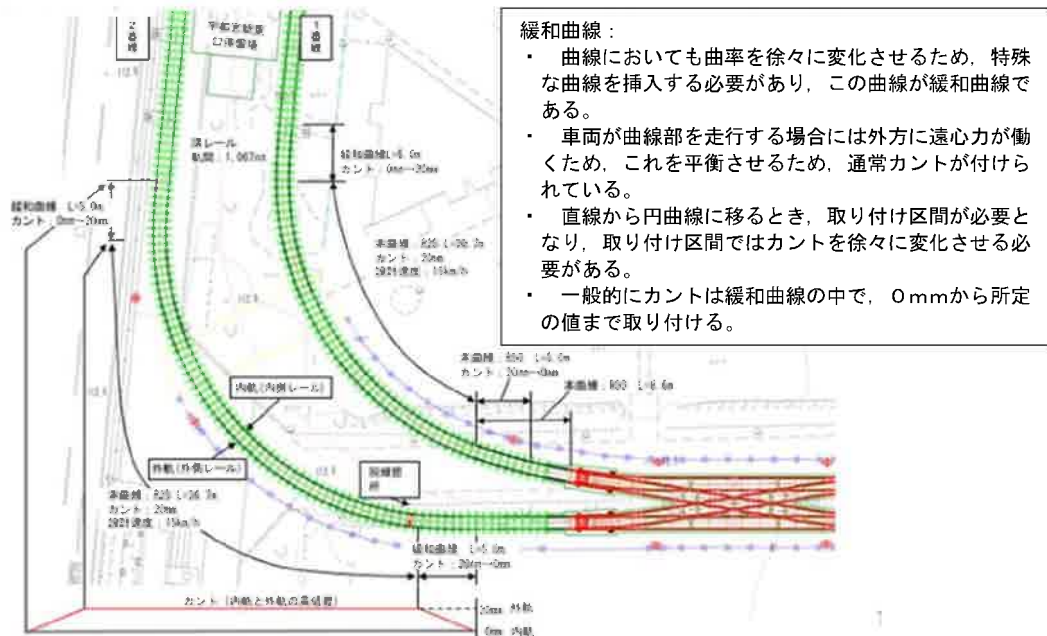


図 13 : カントと緩和曲線

- 緩和曲線部におけるカント取付に伴い軌道面がねじれることにより、車輪に加わる力(輪重)が減少する。

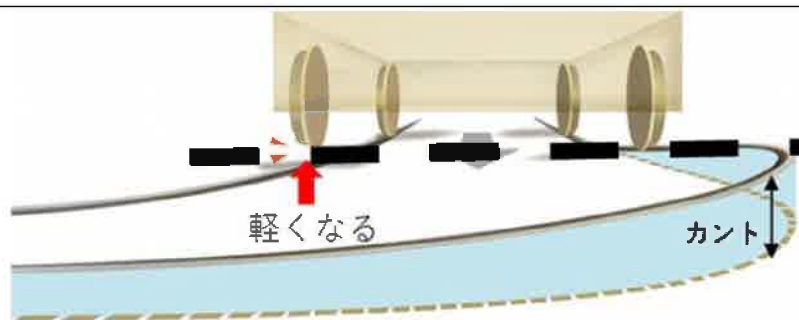


図 14 : 輪重減少のメカニズム (イメージ)

ウ 台車ストッパーの接触状況について

- ・ パターン1～7については、台車ストッパーへの強い当たりが小型カメラ映像で確認されなかった。

6 駅東口以外の区間における測定結果について

(1) PQ測定試験の結果

ア 脱線係数について (図 15)

- ・ 「平石区間 (R30, カントなし, 緩和曲線なし)」については, 5 km/h, 10 km/h とともに, 限界脱線係数を下回っているものの, 上り, 下りとも脱線係数が高い傾向がみられ, 曲線入口で最大値となっていることが確認できた。
- ・ 「峰立体 (勾配区間)」, 「直線区間」, 「平出立体 (勾配及び曲線)」においても, 各走行速度で限界脱線係数を下回っていることが確認できた。

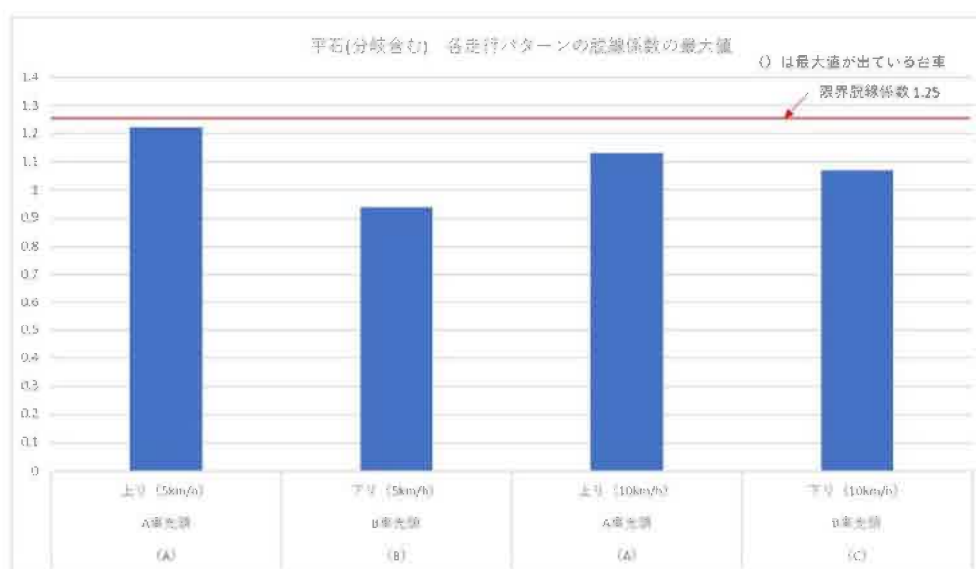


図 15 : 平石 (分岐含む) の各走行パターンの脱線係数の最大値

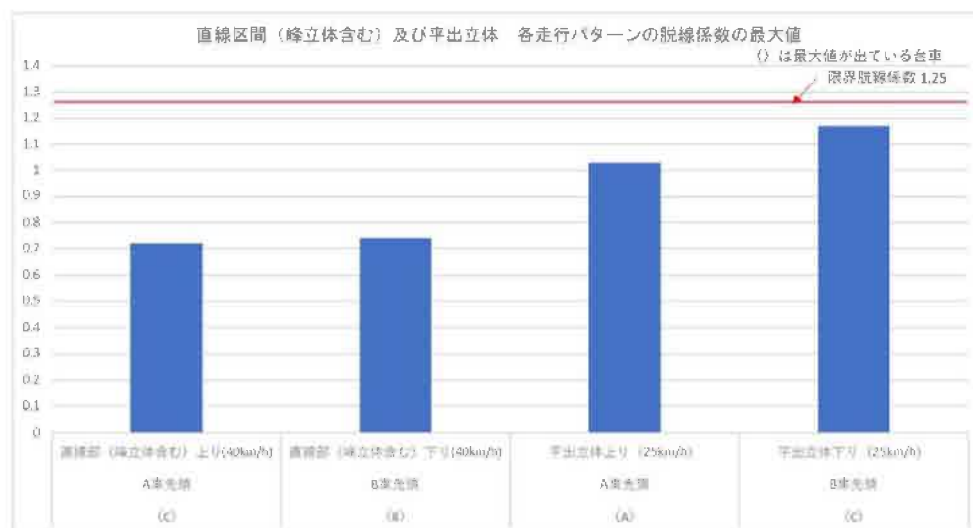


図 16 : 直線区間 (峰立体含む) 及び平出立体の脱線係数の最大値

イ 輪重について (図 17)

- ・ カントが無い平石のR30では曲線入口の輪重減少が見られない。

①脱線係数、②横圧、③輪重の緑線は、内側車輪（内軌側）、赤線は外側車輪（外軌側）

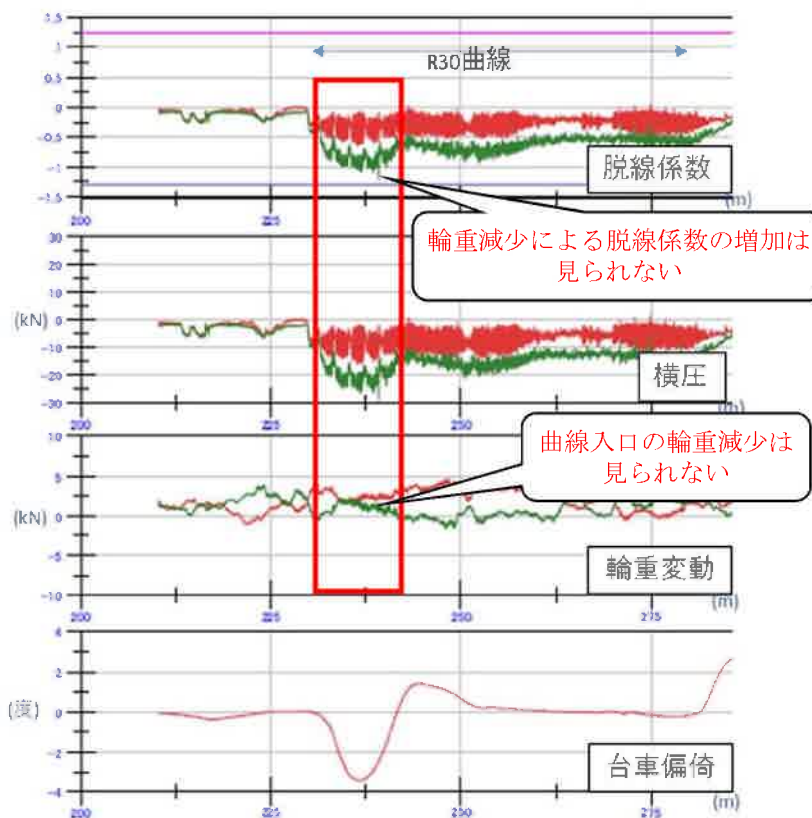


図 17 : 平石（上り）の測定結果 (5km/h)

(2) アタック角の測定結果

ア アタック角の測定結果について (図 18)

- ・ 平石区間のR30の曲線における各台車先頭車輪のアタック角の測定結果は、約 2° 以上であった。

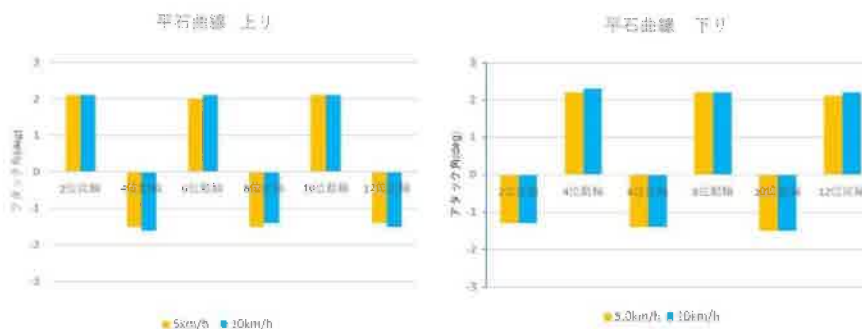


図 18 : 平石区間のアタック角の測定結果

7 測定結果より推察される脱線原因等について

- ・ パターン8においては、シーサスクロッシングとR25の曲線が近接しているため、S字曲線を通過することになり、車体は台車を中心に左右に大きく振られる。これにより車体・台車間の偏倚量は大きくなりストッパーに当たりが生じ、ストッパー当たりの衝撃は横圧の増加につながる。
- ・ 13km/h 走行時には、速度の増加によりストッパー当たりの衝撃も増加し、車体から台車に大きな力が加わり、先頭軸内軌の背面横圧も著大となった結果、車輪が軌道を逸脱し脱線に至ったものと推定される。
- ・ 13km/h 走行時にはより強い遠心力により内軌側輪重も減少することから、これによる脱線係数の増加も脱線に影響したと推定される。

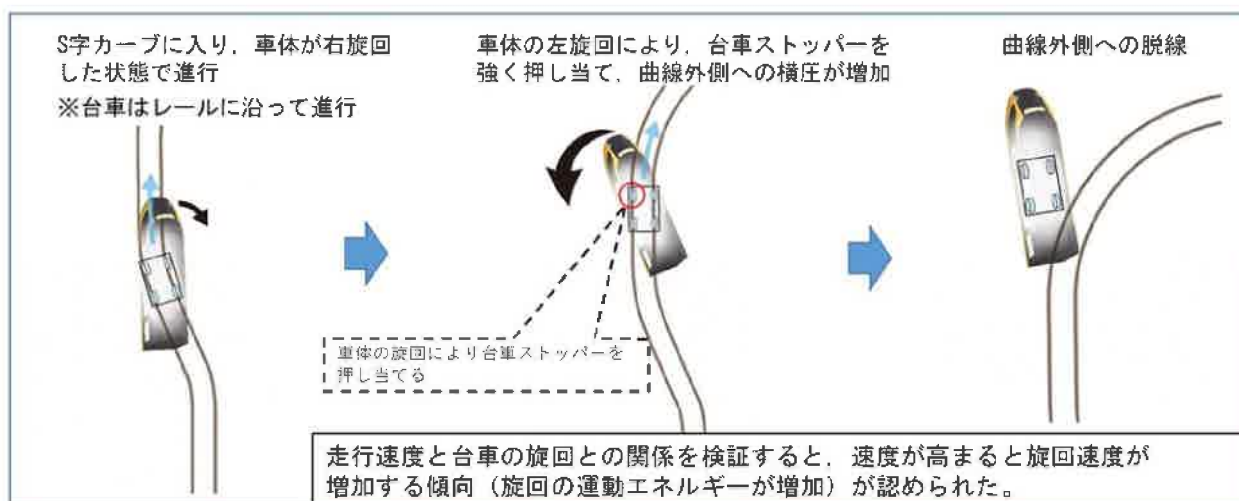


図 19 : 脱線発生のメカニズム

- ・ パターン8以外の各走行パターンにおいては、台車ストッパーへの強い当たりは確認されなかったものの、急曲線であるため、走行パターンや進行方向によらず横圧が大きいことに加え、緩和曲線部の輪重減少の影響により高い脱線係数が発生したものと推定される。

8 対策について

- ・ シーサスクロッシング単体及びR 2 5 曲線単体の制限速度は、それぞれ15 km/hとしているが、その二つが近接し、S字曲線であるシーサスクロッシングから連続して急曲線に進入する特殊な走行パターンでは、制限速度を単体の場合より引き下げる必要がある。今回の測定結果から、その二つの近接の解消が困難な場合については、パターン8の走行速度は5 km/h とすることが望ましい。
- ・ 内軌側に作用している大きな横圧への対策としては、既存の施設で調整が可能な3 mm 程度軌間を縮める調整を行うことで、内外軌双方に横圧を分散させることが望ましい。
- ・ 遠心力による内軌側の輪重減少を防ぐためには、曲線の通過速度を引き下げる。また、輪重減少に起因する脱線を予防するためには、線形に起因する軌道の平面性変位を小さくする必要があり、カントを無くすか、カント量を減らすなどにより構造的な平面性変位を低減させる方法をとる必要がある。
- ・ 軌道の平面性を確保する対策を講じた後に、再度P Q測定試験を行って、安全性を確認する必要があると考えられる。
- ・ パターン8以外の制限速度については、対策を講じた上で、再度P Q測定試験を行い、評価した上で、設定することが望ましい。
- ・ なお、横圧が大きいことが確認されており、運行の状況などによっては、レールや車輪の摩耗が懸念されることから、その状況を踏まえ、必要に応じて、摩耗防止策について検討していくことが望ましい。

○ L R T 試運転中の脱線事故に関する原因の究明及び再発防止策等に係る有識者会議
委員名簿

(委員長) 須田 義大	東京大学 生産技術研究所 教授
水間 毅	元東京大学 特任教授
中橋 順一	(公財) 鉄道総合技術研究所 車両技術研究部 車両運動研究室 上席研究員
坪川 洋友	(公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 軌道管理研究室 研究室長

○ 検討経過

令和4年12月16日

第1回有識者会議の開催

- ・今後の取組について
- ・L R T 脱線事故の概要について
- ・走行調査の結果概要について
- ・P Q 測定試験の実施方法（案）について

12月23日

～12月26日

P Q 測定試験を実施（立合）

令和5年 2月13日

第2回有識者会議の開催

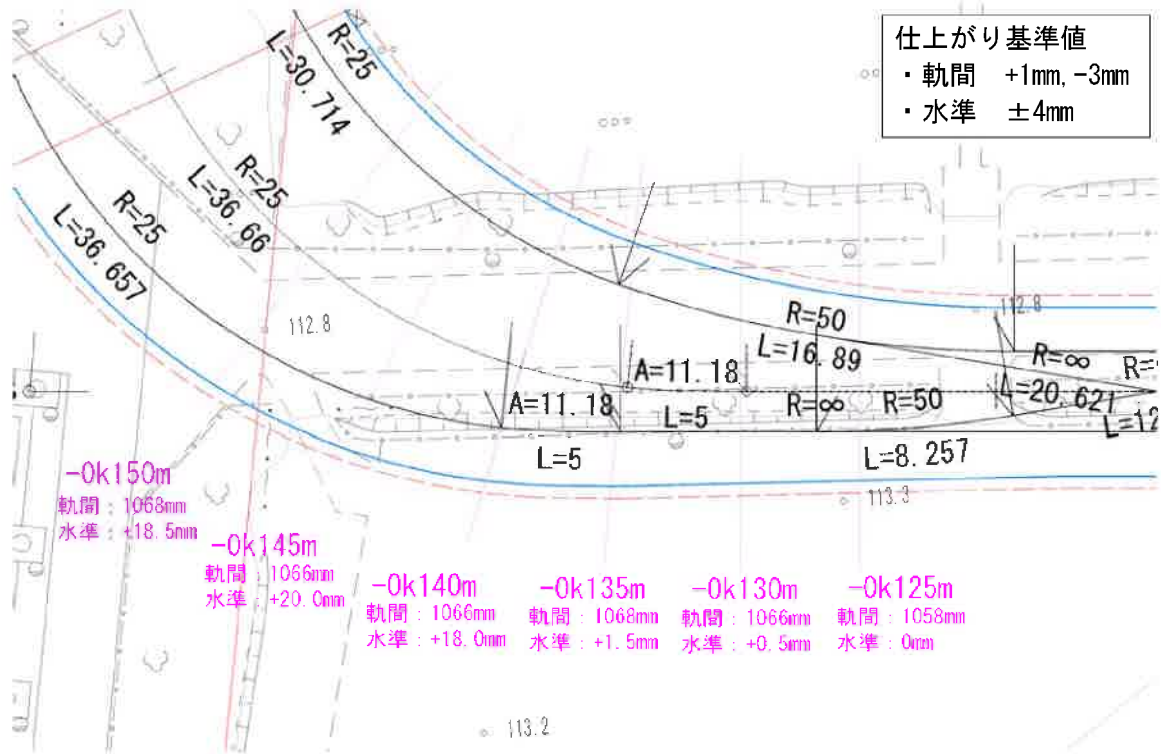
- ・L R T 試運転中の脱線事故に関する原因の究明及び再発防止策等に係る考察（中間報告のとりまとめ）について

参 考

各種施設等に関する情報について

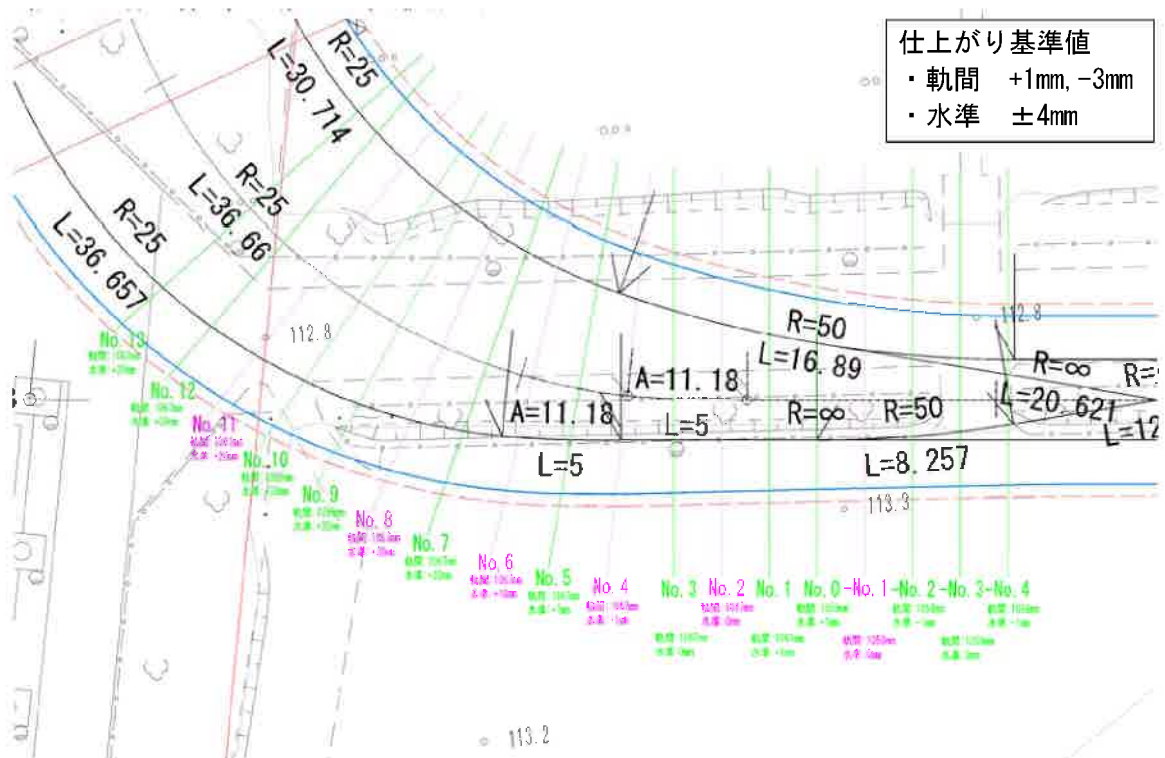
軌道の測定結果（竣工時R4. 10. 28計測）

- ・工事竣工時において、軌間及び水準については、仕上がり基準値内であった。



軌道の測定結果（事故後R4. 11. 19計測）

- ・脱線事故発生後においても、軌間及び水準については仕上がり基準値内であった。



○ 車両に関する情報

車両の主要諸元 1

車両高さ：3,625mm



車両長：29.520m



車両幅：
2,650mm

●車両の基本仕様

項 目		導入車両の基本仕様		
走行性能	軌 間	1,067mm(狭軌)		
	電 圧	DC750V		
	定 員	約160人(座席50席)		
	車両寸法	車 両 長	29.520m	
		車 両 幅	2,650mm	
		車 両 高 さ	3,625mm(パンタ折りたたみ時)	
	最 急 勾 配	67‰		
運 転 最 高 速 度	70km/h			

車両の主要諸元 2

車両高さ：3,625mm



車両長：29.520m

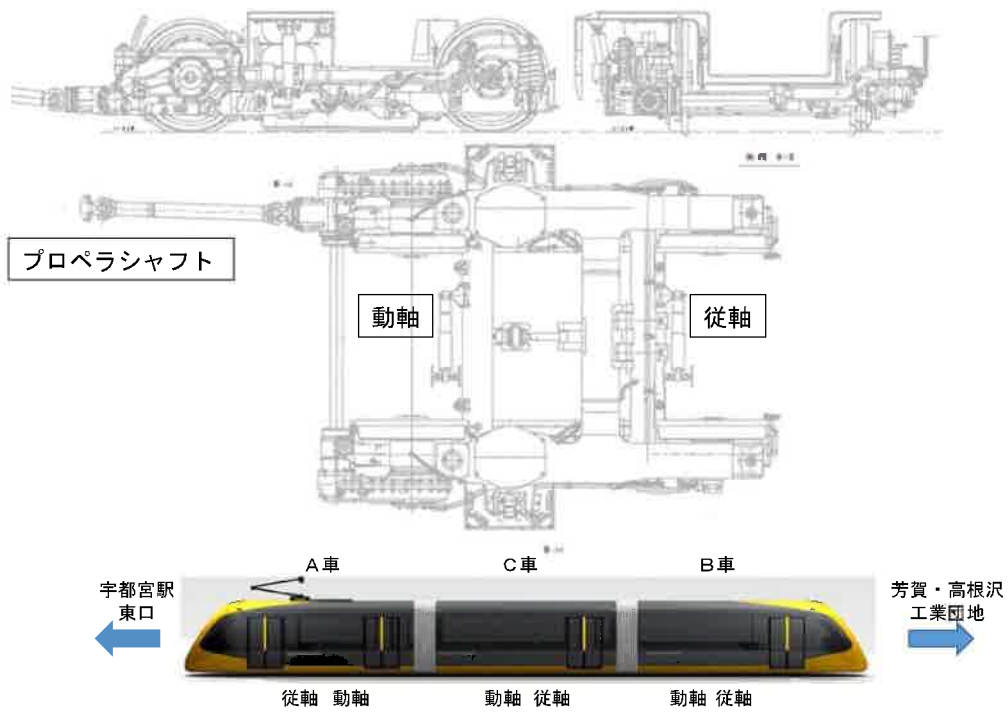


車両幅：
2,650mm

●車両の基本仕様

項 目		導入車両の基本仕様		
基本性能	車 種	4輪ボギー連接電動客車 3両1編成		
	自 重	39.0t		
	主要寸法	固 定 軸 距	1,850mm	
		ボ ギ ー 中 心 間 距 離	8,600mm	
		車 輪 直 径	660mm	
		車輪一对の輪鉄内側距離	994mm	
	制 動 機 の 種 類 及 び 装 置	種類 電気(回生/発電)ブレーキ バネ式ディスクブレーキ トラックブレーキ		
	駆 動 装 置 の 方 式	モータ車体装架 直角カルダン方式		
	制 御 器 の 種 類	VVVFインバータ制御装置 2台		
集 電 装 置 の 種 類	シングルアーム式 1台			

台車（独立車輪方式）



- ・ 左右の車輪が共通の車軸を必要としない構造となっており、左右それぞれの車輪が自由に回転し、走行安定性が高い。