

秋
2024

クローズアップ	① 鉄道総研試験車両カタログ
研究＆開発	② 実物大車体構体とダンブとの衝突試験（上）
研究＆開発	④ 駆動装置の騒音可視化技術（下）
解説	⑥ 鉄道車両における燃焼性の評価手法



鉄道総研 試験車両カタログ

車両技術研究部
部長

瀧上 唯夫



鉄道総研の研究開発に関する取り組みは、定期刊行物や論文等を通して公表していますが、実施内容や成果の発信を主眼としていることもあり、各種検証に活躍している試験車両にスポットを当ててまとめた資料は、私が探した限り見当たりませんでした。ここでは、鉄道総研が企画や設計に携わった試験車両（車体、構体を含みます）をカタログ的に紹介したいと思います。全てを網羅していない点はご容赦ください。

①高速車両用多目的試験車体（新幹線向け）

アルミニウム合金（中空押出型材）製で、快適性の観点から車体振動や車内騒音に関する特性評価、低減対策効果検証用に導入された車体です。

②剛性試験車体（在来線向け）

ステンレス鋼製で、内装部材等の非強度部材が車体振動に与える影響調査、低減対策効果検討のために導入された車体です。

③架線ハイブリッド LRV（路面電車向け：愛称 Hi! Tram）

リチウムイオン電池を搭載し、駅等の架線がある場所で充電することで、架線がない区間でも走行を可能とした車両です。

④燃料電池ハイブリッド試験電車（在来線向け：R291）

水素タンクを搭載し、酸素と反応させて発電する燃料電池により走行する車両です。架線からの電力により走行することも可能です。

⑤振動測定用試験車体（在来線向け：愛称スマート車体）

圧電素子等を活用した「スマート構造技術」を採り入れて車体振動低減をめざす取り組みの一環として導入された車体です。

⑥新幹線型試験車両（新幹線向け：愛称 ATLAS）

当時としては画期的なアルミニウム合金の押出型材を採用し

た車体です。新幹線高速化に向けた試験等で活躍しました。

⑦幅拡大車両（在来線向け）

輸送力の増強をめざして、立ち席スペースを増やすために車体断面形状を工夫して設計した車両です。

⑧ハイブリッド構体／⑨ CFRP 構体

実験的要素が強く、⑧はアルミニウム合金とステンレス鋼を部位ごとに使い分け（③④のハイブリッドと意味が異なります）、⑨は CFRP で構体を構成したものです。なお、⑨は現存しません。

試験車両の歴史を振り返ってみると、鉄道業界を取り巻く状況に応じて、軽量化・高速化や輸送力の増強、快適性の向上、省エネや脱炭素化といった課題に、鉄道総研が積極的に取り組もうとしてきたことがわかります。

さて、申し遅れましたが、私は 2024 年 7 月に車両技術研究部長に就任しました。これまで振動の評価や低減対策の検討を行ってきましたが、提案した解析手法やデバイスについて、実際に試験車両で効果を検証できるというのは非常にありがたいことでした。一部の車両については仕様検討や設計に関わることができ、その経験を通して車両構造への理解が深まり、研究者としての成長にもつながったと感じています。

試験車両は製作すること自体が目的ではありませんが、今後、新たな車両が導入されることもあると思われます。その際は、若手研究者が企画や設計に携わり、醍醐味や喜びを経験する機会に恵まれることを期待する次第です。

今回ご紹介した試験車両を有効に活用して、引き続き研究開発成果の創出に努力してまいりますので、ご支援、ご協力のほど、よろしくお願い申し上げます。NL

※上記の説明は「導入当初」の意図を示したものであり、実際には他の研究開発との相乗りや、別の用途で活用している場合もあります。

※①④は国土交通省の鉄道技術開発費補助金、③は NEDO からの研究開発の委託、⑤は鉄道・運輸機構の運輸分野における基礎的研究推進制度の補助を受けて製作しました。

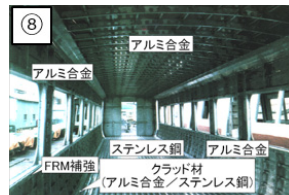


写真 鉄道総研の試験車両一覧



研究&開発

実物大車体構体と ダンプとの衝突試験(上)

車両技術研究部 車両強度
上席研究員 GL 沖野 友洋

1 はじめに

鉄道の安全対策として、万一の衝突事故時に乗客や乗務員の被害を軽減する車体構造は重要です。衝突事故時の安全性に優れた車体構造を設計する場合、実車による衝突試験を繰り返し実施することは現実的ではありません。そのため、数値解析による衝突安全性評価が有効ですが、その解析精度を確保することが重要です。

筆者らは、列車衝突事故時の先頭車の衝撃挙動を把握することを目的として、ステンレス鋼製先頭車両の実物大の部分車体構体を用いて、剛体壁に衝突させる衝突試験を実施するとともに、衝突試験を模擬した数値解析を実施し、試験結果と解析結果を比較検証して解析モデルの精度を向上しました。また、大型ダンプトラックとの衝突についても、同様の試験・解析を実施しました¹⁾。

本号では、上記文献1の大型ダンプトラックとの衝突試験について一部加筆・修正のうえ紹介し、次号では当該試験を模擬した数値解析について紹介します。

2 衝突試験条件および計測系

衝突試験には、1980年代以降に量産された標準的なステンレス鋼製先頭車両の廃車を用いました。具体的には、図1に示すように車体構体をまくらばり後端で切断し、切断面に補強板を取付けて試験体を製作し、走行台車にロードセルを介して取付けました。試験体の外形は長さ約3.2 m×幅約3 m×高さ約3 mで、走行台車を含めた総質量は約10.2 トンです。この試験体付き走行台車を、過去に発生した踏切重大事故の平均衝突速度15 m/s (= 54 km/h)²⁾で、静止した大型ダンプトラック

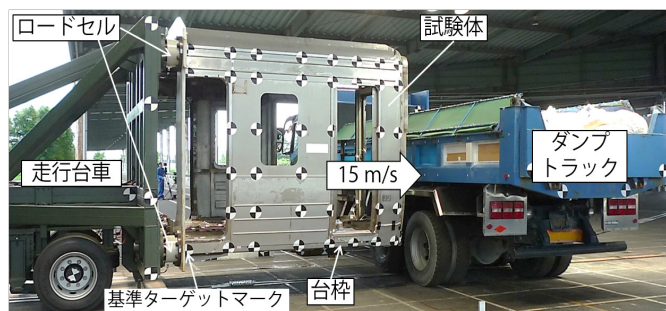


図1 試験体（実物大部分先頭構体）とダンプトラック

クの左側面に衝突させました(図1, 図2)。ダンプトラックの総質量は約22 トンで、荷台に約10.1 トンの土嚢を積載しました。試験体の台枠底面の地上からの高さは610 mm 程度で、実際の高さ(図面寸法1002 mm)より390 mm 程度低くなっています。これは、試験体付き走行台車を安全に高速走行させるため、重心を下げる必要があったためです。

計測系は、前述の走行台車に6個の前後方向ロードセル、まくらばり直上床面に4点の前後方向加速度センサ(中央:A-1 および予備のA-1', 運転席側:A-2, 反運転席側:A-3) およびダンプトラックと最初に接触すると想定される貫通路柱前方にテープスイッチ(接触センサ)を設置し、走行台車上に設置したデータロガーによりサンプリング時間0.1 msで記録しました。

得られた計測データについて、6個のロードセル各々の軸方向圧縮荷重値の和を求め、自動車業界で広く使用されるCFC1000フィルタ処理を実施して圧縮荷重を算出しました。また、各加速度センサから得られる加速度は、50 Hz ローパスフィルタ処理を実施しました。高速度カメラで撮影した動画から、図1に示す台枠後端近傍の基準ターゲットマーク(左右側面の合計2カ所)の座標の時刻歴を抽出した後、進行方向への移動量を算出してCFC60フィルタ処理を実施し、これらの平均値を微分して試験体の速度としました。

3 ダンプトラックとの衝突試験結果

衝突試験における高速度カメラの映像を図3に、試験体の圧縮荷重および速度、加速度の時刻歴を図4、図5にそれぞれ示します。

図3に示すように、本衝突試験は、試験体において比較的強度の高い台枠よりもダンプトラックの荷台が上方に位置する乗り上がり条件での衝突でした。貫通路柱や隅柱などの妻面(前面)中央部が荷台と衝突することにより、妻面は曲げ変形、台枠は前方が上方に持ち上げら

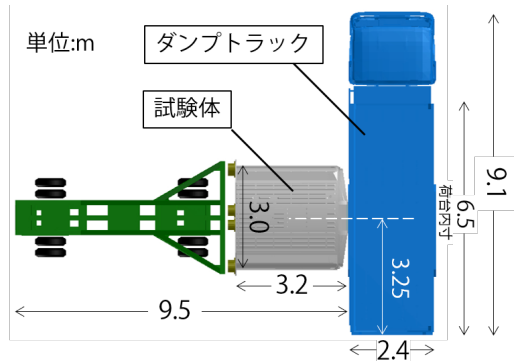


図2 試験体とダンプトラックの水平方向位置関係

れる様に曲げ変形し、側外板や床波板などのスポット溶接部が破断しました。また、2本の貫通路柱を上部で繋ぐ貫通路フレームの中央部が前後方向に押し込まれた変形量は514 mmでした。同様の試験条件で剛体壁と衝突させた試験結果と比較すると、剛体壁との衝突試験では、試験体の主要な部材が圧壊され座屈する圧縮変形挙動が主であったのに対し、ダンプトラックとの衝突試験では、主要な部材の曲げ変形挙動が主であり、衝撃変形破壊挙動が大きく異なりました。

ダンプトラックは上方から見て左回転する挙動となり、荷台において試験体が接触した範囲で局所的に変形が認められ、左後輪の2輪のタイヤホイールが損傷して破断しました。ダンプトラックのタイヤホイール上部が試験体の妻面下部の台枠高さ近傍に衝突したために、タイヤホイールにせん断荷重が作用したことにより破断したと考えられます。

図4より、試験体に作用する圧縮荷重は、17 ms程度まで急激に上昇し、35 ms時まで1500 kN程度を維持し（最大荷重1554 kN）、その後60 ms時に400 kN程度まで急激に低下した後、80～110 ms間は緩やかに低下し、110 ms以降は130 kN程度を維持する結果となりました。一方、試験体の速度は15 m/s程度で衝突した後、40 ms程度までほぼ直線的に低下して9 m/s程度となった後、減速率が低下して、80 ms時には6.4 m/sとなり、その後、さらに減速率が低下して200 ms時には3.6 m/sとなりました。この図より、試験体

速度の減速率が変化する点が、試験体に作用する圧縮荷重が急激に低下する時刻とほぼ一致しました。

図5より、試験体に作用する衝撃減速度は、A-1からA-3までほぼ同様な波形となりました。30 ms前後で最大値190～220 m/s²程度となり、その後50 msで極小値40～70 m/s²程度まで低下した後、64 msで極大値95～110 m/s²程度まで上昇し、85 ms以降は17 m/s²程度を維持する結果となりました。

4 おわりに

試験体（車体構体）が大型ダンプトラックの側面に衝突した場合、試験体は妻面および台枠前方が曲げ変形し（剛体壁への衝突では圧縮変形挙動が主となり、試験体の変形モードが異なる結果となりました）、側外板や床波板などのスポット溶接部の破断が認められました。また、衝突に伴う衝撃圧縮荷重、試験体速度および衝撃減速度の時刻歴などの基礎的なデータを明示しました。次号では当該試験を模擬した数値解析について紹介します。

参考文献

- 1) 沖野友洋, 永田恵輔, 高野純一, 小林秀敏: ステンレス鋼製鉄道車体構体とダンプトラックの実車を用いた衝突試験とFE解析, 日本機械学会論文集, Vol.87, No.902, DOI: 10.1299/transjsme.21-00073, 2021
- 2) 沖野友洋, 山本勝太, 高野純一, 宇治田寧: 列車乗務員の傷害度を指標とした踏切事故時の車両の衝突安全性評価, 日本機械学会第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, No.2604, 2012

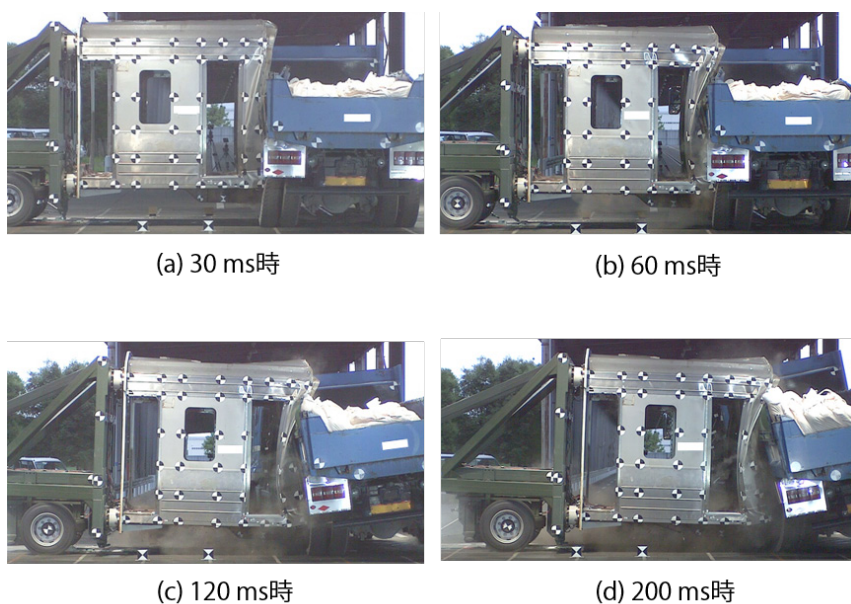


図3 衝突試験時の高速度カメラ映像

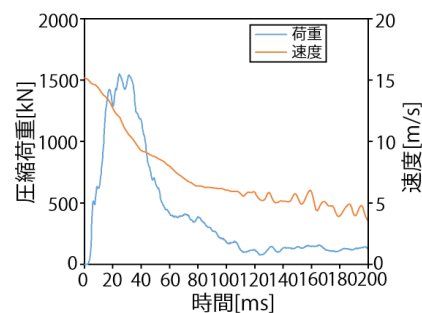


図4 圧縮荷重と試験体速度の時刻歴

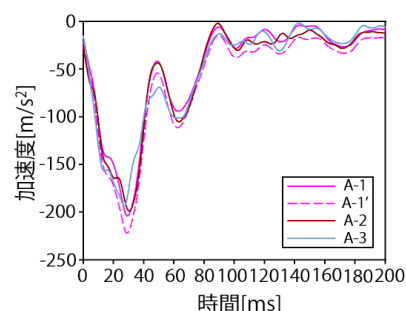


図5 試験体の加速度の時刻歴



研究&開発

駆動装置の騒音可視化技術 (下)

車両技術研究部 駆動システム
主任研究員 笹倉 実

1 実車駆動装置の騒音可視化

前回は騒音可視化手法の種類や特長の紹介を行いました。今回は実車駆動装置の台上試験レベルでの測定事例について紹介します¹⁾。図1(c)に示す駆動装置回転試験装置において実車同様の構成で歯車装置を、たわみ継手を介して主電動機と結合する形態で設置しています。エンベロープインテンシティ法(以下、EI法)及びビームフォーミング法(以下、BF法)により解析を行う小型マイクアレイを近接して設置した場合の状況を図1(a)に示します。測定面から1m程度の距離をとれば、カメラの性能(広角性)を生かし、歯車装置と主電動機を同時に処理範囲内に収めることが可能となります。また、図1(b)に示すように結像精度向上のため複数の小型マイクアレイを同時に用いる場合もあります。

2 主電動機と歯車装置の音源中心

走行速度に換算して約120 km/hに相当する回転条件では、騒音スペクトルが3150 Hz付近で大きくなる現象が見られました。BF法を用いて、その周波数における騒音可視化を行った結果を図2に示します。2次元のコンターマップで表示され、中心の赤い部分は最も音のエネルギーが大きく、ここが音源中心であることがわかります。この音源中心は主電動機の筐体中央部付近となりますが、ここは電磁鋼板部であり、励磁により筐体径方向の振動を発生し、いわゆる磁歪音となっている状況であると考えられます。

一方、1150 Hz付近にも騒音スペクトルが大きくなる現象があり、その周波数におけるBF法及びEI法による騒音

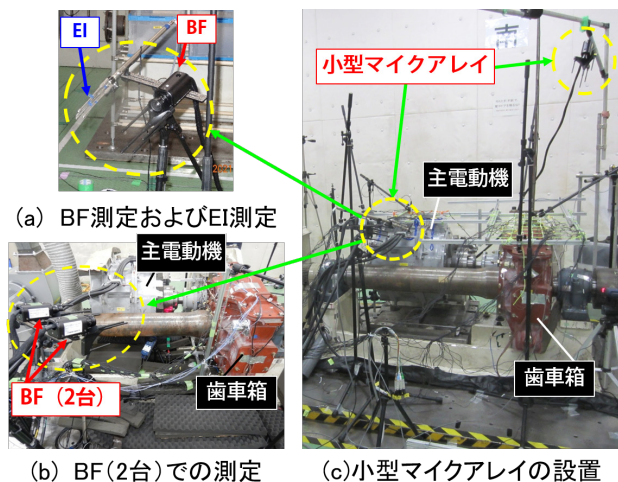


図1 実車駆動装置の騒音可視化

可視化結果を図3に示します。図3①は、力行時の音源中心であり、その後、定速(②)、惰行(③)と運転状態が変化すると音の発生位置に違いが生じます。(a)BF法では、音源中心がコンターマップで示されるのに対し、(b)EI法は時刻毎に移動する点の軌跡(点群)で示されます。ここでは約200 μ s毎に表示しています。瞬時毎の音のエネルギーのレベルを色で分けており、青→緑→黄→橙→赤の順に大きくなります。赤い枠で囲ったところが音源として特に大きくなる部位です。

この周波数では歯車装置の側面部が音源中心となります。歯車の歯数に応じて発生する、かみあい1次振動の周波数は、この試験に用いている車両の歯車では120 km/hで、計算上、約1150 Hzとなり、振動と騒音の周波数は一致します。歯車かみあい振動に起因する騒音発生は、高速時に顕著に見られる現象です。

鉄道用歯車は、はすば歯車と呼ばれる歯が斜めに切られている歯車が多くを占めます。斜め方向の歯であるため、かみあい力は円周方向のほかに、車軸方向(スラスト方向)にも分力として作用します。このため車軸方向に歯車軸受部を加振することにより、この付近より騒音発生することが考えられます。歯車の低騒音化には軸受周りの対策が重要であることがわかります。

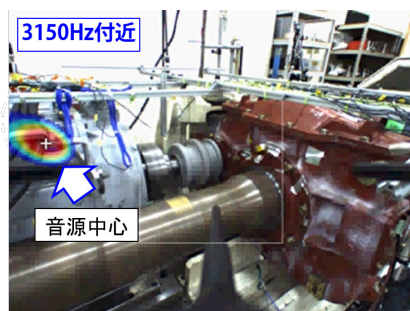


図2 主電動機の音源中心

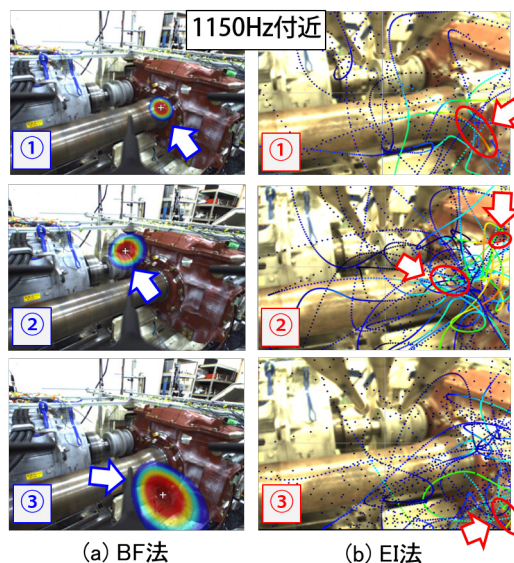


図3 歯車装置の音源中心と手法比較

車両を対象とした騒音測定は、鉄道工場内などで行う場合が多いのですが、周囲の機械音など測定対象外を含めて多数の音源が混在します。ここで示した測定でも回転試験装置の駆動に関する騒音発生や、試験室の空間的な音響干渉、床面反射などの影響があって、音響計測の環境としては、専用の音響実験室に比較すると厳しい状況です。

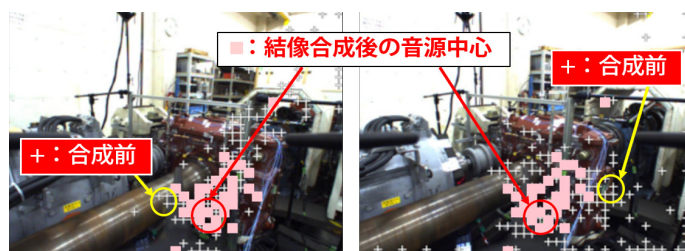
一般にEI法は、時間分解能がBF法より優れ、時間的に大きく変動する音（過渡音）の評価に適していると言われます。騒音可視化測定では、音源そのものの安定性が測定精度にも影響を及ぼします。上記のような試験環境でEI法による解析はノイズ的な応答が過敏になり、BF法の方が結像安定性は良く、音源の特定には、むしろ理解しやすい結果を示しています。

なお、装置の導入にかかるコストは、現在、拠点の工場などに配備されている大型の分析装置の導入コストの1/5以下となっています。

3 複数マイクアレイによる結像精度の向上

上記試験環境において、測定上の工夫を行った事例です。従来のBF測定では、小型マイクアレイを固定位置に1台のみ設置しますが、設置位置によっては、上記に示したように周囲音響の影響を受けて音源中心となる結像が安定しないことがあります。この測定環境での改良法として、同一測定方向に対し、設置位置が異なる複数（2台）の小型マイクアレイを使用して、処理画像を合成することで、結像精度向上を図っています。

図4(a)は、約120 km/hに至る力行状態において、1150 Hz付近の小型マイクアレイ（左）における約10秒間の速度変化に伴う音源中心の移動軌跡であり、BF法での音源中心を白色の+で示します。図4(b)は、同様に、小型マイクアレイ（右）での結果です。いずれも図3(a)①のように歯車箱の車軸軸受付近が音源中心となる結果を示していますが、両者の結像範囲は開きがあります。各図中■で示す結像の位置は、2台のカメラの結像が重なる部分であり、これ以外の結像が重ならない位置（歯車箱上部及び、車軸部）は本来の音源中心でなく、床面からの反射影響などのノイズ成分的なものと考えられます。これらの像を除外することにより、より精度の高い音源中心を判定



(a) 小型マイクアレイ(左側) (b) 小型マイクアレイ(右側)

図4 複数マイクアレイによる結像精度の向上 (BF法)

することが可能となりました。

4 歯車損傷に対する状態監視への応用

騒音可視化手法は、騒音発生位置の特定のほかに、結像状態の変化により異音発生源の状態監視にも応用できる可能性が考えられます。これまで述べた実車駆動装置とは別の小型試験歯車を用いた耐久試験における実施例を示します。歯面の面圧条件が高い場合（2.25 GPa）、累積回転数が約170万回でピッチング損傷と呼ばれる歯車特有の損傷が歯車かみあい部に発生し始めます（図5(a)）。この程度の損傷では聴感による異音が感じられる程度ではなく、従来の振動加速度計によるモニタリングを行ってもスペクトルの一部がわずかに変化するだけで、振動波形から異常状態を判定するには経験を要することになります。BF法による状態監視を行った場合は、音源中心は、大歯車軸及び小歯車軸間の軸受中央部付近にあり、この付近の結像レベルが大幅に拡大することにより損傷発生から早い段階で検出が可能であることを示しています（図5(b)、(c)）。

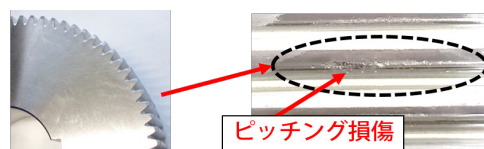
5 おわりに

鉄道車両ではここであげた以外にも様々な騒音源が存在します。騒音対策には、音の流れ場を把握する技術、振動と音との相関を調べる技術など様々なものがあり、これらを複合的に組み合わせることにより、現象を詳細に理解し、対策を検討することが必要な場合もあります。これらの中で騒音源を正確に把握することは、対策の初期で重要となります。騒音可視化技術を用いて視覚に直感的に訴えることにより、迅速に騒音の発生源の把握が可能となります。騒音対策の有用な技術の一つとして活用が期待できます。

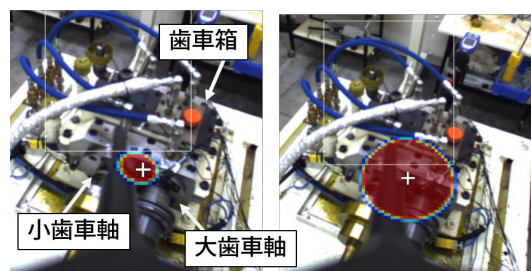
NL

参考文献

- 1) 笹倉 実ほか：鉄道用駆動装置の台上試験環境における音源可視化技術の適用性，D&D2023 講演論文集，2023



(a) 試験歯車の損傷状況



(b) 損傷前

(c) 損傷後

図5 歯車損傷に対する状態監視への応用例



解説

鉄道車両における燃焼性の評価手法

企画室 企画
主査

中嶋 大智

1 はじめに

近年の列車火災発生件数は年間数件程度¹⁾で推移していて人的な被害が生じるような列車火災事故の発生はまれとなっています。しかし、1950年頃までは国鉄だけで年間120件を超える列車火災が発生していました²⁾。

鉄道車両の火災対策は1951年の桜木町事故や1972年の北陸トンネル事故などいくつかの被害の大きな事故を契機として前進し、対策が進むにつれて列車火災発生件数やそれによる死傷者数は徐々に減少してきました。その一方で近年、列車内での放火による火災発生やモバイルバッテリーからの発煙現象など過去には想定していなかった、あるいは見られなかった事象も発生しています。

火災対策として燃焼性の低い製品（たとえば空調機器本体・ダクト配管用断熱材やラミネートフィルム・メディア・下地材を組み合わせた外装用ラッピング材）が開発されており、燃焼性の評価が重要になる一方、国内と海外では評価手法が異なっています。

ここでは、鉄道車両における燃焼性の評価手法について、関連する基準や最近の研究開発の動向を中心に

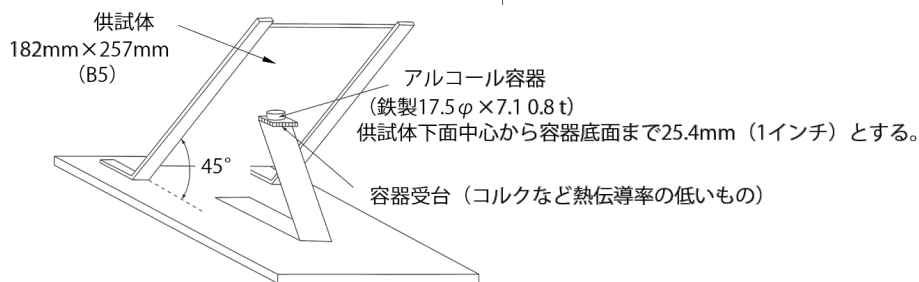
紹介します。

2 鉄道車両の火災対策に関する基準

鉄道車両の火災対策に関する国内基準及び燃焼試験方法は「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」（以下、省令）で定められています。第8章第5節（第83～85条）が「車両の火災対策等」で、具体的な内容については、解釈基準³⁾に示されています。例えば省令第83条の解釈基準には①車両の難燃構造および車両に用いられる材料の燃焼性、②機関車、旅客車、乗務員が乗務する貨車への消火器の設置、③地下鉄や新幹線の車両間の貫通扉の要件に関する記述があり³⁾、車両火災対策の中心的な内容とされています。これらは解釈基準の解説⁴⁾に示されている、①車両が出火源とならないための出火防止対策、②仮に出火しても車両の不燃化等を図った延焼防止対策、③万が一の火災の場合の避難路確保など被害軽減対策、の考え方に基づいています。

鉄道車両に用いられる材料の燃焼性について、解釈基準では不燃性、極難燃性、難燃性に区分され、車両の部位（屋根、天井、床など）および運行形態によりどの区分の材料を使用できるかが示されています。例えば不燃性の材料は壁面や天井用部材など、難燃性の材料は床敷物や座席モケットなどに使用できます。材料の区分は図1に示すアルコール燃焼試験および判定基準により決定されます。

一方、海外では、実物の鉄道車両や実物大のモックアップを用いた大規模な燃焼試験の実施例が国内と比



(a) 試験方法略図

区分	アルコール燃焼中				アルコール燃焼後			
	着火	着炎	煙	火勢	残炎	残じん	炭化	変形
不燃性	なし	なし	僅少	—	—	—	100mm以下の变色	100mm以下の表面的変形
極難燃性	なし	なし	少ない	—	—	—	試験片の上端に達しない	150mm以下の変形
	あり	あり	少ない	弱い	なし	なし	30mm以下	
難燃性	あり	あり	普通	炎が試験片の上端を越えない	なし	なし	試験片の上端に達する	縁に達する変形、局部的貫通孔

(b) 判定基準

図1 省令における鉄道車両用材料の燃焼性判定方法（鉄道車両用非金属材料の試験方法³⁾）

べて多く、室内で火災による熱で可燃物が熱分解することで発生し、室内に充満した引火性のガスや天井の内装などに使われている可燃性素材がふく射熱などによって一気に発火するフラッシュオーバー現象に至るまでの炎の挙動をはじめとする延焼時の部材相互間の影響を観測するなどの成果が得られています。これらの成果の多くは欧米の燃焼試験規格などに反映されているため、欧米の燃焼試験規格は国内基準と評価方法が異なっています。米国規格(NFPA 130)では、床材と屋根に関して大規模な組成部材の耐火試験、火災リスク分析の実施が義務付けられています。また、欧州規格(EN 45545)は発煙性試験・毒性試験・耐火試験など試験項目が多く、車両や線区の状態を考慮した定量的な評価が要求されています。

3 最近の研究開発動向

省令で定められたアルコール燃焼試験は材料に負荷する熱量が低く、評価項目によっては定性的な面があり、大火源を想定した条件下での定量的な燃焼特性の把握が課題でした⁵⁾。鉄道総研では、国内で使用実績のある鉄道車両用材料に対して、ISO5660-1に規定され、建築材料の燃焼試験などで一般に採用されている定量的な燃焼評価試験であるコーンカロリーメーター燃焼試験(以下、CCM試験)により、国内基準における燃焼区分を定量的に評価しました(図2)。その結果、区分判定の試験方法や判定方法には定性的な面がある一方で、燃焼区分は定量的に評価されていることが確認されました⁵⁾。

火災に対する安全性の高い車両の設計には煙や有毒ガスを抑制するとともに車両構体が受けるふく射熱を抑制することが効果的です。鉄道総研では、これらの評価で重要な鉄道車両材料の燃焼時に発生する発熱量、煙量、有毒ガス発生量の経時変化を同時に測定できるCCM-IR試験装置(図3)を新規に設計・試作しました⁶⁾。本試験装置を用いて国内の代表的な

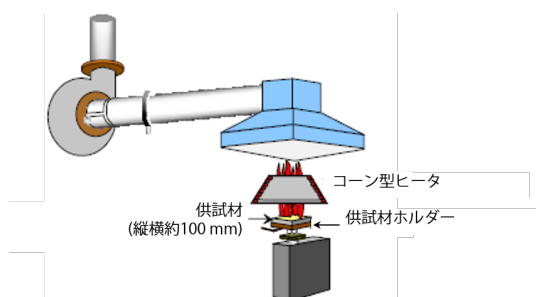


図2 CCM試験略図³⁾

鉄道車両用材料の燃焼特性を評価した結果、材料の構成に合わせて燃焼挙動と燃焼ガスに含まれる成分が段階ごとに変化することが確認され、材料燃焼中のガス発生なども含めた各種挙動をリアルタイムに把握することが可能となりました⁶⁾。

また、鉄道総研では、鉄道車両火災における火災性状を把握するため、想定される火災シナリオに合った火源を設計し、シミュレーションや部材などの比較的小規模な試験を組み合わせることによって客室空間や車両構体への影響を推定する手法についても検討しています⁷⁾。

4 今後の展望

鉄道総研では、これまでの研究開発の成果を活用し、国際標準である定量的な評価への対応など国際競争力の強化に資する国内基準の改良に向けた検討や、燃焼ガスの発生を抑制する新しい鉄道車両用材料の検討、鉄道車両火災における火災性状を把握し、車両構造面の対策につなげるための検討を進めています。

このように鉄道車両の火災対策や燃焼性の評価手法の改良は今も続いており、今後もその動向に注目していきたいと思っています。[NL]

参考文献

- 1) 運輸安全委員会：鉄道事故の統計，<https://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/railway/rail-accident-toukei.php> (参照日：2024年9月9日)
- 2) 田中利男：列車火災，日本鉄道図書，1976
- 3) 国土交通省：鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準，<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/20240315interpretation.pdf> (参照日：2024年9月9日)
- 4) 国土交通省鉄道局監修：解説 鉄道に関する技術基準(車両編) 第三版，日本鉄道車両機械技術協会，2017
- 5) 山中翔，伊藤幹彌：車両用材料の燃えにくさを定量的に評価する，RRR，Vol.77，No.12，pp.20-23，2020
- 6) 山中翔，伊藤幹彌，豊原匡志：鉄道車両用材料の燃焼ガス成分・発熱量の経時変化評価手法，鉄道総研報告，Vol.34，No.10，pp.17-22，2020
- 7) 高野純一，石突光隆，山内雄記，山中翔，豊原匡志：鉄道用腰掛燃焼試験とFDSによる再現解析の実施，第26回鉄道技術・政策連合シンポジウム，No.S6-4-4，2019



図3 CCM-IR試験装置の外観⁶⁾

車両ニュースレターは季刊（1，4，7，10月発行）です。
次の2025年冬号は，2025年1月24日に発行します。

鉄道総研 車両**ニュースレター**

車両技術研究部／材料技術研究部／鉄道力学研究部

● 2024 年秋号 No.68	● 発行日 2024 年（令和 6 年）10 月 25 日（金）
● 発行所  公益財団法人鉄道総合技術研究所 車両技術研究部	
〒 185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL) 042-573-7269	
鉄道総研 URL) https://www.rtri.or.jp	
● 発行者 瀧上唯夫	鉄道総研 検索
● 編集者 山下道寛・牧野一成・渡邊有人・小笠原柚	©Railway Technical Research Institute