

3階建住宅における木製扉の燃焼生成ガス等の 拡散阻止効果について

Effect of the wooden door partition on obstruction
of smokes flow and fire gases.

勝 野 仁*
桜 井 高 清*
稲 村 武 敏*
田 中 康 之*

概 要

住宅の部屋の出入口扉に防火性を有する木製扉を使用した際に、熱、煙及び燃焼生成ガスがどのように拡散するかについて「3階建て鉄鋼系プレハブ住宅火災実験」において検証した。

火災室は、点火後18分で火災最盛期になったが、熱、煙及び燃焼生成ガスの他の部分への漏れはわずかで、点火後40分までは火災室以外の部屋では、人体に影響を及ぼす濃度の有毒な燃焼生成ガスの拡散は認められなかった。

We studied the effect of wooden door partition, it had fireproof capacity, on obstruction of smokes flow and fire gases at the experiment of three stories prefabricated house.

Untill 40 minutes after ignition, smokes and toxic fire gases were not detected in any rooms, except in the fire room.

1. はじめに

火災時に発生する燃焼生成ガスなどに起因した中毒・窒息死が火災による死者のほぼ40%を占めている現状に鑑み、当研究所においては火災現場からの煙を採取分析したり、各種の火災実験を行なって燃焼生成ガスなどの実態について調査、研究を進めているところである。その研究の一環として財団法人日本建築センターに設けられた「3階建て鉄鋼系プレハブ住宅実験委員会」において平成2年1月12日火災実験が行われ、当研究所も実験に参画し同住宅の火災性状や建物の部位部材の性能などについて確認を行なった。

その実験において、火災室である1階居室と玄関ホールを区画している木製扉を始め、各室の出入口の木製扉が熱気、煙、燃焼ガスの拡散をどの程度阻止できるか、当該扉の防火、防煙性能などについての実験結果を報告する。

2. 実験条件

(1) 実験建物の概要

実験建物は、3階建ての鉄鋼系プレハブ住宅で、図-1のように3戸建の長屋形式のものである。

オ1住戸及びオ3住戸が実験家屋で、中央のオ2住戸は温度計測の測定室とした。面積はオ1住戸及びオ3住戸のそれぞれの延面積が175.55m²(1階56.31m²、2階及び3階がそれぞれ59.62m²)でオ2住戸の測定室を含めた総延面積は447.2m²である。

この建物の主な構成部材は、柱が角パイプ、梁がH型鋼、小屋組はH型鋼と木材が併用されている。また、屋根の仕上は、屋根葺き用スレート、外壁はバルブ混入軽量セメント押し出し成形板を有した防火構造で、床はオ1住戸の1階2階の一部と3階が合板で、2階の居室のみがALC版であった。

室内の内装材料は、両住戸とも壁と天井に石膏ボード1枚又は2枚重ね張りとし、一部

* 第一研究室

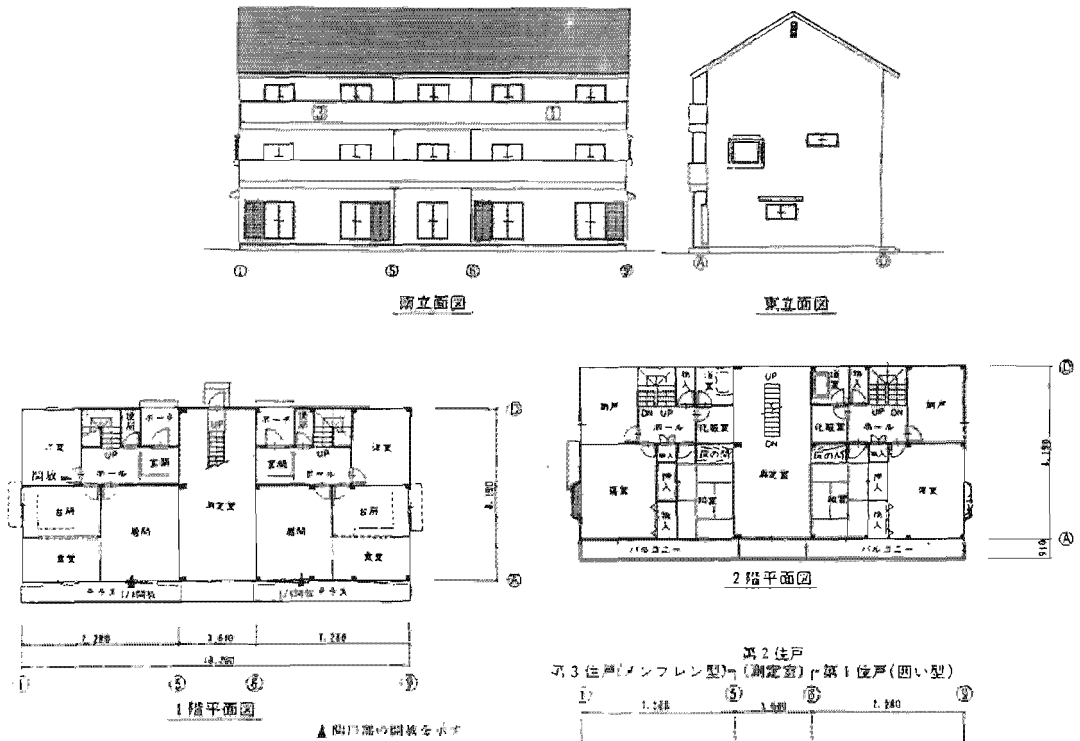


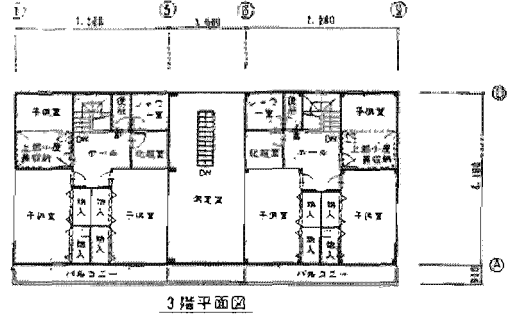
図1 実験建物の平面・立面図

の壁、天井には繊維混入パーライトけい酸カルシウム板が使用された。そして表-1の室内仕上表のとおりほとんどの室の仕上にビニールクロスが張られた。

(2) 可燃物

本実験のオ1住戸及びオ3住戸とも家族構成は6名と仮定し収納可燃物の量と配置が決定された。収納可燃物の量は1平方メートル

第2住戸
オ3住戸(マンフレシ型)・第1住戸(団い型)



当たり28kg~30kg程度を目標として家具や衣類等の中古品を配置した。ちなみにオ1住戸にあっては5.179kg(平均29.5kg/m²)であった。なお、収納可燃物の階毎の量は表-2のとおりである。

表2 住宅の収納可燃物量

(単位: kg)

	階	家具類	衣類	雑誌	木材	その他	合計	床面積(m ²)
第1住戸	1	733.0	127.0	740.0	150.0	20.0	1,770.0	56.31
	2	695.0	873.0	60.0	0.0	34.0	1,662.5	59.62
	3	654.5	492.5	600.0	0.0	0.0	1,747.0	59.62
	合計	2,082.5	1,492.5	1,400.0	150.0	54.0	5,179.0	175.55
単位面積当り重量 (kg/m ²) = 29.5								

第1住戸内部仕上げ表(1)

階数	室名	部位	下地	仕上
1階	玄関	床	合板15mm	木製フローア-15mm
		柱壁	PB12mm - PB9mm	
	天井	床	PB12mm	ビニールクロス
		天井	PB9mm + PB9mm	
	ホール	床	合板15mm	木製フローア-15mm
		柱壁	PB12mm + PB9mm	
	天井	床	PB12mm	ビニールクロス
		天井	PB9mm + PB9mm	
居間	床	合板15mm	木製フローア-15mm	
	柱壁	PB12mm - PB9mm		
天井	床	PB12mm	ビニールクロス	
	天井	PB9mm - PB9mm		
洋室	床	合板15mm	木製フローア-15mm	
	柱壁	繊維混入パーライトケイ酸カルシウム板11mm		
天井	床	繊維混入パーライトケイ酸カルシウム板11mm	ビニールクロス	
	天井	繊維混入パーライトケイ酸カルシウム板11mm		
食堂	床	合板15mm	木製フローア-15mm	
	柱壁	PB12mm + PB9mm		
天井	床	PB12mm	ビニールクロス	
	天井	PB9mm + PB9mm		
台所	床	合板15mm	木製フローア-15mm	
	柱壁	PB12mm + PB9mm		
天井	床	PB12mm	ビニールクロス	
	天井	PB9mm + PB9mm		
便所	床	合板15mm	木製フローア-15mm	
	柱壁	PB12mm + PB9mm		
天井	床	PB12mm	ビニールクロス	
	天井	PB9mm + PB9mm		
階段室	階段	柱壁	木製	ビニールクロス
		天井	PB12mm + PB9mm	
2階	寝室	床	ALC100mm + モルタル20mm	
		柱壁	PB12mm + PB9mm	
	天井	床	PB12mm	畳55mm
		天井	PB9mm + PB9mm	
和室	床	ALC100mm + モルタル20mm		
	柱壁	PB12mm + PB9mm		
天井	床	PB12mm		
	天井	PB9mm + PB9mm		
納戸	床	合板15mm		
	柱壁	PB12mm + PB9mm		
天井	床	PB12mm		
	天井	PB9mm + PB9mm		
化粧室	床	合板15mm		
	柱壁	PB12mm + PB9mm		
天井	床	PB12mm		
	天井	PB9mm + PB9mm		

第1住戸内部仕上げ表(2)

階数	室名	部位	下地	仕上
2階	浴室	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
	ホール	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	木製フローア-15mm ビニールクロス ビニールクロス ビニールクロス
	階段室	階段柱壁 天井	木製 PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	ビニールクロス ビニールクロス ビニールクロス
	物入	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
	押入	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
3階	子供室 (1)(2)(3)	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
	化粧室	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
	シャワー室	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
	便所	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
	物入	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	
	ホール	床柱壁 天井	合板15mm PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	木製フローア-15mm ビニールクロス ビニールクロス ビニールクロス
	階段室	階段柱壁 天井	木製 PB12mm+PB9mm PB12mm PB9mm+PB9mm	ビニールクロス ビニールクロス ビニールクロス

(3) 開口条件

オ1住戸、オ3住戸とも外部に面した開口部は、火災室(出火室)の窓(約1.8m×1.8m)を1/4のみ開放し他はすべて閉鎖された。内部の各室の扉はすべて閉鎖を原則としたが、上階への熱と煙の対流路を考え3階便所の扉を10cm程開け、かつ、内倒し窓が開放できるようにした。

(4) 各室の扉の仕様

火災室の扉を始め、各階の扉は木製であるが設置場所に応じ10分、20分、30分、60分のそれぞれの予測防火性能を有する扉を表-3の仕様に基づいて表-4の設置場所に設けた。

すなわち、最も火炎を受ける1階の火災室である居室とホール間の扉(扉記号D-1)は両面が難燃合板5.5mmで、芯がロックウール21mmの20分予測性能である。各予測性能別の扉の詳細を図-2に示す。

(5) 点火源及び点火方法

過去の火災実験と同様に、点火源はエゾ松辺材のクリブ(20×20×600mm)を12本ごとに井桁状に5段積みとして計60本を用いた。そして最下段の隙間にエチルアルコール約500ccを浸させたインシュレーションボードを挿入しこれに点火した。

表3 扉の予測性能と仕様

予測性能	表面材(厚さ:mm)	芯材(厚さ:mm)	ドアの形式	ドア厚(mm)
5分	化粧合板(2.7)両面	なし	フラッシュドア	33
10分	難燃合板(2.7)両面	グラスウール(21) (10kg/cm ²)	同上	33
20分	難燃化粧合板(5.5)両面	ロックウール(21) (180kg/cm ²)	同上	33
20分	難燃処理南洋杉, 框・鏡板嵌合, 最小厚:21mm		ソリッドドア	36
30分	難燃処理南洋杉, 框・鏡板嵌合, 最小厚:21mm 鏡板芯部に不燃材(13mm)		ソリッドドア	36
60分	けいカル板6mm下地に 難燃合板5.5mm両面	軟質繊維板(9+12+9) (33)	ソリッドドア 第1住戸, 玄関	56
60分	難燃処理ハードボード 5mmを3枚積層(両面)	中比重ファイバー ボード(21)	ソリッドドア 第3住戸, 玄関	51

表4 扉の設置場所と記号

予測性能	ドアの設置位置とドア記号(両住戸共通)
5分	2階浴室(D-12), 2階収納(D-9, -13, -14), 3階シャワー室(D-20), 3階収納(D-21, -22, -23, -24)
10分	2階収納(D-10), 2階化粧室(D-11), 3階便所(D-18), 3階化粧室(D-19)
20分	1階居間(D-1), 1階台所(D-2), 1階洋室(D-3), 1階化粧室(D-19), 2階和室(D-6), 2階寝室(D-7), 3階子供室(D-15), 3階子供室2(D-16)
30分	2階納戸(D-8), 3階子供室3(D-17)
60分	1階玄関(D-5)

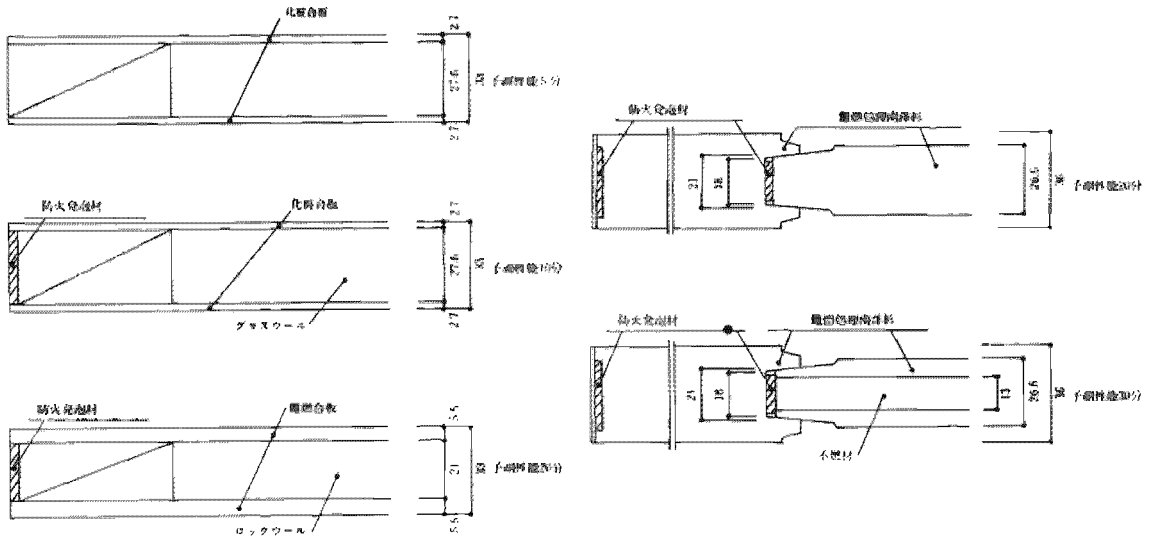


図2 各扉の詳細

3. 測定項目と測定方法

本実験において測定した項目は、気象、建物内温度、点火室の測温特性、噴出火炎性状、外部環境、煙の濃度、圧力、ガス分析、マウスの挙動、火災感知、家庭用スプリンクラー、構造体の変形、各種観察記録等多種にわたって行なわれたが、木製扉による煙、熱、燃焼ガスの拡散阻止に影響の最も多い温度測定、煙濃度及びガス分析に係る測定に限り記述する。

(1) 温度測定について

温度測定は、出火室及び各室の温度性状の把握のほか、延焼経路の推定と界壁、小屋裏、外壁及び開口部からの各室と隣戸への影響を把握することを目的とした。

ア 測定箇所

- (ア) 各住室は床上10cm, 120cm, 180cm, 240cm(天井裏面)、天井野緑表面、天井うらの7点15箇所を測定した。
- (イ) 各住宅の押入・物入は、床上10cm, 180cm, 240cm, 天井野緑表面の4点で計8箇所を測定した。
- (ウ) 階段室、玄関、ホール中央は、床上10cm, 180cm, 120cm, 240cm, 天井野緑表面、天井裏の6点で計7箇所を測定した。
- (エ) 小屋裏は、3階天井裏の中間で3箇所を測定その他戸境壁、外壁、開口部、軒裏、構造部材の柱、梁の各部位について

測定を行なった。

イ 測定方法

温度の測定は、JIS C1602に定める熱電対0.75以上の精度をもつアルメルクロメルを用いて行なった。

(2) 煙濃度の測定について

建築物の内部の煙の流動を把握することは、避難行動や救助活動を効率的に行ううえにおいて極めて重要な事項である。このため本実験では、煙の拡散経路や各室の煙の濃度の変化を調べ、更には出火室を始め各室の木製扉の防煙性能を把握するために測定を行なった。

ア 測定箇所

煙濃度の測定箇所は、建物内各階の階段室と子供室のほか出火室の開口部、2階及び3階のベランダ付近を測定した。

イ 測定方法

測定は、「JIS A1306減光による煙濃度の測定方法」に基づき行なった。すなわち、投光部はタングステンランプ、受光部はシリコンPhoto-Diodesを用い、透過率法による煙濃度計を使用し、透過光の減衰量をペンレコーダーに記録させ減光係数(Cs)を求めた。

$$\text{減光係数 } Cs = \frac{1}{L} \log_e \frac{I_0}{I}$$

(3) ガス濃度の分析

ガス濃度の分析は、3階建住宅内の1階の部屋が火災の時、2階、3階の居室や寝室に燃焼生成ガスがどのように拡散するか、また、各室に設けられている木製扉がガスの拡散を有効に阻止することができるかどうかを把握し、煙の流動と同様居住者の避難の安全効果を確立することを目的としたものである。

ア 測定項目と測定箇所

燃焼生成ガスのうち、CO、CO₂、O₂は、オ1住戸、オ3住戸とも1階ホール、2階和室、3階ホール、3階の2つの居室の5ヶ所で濃度の変化を測定し、HCNについてはオ1住戸、オ3住戸とも2階和室と3階ホールの2ヶ所で測定した。

イ 測定方法

CO、CO₂、O₂についてはオ1住戸及びオ3住戸とも連続的に濃度の変化を測定するため、測定箇所から屋内部分は銅パイプ、屋外部分はゴムホースで分析計まで吸引し分析した。このガスの分析には赤外線ガス分析計、CO、CO₂、O₂分析計、酸素濃度計を使用した。

また、HCNについてはオ1住戸及びオ3住戸とも測定箇所から1ℓ/minの流量で採取し、5分間毎に100mlの0.5N-NaOH水溶液に吸収させ、液体クロマトグラフで濃度分析を行なった。なお、測定箇所から採取場所までは屋内部分はステンレスパイプ、屋外部分はゴムホースを使用して吸引した。

4. 測定結果と考察

本火災実験は、同一条件下でオ1住戸とオ3住戸の実験を行っており、それぞれの住戸の相異するところは、オ1住戸が鋼材である柱及び梁を耐火被覆材で囲う工法（直接工法）に対してオ3住戸はメンブレーション工法（間接工法）を採用したもので、木製扉による各種の性能には影響がなく、測定結果もオ1住戸、オ3住戸の大きな差異は認められなかったため、本稿では紙面の都合上オ3住戸の実験結果を割愛しオ1住戸の実験結果を記述する。

(1) 温度性状

ア 火災室（出火室）の温度性状

出火室の温度状況は、図-3の通りで点火から温度が上昇し、3分で660°Cに達した。その後点火用のグリブの燃焼により約12分まで火災が成長し、718°Cまで上昇したが家具に着火と同時に酸素の欠乏となって一時下火となった。但し、13分19秒で窓ガラスの破損により急激な燃焼となり、18分頃より最盛期に入り、25分30秒に最高温度1022°Cを記録した。火災最盛期は約40分まで続き、火災盛成期の平均温度は約920°Cで、それ以後は減衰期となり消火する時の75分には747°Cであった。

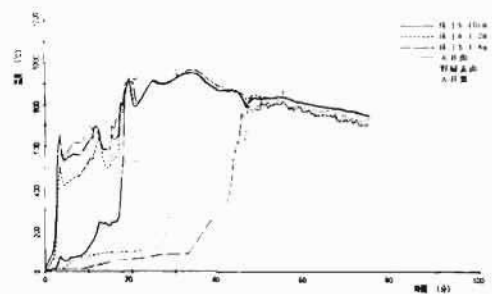


図3 火災室の温度性状

イ 食堂、台所（出火室の隣室）の温度性状

出火室の隣室である食堂、台所は、出火室との仕切りが無いいため、輻射熱により温度が上昇し、20分経過した時食堂で445°C、台所で359°Cを記録した。30分10秒に窓ガラスが全面的に脱落し急激な燃焼を呈し、最盛期は30分頃から55分頃まで続き、最高温度が1,063°C、最盛期の平均温度は935°Cであった。なお、消火前の75分には87°Cまで下降していた。

ウ 1階ホールの温度性状

出火室とホールとの間の扉（D-1）は、出火室が火災最盛期（18分以後）になっても急激な変化はなく33分頃から熱変形により、上部に隙間が生じたため、ホールの上部温度が上昇している。ホール内の温度は、扉が燃え抜ける43分頃まで150°C~180°Cであったが、扉が燃え抜けた44分からは図-4のとおり急激に上昇し50分頃から最盛期となり、55分で最高温度959°Cを記録し、消火前の75分で880°Cであった。

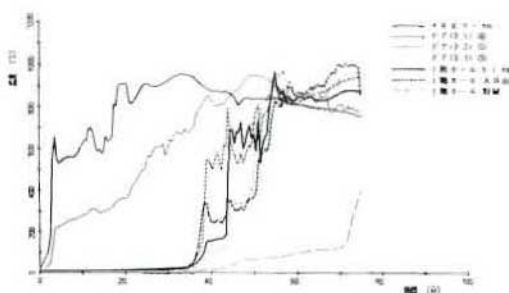


図4 1階ホールの温度性状

エ 1階洋室及び便所の温度性状

1階の洋室は、木製扉（D-3）の防火性能すなわち、熱や炎による変形が少なく燃え抜けもなかったことから室内最高温度は57°Cと低かった。また、便所も洋室同様（扉D-4）最高温度が63°Cと低い温度にとどまった。

オ 2階和室及び寝室の温度性状

2階ホールの雰囲気温度は、出火室の扉の防火性能の影響で最高57°Cと比較的低い温度であったため、2階和室の扉（D-6）及び2階寝室の扉（D-7）は燃え抜けることはなく、したがって和室の室内温度は最高で34°C、寝室でも最高が34°Cと低く火炎の進入はなかった。

カ 3階の各子供室（1、2、3号室）の温度性状

3階ホールの雰囲気温度が最高で305°Cと低いため、各子供室の扉（D-15、16、17）はいずれも燃え抜けることなく、室内の最高温度もそれぞれ33°C、19°C、34°Cと低く火炎の進入はなかった。



火災室のフラッシュオーバー後の炎の状況

(2) 煙性状

点火後4分15秒で出火室の扉から漏煙を観測し、その煙は階段を経路として上階へ流動伝播して2階階段室には12分45秒、3階階段室には15分で到達している。3階の子供室に煙が流入し始めたのは35分であった。

1階ホールの最大の煙濃度を観測したのは点火後9分で減光係数Cs値1.15で、3階階段室の煙濃度がCs値0.1に到した時は点火後16分であった。また、3階子供室に煙が流入した35分のときの階段室の煙の濃度はCs1.2であった。

参考* 減光係数Cs 1の値のときの見透は概ね2-4 m程度

(3) 燃焼生成ガスの拡散性状

ア CO、CO₂、O₂の状況

(イ) 1階ホールの濃度変化

出火室で発生した燃焼生成ガスのうちCO、CO₂は出火室の扉（D-1）を通し1階ホールに拡散され始めたのは図-5のとおり35分頃からで、D-1の扉が燃え抜ける40分頃から急激な変化を示した。ちなみに48分でCOが0.5%、CO₂が9.0%、O₂が11.1%を示した。また、最高値はCOが53分で4.7%、CO₂が63分で22.1%、O₂が56分で0.7%であった。

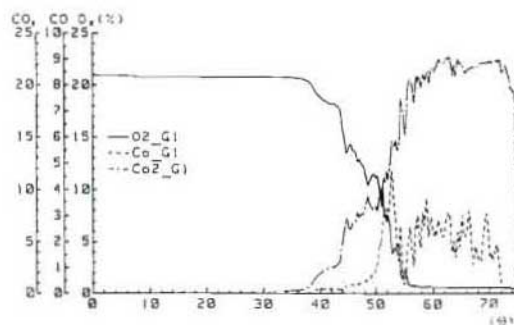


図5 1階ホールのガス濃度変化

(イ) その他の室の濃度変化

2階の和室は、37分頃から変化を始め、55分でCOが50%、CO₂が29%、O₂が18%であり消火する75分までゆるやかな上昇を示した。

5. ま と め

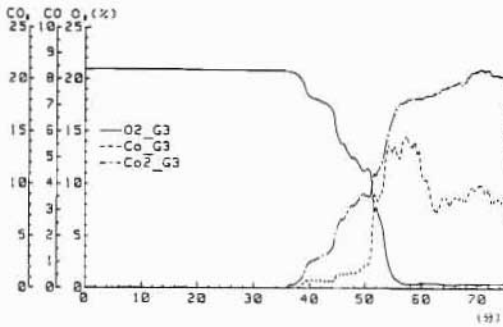


図6 3階ホール内のガス濃度変化

3階ホールは、図-6に示すとおり1階ホール同様D-1扉の燃え抜けにより急激な変化を示し、45分でCOが0.5%、CO₂が5.6%、O₂が15%を記録した。

3階の各子供室も37分頃から変化を示し、子供室1では図-7に示すとおり61分にCOが0.5%、CO₂が3.1%、O₂が15.3%、子供室2では55分にCOが0.5%、CO₂が3.2%、O₂が19.0%となった。子供室の1と2の濃度の違いは外部の窓による影響が多分にあるものと考えられる。

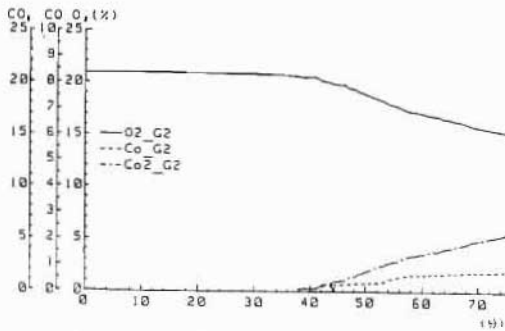


図7 3階子供室1のガス濃度変化

イ HCNの状況

燃焼生成ガスのうち、HCNについては測定箇所が2階の和室と3階子供室1のいずれも木製扉で区画された居室であったため、非常に低濃度であった。すなわち、2階の和室では最高1ppm(50分～65分)、3階子供室1でも最高3ppm(65分)であった。なお、オ3住宅の実験結果では、2階和室は最高濃度111ppm(65分)を記録しオ1住戸の実験値より大きな差が生じていた。

- (1) 火災室である1階居間の木製扉(D-1)は、火災室が18分で最盛期になっても容易に燃え抜けず、点火から38分になって、ようやく裏面濃度が260°C(防火戸等の裏面の許容温度)に達し、約40分間耐え43分に燃え抜けた。
- (2) 火災室の隣室である食堂、台所は、点火と同時に温度が上昇し、30分で火災最盛期に達しているが、木製扉(D-1及びD-2)の防火性能により、燃え抜ける43分までは他の部分への延焼は見られなかった。
- (3) 木製扉の燃え抜けた43分後の上階への燃焼は、2階階段室に火炎が立ち昇ったのみで、しかも極めて軽微であった。したがって上階の各室は、出入口の木製扉の表面のみの燃焼で、上階各室への延焼は見られなかった。
- (4) 火災室で発生した燃焼生成ガスは、木製扉の防火防煙効果により、上階への拡散を大きく遅らせた。木製扉の燃え抜ける前に隙間から漏れて3階ホールでは30分以後になってガス濃度が上昇しているが、上階各室には扉の燃え抜ける43分までは人体に与える濃度の燃焼生成ガスの拡散は見られなかった。
- (5) この実験は、火災室を始め各室に設けられた木製扉の防火性能に起因して、火災の進展が極めて緩慢であったため、熱、煙、ガスの拡散が遅延された。ちなみに、各部位に設けられたマウスの行動も、火災室の木製扉が燃え抜ける約40分頃まで1階ホールのマウスが行動しており、2～3階の各室のマウスの行動が不能となった時間は、点火から55～60分と遅く、木製扉の防火性能の効果が十分発揮されていることが伺える。

【参考文献】

1. 3階建て鉄鋼系プレハブ住宅実大火災実験報告書 財団法人 日本建築センター
2. 日本建築学会大会学術講演梗概集 3階建て鉄鋼系プレハブ住宅の実大火災実験(その1:実験目的及び建物概要)

宮村 伸一 外6名

(その4:木製ドアの防火性)

山田 誠 外4名