駅構内に設置される大型売店の火災性状

FIRE BEHAVIOR OF A LARGE-SIZED KIOSK IN RAILWAY STATIONS

武居 泰 —*1 山田聖治 —*2
上川大輔 —*3 長谷見雄二 —*4

Yasushi TAKEI —*1 Seiji YAMADA —*2
Daisuke KAMIKAWA —*3 Yuji HASEMI —*4

キーワード：
線路上空利用建築物, 駅, 耐火設計, 大型売店, 燃焼実験, 火災性状

Keywords:
Over-track building, Station, Fire resistance design, Kiosk, Fire test, Fire behavior

We developed a fire resistance design for over-track buildings 12 years ago in case a small-size kiosk burns on the platform. In recent year, however, large-size kiosks are being built on platforms to improve the convenience of passengers, which are different from the conventional small-size ones in the floor area, window shapes and other dimensions. We investigated the weight of combustible materials in a large kiosk, performed a full-scale fire test thereof, modeled the behaviors of fire, and made it possible to estimate the temperature of steel members in buildings.

1. はじめに

駅ビルなどの線路上空を利用した建築物（線路上空利用建築物）は、施工性の面からほとんどが鉄骨造となるため、火災時の耐火安全性に配慮する必要がある。しかし、一般建築物のように鉄骨に耐火被覆を施すと、列車振動により剥落する恐れがあるほか、柱の断面形状が大きくなり狭隘な箇所では旅客の流動を阻害する場合がある。一方、列車が走行する階（線路階）は一般建築物に対し、①可燃物量が売店や車両などに限定され、不特定の多量な可燃物が持ち込まれる可能性は少ない、②列車断面に合わせて階高がほぼ決まっている、③一般的に外壁が少ない開放的な空間となる、等の特徴を有する。

このような特徴を有する線路上空利用建築物の合理的な耐火設計法を検討するため、筆者らは駅構内の可燃物量調査や実大燃焼実験等から、プラットホーム上のキオスク等店舗（以下、小型売店）が線路階の主要火源となることを把握し、線路階に対する耐火設計法を提案した¹⁾。この耐火設計法に基づき線路階を無耐火被覆構造とした場合の耐火安全性が検証され、今までに十数の線路上空利用建築物の設計に適用されてきた。

しかし、近年、駅の利便性向上のため、プラットホーム上にコンビニエンスストア形式の売店（以下、大型売店）が設置されるようになってきた。大型売店は従来の対面販売式の小型売店とは異なり、利用者が店内に自由に出入りできる店舗形式を取る。また、小型売店より床面積が大きいほか開口形状も異なる。そこで、大型売店の可燃物量を調査し、その結果から実大燃焼実験を実施し火災性

状を把握した。さらに、実験結果から火災モデルを作成し、火災時に生ずる鉄骨部材の温度上昇を試算した。

2. 売店類の可燃物量調査

駅構内の売店類を対象として、可燃物量調査を実施した。

2.1 調査概要

2.1.1 調査対象売店

調査対象とした売店類の概要を表1、平面図を図1に示す。対象売店類は、都心部の駅のプラットホーム上に独立して設置されている一般的な大型売店とし、参考として小型売店（形状が異なる2売店）および駅構内のコンコース階（2階）に設置されているコンビニエンスストア（以下、コンビニ店舗）についても併せて調査し

表1 調査対象売店・店舗の概要

調査対象	設置年	床面積 (m ²)	構造、仕上材
小型売店 A	H.9	12.0 (6.8)	軽量鉄骨造, 床:塩ビシート 外壁:ケイカル板, 屋根:不燃ハニカム板
小型売店 B	H.12	16.5 (10.8)	軽量鉄骨造, 床:Pタイル 外壁:石膏ボード, 屋根:ケイカル板
大型売店	H.9	36.0 (30.0)	軽量鉄骨造, 床:塩ビシート 外壁:ケイカル板, 屋根:不燃ハニカム板
コンビニ店舗	H.7	97.1 (76.4)	(鉄骨造2階建の屋内店舗) 床:Pタイル, 内壁・天井:石膏ボード

*床面積の()内は売場(カウンターを含む)面積を示す。

*1 鉄道総合技術研究所 主任研究員・工修
(〒185-8540 国分寺市光町2-8-38)

*2 鉄道総合技術研究所 研究員・博士(工学)

*3 早稲田大学理工学部建築学科 助手・博士(工学)

*4 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

*1 Senior Researcher, Railway Technical Research Institute, M. Eng.

*2 Researcher, Railway Technical Research Institute, Dr. Eng.

*3 Research Assoc., Waseda University, Dr. Eng.

*4 Prof., Doctor of Engineering, Waseda University, Dr. Eng.

た。各売店類は、売場のほか倉庫等に使用するバックヤード部分が併設されている。

2.1.2 調査方法

積載可燃物（商品、什器等）は、配置・種類・数量について目視、写真・ビデオ映像により調査した。コンビニ店舗については、商品等の重量についても小型秤を用いて計量した。小型売店および大型売店については、一部の商品の重量を計量し、計量しなかった商品については、コンビニ店舗の計量結果等から推定した。固定可燃物（造り付けの棚、仕上材等）については、寸法を計測し材質を目視により調査した。現地で計測不可能な一部の固定可燃物については、図面から推定した。なお、コンビニ店舗の事務室については調査対象外とした。

調査時間は、小型売店および大型売店は営業中の平日午後とし、コンビニ店舗については営業終了後の深夜とした。

2.2 調査結果

2.2.1 データ整理方法

可燃物の種類により単位発熱量が異なるため、可燃物量は等価可燃物量（木材換算重量）に変換した。なお、商品の中には、含水率が大きいと思われる食品類（弁当等）もあったが、ここでは含水率を考慮せず、調査した重量をそのまま用いて可燃物量を算出した。収納形態による補正も行っていない。

2.2.2 可燃物量

等価可燃物量を表2、火災荷重（単位面積当たりの木材換算重量）を表3に示す。積載・固定可燃物毎にバックヤードと売場（カウンター部分も含む）に分けて示した。大型売店のバックヤードの積載可燃物量については、詳細調査ができなかったため、現場の状況から判断し売場と同じ火災荷重であると仮定して算出した。なお、表2中の（ ）内には木材換算する前の重量を併記し、木材換算時に用いた可燃物種類毎の単位発熱量を欄外に示す。

大型売店、コンビニ店舗では、床面積が大きい総可燃物量は小型売店より多いが、火災荷重はコンビニ店舗、大型売店、小型売店の順に大きくなる。コンビニ店舗売場の積載火災荷重は、既往の

表2 等価可燃物量 (kg) [() 内は木材換算前の重量]

調査対象	積載			固定			積載+固定		
	バックヤード*	売場	計	バックヤード*	売場	計	バックヤード*	売場	計
小型売店A	322 (340)	318 (338)	641 (677)	79 (79)	135 (126)	214 (205)	401 (418)	453 (464)	854 (882)
小型売店B	132 (132)	508 (542)	640 (674)	30 (29)	110 (101)	140 (131)	162 (161)	618 (644)	780 (805)
大型売店	201 (211)	1003 (1055)	1203 (1267)	30 (30)	196 (174)	226 (204)	231 (241)	1199 (1230)	1430 (1471)
コンビニ店舗	1269 (943)	1465 (1406)	2733 (2349)	53 (53)	343 (312)	397 (365)	1322 (997)	1808 (1718)	3130 (2714)

*: 概算値
[単位発熱量 (MJ/kg) ... 木材:18、紙類:17、合成高分子系:30、食品類:15]

表3 火災荷重 (kg/m²)

調査対象	積載			固定			積載+固定		
	バックヤード*	売場	計	バックヤード*	売場	計	バックヤード*	売場	計
小型売店A	62.0	46.8	53.4	15.1	19.9	17.8	77.1	66.7	71.2
小型売店B	23.2	47.0	38.8	5.2	10.2	8.5	28.4	57.3	47.3
大型売店	33.4	33.4	33.4	5.1	6.5	6.3	38.5	40.0	39.7
コンビニ店舗	61.3	19.2	28.1	2.6	4.5	4.1	63.9	23.7	32.2

*: 概算値 (売場に等しいと仮定)

図1 調査対象売店・店舗平面図 (寸法単位: mm)

図2 積載等価可燃物の種類別重量比

図3 小型売店の火災荷重比較

調査²⁾によるデパート売場の平均値と同程度の 19.2 kg/m^2 となるが、その他の売場ではそれを大きく上回り、狭い場所に可燃物が集積していることが伺える。小型売店A、Bを比較すると、積載可燃物量は両者ともほぼ等しいが固定可燃物量はBのほうが少なく、さらにBは床面積が大きいこともあり、火災荷重はBのほうが小さい。

各売店等の積載等価可燃物量を種類毎の重量比で示したものを図2に示す。小型売店や大型売店では新聞・雑誌等が多いため紙類の比率が大きい。コンビニ店舗では雑貨類が多いため合成高分子系可燃物の割合が大きい。

2.2.3 前回調査結果との比較

小型売店の火災荷重について、1990年に実施した調査³⁾と比較した結果を図3に示す。前回調査対象売店(6店)の床面積は、6~ 8m^2 であり今回調査した売店より小さいが、これはバックヤード部分のない売店が多かったためである。火災荷重(積載+固定)は今回の調査結果のほうが前回より小さくなったが、これは主として固定可燃物量が売店の不燃化により大幅に減少したためである。但し、今回調査した売店は床面積が大きくなっているため、売店内の総可燃物量は同程度となる。

3. 大型売店の燃焼実験

大型売店の火災性状を把握するため実大燃焼実験を実施し、実験結果を火災モデルにより検証した。

3.1 実験概要

3.1.1 試験体

試験体の床形状は $5 \times 2\text{m}$ の長方形、高さは 2.6m 、天井高は 2.3m とした(図4)。実際の売店形状は短辺方向に対称であると仮定し、試験体背面を耐火壁とした。構造は実態に合わせて壁式軽量鉄骨造とし、表4に各部位の仕様を示す。開口部は窓・ドア部を想定した前面の3箇所とし、ガラスは火災時に脱落あるいは破損することが予想されるため、初めから無い状態とした。試験体は燃焼実験棟内($17.5 \times 35\text{m}$ 、高さ 12m)のほぼ中央に設置した鋼板架台上に設置した。

3.1.2 可燃物

積載・固定可燃物量は、調査結果に基づき設定したが、調査誤差やばらつきを考慮して、約2割増しの 50kg/m^2 とした。可燃物量一覧を表5に示す。積載可燃物は実際に売店で販売されている商品の類似品を什器類に陳列し、各可燃物の比率も調査結果にほぼ合わせた。

3.1.3 実験方法

燃焼重量は架台下に設置したロードセル(3台)で測定した。雰囲気温度は、試験体内部(4点)、試験体近傍空間(50点)について、熱電対により測定した(図5)。放射熱量は、熱流計(3台)を試験体前面からの距離2、4、6m、試験体床面からの高さ2mの位置に設置して測定した。計測時間間隔は2秒とした。火災形状については正面、背面および側面(左右)からビデオ撮影した。

初期火源としてN-ペタン2リットル($500\text{ミリリットル} \times 4$ 箇所)を試験体床面に置き、点火玉で同時に着火した。自然風の影響を排除するため実験棟はほぼ閉鎖状態としたが、排煙機始動後は圧力の過度の低下を防ぐために実験棟のシャッターを一部開放した。

図4 試験体形状 (寸法単位: mm)

表4 試験体の仕様

部位	仕様
床	軽量鉄骨架台+鉄板 (t3.2) +塩ビタイル貼 (難燃)
内壁	LGS100 (@300) +石膏ボード 12.5mm +クロス貼 (不燃)
外壁	石膏ボード 12.5mm +ケイカル板 6mm
天井	軽鉄下地+石膏ボード 9.5mm
屋根	折板 0.8mm
耐火壁 (背面)	石膏ボード 15mm 2枚両面 (1時間耐火仕様)

表5 試験体の積載・固定可燃物量

種別	等価可燃物量(kg)
紙類(新聞・雑誌)	249
木材	25
含水食品類(弁当)	23
乾燥食品類(菓子)	69
合成高分子系(雑貨)	44
什器類	53
仕上材	33
合計	496 (49.6)

() 内は火災荷重(kg/m^2)を示す。

図5 熱電対設置位置 (図中○印位置)

3.2 実験結果と火災モデルによる検証

3.2.1 燃焼状況

着火後、約 140 秒に火炎が開口部全体から噴出しフラッシュオーバー状態となった(図 6)。180 秒後に実験棟の排煙機(500m³/分)を始動させたが、その後も煙層が降下し続け実験継続が困難となったため、465 秒後に消火を開始し実験を終了した。実験終了まで試験体は崩壊せず、開口部以外からの火炎の噴出も見られなかった。排煙の影響による火炎の乱れ等は生じなかった。

3.2.2 燃焼重量

燃焼重量と時間の関係を図 7 に示す。燃焼重量はフラッシュオーバー以降単調に増加し、着火後約 200 秒から消火するまでの平均重量燃焼速度は 44.6kg/min となった。可燃物の多くが紙類や木材等であることから可燃物の単位発熱量を 18MJ/kg と仮定すると、発熱速度は 13.4MW となる。換気支配型火災を想定し、関根・Thomas の式^{4) 5)}の係数を 5.5 とした(1)式から重量燃焼速度を推定すると 49.8kg/min となり、実験結果にほぼ一致する。

$$R = 5.5A\sqrt{H} \quad \cdots (1)$$

R : 重量燃焼速度(kg/min)

A : 開口面積(m²)

H : 開口高さ(m)

3.2.3 噴出火炎温度

試験体前面から 0.5m 離れた位置の温度の時間変化を図 8 に示す。各測点ともフラッシュオーバーとなる 200 秒付近から急激に温度が上昇し、その後は概ね定常状態となった。実験中の最高温度について X2 断面のコンターを図 9 に示すが、試験体前面から約 0.5m 離れた位置が火炎軸になっていることがわかる。試験体内部の温度は最高で約 950℃、火盛り期の平均で約 800℃であった。

火炎の中心軸に近い試験体前面から 0.5m 離れた噴出火炎温度分布を図 10 に示す。図中には(2)式による線熱源を仮定した火炎軸上温度の計算値⁶⁾を示すが、実測値(最高温度)と計算値は概ね一致する。

$$\theta_z - \theta_o = 0.663 \cdot \sqrt[3]{(\theta_o + 273)Q_o^2 / Cp^2 \rho^2 g \cdot C^{-4/9} \cdot Z^{-1}} \quad \cdots (2)$$

θ_z : 火炎軸上温度(℃)

θ_o : 常温=13(℃)

Q_o : 単位長さ当たりの発生熱量=14900/4.2=3550(kW/m)

$Cp^2 \rho^2 g=14.51$

C : 混合距離と熱源からの高さの比=0.047

Z : 火炎軸始端からの鉛直距離(m)

但し、 $\theta_z \leq 1000^\circ\text{C}$ と仮定。

3.2.4 火炎形状

ビデオ映像から火炎輪郭画像を読みとり、1秒間隔で1分間の画像(60画面)を重ね書きした結果を図 11 に示す。間欠火炎高さは、試験体床面から 5m 程度に達したが、連続火炎高さは約 3m であった。開口部の下方 1/3 の高さから 45 度方向に立ち上がり、前項で求めた火炎軸上温度が 700℃となる位置を火炎上端とし、火炎幅を平均開口高さの 2/3 とする火炎モデルを設定すると、試験体床面から火炎上端までの高さは 3.8m となり、火盛り期における連続火炎域にはほぼ対応する。

一般的な線路階ではプラットホーム床面から梁下端までの高さが

図 6 フラッシュオーバー後の燃焼状況

図 7 燃焼重量-時間関係

図 8 開口外部温度-時間関係 (X2Y3 軸上)

図 9 開口外部温度(最高温度)の分布 (X2 断面)

4m 以上あるため、梁が連続火災域に入る可能性は少ない。

3.2.5 放射熱量

放射熱量の時間変化を図 12 に示す。放射熱量はフラッシュオーバー後に急激に上昇し、250 秒以降は概ね定常状態となった。放射熱量（最大値）を表 6 に示す。前項に示した火災モデルから放射熱計測位置における噴出火炎および火災室（開口部下方 1/3 の範囲）の形態係数を求め、平均火災温度を 879℃、火災室温度を 1000℃と仮定して火源全体の見かけの放射率を(3)式から逆算すると 0.4～0.44 となり、小型売店の火盛り期と同様の値⁷⁾となる。

$$\varepsilon = \frac{Q}{\phi_z \sigma T_z^4 + \phi_f \sigma T_f^4} \quad \dots (3)$$

ε : 火炎放射率

Q : 放射熱量(kW/m²)

ϕ_z : 噴出火炎の形態係数

ϕ_f : 火災室の形態係数

$$T_z: \text{平均火災温度} = \sqrt[4]{\frac{1273^4 + 973^4}{2}} = 1152(\text{K})$$

$$T_f: \text{火災室温度} = 1273(\text{K})$$

$$\sigma: \text{ステファン・ボルツマン定数}(= 5.675 \times 10^{-11} \text{ kJ/m}^2 \text{ sec K}^4)$$

4. 鋼材部材温度の予測

以上の実験結果および火災モデルに基づき線路階に設置された大型売店火災を想定し、売店近傍の無耐火被覆鉄骨部材の温度を試算した一例を以下に示す。

なお、本予測の前提条件として、売店本体の構造や外皮は火災終了まで保持される防火性能を有する場合を想定している。

4.1 設定条件

火源となる売店形状は、長さ 7m、幅 4m、高さ 2.6m とし、0.5m の腰壁上に高さ 1.5m の開口が長辺方向の両側に 5m 連続していると仮定した。温度予測対象部材は、耐火被覆の無い角形鋼管の柱と H 形鋼の梁とし、柱側面と売店開口面との距離は 1.0m、梁下端と売店床面との距離は 4.0m とした。火災荷重は 50 kg/m² とした。

4.2 予測方法

線路階空間の領域区分と熱平衡方程式の構成は、小型売店火災時の部材温度予測方法⁷⁾に準拠して設定した。線路階空間を図 13 に示すように「火炎領域」「天井近傍領域」「その他領域」の三つの領域に区分し、対流熱伝達と輻射熱伝達を考慮して領域ごとに部材との熱収支を計算し、熱平衡方程式を作成した。火炎領域の範囲は 3.2.4 項に示す方法で設定し、部材位置からの火炎領域の形態係数を計算し、火炎の放射率を 0.45 と仮定して放射熱量を求めた。部材近傍の雰囲気温度は、柱については「その他領域」となるため常温とし、梁については「天井近傍領域」となるため火災中心軸からの距離減衰を考慮して設定した。熱平衡方程式をルンゲクッタ法により非定常解析し、部材温度—時間関係を求めた。火災継続時間は、フラッシュオーバー以降、全可燃物が同じ速度で燃焼すると仮定して算定した。

4.3 鉄骨部材温度

部材温度—時間関係を図 14 に示す。全可燃物量と燃焼速度から決定される火災継続時間は本試算例では約 800 秒となり、図中の●印が各部材の火災時における最高温度となる。部材断面が小さいと

図 10 噴出火炎温度の実測値と計算値の比較

図 11 火炎形状モデルと実測結果の比較

図 12 放射熱量—時間関係

表 6 放射熱量と放射率

試験体前面からの距離(m)	最大放射熱量 実測値(kW/m ²)	形態係数 計算値	放射率 計算値
2	33.0	0.757	0.42
4	13.9	0.331	0.40
6	7.5	0.163	0.44

図 13 線路階空間の領域区分

部材が有する熱容量も小さく、温度上昇が急になり最高温度が高くなる。最高温度は売店形状、部材断面形状および売店と部材との位置関係により大きく変動するため、設計条件に合わせて予測をする必要がある。なお、一般的な大型売店の場合、既往の小型売店に対し火災領域の形態係数が大きくなるため、単位時間当たりの部材の温度上昇は大きく、また、部材が高温となる範囲も広くなる傾向がある。

5. まとめ

駅構内に設置される売店類の可燃物量調査および大型売店を模擬した実大燃焼実験から得られた結果を以下に示す。

- 1) 大型売店は小型売店と比較して床面積が大きいいため、総可燃物量は多いが、火災荷重は小型売店より小さく、約 40kg/m^2 である。
- 2) 大型売店の重量燃焼速度は、換気支配型火災を想定した計算値とよい対応を示す。
- 3) 噴出火災の温度は、線熱源を仮定した火災軸上温度の計算値と概ね一致する。
- 4) 間欠火災高さは床面から 5m 程度に達したが、連続火災高さは約 3m である。
- 5) 3) で計算した火災軸上温度が 700°C となる位置を火災上端とし、火災幅を開口高さの $2/3$ とする火災モデルを設定すると、連続火災域にほぼ対応する。
- 6) 放射熱量の実測値と火災モデルの形態係数から逆算した火災の見かけの放射率は、火災面を 879°C の均一な温度と仮定すると $0.4 \sim 0.44$ となり、小型売店と同様の値となる。

実大燃焼実験結果に基づき火災モデルを提案し、線路階に対する耐火設計時の局所火災の火源として、既往の小型売店の他に近年設置されるようになった大型売店も対応可能とした。

図 14 大型売店火災時の鉄骨部材温度—時間関係

参考文献

- 1) 石橋輝樹ほか4名：線路上空利用建築物の耐火設計法の開発、鉄道総研報告、第6巻、第9号、pp.43～51、1992
- 2) (財)国土開発技術研究センター：建築物の総合防火設計法、第4巻 耐火設計法、(財)日本建築センター、1989
- 3) 石橋輝樹ほか2名：キオスクを火源とする模擬線路階の火災実験、日本建築学会構造系論文集、第470号、pp.143～150、1995
- 4) Takasi SEKINE: Room Temperature in Fire of a Fire-Resistive Room、建築研究報告、No.29、1959
- 5) Thomas, P.H.: Research on Fire Using Models, Institute of Fire Engineers, Quarterly, 1961
- 6) 横井鎮男：無限長線熱源からの上昇気流、日本火災学会論文報告集、Vo.10、No.1、pp.16～20、1961
- 7) 石橋輝樹、武居泰：線路階火災における部材温度の簡易予測法、日本建築学会構造系論文集、第487号、pp.161～158、1996

[2005年4月20日原稿受理 2005年7月22日採用決定]