

車両技術研究部



車両技術研究部では、脱線、衝突、火災などの鉄道車両の安全性に関する評価手法の研究開発をはじめとして、デジタル技術を活用した車両保守の省人化・省力化、車両のさらなる省エネ・脱炭素化、車両の乗り心地など快適性の向上につながる研究開発に取り組んでいます。ここでは車両技術研究部が取り組んでいる最近の研究開発の例を紹介します。

車両技術研究部長 瀧上唯夫
車両技術研究部ウェブサイト <https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd41/>

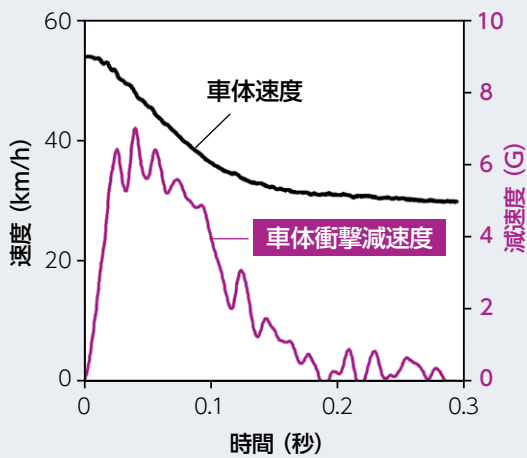
はじめに

鉄道車両の研究開発を進めるうえで、脱線や衝突、火災など車両が走行する際の安全性の向上は最重要課題です。また、コロナ禍を経て、車両保守の省人化・省力化による運営コストの低減が従来よりも強く求められています。さらに、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、鉄道車両においてもさらなる省エネ化、脱炭素化が求められています。そして、さまざまな輸送手段の中から鉄道が選択されるためには、利便性・快適性を常に向上していくことも必要です。ここでは、それらの車両に関する課題に対して、車両技術研究部で取り組んでいる研究開発の代表的な事例を紹介します。

衝突安全性解析¹⁾

安全性の向上に関する課題のひとつとして、踏切での車との衝突を想定した衝突安全性解析モデルおよび評価手法の開発を行っています。線路と道路は踏切で交差しているため、線路内への車の進入を完全になくすことはできません。

万が一列車が車と衝突した場合を想定したときの乗客の安全性を評価するためには、衝突時に車体に発生する衝撃的な減速度(図1(a))と乗客の傷害の程度との関係を求める必要があります。そこで、まず過去の踏切衝突事故事例にもとづき、ダンプカーとの衝突解析モデルを作成し、実際に車体の先頭部分とダンプカーの衝突実験を行って比較検証(図1(b))することで、解析精度を向上しました。この衝突解析モデルを使って、衝突速度、ダンプカーの質量、衝突位置・角度など、さまざまな条件で衝突解析を行い、その時に車体に発生する衝撃減速度を計算しました(図1(c))。さらに、そこで得られた衝撃減速度を使って、クロスシートに座った乗客が座席から投げ出されて前席に衝突する解析を行って、乗客の傷害度(具体的には太ももにかかる力)を計算し、乗客への影響度を評価しました(図1(d))。これらの解析結果から、乗客の安全性の評価指標として減速度積分値(≒乗客が前席に衝突するときの速度)が適していることを提案しました。今後は、連結部分

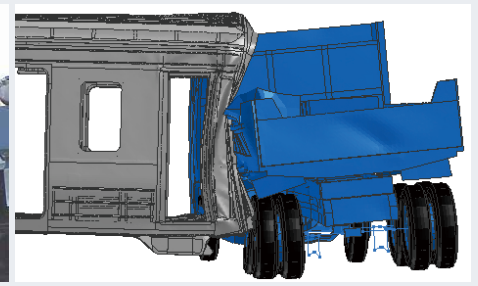


(a) 車体の速度と減速度波形の例

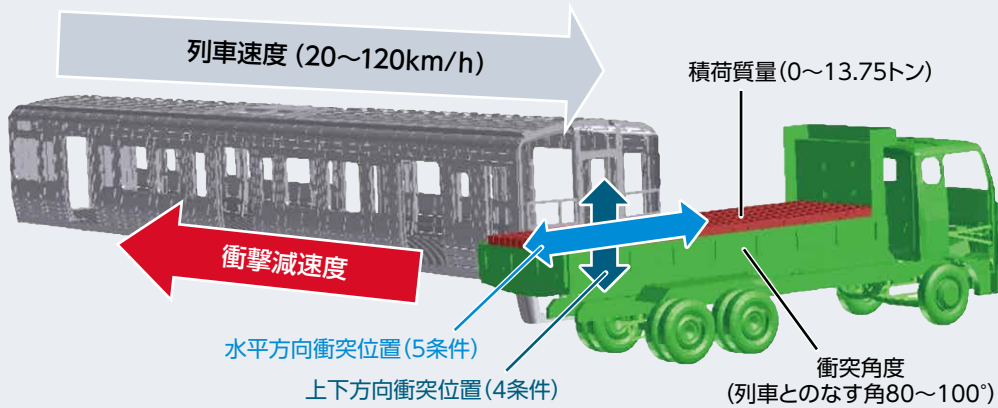
衝突実験



衝突解析



(b) 車両とダンプカーの衝突実験と解析



(c) 衝突事故解析モデル

前席との衝突による
ダミーモデルの傷害値算出



踏切事故衝突解析で
算出した減速度波形を入力

(d) クロスシート着座乗客
傷害度解析モデル

図1 衝突安全性解析

も含めた編成車両での解析に取り組んでいきます。

車両床下外観検査システム²⁾

車両を安全に運行するために欠かせない定期検査に必要な労力の削減や、検査品質の確保のための取組みの一つとして、車両床下外観検査システムを開発しています。部品を取り外さずに車両の状態で行われる検査では、車両搭載機器の取付状態や損傷の有無などを検査者が車両の近くまで赴いて目で見て確認しています。この作業を自動化するために、まず走行中の車両床下の側面画像を撮影する装置を開発しました(図2(a))。レーザードップラー速度計で検出した車両通過速度にもとづきラインセンサーカ

メラで撮影する(図2(b))ことで、通過速度に依存しない高精細な連続画像(図2(c))が得られ、車両番号も画像から自動で認識します。次に、撮影画像を用いて、試験車両床下のコックハンドル角度を診断した例を図2(d)に示します。撮影画像から検査対象領域を切り出してエッジ(輪郭)検出を行い、あらかじめ用意した正常な画像(テンプレート)との輝度値の差を計算し、正常時と異なる部分を白く抽出します。この白色の画素数を算出し、設定したしきい値より小さければ正常、大きければ異常と判定します。コックハンドルの他、ボルト脱落、調整棒や配管の曲がりについては良好に診断できることを確認しています。このシステムを使い、検査者が室内で画像を見ることにより車両

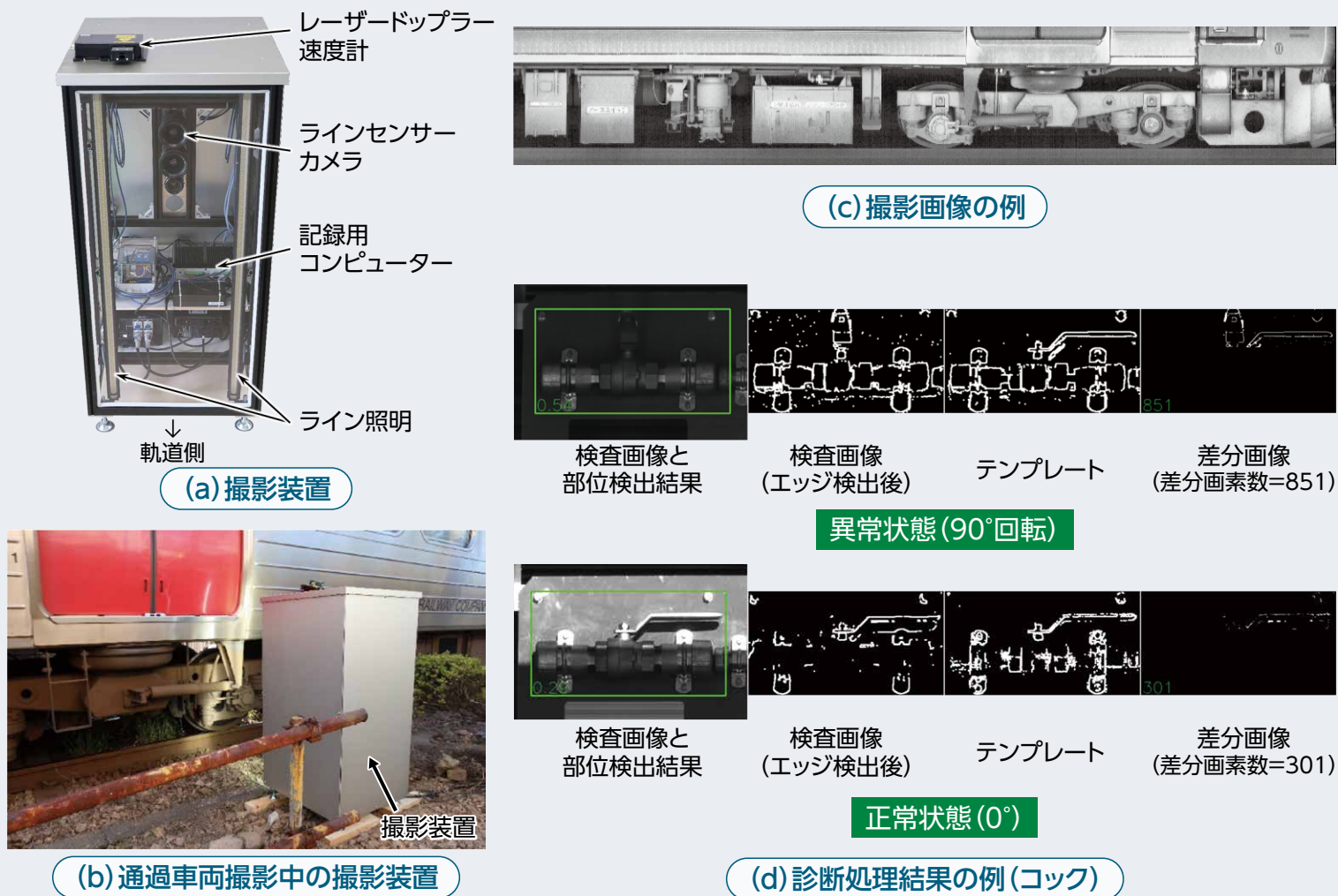


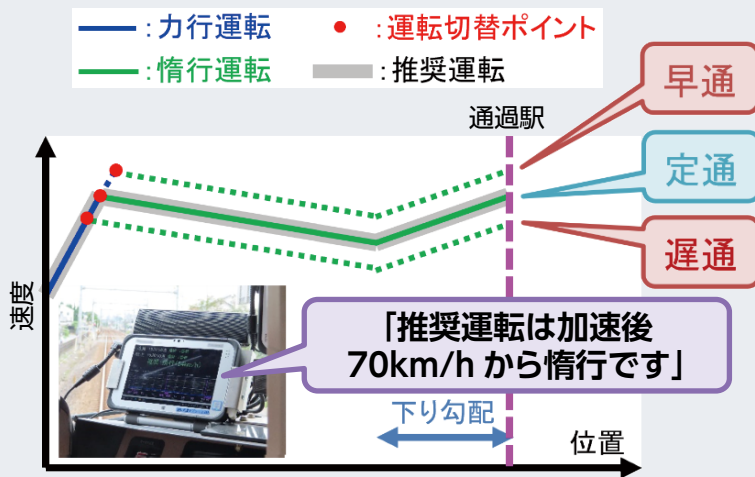
図2 車両床下外観検査システム

の近くまで行かずに状態確認を可能にしたり、画像を自動で診断することにより人手に頼らない検査の実現を目指しています。

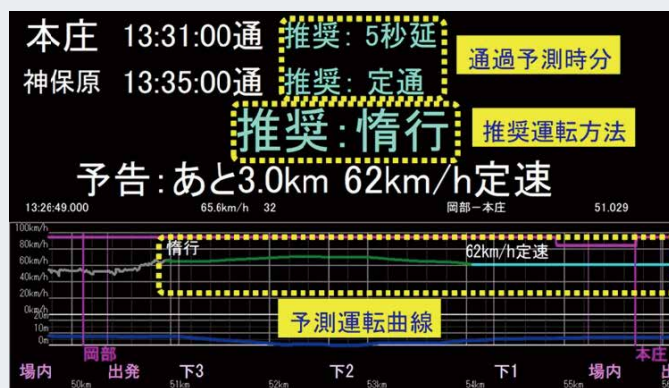
省エネ運転支援システム³⁾

列車を時刻通りに運行しつつ、運転で消費するエネルギーをより少なくするための運転支援システムを開発しました。列車の運転操作には力行（モーターが力を出して加速している状態）、ブレーキ、惰行運転（力行もブレーキもせず惰性で走行している状態）があり、時刻や制限速度、線路の勾配の有無などに応じて運転士が適宜運転操作を選択して運転しています。運転支援システムでは、運転操作に応じた各地点での速度を示す運転曲線を走行中にリアルタイムに予測するシミュレーションを行って、省

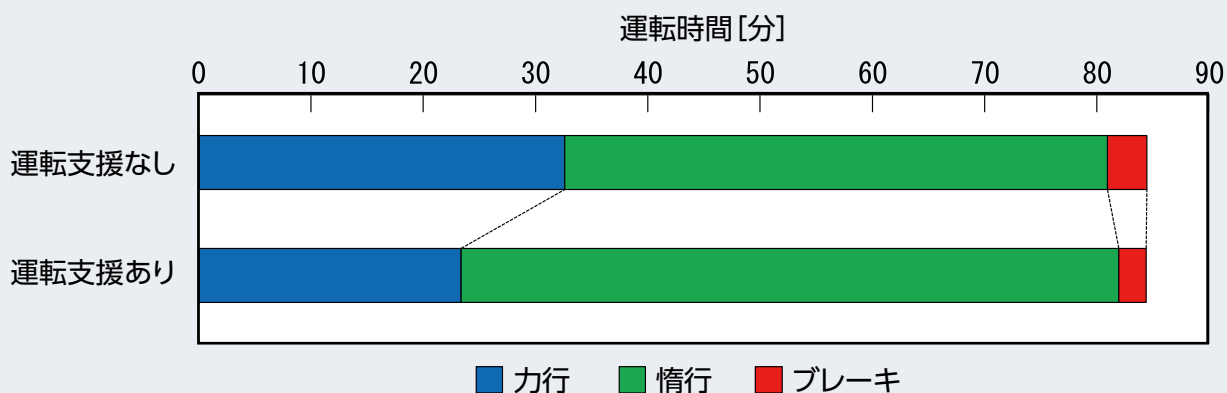
エネ性や定時性に優れた運転方法を提案します。具体的には、現在の走行位置から次の駅までの間の運転方法の候補をいくつか定め、列車の質量、走行抵抗、勾配などの情報を使って、現在の走行位置と速度から次の駅までの運転曲線を候補ごとに予測します（図3(a)）。候補の中から駅の通過時刻が時刻表で定められた時刻に近く、消費エネルギーが少ない運転方法を選択して、推奨運転方法としてリアルタイムにタブレット端末の画面表示（図3(b)）と音声で運転士に提示します。実際の列車で、運転支援システムの使用有無の走行データを取得して消費エネルギーを比較したところ、走行線区によって効果は異なるものの4～14%程度の省エネ効果が確認できました。ここで検討した事例では、運転支援システムを使用することで、力行が減



(a) 運転曲線予測のイメージ



(b) 運転支援システムの画面例



(c) 運転支援システムの使用有無による運転時間比較

図3 省エネ運転支援システム

り、惰行運転が増えることで消費エネルギーが減ったものと考えられます(図3(c))。現在、対象線区や対象車両を拡大して検証を行い、実用的なシステムの開発を進めています。

次世代振子システム⁴⁾

曲線の多い区間を高速で走行するために、曲線で車体を傾けて乗客に掛かる遠心力を低減する振子車両が用いられています。振子の動作は遠心力のみを利用する「自然振子」を基本に、振り遅れを抑えるため空気圧アクチュエーターを設けた「制御付き自然振子」が主流です。振子車両に特有のゆっくりとした低周波の動揺を抑えて、より快適な乗り心地の提供を目標として次世代振子システムを開発しました。次世代振子システムには図4(a)に示す3つの技術要素

があります。まず、曲線でタイミングよく車体を傾斜させるためには、車両の走行位置を継続して正確に把握する必要があります。そのため、車両に搭載したジャイロセンサーと速度センサー(図4(b))を用いて走行中に線路の曲がり具合を測り、あらかじめ測っておいたデータと照らし合わせることで走行位置を精度よく検出する自車位置検出手法を考案しました。そして、自車位置をもとに次に通過する曲線の半径とカントの情報および走行速度から理想的な車体の傾斜角(振子パターン)を計算します(図4(c))。このとき、軌道のゆがみも含めた曲線の形に忠実に沿うように振子パターンを計算します。加えて、遠心力や軌道のゆがみなどで発生しやすい低周波の動揺も打ち消して、振子車両に特有の酔いを抑えます。さらに、その振子パターン

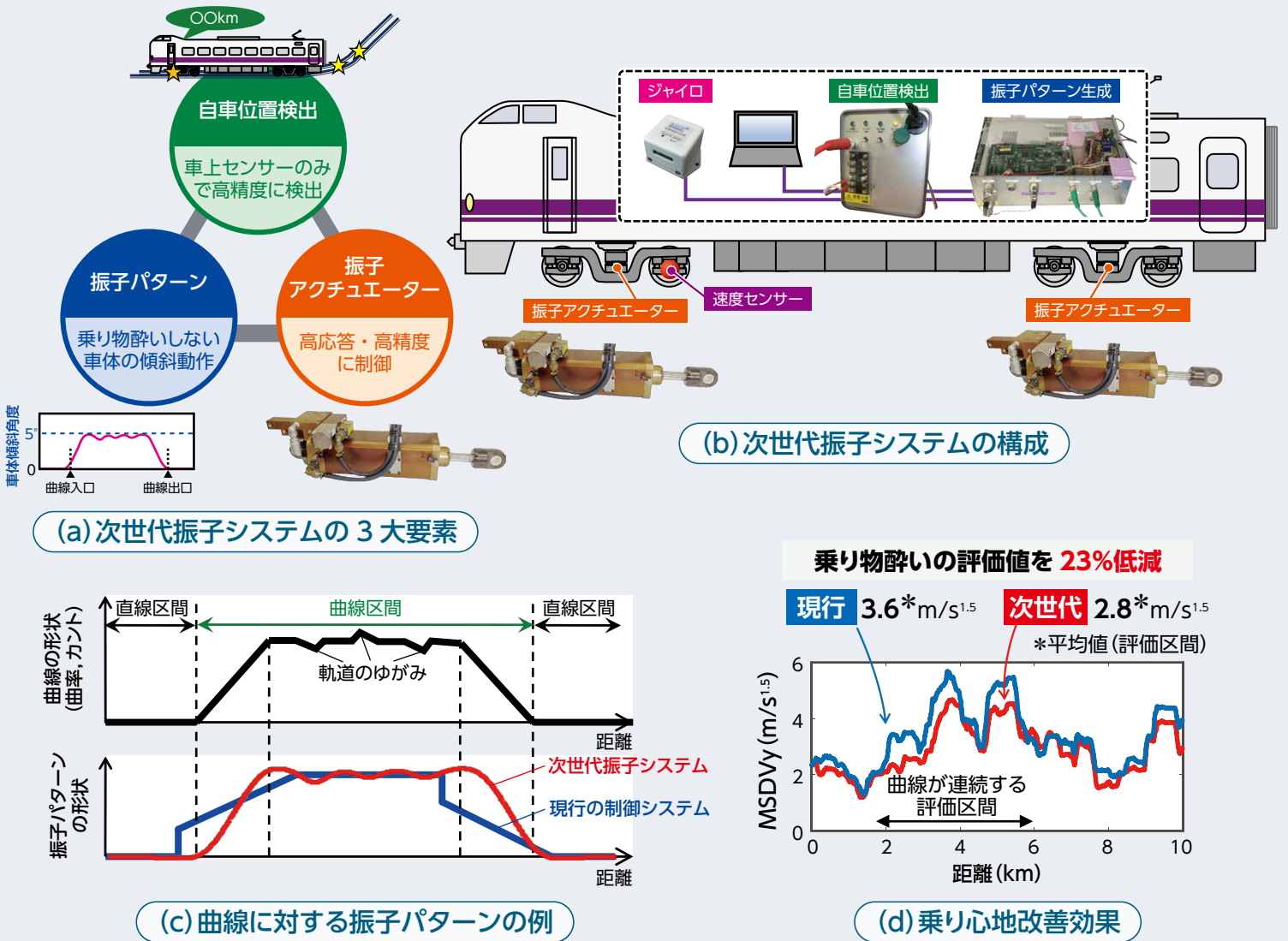


図4 次世代振子システム

を実現するため、応答性の高い空気圧アクチュエーターを開発しました。これらの技術を組み合わせた次世代振子システムの性能を走行試験で確認したところ、自車位置検出の最大誤差は±2mで十分な精度が確保できており、乗り物酔いの影響を反映する指標とされる乗り物酔い暴露量値 (MSDV_y) については現行の制御システムと比較して約23%の低減効果が得られました (図4(d))。次世代振子システムはJR西日本273系振子車両に搭載され、特急やくもとして運用が開始されています。

おわりに

ここでは、車両技術研究部における最近の取

り組みとして、衝突安全性解析、車両床下外観検査システム、省エネ運転支援システム、次世代振子システムを紹介しました。将来にわたって鉄道が持続可能であるために、さらなる安全性の向上、低コスト化、省エネ・脱炭素化、快適性の向上につながる研究開発を通して、今後とも車両分野の技術の発展に貢献していきたいと考えています。

文献

- 1) 沖野友洋, 永田恵輔: 鉄道車両の衝突安全性を評価する, RRR, Vol.79, No.4, pp.26-31, 2022
- 2) 小島崇, 風戸昭人, 宮原宏平, 鶴飼正人: 画像による地上からの車両床下状態確認手法, R&M, Vol.32, No.4, pp.6-9, 2024
- 3) 小川知行, 横内俊秀, 齋藤達仁: 省エネルギー運転を支援する, RRR, Vol.80, No.4, pp.32-37, 2023
- 4) 真木康隆, 風戸昭人: 次世代の振子技術で移動を快適にする, RRR, Vol.81, No.2, pp.8-13, 2024