

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 「脱線しにくい台車」で走行性能を向上する

走行する鉄道車両の車輪とレールの間にはさまざまな力が作用し、常時はこれらの力がバランスを取りながら車両は安全に走行しています。ところが、ひとたびこの力のバランスが崩れると、車輪が転がりながらひとりでにレールに乗り上がり、最悪の場合、脱線にまで発展するおそれがあります。このように起こる乗り上がり脱線を防止するため、新たな要素技術を導入することで車輪とレール間に作用する力をコントロールすることが可能な鉄道車両用台車を開発しました。今回は、その概要と、鉄道試験線において実施した走行試験により確認された走行性能について紹介します。



**鈴木 貢**  
Mitsugi Suzuki  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
主任研究員  
[専門分野] 車両運動、  
走行安全



**本堂 貴敏**  
Takatoshi Hondo  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
研究員  
[専門分野] 車両運動、  
走行安全



**鴨下 庄吾**  
Shogo Kamoshita  
車両構造技術研究部  
車両振動研究室  
主任研究員(上級)  
[専門分野] 制御技術応用、  
車両のダイナミクス



**梅原 康宏**  
Yasuhiro Umehara  
車両構造技術研究部  
走り装置研究室  
主任研究員  
[専門分野] 台車構造、  
車両のダイナミクス



**山長 雄亮**  
Yusuke Yamanaga  
車両構造技術研究部  
走り装置研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 台車構造、  
車両のダイナミクス

## はじめに

鉄道総研編鉄道技術用語辞典によると、脱線とは、「車輪がレールから外れること」との記述があります。脱線は、レールの上を車両が走行する鉄道では避けては通れない事象ではありますが、ひとたび起こると人命にかかわるような重大な事態に発展するおそれもあることから、何としても防止しなければならない事象です。しかしながら、脱線事故は今日に至るまで根絶することができておらず、鉄道技術者にとっての大きな課題として存在し続けています。

一口に脱線といっても、その発生原因などによっていくつかの形態に分類されます(図1)。車輪とレールが激しく衝突することで車輪が飛び跳ね脱線に至る跳び上がり脱線、地震により車両が揺れ動かされ脱線に至るロッキング脱線、何らかの原因により左右

のレールの間隔が広がることで軌間内に車輪が落下し脱線に至る軌間内脱線、そして、乗り上がり脱線があります。乗り上がり脱線は、車輪とレール間に作用する力が一定の状態となることで、車輪が転がりながらひとりでにレールの上に乗り上がり起こる脱線です。この乗り上がり脱線の防止を目的に、在来線用「脱線しにくい台車」(図2)を開発しました。今回は、「脱線しにくい台車」の概要と、鉄道試験線での走行試験により確認された本台車の走行性能について紹介します。

## 乗り上がり脱線のメカニズム

走行する鉄道車両の車輪とレールの間には、さまざまな力が作用しています。脱線などの車両の安全性を考えるうえでは、これらの力を作用する方向別に3つに分けて考えます(図3)。鉛

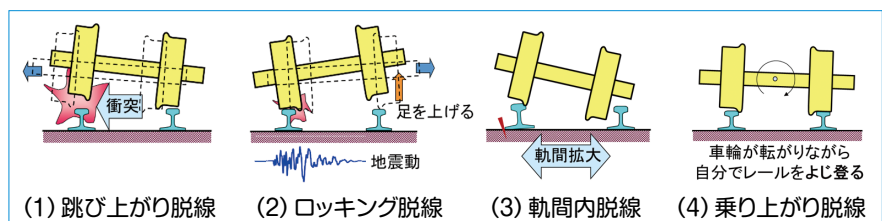


図1 脱線形態の例



図2 脱線しにくい台車

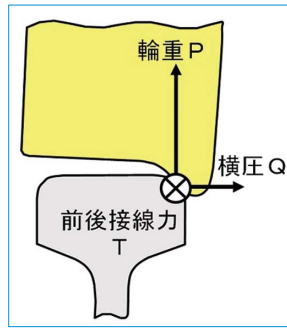


図3 車輪とレールの間に作用する力

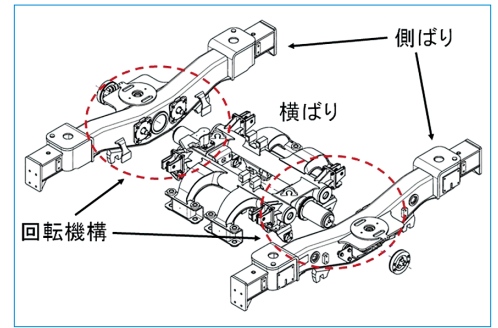


図4 回転機構を有する台車枠

直方向の力を輪重、水平方向の力を横圧、前後方向の力を前後接線力、とよびます。輪重は車両の重量などが、横圧は曲線部で車輪がレールから受ける反力などが、前後接線力は駆動力や制動力などが、それぞれ主な成分となっています。このうち、乗り上がり脱線の発生に対しては、輪重と横圧のバランスが深く関係してきます。具体的には、輪重が小さくなると、横圧が大きくなると、そしてこの両方が同時に起きるとき、に乗り上がり脱線の危険性が增大すると考えられています。

鉄道では、軌道の構造上、どうしても横圧と輪重減少が同時に発生し、乗り上がり脱線に対する安全性が低下しやすい場所が存在します。その代表的な例が、出口側緩和曲線部です。緩和曲線は、直線部と円曲線部をつなぐ、一種の緩衝区間です。出口側緩和曲線部では、円曲線から直線部へ進むとき、カントと曲率が徐々に解消されますが、曲率そのものは存在するため、横圧が発生します。また、カントが徐々に解消される、いわゆるカントでい減によって、台車と軌道面との間に平面的なねじれが発生します。このねじれを軌道の平面性変位とよびます。緩和曲線内での軌道の平面性変位の影響は、進行先頭軸外軌側の車輪の位置で最も大きくなります。この大きな変位に車輪が追従することで軸ばねが伸び、台車が3点支持に近い状態となり、その結果として輪重減少が発生します。また、車両が極めて低い速度で曲線を走

行する際には、カントにより車両の重心が曲線中心側に移動することで、曲線外軌側車輪の輪重がさらに減少することがあります。本来は、このような横圧や輪重減少が発生しても、乗り上がり脱線が起きることがないように、車両や軌道が設計、整備されています。しかし、何らかの理由で車両や軌道に規定した以上の偏りがあると、横圧や輪重減少がさらに大きくなってしまい、乗り上がり脱線に至る場合があります。

### 「脱線しにくい台車」の概要

前述の乗り上がり脱線のメカニズムを踏まえ、その発生を防止するためには、輪重を小さくさせないこと、あるいは横圧を大きくさせないことが重要となります。「脱線しにくい台車」は、この考えをもとに先行研究により開発した、輪重減少抑制技術である輪重減少抑制台車に、横圧低減技術であるアシスト操舵システムを組み込むことにより、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に対する安全性の向上を図る台車です。

#### (1) 輪重減少抑制台車<sup>1)</sup>

輪重減少抑制台車は、回転機構を設けた特殊な台車枠を採用することにより、軌道の平面性変位の大きな箇所が生じる輪重減少を抑制可能な台車です。一般的な構造の台車の台車枠は、側ばりと横ばりが溶接により剛に接合され

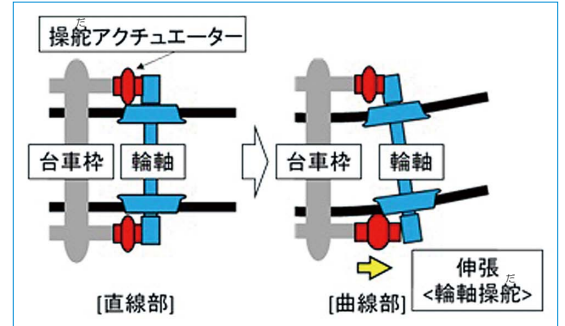


図5 輪軸操舵イメージ

ています。これに対し、輪重減少抑制台車の台車枠は、左右の側ばりと横ばりをすべり軸受を用いた回転機構により接合した、3分割構造となっています(図4)。この回転機構により、左右の側ばりが横ばりに対しピッチ方向へ回転運動することが可能となります。この側ばりの回転運動により、輪軸とともに台車枠が軌道の平面性変位に追従することで、すなわち、台車枠が台車と軌道面とのねじれを吸収することで、輪重減少を抑制します。回転機構を設けた台車枠と一部の台車部品を除いては、高い信頼性を有する一般的な在来線用台車と変わらない構造となっています。輪重減少抑制台車は、とくに、低速走行時の輪重減少の抑制に効果を発揮し、開発にあたり実施した走行試験による性能調査の結果、一般的な構造の台車に比べ出口側緩和曲線部における輪重減少を平均で約3割抑制することができます。

#### (2) アシスト操舵システム<sup>2)</sup>

アシスト操舵システムは、曲線部での横圧の低減を図る輪軸操舵システムです。台車枠と軸箱との間に取り付け



図6 試験列車

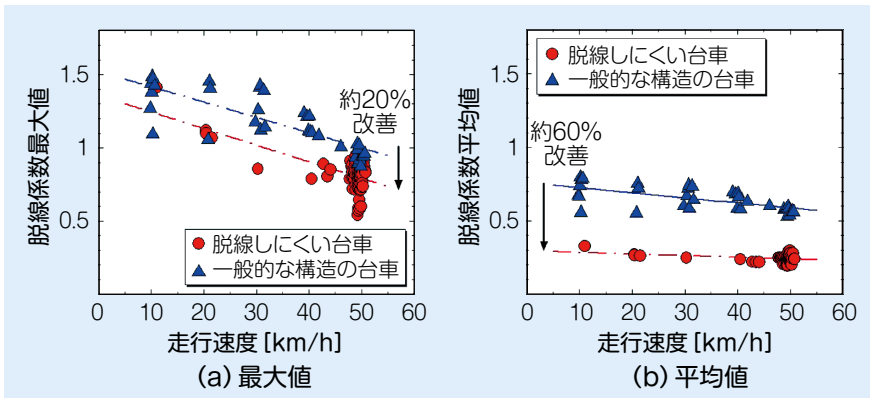


図7 脱線係数の改善効果  
曲線半径160m カント107mm

た空気圧で動作するアクチュエーターにより、曲線部で生じるアタック角(☞参照)を小さくするよう輪軸を操舵することで横圧を低減します(図5)。この操舵動作により、一般的な構造の台車の場合に比べ、急曲線部における横圧の平均値を約8割低減することを実現しています。アシスト操舵システムは、台車旋回角(以下、ボギー角と記す)検出機構、空気圧制御バルブ、操舵アクチュエーター、の3つの要素から構成されます。ボギー角検出機構により曲線区間走行時のボギー角成分を抽出し、これに応じて空気圧制御バルブを開閉することで、操舵アクチュエーターを動作させます。誤動作、具体的には直線部で操舵してしまうこと、

曲線部で逆方向に操舵すること、を防止するため、機械的なリンク機構と空気圧制御バルブを直結し、曲線区間走行中のボギー角に応じて操舵アクチュエーターを動作させる、シンプルな制御手法を採用しています。なお、仮に何らかの不具合により、アシスト操舵システムがフェールした場合であっても、安全性や安定性が低下しないよう、一般的な構造の台車と同程度の軸箱支持剛性を確保できる構造となっています。

### 鉄道試験線での性能調査

「脱線しにくい台車」の実用速度域での走行性能を調査するため、三菱重工業(株)の所有するMIHARA 試験セン

ター内の普通鉄道用の試験線において走行試験を実施しました。この試験線は1周約3.2kmの周回線となっており、ここに半径120~700mの曲線が6箇所と、延長約1kmの直線部が設けられています。この周回線全線を試験区間とするとともに、とくに速度条件が設定しやすい曲線半径120mと160mの円曲線で構成される複心曲線部を重点試験区間としました。試験では、2両のけん引車両と1両の試験車両(付随車)を連結した3両編成の列車(図6)を編成し、試験車両の進行前台車に「脱線しにくい台車」を装着しました。また、比較のため、鉄道総研が所有する一般的な構造を有する研究用台車を試験車両に装着した条件での試験もあわせて実施しました。

#### (1) 走行安全性向上効果

「脱線しにくい台車」の主要機能である安全性向上効果を調査するため、重点試験区間とした曲線部を10~50km/hまで10km/h刻みで変えて走行する試験を実施しました。測定された脱線係数(☞参照)の最大値および平均値を整理した結果を図7に示します。脱線しにくい台車で測定された脱線係数は、一般的な構造の台車に比べ、最大値で比較すると全体平均で約20%、平均値で比較すると全体平均で約60%、小さくなっていることがわかりました。このことから、「脱線しにくい台車」により、曲線部での安全性が大幅に向上することを確認しました。なお、脱線係数の最大値は、レール継ぎ目などにおいて発生した衝撃的な横圧によるものでした。このような急峻な軌道の変化に対しては、アシスト操舵システムは十分に追従できない場合があります。このため、脱線係数の最大値の低減効果は、平均値に対するものに比べ小さかったものと考えられます。また、脱線係数の最大値では

#### ☞ アタック角

曲線走行時などに発生する、車輪とレールとの相対上下軸まわりの回転角のことをいいます。車輪がレールに向かう角度を正にとります。一般に曲線の半径が小さいほど、アタック角は大きくなります。また、アタック角が大きいほど横圧が大きくなります。

#### ☞ 脱線係数

横圧を輪重で除したもので、脱線に対する安全性の指標として用いられます。脱線係数の値が、限界脱線係数(車輪フランジの角度と車輪/レール間の摩擦係数により求まる脱線の始まる限界値)に比べ、小さい場合には脱線は起こらず、大きい場合には脱線する可能性がある、ことを示します。

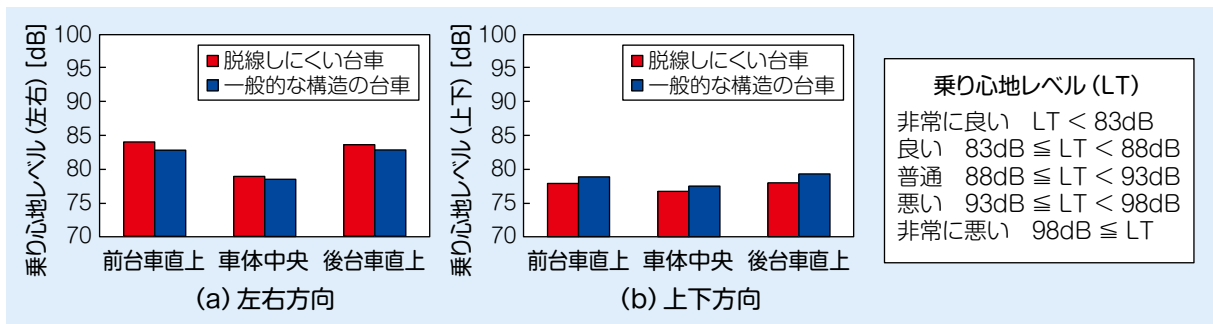


図8 周回走行時の乗り心地レベル

一部1.0を超える大きな値が測定されていますが、他の指標とあわせた総合的な安全性評価により、安全上の問題となるものではないことを確認しています。

### (2) 振動乗り心地

前述のとおり、「脱線しにくい台車」では、回転機構を設けた台車枠をはじめ、特殊な台車構造を採用しています。このような台車構造により、一般的な構造の台車に比べ振動乗り心地が低下することがあってはなりません。そこで、「脱線しにくい台車」が良好な振動乗り心地を実現できることを確認するため、試験線内を標準走行速度（曲線部を所定の速度、直線部を最高約80km/h）で走行した際の、試験車両床面上における車体振動加速度波形をもとに乗り心地レベルを算出しました。その結果を図8に示します。「脱線しにくい台車」の乗り心地レベルは、左右方向、上下方向ともに一般的な構造の台車とおおむね同程度の値であり、その評価はいずれも「非常に良い」から「良い」の範囲であることがわかりました。このことから、「脱線しにくい台車」の振動乗り心地は、一般的な構造の台車と同程度であり、その台車構造が振動乗り心地に影響を及ぼすことがないことを確認しました。

### (3) フランジきしり音低減効果

急曲線部で、車輪のフランジとレールが接触し走行する際に、フランジきしり音とよばれる甲高い不快な音が発生することがあります。「脱線しにくい

台車」ではアシスト操舵システムの操舵動作により、急曲線部においても車輪とレールはフランジ接触しにくくなります。これにより、フランジきしり音の抑制効果が期待できます。この効果を検証するため、台車近傍に騒音計マイクロフォンを仮設して、重点試験区間とした複心曲線部における「脱線しにくい台車」と一般的な構造の台車の場合それぞれの車外騒音を計測しました。図9は、計測結果を周波数帯域別に見たC特性音圧レベル（参照）に整理した結果です。「脱線しにくい台車」では、各音圧レベルの合計値で最大7.2dB小さくなっていることがわかりました。このことから、「脱線しにくい台車」には、フランジきしり音を低減する効果があることを確認しました。なお、5000Hz以上の周波数帯では、「脱線しにくい台車」の音圧レベルが大きくなっていますが、実効値としては小さいため全体に影響を与えるものではないと考えています。また、その原因については、アシスト操舵システムの動作速度に起因したもので、動作速度を向上することで当該周波数帯においても音圧レベルが改善することを確認しています。

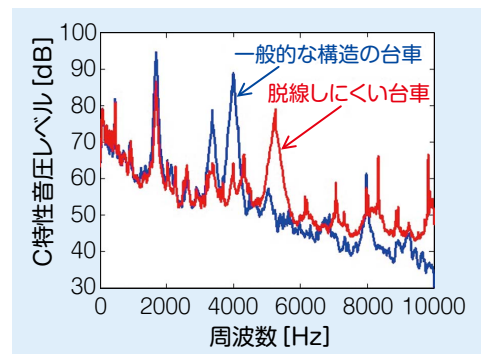


図9 フランジきしり音低減効果  
C特性音圧レベル R120-R160複心曲線部

### おわりに

乗り上がり脱線を防止するための取り組みとして、「脱線しにくい台車」を開発するとともに、鉄道試験線において台車性能を調査しました。その結果、「脱線しにくい台車」により、乗り上がり脱線に対する安全性を大幅に改善できることを確認しました。今後は、実使用環境を想定した構成部品の耐久性や信頼性の調査など実用化に向けた取り組みを行っていきます。

なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。[RRR]

### 文献

- 鈴木貢, 児玉真一, 田中隆之, 梅原康宏, 鴨下庄吾, 宮本岳史: 鉄道総研試験線による輪重減少抑制台車の性能評価, 鉄道総研報告, Vol.30, No.2, pp.17-22, 2016
- 鴨下庄吾, 梅原康宏, 山長雄亮, 石栗航太郎: 機械式空気圧操舵システムによる曲線通過性能向上, 第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2014), S1-2-2, 2014

#### ☞ C特性音圧レベル

音圧レベルを測定・評価するための聴覚補正特性の1つで、人間の聴感に最も近いA特性よりも、よりフラットな周波数特性をもっています。