

フラッシュオーバーに関する研究 (その2) — 簡易な模型燃焼室による予備実験 —

Study on the flashover phenomena in a building (Part 2)
— Preliminary fire experiment in a small burning room —

鈴木 唯一郎*
村上 利章*
小林 幹男*
熊倉 孝行*

The purpose of this study is to make clear of the flashover phenomena and to consider available countermeasure.

We experimented in a small burning room and got following data.

- ① Size of the capacity which can make flashover phenomena.
- ② The data to make a small burning room which can experiment over and over again.

1. はじめに

建物火災の性状は、出火源、家具等の収容物の配置、建物の構造、開口部の位置及び開口条件等によって異なるが、これまでに実施した火災実験等において、フラッシュオーバー現象(以下、「F・O」という。)の発生時期を見ると5~10分の間に集中しており、この時間帯は消防隊が消防活動に着手する時間帯とほぼ一致している。

また、火災時にはF・Oを契機として室内が急激に燃焼し、建物全体へ急速に煙(ガス)が流動拡散する状況を呈し、これが消防活動及び住民が避難する上での障害となっている。

このようなことから、本研究においてはF・O発生に係わるメカニズムの解明と有効な対策を樹立することを目的として、昭和62年度は定性的にF・Oを発生させることができる容積の検討、及び繰り返し再現実験が可能な模型燃焼室を製作するために必要な基礎資料を得ることを目的として、簡易な模型燃焼室を用いた予備実験を行ったので、その結果の概要を報告する。

2. F・Oについて

学術上のF・Oの定義としては、ISO 国際規格

3261防火試験用語において「F・Oとは、ある区画内で、可燃性の材料が火炎の中にその全表面が巻き込まれる状態への遷移」と定義付けされている。

当研究所における実験でのF・O発生時の認定は、この定義を尊重し、火炎が床面まで廻った時点とした。

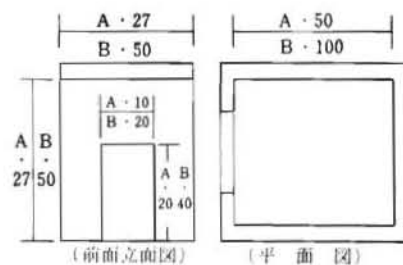
3. 実験概要

(1) 模型燃焼室

実験は、F・O発生の最小限界を知るため、容積の異なる2種類の模型燃焼室を製作して実施した。

この実験で使用した模型燃焼室の形状は、直方体で寸法等は図1に示した。

(図1及び写真1参照)



凡例 1 図中のAは、A模型燃焼室の寸法を示す。
2 図中のBは、B模型燃焼室の寸法を示す。
3 寸法の単位は、センチメートル。

図1 模型燃焼室の概要図

*第一研究室



写真1 B模型燃焼室の外観

(2) 実験装置等

実験装置等の配置及び各測定点の配置状況を図2及び図3に示した。(図2及び3参照)

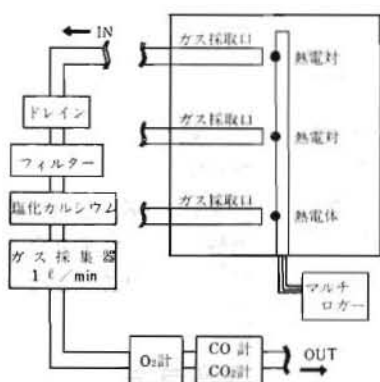
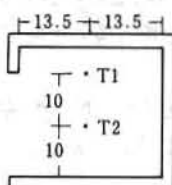
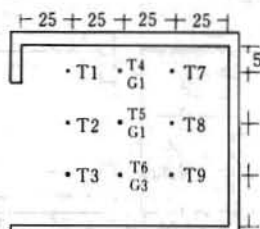


図2 実験装置等配置図



* T : 熱電対を示す。
単位:センチメートル



* T : 熱電対を示す。
G : ガス採取口の位置を示す。
単位:センチメートル

図3 各測定点配置図

(3) 内装材料等

内装材料・可燃物量及び内装材料別の実施回数を表1に示した。(表1参照)

表1 内装材料等一覧表

A 模型 実験		B 模型 実験	
内 装 材 料	回数	内 装 材 料	回数
合板・3mm 1.6kg	2	合板・3mm 6.5~7.0kg	3
		合板・5mm 8.0~8.2kg	2
		合板・9mm 11.0~12.0kg	3
		合板・12mm 17.8kg	1

(4) 開口条件等

実験実施時の開口条件及び各開口条件別の実施回数を表2に示した。(表2参照)

表2 開口条件等一覧表

A 模型 実験		B 模型 実験	
開 口 条 件	回数	開 口 条 件	回数
開口率・正面面積の1/3開放	2	開口率・正面面積の1/3開放	9
		開口率・正面面積の1/12開放 (※1)	2
		全閉から1/3開放状態にした場合 (※2)	4
備考	※1 内装に合板・厚さ9mmを用いた実験において、F・O発生後に引続き実施した		
	※2 内装に合板・厚さ9mm及び12mmを用いた実験において、F・O発生後に引続き実施した。		

(5) 点火方法

井桁状に組んだクリブ下部に、助燃材としてアルコール10ccを燃焼皿に入れ配置し、それに点火した。

(6) 測定項目等

ア 温度測定

点火からF・O発生に至るまでの燃焼室内の温度変化を測定するため、温度測定点をA模型実験では2点、B模型実験では9点配置

し、測定した。(図3参照)

イ ガス濃度測定

点火からF・O発生に至るまでの燃焼室内のガス濃度変化を測定するため、B模型実験においてガス採取口を3点配置し、それぞれの採取口ごとに酸素、一酸化炭素、二酸化炭素の3種類のガス濃度変化を連続測定した。
(図3参照)

ウ 目視観測

延焼性状、F・O発生状況及び煙の挙動等の状況変化について目視観測した。

エ 映像記録

延焼性状、F・O発生状況及び煙の挙動等の状況変化を模型前面開口部の正面と側面にビデオカメラ及びカメラを配置し、映像記録した。

オ 気象観測

実験実施時の気象状況を観測した。

4. 実験結果

実験は、2種類の模型燃焼室を用いて実施したが、A模型実験では燃焼室内容積が小さかったため、燃焼必要空気量が不足し、内装材への延焼拡大が認められなかった。従って、本報においてはF・Oの発生が認められたB模型実験の結果を紹介する。

(1) 開口率1/3の場合

ア 温度測定結果

各合板の厚さ別の実験における、天井着火時間と温度及びF・O発生時間と温度を表3に示した。(表3参照)

また、本実験における点火からF・O発生に至る温度変化の一例として、実験No 8の測定結果を図4に示した。(図4参照)

表3 各実験における天井着火時F・O発生時の温度測定結果一覧表

実験 項目		3 mm			5 mm		9 mm			12mm	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
気象 状 況	天 候	晴 れ	晴 れ	晴 れ	雨	曇 り	晴 れ	雨	曇 り	曇 り	
	気温 (°C)	31.0	30.0	11.0	9.5	10.0	7.4	1.7	5.3	8.8	
	湿度 (%)	59.0	56.0	39.0	75.0	76.0	26.0	90.0	50.0	65.0	
	風 位	南 東	南 南 西	北 北 西	北 北 西	北 北 西	北 西	北 北 西	北 東	北	
	風速m/sec	3.9	3.8	2.7	2.9	2.2	8.4	3.9	3.1	4.6	
天井 着 火 時	時 間	6 分50秒	5 分00秒	3 分00秒	6 分00秒	7 分10秒	2 分10秒	2 分10秒	2 分30秒	4 分20秒	
	温 度 (°C)	上	668.4	449.6	310.6	584.0	221.0	311.3	256.2	252.1	293.0
		中	273.6	134.4	55.5	267.0	93.1	40.7	34.9	37.3	52.4
		下	83.0	41.9	24.0	90.5	39.0	24.0	18.5	22.8	34.9
F・O 発 生 時	時 間	8 分20秒	6 分00秒	5 分00秒	7 分20秒	9 分20秒	4 分25秒	4 分55秒	5 分30秒	7 分40秒	
	温 度 (°C)	上	655.4	570.4	667.3	648.5	671.5	670.5	645.3	666.1	735.5
		中	703.5	558.1	704.7	599.1	592.5	712.9	671.2	671.3	817.2
		下	716.3	441.9	366.6	589.7	339.6	361.8	397.5	399.6	453.2
備 考		1 温度は、模型燃焼室中央部の温度測定柱の各測定点の値を示した。									
		2 時間は、点火からの経過時間を示した。									

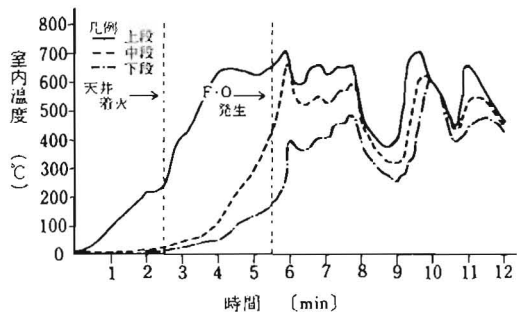


図4 実験No. 8の温度変化

イ ガス濃度測定結果

各実験における酸素 (O_2)、一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO_2) の天井着火時間と各ガス濃度及びF・O発生時間と各ガス濃度を表4に示した。(表4参照)

また、点火からF・O発生に至る一連のガス濃度変化の実験No. 8の一例を図5に示した。(図5参照)

表4 各実験における天井着火時F・O発生時のガス濃度一覧表

実験項目		3mm			5mm		9mm			12mm	
No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
天井着火時の状況	時間	6分50秒	5分00秒	3分00秒	6分00秒	7分10秒	2分10秒	2分10秒	2分30秒	4分20秒	
	O ₂ (%)	上	16.7	17.70	14.50	13.50	17.80	17.25	15.50	15.50	13.90
		中	18.00	測定不能	19.20	17.25	18.40	20.25	20.10	20.10	19.00
		下	21.00	19.40	20.80	19.90	20.25	20.90	20.80	20.50	20.50
	CO(%)	上	0.10	0.03	0.15	0.26	0.06	0.10	0.10	0.06	0.18
		中	0.00	測定不能	0.06	0.13	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03
		下	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01
	CO ₂ (%)	上	4.00	3.70	6.48	7.28	3.09	3.60	5.00	5.00	6.60
		中	3.00	測定不能	1.78	3.60	1.40	0.70	0.82	0.70	1.60
		下	0.40	0.70	0.11	0.84	0.52	0.23	0.30	0.36	0.37
	F・O発生時の状況	時間	8分20秒	6分00秒	5分00秒	7分20秒	9分20秒	4分25秒	4分55秒	5分30秒	7分40秒
		O ₂ (%)	上	2.50	13.25	0.20	0.80	1.35	7.00	0.35	0.20
中			7.00	測定不能	3.50	15.15	14.00	5.70	10.40	18.20	5.20
下			20.00	18.80	20.40	19.70	19.45	20.25	20.40	19.70	20.50
CO(%)		上	4.50	0.28	6.60	5.80	2.15	2.42	3.35	4.80	3.70
		中	4.10	測定不能	3.85	0.97	1.01	1.75	0.70	0.50	0.85
		下	0.40	0.06	0.13	0.26	0.43	0.19	0.13	0.31	0.07
CO ₂ (%)		上	18.60	10.00	20.00	19.60	20.00	13.50	19.90	20.00	20.00
		中	13.00	測定不能	17.70	7.20	6.80	15.50	10.40	2.60	15.00
		下	1.30	1.20	0.52	1.10	1.82	0.82	0.70	1.05	0.20
備考		※ 実験No.2における、中央部のガス濃度結果で測定不能となっているが、これはガス採取配管の詰まりにより測定できなかったものである。									

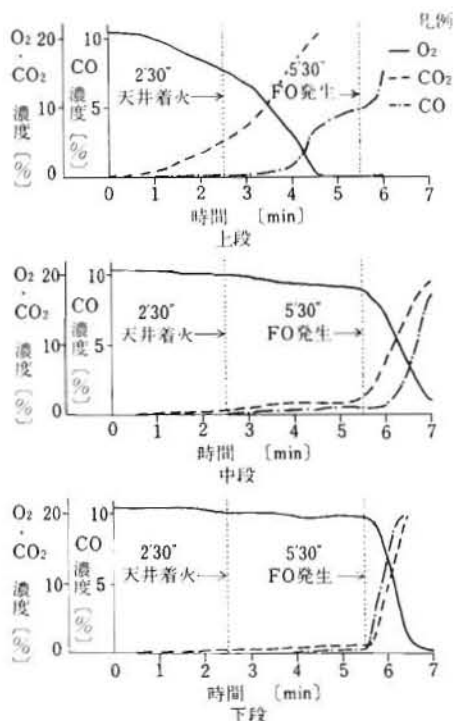


図5 実験No.8のガス濃度変化

ウ 目視観測結果

各実験において、煙と中性帯はほぼ同様な挙動を呈しており、火災初期からF・O発生に至るまでの共通事項を写真記録によりまとめると次のとおりである。

- (ア) 天井材等の内装可燃物に着火した時期から、開口部より噴出する煙の色は白色から黒色に変化する。(写真2参照)



写真2 天井着火時の状況

- (イ) 燃焼が天井付近から燃え下がり、中性帯が中央部より降下した時期から、開口部より噴出する煙の色は黄色味を帯びてくる。

(写真3参照)

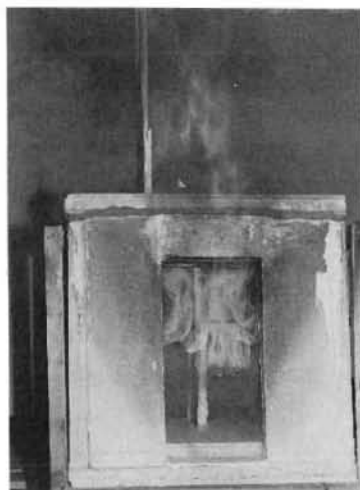


写真3 燃焼が燃え下がっている状況

- (ウ) F・Oの発生が近くなると、中性帯はさらに降下し、燃焼室内への空気の吸い込み現象が強くなる。
(エ) 開口部から大量に噴出していた煙は、F・O発生時点から炎の噴出に変化する。

(写真4参照)

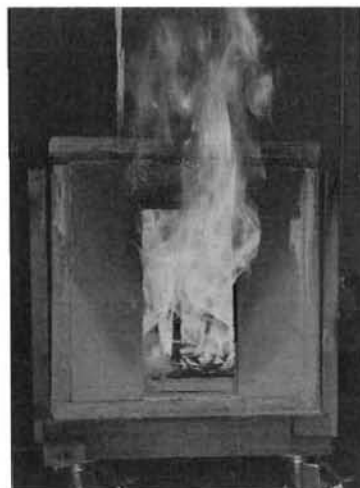


写真4 F・O発生時の状況

(2) 開口率1/12の場合

本実験における温度・ガス濃度変化、及び目

視観測結果をまとめたものを表5に示した。(表5参照)

表5 開口部1/12開放時の各測定結果表

経過時間	目 視 観 測 結 果	温 度 (°C)		ガ ス 濃 度
0 秒 ↓ 16秒	開口部から黒煙が継続して噴出し、時間の経過とともに黒煙の噴出量が少なくなる。 内部に火炎は認められない。	上	657.5～634.4	O ₂ : 3.0～4.0% C O : 10%以上 C O ₂ : 20%以上
		中	539.1～534.2	
		下	466.9～430.1	
17秒 ↓ 29秒	開口部から煙が息をつくように断続して黒煙が噴出し、その際内部に火炎が揺がり、また、火炎が見えなくなる状態が17回繰り返された。	上	634.6～629.3	
		中	539.1～543.5	
		下	466.9～484.2	
30秒 ↓ 33秒	開口部からの煙の排出状態が断続状態から継続した状態に変わったが、内部には炎は認められず開口部下部の吸い込み現象が強くなった。	上	629.3～600.0	
		中	543.5～581.3	
		下	484.2～564.0	
34秒	内部に急激に火炎が伝播し、開口部から白煙とともに炎が噴出した。	上	600.0～584.5	
		中	581.3～586.1	
		下	564.0～547.3	
備 考	1 経過時間は、開口部を1／12にした時点を基準とした。 2 温度は、室中央部の温度測定柱の3点の測定値を示した。 3 ガス濃度は、室中央部の採取口の測定値を示した。			

(3) 開口部全閉から1/3開放状態とした場合

本実験における温度・ガス濃度、及び目視観測結果を火炎の噴出程度別にまとめたものを表

6に示した。(表6参照)

また、参考として、開口部からの火炎の噴出状態を写真5~7に示した。(写真5~7参照)

表6 開口部全閉から1/3開放状態とした各測定結果表

火炎の噴出程度 項 目		大	中	小
		火炎の噴出が水平方向へ1 m以上のもの	火炎の噴出が水平方向へ0.5以上1 m未満のもの	火炎の噴出が水平方向へ0.5 m未満のもの
開口部開放から火炎噴出までの時間		3~4秒	4~10秒	13~23秒
温 度		581.6~680.8°C	652.4~729.6°C	575.5~603.4°C
ガ ス 濃 度	O ₂	2.7~ 8.2%	4.2~ 8.1%	6.8~ 9.8%
	CO	8.0~10%以上	6.6~ 8.0%	6.8~ 7.8%
	CO ₂	14.8~20%以上	15.5~17.3%	10.9~13.3%
目 視 観 測 結 果		開口部開放と同時に褐色の煙が大量に噴出し、開口部下部に強い吸い込み現象が認められ、瞬時に煙とともに大型の球状火炎が噴出した。	開口部開放と同時に褐色の煙が大量に噴出し、開口部下部に強い吸い込み現象が認められ、煙の色が褐色から黒色に変化し始めた時、中程度の球状火炎が噴出した。	開口部開放と同時に褐色の煙が大量に噴出したが、開口部下部の吸い込み現象が弱く、時間経過とともに煙の色が、黒色から白色に近い状態になった時、天井付近から炎が伝播し、開口部から火炎が噴出した。

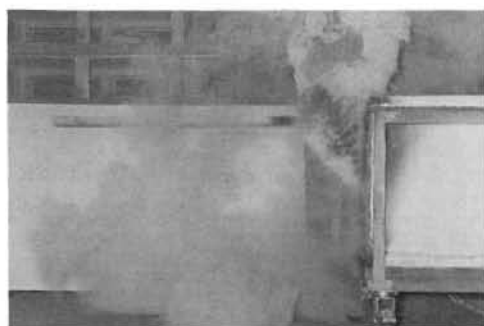


写真5 開口部開放時の状況



写真6 開口部開放から4秒後の状況

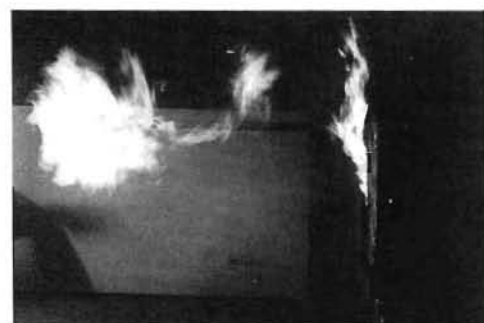


写真7 開口部開放から5秒後の状況

5. 考 察

(1) 内装合板の厚さ別F・O発生時間について

開口率1/3開放時の各実験結果を示した表3を見ると、点火源であるクリブ及びアルコールの燃焼が一定でなかったため、F・O発生時間・温度とも不統一の結果となっているが、各実験における天井着火時間を基準時間とし、この基準時間からF・O発生に至る時間と温度の関係に着目し、まとめたものを図6に示した。(図6参照)

図6の結果から、一般的傾向として次の事がいえる。

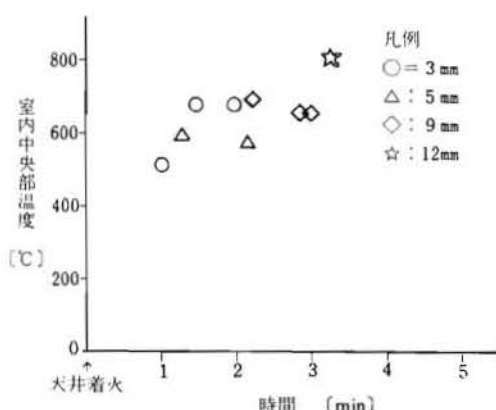


図6 F・O発生時の「時間-温度」相関図

ア 合板の厚さが薄い程加熱され易く、天井着火時からF・O発生に至る時間が速い。

イ 合板の厚さが厚い程、F・O発生時の温度が高い値を示す傾向にある。

(2) F・O発生時のガス濃度について

各実験におけるF・O発生時のガス濃度を示した表4を見ると、 O_2 が3.5~18.2%、COが0.5~4.1%、 CO_2 が2.6~17.7%の範囲で発生している。

また、このガス濃度範囲を合板の厚さ別にまとめてみると表7に示すとおりとなった。

(表7参照)

表7 合板の厚さ別F・O発生時のガス濃度

合板の厚さ	室中央部中段のガス濃度 (%)	
3 mm	O_2	3.50~ 7.00
	CO	3.85~ 4.10
	CO_2	13.00~17.70
5 mm	O_2	14.00~15.50
	CO	1.01~ 0.97
	CO_2	6.80~ 7.20
9 mm	O_2	5.70~18.20
	CO	0.50~ 1.75
	CO_2	10.40~15.50
12mm	O_2	5.20
	CO	0.85
	CO_2	15.00

表7の結果から、F・O発生時のガス濃度範囲は、いずれの種類ガスにおいても広範囲であり、F・O発生時の特徴を断定することができないが、表7の結果において O_2 及び CO_2 は、5mm合板の結果を除くと、いずれもほぼ同様な範囲

を示している。また、CO は、合板の厚さが薄い程高い値を示していることがわかる。

この CO の結果については、合板の厚さが薄い程放射熱の影響を受け易いため、熱分解によって当該ガスが発生し易くなるものと推定される。

(3) 開口率1/12のF・Oの特徴について

表4の結果から特筆される事項としては、17秒から29秒の間における目視観測結果で、開口部から噴出する煙の排出状態が、断続的に人が息を付くような挙動（以下、「息付き現象」という。）を呈していたことである。

この煙の息付き現象を呈していた時の燃焼室内温度の変化に着目してみると、図6に示すとおりとなった。（図6参照）

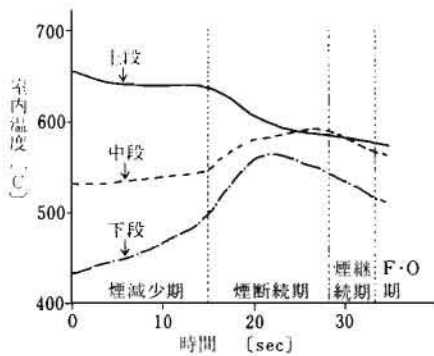


図7 開口率1/12開放時の温度変化

図7の各温度測定点の温度変化を見ると、上段と下段の測定点における温度差が190.6°Cあったものが、息付き現象を呈する領域に入ると、温度差が小さくなり、F・O発生直前には、温度差が36.0°Cになっている。

この結果から、燃焼室開口部の開口率が小さいと熱気が室外に排出されず、室内で対流するため、室内の各測定点における温度差が小さくなったものと推定される。また、本実験結果等から、消防活動上の参考事項としては、火災現場で前述した煙の息付き現象から継続的排出状態に変化するような現象を呈した場合、例えば室内に火災が視認されない場合であってもF・Oの発生に至る可能性が極めて高いといえる。

従って、このような現象を呈していた場合における開口部の開放、及び破壊は、筒先配備を完全に行い、援護注入のもとに徐々に開放または破壊することが重要である。

(4) 開口部全閉から1/3開放状態とした場合

ア 開口部開放から火炎噴出までの時間と火炎噴出程度の関係について

表5の測定結果を基に、開口部開放から火炎の噴出までの時間と火炎の噴出程度別にまとめてみると、図8に示すとおりとなった。

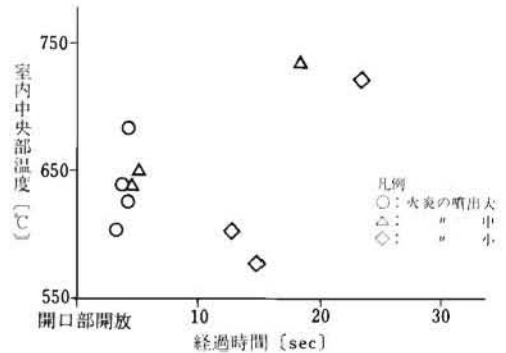


図8 火炎噴出程度別「時間－温度」相関図

この図8の結果から、開口部開放時の火炎の噴出状態としては、開口部開放後、火炎噴出までの時間が早い程、大きい火炎が噴出している。また、開放後火炎噴出までの時間が長いと小さい火炎の噴出になることが確認された。

これは、開放後の時間経過に伴って、内部の可燃性ガスが排出されて濃度が薄くなり、爆発的燃焼ができなくなったものと推定される。

イ ガス濃度と火炎噴出程度の関係について

表5の測定結果を基に、 O_2 とCO及び O_2 と CO_2 の関係をまとめると、図9及び図10に示すとおりとなった。

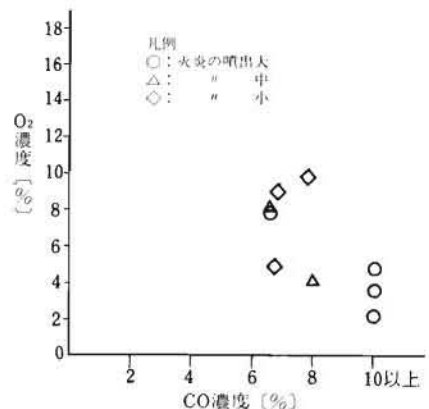


図9 火炎噴出程度別「 O_2 －CO」相関図

7 今後の研究課題等

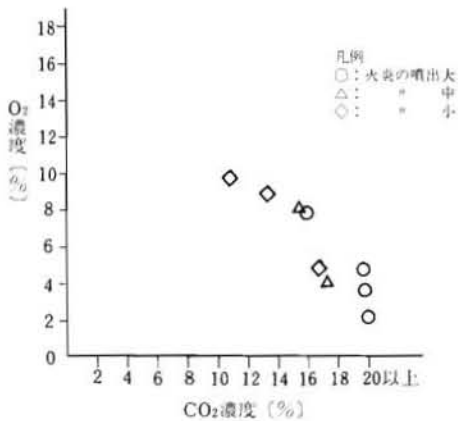


図10 火炎噴出程度別「O₂-CO₂」相関図

図9の結果から、O₂とCOの関係においては、CO濃度が高く、かつ、O₂濃度が低い程、火炎の噴出程度が大きい結果となっている。また、図10のO₂とCO₂の関係においても、O₂とCOの関係と同様な結果を示している。

以上、開口部全開から1/3開放状態とした場合の火炎の噴出程度に係わる要因について考察したが、この実験結果等から消防活動時、開口部を開放または破壊した場合、室内から褐色の煙が大量に噴出し、開口部下部に強い吸い込み現象が認められた場合にあっては、当該火炎の噴出する可能性がきわめて高いといえる。

従って、燃焼室内部がくん焼状態の場合の開口部を開放または破壊する場合は、側面から行い開口部正面には絶対に位置しないことが重要である。

6. ま と め

これまで、簡易な模型燃焼室を用いた予備実験結果と考察を述べたが、この一連の結果から消防活動面に関して、従前からいわれている事項のうち特に遵守しなければならないものとして、次の事項が挙げられる。

- (1) 開口部を開放または破壊する場合は、必ず簡先配備を行い、援護注水のもとに実施する。
その際、開口部正面には絶対に位置しないこと。
- (2) 開口部を開放または破壊する場合は、F・O等の発生による、他隊への影響を考慮し指揮本部長の命により行う。

本実験をととして、さらに効果的にF・O発生に至るメカニズムを解明するためには、次の事項を解決する必要がある。

- (1) 室内のガス濃度分布を把握するためには、現在より多くの測定点を設け、分析する必要がある。
- (2) 同一条件下において定性的にF・Oを発生させることができる装置の開発が必要である。
- (3) 内装材の種別と組合せ及び収納可燃物の種別等が、F・O発生に及ぼす影響を確認する必要がある。
- (4) 開口部の位置及び開放率が、F・O発生に及ぼす影響を確認する必要がある。
- (5) 実大火災実験において当該模型燃焼室を用いた実験結果を検証する必要がある。

以上の5項目が当面の課題であり、昭和61年度から開始した本研究の第1期最終年度である昭和63年度においては、ガス濃度測定器の整備及び定性的にF・Oを発生させることが可能なF・O発生装置を製作する。さらに、第2期、昭和64年度から66年度までの間にF・O発生装置を用いて基礎実験を繰り返し、当該現象の発生メカニズムを解明して行く予定である。

また、第3期、昭和67年度以降は、当該実験結果を基に、実大火災実験等を主体とし、F・O発生の予知、遅延、抑制方策について研究を進めて行く予定である。

F・O等に関する文献

- 1) 斉藤 文春：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No83, 1978
- 2) 長谷見雄二：区画火災の数学モデルとフラッシュオーバーの物理的機構
建築研究報告No111, 1986
- 3) 武田 久弘：小型模型室を用いた火災実験におけるフラッシュオーバー以前の挙動
火災学会論文集 Vol.33, No1, 1983
- 4) 日本火災学会：建築防火教材, 1976