

車両の安全性向上の取組み

安全研究所 車両・旅客安全

堀岡 健司



1. はじめに

当社は、会社発足以来「安全」を経営の最重要課題とし、お客さまに安心してご利用いただける鉄道システムづくりに取組んでいます。2009年度からは第5次の安全5ヵ年計画「安全ビジョン2013」を推進していますが、「お客さまの死傷事故、社員の死亡事故→ゼロ」への挑戦は、1994年（第2次）の「安全基本計画」から一貫して変わらない究極の安全への目標としています。

鉄道車両の分野において、これら重大な事故に繋がる事象は、過去から、「衝突」「脱線」「転覆」「ドアに関する事故」「列車火災」などが知られています。JR発足以降、1988年12月に東中野列車衝突事故が発生しましたが、当社はこれを機に、翌1989年に安全研究所を発足させ、以降、車両に関しても事故原因の究明から対策の提言まで、安全性向上の取組みを進めています。今回は研究開発部門における近年の取組みと今後の課題をご紹介します。

2. 鉄道車両の安全性向上の課題とは

表1は、過去に発生した重大事故と主な因子を示したものです。

表1 重大事故とその主な因子

	内的因子	外的因子
衝突	運転取扱（閉そく）誤り※ 運転操作（信号冒進、大幅速度超過）※ 整備不良（ブレーキコック誤扱い）※ 装置故障（ブレーキ）◆	滑走（降雪等）
脱線	運転取扱（進路）誤り※ 運転操作（大幅速度超過）※ 整備不良（台車・軌道）※ 装置故障（台車・輪軸破損）● 乗り上がり脱線	踏切事故 地震
転覆	運転操作（大幅速度超過）※	突風
ドア	転落 ドア「開」誤扱い※ 装置故障（戸閉機械・制御指令）◆	
	挟まれ 引きずり 荷物・衣類挟まり	掛け込み乗車
火災	装置故障（エンジン火災、電気回路ショート）◆	踏切事故 放火

- ※ バックアップシステムやエラーを起さない作業方法を取り入れているもの
- ◆ フェイルセーフ、2重系化、保護装置などの措置があるもの
- 1重系のシステム

このうち、※を付した因子はヒューマンエラーや作業方法に起因するもので、これらについてはATSなどのバックアップシステムを車両に搭載したり、ダブルチェックなどエラーを起さない作業方法への見直しを進めてきました。◆、●は装置の故障に起因するものですが、このうち◆はフェイルセーフの設計思想や2重系化によるバックアップ、保護装置を付加することによるトラブル時の被害拡大防止など、何らかの措置が配慮されています。

したがって、残された因子は●を付した1重系システムである台車・輪軸の故障および、いまだに原因の究明が途上にある乗り上がり脱線、お客さまの行為が関与するドアの戸挟み・引きずりに関するもので、これらの安全性向上が鉄道車両における直近の課題と考えています。

また外的な因子では、踏切事故や地震・風に対する車両の安全性向上も重要な課題であり、研究開発を進めています。

3. 研究開発の成果と進捗

3.1 乗り上がり脱線の原因究明

2000年3月に営団地下鉄日比谷線中目黒駅構内で発生した脱線事故は、トンネルから地上へ向けた上り急勾配かつ急曲線に続く緩和曲線の始端において最後部車両が乗り上がり脱線を起し、対向列車の5、6両目に側面から衝突、被害者68名（死亡5名、負傷63名）を出す大きな事故となりました。乗り上がり脱線は、急曲線近傍や分岐器などで、車輪削正後間もない車両が走行する場合などにおいて稀に発生することが知られていますが、この中目黒事故のように大きな2次被害を伴うリスクがあります。

現在までに乗り上がり脱線防止の対策として、当社では、車両側では左右輪重バランスの数値管理、フランジ角度の変更(60°→65°)、車輪削正後のフランジ部への塗油、軌道側では複合変位の管理、脱線防止ガードの設置を実施してきましたが、その後、2008年2月に尾久駅構内の分岐器で乗り上がり脱線が発生しました。

尾久駅の事象は、車両、軌道ともに整備基準を満たしていましたが、走行試験による再現検証の結果、以下の特定条件下において車輪とレールの摩擦係数が急激に上昇して、図1のような乗り上がりが発生することを確認しました。



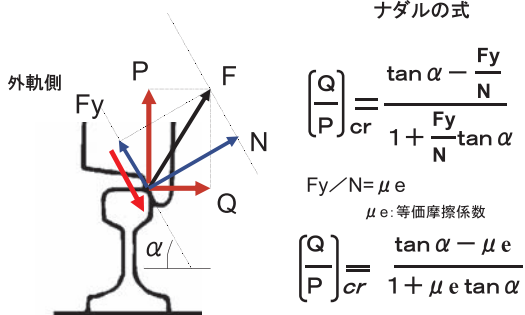
図1 尾久駅構内で実施した再現試験による乗り上がりの状況

乗り上がり脱線が発生する条件

- ・ 車輪が削正後間もない状態
 - ・ 塗油などの潤滑がなされていない状態
 - ・ 側線8番分岐器を繰り返し走行する場合
- ⇒レールと車輪の接触部分に荒れ(鉄粉)が生じ、摩擦係数が急激に上昇

限界脱線係数

ナダル^{※1}の式



フランジ角度・等価摩擦係数

図2 限界脱線係数 $(Q/P)_{cr}$ を表す力のつり合い

脱線の危険性を判定する指標(限界脱線係数 $=Q/P$)は図2の力のつり合いを表現したNadalの式から求められますが、現在まで安全上の目安としている値は、等価摩擦係数を $\mu_e=0.3$ (一般的な鉄の摩擦係数に近い値)と仮定したうえで算定しています。しかしながら前述のように乗り上がり脱線が発生する条件では摩擦係数が0.3より大きくなると想定^(※1)され、現状、一律に定めている限界脱線係数は条件に応じて見直す必要性も思慮されます。このため、摩擦係数の最大値を実験的に求めることが、脱線に対する真の限度値を明らかにすることになり、早い時期の解明が必要と考えています。また、この結果により乗り上がり脱線を未然に防ぐ指標や管理基準値などを定量的に提言することが可能になります。

3.2 TC型軸箱温度検知システムの導入

車軸軸箱の異常発熱は、脱線などの大きな事故に繋がることから、軸受のメンテナンスと異常発熱の予兆把握は重要な課題となります。高速で走行する新幹線は車軸の発熱を検知するセンサーを装備していますが、在来線の車両は、これまで、軸受などに貼り付けたサーモラベルで発熱の有無を確認してきました。このサーモラベルによる方法は車両基地入区時の確認となるため、走行状態における監視ができません。そこで、走行中の車軸軸受の温度を地上から検知するシステムをテクニカルセンターで開発し、首都圏の各線区への導入を進めることとしました。これがTC型軸箱温度検知システムです。

このシステムは、図3のように赤外線放射温度センサにより非接触で軸箱の温度を精度良く検知し、異常が検知された場合は警報を指令室や車両基地に通報するものです。車軸の部位によっては速度発電機などを装着している箇所もあることから、この影響を避けるため、斜め下からピンポイントで測定する仕組みにしています。



図3 TC型軸箱温度検知システムの概略図

3.3 ホーム検知装置の導入

列車の一部がホームから外れて停車した場合や、ホームがない側で乗務員がドア「開」の操作をした場合、お客さまが線路に転落するおそれがあります。このような事象を防止するため、当社ではホーム検知装置を開発し、2006年から首都圏の車両に導入を進めています。

ホーム検知装置の原理は、図4のように、列車の両端部（前頭・後尾部）の左右に超音波方式のホーム検知センサを配置し、前頭・後尾双方のセンサがホームを検知した場合は列車がホーム内にいると判定し、乗務員によるドア「開」を可能とします。一方、列車の一部がホームから外れた場合やホームと反対側では、センサがホームを検知しませんので、この場合は乗務員がドア「開」の操作をしても、ドア開指令が出力されないよう回路を遮断する仕組みとしています。

尚、超音波方式のホーム検知センサでは、超音波による検知範囲に一定の制約があるため、地方線区の低床ホームに対応するにはセンサの配置を増やすなどの課題があります。このため、現在ではレーザセンサやRF-IDを活用した新たな検知方式の開発を進めています。

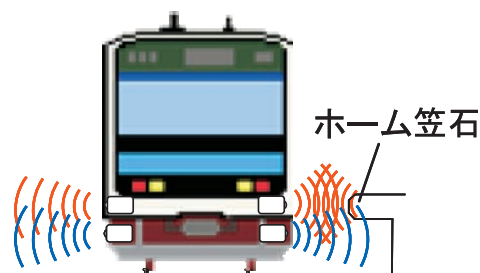


図4 超音波式ホーム検知装置

3.4 引きずり事故防止機能強化型戸挟み検知装置の開発

2007年5月、山手線神田駅においてドアにベビーカーを挟んだまま列車が発車し、ベビーカーに乗っていた男児と救助にあたった母親、お客さまが怪我をされる事象が発生しました。この事象を受けて、当社ではドア先端部の戸先ゴムの一部を硬くして、幅2～3cm程度の薄いものが挟まった場合でもこれを検知できるように対策を講じました。その後、可動式ホーム柵の導入についても計画が具体化し、2010年度から山手線に導入（先行2駅への導入後、技術的検証の後10年間を目途に全駅設置）することとなりました。

しかしながらホーム柵の導入拡大は、今後、長期間に及ぶこと、また神田駅の事象以降も他鉄道会社でベビーカーの引きずり、リュックサックや衣類、杖を挟んだ状態で列車が起動する事象が報道されており、戸挟みによる引きずり事故の回避は重要な問題と言えます。

表2 戸挟み・引きずり検知機能の比較

	現行システム	開発中のシステム
戸挟み検知	厚さ 20mm 程度 ^{※2} まで検知可能	厚さ 3mm 程度 ^{※2} まで検知可能
引きずり検知	検知不能	検知可能

表2は現行の車両と現在開発中システム（引きずり事故防止機能強化型・戸挟み検知装置）で戸挟み・引きずりの検知機能を比較したものです。新しいシステムでは戸挟みの検知能力を向上させるほか、前述のような引きずり事故を未然に防止するために「引きずり検知」機能の実用化をめざしています。

新しいシステムでは、図5のように戸先ゴムの中に空気管を内蔵する構造とし、ドア先端部の介在物により戸先ゴムが変形し空気管の体積が収縮することによる内圧変化をもとに戸挟みや引きずりを検知する仕組みとしています。

本システムは戸先ゴムの構造が複雑になること、微弱

※2 車両の床面120cmの位置で幅100mmの板を挟んだ場合

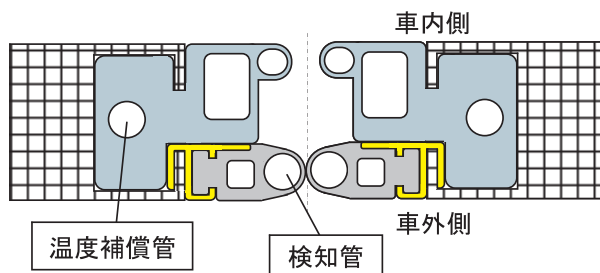


図5 戸先ゴムによる戸挟み・引きずりの検知

な圧力変化を電気信号に変換・通信する装置を必要とすることから、現在、これらの耐久性・信頼性の検証を進めています。

4. 今後の課題

車両の安全性向上については、前項で紹介した課題以外にも、自然災害への耐力の向上、衝突などが発生した場合のお客さまや乗務員の傷害（2次被害）の軽減など、多くの課題が残されています。

例えば、

- ・地震発生時に脱線した列車が線路から大きく逸脱しない対策と、車両の座屈現象を回避する方策の研究。
- ・強い横風に対しても、より安定した走行を可能とする車体形状の研究。
- ・衝突や転覆が発生した場合、客室や運転室の生存空間を可能な限り確保する車体構造と、お客さま・乗務員の傷害を低減する客室設備などの提案。
- ・火災への耐性に優れた客室素材の評価。

などについて、現在、研究開発を進めつつあります。

また、乗り上がり脱線現象や、車両の衝突安全性に関する研究開発では、必要に応じて、実験専用の試験線を活用した実車による検証も必要と考えています。