

小区画室の火災性状

— 実大火災実験 —

Study of the Flashover in a Small Compartment

真 下 薫 雄*
 武 田 松 男**
 大神田 郁 夫**

概 要

取り壊し予定の消防学校学生寮の一室を使用して、実大規模の火災実験を実施し、開口部が1カ所で区画防火性の高い小区画内におけるフラッシュオーバーの発生状況を把握した。その結果、フラッシュオーバー発生前には、室内の天井や壁体が800°Cを越え、激しく燃焼していても係わらず、濃煙のため火災の確認ができない程であり、また、火災室内は床付近でも雰囲気温度が150~200°Cに達する等、既に、室内にすることが困難な状況となっていることがわかった。

A flashover could cause many victims and is a common concern among fire fighters.

Fire tests were made in a small compartment with an opening to study the outbreak of a flashover. Circumstances just before a flashover were found as follows.

1. Though the fire burned vigorously and the surface temperature of the ceiling and the wall exceeded 800°C, the flame was veiled by the thick smoke.
2. The atmospheric temperature of the compartment was from 150°C through 200°C at the floor level.

1. は し が き

フラッシュオーバー等の危険な火災事象から消防隊員の安全を守るために現在まで6畳間の約3分の1の模型を使用し、これらの事象の発生及び発生の可能性を予測するための研究を行ってきた。その結果から、フラッシュオーバー発生の前兆として煙の色の変化、開口部から噴出する煙の温度からある程度その発生時期を予測できることが分かっている。

今回、取り壊し予定の消防学校学生寮の一室を使用して、小区画内の実大火災実験を実施し、上記事項の確認と模型実験との関係を考察した。

2. 目 的

開口部が1カ所の区画防火性の高い小区画内におけるフラッシュオーバーの発生状況を把握する。

3. 実施日及び場所

平成4年5月11日
 渋谷区西原3-2-52
 東京消防庁消防学校第2校舎

4. 実験室概要

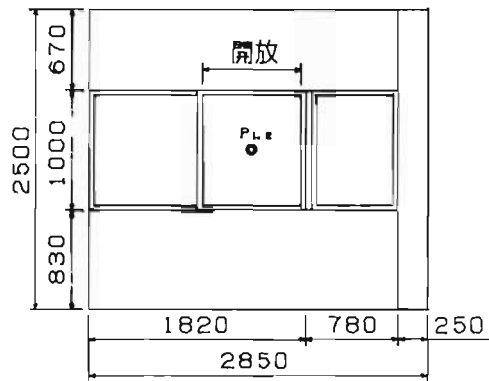
実験棟は、地上5階、地下1階の耐火構造の寮で、実験は、1階の寮室を使って実施した。

火災実験に使用した部屋は、図1に示す形状・寸法（間口2.85m×奥行き4.85m×天井高2.5m、床面積13.82㎡）で、隣室との界壁及び廊下側界壁はコンクリートブロックにモルタル塗り、外壁は、鉄筋コンクリートにモルタル塗りとなっている。

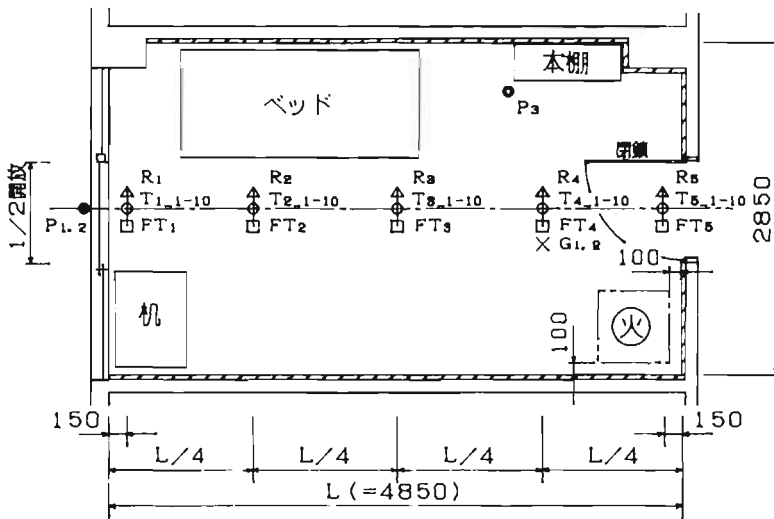
開口は、廊下側に入口扉（幅81cm×高さ200cm）、外壁に引き違い窓（幅180cm×高さ100cm）・はめ殺し窓（幅78cm×高さ100cm）（いずれも窓下端の床面からの高さ約80cm）が設けられている。

内装として、天井は、全面に厚さ5.5mmの普通合板を既存の天井面に直に張り、壁面（窓のある壁を除く）は、厚さ2cm×幅5cmの木枠を縦91cm、

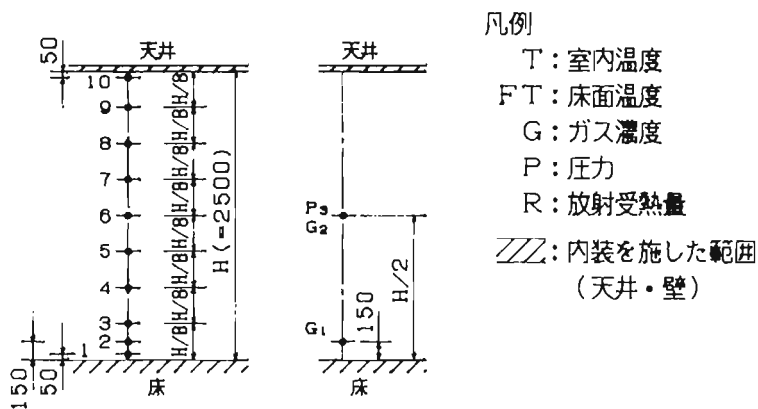
*防災部防災課 **第一研究室



立面図 (室内側から見た)



平面図



熱電対取り付け位置 圧力・ガス濃度測定位置

図1 収容可燃物配置、開閉条件および測定位置図

表1 測定項目および方法

測定項目	測定方法	測定点数	測定範囲
室内温度	熱電対 (K線、線径 0.65mm)	50点	
床面温度	熱電対シート状 (K線、厚さ 0.125mm)	5点	
ガス濃度	ガス分析計 (光明理化 MDU-9000) O ₂ : ガルバニ電池式 CO、CO ₂ : 非分散型赤外線式	2点	O ₂ : 0~25% CO、CO ₂ : 0~40%
放射受熱量	放射エネルギー検出素子 (ニッコーム LP-31B)	5点	最大入力 2 W/cm ²

横60cm間隔に取り付け、その上に厚さ9mmの普通合板を張った。床面は、既存のPタイルをそのまま使用した。

なお、入口扉は、フラッシュドアであったため、他室への延焼防止のために、廊下に面する側に厚さ12mmの珪酸カルシウム板を張り、燃え抜けを防いだ。

5. 実験条件

(1) 可燃物量

収容可燃物としてベッド、本棚、机各1個を図1に示す位置に配置した。

(2) 開口条件

火災室の外部に面した開口部 (引き違い窓) を1/2 (約85cm) 開放した。

(3) 点火源及び点火方法

点火源は、図1に示す位置に杉材 (20×20×600mm) を12本つつ井桁状に5段積み (計60本) にしたものを設置し、最下段の隙間にメタノール500ccを含浸させたインシュレーションボード (厚さ10mm×幅15mm×長さ600mm、11本) を挿入し、これに点火した。

6. 測定項目及び測定方法

測定項目及び測定方法を表1に、各測定位置を図1に示した。

温度・放射受熱量は、共に直接データ集録機 (YHP3497A) で、5秒間隔で読みとりパソコン (YHP332CMA) で記録・処理した。

ガス濃度は、火災室から燃焼ガスをポンプで連続して吸引し、ガス分析計に導き分析値を同じくデータ集録機で5秒間隔で読みとりパソコンで記

録・処理した。

7. 結果

(1) 気象

天気 晴れ

気温 20.4°C 湿度 27%

風位風速 東の風 2.5~3 m

(2) 観察記録

目視・VTRによる観察結果を表2に示した。

表2 測定項目および方法

経過時間	観測内容
3分15秒	・火源周囲の側壁に着火し始める。
4分15秒	・天井に着火し始める。直後から煙の発生量が急激に増加する。
4分40秒	・煙で窓から火炎の確認ができなくなる。
5分30秒	・開口部左側のはめごろし窓のガラスにひび割れが生じる。
5分53秒 ~6分3秒	・開口部から一時的に火炎が噴出する。
6分30秒 ~40秒	・はめごろし窓のガラスの一部が小片となって落下する。
8分0秒	・開口部から火炎が噴出、以後連続した火炎の噴出となる。
8分40秒	・開口部右側の引き違い窓のガラスの上半分が落下する。
8分50秒	・引き違い窓のガラスの下半分が落下する。
8分52秒	・放出開始。
8分55秒	・はめごろし窓のガラスが全面落下する。

火災室内の火炎は、煙が充満した後、濃煙のため火炎噴出の時まで全く確認できなかった。

なお、窓ガラスは、大部分が連続的な火炎の噴出（8分）後まで落下せずに残っており、本実験においては、窓ガラスの落下はフラッシュオーバーの発生にほとんど影響しなかったと考えられる。

(3) 温度

火災室内中央及び開口部上端付近の温度変化を図2に示した。

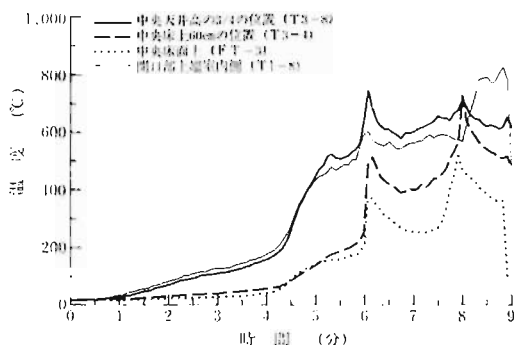


図2 火災室内の温度変化

火災室内各部の温度は、天井に着火した点火後4分過ぎ（以後「点火後」を省略する）から急速に上昇している。

火災室中央天井高の3/4の位置における温度（一般に、火災室温度の平均値に近いとされている）は、開口部から一時的に火炎が噴出した直後の6分5秒には約750°Cに達した。その後、急激な燃焼による一時的酸欠となり燃焼は停滞したが、600°C以上の高温を維持し、8分の火炎噴出に至っている。

中央床面及び床付近の温度は、天井着火までは50°C以下であるが、4分15秒頃の天井着火直後から上昇し、5分過ぎには150~200°Cに達した。

開口部上端室内側の温度は、煙で内部の視認が困難となった4分40秒には350°Cを越え、6分の一時的な火炎の噴出直前には約600°Cに達している。

図3および図4に一時的な火炎噴出前後及び連続的な火炎噴出前後の火災室内の温度分布を示した。

一時的な火炎噴出前に天井付近は既に

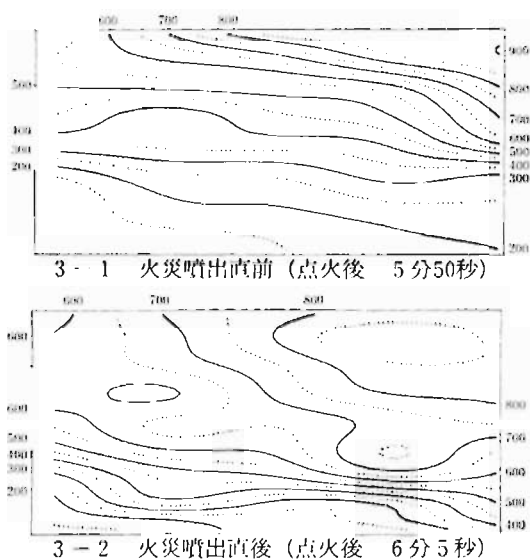


図3 一時的な火炎噴出前後の火災室内温度分布

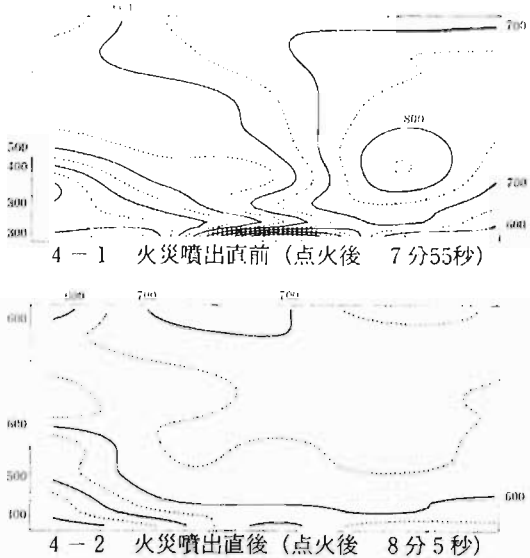


図4 連続的な火炎噴出前後の火災室内温度分布

600~900°Cに達しており、廊下側入口付近の壁体及び天井付近が激しく燃焼している。この場合、濃煙のため、火災室内の様子を見ることができなかったが、開口部から室内の火炎が確認できなくても直後に火炎の噴出する危険のあることを示している。また、火炎噴出後、火災室天井付近にあった高温ガス層が、床付近まで降下し、急激に燃焼が拡大した様子がわかる。

また、連続的な火炎噴出前に、開口部(窓)付近を除いて火面は床面まで達しており、火災室内は激しく燃焼している。

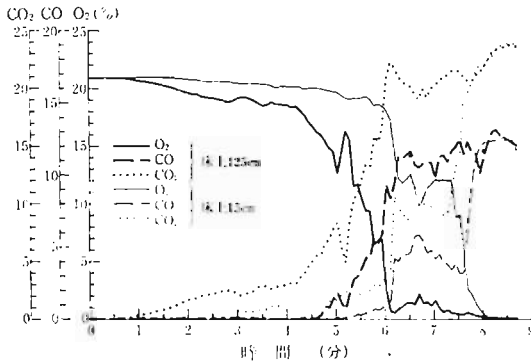


図5 ガス濃度の変化

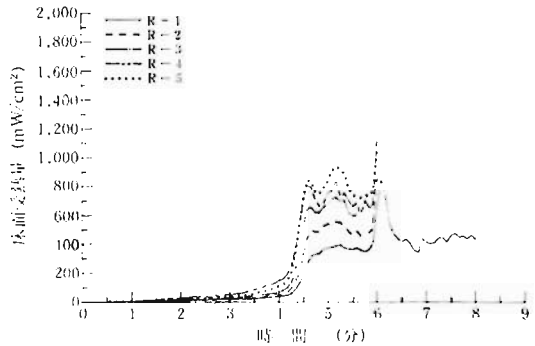


図6 床面放射受熱量の変化

(4) ガス濃度

火災室内のガス濃度の変化を図5に示した。

床上1.25m（天井高の1/2）の位置においては、天井着火頃からO₂濃度の減少・CO₂濃度の増加は急激になり、CO濃度も増加し始めた。一時的に火炎が噴出した6分過ぎには、O₂濃度は2%以下、CO濃度10%以上、CO₂濃度20%以上の状態を保ち、連続的に火炎が噴出した8分以降は、O₂濃度ほぼ0%、CO濃度12~13%、CO₂濃度約23%の状態となった。

床上15cmの位置においては、O₂、CO₂は点火後1分頃から、COは天井着火後から、徐々に変化し始め、6分過ぎには急速にO₂濃度は減少、CO、CO₂濃度は増加し、O₂10~13%、CO・CO₂濃度はそれぞれ3~6%、9~12%の状態になった。連続的な火炎噴出直前から再度急激に変化し、O₂濃度ほぼ0%、CO濃度12~13%、CO₂濃度23~24%と床上1.25mの位置とほぼ同じ濃度になった。

(5) 床面放射受熱量

床面放射受熱量の変化を図6に示した。

各測定点の放射受熱量は、天井着火頃から急激に増加し、火源付近で0.8~0.9W/cm²、部屋中央で0.6~0.7W/cm²となった。一時的な火炎の噴出に伴って、再び急激に増加し、開口部に近いR1以外は焼け切れて測定不能となったが、その時の最高受熱量は約1.15W/cm²(R₄)であった。また、窓の真下に設置したR₁は、6分の火炎噴出時にピーク値約0.85W/cm²に達したが、その後の燃焼の停滞により0.4~0.5W/cm²で推移した後、連続的な火炎噴出直前に焼け切れて測定不能となった。

8. 考 察

(1) フラッシュオーバーの発生時期

フラッシュオーバーの発生時間は、室内が前面炎に包まれ、火災最盛期へと移行した点火後8分の時点と捕えられる。

なお、フラッシュオーバー発生の目安として、火災室中央天井高の3/4の位置における温度が約600~650°C、または床面上の温度約300°C、輻射受熱量が約1.5~2 W/cm²となる時分という見解もあり、さらに、消防隊が火災にあおられる危険を考慮した場合、一時的であれ危険の大きいのは、最初の噴出であると考えられることから、点火後約6分の一時的な火炎の噴出に対しても、同様に安全管理に配慮する必要がある。

(2) 模型実験との比較

ア 火災室内温度

図7に今回の実験と同様の開口部を持つ模型燃焼室（縮尺約1/3）の実験結果を示した。

一時的な火炎噴出前の火災室内温度の状況は、天井下に高温ガス層・床上に低温層が形成され今回の実大実験結果と全体的な傾向は類似している。しかし、実大実験の方が、高温ガス層の最高温度が模型実験に比べ、300~350°Cも高い。また、火炎噴出後、実大実験では火災室天井付近にあった高温層が、床付近まで降下しているのに対し、模型実験では火災室下方の低温層は、火炎噴出後もほとんど変化がない。

火災成長期から火災最盛期までを対象とした室火災の燃焼速度は、元建築研究所の斉藤氏により、床面積10m²程度の小規模の火災に

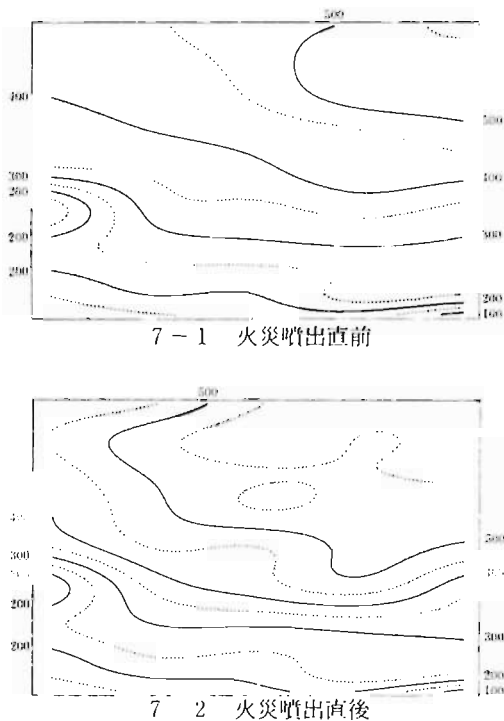


図7 火災噴出前後の火災室内温度分布
(模型実験)

に関して、次のような実験式が求められている。

$$R = a (A\sqrt{H})^{0.8} (As \cdot Ve)^{0.2}$$

R : 燃焼速度

A : 開口部の面積

H : 開口部の高さ

As : 総可燃物の空気との接触面積

Ve : (室の容積) - (可燃物の容積)

a : 内装材の特性によって決まる定数
(合板の場合6.0)

これによれば、実物に対する模型の縮尺を1/3とした場合、実物の燃焼速度は、模型に対し約27倍になることが知られる。

このようなことから、上記事項の主要な要因は、スケールアップによる火災室内の燃焼速度の増大によるものと考えられる。

イ 煙の発生量

模型実験の場合には、火災室内に煙が充満した後も、火災噴出前はかなり前から火災室内に火災が確認できたが、実大実験では、火災噴出時まで全く内部の炎が分からない状況であった。

これも、実大実験における煙の発生量が模

型に比べはるかに多いことによるもので、火災成長期から最盛期における発煙速度 (S) に関しても、前記の斉藤氏が、次に示す実験式を求めている。

$$S = K' \cdot a' (A\sqrt{H})^{0.3} (As \cdot Ve)^{0.7}$$

K' : 合板を1とした可燃物の相対発煙係数

a' : 材料定数 (合板の場合240)

これによれば、模型の3倍のスケールを持つ実大規模の火災では、100倍以上もの発煙速度を持ち、実火災では模型に比べ膨大な量の煙が発生していることがわかる。

(3) フラッシュオーバーの発生危険と発生回避

フラッシュオーバーが発生した場合の最大の危険性は、煙の流出する開口部から突然火災が噴出し、室全体が炎に包まれることにより活動中の消防隊員が受傷することであるが、この根本の原因は、今回の実験結果でも明らかのように火災で発生する煙の量が膨大で、全く見通しがきかないことにあると考えられる。

図3からもわかるように、一時的な火災噴出でさえ、噴出前に火災室内の壁体や天井は最高温度900°C以上にもなり、激しく燃焼している状況下にある。それにも係わらず、濃煙 (過去の実大火災実験の測定結果では、火災室内に於ける煙の濃度は、Cs=25~30(1/m)、見透し距離は数cm~10数cmといわれている) のため内部の火災が全く確認できない状況であった。このような状況下では、流出する煙の状態から、その部屋が火災なのか、別の部屋が燃えてその煙が流れてきて噴出しているのか判断することは難しい。

しかし、実験結果から分かるように、火災になっている部屋から噴出している煙は、室内に煙が充満し火災の確認ができなくなった時点で既に300~400°Cに達しており、開口部から流出する煙の熱気で、その部屋が燃えているのかどうか判断できると考えられる。

また、火災室内では、天井着火直後に、床上温度は150~200°C、床面上の受熱量は0.4~0.9 W/cm² (高温環境下における耐容時間は風がなく湿度が低い場合、130°Cで15分、150~200°Cで5分、また、皮膚が放射エネルギーを受けた場合、0.6 W/cm²で数秒で熱による痛み、20数秒で

ひどい火傷を負うとされている。)に達しており、天井着火直後で火災室内は床上においてさえ既に、熱的に耐えがたい状況下にあることが分かる。

この様なことから、濃煙の充満する部屋に進入する際、または、濃煙の充満している部屋で活動中には、充満している煙の帯びる熱気からその部屋の燃焼が、既にかなり進んだ状況下にある(遅くとも天井着火以降の状況にある)ことが判断できることから、それに対応した活動を行うことにより、フラッシュオーバーの危険を回避できると考えられる。

9. ま と め

- (1) 天井に着火後の濃煙の充満している火災室の開口部から流出している煙は、既に400~500°Cに達し、また、室内は、床直上でも雰囲気温度が150~200°C、床上の放射受熱量は0.5~0.8 W/cm²で、既に、室内にいることが無理な状況となっている。
- (2) 前1の結果から、開口部から流出する煙・または床付近の煙が、かなりの熱気を帯びている煙の充満している部屋は、火災の確認ができなくても、その部屋は、既にかなり火災が成長しているものとして活動する必要がある。
- (3) 模型実験と比較した場合、火炎噴出前の火災室内温度は、実大実験の方がはるかに高く、また、火炎噴出後の室内床付近の温度上昇も大きかった。

10. あとがき

今回の実験結果から、小区画の部屋では、火災による煙や熱気が急速に蓄積し、下降してくるため、室内に充満する煙や、開口部から噴出する煙の蓄熱状態(温度)から、フラッシュオーバーの発生危険を知り、フラッシュオーバーにさらされる危険を回避することが可能であることが分かった。

しかし、天井が高い大きい区画の部屋では、消防隊員の頭上から天井下までの空間に高温の煙が蓄積していても、床面付近が、通常のフラッシュオーバーが発生する際の危険な状態にはなかなかならない可能性も考えられ、煙の蓄熱状態からフラッシュオーバーの発生を判断することは、難し

い場合も考えられる。そのため、今後、機会が得られれば、天井の高い大区画の部屋の実大火災実験を実施し、天井の高い大区画内でのフラッシュオーバーの発生状況と、その発生予測のための前兆現象について把握して行きたい。

参 考 文 献

- (1) 日本火災学会編「火災便覧 新版」共立出版
- (2) 安全工学協会編「安全工学講座1 火災」海文堂出版
- (3) 斉藤・吉田「模型による室の燃焼挙動の定量化について」火災Vol.34、No.3 (150) (1984)
- (4) 岸谷、若松「室火型モデルによる建築材料の発熱特性および煙毒性」火災 Vol.37、No.3 (168) (1987)
- (5) 斉藤「建築材料の火災初期における燃焼発煙性状に関する研究」建築研究報告 No.83 March 1978
- (6) 若松、田中「建築物の煙制御設計(2)」火災 Vol.25、No.2 (97) (1975)
- (7) 山下「火災から発生する高熱に対する生命危険」消研輯報 第26号 (1973)