

地下鉄車両各部材における燃焼特性に関する研究

木田 清春*、荻野 恭久**、井上 民子***、渡辺 正敏***

概要

鉄道車両の火災対策は、旧運輸省により過去に発生した災害を教訓として行われてきた。具体的には、出火防止と延焼防止に観点をおいた可燃物に関わるものと、避難経路の確保に関わるものに重点を置いて進められ、様々な燃焼実験や走行実験を基に関係法令等の整備がなされた。

しかし、平成15年2月18日に韓国大邱市の中央路駅構内で発生した地下鉄道火災は、これまでに発生した鉄道火災の中で類を見ない規模であった。このため、同種の火災が日本国内で発生した場合の有効な対策を検討するために、地下鉄車両で使用されている内装材について燃焼性状を把握する必要が生じた。

そこで、コーンカロリメータを使用し、地下鉄車両の内装材の着火時間と発熱速度について着目した試験を行った。

試験材料ごとの特徴は、以下のとおりであった。

- (1) 座席 発熱速度の緩和時間に関して、新車両用は短かったが、旧車両用は長かった。
- (2) 連結部幌 旧車両用座席と比較して発熱速度が最大値の1/2であった。
- (3) 天井内部の断熱材 新車両用、旧車両用ともに着火が認められなかった。

1 はじめに

地下鉄を含む鉄道車両の火災対策の経緯を表1¹⁾に示す。対策の強化などの端緒となる火災で、危険物を用いた爆発的なものはこれまで発生していなかったため、鉄道車両の内装材が急速な燃焼の進展によってどのような性状を示すかについての検討はこれまでなされなかった。

しかし、韓国大邱市で発生した地下鉄放火火災を受け、

今後の火災対策を考える上で内装材が大火源で受ける影響についての検討が必要となった。

そこで、大邱市と同じ規模の火災が発生した場合の地下鉄車両の燃焼性状を把握するため、コーンカロリメータを使用して地下鉄車両に用いられている部材について試験を行った。本報告は座席、連結部幌、天井内部の断熱材について、着火時間と発熱速度を検証した結果である。

表1 火災対策の経緯

| 年 月 | 内 容 |
|----------|---|
| 昭和31年5月 | 南海電鉄高野山のトンネル内列車火災を契機として、電車の構造の不燃化を規定 |
| 昭和32年12月 | 地下鉄を運転する車両に対する火災対策を強化(地下鉄を運転する車両に対する不燃化構造をA-A様式として規定) |
| 昭和43年1月 | 営団地下鉄日比谷線で発生した列車火災事故を契機として電車の不燃化対策が再検討され、電熱等を発生させる機器に対する防護、使用材料の燃焼試験の方法を明確化 |
| 昭和44年8月 | 地下に乗り入れ運転する車両及び別に指定する路線を運転する車両は「A-A基準」によるとして火災対策が規定 |
| 昭和62年3月 | 国鉄の分割民営化に伴い、関係省令の整備が図られ、従前の通達内容が普通鉄道構造規則の中に盛り込まれ、A-A基準等の呼称を廃止 |
| 平成13年12月 | 普通鉄道構造規則等の廃止。性能規定化された「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」を制定 |

*人事課 **玉川消防署 ***第二研究室

2 試験概要

(1) 試験装置

ア 装置名

コーンカロリメータ

(ISO5660 ASTM E1354 NFPA264Aに準拠)

装置を写真1に、着火状態を写真2に示す。

イ 試験条件

(ア) 輻射量 50、30、20、15、10kW/m²

(イ) サンプル方向 水平

(ウ) 排気流量 0.024m³/s

(エ) コーンヒータからサンプルまでの距離 25mm

(オ) 1条件あたりの試験数 原則3回

ウ 測定項目

(ア) 着火時間

(イ) 最大発熱速度

(ウ) 総発熱量

(エ) 平均質量減少率

(オ) 平均CO収率

(カ) 平均CO₂収率

(2) 試験試料

試験に使用した試料を表2に示す。座席試料3種類、連結部幌試料1種類、天井内部の断熱材試料3種類で、昭和40年代に製造の営団地下鉄東西線5000系の部材（以下、「旧車両用試料」とする）と、延焼拡大防止の対策のために開発された部材（炭素繊維を用いたもの、以下、「新車両用試料」とする）である。

なお、各試料は恒温乾燥機を50℃に設定し、24時間放置した後、シリカゲル入りデシケータに24時間以上保管した。



写真1 コーンカロリメータ

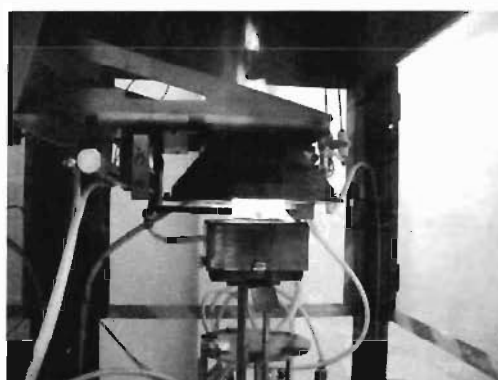


写真2 試料の着火状態（試料8）

表2 試験試料

| 試料番号 | 車両 | 種別等 | 素材等 |
|------|--------|----------|--------------------------------------|
| 1 | 旧車両用試料 | 座席 | 表地・ポリエステル+詰め物・NS硬綿クッション |
| 2 | | 連結部幌 | ポリエステル、塩化ビニール樹脂でコーティング |
| 3 | | 天井内部の断熱材 | S.C.ファイバー 表面がアルミで覆われており、厚みは均一でない。 |
| 4 | 新車両用試料 | 座席表地 | 表地・アラミド |
| 5 | | | 表地・テトロン/レーヨン混紡 (T/R) |
| 6 | | 座席詰め物 | 炭素繊維系、厚さは34~36mm |
| 7 | | 座席 | 試料4と試料6の組合せ |
| 8 | | | 試料5と試料6の組合せ |
| 9 | | 天井内部の断熱材 | グラスウール、表面にアルミが張り付いている。 |
| 10 | | | 炭素繊維系、厚さ16~18mm |

3 試験結果

表3に輻射量50kW/m²で試験した平均値を示す。(試料7と試料8は試験数2)図1、図2にそれぞれ座席、連結部幌の輻射量50kW/m²における発熱速度を示す。

輻射量の違いによる各試料の燃焼性状は次のとおりであった。

(1) 座席の燃焼性状

ア 旧車両用座席 (試料1)

(ア) 輻射量 50kW/m²、30kW/m²

表地 : 着火

詰め物 : 燃焼継続

(イ) 輻射量 20kW/m²

表地 : 着火

詰め物 : 火炎は徐々に弱くなり消火

(ウ) 輻射量 10kW/m²

表地 : 着火

詰め物 : 燃焼せず

イ 新車両用座席

まず、2種類の表地と詰め物の単体についてそれぞれ試験を行ってから座席の試験を行った。

また、15分以上点火器を作動させ着火しない場合は試験を終了した。

(ア) 表地・アラミド (試料4)

a 輻射量 15kW/m²以上

着火前 : 収縮

着火後 : 燃焼中にも収縮

b 輻射量 10kW/m²

着火せず

表3 輻射量 50kW/m²による試験結果

| 試料番号 | 車両 | 種別等 | 最大発熱速度 (kW/m ²) | 総発熱量 (MJ/m ²) | 平均質量減少率 (g/s・m ²) | 平均CO収率 (kg/kg) | 平均CO ₂ 収率 (kg/kg) | 着火時間 (s) | |
|------|--------|----------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|----------|------|
| 1 | 旧車両用試料 | 座席 | 389.02 | 77.32 | 8.024 | 0.02732 | 1.51984 | 7.6 | |
| 2 | | 連結部幌 | 184.57 | 14.15 | 6.533 | 0.13819 | 1.18150 | 7.6 | |
| 3 | | 天井内部の断熱材 | 着火せず | | | | | | |
| 4 | 新車両用試料 | 表地 | アラミド | 336.52 | 10.81 | 3.983 | 0.10578 | 1.11351 | 15.2 |
| 5 | | | T/R | 413.78 | 10.70 | 18.617 | 0.03007 | 1.71288 | 14.1 |
| 6 | | 詰め物 | 着火せず | | | | | | |
| 7 | | 座席 | アラミド | 378.97 | 36.63 | 1.463 | 0.16289 | 0.79088 | 14.8 |
| 8 | | | T/R | 423.03 | 16.20 | 4.038 | 0.08400 | 1.15035 | 13.9 |
| 9 | | 天井内部の断熱材 | 着火せず | | | | | | |
| 10 | | | 着火せず | | | | | | |

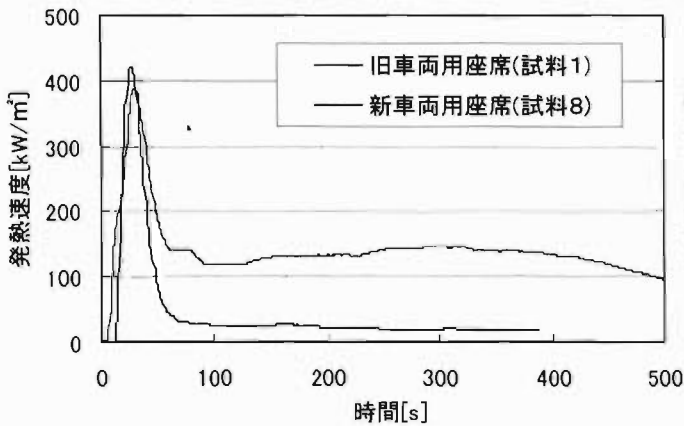


図1 輻射量 50kW/m²における座席の発熱速度の時間的变化

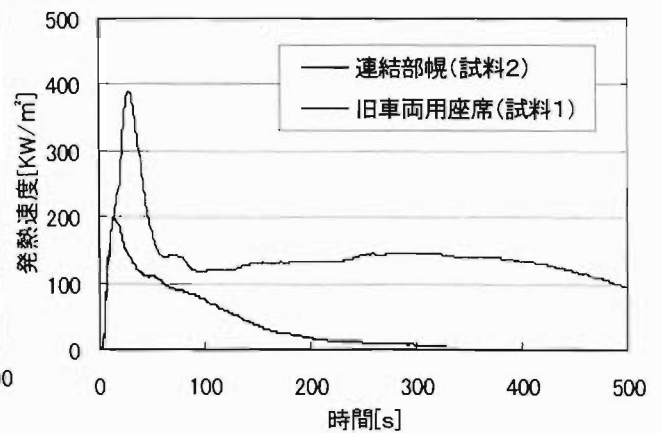


図2 輻射量 50kW/m²における連結部幌と旧車両用座席の発熱速度の時間的变化

(イ) 表地・テトロン/レーヨン混紡 (試料5)

a 輻射量 $50\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $30\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $20\text{kW}/\text{m}^2$

表面の燃焼終了後も内部の燃焼が継続

b 輻射量 $15\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $10\text{kW}/\text{m}^2$

着火せず

試験中：表地の外周から内側への収縮

(ウ) 詰め物・炭素繊維系 (試料6)

a 輻射量 $50\text{kW}/\text{m}^2$

着火せず

試験中：点火器と試料との間で火花発生

試験後：白い灰状の物質が残存

(エ) 座席 (アラミド) (試料7)

新車両用座席の表地は輻射量 $10\text{kW}/\text{m}^2$ で着火しなかったため、試料7、8についてはそれ以外の輻射量で試験を行った。

a 輻射量 $50\text{kW}/\text{m}^2$

表地：弱い火炎で燃焼継続

燃焼時間 659 秒～905 秒

詰め物：燃焼せず

b 輻射量 $30\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $20\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $15\text{kW}/\text{m}^2$

表地：着火後数十秒で消火

燃焼時間 38～51 秒

詰め物：燃焼せず

(オ) 座席 (テトロン/レーヨン混紡) (試料8)

a 輻射量 $15\text{kW}/\text{m}^2$ 以上

表地：着火

試料5同様、大きな収縮

詰め物：燃焼継続せず

(2) 連結部幌 (試料2)

ア 輻射量 $50\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $30\text{kW}/\text{m}^2$

着火前：収縮せず

着火後：燃焼中に収縮

イ 輻射量 $20\text{kW}/\text{m}^2$

試験を4回実施。

着火前：試料の外周部からの収縮

着火後：すぐに消火 (2回)

燃焼継続 (2回)

ウ 輻射量 $10\text{kW}/\text{m}^2$

着火前：試料の外周部からの収縮

着火後：燃焼時間 20 秒未満で消火

(3) 天井内部の断熱材

ア 輻射量 $50\text{kW}/\text{m}^2$

着火せず

試験後の変化は以下のとおり

(イ) 旧車両の天井部 (断熱材・S.C. ファイバー) (試料3)

白色の断熱材が黒く変色

(イ) 新車両の天井部

a 断熱材・グラスウール (試料9)

黄色のグラスウールが黒く変色

b 断熱材・炭素繊維系 (試料10)

試料6と同様に火花発生

残存物なし

4 考察

(1) 座席

ア 輻射量

旧車両用座席は輻射量 $10\text{kW}/\text{m}^2$ で着火した。輻射量 $20\text{kW}/\text{m}^2$ を超えると詰め物に燃焼が拡大した。

新車両用座席の表地は輻射量 $10\text{kW}/\text{m}^2$ で着火しなかった。詰め物は輻射量の大きさ、表地の有無に関わらず燃焼しなかった。

イ 着火時間

表3、図1より輻射量 $50\text{kW}/\text{m}^2$ で旧車両用座席 (試料1) は、新車両用座席 (試料7、8) より短時間で着火した。

低い輻射量の場合、輻射熱によって収縮する試料の着火時間が試験ごとに異なった。一例として図3に試料8の発熱速度を示す。輻射量 $50\text{kW}/\text{m}^2$ では試験ごとの着火時間の違いは見られなかったが、輻射量 $10\text{kW}/\text{m}^2$ では試験ごとに着火時間が異なった。これはヒーターと試料の距離が収縮による影響を受けたためと考えられる。

ウ 発熱速度について

図1のように、最大発熱速度は旧車両用座席と比較して新車両用座席が大きくなるがあった。しかし、その後の減衰は、新車両用座席の方が早く、値も小さかった。このことから、新車両用座席は、旧車両用座席と比較して、一旦着火しても燃焼継続しないと考えられる。

エ 平均質量減少率及び総発熱量について

表3より新車両用座席と比較して旧車両用座席は平均質量減少率及び総発熱量が大きかった。

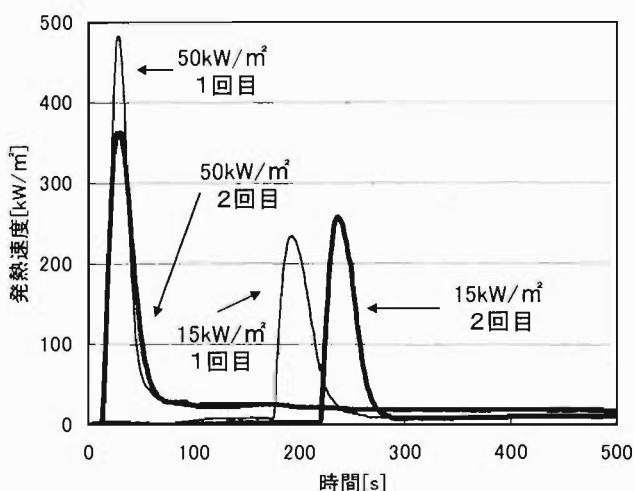


図3 輻射量 $15\text{kW}/\text{m}^2$ 、 $50\text{kW}/\text{m}^2$ における試料8の発熱速度

(2) 連結部幌

ア 輻射量

輻射量 10kW/m²で着火した。輻射量20kW/m²を超えると燃焼が継続した。

イ 着火時間について

表3、図1及び図2を比較すると、旧車両用座席とほぼ変わらないが、新車両用座席と比較すると短時間で着火した。

ウ 発熱速度について

最大発熱速度は 200kW/m²未満だった。これは旧車両用座席と比較すると約 1/2 の値だった。

(3) 天井内部の断熱材

旧車両、新車両ともに天井部の断熱材は輻射量の大きさに関わらず、着火しなかった。

5 まとめ

地下鉄車両の各種部材について、コーンカロリーメータを使用し燃焼試験を行い、次のような結果を得た。

(1) 座席

ア 輻射量

旧車両用座席は輻射量10kW/m²で着火した。

新車両用座席は輻射量10kW/m²で着火しなかった。

イ 着火時間

輻射量 50kW/m²では旧車両用座席が最も短かった。

ウ 発熱速度

新車両用座席の発熱速度はピークを示した後、急激に減少した。

旧車両用座席の発熱速度はピークを示した後、すぐに減少せず、一定の値を保持した。

(2) 連結部幌

ア 輻射量

輻射量10kW/m²で着火した。

イ 着火時間

旧車両用座席とほぼ同じ時間で着火した。

ウ 発熱速度

最大発熱速度は旧車両用座席と比較すると約 1/2 の値だった。

(3) 天井内部の断熱材

旧車両、新車両ともに天井内部の断熱材は着火しなかった。

6 終わりに

本研究は、独立行政法人消防研究所と共同で、地下鉄車両に用いられている部材の着火時間及び発熱速度等に着目し実施した試験結果の一部である。同研究所で実施した壁天井材、天井部材、床材についての試験結果の概要を参考までに表4²⁾に示す。

これによると、アルミ板を用いた壁天井材の発熱速度は、建築基準法に規定される不燃材料と比較してみると、その要求性能である「外部加熱 50kW/m²で 20 分間試験時に、総発熱量 8MJ/m²以下、最大発熱速度は 200kW/m²を 10 秒以上継続しない。」の条件には適合するが、FRP 系材料を用いた壁天井材、天井部材及び床材の発熱速度並びに継続時間のいずれも適合していないとの結果であった。壁天井材、天井部材及び床材はすべて着火しており、その中でも扇風機のファンは他に比較して着火時間が短いとの結果であった。

参考文献

- 1) 鉄道車両の火災対策の研究報告書 社団法人日本鉄道技術協会
- 2) 平成 16 年度火災学会研究発表会概要集 p. 78~81(2004. 5)

表4 壁天井材・天井部材・床材の輻射量 50kW/m²での着火時間と最大発熱速度

| 種別 | 試料 | | 輻射量 50kW/m ² | |
|------|-------------------|--------------|----------------------------|--------|
| | 材質等 | 着火時間[s] | 最大発熱速度[kW/m ²] | |
| 壁天井材 | アルミ板 | メラミン塗装 (改良型) | 31±5 | 45±0.4 |
| | | 印刷 | 30±1 | 39±5 |
| | | 塩ビシート張り | 29 | 116 |
| | | アルミ箔付塩ビシート張り | 28±1 | 110±33 |
| | FRP 系材料 | | 25±4 | 478±30 |
| 天井部材 | 空調吹出し口 (ポリカーボネイト) | | 27 | 851 |
| | 扇風機のファン | | 9 | 1210 |
| 床材 | 軟質塩化ビニール | | 19±1 | 281±33 |

STUDY ON THE FIRE CHARACTERISTICS OF SUBWAY TRAIN MATERIALS

Kiyoharu KIDA*, Yasuhisa OGINO**, Tamiko INOUE***, Masatoshi WATANABE***

Abstract

Measures against train fires have been promoted by the Ministry of Transport (currently as the Ministry of Land, Infrastructure and Transport) with a focus on the fire characteristics of combustibles inside trains and on evacuation routes. Related codes were modified on the basis of the results of the tests for combustion and train running.

On February 18, 2003, the biggest subway fire the population had never seen happened, with some fuel purposely set on fire at Daegu (a city central subway station) in South Korea. For the establishment of the effective measures against subway fires in Japan, the interior materials of subway trains firstly needed to be tested for their combustion characteristics.

So we tested some materials with a cone calorimeter, collaborating with the National Research Institute of Fire and Disaster. And we found some characteristics as follows:

1. Seats

New seat materials' heat release rate (HRR) decreased much faster than that of old materials.

2. Junctions

HRR was half compared with that of old seat materials.

3. Insulations

No ignition occurred.

* Human Resources Section

** Tamagawa Fire Station

*** Second Laboratory