

鉄道車両火災対策に関する 日米欧の違い



高野 純一
Junichi Takano

車両技術研究部
車両強度研究室
主任研究員

はじめに

現在、国内の鉄道車両火災の発生は年間数万件程度で推移しており、人的な被害が出るような火災の発生はまれです。しかし、万一発生すると過去の事例のように重大な被害につながる可能性があります。国内では、過去の列車火災事

故をきっかけとして少しずつ対策が積み重ねられ、基準として整備されてきました¹⁾。

海外に目を向けますと、米国、欧州はそれぞれの基準を持ち、国内の対策と比較すると、特に求められる規格試験の内容が大きく異なります。現在、鉄道車両の火災対策に関して、欧州

図1 国内の車両火災対策（省令）の概要

省令

- 第8章 車両
- 第1節 車両限界
- 第2節 車両の重量等
- ...
- 第5節 車両の火災対策等
- 第83条 車両の火災対策
- 第84条 火災報知設備
- 第85条 停電時の装置の機能
- ...

車両の火災対策の意図

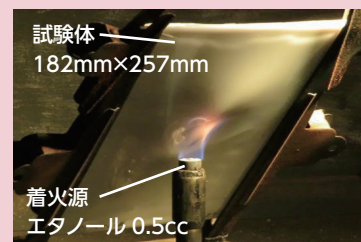
- 車両が出火源とならないための**出火防止対策**
- 仮に出火しても車両の不燃化等を図った**延焼防止対策**
- 万が一の火災の場合の避難路確保など**被害軽減対策**

試験実施による材料のスクリーニング

非金属材料の燃焼試験実施
(試験方法Ⅰ, Ⅱ)

↓
材料の燃焼性判定
「不燃性」「難燃性」
「可燃性」など

↓
燃焼性の観点で車両の部位ごとに使用できる材料を制限
「屋根」は金属と同等以上の
「不燃性」など



試験方法Ⅰ



試験方法Ⅱ

の規格であるEN 45545シリーズ国際規格化が進んでおり、国内でも鉄道事業者、メーカーを中心に対応が求められています。海外の鉄道車両火災対策を知ることは、このような場面や、国内の鉄道車両の火災安全性をさらに向上させるうえで有効と考えられます。

ここでは、日米欧の現在の火災安全対策とともに、その背景となった大規模プロジェクトを紹介します。それを踏まえて、今後の対策をより有効とするために必要なことについて考えます。

日米欧の火災対策

日本

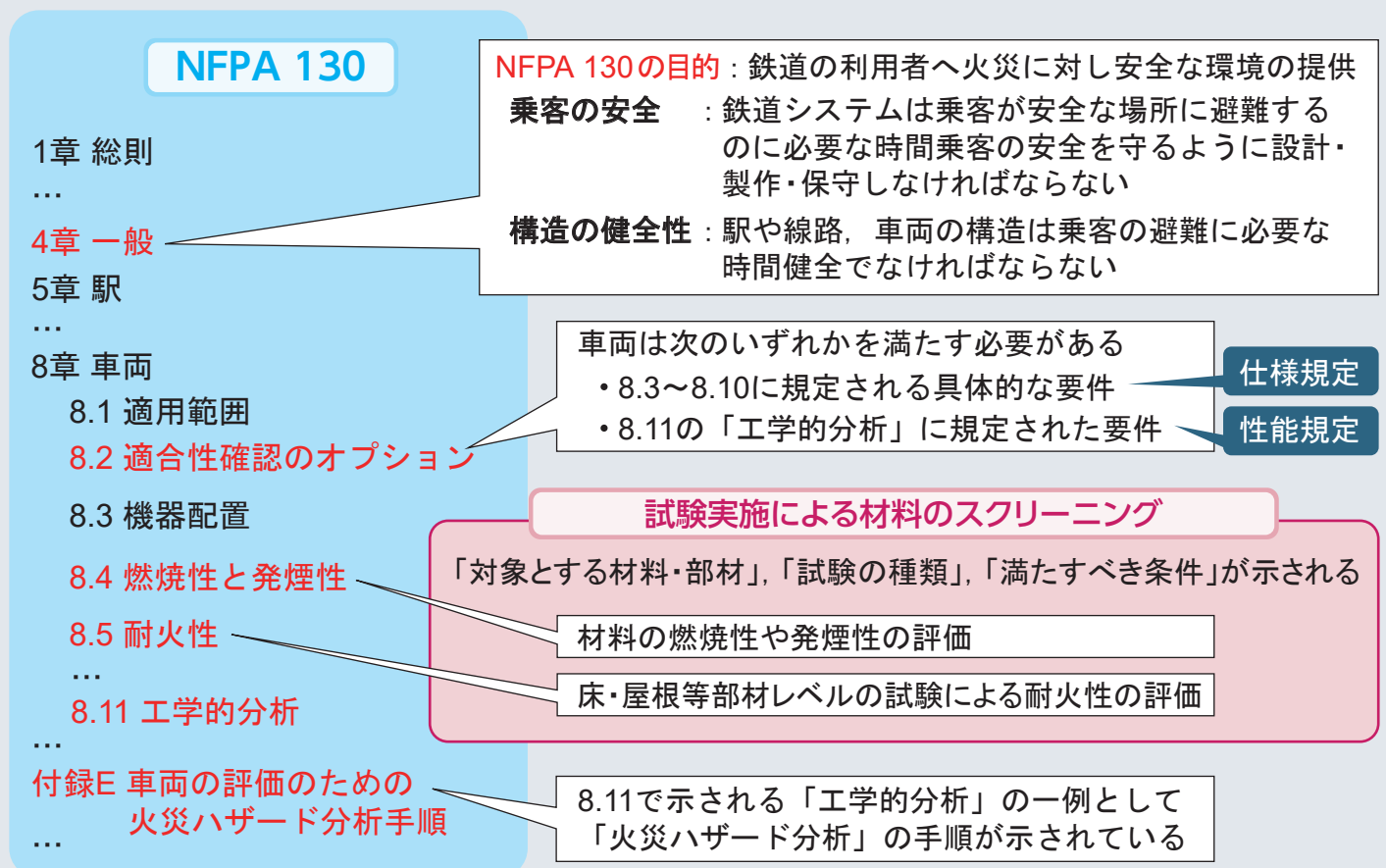
国内で鉄道車両が満たすべき火災に関する基準は、主に省令第83条に定められており、その具体的な内容は文献1に示されています。省令は2001年に、仕様・寸法・材質などを詳

細に示す形（仕様規定）から、満たすべき性能を示す形（性能規定）に改められました。それまで整備されてきた材料の燃焼試験方法など、具体的な対策の内容は判断の目安（解釈基準）として示されています。その中心的な内容は、小規模材料燃焼試験による車両に使用できる材料の判定です（図1）。

米国

米国の鉄道車両防火対策として最も一般的に参照、適用される規格がNFPA 130²⁾です（図2）。12の章からなり、車両のほか、駅や線路の火災安全性も扱われます。このうち、第8章で車両を扱っています。試験方法として、鉄道車両に使用される材料の燃焼性、発煙性に関する試験のほか、鉄道車両の床や屋根に対する載荷加熱試験が含まれます。試験の種類は日本より多く、特に構体部材の耐火試験という規模の大きな試験を含むことが特徴です。また、材

図2 米国の鉄道車両防火対策（NFPA 130）の概要



EN 45545

Part1 一般

EN 45545シリーズの目的：車両での火災が発生時、乗客・乗務員が車外に避難し安全な場所に到達可とすること

運行環境により4つの運行カテゴリー（OC）を設定

- OC1：車両は火災発生後直ちに停車可。乗客が即座に安全な場所へ避難可
- OC2～4は次の条件をもつ地下区間、トンネル、高架のいずれかが存在する区間
- OC2：側面避難可能かつ乗客が短時間で到達可能な安全な駅あり
- OC3：側面避難可能かつ乗客の到達に時間を要する安全な駅あり
- OC4：側面避難不可かつ乗客が短時間で到達可能な安全な駅あり

車両を4つの設計カテゴリー（DC）に分類

- A：自動運転を行う車両 D：二階建て車両
- S：寝台車両 N：その他の車両（標準車両）

試験実施による材料のスクリーニング

- ・車両の部位ごとに必要となる試験が示される
- ・試験結果の判定はハザードレベルが高いほど厳しい

- ・OC, DCに基づきハザードレベル設定
- ・材料・部材（腰掛など）の燃焼性・発煙性・毒性評価

床など部材レベルの試験による耐火性の評価

OC	DC			
	N	A	D	S
1	HL1	HL1	HL1	HL2
2	HL2	HL2	HL2	HL2
3	HL2	HL2	HL2	HL3
4	HL3	HL3	HL3	HL3

- ・ハザードレベルとOC, DCの関係(Part2に記載)
- ・HL3が火災安全上最も厳しい条件

Part2 材料・部材の燃焼挙動に関する要件

Part3 ファイアバリアの耐火性に関する要件

Part4 車両設計の防火に関する要件

...

図3 欧州の鉄道車両火災防護規格（EN 45545）の概要

料や部材の試験方法を定め、基準値と比較する手法による評価（仕様規定）がベースですが、8.11節に「工学的分析オプション」が設けられており、性能規定による評価も認められています。さらに、付録Eには性能規定による評価の方法も示されています。

■ 欧州

欧州の鉄道車両火災防護規格EN 45545³⁾ (図3) は7つのパートからなります。この規格の特徴は、車両のタイプ、運行形態を考慮して「設計カテゴリー」と「運転カテゴリー」により車両を分類し、これらを組み合わせてハザードレベルHL1～3を設定し、要求事項への適合性を判断している点です。この内容が規格の基本的な考え方としてPart1に示されています。要

求事項は、主にPart2で示される材料の燃焼性、発煙性、ガス毒性に関する試験、Part3の耐火試験の基準をクリアすることです。NFPA 130と比較すると、耐火試験では載荷試験は求められていません。また、屋根は対象外です。米国のNFPA 130同様、日本と比較して幅広い試験の実施が求められます。

日米欧の大規模プロジェクト

■ 日本

1972年に発生した北陸トンネルでの火災事故⁴⁾後の対策検討会では、トンネル内で火災が発生した列車について、運転を継続しトンネルを脱出すべきかどうかの一つの重要な議題となりました⁴⁾。火災を起こした列車がトンネル

内で停車すれば重大な結果を招く恐れがあることは事故前から認識されていましたが、運転を継続しても列車がトンネル外へ脱出できるかが不明でした。この確認を目的の一つとして、トンネル内での火災発生車両の走行試験を含む一連の試験が実施されました(図4)。このような実験は現在まで、海外を含めて例のないものと思います。試験の結果、難燃度が中級以上の車両客室内で火災が発生したとき、車端部に防火対策が施され、貫通戸、通風機が閉め切られていれば、通常の場合、トンネル外へ脱出できると想定されました。結果を受けて運転規定が改訂され、トンネル内で列車火災が発生した場合は、運転を継続し、脱出を図ることが基本とされるなど、現在の国内の火災対策に反映されています。

■ 米国

1990年代の米国では、従来の材料レベルの試験では特定条件での材料間の相対評価は可能であるものの、実際の車両火災の状況推定に使用できるような定量的なデータが得られないことが課題とされていました。そこで、Fire Safety of Passenger Trains⁵⁾(1995～2004年)では、定量的なデータ(発熱速度)を取得できる試験方法と、その試験結果に基づく鉄道車両に対するハザード分析手法が提案されました。本手法に従った評価(図5)を試行した結果、その有効性が確認され、NFPA 130のANNEX Eにハ



(a) 定置試験



(b) トンネル走行試験

図4 北陸トンネル事故後の実車燃焼試験

北陸トンネル列車火災事故

1972年11月6日に北陸本線北陸トンネル内で発生した列車火災事故です。寝台列車の食堂車から出火し、消火のために列車はトンネル内で停車しましたが発煙がひどく消火困難となりました。その後、列車は走行不能となり、トンネル内に充満した煙、ガスのため救出活動は困難を極め、死者30人、負傷者714人を出しました。

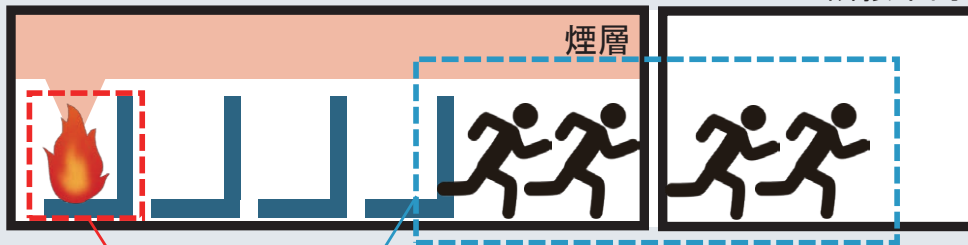
ザード分析の手順が記載されました。有効性の確認にあたっては実車の燃焼試験が実施されました。

■ 欧州

EN 45545制定前の欧州では、各国独自の規格により試験を実施していました。欧州では一

火災発生車両

隣接車両



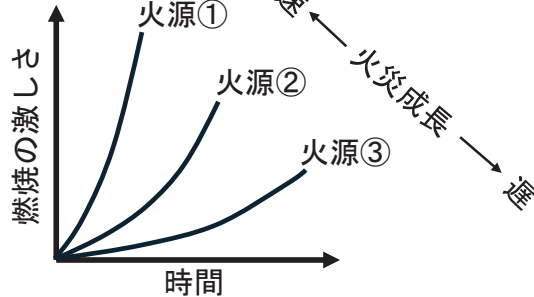
目標：
乗客が避難に
使うことができ
る時間が
全ての乗客が
隣接車両に避
難するのにか
かる時間より
長いこと

車両：
検討する具体
的な車両の仕
様設定

目標と
車両の設定

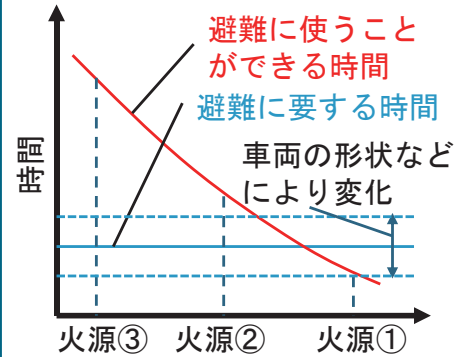
既往の計算モデルにより乗客の隣
接車両への避難に要する時間の計算

火源について



1. 想定する火源を設定
2. 客室内温度の時間変化を計算（既往モデル）
3. 乗客安全を考慮した温度のしきい値と比較
4. 避難に使うことができる時間を計算

計算



想定する火源の火災成長の速さ

想定した火源で最初に設定した
目標を満たすか評価

評価

図5 Fire Safety of Passenger Trainsにおけるハザード分析手法

つの列車が国をまたいで運行することが多く、火災安全に関する統一的な規格が望まれていました。FIRESTARR⁶⁾(1999～2001年)は、欧州各国共通の燃焼試験規格作成のために実施されました。本プロジェクトでは、小規模な材料燃焼試験結果と実際の火災状況の相関が調査され、提案された燃焼試験方法や判定基準(図6)に基づきEN 45545が制定されました。

2008～2012年には、鉄道車両の火災安全に関して性能規定による設計を目指してTRANSFEU⁷⁾が実施されました。本プロジェクトの目的は、ISO 23932(火災安全工学)に示された評価手法を鉄道車両に適用し、有効性を確認することです。評価の基本的な流れは、避難に要する時間が避難に使える時間より短いことを確認するもので、前述した米国のプロ

ジェクトと同様ですが、計算方法に大きな違いがあります。このプロジェクトでも評価の妥当性検討を目的として複数の実車燃焼試験が実施されました。

火災対策の現状と今後の課題

現状の鉄道車両の火災対策は、各国とも仕様規定による評価が基本です。しかし、実際の火災状況は着火源の場所や規模、内装の配置や空間の大きさ、車両の走行状態など、条件の違いにより変化するため多様であり、規格試験の結果と結びつけることは困難です。FIRESTARRでの取り組みのように、想定する火災状況を一定とした場合でも、この関係は必ずしも明確ではありません。

また、仕様規定では技術力にかかわらず同

想定する火災シナリオ：コンパートメント内の座席への放火
対象とする内装品：壁・天井材，腰掛など

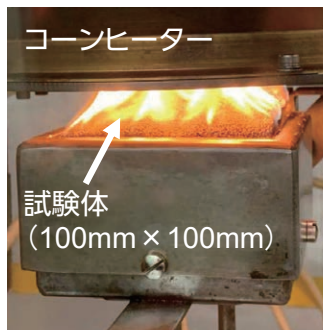
欧州の鉄道車両火災
事例調査から決定

実験内容

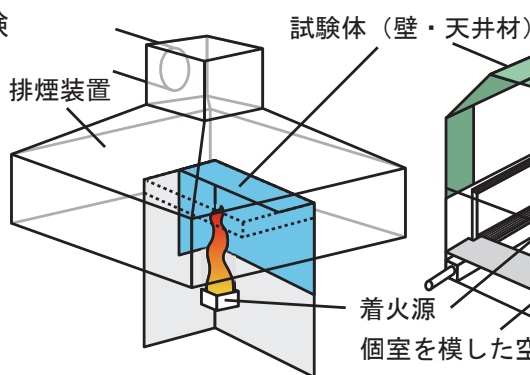
規格試験の想定

小規模試験

例) コーンカロリーメーター試験

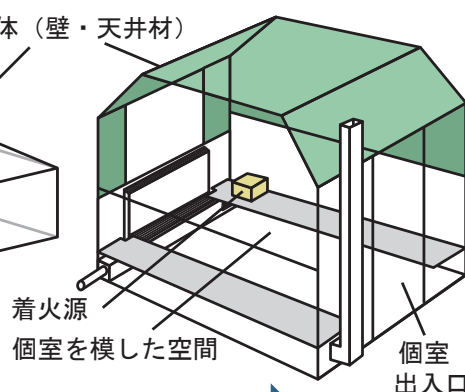


大規模試験



実際の火災状況想定

実規模試験



燃焼の激しさを表す指標などについて試験規模間の相関を確認 (壁・天井材の例)

試験方法・評価方法の提案

壁・天井材：「小規模」⇔「実規模」相関あり ➡ 小規模材料試験に基づく評価手法提案

腰掛：「小規模」⇔「実規模」相関なし ➡ 実大腰掛燃焼試験に基づく評価手法提案

図6 FIRESTARRにおける実施内容

一の判断を行うことができるというメリットがある反面、新技術や個別事情への柔軟な対応には欠け、さらに個別の事情によらず一律の基準が適用されるため、場合によっては過剰な要求となるデメリットがあります。特に現状の欧米の規格では、構体部材の耐火試験のような大規模な試験が求められます。上述のように、欧米のプロジェクトにおいて性能規定による鉄道車両の火災安全性評価が試行されたのも、より柔軟な対応を求めて行われたものとも考えられます。

今後、鉄道車両の火災安全対策をより有効なものとするためには、鉄道車両における火災現象を深く理解するための取り組みを進め、多様なシナリオに対して火災状況を予測できるようにすることが重要です。これにより、材料試験

と実際の火災状況との関連づけや、性能規定による評価が可能となり、火災安全性のさらなる向上や、柔軟かつコストを抑えた評価の実現に近づくと考えています。RRR

文献

- 1) 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) 第四版，2022
- 2) NFPA：NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2023
- 3) CEN/CENELEC：EN 45545-1 Railway applications - Fire protection on railway vehicles Part 1：General, 2013
- 4) 田中利男：列車火災，日本鉄道図書，1976
- 5) Peacock, R. D., et al.：Fire Safety of Passenger Trains; Phase II：Application of Fire Hazard Analysis Techniques, 2002
- 6) FIRESTARR：FIRESTARR Final Report, 2001
- 7) Eric Guillaume, et al.：Application and Limitations of a Method Based on Pyrolysis Models to Simulate Railway Rolling Stock Fire Scenarios, Fire Technology, Vol. 50, pp. 317-348, 2014