

車両技術に関する最近の研究開発

宇治田 寧*

Recent Activities for Research and Development of Vehicle Technology

Yasushi UJITA

We in RTRI grapple with around 300 research themes in the fiscal year 2018 to 2019. Among them, there are 48 themes regarding the rolling stock technology, which include the practical themes such as the speedup of the trains and improving the riding comfort, the applied and fundamental research such as running stability and reliability of the rolling stocks. Here, I summarize such three research topics as follows: “Increase in accuracy of bogie hunting stability evaluation”, “Active bogie angle steering system ensuring both running stability and reduced lateral force” and “Technique for predicting vibration of bogies under running conditions based on the transfer characteristics between axle boxes and evaluated Points”.

キーワード：車両，走行安全性，高速化，蛇行動試験，操舵システム，台車振動

1. はじめに

鉄道総研では、将来の方向性を示す長期的なビジョン「RISING」(Research Initiative and Strategy - Innovative, Neutral, Global -)のもと、これを具現していくため、平成27年度から平成31年度までの5年間の基本計画「RESEARCH 2020 -革新的な技術の創出を目指して-」を策定し、研究開発に取り組んでいる。平成30年度はその4年目の事業年度として、車両分野を担当する各研究部・研究室においても、平成31年度の最終成果取り纏めを念頭に、目標達成に向けて実施状況を的確に把握し重点化を図り、鉄道事業者の多様なニーズに対応した高い品質の成果創出に努めている。一方、自然災害及び設備故障や重大インシデントによる輸送障害が発生しており、安全・安定輸送の確保などのために更なる鉄道技術革新が求められている。

鉄道総研全体の研究開発テーマ総数の推移、及び鉄道総研の車両系研究室が過去5年間に実施した研究開発テーマ件数の推移を図1に示す。車両に関係する3つの研究部(車両構造技術研究部、車両制御技術研究部、鉄道力学研究部)を合わせて9研究室あり、各年度首に、40件程度のテーマを設定、実施してきた。同図に折れ線で示した鉄道総研全体のテーマ総数は270～290件前後で推移し、これらは概ねその15%に当たる。

平成30年度の車両関係テーマ数(年度初：48件)を研究開発の方向別に分類してみると、図2のように「安全性の向上」に係るものが4割以上を占め、鉄道総研全

体の傾向とほぼ一致している。具体的には、走行安全性や衝突安全性の向上ならびに、その診断・評価技術に関するものがこれに該当する。また、「安全性の向上」に続き、「利便性の向上」、「環境との調和」に分類される研究テーマの割合が高くなっており、これは車両の高速化、乗り心地向上、省エネルギー化等に関する取り組みが多い車両系研究室の特徴を示していると考えられる。

なお、横風に対する車両の安全性向上に関する取り組みや、車両火災対策についての取り組みを始め、安全対策等の早急に解決すべき課題等については、従来から引き続き、鉄道総研内において環境工学、材料技術、防災技術、人間科学等の複数の研究部が連携し、分野横断的な取り組みを実施している。

ここでは、車両技術に関する研究開発への取り組みにおける最近の成果の中から、「台車蛇行動に対する安定性評価精度の向上」、「横圧低減と走行安定性を両立する

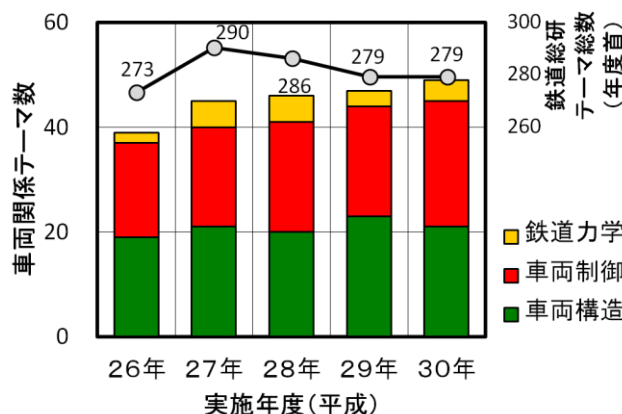


図1 車両系研究室のテーマ実施件数 (年度首)

* 車両構造技術研究部長

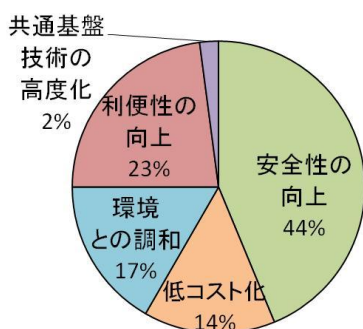


図2 平成30年度車両系9研究室テーマの方向別分類

ボギー角操舵システム」及び「軸箱からの伝達特性推定に基づく走行中の台車振動予測手法」について概要を紹介する。

2. 台車蛇行動に対する安定性評価精度の向上¹⁾

鉄道総研の車両試験装置では、台車の走行安定性（蛇行動限界速度）を定置回転試験で評価することができる（図3）。しかし、きっかけとなる外乱の付与方法（軌条輪の加振条件など）により蛇行動の発生速度が異なる場合があり、評価結果にばらつきが生じる。評価対象の台車が実際に運用される速度に対して十分に余裕のある評価結果であれば、こうしたばらつきは特に問題とならないが、安定性評価精度の更なる向上に資するため、蛇行動発生条件の解明に取り組んでいる。

加振を行わずに軌条輪の回転数を徐々に上げていくと、ある速度（以下「発生速度」）で蛇行動が生じ、そこから回転数を徐々に下げると、ある速度（以下「収束速度」）でこれが収まる。収束速度と発生速度の間の速度域では、台車が蛇行動に至るか否かが軌条輪の加振条件で分かれる。そこで、加振条件を様々に変え、蛇行動の発生条件を実験的に明らかにした（図4）。

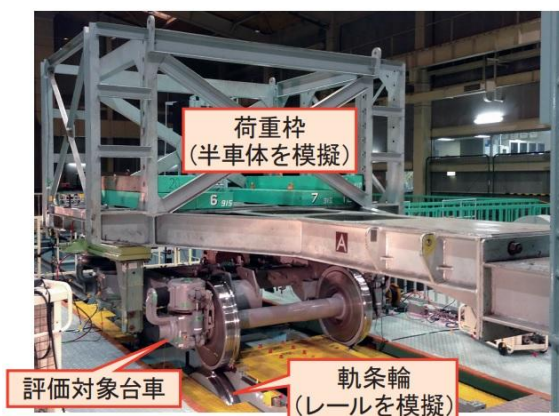


図3 車両試験装置での蛇行動試験

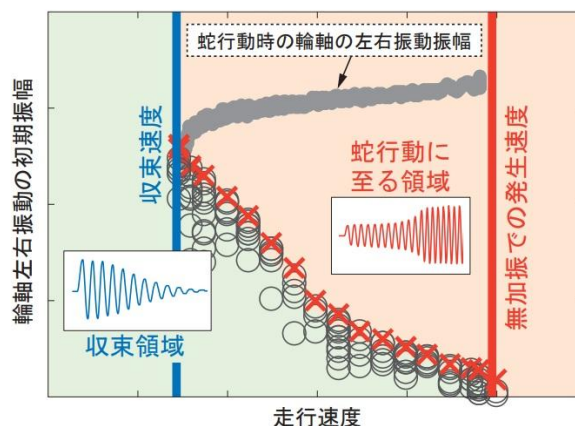


図4 蛇行動の発生条件

その結果、加振終了直後に生じる輪軸左右変位の振幅値（以下「初期振幅」）に、振動が収束する上限があることを見出した。初期振幅がこの上限に満たない条件（図4の○）では、加振後、振動が収束する。一方、これを越える加振条件（図4の×）では振動が発散して蛇行動に至り、定常振幅がフランジ接触の限界近くまで急増する。なお、この上限値は、軌条輪回転速度が収束速度から発生速度まで上昇するのに従い、単調に減少する。台車諸元を変えて走行安定性を比較する場合、従来は加振条件を固定していた。本件成果を活用すれば、初期振幅が一定となるように加振条件を調整することで限界速度評価値のばらつきを抑えた比較が可能になると考えられる。

今後、走行速度と初期振幅上限値の関係を精度良く推定する解析手法の開発を進め、大がかりな定置回転試験を必要としない簡便な走行安定性評価手法の構築を目指していく。

3. 横圧低減と走行安定性を両立するボギー角操舵システム²⁾

曲線区間において車体に対する台車の旋回角（ボギー角）を制御することにより横圧を低減し、直線などの高速走行区間ではヨーダンパーとして動作することで、曲線通過性能と走行安定性を両立できるボギー角操舵システムを開発した。本システムは従来の輪軸操舵方式のようにばね下に特別なリンク機構を装架する必要がないので、台車の質量増を防ぐことができる。

このボギー角操舵システムは、曲線を検知し操舵指令を算出する操舵制御装置、ヨーダンパーとしても動作可能な操舵アクチュエーター、逆操舵や直線区間での誤操舵を防止する機械的なボギー角検出機構の3要素で構成されている（図5）。

営業線での曲線通過を模擬した台車旋回試験では、操

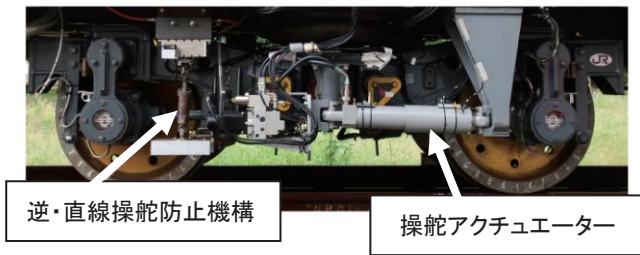


図5 ボギー角操舵システム

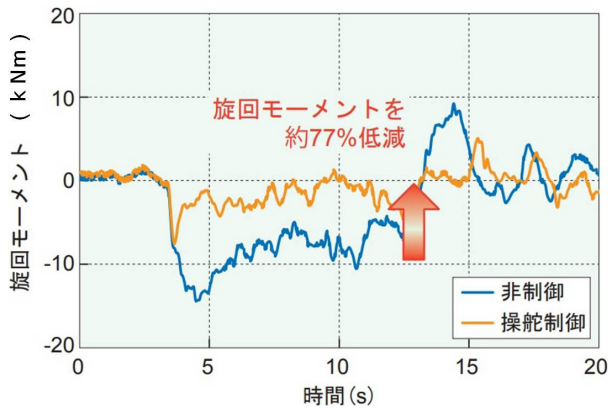


図6 曲線通過を模擬した台車旋回試験における旋回モーメント低減効果

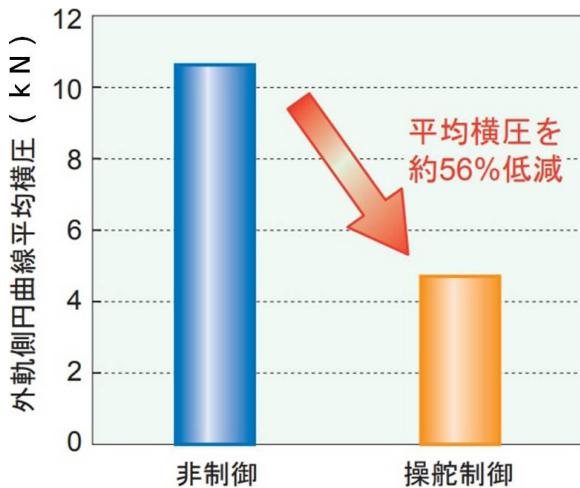


図7 所内走行試験における平均横圧低減効果

舵制御により台車旋回モーメントを約77%低減できることを確認した(図6)。また、蛇行動安定性試験では、現行車両と同等の走行安定性を確保できることを確認した。さらに、所内試験において、半径160mの曲線通過時の平均横圧を約56%低減できることを確認した(図7)。

本システムは、急曲線通過時や曲線通過速度向上に伴い著大な横圧の発生が懸念される特急車両などへの適用が効果的で、ヨーダンパーを装備した既存車両にも取り付けが可能である。

4. 軸箱からの伝達特性推定に基づく走行中の台車振動予測手法³⁾

走行中の鉄道車両の台車に発生する振動は、締結ボルトの緩みや、部品の疲労にもつながる可能性がある。日本工業規格(JIS E 4031, 以下 JIS 規格)⁴⁾では、車両部品に求められる耐振動特性が定められているが、同規格で規定される振動加速度の値は「世界中の関係機関から提供された実際に運用されている鉄道車両の実測値から得たもの」とされている。これは実走行時のあらゆる条件における振動が測定されているわけではないことから、部品落下等の事象を未然に防止するためにも、これを把握することは重要な課題と言える。しかしながら、営業線を使用した走行時の台車振動測定は容易には実施できないため、簡便に振動状態を把握して評価する手法の開発が望まれている。

このような背景を踏まえ、台車振動の主要因となる軌道変位と相関が高いと考えられる、軸箱加速度を入力とし、台車評価点の加速度を出力として考えたときの伝達関数を、大規模な走行試験等と比較して、相対的に実施が容易な車両基地や工場内等での振動測定試験(以下、構内試験)により求め、走行試験では、軸箱加速度だけを計測し、走行条件における台車評価点の加速度を数値計算により予測する手法の開発を進めている^{5) 6)}。

これまでの取り組みの結果、車両基地や工場等で実施した構内試験により推定した軸箱・台車評価点加速度間の伝達関数と、営業線で実測した軸箱加速度を組み合わせ、走行状態の台車評価点における加速度 PSD を予測する手法を提案した(図8, 9)。構内試験の試験内容として、当初、定置状態での打撃試験を想定していたが、構内走行データを用いることで精度が向上すること、入力として軸箱の上下方向だけでなく、左右・前後を合わせた3方向の加速度を用いることで、さらなる精度の向上が見込めることを確認した。

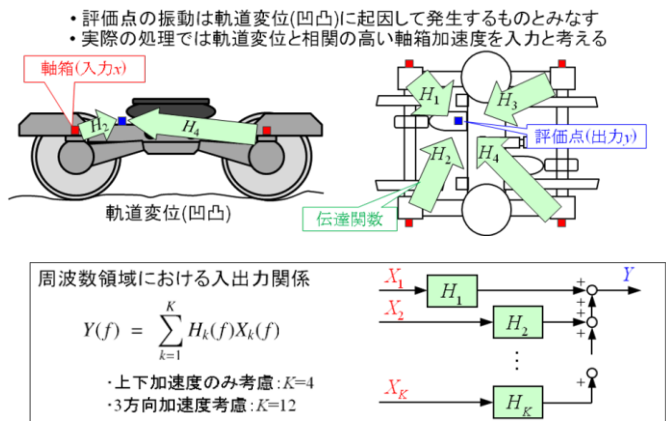


図8 台車振動予測手法の概要

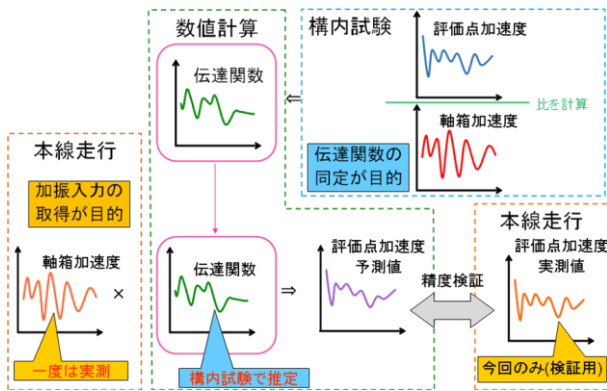


図9 振動予測手法の手順（イメージ図）

一方、車種や走行区間の違いにより精度にばらつきが認められた。これは、ばねや防振ゴムが有する非線形特性による振幅依存性などの影響等が原因として推察されるが、さらに検討が必要であると考えられる。

また、線路条件による影響や、台車内の評価点により、電動機や内燃機関、駆動装置等に起因する振動が発生することも考えられるため、今後、これらの影響に関する検討を含め、適用範囲の拡大や精度の向上に努める予定である。

5. おわりに

車両技術に関する研究開発の最近の成果から、代表的なものを紹介した。走行安全性、車内快適性の向上については、引き続き重点的に取り組んで行くとともに、鉄

道固有現象の解明、非破壊検査精度の向上、メンテナンスの省力化など関わる研究開発テーマを、関係研究部と連携して推進していく。特に設備故障や重大インシデントによる輸送障害の発生を受けて、台車等の信頼性評価、新たな検査手法やシステムの信頼性向上のためのモニタリング手法に関する取り組みを推進していく。

文献

- 1) 山長雄亮, 木戸和哉: 蛇行動限界速度評価における加振条件の影響, 鉄道総研報告, Vol.32, No. 8, pp.35-40, 2018
- 2) 小島崇, 梅原康宏, 鴨下庄吾, 本堂貴敏, 根岸久子: ヨーダンバのアクティブ制御によるボギー角操舵システムの開発, 日本機械学会第25回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (J-RAIL2018) 論文集, 講演番号 2104, 2018
- 3) 瀧上唯夫, 秋山裕喜, 山本克也, 朝比奈峰之: 軸箱からの伝達特性推定に基づく走行中の台車振動予測手法, 鉄道総研報告, Vol.32, No. 1, pp.11-16, 2018
- 4) 日本工業標準調査会: 鉄道車両用品 -- 振動及び衝撃試験方法, 日本工業規格 JIS E 4031, 2013
- 5) 石森章純, 富岡隆弘, 秋山裕喜, 山本克也, 渡邊耕司, 朝比奈峰之, 相田健一郎: 任意の走行条件における鉄道車両の台車振動簡易推定手法の基礎的検討, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2015 USB 論文集, 講演番号 504, 2015
- 6) 秋山裕喜, 瀧上唯夫, 山本克也: 走行中の台車振動を予測する, RRR, Vol.74, No.10, pp.12-15, 2017