

# 鉄道総研試験線による輪重減少抑制台車の性能評価

鈴木 貢\* 児玉 真一\* 田中 隆之\*  
梅原 康宏\*\* 鴨下 庄吾\*\*\* 宮本 岳史\*

## Evaluation of the Performance of the Bogie to Control the Decrement of Wheel Load Using the Test Line of RTRI

Mitsugi SUZUKI Sinichi KODAMA Takayuki TANAKA  
Yasuhiro UMEHARA Shogo KAMOSHITA Takefumi MIYAMOTO

We developed a bogie to control the decrement of wheel load for the purpose of preventing of flange climb derailment by suppressing the decrease of the wheel load. The bogie is equipped with a bogie frame composed of three blocks which are joined together via a rotation mechanism. The bogie can follow the twist of a track by rotating the side beams with the rotation mechanism. We confirmed the satisfactory performance of the bogie on the rail by conducting some experiments on the test line of RTRI. This paper describes the performance of the bogie on the rail.

キーワード：車両，走行安全性，脱線，輪重減少抑制，在来線，横圧低減

### 1. はじめに

車両が急曲線の出口緩和曲線のような軌道の平面性変位の大きな箇所を走行する際には，進行先頭軸外軌側車輪で大きな輪重減少が発生することがある。この時，車両や軌道の状態に偏りや変位があると輪重減少は拡大しやすく，ここに大きな横圧が作用すると車輪がレールに乗り上がり，脱線に至る危険性が生じる。鉄道総研では，このような乗り上がり脱線を，輪重減少の抑制により防止するという観点から，図1に示す輪重減少抑制台車を開発した。試作した輪重減少抑制台車の基本性能の調査を目的とした車両試験台での転走試験を行い，輪重減少抑制台車は，計画最高速度に対し十分な走行安定性能を有すること，一般的な台車に比べ輪重減少率が最大で4割程度抑制されること，などをこれまでに確認している<sup>1)</sup>。

この結果を受け，輪重減少抑制効果をはじめとした，輪重減少抑制台車の実軌道上での台車性能を調査するため，鉄道総研試験線において走行試験を実施した。本論文では，鉄道総研試験線において実施した輪重減少抑制台車の性能試験の結果について報告する。



図1 輪重減少抑制台車の外観

### 2. 輪重減少抑制台車の概要

軌道の平面性変位が大きな箇所が生じる輪重減少を抑制するためには，平面性の変化に対する台車の追従性を向上する必要がある。本輪重減少抑制台車では特殊な台車枠を用いることで，これを実現した。一般的な構造の台車枠は側ばりと横ばりが溶接により剛に接合されている。これに対し，輪重減少抑制台車では，図2に示すよう，分離した2つの側ばりと横ばりが，回転機構を介して接合された台車枠を採用している。輪重減少抑制台車の台車枠の回転機構は，図3に示すよう，すべり面を内側にして円筒状に形成されたすべり軸受が側ばりに圧入されており，ここに横ばりに設けた回転軸を挿入する構

\* 鉄道力学研究部 車両力学研究室  
\*\* 車両構造技術研究部 走り装置研究室  
\*\*\* 車両構造技術研究部 車両振動研究室

特集：鉄道力学

造を採用している。側ばりは、この回転軸を中心にしてピッチ方向に回転運動を行う。ただし、側ばりの過度な回転により、側ばりが他の台車部品や車体と干渉することを防止するため、回転角制御ピンにより、側ばりの許容回転角を±2degに制限している。一方、走行安定性の低下を招く台車枠の菱形変形を防止するため、側ばりは横ばりに適度な力で密着させている。この密着面にスラスト方向の力に起因した摩擦力が発生すると、側ばりの回転運動が阻害される恐れがあるため、板状にしたすべり軸受を密着面に設けることで、摩擦力による影響を緩和している。

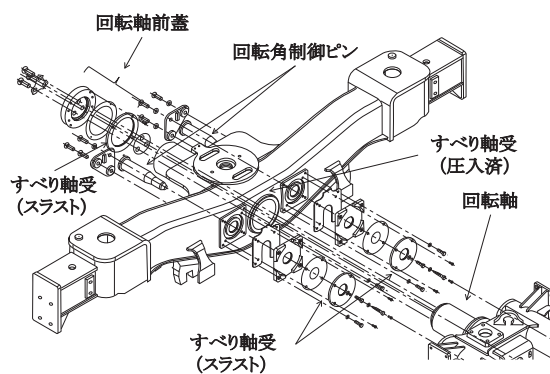


図3 回転機構概略図

この他の特徴的な台車構造として、新たに開発した牽引装置がある。一般的な構造の台車では、力行、制動等で生じるピッチングモーメントを台車枠の剛性により受けている。しかし、輪重減少抑制台車は、側ばりと横ばりが回転機構により接合されているため、このピッチングモーメントを側ばりで受けることができない。そのため、既存の牽引装置では、横ばりが回転して、他の台車部品や車体と干渉する恐れがある。これを防止するため、輪重減少抑制台車では、図4に示す2段リンク式の牽引装置を新たに開発し、採用している。この牽引装置は、いわばZリンクを上下2層にした構造となっており、4本のリンクにより力行、制動時に生じるピッチング方向のモーメントを相殺し、横ばりの回転を防止する。

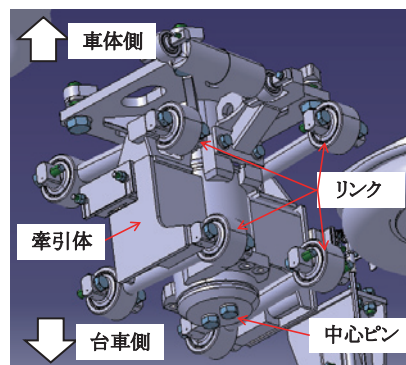


図4 2段リンク式牽引装置概略図

輪重減少抑制台車は、回転機構を有する台車枠と牽引装置を除いては、概ね一般的な在来線用台車と変わらない構造となっており、台車部品については従来品との互換性を多く有している。輪重減少抑制台車の主要諸元を表1に示す。目標最高速度は、一般的な在来線と同様に130km/hとし、高速安定性を確保するためヨーダンパを標準装備としている。牽引装置は前述のとおりである。側ばりおよび横ばりの過回転による障害を防止するため、回転機構の許容回転角は±2degとしている。試算によれば、台車質量は一般的な構造の台車枠および牽引装置を用いた場合に比べ約7%の増加に留まる。

表1 主要諸元

目標最高速度	130km/h
軌間	1067mm
軸距	2100mm
質量	5932kg
車体支持装置方式	ボルスタレス方式
軸箱支持方式	軸はり式
牽引装置	2段リンク式
車体だ行動抑制装置	ヨーダンパ
側ばり回転機構	複合複層すべり軸受
側ばり最大ピッチ角	±2deg

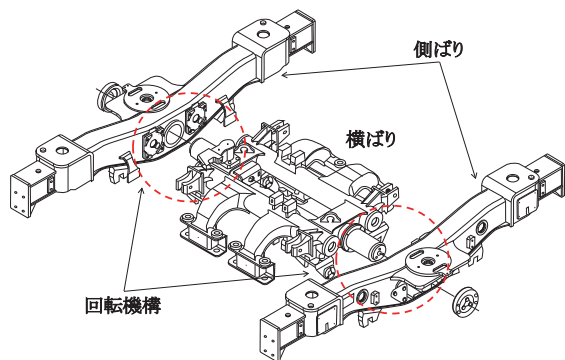


図2 台車枠概略図

### 3. 鉄道総研試験線での性能評価試験

#### 3.1 概要

輪重減少抑制台車の実軌道上での性能評価を目的に、鉄道総研試験線において走行試験を行い、1) 緩和曲線部における輪重減少抑制効果、2) 分岐器部における輪重減少抑制効果、3) ブレーキ時の台車挙動、について、それぞれ調査した。

これら試験では、鉄道総研が所有する在来線試験車体に車両試験台での転走試験で使用したのと同じ輪重減少抑制台車を装着し、この試験車両に牽引車を連結し試験列車を構成した。試験列車が牽引走行となる方向を試

験方向（図5）として、その際の試験結果を整理した。試験車両の重量は、車両試験台での転走試験時と同様に、車内に設置したデッドウェイトにより車体重量が概ね300kNとなるよう調整した。試験での測定項目として、輪重、横圧は新連続法により、側ばり、横ばりをはじめとした台車および車体の各種変位についてはひずみ式または光学式の変位計により、それぞれ測定した。

なお、試験結果については、台車諸元や試験車両の質量特性が概ね一致する条件で、一般的な構造の試作台車（以下、研究用試作台車と記す）を用いて行われた過去の試験結果と比較を行った。



図5 試験列車概略図

### 3.2 緩和曲線部における輪重減少抑制効果

#### 3.2.1 試験概要

緩和曲線部における輪重減少抑制効果を調査するため、曲線通過試験を行った。本試験では、鉄道総研試験線内の半径160m、カント90mm、カント逡減倍率400倍の曲線の出口側緩和曲線部を対象に、緩和曲線内での側ばりの挙動および進行先頭軸外軌側車輪で測定される輪重減少率の最大値について調査した。なお、試験速度は、試験列車の加速および制動性能を考慮し、緩和曲線部において定速走行が可能な10、20、30km/hを走行速度とした。

#### 3.2.2 試験結果

R160曲線内を速度5km/hおよび20km/hで走行した際の、台車中心よりレール方向に500mm離れた位置における外軌側の側ばりと横ばりの相対上下変位（以下、側ばり変位と記す）と軌道水準変位を図6に示す。走行速度によらず、緩和曲線部はもとより、曲線内の比較的波長の短い軌道の変位に対しても側ばりが変位し追従していることがわかった。

緩和曲線部において測定された最大輪重減少率の比較を図7に示す。輪重減少率の最大値は、輪重減少抑制台車、研究用試作台車ともに、緩和曲線内の概ね同一箇所を観測された。走行速度によらず、輪重減少抑制台車の輪重減少率の最大値は、研究用試作台車のものに比べ常に小さく、最大で4割程度小さくなることがわかった。

以上のことから、輪重減少抑制台車では、緩和曲線部

の軌道平面性変位に対して側ばりが回転、追従し、一般的な構造の台車に比べ、輪重減少率を最大で4割程度抑制できることを確認した。なお、速度20、30km/hに比べ、10km/hの条件で、輪重減少抑制効果が小さい点については、当該曲線の均衡速度が40km/h程度であることから、カントオーバー状態となり、輪重が内軌側へ大きく移動した影響を受けたためと考えられる。

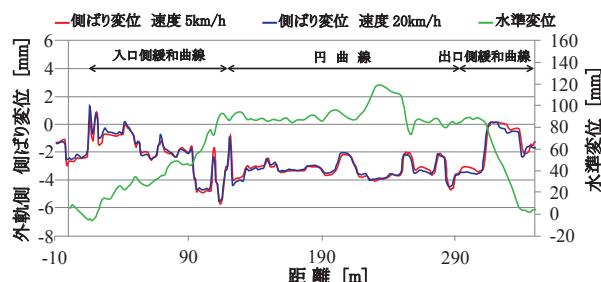


図6 曲線部における軌道水準変位と側ばりの変位（半径160m、カント90mm、カント逡減倍率400倍）

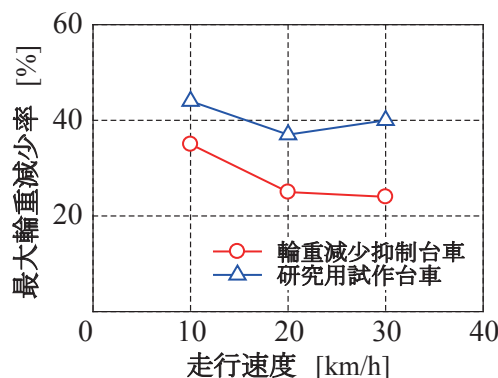


図7 緩和曲線部における輪重減少率の最大値（半径160m、カント90mm、カント逡減倍率400倍）

### 3.3 分岐器部における輪重減少抑制効果

#### 3.3.1 試験概要

側線8番分岐器は、トングレールの一部が基本レールより10mm程度高くなっていることから、分岐器内に構造上の平面性変位が存在する。この分岐器を通過する際、こうした平面性変位に起因しトングレール前後で発生する輪重減少により、走行安全性が損なわれる場合がある。側線8番分岐器内における輪重減少抑制効果を調査するため、分岐器通過試験を行った。本試験では、鉄道総研試験線内の連続する側線8番分岐器を、対向、背向の順に走行し、各分岐器内で測定される進行先頭軸外軌側車輪の輪重減少率の最大値を調査した。なお、試験速度は、試験列車の加速および制動性能を考慮し、分岐器部において定速走行が可能な5、10、15km/hを速度とした。

#### 3.3.2 試験結果

側線8番分岐器内全域における輪重減少率の最大値の比較を図8に示す。輪重減少抑制台車、研究用試作

特集：鉄道力学

台車ともに、輪重減少率の最大値は、分岐器内の概ね同一箇所を観測された。走行速度や分岐器の進入方向によらず、輪重減少抑制台車の輪重減少率の最大値は、差の絶対値としては小さいが、研究用試作台車のものに比べ常に小さく、最大で4割程度小さくなっていることがわかった。また、トングレール付近での輪重減少率については、平均で3割程度小さくなっていた。以上のことから、輪重減少抑制台車では、一般的な構造の台車に比べ、側線8番分岐器の有する構造的な平面性変位による輪重減少率を、最大で4割程度抑制できることを確認した。

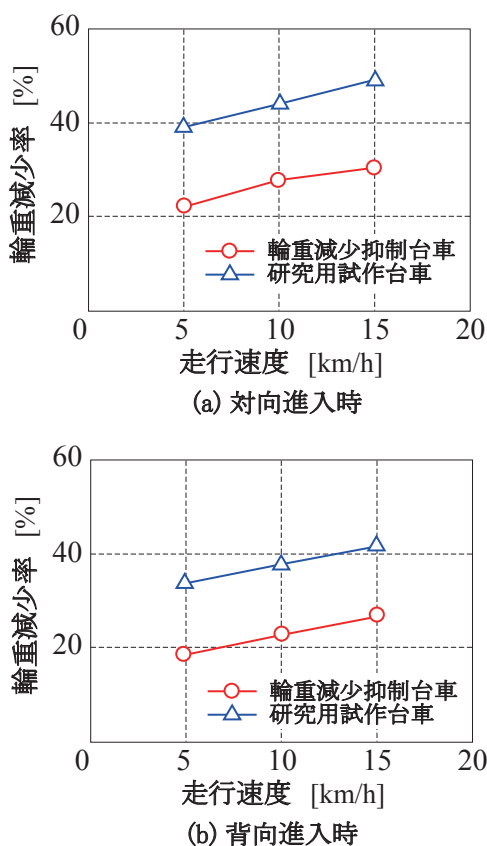


図8 側線8番分岐器部における輪重減少率の最大値 (分岐器内の全域を対象)

#### 4. 回転機構部の動作耐久試験

##### 4.1 試験概要

輪重減少抑制台車の実用化に当たっては、少なくとも台車メンテナンスの一周期内においては、主要機能である輪重減少抑制効果が損なわれないことが求められる。回転機構部のすべり軸受の性能が維持されることが求められる。回転機構部の信頼性については、これまでに、車両試験台において、片側がフェイルした場合やすべり軸受に過度の摩耗が生じた場合を想定した試験を実施し、走行安全上および走行安定上の問題となる事象が発生しないことを確認している<sup>2)</sup>。本試験では、回転機構部の信

頼性調査の一環として、定置において回転機構部を長時間動作させ、アクチュエータの発生力を計測してすべり軸受の回転抵抗を推定することで、軸受の耐久性を調査した。試験に当たっては、片側の回転機構を対象に、軸ダンパを油圧アクチュエータに換装し、外部に用意した油圧源で前位と後位のアクチュエータを逆相で伸縮動作させて側ばりを加振し、回転機構を動作させた。試験条件を表2に、試験の様子を図9に示す。

目標とする加振回数については、次の方法により決定した。①軌道変位成分を多く含む軌道データをもとに、一般的な構造の台車が当該軌道データ区間を走行する数値シミュレーションを行い、計算結果から代表的な振幅および周期で振動する台車ピッチングの回数をもとめ、②台車メンテナンス周期に相当する走行距離をもとめ、この周期内における側ばりの総回転回数を算定する。さらに、本試験では、この算定した結果に対して幾分の余裕をみて、180万回超の加振試験を実施した。

表2 回転機構部動作耐久試験での試験条件

加振波形	正弦波
加振振幅	0.5mrad
加振周波数	0.8Hz
加振回数	1,817,411回

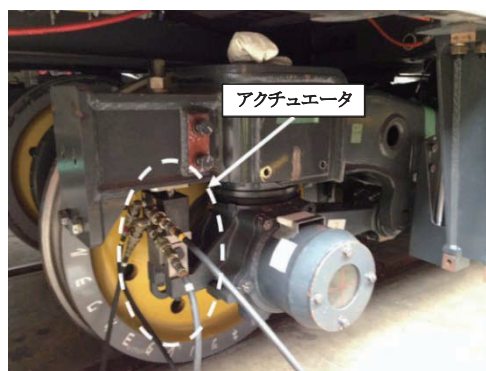


図9 回転機構部動作耐久試験の様子

##### 4.2 試験結果

試験期間を通し、目立った回転抵抗の変化は確認されなかった。また、試験終了後に、台車を解体して、すべり軸受の摩耗調査を行った(図10)。その結果、ラジアル軸受に比べスラスト軸受の摩耗が大きかったものの、摺動層の厚さに1mmに達するような摩耗はないことがわかった。以上のことから、少なくとも本試験と同程度の継続使用に対しては、すべり軸受は劣化や損傷をすることなく健全な状態を保ち、輪重減少抑制効果が損なわれないことを確認した。

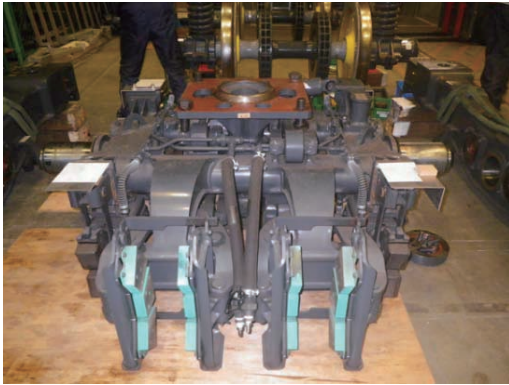


図10 台車解体調査の様子

## 5. 脱線しにくい台車実現に向けた予備試験

### 5.1 試験概要

乗り上がり脱線を防止する方策として、輪重減少の抑制の他に、横圧の低減がある。輪重減少抑制台車の開発と並行し、横圧低減を図る技術方策として機械式空気圧操舵システム（以下、アシスト操舵システムと記す）<sup>3)</sup>の開発を進めている。鉄道総研では、輪重減少抑制台車に、アシスト操舵システムをはじめとした横圧低減策を導入することにより、輪重減少の抑制と横圧の低減の両面から乗り上がり脱線の防止を図る、「脱線しにくい台車」の開発を進めている。

本試験では、アシスト操舵システムと輪重減少抑制台車を組み合わせ構成した脱線しにくい台車（図11）が、鉄道総研試験線内の半径160mの曲線を速度10、15、20、30km/hで走行した際の輪重、横圧等を測定した。測定結果より、輪重減少の抑制と横圧の低減を図る機能の共調動作および脱線に対する安全性の向上効果を調査し、脱線しにくい台車の機能について予備的な確認を行った。なお、比較のため、回転機構を機械的に抑止することで一般的な構造の台車を模擬した状態（以下、回転機構抑止状態と記す）にアシスト操舵システムを装備した条件の試験も併せて行った。

### 5.2 アシスト操舵システムの概要

アシスト操舵システムは、ボルスタレス台車の曲線区間走行時の幾何学的な挙動から台車ボギー角成分を機械的に検出し、検出したボギー角に応じて空気圧制御バルブを動作させる。操舵アクチュエータは、この制御空気圧によって輪軸の自己操舵性を補助する操舵力を発生して、台車の曲線通過性能を向上させる（図12）。純粋に機械的な制御によって操舵を行うため、逆操舵を引き起こす可能性が低いことが本システムの特徴である。制御空気圧によって駆動される操舵アクチュエータは、軸箱一台車枠間（1台車あたり4箇所）に取り付けられ、曲

線外軌側の軸距を延伸方向に動作させる片方向動作のアクチュエータを採用している。アクチュエータの取り付け方法としては、モノリンク式軸箱支持装置のモノリンクに代えて、操舵アクチュエータを装備するようになっている。また、通常のモノリンクと同様にゴムブッシュにより軸箱前後支持剛性を得るが、適正な軸箱左右支持剛性を確保するため、前ぶた上部を延長して左右方向支持マウントと呼ぶゴムを介してばね帽と接続する構成となっている（図13）。モノリンク両端のピン付きゴムブッシュ剛性、左右方向支持マウントの剛性は、既存の同方式の軸箱支持装置を持つ研究用試作台車と同じ特性のものを採用している。

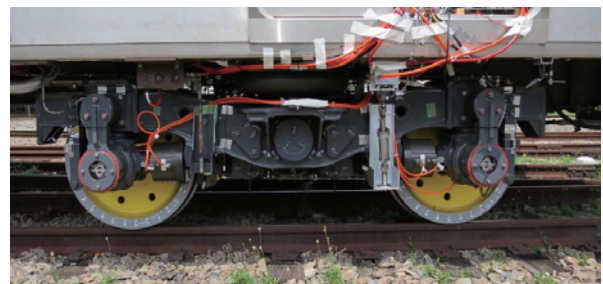


図11 アシスト操舵システム実装状態

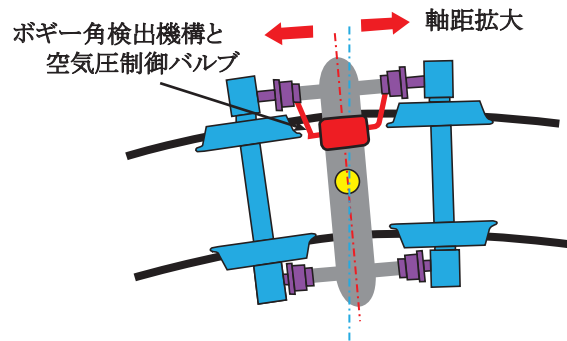
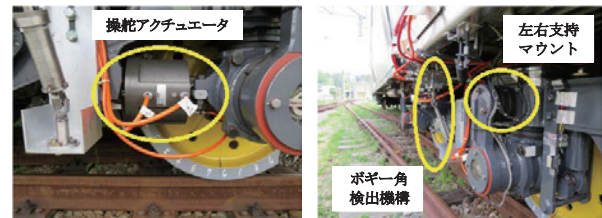


図12 アシスト操舵システム動作イメージ



(a) 操舵アクチュエータ (b) ボギー角検出機構および左右支持マウント

図13 アシスト操舵システムの構成

### 5.3 試験結果

試験区間とした曲線を速度15km/hで走行したときの横圧を図14に、区間別の脱線係数の最大値を図15に、それぞれ示す。図14より、アシスト操舵システムの動

特集：鉄道力学

作時には横圧が効果的に低減されること、また、アシスト操舵システムによる横圧低減効果は、回転機構の動作の有無で明確な差がないことがわかった。一方、図 15 より、出口側緩和曲線部における脱線しにくい台車の脱線係数は、回転機構抑止状態に比べ平均で 5 割強小さくなることがわかった。また、これらの性能と走行速度との関係は認められなかった。以上のことより、脱線しにくい台車では、台車枠の回転機構による輪重減少の抑制とアシスト操舵による横圧の低減が干渉することなく良好に機能し、その相乗効果により一般的な構造の台車を模擬した条件に比べ走行安全性が向上することを確認した。

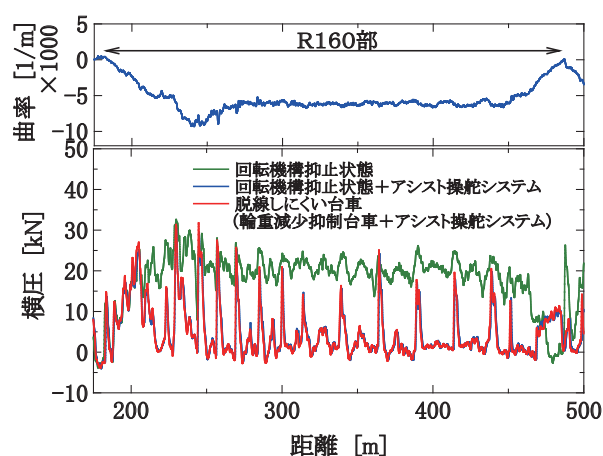


図 14 横圧の発生状況

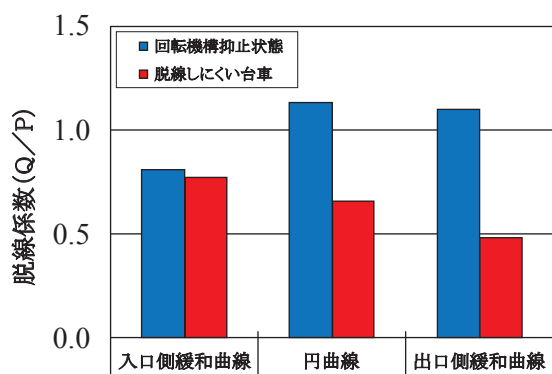


図 15 区間別の脱線係数最大値

6. まとめ

輪重減少抑制台車の実軌道上での性能評価を目的に、鉄道総研試験線において走行試験を行った。その結果は、以下のとおりであった。

- (1) 半径 160m, カント 90mm, カント逡減倍率 400 倍の曲線を対象とした速度 30km/h までの曲線通過試験により、出口側緩和曲線部における輪重減少率の最大値が、一般的な構造の台車に比べ、最大で 4 割程度小さくなることを確認した。
- (2) 側線 8 番分岐器を対象とした速度 15km/h までの分岐器通過試験により、分岐器内における輪重減少率の最大値が、一般的な構造の台車に比べ、最大で 4 割程度小さくなることを確認した。
- (3) 定置での回転機構部の動作耐久試験により、台車検査周期内においては、すべり軸受の健全性が確保されることを確認した。
- (4) 脱線しにくい台車を構成した予備試験により、輪重減少抑制機能とアシスト操舵機能が干渉しないこと、曲線内における脱線係数が一般的な構造の台車を模擬した条件に比べ最大で 5 割強小さくなることを確認した。

今後は、横圧低減策について更なる検討を行うとともに、脱線しにくい台車の開発を目指す。

謝 辞

輪重減少抑制台車の開発にあたり、ご協力をいただいた株式会社総合車両製作所ならびにオイレス工業株式会社の関係各位に対し深く感謝の意を表す。

文 献

- 1) 鈴木 他：3 ピース構造台車枠を用いた輪重減少抑制台車の開発，鉄道総研報告，Vol.27, No.12, pp.17-22, 2013
- 2) 児玉 他：3 ピース構造台車枠を用いた輪重減少抑制台車の開発，第 21 回鉄道技術連合シンポジウム，2010
- 3) 鴨下 他：ボルスタレス台車用アシスト操舵システムの基礎試験，鉄道総研報告，Vol.22, No.9, pp5-10, 2008