

鉄道車両火災を対象とする安全対策に関する研究

辻本研究室

4109634 前川結宇理

1. はじめに

1.1. 研究の背景と目的

1872 (明治5) 年に新橋—横浜間の鉄道が開業されてから約 140 年が経過した。その間、1 兆人を超える人数を鉄道輸送してきた。

輸送する際の燃料は石炭に始まり、軽油・重油そして電気へと変遷するが、大量にエネルギーを使用するため、それに伴う火災発生も少なくない。

国内においては、表 1 のように死者火災が発生している。国外においても 2003 年に韓国・大邱 (テグ) 市において死者 192 名を出す地下鉄火災が発生した。これを受け、日本でも鉄道車両の性能基準が改正されるなど、大きな波紋を呼んだ。鉄道は不特定多数の人が利用する交通機関であり、都心部の通勤ラッシュ時にもなると車両 1 両に 100 人超が乗り込んでいるのが現状である。混雑した百貨店よりも密度が高いため、一度火災が発生すると危険性も高いと考えられる。

本研究では、国内の鉄道車両火災の現況を把握し、過去の重大火災から現在の火災対策の在り方を考察することを目的とする。

1.2. 研究方法

総務省消防庁や国土交通省が持つ公開データを用いて、過去に起きた国内の火災事故を抽出する。また、重大事故においては諸報告書を用いて、火災発生原因や対策方法などの詳細を把握する。また、そこで得た知識から安全規程との比較を行った。

1.3. 国内における火災の発生実態

1.3.1. 全体

日本国内において、火災は消防白書¹⁾によると、年間 60,000 件前後発生している。そのうち 60% は建物火災が占め、続いてその他の火災、車両火災、林野火災と続く (図 1)。

建物火災は減少傾向にあり、近年では、30,000 件を切っている。同様に車両火災も 2000 年頃をピークに減少している。

消防白書において車両火災は、自動車火災・鉄道車両火災の分類がないため、現状が見えない。そのため、表 2 に記した他の統計資料を用いて分析を行う。本研究において『鉄道車両火災』とは、鉄道車両 (固定軌道上を走行する機関車、客車、貨物車等) が原因として燃えた火災、または外因 (放火、衝突等) により結果として車両に飛び火し、車両が影響を受けた火災と定義する。表 2 より得られた火災件数 (新聞記事は 2000 年以降のみ抜粋) を表 3 に記す。

表 1. 戦後の鉄道車両での死者火災一覧

年	名称	原因等	負傷者	死亡者
1945	福知山線	たばこ	65	8
1947	近鉄	過熱	64	28
1949	名古屋鉄道線	たばこ	—	55
1949	近鉄山田線	—	—	9
1951	京浜東北線	地絡	92	106
1953	知覧線	車掌室	1	6
1956	南海高野線	過熱	42	1
1971	山陽線	たばこ	1	4
1972	北陸線	接触不良	714	30
1987	近鉄東大阪線	—	56	1
2003	中央線	放火(自殺)	0	1

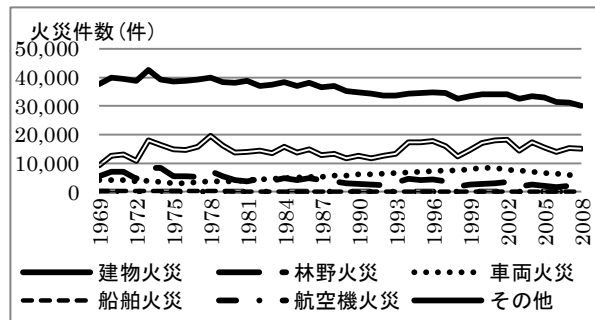


図 1. 火災件数(1969-2008)

表 2. 統計データ採取対象期間

統計データ	対象期間
火災報告	2004/1/1—2008/12/31
運転事故等整理表	2002/1/1—2009/12/31
運輸安全委員会	2000/1/1—2009/12/31
新聞記事 ²⁾	1945/1/1—2009/12/31

表 3. 2000 年以降の鉄道車両火災件数

年	火災報告	交通事故等整理表	運輸安全委員会	新聞記事	火災総数
2000	—	—	5	3	5
2001	—	—	3	7	7
2002	—	3	1	9	11
2003	—	5	2	5	8
2004	7	6	0	4	14
2005	10	3	0	9	17
2006	6	1	2	6	11
2007	6	4	0	8	11
2008	8	2	2	7	13
2009	—	5	—	10	13
合計	37	29	15	63	110

この中で、4つの資料全てのデータがある2004—2008年の5年間のデータを用い、考察を行う。また、表3の火災総数は火災発生日・場所から判断し重複したものを排除している。

1.3.2. 原因別

火災原因の分類を表4に記す。これに従い、表3の火災事例を分類したものが図2である。2004年—2008年の鉄道車両火災66件の内、最も多い原因は電気関係による出火(25.8%)である。その次に多いエンジン駆動関係及び電気・燃料関係と合わせると42件・63.6%となり、道路車両との衝突による出火や失火・放火を含むその他の発火源よりも、車両内部が要因となる出火が2倍と、鉄道車両では内包的要因から出火が多い。

また、不明と分別されたものはいずれも新聞記事であり、これは事故原因よりも遅延や死傷者の有無の情報を伝達するためのものであるからと考えられる。

1.3.3. 発生場所別

2004—2008年の5年間ではいずれも重大災害となる可能性の高いトンネル内での出火はなく、死亡者も発生していない。

2. 鉄道車両の歴史

創業当時、日本国内には鉄道車両製造の知識がなく海外からの輸入に頼っていた。その後、日本国内での製造で、建築の木工技師が製造に加わった。そのため、車両の名称には建築の名称が多くみられ、構造的にも建築名称がそのまま代用されて現在に至ると考えられる(図3、表5)。

その後、鉄道車両が鋼製化やシェル構造化したのが名称は現在も引き継がれている。

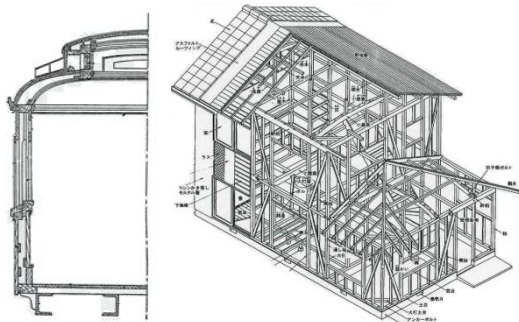


図3. 鉄道車両及び木造建築軸組比較

3. 火災対策

鉄道事業者の取り組んでいる火災対策として、以下の3点は鉄道に関する技術基準³⁾に規定されていたが、韓国大邱地下鉄火災で煙制御が加わった。

- (1)出火防止(車両の不燃化)
- (2)感知・通報
- (3)消火

3.1 出火防止(車両の不燃化)

1872(明治5)年の創業当時、鉄道車両は骨組み以外木製であった。これにより、一度着火すると被害が拡大するケースが非常に多かった。特に1951(昭和26)年の桜木町駅事故^{註1)}で106名もの死者が確認された。それ以降車体の鋼製化が進み、

表4. 火災原因分類

名称	詳細
電気関係	バッテリー、電球、抵抗器等
電気+燃料関係	モーター、発電機等
エンジン駆動関係	エンジン、ブレーキ、車輪等
排気管関係	排気管、触媒等
その他の発火源	放火・失火、衝突による出火等

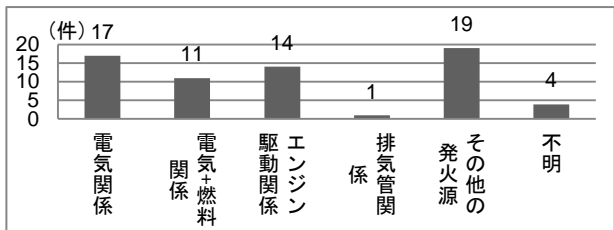


図2. 鉄道車両火災(2004-2008)原因別

表5. 鉄道車両・建築物の名称比較

	鉄道車両	建築	概要
屋根構 (小屋組)	屋根板	野地板	屋根に張った板。
	垂木	垂木	けた間をつなぎ、屋根を構成する部材
	けた	軒けた	垂木間をつなぐ部材
側・妻構 (軸組)	(長・妻)土台	—	最下部を通り、柱を支える部材
	間柱	間柱	窓と窓の間に設けた柱
	(側・妻)けた	軒けた	垂木間をつなぐ部材
	(側・妻)柱	柱	隅柱を除いた側(妻)を構成する柱
台枠 (床組)	中ばり	—	中心となる大きなはり
	床受けばり	根太	床上の荷重を土台に伝える部材

表6. 車両不燃化の規制

年	法制度	概要
1956	電車の火災事故対策について(鉄運39号)	車両の部位別に使用可能材料の防火性能の通達
1957	電車の火災事故に関する処理方の一部改正について(鉄運136号)	A-A様式
1969	電車の火災事故対策について(鉄運81号)	A-A基準
1974	地下鉄道の火災対策の基準について	山岳トンネルを運転する車両に対する基準
	地下鉄道の火災対策の基準の取り扱いについて	地下駅及びトンネルの火災対策の検討。建造物の不燃化、防火管理室・二方向避難路等
1982	地下鉄道の火災対策の基準の取り扱いの改正について	排煙設備の設計方法等
1987	普通鉄道構造規則	—
2004	鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準	各省令を一本化し、性能規定化

1969(昭和 44)年には地下鉄を走行する車両に対しA-A 基準という不燃化構造が規定された。その後も幾度も改訂が加えられ、鉄道車両の不燃化が徹底された(表6)。加えて、「車両間の貫通扉の設置」等も規定された。

3.2. 感知・通報

鉄道車両自体には火災感知器の義務化はされていない。例外として、寝台車のみ設置義務がされており、これは乗客が睡眠中により火災感知に時間を要すると判断されたからである。駅構内においては、可燃物があり火災発生を感知しやすい場所である売店や機械室等に設置が義務付けられている。

また、トンネル内においては列車の移動による気流により火災感知の有効性が低いという理由により設置不要とされている。さらに乗客のいるプラットフォームや改札等ロビーに設置義務がされていないのは、日々生じるパンタグラフのショートを生じた火災として感知する恐れがあることが考えられる。

通報装置としては、運転室に「車内放送装置」、「停車場または運転指令所と送信および受信が出来る設備」を設置し、駅にも構内の主要な箇所と相互連絡の可能な通信設備や放送設備、トンネル内にも 250m 毎に運転指令所へ通信できる設備を設置することとなっている。

3.3. 消火

車内の目立つところに消火器を設置することとし、駅構内には「消火器」「屋内消火栓設備」「連結散水設備(もしくは送水口を附置したスプリンクラー設備)」「連結送水管」を設置し、トンネル内にも 500m ごとに「連結送水管」を設ける事としている。

3.4. 煙制御

韓国大邱地下鉄火災の「大火源火災(ガソリン 4 リットルによる放火)」を想定し、駅及び駅間には、旅客が安全に避難できるよう必要に応じて排煙を有効に行える設備を設ける事としている。

4. 煙制御の詳細分析

前項の煙制御については、国内での災害事例が少なく、性能規定を考慮して海外の事例を用いて検討を行う。

4.1. 事故事例

4.1.1. BART (サンフランシスコ高速鉄道)

1979年1月17日、オークランドとサンフランシスコを結ぶ海底トンネル(全長 5.7km)内で、脱線防止用のバーの取り付け不良により、火災が発生した。その時の火災はすぐに収まったが、脱落の衝撃の影響が残り、次に来た列車で接触シューアセンブリがショートし、火災に発展した。内装材に燃えやすいポリウレタンフォームが使用されていたために有害な煙が大量に発生した。

BART 内には、40m³/s ほどの排気ファン(2機)、高圧ダンパー(300m おき)が備え付けられていたが、通報の遅れや火災位置の把握、排煙装置の作動ミス等が引き金となりトンネル内に大量の煙が広がった。

4.1.2. 英仏海峡トンネル

1996年11月18日、フランスのカレーとイギリスのフォークストンを結ぶ海底トンネル(約 50km)内で、貨物トラックを積んだシャトルからその積荷であるトラックの電氣的故障により火災が発生した。火災検知の遅延・換気設備の誤作動により被害が拡大したと考えられる。英仏海峡トンネル内には図4のような2種類の換気システムが存在する。

この二つの換気システムは、目的・仕様が表7のように異なり、状況に応じて中央指令室が操作している。

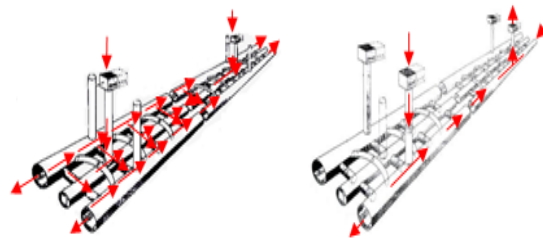


図4. 英仏海峡トンネル換気システム配置図

(左が NVS、右が SVS)

表7. 英仏海峡トンネル換気システム概要

Name	NVS(Normal Ventilation System)	SVS(Supplementary Ventilation System)
名称	通常時換気システム	補足換気システム
使用	通常時+非常時	非常時のみ
ファンの個数	2	4
設置場所	シェイクスピア崖(イギリス)及びサンガット(フランス)	
目的	サービストンネルに煙が入らないよう(避難所と同様の空気質)にする	車両走行トンネル内の空気の流れを変え、乗客・乗務員がいるほうへ煙が行かないようにする
特徴	ピッチ可変ファン	方向・ピッチ可変ファン

4.2. NFPA130 による煙制御方法

NFPA130とは、「Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems」であり、全米防火協会(National Fire Protection Association)が策定・管理を行っている軌道鉄道の防火上の安全に関する基準である。そこでは、表8のように規程されている。

ここでは、縦流換気方式を用いることによって下流に熱気流と煙を押し流し、上流側に避難環境を確保することを目指している。その際、火勢を煽らないために下流側では出来る限り成層状態を保つことが望ましいと考えられる。それにより熱気流が逆流しない範囲で低い縦流風速にするために、式(1)のように熱気流の遡上阻止風速 V_c を求める。

$$V_c = \left(\frac{gHQ}{C_p \rho A T_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{---(1)}$$

A: トンネル断面積(m²) Cp: 定圧比熱(J/kg・K)

g:重力加速度(m/s²) H: トンネル高さ(m)
 T₀:入口付近の温度(K) V_c: 遡上阻止風速(m/s)
 Q:発熱速度(kW) ρ: 密度(kg/m³)

ここで、英仏海峡トンネル内での遡上阻止風速を求めると、図5に記す通りとなる。

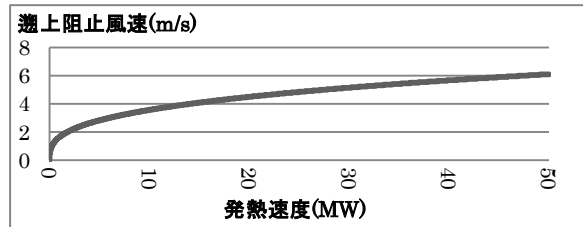


図5. 遡上阻止風速

20MW ほどの発熱量では、遡上阻止風速は 4.5m/s になる。NFPA130 では気流速度は 0.75m/s ~ 11.0m/s に保つ事が推奨されており、最大限界の 11.0m/s の場合でも Q=292MW となる。この値は最大発熱量として達する事はあるが、平均発熱量となることはほぼないと過去の事例から判断される。

4.3. トンネル内での圧力損失

トンネル内で換気を行う際、トンネル自体がパイプ代わりとなって、圧力損失が起こる。その圧力損失を式(2)を用いて求める。

$$p_r = \lambda \frac{l}{d} \frac{\gamma}{2g} v^2 \quad \text{---(2)}$$

d:トンネルの径(m) l:トンネル長さ(m)

g:重力加速度(m/s²) γ:密度(kg/m³)

v:平均流速(m/s)

英仏海峡トンネル(トンネル径7.6m)内において、火災時の給気量は260~300m³/s であり、上記の式を用いると、図6のようにトンネル1m あたりの圧力損失が0.0011~0.0015kg/m²になる。図4で示した換気塔2つは約37km 離れており、この間の圧力損失は40.7~55.5kg/m²となる。このように高压大流量のファンを30キロ以上離れた地点での火災に合わせ、適切に制御することは、圧力変動の伝達(音速)にも100秒かかることを考えると容易でない。

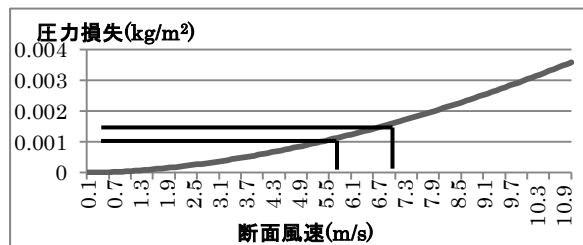


図6. 1m 進入毎の圧力損失(d=7.6の場合)

5. まとめと課題

鉄道車両火災の中でも特に課題とされるトンネル内での鉄道車両火災に対し、現在に至るまで車両構造体の不燃化を中心に整備を行ってきた。それに伴い、車両故障等が原因となる通常火災による大きな被害になることは減少したといえる。しかし今後、放火による大火源火災が発生しないとは言い難い。

そのため、トンネル内の火災対策として煙制御の性能規定化が必要である。

また、トンネル内で火災発生場所の特定が遅れると、排煙設備の作動や乗客の避難、消火活動にも遅れが生じてしまうため、いかに早く火災発生を検知し、正確に運転指令室へ連絡を行うかが今後の改善点としてあげられる。

表8. NFPA130 の規定

換気方式	縦流換気方式
騒音レベル	火災発生から最初の数秒間は 115dB、残りの避難中は 92dB。
気流速度	駅内・路線内—0.75m/s 以上 緊急避難や緊急隊員が使用する駅内・路線内—11.0m/s 以下
煙による可視性レベル	80lx で照らされた標識が 30m 離れた位置でも確認でき、扉や壁は 10m 離れた位置にあっても確認出来なければならない。
排煙	天井の高さが 3m 以上の避難経路において高さ 2m 以内の煙は除去するべきである。 予測手法の精度は 25% 以内であり、高さ 2.5m 以内の煙を除去する必要がある。
一酸化炭素濃度	最初の数秒間—最大 200ppm 以下 6 分間平均—1150ppm 以下 15 分間平均—450 ppm 以下 30 分間平均—225 ppm 以下 総時間の平均 —50 ppm 以下
放射熱流による影響	放射熱流による体表面耐久時間 Ta は、放射熱流 q が 2.5kW/m ² 以下であった場合、30 分以上の間耐えることができ、放射熱流 q がそれ以上であった場合 $Ta = 4q^{-1.35}$ (Ta=時間(min) q=放射熱流(kW/m ²)) の式によって求めることができる。
気温による限界避難時間	気温 t による避難時間 Tb, Tc の限界値は、次の式を用いて求めることができる。 *十分な着衣量を満たしている場合 $Tb = (4.1 \times 108) \times t^{-3.61}$ *十分な着衣量を満たしていない場合 $Tc = (5.0 \times 107) \times t^{-3.4}$

脚注 1)垂れ下がったパンタグラフに列車が進行しショートして出火した。戦時設計による防護の弱い列車であったため被害が拡大した。

参考文献

- 1)総務省消防庁, 火災報告, 総務省消防庁, 2004年-2008年
- 2)朝日新聞データベース・開蔵 DNA for Libraries, <http://database.asahi.com/library/>
- 3)国土交通省鉄道局, 地下駅等の火災対策基準・同解説(土木編), 日本鉄道施設協会, 2007
- 4)王ら, トンネル火災時の熱気流の遡上を阻止する臨界縦流風速, 日本機械学会論文集(B編)p53-60, 2001
- 5)石原 正雄, 建築換気設計, 朝倉書店, 1969年