

耐火造二階建片廊下形式建物火災実験

Fire Test in a Two-story, Concrete Building with Several rooms along the Corridor

横	山	久	磨	尾***
高	本	清	紀**	
辻		英	機**	
永	田		清**	
千	葉		博**	
鈴	木		豊*	

We performed a fire test in a two-story, concrete building with several rooms along the corridor and obtained the following results.

- 1) Flashover occurred 5 minutes after fire was set, which almost coincided with the fire department's time of arrival.
- 2) There was an exposure hazard to the adjoining buildings by radiant heat.
- 3) With all the openings closed, smoke velocity was about 15m/min(50ft/min) in the corridor when measured at the light reduction rate (Cs) of 1.

1. はじめに

火災実験は、昭和8年に東京大学で行なわれたものを初めとし、その後数多くの火災実験が行なわれ現在に至っているが、今もなお未解決の問題が数多く残っている。それら多くの問題の中でも、フラッシュオーバー現象の予知であるとか、煙の挙動など直接人命の安全にかかわる事は、一般人はもとより消防活動を行なう隊員にとっても、その解明はきわめて重要な課題である。

今回、昭和38年に建設した建物を取り壊すに際して、実大火災実験を行うことができたので、その内容を報告する。

2. 実験目的

実験建物は、廊下に面して多数の居室が並んでいる。この建物の構造特徴を生かし、廊下を流れる煙の挙動把握や、耐火造建物の火災性状、特にフラッシュオーバー現象時の性状並びに上階・隣棟への延焼危険性などを把握し、火災の予防、人命安全対策並びに消防活動上の基礎資料を得ることを目的とした。

3. 実験実施日時

昭和58年8月10日(水)
午前9時30分～10時00分

4. 実験場所

東京都東村山市青葉町一丁目七番

5. 実験建物の概要

建物構造：鉄筋コンクリート造(RC)
地上2階建(2/0)

一階床面積：321m²

二階床面積：305m²

延面積：626m²

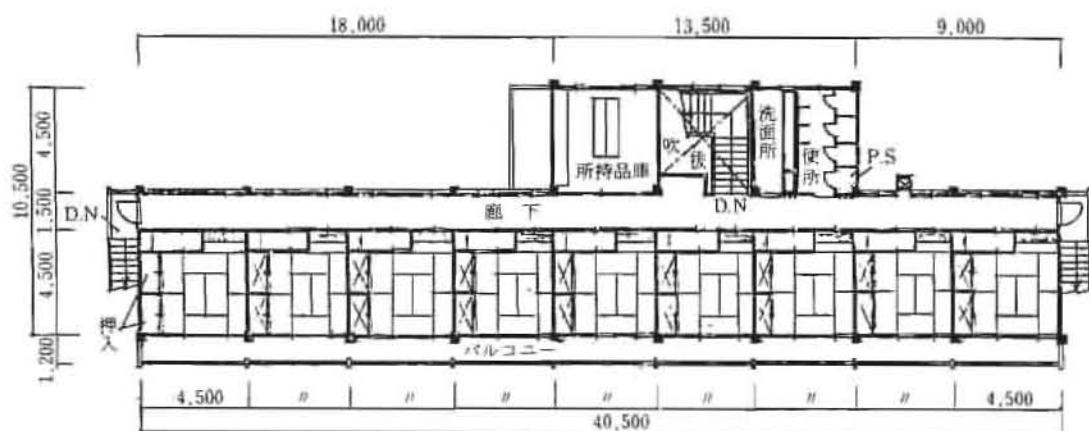
建物の立面及び平面は図1及び図2に、建物の仕上は表1に示す。また実験建物の全景を写真1に示す。

6. 実験条件

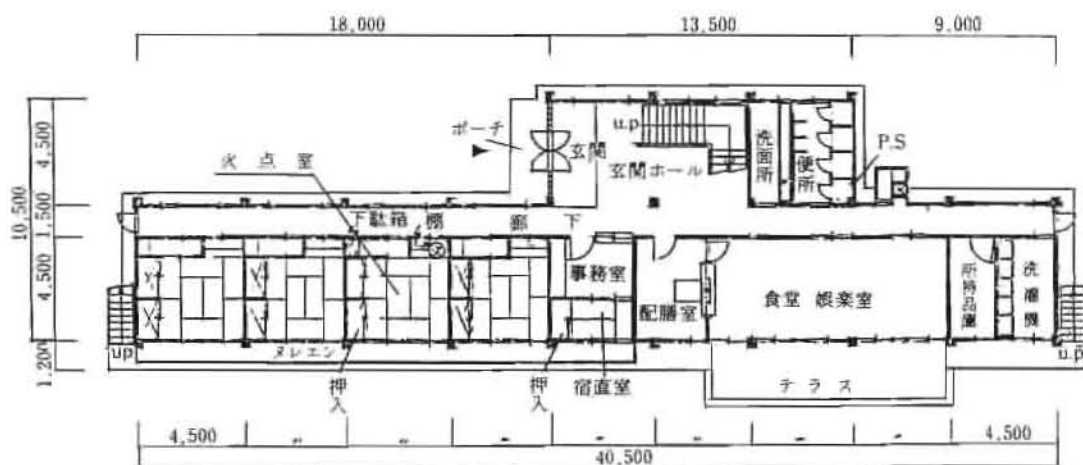
実験建物は老人が使用して来た経緯から、火災室に老人夫婦が居住していたものと想定し実験条件を決めた。

(1) 火災荷重

火災荷重は表2に示すとおりである。なお



2階平面図 S = 1 : 200



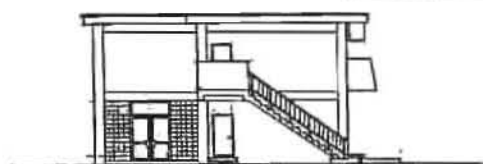
1階平面図 S = 1 : 200

図1 実験建物図(その1)



火点室

南立面図 S = 1 : 200



西立面図 S = 1 : 200

図2 実験建物図(その2)

表1 建物仕上げ

	床	市 本	壁	壁	天 井
火 点 定	タ タ ミ	木製 タタミ寄せ	新 ジュラタ壁	新 ジュラタ壁	杉板ベニア 目スカシ部
1.2階面下	機織 伊勢織り	ラワン O・S	プラスター	プラスター	石こうボ－ ードOPスチ ュッブル仕上
外 壁	モルタル下地セメントガン吹付仕上				

積載荷重に関して、高分子材量等も含まれていたがごく少量なので発熱量による重量換算は行わなかった。当日燃焼材として使用した木材の含水率は約13%であった。可燃物の配置図を図3に、また可燃物の設定状況を写真



写真1 実験建物全景(南側)

表2 積載荷重一覧表(含水率13%)

品 名	数量	内 訳	重量計	形 状 幅×奥行×高さ
洋ダンス(1)	1	47.5 kg	47.5kg	102cm×59cm×179cm
〃 (2)	1	30 〃	30 〃	45×55×180
整理ダンス	1	32 〃	32 〃	91×46×136
本 棚	1	21 〃	21 〃	60×30×176
テ ー ブ ル	1	10 〃	10 〃	83×83×73
イ ス	4	2.5 〃(×4)	10 〃	
テ レ ビ	1	20 〃	20 〃	40×40×35
カーベット	3	13〃, 13〃, 14〃	40 〃	340×256
布 団	12	2.3, 4.8, 2.0, 6.8, 1.8, 4.5 6.0, 3.0, 3.0, 1.5, 7.0, 8.3	51 〃	
座 布 団	4	20 〃(×4)	10 〃	
衣 類			9.3 〃	
計			280.3kg	
ク リ ブ	21	18, 16, 13.6, 13, 13, 12.5 12.5, 12, 12, 11.5, 11.2, 11.0, 10.5, 10, 9.2, 9, 8.5, 8.5, 8.4, 5.5, 6.8 (点火用)	232.7kg	室内、押入、ダンス内 に適宜配置
合 計			513.5kg	

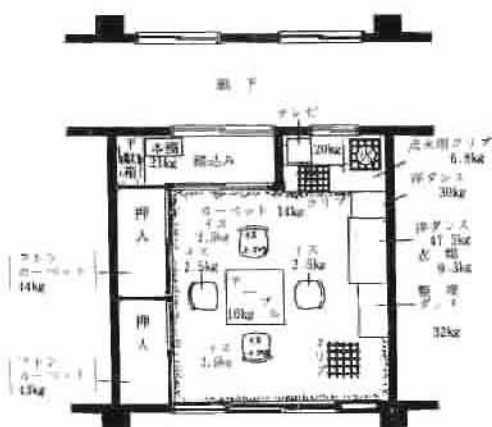
単位面積当りの積載荷重

室内面積 $45\text{m} \times 4.5\text{m} = 20.25\text{m}^2$

積載荷重合計 $= 513.5\text{kg}$

$\therefore 513.5\text{kg} \div 20.25\text{m}^2 = 25.4$

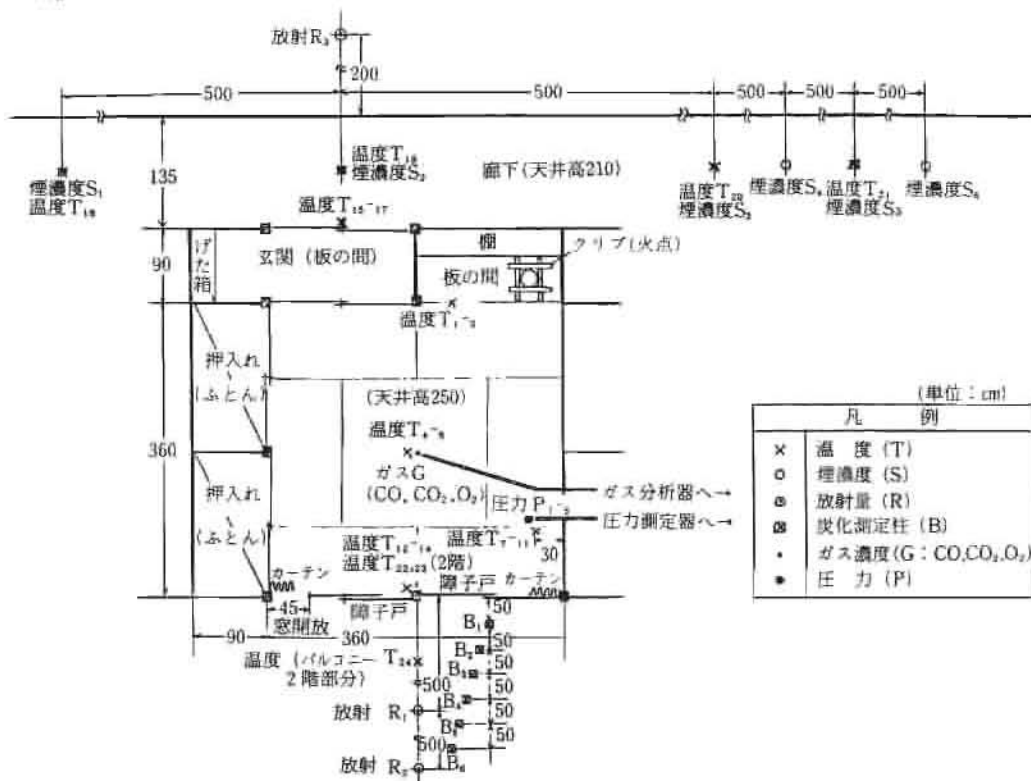
$= 25.4\text{kg}/\text{m}^2$



2, 3に示す。

(2) 開口条件

開口部のうち、南側庭に面したサッシュ戸を1/8 (45 cm) 開放し、その他は全部閉鎖した。



(単位: cm)	
凡 例	
×	温 度 (T)
○	埋 蔵 度 (S)
⊙	放射量 (R)
⊗	炭化測定柱 (B)
・	ガス濃度 (G: CO, CO ₂ , O ₂)
●	圧 力 (P)

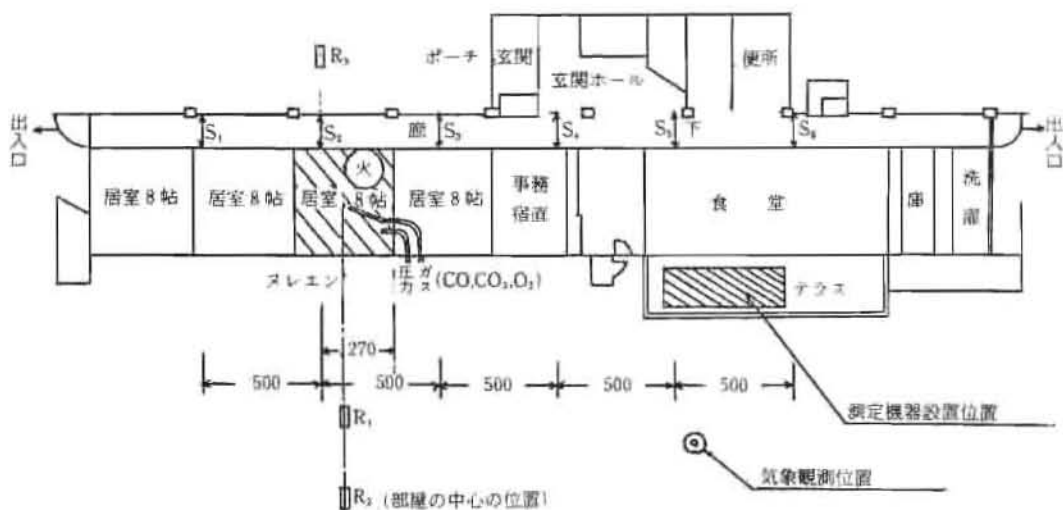


図5 測定位置図(その2)

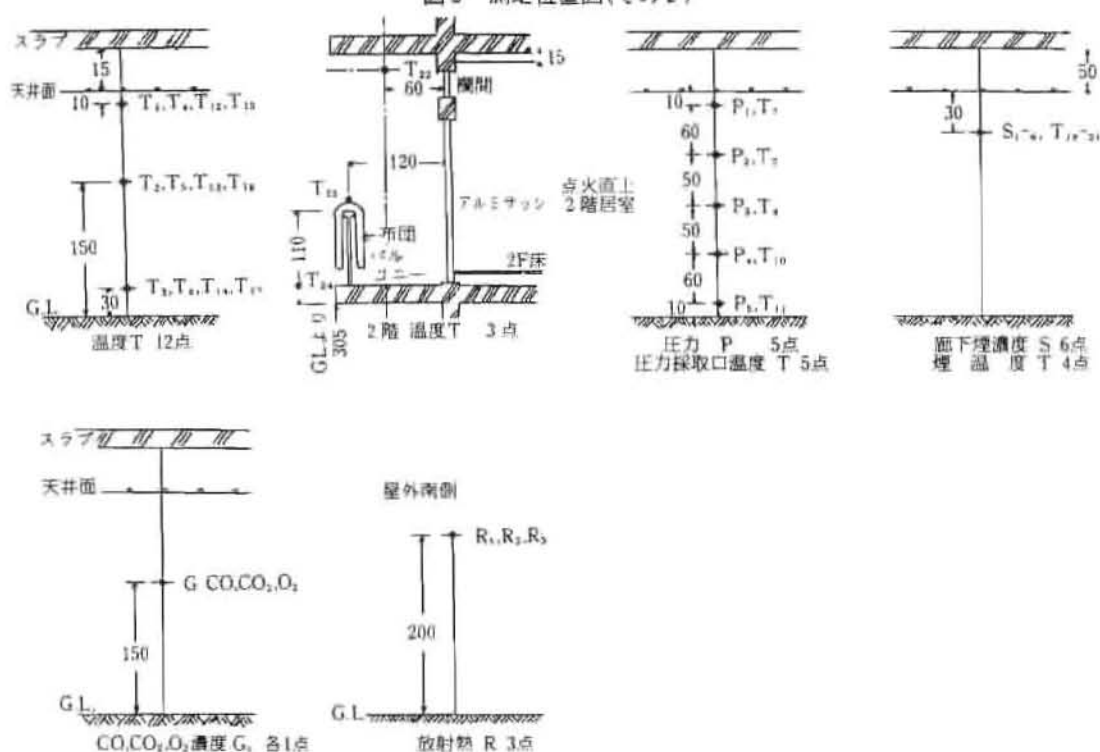


図6 計測位置図(その3)

(3) 点火位置及び方法

点火位置は図3に示すとおり、火気室の北東角に点火用の杉クリブ(3cm×2cm×50cm)72本を5本ずつ10段井桁状に組み上げ、これに助燃材としてメチルアルコール1ℓをクリブ上に散布し、点火棒により点火した。

7. 測定項目及び方法

(1) 気象

図5に示す位置で、地上2mの高さに超音波式風向風速計を、また1.5mの高さに打点式の温湿度計を設置し計測した。

(2) 温度

温度はガラスウール被覆のクロメル・アル

メル（K）熱電対を用い、デジタル・マルチロガーにより計測し、計測点数は24点とした。

測定位置を図4、図6に示す。

(3) 放射熱

放射熱は、火災室南側に開口部よりそれぞれ5m、10mの位置に2点、北側1mに1点の計3点で測定した。高さは地上より2mとした。

(4) 室内圧力

室内圧力は、室内の同位置の5点の高さについて、圧力変換器を用い、ペンレコーダーにより計測した。室内圧力測定位置を図4、図6に示す。

(5) 煙濃度

煙濃度は、透過型の煙濃度計を使用しペンレコーダーに記録し、後に Lambert Beer の法測により計算によって減光係数 C_s を求めた。光路長は1mとした。測定は廊下にぞって



写真4 煙濃度計設定状況

6点で行った。高さは廊下天井下30cmとした。測定位置を図4、図6に、設定状況を写真4に示す。

(6) ガス濃度

ガス濃度は、火災室中央に配したパイプにポンプを接続し、酸素、一酸化炭素及び二酸化炭素の各濃度を赤外線ガス分析器を使用しペンレコーダーに記録した。パイプの高さは、床から1.5mの位置とした。測定位置を図4、図6に示す。

(7) その他

ア. 煙層降下速度の観測

廊下にスケールを設定し、10秒ごとの煙層の厚さを目視によって観測し記録した。



写真5 煙層降下速度スケール

設定状況を写真5に示す。

イ. 延焼危険性の測定

開口部からの噴出炎あるいは放射熱が、木材に与える影響を把握するために、ツガの垂木（3cm×4cm×360cm）6本を、庭に面した開口部から50cmおきに等間隔に並べて延焼状況を観察した。

ウ. 記録

実験状況を目視、写真、ビデオにより記録した。

8. 実験の結果と検討

(1) 気 象

天候	曇り
気温	30°C～33°C
湿度	75%～70%
風速	0.4m/S(10分間平均)
風向	南西のち南

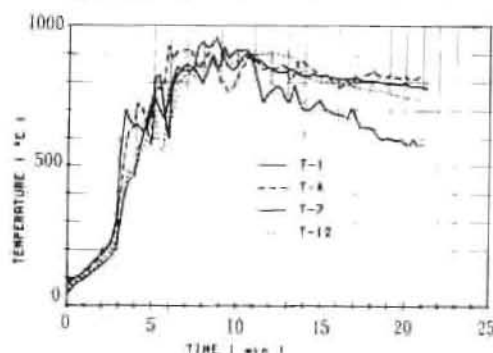
気温は実験後上昇し、これに相対して湿度は75%から70%に減少した。

(2) 温 度

ア. 火災室内

火災室内の温度は、 T_1 から T_4 までの位

置で測定した。このうち、火点直近の天井付近温度 T_1 、火点室内中央天井付近温度

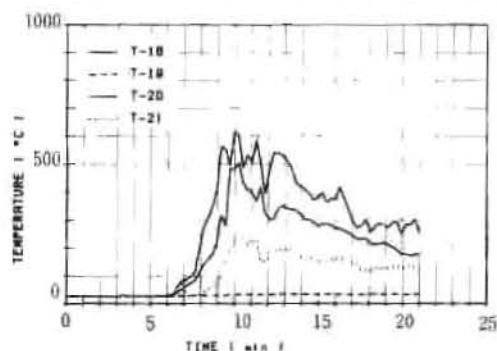


グラフ1 温度(点火室)

T_1 、圧力測定位置天井付近温度 T_7 、南側ガラス戸天井付近温度 T_{12} の測定結果をグラフ1に示す。 T_1 は点火後3分頃急上昇しはじめる。4分頃一時的に低くなるがその後、5分10秒のフラッシュオーバー発生時まで上昇している。 T_7 についてもほぼ同じ傾向を示している。 T_{12} はやはり3分頃に上昇をはじめているが、フラッシュオーバー発生後に各点とも等しくなることから、火災が成長しはじめてから2分程度で、火点室全体が燃焼状態になったと判断できる。最高温度は950°Cを越え、フラッシュオーバー後の火災室内温度は、各点とも消火開始時まで約800°C~900°Cであった。また、5分直後のフラッシュオーバー発生後に、1~2分間の一時的な温度降下現象が見られた。

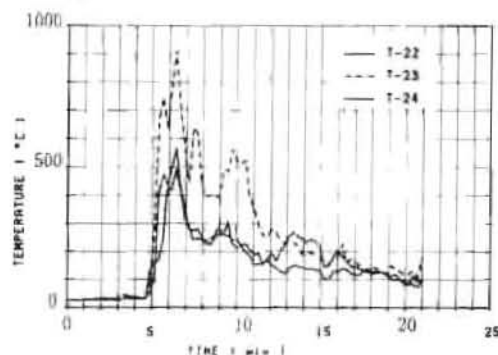
イ. 廊下

廊下の温度は、 T_{18} から T_{21} までの位置で測定した。このうち廊下にそって配置計測



グラフ2 温度(廊下)

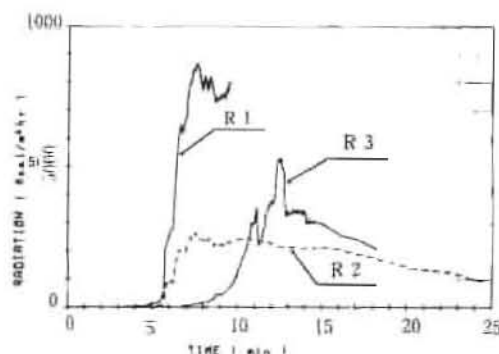
した T_{18} から T_{21} の測定結果をグラフ2に示す。火点室から5m離れた T_{20} は10分頃に500°Cを示している。目視観測者は「立つと熱いので姿勢を低くしていた。」と報告しており、身体を低くして避難することは、身体を守るという意味でも非常に大切なことがわかる。その頃火点室から15m離れた T_{21} の測定値は200°C前後であり、廊下を流れる熱気流の危険性を示している。なお、火点室直前の T_{18} は、熱電対が短絡したため、測定不能であった。



グラフ3 温度(2階ベランダ部分)

ウ. 上階(2階ベランダ)

上階の温度は、 T_{22} から T_{24} までの位置で測定した。測定結果をグラフ3に示す。急激な温度上昇は約5分後におこり、ちょうど南側開口部から火炎が噴出したときと同時であり、火炎温度を測定しているものと考えられる。約6分から11分頃までの高温区間は、二階ベランダの布団が燃焼しているときであり、その後温度が降下しているのは布団が燃え尽き、かつ2階室内に延焼しなかったことを意味するものである。



グラフ4 放射線

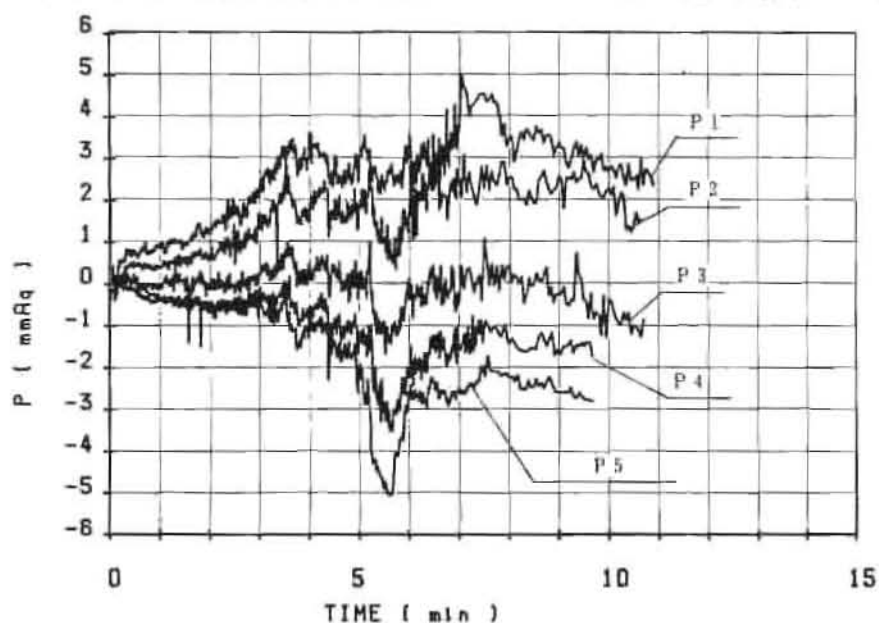
エ. 放射熱

放射熱の測定結果をグラフ4に示す。建物南側に設定した放射計 R_1 と R_2 の値は、フラッシュオーバーの直後に急激に上昇している。また、その時南側開口部から5mの位置にある R_1 の値は $8,000 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}$ 、10mの位置にある R_2 の値は $2,000 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ 程度であり、いずれも実験終了時まであまり変化を示していない。人間が耐えられる放

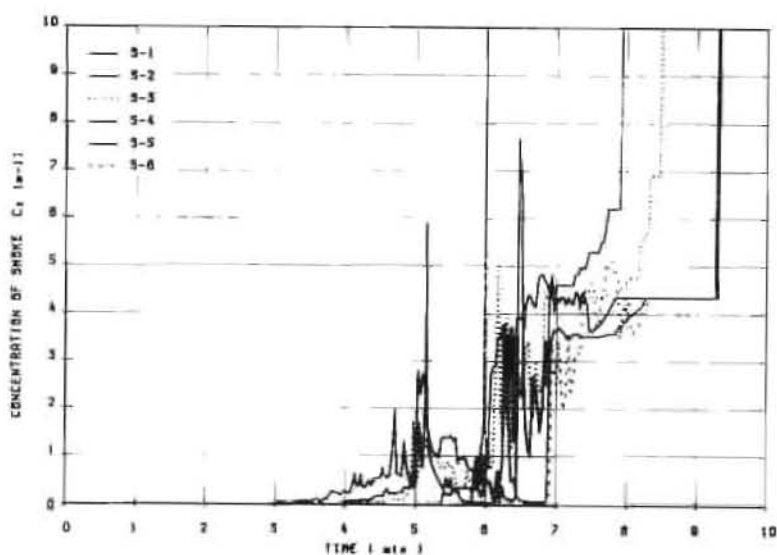
射熱の限界値は、 $1,800 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ 程度とされており、本実験における放射熱強度は、10m 離れていてもなお、人間にとって耐えがたい値であったと言える。

オ. 室内圧力

圧力の測定結果をグラフ5に示す。圧力差は点火後5分30秒で、最高約 7 mm Aq に達している。圧力は点火からフラッシュオーバー発生時まで上昇しているが、3分30



グラフ5 圧力

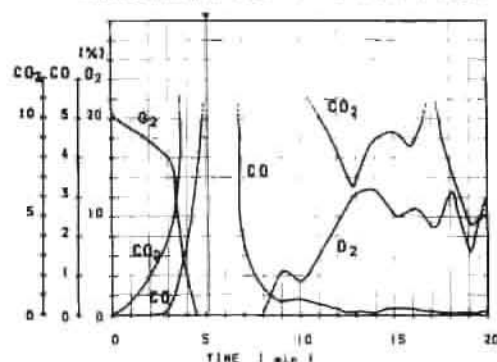


グラフ6 煙濃度

秒頃、4分20秒頃、4分40秒頃と何回か突然下がっている。これは目視その他のデータよりそれぞれ、カーテンの落下、窓ガラスの破損の時間と一致していることから、これらに起因した現象と考えられる。

カ. 煙濃度

煙濃度測定結果をグラフ6に示す。煙濃



グラフ7 ガス濃度

度は、点火から5分後に火点直前の廊下に設置した S_2 の値が上昇し、濃煙が廊下へ噴出したことが分かる。これは、フラッシュオーバーにともなう開口部の拡大と時間的にほぼ一致している。

キ. ガス濃度

ガス濃度測定結果をグラフ7に示す。酸素ガス濃度は、点火直後から徐々に減少し始め、点火後3分で約16%になり、その時点から急激に減少し点火後4分30秒には0%になった。点火後8分経過すると10~14%まで回復している。 O_2 濃度の急激な減少は温度が急激に上昇を開始する時間と一致しており、本実験において火災が急速に拡大したのが、点火後3分頃であった事がデータの上からも確認できた。

二酸化炭素ガス濃度は点火直後から毎分1%の割合で増加したが、点火後約3分経過した時点から急激に増加し、約3分30秒で計器測定限界濃度である10%に達している。

一酸化炭素ガス濃度は点火直後から3分間0.1%以下で、わずかながら増加の傾向にあったが、点火後3分を経過すると急激に増加し、約4分30秒で計器の測定限界濃度である5%にまで達した。以上三種類の

ガス濃度の変化から、点火後3分に火災が急速に拡大し始め、それにつれ酸素が欠乏し一酸化炭素ガス濃度が急上昇したものと理解できる。

ク. その他

目視観測結果よりその概要をまとめると次のようになる。

- (ア) 窓ガラスの破損・落下は、4分20秒頃より始まった。
- (イ) 黒煙噴出は、4分50秒頃から急激に増

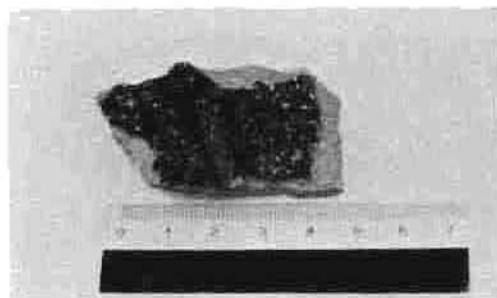


写真6 爆裂したコンクリート破片

加し5分10秒にフラッシュオーバーが発生した。

- (ウ) コンクリートの爆裂は、9分頃に起こり始め、特に大きさが3cm×5cm、重さ15gの破片が15m離れた机上のプラスチック製コップをこわしたのが確認されている。飛散した破片を写真6に示す。
- (エ) 階段の吹き抜けは、煙の吸い込み作用が大きい。
- (オ) 玄関ホール付近には、煙の来ない場所が存在した。
- (カ) 上階に達した煙の一部は、冷却された煙となって床面に滞留する現象が見られた。
- (キ) 消火後、火点直上の二階室内は延焼していないが窓ガラスには熱によるヒビが入っている。

9. 考 察

(1) フラッシュオーバーについて

フラッシュオーバーの定義は、ISO 国際規格3261防火試験用語1975より「フラッシュオーバーとは、ある区画内で、可燃性の材料が



写真7 フラッシュオーバー直前(5分)

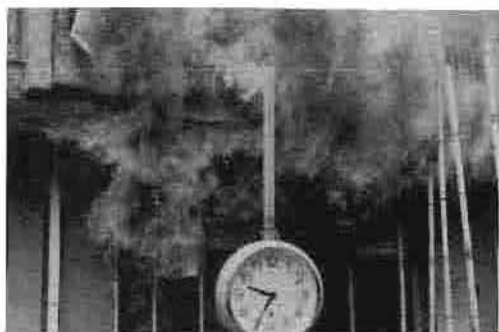


写真8 フラッシュオーバー直後(5分15秒)



写真9 火災最盛期

火炎の中にその全表面が巻きこまれる状態への遷移」となっている。この定義に従えば、今回の実験において、フラッシュオーバー現象は5分10秒頃に起きたと言える。(写真7, 8, 9 参照)

フラッシュオーバー発生直前までは、酸素濃度の低下、一酸化炭素、二酸化炭素濃度の上昇、また室内圧力の上昇、室内温度上昇の鈍化などがみられる。フラッシュオーバー発生時には圧力が一瞬上昇し、その後急激に室内圧力が減少する。室内温度も火点付近にお

いては、フラッシュオーバー発生後一旦低くなるが、その後徐々に回復し、温度は上昇して安定した状態となる。また放射熱に関しては、フラッシュオーバーにより火炎が噴出するとともに上昇している。

ここでフラッシュオーバー現象を発生させるに必要な、可燃性ガスの蓄積について考えてみる。ガス濃度の変化から分かるように、フラッシュオーバーが発生する前の点火後約3分頃より、酸素濃度の急激な減少が見られることから、不完全燃焼状態になっていることが分かる。火点室天井付近の T_1 の濃度がこのとき下がるのは、この理由によるものと思われる。そしてこの間に未燃ガスが蓄積していると考えられる。

一方圧力の変化は点火後3分30秒頃まで徐々に上昇している。このことは CO_2 のような燃焼生成ガス、 CO のような未燃の可燃性ガスが蓄積して室内の圧力が上昇していると理解できる。5分10秒のフラッシュオーバーの発生は、ガラスが落下した直後に起きている。発生以前にガラスが落下したにもかかわらずフラッシュオーバーにいたらなかったのは、可燃性ガスが十分蓄積していなかったためと思われる。フラッシュオーバー直後より温度は低下し、圧力が減少している。温度については、たとえば $T_1 \sim T_4$ (火点室中央のそれぞれ天井付近、中央、床付近) の測定結果を見ると、中央より上の T_1 と T_2 のグラフにその現象が見られる。

フラッシュオーバー直前の状況を考えると、この付近にはかなり未燃ガスが蓄積していると推測され、ガラスの落下あるいは燃焼の激化によってこれらのガスが減少し、なおかつ流入した外気によって一時的に温度が下がったものと思われる。その後室内可燃物の燃焼が最盛期となり、 $800^{\circ}C \sim 900^{\circ}C$ の間で温度が一定となったものと理解される。

(2) 延焼危険性について

一般に木材の引火点は、熱分解が盛んになる $260^{\circ}C$ 前後、発火点は $450^{\circ}C$ 前後にあると言われている。火点室南側開口部から3m離れた炭化測定柱(含水率は約13%)は、目視及び放射熱 R_1 の結果から $9,000 kcal/m^2 h$ 以上

の放射熱を受け、点火約9分30秒後に燃え始めている。また火災室のメレ縁から約6.7m離れた*ナンテン。及び9.5m離れた*ツバキ。の葉が変色しているのが認められたことなどから、受熱媒体が木材である場合、条件によっては放射熱により延焼する可燃性があることが分かる。

火点室上階のベランダに乾した布団を媒介とする上階居室への延焼危険については次のようになる。

ベランダの布団は点火5分直後のフラッシュオーバーにともなう火炎の噴出によりすぐ燃えはじめている。この時、二階のガラスにヒビが入ったと思われるが割れ落ちることはなかった。ヒビは一般に熱によって割れた場合の特徴である波うったヒビ割れであり、窓中央の横さんの所に集中しており、そこから割れ始めたことが分かる。またヒビの数は少なくそのためにガラスが割れ落ちなかったと考えられる。一般にガラスは、ガラス面上の温度が不均一となり、最高温度と最低温度がある値を超えると割れると言われている。今回の実験では、二階ベランダの布団全体が短時間に燃え広がったため、ガラス面が一様に加熱されたためにヒビ割れが少なく、落下が起きなかったと考えられる。なお、二階居室の南側開口部内側の障子は、実験後に調べたところ炭化が認められた。このことから、可燃物が長時間ガラス越しに放射熱を受けた場合、ガラスが破壊しなくても延焼する危険性があることが分かる。

(3) 廊下を流れる煙の挙動について

表3 煙の水平移動速度

Cs	S ₁ →S ₂	S ₂ →S ₃	S ₃ →S ₄	S ₄ →S ₅	平均
0.01	3.85	3.00	5.56	6.25	4.41 [m/min] 4.61
0.1	6.52	4.55	7.14	11.53	6.86
1.0	13.64	16.67	1.87	30.00	10.71

煙層の降下は発煙量等に左右されるが、観測結果から火点室前の廊下で1分間に約10cm程度の割合で降下している。また9分頃からは急激に煙層が下がり、10分頃には一階廊下全体が煙におおわれている。(図7参照)

また煙の水平移動速度、すなわち廊下を流れる煙の速度は表3のように求められた。減光係数(Cs値)が0.01のごく薄い煙において、その水平移動速度は約4.6m/min(7.7cm/s)、またCs値が0.1(一般人の避難限界濃度とされている)で約6.9m/min(11.5cm/s)、Cs値が1.0(ほとんど先が見えない)では14.6m/min(24.3cm/s)であり過去の火災実験の結果である。30m/minから50m/min(50cm/sから80cm/s)の値よりもかなり小さい。これは測定された煙が火災から直接熱気流をとまって流れたものでなく、火災室のすきまから廊下に流れ出た煙である事、また建物開口部がほとんど閉じられていた事などによるものと考えられる。なおCs値が1.0以上になってから、グラフ2に示されるように廊下の温度が上昇しており、また表3からCs値の上昇につれ速度が急上昇しているの、廊下において火災最盛期となった10分以後については、煙の水平移動速度が前記した30

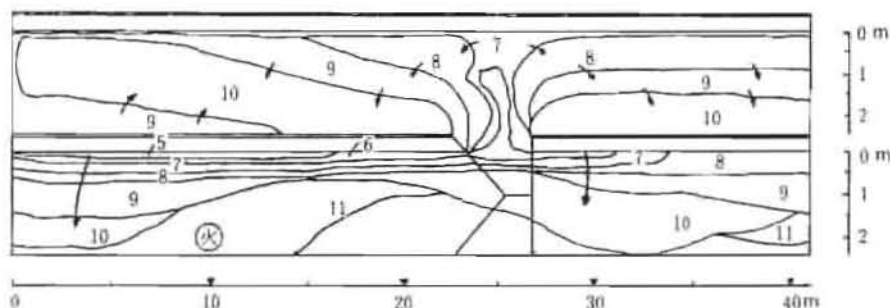


図7 煙層スケールによる煙の動き(1分~12分)

※ 数字は時間(分)を示す。

～50m/min に達していたと考えられる。

10. ま と め

今回行った実験から次のような結果を得ることができた。

- (1) この種の建物では、フラッシュオーバーは5分頃に発生し、特にこの時間は消防隊の到着時間とほぼ一致するので、消火活動においては十分注意する必要がある。
- (2) フラッシュオーバーの発生直前までは酸素濃度の低下、一酸化炭素、二酸化炭素濃度の上昇、また室内圧力の上昇、室内温度上昇の鈍化、フラッシュオーバー発生時には、室内ガス濃度及び圧力が一瞬上昇し、発生後は室内温度及び圧力の一時的な減少があった。
- (3) 隣室及び上階へ延焼する危険性は、竪穴及び壁のすき間等の埋戻しが完全に施工されていれば、延焼する危険は少ない。
- (4) 放射熱により受熱媒体が木材である場合条件によっては延焼する可能性がある。またペランダ布団などの可燃物は、上階への延焼媒体となりうる。
- (5) 廊下等を流れる煙の速度は、火災室の圧力、発煙量、温度の影響を大きく受ける。特に今

回の実験では、煙の水平移動速度約 15m/min ($C_s=1$) が得られた。

11. おわりに

本実験は消防科学研究所の各研究室がそれぞれのテーマを持って参画したもので、その一部を掲載した。

なお、実験に際して第八消防方面本部、東村山消防署の御協力を戴き、ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 北原寛一：木材物理、P25、森北出版
- 2) 東京消防庁消防科学研究所：プレキャストコンクリート住宅火災実験結果報告書、53年9月、P88
- 3) 日本火災学会：建築防火教材、P17
- 4) 旭硝子株式会社建築研究所：ガラスの知識
- 5) 東京消防庁火災予防対策委員会：東京海上火災ビル火災実験報告書
- 6) 浜田 稔他：新訂建築学文系21
- 7) 東京消防庁消防科学研究所：東村山火災実験結果報告書、59年3月