新しい分岐器構造の走行安全性を数値計算で探る



清水　紗希
Saki Shimizu
軌道技術研究部
軌道構造研究室
主任研究員



玉川　新悟
Shingo Tamagawa
軌道技術研究部
軌道構造研究室
主任研究員

はじめに

本稿では，これまでにない新しい分岐器構造を開発する際に，車両が走行した場合の脱線に対する安全性を数値計算により確認した事例をご紹介します。

分岐器とは

線路を2つ以上に分ける構造を分岐器といい，ポイント，リード，クロッシング，ガードから構成されています（図1）。ポイントでは，転てつ棒がまくらぎの長手方向に動くことでレールを動かし，列車の進行方向を切り替えています。このように，分岐器は一般区間の線路に比べて構造が複雑であり，部材の形状も位置ごとに異なります。なお本稿では，分岐器により分けられる2つの線路のうち，直線側を「基準線」，曲線側を「分岐線」とします。

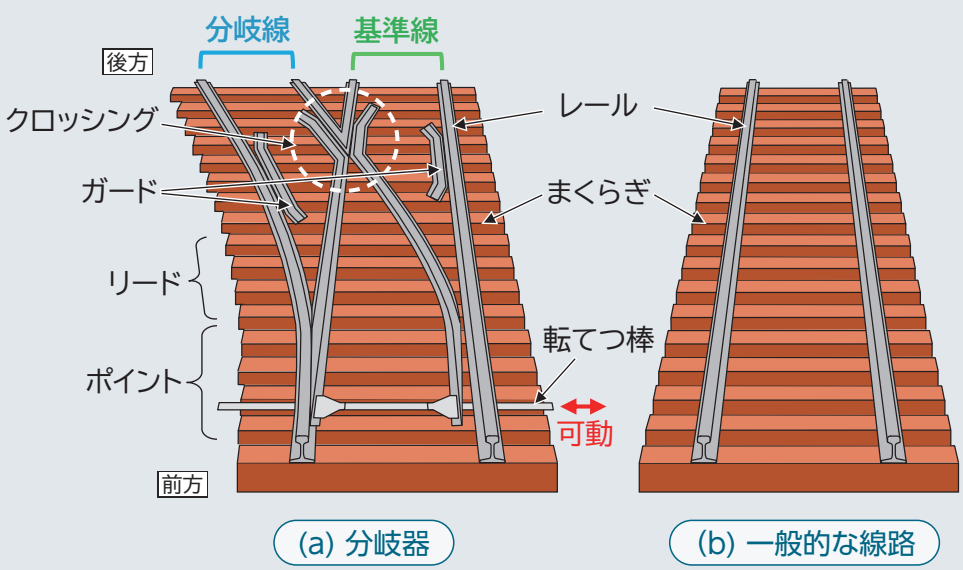
新しい分岐器構造の開発には

新しい分岐器構造を開発する際には，まず走行安全性を確認する必要があります。走行安全性とは，車両の脱線や転覆に対する安全性のことです。走行安全性を確認するためには，車両がその分岐器を通過する際の動きを把握する必要があります。

その方法のひとつとして，試作した分岐器に実際に車両を走行させる試験が考えられます。しかし，検討段階の構造を試作し，試験線に敷設して車両走行試験を行うには大きな労力が必要です。さらに，安全性が確認できなかった場合には，改良と試験を繰り返す必要があり，負担はさらに増大します。

そこで本研究では，より効率的な方法として，数値計算によるシミュ

図1　分岐器と一般的な線路の構造



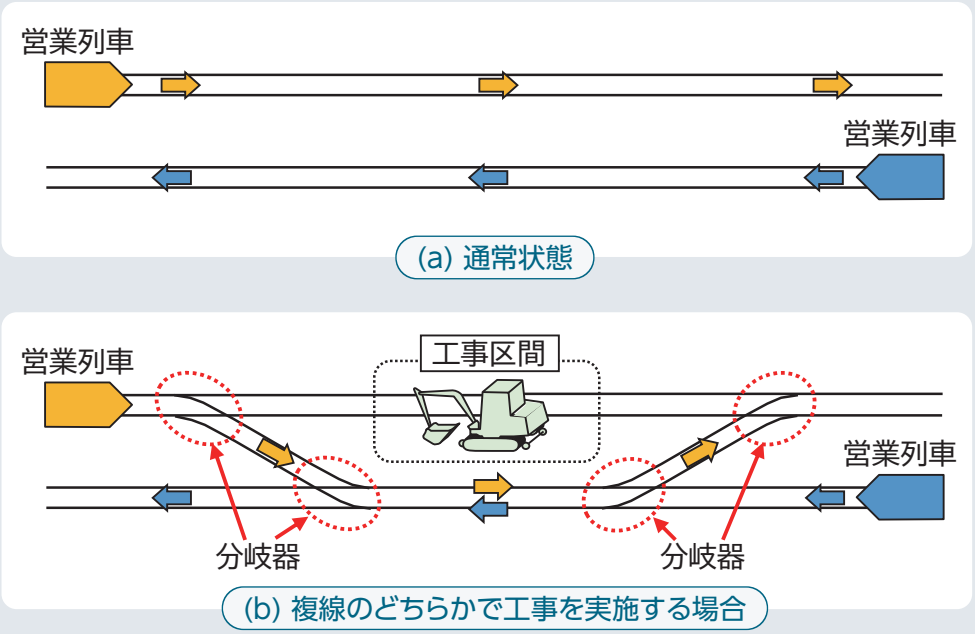


図2　紹介する新しい分岐器構造の使用例

レーションを用いました。分岐器は前述したように構造が複雑であるため，車両走行を再現する数値モデルの作成には大きな労力が必要で，さらに計算負荷も大きくなります。そのため，従来はあまり行われてきませんでしたが，計算機の性能向上により，計算負荷の制約が緩和され，2010年代からは分岐器の開発にも数値計算による車両走行シミュレーションが活用されるようになっています[1)~3)]。

本稿では，短期間の使用を想定した低コストな分岐器構造[2)]を開発した際の事例を紹介します。

開発する分岐器構造

開発の目的

近年，旅客の利便性向上や輸送障害時の対応力向上を目的として，列車の制御と運行管理を一体化した柔軟な運行システムの開発が検討されています[4)]。このような運行を実現するうえで，片側の線路に支障が生じた際に，もう一方の線路を双方向に使用する「単線並列運転[5)]」は重要な技術です（図2）。この方式により，日中でも線路工事が可能となり，作業効率の向上や労働力不足への対応が期待されます。

開発品[2)]は，この単線並列運転を実現するために，工事期間中に一時的に使用することを目的として開発したものです。一方で，従来の分岐器は製造・敷設・保守にコストや労力がかかるという課題があります。そこで，開発品はこれらを低減できる新しい分岐器構造を目標としました。なお，本稿では構造開発のうち，ポイント部の走行安全性の検討について紹介します。

コンセプト

開発品のコンセプトについて，主なものは以下のとおりです。

- 短期間（1週間～1か月程度）の連続使用を想定する。
- 既設レールを切断せず，後付けで設置可能な構造とする。
- 新設費と保守費を含め，一般的な分岐器より低コストとする。

初期設計の構造

上記のコンセプトを踏まえ，既存の横取り装置[6)]を参考にポイント部を設計しました（図3）。横取り装置は一般的な分岐器に比べて検査頻度が少なく，保守費も約1/6と低コストです。本開発では分岐線の使用頻度が低いことから，この構造を採用することにしました。

具体的には，一部のまくらぎを分岐まくらぎに置き換え，その上に既設レール，新設した支持レール，分岐レール，転換レールを設置します。車両が基準線を通過する際は既設レール上を走行（図3(a)）し，分岐線を通過する際は転換レールが既設レールや支持レールなどに被さることで，分岐線へ車両を導く構造です

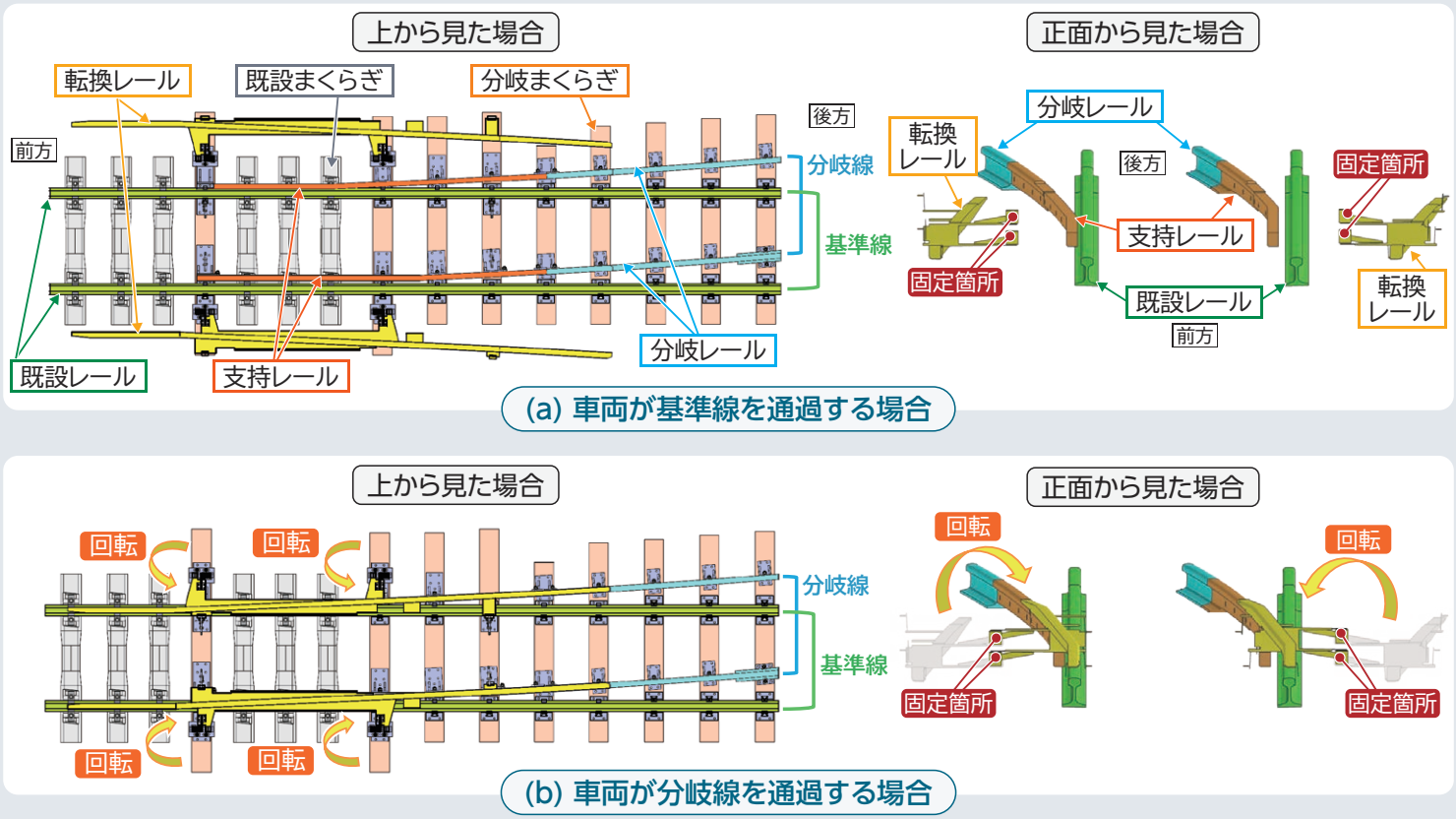


図3　新しい分岐器構造の初期設計時のポイント部

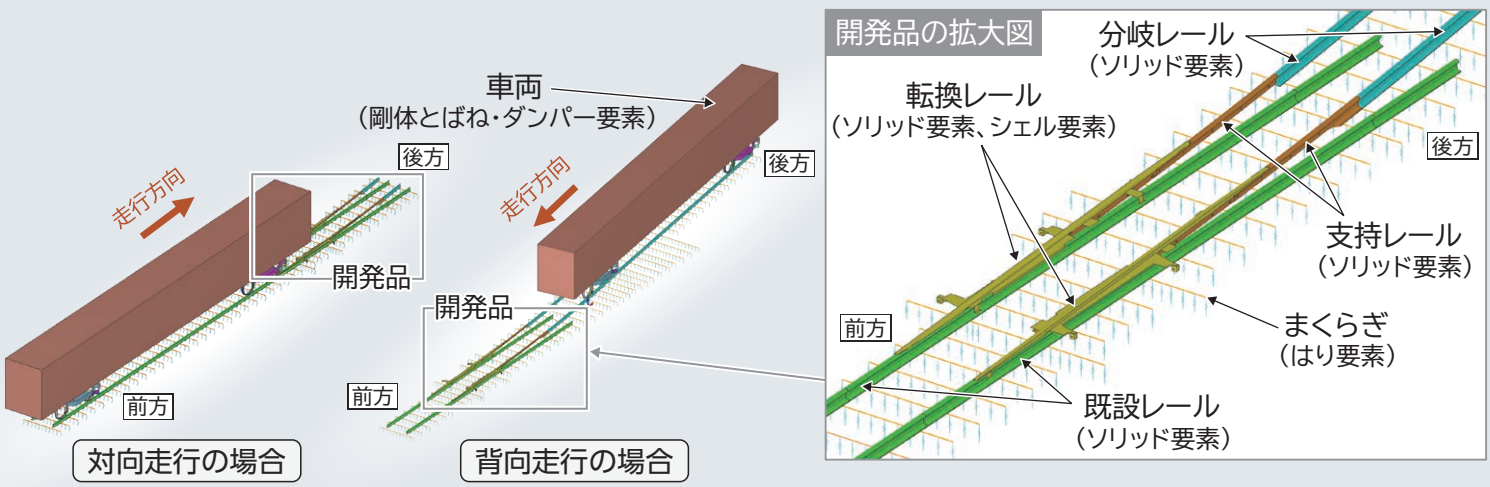
(図3(b))。なお，転換レールは中央部の2箇所を分岐まくらぎに固定することとしました。

車両走行シミュレーション

初期設計の構造の課題を明らかにするため，レール形状等を詳細にモデル化し，車両走行シミュレーションを実施しました。

モデルを図4に示します。レールはソリッド要素☞，まくらぎははり要素☞でモデル化しました。レールとまくらぎ間は剛結し，まくらぎ

図4　開発品の車両走行シミュレーションモデル



☞ **ソリッド要素**　有限要素法における要素のひとつで3次元形状のもの
☞ **はり要素**　有限要素法における要素のひとつで1次元形状のもの
☞ **対向**　分岐器の前方から後方への向き
☞ **背向**　分岐器の後方から前方への向き

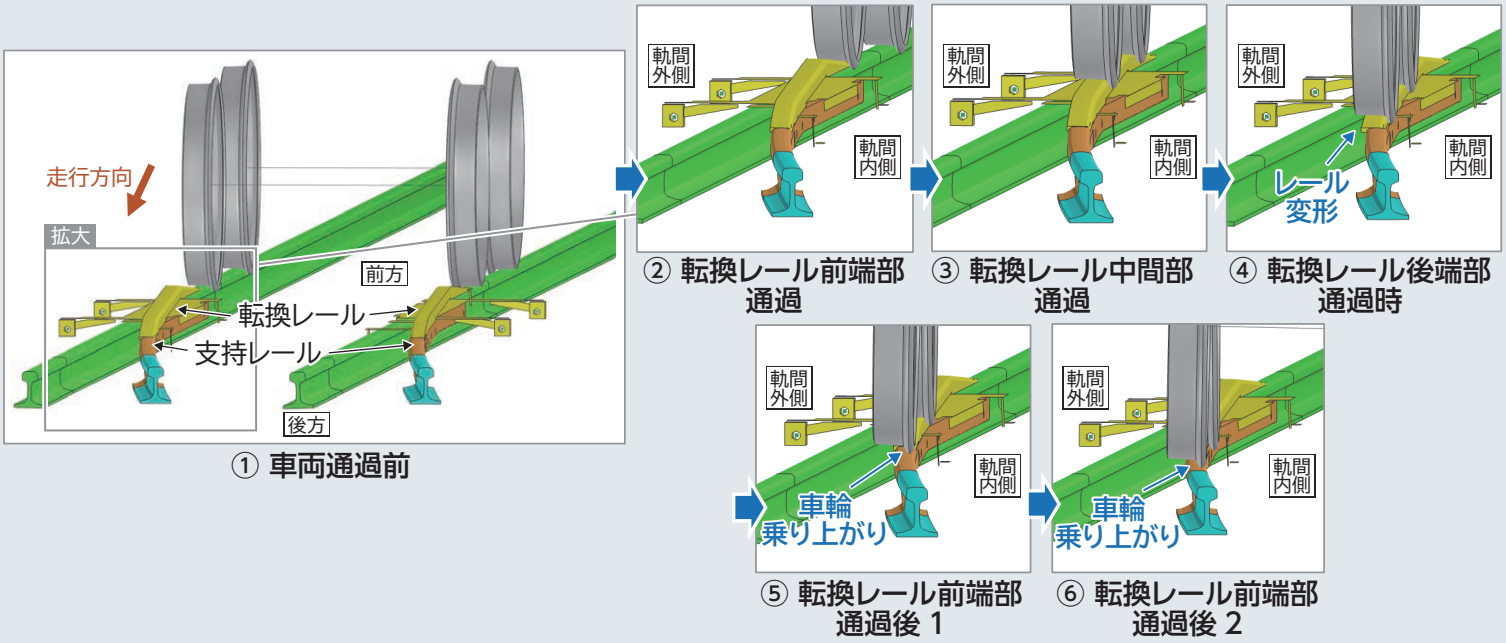


図5　車両走行シミュレーションによる対向走行の走行安全性の評価

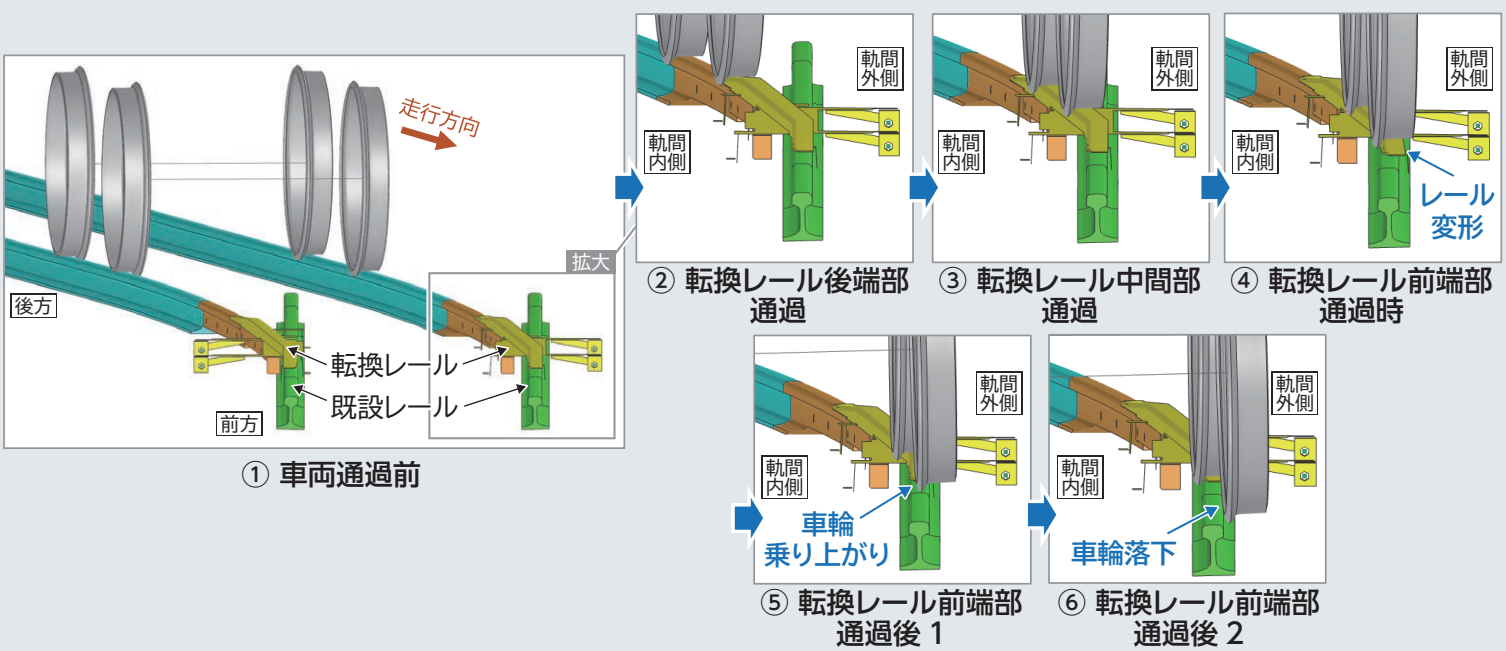
下はばね要素で支持しました。車両は剛体とばね・ダンパー要素でモデル化しています。

車輪はレールと接触しながら回転し，目標速度とした15km/hで車両が分岐線を走行します。走行方向は対向方向☞および背向方向☞です。

車両を対向方向に走行させた場合の車輪とレールの動きを図5に示します。図では，レールと進行方向1軸目と2軸目の車軸のみ示しています。車輪の動きをみると，車輪が転換レール中間部を通過する（図5③）までは問題ありませんでしたが，転換レール後端部を通過する際に，当該レールが車輪からの荷重によって軌間外側へ最大14mm程度変形することが確認されました（図5④）。その結果，車輪がレールに乗り上がってしまうことがわかりました（図5⑤⑥）。

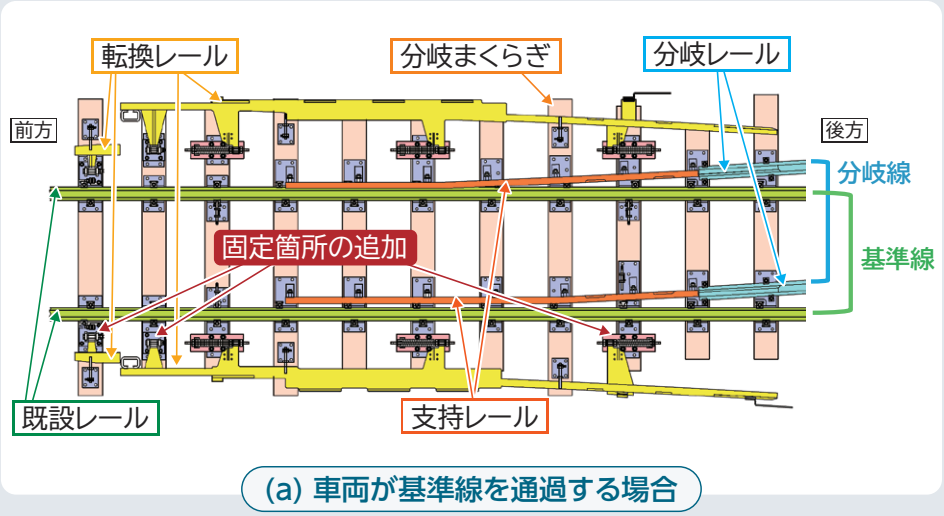
また，車両を背向方向に走行させた場合の結果を図6に示します。こちらについても，対向

図6　車両走行シミュレーションによる背向走行の走行安全性の評価

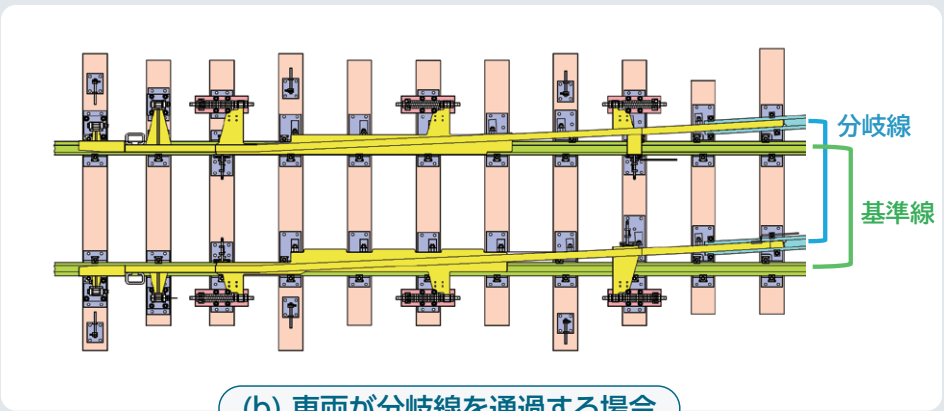


走行の場合と同様に，車輪が転換レール中間部を通過する（図6③）までは問題ありませんでしたが，転換レール前端部を通過する際に，当該レールが軌間外側へ最大25mm程度変形することが確認されました（図6④）。その結果，車輪がレールに乗り上がり（図6⑤），最終的に車輪がレールから落下してしまうことがわかりました（図6⑥）。

このシミュレーション結果から，転換レール前端部および後端部が車輪からの荷重によって大きく変形することで脱線の恐れがあることがわかりました。このことから，転換レールの固定が中央部の2箇所では不十分であることが明らかになりました。



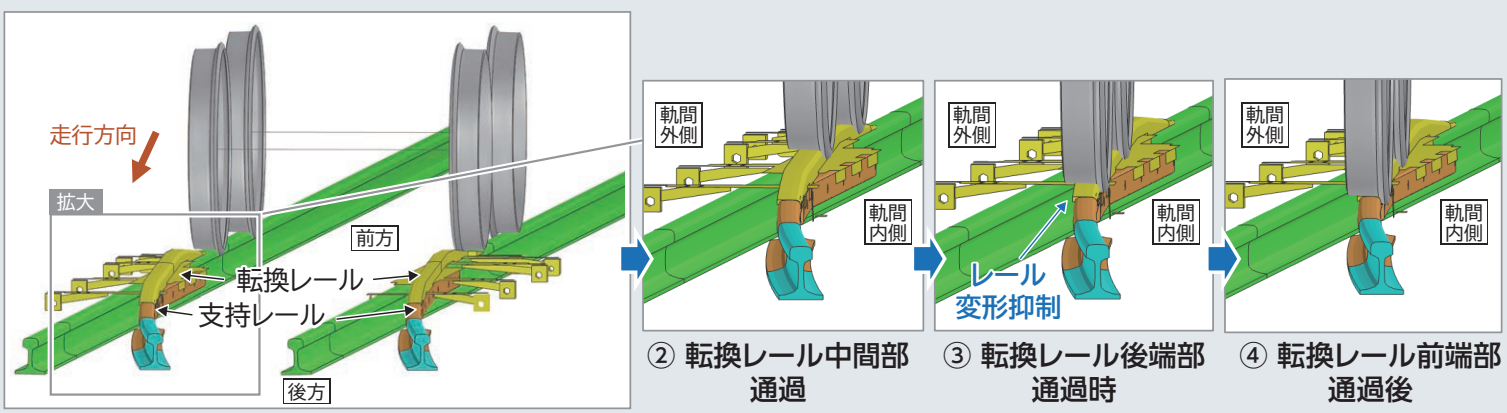
(a) 車両が基準線を通過する場合



(b) 車両が分岐線を通過する場合

図7　構造改良したポイント部

図8　最終設計時の車両走行シミュレーションによる対向走行の走行安全性の評価



① 車両通過前

② 転換レール中間部通過

③ 転換レール後端部通過時

④ 転換レール前端部通過後

構造改良とその効果

上記の車両走行シミュレーションのほかにも，転換レール前端部の損傷に対する耐久性を確認するための試験など，構造検討を行い，最終設計を行いました。最終設計時の構造を図7に示します。主な改良点として，転換レールの前端部や後端部の変形を防ぐために，当該箇所にも固定箇所を設け，5箇所を分岐まくらぎに固定することとしました。また，それに伴い，すべての既設まくらぎを分岐まくらぎに交換することとしました。

最終設計時の構造を対象に，前章と同様にレール形状などを詳細にモデル化し，車両走行シミュレーションを実施しました。対向走行の場合を図8に示します。転換レール後端部に固定箇所を設けたことで，レールの変形が抑制され，車輪が乗り上がることなく，転換レールを通過することが確認できます。また，背向走行の場合を図9に示します。こちらについても同様に，転換レール前端部の変形が抑制され，車輪が乗り上がることなく通過することを確認しました。

これらの結果から，構造改良により，車両が開発品を安全に走行できることを確認しました。本稿では説明を省略しますが，この後，開発品を試作して試験線に敷設し，軽車両を走行させる試験を行うとともに，載荷試験により部材の疲労強度を確認するなど，数値計算のほかにも実用化に向けた性能確認試験を行い，所定の性能を有していることを確認しました[2)]。

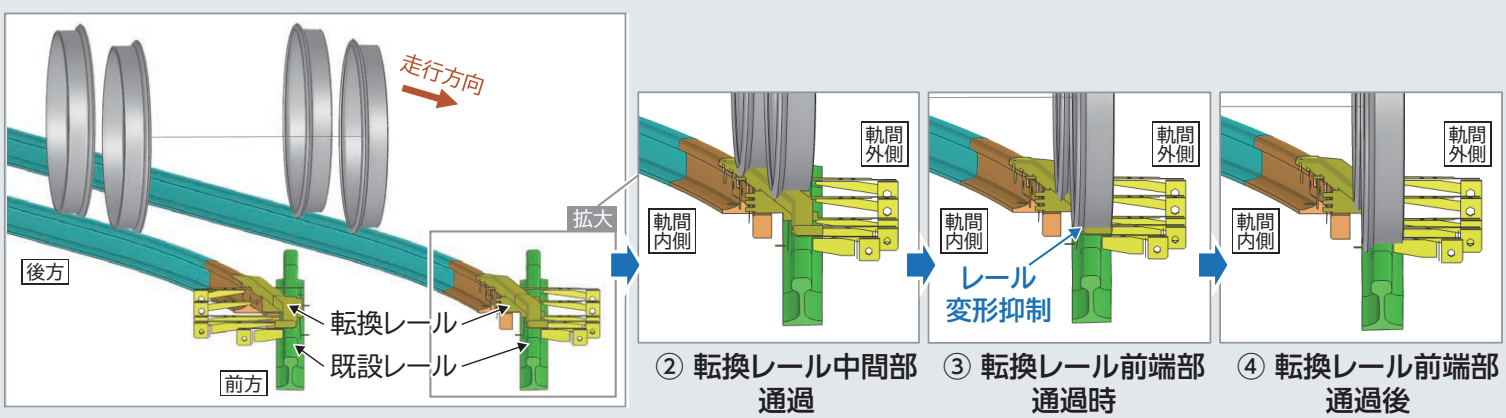
おわりに

本稿では，新しい分岐器構造の開発において，数値計算を用いて走行安全性を確認し，構造の問題点を抽出して改良を実施した事例を紹介しました。今後も鉄道総研では数値計算を活用した新しい分岐器構造の設計・開発を進めていきます。RRR

文　献

1）清水紗希，及川祐也，塩田勝利：分岐器における走行安全性および軌道部材強度の評価手法，鉄道総研報告，Vol.33，No.2，pp.29-34，2019
2）玉川新悟，清水紗希，三原輝久，及川祐也：列車の単線並列運転を支援する軌道の分岐構造の開発，日本機械学会論文集，Vol.86，No.886，p.20-00065，2020
3）清水紗希，大高亮輔，玉川新悟，弟子丸将，松谷真吾：まくらぎ直結分岐器用固定クロッシングの弾性支持構造を有するタイプレートの開発，鉄道総研報告，Vol.39，No.8，pp.9-16，2025
4）杉山陽一，岩田浩司，山本春生，運行管理と保安制御を融合した列車運転制御システムの 基礎検討，鉄道総研報告，Vol.32，No.5，pp.35-40，2018
5）富井規雄：鉄道ダイヤのつくりかた，p.23，オーム社
6）横田直樹：可動式横取り装置ができるまで，新線路，10号，pp.60-62，2006

図9　最終設計時の車両走行シミュレーションによる背向走行の走行安全性の評価



① 車両通過前　② 転換レール中間部通過　③ 転換レール前端部通過時　④ 転換レール前端部通過後