

第 102 回

鉄道車両における 高分子材料の利用

はじめに

鉄道はその名前のとおり、多くの部材・設備に「鉄」をはじめとした金属が使用されています。鉄道車両も例外ではありませんが、あらためて近年の車両を見ると、多くの箇所に鉄(金属)以外の材料が使用されていることに気づきます。ここでは、こうした材料のうちゴム、プラスチックを主体とした高分子材料に関する動向について述べます。

車両材料の軽量化と高分子材料

鉄道車両の構体は、古くは鉄鋼を材料として製造されてきましたが、現在はアルミニウム合金やステンレスを材料としたものが主流となっています。これは車体軽量化の効果が大きいからです。過去に鉄道車両のLCA(ライフ

サイクルアセスメント)を研究した例では、製造から運用、廃棄までのすべての段階におけるエネルギー消費を考えた場合、運用中の車両走行に関わる段階でのエネルギー消費が8割以上を占めており¹⁾、LCAの面からも車両軽量化による走行エネルギー削減の効果が大きいと考えられます。

こうした動向に合わせて、車両の材料にも変化が生じてきました。高分子材料は金属などと比較して重量当たりの強度(比強度)が図1に示すように高く、さまざまな部品・部材において材料代替による軽量化が進められてきました。しかし、鉄道においては安全性と信頼性は不可欠な要素であり、軽いと同時に、強度や難燃性能、耐久性といった性能を確保する必要があります。加えてコストも含めたバランスの取れた製品でなければ鉄道車両に適用できません。また、かつては内装や天

井などに木材が使用されていましたが、後述するような事故が契機となって基準などが改正されることで、軽量化を目指しつつも基準を満足できるように高分子材料へと代替されてきました。

高分子材料はその多くが石油を原料としており、本質的には「燃えるもの」に分類されます。そのため、鉄道車両への適用には難燃性能の制御が重要な課題であり、求められる難燃性能に応じて使用材料は変化してきました。

熱可塑性材料の適用

高分子材料は、大きな分類として熱可塑性材料と熱硬化性材料に分類されます。熱可塑性材料は、加熱すると溶融するチョコレートのような材料です。一方、熱硬化性材料は加熱しても溶融せずに炭化して硬くなる材料です。こうした特徴からも想像されるように、熱可塑性材料の方が燃えやすい材料といえます。しかし、どちらの材料も鉄道車両に適用するためには国土交通省令で定める「難燃性」以上の性能を有する材料でなければ適用できません。

鉄道車両に適用できる「難燃性」の性能を有する熱可塑性材料として、ポリ塩化ビニル(通称、塩ビ)があります。ポリ塩化ビニルは汎用プラスチックとよばれる大量生産される材料において、化学構造の中に塩素を含んでおり、その難燃性能が高い特徴があります。

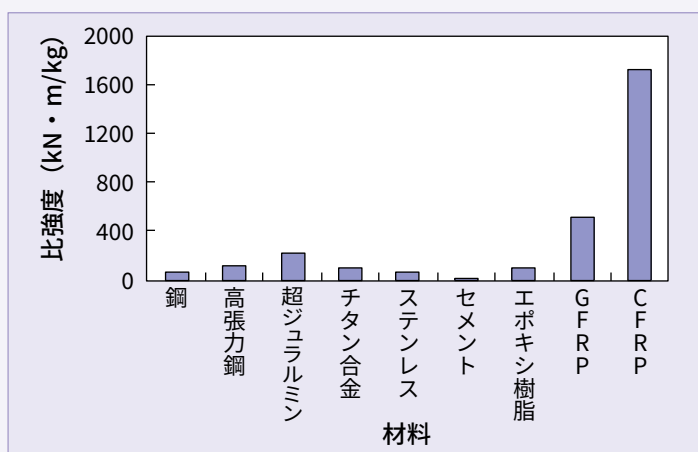


図1 材料の比強度



図2 951系新幹線試験車両(左)と車内のポリ塩化ビニル製床材(右)
(国分寺市ひかりプラザ展示車両)



図3 窓ガラス外部へのポリカーボネート設置例



(写真提供：JR東海)



図4 窓ガラスへのポリカーボネートの適用例

ポリ塩化ビニルの鉄道車両への適用の歴史は古く、使用が拡大するきっかけとして1951(昭和26)年4月24日に発生した東海道線(現根岸線)桜木町駅列車火災とその後の性能規定の見直しがあげられます。

当時の車両はまだ車両屋根が木製でしたが、この事故では架線が木材の屋根に接触して放電し、火災が発生しました。当時は屋根だけでなく、車両のさまざまな箇所に木材が使用されており、火災発生後は炎が車両全体に広がりました。事故以降、鉄道車両に用いる材料の難燃性能が規定され、とくに屋根の絶縁強化がなされました。

難燃化および屋根の絶縁強化には当時の国内では新材料であったポリ塩化ビニルが適用されました。

ポリ塩化ビニルはかつて木材が用いられていた客室の床の表面材料にも適用され、現在においても使用されています。国分寺市ひかりプラザには951形新幹線試験車両(0系新幹線の試験

電車)(1969年製造)が展示されていますが、その床材にはやや変色しつつも製造当時から50年以上経過したポリ塩化ビニルを現在も見ることができます(図2)。

ほかに近年使用が増えている熱可塑性材料が、ポリカーボネートです。ポリカーボネートは透明の熱可塑性材料で、CDの素材などにも用いられ、国土交通省令で定める「難燃性」以上の性能を有する材料です。これを無機ガラスの代替として窓ガラスに適用する例が増えています。

高分子材料であるため、無機ガラスと比較して軽量であることはもちろんですが、それ以上に衝撃に対する強度が非常に高い点が評価されています。

積雪の多い地域では走行中に車体に付着した雪が氷塊に成長し、成長した氷塊が走行中に落下してバラストを飛散させる現象がしばしば起こります²⁾。こうして飛散したバラストが車両の窓ガラスに衝突してガラスを破損する事

故が発生することがありました³⁾。こうした事故の対策として、2000年代前半に従来の窓ガラス外部にポリカーボネートを設置する対策が実施されました(図3)。

その後、ポリカーボネートは破損時の影響が大きい高速車両を中心に在来線も含めて窓ガラスへ適用される例が増えています。現在では設計段階からポリカーボネートを組み込んださまざまな構造が実用化されています(図4)。

熱硬化性材料の適用

熱硬化性材料は熱可塑性材料よりも高い難燃性能である「不燃性」を有する材料も多く、ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)として適用することで強度面でも金属の代替材料となります。図1に示したように代替した製品の軽量化の効果が大きく、1970年代後半から本格的に鉄道車両にも適用されてきました。主な適用例としては車両洗面ユニッ

ト、水タンク、汚物タンク、パンタグラフカバー、壁・天井材、車両先頭部などです。使用例を図5に示します。

使用が拡大してきたGFRPですが、その後変化が起きました。それは2003（平成15）年2月18日に韓国大邱市の地下鉄中央路駅にて発生した韓国テグ地下鉄放火事件とその後の性能規定の見直しです。

事故以降、日本における材料の性能面での大きな変更点は、地下鉄、新幹線車両の客室天井材に対して耐燃焼性、耐熔融滴下性の性能が求められることとなり、コーンカロリメーターによる燃焼試験の導入と耐熔融滴下性の評価項目が追加されました。

耐燃焼性評価のためのコーンカロリメーター試験の概要と設定された基準値を図6に示します。

最近の材料と以前の材料を比較すると、以前は壁や天井材にGFRP板が使用される例が一般にみられましたが、最近の使用製品からは大幅に減少しました。代替材料として、アルミ板の表面に装飾を施した化粧板の使用が増えています。これは耐燃焼性の基準に総発熱量が設定されたことが影響しています。総発熱量を減らすためには製品中の可燃物量を減らすことの効果が大きく、同様の製品でありながらGFRPよりも高分子材料の使用量が少ない化粧板にシフトしたと考えられます。

壁や天井材以外で耐燃焼性の性能規定を受けない部位では現在もGFRPが使用されており、金属材料の代替として徐々に利用例が増えています。

国際的な動向を考慮した鉄道車両材料の課題

近年、国際的には鉄道車両用材料の燃焼性に関して規格統一に向けた動向があり、とくに欧州では欧州規格EN45545が2013（平成25）年に発行されました。日本の省令に示される解釈基準と欧州規格とを比較したところ、日本ではおもに材料の燃焼時の挙動に重点を置いており、火災、発煙の評価



図5 GFRPの適用例

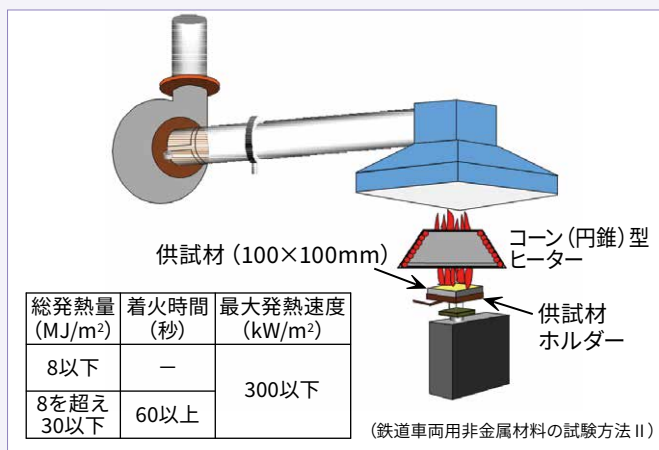


図6 省令における鉄道車両用材料の燃焼性判定方法「鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準」(国土交通省)(<https://www.mlit.go.jp/common/001273450.pdf>)を加工して作成



図7 CFRP先頭構体

(出典：石塚理他、CFRP製新幹線電車先頭構体の開発、川崎重工技報、No.143、pp.68-73、2000.4)

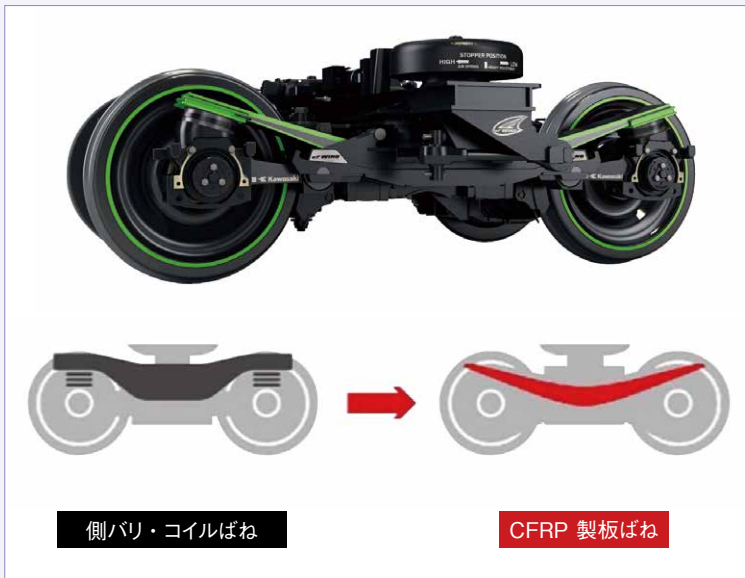


図8 CFRPを利用した台車

(出典：西村武宏他，新世代の鉄道車両台車「efWING」，川崎重工技報，No.177，pp.18-21，2016.5)

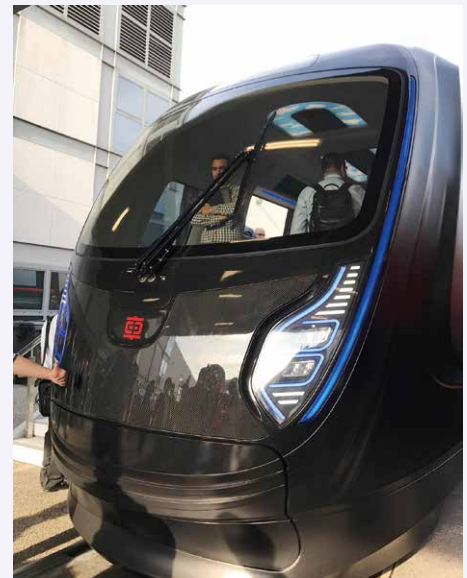


図9 CFRPを全面採用したコンセプト車両 (2018年イノトランス展示)

は対象となっていますが燃焼ガスの評価は対象外です。一方，欧州規格では火災，発煙，燃焼ガスの毒性という火災災害の主要な要素をすべて対象とし，総合的な性質を有しています。燃焼ガスの評価は日本の評価方法における課題と考えられ⁴⁾，この評価が国内の使用材料に対して求められた場合，ハロゲン含有した難燃剤やポリ塩化ビニルの使用が制限される可能性があります。将来的にはこれらを代替できる難燃剤や材料の開発が求められます。

また，試験方法の面から考えると，欧州規格EN45545では多数の項目について材料の実用環境を考慮した試験が規定されており，ほとんどの項目で定量的な結果が得られる試験方法が採用されています。そのため，試験実施者による差異が小さいと考えられます。ただし，適正に実施するためには現状の国内試験と比較して複数の試験機の導入や試験環境の整備など多大なコストの増加と試験期間の延長が避けられません。

一方，日本の鉄道車両用材料燃焼試験は簡便かつ短時間で実施でき，材料開発の面からも利便性の高い試験と

なっています。しかし，試験の設定から50年以上経過した現在においてあらためて基準をみると，定性的に感じられる内容も設定されており，試験実施者により結果に差異が生じる可能性が否定できない点が課題と考えられます。

今後の動向

これまで，鉄道車両の構体材料として，鉄鋼→アルミ・ステンレスという形で変化してきましたが，こうした材料として次に期待される材料が炭素繊維強化プラスチック (CFRP) です。CFRPは航空機では金属の代替として構造材料への採用が進んでおり，ボーイング787では，主翼および胴体すべてをCFRPで製造し，構造重量の約50%がCFRPで構成されています。こうした動向は自動車においても進められており，すでに販売される自動車の中にも部分的にCFRPを採用した車種が発売されています。このように高分子材料により金属を代替できる技術が広がれば，車両の軽量化が進み，走行エネルギーのさらなる低減が期待されます。

国内の鉄道車両におけるCFRPの適用例としてはたわみ板や図7に示す新幹線の先頭部，図8に示す側はり軸ばねの機能を兼ね備えたCFRP製板ばねを使用したCFRP台車などがあります。

海外を含めた動向では2018年のイノトランスで中国中車 (CRRC) がCFRPを全面採用したコンセプト車両 (図9) を展示しており，そう遠くない将来にこうした車両が実用化されるなど高分子材料の利用形態が大きく変わる可能性もあります。

(伊藤幹彌／材料技術研究部 防振材料研究室)

文献

- 1) 宮内暁尚，上田洋，八木毅，永友貴史：鉄道へのライフサイクルアセスメント適用のための基礎調査，鉄道総研報告，Vol.12，No.10，pp.5-14，1998
- 2) 飯倉茂弘，河島克久，遠藤徹，藤井俊茂：列車からの落氷雪によるバラスト飛散現象の解明，RRR，Vol.62，No.2，pp.26-29，2005
- 3) 坂東茂巳：JR北海道におけるバラスト飛散対策の現状，新線路，Vol.58，No.11，pp.26-28，2004
- 4) 伊藤幹彌：FRP構成素材入門 第4章 機能的特性と分析法 -耐熱性・難燃性-，日本複合材料学会誌，Vol.34，No.4，pp.153-161，2008