

鉄道車両火災の設計火源に関する考察

平成 20 年度

東京理科大学 工学部第二部建築学科
辻本研究室

前川 結宇理

目次

1. 研究背景、目的	
1-1. 研究背景	1
1-2. 研究目的	1
2. 分析対象	2
3. 分析方法	6
3-1. 発熱量の算定方法	6
3-1-1. 燃焼支配型火災	6
3-1-2. 換気支配型火災	7
3-2. 燃料支配型火災の発熱量	8
3-3. 換気支配型火災の発熱量	10
4. 想定火災の提案	12
4-1. 火源が車両外の場合	13
4-1-1. 1-①野田線の場合	13
4-1-2. 1-②山陰線出雲市駅の場合	14
4-1-3. 1-③土讃線阿波川口駅の場合	15
4-1-4. 2-①京浜東北線桜木町駅の場合	16
4-1-5. 2-②日比谷線神谷町駅の場合	16
4-1-6. 2-④田沢湖線の場合	16
4-1-7. 車両外火源の場合の考察	17
4-2. 火源が車両内の場合	17
4-2-1. 1-④中央線の場合	17
4-2-2. 2-③北陸本線の場合	17
4-2-3. 車両内火源の場合の考察	18
5. まとめと今後の課題	19
参考文献	20
謝辞	21
参考資料	22

1. 研究背景、目的

1-1. 研究背景

いまや鉄道は私達の生活には欠かせない交通手段である。加えて、近年では省エネルギーの観点からみても重要な交通手段だと考えられている。図 1-1 のように乗用車などに比べて鉄道は二酸化炭素の排出量のはるかに少ない。これは一度に多くの旅客を輸送できることと鉄道システム全体としてエネルギー効率が非常に高いことが考えられる。

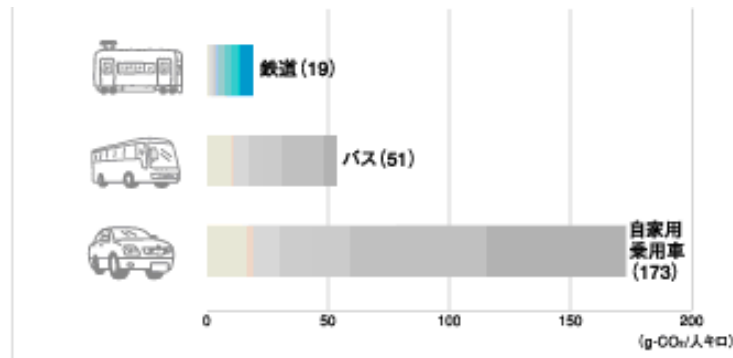


図 1-1 1 人を 1km 運ぶ際に排出する二酸化炭素排出量(2005 年度)

しかし移動に高密度のエネルギー(エンジン、モーター等)を用いるために、常に出火の危険性をはらんでいる。また地下鉄の場合、避難経路を制限されさらに被害は拡大し、軌道条件によっても対向車に事故が発生すると被害が大きくなってしまいうということも起こり得る。

1969 年 5 月 15 日鉄運第 81 号「電車の火災事故対策について」によって電車の不燃化の基準(A-A 基準、A 基準及び B 基準)が通達され、1987 年 4 月 1 日の国鉄分割・民営化の際、関係法律も変更になりもっとも厳しい不燃化の基準「A-A 基準」の考え方が、「普通鉄道構造規則」、「特殊鉄道構造規則」、「新幹線鉄道構造規則」等の中に取り込まれた。この段階で「A-A 基準」という表現はなくなったが、各法律の中に考え方が生かされた。

さらに、1998 年頃からの行政上の規制緩和の流れも受け、これらを一本化し、安全を確保しながらも鉄道事業者の技術的自由度を向上させることができるように省令等の技術基準を原則として備えるべき性能をできる限り具体的に規定した性能規程とすることになり、2001 年 12 月 25 日、国交省令第 151 号「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が交付され、2002 年 3 月 31 日からが施行された。この省令の中に車両の火災対策の規定がされている。

1-2. 研究目的

過去の事故事例から出火の機構を明らかにすることにより、鉄道火災の安全設計の一助になると考えられる。よって、本論ではこの車両火災を整理し、それぞれの火災事例における発熱量を推定することで今後の車両の火災安全設計に利用できるように資料化した。

2. 分析対象

車両火災を分析対象とするため、車両に影響のなかった駅舎及び沿線での火災、自爆テロなどの人為的爆発火災、脱線・衝突火災を省いた。上記の火災は発火源・燃焼物などが出火車両以外からの影響を多く受けているためだ。

事 故 事 例 と し て 最 近 の 事 故 か ら 運 輸 安 全 委 員 会 の ホ ー ム ペ ー ジ (<http://araic.assistmicro.co.jp/jtsb/railway/rail.asp>) に 2001 年 以 降 の 鉄 道 事 故 の 報 告 書 が 掲 載 さ れ て お り、全 件 で 139 件 有 る。こ の う ち 火 災 事 例 は 8 件 有 り、さ ら に 上 記 の 車 両 火 災 に 該 当 す る 5 件 の う ち 詳 細 資 料 の 有 る 報 告 書 4 件 を 用 い て 出 火 場 所・原 因、燃 焼 物、燃 焼 状 態 を 推 定 す る。ま た、こ れ ら の 火 災 例 は 小 規 模 で 有 り、燃 焼 が 進 ん だ 事 例 と し て 1950 年 以 降 の 車 両 火 災 で 全 面 火 災 と な っ た 3 件 を 例 に こ れ ら を 加 え て 各 火 災 の 経 緯 と 発 熱 量 を 推 定 し た。

小規模火災事例の詳細を表 2-1、大規模火災事例の詳細を表 2-2 に示す。

表 2-1 小規模火災事例詳細

番号	1-①	1-②	1-③	1-④
年月日	2001. 10. 12	2002. 5. 16	2003. 8. 26	2003. 8. 30
名称	野田線	山陰線出雲市駅	土讃線阿波川口駅	中央線
発生場所	駅間	駅構内	駅構内	駅間
出火した ときの燃 焼物	パンタグラフ	屋根上の ブレーキ抵抗器	パンタグラフ	放火
出火原因	避雷器の内部で短 絡が起こり、アーク が発生	ブレーキ抵抗器カバー内に 残されたままの飛散物が絶 縁破壊を誘発し、アーク放電 が発生	発電エンジンの調速器 内部のリンク機構のピ ンが緩んで抜け出、燃料 が過剰に供給、その燃料 の以上燃焼により、消音 機の温度の異常上昇	放火自殺
発火源		抵抗器	排気管	灯油とみられる液 体
経過		スパーク	輻射を受けて発火	放火
着火物		車体塗装部	電気配線類	衣類
燃焼物	パンタグラフ、 屋根板、避雷器	抵抗体、碍管及び支持枠、支 持碍子、防熱板、ブレーキ抵 抗器カバーの蓋、天井板	床および床内部の電気 配線被覆等	床、座席、 内張板

燃焼物 詳細	パンタグラフの取り付けボルト一部溶損。屋根板に穴(2箇所が直径3cm、1箇所が直径8cm)、屋根上絶縁コーティング・クーラー外キセ・クーラーの吸い込みグリル及び吹き出しグリルを一部焼損	ブレーキ抵抗器及びそのカバーの一部に焼損、車体屋根の外板(0.8mmのステンレス波板)に約1cmの穴が複数、これら穴の周辺屋根絶縁材に直径約2mの焼損、客室内天井板(1.3mm厚の木材樹脂と1.5mm厚のアルミニウム板)と充填されている断熱材(50mmのグラスウール)に上記で述べた穴が複数	床敷物(2mm厚の塩化ビニル樹脂)に約20cm及び13cmの穴、根太(30mm厚のラワン材)と床板(20mmのベニヤ板)に直径90cmの穴、硬質ビニル電線管7本、電線19本、の被覆が焼損	床敷物、内張板及び座席の表面は焼けていたが、内部には達していない。窓ガラスは破損し落下。
車体			キハ28-3013	モハ114
車種	直流電車	直流電車	内燃動車	直流電車
事故車 両・編成	2・6	3・7	1・2	2・3
出火	野外走行中	駅に停車中	駅に停車中	トンネル(全長4kmの約2km地点)内走行中
停車	野外線路上	駅	駅	トンネル内
発見者	運転士	列車乗務予定の車掌	車掌(※1)	乗客
発見原因	車両後方で異音を感知	屋根から黒煙及び炎を発見	床で火災発生	乗客が自身に液体をふりかけ炎上
消火	消火器。後消防車による放水	消火器三本による消火活動、後鎮火	車内消火器にて消化活動	消火器にて消火
事故時の乗客	約100名 (乗務員2名)	回送電車のため乗客なし (乗務員1名)	約30名 (乗務員2名)	約35名 (乗務員2名)
乗客の行動	ドアを開け、乗客は降車		ホームへ避難	各自事故車両から隣接車両へ避難。 (※2)
気象	降水量0mm、 気温16.4℃、 風速0m/sec	降水量0mm、 気温19.8℃、 風速1m/sec	くもり、 気温25℃前後	くもり
出火時刻	6:26	18:52	8:15	21:40
覚知時刻	6:30	18:56	8:16	21:46

鎮火時刻	7:21	19:29	9:07	22:14
燃焼面積 (㎡)	0.6	2.0	0.64	5.61
推定発熱量 (kW)	70.1	233.8	74.8	655.8
負傷者・ 死亡者 (人)	0・0	0・0	0・0	0・1
文献	1)、2)	1)、2)	1)、2)	1)、2)

※1 火災発生以前に冷房電源用発電エンジンの回転音が大きいに気づき、停止を試みた
が停止できず、要請を受けた車両検修員が停止させた。7:05頃、運転室の配電盤から白
煙が昇ったが、7:10にはなくなった。続いて逆転機(車両の前進・後進を切り替える歯車
装置)表示灯が消灯。→確認するが異常なし
その後、運転台の表示灯(機関運転中の状態を表す「機」、変速機の状態を表す「直」)
が消灯。

※2 その後、1両目の車内は煙が充満していたため、複線トンネル内であったが乗客をいつ
たん降車させた。列車をトンネル外へ移動するため、もう一度乗客を全員乗せて発車し、
ホームへ降車させた。

表 2-2 大規模火災事例詳細

	2-①	2-②	2-③	2-④
年月日	1951. 4. 24	1968. 1. 27	1972. 11. 6	1977. 6. 30
名称	京浜東北線桜木町駅	日比谷線神谷町駅	北陸線北陸トンネル	田沢湖線
出火したときの燃焼物	屋根(木製)	床下抵抗器上部の樹脂性電線管		床下
出火原因	架線がパンタグラフ(集電装置)と絡まり、電流の地絡により炎上	過電流による過熱	電気暖房器配線の接触不良による発火	
燃焼物	一両焼失、隣両一部焼失	一両焼失、一両半焼、一両小火	15 両全焼	一両全焼
車体	モハ 63756 全焼、サハ 78144 半焼	サハ 6521 全焼	オシ 17(1928 年製)	キハ 52 (1959 年 2 月製造)
出火場所	駅	駅	トンネル内	野外走行中
停車	駅	駅	トンネル内	野外線路上
推定燃焼量(MW)	21	20	24	30
負傷者・死亡者(人)	92・106	11・0	30・714	0・0
文献	1)、4)	3)、5)	1)、3)、4)	1)

※3①最高 25/1000 という急で長い勾配でエンジンが異常過熱

②電気系統の故障

③ブレーキの火花がエンジン付近の油類に引火

以上三点のいずれかと考えられている。

3. 分析方法

3-1. 発熱量の推定方法

火災の発熱量については以下のように推定した。

基本的には小規模で、焼損面積の記述があるかもしくは推定できるレベルの火災である
燃焼支配型火災と大規模で車両全体が燃えてしまった換気支配型火災に大別できる。

3-1-1. 燃焼支配型火災

小規模火災は燃料支配型火災と考えられ、開口部が大きい場合(酸素供給が十分な場合)と燃焼が小規模の場合、燃焼性状は空気の供給量ではなく可燃物固有の燃えやすさに支配される。空気の供給量が増えるに従い、熱分解速度は徐々に小さくなる。換気支配型燃焼への遷移は、木質系の材料では $\chi = 0.08$ 、プラスチック系材料では $0.15 \sim 2.0$ 程度の範囲で起こる。遷移状態では、可燃性ガスと空気とが過不足なく混合するので、燃焼効率が最も良くなり、火災温度は最大となる。

燃料支配型火災での燃焼速度を理論的に予測するためには、材料の組成、形状、火炎と可燃物の位置関係などを考慮しなければならず、木質系の可燃物が床面に均等に配置されている場合については次式が提案できる。

$$\begin{aligned} m_b / A_{fuel} &= 0.007 && (0.08 < \chi \leq 0.1) \\ &= 0.12\chi \exp(-11\chi) + 0.003 && (0.1 < \chi) \end{aligned}$$

よって、

$$mb = 0.007 \cdot A_{fuel} \text{ (kg/s)}, \quad A_{fuel} \text{ (m}^2\text{): 焼損面積とし、発熱量 } Q_s \text{ は木材換算で}$$

$$Q_s = 16.7 \times 10^3 mb \text{ (kW) とする。}$$

車両全体が燃えてしまった大規模火災(車両の骨組みは燃えずに残る場合)は換気支配型火災と考えられ、燃焼速度は空気の供給量により制約される。この結果、室内での発熱速度は、

$$m_b = 0.007 \times 16.7 \times 10^3 \cdot A_{fuel} = 116.9 A_{fuel} \text{ (kW)}$$

となる。

3-1-2. 換気支配型火災

車両全体が燃えてしまった火災(車両の骨組みは燃えずに残る場合)を換気支配型火災とし、開口部が小さい場合には可燃物表面に十分な空気が供給されず、燃焼速度は空気の供給量により制約される。開口部から流入する空気の質量流入は

$$m_a = 0.52A\sqrt{H} \text{ (kg/s)}$$

で求められる。燃焼により発する熱量は消費した空気 1kg あたりで表すと一般的な有機材料であれば 3000(kJ/kg-air)となり、したがって流入した空気が全て燃焼に使われるとすれば、室内での発熱速度は、

$$Q = 3000m_a = 3000 \times 0.52A\sqrt{H} \approx 1500A\sqrt{H} \text{ (kW)}$$

となる。この値は室内で燃焼可能な発熱速度の上限を与える理論値である。

以上の手法で燃焼量を推定する。ただし、例 2-①京浜東北線桜木町駅の車両は木造のため燃料支配型として扱い、計算した。

3-2. 燃料支配型火災の発熱量

1-①野田線(2001)

① 天井板溶損 $0.015^2 \times \pi \times 2 + 0.04^2 \times \pi = 0.006(m^2)$

② ①+天井化粧板のメラミン樹脂板剥離 $0.4^2 \times \pi = 0.5(m^2)$

③ ②+天井化粧板の浮き上がり $0.2 \times 0.16 \times \pi + 0.5 = 0.6(m^2)$

④ ③+天井板の濃くすすけている部分 $2.4 \times 2.5 + 0.9 \times 0.8 \times \pi \times \frac{1}{2} = 7.1(m^2)$

⑤ ④+天井板の薄くすすけている部分 $4.4 \times 2.5 + 0.9 \times 0.8 \times \pi \times \frac{1}{2} = 12.1(m^2)$

すすけるとは「すすがついて汚れている」ことを示し、③を焼損面積とする。
よって、

$$m_b = 116.9 \times 0.6 = 70.14 \text{ (kW)}$$

70.14kW

1-②山陰線出雲市駅(2002)

屋根絶縁材の焼損 $1.0 \times 2.0 = 2.00(m^2)$

よって、

$$m_b = 116.9 \times 2.0 = 233.8 \text{ (kW)}$$

233.8kW

1-③土讃線阿波川口駅(2003)

床表面の穴 $0.1^2 \times \pi + 0.065^2 \times \pi = 0.04(m^2)$

床内部の穴 $0.45^2 \times \pi = 0.64(m^2)$

よって、

$$m_b = 116.9 \times 0.64 = 74.816 \text{ (kW)}$$

74.82kW

1-④中央線放火(2003)

床 $0.7 \times 1.35 \times \pi = 2.97(m^2)$

座席 $1.3 \times 0.6 \times 2 = 1.56(m^2)$

壁 $1.8 \times 0.6 = 1.08(m^2)$

合計燃焼面積 $2.97 + 1.56 + 1.08 = 5.61(m^2)$

よって、

$$m_b = 116.9 \times 5.61 = 655.809 \text{ (kW)}$$

665.81kW

2-①京浜東北線桜木町駅(1951)木造

$$(2.7+2.3) \times 2 \times 19.5 = 198.9$$

$$198.9 - 16.8 = 182.1$$

よって発熱量

$$m_b = 116.9 \times 182.1 = 21287 \text{ (kW)}$$

21MW

3-3. 換気支配型火災の発熱量

2-①京浜東北線桜木町駅(1951)木造

※参考として

開口部

窓(幅×高さ=650×650) 数 30

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.65 \times 0.65 \times \sqrt{0.65} = 511$$

$$511 \times 30 = 15330$$

ドア(幅×高さ=720×720) 数 8

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.72 \times 0.72 \times \sqrt{0.72} = 660$$

$$660 \times 8 = 5280$$

合計

$$15330 + 5280 = 20160 \text{ (kW)}$$

21MW

2-②日比谷線神谷町駅(1968)

開口部

窓(幅×高さ=1000×800) 数 16

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 1.0 \times 0.8 \times \sqrt{0.8} = 1073$$

$$1073 \times 16 = 17168$$

ドア(330×470) 数 16

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.33 \times 0.47 \times \sqrt{0.47} = 159$$

$$159 \times 16 = 2544$$

合計

$$17168 + 2544 = 19712 \text{ (kW)}$$

20MW

2-③北陸本線(1972)

開口部

窓①(幅×高さ=1150×870) 数 10

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 1.15 \times 0.87 \times \sqrt{0.87} = 1400$$

$$1400 \times 10 = 14000$$

窓②(幅×高さ=1000×870) 数 2

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 1.0 \times 0.87 \times \sqrt{0.87} = 1217$$

$$1217 \times 2 = 2434$$

窓③(幅×高さ=720×870) 数 2

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.72 \times 0.87 \times \sqrt{0.87} = 876$$

$$876 \times 2 = 1752$$

窓④(幅×高さ=720×720) 数 8

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.72 \times 0.72 \times \sqrt{0.72} = 660$$

$$660 \times 8 = 5280$$

ドア(幅×高さ=470×720) 数 2

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.47 \times 0.72 \times \sqrt{0.72} = 431$$

$$431 \times 2 = 862$$

合計

$$14000 + 2434 + 1752 + 5280 + 862 = 24328 \text{ (kW)}$$

24MW

2-④田沢湖線(1977)

開口部

窓①(幅×高さ=1000×870) 数 16

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 1.0 \times 0.87 \times \sqrt{0.87} = 1217$$

$$1217 \times 16 = 19472$$

窓②(幅×高さ=700×870) 数 8

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.7 \times 0.87 \times \sqrt{0.87} = 852$$

$$852 \times 8 = 6816$$

ドア①(幅×高さ=650×700) 数 4

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.65 \times 0.7 \times \sqrt{0.7} = 571$$

$$571 \times 4 = 2284$$

ドア②(幅×高さ=250×870) 数 4

$$1500A\sqrt{H} = 1500 \times 0.25 \times 0.87 \times \sqrt{0.87} = 304$$

$$304 \times 4 = 1216$$

合計

$$19472 + 6816 + 2284 + 1216 = 29788 \text{ (kW)}$$

30MW

4. 想定火災の提案

車両の火災対策基準は「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」(2001年国土交通省令)第83条により規定されている。規定内容は以下のとおりである。

第83条(車両の火災対策)

車両の電線は、混触、機器の発熱等による火災発生を防ぐことのできるものでなければならない。

2 アークまたは熱を発生するおそれのある機器は、適切な保護装置が取られたものでなければならない。

3 旅客車の車体は予想される火災の発生及び延焼を防ぐことができる構造及び材質でなければならない。

4 機関車(蒸気機関車を除く。)、旅客車及び乗務員が執務する車室を有する貨物車には、火災が発生した場合に初期消火ができる設備を設けなければならない。

第3項の予想される火災とは想定火災のことを差していると思われる。また、「地下駅等の火災対策基準・同解説」での想定火災は以下表4-1のようになる。

表4-1 想定火災

火災種類	出火源
通常火災	車両床下からの出火(車両外)
大火源火災	ガソリン4リットルによる放火(車両内)

上記の値は2003年2月18日に韓国テグ市で発生した地下鉄火災を踏まえた値であり、この地下鉄火災では放火列車及び対向列車の12両全焼、死亡者192名負傷者148名という大惨事となった。日本でもこのような大火源火災が起こる可能性がある。また、火源が車両内・車両外と異なる(一定の時間、火元による火熱に耐えられる隔壁のことを以下防火壁とし、車両内外とはその防火壁によって分離されているものとする)とき、車両内にいる乗客への影響の与え方も異なる。よって、本論では車両外火源と車両内火源に大別し、以下、両者について目標性能を整理する。

また、最終的な目標性能は乗客の生命安全であり、車両で発生した火災から避難する時間及び空間を保持することが重要だと思われる。

上記により、具体的な目標性能を「出火後、乗客が避難するのに十分な時間を確保できるよう車両内に火及び煙の影響が及ばないこと」とする。

4-1. 火源が車両外の場合

4-1-1. 1-①野田線の場合

例 1-①では、車両屋根上のパンタグラフ付近に設けられた避雷器の内部の内部要素の押し付け力が不足しており、車両の運行により振動や偏心が生じ内部の金属が破断して接触してアークが発生・地絡したことが原因である。火源周辺図を以下図 4-1 に示す。

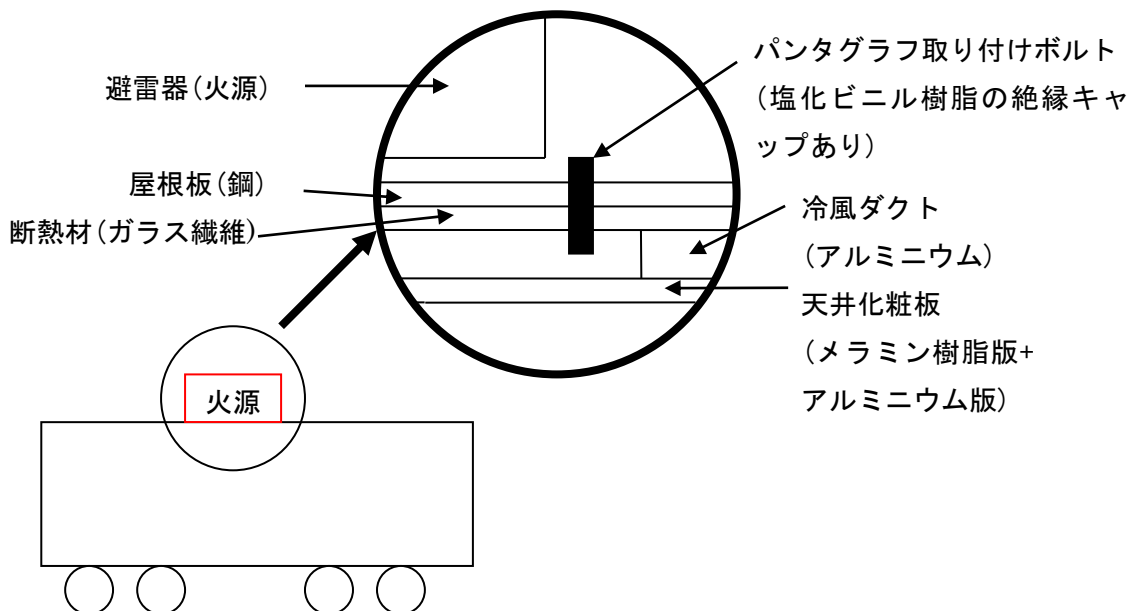


図 4-1 野田線火源詳細図

またその火源はパンタグラフ支持部である取り付けボルトを溶損させ、車両内部への延焼をもたらした。

火源と車両内の間には、防火壁として車両屋根構成材(屋根板+断熱材+天井化粧板)があったが、取り付けボルトが屋根材及び断熱材を貫通しており、屋根材及び断熱材には大きな効果を望むことは出来なかったと言える。加えて、冷風ダクトに高温の熱風が吹き込み、クーラー機器の吹き出し・吸い込みグリルから車内に吹き出し、延焼が拡大した。

また、この時約 100 名の乗客が乗車していたが、野外走行中だった車両をその場で停止し、3 箇所に分散させて全員降車させ、避難・誘導した。死亡者・負傷者はなかった。

4-1-2. 1-②山陰線出雲市駅の場合

例 1-②ではブレーキ抵抗器カバー内に残されたスパッタ等の飛散物が高電圧により絶縁破壊され、アーク放電が発生したことが原因である。その火源詳細図を以下図 4-2 に記す。

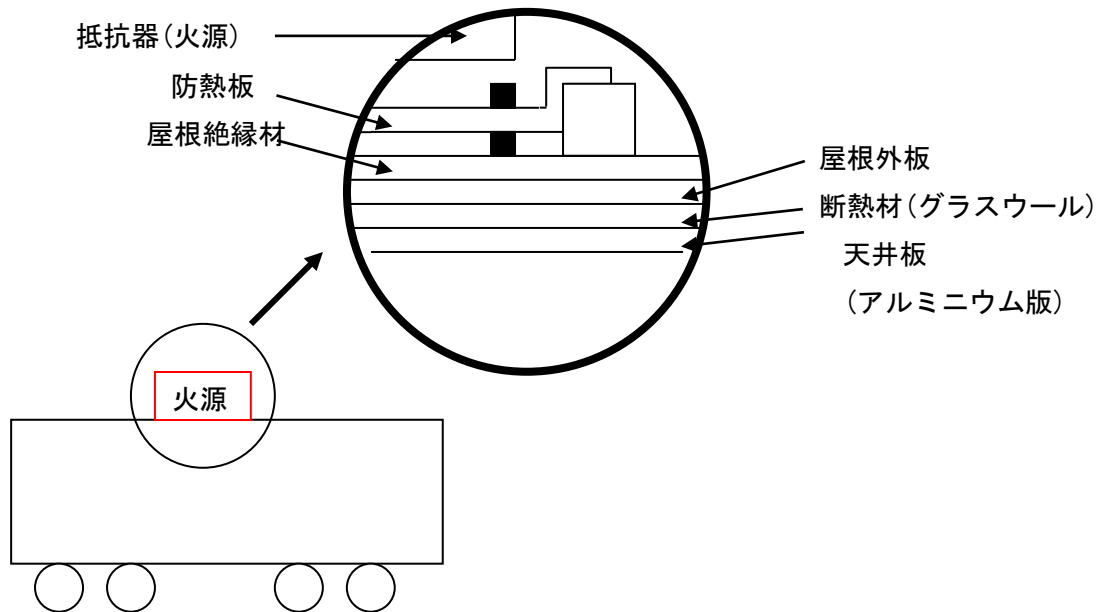


図 4-2 山陰線出雲市駅火源詳細図

また、その火源は防熱板の取り付けボルトを溶損させ、車両内部への延焼をもたらした。火源と車両内の間には、防火壁として防熱板及び車両屋根構成材(屋根板+断熱材+天井化粧板)があったが、防熱板の取り付けボルトを溶損させられたので防熱板には防火壁としての効果は望めず、さらに発生したアークは車両屋根構成材を溶損し、車両内部へ延焼した。

また、回送車であったため乗客はおらず、運転手にも負傷はなかった。

4-1-3. 例 1-③土讃線阿波川口駅の場合

例 1-③では、発電エンジンの调速器内部のリンク機構のピンが緩み抜け出たため、コントロールラックが正常に作動せず、燃料が過剰に供給された。未燃焼状態で排出された燃料の異常燃焼により消音器内の温度が異常上昇した。

その火源詳細図を以下図 4-3 に示す。

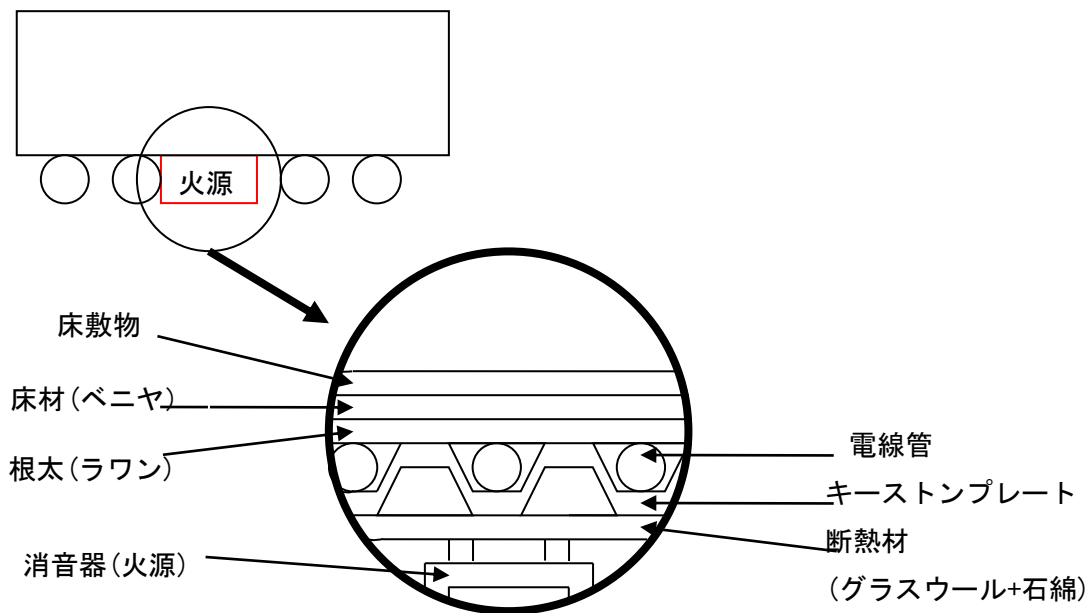


図 4-3 土讃線阿波川口駅火源詳細図

また、その火源は、直上にあった床構成材へ延焼した。

火源と車両内の間には、防火壁として床構成材(断熱材+キーストンプレート+根太+床材)があったが、床材(ベニヤ)もしくは硬質ビニル電線管のいずれかが発火点となったと考えられるが、どちらか特定することはできなかった。

消音器は正常回転時約 75℃ほどだが、後に行われた再現試験では過回転時約 430℃まで上昇した。床材及び硬質ビニル電線管の発火温度は 450℃前後であり、消音器がこの温度まで到達した可能性も考えられる。

また、この時乗客は約 30 名乗車していたが炎を認知した時、既に駅に停車していたため乗客は間もなくホームへ避難した。

4-1-4. 2-①京浜東北線桜木町駅の場合

例 2-①では固定されずに垂れ下がってしまった架線にパンタグラフが絡まり短絡が発生した。その短絡により発生した火花が屋根材の塗料に着火、炎上した。

火源と車両内の間には防火壁として車両屋根構成材があったが、当該車両は重要な安全部品を省略したり粗悪な代用品を使用した戦時設計であった。具体的な車両構成は以下表 4-1 に示す。

表 4-1 車両構成

	変更点(正常設計→戦時設計)
屋根骨組み	露出
塗料	可燃性塗料
天井内張り	ベニヤ板(装飾は省略)
室外配線	絶縁皮膜と防護鋼管→なし
引きとおし線	化粧板覆い→なし
窓	二段式もしくは三段式(中段可動)→三段式(中段固定)

上記のように車両に電流が流れた場合炎上しやすい構造となっていた。これに加え、この車両モハ 63 系では扉及び車両間の貫通扉が内開きであり、避難しようと押し寄せた乗客の圧迫で扉が開かず、窓もガラスの節約のための三段構造によって脱出困難となり乗客の被害が拡大した。

4-1-5. 2-②日比谷線神谷町駅の場合

例 2-②では制御回路に故障が生じ主回路に過大電流が流れ、抵抗器内の温度が異常上昇し上部の配線が燃焼した。

火源と車両内部の間には、防火壁として車両床構成材があった。当時の詳細資料がないため火源の詳細な配置や材料は分からないが、一両全焼という大規模な火災となっていることから容易に延焼した事がうかがい知れる。

また、事前に乗客を降車させ回送電車となっていたため被害が大きくなり、負傷者は乗務員及び消防士が 11 名だった。

4-1-6. 2-④田沢湖線の場合

例 2-③では車両床下のエンジンの異常過熱による出火だと考えられている。詳細な原因は表 2-2 の注 3 に記したように幾つか考えられているが定かではない。

火源と車両内の間には防火壁として車両床構成材があったが、一両全焼していることから容易に延焼した事がうかがい知れる。

4-1-7. 車両外火源の場合の考察

例 1-①、1-③のように燃焼量が最大で 100kW 程度であれば、隣接の車両へ当該車両の乗客が移動するのに要する数分間に生命安全が脅かされることはないと考えられる。しかし、例 1-①では 6 両編成で乗客約 100 名、例 1-③では 2 両編成で乗客約 30 名と決して満員電車とは言えない人数であり、乗客への影響も満員時と比べて薄いといえる。よって、この値は乗客が満員時には適用できず、満員時には極小な値でも乗客へ影響があると考えてよい。

よって車両外出火に対しては、車両内への影響が防火壁を介して一定の発熱量以下にするような防火設計が求められることになる。ただし、田沢湖線のように車両が一両だけの運行で隣接車両への避難ができない場合など、例外的な条件にも配慮すべきである。また、当然ではあるが、外部火源から乗客への熱伝達、煙の流入などは大きく制限されるべきである。

4-2. 火源が車両内の場合

4-2-1. 1-④中央線の場合

例 1-④では、車両内で乗客が灯油と考えられる液体を自身にふりかけ放火して発生した火災は、座席、内張板に延焼した。

この時、車両はトンネル内を走行中だったがいったん消火のために停止した。このトンネルは全長約 4km あり、事故地点はほぼ中間地点である 2km で且つ複線トンネルだったため乗客をいったんは降車させたが、消火後乗客全員を乗車させ駅に収容している。また、この時乗客が約 30 名乗車していたが、死亡者が 1 名(自身に放火した者)、他負傷者はいなかった。

4-2-2. 2-③北陸本線の場合

例 2-④では、食堂車の喫煙室長椅子下の電気暖房装置のショートにより発生した火災は、15 両編成の列車を全焼させた。

このショートは基準違反の配線と配線の緩みにより生じ、車両に内装材可燃生且つ有毒ガス発生の危険がある合成樹脂剤が使用されていたことから火災が広がった。

このとき、車両はトンネル内走行中だったが、当時の運転マニュアルに「火災が発生したらすぐにその場で停車させること」とあり、運転手はその通りに北陸トンネル(全長 13.87km)の約 5.2km 地点で停車させた。その後出火車両の切り離しなどを試みるが停電により不可能となり、乗客約 760 名中死亡者 30 名、負傷者 714 名の大惨事となった。

4-2-3. 車両内火源の場合の考察

基本的に車両内での出火は、人為的な原因(放火、タバコの不始末など)と考えてよい。この場合、想定火源は構造設計における地震力のように、経験的に定められた値によることになる。表 4-1 でも示したとおり、想定火災はガソリン 4 リットルの客席への散布となり、一度発生すると大規模火災になる可能性が高い。例 1-④の場合でも推定発熱量が 665.8kW と格段に大きく、火熱の発生が車両内であるために乗客へ与える影響も大きい。

上記のような想定火災を踏まえ、防火設計としては、出火車両での乗客の避難を合理的に考えることは不可能であると考えられる。よって、確保されるべきことは、当該車両以外の乗客の避難安全であり、結果として、

- 1) 車両の燃焼量がどの程度になるかの予測
 - 2) その燃焼量での避難計画
- が必要とされる。

表 1-2 のような大規模火災の場合には、20-30MW ほどの発熱量となる。この値は表 4-2 に照らし合わせると、一般貨物車両もしくは一般可燃物積載車ほどの発熱量となり、この値はほぼ等しいと考えられる。

表 4-2 単位規模の設定

小型乗用車 1 台(1 small passenger car)	2.5MW
大型乗用車(1 large passenger car)	5MW
2~3 台の乗用車(2-3 passenger car)	8MW
バン 1 台(1 van)	15MW
バス 1 台(1 bus)	20MW
一般貨物車両もしくは一般可燃物積載車 (1 lorry with burning goods(general case))	20-30MW
油槽トラック 1 台(Larger vehicles with burning especially hazardous goods)	100-300MW

よって車両内火源の場合、防火壁には、

- 1) 隣接車両へ容易に燃焼しないこと
- 2) トンネル内停止を考慮して乗客の避難安全が確保されることが求められる。

5. まとめと今後の課題

過去の火災事例では抵抗器などの電気系統の故障によって引き起こされる火災が最も多く、続いて放火など人為的な原因の火災が多かった。

テグ地下鉄火災を踏まえて行われた火災実験では、火災対策基準に適合した A-A 基準に沿った車両を用いて想定火災となるガソリン 4 リットルの散布を火源としたが、2 分ほどでガソリンが燃え尽き座席の燃焼継続もなくなるという実験結果が出た。韓国と日本では車両の対策基準や防火設備も異なり、不燃及び難燃材料などの基準も不明である。よって、不燃及び難燃材料などの基準を明確にし、それに伴った燃焼実験が必要と考えられる。さらに、地下鉄道やトンネル内での火災発生時では燃焼形態の変化や乗客の避難行動が困難になるなど問題が増えてくる。

また、いくら火災対策基準を向上させても乗客による放火などの行為が頻繁に起こると追いきれなくなってしまうため、車両持ち込み禁止の強化なども重要だと考えられる。

よって、

- ・ 想定火源に対する防火壁の性能評価
- ・ 利用される材料の防火特性の把握
- ・ 放火等の行為への対策強化

を、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 第3回中央リニア調査有識者委員会(案):国鉄運転局保安課資料及び災害情報センター資料, 2008
- 2) 運輸安全委員会 HP:<http://www.mlit.go.jp/jtsb/index.html>
- 3) 社団法人日本損害保険協会・安全技術委員会地下空間分科会:地下空間における事故・災害事例集, 1991
- 4) Wikipedia:<http://ja.wikipedia.org/>
- 5) 日本火災報知器工業会:昭和52年度地下鉄道最適排煙方式研究報告書, 1978
- 6) 原田和典:火災のメカニズムと火災安全設計,財団法人日本建築センター, 2007
- 7) 地下鉄道の火災対策検討会:地下鉄道の火災対策検討報告書, 2004
- 8) 交通エコロジー・モビリティ財団:運輸・交通と環境 2008年版, 2008
- 9) Committee on Road Tunnels (C5) Fire and Smokes Control in Road: Permanent International Association of Road Congress, 1999
- 10) 土木関係技術基準調査研究会編 土木関係技術基準作業部会編:(別冊)地下駅等の火災対策基準・同解説(土木編), 2007

謝辞

本論文を書くにあたり、辻本 誠教授、西田先生には大変お世話になりました。

辻本先生には、丁寧な授業をしてくださったり、貴重な資料を貸して頂いたりと大変なご心配をお掛けいたしました。

西田先生には資料の探し方を教えて頂いたり、質問にも詳しい御返答を頂いたりと大変感謝しています。

先生方がいらっしゃらなかったら、卒業研究に着手することも本当にままならなかったと思います。

当初まったくの初心者だった論文の書き方・パワーポイントの使い方を、詳しく教えてくださった大学院生の皆様にも感謝しきれない次第です。

辻本研究室の方々に重ねて御礼申し上げます。

5105075

前川 結宇理

参考資料

国内車両火災事例

海外車両火災事例

鉄道事故調査報告書

- ・ 野田線列車火災事故
- ・ 山陰線出雲市駅構内列車火災事故
- ・ 土讃線阿波川口駅構内列車火災事故
- ・ 中央線列車火災事故

表 5-1. 国内車両火災事例

年月日	名称	発生場所	出火したときの燃焼物	原因等	最終的な燃焼物	負傷者・死亡者	文献
1937.12.27	鹿児島線	駅間	セルロイド管(合成樹脂)	乗客の持ち物に自身のタバコで引火			4)
1945	福知山線	駅間	揮発油	乗客の持ち物にタバコで引火	全車両焼失	65・8	1)
1946(7).4.16	近鉄生駒トンネル	トンネル内			全車両焼失	30・37	1)、3)、4)
1946	常磐線	駅間	乗客持ち物			25・0	1)
1949	近鉄山田線松坂駅	駅構内				8・28	1)
1949	名古屋鉄道線	駅間					1)
1949	京阪本線	駅間				117・0	1)
1951.4.24	京浜東北線桜木町駅	駅構内	屋根(木製)	架線がパンタグラフ(集電装置)と絡まり	一両焼失、 燐両一部 焼失	92・106	1)、4)
1951	東海道線神戸駅	駅構内	屋根上部 パンタグラフ	パンタグラフの銅線が屋根上の電線管内で地気		20・0	1)
1951	京急本線富岡駅	駅間	モーター	モーターの老朽化		70・0	1)
1951	常磐線馬橋駅	駅構内	モーターと パンタグラフ		屋根の一部を焼失	0・0	1)
1952	東武鉄道線	駅間				7・0	1)
1953	南部鉄道知覧線	駅間		車掌室付近から出火	一両焼失	1・6	1)
1956	福岡市内線	駅間		後部運転台自動車断機付近から発火		24・0	1)
1957	南海電気鉄道高野線	駅間	床下抵抗器		全車両焼失	1・42	1)、3)

1958	国鉄石北 トンネル	トンネル 内					3)
1958	函館市内 線	駅間	運転台			13・0	1)
1965	横浜市内 線	駅間	モーター			28・0	1)
1965	横浜市内 線	駅間	ヒューズ	車内でヒューズが飛 び発火			1)
1967	東急田園 都市線	駅間	モーター回 路	ブレーキ系統の緊急 点検の作業のため 停止直後モーター回 路から発火、3回爆 発		16・0	1)
1967	阪急宝塚 線十三駅	駅構内		車両下部から発火		0・0	1)
1967	東海道線 蒲郡駅	駅構内	食堂車内 石炭レンジ	調理用石炭レンジの 過熱	一両焼失、 隣両半焼 失	0・2	1)
1968.1.27	営団地下 鉄日比谷 線神谷町 駅	駅間	抵抗器上 部の樹脂 性電線管	過電流による過熱	三両焼失	11・0	1)、3)
1968	阪急京都 線			車両床下より発火		4・0	1)
1969.12.6	寝台特急 日本海北 陸トンネル	トンネル 内	電源車	最前部電源車より火 災発生			1)
1969	房総西線	駅間	気動車閉 塞器		一両焼失	0・0	1)
1969	山陽線	駅間	床下		一両焼失	0・0	1)
1970	山陽線広 島駅	駅構内		列車発火	一両焼失		1)
1970	片町線鴻 池新田駅	駅構内	モーター	モーター回路の接触 不良による過熱	枕木 12 本	11・0	1)
1971	山陽線	駅間	洗面所屑 物入れ	タバコの不始末	一両焼失、 隣2両半焼	1・4	1)

					失		
1971	阪和線	駅間		ブレーキの故障	制輪部分 焼損	0・0	1)
1972.11.6	北陸線北 陸トンネル	トンネル 内	床木材	電気暖房器配線の 接触不良による発火	一両全焼	714・30	1)、 3)、4)
1972.11.21	地下鉄日 比谷線広 尾駅	駅間	床下断流 器、高圧ツ ナギ箱				1)、3)、 4)
1972	山陽線	駅間	郵便車			0・0	1)
1972	日田彦山 線	駅間	ディーゼル カー			0・0	1)
1973	山陰線江 津駅	駅構内	タンク車爆 発	危険物輸送用 15tタ ンク車が爆発、塩酸 が噴出		18・0	1)
1973	京福電鉄 越前開発 駅	駅構内	電気回路 溶断			24・0	1)
1974.7.21	地下鉄東 西線	駅間	トンネル内 漏水誘導 用ゴム樋と 架線が接 触				3)
1974	北陸線	駅間	床下			0・0	1)
1977	小田急線	駅間	架線の火 花			15・0	1)
1977	田沢湖線	駅間	床下		一両全焼	0・0	1)
1981	東武野田 線	駅間	床付近	電気系統の故障		2・0	1)
1981	中央線	駅間	床下モータ ー				1)
1982.2.25	丸の内線 荻窪駅	駅構内					3)
1982	東海道線	駅間	カーテン	放火			1)
1983	上越新幹 線越後湯 沢駅	駅構内	抵抗器	電気ブレーキの主抵 抗器を冷やす送風機 のスイッチが接触不			1)

				良を起こし、抵抗器 が過熱			
1985.10.22	千代田線 千駄木駅	駅構内					3)
1986.9.3	半蔵門線 青山一丁 目駅	駅構内					3)
1986.10.24	京都東山 トンネル	トンネル 内	エンジン				3)
1987.9.5	東西線	トンネル 内					3)
1987.9.21	近鉄東大 阪線生駒 トンネル	トンネル 内	高圧ケーブ ル収納箇 所			49(死傷)	3)
1987.12.4	銀座線	トンネル 内	ケーブル被 覆	清掃中に漏洩電流 が流れた			3)
1988.10.13	地下鉄東 陽町駅	駅構内					3)
1988.3.30	欧風気動 車「アルカ ディア」	駅間	排気管	排気管の過熱			4)
1988.3.30	丸の内線 茗荷谷駅	トンネル 内	新聞				3)
1988	日比谷線 入れ替え 線	トンネル 内	暖房用接 触器	トラッキング現象			3)
1988	上越線	駅間	消音部			0・0	1)
1990.6.5	丸の内線 大手町駅	駅構内					3)
1990.11.11	地下鉄淡 路町駅火 災事故	駅構内					3)
1997	営団銀座 線	駅間	座席	蓄電池のスパーク			1)
1999	総武線	駅間	線路脇信 号器具箱	電源ケーブルの外側 のビニール製カバー			1)

				が電車の振動や風雨によって破損し、配線がショート			
2001.10.12	野田線	駅間	屋根、パンタグラフ				1), 2)
2001	東海道線 戸塚駅	駅構内	高圧電圧計	車両床下機器の腐食による断線により、運転台の計器に1500vの高圧電流が流れ、高圧電圧計から出火	計器及び床下高圧補助箱内部が焼損	1・0	1)
2002.5.16	山陰線出雲市駅	駅構内	屋根上のブレーキ抵抗器、車体屋根			0・0	1), 2)
2003.8.26	土讃線阿波川口駅	駅構内	床材、電気配線の被覆			0・0	1), 2)
2003.8.30	中央線	駅間	放火			0・1	1), 2)
2005.10.27	横浜市営地下鉄新横浜駅	駅構内		絶縁劣化による絶縁破壊が起こり、近くのボルトへショートが生じた。	周辺の電線被覆、絶縁等焼損	0・0	1)
2008.8.12	鈴鹿線三日市駅	駅構内	床下機器、座席焼損			0・0	1), 2)

表 5-2. 海外車両火災事例

年月日	名称	発生場所	出火したとき の燃焼物	燃焼物	負傷者・死 亡者	文献
1917.12.12	サンミッシェルドゥモ ーリエヌ		ブレーキ周り	最大荷重以上の 牽引によるブレー キ制御の喪失		
1920.10	ロンドン					
1964.3	ニューヨーク	駅構内			3・0	
1969.5	ペンセントラル鉄道	トンネル内			9(死傷)	
1975.7.2	ボストン地下鉄	駅間				
1979.1.17	サンフランシスコ	トンネル内		電気のショート		
1979.9.6	ペンシルベニア	トンネル内			148・0	3)
1982.8.11	ウッドグリーン駅	トンネル内			760・0	3)
1985.10.27	メキシコシティ	トンネル内	タイヤの過熱			3)
1988.7.25	アチリアーノトンネ ル(イタリア)	トンネル内		電気のショート	20・1	3)
1988.9.2	サバベルトンネル	トンネル内			50・0	3)
1990.12.28	ニューヨーク	トンネル内	電力線		100・2	3)
1995.10.28	アゼルバイジャン・ バクー					
1996.11.18	ユーロトンネル	トンネル内	冷凍トラック			
2000.11.11	ケーブルカー(オー ストリア)		電気ファンヒ ーター			
2003.2.18	テグ市(韓国)	地下駅構 内	放火		148・192	
2008.9.11	ユーロトンネル2					