

消防研究所研究資料第27号

防災物品等を含む火災における
発生ガスの毒性に関する研究

平成5年3月

自治省消防庁消防研究所

消防研究所研究資料第27号

防災物品等を含む火災における 発生ガスの毒性に関する研究

守川時生、箭内英治（消防研究所）

岡田健夫、梶原正弘、佐藤喜宣（杏林大学医学部法医学教室）

津田征郎（横浜市立大学医学部法医学教室）

平成 5 年 3 月

自治省消防庁消防研究所

目 次

1 緒言	1
2 実験方法	2
2-1 火災実験に用いた建物	2
2-2 火災実験	2
2-3 測定と分析	3
3 実験結果	9
3-1 実験1 防災品のみの火災実験(1)	9
3-1-1 火災性状	9
3-1-2 ガス濃度	10
3-1-3 動物実験及び毒性評価	11
3-2 実験2 防災品のみの火災実験(2)	28
3-2-1 火災性状	28
3-2-2 ガス濃度	29
3-2-3 動物実験及び毒性評価	29
3-3 実験3 防災性物品及び非防災性物品、 1 : 1 の火災実験(1)	45
3-3-1 火災性状	45
3-3-2 ガス濃度	45
3-3-3 動物実験及び毒性評価	46
3-4 実験4 非防災性物品の火災	62
3-4-1 火災性状	62
3-4-2 ガス濃度	62
3-4-3 動物実験及び毒性評価	63
3-5 実験5 防災性物品及び非防災性物品、 1 : 1 の火災実験(2)	79
3-5-1 火災性状	79
3-5-2 ガス濃度	79
3-5-3 動物実験及び毒性評価	80

4	実験結果の考察	96
5	結論	110
6	まとめ	111
7	おわりに	113

1 緒 言

住宅防火の重要性が高齢化社会の進展、核家族化の家族構成の変化と共に火災予防の今日的課題とされ、種々の対策が推進されている。火災による多数の焼死者の実態をみると、火災の発生及び延焼を防止し、減少を図るには、可燃物の難燃化を推進することがその一つの対策と考えられる。しかし、難燃性物品の中には燃焼・熱分解時に、通常の可燃物とは別に特有な有毒ガスの発生を伴うものがあることが知られており、その危険性は考慮する必要があるが、燃焼性が小さいためその危険性が軽減される可能性もある。この点を実際の火災実験を行うことによって明らかにする必要がある。

本研究においては、難燃性物品の中で防災物品及び防災製品（防災性物品）を取り上げ、2階建ての実際の住居建物を火災実験に用い、それら防災及び非防災性物品の燃焼挙動及び有毒ガスの発生、また、有毒ガスの動物への作用を調べることにした。合板及び紙屑を火災促進用燃料として、その量を変えて、種々の防災性物品あるいは非防災性物品のみの室内収納物、または、防災性及び非防災性物品の混在収納物について火災実験を行い、防災性物品が収納物として関与する火災の際に発生する有毒ガスの危険性を、非防災性収納物の場合との比較において、発生ガスの化学分析、そのガスへの動物ばく露実験を通して基礎資料を得ようと試みた。なお、動物ばく露実験は、挙動分析、血液分析の他、脳波、心電図及び呼吸数の測定をも行った。火災実験の結果をここに報告する。

2 実験方法

2-1 火災実験に用いた建物

火災実験に用いた建物は2階建ての耐火プレハブ住宅で、建物及び付属設備の全景を写真2-1に示す。写真は建物の北西から撮ったものである。建物の平面図を図2-1に示す。1階は2室（6畳及び8畳）とホールからなり、2階は1室（8畳）とホールからなる。また、1階と2階のホールには階段部分が含まれている。ホールの面積は4畳相当、約 6.5m^2 、天井の高さ2.5mである。火災室には1階の6畳室を用い、その面積は約 9.7m^2 、天井の高さは同じく2.5mのもので、外部に対して195cm（高さ）、170cm（幅）の開口とホールに対して195cm（高さ）、80cm（幅）の出入口を有するものである。火災室及びホールの1部には繰り返して行う火災実験の熱に耐え得るように天井、壁及び床に、2.5cm厚のセラミック繊維ブランケットの被覆を施したものである。外部への開口は同じくセラミック繊維ブランケットで被覆したステンレス鋼板（2mm厚）により任意に調節できるようになっている。1階の他の1室は測定室として用い、温度、CO、CO₂及びO₂濃度、圧力の測定とそれらのコンピューターへの取り込み、ポリグラフによる脳波、心電図、呼吸数の測定、ガス採取等がその中で行われる。2階室及び2階ホールの天井の高さは1階の場合と同様2.5mである。2階室及びホールの間には195cm（高さ）×80cmのドア付きの出入口があるが、実験用にそれを取り外し鋼鉄板で任意の開口に調節できるようになっている。火災室の外部に面した開口には発熱速度及び煙発生速度測定用の集煙フードが設置されており、火災室からの煙、ガスはそこに集められダクトを通してブロワーから排出されるようになっている。集煙フード及びダクトは、この度、改修したもので2mm厚のステンレスでできている。集煙フードは口部が3m×3mで裾が0.5mで、ダクトは筒型で、直径が0.55mのものである。ダクトは直管部分が直径の10倍の部分を持ち、その中央で流速、ガス濃度温度の測定用プローブの挿入部を持つものである。ブロワーは300m³/分（静圧200mm水柱）のものである。

2-2 火災実験

火災室に収納した物品のリストを表2-1に示す。防災性物品のみを収納した場合と非防災性物品のみを収納した場合を示している。防災性と非

防災性の物質を1：1の割合で収納した場合には、表の各物品の量を半分ずつを用いたことを意味する。なお、防災物品及び防災製品はすべて消防法に基づく防災試験に合格したものである。本火災実験に用いた防災性物品は各品目につき市場占有率上位1－2位の素材のものを選んだ。そこで、防災性物品では布団がすべて窒素を含んでいるため、全体としての窒素含有率も高くなっているものと思われる。この他の火災室内の可燃物としては、火災促進用燃料としての合板及び段ボール箱に入った新聞紙（空気が入り燃え易くするため1枚ずつしわくちゃに丸めたもの）があり、それも表2－1に記されている。火災室の可燃物の配置図を図2－2に示す。今回のすべての火災実験はこの配置で行った。合板は内装用2類タイプⅡで厚さ4mmのものである。

火災実験における建物内の設定は、火災室の外部に面した開口を40cm幅にし、2階室のホールに面した開口を5cm幅とした。火災室の開口に関しては、フラッシュオーバー直後では少なくとも120cmまでの幅では高温にして酸素不足の換気支配になることを確かめており、瞬間的には室内温度や各種ガス濃度、有毒ガスの発生状況は殆ど変わらないことが分かっている¹⁾。そこで、高温にして換気不足の換気支配の状態が少しでも長く続かせるためと、実験準備の段階で火災室への人の出入り及び可燃物の積み込みの容易な40cm幅を選んだ。2階室のホールに面した開口については、火災室からの煙ガスの流入が大き過ぎていずれの実験においても動物ばく露実験などの結果に差違がでない可能性があるため、幅を5cmまたは10cmとした。2階室やホールには窓がいくつかあるが、それらはすべて閉鎖した状態で火災実験を行った。

火災の開始は1つの火災促進用燃料である段ボール箱の新聞紙に点火用ライターの炎を触れさせて着火して行い、その燃焼がもう1つの火災促進用燃料であるコーナーウォールの合板に広がるようにした。なお、火災開始時点は新聞紙に着火した時を指すことにした。

2－3 測定と分析

各種ガス濃度の分析測定、動物をガスへばく露したときの挙動分析及び生理学的分析、血液分析及びガス温度、煙濃度とガス流速の測定が火災実験時、または、その後で行った測定及び分析である。

ガス分析は間欠的にガスを採取してガスクロマトグラフ及びイオンクロ

マトグラフにより分析を行う方法と赤外線及び磁気式計測器を用いる自動連続分析方法の双方を用いて行った。前者の場合は、火災室と1階ホールの境の上端、2階室上部（天井下40cm）及び下部（床上10cm）からガスを導入した。後に述べる2つのラビットばく露箱及び2階室の壁穴（天井下40cm）の4箇所からルアロック付きの100mlの注射器で1実験につき原則として6回ガスの採取を行い機器化学分析に供した。2階室ガスのラビットばく露箱への導入は、グラスウールフィルター、ステンレスパイプ（内径8mm）、水冷トラップ、別のグラスウールフィルター及び空気ポンプ（流量 約50ℓ/分）を経て行った。分析したガスはCO、HCN、HCl、CO₂及びO₂である。既報¹⁾の実験ではアクロレイン、NO_x、SO_xの分析も行ったが、実大規模火災実験ではそれらの発生が無視することができるほど小さかったので、本実験シリーズではそれらの分析を省略した。

間欠的に採取したガスのO₂、CO及びCO₂の分析はTCDを検出器としてカラム充填剤にはモレキュラーシーブ5A（粒度80-100メッシュ、内径3mm×3mのステンレスカラム入り）及びシリカゲル（粒度80-100メッシュ、内径3mm×1mの同じくステンレスカラム入り）を用い中間セル方式につなぎ、カラム温度を90℃に設定して行った。

HCNの分析は0.1規定のNaOH溶液に吸収させた後、ヘッドスペースサンプラー、FTDを用いた島津ガスクロマトグラフGC-14Aによって行った。カラム充填剤にはポラパックQ（粒度80-100メッシュ、内径3mm×3mの同じくステンレスカラム入り）を用いた。カラム温度は100℃に設定した。ヘッドスペース法は島津ヘッドスペースサンプラーHSS-2Aを用いて行った。すなわち、25mlのサンプル瓶に試料溶液を1g採り、それに1規定のH₂SO₄溶液を5ml加えてキャップを施し、自動操作により、40℃に加温して20分間その温度を保持した後、ガスクロマトグラフに注入して分析に供した。

HClの分析は注射筒に直接採取したガスに水を加えてHClを水に吸収させた後、イオンクロマトグラフ、Dupon-Quikにより電気伝導度検出器を用いて行った。

自動連続分析の場合は火災室開口部壁面上部（天井下20cm）及び火災室とホールの境の上端、2階ホールの天井下40cm、2階室上下2箇所（天井下40cm及び床上10cm）及び排気ダクト内のガスについて行った。2階室の場合は動物ばく露箱に一旦導入したものについて測定を行った。自動測

定したガスはCO、CO₂及びO₂である。ガスは吸入点からステンレス管（内径8mm、肉厚2mm）を通して空気ポンプにより吸引し赤外線CO-CO₂計測器及び磁気式O₂計測器（島津ガステスター、ただし、ダクト内ガスについては富士電気）に分配した。なお、吸引点には内径3cmのステンレスのフィルター部を設けその中に石英グラスウールを詰めてステンレス管をすず等から護り、空気ポンプの前部には水冷トラップと布団綿のフィルター層を施した。また、空気ポンプと計測器との間には逆流防止用の緩衝溜のついたバイパスを設けて、計測器に過剰な圧力が掛かることを防いだ。ガス採取用ステンレス導管には肉厚2mmのものをを用いたのは腐食に耐えさせるためである。

温度については1mmφシースステンレス熱電対を用いてダクト内を含めて全部で12点の測定を行った。

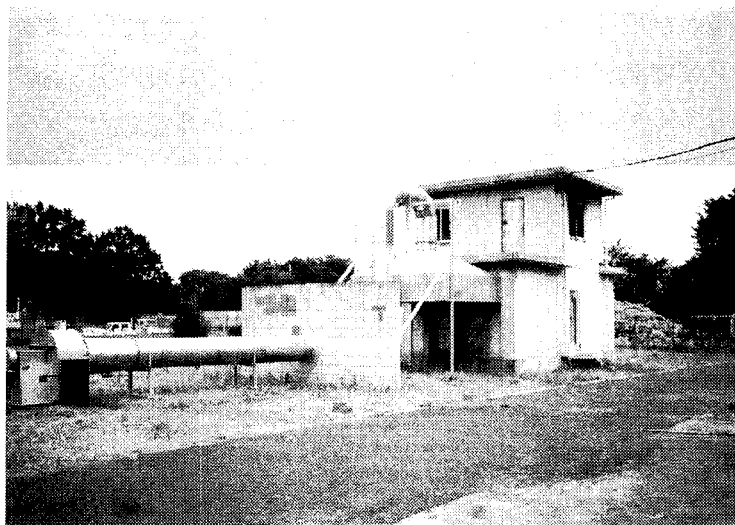
煙の光学的濃度は、2階室中央天井40cm及び排煙装置の出口において透過式煙濃度計、すなわち、光源にタングステンランプ、受光器にセレン電池を用いた光路長1mのものによって測定した。

ガス流速の測定は火災室とホールの境と2階室の出入口の上下端及び排気ダクトの水平部の中央で行った。測定は後者はピトー管、その他は2方向ピトー管により行い、ダイヤフラム式微差圧変換器で増幅した。

ガスの自動測定、温度、煙濃度及びガス流速の各結果はコンピューターに原則として5秒間隔で取り込んだ。

動物ばく露実験はラビット（日本在来白色種、オス、体重 約2.0-2.5 kg）を2階室の天井40cm及び床上10cmの2点から連続的に採取したガスに室外おいてばく露して行った。すなわち、1匹は心電図、呼吸数及び脳波測定用にステンレス製固定器に固定し、実験1の場合には容積、約40ℓのアルミ製容器に収容し、他の場合は容積を小さくするため、アルミ製のキャップ（実質容積約15ℓ）を施して、2階室上部のガスにばく露させた。他の1匹は透明プラスチック製ばく露箱（約15ℓ）に収容して2階室下部のガスにばく露させた。心電図等の測定はラビットにガーゼにしみ込ませたエチルエーテル吸入させることによって一時的に麻酔させ、容器への固定及び測定器具の装着を行った。心電図は電極により、呼吸数は熱電対、脳波は皮層用電極を用いてポリグラフによって測定した。血液分析は血液を実験終了直後に採取し、一酸化炭素ヘモグロビン（COHb）とシアンイオン（CN⁻）について行った。前者の分析は吸光光度法²⁾、また、後

者は前述のヘッドスペース法を用いたガスコロマトグラフィにより行った。



火災実験に用いた耐火プレハブ住宅

表 2 - 1 室内収納物

防災性物品のみの場合		非防災性物品のみの場合	
防災カーテン		カーテン	
ポリエステル	1.3kg	ポリエステル	1.3kg
アクリル系	1.3	アクリル	1.3
防災カーペット		カーペット	
ポリエステル	4.0	ポリエステル	4.0
ナイロン	3.8	ナイロン	3.8
防災掛け布団		掛け布団	
アクリル系+木綿わた	3.5	木綿わた	3.3
防災敷布団		敷布団	
羊毛	5.0	木綿わた	4.2
防災マットレス		マットレス	
軟質ウレタン	3.0	軟質ウレタン	2.1
防災毛布		毛布	
アクリル系	1.9	アクリル	1.9
防災シーツ		シーツ	
綿	1.0	綿	1.0
防災衣類		衣類	
綿	2.5	綿	2.5
ポリエステル	1.0	ポリエステル	1.0
アクリル系	1.0	アクリル	1.0
防災合板	6.5	合板	6.5
計	32.0kg	計	33.9kg

実験 1 では防災合板を用いなかった。

実験 3 及び実験 5 の場合は防災及び非防災品を 1 : 1 で用い、収納物量は 33.8kg にした。

このほかに火災促進剤として、新聞紙 200 g 入り段ボール箱 500 g、コーナーウォール用合板

(実験 1 の場合は 9.5kg、その他の実験の場合は 2.4kg) を用いた。

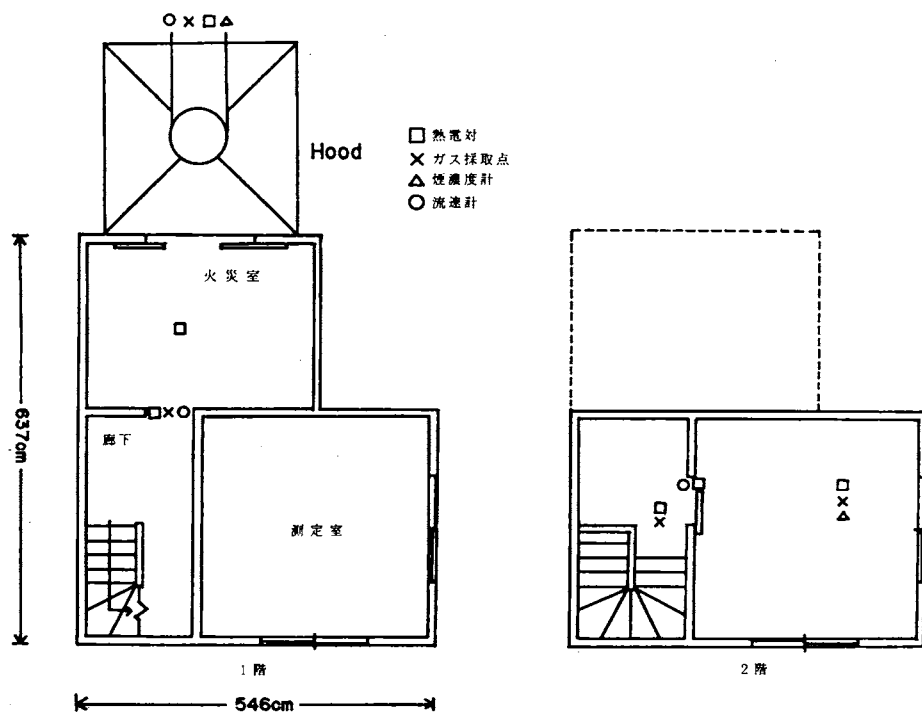


図 2 - 1 火災実験用建物の平面図

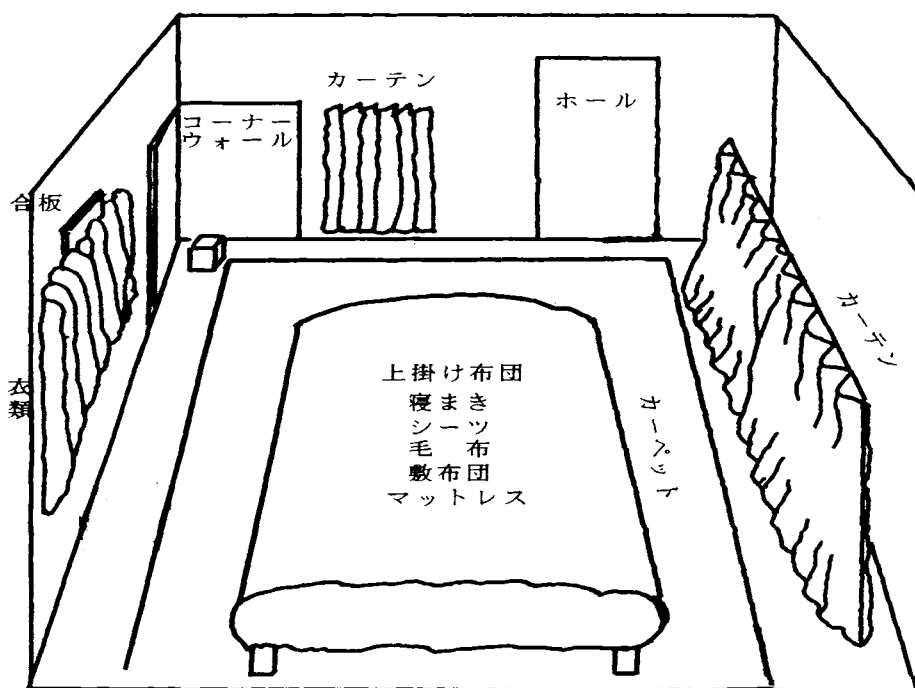


図 2 - 2 火災室における収納物の配置図

3 実験結果

3-1 実験1 防災性物品のみの火災実験(1)

防災性物品のみでは小さな火源ではそれに着火しないか着火しても燃焼が継続しないため、火災促進用燃料として合板のコーナーウォール（高さ182cm、幅91cm、厚さ0.4cm、重量9.5kg）と段ボール箱入り新聞紙(0.7kg)を使用した。2階室とホールの出入口の幅は5cmに設定した。

3-1-1 火災性状

火災室、火災室とホールの境の上端及び2階ホールの天井下40cmにおける温度の時間変化を図3-1-1に示す。また、2階室上部（天井下30cm）及び下部（床上10cm）における温度の時間変化を図3-1-2に示す。火災は火災室温度が示すようにフラッシュオーバーが着火後約2.5-3分に起こり収納物は全焼した。すなわち、合板のコーナーウォールの炎が天井に回ったとき、輻射と火の粉を受けた他の可燃物も殆ど時間遅れなく燃焼し始め、床面やベッドの裏側など1部を除いて全面燃焼になった。

ダクト部で測定したガス流速、温度及び O_2 、COおよび CO_2 濃度から求めた、いわゆる、酸素消費による発熱速度 $\dot{Q}$ (kW) は次式で表される³⁾。

$$\dot{Q} = \{420 [O_2]_0 - (1 - [O_2]_0) / (1 - [O_2] - [CO_2] - [CO]) \times (420 \times [O_2] + 73 \times [O_2])\} \times \dot{m} / 0.029 \quad (1)$$

ここで、

$[O_2]_0$: 大気中の酸素分圧 (kg/cm²)

$[O_2]$: ダクト中の酸素分圧 (kg/cm²)

$[CO_2]$: ダクト中の二酸化炭素分圧 (kg/cm²)

$[CO]$: ダクト中の一酸化炭素分圧 (kg/cm²)

$\dot{m}$: ダクト内のガス流量 (kg/s)

発熱速度の時間変化を図3-1-3に示す。発熱速度は最高で約1,700kWであった。

2階室天井下30cm及びダクト出口における光学的煙濃度（減光係数）の時間変化を図3-1-4及び図3-1-5に示す。減光係数 C_s は次

式で表される。

$$C_s = 2.3 \log_{10} (I_0 / I) / L \quad (2)$$

ここで、 I_0 は光源の強度、 I は煙層通過後の光の強度、また、 L は光路長である。

ダクト出口に関しては煙発生速度や発生量が分かるようにダクト温度及びガス流速を同図に示す。2階室における煙濃度は点火後5分で4 (1/m)以上に達し計器の測定限界を超えた。ダクトにおける値の最高は約3 (1/m)であった。

火災室とホールの中で入口及び2階室とホールの中で入口の上下端におけるガス流速及びその測定点における温度を図3-1-6と図3-1-7にそれぞれ示す。これは参考までに取ったデータである。

3-1-2 ガス濃度

火災室開口部の上部の壁付近天井20cmにおけるガスの自動連続分析の結果を図3-1-8に示す。連続分析は CO 、 CO_2 及び O_2 の分析のためであったが、 CO の分析は分析計の故障のため失敗した。火災室と1階ホールの境の上端における CO 、 CO_2 及び O_2 濃度の時間変化及び HCN 及び HCl 濃度の時間変化を図3-1-9及び図3-1-10にそれぞれ示す。間欠的ガス採取による分析はガス採取に失敗した。また、2階ホールの連続分析の結果を図3-1-11に示す。ばく露箱からガスを採取した2階室上部の CO 、 CO_2 及び O_2 濃度の時間変化を図3-1-12に、 HCN 濃度の時間変化を図3-1-13に示す。連続分析ではやはり分析計の故障のため、 O_2 の分析に失敗した。 HCl はばく露箱に到達する過程でかなり配管等に吸着して失われることが予想できるため、 HCl の分析は2階室壁穴から直接採取したガスについて行った。その HCl 濃度の時間変化を図3-1-14に示す。また、別のばく露箱から採取した2階室下部の CO 、 CO_2 及び O_2 濃度の時間変化及び HCN 濃度の時間変化を図3-1-15及び図3-1-16にそれぞれ示す。なお、2階室上下部における CO_2 濃度の分析は失敗した。連続分析の場合、上の図の結果はガスの流通過程及び計測器の時間遅れを補正したものであるが、ラビットのばく露箱の場合は、約30秒の時間遅れがあった

が、その雰囲気でのラビットの挙動及び生理的变化を知るため敢えて補正はしなかった。これらの図において、CO及びCO₂についてはその値を拡大して示したものがある。縦軸の尺度の値に曲線に沿って示した分数を掛けた値が真の値である。

間欠的に採取し、ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフで分析した成分の濃度と採取時間との関係の一覧表を表3-1-1に示す。

3-1-3 動物実験及び毒性評価

ラビットをばく露対象とした動物実験は2階室上部のガスと下部のガスを別々に1階の1匹ずつラビットの入った2つのばく露箱にステンレス管、グラスウールのフィルター及び空気ポンプを介して導入して行った。2階室上部のガスにばく露したラビットについてのみポリグラフを用いた測定を行った。ラビットの行動不能時間(2階室上部からのガスにばく露のものはポリグラフ、また、下部からのものは肉眼観察による)表3-1-2に、血中のシアン濃度及びCOHb飽和度を表3-1-3に示す。なお、ポリグラフを用いた方のラビットに致死は起こらず、他の1方も肉眼観察では判定できなかった。ポリグラフにより測定した呼吸数、心電図及び脳波の正常時と呼吸停止寸前におけるパターンを図3-1-17に示す。これらのパターンに行動不能前には目に見えた変化はなかった。他の実験においても行動不能が起こった場合には、これらの変化が起こることがあったが、パターンの変化は酷似していたので、以後パターンの図示は省略する。呼吸数の時間変化については第4節の考察で図示する。

従来の筆者らの火災実験ではCOとHCNが毒性成分の主たるものであった^{1, 4, 5)}。本シリーズの実験においては防災物品を燃焼対象物に含むことが多かったため、ガス中のHCℓの分析をも行い、計算により毒性を評価する場合には、その3者を主毒性成分とすることも試みた。

CO、HCN及びHCℓを毒性成分とした場合のばく露箱及び2階室における全毒性指数の時間変化を図3-1-18に示す。このとき、5～10分ばく露の致死濃度をCOで5,000ppm(0.5%)、HCNで350ppm、また、HCℓで500ppmとした⁶⁾。2階室に関しては、採取したガスのCO、HCN共、分析を行わなかったため、ばく露箱1における値を使用した。毒性指数は各毒性成分の作用が相加的と仮定したときのガス全体の毒性

を表す尺度で1以上では致死である。すなわち、全毒性指数Tは次のように表される⁷⁾。

$$T = \sum_{i=1}^n (C_i / C_{ti}) \quad (3)$$

一方、行動不能や致死に関して有毒ガスの濃度時間積が一定という Haber の法則がある。すなわち、

$$C t_c = k \quad (4)$$

である。ここに、C：ある有毒ガス濃度、 t_c ：濃度がCのときの致死、行動不能等の臨界時間、k：定数。各有毒ガスが生体に相加的に作用すると仮定、FED (Fractional Effective Dose、摂取量の致死、行動不能等の効果発現量に対する割合) モデルがあり⁸⁾、その一つに次の式があり、

$$\sum_{i=1}^n \int_{t_0}^t C_i / (C_i t_{ci}) dt \quad (5)$$

t は致死または行動不能の計算値である。すなわち、左辺が1のとき、計算上は行動不能または死亡が起こる。ここで、 t_0 は火災開始時間、t は行動不能、または、死亡時間である。

最近では(4)式を改良した次式を基礎とし、

$$C = k (1 / t_c) + b \quad (6)$$

毒性は次のように表される⁸⁾。

$$\sum_{i=1}^n \int_{t(b_i)}^t (C_i - b_i) / K_i dt \quad (7)$$

ここで、b は定数である。この式を用いた FED の方が精度が高いとされている。それは濃度がある値以下では臨界時間は無限大だからである。

今回の実験シリーズでは有毒ガスとしてCOとHCNのみに限定し、(5)式を用いた計算による行動不能時間を求めた。HClを含めなかったのは一般にばく露箱中ではその濃度が無視できるほど低かったためと、

HCl のラビットに対するデータがないからである。CO と HCN の個々の純ガスにラビットをばく露させた場合の k を用いたものであるが、ラビットのサンプル数が少ないため、(7)式を用いず(5)式を用いた。従って、 C と $1/t$ の関係の回帰直線は原点を通るものとした。回帰直線の勾配 k は CO の濃度を % で表わしたとき、5.51、また、HCN の濃度を ppm で表したとき、232.8 になった値を用いた。なお、致死に関する k の値は文献値としてないので致死時間の計算値は求めることができなかった。行動不能時間の計算値を前出の表 3-1-2 に示す。また、 k を得た基礎データを表 3-1-3 に示す⁹⁾。

実験 1 によって防炎性物品でも火災促進用燃料がこの実験における程度に大きいと十分燃焼し動物も致死に至る場合があることが分かった。ただし、火災促進用燃料の量を減少させると全可燃物量が減少し、非防炎性物品のみの火災実験においても動物に致死が起こらない場合があるので、実験 2 から可燃物量、2 階室の入口の大きさ、ラビットのばく露チャンバーの大きさを変えることにした。

表 3 - 1 - 1 ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフによる分析結果

	採取時間 (分)	O ₂ (%)	CO (%)	H C N (ppm)	H C l (ppm)
火 災 室 と ホールの境	0.0	21.0	0.000	0	0
	2.8				0
	4.0				0
	5.5				546
	6.8				252
	11.0				83
ラ ビ ッ ト ばく露箱 1 (2階室上部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0	
	2.8	20.8	0.000	0	
	4.0	19.6	0.062	0	
	5.5	18.6	0.166	177	
	6.8	16.8	0.261	491	
	11.0	16.0	0.273	537	
2 階 室	0.0				0
	2.8				0
	4.0				
	5.5				522
	6.8				434
	11.0				309
	18.0				247
ラ ビ ッ ト ばく露箱 2 (2階室下部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0	
	2.8	20.9	0.000	0	
	4.0	21.0	0.000	0	
	5.5	20.4	0.024	38	
	6.8	20.7	0.023	44	
	11.0	18.8	0.143	152	
	18.0	16.7	0.219	248	

2 階室上部：天井下40cm、2 階室：天井下40cm、

2 階室下部：床上：10cm

空白欄は分析せず、または、ガス採取か分析の失敗

火災室とホールの境はガス採取失敗のため分析せず

CO₂の分析は吸収液を入れたため分析できず

表 3 - 1 - 2 ラビットの行動不能時間

	実測値	計算値
ラビット 1	8.0分	5.9分
ラビット 2	10.0	8.7

ラビット 1 は肉眼観測により、ラビット 2 はポリグラフにより、けいれんの起きた 1 分後とした。
計算値は F E D モデルによる

表 3 - 1 - 3 ラビットの血中の CO ヘモグロビン (COHb) 飽和度とシアン (CN⁻) 濃度

	COHb (%)	CN ⁻ (ppm)
ラビット 1	31.0	1.28
ラビット 2	33.8	0.99

ラビット 1 : 2 階室上部からのガスにばく露したもの
ラビット 2 : 同室下部からのガスにばく露したもの

表 3 - 1 - 4

(1) CO ガスにばく露によるラビットの行動不能時間

CO 濃度 (%)	行動不能時間 (分)
0.80	>20.00
1.15	6.28
1.55	3.83
1.80	2.92
2.17	2.42

(2) HCN ガスにばく露によるラビットの行動不能時間

HCN 濃度 (ppm)	行動不能時間 (分)
37	>10.00
98	2.18
125	1.22
163	1.00
213	1.17
282	0.72
358	0.97
380	0.61
384	0.67

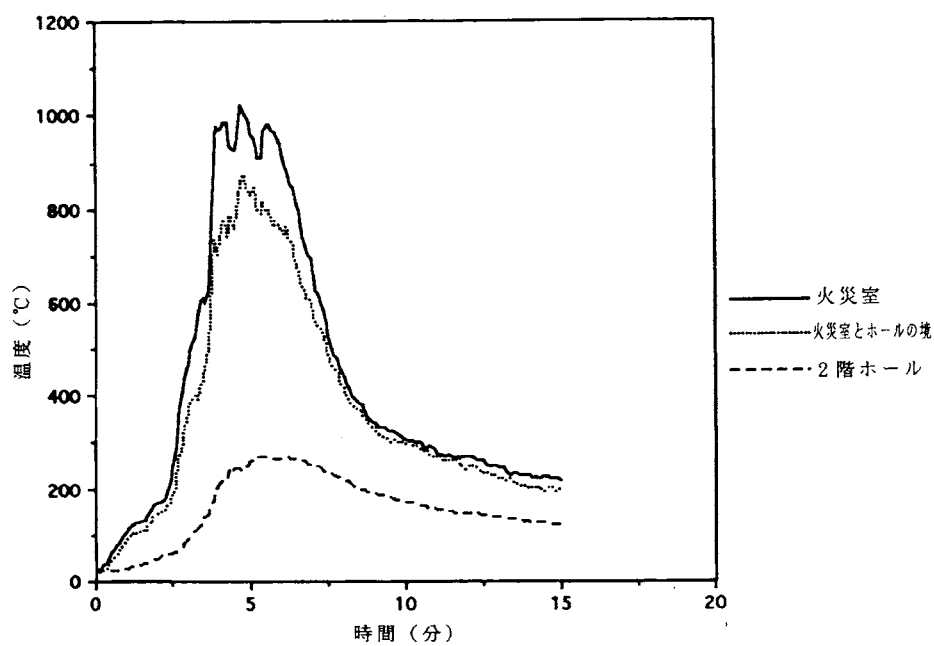


図3-1-1 火災室、火災室とホールの境及び2階ホールにおける温度の時間変化

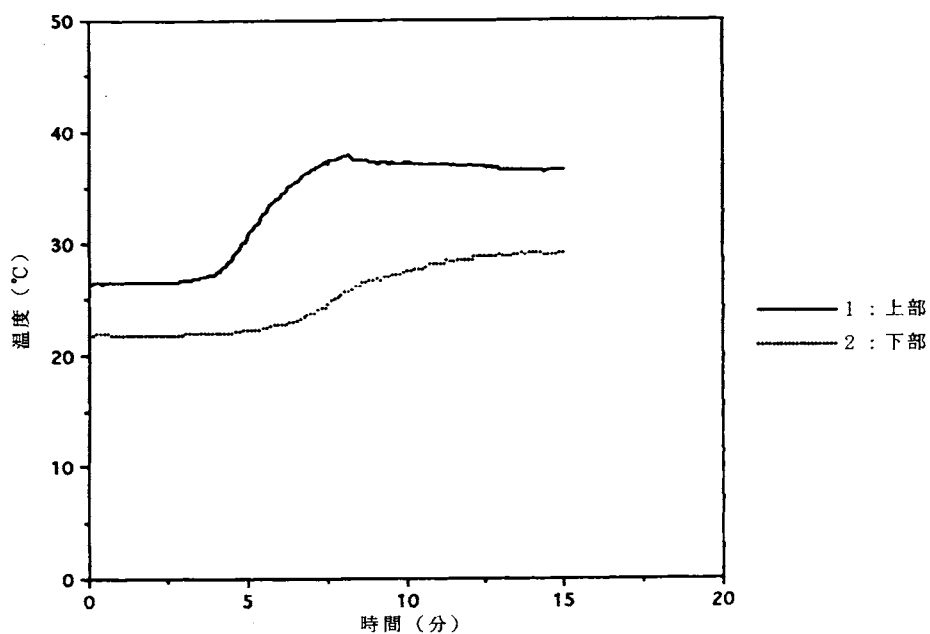


図3-1-2 2階室上部及び下部における温度の時間変化

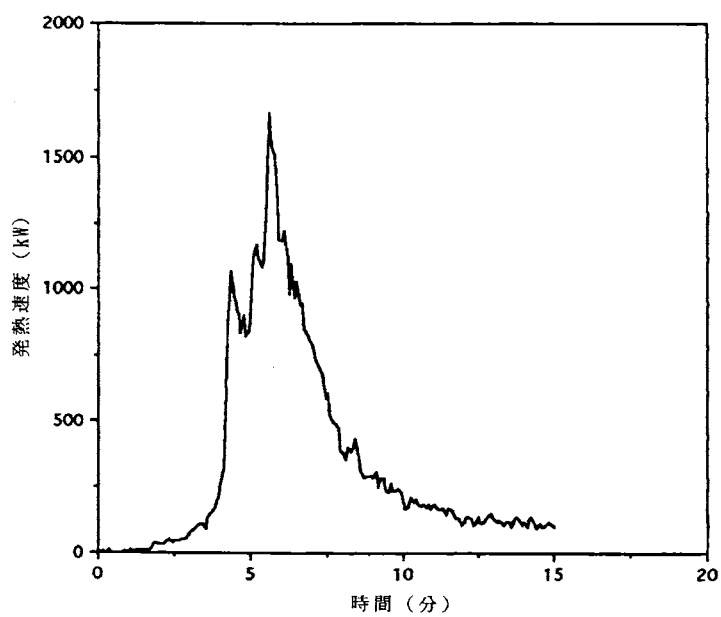


図 3 - 1 - 3 酸素消費に基づく発熱速度の時間変化

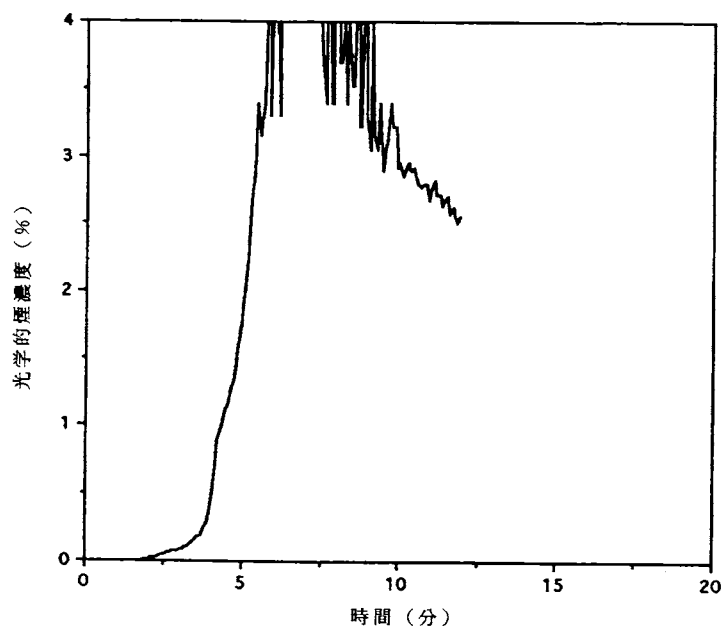


図 3 - 1 - 4 2 階室における光学的煙濃度の時間変化
測定点：天井下30cm

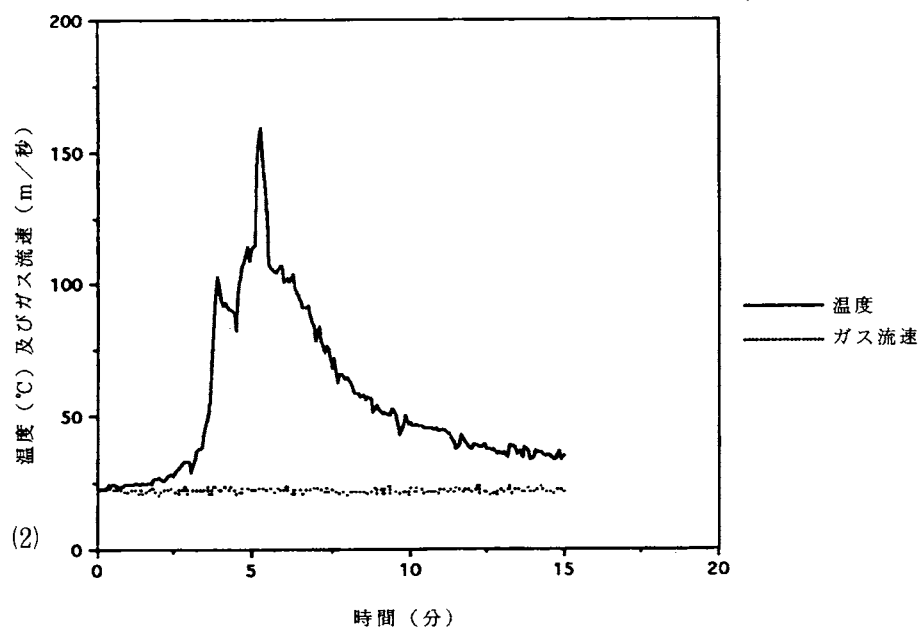
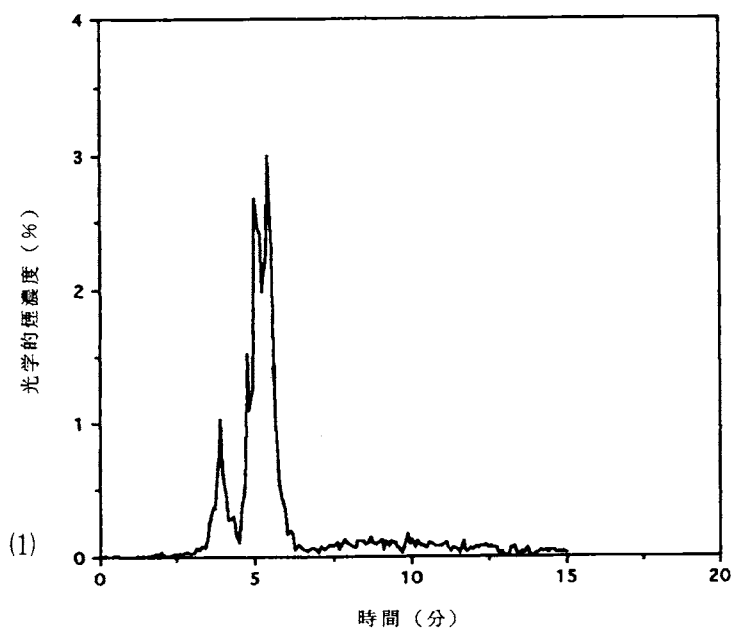


図 3 - 1 - 5 ダクト出口における光学的煙濃度、ガス流速及び温度の時間変化

(1) 光学的煙濃度の時間変化 (2) ガス流速及び温度の時間変化

ダクトの直径：55cm

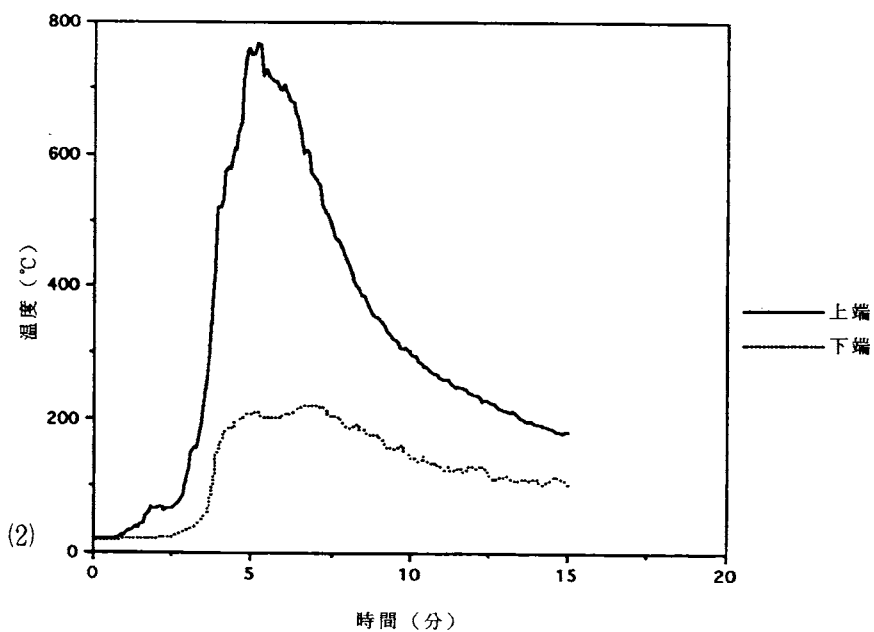
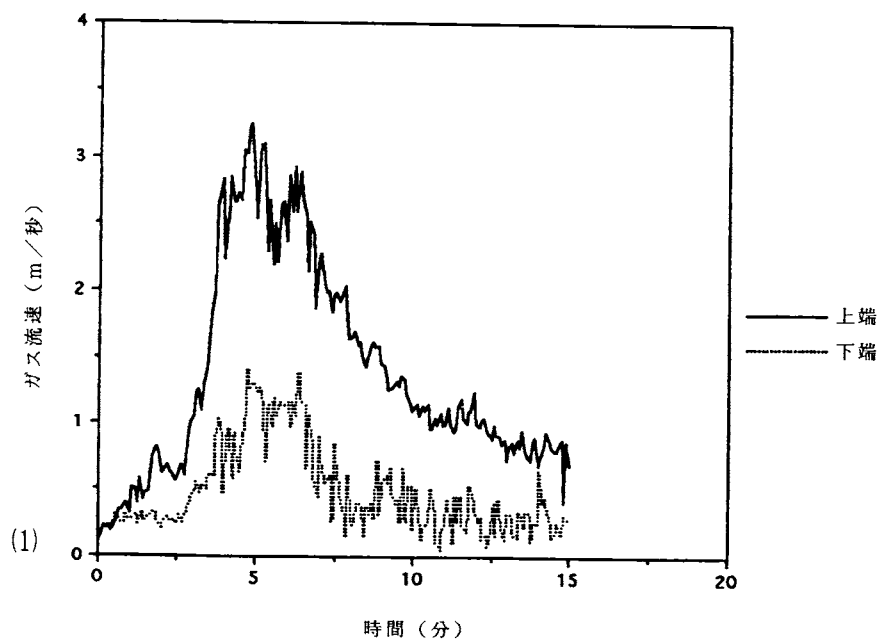


図3-1-6 火災室とホールの境の上下端におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

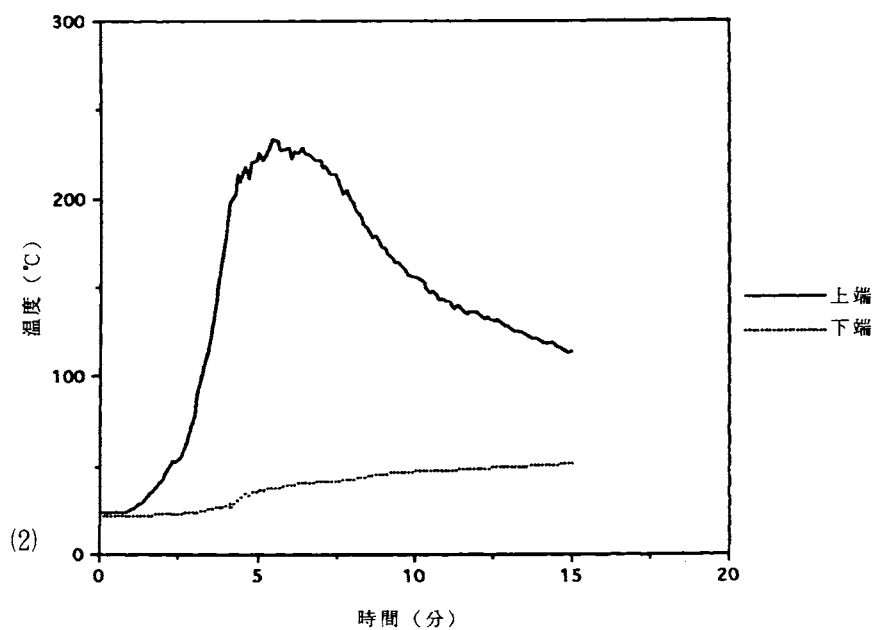
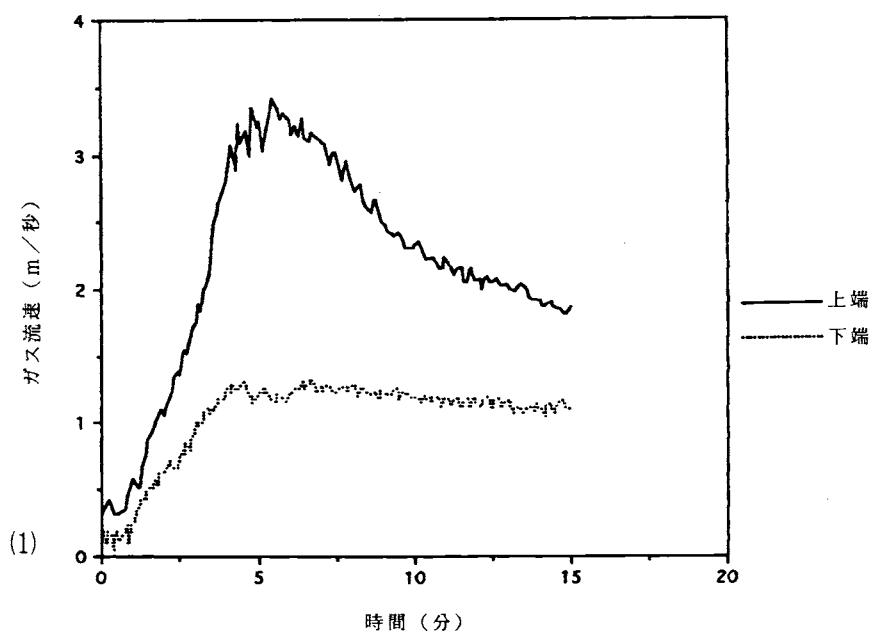


図 3 - 1 - 7 2 階室とホールの境におけるガス流速と測定点における
温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

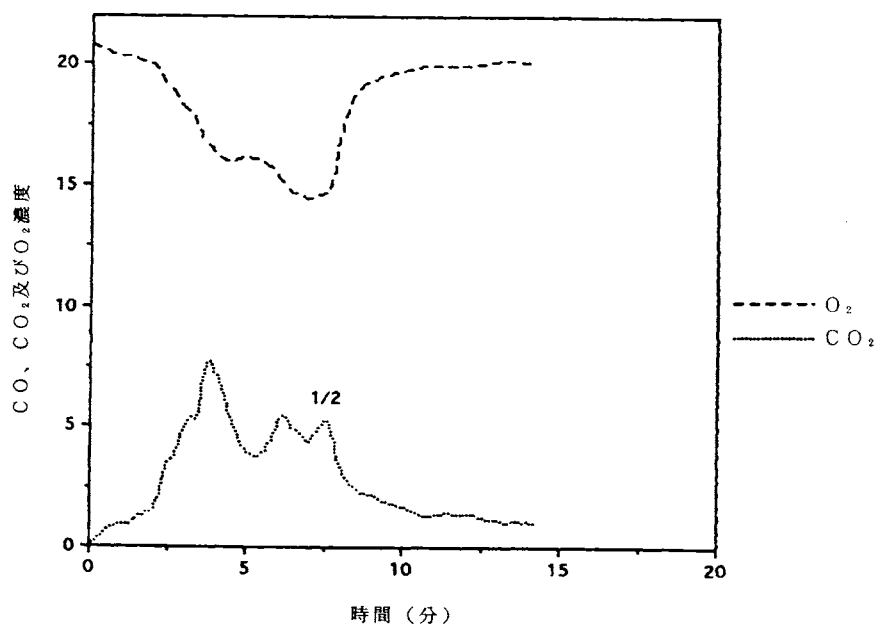


図3-1-8 火災室におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化
分析方法：連続分析

連続分析では計測器の故障のため、COの分析に失敗

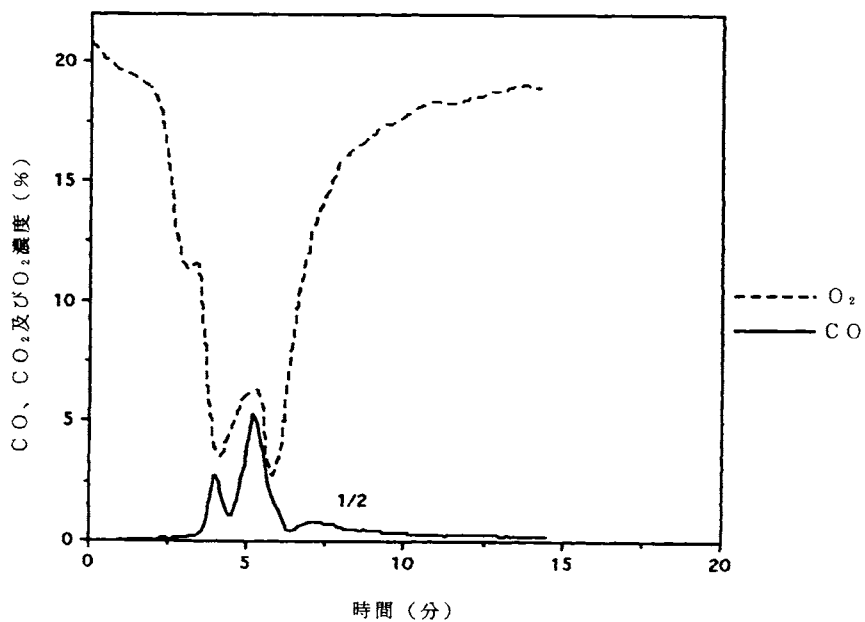


図3-1-9 火災室とホールの境におけるCO、CO₂及びO₂濃度の
変化

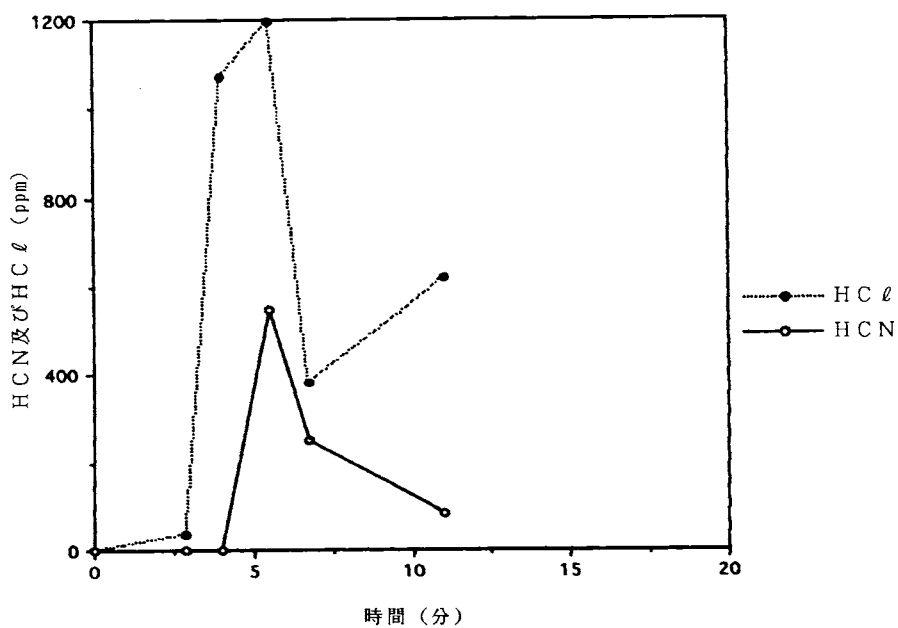


図 3 - 1 - 10 火災室とホールの境におけるHCN及びHCl濃度の時間変化

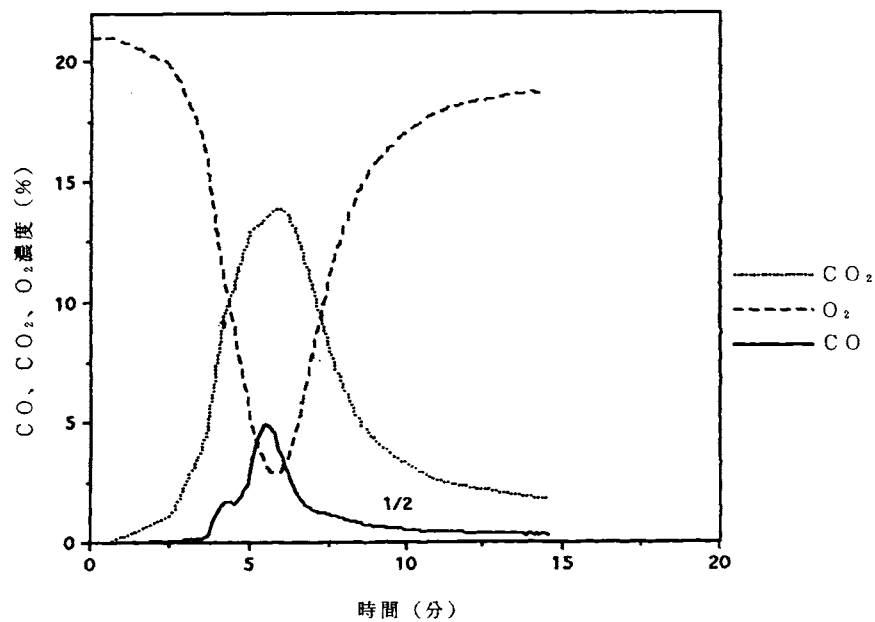


図 3 - 1 - 11 2 階ホールにおけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化
分析方法：連続分析

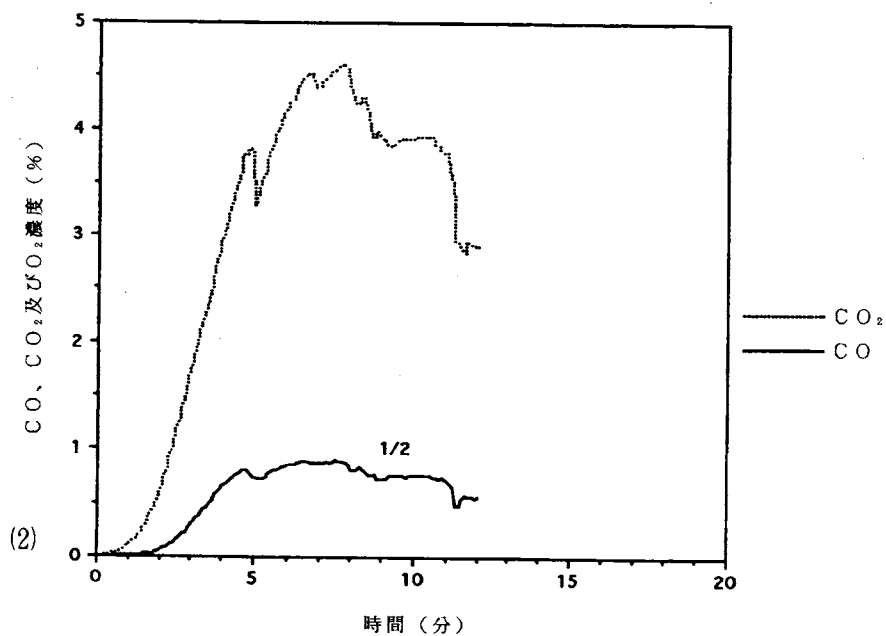
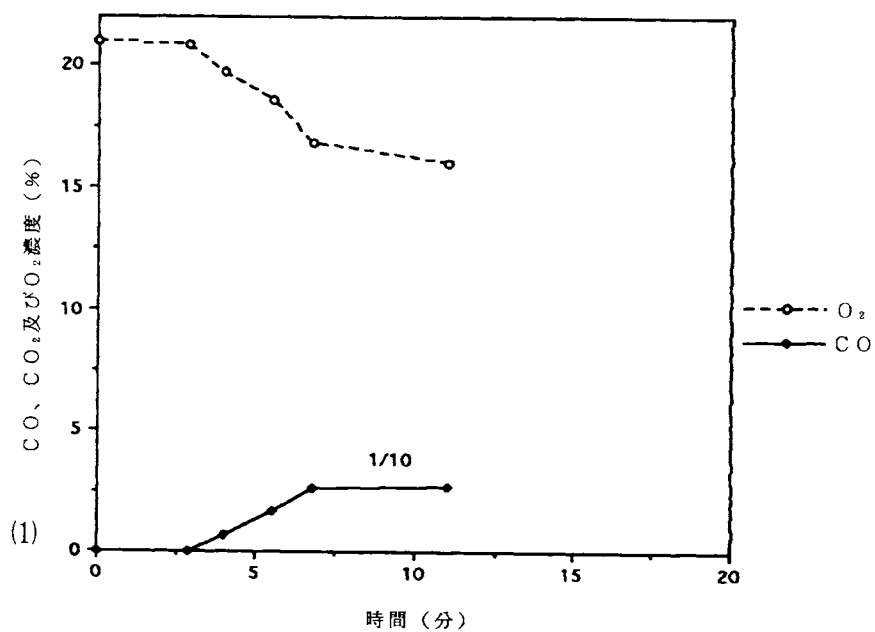


図3-1-12 ばく露箱1におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ばく露箱1：2階室上部（天井下40cm）よりガスを導入したもの

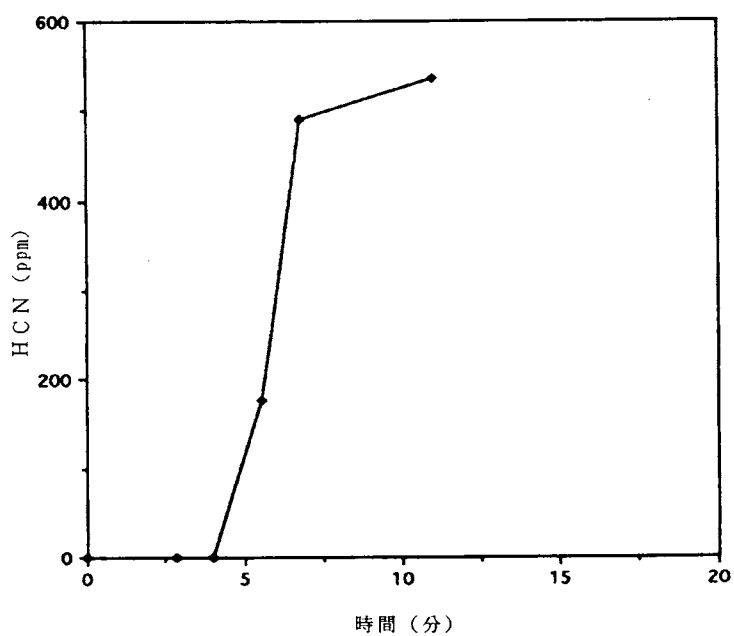


図 3 - 1 - 13 ばく露箱 1 における HCN 濃度の時間変化

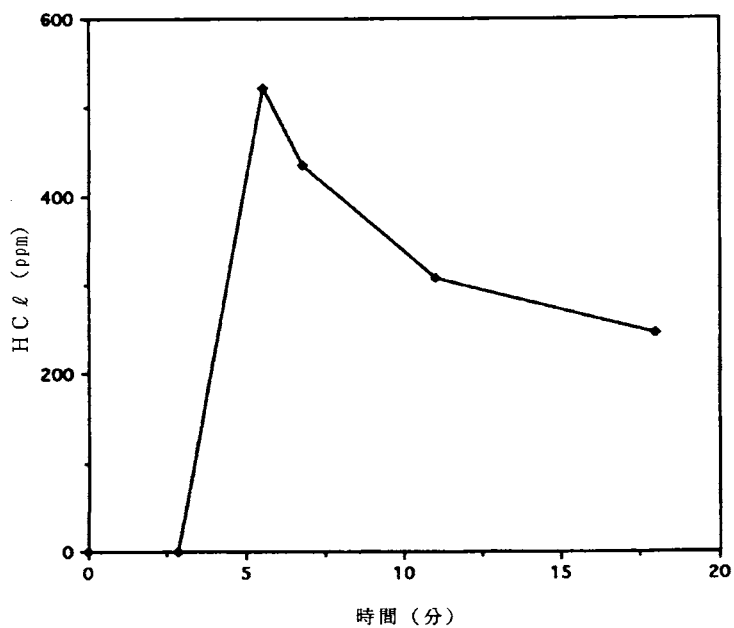


図 3 - 1 - 14 2 階室における HCl 濃度の時間変化

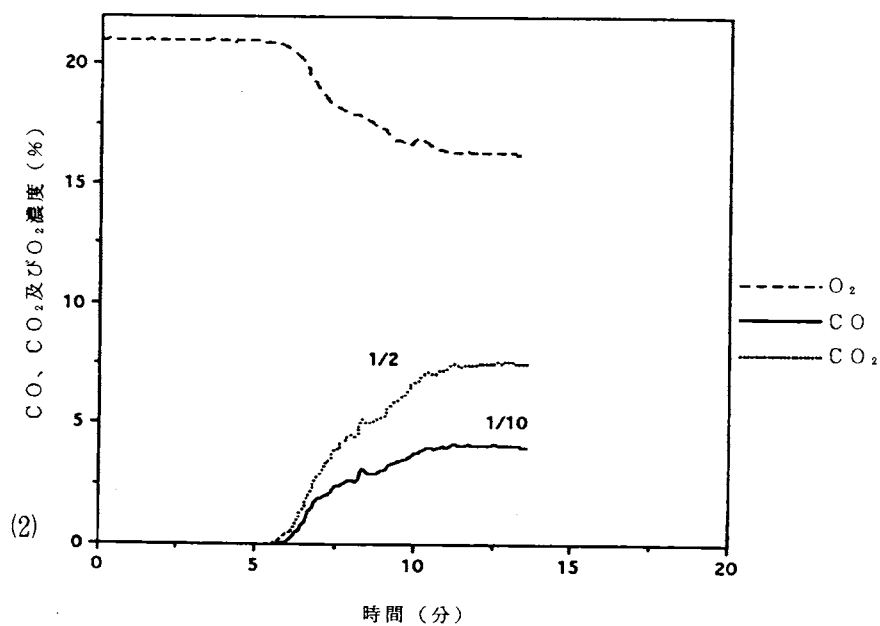
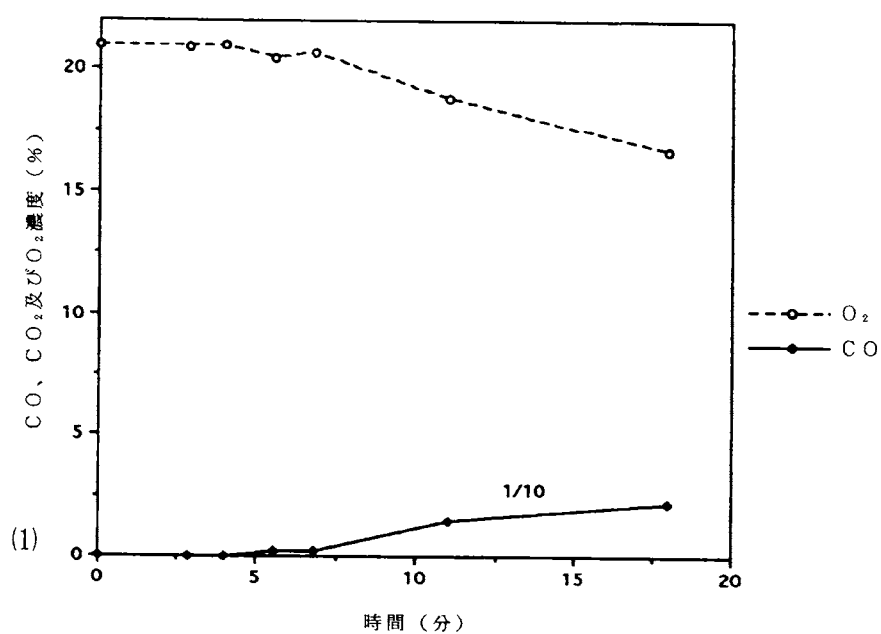


図 3-1-15 ばく露箱 2 における CO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ばく露箱 2 : 2 階室下部 (床上10cm) よりガスを導入したもの

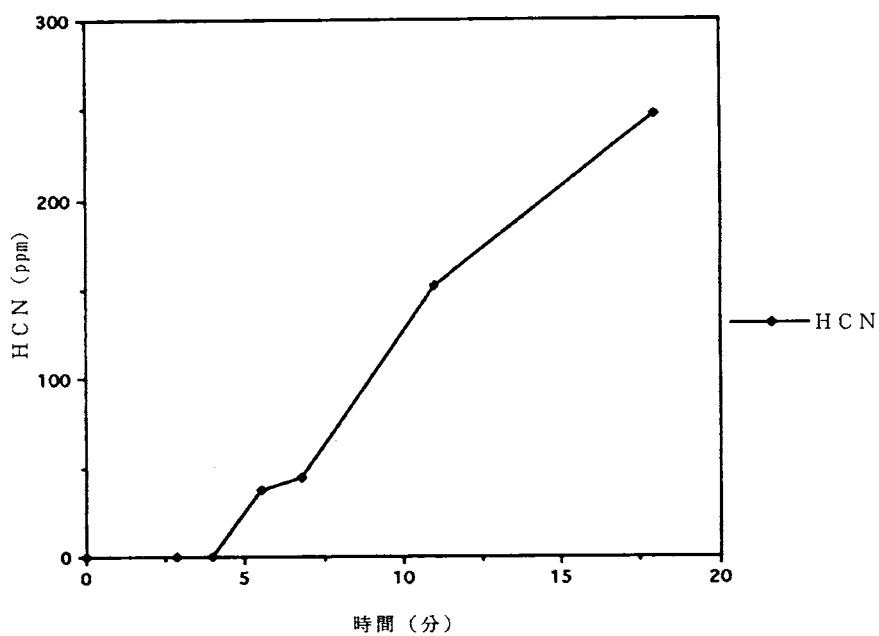


図 3 - 1 - 16 ばく露箱 2 におけるHCN濃度の時間変化

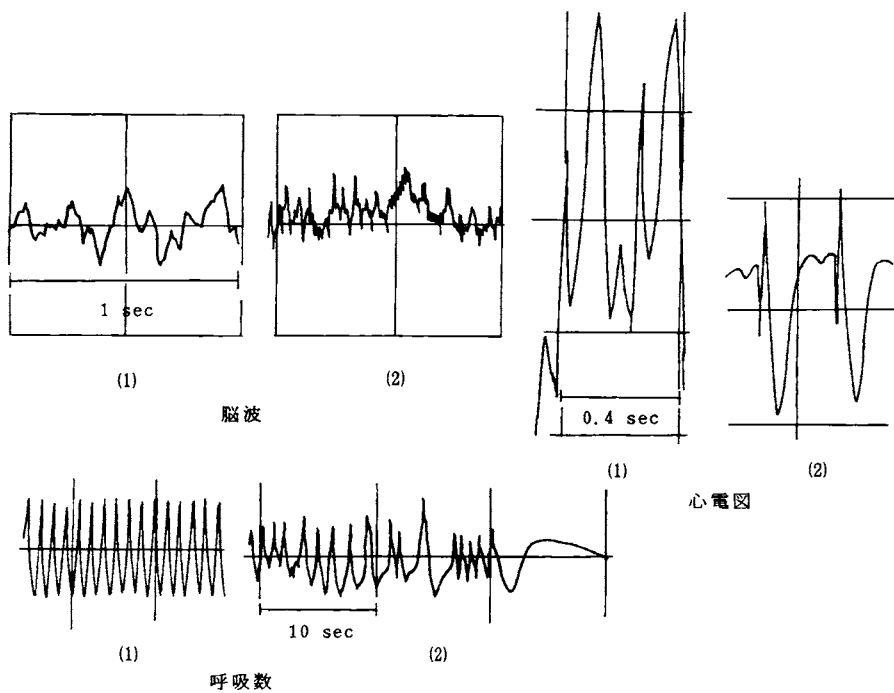


図 3 - 1 - 17 ばく露箱 1 のラビットの脳波、心電図及び呼吸数のパターンの 1 例

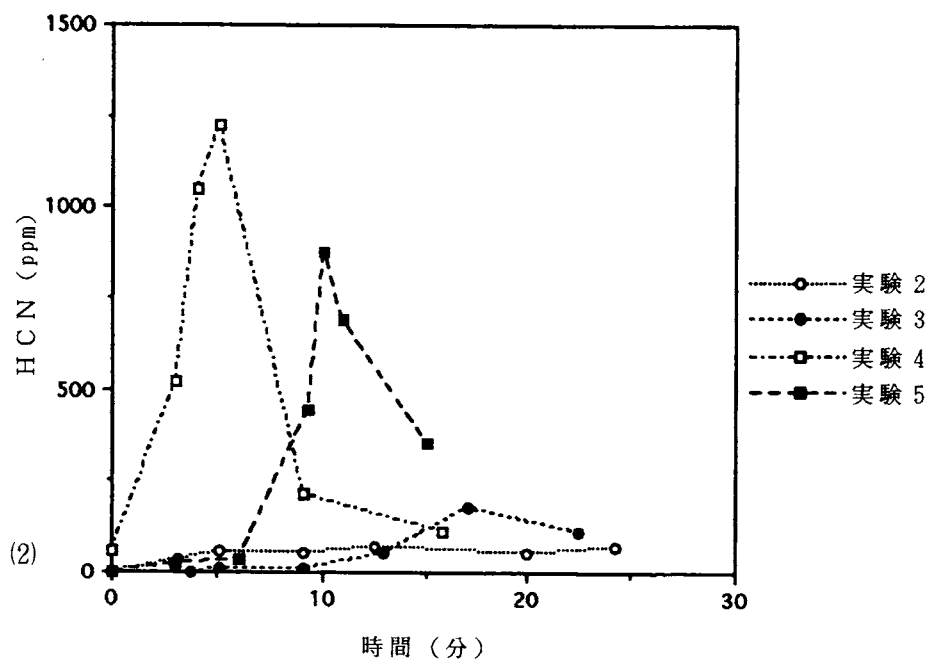
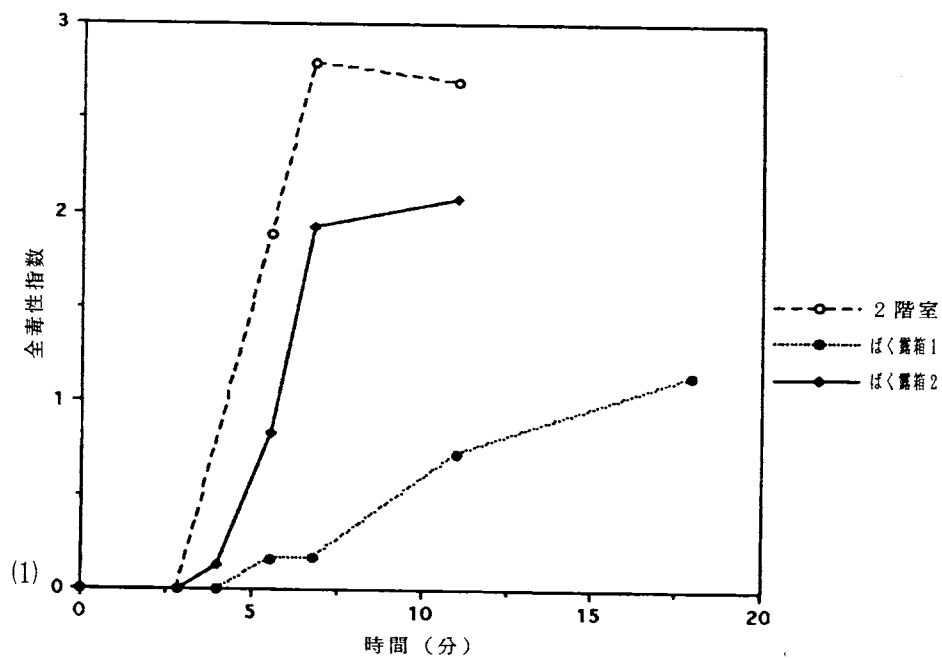


図 3-1-18 全毒性指数の時間変化
2階室のCO及びHCNはばく露箱1の値を使用

3-2 実験2 防災性物品のみの火災実験(2)

実験1の場合には火災促進用燃料の量が大きく、ここでは報告しないが他に行った非防災性物品の火災実験の場合と大差ない燃焼性状を示したため、今回は合板のコーナーウォール（高さ182cm、幅22.5cm、厚さ0.4cm、重量2.4kg）を前回の4分の1とし、段ボール箱と新聞紙は前回と同様、段ボール箱、500g、新聞紙、200gを使用した。火災促進用燃料の重量を減らしたときは、全可燃物量が少なすぎて防災、非防災の区別なくガスの動物への影響が小さかったため、収納物には厚さ5.5mmの防災合板を1枚加え、火災促進用燃料を除く収納物の重量を32.0kgとした。2階室のホールからの入口の幅は10cmに設定した。

3-2-1 火災性状

火災室開口付近、火災室とホールの境の上端及び2階ホールの天井下における温度の時間変化を図3-2-1に示す。火災は着火後約2.5分で合板のコーナーウォールの炎が天井に回ったが、局所的な燃焼に留まりフラッシュオーバーは起こらなかった。その様子は火災室温度が如実に示している。すなわち、火災室の温度は瞬間的に約600℃まで上昇したが、その2分後には200℃以下にまで下がっている。この図における他の2箇所の温度も最高で300℃かそれ以下と低かった。燃え残りが多く、残渣の重量は24.5kgもあった。2階室上部及び下部における温度の時間変化を図3-2-2に示す。上部では瞬間的には40℃を超えたが、下部では殆ど終始変化がなかった。

酸素消費に基づく発熱速度の時間変化を図3-2-3に示す。発熱速度はコーナーウォールの燃焼中に約250kWを記録したのが最高で、その後は殆ど100kW以下で推移した。

光学的煙濃度の2階室における時間変化を図3-2-4に、ダクトにおける同濃度の時間変化とガス流速及び温度の時間変化を図3-2-5に示す。

火災室とホールの境及び2階室とホール境の上下端におけるガス流速及びその測定点における温度を図3-2-6と図3-2-7にそれぞれ示す。

3-2-2 ガス濃度

火災室におけるガスの自動連続分析の結果を図3-2-8に示す。火災室と1階ホールの境の上端におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化及びHCN及びHCl濃度の時間変化を図3-2-9及び図3-2-10にそれぞれ示す。また、2階ホールの連続分析の結果を図3-2-11に示す。ばく露箱からガスを採取した2階室上部のCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化を図3-1-12に、HCN及びHCl濃度の時間変化を図3-2-13にそれぞれ示す。別のばく露箱に2階室下部のガスを導入したもののCO、CO₂及びO₂の時間変化を図3-2-14に、HCN濃度の時間変化を図3-2-15にそれぞれ示す。2階室壁穴から直接、間欠的に採取したガス中のCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化を図3-2-16に、また、HCN及びHClの時間変化を図3-2-17にそれぞれ示す。これらの図における値は、総じて、実験1の値に比較して遥かに低いことが分かる。間欠的にガスを採取し、ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフで分析した成分の濃度と採取時間との関係の一覧表を表3-2-1に示す。

3-2-3 動物実験及び毒性評価

2階室のガスにばく露したラビットの行動不能時間、血中のCOHb及びシアン濃度を表3-2-2及び表3-2-3にそれぞれ示す。CO、HCN及びHClを毒性成分とした場合のばく露箱及び2階室における全毒性指数の時間変化を図3-2-18に示し、また、FEDに基づく行動不能時間の計算値も前出の表3-2-2に示す。本火災実験ではフラッシュオーバーが起こらず、発熱速度も小さく、また、有毒ガスの発生も小さかったため、ラビットに行動不能や死亡は起こらなかった。従って、血中のCOHb、シアン濃度は低く、全毒性指数も小さかった。しかし、計算上の行動不能時間は10分以下と短かった。これについては後に考察する。

表 3-2-1 ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフによる分析結果

	採取時間 (分)	O ₂ (%)	CO (%)	CO ₂ (%)	HCN (ppm)	HCl (ppm)
火災室と ホールの境	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.2	14.8	0.090	6.29	357	47
	5.2	19.5	0.086	1.39	75	15
	9.1	20.0	0.068	0.85	53	14
	12.5	20.2	0.089	0.70	40	10
	20.0	20.2	0.087	0.65	48	9
	24.2	20.6	0.062	0.37	35	8
ラビット ばく露箱 1 (2階室上部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.2	21.0	0.017	0.36	11	0
	5.2	21.0	0.053	1.06	42	3
	9.1	20.2	0.060	0.99	38	5
	12.5	20.2	0.077	0.90	42	2
	20.0	20.4	0.117	0.80	29	1
	24.2	21.0	0.110	0.69	21	2
2 階 室	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.2	20.1	0.000	0.90	34	1
	5.2	19.7	0.058	1.25	57	27
	9.1	19.8	0.061	1.12	55	22
	12.5	19.9	0.084	0.96	71	15
	20.0	20.1	0.110	0.85	53	11
	24.2	20.2	0.100	0.68	70	11
ラビット ばく露箱 2 (2階室下部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	
	3.2	20.9	0.000	0.15	0	
	5.2	20.8	0.000	0.22	0	
	9.1	20.8	0.025	0.60	12	
	12.5	20.0	0.061	1.03	22	
	20.0	19.9	0.123	1.09	29	
	24.2	20.0	0.137	0.99	21	

2 階室上部：天井下40cm、2 階室：天井下40cm、2 階室下部：床上：10cm

表 3 - 2 - 2 ラビットの行動不能時間

	実測値	計算値
ラビット 1	>25.0分	8.9分
ラビット 2	>25.0	14.6

表 3 - 2 - 3 ラビットの血中のCOヘモグロビン (COHb)
飽和度とシアン(CN⁻)濃度

	COHb (%)	CN ⁻ (ppm)
ラビット 1	16.9	0.14
ラビット 2	14.3	0.12

ラビット 1 : 2 階室上部からのガスにばく露したもの

ラビット 2 : 同室下部からのガスにばく露したもの

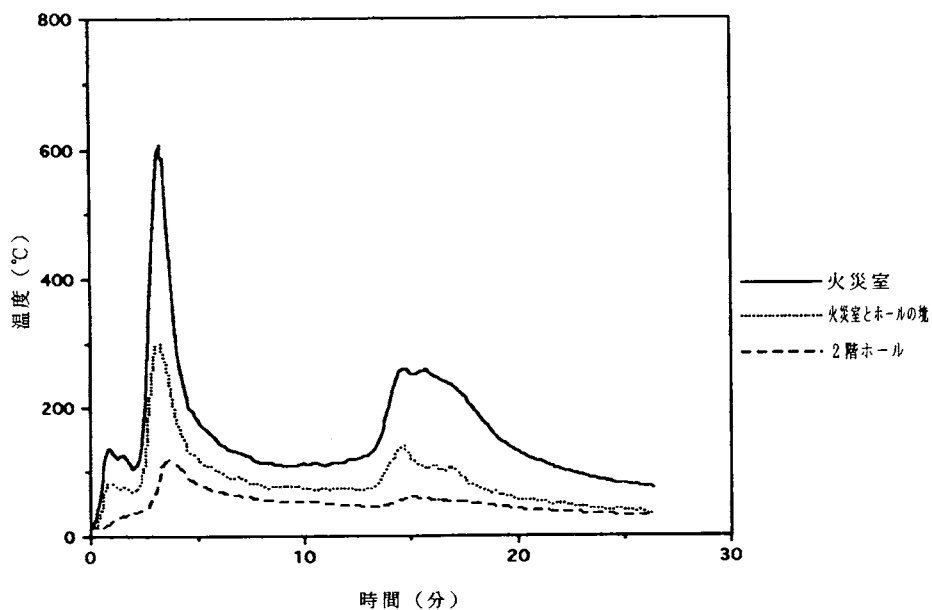


図 3 - 2 - 1 火災室、火災室とホールの境及び 2 階ホールにおける
温度の時間変化

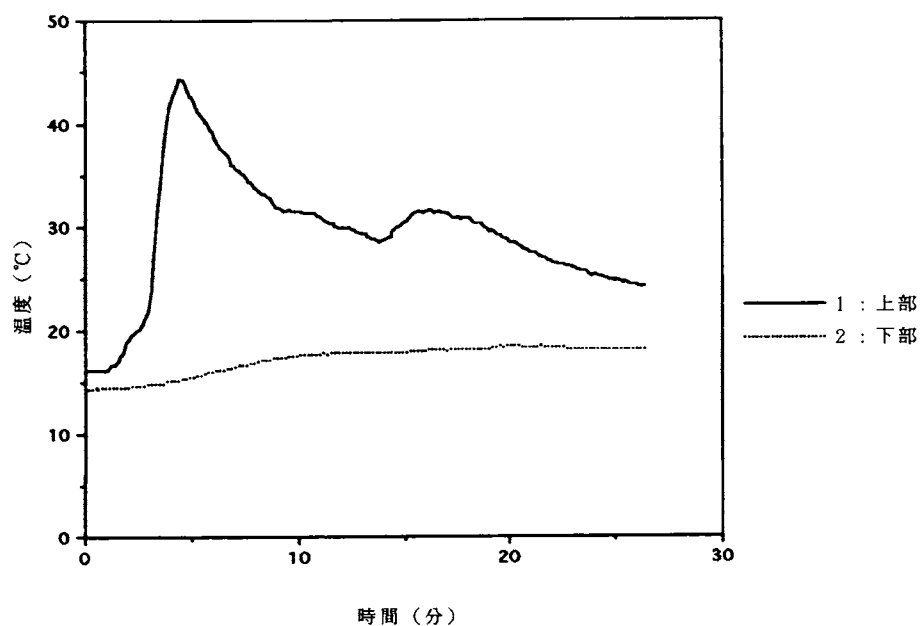


図 3 - 2 - 2 2 階室上部及び下部における温度の時間変化

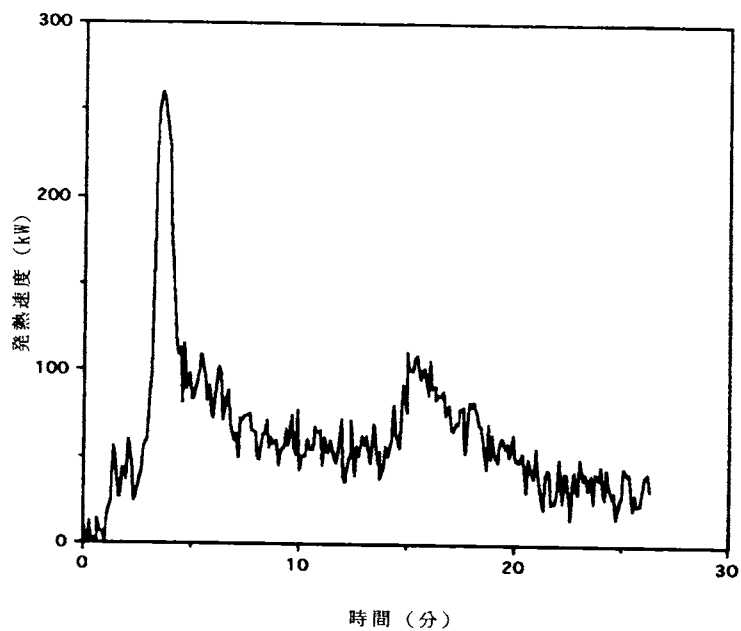


図 3 - 2 - 3 酸素消費に基づく発熱速度の時間変化

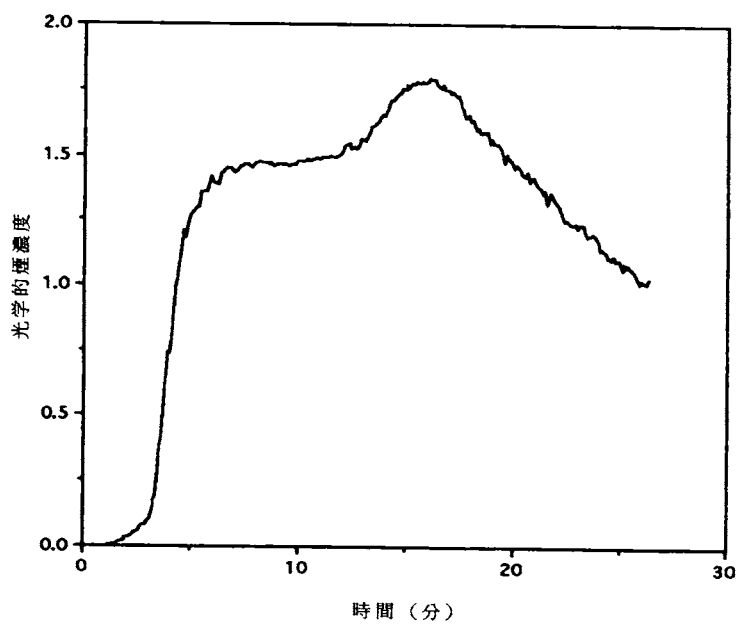


図 3 - 2 - 4 2 階室における光学的煙濃度の時間変化
測定点：天井下30cm

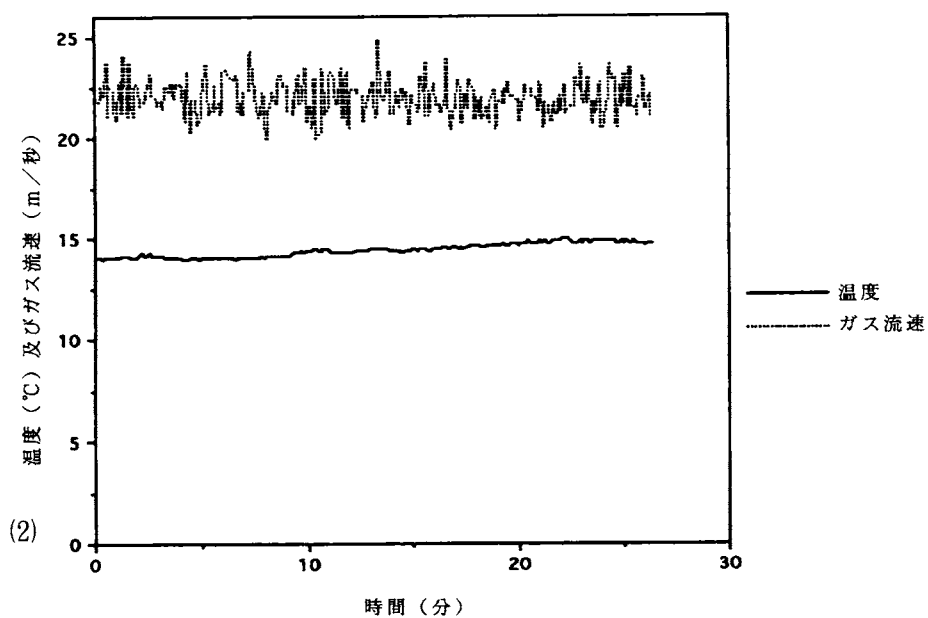
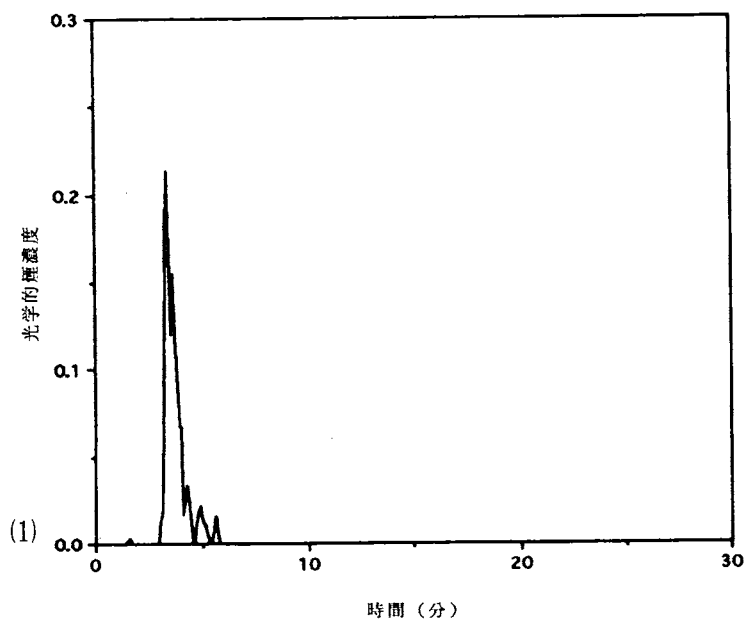


図 3 - 2 - 5 ダクト出口における光学的煙濃度、ガス流速及び
温度の時間変化

(1) 光学的煙濃度の時間変化 (2) ガス流速及び温度の時間変化

ダクトの直径 : 55cm

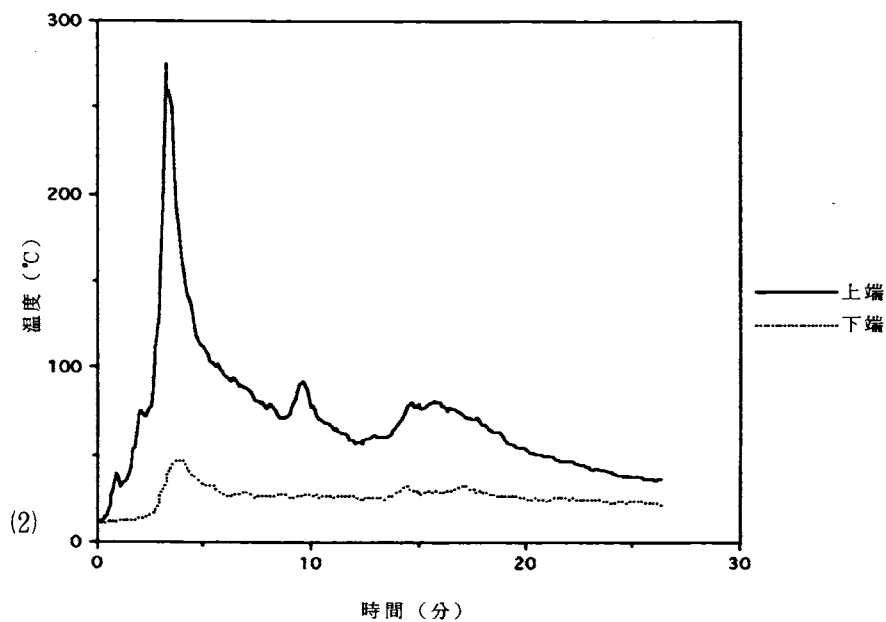
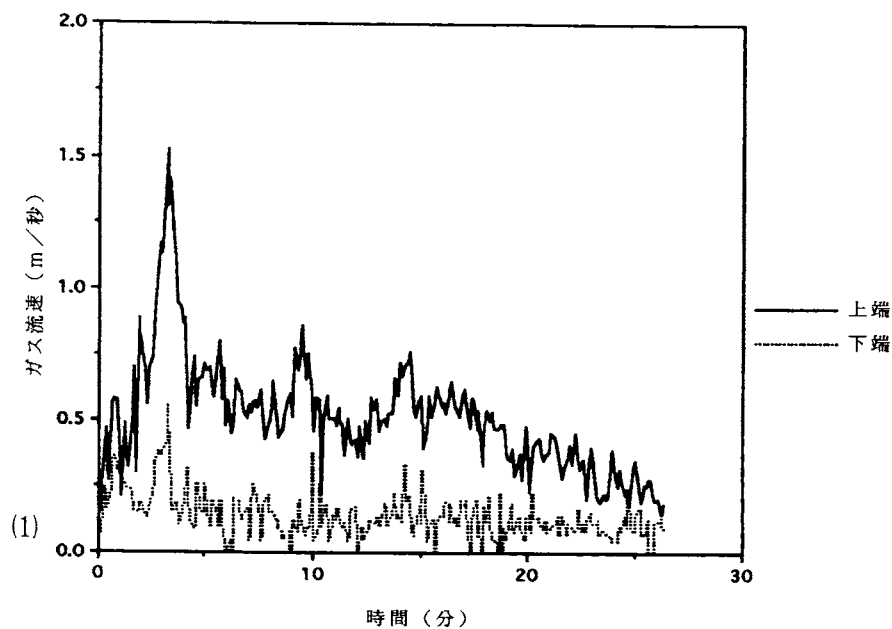


図 3 - 2 - 6 火災室とホールの境の上下端におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

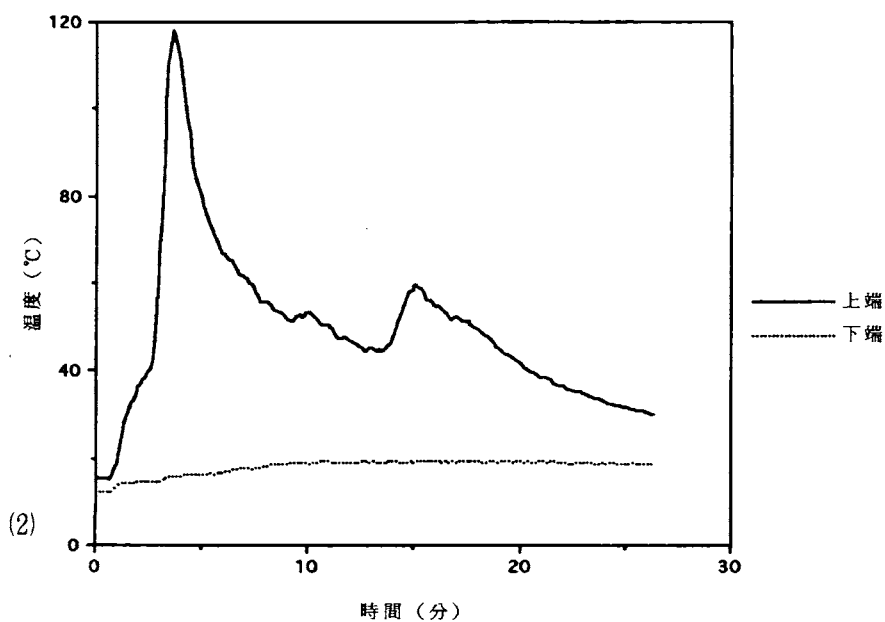
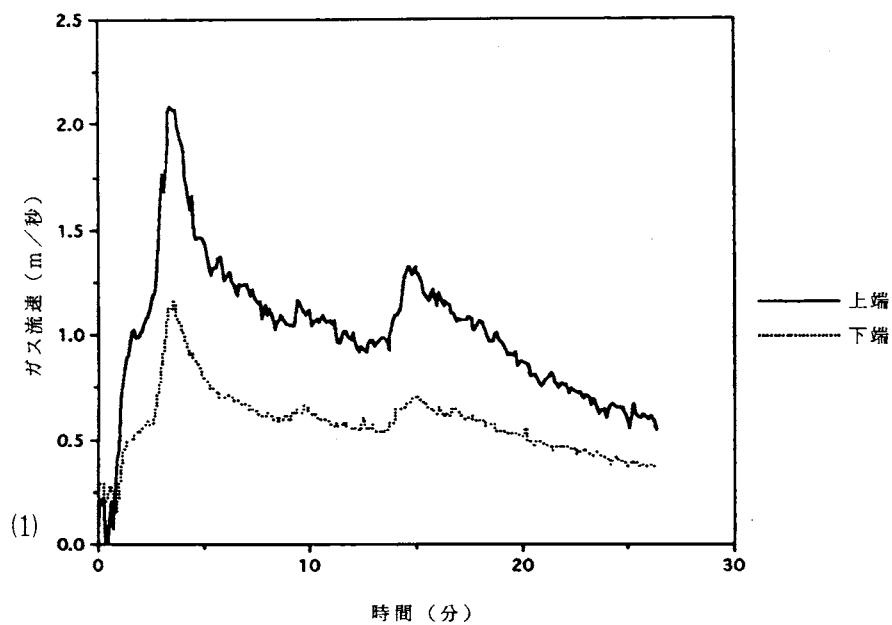


図3-2-7 2階室とホールの境におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

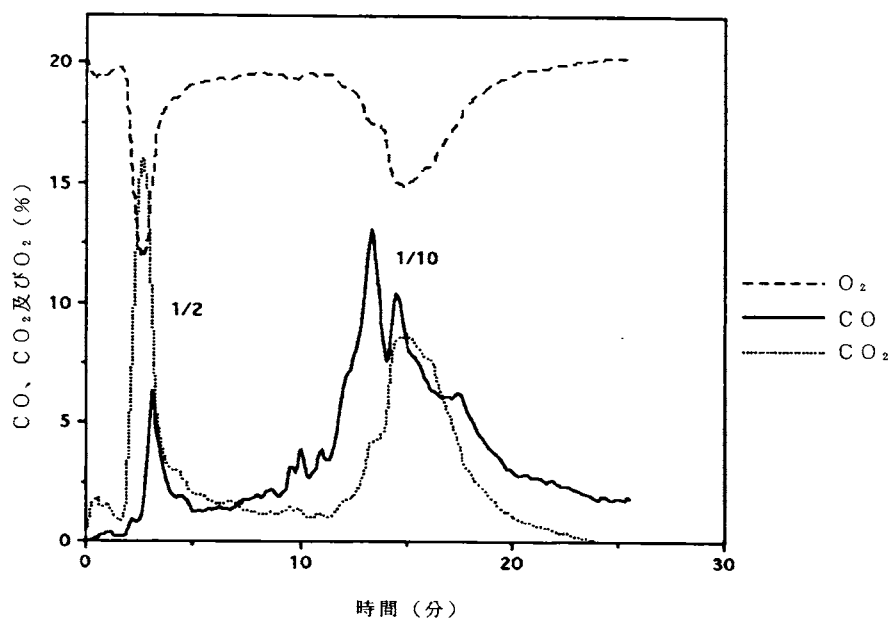


図3-2-8 火災室におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化
分析方法：連続分析

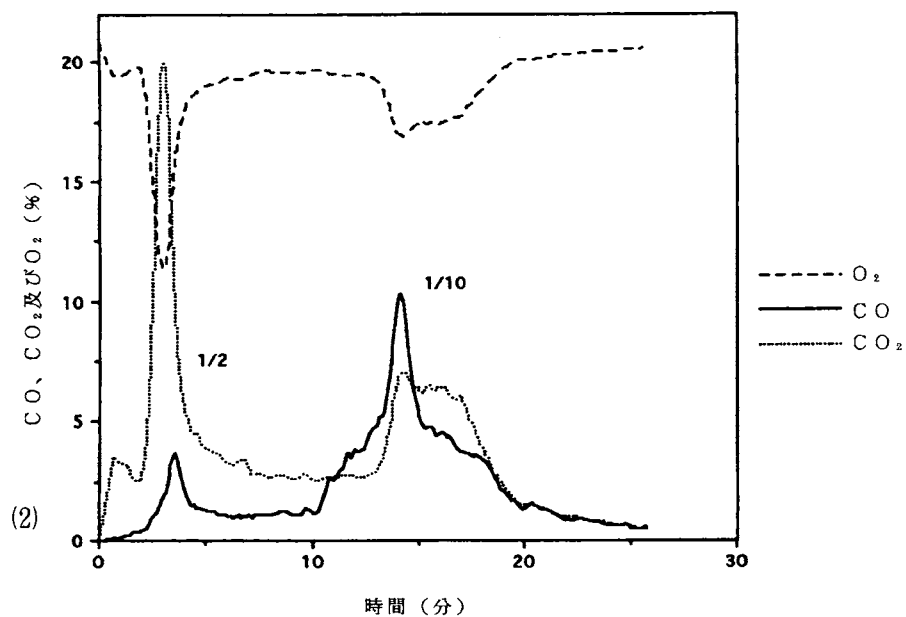
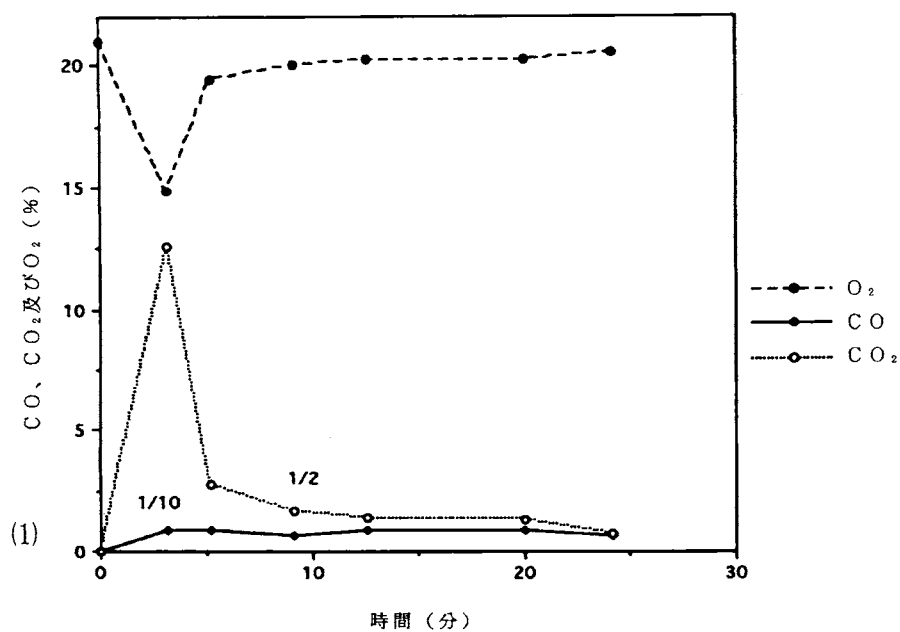


図 3-2-9 火災室とホールの境における CO 、 CO_2 及び O_2 濃度の時間変化

分析方法：(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

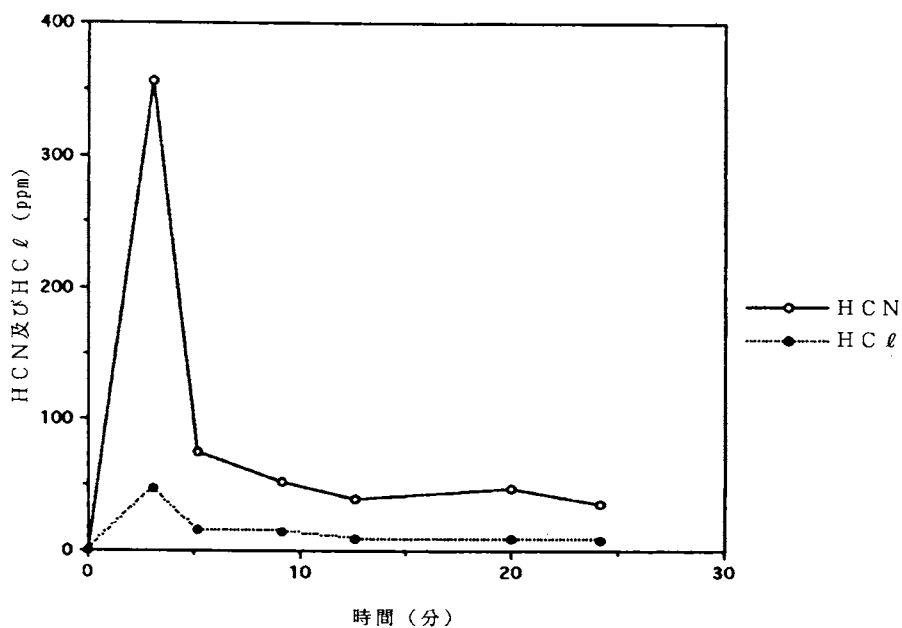


図 3 - 2 - 10 火災室とホールの境におけるHCN及びHCl濃度の時間変化

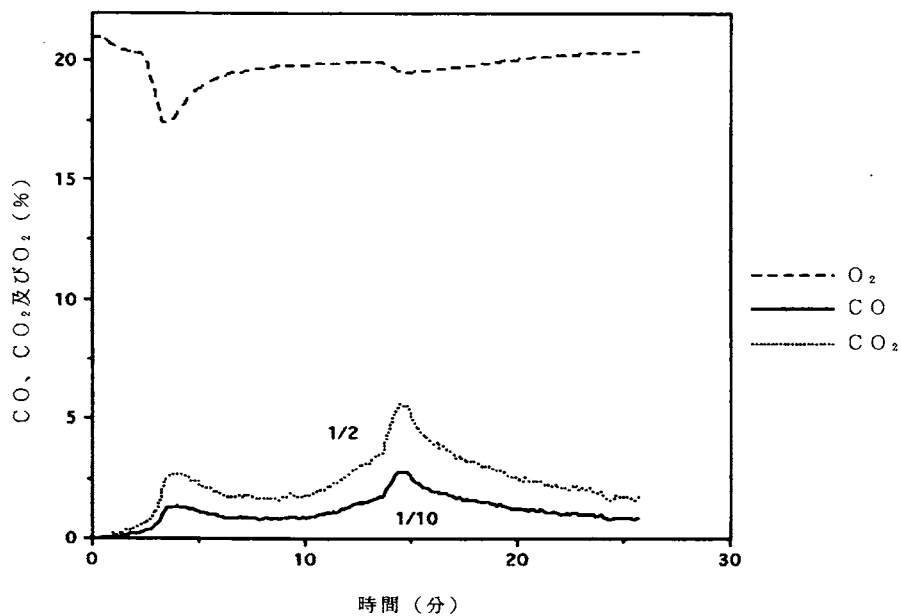


図 3 - 2 - 11 2 階ホールにおけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

分析方法：連続分析

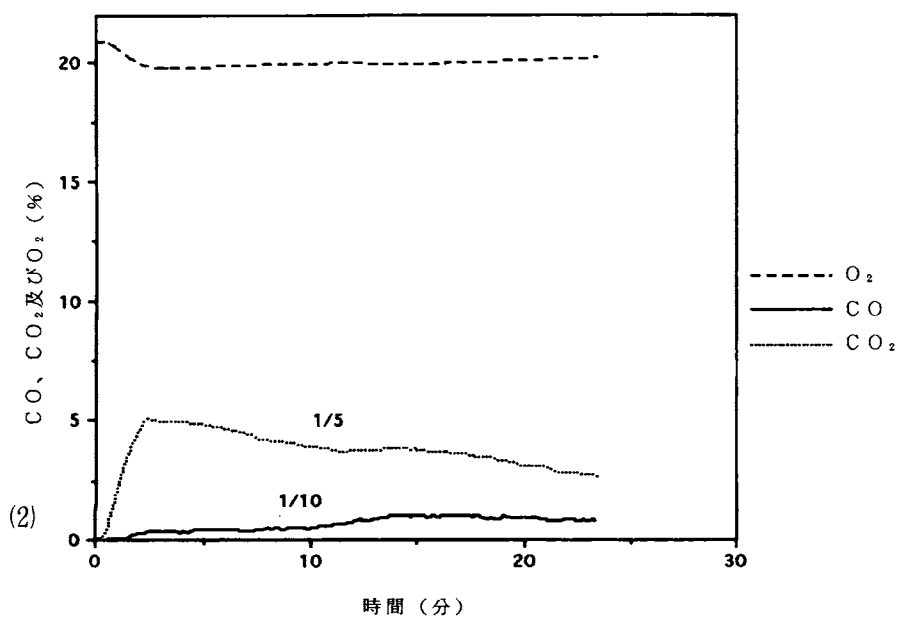
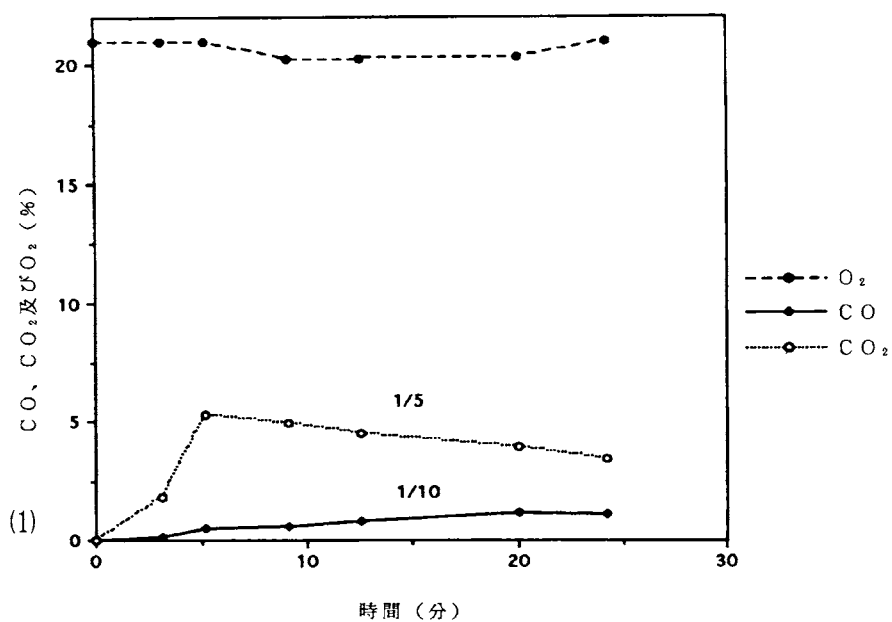


図3-2-12 ばく露箱1におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

(1) 間欠分析 (2) 連続分析

ばく露箱1：2階室上部（天井下40cm）よりガスを導入したもの

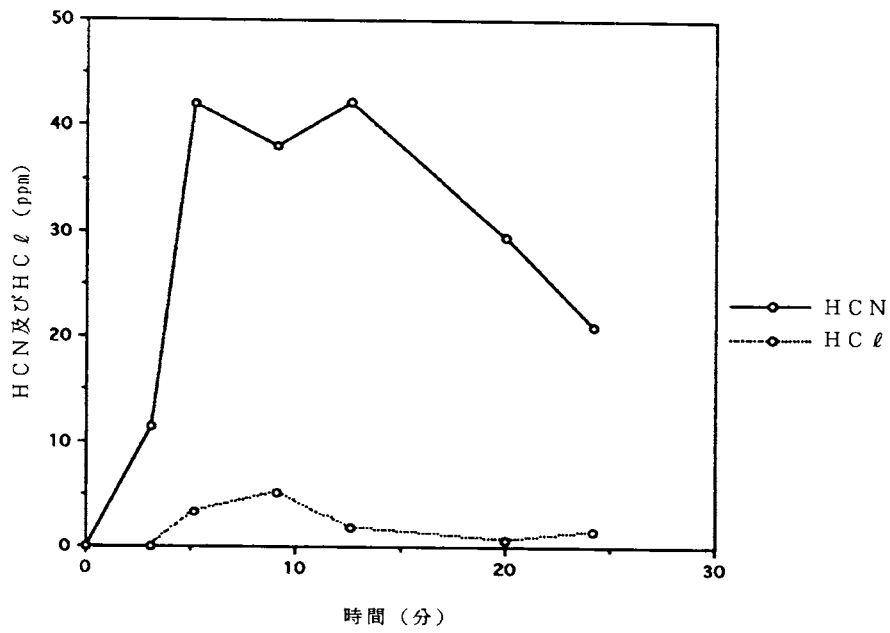


図 3 - 2 - 13 ばく露箱 1 における HCN 濃度の時間変化

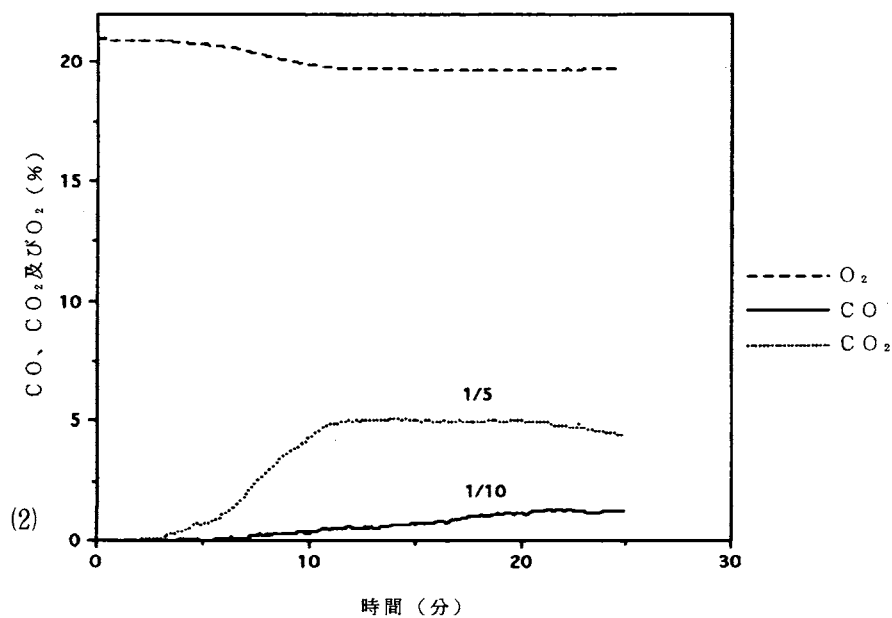
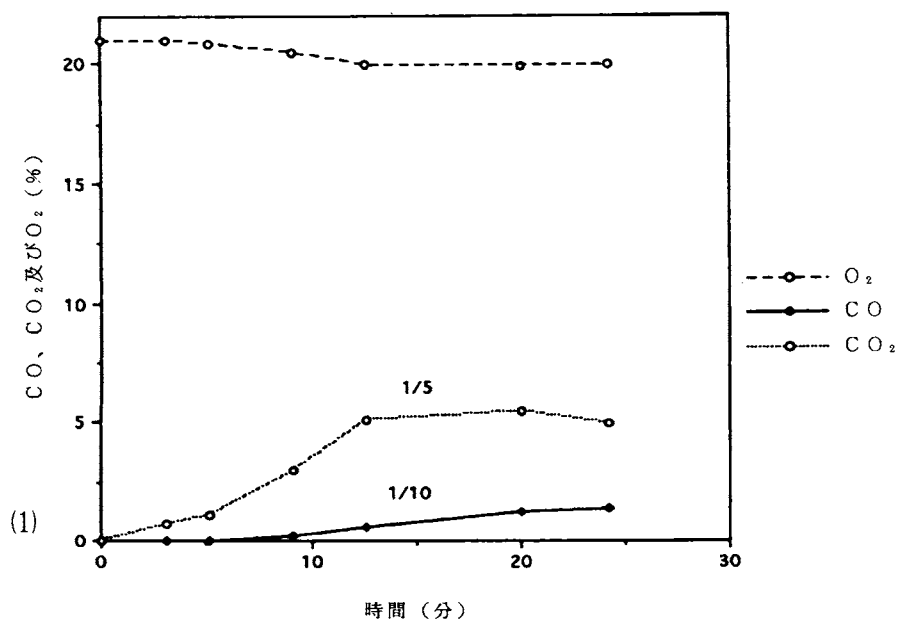


図3-2-14 ばく露箱2におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

(1) 間欠分析 (2) 連続分析

ばく露箱2：2階室下部（床上10cm）よりガスを導入したもの

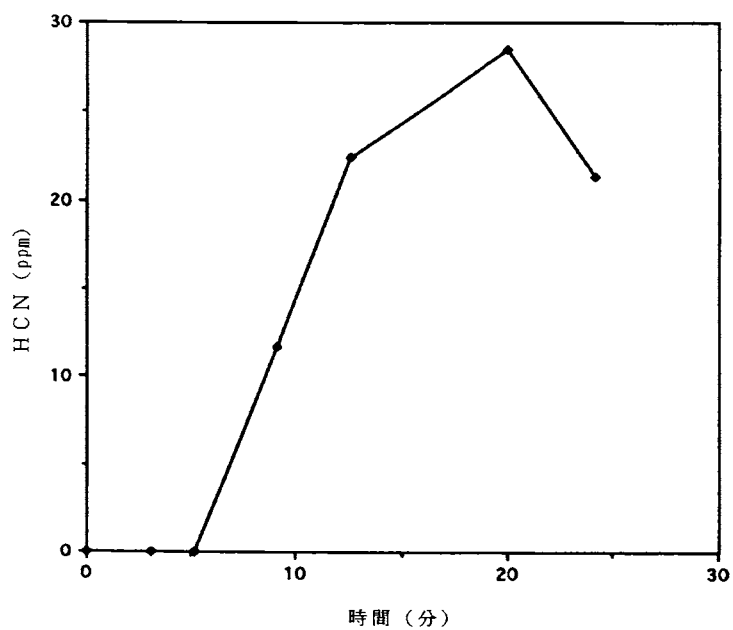


図 3 - 2 - 15 ばく露箱 2 における HCN 濃度の時間変化

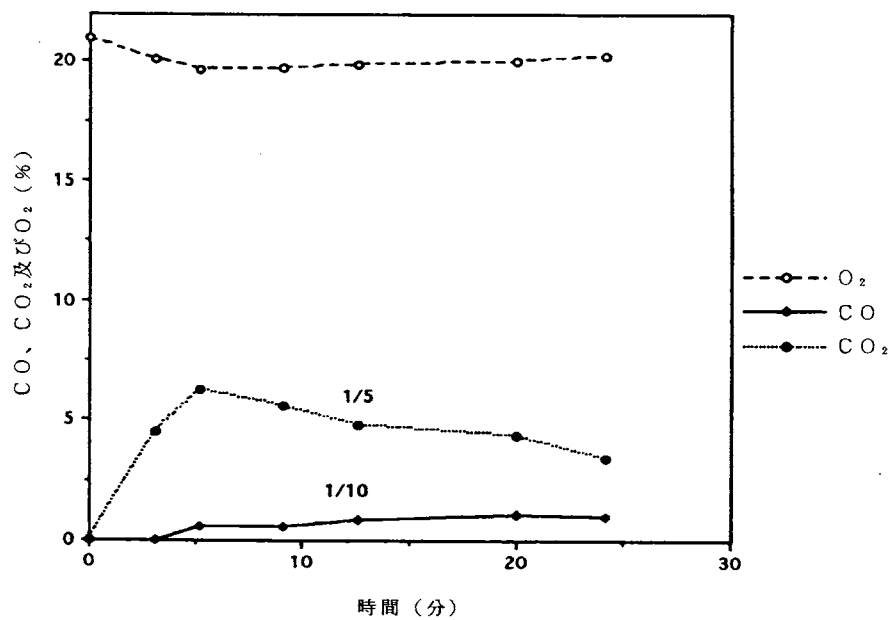


図 3 - 2 - 16 2 階室における CO、CO₂ 及び O₂ 濃度の時間変化
天井 40cm、間欠的分析

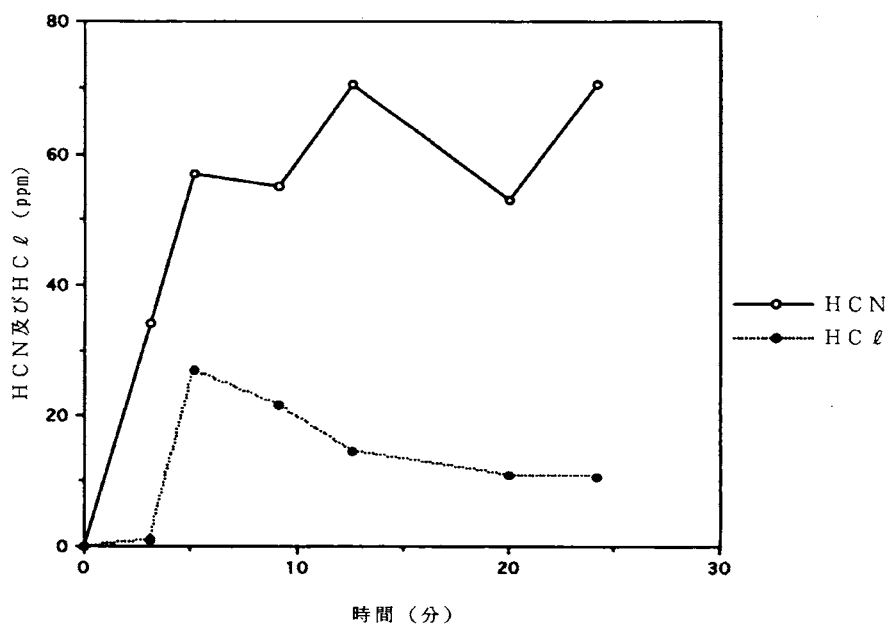


図 3 - 2 - 17 2 階室における HCN 及び HCN 濃度の時間変化

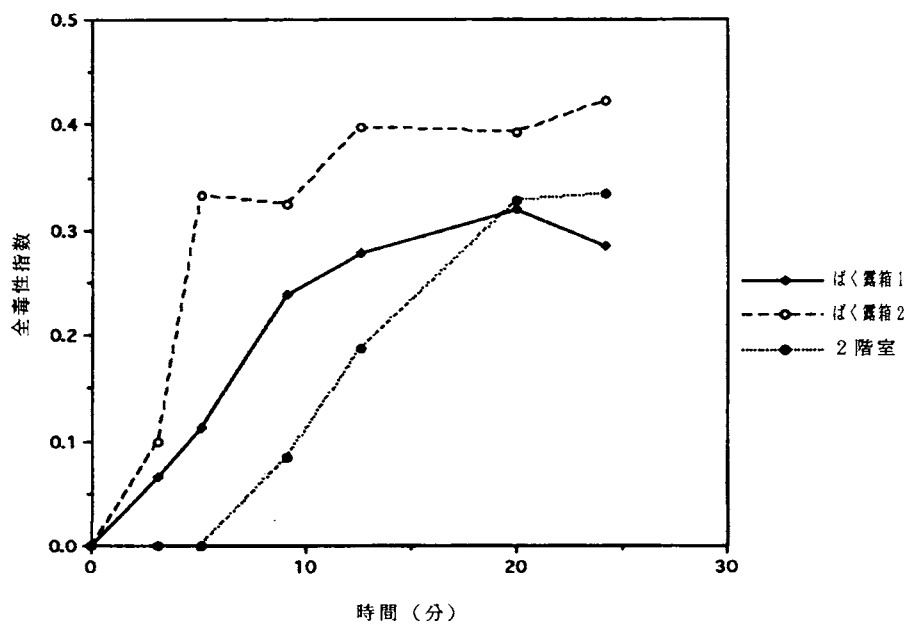


図 3 - 2 - 18 全毒性指数の時間変化

3-3 実験3 防災性物品と非防災性物品の割合が等しい火災実験(1)

防災性物品が非防災性物品の割合を1:1にし、火災促進用燃料をも含め他の条件は実験2の場合と同一にして火災実験を行った。

3-3-1 火災性状

火災室開口付近、火災室からホールへの出入り口の上端及び2階ホールの天井下における温度の時間変化を図3-3-1に示す。火災は着火後約3分で合板のコーナーウォールの炎が天井に回ったが、全面燃焼には至らず、下火になり、その後、火は勢いを取り戻した下火になることを繰り返した。火が勢いを取り戻したときもフラッシュオーバーを経た全面燃焼はなかった。火災室の最高温度は約600℃と低かった。しかし、再燃時の温度はいずれの点においても実験2の場合に比較してかなり高かった。2階室における温度変化を図3-3-2に示す。下部の温度は殆ど変動がなかったが、上部においては火災室の場合と同様の上下の変動がみられ、また、最高温度は80℃を超え、非防災品のみの実験の場合よりも高くなった。酸素消費に基づく発熱速度の時間変化を図3-3-3に示す。発熱速度も火災室等における温度変化の場合と同じ傾向を示し、最高は約700kWと非防災品のみ火災実験の場合の約3分の1であった。

光学的煙濃度の2階室における時間変化を図3-3-4に、ダクトにおける同濃度の時間変化とガス流速及び温度の時間変化を図3-3-5に示す。

火災室とホールので入口及び2階室とホールので入口の上下端におけるガス流速及びその測定点における温度を図3-3-6と図3-3-7にそれぞれ示す

3-3-2 ガス濃度

火災室におけるガスの自動連続分析の結果を図3-3-8に示す。火災室とホールの境の上端におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化及びHCN及びHCℓ濃度の時間変化を図3-3-9及び図3-3-10にそれぞれ示す。また、2階ホールの連続分析の結果を図3-3-11に示す。ばく露箱からガスを採取した2階室上部のCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化を図3-3-12に、HCN及びHCℓ濃度の時間変化を図

3-3-13にそれぞれ示す。別のばく露箱に2階室下部のガスを導入したもののについてのCO、CO₂及びO₂の時間変化を図3-3-14に、HCN濃度の時間変化を図3-3-15にそれぞれ示す。2階室壁穴から直接、間欠的に採取したガス中のCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化を図3-3-16に、また、HCN及びHClの時間変化を図3-3-17にそれぞれ示す。

間欠的にガスを採取し、ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフで分析した成分の濃度と採取時間との関係の一覧表を表3-3-1に示す。

3-3-3 動物実験及び毒性評価

2階室のガスにばく露したラビットの行動不能時間、血中のCOHb及びシアン濃度を表3-3-2及び表3-3-3にそれぞれ示す。CO、HCN及びHClを毒性成分とした場合のばく露箱及び2階室における全毒性指数の時間変化を図3-3-18に示し、また、FEDに基づく行動不能時間の計算値は前出の表3-3-2に示す。

表 3 - 3 - 1 ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフによる分析結果

	採取時間 (分)	O ₂ (%)	CO (%)	CO ₂ (%)	H C N (ppm)	H C I (ppm)
火災室と ホールの境	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.8	19.7	0.090	1.26	31	4
	5.1	16.5	0.130	4.38	111	42
	9.1	19.8	0.180	1.29	39	21
	13.0	18.0	0.170	2.91	635	64
	17.0	15.7	0.300	4.43	196	35
	22.5	16.8	0.240	3.47	119	22
ラビット ばく露箱 1 (2階室上部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.8	21.0	0.025	0.18	0	4
	5.1	21.0	0.040	0.55	0	15
	9.1	20.1	0.100	1.15	17	8
	13.0	19.7	0.140	1.43	21	42
	17.0	18.3	0.230	2.25	138	22
	22.5	16.9	0.273	3.60	108	17
2 階 室	0.0	0	0.000	0.00	0	0
	3.8	21.0	0.000	0.15	0	4
	5.1	20.7	0.033	1.23	13	2
	9.1	19.7	0.101	1.48	13	5
	13.0	19.4	0.161	1.95	56	4
	17.0	17.1	0.313	3.58	177	1
	22.5	15.5	0.361	5.00	112	1
ラビット ばく露箱 2 (2階室下部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	
	3.8	20.3	0.000	0.06	0	
	5.1	21.0	0.000	0.06	0	
	9.1	20.5	0.030	0.41	0	
	13.0	19.8	0.100	1.08	35	
	17.0	18.7	0.200	1.96	85	
	22.5	16.7	0.280	3.83	120	

2 階室上部：天井下40cm、2 階室：天井下40cm、

2 階室下部：床上：10cm

空白部分は分析せず

表 3 - 3 - 2 ラビットの行動不能時間

	実測値	計算値
ラビット 1	20.5分	15.4分
ラビット 2	21.5	16.7

表 3 - 3 - 3 ラビットの血中のCOヘモグロビン (COHb)
飽和度とシアン(CN⁻)濃度

	COHb (%)	CN ⁻ (ppm)
ラビット 1	29.4	2.79
ラビット 2	32.5	2.42

ラビット 1 : 2 階室上部からのガスにばく露したもの

ラビット 2 : 同室下部からのガスにばく露したもの

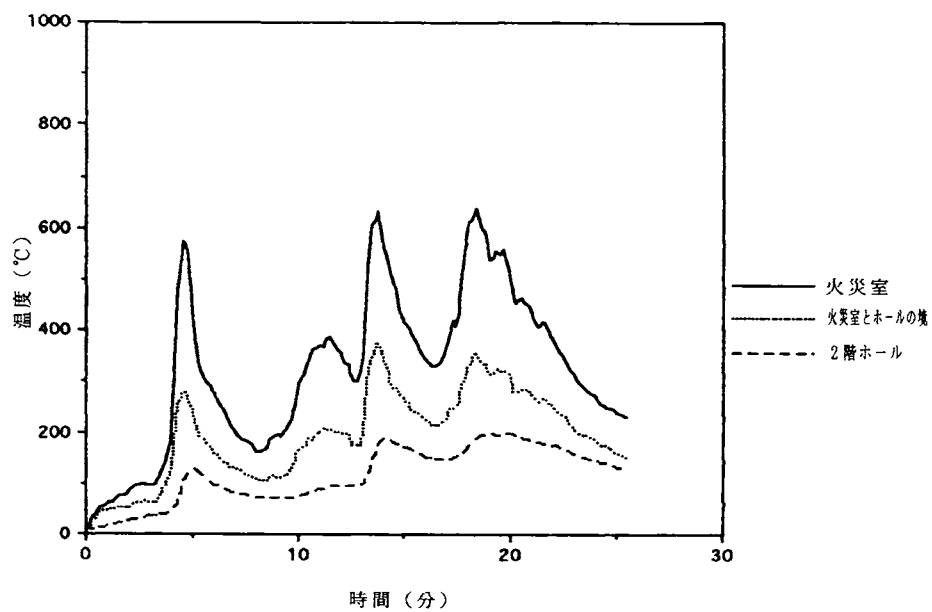


図 3 - 3 - 1 火災室、火災室とホールの境及び 2 階ホールにおける
温度の時間変化

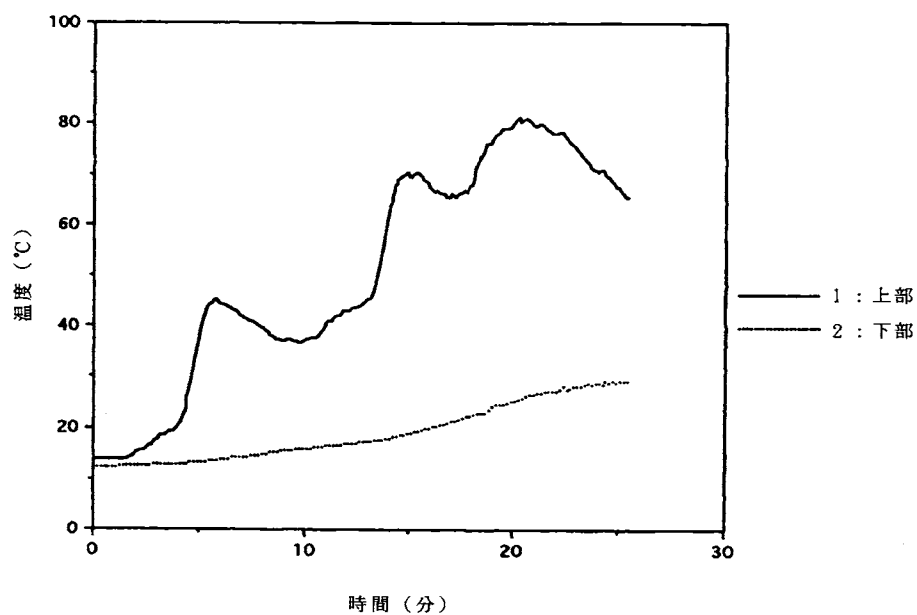


図 3 - 3 - 2 2 階室上部及び下部における温度の時間変化

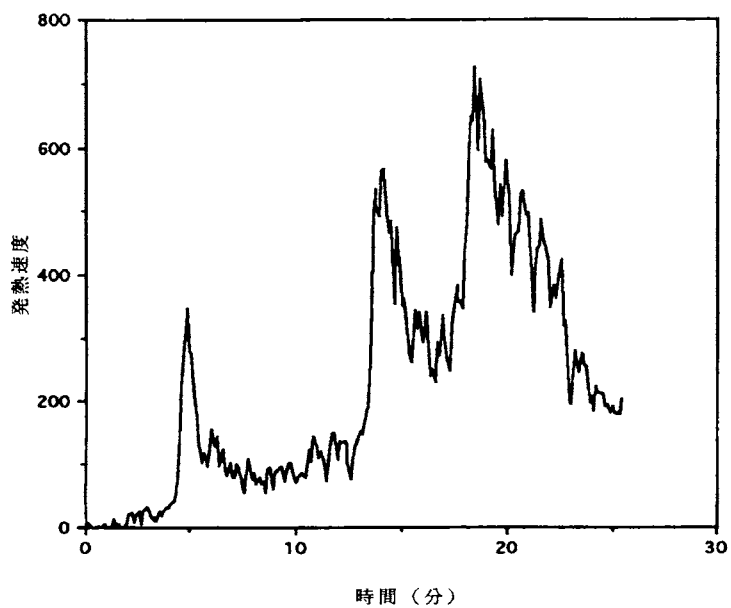


図 3 - 3 - 3 酸素消費に基づく発熱速度の時間変化

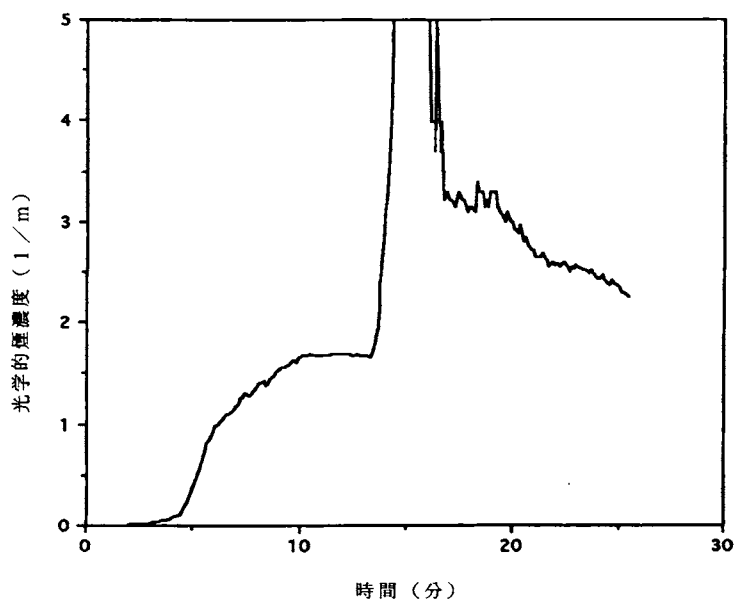


図 3 - 3 - 4 2 階室における光学的煙濃度の時間変化

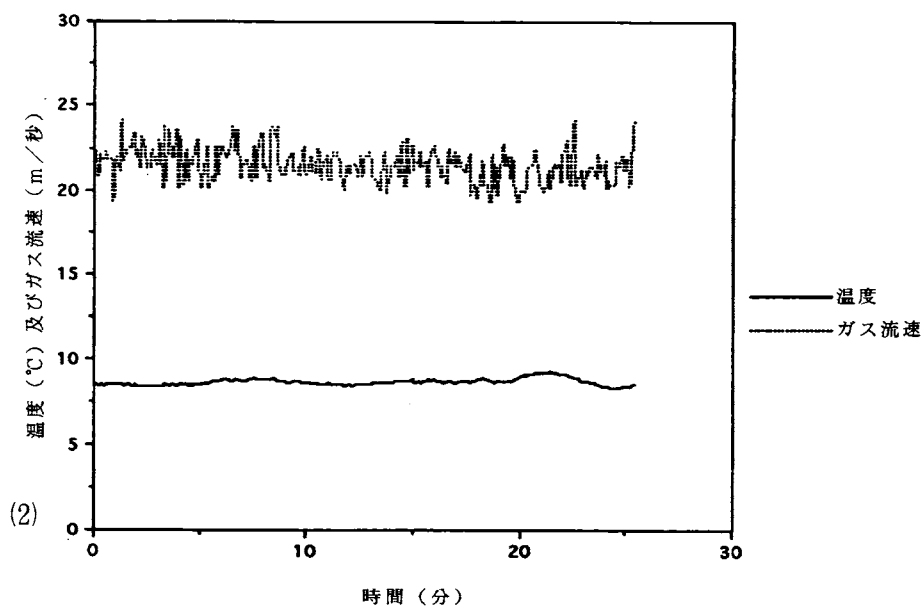
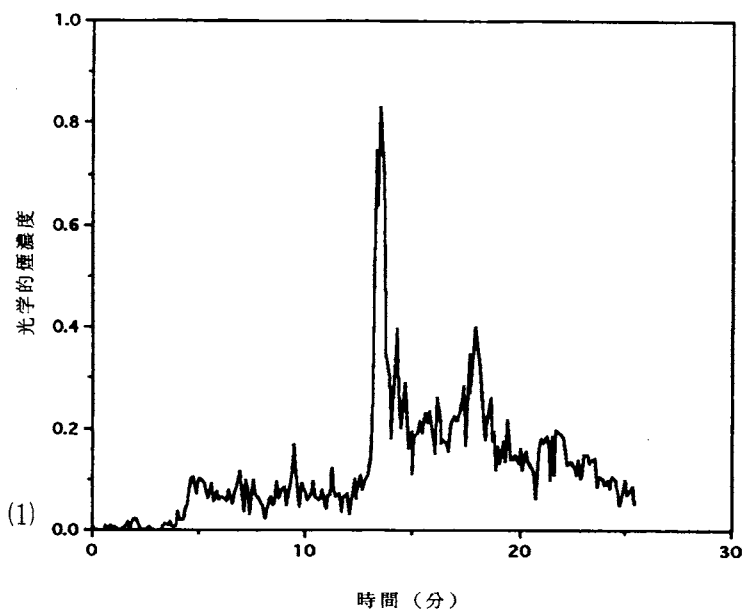


図3-3-5 ダクト出口における光学的煙濃度、ガス流速及び温度の時間変化

(1) 光学的煙濃度の時間変化 (2) ガス流速及び温度の時間変化

ダクトの直径：55cm

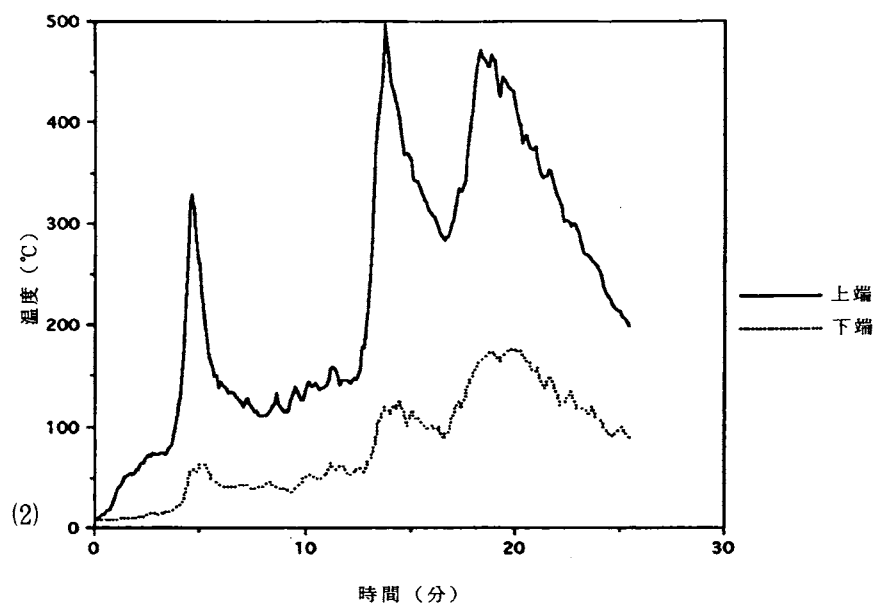
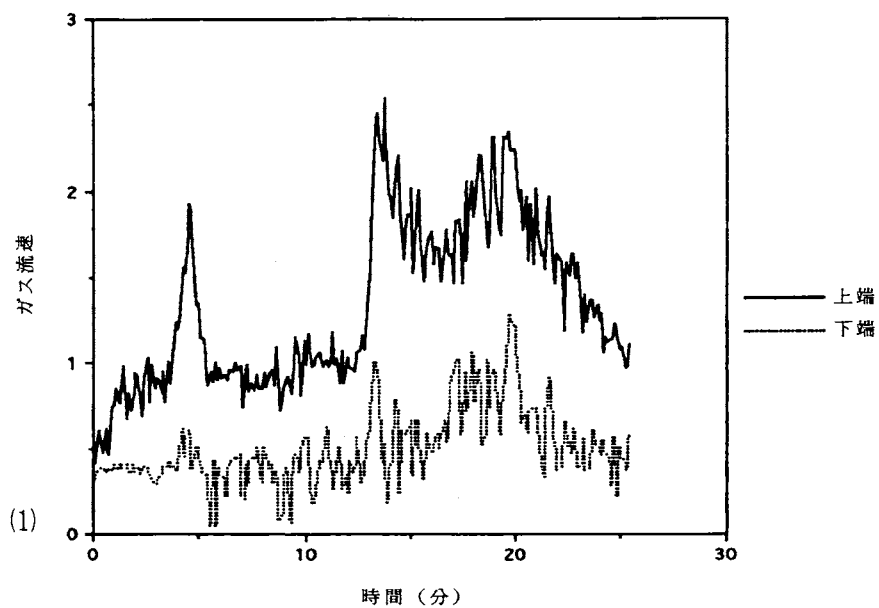


図 3 - 3 - 6 火災室とホールの境の上下端におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

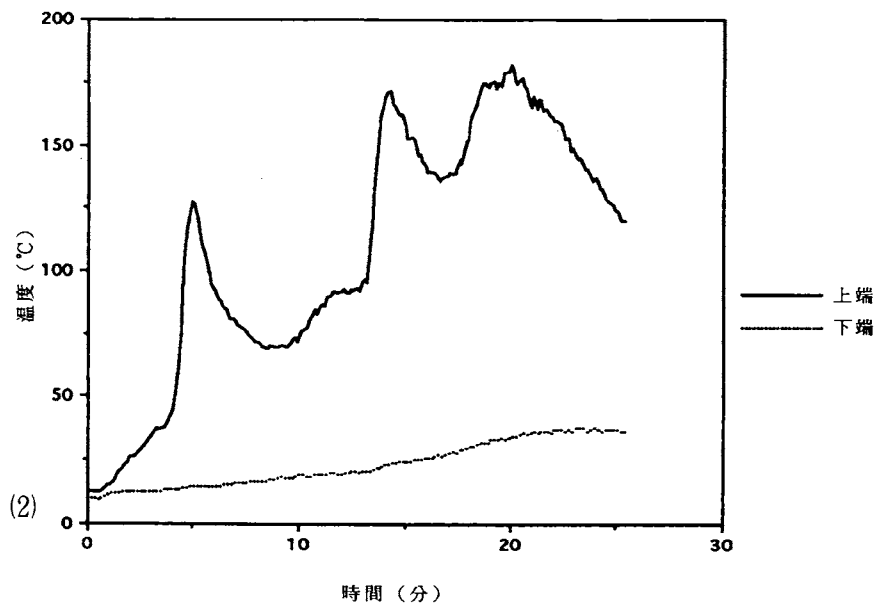
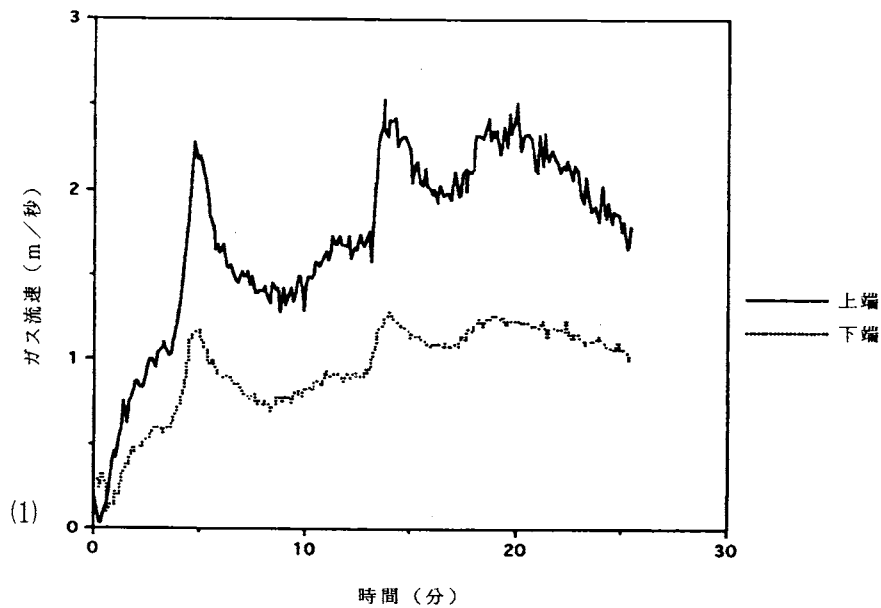


図 3 - 3 - 7 2 階室とホールの境におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

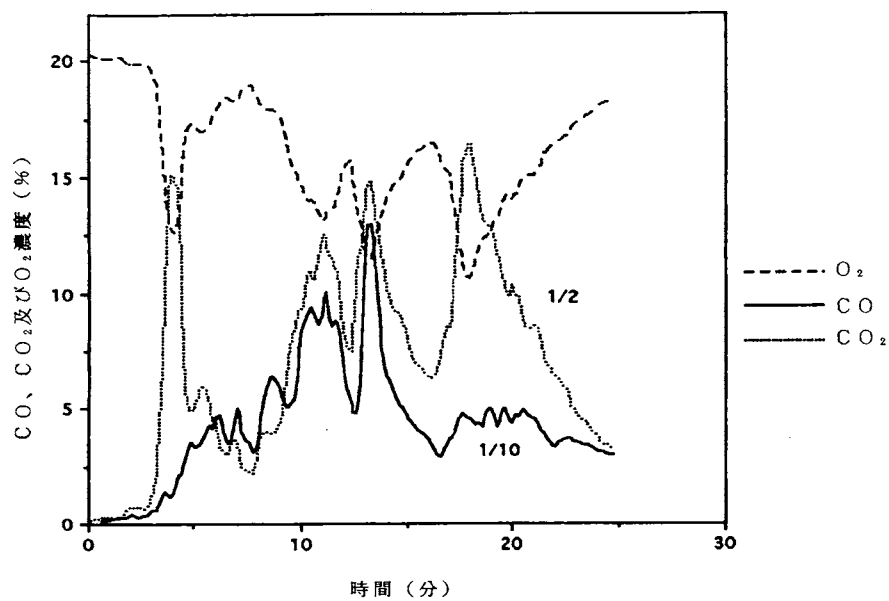


図3-3-8 火災室におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化
分析方法：連続分析

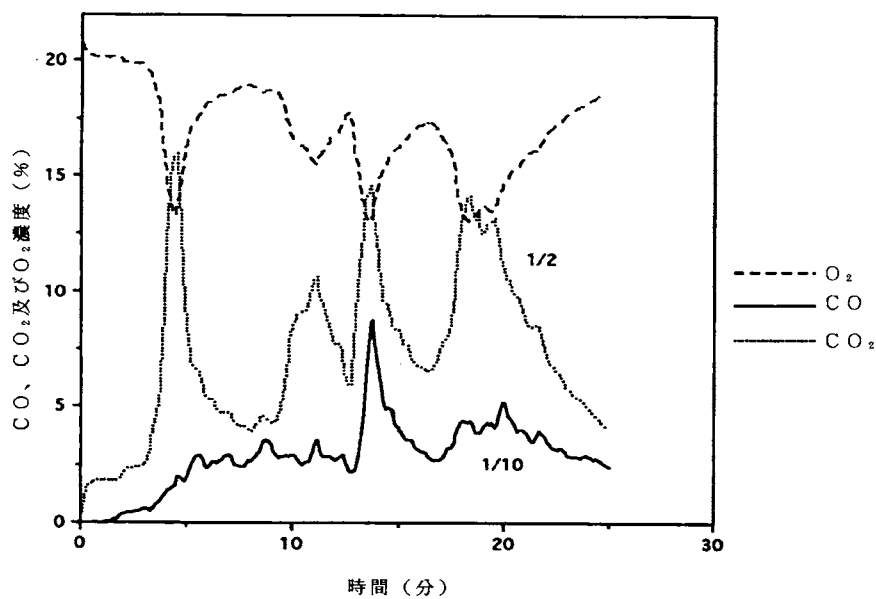
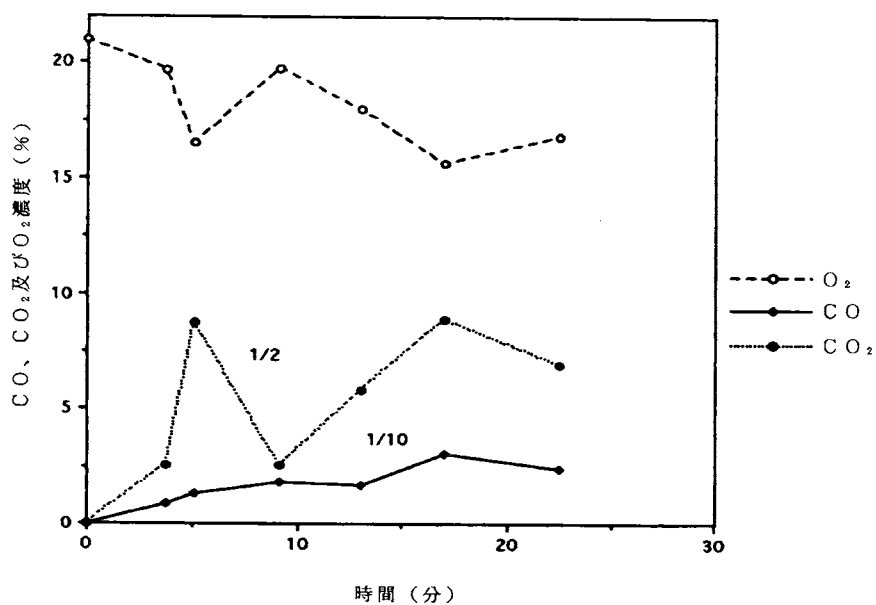


図 3 - 3 - 9 火災室とホールの境におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

分析方法 : (1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

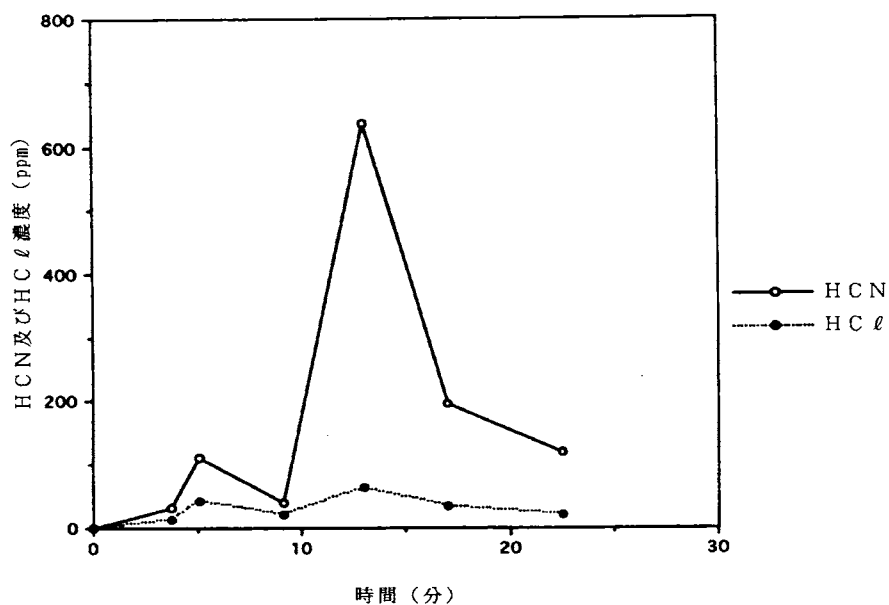


図 3 - 3 - 10 火災室とホールの境におけるHCN及びHCN濃度の時間変化

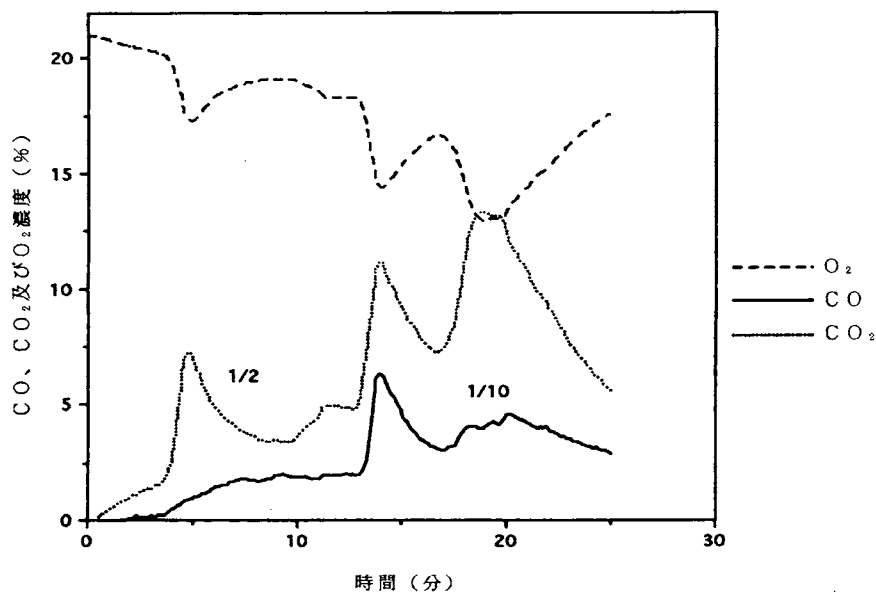


図 3 - 3 - 11 2 階ホールにおけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化
分析方法：連続分析

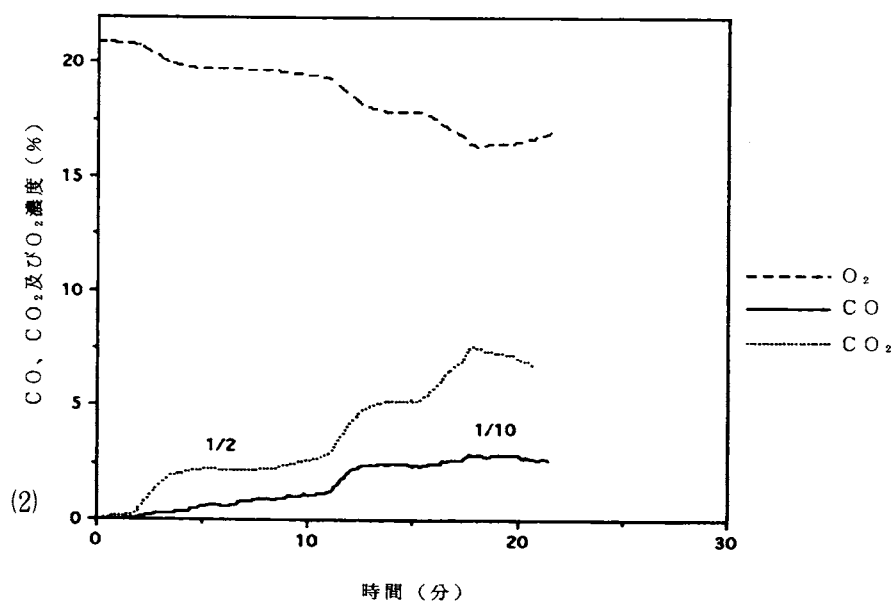
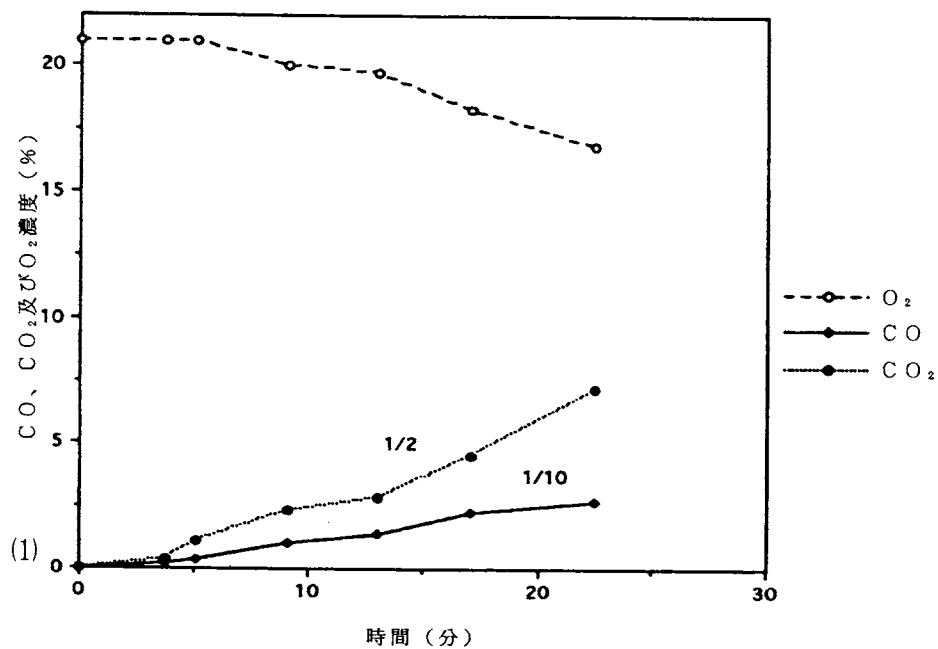


図3-3-12 ラビットばく露箱1におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ラビットばく露箱1：2階室上部（天井下40cm）よりガスを導入したもの

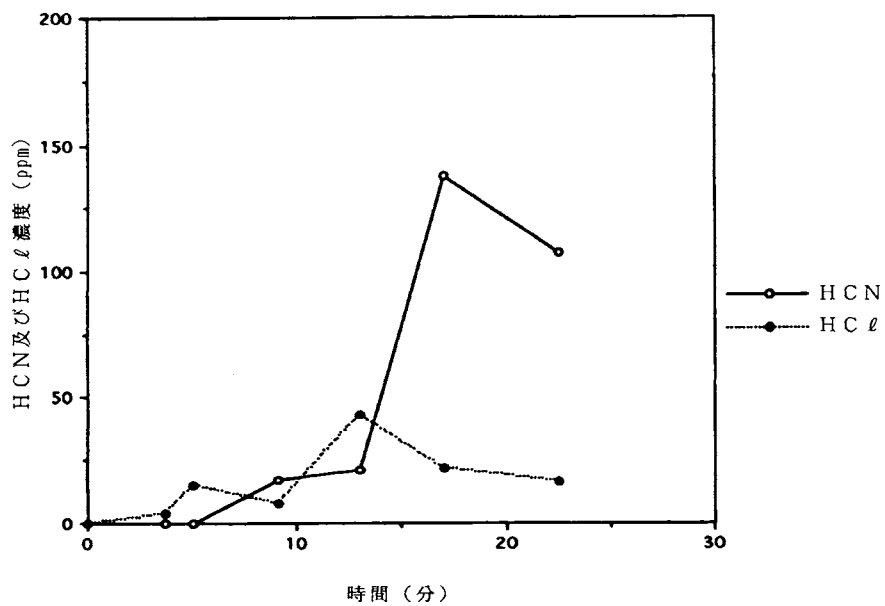


図 3 - 3 - 13 ラビットばく露箱 1 における HCN 濃度の時間変化

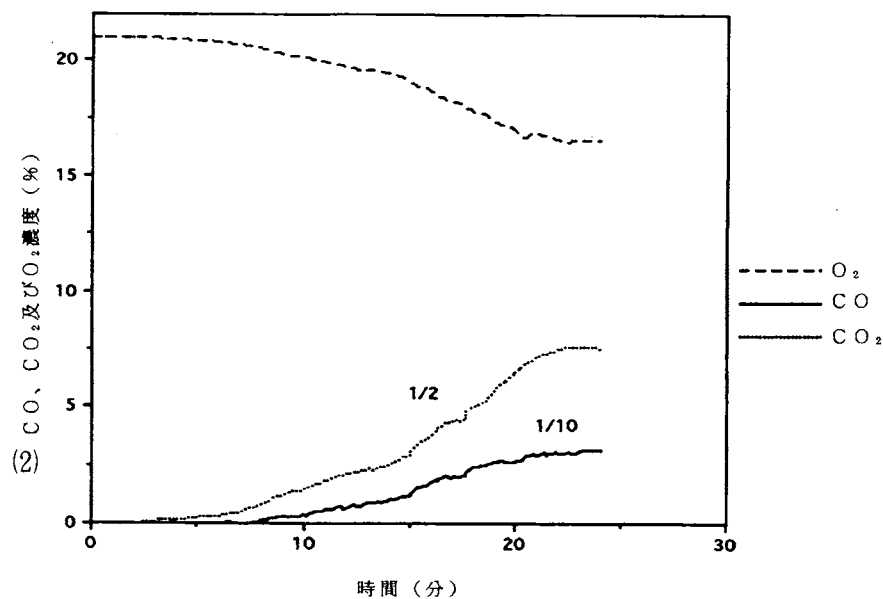
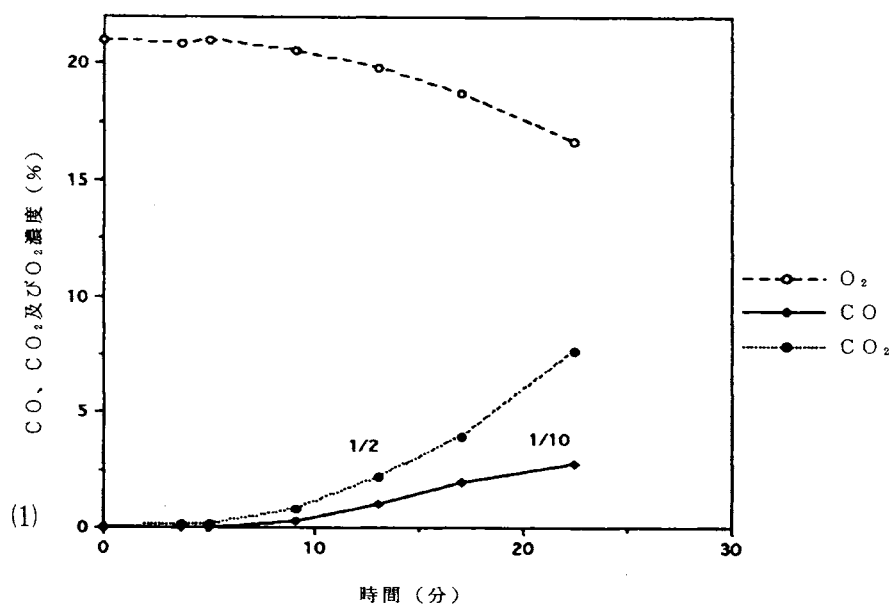


図3-3-14 ばく露箱2におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ラビットばく露箱2：2階室下部（床上10cm）よりガスを導入したもの

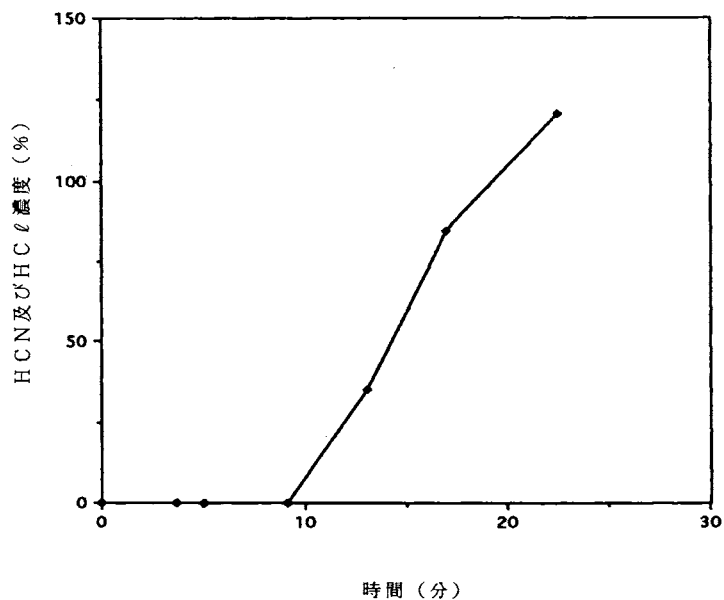


図 3 - 3 - 15 ばく露箱 2 における HCN 濃度の時間変化

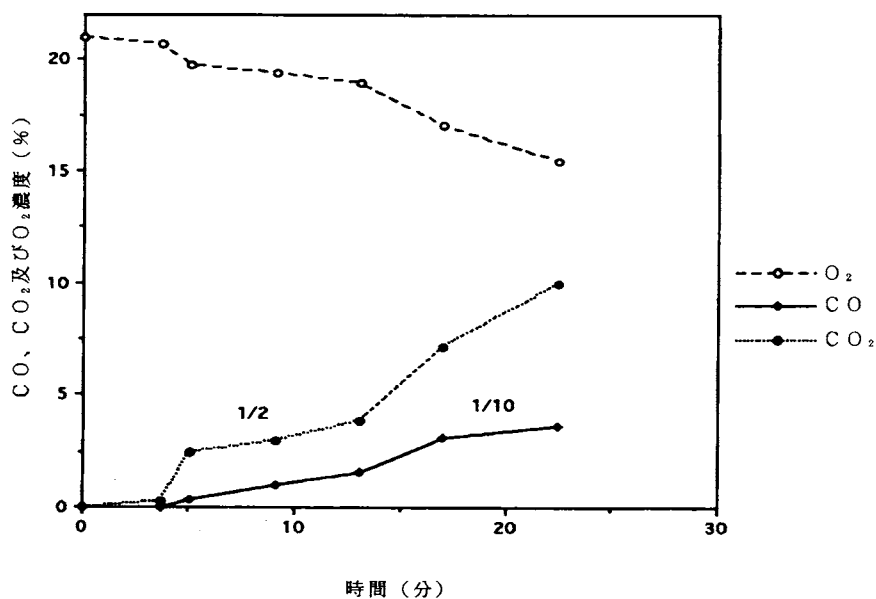


図 3 - 3 - 16 2 階室における CO、CO₂ 及び O₂ 濃度の時間変化
天井 40cm、間欠採取後の分析

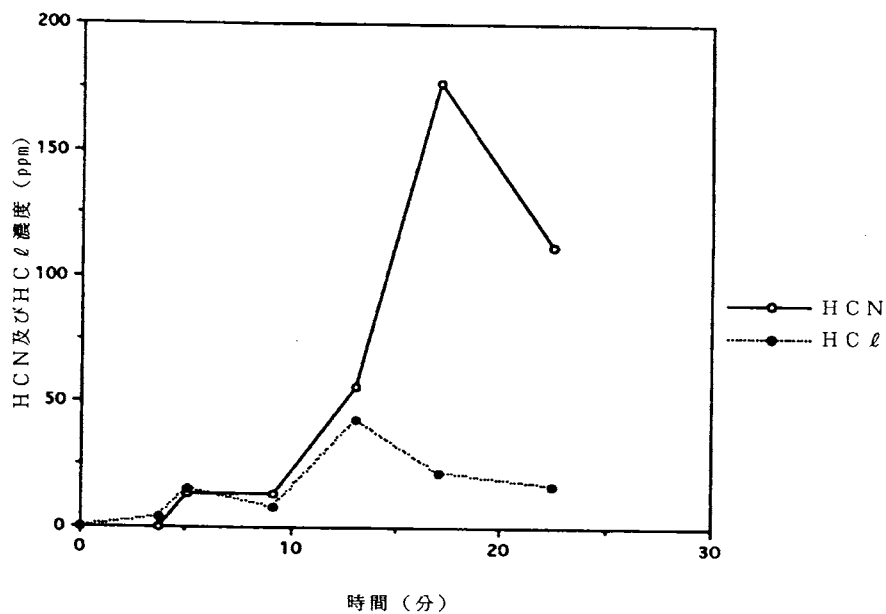


図 3 - 3 - 17 2 階室における HCN 及び HCl 濃度の時間変化

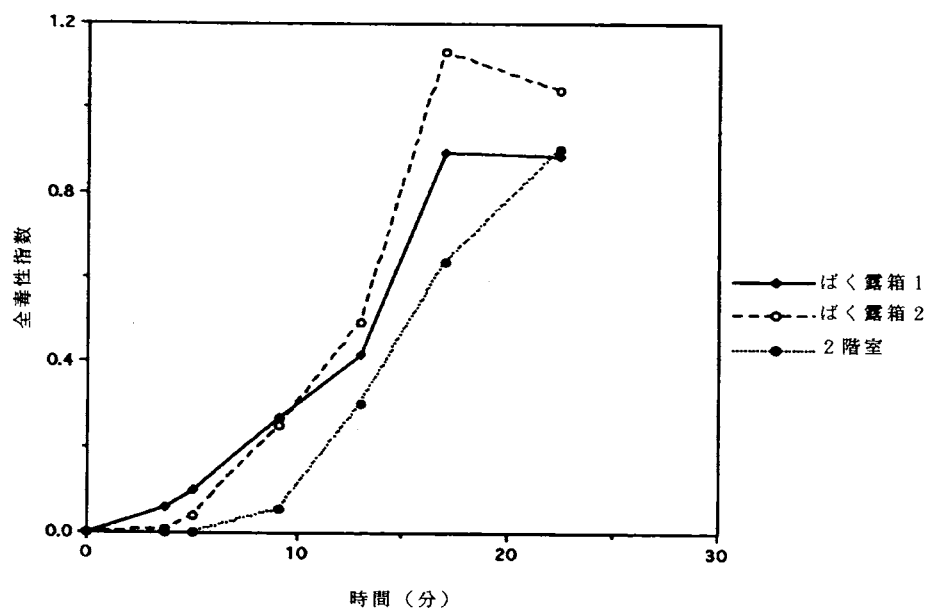


図 3 - 3 - 18 全毒性指数の時間変化

3-4 実験4 非防災性物品のみの火災実験

実験2及び3の場合の防災性物品が非防災性物品に置き変わるだけで、他の条件は同一にして火災実験を行った。

3-4-1 火災性状

火災室開口付近、火災室とホールの境の上端及び2階ホールの天井下における温度の時間変化を図3-4-1に示す。火災は着火後約3.5分で合板のコーナーウォールの炎が天井に回って、その直後にフラッシュオーバーが起こり、全面火災になった。そのため、火災室温度は開始後4分に最高の約1,000℃に達した。しかし、その2分後には急速に降下して、開始後10分後には約400℃まで下がった。2階室上部及び下部における温度の時間変化を図3-4-2に示す。上部では温度は火災室に約2分遅れて最高に達し、約100℃を記録した。瞬間的には40℃を超えたが、下部では殆ど終始変化がなかった。

酸素消費に基づく発熱速度の時間変化を図3-4-3に示す。発熱速度はコーナーウォールの燃焼中に約250kWを記録したのが最高で、その後は殆ど100kW以下で推移した。

光学的煙濃度の2階室における時間変化を図3-4-4に、ダクトにおける同濃度の時間変化とガス流速及び温度の時間変化を図3-4-5に示す。

火災室とホールの境及び2階室とホールの境の上下端におけるガス流速及びその測定点における温度を図3-4-6と図3-4-7にそれぞれ示す。

3-4-2 ガス濃度

火災室におけるガスの自動連続分析の結果を図3-4-8に示す。火災室と1階ホールの境の上端におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化及びHCN及びHCl濃度の時間変化を図3-4-9及び図3-4-10にそれぞれ示す。また、2階ホールの連続分析の結果を図3-4-11に示す。ばく露箱からガスを採取した2階室上部のCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化を図3-4-12に、HCN及びHCl濃度の時間変化を図3-4-13にそれぞれ示す。別のばく露箱に2階室下部のガスを導入したもののについてのCO、CO₂及びO₂の時間変化を図3-4-14に、

H C N濃度の時間変化を図3 - 4 - 15にそれぞれ示す。2階室壁穴から直接、間欠的に採取したガス中のC O、C O₂及びO₂濃度の時間変化を図3 - 4 - 16に、また、H C N及びH C lの時間変化を図3 - 4 - 17にそれぞれ示す。間欠的にガスを採取し、ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフで分析した成分の濃度と採取時間との関係の一覧表を表3 - 4 - 1に示す。

3 - 4 - 3 動物実験及び毒性評価

2階室のガスにばく露したラビットの行動不能時間、血中のC O H b及びシアン濃度を表3 - 4 - 2及び表3 - 4 - 3にそれぞれ示す。C O、H C N及びH C lを毒性成分とした場合のばく露箱及び2階室における全毒性指数の時間変化を図3 - 4 - 18に示し、また、F E Dに基づく行動不能時間の計算値は前出の表3 - 4 - 2に示す。

表 3 - 4 - 1 ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフによる分析結果

	採取時間 (分)	O ₂ (%)	C O (%)	CO ₂ (%)	HCN (ppm)	HCl (ppm)
火災室と ホールの境	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.1	17.8	0.071	3.80	195	30
	4.1	6.7	0.224	12.80	781	216
	5.1	2.5	1.630	17.12	3,744	221
	6.1	3.3	0.449	16.59	208	114
	9.1	16.6	0.263	4.55	456	32
	15.8	19.3	0.179	2.05	87	24
ラビット ばく露箱 1 (2階室上部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.1	20.7	0.015	0.31	0	0
	4.1	19.4	0.047	1.62	0	13
	5.1	16.8	0.208	3.86	480	28
	6.1	15.2	0.438	5.09	725	22
	9.1	15.5	0.307	4.90	425	13
	15.8	17.9	0.208	2.80	156	27
2 階 室	0.0	21.0	0.000	0.00	63	0
	3.1	18.4	0.012	0.76	524	27
	4.1	20.7	0.065	2.90	1,048	54
	5.1	14.6	0.311	6.24	1,221	58
	6.1	12.8	0.622	7.70		84
	9.1	13.9	0.393	6.87	218	58
	15.8	17.7	0.226	3.56	112	32
ラビット ばく露箱 2 (2階室下部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	
	3.1	20.7	0.000	0.00	0	
	4.1	20.8	0.000	0.00	0	
	5.1	20.7	0.000	0.00	0	
	6.1	20.4	0.022	0.47	0	
	9.1	16.4	0.289	3.89	329	
	15.8	16.5	0.258	3.83	239	

2 階室上部：天井下40cm、2 階室：天井下40cm、

2 階室下部：床上：10cm

空白欄は分析せず

表 3 - 4 - 2 ラビットの行動不能時間

	実測値	計算値
ラビット 1	8.0分	5.1分
ラビット 2	8.7	8.1

表 3 - 4 - 3 ラビットの血中のCOヘモグロビン (COHb) 飽和度とシアン(CN⁻)濃度

	COHb (%)	CN ⁻ (ppm)
ラビット 1	50.0	1.39
ラビット 2	25.2	1.00

ラビット 1 : 2 階室上部からのガスにばく露したもの

ラビット 2 : 同室下部からのガスにばく露したもの

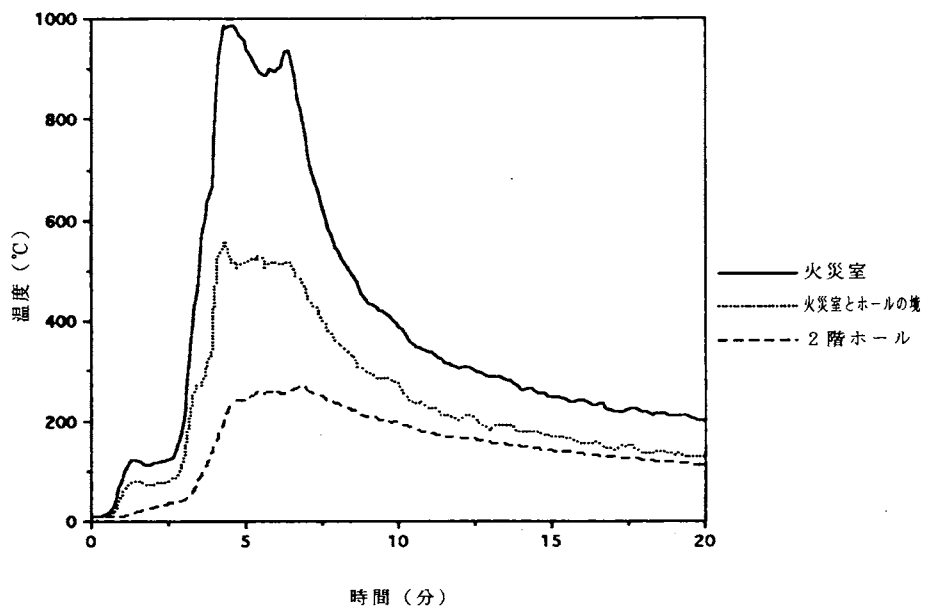


図 3 - 4 - 1 火災室、火災室とホールの境及び 2 階ホールにおける温度の時間変化

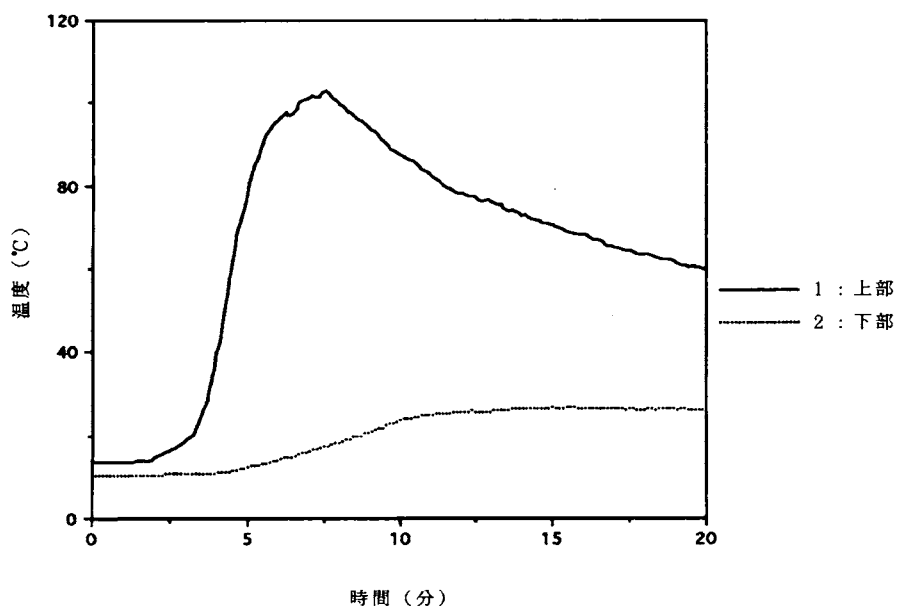


図 3 - 4 - 2 2 階室上部及び下部における温度の時間変化

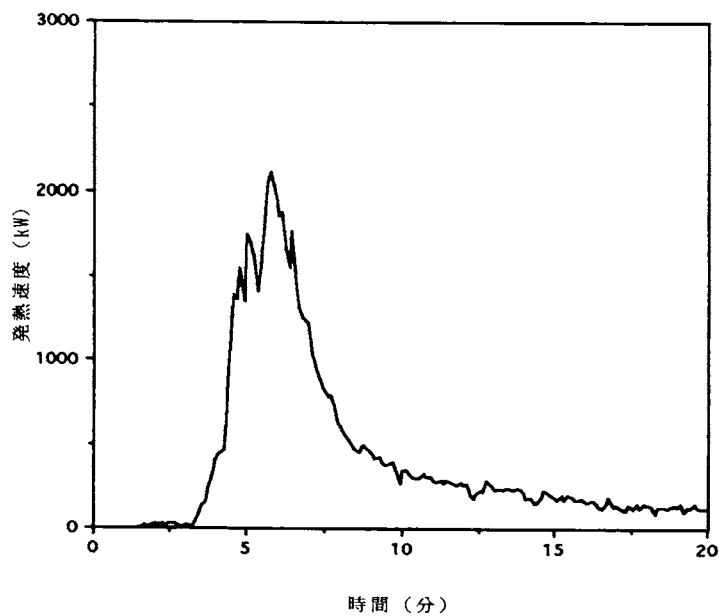


図 3 - 4 - 3 酸素消費に基づく発熱速度の時間変化

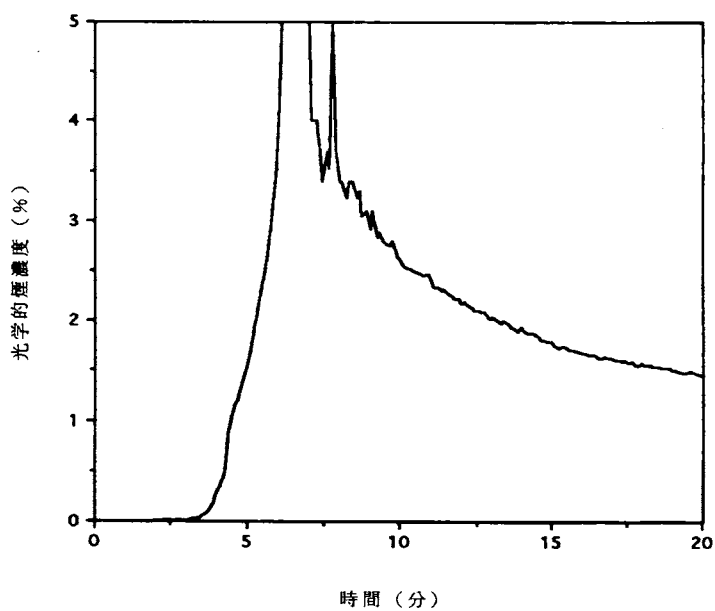


図 3 - 4 - 4 2 階室における光学的煙濃度の時間変化
測定点：天井下30cm

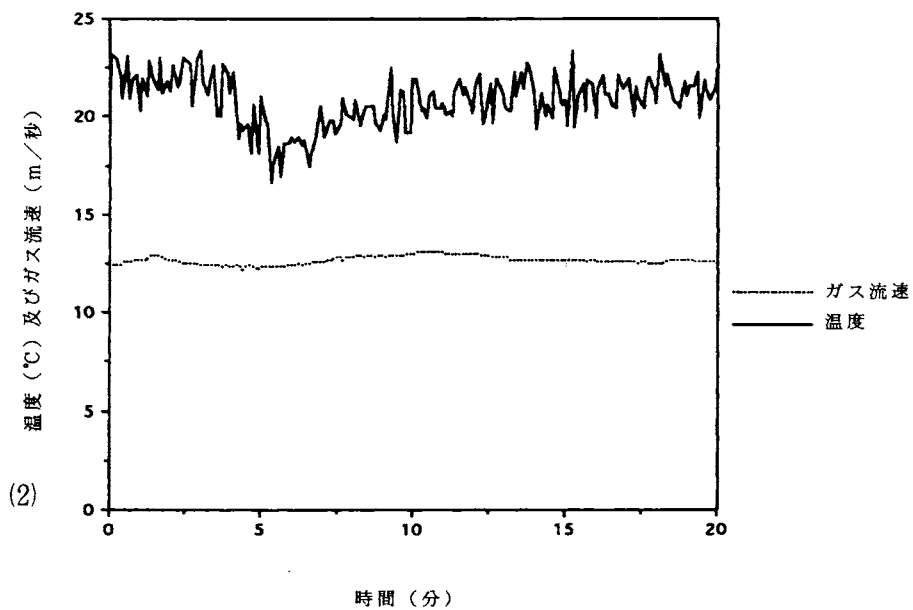
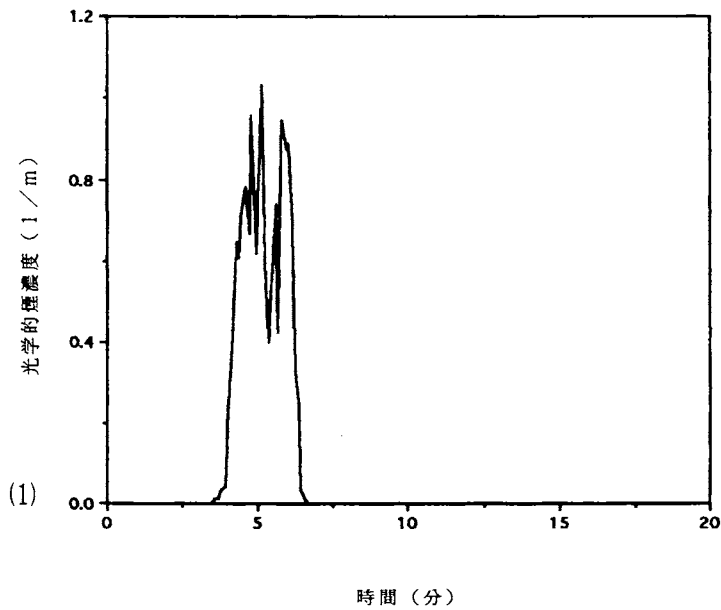


図 3-4-5 ダクト出口における光学的煙濃度、ガス流速及び温度の時間変化

(1) 光学的煙濃度の時間変化 (2) ガス流速及び温度の時間変化

ダクトの直径：55cm

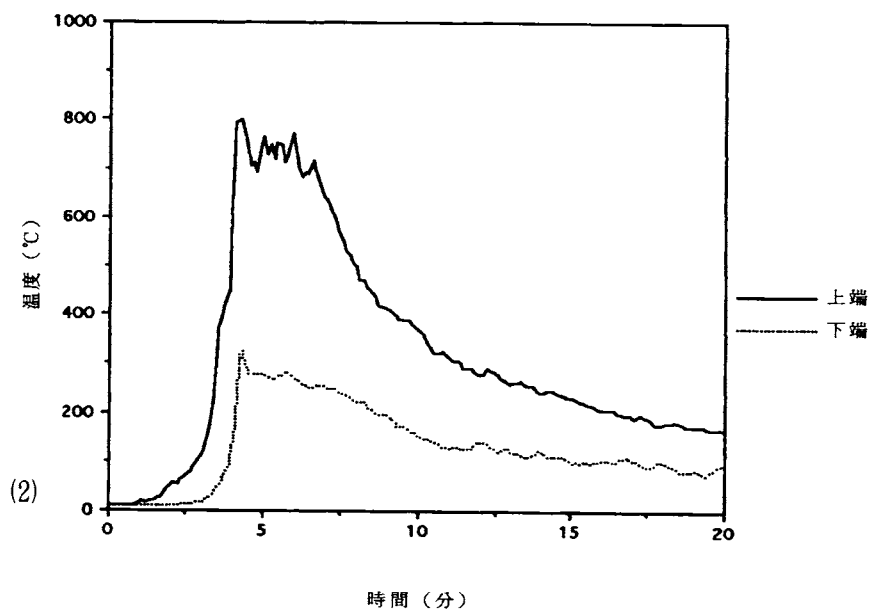
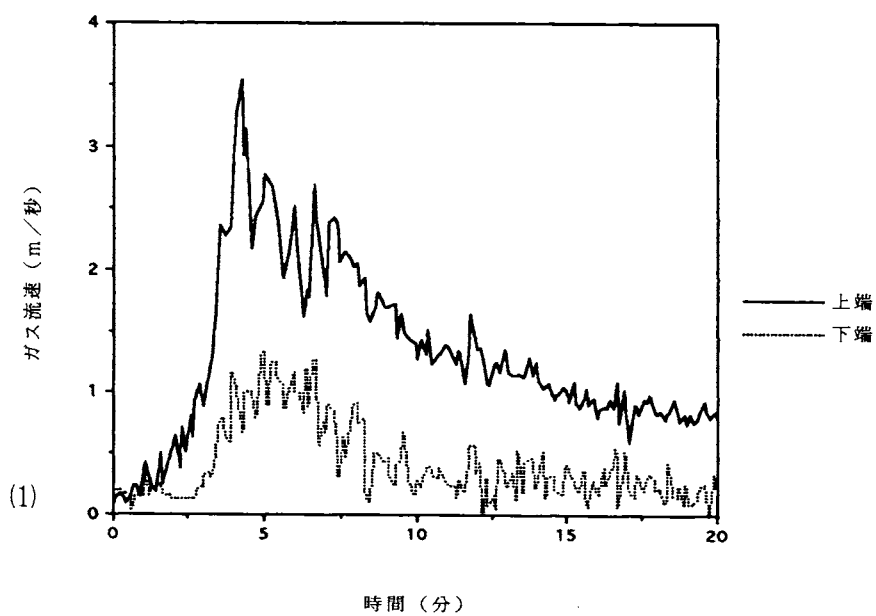


図 3 - 4 - 6 火災室とホールの境の上下端におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

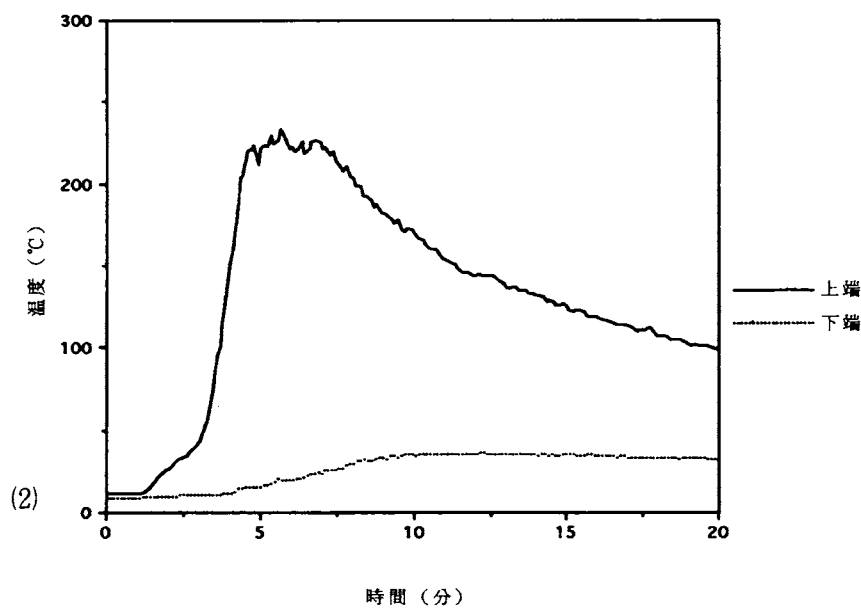
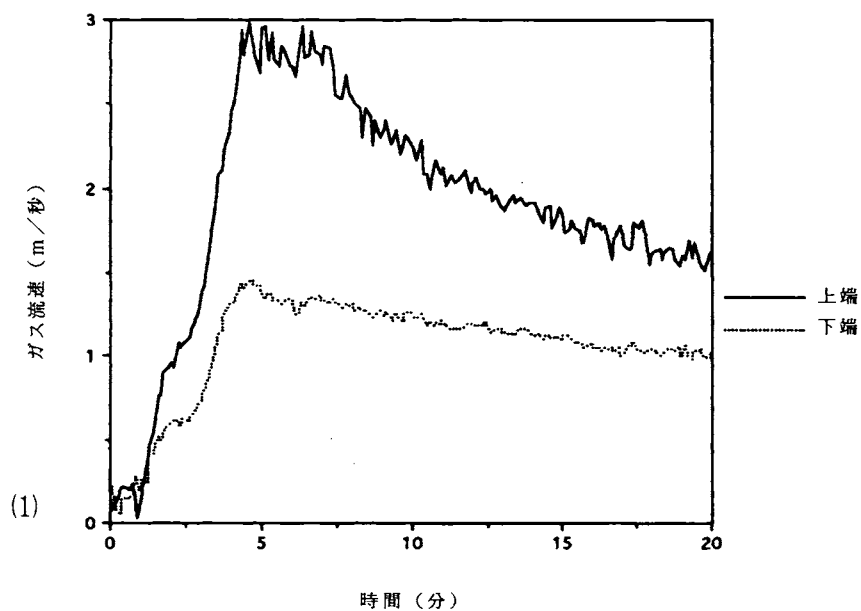


図 3 - 4 - 7 2 階室とホールの境におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

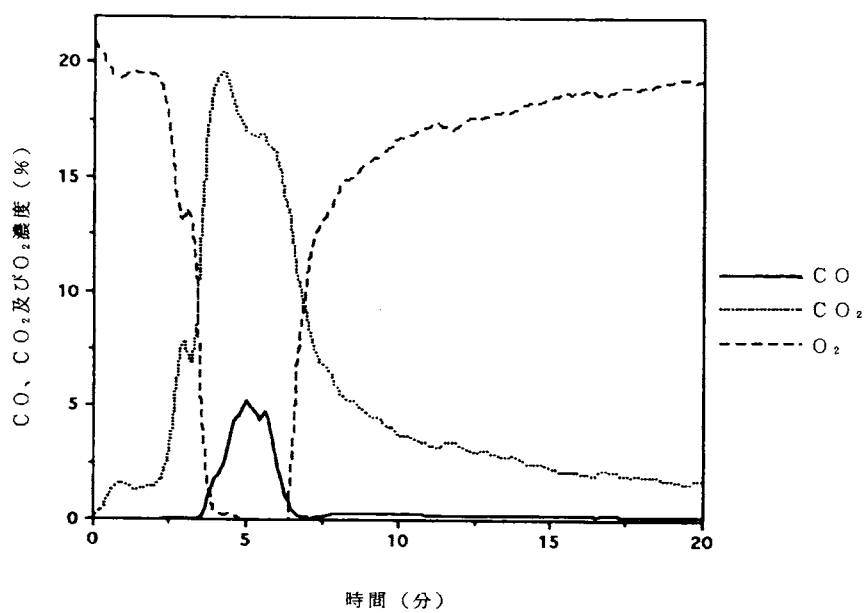


図3-4-8 火災室におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

分析方法：連続分析

連続分析では計測器の故障のため、COの分析に失敗

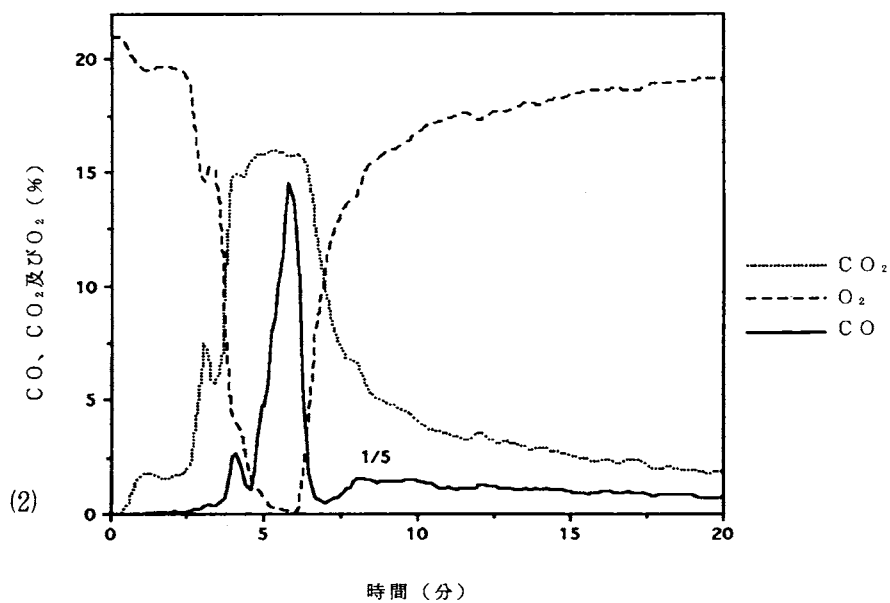
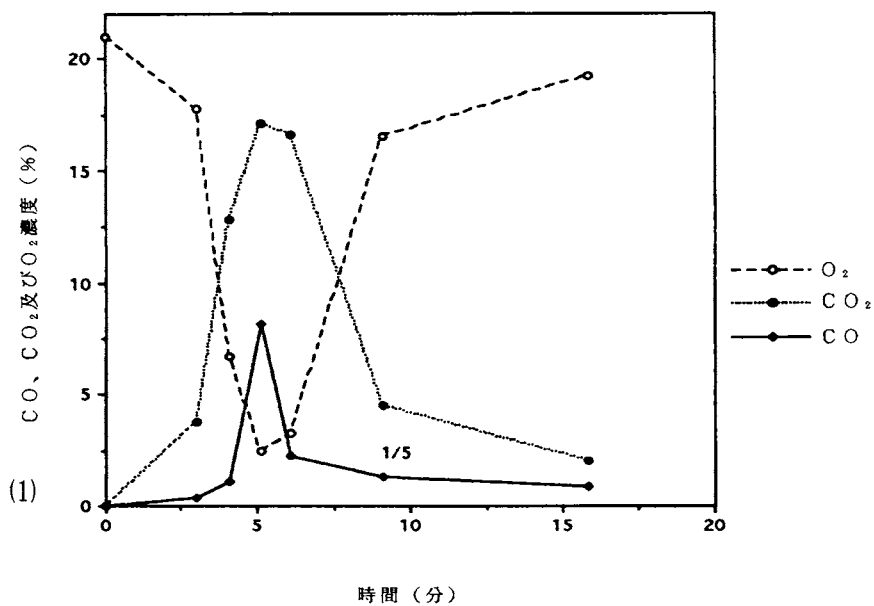


図3-4-9 火災室とホールの境におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

分析方法：(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

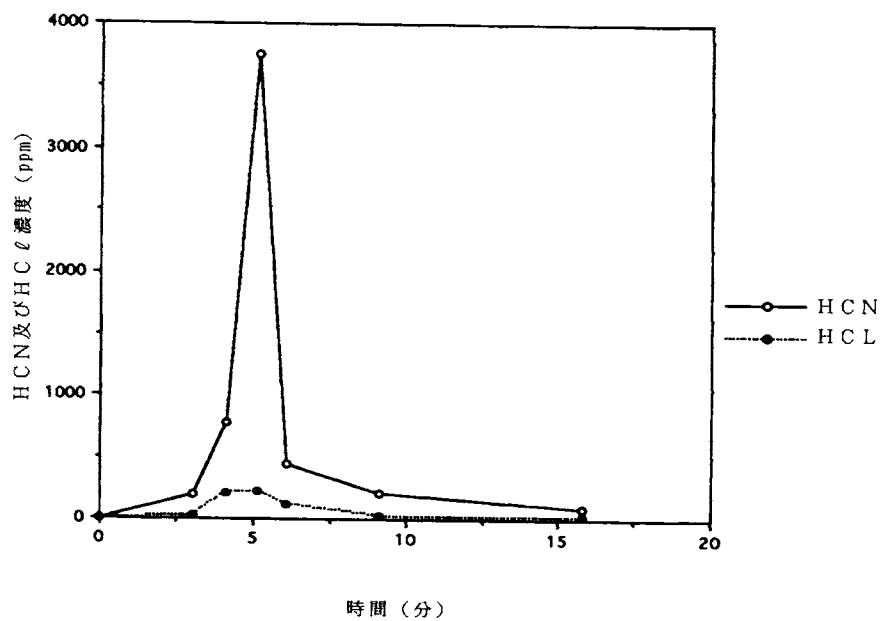


図 3-4-10 火災室とホールの境におけるHCN及びHCL濃度の時間変化

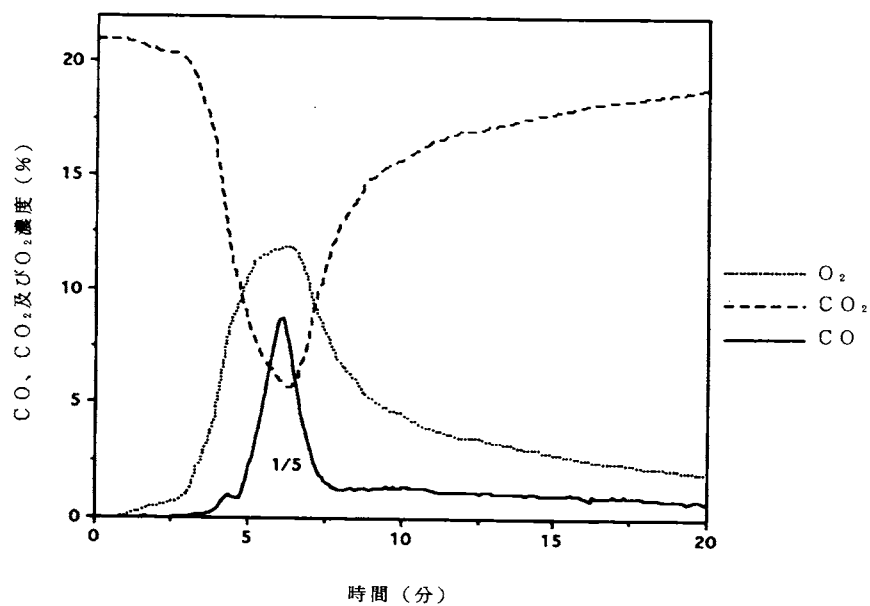


図 3-4-11 2階ホールにおけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化
分析方法：連続分析

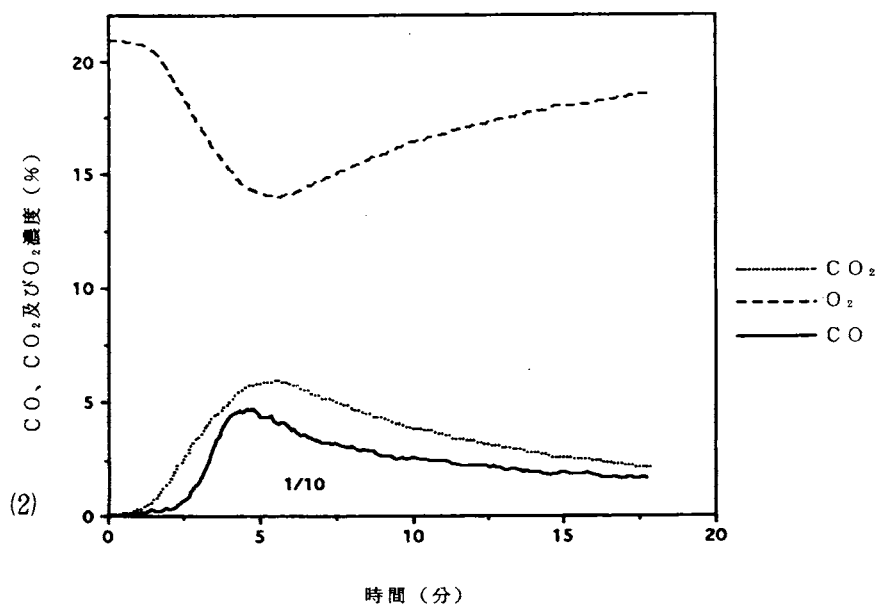
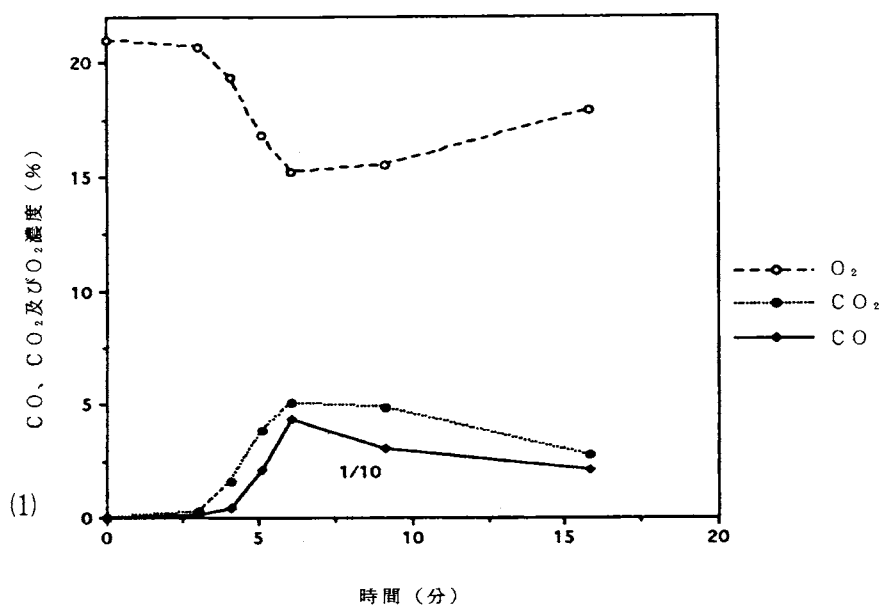


図3-4-12 ばく露箱1におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ラビットばく露箱1：2階室上部（天井下40cm）よりガスを導入したもの

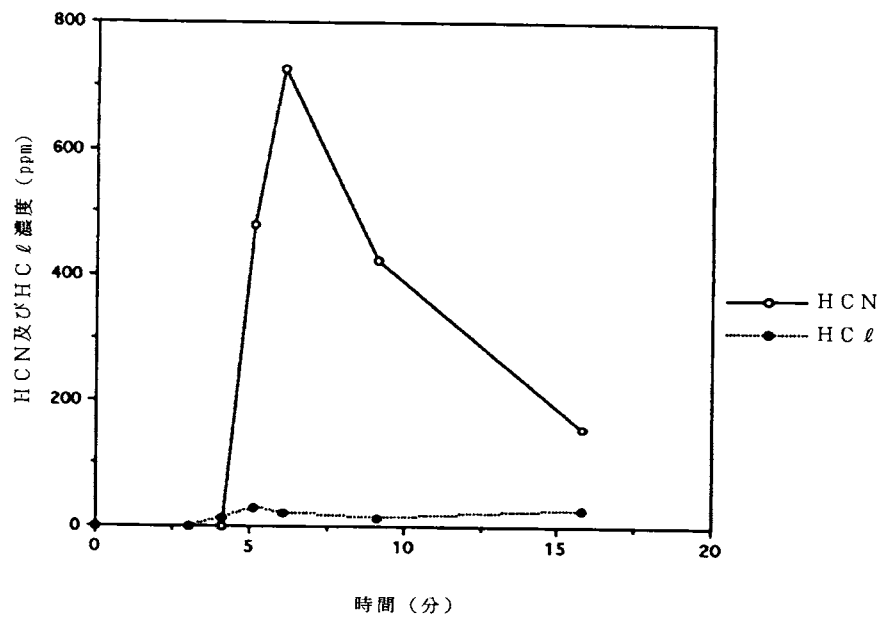


図3-4-13 ばく露箱1におけるHCN濃度の時間変化

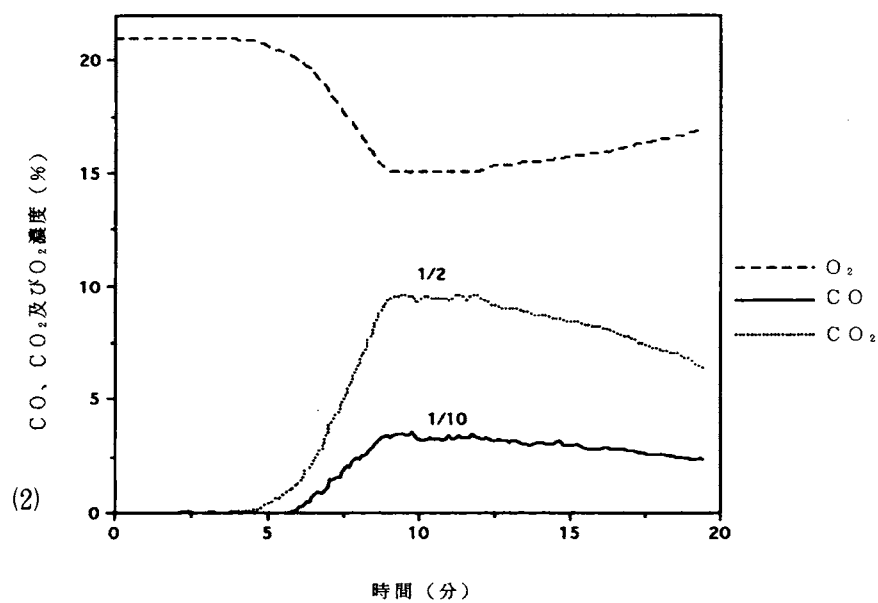
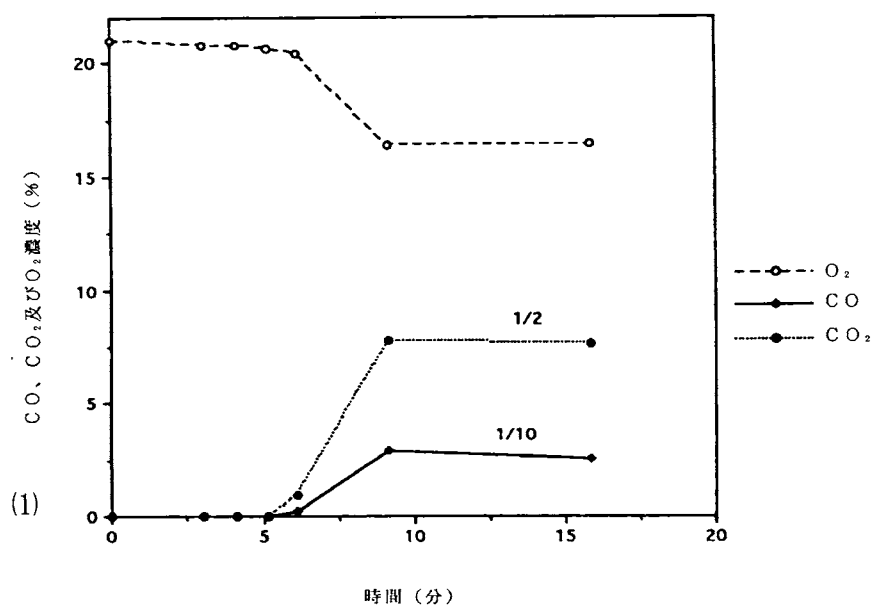


図 3-4-14 ばく露箱 2 における CO, CO₂ 及び O₂ 濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ラビットばく露箱 2 : 2 階室下部 (床上 10cm) よりガスを導入したもの

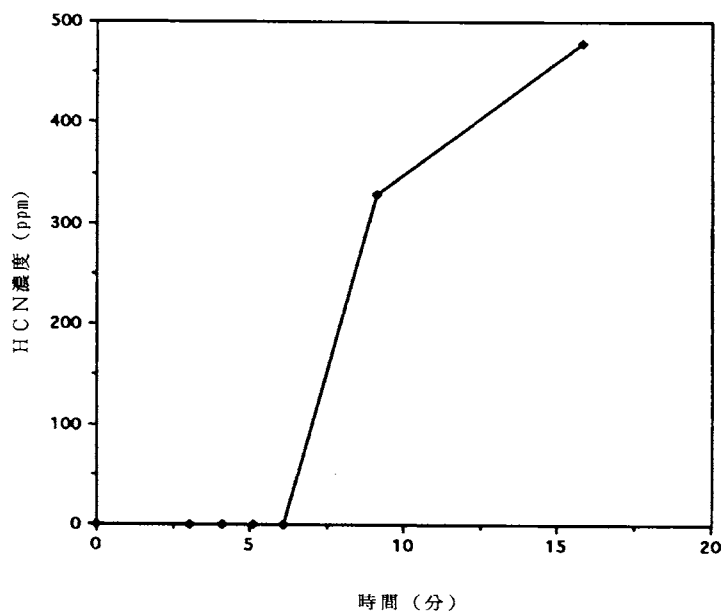


図 3 - 4 - 15 ばく露箱 2 における H C N 濃度の時間変化

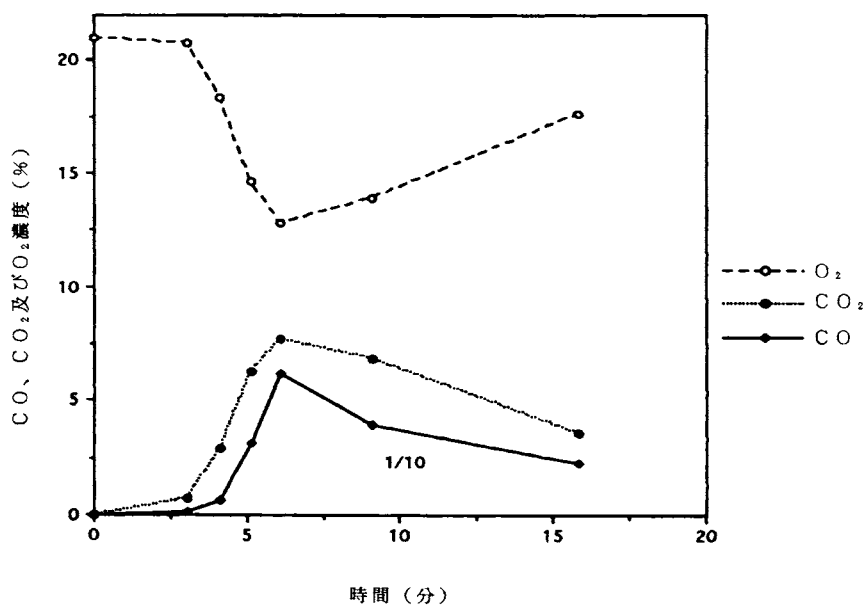


図 3 - 4 - 16 2 階室における CO、CO₂ 及び O₂ 濃度の時間変化
天井 40cm、間欠採取後の分析

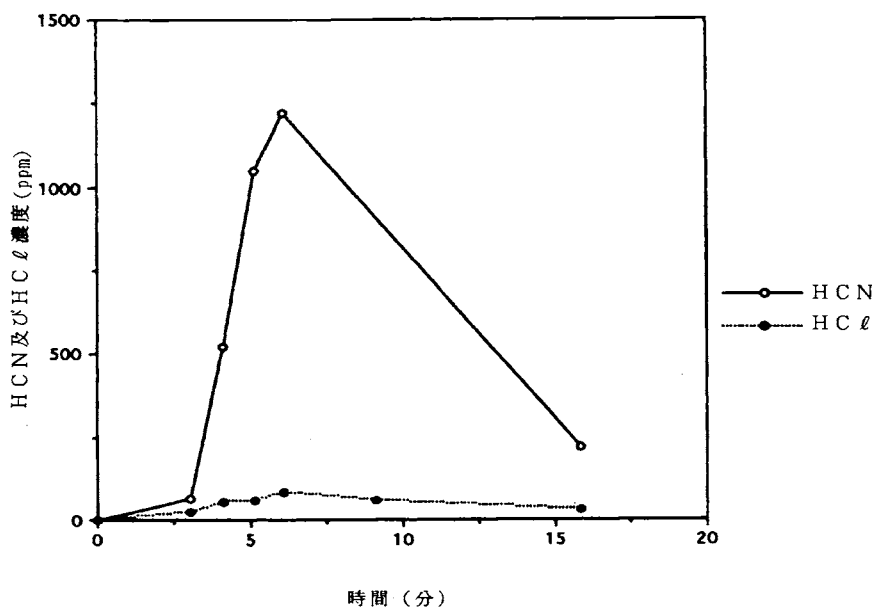


図 3 - 4 - 17 2 階室における HCN 及び HCl 濃度の時間変化

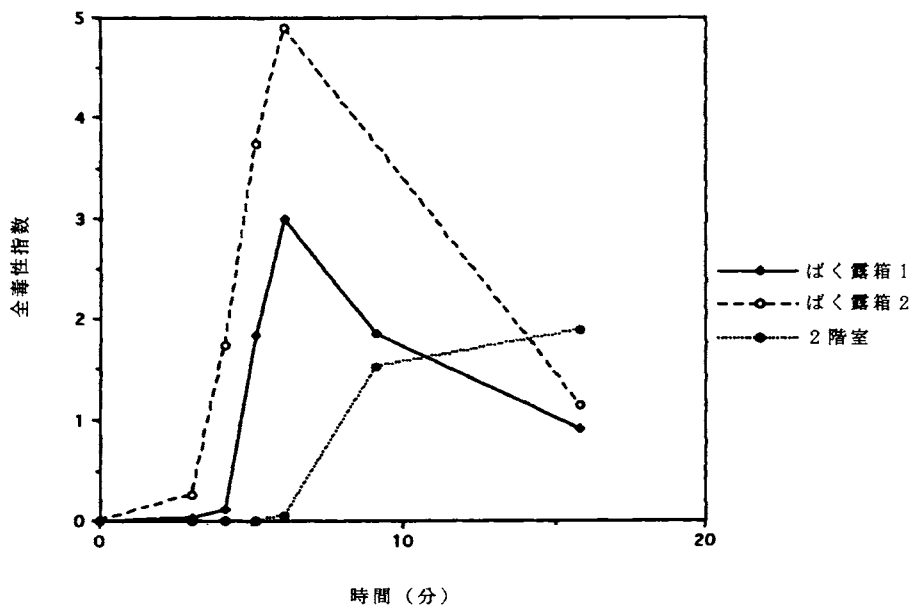


図 3 - 4 - 18 全毒性指数の時間変化

3-5 実験5 防災性物品と非防災性物品の割合が等しい火災実験(2)

防災性物品が非防災性物品の割合を1:1にし、火災促進用燃料は段ボール箱入りの新聞紙だけにし、それをベッドの下に置き、非防災性のウレタンマットレスに炎が当たるようにした。

3-5-1 火災性状

火災室開口付近、火災室とホールへの境の上端及び2階ホールの天井下における温度の時間変化を図3-5-1に示す。マットレスは新聞紙からの炎で実験開始直後に着火したが、ベッドの下を這うように燃えたため、しばらくの間、火災室その他の場所の温度は殆ど上昇しなかった。しかしその間、燃焼は緩やかに継続し、ベッドの内部、上部にまで燃焼、熱分解が広がり、カーペットも熱分解を受けた。実験開始後約8分で、ベッドが一瞬にして炎に包まれ、その炎がカーペット、カーテン、衣類に及んでフラッシュオーバーが起こり、全面燃焼になった。2階室における温度の時間変化を図3-5-2に示す。同室下部の温度は終始殆ど変わらなかったが、上部の温度は13分後に約85℃まで上がった。酸素消費に基づく発熱速度の時間変化を図3-5-3に示す。発熱速度は本実験においても火災室等における温度変化と同じ傾向を示した。最高は約1,500kWであった。

光学的煙濃度の2階室における時間変化を図3-5-4に、ダクトにおける同濃度の時間変化とガス流速及び温度の時間変化を図3-5-5に示す。

火災室とホールの境及び2階室とホールの境の上下端におけるガス流速及びその測定点における温度を図3-5-6と図3-5-7にそれぞれ示す

3-5-2 ガス濃度

火災室におけるガスの自動連続分析の結果を図3-5-8に示す。火災室と1階ホールの境の上端におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化及びHCN及びHCl濃度の時間変化を図3-5-9及び図3-5-10にそれぞれ示す。また、2階ホールの連続分析の結果を図3-5-11に示す。ばく露箱からガスを採取した2階室上部のCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化を図3-5-12に、HCN及びHCl濃度の時間変化を

図3-5-13にそれぞれ示す。別のばく露箱に2階室下部のガスを導入したものについてのCO、CO₂及びO₂の時間変化を図3-5-14に、HCN濃度の時間変化を図3-5-15にそれぞれ示す。2階室壁穴から直接、間欠的に採取したガス中のCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化を図3-5-16に、また、HCN及びHCℓの時間変化を図3-5-17にそれぞれ示す。火災室と位階ホールの境の上端におけるフラッシュオーバー直後のHCN及びHCℓの濃度は双方とも10,000ppm近くに達した。しかし、2階室のそれらの濃度は最高でまでしか上昇していない。ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフで分析した成分の濃度と採取時間との関係の一覧表を表3-5-1に示す。

3-5-3 動物実験及び毒性評価

2階室のガスにばく露したラビットの行動不能時間、血中のCOHb及びシアン濃度を表3-5-2及び表3-5-3にそれぞれ示す。CO、HCN及びHCℓを毒性成分とした場合のばく露箱及び2階室における全毒性指数の時間変化を図3-5-18に示し、また、FEDに基づく行動不能時間の計算値は前出の表3-5-3に示す。

表3-5-1 ガスクロマトグラフ及びイオンクロマトグラフによる分析結果

	採取時間 (分)	O ₂ (%)	C O (%)	C O ₂ (%)	H C N (ppm)	H C I (ppm)
火災室と ホールの境	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.0	21.0	0.034	0.70	36	31
	6.1	20.1	0.049	1.01	30	49
	9.3	12.2	0.592	7.69	10,165	11,827
	10.0	4.8	0.787	14.51	1927	1,635
	11.0	6.3	0.426	12.99	348	1,224
	15.0	16.8	0.321	3.92	147	89
ラビット ばく露箱1 (2階室上部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.0	20.7	0.018	0.21	16	0
	6.1	20.6	0.028	0.45	18	4
	9.3	20.0	0.085	0.92	20	21
	10.0	18.6	0.225	1.87	210	15
	11.0	17.1	0.329	3.24	473	13
	15.0	16.8	0.262	3.61	148	13
2 階 室	0.0	21.0	0.000	0.00	0	0
	3.0	20.9	0.018	0.27	26	28
	6.1	20.6	0.024	0.56	35	35
	9.3	19.8	0.068	1.20	447	432
	10.0	16.1	0.341	4.43	877	434
	11.0	14.2	0.474	6.11	692	337
	15.0	15.1	0.355	5.55	356	142
ラビット ばく露箱2 (2階室下部 からのガス)	0.0	21.0	0.000	0.00	0	
	3.0	20.9	0.000	0.14	0	
	6.1	20.9	0.004	0.03	0	
	9.3	20.6	0.020	0.28	10	
	10.0	20.3	0.022	0.38	15	
	11.0	20.3	0.048	0.48	15	
	15.0	16.3	0.344	3.86	213	

2階室上部：天井下40cm、2階室：天井下40cm、
2階室下部：床上：10cm
空白欄は分析せず

表 3 - 5 - 2 ラビットの行動不能時間

	実測値	計算値
ラビット 1	12.0分	10.2分
ラビット 2	14.7	13.4

表 3 - 5 - 3 ラビットの血中のCOヘモグロビン (COHb)
飽和度とシアン (CN⁻) 濃度

	COHb (%)	CN ⁻ (ppm)
ラビット 1	23.3	1.55
ラビット 2	21.5	1.20

ラビット 1 : 2階室上部からのガスにばく露したもの
ラビット 2 : 同室下部からのガスにばく露したもの

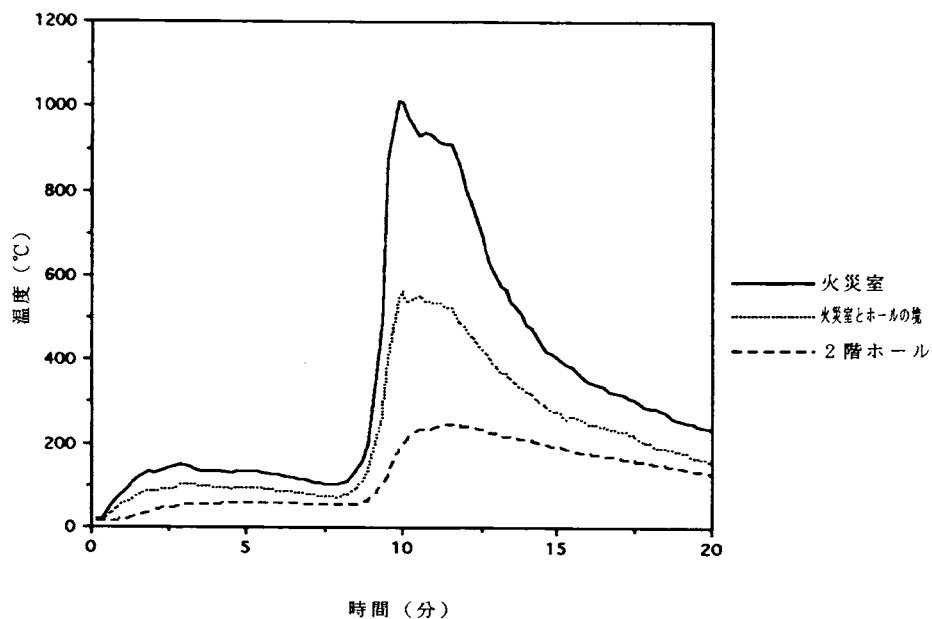


図 3 - 5 - 1 火災室、火災室とホールの境及び 2 階ホールにおける温度の時間変化

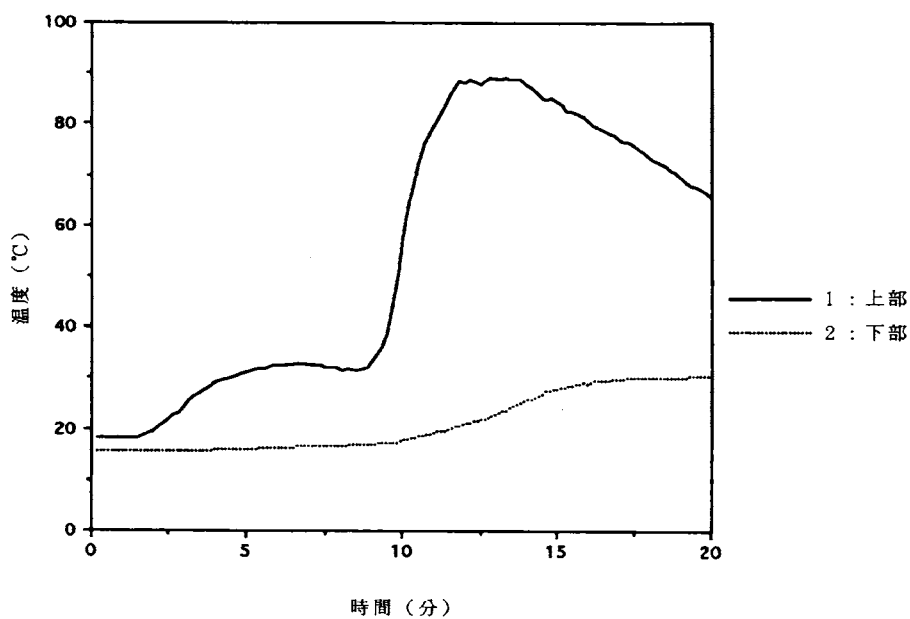


図 3 - 5 - 2 2 階室上部及び下部における温度の時間変化

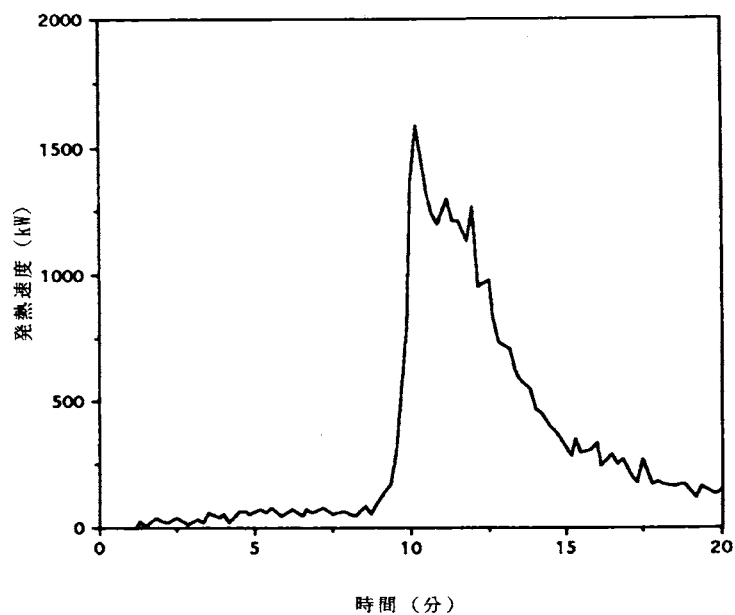


図 3 - 5 - 3 酸素消費に基づく発熱速度の時間変化

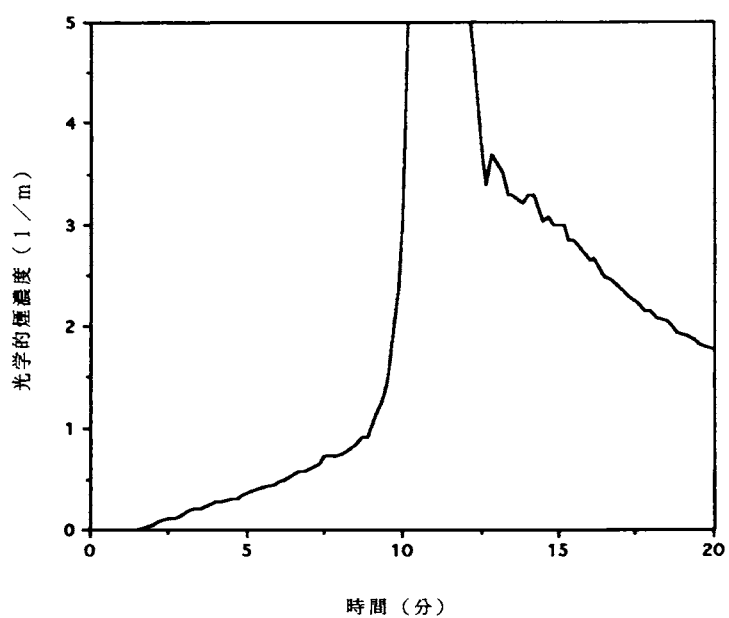


図 3 - 5 - 4 2 階室における光学的煙濃度の時間変化
測定点：天井 30cm

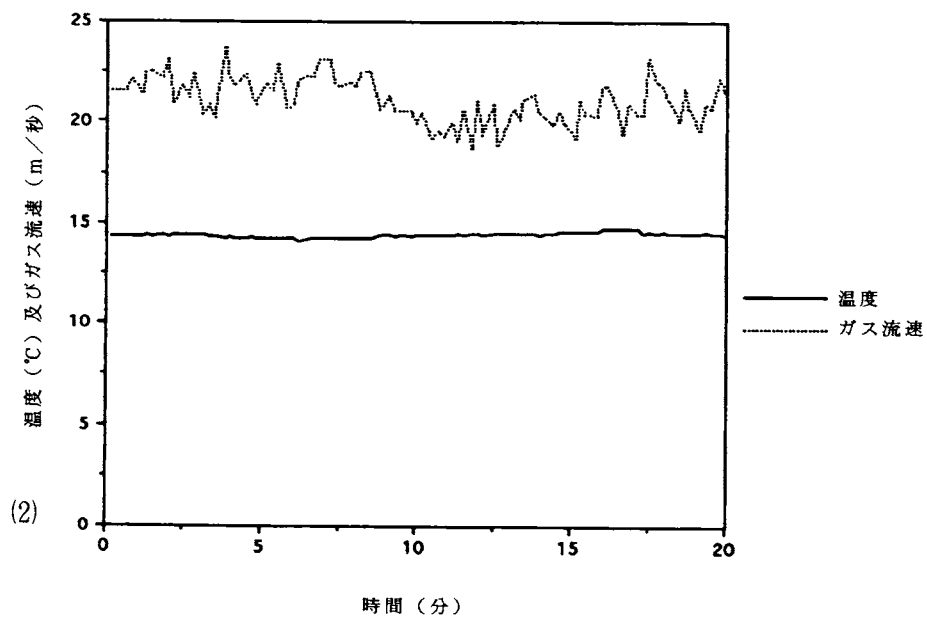
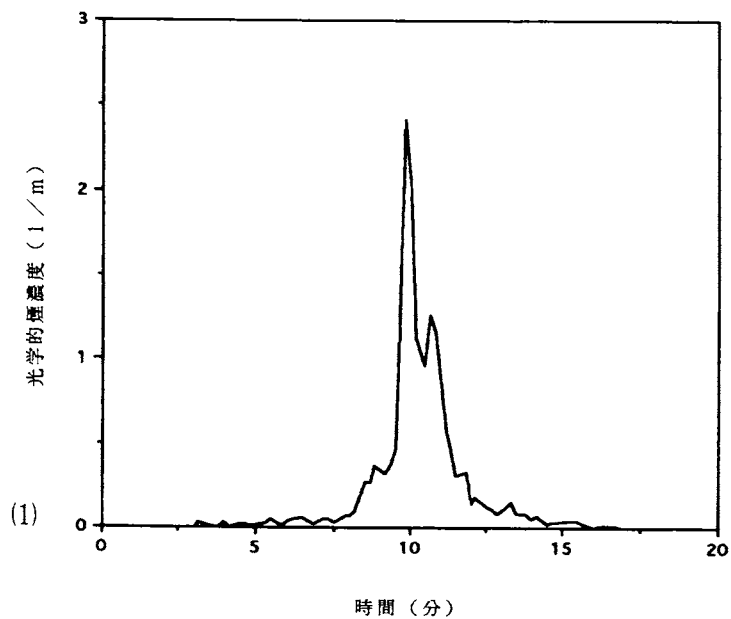


図 3 - 5 - 5 ダクト出口における光学的煙濃度、ガス流速及び温度の時間変化

(1) 光学的煙濃度の時間変化 (2) ガス流速及び温度の時間変化

ダクトの直径：55cm

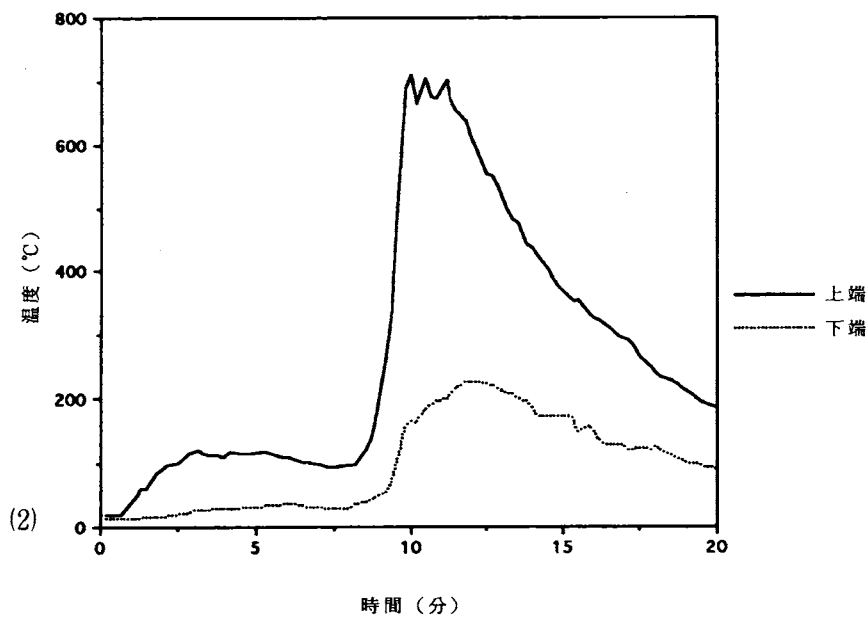
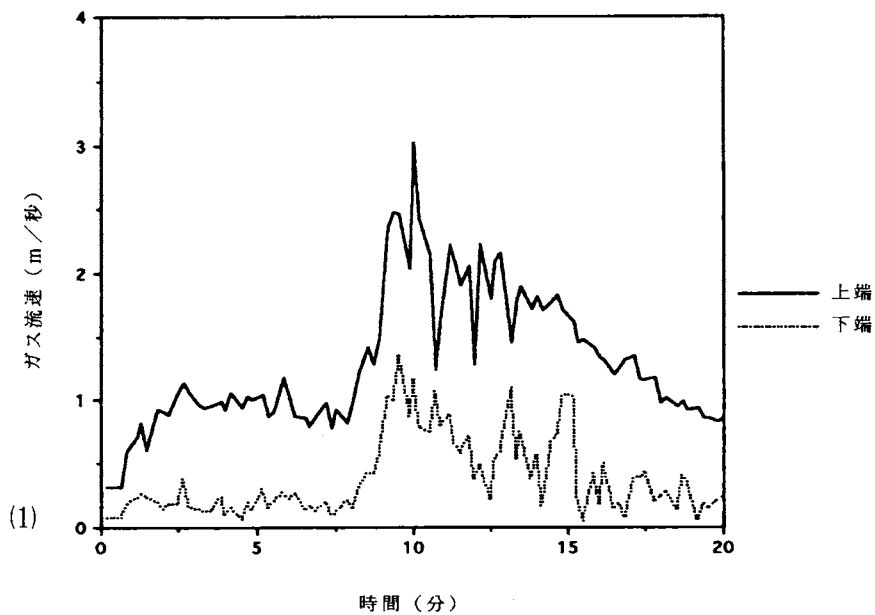


図 3 - 5 - 6 火災室とホールの境の上下端におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

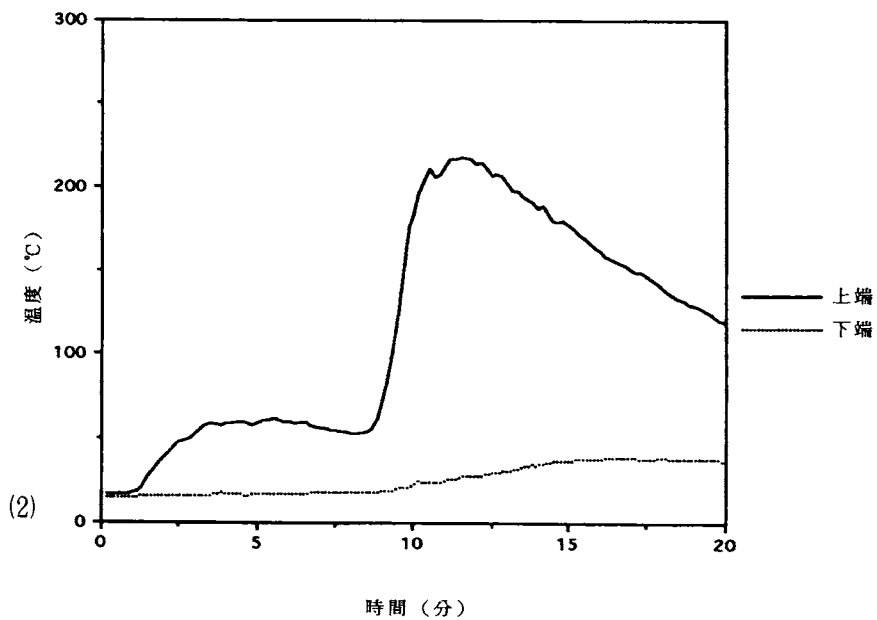
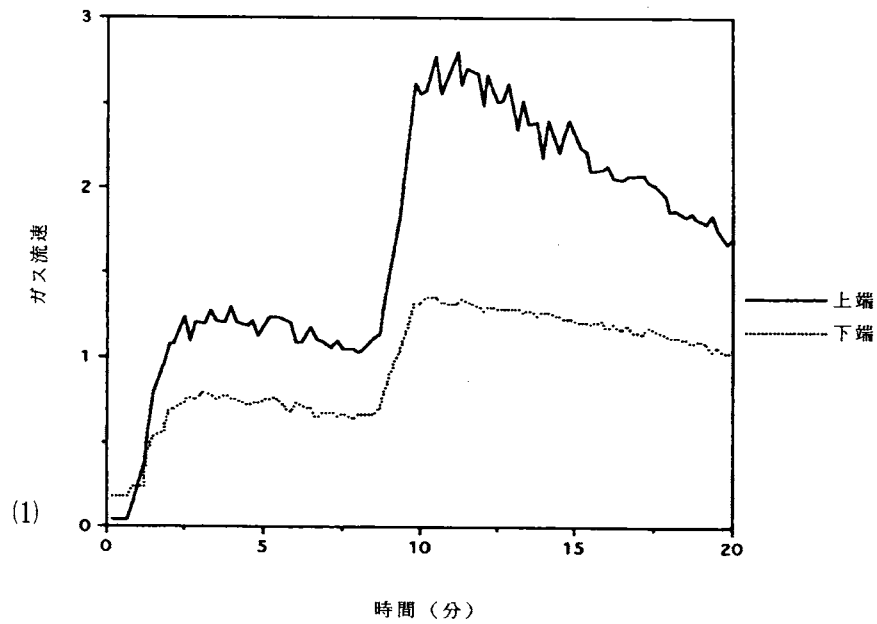


図 3 - 5 - 7 2 階室とホールの境におけるガス流速と測定点における温度の時間変化

(1) ガス流速の時間変化 (2) 温度の時間変化

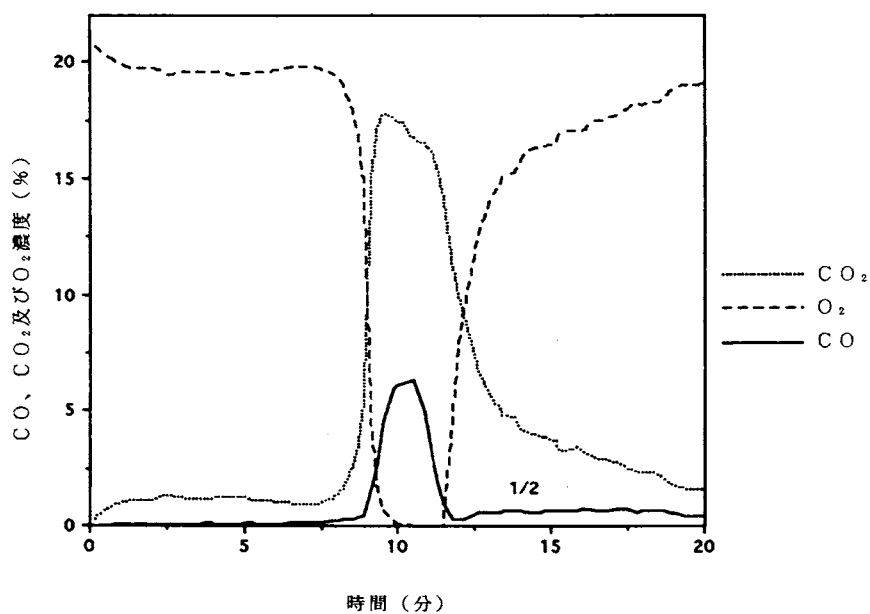


図 3 - 5 - 8 火災室における CO、CO₂ 及び O₂ 濃度の時間変化
分析方法：連続分析

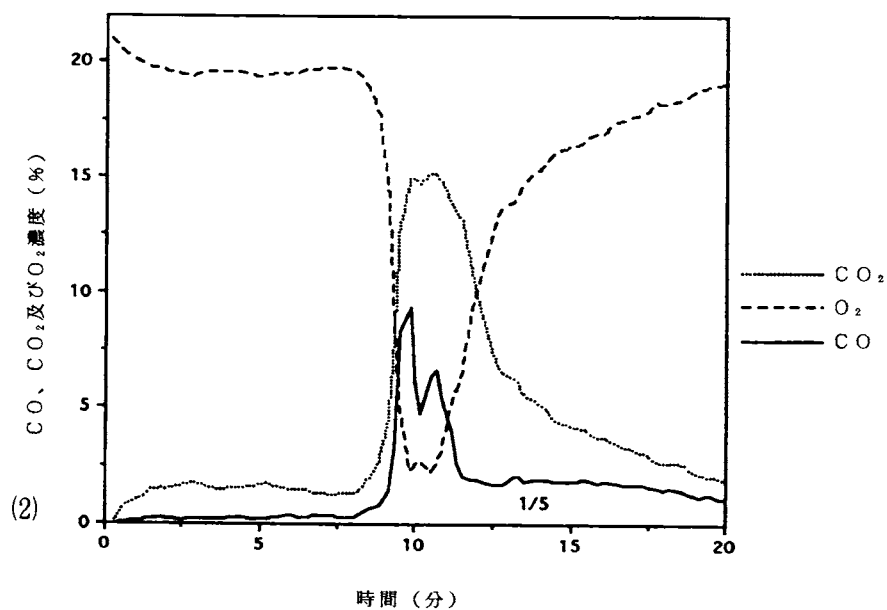
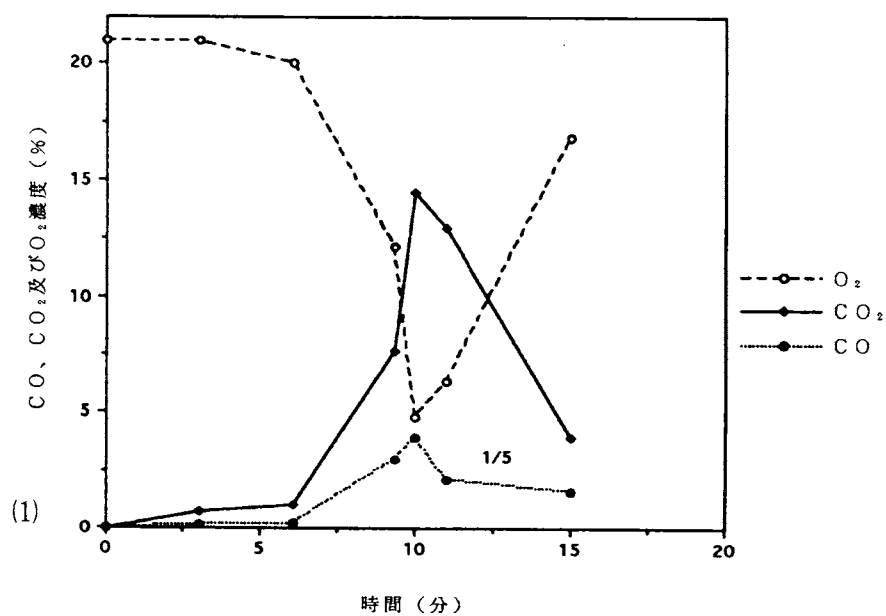


図3-5-9 火災室とホールの境におけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化

分析方法：(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

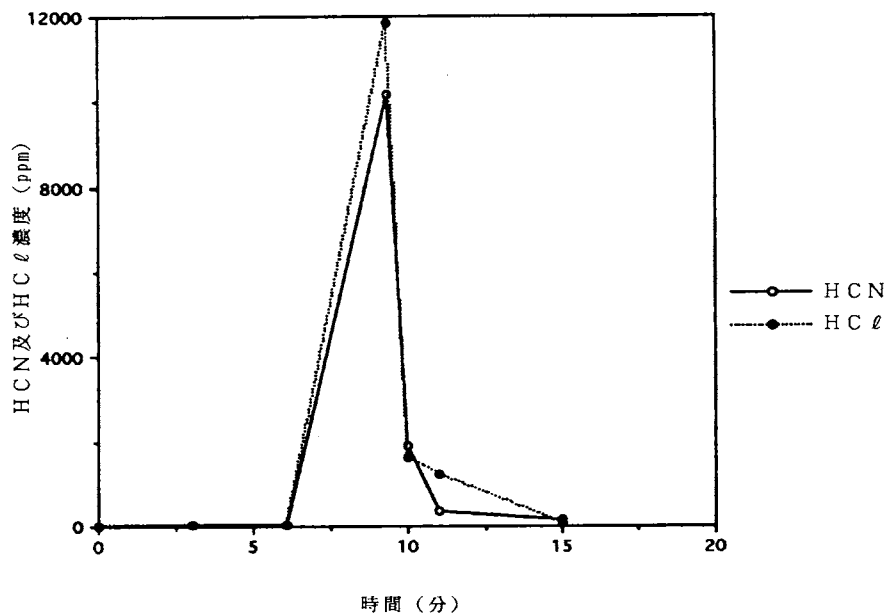


図 3 - 5 - 10 火災室とホールの境におけるHCN及びHCl濃度の時間変化

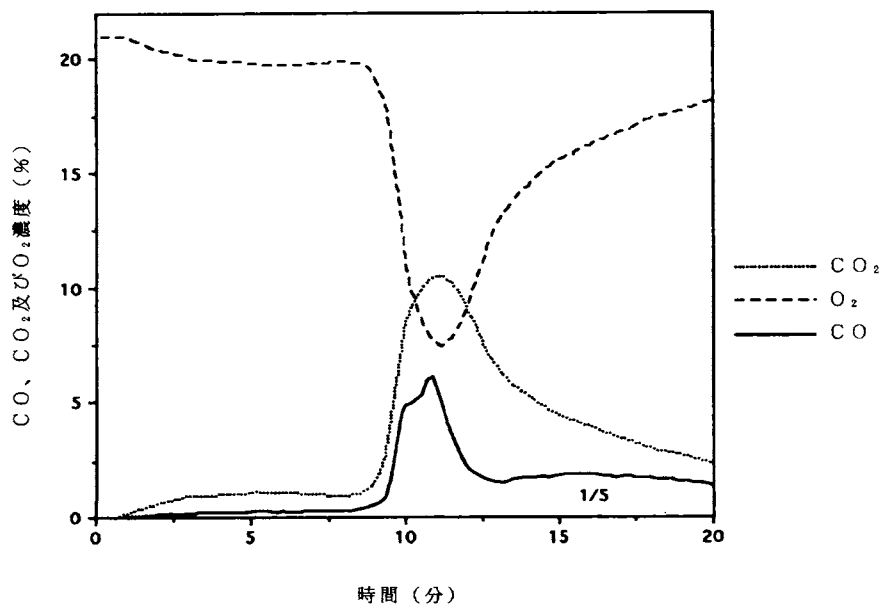


図 3 - 5 - 11 2階ホールにおけるCO、CO₂及びO₂濃度の時間変化
分析方法：連続分析

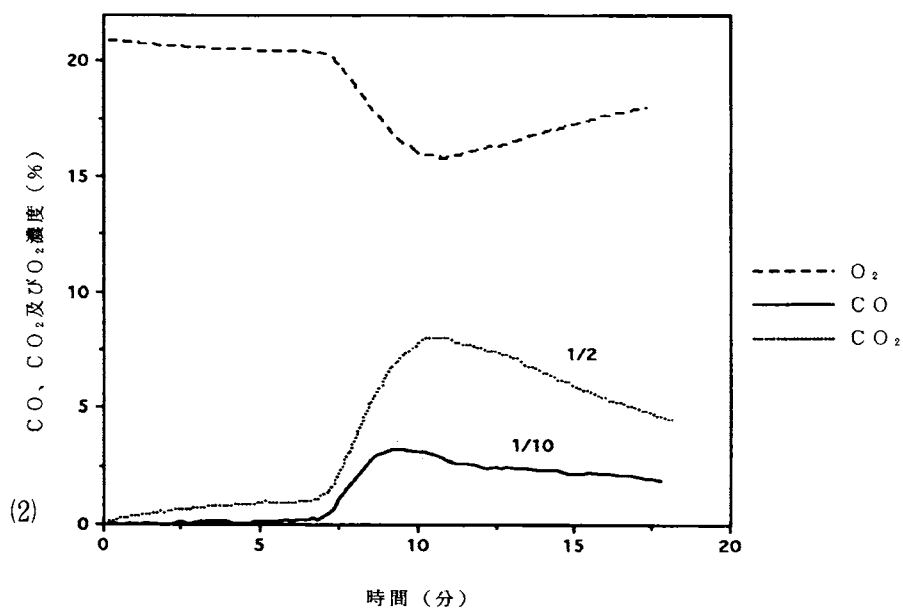
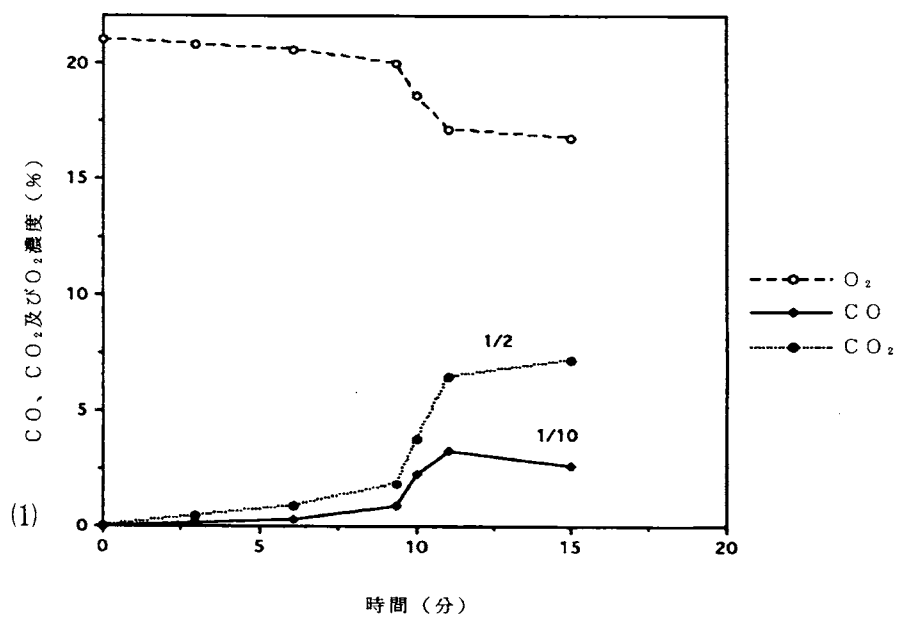


図 3-5-12 ばく露箱 1 における CO、CO₂ 及び O₂ 濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ばく露箱 1 : 2 階室上部 (天井下 40cm) よりガスを導入したもの

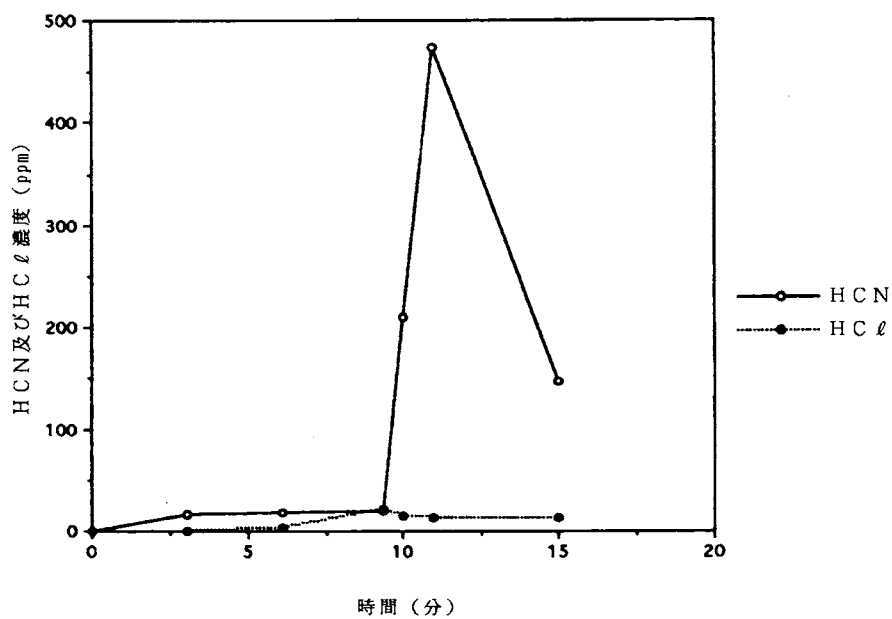


図 3 - 5 - 13 ばく露箱 1 における HCN 濃度の時間変化

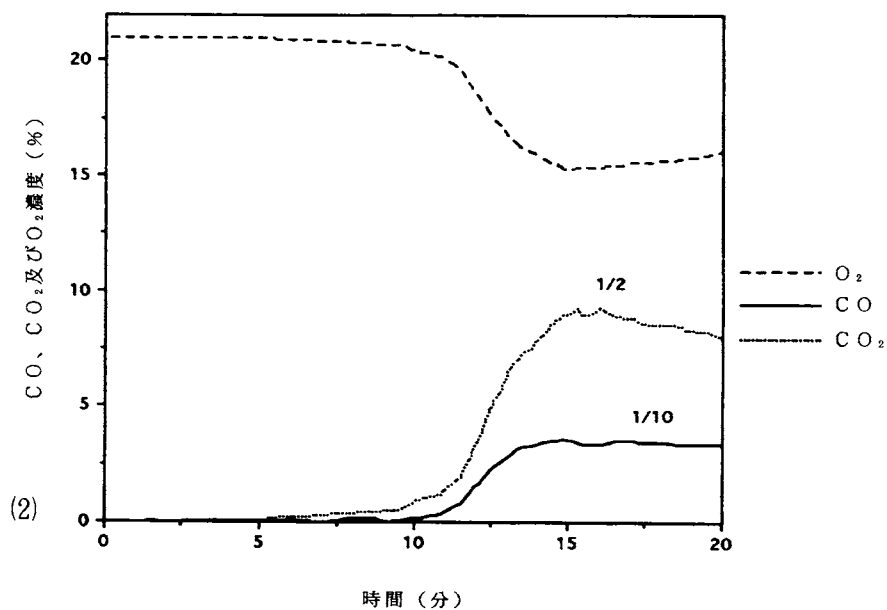
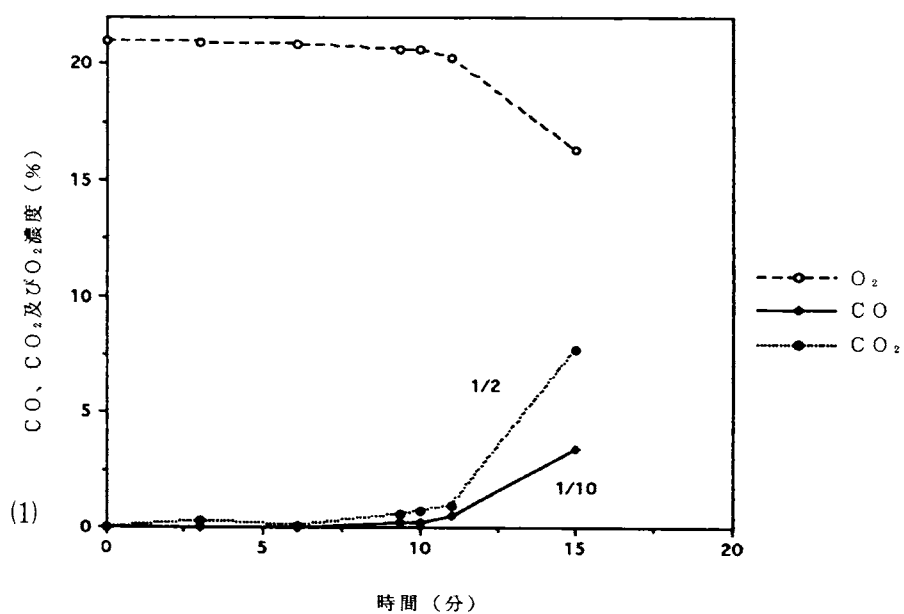


図 3-5-14 ばく露箱 2 における CO 、 CO_2 及び O_2 濃度の時間変化

(1) 間欠採取後の分析 (2) 連続分析

ばく露箱 2 : 2 階室下部 (床上 10cm) よりガスを導入したもの

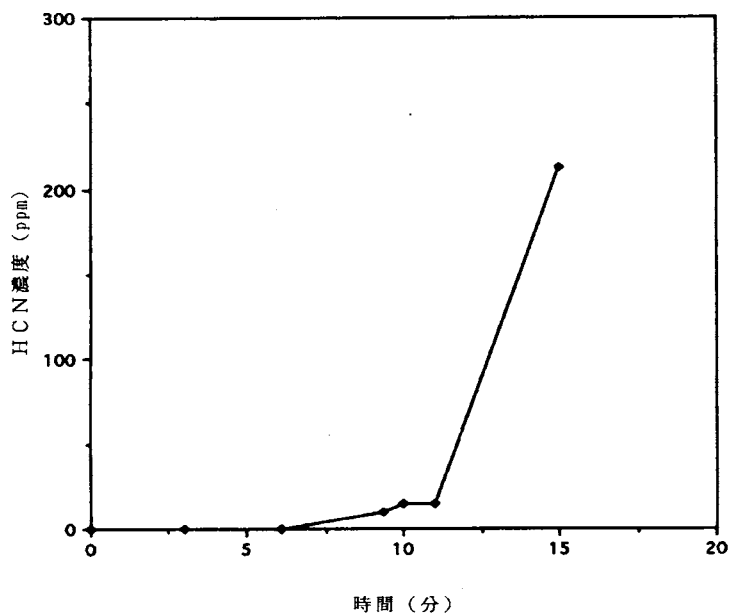


図 3 - 5 - 15 ばく露箱 2 における HCN 濃度の時間変化

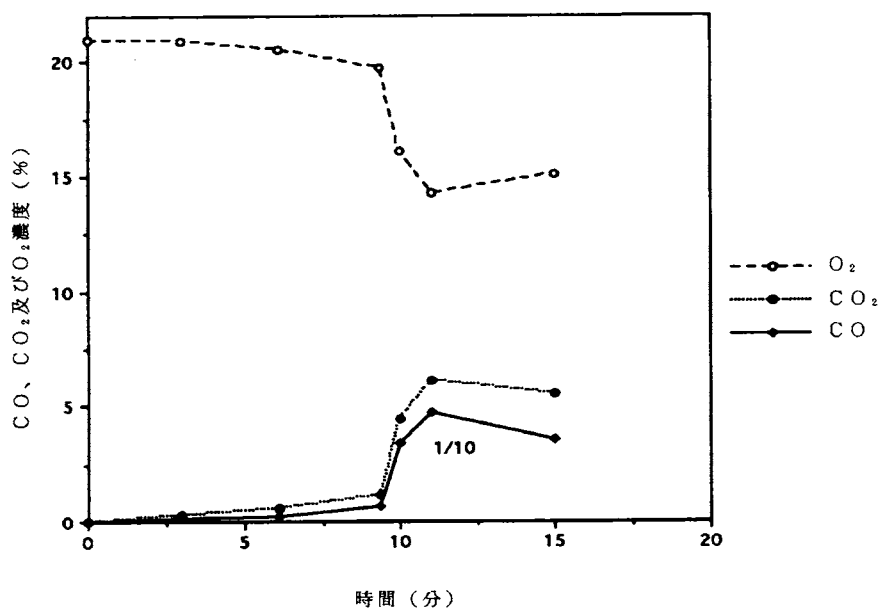


図 3 - 4 - 16 2 階室における CO、CO₂ 及び O₂ 濃度の時間変化
天井下 40cm、間欠採取後の分析

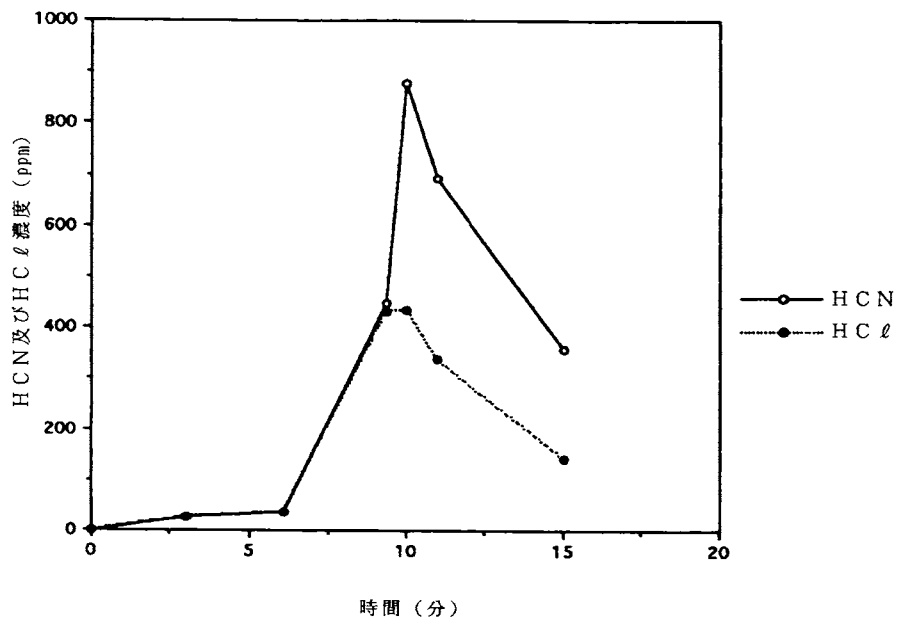


図3-4-17 2階室におけるHCN及びHCl濃度の時間変化

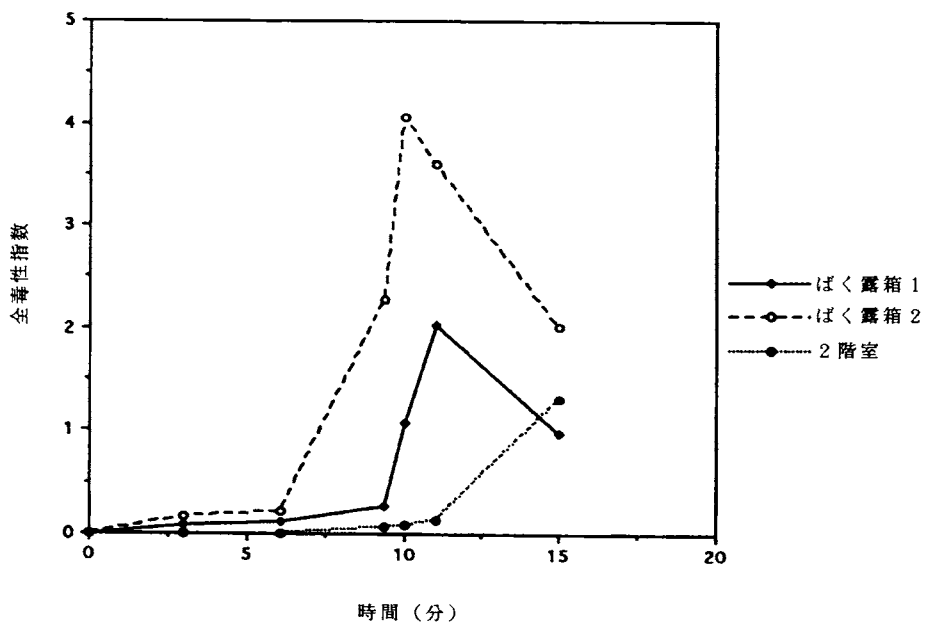


図3-5-18 全毒性指数の時間変化

4 考 察

3節では5回行った実験の結果を個々に示し、それについて説明を加えてきた。本節では全体的なまとめを図で示し、考察を試みる。

火災室中央の温度の時間変化と発熱速度の時間変化をまとめたものを図4-1と図4-2にそれぞれ示す。温度、発熱速度とも非防災品のみの実験4の場合に高く、火災促進用燃料量が小さい防災品のみの実験2の場合には低いことは明らかである。従って、少なくとも本実験シリーズにおいて用いた収納物に限って言えば、小さな炎に接触させる試験に合格した防災品でも3.1kgとかなり大きな火源にさらされた場合でも、非防災品に比較して燃焼性は遥かに小さくなることが分かる。しかし、実験1におけるように、火源が10.2kgと4倍近く大きな場合には防災効果が薄れることが分かる。防災の本来の目的が小さな火源で第一着火物になることを防止することであるので、これは当然と考えられる。2階室の光学的煙濃度（減光係数）が4（1/m）を超えるまでの時間変化を図4-3に示す。4～5（1/m）が測定の上限であり、その段階まで濃度が高くなると、濃度計のレンズが曇りその後の濃度の信憑性に欠けるからである。火災促進剤の量が実験1のように極端に大きい場合は別として、その量を4分の1に揃えた実験2から実験4の場合には、温度、発熱速度、2階室の光学的煙濃度とも防災性物品の比率が高くなるにつれて、値が低くなるか時間的に遅れている。上述の程度の防災性の基準を満足するに過ぎないものでも燃焼性においてはかなりの効果があることが分かる。実験5の場合は、火災促進剤の量は少ないが非防災性マットレスに直接促進剤の炎を浴びせたという点でマットレスそのものも促進剤と見なすことができる。また、上の比較とは別に位置的な条件も重要な因子と思われる。

火災室とホールの境の上端及びラビットばく露箱におけるCO及びHCN濃度の時間変化のまとめを図4-4及び図4-5に示す。また、火災室とホールの境の上端及び2階室におけるHClの時間変化のまとめを図4-6に示す。HCNおよびHClは連続分析が不可能に近いので間欠的なガス採取をしての分析のみしか行っていないのでその結果を示す。一方、COについては間欠、連続の両分析を行ったが、間欠分析の方はガス採取の失敗や分析結果に妥当性を欠くものがあり、連続分析の結果を示した。ばく露箱においてはCO、CO₂及びO₂とも連続分析の結果と間欠的にガスを採取してガスクロマトグラフで分析した結果に大きな差がみられなかったが、1階では

連続分析の結果の方が高く、2－3倍も差がみられることがあった。ガスクロマトグラフによる分析は精度が高い筈であるが、その場合、間欠的ガス採取のため、濃度のピーク値におけるガス採取が必ずしもできるとは限らないということは明かであるが、また、ガス採取位置が注射器による間欠採取の場合、壁面であるが、連続分析の場合は採取口が壁面から約30 cm離れていたという位置的な違いもその差に影響している可能性もある。従って、1階における各実験におけるHCN及びHCLの濃度の時間変化も実測値が真の時間変化を表しているかどうかには多々疑問がある。一方、2階室における各ガスの濃度は時間的変化が緩慢なため、2階室のガスが導入されたラビットばく露箱の場合には両分析結果に大きな差がなかったものと思われる。HCN及びHCLの濃度の時間変化も、ガスは間欠的採取によるものではあるが、真の時間変化と大きな差はないものと思われる。2階室から直接ガスを間欠的に採取して、分析した結果にも同様のことが言えるものと思われる。1階のCO濃度は防災性物品で火災促進剤の量の多い実験1と非防災性物品の実験2において、早い段階でその高さが顕著であるが、ばく露箱では実験1の濃度は他の実験の場合に比較して高くないのは、2階室の開口面積が他の実験の場合の半分であったことのためと思われる。2階室においてはCO、HCNとも実験4で濃度のピークが高いことは燃焼性が高い点から考えると当然と思われる。ばく露箱におけるCO濃度はいずれの場合も0.5%にも達しなかった。なお、表3－1－4(1)で触れた筆者らの実験によるとCOの純ガスにラビットをばく露させた場合の行動不能は0.8%でも起こらなかった。一方、HCN濃度は後に述べる行動不能が起こったときは100ppmに達し、表3－1－4(2)における行動不能が起こった最低濃度98ppmを上回っている。防災性物品と非防災性物品が約50%ずつで、非防災性のマットレスの下に火災促進剤として他の実験の場合よりはるかに量の少ない紙屑箱を置いた実験5の場合は、CO、HCNとも発生し始めた時間は5分ほど実験1及び実験2に遅れているが、フラッシュオーバーが起こると急上昇していることは注目に値する。

今回の火災実験シリーズではCO、HCN及びHCLが毒性成分としての分析対象物であった。COは火災ガスの毒性成分の中で中心的なものと従来から思われているので、HCN及びHCLと毒性の比較を行った。すなわち、図4－7に示すように、濃度の関係を求め、毒性等価曲線により毒性の比較を行った。COとHCNの関係はばく露箱及び2階室について示し、HCL

はばく露箱においては配管過程での損失のため、殆ど痕跡程度であったので、 $HC\ell$ との関係は2階室についてのみ示した。毒性等価曲線は原点を通る1次式で勾配は C_{fi}/C_{fco} である。ここで、 C_{fco} はCOの5-10分ばく露の致死濃度、また、 C_{fi} は毒性成分*i*の同じばく露時間の致死濃度である。その値は前述した通り $CO_{fco}5,000ppm$ 、 $C_{fHCN}350ppm$ 、また、 $C_{fHCl}500ppm$ とした。 HCN は全面燃焼の起こった実験1、4及び5で毒性の等価曲線を上回ることがあり、防災性収納物の場合の方がやや室素含有量は多いと思われるにも拘らず、その場合の方が、 HCN の濃度が高いとは限らなかった。 $HC\ell$ の場合は防災性物品の場合にその発生は殆ど限られるが、やはり、全面燃焼になった場合の方が濃度が高く、毒性の等価曲線を上回る点がいくつかあった。しかし、 $HC\ell$ の致死濃度に何を採るかによって等価曲線は変わり、それについては後に触れる。

CO、HCN及び $HC\ell$ を毒性成分とした場合のばく露箱及び2階室における全毒性指数の時間変化のまとめを図4-8に示す。全毒性指数は3-1の項で触れたように各毒性成分の作用が相加的と仮定したものである。2階室から直接ガスを採取した(3)の場合は $HC\ell$ 濃度が高いため、全毒性指数が他の2つの場合より高いのは当然であるが、一般に、CO及びHCN濃度も高かった。その理由は現段階では説明できない。実験5において1階のHCN及び $HC\ell$ の濃度が他に比べて著しく高い点のあることが注目される。しかし、2階室においては他の実験の場合に比較して特に高くなってはいないので、瞬間的な現象であったと解釈するのが妥当かも知れない。 $HC\ell$ の致死濃度に関しては、ここでは500ppm(5-10分ばく露)を用いたが、文献によっては、ラビットへの30分ばく露の最小致死濃度、 $LCLo$ が4,416ppm¹⁰⁾、30-60分で危険な濃度が1,000-2,000ppm¹¹⁾というのがある。今後、これらの値の信憑性を実験により検討する必要があるが、これら2つのいずれかを用いると $HC\ell$ の効果はかなり小さくなる筈である。

2階室ガスをばく露箱に導入し、そのガスにラビットをばく露させた実験の行動不能時間と呼吸停止時間を表4-1に、実験終了後にラビットの血液を採取し、そのCOHb及びCN⁻レベルを調べた結果を表4-2にまとめた。ばくろ箱に $HC\ell$ は殆ど到達しなかったことは前述の通りである。また、呼吸停止は脳波の平坦化とほぼ同時に起こった。脳波の解析は現段階では非常に難しい。心電図は既報の実大実験¹²⁾の場合と同様、T波の逆転がみられているが、今後さらに詳しい解析をする必要がある。呼吸数の時間変化を

図4-8に示す。CO₂及びHCNは呼吸促進作用があるといわれているが¹³⁾、少なくとも行動不能までの段階では顕著には起こっていない。CO₂の呼吸促進作用についてはラビットについてのデータは筆者らの知る限りないため、純ガスを用いて調べてみる必要がある。COHbとCN⁻レベルの関係は図4-10に示す。COHbレベルは最高でも50%、行動不能を起こさなかった実験2に場合の20%以下は別として、他はすべてCOの影響は余り考えられない35%以下であった。それはばく露ガス中のCO濃度が前述したように0.5%以下と低かったためと思われる。血中CN⁻濃度はばく露ガス中のHCN濃度が高い場合は殆ど瞬間的に中枢に作用し呼吸が停止するため、致死が起こった場合に必ずしも血中CN⁻濃度は高くなるとは限らないが、ばく露ガス濃度が行動不能の最小濃度であった98ppmを実験2の場合を除いて超えているため、HCNによる中毒が行動不能及び致死の主因でCOの効果は副因とするのが妥当と考えられる。

FEDモデルによる行動不能時間の計算値と実測値の比較を図4-11に示す。計算には毒性成分としてCOとHCNのみを用いたことは3-1-3節で述べた。計算値の方がやや低い、計算に用いた式がCO及びHCNの濃度が低く行動不能時間が無限大の場合もその濃度をこの式は無視していないことが大きな理由と思われる。純ガス実験においてラビットのサンプル数が少ないためこの式を用いざるを得なかったことも前に述べた。以上のことを考慮に入れるとかなりよい一致であると思われる。したがって、少なくとも、毒性成分がCOとHCNの双方、または、HCNのみということは殆どあり得ないので毒性成分がCO及びHCNのみに限られる場合は、将来、計算によって毒性評価が可能になるもの考える。

表 4－1 ラビットの行動不能時間と呼吸停止時間

			行動不能時間		呼吸停止時間
			実測値	計算値	
実験 1	ラビット 1		8.0分	5.9分	10.0
	" 2		10.0	8.7	
実験 2	" 1		>25.0	8.9	>25.0
	" 2		>25.0	14.6	
実験 3	" 1		20.5	15.4	>20.5
	" 2		16.7	16.7	
実験 4	" 1		8.0	5.1	>20.0
	" 2		8.7	8.1	
実験 5	" 1		12.0	10.2	18.0
	" 2		14.7	13.4	

表 4－2 ラビットの血液分析の結果

			COHb	CN ⁻
実験 1	ラビット 1		32.0%	1.28ppm
	" 2		33.8	0.99
実験 2	" 1		16.9	0.14
	" 2		14.3	0.12
実験 3	" 1		29.4	2.79
	" 2		32.5	2.42
実験 4	" 1		50.0	1.39
	" 2		25.2	1.00
実験 5	" 1		23.3	1.55
	" 2		21.5	1.20

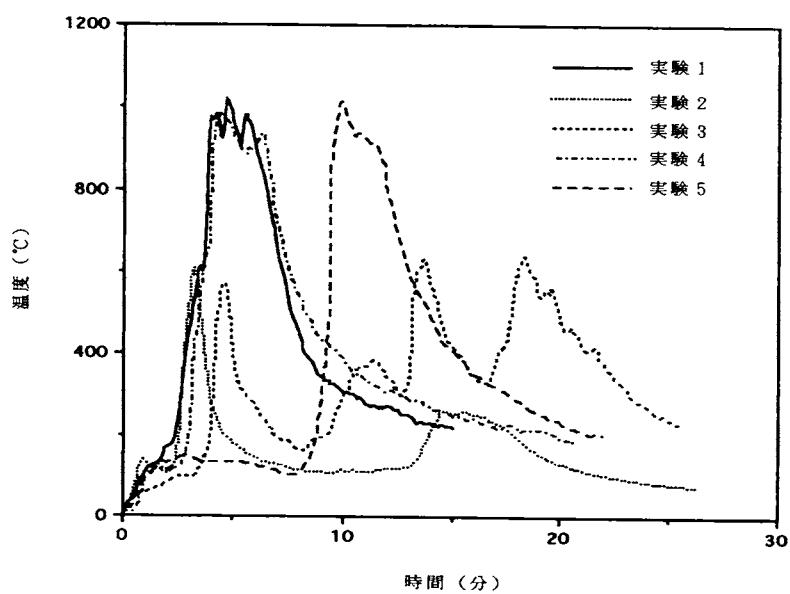


図 4-1 全 5 回の実験における火災室における温度の時間変化

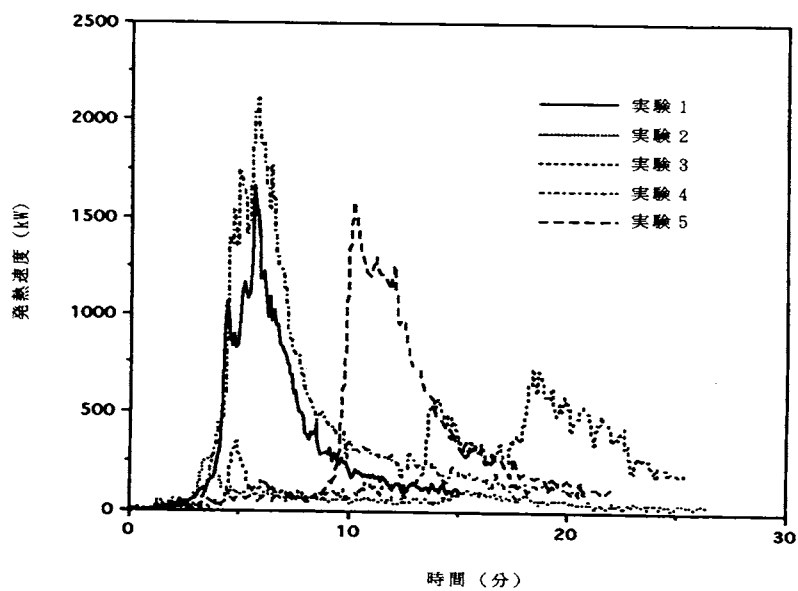


図 4-2 全 5 回の実験における発熱速度の時間変化

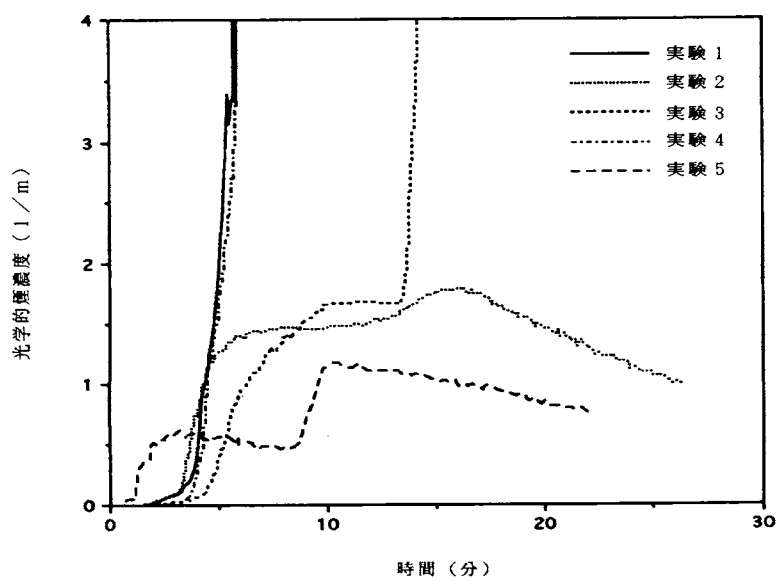


図 4 - 3 全 5 回の実験における 2 階室煙濃度が減光係数として
4 (1/m) を超えるまでの時間

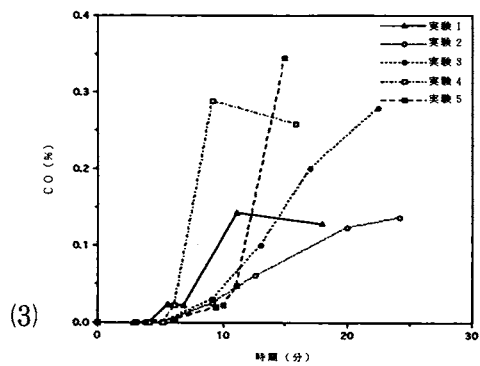
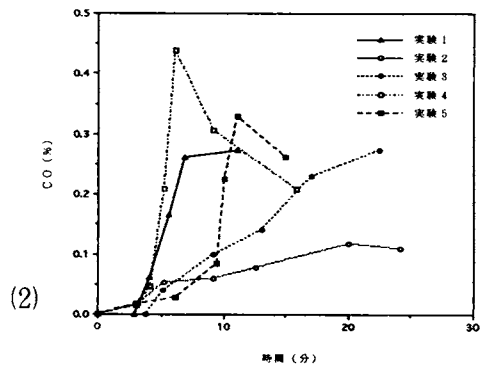
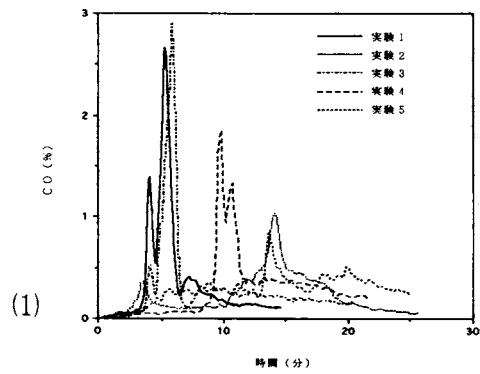


図 4-4 全 5 回の実験における火災室とホールの境(1)、ばく露箱 1(2)及びばく露箱 2(3)の CO 濃度の時間変化
(1) 連続分析 (2) 間欠採取後の分析 (3) 間欠採取後の分析

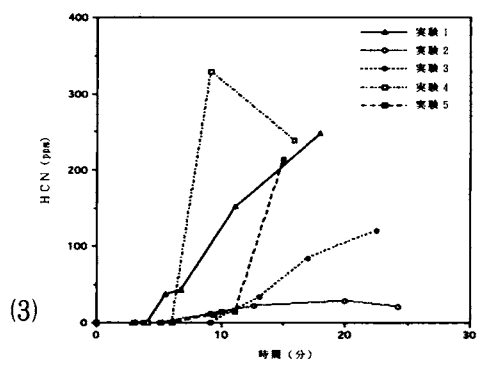
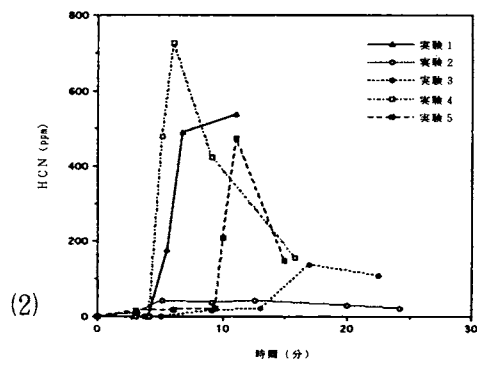
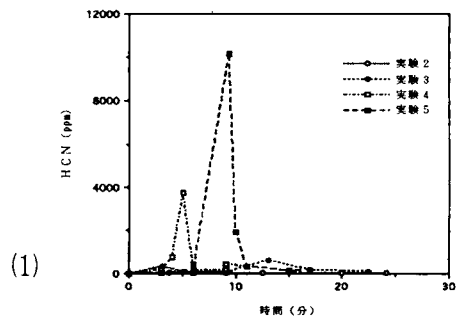


図 4 - 5 全 5 回の実験における火災室とホールの境(1)、ばく露箱 1 (2) 及びばく露箱 2 (3)のHCN濃度の時間変化

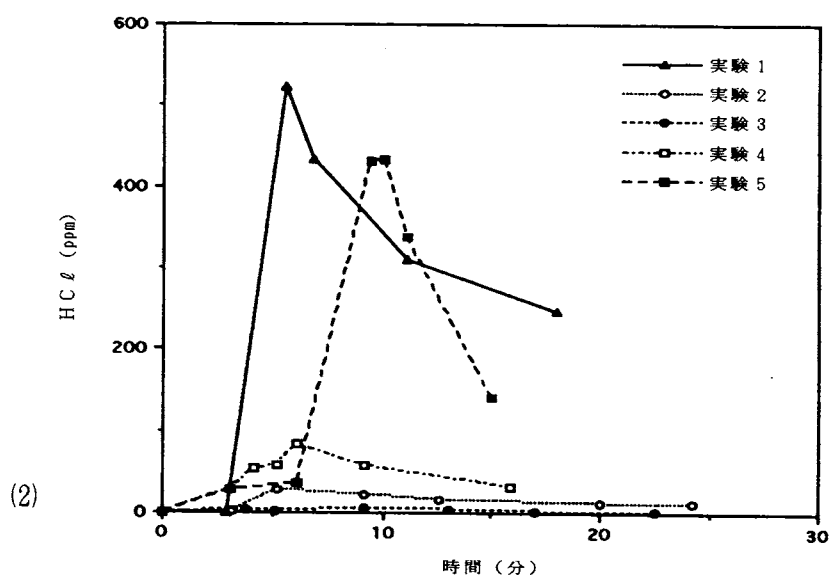
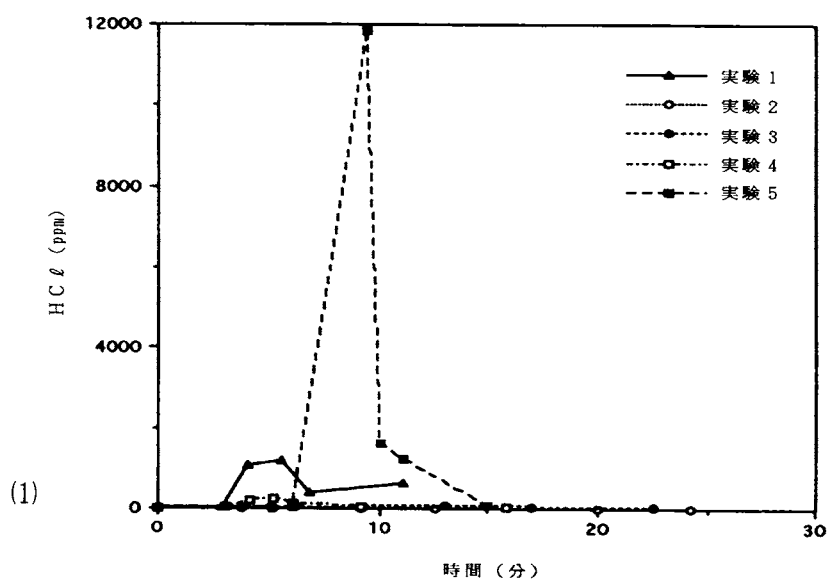


図 4-6 全 5 回の実験における火災室とホールの境(1)、2 階室(2)における H C l 濃度の時間変化

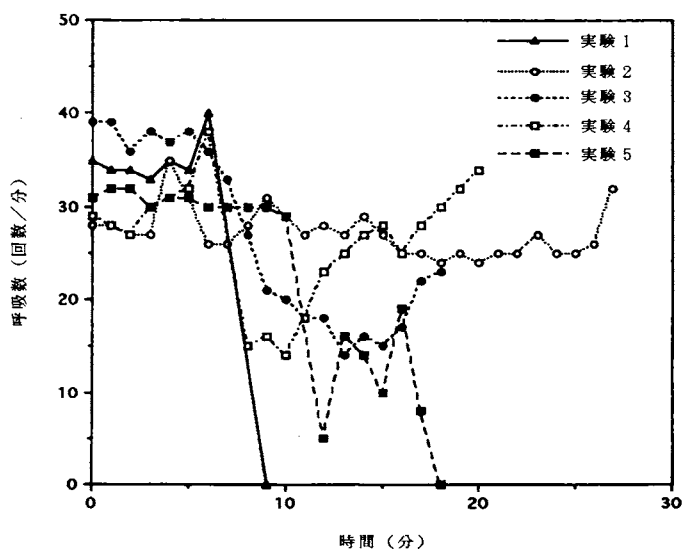


図 4 - 7 全 5 回の実験におけるばく露箱 1 のラビットの呼吸数の時間変化

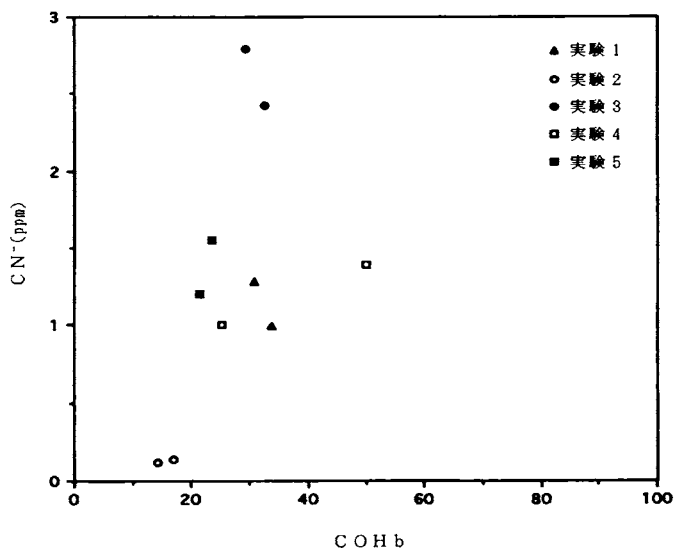


図 4 - 8 全 5 回の実験における 2 階室(上下)からばく露箱に導入したガスにばく露したラビットの血液の実験終了後における COHb と CN⁻ レベルの全分析値の比較

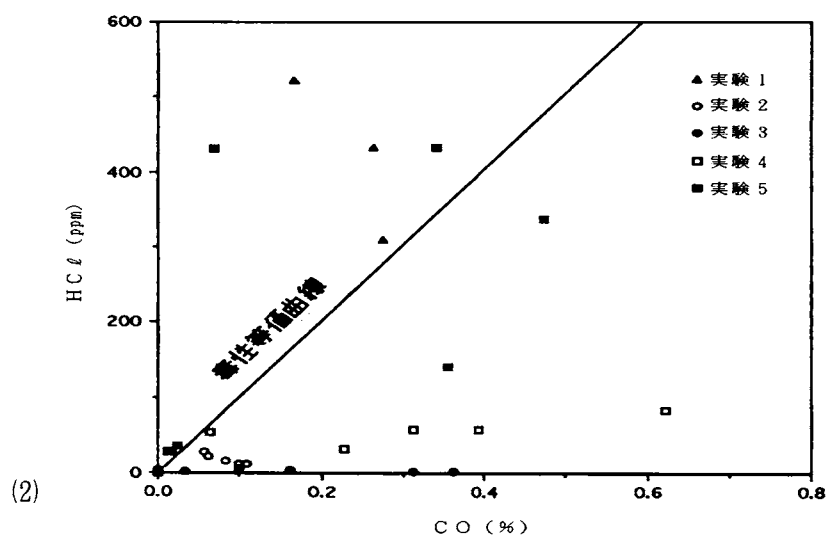
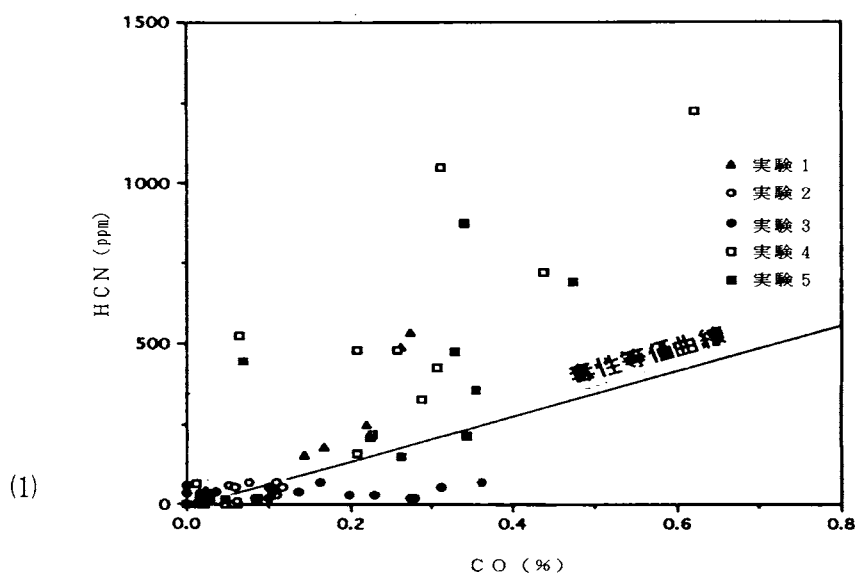


図 4 - 9 全 5 回の実験における 2 階室及び／または、ばく露箱における
HCN 及び HCℓ 濃度の全分析値の CO 濃度との比較

(1) HCN 対 CO 濃度 (2) HCℓ 対 CO 濃度

(2) はばく露箱のデータを含んでいない

毒性等価曲線は 5 - 10 分ばく露の致死濃度 HCN : 350ppm、HCℓ : 500
ppm、また、CO : 0.5% に基づくもの

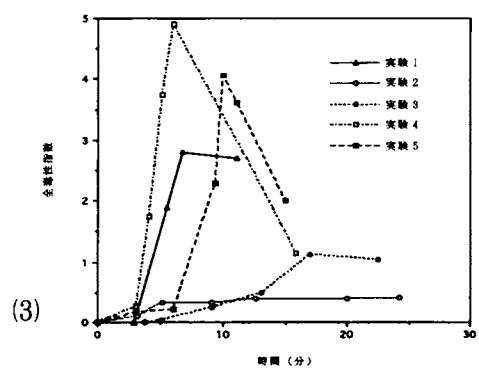
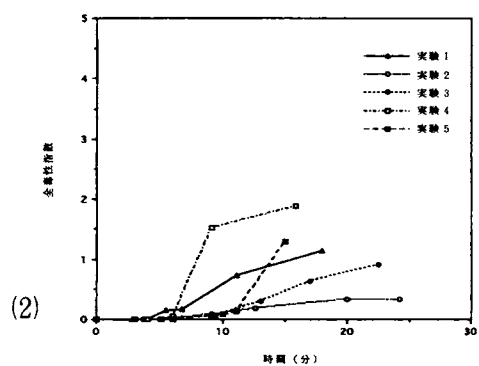
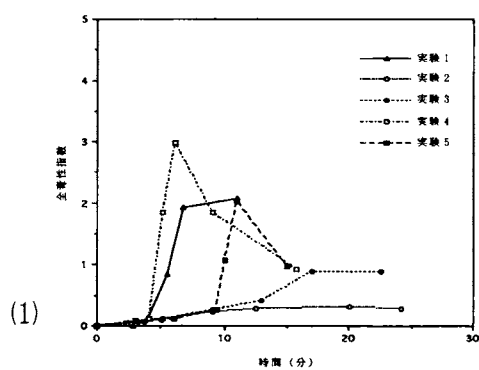


図 4-10 全 5 回の実験におけるばく露箱 1(1)、ばく露箱 2(2)及び 2 階室における全毒性指数 $\sum_{i=1}^n (C_i / C_{fi})$ の時間変化

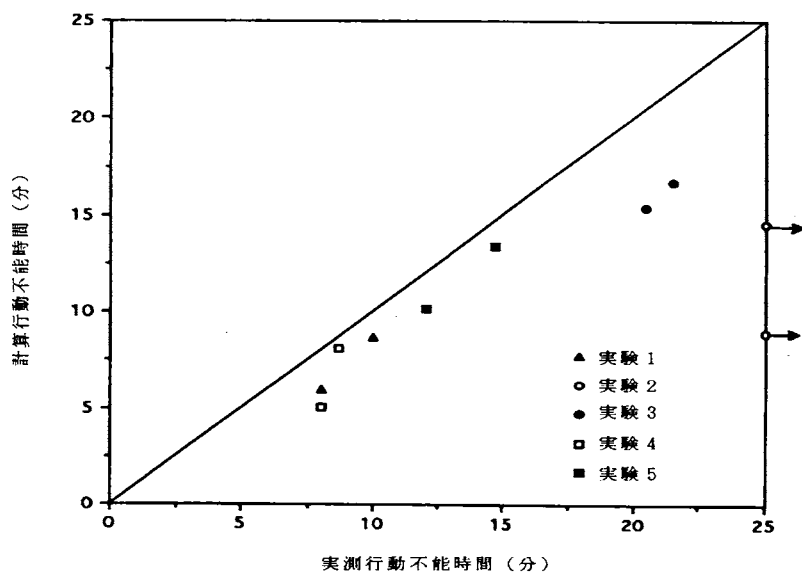


図 4-11 全 5 回の実験におけるラビットの行動不能時間の F E D モデルに基づく計算値と実測値の比較

5 結 論

実験回数が少なかったため、明確な結論を出すことは難しいが、今回行った実験の範囲内で以下のことが分かった。

- (1) 火災時に、毒性及び避難余裕時間という点で防災性物品が非防災性物品より危険性が高いという可能性は非常に小さい。ただし、火源が非常に大きい場合は防災性物品の防災効果は非常に小さくなる。
- (2) 主要有毒成分、HCN、CO及びHCl（HClは主として防災性物品から）の発生は火災の性状に依存し、フラッシュオーバーが起これば続いて全面燃焼に至った場合にこれらの発生は大きい。
- (3) HCNとCOの毒性を比較すると火災ガス中のそれらの濃度とばく露動物の血液中のCOHb飽和度の結果からHCNの毒性の方が大きいことが推定できる。
- (4) ばく露動物の呼吸停止と脳波の平坦化は同期して起こる。
- (5) FEDモデルにより、HCNとCOを毒性成分とした計算値は実測値との間にさほど大きな違いがない。

6 まとめ

防災性物品の多くは家屋内に存在する一般的な物質と異なる元素を含み、燃焼性状も異なるため、その燃焼時には特異な有毒ガスを発生することが基本的には分かっている。しかし、実大火災実験で燃焼性及び発生ガスの毒性を調べた例は皆無と言ってよい。そこで、本研究は防災性物品が実大規模の火災に巻き込まれたときに発生するガスの毒性を把握することを目的とした。

本研究において、火災実験は耐火2階建て住宅の1階の1室を火災室として、寝具、カーペット、カーテン、衣類及び合板を収納物とし、その収納物に防災性物品のみ、非防災性物品のみ及びその両者を1:1に配合したものの3種類を用い、火災促進燃料の大きさを変えて行った。燃焼性状に関するものとして温度、発熱速度、煙濃度などを調べ、発生ガスに関してはCO、CO₂、O₂、HCN及びHCl濃度を調べた。ガス毒性に関してはラビットを実験動物として火災ガスにばく露させ、挙動分析、脳波、心電図及び呼吸数のポリグラフによる分析、血液中のCOHb飽和度及びCN⁻濃度の分析を行い、さらに、有毒ガス成分の濃度から毒性の推定を行った。ここでは結論的表現は極力避け、結果を簡略に述べることにする。

防災性物品はマッチやライターの炎のような小さな火源で燃焼しない物品が防災試験を合格するものであるので、合板2枚を用いたコーナーウォール及び紙屑入り段ボール箱を火災促進燃料にした場合には、防災性物品の燃焼性は防災効果が殆ど現れないほどに大きく、燃焼ガスの毒性も高かった。しかし、コーナーウォールの大きさを4分の1に縮小した場合には、防災性物品の比率が大きいほど燃焼性は小さくなり、毒性も小さくなった。

毒性成分としては防災性、非防災性物品を問わずHCN及びCOが主たるものであったが、防災性物品からはHClの発生もかなり大きかった。動物実験に関しては、HClがばく露箱にガスが届く前に配管などへの吸着により失われ、その毒性の程度を知ることができなかった。HCNとCOの比較では、気中では毒性的にHCNの濃度が高く、血液中のCOHbのレベルは、多くの場合、35%以下と低かった。HClについては文献により毒性値が異なり、発生ガスのHClを含めた毒性評価はどの毒性値を用いるかによって異なる。

ポリグラフによる生理現象の測定では呼吸の停止と脳波の平坦化がほぼ同時に起こった。心電図は中枢機能とは独立した面があるため、動作はさらに

続いたが、T波の逆転などの異常は認められることがあった。

濃度時間積で毒性値を表し、各毒性成分は相加的に作用すると仮定したFEDモデルによる計算値は、ばく露箱においては、実測値とさほど大きな違いがない場合が多かった。

なお、防災性、非防災性物品とを1：1の割合で火災室に収納し、火災促進燃料に合板のコーナーウォールを用いず、紙屑入りの段ボール箱をベッドの下に置き、それからの炎が非防災のマットレスの部分に当たるようにした実験を別に行った結果、全面火災に至る時間は長かったが、全面火災になった際のHCN及びHC ℓ の発生は瞬間的には非常に大きかった。また、ラビットの行動不能や致死も起こり、マットレスも火災促進燃料として作用したが重量的には小さく、火災促進燃料は大きさだけでなく位置的な関係が火災の進行に大きく影響するといえる。

7 おわりに

防災性物品の方が毒性的に危険である可能性は小さいということが、結論の一つになったが、延焼速度が小さいことが多く、しかも、毒性成分としてはCO、HCN及びHClに殆ど限られるからである。HClの毒性に関しては分からない点が多いが、今回の実験は可燃物が防災性、非防災性、その1:1の混合の3種類であったこと、火災促進燃料の使用による燃え易い条件を作ったこと、という誇張された条件であったので、実際の室内収納物と大きな隔たりがある。実際の場合には塩素含有物の比率が大幅に小さくなるため、HClの発生による危険も大幅に小さくなるものと思われる。

しかし、本研究では実験回数に限りがあり、1)大規模火災実験は再現性に乏しい、2)収納物の設定が1つのパターンだけであること、3)火災促進燃料の位置により火災の経過が大きく変わること、4)個体差のある動物の使用数に制約があったこと等のため、普遍性のある結論に到達するためには、さらに、データを積み重ねる必要がある。今回の研究を終わってみて、この研究は諸に就いたばかりと言うのが偽ざる実感である。

いずれにせよ、筆者らの努力は微力であることは覆うべくもないが、本研究によって得られたデータが何らかの形で生かされり、参考にされることがあれば、これに優る幸せはない。

最後に、本研究に多大の御協力を賜った那波主任研究官に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Morikawa, T. et al, Fire Safety Journal, 20, 1(1993)
- 2) 日本薬学会、薬毒物化学試験法注解、39、南山堂(1985)
- 3) 建設省告示第1372号(1989)
- 4) 守川時生、他、火災学会論文集、40、No. 2、1(1991)
- 5) 守川時生、他、火災学会論文集、41、No. 1、41(1992)
- 6) Terril J. B. et al, Science, 200, 1343(1978)
- 7) Sumi, K. et al, Journal of Combustion Toxicology, 2, 8(1975)
- 8) Hartzell, G. E., Journal of Fire Sciences, 7, 179(1989)
- 9) 守川時生、他、火災学会論文集、39、No.2、33(1990)
- 10) Spection, W. S., Handbook of Toxicology, W.S. Sanders Co. U.S.A
(1956)
- 11) 日本火災学会、火災便覧、734、共立出版(1984)
- 12) Levin, B. C., NBSIR 88-3753, 383(1988)
- 13) Morikawa, T. et al, Journal of Fire Sciences, 5, 248(1987)

消防研究資料第27号

防災物品等を含む、火災における発生ガスの
毒性に関する研究

平成5年3月

自治省消防庁消防研究所
東京都三鷹市中原3丁目14番1号（〒181）
電話（0422）44-8331（代）

印刷所 株式会社 三州社