

フラッシュオーバーに関する研究 (その3)

— 模型燃焼室による燃焼実験 —

Study on the flashover phenomena in a building (part 3)

— An experiment on combustion by the combustible model room —

鈴木 唯一郎**

村上 利章*

熊倉 孝行*

概要

本研究は、フラッシュオーバー現象の発生に至るメカニズムを解明し、有効な対策を樹立することを目的として、昭和61年度から実施しているものである。本報告は、昭和62年度に実施した「簡易な模型燃焼室による予備実験」の結果を基に、定性的にフラッシュオーバー現象を発生させることができ、かつ燃焼室内容積を大きくした繰り返し実験が可能な模型燃焼室を製作し、それを用いた燃焼実験を実施した結果を報告するものである。

本実験では、予備実験実施時と比較してガス濃度測定点を3点から5点に、また、温度測定点を9点から45点に増設し、ガス濃度変化の面では従来スケールオーバーしていたCO・CO₂の一部を改善して測定できたこと、及び温度変化については室内が火炎に包まれる前後の温度分布を把握することに成功したものである。

We made a model room of combustion which could experiment to get a flashover phenomenon over and over again. The room, shaped like box was renewed for strengthening the structure, heat retardants, in addition, increased the check points of gas and temperature as a result of part 2. This is a report of an experiment on combustion.

We experimented several times on the room and got following certain data which result in flushover phenomenon.

- ① Variation of temperature with the lapse of time in the room.
- ② Variation of density of [CO・CO₂・O₂] attend with combustion in the room.

1. 研究経緯

本研究は、昭和61年度から東京消防庁長期計画により、フラッシュオーバー現象(以下「F・O」という。)発生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研究に着手し、これまで定性的にF・Oを発生させることのできる容積、及び繰り返し実験の可能な模型燃焼室の製作に必要なデータ収集のための実験を実施して、既に報告してきたところである。

昭和63年度においては、予備実験等により把握された事項を基に定性的にF・Oを発生させること

ができ、かつ燃焼室容積を大きくした繰り返し実験が可能な模型燃焼室を製作し、その模型燃焼室を用いて、ガス濃度測定点及び温度測定点を増設する等により燃焼実験を実施した。

本報告は、内装材をすべて可燃材料(普通合板)として合計8回の実験を実施した概要である。本測定結果からは、各検討項目について定量化及び定性化されるまでには至らなかったが、今後の火災実験を推進して行く上での一指針を得ることができた。

2. 実験概要

(1) 模型燃焼室

模型燃焼室は、ALC板を鋼板で覆ったもの

*第一研究室 **予防部予防課

を構造材とし、その内側に断熱材としてセラミックファイバーボードを貼ったものである。この模型燃焼室の外観・寸法等は、図1及び写真1に示すとおりである。



写真1 模型燃焼室の外観

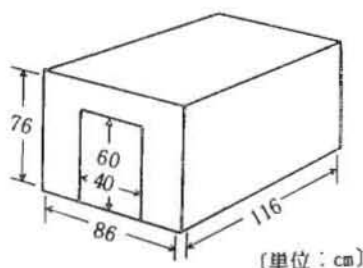


図1 模型燃焼室内容積の寸法 (内装材)

(2) 実験装置等

実験装置及び各測定点の配置状況は、図2に示すとおりである。

温度測定用の熱電対は、1本のポールに9点設置し、各熱電対の間隔は、中央部分は疎で天井又は床に近くなるほど密になるように

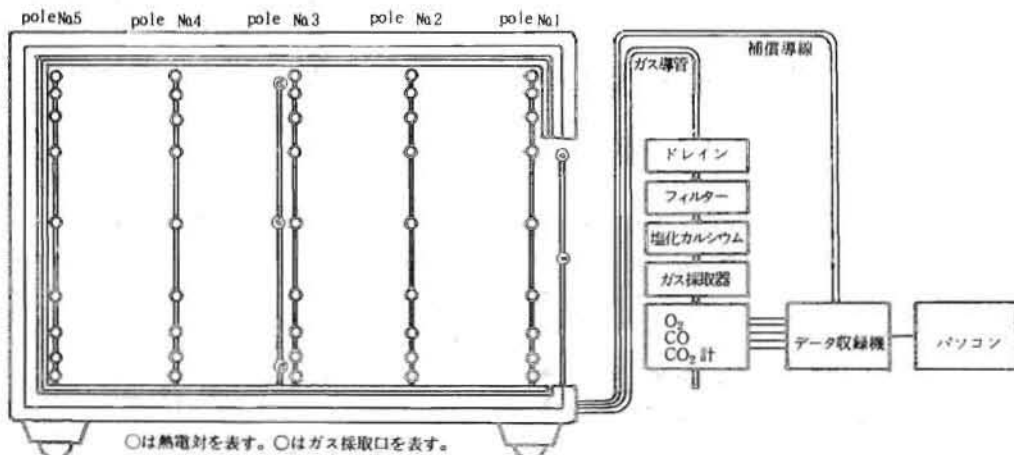


図2 実験装置及び各測定点の配置図



写真2 内装材補強状況

配置した。模型燃焼室内には、そのポールを等間隔に5本配置し、測定点の合計は45点とした。また、ガス採取口は室中央の上・中・下に各1点、開口部の上・中に各1点、合計5点設置し、それぞれの採取口ごとに酸素(O₂)、一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO₂)計に接続した。

(3) 内装材料

内装材料は、3・5・9・12mmの普通合板を用い、柱材として1cmの角材を使用して箱状にし、天井・壁・床を形成させた。

また、実験中に内装材が燃え落ちるのを防ぐため、ブリキ板で周りを囲い補強した。この状況は写真2に示すとおりである。

(4) 実験回数

実験回数は、各厚さの内装材毎に2回、合計8回実施した。

(5) 開口条件

開口部の大きさは40×60cm、これは室内表

面積の1/21にあたる。実験は、次の条件で実施した。

ア 開口部を全開放状態（以下「開口部開放型実験」という。）。

イ 開口部を閉鎖状態から全開放状態とする（以下「開口部閉鎖型実験」という。）。

(6) 点火方法

燃焼室奥に井桁状に組んだ点火クリブ（ $20 \times 20 \times 250\text{mm}$ ・6段重ね、合計36本使用）を設置し、下部の燃焼皿に助燃材としてアルコール10ccを点火直前に入れた。（写真3参照）



写真3 点火クリブ・温度測定柱配置状況

点火は、電気スパークにより行った。

(7) 測定項目

ア 温度測定

F・O等の発生に至るまでの燃焼室内の温度変化及び温度分布の変遷を把握するため、温度測定点を45点配置し、測定した。（図2参照）

イ ガス濃度測定

F・O等の発生に至るまでの燃焼室内及び開口部から噴出するガス濃度変化を把握するため、ガス採取口を室中央部に3点、開口部に2点、合計5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種類のガス濃度を測定した。

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を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。

3. 実験結果及び考察

(1) 開口部開放型実験温度測定結果

ア 炎最前線の推定方法

温度測定結果から炎最前線を判定する方法として、 500°C の温度分布に着目した。

その理由は、目視観測の炎最前線領域と温度変化グラフの同時刻と比較した場合、両者が 500°C の等温線とほぼ一致していることから、当該温度を基準とした。

また、この温度は木材の発火温度とほぼ一致している。このことから燃焼室内が炎に包まれる様子は、 500°C の等温線の変遷により推定することができる。

ここでは、内装材として普通合板・厚さ9mmを使用した実験について、炎最前線推定方法の確立と傾向を模索した。

写真4と図3は、点火4分後の状況の長さ断面方向を示したもので、 500°C の等温線は、天井上部から1/4程度にあることがわかる。

また、写真5と図4は点火5分後の状況を示したもので、この時間の 500°C の等温線は、天井上部から2/3に降下している。（写真4、5、図3、4参照）

イ 各ポールごとの炎最前線

温度測定ポールのうち、一番下の熱電対から最上部の熱電対までの高さを100%として、 500°C の等温線がポールを横切る高さを、点火から時間経過とともにF・O発生直後まで表した。そしてNo.1～No.5までのポールについて、それぞれ 500°C の等温線の挙動を同一グラフ上にプロットし、全8回の実験の内2例を抽出したものが図5及び6である。（図5、6参照）

図5、6の結果、ほぼ同一直線上にプロットが集中し、燃焼室が炎に包まれる速度（天井面から床面への燃焼降下速度）は概ね一定であることがわかる。

そこで、No.5のポールはクリブの燃焼熱の影響を受け易く、またNo.1ポールは開口からの流入空気による影響を受けるため、



写真4 点火4分後の燃焼状況

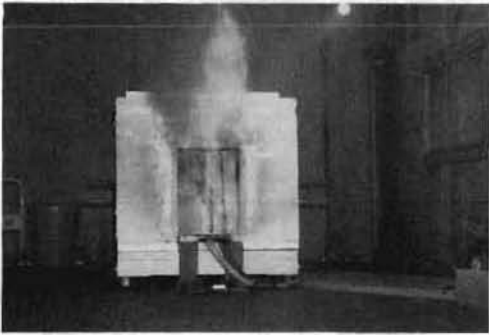


写真5 点火5分後の燃焼状況

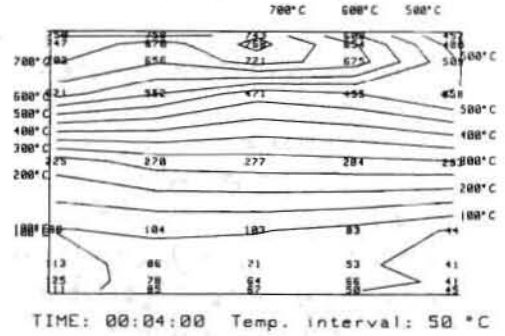


図3 点火4分後の温度分布

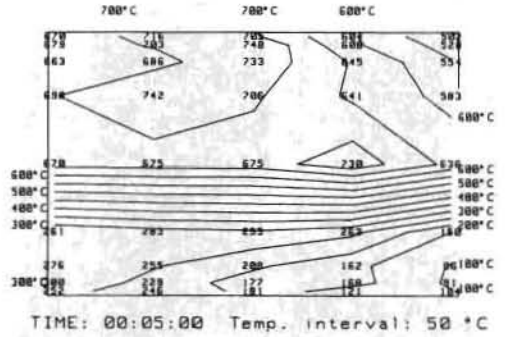


図4 点火5分後の温度分布

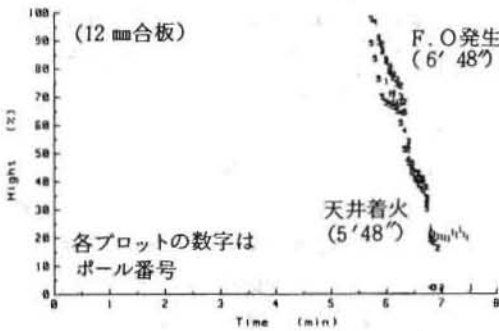


図5 No.1~5 ポールの 500°C等温線挙動

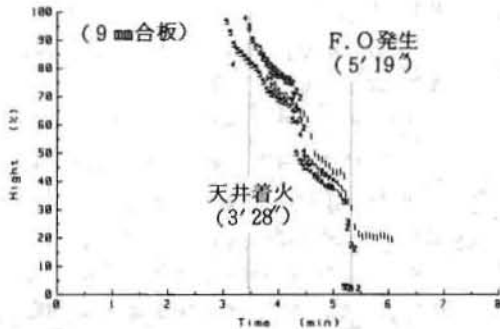


図6 No.1~5 ポールの 500°C等温線挙動

これらのポールをはずしてみると一層明確になる。

ここで目視から判断した状況と図5, 6の結果を照合すると、目視の天井着火は、グラフのNo.4 ポールが100%ラインに現れた時間と一致している。このことから各実験データ中よりNo.4 ポールのデータのみを抽出し、同一座標に全8回の実験結果を描かせると図7に示すようになる。

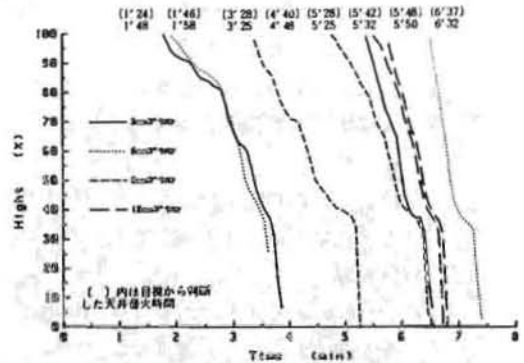


図7 No.4 ポールの 500°C等温線挙動

また、No.3 ボールのデータのみを同一座標上に全8回の実験結果を描くと、図8に示すとおりとなり、この結果から、最下端における時間と目視におけるF・O発生時間を比べると、極めて近いことがわかった。

このことから、火災室内が濃煙で充滿し、内部の状況判断が困難な場合、逆にグラフから数値化して、天井着火及びF・Oの時期を読み取る方法の一つとして用いることが可能である。

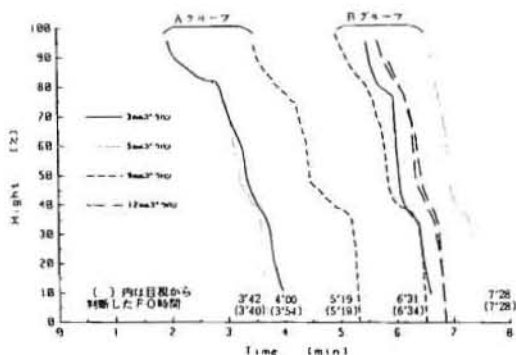


図8 No.3 ボールの 500°C等温線挙動

また、図8のグラフの傾きに注目すると、天井着火の早いものほど傾斜が緩い傾向(Aグループ)を示した。それを明確にさせるため、点火から天井着火までの時間と、天井着火からF・O発生までの時間を比べたものが、図9である。(図9参照)

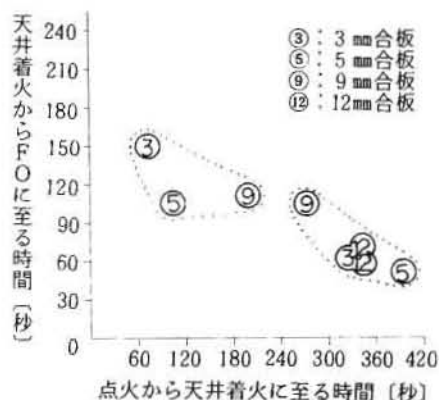


図9 点火～天井着火～F・O時間比較図

この図9中で、Aグループの天井着火が他の実験と比べて著しく早い理由は、点火に失敗しアルコールを補充しなおして再点

火させたためで、クリブからの炎の立ち上がりは他の実験に比べ早かったことに起因しているものである。実火災でいえば、着火物の燃焼が初期の段階から激しいものと似ており、放射熱の蓄積が少ないためF・O発生時間が遅くなる。BグループはAグループに比べ、室内燃焼で発生した熱を徐々に時間をかけて内装材が蓄え、可燃性ガスが出易い状態となっている時に天井着火するため、放射熱を受けて一気にガスが発生し、F・O発生時間を促進する傾向が見られた。

ウ 本実験におけるF・O発生に至る等温分布の推移は、いずれの実験とも同様な性状を示していることから、ここでは、普通合板・厚さ9mmの実験を参考として示す。(写真6～8、図10～12参照)

(2) 開口部開放型実験ガス濃度測定結果

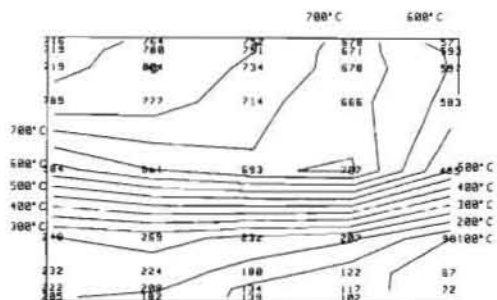
本実験におけるガス濃度測定は5か所の採取口を設置して測定したが、燃焼室中央の上・中・下の3点から採取した測定結果は、前報(フラッシュオーバーに関する研究(その2))において報告したものと同様な挙動を示していることから、本報では、今回新たに開口部で上・中の2点のガス採取口を設けたので、その代表的な事例として普通合板・厚さ12mmを使用した実験データと、普通合板・厚さ3mmを使用した実験データから、開口部上部に設けた採取口によるガス濃度変化を図13及び14に示し、その挙動について説明する。

図13は、これまでの多くの実験によるものと同様な状況を呈しており、点火から天井着火直前までは、酸素濃度が徐々に減少し、一方、二酸化炭素は増加する傾向を示している。この時点では、一酸化炭素濃度が0に近い状態である。しかし、天井に着火すると各ガス濃度は急激な変動傾向を示し、F・O前後には、酸素濃度が0に近く、二酸化炭素濃度はほぼピークに達するが、一酸化炭素濃度はその後も上昇を続けている。

図14は、天井着火が速かった事例を示したものである。図13と比較して一定時期における急激なガス濃度の変動は見られず、点火直後からF・Oにかけて酸素濃度は緩やかな減少傾



写真6 図10の燃焼状況 (F・O発生31秒前)



TIME: 00:06:03 Temp. interval: 50 °C

図10 点火から6分03秒後の等温分布

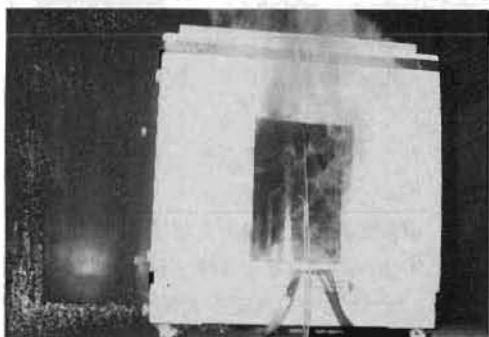
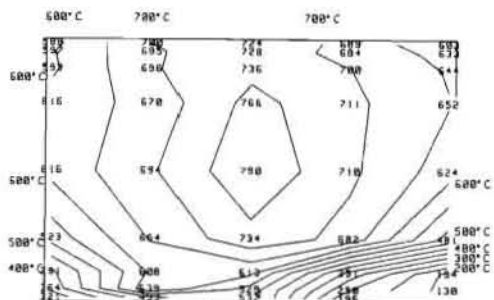


写真7 図11の燃焼状況 (F・O発生時)



TIME: 00:06:31 Temp. interval: 50 °C

図11 点火から6分31秒後の等温分布

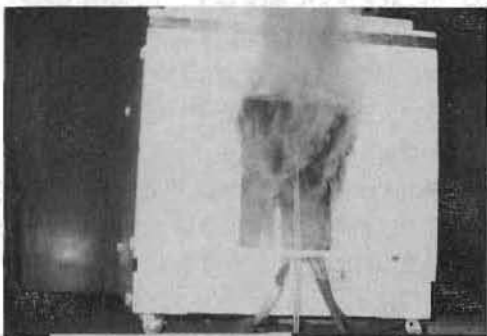
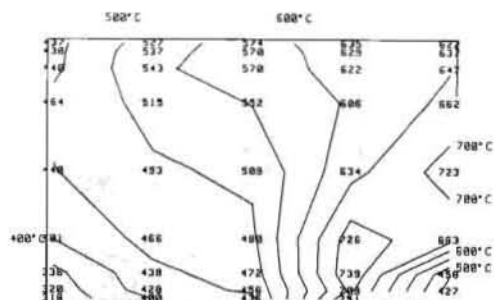


写真8 図12の燃焼状況 (F・O発生29秒後)



TIME: 00:07:03 Temp. interval: 50 °C

図12 点火から7分03秒後の等温分布

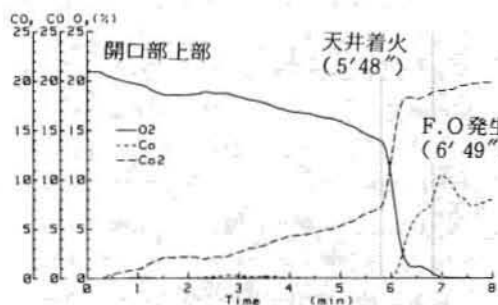


図13 ガス濃度変化 (合板12mm)

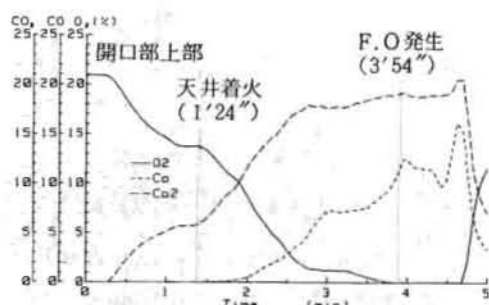


図14 ガス濃度変化 (合板3mm)

向を示し、一酸化炭素及び二酸化炭素濃度も同様に緩慢な上昇傾向を示している。

しかし、F・O前後から二酸化炭素濃度の上昇は頭打ちの状態になるが、一酸化炭素濃度はさらに上昇傾向を示す挙動は、図13の結果と同様である。

ここで、各実験における天井着火前後のガス濃度とF・O前後のガス濃度、さらにそれらに要した時間をまとめると、表1に示す結果となった。(表1参照)

表1の結果から、天井着火前後における酸素濃度は、13.6～17.1%、一酸化炭素濃度は、0～5.8%、二酸化炭素濃度は、4.5～6.8%の値をそれぞれ示している。その時点から51秒から2分30秒後には、F・Oが発生しており、そのF・O前後における酸素濃度は0.5～4.6%、一酸化炭素濃度は1.4～12.1%、二酸化炭素濃度は6.8～28.8%という結果が得られた。

(3) 開口部閉鎖型実験

本実験結果は、開口部閉鎖時間が短いため、ガス濃度変化については測定器の応答時

表1 天井着火とF・O前後のガス濃度比較表

内装厚さ (mm)	天井着火前後の濃度 (%)			F・O前後の濃度 (%)			天井着火からF・Oに至る時間 [分秒]
	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	
3	13.6	0	5.8	1.3	7.2	17.5	2'30
	17.1	0.1	4.5	4.6	8.8	20.0	1'01
5	14.2	0.1	6.8	0.7	7.9	17.5	0'51
	15.5	0	4.8	0.5	7.1	18.0	1'54
9	16.2	0.2	6.8	1.0	12.1	28.8	1'54
	14.2	0	6.2	3.9	1.4	6.8	1'51
12	14.0	0	5.5	1.2	5.0	14.0	1'07
	14.0	0	6.8	1.0	5.8	18.0	1'00

間の関係で正確な値が得られず、今回は結果説明を省略した。今後、測定方法について改善を加え、ガスの挙動についても把握してゆくが、ここでは室内の温度測定結果から、開口部開放時に爆発的燃焼（以下「爆燃現象」という。）を呈した事例と、しなかった事例(共に内装材、普通合板12mm)を取り上げ、その相違点に着目し、爆燃現象発生を目安について検討する。



写真9 開口部閉鎖前の状況

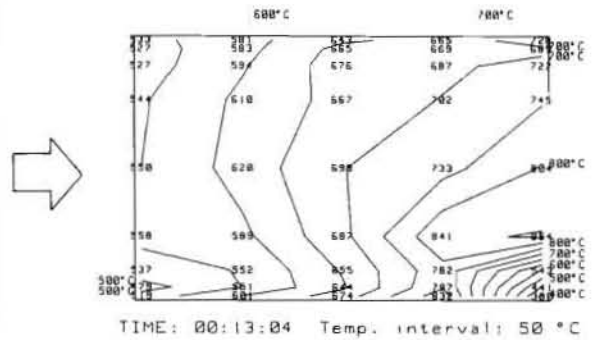


図15 開口部閉鎖前の等温分布図

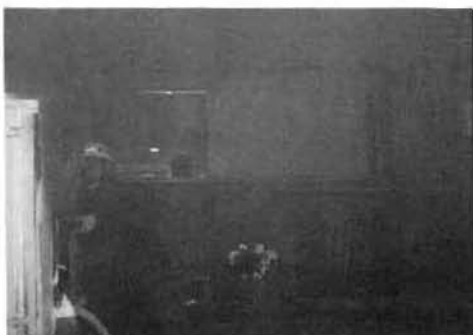


写真10 開口部閉鎖から8秒後の状況

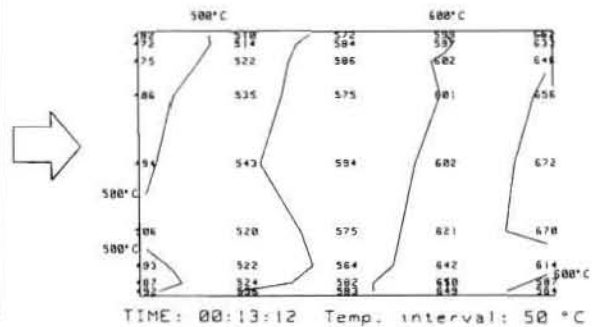


図16 開口部閉鎖から8秒後の等温分布図



写真11 開口部開放時の状況

本実験における室内温度分布に係わるデータのうち、顕著な爆燃現象を呈したものが、図15~17である。写真9~11は、その時点の燃焼状態を示したものである。(図15~17、写真9~11参照)

図15は、開口部閉鎖直前の状況であり、この状況での室内等温分布を見ると、開口部に高温の領域が現れている。

図16は、開口部を閉鎖してから8秒後の等温分布で、図15の等温分布と比較すると室内の温度は全般にさがり、中央部の高温の領域が消えて、室内は平均的に同一な分布状態になっている。

図17は、開口部を開放後の爆燃現象発生時の等温分布である。

この等温分布図によって、前(1)の閉口部開放型実験における結果において述べた、炎に包まれる温度である500°Cラインに着目して燃焼状況を判断すると、室内のすべてが炎に包まれていることがわかる。

また、この実験データの時点における目視観測結果では、開口部から大きい球状火炎の噴出が認められており、この目視の結果を基に等温分布をみると、751°Cの高温領域が開口部に向かって移動しているのが認められ、目視の結果を裏付ける状況となっている。

一方、爆燃現象を呈さなかった時の室内等温分布は図18に示すとおりである。(図18参照)

この図18と図17を比較すると、爆燃現象が発生した時の室内最高温度が751°Cであるのに対し、図28では、458°Cと低く、有炎現象が認められない状況であった。

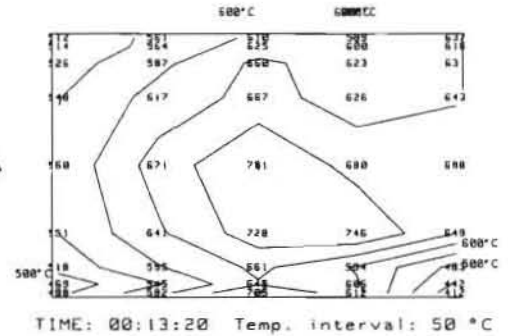


図17 開口部開放時の等温分布図

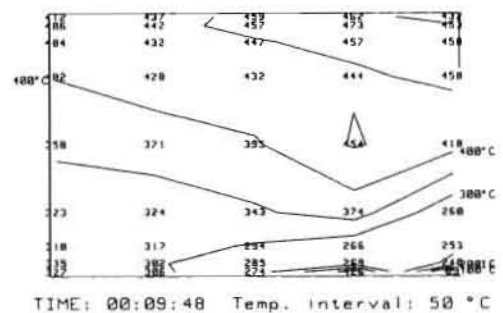


図18 開口部開放後の等温分布図

以上のことから、室内に火炎が認められず、内部がくん焼状態になっている場合、室内温度が500°C以上であれば爆燃現象が発生する危険性が極めて高いといえる。

4. 今後の研究課題等

本報告事項は、今後の当該模型燃焼室を用いた実験を実施する上での各種現象の判断要素を模索するために実施した結果をまとめたもので、F・Oの発生メカニズムを解明するための一指針を示したものである。

今後は、本報告事項を基に模型実験を継続して、基本データを収集するとともに、実大規模の実験を取り入れたデータ収集を行い、F・Oの発生メカニズム解明のための検証を行う予定である。