

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 車両用床材に ナノ材料を応用する

車両用の床材は塩素、臭素といったハロゲン含有材料が用いられますが、こうした材料は燃焼時に有害ガスの発生が懸念されます。しかし、ハロゲンを用いずに材料を難燃化するには、高分子の利点を損なってしまう問題がありました。ナノ材料はナノコンポジットとも呼ばれ、少量の無機物添加で難燃性を含めた性能の大幅な向上が得られる新材料です。そこで、ナノ材料の特長を活かした車両用床材を検討しました。



伊藤 幹彌

Mikiya Ito

材料技術研究部  
防振材料研究室  
主任研究員

【専門分野】高分子材料  
の特性評価、劣化評価

## 車両用材料の安全性

鉄道車両用の材料には強度や耐久性といった特性のほかに難燃性が求められます。これは火災時の乗客の安全性を確保することが主な目的です。一般にプラスチック、ゴム等の高分子材料では難燃性を確保するために難燃剤が添加されます。多くの難燃剤には塩素、臭素などのハロゲンを含む化合物が含まれています。これらの化合物は高分子材料に少量添加することで高い難燃性を得ることができるため広く使われてきましたが、燃焼した時には多くの有害ガスを発生します。近年、ヨーロッパなどでは材料が燃焼した時に発生するガスの安全性に関して検討し、これを規格として整理することが進められています。こうした状況では高分子材料の難燃化対策には、ハロゲン化合物を使わないこと（脱ハロゲン化）が求められます。脱ハロゲン化と難燃化を両立するためにはハロゲンを含まない無機系の難燃剤を多量に添加する必要があります。しかし、無機系の難燃剤を多量に添加すると、高分子材料は重く、硬くなり、軽量や柔軟といった高分子材料の利点を損なう問題があり

ました。こうした問題に対し、少量の無機物添加で大幅な性能向上が得られる材料技術としてナノ材料があります。ナノ材料とはナノコンポジットとも呼ばれる新材料で、ナノレベルの微細粒子添加により難燃性能が向上することも報告されています。ナノ材料のこうした特性を車両用床材に用いることで上記の問題を解決できると考えました。

現状の車両用床材はポリ塩化ビニル（PVC）を主原料としており、比較的安価で製品が提供されてきました。一方、ナノ材料はPVCと比較して高価であり、床材全体をナノ材料で作製すると製品価格が高くなってしまいます。PVCと同等の価格帯にある材料としてはポリエチレンやポリプロピレンといったオレフィン材料があります。これらの材料を車両用床材として用いる場合、難燃性が低いため、多量の難燃剤を添加する必要があります。そこで、製品価格を抑制し、車両用床材に求められる難燃性の確保を目的としてナノ材料をオレフィン製床材に積層することを考え、ナノ材料の基礎特性やオレフィン製床材への積層構造の検討を行いました。

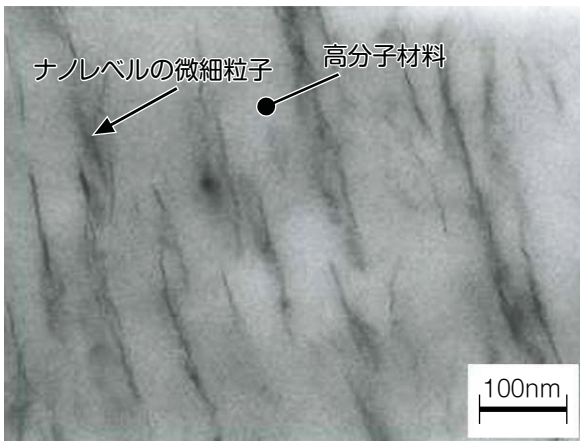


図1 ナノ材料の顕微鏡写真

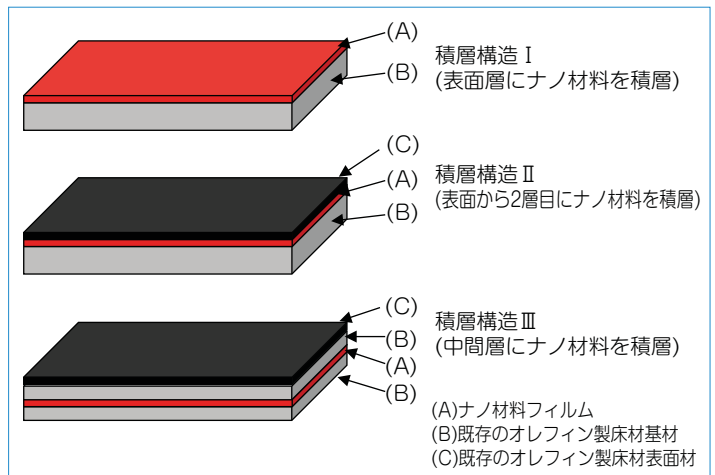


図2 試験品の積層構造

表1 試験品の詳細

試験品番号	MMT配合量(wt%)	ナノ材料フィルム厚さ(μm)	積層構造
1	0	200	I
2	1.15	200	I
3	2.3	200	I
4	0	200	II
5	1.15	200	II
6	2.3	200	II
7	0	200	III
8	1.15	200	III
9	2.3	200	III

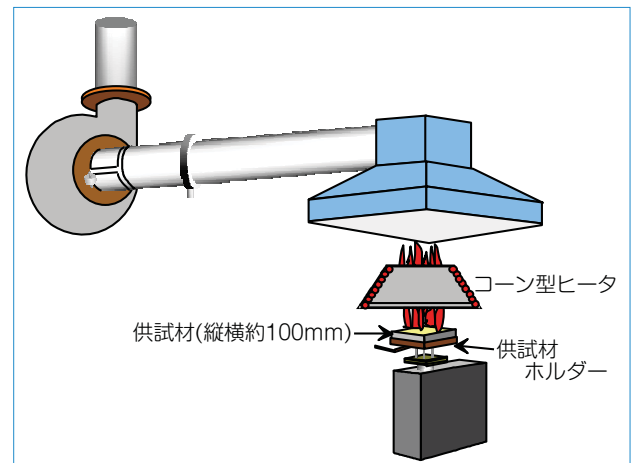


図3 コーンカロリメータ

## ナノ材料とは

ナノ材料とは図1に示すように高分子材料中にナノレベル(10<sup>-9</sup>m)の非常に細かい粒子が分散した複合材料をいいます。微細な粒子が分散した系では粒子の濃度が数%と低い場合でも、粒子の全表面積は非常に大きくなります。このことが難燃性の向上をはじめとしてナノ材料が優れた各種性能を有することの基本的な要因となります。

## ナノ材料を用いた床材試験品の作製

ナノ材料には研究段階のものを含めて多くの種類があります。その中でナイロンをベースとした材料の研究が最

も先行しており、製品として流通している段階にあります。こうした状況を受けて、粘土化合物の一種であるモンモリロナイト(以下、MMTとする)をナイロン-6に配合したナノ材料を用いました。

このナノ材料をオレフィン製の床材に積層して、試験品を作製しました。図2に床材試験品の積層構造を示します。積層構造I~IIIのようにナノ材料の積層位置を変化させ、難燃性を向上させるための効果的な積層位置を検討しました。

ナノ材料はオレフィン製床材に対して加熱接着して積層しました。試験品の詳細を表1に示します。

## 燃焼試験の方法

燃焼試験は図3に示すコーンカロリメータを用いて実施しました。この試験は水平に配置した試験品が燃焼時に発生する熱量を測定するもので、燃焼性を定量的に比較できます。そこで、試験によって得られる発熱速度の結果からナノ材料積層による難燃性向上の効果を把握しました。

また、試験では煙の発生量も同時に測定しました。

試験品の大きさは長さ100mm×幅100mm×厚さ約2mmとし、輻射熱量は35kW/m<sup>2</sup>としました。試験は3回実施し、平均値を試験結果としました。

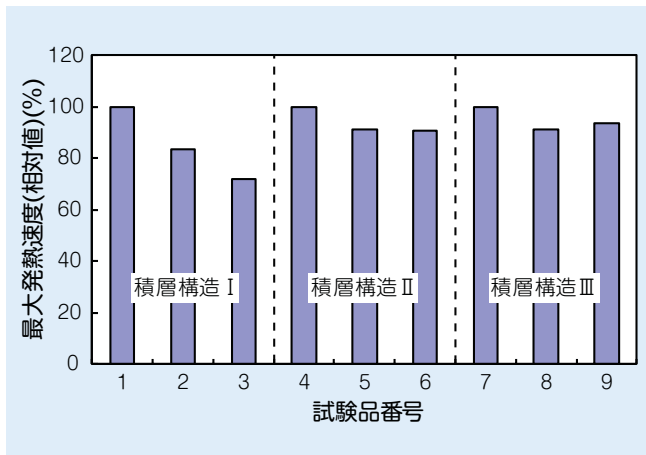


図4 最大発熱速度の測定結果

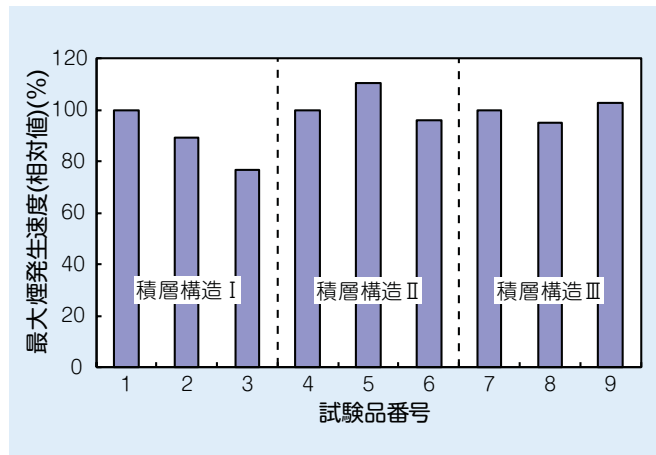


図5 最大煙発生速度の測定結果

### 難燃性向上に有効なナノ材料の積層方法

発熱速度の評価項目としては着火時間や総発熱量、最大発熱速度、平均発熱速度等がありますが、ここでは難燃性向上の効果を把握することを目的に最大発熱速度を評価項目としました。最大発熱速度は試験品が燃焼する際に燃焼が大きく拡大する挙動を反映しており、その値が低いほど難燃性が高いことを示します。

図4はそれぞれの積層構造ごとにMMT未配合の試験品番号1, 4, 7を100とし、その他の試験品の最大発熱速度の相対値をグラフにしたものです。結果から、積層構造Iの場合、ナノ材料を積層した試験品番号2, 3では通常のナイロンを積層した試験品番号1と比較して最大発熱速度の低下が見られました。また、最大発熱速度はMMT配合量が増加するにしたがって低下する傾向が認められ、試験品番号3では30%程度の低下が確認できました。この結果から、ナノ材料を積層することで急激な燃焼の拡大を抑制する効果があります。

積層構造II, IIIでは、積層構造Iと

同様にナノ材料を積層した試験品番号5, 6, 8, 9の最大発熱速度では通常のナイロンを積層した試験品番号4, 7と比較して低下が見られました。しかし、低下の割合は積層構造Iと比較して小さく、最大で10%程度でした。この結果から、ナノ材料積層による難燃性向上の効果は積層構造Iが最も高いことが分かりました。

次に煙の発生量について比較します。評価項目は発熱速度の場合と同様に難燃性向上の効果を把握することを目的に最大煙発生速度としました。この評価項目も値が低いほど難燃性が高いことを示します。

図5はそれぞれの積層構造ごとにMMTを未配合の試験品番号1, 4, 7を100とし、その他の試験品の最大煙発生速度の相対値をグラフにしたものです。結果から、積層構造Iの場合、ナノ材料を積層した試験品番号2, 3では通常のナイロンを積層した試験品番号1と比較して最大煙発生速度が低下しました。また、最大煙発生速度はMMT配合量が増加するにしたがって低下する傾向が認められ、試験品番号3では30%程度低下しました。この結

果から、ナノ材料を表面積層することで最大煙発生速度の抑制に効果が認められました。これは発熱速度の結果と同様に急激な燃焼の拡大を抑制した効果によるものです。

積層構造II, IIIでは、ナノ材料を積層した試験品番号5, 6, 8, 9においても通常のナイロンを積層した試験品番号4, 7と比較して最大煙発生速度の低下はほとんど認められませんでした。先の発熱速度の結果でも見られたように積層構造I以外の積層構造ではナノ材料積層による最大発熱速度低下の効果は低いと考えられます。そのため、両者の燃焼状態の差異が少なく、通常のナイロンを積層した試験品とナノ材料を積層した試験品との差異が少ないと考えられます。

発熱速度、煙の発生速度の結果を基に難燃性向上の観点から床材へのナノ材料の適用を考えると、作製した試験品の中では試験品番号3に示す構成が最適です。

### 鉄道車両用材料燃焼試験と車両用床材への適用性

作製した試験品を車両用床材として

実際に鉄道車両に適用する際には、省令<sup>1)</sup>に定める燃焼性のほか旧JRS<sup>2)</sup>に定める機械的特性を満足する必要があります。鉄道車両用床材に関する規格は旧JRSに定められたもの以降、正式に定められたものはありません。そのため、現在でも旧JRSが参考にされています。そこで、これらの特性を評価するため、試験品番号3の構成を基にして表2に示す新たな床材試験品(試験品番号10~12, 試験品番号11は試験品番号3と同等品)を作製しました。ナノ材料を積層した試験品は難燃性向上の効果があるため、オレフィン製床材に配合する無機系難燃剤の配合量を削減できることが期待されます。そこで、無機系難燃剤の適切な配合量を把握するため、難燃剤配合量を変化させた試験品を作製しました。

作製した床材試験品を用いて図6に示す鉄道車両用材料燃焼試験を実施し、鉄道車両用材料に必要な燃焼性の評価を行いました。その結果、表2に示すように全ての試験品で「難燃性」の評価が得られました。このことから、ナノ材料を表面に積層した試験品では鉄道車両用床材として求められる難燃性が確保されることが明らかとなりました。

また、鉄道車両用材料燃焼試験を行った後の床材試験品には難燃剤配合量の違いによる外観上の差異は見られませんでした。このことから、ナノ材料を適用することでオレフィン製床材に添加する無機系難燃剤の配合量を少なくできることが分かりました。

さらに、旧JRSの車両用床材の規格値に対して床材試験品(試験品番号11)の特性を評価した結果、表3に示すように引張強さは規格値の3倍以上を示し、また、所定時間の加熱老化試験後の物性変化も規格値を満足しました。加えて、床材試験品はハロゲンを含む難燃剤を使用せずに規格に定める難燃

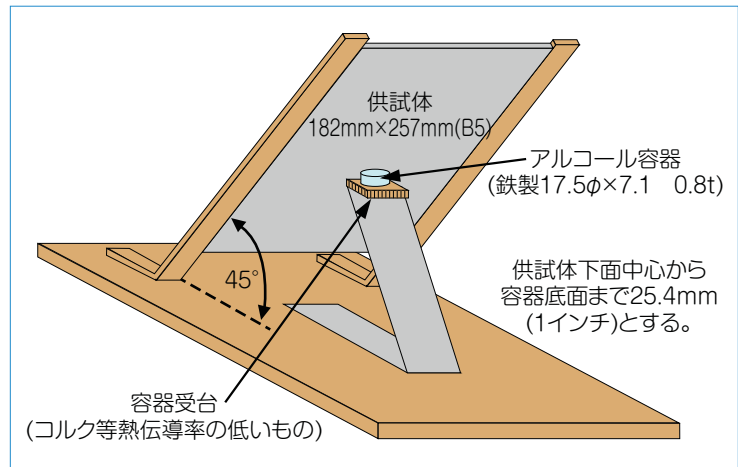


図6 鉄道車両用材料燃焼試験

表2 鉄道車両用材料燃焼試験の結果

積層構造	試験品番号	基材の難燃剤量(phr)*	鉄道車両用材料燃焼試験結果
I	10	60	難燃性
I	11(3)	80	難燃性
I	12	100	難燃性

\* phr : 重量部…樹脂重量を100とした時の配合剤の重量

表3 床材試験品の特性と規格値との比較

項目		試験品番号11(3)	床材の規格値
機械的強度	引張強さ <sup>1)</sup>	27MPa	5.88MPa以上(旧JRS)
	破断時伸び <sup>1)</sup>	125%	100%以上(旧JRS)
耐加熱老化性 <sup>2)</sup>		-17%	±30%以下(旧JRS)
燃焼性 <sup>3)</sup>		難燃性	難燃性以上(省令)

1: JIS K 6251

2: 引張強さ変化率(100℃ 48時間加熱老化試験後)

3: 国土交通省令第151号第8章第5節第83条解釈基準

性を得ることができ、車両用床材として適用できることが確認できました。

### おわりに

ナノ材料はいわゆる新材料であるため入手できる製品の種類が限られる点が課題として挙げられます。現在製造されている鉄道用床材は定格寸法として幅2mが必要ですが、ナノ材料ではこうした大きな寸法の製品を製造する設備はまだ整備されていません。そのため実用に供する床材の製造には現時点では対応できない状況にあります。

今後は床材におけるナノ材料の使用量の最適化や紫外線・水分などの使用環境を想定した試験を実施して耐久性を向上させるとともに、実用製品製作に向けた体制を検討する予定です。 [RRR]

### 文献

- 1) 国土交通省令第151号第8章第5節第83条解釈基準
- 2) 旧JRS17425-1G-15AR8A, 車両用塩化ビニル樹脂床仕上げ材