

火災時に発生する燃焼生成ガスの毒性実験について (第3報)

Experiment on the Toxicity of Fire Gases (Series 3)

桜井和敏*

清水栄信*

中屋敷知博*

概 要

火災による死者等の発生実体を把握することは、焼死者防止対策を考えるうえで不可欠である。

従って当研究所では、昭和61年11月から昭和63年3月までの間、火災時の燃焼生成ガスが原因で、死傷者が発生したと思われる比較的小規模な火災事例について調査を行い、合計13例を収集した。そしてその中から必要と思われる5事例を抽出し、火災の状況を再現実験により検証した。結果、事例における火災の発生パターンおよび要因において類似する点が多く認められた。また実験から発生する毒性ガスは、COの他にHCNが顕著であり、そしてガスの火災状況は火源の大小に大きく影響していることが確認された。

Analysis of the causes of fire deaths is necessary for protection of lives from fire.

We studied fatal fires in the area of the Tokyo Fire Department. Based on this study, we made 5 simulated fires. The findings obtained from those fires were as follows.

1. Toxicity was mainly caused by CO and HCN gases.
2. There was a great difference in the ways of burning depending on the means of ignition, that is, cigarette butts or heaters. Difference was also seen in the toxic products of combustion thereof.
3. Control of fuel loads and control of flammability of them are necessary.

1. はじめに

東京消防庁管内における近年の火災傾向は、火災件数、焼損面積ともに減衰傾向を示している。

しかし、火災による死傷者の発生は、ほぼ横ばい状況であるが死者に関しては昭和58年頃から漸増傾向を示している。従って火災件数に対する死者の割合は、むしろ増加傾向にあると言える。そして、その殆どが住宅火災からの発生であり、特に高齢者に係る事例が多く、また火災時の熱・炎のみならず燃焼生成ガスに係わる事例も多くなりつつある。

火災による死傷者の発生を防止するには、その実態を把握し分析することにより問題点を抽出し解決策を講じていかなければならない。

当研究所では、その一方策として当庁管内で発生した死傷者を伴った火災事例の調査収集を行うとともに、その資料を基に再現実験を行い、煙・

ガス等の火災危険要因について検証を加えてきたが、その結果について、昨年に引き続き報告する。

2. 実施要領

(1) 資料(火災事例)の収集

次に示す火災事例の資料提供について各所属に依頼し、昭和61年3月31日までの間、調査収集した。

ア 調査対象火災

ぼや火災等で燃焼物が判別でき、且つ次に該当する火災。

- (ア) 火災時の煙、ガスにより死者が発生した火災。
- (イ) 火災時の煙、ガスにより中毒症状を起し、病院等に収容された傷者が発生した火災。

イ 調査内容

- (ア) 火災の概要——出火推定時間、鎮火時間、発見時の状況、死傷者等の救出状況、行動概要、中毒症状、出火原因等、出火

*第二研究室

室の間取り、容積、及び燃焼物の配置状況等

(イ) 燃焼物の状況——燃焼物の量、及び素材の特定等（素材の特定については、赤外線分光光度計により分析した。）

(2) 再現実験

鋼材等により模擬ハウスを作成し、調査した火災事例の中から、5つの事例を抽出、その火災室の状況を再現し図1に示す方法で燃焼実験を行った。

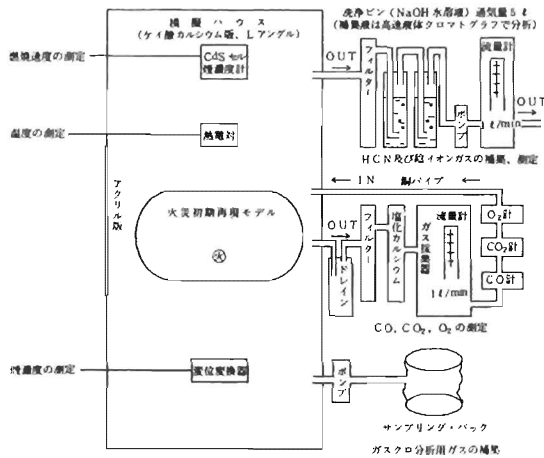


図1 実験方法

3. 結果

(1) 資料収集結果

収集した火災事例は合計13例であった。結果については表1に示す。

該当する火災は、比較的少数であったが、これらの資料から、いくつかの傾向が見出された。

以下、要約すると次のとおりである。

ア 月別発生状況は、12月が最も多く次に1月、2月、3月の順になっており、いわゆる火災多発期に、その殆んどが発生している。また時間帯は、深夜から明方の火災による発生率が全体の約半数であった。

イ 出火原因は、タバコに起因するものが多く、これが寝具類に燃え移り火災に至るケースが最も多かった。

ウ 死傷者の年齢層は、高齢者が最も多いが、40代、50代も比較的高い値を示した。なお

性別については、大きな違いは認められなかった。

エ 死傷者の状態については、病人や何らかの障害を持っている非健康者、または健康者であっても飲酒状態の者が多く、合計すると全体の80%を占めた。

オ 家族の状況については、一人暮らしの場合が特に多く、年齢に係わらずその傾向を強く示した。

(2) 実験結果

5つの火災事例の再現実験における各種測定結果については、別添に示す。なお、表1における火災事例1、2、6、7、9の再現実験番号を順次、実験1、2、3、4、5とする。

再現実験結果から、タバコを火源とした2事例については、何れも無炎燃焼を継続した。そしてその他3事例は、ストーブ等の大火源のため有炎燃焼となり、発生するガス・煙・温度の状況も大きく異なった。

ア ガスの発生状況

(ア) COガス（一酸化炭素）

従来から燃焼生成ガスによる中毒は一酸化炭素ガスによるものと考えられているが、それを裏付けるように何れの実験においても、短時間致死濃度または人体に強い影響を与えるガス濃度のものが発生している。

無炎燃焼の場合（実験1、5）は測定結果（別添）の燃焼速度のグラフを見てもわかるように、緩やかな燃焼となり、COガスの発生状況も非常にゆっくりとした濃度上昇を示し、0.1%に達するまでに50～70分、また最高濃度に至る時間も2～3時間を要した。なおガスの発生状況は非常にゆっくりではあるが、濃度の最高値は、何れの実験も短時間致死に致る高濃度を示した。

一方、有炎燃焼の場合は発炎と共にガス濃度の上昇が認められ、短時間で高濃度に至り、実験4においては1.5%という高濃度を示した。しかし他の2事例については燃焼物の量の関係もあり、いちがいには言えないが、濃度の最高値は、比

表1 火災事例の概要

No	死 傷 者			火 災 の 状 況		主 な 燃 焼 物	
	性別, 年齢	受傷状況	出火時の状況	概 要	出 火 室	材 質	推定量 (g)
1	女 (18)	CO中毒 (死亡)	飲 酒 中 就 寝 中	1. 耐火造4/10住宅 2. ぼや 3. 座布団2, 敷布団1, 掛け布団1, シーツ1, エバーソフト1 4. タバコ	1. 4 階寝室 2. 8.1㎡ 3. 16.5㎡	綿, レーヨン 羊毛 ラバーホーム	1,800g 160g 60g
2	男 (77)	熱 傷 (重症)	老人性痴呆症 就 寝 中	1. 耐火造11/0 共同住宅 2. ぼや 3. 布団2, 毛布2, 壁体, 機, 箆笥, 仏壇各若干 4. タバコ	1. 居間兼寝室 間取りは2DK 2. 10.2㎡ 3. 24.5㎡	綿, レーヨン ポリエステル アクリル 木	1,400g 7,200g 6,200g 推定不能
	女 (73)	CO中毒 (重症)	目に傷害有り 就 寝 中				
3	女 (73)	CO中毒 (死亡)	老人性痴呆症 一人暮らし	1. 防火造2/0 共同住宅 2. ぼや 3. 衣類, 枕, 畳各若干 4. 電気コンロ	1. 居間 1 ルーム 2. 9.7㎡ 3. 23.8㎡	綿, レーヨン ポリエステル ナイロン ポリウレタン	480g 800g 13g 8g
4	男 (57)	熱 傷 (死亡)	アルコール中毒 足が不自由 就 寝 中 一人暮らし	1. 防火造2/0 共同住宅 2. ぼや 3. 布団2, 毛布1, 枕1, カーテン 1, 畳, 衣類各若干 4. タバコ	1. 居間 1 ルーム 2. 6.1㎡ 3. 14.3㎡	綿, レーヨン ポリエステル アクリル 羊毛 アセテート ポリウレタン	450g 2,700g 220g 160g 170g 推定不能
5	男 (57)	気道熱傷 (死亡)	就 寝 中 一人暮らし	1. 防火造2/0 共同住宅 2. ぼや 3. 天井5㎡, 畳1㎡, 布団1, 機2, 衣類若干 4. ガスストーブ	1. 居間 1 ルーム 2. 8.6㎡ 3. 20.6㎡	焼物の採取ができなかったため材質, 量にあっては不明。	
6	女 (34)	CO中毒 (死亡)	飲 酒 中 就 寝 中 一人暮らし	1. 耐火造7/1 共同住宅 2. ぼや 3. 壁体1㎡, ガステーブル1, 台所用物入3, インスタントスープ2 4. ガステーブル	1. 台所兼事務所, 間取りは2DK 2. 20.7㎡ 3. 49.7㎡	ポリプロピレン ポリスチレン でんぷん質	1,000g 600g 200g
7	男 (57)	CO中毒 (死亡)	足が不自由 一人暮らし	1. 耐火造2/0 長屋住宅 2. ぼや 3. 7㎡, ベッド1, 布団2, 毛布1 4. 電気ストーブ	1. 2階寝室 2. 6.9㎡ 3. 16.5㎡	綿, レーヨン アクリル ラバーホーム ポリウレタン	5,200g 320g 3,000g 1,000g
8	男 (57)	CO中毒 (死亡)	飲 酒 中 就 寝 中 一人暮らし	1. 防火造2/0 共同住宅 2. ぼや 3. 10㎡, テレビ1, テレビ台1, 電話機1, 箆笥2, カーペット, 紙, 布, 畳各若干 4. タバコ	1. 居間兼寝室 間取りは2DK 2. 16.5㎡ 3. 39.6㎡	木, 紙 ポリスチレン ポリ塩化ビニル アクリル 綿ポリエステル	20Kg 推定不能 400g 390g 100g
	男(不明)		飲 酒 中 就 寝 中				
9	男 (44)	CO中毒 (死亡)	アルコール中毒 就 寝 中 一人暮らし	1. 防火造2/0 長屋共同住宅 2. ぼや 3. 布団2, 毛布1, 機, 畳, 衣類各若干 4. タバコ	1. 居間兼寝室 間取りは2K 2. 9.9㎡ 3. 23.8㎡	綿, レーヨン ポリウレタン アクリル	2,520g 2,220g 800g
10	女 (44)	気道熱傷 (重篤)	睡眠薬服用 就 寝 中 一人暮らし	1. 炭火造5/0 共同住宅 2. ぼや 3. 布団2, 毛布1, ベッド1 4. タバコ	1. 寝室 間取りは1DK 2. 25㎡ 3. 60㎡	綿, レーヨン ポリウレタン アクリル ポリエステル セルロース	3,800g 440g 1,100g 700g 100g
11	女 (77)	熱 傷 (重篤)	起 床 中	1. 木造2/0 長屋住宅 2. ぼや 3. 衣類, ダンボール各若干 4. 電気コンロ	1. 台所 2. 7.6㎡ 3. 18㎡	綿, レーヨン ポリエステル アクリル	90g 290g 540g
12	男 (74)	全身熱傷 (死亡)	飲 酒 中 一人暮らし	1. 防火造2/0 長屋共同住宅 2. ぼや 3. 天井5㎡, ジュタン, カラーボックス各若干 4. 不明	1. 居間 1 ルーム 2. 6.4㎡ 3. 16.4㎡	木 ポリプロピレン ナイロン セルロース	5,000g 1,750g 170g 50g
13	女 (40)	気道熱傷 (重篤)	精神障害 一人暮らし	1. 耐火造5/2 共同住宅 2. 部分焼 3. 11㎡, 毛布2, ベッド1 4. 不明	1. 寝室 間取りは2DK 2. 30㎡ 3. 72㎡	綿, レーヨン ポリウレタン アクリル ポリプロピレン セルロース	710g 320g 300g 30g 1,200g

注：(1) 概要の欄における内容は、1. 建物、2. 火災規模、3. 焼損状況、4. 原因の順で示した。

(2) 出火室の概要欄における内容は、1. 部屋の用途、2. 面積、3. 容積の順で示した。

(3) 網かけした火災事例は、再現実験を実施したものである。

(4) 火災事例No12は、東京都監察医務院による剖検が行われており、その結果、血液中のCD-Hb濃度は19.0%、乳酸濃度は0.99μg/ml、アルコール濃度は1.06mg/mlであった。

較的低い値を示した。

(イ) CO₂ガス (二酸化炭素)

CO₂ガスの発生は、当然のことではあるが、いずれの実験でも他のガスに比べ高濃度を示し、実験3、4 (いずれも有炎燃焼) では人体に強く影響を与える濃度に至った。

しかしCO₂ガスそのものの毒性は、あまり強くないため、COガスに比べると人体への影響は比較的少ないと言えるが、呼吸作用を活発にする効果があるため他の毒性ガスが共存していると、その毒性効果を早める可能性が考えられる。

発生状況は、CO₂ガスにおいても燃焼形態の違いで大きく異なっているが、この場合は前(ア)で述べたCOガスとは様相が異なり、有炎燃焼の場合は無炎燃焼に比べ極端に多量の発生傾向を示した。

(ウ) HCNガス (シアン化水素)

HCNガスは実験3を除く、すべての事例において検出され、燃焼物がアクリル等の含窒素系素材を有する場合には、いずれも発生が認められた。

発生量は実験4において550ppmと高濃度を示したが、その他の実験では予想外に低い発生量であった。

この傾向は燃焼の形態に大きく係わっており、無炎燃焼と有炎燃焼との違いをはっきりと示した。典型的な例として、実験4と5を比較すると、実験4の場合には含窒素系の素材であるアクリル、ポリウレタンの合計1320gが有炎燃焼し、最高550ppmのHCNガス濃度を示したが、実験5においてはアクリル800gが無炎燃焼したにもかかわらず最高26ppmの発生濃度を示したのみで終了した。

(エ) O₂ (酸素)

酸素欠乏にあつては、実験3と4において、人体に影響を与える濃度低下を示した。

しかしCOガスやHCNガスのように、人体へ致命的な影響を与える濃度には至っておらず、今回の事例においてはCO₂同様、二次的な影響であったものと

考えるべきである。そしてO₂濃度の低下は、CO₂の発生とほぼ同様の傾向を示しておりO₂の消費とCO₂の発生は、燃焼現象において密接な関係が認められる。

(オ) その他のガス

その他の毒性ガスについては、NO_x (窒素酸化物)、SO_x (硫黄酸化物)、HCl (塩化水素)、そしてアクロレインについて分析を行ったが、実験4においてSO_xが痕跡程度検出された以外はいずれのガスも検出しなかった。

NO_xについては燃焼温度において、発生可能温度に至らなかったものと推定されるが、SO_x、HClについては、今回の事例において硫黄(S)や塩素(Cl)を含む素材が持ち込まれていなかったと考えられる。

またアクロレインについては、文献によればセルロース系の素材において発生が認められているが、これはあくまでも熱分解によるものであって、裸火による燃焼状態では一旦発生しても、燃焼により分解してしまうものと考えられる。なお、主な毒性ガスの人間に対する生理作用について、表2に示す。

イ その他の測定項目

煙濃度、温度においても、共に燃焼形態の影響を大きく受けていることが確認された。

煙濃度については無炎燃焼の場合、急激な煙の発生は無く、見通しのきかない状態に至るのに長時間を要したが、有炎燃焼の場合は、発炎とほぼ同時に見通しのきかない状態となり、その状況が長時間に渡って継続した。

温度においても、ほぼ同様の傾向を示し無炎燃焼の場合は、外気との温度差は比較的少ないが、有炎燃焼の場合は発炎と同時に急激な温度の上昇を示した。しかし、煙濃度の場合と違って、その状態の継続は短く火勢の衰えに伴い急激な温度の低下を示した。

4. ま と め

今回、収集した火災事例は、火災の発生パターンが非常に類似しており、着火源となる素材に限られ、寝具類、衣類等の布類が大部分であった。従って、どこの事例においてもアクリル繊維等の含窒素の素材の多くが存在しており、COガスは勿論のことであるが他にHCNガスが大きな危険要因になっているものと考えられ、このことは再現実験におけるガス分析結果からも裏付けられている。

なお、COガスとHCNガスは人間に対する生理的な影響が同じであり、いずれも血液の酸素運搬機能を阻害する。従ってCOとHCNの複合ガスは相加的な作用があり、この効果についてはマウスを用いた燃焼生成ガス毒性実験において確認されている。(消防科学研究所報、第24号の同シリーズ参照)

そして、燃焼生成ガスの発生は、一連の実験結果から特に燃焼速度に大きく依存していることが確認された。

従ってこれからの高齢化社会への移行を踏まえ、室内に取り込まれている可燃物の管理や燃焼抑制化について検討を進めていく必要がある。

5. お わ り に

今回の実験は、今迄の単一素材による燃焼毒性実験でなく、実際の生活環境等を勘案し、実火災の燃焼性状を評価するという意味で、一つの試みであった。そして一般的な生活環境における、燃焼生成ガスをはじめとした、いくつかの火災危険要因について貴重なデータを得ることができたが、これらの一連の研究において更に深く検討を加えるためには、生理学および生物化学的検討を考慮する必要がある。

今回の13火災事例のなかで東京都監察医務院等による剖検は、残念ながら僅か2事例に過ぎない状況であったが(火災事例No.7, 12)、今までの研究に焼死者の剖検結果による血液中の一酸化炭素ヘモグロビン(CO—Hb)や青酸(HCN)、アルコール濃度等のデータを結びつけば焼死者等の発生メカニズムを更に深く解明することが可能であり、今後の課題である。

最後に、様々な分野における技術の発展に伴い、現在も次々に新素材や複合素材と言われるものが生み出されている状況にあり、それらが火災に遭遇した場合、今迄と違った新しい危険要因が生じる可能性もある。従って、今後もこれら新素材等における燃焼生成ガスの研究を重ね、各種データの蓄積を図っていく所存である。

表2 主なガスと生理作用

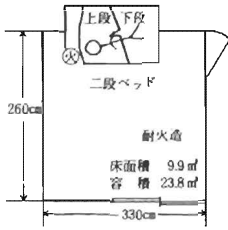
分 類	単 純 窒 息 性		化 学 的 窒 息 性		刺 激 性		
	O ₂ (欠乏) %	CO ₂ %	CO %	HCN ppm	HCl ppm	SO ₂ ppm	NO ₂ ppm
作 用	組織へのO ₂ 供給量低下による精神・筋肉活動の低下呼吸困難、窒息	吸気中O ₂ 分圧を低下させO ₂ 欠乏症を誘引、呼吸困難、弱い刺激窒息	血液のO ₂ 運搬機能を阻害、頭痛、筋肉調節の障害、虚脱、意識不明	細胞呼吸を停止、眩、虚脱、意識不明	目・上部気道の粘膜を刺激、上部気道の破壊による機械的窒息	目・上部気道気管支粘膜を刺激、肺・声門の水腫、気道閉塞による機械的窒息	気管支・粘膜を刺激、肺水腫による呼吸困難・窒息
1日8時間、1週40時間の労働環境における許容濃度		0.5	0.005	10	5	5	5
臭 気 認 知					35	3~5	5
の どの 刺 激		4			35	8~12	62
目 の 刺 激		4				20	
せ き が で る						20	
数時間暴露で安全		1.1~1.7	0.01	20	10	10	10~49
1時間暴露で安全		3~4	0.04~0.05	45~54	50~100		
30分~1時間暴露で危険		5~6.7	0.15~0.20	110~135	1000~2000	50~100	117~154
30分暴露で致死			0.4	135			
短時間暴露で致死	6	20	1.3	270	1300~2000	400~500	240~775

(火災便覧、日本火災学会編による)

別添 再現実験結果

実験 1 (火災事例 1)

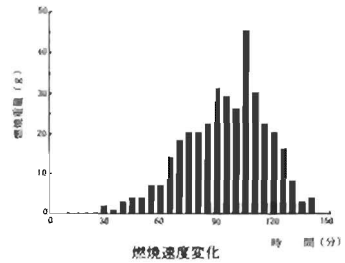
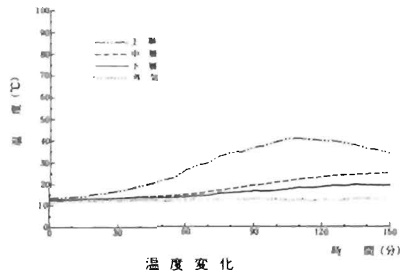
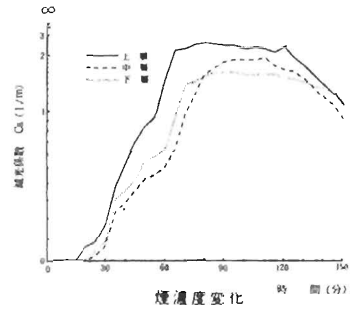
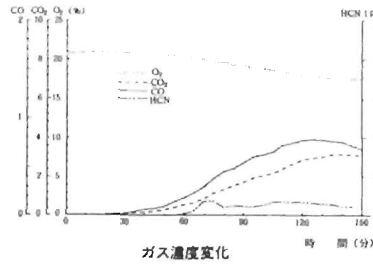
1 出火室の状況



タバコの火が、枕がわり使用されていた座蒲団に着火し、火災となり発生したガスの中毒により女性1名が死亡した。

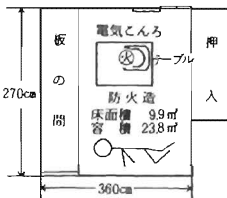
なお、この女性は外出先で飲酒しており帰宅後、約4時間後に発見されている。

2 測定結果



実験 2 (火災事例 3)

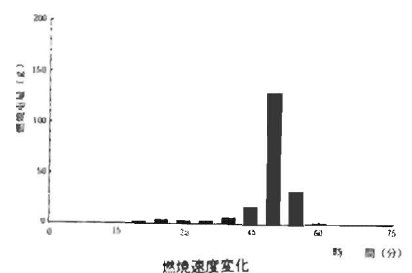
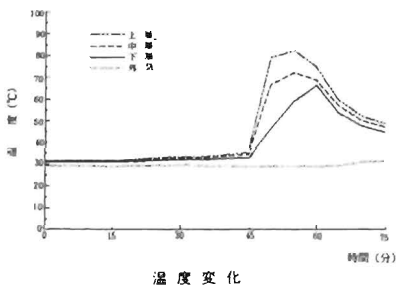
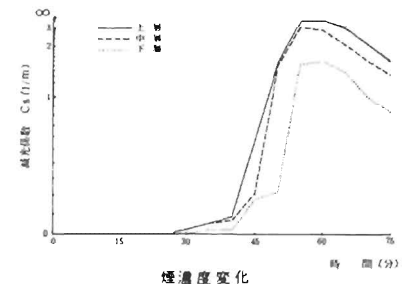
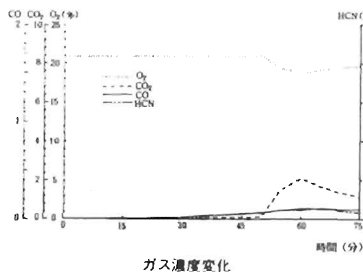
1 出火室の状況



電気こんろの火が、衣類に燃え移り、火災となり女性1名が死亡した。

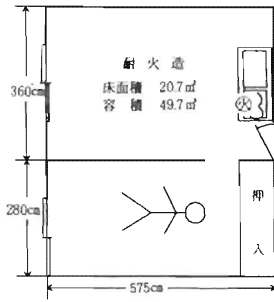
なお、死因は発生したガスの中毒によるものと推定されている。

2 測定結果



実験 3 (火災事例 6)

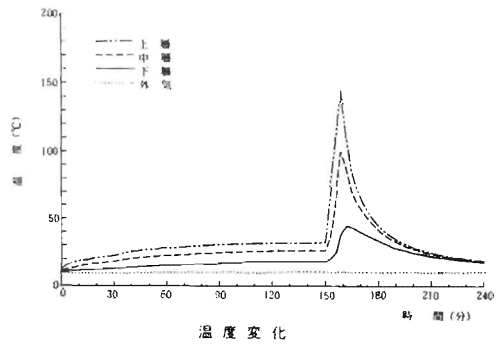
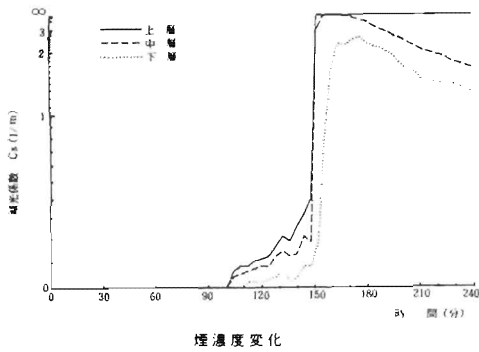
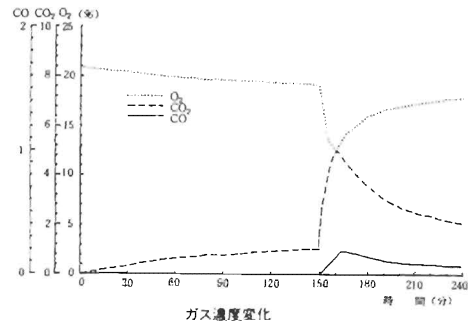
1 出火室の状況



湯を沸かしているうちに寝入ってしまった為、やかんが空炊状態となり、ガステーブルの上に置かれてあった台所用物入れに燃え移り、火災となり女性1名が死亡した。この女性は火点隣室で倒れており、死因は発生したガスの中毒によるものと推定されている。

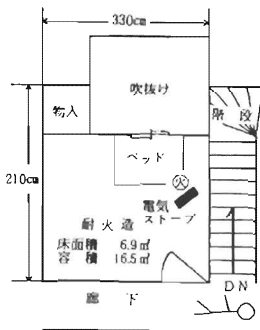
なお、今回の実験において、実験開始から150分まで、やかんを空炊き状態としたが、合成樹脂である台所用品は熱により溶融したものの普及には至らなかった。従って、150分以降は、燃焼物を転倒させ強制的に燃焼実験を継続した。

2 測定結果

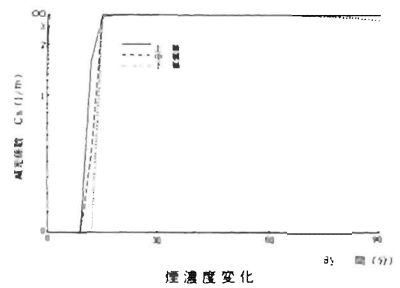
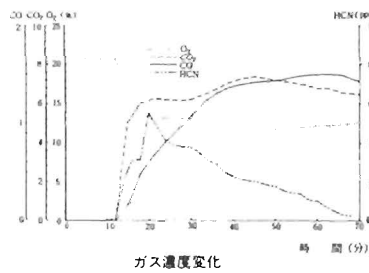


実験 4 (火災事例 7)

1 出火室の状況

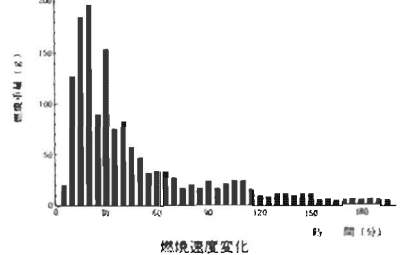
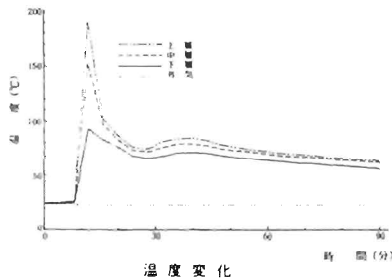


2 測定結果



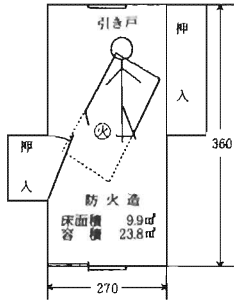
電気ストーブが火源となり、ベッド等が燃え、仮眠中の男性1名が燃焼生成ガスの中毒により死亡した。

なお、この男性は階段の降り口で見えられており、出火室の戸は閉の状態であった。



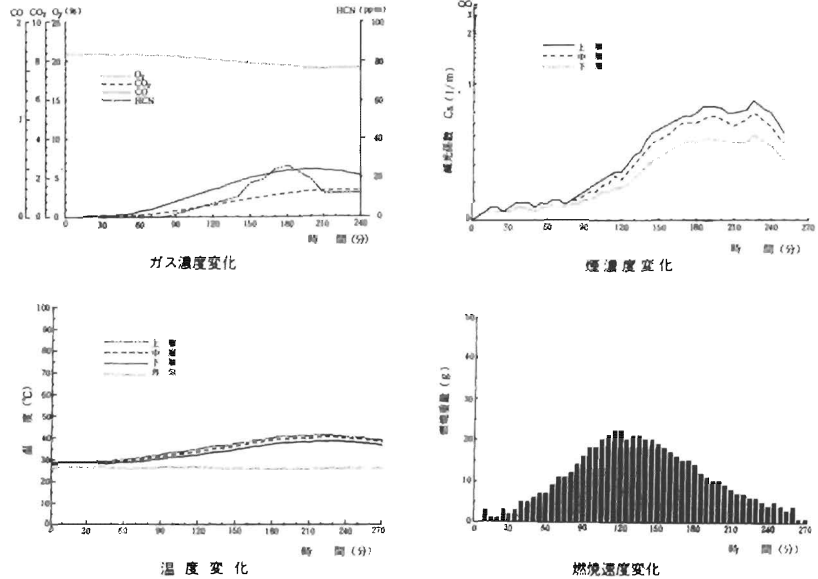
実験5（火災事例9）

1 出火室の状況



寝タバコの火が布団に着火し、火災となり発生したガスの中毒により男性1名が死亡した。

2 測定結果



7. 参考文献

- (1) 日本火災学会；“火災便覧” 共立出版
- (2) 東京消防庁消防科学研究所；“火と煙と有毒ガス” 東京法令出版
- (3) 自治省消防庁予防課；“火災燃焼生成物の毒性” 新日本法令出版
- (4) 英 一太著；“プラスチックの難燃化” 日刊工業新社
- (5) 財団法人日本規格協会；“JISハンドブック 公害関係”
- (6) 財団法人日本防災協会；“火災における燃焼生成物の毒性に関する調査研究報告書” 1987年2月
- (7) 建築学大系編集委員会；“建築学大系21 建築防火論” 彰国社
- (8) 消防庁；“消防白書” 昭和63年
- (9) 東京消防庁；“火災の実態” 昭和63年
- (10) 日本火災学会学術委員会；“スモダリング(くん焼)に関する研究討論会資料” 平成元年2月
- (11) 日本火災学会；“研究発表会概要集” 平成元年