

- 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

列車走行の安全性向上



日比野 有
Yu Hibino

鉄道力学研究部
車両力学研究室 室長

【専門分野】車両運動力学, 走行安全性, 横風

鉄道車両の走行安全性に関して、脱線事故を防止することは最重要課題です。過去に発生した重大脱線事故などを機に、これまでさまざまな研究開発が行われ、対策が講じられていますが、それでも脱線事故の根絶には至っていません。そこで、「脱線させない軌道」「脱線しにくい車両」の実現を目指して、軌道側および車両側の双方の面から種々の検討を行いました。ここでは、脱線防止技術として開発あるいは提案された成果の例を紹介します。

はじめに

運輸安全委員会が調査の対象とする列車脱線事故は、毎年数件～十数件程度の頻度で発生しています。脱線の原因はさまざまで、踏切での自動車との衝突や線路内に流入した土砂への乗り上げなど、原因が外在的で明らかなものから、車両・軌道ともに管理基準内に整備されているながら複数の要因が競合して発生する乗り上がり脱線など、原因が内在的で複雑なものまで、いろいろとあります。今回紹介する研究では、おもに後者のタイプの脱線事故を防ぐことを目的としています。また、これまで数々の研究開発が行われ、脱線対策が提案されてきましたが、近年

の脱線事故の例では、それだけでは対応しきれない事例や、新たな課題が明らかになった事例もあります。そこで、これらについても一つ一つ丁寧に検討し、リスクを少しでも減らすことを目的としています。

今回取り組んだ検討事項のイメージを図1に示します。軌道側および車両側の双方の面について、評価方法・解析方法から対策方法に至るまで俯瞰的に眺め、上に述べたような近年の事故事例や鉄道事業者のニーズを踏まえて、取り組むべき検討事項を設定しました。ここでは、図1に示した各項目についての検討結果や成果の概要について紹介します。

動的軌道変位管理

軌道の状態が原因となる脱線事故には、左右のレールの間隔（軌間）の拡大による軌間内脱線と、曲線での平面性変位（※参照）による乗り上がり脱線などがあります。とくに近年では、地域鉄道における軌間拡大による脱線事故が増えているのが特徴で、早急な対策が求められています。軌道変位管理の信頼性を向上させるためには、専用の車両（軌道検測車）を用いて走行時の軌道の変形（動的変位）を測定して管理することが望ましいとされています。しかしながら、軌道検測車を所有していない地域鉄道などでは、静的な軌道検測装置により軌道変位検査が行われており、車両通過時の動的な軌道変位を把握できずに脱線事故が発生してしまうことがあります。そこで、動

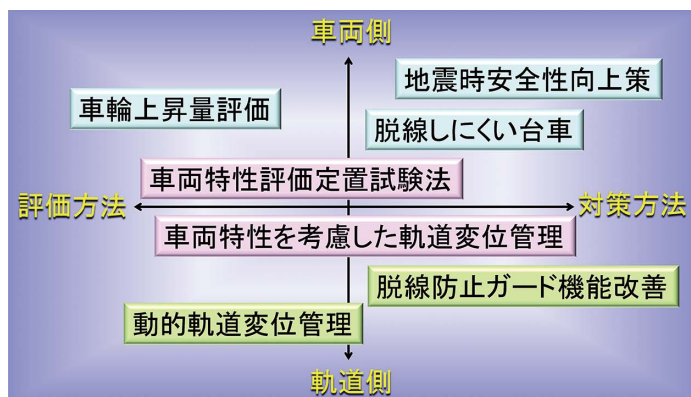


図1 検討事項のイメージマップ

※ 平面性変位

一定距離間の水準（左右のレールの高低差）の変化量のことで、軌道の平面性に対するねじれの状態を表します。平面性変位が大きいと、いわゆる三点支持のような状態になり、輪重が大きく減少するため走行安全性が低下することがあります。

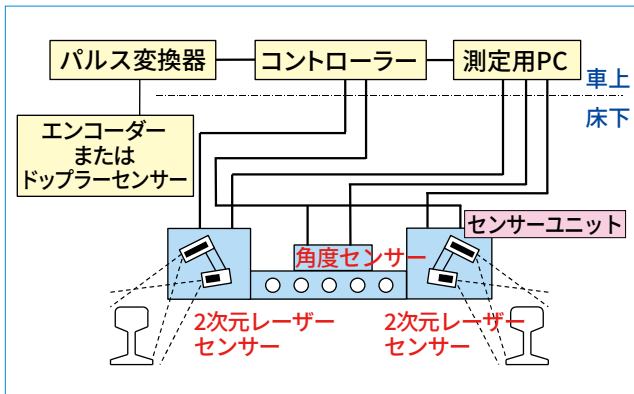


図2 動的軌間・平面性測定装置

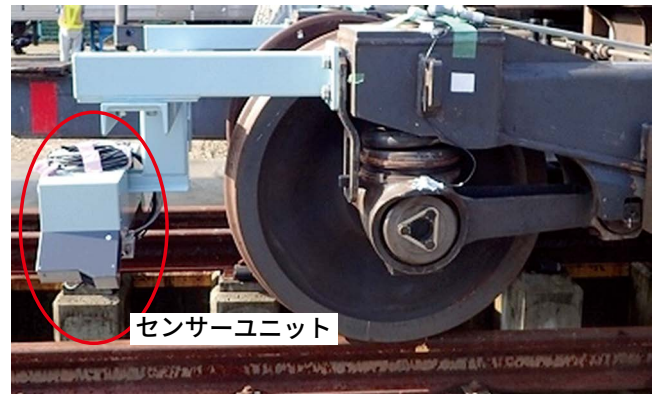


図3 旅客車両用台車への搭載例

動的な軌間および平面性変位を測定することができる。保守用車や営業車両に搭載可能な測定装置を開発しました¹⁾。

動的軌間・平面性測定装置の構成を図2に示します。軌道検測車のセンサーユニットと比較して小型で軽量のため、保守用車や旅客車両用台車に取り付け治具を介して搭載することができます(図3)。本装置では、レーザー光源とカメラを内蔵した2次元レーザーセンサーによりレール断面形状を取得したのち、画像処理によって2次元レーザーセンサーとレールとの相対変位を求めます。また、角度センサーにより、軌道面に対するセンサーユニット自身の姿勢を求めます。これらの計測結果から、軌間と平面性変位を算出します。

本装置を保守用車あるいは旅客車両用台車に搭載して走行試験を行った結果、在来線用の軌道検測車と同等の精度で測定できることが確認されました。したがって、前段で述べたような地域鉄道などにおける軌間拡大による脱線事故の対策にとくに有効であると考えられます。

脱線防止ガード機能改善

急曲線など脱線が発生する可能性が高い箇所や、万が一脱線が発生した場合に被害が大きくなるのが懸念される箇所には、鋼製のガード材(脱線防止ガード)が敷設されていますが、敷

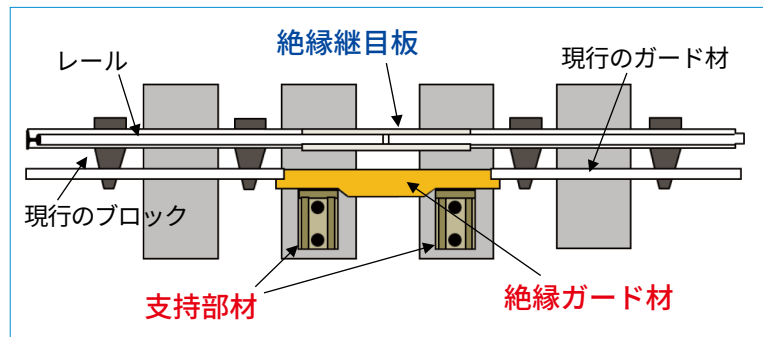


図4 絶縁継目部への対策工

設延長が不足している箇所や、継目部付近などガードが不連続になっている箇所では、脱線防止機能が低下する可能性があります。そこで、既存の脱線防止ガードの脱線防止効果を確認し、効果を確実に発揮するための設置・管理条件を整理するとともに、機能を向上するための改善策を開発しました。ここでは後者の例として、レール絶縁継目部付近の弱点箇所に対する対策工を紹介します。

レール絶縁継目部とは、レールを電氣的に絶縁するための継目部のことです。これは、レールが信号設備の一部として使用されているため一定の区間ごとに設けられています。そのような箇所では、付近に鋼製のガード材があると短絡するおそれがあることから、ガード材を設置することができない部分(欠損箇所)が生じてしまう場合があります。そこで、絶縁素材を用いた対策工を開発しました(図4)。対策工は、まくらぎに支持部材を取り付け、

その上に絶縁素材(ガラス長繊維補強発泡ウレタン樹脂)のガード材を設置する構造としました。試作品を製作し、強度を確認するために静的載荷試験を行った結果、設計荷重の2倍以上の静的強度があることが確認されました。

脱線しにくい台車

走行する鉄道車両の車輪とレールの間には、上下方向の力である輪重と、左右方向の力である横圧と、前後方向の力である前後接線力が作用します。このうち、乗り上がり脱線については、「輪重の減少」と「横圧の増加」が重なると発生する可能性が高くなります。とくに急曲線の出口付近では構造的に軌道の平面性変位が大きくなるため、輪重の減少が発生しやすい箇所となります。そこで、先行研究では、輪重減少を抑制する機構を設けた輪重減少抑制台車と、横圧の低減を図るアシスト操舵システムを開発しましたが、本研究ではこの2つの技術を組み合わ

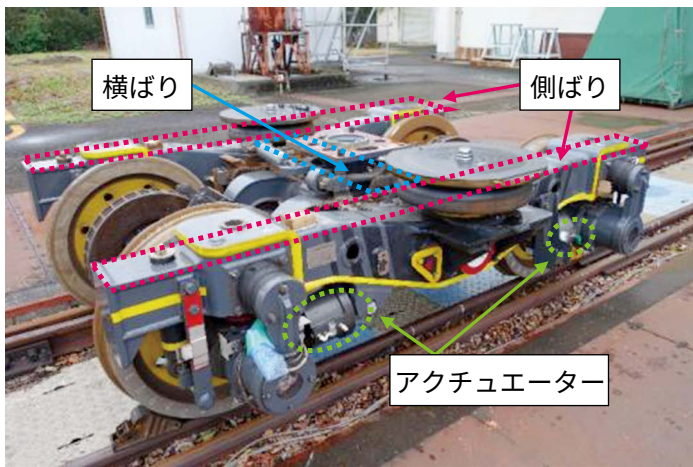


図5 脱線しにくい台車の外観

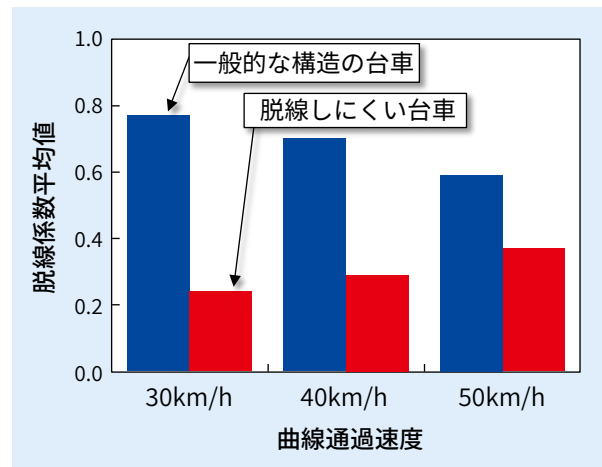


図6 走行試験結果の例

せた「脱線しにくい台車」を開発しました²⁾³⁾(図5)。ここで、輪重減少抑制機構とは、台車枠を3分割構造として、台車中央部の横ばりに対して左右の側ばりが軌道に追従して回転(ピッチング)できるようにした構造の事です。また、アシスト操舵システムとは、台車枠と軸箱の間に空気圧で動作するアクチュエーターを取り付け、曲線に沿うように輪軸を操舵するシステムの事です。この2つの技術を組み合わせることにより、輪重減少の抑制と横圧の低減を同時に実現することができ、乗り上がり脱線に対する安全性をさらに向上することができると考えられます。

試作した脱線しにくい台車については、部外の鉄道試験線を使用して走行試験を行いました。走行試験の結果、上記2つの機構・システムが互いに干渉することなく機能し、走行安全性が向上することを確認しました。たとえば図6に示すように、一般的な構造の台車と比較して、曲線走行中の脱線係数(参照)の平均値が最大で約60%改善され、乗り上がり脱線に対する安全余裕が増えていることが確認されました。

脱線係数

車両の走行安全性を評価する指標のひとつで、横圧を輪重で割った値のこと。脱線係数の値が大きいと脱線に対する危険性が高いと判断します。

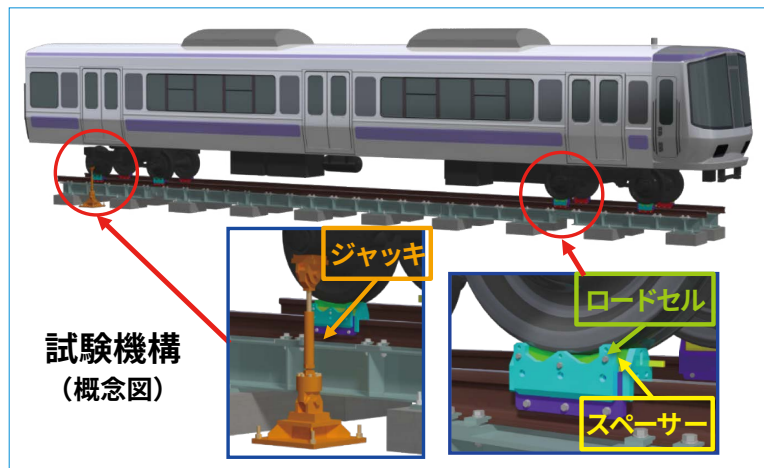


図7 平面性変位追従性能試験法

車輪上昇量評価

車両の走行安全性を確認するために実施する走行試験では、その評価指標として脱線係数を用いますが、車輪・レール間の摩擦係数の条件などによっては、実際には乗り上がりに至らないのに危険と判定される場合があります。そこで、より正確な評価を行うために、従来の脱線係数を用いた評価にあわせて、車輪上昇量を考慮する評価手法を検討しました。

車両特性評価定置試験法

走行安全性に関わる車両の特性を評価するために走行試験を行うことがありますが、負担や制約が大きいという難点があります。そこで、走行試験を行わずに、かつ軌道の線形や変位の影響を考慮して車両の特性を評価するこ

とのできる定置試験方法を検討しました。本研究では、軌道の平面性変位に対する車両の追従性能を評価する試験法や、曲線走行時の遠心力の影響を考慮した台車旋回性能を評価する試験法などを検討しましたが、ここでは前者について紹介します。

試験機構のイメージを図7に示します。車輪とレールの間にスペーサーとロードセルを挿入し、スペーサーの厚さを変えることで軌道の平面性変位を模擬し、ロードセルで輪重を測定します。なお、スペーサーの抜き差しは、軸箱下部をジャッキで支持して車輪を上昇させて行います。鉄道総研の試験線で実車を使った試験を行った結果、試験方法としての有効性を確認しました。この試験方法は大掛かりな試験装置によらないため、車両基地や工

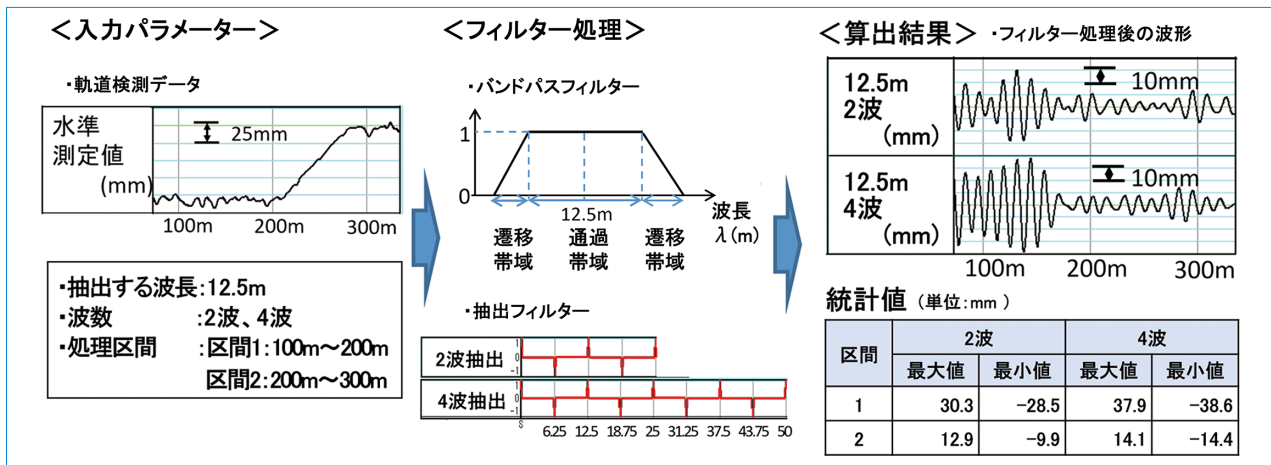


図8 周期的な水準変位の抽出方法のイメージ

場などのピット線での試験が可能であり、急曲線低速走行時の走行安全性確認試験の補完方法として活用できます。

車両特性を考慮した軌道変位管理

軌道変位の大きさが同じ場合でも、そこを走行する車両の特性や走行速度によって車両に現れる振動の大きさは異なります。とくに、周期的な軌道変位が存在する場合には、その波長と車両の走行速度で決まる繰り返し周期が車両の固有振動数に近くなると、管理基準内の軌道変位であっても輪重や横圧が大きく変動して走行安全性が低下する場合があります。そこで車体のロール振動の共振現象による輪重減少が原因となる乗り上がり脱線を防ぐために、軌道の周期的な水準変位の管理値の検討方法および抽出方法を提案しました。

車両特性を考慮した周期的な水準変位の管理値の検討方法は次のとおりです。まず、軌道検測データから周期性のある特徴的な波長を把握します。次に車両の振動特性を考慮したシミュレーションにより、その車両にとって厳しい周波数(共振周波数)を把握します。さらにシミュレーションにより、周期的な水準変位の波数と変位振幅の和が輪重減少率に及ぼす影響を調べ、各波数に対応した水準変位の管理値を定めます。

一方、周期的な水準変位が存在する区間と大きさを把握するための抽出方法のイメージを図8に示します。まず、対象とする軌道の検測データを用意し、抽出する波長と波数、および処理区間を指定します。次に、バンドパスフィルターにより必要な周波数帯域の変位成分を取り出した上で、抽出フィルターにより指定した波長と波数に対応した水準変位を抽出します。抽出フィルターは変位振幅の和を算出することに相当し、算出結果(フィルター処理後の波形)から周期的な水準変位が存在する箇所を把握することができます。また、得られた統計値を上記管理値と照らし合わせることで、整備の要否を判断することが可能になります。

地震時安全性向上策

ここまで述べてきた脱線とは分類が異なりますが、地震による脱線の対策も重要な課題です。これまではおもに新幹線を対象とした研究開発が行われてきましたが、在来線についても、たとえば大都市圏のように大勢の乗客を乗せた列車が高頻度で運行される地域では、地震による脱線事故が発生した場合に被害が大きなものとなる可能性があります。そこで、在来線車両の地震時の走行安全性を向上させる台車部品や車両転覆防止機構を検討しました。

成果の活用

今回紹介した研究開発成果のうち、動的軌間・平面性測定装置については、実用化の要件を整理し、製品化を進めます。脱線しにくい台車については、輪重減少抑制機構の耐久性や信頼性を確認するとともに、アシスト操舵システムの機能向上を図るなど、実用化に向けた取り組みを行います。周期的な水準変位管理法については、軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」にその機能を実装し(図8)、2020年度のバージョンアップ時から鉄道事業者の皆様にご活用いただける予定です。

その他の成果についても、引き続き検討の深度化や実用化に向けた研究開発を進め、さらなる走行安全性の向上を図っていきたいと考えています。

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

- 1) 坪川洋友, 石川智行: 車両走行時の軌道の変形を診る, RRR, Vol.76, No.2, pp.20-23, 2019
- 2) 宮本岳史, 鈴木貢, 鴨下庄吾, 梅原康宏, 本堂貴敏: 脱線しにくい台車を作る, RRR, Vol.73, No.10, pp.4-7, 2016
- 3) 鈴木貢, 本堂貴敏, 鴨下庄吾, 梅原康宏, 山長雄亮: 「脱線しにくい台車」で走行性能を向上する, RRR, Vol.75, No.5, pp.20-23, 2018