

# 竪穴区画の煙流動等に関する調査研究

(都営芝浦第二アパート実大火災実験)

森尻 宏\*, 高井啓安\*, 根本昌平\*, 森 充弘\*\*, 富田 功\*

## 概要

平成13年9月1日深夜、新宿区歌舞伎町で発生した火災は、地下2階、地上5階建て、延べ面積516㎡という小規模な建物からの出火でありながら、44名もの尊い命を失う大惨事となった。

東京消防庁ではこのような悲劇が二度と繰り返されることのないよう、火災発生後、階段廊下クリーンキャンペーン、緊急査察等、さまざまな業務を実施した。消防科学研究所では火災実験を実施することで、小規模耐火建築物の持つ潜在的危険性、人為的危険性を具体的に明らかにすべく、火災発生から2ヶ月後には独立行政法人消防研究所の協力を得て、小規模の実験用建物を使用して火災実験を実施した。これらの結果を基に研究計画を練り、庁内における検討会、学識経験者の専門的意見を参考に実験計画を作成し、取り壊し予定の都営住宅を改造して実大規模の火災実験を実施した。ここではその実験結果について報告する。

## 1 はじめに

死者44名が発生したこの火災では、階段が一箇所しかなく、消防用設備の基準も比較的ゆるやかな小規模耐火建築物において、本来避難路となるはずの階段に物が置かれていたこと、防火戸が閉鎖しなかったこと、自動火災報知設備が機能しなかったこと等、維持管理上の問題とともに、バルコニーの必要性など建物構造、防火管理体制等、小規模雑居ビルの持つ様々な問題点が指摘された。

本来燃えるはずのない場所で、かつ煙の流入が防火戸である程度抑えられるはずの安全側となるべき区画内で火災が発生した場合、具体的にどのような危険性が生じるのか、煙はどの程度の速さで拡散するのか、また、ビールケースや不燃ごみが1個程度ならば踊り場に置いて支障ないのではないかなど、火災が発生した場合への疑問はつきない。

建築物に対する火災実験は過去、さまざまな形で実施されてきた。しかしながらいずれの実験も、火災の基礎的性状を把握することや、消防用設備の効果を把握すること、あるいは火災の再現等を目的としたものが多く、建築設計上の避難施設や、消防用設備が機能しないことを前提とした小規模耐火建築物を想定した実験はほとんど行われてこなかった。

ここでは、建物の安全設計上想定されていない、小規模耐火建築物の竪穴区画が燃焼することの危険性と

防災設備等が作動しない等の事案が発生してしまった場合、どのような火災性状を示すのか、また、開口部を開閉することが、どのような影響を与えるのかなど、様々な火災性状を明らかにするとともに、これらの結果を今後の火災予防対策、消防活動対策、映像化による都民指導へ活用することを目的として実施した。

## 2 実験方法

### (1) 実験施設

実験施設は、東京都港区港南四丁目の都営住宅で、建物は昭和38年に建築された耐火4階建ての、屋外階段タイプの共同住宅である。この建物を、小規模耐火建築物火災実験の施設として利用するため、屋外開放型の階段をALC板(軽量気泡コンクリート板)で覆い屋内階段とし、各階に観測用の耐熱性ガラス窓を取り付けた。階段室の最上部にはペントハウスのドアを想定した90cm×120cmの開閉窓を設置した(写真1, 2)。



写真1 ペントハウス閉鎖状態

写真2 ペントハウス開放状態

\*第一研究室 \*\*第三研究室

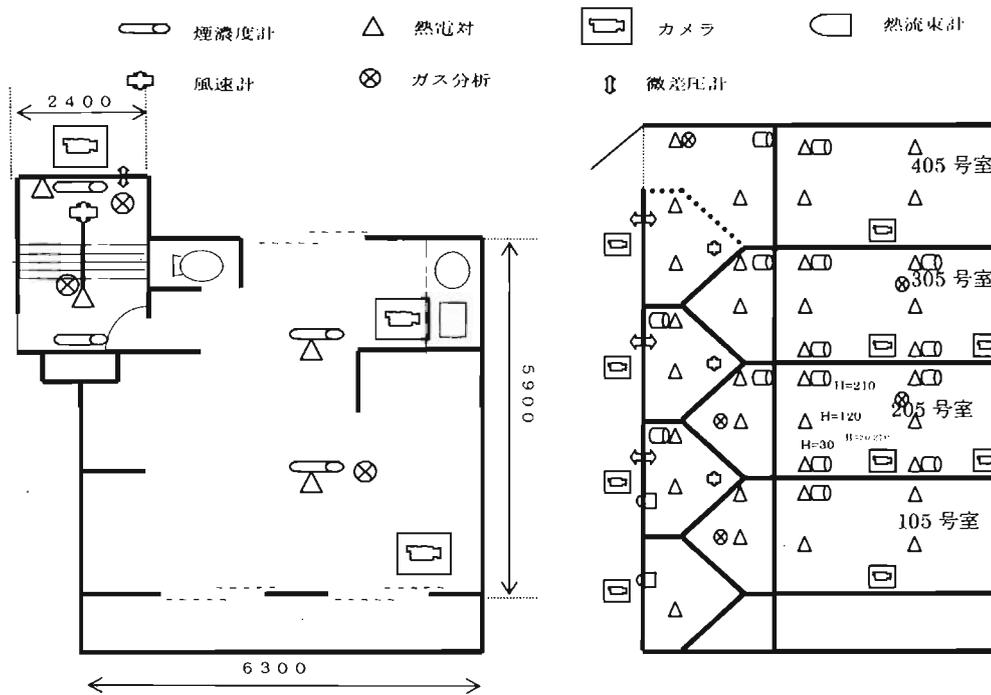
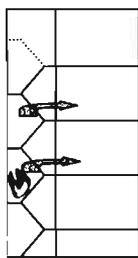
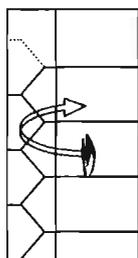
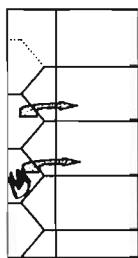


図1 実験施設及び測定機器設置状況

表1 個別実験内容

実験	燃焼物	目的	開口部の設定
①	ビールケース 1個 (写真2-3)	①防火戸の効果	①階段室のドアは全て閉鎖
②	発泡スチロールトレイ入りポリ袋 (写真2-3-2)	②少量の可燃物が燃えた場合の危険性	②階段室に煙が充満した後、3階居室入り口の防火戸を開放
③	ビールケース タカ20枚入りポリ袋	③可燃物の種類と量による燃焼性差	③一定時間後、3階居室の窓を開放
④	ビールケース 2個	④可燃物の組み合わせによる燃焼性差の変化	
⑤	ビールケース2個、発泡スチロール (600g)、ダンボール (6枚、1.95g)		
⑥	0.5単位 クリブ	①可燃物の量が与える性状に関するデータ収集	①階段室のドアは3階居室入り口のみの開放
⑦	1単位クリブ (写真2-3-3)	②開口部を開ける順番についてのデータ収集	②3階居室の窓を開放
⑧	2単位クリブ		③ベントハウスの窓を開放
⑨	2単位クリブ		④階段室1階入り口を閉鎖 *実験9は②と③の順番を変えて実施する

表2 総合実験内容

		総合実験 1	総合実験 2	総合実験 3
着火場所		1.5 階階段室	2 階居室入り口	1.5 階階段室
積載火 災荷重	居室	クリブ 18kg/m <sup>2</sup> 相当	クリブ 18kg/m <sup>2</sup> 相当	家具 木材換算 18kg/m <sup>2</sup> 相当
	階段	雑居ビームタイプ 13kg/m <sup>2</sup> 相当	雑居ビームタイプ 13kg/m <sup>2</sup> 相当	雑居ビームタイプ 13kg/m <sup>2</sup> 相当
実験設定		①3F 窓開放 ②2F 窓開放 ③PH開放 	①PH開放 ②3F 窓開放 ③PH閉鎖 ④2F 窓開放 ⑤PH開放 	①2F 窓開放 ②3F 窓開放 ③PH開放 ④PH閉鎖 

居室は、畳、襖、木製の間仕切り壁を取り除き、ワンルームタイプの区画となるよう改造し、測定機器を図1のように設置した。

(2) 実験種別

実験は、階段室1階部分で各種可燃物の燃焼実験を行うことにより、可燃物の種類、量、開口部の開閉状況が及ぼす影響について、熱量、ガス濃度、煙の拡散状況、温度、映像等から明らかにすることを目的とした個別実験(表1, 写真3, 4)と、階段室又は居室入り口を出火箇所とし、階段室、居室にそれぞれ可燃物を置き、居室入り口の防火戸が空いた状態で上階へ延焼する状況を測定する総合実験(表2, 写真5, 6)とに分けて実施した。

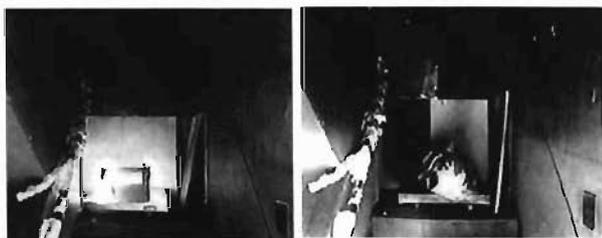


写真3 ビールケースの燃焼 写真4 発泡スチロール入りポリ袋

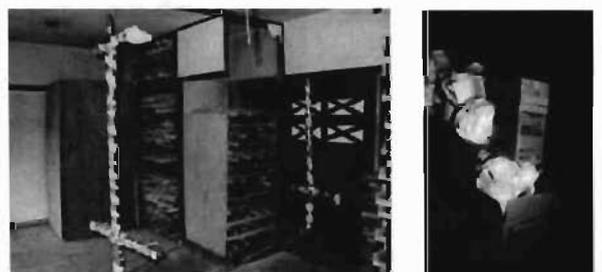


写真5 居室内の可燃物設置状況 写真6 階段室の可燃物設置例

総合実験における居室内の可燃物量は、 $18\text{ kg/m}^2$ とした。これは平成13年上半年に実際に共同住宅から出火した火災82件について調査した結果(\*1)(以下「実態調査」という)から、出火室内の家具類について次式により積載火災荷重を算出し、木材換算量とした数値を用いた。

$$\text{積載火災荷重} = k [\sum (Ti \times Gi)] / (W \times S)$$

k: 実態調査による家具の平均個数で5.37

Ti: 実態調査による家具の種類別合計数

Gi: 家具の種類別かさ比重

W: 実態調査から得た居室内家具の合計体積(平均値)で $2.14\text{ m}^3$

S: 出火室の平均床面積で $10.8\text{ m}^2$

なお、Giの値については、文献値を参考とした(\*2, \*3)。居室内の可燃物は原則としてクリブを用い(\*4)、クリブは居室壁面沿いに設置した。

階段室については、小規模雑居ビルを実際に調査した結果から、積載火災荷重を木材換算量で $13\text{ kg/m}^2$ となるよう統一した。

3 実験結果と考察

(1) 防火戸の効果

ア 遮煙効果

個別実験1から5の燃焼実験では、それぞれ2、3階の防火戸は閉鎖したままとし、はじめに階段室に煙を充満させる実験を行った。

居室入り口天井付近高さ $210\text{ cm}$ の煙濃度計の値から、階段室に煙が充満すると、防火戸の隙間から居室内部に煙が漏洩することが測定されたが、高さ $120\text{ cm}$ の位置ではほとんど感知されず、居室中央部の煙濃度計からも煙は感知されなかった。このことから、今回用いた防火戸は煙を完全には遮断できないものの、煙の進入をある程度遅延させる効果があること、階段部分が煙で充満するような状況下でも居室に多量の煙が侵入しなかったことが、煙濃度計及び映像記録から確認された(表3)。

また、防火戸を開放することにより、煙は急速に居室へと侵入し、防火戸開放後、数分以内に居室に黒煙が充満することが確認された。

表3 防火戸の開閉による煙の開閉状況の差

		居室防火戸 の開閉状況	階段室4階 天井煙感知	居室での煙検知状況
個別 実験1	2階	閉鎖	6分	煙濃度計は感知しない
	3階	17分後開放	6分	16分で隙間から黒煙侵入
個別 実験2	2階	閉鎖	1分30秒	煙濃度計は感知しない
	3階	6分後開放	2分30秒	3分30秒で隙間から黒煙侵入
個別 実験3	2階	閉鎖	1分	煙濃度計は感知しない
	3階	13分後開放	2分10秒	10分で隙間から黒煙侵入
個別 実験5	2階	閉鎖	40秒	煙濃度計は感知しない
	3階	10分後開放	1分10秒	2分40秒で隙間から黒煙侵入

(個別実験4は燃焼拡大が遅く、想定実験内に比較可能なデータが得られなかった。)

イ ガスの遮断

クリブの燃焼実験では、3階居室の防火戸を開放、2階の防火戸は閉鎖しておき、クリブが燃焼した場合の居室のガス濃度をそれぞれ計測した。

防火戸が開放してある3階居室のガス濃度は個別実験6では生命に影響を与える程度の濃度となり、個別実験7, 8, 9では致死量を超える濃度に達した。

一方、2階居室でのガス濃度は、一酸化炭素が個別実験8において、頭痛を感じるといわれる程度まで上昇したが、二酸化炭素、酸素濃度については身体に影響を与えるような数値は得られなかった(表4)。

なお、ここでは一酸化炭素の致死量を $5000\text{ ppm}$ とした(\*5)。

表4 居室内のガス濃度

	2階居室（防火戸閉）			3階居室（防火戸開）		
	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
個別実験6	21.1%	無感	0.099%	16.9%	0.44%	3.7%
個別実験7	20.9%	0.014%	0.110%	13.8%	1.7%	6.0%
個別実験8	21.1%	0.075%	0.141%	10.0%	2.3%	8.0%
個別実験9	21.2%	0.002%	0.112%	13.4%	2.2%	6.0%

防火戸の遮煙効果、ガスの遮断効果の実験結果から、階段室が燃烧している場合、防火戸の開閉の差が生命に重大な影響を与えることが確認された。

## (2) 燃烧性状

### ア 可燃物の種類の比較

ビールケースを燃烧させると、初めは若干の白煙を伴いながら燃烧するとともに、熔融液化する。次に、熔融物が多量の黒煙を生じながら燃烧するという、二段階の燃烧形態をとり、後段の燃烧では比較的長時間、多量の黒煙を生じることが確認された。

ビールケース1個を燃烧させた場合の階段燃烧場所の温度は195℃に達していることから、階段側からの避難は困難である。

一般に、不燃ごみとして取り扱われる代表例として、発泡スチロール600gの入ったポリ袋を燃烧させた。この燃烧速度は極めて速く、着火から3分後には4階に煙が到達し、4分後には視界は1m以下となった。計測によると、総発熱量がビールケースの約二分の一の量しかなかったということを加味すると、ビールケースでは煙が4階に達したのが約7分後であったことと比べ、煙の拡散は著しく速い。

ビールケース、発泡スチロールの複合可燃物の燃烧実験では、急激な燃烧とともに多量の黒煙が発生し、階段室燃烧場所は6分後に260℃まで上昇した。燃烧による発熱量を体積で比較すると、発泡スチロールは木材やポリプロピレンに比べて密度が小さく、体積を基準に比較する場合、燃烧速度や発煙量は高いものの、燃烧の持続性や、長時間にわたって煙を出すという面での危険性は低くなる。一方、ポリプロピレンのビールケースは材質としての密度は高く、単一状態では初期の燃烧速度が遅く発煙量も小さいものの、燃烧が長時間継続することから、その危険性が高まる。これらが組み合わさることで、煙をより速く、継続的に多量に拡散する効果を生じてしまう場合があることが確認された。

階段室内の各階踊り場の天井から10cmの位置に設置した煙濃度計が煙を感知した時間を各階の煙到達時間として、煙の上昇速度を比べた結果を図2にまとめた。

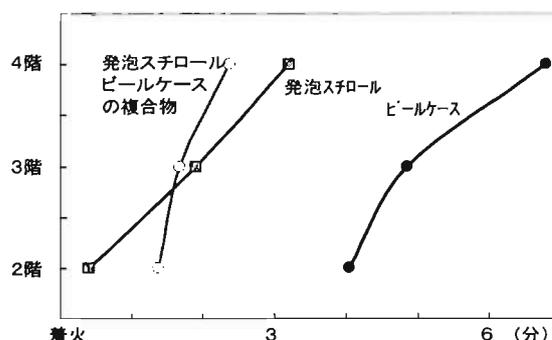


図2 煙の到達時間

### イ 可燃物の量

ビールケースの量についての燃烧比較では、ビールケース2個を2段に重ねて燃烧実験を行った結果、上段のビールケースが燃烧するまでに予想以上に時間がかかり、想定実験時間の範囲内では顕著な差を確認することはできなかった。可燃物が倍になることが、単純に、発煙量が倍になることや煙の上昇速度が倍になるということにつながることが認識される結果となった。

木材クリブの燃烧比較実験では、助燃剤が燃烧している間に、煙が3階まで到達してしまうため、映像や、煙濃度計の値からは、到達時間とクリブの量との間に規則的な関係を観ることはできなかった。しかし、燃烧が定常状態となった、3分から5分の間における階段室内の圧力差を観ると、クリブの量が多いほど、上階での内圧が上昇しており、燃烧量が高まるにつれ、圧力勾配が大きくなることが確認された。このことから、可燃物の量が多いほど、煙を上階まで上昇させる力が高まることが確認された。

表5 クリブの量と階段室内の圧力差 (pa)

クリブの量	1.5階	2.5階	3.5階
0.5単位	8.23	17.46	21.27
1単位	9.21	22.80	27.66
2単位	11.03	25.24	29.61

### ウ 階段室火災の燃烧性状

階段室が燃烧し、防火戸が機能しない場合、燃烧は階段室を通じて上階へと延焼する。総合実験1において、3階居室のガス濃度は階段室から上階居室へ延焼が拡大した17分から20分にかけて、一酸化炭素濃度が0.1%から3.0%へと急激に増加し、致死量に達することが確認された(図3)。

この実験では15分に3階窓を開放、20分に2階窓を開放、30分にペントハウスを開放、35分にペントハウスを閉鎖した。開口部の変化により燃烧性状がそれぞれ変化することが確認された。

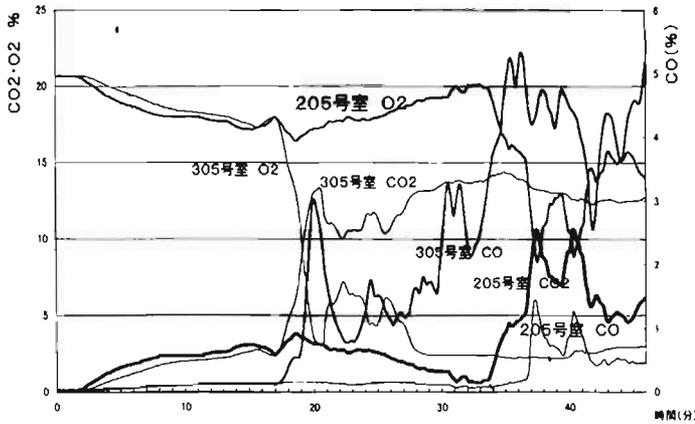


図3 総合実験1の居室ガス濃度の変化

エ 開口部の変化による影響

(7) 上方開口部の開放による影響

2単位クリブの燃焼実験では点火5分後に3階居室の窓を、7分後にペントハウスをそれぞれ開放し、逆の順序で開口部を開放した場合と比較した。

それぞれ、点火5分後に上部を開放すると、階段室内に上昇気流が発生し、酸素欠乏状態が解消され、階段部での燃焼は激しくなり、温度が上昇することが確認された。このとき、ペントハウスを先に開放すると、階段室の温度は急激に上昇するが、居室の温度上昇は、窓を先に開けた場合に比べ、緩慢であった(図4)。

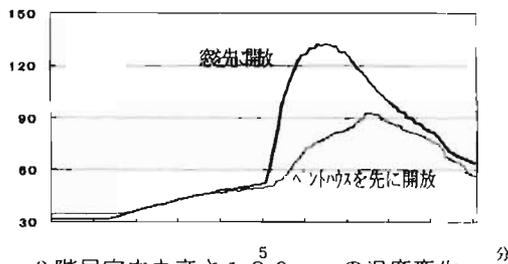


図4 3階居室中央高さ120cmの温度変化

同様の結果が総合実験でも得られた。階段室が燃焼しているときにペントハウスを開放した場合、居室窓が閉鎖されていると、燃焼は縦穴区画を通じる上昇気流に支配され、火炎は階段室を駆け上がるが、居室内に急激な温度変化は観られず、居室への急激な延焼拡大は認められなかった(図5)。

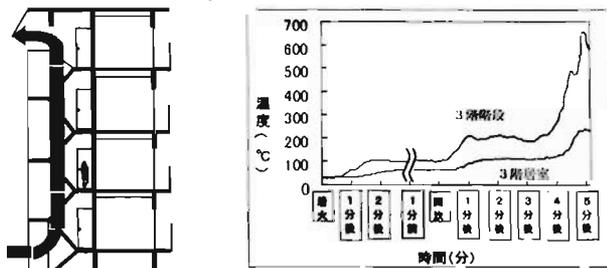


図5 ペントハウス開放時の温度変化と気流の状況

耐火建物の活動基準においては、早期にペントハウスを開放することが重要とされている。一般的には居室の燃焼を想定しているこの戦術が、居室の防火戸が開いており、階段室が燃焼している場合においても、有効であることが実証された形となった。

(イ) 下階開口部の開放による影響

防火戸が閉鎖されていない場合、下階の窓を開放することにより、気流の大きな変化が生じる可能性が考えられる。

総合実験1において、3階居室の入り口付近が燃焼し始めた段階で、下階の窓を開放すると(ペントハウスは閉鎖しており、3階の窓は開放)、下階の窓を開けたことにより、階段室から3階居室へ、一気に燃焼が拡大し、室内温度は急激に上昇した(図5)。

このことから、下階の窓を安易に開放することの危険性が確認された。

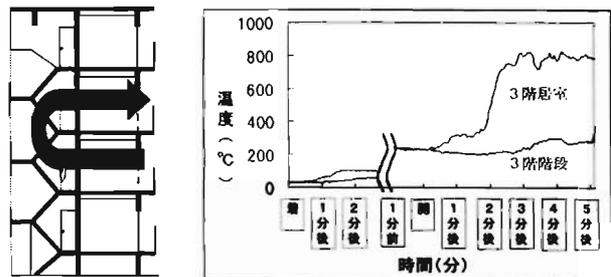


図5 下階窓、開放時の温度変化と気流の状況

(ウ) 開口部の開閉による中性帯の状況

開口部の開閉により、中性帯がどのように変化するかを観るため、階段室の各踊り場部分に微差圧計を設置し、建物内と外気との差圧を計測した。

1単位クリブを燃焼させた場合の各階における微差圧計の計測結果を図6に示した。この図から明らかなように、点火後5分における窓の開放、7分におけるペントハウスの開放、9分における階段室1階部分の入り口閉鎖がそれぞれ中性帯を上昇させる効果があることが確認された。ただし、1階入り口の閉鎖は酸素濃度の低下や、一酸化炭素濃度の上昇などを伴うため、必ずしも安全側の行為とはならない。

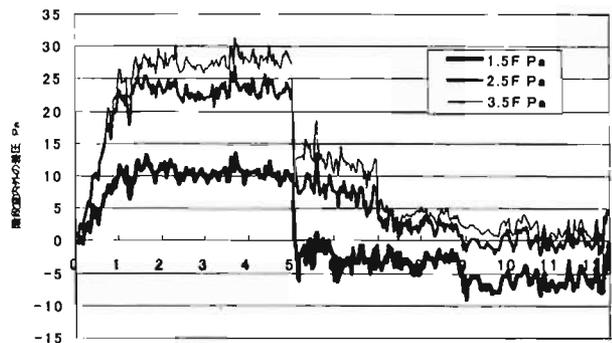


図6 階段室内の圧力変動

#### オ 消火の影響

放水により燃焼性状は変化する。ペントハウスが閉鎖されている場合、階段側からの放水は堅穴区画内の内圧を上昇させ、開口部に向けての気流を発生させる。放水（フォグガン使用）により、直接水の影響を受けた階段2階の温度は下がるが、1階層上の階段室内では、空気の流入により、燃焼が激しくなり、温度は上昇した。

(図7)

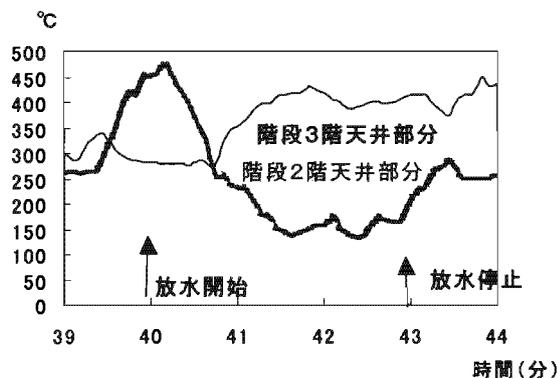


図7 放水による建物内部の温度変化

これらから、小規模建築物で放水する場合は、建物内に区画ができていない場合を考慮し、階層を超えた熱影響にまで十分留意する必要があることが確認された。

#### 4 まとめ

今回の実験結果から、以下のような結論が得られた。

- ・小規模耐火建築物火災において、防火戸が機能することは極めて重要である。
- ・階段室で可燃物が燃焼すると、ビールケース1個、発泡スチロールの入ったゴミ袋1個でも、煙が建物内に充満し、階段室からの避難は困難になる。
- ・階段室内において、1単位程度のクリブ又は、木材換算量で1㎡あたり13キログラム程度の可燃物が燃焼すると、上階居室のガス濃度は致死量に至る。
- ・階段室火災において、防火戸が有効に機能しない場合、開口部の開放は、窓よりもペントハウスを優先するほうが居室に与える影響が少ない。
- ・防火戸が機能していない場合、消火による影響は階層を超えて燃焼性状に変化を与える可能性がある。

#### 5 おわりに

小規模耐火建築物で、屋内階段が一箇所しかない建物の階段室が火災となった場合、階段室内でビールケースや不燃ごみが1個燃えただけでも階段側からの避難が難しくなることや、防火戸が機能しないことがきわめて危険であること等が確認された。

これらの結果から、建物を使用する上で、適正な維持管理を行うことの必要性が実証された。

また、消防活動を行う場合、早期に煙を排出すること

が重要となるが、階段室火災においても、ペントハウスを開放することの有効性が今回の実験から確認された。

地上から、ペントハウス等の開口部を容易に開放するような手段があれば、消火活動にとって煙を制御するための有効な手段を得ることとなるであろう。

#### 参考文献

- \* 1 森尻宏, 飯田明彦, 富田功: 標準的な居室内の火災性状に関する研究, 消防科学研究所報, 39, P1-7 (2002)
- \* 2 川越邦雄他: 単一家具の室内燃焼実験, 災害の研究 (1979)
- \* 3 関沢愛, 安部京子他: 住宅における木質系可燃物の配置に関する研究その1, その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, P183-186 (1998)
- \* 4 消火器の技術上の規格を定める省令 (昭和39年9月自治省令第27号)
- \* 5 火災燃焼生成物毒性調査研究委員会編: 火災燃焼生成物の毒性, pp. 38 新日本法規 (1987)
- \*\* 火災便覧第3版 日本火災学界編
- \*\* 火と煙と有毒ガス (財) 東京連合防火協会、東京法令出版

# RESEARCH ON CHARACTERISTICS OF SMALL-SCALE MIXED OCCUPANCY BUILDING FIRES

Hiroshi MORIJIRI\*, Hiroyasu TAKAI\*, Syouhei NEMOTO\*,

Mituhiko MORI\*\*, Isao TOMITA\*

## Abstract

Late in the night on September 1, 2001, there was a fire in Kabuki-cho, Shinjuku. Though the fire was in a small building - two stories underground, five stories aboveground, a total floor space of 516 m<sup>2</sup> - it resulted in the tragic loss of 44 lives.

In order to avoid a recurrence of such a tragedy, the Tokyo Fire Department made various efforts to improve fire safety, including carrying out the "clean for Firesafety" campaign and performing emergency inspections. Two months after the fire, the Fire Science Laboratories, with help from the National Research Institute of Fire and Disaster, carried out fire experiments on a small-scale fire simulation building in order to research the latent and man-made dangers posed by small fire-resistant buildings. Based on the results of these experiments, advice from an internal investigative commission and experts in the field, an experimental plan for a fire simulation was drawn up, and a metropolitan government-owned apartment building scheduled for demolition was remodeled for the purpose. The results of the experiment are given herein.

---

\*First Laboratory    \*\*Third Laboratory