

# 発泡系難燃剤を用いた 鉄道車両用材料の難燃性向上

材料技術研究部 防振材料研究室

副主任研究員 山中 翔

# 目次

---

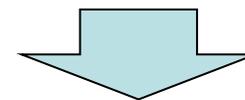
- ・ 研究の背景及び目的
- ・ 鉄道車両用材料の難燃性向上手法の検討
- ・ 鉄道車両用材料への適用に向けた各種難燃剤の検討
- ・ IFR系難燃剤配合樹脂の鉄道車両材料への導入検討
- ・ IFR系難燃剤配合樹脂の腰掛材料への導入検討
- ・ まとめ
- ・ 今後の課題及び活用法

# 研究の背景及び目的

## 鉄道車両火災の主な事例と特徴

発生年	事故・事件名称	死傷者数 (死者数)
1940年	西成線脱線火災事故	259名 (189名)
1951年	桜木町事故	198名 (106名)
1972年	北陸トンネル内列車 火災事故	744名 (30名)
2002年	大邱地下鉄放火事件	340名 (192名)

鉄道車両において火災が発生すると  
**重大な被害につながる恐れがある**



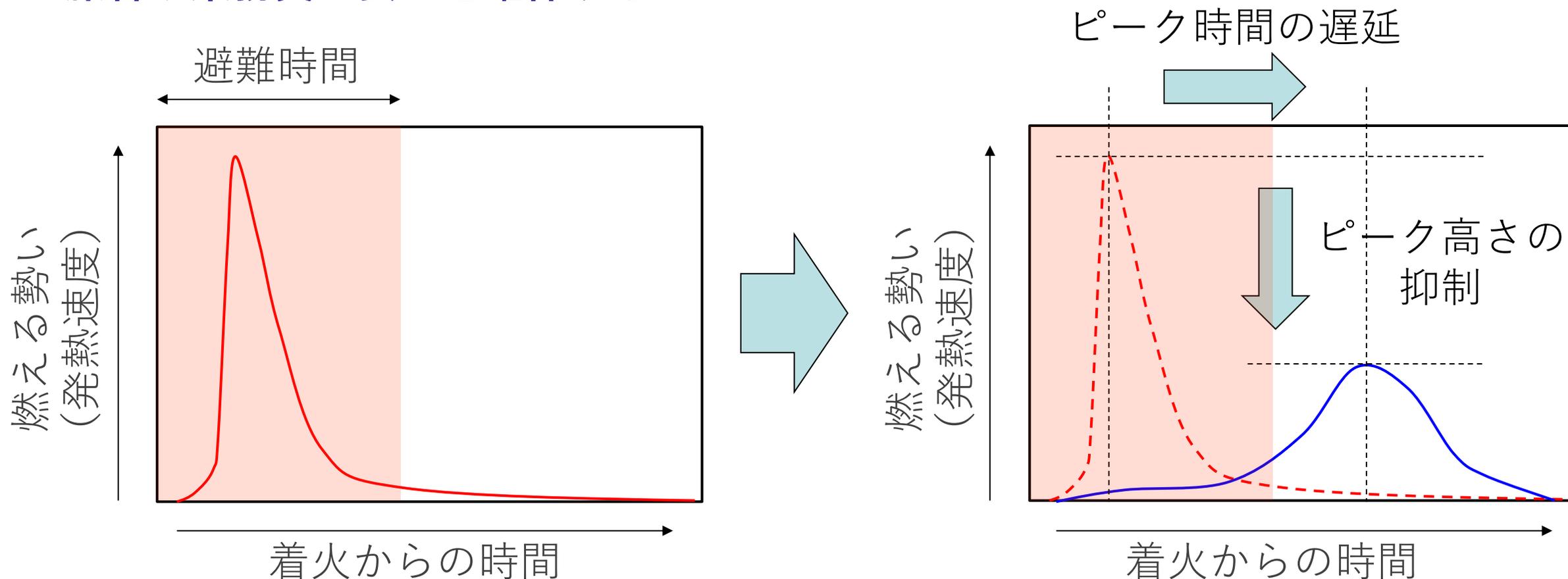
鉄道車両に使用される**材料の難燃性を省令等で  
厳格に定める**ことで、車両火災の発生・拡大を  
抑止してきた

一方で、相次ぐ鉄道車両への放火事件の発生等、  
今後もさらなる材料の難燃性の向上が必要と考える

# 鉄道車両用材料の難燃性向上手法の検討

## 考え方

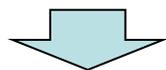
- 旅客や乗務員が避難するまでの時間だけでも燃えにくい材料を開発することで、旅客や乗務員の安全を確保する



# 鉄道車両用材料の難燃性向上手法の検討

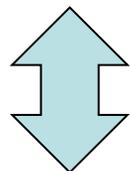
## 考え方

- ・ 鉄道車両材料の中で“本質的に燃える可能性がある材料”は樹脂やゴム製品である



有機材料 ≒ 非金属材料

有機材料の**不燃化**（燃えなくすること）は**困難**

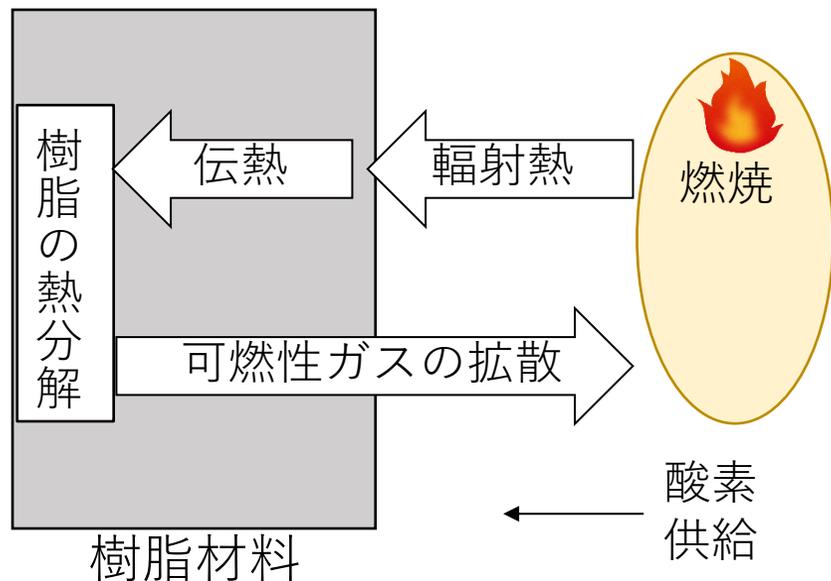


有機材料への難燃性添加剤（難燃剤）の添加により、  
有機材料を**難燃化**すること（燃えにくくすること）は**可能**

# 鉄道車両用材料への適用に向けた各種難燃剤の検討

## 難燃剤の種類とその効果

樹脂材料の燃焼サイクル



難燃剤  
→ 燃焼サイクルの化学反応を  
遮断、抑制

代表的な難燃性添加剤の難燃機構

### 発泡系難燃剤（IFR系）

樹脂の熱分解時に難燃剤も熱分解し、“発泡膨張層”が形成  
発泡膨張層により材料への**輻射熱を抑制**  
発泡膨張層により**酸素の供給を遮断**

### マグネシウム（Mg）系難燃剤

熱分解により、“水”を発生させる  
燃え残ったMg系酸化物による“断熱層”を形成  
**可燃性ガス発生を抑制するとともに材料への輻射熱を軽減**

### 臭素系（Br系）難燃剤

樹脂の熱分解時に**難燃剤が分解**  
難燃剤の分解ガスで樹脂から発生する**可燃性ガスを不活性化**  
燃焼前に**可燃性ガスを減少させる**

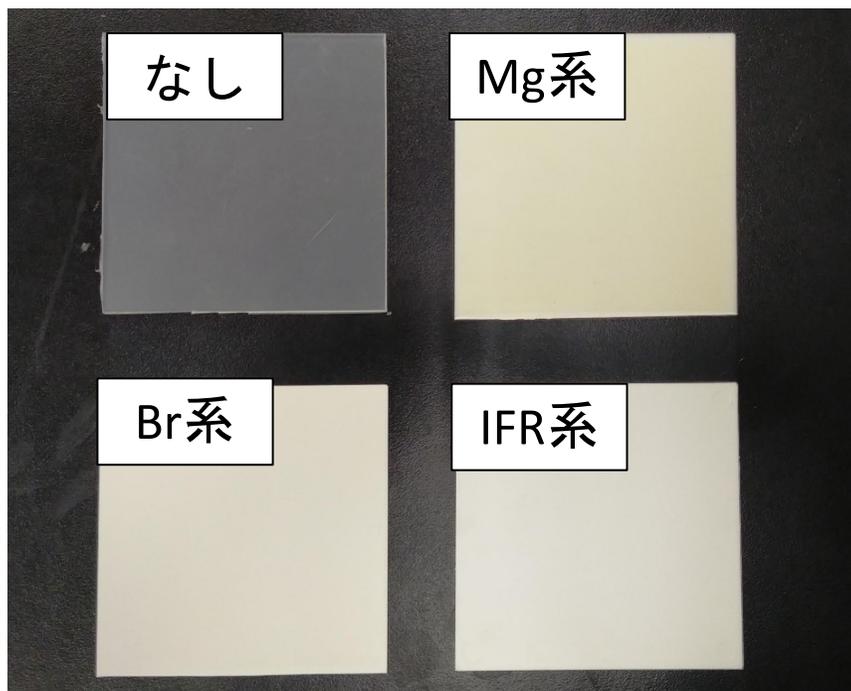
上記難燃剤を含む試験片を製作し、燃焼特性を比較

# 鉄道車両用材料への適用に向けた各種難燃剤の検討

## 各難燃剤の比較試験

汎用的な樹脂であるポリプロピレン（PP）板に対して、**各難燃剤を一般的な配合割合で添加した試験体を製作**し、燃焼特性を比較した。

作製した試験体外観



約100×100×2mmの平板状

試験片名称	難燃剤の配合割合	試験片重さ
難燃剤無し	0%	約18g
マグネシウム（Mg）系	60%	約29g
臭素系（Br系）	24%	約20g
発泡系（IFR系）	30%	約20g
	60%※	約24g

※：比較用に配合量を増加

# 鉄道車両用材料への適用に向けた各種難燃剤の検討

## 燃焼試験概要

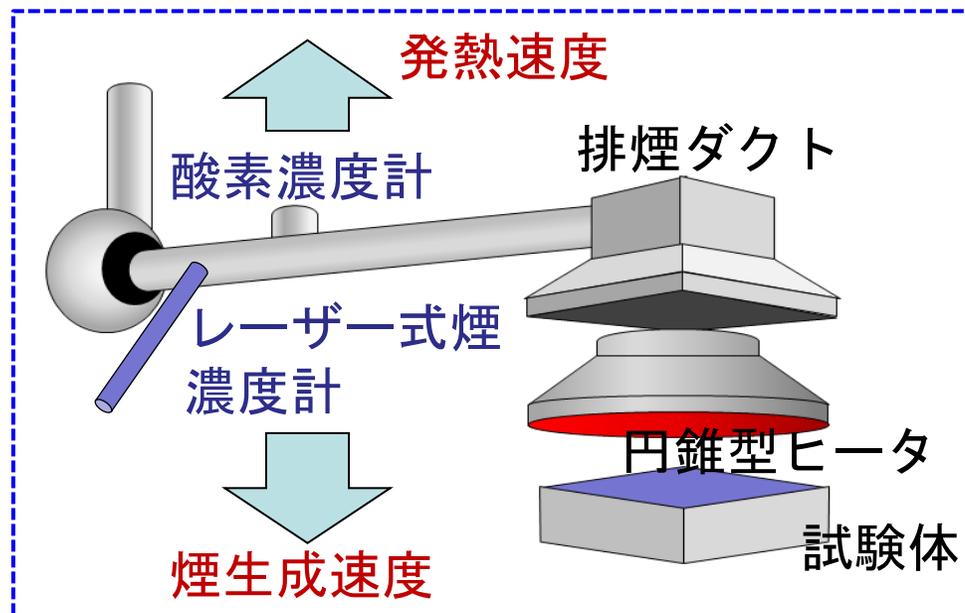
### コーンカロリメータ燃焼性試験 (ISO5660-1)

- 燃焼時の**発熱量**と**煙量**を定量的に評価可能
- 1秒ごとの**経時変化評価**が可能
- 大火源を想定



### 汎用的に実施される試験

新幹線及び地下鉄の天井材、  
建築材料、欧州の鉄道車両等

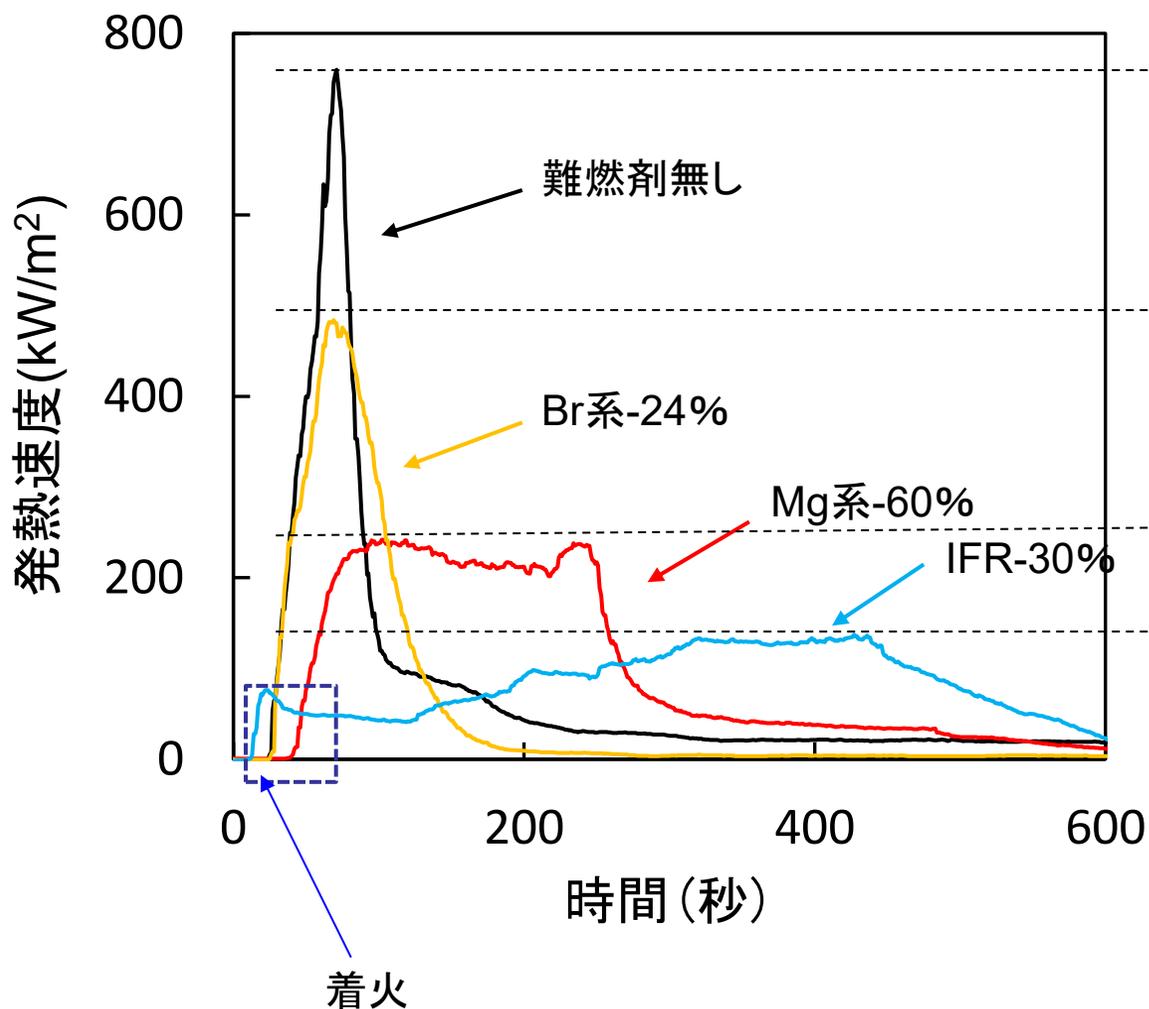


### 評価項目

- **着火時間**  
(秒)
- **発熱速度**  
(kW/m<sup>2</sup>)
- **煙生成速度**  
(m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>/s)

# 鉄道車両用材料への適用に向けた各種難燃剤の検討

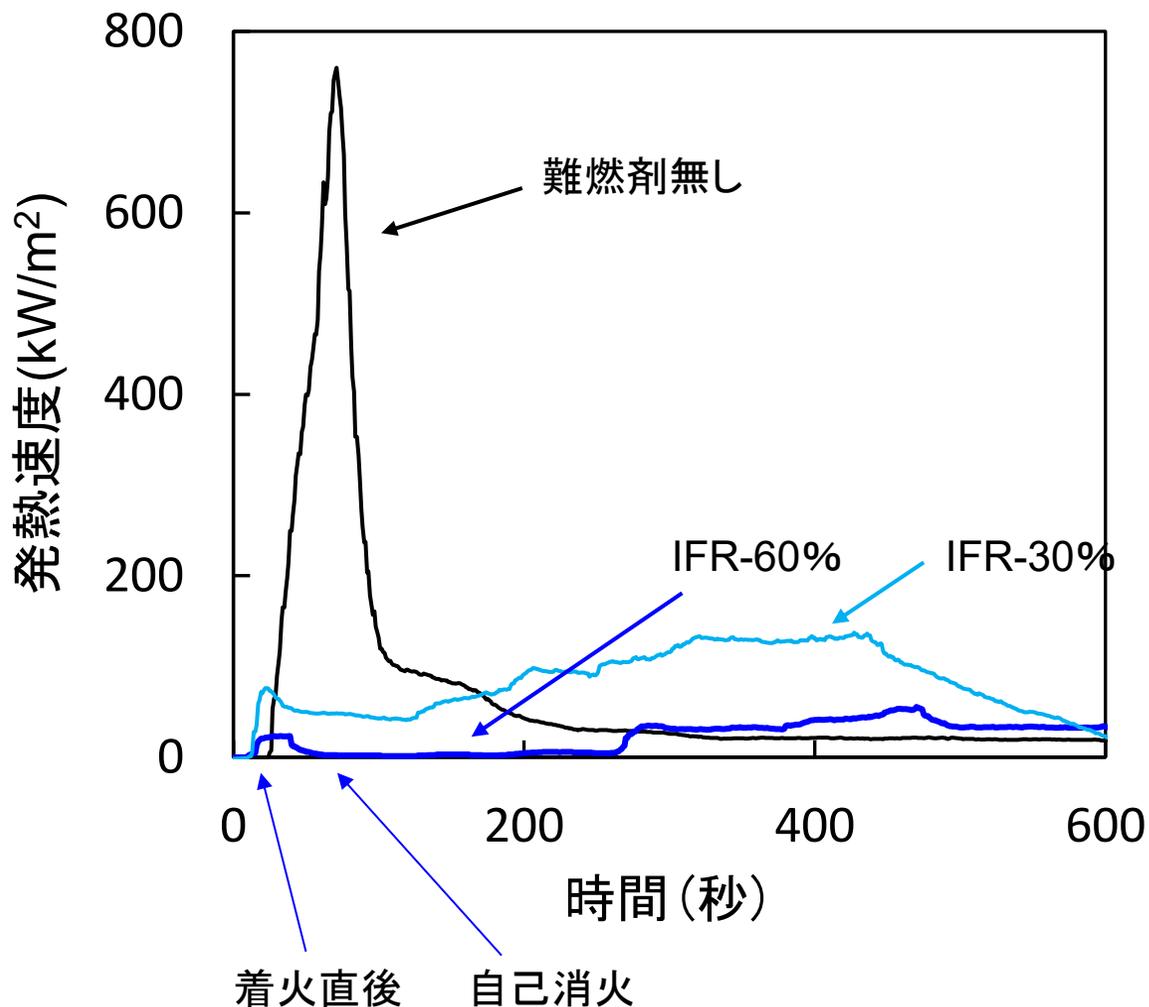
## 各難燃剤の比較試験結果



- 一般的な配合割合で比較すると、
- ・ 発熱速度の最大値の抑制効果は **IFR系難燃剤が最も高い**
  - ・ **着火時間はIFR系が最も早い**

# 鉄道車両用材料への適用に向けた各種難燃剤の検討

## 各難燃剤の比較試験結果



IFR系難燃剤の配合量を増加させることで、  
**樹脂の自己消火が確認された**

着火直後の様子



自己消火後の様子



# 鉄道車両用材料への適用に向けた各種難燃剤の検討

## 各難燃剤の比較試験結果まとめ

- 一般的な配合割合で比較するとIFR系は**最も軽量である**
- 一般的な配合割合で比較するとIFR系はMg系、Br系より**優れた難燃性を有する**
- IFR系の配合割合を増加させることで、**樹脂の自己消火が確認された**



鉄道車両へはIFR系難燃剤が適することがわかった。

- Mg系、Br系よりも**IFR系の方が着火時間は早くなる**
- **IFR系は加熱時に表面が大きく変形する**



適用箇所の選定が必要

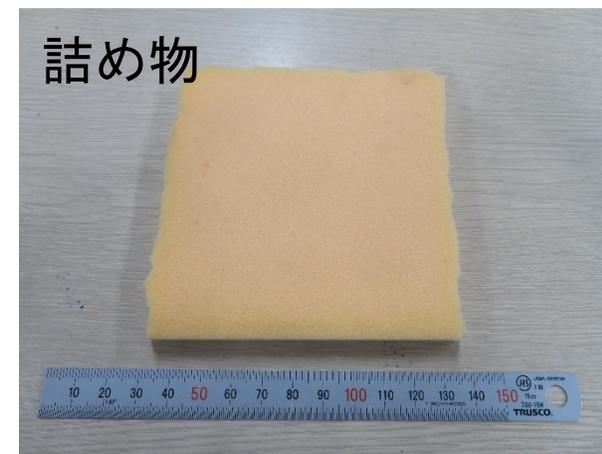
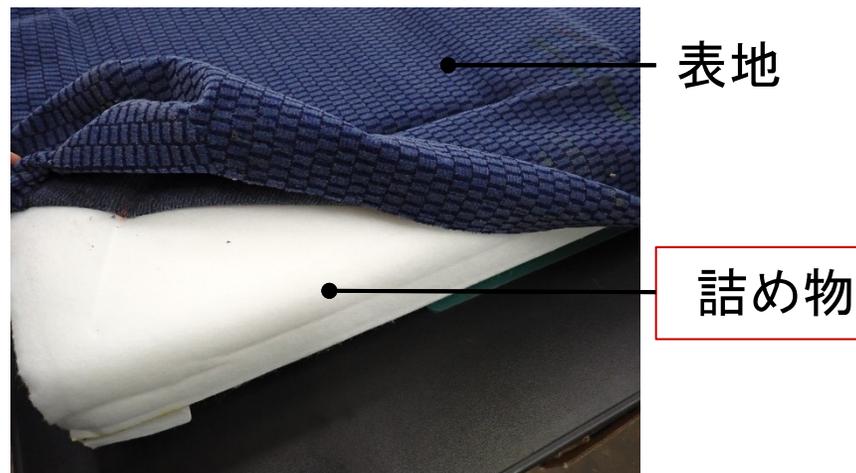
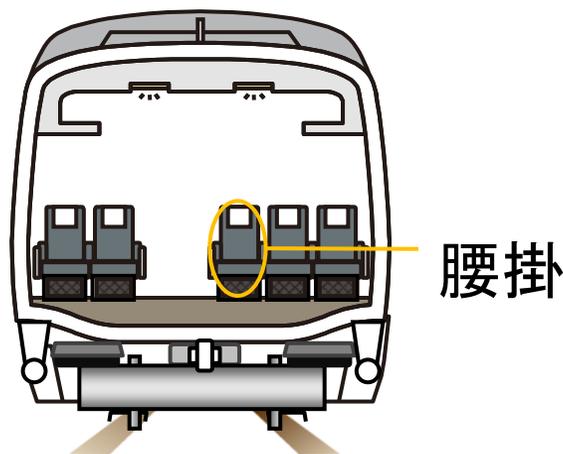
# IFR系難燃剤配合樹脂の鉄道車両材料への導入検討

## IFR系難燃剤配合樹脂の適用箇所

IFR系難燃剤配合樹脂：**加熱時に表面が膨張する  
着火時間が早くなる**



客室表面に**露出しない  
箇所**への適用が望ましい



腰掛に使用される詰め物

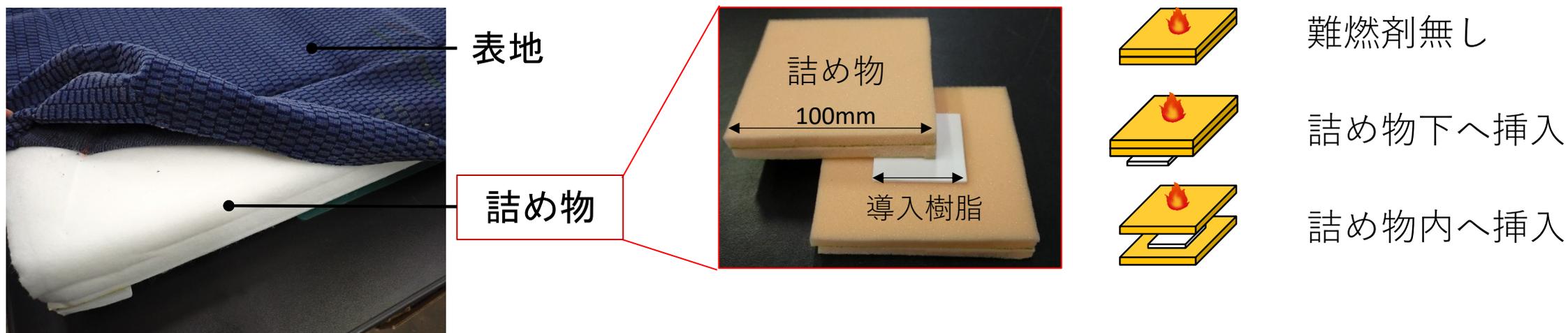
- ・使用重量が大きいクロスシートでは、2人掛けの1脚あたり、4～6kg程度使用
- ・詰め物自体を**IFR系難燃剤配合樹脂で製作することは、現状では困難**

**詰め物内にIFR系難燃剤配合樹脂を導入することで、腰掛の燃焼抑制を検討した**

# IFR系難燃剤配合樹脂の鉄道車両材料への導入検討

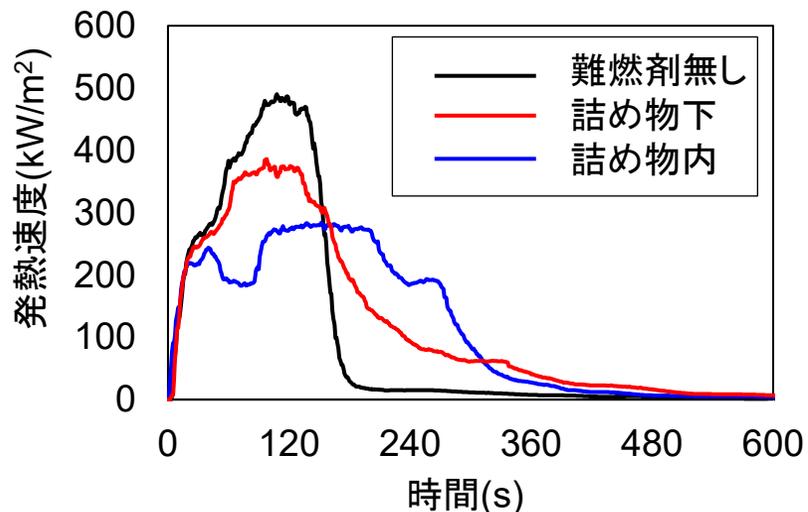
## IFR系難燃剤配合樹脂の導入位置の検討

- 100×100×20mmの2枚の詰め物に対して50×50×2mmのIFR系難燃剤配合樹脂の導入を検討した。
- 詰め物へ導入するIFR系難燃剤配合樹脂の形状は、燃焼特性の変化を確認するため、現段階では座り心地は考慮せず、平板状とした。

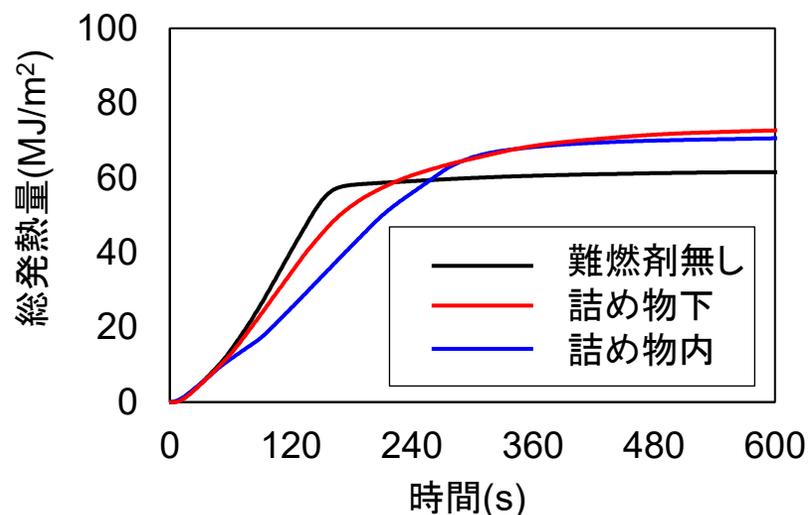


# IFR系難燃剤配合樹脂の腰掛材料への導入検討

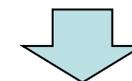
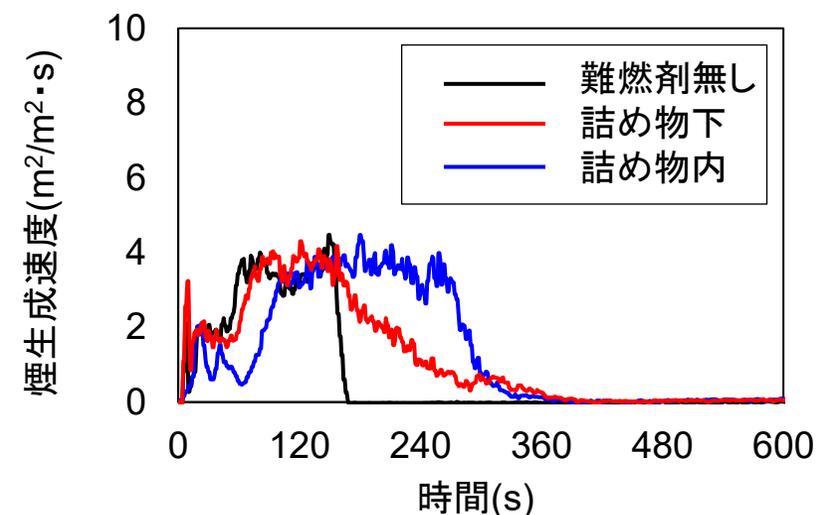
## IFR系難燃剤配合樹脂の導入位置の検討結果



詰め物内への導入が  
**最も効果が高い**



樹脂を追加しているため、  
**総発熱量は増加**



樹脂を追加しても  
**最大値は変わらない**

**IFR系難燃剤配合樹脂は詰め物内に導入することで燃焼を抑制できることを確認**

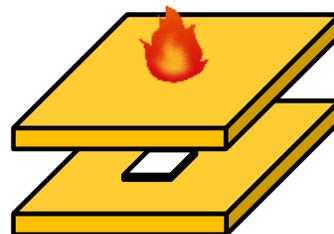
# IFR系難燃剤配合樹脂の腰掛材料への導入検討

## IFR系難燃剤配合樹脂の導入量の検討

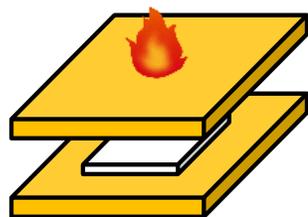
- IFR系難燃剤の効果は、樹脂の表面積の大きさに依存するため、座席詰め物の断面積に対するIFR系難燃剤配合樹脂の導入量を検討した。
- 100×100×20mmの2枚の詰め物に対して各大きさのIFR系難燃剤配合樹脂を導入した。



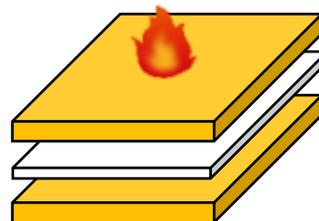
難燃剤無し



33×33×2mm  
詰め物の断面積の1/9



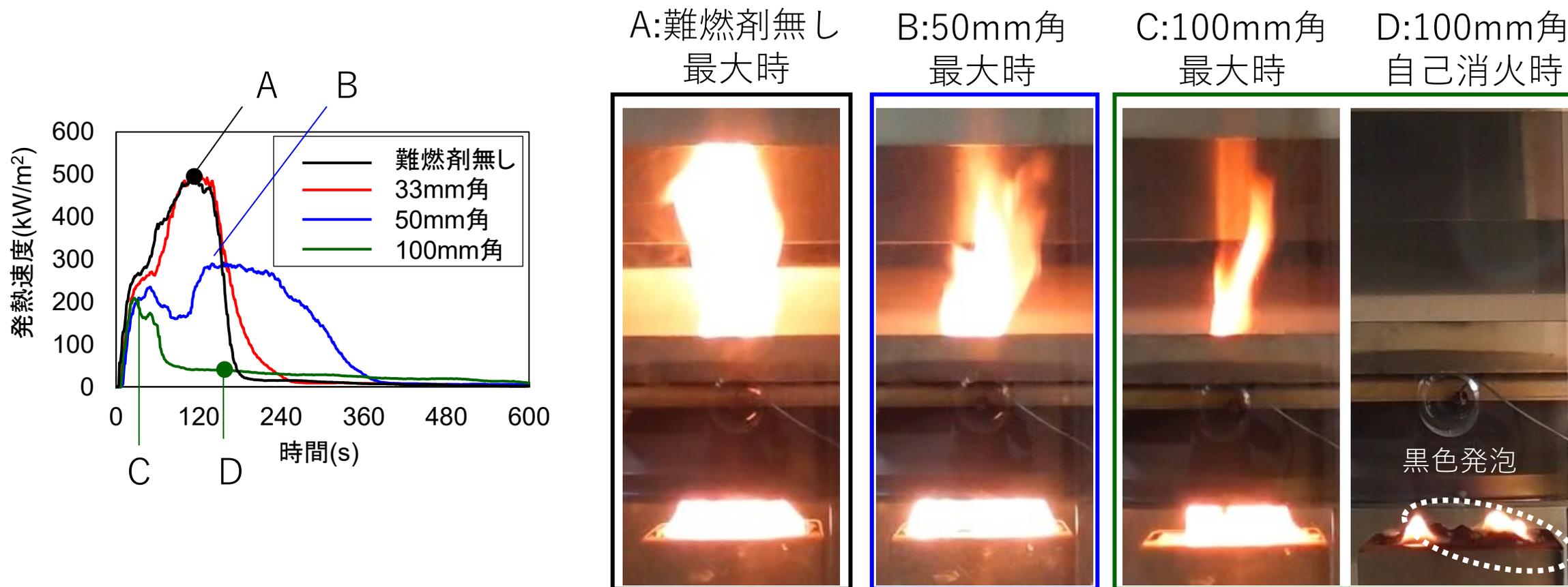
50×50×2mm  
詰め物の断面積の1/4



100×100×2mm  
詰め物の断面積と同等

# IFR系難燃剤配合樹脂の腰掛材料への導入検討

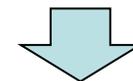
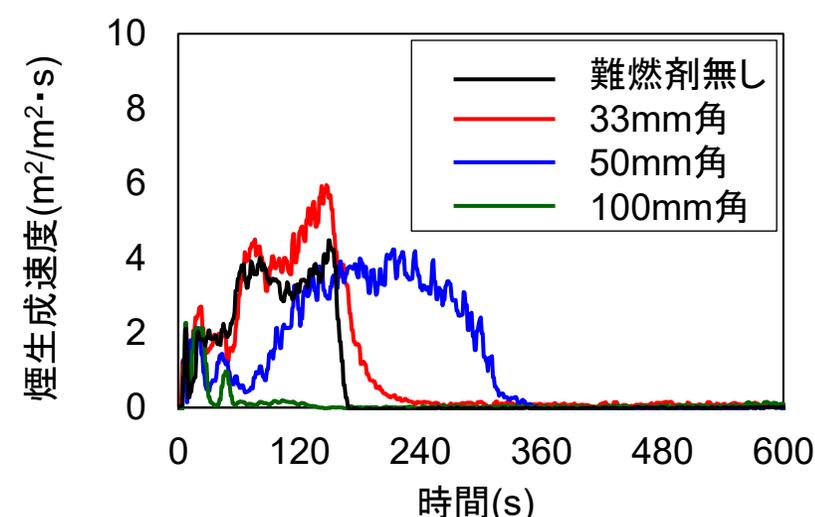
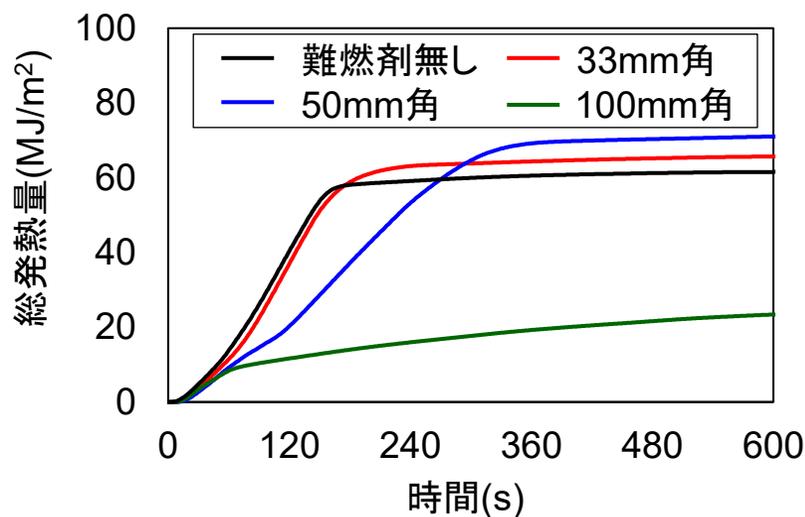
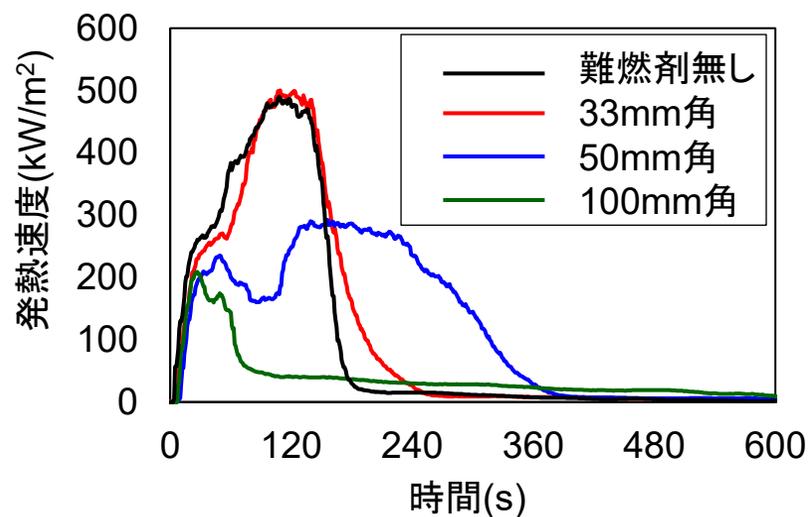
## IFR系難燃剤配合樹脂の導入サイズの検討結果



- 100mm角において自己消火が確認された
- 50mm角では自己消火しなかったが、発熱速度の最大値は大幅に抑制された

# IFR系難燃剤配合樹脂の腰掛材料への導入検討

## IFR系難燃剤配合樹脂の導入サイズの検討結果



自己消火した100mm角で顕著に低下

導入する樹脂が断面積と同等であれば、自己消火し燃焼特性は顕著に改善する

導入する樹脂が断面積の1/4以上であれば、自己消火はしないが燃焼特性は改善する

# まとめ

鉄道車両用材料の更なる難燃化を目指して、難燃剤及び適用箇所を検討した結果、以下の知見を得た。

- ・ 代表的な難燃剤を配合した樹脂に対する燃焼試験結果より、発泡系（IFR系）難燃剤は添加量を増加させることで、自己消火性を発揮し、高い難燃性能を有することが分かった。
- ・ IFR系難燃剤配合樹脂の腰掛詰め物への適用を検討した結果、詰め物内にIFR系難燃剤配合樹脂を導入することで、燃焼特性を大幅に改善できることが分かった。

## 参考文献

[イントメッセント系難燃剤を用いた鉄道車両用腰掛材料の難燃性向上, 鉄道総研報告, Vol.37, No.7, pp.1-7, 2023](#)

# 今後の予定及び活用法

## 今後の課題

- ・ 実物大腰掛への適用による燃焼特性の把握及び座り心地等の確認
- IFR系難燃剤配合樹脂をペレット状にして詰め物内へ分散もしくはメッシュ状に加工し、座り心地を損なわずにIFR系難燃剤配合樹脂を導入できないか検討する

## 活用方法

- ・ 新幹線、地下鉄及び長大トンネルや地下区間への乗り入れを実施する車両等の腰掛への導入により、万が一の車両火災時の燃焼拡大を抑制し、旅客及び乗務員の安全を確保する