

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

車両用材料の燃えにくさを定量的に評価する

鉄道車両に使用される材料には、安全性の確保のため、燃えにくい性質（難燃性）が求められます。このため、鉄道車両に使用される材料は国土交通省令によって、難燃性を示す基準として燃焼ランクが定められています。そして、炎は下から上へと広がるため、天井や壁などの車内の高い位置にある材料ほど高い燃焼ランクが必要になります。ここでは、車両用材料の難燃性に関する基準や試験方法を紹介するとともに、国土交通省令による燃焼ランクを定量的に評価した結果を紹介します。



山中 翔
Sho Yamanaka
材料技術研究部
防振材料研究室
研究員



伊藤 幹彌
Mikiya Ito
材料技術研究部
防振材料研究室長

はじめに

鉄道は多くの利用者を一度に輸送できる公共輸送機関です。このため、鉄道車両に使用される材料には、安全性の確保のため、燃えにくい性質が求められます。たとえば、過去の桜木町事故や北陸トンネル列車火災事故（☞参照）では大きな被害が発生しました。このため、火災防止対策は重要な課題の一つであり、鉄道車両に使用される材料は必要とされる難燃基準を満足する必要があります。

鉄道車両に使用される材料には、鉄やステンレス、アルミのように外板や

屋根材として使用される金属材料や、プラスチックや繊維のように客室内の座席や床敷物に使用される高分子材料があります。このうち、高分子材料は石油などを原料にしたものが多く、本質的に燃えうる材料です。このため、鉄道車両に使用される高分子材料は必要とされる難燃基準を満足すべく、難燃化されており、一般製品に使用されるものよりも燃えにくい材料が使われています。

車両用材料の燃えにくさとは

日本の鉄道車両に使用される材料は「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」という国土交通省令とその解釈基準により安全基準が定められており、燃焼性に関する基準もこの省令内で定められています¹⁾。そして、この基準を燃焼ランクと呼称します。材料の燃焼ランクを判定する試験法として、タバコの火などを想定したアルコール燃焼試験が規定されています。この試験の結果から材料の燃焼ランクが決定され、燃えにくい順に不燃性、難燃性、可燃性などに区分されます。そして、不燃性の材料は壁面、天井用部材など

☞ 桜木町事故

1951年に現在の根岸線桜木町駅で発生した列車火災事故です。屋根や車両内装に木材を多用する構造が災いし、多くの死傷者が出ました。この事故を教訓として、車両の鋼製化や材料の不燃化が進められました。

☞ 北陸トンネル列車火災事故

1972年に北陸本線の北陸トンネル内で発生した列車火災事故です。新材材として用いられたプラスチックから発生した煙や有毒ガスにより避難が妨げられ、多くの死傷者を出しました。

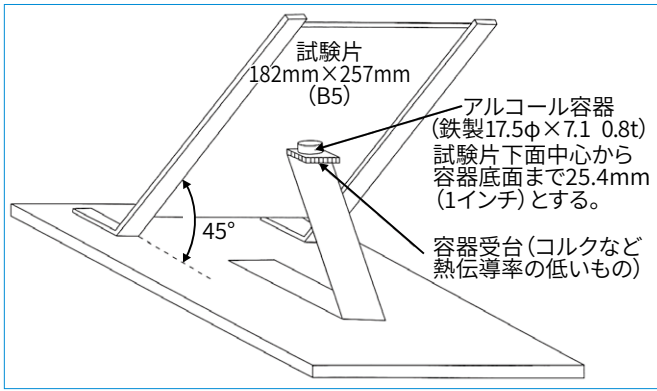


図1 アルコール燃焼試験の外観²⁾に加筆

表1 アルコール燃焼試験による燃焼ランクの判定方法²⁾の抜粋

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	残塵 ¹⁾	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
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
可燃性	あり	あり	多い	炎が試験片の上端を越える	30秒以上	60秒以上	放置すればほとんど消失	

(注1)炭化, 変形の寸法は長径で表す。
 (注2)異常発炎するものは区分を一段下げる。
 (注3)判定については図1の試験方法による。



図2 CCM試験装置の外観

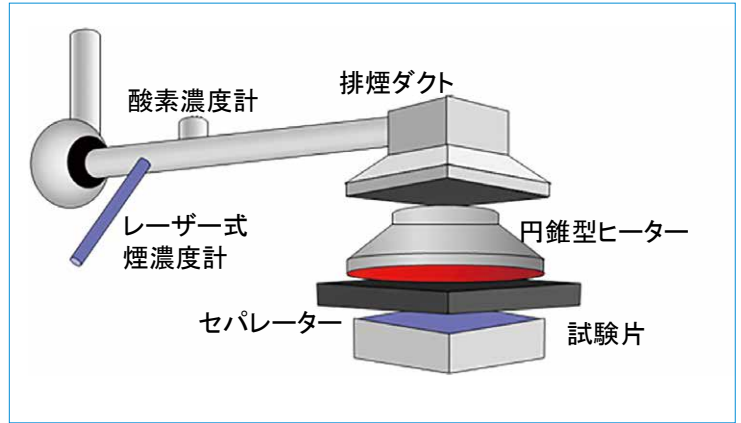


図3 CCM試験装置の概要

に、難燃性の材料は座席、床敷物などに使用できます。一方、難燃性に満たない可燃性の材料は鉄道車両に使用できません¹⁾。

燃焼ランクを判定するアルコール燃焼試験は図1に示すように、燃料容器内のエタノールに着火し、その炎により材料を燃焼させる試験です。評価はアルコールの燃焼中と燃焼後とに分けて行い、表1の評価基準により各試験片の燃焼ランクを判定します²⁾。

アルコール燃焼試験は簡便で低コストであり、1969年に制定されて以来、火災に対する安全確保に寄与してきました。しかし、欧州規格EN45545^(注3)参照)などの海外の規格と比べると、試験方法や判定方法が定性的であるため、燃焼ランクを定量的に評価する必要がありますと考えました。

燃えにくさを定量的に評価する

国内で使用実績のある鉄道車両用材

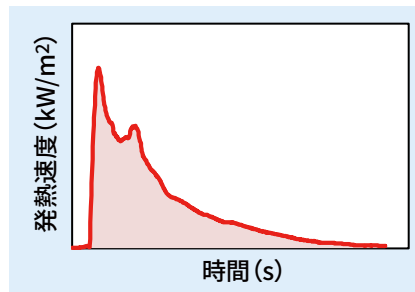


図4 発熱速度の測定結果例

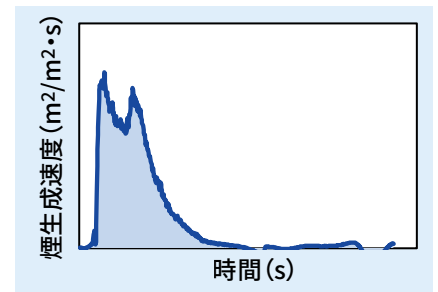


図5 煙生成速度の測定結果例

料に対して、欧州規格などで採用されている定量的な燃焼性評価試験であるコーンカロリメーター燃焼試験(以下、CCM試験)を実施して、アルコール燃焼試験による燃焼ランクの定量的な評価を試みました。

CCM試験とは

評価に用いたCCM試験は、円錐型ヒーターで輻射熱を加えて、試験片を燃焼させ、燃焼時の熱発生量や煙の生成量などを定量的に評価できる試験です(図2と図3)。これはISO5660にも規定され、欧州規格に定められる燃焼試験

において、主要な評価の一つとして実施されます³⁾。また、国内省令でも、耐燃焼性の評価のため地下鉄や新幹線車両の天井材に対して、追加的に実施さ

注3 EN45545

欧州における鉄道車両用材料の燃焼規格です。材料を26の区分に分類し、計13種類の試験をそれぞれの区分ごとに組み合わせた試験体系を有します。国境をまたいで運行する鉄道が多い欧州において、国による判定を規格化すべく、定量的な評価を主体としています。

表2 CCM試験による燃焼試験前後の試験片の状態

	難燃性材料				不燃性材料		
	塩ビ系床敷物	ゴム系床敷物	カーペット	座席モケット	化粧板	アルミ樹脂積層板	アルミ発泡樹脂積層板
燃焼前							
燃焼後							

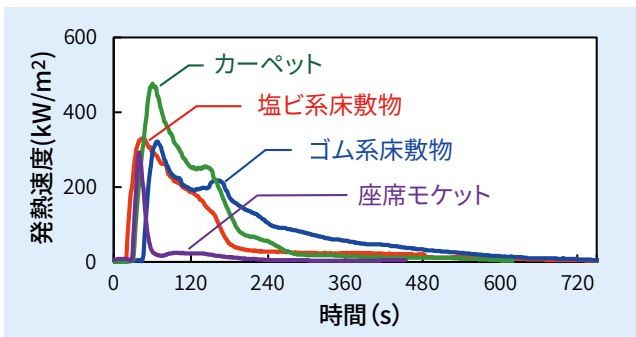


図6 難燃性材料の発熱速度測定結果

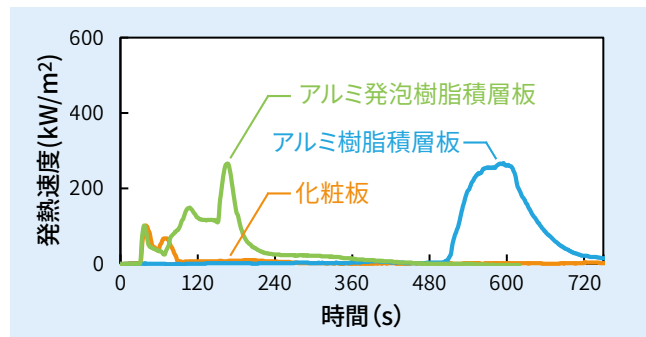


図7 不燃性材料の発熱速度測定結果

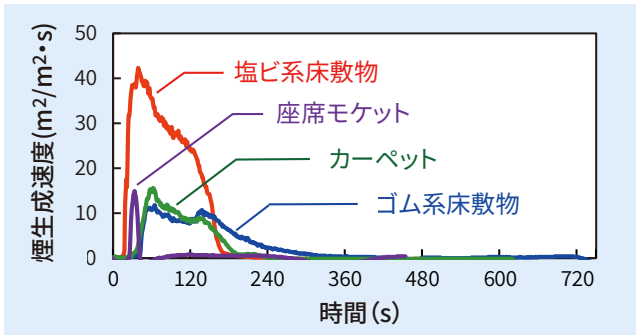


図8 難燃性材料の煙生成速度測定結果

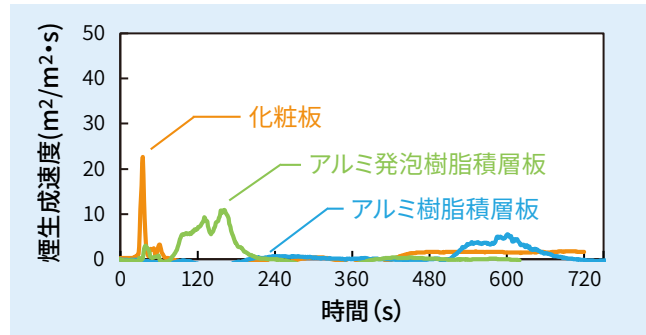


図9 不燃性材料の煙生成速度測定結果

れる試験としても定められています¹⁾。

CCM試験では、発熱速度を「酸素消費法」により求めています。これは、燃焼により消費される酸素量と燃焼により生じる発熱量との間には相関があり、物質の種類に依存せず、酸素1kg当たり13.1MJとほぼ一定の値を示すことを利用したものです⁴⁾。また、排煙ダクトにはレーザー式煙濃度計が設置されており、レーザー光の透過度の変化から煙生成速度を評価できます。

発熱速度の測定結果例を図4に、煙生成速度の測定結果例を図5に示しますが、これらのグラフのピークの高さが低いほど、また、積算値(薄い色で示した面積)が小さいほど、燃えにくく、発生する煙も少ない安全な材料であると評価できます。

試験対象とした材料

試験対象とした材料は、現行の鉄道車両に一般的に使用されている材料から選定しました。難燃性材料としては

塩ビ系床敷物、ゴム系床敷物、カーペット系材料、座席モケットの4種類、不燃性材料としては化粧板、アルミ樹脂積層板、アルミ発泡樹脂積層板の3種類です。

試験結果

これらの材料を燃焼させた前後の状態を表2に示します。難燃性材料はおもに高分子材料で構成されているため、材料全体が燃焼したことがわかります。一方、不燃性材料は金属材料との複合

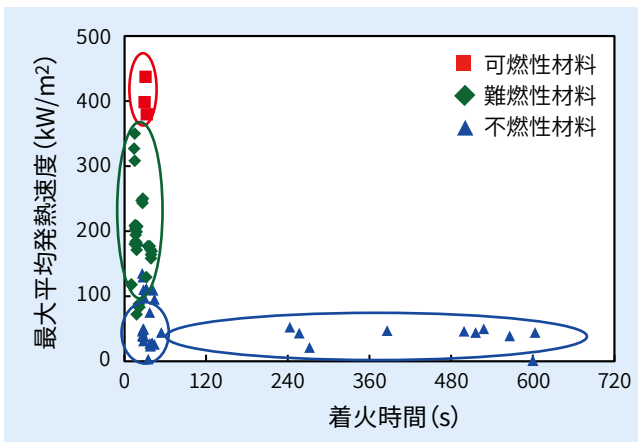


図10 燃焼ランクの定量的な分類結果

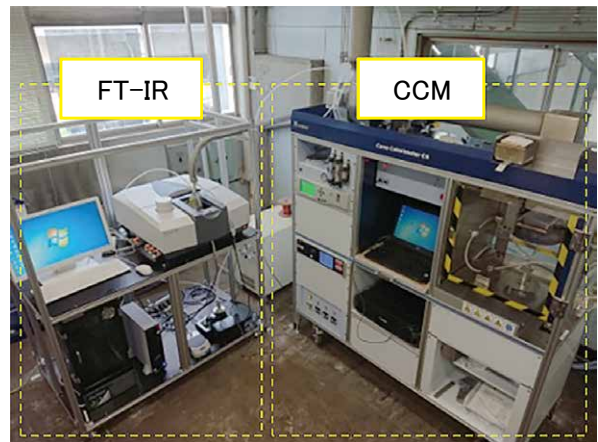


図11 新しい燃焼試験装置の外観

材料であるため、金属の基材が燃焼後も残っています。

また、図6と図7に示した発熱速度の測定結果から、全体的に不燃性材料は難燃性材料よりもピークの高さが低く、積算値も小さいことがわかります。そして、図8と図9の煙生成速度の結果も同様に不燃性材料は難燃性材料よりもピークの高さが低く、積算値も小さいことがわかります。また、塩ビ系床敷物は難燃性材料の中でも煙が多く発生することも確認できます。

燃焼ランクの定量的な分類

上記の材料に加えて、15種類の不燃性材料、12種類の難燃性材料とともに鉄道車両では使用されないポリプロピレン板を可燃性材料として選定し、前項と同様の条件で実施したCCM試験から得られた結果と各材料の燃焼ランクを比べてみました。

CCM試験では、着火時間と最大平均発熱速度という指標を用いました。この指標はEN45545において燃焼ランクの定量的な評価指標として使用されており、燃焼性能を総合的に判定できます。図10に着火時間と最大平均発熱速度との関係を示します。この分布で整理すると、燃焼ランクごとに一定の範囲に集まることが明らかとなりました。

このことから、燃焼ランクを判定する試験方法や判定方法は定性的である

一方、燃焼ランクは定量的に評価されていることが確認できました。

有毒ガス評価への取り組み

現在の国内省令において、材料の燃焼特性が定量的に評価されていることが確認できました。一方、現在の国内省令には、材料の燃焼時に発生する有毒ガスは評価対象に入っていないという課題があります²⁾。火災による死傷原因には炎による火傷とともに、有毒ガスを吸い込んだことによる窒息や中毒症状が多くを占めます。

このような被害を減らすためには、車内に有毒ガスが広がる前に、乗客や乗務員が安全な場所まで避難する必要があります。このため、乗客や乗務員がまだ車内に残っている火災発生直後から、発生する熱量や煙量に加えて、有毒ガスをリアルタイムで評価する必要がありますと考えました。一方で、現在の欧州規格などで実施されている既存の有毒ガス評価試験では、上記評価は不可能でした。

このため、鉄道総研では、CCM試験装置にFT-IR式ガス分析装置を併設させることにより、発熱量・煙量に加えて発生する有毒ガスを同時に測定できる新しい燃焼試験装置を設計・導入しました(図11)。

現在はこの装置を用いて、鉄道車両用材料の燃焼特性の評価や燃焼時の安

全性をより高めた新しい材料の検討を進めています。

おわりに

CCM試験により、国土交通省令による燃焼ランクを定量的に評価した結果、燃焼ランクを判定する試験方法や判定方法は定性的である一方、燃焼ランクは定量的に評価されていることが確認できました。また、現在は新しい試験装置により有毒ガスの評価も同時に実施し、鉄道車両材料のさらなる燃焼性の把握と新しい材料の検討を進めています。鉄道車両火災は発生する頻度は少ないですが、一度起こると大きな被害が予想されます。鉄道総研では、車両火災およびこれによる被害の抑制に、今後も取り組んでいきます。RRR

文献

- 1) 国土交通省：鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準，Ⅷ-19 第83条，<https://www.mlit.go.jp/common/001273450.pdf>(入手日：2020/10/23)
- 2) 鉄道車両新指導書編集委員会：鉄道車両新指導書－車両用材料編－，日本鉄道車両機械技術協会，2002
- 3) EN45545-2：Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Part 2: Requirements for fire behavior of materials and components, 2020
- 4) Clayton Huggett：Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements, Fire and Materials, Vol.4, Issue 2, pp.61-65, 1980