

特集：車両技術

# 鉄道車両に関する最近の研究開発

長谷川 均\*

## Recent Activities for Research and Development of Railway Vehicle Technology

Hitoshi HASEGAWA

Railway Technical Research Institute (RTRI) has developed the master plan for the fiscal year 2020 and beyond, as a roadmap guiding the RTRI towards the realization of its vision: “We will develop innovative technologies to enhance the rail mode so that railway can contribute to the creation of a happier society.” As a matter of course, we also carry out R&D in the vehicle field according to the master plan. This journal carries the six latest research and development results in vehicle fields. In addition, this report outlines four other research results.

キーワード：車両，衝突安全性，走行安全性，運転支援，車両状態監視，エネルギーシミュレーション

### 1. はじめに

鉄道総研では2020年度より、新たな基本計画「鉄道の未来を創る研究開発－RESEARCH2025」をスタートさせた<sup>1)</sup>。この基本計画では、研究開発における基本方針として、(1)安全性の向上、特に自然災害に対する強靱化、(2)デジタル技術による鉄道システムの革新、(3)総合力を発揮した高い品質の成果の創出を挙げている。鉄道車両分野においても、これらの基本方針に沿った研究開発を鋭意実施している。本号では、これらの基本方針を実現する研究開発として、6件の特集論文が掲載される。そこで本稿では、この基本計画における車両分野の研究開発について概説するとともに、特集論文以外にこれまでに成果が得られた4件について概要を紹介する。

なお、2020年度は年度初から新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、基本計画を策定した時点から大きく社会情勢や生活環境が変化している。このため、鉄道の研究開発についても、追加見直し等が機動的になされている最中であり、今後研究開発の方針や内容に大きく変更があり得ることをお断りしておく。

### 2. RESEARCH2025における車両分野の研究開発

RESEARCH2025は前基本計画を引き継ぎ、研究開発の目標を、安全性の向上、低コスト化、環境との調和、利便性の向上としている。車両分野の研究開発はこれら4目標全てについて何らかの形で関係しているが、特に主導的に行うものや関係が深いものを表1に挙げる。少子高齢化による労働力不足や鉄道利用者の減少に対する

課題などに重点がおかれ、デジタル技術の活用など比較的中長期的な鉄道技術の発展を見据えた研究を行っていることとしている。

表1 車両分野が関係する主な研究開発課題

将来に向けた研究開発	
デジタルメンテナンスによる省力化	
沿線環境に適合する新幹線の高速化	
電力ネットワークの電力協調制御による低炭素化	
シミュレーション技術の高度化	
実用的な技術開発	
安全性の向上	衝突事故時の座席の安全性向上
環境との調和	燃料電池ハイブリッド電車の実用化・普及
利便性の向上	制動距離短縮に資するブレーキ装置
	車両の複合型上下制振制御システム
鉄道の基礎研究	
現象の解明・予測	車両の走行安全性
分析・実験・評価方法の構築	劣化損傷メカニズム及び検査手法
新しい技術・材料・研究手法の導入	摩擦・摩耗及び長寿命化

### 3. 車両分野の研究開発

車両分野での研究開発について、昨年度までに一定の成果が上がったものや継続して行っている課題4件について、概要を以下に紹介する。

\* 車両制御技術研究部長

### 3.1 アルミ合金製車体の衝突時の変形を抑制する衝撃吸収構造

踏切事故等で自動車などと鉄道車両が衝突し、車両が大きく損傷すると、車両復旧に多大な時間を要し、運用に影響が生じる場合がある<sup>2)</sup>。そこで、踏切事故時における車両の早期復旧を目的として、修復が難しい在来線アルミニウム合金製車体用に適用する交換可能な衝撃吸収構造の基礎的な検討を行っている。図1に示すように、強度と剛性が比較的高い台枠（床構造）部分の前方に交換可能な衝撃吸収構造を配置することを提案している。

ここでは、既存の車体に取り付けるため、大規模な設計変更が不要で、低コストで実現可能な仕様とした。この構造の効果検証のため、大型トラック（車両重量9.2トン、積荷なし）を衝突対象とした衝突解析を実施した。衝突速度54km/hのフルラップ条件の場合、衝撃吸収構造なしでは、主要構造部である台枠部分に大きな変形が認められたが、衝撃吸収構造の採用により、最大変形量が約77%低減した。図2に各衝突条件での主要構造部（台枠部分）の最大変形量および低減率を示す。この結果から、例えば最大変形量10mmを許容するとした場合、フルラップ条件では衝突速度55km/h程度、1/2ラップ条件では60km/h程度、1/4ラップ条件では80km/h程度まで、車両の早期復旧が可能と判断でき、運用への影響を最小限に食い止まれることが分かった。

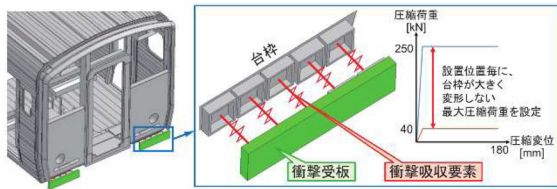


図1 低コストで交換可能な衝撃吸収構造の仕様提案

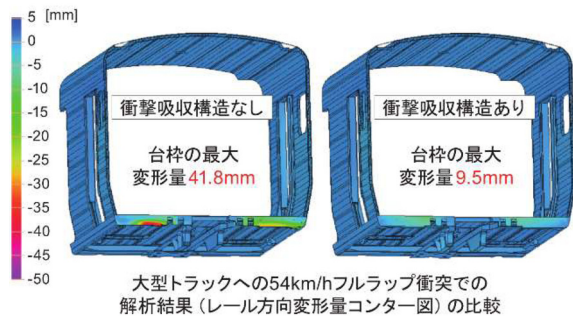


図2 交換可能な衝撃吸収構造の効果例

### 3.2 台車挙動による走行安全性評価手法<sup>3)</sup>

鉄道車両の走行安全性を評価するために横圧・輪重測定が行われているが、この測定には専用の測定輪軸（PQ軸）への履き替えが必要になるなど、多くの費用や労力が必要となる。このため、PQ軸への履き替えを実施することなく、台車枠にセンサを貼り付けるだけで計測可能なデータを用いて、営業車両において少ない労力とコストで簡易的に走行安全性を評価できるシステムを構築した（図3）。本線走行試験結果を基に輪重と横圧の推定精度を確認し、推定手法の妥当性を検討した。

このシステムの本線走行試験結果から、以下の知見を得た。

- ・台車枠ヨーイング角速度は外軌側横圧より輪軸横圧との相関が高い。また、降雨等によって車輪／レール間の摩擦係数が大幅に低下した場合であっても、両者の相関は大きく低下しない（図4）。
- ・輪軸横圧は車輪／レール間の摩擦係数の影響を受けにくいいため、任意の内軌側横圧輪重比（車輪／レール間の摩擦係数に相当）を用いて転向横圧を算出すれば、その摩擦係数に応じた外軌側横圧を推定できる。
- ・フィルタ処理の違いによる実測値と推定値の相関の差異を調査した結果、ローパスフィルタ処理によって相関が高くなること、特に輪重においてその効果が大きいことがわかった。
- ・実測値との推定誤差を調査した結果、横圧は約80%が4kN以内だった。輪重の誤差はフィルタなしの場合は高周波数の著大輪重によるものが顕著であったが、10Hzのフィルタ処理することで約80%のケースで誤差4kN以内となり、脱線係数の差は95%以上が0.1以下であった。

以上より、本手法の活用にあたっては、車輪／レール間の摩擦係数を大きめに設定して推定誤差に対する余裕を確保することや、フィルタ処理を行うことが望ましいという結論が得られた。

今後は様々な車両で台車挙動データを取得し、本評価手法の妥当性を示すとともに、高い周波数成分の推定精度向上に取り組む予定である。

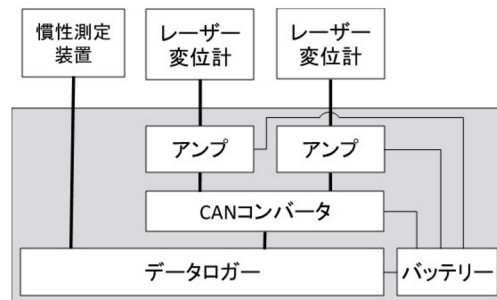
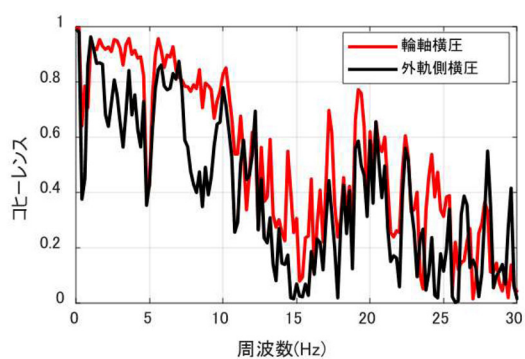
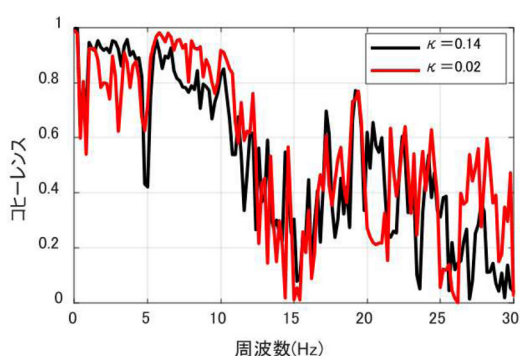


図3 測定装置



(a) 摩擦係数の影響なし



(b) 摩擦係数の影響あり

図4 台車枠ヨー角速度と輪軸横圧のコヒーレンス

### 3.3 運転状況に応じた運転支援システム

鉄道貨物は、自動車輸送に比べ、渋滞などの心配がなく決められた時間に到着し、単位輸送量当りの消費エネルギーが少ないという特長がある。これまで、貨物列車の運転においては、走行時間に比べ消費エネルギーに関しては、あまり意識されてこなかったが、昨今これらを両立する運転操縦方法が検討されている<sup>4)</sup>。そこで、衛星測位システムからの位置・速度情報に基づく運転支援システムにおいて、複数の運転操縦候補に対する運転曲線を予測し、その中から推奨すべき運転操縦法を提案するシステムを開発している(図5)。これにより運転状況に応じた運転支援を行い、定時運行の促進や省エネ運転の実現を図る。

このシステムでは、衛星測位システムからの位置・速度情報に基づき、線路情報や機関車と貨車の編成情報などを用いて、走行地点からの運転曲線予測を行う。運転曲線予測のシミュレーションは、鉄道総研が開発してきた運転エネルギーシミュレーション技術を基に、車載するタブレットにてリアルタイム計算を行う。実際には、予測精度に影響の大きいシミュレーション機能のみを抽出して運転支援システムに実装した。運転曲線候補の結果から、推奨運転を選定し、走行地点に応じた支援情報

を判定し、音声出力と画面表示により運転士に対してリアルタイムで提示する(図6)。

さらに、通過運転が主体となる貨物列車を対象として実車走行試験を実施し、プロトタイプシステムによる運転操縦性や定時性について確認した。この結果、「運転操作回数が少なく良好である」という運転士へのヒアリング結果が得られるとともに、概ね15秒以内の定時通過ができることを確認した。

今後、走行線区や表定速度などの異なる列車を選定して、実車走行試験により運転操縦性や定時性を中心に運転支援システムを検証するとともに、運転曲線予測による推奨運転探索の高速化、運転操縦性の高い運転方法の提案、運転士へ負担の少ない運転支援の表示、地点検出精度の向上などの観点でプロトタイプシステムの改良を実施する。

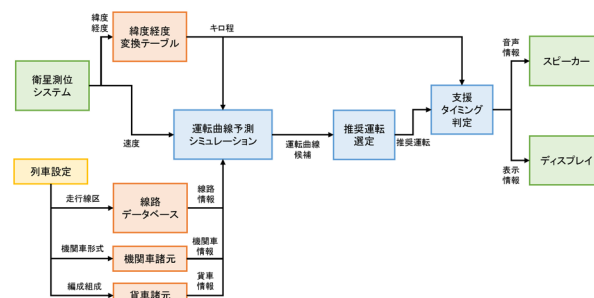


図5 推奨運転探索アルゴリズムのイメージ



図6 走行試験での運転支援システム設置例

### 3.4 1インバータ4モータ車両用の電流差・加速度検知式空転再粘着制御<sup>5)</sup>

現在の電気車は、1台のインバータで複数台の主電動機を一括して駆動する主回路方式が広く用いられている。例えば、インバータ1台で主電動機2台を駆動する1C2M方式や4台の主電動機を駆動する1C4M方式と呼ばれる方式である。鉄道総研はこれまでに1C1M機関車用と1C2M電車用に空転再粘着制御方式を開発してきたが、これを国内の主流である1C4M電車に適用

することにより多くの電車で牽引性能が向上することが期待できる。1C4M 電車はインバータ 1 台で 4 台の主電動機を一括制御するため、空転発生時の加速性能への影響が大きい。そのため、粘着力を有効に利用して空転を抑えるトルク制御が求められる。そこで、1C1M 機関車用に開発した「加速度検知」と 1C2M 電車用「電流差検知」を組み合わせて 1C4M 電車に適用した(図 7, 図 8)。これにより、空転制御時のトルク引下げ量を低減して加速性能を向上することができる。1C4M 電車では 4 台の主電動機間の電流差の組み合わせが 6 通りあるが、空転している軸の主電動機の電流は指令値に対して低下する特性があることに着目し、全軸の主電動機の電流低下の総和を電流差と読み替えることで、1 組の電流差検知器のみで空転の兆候を検出できるシンプルな構成を実現した。

本制御方式の有効性を確認するため、近郊形電車(3M3T)を用いて検証試験を実施した。その結果、平均トルクを高く制御でき、列車の平均加速度は約 5% 向上した(図 9)。併せて乗り心地レベル(Lt 値)が約 3dB 低減し、車体振動の最大値も約 30% 低減した。本制御方式とこれまでの 1C1M 方式用、1C2M 方式用の 3 方式の空転再粘着制御方式を採用することで、既存の在来線車両の 9 割以上に対して空転再粘着制御性能の向上が可能となる。また、新幹線電車についても多くの 1C4M 方式であることから、本制御方式を適用することが可能であり、高速域での加速性能向上も期待できる。

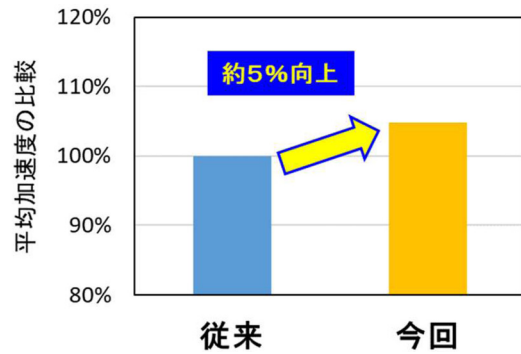


図 9 走行試験結果

#### 4. まとめ

本稿では近い将来に実用化が期待される研究開発件名 4 件について概要を紹介した。具体的には、自動車等との衝突時の安全確保や走行安全性の評価などの安全性向上に関するもの、省エネルギー運転支援や電気車の加速性能向上など環境との調和に貢献する実用性の高いものについて概要を述べた。

鉄道総研では、引き続き基本計画に則り、鉄道車両分野のみならず鉄道全般の、安全性の向上、デジタル技術による鉄道システムの革新、総合力を發揮した高い品質の成果の創出を目指していく予定である。

#### 文 献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：基本計画－鉄道の未来を創る研究開発－RESEARCH2025：https://www.rtri.or.jp/rtri/rtri\_J\_research.html (参照日：2020 年 4 月 1 日)
- 2) 八木毅, 沖野友洋：列車衝突時の安全性を確保する, RRR, Vol. 73, No.10, 2016, 10
- 3) 飯田忠史：台車挙動測定による走行安全性評価手法, 鉄道総研報告, Vol. 34, No.5, 2020
- 4) 小川知行：走行抵抗特性とモータ効率特性を考慮した貨物列車の省エネ運転方法の提案, 電気学会交通・電気鉄道研究会予稿集, TER-19-023, 2019
- 5) 山下道寛, 三木真幸, 大江晋太郎, 島田直人, 山中章広, 北村琢也：速度センサレス電車の主電動機電流情報を用いた空転抑制方法, 鉄道総研報告, Vol.31, No.6, 2017

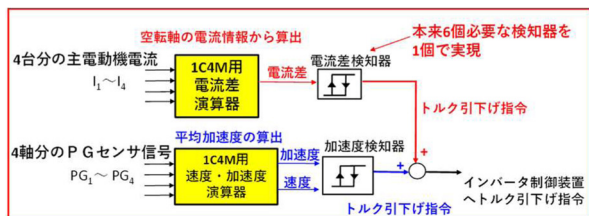


図 7 1C4M 電車用のトルク制御方法

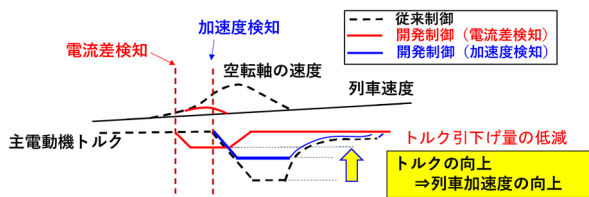


図 8 再粘着制御時のトルク動作