

# 内装材が火災初期の燃焼性状に及ぼす影響

Effect of Interior Finishings on Fire Behaviour at Early Stage of Fire.

鈴 木 唯 一 郎\*  
武 田 松 男\*  
熊 倉 孝 行\*  
田 中 康 之\*

The purpose of this work is to investigate the effect of the interior finishings materials on the full fire development in a compartment. The work was commenced with model.

A box (680×1050×600mm) made of autoclaved light-weight concrete boards was used as a model compartment. It has a opening at one side and size of opening was changed as follows : a) 200×365 mm b) 160×365mm.

Plywood, incombustible plywood, gypsum board, and the like was used as internal linings. Temperature inside the box, burning rate, heat release rate, smoke emission rate and carbonmonoxide release rate was measured.

## は し が き

火災が発生した場合その初期における火災性状のうち、特に、火災伝播性・発煙・発ガス性等の特性は、その後の初期消火活動、避難行動及び消火活動に大きな影響を与える。

これらの特性は、開口条件・収容可燃物量・内装仕上材等の条件によって異なる。そのため本研究では、特に火災室に固有のものであり、着火から火災の立ち上がり及びその後のフラッシュオーバーの大きな要因となっている内装材が、火災発生から火盛り期への遷移に及ぼす影響について把握するため、模型燃焼室内において燃焼実験を実施し、種々のデータの収集・分析を行ったのでその概要を報告する。

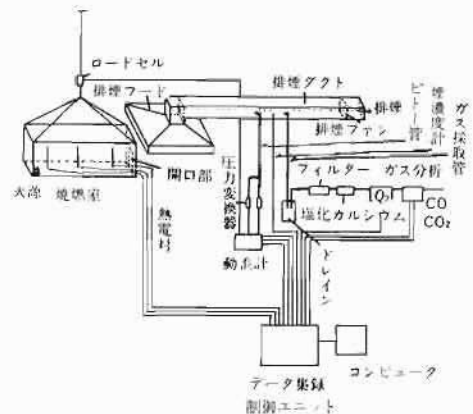


図1 実験装置概要図

## 2. 実験方法

### (1) 実験装置

実験装置の概要図を図1に示した。

#### ア 模型燃焼室

模型燃焼室の構造は、図2に示した。

模型燃焼室の各面は、ALC板(厚さ37mm)の内側に石綿パーライト板(厚さ10mm)を張り合せたものを使用した。

開口部は、幅200×高さ365mm(開口因子=4410cm<sup>5/2</sup>)と幅160×高さ365mm(開口因子=3530cm<sup>5/2</sup>)の2通りとした。

#### イ 排煙装置

排煙装置は、模型燃焼室の開口部の上方に集煙フード(幅1200×奥行900mm)を設置し、集煙フードの頂部に排煙ダクト(幅330×高さ330×長さ6000mm)を接続して、ダクトの端部に排煙ファンを設置した。

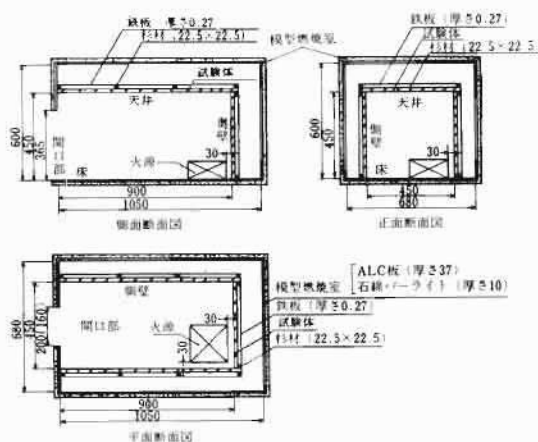


図2 模型燃焼室及び試験体の構造及び配置

集煙フードから3～4 mの位置のダクト内にピトー管、熱電対、煙濃度計及びガス採取管をそれぞれ取り付けた。

なお、煙濃度計は、レンズ表面への煙の付着を防護するため、ラビリンスを設け、エアパージを行った。

## (2) 試験体 (内装材料の種類)

試験体の材料を表1に示した。

試験体は、図3に示すように杉材で組まれた木枠及び鉄板に鉄釘で打ち付けた後組み立てた。

なお、試験体は、開口面と床面を除く4面に取り付けた。

表1 試験体と実験回数

| 試験体                      | 開口条件 | 実験回数        |             |
|--------------------------|------|-------------|-------------|
|                          |      | W200×H365mm | W160×H365mm |
| 普通合板(3mm)                |      | 2 (1,2)     | 1 (3)       |
| 普通合板(5mm)                |      | 2 (4,5)     | 1 (6)       |
| 難燃合板(5.5mm)              |      | 2 (7,8)     | 1 (9)       |
| ビニルクロス合板(2.5mm)          |      | 2 (10,11)   | 1 (12)      |
| 石膏ボード(12mm)              |      | 2 (13,14)   | 1 (15)      |
| 石膏ボード(12mm)<br>ビニルクロス仕上げ |      | 1 (16)      | 1 (17)      |
| ケイ酸カルシウム板(10mm)          |      | 1 (18)      | —           |
| 合 計                      |      | 12          | 6           |

\* ( ) 内は実験番号

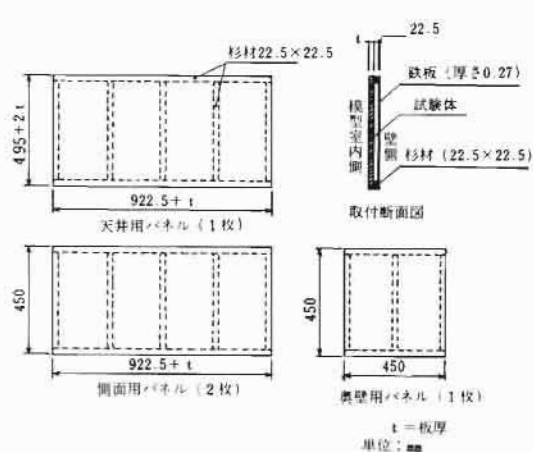


図3 試験体の取付方法

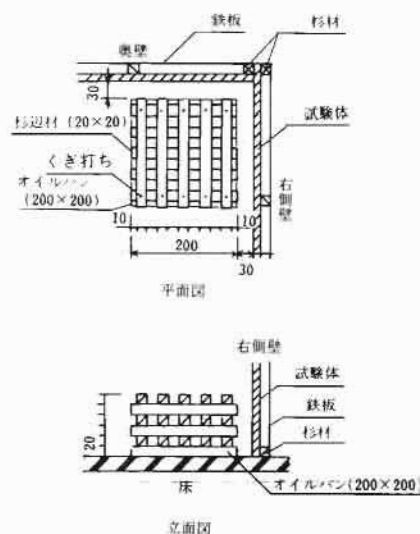


図4 火源及び点火源の構造と配置

## (3) 火源及び点火方法

火源は、縦横それぞれ20mm、長さ200mmの気乾状態の杉辺材25本 (総重量800g±5%)を20mm間隔に1段5本づつ5段積みにしたものを使用した。

点火源は、オイルパン (縦200×横200×高さ20mm) にメタノール50mlを用いた。

点火は、試験体・火源・点火源を、図2、4に示すとおり設置し、点火30秒前にメタノールをオイルパンに注ぎ込んだ後、電気スパークで点火する方法で行った。

表2 測定項目、方法及び計器の仕様

| 計測場所   | 測定項目                                               | 測定方法                                                             | 測定点数            | 測定範囲                                            |
|--------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|
| 模型燃焼室  | 室内温度<br>重量減少                                       | 熱電対 (K線, 0.65mm)<br>引張型ロードセル                                     | 45<br>(図5)<br>1 | 0~200kg                                         |
| 排煙ダクト内 | ダクト内温度                                             | 熱電対 (K線, 0.65mm)                                                 | 1               | 0~10g/cm <sup>3</sup><br>光路長0.25m <sup>*1</sup> |
|        | 圧力<br>(全圧, 動圧)                                     | ピート管+圧力変換器                                                       | 各1              |                                                 |
|        | 煙濃度                                                | 透過光式煙濃度計<br>{ 光源: タングステンランプ(12V 8W)<br>受光部: 太陽電池                 | 1               |                                                 |
|        | ガス分析<br>(O <sub>2</sub> , CO,<br>CO <sub>2</sub> ) | ジルコニア式O <sub>2</sub> 分析計<br>COガス赤外分析計<br>CO <sub>2</sub> ガス赤外分析計 | 各1              |                                                 |
| 実験室    | 実験室温度                                              | 熱電対 (K線, 0.65mm)                                                 | 1               |                                                 |

\*1 ラビリンス間の距離

#### (4) 計測及び処理

##### ア 計測

模型燃焼室及びダクト内の測定項目、方法及び計器の仕様を表2に示した。

##### イ 処理

データの集録は、データ集録装置 (YHP3497A) を用い、集録間隔5秒、集録速度86点/秒で読み取り、これをGP-IBを介してパーソナルコンピュータ (YHP216) で記録し、計算処理を行った。

### 3. 解明項目

各試験体の燃焼特性を把握するために、温度特性のほかに次に示す特性について検討した。

- 発熱速度 (量)
- 燃焼速度 (量)
- 発煙速度 (量)
- COガス放出速度 (量)

なお、各特性値の算出式は、最後に資料として示した。

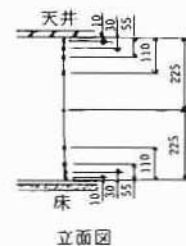
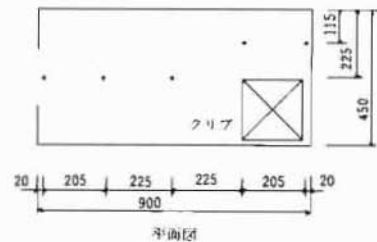


図5 熱電部取付位置

### 4. 結果及び考察

天井着火時とフラッシュオーバー (以下「F・O」という。) 発生時の各特性値の一覧を表3に示した。

表3-1 天井着火時の諸特性

| 材 料                        |       | 普通合板 (3mm) |       |       | 普通合板 (5mm) |       |       | 難燃合板 (5.5mm)<br>ポリ加工 |      |       | ビニルクロス合板<br>(2.5mm) |       |       | 石膏ボード<br>ビニルクロス |       |
|----------------------------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|----------------------|------|-------|---------------------|-------|-------|-----------------|-------|
|                            |       | 1回目        | 2回目   | 3回目   | 1回目        | 2回目   | 3回目   | 1回目                  | 2回目  | 3回目   | 1回目                 | 2回目   | 3回目   | 1回目             | 2回目   |
| 実 験 番 号                    |       | 1          | 2     | 3     | 4          | 5     | 6     | 7                    | 8    | 9     | 10                  | 11    | 12    | 16              | 17    |
| 経過時間 (分秒)                  |       | 2'25       | 2'00  | 1'15  | 2'00       | 1'50  | 2'00  | 2'10                 | 1'25 | 1'45  | 1'40                | 1'40  | 2'10  | 1'00            | 1'15  |
| 開口面積 (cm <sup>2</sup> )    |       | 730        |       | 580   | 730        |       | 580   | 730                  |      | 580   | 730                 |       | 580   | 730             | 580   |
| 室内温度<br>(°C)               | 天井直下  | 215        | 430   | 430   | 222        | 525   | 630   | 240                  | 430  | 632   | 194                 | 412   | 481   | 320             | 380   |
|                            | 中 央   | 135        | 190   | 143   | 168        | 214   | 214   | 170                  | 135  | 205   | 167                 | 150   | 150   | 93              | 133   |
|                            | 床 直 上 | 20         | 22    | 20    | 20         | 28    | 26    | 20                   | 19   | 28    | 24                  | 17    | 20    | 14              | 19    |
| 発熱速度 (KJ/秒)                |       | 6.0        | 11.0  | 11.0  | 9.0        | 13.0  | 11.0  | 5.0                  | 10.0 | 13.0  | 5.0                 | 7.0   | 9.0   | 8.0             | 12.0  |
| 発 熱 量 (KJ)                 |       | 590        | 630   | 380   | 670        | 690   | 670   | 250                  | 250  | 630   | 210                 | 210   | 440   | 150             | 250   |
| 燃焼速度 (g/秒)                 |       | 2.2        | 4.0   | 1.6   | 2.0        | 5.6   | 2.5   | 3.3                  | 2.9  | 3.3   | 2.6                 | 4.2   | 2.2   | 0.4             | 1.5   |
| 燃 焼 量 (g)                  |       | 160        | 145   | 35    | 120        | 190   | 105   | 110                  | 70   | 90    | 100                 | 100   | 110   | 30              | 50    |
| 発煙速度 (m <sup>3</sup> /秒)   |       | —          | —     | —     | —          | —     | —     | —                    | —    | —     | —                   | —     | —     | —               | —     |
| 発 煙 量 (m <sup>3</sup> )    |       | —          | —     | —     | —          | —     | —     | —                    | —    | —     | —                   | —     | —     | —               | —     |
| CO放出速度 (g/秒)               |       | 0.017      | 0.015 | 0.026 | 0.015      | 0.029 | 0.020 | 0.14                 | 0.02 | 0.014 | 0.010               | 0.160 | 0.007 | 0.012           | 0.035 |
| CO放出総量 (g)                 |       | 1.80       | 1.47  | 1.14  | 2.20       | 2.30  | 1.60  | 10.0                 | 1.70 | 1.70  | 1.45                | 1.84  | 1.43  | 1.10            | 1.70  |
| CO <sub>2</sub> 放出速度 (g/秒) |       | 1.04       | 1.78  | 1.12  | 1.12       | 2.24  | 1.69  | 1.20                 | 1.16 | 1.61  | 1.04                | 1.23  | 1.24  | 0.78            | 1.13  |
| CO <sub>2</sub> 放出総量 (g)   |       | 94.0       | 83.9  | 28.0  | 63.7       | 91.7  | 89.3  | 68.4                 | 42.5 | 76.2  | 55.3                | 67.1  | 96.1  | 12.9            | 27.6  |

※1 石膏ボードでは、ボード紙の燃焼はあったが、自己火炎伝播には至らなかった。

※2 ケイ酸カルシウム板では、天井着火は認められなかった。

※3 実験番号7、10、13については、煙濃度計不良のため発煙速度(量)の測定は、できなかった。

表 3-2 フラッシュオーバー発生時の諸特性

| 材 料                        |         | 普通合板 (3mm) |       |       | 普通合板(5mm) |       |      | 難燃合板 (5.5mm)<br>ポリ加工 |            |            | ビニルクロス合板<br>(2.5mm) |            |      | 石膏ボード(12mm) |              |                | 石膏ボード<br>ビニルクロス |                 | ケイ酸カルシ<br>ウム板(10mm) |
|----------------------------|---------|------------|-------|-------|-----------|-------|------|----------------------|------------|------------|---------------------|------------|------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|
|                            |         | 1回目        | 2回目   | 3回目   | 1回目       | 2回目   | 3回目  | 1回目                  | 2回目        | 3回目        | 1回目                 | 2回目        | 3回目  | 1回目         | 2回目          | 3回目            | 1回目             | 2回目             | 1回目                 |
| 実 験 番 号                    |         | 1          | 2     | 3     | 4         | 5     | 6    | 7                    | 8          | 9          | 10                  | 11         | 12   | 13          | 14           | 15             | 16              | 17              | 18                  |
| 経 過 時 間 (分秒)               |         | 4'10       | 3'15  | 3'15  | 3'50      | 3'15  | 4'45 | 3'45                 | 3'00       | 3'45       | 3'15                | 3'00       | 4'15 | 5'00        | 5'00         | 5'00           | 5'00            | 5'00            | 5'00                |
| 開 口 面 積 (cm <sup>2</sup> ) |         | 730        |       | 580   | 730       |       | 580  | 730                  |            | 580        | 730                 |            | 580  | 730         |              | 580            | 730             | 580             | 730                 |
| 室<br>内<br>温<br>度<br>(°C)   | 天 井 直 下 | 500        | 585   | 635   | 574       | 610   | 676  | 469                  | 620        | 595        | 529                 | 598        | 640  | 585         | 667          | 648            | 557             | 566             | 529                 |
|                            | 中 央     | 735        | 650   | 686   | 732       | 665   | 640  | 652                  | 663        | 742        | 731                 | 629        | 598  | 426         | 390          | 352            | 428             | 447             | 283                 |
|                            | 床 直 上   | 180        | 144   | 176   | 176       | 154   | 240  | 174                  | 200        | 258        | 202                 | 133        | 203  | 82          | 107          | 82             | 142             | 138             | 38                  |
| 発熱速度 (KJ/秒)                |         | 43         | 43    | 50    | 40        | 45    | 43   | 40                   | (43)<br>38 | (40)<br>38 | 43                  | (41)<br>40 | 52   | 16          | 20           | (32)<br>28     | (36)<br>24      | (48)<br>26      | 11                  |
| 発 熱 量 (KJ)                 |         | 2580       | 2690  | 3880  | 3560      | 3230  | 4780 | 3080                 | 3000       | 4430       | 2390                | 2060       | 4280 | 2690        | 3310         | 4340           | 4970            | 6720            | 2320                |
| 燃焼速度 (g/秒)                 |         | 11.0       | 9.9   | 8.5   | 8.8       | 8.9   | 9.5  | 9.2                  | 7.6        | 7.7        | 10.5                | 11.9       | 10.3 | 4.8         | (5.1)<br>4.9 | (4.9)<br>4.6   | (5.0)<br>4.0    | (5.4)<br>4.1    | 3.3                 |
| 燃 焼 量 (g)                  |         | 890        | 770   | 770   | 805       | 830   | 1220 | 815                  | 760        | 910        | 890                 | 750        | 1050 | 0.61        | 0.81         | 0.68           | 0.95            | 0.95            | 0.56                |
| 発煙速度 (m <sup>3</sup> /秒)   |         | 0.015      | 0.024 | 0.017 | 0.028     | 0.049 | 0.65 |                      | 0.17       | 0.21       |                     | 0.70       | 1.92 |             | 0.057        | 0.033          | (0.80)<br>0.033 | (0.84)<br>0.039 | 0.009               |
| 発 煙 量 (m <sup>3</sup> )    |         | 4.6        | 6.6   | 6.6   | 7.5       | 8.4   | 27.0 |                      | 28.0       | 40.0       |                     | 14.3       | 50.0 |             | 0.37         | 0.23           | 2.31            | (5.41)<br>4.63  | 0.08                |
| CO放出速度 (g/秒)               |         | 0.36       | 0.47  | 0.39  | 0.39      | 0.48  | 0.57 | 0.20                 | 0.38       | 0.37       | 0.40                | 0.43       | 0.72 | 0.08        | 0.16         | (0.21)<br>0.13 | (0.29)<br>0.17  | (0.36)<br>0.19  | 0.4                 |
| CO放出総量 (g)                 |         | 15.7       | 15.1  | 29.3  | 20.7      | 24.2  | 47.8 | 28.9                 | 22.8       | 34.0       | 18.9                | 16.3       | 45.0 | 7.4         | 17.8         | 14.0           | 29.0            | 40.4            | 7.4                 |
| CO <sub>2</sub> 放出速度 (g/秒) |         | 4.90       | 4.75  | 5.69  | 4.56      | 4.78  | 4.60 | 3.56                 | 3.83       | 4.21       | 4.59                | 4.28       | 4.55 | 2.98        | 3.21         | 3.80           | 3.24            | 3.28            | 2.24                |
| CO <sub>2</sub> 放出総量 (g)   |         | 354        | 339   | 322   | 359       | 407   | 718  | 334                  | 340        | 493        | 304                 | 285        | 488  | 474         | 573          | 609            | 609             | 707             | 389                 |

※1 ( ) 内は、火災噴出前に一時的に起こったピーク時の値。

※2 石膏ボード、石膏ボード+ビニルクロス、ケイ酸カルシウム板を使用した実験では、フラッシュオーバーが発生しなかったため、点火後5分のものを示した。

## (1) 温度特性

- ① 図6に一例として普通合板(3mm)の点火から火炎噴出(F・O発生時)に至る間の時間経過に伴う室内温度分布を、また、図7にはその時間温度曲線を示した。

点火直後から、火源上天井直下に高温域が発生する。天井着火に伴い、開口側へ成長すると共に下降し、点火2分45秒後には、燃焼室中央に最高高温域が発生した。この高温部の温度は550~700°Cで、目視観測では、この発生時期にF・O直前の一時的な火炎の噴出が認められた。

- ② 燃焼室中央に発生した高温域は、温度上昇(約50°C)すると共に、急速に降下(500°C、400°Cの等温線に注意)・拡大し、F・Oが発生した。点火からF・O発生に至るこの過程は材料の種類にかかわらずほぼ同じ形態となった。

- ③ F・Oの発生しなかった石こうボード、石こうボードにビニルクロス仕上げ、ケイ酸カルシウム板の内装材の場合、クリブのみ又は、表面のみの燃焼に留まり、燃焼室中央の高温域の発生は認められなかった。但し、石こうボードにビニルクロス仕上げを施した試験体では、点火後2分30秒頃から中央天井直下に500~550°Cの小高温域が発生する段階にまで至っており、火源が大きくなり熱供給量が増加すれば、F・Oが発生する可能性があるものと思われる。

- ④ F・O発生時の中性帯は、開口部付近では天井高の1/8~1/4の高さの位置で、それより下では、室中央部でも250°Cを越えていなかった。

中性帯は、図8に示すように開口幅を20%広くすると、開口部付近で30~35%その位置が降下するのが認められた。

- ⑤ 開口幅の狭い場合、F・O発生時における燃焼室中央における高温域が大きくなる傾向が見られた。

## (2) その他の諸特性

各試験体の測定結果を図9に示した。

### ① 発熱速度・発熱量

- ア F・Oが発生した試験体では、発熱速度は天井着火直後から急速に増加し、40~50 KJ/秒に達したところでF・Oが発生した。F・O発生時の発熱速度は、材料の種類・開

口条件による明確な相異は認められなかったが、総発熱量では、薄い材料ほどF・O発生までの総発熱量が小さく、開口部の小さい場合に総発熱量が大きくなった。

- イ F・O発生時後の最大発熱速度は、発生時の約2倍で材料の種類及び板厚による差は認められなかった。しかし、F・O発生から最大値に達するまでの時間は、板厚の薄い材料の方が短かった。

- ウ 難燃合板では、F・O発生直後に最大値の約80%のピークに達し、一度降下した後最大値に至るという特徴が見られた。

- エ F・Oが発生しなかったケイ酸カルシウム板では、クリブの発熱のみで最大約20 KJ/秒、石こうボードでは、表面のボード紙による小さな発熱があり最大約25 KJ/秒であった。

ビニルクロス仕上げをした石こうボードでは、ビニルクロスの燃焼による一時的な発熱が見られ、最大40~50 KJ/秒に達したが、F・Oの発生には至らなかった。

### ② 燃焼速度・燃焼重量

- ア F・Oの発生した材料では、燃焼速度は1、2例を除いて発熱速度よりも早い時期に急激な増加が始まった。F・Oは、7.5~11 g/秒の範囲で発生しており、厚い材料の方が小さい燃焼速度で発生する傾向が認められた。F・O発生後のピークは、わずかに20~25%の増加に留まり、約2倍になる発熱速度と大きな違いが見られた。

- イ 図10に燃焼速度と発熱速度の関係を示した。F・O発生前から既に燃焼室外での二次的反応によると思われる発熱速度の増加が認められ、F・O発生後の発熱速度は、燃焼速度に比べ急速に増加している。

特に、難燃合板では、発熱速度の第1ピーク時に燃焼速度の変化がなく発熱速度のみパルス状に変化した。これは、F・Oの際、表面の難燃処理層がこわれ、その際にそれまでの加熱により既に表面処理層の下に生じていた分解ガスが一気に噴出したことによると推定される。

- ウ 燃焼速度-発熱速度曲線において、同一燃焼速度では、薄い材料の方が発熱速度が

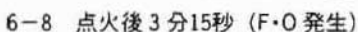
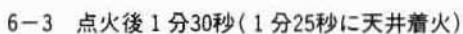
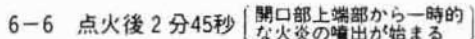
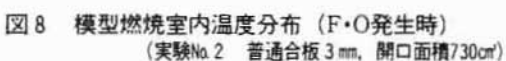


図6 模型燃焼室内側面断面温度分布の時間経過に伴う変遷



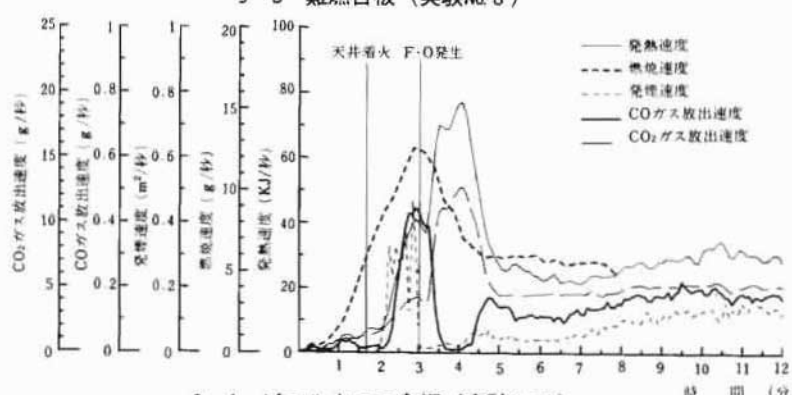
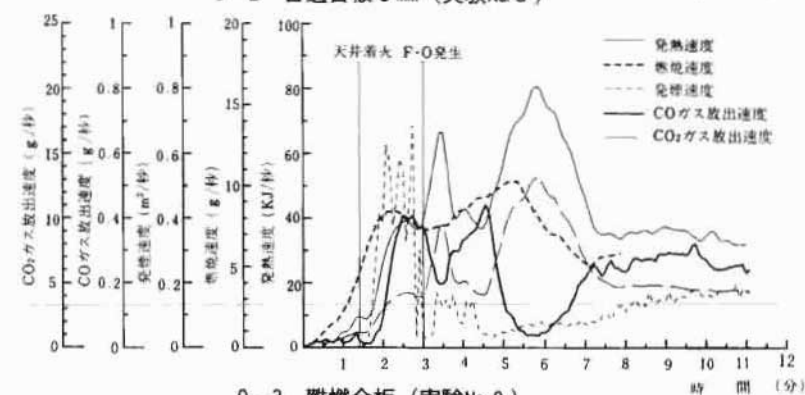
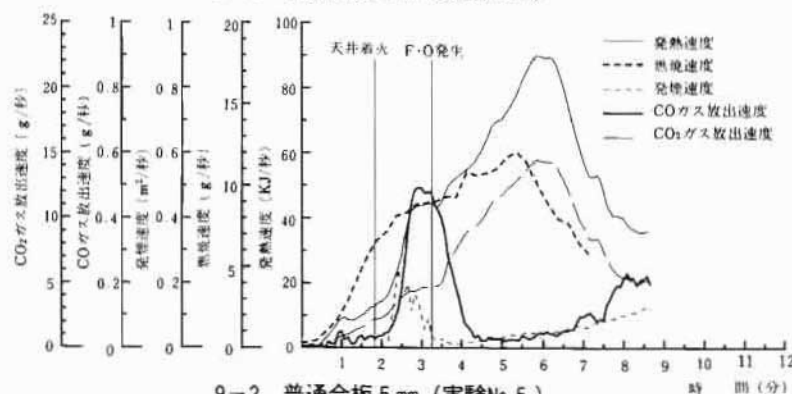
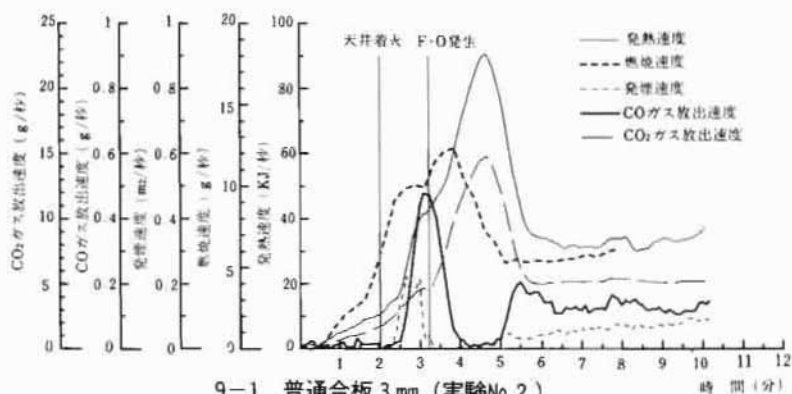


図9 燃焼による諸特性値の変化 (その1)



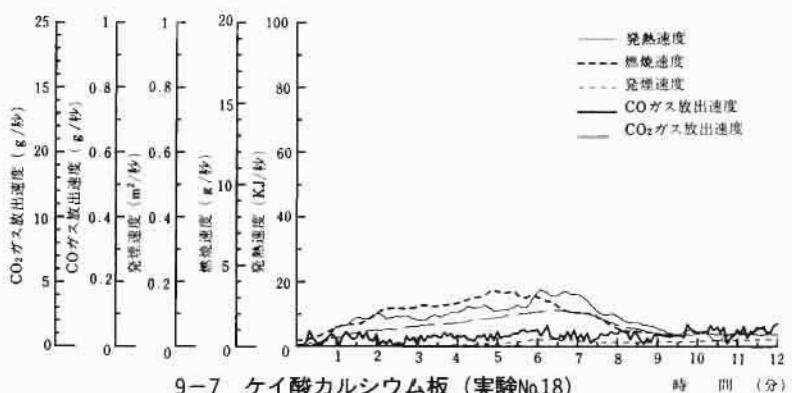
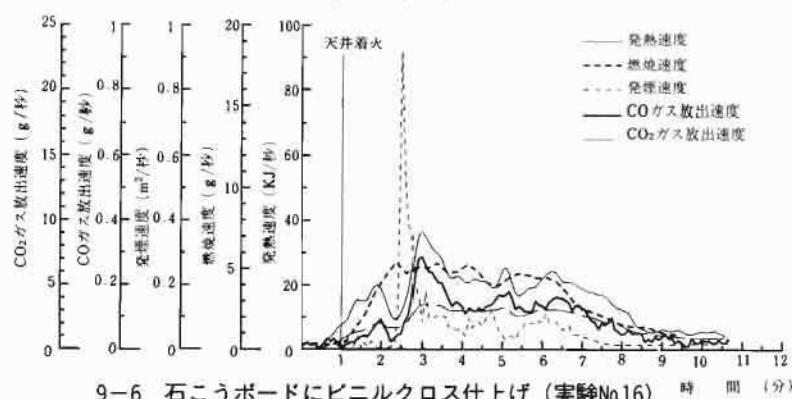
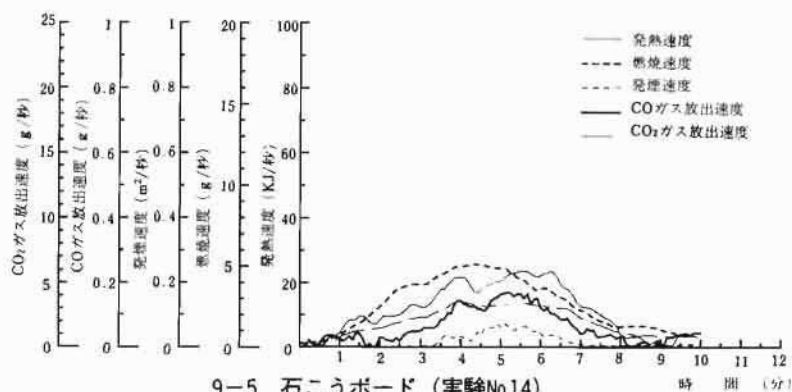
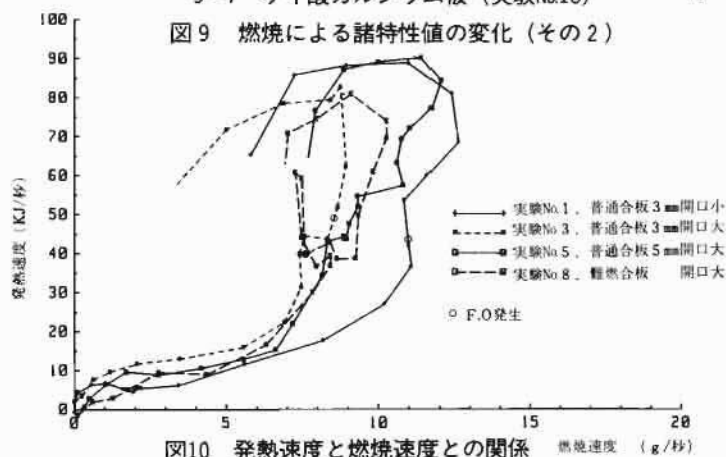


図9 燃焼による諸特性値の変化 (その2)



小さく、開口面積の小さい方が発熱速度が大きくなる傾向が認められた。これは、板厚が薄い材料では、表面のみでなく裏面の温度上昇も早いため、厚板に比べ裏面の熱分解が速く燃焼速度が増加する。火災初期においては、一般的に壁体内では放出された熱分解ガスの燃焼による発熱がほとんではないため、燃焼速度に比べ発熱速度が小さくなっているものと推定される。

一方、開口部が小さい場合には、開口部から放射や噴気流として排出される熱量が少なくなり、室内により多くの熱がこもって、熱分解ガスの温度が高くなるため、燃焼室から噴出した未燃ガスの室外における燃焼が促進されたためと推定される。

エ F・O が発生しなかった石こうボード、ケイ酸カルシウム板による内装では、急激な燃焼速度の増加はなく、それぞれ約5.5g/秒、約3.5g/秒を最大値とする単純な山形となった。石こうボードにビニルクロス仕上げをしたものは、天井着火後一時的な燃焼速度の増加が見られたが、最大でも約6g/秒で、F・O が発生した場合の燃焼速度7.5~11g/秒には達しなかった。

### ③ 発煙速度・発煙量

ア 合板類では、天井着火以前は、天井付近に極薄い煙が滞っている程度であった。天井着火直後から黒煙の噴出が急増した後、F・O 発生前後の火炎噴出により急激に減少した。そのため、同一材料でも天井着火から F・O 発生までの経過時間が長くなる程発煙量は多くなる傾向が見られた。(図11)

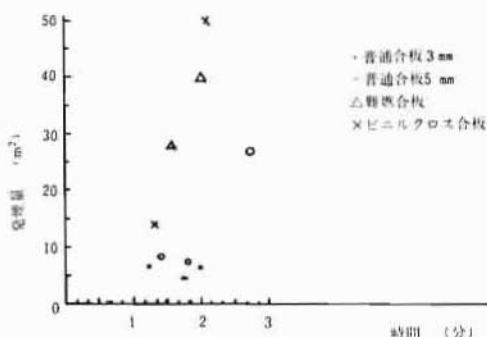


図11 天井着火-F・O 間の経過時間と発煙量

イ 発煙量は、試験体の種類による差が非常に大きく、難燃合板、ビニルクロス合板では、それぞれ同程度の板厚の普通合板に比べ、F・O 発生までの総量でそれぞれ2~4倍、3~6倍となった。(図11)

ウ 同一材料では板厚が厚いもの程、また開口面積が小さい程発煙量は多くなる傾向が見られた。

### ④ CO ガス放出速度・放出量

ア 合板類では、発煙より10~20秒遅れて急激な増加を始め、F・O 発生に伴って減少した。最大放出速度は、1, 2例を除いて4~5g/秒と材料による差は認められなかったが、放出量では、板厚の厚いものの方が多くなった。

イ 開口面積による影響は、放出速度ではビニルクロス合板を除いてほとんど差が認められなかったが、放出量では開口面積の小さいものの方が大きくなる傾向が見られた。

ウ 過去の火災実験結果によれば F・O 発生後、火災室内では CO 濃度が増加することが知られており、今回の実験による F・O 発生直後の CO ガス放出速度の急減は、高温の未燃ガスが開放空間に放出された後、燃焼室外の O<sub>2</sub> と反応し燃焼したことによるものと推定される。

エ 前ウから、地下や細長い廊下の突き当り等空気の供給が十分に行えない場合には、F・O 発生後でも CO ガス放出速度は、減少するどころか、却って増加する可能性がある。

### ⑤ CO<sub>2</sub> ガス放出速度・放出量

ア 合板類では、F・O 発生直後から急激な増加を示し、発煙、CO ガス放出とは異なった性状を示した。これは、前④エでも一部触れたが、F・O 発生に伴い燃焼室から放出された CO を始めとする未燃燃の分解ガスや、煙中に含まれていた遊離炭素・タール粒子が、空外の空気中の O<sub>2</sub> と反応し燃焼したことによると推定される。また、この燃焼が F・O 後の発熱速度の増大をもたらしたと考えられる。

イ 最大放出速度は、12~14g/秒と合板の種類による差は認められなかったが、板厚の

厚いもの程、燃焼時間が長くなるため、時間-CO<sub>2</sub>ガス放出速度曲線の山の裾野が広がる傾向が認められた。

ウ F・Oが発生しなかった材料では、CO<sub>2</sub>ガス放出速度の急激な増加もなく、最大値でも3～4 g/秒で、合板類の1/3～1/4の値となった。

## 5. ま と め

### (1) 材料の特性

ア 合板類では、天井着火直後から発熱・発煙・COガス放出速度はいずれも急激に増加しており、天井着火が、火災成長過程において大きな転換期となっている。

F・Oの発生により、発熱速度・CO<sub>2</sub>ガス放出速度は、急激に増加するが、発煙速度・COガス放出速度は、急激に減小する。これは、燃焼室からの高温の排気ガス中に含まれる、COガス・未燃の可燃性ガス・煙粒子等が室外で酸素と反応し燃焼することによると推定される。

最大発熱速度では、合板間の差は認められなかったが、発煙では、表面処理してあるものが未処理のものに比べ総量で2～6倍にもなっている。

CO及びCO<sub>2</sub>ガス放出速度は、板厚、開口面積による差がほとんど認められなかったが放出総量では、板厚が厚く、開口面積が小さいものの方が1.2～2倍多くなった。

イ 非合板類では、発熱・発煙・COガス放出、CO<sub>2</sub>ガス放出速度の特性値は、全て合板類より小さく、F・Oも発生しなかった。しかし、ビニルクロス仕上げをした石こうボードに見られるように、表面仕上げが発煙・CO放出特性に大きく影響するので注意する必要がある。

### (2) 火災成長期における温度特性

ア F・Oは、火災室中央温度が600～750℃で発生した。F・O発生直前に、室中央部に最高温度域(550～700℃)が発生し、この時点で一時的な火災の噴出が認められた。

F・Oの発生しなかったものでは、この高温域の発生が認められなかった。

イ F・O期における中性帯の位置は、天井高の1/8～1/4の高さで、開口部においては、開口

面積を小さく(今回の実験では開口幅を狭めた)すると上昇する傾向にあった。

## 6. 消防上の提言

模型燃焼室を用いた一連の実験結果から都民指導・室内の不燃化対策・消防対策及び活動面に関して次の事項が確認された。

- (1) 初期消火は、天井着火までが限界であり、それ以後では、急激な発煙等により避難不能になるおそれがある。
- (2) 内装材の不燃化は、F・O発生の抑制に効果がある。
- (3) 不燃材等にビニルクロス等で仕上げをすると、基材と全く異なる燃焼特性(例えば発煙性)を示すことがあるので、その選定にあたっては十分注意する。
- (4) F・O発生以前火災室の開口部床付近は数10℃であっても、室内中央部では既に600℃に達している場合があり、進入は必ず援護注水のもとに実施する。
- (5) F・O発生のおそれのある火災室の開口部前面では、できる限り身を低くする。また開口部の開放幅は、最小限にとどめ、開口部正面には絶対位置しない。

## 7. あとがき

本研究では、耐火室内で内装仕上げ材の有無及びその種類(易燃性)が、火災の発生・成長期の諸特性におよぼす影響について模型実験を実施し、その概要を把握してきた。

しかし、燃焼速室規模が小さく限られたデータであり、また、床材の燃焼性や火源の大きさの影響等については、未解明である。これらに関しては現在『フラッシュオーバーに関する研究』でその研究が進められており、今後、より大規模な模型実験や実大火災実験における検証・解明が待たれる。

## 8. 参考文献

斎藤文春、吉田正志：「模型による室の燃焼挙動の定量化について」火災34巻3号

## 諸特性値の算出方法

## 1 発熱速度

$$\dot{Q}_t = \left[ EX_{O_2}^0 - \frac{1 - X_{O_2}^0}{1 - X_{O_2}^A - X_{CO_2}^A - X_{CO}^A} \left\{ EX_{O_2}^A - 1/2(E - E')X_{CO}^A \right\} \right] \left( \frac{ms}{W_{AIR}} \right)$$

但し、ms は圧力の測定値から次式により求める。

$$ms = A \sqrt{2\Delta P \rho_o \frac{T_o}{T_s}}$$

上記において、

$\dot{Q}_t$  : 点火後の時刻 t における発熱速度 (KJ/秒)

E : 有機材料が完全燃焼した場合の単位酸素消費量当りの平均発熱量 (KJ/mol)

E' : CO が燃焼して CO<sub>2</sub> になる場合の単位酸素消費量当りの平均発熱量 (KJ/mol)

$X_{O_2}^0$  : 雰囲気中の O<sub>2</sub> 分圧分析値 (=0.209)

$X_{O_2}^A$  : 排煙ダクト内の O<sub>2</sub> 分圧分析値 (応答遅れを補正した値)

$X_{CO_2}^A$  : 排煙ダクト内の CO<sub>2</sub> 分圧分析値 (応答遅れを補正した値)

$X_{CO}^A$  : 排煙ダクト内の CO 分圧分析値 (応答遅れを補正した値)

ms : ダクト内ガスの質量流速 (kg/秒)

$\rho_o$  : 空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta P$  : ダクト内ピトー管による流速 (Pa)

T<sub>o</sub> : 雰囲気温度 (°K)

T<sub>s</sub> : 排煙ダクト内温度 (°K)

W<sub>AIR</sub> : 酸素のモル分子量 (kg/mol)

A : ダクト断面積 (m<sup>2</sup>)

である。

但し、E = 420 (KJ/mol)

E' = 566 (KJ/mol)

W<sub>AIR</sub> = 0.029 (kg/mol)

$\rho_o T_o = 353$  (kg°K/m<sup>3</sup>)

とする。

## 2. 燃焼速度

$$RM = \frac{W_t - W_{t+1}}{\Delta t}$$

RM : 燃焼速度 (g/秒)

W<sub>t</sub> : 点火後の時刻 t における重量(g)

W<sub>t+1</sub> : 点火後の時刻 t+1 における重量(g)

Δt : データ読み取り間隔(秒)

## 3. 発熱速度

$$CsKM = Cs \cdot V$$

CsKM : 発熱速度 (m<sup>3</sup>/秒)

Cs : 煙濃度 (m<sup>-1</sup>)

V : 風量 (m<sup>3</sup>/秒)

## 4. CO ガス放出速度

$$COKM = CO \times \frac{1}{100} \times V$$

COKM : CO ガス放出速度 (g/秒)

CO : CO ガス濃度 (%)

V : 風量 (g/秒)

## 5. 発熱量

$$Q_t = \sum_{i=1}^{imax} \left\{ \frac{1}{2} (\dot{Q}_{t-1} + \dot{Q}_{t1}) \cdot \Delta t \right\}$$

Q<sub>t</sub> : 点火から時刻 t までの間の発熱量 (KJ)

$\dot{Q}_{t-1}$  : 点火後の時刻 t-1 における発熱速度 ((KJ/秒)

$\dot{Q}_{t1}$  : 点火後の時刻 t<sub>1</sub> における発熱速度 (KJ/秒)

Δt : データ読み取り間隔 (秒)

imax : t を Δt で除した値

## 6. 燃焼重量

$$W = W_o - W_t$$

W : 燃焼重量 (g)

W<sub>o</sub> : 実験開始時の重量 (g)

W<sub>t</sub> : 点火後時刻 t における重量 (g)

## 7. 発煙量, CO ガス放出量

発熱量と同様な方法で求める。